



平成23年度 FR3 研究プロジェクト報告

温暖化するシベリアの自然と人

－水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応



地球研プロジェクト C-07

地球研プロジェクト C-07
温暖化するシベリアの自然と人
2011年度研究成果報告書



目次

はじめに	1
檜山 哲哉	
【グループ1：広域グループ】	3
◆G1a（人工衛星データ解析チーム）	
G1a（人工衛星データ解析チーム）活動要約	5
山口 靖	
陸域生物圏モデルBEAMSを用いた シベリア地域の水・エネルギー・炭素収支の広域解析	7
相庭 一輝・佐々井 崇博	
2011年レナ川中流域で発生したアイスジャム洪水の様子	14
酒井 徹	
森林火災周辺でのメタン濃度増加量の推定	18
小林 菜花子	
◆G1b（気候解析チーム）	
東シベリアにおける夏季降水量変動に関する研究	24
安成 哲三・渡部 達郎・藤波 初木	
北極域の気候変動・変化に関する研究プロジェクトの紹介	31
神沢 博	
◆G1c（ロシア政治経済研究チーム）	
サハ共和国を始めとするロシア極東シベリアの天然資源開発と日本に及ぼす影響について —エネルギー資源を中心に—	33
杉本 侃	

【グループ2：水・炭素循環グループ】	41
◆G2a（古環境復元チーム）	
G2a（古環境復元チーム）活動要約	
一年輪同位体を用いた東シベリアタイガ林の古環境復元ー	43
杉本 敦子・鄭 峻介・米延 仁志	
樹木年輪を用いた東シベリアタイガ林の水・炭素循環の解明	44
鄭 峻介・杉本 敦子・米延 仁志	
◆G2b（素過程観測チーム）	
G2b（素過程観測チーム）活動要約	49
太田 岳史	
東シベリアタイガ林における群落スケールの水・炭素循環	50
小谷 亜由美・太田 岳史	
樹冠着雪からの蒸発量の高度依存性	57
兒玉 裕二・松田 直也・R. Petrov・T.C. Maximov	
東シベリア ヤクーツク近郊の永久凍土帯に分布する湧水の地下水年代	
ー トリチウム・CFCs・SF ₆ による年代推定結果の比較 ー	62
檜山 哲哉・浅井 和由・A. Kolesnikov・L. Gagarin・V. Shepelev	
◆G2c（モデリングチーム）	
G2c（モデリングチーム）活動要約	69
山崎 剛	
陸面モデル 2LM によるタイガ林の水・熱収支シミュレーション(2)	71
山崎 剛	
レナ川の河川流量の季節変化・経年変動とそれらの大気水循環との関係	78
大島 和裕	

北極圏の陸域における植物純生産量に対する活動層変動の影響	85
朴 昊澤	
分布型水文モデルにおける流出モデルの改良	91
八田 茂実	
フォーシングデータの構築	97
山本 一清	
トナカイ移動ルートに関わる環境因子の検討	100
山本 一清	
【グループ3:人類生態グループ】	105
◆G3a (氷結水環境チーム)	
G3a (氷結水環境チーム) 活動要約	107
高倉 浩樹	
地球温暖化の人類学における適応概念メモランダム	108
高倉 浩樹	
サハ共和国の夏季交通途絶に対する社会的対応について	114
奥村 誠	
◆G3b (資源動物研究チーム)	
G3b (資源動物研究チーム) 活動要約	120
立澤 史郎	
トナカイ飼育/牧畜の環境利用と経済性(1980年代資料研究)	124
吉田 睦	
サハ共和国におけるトナカイ牧畜民と環境変化: トンポ郡の事例より	129
中田 篤	

衛星追跡による野生トナカイの観測と政策展開の可能性	137
立澤 史郎・I.M. Okhlopkov	
ヤクーチアにおける毛皮獣狩猟の変化と外来種問題	141
池田 透	
◆G3c (環境認識・政策研究チーム)	
G3c (環境認識・政策研究チーム) 活動要約	150
藤原 潤子	
シベリアの村における社会変化と気候変化—サハ共和国アルガフタフ村の例から—	151
藤原 潤子	
適応・脆弱性研究の方法論的分類	157
石井 敦	
シベリアの洪水伝説: 災害体験の継承方法としての神話	165
山田 仁史	
民話から見たカムチャッカ先住民の自然観	183
永山 ゆかり	
おわりに	194
檜山 哲哉	

はじめに

檜山 哲哉

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所
(シベリアプロジェクト リーダー)

シベリアプロジェクトは **FR3**(本研究3年目)を終えようとしている。報告書の冒頭に当たり、昨年度と同様、プロジェクトの目的と構造を再掲する。

シベリアは温暖化が最も顕著に進行すると予測される地域である。長期的な気温の上昇として表出する温暖化は、短期的には乾燥と湿潤を繰り返しながら、永久凍土と陸域生態系に影響を及ぼす。本研究プロジェクトでは、人工衛星データを用いてシベリアの水・炭素循環の特徴を俯瞰的にとらえ、それらの変動の近未来予測を行い(グループ1:広域グループ)、水・炭素循環の変動要因を現地観測から明らかにし(グループ2:水・炭素循環グループ)、都市と農村の双方において、水・炭素循環の変動や社会変化に対して人々がどのように適応しているのかを見極め(グループ3:人類生態グループ)、今後どのように適応していくのかについて考察を行う。

本報告書が、研究活動の記録として役立ち、残されたプロジェクト期間(2年間)に向けての足がかりとなれば幸いである。

G 1

【グループ 1 : 広域グループ】

G1a（人工衛星データ解析チーム）活動要約

山口 靖

名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻

1 はじめに

G1a チームは、現在のシベリア地域における水・炭素循環過程を、主に衛星観測とモデルシミュレーションによって明らかにすることを目的としている。具体的には、①シベリア地域の永久凍土帯に生育するカラマツ林の雪氷プロセスを陸域生物圏モデルで再現すること、②雪氷プロセスが炭素収支に与える影響をシベリア全体で評価すること、③洪水発生メカニズムを正しく理解し、洪水被害規模の時空間変化特性を評価すること、の3点である。

2 研究の進捗状況（研究概要）

研究目的に向けて今年度行った研究概要を以下に記す。

上記①については、衛星観測データを入力とする陸域生物圏モデル BEAMS に、雪被覆による炭素放出制限と地表面の熱収支プロセスを導入した。さらに土壌中の多層熱伝導および水輸送プロセスを導入することにより、活動層の水・熱輸送を簡略的に表現した。この改良モデルによる土壌温度・土壌水分の推定結果を、ヤクーツク近傍に設置された2つのフラックス観測タワー（YPF・YLF）の観測データを用いて検証したところ、改良前と比較して季節変化をより正確に再現していることが確認できた。しかし、実測に見られる夏季の土壌水分の増加は、ほとんど再現できていなかった。②については、①で改良したモデルを使って、シベリア全域を対象として土壌温度・土壌水分、活動層の深さ、陸域植生の総一次生産量などの空間分布と経年変動を解析した。モデル中のプロセスやパラメータを改善する余地はまだ残されているが、雪氷プロセスが炭素収支等に与える影響を広域的に評価できる目処が立った。

上記③については、衛星観測によるレナ川流域のアイスジャム洪水のモニタリングを昨年度に引き続き行った。高い空間分解能の LANDSAT 衛星データに加えて、空間分解能は劣るが観測領域の広さと繰り返し観測能力に優れた MODIS データも併用することにより、アイスジャム洪水の日毎の移動を捉えることができた。また、2011年5月に現地を訪れ、ベスチャフからヤクーツク周辺でアイスジャム洪水を実際に観察した。その結果、アイスジャム洪水の進行速度は、衛星画像解析によって推定された速度と整合的であり、衛星観測の有効性が証明された。また、アイスジャム洪水による冠水被害を観察した。

3 今後の課題と展望

上記①については、モデルから得られた土壌水分とフラックス観測タワーでの実測値との間の不一致を解決することが課題である。そのためのモデルの改良を進めるとともに、G2には実測データの再検討をお願いしている。今回用いた以外のフラクスタワーデータを入手し、検証を行うことも課題である。

上記②については、①での検証結果を踏まえ、モデルの改良を行いつつ、シベリア全体を対象とした広域的な水・熱・炭素フラックスの時空間解析を進める予定である。また、入力データに対するモデル感度解析を行い、シベリアでの環境変動の要因について考察を行う。

上記③については、光学センサは、観測は雲の被覆があると地表面を観測できないという欠点

があり、アイスジャム洪水の時系列解析が行えないことがあるため、雲を透過して地表面を観測できる合成開口レーダ（SAR）による観測データも用いる計画である。このための解析環境を早急に整え、光学センサと SAR の両者の観測データを併用することにより、アイスジャム洪水のより詳細な時系列解析を行いたい。また、洪水被害と土地被覆・土地利用との関係について、G3とも情報交換しながら解析を進める予定である。

陸域生物圏モデル BEAMS を用いた

シベリア地域の水・エネルギー・炭素収支の広域解析

相庭 一輝・佐々井 崇博

名古屋大学 大学院環境学研究科 地球環境科学専攻

1 はじめに

シベリア地域は、過去三十年間で気温・地表面温度の上昇率が最も大きな地域の一つであり、この昇温傾向が今後も維持されると予測されている（IPCC 第四次報告書）。近年の研究では、気候変化に伴う同地域の雪氷圏固有の環境変化が注目されており、その一つにエネルギー、水循環の変化が炭素収支に与える影響の評価がある。例えば、近年の地表面温度の上昇に伴い、雪被覆面積が減少し、河川への表層流出が増え、地表面に貯留される水量が減る。その結果、土壌水分量が減少して植生の光合成活動が抑制され、陸域の炭素吸収量が減少する、という観測結果がある（Smith et al., 2007）。また、地表面温度の上昇と降水量の増加により永久凍土の融解が進行し、土壌の微生物活動が活発化することで土壌有機物炭素が大気に大量放出されるとも言われている（Edward et al., 2008）。つまり、シベリア地域の環境変化は、炭素循環を介して気候へのフィードバック効果があると推測される。そのため、同地域の気候変動と水・エネルギー・炭素循環の関係性を把握することは温暖化メカニズムを理解する上で欠かすことができないと考えられる。

しかし、寒冷圏の物質・エネルギー収支は複雑であるために各フラックスの算定手法が確立されておらず、広大なシベリア北方林の炭素収支を十分に把握できていないのが現状である。シベリア地域の炭素収支研究は、これまでフラクスタワーサイトでの地上観測が継続的に行われてきた。寒冷圏にある同地域のサイトは観測条件が悪く、炭素フラックスを通年で観測することは困難である（Fahnestock et al., 2008）。また、同地域の観測地点数は他の地域と比べて非常に少なく、広域を評価するのに十分なデータがない。そのため、炭素収支量の時空間パターンの算定や水・エネルギー収支との関係性を理解することを目標に近年研究が盛んに行われている。特に、観測データに基づく広域解析を目的とした詳細な空間分解能での炭素収支推定手法の確立は急務とされる。

そこで、本研究では、陸域生物圏モデル BEAMS（Sasai et al., 2005, 2007）に雪氷圏特有のプロセス導入し、シベリア地域の炭素収支量の時空間パターンや水・エネルギー・永久凍土との関係性を理解する。今年度は、BEAMS の高度化と検証、簡単な広域解析までを行ったので報告する。改良した BEAMS 出力値と実測データとの比較を行ってモデルの妥当性を検証した後、BEAMS に衛星データを入力して活動層や炭素収支量の時空間パターンを推定する。

2 モデル

陸域生物圏モデル BEAMS は、3つの特徴を持つ。①衛星データを入力値とする診断型タイプの陸域生物圏モデルである、②陸域生態系の炭素・水・エネルギープロセスを再現する、③光利用効率に植物生理学に基づいた光合成モデル（Farquhar et al., 1980）を組み合わせることで GPP を算出

する。本研究では寒冷圏の活動層を再現させるために土壌中の水・エネルギー輸送プロセスを改良した。既存モデルでは水・エネルギープロセスの土壌が2層構造になっていたが、これでは活動層の深度などを十分再現できない。そのため、土壌を多層化して水プールを6層、エネルギープールを15層にし、活動層の時空間変化を再現させた。両プールとも1層の厚さは50cmに設定した(図1)。

各層の土壌温度は、鉛直一次元熱伝導方程式を解いて算出する。

$$C \frac{dT_s(n)}{dt} = \frac{dF}{dz} = \frac{d}{dz} k \frac{dT_s(n)}{dz} \quad (n = 1 \sim 15)$$

T_s は土壌温度(degC)、 n は土壌層の番号、 F は上下層の間での熱交換量(W/m²)、 k は土壌熱伝導率(W/m/degC)、 C は土壌の体積比熱(J/degC/m³)、 z は層厚(0.5m)である。熱伝導率と体積比熱は各層の含水率と土壌タイプごとに決められた空隙率に依存する。土壌内のエネルギー輸送プロセスの境界条件として、地表面に入力データの地表面温度、最下層に年間平均気温をそれぞれ用いる。

各層の土壌水分量はダルシーの法則を解いて算出する。

$$F_w = K \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right)$$

F_w は水交換量(mm/day)、 ψ は水ポテンシャル(mmH₂O)、 K は透水係数(mm/day)、 z は層厚(500mm)である。

水ポテンシャルと透水係数は以下の式によって定義する。

$$\begin{aligned} \psi &= \psi_s (\theta_w / \theta_s)^{2B+3} \\ K &= f_k K_s (\theta_w / \theta_s)^{2B+3} \end{aligned}$$

ψ_s は飽和水ポテンシャル(mmH₂O)、 θ_w は含水率(-)、 θ_s は飽和含水率(-)、 B は土壌水分保持曲線パラメータ、 f_k は凍結水分による抵抗値、 K_s は飽和透水係数(mm/day)である。 θ_s 、 B 、 f_k 、 K_s は土壌タイプごとに定義する。凍結土壌水分量 w_i (mm)は、以下の式を用いて計算する。

$$w_i = C (T_{mft} - T_s(n)) / l_{mft}$$

T_{mft} は凝固点(0degC)、 l_{mft} は1mm当たりの凝固熱(J/m³)である。 n 層の土壌温度が負になった場合、土壌水分量は非凍結土壌水分量を用いる。

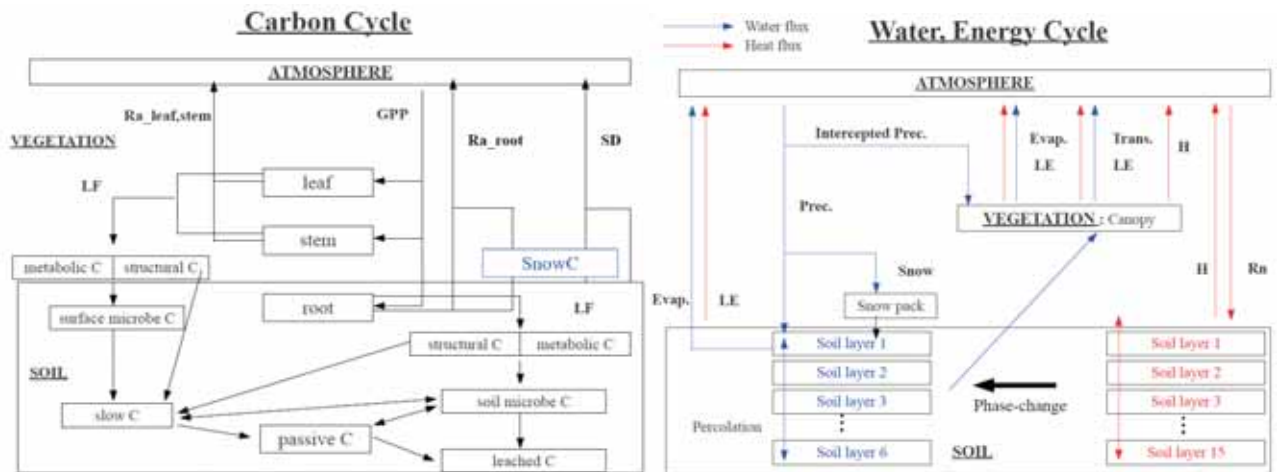


図1 水・エネルギーサブモデル（右）と炭素循環サブモデル（左）の概略図

3 モデル検証

本プロジェクト G2 によって地上観測された 2 地点のフラックスデータを用いてモデルを検証する。1 つ目は、スパスカヤパッド (SPA) サイトで、北緯 6 2 度 1 5 分、東経 1 2 9 度 3 7 分に位置し、植生種はカラマツ (落葉針葉樹林)、二つ目はエレグイ (ELG) サイトで、北緯 6 0 度 1 分、東経 1 3 3 度 4 9 分に位置し、植生種はカラマツ (落葉針葉樹林) である。両サイトで観測された気温、下向き短波放射量、水蒸気圧、風速、アルベド、地表面温度、降水量の 3 0 分間隔の観測値を月別値に処理し、モデルの入力データセットを作成した。fPAR、LAI は実測データがないため、衛星観測値を代用した。衛星データは 8 日コンポジットデータである MOD15A1 と MYD15A2 で、フラックスサイトの緯度経度情報を基に値を抽出し、月別コンポジットした月別値をモデル入力データとして使った。検証データは土壌温度、土壌水分、潜熱、NEP の月別値である。検証期間は、SPA が 2004 年 1 月~2010 年 12 月、ELG が 2010 年 4 月~9 月である。モデル計算の初期条件は、まず反復計算によってモデルを定常状態まで回した。次に、森林の樹齢を 30 年と仮定するため、植生バイオマスのみを取り除いた後に 30 年分の反復計算をして各プールの初期値を求めた。初期値を求める時には、SPA が 2004 年 1~12 月、ELG が 2010 年 1~12 月の値を用いた。

土壌温度 (20cm)、土壌温度 (120cm)、土壌の体積含水率 (20cm) の推定値を両サイトで検証した結果、地上観測値と概ね良い一致を示した (図 2)。まず、20cm の土壌温度は、季節変化、経年変化、絶対値ともうまく再現していることがわかった。120cm の土壌温度は、季節変化の振幅が地上観測値に比べてやや大きかったが、2006~2008 年までの増加傾向やそれ以降の減少傾向といった経年変化はよく再現できた。土壌の体積含水率は全体的に良い一致を示したが、一部で明らかな違いが見られた。SPA サイトでは、2006~2008 年に夏から秋にかけて降水量が増加し、それに応じて土壌水分量が増加する。しかし、同時期におけるモデル推定値はその増加傾向がうまく再現できていない。ELG では、季節変化パターンは一致しているが、全体的にやや過小評価であった。体積含水率に不一致が見られた理由として、圃場容水量の定義がある。同パラメータは土壌タイプごとに定義しており、空隙率 50% を超えない程度に定義されている。しかし、地上観測値はそれを大きく超える値であったために両者に不一致がみられた。体積含水率は地上観測値にも精度に問題がある可能性があるため、今後 G2 と議論しながらモデル検証を進める予定である。

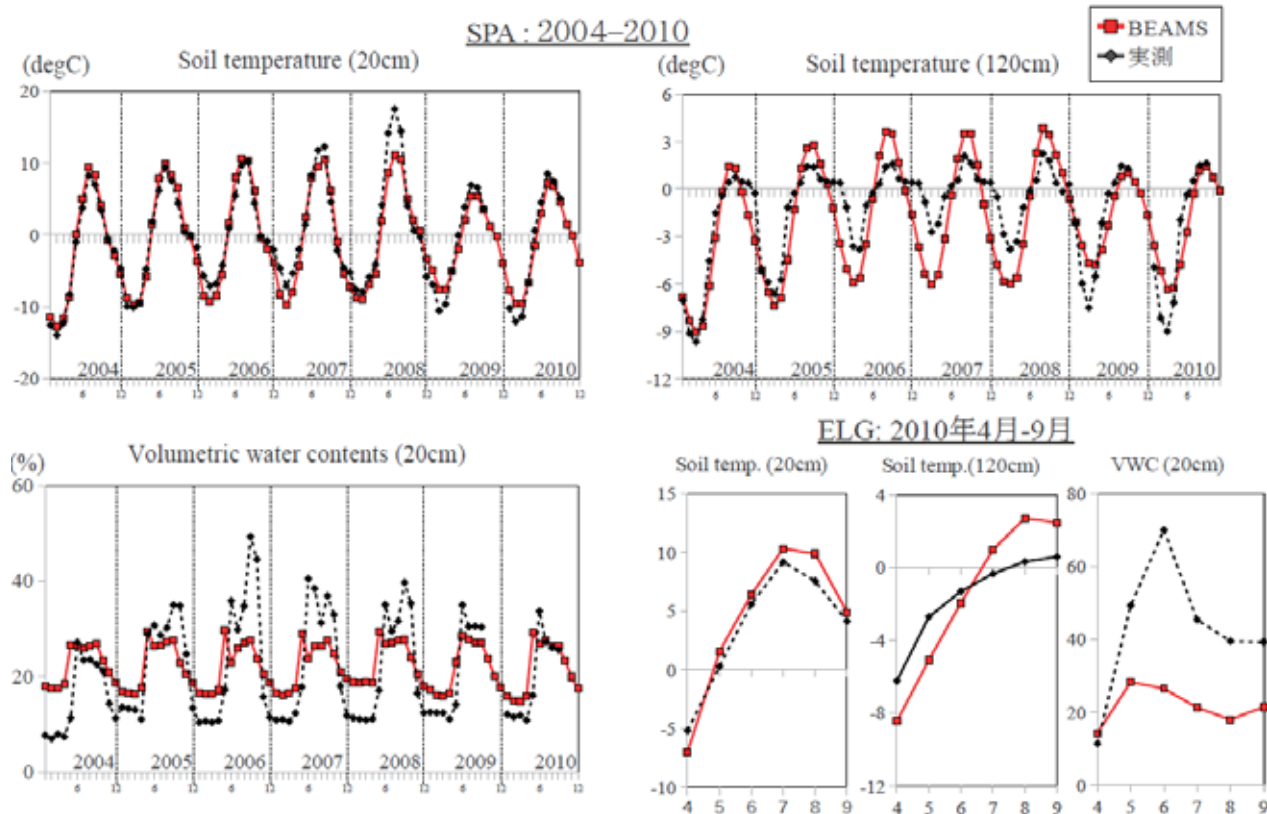


図2 SPA、ELGの検証結果（土壌温度、体積含水率）

SPA と ELG の潜熱と純生態系生産量（NEP）も概ね地上観測値と良い一致を示した（図3）。SPA では2008年のフラックス観測データがないため、それ以外の6年間を検証した。潜熱は両サイトとも季節変化をうまく再現できた。NEPは地上観測が可能な4月から9月のみを検証した。その結果、4月と9月に地上観測値よりもやや過小評価ではあったが、植生成長期の増加傾向や経年変化は実測値と良い一致を示した。

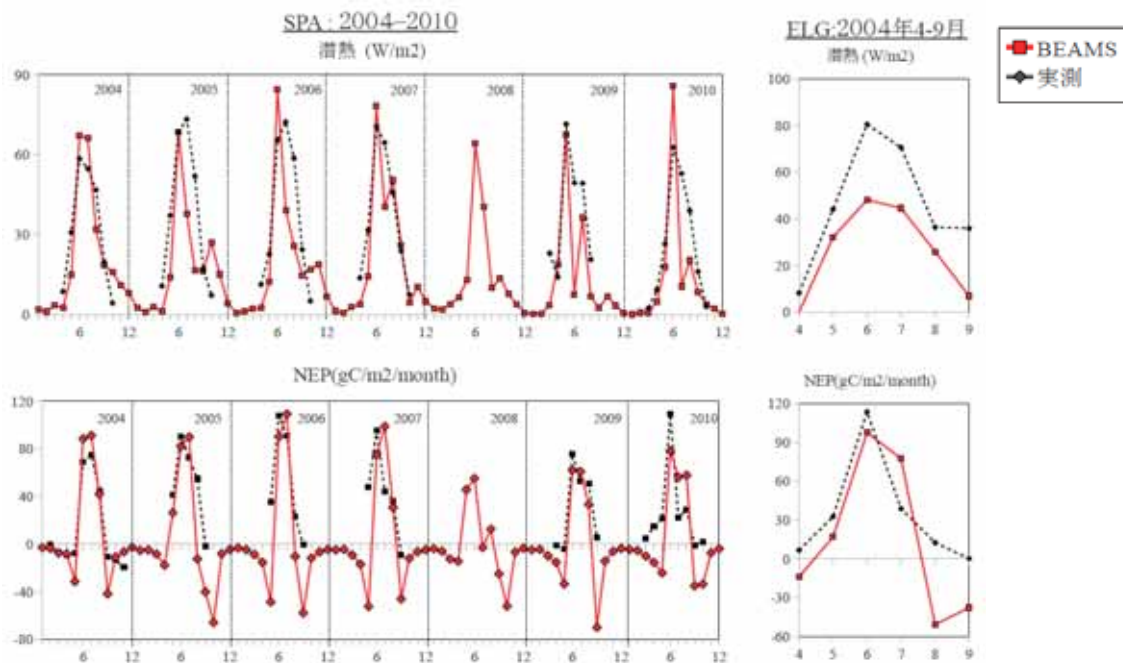


図3 SPA、ELGの検証結果（NEP, 潜熱）

4 広域解析

4.1 解析条件

BEAMS に衛星観測データを入力してシベリア地域の炭素・水・エネルギー収支の広域解析を行った。解析期間は2001年1月から2010年12月まで、時間ステップは1ヶ月、空間分解能は10km×10km、対象地域はE60°~W170°、N50°~N80°の範囲である。モデル入力値のうち、時系列データのLST、fPAR、LAI、下向き短波放射と時間固定データの植生分類図にMODISプロダクトを使用した(表1)。

表 1

Parameter	Dataset Name
LST	MOD11A2, MYD11A2
fPAR, LAI	MOD15A2, MYD15A2
Albedo	MOD43B3
Air Temperature	NCEP/NCAR Re-analysis
Incoming solar radiation	MODIS PAR product
Wind speed	NCEP/NCAR Re-analysis
Relative humidity	NCEP/NCAR Re-analysis
Precipitation	NCEP/NCAR Re-analysis
Atmospheric CO2 concentration	Observation in Mauna Loa
Elevation	ASTER/GDEM, SRTM, GTOPO30
Soil texture	FAO soil texture group
Land cover map	MOD12Q1

4.2 解析結果

シベリア地域の活動層深度の空間分布は、南部から北部に向かうほど浅く、活動層が最も深い地域で約400cmであった(図4)。深度分布の境界線は北西から南東方向に向かって変化していた。これらの空間的な傾向は、おおよそ気温に呼応していると思われる。空間パターンをより詳細にみれば、標高データとも一致しており、標高の高い山脈、高地地帯では地表面温度が低いために活動層が浅いことがわかった(図4b)。

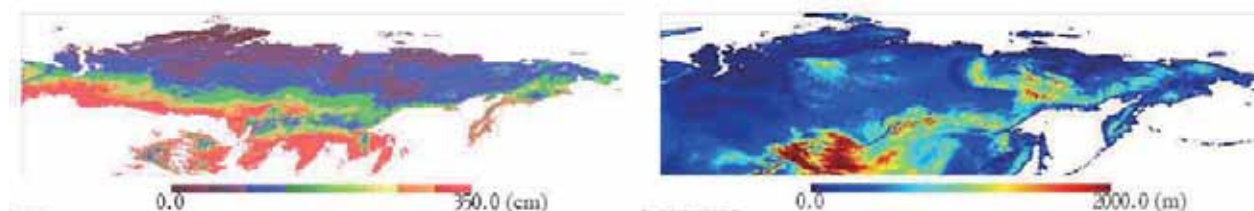


図 4 (a)活動層深度

(b)標高

10年間の年間平均NEPの空間分布では、北部で放出、中部から南部で吸収傾向であることがわかった(図5a)。針葉樹林が占める対象地域中央ではNEPは正(吸収傾向)であるが、北域のツンドラ地帯では負(放出傾向)であった。標高が高くて植生があまり生育していない地域でNEPは低かった。シベリア地域全体でみると、陸域生態系は吸収源であり、2001~2010年におけるの陸域炭素吸収量は355.2MtC/yearであった。10年間のNEP線形トレンドは、東シベリアで増加傾向、西~中央シベリアでは減少傾向で、地域によって大きく異なる分布となった(図5b)。対象域全体では+19.6MtC/yearで、シベリア域の陸域生態系は近年、より大きな炭素吸収源へと成長している可能性がある。

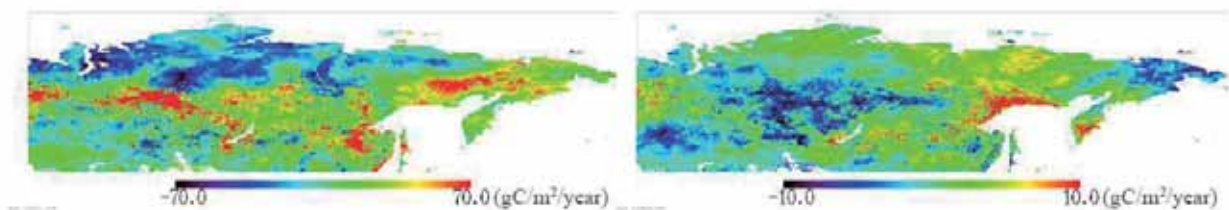


図5 (a) NEPの年平均値 (b)NEPの線形トレンド

NEPの変動要因を把握するため、気候・植生パラメータ (fPAR、日射、降水量、気温、LST) やモデルで推定した GPP、活動層深度、土壌水分量を調べた (図6)。まず、NEP と GPP のトレンド分布がよく一致していることから、NEP の変動要因は主に光合成活動の変化によってもたらされたことがわかった。GPP は西部で減少、東部で増加傾向で、各地域で fPAR、気温、降水量、活動層深度、土壌の体積含水率の増減傾向と概ね一致することがわかった。西部での GPP の減少傾向は降水量や活動層深度などの水関係のパラメータとよく一致している。つまり、同地域では水の供給量が減少して植生が水ストレスを受け、陸域の炭素収支が放出傾向になったと考えられる。東部での GPP 増加傾向は、fPAR や気温とよく一致していることから、温度ストレスの緩和が植生活動の活発化につながり、炭素吸収量が増えたと考えられる。

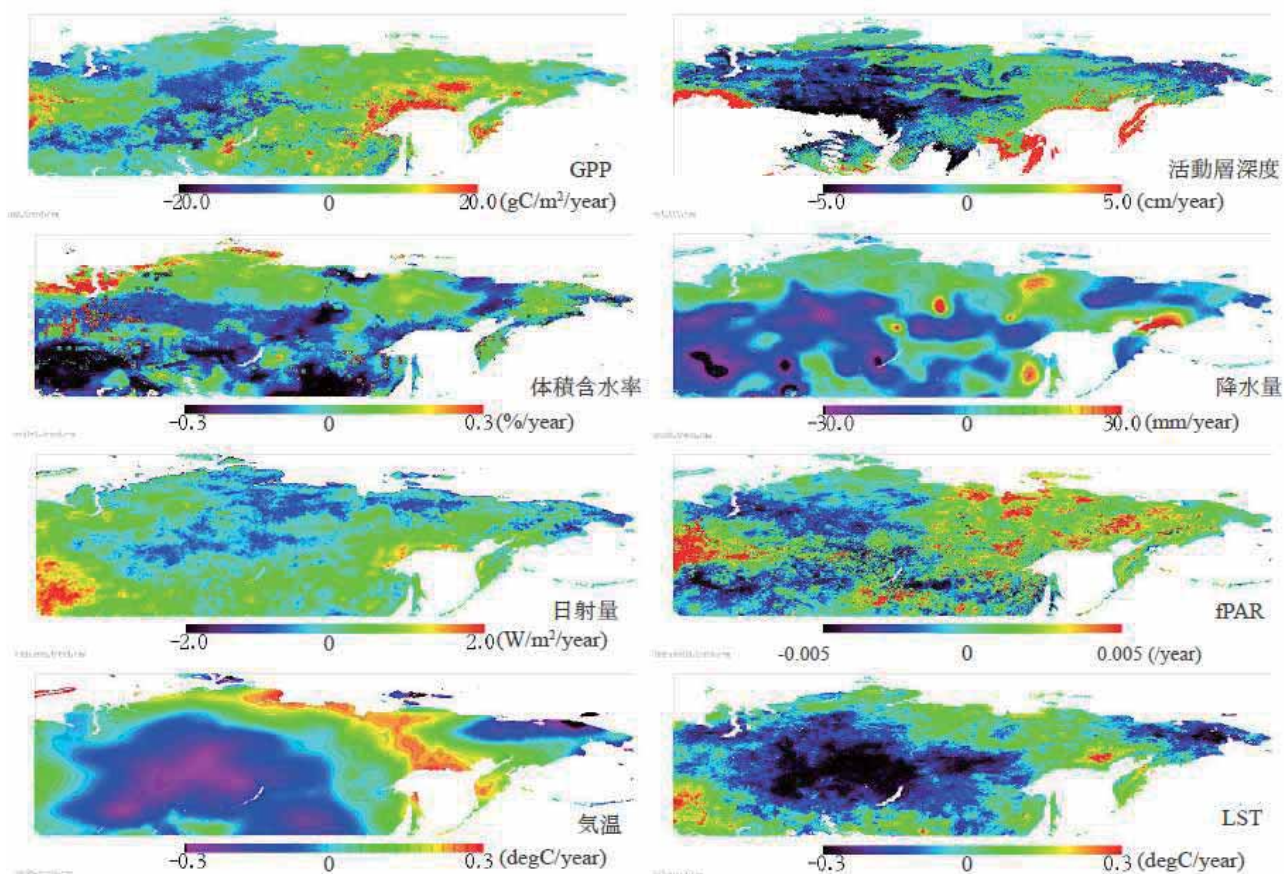


図6 BEAMS の各入力値・出力値の増減傾向

5 まとめ

本研究では陸域生物圏モデル BEAMS に土壌中の水・エネルギー多層輸送プロセスを導入し、シベリア地域の水・エネルギー・炭素フラックスを推定した。フラックスサイトでの実測値を用いたモデル検証では、土壌中の水・熱貯留量や各フラックスが実測値とよい一致を示したことから、改良モデルは各フラックスを妥当に推定できることがわかった。広域解析の結果では、2001～2010年におけるシベリア陸域生態系は吸収源として作用しており、年々その吸収量は増えていることが分かった。NEP 増減の要因は、主に水と気温に関わるパラメータは変化したためではないかと考えらえる。

今後は BEAMS の入力値に対して感度解析を行い、NEP 増減傾向の要因をより正確に評価する予定である。また、炭素フラックスについて、季節変化や植生種間の違い、永久凍土分布との関係性などに注目して広域解析する。最終的には、炭素循環の中でシベリアの陸域生態系がどのような役割を担っているかを明らかにすることを目指す。

引用文献

- Edward, A. G., J. Bockheim, J. G. Canadell, E. Euskirchen, C. B. Field, S. V. Goryachkin, S. Hagemann, P. Kuhry, P. M. Lafleur, H. Lee, G. Mazhitova, F. E. Nelson, A. Rinke, V. E. Romanovsky, N. Shiklomanov, C. Tarnocai, S. Venevsky, J. G. Vogel, and S. A. Zimov (2008). Vulnerability of permafrost carbon to climate change; Implications for the global carbon cycle. *BioScience*, Vol. 58, No. 8, 703-714. doi: 10.1641/B580807.
- Fahnestock, J. T., M. H. Jones, P. D. Brooks, D. A. Walker, and J. M. Welker (1998). Winter and early spring CO₂ efflux from tundra communities of northern Alaska, *Journal of Geophysical Research*, 103, 29,023–29,027.
- Farquhar, G., S. von Caemmerer, and J. Berry (1980), A biochemical model of photosynthesis CO₂ fixation in leaves of C₃ species, *Planta*, 149, 78–90.
- Sasai, T., K. Ichii, R. R. Nemani, and Y. Yamaguchi (2005). Simulating terrestrial carbon fluxes using the new biosphere model “biosphere model integrating eco-physiological and mechanistic approaches using satellite data” (BEAMS). *Journal of Geophysical Research* 110, G02014, doi:10.1019/2005JG000045.
- Sasai, T., N. Saigusa, K.N. Nasahara, A. Ito, H. Hashimoto, R.R. Nemani, R. Hirata, K. Ichii, K. Takagi, T.M. Saitoh, T. Ohta, K. Murakami, Y. Yamaguchi, T. Oikawa (2011), Satellite-driven estimation of terrestrial carbon flux over Far East Asia with 1-km grid resolution, *Remote Sensing of Environment*, 115, 7, 1758-1771, doi:10.1016/j.rse.2011.03.007., 2011.6.
- Smith N. V., S. S. Saatchi, and J. T. Randerson (2004). Trends in high northern latitude soil freeze and thaw cycles from 1988 to 2002. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 109, D12101, doi: 10.1029/2003JD004472.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (2007). IPCC. *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

2011年レナ川中流域で発生したアイスジャム洪水の様子

酒井 徹

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

1 はじめに

北半球の高緯度に位置するシベリアは温暖化に対して脆弱な地域として知られている。これまでの100年の間に全球平均の年平均気温が0.7度上昇したのに対し (IPCC 2007)、シベリア地域の年平均気温は2~6度上昇した。こうした気温の急激な変化が、融雪時期の早期化や降雪量の増加といった水循環過程に大きな影響を及ぼしている。特に春先の気温の上昇によって、多量の雪融け水が河川に流入し、大規模な洪水が発生するなど、実際の被害が出始めている。温暖化の進行によって洪水の出現頻度や規模は益々増加すると予想されており、気候変動に適応した河川管理手法を新たに検討する必要がある。

これまでに、局地スケールで洪水が発生する時期と場所を予測する研究は数多く存在する (Beltaos 1990, 1997, Ma and Fukushima 2003, Prowse and Conly 1998, Shulyakovskii 1972)。これらの研究は、氷の厚さや強度、水位、水路幅、水路の曲率、積算温度、積雪深のような変数が洪水発生 の時期と場所に影響することを示した。しかし、ごく一部の限られた地域でしか検討がなされておらず、時間的・空間的 拡がりを持った視点で問題を捉える試みはなされていない。水環境に関わる諸問題を解決し、河川の管理・ 保全を行うためには、上流から下流に至るまで視野を広げて捉え、流域全体の連続性を考慮して評価す ることが不可欠である。そこで、広範囲に及ぶ空間情報を瞬時に、繰り返し受信することが可能なりモ ートセンシングによるモニタリングは極めて有効な手段となる。本研究では、レナ川洪水の時空間変動 パターンをリモートセンシングによって明らかにすることを目的とする。

2 衛星データ

近年の技術進歩により、様々な衛星データが利用可能になっている。本研究では、米国地質調査所 (USGS) が提供する Landsat TM/ETM+を用いた。Landsat TM/ETM+の空間解像度は30mであり、レナ川の河川状況の詳細な把握が可能である。解析には、ヤクーツク周辺において発生した洪水をカバーする3シーン (洪水発生前: 2011年5月8日、洪水発生中: 5月17日、洪水発生後: 5月24日) を用いた。

3 結果

レナ川周辺に住む人々が実際にどの程度の洪水被害を受けているのかを把握するため、2011年5月8日から22日にかけてレナ川中流域のヤクーツク周辺において現地調査を行った。ヤクーツク到着時 (5月10日) には、既にレナ川上流域で川氷の融解が始まっていた。レナ川中流のヤクーツク周辺では5月11日頃から川氷が融け始め、河川水位が徐々に上昇していった。5月17日にはレナ川の河川敷に植えられた樹木が水面下に沈むほど水位が高くなり、堤防の際まで水が迫ってきた (図1a)。ヤクーツク

の中心部から僅か数 km 外れた村では堤防が建設されていないため、大きな冠水被害を受けていた (図 1b)。この時の様子を Landsat TM/ETM+から見たのが図 2 である。図 2a の中で白色に見えるのがレナ川の川氷である。5 月 8 日の時点ではレナ川はまだ凍結している。それが 5 月 17 日になると、川氷は融けて、黒色に見える融水が周囲に溢れ出す (図 2b)。元々 1km ほどであった川幅が 10km 以上に膨れ上がっていることから、雪融け時期に発生する洪水の規模が如何に大きいか分かる。それから 1 週間経つと、溢れ出した水が引いて元の河川形状に戻る (図 2c)。

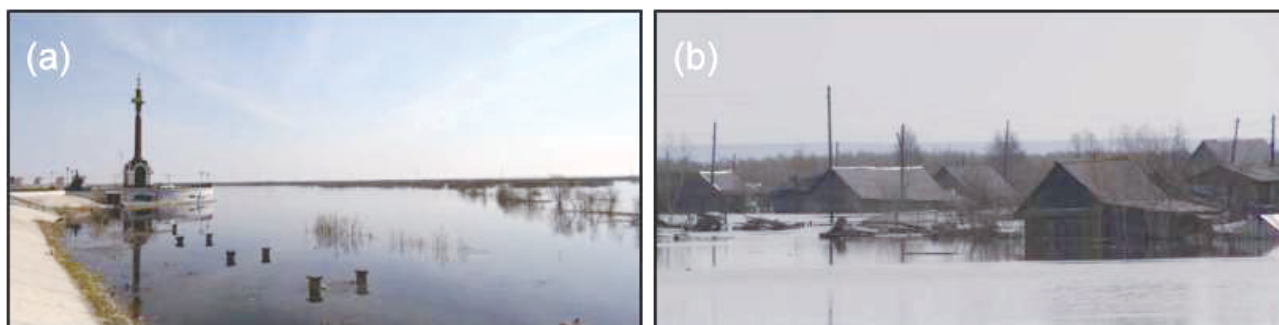
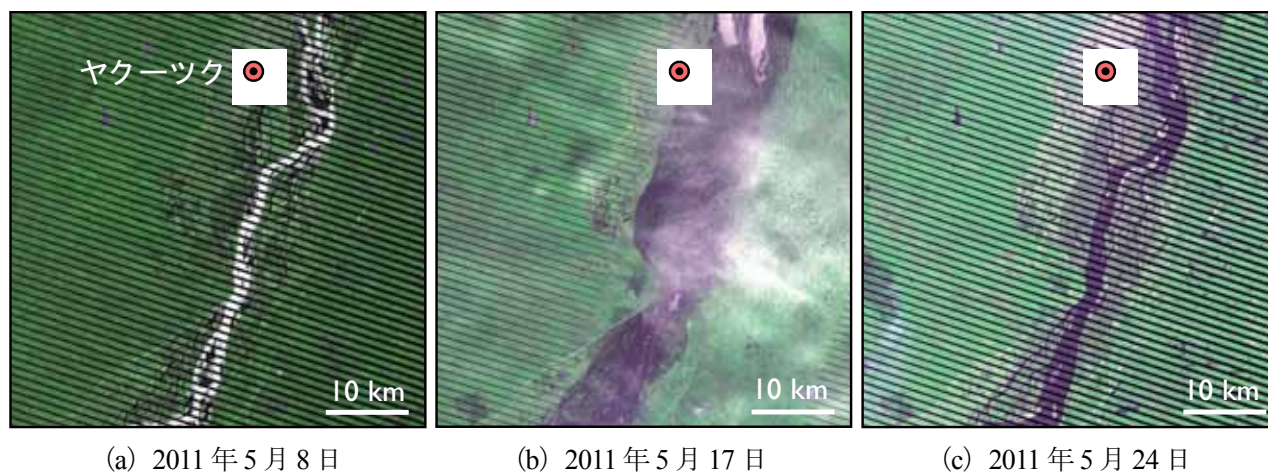


図 1. レナ川の川氷融解時におけるヤクーツク中心部 (a) と北部 (b) の様子 (2011 年 5 月 17 日) .



(a) 2011 年 5 月 8 日

(b) 2011 年 5 月 17 日

(c) 2011 年 5 月 24 日

図 2. Landsat TM/ETM+から見たレナ川の川氷融解前後の様子 (R:G:B=3:4:2) .

2011 年はヤクーツク周辺で特に大きな洪水が発生した。その原因として、ヤクーツクの北部で細かく砕かれた川氷が堆積してダムが作られたためだと考えられる。春先には多量の雪融け水が上流から流れ込んでくるが、ダムによって川の流れが塞ぎ止められたため、水位が上昇し、大規模な洪水が発生した。このようにして起こる洪水のことを「アイスジャム洪水」と呼ぶ。図 3 にアイスジャム洪水が発生する概念図を示す。2010 年はヤクーツクの南部でアイスジャム洪水が発生したため、人的被害は比較的少なかった。しかし、2011 年はヤクーツクの北部でアイスジャム洪水が発生したため、洪水被害はヤクーツクを含めて南北 150km の範囲におよび、たくさんの家屋で冠水被害を受けた (図 4)。

現地調査を行うことで、洪水被害の様子を実際に見て確認することができる。しかし、洪水被害が広範囲に及ぶため、現地調査だけでは被害規模の全体像を正しく把握できるとは言えない。同時期に撮影された衛星データを併用することで広範囲に及ぶ洪水被害の様子を詳細に把握すること可能となり、被害対策に役立てることができる。

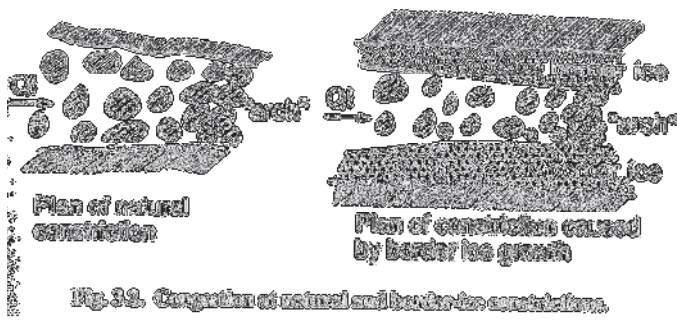


Fig. 3.9. Congestion of natural and border ice conditions.

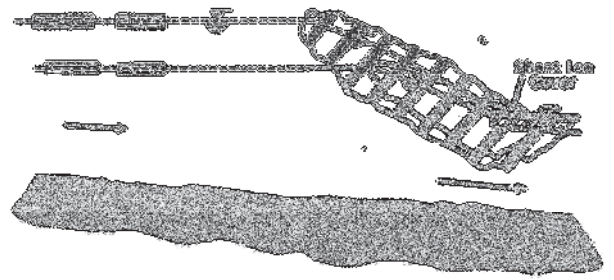


Fig. 3.12. Bridge jam caused at two different areas. Water depth at the bridge must be considered by ice jam under bridge.

図3. アイスジャム洪水が発生する概念図 (Beltaos 1996 から引用) .

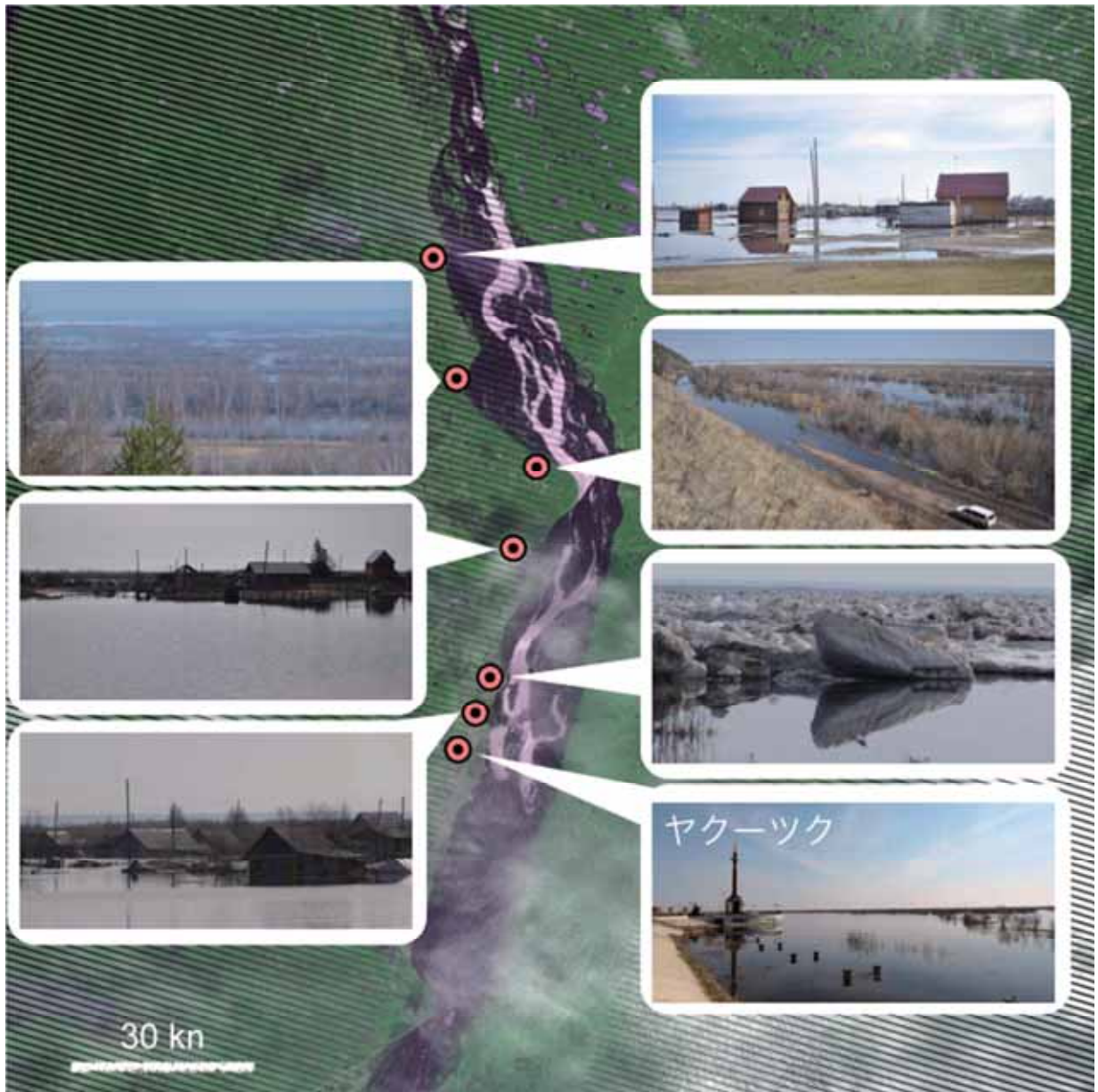


図4. 南北150kmに及ぶアイスジャム洪水の様子 (2011年5月17日) .

参考文献

- Beltaos S. (1990) Fracture and breakup of river ice cover. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17(2), 173–183.
- Beltaos S. (1996) River ice jams, Water Resources Publications.
- Beltaos S. (1997) Onset of river ice breakup. *Cold Regions Science and Technology*, 25(3), 183–196.
- IPCC (2007). In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Eds.), *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2007*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ma X. and Fukushima Y. (2003) A numerical model of the river freezing process and its application to the Lena River. *Hydrological Processes*, 16(11), 2131–2140.
- Prowse T. D. and Conly F. M. (1998) Effects of climate variability and flow regulation on ice-jam flooding of a northern delta. *Hydrological Processes*, 12(10–11), 1589–1610.
- Shulyakovskii L. G. (1972) On a model of the break-up process. *Soviet Hydrology Select Papers*, 1, 21–27.

森林火災周辺でのメタン濃度増加量の推定

小林 菜花子

名古屋大学 地球水循環研究センター

1 はじめに

ロシアにおける火災焼失面積や発生頻度は、近年増加傾向にある (e.g., Kharuk et al., 2005; Soja et al., 2007)。ヤクーツクでは 2002 年に大規模な森林火災が発生しており、その後少なかったものの、2011 年春に再度発生し、プロジェクトがタイガ林の熱・水収支観測を行っているスパスカヤパッドの近くまで危険が迫ったことは周知の事実である。2002 年の火災前 1999–2001 年に広範囲な虫害が報告されており (Troeva et al., 2010)、2011 年の火災前 2010 年にも深刻な虫害が発生している (Personal communication, 凍土研フョードロフ博士) ことから、火災と森林衰退の関係は強いことが推察される。虫害以外にも 2006 年以降、湿潤化による樹木の枯死が観測されており、温暖化による強い乾燥と湿潤の繰り返しシベリアの火災に拍車をかける可能性がある。シベリアでは、ひとたび森林火災が発生すると、回復が遅いばかりでなく、場所によっては凍土の融解によって再び森林が回復しないこともある。実際、2002 年に火災で焼失した森林の跡地は、いまだ草本と稚樹が混在し森林とは程遠い状態にある。

北方林の火災による気候への影響は大きく分けて 2 つある。第 1 に火災時に大量に放出される二酸化炭素 (CO_2) やメタン (CH_4) などが地球大気の温室効果を高めること、そして第 2 に長期にわたって地表面の熱・水収支特性を変え、太陽放射エネルギーの大気へのフィードバック形態を変えることである。本研究では前者の影響を明らかにするため、衛星データを用いて CO_2 , CH_4 放出量の推定を行うことを目的とし、特に CH_4 に着目して研究を進めている。その理由は、 CO_2 放出量は焼失したバイオマス量が既知であれば精度良く推定できるのに対し、 CH_4 放出量の推定には更にメタン放出係数 (EF_{CH_4}) が必要となるため、観測に基づく知見が少ないからである。火災からの CH_4 放出量は、焼失したバイオマス量と EF_{CH_4} の積で求められる。しかし燃焼物の種類や燃焼状態に依存する EF_{CH_4} は、観測から直接求めることは困難である。そこでメタン放出比 (ER_{CH_4}) を測定して EF_{CH_4} に換算することが行われる。 ER_{CH_4} は下記のような式で表される。

$$ER_{CH_4} = \frac{[CH_4]_{smoke} - [CH_4]_{bg}}{[CO_2]_{smoke} - [CO_2]_{bg}} \quad (1)$$

ここで [] は濃度を表し、添え字の **smoke** は火災のプルーム内、**bg** は火災によって影響を受けていないバックグラウンドを意味する。すなわち ER_{CH_4} を求めるためには、火災プルーム内外の濃度差が正しく観測されている必要がある。

本研究では、昨年度までに大規模火災周辺の GOSAT データ収集とその補正方法についての検

討を行い、GOSAT と類似の衛星である SCIAMACHY のデータを補正するために提案された方法 (Frankenberg et al., 2005) を採用することによって、火災近傍での CH_4 濃度増加を検知できる可能性を示した。今年度は、GOSAT のシングルデータ (ここでは時間的・空間的な平均化処理を行わないデータと定義) に含まれる測定誤差を調査し、有意とみなせる濃度増加量の閾値を評価した。また火災近傍でも濃度が増加しないケースについて、大気輸送モデルを用いて火災周辺の濃度シミュレーションを行い、データの妥当性について検討した。

以下、第 2 章では、本研究の解析対象地域と手法について説明する。手法の詳細については昨年 の報告書も参考にさせていただきたい。第 3 章ではこれまでの解析結果を示し、第 4 章でその考察を行う。最後に第 5 章でまとめを行う。

2 研究対象地域と手法

2.1 研究対象地域

シングルデータに含まれる誤差評価については、起伏や植生、人為的発生源の少ないオーストラリア内陸部を解析対象とした。火災周辺の濃度分布シミュレーションについては、プロジェクトで新しくタワー観測を開始したサハ共和国のウスティマヤ周辺を解析対象とした。ここでは 2009 年に大規模な森林火災が発生し、長期間の断続的なデータが得られている。

2.2 解析手法

(1) カラム平均濃度

ER_{CH_4} の算出に用いるデータは、GOSAT の FTS センサが取得した CO_2 , CH_4 のカラム平均濃度 (以下 XCO_2 , XCH_4) である。FTS センサが実際に観測する物理量は、大気柱 (カラム) 中に存在する気体分子の総量 (カラム量) である。この量は測定地点の標高や大気の厚さに依存するため、カラム中の乾燥空気分子の総量で割ることによって濃度を得る。GOSAT の XCO_2 , XCH_4 データについては、宇宙航空研究開発機構(JAXA)・国立環境研究所(NIES)・RA 研究者らによって改良が続けられており、本報告書で用いるバージョンは V01.XX である。NIES による検証によれば、データの絶対値には XCO_2 で 2-3%, XCH_4 で 1-2% の過小評価の問題が残るが、南北の濃度差は正しく表現できる。しかしシングルデータについては、その精度はいまだ明らかになっていない。本研究では、GOSAT の XCH_4 に乾燥空気カラム量の見積もり誤差が含まれていることを前提に、SCIAMACHY の XCH_4 データに対して提案された式を用いて補正值 (XCH_4') を計算した。その補正式は下記のように表される。

$$XCH_4' = \frac{CLA_{CH_4}}{CLA_{CO_2}} XCO_2' \quad (2)$$

ここで CLA はカラム量を表している。また XCO_2' は簡単のため 370ppm で固定とした。

(2) 大気輸送モデル

火災周辺の CH_4 濃度分布をシミュレートするため、メソスケール大気輸送モデルに化学過程を

組み込んだ WRF/CHEM Tracer transport model を用いた。入力した気象データは NCEP Final Analysis (FNL)、火災地点データは MODIS/Terra の MOD14 プロダクトである。本計算では、火災地点のバイオマス密度や燃焼効率を植生タイプごとに設定された代表的な値を用い、火災の強度は考慮されていない。計算ドメイン数は二つ (two-way nested) で、それぞれのグリッド解像度は 36km, 12km、計算ステップは 180 秒, 60 秒である。このモデルでは CH_4 をデフォルトで扱っていないため、一酸化炭素 (CO) をトレーサーとして代用した。 CO は大気中で化学反応をせず、パッシブに輸送されるよう設定した。そして各ガス成分の放出量と濃度増加量が比例することを仮定し、次の式を用いて XCO の濃度増加量 (ΔXCO) から XCH_4 の濃度増加量 (ΔXCH_4) に換算した。

$$\Delta XCH_4 = \Delta XCO \times \frac{(EF_{CH_4}/MW_{CH_4})}{(EF_{CO}/MW_{CO})} \quad (3)$$

ここで MW_{CO} , MW_{CH_4} はそれぞれ CO , CH_4 の分子量である。 EF_{CO} と EF_{CH_4} には、Andreae and Merlet (2001) による extra-tropical forest の値を採用した ($EF_{CO}=106 \text{ g kg}^{-1}$, $EF_{CH_4}=4.8 \text{ g kg}^{-1}$)。

3 結果

3.1 シングルデータに含まれる誤差解析

図 1 はオーストラリアの植生図 (GLC2000) である。赤い四角で囲んだ解析対象エリアは、平坦で人為的排出源が少なく、植生もまばらであるため、測定機器による誤差のみを調べるのに適している。本研究では、機器由来以外の誤差要因が特に少ないと思われる南半球冬 (6–9 月, 2009 年) に得られたデータを調べた。その結果、解析対象エリア内に含まれるデータの個数は 1 日 7



図 1 オーストラリア植生図(GLC2000)。赤い四角は解析対象エリアを示す。その内部の主な植生カテゴリーは "Sparse herbaceous or sparse shrub cover" である。

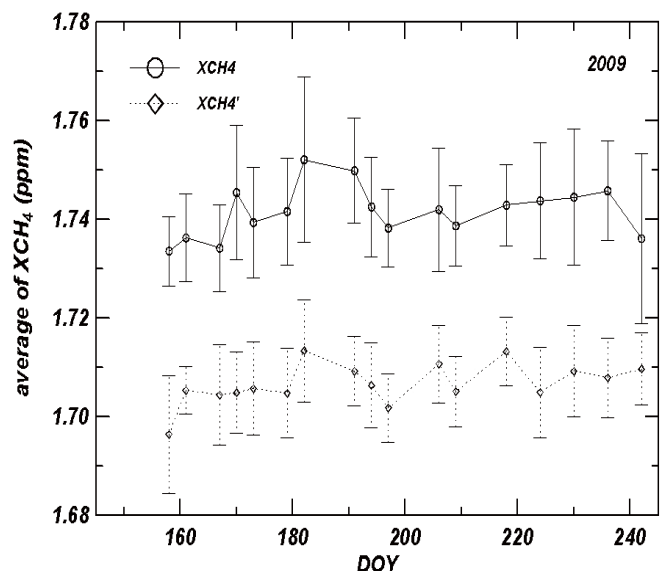


図 2 オーストラリア内陸部で 2009 年南半球冬に観測された XCH_4 と XCH_4' の解析対象エリア平均値とそのばらつきの時系列 (エラーバーは標準偏差を表す)。赤い四角は解析対象範囲を示す。

−18 個で、 XCH_4 の期間平均の絶対値は 1.742ppm、標準偏差は 0.011ppm であった (図 2)。この絶対値は、最も近傍の GOSAT 検証地点である、Darwin における同時期の観測値に比べ約 1%の過小評価で、NIES の報告と一致している。一方、補正を施した XCH_4' の標準偏差は 0.008ppm と減少した。

3.2 火災周辺での濃度分布

2009 年に発生したウスティマヤ周辺での火災は、当地域では大規模なもので、GOSAT/CAI センサで得られた擬似トゥルーカラー画像でも煙が広範囲に見られた (図 3)。しかし、最も火災から近い風下の観測点でも、風上と比べて XCH_4' の濃度増加は見られなかった (図 3)。そのため、100km 程度離れた場所では拡散により濃度差が検出できないレベルになっていると推察された。

その推察を裏付けるため、大気輸送モデルを用いて火災周辺の濃度分布のシミュレーションを行った。図 4 に、トレーサーに用いた CO の地表面付近濃度分布の計算結果を示す。火災の発生から時間が経つにつれて、高濃度のエリアが風下側に広がっていく様子が再現されている。計算結果から、GOSAT データが得られた時刻の 3 次元濃度分布を抜き出し、カ

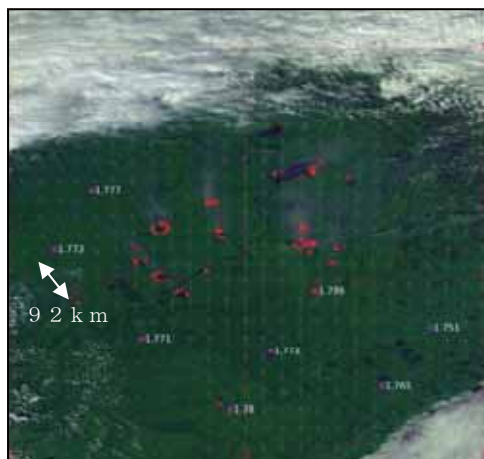


図 3. ウスティマヤ上空で得られた XCH_4' 分布 (2009 年 7 月 30 日)。背景は CAI の擬似トゥルーカラー画像で、MODIS/Terra が検知した火災地点が赤で示されている。矢印は FNL の 850hPa 面での風速場を示す。

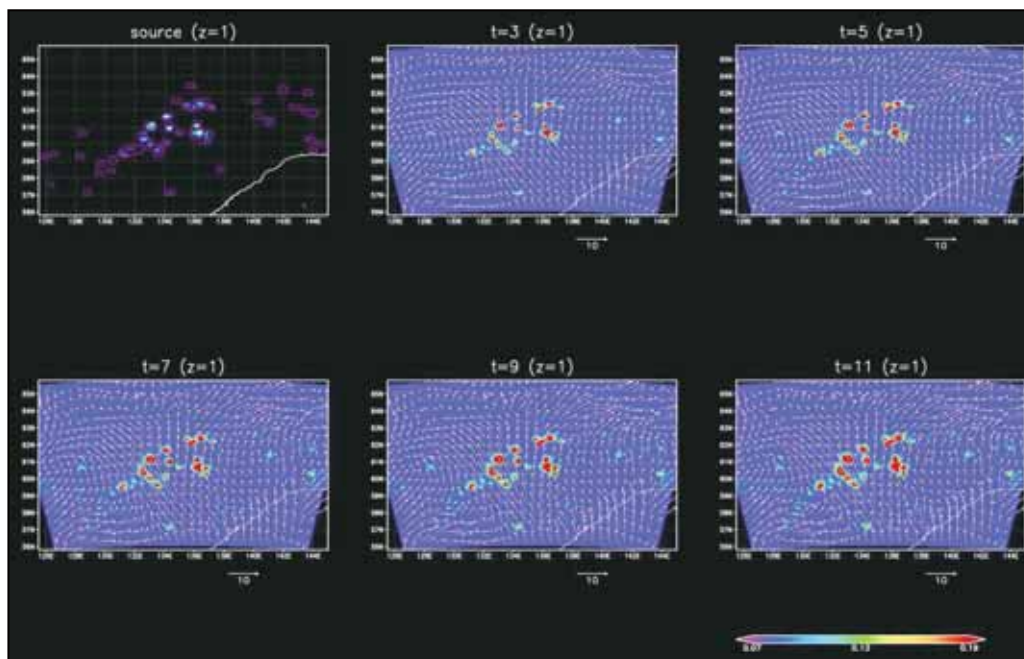


図 4 左上の図は、計算時に与えた CO の発生強度を表す。その他の図は、 CO の地表面付近濃度分布の計算結果 (t=3 のとき計算開始から 1 時間後、t=5 のとき 2 時間後)。

ラム濃度の増加量 ΔXCO を計算、更に(3)式を用いて ΔXCH_4 に換算した(図5)。

4 考察

3.1で XCH_4' の測定誤差は0.008ppm程度であることを示した。図5から分かるように、ウスティマヤで発生した火災では、濃度上昇がその誤差を上回るのは火災地点から風下50–100kmの範囲に留まっている。従って、GOSATのデータに火災の風上と風下で系統的な XCH_4' の濃度差が現れなかった(図3)のは、妥当な結果であると言える。

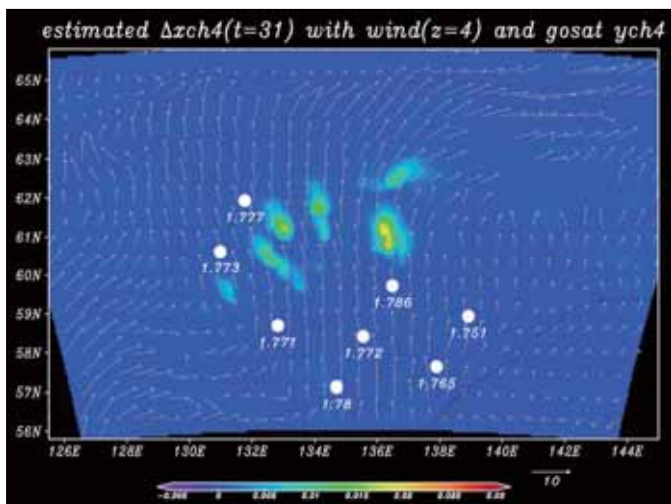


図5 大気輸送モデルで推定した火災周辺の XCH_4 増加量(カラーコンター)と XCH_4' データ(白丸)。

GOSATのデータを用いて本研究の目的を達成するには、火災地点に十分近いデータを収集することが必要だが、それらは(おそらくエアロゾルの影響によって)クオリティが低い。しかし(2)式のように CO_2 と CH_4 のカラム量の比を取ることによって、エアロゾルの影響を打ち消すことができると考えられる。今後、GOSAT検証地点で得られる地上分光データや他の衛星データを用いて、カラム量の比に対するエアロゾルの影響が小さいという仮定を立証する必要がある。また、WRF/CHEMが火災周辺の濃度分布の把握に有用であることが分かったため、今後は植物の光合成による CO_2 吸収の効果も取り入れた上で(2)式中の XCO_2' に関するモデル計算を行い、 XCH_4' の推定精度を高める。これらを通して火災周辺の XCH_4 濃度増加量を正しく求めた上で、(1)式の ER_{CH_4} 計算を行う。

5 おわりに

大気輸送モデルを用いて、ウスティマヤで2009年に生じた大規模火災周辺での XCH_4 濃度増加量を推定した。その結果、GOSATのデータから推察されるのと同様、火災から風下50–100km以遠では、観測誤差を上回る濃度増加はないことが分かった。今後は、クオリティが低いために公開されていない火災近傍のデータを収集していくとともに、 CO_2 と CH_4 のカラム量の比に対するエアロゾルの影響評価、大気輸送モデルでの XCO_2' 推定を行っていく。

参考文献

Andreae, M. O. and Metlet, P. (2001): Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochem. Cycles, 15, 955-966

- Frankenberg, C., Meirink, J. F., van Weele, M., Platt, U. and Wagner, T. (2005): Assessing methane emissions from global space-borne observations. *Science*, 308, 1010
- Kharuk, V. I., Dvinskaya, M. L. and Ranson, K. J. (2005): The Spatiotemporal Pattern of Fires in Northern Taiga Larch Forests of Central Siberia. *Russ. J. Ecol.*, 36, 302-311
- Soja, A. J., Tchebakova, N. M., French, N. H. F., Flannigan, M. D., Shugart, H. H., Stocks, B. J., Sukhinin, A. I., Parfenova, E. I., Chapin, F. S., and Stackhouse, P. W. (2007): Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global Planet. Change*, 56, 274-296.
- Troeve, E. I., Isaev, A. P., Cherosov, M. M., and Karpov, N. S. (2010): *The Far North: Plant Biodiversity and Ecology of Yakutia*. Springer, pp.390

東シベリアにおける夏季降水量変動に関する研究

安成 哲三 名古屋大学 地球水循環研究センター

渡部 達郎 名古屋大学 環境学研究科

藤波 初木 名古屋大学 地球水循環研究センター

1 はじめに

北方林は北緯 45°~70°に沿って地球を連続的に取り巻いており、北半球の地表面の大部分を占め、世界の森林面積のうち約 33%を占めている。近年、北方林が CO₂ の固定に重要な役割を果たしていることも明らかになってきている (D'Arrigo et al., 1987; 小池 ほか 1998)。最新の気候モデルによる多くの研究では、温室効果ガスの増加による地球温暖化は、北極地域や高緯度大陸域において特に顕著に現れ、降水量も顕著に増加すると予測されている (IPCC, 2007)。このような高緯度大陸域での大きな気候変化は、北方林そのものへも影響を与える可能性が大きい。例えば、Zhang et al. (2011) は東シベリアにおいて気温が 2°C 以上上昇した場合、北方林の優先種であるカラマツが後退し、全生産量も減少するという報告をしている。

このような大陸スケールで分布する北方林は、いっぽうで、光合成に伴う蒸散作用やアルベードや地表面粗度などの地表面状態の変化を通して、水循環や大気循環に大きな影響を及ぼしていると考えられる (Bonan 2008; Lopez et al, 2008; Saito et al., 2006)。すなわち、北方林は地球温暖化などの気候変化の影響を受けるだけでなく、地球規模で気候に影響を及ぼし得ることが予想され、北方林と気候の関係は、したがって、双方向の関係として調べる必要がある。

ユーラシア大陸北部で北方林が卓越する地域は、同時に永久凍土が連続的かつ広範囲に分布しており、特に東シベリアでは広大な永久凍土層が発達している。カナダ、スカンジナビア地域などに比べ、東シベリアは降水量が非常に少なく、気温の日較差や年較差の大きい大陸性気候が卓越している。例えば、年平均気温が -10°C から -20°C で、年最高気温が 38°C であるのに対し、年最低気温が -64°C と年較差は 100°C 以上にも及ぶ (Krankina et al., 1996)。さらに、この地域の年平均降水量は約 200mm であり、非常に寒冷で乾燥した地域であることがわかる。200mm の年平均降水量の地域の植生は、一般には草原しか存在できないにも関わらず、この地域一帯には広域に渡って北方林が分布している。これには永久凍土の存在が深く関わっていると考えられている。即ち、夏季の間、凍土の融解層が樹木根の生育場所を提供し、またこの融解層と永久凍土面の境界は、不透水層として働くため、わずかな雨水や融雪水は地下深くに浸透しない。Ohta et al. (2001) によると、林分からの全蒸発散量 (151mm) は、4 月から 9 月の間の降水量 (106mm) を上回っており、また積雪量 (105mm) を含めた林内への全水分流入のうち、およそ 73% が林分の蒸発散によって消費されていることを明らかにしている。この地域に森林が成立し得るのは、活動層中に含まれる水分が、植物の水の涵養源となるためである。実際に、非永久凍土地帯で降水量が 300mm 以下のところでは、森林は認められない (酒井, 1976)。以上のことから東シベリアにおける北方林の生育にとって夏季の降水は非常に重要と考えられる。この地域の水文気候の年々変動では、夏季の土壌水分量は前年度の夏季降水量の影響を受けること (Ohta et al., 2008) や、北方林は、降水量が多い年には降水を利用し、降水量が少ない年には凍土の融解水を利用すること (Sugimoto et al., 2002) などが明らかになっている。さら大気水収支法を使用した研究 (Fukutomi et al., 2003) によると、レナ川流域における夏季降水量に対する

地表面からの蒸発散の割合は大きく、大気の水蒸気収束量はそれに比べて非常に少ない。Kurita et al.(2003)は夏季降水の一部は地表面からの蒸発散を介して再循環した雪融け水であると報告している。したがって、この地域での森林—大気の相互作用の解明には、広域での夏季降水量変動そのものの実態解明も必要である。

これまで、この地域の夏季を中心とする降水量変動についての研究は非常に少ない。Fukutomi et al.(2003)はシベリアの3大河流域の降水量、蒸発散量、水蒸気の収束発散、河川流量の関係を示し、レナ川流域（東シベリア）とオビ川流域（西シベリア）の間に6-8年の周期をもった夏季降水量の東西振動モードが存在することを報告している。Fukutomi et al.(2004; 2007)はさらにこれらの降水量変動と対応する低気圧活動の違いも示した。Iwao and Takahashi(2007)はモンゴルから東シベリアにかけての地域(85°E – 120°E, 35°N – 65°N)の夏季降水量のEOF(Empirical Orthogonal Functions)解析から、北東アジアの夏季降水量の年々変動に南北振動パターンが存在していると報告している。Yoshida et al.(2011)は、東シベリアにおける夏季降水量の南北間の勾配には東シベリア南部のスタノヴォイ山脈が効いているという解析結果を報告している。

しかし、これらの研究は、北方林が卓越する東シベリアの夏季降水量の変動パターンに主軸を置いたものではなかった。前述したように東シベリアの夏季降水量変動は植生—大気の相互作用を考える上で非常に重要な役割であるが、水循環を通した北方林と気候の相互作用が卓越する東シベリアの降水量変動の変動特性とその地域特性を調べた研究はまだない。そこで、本研究では、東シベリアにおける夏季降水量の年々変動の卓越パターンを抽出し、それらと密接に関連する大気循環場と水蒸気輸送(およびその発散)の場を明らかにし、さらにこれらの変動パターンとこの地域の寒帯林分布や地形などとの関連を考察することを目的とした。

2 解析結果

2-1 使用データ

本研究では、降水量データとして、APHRODITE's Water Resources (Asian Precipitation – Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources) project (Yatagai et al., 2009) をさらに Takashima et al.(2009)らにより編集された、地点降水量をもとにした日降水量グリッドデータを使用した。データの期間は1979~2007年の29年間で空間解像度は $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ である。夏季降水量は6-8月の総降水量で定義した。

大気循環場のデータとして、気象庁と電力中央研究所によって作成されたJapan Re-Analysis 25 years (JRA-25)再解析データと、JRA-25を延長して作成されたJCDAS再解析データを使用した(Onogi et al.,2007)。使用した期間は降水量データと同じ1979~2007年の29年間で、6時間間隔値と月平均値のデータをそれぞれ日平均値とJJA(6, 7, 8月)の平均値にして使用した。使用した気象要素は850hPa面、500hPa面それぞれの高度場、水蒸気フラックス、および気温である。空間解像度は高度場と気温は $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 、水蒸気フラックスが 320×160 グリッドである。なお、水蒸気フラックスは鉛直積算したものを使用した。

2-2 夏季降水量変動のEOF解析

本研究では夏季降水量変動の解析対象領域として、 $90^{\circ}E - 140^{\circ}E, 50^{\circ}N - 70^{\circ}N$ を選んだ。この解析領域では、北西部に中央シベリア高原($100^{\circ}E$ 周辺部)があり、その東部にはレナ川流域が広がっている。レナ川の中・下流域右岸にはベルホヤンスク山脈が、その南東部にはスタノヴォイ山脈が位置している。領域の南東部にはアムール川流域が一部入っている。解析領域南側はレナ川、エニセイ川の源流域を含むモンゴル国境の山岳域を含んでいる。

この領域の格子点夏季降水量データに経験的直交関数 (Empirical Orthogonal Functions, 以下 EOF と略す) 解析

を 29 年間について適用した。以下にその解析結果を示す。

本研究では EOF1~EOF3 までの累積寄与率が 45.1%であり、これら 3 つのモードで東シベリアの夏季降水量変動の約 50%弱を説明できること、さらには EOF4 が 6.2%と低い寄与率だったため EOF3 までの主要モードを議論の対象とした。

2-2-1 EOF1 モード

図 1 に EOF1~3 の各々の固有ベクトル係数分布図とスコア時系列を示す。第一主成分(EOF-1) (寄与率 22%) の固有ベクトルの係数分布図(図 1(a))をみると、中央シベリア高原からレナ川中下流域の広い範囲に正の値が広がり、その極大域はレナ川流域付近に位置している。南東部のアムール川流域には負の値が分布しているが、全体的に正の領域に比べ負の領域の値は小さい。このモードは東シベリアの中央シベリア高原からレナ川中下流域にかけてと極東のアムール川流域で降水量の変動が逆位相となっていることを示している。スコア時系列 (2(b)) は全体として (特に 1990 年以降) 正のトレンドを持ち、近年東シベリア北西部の広い範囲で降水量が増加している事を示している。

2-2-2 EOF2 モード

EOF2 - 2 (寄与率 13.8%) における固有ベクトルの係数分布図 (図 1(c)) では正の値が東シベリアの東部 (レナ川上流域~スタノボイ山脈) に、負の値が東シベリアの西部 (中央シベリア高原西部) に分布する東シベリアでの東西でのダイポールのな変動を代表したモードとなっている。スコア時系列 (図 1(d)) より、このモードは 1979-1984 年と最近の 2004-2007 年に正の値が、1985-2003 年に負の値が卓越しており、20 年スケールの変動を示唆している。

2-2-3 EOF3 モード

EOF3 (寄与率 9.3%) における固有ベクトルの係数分布 (図 1(e)) では正の値が東シベリア北部(ベルホヤンスク山脈北部)と南部(モンゴル北部) に広がり、特に北東部で大きな正の値を示す。一方負の値は東シベリア中央部に広く分布しているが、正の値に比べ非常に小さい。スコア時系列 (図 1(f)) は、長期傾向寄りも年々変動が顕著な変動モードを示している。

2-3 夏季降水量変動パターンと大気循環場

本節ではそれぞれの EOF モードのスコア時系列から、正のスコア値をとった年を *wet year*、負の値をとった時を *dry year* と定義した。各モードにおける *wet year*, *dry year* の上位 5 年をそれぞれコンジット解析し、それぞれの *dry year*, *wet year* に関連した対流圏中層(500hPa)の大気循環パターンと対流圏全体で積分した水蒸気輸送とその発散 (収束) 場を調べた。以下のそれぞれのモードにおける特徴を記述する。

2-3-1 EOF1 モード

wet year においては中央シベリア高原付近(80°E - 120°E)に有意差の認められる特徴はないが例年に比べ気圧が低くなる傾向がある。しかし、モンゴル東部上空が平年値より有意に高気圧となっており、平年気圧の谷となっている部分を弱めている。一方 *dry year* には中央シベリア高原付近で平年値より有意に高気圧となっており、気圧の尾根を強めている。さらに、モンゴル東部で平年値よりも有意に低気圧になり、例年に比べて気圧の谷を強めている。水蒸気輸送量は、*wet year* には中央シベリア高原付近(100°E)で低気圧性循環が強まることで、中央シベリア高原付近を中心として水蒸気の収束場が強まっている。さらに北極海 (カラ海) から中央シベリア高原

付近への水蒸気輸送量が増加し、その結果、60°N付近を中心として東西に帯状に広がる水蒸気発散場が平年に比べて狭まっている。また東シベリア南東部で有意に発散が強まっている。一方 dry year には中央シベリア高原付近(100°E)で高気圧性循環が強まることで、中央シベリア高原付近の水蒸気発散が強まっている。また東シベリア南東部では水蒸気収束が強まっている。

2-3-2 EOF 2 モード

wet year においてはレナ川中流域付近(120°E)で平年値に比べ有意に低気圧性循環が強まっている。一方 dry year には中央シベリア高原西部付近(80°E)で平年より有意に高気圧が強い。水蒸気輸送量については、wet year にはレナ川中流域付近(120°E)で低気圧性循環が強まり、レナ川中流域で水蒸気の収束が強まっている。さらに水蒸気輸送が大きく南に湾曲しており、東シベリア南東部からレナ川中流域に流入する水蒸気量が増加している。dry year には中央シベリア高原西部(80°E)付近で低気圧性循環が強まり、中央シベリア高原付近で水蒸気の収束が強まっている。さらに水蒸気輸送が大きく湾曲しており、60°N を中心として東西に広がる定常的な水蒸気の発散場と北極海(ラプテフ海)から中央シベリア高原付近への水蒸気輸送が強まっている。

2-3-3 EOF 3 モード

wet year においてレナ川下流部からベルホヤンスク山脈北部にかけての領域で平年と比べ低気圧性循環が強まる傾向がある。一方 dry year にはレナ川下流部からベルホヤンスク山脈北部にかけての領域で平年より高気圧性循環が強くなっている傾向がある。水蒸気輸送量は、wet year には東シベリア北東部で水蒸気収束が平年に比べ有強まり、dry year にはベルホヤンスク山脈北部周辺で高気圧性循環が強まり、水蒸気発散が強まっている。

3 結論

本研究では東シベリア (90°E – 140°E, 50°N – 70°N) の夏季降水量の年々変動の卓越パターンを調べるために、1979-2007 年の夏季降水量時系列に対して相関行列を用いて EOF 解析を行った。さらに、それに関連する循環場や降水頻度、降雨時降水強度を調べた。得られた結果は以下のとおりである。

1. EOF1 は中央シベリア高原からレナ川中下流域にかけての領域と、その周辺領域の間に逆位相の夏季降水量振動が生じる降水量変動パターンであった。EOF1 においては中央シベリア高原付近(100°E)とその周辺地域の気圧が振動することによって引き起こされていることが示唆された。また、降水頻度、降雨時降水強度も EOF 1 特有の循環場によって増減をしていた。
2. EOF2 は東シベリア東部と西シベリアの間に夏季降水量振動が生じる降水量変動パターンであった。このパターンは、wet year にはレナ川中上流域(120°E)の、dry year には中央シベリア高原西部(80°E)付近の気圧の谷が強まり、その結果引き起こされる降水量変動パターンであることが示唆された。
3. EOF3 はベルホヤンスク山脈北部と東シベリア南部で夏季降水量が同様に変動する降水変動パターンであった。このパターンは北極海からモンゴルまで伸びる気圧の谷が変動することにより引き起こされる降水量変動パターンであった。しかし、EOF3 の寄与率は EOF1, EOF2 と比較して低く、それらで見られたような強いシグナルは見られなかった。
4. これらの3つの変動パターンは、北緯 60 度付近の寒帯前線付近の偏西風波動の定常的な気圧の谷(峰)の位置と振幅の微妙な違いにより、この緯度帯を中心に東西にベルト状に存在する(おそらくタイガからの蒸発散が関与する)定常的な水蒸気ソース域と北極海からの水蒸気輸送場の変動により引き起こされていることが、大気循環場と水蒸気輸送(と発散)場の解析で示された。

5. 降水量変動の EOF 解析結果をもとに、東シベリアにおける夏季降水量の年々変動の地域分布を明らかにした。図 2 に東シベリアにおける夏季降水量変動の地域分布図を示す。中央シベリア高原周辺と東シベリア南東部は EOF1 で説明できる地域 I で、レナ川中上流域と中央シベリア高原西部は EOF2 で説明できる地域 II、ベルホヤンスク山脈北部とモンゴル国境付近の山岳域は EOF3 で説明できる地域 III とする。それぞれの地域は、年々で対照的に偏差が反転する + と - のサブ地域があり、さらに中央シベリア高原東部は EOF1 と EOF2 の二つの成分が同じ程度に効いている地域が存在することも明らかになった。これらの地域区分により、寒帯林に覆われたこの地域の中で、中央シベリア高原、レナ川中上流域、東シベリア北東部とモンゴル国境の山岳域、そして海岸に近い極東域で変動が異なることが明らかになった。

参考文献

- Baldocchi, D. D., C. A. Vogel and B. Hall. (1997) : Seasonal variation of carbon dioxide exchange rates above and below a boreal jack pine forest. *Agricultural and forest Meteorology.*, 83 , 147-170.
- Bonan G B (2008) : Forests and climate change : forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests *Science.*, 320,1444-9.
- D'Arrigo, R., G. C. Jacoby and I. Y. Fung (1987) : Boreal forests and atmosphere - biosphere exchange of carbon dioxide. *Nature.*, 329 , 321-323
- Fukutomi, Y., Igarashi, H., Masuda. and K., Yasunari, T.(2003): Interannual Variability of Summer Water Balance Components in Three Major RiverBasins of Northern Eurasia. *Journal of Hydrometeorology.*, 4 ,283-296.
- Fukutomi, Y., Masuda, K., Yasunari, T., (2004). The role of storm track activity in the interannual seesaw of summer precipitation over northern Eurasia. *J. Geophys. Res.* 109 (D2), D02109, doi:10.1029/2003JD003912.
- Fukutomi, Y., Masuda, K. and Yasunari, T. (2007): Cyclone activity associated with the interannual seesaw oscillation of summer precipitation over northern Eurasia. *Global and Planetary Change.*, 56, 387-398
- IPCC (2007) : 気候変動 2007 統合報告書政策決定者向け要約. pp8, pp9.
- Iwao, K., and M. Takahashi (2006): Interannual change in summertime precipitation over northeast Asia. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 33, L16703, doi:10.1029/2006GL 027119.
- Iwao, K., and M. Takahashi (2008): A Precipitation Seesaw Mode between Northeast Asia and Siberia in Summer Caused by Rossby Waves over the Eurasian Continent. *JOURNAL OF CLIMATE.*, 21, 2401-2419.
- 小池孝義・森茂太・松浦陽次郎 (1998) : 東シベリアのタイガにおける温暖化影響調査. *北方林業.* 50 : 241-244
- Krankina, O. N., R. K. Dixon, A. P. Kirilenko and K. I. Kobak (1997) : Global climate change adaptation: Examples from Russian boreal forests. *Climatic Change.* 36 : 197-216
- Kurita, N., Numaguchi, A., Sugimoto A. and Ichigaya, K.(2003): Relationship between the variation of isotopic ratios and the source of summer precipitation in eastern Siberia. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH.*, 108,
- Lopez, M, L, et al(2008): Comparison of carbon and water vapor exchange of forest and grassland in permafrost regions, Central Yakutia, Russia *Agric. Forest Metrol.*,148 1968-77.
- Ohta, T., T. Hiyama, H. Tanaka, T. Kuwada, T. C. Maximov, T. Ohata and Y. Fukushima (2001) : Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia. *Hydrological Processes.* 15 , 1459-1476.
- Ohta T, , Maximov, T.C., A. Dolman, A.J., Nakai, T., van der Molen, M.K., Kononov, A.V., Maximov, A.P., Hiyama, T., Iijima, Y., Moors, E.J., Tanaka, H., Toba, T., Yabuki, H. (2008): Interannual variation of water balance and summer

evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998–2006) *Agric. Forest Meteorol.* **148** 1941–53

Saito K., T. Yasunari and K. Takata, (2006): Relative Roles of Large-scale Orography and Land surface processes on Global Hydro-climate. Part II. Impacts on Hydro-climate over the Eurasian Continent. *J. Hydrometeorol.* **7**,642-659.

酒井昭 (1976): ヤクーツク地方の森林の生態的特性. 北海道大学低温科学研究所業績. 1256 : 49-65

Sugimoto, A., Yanagisawa, N., Naito, D., Fujita, N. and Maximov, T.(2002): Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga., *Ecological Research*, **17**,493-503.

Takashima, H., Yatagai, A., Kawamoto, H., Arakawa, O. and Kamiguchi, K (2009): Hydrological balance over northern Eurasia from gauge-based high-resolution daily precipitation data, M. Taniguchi (eds), *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management*, Talor & Francis, 137-141.

Yatagai A., Arakawa O., Kamiguchi, K., Kawamoto, H., Nodzu, M. and Hamada, A. (2009): A 44-Year Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *SOLA*, **5**, 137-140.

Yoshida, R., Sawada, M. and Yamazaki, T. (2011): Roles of Eastern Siberian Mountain Ranges in Precipitation - Verkhoyansk, Dzhugdzhur and Stanovoy Mountain Ranges - , *SOLA*, **7**, 145-148.

Zhang, N., Yasunari, T. and Ohta, T. (2011): Dynamics of the larch taiga-permafrost coupled system in Siberia under climate change, *Environ. Res. Lett.*, **6**,024003

図 :

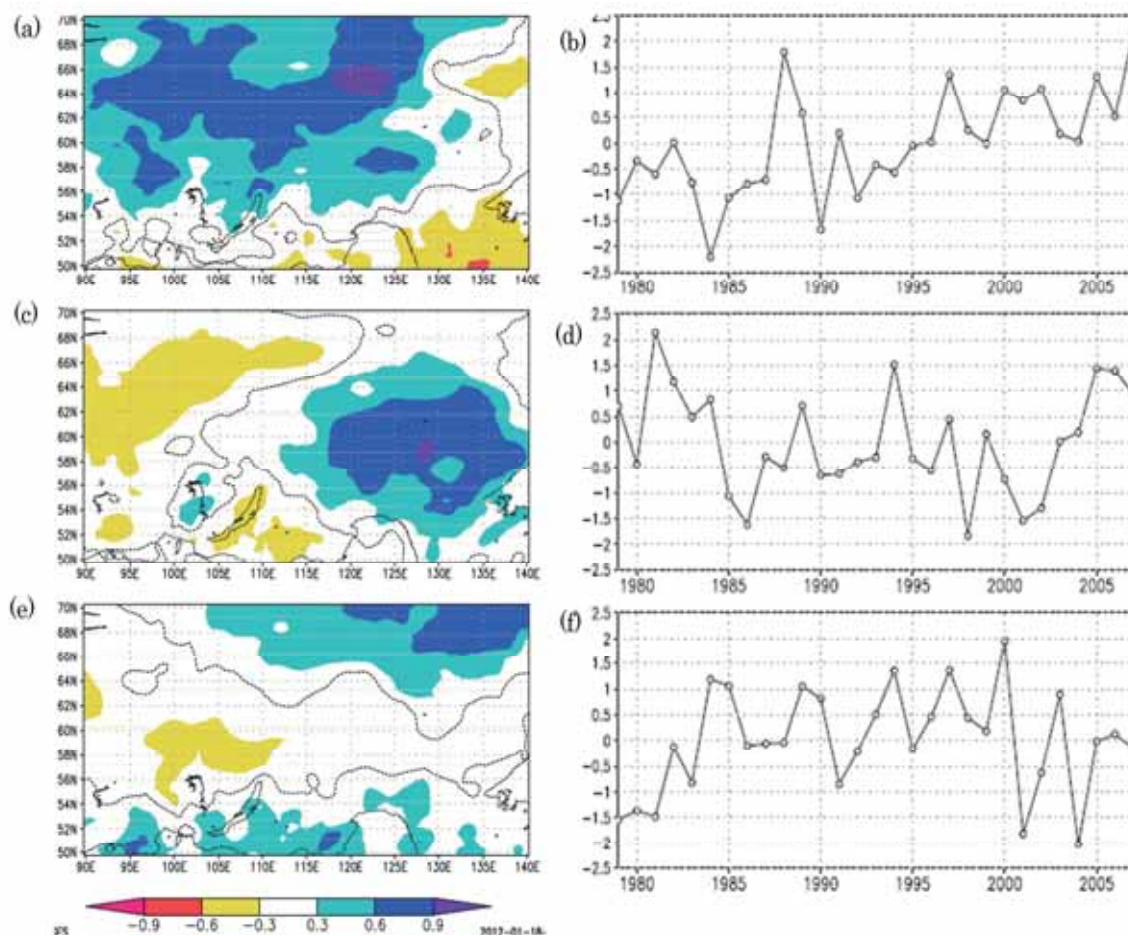


図 1 : 東シベリアにおける夏季降水量の変動卓越パターン。(a)、(b)はそれぞれ EOF1 モードにおける固有ベクトル

係数分布図とスコア時系列であり、(c)、(d)がそれぞれ EOF2 モードにおける固有ベクトル係数分布図とスコア時系列、そして(e)、(f)がそれぞれ EOF3 モードにおける固有ベクトル係数分布図とスコア時系列。

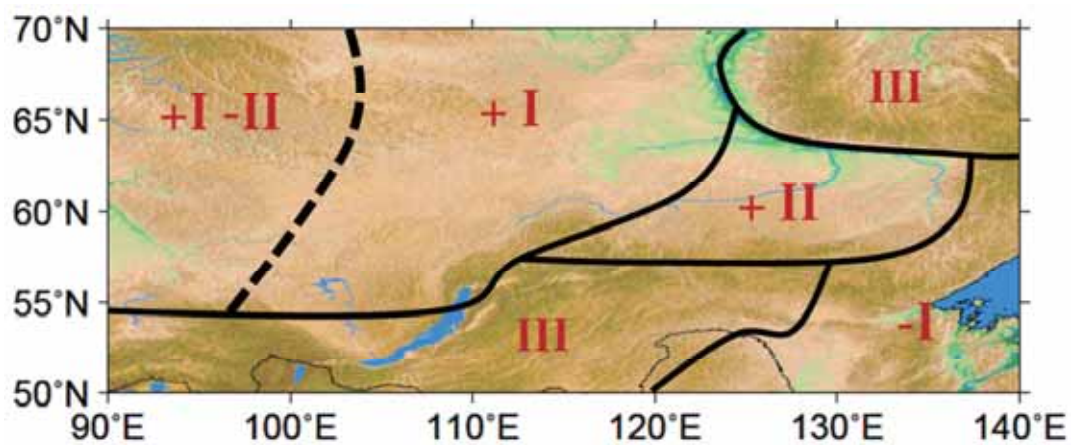


図 2： 東シベリアにおける夏季降水量変動パターンの地域分布。I は EOF1、II は EOF2、III は EOF3 で夏季降水量変動を説明できる地域を表す。また、+、- はそれぞれのモードで逆位相の変動をしている地域であることを表す

北極域の気候変動・変化に関する研究プロジェクトの紹介

神沢 博

名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻

1 はじめに

本シベリアプロジェクト「温暖化するシベリアの自然と人—水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応—」における気候解析チーム (G1b) の報告として、北極域の気候変動・変化に関する研究プロジェクトを紹介する。

2 グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 事業 北極気候変動分野「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」

本研究プロジェクトのホームページは下記である。これから徐々に内容が充実してゆく予定である。

<http://www.nipr.ac.jp/info/grene/index.html>

2.1 公募

文部科学省の GRENE 事業「北極気候変動分野」の公募に対して、国立極地研究所が代表機関として応募した研究事業「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」(研究代表者：山内恭国立極地研究所教授) が本年度、2011 年度に採択され、2015 年度まで 5 年間の予定で開始された。国立極地研究所は、下記の 4 つの戦略研究目標を達成できる研究課題を 2011 年 8 月末締め切りで公募した。

【4 つの戦略研究目標】

- ① 北極域における温暖化増幅メカニズムの解明
- ② 全球の気候変動及び将来予測における北極域の役割の解明
- ③ 北極域における環境変動が日本周辺の気象や水産資源等に及ぼす影響の評価
- ④ 北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測

2.2 採択課題

公募の結果、国立極地研究所に設置された「北極気候変動研究事業運営会議」によって、以下の 7 つの研究課題が採択された。

【採択された 7 つの研究課題の課題名、課題代表者 (所属)】

- 1 北極気候再現性検証および北極気候変動・変化のメカニズム解析に基づく全球気候モデルの高度化・精緻化
野沢 徹 (国立環境研究所地球環境研究センター)
- 2 環北極陸域システムの変動と気候への影響
杉本 敦子 (北海道大学地球環境科学研究院)
- 3 北極温暖化のメカニズムと全球気候への影響：大気プロセスの包括的研究

浮田 甚郎（新潟大学自然科学系）

4 地球温暖化における北極圏の積雪・氷河・氷床の役割

榎本 浩之（国立極地研究所）

5 北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明

青木 周司（東北大学理学研究科大気海洋変動観測研究センター）

6 北極海環境変動研究：海氷減少と海洋生態系の変化

菊地 隆（海洋研究開発機構地球環境変動領域）

7 北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測

島田 浩二（東京海洋大学海洋科学部）

サブ課題 7-1 北極航路利用のための海氷予測および航行支援システムの構築

山口 一（東京大学新領域創成科学研究科）

サブ課題 7-2 北極海氷海洋システムの基本構造と変動に関する観測モデリング融合研究

羽角 博康（東京大学大気海洋研究所）

サブ課題 7-3 北極海における海洋変動と急激な海氷減少メカニズムの解明

島田 浩二（東京海洋大学海洋科学部）

本シベリアプロジェクトからは、杉本敦子氏が課題代表者となっている。

先に掲げた4つの戦略研究目標を担う研究課題の対応は以下のとおりである。

① 北極域における温暖化増幅メカニズムの解明

課題 1, 4

② 全球の気候変動及び将来予測における北極域の役割の解明

課題 2, 5

③ 北極域における環境変動が日本周辺の気象や水産資源等に及ぼす影響の評価

課題 3, 6

④ 北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測

課題 7

2.3 本研究プロジェクトの特徴

総予算は、2011年度約6.56億円、2012年度約5.75億円である（観測船運行、北極域データアーカイブ、事務局などの基盤経費を含む）。研究費の執行は全て国立極地研究所が行うこととなっている。各課題の研究分担者は、15人から30人程度であり、その所属は、課題代表者の機関以外の多数の機関にわたっている。

「北極気候変動研究事業運営会議」は、研究課題の採択ばかりでなく、その推進・進捗状況の確認などにも関与することに特徴がある。メンバー総数は15名。議長は山内恭氏。本シベリアプロジェクトからは、前リーダーである井上元氏、安成哲三氏（副議長）、神沢博（私）の3名が名を連ねている。

3 おわりに

本研究プロジェクトは、予算執行や研究推進などにつき、私の研究分野では新しい試みが多く、チャレンジが多いと思われる。

本研究プロジェクトは、本シベリアプロジェクトのメンバーがかかわっていることからわかるように、本シベリアプロジェクトの特に自然科学系の研究グループと深い関係が出てくると思われる。

サハ共和国を始めとするロシア極東シベリアの天然資源開発と 日本に及ぼす影響について —エネルギー資源を中心に—

杉本 侃
欧亜総合研究所

1 前置き

第 23 回日ロ沿岸市長会議が 2011 年 8 月にヤクーツクで開催され、民間として経済交流についてプレゼンテーションするよう要請があり、参加しました。

沿岸市長会議は、日本側とロシア側にそれぞれ同名の市長会が設立され、双方が合同で開催する会議で、設立は昭和 45 年（1970 年）、当初の呼称は「日ソ」であり、毎年開催していましたが、第 5 回から隔年の開催となったもので、開催地は日ロ交互とされています。

日本側の加盟市は 18 市（ピークは 27 市）、ロシア側も 18 市です。

なお、ロシア語では、「シベリア極東および日本西海岸の諸都市市長会議」と称されています。以下は、私のプレゼンテーションの骨子です。

2 プレゼンテーション

2 枚のスライドで、先ず、日本のエネルギー事情を紹介する。

Slide-1：日本の一次エネルギー供給の現状

・石油がほぼ半分、次は石炭が 2 割強、天然ガスは増えつつあるが 17%程度、原子力は 10%程度。

Slide-2：経済産業省が 2008 年に作成した「2030 年の一次エネルギー供給」の姿

・省エネルギーが徹底したケースを想定。供給量は 2007 年から 10%余減り、①自給率（スライドの原子力と再生可能エネルギー等を合わせたものの比）は 4 割程度に、②化石燃料の約半分（スライドの左側を参照）が自主開発になる想定で、③原子力は全体の約 4 分の 1（24%）となる。

次の 2 枚のスライドでは、日本は **resource poor country** だけでなく、海外に持つ権益も小さいことを説明する。

Slide-3：低い日本の自主開発原油の比率

・自主開発原油は、スライドのピンク色の折れ線で示されているが、輸入全体の 2 割以下、世界に比べると大きく立ち遅れている。

Slide-4：諸外国に比べ低い日本のエネルギー自給率

・一次エネルギーの自給率、日本は 4%（原子力を考慮すると 19%だが）、主要国の中で格段に

低い。

いずれも、日本のエネルギー安全保障が脆弱なことを物語っている。

Slide-5: 日ロエネルギー協力について

- ・歴史的に見ると、1960年代末から1980年代半ばに、超大型のシベリア開発共同事業が立ち上がり、そのほとんどは終わったが、石油・石炭・天然ガスではまだ残っていて、石油はサハリン-1プロジェクトとして存続し石油を生産しており、南ヤクート炭は今でもかなりの量を輸入している。その後、サハリン-2プロジェクトも立ち上がった。
- ・石油と天然ガスについて、日本は原油輸入の9割近く（80%台の後半）を中東に依存、それがサハリンプロジェクト（複数）とESPO（2009年に操業を始めた東部シベリア～太平洋原油パイプライン）のお陰で、多角化が少しづつ進みつつある。2005年には0.7%であったロシア産が、2010年では全体の7%以上となった。
- ・ガスも、サハリンのLNGプロジェクトが稼働し、その半分以上を日本が輸入しているので、操業前の2008年はロシア産は無かったが、2011年の1～5月では9%以上がロシア産となった。
- ・いずれもロシアの貢献が大きい。
- ・石油も天然ガスも、15～20%程度であれば一国依存のリスクは高く無いと思われるので、ロシアとの協力の今後の可能性は開けていると思われる。

結論

(1) 3月の災害では、私もあの日あの時間、仙台にいて被災した。ロシアは米国に次ぐ陣容で、いち早く救援に駆け付けてくれた。この場をお借りして、謝意をお伝えする。

(2) Slide-6: ロシアは3月12日にはプーチン首相が、14日にはセーチン副首相が、それぞれ日本に対して、エネルギー協力を呼び掛けた。その後も、Rosneft社やGazprom社などロシアの個別企業から関心事項が示され、Slideに示した通り、政府間と民間の両レベルで具体化に向けた協議が進んでいる。CNG（圧縮天然ガス）についても、可能性が検討されている。

(3) Slide-7: 原発が被災した影響で、我が国のエネルギー供給は、好むと好まざるとに拘わらず、見直しが必至になる。

(Slide-2に戻り) 徹底した省エネルギーが実現し、その他の要素も予想通りに進んだとして、この部分(Slide-2の右の棒グラフの原子力の部分)を、他のエネルギーで補完せざるを得ない。私個人は、核エネルギーは人類の発展に不可欠だと思っており、安全の確保を図りながら、利用する方向が志向されると思っているが、もしこれがゼロになれば全体の4分の1を、ゼロにはならなくても減れば、その分を、別のエネルギーで補完しなくてはならない。需要が予想より増えれば、その確保も必要になる。それらを何でカバーするのか。

Slide-7: 日本のエネルギー産業の課題

- ・エネルギーの安定供給には、①量と②質の確保が不可欠。質と言うのは、①エネルギーのベストミックス、②利用効率向上に加えて、③CO₂削減義務が大きな課題である。自給率の向上も焦眉の問題である。新エネルギーの開発・利用は不可避だが、様々な要素を考慮すると、今日明日の話にはなり難い。
- ・省エネルギーによる必要量の削減も必要だが、日本の省エネルギーは世界のトップレベルにあり、画期的な効果は期待し難い。温暖化問題も先送り出来ないが、現状を考慮すると、テンポは鈍くなる。

- ・以上を総合的に考慮すると、需要を充足するには、やはり伝統的なエネルギー源が、再び脚光を浴びることになる。
- ・そうすると、ロシアは「エネルギー超大国」であり、我が国とは指呼の近さでもあるので、その持つ資源は、日本にとって垂涎の的だと思う。
- ・日本は、海外での権益の確保、即ち、自給率の向上も含めて、官民一体で、ロシアを始めとする海外でのエネルギー確保を真剣に推進する必要があると思う。
- ・日本と極東ロシアとのエネルギー協力が進むと、日本海側の諸港は、石油や LNG の受入れの窓口になる優位性が高い。
- ・最後に、日ロ関係について、私の分析の一端をご紹介したい。日本で起きた大災害が日ロ関係の改善に繋がったことが、江戸時代末から何度かある。今回も激甚災害が日ロ関係をリセットする契機になると信じている。私も微力ながら両国間関係の正常化に努力したい。

以上

「サハ共和国を始めとするロシア極東シベリアの
天然資源開発と日本に及ぼす影響について」

～エネルギー資源を中心に

第23回日口沿岸市長会議

2011年8月22日～23日 於:ヤクーツク市

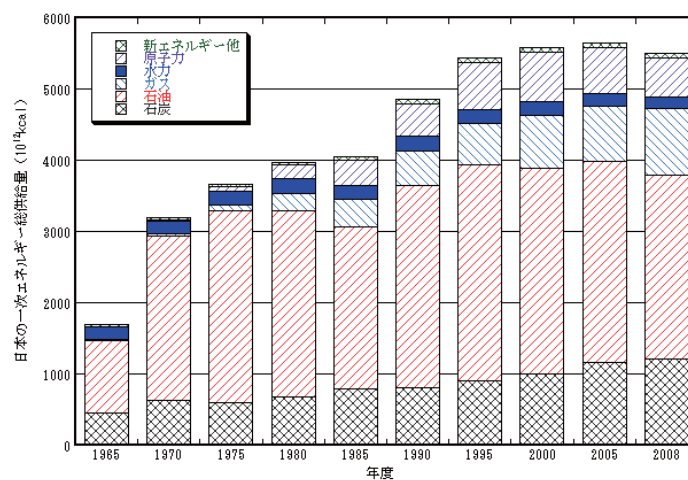
杉本 侃

公益財団法人環日本海経済研究所

ロシア極東連邦総合大学函館校

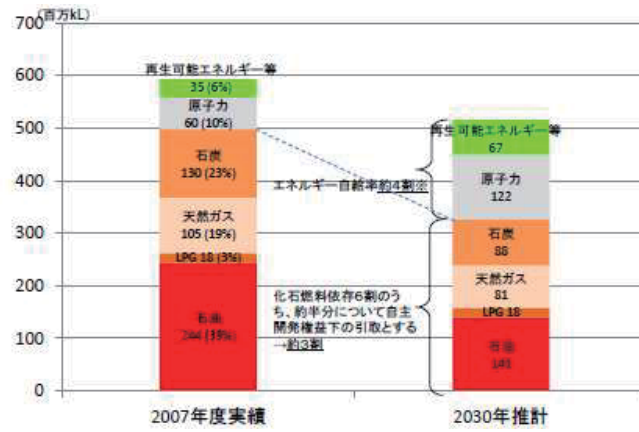
総合地球環境学研究所

日本の一次エネルギー供給 (2010.11.05)



出所:EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2010年版)

2030年のエネルギー需給の姿

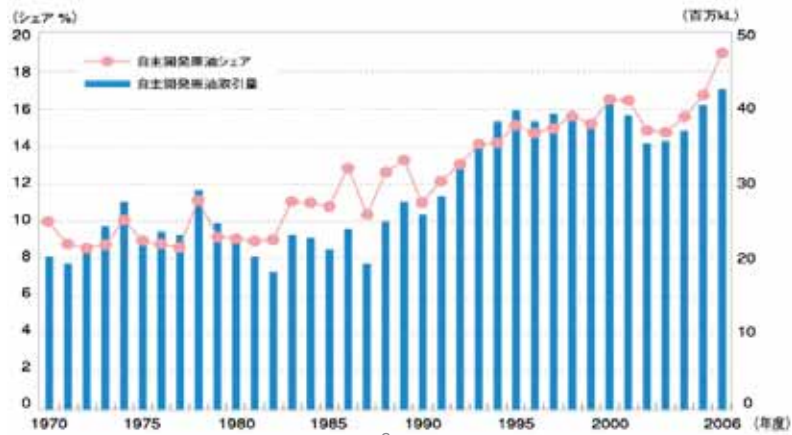


出所: 経済産業省(2010年7月)

2

低い日本の自主開発原油の比率

立ち遅れた原油の自主開発
 ■ 自主開発原油比率と引取量の推移(図-13)
出所: 石油産業連盟, わが国の石油開発の現状と展望

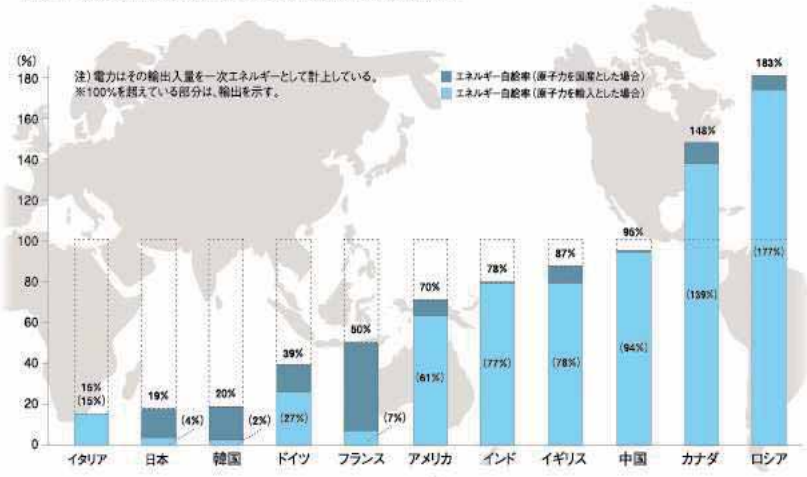


3

諸外国に比べ低い日本のエネルギー自給率

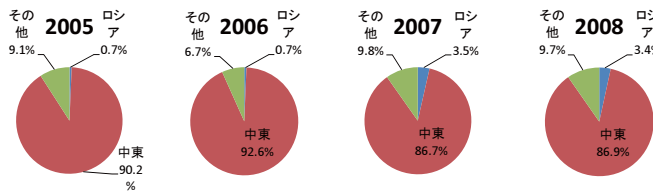
■ 主要国のエネルギー自給率(2005年) (図-12)

出所:IEA/Energy Balances of OECD/NON-OECD Countries 2004-2006 (2007 Edition)



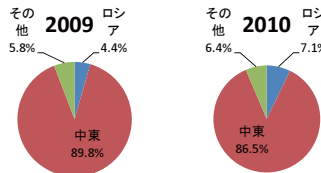
4

日本で存在感増すロシアのエネルギー



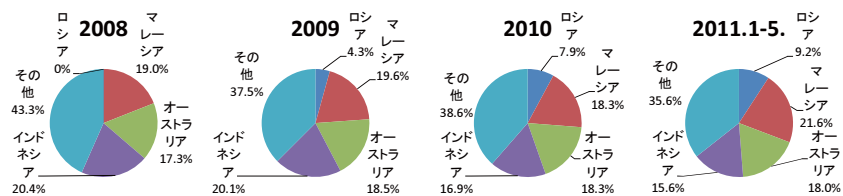
↑ 原油

↓ 天然ガス



日本市場の可能性

⇒ 15~20%



ロシア(首相・副首相他)の提案(2011年3月)

- ☆天然ガス部門:(1)LNG(新規建設・追加供給) (2)ガス田開発(Kovykta、Chayanda) (3)ガス化学 (4)ヘリウム処理
- ☆石油部門:(1)石油供給の拡大 (2)極東石油化学・精製 (3)GTL(原料は随伴ガス) (4)メタンハイドレート
- ☆海洋等の探鉱・開発:(1)オホーツク海および(2)東部シベリアにおける地質探査・開発のための共同事業体の設立
- ☆石炭産業:(1)石炭供給の拡大 (2)エリガ炭田開発
- ☆電力部門:余剰電力の供給



第1回日ロ政府間「石油天然ガス協力」会議

(2011年7月26日 於:モスクワ)

《政府間協力対話メカニズムの新設に合意》

6

日本のエネルギー産業の課題

～激甚がシナリオの見直しを余儀なくした～

☆量の確保＝核エネルギーの補完

- ・ 在来型エネルギー源の確保
⇒ 自主開発の拡大(権益確保)
- ・ 新・再生可能エネルギーの利用拡大
- ・ 省エネルギー

☆CO₂削減の責務＝化石燃料利用の削減・省エネルギー



《特効薬は何か》

時間的要素・コスト・技術的可能性・現実性等.を要考慮

7

G 2

【グループ 2 : 水・炭素循環グループ】

G2a（古環境復元チーム）活動要約

一年輪同位体を用いた東シベリアタイガ林の古環境復元一

杉本 敦子 北海道大学 大学院地球環境科学研究所
鄭 峻介 北海道大学 大学院環境科学院
米延 仁志 鳴門教育大学

G2a 古環境復元チームは、年輪を用いて過去 100 年の東シベリア地域の環境を復元することを目的としている。ヤクーツクでは気象観測データや土壌水分、加えて、生理生態学的な様々な観測が行われている。これらのデータを用いて、カラマツ年輪の炭素安定同位体比と土壌水分の関係の解析により、土壌水分の復元方法を開発し、過去約 100 年間のカラマツ林の土壌水分の復元を行った。推定した過去の土壌水分量の変動結果を、降水量、1次元の陸面過程モデルの計算結果と比較し、妥当な結果であることを確認した。

ヤクーツクでの年輪幅と炭素安定同位体比による土壌水分復元に加え、ロシア北極圏のチョクルダ、および山岳タイガに位置するウスチマヤでも年輪サンプルを採取しており、これらのサンプルの年輪幅を読み取り、標準年輪曲線を求め、炭素安定同位体比の分析および解析を進めている。

また、東シベリアタイガ林では、枯死したカラマツが見られ、これらの多くは乾燥や湿潤と言った環境ストレスにより枯死したものと考えられる。高緯度寒冷域では、温暖化の影響が顕著に現れると予想されている。気温上昇に加えて、永久凍土システムの攪乱による土壌水分の変化、極端な乾燥や湿潤など、タイガ林生態系はこれまでに受けてきた変化よりさらに厳しい環境変動にさらされており、枯死する樹木が増え、生態系の不可逆的变化につながっていく可能性もある。これまでに得られた結果は、年輪幅と炭素同位体比は樹木が受けてきた環境ストレスを記録していることを示している。これらと復元した土壌水分とを対応させることにより、枯死木の年輪幅と同位体比の解析から、樹木が枯死に至った環境条件と樹木の生理的状态の変化を解析することが可能である。

そこで、今年度はヤクーツク、チョクルダ、ウスチマヤにおいて、枯死木のサンプルを採取した。一般的に枯死木は枯死した年代が不明であり、また枯死の前には成長速度が著しく低下するため、実体顕微鏡を用いた通常の年輪幅の計測方法で枯死した年代を求めることは容易ではない。ここでは、年輪の染色プレパラート切片を作成し年輪幅を測定し、年代を決定した。樹木が枯死した年代は、サイトごとにある期間に集中する傾向が見られ、これらの解析もさらに進めて行く予定である。

樹木年輪を用いた東シベリアタイガ林の 水・炭素循環の解明

鄭 峻介 北海道大学 大学院環境科学院
杉本 敦子 北海道大学 大学院地球環境科学研究所
米延 仁志 鳴門教育大学

1 はじめに

北半球高緯度域に広がる東シベリアタイガ林は落葉針葉樹であるカラマツが優占する大森林地帯である。その広大な面積により、エネルギー、水、炭素循環を通して全球的な気候に大きな影響を与えている(Bonan et al., 1992)。また、近年のフラックス観測により、タイガ林は森林の状態によって炭素の放出源にも、吸収源にも成り得ることが報告されている(Lindroth et al., 1998 ; Valentini et al., 2000)。地球の炭素貯蔵庫として重要なこの森林帯は永久凍土帯、及び内陸性の乾燥気候帯に広がる大森林地帯であり、地球温暖化の影響を大きく受ける可能性がある。それ故、このようなタイガ林の現在の状況を把握し、過去の環境や植生による炭素固定量の変動を復元することは全球の気候システムの理解に役立つと考えられる。

東シベリアのような乾燥気候帯に生育している植物は乾燥ストレスにさらされているため、それにより生長量が制限されていると考えられている。一方で、年輪解析では、年輪幅と夏の気温との相関が多数報告され、夏の気温が高く生長期間が長いほど生長が良いと報告されてきた(Barber et al., 2000)。しかしながら、20 世紀中頃から、特に東シベリアでは、カラマツの生長量と気温の相関が悪くなっていることが報告され、乾燥による、水ストレスが 1 つの原因ではないかと考えられている(Briffa et al., 1998)。すなわち、東シベリアタイガ林では、水分環境が樹木の炭素固定量を規定してきた可能性がある。そうであるならば、この地域の過去、現在、及び将来の炭素循環を解明するために水循環の理解は欠かせない。

本研究では、この地域の過去の水分環境の復元を行うために、まず土壌水分等の現場の観測データがそろそろ約 10 年分の年輪の炭素同位体比と土壌水分の関係を調べ、それに基づき、過去 100 年に遡って土壌水分量を推定し、その妥当性について考察した。また、確かに本サイトのカラマツの年輪幅、炭素同位体比は水分環境と強い相関を示すが、実際に枯死に至るような水分ストレスをカラマツが受けているのかどうか、及び枯死に至るプロセスを解明するために枯死木の年輪炭素同位体解析を行う予定であるが、そのために重要な枯死木の枯死年の決定を行った。

2 研究対象地域と方法

2.1 研究対象地域と樹木年輪サンプル採取

本研究では、レナ川中流域に位置するヤクーツク市街より北西 20km の森林地帯にあるスパスカヤパッド実験林(ロシア科学アカデミー寒冷圏生物学研究所) (62°N, 129°E)、アルダン川流域のウスチマヤ南西 60km のエレゲイサイト(60°N, 134°E)、さらには東シベリア北部、インディギルガ川流域に位置し、ツンドラー森林境界が存在するチョコルダ(70°N, 149°E)において現生木、及び枯死木の樹木年輪サンプルの採取を行った。

2.3 年輪幅計測と炭素安定同位体比分析

各サイトで採取したカラマツ現生木の年輪サンプルはマイクロメータ付き実体顕微鏡を用いて年輪幅を測定し、ITRDB(International Tree-Ring Data Bank)の標準年輪曲線と比較することで年代を決定した。カラマツ枯死木の年輪サンプルは、染色プレパラート切片を作成し、透過光照射下でマイクロメータ付き実体顕微鏡に取り付けられたデジタルカメラ(NIKON DS-2M、2 million pixels)を用いてサンプルのデジタル画像を年輪の中心から最外部へと少しずつずらしながら、また、各画像に重なる部分が生じるように撮影した。撮影されたデジタル画像は画像処理ソフト e-tailing(MITANI CORPORATION, Japan)を用いて 1 枚の連続画像に連結され、画像解析ソフト CooRecorder 7.4 (Cybis Elektronik & Data AB, Sweden)を用いて画像上で年輪幅を計測した。その後、本研究で採取、測定したカラマツ現生木の樹木年輪サンプルの年輪曲線と比較することで年代を決定した。

樹木年輪 $\delta^{13}\text{C}$ から過去 100 年間の土壌水分量を推定するためにスパスカヤパッド実験林で採取した現生木 8 個体の中から平均的な年輪幅変動を示す 4 個体を同位体測定用に選択した。同位体測定は、北海道大学大学院地球環境科学研究院の元素分析計付質量分析計(deltaV, サーモフィッシュャーサイエンス)を用いて行われた。分析には、アミノ酸のスタンダード(DL-Ala $\delta^{13}\text{C}=-23.4\%$, 及び, Tyr $\delta^{13}\text{C}=-26.4\%$)を用い、分析精度は $\pm 0.1\%$ である。

また、年輪 $\delta^{13}\text{C}$ に与える1850年以降の大気 CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ 値の低下、及び大気 CO_2 濃度上昇による影響を取り除くために、それぞれ、McCaroll and Loader. (2003)、Treydte et al. (2001) に従い、年輪 $\delta^{13}\text{C}$ クロノロジーに補正を行った。

2.4 気象水文データ

本報告書では、気象水文データとして降水量、土壌水分量の 2 つのデータを使用している。降水量データは、BMDS (Baseline Meteorological Data in Siberia Version 5.0) (Yabuki et al., 2011)のデータ (1950-2008)を用いた。

土壌水分量は、本観測サイトのカラマツ林に設置した TDR (Moisture Point, Environmental Sensors Inc., Canada)のマニュアル観測の結果と、タワーサイトにおける自動測定システム(ACOS: Automatic Climate Observation System)の TDR の結果から推定された値(Sugimoto et al., 2003; Sugimoto et al., 投稿準備中)を用いた。TDR のマニュアル測定による土壌水分は、測定深度が、0-15, 15-30, 30-60, 60-90, 90-120cm の 5 深度である。TDR の観測結果から土壌水分を計算する方法の詳細は、Sugimoto et al. (2003)に述べられている。

3 結果・考察

3.1 年輪 $\delta^{13}\text{C}$ を用いた過去100年間の土壌水分量推定：スパスカヤパッド実験林

早材、晩材の年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値はそれぞれ前年、及び当年の夏後半(7/15-8/31)の土壌水分量と負の相関を示した($r=-0.83$, $p<0.01$; $r=-0.83$, $p<0.01$)。従って、過去の土壌水分量を推定するために早材と晩材から1年輪への組み合わせの際には、ある年の晩材と、翌年の早材を組み合わせるのが妥当であると考えられる。その年の晩材、翌年の早材で1年輪とした場合の年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値は夏後半の土壌水分量と非常に高い負の相関を示した($r=-0.90$, $p<0.01$)。早材と晩材の $\delta^{13}\text{C}$ から、1年分の年輪 $\delta^{13}\text{C}$ を求める際には、年輪幅と密度で重みづけを行った。年輪幅は各個体の測定生データを用い、早材と晩材の密度は、Kagawa et al. (2003) により、スパスカヤパッド実験林のカラマツ林カラマツで求

められたものの平均値を使用した(早材密度、晩材密度はそれぞれ、0.393mg/mm、1.031mg/mm)。次に、過去100年の土壤水分量を推定するために、上に述べた方法で計算した1年分の年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値と過去10年分の観測土壤水分量の回帰直線式を求めた。

$$SWC_{0-60\text{cm}} = (-65 \pm 11) \times (\delta^{13}\text{C}_{\text{tree-ring}}) + (-1390.7 \pm 264.6)$$

ここで、 $SWC_{0-60\text{cm}}$ は0-60cmの水当量で表した夏後半(7/15-8/31)の土壤水分量(mm)、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{tree-ring}}$ はある年の晩材と翌年の早材を組み合わせ、年輪幅と平均の材密度で重み付けして計算した1年輪の $\delta^{13}\text{C}$ 値である。

推定した過去の土壤水分量の変動の妥当性を評価するために、降水量、それから推定される土壤水分量、さらには1次元の陸面過程モデルの計算結果と比較した。年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値から推定された過去の土壤水分量は当年夏前半(6,7月)、及び前年夏後半(8,9月)の降水量と正の相関を示した($r=0.48$, $p<0.01$; $r=0.37$, $p<0.01$)。夏後半の土壤水分量は当年夏前半のみではなく前年夏後半の降水量の影響も大きく受けていた。本研究サイトは、永久凍土帯に位置しているために、ある年の夏後半の土壤水分は冬季には凍結し、翌年の春ごろまで保持される。そのために、ある年の土壤水分量はその年の降水量のみではなく、前年の降水量の影響も大きく受ける(Sugimoto et al., 2003)。次に、年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値から推定された過去の土壤水分量を降水量から推定される土壤水分量と比較した。降水量からの推定土壤水分量は前年8月から当年7月の降水をある年の土壤水分量の供給源、降雪の50%、降水の85%が土壤に浸透すると仮定して計算された(1950-2007)。年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値から推定された過去の土壤水分量の変動は降水量から推定された土壤水分量の変動と良い一致を示した($r=0.59$; $P<0.001$)。また、年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値から推定された過去の土壤水分量を1次元陸面過程モデル2LM(Yamazaki et al., 2004)を用いて計算された過去の土壤水分量とも比較した(1966-2007)。年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値から推定された過去の土壤水分量の変動は2LMによる計算結果とも非常に良い一致を示した($r=0.55$; $P<0.001$)。これらの結果から、年輪 $\delta^{13}\text{C}$ から推定した過去の土壤水分量の変動は妥当であると考えられる。

3.2 枯死木の年輪炭素同位体解析に向けた年代決定：3サイト

枯死木サンプルの多くは2010年に採取された(一部サンプルは2011年に採取)。しかしながら、Fig.1に典型例を示すように多くの枯死木では枯死直前の30-50年前に年輪幅の大きな減少が起こり(Fig.1では1940年頃から)、また、10-20年前から年輪幅が $10\mu\text{m}$ 以下と非常に細くなるために通常の実体顕微鏡を用いた年輪幅計測では枯死直前10-20年前の年輪幅の計測が不可能であり(Fig.1では1980年頃から)、従って枯死年の決定ができなかった。そこで、2011年10月に鳴門教育大学において、2.3で述べたように、染色プレパラート切片を作成し、デジタル画像を撮影し、画像処理、解析を行う方法で、枯死直前10-20年間を含む年輪幅を計測し、半数以上のサンプルにおいて年代を決定した。

各枯死木の枯死年は各サイトごとに特徴的であった。チョコルダにおいて年代が決定できた枯死木(30個体中19個体)の枯死年は1982-2010年にあり、そのうち約半数の9個体が1987-1992年

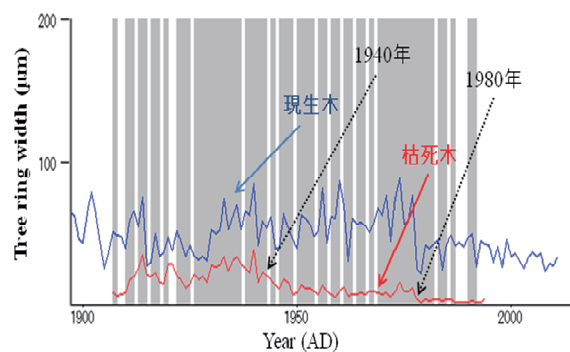


Fig.1 チョコルダにおける枯死木の年代決定の一例。現生木20個体の年輪曲線とある枯死木の年輪幅クロノロジーの比較

の5年間に枯死していた。スパスカヤパッド研究林において年代決定ができた枯死木(10個体中6個体)では、1998、2003、2010年に枯死した個体が各1個体と2007年に枯死した個体が3個体であった。また、エレゲイサイトにおいては年代が決定できた枯死木(12個体中6個体)で、1982,1996,1997年が各1個体、1998年が3個体であった。このように、カラマツの枯死年はサイト毎にまとまりをもっており、樹木の枯死には水分環境、気温のような樹木の生育環境が大きく影響していると言える。

4 まとめ

本研究は、東シベリアタイガ林の炭素循環を水循環との関連性をもとに解明することを目指している。そのために今後は、3.1で推定した過去100年間の土壌水分量に、年輪幅(炭素固定量の指標)、気温、降水量等の気象観測データを加えて解析することで、本地域のカラマツの炭素固定量の変動要因についての考察を行う予定である。また、3.2で年代を決定できた枯死木に関しては、年輪炭素同位体分析を行い、現生木の年輪炭素同位体データ、及び気象観測データと合わせて解析することで、各サイトのカラマツの枯死原因の推定(乾燥 or 湿潤)、及び枯死に至る際のプロセスを明らかにしたいと考えている。

引用文献

- Barber, V. A., Juday, G. P., and Finney, B. P., 2000. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature* **405**, 668-673.
- Bonan, G. B., Pollard, D., and Thompson, S. L., 1992. Effect of boreal forest vegetation on global climate. *Nature* **359**, 716-718.
- Briffa, K. R., Schweingruber, F. H., Jones, P. D., Osborn, T. J., Shiyatov, S. G., and Vaganov, E. A., 1998. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *Nature* **391**, 678-682.
- Kagawa, A., Naito, D., Sugimoto, A., and Maximov, T. C., 2003. Effects of spatial and temporal variability in soil moisture on widths and delta C-13 values of eastern Siberian tree rings. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* **108**, 4500, doi:10.1029/2002JD003019
- Lindroth, A., Grelle, A., and Moren, A. S., 1998. Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biology* **4**, 443-450.
- McCarroll, D. and Loader, N. J., 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews* **23**, 771-801
- Sugimoto, A., Naito, D., Yanagisawa, N., Ichiyangi, K., Kurita, N., Kubota, J., Kotake, T., Ohata, T., Maximov, T. C., and Fedorov, A. N., 2003. Characteristics of soil moisture in permafrost observed in East Siberian taiga with stable isotopes of water. *Hydrological Processes* **17**, 1073-1092.
- Takeshi Yamazaki., Hironori Yabuki., Takeshi Ohta., Tetsuo Ohata. (2004): Water and Energy Exchange at Forests and Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a one-Dimensional Land Surface Model. *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*, **5**, 504-515
- Treydte, K., Schleser, G. H., Schweingruber, F. H., and Winiger, M., 2001. The climatic significance of delta C-13 in subalpine spruces (Lotschental, Swiss Alps) - A case study with respect to altitude, exposure and soil moisture. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology* **53**, 593-611.
- Valentini, R., Matteucci, G., Dolman, A. J., Schulze, E. D., Rebmann, C., Moors, E. J., Granier, A., Gross, P., Jensen, N. O., Pilegaard, K., Lindroth, A., Grelle, A., Bernhofer, C., Grunwald, T., Aubinet, M.,

Ceulemans, R., Kowalski, A. S., Vesala, T., Rannik, U., Berbigier, P., Loustau, D., Guomundsson, J., Thorgeirsson, H., Ibrom, A., Morgenstern, K., Clement, R., Moncrieff, J., Montagnani, L., Minerbi, S., and Jarvis, P. G., 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* **404**, 861-865.

Yabuki, H., Park, H., Kawamoto, H., Suzuki, R., Razuvaev, V.N., Bulygina, O.N., and Ohata, T. (2011): Baseline Meteorological Data in Siberia (BMDS) Version 5.0, RIGC, JAMSTEC, Yokosuka, Japan, distributed by CrDAP, Digital media.

G2b（素過程観測チーム）活動要約

太田 岳史

名古屋大学大学院 生命農学研究科

1 目的

G2b チームは、現在の東シベリアにおける水・炭素循環過程を、主に現地観測に基づいて明らかにする事を目的として編成されている。その内容は、①東シベリア永久凍土帯に位置するカラマツ林の気象・水文特性の把握、特に湿潤ストレスに対するカラマツ林の応答特性の把握、②雪面熱収支と水収支、特に雪面からの昇華蒸発量の定量的把握、③永久凍土帯の地下水動態の把握と河川流出量への関与の把握、の3点である。

2 研究の進捗状況

上記①については、ヤクーツク(YKS)近郊の Spasskaya Pad(SP)においては14年間の水・炭素収支のデータがそろえられている。SPにおいて、水・炭素収支は2007年、2008年から土壤水分量と蒸発散比、表面コンダクタンス、総一次生産量の関係が、2006年までの関係と比較して、少ない方にずれてきている。これは、2005年以降、夏の多雨と冬の多雪による土壤水分の湿潤化の影響であると考えられる。また、SPと Elgecii(EG)の2009-2011年における比較では、蒸発散量はSPとEGの間で差は小さいのに対して、純一次生産量はSPよりもEGの方が大きくなっている。これは、EGの方がSPよりも光合成量が高いためと考えられる。

上記②については、GAME時代に融雪期に1回の観測が行われており、今回は2回目の観測である。その結果、融雪期にカラマツ林に取り付けられた氷ブロックからの昇華蒸発量には高度依存性があった。また、昇華蒸発量と風速×飽差には高い相関が見られた。

上記③については、昨年度からロシア科学アカデミー・永久凍土研究所と総合地球環境学研究所の共同研究で行われているものである。その結果は、CFCsを用いた地下水の推定結果は、SF6を用いた推定結果より40年ほど古い結果となった。CFCsの地下水年代が正しいと仮定した場合、YKS周辺の地下水は1950-1970年の降雨により形成されている。そして、トリチウムを用いた年代推定を試み、CFCsとSF6の結果と比較した。結果として、トリチウムとCFCsは、YKS周辺の地下水年代の推定に有効である事が分かった。

3 今後の予定と課題

①に関しては、SPとEGでの観測が進む事により、東シベリアにおける水・熱循環の特性に対し、新たな展開が予想される。すなわち、湿潤ストレスに関してSPとEGを比較する事により、カラマツ林の湿潤に関する特性が加わる可能性がある。

②に関しては、熱収支解析をすすめ昇華蒸発量の融雪熱量に占める割合を算出するとともに、1998年の結果との比較を期待したい。また、北米、北欧との比較も待ち望まれる。

③に関しては、地下水への夏季のみならず冬季の結果が期待される。そして、レナ河全体の河川水への地下水の影響も、夏季、冬季を通して測定する事が期待される。

東シベリアタイガ林における群落スケールの水・炭素循環

小谷亜由美・太田岳史
名古屋大学大学院 生命農学研究科

1 はじめに

ユーラシア高緯度地域の北方林帯は全球表面積の25%以上をしめ、全球の気候システムへの影響が大きいことから、この地域に分布する森林の環境応答の特性を理解する必要がある。なかでも東シベリアの森林は、蒸発散を介して短い夏季と年間200-300mmと少ない降水量の条件下で生育するためには凍土の融解水を利用する一方で、蒸発散を介して、この地域に特徴的な水循環の形成に重要な役割を果たしていると考えられる (Yasunari, 2007など)。レナ川沿岸の都市ヤクーツク周辺の森林地域を中心に1990年代から今日に至るまで、観測的研究が進められており、とくにカラマツを主体とした森林における水・熱・炭素交換の特性が明らかにされてきた。さらにこの地域で温暖化が進行した場合には、降水、融雪の時期や量、河川の凍結、凍土の融解など水循環に影響が及ぶと考えられ、水環境の変化に対する森林群落の応答を理解する必要がある。

近年、観測地点の周辺の森林では、地温の上昇と土壌水分の増加が観測されている (Iijima et al., 2010)。また同時に2007年夏季より列状にカラマツが枯死する現象が起こっている (Iwasaki et al., 2010)。ヤクーツク Spasskaya Pad サイトにて森林観測タワー周辺で枯死木の数を計上したところ、2008年には10m以上のカラマツ169本中16本の枯死木がみつき、さらに2009、2010、2011年に1本ずつの増加がみられた。また、かつてはコケモモが卓越していた林床植生に草本性植物が増加してきていることが確認されており、下層植生が変化している可能性がある。そこで、水環境の変化が現実化したヤクーツクでの森林生態系の環境応答を調査するとともに、比較対象として別の地域の森林観測データを用いて、立地環境の違いが森林の環境応答にどのように影響するかを比較することで、東シベリアのカラマツ林と水循環との関係を明らかにすることを目的とする。

2 研究対象地域と方法

2.1 研究対象地域

前述のように、東シベリアのレナ川流域の森林帯では年間降水量が200-300mmと少ないが、南部の山沿いから平地に向かって降水量が減少する空間分布をしている。そこで降水量の違いによる森林の違いをみることのできる2地点を選定した。まず降水量の少ない地域の森林としてレナ川 (流域面積 2,460, 000km²) の中流域に位置するヤクーツク市街より北西 20km の森林地域にある Spasskaya Pad サイト (62°15'18"N, 129°14'29"E)、比較的降水量の多い地域の森林としてアルダン川 (レナ川の支流) 流域のウスチマヤ南西 60km の Elgeii サイト (60°00'56"N, 133°49'28"E) を比較対象地域とする。いずれも平坦地の森林であるが、周辺の地形がやや異なる。Spasskaya Pad はレナ川本流の左岸の河川低地を前面にもつ段丘上に立地し河川から 15km (低地と段丘の境界からは約 5km) の距離にある。Elgeii はレナ川流域南部の山岳地域に近く、アルダン川左岸の約 1.5km と河川にして森林が存在する。1986-2004 年における平均年降水量はそれぞれ 230mm, 290mm, 平均気温は -8.7°C, -8.8°C である (Suzuki et al., 2007)。いずれの森林もカラマツ (*Larix cajanderi* Mayl) が上層を、カンバ (*Betula pendula* Roth) やヤナギ (*Salix bebbiana* Sarg.) が中下層を形成する。

2.2 方法

Spasskaya Pad と Elgeei の森林内に設置された気象観測タワーにおいて、樹冠上と林内での気象・水文データが測定されている。解析に用いる主なデータ項目は以下の通りである：群落上での熱・水蒸気・二酸化炭素フラックス、降水量、群落内外での放射、気温、湿度、風速、地中の温度、土壌水分、熱流量。Spasskaya Pad では林内でも同様のフラックス測定をしており、群落上で測定したフラックスから林内フラックスを差し引くことで、上層植生によるフラックスを分離することができる。これらの測定データは 30 分平均値が記録され、適宜、平均値を計算して解析に用いる。熱・水蒸気（蒸発散）・二酸化炭素フラックスは渦相関法を用いて測定する。冬季の寒冷環境下での観測実施は困難であるので、4-10月の約6ヶ月間を観測期間とする。二酸化炭素フラックスは、群落スケールの呼吸量（放出）と光合成量（吸収）との差である、正味の二酸化炭素吸収量を表す。これを呼吸量と光合成量に分離して解析に用いた（分離方法は Stoy et al 2006 などを参考にした）。

2011年7-8月には、両サイトにてポロメータを用いた個葉の光合成測定を行った。カラマツとカンバの2樹種を対象に、光制御下での切り枝測定を実施して光-光合成曲線を作成した。2サイト間の植物量の違いを比較するため、Plant canopy analyzer を用いた Plant area index (PAI：植物体面積指数) の測定と土壌中の細根分布の測定を行った。前者では、各サイトの観測タワー周辺8点での計測値を平均してサイトの PAI とした。後者では、深さ 60cm までの断面を作成して、10×20×5cm の土壌ブロックを切り出して、その中に含まれる植物根を洗い出して乾燥させたものの重量を測定した。採取場所はカラマツ以外の樹木の近傍は避け、カラマツから約 2m 以上離れる地点を選んだ。

3 結果

3.1 Spasskaya Pad での水・炭素循環の長期変動

1節で述べたように、2005年から2008年まで Spasskaya Pad で続いた土壌水分の過剰な状態が、森林群落での水循環と炭素循環にどのような影響を与えるかを、当サイトで1998年より続けられている観測データを用いて解析を行った。ここでは、森林群落での蒸発散と二酸化炭素フラックスの年変動についての結果を報告する。

3.1.1 蒸発散の年変動と土壌水分の関係

解析期間での気温、日射等の気象条件に明確なトレンドはみられないが、土壌水分と地温は2005年頃より増加傾向にあった。2005年より顕在化した土壌水分の増加により、2004年以前より体積含水率が10-20%高い状態が2008年まで続いた。このとき蒸発散量は2007-08年の夏季に7月に低下した(図1)。蒸発散係数(実蒸発散量を大気条件だけで決まるポテンシャル蒸発量で基準化したもので、蒸発可能な土壌水分量や植物活動による蒸発散のコントロールを表す)は2006年までは土壌水分の増加に伴って増加していたが、2007以降は2006年までの土壌水分と蒸発散係数との関係(図中の実線)から外れており、2007-2010年では異なる関係にあるように見える(図2)。2010年では土壌水分は2005-06年と同程度に回復したが、蒸発散係数は低いままであった。蒸発散係数と土壌水分との関係が異なったものに変わるのは2007年以降であるが、これは土壌の湿潤化が顕著になった2005年から3年目のことである。また昨年度までの解析結果によると、群落コンダクタンスも2005年までは増加したが、2006-2008年には減少した。しかし下層群落のコンダクタンスには変化が見られず、上層群落すなわちカラマツのみで蒸散能力が低下していた。

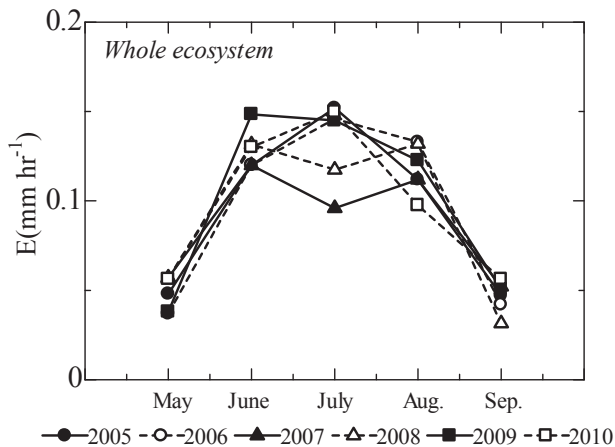


図1 全生態系からの蒸発散量（月平均値）

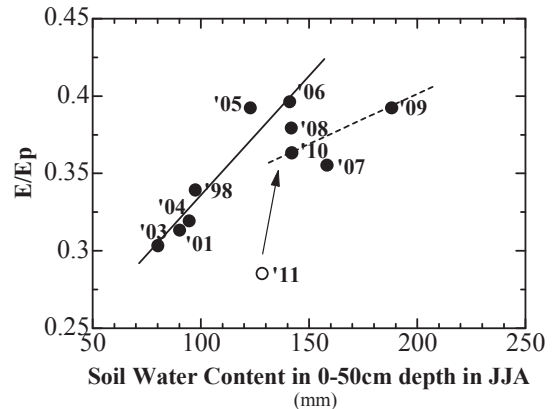


図2 表層0-50cmの土壌水分量と蒸発散係数の関係（6-8月平均値）2011年は7-8月。

3.1.2 二酸化炭素交換量の年変動と環境要因の関係

森林群落での二酸化炭素の生態系正味吸収量 NEE の年変動に対する支配要因を明らかにするため、2003-2010年の Spasskaya Pad での夏季（6-8月）平均値の変動を調べた。2004から2007年にかけては、群落の光合成量 GPP が増加しているが、2008、9年には GPP が低下した。カラマツ枯死に加えて、2008、9年には大気飽差が大きく植物の気孔開度が抑制されたことが原因と考えられる。その一方で、林床植生による GPP は2008年から増加傾向にあった（図3）。上層木（カラマツ）の枯死により、林冠の日射透過率が増加して林床での日射量が増加したことがその一因と考えられる。林床では、正味で二酸化炭素は放出されているが（NEE>0）、林床での日射量の増加に伴い、吸収放出がゼロに近づいている（図4）。

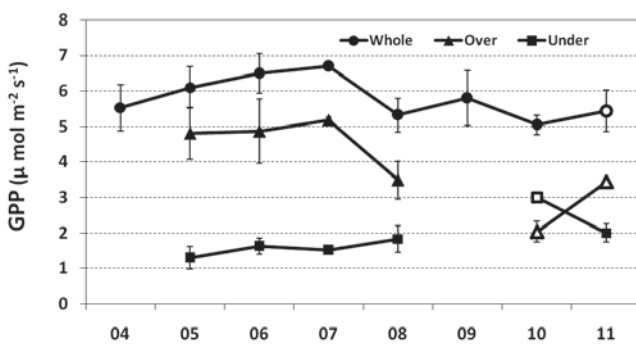


図3 群落光合成量（GPP）の年変化（6-8月平均値）
●全生態系 ▲上層植生 ■林床+下層植生

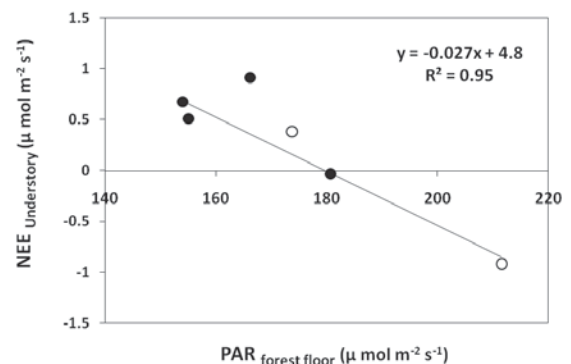


図4 林床+下層植生による正味二酸化炭素交換量（6-8月平均値）正值は放出を示す。

3.2 Spasskaya Pad と Elgeei での水・炭素循環の比較

これらの森林のバイオマス量の違いを計測した結果と、2010、2011年の Spasskaya Pad (SP) と Elgeei (EG)での観測データを用いた、森林群落の熱収支、蒸発散、二酸化炭素フラックス、および樹種ごとの個葉光合成能力を比較した結果を報告する。

3.2.1 植物量の違い

地上部バイオマスについては、夏季の Plant area index (植物体面積指数) は SP で 1.4, EG で 2.0 であった。土壤中の細根分布を図 5 に示す。EG は SP の 2.5 倍の細根 (2mm 以下のもの、重量ベース) が存在した。SP では表層 10cm (リター層は除く) に 50%以上が存在したが、EG では表層 20cm までを中心に分布範囲がより深層にあった。

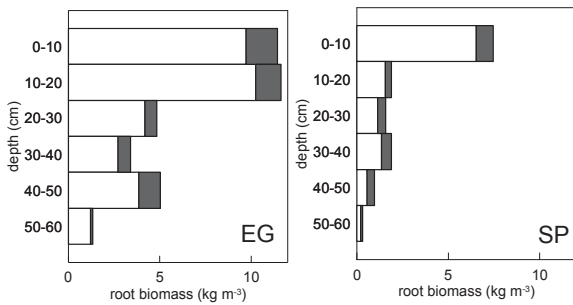


図 5 カラマツ根の鉛直分布
白色が直径 2mm 以下、黒色が直径 2-5mm の細根の密度を示す。

3.2.2 群落スケールの蒸発散、二酸化炭素交換量の比較

2010-2011 年の 5 月から 9 月における地表面熱収支の月平均値を図 6 に示す。それぞれの平均値を算出するために、欠測データは補間してある。2 サイトとも 5 月には顕熱輸送量が潜熱輸送量よりも大きい、6-8 月には潜熱輸送量が増加し、顕熱との差が小さくなる。図 7 は降水量と蒸発散量 (=潜熱輸送量) を示す。2010 年には蒸発散量は 2 サイトでの違いが小さいが、2011 年では夏季 (ただし 6 月は欠測) には SP のほうが EG よりも大きくなった。降水量は必ずしも EG で SP よりも大きいわけではなく、月降水量の大小関係は月によって異なった。群落上で測定した CO₂ フラックスすなわち生態系正味交換量(NEE)を生態系呼吸量 (ER) と生態系総生産量 (森林群落全体の光合成量 : GPP) とに分離した結果を図 8 に示す。夏季の正味吸収量(NEE)は EG で SP を上回っているが、これは光合成量の違いによるものと考えられる。2 サイトとも光合成量は 6 月に、呼吸量は 7 月に最大となる季節変化は類似しており、この結果として正味吸収量は 6 月に顕著な最大値となる。

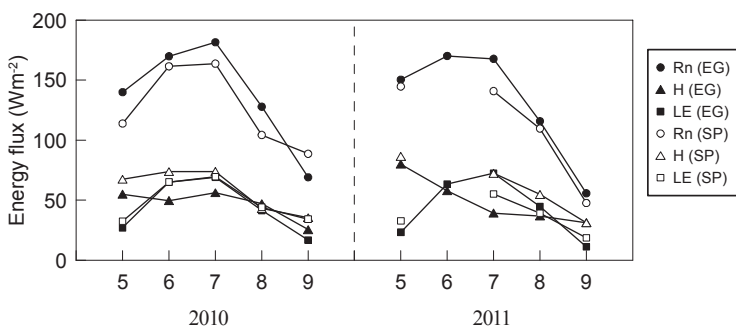


図 6 地表面熱収支の季節変化 (月平均)

●正味放射量, ▲顕熱輸送量, ■潜熱輸送量. 黒色が EG 白色が SP を示す。

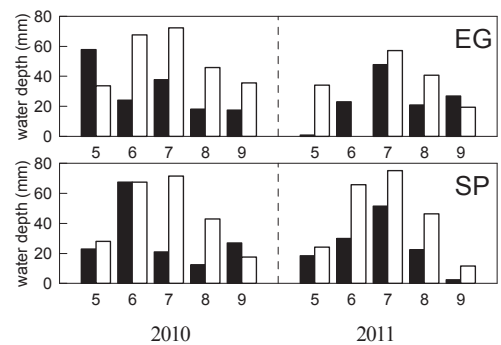


図 7 月降水量と蒸発散量の季節変化
黒色が降水量, 白色が蒸発散量を示す。

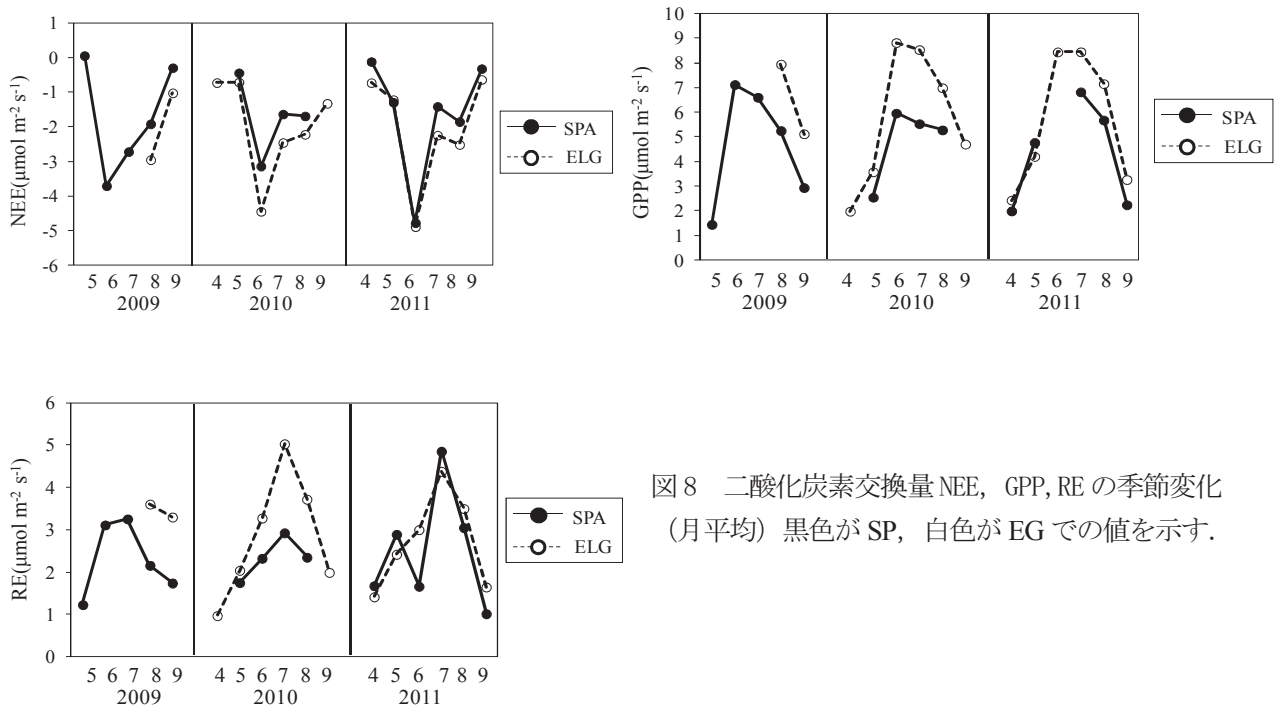


図8 二酸化炭素交換量 NEE, GPP, RE の季節変化 (月平均) 黒色が SP, 白色が EG での値を示す.

3.2.2 個葉スケールの光合成能力の比較

カラマツとカンバの光合成光応答曲線を図9に示す. カラマツの光応答曲線は2サイト間での違いがあらわれず, いずれも光合成有効放射量が約 $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で飽和した. カンバの光応答曲線はEGではSPと比べて, 弱光条件での光合成応答が大きくなった.

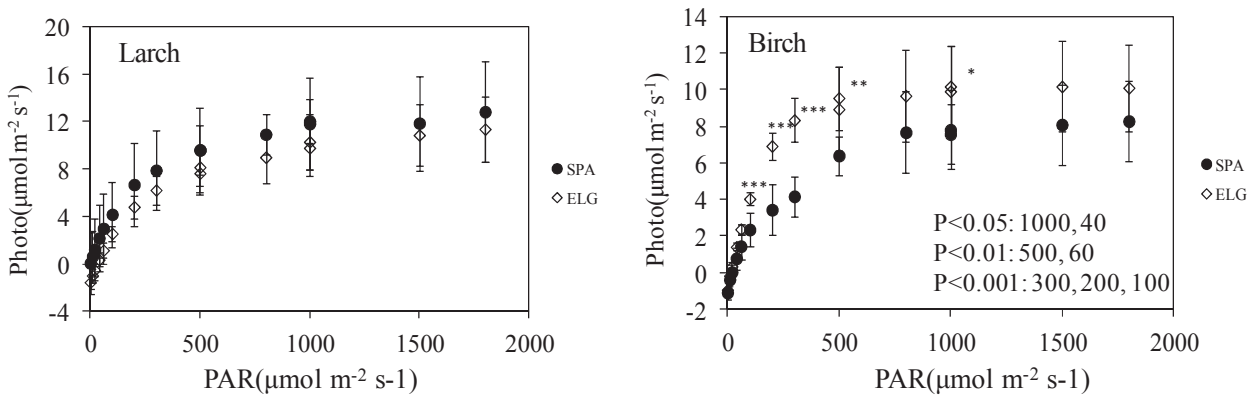


図9 個葉の光合成と光合成有効放射量 (PAR) の関係 (左図: カラマツ, 右図: カンバ) 黒色は SP, 白色は EG での測定値, エラーバーは標準偏差を示す.

4 考察

研究対象地のカラマツ林における水・炭素循環と水環境との関係について, まず, 2005年から2008年に土壌水分の増加が顕著であった Spasskaya Pad では, 夏季の群落蒸発散量 (以下, 蒸発散量) が2007年, 群落光合成量 (以下, 光合成量) が2008年から低下した. 蒸発散量と光合成量の変化は上層群落すなわちカラマツに顕著に現われた. 光合成量は下層群落および林床では増加した. 蒸発散係数は1998年から2006年までは土壌

水分と正相関があったが、2007,8年には土壤水分が2005-6年と同程度にもかかわらず、蒸発散係数が低下した。2010年までの観測結果をあわせると、2007年以降も土壤水分と蒸発散係数には正の相関がみられるが、2006年までの関係とは異なる直線で表された。2010年には土壤水分が低下し2005-06年の値に戻ったが、蒸発散係数は低いままである。また、群落コンダクタンスも2006年までは増加したが、2007-2011年には減少した。しかし下層群落のコンダクタンスには変化が見られず、上層群落のみで蒸散能力が低下していた。観測サイト周辺の下層植生はコケモモが中心であったが、最近数年の間に耐湿性のある草本が侵入してきていることから、下層では土壤水分の増加に対応していることに加えて、カラマツの枯死により下層に到達する日射量が増えたことで、下層群落が活発化していることも考えられる。土壤水分の変化が顕在化してから3年目に森林応答が変化しているが、このような水環境の変化への森林の応答に時間差が生じることは、例えば Brando et al(2008)のアマゾンでの早魃実験でも現われている。しかし、Spasskaya Pad では蒸発散が2007年、光合成が2008年から低下傾向になり必ずしも同じ時期に変化がみられたわけではなかった。今後は蒸発散についても上層(カラマツ)と下層群落に分離して、二酸化炭素交換との関係を明らかにすることが課題である。2010年からは、必ずしも土壤の湿潤化が進行せず、枯死木の増加数は少なくなったが、枯死にいたるほどの環境変化を経験した森林群落が今後どのような応答を示すのか、観測を続ける必要がある。

Spasskaya Pad と Elgeei の2サイトを比較すると、2年を通して夏季の群落光合成吸収量はEGのほうが大きく、蒸発散量では違いが小さかった。その原因として、気象条件、土壤水分条件、植物の活性度の違いが考えられる。これまでの結果では、気象条件の範囲はほぼ同じであり、気象条件と光合成量、呼吸量の関係からは同じ気象条件でのフラックスの違いが認められた。また、単位地上部バイオマス(ここではPAIを用いた)あたりの群落光合成量を計算してみたところ2サイトの違いがなくなった。これらのことから、植物量の違いがフラックスの違いの主要因であると考えられる。1986-2004年における平均年降水量はそれぞれ230mm(SP)、290mm(EG)であることから、降水量の違いがもたらす土壤水分環境の違いにより、2サイトの森林群落の応答特性および水・炭素輸送量が異なることを予想していたが、2年間の観測では気象条件(降水量)の違いが不明瞭であった。降水量の年々変動により短い解析期間ではその年の雨による影響は比較が難しいが、気候値としての雨量の違いは、森林や土壤の形成に影響を与えていると考えられる。今後は、水・炭素循環の場としての土壤にさらに着目し、表層の凍土融解/凍結や土壤水分の動態についての解析を進める必要がある(実際には、水については本チーム、炭素についてはロシア研究者で分担して行う)。またG2a(杉本、鄭)の樹木の年輪解析とも関連して、この地域の森林の成立条件や今後おこりうる環境変化への森林の応答を考える。このような2サイト間の違いを踏まえて、個葉スケールで測定した樹種ごとの応答特性の違いと群落スケールの応答特性と光合成量との関係を調査し、それぞれの森林群落の水・炭素循環の共通点と相違点を明らかにすることが今後の課題である。

5 おわりに

東シベリアのカラマツ林において、環境変動とくに水環境の変動が水・炭素循環に及ぼす影響を明らかにすることが本研究の目的である。そこで、①近年、土壤の湿潤化にさらされた Spasskaya pad での10年以上の長期データを利用した水・炭素循環の長期変動とその影響する要因を解明すること、②降水や土壤環境の異なる地域の森林(Elgeei)と Spasskaya Pad での水・炭素循環の短期変動とその影響する要因と比較を行うことの2つの課題について研究を行っている。これにより、土壤の水分条件の中短期的(SPでの数年スケールの湿潤化)および長期的(SPとEGでの気候値としての降水量の違い)影響をみるのがねらいである。Spasskaya Pad では、土壤の湿潤化に伴い蒸発散量や光合成量の低下がみられたが、上層(カラマツ)での低下が顕著である一方で、下層植生では異なる応答(蒸発散量は変化なし、光合成量は増加)をした。Elgeei と Spasskaya Pad

の比較では、群落光合成量が異なる原因としてバイオマス（特に上層のカラマツ）の違いと、個体レベルでの応答の違い（カンバ）が考えられる。このように、この地域の森林生態系での水・炭素循環の形成には、植物の影響を考慮する必要があるが、これらの知見を用いて、今後おこりうる温暖化や湿潤化に森林生態系がどのように応答して水環境を形成していくのかを明らかにするために、引き続き観測を実施し解析を進める。

6 参考文献

- Brando, P. M., Nepstad, D. C., Davidson, E. A., Trumbore, S. E., Ray, D., and Camargo, P., 2008. Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363, 1839-1848.
- Iijima, Y., Fedorov, A. N., Park, H., Suzuki, K., Yabuki, H., Maximov, T. C., and Ohata, T., 2010. Abrupt increase in soil temperature following increased precipitation in a permafrost region, central Lena river basin, Russia. *Permafrost and Periglac. Process*, 21, 30-41.
- Iwasaki, H., Saito, H., Kuwao, T., Maximov, T. C., and Hasegawa, S. Forest decline caused by high soil water conditions in a permafrost region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 301-307.
- Stoy, P. C., Katul, G. G., Siqueira, M. B. S., Juang, J.-Y., Novick, K. A., Uebelherr, J. M., and Oren, R., 2006. An evaluation of models for partitioning eddy covariance-measured net ecosystem exchange into photosynthesis and respiration. *Agric. For. Meteorol.*, 141, 2-18.
- Suzuki, R., V. N. Razuvaev, O. N. Bulygina, and T. Ohata (2007): Baseline Meteorological Data in Siberia Version 4.1, Institute of Observational Research for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan.
- Yasunari, T., 2007. Role of Land-atmosphere interaction on Asian monsoon climate. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 85B, 55-75.

樹冠着雪からの蒸発量の高度依存性

兒玉 裕二 北海道大学 低温科学研究所¹

松田 直也 名古屋大学大学院 生命農学研究科大学院

Roman Petrov Federal North-eastern Univ.

T. C. Maximov Institute of Biological Problems of Cryolithozone

1 はじめに

積雪の存在は地表面の熱収支を大きく変えるので、地球環境を考える上で重要な要素である。積雪のアルベドは他の地球上の物質と比べて大きく、最も大きな入力熱量である日射の影響を左右する。また、積雪はたくさんの空気を含むために断熱材としての効果が大きく、特に寒冷地においては積雪下の土壌などの温度に大きく影響を与える。

シベリアのヤクーツク周辺では1996年から始まったGAMEシベリアプロジェクト以来熱・水収支の観測が行われているが、夏季の観測が主で、積雪の観測が行われていなかった。唯一、Hashimoto et al. (1998) が融雪期の観測を行ったがまだ公表されていない。シベリア南部のティンダでの観測では、昇華が大きいことが報告されている。しかしながら、融雪期の積雪からの蒸発量はあまり大きくないという報告もあり、場所による違いが大きいと考えられる。

最近、北極海の最小海氷面積が減少していることに伴って、陸域でも様々な変化が起こっている(Iijima et al. 2010)。特に凍土温度の上昇、活動層の湿潤化、北極海流入河川の流量の増加など、水循環の変化を示唆する現象が多く起こっている。それらの左右する要素の一つ、積雪期間の減少、つまり、積雪の始まりの遅れや消雪の早まりが多く報告されている。また、これらの減少は、夏季降水量の増加や活動層厚の増大、蒸発散の変化などと共に水循環に大きな影響を与えていると思われる。

そこで、この研究では、積雪期後半や融雪期の積雪の熱・水収支を観測することによって、①その特徴を明らかにし、②Hashimoto et al.が1998年に行った観測結果と比較して最近の変化傾向を明らかにし、③雪面や樹冠に積もった積雪からの昇華の特徴を明らかにすることを目的とする。

先回は気象要素や雪温の変動、地温の変化、積雪水量の変動、雪面からの蒸発量の変化、氷ブロックからの昇華の変動などを示した。今回は、タワーを利用して測定した氷ブロックからの昇華の高度分布と気象要素との関係を調べたので報告する。

2 観測地

観測地はサハ共和国ヤクーツク市の北西約20kmのところにある、北方生物問題研究所の研究林(62°15'18"N, 129°37'08"E、海拔220m)で行った。ここは東シベリアのレナ川の中流域に位置する。地形はほとんど平坦で、カラマツが支配樹種で、他にアカマツやカンバなどの林が点在する。ここは1996年8月から高さ32mの森林境界層観測タワーを利用した観測が続けられている。タワー近くの50m×50mプロット内のカラマツの平均樹高は18m、立木密度は840ha⁻¹。積雪は9月中旬から5月中旬まで存在する。

¹ 現所属：国立極地研究所 北極観測センター

3 観測要素



Fig. 1 カラマツ林の 32m 森林境界層観測タワー(左)およびタワーに取り付けた氷ブロック(右)

カラマツ林内の高さ 32m の森林境界層観測タワー (Fig.1 右) の近くで、以下のマニュアル観測を 2010 年 3 月 10 日から 4 月 26 日まで行った。雪面低下量、積雪温度と密度の鉛直プロファイル、積雪水量。また、直径 24cm、深さ 4.5cm の蒸発パンに雪を入れて雪面に置き、その重量変化から、雪面からの蒸発量を求めた。さらに直径 23cm、厚さ 4.5cm の氷のブロック (Fig.1 左) をタワーの 30m、20m、10m と地上 1.2m にぶら下げ、その重さ変化から昇華量を算定した。蒸発パンと氷ブロックの重量は 1 日 1~2 回測定した。森林境界層観測タワーでは各気象要素が自動的に観測されている。

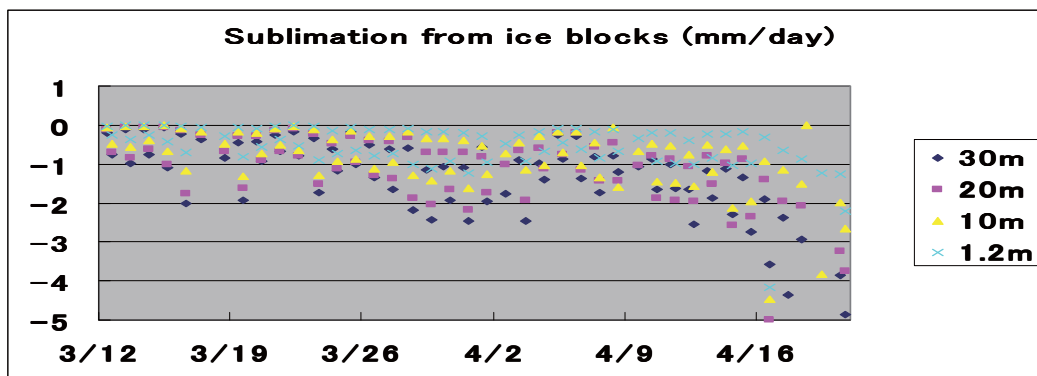


Fig. 2 タワーに取り付けた氷ブロックからの昇華。値は氷ブロックの単位表面積あたりの昇華量である。1 日あたりの昇華量に換算してある。

4 結果

4.1 氷ブロックからの蒸発の時間変化

樹冠に積もった積雪は、地面に積もった積雪と異なり、3次元的な蒸発を受けていると考えられる。これらは大気に戻っているため、降水遮断とみなされる。Fig.1 にタワーに取り付けた氷ブロックからの蒸発を示す。3月中旬から4月中旬にかけて値が大きくなっている。4月中旬以降の大きな値は融雪量が加わっていることが考えられるので、単に蒸発のみとはみなすことが出来ない。夜間は小さな値を示しており、昼間は比較的大きな値になっているが、ほとんど場合、上に行くほど蒸発量が大きくなっている。この氷ブロックからの蒸発量の高度分布は樹冠に付着している雪からの蒸発の高度分布と同じ傾向であると考え、降雪遮断は樹冠上の気象状態だけでは推定できないことが示唆される。

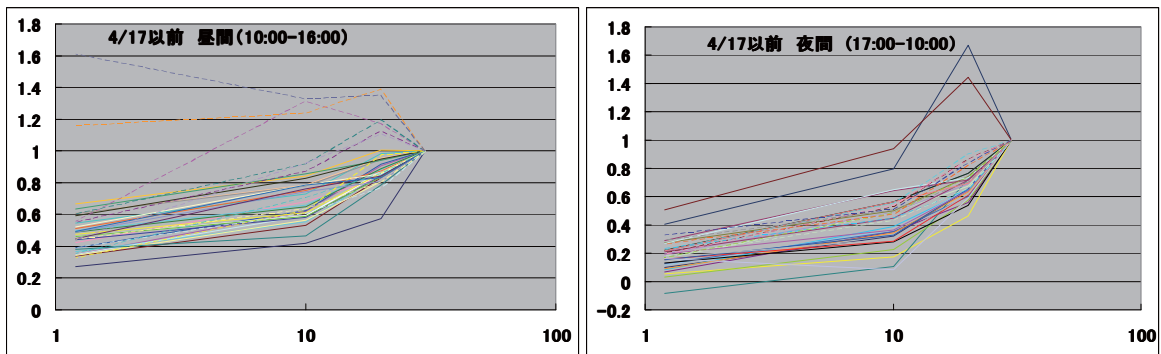


Fig.3 高さ 30m の氷ブロックからの昇華を 1 とした場合の、氷ブロックからの昇華の高度分布。4 月 17 日以前のデータのすべて（エラーも含む）がプロットしてある。左は昼間(10 時～16 時)、右は夜間（17 時～9 時）。

4.2 氷ブロックからの昇華量の高度分布

Fig. 3 に高さ 30m の氷ブロックからの昇華を 1 とした場合の、氷ブロックからの昇華の高度分布を示す。左は昼間(10 時～16 時)、右は夜間（17 時～9 時）。縦軸が昇華量 (mm/day) で、横軸は高度が対数で示してある。融雪が起こっていないと思われる 4 月 17 日以前のデータのすべてがプロットしてあるため、エラーも含まれている。昇華量は高度とともに指数関数的に増加している。地上 1.2m の昇華量は昼間で高度 30m の 0.3 から 0.6、夜間で 0.1 から 0.3 と、夜間のほうが減率が大きい。これは風速の差が大きいためと思われる。

4.3 氷ブロックからの昇華と気象要素との関係

Figs. 4-6 に高度 30m と 1.2m の気象要素と氷ブロックからの昇華量との関係を示す。Fig. 4 には風速との関係である。どちらの高度も相関係数が小さく、相関は弱いだが、風速が大きいと昇華が大きくなるという一般的な傾向は見られる。また、風速係数は高度 1.2m が高度 30m の約 5 倍となっているが、高度 1.2m では風が弱いことを考えるとエラーも含まれていると考えられる。

Fig. 5 には飽差と氷ブロックからの昇華量との関係を示す。どちらの高度でも相関係数が 0.7 弱と大きく、飽差に対する依存性が大きいことがわかる。しかし、その依存性は高度によって違い、高度 30m では 0.41 だが、高度 1.2m では 0.24 と小さい。

Fig. 6 には飽差と風速の積と氷ブロックからの昇華量との関係を示す。これも相関係数が大き

く、氷ブロックからの昇華量の、飽差と風速の積にたいする依存性は、高度 30m で 0.12、高度 1.2m で 0.3 となっている。

水蒸気フラックスは風速および氷ブロックの表面と大気との蒸気圧差に比例するのだから、飽差や飽差と風速の積とは直接的には比例関係にないが、それらの依存性が高度によって違うということは、昇華のメカニズムが高度によって異なることを示唆しているように思われる。

今回は氷ブロックからの昇華を観測したが、‘着雪’からの昇華とは異なると思われる。今のところ、この二つの量がどのように異なるのかの知見を得ていない。

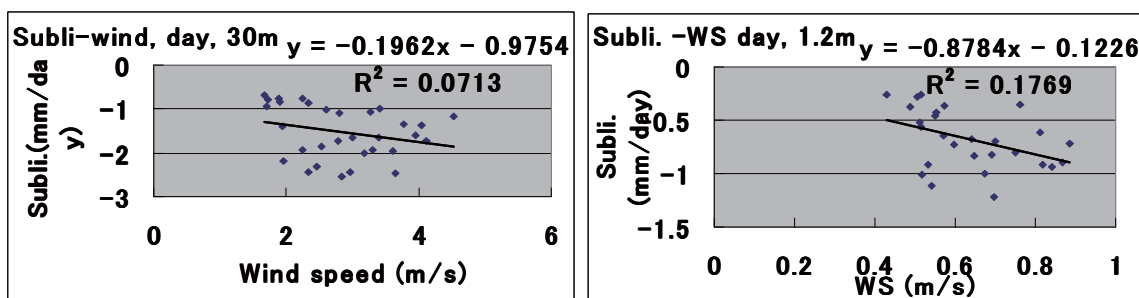


Fig. 4 昇華量と風速との関係。左—高度 30 m、右—高度 1.2 m。

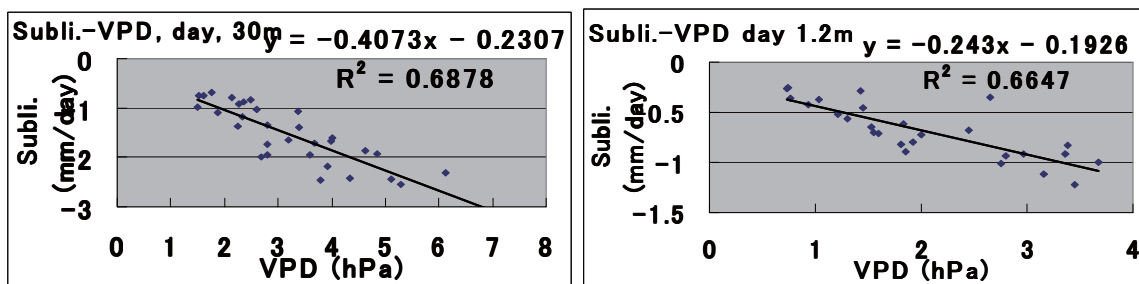


Fig. 5 昇華量と飽差との関係。左—高度 30 m、右—高度 1.2 m。

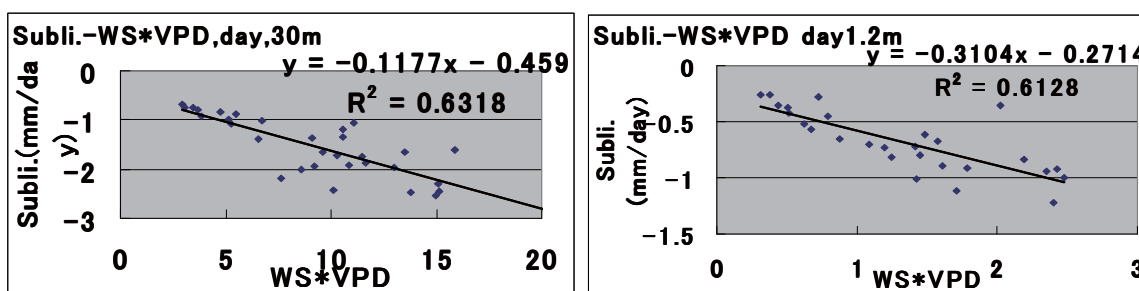


Fig. 6 昇華量と、風速と飽差の積との関係。左—高度 30 m、右—高度 1.2 m。

5 今後の課題

今回は氷ブロックからの昇華を観測したが、‘着雪’からの昇華とは異なると思われる。今のところ、この二つの量がどのように異なるのかの知見を得ていない。

これまでの解析から、氷ブロックからの蒸発量の高度分布など興味深い結果が出てきているが、まだ解析途中である。これから水収支・熱収支の算定を行い、シベリアタイガ地域における融雪

のダイナミクスを明らかにしたい。

引用文献

Hashimoto, T., Ohta, T., Toba, T., Maximov, T.C., Kononov, A.V. Heat and water balance of the snowpack and permafrost during the snowmelt season in a larch forest in eastern Siberia (unpublished)

東シベリア ヤクーツク近郊の永久凍土帯に分布する
湧水の地下水年代
— トリチウム・CFCs・SF₆による年代推定結果の比較 —

檜山 哲哉	人間文化研究機構 総合地球環境学研究所
浅井 和由	株式会社 地球科学研究所
Alexander KOLESNIKOV	ロシア科学アカデミー 永久凍土研究所
Leonid GAGARIN	ロシア科学アカデミー 永久凍土研究所
Victor SHEPELEV	ロシア科学アカデミー 永久凍土研究所

1 はじめに

この研究では、地球温暖化とそれともなう水循環変化（降水量増加ともなう活動層中の土壌水分量増加）に生起する活動層深さ（永久凍土表層の夏季の融解深）の深化（Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2009）によって、どの程度、永久凍土中の地下氷が融解しているのかを明らかにすることを目的としている。この目的を達成するために、本研究では、化学トレーサーを用いた湧水（地表に湧出した地下水）年代の変遷（年々変化）を調べている。

これまでに、大気に放出された人為起源物質の CFCs (chlorofluorocarbons ; フロン類) や SF₆ (六フッ化硫黄) を水文トレーサーに用いて、ヤクーツク近郊の湧水の地下水年代を推定した（檜山ほか, 2011）。その結果、CFCs を用いた推定年代の方が SF₆ を用いた推定年代よりも 40 年古い、という結果になった。Excess air によって溶解平衡以上の大気が涵養時に過剰に溶解し、CFCs よりも微量である SF₆ の方にその効果が顕著に現れた結果、地下水中の SF₆ 濃度が上昇し、SF₆ 年代が実際よりも新しくなったものと推定された。

CFCs による地下水年代が仮に正しいと仮定した場合、ヤクーツク近郊の湧水は、1950 年代から 1970 年代の降水によって主に涵養されており、したがってトリチウムを用いた年代推定手法も適用できる可能性がある。そこで今回は、トリチウムを用いた年代推定を試み、CFCs と SF₆ による地下水年代と比較したので、それらの結果を報告する。

2 研究対象地域と方法

2.1 研究対象地域

東シベリア・ヤクーツク近郊には、レナ川東岸側に多くの湧水群が存在する。それらの湧水温は季節を通してほぼ 0℃であり、冬季にはアイシング (icing) と呼ばれる独特の氷結現象を生み出している。これらの湧水の湧水量や降水量との対応には、水文地質構造の他、永久凍土内の氷の存在量やサーモカルスト（凍土内の氷の融解による地盤の劣化現象）などが関わっている（檜山ほか, 2011）。

研究対象地域は、東シベリア・ヤクーツク近郊のレナ川東岸付近（北緯 61° 40′ ・東経 130° 00′ ）である。この地域の水文地質については、檜山ほか（2011）に記載してある。今回対象とした湧水群は、ブルース (Buluus) とウラハン タルン (Ulakhan-Taryn) である。これらはベスチャフ段丘とレナ川河川敷との間の段丘崖に生じている。ベスチャフ段丘の永久凍土は 200m

から 420m の厚さであり、季節的に融解・凍結を繰り返す地表層（活動層：active layer）は 0.5m から 4.0m 程度である。

この地域に多く存在するサーモカルスト湖沼（thermokarst lake）の地下はタリク（talik）と呼ばれる不凍結水状態になっている。凍土上地下水（supra-permafrost groundwater）は、活動層の下端の凍土を不透水層として、活動層内に存在する地下水である。一方、凍土内地下水（intra-permafrost groundwater）は、湖沼から連続するタリクが凍土内を地質の不連続面に沿って緩やかに流れる地下水であり、湖沼から湧水点にかけて「湖沼－タリク－地下水系（lake-talik-groundwater system）」を形成する。研究対象とした二つの湧水群の湧水温は、一年を通して 0°C 程度と一定である。

2.2 研究方法

湧水の採水を、2009 年 7 月 28 日～29 日の 2 日間、および 2010 年 7 月 28 日～29 日の 2 日間にそれぞれ実施した。トリチウムと同時に CFCs と SF₆ を分析するために、採水には専用の採水用ガラス瓶（CFCs: 125 mL, SF₆: 500 mL）を用い、大気に直接接触しないように注意した（IAEA, 2006）。具体的には、ステンレス容器の中に採水用ガラス瓶とキャップを入れ、ナイロンチューブを通して採水ポンプから湧水をガラス瓶の底に導入し、ステンレス容器から水をオーバーフローさせた。オーバーフローさせる量はガラス瓶の容量の 3 倍以上とした。その後水中でガラス瓶に蓋をし、絶縁密着テープにより蓋をしっかりと固定した。トリチウム濃度の分析には、SF₆ の分析終了後の水試料を再利用した。

採水した水試料の一部を 2010 年 8 月 6 日に日本に持ち帰り、同年 9 月 6 日までに、CFCs と SF₆ の各濃度を株式会社 地球科学研究所で処理・分析した（Busenberg and Plummer, 1992; 2000）。この時分析した試料は、ブルース（2009 年と 2010 年の両年）、ウラハン タルン A（2009 年採水）およびウラハン タルン E（2010 年採水）である。なお 2009 年に採水したサンプルは、日本に持ち込むまでの約 1 年間、ロシア科学アカデミー 永久凍土研究所内にて常温で保管された。

トリチウム分析は、株式会社 地球科学研究所において、電解濃縮－液体シンチレーション計数法で行った。試料水を蒸留精製し、電解濃縮（アルカリ水溶液電解）した後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターにより β 線を計測し、採水日におけるトリチウム濃度を算出した。濃度単位は SI 単位系の Bq/L および水素原子（¹H）10¹⁸ 個中のトリチウム（³H）原子数で表すトリチウム単位（T.U.）で示した。ここで、 $1 \text{ T.U.} = \frac{{}^3\text{H}}{{}^1\text{H}} = 10^{-18}$ 、 $1 \text{ T.U.} \doteq 0.119 \text{ Bq/L}$ である。トリチウムの検出下限値は 0.3 T.U.（0.03 Bq/L）、誤差は ±1σ である。

3 結果

3.1 トリチウム分析結果

トリチウム濃度の分析結果を表 1 に示す。トリチウム濃度は、ブルースで相対的に高く（9～10 T.U.）、ウラハン タルンで低い（1～2 T.U.）結果となった。二つの湧水のトリチウム濃度に明瞭な差異がみられることは、両湧水の地下水の起源、混合状態、涵養年代が異なることを意味している。採水年によって濃度に明らかな差異は見受けられないが、両地点とも、2010 年の方がやや低い値を示した。トリチウムが放射性同位元素であることを考慮すると、妥当な結果と思われる。

湧水のトリチウム濃度を、国際原子力機関（IAEA）により公開されているロシア国内の降水中のトリチウム濃度、および北半球高緯度に位置するカナダ・オタワのものと比較した結果が図 1 である。湧水の近傍に位置するヤクーツクの降水トリチウム濃度は、1980 年頃に約 100 T.U.、

2000年には20 T.U.程度を示しており、ロシア国内で最も濃度が高い。この理由は、対象地域の緯度が高いこと、そして水爆実験の行われた地域の東方に位置すること、などが考えられる。近年の降水中トリチウム濃度の実測データは無いが、1970年代から2000年代頃までの濃度の減衰傾向から、現在の降水トリチウム濃度は15 T.U.程度と推測できる。

表1 湧水のトリチウム濃度と涵養年代

No.	試料名	採水年	トリチウム (^3H) 濃度		涵養年代(みかけ年代)	
			(T.U.)	(Bq/L)	古	新
1	ブルース	2009	10.5 ±0.3	1.27 ±0.03	1970	2005
2	ブルース	2010	9.1 ±0.3	1.08 ±0.03	1970	2005
3	ウラハントルン A	2009	2.7 ±0.2	0.32 ±0.02	1955	1985
4	ウラハントルン E	2010	1.4 ±0.2	0.16 ±0.02	1955	1985

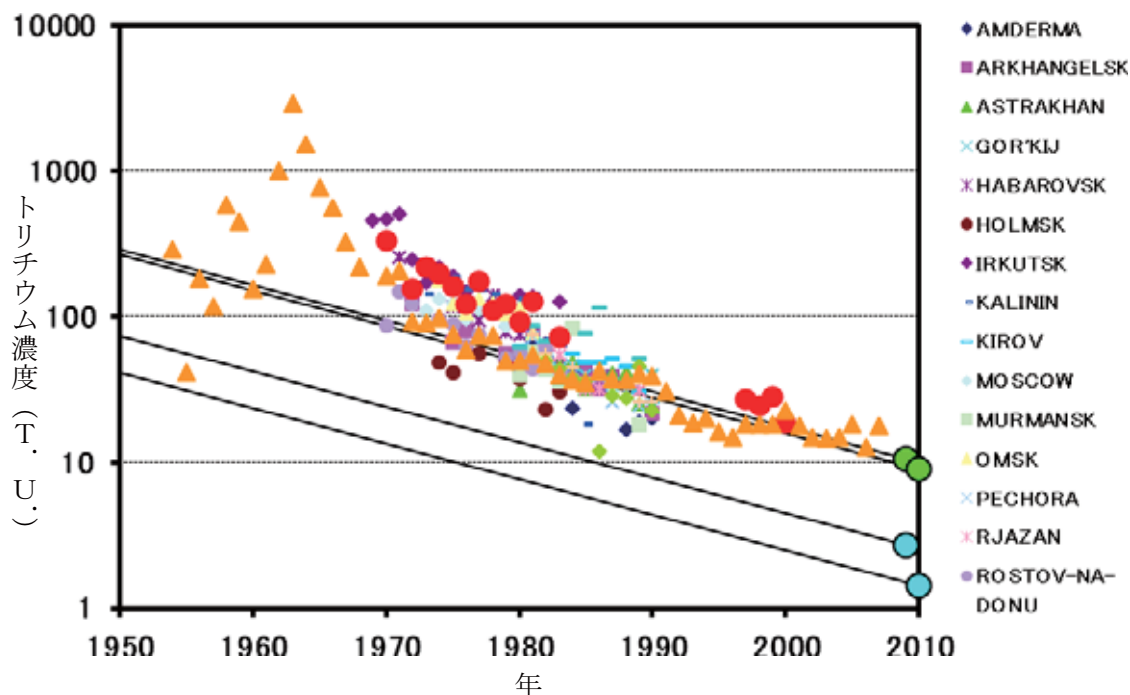


図1 湧水のトリチウム濃度とロシアの降水のトリチウム濃度の比較図。降水データは国際原子力機関 (IAEA) の報告値である。図右下の緑丸 (2つ) はブルース湧水を、水色丸 (2つ) はウラハントルン湧水を示す。

図1中の右下がりの4本のラインは、4つの湧水試料中のトリチウム濃度の実測値を、半減期(12.3年)の勾配で過去にさかのぼって図示したものである。この線と降水中トリチウム濃度が交わる年代が、トリチウムによるみかけの涵養年代である。ブルースの値は、1970年～2005年にかけてのヤクーツクの降水と近い値を示している。したがって、ブルース湧水は、主として水爆実験開始以降の降水によって涵養された若い地下水である。(ピストン流モデルで推定した滞留時間は5年～40年と見積られる。)ただし、図から読み取れるように、ブルース湧水の値は全体的にヤクーツクの降水の値よりも低いことから、水爆実験開始前の古い水が混入している可能性もあり得る。

一方、ウラハン タルン湧水は、検出限界以上の有意なトリチウムが検出されているものの、水爆実験開始以降の降水の値と交差する年代がない。(1985年頃のモスクワの降水と、若干交差する傾向はある。)したがって、ウラハン タルン湧水は、水爆実験開始以前の水とそれ以降の水の混合によって形成されていると判断できる。湧水中のトリチウム濃度が水爆実験開始以降の降水中の濃度よりも明らかに低いことから、この湧水は、そのほとんどが水爆実験開始以前の降水により涵養されたものと推測できる。ここで、水爆実験開始以降の降水中のトリチウム濃度を15 T.U. (現在の降水中の濃度で、下限値)、水爆実験開始以前の降水中のトリチウム濃度を0.5 T.U. (1950年の降水中トリチウム濃度10 T.U.が減衰した値)とすると、2009年と2010年に採水したウラハン タルン湧水に占める水爆実験開始以前の降水の割合は、それぞれ85%、94%となる。図1から、ピストン流モデルで推定したみかけの涵養年代は1955年～1985年、滞留時間は25年～55年と見積られる。

3.2 CFCs年代とSF₆年代

比較のために、CFCsとSF₆の大気換算濃度(EAC: equivalent air concentration)と、EACから推定した湧水のCFCs年代・SF₆年代(みかけの涵養年代)を表2に示す(檜山ほか, 2011の表2と同じ)。みかけの涵養年代は、EACを過去の大気濃度曲線と対比することによって算出したものである(詳細については、檜山ほか, 2011を参照のこと)。表2からわかるように、全ての試料において、CFCs年代はトリチウム年代(古い側の年代)と、ほぼ一致する。一方、SF₆年代はトリチウム年代(新しい側の年代)よりもかなり新しい(若い)値になっており、SF₆の水文トレーサーとしての特性に起因した結果を反映したものと推測される。この点については、次章で考察する。

表2 EAC値とCFCs年代・SF₆年代(みかけの涵養年代)

No.	試料名	採水年	大気換算濃度 (EAC 値:pptv)				涵養年代 (みかけ年代)			
			CFC-12	CFC-11	CFC-113	SF ₆	CFC-12	CFC-11	CFC-113	SF ₆
1	ブルース	2009	105	35	6	5.4	1968	1967	1970	2004
2	ブルース	2010	98	31	5	6.2	1968	1966	1969	2007
3	ウラハントルン A	2009	29	0	0	3.3	1959	1947	1953	1994
4	ウラハントルン E	2010	16	4	0	3.2	1955	1955	1953	1994

4 考察

4.1 トリチウム年代と CFCs 年代および SF₆ 年代の比較

トリチウム年代は湧水の地下水涵養年代を最も正確に示すものである。しかしながら、表 1 に示したように、トリチウム年代には涵養年代に 30 年程度の幅を有する。これは、ピストン流モデルを単純に湧水の帯水層中の地下水流動に適用したためである。表 2 に示した CFCs 年代と SF₆ 年代も同様にピストン流モデルを適用しているため、ここでは、単純に両者を比較してみる。

表 1 と表 2 から、CFCs 年代はトリチウム年代の古い側の値に近い一方、SF₆ 年代はトリチウム年代の新しい側の値よりも新しく（若く）なっている。トリチウム年代を真値とし、CFCs や SF₆ の特性を考慮した場合、以下の 3 点がほぼ確実に記載できる。

- 1) 岩石由来の SF₆ 付加によって、地下水中の SF₆ 濃度が上昇し、SF₆ 年代が実際よりも新しくなった。
- 2) Excess air によって、溶解平衡以上の大気が涵養時に過剰に溶解した。微量ガスである SF₆ でその効果が顕著に現れ、地下水中の SF₆ 濃度が上昇し、SF₆ 年代が実際よりも新しくなった。
- 3) CFCs の一部、特に CFC-11 と CFC-113 が微生物による分解で除去され、CFCs 年代が古く見積もられた。

上記の 1) および 2) については、檜山ほか (2011) で考察したものと同一であるが、再度、その妥当性について検証してみる。上記 1) については、対象地域の基岩が古生代カンブリア紀の炭酸塩岩や中生代ジュラ紀の砂岩であることから、火山岩地域に比べて SF₆ の付加の影響は少ないものと思われる。しかしながら、SF₆ の付加の可能性を完全に否定することはできない。上記 2) については、湧水群の涵養域に複数の湖沼が存在するため、1) よりも主要因となる可能性が高い。すなわち、SF₆ のような微量ガスを用いて地下水年代を推定しようとする場合、湖沼表面においてガスが過剰に溶解する (Heaton and Vogel, 1981)。その効果は、溶解度が低く、湖沼水や地下水に溶存している量が少ないガス種 (CFCs よりも SF₆) で大きい。そのため、SF₆ をトレーサーに用いて地下水年代推定を行う際には、ガスの過剰溶解 (excess air) の効果を考慮する必要がある。上記 3) について、ウラハン タルン湧水試料からは溶存メタンが多く検出されたため、ウラハン タルンの涵養域や地下水系が還元環境にあったものと推定できる。過去の研究では、メタン生成菌などの微生物によって CFCs、特に CFC-11 と CFC-113 が除去 (微生物分解) されることが指摘されている (Happell et al., 2003)。そのため、ウラハン タルンでは 3) の可能性を完全に否定することはできない。ブルースでは、3 種の CFCs 年代がほぼ同一であることから、微生物分解の影響は比較的小さいものと思われる。

4.2 まとめと今後の研究課題

以上の結果と考察を総合すると、本研究から結論できる事項は、以下の 4 点である。

- 1) ブルース湧水の涵養年代は、1970 年以降、2005 年以前である。一方、ウラハン タルン湧水の涵養年代は、1955 年以降、1985 年以前である。
- 2) ウラハン タルン湧水は、水爆実験開始以前の降水を 80 % 以上含んでいる。
- 3) CFC-12 は、この地域の地下水年代推定に有効である。
- 4) SF₆ は、この地域の地下水年代推定に不向きである。その主な原因は、この地域に多く存在

するサーモカルスト湖沼の、水面でのガスの過剰溶解 (excess air) の効果が無視できないためである。

本研究から、東シベリアの地下水年代 (湧水の滞留時間) 推定を行うにあたって、トリチウムと CFC-12 は有効なトレーサーであることがわかった。今後は、凍土上地下水 (活動層内地下水) と凍土内地下水との混合割合を推定する必要がある。そのためには、凍土上地下水が凍結し湧出しないと仮定できる冬季に、凍土内地下水のみを採水し、その地下水年代を推定することが有効な手段となろう。また、境界条件をしっかりと設定するために、現在の降水中のトリチウム濃度と永久凍土 (地下氷) 中のトリチウム濃度の測定を行う必要がある。

5 おわりに

温暖化とそれに伴う降水量変化によって、活動層が深くなってきたことが、近年の研究によって明らかにされている (Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2009 など)。そのことによって地下氷が融解し年代の古い地下水が湧出しているのか否かを調べることは、地球研シベリアプロジェクトのみならず、雪氷水文学分野において重要な研究テーマである。本研究では、トリチウムを用いた年代推定を試み、CFCs と SF₆ による地下水年代とを比較した。

ブルース湧水とウラハン タルン湧水の試料水を分析した結果、ブルース湧水の涵養年代は 1970 年以降 2005 年以前であった。ウラハン タルン湧水の涵養年代は、1955 年以降 1985 年以前であり、湧水中に、水爆実験開始以前の降水を 80 % 以上含んでいるものと推定された。また、3 つの水文トレーサーを相互比較した結果、トリチウムと CFC-12 は、この地域の地下水年代推定に有効であることがわかった。

参考文献

- Busenberg, E. and Plummer, L.N. (1992): Use of chlorofluorocarbons (CCl₃F and CCl₂F₂) as hydrologic tracers and age-dating tools: The alluvium and terrace system of central Oklahoma. *Water Resources Research*, **28**, 2257-2283.
- Busenberg, E. and Plummer, L.N. (2000): Dating young groundwater with sulfur hexafluoride: Natural and anthropogenic sources of sulfur hexafluoride. *Water Resources Research*, **36**, 3011-3030.
- Happell, J.D., Price, R.M., Top, Z. and Swart, P.K. (2003): Evidence for the removal of CFC-11, CFC-12, and CFC-113 at the groundwater-surface water interface in the Everglades. *Journal of Hydrology*, **279**, 94-105.
- Heaton, T.H.E. and Vogel, J.C. (1981): "Excess air" in groundwater. *Journal of Hydrology*, **50**, 201-216.
- 檜山哲哉・浅井和由・Kolesnikov, A.・Gagarin, L.・Shepelev, V. (2011) : 東シベリア ヤクーツク近郊の永久凍土帯に分布する湧水の地下水年代. 平成 22 年度 FR2 研究プロジェクト報告「温暖化するシベリアの自然と人 - 水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応」(檜山哲哉 編), 85-91.
- IAEA (2006): *Use of chlorofluorocarbons in hydrology - A Guidebook*. IAEA, Vienna, 277p.
- Iijima, Y., Fedorov, A.N., Park, H., Suzuki, K., Yabuki, H., Maximov, T.C. and Ohata, T. (2009): Abrupt increases in soil temperatures following increased precipitation in a permafrost region, central Lena River Basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, **21**, 30-41.

Ohta, T., Maximov, T.C., Dolman, A.J., Nakai, T., van der Molen, M.K., Kononov, A.V., Maximov, A.P., Hiyama, T., Iijima, Y., Moors, E.J., Tanaka, H., Toba, T. and Yabuki, H. (2008): Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998-2006). *Agricultural and Forest Meteorology*, **148**, 1941-1953.

G2c (モデリングチーム) 活動要約

山崎 剛

東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻

1 当初の目的

シベリアにおける水・炭素循環のプロセス研究を推進するために、引き続き、①陸面モデルの高度化、②流出モデルの高度化、③モデルによる過去の復元と将来予測を行う。具体的には以下のような課題を設定した。①は陸面モデル 2LM に透水過程、不凍水の扱いの改良。②は陸面モデルと流出モデルの一体化、長期流出の再現。③は Baseline Meteorological Data in Siberia (BMDS) の最新版 (ver.5) 公開に対応して、過去の土壌水分、水・熱フラックスを復元することとである。さらに、レナ川の河川流量変動に影響を及ぼす気候変動の解明を目的に加えた。

2 研究の進行状況

陸面モデル 2LM を用いて、2010 年の Elgeei および Spasskaya Pad サイトについて、水・熱収支のシミュレーションを行った。大まかな季節変化は再現することができたが、夏場に計算では土壌水分が乾燥しすぎ、蒸散が抑制され潜熱過小、顕熱過大となった。特に Spasskaya Pad では 6 月下旬より 8 月上旬にかけてこの傾向が強くなった。熱収支は土壌水分初期値に敏感であることがわかった。さらに、1966-2008 年のタイガ林での長期シミュレーションを行った。計算された土壌水分には 10 年程度の周期が見られた。2006 年、2007 年は過去 40 年間で最高レベルであった。2008 年はやや減少した。夏期の土壌水分について、G2a グループの復元結果と比較したところ、よい対応を示したが、1970 年代はモデル計算値が大きい傾向が見られた (山崎)。

分布型水文モデルについて、経験的に扱われてきた部分の排除、汎用性の向上を目的として、モデルの改良を行った。1) 長期間、広範囲にわたっての計算を実現するため、使用する河道網を陸面モデルと同じ 0.5° グリッドに粗視化した。2) 陸面モデルからの流出水が河道に至るまでの変換過程を表現するグリッド集中モデルを各グリッドに配置すること。3) グリッド集中モデルを陸面モデルで土壌深さ方向に計算されている流出成分にそれぞれ対応させ、土壌の凍結までを含めて深さ方向の流出成分を考慮すること。この結果、春から秋にかけては実測流量を概ね再現でき、特に保留温度を 0°C とした場合では初冬の流量の急激な低下をよく再現できたものの、冬期間は実測流量よりもかなり小さな値が計算されており、冬期流出を再現できているとは言い難い。しかし、別の視点から考えると、陸面モデルで計算されている流域への入力値は、たかだか地表から深さ約 2m までの土中水で、冬期間の流出は、別の流出システムを考慮すべきとも考えることもできる (八田)。

陸面過程モデル CHANGE を北緯 45° 以北の地域において、1948-2006 の期間に適用して、活動層の変動が植物の純生産量 (net primary productivity, NPP) に及ぼす影響を評価した。凍土の低下、活動層の増加および積雪深の減少傾向がシミュレーションによって確認された。これらの変動は NPP の増加に寄与していたことが明らかになった。特に、活動層の増加は、土壌水分の増加による水分ストレスを減少させて光合成の増加による NPP の増加に寄与したことがわかった。また、積雪深の減少も植物の生産に貢献したことも確認した。今後予想される温暖化においても、積雪深の減少や凍土の低下などが予想される (朴)。

レナ川の河川流量変動に影響を及ぼす気候変動の解明に向け、過去 30 年間の河川流量と正味降水量（降水量と蒸発散量の差）、さらに大気水循環との関係を調べた。レナ川の河口で観測された流量と、大気再解析データから見積もられる同流域の正味降水量には、定量的に良い対応関係がみられた。この両者に顕著なトレンドはみられない。また、レナ川流域の正味降水量は、主に低気圧活動に伴う水蒸気輸送によってもたらされることがわかった（大島）。

陸面モデル 2LM によるタイガ林の水・熱収支シミュレーション (2)

山崎 剛

東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻

1 はじめに

地表面に降り注いだ日射は、直接大気を温める顕熱と、水の蒸発に使われる潜熱に分配される。顕熱と潜熱への分配の仕方は気象・気候に大きく影響する。この分配比は気象条件と地表面の状態、たとえば植生や雪、土壌水分などによって決まる。気象データと植生等の情報を与えて、大気と地表面の水・エネルギー交換量を求めるのが陸面モデルである。気候の将来予測には陸面モデルの信頼性向上が欠かせない。様々な気候、地表面状態に対して陸面モデルを検証し、改良する必要がある。

昨年度に続き陸面モデル 2LM を用いてタイガ林での水・熱収支に関する研究を行った。2009 年に新たに設置された Elgeei サイト (ウスチマヤ近郊) の 2010 年暖候期のデータが利用できるようになったので、シミュレーションを行い、2010 年の Spasskaya Pad (ヤクーツク近郊) の結果と比較した。また、新たに公開されたデータセット (BMD5 ver.5) を用いて、これまでより期間を延長し、1966-2008 年のヤクーツクのタイガ林を想定した長期シミュレーションを行った。この報告では水・熱収支のカギを握る土壌水分について特に着目する。推定された土壌水分量を G2a グループによって年輪の同位体比から復元した土壌水分量と比較した。

2 モデル

使用した陸面モデル 2LM は植生・積雪・土壌の三つのサブモデルからなる。日射、長波放射、気温、比湿、風速、降水量を入力し、積雪・土壌の温度や水分、大気・植生・土壌各層間のフラックスを計算できる (Yamazaki, 2001; Yamazaki et al., 2004)。図 1 に植生と積雪のサブモデルの概念図を示す。植生は葉の部分に上下 2 層に分けた熱収支モデルである。積雪は積雪深に応じて層の数を増やす多層モデルで、寒冷地で卓越するしもぎらめ雪を表現できる。土壌は比較的シンプルな多層モデルで、 $-1 \sim 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ において見かけの熱容量を大きくする形で土壌の融解・凍結の潜熱を計算する。不透水層を 2 m に仮定し、各層からの流出成分が余剰水として計算される。これは分布型流出モデルの入力となる。

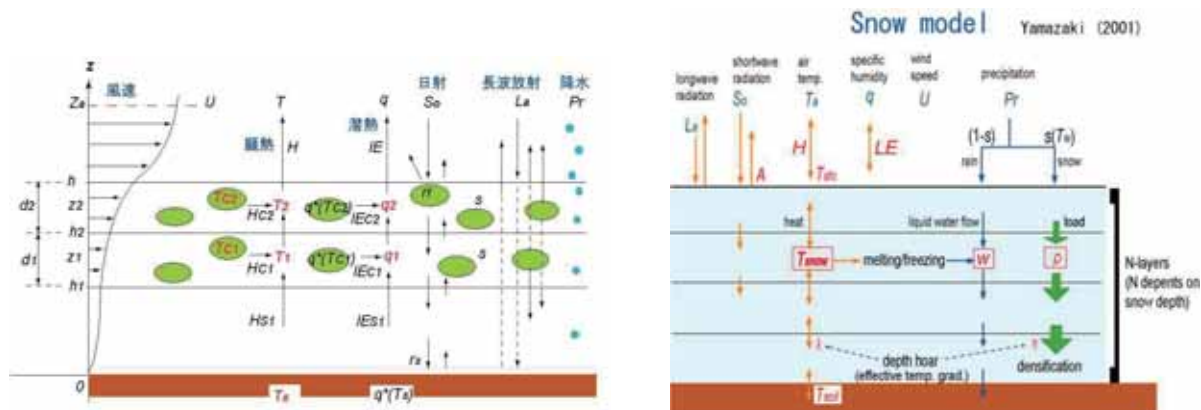


図 1 陸面モデル 2LM の概念図。左：植生サブモデル、右：積雪サブモデル。

3 データ

3.1 Elgeei

2009年にアルダン川流域のウスチマヤの南西 60 km にタワーが新設され、観測を開始したサイトである。ヤクーツクと年平均気温は大差ないが、平均年降水量はヤクーツクの 230 mm に対してウスチマヤは 290 mm とやや多い。高層木の樹冠高度は 25 m 程度と Spasskaya Pad の 18 m よりも高い。詳しい観測項目や気象条件などは小谷・太田(2010)を参照されたい。

本報告では 2010 年 4 月 3 日から 9 月 20 日のデータを入力として用いた。土壌の熱や透水性に関する詳細な情報はまだ得られていないため、モデルに必要な土壌パラメータは Spasskaya Pad と同じ砂質ロームを想定した値を用いた。

3.2 Spasskaya Pad

ヤクーツクの北西 20 km に位置し、1998 年より継続的に気象・水文観測が実施されているサイトである (Ohta et al., 2008)。今回はカラマツ林のタワーで得られた 2010 年 4 月 20 日から 9 月 8 日のデータを用いた。

3.3 長期データ

シベリアのルーチン気象データをまとめた Baseline Meteorological Data in Siberia (BMDS) の最新版 (ver. 5) を用いた (Yabuki et al., 2011)。シミュレーションは Spasskaya Pad のタイガ林を想定して、Yamazaki et al. (2007) と同様に実験式によって、ヤクーツク市内の測定値をタイガ上の推定値に変換した。モデルに必要な日射量と下向き大気放射量は BMDS に含まれていないため、日照時間等から推定した。ヤクーツクについては 1950 年から 2008 年のデータが収録されているが、このうち日照時間を含めたデータが利用できる 1966 年から 2006 年を計算期間とした。なお、1983 年は風速データが欠損しているため、他の年から求めた月平均風速を代用した。土壌の温度と水分の初期値は、あらかじめ全層体積含水率 0.2 としてモデルで全期間の計算を行い、その 1986 年 1 月 1 日の値を用いた。

3 結果

3.1 Elgeei

まず、シミュレーションに必要な plant area index (PAI) を日射量の森林内外での比から求めた。葉や枝幹の面積が多いと森林の中に達する日射量が減ることから逆算して有効値を計算した。この値は実際に葉などを刈り取り面積を求めた値よりは小さくなる。結果を図 2 に示す。5 月 14 日から 24 日にかけて、PAI は急激に上昇する。この期間が開葉期間と推定される。図 2 から PAI の値を落葉時は 0.9、着葉時は 1.4、開葉期間中は 0.9 から 1.4 へ直線的に増加するとして、シミュレーションを行った。

積雪に関する観測は行われていないので、初期値は以下のように与えた。積雪は森林内のアルベドの測定値より 4 月 27 日に消えたとみられる。そこで、ヤクーツク等で観測されている積雪密度の平均値 210 kg m^3 を仮定し、4 月 3 日の積雪深を変えてモデルを走らせ、4 月 27 日に消雪する量を定めた。結果として 4 月 3 日に積雪深 22 cm を与えることとした。また、土壌の温度・含水率は 4 月 3 日の観測値を基に内挿して与えた。

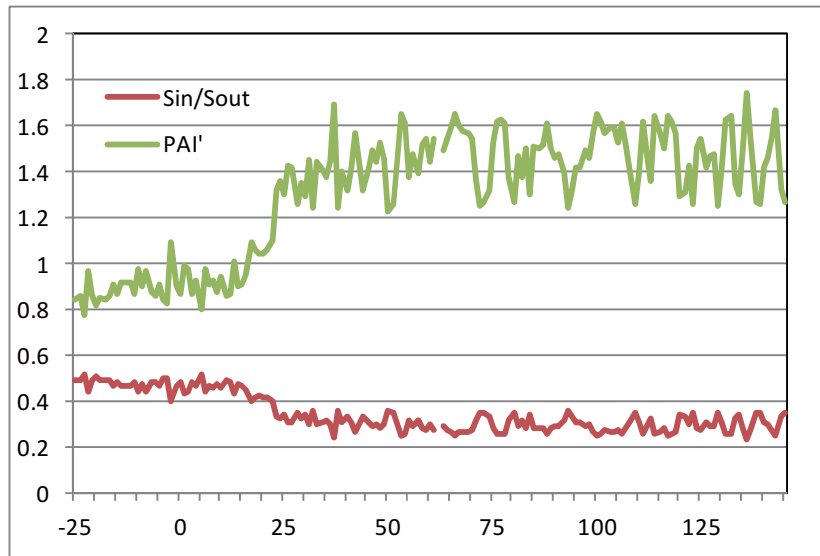


図2 日射量の森林内外比 (Sin/Sout) から求めた plant area index の有効値 (PAI')。Elgecii サイト 2010年。横軸は5月1日を1とした日付。

図3にモデルで計算した熱収支各項日平均値の季節変化を示す。4月下旬はGが大きくなっているが、これは融雪期のためである。その後、開葉に伴い潜熱が増加し、7月はじめころまでは顕熱と潜熱は同程度になっている。7月中旬以降は潜熱の割合は低下する。図(右上)には顕熱と潜熱の比であるボーエン比のモデル計算と観測の比較を示している。これによると熱収支は春・秋にボーエン比が大きく、夏場に小さいという観測の季節変化を大まかに再現していることがわかる。しかし、8月から9月にかけてはボーエン比の計算値はやや過大、すなわちやや顕熱過大、潜熱過小の状態となっている。

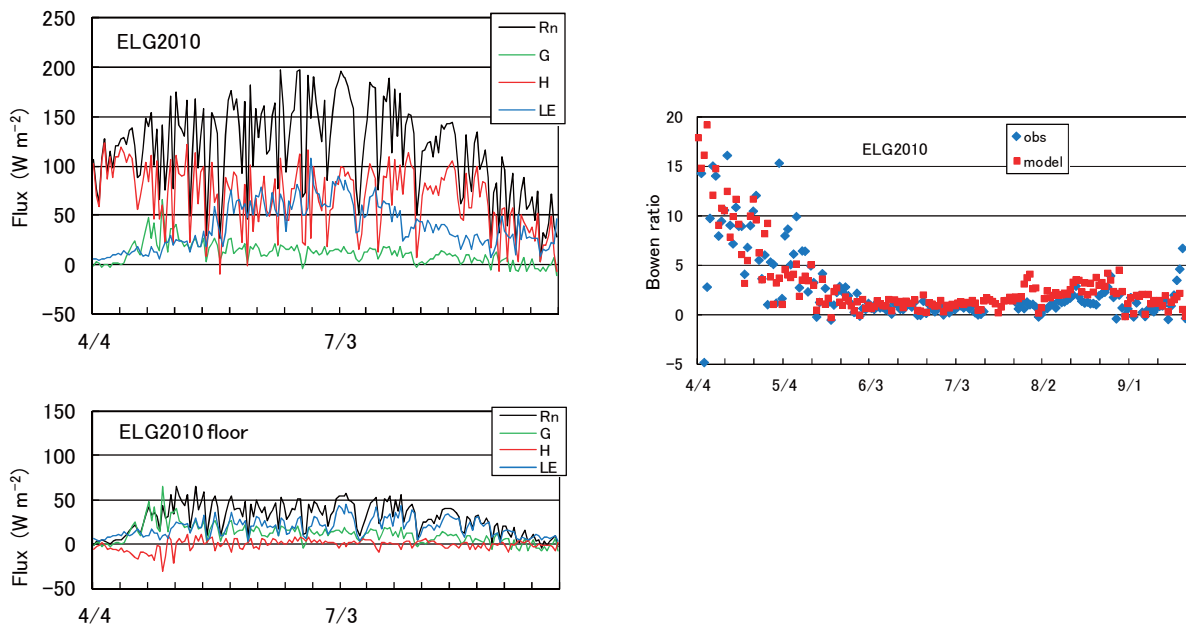


図3 日平均熱フラックスのシミュレーション結果。Elgecii サイト 2010年。左上：森林上の熱収支、左下：林床での熱収支。黒：正味放射量 (Rn)、赤：顕熱フラックス (H)、青：潜熱フラックス (LE)、緑：貯熱量および融雪熱量 (G)。右上：ボーエン比 (H/LE) のモデル計算値と観測値の比較。

これはモデル計算で8月以降に土壌が乾燥し過ぎているためと考えられる。表層付近の計算による体積土壌含水率は0.05以下となっている。モデルでは土壌含水率が0.05以下となると、植物の蒸散は止まるように設定されており、このため夏場の潜熱が過小に計算される。

3.2 Spasskaya Pad

Spasskaya Pad についても、まず plant area index (PAI) を日射量の森林内外での比から求めた。Elgeei に比べ日射比の変化が小さく PAI の値は決めにくかったが、開葉期間を5月15日から29日と判断した(図省略)。Spasskaya Pad における PAI の値は以前の研究 (Yamazaki et al., 2004) から、落葉時は0.8、着葉時は1.2である。2010年のデータのみ使うと落葉時0.7、着葉時1.0程度とみられる。

積雪の初期値は Elgeei と同様に、森林内のアルベドの測定値より推定した消雪日5月4日に合うように決め、4月20日の積雪深を48 cm とした。また、土壌の温度は4月20日の観測値を基に内挿して与えた。土壌の含水率の初期値は深さ20 cm と60 cm の観測値から全層0.1とした。

図4にモデルで計算した日平均熱収支各項の季節変化を示す。4月下旬に融雪に伴うGの増加が見られる。開葉に伴い潜熱が増加し、6月中旬ころまでは顕熱と潜熱は同程度になっている。6月下旬以降は顕熱が大きくなり、潜熱は森林上と林床の値がほぼ同じであることから、葉からの蒸散が小さくなっていることがわかる。図(右上)のボーエン比の比較によるとモデルは観測の季節変化を大まかに再現しているものの、6月下旬から8月上旬にかけてはボーエン比の計算値は過大、すなわち顕熱過大、潜熱過小の状態である。これは計算上6月中旬以降の表層土壌含水率が0.05程度になっているためである。

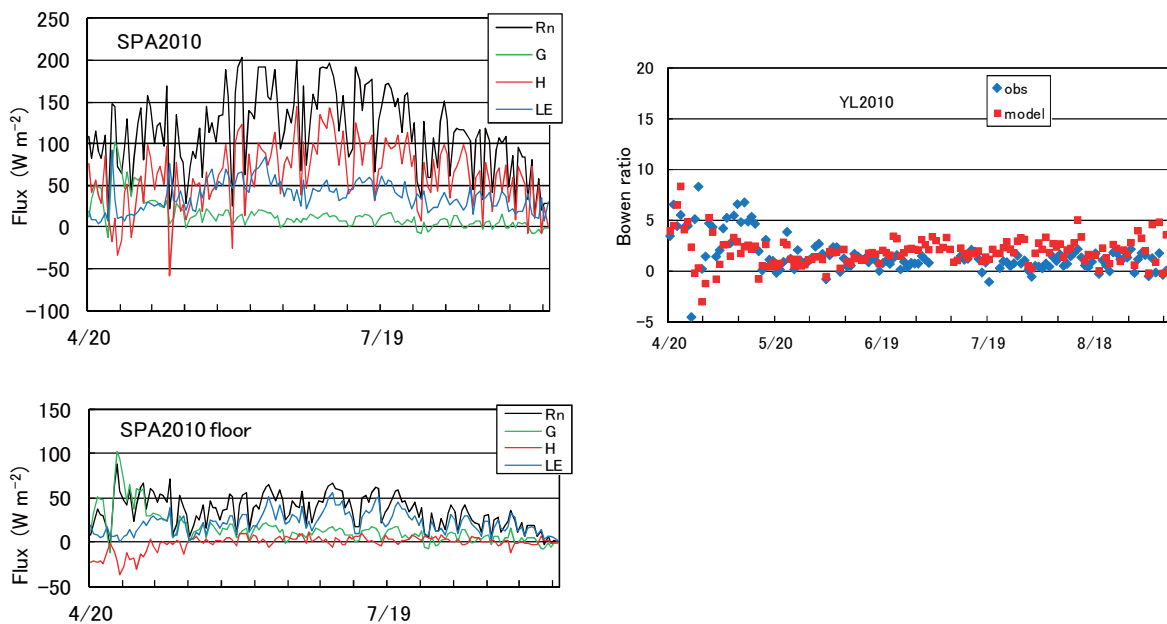


図4 日平均熱フラックスのシミュレーション結果。 Spasskaya Pad サイト2010年。図の説明は図3と同じ。

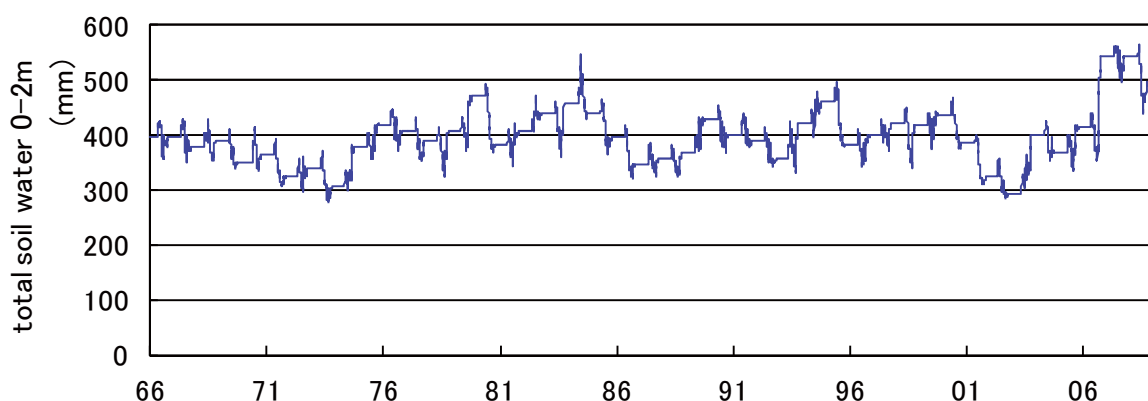


図5 モデルによる土壌水分量。0 - 2 m の積算値 (mm)。

3.3 長期の水・熱収支

図5にモデル計算で得られた深さ0-2mの積算土壌水分量の時系列を示す。一般に融雪期に増加してその後減少し、秋に再び増加して冬期はほぼ一定値を示す変化をしている。しかし、1979年や2006年のように、夏の終わりに大きく増加して高い土壌水分の状態を冬を迎えることもある。長期的には10年強の周期的な変化があるように見える。2006年から2008年にかけては過去40年間で最も高い水準にあることがわかる。現地で観測されている過湿と、これまで見られなかった過湿に伴うカラマツのダメージを裏付ける結果となっている。

次にG2aグループによる年輪同位体比からの土壌水分復元の結果と2LMによる土壌水分を比較した(図6)。復元結果については解析個体数の増加などがはかられ、2LMについては土壌水分の初期値の設定をより現実的にしている。両者の変動パターンはよく対応している。絶対値はモデル(2LM)の方がやや大きい。暫定結果として昨年の報告書に掲載したものに比べると差は小さくなっている。ただし、1970年代までは差が大きい傾向がある。

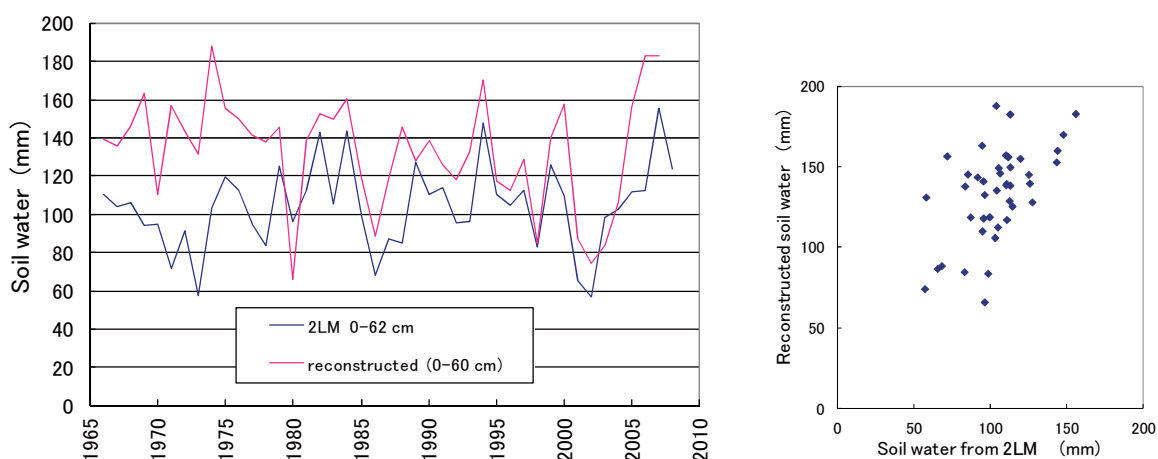


図6 年輪解析から復元した土壌水分量とモデルによるシミュレーションとの比較(7月15日~8月30日の期間)。左は時系列で青が陸面モデル2LMによる結果(深さ0-62cm)、赤が年輪解析からの復元値(深さ0-60cm)。

4 考察

Spasskaya Pad 2010 年の 2LM のシミュレーション結果は、3.1 に記したように 6 月下旬から 8 月上旬にかけて土壌の乾燥により潜熱が過小評価された。ここではこの点について若干の考察を行う。

一般に森林における熱収支は葉面積に強く依存する。着葉時と落葉時の PAI の差が葉面積指数であるので、PAI の与え方の影響をしてみる。3.1 で述べた通り、2010 年の日射データのみをみると PAI は落葉時 0.7、着葉時 1.0 程度と推測される。この値を用いてシミュレーションを行ったところ、結果は図 4 とほとんど変わらなかった。やはり土壌が乾燥してしまい、蒸散が強く抑制される結果となった（図省略）。土壌が極端に乾燥する条件では、蒸散そのものがゼロに近いので、水・熱収支に葉面積の影響が出にくいといえる。

次に土壌水分の初期値について考えてみる。土壌含水率の初期値は深さ 20 cm と 60 cm の観測値を基に全層 0.1 としたが、この値はこれまでの観測や長期シミュレーションを考慮すると低い値である。深さ 20 cm と 60 cm 以外の土壌水分センサーは 2010 年前半について挙動不審の出力をしていた。そのため、20 cm と 60 cm の観測値のみを参考としたが信頼度がやや欠ける。長期シミュレーションの図 5 で積算土壌水分 400 mm は深さ平均の体積含水率にすると 0.2 に相当することから、初期土壌含水率を全層 0.2 として計算を行った。結果は図 7 に示す通りで、ほぼ観測に近い熱収支を再現している。東シベリアタイガ林での水・熱収支のシミュレーションには、土壌水分の適切な初期値を与えることが大変重要であることがわかる。

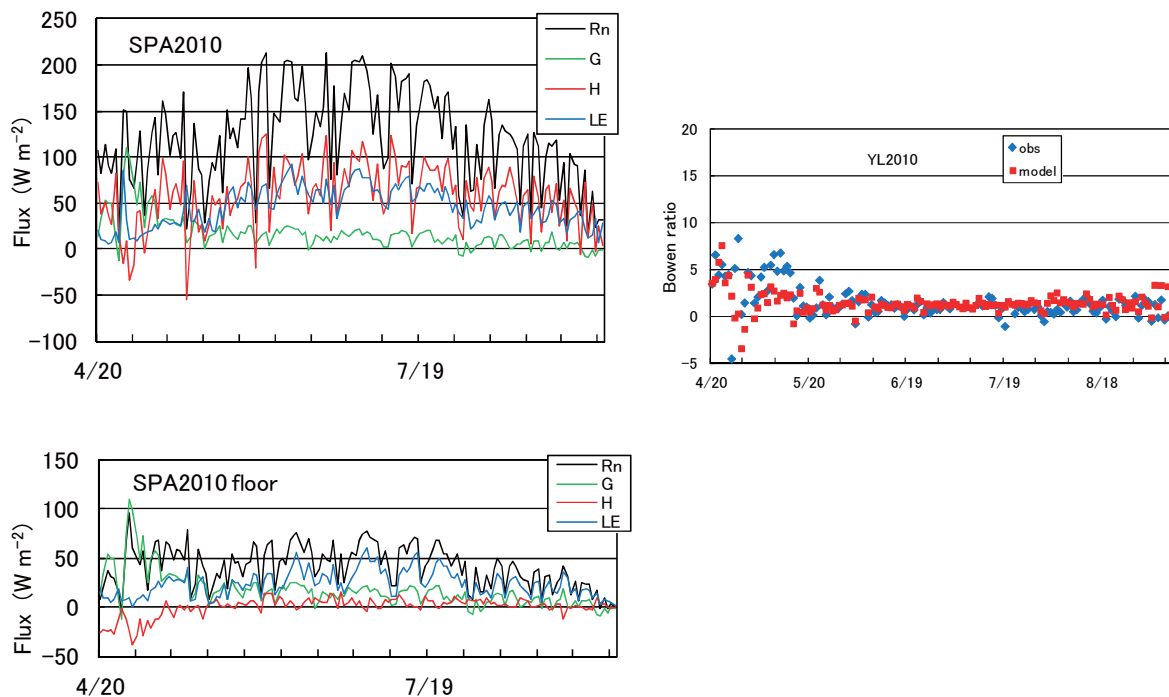


図 7 日平均熱フラックスのシミュレーション結果。 Spasskaya Pad サイト 2010 年。ただし、PAI を落葉時 0.7、着葉時 1.0、土壌含水率の初期値を 0.2 とした計算。図の説明は図 3 と同じ。

5 おわりに

2010年のElgeiiおよびSpasskaya Padサイトについて、水・熱収支のシミュレーションを行った。大まかな季節変化は再現することができたが、夏場に計算では土壤水分が乾燥しすぎ、蒸散が抑制され潜熱過小、顕熱過大となった。特にSpasskaya Padでは6月下旬より8月上旬にかけてこの傾向が強くなった。熱収支は土壤水分初期値に敏感で、少なくとも2010年に関してはPAIの影響よりも土壤水分の影響が大きいことがわかった。

陸面モデル2LMを用いて、1966-2008年のタイガ林での長期シミュレーションを行った。計算された土壤水分には10年程度の周期が見られた。2006年、2007年は過去40年間で最高レベルであった。2008年はやや減少した。夏期の土壤水分について、G2aグループの復元結果と比較したところ、よい対応を示したが、1970年代はモデル計算値が大きい傾向が見られた。

最後に今後の課題を記す。今年度は目標とした陸面モデルの透水過程、土壤不凍水、炭素過程についての高度化は進展しなかった。これらの高度化を推進する。G1グループ佐々井のBEAMSも含めて水および炭素に関するモデルの相互比較が緒に就いたので、さらに推し進め、各モデルの特徴把握と改良を進める。2006-2008年にかけての過湿に伴うカラマツのダメージのような過程は現在の2LMでは含まれていない。この部分についてもモデル化を行い、2006年以降のより現実的な再現を可能したい。

参考文献

- 小谷亜由美・太田岳史 (2010): 東シベリアタイガ林における群落スケールの水・炭素循環. 温暖化するシベリアの自然と人 2010 年度研究成果報告書, 地球研プロジェクト C-07, 72-79.
- Ohta, T., Maximov, T.C., Dolman, A.J., Natai, T., van der Molen, M.K., Kononov, A.V., Maximov, A.P., Hiyama, T., Iijima, Y., Moors, E.J., Tanaka, H., Toba, T., Yabuki, H., 2008: Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998–2006). *Agric. For. Meteorol.* 148, 1941–1953.
- Yabuki, H., Park, H., Kawamoto, H., Suzuki, R., Razuvaev, V.N., Bulygina, O.N., and Ohata, T. (2011): Baseline Meteorological Data in Siberia (BMDS) Version 5.0, RIGC, JAMSTEC, Yokosuka, Japan, distributed by CrDAP, Digital media.
- Yamazaki, T., 2001: A one-dimensional land surface model adaptable to intensely cold regions and its applications in Eastern Siberia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1107-1118.
- Yamazaki, T. H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta and T. Ohata, 2004: Water and Energy Exchanges at Forests and a Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a One-dimensional Land Surface Model. *J. Hydrometeorology*, 5, 504-515.
- Yamazaki, T., T. Ohta, R. Suzuki and T. Ohata, 2007: Flux variation in a Siberian taiga forest near Yakutsk estimated by a one-dimensional model with routine data, 1986-2000. *Hydrological Processes*, 21, 2009-2015, DOI: 10.1002/hyp.6708.

レナ川の河川流量の季節変化・経年変動とそれらの大気水循環との関係

大島 和裕

総合地球環境学研究所

1 はじめに

東シベリアに位置するレナ川流域に住む人々は、極寒で少雨・小雪の気候に適応した生活を営み、春の河川氷の融解に伴う洪水といった河川流量の変化や変動による影響を受けながらも、一方で夏の船舶による河川交通や冬の河川氷上の交通のようにうまく利用しながら暮らしている。レナ川は、このような住民生活に対する重要な役割だけでなく、北極海への淡水流入にとっての大きな供給源の1つである。レナ川の流量を含めた北極海への淡水流入は、北極海の水氷形成やヨーロッパの温暖な気候を形成している海洋のコンベアベルトにとって重要な役割を果たしている。北極海への淡水流入によって北極海表層には低塩分層が形成され、この安定な層によって鉛直混合が妨げられるため、海氷の形成しやすい状態が作られている。河川流量として陸域から北極海へ供給される淡水流入量は、大気から北極海へ供給される正味量である降水量と蒸発散量の差（正味降水量）のおよそ2倍に値する（Oshima and Yamazaki 2004）。シベリア3大河川（図1）の流量は、北極へ流入する全河川流量の約60%を占めており、海流を含めた全淡水流入量の約20%にも相当する¹。そのうちレナ川の河川流量は全淡水流入量の7%程度を占め、淡水の大きな供給源の1つである。もし、何らかの気候変動が起こり、このような北極海の淡水収支のバランスが崩れて、北極海と大西洋の間での淡水の流出入量が大きく変化したとすると、海洋コンベアベルトの駆動源である北大西洋での沈み込みに影響を及ぼし、ヨーロッパをはじめ各地の気候に大きな影響を及ぼすと考えられている。

シベリア3大河川（図1）における河口での流量には、各流域における降水量や蒸発量、永久凍土、北方林からの蒸散量が関わっている。河川流量と気候変動との関係を明らかにするためには、河川流量と正味降水量についての季節性を考慮した関係を明らかにし、その正味降水量をもたらす広域的な大気水循環を明らかにすることが重要である。しかし、シベリア3大河川を対象とした先行研究では、河川流量と正味降水量のみの関係、または正味降水量と広域的な大気水循環のみの関係については幾つかの調査がなされているものの、河川流量と正味降水量、広域的な大気水循環の3者をつなぐ物理プロセスを明確に示した研究はない。この一連の物理プロセスの解析が、過去の気候変動と河川流量変動との関係の解明にとって必要である。レナ川中流のヤクーツク周辺では、2005年から2008年にかけて洪水の拡大（酒井 2010）や降

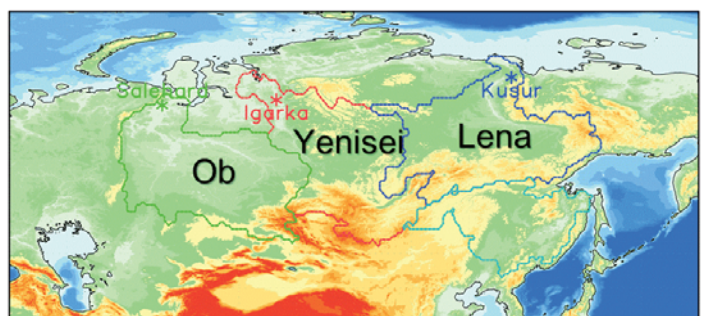


図1 レナ川、エニセイ川、オビ川の流域。実線は各流域の範囲、*は河口に近い観測点、色は標高を示す。

¹ Dickson et al. 2007 と Serreze et al. 2006 による北極海淡水収支に基づく見積もり

水量の増加、活動層の深まり (Iijima et al. 2010, Ohta et al. 2008) といった陸面水循環の変化が観測されている。これらの陸面水循環の近年の変化には、最近 10 年程度で顕著になった北極域の大きな気温上昇、いわゆる Arctic Amplification や北極海における海氷減少による影響、また北半球高緯度域では地球温暖化に伴う大きな気温上昇と降水量の増加が予測されていることから (IPCC AR4), 温暖化による影響が可能性として考えられる。一方で、この地域における大気の変動は自然内部変動が大きく寄与しており、近年の変化が自然内部変動の現れである可能性も十分に考えられる。最近発表された研究では、シベリアを含む北半球高緯度は自然内部変動の影響が大きいため、温暖化による影響の現れるのが遅い地域であるとの指摘もある (Mahlstein et al. 2011)。これらの考える影響の可能性については、きちんとした物理プロセスに基づく解析と議論が必要であり、過去の変動と近年の変化が同じ物理プロセスで引き起こされているのか、または近年の変化が過去とは異なる特異な現象であるのかを検討することが大事である。

以上のことを踏まえて、本研究では、過去 30 年間の観測データを用いて、レナ川を対象に河川流量の季節変化と経年変動を調べ、河川流量と正味降水量の関係を明らかにし、さらに正味降水量をもたらす大気水循環、すなわち広域的な水蒸気輸送とそれに関わる大気循環についての一連の物理プロセスを明らかにすることを目的とする。これらのレナ川を対象とした解析結果を、他のシベリア 3 大川であるオビ川、エニセイ川の結果と比較することでその特徴を明確にする。

2 使用データと解析方法

2.1 使用データ

河川流量は ArcticRIMS で提供されている 1979 から 2009 年までの月平均データを用い、大気再解析データは JRA-25/JCDAS (Onogi et al. 2007) の 1979 から 2011 年まで 6 時間ごとのデータを用いた。また、リファレンスとして PREC/L (Chen et al. 2002) の 1979 から 2011 年までの月平均降水量データを用いた。レナ川、オビ川、エニセイ川の各河川流域の範囲は、TRIP (Oki and Sud, 1999) による河川流域情報から決定した (図 1 の実線)。

2.2 解析方法

大気再解析データを用いて、鉛直積算した水蒸気フラックスと正味降水量を算出した。ここで水蒸気フラックスは大気中の水蒸気輸送を、正味降水量は降水量と蒸発散量の差で大気から陸面へ供給される正味の淡水流入量を意味する物理量である。正味降水量 (P-E) は、降水量 (P) と蒸発散量 (E) のデータを直接用いず、図 2 に模式的に示した大気水収支法から水蒸気フラックスと可降水量、すなわち大気の水蒸気量と風のデータを用いて見積もった (Oshima and Yamazaki 2004, 2006, Tachibana et al. 2008)。一般に観測に基づく広域的な蒸発散量のデータはなく、対象地域では地上観測点が少ないため、定量的に扱える精度の高い降水量データもない。よって、大気水収支法による正味降水量の見積もりが有効な手段となる (Oshima and Yamazaki 2004)。大気・陸面水収支を考えると、長期平均では流域で積算した正味降水量 (P-E) と河口での河川流量 (R) がほぼ等しくなる (図 2)。この関係を調べるため、正味降水量については各流域で面積重み付け平均によって流域平均の正味降水量を算出し、河川流量については各流域で河口に最も近い観測点の流量を流域面積で割って流域平均の河川流量を算出して、両者を比較した (Tachibana et al. 2008)。また、水蒸気輸送の特徴を明らかにするため、水蒸気フラックスを平均的な風によって水蒸気が運ばれる定常成分と、移動性

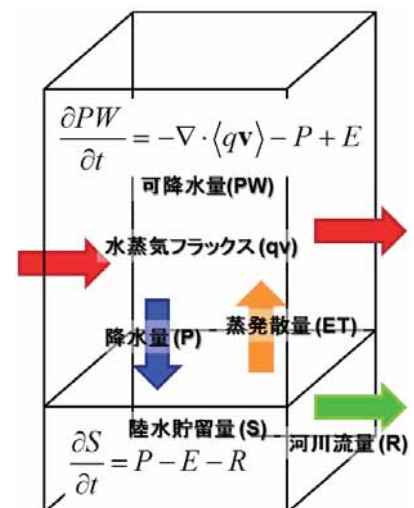


図 2 大気・陸面水収支の模式図

高・低気圧活動に伴って水蒸気が運ばれる擾乱成分の2成分にわけて解析を行った (Oshima and Yamazaki 2004, 2006, Tachibana et al. 2008)。定常成分は月平均データを用いて水蒸気フラックスを算出し、擾乱成分は全量と定常成分の差として算出した。

3 結果

3.1 長期平均の 대기・陸面水収支

1980 から 2008 年まで 29 年間で平均した河川流量 (R) と正味降水量 (P-E) を比べると、レナ川、エニセイ川、オビ川ともに正味降水量がやや小さい (20~30mm/year 程度) 傾向にあるが、河川流量の 1, 2 割弱程度でその差は小さい (表 1)。同じ手法で大河川を調べた先行研究では、大気再解析データから見積もった正味降水量が河川流量に対して大幅に過小評価になるケース (Tachibana et al. 2008) や正味降水量が負になるケース (Masuda et al. 2001) が報告されている。これらに比べ、本研究のシベリア 3 大河川の結果は定量的に良く一致した結果であるといえる。また、長期平均では正味降水量 (P-E) と水蒸気フラックス収束がほぼ等しいので、水蒸気フラックスを 2 成分に分けることで、正味降水量に対する各成分の水蒸気フラックス収束の寄与を調べた。レナ川では擾乱成分による水蒸気フラックス収束が正味降水量に大きく寄与する (表 1)。一方、オビ川では定常成分、エニセイ川では定常成分と擾乱成分の両方の水蒸気フラックス収束が正味降水量に寄与する。これらの結果は、それぞれの 3 大河川で正味降水量をもたらす水蒸気輸送の特徴が大きく異なることを示している。

表 1 1980~2008 年まで 29 年間で平均した河川流量 (R), 正味降水量 (P-E) と各成分 (全量, 定常成分, 擾乱成分) の水蒸気フラックス収束。単位は mm/year。

	河川流量 (R)	正味降水量 (P-E)	全量の水蒸気フラックス収束	定常成分の水蒸気フラックス収束	擾乱成分の水蒸気フラックス収束
Lena	231	204	204	59	145
Yenisei	224	200	200	113	87
Ob	165	133	133	128	5

3.2 季節変化

先行研究でも示されているように、レナ川の河川流量は 6 月にピークを示す (図 3a)。これには春の河川氷の融解に伴う急激な流量の増加が影響しており、オビ川とエニセイ川でも同じような季節変化を示す (オビ川とエニセイ川の図は省略)。レナ川流域での降水量は夏に最大を示す一方で、正味降水量は夏 (7 月) に極小を示す (図 3a)。広く北方森林に覆われたレナ川流域では夏に蒸発散量が大きく、降水量に匹敵する大きさとなり、これが正味降水量の極小に影響する。オビ川とエニセイ川においても同様に夏の蒸発散量が大きいため、正味降水量は夏に極小を示す。特にオビ川では蒸発散量が降水量を大きく上回るため、夏の正味降水量は負の値となる。長期平均の結果と同様に季節変化においても、レナ川の正味降水量には、主に擾乱成分の水蒸気フラックス収束が大きく寄与する (図 3b)。ただし、6, 7 月には定常成分による寄与のほうが大きい。また、オビ川では定常成分、エニセイ川では擾乱成分と定常成分の両者の水蒸気フラックス収束が寄与する。

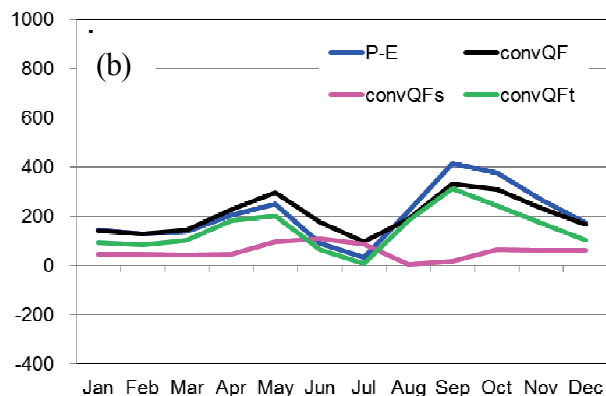
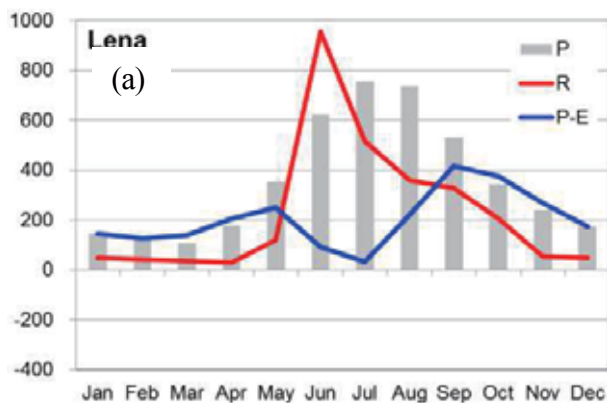


図3 (a) レナ川の河川流量 (R, 赤線) と正味降水量 (P-E, 青線) の季節変化。棒グラフは降水量 (P) を示す。(b) レナ川の正味降水量 (P-E, 青線) の季節変化と、全量 (黒線)、定常成分 (ピンク線) および擾乱成分 (緑線) の水蒸気フラックス収束の季節変化。単位は mm/year。

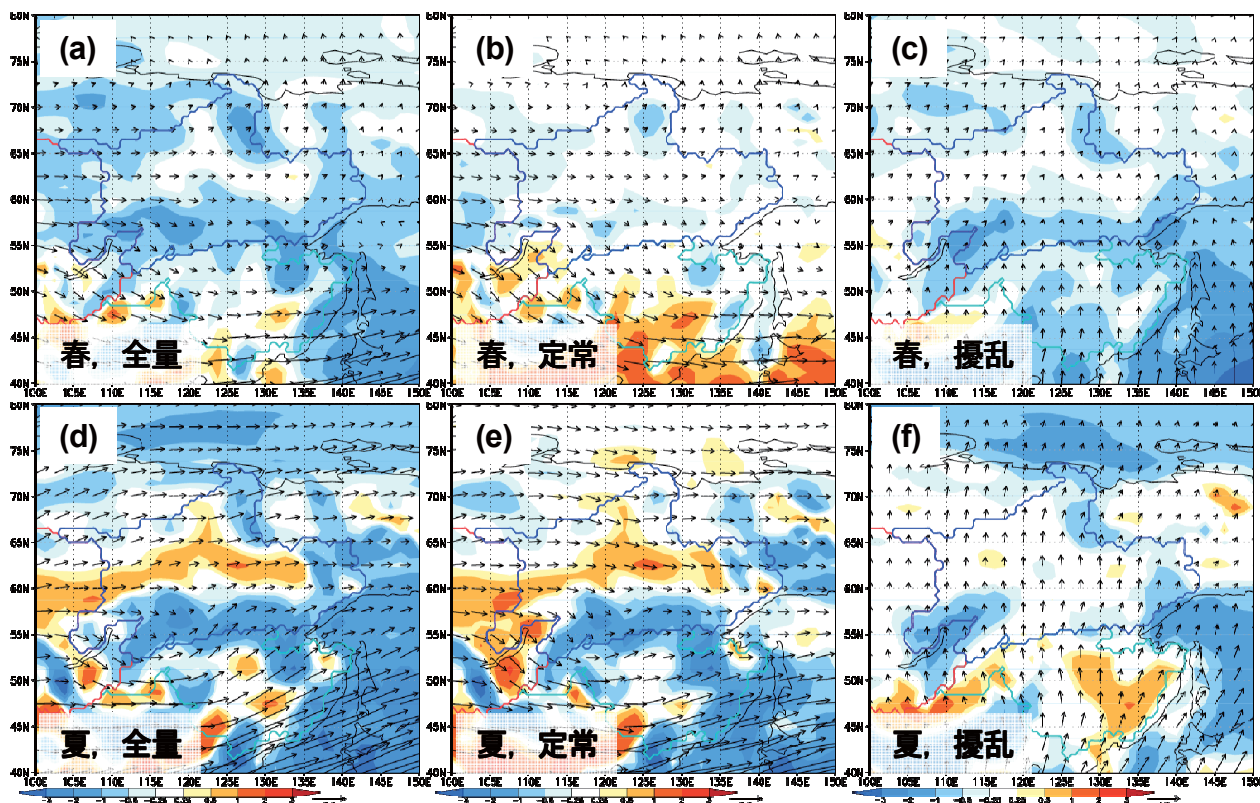


図4 東シベリア域における水蒸気フラックス (kg/m/s) とその収束 (mm/day)。a, b, c は春 (3 から 5 月までの平均) について, d, e, f は夏 (6 から 8 月までの平均) についての結果, a と d は全量, b と e は定常成分, c と f は擾乱成分の水蒸気フラックスの結果である。ベクトル是水蒸気フラックスを示し, 寒色是水蒸気フラックスの収束域で降水量が蒸発散量よりも大きい地域, 暖色はその発散域で降水量が蒸発散量よりも小さい地域を示す。青線はレナ川の流域を示す。

季節ごとの水蒸気フラックスとその収束の水平分布を調べると、レナ川では、年間を通して上流域と東端の地域で水蒸気フラックスが収束しており、その地域では降水量が蒸発散量を上回って正味降水量が正となる（図 4a, d, 春と夏について。冬と秋の結果は省略）。これらの地域は山岳域であり（図 1）、平均的に降水量が大きい地域（Takashima et al. 2009）である。春には、流域全体が収束域となり、特に上流と東側の山岳域で収束が大きい（図 4a）。この全量の収束には擾乱成分の収束が大きく寄与する（図 4c）。定常成分では西からの水蒸気輸送がみられるが（図 4b）、全量の収束に対する寄与は小さい。よって、春の正味降水量は低気圧活動に伴う南からの水蒸気輸送によってもたらされることがわかる。この特徴は冬と秋についても同様である。一方、夏には、他の季節と同じように上流と東側の山岳域で収束となるが、中・下流域では発散域となる。このため、季節変化の結果でみられたように、流域平均の正味降水量はほぼゼロとなる（図 3a）。上流域の収束には、定常成分による西と南からの水蒸気輸送が寄与し、バイカル湖の近くでは擾乱による寄与もみられる。流域の東側の収束には擾乱成分が寄与する。また、中・下流域の発散には定常成分による寄与が大きい。よって、夏は主に平均風に伴う水蒸気輸送が支配的であり、上流域では水蒸気フラックスが収束して正味降水量がもたらされ、中・下流域では発散域となる。このように、レナ川流域における正味降水量をもたらす水蒸気輸送には、擾乱成分の水蒸気フラックスによる寄与が大きく、これには季節ごとの低気圧の経路や活動の強さが大きく影響を及ぼす（Sorteberg and Walsh 2008）。

3.3 経年変動

幾つかの先行研究ではシベリアの河川流量が増加しているとの指摘もあるが、レナ川における最近 30 年間の年平均流量には顕著な増減のトレンドはみられず、統計的にも有意な変化はみられない。河川流量と正味降水量の経年変動の関係について、次の 2 つを考慮して調べた。まず、レナ川のような大河川では正味降水量としての大気から流域へ供給される淡水は河口に流れるまでにある程度の時間を要す、すなわち正味降水量と河川流量の変動には時間差が生じること、もう 1 つは、冬季に河川が凍結するため、冬の降雪は春の流量に影響することである。これらを考えて全ての期間の組合せを調べると、年平均の河川流量は前年 10 月から 9 月まで平均した正味降水量（これを年平均の正味降水量とする）と良く一致し、強い正の相関を示す（相関係数 0.86）。河川流量と同様に、年平均の正味降水量にも有意なトレンドは現れていない。河川流量も正味降水量も自然変動による変動が大きく、算出する期間によっては増減のトレンドを示すが、これらは見かけ上のトレンドであり、30 年やより長期的な変化傾向はみられない。年平均の正味降水量は 2005 から 2008 年に大きく、同期間に観測されたヤクーツクやその周辺における顕著な陸面水循環の変化との関係が示唆される。簡単な解析結果から、2005 から 2008 年にかけてヤクーツク周辺を含めたレナ川の中・上流域の東側において気温が高く、湿潤な状態であったため、正味降水量が大きかったのではないかと考えられる。

4 まとめと今後の課題

レナ川、エニセイ川、オビ川、それぞれの河口で観測された河川流量と大気再解析データ（JRA25/JCDAS）を用いて見積もった各流域での正味降水量は定量的に良く一致した。レナ川の流量は、春（6 月）にピークを示し、一方で正味降水量は夏の大きな蒸発散量を反映して夏に極小を示した。レナ川の正味降水量の季節変化には、主に低気圧活動に伴う擾乱成分の水蒸気フラックスによる寄与が大きく、6、7 月には定常成分が寄与する。これに対して、オビ川では定常成分、エニセイ川では定常成分と擾乱成分の両者が寄与する。レナ川における年平均の河川流量の経年変動は同流域での年平均の正味降水量の変動と良く一致しており、この両者に顕著なトレンドはみられない。2005 から 2008 年の正味降水量はレナ川の中・上流域の東側において大きく、これには気温が高く、湿潤な状態が影響していたと考えられる。

今後は、季節ごとの解析や、正味降水量の変動の原因を解明するための解析を行う。また、これまでは JRA25/JCDAS のみの大気再解析データを用いた解析であったが、より定量的な検証と議論を行うため、それ以外のデータセット (NCEP/NCAR2, ERA40) や、最近公開された新しいデータセット (NASA ; MERRA, NCEP ; CFSR, ECMWF ; ERAI) を用いて解析を進める。最後に紹介した経年変動については、現在解析を進めており、今後さらなる解析を進めていく。

参考文献

- Chen, M., P. Xie, J.E. Janowiak and P.A. Arkin, 2002: Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations, *J. of Hydrometeorology*, 3, 249-266.
- Dickson, R., B. Rudels, S. Dye, M. Karcher, J. Meincke and I. Yashayaev, 2007: Current estimates of freshwater flux through Arctic and subarctic seas, *Progress In Oceanography*, 73, 3-4, 210-230, doi:10.1016/j.pocean.2006.12.003.
- Fukutomi, Y., H. Igarashi, K. Masuda and T. Yasunari, 2003: Interannual Variability of Summer Water Balance Components in Three Major River Basins of Northern Eurasia. *J. Hydrometeor.*, 4, 283-296.
- Iijima, Y., A.N. Fedorov, H. Park, K. Suzuki, H. Yabuki, T.C. Maximov and T. Ohata, 2010: Abrupt increases in soil temperatures following increased precipitation in a permafrost region, central Lena River basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 30-41. doi: 10.1002/ppp.662.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, 996pp.
- Mahlstein, I., R. Knutti, S. Solomon and R.W. Portmann, 2011: Early onset of significant local warming in low latitude countries. *Environ. Res. Lett.*, 6, doi:10.1088/1748-9326/6/3/034009.
- Masuda, K., Y. Hashimoto, H. Matsuyama and T. Oki, 2001: Seasonal cycle of water storage in major river basins of the world, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3215-3218, doi:10.1029/2000GL012444.
- Ohta, T., T.C. Maximov, A.J. Dolman, T. Nakai, M.K. van der Molen, A.V. Kononov, A.P. Maximov, T. Hiyama, Y. Iijima, E.J. Moors, H. Tanaka, T. Toba and H. Yabuki, 2008: Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998-2006). *Agricultural and Forest Meteorology* 148 :1941-1953.
- Oki, T., and Y.C. Sud, 1998: Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP)—A Global River Channel Network. *Earth Interact.*, 2, 1-37.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis, *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 3, 369-432. doi:10.2151/jmsj.85.369.
- Oshima, K., and K. Yamazaki, 2004: Seasonal Variation of Moisture Transport in the Polar Regions and the Relation with Annular Modes. *Polar Meteorology and Glaciology*, 18, 30-53.
- Oshima, K., and K. Yamazaki, 2006: Difference in seasonal variation of net precipitation between the Arctic and Antarctic regions. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L18501, doi:10.1029/2006GL027389.
- 酒井徹, 2010年12月: 地球温暖化によるレナ川流域の洪水被害の拡大—宇宙からの監視. *Arctic Circle* 77, 14-17.
- Tachibana, Y., K. Oshima and M. Ogi, 2008: Seasonal and interannual variations of Amur River discharge and their relationships to large-scale atmospheric patterns and moisture fluxes. *J. Geophys. Res.*, 113, D16102,

doi:10.1029/2007JD009555.

Takashima, H., A. Yatagai, H. Kawamoto, O. Arakawa and K. Kamiguchi, 2009: Hydrological balance over northern Eurasia from gauge-based high-resolution daily precipitation data, M. Taniguchi (Eds.), *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management*, Taylor & Francis, 37-42.

Serreze, M. C., A. P. Barrett, A. G. Slater, R. A. Woodgate, K. Aagaard, R. B. Lammers, M. Steele, R. Moritz, M. Meredith and C. M. Lee, 2006: The large-scale freshwater cycle of the Arctic, *J. Geophys. Res.*, 111, C11010, doi:10.1029/2005JC003424.

Sorteberg, A., and J. E. Walsh, 2008: Seasonal cyclone variability at 70°N and its impact on moisture transport into the Arctic. *Tellus A*, 60: 570–586. doi: 10.1111/j.1600-0870.2008.00314.x.

北極圏の陸域における植物純生産量に対する活動層変動の影響

朴 昊澤
海洋研究開発機構

1 はじめに

北極域は地球の気候システムにおいて重要な役割を果たしている。しかし、温室ガスなどの増加により北極システムにおいても様々な変化が生じている。北極解氷の減少、永久凍土の低下及び陸域の植生の変化などが対表的な変化である。

凍土は北半球面積の 25%を示し、その面積は $23 \times 10^6 \text{ km}^2$ に達する (IPA)。凍土の中には多量の氷、炭素及びメタンなどがストックされているが、気温上昇による凍土の融解によって炭素とメタンが分解されて大気に放出し、気温上昇にまた正のフィードバックがかかっている。また、凍土の融解による地下水の融解は地表面の湿潤の原因になり、土壤の熱伝導及び貯留量を増やし、凍土の融解を加速させるとともに地表面の水文プロセスに変化をもたらしていることが地上観測及びモデリング研究を通して明らかになった。凍土は夏に融解し、冬期に凍結する季節変化を表す。その中で夏期に融解する深さを表す活動層は水文プロセスと生化学的プロセスに大きな影響を与える。活動層の増加は地温上昇の結果である。地温の増加は土壤内に炭素とメタンの分解を促進しそれらの放出に寄与する。一方、活動層の増加は土壤水分を増加させ、水分ストレスを抑制して蒸発散量と光合成のアップにまた寄与する。ここで、地温増加による活動層の増加が二酸化炭素の放出と光合成の増加の両者のどの方により寄与するのかを知ることが我らの大きな関心の一つである。

陸面過程モデル CHANGE (Park et al., 2011) を北極の陸域 ($>45^\circ$) に 1948–2006 の期間に適用して、活動層の変動が植物の純生産量 (net primary productivity, NPP) に及ぼす影響を評価した。その結果を報告する。

2 モデル及びデータ

陸面過程モデル CHANGE は 4 つのカプーラ (陸面プロセス、canopy physiology、vegetation phenology 及び植生の動態プロセス) で構成されている。モデルの詳細については Park et al.(2011)を参考してほしい。ここでは凍土と炭素収支プロセスを簡単に説明する。モデルは土壤 30.5m を 15 層に分けてその層内での水と熱の変動を計算する。モデルにより推定された地温と各グリッドの土質に基づき土壤水分の融解・凍結による液体水と氷の量を推定する。推定された各層の地温の元で 0°C になる深さを活動層とした。これから言及する活動層は季節変化の中でその深さが最大になったときを意味する。

NPP は光合成による二酸化炭素の吸収量と植物の生長時に発生する呼吸量の差である。

光合成は Farquhar biochemical model (Farquhar et al., 1980) と Ball-Berry conductance model (Collatz et al., 1991) の組み合わせにより時間ステップ毎に計算される。コンダクタンスモデルの中では土壤水分のストレスを表すパラメータがカップリングされていて、降水量及び凍土融解によって変動する水分の影響が評価できるようになっている。

モデルのシミュレーションのために Hirabayashi et al. (2008)によって構築された $0.5 \times 0.5^\circ$ のデータセット H08 を使用した。モデルの計算には、日単位の気温、降水量、日射量、比湿、及び風速をその要素毎に異なる内挿法を用いて 3 時間スケールで計算を行った。

3 結果及び考察

3.1 活動層の空間分布

計算された地温の元で推定した凍土域は IPA (International Permafrost Association) が作成したマップと比較を行った。その結果、両者がよく一致することを図 1 が示す。シベリアの南部、モンゴルの北部に対してモデルが凍土域を過大評価する傾向がある。59 年間活動層は一部の地域を除いてほとんどの地域で増加トレンドを示す。気温増加が活動層の増加に寄与していたことが明らかである。活動層の増加及び凍土域の減少への気温増加の影響は現地観測及びモデル研究からも確認されている。

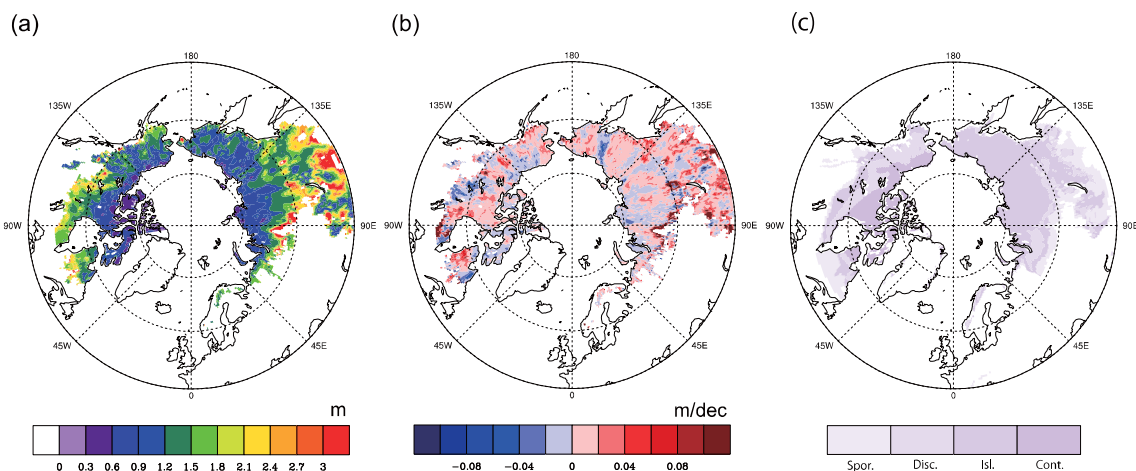


図 1. 計算された 1948–2006 間の活動層の平均値 (a) と同期間でのトレンド (b)、及び IPA の凍土マップ (c)

3.2 NPP の時空間分布及びトレンド

過去 59 年間 (1948–2006) の凍土域における NPP の平均値とそのトレンドを図 2 に示した。凍土域における 59 年間の NPP の平均値は $482.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。NPP は緯度の減少とともに増加の傾向がある。シベリアにおいては $>60^\circ\text{N}$ の地域の NPP は全体的に増加トレンドを示している。北アメリカにおいても増加トレンドの地域の面積が減少域より大きい。減少トレンドは凍土の南限域で著しい。北極海の沿岸域で NPP が増加傾向にあることが特徴的である。Bhatt et al. (2010) は 1982–2008 間の衛星イメージ解析を通して北極海沿岸域において NDVI (normalized difference vegetation index) が増加していたことを明

らかにした。その増加は北極の解氷の減少による気温増加と関係があると指摘した。本モデル計算結果では、NPP は気温増加と正の関係があるが地域また植生タイプによってそのトレンドが異なることを表している。

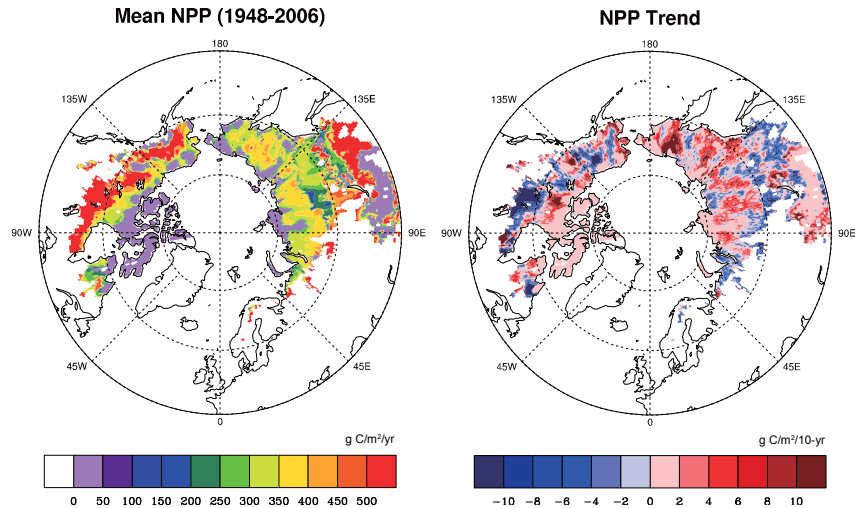


図 2. 59 年間の NPP の平均値 (左) とそのトレンド (右) の空間分布

3.3 NPP への影響因子

NPP は多数の気候及び水文プロセスの影響を受けている。そのため、NPP の変化にはその地域の気候及び水文環境の特性が反映されている。ある地域の NPP と影響因子との関係が他の地域にも適用できることではない。そのため、ユーラシアと北アメリカの両大陸において NPP の変動に影響する因子を調べた。NPP に影響する因子として考えられる気温、活動層、積雪深と NPP の経年変化を図 3 に示した。

ユーラシアと北アメリカの NPP は類似な経年変化を示している。1950 と 1980 年初と 2000 年以降増加していた。特に、温暖化の傾向が強い 1990 年以降の NPP の増加傾向は両地域で明確である。その NPP の経年変化は気温及び活動層の変化と密接な関係がみられる。特にシベリアにおける NPP の変化パターンは活動層のパターンとよく似ている。そのような関係は北アメリカにおいても同様である。1990 年以降の NPP の増加は気温と活動層の影響を強く受けていたことが可視的にも確認できる。言及した部分を統計的に証明するため、NPP と変数との 21 年 running 相関をまとめた。その結果を図 4 で表す。ユーラシアと北アメリカにおいて NPP は気温及び活動層と高い相関を示している。その関係は 95% の信頼度で有意性が全期間で認められた。北アメリカでは NPP への活動層の寄与は気温よりその相関が高かった。ユーラシアにおいても 1980 年以降、NPP への活動層の影響は気温より高かった。

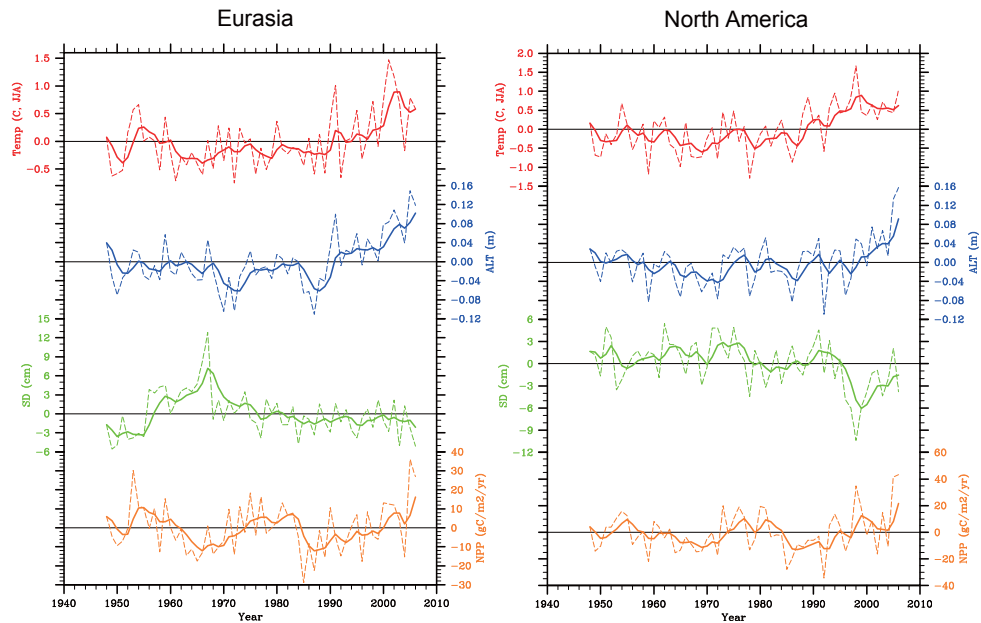


図 3. ユーラシアと北アメリカの凍土域における NPP に影響する因子の経年変化

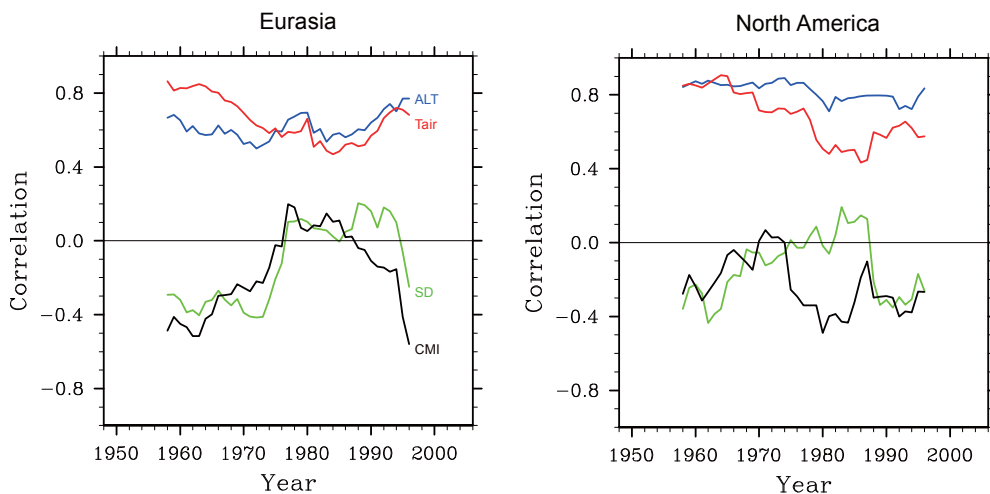


図 4. ユーラシアと北アメリカの凍土域における NPP と気温 (Tair)、活動層 (ALT)、積雪深 (SD) 及び気候学的水分指数 (CMI) 間の 21 年 running 相関の経年変化。

ユーラシアと北アメリカの両地域において減少トレンドを示す積雪深は NPP と負の相関を示している (図 4)。積雪深が深い時 NPP は減少していた。ここで、積雪深と NPP との関係は NPP と植物の生長期間との関係であることを間接的に示唆する。積雪深の大きさが生長期間と直接つながることではないが、積雪深が深い場合、融雪が遅れて植物の生長期間が短くなることを示唆する。1990 年以降両地域において NPP と積雪深の負の相関が大きくなっていることは、前述した説明を証明する。積雪深の減少が著しかった北アメリカで、NPP に対する積雪深の影響が明確にみられる。積雪深の減少は土壤への水分供給の減少が考えられる。しかし、融雪時に土壤は飽和に近い状態を一般的に保つ。積雪深が減少したとしてもその減少量が土壤水分に大きく影響するほどではない。さらに、春以降進行する土壤の融解は土壤水分を増大させ NPP に寄与したことが時空間分布からも認めら

れる（図 5）。活動層が深い場所と期間において土壌水分も増加傾向にあった。活動層の増加は一次的に凍土融解による液体水の増加につながる。二次的には活動層の増加は水分貯留量の増加を示唆する。結果的には水分ストレスを抑制させて NPP の増加に寄与する。極域において夏期の蒸発散量は降水量を上回る特性がある（Park et al., 2008）。そのため、土壌は乾燥する。降水量は一次的にその乾燥の緩和に配分されるため、流出量への降水量の寄与が減少する（White et al., 2007）。

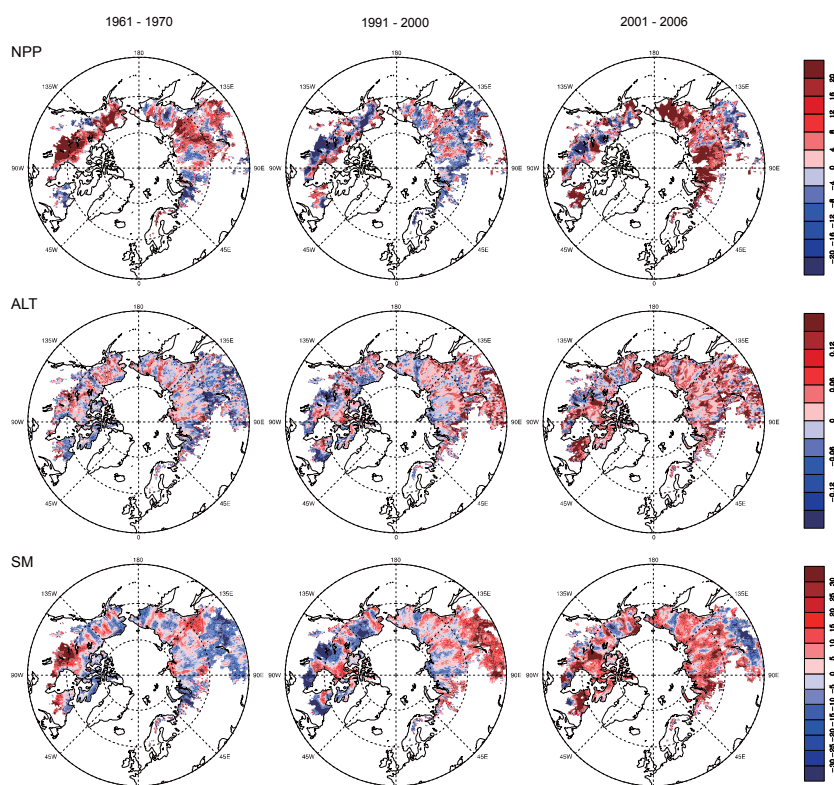


図 5. 凍土域における NPP、活動層（ALT）及び土壌水分量（SM）の時空間分布の変動

活動層は多数の要素の影響により変動して、また NPP に影響している。北極域は地球温暖化の影響を今後強く受けると予測している。温暖化が進行する場合、凍土の低下も進行すると予想される。当時に、温暖化による大気中の CO₂ 濃度の増加は光合成と直接的に比例関係に至る。そのため、将来の NPP の潜在的増加が予測できる。しかし、凍土融解と土壌水分の湿潤とは比例関係にあると決して言えない。ある閾値または次期を超えた場合、乾燥に変わることも想像可能である。この部分については温暖化シナリオ実験などを通して更なる研究を進めるべきである。

4 まとめ

地球温暖化の影響を著しく受けている北極陸域では凍土の低下、活動層の増加及び積雪深の減少傾向が陸面過程モデルのシミュレーションによって確認された。これらの変動は NPP の増加に寄与していたことが明らかになった。特に、活動層の増加は、土壌水分の増

加による水分ストレスを減少させて光合成の増加による NPP の増加に寄与したことが分かった。また、積雪深の減少も植物の生産に貢献したことも確認した。今後予想される温暖化においても、積雪深の減少や凍土の低下などが予想される。そのため、この研究を通して得られた結果は将来の北極域の変化を予測する上で多くの情報提供ができる。

参考文献

- Bhatt, U. et al. (2010) Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline, *Earth Interaction*, 14, doi:10.1175/2010EI315.1.
- Collatz, G. et al. (1991) Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis, and transpiration: A model that includes a laminar boundary layer, *Agric. For. Meteorol.*, 54, 107-136, doi:10.1016/0168-1923(91)90002-8.
- Farquhar, G. et al. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species, *Planta*, 149, 78-90, doi:10.1007/BF00386231.
- Hirabayashi Y. et al. (2008) A 59-year (1948-2006) global near-surface meteorological data set for land surface models. Part I: Development of daily forcing and assessment of precipitation intensity. *Hydrol. Res. Lett.* 2, 36-40.
- Park H. et al. (2008) Tempo-spatial characteristics of energy budget and evapotranspiration in the eastern Siberia, 148, doi:10.1016/j.agrformet2008.06.018.
- Park H. et al. (2011) The application of a coupled hydrological and biogeochemical model (CHANGE) for modeling of energy, water, and CO₂ exchanges over a larch forest in eastern Siberia, *J. Geophys. Res.*, 116, D15102, doi:10.1029/2010JD015386.
- White D. et al. (2007) The arctic freshwater system: Changes and impacts, *J. Geophys. Res.*, 112, G04S54, doi:10.1029/2006JG000353.

分布型水文モデルにおける流出モデルの改良

八田 茂実

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科

1 はじめに

北極海は、地球の熱循環・水循環を考える上で非常に重要な部分を担っている。北極海は北アメリカ大陸とユーラシア大陸に囲まれており、その集水域は極めて大きいものとなる。北極海に流入する河川水量は、ユーラシア大陸に位置するレナ川やエニセイ川といった世界的な大河川がその大半を占めている。

Peterson et al. (2002) は、ユーラシア大陸に位置し北極海に注ぐレナ川やエニセイ川などの6つの大河川からの流量が、1936年から1999年の期間で約7%増加したとしている。また Yang et al. (2002) は、レナ川流域について1935年から1999年の気温・降水・流量・河川氷厚・活動層厚の資料から、冬期間の流出量が増加していることや融雪流出の時期が早まっているなどの傾向を示すとともに、レナ川の水文過程の変化は、主に近年のシベリアの温暖化による凍土の状態と密接に関係していると報告している。

この温暖化が水循環に及ぼす影響を把握し、過去から未来にかけての変動を検討するためには、長期間にわたって計算を行うことが必要である。Ma et al. (2000) は、北極圏のレナ川を対象に陸面モデルと流出モデルに河川結氷の効果を加えた水文モデルを開発し、観測流量を再現できることを示した。しかし試行錯誤的に設定するモデルパラメータが多いといった点で、長期間にわたる計算が難しいと考えられる。著者ら(2009) は、レナ川流域を対象に陸面モデルに流出モデルと河川結氷モデルを加えた水文モデルを提案し、観測流量を概ね再現できることを示している。しかしながら、著者ら(2009)の研究は、河道網のグリッドサイズが細かいため長期間にわたる計算が難しい点や、流出成分を流域全体に一樣にかつ全期間一定に分離して計算しているなど、将来にわたる温暖化などの影響を考える場合には、必ずしも十分なものではない。

本研究では、北極圏のレナ川流域を対象に、これまで著者らが提案してきた分布型水文モデルにおいて、経験的に扱われてきた部分を極力排除すること、汎用性を高めることを目的として、モデルの改良を行う。

2 分布型水文モデルの概要

本研究では、対象流域で緯度方向に降雨分布が大きく異なること、また降雨が時空間的に大きく変動することを考慮して分布型の水文モデルを用いることとした。図1に水文モデルの構成を示す。

水文モデルは、植生の影響や積雪・凍土などを取り扱うことのできる陸面モデルと、陸面モデルにより計算される土壌からの流出水を河道網上で洪水追跡する流出モデルの2つによって構成される。以下ではそれぞれのモデルについて概説する。

2.1 陸面モデル

使用したモデルは Yamazaki et al. (2004) によって開発された2層モデル(2LM)と呼ばれるもので、植生上下2層、積雪、土壌のサブモデルから構成され、これを 0.5° グリッドに分割した対象流域の各グリッドに適用している。各グリッドには Clapp & Hornberger (1978) によって8タイプに分類した植生および土壌特性を与え、土

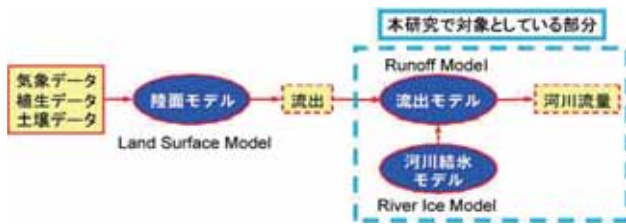


図-1 分布型水文モデルの構成

表-1 土壌タイプ別の飽和透水係数及び空隙率

land-cover types	$k_s (\times 10^6 \text{m/s})$	θ_s
tundra	176.0	0.40
taiga/boreal forest	34.6	0.43
cool deciduous conifer forest	6.95	0.45
cool deciduous broad-leaved forest	6.30	0.42
cool mixed forest	7.20	0.49
grassland	1.28	0.48
permanent wetland	1.03	0.49
permanent snow and ice	7.00	0.45

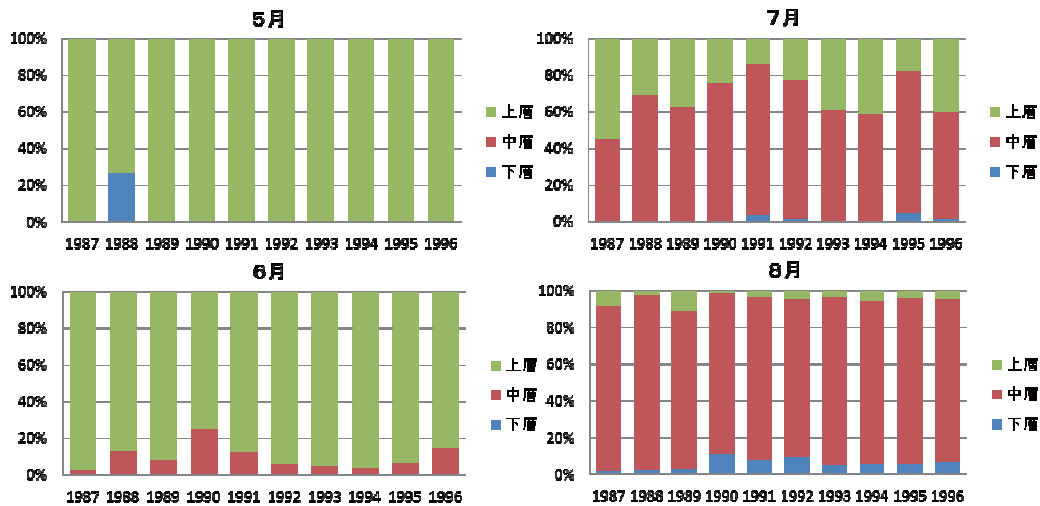


図-2 陸面モデルで計算された土壌水の流域平均深度別流出量の割合(1987年-1996年)
(地表から0~52cmを上層, 52~122cmを中層, 112~192cmを下層とする)

壤の空間分布を考慮している. 表1は分類された8タイプの土壌とその特性値である. また, 気象データはSuzuki and Ohata(2003)によって提供されている77ヶ所の地点データを, 近距離補完法により日単位のフォーシングデータセットを構築し, 陸面モデルへの入力値としている. なお, 利用するデータは降水量, 日照時間, 最高・最低気温, 湿度および風速である. 陸面モデルの詳細に関しては, Park et al.(2008)を参照されたい.

陸面モデルでは, 土壌が飽和して発生した余剰水が各グリッドで深度別に計算されており, この余剰水が流出モデルの入力値となる. 土壌層は表層のみ2cm, 表層以下の19層は各10cmの計20層に分割されている. 図2は陸面モデルで計算された深度別流出量の流域平均値を, 地表から2~52cmを上層, 52~122cmを中層, 122~192cmを下層というように便宜的に3つに分けて各層の流出割合を示した. なお, 第1層目である表層は表面流出とみなすものとして, ここには含めていない. 図2より, 全期間において5月から6月にかけては上層からの流出割合が多く, 逆に7月から8月にかけては特に中層からの流出割合が多く, 更に7月では, 観測年によって変動がみられる. このことから, 対象としているレナ川流域は, 土壌中の深さ方向の流出が季節によって大きく変動することがわかる.

3.2 流出モデル

本研究では流出モデルとして, 河道網上の洪水追跡によるモデルを採用した. この洪水追跡には, 陸ら(1989)の河道追跡スキームを採用し, 流域をグリッド化して各グリッドを仮想的な河道で連結した河道網を作成し. これを介して流域下流端までの洪水流の追跡を行った. 洪水流の追跡方法には, kinematic wave法を採用した. なお, 河道は矩形断面とし, 河道幅は集水面積の関数で与えることとした. 一方, 対象流域では冬期間河川は結氷

し、春先の解氷とともに大きな洪水を引き起こすという重要な流出特性を有する。本研究では、河道中の水量から結氷厚の増分に見合う水量をその地点に保留し、結氷厚が減少すれば減少に見合う水量を上流からの流入量に加えて流下させる。そして、水面にも壁面と同じ粗度を与えて非結氷部分を流下させることとした。なお、河川結氷のモデルの詳細は前年度の報告書(八田(2011))を参考にされたい。

本研究では、温暖化などの環境変動にも対応可能なモデルの構築を目的としている。温暖化などの環境変動を捉えるためには、長期間にわたる計算を行う必要がある。八田ら(2009)の流出モデルでは、グリッドサイズが細かいため計算量が膨大になり、長期間にわたって広い領域の計算を行うことは困難である。このため本研究では、河道網のグリッドサイズを5'グリッドから陸面モデルと同じ0.5°グリッドに変更することで計算量の軽減を図ることにした。なお使用した河道網は、Oki et al.(1998)が全球を対象に作成した0.5°グリッドの河道網である。図3に、レナ川流域の0.5°グリッドの河道網を示す。図4、図5はそれぞれ、0.5°グリッドの河道網とこれまでにレナ川で作成している5'グリッドの河道網により求められた流域内の主要地点の集水面積、流域出口までの距離を比較したものである。図で明らかのように、集水面積および流域出口までの距離は、いずれも一致していることを確認した。

更に本研究では、陸面モデルで計算される余剰水がグリッド内の河道に至るまでのプロセスを遅れとして考慮する変換過程モデル(以降「グリッド集中モデル」と呼ぶ)を導入している。陸面モデルと流出モデルは、図6に示すようにグリッド集中モデルによって結合される。直接流出成分と基底流出成分の2成分がグリッド内の河道に至るまでの変換過程のモデルは、山田(2003)が斜面流出過程を集中化して導出した次式のような貯留関数型のモデルを用いる。

$$\frac{dq_*}{dt} = \alpha_0 q_*^\beta (r - q_*) \quad (1)$$

ここで、 q_* は流出高、 α_0 および β は流域流出特性パラメータ、 r は降雨強度である。

山田(2003)によれば、直接流出成分にManning則、基底流出成分にDarcy則を用いると上式の α_0 および β は次のように表される。

Manning 式の場合、

$$\alpha_0 = \frac{5}{3} \left(\frac{\sqrt{i}}{nL} \right)^{3/5}, \quad \beta = \frac{2}{5} \quad (2)$$

Darcy 則の場合、

$$\alpha_0 = \frac{k_s i}{L \theta_s}, \quad \beta = 0 \quad (3)$$

ここで、 i は斜面勾配、 L は斜面長、 n は粗度係数、 k_s は飽和透水係数、 θ_s は空隙率である。



図-3 レナ川流域の0.5°グリッドの河道網

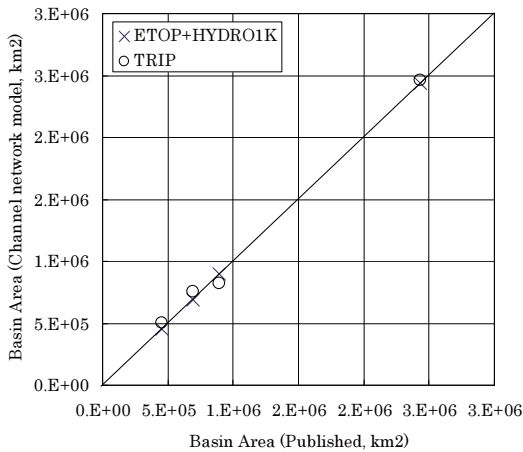


図4 流域内主要地点の集水面積の比較

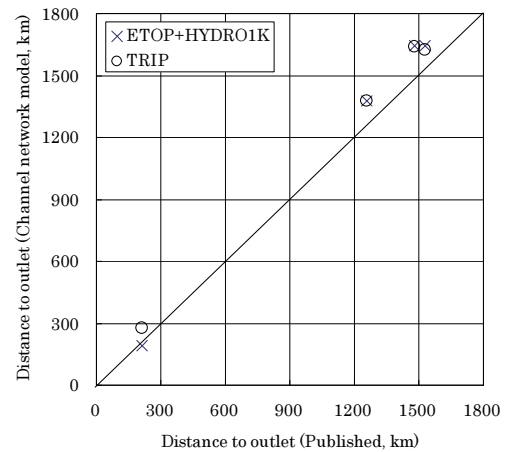


図5 流域内主要地点の流域出口までの距離の比較

八田ら(2009)のモデルでは計算を簡単化するため、陸面モデルで深度別に計算されている流出水を一旦合計した上で、観測流量を再現できるように試行錯誤的に求めた一定率を与えて、直接流出成分と基底流出成分の2成分に再分配する方法をとっていた(以降「旧モデル」とよぶ)。しかし、図-2に示したように、土壌からの流出は、深さ方向に流出に寄与する割合が季節によって大きく変動し、今後起こりうる環境変動にも対応するためには、こうした点も考慮する必要がある。このため、旧モデルで行われていた陸面モデルからの流出成分を便宜的に一定割合で分配する方法ではなく、各層で計算されている流出成分それぞれを流出モデルに組み込むこととした。具体的には、深度別に計算されている流出成分のうち、1層目を表面流とみなしてManning則を適用し、以下の層は地中流とみなしてDarcy則をそれぞれの層に適用した。なお、式(2)および(3)の各係数は、飽和透水係数および空隙率については表1の陸面モデルと同じ値をグリッドごとに与え、粗度係数は水理公式集を参考に山林の0.7(m-s)を、斜面勾配および斜面長については実測流量が再現できるように決定し、 $i=10^\circ$ 、 $L=50m$ として全グリッドに一定値を与えている。



図6 陸面モデル，グリッド集中モデル，流出モデルの関係

さらに冬季期間中については、陸面モデルで計算されている全20層の土壌温度を用いて、土壌凍結についても考慮することとした。具体的には、凍土中も水が移動することが知られているため、土壌がある温度以下になると土壌凍結が発生し、グリッド集中モデルから河道への流出を停止させるプロセスを組み込むこととした。

3 モデルの適用と流出量の算定結果

以上のようにして改良されたモデルをレナ川流域に1986年から1996年まで連続的に適用した。これまでのモデルとの比較を行うため、旧モデルによって計算した結果を図7に、今回の改良モデルで計算した結果を図8,9に示す。図8,9の計算結果は、グリッド集中モデルから河道への流出を保留する土壌温度(凍結温度)の相違によるもので、それぞれ、0度、-1度とした場合の結果である。冬期間の流量がやや多めに計算されているものの、全体としては旧モデルによる計算結果は良好である。今回の改良モデルでは春から秋にかけては実測流量を概ね

再現でき、特に保留温度を0度とした場合では初冬の流量の急激な低下をよく再現している。しかし、冬期間は凍結温度を-1度に設定した場合は凍結温度を0度としたものよりは改善されるものの、実測流量よりもかなり小さな値が計算されており、冬期流出を再現できているとは言い難い。

流量の再現結果だけを見れば、旧モデルは計算が容易で、なおかつ全体的に良好な結果を提供できるといった点で有利である。これに対し、今回のモデルは冬期間の再現性に問題は残されているものの、土壌深さ方向の流出割合を季節的に変化させることもでき、将来の気候変動等にも利用できるといった点で有利である。現在、1996年の計算までしか行っていないが、2000年以降の降水量が増加した状態での計算を行い、更に検討を進める必要がある。旧モデルでは、これを減衰係数の小さな貯留型モデルで土壌凍結に関係なく長期間流出させることで冬季流量を保証しているのに対し、改良モデルでは凍結した場合に流出モデルへの入力を保留したため、冬期間の流量が小さな値となった。あくまでモデルでの計算結果で、新たな観測結果を待たなくてはならないが、場合によっては、地表近くの土壌以外の流出システムを考える必要もある。

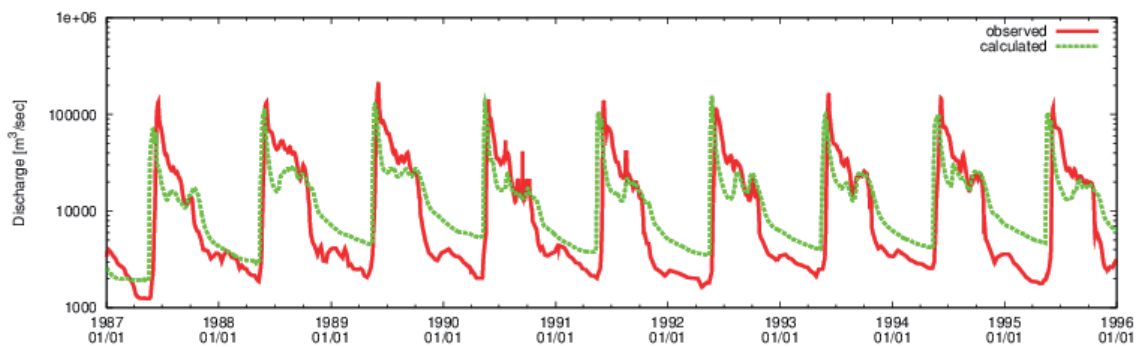


図-7 旧モデルでの流出量算定結果 (1987年-1996年)

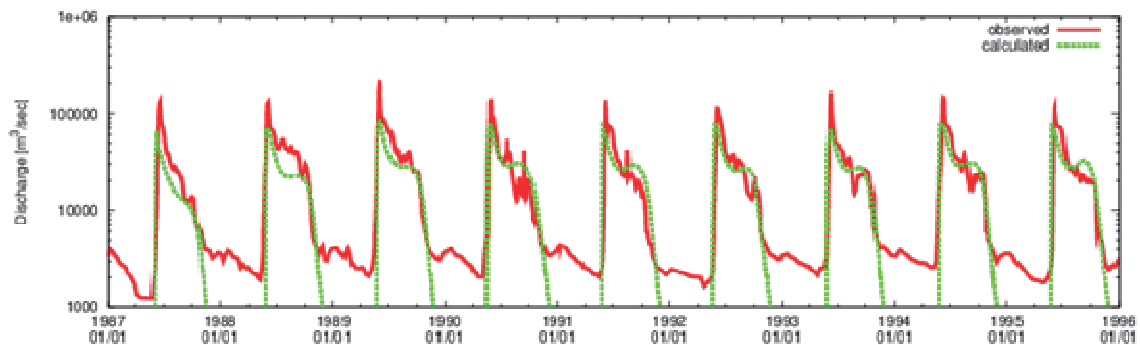


図-8 改良モデルで土壌温度を0度とした場合の流出量算定結果 (1987年-1996年)

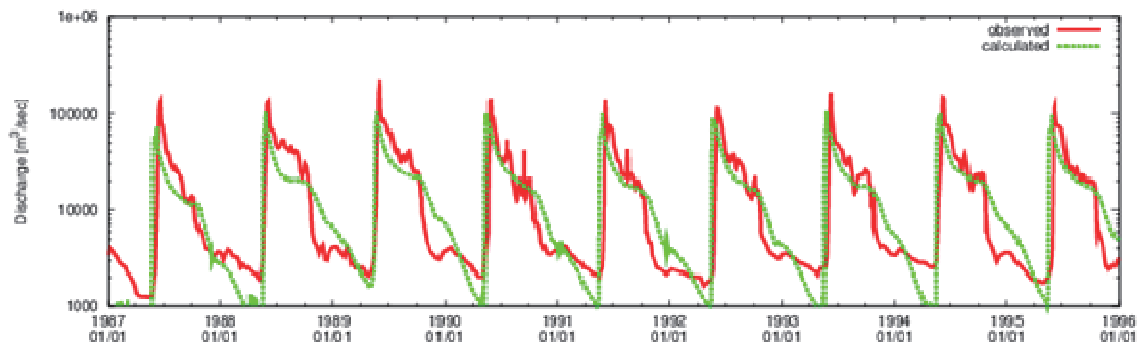


図-9 改良モデルで土壌温度を-1度とした場合の流出量算定結果 (1987年-1996年)

4 おわりに

本研究では、これまで筆者らが提案してきた分布型水文モデルにおいて、経験的に扱われてきた部分を極力排除すること、汎用性を高めることを目的として、モデルの改良を行った。具体的には、

- 1) 長期間、広範囲にわたっての計算を実現するため、使用する河道網を陸面モデルと同じ 0.5° グリッドに粗視化した。
- 2) 陸面モデルからの流出水が河道に至るまでの変換過程を表現するグリッド集中モデルを各グリッドに配置すること。
- 3) グリッド集中モデルを陸面モデルで土壌深さ方向に計算されている流出成分にそれぞれ対応させ、土壌の凍結までを含めて深さ方向の流出成分を考慮すること。

を行った。この結果、春から秋にかけては実測流量を概ね再現でき、特に保留温度を 0 度とした場合には初冬の流量の急激な低下をよく再現できたものの、冬期間は実測流量よりもかなり小さな値が計算されており、冬期流出を再現できているとは言い難い。しかし、別の視点から考えると、陸面モデルで計算されている流域への入力値は、たかだか地表から深さ約 2m までの土中水で、冬期間の流出は、別の流出システムを考慮すべきとも考えることもできる。何れにしても、モデルでの計算上の話であり、今後の観測結果を待って、更なる改良を加える必要がある。

参考文献

- Clapp RB, Hornberger GM. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.* 14, 601-604.
- 八田茂実・早川博・朴昊澤・山崎剛・山本一清・太田岳史, 分布型水文モデルによるレナ川流域の長期流出解析, *水文・水資源学会誌*, 22(3), 177-187, 2009.
- 八田茂実, 分布型水文モデルにおける河川の結氷日・開票日の推定とその検証, *地球研プロジェクト C-07 2010 年度研究成果報告書*, 105-110, 2011.
- Ma X, Fukushima Y. 2002. A numerical model of the river freezing process and its application to the Lena River, *Hydrological Processes*, 16, 2131-2140.
- Park H, Yamazaki T, Yamamoto K, Ohta T. 2008. Tempo-spatial characteristics of energy budget and evapotranspiration in the eastern Siberia, *Agr. For. Met.*, 148, 1990-2005.
- Peterson BJ, Holmes RM, McClelland JW, Vorosmarty CJ, Lammers RB, Shiklomanov AI, Shiklomanov IA, Rahmstorf S. 2002. Increasing River Discharge to the Arctic Ocean, *Science*, 298(5601), 2171-2173.
- Oki T, Sud YC. 1998. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP) - A global river channel network, *Earth Interactions*, 2.
- 陸旻皎・小池俊雄・早川典生, 分布型水文情報に対応する流出モデルの開発, *土木学会論文集*, 411/II-12, 139-144, 1989.
- Suzuki R, Ohata T. 2003. Dataset for Water and Energy Cycle in Siberia Version 1, Published by GAME-Siberia.
- 山田正, 山地流出の非線形性に関する研究, *水工学論文集*, 47, 259-264, 2003.
- Yamazaki T, Yabuki H, Ishii Y, Ohta T, Ohata T. 2004. Water and energy exchanges at forests and a grassland in eastern Siberia evaluated using one-dimensional land surface model, *J. Hydrometeorology*, 5, 504-515, 2004.
- Yang D, Kane DL, Hinzman LD, Zhang X, Zhang T, Ye H. 2002. Siberian Lena River hydrologic regime and recent change, *Journal of Geophysical Research*, 107(D23), 4694, doi:10.1029-2002JD002542.

フォーシングデータの構築

山本 一清

名古屋大学 大学院生命農学研究科 生物圏資源学専攻

1 はじめに

本研究では、CREST プロジェクトにおいて BMDS (Baseline Metrological Data Set) ver.4 により作成したフォーシングデータ(1986年~2004年)を更新し、BMDS (Baseline Metrological Data Set) ver.5 による本プロジェクトの対象域の長期広域フォーシングデータの作成及びその評価を目的とした。

2 対象地域及び方法

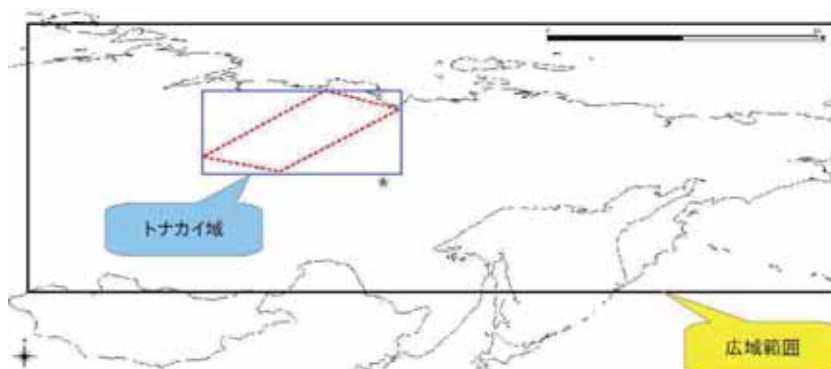


図1. フォーシングデータ構築範囲(広域範囲:黒枠、トナカイ域:赤枠)

本研究では、フォーシングデータの構築範囲(図1)として、広域範囲(北緯:50度~80度、東経:90度~180度、グリッドサイズ:0.5度)及びトナカイ域(北緯:63度~73度、東経:109度~131度、グリッドサイズ:1/60度)を設定し、表1に示した項目について BMDS (Baseline Metrological Data Set) ver.5 を用いてフォーシングデータの構築を行った。また、広域範囲については、CREST プロジェクトにおいて BMDS ver.4 を用いて構築したフォーシングデータとの比較も行った。

フォーシングデータの作成においては、以下の2つの手法による日単位の GRID データの構築を検討した。

補間方法(V1): スプライン補間 (GMT: surface コマンド)

補間方法(V2): 日単位で緯度・経度・標高を従属変数とする重回帰式を求め、GTOPO30で広域化(気温のみ)また、構築したフォーシングデータの有効性を検討するため、平均気温(Ta)については MODIS 衛星画像から算出された Surface Temperature (daily)プロダクト及び ArcticRIMS (<http://rims.unh.edu/>) において公開されている日平均気温の全球データとの比較を行った。

表1. フォーシングデータの構築

項目	
名称	内容
Ta	平均気温
Tmin	最高気温
Tmax	最低気温
Psum	日降水量
WVP	平均蒸気圧
AWS	平均風速
SLAP	平均海面気圧
SD	積雪深
VPD	Saturation deficit value
DL	Day length
S	Amount of solar radiation
L	下向き長波放射量

3 結果及び考察

図2のとおり、BMDS ver.5における重回帰式（目的変数：日平均気温、従属変数：緯度・経度・標高）の決定係数は(R^2)は低く、補間方法としては適切ではないと考えられた（図2）。したがって、フォーシングデータの構築においては、補間方法(V1)のみを採用することとした。

まず、確認のため BMDS ver.4 及び BMDS ver.5 における観測点の位置座標を確認したところ、一部に僅かの位置座標の違いが見られたが、殆ど大きな違いは確認できなかった。ただ、東端近くの2点については、BMDS ver.4には存在したが BMDS ver.5には存在しなかった（図3）。この2点については、BMDS ver.4におけるこの2点の経度座標の符号を逆にした位置に、BMDS ver.5の対応する観測点の記録が見られたことから、BMDS ver.4における位置座標の記録ミスであると考えられた。また、BMDS ver.4 及び BMDS ver.5 による補間方法(V1)の広域フォーシングデータの比較（日平均気温）では、上記の2点の周辺では両者間の相関係数（R）も相対的に低く、両者間の差異の標準偏差も比較的大きかった（図4）。また、西北端近辺においても両者間の差異の標準偏差が比較的大きかったが、これは BMDS ver.5 では本研究の広域範囲外において BMDS ver.4 よりも多くの観測点が追加されていたことに起因するものと考えられる。

また、MODIS 衛星画像から算出された MODIS Surface Temperature (daily)プロダクトと BMDS ver.5 の観測データとの比較では、両者の差異は3.5度以内が大部分を占めていた（図5）。さらに、BMDS ver.5によるフォーシングデータと ArcticRIMS において公開されている日平均気温の全球データの比較においては、BMDS ver.5によるフォーシングデータの方が MODIS Surface Temperature (daily)プロダクトとの差異が小さい箇所が多く、大部分が6度未満の差であった（図5）。MODIS Surface Temperature (daily)プロダクトと BMDS ver.5 の観測データとの比較結果を考慮すると、日平均気温としては BMDS ver.5によるフォーシングデータは ArcticRIMS において公開されている日平均気温の全球データよりも有効な値を示しているものと推察された。

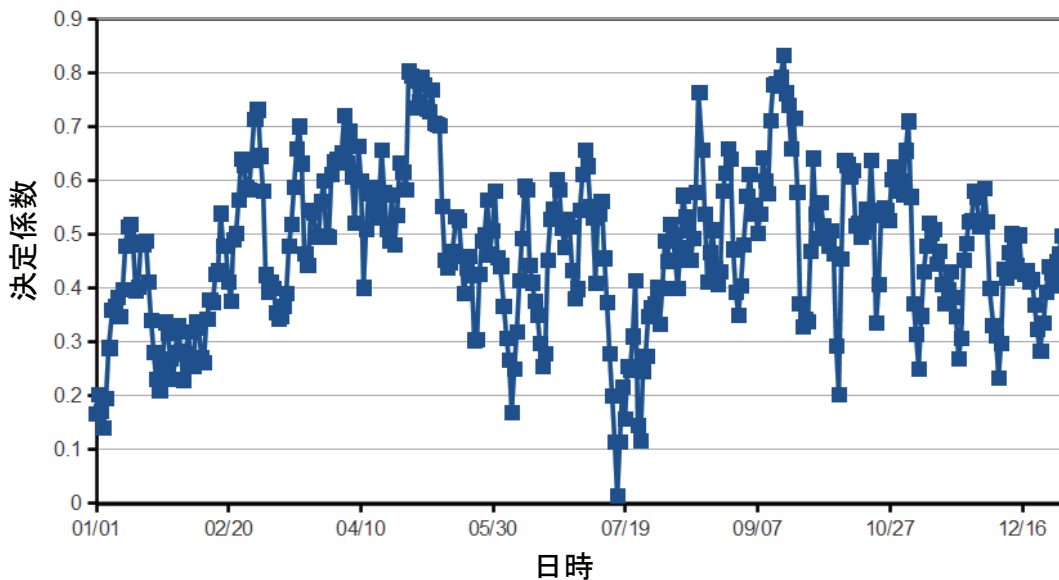


図2. 補間方法(V2)における重回帰式の決定係数(目的変数:日平均気温、従属変数:緯度・経度・標高)

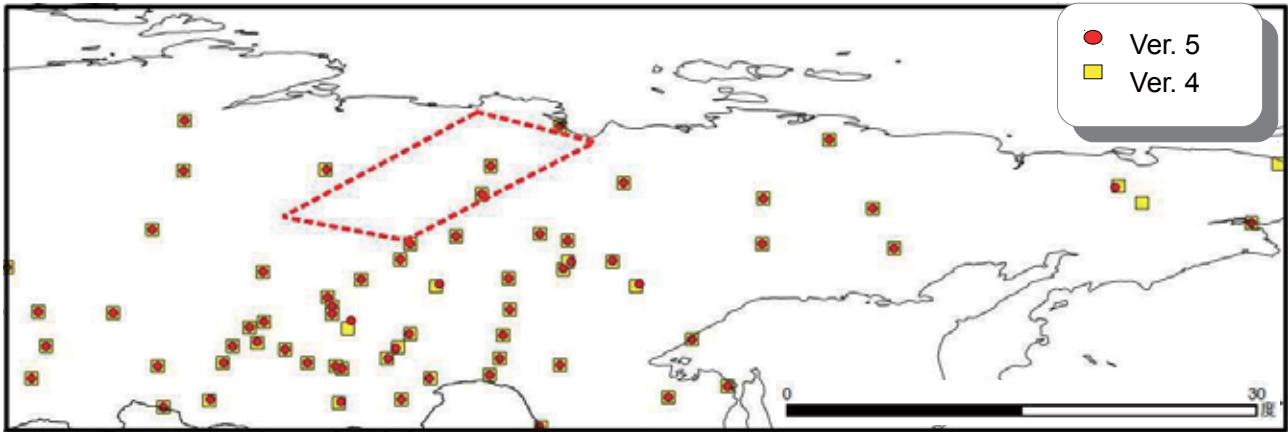


図3. 広域範囲内の BMDS (Baseline Metrological Data Set) 観測点位置 (赤色 : BMDS ver.5、黄色 : BMDS ver.4)

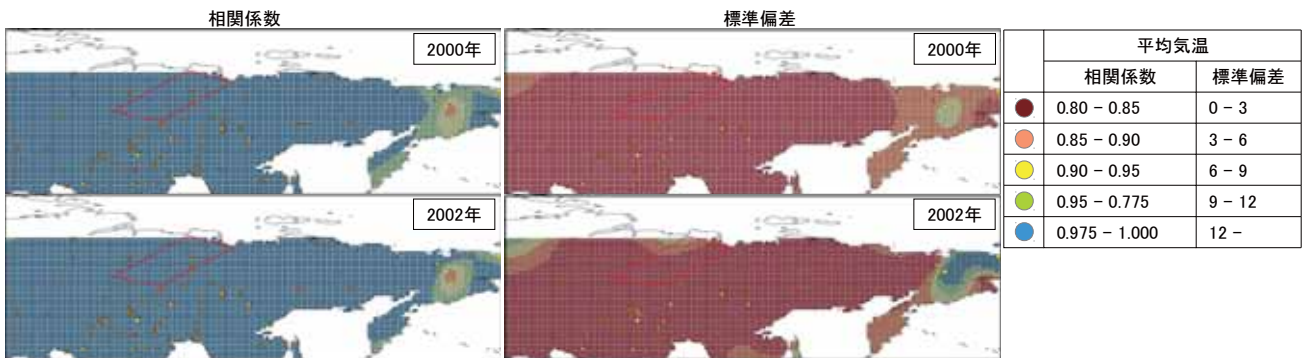


図4. 広域範囲フォーシングデータ(日平均気温)の新旧比較(新: BMDS ver. 5、旧: BMDS ver. 4)

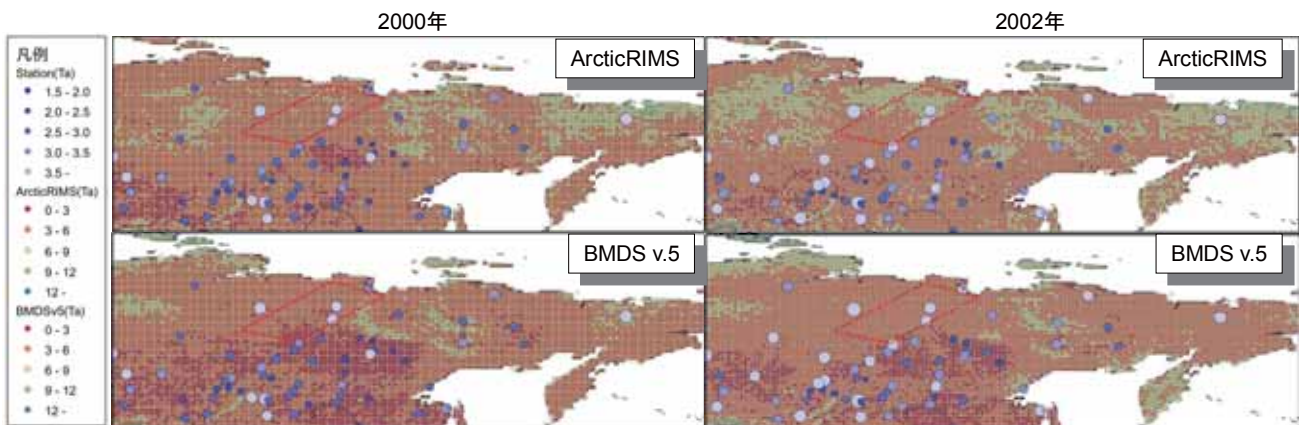


図5. MODIS Surface Temperature (daily) と広域範囲フォーシングデータ(BMDS ver.5)及び ArcticRIMS 公開データ 間の比較(日平均気温の差の年平均値)

なお、図中の○記号は、観測点(station)における MODIS Surface Temperature (daily)とフォーシングデータ(BMDS ver.5)の平均気温差の年間平均値を示す

トナカイ移動ルートに関わる環境因子の検討

山本一清

名古屋大学 大学院生命農学研究科 生物圏資源学専攻

1 はじめに

本研究では、野生トナカイの移動が、どのような因子により規定されるのかを検討するため、地形及び衛星データを利用し、広域的な環境因子と野生トナカイの移動ルートとの関係を比較検討した。

2 対象地域及び方法

立澤先生(G3)提供の2010夏～2011年初旬における野生トナカイ5頭のGPSトラッキングデータによる移動範囲(東経112度～128度、北緯64度～72度)及びその周辺地域を対象として、以下の因子と野生トナカイの移動ルートについて比較を行った。

1) 地形

GTOPO30(Global 30 Arc Second Elevation Data Set)により、対象域の流域解析から集水域(水系)を推定し、トナカイの移動ルートとの関係を比較検討した。

2) 火災域

MODIS Thermal Anomalies & Fire 8-day Composite (約1km解像度)プロダクト(LP DAAC)を利用し、2001年～2010年までの対象域内の火災域を抽出し、トナカイの移動ルートとの関係を比較検討した。

3) 植生タイプ

MODIS Land Cover Type Yearly (約500m解像度)プロダクト(LP DAAC)を利用し、衛星データから推定された植生タイプ(IGBPクラス)との関係を比較検討した。ただし、同プロダクトは、2008年までのデータしか公開されていないため、最新の2008年のデータを利用した。

4) 植生指標(NDVI)

MODIS NDVI 16-day Composite (約250m解像度)プロダクト(LP DAAC)を利用し、2010年における年間最大NDVIを算出し、トナカイの移動ルートとの関係を比較検討した。

5) 森林変化

昨年度の成果を応用し、MODIS NDVI 16-day Composite (約250m解像度)プロダクト(LP DAAC)の時系列解析を行い、2001年～2010年における対象域内の森林変化域を推定し、トナカイの移動ルートとの関係を比較検討した。

3 結果および考察

各因子と移動ルートとの関係を図1～5に示す。火災域(図2)及び森林変化(図5)については、移動ルートとの間に関係性は見られなかったが、地形及び植生との間に一定の傾向性が見られた。つまり、地形としては、集水域近辺を中心

に移動しており(図1)、また植生的には主として草地や低木域での移動が多く見られた(図3)。また、落葉針葉樹林帯においても移動する個体が見られたが(図3)、大部分は年間最大 NDVI が相対的に低い箇所を移動しており、落葉針葉樹林帯であっても林縁や樹木の比較的少ない箇所を移動しているのではないかと推察された。また、全体的に年間最大 NDVI との比較においては、年間最大 NDVI が 0.7 前後の箇所における移動が大半を占めており、移動ルートの推定においては有効な指標の一つとなりうる可能性が考えられた。今後、より高解像度の地形及び衛星データを利用し、さらに詳細な検討を行う予定である。

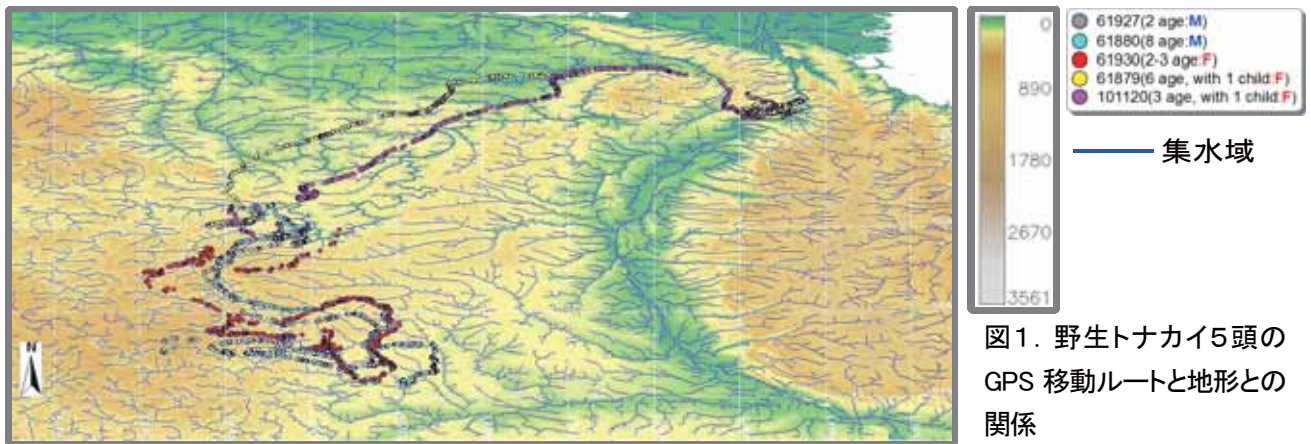
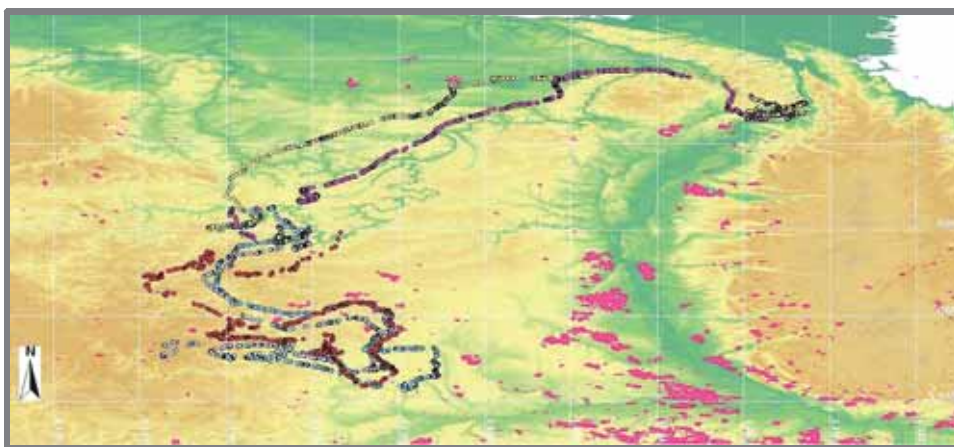


図1. 野生トナカイ5頭のGPS 移動ルートと地形との関係



■ 火災域

図2. 野生トナカイ5頭のGPS 移動ルートと火災域(2001年～2010年)との関係

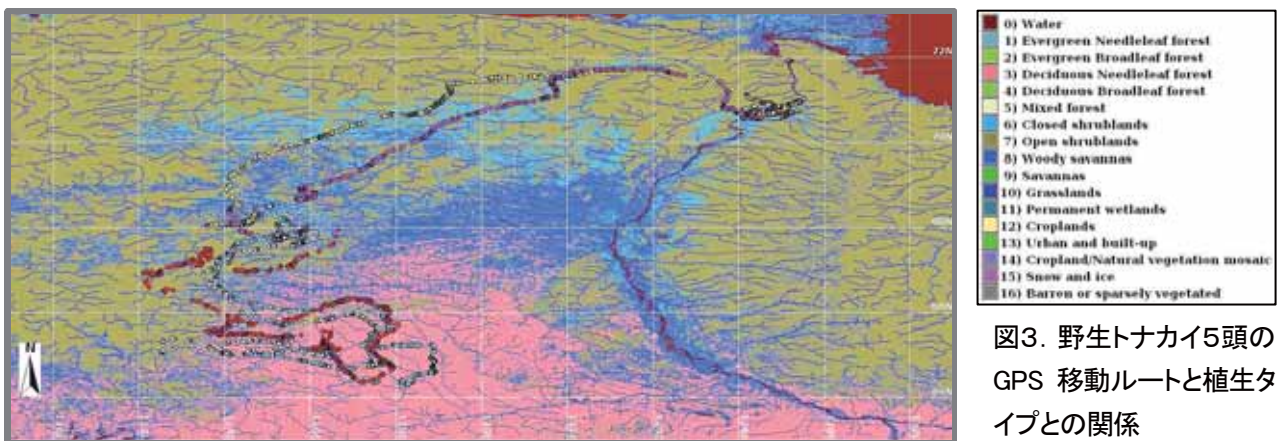


図3. 野生トナカイ5頭のGPS 移動ルートと植生タイプとの関係

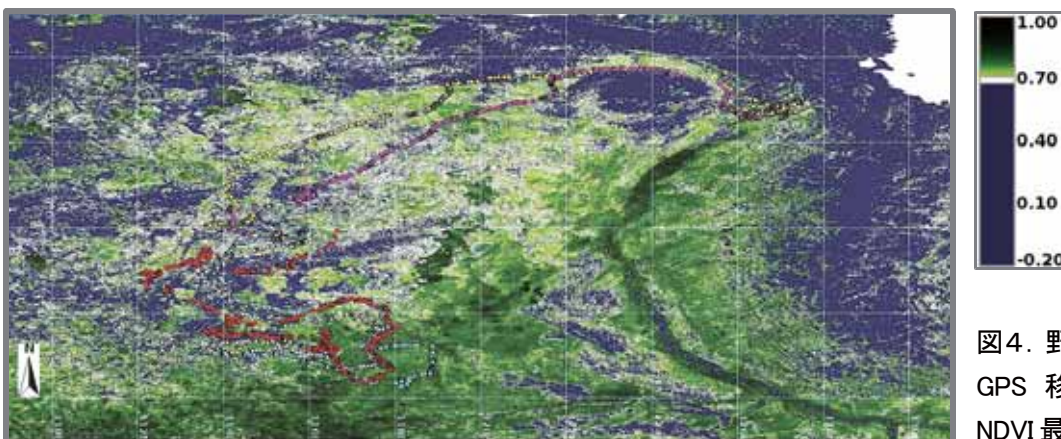
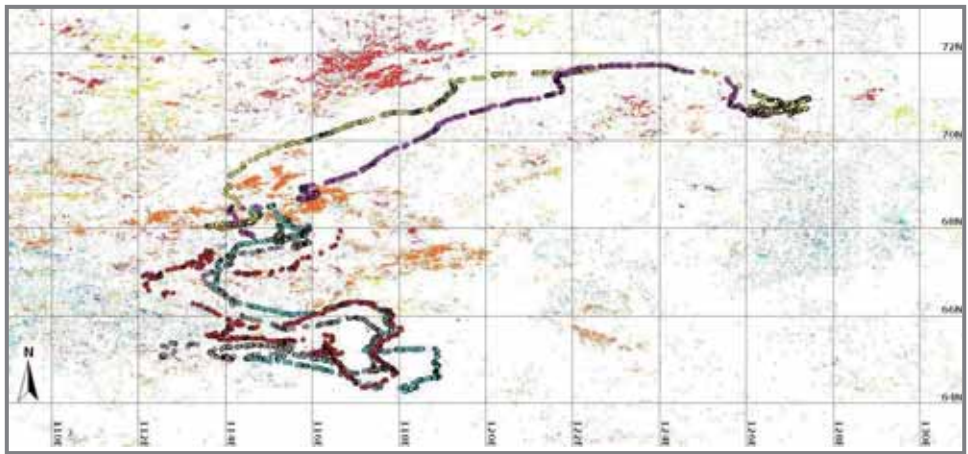


図4. 野生トナカイ5頭のGPS 移動ルートと年間NDVI 最大値との関係



森林変化年

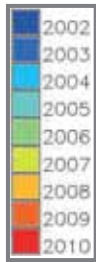


図5. 野生トナカイ5頭のGPS 移動ルートと森林変化域との関係

G 3

【グループ 3 : 人類生態グループ】

G3a (氷結水環境チーム) 活動要約

高倉 浩樹

東北大学 東北アジア研究センター

温暖化による気温変動の幅の変化や不規則化を、「凍結水環境」で生きる人間の生活の仕組みから分析する。具体的には前年度同様に(1)近代公共システムと(2)民俗システム・在来知の二つからアプローチした。

(1)近代公共システムへの影響:(ア)河川の凍結融解に関わる河川工学的検証(奥村)と(イ)冬道路を含む交通運輸体系の歴史(ボヤコワ)という課題をたてて分析した。昨年度までに、奥村は氷結水環境における公共システム=冬道路システムがどのような条件で温暖化が直接影響しうるのか、どのような条件なら温暖化の影響が出ないのかを解明することで、現地公共システムに対する土木計画的観点からの評価を試みてきた。その成果はすでに昨年度までにおいて報告されている。それをふまえ、今年度は北海道の天塩川などの凍結する河川を用いて、いかなる条件で凍結、融解するのか河川工学的な分析をおこなったことである。とくに融解の際にいかなる過程でアイスジャム洪水が発生するのかについての分析をおこなった。その結果を用いてレナ川のアイスジャム洪水の発生メカニズムの解明につなげる予定である。

(2)民俗システムへの影響・在来知の対応度:(ア)雪解け洪水を日常としてきた地域社会で形成された洪水をめぐる在来知を記録化する(高倉)、(イ)現在おきている雪解け洪水被害はいかなるものか(高倉)、(ウ)水文学的観点からの雪どけ洪水研究概観(高倉)、(エ)適応と災害研究史概観(高倉)という課題の分析を中心に行った。

それぞれの進捗状況と今後の課題について、(ア)についてはレナ川中流域住民から川の凍結と融解および洪水についての民俗語彙を収集しその整理と分析を行った。今後はそれらのさらなる分析を行うとともに、語彙体系が住民の認識および行動にどのようにかかわっているのかを現地調査を含めて調査・解明することである。

(イ)については、2005年から2009年の現地新聞記事を分析することで、洪水における流水の動きと洪水発生との相関関係を明らかにした。その結果洪水被害はおおよそ6つの類型に分けることがわかった。ここから得られた最も重要な知見は、「アイスジャム洪水は本来的には河川流域の水源の活性化という意味をもつこと。洪水被害は単なるアイスジャム洪水によって引き起こされるのではなく、それ以外の要因が複合的に重なりあうことで発生する」という仮説を得られたことである。今後の課題は、新聞記事の洪水被害の件数が他の報告書と比べると少ないのでその記事の妥当性についてより判断を行うこと、その上で上記の仮説を水文学や衛星画像分析と合わせて検証することである。(ウ)については、人類学者の立場から水文学においてアイスジャム洪水についての一般的知見がどのようなものか特にカナダの事例を中心に、文献研究をおこなった。(エ)を通して、本研究課題を進めていく上で、重要な方法論的枠組みは災害研究における適応概念をもちいることが有効であることを確認したことである。

今後の課題としては(1)の冬道路システムの歴史についてロシア側の研究者の知見をふまえて、総合的な記述をおこなうことである。その上で、河川の融解とアイスジャムメカニズムに関する知見をもちいて(1)と(2)双方のアプローチを統合する方法を開発することが重要である。なお、G3aの班員の奥村と高倉は、東北大学に所属しており2011年3月11日東日本大震災で研究施設・設備に大きな被害を被った。現時点でも奥村は仮研究室での勤務であり、高倉は2011年12月に元の研究室に戻った。これらのため当初予定していた研究活動が十分進展しなかった点も否めない。

地球温暖化の人類学における適応概念メモランダム

高倉 浩樹

東北大学 東北アジア研究センター

要旨

適応という概念は、気候変動による人間社会への影響分析において重要な概念である。一方、文化人類学においても適応という概念は、ある変化する環境に対して集団や個人が様々な対応を行う現象を理解するために用いられてきた。本稿の目的は、この双方の分野において適応がいかなる概念として用いられてきたのかを明らかにする。そのことを踏まえて、気候変動とりわけ地球温暖化の人類学という研究課題において、現地調査をともなう人類学者が利用可能な適応概念を提示する。

1 はじめに

気候変動についての人類学的研究は近年英語圏を中心に急速に拡大している分野である。地球規模で観察される気候現象の変化は、世界各地でさまざまな形となって人間社会に影響を与える。人類学者はいままでもなく世界のあらゆる場所でその社会に入り込みながら調査を行ってきた。この事実は同時に、地球規模の気候変動がそれぞれの局所的な地域社会にいかなる影響を与えるのか記録できることを示している。地球温暖化問題がどのような社会文化現象となって出現するのか、その具体的実態がいかなる広がりをもつものなのか解明することが人類学に期待されているのである。

この背景にあるのは、地球温暖化問題をめぐる近年の国際政治の基調にある。自然科学者によって警告されてきたこの問題を解決するための国際的交渉が、さまざまな主体と場面で実施されるようになってきている。そこでは、既存国家の内政への影響はもちろんのこと、個別の地域社会のあり方も左右するような政策が、単に二国間でなく、多国間の枠組みのなかで合意すべきだとされている。地球規模で連関する気候変化という自然現象と、グローバル化した政治的意志に巻き込まれる局所的な地域社会という構図が生成されている。温暖化問題というのが地域の生活現場で出現することを想定すれば、その対応を政治的に決定するためにも、個別の現状を知ることは必要なのである。この点で、地球温暖化にあって人類学者が担える役割は比較的明確に他の分野と区別されるとすらいえる。

本稿で行おうとするのは、こうした気候変動研究分野の文脈なかで頻繁に言及される「適応」という概念を人類学研究のなかに定位することである。いうまでもないが、日本の人類学のなかにあっても、「適応」は基本的な分析概念であり、多くの研究において利用されてきた。近年におけるその一つの典型的な例は、世界システム論における局所的社会の対応を説明する際に用いられた「翻訳的適応」であろう（前川 2000）。これは、巨大な政治経済体系に巻き込まれる際に一方的に小社会は影響をうけるだけでなく、それぞれの文化的背景を踏まえた主体的な対応があり、それを理解するための概念である。これに対し、気候変動研究で適応が用いられるとき、多くの場合、それは地球温暖化問題に対応する対策や政策のことを含意している。両者を比べると、一

見二つは似て非なるもののような印象をえるほど異なっている。端的に言えば、現在の人類学の適応概念では、気候変動研究の成果を踏まえた形で、地球温暖化の影響を分析することはかなり難しいと思われるのである。

そこで本稿では、気候変動研究の「適応」と人類学の「適応」概念について簡単な研究史展望し、人類学者が気候変動という研究領域のなかで「適応」をどう使えるのかを既存の研究を踏まえながら一定の方向性を提示するための考察を行いたいと思う。以下は、そのための研究ノート（レジメ）である。人類学において「適応」概念がどのように使われてきたか学説史を概観する。その上で気候変動研究での「適応」概念を紹介し、両者の間の関係を探っていく。さらに災害研究も視野に入れることで、気候変動の人類学においてどのように「適応」概念を用いればいいか、暫定的なまとめを提示する。

2 人類学における「適応」概念

2.1 外部変化への対応

- ・ 文化人類学：文化の全体性の記述と構造的な理解→静的モデル（非時間的概念）
 - ・ 例：R.ベネディクト『菊と刀』：「恥」「義理」の文化（時代を超えたモデル）
 - ・ 「伝統の創造」論以降、文化を歴史的な文脈のなかで構築物として想定
 - ・ 外部からの影響で既存の社会が変化：この変化に個人やコミュニティはどのように対応するのか？
 - ・ 「適応」：変動する状況に対応して、個人の行動や集団的行為がいかんにか実施されるのか、慣習の変容を引き起こすのかを、既存の文化・社会の仕組みを考慮しながら記述する際のものである。
- 例：翻訳的適応

2.2 進化と適応

- ・ 1950-60年代のアメリカ人類学者J.スチュワード：環境に対する食料生産（生存経済）の様式としての「適応」/ある集団の中核的文化は、環境の変動に応じてどのように対応し食料生産経済（社会組織も含む）が構成されるのか（二次的文化）？に関心
- （ある民族集団が異なる環境で異なる食料生産様式を生み出す、異なる民族集団が類似する環境で類似する食料生産様式を生み出す際に働くメカニズムは何か？）

→いずれの場合も、変動する状況（環境）にどのように対応するのか？という問題関心の下で使われる概念

3 気候変動研究における適応

3.1 IPCC 第三次報告(2001)の定義

実際のあるいは予測された気候の影響あるいはその効果に対応する自然ないし人間のシステムにおける順応。順応によって災害を緩和しあるいは有益な機会を作り出す。様々な種類の適応が区分され、そこでは予測的適応、反応的適応、私的適応と公的適応、自律的適応と計画的適応がある。

予測的適応：事態が発生する前に対応する、反応的適応：事態が発生してから対応する。

私的適応：個人や世帯などの適応で、通常は自己利益的。

公的適応：政府などによる適応で、集団的ニーズに直結

自律的適応：環境の刺激に対して意識的なものではないが、生態系の変化によって引き起こさ

れる適応。同時適応ともいう。

計画的適応：政策決定の結果による適応。

http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/

→adaptation の日本語訳は政策レベルでどうなっているのだろうか？文献の事例からは「対策」という訳語が適していると判断

3.2 Smit 2006 の説明

・適応の定義

あるシステム（世帯、コミュニティ、集団、セクター、地域、国家）がある変化する条件、ストレス、災害、リスク、機会によりよい形に対応・運営・順応するための過程、行動あるいは結果を意味する。

・気候変動研究のための適応

a) 第一の適応分析は、人為的気候変動の危険を避けるため、温室効果ガス排出を緩和することに関わる。気候変動の否定的影響を中和ないし減じることが出来る度合い、あるいは危険を回避するための積極的効果をえるための度合いを測るものと考えられている。統計的モデルによる評価が重要。それ故に焦点は想定された適応の効果がいかなるものかとなる。

b) 第二の分析は、可能な適応を選別することである。研究者の仮説、観察、モデル、分析などを通してこれは行われる。これは適応の評価をランク付けることが重要である。

c) 脆弱性や適応容量の決定要因を探ろうとするものである。これは事例研究であり、そこには政策や意思決定過程へはついでに関心はない。むしろこの分野が想定しているのは、その研究結果つまり相対的な脆弱性があることを示すことつまり特定の国家や地域のことであるが、そのことで政策に関与しようとするものである。

d) 気候変動に限定されない。実際の適応の始まりに関心がある。具体的には特定のコミュニティや地域の適応容量や適応ニーズを調査し、適応がどのように発生するのか、適応容量の強化がどのように起こるのかを明らかにする。

→このうち(a)と(b)が狭義（気候変動研究）の意味での「適応」研究、(c)や(d)は人類学に関わる。

3.3 W.Adger 他(2007)による説明

・変わる天気と変動する気候への適応の違い：雨が降ったときに傘をもっていく、これが変わる天気への適応。気候変動が起きるとこうした従来の天気への適応が十分でなくなる。気候変動の文脈において、適応の選択は次のようなものである。住宅の移動、都市の移動、食品の転換、経済的ダメージへの補償、好ましい場所の喪失。

・気候変動が提起するのは、正義・責任・義務に関わる諸問題である。仮に人間の諸活動が気候変動を促進するのであれば、適応としてそれに対する補償や義務の負担ということも含まれてくる。

・気候変動への対応として適応への限界は、生態的基準点、個人や文化的価値、制度や政府に関わっている。こうした社会的・物理的・生態的要素が合致して、適応が成功となるのかならないかを決定するのである。

・適応は、マルチレベルの政府における多面的過程なのである。それは変動する状況に対してボトムアップとトップダウンの双方のレベルで行われる個人と集団の相互作用といえる。

3.4 氷河縮小についての適応：気候変動における適応研究事例（Orlove 2009b）

- ・近年の報告では世界の氷河の消失の平均は一年に 10m ほど。IPCC の報告では 21 世紀には海表面は 15 センチ上昇するが、その内の 27% の貢献は氷河融解による。
- ・氷河の縮小による洪水（影響）：1970 年にペルーで地震によって引き起こされた氷河の一部の崩壊で、氷塊の堆積の地滑りが発生し、2 万人が死亡。
- ・適応事例：スイス政府：近年の気候変動に関連した永久凍土の消失、氷河の縮小に関連した湖水からの洪水や地滑りのリスクが高まっている。そこで関係する地域に対して、連邦政府は災害地図制作を開始した。この地図により地方（カントン）やコミュニティ（都市）計画の基礎となっている。また氷河縮小はスキー産業など観光業にも打撃。観光客の減少。オーストラリアの Kitzsteinhorn 氷河の上にあったスキー場は、氷河縮小のためスキー場をより山の上に移動。
- ・適応の限界 limit of Adaptation：元々の概念は、Neil Adger の概念。貧困などによって十分な適応政策がとれないこと。事例：ネパールでは国内電気生産の 90% はヒマラヤの氷河を水源とする水力発電。氷河縮小で、水力が減少。特に夏が深刻。一方氷河縮小は、氷河湖の水を増やし、洪水が起きるようになった。1985 年には 14 の橋を破壊し、水力発電所 1 つを破壊。これへの適応（対策）は、ネパール政策の経済的脆弱性によって解決困難。

→これらの「適応」は政策的対応に等しい。人類学者にとってあまり政策は関心がない。どのような政策がなされるべきかを検討する学術的関心もないし、そのための方法論もない。「反応的適応」「私的適応」「自律的適応」（IPCC）や事例研究や地域的共同体の適応容量（Smit 2006）は人類学の関心と適合的。

4 進化と適応、順応 Evolution and adaptation, adjustment

4.1 気候変動研究における「適応」概念の背景

- ・ Orlove 2009a による説明
- (a)ダーウィン進化論：適応は有機体や種がその環境に適応するための組織上の改変
- (b)J.Dewey（19 世紀末、心理学者）：個人や集団が自らの環境について知識をえるための過程であり、その環境に効果的に対応するために環境を改変する過程
- (c) G.White（1945）：災害を減じるための社会政治的規則
- (d)アメリカ人類学者（1950 年代）：J.Steward、M.Harris：人間集団が所与の環境をにおける自然資源を利用するための鍵となる文化及び制度（cultural core）
- (e)1980 年代から地球規模の気候変動をめぐって適応概念が採用

4.2 生態人類学・生物（形質）人類学における進化と適応

- ・適応 adaptation（進化的概念）、順応 adjustment（非進化的概念）
- ・形質は生物、行動は文化と一見区分できそうだが、両者の間には密接な関係、行動は形態上の機能があってはじめて可能（真家 2007:32）
- ・近年の社会科学・行動科学におけるダーウィン進化論の再評価：変動する環境（社会）の中で行為決定のメカニズムの説明モデル（因果関係に変わる蓋然性と経路依存性）
- ・極北適応論のなかの適応概念：「ある特定の環境において取りうるものが可能なくつかの中の一つとして、所与の集団が特定の文化・生業・資源利用のパターンを選び取ることを通して開発される過程」（Krupnik 1993: 18）
- ・ Smit 2006 による人類学や考古学の適応概念の説明

人類学者や考古学者は、適応というものを選択行動の結果と考えてきた。その行動は（なんでもありというわけではなく）歴史的にその文化が生き残ってくることができた文化的実践（適応）を通じた偏差に基づいて選択されるというものである(Smit 2006:283)。

→かつての生物人類学における「順応」概念が、現在、「適応」として用いられるようになった。この「適応」において形質的变化は含意されないが、行為や慣習が規則・規範として共同体で継承されていく側面を重視。それ故に変動する環境への対応を照射する分析概念として広く用いられるようになる。

5 災害研究における適応と順応

5.1 G.White (1974) による災害研究

- ・自然の危険可能性 **natural hazard** : 人と自然との相互作用の一種で、人間が利用可能なシステムの範囲と自然事象のシステムにおいて発生する事態との間が調整可能な形で規定されるもの。
- ・極端な自然事象 **extreme natural events** : 通常の人間のシステムが受け入れ、吸収することが不可能な現象。この現象は地球物理的システムのなかで相対的には平均状態から強く変動した事態のこと。
- ・順応 **adjustment** : 自然の危険性の否定的影響を減じようとする人間の活動。
- ・認識 **perception** : 人々が極端な自然事象において発生したことやその脅威をいかに理解し、その情勢に対応するか考えること。

5.2 社会過程としての災害 (ホフマン 2006:14)

- ・災害は、ある社会における社会的機構の本質、例えば親族関係やその他の協力関係の紐帯や回復力 **resilience** といったものを明るみに出す。それは、社会的諸集団が統一したり、凝集したりするのを、また対立する集団同士が各所で争うのを促す。ある社会における諸集団の力関係は、その脆弱性の違いにおいてのみならず、再建時における資源分配において明らかになる。災害は、ある社会が混乱した直面した場合の、その社会の抵抗力や回復力をみることの出来る稀な機会である。

5.3 自然災害の分析 (Reycraft et al 2000)

- ・自然災害の概念 (1) 人間の順応 (2) 可能な順応の幅の把握 : 順応がどのような幅なのかを明確に、災害の事象をコントロールできるのか、適応できるのかを人間社会と自然災害双方を視座に入れて分析
- ・分析内容 (1) 災害地域における人間の空間的密度 (2) 災害に対する社会集団の対応可能な順応の範囲 (3) 極端な自然事象とその結果起きる危険可能性を人々がいかに認識するのか (4) ダメージを減らすための順応の選択の過程及び公共政策の効果
- ・ノーマル性という概念は人類生態学とハザード研究の理論的基盤 : 災害が正常の機能からの一時的な逸脱という視座は、災害被害を理解する上で社会・歴史の役割を考慮する必要性を提起、また大惨事に対する技術的適応のあり方を規定
- ・参考視座 : 国家 (植民地支配) の影響と自然災害の影響は、分析の対象となる共同体の環境変動という観点から同列という視点 (Gray et al 2002)

→災害というのをノーマル性からの逸脱という視座→環境の変動性=自然と相互作用する社会の

あり方という問題設定：地球温暖化による局所環境の変化という事態と地域社会がどのような相互作用をするのか？という研究枠組みの設定が可能

6 何を調査するのか：温暖化の人類学における適応の指針（提案）

以上の検討を通して、温暖化の人類学における「適応」研究とは以下のような提言をしたい。

地球温暖化によって変化する局所的環境に地域社会の個人行動や集団的行動はいかに対処するのか？（分析対象）、所与の文化・社会の仕組みが変化するメカニズムを、経路依存性と蓋然性の観点から解明へ（理論的課題）：それ故に、自然科学の観点から解明可能な局所的環境の事実上のあるいは予測される変化の実態を前提として分析が開始されることになる。予想されることとして局所的環境の変化があったとしても、それを吸収してしまい社会文化が変化しない可能性（レジリエンス＝回復更新力の高さ）と崩壊してしまう可能性（脆弱性の高さ）。この両極を念頭に置いて、操作的にいかなる条件なら現在の文化・社会の仕組みが維持（更新快復性を含む）されるのか、崩壊するのかを、実証的に記述するとともに、理論的に説明すること。

引用文献

- ホフマン、S. ほか 2006 『災害の人類学』（若林訳）、明石書店
- 真家和生 2007 『自然人類学入門—ヒトらしさの原点』 技法堂出版
- 前川啓治 2000 『開発の人類学—文化接合から翻訳的適応へ』 新曜社
- Adger, W., I. Lorenzoni, K. O'Brien 2007 Adaptation now. In Adger, W. et al *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*. Pp1-22. Cambridge UP.
- Gray, S. et al 2002 Uncertain disaster: Environmental instability, colonial policy and resilience of East African Pastoral System. In Leonard W. et al eds, *Human Biology of Pastoral Populations*. Pp. 99-130. Cambridge: Cambridge UP.
- Krupnik, I. 1993 *Arctic Adaptation: Native Whalers and Reindeer Herders of Northern Eurasia*. Hanover: University Press of New England
- Orlove, B. 2009a The past, the present and some possible futures of adaptation. In Adger, W. et al *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*. Pp131-163. Cambridge UP.
- Orlove, B. 2009b Glacier Retreat: Reviewing the Limits of Human Adaptation to Climate Change. *Environment* 51-3: 22-34.
- Reycraft, R et al 2000 Introduction: Environmental disaster and the archaeology of human response. In G. Bawdema and R. Reycraft eds. *Environmental Disaster and the Archaeology of Human Response*. Pp. 1-10. Albuquerque, New Mexico: Maxwell Museum of Anthropology.
- Smit, B. Wandel, J. 2006 Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16: 282-292.
- White, G. 1974 Natural Hazards research: Concepts, methods, and policy implications. In G. White ed. *Natural Hazards: Local, Nation and Global*. Pp. 3-16. Oxford: Oxford UP.

サハ共和国の夏季交通途絶に対する社会的対応について

奥村 誠

東北大学 東北アジア研究センター
東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

1 はじめに

東シベリア地域の気候変動がシベリアの自然と地域社会に及ぼす影響を解明するという本プロジェクトにおいて、著者は住宅をはじめとする建造物、上下水道や交通施設などの社会インフラに起こる問題を取り扱うよう要請された。プレリサーチの段階で調査旅費を用意していただき、2007年の秋に初めてヤクーツクを訪問し、水道、建築、住宅、電力、道路などの専門家や実務者へのヒアリング調査を敢行して、温暖化がマイナスの影響をもたらす代表的な事象として、冬道路を見出した。冬道路とは、河川や湖沼、湿地などが凍結するのを待って、氷の上を道路として利用する交通の方法であり、シベリア地域の他にアイスランド、スウェーデン、フィンランド、カナダおよびアラスカなどに存在している。

地球温暖化は進めば河川や湖沼の凍結期間は短くなり、結果として冬道路の通行可能期間は短縮すると考えられる。もちろんそれに並行して、夏季のフェリーが使える時期は長くなるであろうが、通常の道路と同じようにほぼ好きな時に無料で通行できる冬道路に対し、有料で、かつ所定の運航時刻まで待たなければならないフェリーに置き換わることは、利用者から見れば交通コストの増加となる。さらに湖沼や湿地を縦断していくルートでは、氷がない夏季には通行できる方法がなくなるケースも少なくない。そこで、本プロジェクトに移行後の3年間で、冬道路の概要、構造、設置業務、管理業務の実態に関する視察や冬道路に関する技術マニュアルの収集と解説を実施するとともに、河川上の氷の凍結と融解のモデリング、氷圧と積載可能な車両の重量との関係についての考察を進めてきた。その内容は昨年度の報告書に取りまとめるとともに、運輸関係の学術雑誌への論文掲載、および本年度内の一般向けの書籍の刊行に取り組んできた。

しかしながら、上記の研究は2つの原因で困難に直面しており、本年度はその方向での研究の進展をあきらめざるを得ない状況になってしまった。ひとつの原因は、上記の物理学的・工学的研究に対して現地からの協力が得られにくい状況になってしまったことであり、第2の原因は2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響で通常通りの研究活動を行うことが不可能になったことである。

筆者は、ヤクーツク周辺の連邦道路コリマ街道のレナ川上冬道路の建設現場を視察するために2010年12月下旬にヤクーツクに向かい、昨年度までの河川上の氷の凍結と融解のモデリング、氷圧と積載可能な車両の重量との関係についての考察結果を持ってサハ共和国運輸省道路局を訪問し、途中成果の概要と課題の報告と冬道路建設作業の進捗状況の確認を行った。ところが、途中成果の趣旨のみを伝えた段階で担当者との面談は打ち切れ、協力依頼に対する回答は翌日に延ばされた。翌日再度訪問すると、道路は戦略的な意味をもつものであるためデータの提供は難しい。手続きとしては人文研を通じてMinistry宛に文書を出すことになるが、これまで前例がない。連邦道路はすでにできていて数日後の完成検査を待つ段階にあり工事はしていないと言われた。前回(2009年3月)に連邦道路区間で筆者にビデオを撮らせたことが問題となり、あとで道路管理会社は罰せられた。データは新聞などから公開されているものを使う以上のことをしてはならない。連邦政府が作成した技術文書も購入させることはできない、と言われたのである。なお、連邦道路の冬道路に実際に行ってみると、工事作業は確認できなかったが、まだ作業の途中であり、「完成検査待ちである」という情報は正しくないものであったことがわかった。以上のことから、これまでに行ってきた物理学的・工学的研究は現地からは歓迎されていないことを痛感した。

一方、仙台での昨年度のプロジェクト会議の開催中に発生した東日本大震災により、筆者の研究室が入居する2つの建物がともに被災し、5月の連休明けに延期された授業開始までの時期の講義室への緊急避難、その後の仮設スペースへの引越しを経て、学生居室も含めた別キャンパスの建物への引越しが終わったのはこの12月の中旬であった。この間仮設プレハブ建物の計画、入居計画、建て替え建物の新設計画のほか、新研究所組織設置構想への参画を行うこととなった。その一方でもともと専門とする交通施設の復旧・復興計画の技術的検討業務への協力要請もあり、通常の研究業務ができる状況ではなくなってしまった。その一方で、震災直後のガソリンや生活物資の輸送途絶を経験して、長期にわたり交通が途絶する場合の社会の対応と、途絶による影響の評価に関する研究を進めることの重要性を痛感した。

なお、交通の途絶や地域の孤立がもたらす問題については、東日本大震災よりも前から関心を持っており、冬道路が使えない時期に交通が制約されるサハ共和国の実態を把握することが役に立つと考えていた。そこで上記の2010年末のヤクーツク訪問時に、北方地域経済研究所、サハ共和国価格政策委員会を訪問して政府が実施している僻地への輸送プログラムを調査した。さらに、このサハ共和国政府による輸送プログラムの輸送業務を請け負っている輸送会社の計画担当者のヒアリング調査を実施した。本稿は、そのヒアリング内容を取りまとめることを目的としている。

以下、第2節では北方地域経済研究所、第3節ではサハ共和国価格政策委員会、第4節では物流商社“Yakuptorg”からのヒアリング結果を報告する。

2 北方地域経済研究所におけるヒアリング

2.1 ヒアリング日時と担当者

2010.12.23 (Thu) 16:30-17:30

First General Director of Science: Mr. Nikolaev Mihael Wasilyecich

Economy Science Candidate, Population Economics: Ms. Egorowa Tatiyana Polikarpowna

Managing Economics Sector: Mr. Fedorov Rodion Innokentewich

MIP Sector kzn: Mr. Kukakowsky Georgey Petrovich

Candidate Economic Science, Sector of Public Financial Politics: Ms. Gabrilieva Tuiara Nikolaevna

2.2 サハ共和国の交通システムと温暖化の影響

共和国の北方の極北地方では、交通途絶は日常的に起こっている問題である。極寒の気候の中、歴史的に人々は生活様式を順応させてきたし、季節的な輸送システムも出来上がっている。共和国には鉄道はほとんどなく、ヤクーツクまでの区間が建設中であり、北方まで延びる予定はない。また、橋が無いために年間の一時期にしか道路が使えず、冬道路が使える期間のほうが道路ネットワークが充実しているという特徴がある。一方で輸送費そのものを考えれば大量に輸送が可能な船舶の利用が最も有利である。

輸送システムに温暖化の影響が直接出ているわけではなく、どの地域においても豊かに暮らすことは不可能であったとしても少なくとも生存することはできている。本年は秋が暖かくて長く、冬道路の建設が心配されたが、冬が始まってからの冷え込みが強かったため、結果的に普通の都市と同じ時期に開通している。ただし気候変動の影響で夏の河川の流量が不安定化しており、中小河川が洪水を起こすなどして水運に使える期間が短くなっていることが多い。

近年、いくつかの省庁が研究機関に、温暖化の影響について調査を開始するように依頼を出した。しかし本研究はもともと現実的な問題を解決するために設けられた研究所であるために、ロシア連邦が現実的な問題であると認識していないこともあり温暖化の影響については研究費の補助が支出されない。今年になって、フランス政府の教育文化省およびベルサイユ大学との間の4年間の共同研究の協定が整い、これから「地球温暖化が地域

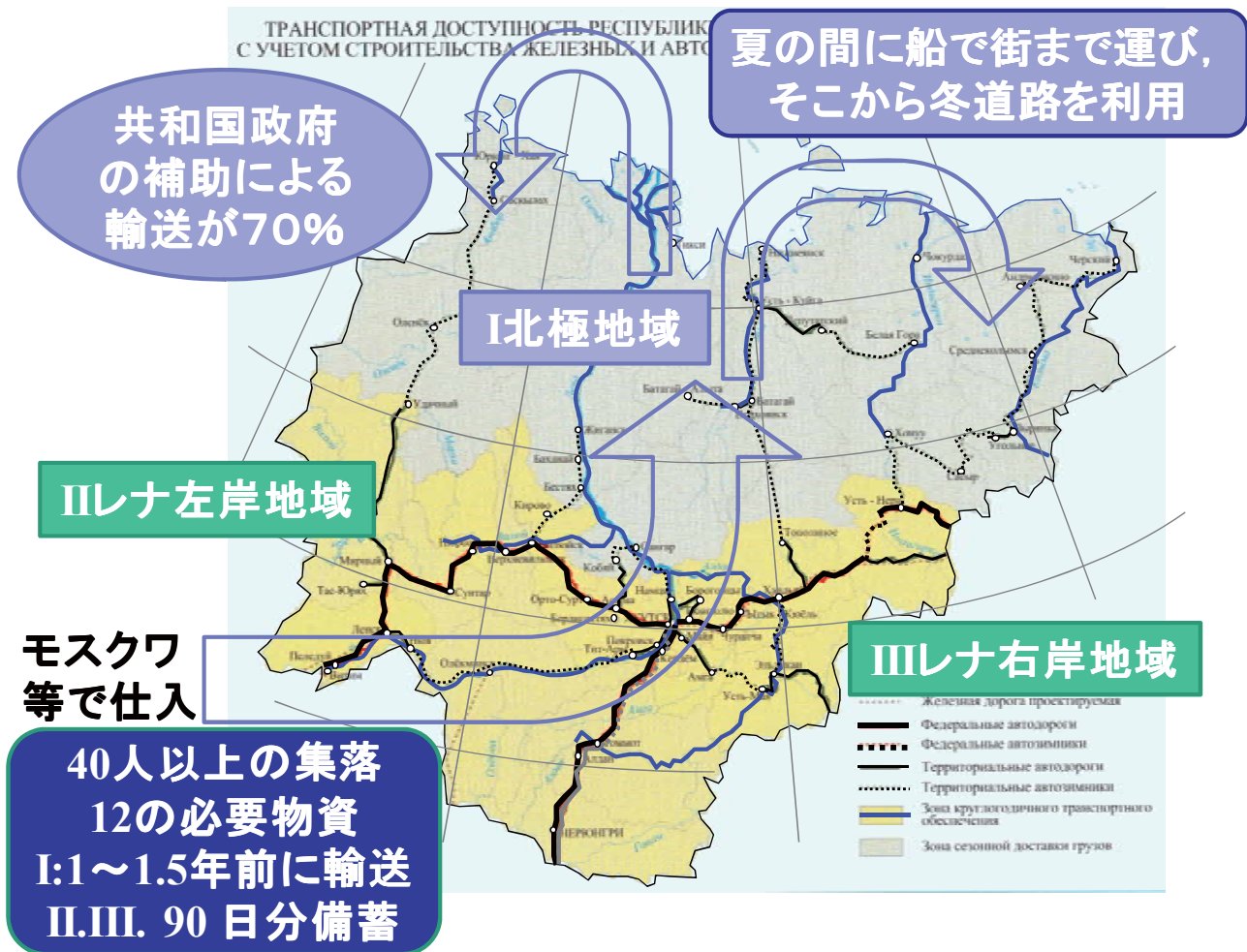


図1 サハ共和国の地域区分と輸送プログラム

の経済・社会に及ぼす影響についての研究」プロジェクトが開始される。このプロジェクトにはサハ共和国から4つの機関が参加し、当研究所はその一つとなっている。

2.3 サハ共和国による輸送プログラム

ソビエト連邦の時代から、遠隔地に必需物資を輸送する仕組みは存在したが、連邦崩壊によってその継続は不可能になった。現在の制度はその後、アラスカにおける輸送補助制度を参考に再構築されたものである。アラスカでは、外部からの輸送はすべてアンカレッジ港および空港に入ってくる。ここから州内の100人以上の居住があるすべての街に対して、必要物資の端末輸送が行われており、その輸送費に対して州政府からの補助がある。

サハ共和国では域内の14の地域を大きく、北極地域 (I)、レナ川左岸地域 (II)、レナ川右岸地域 (III) の3つの部分に分けている。各地域の40人以上の住民が登録されている集落を対象として、12種類の必需物資（小麦粉、シリアル、砂糖、ミルクなどの食糧や石油など）の必要量が決められ、輸送計画が立てられる。I: 北極地域に対しては、1~1.5年前に必要量が備蓄できるようにする。南部の2地域の備蓄量は90日分である。なおこれらのサハ共和国政府による補助対象の財の輸送量は、この北極地域の総輸送量の70%程度を占めている。輸送手段は夏の間は船で運べる街まで運び、そこから先は冬道路を利用して自動車輸送する。

このような共和国政府による事業のためには、別途地方政府が通常期の輸送事業等に課税することはできないため、連邦政府から一定の基準で割り当てられた補助財源（日本における地方交付税）が用いられている。その算定においては、人口、気候、道路延長、積雪量、及び交通途絶の状況などに関する係数に基づいている。近年の人口減少は補助額を減少させる働きがあり、共和国政府は連邦から、必要財源の約80%しかうけとることが

できず、困っている。輸送システムの建設・維持に対しても、構造形式を加味した4~7%の比率での補助がある。共和国政府の中では福祉などの他のセクターの必要予算が増えており、この輸送プログラムのための財源は減少してきている。

共和国政府が各地域の輸送に出す補助金の額は基本的には人口ベースで配分される。ここ80年間で、Yakutsk への一極集中が進み、都市圏の人口は35,000人から10倍以上の380,000人になっている。その流出の多くは北極地方からのものであるから、これらの地方部では地方財政のための財源が極めて厳しくなっている。

陸送が難しい場合でもヘリコプターを使うなどして、ほぼすべての集落に輸送サービスは行われている。遊牧民も人口はユニティー(地域の単位)ごとに登録がなされているので、その場所までは物資は輸送される。ただ、遊牧民の中には数家族分をまとめて物資を輸送する仕事をしている人がいる。最後の区間の輸送は彼らによって行われている。

2.4 価格の季節変動と輸送コストの変動

上記の輸送プログラムの価格は年次ごとに決められているので、その中には季節変動はなく、むしろ長期的な仕入れ価格の上昇傾向とインフレーションの影響を受けて、徐々に上昇している。特にサハ共和国内では石油の精製ができないので、石油の価格と輸送費とが相互に上昇していくというプロセスが無視できない。

一般の市場における価格にはもちろん季節変動がある。秋には野菜や果物の値段は下がり、冬に上昇する。さらに特定の時期に物資の供給が途絶えて価格が上がることもあるし、新年、イースター、婦人の日、男性の日などのお祭りの時期には特定の物の需要が増えるために価格が上がる。例えば年末に向けて肉、飲み物、デリカなどの価格は上昇するし、イースターの時期は卵は10個50ルーブルのものが2倍以上になる。

北極海輸送については、まだ大きく伸びる状況にない。極北地域の人口が減っていく中で、施設や体制への投資を行うことが有利とはいえない。冬道路の建設・管理などの維持費用のための財源は、前年の値を踏襲して決められ、その範囲内で入札が行われる。したがって前年からのインフレーションの係数は加味されるものの、特定の都市の季節的な条件の変化によるコストの上昇という効果は反映されてこない。

3 サハ共和国価格政策委員会におけるヒアリング

3.1 ヒアリング日時と担当者

2010.12.24 (Fri) 16:30-17:30

State Committee for price policy of the Republic of Sakha

The first deputy chairman: Mr. Maxim Trofimov

サハ共和国外務省 : Mr. Borisov Kim Alaksandrovich 氏同席

3.2 サハ共和国による輸送プログラム

ソビエト連邦時代の社会主義体制下では、途絶のインパクトを小さくするための対策として、夏の水位が十分ある時期に川を船舶で輸送する「Northern Import」という事業があり、そのための財源も特別に用意されていた。現在も、輸送を行う会社などは残っており、より小規模な形で部分的に輸送が行われている。しかし財源の不足に直面している。そのために、credit(債券?)を発行して、輸送会社のほかにエネルギーなどの地域企業から広く資金を集めて行きたいが、そのcreditの販売価格に対しては議論があり、最低でも必需品の輸送に関するものの発行にこぎつけたい。

北極地域の集落への輸送は少なくとも1.5~2年前に完了するように行っているが、多くの財の価格を南部と比べるとおよそ7~9倍程度になっており、北極地域にすむことは、基本的には大変なことである。なお小売価格は1年ごとに決められて固定されるため、季節的な変動はない。

輸送費の補助対象は生活に必須の消費財に限られる。その他のものは、私的な企業が輸送して販売しているが、小地域ごとに価格差があり、時間的な価格変動は大きく、実際に手に入る量についてもリスクが大きい。

3.3 交通費用の長期的な変動

輸送費用はインフレーションと道路輸送費、船舶輸送費の増加に伴い、徐々に高くなっている。輸送のための交通インフラは基本的なものはソビエト連邦時代に作られたものが維持されており、使用可能である。

4 物流商社”Yakuptorg”のヒアリング

4.1 ヒアリング日時と担当者

2010.12.25(Sat) 11:00-12:30

Deputy General Director : Ms. Alexandra Postnikova

”Yakuptorg”は Yakut Wholesale and Trade という意味であり、共和国政府の資本が入った物流商社で、北極圏輸送の調達、輸送会社への契約などを行っている。

4.2 輸送プログラムの輸送時期と経路

食品の中でも保存期限が2年間持つようなシリアル、小麦粉、砂糖、缶詰などは、3月~4月にロシア西部のモスクワまたはノボシビルスクで仕入れ、鉄道でイルクーツクなどを経由し5月までにレナ川上流のウスチ・ケートに荷揚げする。ここから、6月にレナ川水運で北部へ輸送し、北極海に出てヤナ川、インディギルカ川、コリマ川に入り、途中でチョコルダ、チェルスキーなどでより小さい船に交換して港まで運ぶ。ここまでの輸送を9月から10月までに終える。さらに水運が到達していない村には1月から3月までの間に冬道路を利用して運ぶ。以上のように、仕入れから現地への配送には最大1年間かかる。

保存期限が1年間しかない野菜などは、ニルングリまで鉄道で輸送し、12月から1月にかけて冬道路を用いて自動車で輸送する。しかしこの方法の場合の輸送費は上記の輸送方法の約2倍となる。さらに保存期限が短いミルク、卵、ハムなどの食品は航空機を使わざるを得ず、1kgあたり70,000ルーブルもかかる。そのため共和国から80%分の補助金を出す。例えばリンゴは一個70ルーブルで売られているが、もし補助が無ければ250ルーブル程度になると思われる。

さらにアナバルやサスクラフなどの西方の北極海に近い地域には川の水運が困難で冬道路でしか運ぶことができないため、輸送時期を適切に定めることが難しいという問題がある。

4.3 輸送事業の経営とリスク

この会社はすでに2000年から継続して輸送しており、各集落の人口も把握しているため、かなりの精度で1年間で売り切れる輸送量を計算することが可能である。それぞれの集落ごとの食品に対する嗜好の違いも把握できている。結果的に保存期限内での売れ残りが出そうな場合には、安売りをすることで売り切る。

政府による補助金は仕入れ時期から2年間の間しか決まっていない。指定されたところに輸送して引き渡しが行われた時点で費用は支払われるが、輸送自体に1年間かかるので、その間に資金が凍結する形になり、商売としては難しい。人口が経年的に減っており、100人や150人の規模しかない集落が増えており、儲けを出すことは困難になってきている。

悪天候により運べないこともあるので、2か月分の余裕を持たせている。もし交通の停止が起きそうな場合には、追加で必要な財を追加的に輸送する場合があります。そのために1か月ごとの売れ行きを現地で管理し、郵便で本部に連絡していた。1年前からはe-mailの使用が可能となり、小売販売実績などの情報を毎日やり取りすることが可能となった。ただしインターネットが止まることもあるので、USBメモリーなどを航空便で送ってくれ

ることもある。最近では北極海地方でも携帯電話のサービスが始まったためにやりやすくなった。

交通上は車の事故などのリスクが大きい、その損失は契約した道路輸送会社が負担することとなっている。ハンディガ周辺のアルダン川のように冬道路において大きな氷の山ができやすい区間などではそれに衝突し、水没する事故が起きる危険性がある。したがって契約すべき道路輸送会社を選定する際には、価格上の競争もかかげる必要があるが、十分に経験を持っている運転手を有している会社かどうかということも重要な基準となる。

過去の例として、冬道路のある間に道路輸送会社が運ばなかったために、既定の時期に間に合わせるためにヘリコプターで運ばざるを得なかった。その費用を訴訟の末、道路輸送会社に負担させた。

4.4 冬道路・船舶のリスクと北極海輸送

この会社では Transportation Department において3名の Economist を雇っており冬道路の使用時期の情報を把握している。連邦道路と共和国道路については政府が公式に公開する情報に基づいて判断する。市町村の道路は共和国道路に比べて気候の変動を受けやすく、年によって流れの中を通っていることも森の中を迂回することもある。そのため、直接市町村の担当部局に問い合わせる。終了時期の判断はこの会社は公式情報に基づいているが、小さな輸送会社によっては公式情報を無視してより長期に使おうとしているところもあるが、リスクが大きい。

船は衛星で位置が把握できるので便利である。しかし、ビリユイ川、ヤナ川は夏季において水深が小さく15日程度しか使えず、座礁する危険性も大きい。そのため、使用する船の喫水や形式を指定して水運会社との契約をしている。

ソビエト連邦時代にはウラジオストクから北極海経由でチェルスキー、チョコルダ、チュクシの港まで7月から8月にかけて船舶輸送が行われていたが、ソビエト連邦崩壊に伴いこのルートの使用はなくなった。もちろん大量に輸送する場合には、このルートの利用が経済的なので、共和国はこのルートの再開を検討しているがまだ再開されていない。

一方、私的な輸送業者の中では、北極海沿いのチェルスキー、ペウエックからの輸送、あるいはマガダンからの山越えの輸送を試みる業者もある。Abramovich がチュコト州の知事であった時、ウラジオストクからアナディル経由の輸送に補助金を出していたが、今はなくなった。多くの財ではウラジオストクでの卸売価格が西部よりも割高であるため、東側からの北極海輸送には経済的なメリットが出にくい。一方西部からの北極海輸送では必要な量（1万7千～8千 ton）が集まらない。現在西部からの輸送が定常的に実施されているのは石油のみである。

4.5 指定物資以外の物資の輸送

洋服やテレビなどの電化製品については、インターネット等で注文を取り、ヤクーツクで仕入れて北極地域まで輸送する個人企業がある。価格は、各個人が自分でヤクーツクに調達に出かける場合との比較で決まる。このサービスは重量物は6月から10月までの水運、または1月から4月の間の冬道路利用になるものであり、5月や12月のようにサービスが無い時期もある。いずれにせよ、公共的に行われていないニッチなサービスについては個人的に参入する企業が存在していると言ってよい。

本企業は Yakutsk の周りの商業展開を図りたいが、200人の従業者のうち Yakutsk には40人いるだけであり、160人で地方に拠点を多く持っている。なお仕入れ担当者としては西部には常駐者はおらず、レナ川への積み出し地点であるウスチ・クートに1名いるだけである。

参考文献

奥村誠・河本憲・サルダーナ ボヤコワ：ロシア連邦サハ共和国の冬道路と地球温暖化の影響, 2011.10, 運輸政策研究, Vol.14, No.3, 2011 Autumn, pp. 016-023.

G3b（資源動物研究チーム）活動要約

立澤 史郎

北海道大学大学院 文学研究科 人間システム科学専攻

1 これまでの調査地と調査課題

G3b は、シベリアの人々の暮らしや社会を支える資源動物—家畜トナカイ・野生トナカイ・毛皮獣—の動態、および、それらと北方先住民の人々との関係の変化を扱う。それぞれの基本的な担当と、本年度および昨年度の主要課題を整理すると下表のようになる（課題名・実施年は筆者の判断による）。

表1 G3b班の調査対象・調査地と課題

対象	担当	調査地	課題	
			地域スケール	広域（国・連邦）スケール
家畜トナカイ	吉田	オレニョク （西部） セビャン （中部）	<ul style="list-style-type: none"> トナカイ牧畜実態調査（-H22） 野生トナカイに関する観察・聞き取り（-H22） 	<ul style="list-style-type: none"> ソ連邦崩壊前の家畜トナカイ・トナカイ産業の状況分析（H23）
	中田	トンポ （東部）	<ul style="list-style-type: none"> トナカイ牧畜実態調査（H22・H23） 温暖化認識に関する聞き取り（H22・H23） 	<ul style="list-style-type: none"> 家畜トナカイ統計整理（H22）
野生トナカイ	立澤	オレニョク （西部） セギャン （中部）	<ul style="list-style-type: none"> 野生トナカイ移動実態調査（-H22・H23） 	<ul style="list-style-type: none"> 温暖化認識に関する聞き取り（-H22） 野生・家畜トナカイ統計整理（-H22） 野生トナカイ分布実態整理（-H22）
毛皮獣	池田	ナムスキー （中部）	<ul style="list-style-type: none"> 毛皮獣狩猟実態調査（H22・H23） 	<ul style="list-style-type: none"> 毛皮獣統計整理（H22・H23） マスクラット導入実態記録調査（-H22）

2 統合的議論の方向性

これまでそれぞれの課題と調査地が個別に設定され調査されてきた経緯があり、今後はこれらの調査をどのように統合的に行い議論してゆくかが問われる。調査・研究の現状や成果については個々の報告を見ていただくこととして、ここでは、今年度の成果で見えてきた、今後の統合的議論の方向を整理しておきたい。

2.1 統計資料整理と社会資料分析によるマクロ動態の分析

今後、まずG3bとして足並みを揃えるべき（揃えうる）課題の一つ目は、共和国または連邦スケールでの統計資料の整理である。これはもちろん広域の動向を時間・空間の2つの軸で把握するために不可欠な作業であり、当初より主要課題の一つであったが、ようやく信頼に足る資料やニュースソースが集まりだし、家畜トナカイ・野生トナカイ・毛皮獣の3つについて、少なくともソ連邦崩壊前、同後、近年という3区分、および、主要なウルス（行政区分の郡）もしくは共和国の4区分（西部・中部・東部・南部）程度での比較の見込みがたった。

この整理は各動物（群）ごとに行われているが、今後そこで検出された傾向と気候変動の関係を分析するためには、2つの情報、すなわち社会状況変化と環境変化に関する情報が不可欠である。前者については、今年度の吉田による1980年代資料の分析が一つの例となろう。このような手法で、各対象動物（群）の個体数変動に及ぼす社会情勢や政策の変化と、（その背景ともなるであろう）環境変動に関する記述を抽出し、個体数変動の要因の解釈を試みる必要がある。そして、その検証やさらなる要因検討のために、環境変動（気象、植生など）の情報を重ねて分析する必要がある。これには後述のように、G1・G2との連携が不可欠である。

2.2 地域調査による変動メカニズムの解明

二つ目は、変動メカニズムの解明である。資源動物の動態変化（例えば個体数減少）と気候変動のタイミングが合致していても、後者がどのようにして前者を導くのがわからなければ、真に関係が解明されたとは言えないし、モデル化や将来予測もできない。この点で、今回の中田報告が試行した家畜トナカイの出生や死亡の様相の分析（家畜トナカイ動態の生態学的解析）は、今後の展開によっては一つのモデルとなり得るだろう。

そして、その（資源動物の）変動の、地域社会やその構成員にとっての意味や影響を明らかにすることで、ようやく「温暖化-資源動態-地域社会」というパスの存在やそれを分析することの重要性を示すことができる。それぞれの調査地（地域スケール調査）で得られているデータは他種多様だが、今後G3bとして議論する際には、まず、資源動物およびそれらと住民（利用者）との関係の変動・変容を、質と量の両側面から検出し、その上で、特に気候・気象などの環境変化と関係した事例についてメカニズムを解明する、という作業が不可欠だろう。

さらに、地域スケールの変動メカニズムの記述・解明がうまくいけば、それが広域スケールの変化とどうリンクしているのかという考察、ミクロ（地域）スケールの実証的分析によりマクロスケールの変動メカニズムを説明する試み、つまりミクロとマクロの統合も可能になるだろう。

2.3 「人-動物関係」の変容解明から社会適応の議論へ

統合的議論の3つめの可能性は、動物群（家畜トナカイ、野生トナカイ、狩猟獣）別の議論から、それらを統合した議論への展開である。

この点については、例えば野生トナカイによる家畜トナカイの「連れ去り」問題のような動物同士の直接的関係だけでなく、個別の動物群の動態（例えば減少）が、人と他の生物の関係をどう変えるのかという、人と動物（自然）との関わりの変化に着目した分析が必要になるだろう。もっと言えば、個別の変化が、全体（システム）の変化をもたらすのか、そこまで行かないのかという点を明らかにすることが重要である。つまり、（気候変動に起因する）「人-動物関係」の変容が、個人の努力や既存の地域社会システムで吸収可能な程度か、それともその範囲を超えているのかという、社会の順応性・適応性の議論である。

この観点に立てば、トナカイや狩猟獣同様にサハ共和国の人々の生活に欠かせない資源動物である魚類（より一般的には淡水魚）や鳥類、さらには資源植物にも当然目配りが必要であり、特に地域調査に際してそのような視点からの聞き取りや観察も望まれる。

3 新たなアプローチの可能性

さて、今後（プロジェクト後半で）上記のような統合的議論を進めてゆくにあたり、どのような体制をとるか、判断を迫られる課題も見えてきた。ここでは特に、G3(b)として足並みをどう揃えるか/揃えないか、の判断が必要と思われる3点について述べる。

3.1 “G間連携”をどう進めるか？

いくら動物や人間社会の変動が検出できても、それらと気候変動（シベリア地域の温暖化）との関連を議論しなければプロジェクトとしては意味がない。すでに各地域の調査では、例えば春秋の氷雨や地表での氷板形成、河川・池沼の氷厚の低下など、温暖化と結びつく（特に水循環に直結する）現象の出現・増加が指摘されているが、今後はそのような社会的・生態学的影響のある現象をいかに客観的に記述できるか、いかにG1・G2のデータで語れるかが問われる。

この点では、すでに2つの“連携”が生まれている。一つは中田報告にもある、気象データと家畜トナカイデータとの突き合わせ、もう一つは10月の全体会で報告のあった植生と野生トナカイ（移動ルート選択）の関係の検討である。いずれもまだ動物側のデータや必要な環境情報の絞り込みが不足しているために本格的な分析には入っていないが、前者は特に気候変動や気象変化の影響を受けやすい出生や新生仔の死亡や疾病に着目することで、牧夫たちも気付いていない温暖化の影響を検出できる可能性があるだろう。また後者については、トナカイにとってクリティカルな意味を持つ林床・地表植生の変化をいかにリモートセンシング情報から抽出できるかという技術的ハードルがあるが、それが可能となれば、野生・家畜を問わずツンドラタイガ植生域の草食動物の動態モニタリングにとって画期的な技術開発となり、応用面でも大きな貢献となる。

これらの連携はまだ試行段階だが、実は新たな共同研究を一つ立ち上げるわけであり、今後効率的に作業を進めるには、複数調査地の比較分析の段取りを決めた上で、個々でなくG3(b)として情報を“オーダー”する必要がある。そのためには、G1・G2のデータ構造を理解した上で、分析する場所・期間・解像度等を絞りこみ、共通のデータと分析フォーマットを元に個々の事例を分析することになるだろう。

3.2 温暖化の「認識調査」をどうするか？

興味深い話題の一つに、サハの人々の温暖化に対する認識状況がある。これは、各人の調査地（調査対象）において、温暖化をどのように認識しているかを、それぞれの方法で調査したものであるが、例えば筆者が対象としたトナカイ牧者会議（2009年4月トンポ開催）に集まった各郡の代表者や行政関係者からは、強く温暖化を意識した反応があったにもかかわらず、現場の牧夫やハンターの間（中田報告、池田報告など）では、温暖化や異常な環境変化を認識したという結果は出ていない。これはそれぞれの報告でも考察されているが、調査法（質問の方法・内容・スキル）の問題もさることながら、調査対象者の社会的役割や日常の情報世界の違いが大きく効いていると思われる。

もちろん、認識されていないから問題がないわけではなく、むしろそのギャップの実態や意味を問うところに、人文社会科学の存在意義がある。そもそもこの「認識調査」は、（環境変化を知る）手がかりとするための（予備調査的な）ものであったが、シベリアの社会において、温暖化がどのように認識・理解され、それにどのような対処がなされつつあるのか/ないのかという問いかけは、実は気候変動に対する社会適応を議論する上で不可欠な作業である。

本当に変化がないのか、社会変化に対して相対的に小さな問題なのか、数十年や数百年（一世代以上）の時間スケールで起こる変化は認識できないのか、問題はあるが因果関係を認識できないのか、変化を無視するバイアスがかかるのか。もし問題がすでに生じているのにそれを正視しないバイアスがかかっているのであれば、われ

われ研究者はどのような行動をとるべきなのか。ここには、プロジェクトにとって本質的な課題が内在しているが、この課題に正面から取り組むには、相応の調査研究体制が必要だ。意義もコストも大きいこの課題をどう扱うか、近々に議論が必要だろう。

3.3 政策にどうアプローチするか？

研究成果の政策へのアウトプットは、設計科学の必然であると同時に、地元（サハ共和国政府など）から本プロジェクトへの強い期待でもある。この点について、本年度の成果の中で、家畜トナカイ、野生トナカイ、毛皮獣のそれぞれについて、具体的な展望が開けている。

家畜トナカイについては、今回の吉田報告のような政策研究と中田報告のようなマイクロな動態研究（生態学的解析）をつなぐことで、政策が現場に与えた影響を理解し、現場における政策（社会的影響）と温暖化の影響を切り分け、（例えば放牧エリアや新生仔の扱いに関する）より具体的な対策を提言することができるようになるだろう。また、特に野生トナカイと家畜トナカイ双方の調査地となっているオレニョクであれば、立澤報告で得られたような野生トナカイの情報を家畜トナカイ飼養の現場に提供したり、野生トナカイ調査の手法を家畜トナカイに展開することで、サハ共和国でも別個に運用されている二つのトナカイに関する政策を統合しうる可能性がある。

また、池田報告や立澤報告にあるように、近年急速に近代的な環境政策を展開しつつあるサハ共和国では、観光政策とも関連して生物多様性保全というドグマの存在感が増大し、外来種対策や在来生物相復元に関する政策の整備が進んでいる。そのような状況にあって、再導入されたジャコウウシやバイソンの個体群維持や、逆に毛皮産業の立役者から急速に「悪玉」化しつつあるマスカラット管理に、どの程度、どのように温暖化が関係するのかという情報は、今後の政策展開のためにも非常に歓迎されるはずだ。

また、立澤報告にあるように、国境を越えた個体群や生態系管理のための体制や政策を提言しようというアイデアもある。

このように、様々な局面で、現地の政策に対する貢献の可能性が示されてきたわけだが、このようなアプローチを個々人の判断で行うのか、それとも「政策への提言」や政策提言としてとりまとめるのか（さらにはプロジェクトやグループとして積極的に政府と協議の場を持つか）など、プロジェクト後半のまとめ段階を迎えるにあたり、これも定めるべき方向性の一つだろう。

4 おわりに

繰り返しになるが、本プロジェクトにおけるG3bの使命は、資源動物とシベリアの人々との関わりの重要性を明らかにすることではなく、その関わりが温暖化との関係でどう変化しているか（しそうか）という実態やそのメカニズムについて、検証するもしくは見通しを立てることにある。その意味で2012年度は、変化の実証を踏まえ、変化に対して社会がどう認識・判断・変化しそうか、その変化は吸収可能かどうか、という社会適応の議論を進めねばならない。

2.1～2.3の課題をクリアするのは簡単ではないし、3.1～3.3のアプローチはそれぞれが独立した研究として展開されるものであり、これらの全てを同時並行で行うというのは現実的でない。しかし、このマトリクスを共有し、その上で個々の研究の力点をどこに置くか、縦横どの視点から足並みを揃える必要があるか、そのために今後の研究をどのような作業工程で進めるのかという点については、今年度中、すなわちサハのパートナーたちも顔を揃える国際会議において、議論を固めてから新年度を迎える必要がある。

トナカイ飼育/牧畜の環境利用と経済性（1980年代資料研究）

吉田 睦
千葉大学 文学部

1 本年度の課題

本年度は現地調査は実施せず、ロシア・モスクワにおける文献資料調査と幾人かの研究者や専門家との意見交換を行った。現存する家畜トナカイ飼養は、企業性・商業性を前提にしたトナカイ飼育、及び生存生業的性格の強いトナカイ牧畜に類型化できる。その双方の現代史の中の位置づけを考察するための基本データの収集が主目的である。ロシアにおいてはトナカイ飼育/牧畜は、20世紀以降も、ほとんどの場合がそれを生業としてきた先住民族が主体となって維持されてきた。トナカイ飼育/牧畜は極北の自然環境への人類の適応の一つの極限的な形態であり、環境変動を包摂する生業体系である。それ自体に在来知の体系が組み込まれ、編みこまれ、同時に対環境レジリアンスの一定程度の大きさの上に成立・機能してきたもの、と理解される。他方でそれは、20世紀のソ連型社会主義制度下の農業集団化体制の大枠の中において存続維持されてきた、という側面がある。

ここで資料調査を実施する意味として、トナカイ飼育/牧畜という生業システム自体のレジリアンスに対して、ソ連型社会経済システムとそれを継承しているロシア社会経済システムが、どのような認識と評価をしてきたか（あるいはしてこなかったか）、そして更に採算性や商業性に関してはどのように評価してきたかについて、一定レベルでの確認をしておく必要があると判断したからである。

2 考察に依拠した資料

このような問題設定において、とりあえずソ連期の安定期といえるブレジネフ政権期前後におけるトナカイ飼育業とその周辺に対する評価や問題提起に関する資料をロシア・モスクワのロシア国立図書館（RSL）において探索した。時間的制約の中で実際に閲覧・収集できたものは限られたものであったが、1930年代の農業集団化措置の試行期のトナカイ飼育の産業化のための諸策から近年のトナカイ飼育/牧畜の民族文化性や企業性の追求に至る雑多な資料がある。そのうちいくつかの収集・閲覧資料は、本枠組みの中で有用なものであった。その中でも、現在のトナカイ飼育/牧畜の現状につながる1980年代の以下の2件の資料に着目した：

- ① 1980年代初頭の全ソ農業科学アカデミー主催の極北農畜産業に関する学術会議抄録（第3部「トナカイ飼育」編）（マガダン 1980年）（参考文献A）
- ② 1984年11月開催のロシア連邦共和国（当時）農業省の北方の生業としての農牧業/狩猟業に関する会議報告書要旨録（政府内資料）（モスクワ 1985年）（参考文献B）

3 全ソ農業科学アカデミー主催学術会議資料

上掲①の資料は、1980年というブレジネフ政権末期とはいえ、トナカイ飼育を含む北方地域の経済的利用に対する一定の関心と問題意識の中で、極東のマガダンで開催された、トナカイ飼育を中心とした学術系会議の報告集で、43件の報告要旨を掲載している。この時点でのトナカイ飼育をめぐる取り上げられた報告の分野とその件数を示すと、以下の通りである（分野と件数は便宜的に本稿筆者が分類・計算したもの）：

「牧地管理」 9

「家畜管理」 15

「経営・経済」 16

「環境問題」 1

「野生トナカイ管理」 2

当該会合は全ソ農業科学アカデミー等主催の学術会議であり、牧地/家畜管理や経営・経済関係のテーマに関するものが報告の多数を占めるのは自然である。「牧地管理」のカテゴリーにはトナカイの餌である地衣類を含む植生変化の問題が、いくつか取り上げられている。本書冒頭に掲載された「牧地の地衣類劣化に関するトナカイ飼育発展の問題」（筆者はヤクート自治共和国（当時）生物研究所員）と題するものでは、トナカイ飼育による牧地利用の結果として、牧地に顕著な変化が生じるとする。集中的な牧地利用の場合、強い踏付けに耐える多年草からなる二次植生群落が出現する。不可逆的な変化を生じる牧地の場合、地衣類の劣化や縮小を招来する。これらを防ぐ方策として重要なものとしていくつか挙げられたものの一つは、周年放牧や群管理といった牧地利用管理の強化である、とする[1.Andreev]。その他の牧地管理分野の報告において問題提起されている、植生変化やトナカイゴケに代表される一定地域の牧地における地衣類の減少等の主要な要因は、主として放牧による人為的变化であることが指摘されている。また、トナカイが地衣類に依存する程度は地域の諸条件により異なること等を考慮して、季節的牧地の最適放牧期間の設定や牧地復興のための入域制限・禁止、さらには地衣類回復・促進のための物質投入といった案まで出されている[6.Utkin]。

西シベリア、サレハルドの農業試験場職員の報告になる、トナカイ牧地への施肥の実験は、牧地の植生改善に向けた試みである。放牧により踏みつけられた牧地には、灌木、矮性灌木、草本類が生育することを述べたうえで、トナカイがトナカイゴケに依存する食性からタンパク質-ミネラル性の食性へ移行させる可能性を指摘する。このように、放牧が牧地に与える影響は否定的なものばかりではないはずである、という前提から、牧地への施肥の実験結果から一定の成果を上げたという報告である[7.Utkin & Chernykh]（しかし、その後いずれかの地域で牧地に施肥を行ったという実績については承知していない）。

さらに、気象現象に関係するものとして関心を呼ぶものを1件取り上げておきたい。それは「家畜管理」に分類した、マガダン州におけるトナカイ飼育の水利気象学的条件についてのものである。そこで特に強調されているのは冬季に形成されるアイスバーン状の氷層である。これによりトナカイ（特に幼獣）が餌を取れなくなることによる損失の大きさを認識し、そのような事態を避けるための気象予測、適切な牧地への誘導等が必要であるとしている[3.Lukicheva]。この現象はトナカイ飼育/牧畜に従事する諸地域において共通の問題といえるが、気候変動、特に温暖化傾向との関連で検討対象にする必要があるといえる。

その他に「環境問題」として分類した唯一の報告として、ヤクート共和国内のトナカイ餌に含有する水銀化合物というものがある。半ページほどの報告要旨であるが、ヤクート自治共和国内の土壌には水銀化合物を含有する所があり、トナカイゴケを通じてトナカイが摂取するという。中でも水銀化合物を高濃度に含むとされる魚粉を配合飼料に混入することを禁止することを提起するものである[2.Bol'shakova]。水銀の汚染源について言及していないが、この時期の公刊された出版物中に記載されたものとしては異色といえる。その後の状況の追跡調査も必要かもしれない。

野生トナカイ管理に関する2件の報告[4. Pomishin; 5 Pomishin]は、野放図的な狩猟、捕獲の現状を改善する必要性そして生産化するために貯蔵、輸送のためのインフラ整備の必要性のあることを提起している。

4 ロシア連邦共和国農業省会合資料

上掲の②の資料であるが、これは1984年11月19-20日にモスクワ市で開催された極北地域農業機関、ソフホーズ、コルホーズ、学術機関指導者地域会合での報告と演説の抄録である。当該出版物は、ロシア・ソヴィエト連邦社会主義共和国（当時）農業省内部文書であるためか、現在でもロシア国立図書館特別書庫に保管されている。閲覧は特別閲覧室において自由に閲覧可能であるが、複写は著作権（司書の説明）のために全体の一部を条件として許可された。

冒頭演説において V.P.ニコノフ・ロシア共和国農業大臣（当時）は、極北地域がロシア共和国の領域の64%を占める最大の地域であり、巨大な国民経済的意義を有していると述べる。トナカイ飼育や狩猟業に肯定的発展の結果がみられるとする一方で、多くの資源ストックが利用されていないこと、トナカイ頭数の減少等、生産発展の低下がみられる地域すらあること、屠殺場等の生産基盤の欠如を指摘する。つまり、ソ連時代特有のスタイルでの否定的側面への警鐘を鳴らすとともに、その克服への呼びかけを行っている[9.Nikonov]。

また、B.F.フレヴノイ農業次官の報告では、極北地域の農牧・狩猟業に関してさらに詳細な問題点の指摘が続くが、ここではその内容については言及しない[8.Khlebnoi]。

当該会合において、トナカイ牧地の荒廃についても言及があるが、牧地利用・管理の観点からは、より合理的な利用の可能性（季節毎の移動規則・牧地利用規則の遵守、それを可能にする人員の養成）が強調されている。これはペレストロイカ前夜という時期であり、経済社会制度上の改革の内部的要請が高まりつつあった当時の状況を反映しているといえるかもしれない。他方で自然環境変化に関しては、トナカイ飼育による環境（植生等）変化の報告はあるが、気候条件の変化によるトナカイ飼育への影響といった観点からの報告はみられない。

当該会議録に掲載された野生トナカイ資源の合理的利用という報告要旨では、ヤクート自治共和国（当時）北西部の各地において、野生トナカイによる合計6万頭近くの家畜トナカイ連れ去り事案が発生していることが明らかにされている[10.Tatarinov]。本稿筆者の2010年における調査地である同共和国北西部のオレニョク郡の公営トナカイ飼育組織（MUP）の一ブリガーダ（労働班）において、2010年秋に野生トナカイとの混淆と500頭前後の連れ去り事案が発生しており、本問題の回避はトナカイ飼育における重要課題であり続けている。これは牧畜管理の問題であるとともに、野生トナカイの移動ルートやその変化とも係わる問題でもある。この現象にはどの程度気象現象とその変動が関与しているのかという問題設定があるが、シベリアプロジェクトの活動結果として明らかにされる情報とも密接な関連を有するものといえる。

5 まとめ

上記で引用した 1980 年代の 2 件の資料は、ソ連期の末期かつペレストロイカによる農業分野の改革前夜のもであり、多様な側面から現場の声（物質的、組織的問題点等を含む）や家畜トナカイ飼育や野生トナカイ狩猟についての企業性の模索、企業経営や牧畜管理といった経営的側面、獣医学的な諸措置が問題提起されている内容である。とはいえこのような実践活動は 1980 年代の特徴ではなく、ソ連期を通じて類似の現場の試みはなされ続けてきたもので、その多くは現在まで継承されている。つまり、現在の家畜トナカイ飼育/牧畜の現状は、20 世紀を通じた企業性や商業性の追求という視点からのトナカイ飼育への維持・継続の（その成否にかかわらず）試行と実践の延長である。ただその依拠する経済体制が社会主義的農業集団化体制から市場制の経済体制に移行したということである。その体制転換自体は国家経済にしても地方経済にしても大きな出来事であるに違いないが、自然環境を相手に家畜を飼育することで経営を成立させること、という基本的構造自体は不変のものともいえる。

その上で、ソ連崩壊前後からこれまでの 20 余年の間の変化とその要因には一定の注意を払う必要がある。今後とも気候変動やそれに伴う環境変化の影響を調査・分析する上で、その他の同時に併存する変化要因を考慮しておくことは必要不可欠である。ソ連期最大規模に近い家畜トナカイ頭数であったペレストロイカ期の 1989 年当時の家畜トナカイ頭数は 230.6 万頭であり、現在の頭数（2008 年に 152.3 万頭）はその 66%に過ぎない。とはいえ、家畜トナカイ頭数に関しては、ペレストロイカ期に始まる頭数漸減傾向からソ連崩壊により急減傾向に変わり、2000 年には 119.7 万頭（1989 年比 52%）にまで減少した時点より反転し、回復途上にあるのが現在の状況といえる（頭数はロシア農業省統計による）。もっとも肉の生産自体は頭数の減少よりはるかに激減し、多くのトナカイ飼育企業においても肉の生産よりも、国家補助金の支給を受けながら生存生業に近い状況で存続しているところが多いのが現状でもある。

最近の北方先住民族の民族地理学的研究において指摘されていることであるが、遊牧生活の保障と支援をトナカイ飼育存続の重要な要因の一つとして挙げている[参考文献 C: Khrushchev 2007: 11-12]。ソ連期に強力な定住化を推進したにも拘らず、現在遊動/遊牧生活者が存続していること自体、北方先住民族の対（自然/社会）環境レジリアンスの一側面ともいえる。本稿筆者はその遊動/遊牧生活様式が環境変化に対するレジリアンスの大きさに大いに関係していると考え、このような指摘には関心を有さざるを得ない。

トナカイ飼育/牧畜の現場でも、また集落の管理・行政部門でも、気候変動に関連する環境変化については否定的/肯定的/無関心といった様々な反応がある。また飼育・経営に従事した経営責任者や専門家の中にも、開発や環境変化の影響は局限的であり、家畜トナカイ飼育の継続発展の可能性を楽観的に捉える者も少なくないことも判明した。気候変動等、環境変化を念頭に、トナカイ飼育/牧畜の対環境レジリアンスについて考察、分析するに当たり、このような経済的（一部には政治的）な要因と環境学的・生態学的要因との位相の異なる条件、それら相互間の条件を随時視野に入れて考察することが肝要である。

以上ここで主として取り上げた 2 件の会議報告抄録資料は、極北という広大な地域の産業化、資源有効化という国家的要請を前提として、トナカイ飼育を中心とする農牧・狩猟・採捕業の活用、規模拡大を目指してなされた、ソ連期末期の検討、研究の一環である。その中で 1980 年代と

いう時代の一側面において、トナカイ飼育と野生トナカイ狩猟に関しては、牧地・家畜管理や効率的経営・経済化といった視点を中心とした研究・検討がなされてきたことを読み取ることができた。このような研究実績や考察の内容は、現在につながるトナカイ飼育/牧畜の存立の基盤、評価、今後の継続性の検討に資するはずである。

参考文献

A (資料①)

Magadanskoe zonal'nyi nauchno-issledovatel'skii institute sel'skogo khozaistova Severo-Vostoka, *Sel'skoe khozhaistvo Krainego Severa. Tezisy dokladov i soobshchenii. Chast' 3. Olenevodstvo*. Magadan 1980

本文献所収報告 (本稿において引用したもの)

1. Andreev V.N., Problema razvitiya severnogo olenevodstva v svyazi s delikhenizatsiei pastbishcha. 1-3.
2. Bol'shakova K.A., Soderzhanie rtuti v nekotorykh kormakh severnykh olenei Yakutskoi ASSR. 91.
3. Lukicheva I.S., Gidrometeorologicheskoe obespechenie olenevodstva Magadanskoi oblasti. 12-14
4. Pomishin S.B., Sovershenstvovat' dobychu dikikh olenei. 35-37.
5. Pomishin S.B., Ob ispol'zobanii populyatsii dikikh olenei. 58-60.
6. Utkin V.V., Izmenenie olen'ikh pastbishch na Polyarnom Urale i Poluiskoi lesotundre pod vliyaniem vypasa, ikh patsional'noe izpol'zovanie i okhrana. 20-22
7. Utkin V.V., Chernykh N.I., K voprosu ob uvelichenii travyanykh kormov na olen'iikh pastbishchakh putem mineral'nykh udobleniya. 89-91.

B (資料②)

Ministerstvo sel'skogo khozyaistva RSFSR et al., *Olenevodchesko-promyslovoe khozyaistvo Krainego Severa*. Moskva. 1985.

本文献所収報告 (本稿において引用したもの)

8. Khlebnoi B.F., Sostoyanie i puti dal'neishego razvitiya olenevodchesko-promyslovogo khozhaistva Krainego Severa v svete Postanovleniya TsK KPSS i Soveta Ministrov SSSR No.115. 5-20
9. Nikonov V.P., Vstupitel'noe slovo. 3-4.
10. Tatarinov I.I., Problemy ratsional'nogo ispol'zobaniya resursov dikogo olenya anabara-bulunskoi populyatsii. 110-114.

C Khrushchev S.A., Geograficheskoe issledovanie ustoichivosti etnosenozov korennykh narodov Severa. Avtoreferat dissertatsii na kandidat geograficheskikh nauk. SPb. 2007. (manuscript).

サハ共和国におけるトナカイ牧畜民と環境変化：トンポ郡の事例より

中田 篤
北海道立北方民族博物館

1 はじめに

広く北方地域に分布する野生トナカイを対象とした狩猟、そしてユーラシア大陸北部地域で営まれてきたトナカイ牧畜は、各地の先住民の生業として重要な地位を占めてきた。しかし、近年の地球温暖化に伴うと推測される環境変化により、各地の野生／家畜トナカイはさまざまな影響を受けている (Oskal *et al.* eds, 2009)。ただ、地域によって、環境変化の質や規模、そしてそれらがトナカイに与える影響の程度は多様である。

本研究プロジェクトのグループ 3 (G3) では、地球温暖化が人間生活に与える影響および人間社会の適応をテーマとしているが、そのなかの重要なテーマの一つが、重要な資源であるトナカイとそれを利用する人間との関係である。

そこで本報告では、まず文献資料によって野生トナカイに影響を与えると考えられる環境変数を整理し、本プロジェクト G3 の野生トナカイの生態学的研究およびトナカイ牧畜研究における気候データや人工衛星のリモートセンシングによるデータ活用についての方向性を示した。

次に、トナカイ牧畜民の環境変化に対する認識調査と飼育トナカイ頭数の変動に関する統計資料から、サハ共和国トンポ郡におけるトナカイ牧畜に対する環境変化の影響を評価した。

そして、トナカイ牧畜に対する環境変化の影響評価のための第一歩として、同地域における気候変数（気温と降水量）の変化を抽出し、トナカイ牧畜民の認識および家畜トナカイの頭数変動との関連について検討した。

2 地球温暖化と野生トナカイ

2.1 地球温暖化による野生トナカイへの影響

Vors & Boyce (2009) によれば、世界各地の主要な野生トナカイ個体群の 6 割近くで個体数の減少が報告されている (図 1)。野生トナカイの個体数は長期的にみれば増減を繰り返してきたが、近年の全般的な個体数減少は、地球規模の気候変動に対する種としての脆弱性を示しているとも考えられる (Vors & Boyce 2009)。

2.2 トナカイ個体数の制限因

野生トナカイ個体群に対し、どのような環境要因がどのように影響しているのだろうか。Klein (1991) は、世界各地の野生トナカイ個体群を対象とした文献調査から、個体数の制限因として、人による狩猟圧、主としてオオカミによる捕食、食物制限（餌獲得可能性 [availability]）、季節的採食量・質の制限など、気象の極端現象 [climatic extreme]、昆虫（寄生虫）被害（ウシバエ [warble fly, *Hypoderma tarandi*]、ウマバエ [nasal bot fly, *Cephenemyia trompe*]、脳の寄生虫 [brain worm]（髄膜脳虫 [*Parelaphostrongylus tenuis*] か）、病気（大腸菌症 [Colibacillosis]）やブルセラ症 [brucellosis] など）、種間（ジャコウウシ、家畜ヒツジ）・種内（家畜トナカイ）競争、人為的開発（石油採掘や道路、鉄道、パイプライン、河川の砕氷船交通などの輸送回廊の建設）などを

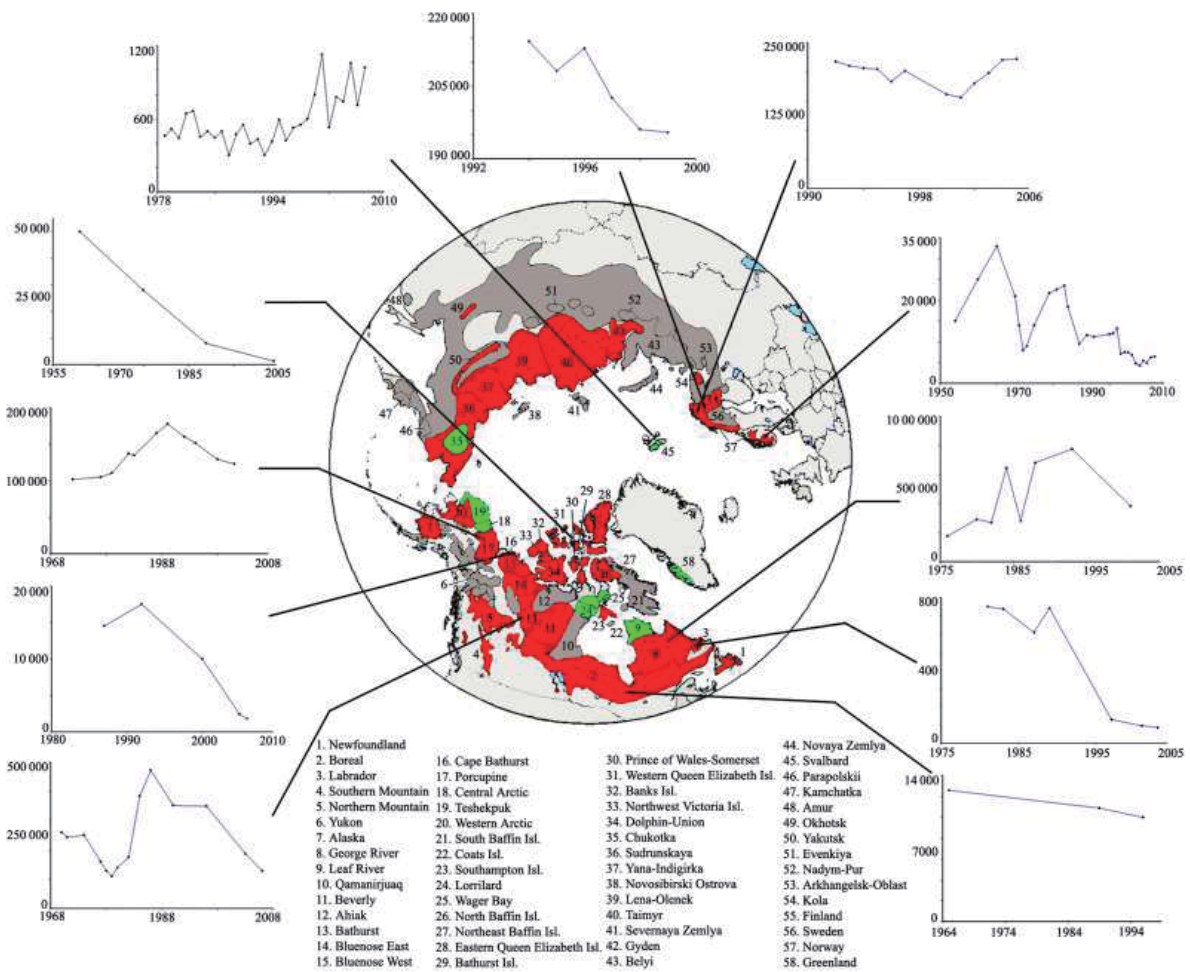


図1 各地のトナカイ個体群の増減傾向。赤は減少、緑は増加、灰色は不明を示す (Vors & Boyce 2009)。

挙げている。

また、Weladji ら (2002) は、北方有蹄類、特にトナカイの個体群パラメータにおける気候変動の影響を検討した。その結果、同一の気候変数による一致した効果を示すのは困難であることを示すとともに (表 1)、害虫被害 [insect harassment] が大きな影響を与えている可能性を示唆した (表 2)。

Weladji と Holand (2006) は、外的要因と内的要因がトナカイの個体群動態に与える影響を模式的に示した (図 2)。

さらに前出の Vors と Boyce (2009) は、トナカイ個体群に影響する変数として、生物季節学 (Phenology) の変化 (植物、ニクバエ類や蚊 [Aedes spp.])、他種動物 (ヘラジカや他のシカ類) の分布域との重複の空間的時期的変化、気候の極端現象 [extreme weather event] (積雪量、冬季の降雨による雪表面の凍結など) を挙げている。

これらの研究から、すべてのトナカイ個体群に共通する単一の制限因があるわけではなく、個体群ごとに特異的な制限因が存在する一方で、ほとんどの場合は複数の制限因が影響していることが指摘できる。そして上記制限因の影響の一部については、気温や降水量といった気象情報、あるいは土地被覆などの地理的情報によって評価することができると考えられる。

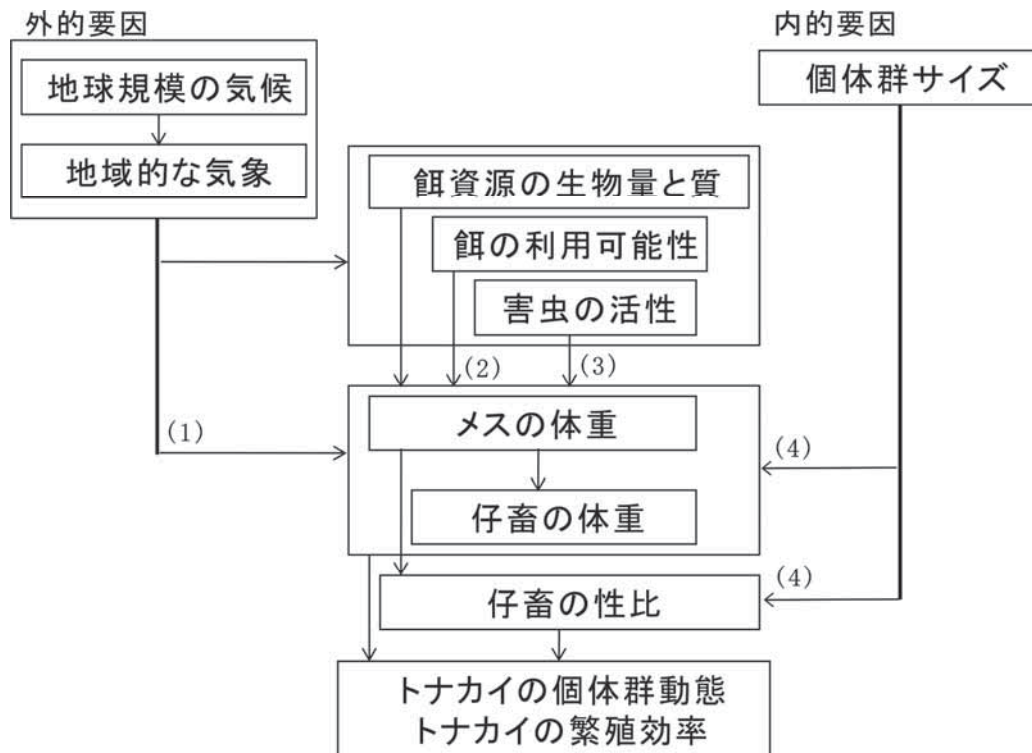


図2 気候がトナカイの生活史や個体群パラメータに及ぼす影響の模式図。(1)積雪下における採餌のエネルギーコスト、(2)凍結と深い積雪、(3)害虫被害 [insect harassment]、(4)種内競争 (Weladji & Holand 2006 より)

表1 年間の地域的气象変数に対するカリブー／トナカイの反応 (Weladji et al. 2002 より)

種	統計的・外形的パラメータ	気候変数	傾向	地域	文献
カリブー	仔獣体重	積雪	—	アラスカ	Adams & Dale 1998
	2,3,4,6 歳メスの出生率	晩冬季の積雪	—*	アラスカ	Adams & Dale 1998
	体の状態	厳冬指数	なし	カナダ、サウサンプトン島	Ouellet et al. 1997
	仔獣死亡率	融雪時期	—	アラスカ、カナダ	Fancy & Whitten 1991
トナカイ	仔獣生存数	発情前の暖冬 発情前の高湿度の冬 誕生前の暖秋	—* —! +!	フィンランド北部	Lee et al. 2000
	体重	前冬の厳しさ	—	ノルウェー	Skogland 1983
	繁殖状況	前 5・6 月の積算成長度日 (GDD) 数 前 7 月の積算成長度日 (GDD) 数と誕生前の積雪深	+ —	アメリカ、セワード半島	Finstad et al. 2000
	個体群成長率	冬季降水量	—*	ノルウェー、スバルバルド	Aanes et al. 2000

+: 正の相関 -: 負の相関 ! : $p < 0.10$ * : $p < 0.05$

表2 気候変動に対する害虫被害と関連するトナカイの反応 (Weladji et al. 2002 より)

気候変数	害虫被害 (harassment)	トナカイの反応	地域	文献
温暖な夏	増加	集合と移動	ノルウェー アメリカ/アラスカ州	Anderson & Nilssen 1996 Noel <i>et al.</i> 1998
温暖な夏 高温 雲の被覆	増加 増加* 減少*	体重減少 体重減少 体重減少	ノルウェー南部	Colman 2000
温暖な夏	増加	移動及び立位時間の増加、採餌時間の減少	フィンランド ノルウェー カナダ アメリカ/アラスカ州	Helle <i>et al.</i> 1992 Colman 2000 Toupin <i>et al.</i> 1996 Morschel & Klein 1997
高温 風速 雲の被覆 相対湿度	増加* 減少* 減少 増加	活動変化率増大	アメリカ/アラスカ州	Morschel & Klein 1997
風速	減少	妨害の低下	アメリカ/アラスカ州	Walsh <i>et al.</i> 1992
高温 風速 相対湿度	蚊個体数増加 蚊個体数減少 蚊個体数減少	妨害の増加 妨害の低下 妨害の低下	アメリカ/アラスカ州	Pollard <i>et al.</i> 1996

*P<0.05

3 地球温暖化と家畜トナカイ

3.1 地球温暖化による各地のトナカイ牧畜への影響

トナカイ牧畜は環極北地域で長い歴史を持つ生業活動であり、20以上の異なる先住民によって、伝統的にはノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ロシア、モンゴル、中国、現在はさらにアメリカ(アラスカ州)、カナダ、グリーンランド、イギリスを加えた各地で営まれている(Oskal 2008, Oskal *et al.* eds 2009)。

Oskal (2008)によれば、各地のトナカイ牧畜民は、気候変動による環境変化を認識している。それらは、例えば植物相の変化や有用植物の減少、寄生虫の増加といった生物多様性の変化、川の結氷・解氷時期の変動や冬季間の降雨に伴う雪中の氷層形成など、気候変動の直接的影響による変化、そして気候変動の間接的影響としての人為的開発活性化による環境変化などである。こうしたさまざまな環境変化は、トナカイの餌獲得可能性の変化や利用可能な土地の減少などを通じ、直接的、間接的にすでに各地のトナカイ牧畜に影響を与えている。

3.2 サハ共和国のトナカイ牧畜に対する影響

気候変動は、サハ共和国ではどのように認識されているのだろうか。サハ共和国のトンポ郡のトナカイ牧畜者らに対する聞き取りによれば、植生変化などに対する認識はあるものの、気候変動はトナカイ牧畜の主要な問題とはみなされていない(Oskal *et al.* 2009)。また、筆者による2009年、2010年の現地調査でも、気候変動やそれに伴う環境変化について若干の認識はあるものの、トナカイ牧畜に対する影響はほとんど認識されていなかった(中田 2011)。

一方、サハ共和国におけるトナカイ牧畜の状況を概観すると、ロシアの他地域同様、社会主義体制崩壊後に飼育トナカイ頭数は急激に減少するものの、近年は漸増傾向にあることが示される(図3)。G3の調査対象地域となっているコビヤイ郡、オレニョク郡、トンポ郡を抽出してみる

と、1990年代前半に飼育トナカイ頭数が激減する傾向はサハ全体と共通しているものの、その後オレニョク郡では頭数が回復していないのに対し、コビヤイ郡、トンポ郡では一定の回復がみられる。トンポ郡では昨年やや減らしたものの、ここ10年の傾向をみると、比較的順調に飼育頭数を増やしているように思われる。飼育トナカイ頭数の増減からみる限り、少なくともトンポ郡については、気候変動や環境変化の明確な影響は出ていないように思われる。

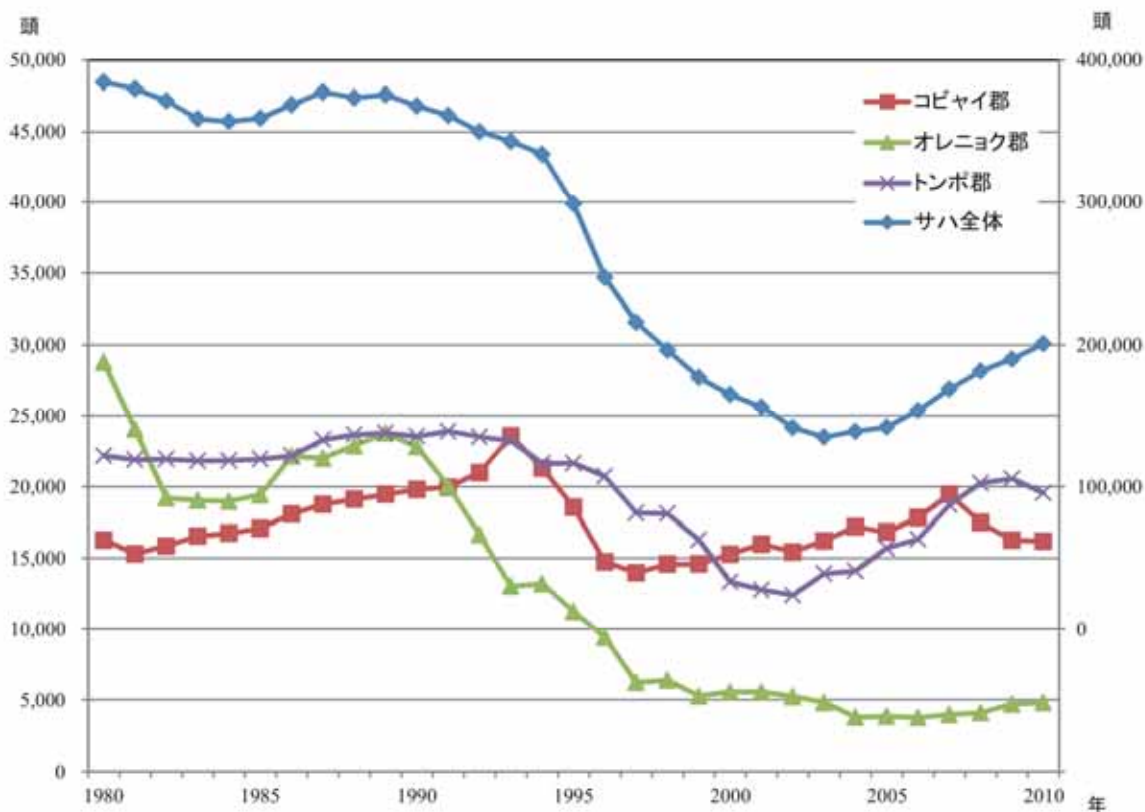


図3 サハ共和国全体およびコビヤイ郡、オレニョク郡、トンポ郡における飼育トナカイ頭数の推移（1980-2010年）（Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) Департамент традиционных отраслей Севера и рыбохозяйственной деятельности 2010より）

4 トンポ郡における気候変動

4.1 気候データの作成

トンポ郡において、実際に気候はどのように推移しているのだろうか。この点を確認するため、基本的な気候変数として気温、降水量の時系列変化を評価した。

まず、トンポ郡の領域（N62-30～N65-00, E135-00～E141-00、図4参照）に関して、山本一清氏（G2）がJAMSTEC提供のBMDSデータを使用し、スプライン補間によって緯度・経度方向に等間隔（0.5x0.5）の格子点（グリッド）データを作成した。

次に大島和裕氏（G2）が、このグリッドデータを使用し、格子点ごとに1950～2008年までの月平均値を作り、それを領域平均した時系列を算出した。その際、標準偏差の3倍以上の値を示した数値を異常値として分析から除外した。

こうして得た気温と降水量のデータから、近年の変動傾向を概観した。

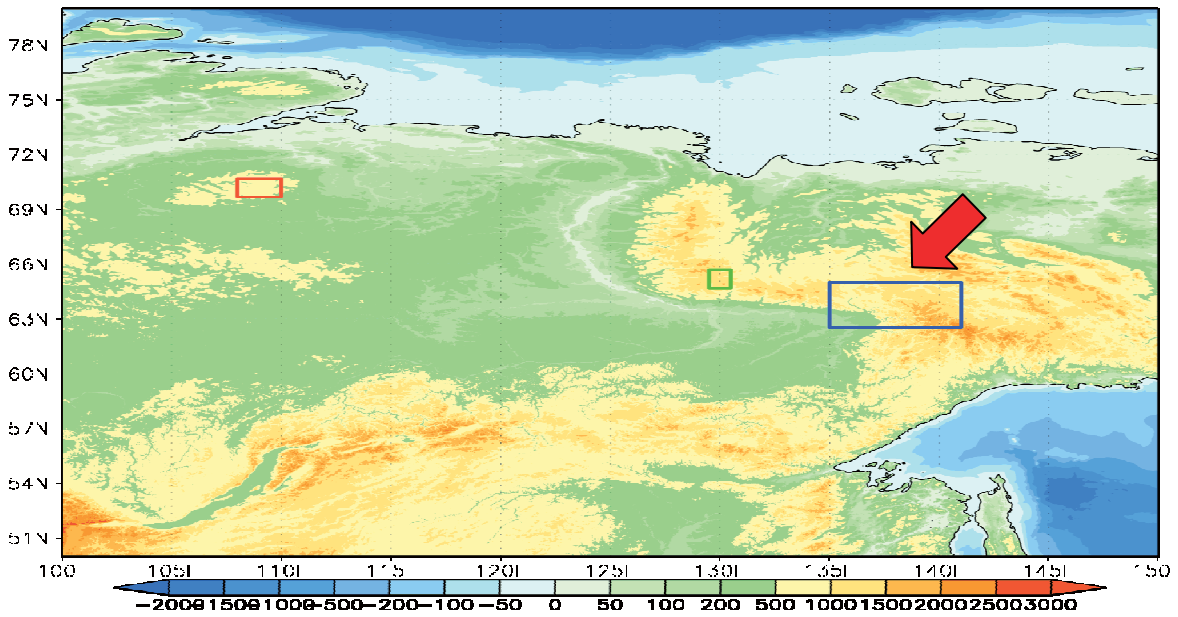


図4 気象データを算出した領域（大島和裕氏作成）

4.2 気温および降水量の変化

年平均気温については、トンポ郡でも高温化の傾向が確認された（図5）。1年を春（3～5月）、夏（6～8月）、秋（9～11月）、冬（12～翌年2月）に区切った季節ごとの比較でも、すべての季節で気温は上昇傾向を示したが、特に春と冬にその傾向が著しかった。ただ、こうした状況下でも、冬季の平均気温は-40℃程度と低温を維持していた。

年平均降水量についても、やはり増加傾向が確認された（図6）。特に夏の降水量は、年較差が大きいものの、顕著な増加傾向が示された。一方、冬の降水量については、むしろわずかに減少する傾向がみられた。

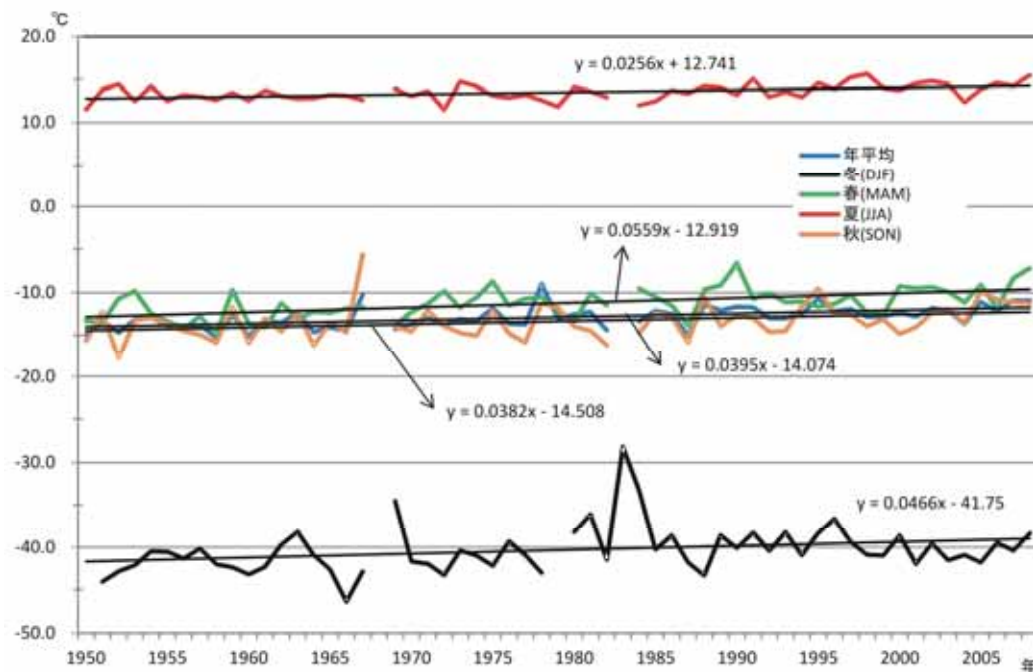


図5 トンポ郡における平均気温の推移（1950-2008年）

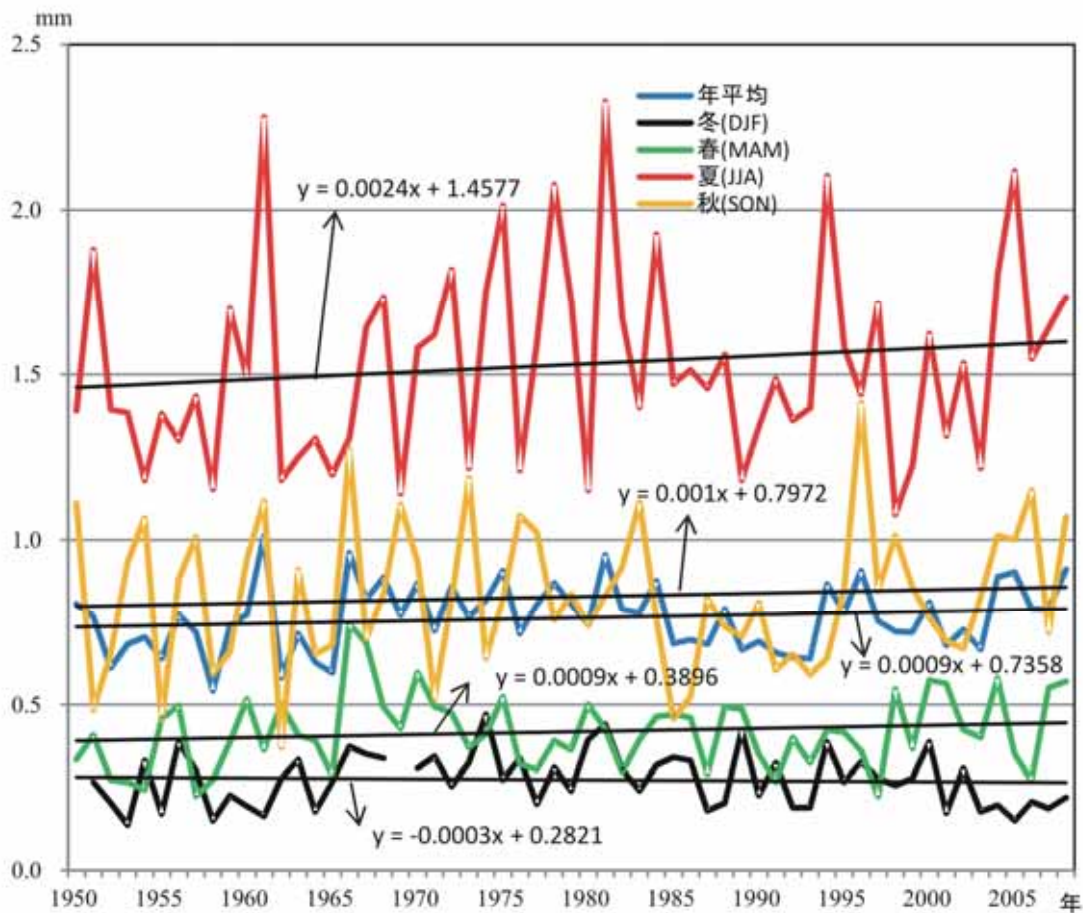


図6 トンボ郡における平均降水量の推移（1950-2008年）

4.3 トナカイ牧畜民の認識との関係

これらの結果から、トンボ郡のトナカイ牧畜民の環境変化に対する認識は、必ずしも気象変数の変化傾向とは一致しないことが示唆された。変化に対する認識がみられないのは、気候変動が現状では彼らの生活に支障のない範囲に収まっていることを示しているとも考えられる。例えば、冬季の気温は上昇傾向を示しているが、それでも平均気温は -40°C 程度と比較的低い水準を維持しているのである。より広範な聞き取り調査を実施することにより、こうした結果を補足する、あるいは変化に対する認識を掘り起こすことができると考えられる。

5 今後の方向性

トナカイの生態や行動に影響する制限因のうち、植生については人工衛星を利用したリモートセンシングによる環境変化のモニタリングがおこなわれている。

例えば Ree ら（2003）はロシア北極圏（ネネツ自治管区）において、Landsat-7 ETM+画像および Landsat-5 TM 画像を使用して1988年と2000年の土地被覆分類を生成し、トナカイの過放牧によってツンドラから草地への遷移が進行していることを示した。

また、Johansen と Karlsen（2005）は、Landsat MSS 画像（1973、1980年）、Landsat TM/ETM+（1987、1996、2000年）画像を利用し、ノルウェーのフィンマルク地方における地衣類被覆の減少を評価した。その結果、冬季放牧地では、1980年までは地衣類が豊富な植生が全地域の1/3以

上を被覆していたのに対し、1987年には25.2%、1996年には11.9%、2000年には6.0%に減少していることが示された。

同様の方法を適用すれば、サハ共和国のトナカイ放牧地域における植生変化に関する情報が得られると期待される。衛星画像を利用して広域的な土地被覆の変化を追跡し、植生変化の点からトナカイ牧畜への影響を検討していくことも可能であろう。

一方、トンポ郡では地球温暖化についてほとんど認識されていないこと、そして飼育トナカイ頭数からみる限りトナカイ牧畜には深刻な影響が出ていないことが示唆された。トナカイ牧畜民の認識については、より多くの情報を組織的に収集する方法を検討し、この結果を確認する予定である。

また、野生トナカイ個体群とは異なり、飼育トナカイ頭数の変動については、社会的・経済的要因が影響している可能性が高い。そのため、まずは飼育トナカイの斃死数や死因、自家消費数、出荷数・出荷額などに関する情報を収集し、変動の具体的な内容についてより詳細に検討していくことを計画している。

6 参考文献

- Johansen, Bernt, Stein Rune Karlsen 2005 Monitoring vegetation changes on Finnmarksvidda, Northern Norway, using Landsat MSS and Landsat TM/ETM+ satellite images. *Phytocoenologia* 35(4): 969-984.
- Klein, David R. 1991 Limiting factors in caribou population ecology. *Rangifer*, Special Issue No.7: 30-35.
- Morschel, Frank M. 1999 Use of climatic data to model the presence of oestrid flies in caribou herds. *Journal of Wildlife Management* 63(2): 588-593.
- Oskal, Anders 2008 Old livelihoods in new weather: Arctic indigenous reindeer herders face the challenges of climate change. *Development Outreach* 10(1): 22-25. World Bank Institute
- Oskal, Anders, Johan Mathis Turi, Svein D. Mathiesen and Philip Burgess eds. 2009 *Ealat Reindeer Herders' Voice: Reindeer herding, Traditional Knowledge and Adaptation to Climate Change and Loss of Grazing Land*. International Centre for Reindeer Husbandry
- Rees, W. G., M. Williams and P. Vitebsky 2003 Mapping land cover change in a reindeer herding area of the Russian Arctic using Landsat TM and ETM+ imagery and indigenous knowledge. *Remote Sensing of Environment* 85: 441-452.
- Vors, Liv Solveig and Boyce, Mark Stephen 2009 Global declines of caribou and reindeer. *Global Change Biology* 15: 2626-2633.
- Weladji, Robert B., David R. Klein, Oystein Holand & Atle Mysterud 2002 Comparative response of Rangifer tarandus and other northern ungulates to climatic variability. *Rangifer* 22(1): 33-50.
- Weladji, Robert B., & Oystein Holand 2006 Influences of large-scale climatic variability on reindeer population dynamics: implications for reindeer husbandry in Norway. *Climate Research* 32: 119-127.
- Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) Департамент традиционных отраслей Севера и рыбохозяйственной деятельности 2010 *Домашнее Оленеводство республики Саха (Якутия)*. Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) Департамент традиционных отраслей Севера и рыбохозяйственной деятельности
- 中田篤 2011 「サハ共和国におけるトナカイ牧畜について」平成22年度FR2研究プロジェクト報告「温暖化するシベリアの自然と人—水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応」pp.150-159. 京都：総合地球環境学研究所。

衛星追跡による野生トナカイの観測と政策展開の可能性

立澤 史郎 北海道大学大学院 文学研究科 人間システム科学専攻
Innokentyi M. Okhlopkov Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 はじめに

野生トナカイサブプロジェクトは、シベリア地域の温暖化に伴って変容しているといわれる野生トナカイの移動ルートや行動・生態の実態を解明し、その負の影響を強く受けるとされるいわゆる“トナカイの民”（トナカイに生業活動の多くを依存する北方少数民族）が状況に適応する方策を提言することを最終目的としており、当事者および関係する行政・研究機関の要請を受ける形で立ち上がった。そのために、プロジェクト前半期（2009-2011年度）においては、主に調査体制の確立と継続（データ蓄積）を、後半期（2012-2013年度）においては蓄積データによる変動実態の解析・モデル化と、その保全生態学的応用-すなわち政策提言-を、それぞれの目的として設定している。

本年度は、前半期から後半期への中継ぎとして、昨年度までの基礎段階の成果（サハ共和国における野生トナカイ衛星発信機調査の技術的調整、調査体制づくり、調査実施）を踏まえ、①移動ルート調査（観測）の継続、②広域調査と政策提言にむけた準備、の2点に取り組んだ。

2 2011年度移動ルート調査（観測）

本年度は、2010年8月捕獲の3個体（15個体中；2011年4月まで；Argosシステム）、2011年2月捕獲の2個体（4個体中；2011年2月～同9月；Argosシステム）、2011年8月捕獲の3個体（4個体中；2012年2月1日現在発信中；GPSシステム）の計8個体について、衛星測位による移動ルート追跡を行った。また、2012年2月に4個体（GPSシステム）、同3月に3個体（同）を追加捕獲し、追跡予定である。

本報告書作成時点ではまだ全てのデータが送られてきていないため、本年度において最も安定して長期間の観測（測位）が続いている3個体の移動ルートを示す（図1）。この3個体はいずれも2011年8月21日に、ほぼ同一地点を渡渉中に捕獲し、衛星発信機を装着して放逐した比較的若齢の個体である。これらを含めた観測結果については、以下の点について検討中である。

2.1 移動ルート

2010年度にほぼ同一地点で捕獲・放逐した15個体のうち、8-9月の移動時期に南下した集団（Southern Migration Group; SMG）の移動ルート（図1に淡白色で表示）と、2011年に捕獲した計8頭の移動ルートは、捕獲地点（移動中の渡渉地点）から2011年10月までの間、非常に近接していた。

すなわち、オレニョク川中流部の捕獲地点（オレニョクの約100km下流）から、支流のシリギル川（Силигир）沿いに源流（南南西方向）に向けて上がり、露天掘り鉱山で有名なウダーチヌイ（Удачный）を回避する形で東西に別れ、滞留（越冬）が開始される。ルートが互いに近接しているのはシリギル川沿いに高地へ上がり、ウダーチヌイにぶつかるまでの区間（図1のB）であり、この区間とその前後の区間（A・C）とでは、移動速度（日あたり距離）が4倍以上異なる（A:4.9km/日、B:21.0km/日、C:3.1km/日）ことから、Aを季節移動前期（捕獲攪乱期）、Bを季節移動後期、Cを越冬期、と定義できる。

これらの個体はいずれもオレニョク川を渡渉中に捕獲されたものであり、夏期にはこれより北方の低地帯で越冬していたと考えられるが、海拔100m以下のアナバル川デルタ地帯で越冬していたとして、越冬地（2011年17

日以降) までの移動距離は600-800km、捕獲地点からの距離では300km 足らずとなり、昨年度の結果同様、通常のツンドラトナカイの季節移動パターン(夏-秋に南下する)であるSMGの移動距離は比較的短いものとなった。

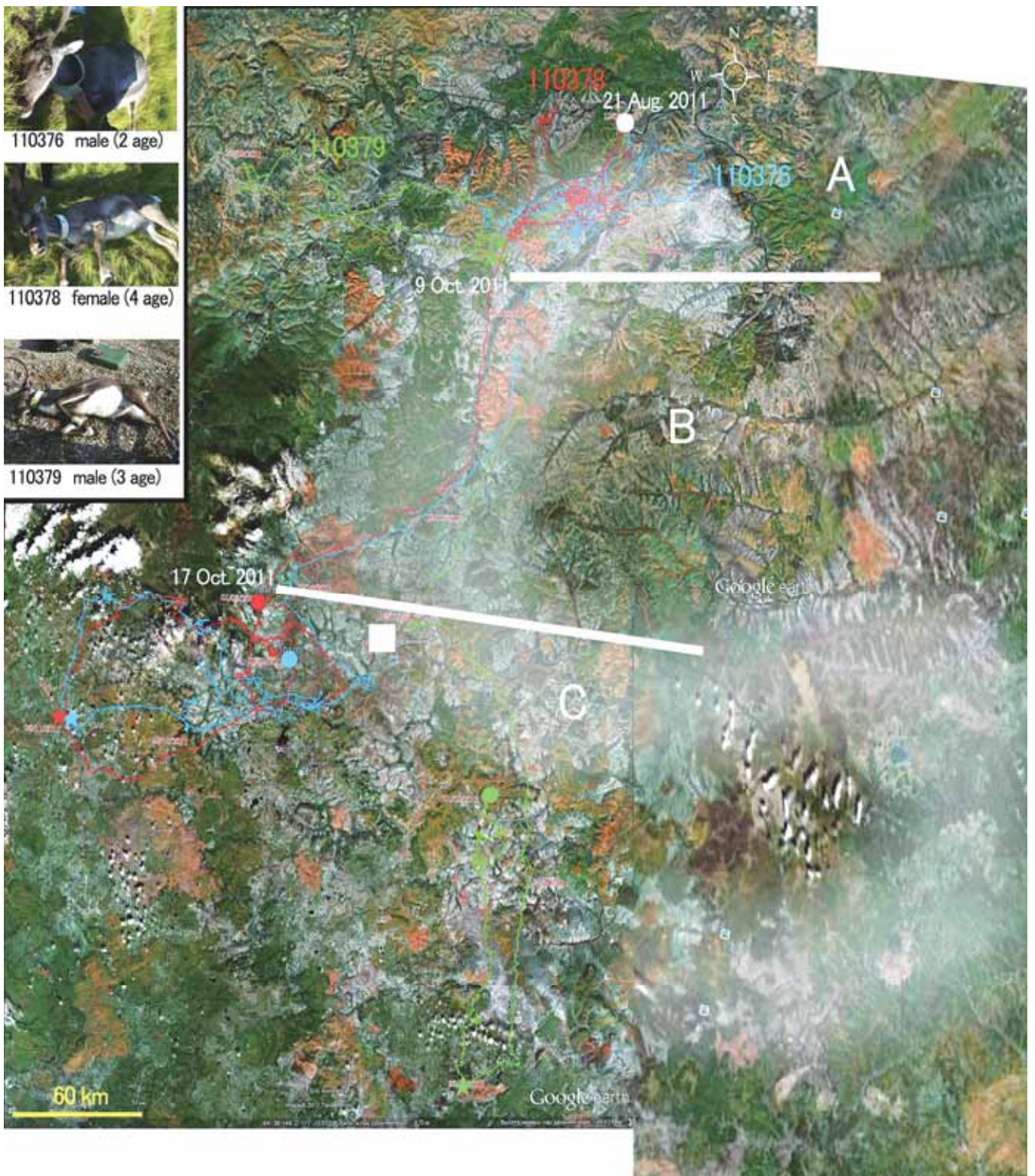


図1 2011年8月に同一地点で捕獲・放逐した野生トナカイ3頭の移動ルート

2010年8月に同一カ所で捕獲した9頭(Southern Migration Group)の同年11月初頭までのおよその利用場所。白丸が捕獲・放逐地点、各色の●印が2011年2月1日現在の位置、各色★印は「引き返し」行動が見られた11月8日の位置、■はウダーチヌイ鉱山の位置。

2.2 利用ハビタットと障壁

季節移動後期に選択されたハビタットは、非常に狭い範囲に限定されているが、このシリギル川源流部以南のエリアは、中央シベリア高原の東端にあたり、多数の河川による浸食谷の起伏が少なく、しかも高原の中腹にあたる。昨年度の現地確認調査で認められたように、ツンドラトナカイは季節移動時に、低地でも高地でもなく中腹の林縁周縁を利用する傾向がみられるが、これは地形（強い起伏を避ける）、気候（深い積雪や強風を避ける）、対捕食者（発見・逃走しやすい）、およびルーティング（迷いにくい）の点でメリットがあると考えられる。

このようなハビタットの選好性は、越冬期にも見られる。越冬期（C 区間）では、ウダーチヌイを東回りで迂回した個体（No. 110379）も西回りで迂回した個体（No. 110376、No. 110378）も、東に広がる低地帯や西に迫る高地部（海拔 700–800m 前後）に行かず、中腹部を南北に往復して過ごしている。

とりわけ特徴的なのは 11 月 8 日の行動で、3 頭が中腹部南端（南南東端）に辿り着いたのち、同じタイミングで逆方向に戻るといえば「引き返し行動」を見せている。これが、地形要因によるものか、それとも気象要因（ブリザード、氷雨など）によるものかは現段階では不明であるが、野生トナカイの移動ルート変化（ハビタット選択）と気候変動・気象変化との関係を解明する糸口になる可能性がある。

2.3 今後の課題

前述の、移動ルートおよびハビタット利用の観点から、解析と応用を進める。具体的な課題は以下の通り；

- a) 観測（測位）データの解析による時間的・空間的な異質性の検出
- b) 異質性の原因を特定するための地形・地勢・植生・気象データの整理と GIS 解析
- c) 特に、「引き返し行動」等気象特異的と考えられる意志決定行動の要因解析
- d) 野生トナカイの移動ルート・ハビタット選択モデル（意志決定モデル）の構築
- e) 現地調査と測位継続による上記の検証

また、実際に政策提言を行うためには、次の作業も進める必要がある。

- f) 上記モデルを用いた潜在的野生トナカイ分布地図/コンフリクト予想地図の作成
- g) 捕獲等により蓄積・保管した DNA サンプルの分析による個体群の遺伝的異同分析
- h) f と g をあわせることによる野生トナカイ保全/管理地図の作成

3 広域調査体制および政策提言に向けた活動

3.1 GPS-ARGOS システムの導入

本サブプロジェクトにおいては、2010 年度までの主に政策的状況（ロシア政府の国産機材使用指導）により、現在一般的に用いられている GPS 衛星を用いた位置観測（GPS-ARGOS システム；以下 GPS システム）ではなく、測位と位置情報伝達の双方を ARGOS 衛星で行う ARGOS-ARGOS システム（以下 ARGOS システム）を用いてきた（立澤 2011）。

この ARGOS システムについては、シベリアにおいては危惧されたほどの測位精度低下が起こらず、しかも衛星軌道やシステム特性により測位間隔等の面でむしろメリットがあることが本サブプロジェクトで実証され、サハ共和国政府（環境保護省）が他地域での野生トナカイ実態把握に本システムを採用するに至った。この過程で、野生トナカイ調査における GPS システムの評価の必要が認識され、共和国政府とロシア科学アカデミーの支援により、ロシア連邦政府による GPS 衛星利用許可が本サブプロジェクトに下りるに至った。

そこで本年度は、GPS システムを導入し、GPS 衛星と ARGOS 衛星の 2 手法により発信機（装着個体）の測位を行い、それらの情報を ARGOS 衛星経由で取得するようにシステムを改善した（ただし、本年度は予算的理由により、GPS 測位情報はインターネット経由でほぼリアルタイムで、ARGOS 測位情報は ARGOS センターに蓄積した後サハ現地本部＝IBPC へ郵送）。

3.2 広域追跡体制の準備

シベリア地域の野生トナカイ個体群（主要分布域）は、大きくタイミル、レナーオレニョク、ヤナーインディギルカ、スンドロン、チュコトカの5つがあるが、このうちチュコトカ以外では、いずれも個体数の減少もしくは分布域や移動ルートの大きな変化が報告されている。このため広域に居住し広く野生トナカイを利用してきたエベンキ民族代表部や各地方行政は、共和国政府に対して実態把握と対策を要望してきた。

これに対しサハ共和国政府は、本サブプロジェクトをきっかけとして ARGOS システムおよび GPS システムを、本サブプロジェクト調査地であるオレニョク地域以外の2箇所（ヤナーインディギルカ、スンドロン）について同一手法による調査を予算化しつつある（2011年度は予備予算）。このため、同時に各個体群の挙動を比較・検討する体制を構築するため、IBPC が中心となって捕獲・追跡方法の指導、測位データの集約、解析等を行う体制を検討中である。

一方、サハ共和国の西に位置し、ユーラシア大陸最大の野生トナカイ個体群が生息するタイミル半島では、野生トナカイの分布域が半島部から内陸へと移動し、種々のトラブルが生じているにもかかわらず、その実態把握はほとんど行われておらず、本サブプロジェクト地域におけるトナカイの動態との関係を明らかにする意味でも調査が急がれる。このため、2011年8月にカナダ（イエローナイフ）で開催された国際北極圏有蹄類会議（IAUC）においてロシアの野生トナカイに関する交流セッション（Kolpashikov et al. 2011, Okhlopov et al. 2011）を持ち、これをきっかけに現在、クラスノヤルスク地方とサハ共和国の研究者、および旧エベンキ自治管区代表部が協働した実態調査を検討中である。

3.3 野生ジャコウウシへの適用

ジャコウウシ（*Ovibos moschatus*）は北極圏最大の陸生動物（偶蹄目）だが、ユーラシアでは約3,000年前に絶滅し、過去数年間に、ロシア連邦政府、クラスノヤルスク地方政府、サハ共和国政府が、タイミル半島からサハ共和国北部にかけて、小規模個体群の再導入を始めている。夏期のハビタットを重複させるトナカイ（ツンドラトナカイ）が長距離の季節移動を行うのに対し、ジャコウウシは定着的で、厳冬期にもツンドラ域に留まって生活する。両種はイネ科草本や蘚苔類など食性が非常に類似するが、トナカイが南方へ移動することで、冬期の極端に減少する食物資源をめぐる競合が回避されている。しかし、温暖化によるトナカイの季節移動ルートの変容は、両種の間での食物競合を強化し、双方に負の影響をもたらすおそれがあると考えられ、このためサハ共和国政府とクラスノヤルスク地方政府では、特に野生トナカイとの競合関係の観点から、再導入集団の行動圏を把握する必要に迫られていた。

そこで本サブプロジェクトでは、集合性が高く個体間接触の度合いも大きい本種に対する適用性を判定するため、2010年度末にサハ共和国政府の許可を受け、アナバル川下流部の導入集団の1個体に試験的に ARGOS 発信機を装着し追跡した。この結果、本種においても野生トナカイと同等のデータ取得（有効測位期間12ヶ月）が可能であったため、本システムの採用を提言し、同国政府では2011年度以降の本格的運用を決定した（データの取得・分析は本サブプロジェクトで行う予定）。これにより、いずれも要管理動物である野生ツンドラトナカイとジャコウウシとの生態学的競合関係、およびそれを踏まえた保全・管理策の具体的検討が可能となり、同共和国の環境政策への直接的な貢献が期待される。

4 おわりに

本サブプロジェクトについては、最初の許認可関係で非常に時間をとられたものの、地元（サハ共和国）の需要とタイミングが一致し、かつ E. V. Kirillin, E. A. Nikolaev を中心とする捕獲班の実施能力の高さにより順調に捕獲・追跡が進んでいる。課題としては、①発信機寿命の短さの原因解明（寒冷反応か製品問題か）、②分析体制の確立（植生・気候・家畜トナカイ等のデジタル情報整備、分析手順の決定）、③広域調査およびジャコウウシ調査にプロジェクトとしてどの程度かわかるかの見極め、を2012年度前半に早急に行う必要がある。

ヤクーチアにおける毛皮獣狩猟の変化と外来種問題

池田 透

北海道大学大学院 文学研究科 人間システム科学専攻

1 はじめに

地球温暖化の影響には、高緯度地域においては一時的に米・小麦などの農作物の収穫量を増大させるという側面もある。高緯度地域であれば、1~3℃程度の気温の上昇は、一時的な収量の増加をもたらす、それ以上の上昇がみられた場合に収量の減少に転じるというものである。

ヤクーチアは高緯度地域に属し、農業において同様の影響があることが予測されるが、一時的な気候変動が生物の生息状況を好転させ、さらにそれが産業に影響を与えることは他の産業にも同様のプロセスが働いていることも推察される。特にヤクーチアはシベリアの重要産業である毛皮産業の発達した地域であり、かつて多くの毛皮獣を意図的に放獣して毛皮産業の発展を図ったが、北部の厳寒地域ではこれら放獣した毛皮獣が低温のために定着できなかったという経緯がある。ある程度の温暖化がこれら毛皮獣の生息域拡大に寄与する可能性も想定され、こうした変化があるとすれば、ソ連崩壊後は産業としての体をなさない状況にまで衰退したシベリアの毛皮産業にも影響が及ぶことも想定される。シベリアの毛皮獣狩猟は衰退したとはいえ、伝統的な産業として一部の狩猟者にはその手法から儀礼まで根強く受け継がれている状況にあり、地球温暖化が生物の生息状況については毛皮獣狩猟にどのような影響を与え、かつ人々がその変化をどのように認識し、適応しているのかを捉えることは、シベリアに住む人々にとっての地球温暖化の影響を捉える上で重要なポイントとなると考えられる。

そこで、本研究では温暖化の毛皮獣狩猟への影響に焦点を当て、特にソ連時代に毛皮獣として積極的に放獣され、北部の厳寒地域では定着に至らなかった外来種マスカラットについて、定着への温暖化の影響と狩猟者の認識を探ることから、狩猟者の地球温暖化の認識と適応について考察することを目的とした。

2 シベリアにおける毛皮獣狩猟の歴史

シベリアにおける毛皮獣狩猟の歴史は、帝政ロシア時代にまでさかのぼる。当時毛皮は「やわらかな金」と呼ばれ、シベリア産の毛皮はヨーロッパで高値で取引され、中でもクロテンの毛皮は珍重された。クロテン（セーブル）の毛皮は国家専売品であるとともに、先住民からは毛皮税（ヤサーク）として徴収され、15世紀から18世紀にかけての毛皮交易において最も重要な位置を占めていた（Long 2003）。

雷帝イワン4世の即位（1533年）以降、クロテンの毛皮を求めてロシアの東征が開始され、1578年にはコサック首長イェルマークの東進が開始されるに及んで拍車がかかり、わずか100年ばかりの1636年にはオホーツク海沿岸にまで到達した。16世紀末には、毛皮収入が当時の国家収入の三分の一にも及んでおり、いかに当時のロシアにおいてクロテンをはじめとする毛皮が経済において重要な地位を占めていたかをうかがい知ることが出来る。

3 シベリアにおける毛皮獣の生息状況

シベリアには多くの陸棲毛皮獣が生息している。ヤクーチアには、主要毛皮獣であるクロテンはもとより、ユキウサギ、アカリス、シマリス、マーモット、ホッキョクジリス、マスカラット、オオカミ、アカギツネ、ホッキョクギツネ、ヒグマ、ホッキョクグマ、オコジョ、イタチ、ミンク、クズリ、ヨーロッパカワウソ、ヨーロッパビーバー、オオヤマネコ、ジャコウジカ、ノロジカ、アカシカ、ヘラジカ、トナカイ、シベリアビッグホーン（ユキヒツジ）などの毛皮獣が生息している。サハ共和国のレッドデータブック（Алексеев 2003）に掲載されて保護されているホッキョクグマ、ヨーロッパカワウソ、シベリアビッグホーン（ユキヒツジ）、ズグロマーモット、ヨーロッパビーバー、ステップケナガイタチなどを除いて、多くの毛皮が人々の生活の中でも利用され、クロテン、オコジョ、イタチ、オオカミ、オオヤマネコ、アカリスなどの上質の毛皮は長く商品としても取引されている（池田 1996, Ikeda 2003）。

4 ソ連崩壊によるシベリア毛皮獣狩猟への影響

ヤクーチアの中心都市であるヤクーツクは、長い間東シベリアにおける毛皮の主要集積地であったが、ソ連崩壊による政治経済システムの変化によってヤクーチアの毛皮獣狩猟も大きな影響を受けた。経済の自由化に伴ってイタリア、ギリシャ等のヨーロッパ諸国や中国から格安な養殖ミンク毛皮が流入し、選別や加工に手間がかかって高価な野生毛皮獣の需要は低下し、現地毛皮の価格は暴落した。さらに国内のインフレが追い打ちをかけ、銃・弾等の狩猟用具価格も急騰し、ソフホーズ・コルホーズによる集団狩猟体制も崩壊し、1990年代半ばには野生毛皮獣狩猟は年金生活者の小遣い稼ぎや余暇として行われる程度に衰退した。図1にサハ共和国のエヴェノ・ブイタнтаイ地区のバタガイ・アリタ村のレーニン農業企業体における主要毛皮獣狩猟数の変遷を示したが、ソ連崩壊後に狩猟数が激減していることが見てとれる。

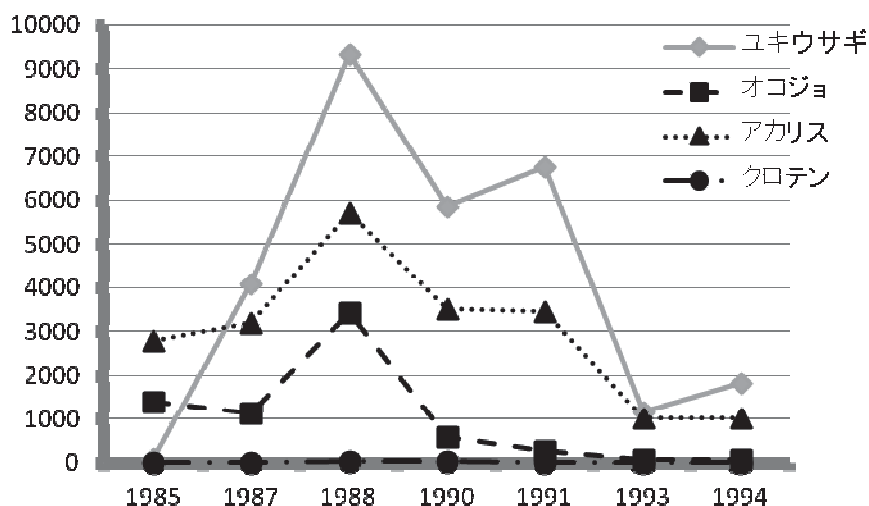


図1. エヴェノ・ブイタнтаイ地区バタガイ・アリタ村レーニン農業企業体における主要毛皮獣狩猟数の変動

また、隣村となるクストゥール村のブイタンスキーソフホーズにおける狩猟者からの毛皮購入価格は、1992年で狩猟者一人当たり約30米ドル、1994年で約70米ドルと生業の体をなすものではなかった。専門狩猟者の数自体も12人から4人へと減少していた。

世界各地で地球温暖化が叫ばれているとはいえ、実際の温度変化は人間が体感できるほどではなく、シベリアが極寒の地であることには変わりはなく、毛皮はシベリアの人々の生活にとっては防寒具として必需品である。トナカイやユキウサギなどの肉も利用できる毛皮獣は狩猟の対象にもなり、通常の防寒着などに利用されているが、いわゆる高級毛皮獣の需要が減少し、シベリアの毛皮産業自体が危機的状況に陥ってしまった。

こうして規模は縮小され、主要産業から年金生活者の小遣い稼ぎへと衰退してきたヤクーチアの毛皮獣狩猟ではあるが、マイナーサブシステム（松井 1998）として営まれる中に卓越した技術と創意工夫が残されていることを確認できた。現在の主要な狩猟罟は鉄製のトラバサミ型ワナではあるが、2010・2011年のヤクーツク周辺での狩猟活動への参与観察において、一部の狩猟者では狩猟対象動物に警戒感を与えないために周囲の環境に合わせて樹木で伝統的な罟を作成したり（写真1）、自然な倒木を利用した罟（写真2）や冬期間には氷で作った罟を自分で作成して利用していることが認められた。また捕獲した動物の死体処理の手法や儀式などにも動物の生命に対する崇拝の様子も垣間見られ（写真3）、シベリアにおける毛皮獣狩猟の歴史と人々と動物との関係性の蓄積が残されていた。



写真1. ヤナギの木で作られた伝統的イタチ罟



写真2. 倒木を利用した伝統的イタチ罟



写真3. 言い伝えに従って、木につるされて白骨化したシカの死体

温暖化の影響よりは経済に翻弄されたシベリアの毛皮獣狩猟ではあるが、サハ共和国政府も伝統的な狩猟の存続と再活性化には力を注いでおり、持続的な資源利用の範囲内での健全な狩猟活動の再興が待たれるところである。

5 最近の毛皮獣捕獲状況

総連崩壊によって壊滅的な状況へと追い込まれたヤクーチアの毛皮獣狩猟ではあるが、最近の狩猟統計ではさらに変化を見て取ることが出来る。

表1は、ヤクーチアにおける毛皮獣捕獲数の変動に関する統計資料であり、図2はそれを図に表したものである。

表1. 1996年～2006年までのヤクーチアにおける毛皮獣捕獲数の変動（生物研究所提供）

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
クロテン Соболь	19655	20074	27011	27805	32000	38741	30302	36485	38780	43065	42647
キタリス Белка	100464	136200	118982	58305	31802	41885	116657	106508	45740	64592	88286
イタチ Колонок	418	867	942	1321	1944	4940	3124	2148	2304	1867	1808
オコジョ Горноста́й	12201	17419	8364	13913	14507	14983	10292	8146	5821	7897	7955
キツネ Лисица			119	157	156	100	50	71	77	190	378
ユキウサギ Заяц-беляк	456	44	29	69	647	1082	1722	5319	5656	16552	34047
クズリ Росомаха			36	88	141	115	87	105	54		22
オオヤマネコ Рысь			7	7	7	2	2	5	1		
オオカミ Волк	1062	1150	881	811	675	739	771	878	727	693	487
ホッキョクギツネ Песец	1069	622	1477	1648	605	849	476	1379	1055	905	2538
マスカラット Ондатра	142367	117734	161681	187995	164729	192689	103501	225163	176899	180273	247818

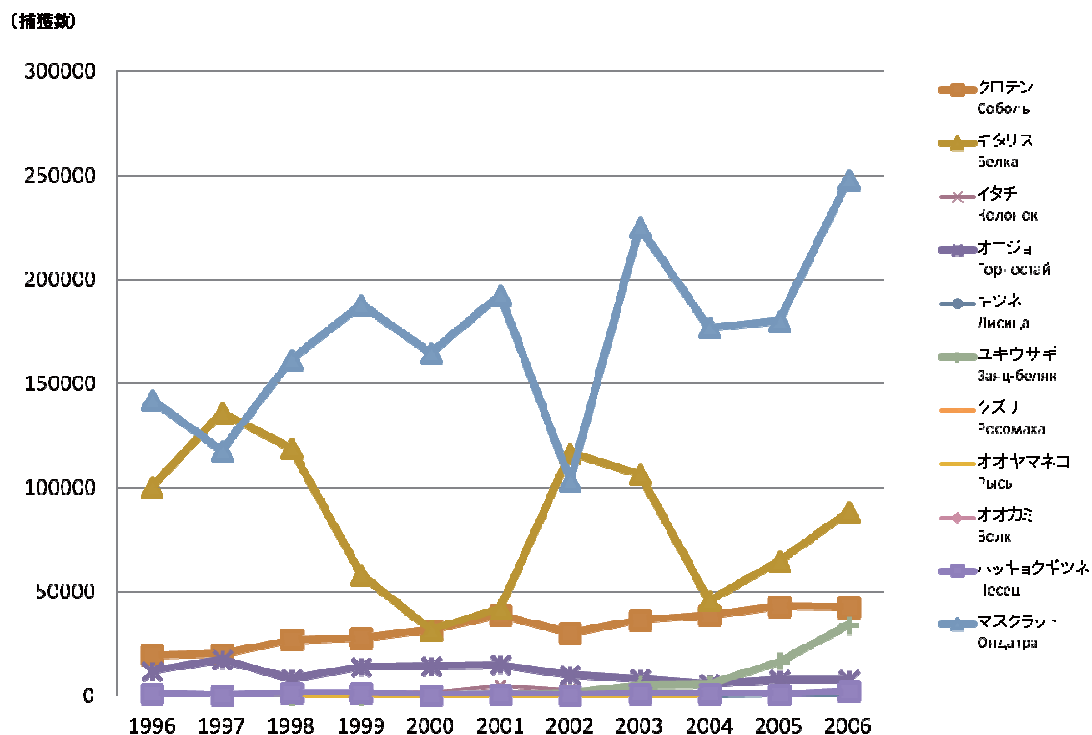


図2. 1996年～2006年までのヤクーチアにおける毛皮獣捕獲数の変動（生物研究所資料より作成）

クロテンでは捕獲数が多くはないが安定した捕獲が続いている。キタリスは捕獲数に周期的変動がみられるが、これはリス類では個体数の周期的変動がみられることが知られており、その影響であることが考えられる。また、マスクラットでは徐々に捕獲数が徐々に増加しており、ユキウサギでも捕獲数が近年急増している（図3）。

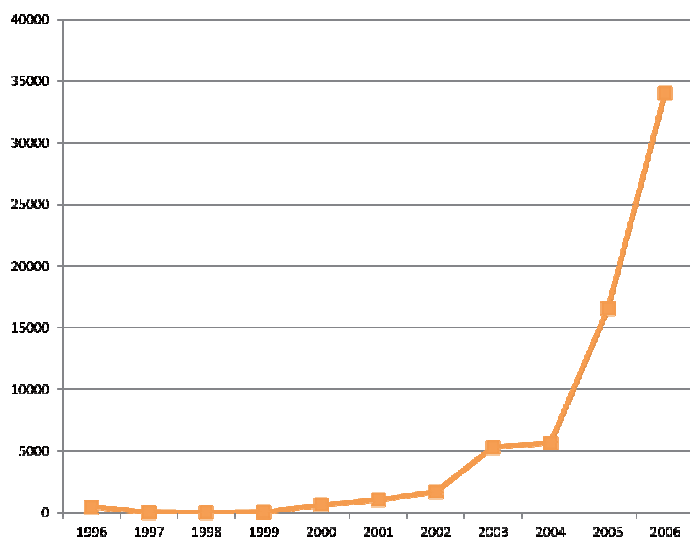


図3. ヤクーチアにおけるユキウサギ捕獲数の変動（生物研究所資料より作成）

こうした変動をみるとヤクーチアにおける毛皮獣狩猟に復興の兆しが見えてきたとも捉えられるが、実態は復興にはほど遠い状況であり、毛皮獣の売値は相変わらず低価格であり、クロテンで毛皮1枚の価格が2000-3000ルーブル、マスキラットでは50-85ルーブル、一番高価なオオカミで10000ルーブルでしかない。また、狩猟者への聞き込みでは2000年以前は毛皮目的ではなく、食用としての肉が目的の狩猟であったという。プロフェッショナルハンターは相変わらず少なく、毛皮獣狩猟は無職者の小金稼ぎという状況に変化はない。

さらに、マスキラットは他と比較すると現在の捕獲数は多いが、過去のソ連時代と比較すると捕獲数は少なく、ユキウサギも過去の捕獲レベルからみるとほとんど獲れていないに等しい状況となっており、毛皮獣狩猟が再び活発化する方向に向かっているとは判断できない状況にある。

6 ヤクーチアにおけるマスキラットの導入

こうしたヤクーツクの毛皮獣狩猟において、現在最も多く捕獲されているマスキラットは外来種であり、毛皮目的で導入された種であるが、現在のマスキラットに対する地域住民の認識は温暖化の影響とも関連して変化がみられることで注目に値する。

マスキラットは毛皮獣として人間に利益をもたらす一方で、害獣としての側面も持ち合わせており、世界的にも侵略的外来種として注目され、特にヨーロッパでは大きな被害をもたらしている。1905年にチェコスロバキアの皇太子が5頭(♂2・♀3)をアラスカから持ち帰り城の庭に放逐したものに端を発し、50年で全ヨーロッパに拡大した(エルトン1971)。イネ科草本や貝類の摂食による生態系への影響の他にも、オランダでは土手に穴を掘り堤防が決壊し、洪水を助長することで害獣扱いとなっている。

前述のように、導入目的は毛皮利用であるが、まずは東シベリアと極東へ導入された。1932年から1970年にかけて31132頭が東シベリアと極東に放逐され、ヤクーチアでも1930-31年の導入以来、広範囲に定着がみられた。北部のエヴェノ・ブイタナタイ郡でも数回にわたる放逐が実施されたことは確実ではあるが、正確な記録は不明となっている。この北部地域での導入はすべて失敗し、マスキラットが定着することは無かったが、失敗の理由は、ヤクーチア北部では低温によって湖沼が結氷するが、底まで完全結氷すると、マスキラットが水中を移動できずに生息することができなくなるということにあると推定される。しかし、温暖化によって氷厚が薄くなることやアラスカが増加することで、マスキラットの生息に適した環境が創り出され、生息分布が拡大する可能性も考えられる。このことは、狩猟活動に好条件となるとともに、マスキラットは土手に穴を掘って巣を作ることもあることから春季の洪水被害を増大させることにつながる可能性もある。

7 自然環境保全意識の高まり

狩猟が復興してきたわけではないにしろ、図3ではユキウサギ捕獲数の増大がみられた。これは、実はユキウサギの捕獲数が減少したために個体群密度が高くなっていることが予想され、そうした高密度状況下で病気が発生した場合に個体群全体が絶滅してしまうことを防ぐための個体数調整の意味を持つ、野生生物管理(Wildlife management)のための意図的な捕獲の強化が原因であった。

マスキラットもこれまでの増殖からコントロールへ方向が転換されているという。マスキラットの毛皮は強度に優れ、ソ連時代にはブラックマーケットも存在するほどの人気だったという。北東ヤクーチアだけでも100万頭の捕獲があったとされ、現在は以前と比較すると捕獲数も減少

しているが、マスキラットにおいても他の毛皮同様に毛皮が低価格のためにマーケットの関心が薄く、さらに人工毛皮の出現が毛皮需要にさらに打撃を与えている。

さらに、前述のように土手を掘って破壊することが洪水助長要因として問題視され始め、ソ連時代は毛皮のために個体数調整していたが、現在では研究者も住民も環境問題としての管理が必要という認識が拡大してきている。現在、銃と罠による狩猟でコントロールも進められるようになり、政府は外来種問題としてのマスキラット対策を現在検討中で研究用助成金を準備しているという状況であり、外来種に対する認識の変化もみられている。

外来種問題は、今や人間活動による生息地破壊に次ぐ野生生物保全上の世界的重要課題となっているが、ヤクーチアでは以前は外来種問題に対する意識は希薄であった。ソ連時代からの野生生物保全よりも経済活動重視という社会的風潮のためか、同一分類群内での種間関係にのみが注目され、生態系管理の概念が希薄な状況にあったが、現在は生態系管理意識が浸透しつつある。

8 狩猟従事者における温暖化の認識

2010年と2011年の3月に、ナムスキー郡のケンケメ川周辺での狩猟に同行して参与観察を行った際に、温暖化に対する狩猟者の意識調査も実施した。

2010年3月の調査では、マスキラットとキツネ狩猟が目的であり、インフォーマントは4名、2011年3月の調査では、イタチ類、オオカミ、キツネ狩猟が目的であり、インフォーマントはやはり4名であったが、彼らへのインタビューでは、彼らの中では温暖化の影響はほとんどない(わからない)という反応であった。彼らは、ニュースなどで温暖化問題は認識しているが、実際に温暖化を体感するまでには至っておらず、狩猟への影響から温暖化を意識するよりも社会的影響で温暖化問題を認知しており、頭では意識しているが、体感していないというのが現状のようである。彼らはマスキラットへの温暖化が与える影響にも否定的であり、現地のマスキラット研究者は温暖化によるマスキラット増加可能性に同意を示したのに対して、現場の狩猟者にはマスキラットが増加している感覚はない。その理由としては、以前と比較してまだまだマスキラット捕獲数が少ないということもあると思われるが、近年の年間平均気温の変動幅(約2℃)よりも、年較差・日較差の方がよほど大きいため、一般住民には温暖化は体感されないためとも推察された。極寒のヤクーチアにおいては、温暖化は社会的事象としてのみ認識されていることがこれまでの調査からはうかがえる。



写真4. ケンケメ川流域でのマスキラット狩猟

9 地域住民の認識と生態系変化への適応パターン

住民は温暖化への認識が薄い、あるいは感じていないことが想定される一方で、「現象としての温暖化」に関する知識は浸透している。

マスキラットの事例から考えてみると、マスキラットが実際に温暖化で定着が促進したかは確認されていない状況であり、今後の調査を続行する中でローカルな氷厚データの収集などから可能性を検討したり、また詳細な捕獲データ分析を行う必要がある。

しかし、一方で、マスキラットが実際に増加して洪水が増えたからではなく、洪水被害を増大させる可能性があるという認識のために、マスキラットへの態度に変化がみられ、結果としてマスキラットは保護から管理へと方向転換が計られていることに着目したい。

ヤクーチアにおけるマスキラットへの対応の変化には、一般に想定される「温暖化の体感 → 経験の蓄積 → 認識の変容 → 適応戦略」というパターンではなくて、「温暖化の知識先行 → 社会変化あるいは関連するコストの増大といった経験によってが認識が促進 → 社会的な対応強化（個人的適応はみられない）」というパターンが読み取れる。「体感」はどこに入るのか、それともどこにも入らないのかという問題は残されており、今後の調査では、この点をさらに明らかにする必要がある。

10 今後の調査課題

毛皮獣捕獲に関しては、捕獲状況の変化は、予想以上に環境変動よりも社会変動の影響を受けていることから、捕獲データから生息数変動を抽出するには CPUE (Capture Per Unit Effort : 単位捕獲努力量あたりの捕獲数=捕獲頭数÷出猟人数・日数) 調査の実施が必要であり、現地の協力を絵ながらデータの収集を試みたい。また、全体統計では細かな地域の変動が相殺されてしまうことから、郡毎の捕獲統計データで変動を捉え直す必要があり、生物研究所の協力の下にデータの収集に努め、極端な変動を示した地域に分析をシフトすることを考えている。

マスキラット捕獲については、郡毎のデータ収集と分析とともに、気象データから Freezing index (凍結指数) を割り出し、温暖化がマスキラット定着に与える影響を具体化する分析を進めるよていである。また、現在 Yu.S.Lukovtsev, V.Yu.Chibyev, I.M. Okhlopov と共著で、ヤクーチアにおけるマスキラット導入に関する論文を作成中であり、早期の論文完成を目指していきたい。

引用文献

- Алексеев, В.Г. и др. (2003) Красная Книга Республики Саха (Якутия). Сахаполиграфиздат. Якутск.
- エルトン, C. S. (1971) 『侵略の生態学』 思索社.
- 池田透 (1996)「サハ共和国エヴェノ・ブイタンスキー地区における毛皮獣狩猟と猟獣管理」, 齋藤農二編『シベリアへのまなざし (シベリア牧畜民の民族学的研究)』文部省科学研究費国際学術研究 (学術調査) 研究成果報告書, 127-136 頁.
- Ikeda, T (2003) Present Situation of Furbearer Hunting in Northern Yakutia: Turning Point of Traditional Hunting Activities., *Northern Asian Studies*, 6:77-88 (Indigenous Ecological Practices and Cultural Traditions in Yakutia, Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University)
- Long, J.L. (2003) *Introduced Mammals of the World*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

松井健 (1998) 「マイナー・サブシステムの世界—民俗世界における労働・自然・身体—」, 篠原徹 (編) 『民族の技術』朝倉書店.

G3c (環境認識・政策研究チーム) 活動要約

藤原 潤子

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

1 目的

G3c チームの課題は、①環境変化に対する地域住民及び政府の認識・対応を明らかにすること、②その分析においてキーワードとなる適応性・脆弱性概念を精査することである。今年度からはさらに、③地域住民の自然認識を理解する上で助けとなる民俗的自然観への理解を深めることも課題とした。

2 研究の進捗状況と今後の展望

①のテーマについては、昨年に引き続き、近年頻繁化・大規模化している水害、及びそれに伴って浮上している移住問題について調査を行った。今年度の調査地は、洪水被害を理由として移住が決定しているアルダン川沿いの村落である。また、1990年代末以降の環境変化への適応を考える上で、その前に起こった社会変化(1991年のソ連崩壊と市場経済化)への適応のあり方も重要な意味合いを持つという観点から、これまでのフィールド調査資料の見直しも行った。今後は、現在進行中の移住プロセスに注目しつつ、移住先での適応のあり方も含めて調査を行っていきたい。

②のテーマに関しては、プロジェクト内でワークショップを行い、フィールドで集めた事例をこの観点から考察する方法についての議論を行った。また、適応・脆弱研究で用いられている方法論を定性的研究・定量的研究、複合研究に分類し、その傾向をまとめた。今後は方法論的分类をさらに充実させ、地域別の適応の特徴と適応方策をまとめることで、適応の全体像を明らかにする予定である。

③のテーマに関しては、フォークロア的な文書資料の収集と分析に着手した。具体的には、サハ人のフォークロア、コリヤーク・アリュートルのフォークロア、その他のシベリア諸民族の洪水神話である。災害体験の継承方法のひとつとして神話を見直す、温暖化を原因とする近年の洪水をめぐる言説とフォークロアにみられる自然観とのつながりをさぐる、などの方法で考察を行った。今後はこの方向でさらに分析を進めるとともに、シベリア諸民族の水に関するフォークロアの翻訳資料集の出版も行っていく予定である。

シベリアの村における社会変化と気候変化 —サハ共和国アルガフタフ村の例から—

藤原 潤子

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

1 はじめに

東シベリアに位置するロシア連邦サハ共和国では、1990年代末以降、顕著な気候変化が観察されている。中でも共和国レベルで大きな問題となっているのが、温暖化の影響によると見られる洪水（春の雪解け洪水、永久凍土融解による洪水、多雨による洪水など）である。

現在、現地の人々は気候変化への対応を迫られているが、そのあり方を観察するにあたって無視できないのが、1991年のソ連崩壊とその後の市場経済化という社会変化である。大きな痛みを伴う社会変化に懸命に適応してきた人々が、現在、新たなる困難として直面する気候変化にどう対応しているのだろうか。社会変化とそれへの適応は、気候変化とそれへの適応とどのような関係にあるのだろうか。本報告では、サハ共和国の極北に位置するアルガフタフ村を事例として、これについて記述したい。

2 調査対象地域と方法

2.1 北極圏のアルガフタフ村

調査地のサハ共和国スレドネコリムスク郡アルガフタフ村は、コリマ低地を流れるアラゼヤ川沿いに位置する。この村は北極圏に入っており、北極海に注ぐ河口までの距離は825キロ、自然条件はタイガとツンドラの遷移帯である。気候は非常に寒冷で、冬にはマイナス40度を下回る日も多い。

村の成立年は1934年で、2010年現在の人口は567人、179世帯である。住民は主にチュルク系言語であるサハ語を母語とするサハ人である。村内には生活していくのに必要最低限の公共施設がある。具体的には、役場、学校（日本の高校までにあたる）、幼稚園、病院、ディーゼル発電所、暖房供給施設、村企業2、国営商店1、私営商店3、ミルク引き取り所、銀行窓口、滑走路、図書館、博物館、郵便局、電話局、テレビ・ラジオ電波局、公民館である。

2.2 調査方法

2010年春、2010年夏にアルガフタフ村に滞在し、インタビュー、参与観察、文献及び役場などにある行政文書の収集を行った。これと平行して、共和国首都ヤクーツクや郡の中心の町などで、行政関係者へのインタビューも行った。これまでにインタビューを行った組織は、サハ共和国政府、サハ共和国洪水被害撲滅・復興執行部、サハ共和国非常事態省、スレドネコリムスク郡、共和国政府依頼の研究プロジェクト「アラゼヤ2008」である。

3 結果と考察

3.1 安定したソ連時代の暮らし：1991年まで

ソ連時代、アルガフタフ村には豊かなソフホーズがあった。ソフホーズには、牛飼育、馬飼育、漁業、毛皮獣狩猟、毛皮獣飼育などの部門があり、村人の大多数がここで雇用されていた。ソフホーズでは生産手段と生産物の現金化ルートが確保されており、村人は安定した収入を得ることができた。

交通アクセスについては、1958年までは馬やトナカイ橇、犬橇のみであったが、1958年に村から140キロの距離にあるスレドネコリムスク（郡の中心の町）まで小型飛行機が就航、後にヘリコプターも飛ぶようになった。以後、政府の補助金を受けて、非常に安価で、通年週4便飛行機が飛ぶようになり、人の移動は基本的に空路のみとなった。

また、村で生産された毛皮や肉なども町まで空輸されるようになった。さらに、食品・雑貨が町から空輸され、村の店ではいつでも必要な物を買うことができた。

3.2 ソ連崩壊後の変化：1992年以降の市場経済化

上記のような安定したソ連時代の暮らしは、ソ連崩壊と共に激変することになる。まず生産活動について見ると、他の地域の村々同様、アルガフタフ村においてもソフホーズが事実上倒産し、多くの失業者が出るようになった。役場の職員、学校教師などを除いて、ほとんど村に仕事ができなくなり、現金を手に入れるのが困難になった。ソフホーズ崩壊に伴い、生産手段の入手ルート、毛皮、肉、魚などの生産物の現金化ルートも崩壊した。

交通に関しても状況が一変した。ソ連時代、通年週4便あった航空便に対する国家の補助金が激減したためである。まず冬についてであるが、飛行機が全く飛ばなくなった。代わりに使われるようになったのが、冬道路と呼ばれる氷上道路である。村の周りは川や湖が多数点在する沼地だが、マイナス40度以下にもなる冬にはすべてが凍るため、整地すれば道として使うことができる。飛行機よりも時間はかかるとはいえ、現在でも比較的便利に移動することができる。

冬の移動に関しては悪くない代替策が見つかったが、問題は水のせいで陸路が使えない夏である。夏は週に1フライトだけは残されたが、機体不足その他の事情により、スケジュールはあつて無きがごとしである。夏に移動の必要にせまられた場合、人々はいつ飛ぶかわからない飛行機に乗るために、毎朝9時に荷物をまとめて、何日も飛行場に通うというような不便を強いられるようになった。

夏よりさらに悪いのは、春と秋である。川や湖の氷の融解期・凍結期にあたるこの時期、地面が濡れるため、滑走路の使用は不可能である（村の滑走路はアスファルトではなく土でできている）。もちろん陸路もない。そのため、救急ヘリを除いて村は全く外界から途絶した環境になるのである。

ソ連崩壊後の交通事情の悪化は、物流にも大きな影響を及ぼした。まず町から村への物の流れについてである。ソ連時代は年間を通じて、村の商店に様々な商品が並べられていたが、現在では商店は基本的に、冬道路の使える時期（12～4月頃）にのみ数回仕入れを行い、それを一年かけて売る。そのため、春から夏、秋と季節が移るにつれ、店から商品が消えていく。またかつては輸送コストを国家が負担していたため、どんな僻地でも都市部と同じく安価で物を買うことができたが、現在ではコストが売価に上乘せられるため、村では非常に物が高くなってしまった。たとえばサハの首都ヤクーツクでキロ15ルーブルのジャガイモが、村では50～80ルーブルになるという具合である（1ルーブルは3～4円程度）。さらに村から町への物の流れも変わった。膨大な輸送コストがかかるために、村の生産物を外に運び出すと値段が高くなってしまふ。そのため、物を生産しても売れない状況に陥ってしまったのである。

3.3 社会変化への適応

ソ連崩壊に伴って前節のような困難が生じたが、人々は様々な形で適応していった。そのひとつが家族単位での生産活動の活性化である。ソ連時代、魚、肉などの主な生産主体はソフホーズだったが、現在ではそれが家庭に移った。つまり家族単位で漁を行ったり、牛や馬を飼ったりすることが、かつてよりもさかんになったのである。また、野菜の空輸量が減り、値段が高騰したことを受けて、これまで行われていなかった野菜の栽培も行われるようになった。数十センチ掘れば永久凍土に行き当たる北極圏の土地は、栽培には全く向いていないが、栽培用の箱に足をつけて地面から持ち上げることによって地面の冷気が伝わらないようにしたり、ビニールハウスに夏の間も火を焚いて暖めたりするなどの工夫により、ささやかではあるが収穫が可能になったのである。さらに、ジャム類や果物の缶詰の空輸が減ったことに伴い、人々は森に生える野性のベリーをかつてよりも熱心に集めるようになった。このような家庭内の生産活動は、概ね自家消費を目的として行われている。

村外でしか手に入らない食品のうち、村人にとって必須の品は小麦粉、砂糖、植物油であるが、ソ連崩壊後は商店での年間を通じた購入があまり期待できなくなった。そのため、人々は冬道路が使える間に自ら町に買出しに行く、あるいは村役場のとりまとめにより、まとめて調達するようになった。

かつては年中物が手に入ったため、さほど食料を備蓄する必要はなかったが、冬以外には基本的に計画的な移動ができない現在では、上記のような形で自家生産したり町で調達したりした品を大量に備蓄するようになった。移動は基本的に、やむを得ない場合を除いて冬のみである。そのため家の中には、1年分の砂糖や小麦粉などが、数十キロ～数百キロ単位で砂袋に貯蔵されている。またサハは永久凍土地帯に位置するため、地面を掘れば天然の地下冷凍庫ができる。魚、肉、ベリーなどはこのような地下貯蔵庫に保存し、1年を通して食料に困らないよう備えるのである。

ソ連崩壊によって、現金収入の激減、交通の途絶化という問題に直面した人々は、以上のように、最低限の現金で暮らせる生活システム、冬道路使用期に合わせた年単位の生活サイクルを構築し、新たな時代を生き延びてきたのである。

3.4 気候変化の影響

1990年代初頭以降の社会変化に追い討ちをかけるような形で、1990年代末以降、気候変化が起きた。アルガフタフ村で起こったのは、温暖化による永久凍土融解が原因と見られる洪水である¹。当地で洪水は過去にもあったが、問題は近年それが頻繁化かつ大規模化していることである。右の表は、基準水位を超えた年の一覧である。かつてはこれは8年に一度程度に過ぎなかったが、1990年代後半以降は毎年あるいは二年に一度というように頻繁に起こっていることがわかる。

永久凍土融解によって生じる洪水は、一気に川が増水して決壊するというような、我々になじみの洪水とかなり異なる。アルガフタフ村で近年起こっている洪水は、春の雪解け以降、水位が徐々に上がっていき、夏中高い水位を保ち、そのまま冬に凍るという特殊な洪水である。周囲が水に浸かり、村はまるで海の中の小島ようになる。水に浸かっている期間があまりに長く、それが近年頻繁に起こるため、村人は「我々は

基準水位 750cm を超えた年一覧 (アルガフタフ村役場提供)	
1969	
1977	
1985	
1991	
1997	
1999	
2000	
2002	
2003	
2007	
2008	

¹ 当地での洪水の原因についての調査報告書 [Alazeia 2009] を参照した。

10年も水の中にいた」というような言葉で最近の状況を説明する。洪水は2007年をピークに、現在一応沈静化しているが、この間、村人の生活に様々な悪影響が出た。

まず生産活動についてであるが、大多数の家で地下貯蔵庫が融けたり水没したり、または夏に十分に温度が下がらなくなるという事態が起きた。牛馬の飼育に関しては、夏の放牧地が水没したため、近隣での放牧が不可能になった。また、冬の干草のための草刈地も水没したため、近隣での草刈が不可能になった。野菜の栽培に関しては、宅地に付属した畑が多数水没した。毛皮獣飼育に関しては、飼育小屋が水没したり、餌となる魚の夏の保存が地下貯蔵庫の融解によって不可能になったりした。また毛皮獣狩猟に関しては、水没地域から動物が逃げていったため、ガソリンを使ってより遠くへ猟に行かなければならなくなった。野生のベリーが生える場所の多くも水没した。

気候変化は交通にも悪影響を及ぼした。村では夏は飛行機が唯一の移動手段となるが、滑走路が水没してしまい、2007～2008年の2年間、全く飛行機が飛ばなかった。また温暖化の影響からか、氷の上に水が現れるナリーチと呼ばれる現象、氷の下に空洞ができるプスタリョートと呼ばれる現象が、近年になって依然より増えたという声が聞かれる。冬道路移動中にナリーチが現れると車は立ち往生する。またプスタリョートのせいで氷が割れると、最悪の場合、冷たい水で溺れ死ぬことになる。共に危険な現象である。

気候変化は村内での移動にも支障をきたした。洪水のピーク時には、隣の家に行くのさえボートが必要となったのである。ただし、魚を獲るのに川まで行く必要がなく、庭に網をしかければよかったので、この点だけは便利だったとのことであった。

気候変化で上記以外の被害としては、家屋をはじめとする各種インフラの浸水がある。さらに、土地の浸食も大きな問題となっている。川の流れによりかつてから段階的な浸食は起こっていたが、近年の洪水により大幅に進んだのである。

3.5 気候変化への適応

気候変化によって起こった新たな状況に対し、対応策が見出されたケースもあれば、対応できずにいるケースもある。以下では、気候変化によって起こった上記の事態に人々がどう対応したのかについて述べたい。

まず地下貯蔵庫の融解問題についてである。極寒の冬には外でもすべてが凍るため、何ら問題はないのだが、問題は夏である。洪水が収まった後にも、貯蔵庫の劣化は続いている。夏に大量に獲る魚の保存については、人々はかつてよりも多くの魚を干物にすることにより解決した。夏には、3キロほどの重量のあるサケ科の魚を2枚に下ろし、1センチ程度の幅で切れ込みを入れ、大量に陰干している風景が各所で見られる。ただし、やはり生で保存したい魚もあること、また肉やベリーも夏の間保存しなければならないことを考えると、地下貯蔵庫の劣化は依然、問題であり続けている。ひとつの解決策として、村として大型冷凍庫をひとつ購入し、そこで一旦凍らせた後に自宅の貯蔵庫に入れるという案が出ている。

牛飼育と馬飼育に関しては、明暗が分かれた。まず牛についてである。牛を飼うには冬を越すために、1頭につき2トン程度の干草を用意する必要がある。洪水のために草刈地が水没した際は、村人はヘリコプターを使って遠隔地での草刈をするという解決法を取った。しかしヘリコプターにはコストがかかり、さらに刈った草を冬に村まで運ぶ際にも輸送コストがかさんだ。また夏の放牧地の水没は、牛を船に乗せて村から数キロ離れた小高い場所に移動させることによって解決されたのだが、村から遠いために、夏の間、毎日乳搾りに行くことができず、結果としてミルクを自家消費することも換金することもできない家庭が続出した。もしもソフホーズの牛飼育が存続していたならば、数人の搾乳婦を常駐させるなどの方法で遠隔地での乳搾り問題に対応で

きたであろうが、村にはすでに共同での牛飼育体制は崩壊していた。こうして、牛飼育はコストは膨らんだが収入が得られないという状況に陥り、多数の牛が屠殺された。搾乳メスと比較すると、2007年の153頭から2009年には73頭と半分以下に激減している。かつて村では乳製品が頻繁に食べられ、また肉といえば牛肉が中心であったが、気候変化の結果、変わってしまった。現在では搾りたての自家製ミルクにかわって、粉ミルクを購入する家庭が増えた。また牛肉の代替として、野生トナカイ肉がかつてよりも食卓で大きな位置を占めるようになった。牛の減少と時を同じくして、偶然、野生トナカイの移動ルートが村に近くなり、狩猟高が増えたのである。

半崩壊状態の牛飼育に対し、馬飼育は洪水にも関わらず順調である。馬にも干草が必要だが、当地の馬は半野生の放し飼いで、冬でも自ら餌を探ることができる。そのため少ない干草でも、極端な場合は干草なしでも飼育することができる。また毎日乳搾りをする必要もない。馬に関してはさらに、ソフホーズの後継企業が細々とではあるが存続し、個人所有の馬もここに委託することができる。そのため、洪水時は牧夫が村中の馬を一手にひきうけて遠隔地で放牧することができ、さほど大きな損失をこうむることがなかったのである。

次に毛皮獣飼育についてである。先に地下貯蔵庫での魚の保存問題は干物にすることで解決されたと書いたが、これは人が食べるための魚の話である。毛皮獣飼育の餌にも魚が必要だが、夏の保存方法については代替案は見つかっていない。結果、ソ連崩壊後にすでに崩壊寸前だった毛皮獣飼育は、気候変化が追いつくうちとなり、現在、風前のともし火状態である。

その他、水没した野菜畑に関しては、洪水の沈静化後、土の入れ替えによって栽培は再開した。洪水時に水没した森のベリーは、ふたたび生育しはじめた。毛皮獣狩猟については、ソ連崩壊後の毛皮の買取値の暴落と共にほぼ崩壊しており、現在の不調は気候変化よりも社会変化の方が原因として大きい。

村外へのアクセスに関しては、2009年に滑走路は復旧し、今では再び、不安定ながらも夏の間は飛行機が飛んでいる。ソ連崩壊後、すでに夏の飛行機による移動・輸送をあてにしない生活システムができていたため、2年間の飛行機不通はさほど大きく生活に影響しなかったようである。外の世界から運び込むべき物資のうち、彼らに年間最低限必要な品は、1家族あたり小麦粉100キロ、砂糖100キロ、植物油数十リットル程度である。これは車で一往復すれば運べる量であり、冬に最低1回移動できる限り、彼らは生きていくことができるのである。

4 まとめ

以上、シベリア極北の村における状況を見てきた。最後に、現在の気候変化について、先に述べた社会変化との関係について、まとめておきたい。

- ・社会変化と気候変化に共通する問題として、途絶化がある。
(例：ソ連崩壊に伴う交通・輸送状況の悪化、洪水による滑走路水没、放牧地・草刈地へのアクセス悪化)
- ・社会変化に際して編み出された適応策により、気候変化への適応がうまくいく場合がある。
(例：冬道路を使った一年単位の生活サイクル)
- ・社会変化に際して編み出された適応策が、気候変化によって無化される場合がある。
(例：ソ連崩壊後に貯蔵庫で大量備蓄が行われるようになったが、洪水による貯蔵庫の劣化でそれが困難になった)
- ・ソ連時代の社会システムが残っているか否かが、気候変化への適応のカギとなる場合がある。
(例：牛については、ソフホーズ崩壊に伴う集団飼育体制の崩壊により、洪水時の遠隔地での

放牧体制が作れずに半崩壊、一方、馬については、集団飼育体制が存続していたことにより、遠隔地での放牧が可能で、被害を最小限に抑えることができた)

以上のように、社会変化とそれへの適応は、気候変化とそれへの適応と深く関連性があることが見て取れる。

最後に、今回取り上げたアルガフタフ村という事例のサハ共和国における位置づけについて述べておきたい。ソフホーズ崩壊をはじめとするソ連崩壊に伴う社会変化のあり方においては、アルガフタフはサハにおける典型例である。気候変化については、洪水が問題となっているという点においては、サハの典型例である。ただし、サハの洪水の大部分は春の雪解け期に一時的に起こるアイスジャム洪水であるため、洪水のタイプにおいては特殊例と言える。今後はサハの他の地域とも比較しつつ、社会変化を背景に組み込んだ上での気候変化への適応のあり方に関する考察を深めていきたい。

参考文献

Alazeia 2009

Alazeia – 2008: Razrabotka nauchno-obosnovannykh rekomendatsii po zashchite naselennykh punktov v basseine r. Alazei ot negativnogo vozdeistviia vod (Goskontrakt No. 017-2009). Yakutsk, 2009.

適応・脆弱性研究の方法論的分類

石井 敦

東北大学 東北アジア研究センター

1 はじめに

適応・脆弱性研究におけるレビューでは、同概念の変遷や実際の適応・脆弱性に関する要因・対策などは扱われているが、実際に用いられている方法論に関するレビューは行われていない。そこで、本章では、適応・脆弱性研究で用いられている方法論のレビューを定性的研究・定量的研究・複合研究（mixed method research）に分類し、その傾向をまとめることを目的とする。

上記の分類において、複合研究の考え方は定性的研究と定量的研究の2つに比べてまだあまり広く普及しているわけではないため、ここで説明を行う。同研究は、端的に言えば、定性的研究と定量的研究の双方を組み合わせて行う研究をさす。20世紀前半から主に文化人類学者や社会学のフィールドワークにおいて実践されてきたが、複合研究として定式化されたのは Campbell and Fiske (1959)においてである(Johnson et al. 2007)。その後、多くの研究によって一つの独立な方法論として確立され、複合研究を専門とするジャーナルが発行されるまでになった。その代表的な雑誌である、Journal of Mixed Methods Research の初期の論文(Johnson et al. 2007)では、複合研究の一般的な定義が述べられている。

複合研究とは、定性的分析と定量的分析を一つの研究において混合させる研究 (Johnson et al. 2007)

しかし、一言で「混合させる」、といっても、その混合の仕方は千差万別である。そこで、Creswell (2009)はさらに、「タイミング」、「重み付け」、「混合」、「理論化」の4つの次元に沿って複合研究を分類することを提唱している（表1）。下記では、これらの次元について概説したあとで、複合研究の代表的な6種類の方法論を説明する。

「重み付け」の次元は、定性的分析と定量的分析との重み付けをさしている。この重み付けは基本的に、主たる関心が定性的・定量的分析のどちらにあるのかに依存する。

「混合」の次元は、定性的分析と定量的分析の組み合わせ方に関する分類である。統合は、定性的・定量的データの双方を収集したあと、定性的データを何らかの方法で定量的なデータに変換し、収集した定量的データと統合する場合が考えられる。「結合」は例えば、研究で用いる概念の定性的な分析を行ったあと、その概念に基づいた定量的データを収集した場合、定性的な概念分析と定量的データが「結合」した状態ということができる。

「埋め込み」は、定性的分析を、それとは独立した定量的データで補完する場合などをさす。このケースの場合、定性的分析に定量的データの「埋め込み」を行った、とすることができる。

表1 複合研究の分類 (Craswell 2009, p. 207)

タイミング	重み付け	混合	理論化
定性的分析と定量的分析を同時並行で行う	定性的分析と定量的分析が等価	統合	明示されている
定性的分析の次に定量的分析を行う	定性的分析を定量的分析よりも重要視する	結合	
定量的分析の次に定性的分析を行う	定量的分析を定性的分析よりも重要視する	埋め込み	明示されていない

表2 複合研究の大分類 (Craswell 2009, p. 211-216)

大分類	定性的分析と定量的分析のタイミング	重み付け	混合	理論化
①Sequential Explanatory Strategy	順番	定量的分析を定性的分析よりも重要視する	結合	-
②Sequential Exploratory Strategy	順番	定性的分析を定量的分析よりも重要視する	結合	-
③Sequential Transformative Strategy	順番	-	結合	明示されている
④Concurrent Triangulation Strategy	同時並行	定性的分析と定量的分析が等価	統合 結合	-
⑤Concurrent Embedded Strategy	同時並行	-	埋め込み	-
⑥Concurrent Transformative Strategy	同時並行	-	統合 結合 埋め込み	明示されている

次に、これらの次元に基づいて構築された複合研究に関する6種類の大分類を説明する。その6種類とは、①Sequential Explanatory Strategy、②Sequential Exploratory Strategy、③Sequential Transformative Strategy、④Concurrent Triangulation Strategy、⑤Concurrent Embedded Strategy、⑥Concurrent Transformative Strategyである。

①のSequential Explanatory Strategyは、定量的分析結果の説明や解釈を定性的分析で補完しながら行う場合である。通常、定量的分析に重点が置かれている。短所としては、データ収集に

かかる時間がかかることが挙げられる。

- ② の Sequential Exploratory Strategy は、定性的分析の解釈を定量的分析やその結果で補助する場合をさす。典型的な例は、あまりよくわかっていない事象に関する探索的な研究である。さらに、適切な概念枠組みがない場合にも有効である。この場合、定性的分析を行うことで概念枠組みを構築し、その枠組みに基づいて定量的分析を行う、という段階をふむことになる。
- ③ の Sequential Transformative Strategy は、ある特定の社会科学的理論やイデオロギー、政策目的を持って、複合研究を段階的に行う場合をさす。
- ④ の Concurrent Triangulation Strategy は、定性的・定量的分析を同時並行で行い、その結果について比較することで、どのような類似性、相似性や規則性があるのかを分析するものである。
- ⑤ と⑥は、②と③における定性的分析と定量的分析を同時並行で行うことと同等である。ただし、両分析の混合の仕方としては、⑤が埋め込み、⑥はすべての混合の形があり得る。

2 適応・脆弱性研究の方法論的分類

本節では、用いられている方法論に応じて、既存の適応・脆弱性研究の分類を行う。用いる分類は定性的研究、定量的研究と、上記で説明した複合研究の小分類である。

2.1 定性的研究

適応・脆弱性研究の黎明期における多くの研究は定性的研究である(J. Smith 1997; Burton 1997; Basher 1999; Yohe & Dowlatabadi 1999; B. Smit et al. 1999; Wheaton & Maciver 1999; Handmer et al. 1999; B. L. Turner et al. 2003)。これは当然のことであり、黎明期には適応・脆弱性概念が未発達であるため、概念の構築や、その構築と研究手法との関係性などの考察が必要となるからである。

その後、複合研究が続いたあと、それらの研究のレビューをすることによって到達点を明らかにすると同時にや、さらなる概念の発展、政策的含意の導出を目指した論文が登場する(W. Adger 2006; B Smit & J Wandel 2006; Gallopin 2006)。

一方で、下記の主題を研究する規範的アプローチ (Adger et al. 2006; Mearns & Norton 2010) は基本的に定性的研究に分類される。

1. 先進国が持つ気候変動影響に対する責任は何か？
2. 先進国は途上国に対してどれくらい援助をしなければならないのか、また、その援助負担は先進国間でどのように分担するべきなのか？
3. どの国に援助し、どのような適応策に援助するべきなのか？
4. 適応策に関する意思決定をどのように行うべきなのか？

さらに、適応・脆弱性に関する在来知を分析している論文にも、定性的研究が散見される。一つの例は、マオリ族の民俗語彙を分析したもの(D. N. T. King et al. 2008)があげられる。

2.2 定量的研究

純粹に定量的研究と呼べるものはほとんど存在しない。それは、適応・脆弱性の概念が本質的に定量的データのみでは研究できないというコンセンサスがあることの証左であると思われる。

2.3 複合研究

適応・脆弱性研究の主流は複合研究である。この理由としては第一に、適応・脆弱性研究はその目的として、気候変動に対し、人間社会がどのように、そしてどの程度脆弱であるのかを明らかに

かにした上で、その脆弱性に対処するためにはどのように適応すべきなのかという、本質的に文理融合型研究を必要とする研究テーマが共有されているからであろう。下記では、上記を用いて、既存研究を分類する。

上記①に分類される研究はほとんどない。これは適応・脆弱性のほとんどすべての研究が、同概念のレビューを行った上で、当該研究で用いる定義を明らかにしなければならないことから、当然のことといえる。

上記②には、例えば、適応・脆弱性概念を定量化する手法を導出し、それを適用する場合は考えられる(a Luers et al. 2003)。同論文は、定量的評価はさまざまな地域間での比較可能性の担保や予測モデルでの利用可能性などの利点をあげているものの、適応・脆弱性を評価するためにはさまざまな指標が必要であると締めくくっている。

上記③と④に関しては該当する論文がまだ見つからない。

上記⑤に関する文理融合型の研究は Marin (2010)が挙げられる。2006年7月～2007年4月に遊牧民家庭、sum governors、land officersを対象に、インタビューを行い、言説分析、標本数51の質問票調査をした結果、旱魃が砂嵐を引き起こし、それが植生に覆われた面積を減少させ、さらに旱魃を引き起こすという、正のフィードバックを持つ可能性があることが分かった。これは科学的予測と合致している。降雨量が増えていることは科学的データによる裏づけが得られなかったが、これは言説が間違っているということでは必ずしもなく、タイムスケールの違いに注意しなければならない可能性もある。この調査方法により、地域の住民にとって何が重要で、彼らが何を危険な変化とみなすのかが分かるだけでなく、何に脆弱なのか、という答えを提供することができる。

さらに、アラスカのソード半島でトナカイ牧畜を営むジェームズ・ノヤクック氏に焦点を当てた Rattenbury らによる研究もここに分類される(Rattenbury et al. 2009)。同論文ではノヤクック氏に対する聞き取り調査やフィールド動向調査、他のトナカイ牧畜者たちへのグループインタビューなどを行なっている。また、トナカイ牧畜を営む場合における天候の状況をノヤクック氏に評価させた上で、それを気象台のデータと対比させている。この対比はどちらかと言えば、ノヤクック氏による天候状況評価が正しいかどうかを評価するためのものではなく、あくまでもノヤクック氏による天候状況評価をよりよく理解するための対比であるため、④には分類されない。

上記⑥については、IPCC がとっている脆弱性に対するアプローチに対する批判から提案された「社会的脆弱性」に基づく一連の研究が挙げられる(Neil Adger 1999; W. N. Adger & Kelly 1999)。具体的に、社会的脆弱性とは、生活や安寧に対する外的ストレス(気候変動の悪影響等)へ対処、適応、また、回復、という意味において、個人・社会集団が持つ反応能力によって決まる、とする。このアプローチの主な研究テーマは次のとおりである。

- 誰、そして何が脆弱なのか、そしてなぜ脆弱なのか？
- 人間が置かれている状況や社会的プロセスが脆弱性にどのような影響をもたらすのか？
- 脆弱性はどのように差異化していくのか？
- 脆弱性の決定要因はどのようなスケールで発動するのか？
- 脆弱性を減少させるためには何をすればよいのか？(J. D. Ford et al. 2010)

「社会的脆弱性」を具体的に適用したのが、ベトナムにおけるサイクロンに対する脆弱性を評価したケーススタディであり、その評価のための指標として、貧困、不平等、制度的適応の三つを用いている。貧困は物質的貧困指標で計測(一人当たりGDPなど)しており、貧困が脆弱性を引き起こす因果経路として、対応戦略の選択肢が限られること、エンタイトルメントの多様性が小さく限定されたものになってしまうこと、そしてエンパワーメントの欠如の三つを挙げている。

不平等は資産やエンタイトルメントの定量的評価で計測しており、不平等が脆弱性を引き起こす因果経路として、直接的には少数派への入手可能なエンタイトルメントの集中が集团的エンタイトルメントに悪影響を及ぼすこと、間接的には、不平等が貧困につながり、それがエンタイトルメントの集中につながることを挙げている。また、制度的適応は制度の意思決定、社会的学習、慣性で定性的に計測する。具体的な事例としては、例えば、マングローブの私有化が進んだ結果として、1900haのマングローブが失われ、その土地への移住が進んだ。これによりサイクロンに対する社会的脆弱性が増大した。さらに、同研究ではマングローブを増やすことの費用便益分析が行われ、その結果、木材収入が増え、海岸線の防御サービスも提供されることにより、マングローブを増殖させる適応戦略が win-win の政策として同定された。

さらに、カナダの北極圏における気候変動に対する脆弱性と適応を研究してきているフォードらの研究(J. D. Ford, Berrang-Ford, et al. 2010; James Ford et al. 2007; J. D. Ford et al. 2010; J. D. Ford et al. 2008; Pearce et al. 2009; J Ford et al. 2006)もここに分類される。彼らの研究の概念枠組み(J. D. Ford & Barry Smit 2004)によれば、第1段階では、対象地域の人々にとって関係する条件やリスクを明らかにする(被ばく感度を明らかにする)。そしてさらに、被ばくに対処し、適応するために今まで採られてきた戦略を明らかにする。その方法論として用いられるのは、データ源として、地域住民の観察、経験、伝統知、在来知が挙げられる。これらを用いて、コミュニティに対する気候リスクをもたらす現象や条件を同定し、再構築する。このような方法論により、対象とする地域の文脈を反映させた適応研究を行うことが可能となる。第二段階では、将来における脆弱性を評価する。具体的には、被ばく感度の変化の推定を行い、過去の行動や将来における適応コスト、制約、機会をもとに、将来における適応能力を評価する。この枠組みをカナダの北極圏のコミュニティに適用した結果、気候変動に対する脆弱性の決定因子として、土着の知恵の劣化、捕獲枠による資源利用の柔軟性の減少、資金が少ないこと、コミュニティの地理的場所が挙げられ、適応能力の源泉としては、社会的ネットワーク、伝統知と文化、救助体制、テクノロジー、資源利用における柔軟性、などがあることをあきらかにすることに成功している。

3 まとめ

適応・脆弱性研究は概念構築のための定性的研究に始まり、それらの概念を複合研究において用いることで、有用な知見を生み出すことに成功してきているように見受けられる。現在の最先端の適応・脆弱性研究はそのほとんどが複合研究である。今後は適応・脆弱性研究をレビューすることで、上記で行った方法論的分类をさらに充実させ、さらに、地域別の適応の特徴と適応方策をまとめることで、適応の全体像を明らかにしていきたい。

Adger, W., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), pp.268-281. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378006000422> [Accessed July 11, 2011].

Adger, W.N. & Kelly, P.M., 1999. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), pp.253-266. Available at: <http://www.springerlink.com/index/M826227072036862.pdf> [Accessed December 6, 2011].

- Basher, R.E., 1999. Data requirements for developing adaptations to climate variability and change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3), pp.227–237. Available at: <http://www.springerlink.com/index/u323h027531w1340.pdf> [Accessed December 6, 2011].
- Burton, I., 1997. Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change*, 36(1), pp.185–196. Available at: <http://www.springerlink.com/index/N844274728M37G47.pdf> [Accessed December 6, 2011].
- Campbell, D.T., & Fiske D.W. (1959) Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin*, 56, 81-105
- Creswell, J.W. 2009. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE.
- Ford, J, Smit, B & Wandel, J, 2006. Vulnerability to climate change in the Arctic: A case study from Arctic Bay, Canada. *Global Environmental Change*, 16(2), pp.145-160. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378005000786> [Accessed July 17, 2011].
- Ford, J.D. & Smit, Barry, 2004. A Framework for Assessing the Vulnerability of Communities in the Canadian Arctic to Risks Associated with Climate Change. *Arctic*, 57(4), pp.389 - 400.
- Ford, J.D., Berrang-Ford, L., et al., 2010. Vulnerability of Aboriginal health systems in Canada to climate change. *Global Environmental Change*, 20(4), pp.668-680. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378010000439> [Accessed December 21, 2010].
- Ford, J.D. et al., 2010. Case study and analogue methodologies in climate change vulnerability research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(June), p.n/a-n/a. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/wcc.48> [Accessed July 15, 2010].
- Ford, J.D. et al., 2010. Climate change policy responses for Canada's Inuit population: The importance of and opportunities for adaptation. *Global Environmental Change*, 20(1), pp.177-191. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378009000934>.
- Ford, J.D. et al., 2008. Climate change in the Arctic: current and future vulnerability in two Inuit communities in Canada. *The Geographical Journal*, 174(1), pp.45-62. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-4959.2007.00249.x>.
- Ford, James et al., 2007. Reducing vulnerability to climate change in the Arctic: the case of Nunavut, Canada. *Arctic*, 60(2), pp.150 - 166. Available at: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/40513131> [Accessed December 6, 2011].
- Gallopin, G., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), pp.293-303. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378006000409> [Accessed June 11, 2011].

- Handmer, J., Dovers, S. & Downing, T., 1999. Societal vulnerability to climate change and variability. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), pp.267–281. Available at: <http://www.springerlink.com/index/m32175h88g048323.pdf> [Accessed December 6, 2011].
- Johnson, R.B., Onwuegbuzie, a. J. & Turner, L. a., 2007. Toward a Definition of Mixed Methods Research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), pp.112-133. Available at: <http://mmr.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1558689806298224> [Accessed July 19, 2011].
- King, D.N.T., Skipper, a. & Tawhai, W.B., 2008. Māori environmental knowledge of local weather and climate change in Aotearoa – New Zealand. *Climatic Change*, 90(4), pp.385-409. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10584-007-9372-y> [Accessed November 27, 2010].
- Luers, a et al., 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(4), pp.255-267. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378003000542> [Accessed July 20, 2011].
- Marin, A., 2010. Riders under storms: Contributions of nomadic herders' observations to analysing climate change in Mongolia. *Global Environmental Change*, 20(1), pp.162-176. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378009000892> [Accessed October 13, 2010].
- Neil Adger, W., 1999. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2), pp.249-269. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X98001363>.
- Pearce, T. et al., 2009. Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Record*, 46(02), p.157. Available at: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0032247409008602 [Accessed September 30, 2010].
- Rattenbury, K. et al., 2009. A reindeer herder's perspective on caribou, weather and socio-economic change on the Seward Peninsula, Alaska. *Polar Research*, 28(1), pp.71-88. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1751-8369.2009.00102.x> [Accessed July 15, 2011].
- Smit, B & Wandel, J, 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), pp.282-292. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378006000410> [Accessed June 10, 2011].
- Smit, B. et al., 1999. The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), pp.199–213. Available at: <http://www.springerlink.com/index/M036620054116344.pdf> [Accessed December 6, 2011].
- Smith, J., 1997. Setting priorities for adapting to climate change. *Global Environmental Change*, 7(3), pp.251-264. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378097000010>.

- Turner, B.L. et al., 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), pp.8074-9. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=166184&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Wheaton, E. & Maciver, D.C., 1999. A framework and key questions for adapting to climate variability and change. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), pp.215–225. Available at: <http://www.springerlink.com/index/X8004538414M1444.pdf> [Accessed December 6, 2011].
- Yohe, G. & Dowlatabadi, H., 1999. Risk and uncertainties, analysis and evaluation: lessons for adaptation and integration. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), pp.319–329. Available at: <http://www.springerlink.com/index/PM2550U6T9H7R437.pdf> [Accessed December 6, 2011].

シベリアの洪水伝説：災害体験の継承方法としての神話

山田 仁史

東北大学大学院 文学研究科

1 はじめに

洪水にかかわる神話・伝説には、災害をリアルに体験した人々が、その記憶を後代へ継承するという役割もあったように思われる。日本から2つの事例を挙げてみよう。

まず宮城県多賀城市で砂金辰雄氏が語った「末の松山に絡む伝説」は、次のようなものである。

多賀城の盛栄を極めた頃よりもつと前の頃であらうか、下（しも）千軒、上（かみ）千軒とて随分と賑かに栄えた時があつた。（方八丁もその頃栄えた一団だと云ふ。）その頃、その地に住む猩々が鏡が池の傍にある酒屋に毎夕酒飲みに来たものだ。酒屋には小佐治とて田舎に稀な綺麗な娘が居つた。小佐治はいつも鏡が池に姿をうつして化粧したと云ふ。猩々は小佐治に通ふのだつた。何時か此の事が村の若者達の知るところとなつて、遂には猩々を半殺にしてやらうと謀つた。或日例の如く酒飲みに来た猩々へ小佐治が斯んな陰謀がある事を告げた。猩々は小佐治の好意を感謝しつゝ、某月某日には必ず海瀟（つなみ）があるから、そなたは末の松山へ避難する様に。もし万一私が若者等に折檻されたらあの池に入れて呉れとて別れた。待ち伏せしてみた事とて若者等は猩々を酷い目に合せて遂に殺してしまつた。小佐治は言葉の通り之を池に沈めた。猩々が池と今も呼んでゐる。程経て其の日が来たので小佐治は疑ひながらも末の松山に登つて待つ間も無く大音響と共に大海瀟が押し寄せて来た。此の時下千軒、上千軒は皆流されてしまひ附近一帯は水災を被つた。只一人小佐治は末の松山に残つた。末の松山は波が越さなかつた。末の松山波こさじとは此の意を云ふのだと。此の海瀟は猩々が起したものと云つてゐる [宮城県教育会（編）1931: 110-111, 下線は引用者]。

実際やや高台になっている末の松山までは、2011年3月11日の東日本大地震に起因する津波も及ばなかつた。高台の下にある観光用駐車場などには、150cmほどの高さまで津波が来たにもかかわらずである（写真1・2）。



左写真1: 末の松山、右写真2: 観光用駐車場（150cm 辺りに津波痕）。いずれも 2011 年 12 月 18 日筆者撮影。

次の事例は、岩手県洋野町（ひろのちょう、旧大野村）から伝えられたものだ。

天地開闢の頃、この地には幾世帯もの人が住んでいた。ある夫と妻は万代座（まんだいくら）にいます神を常に崇拝していた。ある日、この夫妻に神のお告げがあった。それは、近く大津波がおき、海水が川を逆流して大洪水になり、山々は水底に没するという。この大洪水に備えて、大きな俵を準備してこれに乗って漂えば助かるというものであった。そこで夫妻は神の予言を村の人々に告げたが、誰も相手にしなかった。しかし、大津波がおこってみるまに大洪水になった。人々は流されて死んでいったが、神の教えにしたがった夫妻は俵に乗って水に浮かび、流れに押されて万代座に達して助かった。その子孫の繁栄したのが村の先住民である [大野村教育委員会 1978 – 野村（編）1985: 17–18 より引用、下線は引用者]。

そして実際この地域は、明治 29 年、昭和 9 年、そして今年の大津波で、川を溯る激流に見舞われ大きな被害を受けた。いずれの事例も単なる伝説ではなく、災害体験が背景になれば発生・伝承されなかったであろう。そしてこうした伝説・神話を防災への警告と受け止めていけば、事前に防潮堤を築くなどの対策がとれたかもしれないのである。

今後、こうした目でシベリアの洪水伝承を見直してみたい。そうすることで、それらを語り伝えてきた人々の世界観や自然認識がうかがわれるとともに、未来へ向けての現実的対策につながるヒントも得られるかもしれないからである。洪水神話については多くの先行研究があるが [山田 2010, Yamada in press にレビュー]、かつてアンドレーやフレイザーなどは、北アジアには洪水神話がないと主張した。後に、ブダペストのヘルマンの論文 [Herrmann 1893] などを踏まえつつ、ドイツ系でエストニアとドイツで活躍した民俗学者アンデルソン「北アジアの洪水伝説」により、この地域にも広く洪水神話が存在したことが明らかになった [Anderson 1923]。本報告では、今後シベリアの洪水伝説を追究してゆく手がかりとして、アンデルソンの論文に挙げられている全 21 話およびそれらへのアンデルソンの注記を訳出し、そこから何が言えそうか若干の考察を加えてみたい。なお、以下「2」の翻訳はすべてアンデルソン論文のドイツ語からの訳出だが、原典が何語で記されたものかを注記しておいた。

2 北アジアの洪水伝説：アンデルソンの掲げた 21 の伝承 [Anderson 1923: 6–26]

2.1. ヴォグール [マンシ] 人の伝説 [原典ハンガリー語]

Tobolsk 州 (Gouvernement) Berjozov 郡 (Kreis)、Sjyva 川 (Sošva 川支流) 源流域、1845 年頃 (ハンガリーの調査旅行者 Anton Reguly 採録)。MUNKÁCSI Bernát, *Vogul népköltési gyűjtemény I: Regék és énekek a világ teremtéséről* 『ヴォグール族民間文芸集 I：世界創始についての諸伝説・諸歌謡』(Budapest 1892–1902) 224 頁 (1902 年印刷) = HERRMANN, 338 頁 3¹。

大水の時、Sakw²人は Šortāŋ 川 (Sjyva 川に注ぐ Sukér-jā 川の支流) 上の Nārkiš 山ないし Nais-Niltiŋ 山に逃れた。そこは沈まず、聳え立っていた。皆そこに集まった。大地、固い土地が、白鳥の頸ほど、ほぼ 2 指尺³ほど突き出していた。当時、Sukér-jā 川および Xarlä 川・Mān-jā 川の諸民族が暮していた。彼らはそこへ命からがら逃げた。河流 (Sjyva) のそばにはそのころ村はなく、Lopmūs だけがいた。Muurŋ-kēs 地方には Muurŋ-kēs がいた。

上のテキストは、A. Reguly による短い旅行メモだが (一部はドイツ語で、一部はヴォグール語で記されている)、そこから分かるのは、Sjyva 川源流域においては洪水伝説が Nārkiš 山と結び付いていることであり、この

¹ [Anderson 原注] ヴォグール人の伝説 1 から 6 は、非常に入念になされたヘルマン訳を、私がハンガリー語テキストにより修正したものを掲げた。

² [Anderson 原注] Sjyva.

³ [山田訳注] ドイツ語 Spannen: 指尺。親指と小指または人差指・中指とを張った長さ、約 20cm.

山はアララト山と方舟（交通具については何ら言及がないから）双方の役割を同時に演じている。

2.2. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ハンガリー語〕

Tobolsk 州 Berjovov 郡、Sygva 川上流域、1845 年頃（A. Reguly 採録）。MUNKÁCSI, I, 69-73 頁 IV b（1892 年印刷）＝ HERRMANN, 337-338 頁 3 番⁴。

1. 7回の冬と夏の間、火が燃える。7回の冬と夏の間、火が大地を呑み込む。7回の冬と夏の間、老婆（大いなる女）、老爺が言う、「我々の世界が、見よ！ 覆われて別のものに変じつつある。いかにして我々はこの先、命（魂）を助かることができるだろう？」一人の老人が、また一人の老人が、多少の人々が集会した。彼らはある村に集まり、会議を始めた。一体どうやったら生きのびられるか？

2. 一人の年老いた者、一人の年老いた男が話した。「一体どんな方法で我々は命拾いできるだろうか？！ 聞いたところでは、髓のない白樺の木々を割り、筏を造るといいそうだ。それで我々の命が救われるとしたら、それ（しかないの）だ。それ以外、いかなる方法でも我々の命が助かることはないだろう。もし我々の住むこの土地に暮したいのなら、柳の木の根から、長さ 500 尋の縄をなわねばならぬ。我々のこの縄が完成したら、（その）端を 1 尋の深さだけ地中に沈ませ、端を我々の白樺筏に結ぶのだ。我々のこの筏に、沢山の娘たちと子供たちを持つ男が乗るとよい。この筏の一端にはきれいな魚油を入れた桶を一つ置き、四端に計四つの桶を置くのだ。それからチョウザメの皮で、子供たちの上に天蓋を縫いなさい。天蓋ができたら、それを子供たちの上に張るのだ。七日七夜の期間（足るだけの）食料と飲料を準備せねばならぬ。チョウザメ皮の天蓋上には、食べ物と飲み物をたっぷり置いてな。もしこのようにして我々の命が助かるとすれば、（このやり方でのみ）助かるだろう。」

3. それから各自、自分の村へ帰った。そして帰ってしまうと、筏造りの男たちは髓のない白樺の木から筏を造り、縄を造る男たちは縄をなつた。七日七夜、彼らはこうして精を出した。筏を造れない男がいれば、その者は例の老人に訊いた。老人は教えて、「これはこのように造れ、あれはあのよう造れ」と。さて、筏の造り方がわからない者たちは、高い所を探し始めた。いたずらにうろつくばかりで、住める場所は見つからない。そこで彼らは、例の老人に尋ねた、「あんたは俺たちの前に（自分たちよりも早く）大人になった、ひょっとしてどこか（適切な）場所を知らないかね？」。老人は答えて、「知っていたところで、そこに全員分の場所なんかあるものか。全員分などあるわけなからう？！ 見なさい、もう聖なる洪水が我々のもとへ来ているぞ。そのやって来る音、轟々たる音が、二日前から聞こえておる。早くどこかへ逃げないと、呑み込まれてしまうぞ！」

4. そこで筏ができていた者は、娘らと息子らを急いで乗せた。しかし筏のない者は、そのまま火の洪水により亡き者にされた。そのまま、焼き殺されたのだ。その筏に（水面の上昇により）縄の端が届いてしまった（つまり縄の長さが十分でなかった）者は、（縄を）半分に切り、沈みそうになった。縄を半分に切ると、彼は（洪水に）運ばれて行ってしまった。縄が長かった者は、そのまま（水の上で）揺られていた。筏の端が（火の洪水で）点火すると、彼はきれいな魚油を注いで（火を）消した。それから七日七夜の間、（この危難を）乗り切ることのできた者には、水が降下（乾燥）した。乗り切ることができず、縄が切れた者は、洪水に運び去られた。乗り切った者は、元来の陸地に到達した。（災厄を）乗り切れなかった者は、娘らと息子らともども、そのまま亡き者とされ、その命は消え失せた（その魂はかくして去った）。それから残った者たち、つまり陸地にとどまった者たちは、そこに住み始めた⁵。

5. それから彼らは家を建てるために樹木を探した。そこには草木はなく、もとあった場所は破壊され、焼失していた。（草木）地は 1 エレ⁶の深さだけ燃やし尽くされ、（火により）掘り返されていた。そのため木もなく、草もなかった。家を建てる材料は見つからなかった。そこで彼らは地下小屋を掘り始めた。地下小屋ができあが

⁴ [Anderson 原注] ANDREE [Die Flutsagen, Branschweig, 1891] 45-46 頁 25 番および FRAZER [Folk-lore in the Old Testament] I [London, 1919] 178-179 頁にあるこの伝承の翻訳（F. Lenormant による）は、全く信頼できない。

⁵ [Anderson 原注] 以下に続く結末部分は、HERRMANN では省略されている。

⁶ [山田訳注] ドイツ語 Elle：昔の尺度で、50-80cm。

ってから、彼らはそこに暮し始めた。(洪水後) 生き残って近くの村々に住んでいる民族が、そこに地下小屋を掘ったという話は、そこらじゅうで聞かれる。そして移住した者たちが(洪水後) 陸地にたどりついたという話も、あちこちで聞かれる。

6. さてその後、生き残った老人たちは集まって(次のように) Tārēm に祈った⁷。「おお、我々の娘らの飢え(心)、我々の息子たちの飢えは、いかにしたら鎮められるのでしょうか? 今や一匹たりと水の魚も、一頭たりと森の獣もいません。ですからどうか、Numi-Tārēm よ、我々の父よ、せめて水の魚を、森の獣を降してください! 我ら、汝の最後に残された人の子らは、我らの娘らの飢えをそれにより鎮めることができますし、我らの息子たちの飢えを鎮めるすべを、そこに見出すことができます。(汝の人の子) が水中に潜ったら、(その者に) 水の魚をお送りください! 水の魚を捕らえる(殺す) 者には水の魚の幸をお恵みください、森に行く者には森の獣の幸をお恵み(お告げ) ください! その者が娘の飢えをそれにより鎮められますように、その者が息子の飢えをそれにより鎮められますように。この地上に汝の言葉によって、森の木々を、森の草々をお創りください! 地上のいかなる場所に残った者たちも、今後絶えず(さらに) 力をつけ、その殖える息子らを汝殖やしたまえ、その殖える娘らを汝殖やしたまえ!」

2.3. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ハンガリー語〕

Tobolsk 州 Berjozov 郡、Sygva 川河口域の Nār-paul にて 1889 年 1 月 27 日採録、話者 Lázár Jákovevič Alkin. MUNKÁCSI, I, 68–69 頁 IV a (1892 年印刷) = HERRMANN, 337 頁 2 番。

1. 我々の父たる Numi-Tārēm は、Xul'-ātér⁸ を殺す方法を熟考した。Xul'-ātér の住む土地に聖なる火の洪水を氾濫させようと彼は企てた。自らの民に彼は鉄の舟を造り、七重のチョウザメ皮から彼は甲板天幕をこしらえた。完成すると、彼は自らの民を鉄の舟に乗せたが、mańsí 種の民⁹ は白樺の筏上に建てられた甲板天幕に匍い込んだ。さて Numi-Tārēm は天に昇り、それから聖なる火の洪水を降した。火の洪水と、jur 竜と、生きた sossél 竜を¹⁰、彼は上空から降した。いつもそこにあった山の木も森の木も、大地やその他あらゆるものと共に、滅ぼされた。人の乗った筏の 6 層まで火中で炭になり、1 層残った。筏から外へ飛び出した者は死んだ。他の者は無傷のままだった、その命(魂)は救われた。

2. Xul'-ātér を聖なる火の洪水は殺さなかった。Numi-Tārēm が鉄の舟をこしらえに行っていた時、彼は Numi-Tārēm の妻の所へ来て、「あなたの旦那さんはいつもどこへ行っているのかね?」と言った。妻は「どこへって、知るもんですか!」と言った。Xul'-ātér は「この樽に入った水を飲ませてごらん、酔っぱらって、どこへ行っているのか教えてくれるよ」と言った。Numi-Tārēm が帰宅すると、彼女(妻)は件の水を彼に飲ませた。彼は酔っぱらったので、妻が彼に尋ねると、彼は聖なる火の洪水を起こす計画を話した。(妻は) Xul'-ātér をこっそり裁縫道具箱に隠しておいたが、それを持ち上げて鉄の舟に入れ、聖なる火の洪水の上に持ち上げた。大地は廃墟とされたが、Xul'-ātér は殺されなかった。こういうやり方で奴は命拾いしたんだ。

上記テキストの後半部分は、キリスト教(ロシア)の典拠に由来している。下記 27 頁注 1¹¹ を参照。

⁷ [Anderson 原注] この祈りについては、K. F. KARJALAINEN, *Die Religion der Jugra-Völker* (Helsinki 1922, = FF Communications 42, 44) II, 255–256 頁参照。ヴォグール人の天神 Numi-tārēm については、同書 II, 250–295 頁。

⁸ [Anderson 原注] 地下界の支配者: KARJALAINEN, II, 328 頁以下。

⁹ [Anderson 原注] ヴォグール人。

¹⁰ [Anderson 原注] これら想像上の各種の竜については、MUNKÁCSI, I, 219–221 頁参照。

¹¹ [Anderson, 27 頁原注 1] 悪魔がノアをその妻により酔わせ、彼女から方舟建設という秘密を聞き、方舟を破壊してその再建後、ノアの妻により忍び込ませてもらう: DÄHNHARDT [*Natursagen*] I [Leipzig und Berlin, 1907] 258–267 頁。

2.4. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ハンガリー語〕

Tobolsk 州 Berjozov 郡、Sośva 川上流域の Ńaxśem-Völ 村にて 1889 年 1 月 19 日採録、話者 Vasílij Kirilič Nomin. MUNKÁCSI, I, 45–48 頁 III v. 119–162 (1892 年印刷) = HERRMANN, 336–337 頁 1 番。

長い創世詩の挿話：

119. もう長いこと彼ら¹²は行った、もしくは短い間彼らは行った、
120. ある所で、彼らが下を眺めると：
彼らの輪のように回る、円い大地が
火の大水に覆われて、
7 尋¹³もの高さに
大火の炎（舌）が燃え上がっている。
125. さて彼らはさらに行った、長いこと、短いこと、彼らは行って、
あるとき下を眺めると、
彼らの黄金の前肢（手）を持つ、聖なる獣らが
前肢の鉤爪も、後肢の鉤爪も、
聖なる火の洪水にすっかり焼け焦げている。
130. 黄金の q̄tér は帽子を持ち上げ、
その編んだ髪をほどいて広げ、
そうしてさらに進んだ。
あるとき下を眺めると：
（起きていたのは何と）森の木が一本も残っておらず、
135. それどころか大地さえ見えない（跡形もなく消えてしまった）。
さて彼らはこのようにして、さらに進んだ。
ある所で黄金の q̄tér は考えた：
「人間がいなくて、大地が存在しえようか？
何とかしてやはり人間を生じさせなければ！」
140. そこで彼は母と父とを、その墓から
泣きながら呼びさまさせた：
「黄金の Kworès よ、我が父よ、黄金の Śís よ、我が母よ、
人間なしで、どうやって生きてらいいのか？」
その姉妹である黄金の Kaltés は言った：
145. 「兄さん、どうしたの、どうして泣いてるの？」
「妹よ、僕が泣いている理由はひとつ：
存在している聖なる大地に、
ほらご覧！ 聖なる火の洪水が起こって、
最後の森の木も残っておらず、
150. 人っ子一人残っていない。
人間なしで、どうやって生きてらいいんだ！」
「兄さん、下を見てみて！」
彼が下を眺めると、

¹² [Anderson 原注] S̄ami-q̄tér 神（黄金の q̄tér）とその姉妹 S̄ami-Kaltés 女神（黄金の Kaltés）で、ともに神々の父 S̄ami-Kworès 神（黄金の Kworès）と神々の母 S̄ami-Śís 女神（黄金の Śís）の子。KARJALAINEN, II, 310 頁参照。

¹³ [山田訳注] ドイツ語 von sieben gestempelten Klaftern. “gestempelten”の意味がよく分からないが、とりあえずこのように訳出しておく。

七重のポプラ樹舟に

155. 一人の老婆と一人の老翁がいる。
聖なる水上を揺られながら、彼らは（今や）陸地に着いた。
それから彼らは立ち上がり、見よ！ 彼らが今や歩み出ると、
Xul'-ätër が老婆の腹から立ち出でた、
あの、臍の緒を切られた者が、
160. その娘たちと息子たち、
そして我々、ロシア人もマンシも共に
162. みんな今まで暮している。

謎めいた 158 節の説明のためこの話者はさらに散文の伝説を語ったが、それが次の 5 番である。

2.5. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ハンガリー語〕

同地にて 1889 年 1 月 19 日採録、話者同上。MUNKÁCSI, I, 209–210 頁（1902 年印刷）＝ HERRMANN, 338 頁 5 番。

聖なる火の洪水が起きたその時、Xul'-ätër はすぐに、Tärëm が自分を殺そうとしていると気づいた。例の老翁（ヴォグール族のノア）には彼が見えなかったが、妻には見えた。老翁は舟に乗ったが、妻は立ったままだった。しかし聖なる洪水はもう勃発していた。老翁は「乗れ！」と言った。彼女は立っているばかり。もう一度彼は「乗れ！」と言った。彼女は乗らない。3 度目に彼は「乗れ、この悪魔 (kul') め！」と呼びかけた。すると悪魔 (Xul'-ätër または Kul'-ätër) は老婆の腹に這い上がり、舟に乗った。しかし後に火の大水が引くと、(黄金の ätër は) 次のさまを見た。老翁とその妻がポプラの舟から跳び降りて、Xul'-ätër も跳び降りて、生きていたのを。このようにして奴は命を救われたのだ。

上の記録には全くヴォグールのものではなく、3 番（と 4 番）で既に知られたロシア＝キリスト教的伝説しか含まれていない。下記 27 頁注 1〔本訳では上掲〕参照。

2.6. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ハンガリー語〕

Tobolsk 州 Berjovoz 郡、Sośva 川源流域の Jāni'-paul にて 1889 年 1 月 11 日採録、話者 Gavriła Fjódorovič Sondin. MUNKÁCSI, I, 73–76 頁 IV c（1892 年印刷）＝ HERRMANN, 338 頁 4 番¹⁴。

1. 世界の監視者¹⁵がある時、騎乗中に一人のマンシの男を見つけた。「こっちへ来い！」と彼は言った。マンシの男は行った。世界の監視者が彼を、自分の馬の腰に乗せると、マンシの男は馬の腰部にくっついたままになってしまった。それから男は、父である黄金の Kworès の所へ昇った。到着すると彼はマンシ人に言った、「私のことを知っているか？」男は答えた、「知ってるわけなんかあるか?!」。「よいか、実はお前の目の前にいる私は、世界の監視者なのだぞ！」二人は、父たる黄金の Kworès の住む、銀の柱の柱上家屋〔Stangenhau〕に入った。世界の監視者はマンシ人に言った、「ドアから入ったら、家の中の一箇所立っていなさい！」二人が家の中に入ると、そこには多くの大衆が集まっていた。世界の監視者は家中の大衆に尋ねた、「こんなたくさんの子どもが、どうして集まって来たのだ？」大衆は答えた、「どうして集まって来たかって？ 集まった理由とい

¹⁴ [Anderson 原注] 冒頭部と結末部は、ヘルマンは省略している。

¹⁵ [Anderson 原注] Mir-susnë-γum 神 : KARJALAINEN, II, 189–193 頁参照。

うのはな、我らが父、黄金の Kworès 様が聖なる火の洪水を起こすからさ」。世界の監視者は「その時はまだ来ていない」と言った。大衆は「我らの叔父たる Jeli 市の爺さんはまだ来ていない、訊いてみなきゃならん！」世界の監視者は大衆に「その者を召喚せよ！」と言った。彼らは叔父たる Jeli 市の老爺を呼び出した。突然、雪雲が降りて来て、雪靴を履いた一人の男が、雪靴を着けたまま（家の中へ）入って来た。Jeli 市の老爺は大衆に言った、「どうしてお前らは、わしをそんな強引に呼び出したのだ、もう少しで骨折するところだったわい！ どうして集まっておるんじゃ？」「どうして集まっているかって？ 我らが父、黄金の Kworès 様が聖なる火の洪水を起こすからさ」。彼らの叔父たる Jeli 市の老爺は言った、「まだその時ではないぞ。ただ、書き物はどこかな、調べてみようじゃないか！」「書き物は我らが父、黄金の Kworès 様の客間に散らばってるぞ！」Jeli 市の老爺はその客間に入り、探していた書き物を見つけて開き、大衆に言った、「見よ、まだその時ではない！」

2¹⁶。すると外から一人の男が入って来て、父たる黄金の Kworès に言った、「ご覧ください、温かい入浴の仕度ことができました！」父たる黄金の Kworès を、彼は持ち上げ、浴室へ連れて行った。父たる黄金の Kworès を浴室に運んだ後、世界の監視者は（家から）出た。そしてマンシ人に「来い！」と呼んだ。世界の監視者自身の家に、二人は入った。家の中には3つのヤカンがかかっていた。ヤカンは沸騰すると煮えたぎり、お湯がこぼれ出した。二人が下方にある大地を見ると、そこから相当数の大衆が、流れ出したお湯によって流されていた。世界の監視者がヤカンの腹を布で触れると、沸騰はおさまった。ほんの少し中断したが、ヤカンは再び沸騰し出し、またこぼれ出した。またもや相当数の大衆を（こぼれ出た湯が）運び去った。世界の監視者がヤカンの腹を布で触れると、その沸騰は和らいだ。また中断したが、ヤカンは三たび沸騰を始めた。世界の監視者が再び布で触れたところ、沸騰は和らいで、和らいで、ついにはすっかりおさまって、もはや沸騰しなくなった。世界の監視者はマンシ人に「来い、行ってみよう！」と言った。それから二人は父たる黄金の Kworès の家へ行った。

3. 父たる黄金の Kworès は浴室から出た。彼は息子に言った、「息子よ、お前はどのようにわしの努力を無にする（踏みじる）のだ？」世界の監視者は「おお父よ、どうして無にせずにおられましようか。私は我が多くの民たちを残念に思っているのです！」¹⁷ すると白装束を着た7人の男たちが外から入って来て、父たる黄金の Kworès を7段の梯子の最上段に座らせた。世界の監視者はかのマンシ人とともに（家から）出た。世界の監視者は馬の背に乗り、マンシ人を馬の腰部にくっつけて、駆け去った。そして先にマンシ人を見つけた所で、彼を降ろした。

下記8番の伝説と比較して明らかのように、ここではかつての大洪水ではなく、神々の父たる黄金の Kworès が、洪水の中で若返るためにこの大洪水を再発せんと試みて、失敗したことが述べられている。「世界の監視者」にヴォグール族のオリュムポス山へ連行されたヴォグール人は、この試みの目撃者となるのである。

2.7. ヴォグール〔マンシ〕人の伝説〔原典ロシア語〕

Tobolsk 州 Berjozov 郡、Sośva 川¹⁸と Sygva 川沿いにて（正確な採録地不明）1885 年採録。N. L. GONDATTI, *Slědy jazyčeskich věrovanij u Maňzov*『ヴォグール族における異教信仰の痕跡』: *Izvěstija Imperatorskago Obščestva Ljubitelej Jestestvoznaniija, Antropologii i Etnografii*, Bd. 48, 2 (= *Trudy Etnografičeskago Otděla*, Bd. 8, Moskva 1858)¹⁹, 49–73 頁。

自身述べているように（50 頁）、ゴンダッチは自ら発表した神々の伝承全体を、非常に様々な人々から聞いた個々の断片をモザイク状に合成している。洪水伝承に関しては、ゴンダッチは過去の大洪水と未来の大洪水の2つに明確に区別している。後者については下記8番で採り上げるが、前者についてゴンダッチは以下のように述

¹⁶ [Anderson 原注] ヘルマン教授の翻訳はここから始まっている。

¹⁷ [Anderson 原注] 以下はヘルマンには出ていない。

¹⁸ [Anderson 原注] ゴンダッチによれば「Sośva 川北部」と言われている。

¹⁹ [Anderson 原注] 冊子体で、異なる頁割と異なる書名でも出ている：N. L. GONDATTI, *Slědy jazyčestva u inorodcev severo-zapadnoj Sibiri* (『シベリア北西部の異民族における異教の痕跡』) Moskva 1888 (私は MUNKÁCSI, I, CLXXIV 頁により引用する)。

べる。

(63-64 頁) 英雄たち——pochatur または odyr (どちらの語もヴォグール人には自分たちの語と認められている) ——と巨人たちが、かつて天に住み、神々に仕えていた。彼らは長寿だった——彼らの寿命は三百年から四百年もあった。彼らがいかに造られたかについては、全く何の言い伝えもない。後に彼らが多数に増えると、地上に降ろされた。ここで彼らは——主に女たちのことで——互いに争ったり殴ったりし始め、それがあまりにひどくなったので Numi²⁰は立腹し、大洪水を起こしたので、その期間に彼らもみな死んだ。しかし大洪水後に(も)英雄はいた。それは、新たに天から降ろされた者たちである。彼らは個々の家族で、または大きい村落に住んでいたが、その家々は石と土で造られていた……。

(68 頁) ……同じころ英雄たちも造られ、すでに述べたように、主に女たちのことで互いに激しく争い、多くの血が流された。

Numi torum は父の言いつけにより、地上で起きていることを全て観察し、何度も警告したが、いつも無駄であった。それで彼は地上に降り、全てに火を点けた。こうして多くの英雄たちが死んだが、全員ではなかった。生き残った者たちは、森がなくなったので地下小屋を造り始めたが、その跡は今でも見ることができる(他の者たちの言によれば、これらの地下小屋はヴォグール人自身の住居址だといい、敵の襲来時にその中に逃げたもので、それらからしばしば森の奥深くや河川まで地下通路が通じていたとされる)。そうした地下小屋の名残は、たとえば北 Sośva 川左岸、Sartyńja から 3ベルスタ²¹下流および2ベルスタ上流の地に存在する。自分たちを襲った悲運を顧みることなく、英雄たちはまたも互いにひどい戦闘を始めた。そこで Numi は岸から上がり全てを溺れさせるよう水に命令した。この命令は聞き届けられ、生き物全てが死んだが、例外は Numi の 7人息子たちだけだった。彼はこの時、彼らを天に匿っていたのである。

3日続いた大洪水 (janych vit, jelbyn vit = 聖なる水) の間、Kors torum²²は太陽と月と星々を取り去って完全な暗闇を生じさせ、そうすることで全てのものから救命の機会を奪った。水が引くと、Numi は新たな生物の創造にとりかかったが、それは生かすべき地上に何ものもないのを見たからである。大地が少しだけ乾いたと同時に、Kors torum はうっかりベルトを落としてしまったが、これからウラル山脈が生じた。付言せねばならないが、話者たちの幾人かの主張によると洪水前に Numi は老人であり子供もいなかったが、洪水の間に水浴したところ突然若返って、その後7人息子の父になったのだという。

注目に値するのは、ここでも第2番の伝説と同様に、火の大洪水が世界の大火災に先行していることである。

2.8. ヴォグール [マンシ] 人の伝説 [原典ロシア語]

同地にて 1885 年採録。GONDATTI, 69-70 頁。

上記7番の伝説に付した導入部の注釈参照。未来の大洪水について、ゴンダッチは以下のように語る。

創造された世界は永遠ではなく、大洪水により滅びるだろう。それは次のようにして起こる。Numi が自ら若返るため(上記²³によればかつて既に成功したことだが)、水浴するのだ。この水浴後、水はどろどろした火の塊に変じ、天まで白鳥の頸ほどの距離しかない所まで燃え上がる。この出来事が起きる7年前には、全ての kul's²⁴

²⁰ [Anderson 原注] すなわち Numi-Tàrem.

²¹ [山田訳注] ベルスタは露里、すなわちロシアの昔の距離単位で、約 1.06km.

²² [Anderson 原注] すなわち黄金の Kworès.

²³ [Anderson 原注] 伝説7番の末尾。

²⁴ [Anderson 原注] 悪魔: GONDATTI, 63, 65-65 頁、KARJALAINEN, II, 343-350 頁参照。

と *menkv's*²⁵が、眼前に控える大仕事のため下界へ赴き、その途中で出会った者たち全てを貪り喰う。大洪水の7日前には絶えず雷鳴が聞こえ、鼻を刺す嫌な匂いが漂う。しかし大洪水自体は、魚卵を煮るのに必要な時間つまり1時間程度しかかからない。このように速いおかげで、人間はほぼ全員が死に、助かるのは7層のヤマナラシ(カラマツと言う者もいる)製の筏を拵える時間のあった者たちだけだ。そのうち6層は燃えるが、7層目は残るのである。この筏上にはチョウザメと小型チョウザメの皮製のテントが立てられねばならない。さらにそこには、砂柳の枝から縋われ、少なくとも三百尋の長さの縄がないといけない。この時、ブヨや蚊や蟻はクロテンほどの大きさに達し、水上を泳ぎまわって、分厚いテント覆いを拵える配慮を怠った者たちを亡き者にする。大洪水後には、影としての存在(isとしての存在²⁶)期間が終了した者たち、たとえば30年前に30歳で死んだ者などが蘇生する。こうして全世界は、大洪水から救われた人間たちと、期間満了の者たちから構成される。それから Numi は昇天し、裁きを始める。裁きがいかなるもので、罪人や義人にいかなる賞罰が待っているのかは、正確には知られていない。彼らはそれから、地上で生きた分の長さだけ生き、ただし生き残った者たちは洪水前に生きた分の長さだけ生きて、全員がまず *ker chomlach*²⁷に変じ、次いで塵になるが、それは世界の本当の終末のしるしとなるのだ。

ことに伝説2番および3番と正確に一致する細部が証明するのは、これは通常の終末論的な世界火災伝説ではなく、きわめて注目すべき仕方で遠い未来に投影された真の大洪水伝説だということである。

2.9. オスチャク〔ハンティ〕人の伝説〔原典ドイツ語〕

Tobolsk 州 Tobolsk 郡 Temljačev 郷 (Wolost) にて採録、1892 年以前。S. PATKANOV, *Die Irtysch-Ostjaken und ihre Volkspoesie*, I (St. Petersburg 1897), 134–135 頁。

本章の終わりに、もう1つオスチャク人の大洪水についての伝説を掲げよう。これは私が Temljatschev 郷に滞在していた期間に、採録できたものである。その内容は次のとおり。Pairâxt'â²⁸が地上に生きていたころ、彼は父の Tûrjm²⁹から、間もなく大洪水 (jêmij jink; ヴォグール語 jelpij vit' — 「聖なる水」) が起こり、地上の大部分を覆ってしまうと聞いた。自分と家族とその民を救うため、彼は大きな船 (karëp, ロシア語 корабль) を造り始め、それでいつも留守になった。その妻は留守の理由を知らなかったので、少なからずそのことを嘆いていた。彼女を慰めようと悪魔 (kul') が現れ、すぐに彼女と親しい関係になった。彼は彼女に、嘆くのではなく、旦那さんにワインと薄ビールをしたたか振舞えば、すぐに秘密を打ち明けてくれるだろうよ、と助言した。彼女はそうにして、彼がすでに30年もかけて造っていた船がほとんど完成間近であることを知った。ドアの後ろに潜んでいた悪魔はこの話を聞いて、すぐに船の所へ急ぎ、Pairâxt'âの苦心の作品を破壊した。Pairâxt'âが酔いから醒め、船の所に来てみると、粉々になっているのを見て途方に暮れた。とりわけ、もはや大洪水が始まる時が迫っていたからである。彼は父たる神に助力を懇願し、その助けによって船は3日で再び造り上げられ、自分と仲間たちを大水から救うことができた。

その乗物の造られるのを見ていたが自分で造ることができなかった者たちは、樹幹から筏 (por) を造り、それに乗って助かろうと試みた。彼らは波によって様々な土地に運ばれた。こうして Trenkin のユルタ (Samarovo 近く) 住民たちは、自分たちはこの時 Surgut 郡から今の居住地に筏でやって来たと請け負う。この村人たちが部分的に正しいであろうことは、否定できない。それは第一に、彼らの身体特徴が隣住するオスチャク人たちとは異なり、サモイェド〔ネネツ〕人と似たところがあるからで、また第二に、この低地では毎春、氾濫が起き、

²⁵ [Anderson 原注] 森の妖怪 : GONDATTI, 63 頁、KARJALAINEN, II, 371–376 頁参照。

²⁶ [Anderson 原注] GONDATTI, 65 頁、KARJALAINEN, I, 195–196 頁。

²⁷ [Anderson 原注] 小甲虫 : GONDATTI, 65 頁、KARJALAINEN, I, 196 頁。

²⁸ [Anderson 原注] この「オスチャク人のキリスト」については、KARJALAINEN, II, 296–297 頁参照。

²⁹ [Anderson 原注] オスチャク人の天神 : KARJALAINEN, II, 250–251 頁。

何年かごとに非常に大きな規模にまで達するからである。

大洪水の証拠として、Demjan 郷、Jurov 郷、および Narym 郷と Denschikov 郷南部のオスチャク人の中に、いやロシア人の中にさえ、Irtysch 川右岸の小高い台地で船の残骸を見たと言主張する者がいる。

Patkanov の記述によれば、Temljačev 郷のみならず Samarov 郷やその他 4 つの隣郷にも、土地と結び付いた大洪水伝承があったことが注目される。

Pairaxt'a 救出の話は、この異教名にもかかわらず、全くロシア＝キリスト教的典拠に由来している：ヴォグールの伝説 3、4、5 および下記 27 頁注 1 [本訳では既出] を参照。逆に、全く北アジア的なのは、大部分の人々が筏で救出されていること、その故地から遠く漂流していること、またその地の高台に船の残骸があると言われていること (Patkanov の言葉から判断するに、この残骸があるとの信念は、ロシア人にまで広がっていたのであるから、とりわけ強固なものに違いない) である。ヴォグール人と共通しているのは、大洪水が「聖なる水」と称されていることだ。

2.10. オスチャク [ハンティ] 人の伝説 [原典ロシア語]

Tobolsk 州 Tobolsk 郡、Nadym 川河口部の Jurten Chorovoj にて採録、1876 年 9 月。話者：Changaj. I. S. POLJAKOV, *Pišma i otčoty o putešestvii v dolinu r. Obi* 『オビ川溪谷への旅行に関する書簡と報告』、Sanktpeterburg 1877 (= Zapiski Imperatorskoj Akademii Nauk, Bd. 30, Beil. 2), 147 頁。

……オスチャク人が知っているのは、T'armas-Katon³⁰ が最初に住んだ場所はオビ川沿いの、Obdorsk の少し下流だということのみである。そこから T'armas-Katon は、水と火 Jemana の洪水の際、その親族らと共に流し去られた。水自体が火のようであった。しかしその際、新来者たちは簡単な舟に乗っていた……。

オスチャク人の族祖伝説中のこの挿話を解説するため補足しよう。ここに述べられている洪水は、人の住む地上全体を覆うものではないが、146 頁によれば「地上の大部分が水に被われた」という。果たしてオスチャク人 T'armas-Katon が親族らと並び、その元いた地域における唯一の生存者であったかは、言われていない。彼が Nadym 川の河口に来た時、彼が第一にしたのはオスチャク人 Jesovaj の殺害であった。Jesovaj は世界創造後すぐにここに居住した者と言われ、その漁場を彼は我がものにしたかったと言う (Jesovaj は話者 Changaj の祖先である)。

「水と火 Jemana」(вода и огонь Емана) に我々は直ちに、オスチャク人 9 番の jêmijj jink すなわちオスチャク人・ヴォグール人の「聖なる水」を認める。さらにずっと重要なのはしかし、大洪水がここではヴォグール人におけると全く同様に(ただしオスチャク人 9 番とは違い)、火の洪水と述べられていることである。全体として、ことにオスチャク人 9 番の結末部を参照せよ。

2.11. サモイェド [ネネツ] 人の伝説 [原典ロシア語]

Jenissei 州 Jenisejsk 郡 Turuchansker 地域 (詳しい採録地不明)、1869 年以前。P. TRET'JAKOV, *Turuchanskij kraj* 『Turuchansker 地域』: Zapiski Imperatorskago Russkago Geografičeskago Obščestva po obščej geografii, Bd. 2 (S.-Peterburg 1869), 215–530 頁、引用は 415–416 頁から。

全地を覆った大洪水について、サモイェド人は次の伝説を語っている。大洪水があり、舟で逃げた 7 人は水によって天のすぐ下まで押し上げられ、天蓋のもと立つことができず、身をかがめていなければならないほどだっ

³⁰ [Anderson 原注] Tonki 一族出身で、今日の Nadym 川の漁場所有者たちの始祖。

た。人々はその苦境を見て、土を少し探して来てくれるようアビ (Colymbus) に頼んだ。アビは水面下に潜り、7日後にいくらかの土を、砂および草とともに取って来た。人々はこれら全ての物を水中に投げ、土地を拵えてくれるよう Nua³¹に祈り始めた。すると水は引き始め、木々が現れて、舟は地上に降りて来た。やがて大地は乾き、水はどこにも残らなくなった。渇きが人々を苦しませ始め、1人の女性は自分の乳を吸い始めたがやがて死んだ。別の者は自分の尿で喉の渇きを鎮めようと決め、生き残った。しまいには人々はよい考えを思いつき、地中に坑を掘ってそこに間もなく水を見つけた。人々は渇きを鎮めた後、飢えに苦しむ始め、生き残ったのは2人の男と1人の少女だけであった。鼠が何匹も現れて、彼らはこれを殺して食べ出したところ、餓死から救われた。一難去ってまた一難、今度はマンモス——kalaga——が地上を徘徊し荒し始めた。ある場所には角で土を掘って山々を堆積させ、峡谷を造った。このため今日まで、そうした場所にはマンモスの折れた角が見られるのだ。他の場所では、マンモスはその体重で大地を押しつぶしたため水が噴き出し、河川や湖沼ができた。しまいにはマンモスは Nua の怒りを買って、ある湖で溺死させられて今は地下に棲んでいる。その間、人間たちの1人は成長した少女と結婚していたが、あるとき一頭の鹿を見、それを殺す方法を考え始めた。1人の男は木を曲げて弓を作り、もう1人はマンモスの骨から矢を作った。これらの武器で、彼らは鹿も殺した。その皮を剥ぐために、彼らはやはりマンモスの骨から一種のナイフを作った。

上記の物語は、キリスト教大洪水伝説の影響の痕跡を全く示しておらず、非常に古風な印象を与えもする。またここでは注目すべきことに、その他の北アジア大洪水諸伝承との接点も非常に少ない。土を求めて潜った助っ人動物は創世神話に由来するものと思われるが（上記4頁注3³²を参照）、これはたとえば北米の洪水伝説でもお馴染みである（WINTERNITZ [Die Flutsagen des Alterthums und der Naturvölker, *Mittheilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien*, 31, 1901] 325頁1を参照）。

2.12. アルタイ人の伝説〔原典ロシア語〕

Tomsk 州 Bijsk 郡、Ulala 村周辺、1879 年以前（宣教師 V. Postnikov の採録から）。G. N. POTANIN, *Očerki severo-zapadnoj Mongolii* 『北西モンゴル誌』、IV (S.-Peterburg 1883), 208 頁 42 d.

アルタイ人は大洪水があったと信じている。今の人類の始祖が乗って救われた sal (筏) は、今も無傷で、Katuń 川右岸の Adygan 山 (Ulala 村³³の南) 上にある。この山に登った者は二度とそこから戻って来られず、死んでしまう。

2.13. アルタイ人の伝説〔原典ロシア語〕

Tomsk 州 Kuzneck 郡、Mras 川沿い、1882 年以前。Protoierei V. VERBICKIJ, *Kak my otyskivali Nojev kovčeg* 『我々はいかにしてノアの方舟を探したか』: *Vostočnoje Obozrěnije*, 21. Okt. 1882, 30 番、9–11 頁 = V. I. VERBICKIJ, *Altajskije inorodcy* 『アルタイの異民族』 (Moskva 1893) 102–103 頁 8 番³⁴。

アルタイの異民族間では、大洪水について次の伝説が保存されている。大洪水³⁵以前には、全地の王は Chan Tengis³⁶ (「海」) であった。その治世には全地上で Nama という名の一人の男が有名であったが、彼は Ul'geń (善

³¹ [Anderson 原注] サモイェド人の主神: TRET'IAKOV, 414 頁。

³² [山田訳注] 本訳では省略した部分だが、O. DÄHNHARDT, *Natursagen*, I (Leipzig und Berlin, 1907), 1–89 頁が指示されている。

³³ [Anderson 原注] Bijsk から 95 ベルスタ。

³⁴ [Anderson 原注] この第2版で変わった箇所には、以下“AI”と示す。

³⁵ [Anderson 原注] AI: “jaik”。

³⁶ [Anderson 原注] AI: Temys。

神)に命じて、adyra³⁷-saldan-agaš 樹(良質の白樺材)から舟(kerep)を造らせた。Namaはその3人息子 Soozun-uul, Sar-uul, Balyksa に命じて、その舟をある山上で造らせた。Namaは視力が弱かったため、舟の建造は長男が指揮した。舟はUl'geñの命令により内にも外にも白樺の樹皮と瀝青を張りつけた。その角と壁にNamaは80尋ある8本の綱を結び付けさせ、その両端には鑄鉄製の板を取りつけた。Soozun³⁸がNamaに「この綱は何にするんだ?」と尋ねると、Namaは「これで、水が80尋の高さになったとき何日過ぎたかが分かるのだ」と答えた。舟が建造されると、Namaは愛する人間たち全てを集めた。それはUl'geñが彼に「愛する者たちを連れて行きなさい、そして³⁹生きて呼吸をする物全てと、空飛ぶ鳥たちも」と言っていたからである。Namaが家族および友達と舟に乗り込んだ時、大勢の動物たちもやって来た。Namaはやって来た鳥獣たちに、舟に乗り込むよう命じた。Soozun-uulが「ここに1匹の蛇も這って来ているが、これも連れて行っていいか?」と尋ねると、Namaは「どんなのでも間に合った者たちは全部収容せよ、舟におさまる限りは」と言った。それからNamaは舟内にいる者らに「何か見えるか?」と訊いた。「地上どこまでも霧と闇です」という答えだった。そこへ地下水脈から水が噴き出し、小川や河川や海からも溢れ出して、地上を水浸しにした。天からも水が迸り出た。舟が80尋の高さまで昇ったとき水はなおも増したため、綱は繋がれていた錘から引きちぎられ、舟は漂い始めた。Namaは「もう7日目だ」と言った。14日が過ぎると、NamaはSoozunにtuunuk⁴⁰(天井にあけた管ないし窓)を開けて見回させた。Soozunはその下命を果たすと、「何もかも水浸しになっており、山頂しか見えません」と言った。しばらくしてNamaはもう一度SoozunにTuunukを開けさせた。Soozunは四方を見渡し「何も見えません、天と水だけです」と言った。とうとう舟は、2つの近接した山、Čomgodoj⁴¹山とTulutty山⁴²の上に留まった。そこでNamaは自らtuunukを開け、ワタリガラスを飛ばした。ワタリガラスはもう帰って来なかった。翌日Namaはカラスを送り出したが、これも飛び帰って来なかった。3日目に彼はカササギを飛ばしたが、無駄だった。4日目に雄バトを飛ばすと、これは飛び戻り、白樺の枝を持って来た。Namaは雄バトに、先に出してやった鳥たちのことを尋ねた。雄バトが答えるに、「ワタリガラスは岩の割れ目に挟まっているmaral(ヘラジカ)を見つけ、そいつの両目を啄んでいます。カラスは犬を見つけ、その尻⁴³を啄んでいます。カササギは馬を見つけ、その背骨を啄んでいます」。そこでNamaはこれらを呪って言った、「奴らは今しているのと同じことを、この世の終わりまでするがいい。ワタリガラスは斃れた獣の目を啄み、カラスは尻を、カササギは背骨を啄むがいい。だがお前は」と彼は雄バトに、「我が忠実なる僕よ、お前を祝福しよう、この世の終わりまで我が子孫らと共に暮らすがよい」と言った⁴⁴。

アルタイ人たちはNamaをJaik-chanと称し、これにたいいてい春に高山頂で白羊を供犠する。さらにシャマン儀礼のたびに、シャマンがUl'geñのもとへ同行できるよう彼に祈る⁴⁵。人が死ぬとその40日後にJaik-chanがユルタの浄めのために呼ばれるが、その際には死者のベッドに1羽のオンドリを結わえつける。このオンドリは死を表象し、Kamすなわちシャマンにより追い払われる。そのため住民たち⁴⁶はオンドリを食べない。さらに家畜が殖えない時も常にJaik-chanが呼びかけられる。住民らは、死んだ親族が家畜を死者の住処へ連れて行ったので、Jaik-chanに供犠をすればその家畜をそこから大洪水で追い払ってくれると信じているのだ。Kamは、その一家の死せる成員たち(uzutter ierine)の魂が住まう処へ行き、そこで呪術をし、彼らと話し、酒をふるまい酔

³⁷ [Anderson 原注] AI: adira.

³⁸ [Anderson 原注] AI: この箇所および以下の箇所すべて“Soozun-uul”.

³⁹ [Anderson 原注] AI: 地上で、と追加。

⁴⁰ [Anderson 原注] AI: tuunuk.

⁴¹ [Anderson 原注] AI: Čomgodoj.

⁴² [Anderson 原注] これらの山を、私は同定できなかった。W [alter] .A [Anderson] .

⁴³ [Anderson 原注] AI: kodeñ.

⁴⁴ [Anderson 原注] AI は原語も載せる: menen kalgan kaldyk byla kalganči čaka etre kožo jurtagyn-dedy. さらにAIの103頁には次の補足が続く。「大洪水の後、人はNamaを感謝と尊敬から、Jajači(「創造主」と呼び始めた。彼の死後、子孫たちは彼に供犠を捧げるようになった。彼の息子たちはUl'geñに嘉され、Taul'je, Šaul'ja, Tirlle という異称を与えられた」。

⁴⁵ [Anderson 原注] AI, 103頁に再掲されたこの箇所には、これはBijsk郡の住民についてであり、年一度の供犠についてでもありと付言されている。以下のシャマン儀礼の記述=AI, 76-77頁。

⁴⁶ [Anderson 原注] AI: たいいていの、とりわけKuzneck郡の住民たち。

わせるさまを演じる。彼らの話を、Kam は彼らの声で再現し、彼らの所作すべてを真似する。会話と歌において Kam は、酔った死者が歌をうたうさまや、その際突然、洪水が死者の住処に押し寄せて来るさまを演じる。死者たちが誰彼となく狼狽周章し騒然となるさま、土と灰を撒き散らすことで大洪水が終わるさまが演じられる。Kam は混乱に乗じて家畜を追いやる。死者たちはどうやら後ろから叫び声を上げ、追っ手を派遣したらしい。この物語全体の上演の初めに、シャマンは自分の顔に煤を塗り、死者にそれと気づかれないようにする。しかし、もしも死者たちが自分らのもとの遺族たちから送られて来たのがシャマンだと気づいたなら、彼はそんな者たちは全く知らないと言っかけるのである。

ノアの方舟がどこに留まったかという問題に、我々が現地民たちは大いに関心を抱いている⁴⁷。アルタイ＝テレンゲト人 (Altaier-Telengeten) は方舟の留まった場所を、Čemal 川⁴⁸河口付近の山上に方舟の破片が残っていると言って、自分たちの地域と結び付けている。反対に Kuzneck 地区のアラダグ＝タタール人 (Aladag-Tataren) は、方舟が Mras 川左岸の Ulu-dag (「大なる山」) 山頂で乾いたと主張し、そこには今日まで方舟の巨大な厚板が途方もなく大きい釘とともに保存されていたと言う⁴⁹。Ulu-dag 山は私の宣教地区にある。……我々が地区の新洗礼者たちと様々な事柄について話していた時、我々は方舟の残骸にも言及し、若干の疑義があると述べた。住民たちは、我々の疑義のあらゆる影を取り払おうと努め、「誰か我々に方舟の残骸を見せてくれますか？」という問いには、あたかも欧州モミノキを見せてと言われたかのように、いかにもはっきりと肯定の返事をくれた。これらの会話は、Ulu-dag 山麓から遠くない Bugunči 川⁵⁰沿いの、私が洗礼を受けた男 Ončup のユルタで行われた。……(この Ončup の特徴が続く。)……この外ならぬ積極的 Ončup が、我々の中で信じない者たちに反論し、ノアの方舟の残骸にじかに触れる案内と仲介の役を買って出た。

6月11日朝お茶を飲んだ後、糧食にビスケットを携えて、我々は Ončup とともに出発した。……我々はまず Bugunči 川を騎乗遡上し、Ulu-dag 山から流れ出る2つの河川、Tarláp-tušken 川と Šagyš 川を渡った。……我々は狩人径を騎乗にて、時には全く径なき径を、生い茂る杉林を切り開きつつ進み、また軽く土に覆われただけの漂礫上を進んだ。登って行くにつれ、「Krest balaī (我が洗礼せし息子) は、無い物をどうやって見せようというのだろう？」という考えがますます私の頭をとらえた。とうとう我々は Ulu-dag 山の禿げた頂に近づき始めた。そこは蒼みがかった大きな石塊と、苔と Badan (ユキノシタ、kačap, kaja šojy) が生えて覆われていた。……これ以上は馬で進めなくなり、我々は下りて馬たちから鞍を外し、蚊に悩まされないよう馬たちを焚火の前に繋いで、徒歩で岩山を登った。岩山の上を百尋も登ると、切り立って上れない岩山から成る Ulu-dag 山頂の最高部に至った。Ončup はそこを指さし、厳粛に「あそこだ！」と告げた。

しかし我々にノアの方舟の残骸が見えなかったとは言え、その代わり我々は徒歩で到達する Ulu-dag 山頂から、周囲の大自然の素晴らしい景色を堪能した。……(以下、景観の描写が続く。)

Verbickij により採録された伝説の大部分は、聖書の物語をいくぶん改変した再話以上のものではない。しかしそれと並んで、このテキストには真に北アジア的な諸要素も見られる。ことに、縄で繋がれた筏という意義深いモチーフがある。

2.14. アバカン＝タタール (カチン [・ハカス]) 人の伝説 [原典ロシア語]

Jenissei 州 Minusinsk 郡、白 Jus 川⁵¹沿い、1882年。N. I. POPOV, *Kačinskije tatarj Minusinskago okruga* 『Minusinsk 地域のカチン・タタール人』: Archiv der Russischen Geographischen Gesellschaft (St. Petersburg), 手稿 Б IX 29, フォリオ 21b.

⁴⁷ [Anderson 原注] 以下は AI, 102 頁には縮約された形で出ている。

⁴⁸ [Anderson 原注] Katuń 川右側の支流。Čemal 川の河口には同名の村がある (Tomsk 州 Bijsk 郡、Bijsk 市から 76 ベルスタ)。

⁴⁹ [Anderson 原注] 以下全て AI には欠けている。

⁵⁰ [Anderson 原注] Mras 川の支流。

⁵¹ [Anderson 原注] ANDREE の地図帳では Ijus で、RADLOFF の著書には Jüs とある。

Kudaj (=神) が、自分を敬うことをやめた人間たちを根絶やしにしようと大洪水を起こした。大洪水の間、一匹の大きな動物が半年間泳ぎまわり、沈むことがなかった。そこで Kudaj が一羽の巨鳥を送ったところ、この鳥は動物の角の上に止まり、溺死させた。大洪水はものすごく、水は天まで斧の柄ほどの所まで迫った。少数の人間たちが避難した乗物は洪水後、白 Jus 川沿いの Zzyk 山に留まり、タイガの中にある。そこでは最近まで、この乗物のとても長い釘がよく見つかった。

一角獣が沈む話（後述 27 頁注 2⁵²を見よ）は、ロシア＝キリスト教の典拠に由来する。アルタイ人の伝説 13 番ですでに出会った、方舟の長い釘に注目せよ。

2.15. アバカン＝タタール（サガイ〔・ハカス〕）人の伝説〔原典ドイツ語〕

Jenissei 州 Minusinsk 地域、Abakan 溪谷の Ulus Oltokov (Askys 村から 6 ベルスタ) にて採録、1890 年 1 月 16 日。話者：Oltök (Varlaam), Muklās (Nikolaj), Čertykov の息子、22 歳、Saghaj 族 Turan 「骨」出身。W. RADLOFF, *Proben der Volksliteratur der türkischen Stämme, IX: Mundarten der Urianchaier (Sojonen), Abakan-Tataren und Karagassen, Texte gesammelt und übersetzt von N. Th. KATANOFF (St. Petersburg 1907), Texte 433–434 頁 397 番* = (ロシア語) 訳 417 頁 397 番。

むかし 1 人の老翁と老婆がいた。老翁は神 (Kudaj) と会話するのを常としていた。神は彼に言った、「今日から 40 日後に大洪水が始まる！ 筏を造れ！ とりわけ動物や鳥、その他の生き物から何匹かを、その筏に乗せるのだ！」 老翁はそこで筏を造り始め、34 日間働いた。34 日目、その筏は風に破壊されてしまった。6 日後には大洪水が始まる。かの老翁は、6 日間で筏を造ろうと出かけた。彼が出かけると、その妻の所へ悪魔 (Ajna) がやって来た。妻と悪魔は意気投合した。悪魔はかの女に「酒を造れ」と言った。かの女はその言葉に従い、強い酒を造った。かの悪魔はまた言った、「さて、これから大洪水がやって来る！ お前の夫は今日、筏を完成させて帰って来る。奴が来たら、この酒を飲ませるのだ。そのうち大洪水が始まる。奴は全種類の生き物を筏に乗せるだろう。お前は、水が膝の高さに来るまで乗ってはだめだ。そしたら水が、下履きの上端の高さまで上がってくるだろう。それでも (筏に) 乗ってはだめだ。次に水が胸の高さまで来る。そしたらお前の夫は、「乗れよ、この悪魔め！」とお前に言うだろう。こう言ったら、俺を呼んだということだ。そしたら 2 人揃って筏に乗るのだ！」 かの女は悪魔を、下に広げていた革敷きの下に寝せた。すると夫が帰って来た。彼女は夫に強い酒を飲ませた。すると老翁は「ふうー悪魔め、なんて甘い酒だ！ どうしてもっと早く出してくれなかった？」と言った。初め彼は長いこと抗い、その酒を飲もうとはしなかった。それから彼は、大洪水が始まるのを見た。かの老翁は老婆を筏に呼んだ。すると奴らは一緒にやって来た。奴らが来た時、老翁はもう全員を筏に乗せていた。筏にいなかったのはマンモスとワシだけだった。かの老翁は筏の上に乗った。水は件の老婆の胸の所まで上って来ていた。それで老翁は妻に「乗れよ、この悪魔め！」と言った。かの女は (筏に) 乗り、一緒に悪魔も乗った。かの老翁はワシとマンモスに「お前らも筏に乗れ」と言った。マンモスは「私は泳いでも大丈夫です」と答えた。そしてワシは「私は飛んでも大丈夫です」と答えた。しばらく経って水が引く 3 日前、(今) いる鳥、いない鳥すべてが、翼が疲れてそれ以上は飛べなくなり、マンモスの上に止まった。マンモスは水中に没した。ワシとマンモスはどちらも水中に沈み、その魂を明け渡した。それからかの老翁はワタリガラスに、命の水を取りにやった。ワタリガラスは飛んで行き、水を持たずに帰って来た。ワタリガラスは水を運んでいる時、それを松や茨や樅や杉といった木々の梢にかけてしまったのだ。そのためこれらの木の「葉」も、紅葉も落葉もしないのである。

このテキストの主要な話は聖書から取られており、ノアとその妻の話 (ヴォグール人の伝説 3 から 5 番および

⁵² [Anderson, 27 頁原注 2] DÄHNHARDT, I, 287–288 頁。

オスチャク人の9番参照) および一角獣の死滅の話(アバカン=タートル人14番)は、ロシア=キリスト教の典拠に由来する。よって真に北アジア的と見なせるのは、聖書の方舟を筏で置き換えていることだけだ⁵³。大洪水の話が、不死の飲料をかけられた木々の伝説(後述44頁参照)と結びついているのも、非常に注目に値する。

2.16. ウリヤンハイ〔トゥバ〕人の伝説〔原典ロシア語〕

モンゴル北西部、Uluchem 川 (Jenissei 川上流) 沿い、1879年9月採録。話者は1年間 Minusinsk に住んだことのあるトゥバ=ウリヤンハイ人男性。POTANIN, IV, 207 頁 42a.

大昔、洪水が起きて大地を水浸しにした。1人の老翁と3人息子だけが、sal (筏) に乗って助かった。この息子たちの1人は Cham という名で、彼がトゥバ人最初の cham (=シャマン) であった。

注。この話は、「Ireñ⁵⁴って誰？」との問いに対する答えとして語られたもの。しかし話者は「その kam (=cham) が Ireñ だったんだね？」と問われると、「違う、だが彼は Ireñ に助力を乞い、その力によって働きをなした」と答えた。

Cham ないし kam は事実「シャマン」を意味するが、救われた人の3人息子のうちの1人の名としてこの語が出るのは、聖書の影響を示唆している。

2.17. ウリヤンハイ〔トゥバ〕人の伝説〔原典ロシア語〕

モンゴル北西部、Buren-gol 川 (Jenissei 川上流左側の支流) 沿い、1879年10月採録。話者：トゥバ=ウリヤンハイ人女性。POTANIN, IV, 208 頁 42b.

かつて大洪水があり、1人の老翁が鉄の筏に乗って逃れた。

2.18. ウリヤンハイ〔トゥバ〕人の伝説〔原典ロシア語〕

同地、1879年10月採録。話者：Bjurgun, Sal'džak 「骨」出身のトゥバ=ウリヤンハイ人男性。POTANIN, IV, 208 頁 42g.

大地は Alap-melekej の上 (すなわち蛙 Alap の上) にある。この蛙が身を動かすと、大地は崩れてしまうだろう⁵⁵。かつてこれが動いたことがあり、Ulu-dalaj (大海) は煮え立ったかのように波を寄せ始め、岸から上がってきた。ただ1人の老翁がこの状況を予見して鉄を打った筏——temir chadalu sal——を造り、少数の人間たちおよび食糧と共にこれに乗り、そうして助かった。この筏は今でも、かつて留まった高いタイガ上にある。その他の人間と動物たちはみな死んだ。

それから Kezer Čingis Kajrakan は、今地上にあるものを造り始めた。彼は山を造り、森を造り、火を発見し、人間たちになすべきこと全てを教えた。火酒の燃やし方を教え、chural を建ててその支配者となった。…… (以降、この文化英雄のその後の運命が報じられる)。

⁵³ [Anderson 原注] 反対に、KATANOFF の別のアバカン=タートル洪水伝説 (RADLOFF, IX, テキスト 303-304 頁 184 番=翻訳 274-276 頁 184 番) は、全くキリスト教的諸要素のみから成り、筏ではなくここでは舟が見られる。

⁵⁴ [Anderson 原注] この神話上の人物について、ポターニンはそれ以上何も説明していない。

⁵⁵ [Anderson 原注] ... пожалуй и земля упадеть.

2.19. ウリヤンハイ〔トゥバ〕人の伝説〔原典ロシア語〕

モンゴル北西部 Sedzen 川 (Jenissei 川上流左側の支流) 沿い、1879 年 10 月採録。話者：Sal'džak「骨」出身のトゥバ＝ウリヤンハイ人男性。POTANIN, IV, 208 頁 42v.

むかし水が全地上を覆い、森はなくなった。生えているもの全ては、大洪水後に初めて現れたのだ。

最後の言葉がなかったら、記録者により洪水伝説の中に入れられているこのテキストを、ありふれた創世伝説と見なさねばなるまい。いずれにせよ、このテキストは非常に曖昧かつ断片的であり、我々にはほとんど無価値である。とはいえこれにより、ヴォグール人 (伝説 2 番・7 番) その他に見られる、大洪水後に植生が新たに造られたという観念が想起される。

2.20. カムチャダール (イテリメン) 人の伝説〔原典ドイツ語〕

カムチャトカ。採録場所不明⁵⁶、1738–1744 年。Georg Wilhelm STELLER, *Beschreibung von dem Lande Kamtschatka* (Frankfurt und Leipzig 1774), 273 頁。

イテリメン人も、大洪水と全地を覆った大氾濫についての語りを知っている。それは Kutka⁵⁷が彼らのもともからいなくなって間もなく起こったと言われ、非常に多くの人々が当時溺死し、何人かは舟で助かろうとしたが、波が強くなりすぎたという。しかし残った者たちは大きな筏を造り、木々を互いに結び合わせて、食料と全ての家財と共にそれに乗って退散した。しかし海へ流されないように、彼らは大きな石を紐に結び、碇の代わりに深みに落とした。水が引いた後、彼らは筏と共に、高い山上に残されたという。

2.21. カムチャダール (イテリメン) 人の伝説〔原典ロシア語〕

カムチャトカ半島西岸、泥火山 El'velik 周辺 (およびその他の場所) にて採録、1896 年末。V. N. Tjušov, *Po zapadnomu beregu Kamčatki*⁵⁸ (Sankt-Peterburg 1906, = Zapiski Imperatorskago Russkago Geografičeskago Obščestva po obščej geografii Bd. 37, Nr. 2), 388–390 頁 (271 頁も参照：下記 40 頁を見よ〔本訳では省略〕)。

かつて土着民たちが、大洪水から El'velik 山頂に避難したことに言及するのは、興味深いことと私には思われる。このような俗信は土着のカムチャダール人たちの間に保存されている。今では全く大洪水の痕跡などないように思われるのに、何らかの大洪水について知っているのはなぜなのかと私が尋ねたところ、彼らが私に言うには、何人かの者たちが上述した山頂で筏を、より正確にはカラマツ材でできたかつての筏の残骸を見たというのである。これがどれだけ正しいかについて、私は決定を請け負うことはできないが、大洪水の伝説とカラマツ筏があるという伝承は、カムチャトカではほぼ到る所に存在するのであり、これら筏の発見地としては El'velik 山の他、Charč'in 山の尾根 (Timáska) および詳細の不明な Kozyrev 山の尾根が挙げられる。

残念ながら、これらの場所の一箇所たりと訪れて、救難筏の存在を実見することは私にはできなかった。けれども、もしも (野外で) カラマツが長くて約 200 年間ほもつと見積もるならば、大洪水伝説の述べる時代は、前 (すなわち 18) 世紀の初めと決定できる……。

(この後、Krašeninnikov による 1737 年 10 月 6 日・17 日の大地震と洪水の記述がなされ、389 頁に次のように補足がある：)

⁵⁶ [Anderson 原注] この本の冒頭に印刷されている伝記 (13 頁) によれば、カムチャトカにおけるシュテラー (1709 年生れ、1746 年没) の居住地は、Bol'saja Rėka (現在の Bol'serėckaja) であった。よって私は地図に、彼の記録地をこの場所として記入した。

⁵⁷ [Anderson 原注] カムチャダール族の創世神：STELLER, 253 頁以下。

⁵⁸ [Anderson 原注] フランス語書名もある：W. N. TUCHOFF, *Le long de la côte occidentale de Kamchatka*.

もし、これらの筏はまた来るかもしれない大洪水に備えて造られたものにすぎない、という何人かの現地民の報告もここで考慮に入れるなら、筏の残骸が存在するということは全くありうることを考えてよかろう。それは、非常にさまざまな地域の現地民から知られる素朴な諸伝承を不審がったり、彼らがそうしたお伽話を創り出したのだと責めたりする理由は全くないだけに、一層言えることである⁵⁹。

3 若干の考察

3.1 アンデルソンによるまとめ

以上の諸類話からアンデルソンは、ヴィンテルニッツの研究 [Winternitz 1901] などに基づきつつ、聖書的モチーフと北アジア的モチーフとをより分けている。それによれば、聖書に非常に特徴的なモチーフは、A: 密閉可能な方舟、B: 「生物種」の同行、C: 鳥などを放つこと、D: 供物、E: 虹の5つであり、聖書に特徴的なモチーフとしてはF: 倫理的動機、G: 英雄の救出、H: 予言、I: 人類の世代の更新、J: 英雄の3人息子の言及、の5つが挙げられ、さらに聖書的ではないがロシア＝キリスト教的ノア伝説の要素として、K: 悪魔とノアの妻、L: 一角獣の水没、の2つが挙げられている。そしてこれらを除いた非聖書的要素としては、a: 「聖なる水」という表現、b: 火の洪水、c: 若返りの水浴、d: 大洪水に世界大火が先行、e: 火の雨の接近に伴う騒音、f: 大洪水の水が天のすぐ下まで迫る、g: 救われるのは嘉された家族ではなく偶然集まった人々、h: 救出の乗物は筏、i: 乗物の材料としての木材・鉄、j: 筏ないし舟は7層から成る、k: チョウザメ皮による保護、l: 救出の乗物は長い縄で地表に固定される、m: 伸ばした縄は短すぎ切ったところ筏は流される、n: 救われた者たちは故郷から遠く流された土地に居住し始める、o: 大洪水後にひどい困窮、p: 森が不足し地下小屋を建設、q: 救出の乗物が留まった山は今も知られている、r: 乗物の残骸はその山に今も保存されている、という18点を指摘した。そしてこれらのうち北アジアに広く見られ注目すべきはg (複数の家族の救出)、h (筏)、l (縄)、m (縄が短すぎ)、q (上陸した山の同定) であって、結局全シベリアの洪水伝説には系統的関係があり、類話は北米北西部まで及んでいるとアンデルソンは考えたのであった [Anderson 1923: 26-43]。

3.2 救出具

さて、ここでの我々の関心からは、上述したアンデルソンのiすなわち救出具の具体的描写がまずは注目される。それらは、

- ・白樺: 「髓のない白樺の木々で筏」(2: マンシ)
- ・ポプラ: 「ポプラ樹舟」(4・5: マンシ)
- ・ヤマナラシ: 「ヤマナラシまたはカラマツの筏」(8: マンシ)
- ・カラマツ: 「ヤマナラシまたはカラマツの筏」(8: マンシ)、「カラマツの筏」(21: イテリメン)
- ・白檀: 「良質の白檀材から舟、内外に樹皮と瀝青」(13: アルタイ)
- ・樹種不明: 「樹幹から筏」(9: ハンティ)
- ・鉄: 「鉄の舟」(3: マンシ)、「鉄の、または鉄を打った筏」(17・18: トゥバ)

であり、さらに筏の上には、チョウザメの皮で天蓋などの保護具を付したとされる場合もある(アンデルソンのモチーフk。2・3・8: マンシ)。こうした描写は、人々を取り巻く自然環境、および環境利用のあり方を示している可能性がある。今後、実際の筏・舟製作材料・加工技術などと比較検討してみるべきであろう。

3.3 洪水の具体的描写

次に、洪水自体は具体的にどう描かれているだろうか。中には火の洪水といった非現実的・空想的な記述も見られるが(アンデルソンのモチーフb。2・3・4・5・6・8: マンシ、10: ハンティ)、注目すべき描写もある。た

⁵⁹ [Anderson 原注] このナイーブな言明に対し、K. BOGDANOVIĆ (編者) は、「泥火山の頂上には、いかなる筏の残骸もない」と簡潔な脚注で述べている。

例えば9番ハンティ人の伝説（Tobolsk州 Tobolsk郡 Temljačev郷）には、「この低地では毎春、氾濫が起き、何年かごとに非常に大きな規模にまで達する」と、河川の氾濫が原因であることが明記されている。また13番（Tomsk州 Kuzneck郡のアルタイ人）にも、「地下水脈から水が噴き出し、小川や河川や海からも溢れ出して、地上を水浸しにした」とある。そして「天からも水が迸り出た」（大雨のこと？）と続いている。

他方、カムチャトカ半島イテリメン人の伝承は、地震や津波に起因する洪水を描写している可能性がある。20番では「波が強くなりすぎた」「海へ流されないように」と書かれ、21番の省略部分には、1737年10月6日・17日の大地震と洪水について述べられている。

3.4 展望

無論、シベリアの洪水伝承はこれらアンデルソンが挙げた21話にとどまるものではない。1923年以後の資料も含め、洪水体験を具体的に伝えるような描写が含まれていないか、今後さらに探究してみることで価値ある成果が得られるものと思われる。その際、他地域との比較も視野に入れておくべきであろう。たとえばハバーロフスク地方ラゾ地区で1960–80年代に記録されたウデヘ人の洪水神話は、おおよそ次のようなものである。

むかし雨が降り止まなかった。女の子が弟とともに、祠の中に狼・赤狼のボスを描いた絵を見つけた。この祠から白髪の老人が現れ、狼・赤狼のボスの口から火の粉が飛んだら大地がひっくり返る予兆なので、逃げるようにと教えた。果たして、あるとき狼・赤狼のボスの口から火の粉が飛び始めたので、2人は逃げた。強風が吹いて木々が倒れ、2人の逃げた小丘の周りはすべて水となった。2人はそこで成長し結婚した。その際、石臼の上下の石を別に転がし、両者がひとつになったことを姉弟婚が許されたしるしとした。やがて1羽の鳥が1人の老婆のもとから土を奪い、これを落とした所が大地となり、そこにウデヘ人、中国人、朝鮮人、日本人が暮らし始めた〔斎藤 2011: 58–62, 出典 Фольклор удэгейцев. Ниманку, тэлунгу, ехэ. Новосибирск, 1998, No.58, стр. 323–327〕。

斎藤も指摘するように、ここには臼石の上下が合うことで近親婚を認めるという中国的要素が見られる他、潜水モチーフも見られる。また、祠内の神像から火の粉が飛んだら逃げよ、というのは、石像の目などが血で染まったら洪水が起きる、などと語るいわゆる「石像の血」モチーフで東アジアに広く知られ、冒頭に掲げた多賀城の事例をこれの派生型とする見解もある〔山本 2001, 2011: 105–162〕。シベリアを超えて広がる要素、シベリアに特有の要素、さらに狭い地域に独特の語り、といったことに配慮しつつ、推進すべきことは多く残されている。

参考文献

- Anderson, Walter. 1923. *Nordasiatische Flutsagen*. (Acta et Commentationes Universitatis Dorpatensis; B. Humaniora, 4). Dorpat: C. Mattiesen.
- Herrmann, Anton. 1893. Die Flutsagen der finnisch-ugrischen Völker. *Globus*, 63: 333–338.
- 宮城県教育会（編）1931『郷土の伝承』（宮城教育；388）仙台：宮城県教育会。
- 野村純一（編）1985『中奥羽：岩手・秋田・宮城』（日本伝説大系；2）東京：みずうみ書房。
- 大野村教育委員会 1978『大野の風土記』岩手県九戸郡大野村：教育委員会。
- 斎藤君子 2011『シベリア神話の旅』東京：三弥井書店。
- Winternitz, Moriz. 1901. Die Flutsagen des Alterthums und der Naturvölker. *Mittheilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien*, 31: 305–333.
- 山田仁史 2010「大洪水（Sintflut）と大火災（Sintbrand）の神話」篠田知和基（編）『火と水の神話：「水中の火」』：157–176. 名古屋：楽瑯書院。
- Yamada, Hitoshi. in press. The Gourd in South Chinese and Southeast Asian Flood Myths. In: Shinoda, Chiwaki (éd.), *Mythes, Symboles, Iconographies*. Nagoya: Librairie Rakuro.
- 山本節 2001「『石像の血』の伝承をめぐって」篠田知和基（研究代表者）『ユーラシア神話の比較研究：神話と文学』文部省科学研究費補助金研究報告書（基盤研究（B）（2））：21–32.
- 2011『異怪と境界：形態・象徴・文化』上下、東京：岩田書院。

民話から見たカムチャッカ先住民の自然観

永山 ゆかり
北海道大学大学院文学研究科

1 はじめに

本調査の目的はカムチャッカ先住民¹の民話から次の3点を明らかにすることである。

- 過去の災害や環境変動を示すものがあるか
- 水や川をどのように認識しているか
- 伝統知識が資源管理にどのように反映されているか

1920年代以降に生まれた話者に聞き取り調査を行った結果は、過去の災害や環境変動についての言い伝えは皆無であった。また、今回調査した文献にもそのような記述は確認されていない。したがって本節では2節で民話の中の水に関する記述について述べ、3節では伝統知識と資源管理の関係について述べる。

・調査方法と資料

アリュートル語およびコリヤーク語は主に話しことばとしてのみ用いられてきたため、文字による記録は少ない。したがって古くは蠟管、カセットテープ、近年はICレコーダーなどで話し手の音声を録音し、文字起こししたものを研究資料として使うのが主流である。今回の調査ではこのような調査で得られた音声資料を文字に起こしてロシア語訳や英訳をつけて出版されたもののほか、筆者が収集した未発表資料を利用した。ロシア語訳あるいは英訳のみで出版されたものもあるが、今回調査した資料も含めて翻訳には翻訳者あるいは編集者による改変が加えられていることが多いので、それらはひとまず除外し、対象言語による原文があるものだけを調査の対象とした。平成23年度の文献調査に用いた資料は次のとおりである。

- (1) Aiatginina and Kurebito (2006) コリヤーク語の民話: 89話
- (2) Zhukova (1988) コリヤークおよびアリュートルの民話: 52話
- (3) Kibrik et al. (2000) アリュートルの民話: 41話
- (4) Kilpalin (1993) アリュートルの民話: 9話
- (5) 永山採集資料 アリュートルの民話: 約50話 (Nagayama 2003, 永山 2005 など)

¹ カムチャッカ先住民は言語学上の分類では古アジア諸語に属し、中でもチュクチ語、コリヤーク語、アリュートル語はチュクチ・カムチャッカ語族に属する。イテリメン語はかつてはチュクチ・カムチャッカ語族に属すると見られていたが、別の系統の言語であると見るのが主流になりつつある。なおサハで話されているサハ語はトルコ語やウイグル語と同じチュルク諸語に属する。

なお、アリュートル語では民話は大きく下記の二つに分類されるが、上記の資料はいずれも言語学の研究資料として出版されたものであり、これらの区分については明示されていない。

- *l'əmŋəl'* (Rus. skazka) おとぎ話 (架空の話。神話を含む)
- *panenatvən* (Rus. rasskaz) 昔語り (過去に実際にあった話。伝説を含む)

なお、上記以外に口承されるものとして、今回は調査の対象からは除外したが、夢占い、まじない言葉、なぞなぞ、歌がある。

2 水に関する記述

今回調査した民話資料の中には「水神」にあたるような水を司る超自然的存在に関する記述はない。また「洪水」「水不足」など人間に不利益となるような記述も確認されていない。湖に住む、角の生えた動物が湖に張った氷を割ったために、氷の上にいる人々が水に落ちて死んだという話はあるが、水はおおむね魔物を遠ざける装置として出現し、厄災というよりはむしろ人に利益をもたらすものとして語られている。

2.1. 民話の中の水の機能

魔物を遠ざけるために人間が意図的に魔法で川を出現させる民話がコリヤークの民話とアリュートルの民話に確認された。これは日本むかし話の「三枚のお札」に相当するもので、世界各地に同じモチーフの民話がある。以下にコリヤークの民話を紹介する。

(民話1)「魔物と少年」(コリヤークの民話)

魔物が少年をつかまえた。少年は魔物に言った。

「すぐには殺さないでくれ。もっと大きくなって肉がついてから食べてくれ」

少年がよく太るように、魔物たちは毎日たらふく食べものを与えた。しかし少年はいつか自分は殺されるのだと思って毎日泣いていた。ある老人が少年が泣いているのを聞きつけてたずねた。

「おまえはどうして泣いているのだ」

「ぼくはもうすぐ殺されてしまうのだ」と少年は答えた。

「逃げなさい」

少年は泣きながら答えた。

「逃げられるものか」

老人は少年にこう言った。

「氷と炭と石を持って行きなさい。魔法の力があるんだよ。」

老人は少年に教えた。

「追手が迫ってきたら、後ろに氷を投げなさい。その次は炭、それから石を後ろに投げるんだよ」

老人の言葉を少年はしっかりと聞いた。そして逃げ出した。魔物たちは少年が逃げたのに気づいて追いかけはじめた。魔物に捕まりそうになったとき、少年は後ろに氷を投げた。すると大きな川が現れた。魔物たちは川を飲み干そうと川の水を飲み、腹がいっぱいになって動けなくなってしまった。

しばらくの後、魔物はまた少年を追いかけはじめた。少年は炭を投げた。すると大きなたき火が現れた。魔物は火を消すことができない。たくさんの魔物のうち5匹だけが火をくぐりぬけて、

また少年を追いかけた。少年は逃げたが、追いつかれそうになった。そこで石を投げた。尖った岩がごつごつと突き出た大きな丘が現れた。魔物たちは丘を越えようと斜面にとびついた。すると丘はどんどん高くなって、やがて天まで届いた。魔物たちは爪を立てて切り立った斜面を登ろうとしたが、登ることはできなかった。そして少年は無事に家に帰った。これでお話はおしまい。

(Aiatginina and Kurebito 2006: 116-117)

同様の話はアリュートルの民話にもある。魔物のかわりに主人公を追うのは作者の創作による「エルサレム」という名の異人であり、主人公が持って逃げるものが3つではなく4つであるなど細部は異なっているものの、基本的な内容はほぼ同じである。ここでも主人公が投げた氷のかけらによって川が出現し、魔物の行く手を阻んでいる。

(民話2)「祖先のもとへ」(アリュートルの民話)

そんなに昔の話ではない。まだわたしたちの両親が知っているころの話だ。

海のほうから帆を立てた舟で悪い人たちがわたしたちの土地にやってきた。かれらの大将の名をエルサレムといった。各地の集落を銃で襲って、家畜のトナカイも獣も鳥もあらゆるものを殺した。悪いロシア人たちは村にいた若い娘たちを襲い、妻にするために連れ去った。人々の暮らしはとて悪くなった。

エルサレムはカーマというとても美しい娘がいることを聞きつけた。カーマが隠れている場所をかぎつけた。カーマを見つけると、革紐でカーマをしばりあげた。カーマの両親も捕らえ、別の土地へと追いやった。エルサレムはカーマを岩で閉じ込めて置き去りにしたが、エルサレムの銃声はツンドラじゅうに、山の尾根づたいに響き渡った。その音を聞きつけた獣たちは一斉に逃げだした。

カーマのそばを野生のトナカイが通りかかった。

「おまえは自分だけ祖先のもとへ逃げるんだね」

「後ろにまだいるよ！悪いエルサレムから逃げるんだ」

「ああ、そうなの」

次にオオツノヒツジが通りかかった。

「おまえは自分だけ祖先のもとに逃げるんだね」

「後ろにまだいるよ。エルサレムの影から逃げるんだよ」

「ああ、そうなの」

群からはぐれた野生トナカイがカーマのそばを通りかかった。

「おまえは自分だけ祖先のもとに逃げるんだね」カーマは言った。

「後ろにまだいるよ。臭いエルサレムから逃げるんだ」

さまざまな動物が通りすぎた。小鳥もカモも。そしていちばん最後に一匹の小さな狐が通りかかった。

「おまえは自分だけ祖先のもとに逃げるんだね」

「そうだよ」キツネのサスーサナウトは前足をついて座った。

「サスーサナウト、おまえだけ祖先のもとに逃げるんだね」

「そうだよ、カーマ。ああ驚いた」

そしてサスーサナウトはカーマに尋ねた。

「カーマ、あんたはここで何をしているの？いっしょに逃げようよ！さあ早く！」

「わかったよ、サスーサナウト！この岩をよけるのを手伝って」

「いいよ」

「早くよけて！」サスーサナウトは岩をよけることはできなかった。岩をがりがりひっかいた爪は先が丸くなってしまった。

「待っててね、カーマ」

「わかった」

キツネは歯で岩をかじったが、歯先も丸くなってしまった。そこへネズミが通りかかったので、サスーサナウトは呼び止めた。

「ネズミ、手伝ってよ」

3人がかりでようやく大きな岩は転がった。

「おまえはなんて力が強いんだろう」サスーサナウトは驚いた。

「さあカーマ、早く逃げよう。かまどの煤(すす)と草と石と、それから氷のかけらを持って逃げるんだよ。

早く祖先たちのところへ逃げよう。そこには鳥も、獣も、人間も、みんな幸せに暮らしているんだよ」

3人で駆けだした。後ろからはエルサレムが追ってくる。

「カーマ、氷のかけらを後ろに投げて！」

カーマは氷のかけらを後ろに投げた。すると後ろには大きな川ができて、流氷が流れている。追手は川を渡ることができない。

さらに3人ですすんでいくと、サスーサナウトはいった。

「さあカーマ、地面の音を聞いてごらん」

カーマは地面に耳をあてて聞いてみた。すると放たれた矢がびゅーびゅー鳴るのが聞こえた。

「早くカーマ、石を後ろに投げて！」

カーマは後ろに石を投げた。すると後ろに大きな山脈があらわれて、矢は山を越えることができない。すると突然あたりが暗くなった。エルサレムの手下の鷲が飛びまわって日を陰らせたのだ。

「早くカーマ、煤(すす)を投げて」

カーマは煤(すす)を後ろに投げた。後ろは大火事になった。鷲はすべて火で焼きつくされた。

「さあ、カーマ！前に草を投げてごらん！」

カーマが前に草を投げた。すると美しい道ができて、家という家には明るく灯がともり、村全体が美しく歌っていた。その村は現在の人々の村なのだった。

(Kilpalin 1993: 105-107)

次に紹介するアリュートルの民話は、主人公が自力で川を出現させたわけではないが、先に川を渡った主人公が、追手である鬼婆を欺いて「川の水を飲み干せ」といったところ、川の水を飲んでいた鬼婆の腹に草の実の軸が刺さって鬼婆を退治するというものである。上で紹介した民話と同様にコリヤーク人やアリュートル人のあいだでは魔物は川を渡ることができないと信じられており、ここでも川が主人公を魔物から守る装置として機能している。

(民話3) アリュートルの民話「ちびパーカちゃんと鬼婆」

毛皮のパーカを着た小犬のちびパーカちゃんはお話を聞くのが大好き。いつも知りあいをつかまえてはお話をせがんでいる。今日も犬のブチのところへ行こうといった。

「ブチ、お話を聞かせて」

「いやだよ、お話なんて。そんなにお話を聞きたがると、いまに鬼婆がくるよ。アカに頼んでごらん。きっとお話をしてくれるよ」

ちびパーカちゃんはアカのところへ行った。

「アカ、お話を聞かせて」

「いやだよ、お話なんて。シロに頼んでごらん。きっとお話をしてくれるよ」

ちびパーカちゃんはシロのところへ行った。

「シロ、お話を聞かせて」

「いやだよ、お話なんて。きっとどこかで鬼婆が聞いているよ」

すると突然鬼婆の声がした。

「お話を聞きたがっているのはだれだ。そんなやつは、おれの舌の上で骨を抜いて食べてしま
うぞ」

ちびパーカちゃんをあわてて逃げだした。

どういうわけか鬼婆は、ちびパーカちゃんがお話を聞きたがっていると、いつもこんなふう
に追いかけてくるんだ。ちびパーカちゃんは初めに会った人にこう頼んだ。

「おねがい、わたしをかくまって。鬼婆につかまりそうなの」

「ちょっと待って、いまパーカを脱ぐとこだから」

「パーカでもなんでも脱いでなさいよ。あんたのせいで鬼婆につかまっちゃいそうだよ」

ちびパーカちゃんはそういうと、また駆け出して、次に会った人にこういった。

「おねがい、わたしそかくまって。鬼婆につかまりそうなの」

「ちょっと待って、いまパーカを脱ぐとこだから」

「もう、あんたのせいで鬼婆につかまっちゃいそうだよ」

ちびパーカちゃんはまた駆け出した。そうしているあいだも鬼婆がちびパーカちゃんを追いか
けてくる。やがて鬼婆は赤ん坊を抱いた女に出会った。鬼婆は女に尋ねた。

「ちびパーカがここを通らなかったか」

「さあね。赤ん坊が泣いているんだもの、気づかなかったよ。もしかしたら通ったかもね」

鬼婆はさらに尋ねていった。

「おまえの亭主はどこへ行ったんだ」

「野生のトナカイを狩りに行ったよ」

「トナカイをしとめてくるんだろうか」

「たぶんね」

本当は捕ってくるはずはないのに、女は平気で続けた。

「きっとトナカイを捕ってくるよ。いつもそうだから」

「それじゃあ、ここで泊まっていこうかな」

「そこに寝るといいよ。何か獲物を捕ってくるかもしれないから」

鬼婆は穴だらけの毛皮のつなぎを脱ぐと、そこにもぐりこんで眠りについた。そうして一日中
眠っていた。うとうとしながらうす目を開けてみると、まだまだ空には星がいっぱい。でも本当
は鬼婆が寝ていた毛皮のつなぎに穴がいっぱいあいていて、それが星みたいに見えたんだ。

それからまた夜になった。鬼婆はおなかのすいてきたのでトナカイの肝を食べはじめた。

「なんだか今日のトナカイの肝はまずいなあ」

トナカイの肝と思っていたのはじつは自分の肝だった。それから鬼婆が毛皮のつなぎの中でう
ーんと伸びをしたら、なんともう昼じゃないか。つなぎの穴を星だと思って、まる一日寝てしま
ったんだ。

鬼婆がちびパーカちゃんを追って駆け出した。ちびパーカちゃんはもう川を渡ってしまって、
向こう岸にいる。鬼婆は川のふちまでやってきて、ちびパーカちゃんを見つけると叫んだ。

「おおい、ちびパーカ、どうやって川を渡ったんだ」

「川の水を全部飲んだの。川の水を飲み干して、川底にあるまだらの砂が見えたら『全部飲んだ』っていいばいいの」

鬼婆は川に口をつけると水を飲みはじめた。がぶ、がぶ、がぶ。するとそこへクロメノキの実が流れてきた。鬼婆のぱんぱんにふくらんだ腹にクロメノキの実の軸が刺さって、鬼婆はぱちんとはじけてしまった。おしまい。

(2000年2月, Uvarova Daria Pavlovna 氏より聞き取り; Nagayama 2003: 151-165 所収)

また、水は異界への入口となりうる。水を通して別の世界に入りこんでしまったり、海の向こうに人ではない存在が住む別の世界が広がっているという民話はいくつも確認されている。次の民話では海の動物が人間のように村を作って暮らしていること、また水がそれらの異界に通じていることが表わされている。またこの民話ではクジラの村でしばらく暮らしていた主人公がアザラシの肉をはじめとする、海でとれたたくさんの土産を持って陸地にある自宅へ帰り、クジラの村にいた娘を息子の嫁にもらい、その代わりに自分の娘を相手方に嫁がせている。これは海のそばに住んでいる集団と、内陸部に住んでいる集団のあいだに通婚関係があったこと、結婚後は夫の出身地で暮らしていたこと、各集団の生業活動で得られたものを交換していたことなど、かつて行われていた実際の習慣を反映しているものと考えられる。

(民話4) 「クトクニャクと毛ガニ」(アリユートルの民話)

むかしむかし、クトクニャクの一族が住んでいた。子供たちは、アマムクトとその妻ティニアナウト、それに息子のアカトニュである。そしてクトクニャクの甥シシスアン、姪のリラ、クトクニャクの妻ミティ、それから彼自身、すなわちクトクニャクである。

ある朝目覚めると、クトクニャクは言った。

「ばあさん、ミティ、おれにあれをくれ。粘土のズボンと粘土の帽子、粘土の帯と粘土の刀をくれ。海岸にでかけるから」

おばあさんは頼まれたものをすべて用意した。粘土の履物に泥のズボン、粘土の外套に粘土の刀。クトクニャクはそれをすべて身につけると、海岸へと出かけた。

クトクニャクが海岸に着いてみると、毛ガニが昼寝をしていた。海が引き潮になっていたから。毛ガニが昼寝をしているまわりをクトクニャクはぐるぐるまわり、歌を歌った。

(歌) 毛ガニよ、おれを背負って連れて行け、アザラシの脂身がたくさんあるところへ。

すると毛ガニは言った。

「クトクニャク、いいかげんにしろ。今はまだ海は引き潮だ。もうしばらく寝かせておいてくれ」

するとクトクニャクじいさんは、さらに向こう側に回りこんで、毛ガニのまわりをぐるぐる回ったので、とうとう毛ガニはかんかんに怒った。

「ちょっとこの海岸で待っている」。

大きな毛ガニは海へ入っていった。そしてアザラシの村へ行った。毛ガニはアザラシたちに言った。

「これからクトクニャクが来るが、けっして飲み物を与えるな。食べ物だけを食べさせてやれ。あいつめ、喉が渇いて死にそうになるがいい。おれが眠るのを邪魔したんだ」

毛ガニはふたたびクトクニャクの待つ海岸へ向かい、海岸に着くところ言った。

「さあクトクニャク、背中にまたがれ。しっかりつかまっていないと、海に落ちてしまうぞ」

クトクンニャクが毛ガニの背中に乗ってしっかりつかまると、彼らは出発した。毛ガニはクトクンニャクをセイウチの村に運んできた。そこでセイウチたちはクトクンニャクじいさんに言った。

「ようこそお客さん！アザラシの肉をたくさん食べてくれ」

クトクンニャクはたらふくご馳走になった後で、こう言った。

「さあ、お茶を飲ませてくれ。なにか飲み物をくれ」

セイウチたちは彼に言った。

「あそこに、なんだっけ、入り口のところに大鍋があるよ」

「茶碗をくれよ」

「うちには茶碗がないんだよ。水面に口をつけて飲むといい」

クトクンニャクは入り口のほうへ行ったら、そこで口を水のほうへ近づけたとたん、向こう側へ落っこちて、別の村へ行ってしまった。

こんどはクジラの村に着いた。そこでもまた、腹いっぱいご馳走になった。クトクンニャクはまた言った。

「ああ、お茶が飲みたくてたまらない。それに喉も渴いたよ」

「でも家には水も紅茶もないんだよ。あそこに大鍋があるから、飲みたければ口をつけて飲むといい」

クトクンニャクが口を水のほうへ持っていったとたん、また向こう側へ落っこちてしまった。そして別の村に着いた。こんどはアザラシの村に。

そこで、またしてもたらふくご馳走になった。やがてクトクンニャクは指を汁に浸しては、しゃぶりはじめた。喉が渴いてたまらず、もう一口も食べられない。

やがてクトクンニャクは最後の村、クジラの村に着いた。そこにはクジラのおばあさんと娘が2人で住んでいた。おばあさんは娘に言った。

「さあ、早くおじいさんをご馳走しなさい。お腹いっぱいご馳走しなさい」

クトクンニャクは言った。

「おれはもうこれ以上にも食べられないよ。喉が渴いてたまらない。お茶が飲みたい。冷たい水が飲みたい」

そしてクトクンニャクは歌を歌った。

ミティよ、おまえは水を飲むのだ、冷たい湧き水を。(歌)

クジラのおばあさんはクトクンニャクがかわいそうになった。

「おじいさん、どうぞおあがりなさい。まず、お茶をたくさん飲みなさい」

クジラたちがおじいさんにお茶をたくさん飲ませると、おじいさんは眠ってしまった。まる2日、眠っていた。そして目が覚めたときこう言った。

「おい、ユグユナウト、おれは腹いっぱい肉を食べるぞ」

クジラたちはクトクンニャクにアザラシ肉をたらふく食べさせた。アザラシ肉を煮て食べさせて、お茶もたっぷり飲ませた。そうしてクトクンニャクはクジラたちのところでしばらく暮らしていたよ。

そして、あるときクトクンニャクはこう言った。

「さあもう充分だ。おれはもう帰るよ。そろそろ陸地に帰りたくなったよ。家には妻のミティもいるし、子供たちも孫も嫁も、みんなが待っている」

そしてクトクンニャクは続けた。

「おまえと娘は連れて行こう」

それからクトクンニャクはクジラの橇を作った。犬ぞりみたいにして作った。そしてユューアナウトとユグユナウトは橇に乗り込んだ。母親はユューアナウトで、娘がユグユナウトだ。

クトクンニャクたちが橇に乗り込むと、すごい数のアザラシたちが橇に乗り込もうと押しよせてきた。アザラシたちは口々に言いはじめた。

「さあ、クトクンニャクが私たちをみんな連れて行ってくれるよ」

クトクンニャクはこう言った。

「おまえたちは連れて行くものか。おまえたちはすごく悪いやつらだから。おまえたちが飲み物をくれなかったの、おれは喉が乾いて死ぬところだった」

クトクンニャクたちは橇を走らせ、やがて元の海岸に着いた。するとアマムクトが、父親が近づいてくるのに気づいた。ユグユナウトは、たいへんに美しい少女だった。

それからクトクンニャクたちは天幕があるところに、アザラシの肉を山ほど運んできた。そしてクジラのおばあさんも娘といっしょにそっちのほうへ来た。

それから彼らは祭をはじめた。そしてアカトニユをユグユナウトと結婚させた。アカトニユというのはアマムクトの息子だ。そしてみんなでそこで暮らしはじめた。

あるとき、クジラのおばあさんがこう言ったそうだ。

「さあ、私を海に帰しておくれ」

すると、アマムクトがいった。

「おれが家まで送ってやろう」

ツンドラのいろいろな食べ物をたくさん運んだ。オオツノヒツジの肉、野生のトナカイの肉、クマの肉、そんなものをたくさん海のほうへ、ユューアナウトのところへ運んだ。そしてユューアナウトたちは出発した。

アマムクトが家に帰る途中、ユグユナウトは子供を産んだ。息子はユグユリアンと名づけられた。

そしてクトクンニャクは言った。

「もっと内陸のほうへ引っ越そう」

それで彼らは内陸にある川のほとりへ引っ越した。もう雪が降っているころだった。川のほとりに引っ越して、そしてそこに天幕を張った。

ユューアナウトの娘は、彼らのところで暮らすようになった。そして、そのかわりにユグユリアンにリラを嫁にやった。こうしてもともと陸地に住んでいたリラは海側に残り、もともと海に住んでいたユューアナウトは陸側のアカトニユのところに残った。そしてみんな幸せに暮らすようになり、互いに行き来するようになった。

これでおしまい。

(2001-03-30 Ivnaکو Matrena Pavlovna 氏より採録; 永山 2005 所収)

3 伝統知識と資源管理

3.1 資源管理

東南アジアのように人口が密集している地域では、禁猟期間や聖地としての禁猟区の設定など住民の伝統知識による意図的な資源管理が行われている。しかし人口密度の低いカムチャッカでは東南アジアにみられるような資源管理は行われていないことが、これまでの聞き取り調査によって明らかとなっている。また自然災害や深刻な飢餓に関する伝承は文献でも聞き取り調査でも皆無であった。

飢餓の伝承は、荻原(1996: 123)がボゴラズから引用しているチュクチ人の創世神話(Bogoraz 1900: 171-174)に確認されたのが唯一で、これは村人が餓死して二人だけ生き残った姉と弟が結婚してチュクチ人の始祖となったというものである。しかしこれはチュクチ語による原文がなく、ロシア語による翻訳のみ掲載されているため、原文つきで同様の神話があるかどうか調査する必要がある。また、アリュートル人の実際の体験に基づくであろう戦争や伝染病で村が死滅したという民話がいくつも残っていることを考慮に入れると²、災害や飢餓に関する伝承が民話中にほとんどないということは、実生活上でもこうした事態がまれであったと考えられよう。

3.2 人間の活動と資源量の関係

人間の行為が原因で資源量の変化や環境変動が起きるといような因果関係を示す民話はカムチャッカではほとんどない。たとえばアイヌの信仰では鮭やシカの量はそれぞれの動物を司る神が管理しており、人間の不適切な行動に対して神が腹を立てて獲物をとれなくするとされていたり(山田 1994: 110-111)、ツングース系の諸民族やニヅフ人の民話でも、獲物が捕れるかどうかは海の「主」の意志にかかっているため海の儀礼が重要であるとされている(荻原 1996: 279-280)。これに対し、カムチャッカの民話には水界を司る「主」のような存在はなく、また人間の行動と資源量の変化を直接結びつけるような伝承は確認されていない。

資源量の変化について語られているのは次にあげるアリュートルの民話が唯一の例だが、この民話でも鮭やベリーの豊漁・豊作が語られてはいるものの、それらが枯渇するという事象については語られてはいない。また資源量の変化が神様どうしの勝負事という人間の活動とは直接関連のない理由によって引き起こされるととらえられている点は特徴的である。なお、ロシア人によって持ちこまれた「トランプ」が出現すること、このような民話は正しくないと言主張する同年代の話し手がいることなどから、これは比較的新しい時代に形成された民話と考えられる。語り手は1930年代生まれの女性であり、母親からこの話を聞いたとのことである。

(民話5)「神さまのトランプ」(アリュートルの民話)

むかしむかし、大地ができはじめたばかりのころ、魔物の長と天の主が2人で座ってトランプをしていた。ふたりは夜も昼も、ただひたすらトランプをしていた。

天の主はまばたきをしない。天の主がまばたきをすると、人間はみんな死んでしまうからね。だからまばたきをしないんだよ。そして魔物の長と天の主はずっとトランプをしていた。

魔物の長が天の主がに勝ったときは、魚がすぐたくさんとれる。天の主は魚をたくさんくれる。これはトランプの負けを払っているんだよ。いま人間は夏になると魚をとるでしょう。大漁の年には海が魚でぶくぶく泡立っているみたいに見えるでしょう。魚がたくさんとれるのも、野いちごがたくさんとれるのも、天の主が負けた分を払っているんだよ。

天の主が魔物の長に勝ったときは、そのときは、人々が戦争を始めるんだよ。人々が互いに殺し合うようになる。これは魔物の長が負けた分を払っているからなんだよ。魔物の長は払うものが何もないといっているんだよ。

(Chechulina Maria Nikiforovna 氏より採録)

人間の活動と資源量の変化が結びつけられている例としては次にあげる民話が唯一の例である。

² カムチャッカの先住民はロシア人によってもたらされた天然痘により人口が大幅に減少した。毛皮税の徴収記録を調べたオグリズコの推定によれば、ロシア人が初めてカムチャッカに到来した17世紀末から18世紀末までの100年間でカムチャッカ先住民の人口は約20,000人から約4,400人と80%近くも減少している。(Ogryzko 1973: 11-14)

しかしここでも、「大きな松かさも小さな松かさもすべて採集しなければ、松かさが怒る」とされているだけで、人間の不適切な行為によって松かさが減少するという事態にはならない。なおコリヤーク人やアリュートル人のあいだでは、松かさに限らず食用植物を採集する際には、たとえばベリーならば熟したのもも熟していないものも、発見したものはすべて採集するのがよいとされている。

(民話6)「民話」(コリヤークの民話)

秋に松かさをとりに行ったことがある？もしあるならこのお話を聞きなさい。かつて祖先がわたしたちの両親に語り、両親がわたしたちに語ったこの話を。松かさをとりに来た人間を見ると、松かさたちは喜ぶ。松かさは人間にとられたがっているから。大きな松かさも小さな松かさも喜ぶ。でも松かさをとりに来た人たちが、大きなものだけをとることがある。大きな松かさの実実は粒が大きくて、小さな松かさの実実は粒が小さいから、小さな松かさはとらずに通り返してしまう。

「もう...」

小さな松かさは怒ってこう言う。

「もう、わたしたちはとってさえもらえない」

松かさは口がきけないので、ねじ曲がってしまう。だからわたしたちはいつもこう言われているんだよ。

「松かさは全部とらないといけないよ。さもないと怒るから」

だから曲がった松かさのことを、怒った松かさというんだよ。

以上から明らかになるのは、カムチャッカ先住民は、動物資源や植物資源が年によって増減することは認識しているが、人間の生存をおびやかすほどの深刻な事態が生じることはなく、資源量の増減は人間の管理の外にあるととらえているということである。これは一般に民話の本質が「こうすべき」という教訓を示すものではなく、「人生とはこういうものだ」と客観的に示すものである(小澤 1983/1988: 46, 178)ということと合致している。

4 おわりに

地球温暖化現象の人々への影響とそれに対する対策を考えるときに、住民が環境変動をどのように認識しているのか、また自然や環境変動をどう認識しているかを明らかにすることが重要である。G3のこれまでの調査では現在シベリアで暮らしている人々が現時点では環境変動をほとんど認識していないことがわかっている。また今回の調査によりカムチャッカには、シベリアのほかの地域の民族に見られるような人間の行動と環境変動の関連を示すような伝承がほとんどないことが明らかになった。また水の「主」や「狩猟神」にあたる概念がないこともカムチャッカ先住民の民話の大きな特徴といえる。作物の育たない厳しい自然環境の下に暮らしているシベリア先住民の生活は苦しいと思われがちであるが、カムチャッカ先住民の民話が示す世界は常に食糧が豊富で飢餓というものを知らず、きわめて豊かな土地である。

なお今回調査した資料の中には災害や飢餓に関する伝承が皆無であったが、上述のチュクチ人の創世神話のように、ボゴラズやヨヘルソン採集の民話資料にはこうした伝承が存在する可能性もある。もちろん神話中の事象をただちに実際の行動と結びつけることはできないが、カムチャッカ先住民の自然観を明らかにする上では、今後はこれらの資料についても調査を進めていく必要がある。

参考文献

- Aiatginina, T. and M. Kurebito (2006) *Koriaki-kochevniki: ikh obychai, obriady i skazki*. Hokkaido University.
- Bogoraz, V. G. (1900) *Materialy po izucheniiu chukotskago iazyka I fol'klora*. St.-Peterburg.
- Kibrik, A. E., S. V. Kodzasov and I. A. Muravyova. (2004) *Language and Folklore of the Alutor People* (科研費特定領域研究「環太平洋の「消滅に瀕した言語」にかんする緊急調査研究(ELPR)」成果報告書 A2-042), 大阪学院大学情報学部.
- Kilpalin, K.V. (1993) *Ania: skazki severa* [Ania: tales of the North], RIO KOT: Petropavlovsk-Kamchatsky.
- Nagayama, Y. (2003) *Ocherk grammatiki aljutorskogo jazyka* [Grammatical Outline of Alutor], (ELPR 成果報告書 A2-038), 大阪学院大学情報学部.
- 永山ゆかり (2005) クトクンニャクとケガニ：アリュートル語テキスト, 津曲敏郎 (編) 『環北太平洋の言語』 第 12 号: 55-80.
- (2010) アリュートル語テキスト：アンニャックの話ほか 2 編, 呉人恵 (編) 『環北太平洋の言語』 第 15 号: 131-146.
- 萩原真子 (1996) 『北方諸民族の世界観—アイヌとアムール・サハリン地域の神話・伝承』 草風館.
- Ogryzko, I. I. (1973) *Ocherki istorii sbliženiia korenno i russkogo naseleniia Kamchatki (konets XVII — nachalo XX vekov)*, Izdatel'stvo leningradskovo universiteta: Leningrad.
- 小澤俊夫 (1983/1988) 『昔ばなしとは何か』 大和書房.
- 山田孝子 (1994) 『アイヌの世界観』 講談社.

おわりに

檜山 哲哉

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

この報告書の最後に当たり、2011年11月30日～12月2日に行われた当研究所主催の研究プロジェクト発表会での質疑応答内容をもとに、循環プログラム主幹から寄せられたコメントを抜粋して掲載する。その後、プログラム主幹のコメントに対する今後の対応案（課題）を記載する。

循環プログラム主幹からのコメント（抜粋）

『温暖化に伴う降水量の増加と地中温上昇による相乗的な湿潤化プロセスが示され、オリジナルな自然科学的成果が出ている一方で、質問の多くはグループ3の「適応」に集中している。昨年度の発表に比べて、グループ3の成果により多くの時間を割いたにもかかわらず、こうした質問が多いので（引き続き）改善が必要と思われる。

この原因としては、グループ1-2と後半のグループ3のつながりが、意図した以上に伝わらなかったこと、とくに3の成果について、焦点が絞り切れていないからではないか。1-2の成果を「モデル高度化」として示した後、3の成果を「生業」、「洪水」、「適応」にわけていたが、聴衆には、それぞれが羅列的な説明という印象になったのではないか。

所内研究者の多くは、設計科学という流れの中でプロジェクト発表をとらえており、その様な質問も見られた。今回の発表でも、「適応の在り方を提示」としているが、そうだとすると、どこの誰に、どのような情報を、どのように提示するかが問われる。質疑応答を聞いている限りは、適応策の対象はサハ共和国の人々になっている。しかしこの地域の人々が新たな陸域生態系に適応すれば、温暖化という地球環境問題の解決に資するのだろうか？生態系変化に関する情報も洪水や滑走路-道路問題、温暖化促進といったリスク増大としての側面が強調されているので、提示に伴う合意形成にも注意を払う必要があるのではないか。2012年3月の国際会議の成果が期待される。

今後、グループ3の個別的・局所的な成果をスケールアップして、たとえば洪水ハザードマップのようなかたちにする方向はどうだろうか、検討していただきたい。』

プログラム主幹のコメントに対する対応案

上記のように、グループ3の成果発表について、羅列的であったとのコメントを頂戴した。今後、他グループの成果をより有機的に結びつける努力が必要である。これについては、プロジェクトリーダーの宿題と認識して、引き続き努力したい。

設計科学のゴールとして、我々のプロジェクトは「適応の在り方を提示」することを目的としている。プログラム主幹のコメントにあるように、「どこの誰に、どのような情報を、どのように提示するか」に答える必要がある。このコメントに対しては、「サハ共和国および関係各国（特に研究者層）に

対し、陸域生態系の変化、凍土融解にともなう地表劣化、それらに起因した水・炭素循環変化、洪水の頻度と規模の変化、インフラ劣化、等の現況と百年スケールでの将来予測を、国際会議での成果発表や議論を通じて」提示することである。2012年3月7日－9日に主催した国際会議は、日・露のみならず、会議参加国（オランダ、米国、韓国など）の研究者間の合意形成にとって、その皮切りとして非常に貴重な機会であった。このプロジェクトが終了する前に、そこで得られた成果を **Ecohydrology** 特集号や地球研英文叢書として出版する必要がある。

個別的・局所的な成果をスケールアップする方法と出口については、今後、さらにプロジェクトメンバー間で議論すべきであろう。上記のコメントに挙げられた「洪水ハザードマップ」は、それ自体局所的な出口であり、現段階では衛星リモートセンシングデータの活用の範囲内にとどめたい。それ以外の今後の課題として、例えば、社会経済モデルを応用した適応策の提示、など、より定量的な成果を念頭におく必要があろう。

FY2011 FR3 Research Project Report

Global Warming and the Human-Nature Dimension in Siberia: Social Adaptation to the Changes of the Terrestrial Ecosystem, with an Emphasis on Water Environments (RIHN Project C-07)

Inter-University Research Institute Corporation, National Institutes for the Humanities, Japan

Research Institute for Humanity and Nature (RIHN)

457-4 Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8047, Japan

Edited by Junko FUJIWARA and Tetsuya HIYAMA

March 2012

平成 23 年度 FR3 研究プロジェクト報告

温暖化するシベリアの自然と人 ―水環境をはじめとする陸域生態系変化への社会の適応
(地球研プロジェクト C-07)

大学共同利用機関法人 人間文化研究機構

総合地球環境学研究所 (地球研)

〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457 番地 4

編集：藤原潤子・檜山哲哉

発行：2012 年 3 月

ISBN978-4-902325-70-6