



平成24年度 FR4 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



目次

はじめに	1
檜山 哲哉	
【グループ1：広域グループ】	3
◆G1a (人工衛星データによる地表面解析チーム)	
G1a-1(人工衛星データによる地表面解析チーム)活動要約	5
山口 靖	
シベリア地域の植生変化と気候変動および人間活動との関係	7
山口 靖・陳 学泓	
陸域生物圏モデルによるシベリア全域の広域物質・エネルギー収支解析	12
佐々井 崇博・相庭 一輝	
永久凍土の融解によって生じる洪水	21
酒井 徹	
G1a-2 (GOSAT データ解析チーム) 活動要約	
Wetland classification of West Siberia based on Landsat	
and its application for methane emission inventory in taiga zone	25
S. Maksyutov	
Wetland classification of West Siberia based on Landsat and its application	
for methane emission inventory in taiga zone	27
S. Maksyutov, I. Kleptsova, M. Glagolev, H-S. Kim, E. Lapshina	
◆G1c (ロシア政治経済研究チーム)	
トナカイ牧民経済への温暖化の影響と体制変化後のその反応	
—システム・ダイナミックモデルによる接近—	32
加賀爪 優・中庄谷 栄太郎	

【グループ2：水・炭素循環グループ】	43
◆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	45
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過去 100 年間の土壌水分量復元	46
杉本 敦子・鄭 峻介・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	52
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	54
小谷 亜由美・太田 岳史	
東シベリア・レナ川の夏季日流量から算出した年最大融解深（AMTD）の変化傾向	60
檜山 哲哉・Wilfried BRUTSAERT	
◆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 による土壌水分・温度の長期シミュレーション	71
山崎 剛	
レナ川河川流量とそれをもたらす正味降水量の変動要因について	77
大島 和裕	
環北極陸域における陸面諸過程の変化	84
朴 昊澤	

Lena 川流域の流量資料から見る流出特性	93
八田 茂実	
トナカイ放牧地における植生解析.....	98
山本 一清	
【グループ3：人類生態グループ】	101
◆G3a (氷結水環境チーム)	
G3a (氷結水環境チーム) 活動要約	103
高倉 浩樹	
新聞ヤクーチア紙 (2005年～2009年) からみた春期レナ川水系洪水情報.....	104
高倉 浩樹	
低密度寒冷地域としてのシベリア：文理連携研究の意義	117
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	123
立澤 史郎	
衛星データに基づく植生変化とトナカイ放牧地の状況に関する考察.....	125
吉田 睦	
サハ共和国におけるトナカイ牧民の環境認識について —脆弱性アプローチ—	135
中田 篤	
衛星追跡による野生トナカイの観測	142
立澤 史郎・I. M. Okhlopov	
サハ共和国における外来マスカラット導入の影響と社会的認識の変容.....	145
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	149
藤原 潤子	
シベリア・サハ共和国における社会・気候変化と交通事情	
—3つの村におけるケーススタディー	150
藤原 潤子	
適応・脆弱性研究の方法論的分類	156
石井 敦	
北方の水・雪・氷のフォークロア	160
山田 仁史	
アリュートルのフォークロアと自然関連語彙	168
永山 ゆかり	
サハのフォークロア.....	177
江畑 冬生	
おわりに	183
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)

本報告書の冒頭に当たり、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1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-1(人工衛星データによる地表面解析チーム)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。昨年度までは、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点を研究課題として掲げていた。しかし研究の進捗に伴い、現時点では次の3点が研究課題となっている。①シベリア地域の永久凍土帯の雪氷プロセスを陸域生物圏モデルで再現し、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、②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、③シベリア地域の植生変化と気候変動および人間活動(トナカイ放牧等)との関係を衛星観測を使って広域的に評価することである。

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、陸域生物圏モデル BEAMS を用いて G2 によって観測が行われているシベリア地域の SPA、ELG のフラックスサイト間で、水、炭素フラックスの比較を行った。ELG は SPA と比べて、炭素、水フラックスが大きいことが分かり、それぞれ植生量と降水量に起因することが分かった。広域解析では永久凍土融解に伴う凍土中の炭素露出量の算定を行った。その結果、過去 10 年間における活動層深度の変化に伴う炭素露出量は、純生態系生産量の約 2.4~5.7 倍に相当することが分かった。この莫大な土壌炭素量の増加によって温暖化が加速されると考えられるため、今後は凍土から露出した炭素が大気へ放出するまでのメカニズムをモデル化し、解析を進めていく必要がある。

上記②については、レナ川流域で発生するアイスジャム洪水のモニタリングに加えて、アラゼヤ川流域で発生する永久凍土の融解による洪水のモニタリングを行った。マイクロ波センサのデータを用いることで、雲の出現頻度が高い地域における洪水の様子を把握することができた。アラゼヤ川流域では地形の起伏がほとんどないため、河川水が下流へと流れていく速度が遅く、冠水被害が長期に及んだ。アラゼヤ川下流のアンドリュウーシュキノ村では冠水被害が 2 年間続いた。また、差分干渉 SAR 解析を行うことで、永久凍土の融解後の地盤沈下量を計測した。冠水被害が長期に及ぶところでは地盤沈下量が大きく、永久凍土の劣化と洪水被害の関係を明らかにすることができた。

上記③については、シベリア地域の植生について、2000 年代に変化があったかどうか、変化があったとすればトナカイ放牧等の人為的な要因による影響が見られるかどうかを検討した。衛星データとして SPOT Vegetation、気候データとして CRU データセットを使い、1999 年~2009 年の期間の解析を行った。その結果、北西部の北極海沿岸と南西部に人為的な影響による植生変化域の候補が抽出された。前者については、地下資源開発の影響による土地被覆変化の可能性がある。一方、トナカイ放牧の影響で植生が減少しているという場所は、まだ確認できていない。

3 今後の課題と展望

上記①については、BEAMS モデルの土壌水分量の推定精度を向上させる必要がある。今後 G2 とも議論しながらモデルの改良を進める予定である。広域解析では入力データに対するモデルの感度解析を行い、シベリア地域の環境変動の要因について考察を行う。

上記②については、永久凍土が劣化して地盤沈下したところには融解水が溜まりやすくなる。そのため、温暖化がそのまま進行していくと、洪水被害のさらなる悪化が予想される。地形要素と洪水を関連させたハザードマップの作成を検討している。しかし、今回解析に使用した ALOS/PALSAR は 2011 年に運用を停止しているため、他の衛星データの利用も検討している。また、衛星データから得られた結果の検証が今後の課題として残っている。ロシアの研究機関と協力して解析を進める予定である。

上記③については、トナカイ放牧による植生変化が実際にあるのにデータや解析手法の問題で捉えられていないのか、あるいはトナカイ放牧による植生変化への明瞭な影響はないのか、現時点ではまだ結論は出せない。このため、解析方法については、夏の時期の NDVI を使うなど改良を行う必要がある。また解析結果は、使用したデータセットの精度や性質に大きく影響されるため、別のデータセットを使用した検討も行ってみる予定である。

シベリア地域の植生変化と気候変動および人間活動との関係

山口 靖 名古屋大学大学院 環境学研究科
陳 学泓 北京師範大学

1 はじめに

地球温暖化の影響は、シベリアを始めとする高緯度地域に現れやすいと言われている (IPCC, 2007)。特に陸域植生は、北半球高緯度地域では温度が大きな制約要因となっているため (Nemani et al., 2003)、温暖化によって植生活動が盛んになっている可能性もある (Kawabata et al., 2001)。一方、シベリア地域ではトナカイ放牧が行われており、それが植生に影響を与えている可能性もある。つまりシベリア地域の植生は、気候変動などの自然要因と、トナカイ放牧などの人為的要因のいずれか、または両方の影響を受けている可能性がある。本研究は、シベリア地域の植生に変化があったどうか、変化があったとすればトナカイ放牧等の人為的な要因による変化が見られるかどうかを検討するものである。解析は、まだ途中段階であるが、今年度を実施した結果を予察的に報告する。解析対象地域は、北緯 45 度～80 度、東経 60 度～180 度、解析対象期間は 1999 年～2009 年の 11 年間である。

2 使用データ

2.1 植生指数

植生変化の解析には、1999 年～2009 年の期間の SPOT Vegetation のデータを用いた (<http://www.spot-vegetation.com/>)。空間分解能は 1km で、雲被覆の影響を軽減するため 10 日毎の合成プロダクトとなっている。対象期間の NDVI 平均値を図 1 に示す。西部の北緯 60 度付近から南東部の北緯 50 度付近にかけて、NDVI が高い領域が帯状に延びているが、この帯状の地域は、森林の分布域と一致する。NDVI は、この森林域から南北に向かって次第に低くなる。特に北極海沿岸と南西～南部の標高の高い地域では、NDVI の平均値が低くなっていることがわかる。

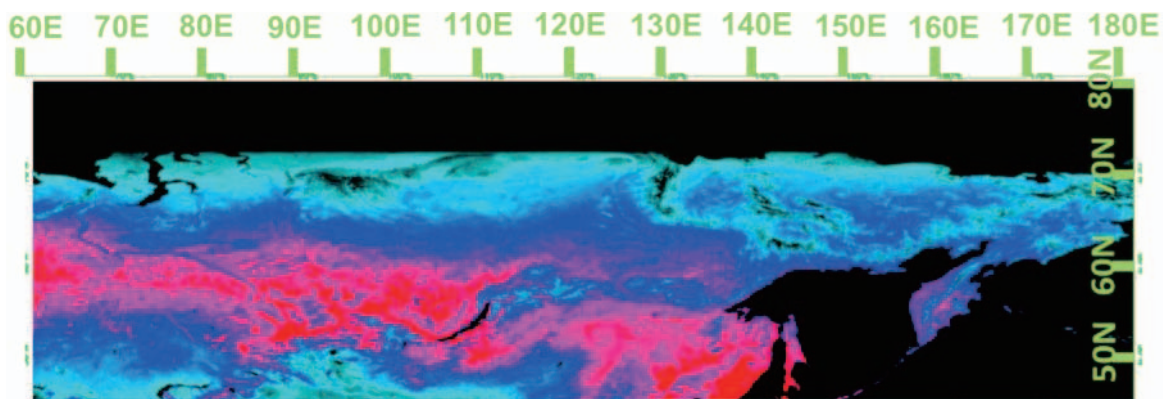


図 1 1999 年～2009 年のシベリア地域の NDVI 平均値 (SPOT Vegetation データ)。

1999年～2009年の期間のNDVIの年平均値と年最大値の変化トレンドを図2に示す。両者を比較すると、一致していない場所が何カ所も見られる。元データは、前述のように10日毎の合成プロダクトであるが、場所によっては10日間全て雲に覆われていた期間も存在すると思われる。そのような場所のNDVI年平均値は低くなるはずである。一方、年最大値は、年平均値よりも雲被覆の影響は受けにくいと考えられる。従って、両者の違いは、主に雲被覆の影響によるものと推定され、雲被覆の影響を受けにくい年最大値から求めたNDVIの変化傾向のほうが、気候変動に対する植生変化を反映していると思われる。このような仮定に基づき、今回の解析ではNDVIの年最大値を使用した。しかし、シベリア地域で植生が成長するのは、春から秋の短い期間に限られるため、夏（例えば6月～8月）のNDVIに限定して、経年的なNDVI変化を解析するほうが、植生変化と気候変動との関係を正確に反映している可能性があり、今後の検討課題である。

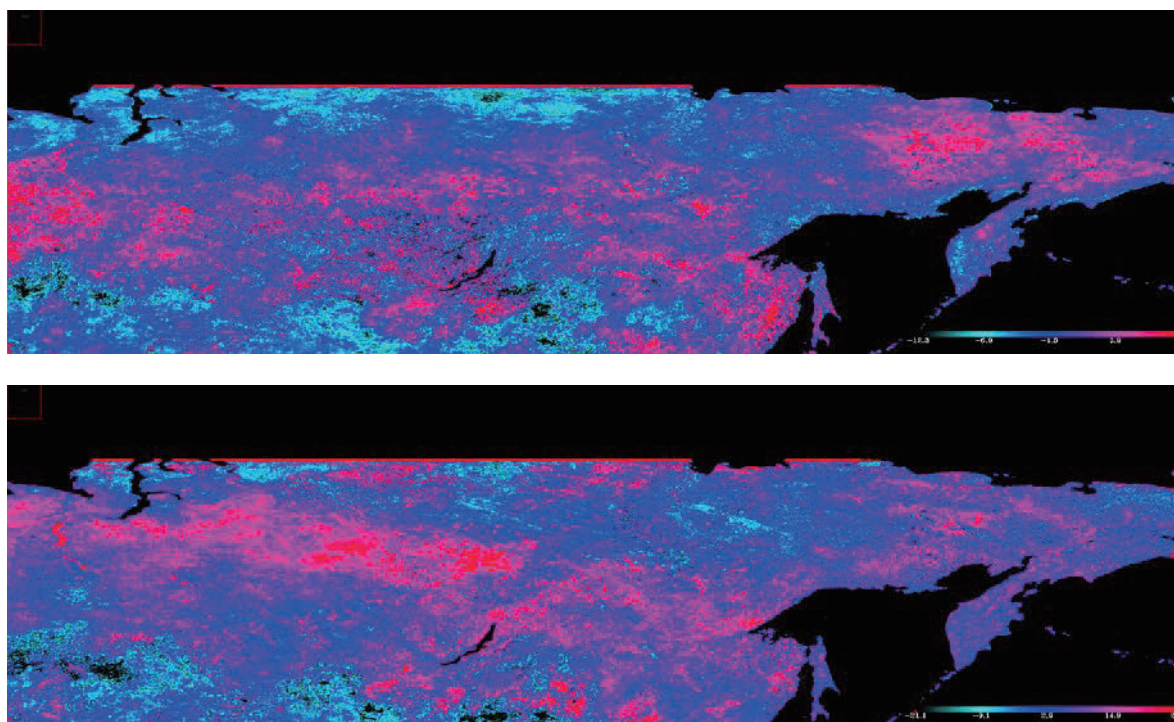


図2 1999年～2009年のシベリア地域のNDVIの変化トレンド（SPOT Vegetation データ）。
上：年平均値の変化トレンド、下：年最大値の変化トレンド。

2.2 気候データ

気候データは、University of East Anglia の Climate Research Unit (CRU) のデータを使用した (Mitchell et al., 2003; <http://www.cru.uea.ac.uk/ja/data>)。空間分解能は、0.5度である。図3に1999年～2009年の期間の気温と降水量の変化トレンドを示す。気温は、北東部と北西部で上昇傾向を示し、南西部で低下傾向を示している。降水量は東部で増加、その他の地域で減少傾向を示しているように見えるが、全体的な傾向はあまりはっきりしない。今回は CRU データを使用した。別の気候データセットを用いれば、結果は異なってくる可能性がある。

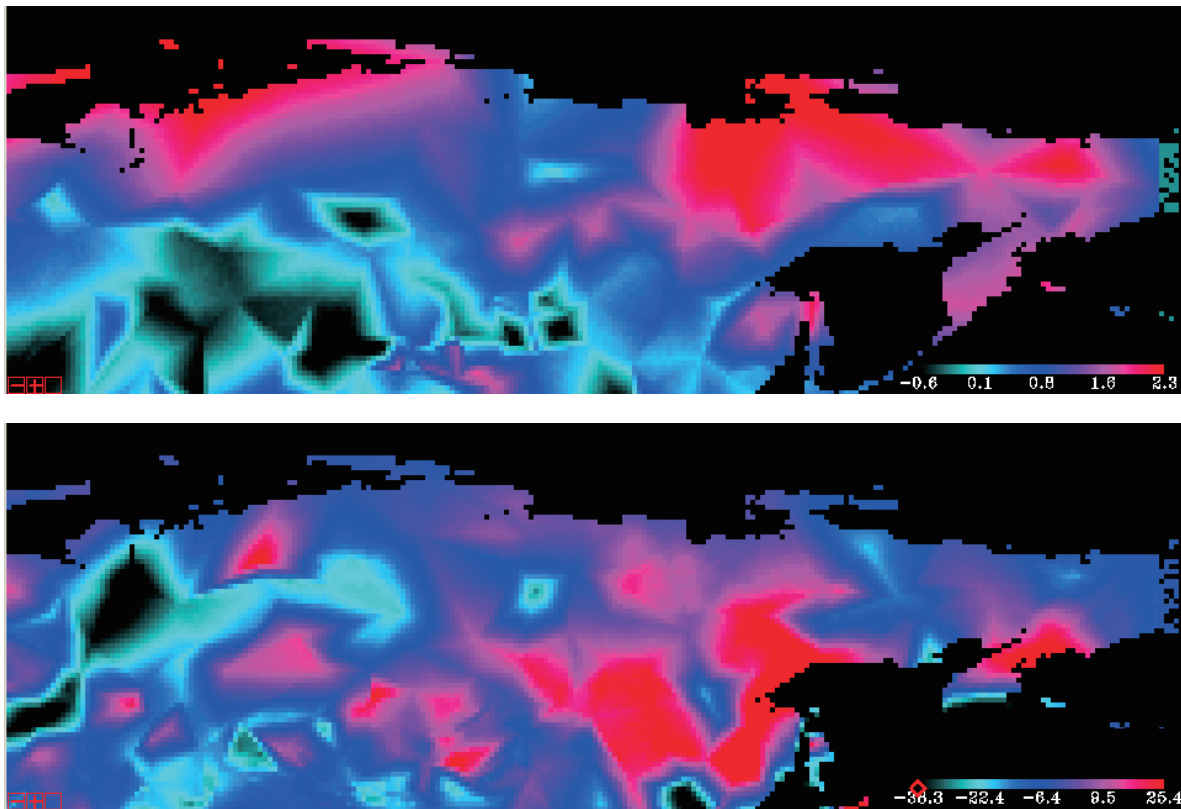


図3 1999年～2009年のシベリア地域の気候変化トレンド（CRUデータセット）。
上：気温、下：降水量。

3 方法

若林ほか（2007）は、アフリカでの1982年から2002年までの植生変化のうち、土地利用変化などの人為的な影響によるものを抽出した。本研究でもこの方法を用いて、トナカイ放牧等の人為的な影響によるシベリアでの植生変化の抽出を試みた。図4に解析のフローを示す。

まず1999年から2009年までの気温・降水量とNDVIとの間の相関を各地点（画素）について求める。ここで相関が見られない地域は、解析対象から除外する。これらの除外した地域では、人為的な影響による変化が無いというわけではない。気温・降水量と植生変化の間に相関が認められないということは、むしろ人為的な影響による植生変化が起こっている可能性もあり得る。しかし、気温・降水量以外の自然要因による植生変化が起こっている可能性があり、そうした場合には今回の方法では人為的な影響による植生変化を識別できないため、解析対象から除外した。

次に1999年と2009年のNDVIの値を比較し、植生の減少した地域を抽出する。つまりNDVIが増加している地域は、対象から除外した。場所によっては人為的な影響によって植生が増加している場合もあると思われるが、本研究では人為的な影響による植生劣化を捉えることが目標であるため、植生の減少域のみに対象を絞った。最後に、2009年の気温・降水量とNDVIの関係が、1999年～2009年の期間の気温・降水量とNDVIとの関係から有意に外れる地域を抽出した。これらの地域では、気候が変動すれば(例えば気温が上昇すれば)、植生は増えるという傾向が認められていて、2009年は気温が上昇したので植生は増えるはずなのに、逆に植生が減ってしまったため、人為的影響によって植生が減少したとみなす。

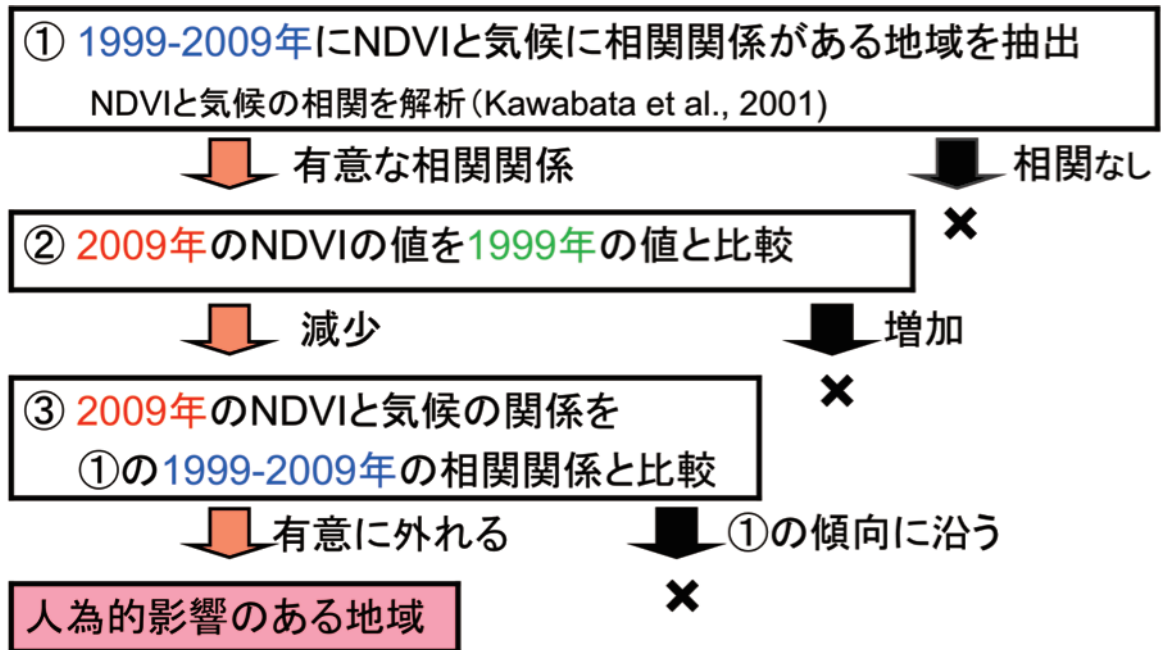


図4 人為的影響のある地域抽出のフローチャート。若林ほか (2007)。

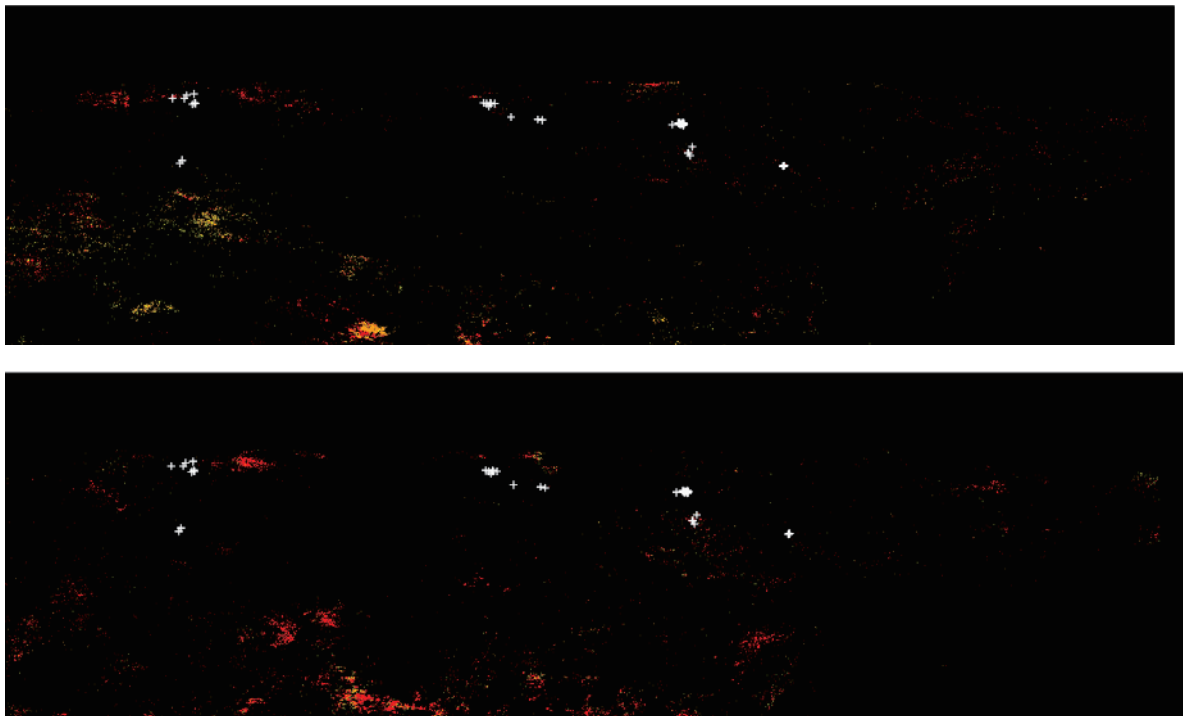


図5 人為的影響による植生の減少地域を図4の方法で解析した結果 (有意水準5%)。上：年最大NDVIと年平均気温。下：年最大NDVIと降水量。

4 結果

図5に示した解析結果によれば、人為的な影響による植生減少の候補域として抽出された場所は、北西部と南西部に比較的多く分布する。年平均気温と降水量を用いた各々の結果は、必ずしも一致する必要はないが、一致している場所もみられる。北西部の北極海沿岸の抽出地域は、G3からの情報によれば、地下資源開発による影響が土地被覆変化に現れている可能性がある。もしそうだとすれば、この方法が人為的な植生変化の一つを捉えたことになる。

図中の「+」は、G3から提供されたトナカイ放牧のキャンプ地の位置であるが、抽出地点と「+」はあまり一致していないように見える。ただ「+」は、トナカイキャンプ地全てを網羅しているわけではないため、「+」以外の場所が抽出されても必ずしも間違いとは言えない。図5の結果からは、今のところは明瞭にトナカイ放牧の影響で植生が減少しているという場所は、まだ確認できていない。今後、抽出された地点について、ASTER（空間分解能 15m）のような高い空間分解能の衛星データを用いた確認を行う予定である。またトナカイキャンプ地周辺について、ASTER画像による植生の観測を行ってみたが、今のところ明瞭な植生劣化は確認できていない。

5 おわりに

シベリア地域の植生について、2000年代に変化があったどうか、変化があったとすれば人為的な要因による変化が見られるかどうかを検討してみた。人為的な影響として想定しているのは、主としてトナカイ放牧による影響である。これまでの解析結果によれば、北西部において地下資源開発による植生変化を捉えられた可能性があるが、トナカイ放牧による植生への影響は、今のところ明瞭には捉えられていない。トナカイ放牧による植生変化が実際にあるのにデータや解析手法の問題で捉えられていないのか、あるいはトナカイ放牧による植生変化への明瞭な影響はないのか、現時点ではまだ結論は出せない。解析方法については、前述したように夏の時期のNDVIを使うなど、まだ改良の余地がある。また解析結果は、使用したデータセットの精度や性質に大きく影響されるため、別のデータセットを使用した検討も行ってみる予定である。

参考文献

- 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, Cambridge University Press, 996pp.
- Kawabata, A., Ichii, K., and Yamaguchi, Y. (2001): Global monitoring of the interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (7), 1377-1382, 2001.
- Mitchell, T. D., T. R. Carter, P. Jones, and M. Hulme (2003): A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe. *Tyndall Centre Working Paper 55*.
- Namani, R.R., Keeling, C.D., Hashimoto, H., Jolly, W.M., Piper, S.C., Tucker, C.J., Myneni, R.B., and Running, S.W. (2003): Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999, *Science*, 300, 1560-1563.
- 若林 愛・佐々井崇博・山口 靖 (2007) : アフリカでの人為的影響による植生減少域の抽出, 生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」第16回論文集, 51-52.

陸域生物圏モデルによるシベリア全域の広域物質・エネルギー収支解析

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
相庭 一輝 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

北半球高緯度地域は過去三十年間で気温・地表面温度の昇温傾向が最も顕著な地域の一つである (IPCC 第四次報告書, 2007)。同地域固有の雪氷プロセスが植生環境を大きく変化させ、それに応答する形で生態系機能や炭素循環が変化している (Smith et al., 2008)。また、北半球北方林は全球地表面積の 25%以上を占める広範囲の森林帯であるため、温暖化に伴って炭素収支量は大きく変動し、その変動はフィードバックとして全球気候システムにインパクトを与える。よって、気候変動とシベリア地域の水・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必要不可欠だといえる。

永久凍土上で夏季に融解、冬季に凍結する活動層の働きは、永久凍土地帯の炭素循環を理解する上で重要がある。永久凍土地帯の水文、生態プロセスは活動層内で行われるため、植生、土壤微生物活動を介して炭素循環に大きな影響を及ぼす (Kane et al., 1991)。近年、シベリアの活動層深度は過去 40 年間で約 21cm 増加したという観測事実がある (Lemke et al., 2007)。活動層と永久凍土の境界面である活動層深度の増加は、永久凍土の融解を意味する。永久凍土地帯に貯留されている炭素量は全球土壤の約 50%にも相当すると推測されている。そのため、永久凍土の融解は多量の土壤炭素が大気へ放出され、気候システムに大きな影響を与える可能性を指摘する研究もある (Tarnocai et al., 2009)。一方、温暖化により植生の生育環境条件が変化して光合成活動が活発化することで、生態系の炭素吸収量は増加するという研究もある (Trucco et al., 2012)。温暖化メカニズムを正確に把握するためには、このような気温に対する環境応答を定量的に評価し、同地域の炭素バランスを広域、且つ定量的に把握していくことが必要である。

そこで、本研究では、シベリア地域の温暖化が炭素・水・エネルギー・永久凍土へ及ぼす影響を広域、且つ定量的に評価する。シベリア地域は厳しい観測環境のため、炭素フラックスを通年で広域観測することは困難である (Fahnestock et al., 1998)。そのため、G1a グループが独自開発している陸域生物圏モデル BEAMS (Sasai et al., 2005, 2011) に雪氷プロセスを導入し、広域での物質・エネルギー収支解析を行う。改良型 BEAMS の出力値は、観測条件の良い時期に取得された観測データと比較し、モデルの妥当性を検討する。最終的には、BEAMS を衛星観測データと組み合わせ、シベリア全域の活動層分布、炭素収支量、凍土中から露出した炭素量などを推定する。

2 モデル

陸域生物圏モデル BEAMS の特徴は、①衛星データを入力値とする診断型タイプのモデルである、②陸域生態系の炭素・水・エネルギープロセスを再現できる、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) を組み合わせて GPP を算出するアプローチを採用していることである。Sasai et al. (2011)からの改良点は、①積雪層の炭素プールを追加し、②土壤

の水、エネルギープールを多層化したことである (図1)。水プールは6層、エネルギープールは20層とし、1層の厚さは全て50cmとした。土壌層間の熱輸送量は一次元熱伝導方程式、水輸送量はダルシーの法則に基づき計算する。土壌の体積比熱と熱伝導率は含水率に、透水係数は含水率と土壌タイプに、それぞれ依存する。活動層は、地温変化に伴う土壌水分の相変化によって再現した。活動層深度 (ALT: Active Layer Thickness) は、1年を通じて地温が0°以下になる層の深さと定義した。

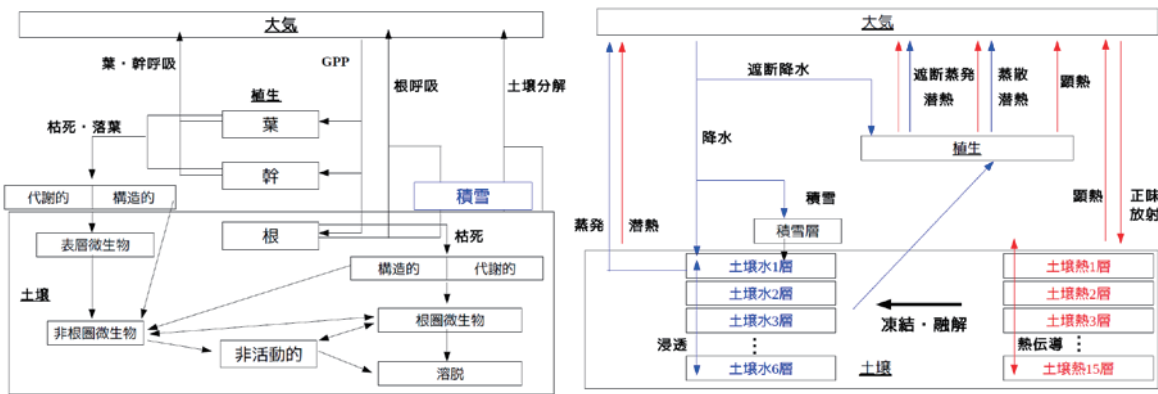


図1 モデル構造図：炭素プロセス (左)、水・エネルギープロセス (右)

Fahnestock et al. (2008)の計算式を基に、雪被覆による土壌呼吸量制限を記述した。土壌面からの炭素放出量(R_{soil})は、土壌呼吸量 (R_{sresp}) と雪被覆率 (f_{snow}) から算出した。雪面からの炭素放出量 (R_{snow}) 算出では、炭素濃度勾配に比例させる式を用いた。

$$R_{soil} = R_{sresp} * (1 - f_{snow})$$

$$R_{snow} = D_s * f_p * (dc/dz)$$

D_s は積雪層での CO_2 拡散係数、 c は積雪層内の炭素濃度、 z は積雪深、 f_p は積雪層の空隙率である。最終的な土壌からの全放出量は、 R_{soil} と R_{snow} の和とする。

永久凍土の融解に伴う凍土炭素の露出量を算出するため、凍土炭素プール (PCP: Permafrost Carbon Pool) を作成した (図2)。

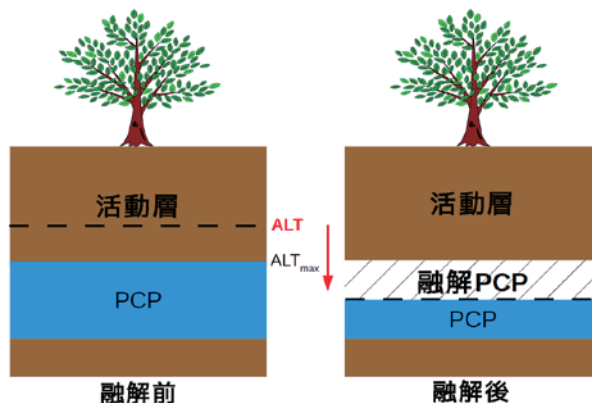


図2 永久凍土から露出した炭素量の算出方法の概念図

水・エネルギーサブモデルにて推定された ALT が、過去の最大活動層深度 (ALT_{max}) よりも深くなれば、その深さに相当する凍土中の炭素が露出するように再現した。凍土炭素の露出量は、融解した土壌の体積に凍土中の炭素濃度を掛けて計算する。融解に伴い露出した土壌炭素は、以下の式から計算した。

```
if(ALT(t)-ALT(t-1) > 0)      PCP(t)=PCP(t-1) + d*(ALT(t)-ALT(t-1))
else                          PCP(t)=PCP(t-1)
```

d は凍土中の炭素濃度で、本研究では北ユーラシア永久凍土地帯で観測された値 (13, 21, 33kgC/m³) をそれぞれ用いて不確定性を評価した (Dutta et al., 2006)。

3 ポイントスケール解析

3.1 モデル検証

G2 が観測している 2 地点のフラックスサイトデータによるモデル検証を行う。検証サイトは、スパスカヤパッド (SPA、北緯 62 度 15 分、東経 129 度 37 分) とエレゲイ (ELG、北緯 60 度 1 分、東経 133 度 49 分) である。SPA の植生種はカラマツ (落葉針葉樹林)、ELG はカラマツ (落葉針葉樹林) で、両サイトで観測された気温、下向き短波放射、水蒸気圧、風速、アルベド、地表面温度、降水量の 30 分値を 1 ヶ月平均値、もしくは積算値に変換して、モデルに入力した。fPAR、LAI は実測データが入手できなかったため、MODIS プロダクト (MOD15A1、MYD15A2) の衛星観測値を使った。検証パラメータは、20cm 深と 120cm 深の地温、20cm 深の土壌水分量、潜熱、GPP、NEP である。検証期間は、SPA が 2004 年~2010 年、ELG が 2010 年で、いずれも観測可能な植生の成長期 (4 月~9 月) のみを対象とする。モデルの初期条件として森林の樹齢を 30 年と仮定し、反復計算法による Spin-up で各炭素、水、熱プールの初期値を求めた。

SPA と ELG におけるモデル検証を行った (図 3)。20cm 深における地温の季節変化、経年変化は、両サイトとも実測値と良い一致を示した。120cm 深の地温は、SPA の経年変化を概ね再現できているものの、季節変化の振幅がやや大きいことがわかった。ELG も夏季に過大評価になっていることから、モデルの改善が必要だと思われる。SPA の体積含水率は、2006、2007 年の夏から秋にかけての降水量増加に伴う土壌水分量の急激な増加が再現できていない。ELG の体積含水率も過小評価の傾向になった。その原因として、モデル内で定義した体積含水率の最大値がある。つまり、土壌水分量は土壌タイプごとに定義された空隙率を上回らないように定義しているため、過剰な土壌水分状態の土壌をうまく再現できないと考えられる。今後は、空隙率の定義方法や土壌の水輸送の計算方法について検討していく予定である。潜熱、GPP、NEP は、季節変化、経年変動とも概ね良い一致を示した。相違点としては、SPA の GPP が 2004、2005、2006 年の夏季にやや過小評価となった点である。GPP と入力パラメータである日射量との関係が時間的に整合しないことから、今後は感度解析などを行って気温や水と GPP との関係を調べ、定義パラメータの最適化を行う必要がある。本検証における最大の利点は、既存研究よりも多くの項目を同時に検証したことにある。これらの結果は、エネルギー、水、炭素プロセス間の相互作用も含め、モデルが各フラックスの季節変動、経年変動を妥当に再現できることを示した。ただし、不一致が見られた点は、今後の課題としてモデル構造の改善やパラメータの最適化を施す予定である。

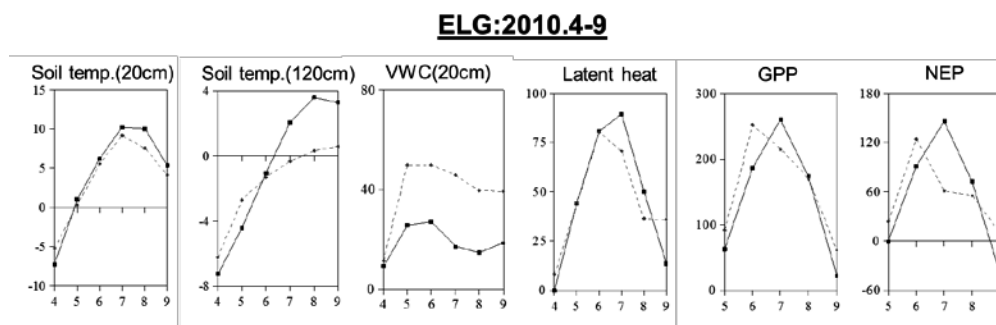
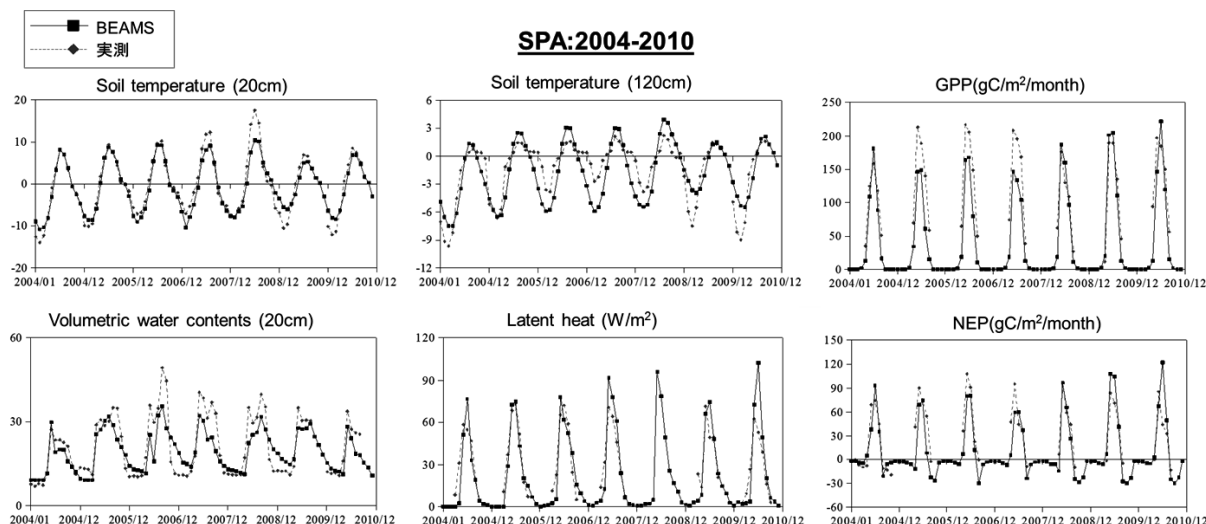


図3 SPA (上) と ELG (下) における
20cm 深、120cm 深の地温、体積含水率、GPP、NEP の検証

3.2 サイト間での比較

検証結果を踏まえ、本モデルを用いて SPA と ELG のサイト間比較を行った。両サイトのフラックスの年間積算値と年平均プール量を比較した (図4)。両サイトの共通点として、 R_a/GPP 比はおおよそ 0.54 程度であることがわかった。一方、相違点としては炭素プール、フラックスのいずれも SPA より ELG の方が大きく、水フラックスも蒸発量を除けば ELG の方が大きな値であることがわかった。ELG の方が全般的に生態系活動は盛んであるため、生物的プロセスとされる炭素の循環速度や蒸散量は ELG の方が速いものと思われる。ただし、蒸発量は物理プロセスに基づくため、他のフラックスとの傾向が異なると推測される。蒸発量に直接的影響を与える物理パラメータの特徴を調べると、ELG の方が SPA よりも通年で水蒸気圧が高い。そのため、土壌と大気との水蒸気圧勾配は ELG の方が小さいために、ELG の蒸発量は SPA よりもやや低く見積もられたと考えられる。また、各プールのバランスをみると、根のバイオマス量が幹と比べて小さすぎる可能性がある。バイオマス量は、GPP、呼吸、リター量のバランスによって決まるため、今後は3つのフラックスに関わる定義パラメータを調べ、適宜最適化を施していく予定である。同様に、蒸発と蒸散のバランスについても検討が必要だと思われる。蒸発量と比べ、蒸散量はやや小さすぎる可能性がある。蒸散量は気孔コンダクタンスと空気力学的抵抗のバランスによって決まるが、GPP の検証は概ね問題ないことから空気力学的抵抗に課題があると推測される。算出式の改善も含め、来年度への課題とする。

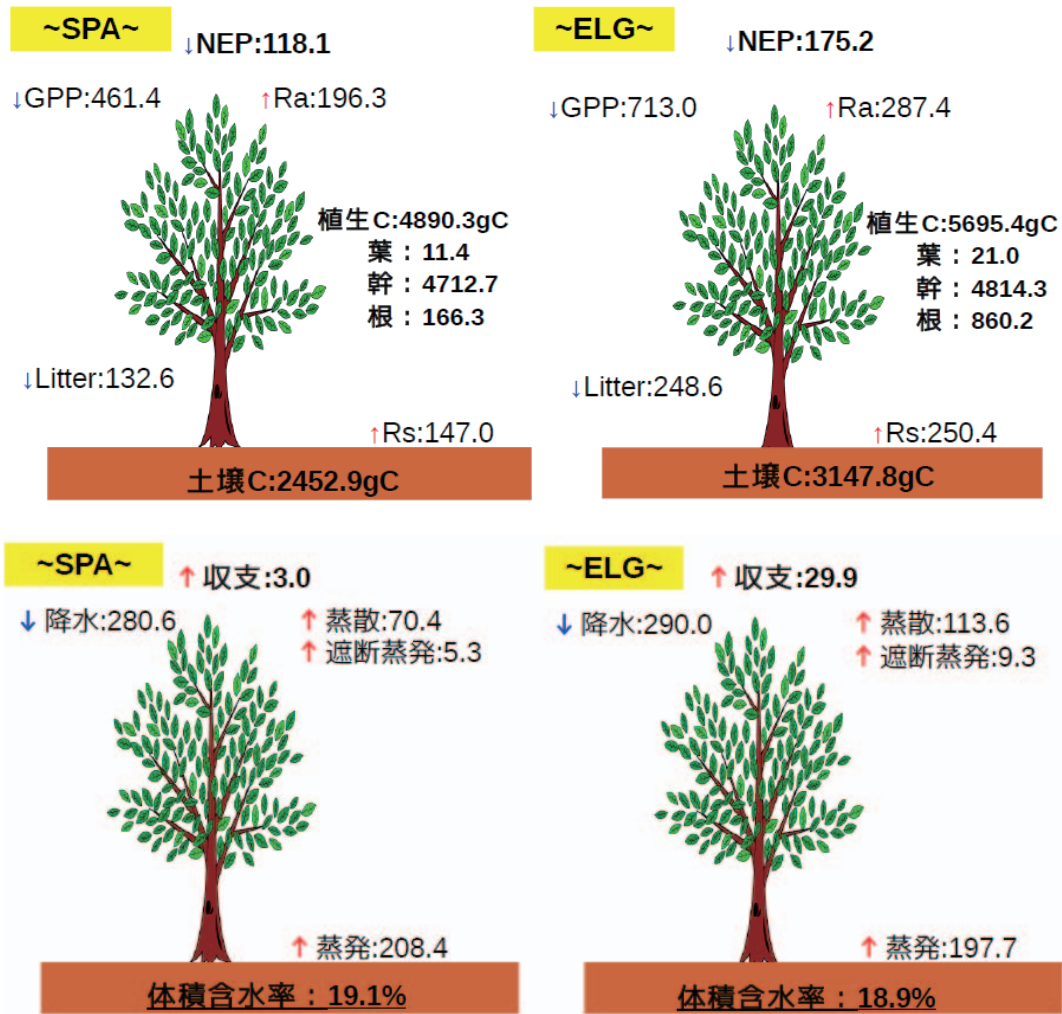


図4 サイト間比較：炭素循環（上）、水循環（下）

4 シベリア全域でのモデル解析

4.1 モデル解析条件

BEAMS と衛星観測データを用いて、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月までの10年間、時間解像度は1か月、空間解像度は10km×10kmである。対象領域は、シベリアを中心としたE60°~W170°、N35°~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、補助データとして気温、水蒸気圧、風速はNCEP/NCAR再解析データ、大気CO₂濃度はマウナロアの観測データ、土壌タイプはFAOのインベントリーデータを用いた（表1）。大気CO₂濃度を除くすべてのデータは、空間解像度を10kmメッシュに前処理し、時系列データは時間分解能を1か月にした。大気CO₂濃度は全領域で一定値と仮定して広域計算を行った。土地被覆図は、植生の機能タイプ毎に17タイプに分類されているものを11タイプに再集計して使用した。

表1 広域解析に用いた入力データセット

パラメータ	データセット
LST	MOD11A2, MYD11A2
fPAR, LAI	MOD15A2, MYD15A2
アルベド	MCD43B3
気温	NCEP/NCAR Re-analysis
下向き短波放射	MODIS PAR product
風速	NCEP/NCAR Re-analysis
湿度	NCEP/NCAR Re-analysis
降水量	GPCP version 2.2
大気 CO ₂ 濃度	Observation in Mauna Loa
標高	SRTM, GTOPO30, ASTER/GDEM
土壌タイプ	FAO soil texture group
土地被覆図	MOD12Q1

4.2 活動層分布

シベリア全域の10年間の活動層深度の空間分布と増減傾向(線形トレンド)を推定した(図5)。深度分布は、気温の緯度帯パターンに類似して北西から南東方向に変化した。深度勾配は N50°~N60°の間では大きい、極域へ向かうに従って緩やかに変化した。本研究で推定されたユーラシア大陸の永久凍土地帯面積は 659.9 万 km²、既存研究の一つである Tarnocai et al. (2009)の 725.5 万 km² より若干過小評価であったものの、概ね妥当な見積もりだと思われる。10年間の活動層深度の増減分布は、シベリア東部では活動層深度が増加し、中、西部域では減少していた。東部では凍土融解が進行していることや、東西で逆傾向であることがわかった。気温や LST の分布が同様の傾向を示すことから、地表面からの熱エネルギーが永久凍土まで輸送される過程、及びその結果である活動層の時空間パターンは妥当な傾向であると考えられる。

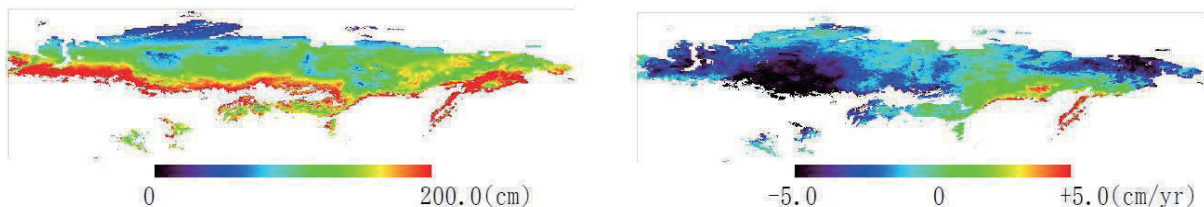


図5 10年間の活動層深度の空間分布(左)と増減トレンド(右)

4.3 炭素収支解析

同様に、10年間の年間積算 NEP の空間分布と増減傾向を推定した (図 6)。北方林帯では NEP が正、極域のツンドラ地帯や標高の高い場所、植生が疎な地域では負の傾向を示した。対象地域全体の 2001~2010 年の NEP 年間積算値は 212.0MtC/year で、同地域はこの 10 年間を通して炭素吸収源であったことがわかる。NEP の増減傾向では、活動層深度と同様に東部で増加、中、西部で減少傾向となった。光合成活動や植生呼吸、土壌微生物活動に対する温度制限が非常に強い地域であることを踏まえると、気温や LST に強く応答してこのような傾向になったことは妥当だと思われる。対象地域全体の増減傾向は、+5.9MtC/year であった。近年、同地域の陸域生態系はより大きな炭素吸収源として成長していると考えられる。

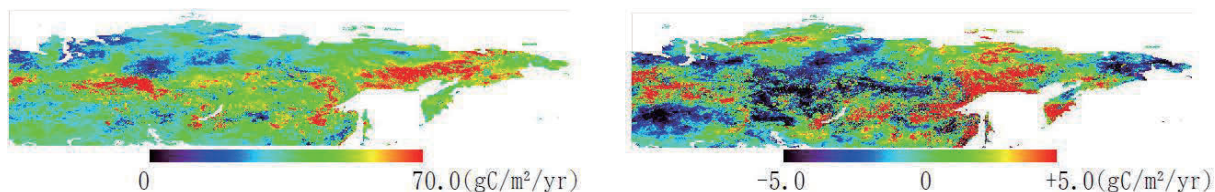


図 6 10年間の NEP の空間分布 (左) と増減トレンド (右)

温暖化に伴うシベリア地域の生態系機能の変化を把握するため、気温、地温、GPP、生態系呼吸量 (Re) の経年変化を比較した (図 7)。GPP と気温、Re と地温の経年変化はそれぞれ類似したパターンを示したことから、シベリア全域の生態系機能は温度によって大きく変化することがわかった。更には、寒冷圏の炭素循環を把握する上で、光合成活動に対する気温ストレスや呼吸・土壌分解に対する温度依存性は重要なプロセスだと考えられる。10 年間での GPP の増加量は、Re の増加量よりも大きい。つまり、気温が光合成に及ぼす影響は、地温が生態系の呼吸活動に及ぼす影響より大きいことから、温暖化の進行により同地域の生態系の炭素吸収量は増大する方向にあることが示唆された。

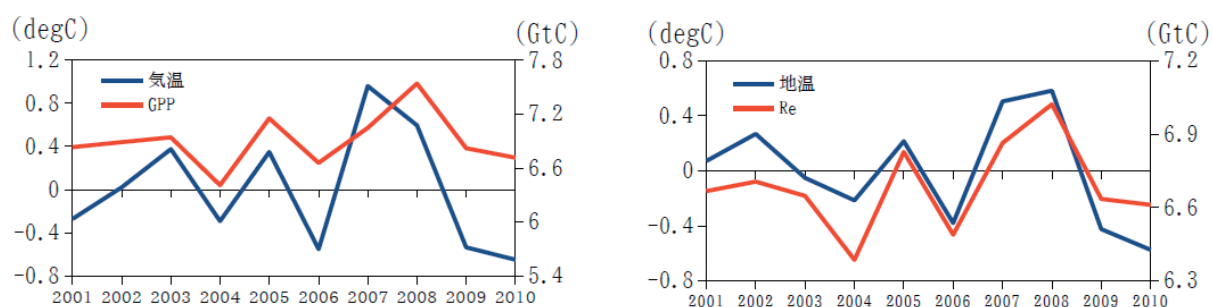


図 7 GPP と気温 (左)、Re と地温 (右) の経年変動パターンの比較

4.4 永久凍土融解に伴う土壌炭素の露出量

活動層深度の変動量をもとに、永久凍土地帯全域の凍土から露出した炭素量を算出した。活動層深度は過去 10 年間で 1.6m 程度深くなったと推定され、凍土中の炭素密度の観測値に基づく計算によれば、約 4.1~9.8GtC の炭素が露出した可能性がある。露出量は、10 年間の積算 NEP の約 2.4~5.7 倍に相当することから、融解層の土壌微生物が活発化して分解が進めば、大気へ多量の温室効果ガス (二酸化炭素やメタン) が放出されることにつながる。今後は、露出した炭素がどのようなプロセスで生態系活動に影響を及ぼし、どの程度大気へ放出されるかをモデルに記述していくことが温暖化研究を進める上で重要だと考えられる。

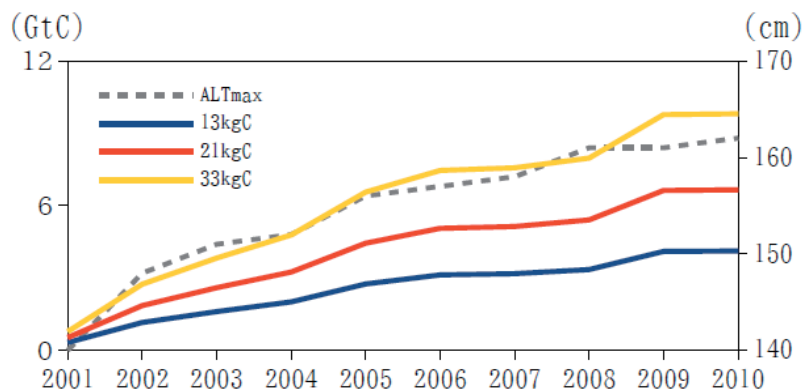


図8 露出した土壌炭素量と活動層深度との比較

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統合し、シベリア地域の水・エネルギー・炭素の相互作用を評価した。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は実測値とよい一致を示していることが分かった。広域解析の結果、2001～2010年におけるシベリア陸域生態系の NEP は 212.0MtC/year と推定され、炭素の吸収源として作用していたこと、その10年間で+5.9MtC/yearの増加傾向を示し、近年より巨大な炭素吸収源として成長していることが分かった。同地域の生態系活動は、温度に大きく依存しており、温暖化によって炭素吸収量が増大していく可能性が示唆された。一方で、凍土の融解により過去10年間で凍土中から4.1～9.8GtCもの炭素が露出したと算定された。温暖化によって植生の炭素固定量は増加するものの、同時に凍土の融解が促進される。現在、シベリア生態系は炭素の吸収源として作用しているが、このまま温暖化が維持し、凍土から露出した莫大な炭素が微生物活動によって分解されることで、いずれは炭素の放出源に転じるということが予想される。そのため、凍土から露出した炭素が大気へ放出するまでの動態を理解することが、永久凍土が炭素循環に及ぼす影響を評価する上で重要である。

今後は BEAMS の入力値に対して感度解析を行い、各要素が水・熱・炭素収支に及ぼす影響を定量的に評価する。また季節変化や、植生種、永久凍土分布などに着目して他の先行研究を参考にしながら様々な視点からシベリア生態系の理解に取り組みたい。

参考文献

- Dutta, K., Schuur, E. A. G., Neff, J. C. and Zimov, S. A., 2006, Potential carbon release from permafrost soils of Northeastern Siberia. *Global Change Biology*, 12, 2336–2351.
- 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.
- Kane, D. L., Hinzman, L. D. and Zarling, J. P., 1991, Thermal response of the active layer to climatic

- warming in a permafrost environment. *Cold Regions Science and Technology*, 19, 111-122.
- Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang, 2007: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: *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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 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.
- Tarnocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. A. G., Kuhry, P., Mazhitova, G. and Zimov, S., 2009, Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, doi:10.1029/2008GB003327.
- Trucco, C., E. A. G. Schuur, S. M. Natali, E. F. Belshe, R. Bracho, and J. Vogel, 2012, Seven-year trends of CO₂ exchange in a tundra ecosystem affected by long-term permafrost thaw. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 117, G02031, doi:10.1029/2011JG001907.

永久凍土の融解によって生じる洪水

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

現在、温暖化が急速に進んでおり、乾燥・湿潤などの水循環過程に大きな影響を及ぼしている。温暖化に対して脆弱なシベリアでは、森林火災や永久凍土の融解などの温暖化に起因する土地被覆変化が広範囲で起きている。こうした変化は地域住民の生活様式に深く関与する。特に、永久凍土の融解によって発生する『洪水』が災害として注目を集めている。極東シベリアには活動層と呼ばれる夏の間は融ける土壌の下に、一年中融けることがない永久凍土が存在する。永久凍土の含水率は多いところで80%も占めるため、気温の上昇によって永久凍土が融けると、その中に含まれていた水が地表に溢れ出し、洪水が発生する。本研究では、国産人工衛星 ALOS/PALSAR を用いて永久凍土が融解してから洪水が発生するまでのプロセスをモニタリングし、洪水の時空間変化特性を明らかにすることを目的とする。

2 研究対象地の気象環境

本研究では、シベリア北東部のコリマ低地を流れるアラゼヤ川周辺を研究対象とした。アラゼヤ川は全長 1590km で、北極海に向かって南北に流れる。図 1 に過去 50 年間の年平均気温と日平

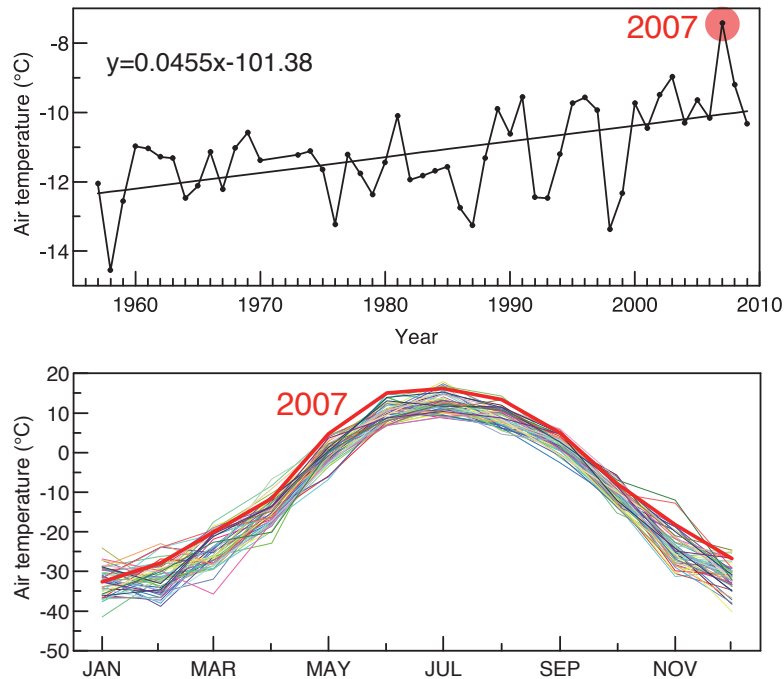


図 1. コリマ低地における過去 50 年間の年平均気温と月平均気温の変化

均気温の変化を示す。北緯 66~70°、東経 150~155°の北極圏内に位置するため、気温は低い。しかし、過去 50 年間の年平均気温は-15~-9°Cの幅があり、上昇傾向にある。0.045°C/年の年平均気温の上昇スピードは全球平均と比較して 2 倍以上大きい。これはコリマ低地周辺で温暖化が急速に進行していることを意味する。特に、2007 年の年平均気温はマイナス 8°Cと非常に高い値を示した。

日平均気温の変化をみると、夏の間、気温はプラスになるが、その期間は短い。1 年の大半は氷点下となり、冬の最低気温はマイナス 40°Cに達する。しかし、2007 年の気温は、一年を通して例年を上回る変化パターンを示した。春から秋にかけて 0°C以上の気温が長く続いたため、多量の永久凍土が融解し、大規模な洪水が発生した。アラゼヤ川中流域にあるアルガフタフ村の周辺では、村を取り囲む形で一帯が水に浸かった（写真 1）。



写真 1. 2007 年にアラゼヤ川中流域のアルガフタフ村周辺で発生した洪水の様子

3 結果および考察

3.1 洪水の時空間パターン

洪水が発生した 2007 年を中心に人工衛星 ALOS/PALSAR を用いて洪水モニタリングを行った。2007 年、2008 年、2009 年の 8 月に撮影した 3 シーンの ALOS/PALSAR 画像からコンポジット画像 (R:G:B=2007:2008:2009) を作成したものを図 2 に示す。この処理によって、その年に冠水被害を受けた場所が色の違いとして表現される。コンポジット画像の中で水色で表示されているところは 2007 年のみ冠水被害を受けたところを表し、紺色で表示されているところは 2007 年と 2008 年の 2 年間冠水被害を受けたところを表す。永久凍土の融解洪水は、2007 年にアルガフタフ村からアンドリュージュキノ村にかけて発生した。その上流に位置するスパタイ村では洪水は発生しなかった。また、アルガフタフ村では 2007 年のみ冠水被害を受けたのに対し、アンドリュージュキノ村では 2007 年に発生した冠水被害が翌年の 2008 年まで続いた。この地域は起伏がほとんどない平坦な地形にあるため、河川水が下流へと流れていくスピードが遅い。そのため、一度洪水が発生すると冠水被害が長期に及んだ。特に、アンドリュージュキノ村は周囲と比べて低地にあるため、他のところからの融解水が集まり、冠水期間が 2 年に及んだ。ALOS/PALSAR の観測周期は 46 日であるが、アラゼヤ川の洪水の進行速度が遅いため追跡モニタリングすることが可

能であることが分かった。

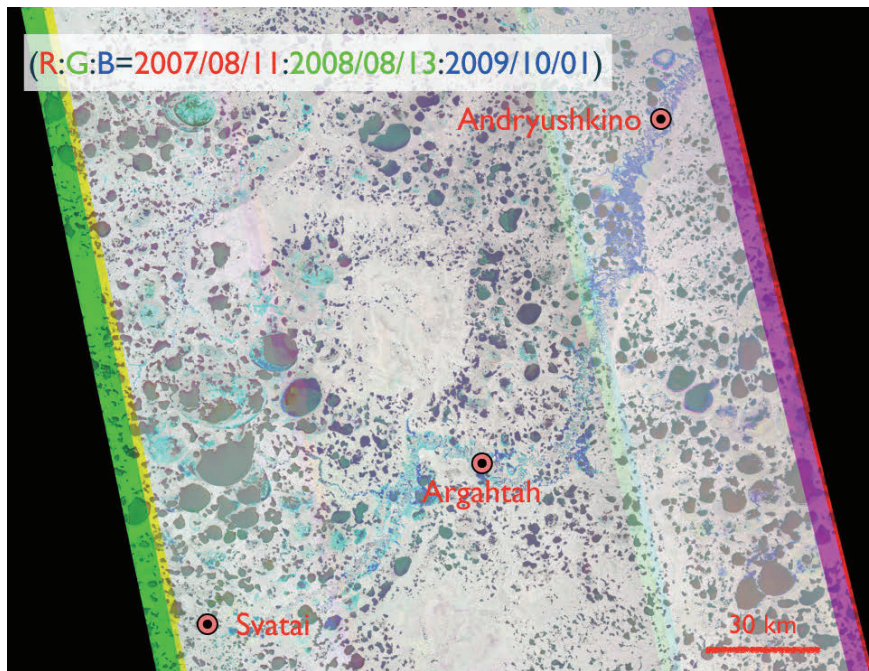


図 2. ALOS/PALSAR のコンポジット画像 (R:G:B=2007:2008:2009)

3.2 永久凍土の融解と洪水の関係

1997 年以降、アラゼヤ川の河川水位は基準値 (750cm) を超える傾向にある。しかし、この地域の年間降水量は 183mm と非常に少ない。そのため、豪雨によって洪水が発生したとは考え難い。この地域で洪水が発生した原因として、温暖化による永久凍土の融解が考えられる。永久凍土の中には、氷楔と呼ばれる氷の塊が存在する。気温の上昇によって融けた氷楔が洪水を引き起こしたと思われる。そのため、氷楔が融けて、融解水が河川に流入した後は、地盤沈下が起きるはずである。今回、大きな洪水被害を受けたアンドリュースキノ村周辺で差分干渉 SAR (DInSAR) による地盤沈下量の推定を行った (図 4)。その結果、2007 年 8 月から 2008 年 8 月の間で最大で 35cm 地盤沈下していることが分かった。また、地盤沈下量はアラゼヤ川に近づくほど大きくなっていった。地盤沈下が発生する原因として、地震、火山、地滑りなどが挙げられるが、この地域では永久凍土の融解によって起きたと思われる。

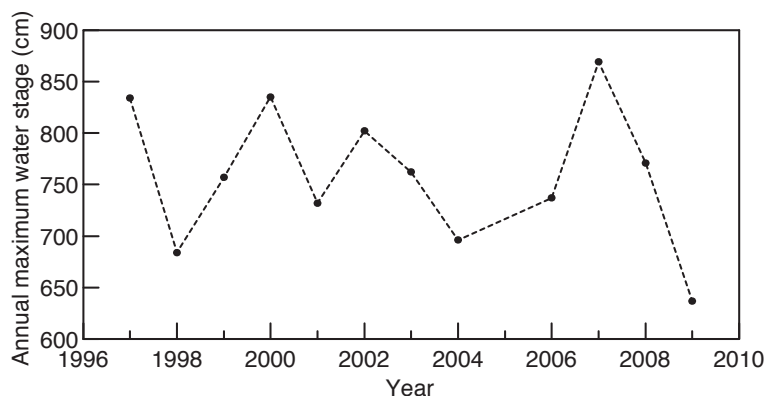


図 3. アルガフタフ村で観測したアラゼヤ川の年最大水位の変化

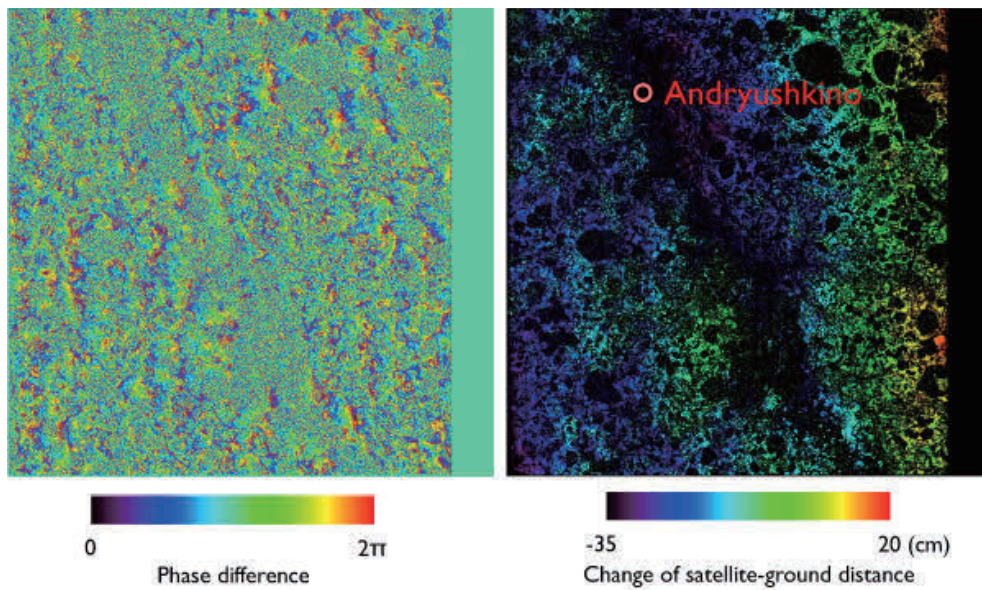


図4. アンドリュウシュキノ村周辺での差分干渉 SAR 解析
(2007年8月11日と2008年8月13日の地盤沈下量)

4 まとめ

人工衛星ALOS/PALSARを用いて極東シベリアで発生する洪水の時空間パターンをモニタリングした。その結果、2007年の気温上昇時に永久凍土が融けたことによる洪水が発生した。この地域の地形が平坦なため、冠水被害が長期（1年以上）に及ぶことが分かった。また、洪水発生後に永久凍土の融解による地盤沈下が起きたことを示した。しかし、検証するための現地調査データが不足している。データの信頼性を高めるために、ロシアの研究者と協力して研究を継続していく予定である。

G1a-2 (GOSAT データ解析チーム)活動要約

Wetland classification of West Siberia based on Landsat and its application for methane emission inventory in taiga zone

S. Maksyutov

Quantification of the wetland methane emissions is complicated by large heterogeneity of the methane emission rates and wetland landscapes. Wetland mapping is important component for assessing the global methane emissions. West Siberia wetlands are the biggest wetland area in Eurasia, are situated in the high latitudes experiencing enhanced rate of climate change. A number of wetland, vegetation and peat maps of the West Siberia were developed in 1970s, but those are not easily applicable for methane emission mapping due to use of the generalized classifications which do not reflect heterogeneity of the landscapes at scales of less than 100 m. In this study, we developed a new wetland typology map based on Landsat imagery and applied it to scaling up the CH₄ fluxes measured by a static chamber method (Glagolev et al., 2011). Taking into account relative abundance of different mire types a classification scheme oriented on methane emission estimates was developed. It is based on earlier classifications and consists of the simplest mire units or microlandscapes as the oligotrophic hollows, waterlogged hollows, forested bogs and ridges, fens (including poor fens and swamps) and wetland lakes. Taiga zone of West Siberia was chosen as a primary target for the land cover classification since its large wetland area. 68 Landsat scenes were classified. Totally, wetland area was estimated at 55.7 Mha that is slightly higher as compared to the earlier estimate of 51.5 Mha (Romanova's et al., 1977). Methane emission rates vary strongly among the microlandscapes. While the highest amounts are emitted by waterlogged hollows followed by fens, the lowest rates are emitted by relatively «dry» landcover units such as forested bogs and ridges. According to our estimates they account for only 3% of the regional flux despite occupying almost 40% of the total wetland area. The oligotrophic and waterlogged hollows as parts of patterned bogs cover more than quarter of the mire territory accounting for almost half of the total CH₄ emission. Lakes are widespread over taiga mire systems occupying 16% of the territory and contributing 15% of CH₄ flux to the atmosphere. The rest of the territory is mainly occupied by fens, poor fens and swamps (13%) contributing 33% of the total CH₄

flux. Applying the new map resulted in total methane emissions from taiga zone of 3.53 TgC•yr⁻¹ which is 87% higher than the former estimates by Glagolev et al. (2011). This considerable revision is caused by the changes in fractional coverages of methane emitting landscapes.

Glagolev M, Kleptsova I, Filippov I, Maksyutov S, Machida T. 2011. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes. ERL 6 045214. doi: 10.1088/1748-9326/6/4/045214

Romanova EA, Bybina RT , Golitsyna EF , Ivanova GM , Usova LI, Trushnikova LG. 1977. Wetland typology map of West Siberian lowland scale 1:2500 000 GUGK: Leningrad, Russia

Wetland classification of West Siberia based on Landsat and its application for methane emission inventory in taiga zone

S. Maksyutov¹, I. Kleptsova², M. Glagolev^{2,3}, H-S. Kim¹, E. Lapshina²

¹ National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

² Yugorsky State University, Khanty-Mansyisk, Russia;

³ Moscow State University, Moscow, Russia

1. Introduction

A number of wetland maps are available for west Siberian wetlands. The map by Romanova *et al.* (1977) appears to be most detailed among them. However the original version is not directly applicable for methane emission inventory. The area fractions of wetland microlandscapes or basic wetland units with different methane emission rates are necessary for total flux calculations, while the map by Romanova *et al.* (1977) includes only wetland type mixtures composed of several microlandscape types without the information on its fractional coverage. Peregon *et al.* (2009) complemented the map by estimating the fractional coverage using high-resolution images for five test areas of a Landsat image size. However, field survey data revealed this approach is not accurate enough and cannot substitute direct classification of West Siberia mires using Landsat imagery.

Thus the main goals of this study were: (1) to develop a new wetland map based on Landsat imagery; (2) and to apply it for estimating the total CH₄ emission from the case study of middle taiga zone.

2.1 Materials

As a starting point for the land cover classification it was compulsory to develop a proper classification scheme relevant to target purpose that is to improve methane emission estimations. It is necessary to have knowledge about wetland type distribution at the study area. To accomplish the goal we carried out large-scale field observations during 2007–11 summer–autumn periods that included both methane fluxes measurements and studies of the representative mire landscapes within a series of key sites in middle taiga zone (Glagolev *et al.*, 2011).

Middle taiga zone was chosen as a case study since it has the largest area extent of mires and is the most paludified zone in West Siberia. It belongs to *raised patterned ridge-hollow landscape* mire zone. Several types of ridge-hollow complexes prevail at this area and commonly occupy watersheds. They seat upon a peat layer of several meters deep which is composed by sphagnum peat with small addition of other plants. Since these wetlands are growing on surface, a relief composed of well-developed central plateau with gentle slopes is formed. Central plateau depressions with stagnant water usually include groups of secondary lakes. Dryer complexes

consisting of narrow ridges and vast hollows instead of lakes occupy better drained gentle slopes. The most drained sites are dominated by dwarf pines with shrubs and sphagnum mosses (“ryam”). Finally, poor fens and fens are developed along the wetland edges and characterized by low lateral water flow and relatively high nutrient availability (Kats and Neishtadt, 1963).

Relying on abundance of different mire types in middle taiga the following classification scheme was developed. It consists of simplest peat land units or microlandscapes and is based on the classification by Peregon *et al.* (2009):

- Oligotrophic hollows: depressed parts of ridge-hollow, palsa complexes and open bogs;
- Waterlogged hollows: depressed parts of ridge-hollow, palsa complexes and patterned fens with high water table level;
- Ryams: pine-dwarf shrubs-sphagnum communities;
- Ridges: elevated parts of ridge-hollow complexes and patterned fens; vegetation cover similar with ryams;
- Fens: minerotrophic fens, poor fens and wooded swamps;
- Lakes: primary and secondary lakes and rivers.

Microlandscapes are characterized by similar vegetation, water and nutrient conditions. Since these are the main controlling methane emission factors, microlandscapes emit methane with the similar intensity, too. This classification is applicable for the quantification and spatial extrapolation of any peat ecosystem characteristics including methane emissions.

Since the majority of microlandscapes except ryams and large lakes can be recognized only using satellite images of higher resolution than Landsat, we developed another classification scheme suitable for Landsat image processing. This classification includes wetland complexes widely spread at West Siberian middle taiga and is based on studies by Lapshina, (2003), Filippov and Lapshina, (2008).

2.2 Methods

Land cover classification

To map of West Siberian wetlands we used Landsat-5 and Landsat-7 images. Since the vegetation of West Siberian plane includes various types of forests, meadow, burnings, agricultural fields and others, so for prevention of misclassification, wetland environments were distinguished from other landscapes using Green-Red (GRVI) and Normalized Difference (NDVI) vegetation indices (Motohka *et al.*, 2010). Wetlands were predominantly distinguished using GRVI, while NDVI were firstly used to make lake mask. Mask noises were filtered in MatLab v. 7.11 (The MathWorks, Inc.; USA) using generalization algorithm.

Supervised classification of masked image was carried out in MultiSpec using 4-5 and 3 spectral bands. Different mire types were recognized by the relative position within a landscape, shape and its spectral signature. As far as possible, different high-resolution images were used for classification and verification. To set test sites and validate final map we used ground-truth data including detailed botanical descriptions with photographs of each site; pH and electrical conductivity data were also used. Available cartographic materials and another published data (Liss *et al.* 2001, Usova, 2009, Lapshina, 2004) were used for determination of ecosystem types,

too. Pixels selected as test sites usually represented small pixel window with a homogeneous land cover type. For rare classes (e.g., water), pixel sample points were chosen with many pixels in the window belonging to the same class.

More than 50 land cover classes were discriminated during classification and further generalized to several wetland types. Classification errors were calculated for test areas. When the error for any wetland type reached 20% original test areas were modified. Classified image was filtered using generalization algorithms.

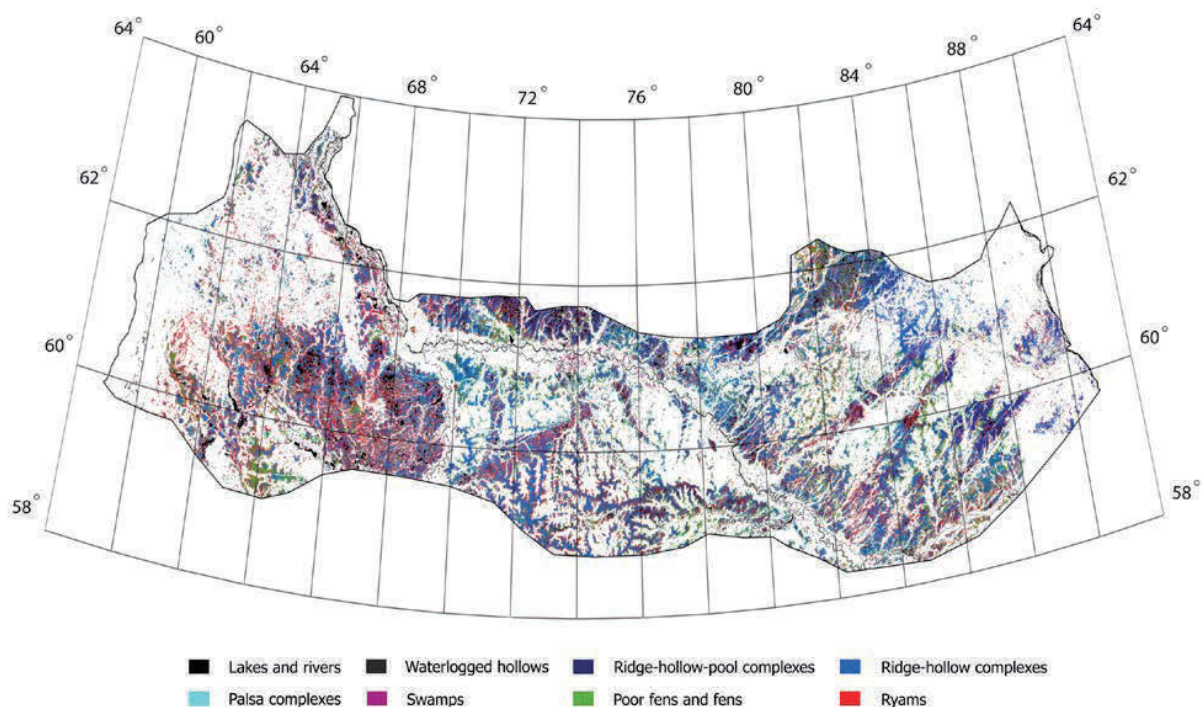
Measurements were made by a static chamber method (Glagolev *et al.*, 2011). The total methane emission was estimated by multiplying the average emission rates of the mire micro-landscape types with the fractional area coverage of each ecosystem types, and the periods of methane emission in each zone. Bc8 emission inventory (Glagolev *et al.*, 2011) was used for estimating total methane flux.

3. Results and discussion

Using the described approach, the map of West Siberia middle taiga mire landscapes was developed (Fig. 1). Total mire area appeared to be 20.2 Mha which is similar to the estimation of 19.5 Mha (Peregon *et al.*, 2009). Generally, wetland contours accurately match the same one from (Sheng *et al.*, 2004).

It is generally known that the methane emission rates vary strongly among the individual land cover classes. While the highest amounts are emitted by waterlogged hollows, followed by fens and poor fens, the lowest rates are emitted by the classes with dry substrate characteristics as ryams and ridges (Table 1). Thereby despite the huge areas of these landscapes they contribute annually only 0.04 MtC or 4% of the regional flux. At present time methane emission from ryams and ridges are well known (Kleptsova *et al.*, 2010; Glagolev *et al.*, 2011) and since these mires are not important at the regional scale, their further investigations are not urgent.

Figure 1. Map of West Siberia middle taiga mire landscapes.



Comparison of wetland area fractions calculated using new map and a map by Romanova *et al.* (1977) with fractional coverages by Peregon *et al.* (2009) and its application for CH₄ emission estimation are shown in Table 1. In this study we obtained 94% higher methane emissions from the middle taiga zone. Such considerable estimation revision is directly related to the variations in relative area fractions of strongly and weakly emitting landscapes. According to estimates by Peregon *et al.* (2009) ryams and ridges are fully dominating in the middle taiga zone accounting for 75.8% of the mire area. Current study suggests that ryam and ridge areas are considerably lower; these landscapes presently cover 50.7% of the mire area. Moreover, the ridge area didn't change while the ryam area decreased from 54% to 26%. Instead of it, fen and poor fen areas were increased in an order of magnitude contributing an additional 0.33 MtC/yr to the regional flux. Compared to approach by Romanova *et al.* (1977), the Landsat satellite imagery classification provides more efficient methodology. It makes possible to designate even small areas of few pixel size (about 50-100 m) including fens and swamps. Landsat imagery also provides a possibility to calculate vegetation indices and use them for distinguishing of high and low productivity environments which provides more accurate assessment of its fractional area. Such approach enlarges fen area up to 13.9% of total mire area.

Table 1. Comparison of wetland area fractions and its application for estimation of CH₄ emission in middle taiga.

<u>Mire microlandscape</u>	CH ₄ flux, mgC/m ² /h	<u>Peregon <i>et al.</i>, 2009</u>			<u>This study</u>		
		Area, km ²	%	CH ₄ flux, MtC/yr	Area, km ²	%	CH ₄ flux, MtC/yr
<i>Lakes and rivers</i>	0.49	7319.9	3.8	0.01	23563.7	11.6	0.04
<i>Waterlogged hollows</i>	4.72	4884.7	2.5	0.09	9111.0	4.5	0.17
<i>Oligotrophic hollows</i>	2.76	33540.2	17.2	0.36	38675.3	19.1	0.42
<i>Ridges</i>	0.13	42327.4	21.7	0.02	49693.0	24.6	0.03
<i>Ryams</i>	0.03	105458.9	54.1	0.01	52912.4	26.1	0.01
<i>Poor fens, fens and swamps</i>	3.22	1468.8	0.8	0.02	28093.4	13.9	0.35
<u>Total</u>		195000.0	100.0	<u>0.52</u>	202356.8	100.0	<u>1.01</u>

The results of this study suggest that it is highly possible that the total methane emission from West Siberia mires of 2.93 TgC•yr⁻¹ (Glagolev *et al.*, 2011) which was based on (Romanova *et al.* 1977; Peregon *et al.*, 2009) was underestimated and will increase after applying the new map. According to that estimate West Siberian mires contribute only 2.4% of the global CH₄ emission from mires; it seems to be too small comparing with the wetland area of 13% of the global mire area. We expect the increasing of the regional methane emission up with the applying of new classification. So it will contribute to decreasing discrepancy between different estimates. Applying the new map resulted in total methane emissions from taiga zone of 3.53 TgC•yr⁻¹ which is 87% higher than the former estimates by Glagolev *et al.* (2011). This considerable revision is caused by the changes in fractional coverages of methane emitting landscapes.

Acknowledgments

We thank all participants in the field measurements of the 2007–12 summer–autumn periods. The Landsat imagery was provided by UMD GLCF and USGS.

References

1. Filippov IV, Lapshina ED. 2008. Peatland unit types of lake-bog systems in the middle Priob'ie (Western Siberia). *Transactions of UNESCO department of Yugorsky state university "Dynamics of environment and global climate change"* [Glagolev M.V., Lapshina E.D. (eds.)] 1 : 119-128.
2. Glagolev M, Kleptsova I, Filippov I, Maksyutov S, Machida T. 2011. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes. *Environmental Research Letters* 6 045214. doi: 10.1088/1748-9326/6/4/045214.
3. Kats NJ, Neishtadt MI. 1963. Wetlands. *West Siberia* [Rihter G.D. (ed.)] : 230-248. – In Russian.
4. Kleptsova IE, Glagolev MV, Filippov IV and Maksyutov SS 2010 Methane emission from middle taiga ryams and ridges of Western Siberia. *Environmental Dynamics and Global Climate Change* 1 : 56–64. – In Russian with English abstract.
5. Lapshina ED. 2004. Flora of South-East West Siberian mires. TSU Publ.: Tomsk, Russia. – In Russian.
6. Liss O, Abramova L, Avetov N, Berezina N, Inisheva L, Kurnishkova T, Sluka Z, Tolpysheva T, Shvedchikova N. 2001. Mire systems of West Siberia and its nature conservation importance. Grif and Co Publ.: Tula, Russia. – In Russian.
7. Motohka T, Nasahara K, Oguma H, Tsuchida S. 2010. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing* 2 : 2369-2387.
8. Peregon A, Maksyutov S, Yamagata Y. 2009. An image-based inventory of the spatial structure of West Siberian wetlands. *Environmental Research Letters* 4 doi: 10.1088/1748-9326/4/4/045014
9. Romanova EA, Bybina RT, Golitsyna EF, Ivanova GM, Usova LI, Trushnikova LG. 1977. Wetland typology map of West Siberian lowland scale 1:2500 000 GUGK: Leningrad, Russia
10. Sheng Y, Smith LC, MacDonald GM, Kremenetski KV, Frey KE, Velichko AA, Lee M, Beilman DW, Dubinin P. 2004. A high resolution GIS-based inventory of the West Siberian peat carbon pool. *Global Biogeochem. Cycles* 18 GB3004, doi:10.1029/2003GB002190.

トナカイ牧民経済への温暖化の影響と体制変化後のその反応 —システム・ダイナミックモデルによる接近—

加賀爪 優 京都大学大学院 農学研究科 資源環境経済学専攻
中庄谷 栄太郎 京都大学 農学部 食料環境経済学科

1 はじめに

地球規模で温暖化が進んでいると認識される現在、地方レベルでも様々な影響が発生している。温暖化は主に資源動態に影響を及ぼす。例えば、温暖化が気候変動を引き起こし、耕作地を砂漠帯に変えてしまうこともある。地域の植生を変化させ、畜産業が打撃を受けることもある。これらの資源動態への影響に対して、その地域で生活を営む人々は影響を受け取りつつも逆に影響を与えるという関係が考えられる。

本報告では、ある地域における温暖化による資源動物の動態とそれを利用する人間生活の変容、及びそれらの相互影響という動的関係を、特に経済的・数量的側面から扱う。そして、今後とるべき方策についての検討を行うことにする。対象地域は、東シベリアのサハ共和国内とし、対象とする人々は北方先住民の中でも放牧を営んでいる人々とする。ここで北方先住民の放牧民を取り上げるのは、彼らの生活が家畜トナカイ・野生トナカイに主に頼ったものであるため、資源動物の動態と人間生活の変容及びそれらの相互影響がより純粋な形で取り出すことができると期待されるからである。また、トナカイ産業は先住民の生き様と深く関わりがある。トナカイ牧畜は生産様式であるだけでなく、生き様であるのだ¹。トナカイ産業を失うということは、トナカイ肉やその他の商品が消えるということだけではなく、多くの極北文化をも失うということを目指す。彼らは、温暖化によって資源動物の動態に影響が出た際、より大きな影響を受ける人々であると考えられる。

人間生活の経済的・数量的側面の変数として、トナカイ牧畜民数、飼育トナカイ頭数、一人あたり収入を考える。資源動態の変数としては、コケ、野生トナカイ頭数、肉食獣個数を考える。そして、彼らが持続可能な発展を遂げていく、つまり、トナカイ牧畜民数の維持または増加、一人あたり収入の増加、飼育トナカイ頭数の維持または増加、を持続可能な形で引き起こすためには、どのような政策をとれば良いのかについて論じる。

2 先行研究

ソビエト民俗学においてシベリア全体のトナカイ飼育は、その生産様式の視点から大きく2つのタイプに分けられてきた。1つは、a.) ツンドラで肉畜中心の大規模飼育、つまり生産をほぼ全面的に家畜トナカイに依存するトナカイ飼育生産経済である。もう一つは、b.) タイガでの小規模役畜使用を行いつつも、生産経済は狩猟に比重を置く型である²。対象地域であるサハ共和国においては、a.) ツンドラ大規模飼育型が広く行われている。

a.) ツンドラ大規模飼育型と b.) タイガ小規模型の違いは、飼育トナカイが「半家畜」であるか

¹ John L & K Klokv. (2002, p21)

² 高倉 (2000, 115 頁)

どうかということである。a.)ツンドラ大規模飼育型では家畜は十分に人に慣れていない。牧夫は、放牧地の地形・生態環境を熟知し、彼らが想定した放牧領域外へトナカイを逃がさないように配置することで群の輪郭が保証される。こういった形態においては、野生トナカイによる飼育トナカイの連れ去り（野生化）が問題になる。つまり、a.) ツンドラ大規模飼育型はより野生トナカイなどの自然資源動態が牧畜民経済に影響を及ぼしやすい構造を持っているということになる。

また、具体的な調査対象地域は異なるが、同じような問題意識でシベリアのトナカイ牧民の経済状況を論じた調査研究として、同志社大学の室田武氏の研究³がある。彼は2011年にTuva共和国のTodzhinskii郡を調査し、英文論文にまとめている。以下でその比較検討のための関連情報としてその内容を要約しておこう。

周知の通り、ロシアでは、1991年に国営農場は解体され国営企業GUPに改組された。しかし、その多くは経営的に困難に直面し、1995年には倒産の憂き目に遭っており、その多くは村営企業(MUP)に引き継がれている。その際、トナカイ牧民は、①MUPの一員になるか、②独立の牧民になるかの自由選択に直面している。残りは、③将来牧民を目指す青年を教育する牧民になったり、または④氏族共同体の構成員になるか、の4つの類型に分けられている。

室田氏は、Tuva共和国のTodzhinskii郡のトナカイ牧民の経済活動に関して、共有資源の利用形態に規定されるコモンズの観点から論じている。周知の通り、「コモンズの悲劇」の議論(Hardin, Garret vs E. Ostrom)に関しては、研究者の間でも諸説があり、必ずしも統一された見解にはなっていない。また、シベリアにおける上記の氏族共同体の概念は必ずしも、こうした共有資源の利用形態を巡るコモンズ概念とは完全には一致していないが、広義の共有資源利用に規定された社会経済的関係の意味で何らかの論点の整理ができればと思っている。

室田氏の論文では、温暖化の影響は明示的には取り上げられておらず、むしろ、ソ連崩壊という体制変化の影響の方が重視されている。本報告においてもこの線に沿って体制変化の影響について検討しているが、ここでは温暖化の影響を中心に記述する。

3 トナカイ牧畜民経済のシステム・ダイナミックスモデル

3.1 システム・ダイナミックスとは

計量経済モデルは、大きく分けて、次の二つに大別される。一つは、規範的分析(normative analysis)であり、もう一つは実証的分析(positive analysis)である。前者は、一定の制約条件のもとで目的関数の極大化或いは極小化を求めるモデルであり、後者は、各変数の相互依存関係の構造を把握しようとするものであり、これは、さらに同時方程式モデルとシステム・ダイナミックスモデルに大別できる。一般の計量経済モデルで多用されるのは、同時方程式モデルであり、この場合は、分析対象に含まれる全変数のサンプルデータがあることが前提となる。その際、一定期間のサンプルデータから推定された構造自体は将来的にも一定で不変という想定のもとで予測を行うのに対して、システム・ダイナミックスモデルは、一期前、現時点、一期先の3時点間の漸化式体系の連立微分方程式を各時点毎に時間をずらしながら解くという形で将来予測する点でよりフレキシブルな手法と言える。分析対象に含まれる複数の変数に関して、その一部のデータが存在しない場合でも適用可能である。つまり、データのある変数系列に関してはそれを可能な限り再現できるように変数間の関係式が推定され、また、データの存在しない変数に関しては、データのある変数に関して最大限フィットするように推定された関係式と整合するようにデータ自身が作成されていくという手法である。従って、単に定量的な変数のみならず、定性的な変数

³ Murota & Tamara (2012)

をも取り込めるという点で適用範囲が広いことから、数値データを多用する自然科学や社会科学のみならず、心理学や歴史学・人類学といった人文科学の分野においても適用されている。

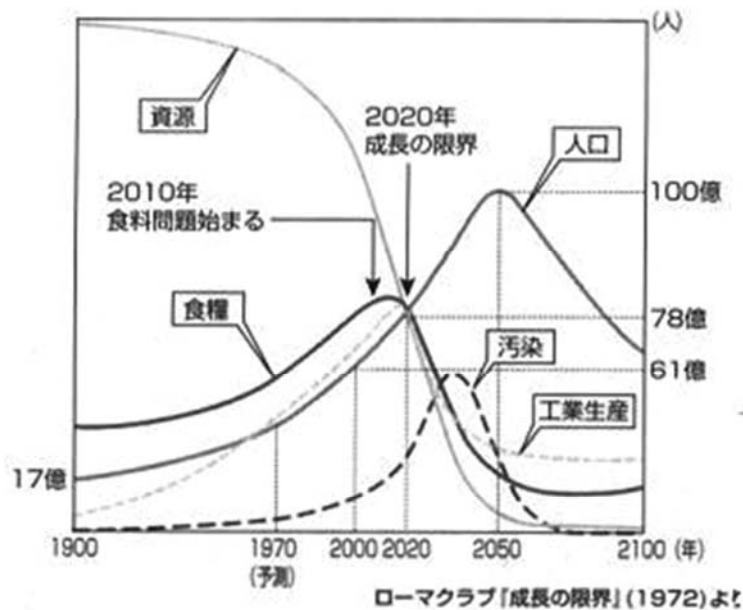


図1 ローマクラブ「成長の限界」

今回注目する東シベリアのトナカイ牧畜民経済の予測に関しては、幾つかの変数のデータは存在するが、多くの変数はデータが存在しない状況で作業することを余儀なくされる。こうした場合にも適用可能なのが、SDの強みである。しかし、モデルが伸縮的であるというメリットはあるが、その反面、同時方程式モデルのように厳密な統計的検定はできないという欠点もある。

ここで、採用するシステム・ダイナミックスの手法は、1956年にMITのジェイ・フォレスト教授が、インダストリアル・ダイナミックスとして産業部門間の動的推移を予測する手法として開発したのが始まりである。その後、アーバン・ダイナミックとして都市の成長過程についての予測にも適用できるように拡張され、さらに、社会経済現象に限らずあらゆる体系の動態過程の分析に適用可能なように展開されたのがシステム・ダイナミックスである。

この手法が注目されたのは、1972年にローマ・クラブが「成長の限界」を出版し、人類が効率性追求型で資源浪費的な現在のままの生活を享受し続ければ、2020年には地球的規模で成長の限界に直面するという極めて悲観的な警鐘を鳴らしたことである。その直後にオイル・ショックや世界同時不作による食料危機が生じたため、このモデルが一躍注目を浴びたのである。ローマ・クラブは、さらに、世界が限界にぶつかった時点で、技術進歩等により仮に資源が倍増して適切な対策が採られたとしても、数十年程度の時間を稼げるだけで何れは新たな限界に直面し、それから逃れられないという予測を示している。その後、1992年には「限界を超えて一生きるための選択―」、2005年に再び「成長の限界―人類の選択―」を出版し、警鐘を発し続けている。彼らの主張は、食料・資源は算術級数的にしか増加しないのに対して、人口や公害等の環境負荷は幾何級数的に拡大するというマルサスの命題を組み込んでいる。この発想は、今日、東シベリアが直面している気象変化及びそれに規定された資源の制約下でのトナカイ牧民の経済予測に通じるものがあると感じている。これが、この分析課題に対して、SD手法を採用した一つの大きな理由である。

3.2 モデルの設計

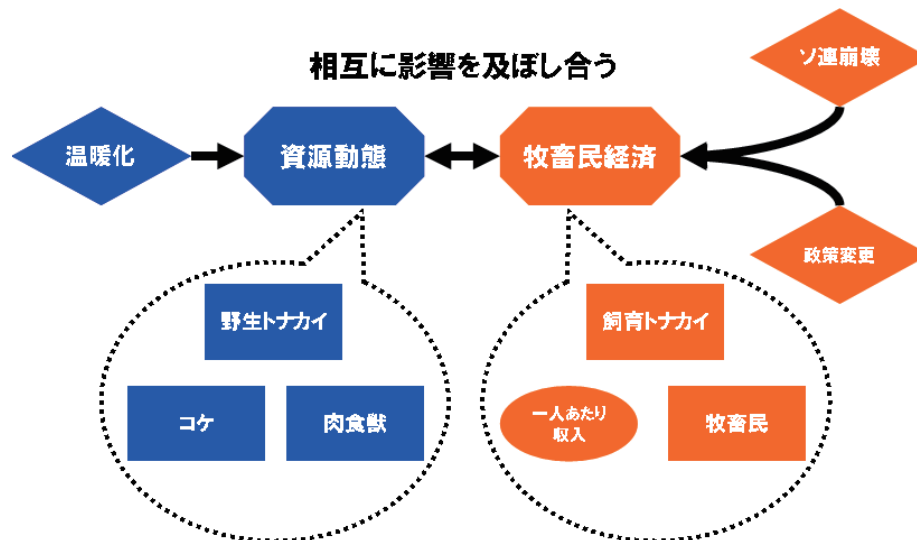


図2 動的関係の概念図 (筆者作成)

モデルの概略は図2の通りである。

例として特に温暖化に関連するノードの式を取り上げると、次の通り⁴となる。

$$\text{野生トナカイ出生率.K} = C_{\text{野生トナカイ出生率}} + \alpha_{\text{野生トナカイ出生率}} * \text{温暖化.K} \quad [3-1]$$

$$\text{生育状態.K} = \text{トナカイあたりコケ捕食.K} + \alpha_{\text{生育状態}} * \text{温暖化.K} \quad [3-2]$$

$$\text{コケ回復.K} = C_{\text{コケ回復}} + \alpha_{\text{コケ回復}} * \text{温暖化.K} \quad [3-3]$$

$$\text{可食コケ率.K} = 1 - \alpha_{\text{可食コケ率}} * \text{温暖化.K} \quad [3-4]$$

式[3-1]は、トナカイ出生率が温暖化の影響により低下する報告⁵を元にしてしている。

式[3-2]は、生育状態をトナカイが捕食したコケの量に温暖化による体調悪化を考慮したものと仮定したことを示している。

式[3-3]は、温暖化の影響によりコケの回復速度が低下している報告⁶を元にしてしている。

式[3-4]は、温暖化の進行により永久凍土が融解し再凍結することでコケが氷の中に閉じ込められてしまい、利用ができなくなってしまうという報告を元にしてしている。

以上のようにモデルの中では基本的に線型関係を仮定しているが、閾値の存在する生物学的因果関係においては適当ではないと考えられる。例えば、冬の平均気温が-40℃から-30℃へ上昇したときと、-5℃から5℃へ上昇した時の影響は、同じ10℃の上昇であっても大きさが違うと考えられる。現状ではこのような影響の大きさの違いは考慮に入れていない。冬平均気温・夏平均気温・年間降水量などの要素を導入し、実測データと生態学・理学的根拠に基づいたモデルの再構築を今後の課題とする。また、牧畜民の流出については一人あたり収入のみを問題としたが、この点も聞き取り調査やアンケート結果などを活用しより現実に近いモデルとしたい。

⁴ 要素名の末尾の.Kは、漸化式に従って時間がJ→K→Lの順に進む中でどの時点の値かを示すシステム・ダイナミックスの記法

⁵ 中田(2011、131頁)のグラフを読み取って使用した

⁶ David & Martha. (2009)

3.3 モデルによる分析

分析手順は次の通りとする。まず、1.)現状を説明するベースラインシミュレーションを作成し、その再現性の検討を行う。次に、2.)ベースラインシミュレーションを外挿したものと、一過性の与件変化としての体制変化、持続的な与件変化として温暖化加速・補助金増額・肉価格上昇などのシナリオの下でベースラインシミュレーションをシナリオ分岐させたシミュレーションとの比較を行う。そしてその結果から、最後に 3.)結論を述べる。

1.) ベースラインシミュレーションとモデルの再現性の検討

実測値の得られたデータは飼育トナカイ頭数（1980-2010⁷⁾、野生トナカイ頭数（1963, 1975, 1978, 1981, 1985, 1987, 1989, 1992⁸⁾, 1998）、飼育トナカイ肉生産（1961, 1961-1965 平均, 1966-1970 平均, 1971-1975 平均, 1976-1980 平均, 1985, 1986-1990 年⁹⁾）である。トナカイ頭数について実測値とベースラインシミュレーションによる推計値をグラフで比較すると、図3の通りとなった。概ね良好である。飼育トナカイ肉生産についても概ね良好であった。

また、ソ連崩壊以降一人あたり収入が下落し、外部賃金¹⁰⁾を割り込んでいるといった記述的事実との整合性も確認された。

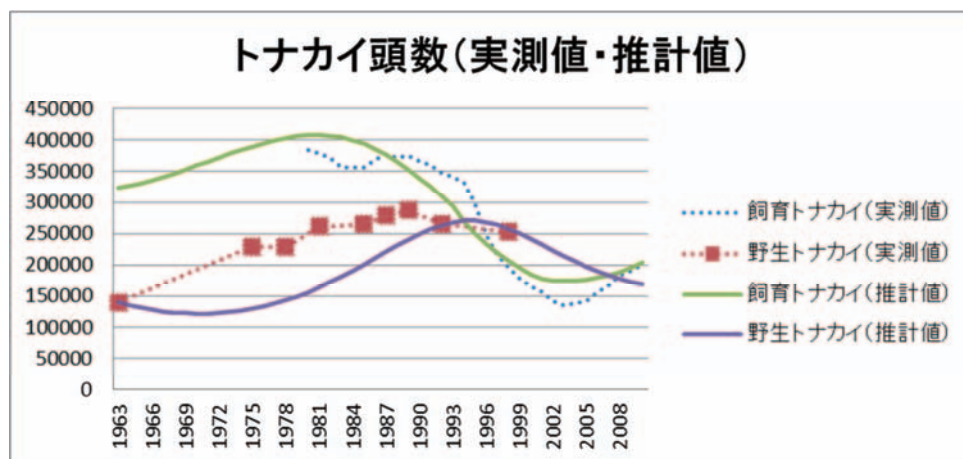


図3 トナカイ頭数（実測値・推計値）

吉田(2010)、Safronov. (1996)、John L & K Klov. (2002, p60)と
ベースラインシミュレーション結果から筆者作成

2.) シナリオ分析

(a) ベースラインシミュレーションによる将来予測

モデルは1963年から120年間の期間走らせることとする。ベースラインシミュレーションについて、トナカイ頭数については飼育トナカイ・野生トナカイともに頭数が将来増減を繰り返すことが推計された。また、この増減は時が経つにつれ幅がより大きくなっていく結果となった。

飼育トナカイの増減要因を分析すると、飼育トナカイ頭数の増減を左右するのは野生トナカイ頭数による飼育トナカイの野生化である。飼育トナカイの出生数の増加・減少に遅れて野生化数

⁷ 吉田(2010)

⁸ Safronov. (1996)

⁹ 高倉(2000、203頁) グラフを読み取って使用した

¹⁰ ここでは「外部賃金」という要素名を使っているが、牧畜民の飼育トナカイ屠殺数や流入流出に関わるような、最低限必要とされる収入を指している。

が増減することによって、飼育トナカイの流入と流出の間にズレが起こり、増減を引き起こしている。

(b) ソ連崩壊なしのシナリオ分析

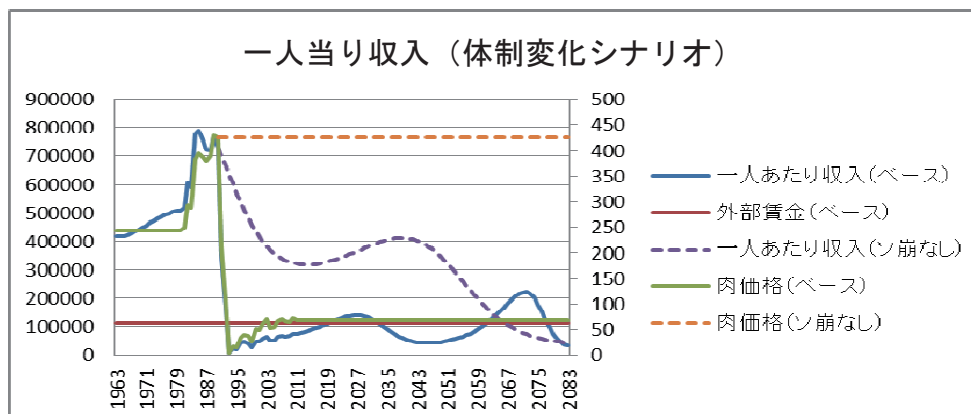


図4 一人あたり収入¹¹（体制変化シナリオ）

ソ連崩壊は北方先住民の生活に壊滅的なショックを与えたが、その状況をシミュレーションにより再現したのが図4である。これによると、体制変化が起こった場合には、一人あたり収入は短期間に大きく下落した後変動を伴いながら回復基調をたどることが示される。他方、体制変化がなかった場合にも、より緩やかな形で変動を伴いながら減少し、数十年後には同様な経過をたどることが示される。

(c) 温暖化加速シナリオの分析

2014年度以降において、温暖化指標の伸びが5倍、15倍になるようなシナリオを想定した。トナカイ頭数の動態は図5の通りとなる。温暖化が加速すると、飼育トナカイは減少し野生トナカイは増加する傾向があるという結果になった。これは、以下の様な過程で説明される。

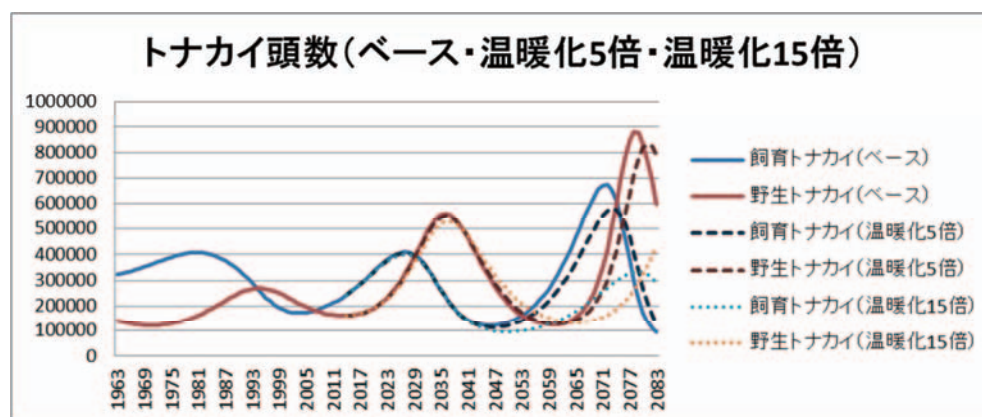


図5 トナカイ頭数（ベースラインシミュレーション・温暖化5倍・温暖化15倍）

温暖化によってトナカイの出生率は低下し、死亡率は上昇する。しかし、これは飼育トナカイ・野生トナカイに共通の現象であり、両者の頭数の乖離を説明しない。むしろ、温暖化で利用可能

¹¹ 縦軸は1963年を基準とした実質価格

なコケの量の減少し生育状態が悪化することによる、トナカイの体重減少が重要な要素である。温暖化によるトナカイの体重減少は、飼育トナカイ・野生トナカイの両者に起こる。しかし、これは逆の頭数増減を引き起こす。飼育トナカイの体重減少は、牧畜民が収入を維持するために屠殺数を増加させ、結果として飼育トナカイ頭数の減少を招く。一方、野生トナカイの体重減少は、これを捕食する肉食獣のエサの不足を指し肉食獣の死亡率を上昇させ、天敵が減った結果として野生トナカイ頭数は増加する。

この野生トナカイ頭数の増加によって飼育トナカイの連れ去りは増加し、より飼育トナカイが減少し野生トナカイが増加する。このバランスの崩れがまた野生化率を上昇させるといった、負のスパイラルに陥ってしまう。

なお、飼育トナカイの減少によって牧畜民の一人あたり収入は減少する傾向をとる。資源管理だけではなく牧畜民の生活維持という点においても、温暖化は大きな影響を持つことが分かる。

(d) 補助金増額シナリオの分析

次に、サハ共和国によるトナカイ牧畜民への補助金の増額を考える。2014年度以降から直接支払いの補助金を、一人あたり収入がソ連崩壊以前の水準を取り戻す程度の500倍、そして5000倍にするシナリオを想定した。

トナカイ頭数の推移を図6に示す。補助金500倍では飼育トナカイ・野生トナカイともに増減の幅が小さくなる安定化が起こる。しかし、補助金5000倍では逆に飼育トナカイ・野生トナカイ頭数ともに大幅に減少してしまう結果となった。

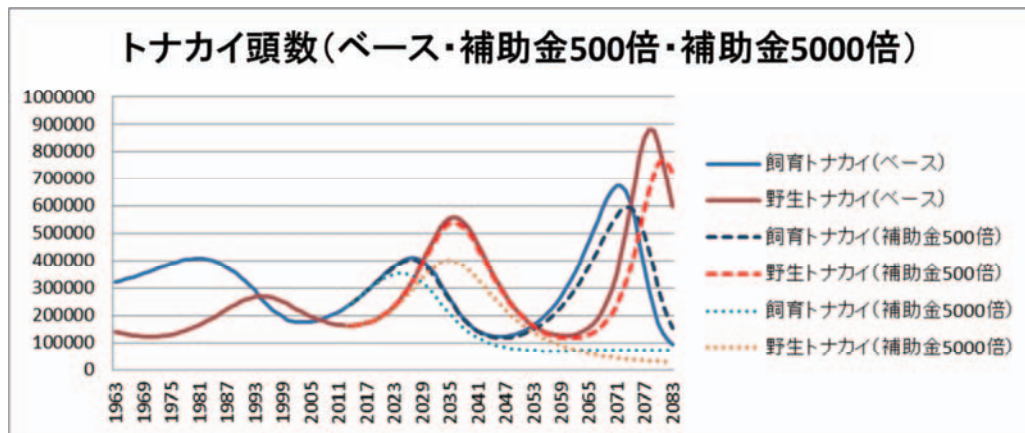


図6 トナカイ頭数 (ベースラインシミュレーション・補助金500倍・補助金5000倍)

これは、多すぎる補助金は資源の劣化を招いてしまうことを示している。この現象は、以下の過程によって説明される。

まず、直接支払いの補助金によって一人あたり収入が増加する。この補助金の額が不当に大きすぎた場合、牧畜民数の増加を招く。増加した牧畜民によって飼育トナカイの屠殺と野生トナカイの狩猟数が増える。これによって、飼育トナカイと野生トナカイの頭数が減少してしまう。

補助金増額のシナリオ分析では、補助金は一人あたり収入を押し上げるものの、多すぎる補助金は資源の劣化を招いてしまうこと結果となった。適切な水準、一人あたり収入の増加によって急激な牧畜民の流入を引き起こさない程度、の補助金が望ましいと考えられる。

(e) 肉価格支持シナリオの分析

トナカイ肉市場は十分に発達しておらず、肉価格は低くさえられたままにあるという。ここで、政府が主導してトナカイ肉市場を整備し、肉価格が上昇するシナリオを考える。直接支払いの補助金と比べて市場の整備による解決は、一般的にはより良い結果を生むと期待できる。2014年度以降の肉価格をソ連期の価格へ戻したシナリオ分析を行った。

トナカイ頭数は補助金政策とシナリオと同様に安定化の傾向を見せたものの、補助金増額程度ではない。一度増減を始めた資源を適切なレベルで管理するのは難しいことが分かる。

また、飼育トナカイ頭数が増減を繰り返しているため、一人あたり収入も大きく増減を繰り返す。値の推移を図7に示す。補助金政策より一人あたり収入をソ連期の水準へ戻した補助金増額シナリオとは対照的である。

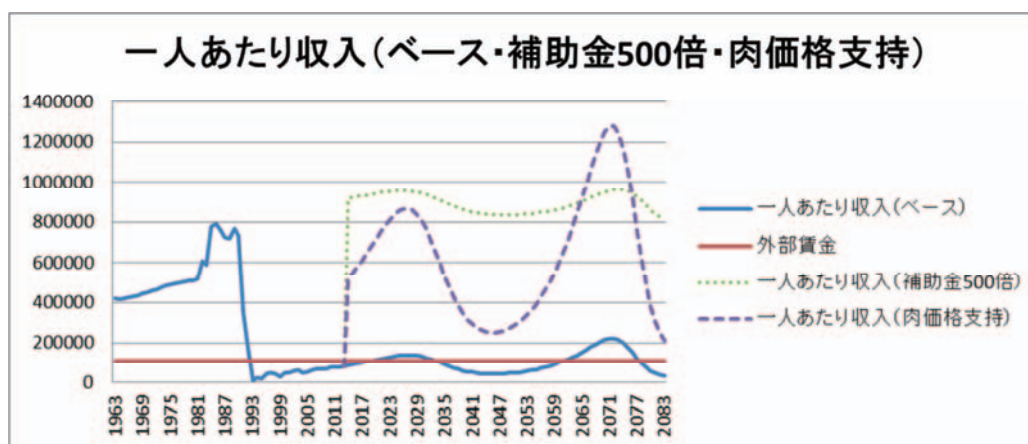


図7 一人あたり収入 (ベース・補助金500倍・肉価格支持)

市場の整備による肉価格の上昇は、一般的には市場による解決のほうがより良い結果を生むと期待されたが、予想に反して一人あたり収入は補助金政策に比べて大きく変動してしまう。一度振動を始めた資源を適切に管理するのは非常に難しいことが明らかとなった。ただし、現行のモデルではトナカイ肉市場が組み込まれていないため、ただ肉価格を上昇させることを「市場による解決」と呼称するには問題があるかもしれない。いずれにせよ、現行のモデルにおいては、生活の安定という意味では補助金に軍配が上がる結果となった。

4 結論

これまでの結果と考察を踏まえて、サハ共和国におけるトナカイ牧畜が今後どのような状況を迎え、そのような対応をとるべきかについて検討する。

4.1 ソ連崩壊の影響

ソ連崩壊は、北方先住民に対する補助金の給付を停止させ、政府の擁したトナカイ牧畜のスペシャリストの団体も解体させ、ソ連式のトナカイ牧畜に壊滅的な影響を与えたことは間違いない。しかし、シミュレーションの結果、ソ連崩壊が起こらなかった場合においても必ずしもその生活は永続的なものではなかったことが示唆された。社会的な一時的ショックは、自然資源動態に吸収され年を経るごとに穏やかにショックの影響が収まっていくものと思われたものの、シミュレーションの結果によると自然資源動態の不安定を引き起こしそれにつられて牧畜民経済も不安定

な状況に陥ったということだった。

4.2 温暖化の影響

今回のベースラインシミュレーションは、温暖化はコケの生育やその他を通じてトナカイの出生率や死亡率にほとんど影響を及ぼさないモデルとなっている。実際、コケだけでなく魚その他も食するなどトナカイの気候変動に対する適応力は大きいため、こうした仮定は現実をある程度まで説明できると思われる。温暖化が牧畜民経済に主に影響を及ぼしたのは、コケの生育悪化によるトナカイ体重の減少である。飼育トナカイ頭数はコケの生育悪化によってはほとんど減らないものの、トナカイ体重が減少することにより収入のために屠殺するトナカイ頭数が増え、その後飼育トナカイは減少し一人あたり収入が下落する結果であった。

4.3 持続可能なトナカイ牧畜のために

はじめに、サハ共和国が今後 70 年で迎えるだろう状況について整理を行う。

飼育トナカイ頭数については、2001 年で一旦底を打ったものの、何も政策を講じなければ今度また減少を経験する可能性が非常に高い。というのも、増え続ける野生トナカイは、連れ去りの意味でもコケ捕食者としての競合の意味でも非常に危険だからだ。一度飼育トナカイの減少が始まると 飼育トナカイ減少→収入減少→意欲減退→野生化率上昇・出生率低下→飼育トナカイ減少 という負の連鎖に陥ってしまう。このため、一度資源レベルが増減を繰り返し始めると自然任せでは安定した状態へ戻ることは難しい。

トナカイ牧畜を維持するためには、飼育トナカイの減少を防ぐ必要がある。政策の一つとして補助金の増額が考えられるが、これは、政府の財政的にも、そして金銭的動機付けを煙に巻くという意味でも、永続的な対策には成り得ない。むしろ、金銭的動機付け感わさない政府による直接設備投資や、肉食獣狩猟・野生トナカイ狩猟など増える脅威に対して行き過ぎた増加には減少させるインセンティブを、行き過ぎた減少には減少を阻止するインセンティブを適切な補助金などによって誘導することが考えられる。

野生トナカイはソ連崩壊後狩猟に対する補助金が途切れたために管理をすることができない状態になっている。とくに、サハ共和国はロシアの国土のたった 15%の面積でありながら非常に多くの野生トナカイを保持する野生トナカイ密集地であるため、野生トナカイ頭数の管理は急務である。

肉食獣も残念ながら上昇の傾向を見せている。サハ共和国はオオカミ狩猟に対して補助金を拠出しているものの、目立った効果がないことは第二章で引用した。牧畜民は屠殺外の飼育トナカイ減少を全て野生トナカイによる連れ去りに帰しているが、オオカミによる捕食も存在するだろう。狩猟に対する補助金政策が効を成していない現状において、有効なのはエサとなっている野生トナカイの頭数を管理することだろう。

従って、野生トナカイ頭数の管理が必要になってくるわけだが、これもトナカイ肉市場の発達→トナカイ肉価格の上昇 によって野生トナカイ狩猟のインセンティブを方向づけることができるだろう。

4.4 おわりに

これらの考察から、政策提言を行う。

まず、現状においてトナカイ牧畜の一人あたり収入が持続可能なレベルを割り込んで居るのは問題である。これを直接支払いの補助金で補充する。

次に、飼育トナカイ頭数はこれから幅を大きくしながら増減を繰り返していくことが予想され

るが、収入安定のためには飼育トナカイ頭数を安定させたい。この飼育トナカイ頭数の加速する増減現象は、野生トナカイ頭数が増減を繰り返していることが原因となっている。野生トナカイの増減によって飼育トナカイの連れ去りが増減し、飼育トナカイ頭数の動態に影響を及ぼしている。また、野生トナカイ頭数の増減はオオカミの増減さえ招いている。これらの状況を打破するために、政府が、野生トナカイ頭数が増加しすぎている時には減少させるインセンティブを、行き過ぎた減少には減少を阻止するインセンティブを適切な補助金などによって誘導することが考えられる。

野生トナカイ頭数が安定し、遅れて飼育トナカイ頭数が安定した状況になれば、直接支払いの補助金を取りやめてトナカイ肉市場を整備し、肉価格の上昇によって一人あたり収入を持続可能なレベルに保つ。補助金は財政に対する負担となるために、最終的には市場が解決する方策が良いと思われる。

参考文献

- 小玉 陽一 (1980) 『BASIC によるシステム・ダイナミックス』 共立出版。
- 高倉 浩樹 (2012) 『極北の牧畜民サハ』 昭和堂。
- ドネラ・H・メドウズ (1972) 『成長の限界——ローマ・クラブ「人類の危機」レポート——』 ダイアモンド社。
- 中田 篤 (2011) 「サハ共和国におけるトナカイ牧畜民と環境変化：トンゴ郡の事例より」『平成 23 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』 総合地球環境学研究所。
- 吉田 陸 (2010) 「サハ共和国北部におけるトナカイ飼育民と環境変化」『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』 総合地球環境学研究所、141-149 頁。
- David R. Klein and Martha Shulski. (2009) Lichen Recovery Following Heavy Grazing by Reindeer Delayed by Climate Warming, *A Journal of the Human Environment*. 38(1):11-16. 2009.
- Igor Krupnik. (2000) Reindeer pastoralism in modern Siberia: research and survival during the time of crash, *Polar Research*, Volume 19, Issue 1, pages 49–56, February 2000.
- John-Leo L. Jensletten, Konstantin Klokov. (2002) Sustainable Reindeer Husbandry Final Report.
- Polezer G. (1995) Devolution, Constitutional Development, and the Russian North.
- Takeshi Murota and Tamara V. Litvinenko, (2012) "Recent Emergence of Ancestral Commons in Southern Siberia: A Case Study of Reindeer Husbandry in Todzhinskii County, Tyva Republic", *経済学論叢* (同志社大学)、第 64 巻第 1 号、2012 年 7 月 20 日。
- V.M. Safronov. (1996) Wild reindeer of Yakutia, *Rangifer*, Vol 16, No 4 (1996).

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 —年輪同位体を用いた東シベリアタイガ林の古環境復元—

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。ヤクーツクにおいて採取したカラマツ年輪の幅と炭素同位体比を用いて過去 100 年間の土壤水分を復元した。加えて、年輪幅と炭素同位体比の関係は、乾燥により生長が制限される場合には負の相関を示すが、日射の不足など乾燥以外の原因で生長が制限される場合には負の相関が崩れると考えられる。そこで、復元した土壤水分の信頼性を評価する方法について検討し、1930 年以前に見られる低温な期間（曇天も伴ったと考えられる）に、炭素同位体比が乾燥以外の影響を受けた可能性のあることを明らかにし、土壤水分の推定値が過大評価となっている可能性があることを示した。

ヤクーツクでの年輪幅と炭素安定同位体比による土壤水分復元に加え、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、解析を進めた。ウスチマヤの年輪幅と炭素同位体比の過去 150 年間の解析を進め、降水量の異なるこれら 2 地点においてカラマツの環境に帯する応答を比較した。両地点とも乾燥はカラマツの生長を制限する要因であるが、より乾燥した気候帯にあるヤクーツクでは、夏の気温と生長量に負の相関が見られ、夏の高温が乾燥を促進し、生長を制限してきたが、比較的降水量の多いウスチマヤでは、過去においては夏の高温による生長の制限は顕著ではなかった。しかしながら、最近の 30 年を見るとヤクーツクだけではなく、ウスチマヤにおいても高温による乾燥ストレスが生長量を制限し始めている可能性がある。

また、ヤクーツクおよびチョクルダで採取したカラマツ枯死木の解析も進めており、枯死にいたったストレスの履歴を明らかにする予定である。東シベリアでは気温上昇に加えて、永久凍土システムの攪乱による土壤水分の変化、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いると考えられる。復元した土壤水分の変化とカラマツの炭素取り込み量の変化をストレスの履歴とあわせて解析していく予定である。

樹木年輪を用いた東シベリアタイガ林の 過去 100 年間の土壌水分量復元

杉本 敦子 北海道大学 大学院地球環境科学研究院
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

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、北半球高緯度域において、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 (D'Arrigo et al., 2008)、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。しかしながら、東シベリアでの土壌水分観測は良く整備されているとは言えず、20 年以上の観測記録を持つ観測サイトはほぼ存在しない。従って、東シベリアタイガ林の水・炭素循環をより正確に把握するためには、プロキシーを用いたより長期的な過去の土壌水分環境の復元が必要である。

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観測データがそろった約 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。

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)において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

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。

樹木年輪 $\delta^{13}\text{C}$ から過去 100 年間の土壤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($\delta^{13}\text{C}$, 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. (2004)、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、土壤水分量の 2 つのデータを使用している。降水量データは、CRU のグリッドデータ (1908-1949) (Hulme et al., 1998)、及び BMDS (Baseline Meteorological Data in Siberia Version 5.0) (Yabuki et al., 2011)のステーションデータ (1950-2008)を用いた。

土壤水分量は、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壤水分は、測定深度が、0-15, 15-30, 30-60, 60-90, 90-120cm の 5 深度である。TDR の観測結果から土壤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：年輪 $\delta^{13}\text{C}$ を用いた過去100年間の土壤水分量復元

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)の土壤水分量と負の相関を示した($r=-0.81$, $p<0.01$; $r=-0.81$, $p<0.01$)。従って、過去の土壤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た。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 $\delta^{13}\text{C}$ 値は夏後半の土壤水分量と非常に高い負の相関を示した($r=-0.90$, $p<0.01$)。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。

$$SWE_{0-60cm} = (-62.0) \times (\delta^{13}C_{tree-ring}) + (-1307.8)$$

ここで、 SWE_{0-60cm} 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)、 $\delta^{13}C_{tree-ring}$ はある年の晩材と翌年の早材の組み合わせから求めた1年輪の $\delta^{13}C$ 値である。年輪 $\delta^{13}C$ 値と観測土壤水分量との校正期間は10年間(1998-2007)と長くはないが、年輪 $\delta^{13}C$ 値から復元した土壤水分量の変動と同サイトの1次元陸面過程モデル(2LM; Yamazaki et al., 2007)による土壤水分量計算結果(1966-2007)が良い一致を示したことから($r=0.55$; $P<0.001$)、本研究の復元値は妥当なものであると判断された。

年輪 $\delta^{13}C$ 値から復元した過去100年間の土壤水分量は年積算降水量(前年8月~当年7月)($r=0.44$; $P<0.01$)、及び7月のPalmer Drought Severity Index (PDSI)($r=0.37$; $P<0.01$)とも良い変動の一致を示した(図1)。復元土壤水分量と前年8月から当年7月の期間で計算された積算降水量との良い相関関係は、土壤水分量が当年の夏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ることを示している。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; Ohta et al., 2008)。

然しながら、より詳細に復元土壤水分量と年積算降水量の変動を見ていくと、1920-1930年の期間に両者に乖離が生じていることが分かる(図1aの点線で囲まれた期間)。すなわち、その期間は降水量が少ないにもかかわらず、復元土壤水分量は過去100年間の平均値よりも高く見積もられた。

この期間の年輪 $\delta^{13}C$ の土壤水分プロキシとしての性能を評価するために、過去100年間の年輪幅と $\delta^{13}C$ の関係性を調べた(図2b)。すなわち、年輪幅と年輪 $\delta^{13}C$ の回帰直線式を求め(年輪 $\delta^{13}C = -1.06 \times$ 年輪幅 -22.15 , $r^2 = 0.24$)、年輪 $\delta^{13}C$ の回帰直線式からの推定値と実測値のZ scoreの差($Z_{\delta^{13}C-rw}$)を以下の式から求めた。

$$Z_{\delta^{13}C-rw} = (\delta^{13}C_{rw} - \overline{\delta^{13}C_{rw}}) / SD_{rw} - (\delta^{13}C_{ob} - \overline{\delta^{13}C_{ob}}) / SD_{ob}$$

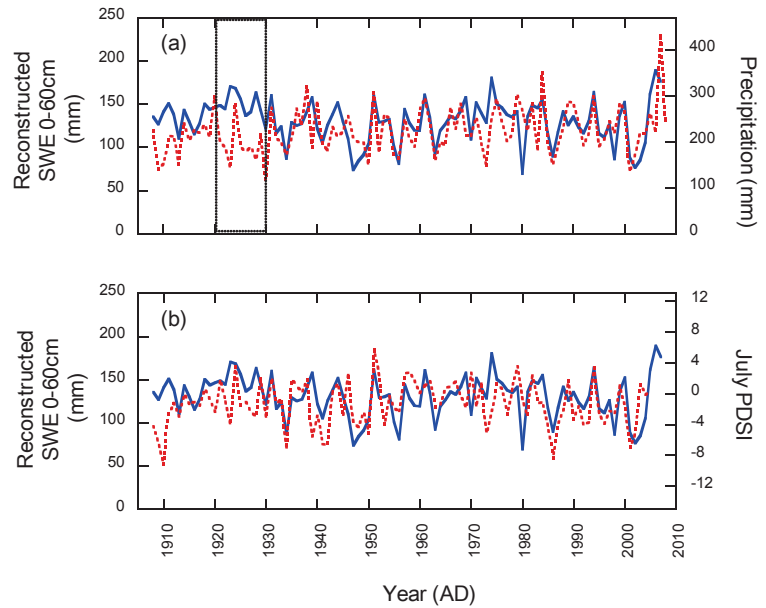


図1: 年輪 $\delta^{13}C$ から復元した土壤水分量(実線)と年積算降水量(破線)(a)、7月のPDSI(破線)(b)

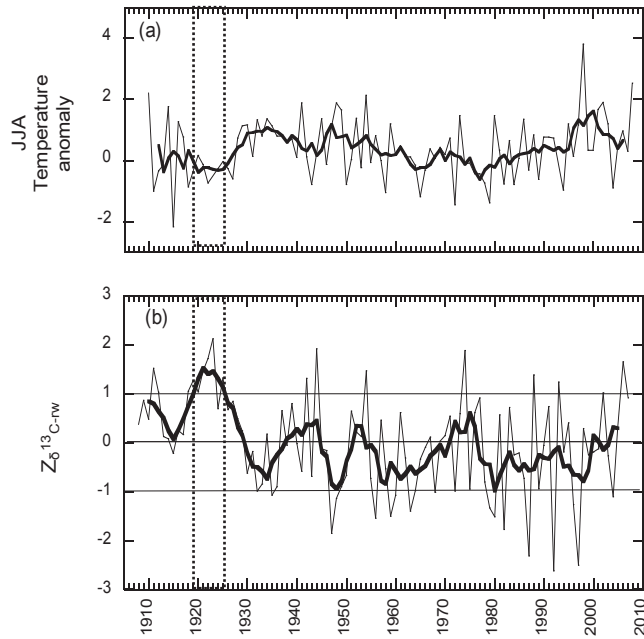


図2: 夏季(6-8月)の気温偏差とその11年移動平均(a)、年輪幅から推定した年輪 $\delta^{13}C$ と実測値のZ scoreの差、及びその5年移動平均(詳細はテキストを参照)(b)

ここで、 $\delta^{13}C_{rw}$ と $\delta^{13}C_{ob}$ は、それぞれ、年輪 $\delta^{13}C$ の推定値と実測値であり、上付きバーは解析期間 (1908-2007) の平均値を示す。SD_{rw}とSD_{ob}はそれぞれ、 $\delta^{13}C_{rw}$ 、 $\delta^{13}C_{ob}$ の標準偏差である。

樹木成長量が水分環境により規定されている時には、年輪幅と $\delta^{13}C$ は負の相関を示すことが期待される(Kagawa et al., 2003)。図2bにおいて、 $Z_{\delta^{13}C-rw}$ が0から離れるほど、年輪幅と $\delta^{13}C$ の負の相関関係が崩れていることを示している。特に、1919-1925年の期間(図2の点線で囲まれた期間)は、 $Z_{\delta^{13}C-rw}$ の5年移動平均値が連続して1(1標準偏差)を超えており、そのかけ離れが顕著であることが分かる。

すなわち、1919-1925年の期間は、相対的

に年輪幅が狭く、 $\delta^{13}C$ が低かったことを示しており、低温及び低日射量により樹木の光合成速度が低下している時に、この関係性が期待される。1919-1925年の期間は、夏期(6-8月)に低温である年が連続して続いた期間であり(図2a)、低温及び低日射量による光合成速度の低下が起こっていた可能性は十分に考えられる。

1900年代前半は降水量の観測データにも大きな不確実性が存在し、復元土壌水分量と降水量との1920-1930年の乖離について正確に言及することは難しい。しかしながら、年輪幅と $\delta^{13}C$ 値との関係性から、1919-1925年の期間は、年輪 $\delta^{13}C$ の水分環境プロキシとして性能が他の期間と比較して劣っており、土壌水分量が過大評価されている可能性がある。

本研究では、1919-1925年の6年間を除く過去94年間において信頼性の高い土壌水分量を復元し、過去14年間の観測記録を約7倍の長さに延長した。復元した土壌水分量を基に、長期的な観点から本サイトで観測された最近の土壌水分量変動を見ると、2002-2003年の乾燥イベントは過去100年間で最大規模であったが、同程度のイベントが1940年代後半にも起きていたこと、及び2006-2007年の湿潤イベントは過去100年間で際立ったものであったことが明らかになった。

4 まとめ

東シベリア中央部に位置するヤクーツク(62N, 129E)において、カラマツ年輪 $\delta^{13}C$ から過去100年間の土壌水分量を推定し、2002-2003年の乾燥イベントは過去100年間で最大規模であったが、同程度のイベントが1940年代後半にも起きていたこと、及び2006-2007年の湿潤イベントは過去100年間で際立ったものであったことが明らかになった。

年輪幅と $\delta^{13}\text{C}$ の関係性を調べることで、過去100年間の復元値の信頼性を評価し、1919-1925年の期間は低温及び低日射量によるカラマツの光合成速度低下の影響が年輪 $\delta^{13}\text{C}$ に現れており、土壤水分量が過大評価されている可能性が示された。この結果が示すように、年輪幅と年輪 $\delta^{13}\text{C}$ の関係性から年輪パラメータの古環境プロキシ性能を過去に遡って評価することが可能であれば、過去の気象データが存在しない期間に関しても、復元値の評価が可能であり、年輪古気候学のさらなる発展にも大きく貢献することができる。このことに関しては、今後、より詳細に解析を進めていく予定である。

5 今後の予定

年輪 $\delta^{13}\text{C}$ から復元した過去100年間の土壤水分量をArctic Oscillation (AO)やNorthern hemisphere Annular Mode (NAM)といった気候パラメータと比較し、それらの関係性を明らかにすることで、気候学的な観点から土壤水分量の変動を評価したいと考えている。さらには、復元土壤水分量と現生木及び枯死木の年輪幅データ、及び枯死木の年輪 $\delta^{13}\text{C}$ 値との比較・解析を行い、カラマツの炭素固定能及び枯死イベントと土壤水分環境との関係性、特に年輪解析から過去100年間で最大規模と見積もられた2006-2007年の湿潤イベントがカラマツの炭素固定能、及び枯死イベントへ与えた影響を評価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.
- D'Arrigo, R., Wilson, B., Liepert, B., and P. Cherubini (2008), On the 'Divergence Problem' in Northern Forests: A review of the tree-ring evidence and possible causes, *Global and Planetary Change*, **60**, 289-305.
- Hulme, M., T. J. Osborn, and T. C. Johns (1998), Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM2 simulations, *Geophys. Res. Letts.*, **25**, 3379-3382.
- 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
- 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.
- Sugimoto, A., Naito, D., Yanagisawa, N., Ichiyanagi, 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.
- 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.
- 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.

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。今年度は、①、③について内容を報告する。

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(SPA)においては 15 年間の水・炭素収支のデータがそろえられている。SPA における水・炭素収支に関しては、水収支量が 2007 年から土壌水分－蒸発散量関係の低下が認められてきており、炭素収支量に関しては 2008 年から土壌水分－光合成の関係の低下が認められた。これらの変化は、上層木（カラマツ）での低下が顕著である一方で、下層植生では蒸発散量、光合成量ともにやや増加した事による。なお、低下時期に 1 年の time lag がある点に関しては、まだ考慮中である。また、SPA と Elgeei(ELG)の 2009-2012 年における比較では、蒸発散量は SPA と ELG の間で差は小さいのに対して、純一次生産量は SPA よりも ELG の方が大きくなっている。これは、群落の光合成量が、葉量、特に上層木の葉量に支配されているためと考えられる。2 サイト間での個葉光合成の光応答を比較すると、カラマツの応答曲線では違いが見られず、カンバの応答曲線では弱光条件で ELG での光合成が大きかった。群落光合成の光応答を比較すると、SPA では弱光での初期勾配が大きく強光条件で飽和をする“カンバ型”の応答曲線であり、ELG では弱光での初期勾配が小さく強光条件で飽和をしない“カラマツ型”の応答曲線であった。この違いは、群落の樹種構成、樹冠構造の違いにより、樹種ごとの光合成への寄与度が違うことによると考えられる。

上記③については、東シベリア・レナ河上流の 4 つのサブ流域で得られた 1950 年から 2008 年までの流量データを用い、夏季の基底流量変化を凍土の融解凍結に伴う活動層深さの変化と関係づけ、永久凍土の融解速度をサブ流域スケールで推定した。解析の結果、対象とした全期間の平均的傾向として、レナ河上流域の不連続永久凍土域で年間 0.3cm から 1cm の割合で、アルダン川上流の連続永久凍土域でその半分程度の割合で、それぞれ活動層が深くなり、凍土が融解していると判断された。解析期間を約 20 年間ごとに区切った場合、1950 年から 1970 年にかけては活動層が浅くなっていたが、後半の 1990 年代以降は、年間 2cm あるいはそれ以上の割合で活動層が深くなり、凍土が急激に融解していることがわかった。

3 今後の予定と課題

①に関しては、SPA と ELG 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 SPA と ELG 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。そして、東シベリア中流部における森林生態系の変化、特に湿潤化と水・炭素・エネルギー循環の特性が明らかになることが期待される。

③に関しては、レナ河上流の4カ所について活動層厚と河川流量に明確な関係が見られ、特にここ20年にわたっては活動層が急激に融解していることが認められた。このように、流出量などのような長期データを扱うことによって、より長期の環境データが構築されていくと期待される。

しかし、凍土層の融解に関しては、①、③の結果を比較すると、①ではYKS周辺における2005年以降の降水量の変動が原因になっているが、③における原因に関しては1990年からの連続的な凍土層の融解としている。両者には場所による違いはあるが、この点に関する議論が必要となろう。

②に関しては、本年度はまとめられなかったが、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。

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 名古屋大学大学院 生命農学研究科
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 (Ohta et al., 2008)。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、地温の上昇と土壤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本の枯死木が見つかり、さらに2012年現在では34本が枯死または未着葉である (Ito et al., 2012)。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 (Ito et al., 2012)。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、環境変化が起きていない森林との比較を通して、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。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 (SP) 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 Elgecii (EG) 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。Elgecii 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。カラマツに次ぐ第二樹種は SP ではカンバ、EG ではヤナギである。2009-10 年の調査によると、カラマツの立木密度は SP で 700 本/ha、EG で 1040 本/ha、1.2m 以上のヤナギとカンバ等も含めると SP で 1800 本/ha、EG で 2600 本/ha である。林冠を形成するカラマツの樹

高は SP で約 20m、EG で約 25m である。群落の Plant area index (植物体面積指数) は、SP で 1.4、EG で 2.1、林床植生 (30cm 以下) の Leaf area index (葉面積指数) は SP で 1.5、EG で 0.8 であった。群落 PAI は各サイトの観測タワー周辺 8 点での Plant canopy analyzer を用いた計測値の平均、林床 LAI は各サイトで 5-8 点の 50×50cm の区画を設定し、区画内の植物を刈り取って面積を測定し、全区画の平均である。

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、地中熱流量。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 6-7 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 月と 2012 年 6 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。

3 結果・考察

3.1 Spasskaya Pad での水・炭素循環の長期変動

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 (図 1、2)。とくに 2007-8 年の 7 月において、蒸発散量の低下がみられた (図 3)。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 1998 年から 2006 年までは土壌水分と正相関があったが、2007-8 年は土壌水分が 2005-6 年と同程度にもかかわらず、蒸発散係数が低下した (図 4)。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 (図 5)。そして光合成量と土壌水分の関係は 2008 年からそれ以前の関係と異なるものになった (図 6)。このように、蒸発散量と土壌水分の関係と、光合成量と土壌水分の関係の変化には 1 年のタイムラグがみられた。

蒸発散量と光合成量ともに全生態系の交換量の変動に比べて、下層・林床における変動は小さく (図 1、2)、全生態系の変動は、おもに上・中層の影響と考えられる。Iijima et al. (2012) の観測によると、タワープロット内のカラマツのうち、葉の変色や未着葉がみられる個体の蒸散量が、健全な個体の蒸散量と比較して低下しており、ダメージを受けたカラマツの蒸発能力の低下を示している。過剰な土壌水分が土壌中の通気性低下 (Iwasaki et al., 2010) を通して、カラマツ根の吸水機能を低下させて気孔閉鎖を引き起こし、蒸散量と光合成を低下させると考えられる。カラマツは乾燥に強いが湿潤には弱い樹種であること (Miyahara et al. 2004) から影響が出やすいと考えられる。一方で、観測サイト周辺の下層植生は 2005-6 年まで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。2012 年夏季でタワー周辺の 50×50m プロットで 15% (33 本) のカラマツが未着葉あるいは枯死しており、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が原因のひとつと考えられる。

光合成量が蒸発散量よりも顕著な低下をみせたことの理由のひとつは、全生態系の交換量にしめる下層・林床の寄与の違いであると考えられる。Spasskaya Pad における全生態系に占める下層・林床の比率は光合成量では 20-30%、蒸発散量では 50-60% であり、光合成量と比べて蒸発散量の下層植生による寄与が大きい。このた

め、下層では光合成量、蒸発散量ともに 2005 年以降は漸増傾向にあるが、上層の光合成量の低下は全生態系の光合成量の低下として現われるが、蒸発散量については下層蒸発散量がカラマツ蒸発量の低下を補い、全生態系の蒸発散量は低下していないと考えられる。また、光合成と蒸発散の比である水利用効率は、2005 年以降は減少し続けており（2007 年だけ一時的に増加）、森林生態系の水・炭素交換のバランスが変化していることを示している。

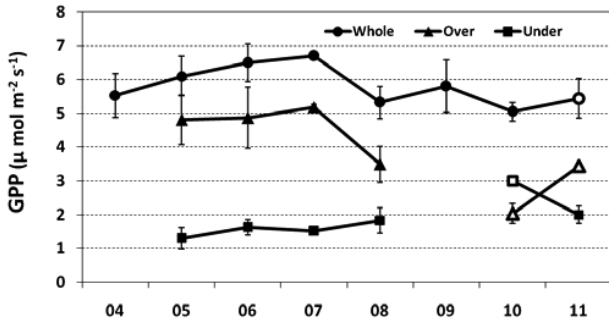


図1 群落光合成量 (GPP) の年変化 (6-8 月平均値)
●全生態系 ▲上層植生 ■林床+下層植生

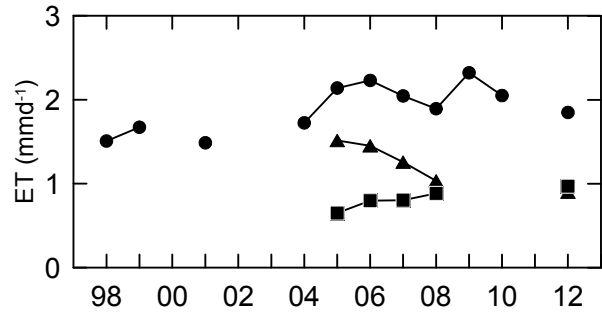


図2 群落蒸発散量 (潜熱) の年変化 (6-8 月平均値)
●全生態系 ▲上層植生 ■林床+下層植生

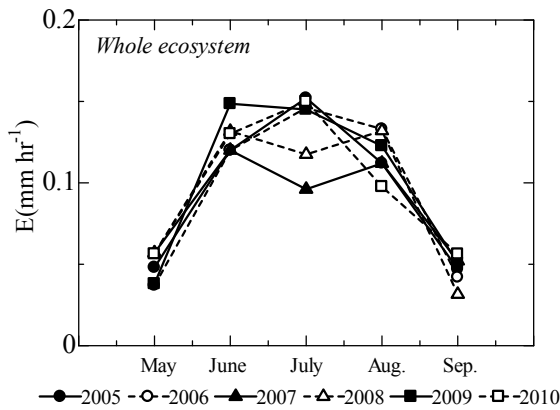


図3 全生態系からの蒸発散量 (月平均値)

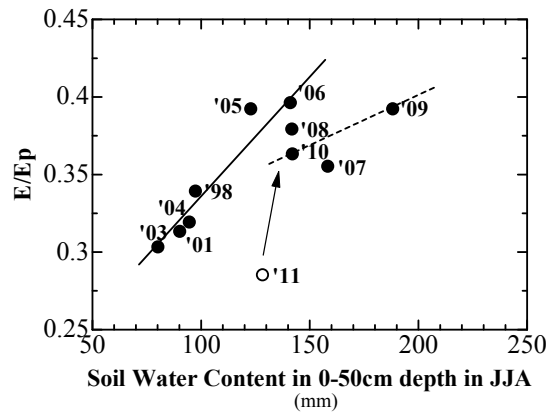


図4 表層 0-50cm の土壌水分量と蒸発散係数の関係 (6-8 月平均値) 2011 年は 7-8 月。

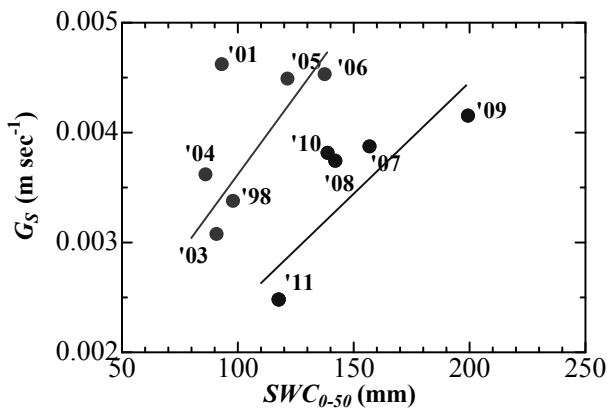


図5 表層 0-50cm の土壌水分量と蒸発散係数の関係 (6-8 月平均値) 2011 年は 7-8 月の関係

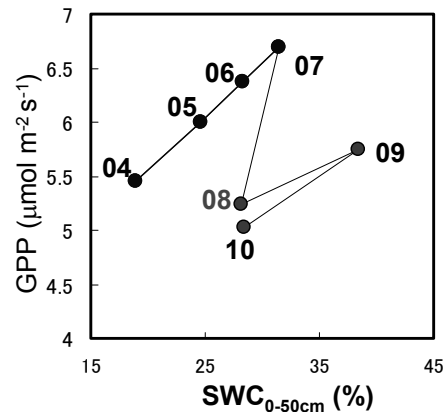


図6 表層 0-50cm の土壌水分量と光合成量 (GPP) の関係 (6-8 月平均値)

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

2010-11年の夏季の全生態系の光合成量はEGのほうが大きく、蒸発散量では2サイトの違いが小さかった(図7)。その原因として、気象条件、土壌水分条件、植物の活性度の違いが考えられるが、気象条件の違いは小さく(図7) 光合成量の違いの主要因は植物量の違い(EGではSPの約1.5のPAI)であった。

光合成量の気象条件との関係を比較すると、EGでは高温乾燥条件において光合成量が低下したが、SPではその傾向はみられなかった(図8a,8b)。SPでは強光条件では光合成量が飽和するのに対して、EG(とくに6月)では光飽和せずに光合成が増加した(図9)。これらの群落の主要樹種であるカラマツとカンバの個葉レベルの光合成光応答曲線を比較すると、カンバは光合成有効放射量が約 $500\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で光合成量がほぼ一定となったが、カラマツは光合成量の光飽和が明確ではなかった。このようなカラマツとカンバの特徴は中央シベリアのカラマツでも観測されている(Koike et al., 2010)。また、それぞれの樹種ごとに2サイト間で比較すると、カンバではEGではSPと比べて弱光条件での光合成応答が大きく、カラマツではその違いは小さかった。このことより、EGではSPと比較してカラマツによる CO_2 吸収の寄与が大きいと考えられる。2サイトとも上層樹冠はカラマツにより構成されているが、SPではカラマツの樹木密度は小さく、またその一部(33本、プロット中15%)が枯死・未着葉であることからカラマツの寄与が相対的に小さくなる可能性がある。2サイトの林内の光環境を比較するとSPではEGよりも樹冠透過日射量が多いことから、SPでは中・下層のカンバの活性が高くなることが考えられる。

光合成量に2サイト間での違いが見られたのと対照的に、蒸発散量の違いは小さかった。観測期間における2サイトでの夏季降水量の違いが小さかったことがその主な原因であると考えられるが、林床蒸発が全生態系蒸発散量に占める割合がSPでは50-60%であるのに対してEGでは20-40%であり、光合成量と蒸散量が比例関係にあると仮定すると、樹木の蒸散量の違いを林床蒸発が補って水収支の地域間差を小さくしたと考えられる。

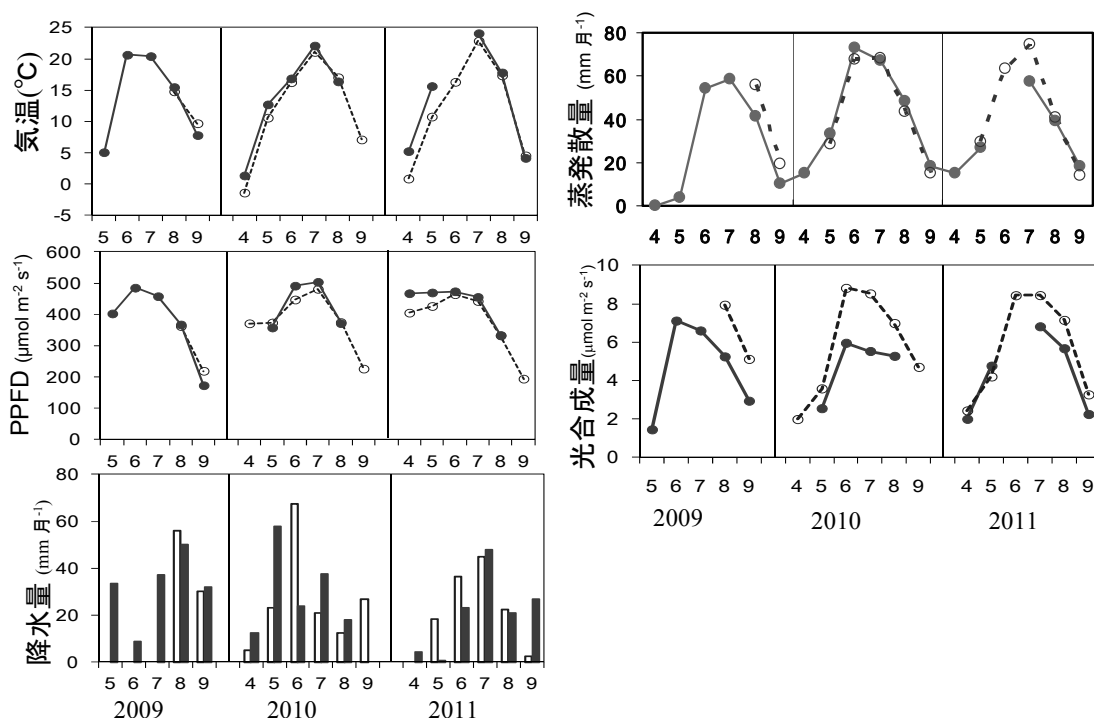


図7 気温、PPFD、降水量、蒸発散量、光合成量の季節変化(降水量と蒸発散量は月積算値、他は月平均値) 黒色はSP、白色はEGの測定値を示す。

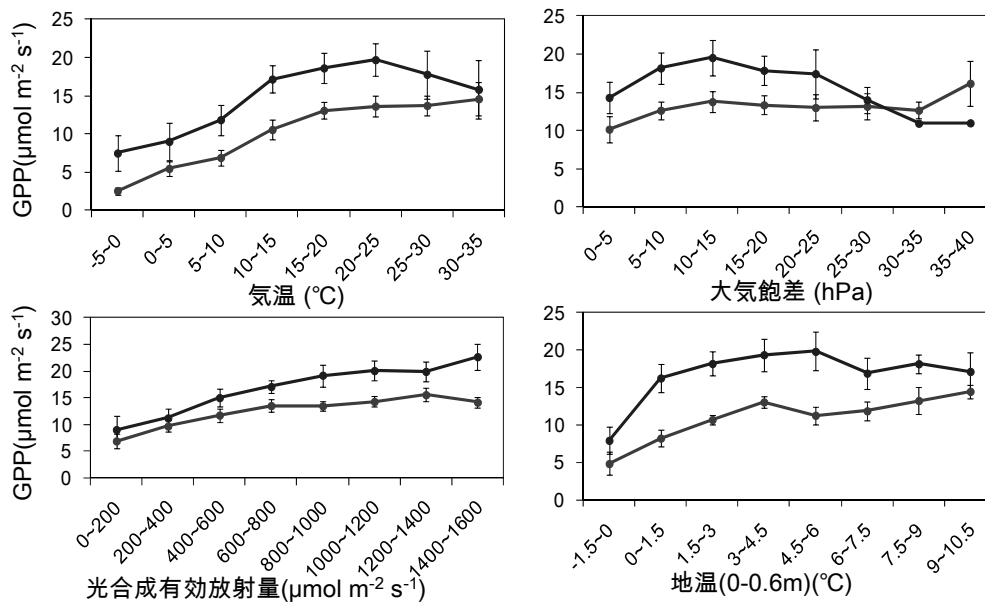


図8 光合成量と気温、大気飽差、光合成有効放射量、地温との関係。GPPと各環境要素の30分値を用いた散布図のGPP上位5%を各環境要素について区間平均したもの。黒色はEG、灰色はSPでの測定値、エラーバーは標準偏差を示す。

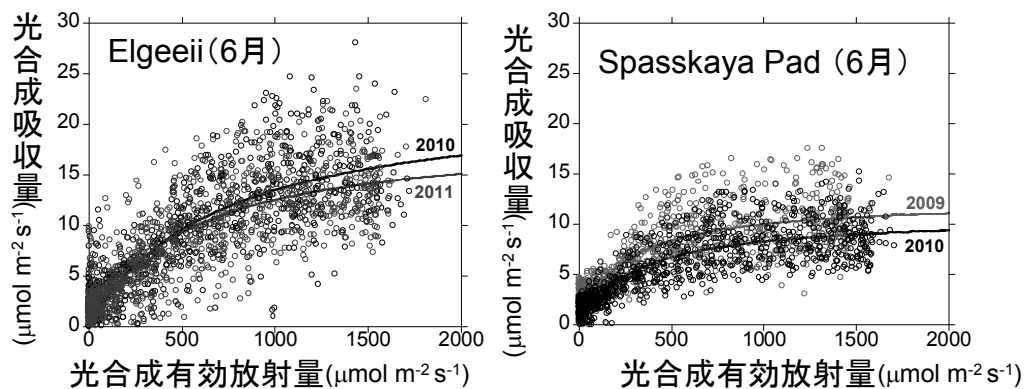


図9 光合成量と光合成有効放射量との関係(30分値)プロットの色の違いは年の違いを表す。

4 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、土壌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降水や土壌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。Spasskaya Pad では、土壌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低下はみられず、とくに下層植生の寄与の大きい蒸発散量については、全生態系の交換量が維持された。Elgeei と Spasskaya Pad の比較では、群落構造の違い(群落内の樹種の空間分布や)により、全生態系光合成の環境応答に違いが現われることが示唆された。

このように、環境応答は樹種や群落内の空間構造によって現われ方が異なり、全生態系の交換量に影響を及ぼすことを考慮して、環境変動に対する森林応答を考える必要がある。これらの知見をまとめて、今後の本地域での森林生態系がどのように環境応答していくのかを明らかにしていきたい。

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.
- Iijima, Y., Fedorov, A.N., Ohta, T., Kotani, A., Maximov, T.C., 2012: Recent hydrological and ecological changes in relation to permafrost degradation under increased precipitation in eastern Siberian boreal forest. *Proc. the Tenth Int. Conf. on Permafrost*, 161-166.
- Ito, S., Ohta, T., Kotani, A., Maximov, T.C., Kononov, A.V., and Maximov, A.P., 2012. Variability analysis of evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 11-year period (1998-2011). *Proc. the 1st Int. Conf. on Global Warming and the Human-Nature Dimension in Siberia*, 144-147.
- Iwasaki, H., Saito, H., Kuwao, T., Maximov, T. C., and Hasegawa, S., 2010. Forest decline caused by high soil water conditions in a permafrost region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 301-307.
- Koike, T., Mori, S., Zyryanova, O.A., Kajimoto, T., Matsuura, Y., and Abaimov, A.P., 2010: Photosynthetic characteristics of trees and shrubs growing on the north- and south-facing slopes in central Siberia. Osawa, A., et al., ed.: *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forest*. *Ecol. studies*. Springer, vol. 209, 273-287.
- Miyahara, M., Takenaka, C., Kuwada, T., Ohta, T., and Maximov, T.C., 2004: How much does cowberry transpiration contribute to evapotranspiration in larch forest? *Proc. Int. Semi-open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia"*, 99-102.
- 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., 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). *Agric. For. Meteorol.*, 148, 1941–1953.
- 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., Razuvaev, V. N., Bulygina, O. N., and Ohata, T., 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.

東シベリア・レナ川の夏季日流量から算出した 年最大融解深 (AMTD) の変化傾向

檜山 哲哉

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

Wilfried BRUTSAERT 米国 コーネル大学

1 はじめに

北半球高緯度域は地球温暖化の影響を最も受けやすいと予測されており (例えば IPCC, 2007)、全球平均の気温上昇率よりも高い気温上昇率が観測されている (Serreze et al., 2000; Hinzman et al., 2005)。温暖化は永久凍土域の地温上昇にも影響を及ぼし (例えば Romanovsky et al., 2002)、活動層の深さ (厚さ) と年最大融解深 (annual maximum thawing depth; AMTD) を変化させる。本プロジェクトが主対象とするレナ川中流域・ヤクーツク近郊のフラックスモニタリングサイト (Spasskaya Pad) では、2005 年~2008 年の降水量増加に起因した AMTD の増加 (深化) が観測されている (Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2010)。しかしながら、このような観測は「点」で行われ、観測点が不十分であり長期観測が行われてこなかったこと等により、50 年~100 年規模での AMTD の変化傾向を「面」で把握することは大変難しい状況である。

そこで我々は、河川流域スケールの AMTD の長期変化傾向を、夏季河川流量 (夏季日流量) の長期観測データを用いて、基底流量解析により推定することを試みた。本研究は、従来の研究では非凍結河川流域に適用されてきた基底流量解析 (Brutsaert, 2008; 2010; 2012) を永久凍土帯の温暖季の河川流域に適用することで、非凍結地下水の帯水層厚を活動層厚に見立て、その経年変化傾向を調べることを目的とした。なお、本研究成果はすでに AGU (American Geophysical Union) 発行の JGR (Journal of Geophysical Research) 誌に掲載済み (Brutsaert and Hiyama, 2012) である。本報告はその重要なポイントを和訳したものである。

2 研究方法

2.1 解析方法

2.1.1 基底流量解析

浅層地下水の帯水層 (本研究では活動層) への降水起源の水の流入が無い場合、すなわち無降雨期間における河川流量は、基底流量 (base flow) あるいは低流量 (low flow) に向かって指数関数的に減衰 (または減水) していく。そのような場合の河川流量は次式で表現できる。

$$y = y_0 \exp(-t/K) \quad (1)$$

ここで、 y は流量を流域面積で除した値 (比流量)、 y_0 は任意の時刻 $t = 0$ における比流量、 K は流域の貯留遅れを表す係数 (貯留係数、あるいは減水係数の逆数) である。無降雨継続期間中に基底流出として徐々に河川に流れ出る陸水貯留量 (S) は、

$$S = Ky \quad (2)$$

で表現できる。陸水貯留量 S は、不透水層 (帯水層の下端となる基盤: 本研究の場合、活動層下

端、あるいは永久凍土上端) 上の帯水層 (活動層) の厚さ (η_0) に依存し、以下の式で表現できる。

$$\eta_0 = S/n_e \quad (3)$$

ここで n_e は排水可能間隙率 (有効間隙率、あるいは比産出率) である。

活動層を構成する土壌の透水係数 (hydraulic conductivity)、排水可能間隙率、そして流域の平均的な流路密度 (drainage density) が融解深の時間変化に影響されないと仮定できる場合、活動層の厚さ (あるいは AMTD) の時間変化は以下の(4)式と(5)式で表現できる。

$$\frac{d\eta_0}{dt} = \frac{\eta_{0r}}{2y_r} \frac{dy}{dt} \quad (4)$$

ここで、 η_{0r} はその流域の AMTD の代表値、 y_r は AMTD が得られる時期 (晩夏～初秋) の河川流量 (基底流量) である。対象とする流域の貯留係数 K と有効間隙率 n_e が得られる場合、次式により AMTD の時間変化が計算できる。

$$\frac{d\eta_0}{dt} = \frac{K}{2n_e} \frac{dy}{dt} \quad (5)$$

上記(4)式と(5)式は、基底流量の時間変化 (dy/dt) から AMTD の時間変化 ($d\eta_0/dt$) を求めた。(2)式からも明らかなように、比流量 y と貯留係数 K はある定常的な陸水貯留量に対して逆比例の関係にあるので、貯留係数の時間変化 (dK/dt) で説明しようとするれば、(4)式は次式で表現できる。

$$\frac{d\eta_0}{dt} = -\frac{\eta_{0r}}{K_r} \frac{dK}{dt} \quad (6)$$

ここで K_r は、その流域の AMTD が得られる時期の貯留係数の代表値である。

2.1.2 流域水収支解析

永久凍土域における陸域水収支は、非凍土域における流域水収支に、永久凍土上端における融解水 (あるいは凍結水) を加味したものとなり、以下のように表現できる。

$$P - E - R + T = n_e \frac{d\eta_0}{dt} \quad (7)$$

ここで P は対象とする流域内の降水量、同じく E は蒸発散量、 R はその流域からの河川流出量、 T は凍土上端で生じる融解水量 (あるいは凍結水量) である。非凍土域で陸水貯留量変動が無い場合、 $P - E = R$ となる。凍土域では、融解水量 (あるいは凍結水量) T があり、それは AMTD の時間変化から派生する。

陸域水収支を定量評価する場合、河川流出量の観測値により R が、大気水収支法により正味降水量 ($P - E$) が得られる (大島, 2012 の報告を参照)。大気再解析データの質の問題は残されているものの、 $P - E - R$ の経年変化傾向を調べれば、(7)式により融解水量 (あるいは凍結水量) T の経年変化傾向を評価する一助となる。そこで本研究では、我が国の再解析データ (JRA-25; Onogi et al., 2007) を用いて大気水収支法により計算された 1979 年～2008 年の正味降水量 ($P - E$) を、河川流出量の観測値 R と比較することにより (Oshima and Hiyama, 2012)、基底流量解析で得られた凍土融解 (凍結) 量の妥当性を検討した。

2.2 研究対象流域

対象とした河川流域は、レナ川の上中流域を構成する4つの支流流域である(表1)。4支流流域とも流域人口は少なく、取水などによる直接的な人間活動の影響は限りなく無視できる。それらの流域面積は $115 \times 10^3 \text{ km}^2 \sim 770 \times 10^3 \text{ km}^2$ であり、従来、上述の基底流量解析が適用されてきた流域面積 ($1 \sim 100 \times 10^3 \text{ km}^2$) に比べ約1オーダー大きい。それにも関わらず基底流量解析が適用できる理由は、温帯域や熱帯域に比べ、夏季であっても比較的降水量が少ないこと、そして活動層を構成する土壌の透水係数と流路密度の積が、従来の研究で対象とされた流域と大きく異ならず、自己相似性を有するからである(詳細は Brutsaert and Hiyama, 2012 を参照)。

4支流流域には永久凍土が存在する。西側2流域(Upper Lena と Olyokma)の凍土面積比率は約70%、東側2流域(Aldan-1 および Aldan-2)のそれは約92%である(Ye et al., 2009)。なお、Olyokma (O) は Upper Lena (UL) の一部、Aldan-1 (A1) は Aldan-2 (A2) の一部となっている。

表1 研究対象流域

	Upper Lena (UL)	Olyokma (O)	Aldan-1 (A1)	Aldan-2 (A2)
流量観測点	Solyanka	Kudu-Kel	Ochotski Perevoz	Verkhoyanski Perevoz
観測点コード	3036	3169	3225	3229
流域面積(km ²)	770,000	115,000	514,000	696,000
緯度	60.483° N	59.367° N	61.867° N	63.317° N
経度	120.700° E	121.317° E	135.500° E	132.017° E

2.3 使用データ

本研究では、表1に示した河川流量観測点で得られた1950年から2008年までの日流量データを使用した。このうち1950年から2003年までのデータは、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の地球環境変動領域(RIGC)で収集されたデータを、総合地球環境学研究所(RIHN)との共同研究契約に基づき使用した。2000年から2008年までのデータについては、米国 New Hampshire 大学が web で公開している R-Arctic Net (<http://rims.unh.edu/data/station/list.cgi?col=1>、あるいは、<http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>) も併せて使用した。

また前述したように、レナ川流域の正味降水量(P-E)を求めるために、我が国の再解析データ(JRA-25; Onogi et al., 2007)を用いた大気水収支解析(Oshima and Hiyama, 2012)の結果を参照した。

3 結果

3.1 基底流量と貯留係数の経年変動

一般に、日流量データには測定誤差が含まれる可能性が高く、(4)式と(5)式によるAMTDの時間変化(計算値)に影響が出ることが考えられる。そこで本研究では、基底流量として日流量の5日移動平均値(y_{L5})を用いた。図1に、流域A2で得られた y_{L5} の経年変動を示す。

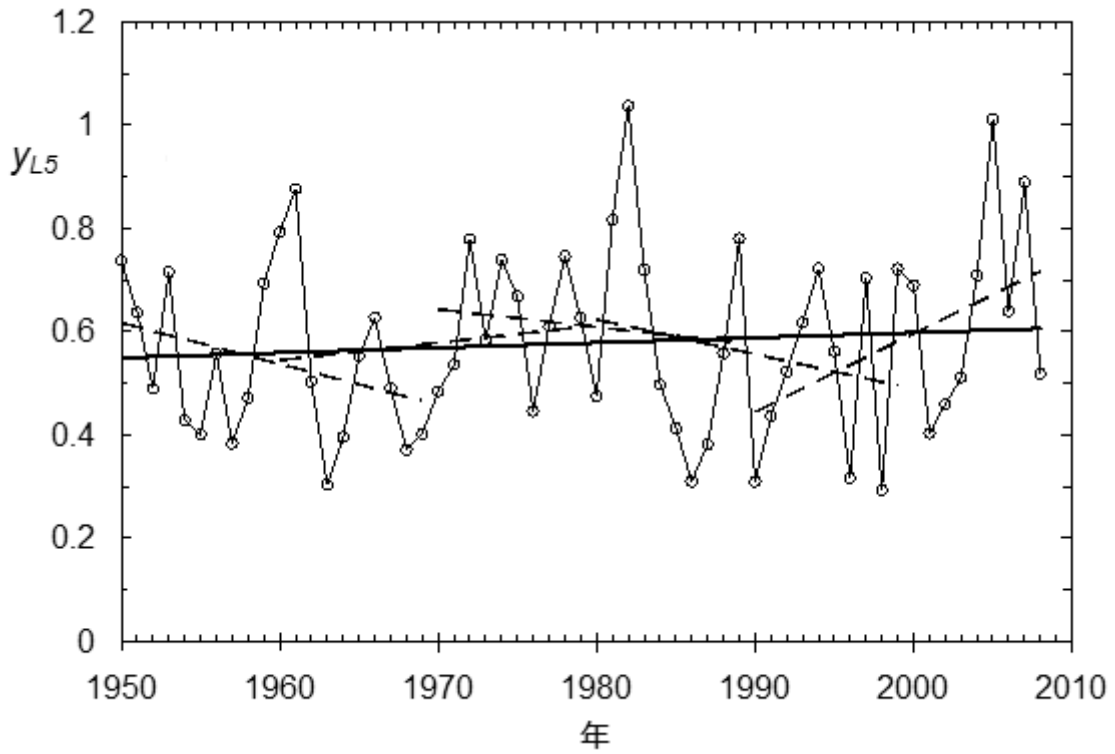


図1 レナ川の支流・アルダン川における夏季の基底流量 (5日移動平均での日流量 y_{L5} : mm day^{-1}) の経年変動 (Brutsaert and Hiyama, 2012 の Figure 2 を修正)。

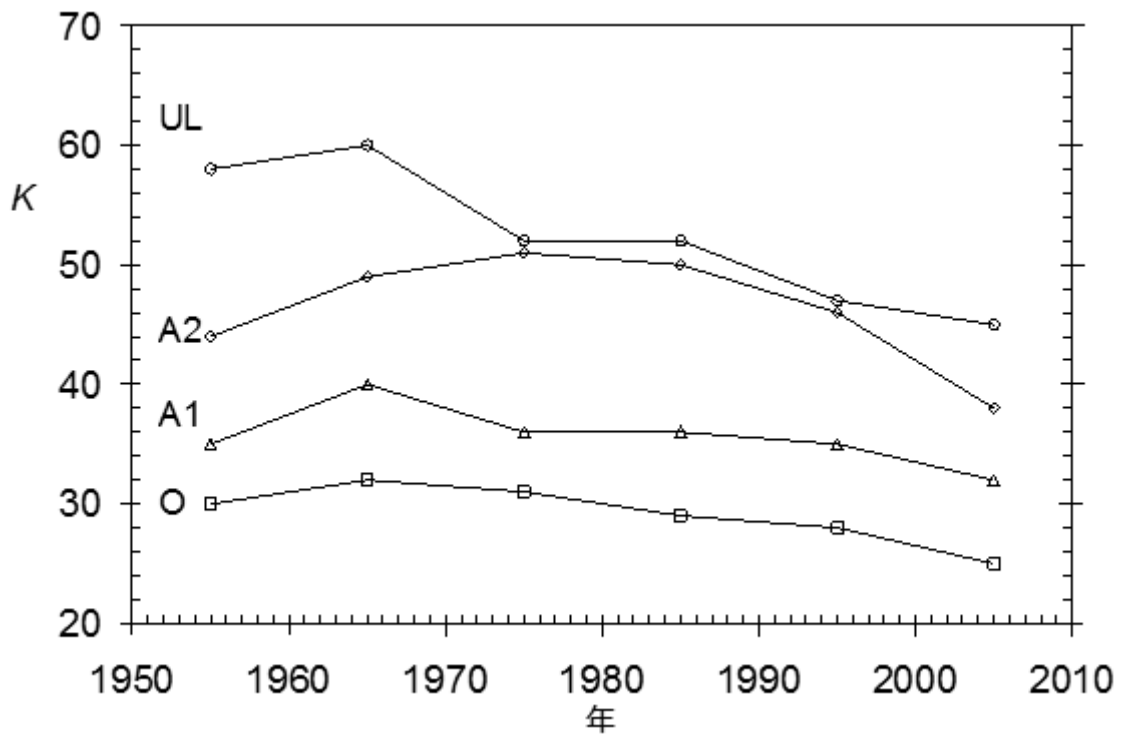


図2 レナ川・4支流域の貯留係数 (K : day) の十年単位の経時変化 (Brutsaert and Hiyama, 2012 の Figure 4 を修正)。

図1から、基底流量は年々変動を伴いながら二十年程度の大きな変動を繰り返していることがわかる。1950年から2008年までの長期(59年間)の基底流量の変化傾向(図1の実線: dy_{L5}/dt)は $0.000977\text{mm d}^{-1}\text{ a}^{-1}$ であり、若干、増加傾向を示している。

一方、(6)式を用いてAMTDの時間変化を計算する場合、貯留係数の時間変化(dK/dt)が必要となる。しかしながら、河川流量から流域の貯留係数(K)を算出するような、ある決まった手法は従来の研究に見出せない。そこで本研究では、 $y = -K(dy/dt)$ のプロットの包絡線から K を求めた(Brutsaert and Hiyama, 2012のFigure 3参照)。各年5月~9月の y_{L5} を用いて得られた貯留係数 K の十年平均値を図2に示す。A2の1960年代~1980年代、その他の流域の1960年代を除き、 K は2000年代に向けて減少傾向を示している。

3.2 AMTDの長期変化傾向(トレンド)

(4)式からAMTDを求めようとする時、 η_{or} (AMTDの流域代表値)と y_r (AMTDが得られる晩夏~初秋の基底流量)が必要である。 η_{or} については、近年の研究(Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2010)で得られた観測値から、 $\eta_{or} = 1.88\text{ m}$ を代入した。 y_r については、4支流域ごとに y_{L5} の二十年平均値(Brutsaert and Hiyama, 2012のTable 2参照)を代入した。

一方(5)式からAMTDを求めようとする時、 n_e (排水可能間隙率)と K (貯留係数)が必要である。 K については、図2に示したように十年平均での時系列値が各流域で得られており、それらの各期間の平均値(Brutsaert and Hiyama, 2012のTable 3参照)を代入した。一方 n_e の流域代表値を得ることは非常に難しい。そこで n_e については、従来の研究(Brutsaert and Lopez, 1998; Brutsaert, 2008)を参考に、 $n_e = 0.01$ とした。

最後に(6)式からAMTDを求めようとする時には、 η_{or} とともに K_r (AMTDが得られる時期の貯留係数の流域代表値)が必要であるが、これについては図2で得られた値を与えた。

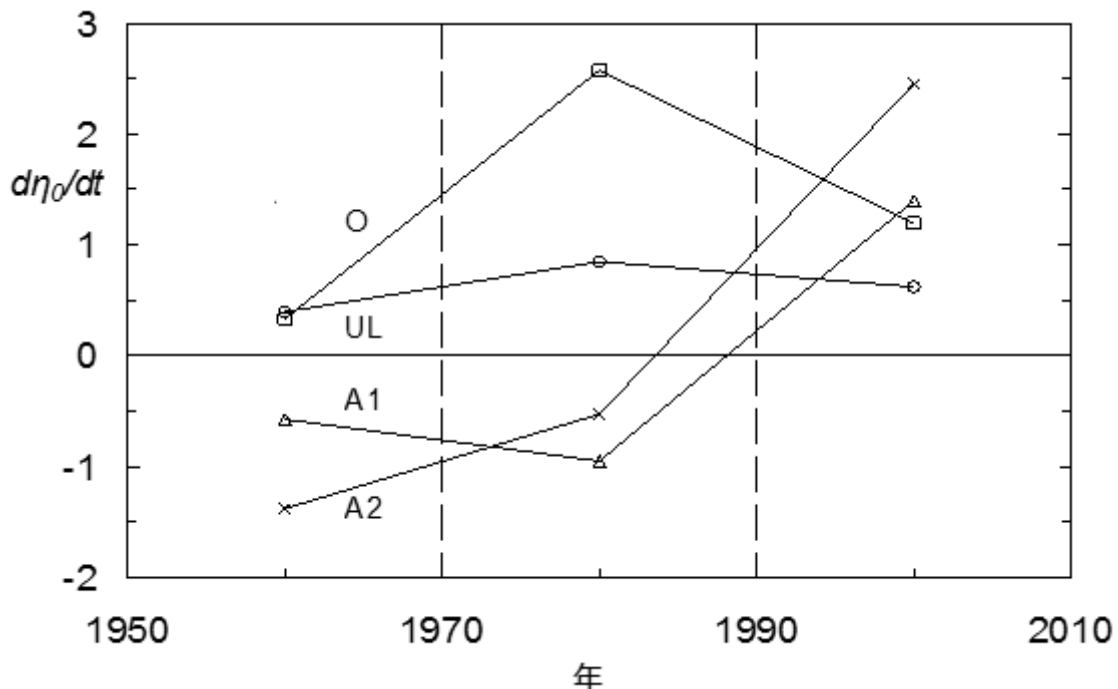


図3 (4)式から計算された4支流域におけるAMTD(流域代表値: cm a^{-1})のトレンド(Brutsaert and Hiyama, 2012のFigure 5を修正)。

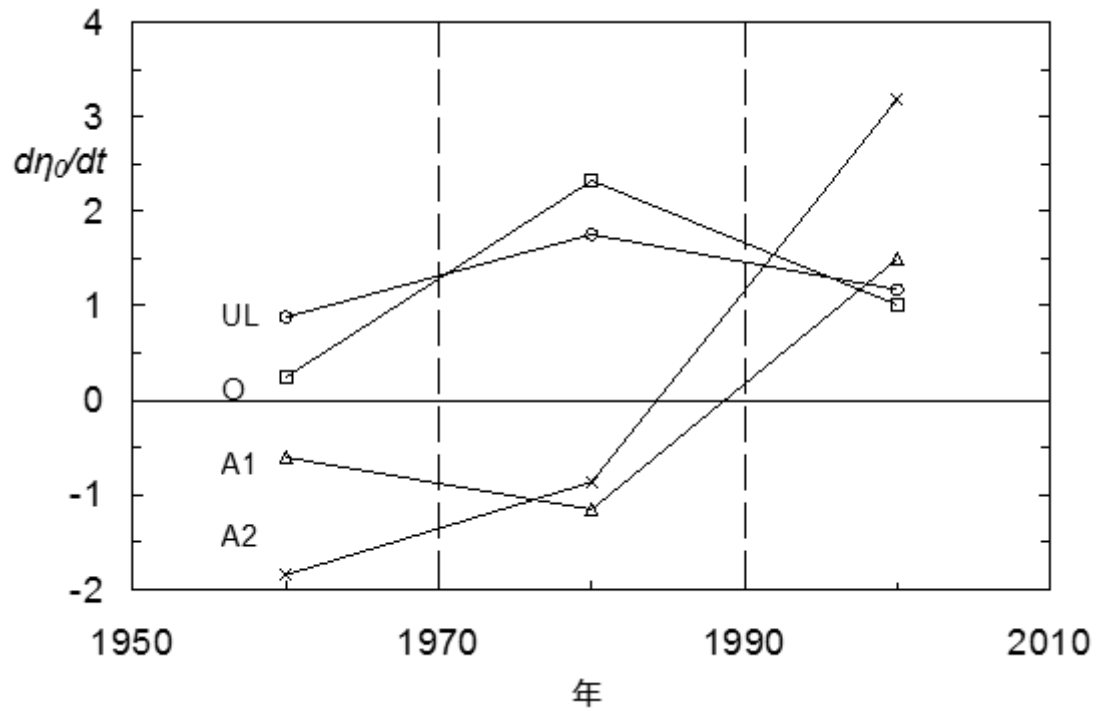


図4 (5)式から計算された4支流域におけるAMTD (流域代表値: cm a^{-1}) のトレンド (Brutsaert and Hiyama, 2012 の Figure 6 を修正)。

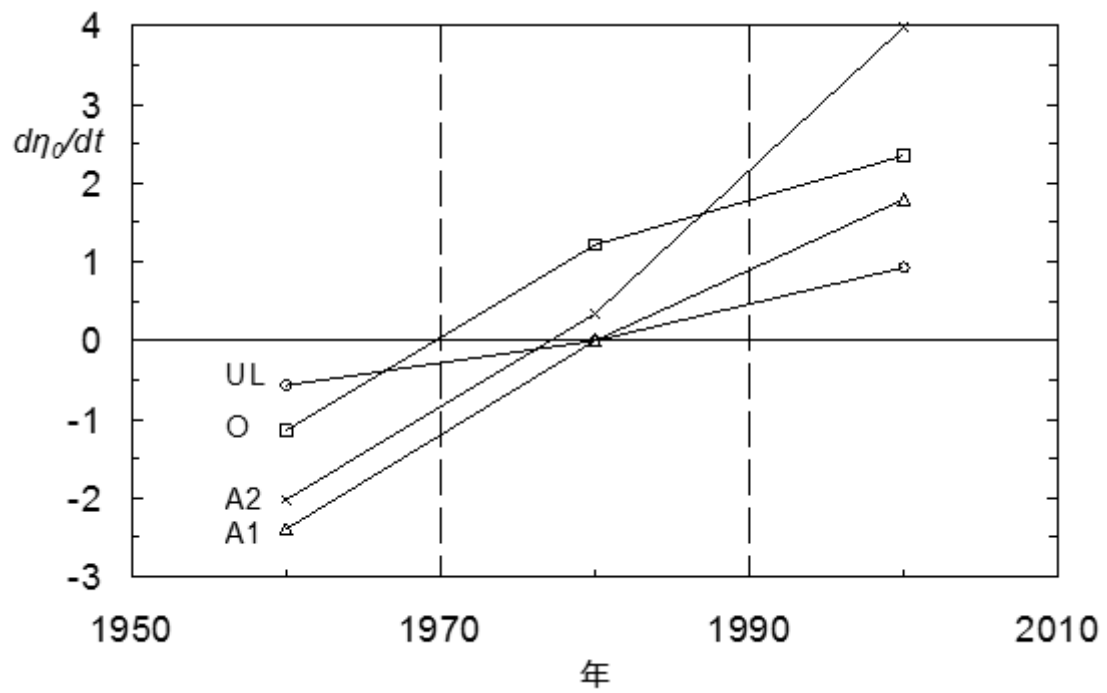


図5 (6)式から計算された4支流域におけるAMTD (流域代表値: cm a^{-1}) のトレンド (Brutsaert and Hiyama, 2012 の Figure 7 を修正)。

(4)式、(5)式、(6)式から得られた二十年刻みでの AMTD の変化傾向を図 3、図 4、図 5 に示す。また、全対象期間（1950～2008 年）における 4 支流域ごとの流域代表値を表 2 に示す。(6)式による計算結果は、(4)式や(5)式による計算結果に比べて過大評価しているものの、オーダー的には大きく異なっていない。

平均的な傾向として、レナ川上流域の不連続永久凍土域（UL と O）では年間 0.3cm から 1cm の割合で、アルダン川上流の寒冷な連続永久凍土域（A1 と A2）ではその半分程度の割合で、それぞれ融解深が増加（活動層下端の凍土が融解）していることがわかる。

表 2 各支流域の 1950～2008 年の AMTD の変化傾向 (cm a⁻¹)

	UL	O	A1	A2	4 支流の平均
(4)式	0.245	0.770	0.255	0.159	0.357
(5)式	0.506	0.641	0.285	0.226	0.414
(6)式	1.089	0.767	0.462	0.556	0.718

4 考察

Brutsaert and Hiyama (2012) で議論した論点は、以下の 3 点である。

- 1) 貯留係数 K、排水可能間隙率 n_e 、流域の AMTD の代表値 η_{or} 、の妥当性
- 2) 陸域水収支 ((7)式) と大気水収支の比較
- 3) (4)式、(5)式、(6)式の中で、どの方法が最も優れているか

1) については、4 支流域の平均値が $K=41 \pm 10$ 日であり、従来の研究 (Brutsaert, 2008; 2010; 2012) と比較して同程度であること、 n_e の流域代表値を得ることは難しいが、従来の研究と比較した上で $n_e=0.01$ は妥当な値であること、そしてレナ川流域では $\eta_{or}=2$ m が適当であること、等を指摘した。

2) については、大気再解析データの信頼性に関する議論を進める必要はあるものの、大気水収支法で得られた正味降水量 (P-E) と河川流出量 (R) を比較した研究 (Fukutomi et al., 2003; Oshima and Hiyama, 2012) が、本研究で得られた AMTD の時間変化 ($d\eta_{or}/dt$) を指示することを述べた。また最近のレナ川中流域における融解深の観測値 (Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2010) から、2000 年代の急激な AMTD の増加が、本研究によって流域レベルでも裏付けられることを述べた。

3) については、方法論が確定していない dK/dt を用いる方法 ((6)式) よりも、実測データ (dy_{L5}/dt) を直接扱える方法 ((4)式と(5)式) の方が不確実性は低いこと、そして貯留係数 K と排水可能間隙率 n_e の不確実性があるため(4)式の方がより確実であること、等を述べた。

5 おわりに

本研究では、夏季の（河川表面が凍結していない時期での）基底流量変化を、融解・凍結に伴

う年最大融解深（AMTD、あるいは夏季の活動層深さ）の時間変化と関係づけ、その経年変化傾向をレナ川の支流域スケールで推定した。東シベリア・レナ川上流の4つの支流で得られた1950年から2008年までの流量データを用いた結果、対象とした全期間（59年間）の平均的傾向として、レナ川上流域の不連続永久凍土域で年間0.3cmから1cmの割合で、アルダン川上流の寒冷的な連続永久凍土域ではその半分程度の割合で、それぞれAMTDが増加（活動層下端の凍土が融解）していた。しかし、解析期間を約20年間ごとに区切った場合、前半の1950年から1970年にかけてはAMTDが減少し（活動層下端の土壌が凍結傾向にあり）、後半の1990年代以降は、年間2cmあるいはそれ以上の割合でAMTDが急激に増加していることがわかった。

参考文献

- Brutsaert, W. (2008): Long-term groundwater storage trends estimated from streamflow records: Climatic perspective. *Water Resources Research*, **44**, W02409, doi:10.1029/2007WR006518.
- Brutsaert, W. (2010): Annual drought flow and groundwater storage trends in the eastern half of the United States during the past two-third century. *Theoretical and Applied Climatology*, **100**, 93-103, doi:10.1007/s00704-009-0180-3.
- Brutsaert, W. (2012): Are the North American deserts expanding? Some climate signals from groundwater storage conditions. *Ecohydrology*, **5**, 541-549, doi:10.1002/eco.263.
- Brutsaert, W., and Hiyama, T. (2012): The determination of permafrost thawing trends from long-term streamflow measurements with an application in eastern Siberia. *Journal of Geophysical Research*, **117**, D22110, doi:10.1029/2012JD018344.
- Brutsaert, W. and Lopez, J.P. (1998): Basin-scale geohydrologic drought flow features of riparian aquifers in the southern Great Plains. *Water Resources Research*, **34**, 233-240, doi:10.1029/97WR03068.
- Fukutomi, Y., Igarashi, H., Masuda, K. and Yasunari, T. (2003): Interannual variability of summer water balance components in three major river basins of northern Eurasia. *Journal of Hydrometeorology*, **4**, 283-296, doi:10.1175/1525-7541(2003)4<283:IVOSWB>2.0.CO;2.
- Hinzman, L.D., Bettez, N.D., Bolton, W.R., Chapin, F.S., Dyurgerov, M.B., Fastie, C.L., Griffith, B., Hollister, R.D., Hope, A., Huntington, H.P., Jensen, A.M., Jia, G.J., Jorgenson, T., Kane, D.L., Klein, D.R., Kofinas, G., Lynch, A.H., Lloyd, A.H., McGuire, A.D., Nelson, F.E., Oechel, W.C., Osterkamp, T.E., Racine, C.H., Romanovsky, V.E., Stone, R.S., Stow, D.A., Sturm, M., Tweedie, C.E., Vourlitis, G.L., Walker, M.D., Walker, D.A., Webber, P.J., Welker, J.M., Winker, K.S. and Yoshikawa, K. (2005): Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other arctic regions. *Climatic Change*, **72**, 251-298, doi:10.1007/s10584-005-5352-2.
- Iijima, Y., Fedorov, A.N., Park, H., Suzuki, K., Yabuki, H., Maximov, T.C. and Ohata, T. (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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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*. edited by S. Solomon et al., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 996pp.
- 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.
- Onogi, K., Tsutsui, J., Koide, H., Sakamoto, M., Kobayashi, S., Hatsushika, H., Matsumoto, T., Yamazaki, N., Kamahori, H., Takahashi, K., Kadokura, S., Wada, K., Kato, K., Oyama, R., Ose, T., Mannoji, N. and Taira, R. (2007): The JRA-25 reanalysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **85**, 369-432, doi:10.2151/jmsj.85.369.
- 大島和裕(2012): 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. 藤原潤子・檜山哲哉 編: 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)』, 総合地球環境学研究所, 78-84.
- Oshima, K. and Hiyama, T. (2012): Seasonal and interannual variations of the Lena River discharge and those relationships with atmospheric water cycle. *Proc. 1st Internat. Confer. Global Warming and the Human-Nature Dimension in Siberia: Social Adaptation to the Changes of the Terrestrial Ecosystem, with an Emphasis on Water Environments*, 7 - 9 March 2012, Research Institute for Humanity and Nature (RIHN), Kyoto, Japan, 28-31.
- Romanovsky, V.E., Burgess, M., Smith, S., Yoshikawa, K. and Brown, J. (2002): Permafrost temperature records: Indicators of climate change. *Eos Trans. AGU*, **83**, 589, doi:10.1029/2002EO000402.
- Serreze, M.C., Walsh, J.E., Chapin, F.S., Osterkamp, T., Dyurgerov, M., Romanovsky, V., Oechel, W.C., Morison, J., Zhang, T. and Barry, R.G. (2000): Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climatic Change*, **46**, 159-207, doi:10.1023/A:1005504031923.
- Ye, B., Yang, D., Zhang, Z. and Kane, D.L. (2009): Variation of hydrological regime with permafrost coverage over Lena Basin in Siberia. *Journal of Geophysical Research*, **114**, D07102, doi:10.1029/2008JD010537.

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

本年度 G2c (モデリングチーム) として掲げた目的は以下のとおりである。①陸面モデルによる土壌水分・温度変動の検討、②陸面過程モデルの改良、③モデルの相互比較、④流出モデル計算の期間延長と簡略化、⑤北極大河川流域における過去の水収支の変動および影響因子の評価、⑥レナ川における河川流量の経年変化と大気水循環の関係。②、③については今年度、目立った進展はなかった。

2 研究の進行状況

陸面モデル 2LM とルーチン気象データにより、ヤクーツクに加えウスチマヤにおける長期シミュレーションを行った。ヤクーツクにおいては、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。ウスチマヤにおいては 2005 年以降、土壌水分は増加しているがヤクーツクほど極端ではなかった。土壌水分の影響はヤクーツクで 8 年程度、ウスチマヤで 6~7 年でほぼ消滅した (山崎)。

これまでに得られている河川流量資料を用いて、Lena 川流域の流出特性と、流量の年々変動や季節変動特性について検討した。その結果、Lena 川下流域を除く上流の 3 流域すべてで近年流量が増加していること、2 ヶ月単位の季節的な流量配分でみると、Lena 川上流域、Aldan 川流域の流量増加は融雪期に顕著であること、ダム建設前後で全流域の流量に対する各支流からの流出の寄与率が特に冬期に大きく変化していることなどが明らかとなった (八田)。

陸面過程モデル CHANGE による過去 109 年間のシミュレーションにより、環北極陸域における諸プロセスが明らかに変化していたことを示した。特に、気温上昇が著しかった 1980 年以降、降水量が増加していたにもかかわらず、積雪深は減少傾向を示していた。一方、活動層は気温上昇と一致して増加トレンドを示していた。また、蒸発散量も増加していた。しかし、最近 20 年間では北米の一部地域で活動層が現象傾向にあることがわかった。これは冬期の顕著な積雪深の減少と土壌水分の低下が原因であった。(朴)。

レナ川流域を対象に大気陸域水循環解析を行った結果、レナ川の流量は正味降水量の変動とよく対応し、同流域の降水量変動の影響を大きく受けていることがわかった。エニセイ川とオビ川においては、主流のダムの影響と永久凍土分布の違いにより、流量と正味降水量の時間ラグがレナ川よりも長いと考えられる。さらに、夏季レナ川の流量は平均風に伴う水蒸気輸送によってもらされる正味降水量が大きく影響している。ただし、近年の変化には低気圧活動に伴う水蒸気輸送による影響もみられた。シベリア 3 大河川における過去の年平均流量と正味降水量には顕著なトレンドはみられなかった (大島)。

シベリア域におけるトナカイ放牧による植生への影響を比較・検討するため、家畜トナカイのキャンプ地を対象に、MODIS 衛星画像による時空間解析を行った。域内平均最大 NDVI の年変化に有意なトレンドは見られなかったが、Sakha-Olenek ではほとんどの地点で減少傾向、Sakha-SebyanKyuelj ではほとんどの地

点で増加傾向が見られた。また、Sakha-Olenek では2004年に他の年と比べ域内平均最大NDVIの低下が見られた(山本)。

陸面モデル 2LM による土壌水分・温度の長期シミュレーション

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

東シベリアのヤクーツク近郊のタイガ林（スパスカヤパッド）では 1998 年以來、タワーによる気象・水文観測がおこなわれ、15 年近いデータが蓄積された。2004 年以降、土壌水分と温度が顕著に上昇し、夏期の凍土融解層が厚くなる状況が出現した (Ohta et al., 2008; Iijima et al., 2010)。タワー設置前の熱・水収支の状況を知ることは、現状の理解や将来を予測する上で興味深い。

陸面過程モデルは気象要素を入力することにより、様々な陸面状態について、大気との水や熱の交換量や土壌の水分・温度を計算できる。そこで、1 次元陸面過程モデル 2LM を使い、タワー観測開始以前にさかのぼり、水・熱収支の長期シミュレーションを行った。この報告では特に凍土や植物活動の鍵を握る土壌に着目する。ルーチン気象データセット（BMDS ver.5）を用いて、ヤクーツクおよびウスチマヤを対象とした。さらに、土壌水分初期値の影響や、近年の過湿に関する考察も加えた。

2 モデル

使用した陸面モデルはこれまでの研究と同じく 2LM である。このモデルは、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。植生は葉の部分を上層 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。

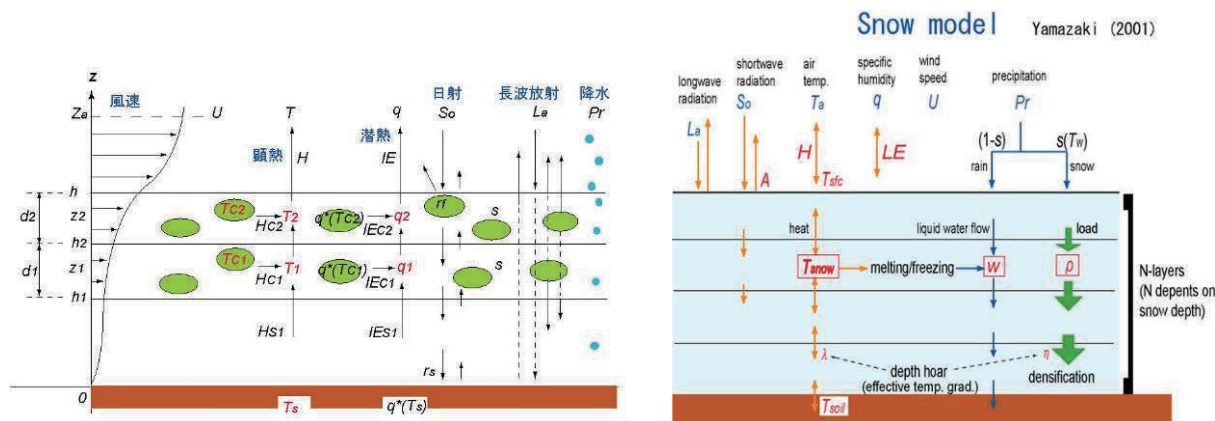


図 1 陸面モデル 2LM の概念図。左: 植生サブモデル、右: 積雪サブモデル。

3 データ

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)。東シベリアの2つの観測タワーに近い、ヤクーツク (北緯 62.0 度、東経 129.7 度、標高 101 m) とウスチマヤ (北緯 60.4 度、東経 134.5 度、標高 170 m) を対象とした。両地点とも 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、ヤクーツク 1966~2008 年、ウスチマヤ 1960~2008 年を計算期間とした。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。なお、ヤクーツクの 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。両地点ともに BMDS ver.5 に収録されている水蒸気圧は、1984 年まで系統的に高い値になっている。そのため 1984 年までは最小湿度と最高気温から水蒸気圧を計算して用いた。シミュレーションはヤクーツクについては 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。ウスチマヤについては、このような変換は行っていない。

土壌の温度と水分の初期値は、全層体積含水率 0.2 とした仮の初期値で一度走らせて 1986 年 1 月 1 日の計算値を設定した。さらに、もう一度走らせて 1999~2008 年の各年 1 月 1 日の 10 個の初期値を作った。これら 10 個の初期値からそれぞれ走らせることとした。このようにすることで、結果に対する初期値設定の影響を見ることができる。

4 結果

4.1 ヤクーツク

図 2 にモデル計算で得られた深さ 0 - 2 m の積算土壌水分量の時系列を示す。図中の細線は 10 通りの初期値から始めたそれぞれの計算結果を示し、太線はその平均値である。平均に関しては昨年すでに示した結果とほぼ同じである。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。初期値の影響は 8 年程度で消滅している。

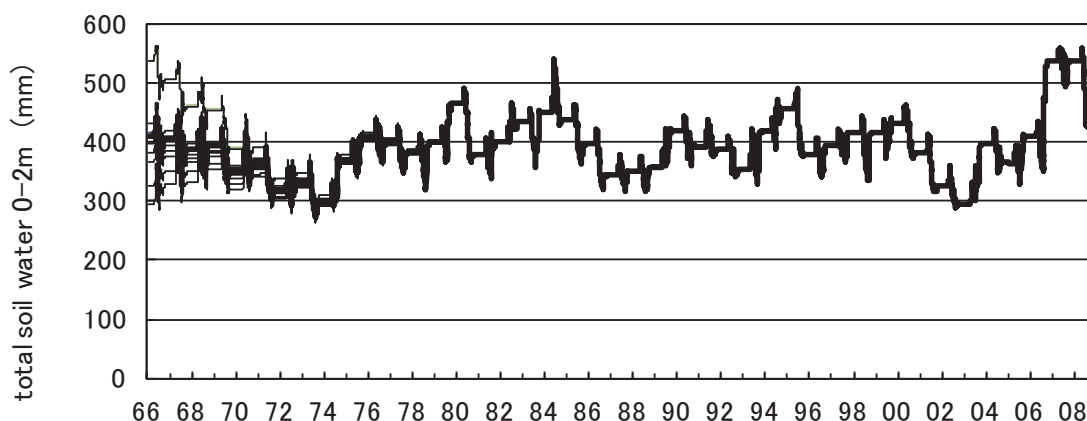


図 2 モデルによる土壌水分量 (ヤクーツク)。0 - 2 m の積算値 (mm)。細線 : 各初期値 (10 通り) の結果。太線 : 平均値

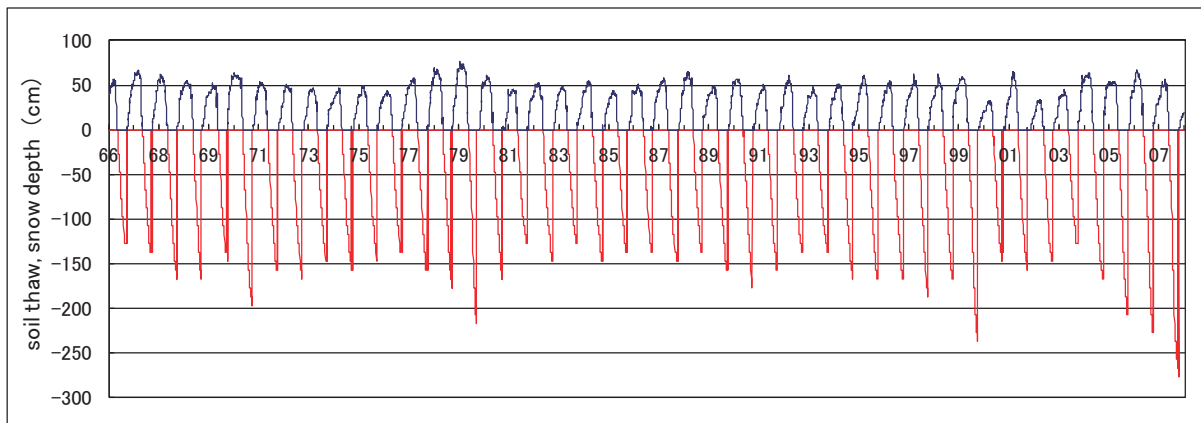


図3 モデルによるヤクーツクの土壤融解深（赤）と積雪深（青）。

図3はモデル計算によるヤクーツクの土壤融解深（赤）と積雪深（青）である。2005年以降、融解深の増加が顕著で、2008年には過去40年間で最も深くまで融解した状況となった。1980年、2000年も2008年には及ばないものの融解深が深く計算された。観測による1998～2003年の融解深は127 cm程度といわれ (Ohta et al., 2008)、計算結果はやや大きめになっている。土壤物理特性の与え方などに問題がある可能性がある。

4.2 ウスチマヤ

図4に深さ0-2mの積算土壌水分量の計算結果を示す。2005年以降増加傾向であるが、ヤクーツクほど極端な増加にはなっていない。初期値の影響は、6～7年で見られなくなり、ヤクーツクに比べ影響の継続期間はやや短い。これはウスチマヤの方が、雨量が多く土壌水分の初期値が高いためと考えられる。一般に、土壌水分が飽和に達すると土壌水分の履歴はクリアーされるので、湿潤な土壤の方が初期値の影響を引きずりにくい。1965年から1985年にかけては、土壌水分量の値がやや高い傾向がある。この期間については前述のように水蒸気圧を別途求めており、実際の傾向であるかは注意深く検討する必要がある。

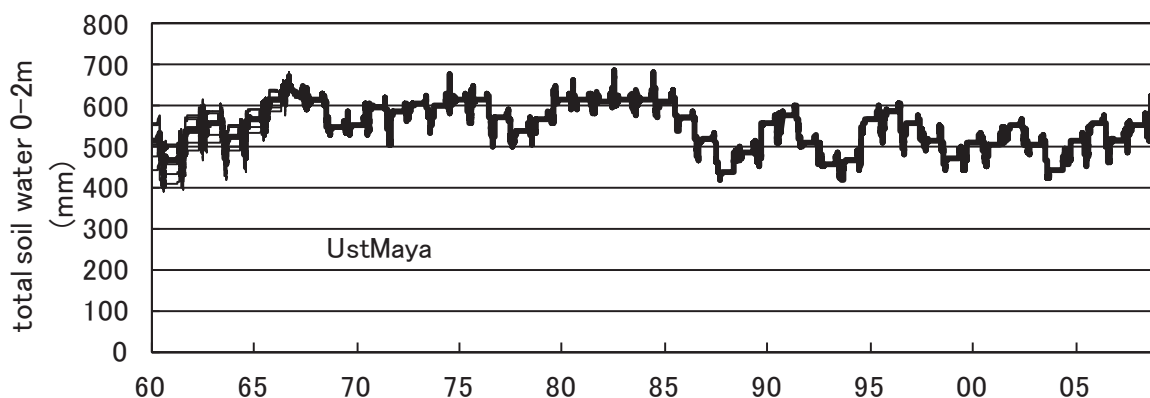


図4 図2と同じ（ウスチマヤ）。

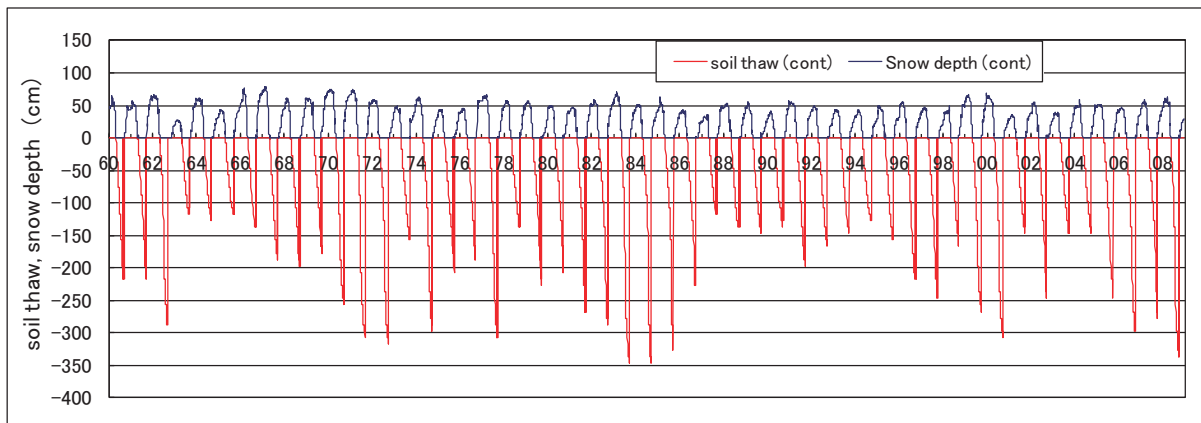


図5 モデルによるウスチマヤの土壤融解深（赤）と積雪深（青）。

図5はウスチマヤの土壤融解深と積雪深である。ウスチマヤでも2005年以降、融解深の増加傾向が見られる。ただし、ヤクーツクと比べると、融解深の変動が大きく、過去にも数回同程度の増加が見られる。変動が大きい理由の1つは、ウスチマヤの深さ2~4 mにはほぼ0℃の層ができるため、夏の融解がこの部分に達すると一気に融解深が大きくなることが考えられる。

5 考察

2004年以降の土壌水分と温度の上昇、融解深の増加に関する考察を行う。一昨年報告で、考えられる要因は夏の降水量（秋の含水率）の増加と初冬の降雪（積雪深）の増加であり、そのうち初冬の降水量の増加が効いている可能性が高いことを述べた。ここではデータ期間を2008年まで延ばして改めて検討する。

図6はヤクーツクにおける各年の夏と初冬の降水量を示す。1966年から2008年までの降水量は、夏期（5~9月）は平均181 mm（標準偏差50 mm）、初冬（10, 11月）は平均40 mm（標準偏差16 mm）の降水量であった。2003年と2005~2007年の夏と2004~2006年の初冬の降水量が多いことがわかる。モデルによる年最大融解深と前年の夏期（5~9月）および前年の初冬（10, 11月）の観測による降水量の関係を調べたところ図7のようになった。夏期降水量よりも初冬降水量と融解深がよい相関を持つことがわかる。

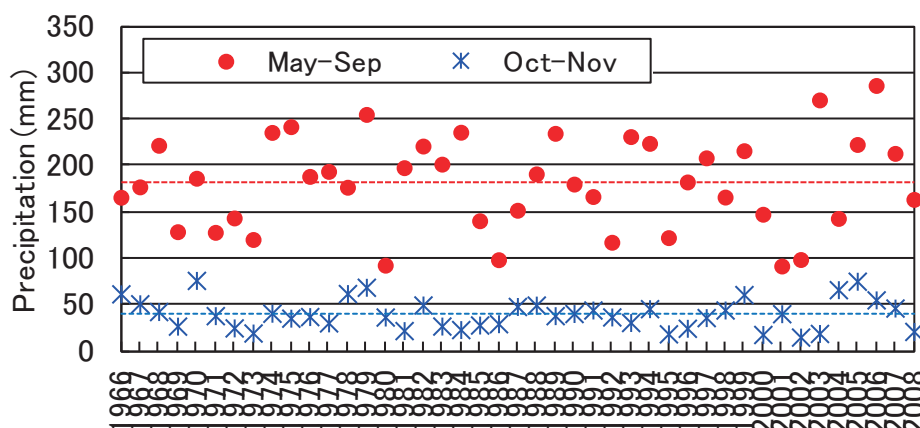


図6 ヤクーツクにおける夏と初冬の降水量。赤丸：夏（5~9月）、青印：初冬（10~11月）。

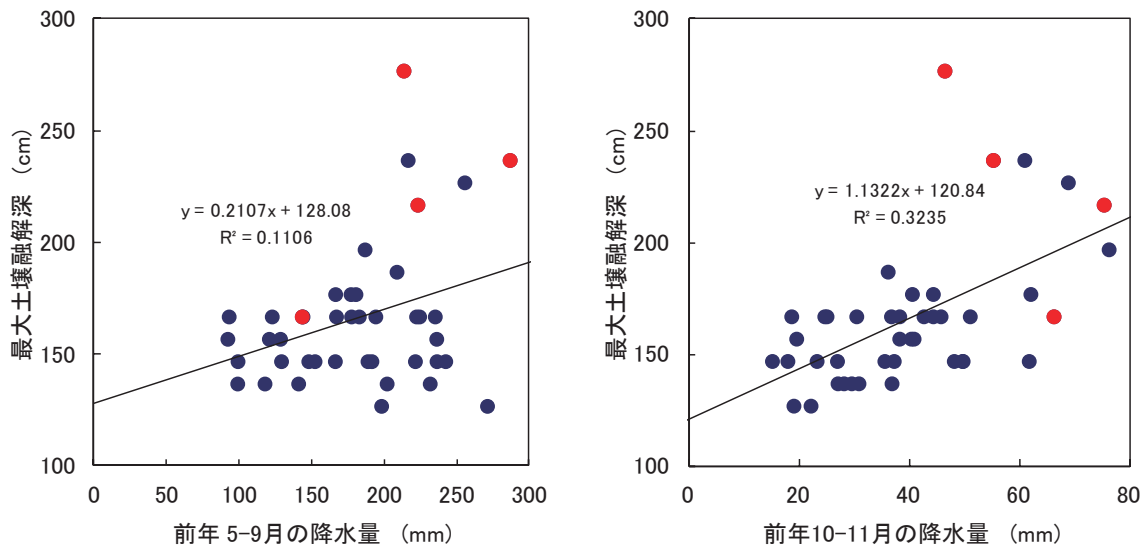


図 7 モデルによる年最大融解深と降水量の関係。左：前年の夏期（5～9 月）の観測降水量、右：前年の初冬（10, 11 月）の観測降水量。赤丸は 2005 年以降。

次に、2005 年から 2007 年の初冬の降水量と夏期の降水量をそれぞれ平均値に置き換える実験を行った。2005～2007 年の降水量は夏期・初冬ともに平年より多いので、この置き換えは降水量を減少させることになる。図 8 にその結果を示す。夏期の降水を置き換えても融解深には目立った変化が生じなかった。一方、初冬の降水量を置き換えると、夏期の融解深が 20～70 cm 小さくなった。初冬の降水を置き換えると、積雪深が 2005～2006 年の冬と 2006～2007 年の冬は 20 cm 程度減少した。冬季の積雪量減少により、土壌が効果的に冷却されることが融解深の低下をもたらしたと考えられる。このことから近年の融解深の増加には初冬の降水量の増加が効いていることが示唆される。注目すべき点として、2007～2008 年の積雪量は初冬の降水量を変えた実験でもほとんど変わっていないにもかかわらず、2008 年の融解深は 50 cm 程度減少していることである。いちど土壌の水分・温度状況が変わるとその影響は翌年以降にも持ちこされることを示している。

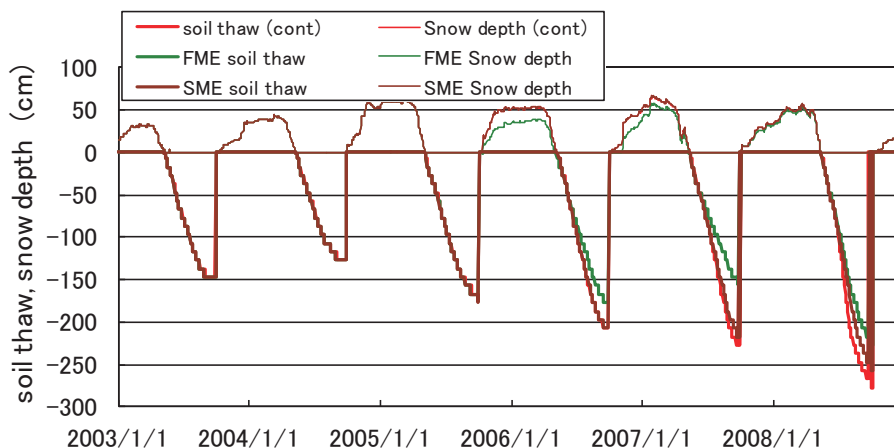


図 8 降水量が融解深に及ぼす影響。2005～2007 年の降水量を平均値に置き換えた。FME: 10、11 月の降水量を置き換え。SME: 5～9 月の降水量を置き換え。cont: 実際の降水量による計算。

6 おわりに

陸面モデル 2LM を用いて、ヤクーツクとウスチマヤにおける長期シミュレーションを行った。ヤクーツクにおいては、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。ウスチマヤにおいては 2005 年以降、土壌水分は増加しているがヤクーツクほど極端ではなかった。土壌水分の影響はヤクーツクで 8 年程度、ウスチマヤで 6~7 年ではほぼ消滅した。

参考文献

- Iijima, Y., Fedorov, A.N., Park H., Suzuki, K., Yabuki, H., Maximov, T.C., Ohta, T., 2010: Abrupt increase in soil temperature following increased precipitation in a permafrost region, the central Lena River basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21, 30-41.
- 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.

レナ川河川流量とそれをもたらす正味降水量の変動要因について

大島 和裕

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

1 はじめに

東シベリアを流れるレナ川は、流域住民の生活にとっての重要な役割に加え、北極海へ流入する大きな淡水の供給源となっており、北極海の海水生成や海洋大循環に関わる北極海淡水収支にとって重量な役割を果たしている。本研究では、過去数十年から最近までのレナ川河川流量の変動要因を明らかにするため、昨年度に引き続き、この流域における大気陸域水循環に関する解析を行った。今年度は特に過去 30 年間のレナ川河川流量と正味降水量の経年変動の関係を調べ、それらの変動要因を検討した。

シベリア三大河川（図 1）の流量は北極海へ流れる全河川流量の約 60%を占め、さらに正味降水量と海流を含めた北極海へ供給される全淡水流入量の約 20%に相当する（Dickson et al. 2007 と Serreze et al. 2006 の結果に基づく見積もり）。このうちレナ川の流量は全淡水流入量の約 7%である。よって、レナ川を含めたシベリア三大河川の流量は北極海へ流入する大きな淡水の供給源であり、北極海淡水収支の一翼を担う。北極海淡水収支は、北極海の海水生成にとって重要な役割を果たす。海水は、高いアルベドのため日射を反射し、大気海洋間の熱のやり取りを妨げる断熱材となり、また海水の生成と融解の場所が異なれば熱と塩分を再配分し、輸送するといった気候システムにおける役割がある（大島 2003）。北極海はほぼ閉じた海であり、周囲の河川から流量として、大気から降水量と蒸発量の差（正味降水量）として淡水が流入し、また太平洋や大西洋と北極海との間の塩分差によって海流に伴う淡水の流出入がある。これらの淡水流入は北極海の表層に低塩分層を形成し、下層との混合を妨げるため、海水が生成されやすい状態を作っている（Alekseev et al. 2000）。さらに、この北極海淡水収支における大西洋と北極海の間での海流は淡水のやり取りを通して海洋大循環にも関わる。

シベリア三大河川のレナ川、エニセイ川、オビ川を対象とした大気陸域水循環に関する解析は幾つかの先行研究で行われているが（Fukutomi et al. 2003, Serreze et al. 2003 など）、ヤクーツク周辺で顕著な陸域水循環が観測され（Ohta et al. 2008, Iijima et al. 2010, 酒井 2010 など）、また北極海海水が極端に減少した（Comiso 2012 など）2000 年代半ば以降の解析はほとんど行われていない。そこで本研究では、最近公開されたデータを含め 6 つの大気再解析データを用いて、データ期間を延長して調査を行った。

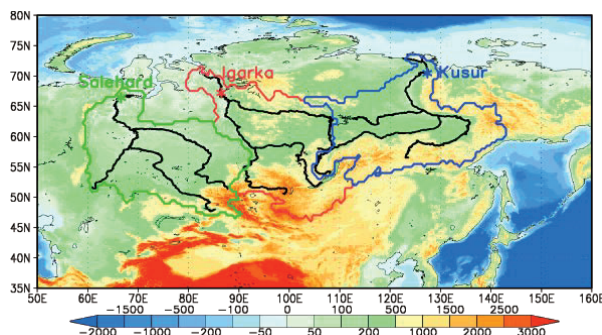


図 1 シベリア三大河川、レナ川、エニセイ川、オビ川の流域。色は標高（単位は m）、*印は河口に最も近い観測点を示し、色付きの実線は TRIP データ（Oki and Sud 1998）に基づく各流域の範囲を示す。

2 使用データと解析方法

使用データと解析方法は昨年度とほぼ同様である（昨年度の報告書，大島 2012 を参照）。河川流量と降水量は，それぞれ ArcticRIMS と GPCP (Schneider et al. 2011) の月平均データを使用した。昨年度は JRA-25/JCDAS の大気再解析データを使用していたが，今年度は新たに 5 つを加えて計 6 つの大気再解析データ (JRA25, ERA40, ERAI, NCEP2, CFSR, MERRA, データの詳細は <http://reanalyses.org/> を参照) を用い，三大河川流域の水収支解析を行った。これらの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を算出し，大気水収支法に基づいて正味降水量を見積もった (Oshima and Yamazaki 2004, 2006, Tachibana et al. 2008)。陸面の水収支において，流域全体で積算した正味降水量 (P-E) は流域への水のインプットとなり，河口での河川流量 (R) はアウトプットとなっており，長期平均では両者がほぼバランスする。

$$\bar{R} \approx \bar{P} - \bar{E} \quad (1)$$

この関係を確認するため，正味降水量は流域内で面積重み付け平均することで流域平均の正味降水量を算出し，河川流量は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出量を算出して，両者を比較した (Tachibana et al. 2008)。また，大気水収支では長期平均の正味降水量は水蒸気フラックス収束とバランスする。

$$\bar{P} - \bar{E} \approx -\nabla \cdot \langle q\mathbf{v} \rangle \quad (2)$$

この関係から正味降水量をもたらす水蒸気輸送を調べ，さらにその特徴を明らかにするために，(2) 式右辺の全量の水蒸気フラックス収束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，それらの寄与を調べた (Oshima and Yamazaki 2004, 2006, Tachibana et al. 2008)。

$$-\nabla \cdot \langle q\mathbf{v} \rangle = -\nabla \cdot \langle \bar{q}\bar{\mathbf{v}} \rangle - \nabla \cdot \langle q'\mathbf{v}' \rangle \quad (3)$$

3 結果

昨年度の報告書 (大島 2012) ではレナ川流域での長期平均の水収支および季節変化に関する結果を中心に紹介しており，それらと重複する部分もあるが，以下ではその後の解析から明らかになった結果を中心に紹介する。

3.1 長期平均の大気陸面水収支と季節変化

シベリア三大河川における長期間平均 (1980 年から 2008 年まで) の正味降水量と河川流量の (1) 式の関係を確認した。6 つの大気再解析データから見積もった正味降水量は，流量に対してレナ川で -23~-10%，エニセイ川で -24~-5%，オビ川で -20~21% の差があった。同じ手法で大河川を調べた先行研究では，両者に大きな差がある結果 (Serreze et al. 2003, Tachibana et al. 2008) や正味降水量が負

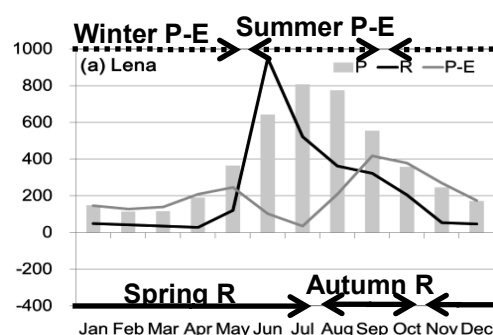


図 2 レナ川の流量 (R, 黒線) と正味降水量 (P-E, 灰色線) の季節変化。棒グラフは降水量 (P) である。1980 年から 2008 年まで 29 年間の月ごとの平均値を示す。P-E は JRA25 に基づく。単位は mm/year。横軸の矢印は，春と秋の R および冬と夏の P-E と定めたそれぞれの期間を示す。

となる結果 (Masuda et al. 2001) が報告されており、それらに比べれば本研究の見積もりは比較的良く一致した結果である。また Trenberth et al. (2011) は、大気を介して海洋から陸域へ運ばれる水蒸気輸送に着目し、全球水循環の構成要素について 8 つの大気再解析データを比較した結果、降水量や蒸発量のデータ間のばらつきは大きいものの、それらに比べて水蒸気フラックスはデータ間で良く一致することが指摘されている。これらの結果から、本研究で採用した大気再解析データを用いた大気水収支に基づく正味降水量の見積もりは三大河川のような広域の大気陸域水収支解析において有効な手法であるといえるだろう。

これらの正味降水量と河川流量のデータを用いて季節変化を調べた。先行研究でも示されているように (Fukutomi et al. 2003, Serreze et al. 2003 など)、いずれの河川においても流量は春の河川氷と積雪の融解に伴って 6 月に最大値を示すのに対して、正味降水量は 7 月に極小となる (図 2 はレナの結果。エニセイとオビの結果は省略)。これらの極小は夏に蒸発散量が大きく、降水量に匹敵する大きさであることを示している。このように正味降水量の極小が 7 月に現れることは 3 つの河川で共通するが、正味降水量の季節変化パターンはそれぞれの河川で少しずつ異なる。一方、降水量は 3 つの河川でほぼ同じ季節変化パターンである。これらのことから、正味降水量の季節変化パターンの違いには、それぞれの流域における蒸発散量の季節変化パターンの違いが反映されており、その蒸発散量には流域ごとのフェノロジー (植物季節) の違いが影響していると考えられる。

3.2 河川流量と正味降水量の経年変動

河川流量と正味降水量の経年変動の関係については、三大河川が広い流域面積を持ち、また冬季には河川が凍結し、降水が積雪となるために、両者の時間ラグを考慮して解析する必要がある。これらの流域ではいずれも月平均気温が 10 月に氷点下になるので、前年 10 月から当年 9 月までを水文年と定め、この期間平均を年平均の正味降水量と定義して算出した。年平均の河川流量は当年 1 月から 12 月までの平均値とした。過去 30 年間の年平均の河川流量と正味降水量の経年変動を比較すると、レナ川では強い正相関を示し、振幅も同程度の大きさであり、両者が良く一致していた (図 3a)。一方、エニセイ川とオビ川では相関が弱く、正味降水量よりも流量の振幅が小さく、両者にずれがみられた (図 3b と 3c)。これらの結果は、レナ川では水文年の 1 年間に正味降水量として供給された水が、その後の 1 年間で河口から北極海へ流出するのに対して、エニセイ川とオビ川ではより長い時間をかけて河口から流れ出ると解釈することができる。後者の時間ラグの原因としては、エニセイ川とオビ川の主流にはダムが存在し、流量がコントロールされていること、また永久凍土

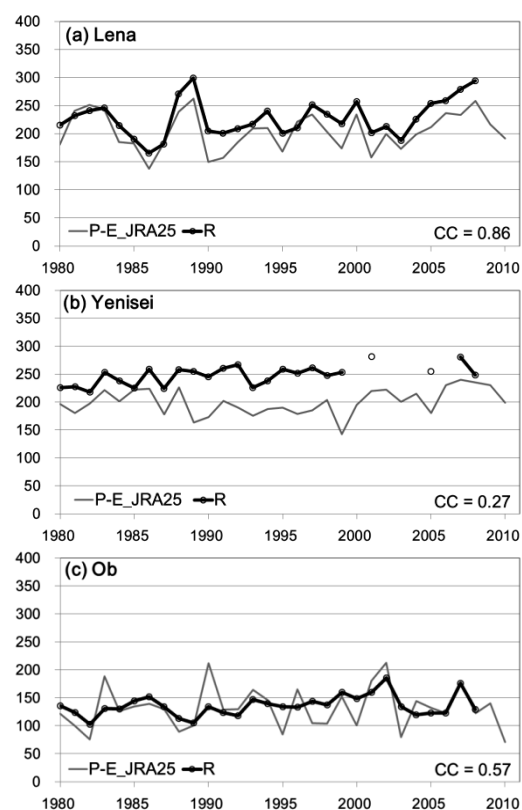


図 3 (a) レナ川, (b) エニセイ川, (c) オビ川における過去 30 年間の年平均の河川流量 (R, 黒線) と正味降水量 (P-E, 灰色線) の経年変動。R の年平均値は当年 1 月から 12 月までの平均とし、P-E の年平均値は時間ラグを考慮して前年 10 月から当年 9 月まで (水文年) の平均として算出した。P-E は JRA25 に基づく。単位は mm/year。各図の右下の数値は相関係数 (CC) である。

分布がシベリアの東西で異なることが影響しているのではないかと考えられる。このように三大河川の正味降水量と流量の関係には時間ラグはあるものの、いずれの河川においても流量変動には正味降水量の変動が大きく影響することがわかった。

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、少なくとも過去 30 年間の年平均の河川流量と正味降水量については顕著な増減のトレンドはみられない(図 3)。レナ川の流量は 2005 年から 2008 年まで大きな値を示しており、使用できるデータ期間が 2008 年までで最後が正の位相となっているために見かけ上の増加トレンドのようにみえるが、これは見かけ上のトレンドである(図 3a)。この流量変動に対応する正味降水量をみると 2008 年以降は下がり、2009 年と 2010 年は平均並みの値となっており、過去 30 年間で顕著な長期トレンドはみられない(図 3a)。レナ川における過去 70 年間の河川流量と降水量の関係においても(図 4)、過去 30 年間の河川流量と正味降水量の結果(図 3a)と同様に顕著な長期トレンドはみられなかった。このような長期変化傾向の特徴はエニセイ川とオビ川でも同様であった(図は省略)。また、正味降水量と降水量の相関係数はいずれの河川においても強いことから、蒸発散量の経年変動は小さいと考えられる。

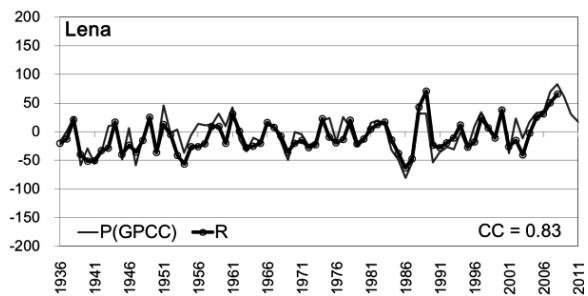


図 4 図 3a と同様。ただし、レナ川における過去 70 年間の河川流量 (R, 黒線) と降水量 (P, 灰色線) の年平均偏差 (全期間平均からの差) について。単位は mm/year。図右下の数値は相関係数 (CC) である。

3.3 レナ川河川流量と正味降水量の変動要因

前節で述べたように、年平均のレナ川の流量変動には正味降水量が大きく影響することがわかったので、次にそれらの変動をもたらす水蒸気輸送について検討した。昨年度報告したように正味降水量をもたらす水蒸気輸送の場は季節ごとに異なる(大島 2012)。そこで次に季節ごとの流量と正味降水量との対応関係を調べた。Tachibana et al. (2008) と同じ手法で、レナ川の流量と正味降水量を比較した結果、夏の正味降水量と秋の流量 (CC = 0.85)、冬の正味降水量と春の流量 (CC = 0.72) が、それぞれ強い相関関係を示した(図 5)。すなわち、各季節の組合せで流量の経年変動は正味降水量の影響を受けている。(2) 式に示されるように、この正味降水量は流域全体での水蒸気フラックス収束とほぼ等しい。さらに(3) 式のように全量の水蒸気フラックスは平均的な風によって水蒸気が運ばれる定常成分と、移動性高低気圧活動に伴って水蒸気が運ばれる擾乱成分の 2 つの成分に分けられる。これに基づき全量の水蒸気フラックス収束に対する 2 つの成分の寄与を調べると、夏季レナ川の全量の水蒸気フラックス収束は定常成分との相関が強く (CC = 0.78)、寄与が大きい。しかし、幾つかの年(正偏差: 1982, 1989, 2000, 2005, 2006, 2007 年, 負偏差: 1995, 1998, 2002 年) では擾乱成分による大きな寄与もみられ、定常成分だけでは全量の水蒸気フラックス収束の経年変動を説明できない部分がある(図 5)。それらの年の正味降水量の変化には、低気圧活動の何らかの変化(強さや経路, 周期など)が影響していることが示唆される。また日平均の降水量データを解析した結果、ヤクーツクで湿潤状態が続いた 2005 年と 2006 年の夏には強い降水量が多かった一方で、2007 年は定常成分による寄与が大きかった(図 5)。よって、年によって全量の水蒸気フラックス収束をもたらす水蒸気輸送の特徴は異なる。このような水蒸気輸送の違いは季節や月ごとにも異なると考えられる。

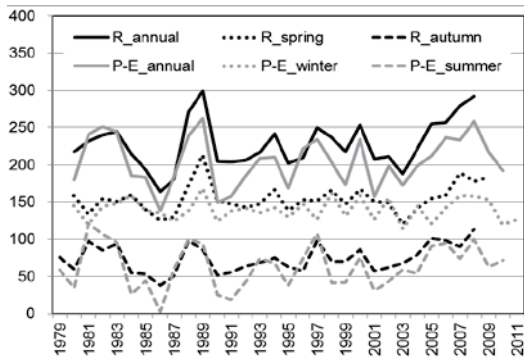


図5 図3aと同じ。ただし、レナ川における年平均値に加え、季節ごとにわけた河川流量(R, 黒線)と正味降水量(P-E, 灰色線)について。年平均のRとP-Eは実線で示し、図3aと同じである。春季平均のRと冬季平均のP-Eは点線, 秋季平均のRと夏季平均のP-Eは破線で示す。それぞれの季節は図2の矢印で示した期間である。P-EはJRA25に基づく。単位はmm/year。

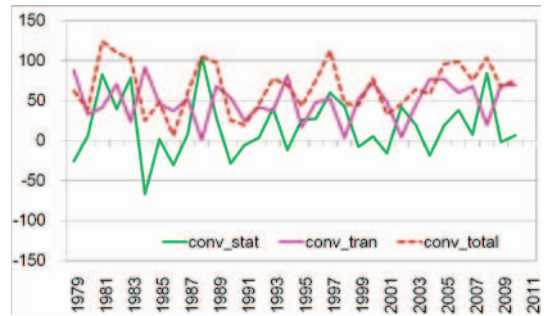


図6 図3aと同じ。ただし、夏季レナ川流域における全量の水蒸気フラックス収束(赤破線)とその定常成分(緑線), 擾乱成分(ピンク線)について。(2)式のように、赤破線の水蒸気フラックス収束は図4の灰色破線で示したP-Eとほぼ等しい。これらはJRA25に基づく。単位はmm/year。

4 まとめと今後の課題

レナ川流域を対象に大気陸域水循環解析を行った結果、レナ川の流量は正味降水量の変動と良く対応し、同流域の降水量変動の影響を大きく受けていることがわかった(図3aと4)。エニセイ川とオビ川においても流量変動は降水量と正味降水量の影響を受けているが、加えて主流にダムが存在し、永久凍土分布が違うために、流量と正味降水量の時間ラグがレナ川よりも長いと考えられる。加えて、三大河川の流量と正味降水量の絶対量や季節変化には蒸発散量のシベリア東西での違いが関わっており、植生活動の地域差やそれに伴う蒸散の違いが影響していると考えられる。夏季レナ川の流量は平均風に伴う水蒸気輸送によってもらされる正味降水量が大きく影響していたが、近年は低気圧活動に伴う水蒸気輸送による影響もみられる。

シベリア三大河川における過去30年の年平均流量と正味降水量、および過去70年間の年平均流量と降水量には顕著な長期トレンドはみられない(図3と4)。これらの変数は、長期的な変化傾向よりも、自然の内部変動に起因すると考えられる経年変動の振幅が大きい。したがって、研究のターゲットによって使用する解析データの期間は異なるが、算出する期間によっては増加や減少のトレンドを示したとしても、見かけ上のトレンドであることがあり、この点に注意して変化傾向の解析を行い、議論する必要がある。

過去30年のレナ川の流量と正味降水量の経年変動についてはある程度の理解が得られたが、それらの地域的な違いや低気圧活動との関係についてはさらに調べる必要がある。またレナ川の流量や正味降水量にみられた2005, 2006, 2007, 2008年の変化(図3~6)については、低気圧活動との関係やヤクーツクで観測された陸域水循環変化との関係を今後調査する。この近年変化の調査ではシベリアにおける気候平均場と年間偏差マップを月ごとに作成しており、現在準段階であるが今後プロジェクトメンバーへの情報提供のためにもHPで公開する。

また、長期平均の陸域水収支解析では流量と正味降水量がバランスする妥当な結果が得られた

が、最近 Zhang et al. (2012) は同様の解析によって両者が定量的に非常に良く一致した結果を報告している。この点については、彼らが採用した計算方法やデータの種類、また元となる観測データのバイアスについて今後検討したい。

参考文献

- Alekseev, G. V., L. V. Bulatov, and V. F. Zakharov, 2000: Fresh water freezing/melting cycle in the Arctic Ocean, in *The Fresh Water Budget of the Arctic Ocean*, edited by E. Lewis, 589 – 608, Kluwer Acad., Boston, Mass.
- Comiso, J.C., 2012: Large Decadal Decline of the Arctic Multiyear Ice Cover. *Journal of Climate*, 25, 1176–1193. doi:<http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00113.1>
- 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. *Journal of Hydrometeorology*, 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.
- Masuda, K., Y. Hashimoto, H. Matsuyama and T. Oki, 2001: Seasonal cycle of water storage in major river basins of the world, *Geophysical Research Letters*, 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 Interactions*, 2, 1-37.
- 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. *Geophysical Research Letters*, 33, L18501, doi:10.1029/2006GL027389.
- 大島和裕, 2012 : 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. 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適応 (地球研プロジェクト C-07), 編集: 藤原潤子, 檜山哲哉, 2012 年 3 月.
- 大島慶一郎, 2003 : 南大洋域の観測の重要性, 2002 年春季日本気象学会シンポジウム「21 世紀の極域科学—今なぜ南極観測なのか」の報告, 天気, 50, 604-609.
- 酒井徹, 2010 : 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.
- 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, *Journal of Geophysical Research*, 111, C11010, doi:10.1029/2005JC003424.
- Schneider, U., A. Becker, A. Meyer-Christoffer, M. Ziese and B. Rudolf, 2011: Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, 1-13. Internet Publication: <http://gpcc.dwd.de/>
- 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. *Journal of Geophysical Research*, 113, D16102, doi:10.1029/2007JD009555.
- Trenberth, K.E., J. T. Fasullo and J. Mackaro, 2011: Atmospheric Moisture Transports from Ocean to Land and Global Energy Flows in Reanalyses. *Journal of Climate*, 24, 4907-4924, doi:10.1175/2011JCLI4171.1.
- Zhang, X., J. He, J. Zhang, I. Polaykov, R. Gerdes, J. Inoue, and P. Wu, 2012: Enhanced poleward moisture transport and amplified northern high-latitude wetting trend. *Nature Climate Change*. doi:10.1038/NCLIMATE1631.

環北極陸域における陸面諸過程の変化

朴 昊澤
海洋研究開発機構

1 はじめに

近年温暖化により凍土内の地温が 0.5~2.0°C 増加していたこと (Solomon et al., 2007)、1990 年以降活動層が深くなる傾向にあることが観測により明らかになった。急速する地表面凍土の融解により湿地の拡大やそれに伴う地形及び植生の攪乱が確認された (Iijima et al., 2010)。また、21 世紀において凍土は現在より 7-90% 縮小すること、活動層が 40-100% 増加することをモデルが予測している (Schaefer et al., 2011)。このように観測及びモデル研究は北極凍土が現在急激な変化の局面にあること、そして今後の更なる変化を指摘する。

凍土低下はある程度予測可能である。しかし、凍土がどのくらい低下するのか、また活動層はどのくらい深くなるのかについての不確定性はまだ大きい。そのため、その不確定性を減らすこと、凍土低下が相互作用及びフィードバックを通して陸面諸過程に及ぼすその二次的影響を定量的に評価することとそのメカニズムに関する知見が強く求められる。従って、本年度では陸面過程モデル CHANGE (Park et al., 2011) による凍土変動及び陸面諸過程に関するモデルの結果を記述する。モデルは北緯 45° 以上の環北極陸域と 1901-2009 年を対象にした。

2 CHANGE モデルの概要及びデータ

CHANGE は異なる時・空間スケールにおいて土壌-植生-大気システム間の水、熱及び CO₂ フラックスを評価する陸面過程モデルである。これらのフラックスは気象条件、環境及び地表面状態に大きく依存する。特に、季節的及び人為的影響による植生構造の変化、積雪の有無による地表面状態の変化はアルベド、エネルギー収支及び蒸発散に大きく影響する。地表面のエネルギー及び水収支は植物の光合成過程にも影響し、その影響は再び植生構造にフィードバックされる。光合成プロセス、植生動態モデル及び植物の生態生理学プロセスを考慮したことによって CHANGE は地表面状態の変動と陸面諸過程間の相互作用及びフィードバックを評価することができる。計算対象地域の環境と気象条件に適した植生タイプをモデルが抽出し、その構造の時・空間変化と陸面諸過程間の関係をシミュレートしていくことが、植生タイプや葉面積指数などを既値として与える従来のモデルと大きく異なる。また、植生動態モデルから推定される根系構造の変動と蒸

散をカップリングしたことも従来モデルから発展したところである。

欧州の大型プロジェクトである WATCH が提供している $0.5 \times 0.5^\circ$ スケールの全球気象データセットをモデルの入力値として利用した。入力要素としては気温、降水量、日射量、比湿、表面気圧及び風速である。このデータセットは 1901~2009 年間で有効である。観測データベースの月単位のグリッドデータセットである CRU TS2.1 と TS3.1 のもとで ERA-40、また ERA-Interim を統合して内挿したものである。GPCC の補正法を用いて降水量の損失量を補正している。

3.1 気温と降水量の季節・経年変化

環北極陸域における気温と降水量の 1901-2009 年間の経年変化を図 1 で示す。気温と降水量の両者とも増加トレンドを示す。109 年間で気温は 1.3°C ($r=0.60, P<0.0001$)、降水量は 76mm ($r=0.85, P<0.0001$) の増加が見積もられる。しかし、両者は異なる経年変化のパターンを示す。降水量は 1960 年代まで著しい増加傾向を示して、その以降減少して 1990 年から再び増加して湿潤な環境を形成している。1951-2009 の期間において北緯 55° 以上の陸域の降水量が約 5% 増加したことが分かった (Walsh, 2011)。増加トレンドの中、2000 年代の降水量の増加は著しい (図 1)。1951-2009 の期間中、450 mm 以上の降水があった上位 5 年が 2000 年代 (2000、2002、2005、2007、2008) に集中していたことが分かった。

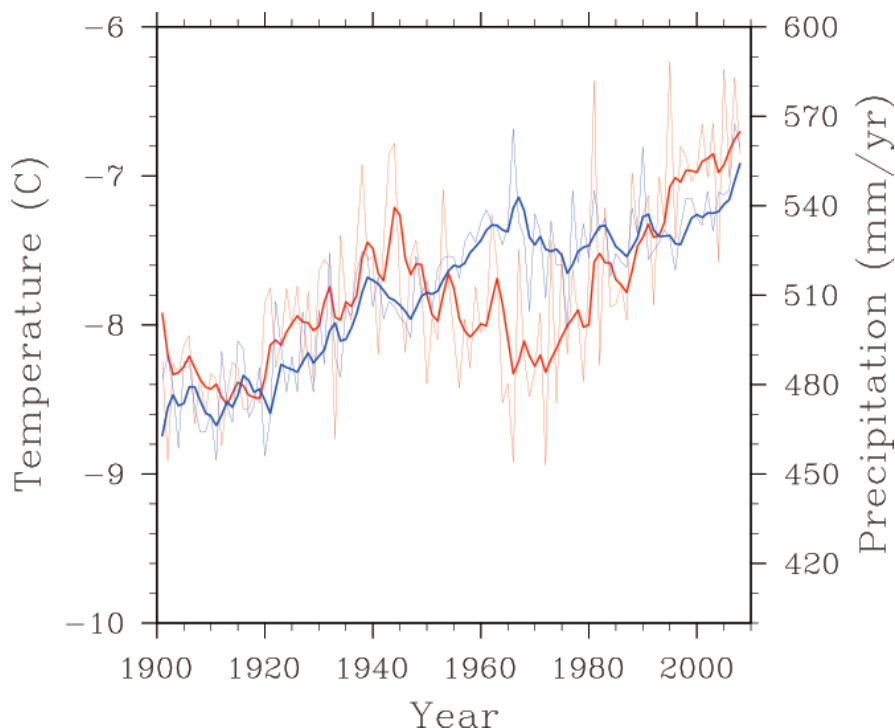


図 1. 1901-2009 年間ににおける年平均気温 (赤色) と年降水量 (青色) の経年変化。

第一の北極温暖期と言われた 1940 年代に気温上昇が明らかである。その後、寒冷ペーズに入ってから 1980 年代から再び温暖化ペーズに変わる変動を示す。1980 年以降の気温上昇の勾配は非常に

急であり、30年間約1.0°Cの気温上昇が見積もられる。この増加は、Bekryaev et al. (2010)が北緯59°以上の陸域の観測データ(1979-2008年)の解析から得た1.85°Cの増加に比べて低い。両者間の差は解析の対象にした領域の違いの影響が考えられる。本研究では西シベリアの一部とヨーロッパを対象外にしている。

3.2 変化する積雪環境

計算の対象になった1901-2009年間においてユーラシアと北米の積雪深は増加トレンドを示すが、時期において両者は若干異なる変動パターンを表す(図2)。ユーラシアでは1940年から急激に増加して1960年代に最大値に達する。その後減少傾向にある。一方、北米の積雪深は増加トレンドを示す中で1992年にピークに達する。1901-1992年間で約20cmの積雪増加があった。しかし、1990年以降ユーラシアと同様に積雪深は減少していた。Park et al. (2012b)による解析では1979-2006年間ユーラシアと北米でそれぞれ年間0.08cm、0.2cmの減少があったことが分かった。しかし、本研究では1979-2009年間においてユーラシアで0.05cm、北米で0.01cmの積雪減少があった。両者の研究間のトレンドの違いは対象期間及び領域の違いによるものと考えられる。気温上昇が顕著であった1980年以降、両大陸の積雪深は確かに減少していた。しかし、1901-2009年の長期変動の中で1980-2009年間の両大陸の積雪深は平均またはその以上の状態を保っていたことが分かる。このことは冬期の積雪深は降水量に大きく影響されたことを示唆する(Park et al., 2012)。

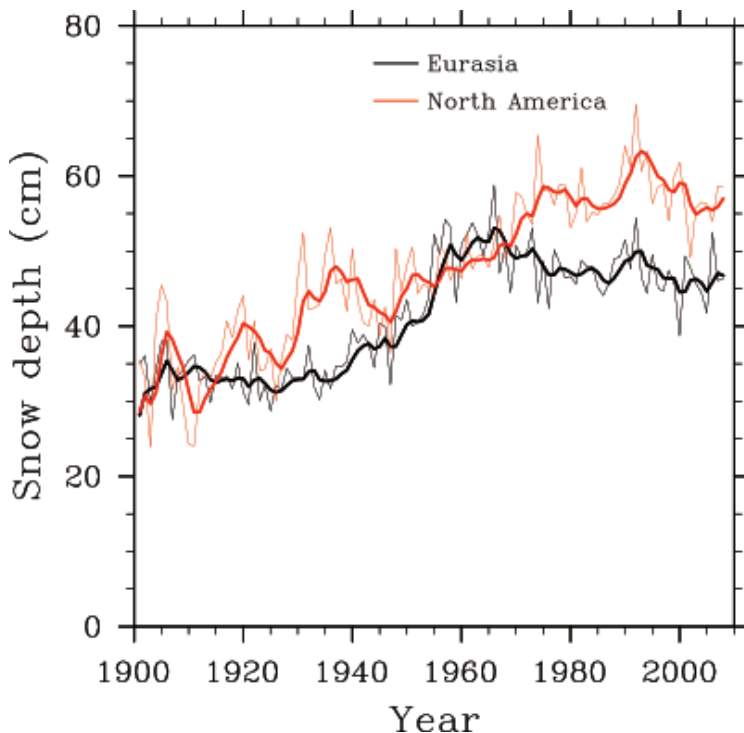


図2. 北米とユーラシアにおける積雪深の経年変化。

3.3 温暖化していく凍土

活動層の変動は温暖化に対する凍土の変化を表す一つの指標である。活動層は夏期の気温変動に強く影響を受ける。気温上昇が顕著であった 2000 年代に一部の地域を除く多くの地域で融解深が深くなっている (図 3)。その増加は他の 2 期間に比べてより顕著である。不連続凍土帯、特に凍土境界域で増加が著しい。その地域で活動層が平均より 1 m 以上深くなった場所も多くある。特に、西シベリアとカナダ北東部で顕在化している。また、一部の地域では凍土が完全に消失してしまったことが可視的に確認できる。1901-2009 年間で凍土縮小累積面積は約 $1.0 \text{ km}^2 \times 10^6$ であった。Lawrence et al. (2011) は過去 100 年間 (1889-1989 年) で $1.1 \text{ km}^2 \times 10^6$ の凍土面積が縮小したことを報告した。

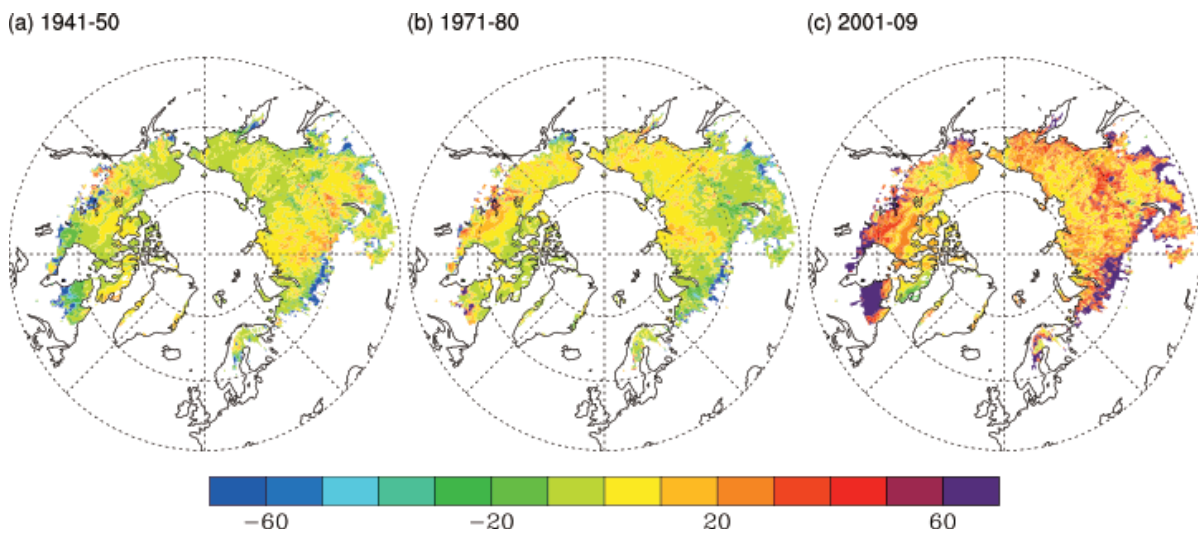


図 3. 三つの期間における活動層の偏差 (cm) を表す。ここで、偏差は 1901-2009 年間の平均に対するそれぞれ期間の平均との差である。

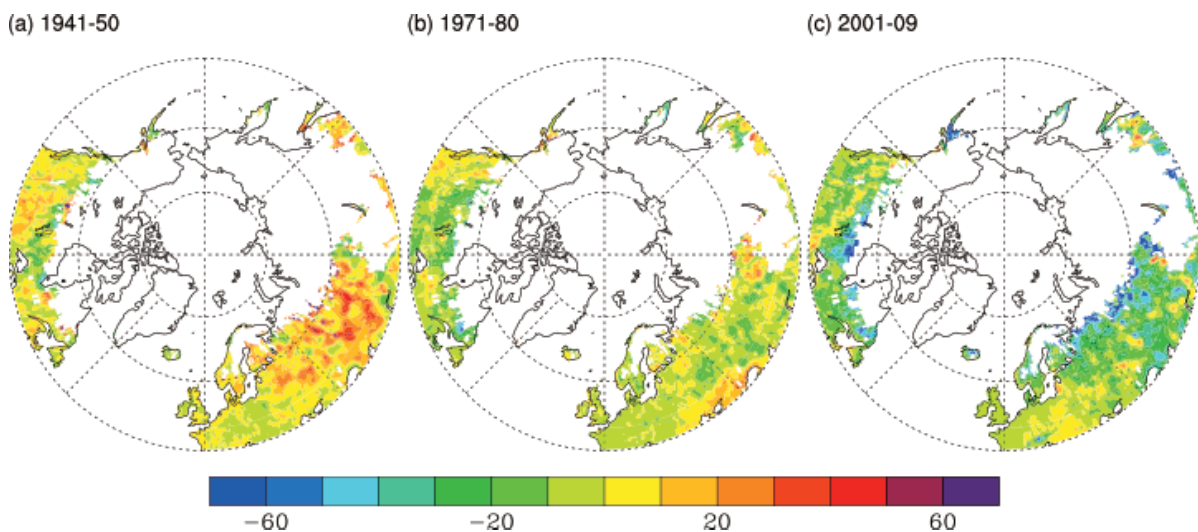


図 4. 三つの期間に対して非凍土地域における冬期の凍結深の偏差 (cm) を表す。ここで、偏差の求め方は図 3 と同様である。

冬期において凍土域を含めた非凍土域の土壌も凍結する。その凍結深は地域の地表面状態及び気候によって異なる。図 4 は非凍土域における三つの期間の凍結深の偏差を表す。年代の経過とともに凍結深が浅くなる傾向が著しい。ここで、マイナスは凍結深が浅くなったことを意味する。2001-2009 年の凍結深は他の期間に比べて明らかに浅い。冬期の気温上昇、すなわち積算寒度の減少の影響を反映する。凍結深の減少は凍土帯との境界域でより顕著である。Zhang et al. (2003) は単純な計算方法を用いて北半球における凍結面積は $48.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ であると推定した。陸面過程モデルを装着した気候モデルを用いた計算では過去 100 年間で $1.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ の凍結面積が減少したことが分かった (Lawrence et al., 2011)。また、21 世紀末における凍結面積は現在より 9-16% 減少するとそのモデルが予測した。

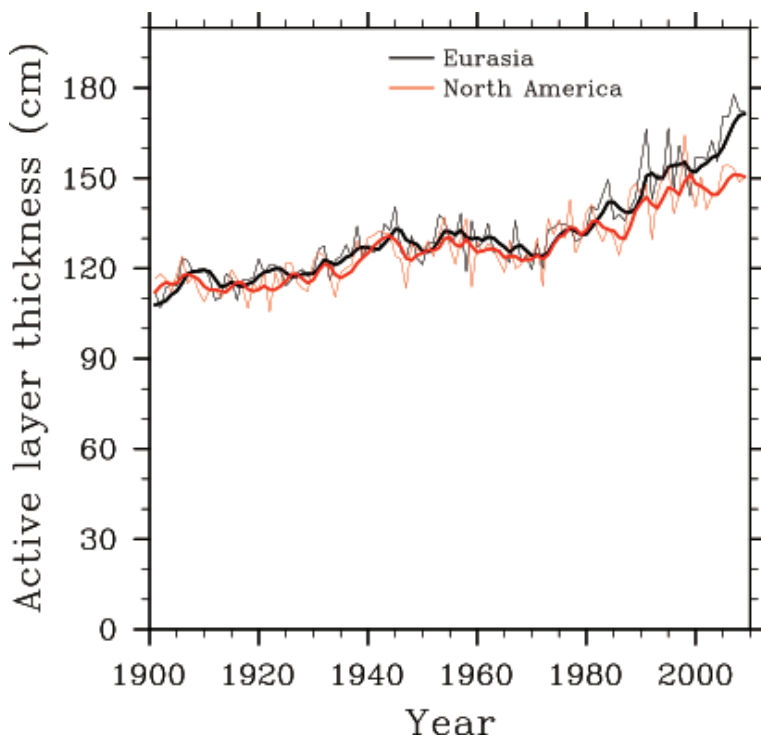


図 5. ユーラシアと北米における 1901-2009 年間の活動層の経年変化。

活動層の空間分布の経年変化 (図 3) が示したようにユーラシアと北米の両大陸の活動層は明らかに増加傾向にある (図 5)。活動層は 1940 年代までに増加して、その後低下して 1970 年代に新たに増加するパターンを示す。1970 年以降の増加勾配は両大陸とも非常に急である。1971-2009 年間における活動層の増加はユーラシアで 50cm、北米で 30cm であった。その増加は 1901-1945 年間に比べて非常に大きい。一方、2000 年以降の北米の活動層はユーラシアと異なって若干停滞状態にある。その原因として積雪深と夏期の気温の低下が考えられる。1901-2009 年間の活動層の増加はユーラシアで 35cm、北米で 30cm であった。活動層の増加傾向は観測やモデルからも確認できる。Zhang et al. (2005) は Lena 流域内の 17 ヶ所の地温データを用いて 1956-1990 年間に

において活動層は 32cm 増加したことが分かった。積算暖度を用いた計算ではユーラシアの 3 流域 (Ob, Yenisey, Lena) において 1980 年以降活動層が増加していたことを Zhang et al. (2005) が報告した。また、Park et al. (2012a) も陸面過程モデルを用いてユーラシアの河川流域の活動層が増加傾向にあることを報告した。Osterkamp (2007) はアラスカ内陸の Healy において 2000 年以降の地温低下を観測し、その低下は積雪深の減少による影響であることが分かった。一方、2100 年において活動層は現在より 30–300cm 増加する温暖化の実験結果を Schaefer et al. (2011) がまとめた。

3.4 蒸発散量の時・空間変化

蒸発散量は大気からの要求に対する地表面の応答、すなわち地表面からの水分損失である。土壌水分、葉面積指数及び気孔コンダクタンスなどが蒸発散量の時・空間変動に影響する (Eugster et al., 2000)。そのため、蒸発散量は空間的な非均質性が大きい。図 6 では三つの期間における蒸発散量の偏差分布を表す。最近 10 年間では全地域において蒸発散量の増加が目立つ。特に、活動層 (図 3) と降水量 (図 1) の増加が顕著であった西シベリアとカナダ北東部で蒸発散量の大きい増加が見られる。年間 40 mm 以上の増加が南の地域で広く発生していた。シベリアの蒸発散量は 1941–1950 年代に増加していた。しかし、1971–1980 年代においては反対に減少が大きい。一方、極東シベリアとアラスカの蒸発散量の時間変動は他の地域に比べて相対的に大きくはない。実際、気温が大きく低下した 1970 年代において (図 1) 環北極陸域の蒸発散量は最小値を示す (図 7)。その後、蒸発散量は増加して 2005 年に最大に達する。蒸発散量の増加は気温と降水量の増加の影響であるが、降水量より気温と密接な関係にあることが分かった。

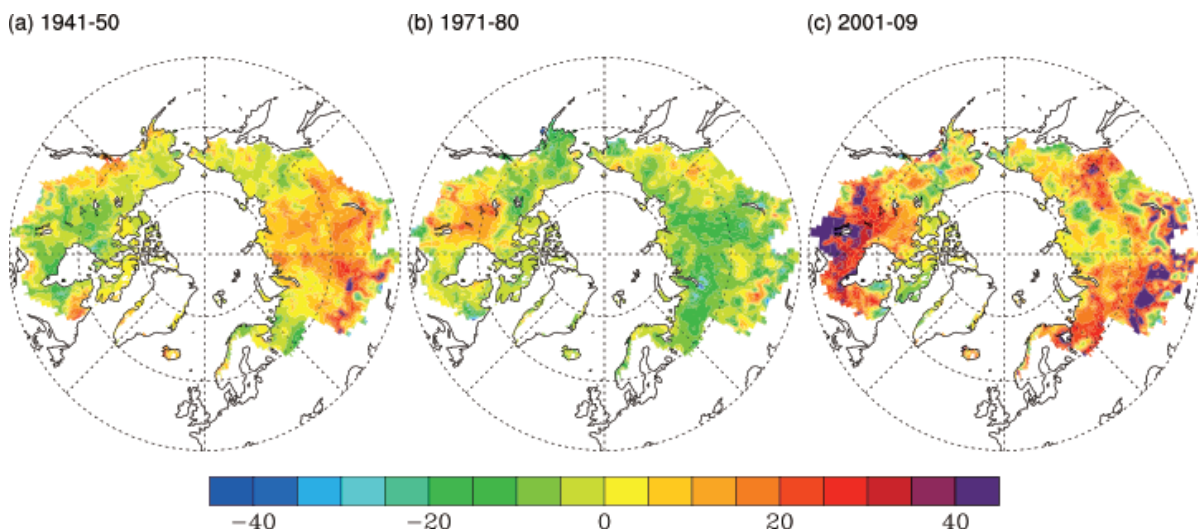


図 6. 三つの期間における夏期 (6–8 月) の蒸発散量の偏差。ここで、偏差の求め方は図 3 と同様である。

蒸発散量は 109 年間で 9 mm ($p < 0.0002$) 増加していた (図 7)。気温と降水量の両者が顕著に増加した 1981–2009 年間に於いて蒸発散量の増加は 4.8 mm/decade であった。この数値は Zhang et al. (2009) が北極陸域に於ける 1983–2005 間で得た 3.8 mm/decade より高い。しかし、蒸発散量の増加トレンドは最近の植生バイオマス量の増加傾向と一致する (Zhang et al., 2008)。1980 年以降の蒸発散量の増加は全球の観測ネットワーク、衛星観測及びモデル結果の解析からも同様に示された (Jung et al., 2010)。全球スケールに於いては土壌水分ストレスが蒸発散量の抑制因子として強く働いていたことが Jung et al. (2010) によって明らかになった。

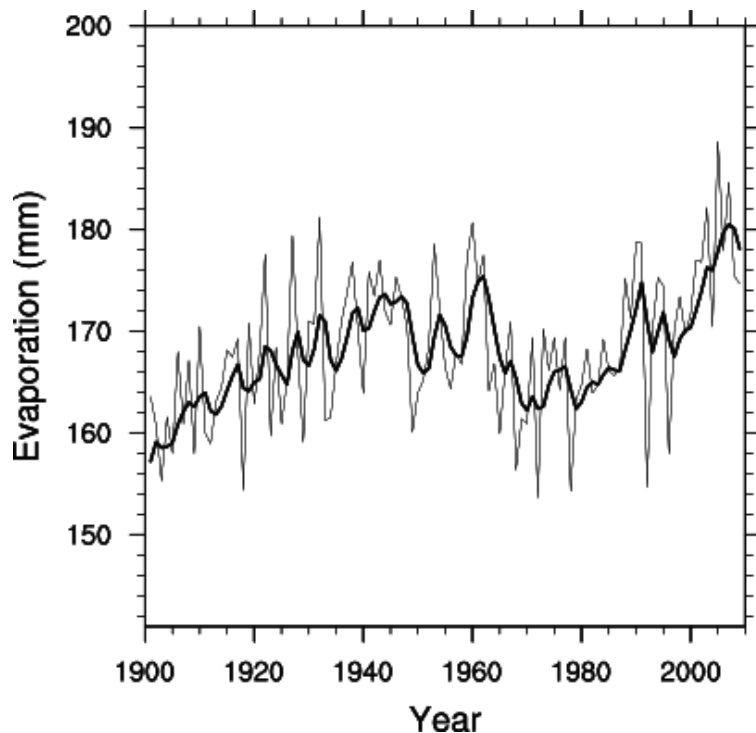


図 7. 環北極陸域の蒸発散量の経年変化。

4 まとめ

モデル CHANGE による過去 109 年間のシミュレーションは環北極陸域に於ける諸プロセスが明らかに変化していたことを示した。特に、気温上昇が著しかった 1980 年以降、降水量が増加していたにもかかわらず積雪深は減少傾向を示していた。一方、活動層は気温上昇と一致して増加トレンドを示した。蒸発散量も増加していた。しかし、最近 20 年間では北米の一部の地域で活動層が減少傾向にあることが分かった。冬期の顕著な積雪深の減少と土壌水分の低下がその原因であった。これらの結果から北極陸域には温暖化の影響が進行していたが、一部の地域及び期間に於いて温暖化のトレンドと異なる偏差が現れていたことが分かった。

参考文献

- Bekryaev, R., Polyakov, I., and Alexeev, V. (2010) Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern Arctic warming. *J. Clim.*, 23, 3888–3906.
- Eugster, W., et al. (2000) Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: Available data and feedbacks to climate. *Global Change Biol.*, 6, Suppl. 1, 84–115.
- Iijima, Y., Federov, A., Park, H., Suzuki, K., Yabuki, H., Maximov, T., and Ohata, T. (2010) Abrupt increases in soil temperature following increased precipitation in a permafrost region, central Lena river basin, Russia. *Permafrost Periglac. Process.*, 21, 30–41.
- Jung, M. et al. (2010) Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature*, 467, doi:10.1038/nature09396.
- Lawrence, D., Slater, A., and Swenson, S. (2011) Simulation of present-day and future permafrost and seasonally frozen ground conditions in CCSM4. *J. Clim.*, 34, 969–981.
- Osterkamp, T. (2007) Causes of warming and thawing permafrost in Alaska. *Eos Trans. AGU*, 88 (27), 522–523.
- Park, H., Iijima, Y., Yabuki, H., Ohta, T., Walsh, J., Kodama, Y., and Ohata, T. (2011) The application of a coupled hydrological and biogeochemical model (CHANGE) for modeling of energy, water, and CO₂ exchange over a larch forest in Eastern Siberia. *J. Geophys. Res.*, 116, D15102, doi:10.1029/2010JD15386.
- Park, H., Walsh, J., Fedorov, A., Sherstiukov, A., Iijima, Y., and Ohata, T. (2012a) The influence of climate and hydrological variables on opposite anomaly in active layer thickness between Eurasian and North American watersheds. *The Cryosphere Discuss.*, 6, 2537–2574.
- Park, H., Walsh, J., Kim, Y., Nakai, T., and Ohata, T. (2012b) The role of declining Arctic sea ice in recent decreasing terrestrial Arctic snow depths. *Polar Sci.*, doi:10.1016/j.polar.2012.10.002.
- Schaefer, K., Zhang, T., Bruhwiler, L., and Barrett, A. (2011) Amount and timing of permafrost carbon release in response to climate warming. *Tellus B.*, 63, 165–180.
- Solomon, S. et al. (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.* 996 pp. Cambridge University Press.
- Walsh, J., Overland, J., Groisman, P., and Rudolf, B., (2011) Arctic Climate: Recent Variations. In *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere.* Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo.
- Zhang, K., et al. (2008) Satellite-based model detection of recent climate-driven changes in northern high-latitude vegetation productivity. *J. Geophys. Res.*, 113, G03033, doi:10.1029/2007/JG000621.
- Zhang, K., et al. (2009) Satellite based analysis of northern ET trends and associated changes in the regional water balance from 1983 to 2005. *J. Hydrol.*, 379, 92–110.
- Zhang, T., Barry, R., Knowles, K., Ling, F., and Armstrong, R. (2003) Distribution of seasonally and

perennially frozen ground in the Northern Hemisphere. Proc. Eighth Int. Conf. on Permafrost, Zurich, Switzerland, Swiss Federal Institute of Technology, 1289–1294.

Zhang, T., et al. (2005) Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. *J. Geophys. Res.*, 110, D16101, doi:10.1029/2004JD005642.

Lena 川流域の流量資料から見る流出特性

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

シベリア地域では温暖化が最も顕著に進行すると予想され、既に気候・生態系・永久凍土などに多くの変化がおきつつある。温暖化が水循環に与える影響を把握し、過去から未来にかけてどのように変動するかを検討するには、水循環モデルの役割が重要であり、水循環の output としての河川流量との比較は水循環モデルの検証作業の重要な柱となる。このため、筆者らは陸面モデルに流出モデルを結合させた分布型水文モデルの構築を行い、特に人間のスケールに近い日単位の流量の再現を行ってきた(八田ら 2009、八田 2012)。その一方で、今後、長期的な水循環を考える上では、観測資料の制限などから、日単位などの短い時間単位での検証ではなく、月単位・季節単位あるいは年単位といった検証が必要になると考えられる。このような長期的な時間単位で流出を考える場合には、流出モデルの役割よりも、流量の時間配分に最も影響を与える河川の結氷・解氷や、陸面モデルで計算される流出の量と空間分布が極めて重要になると考えられる。このうち、河川の結氷・解氷については経験的なモデルではあるものの、すでに検討を行っている(八田 2011)が、陸面モデルの空間分布を評価するための資料は必ずしも十分ではない。

このような観点から、本報告ではこれまでに得られている河川流量資料を用い、Lena 川流域の流出特性と、流量の年々変動や季節変動特性について検討し、今後の陸面モデルの検証に有用な検証資料を提供することを目的とする。なお、Lena 川の年流量・月流量の長期変動については、既に Ye et al.(2003)によって報告されている。本報告では、Lena 川全流域の流量がどの上流域でどのくらいの大きさで生成され、そしてその構成に季節的な変動は見られるのかといった点に特に注目する。

2 流域と観測資料の概要

Lena 川は Baikal 湖北側にそびえる Stanovoi 山脈に発し、途中主要な支流である Aldan 川、Vilui 川を集めながら北極海へ流れ込んでいる。流域面積は 249 万 km²、主河道長が 4400km の大河川である。図-1 に Lena 川流域の概要を示す。Lena 川流域は、その大半が永久凍土に覆われている点で他のシベリアの大河川と異なる。Lena 川全体では、人為的な影響は小さいが、Vilui 川上流の Chernyshevskiyi 付近(図-1 中の ■印の地点)には 1960 年代に発電を主目的として建設された最大貯水容量が 35.9km³ のロックフィルダムが存在している。この貯水容量は Vilui 川流域の年流出量である 46.7km³の 77%に相当し、このダム操作の影響により、冬季の平均流量が 400~600m³/s 程度上昇していることが Ye et al.(2003)によって指摘

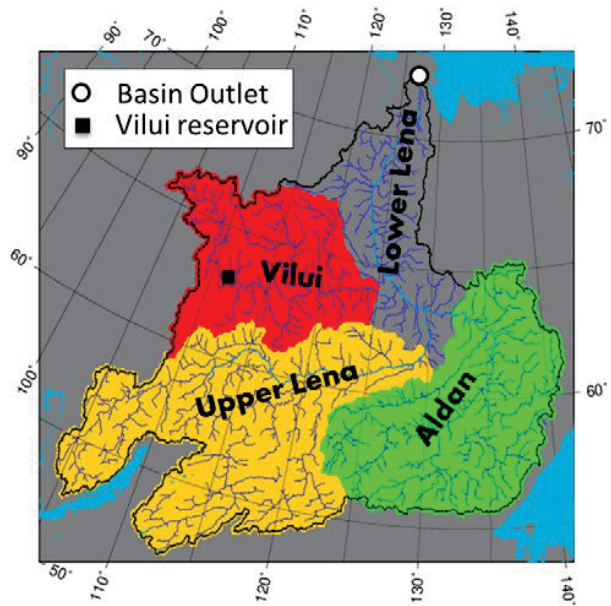


図-1 対象流域と支流の分割図

(○印は Lena 川最下流の流量観測点、■印はダム地点)

されている。

一方、流域内には40地点程度流量観測点が設置されており、観測地点によって期間は異なるものの、1936年から2009年までの月平均流量が ArcticRIMS (<http://rims.unh.edu/index.shtml>) で公開されている。本報告ではここで公開されている資料のうち、多くの地点で共通に資料が整備されている1942年から1999年までの資料を中心に用いることとした。

表-1 分割した4支流流域の諸元

	Basin Area		Discharge	
	km ²	% of Total Basin	km ³ /yr	% of Total Discharge
Upper Lena	897000	36.9%	221	41.8%
Aldan	696000	28.6%	165	31.2%
Vilui	452000	18.6%	46.7	8.8%
Lower Lena	385000	15.8%	96.3	18.2%

3 流量資料の整理方法

本報告では、図-1中の○印で示すLena川Kusur地点(この地点の流域をLena川全流域と呼ぶ)地点を最下流として、Lena川を大きく4つの地域に分割し、それぞれの地域の流出がLena川最下流にどのように寄与しているかを見る。具体的にはLena川のTabaga地点上流(図-1中の黄色のエリア)、Aldan川Verkhyoyanski' Perevoz地点上流(図-1中の緑色のエリア)、Vilui川Hatyrík-Homo地点上流(図-1中の赤色のエリア)をそれぞれLena川上流域、Aldan川流域、Vilui川流域と定め、これら3つの流域をLena川全流域から除いた残流域をLena川下流域(図-1中の無色のエリア)として扱うものとした。Lena川上流域、Aldan川流域、Vilui川流域から発生する流量はそれぞれの基準点で観測された流量であり、Lena川下流域から発生する流量はLena川全流域の流量から上流の3流域の流量を差し引いたものとなる。表-1は分割した流域の集水面積と全流域に占める面積率、およびそれぞれの流域から発生する全観測期間の平均流量とLena川全流域に占める流量の寄与率を示す。Vilui川流域の集水面積は全流域に対して18%程度を占めるが、Lena川全体の流量の8%程度の流出に留まっており、Lena川全体の流量の70%超がLena川上流域とAldan川流域からの流出で賄われていることがわかる。

このように上流3流域の流量とLena川全流域の流量を直接比較して流量の構成が可能なのは、上流の観測地点から最下流Kusurまでの流下時間が対象としている流量の平均期間に対して短い場合である。例えば、図-2は1980-1999年の流量資料を用いて求めた上流3流域の月平均流量の合計値とLena川最下流の月流量の比較を行ったものである。Lena川全流域の洪水のピークは5月の下旬から6月上旬にかけて発生し、これより上流の支流では洪水のピークが主として5月下旬に発生する。このため、下流から上流の月流量を差し引いて、Lena川下流域の流量の推定ができず、更に、流出のタイミングが異なるので、季節別の全流域の流量構成を検討することもできない。このため、ある程度の期間をひとまとめにして流量の比較を行うことが必要となる。本報

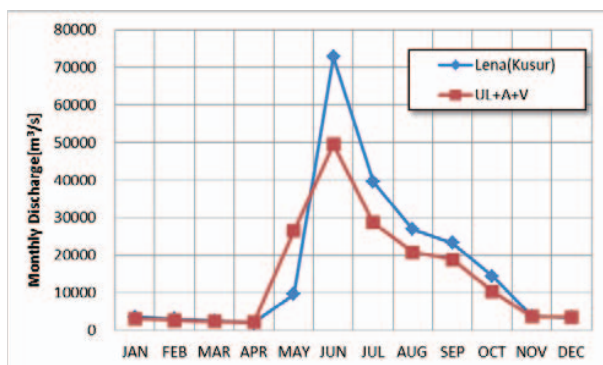


図-2 上流3流域の月平均流量の合計値(赤線)とLena川最下流の月流量(青線)の比較 (1980-1999年の平均値)

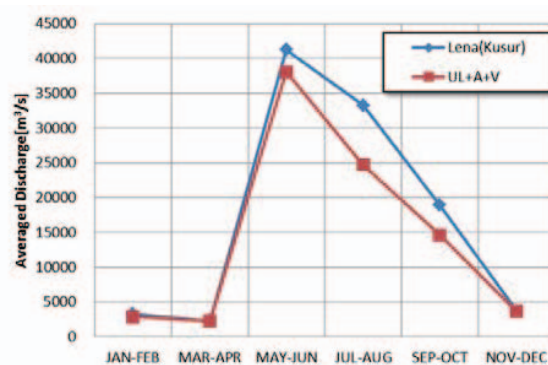


図-3 上流3流域の2ヶ月の平均流量の合計値(赤線)とLena川最下流の2ヶ月の平均流量(青線) (1980-1999年の平均値)

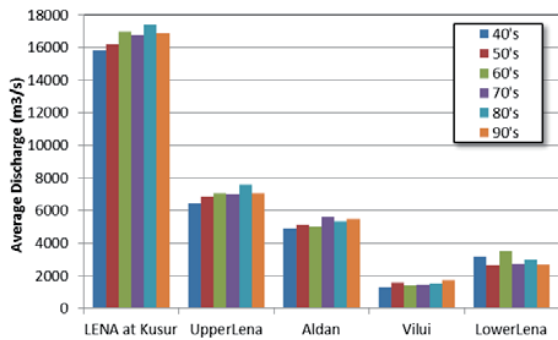


図-4 Lena 川流域の 10 年単位の平均流量の変化

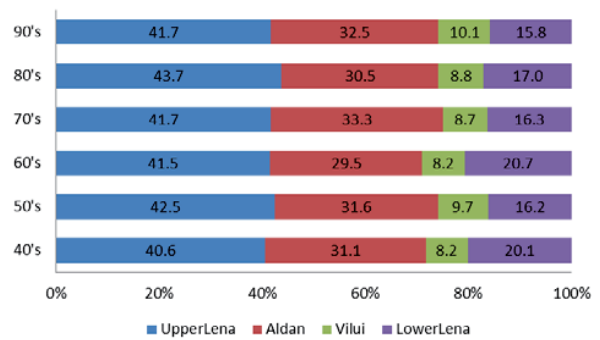


図-5 10 年単位の平均で見た各支流の全流量に対する流出量の寄与率の変化

告では、5-6月の洪水期を2ヶ月ひとまとめにして扱い、他の期間もこれに応じて2ヶ月単位で考えることとした。図-3はLena川全流域の2か月平均流量と上流3支流の2か月平均流量の合計値の比較を行ったものである。各時間区分の境界では上流域と下流域で同一の流出とはならないが、2か月単位の流量波形はおおむね一致しており、季節的な変動に関しては、この2ヶ月の時間区切りを用いることとする。

4 Lena 全流域の流出の構成と年々変動

4.1 長期的にみた流量と流量構成比の変動

Lena 川の長期的な流量変動や流域ごとの流出構成の変化を検討するため、全流域の流量資料の揃っている1940年から1999年について、10年単位で平均をとってその変動をみることにした。図-4はLena川全流域、Lena川上流域、Aldan川流域、Vilui川流域およびLena下流域の10年単位の平均流量の変化を示している。多少の増減は見られるが、流量の増加傾向はLena川上流、Aldan川、Vilui川流域で見られ、その結果としてLena川全流域でも流量が増加している。Vilui川流域は他の支流域に比べて流量そのものが小さいため、増加量も小さく見えるが、1990年代の流量は1940年代の流量に対して1.3倍超で、他の支流域の1.1倍を大きく上回っている。

一方、10年単位の平均で見た各支流の全流量に対する流出量の寄与率の変化を図-5に示す。全体としては、Lena川下流域以外は増加傾向にあるため、Lena川下流域の全流域に対する割合は低下し、流出量の増加割合の大きいVilui川流域の比率が他の支流域からの流出に比べて、若干大きめに増加しているが、支流域間で流量の構成が逆転するような極端な流量構成の変動は見られない。

4.2 流量と流量構成比の季節的な変動

次に、季節的な流量の変動と全流域に対する各支流の構成比の変動について検討する。ここで注意が必要なのは、Vilui川では1960年代に貯水容量の大きなダムが建設されて

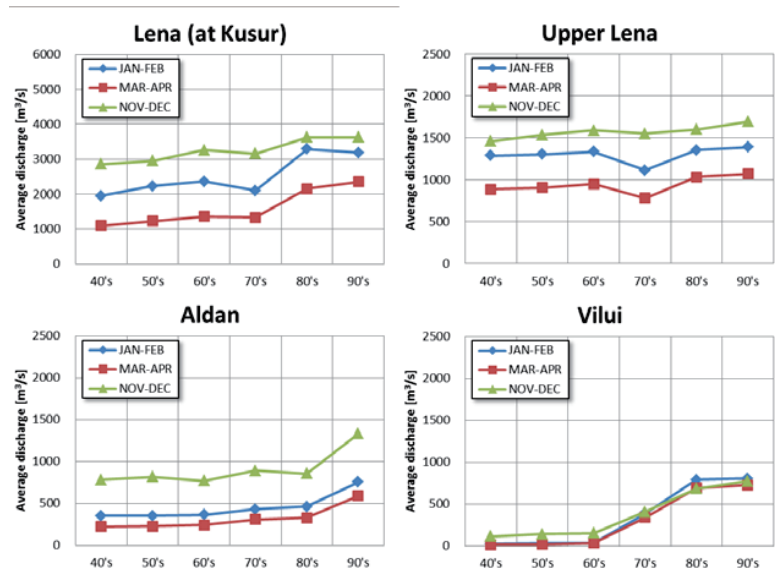


図-6 10 年単位の冬季平均流量の変化

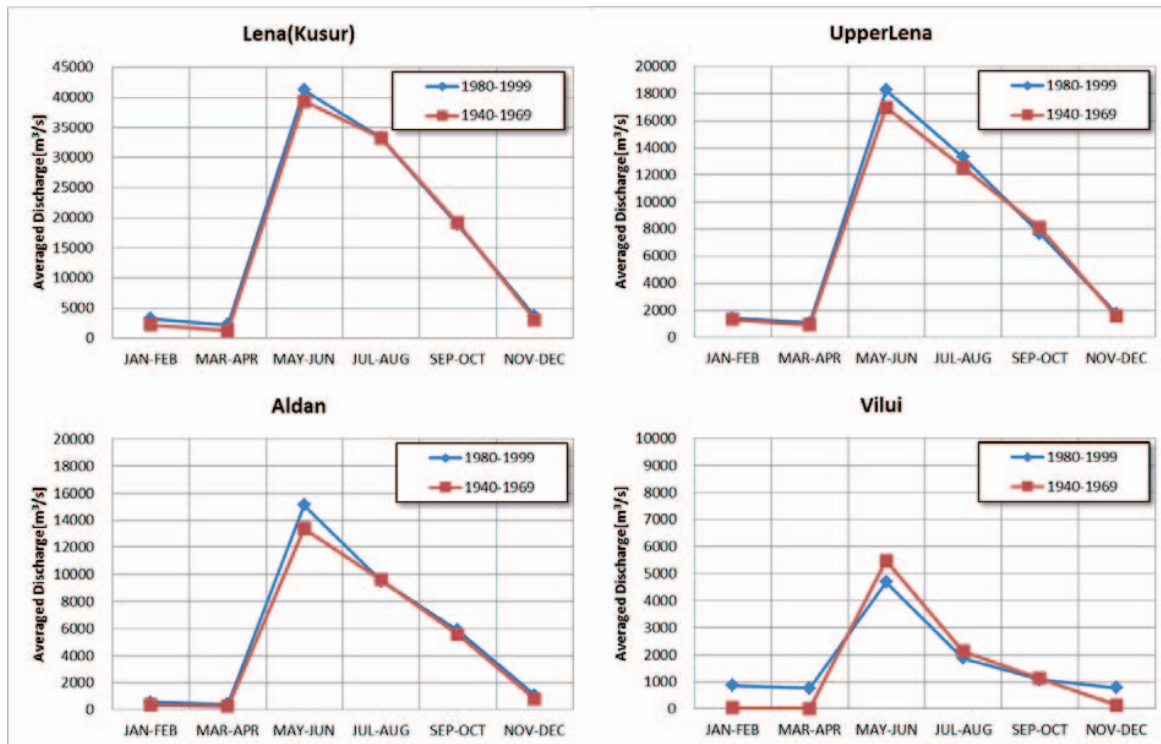


図-7 ダム建設前と建設後の平均流量の季節配分の変化

いるため、ダムの建設前後では、流量の年間の時間的配分が異なることが予想される。

図-6 は各流量観測点で冬期間の2ヶ月平均流量(11-12月、1-2月、3-4月)の10年毎の平均値の移り変わりを示したものである。いずれの流域も冬季流量が増加しているが、Vilui川流域ではダムが完成した1967年以降、冬期間の流量が極端に上昇していることがわかる。10年平均で見れば、1970年代を除いてVilui川流域の冬期間の流量は安定しているので、1940年代から60年代をダム建設前、1980年代から90年代をダム建設後の資料として用い、1970年代のものは遷移期として対象から外すこととした。

図-7 は4つの流量観測点における流出量の季節配分をダム建設前後で比較したものである。ダム建設後は、Vilui川流域では5-6月の洪水流量を貯留して冬季に利用することで、冬季流量が増加している。一方、Lena川上流域、Aldan川流域では、冬季の流量と融雪期の洪水量の両方が増加しており、この結果、Lena川全流域では、春先の洪水量が増加していることがわかる。ダム建設前後の各季節の流量変化量を支流域別に表示すると図-8のようになる。ダム建設後の20年間の平均流量に見られる冬季流量の増加は、各支流域からの流量増加と、Vilui

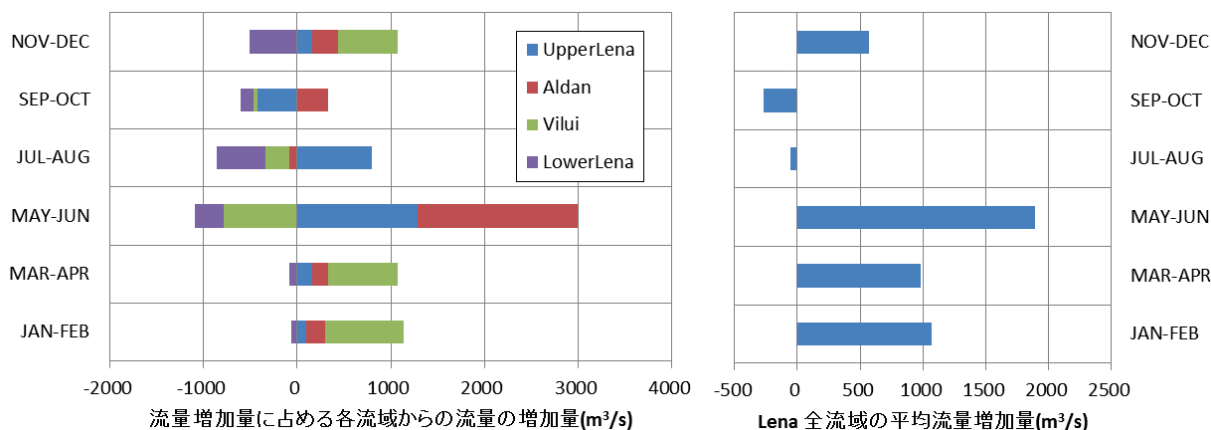


図-8 ダム建設前後のLena全流域の流量の変動量とその内訳

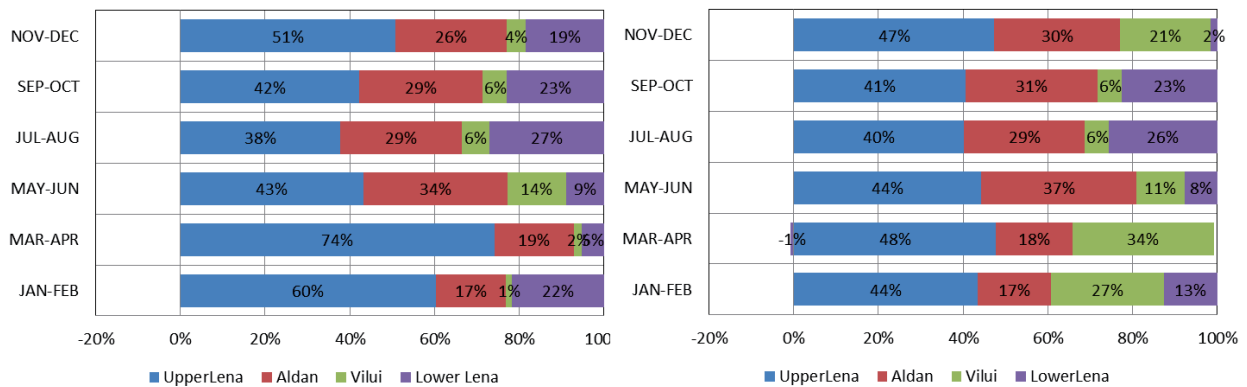


図-9 ダム建設前後の Lena 全流域の流量構成の変化(左：1940-1969, 右：1980-1999)

川流域で人為的にコントロールされた結果であることがわかる。Lena 川全流域で見られる近年の年河川流量の増加は、主として5月から6月の融雪期のLena川上流域、Aldan流域の流量増加の影響を受けることがわかる。この結果、Lena川全流域の流量構成はダム建設前後で図-9のように変化しており、特に冬季流量のVilui川流域とLena川下流域の流量構成が大きく変化していることがわかる。

5 おわりに

本報告ではこれまでに得られている河川流量資料を用い、Lena川流域の流出特性と、流量の年々変動や季節変動特性について検討した。この結果、Lena川下流域を除く上流の3流域全てで近年流量が増加していること、2ヶ月単位の季節的な流量配分でみると、Lena川上流域、Aldan川流域の流量増加は融雪期に顕著であること、ダム建設前後で全流域の流量に対する各支流からの流出の寄与率が特に冬期に大きく変化していることなどが明らかとなった。本来であれば、流量ばかりでなく支流単位での雨量の分布や陸面モデルによる流出の分布なども検討する必要がある、これについては今後さらに検証を進める必要がある。

今後検討する長期間の流出量の計算には、流出水発生から流量を求めるべき地点までの時間的な遅れを再現できる流出モデルが重要である。その際には、本報告で検討した流量の構成比などが有用になると考えている。

参考文献

- 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 Lena 川流域の長期流出解析 水文・水資源学会誌, 22, 177-187, 2009.
- 八田茂実, 分布型水文モデルにおける流出モデルの改良, 地球研プロジェクト C-07, 2011 年度研究成果報告書, 91-96, 2012.
- 八田茂実, 分布型水文モデルにおける結氷日・解氷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.
- Ye B, Yang D, Kane DL. 2003. Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations, Water Resources Research, 39(7): 1200. doi:10.1029/2003WR001991.

トナカイ放牧地における植生解析

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、シベリア域におけるトナカイ放牧による植生への影響を比較・検討するため、家畜トナカイのキャンプ地を対象に、MODIS 衛星画像による時空間解析を行った。

2 対象地域及び方法

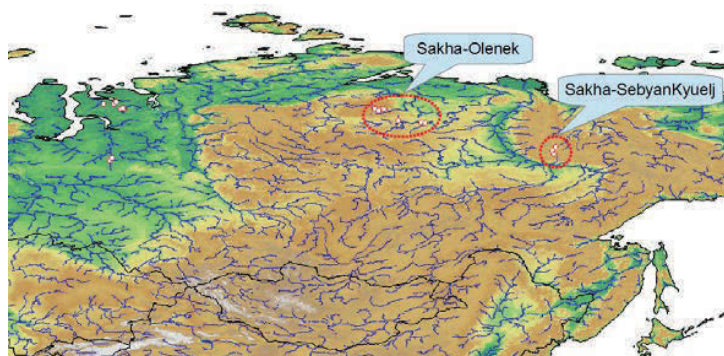


図1. 対象地の概要

吉田先生 (G3) 提供の Sakha-Olenek (9 箇所) 及び Sakha-SebyanKyuelj (4 箇所) 内の家畜トナカイ・キャンプ地の位置座標 (以下、キャンプ地座標) を対象とした。各キャンプ地座標を中心とする半径 2.5km 及び 5km の円形範囲を解析範囲とし、MODIS 衛星画像の解析を行った (表 1)。まず、各解析範囲内について、MODIS NDVI 16-day Composite (約 250m 解像度) プロダクト(LP DAAC)を利用し、2001 年

～2011 年における各年の最大 NDVI を算出し、各解析範囲においてその域内平均値 (以下、域内平均最大 NDVI) を各年ごとに算出した。さらに、各解析範囲における最大 NDVI の域内頻度分布 (以下、域内最大 NDVI 頻度分布) も各年ごとに算出した。域内平均最大 NDVI については、回帰分析により年変化トレンドについて域内・域間で比較するとともに、域内最大 NDVI 頻度分布については、10 年間の変化を同一グラフ上に重ねて比較検討するとともに、MODIS Land Surface Temperature & Emissivity 8-day Composite (約 1km 解像度) プロダクト(LP DAAC)による同解析域内の平均地表面温度と比較・検討した。

表 1. 調査サイトの概要

解析サイト情報		解析半径(m)		
Sakha Olenek	OlenekRiver_Camp	野生トナカイ渡渉観察地	10,000	
	OlenekRiver_Berysite	野生トナカイ渡渉地域	10,000	
	Brigade1_Camp1	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade1_Camp2	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade6_Camp1	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade6_Camp2	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade5_Camp1	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade5_Camp2	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	WinterCamp	冬営地	10,000	
Sakha SebyanKyuelj	Brigade9_Camp	家畜トナカイ飼育班キャンプ地	5,000	2,000
	Brigade9_Herding1	駄獣用トナカイ用牧草地	5,000	2,000
	Endybal-mining	銀鉱山サイト	10,000	
	WinterCamp	冬営地	10,000	
WestSiberia Gydan	Factory_Tanama	物資受給施設		
	Camp050505	個人経営者春季キャンプ地		
	Camp050509	個人経営者春季キャンプ地		
	Camp050519	個人経営者春季キャンプ地		
	Camp199607Yuribei	個人経営者夏季キャンプ地		
	Camp1996Razvyilka	元物資受給施設地(当時キャンプ地)		
	Gyda	集落		
WestSiberia Forest	NenetsNyaby_yakha_WinterCamp	常駐的夏営地		
	Kharampur	集落		

3 結果および考察

域内平均最大 NDVI の年変化トレンドについては、両対象地域とも有意な関係性は認められなかった。しかし、Sakha-Olenek ではほとんどの地点で減少傾向が見られたが、これに対し Sakha-SebyanKyuelj ではほとんどの地点で増加傾向が見られた (図2)。また、Sakha-Olenek ではほとんどの地点で 2004 年に他の年と比べ域内平均最大 NDVI の低下が見られたが、Sakha-SebyanKyuelj ではそのような特異的な年は見られなかった (図3、図4)。さらに、Sakha-Olenek における各年の域内最大 NDVI 頻度分布を比較したところ、域内平均最大 NDVI の低下が見られた 2004 年においては、他の年と比べ分布の中心が 0.1 程度他の年と比べ低く、域内で広範囲に NDVI の低下が見られた (図3、図4)。この Sakha-Olenek における 2004 年の特異的な現象の原因については、今後他の衛星画像や気象データ、また他のグループとの情報交換を通じて明らかにしていきたい。

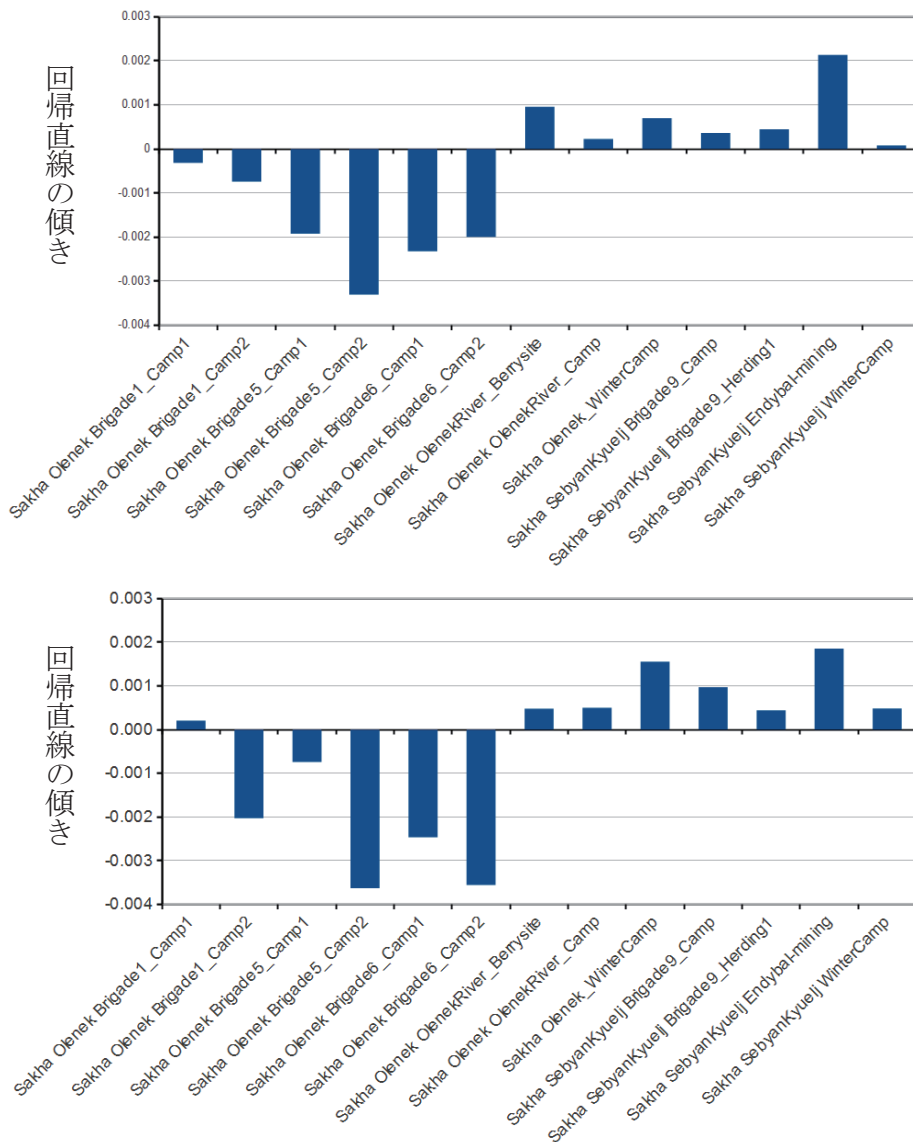


図2. 平均最大 NDVI のトレンド(上図 : 5km、下図 : 2.5km)

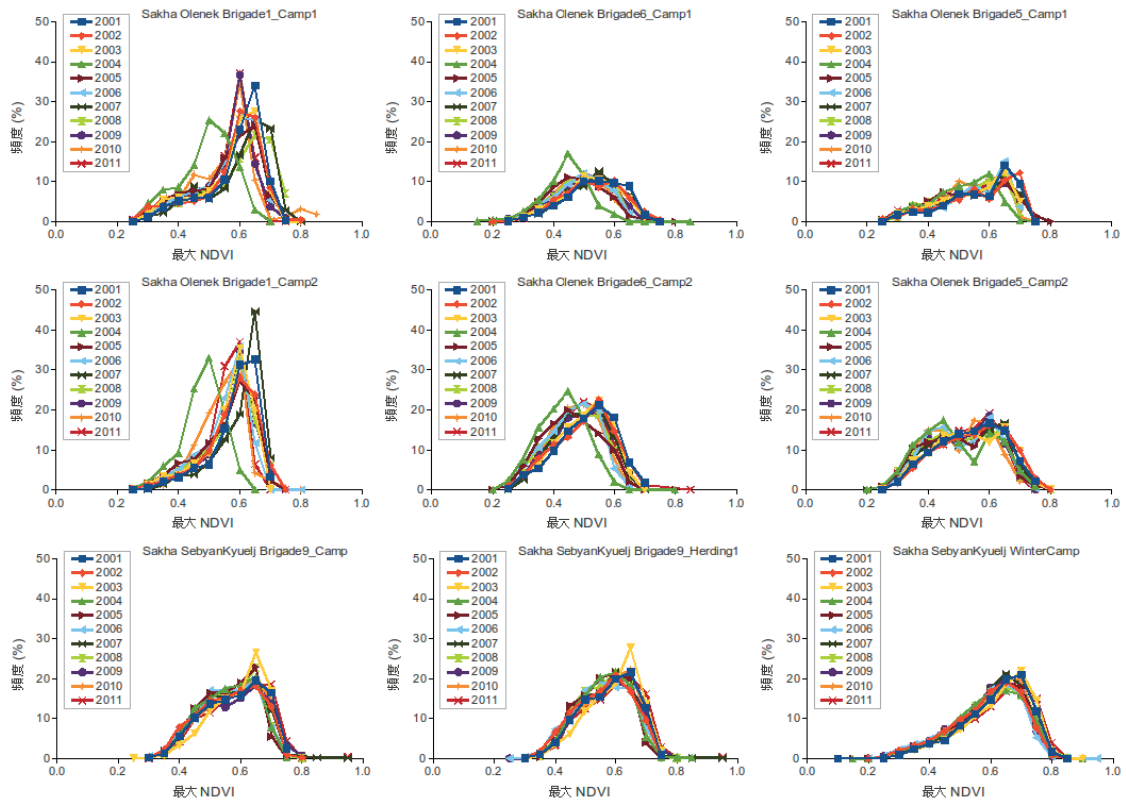


図3. 解析域内における年間最大NDVI 頻度分布の年度間比較 (5 km)

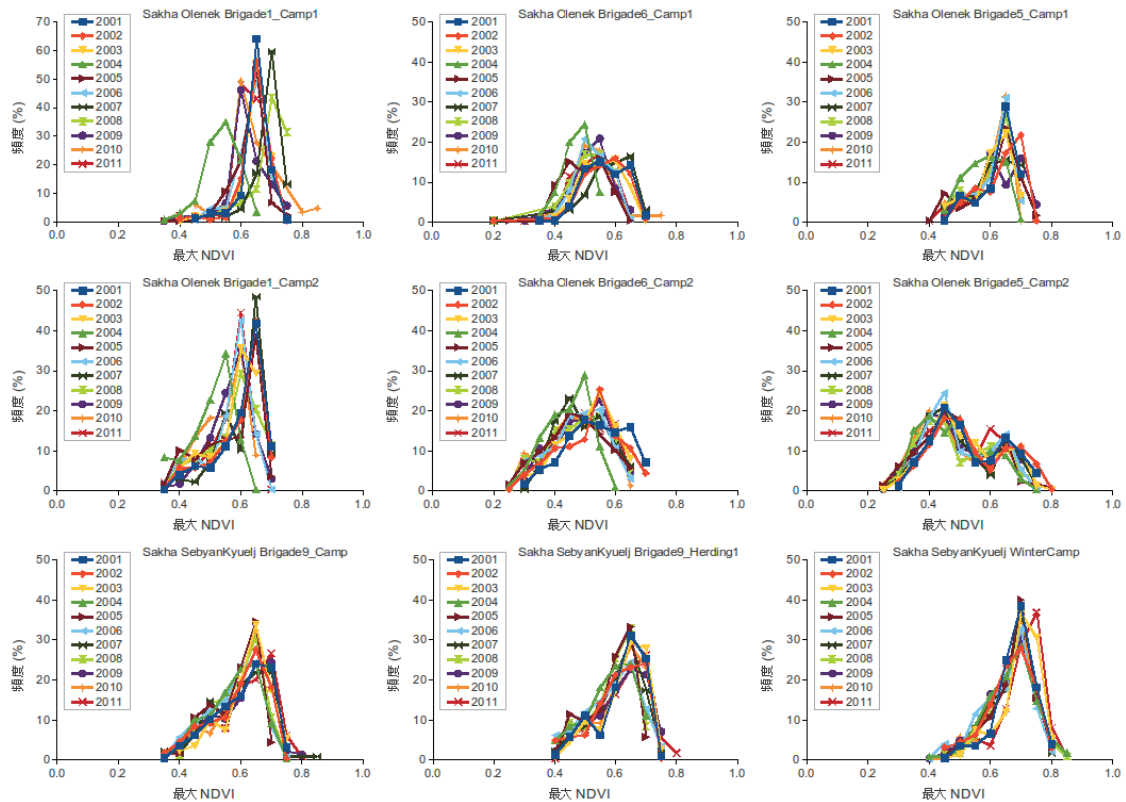


図4. 解析域内における年間最大NDVI 頻度分布の年度間比較 (2.5km)

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

氷結水環境と社会システムに対する温暖化の影響を評価することがG3aの課題である。2012年度は、従来の課題であったG3で得られた知見とG1およびG2との総合化が本格化した。

とくに〈アイスジャム洪水の地域社会への影響評価についての文理融合の取り組み〉は、人類学・水文学・リモートセンシングなどの学際的手法で得られた知見を総合化する試みを行った。高倉が収集整理した現地新聞記事（2005-2009年）をもちいた春洪水記事から得られる流氷の位置情報を基盤にしてこれをGISで解析することで、流氷の速度について5年間の平均で時速4.98kmと算出された。これはG1の酒井がランドサット画像分析で得られた流氷の速度4.2kmとほぼ同じであった。またその記事で指摘される増水・洪水被害情報と合成開高レーダーによる分析を重ね合わせることで水域の量的変化も判明しつつある。これらの総合化にあたっては、水文学によるアイスジャム洪水についての全般的知識が基盤となっており、リーダーの檜山との協働作業がみられた。今年度の調査によって人類学的現地調査で得られた恵み・災害双方の側面をもつアイスジャム洪水が地域社会への影響について、量的なデータも含めた把握が進みつつある。その成果は、2013年1月に行われた第三回国際北極シンポジウム（ISAR3）で発表された。今後の課題は、温暖化がどのように洪水に影響を与えるかについての調査が残っている。

奥村誠は、交通途絶と地域の孤立から見た、冬道路の機能の評価についての分析を、G3cの藤原の協力を得ながら進め、著作として脱稿した。現在は、それを出版する準備を行っている。それ以外には、災害に際しての社会システムの脆弱性と回復更新性についての理論的研究を進めている。ボヤコヴァ・サルダーナはヤクーチヤにおける交通インフラ史、17世紀から21世紀初頭までのヤクーチヤ交通史とくに河川交通と冬道路についての文献研究を進めている。今後は、奥村とボヤコヴァの研究の総合化が課題となっている。

新聞ヤクーチア紙 (2005 年～2009 年) からみた春期レナ川水系洪水情報

高倉 浩樹

東北大学 東北アジア研究センター

The Spring Flood information of Lena River System seen through the newspaper "Iakutiia" (2005-2009)

Hiroki Takakura (Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University)

The purpose of this paper is to present and clarify the information related to the spring flooding of Lena River System seen through the local newspaper "Iakutiia" from 2005-2009. The author describe the characteristics of the information available from the newspaper, outlines each year spring flood, and documents the information of ice drift movement and the overflowing and flooding disaster.

1 はじめに

本稿の目的は、レナ川水系における春期洪水の地域社会へ影響を分析するためのデータ資料として、現地で刊行されている日刊紙を用いて、そこで掲載された洪水関連の情報を提示・資料化することである。

春の洪水つまり寒冷地の河川において凍結した水が融解することで発生する洪水は、当該地域社会において深刻な損害を与えるものである。氷に関連する洪水としてよく知られているのは、アイスジャム洪水である。これは上流部でとけた水が、下流部でまだ融けていた氷に堰き止められることで発生するものである。これは通常の洪水(open water flood)より相対的には損害規模が大きくなることが知られている (Prowse 2007)。例えば、1986 年の 5 月 23 日のトロント・スター記事によれば、最大で 2 メートルにも及ぶ氷の洪水がウイニスク (Winisk) 町を襲いわずか 15 分の間に 60 あった建物のうちの 53 を破壊し、125 人のうちの 2 人が死亡した。夏の洪水が局所的な現象であるのに対し、アイスジャム洪水は数キロにわたるような流域全体で発生し、また水温の低さと巨大な氷塊が流れるという点で危険度が高く、さらに予測しにくいものとして知られている。(Beltaos 1995: 17-18)。

このような春洪水の危険は、本稿が焦点をあてるレナ川にあっても同様である。実際に 2001 年にはレナ川上流のレンスク市において、過去数百年間で最も大きな被害を出したといわれるアイスジャム洪水が発生した (Sukhoborov 2006)。それ以降も春洪水による被害の発生頻度はかつてと比べて高まっており、その対策の確立は急務となっている。例えば、連邦政府が作成した「2010-15 年におけるロシアの気候変動とその経済的影響に対する戦略的予測」(2005) などによれば、最も懸念されているのは、洪水など水文・気象学的事象である (Rakkolainen and Tennberg 2012:41)。レナ川はロシアにおいて 10 年間で最も深刻な洪水が発生している川であり、その流域の行政区であるロシア連邦サハ共和国は本格的な対策がはじまった (PRS2010)。このような背景もあり、サハ共和国では春の洪水に対する社会的関心が高まっている。当然のことであるそれを反映して現地の新聞でも詳細な報道がされている。

ここで私が行うのは、新聞の記事がどのような構成になっているか、そしてこの記事から何がわかるのかについての情報の整理し、その上で年ごとの雪氷融け洪水の概況を記述することである。最も重要なのは、その概況を記述する上で参照した新聞記事を要約し、資料化することであった。具体的には解氷と流氷の進捗情報、氾濫と水害の情報について、時間と位置情報を明示する形で提示することである。これらの作業を通して、洪水の進捗＝流氷の展開と、洪水災害の関係について分析するための記述的資料を構築したい。

2 ヤクーチア紙について

ヤクーチア誌は、ロシア連邦サハ共和国の日刊紙（ロシア語）で、共和国首都ヤクーツクで発行される地方紙である。1917年3月から続くサハ共和国の代表的な新聞である。株式会社ヤクーチア紙（ОАО <Редакция газеты "Якутия">）が刊行しており、副題に「共和国の政治社会紙」とあるように、主として政治・経済と社会に係わる記事が掲載されている。共和国政府の法律なども掲載されており、政府よりの新聞である。販売はサハ共和国全域であり、共和国内で幅広く読まれている。

この新聞では、おおむね4月下旬から6月初旬にかけて「氾濫（паводок）—200×年」という特集記事を設けて、雪氷融け氾濫および洪水に関わる特集を組んでいる。少なくとも2004年頃からこのような特集のカテゴリーが始まった。2003年以前は通常の記事として河川の解氷・流氷・氾濫・洪水被害情報が記されていた。2004年になると、見出しとして「氾濫（паводок）」、「春の増水（весеннее половодье）」、「増水（половодье）」等が混じるなど統一されていなかったが、2005年以降は「氾濫（паводок）—200×年」となった。

このために、2005年から2009年の同紙を収集し、そこから知りうることのできる春の氾濫・洪水情報を取り出すことを考えたのである。体系的に記事を収集するために、2005～2009年において、4月15日から6月15日にかけての二ヶ月間に限定し、そこで「氾濫（паводок）—200×年」と題された記事を収集した。その結果は以下の通りである。表は、記事数と二ヶ月間における新聞刊行数を示している。

表1 新聞ヤクーチア紙における「氾濫」特集記事

	該当記事数	二ヶ月間の発行数
2005	10	39
2006	10	40
2007	28	42
2008	17	34
2009	12	33

後述するが、この5年間において、2007年と2008年は春洪水の被害が相対的に大きかった年であり、当然のことながら、その分記事の数は多くなっている。これに対し、2005年、2006年、2009年についても春洪水被害は起きているが、その規模は小さかった。その場合、10から12件程度で流氷の推移が中心に報道されている。

二ヶ月つまり約60日間あるが、その間の新聞発行数は33～42日間という状況である。これは日刊紙と言いながら、実質的には二日に一度程度しか刊行されていないことを意味している。その意味では、毎日逐次的に情報が掲載されるわけではないことも留意する必要がある。

とはいえ、おおむねこの記事を読んでいくことによって、レナ川水系における春洪水がどのような形で始まり、それに対する対策がどう実施されるのかがわかる。また流氷の動きについてもロシア連邦非常事態省やサハ共和国水管理局から発表されるモニタリング情報、洪水被害がでた場合はその状況についても記述されている。それゆえに、雪氷融け洪水の新着状況とそれがもたらす社会的影響について継時的過程を理解することができる。新聞というマスメディアという媒体の性質を考慮にいれば、その購読者層＝サハ共和国の住民とくにヤクーツク市を中心とする中央ヤクーチア地域の住民がどのようなかたちで、春洪水を理解しているのかに接近することが可能である。

この地域に歴史的に暮らしてきたサハ人は、レナ川が凍結と融解、解氷による洪水ということを手近な自然環境として熟知している。そうした河川のダイナミズムは、飲用水採取や氷上漁労などの生業歴のなかでバランスよく埋め込まれている（高倉 2012）。また河川氷や春洪水については非常に詳細な在来知があることもわかっている（高倉、印刷中）。そのことは現在においても継続している。地域住民は、自らの主観的体験という形で春洪水を知覚し、その体験を経験知として蓄積していくからである。とはいえそうした経験的知識で、解氷や洪水の到来を正確に予測することは不可能である。住民も春洪水が当該年に何時来るかについては、新聞やテレビなどの報道を見ながら判断している。特に解氷と流氷の動きは、はるか南のバイカル湖付近から発生するのであり、その意味では地域住民の日常感覚からは得ることが難しいレナ川の解氷と流氷現象の全体像の判断材料を、新聞記事は提供しているのである。

なお、本稿で用いる「洪水 flood」という語は、水文学に基づきより包括的な用法である。水文学における「洪水」の定義では、降雨・融雪などにより河川の水位や流量が異常に増大することである。河川水路から増水した水が溢れる氾濫は、その結果の一つであり、洪水＝氾濫とは限らない（平凡社大百科事典・洪水）。さらにいえば氾濫があっても水害となるかどうかはまた別である。

一方、新聞記事から得られるロシア語からはより細分化された用語が散見される。表は新聞に頻出する流氷・洪水・浸水用語のロシア語・日本語・英語の対応表である。これをみればわかるように洪水に関わる用語は4つほどある。一番上のラズボディエ разводье は凍結した河川の一部が融解することで、河川融解現象としては最初に現れるものである。ついでポロボディエ половодье は春に雪氷が融解した結果として増水することである。その結果、水路を越えて氾濫するパボドク паводок があり、さらにこれが被害をもたらすようなものとなると洪水被害であるナボドネエ наводнение となる。新聞の特集記事がパボドク＝氾濫と題されているのは、洪水被害になるかどうかは別として河川水路から氾濫した状態に焦点を当てていることを示している。その意味では本稿でいうところの洪水 flood に最も近いのはこのパボドクと言うこともできるだろう。

表2 新聞記事で頻出する洪水と流氷関連ロシア語と対応する日英語

範疇	ロシア語	日本語	英語
流氷	ледоход	流氷	drifting of ice
	вскрытие	解氷	opening (of rivers after break-up of ice)
	затор	流氷の堆積	ice jam
	закраина	凍結した川の氷と岸との間の流れ	-
	подвижка	融けた氷の移動、流動	motion, movement (of ice)
洪水	разводье	氷板の中の水面、春の洪水・洪水	patch of ice-free water

	половодье	春の河川の氾濫、増水	flood, high water (at time of spring thaw)
	паводок	出水、増水、氾濫	flood, esp resulting from melting of snow
	наводнение	洪水被害、水害	flood
浸水	загопление	水浸し、撃沈	flood
	подтопление	浸水、冠水	underflooding

3 洪水記事の構成

5年間の記事を読む限り、この洪水特集記事は、(1) サハ共和国における洪水対策事業、(2) イルクーツク州にあるレナ川上流での流氷の開始と、その後の動き（流氷の下流の先端 **нижнее кромка ледохода** は現在、●●地点という形で言及される）。(3) 氷がとけることによって起きる河川表面の状態についての時事報告、(4) それぞれの場所での水位情報、(5) 氾濫による水害報告、(6) 住民の避難と被災情報、などの内容によって構成される。

おおよそ二ヶ月弱この特集記事が継続的に掲載されていくが、毎年の最初の記事はレナ川の上流での流氷がいつ動き出すかということによって開始される。そして共和国内での予防体制について報告されるほか、共和国首都であるヤクーツク市にいつ流氷が到達するかどうか、洪水被害の発生状況というかたちで推移していく。この5年間からいえることは、5月20日前後にはヤクーツク市を通過することである。そしてその後ヤクーツクから直線距離で150キロほど北にあるレナ川とアルダン川の合流地点を流氷がすぎるぐらいまでがこの新聞で常時報道される範囲である。通常の場合、この地点をすぎると「流氷は北にいった」というかたちでモニタリングに関わる記事は終わってしまうからである。氾濫が水害とならなければ、上記の内容は(1) から(3)の時事報告でほぼおわるという形になっている。

こうした記事の内容と構造からいえることは、特集記事掲載の最も重要な目的は、首都ヤクーツク市の洪水被害予測にあると判断できる。それはサハ共和国のなかで人口30万人と共和国のおおよそ三分の一が暮らす都市住民と共和国首都としての政治経済機能を考えれば当然のことといえる。ヤクーツク市が位置するレナ川中流域さらに近年巨大な洪水が繰り返し発生している上流の住民にとっては、解氷状況と流氷の進捗状況そして、洪水の有無が常時報道されていることは、春の洪水にどのように対応するかそれぞれ個別の判断する上で、重要な情報源となっている。

と同時に、この記事では流氷の先端の位置情報が掲載されているため、毎年発生する春洪水の進捗状況を判断するための資料という意味合いもある。新聞のテキスト情報を地理情報システムで解析することで、例えば、流氷のすすむ速度、氷の厚さ、流氷の堆積現象など、雪どけ洪水に絡んで凍結した河川上でどのような現象がおきているのか、具体的な情報を得ることができる。また洪水被害がいつ・どれほどの規模で発生したのかについても把握できるため、流氷の進展と洪水被害発生との相関についても一定の見通しを得ることができる。このような点で新聞記事情報は洪水研究において価値をもっているのである。

なお、記事の情報発信源は、記者自身による取材があるが、ほとんどが政府による公式発表に基づくものである。具体的にはロシア連邦非常事態省サハ共和国総局 (Главное Управление МЧС РФ (Я)) あるいは水資源連邦出張所レナ川流域水管理局 (Ленское Бассейновое Водное Управление Федерального Агенства Водных Ресурсов) からの情報である。

4 年ごとの洪水の特徴

4.1 全般

新聞記事は年によって書き方が微妙に異なるため、5年間を通して体系的に比較できる項目は以外と少ない。たとえば洪水新聞記事は、レナ川上流で流氷が動き出すことで連載がはじまるが、どの地点で流氷がはじまるかは年によってことなる流氷の始まりと終わりのモニタリズムの地点は決まっていない。2005年から2009年までの新聞記事を分析し、比較できる情報は、ヤクーツク市の流氷の到着日、洪水がおきた集落数（被害郡の数）といったものである。表3に示されているように、ヤクーツク市への到達日を見るかぎり、流氷の到達は5月14日から21日の間で早くなったり遅くなったりしており、一定の傾向を認めることはできない。また、洪水によって浸水被害がでた集落数を掲示してある。これを見ると2007年が33集落、2008年が14集落と多いことがわかる。なおこの集落数は新聞記事上で洪水被害がでたものだけを計上しており、集落の近くで氾濫が発生したといった場合は換算していない¹。個別の記事の中では、集落のなかの被害戸数が述べられていることもあるが、ない場合もあるので、戸数を基準に比較することはできなかった。また春の洪水は第二波と呼ばれる二回目の洪水が起こり、それによってあらたに浸水被害が発生することもあるが、この表のなかでは一年のなかで洪水による浸水被害があったかどうかを基準として数えてあるので、複数の浸水被害については、集落数には計上していないことを述べておく。

表3 2005～2009年におけるレナ川春洪水の比較

	2005	2006	2007	2008	2009	出典
ヤクーツク市への流氷到着日	5/18	5/21	5/14	5/19	5/15	新聞記事
被害集落数	0	3	33	14	3	同上
被害郡	0	2	9	8	2	同上
経済的損失(百万ルーブル)	97.4	7.7	1088.5	939.1	n.a.	PRS2010
避難者	n.a.	274800	313200	595300	n.a.	DFOGALFE ²

なお、経済的損失と避難者数については別の情報資料からの出典である。これを見ると洪水被害集落が多かった2007年と2008年には経済的損害や避難者の数も比例して増加していることがわかる。2005年について、経済的損失は100万ルーブル弱出ているにもかかわらず、被害集落数や被害郡は新聞記事では報告されていない。これについて、記事の中では局所的な洪水が発生していることは言及されていたが、具体的な記述はなく、また幾つかの村では浸水警報が出され避難行動もみられたことも言及されていたが、実際の被害という形では記事となっていなかった。

以下では、2005年から2009年までそれぞれの洪水情報についてその概況をまとめておきたい。

4.2 2005年について

この年は大きな氾濫も水害も起きずにすんだ年であったようである。とはいえ、それは雪氷融

¹ さらにいえば、行政レベルではより詳細な被害情報をもっているが、現時点では入手できていない。

² これは米国ダートマス大学の世界洪水データベースが出典である。Dartmouth Flood Observatory Global Archive of Large Flood Events (<http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html>)。

けによる河川の水量がもともと少なかったのか、あるいは洪水対策が功を奏したのかは不明である。4月16日の記事によれば、今年の水関連事業に計上されているのは、2440万ルーブルであり、4月6日までの時点において、凍結した川が融解するのを促すため、河川上に切れ目を入れるがその長さは46.16km（計画全体では98.72km）、また同じように融解を促すための氷表面への炭塗りは56000平方km（計画全体では302300平方km）が実施された。

レナ川上流、バイカル湖の西岸からおおよそ100キロほどにあるカチュグ村で川面の氷が融けて、それが流氷となって動き出したという4月26日だった。その後5月16日までにレンスク郡のバタマイ中洲までゆっくりと進み、そこからは急速に流氷が動き出し、翌17日にはヤクーツク市に到達した。その後は、比較的ゆっくりとなり、10日間かけて900kmをさらに下流に流れていった。

新聞記事全体を通して、流氷の進展は順調で、記事ではすべてが「基準内」と記されていた。オリョクミンスク郡内等で浸水の危険があるため住民を避難させる措置がとられたが、実際には被害がでたという報道はされなかった。それ以外にもレナ川水系での被害状況は報告されていない。

4.3 2006年について

大きな洪水被害はなかった年であったが、いわゆる第二波によって上流部で浸水被害が起きた年であった。流氷が動き出したのは、5月10日イルクーツク州のウスチ＝クタ村で、そこからはゆっくりと流氷がすすみ、直線距離で約800キロ離れたカンガル郡のデリゲイ村に5月18日に到達した。その後直線距離で600キロ離れたヤクーツクまで3日で進んでいる。その後は少しスピードを緩める形で、直線距離で約500キロ離れた場所まで4日間で進みモニタリングは終わった。

氷の状態に関しては、5月12日にアルダン川やアムガ川などで「線画 (график)」が発生したと報告されている。これは、凍った川にヒビがはいり、それが絵のようにみえる現象のことである。また流氷の堆積＝アイスジャムが発生し、それがもつて川の氾濫が発生していることも報告されている。レナ川の支流アムガ川では、こうした氾濫によって停電が発生している。なお直接浸水被害をもたらしたのは、第二波の融氷洪水である。発生地域はレナ川上流であった。

4.4 2007年について

大きな洪水被害がでた年であった。流氷が動き出したのは、5月3日でサハ共和国とイルクーツク州界にあるビチム村であった。この観測地点は2006年のウスチ＝クタ村とくらべて直線距離で740km上流にある。流氷の動きは、全体的に緩慢である。5月14日にヤクーツクに到達するが、翌日には直線で32km下流へと移動し、その二日後には144km先、翌日には83kmという具合である。この年のモニタリングは5月30日で終了するが、最終地点はレナ川の河口付近のキュシュール村であった。洪水被害があったせいか洪水が河口付近につくまでモニタリングが続いたようである。なお、この年は、5月21日にはレンスクとオリョクミンスク郡で第二波が発生し、さらに5月30日にはレンスクで第三波が発生し、それらによって洪水被害が広がったことである。

氾濫および浸水の被害は広範にわたって数多く発生した。8郡（チュラプチ、メギンカンガル、カンガル、ゴール、アムガ、ウースアルダン、タッタ、アルダン）1市（ヤクーツク）の32村＋1市区内。浸水戸数は2111戸に及ぶ。5月30日の農業省の発表によれば、農地への影響に及んだ。87000ヘクタールが浸水。内訳は4500haが穀類、3400haが飼料、534haがジャガイモ畑、295haが野菜畑である。ナム郡では20の灌漑施設が破壊された。

4.5 2008年について

前年ほどではないが、大きな洪水被害がでた年であった。4月26日にイルクーツク州で流氷が動き始めたと報告されているが、場所は未言及である。4月29日にはイルクーツク州のジガロボ村に流氷の先端が到達していることが確認され、そこからモニタリングがはじまった。その後、2週間後の5月13日にはレンスクから60km上流で流氷の先端が確認され、その後少々速度を上げて流氷は進み、5月19日にはヤクーツクに到着した。その後の動きはほぼ同じ速度で下流に進み、5月28日でジャルジャン村から70キロ下流で流氷が確認されモニタリングが終わった。第二波も発生したようだが、それがいつかは報道されていない。ただし29日には第二波がレナ川石柱壁(Lena pillar)まで押し寄せ数日以内にヤクーツクに到達するという事だった。

洪水による浸水被害がでたのは、アムガ郡、ゴールニイ郡、カンガル郡、タッタ郡、ヴィルイ郡、チュラブチ郡、コビヤイ郡の7郡+ヤクーツク市で、14集落である。報告された浸水戸数を単純に積算すると282戸となった。2008年の場合、2007年のタッタ郡のウティク=キュエリ村のように集落の100%あるいは大半が浸水したという報道はされていない。ただ、それ以外にもアムガ郡のアラスで浸水、ヤクーツク近郊のヴィルイ街道で浸水、アムガ郡・チュラブチ郡・カンガル郡では橋の決壊したことが報告されている。また第二波がでたことは報告されているが、報道を見る限り、それによる被害は出ていない模様である。

4.6 2009年について

流氷が動き出したのが報道されはじめたのは、4月24日で、その場所は2006年と同じイルクーツク州のウスチ=クタ村であった。4月下旬の情報では今年は雪の量が少ないということだった。流氷の動きは、5月4日にオリョクミンスク近くで融けた氷が動き出すのが始まったが、同時にレンスクでも流氷が観察されたという。つまり二ヶ所で同時に流氷が動き出したことになる。その後5月12日にはタバガ村まで流氷が進み、ここで流氷の堆積がはじまった。流氷は三日間そのまま堆積を続けた後、15日にはヤクーツク市に移動した。その後、5月18日にはサンガル村まで移動し、5月21日にはコビヤイ郡とジガンスク郡の境界付近まで移動し、そこでモニタリングは終わった。

大きな被害にはならなかったが、いくつかの氾濫は発生しており、その対策も実施されている。5月4日に流氷が動き出したオリョクミンスクでは8日に氾濫が発生したが、その状態は急速なものではなく安定しており、氾濫対策によって大事に至らず。またレンスク郡のバタマイ中州では流氷の堆積=アイスジャムが発生し、8日に右岸部から爆破させてこれを解消させた。12日にヤクーツク市近郊のタバガ村でアイスジャムが起きたが、その上流部にあたるカンガラス郡のクテール=デュラ村およびシンスク村では12日に浸水被害発生している。クテール=デュラ村は5月15日までに22戸が浸水したと報道された。またヤクーツクに流氷の先端が到達した5月15日には、その上流部のカタシ村でアイスジャムが発生したと報告されている。さらに、18日に流氷がサンガル村に到達した翌日19日には同村およびカリヴィツァ村で浸水被害が発生した。つまり、新聞報道による限り、5村が氾濫の影響をうけ、このうち4村で浸水被害が発生したことになる。

5 おわりに

本稿でおこなってきたのは、あくまで新聞記事からえることのできる情報を整理・分類することであった。新聞記事という媒体を用いることで、レナ川の春洪水がどのように進捗し、それに政府や住

民がどのように対応しているのか、具体的な形で示すことができた。本稿の記述を通して明らかになったのは、第一に新聞記事情報からは毎年の春洪水の概要を記述的に要約することが可能であることである。さらにその情報は基本的には流氷動態、氾濫・水害情報、水害対策といった形に分類整理できることであった。特に重要なのは、流氷の動態と氾濫・水害情報である。これらには新聞記事に、時間と位置情報をタグとしてつけることができたからである。

とはいえ、現時点ではそれらはテキスト情報であり、とりわけ現地の地名が大量に出てくるため、よほど調査地域に詳しいものでない限り、それらの意味を的確な形で理解することはできない。今後行わなければならないのは、これらのテキスト情報と時間位置情報を、地理情報システム上で解析することである。そのことができて初めて今回の資料化の作業が意味を持つてくる。この意味で本稿が行ったのは、新聞記事から得られる情報を、地理情報システム上・リモートセンシング上において解析するための資料構築だったといえる。

例えば、流氷動態については、流氷の下流の先端が把握できるため、今後それらを Google earth などの地理情報システムに入力することで、流氷の速度について算出することが可能となった。また氾濫・水害情報についても、リモートセンシングや地理情報システムとの連携を通して、いかなる流氷・解氷状態において氾濫・水害が発生しているのか地図上で可視化させることが可能となった。これらは今後の課題である。

さらにいえば、筆者の専門は人類学であり、参与観察を機軸とする現地調査をも行っている。新聞記事からの情報と、リモートセンシング、地理情報システムと現地での聞き取りを総合化しながら、レナ川水系における春洪水の地域社会への学際的な影響分析を最終的な目標としていることを付言して本稿を閉じたい。

資料 1. 流氷動態

2005 年	2005 年においては、4 月 26 日にカチュガ (kachuga) 地区で動き始めた流氷は約 25 キロ離れたジガロボ (Zhigarovo) 村にまで 4 月 29 日までには移動した (050430 ³)。その後、5 月 11 日までには流氷の先端はピチム村の上流 336km のオルロボ (Orlov) 村付近まで進んだ (050512)。その後 5 月 16 日までには流氷の先端は、レンスク郡のバタマイ (Batamai) 中洲付近にある (050517)。5 月 19 日の時点では流氷の先端は、コビヤイ郡のサンガル村の下流 25-30km 付近に移動した (050520)。直線距離としては 900km 以上移動を 3 日でしたことになる。5 月 25 日の流氷の先端はジガンスク (Zhigansk) 村下流 90km で見つけられる (050526)。さらに 5 月 26 日現在、流氷の先端はジャルジャン (Dzhardzhan) 村下流 20km にある (050527)。
2006 年	5 月 10 日、イルクーツク州のウスチークタ (Ust'-Kuta) で解氷が始まった (060511)。5 月 12 日には流氷の先端は同州のキレンスクズメイノボ (Kirensk-Zmeinovo) 村まで達した (060513)。流氷がヤクーチア領内 (イルクーツク州とサハ共和国の境界) に入ったのが 5 月 14 日である。その流氷は 5 月 16 日にはレンスクに到達した (060517)。5 月 18 日にはオリョクマ郡のデリデ (Del'de) 村 にまで進んだ (060519)。その後 5 月 21 日ヤクーツク市に到達した (060523)。流氷は北上し、5 月 25 日にはジガンスク (Zhigansk) 村の 100 キロ上流にある (060525)。
2007 年	5 月 7 日には流氷はレンスク市 (Lensk) より 100 キロ下流へと移動したことが確認されている (070508)。5 月 11 日はカンガラス郡のイスト (Isit) 村に到達し (070512)、5 月 14 日にはヤクーツク市へと移動

³ これは 2005 年 4 月 30 日記事を意味する。以下、出典を明記することの意味もあり、このような表記法を用いる。

	した (070515)。流氷はヤクーツクには滞在せず、5月15日の午後3時にはカンガラス岬からナムツイ (Namtsty) 村に移動し (070516)、その後5月17日にはウスチ・アルダン (Ust'-Aldan) 村から下流へ40キロの地点に進んだ (070518)。そして翌18日には、サンガル (Sangal) 村まで到達し (070519)、30日までにはキュシユール (Kiusiur) 村まで到達し (070531)、モニタリングが終わっている。
2008年	4月26日にイルクーツク州内でレナ川の解氷がおきて、流氷がはじまった。29日現在流氷はジガロボ (Zhigalovo) 村まで到達し、さらにウスチ=クタ (Ust'-kuta) に向かって移動中 (080430)。5月13日現在、流氷の先端はレンスク (Lensk) 市の60km上流に位置している (080514)。5月18日はヤクーツク市周辺にまで流氷は到達した (080520)。その後、5月22日までにはコビヤイ郡のサンガル (Sangal) 村にあり、さらにジガンスク村でも融けた氷の流動が見られている (080523)。5月28日までには流氷の先端はジガンスク郡のジャルジャン (Zhardzhan) 村から70km下流に位置している。なお移動している流氷の最も後端はサンガル村の下流100kmほどにある (080529)。
2009年	4月24日、イルクーツク州のウスチ=クタ (Ust'-kut) で融けた氷の移動が始まった (090429)。5月4日はオリョクミンスク市で氷が動き出すのが確認されたほか、この日はレンスク市においても氷が動き始めた (090505)。その後5月12日にはカンガラス郡のタバガ (Tabaga) 村にまで流氷は達した (090513)。そしてここで三日間とどまっていた流氷はヤクーツクに到達した (090516)。その後5月18日にはコビヤイ郡サンガル (Sangal) 村で観察された (090519)。その後5月21日までには流氷の先端は、コビヤイ郡とジガンスク郡の境界まで移動した (090522)。

資料2. 氾濫・水害情報

2005年

[2005#1]	2005年の最初の非常事態宣言はチュラプチ郡とタッタ郡で5月5日に出された。この原因は、連日の暑さで雪の表面30cmが融けたためだと報道されていた。その結果、チュラプチ郡のなかの小川はすべて水位が上昇し、水が満ちている状態だという。そのため堤防強化対策が取られていた (050507)。
[2005#2]	非常事態省は、安全のため、完全に流氷がとおりすぎるまで川の中洲内で狩猟と漁労を禁止した (050517)。
[2005#3]	なお、オリョクミンスク郡のデュバライ (Dyparai) 地区の住民245人が5月15-16日に浸水の危険があるということで、クッラフ (Kyllakh) 村に避難していたが、流氷が去り、危険がなくなったので18日には元の村に戻った (050520)。ちなみに、この時期において、流氷の先端は、オリョクミンスク郡からはるかに離れたコビヤイ郡サンガル村下流25-30キロにあった (050520)。
[付記]	4月30日に掲載された緊急事態省から発表では「氾濫状況 (Pavodkovaia situatsiia) は通常であり、危険な状態にはなっていない」であった (050430)。これにみられるように春の洪水は一定程度であるならば異常とは見なされない。氾濫の規模が大きくなり、集落や道路などに被害が及ぶ恐れがあると異常事態として認知されるのである。なお2005年の場合、氾濫はあるが、異常なしという記事が繰り返されていた。

2006年

[2006#1]	5月14日に流氷の波がサハ共和国内に入り、15日朝にはレンスク市でも確認された。寒かったため16日朝にはレンスクから約84km下流のニユヤ (Niuia) 村付近でアイスジャム (zator) が形成され、増水が始まった (060517)。レンスク下流にできたアイスジャムは17日には壊れ、流氷は移動し、同日中にデリゲ (Del'ge) 村に到達した。18日にはこの村から約80km下流のネリユクチャニンスク (Neriuktianinsk) 村とソリヤンキ (Solianki) 村で流氷の移動が観察された (060517, 060519, 060520)。
----------	--

[2006#2]	イルクーツク州からの雪どけ水を原因として、6月4-5日に突然レンスク郡のピチム村で水位が上昇し、173戸が浸水、4097人のうち1057人の村人が暮らす場所が浸水した。6月7日には水位は下がった(060608)。
[2006#3]	6月8日から9日の未明にかけてオリョクミンスク郡で氾濫が発生し、オリョクミンスク市では20戸、およびクッラフ(Kyllakh)村では57世帯、257人が被災した。両方の居住地の付近の草刈り地も浸水の被害にあっている。9日の時点では事態は落ち着きつつある(060610)。
[付記]	以上のうち#2と#3の事象は、いわゆる第二波による洪水被害の報告である。レナ川の春洪水は、一回目が川の解氷と流氷によって発生する。その後、この一回目の洪水発生後から1週間から10日ぐらいすると年によっては二回目の洪水が発生する。一回目が氷による洪水であり、氷が含まれる洪水であるとする、二回目は雪解けによるもので泥まみれの水が流れてくると言う(高倉 in press)。

2007年

[2007#1]	4月下旬に洪水対策としていわゆる氷融解を促すための凍結した川の表面に炭入れが行われ、凍結を促進させている。この影響で融けた水がチュラブチ郡チュラブチャ(Churapucha)村で洪水をおこし、4月20日に84戸の浸水が発生した(070421)。この年の最初に洪水被害は、河川の自然融解ではなく、洪水対策の結果として発生した。
[2007#2]	5月8日にオレクミンスク郡のマルハ(Markha)村にはマルヒンカ(マルハ)(Markhinka)川からの水で洪水が発生し、36の住宅および10の集合住宅が浸水した(070509)。
[2007#3]	チュラブチ郡のチュラブチャ村では融けた雪が湖に流れ、そこから洪水が発生した(070511)。
[2007#4]	メギノカンガラスク郡でもマヤ(Maia)村の近くの湖に雪解け水が流れ込み、あふれる現象が発生。それによって5/8よりタバガ(Tabaga)村、スオラ(Suola)村エレチエイ(Elechei)村、ビチュジェイ(Biuteidei)村では電気が止まっている(070511)。
[2007#5]	チュラブチャ村ではクオハラ(Kuokhara)川とチュラブチャ湖から水があふれ、その結果38の家が浸水した(070512)。
[2007#6]	メギノカンガラスク郡のソラ(Sola)村、テリギ(Telgi)村、チュイヤ(Chiuia)村、ホチョ(Khocho)村、タバガ(Tabaga)村は水に囲まれている(070512)。
[2007#7]	ヤクーツク市特別行政区内のマルハ村では220戸が浸水した(070515)。
[2007#8]	ヤクーツク市のミクロライオン地区で浸水発生した(070516)。
[2007#9]	メギノカンガラスク郡のダルクラフ村では137戸が浸水した(070516)。
[2007#10]	ゴール郡のベルジギスチャフ(Berdigistiakh)村では89戸が浸水した。
[2007#11]	ヘリで上空から確認すると、マルハ(Markha)村、キルザボド(Kirzavod)、ジャタイ(Zharai)村、トゥラギノ(Tulagino)村、エディツィ(Edeitsi)村、パルチザン(Partizan)村、グラフキー・ペーレグ(Grafskii bereg)村、ソッチンツィ(Sottintsy)村、ウスチ・アルダン(Usti-Aldan)村では水浸しになっていることが確認(070518)。
[2007#12]	アムガ郡のアムガ(Amga)村では危険水位で、29戸が浸水。またアバガ(Abaga)村とボセミ・ミヤンディギ(Vosem'-Miandigi)村では39戸が浸水した(070522)。
[2007#13]	雪解け洪水がタッタ郡で発生した。内訳としては18日朝に水が危険水位になり、その後徐々に増えてウティク・キューリ(Ytyk-Kiuel')村で150戸が浸水した。その後もさらに水はふえつづけ日曜日の夜(20日)に水位は15m15cmとなり、浸水家屋は873戸となった。3033人と600頭の牛が避難している。近隣ではクイイ(Kyiy)村で10戸が浸水し、チェルケフ(Cherkek)村では76戸と46の牛小屋が浸水した。(070522)
[2007#14]	タッタ郡内のアムガ川でも増水があった。チムナイン(Chymnain)村では領域の90%が浸水した。

	ハルバラフ (Kharbalakh) 村では 60%が浸水し、214 人が避難した (070522)。
[2007#15]	5 月 21 日 12 時にはレンスク郡とオリョクミンスク郡で第二波(2 番目の洪水)が発生した(070522)。
[2007#16]	アルダン川の第二波によってウスチマヤ郡とアルダン郡に影響がでている。23 日にウスチマヤ郡の内の村で浸水が発生した。またアルダン郡のエリディカン (El'dikan) 村では全 219 戸の内の 80 戸が浸水した (070524)。
[2007#17]	タッタ郡はバヤガ (Baiaga) 村では火曜日に危険水位となり、237 人が避難 (070524)。
[2007#18]	タッタ郡ではさらにナムマラ (Nammara) 川からの氾濫でトゥオラ・キュエリ (Tuora-Kiuel') 村が浸水した (070525)。
[2007#19]	タッタ郡のウスチ・タッタ (Ust'-Tatta) 村ではアルダン川とタッタ川双方から水がきて、84 戸が浸水した。358 人が避難し、このうちの 40 人の赤ん坊はヤクーツクに避難した (070531)。
[2007#20]	レンスク地域では第 3 波が形成された (070531)。
[2007#21]	第二波によって、5 月 31 日にレナ川中流域 (カンガラスク岬付近) では水量が増えはじめる。その状態は 6 月 5 日まで続く見込み (070601)。
[付記]	上記では洪水によって被災した村の初出記事を中心に抽出した。記事では、数日後に被害の実態がわかり詳細が述べられたり、さらに浸水戸数の増加状況なども報告されているが、この資料提示の目的は、どこの村が被災しているかを明示することにあるため、そのような対応をとった。いうまでもなくこの年はかなり大きな洪水災害が発生した。2005 年、2006 年と比べてもその数は圧倒的である。浸水被害があったとして言及されているのは 32 の居住地点である。レナ川上流から中流にかけてのほとんどの流域の郡で被害が報告されている。興味深いのは、レナ川流域とは直接関係しないタッタ郡で洪水被害が報告されていることである。タッタ郡はレナ川の支流であるアルダン川の支流タッタ川およびアムガ川をその内部に抱えている。タッタ郡の郡丁所在地であるウティク・キュエリ村は、2007 年の春洪水で最も被害がひどかった村の一つである。5 月 18 日に 150 戸浸水し、20 日には 873 戸浸水、これで 3033 人が避難し、600 頭の牛避難することとなった。その後、24 日にこの村におよび 895 戸の 100%が浸水という事態となり、水は全く引かずに、6 月 2 日の記事では「(この村は) 一つの大きな湖に変わってしまった」とまで報道されている (070602)。

2008 年

[2008#1]	アルダン川において流氷の先端はアルダン郡内のスオン (Suon) 村にあり、トモット (Tommot) 村とチュチュル (Chuchur) 村では流氷が確認された。ハティスティール (Khatystyr) 村、ウギノ (Ugino) 村、チャラン (Charan) 村では氾濫が確認された (080514)。
[2008#2]	アムガ川において流氷の先端は、アバガ村で確認された。アムガ郡が危機的状況にあり、郡内のアラーズに浸水している (080514)。
[2008#3]	ゴールニイ郡では緊急事態宣言が行われた。郡内のマッタ (Matta) 川危険水位となる。ベルディゲスチャ (Berdigestiakh) 村で 19 戸が浸水し、193 人が避難した (080514)。
[2008#4]	ヤクーツク市近郊のダーチャ地区付近のハティングーユリャフスキー街道 (Khating-Iuriakhskii shosse) において、融けた水で道路が破損した被災。この水がどこから出たものか原因不明 (080515)。
[2008#5]	5 月 11 日にはヴィルイ街道のヤクーツク付近の道路で水が出て道路が破損した (080515)。
[2008#6]	5 月 11 日にはハンガル郡のオクチョムツィ (Oktemtsy) 村近くの道路で水の決壊が発生した (080515)。
[2008#7]	アムガ郡、チュラプチ郡、ハンガル郡などでは橋が決壊する事態が発生 (080515)。
[2008#8]	アムガ郡では、郡長が緊急事態体制を宣言。アムガ (Amga) 村では 1025cm まだ水位が上がり危機的状況となり、46 戸 193 人が暮らす家が浸水した。他にはミャンディギ (Miandigi) 村では 8 戸、

	アルタン (Altan) 村では 28 戸、サタガイ (Satagai) 村は 20 戸、アバガ (Abaga) 村では 3 戸が浸水し、郡内の浸水家屋は 105 戸、420 人が被災した。現在アムガ川の支流のスオラ (Suola) 川では堤防強化の工事が行なわれている (080516)。
[2008#9]	ヤクーツク近郊では 5 月 19 日にタバガ村で水位が 854cm となり、ヤクーツクでは 564cm で厚い流水が観察された。しかし (そこから直線で 30 キロ下流の) カンガラス岬付近では水が留まっている。そしてヤクーツク市内のマイクロライオン (ダルカラフ (マイクロライオン) 内では浸水が発生した (080520)。*典型的アイスジャム洪水
[2008#10]	タッタ郡では緊急事態体制が宣言された。チムナイン (Chimnain) 村では対策チームがはいっており、この村からの避難はハルバラフ (Kharbalakh) 村に 120 人、ダヤ・アムガ (Daia-Amga) 村には 40 人が割り振られた (080523)。
[2008#11]	チュラブチ郡のミリラ (Myryla) 村では 36 戸が浸水した (080523)。
[2008#12]	ヴィルイ街道の 459km 付近、タンガリ (Tangary) 川との交差する橋が流される。このためオルトースルト (Orto-Surt) 村からヴィルイスク市まで道路が中断した (080524)。
[2008#13]	非常事態省の情報として事態は安定化しており、ヤクーツク周辺で現在浸水している村はない (080527)。
[2008#14]	5 月 24 日にコビヤイ郡のサンガル (Sangal) 村では流水の堆積が発生し、その結果、郡内のカリヴィツァ (Kal'vitsa) 村の 68 戸、シッテ (Sitte) 村 (被害戸数は不明)、クオクイ (Kuokui) 村の 8 戸で浸水被害があった。カリヴィツァ村の 224 人は現在郡丁所在地のサンガル村に避難している (080527)。
[2008#15]	コビヤイ郡では緊急事態宣言。さらに 9 戸が浸水した (080529)。
[2008#16]	アムガ川、アルダン川のそれぞれの川ではすでに氷はなく水がながれている (080529)。
[2008#17]	5 月 30 日までに緊急事態地区はすべて解除された。とはいえこれで洪水が終わったわけではなく、今後は北方の川で起こる。現在北方の川はまだ安定している (080530)。
[2008#18]	レナ川における第二波の影響で、レナピラー自然公園付近で氾濫が起きている。あと数日でヤクーツクに第二波は到着するが、水位は低いと非常事態省は予測 (080530)。
[付記]	2008 年の場合、すでに 4 月中旬の段階で、この年が融雪が原因の洪水が発生する可能性がある指摘されていた (080416)。また 5 月 7 日にはヤクーチアの小河川の解氷に関わり洪水が起こる可能性が指摘されて、ヤクーツク市内に対するより高度な緊急準備態勢にはいったことが管区行政長から宣言されている (080513)。被害の出方で興味深いのは、レナ川本流よりアルダン川やアムガ川の洪水が早く発生したことである。例えば 5 月 13 日、レナ川ではレンスク 60 k m 上流地点に流氷先端があった時に、アムガ川の流氷の先端はアバガ村付近にあり、これがこの地区で牧草地・採草地として用いられるアラースに浸水したという。また同じ頃ゴールニイ郡の Marra 川では危険水位となり、その結果同郡の Бердигестях 村で浸水があり、19 戸 193 人が避難することになった。また被害の多くがレナ川沿いよりもむしろアムガ川などで起きている点にも特徴がある。さらにヤクーツクから約 250 キロ上流にあるコビヤイ郡で多くの被害がでたのも大きな特徴。

2009 年

[2009#1]	5 月 7 日にすでに増水した水はオリョクミンスク郡に到達した。非常事態省の発表。増水は安定した状態でおきており、緊急事態にはなっていないと発表した。非常事態省の対策班は、レナ川とアルダン川、アムガ郡で 5 つの対策班が増水した場所での対策をおこなった。またヴィルイ川およびチュラブチ郡およびタッタ郡でも同様の処理を行った。レナ川地域のバタマイ (Batamai) 中州のアイスジャムは右岸を爆発させることで解消した。現在、アイスジャムがみられるのは、アムガ川の
----------	---

	上流の郡である。浸水がおきそうな箇所はオリョクミンスク郡のクッラフ (Kyllakh) 中州にあるが、まだわかっていない。今年は数多くのアイスジャムが形成されており、その理由は川の水が少ないからで、厚い氷になっている。ヤクーツク市では危険状態はない。専門家によれば3日後にヤクーツクに流氷がやってくるという。(090508)。
[2009#2]	5月12日に流氷はヤクーツク市近郊のタバガ (Tabaga) 村まで到達した。タバガ村ではアイスジャムが発生している。タバガ村の水位は、危険水位より2メートル低い。流氷がうごくための最低水位としてはさらに1メートル上がる必要があった。カンガラス郡では若干水位が高かった融けたため、氷の移動と氾濫が観察された (090513)。
[2009#3]	カンガラス郡の発表では、現在郡内で大きな被害がでていない。とはいえ、クティル・デュラ (Kytıl-Diura) 村で浸水があった。また5月11-12日にかけてシンスク (Sinsk) 村では10戸の家屋が浸水した (090513)。
[2009#4]	3日間とどまっていたタバガ村のアイスジャムが融けた。このことでヤクーツク市付近の水位は上昇しはじめた。今日明日中に流氷が通過するに違いない。また(タバガ村とヤクーツク市の間に位置する)カタシ村でもアイスジャムが観察された (090516)。
[2009#5]	今年の氾濫=増水は急ではあるが安定している。水位は危険水位よりだいぶ下であり、浸水する可能性のある村は現在なし (090519)。
[2009#6]	5月19日分厚い流氷がコビヤイ郡サンガル (Sangal) 村で観察された。水位は1040cmに達しており、危険水位の1150cmまでわずか。下流では氷の上に水が流れるのが始まった。サンガル空港の滑走路に、川岸から水が浸水した。郡内のカリヴィツァ (Kal'vitsa) 村でも19日には村内に浸水があり、住民は避難した。

参考文献

- Beltaos, Spyros (1995) *River Ice Jams*. Highland Ranch, Colorado: Water Resources Publication.
- Prowse T.D. (2007) River and lake ice. In United Nations Environmental Programme ed., *Global outlook for Ice and Snow*. http://www.unep.org/geo/geo_ice/ (2012/8/16)
- PRS (2010) - Приаительство Республика Саха (Якутия) 2010 Постановление от 27 Мая 2010г. №253 «Об утверждении концепции защиты населенных пунктов и объектов экономически Республика Саха (Якутия) от наводнений и других видов негативного воздействия вод». (法令資料)
- Rakkolainen, M. and M. Tennberg (2012) Adaptation in Russian Climate Governance. In M. Tennberg ed. *Governing the uncertain: Adaptation and climate in Russia and Finland*. 39-54, Springer.
- Sukhoborov, V. (2006) Problems linked to the prevention of natural disasters in the Sakha Republic (Yakutia). In the conference of "The 3rd northern forum to the prevention of natural disasters in the Sakha Republic (Yakutia) 2006", http://www.yakutiatoday.com/events/inter_FWG_emercom.shtml (2012/8/23)
- 高倉浩樹 (2012) 『極北の牧畜民サハ：進化とマイクロ適応をめぐるシベリア民族誌』昭和堂。
- 高倉浩樹 (2013) 「アイスジャム洪水は災害なのか？：レナ川中流域のサハ人社会における河川氷に関する在来知と適応の特質」『東北アジア研究』17号, 109-137頁。

低密度寒冷地域としてのシベリア：文理連携研究の意義

奥村 誠

東北大学 災害科学国際研究所 人間・社会対応研究部門

1 はじめに

2010年度末のシベリアプロジェクトの全体会議を仙台で開催していたまさにその時、マグニチュード9.0の巨大地震の震動が仙台をはじめとする日本列島の大半を揺らせ、20メートルを超える高さの津波は東日本太平洋岸のまちを完膚なきまでに叩きのめし、さらに福島第一原子力発電所の過酷事故を引き起こして、未曾有の被害をもたらした。震度3以上の状態が190秒も継続した地震波は、新幹線などの交通設備のほか、多くの建物に被害を与えた。私が居室を有していた東北大学東北アジア研究センターの建物と、青葉山キャンパス内の建築・土木工学の研究棟はともに大きく破損し、危険判定の赤紙が貼られて立ち入りができなくなった。前者は2013年2月現在耐震補強工事のため立ち入り禁止、後者は2012年初めに取り壊され、ようやく新棟の建設工事が始まったところである。交通の途絶は、食糧や水、そして燃料の確保をさまたげ、通常の生活と研究活動の継続を困難なものとした。土木工学専攻を兼務する私は、目前の災害対応、インフラの復旧に関する調査、研究に重点を置かざるを得なくなり、結果としてシベリアプロジェクトでの研究活動を進めることが困難となった。

この震災は、百万人の人口を抱える仙台市という大都市ですら、東北アジア地域の特徴から免れることはできないことを教えてくれた。すなわち、東北アジア地域とは、気候が厳しく食糧やエネルギーの生産力の限界により人間は低密度にしか住むことができない。さらに冬季の厳しい気候や火山、地震や津波など、人間の力に対してはるかに強大で防ぎようのない自然の力が存在し、それに対応していく知恵が求められる地域である。本プロジェクトが対象とする東シベリアは、まさに冬季の厳しい気候が人間の生存を脅かすような「低密度寒冷地域」であり、典型的な東北アジア地域である。そのため、プロジェクト開始以来取り組んでいたシベリア冬道路の研究は中断しつつも、シベリアの自然と人のあり方と、東日本大震災を受けた東北の被災地との共通性を見いだすことができないかと考えるようになった。

2011年の暮れ、「2012年4月、東北大学に70年ぶりの新しい研究所である災害科学国際研究所を設置することを認める」というニュースが文部科学省から届いた。東日本大震災という巨大災害の経験を多面的に分析し、今後の世界的な防災、減災体制の強化に結び付けることを目的とする新しい研究組織である。実は東日本大震災の発生以前の2007年に、東北アジア研究センターの平川新教授を中心として理学、工学、地学、心理学、情報学、経済学、医学、歴史学などの専門性をもった21名の研究者が「防災科学研究拠点」を組織して、2009年からは文部科学省の特別予算を受けて学際的な研究活動を推進していた。新研究所はこのグループを母体としつつ、新たに、工学、理学、医学などの部局から教員定員を振替えて設立されることとなった。私は、防災科学研究拠点の活動に当初から参画していたため、2012年4月の災害科学国際研究所の設立と同時に新研究所に籍を移し、人間・社会対応研究部門被災地支援研究分野の教授として、文理連携の視点からの災害研究を継続していくこととなった。同時に所長補佐として、新組織の総務、財務の面で平川所長を補佐することとなった。さらに、東北アジア研究センターの兼務教員として、

研究連携を進展させる役割を担うことになった。

本稿は、このような経緯のなかで、東北アジアの低密度寒冷地域であるシベリアを対象とする本プロジェクトおよび、東北アジア地域の災害を考える上で、文理連携のアプローチが必要となる理由を述べようとするものである。

2 シベリアをはじめとする東北アジア地域の特徴

2.1 低密度寒冷地域としての東北アジア

東北大学東北アジア研究センターは、中国、朝鮮、日本という東アジアおよびモンゴルとロシアのシベリア地域という北アジアの地域を対象とする研究機関として、1996年に創設された。東北アジア地域の文化・社会・経済・資源・環境等の問題について、歴史的・現代的視点から分析し、また自然科学と人文社会科学の手法を駆使して文理が連携する研究を推進していくことを設置目的としている。本センターでは、日本列島を含むその近隣諸地域の総体を「東北アジア」と呼び、従来は政治や言語の障壁から個別の国家単位で行われることが多かった同地域についての学術研究を、総合的に展開することに意義があると考えてきた。本センターの意義を対外的にアピールし、共同研究などの活動を広げていく上では、「東北アジア」とはどのような地域なのか、なぜ「東北アジア」という概念を用いて地域を理解するのかを説明していくことが求められてきた。

東北アジア地域の特徴の一つは、非鉄金属や石油・天然ガスなどの地下資源に恵まれている一方で、寒冷や乾燥など厳しい気候であり、火山活動や地震などの自然災害にさらされていることである。東南アジアに比べれば食糧の生産力は大きくなく、人口が安定もしくは減少傾向にある。つまり、人間の力に比べて自然の力の方が圧倒的に大きく、その力は往々にして人間の命を脅かすという特徴がある。とくに冬の厳しい気候を考えれば、夏の間には十分な食糧やエネルギーを備蓄して冬に備えることが不可欠であり、保存ができる穀類などの食糧が社会的に重視されてきた。人々の考え方も、その時々チャンスを生かしてうまく対応するという短期的なことよりも、従来からの方法をかたくなに守りながら、慎重に物事に当たることが重視される。さらに圧倒的な自然の力に対応するには、個々の人間が別々に対応することには限界があるため、指揮や命令による組織的な行動が不可欠であり、貯蔵及び交換が容易な穀物が命令に従わせるための見返りとして使われた。また、個別の地域が圧倒的な自然災害に襲われた場合に、より力の強い地域からの支援を受けることも少なくなかったであろう。これが、東北アジア地域に大規模な「帝国」が作られてきたことの原因であると考えられる。

このように、東北アジア地域では、個々の地域が小規模に独立して存在することは困難であり、地域間に交通路が開かれれば、対等な関係を保つことも難しい。交通路の開設は同時に、地域間に支配あるいは主従関係が持ちこまれることを意味する。帝国の側は周辺地域に交通路を開く努力をする。一般交通路が開かれると、周辺地域からの定期的な朝貢を強要することになる。通行可能な交通路がありながら周辺地域の組織が朝貢を拒むことは、すなわち反逆を意味することとなる。近代国家となった今でも、国家の財政力で離島に橋を架けたり、領土の端まで高速道路網を伸ばそうとするのは、経済的な意図というより、その地域への支配を確実にするという政治的な行為であるという解釈も可能である。水害や積雪などの自然災害において発生する道路の途絶が大きな社会問題とされ、総力を挙げて迅速な復旧に努めるということも、国家がその地域を支配する能力があることを表現するデモンストレーションの意味を持つ行為であると考えられることもできる。

2.2 自然への対応と文理連携

自然の力が大変強く、冬季には生存を脅かす厳しい寒冷環境をもたらすとともに、突発的な火山活動、地震、津波、台風などの風水害などをもたらす、人命や財産、さらに地域の存続への脅威を与える東北アジア地域において、人間が安定的な社会を構築して生活を営むためには、個人が立ち向かうことが不可能な巨大で過酷な自然の力に対して、適切な対応ができる社会的な仕組みを用意することが重要な課題となる。

この時、人口の多くが都市部に密集している東南アジア地域では、その限定された都市域を外部から覆う形で構造物を作り、内部を守るという「防災」という戦略をとることが可能である。しかし、非都市部に低密度に人口が居住する東北アジア地域では、すべての居住域を災害から防護するような構造物を作ることは財政的に難しく、またその構造物の中に隔離されて生活することは、自然の中での生業や暮らしのあり方とも両立しないため、独自の災害対応の考え方が必要となる。すなわち、東日本大震災のような巨大災害では、災害の力に対抗したり抑え込んだりすることは困難であり、むしろ災害の影響を小さくしたり、立ち直りの能力を高めるという、「減災」の考え方が重要となる。その中には、地震発生の直後に津波の可能性を想定したり、天候や気候の変化や火山活動の兆候にいち早く気づいて、避難などにより最悪の事態を回避することも含まれる。

このような自然に関する知恵は、人間社会の歴史の中で地域ごと、集落ごとに「経験知」、「暗黙知」として蓄積されてきている。人類学をはじめとする人文科学は、おもに地域における人間や人間の集団、社会の中で経験的に蓄積されてきた「経験知」を調査し、整理し、概念化するという役割を担っている。このような経験知は、先見的な正しさや論理性に基づいて設計されたものというよりは、その人間集団や社会が自然環境や社会環境との相互作用を繰り返す中で、試行錯誤的、帰納的に獲得されてきたものであり、今後地球環境の条件が大きく変動すると、これまでの経験則が成り立たなく恐れがある。言い換えれば経験知には「内挿はできても、外挿ができない」という特徴がある。

一方理科系の学問が立脚している数学や物理学は法則性の成り立つ範囲が広く、異なる状況下に敷衍して当てはめることができる。つまり、これまでに経験したことがないような状況に対してもシミュレーション計算を行って外挿することが可能である。また頻度が極めて低く、一生に一度経験するとは限らないような大規模な自然災害などについては、実経験のない世代の人々に「経験知」を伝えることは困難であるが、科学的な「形式知」の形に翻訳することで、継承が少しは容易になる。

その反面、理科系の分野では基礎理論の自由度が広すぎるために、「何に対して理論を当てはめるべきかがわからない」という問題が生じる。さらにどのような状況で使うのかによって求められる予測の精度は異なるので、ニーズに合わせて使うべき理論や計算資源の量を限定していかなければ、必要以上の検討に時間とコストがかかることになってしまう。したがって現地社会での関わりの中で人文科学の研究者が経験知を発掘し、理系研究者が自然科学における法則性につき合わせ吟味して「形式知」化することで、知識の適用範囲を拡大することができる。そして変化する環境の中の社会に「頑健な知識」を提供して、災害や自然への対応に役立てる方法を、社会科学的に検討することが重要となる。

3 不確実性のある現象に対するアプローチ

3.1 「想定外」に対する考え方

東日本大震災の直後、企業や行政の責任者や技術者から、「想定を大きく超える津波であったた

め、対応を考えることができなかつた」という言明が多く聞かれた。これに対し、ノンフィクション作家の柳田邦男は、「想定外というケースには、実は3つのケースがある。A：本当に想定できなかったケース、B：ある程度想定できたが、データが不確かだったり、確率が低いと見られたりしたために、除外されたケース。C：発生が予測されたが、その事態に対する対策に本気で取り組むと、設計が大がかりになり投資額が巨大になるので、そんなことは当面起こらないだろうと楽観論を掲げて、想定の上限を線引きしてしまったケースの3つがある。これまでのさまざまな災害事例を見ると、ケースAは極めて少ない。BかC、あるいはBとCの間あたりのケースが、大半を占めているように見える」、と指摘している。そして、2005年4月のJR福知山線脱線事故に対する2年後の航空・鉄道事故調査委員会の報告書に書かれた次の一文を示し、日本と日本人の防災対策・安全対策における思考のパラダイム転換を求めている。「発生頻度が小さくても、一度発生すれば重大な人的被害を生ずるおそれのあるものについては、対策の推進を図るべきである」、と。

3.2 「リスク」と「不確実性」

この柳田の指摘は、情報経済学の分野におけるリスクと不確実性の定義と強く関連している。すなわち情報経済学では、「起こりうる事象が列挙でき発生確率が算定できる場合」を「リスク」、「事象は列挙できるが確率が計算できない場合」を「不確実性」、「事象も列挙できない場合」を「無知（不可知）」と定義している。そこで、東日本大震災の中で一般に「想定外」と言われていたものも、「確率がほぼゼロとみなせたリスク」なのか、「確率は計算できなかったが、起こるかもしれないとして認識されていた不確実な事象」なのか、あるいは「そのようなことが発生することを誰も想定できなかった、社会にとって無知（不可知）の事象だったのか」に分類しておく必要がある。それは今回起こった問題に対して、誰に責任を問うべきか、そして今後どのように対応していくべきかが大きく異なってくるからである。

「無知」の部分は誰にも責任を問うことはできず、被害に対する救済を国などが事後的に行うしかない。原子力のように未知の部分が多い技術を安易に採用したことの道義的な問題はあるのかもしれないが、問題を予見する方法がないのだから法律的には責任を問うことはできないと考えられる。しかし、このたび、問題が実際に発生し、我々がそれを認識したことで、「無知」から「不確実」な事柄にその性格を変えたことになる。

技術者や学会としては、今回の経験を踏まえて「リスク」の算定方法を改善し、より多くの「不確実性」の事項の確率評価を行い、合理的な「リスク管理」を可能にするために、知を生み出していくことが求められる。リスクは、確率が計算できる事象とその事象によって生じる被害の組み合わせなので、リスクを下げるための対応としては、A：発生確率を下げる、B：生じる被害を小さくする、という考え方がある。前者は、構造物などの強度を上げて外力による破壊の発生確率を下げるいわゆるハードな防災のほか、そもそも外力の大きい所に住まない、行かない、使わないことにより暴露を下げるという手段（リスク回避）がある。後者としては、個々の家屋の強度を上げる、避難することが考えられる。さらに被害の発生は仕方ないが、その拡大を防ぎ立ち直りを早くするために、予備の施設を持つ多重化、備蓄、緊急対応の体制を整えておくなどの「レジリエント化」の方法がある。社会的には「保険」を充実させ、より多くの主体でリスクを分担する「リスクファイナンス」も必要だが、保険事業は確率計算のできない事象には適用できないという限界がある。

3.3 理系的発想とシミュレーションの限界

リスク管理では理系的な発想に立ち、事象の進展を司るメカニズムを理解して、確率を算定し、

それをコントロールすることが重要視される。つまり、理系的なアプローチでは、因果関係を原因から結果に向かって、途中のさまざまな枝分かれを考えながらたどっていくことになる。そのため、確率が評価できない不確実な部分が途中にあると、それ以降の確率計算ができないという問題がある。その結果検討が最後までなされなかったり、確率が計算できるようになるまでリスクの評価を先延ばしし、実際には何の対応も取られずに放置される危険性がある。

道路などの土木施設の計画は、ややもすれば工事に関連するお金を地域に誘導することを目的として、政治的な力が作用して、完成しても利用者がほとんど期待できないような「無駄」な施設の工事が行われるという問題があった。それを防止するために、作られた施設がどのように使われ、社会にとってどのような効果を発揮するかを算定し、事業に必要な費用との大小関係を客観的に検討して、事業の採否を決める、「費用便益分析」という方法が義務付けられてきている。この費用便益分析は、ミクロ経済学という、理系的なアプローチで社会における個人や組織の行動を分析しようとする学問に基礎を置いている。そのため、リスクや不確実性がある状況下に当てはめようとするれば、確率がゼロに近い現象は無視され、不確実な現象への対応が先延ばしにされるという傾向をはらむ。とくに、今回の震災のように発生確率が低く、現象の観測が十分蓄積されていないために法則性が明らかになっていないような巨大災害では、事象の発生確率を精度良く算定することには無理があるため、柳田のいうBのケース、すなわち、データが不確かだったり、確率が低いと見られたりしたために、想定から除外される結果になる危険性が大きい。

先に、理科学的な法則性に基づくシミュレーションは、適用範囲が広く「外挿」できる可能性が大きいと述べた。しかしながら実際に数式を用いて計算機上でシミュレーションを行おうとすると、空間や時間の範囲、計算間隔を具体的に定めなければならない。その過程で、想定した範囲の中での結果のみに関心が向かい、原理的には起こる可能性のある多数の状況を見逃してしまうことになる。たとえば、ビリヤード台の上の玉の動きを精密にシミュレートするプログラムを作る時、玉が途中でいくつか割れたり、ビリヤード台の外に飛び出る可能性を見逃したプログラムを作る限り、「想定しなかった事象は計算できない」という問題が発生する。

計算により扱える現象の幅を拡げ、事前の想定を拡大する方法として、マルチ・エージェント・シミュレーションがある。すなわち現象をモデル化する際、一定の幅を持つ空間や時間を考え、そこにおける平均的な状態量に着目して、隣接する領域を持つ状態量を参照しながら、当該領域の状態量の時間的変化を追いかけるのがマクロ・シミュレーションという手法で、多くのシミュレーションの基礎的な考え方になっている。この時、状態量の変化を表す方程式に含まれるパラメータは、過去に観測された運動に当てはめて同定されるので、過去の観測の範囲外の事象が発生しにくいように設定されてしまう。一方、マルチ・エージェント・シミュレーションでは、領域ごとの平均値ではなく、たとえば粒子、人や組織などの個々の活動要素をエージェントとし、それぞれが自分の状態量と近傍のエージェントからの作用にしたがって状態を変えると考える。高速で移動してきた他の玉から衝突により強い力を受けた結果、玉が割れたり、ビリヤード台の外に出るほどの速度になるという可能性を考えることができる。また、多くのエージェントが非線形的な相互作用を行うシステムを研究する「複雑系」研究では、そのような相互作用の中から、特徴のあるマクロな動きが「創発」する可能性があるとして認めている。

しかし、発生確率の低い「創発」現象をシミュレートするには、やはり莫大な回数の計算が必要であり、マルチ・エージェント・シミュレーションであっても、計算や分析のためのコストが大きくなることは避けられない。

3.4 不確実性のある事象の理解

一方、現実起こった事象を観察してその前後の事態の進展を理解するには、人文系、あるいは

は社会系のアプローチが有効である。原因が分からなくても、また確率が計算できなくとも、我々は断片的な事象から対応を考えることができる。例えば、津波により途中どこを歩いていつごろどのぐらいに速さで水がきたのかは分からないが、最終的に溺死する事例が観測されたとする。そのとき理系的アプローチによって現象のメカニズムの解明ができなくても、各自がライフジャケットを備えるという対応を考えることは可能である。つまり、今回の震災のような巨大災害では、メカニズムが不明で最初の事象から因果の連鎖を順方向にたどりながら確率を評価するという理系的なアプローチには限界があるため、「事態の全貌を把握して適切な対応を取る」という正論にとらわれず、「断片的にしる起きたことを直視し、できることから対応を取る」ことも必要であり、そのためには「不確実性」をそのまま飲み込む文系的アプローチが役立つのである。

ただし、このようなアドホックな対応策の多くは、平常時には必要ない資源や人材を余分に抱えておくことになるため、個人や企業に任せても面倒さや経済的合理性の点で実行されない危険性が大きい。社会の中での必要性の合意と啓発が不可欠であるし、制度化を考える必要もある。そして確率を計算できる部分を増やすことにより、民間の合理的な経済判断の中で採用されるものをできるだけ増やしていくことができるので、理科系の立場からリスクの定量的な評価方法を研究していくことは重要である。

参考文献

柳田邦男（2011）：「想定外」か？－問われる日本人の想像力、文芸春秋、第 89 巻第 5 号（2011 年 5 月特別号） pp.126-133.

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 地域システム科学講座

G3 の中で、トナカイをはじめとする資源動物を扱うメンバーが集まったのが G3b グループだが、プロジェクト期間の前半は、全体の研究調査デザインは設定しないまま、個々の調査が進められていた。2012年度からは、それらの調査で得られた情報を元に、全体の枠組み設定と、それに基づく議論も行われている。

1 全体の枠組み

G3b では、人と動物の両方を研究対象としており、第一には、資源動物の生態と、その利用方法の実態を明らかにすることが求められてきた。具体的には、家畜トナカイ（吉田・中田）、野生トナカイ（立澤・オクロプコフ）、毛皮獣（池田・オクロプコフ）である。これらは過去4年間の調査でおおよそ様子が把握され、現在は、第二の課題、すなわちこれら資源動物の生態、および地域住民によるそれらの利用状況が、温暖化環境のもとでどのように変化しているか・していないか、適応的かそうでないか、という評価を行うことである。また第三の課題として、これら個別の情報をもとに、シベリアの地域社会がどのように温暖化に対応しているか、してゆきそうかという“温暖化するシベリアの自然と人”の関係についてのシエマを描くこと（加賀爪）が今後求められる。

2 個々の取り組みと課題

①野生トナカイ（立澤・オクロプコフ）：オレニョク地域における3カ年の衛星追跡により、越夏地、越冬地、季節移動ルートのそれぞれが示され、家畜トナカイとは異なる大規模な土地利用の実態が明らかになってきた。また、越冬地選択における不適応が生じている可能性が指摘されている。このような変化に対して、野生トナカイ狩猟が生業として不安定化している状況は、すでに初年度の聞き取り調査などで明らかになっているが、今後は野生トナカイの生態（移動ルート、生息地選択、個体群構造）の不安定化とトナカイ猟（コスト、収益）の不安定化がどのように関係し合っているかを具体的に検討する必要がある。

②家畜トナカイ（吉田・中田）：一方家畜トナカイについては、トナカイ牧畜の中心地であったオレニョク地域（吉田）とトンポ地域（中田）で、氏族共同体などの牧畜経営単位にはりついて、利用実態等を明らかにする人類学的調査が行われてきた。2012年度は特に世界各地で生じている「過放牧」に着目し、山口靖氏（名古屋大学）と山本一清氏（同）の協力を得て、衛星情報を用いた放牧キャンプの採食地の評価が行われた。その結果、トナカイ放牧キャンプでは植生の「過放牧」状態は認められず、家畜トナカイ-植生関係の特性、もしくは人間側のなんらかのコントロールにより過放牧となっていないことが予想される。この点については、トナカイ飼育において、どのような工夫を自覚的/無自覚的に行っているか、それがどの程度のコストなどをかけておこなわれているか、等を現地での聞き取り

調査等から明らかにする必要があるだろう。

- ③毛皮獣（池田・オクロプコフ）：個体数の動態などが調査しにくい野生動物の中で、毛皮獣（毛皮利用される哺乳類）は、毛皮取引等の統計を用いてある程度動態が分析できるという利点がある。サハ共和国でも毛皮獣の統計資料が蓄積されており、この分析等から、毛皮の需要や経済的事情がはるかに大きな変動要因であることが指摘されている。そのような状況下で利用価値の高い種に捕獲圧が集中したり、外来種の移入が行われてきた事実も明らかになってきたが、興味深いのは、そのような人間側の事情と、温暖化環境を背景に、水系に依存するマスキラットなど特定の外来種が増加傾向にある点である。シベリアではマスキラットはすでに毛皮動物として広く利用されており、一方で、生態学的理解の進展から外来種対策を進める動きもある。今後政策がどのように展開するか、生態系への影響がどのように顕れるか追跡することで、社会的なシミュレーション（シナリオ分析）に貢献することができるだろう。

3 包括的なシエマとシナリオ分析へ向けて

このように、個別の調査が進み、最終年度の課題も見えてきたが、同時にグループとしては、野生トナカイも、家畜トナカイも、その他の毛皮獣も利用してきた地域社会の実態と、温暖化環境を背景とした変化のシミュレーションを行う必要がある。この観点から G3b にご参加いただいたのが加賀爪優氏（京都大学）であり、主に経済的な観点から、各調査の成果を抽出し、シナリオ分析などから今後のシベリアの自然と人の関係を描き出していただけると期待している。

衛星データに基づく植生変化とトナカイ放牧地の状況に関する考察

吉田 睦

千葉大学文学部 日本文化学科 ユーラシア言語文化論講座

1 はじめに

本年度の活動の中心はG 1 及びG 2 の衛星データ解析研究者より情報提供を受けることによる、衛星データとトナカイ牧畜の現状や実態に関する情報の比較・分析である。具体的には、夏季のワークショップにおいてG2の山本一清氏（名古屋大学）よりMODISセンサーによる、経年変化を中心とする比較的広域のNDVI（正規化植物指数）データの提供を得て、サハ共和国及び西シベリアのいくつかのトナカイ放牧地に関する植生変化の状況を分析・考察した。また、秋季の全体会合においては、同じNDVIデータのうち、より狭域（半径5-10km）のデータ解析結果の提供を受け、同様に現地の状況の検討を行った。全体会合においては、G1 山口靖氏（名古屋大学）によるより高分解能のASTERセンサーに基づく解析結果の発表を受け、またデータの提供も受け、現地の状況分析に努めようとしたが、当方のリモートセンシング解読能力の問題もあり、本報告には間に合わなかった。今後の課題としたい。

2 家畜トナカイの食性

各地のトナカイ放牧地の植生の状況分析を行う前に、トナカイ、特に家畜トナカイの食性についてごく簡単に把握しておきたい。トナカイの食性については野生/家畜トナカイのいずれか、あるいは双方に関する多くの研究や著作があるが、ここでは西シベリアの家畜トナカイ飼育に造詣の深い若干の研究の著作に基づき、概要をまとめた。

右表は年間を通じた家畜トナカイの摂取食物である植物等を一定の基準で分類したものである。調査対象が西シベリアのツンドラ・ネネツ人の飼育する家畜トナカイであることで、地域性も出ているとは思われるが、他地域でも共通の部分は多いとみてよい[Yuzhakov 2006: 101-103]。

やはり同地域の家畜トナカイを対象とする別の論考によると、季節別の摂取特性は以下の通りである。

- ・ 夏季
 - 主要50種の緑色（草本・木本）植物70-75%

表 家畜トナカイの食性 [Yuzhakov 2006: 102]

基本的採餌対象			
地衣類		緑色植物	
良く食べる	食べない	夏季	冬季
ハナゴケ科 (トナカイゴケ他) ウメノキゴケ科	キゴケ類	灌木類の葉 イネ科・スゲ科植物 トクサ類 その他雑草	イネ科・スゲ科植物 トクサ類 その他雑草
副次的・偶発的摂取対象			
副次的		偶発的	
キノコ類 枯葉		蘚苔類、針葉樹、漿果、動物性食物（レミング、鳥卵、魚）	

(各種ヤナギ20%；針葉樹<10%；ゴマノハグサ科<10%；キンポウゲ科<5%、マメ科<5%；イネ科<5%；シラカンバ<5%；その他の植物10-15%)

— 地衣類25-30%

• 秋季

— 緑色植物（含枯葉等）60-70%

— 地衣類30-40%

• 冬季（～春季初期）

— 地衣類50-80%

— 緑色植物（春季初期にヤナギやシラカバの若芽10-15%）

[Podkorytov 1995:131-132]

簡単に言えば、年間を通じよく採食する植物はハナゴケを中心とする地衣類であり、また緑色植物が生育・繁茂する夏季には草本・木本を問わず、それらを中心に摂取するという食性を有する。概して夏季には緑色植物を摂取することでタンパク質の摂取が可能となり、冬季は炭水化物主体の地衣類を摂取する、という摂取栄養の季節特性を指摘できる。[Baskin 2009:15]

以下において分析の基本になるNDVIに、地衣類の存在が反映されるか否か筆者は情報を持ちえない。以下の分析の中心は年間最大NDVIであるが、その値は通例夏季のものであり、基本的には夏季の緑色植物を中心とするNDVIの値の比較・分析ということになる。即ち、トナカイの通年の採餌対象となる地衣類の状況を反映しているわけではない、ということになり、(最大)NDVIを使う分析を行う際には、この点を考慮する必要がある。

広域/狭域データのいずれも、ベースにした映像資料は、名古屋大学山本一清氏より提供を受けたMODISデータである。MODISデータを加工した各種データ（年間最大NDVI、同変化率、平均NDVI、土地被覆率等）の提供を受け、現地状況との比較を行ったのが今回の作業である。

3 各地域におけるNDVI画像データの分析・評価

3.1 サハ共和国の3地域の状況

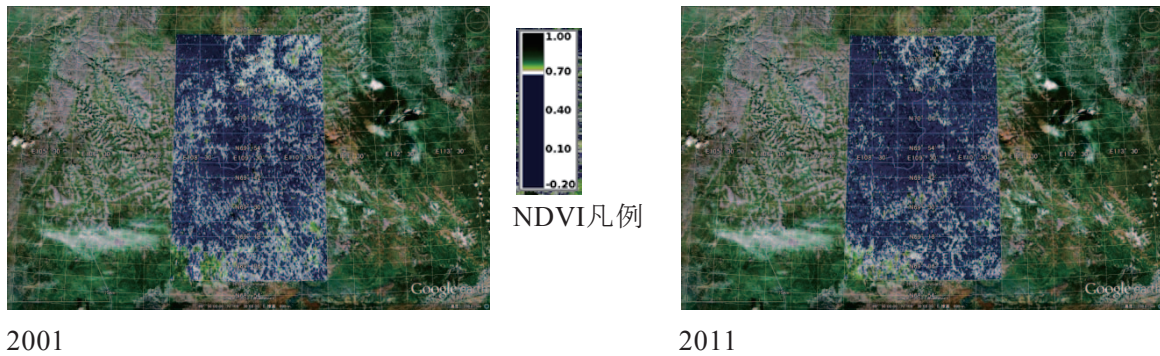
分析対象地域は、サハ共和国内のオレニョク郡とコビヤイ郡の2つのトナカイ飼育企業群キャンプである。オレニョク郡については、副次的に調査したオレニョク川中流の野生トナカイの渡渉地点も分析対象に加えた。

3.1.1 オレニョク郡トナカイ飼育公営企業（MUP）「オレニョクスキー」

まずオレニョク郡内のトナカイ飼育公営企業（以下「MUP」）「オレニョクスキー」のトナカイ放牧地に関する状況を分析した。

図1の2つの画像は、当該企業のトナカイ群の年間放牧範囲を網羅する2001年と2011年の最大NDVI画像を、Google Earth画像上にオーバーレイさせたものである（以下同じ要領の画像資料を示す）。2001年と2011年の図を比較すると、全体的に2011年の方が植生量が少ない（白-緑色部分が少ない；特に北部の夏季放牧地のNDVI値の減少が目立つ）。しかし当該NDVI図の領域が南北に150km余、東西に100kmという広域のものであるため、個々のトナカイ放牧地やキャンプ地の状況を微細に分析することは困難といえる。

図1 オレニョク郡MUP「オレニョクスキー」トナカイ放牧地NDVI画像



2001

2011

図2 MUP「オレニョクスキー」のトナカイ群放牧地とNDVI変化率図*

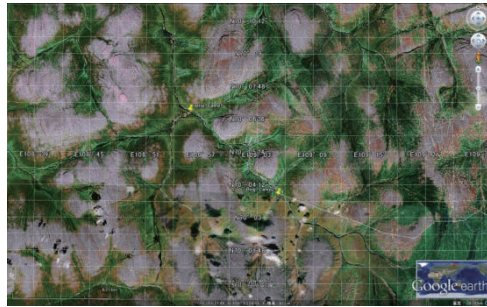
(*NDVIの変化率は中央の白色の長方形部分に示され、赤色等の着色部分が変化率の大きいメッシュである。)



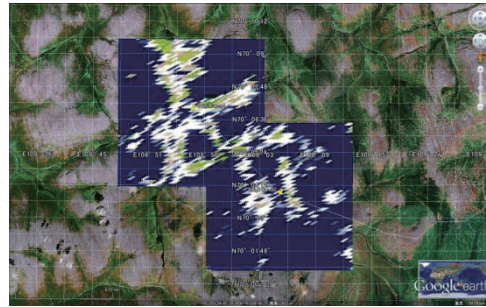
図2は図1と同範囲の衛星画像上に2001年と2011年の最大NDVIの変化率を示した図(白い方形部分)をオーバーレイさせたものである。放牧地域内には植生変化を示す個別の地点が各地に散在するものの、一定の大きさの面積を有する地帯は存在しないように見受けられる。これは広域にわたる画像データによることにも起因すると思われる。そこでキャンプ地周辺の放牧圧等による植生変化を捉えるに、より狭域の画像データに基づき、分析することにした。具体的には、遊牧キャンプ周辺や集落、物資交易所(ファクトリー)等の周辺2-10km程度の範囲を含む方形の解析図を入手して分析したのが以下の作業である。

最大NDVI値の変化について、同様に2001年より2011年までの連続する11年間のデータを比較した。図3にその状況を示す第1ブリガード(労働班)キャンプ1と2の周辺部の当該期間中最大NDVI値のうち、特徴的な3年分(中間値の2001年,極小値の2004年,最大値の2008年)を図化したものを示す。全体的に河谷地域の植生量が大きいことが見出されるが、2008年はNDVI値が高いこと、逆に2004年の画像の示す最大NDVI値が顕著に低い(暗青色の部分)ことが観察された。この点は、広域を対象とする図1の範囲での変化分析では捕捉できない変化状況と言える。

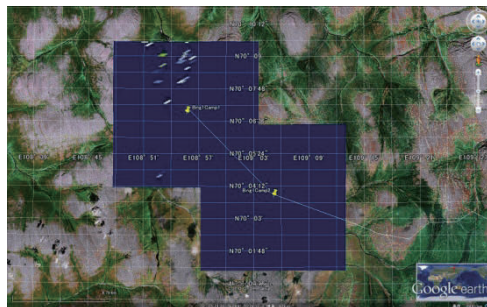
図3 MUP「オレニョクスキー」の夏季キャンプ1+2におけるNDVI画像
 Camp1: 70;6;51.51N1058;55;38.076E; Camp2: 70;3;47.76N109;5;8.6159E



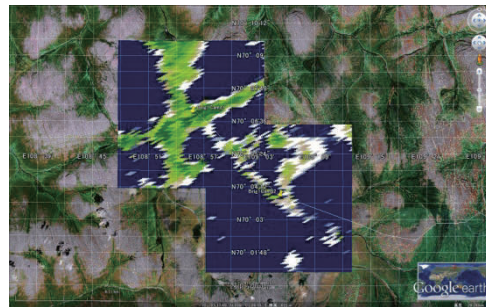
Brig1 Camp1+2



Brig1-Camp1+2 2001 (R=5km)



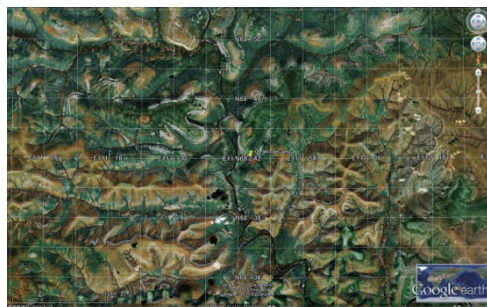
Brig1 Camp1+2 2004



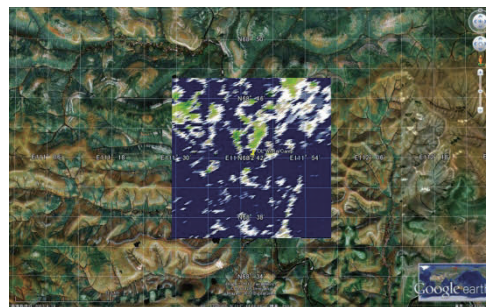
Brig1 Camp1+2 2008

次に調査中に聞き取りで得た放牧地南部の冬季キャンプ地の立地箇所を中心とした最大NDVI画像を分析したのが図4である。調査期間には変化幅はみられる(図示した2001年と2009年)が、図3ほどの顕著な状況ではない。

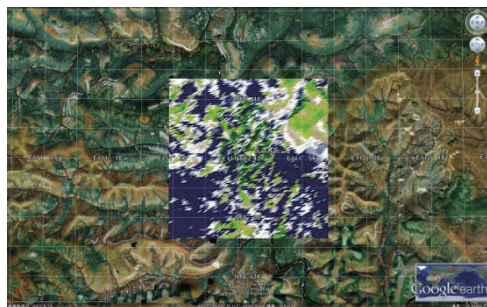
図4:MUP「オレニョクスキー」第6ブリガードの冬季キャンプ周辺NDVI画像



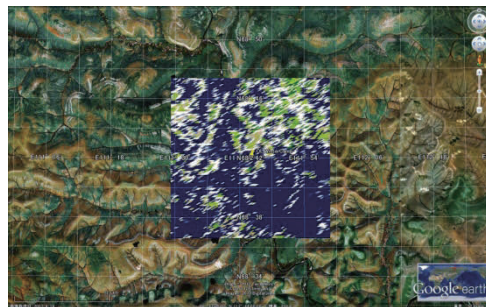
Brig6 Winter Camp 68;42N111;44E



Brig6 Winter Camp 2001 (R=10km)



Brig6 Winter Camp 2009



Brig6 Winter Camp 2010

このような分析結果を踏まえて、現地調査を行ったMUP「オレニョクスキー」企業長のM.ニコラエヴァに2011年10月に2004年の放牧状況を照会したところ、大要以下のような回答が寄せられた：

「2004年秋、獣医学的・畜産学的作業のため職員が放牧キャンプに出かけたところ、トナカイの肥え具合が悪かった。その年の夏は冷涼で雨がちな夏であったため、植物の成長が良くなかった。今後とも冬はより温暖で、夏はさらに冷涼で雨がちとなることが予想される。」（2012年10月29日付メール情報を要約）

このように、NDVI等の衛星情報を現地情報と比較・照合する作業は、環境変化による植生変化自体とその利用状況に関する現地情報の開拓にも貢献できる可能性がある。

3.1.2 オレニョク郡内オレニョク川野生トナカイ渡渉地調査と分析

2010年8月下旬、オレニョク川中流域の河岸（68°26'55.00"N 114°29'45.00"E）にて、野生トナカイの渡渉状況を調査した。この時期には例年北から南に向かって野生トナカイが数頭から数十頭の小群単位で渡渉して冬季牧地に移動する。滞在した2日間、キャンプ地やその上下流域全般にわたり散発的に渡渉する野生トナカイが観察された。

上記の家畜トナカイ放牧地との対比という意味で、このキャンプ地近傍の最大NDVI値の2001-2011年の間の各年比較を行った。この期間に顕著な植生量の変化はみられていない。（図6参照；2004年と2008年を例示した）

図5 オレニョク川中流域トナカイ渡渉地点のNDVI画像比較



OL Winter Camp (68;26;55N114;29;45E)

2004 (R=10km)

2008

3.1.3 コビヤイ郡セビャン・キュヨリ村国営企業GUP「セビャン」

ヴェルホヤンスク山脈の西南部を家畜トナカイの放牧範囲とする国営企業（以下「GUP」）「セビャン」は、頭数1万6千頭前後の家畜トナカイを有するが、筆者は2009年8月、そのうちの第9ブリガーダの晩夏キャンプ地に滞在・調査した。当該キャンプは毎年夏季放牧地への往復の際（7-8月）に1-2週間程度滞在するところで、キャンプ地近傍は放牧圧がかかっているとみられる。しかし放牧群の滞在期間は限定されており、過放牧状態にあるという話はなかった。NDVI画像によれば、2004-2008年前後の植生量が少なめであるが、3.1.1でみたオレニョク郡北部のような単年度の極端な低下はみられなかった（図6）。

この群の放牧範囲では、夏の降雨による土壌侵食が激しいことなどが聞き取りで得られ、実際にそのような場所も実見できた。しかし、これらの現象がNDVIに反映されるかどうかは、より精査なデータに基づく分析が必要となろう。

図6 コビヤイ郡セビャン・キュヨリ村GUP「セビャン」夏季キャンプのNDVI画像



SK Summer Camp (65;02;44N129;53E) 2005 (R=5km)



2009

2011

3.2 西シベリア、ヤマル・ネネツ自治管区の2地域

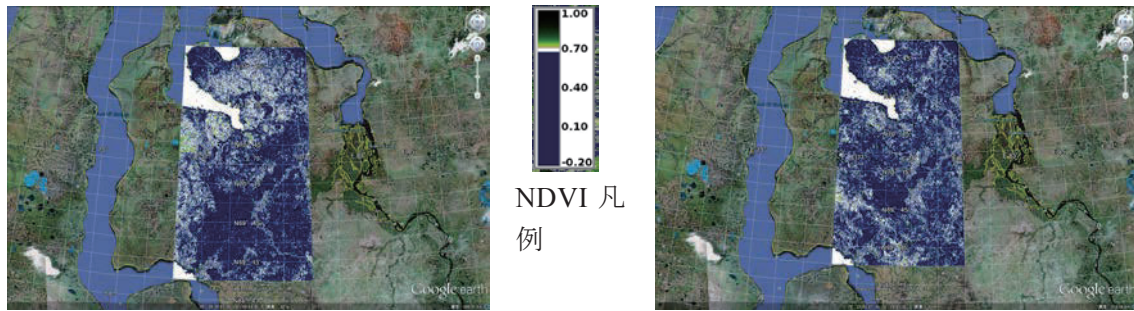
西シベリアにおける筆者の現地調査地として、ヤマル・ネネツ自治管内の2つの地域であるターズ郡ギダン半島内を遊牧範囲とする個人経営者のツンドラ・ネネツ人と、プール郡内中部のハランプール村を遊牧範囲とする先住民企業（オブシーナ）メンバーの森林ネネツ人のトナカイ放牧地を分析対象とした。

3.2.1 ターズ郡のツンドラ・ネネツ人による個人経営トナカイ牧畜

ターズ郡内の個人経営トナカイ牧畜従事者は900余家族、5千人を数える。そのうち2005年5月に滞在した同郡内ギダン半島のキャンプ地と1996年7月に滞在した物資交易所兼夏季漁労キャンプ地について分析した。

個々の地域の分析の前に、図7に広域の最大NDVI画像を示した。南北に330km余東西に170-180km程度の広域の地域に関して2001年と2011年の値を比較したものであるが、2011年は北方においてNDVI値が低く、南部では高い（白色から緑色の部分が高い値）ことが判明する。このNDVI図の範囲は、北部は極地ないし典型的ツンドラ、南部は灌木ツンドラの卓越地である。筆者の調査地は北部の典型的ツンドラ地帯が中心であるが、2005年までの現地調査において、トナカイ牧畜従事者から植生変化についての顕著な認識は得られなかった。

図7 ギダン半島広域最大NDVI画像



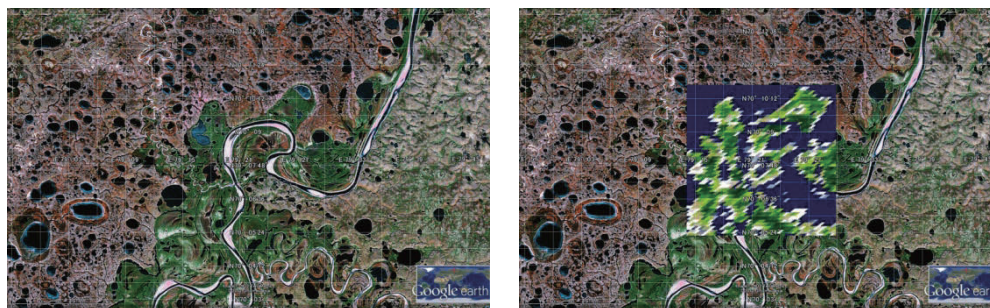
Gydan-wide 2001

Gydan-wide 2011

3.2.1.1 西シベリア・ヤマル・ネネツ自治管区ターズ郡ギダン半島

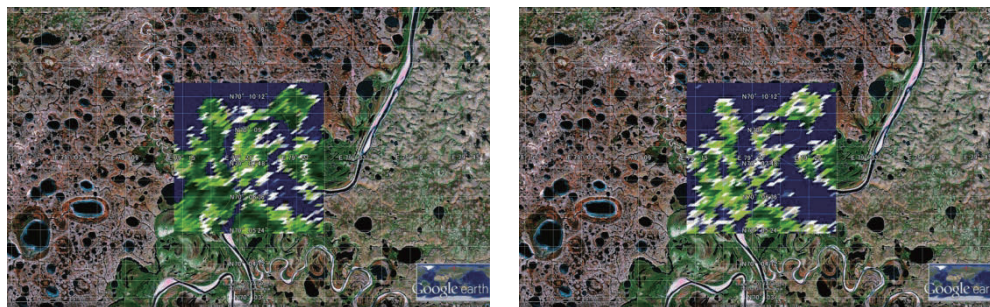
図8は2005年5月に滞在した個人経営者キャンプ地周辺のNDVI画像を示すものである。全般に図の中央を南から蛇行しつつ北流するエニセイ川の支流タナマ川流域は植生量が多い。例示した2001,2005,2008の各年を比較する範囲では、変化の状況については、2005年が高い値を示しているが、2001年や2008年はタナマ川流域とその周辺部（ツンドラ地帯）において低目の値を示しているといえそうであるが、顕著なものとは言えない。この地域は夏季放牧地としては利用頻度が高くないため、最大NDVI値を示す夏の状況はトナカイ牧畜の実態とはズレがあるという点には注意しておく必要がある。その意味で次に夏季物資交易所（ファクトリー）周辺の状況を示しておきたい。

図8 ギダン半島タナマ川中流域のキャンプ周辺NDVI値画像



GN Camp2 (70;08N79;22E)

GN Camp2 2001 (R=5km)



GN Camp2 2005

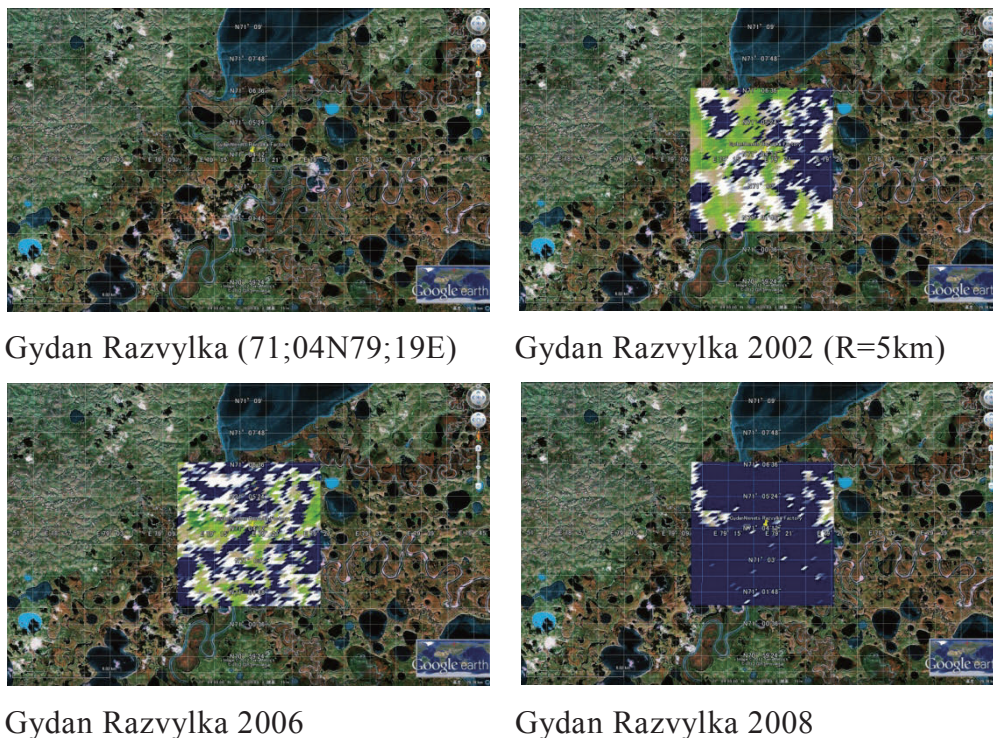
GN Camp2 2008

3.2.1.2 ラズヴィルカ・ファクトリー（夏季漁労キャンプ）

図9に示したのは、かつて職員が通年常駐し診療所も置かれていたが、1990年代後半には夏季に魚の買付けのみを行うラズヴィルカ・ファクトリー周辺の最大NDVIの例である。当地は湖沼地帯で、ファクトリー自体が河川の合流点に位置する。トナカイを他の個人経営者の預託して、漁労に従事しながらそれを売却するキャンプが周囲に存在する。従って恒常的なトナカイ牧地とはいえないが、春季と秋季にそれぞれ南方及び北方よりトナカイ群を引き連れた個人経営者がこの地を放牧ルート上のポイントとして通過していく。

図にはNDVI値の高い2002年と対照的に低い2008年、そして中間的な2006年を示した。わずか10年余の間でもNDVIの値に相当な変異があることがわかる。特に2008年の値が極端に低い（図では暗青色が卓越）。

図9 ギダン半島ラズヴィルカ・ファクトリー兼夏季漁労キャンプNDVI値画像



3.2.2 プール郡ハランプール村先住民企業メンバー個人群

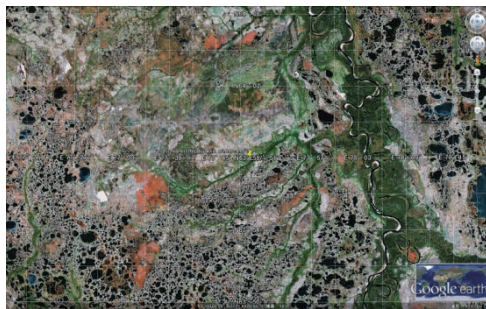
同村は周辺をハランプール油田やタラソフスコエ油田といった石油採掘地帯に囲まれており、その近傍での生業活動であるトナカイ牧畜の現状は、今回提示する中でも最も厳しい開発状況下にあるといえる（図10）。

図11のNDVI画像の範囲で帯状（緑色）に高い値を示しているのは河川流域である。2001-2011年の間に微小な変化は見受けられるが、顕著な変化を示す状況は見出せないといえる。この点では、本報告の範囲でも変化幅の大きい値を示すことのある北方のツンドラ地帯と比較して対照的ともいえる。当地は比較的密度の低いヨーロッパアカマツの卓越するタイガ地帯で一定程度の森林の被覆のある所である。そのことが気候変動への影響を緩和する要因となり得るか否かについては判断できる材料を持ち合わせていない。

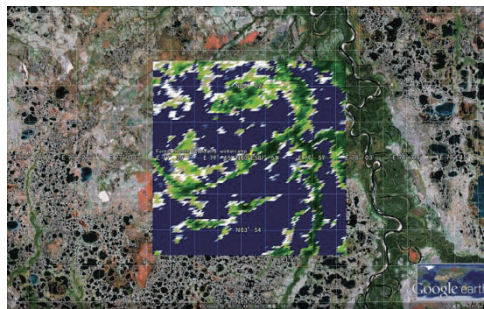
→図10 ハランプール村近傍のタラソフスコエ油田（Google Earthの衛星画像より）（白い部分が石油採掘施設とパイプライン）



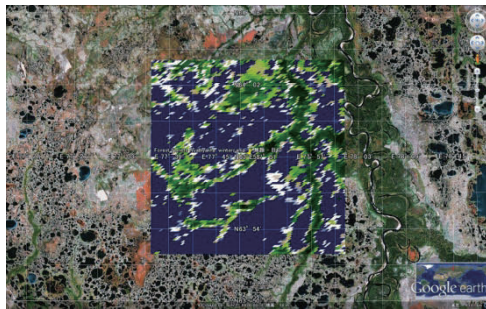
図11 森林ネネツ春季キャンプ（プール郡ハランプール村）



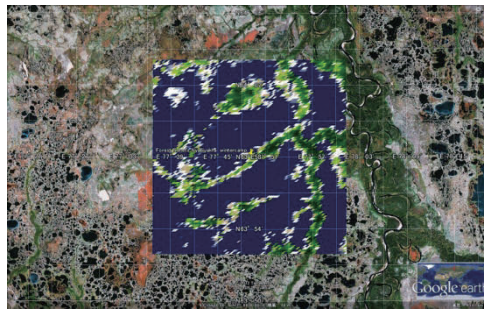
FN Nyaby-yakha (63;58N77;49E)



FN Nyaby-yakha 2001 (R=10km)



FN Nyaby-yakha 2008



FN Nyaby-yakha 2011

4 まとめ

4.1 放牧地のNDVI値の状況：2001-2011年

上記3において、サハ共和国及び西シベリア、ヤマル・ネネツ自治管区のいくつかのトナカイ放牧地におけるNDVI値を画像化したデータをもとに、植生変化の状況を分析した。その結果を簡単にまとめておきたい。

4.1.1 サハ共和国

オレニョク郡のMUP「オレニョクスキー」のトナカイ放牧地に関しては、上記3.1においていくつかの図例で示した。北部（一部クラスノヤルスク地方を含む森林限界以北の山岳ツンドラ地帯）は夏季放牧地として、南部は秋季～冬季～春季の放牧地として使用されている。設定した期間中では、北部の2004年の最大NDVIの値が顕著に低く、2008年も低い値を示している。また、この値は設定期間では全般的に低下傾向にある（山本一清氏の指摘；図1参照）。但しオレニョク郡南部（冬営地：タイガ地帯）には2004年の低い値は見出せない。また野生

トナカイの渡渉地であるオレニョク川中流域でも低下傾向はみられなかった。

これに対してコビヤイ郡セビャン・キュヨリ村（サハ共和国中部のヴェルホヤンスク山脈中の山岳タイガ・ツンドラ地帯）のGUP「セビャン」のトナカイキャンプでは、最大NDVIの値のうち2004年と2008年が低い、オレニョク郡の例と比べて変化の幅は小さいといえる。

4.1.2 ヤマル・ネネツ自治管区

本稿において言及したヤマル・ネネツ自治管区の3地区に関しては、最も北方のツンドラ地帯において2008年の最大NDVI値が顕著に低いことが判明した（図9）。しかしその他の地域（タナマ川中流域及びプール郡ハランプール村）では顕著な変化はみられていない。

4.2 トナカイ牧地の植生変化について

トナカイ放牧地における植生に与える負の諸要因については、設定期間の長短により様々な要因があり得ると考えられる。短期的には資源・経済開発や土地の奪取・汚染・改変等、トナカイ飼育/牧畜以外の人為的な要因によるものが大きいであろう。中期的にはトナカイ牧畜ないし飼育業自体による、過放牧による牧地の疲弊がある。我々が関心を寄せている地球規模の温暖化傾向を含む気候変動については、長期的要因として考えることが一般的であろう。但しこれまで数世代にわたり生じてきた変化が、一世代で起きてしまう等の変化のタイムスパンがより短くなるような事態は十分考えられ、現地調査においてもそのような現象について聴取可能であることも少なくないであろう。

今回狭域データを分析した理由の一つに、キャンプ地や物資交易所等トナカイの集積しやすい場所での放牧圧や過放牧の状況が衛星データにどのように反映されるかについて検証する、ということが課題の一つとしてあった。しかしNDVI値の経年比較という点からは、恒常的、あるいは経年的に低い値を示すものはあっても微細なものとして捉えられている程度である。つまり放牧圧を捕捉することはできていないと言える。逆に特定年のNDVI値の低さ/高さの検出はできており、それを現地で検証する契機にはなりうる。

今後は、より狭域かつ高分解能のデータを入手することで、放牧地の状況をより詳細に検証することが考えられる。同時に気象データ、植生状態も併せて、トナカイ牧畜の実態や環境認識に関する情報を入手して分析する作業を継続する必要があるといえる。

参考文献

- Baskin, L.M. (2009) Severnii olenj. Upravlenie povedeniem I populyatsiyami. Olenevodstvo Okhota. Moskva: KMK.
- Podkorytov, F.M. (1995) Olenevodstvo Yamala. Sosnovyi Bor: LAES.
- Yuzhakov, A.A. (2006) Nenetskaya aborigennaya poroda severnykh olenei. Salekhard: Krasnyi Sever.

* 本報告に際し衛星データを提供して頂いた名古屋大学大学院生命農学研究科山本一清氏及び同環境学研究科山口靖氏には深謝いたします。

サハ共和国におけるトナカイ牧民の環境認識について 脆弱性アプローチ

中田 篤
北海道立北方民族博物館

1 はじめに

本研究では、サハ共和国トンポ郡のトナカイ牧民が気候や自然環境の変化にどのように適応しているのかを明らかにするために、まず彼らの環境認識を明らかにすることを目的としている。

地球規模の温暖化により、地域の気温や降水量、雪質などの気候変数が変化し、それらが河川の流量や凍結時期、地形、動植物相といった環境に影響を及ぼしていると考えられる。そうした自然環境の変化は、トナカイの餌となる食物資源の量や質、またその利用可能性（availability）を通じ、また移動ルートの変更や放牧地の汚損を通じてトナカイ牧畜そのものに影響を与える（Klein 1991; Gunn & Skogland 1997; Weladji *et al.* 2002; Oskal 2008）。また、牧民の副次的な生業としての狩猟や漁労、採集を通じ、間接的にもトナカイ牧畜に影響を及ぼすと考えられる。こうした自然環境の変化に直面した際、トナカイ牧民は必要に応じてさまざまな方法でそれらに対処し、適応していくことが求められる。

そうした適応を捉えるためには、まず自然環境が実際に変化していることを確認した上で、トナカイ牧民がそうした環境の変化をどのように認識しているのか、そしてその認識に対応してどのように行動しているのかを明らかにする必要があると考えられる。

これまでの筆者らの研究では、トンポ郡のトナカイ放牧地において気温と降水量が変化していることが示されている（中田 2011）。また、一部で動植物相の変化を示唆するような言説も見られるものの、一般的に環境変化は重大な現象とはとらえられておらず、実際トナカイ牧畜自体にも重大な影響は及んでいないことが示唆されている（中田 2011）。

本稿では、これまでの研究成果を整理するとともに、異なる地域間における成果の比較のための方法論として適応・脆弱性研究の枠組を検討し、今後のデータ収集と研究成果の統合の方向性を提示することを目的とした。

2 これまでの成果と問題点

本研究プロジェクトのグループ3（G3）によるこれまでの研究によれば、各調査地（サハ共和国セビャン・キュユリ、オレニョク、トンポ）におけるトナカイ牧民や地域住民の環境変化に対する認識は一般に弱いものの、一部ではいくつかの変化に関する言説がみられた。

例えば、セビャン・キュユリ（コビヤイ郡）の牧民の言説からは、春季の低温化傾向に伴う融雪／氷結の繰返し頻度の増加によるトナカイ幼獣生存率の低下、夏季の降水量の増加や河川の氾濫・洪水の頻発による放牧地の荒廃・流出、放牧ルートの変更、オオカミ、ヒグマ、クズリといった肉食動物の増加に伴う家畜トナカイの被害の増加、村落定住者の言説からは、冬季の高温傾向、6～8月の降水量増加傾向と河川氾濫の頻発・常態化、森林の減少（これはおそらく暖房用薪〔カラマツ〕採取による）といった変化が指摘された。また、オレニョク郡では、夏季の低温化傾向、

冬季の高温化傾向、夏季の降水量と降水頻度の増加傾向、森林（カラマツ林）限界線の北漸、野生トナカイの季節的移動ルート変更による出現頻度の増加回遊、植物や鳥類など見慣れぬ動植物の出現が挙げられた（吉田 2011）。トンポでは、牧民の狩猟漁撈対象となっているシベリアビッグホーンやアークティックグレーリングなどの減少、地滑りの増加が指摘された（中田調査資料）。

しかし、これらのうち、気温や降水量の変化に関する認識については、現地の気温や降水量の変動データとの間に差異がみられた（中田 2011）。つまり、牧民や地域住民の指摘する温暖化や降水量の増加が、当該地域で得られた気象データの変動傾向と一致しない場合や、変動がないという認識に対して気象データ上は変動傾向が示される場合があった。

こうした差異をもたらす要因はいくつか考えられるが、そのひとつとして、これまでの調査では牧民の認識を十分にとらえきれていない可能性が指摘できる。この点を修正し、より客観的な結果を提示するため、近年地球温暖化の影響に関する人類学的研究でもちいられている脆弱性アプローチについて検討する。

3 適応・脆弱性研究への位置づけ

3.1 脆弱性アプローチとは

脆弱性アプローチ（vulnerability approach）とは、近年、気候変動分野で進化してきたコミュニティレベルの脆弱性、すなわち気候変動による被害の受けやすさと適応の選択肢に注目したアプローチで、どのようなストレスに対し、どのような仕組みで、誰・何が脆弱になるのか、また変化するリスクに対して適応するためのどのような能力が存在するのかといった点に関して、コミュニティあるいは地域の脆弱性の評価のために開始されたものである（ACIA 2004; Ford & Smit 2004; Smit & Wandel 2006; IPCC 2007; Pearce *et al.* 2009）。

コミュニティの気候変動に対する感度と脆弱性は、その気候危機に対する被ばく、その影響に対処・適応する能力の両方に関係するため、次の関数で示すことができる（Ford & Smit 2004）。

$$V_{ist} = f(E_{ist}, A_{ist})$$

ただし、 V_{ist} = 共同体 i の刺激 s に対する時間 t における脆弱性（vulnerability）
 E_{ist} = i の s に対する t における被ばく（exposure）
 A_{ist} = i の s に対する t における適応能力（adaptive capacity）

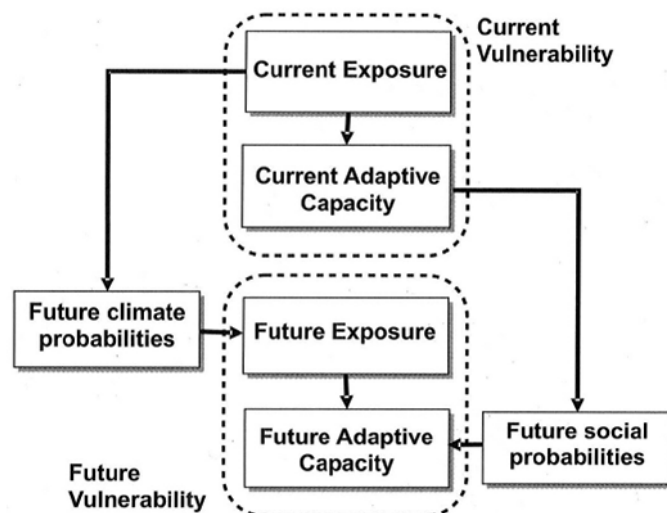


図 1. 脆弱性研究モデルの枠組（Ford & Smit 2004 より）

この関数の形は場によって変わるため、あらかじめ与えられてはいないが、一般的に被ばくと正比例、適応能力と反比例する。

脆弱性モデルを実際の調査に適用するための枠組は、次のような模式図で示される（図 1）。調査の第一段階では、現在の被ばく、現在の適応能力を記述することによって現在の脆弱性を評価する。第二段階では、被ばくの指向的变化を推定するとともに、過去の行動を基盤に将来の適応能力を予測することによって、将来の脆弱性を評価する。

このうち、第一段階である現在の脆弱性の評価に関して、現在の被ばくについては気候リスクに対するコミュニティの経験の分析・検証によって、現在の適応能力については危機に対して用いられる適応の選択肢と資源管理戦略の分析・検証などによって評価される。実際の調査の際には、地域住民の観察や経験、伝統知・在来知をデータ源とし、コミュニティに対して気候リスクをもたらす現象や条件を同定し、再構築する。こうしたデータは、フォーカスグループインタビューや参与観察、政府文書や新聞記事、郵便会社の記録などの分析によって収集する。現状の適応能力を決定するためには、過去どの程度まで遡るかという時間枠の設定が重要であるが、一般的には 10～20 年ほどが目安とされる。

脆弱性アプローチをもちいた研究事例として、例えば Pearce ら（2009）は、カナダ北西準州 Ulukhaktok の人びとの気候変化に対する脆弱性の評価、適応能力に対する検討のための基本的情報を提供するために研究をおこなった（Pearce *et al.* 2009）。ジェンダーや年齢層のバランスを考慮して最初のインタビュー対象者を設定し、その後で、雪だるま式サンプリングによって対象者を増やすという手法で調査対象を決定し、最終的に 62 件のインタビュー調査をおこなった。主要な調査方法は半構造化インタビューで、質問項目は「気候変動による影響」といった直接的なものではなく、「生活や生計を立てる上で経験した条件」を聞き出すことに主眼が置かれた。こうした調査に加え、政策決定者へのインタビューや参与観察も実施された。

3.2 脆弱性アプローチをシベリアに適用する上での問題点

一方、こうした脆弱性アプローチの北方地域における適用事例は、特に初期の段階ではおもに北アメリカ、カナダの極北地域に集中しており、ヨーロッパやロシアのトナカイ牧民を対象とした研究例は少ない。その要因はいくつか考えられるが、第一に地域や調査対象者の社会的立場によって気候変動に対する認識が違ふことが挙げられる。例えばカナダでは、地域のリーダー的な先住民を調査対象とした場合とそうではない一般的な住民を対象とした場合、気候変動やその影響に関する認識がまったく異なることが指摘されている（スチュアート 2013）。そのため、特に北アメリカ・カナダ地域で問題意識の高い住民を対象とした調査に関しては、気候変動の負の影響が強調されやすく、したがって研究者にとっても研究成果をアピールしやすいため、研究事例が多くなっている可能性が指摘できる。

第二に、地域によっておもな生業が異なることが影響している可能性が挙げられる。北アメリカやグリーンランドなどでは、先住民の伝統的な生業として、自家消費用の食物や毛皮を得るための狩猟が中心的な位置を占めている。一方、北欧やロシアで先住民の主要な伝統的生業であるトナカイ牧畜は、市場で流通させるための食肉生産という側面が大きい（Baskin 2000; Jernsletten & Klovov 2002: 31-34; Klovov 2012）。そのため、そうした生業の持続性に関しては、気候変動やそれに伴う自然環境の変化よりも、市場経済の原理や行政府による補助金などの影響が大きいと考えられる（Tyler *et al.* 2007; Rees *et al.* 2008）。気候変動の重大性は相対的に小さく、肉の市場価格や国家・地域行政府の政策といった社会生態学的な環境がより重要になる。そのため、コミュニティの脆弱性を検討するにはより多様な要因を考慮する必要がある、研究成果の公表が困難になっている可能性がある。

最後に、ロシアに限った場合、歴史的な要因つまりソ連の崩壊とそれに伴う社会・経済システムの移行が、トナカイ牧畜に決定的に大きな影響を及ぼしてきたことが挙げられる (Forbes & Stammer 2009; Klokov 2012)。気候変動やそれに伴う自然環境変化が地域のトナカイ牧畜に影響を及ぼしていた可能性はあるが (Klokov 2012)、ソ連時代にトナカイ牧畜を支えていた国家や地域政府による支援体制の消失という急激かつ大規模な社会経済的環境変化があったため、前者はこれまでほとんど問題と考えられてこなかったのではないかと考えられる。

3.3 ノルウェーのトナカイ牧畜における脆弱性アプローチ

こうした状況に対し、Tyler ら (2007) は、ノルウェーのフィンマルク地方のトナカイ牧畜を対象に、気候変動に対する脆弱性を検討する際の概念的枠組を作成した (Tyler *et al.* 2007, 図 2)。この概念的枠組の特徴は、作成にあたって自然科学者、社会科学者、行政担当者に加え、現地のトナカイ牧民の協力を得ている点である。この概念的枠組は、1) 気候予測と気候変動の生態学的結果、2) 放牧者の調整・適応、3) 調整・適応の制限因、の 3 つの主要な部分から構成されている。

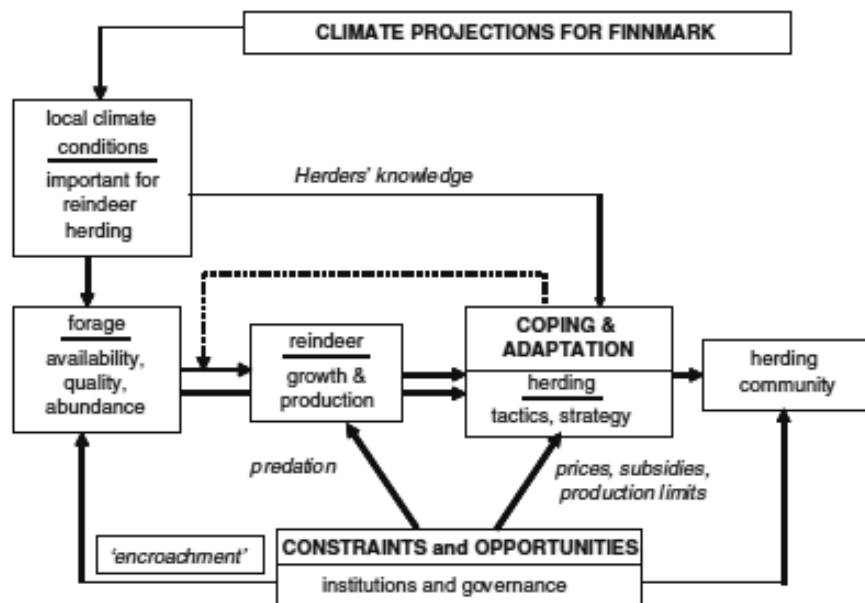


図 2. トナカイ牧民との協力によって作成された研究のための概念的枠組。(i) トナカイ群の成長と生産性に対する気候変動の影響、(ii) 餌の供給や群の生産性に関連した気候関連変化に対する放牧者の調整、(iii) 放牧者の気候関連変化に対する調整・適応を制限する「規則と管理」、に関して認識されている関係を抽出したものである (Tyler *et al.* 2007)。

このうち、放牧者の調整・適応に関しては、戦略的応答 (strategic responses) として、より多くの景観タイプを含む放牧地を持つこと、年齢や性別、毛色や気質に関して多様な個体を含む群を持つことが挙げられている。放牧地や家畜群の構成に関して、こうした多様性を持つことにより、気候変動に関連した環境変化に対応するために、より多くの選択肢を持つことができるとしている。また、戦術的応答 (tactical responses) としては、より条件の良い放牧地への移動と給餌が挙げられている。

一方、こうした放牧者の調整・適応が成功するための重要な要素として、放牧者の行動の自由度が挙げられている。つまり、実際には、ノルウェーにおけるトナカイ牧畜には、放牧者の選択肢を限定するさまざまな人為的条件 (human conditions) が課せられているのである。主要な制限

因として、開発等による生息環境の損失、ヒグマ、オオヤマネコ、オオカミ、クズリなどによる捕食や行政によるその補償、政府による生産量や家畜群の構成、食肉価格などに関する制限、放牧地や放牧期間、群の大きさなどを規制する法律の4つが提示されている。

4 今後の研究計画について

4.1 インタビュー調査の方法論について

こうした脆弱性アプローチを採用し、今後の調査ではインタビュー方法の統一を図り、地域間で比較可能なデータを収集したいと考えている。調査対象（インフォーマント）の選定については、調査地の性格上、実質的にアドリブサンプリングに頼らざるを得ないと思われるが、インタビュー方法や質問項目については、本プロジェクト調査者間で統一することが可能である。

具体的には、インタビュー方法としては半構造化インタビュー法（semi-structured interview）をもちいる。これは、インタビューをおこなうにあたり、主なシナリオを決めておくという方法で、何を質問すべきかある程度わかっているが、どのような回答が戻ってくるか不明な場合に適しているとされる（鈴木編 2005）。インタビューは、原則としてシナリオにしたがって進行するが、必要に応じて質問を加えたり、回答の意味を確認したりすることも可能である。また、回答様式は、自由回答法（open-ended question）を採用する。これは、あらかじめ設定した選択肢から回答を選ばせるのではなく、回答の内容や表現をインフォーマントの自由に委ねるという方法である。半構造化インタビューの長所は、基本的には統一した項目に関して聞き取りをおこなうため、客観的に量的データを求めることができる一方で、その場の状況に応じて比較的柔軟に適用することができるため、質的データを求めることにも適しているという点である。短所としては、一人のインフォーマントに費やす時間が不明確であり、一度に大量のデータを収集するには不適當ということが挙げられる。しかし、本研究のように、インフォーマントが比較的限られていて、仮説検証型というよりは探索型の調査に関してはこの方法が最適と思われる。

質問項目については、質問によって回答にバイアスがかかるのを避けるため、「気候変動による影響」について直接的に質問するのではなく、生業活動を営む上で経験した自然環境や家畜の変化について尋ねることとする（Pearce *et al.* 2009）。また、放牧者の適応のための戦略・戦術に関する情報を得るため、トナカイの放牧地や家畜群の構成、その他トナカイ牧畜や気候に関連する在来知についてもインタビューの対象とする。調査のタイムフレームは過去 20 年程度とし（Ford & Smit 2004）、地図上に出生地やこれまでの居住地、変化に気づいた地点などを記入してもらうことによって、記憶を喚起する（同様の方法は、例えば Ferguson & Messier 1997; Hunington 1997; Fienup-Riordan 1999 など）。

4.2 人為的条件の検討

インタビュー方法の改善と同時に、Tyler らのモデルに示されている人為的條件、つまり生息環境の損失、捕食に対する補償制度、行政府による制限、関連する法規などに関する情報を収集する必要がある。人為的条件には、放牧者の適応を制限するものだけでなく、補助金や公共サービスのように適応を促進するものもあると考えられる。例えば、以下に 2002 年～2009 年のサハ共和国における飼育トナカイ頭数と、トナカイ牧畜への投資額を示した（図 3）。投資の内容は、トナカイ牧畜に対する補助金やトナカイ牧畜に携わる労働者の賃金、柵・囲いの設置、作業服や装備品、テント、燃料用費用に関する補助など、トナカイ牧畜に関連するさまざまな分野に及んでいる（Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) Департамент традиционных отраслей Севера и рыбохозяйственной деятельности 2010）。限られた年数のデータであるが、こ

の図からは、年間の投資額が増えるに従って、飼育トナカイ頭数も増加している傾向が読み取れる。実際には郡によって飼育トナカイ頭数の増減傾向は異なり、おそらく投資額にも郡によってばらつきがあると思われるので、単純に結論づけることは避けなければならないが、トナカイ牧畜の脆弱性はこうした観点からも考慮する必要があるだろう。

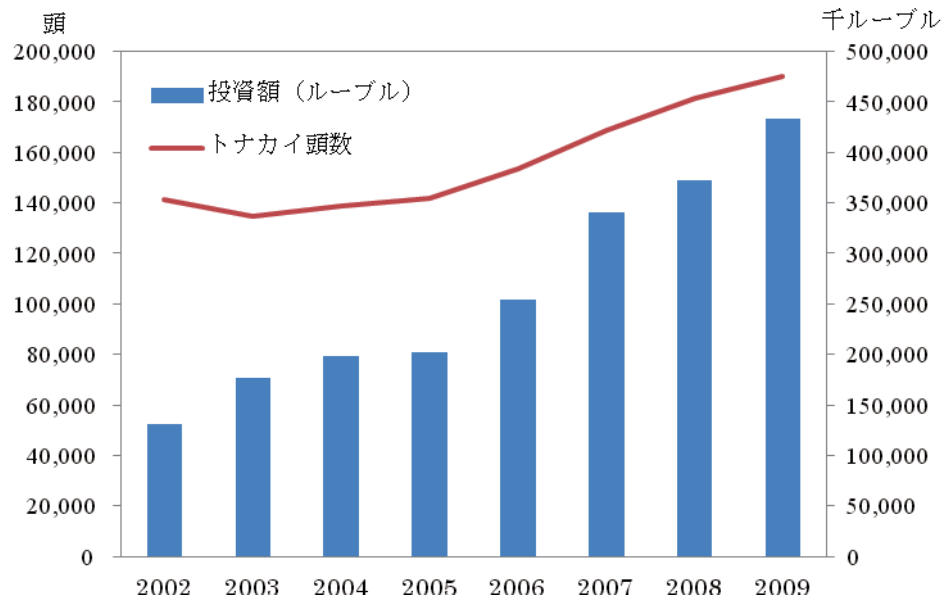


図3 サハ共和国におけるトナカイ牧畜への投資額と飼育トナカイ頭数の推移(2002-2009年、Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) Департамент традиционных отраслей Севера и рыбохозяйственной деятельности 2010 より)

参考文献

- ACIA (Arctic Climate Impact Assessment) (2004) *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press: Cambridge
- Baskin, L. M. (2000) Reindeer husbandry/hunting in Russia in the past, present and future. *Polar Research* 19(1): 23-29.
- Ferguson, M.A.D. & Messier, F. (1997) Collection and analysis of traditional ecological knowledge about a population of arctic tundra caribou. *Arctic* 50(1):17-28
- Fienup-Riordan, A. (1999) Yaqulget Qaillun Pilartat (What the birds do): Yup'ik Eskimo understanding of geese and those who study them. *Arctic* 52(1):1-22.
- Forbes, B. C. and F. Stammer (2009): Arctic climate change discourse: the contrasting politics of research agendas in the West and Russia. *Polar Research* 28: 28-42.
- Ford, J.D. & Smit, B. (2004) A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change. *Arctic* 57(4):389-400.
- Gunn, A. & Skogland, T. (1997) Responses of caribou and reindeer to global warming. In: Walter C. Oechel, Terry Callaghan, Tagir Gilmanov, Jarle I. Hotten, Barrie Maxwell, Ulf Molau, Bjartmar Sveinbjornsson eds., *Global change and arctic terrestrial ecosystems. Ecological studies: analysis and synthesis*, v. 124: 189-200. Springer-Verlag: New York.

- Huntington, H. P. (1997) Observations on the utility of the semi-directive interview for documenting traditional ecological knowledge. *Arctic* 51(3): 237-242.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC.
- Jernsletten, Johnny-Leo L. & Klokov, Konstantin (2002) *Sustainable reindeer husbandry*. Arctic Council 2000-2002: Centre for Saami Studies, University Tromso
- Klein, D. R. (1991) Limiting factors in caribou population ecology. *Rangifer*, Special Issue 7: 30-35.
- Klokov, K. B. (2012) Changes in reindeer population numbers in Russia: an effect of the political context or of climate? *Rangifer* 32(1): 19-33.
- 中田 篤 (2011) 「サハ共和国におけるトナカイ牧畜について」 檜山哲哉編『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. 平成 22 年度 FR2 研究プロジェクト報告 総合地球環境学研究所.
- Oskal, A. (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
- Pearce, T., Smit, B., Duerden, F., Ford, J. D., Goose, A. & Kataoyak, F. (2009) Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Record* 46 (237): 157-177
- Rees, W. G., Stammler, F. M., Danks, F. S. & Vitebsky, P. (2008) Vulnerability of European reindeer husbandry to global change. *Climatic Change* 87: 100-217.
- Smit, B. & Wandel, J. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16:282-292.
- スチュアート ヘンリ (2013) 「北極海と気候変動：資源と領海、そして先住民をめぐる紛争」 第 27 回北方民族文化シンポジウム網走「環境変化と先住民の生業文化—海洋生態系における適応—」 報告書 pp.7-12. 財団法人北方文化振興協会.
- 鈴木淳子編 2005 「調査的面接の技法」 第 2 版 ナカニシヤ出版.
- Tyler, N. J. C., Turi, J. M., Sundset, M. A., Strom Bull, K., Sara, M. N., Reinert, E., Oskal, N., Nellemann, C., McCarthy, J. J., Mathiesen, S. D., Martello, M. L., Magga, O. H., Hovelsrud, G. K., Hanssen-Bauer, I., Eira, N. I., Eira, I. M. G. & Corell, R. W. (2007) Saami reindeer pastoralism under climate change: applying a generalized framework for vulnerability studies to a sub-arctic social-ecological system. *Global Environmental Change* 17:191-206.
- Weladji, R. B., Klein, D. R., Holand, O. & Mysterud, A. (2002) Comparative response of Rangifer tarandus and other northern ungulates to climatic variability. *Rangifer* 22(1): 33-50.
- 吉田 睦 (2011) 「サハ共和国北部におけるトナカイ飼育民と環境変化」 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.141-149. 平成 22 年度 FR2 研究プロジェクト報告 総合地球環境学研究所.
- 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

衛星追跡による野生トナカイの観測

立澤 史郎 北海道大学大学院 文学研究科 地域システム科学講座
I. M. Okhloplov Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1 目的

野生トナカイサブプロジェクトの主目的は、これまで全く実態が不明であったシベリア地域の野生トナカイの生息状況と気候変動の影響を、主に季節移動行動とそれに伴う生息地利用の観点から明らかにすることにある。野生トナカイの季節移動に着目したのは、そのルート選択が、気候や植生など、気候変動に伴って変化する環境要素に強く影響されると考えられ、また、密度や生息地利用状況の変化が広域の植物群集や生態系に二次的な変化をもたらし、それゆえトナカイや植生を利用する北方少数民族の生活にも大きな影響を与える可能性があるからである。

なお、北極圏および亜北極圏に広域分布する野生トナカイのうち、およそ半数がユーラシア大陸に生息するが、そのほとんどは東シベリア地域に生息する。東シベリアにおける野生トナカイ分布域の大半を占めるサハ共和国はまた、野生トナカイの複数亜種（ツンドラトナカイとシンリントナカイ）と家畜トナカイ（多くの場合放飼）の分布域が世界で最も重複する場所でもあり、その意味でも保全・管理上の大きな課題を抱えている。

2 方法

本調査では、ロシア国内の陸生哺乳類で初の適用例として、衛星観測による位置情報の収集を行っている。諸手続と極域用の発信機デザインに時間を費やしたため、実際の調査は2010年8月から開始し、その後、年2回（春・秋）の移動時期の直前に発信機装着作業を継続している。

調査地は、世界最大規模のタイミル個体群に隣接し、移動集団の消失と出現が大規模に生じ、かつ北方少数民族や地域生態系との軋轢が現実に生じているオレニョク地方（オレニョク川上流部）とし、この地域を越夏地として利用する集団を主に対象としている。現地作業は、北方少数民族（エベン、エベック）の狩猟者に協力を依頼し、主に毎年8月と2月に捕獲・発信機装着・計測等の作業の後、放逐・追跡を行っている。追跡（ロケーションデータの収集）は、インターネット経由で行うが、収集されたデータは精度のバリエーションが大きいため、信頼性の高い位置情報のみをスクリーニングする作業に時間を要する。

なお、捕獲個体に装着する首輪型発信機はロシア・ES-PAS社製で、位置特定に用いる衛星システム（位置情報システム）は、2010年度はARGOS—ARGOSシステム（ARGOS衛星による定位+ARGOS衛星による位置情報搬送）を、2011年度以降はGPS—ARGOSシステム（GPS衛星を用いた定位+ARGOS衛星による位置情報搬送）を用いている。

3 結果と考察

2010年度に19個体、2011年度に8個体、2012年度に5個体に発信機を装着し、追跡した。2012年度は、2012年12月15日現在、2011年2月捕獲の1個体（捕獲4個体中；Argosシステム）、2011年8月捕獲の1個体（捕獲4個体中；GPSシステム）、2012年3月捕獲の1個体（捕獲1個体中；GPSシステム）の計3個体の電波を補足中であり、加えて2013年3月ないし4月に、さらに3個体に発信機を装着・追跡予定である。

2010年8月の捕獲個体15個体は、越冬地に向けて移動する方向から、北向集団（NMG）と南向集団（SMG）にわけられたが、2011年8月捕獲の4個体、2012年8月捕獲の4個体は、いずれも南向きの移動を行った。これら南向きの（越冬地へ向けた）季節移動を行った個体の移動ルート、および生息地利用には、以下のような特徴が認められた。

- ① 行動特性（移動速度と方向性）から、越夏地（定着的）、季節移動ルート（同一方向への急速移動）、越冬地（徘徊的）の3区分が可能である（表1）。
- ② 同所的に越夏する個体は、近接した季節移動ルートを利用するが、越冬地の選択において分散が起これ、かつ多くの個体は越冬時に定着せず徘徊的行動を続けている。
- ③ 越夏地の選択には気温（冷涼な高地部）、季節移動ルートの選択には植生（いわゆるトナカイゴケ植生帯）が効いている。
- ④ 年間死亡率を決める主要因と思われる越冬地の選択においては、特定の環境特性を指摘することは困難であった。これは、適応的な環境選択ができていないと捉えることもできる。
- ⑤ 「季節移動」から「越冬」状態への mode shift が、異所的に同時に生じていることから、メソスケールの気候（例えば寒気団や前線の変化？）がトリガーとなっている可能性がある。

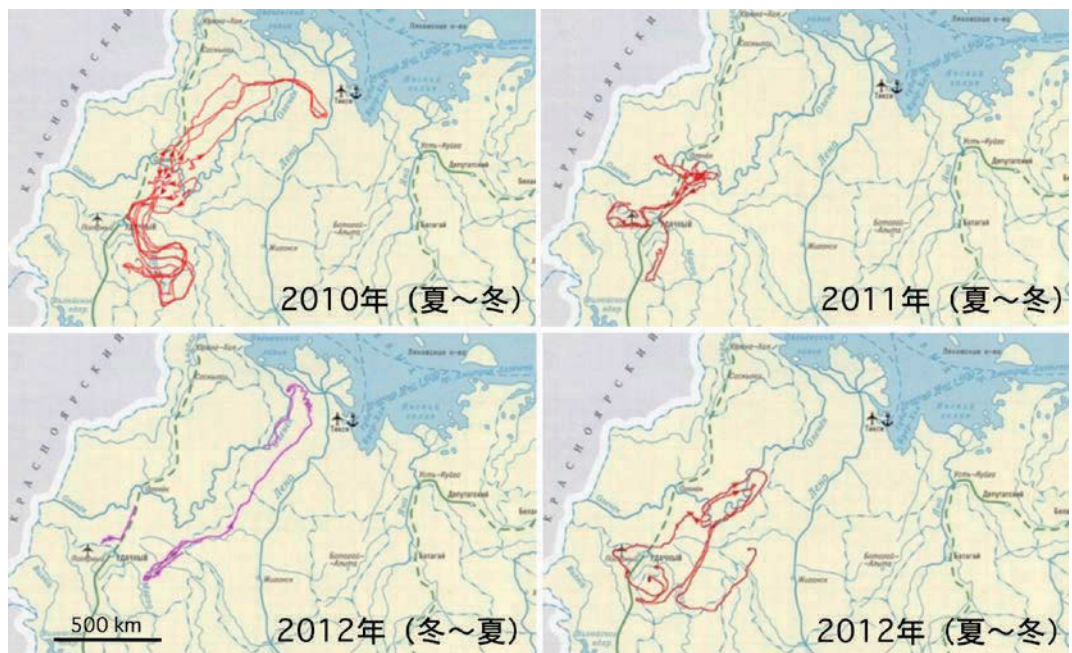


図1 衛星定位した野生トナカイの移動ルート（半期毎, Okhlopkov et al. 2013を改写）

これらのことから、近年の野生トナカイの移動ルートおよび生息地利用の変化について、以下のような結論が予想される。

- ・ 行動学的に、越夏地、移動ルート、越冬地という大きな区分が存在し、それぞれの選択要因は異なる（気候、植生、気候+植生？）。
- ・ 近年の季節移動は、移動距離が大きく変化したわけではなく、直線的な移動から“徘徊型”の移動へと変化したことによる。また“徘徊型”となる原因の多くは、越冬地選択における非定着性（不確実性）による。
- ・ これらから、近年の野生トナカイの生息地変化は、夏の冷涼地（主に高地）利用、トナカイゴケ植生の変化、越冬地の環境変化（多雪、植生変化）という複合的な、しかしいずれも気候変動を背景とした環境変化が原因している。

なお、個体群としての動態を知るには、群れのサイズや性齢構造を知ることが重要である。そのため2012年度は、発信機装着個体と随伴個体の目視確認を放逐後およそ週一回、さらに広域の個体分布状況を月一回のペースで行っている。2013年度は、位置情報を元にした、移動ルートと生息地選択に関する分析・検証をすすめるとともに、それらに個体群構造に関する情報を重ねることで、東シベリアにおける野生トナカイの分布および密度変動の要因を明らかにしたいと考えている。

また、本サブプロジェクトは、成果（野生トナカイの生態変動要因の解明）を、今後の動態予測や、保護区・利用区のゾーニングに活用することで、野生トナカイの保全管理、および北方少数民族との軋轢解消に寄与することも視野に入れ、情報を共和国政府に提供してきたが、その結果、本調査で明らかになったミルニユイ市周辺の越冬地を保護区に指定することが決まるなど、応用面での成果も出始めている。

サハ共和国における外来マスクラット導入の影響と社会的認識の変容

池田 透

北海道大学大学院 文学研究科 地域システム科学講座

1 はじめに

本節は、サハ共和国で捕獲される毛皮獣の中で、当初は安価で丈夫な毛皮生産のために各地で導入が推奨されたが、現在は生態系保全の観点から取り扱いが見直されているマスクラット (*Ondatra zibethicus*) について、その導入と経緯と影響、及び現在の社会的認識について整理したものである。

マスクラットは、ネズミ科マスクラット属の哺乳類であり、体長は 25~35 センチ、尾長は 18~28 センチ。体色は暗褐色で、後ろ足に水かきをもち、肛門近くに麝香臭を放つ腺を持つ、北米原産の動物である。岸辺を中心に生息し、巣穴の出入り口を水中に作る。

世界的には、生態系に甚大な被害をもたらす侵略的外来種と考えられているが、毛皮は水中生活に適した水はけのよい丈夫な毛皮であり、日本でも戦時中に兵隊が使用する毛皮用として各地で輸入・養殖されていた経緯がある。ヨーロッパでは、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が、わずか 50 年で全ヨーロッパに生息域を拡大し、オランダでは土手に穴を掘り堤防が決壊するなど、洪水を助長することで害獣として扱われている。イネ科草本や貝類を摂食するため、生態系に与える影響も報告されている。

このマスクラットが、毛皮資源としてサハ共和国にも輸入されて積極的に放獣され、北部を除いた広大な地域に定着しているが、気候変動や社会変化の影響を受けて、現在はその扱いにも変化が現れ始めている。ここでは、マスクラットを通して環境変動に対する社会の適応を報告する。

2 サハ共和国におけるマスクラット導入

シベリアにおけるマスクラットの導入目的は、毛皮利用である。東シベリアと極東では、1932 年から 1970 年にかけて 31132 頭が放逐された (Kirisa 1973)。ヤクーチアにおいても 1930 年に初めて導入されて以来、広範囲に導入が試みられて定着した (Yanushevich 1966)。北部の Eveno-Bytantaiskii ウルスでも、正確な記録は不明ではあるが、数回にわたる放逐が実施されたことは確実であるが、シベリア北部においては気温が低すぎて、導入結果はすべて定着に失敗している。

2.1 導入初期

サハ共和国におけるマスクラット導入の詳細は以下の通りである。1930-1932 年にオリョクマ川流域にカナダとフィンランドからの個体の交配種が導入された。これらが定着に成功し、1941 年には捕獲が開始されるに至った。その後 1960 年代まで導入は順調に進み、キタリス、オコジョ、アカキツネ、ホッキョクキツネ等の毛皮獣を凌ぐ地位を確立した。ここ 20~30 年はクロテンの再導入個体に押され気味ではあるが、帽子やコート用に需要は依然として多い。

2.2 1960年代

1960年代には、厚く丈夫で絹のような毛皮が好評となり、海外輸出とともに狩猟者も増加し、わずかな投資で大きな収入をもたらす費用対効果の高い商品としての評価を受ける。マスキラットが好む広大な湿地帯を持つコリマーインディギルカ低地では、当時の狩猟の半数がマスキラットだったと考えられている。

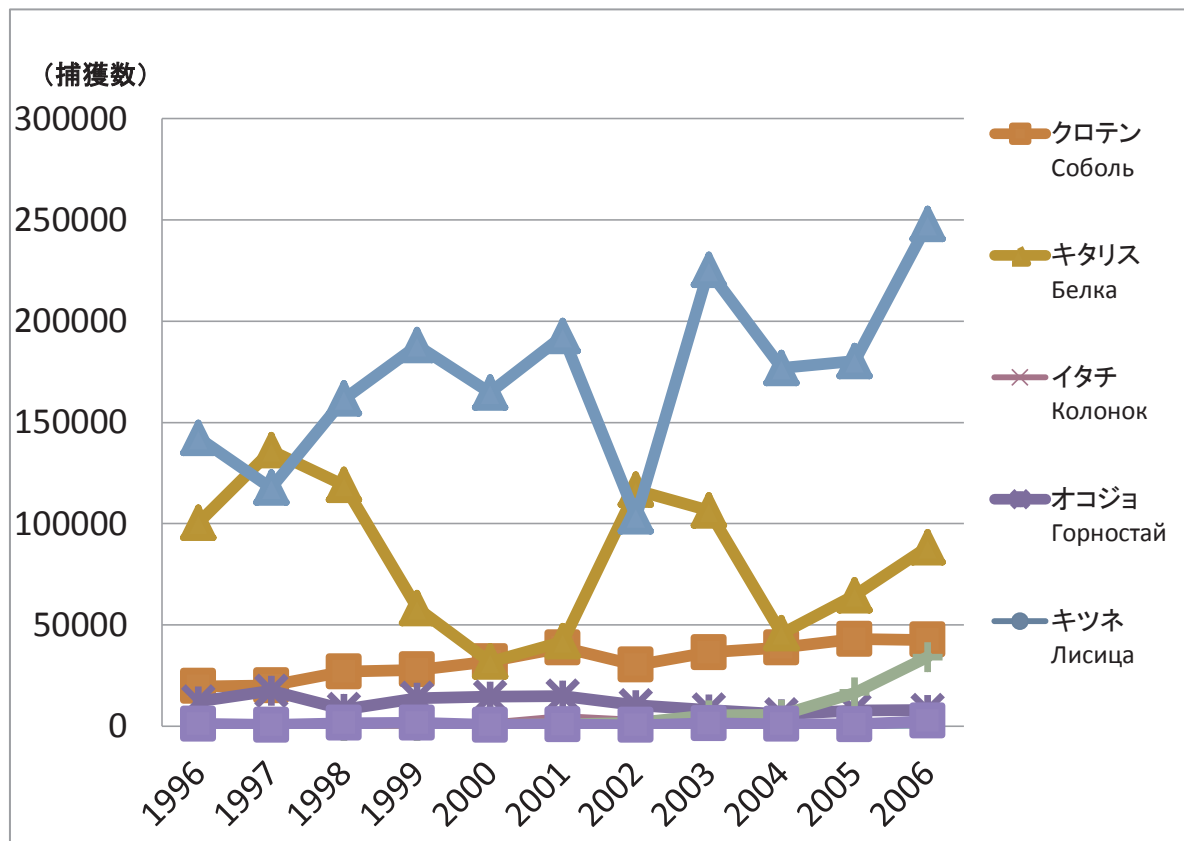


図1. 近年のヤクーチアにおける毛皮獣捕獲数の変動

2.3 1980年代以降

1980年代以降には2~3度の個体数減少期を経て、個体数は低い状態で安定し、導入一定着の過程は完了した。毛皮用の個体群維持という当初目的は達せられ、以後、マスキラットに関する科学的関心は薄れていく。

3 マスキラットに対する社会的認識の変容

3.1 マスキラットへの科学的関心

1930年に始まる導入期から1970年代にかけて、マスキラットは旧ソ連で最も研究された動物の一種であったという。貴重な毛皮資源として導入を成功させるために、極地環境条件への形態生理学的適応や繁殖と個体数変動の関係、狩猟の適正化等に着目し、研究が進められたが、生態

系への影響については、水生草本類の消費者であり、鳥類と肉食哺乳類の被食者である程度の認識しか持たれていなかったようである。

この背景には、動物相毎の個体群生態学中心に研究が進められ、生態系保全の概念が重要視されていなかった旧ソ連時代の研究体制が大きな影響を与えていたものと考察される。

3.2 マスクラットによる被害認識

マスクラットの導入以前には、旧ソ連ではマスクラット導入は長い間論議的であったが、農業・水産業・灌漑施設への被害や人獣共通感染症の媒介が主に危惧されたが、マスクラットの営巣に伴う穴掘り行動がアラースのサーモカルストの形成過程を増長させ、護岸の流出を促すことも危惧されていたようである。

導入初期の小個体群では穴掘り行動による影響の大きさは認識されるには至らず、大きな灌漑施設も存在しなかったために顕著な被害が認識されることもなかったようである。

導入後の時期には、アラースは牧草等の重要な農地供給源として認識されるに至り、灌漑によって収量増加が図られたが、マスクラットの穴掘り行動によってサーモカルスト現象の活性化が進み、ダムや灌漑施設への影響も認識されるようになった。アラースの存在は、マスクラットにとって格好の水深と食料（スゲ、アシ、ガマ、ショウブ等）を提供することとなり、比較的古いサーモカルスト湖がマスクラットには好適環境を提供することとなっている。

マスクラットにとっては水深が維持されていることは生存のための重要条件となる。冬期には凍結した氷の下を移動に利用するため、水深が浅く水底まで結氷する地域ではマスクラットは生存することはできない。ヤクーチア北部においてマスクラットが定着できなかった要因も、北部の寒さの厳しい地域では、かなりの水深が必要であり、ツンドラ地帯ではそのような状況が満たされなかったことによると推察される。

4 近年におけるマスクラット生息環境管理の試み

1981年から84年にかけて、ヤクーツク狩猟局によって「コリマーインディギルカ低地帯におけるマスクラット生息環境の改変勧告」出され、マスクラットが好むスゲ、ヨシ、アシ、ガマ、ショウブなどを移植したり、餌台の設置やバルサなどの人工巢材の提供などが試みられた。この事業によって、従来マスクラットの生息が見られていなかった地域にもマスクラットが生息するようになった。

一方でマスクラットの営巣のための穴掘り行動による護岸設備への影響についての認識はさらに進み、現在サハ共和国政府では、外来種問題としてのマスクラット対策が検討中であり、そのための研究用助成金の準備も進められている。

ヤクーツクでは春季の洪水が市民生活に大きな打撃を与えているが、さらに洪水の発生を助長するマスクラットは、サハ共和国にとって大きな脅威となる害獣である一方で、依然として毛皮も重要な資源と認識されているという難しい管理問題に直面している。双方の解決を目指すのであれば、単純な狩猟による個体数コントロールではなく、生息地管理による共存をめざす必要がある。そのためには、個体数の把握だけではなく、ヤクーチアにおけるマスクラットの環境適応に関する詳細な調査も必要となり、これが今後の管理に向けた重要な課題となっている。

5 今後の研究課題

今後はサハ共和国の狩猟統計資料の再分析を進め、地域毎の環境適応に関する詳細な分析を加

えるとともに、狩猟者に対するマスカラット狩猟活動に関する調査を進め、マスカラット個体群の管理手法の検討に加え、マスカラット狩猟の社会的側面からも方向性を検討していく予定である。

参考文献

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」, 齋藤晨二編『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)

池田透. (2012) 「毛皮獣の利用をめぐる生態系保全と外来生物問題」, 高倉浩樹編『極寒のシベリアに生きる トナカイと氷と先住民』 新泉社.

Long, J.L. (2003) Introduced Mammals of the World. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

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

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、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である。

①のテーマについては、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、フィールド調査資料の整理を行った。それに際しては、気候変化に先行する社会変化（1991年のソ連崩壊と市場経済化）とそれへの適応のあり方にも目を配った。具体的に扱ったのは、スレドネコルィマ郡アルガフタフ村とベリョーフカ村、ハンガル郡シンスク村、アルダン郡ハティスティル村である。今後は、同じく極北で気候変化への適応を迫られている、アメリカ大陸の先住民族との比較を行う予定である。

②のテーマに関しては、昨年度に引き続き、気候変化に関する適応・脆弱性研究を、複合研究の方法論に関する分類にもとづいてレビューを行った。その結果、適応・脆弱性研究は気候変動がもたらす悪影響だけでなく、好影響にも目を向けなければネガティブ・バイアスがかかってしまう、ということが明らかになった。今後は適応・脆弱性研究をさらにレビューすることで、方法論的分類をさらに充実させ、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く予定である。

③のテーマに関しては、北方諸民族のH₂O（水、氷、雨、雪、川、海など）に関するフォークロア資料の翻訳、および語彙の収集を行った。これらを基に、翻訳資料集『水・雪・氷のフォークロア——北方の伝承世界』（仮）の出版準備が進んでいる。本書にはアイヌ、ニヴフ、イテリメン、アリュートル、シベリア・ユピック、ウィルタ、サハ、ロシア、およびヨーロッパと北米の北方諸民族のフォークロア資料、および水をめぐる自然観についての解説が収められる予定である。

シベリア・サハ共和国における社会・気候変化と交通事情 —3つの村におけるケーススタディー—

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

東シベリアのサハ共和国(ロシア連邦)では、1990年代末以降、気候変化による被害に悩まされている。昨年度の報告書では、1991年のソ連崩壊後の社会変化の影響を考慮しつつ、気候変化の影響およびそれへの対応に関して、スレドネコルィマ郡アルガフタフ村の状況を報告した。本年度はこのテーマを引き続き、ハンガル郡シンスク村、アルダン郡ハティスティル村、スレドネコルィマ郡ベリョーブフカ村の状況を報告する。

記述に当たっては特に交通事情に注目する。サハ共和国はロシアの国土の約5分の1を占めるが、人口は949,000人、人口密度は0.3/km²に過ぎない(2002年現在)。国土の全土に永久凍土が広がっていることにより、アスファルトの道路を建設することが難しく、道路事情は悪い。また共和国首都につながる鉄道もない。人口密度の低さと永久凍土の存在により、交通事情の悪さはサハ共和国の大きな特徴である。

調査は2008年から2011年にかけて行った。調査方法は、インタビュー、参与観察、行政文書・文献・マスメディア情報などの収集である。以下、3つの村について記述する際には、まず村に関する基本情報を述べる。次に、ソ連時代以前の当該民族の生活について、文献を基に概観する。さらに1991年のソ連崩壊後の社会変化とそれへの適応、続いて1990年代末以降の気候変化とそれへの対応の順で記す。

2 シンスク村

シンスク村はハンガル郡のレナ川流域に位置する。ヤクーツク(サハ共和国首都)からの距離は231kmである。人口は2009年現在1012人(354世帯)で、民族構成はサハ人とロシア人が半々となっている。主な生業はジャガイモ栽培、馬飼育、牛飼育、漁労などである。本ケーススタディーでは、このうち最も重要なジャガイモ栽培にスポットをあてる。シンスク産ジャガイモのおいしさはサハ共和国では有名である。

次に、ソ連以前の生活についてである。元々ウラル山脈よりも西に住んでいたロシア人がサハにやってきたのは、1730年代以降のことである。毛皮獣狩猟者、コサック、流刑囚、農民、商人、御者など様々な職業の人々が入ってきた。彼らは丸太を組んだ家を作り、村を形成して生活した。ロシア人は18世紀後半までにサハ全土に進出し、サハ人をはじめとする先住民族と接触しながら暮らすようになった。その中で農民や御者は現地語を習得し、うち一部はロシア語を忘れるほどであった。ロシア人農民の生業は農耕で、小麦やライムギなどの穀物類、ジャガイモ、キュウリやキャベツなどの野菜類を栽培した。また牛、馬、羊、豚などを飼い、狩猟や漁労も行った。ロシア人の主な移動手段は、馬と犬橇であった。衣服は亜麻やラシャなどの布や毛皮で作られた。主な食べ物は穀類、野菜、魚、肉、乳製品である。ロシア人の主な信仰はロシア正教だが、正教

以前の異教も色濃く残していた。また、先住民族と接触する中で彼らの信仰も取り入れていった。病気の治療に際しては、呪文や薬草が使われた(IaIKA2007: 540-561)。

シンスク村の発生は、18世紀前半にイルクーツクとヤクーツクを結ぶ駅馬車街道の中継点が設置されたことに遡る。ロシア人御者が来て住み始め、徐々に村に発展していった。サハ人はかつて、家族ごとにアラース（永久凍土の溶解・沈下によって起こる、直径数十メートルから数百メートルの窪地）に住んでいたが、ロシア人がやって来て村を作ると、サハ人も村に定住するようになった。ふたつの民族の共存については、しばしば次のように語られる。「サハ人はロシア人に服（毛皮）を着せてやり、ロシア人はサハ人にパンを焼いてやった」、「ロシア人はジャガイモや穀物をサハ人に与えた。サハ人は家畜の飼いや魚の捕り方をロシア人に教えた」。「サハ人は葉っぱを食わない」のが伝統だったが、ロシア人が入ったことによりサハ人も菜園を作るようになり、そこでジャガイモも栽培されるようになっていった（藤原 2012）。

シンスク村は1918年にソビエト政権下に入った。1930年にコルホーズが作られ、何度かの再編成を経て1969年にソフホーズになった。耕作部門と畜産部門（牛・馬飼育）を持つソフホーズでは、約200人の村人が働いていた。屋敷付属地以外でのジャガイモ栽培はすべて、ソフホーズで行われていた。

シンスクでは学校教育はソ連時代以前の1877年に御者たちの要望によって始まり、1920年にソビエトの学校に改編された。ソ連時代には、1929年には診療所が、1930年には図書館が、1957年にラジオ放送局が、1964年に病院が作られるなど、徐々に近代化が進んでいった。首都ヤクーツクとの間にはバスが走るようになり、モーターボートや車、トラクターなども使われるようになっていった。ジャガイモをはじめとするソフホーズの生産物は、ソフホーズによって町に運ばれ、村人は現金収入を手にすることができた。

ソ連崩壊後、ソ連各地の村と同じく、シンスクでもソフホーズが崩壊し、多くの村人が仕事を失った。2007年現在、最低基準値以下の貧困世帯は23%になる。しかし人々は新しい状況に適応していった。ソフホーズ崩壊後、ソフホーズが所有していた畑は村人に分配され、村人たちはそこで家族単位でジャガイモ栽培をするようになった。現在、村では1世帯あたり0.2ヘクタールのジャガイモ畑が割り当てられている。それに加えて世帯あたり0.15ヘクタール割り当てられている屋敷地の一角でもジャガイモは栽培されている。ソ連崩壊後、かつてのソフホーズによるジャガイモ輸送システムに代わって登場したのが、ジャガイモによるバーター経済である。シンスクではジャガイモが地域通貨なのである。ジャガイモと交換される主な品目は、砂糖、小麦粉、食物油、マカロニ、米である。以下の表は、2009年の夏におけるおおよその交換レートである。ジャガイモ1袋は約40キロである。

ジャガイモ 4袋 (160 kg) = 小麦粉 1袋 (50 kg)
ジャガイモ 5-6袋 (200-240 kg) = 砂糖 1袋 (50 kg)
ジャガイモ 2-3袋 (80-120 kg) = 植物油 15本 (15ℓ)
ジャガイモ 1袋 (40 kg) = パスタ 15袋 (7.5 kg)
ジャガイモ 2袋 (80 kg) = 米 25 kg

ジャガイモは1世帯あたり年間平均で10袋程度が自家消費され、10袋程度が種イモになり、残りの30~50袋程度がバーターされる。豊作の年には世帯あたり200袋もの収穫があるため、上記の品目は全く現金で買わずに済むことになる。これ以外にも商店主が仕入れることができるものなら、基本的に何でもジャガイモでバーター可能で、ソバの実、キャベツ、紅茶、さらには服や文房具と交換されることもある。村ではソフホーズの崩壊によって失業者が増え、現金収入

手段が限られているが、ジャガイモバーターのおかげで最低限の現金で生活することができるのである。村人たちは、「ジャガイモさえあれば生きていける」と語る。

近年の気候変化によってシンスク村で生じた大問題は、オヴラーギと呼ばれる大きな溝の出現である。2007年6月の大雨の際、突如として5つのオヴラーギが出現し、村を分断したのである。このことは、「シンスクが大地の下に沈む¹」などの見出しで、新聞などで大きく報じられた。オヴラーギは最大のもので、長さ約1キロ、幅20メートル、深さ6メートルにもなる。専門家によるとオヴラーギの原因は永久凍土が解けたことにあり、その数はさらに増えることが予想される²。オヴラーギの出現とほぼ時を同じくして、別の問題も生じている。2006年頃からジャガイモ用の地下貯蔵庫に、春と秋に水が出るようになったのである。

上記の問題のうち、オヴラーギについては、村人は協力して小さな橋を架けて人の通行ができるようにするなどの努力を行っている。またロシア連邦予算から5百万ルーブルが支出され、2009年4月にオヴラーギの30%が埋められた。しかしほとんどのオヴラーギが未だむきだしのままである。現在ではオヴラーギによって村がいくつにも分断されているため、車やトラクターで通行する際には遠回りを強いられる。現地の人々にとってガソリン代は非常に高いが、オヴラーギによって余分な支出をしなければならなくなっている。

次にもうひとつの問題、ジャガイモ貯蔵庫の水についてである。ジャガイモの保存には温度管理が非常に重要で、適温より上がっても下がっても食べられなくなってしまう。常に4度程度に保たれている地下貯蔵庫は理想的な保管場所であった。しかし現在では、収穫期である9月には貯蔵庫は水浸しである。そこで人々は収穫後、まず暖房した室内で保存し、10月に貯蔵庫の水が引いてから貯蔵庫に入れるという形で対処している。しかし水が引いた後でも貯蔵庫内の湿度がかつてより高くなっているため、ジャガイモが腐りやすくなっている。現在では、自家消費用のジャガイモが腐る、春に植えるための種イモさえ確保できないというようなことが時に起こっている。また、ジャガイモは収穫後すぐよりも、年末あるいは春の植え付け前の方が高く売れるのであるが、今ではその時まで確実に保存できる保証がなく、遅く売ることにリスクが伴うようになった。シンスク村の人々はジャガイモによるバーター経済でソ連崩壊後の社会変化に適応してきたが、気候変化はこれを脅かしているのである。

3 ハティスティル村

ハティスティル村は、アルダン郡のアルダン側流域に位置する。郡の中心の町アルダンまでの距離は60kmと近く、年中使える道路がある。村自体は比較的交通の便が良い場所にあるが、生業を行う場は後に述べるように、非常に到達するのが困難な場所である。2011年現在、人口は1461人(497世帯)で、ツングース系の先住少数民族エヴェンキの民族村に指定されている。2011年現在、村には、ソフホーズの後継企業が1つ、オプシーナと呼ばれる家族・親族単位のトナカイ飼育ユニットが24あり、飼育トナカイの総数は11,353である³。

ソ連以前の生活についてであるが、エヴェンキ人の主な伝統的生業はトナカイ飼育、狩猟、漁労である。彼らは円錐形に木を組んでトナカイの毛皮をかぶせた移動式の家に住み、家族単位でトナカイを追って、また魚の多く取れる水辺を求めて移動生活していた。移動手段は陸路の場合

¹ Kutergina, T. “Sinsk ukhodit pod zemliu”, *Iakutsk vechernyi*. 2008. 01.13.

² サハの永久凍土研究所の S.P. Gotovtsev 氏による

³ 自然村ハティスティルに加え、近隣の小さな自然村ウゴヤン(人口349人)をも含む、行政村ベレツキー全体の数値。

はトナカイ、水路の場合は白樺の皮でできたボートであった。衣服はトナカイの毛皮から作られ、主な食べ物は、トナカイやヘラジカのゆで肉と魚であった。善良なる精霊と邪悪な精霊の存在が信じられ、病気に際してはシャーマン儀礼がおこなわれた(IKAIa 2007: 566-579)。

ソ連時代以前、現在村がある場所には村はなく、トナカイ放牧の途中に立ち寄るだけの場所であった。村が作られたのは1930年のことで、その後コルホーズが形成され、再編成を経て、1971年にソフホーズが作られた(Ivanov 2004: 157)。この過程で、トナカイ牧畜は集団化された。ソフホーズでは、エヴェンキ人にとって伝統的な生業であるトナカイ飼育、狩猟に加え、牛飼育も行われた(DZhZRB 2010)。

ソ連時代は物資の供給問題の解決、先住民の生活の近代化、病気と文盲の撲滅がめざされ、各種の政策が行われていった(DZhZRB 2010)。ここでも他の村と同じく、学校や店、病院などが作られていった。また、郡の中心の町アルダンまで道路が作られ、年中毎日バスが走るようになった。

現在、バスの便は週1回になっており、交通の便はソ連時代と比べて悪くなった。しかし町に続く良い道路があり、ほとんどの世帯が自動車を、あるいは自動車を所有する親戚を持っている。そのため、この村はサハ共和国では比較的交通の便が良い方である。しかし、トナカイ放牧地へのアクセスはソフホーズの崩壊にともなって悪化した。ソ連時代、ソフホーズの飼育班は遠く離れた放牧地へ行く際にはヘリコプターを使うことができた。各飼育班は村と放牧地の間の移動のために、年間約10回程度ヘリコプターを使用していたという。ヘリコプターは食べ物やガソリンその他、あらゆる必需品も運んだ。放牧地にいる人々に映画を見せるためだけにヘリが飛ぶことさえあったという。しかし現在ではソフホーズはなく、その貧しい後継企業とオブシーナがあるのみで、高額を要するヘリコプターの使用はほとんど不可能である。放牧地はしばしば非常に遠く、まともな道はない。たとえばあるトナカイ飼育班の放牧地に行くには、トナカイで1週間かかる。ソフホーズ崩壊により、村では貧困化が進み、現在、最低基準以下の貧困世帯は43%に上る。

この村における近年の気候変化の影響は洪水である。1998年春、ハティスティル村は大洪水に見舞われ、村の半分が浸水した。水が引いた後、村のあちこちに2メートルもあるような氷が残されていたという。この後間もなく、夏までに、サハ共和国政府は洪水被害調査を行い、わずかではあるが被災者に見舞金を支給した。しかし一部のトナカイ牧民たちは、この調査の対象となることができなかった。遠く離れた放牧地にいたため、すぐに村に戻って被害を確認することができなかったのである。その結果、彼らの家の被害は調査に反映されず、見舞金を受け取ることもできなかった。

2002年に共和国政府は、ハティスティル村を近隣のより高い場所に移すことを決定した。現在、新しい村が建設中で、すでに学校と70-80軒の家が建設済みとなっている。

4 ベリョーフカ村

ベリョーフカ村はスレドネコルィマ郡のベリョーフカ川流域（コルィマ川の支流）に位置する。村から郡中心の町スレドネコルィムスクまでの距離は185 kmである。2009年現在、人口は368人（109世帯）である(OPBNSOSh 2009)。この村は、ツングース系の少数民族であるエヴェンの民族村に指定されている。主な生業はトナカイ飼育で、2009年現在、村には2,200頭のトナカイがいる。

次に、ソ連時代以前の生活についてである。エヴェン人の主な生業は、トナカイ牧畜、漁労と狩猟であった。ソ連時代以前、彼らは円錐形に木を組んで毛皮をかぶせた移動式家屋に住んでい

た。主な移動手段はトナカイで、そりをひかせたり、背中に乗ったりして移動した。伝統的な主な食べ物は肉と魚だが、17-18世紀以降はロシア人、サハ人との交易により、毛皮との交換で、小麦粉、ひき割りの穀物、塩、紅茶、佐藤、たばこ、ウォッカなどが入ってくるようになった。伝統的な衣服は毛皮で作られた。信仰に関しては、狩猟を司る精霊への信仰や、聖なるトナカイ信仰が知られる(IaIKA 2007: 582-591)。

現在のベリョーフカ村があるあたりを遊動していたエヴェン人がソビエト政権下に入り、村ができたのは1954年のことである。その後、学校、寄宿舎、幼稚園、店、コルホーズ、病院などが作られ、近代化が進んでいった(Sleptsova 2005: 229-244)。また、郡の中心から飛行機も飛ぶようになり、便利に移動できるようになった。ソ連時代、トナカイ牧畜は大きな利益をもたらしていた。

ソ連崩壊後、この村でも状況は一変した。交通に関しては、冬の間は凍結した河川の上を走る冬道路を使って比較的便利に移動できる。しかし夏の移動は非常に不便になった。アルガフタフ村同様、週一度の飛行機のスケジュールは非常に不安的になり、またチケットも高くなった。夏の間には水路で移動することもできるが、水位が低くなるとボートを引きずって進まなければならない。ソ連崩壊後、トナカイ牧畜は赤字産業となり、村におけるトナカイの頭数は1990年の25,000頭から2009年には2,200頭にまで減ってしまった(OPBNSOSh 2009)。そのため村人の生活は苦しくなっており、2009年現在、84%が最低基準値以下の貧困世帯である(OPBNSOSh 2009)。

気候変化による影響に関しては、この村では以前より頻繁に洪水が起こるようになった。古くからの住民によると、かつては洪水は12年に1度だった。しかし現在は、積雪量の増加、春のアイスジャム、永久凍土の融解などにより、ほとんど毎年洪水被害を受けるようになった。その際、80世帯程度が浸水被害を受ける。水に浸かっている期間は、数日のこともあれば、1週間、2週間のこともある。村の住民によると、1980代頃までは洪水は異常なことではなく、普通のこととして受け止められていたという。当時は村では定住化政策が始まって数十年が経っていたものの、家が全く足りない状態で、多くの人が村の中にトナカイと共に遊動する際に使うテントを立てて暮らしていた。そんな彼らにとって、水がくればテントを別の場所に立てれば良いだけのことであり、水が村に来て誰も騒ぐことなく、黙ってテントを別の場所に立て直したただけだったらしい。しかし現在ではロシア人と同じく固定された丸太作りの家が主流になっており、家ごと速やかに移動するのは不可能である。毎年のように洪水にみまわれて家が泥だらけになったり、家具がすっかりダメになってしまったりすることに人々はうんざりし、移住について話が出るようになった。

2002年にサハ共和国政府は、ベリョーフカ村を近隣の小高い場所に移設することを決定し、パネルハウス20軒分の資材を提供した。しかし村が僻地に位置すること、交通事情が悪いことにより、資材はなかなか届かなかった。パネルハウスの資材が川や海を通過して、郡の中心の町スレドネコリムスクに到着したのは、2009年になってからだった。これらはさらに、冬道路を経由して村まで運ばれるはずだったが、一部の資材はスレドネコリムスクから先に運ぶには大きすぎた。また一部の資材はあまりにも長くコンテナの中に保管されていたせいで、崩壊しかけていた。結局、20軒のパネルハウス資材のうち、10軒分だけが2010年に村に到着した。残りの10軒はスレドネコリムスクの町の中に建てられ、村人が病院に行ったり買い物をしたりするために町に行った際に泊まる場所となっている。町に家を持つことは村人にとってももちろん有意義なことではある。しかし、災害対策としては無益なものになってしまった。

5 まとめと展望

以上、サハの3つの村における社会変化、気候変化を見てきた。交通に関しては、いずれの村においてもソ連時代に近代化が進み、交通の便も良くなったが、ソ連崩壊後の社会変化によって悪化、そして気候変化によってさらに悪化する傾向が明らかになった。社会変化への適応に関しては、移動頻度を減らす、ソフホーズに代わって家族単位の生産活動を活性化させるなどの形で適応してきたことが示された。しかし気候変化によって備蓄が困難になるなどの影響が出ていることが示された。また、交通事情の悪さが気候変化への対処の妨げとなっていることも示された。

今後の課題としては、去年度のアルガフタフ村における例と合わせて、サハにおける気候変化への脆弱性を明らかにしたい。またサハの歴史社会的文脈を考慮しつつ、アメリカ大陸の極北の先住民社会での気候変化への適応との比較も行っていきたい。

引用文献

- DZhZRB 2010 Dykhanie zhizni na zemle roda Bellet. Istoriko-kraevedcheskii zhurnal. Ugoian.
- IKAIa 2007 Istoriko-kul'turnyi atlas Iakutiia: priroda, istoriia, etnografiia, sovremennost'. M.: Feriia.
- Ivanov V.N. (red.) 2004 Aldanskii ulus. Istorii, kul'tura, fol'klor. Iakutsk: Bichik.
- OPBNSOSh 2009 Obraovatel'naia programma MOU "Berezovskaia natsional'naia sredniaia obshcheobrazovatel'naia shkola" na 2009-2010 uchebnyi god. 2009. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%80%D1%91%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_\(%D0%BA%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9\)_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B3](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%80%D1%91%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_(%D0%BA%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9)_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B3) Accessed in 24 May 2012
- Sleptsova E.P. (sost.) 2005. Obrazovatel'naia panorama Srednekolymskogo ulusa.
- 藤原潤子 2012 「シベリアのロシア人」 高倉浩樹編『極寒のシベリアに生きる：トナカイと氷と先住民』新泉社、69-88頁。

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

昨年度の報告に引き続いて、適応・脆弱性研究を複合研究の方法論に関する分類にもとづいてレビューを行う。同分類は、同報告ですでに説明しているが、ここで概略を再度説明する。

複合研究は、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」した状態といえることができる。

「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、といえることができる。

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の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。用いる分類は上記で

説明した複合研究のものである。

2.1 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、昨年度に加えてシベリアプロジェクトと直接関係のある既存研究に限り、上記を用いて分類する。

Schwarz et al. (2011) はソロモン諸島の3つの沿岸コミュニティの脆弱性の内容と、コミュニティ自身が自らの適応能力に関する認識を規定する要因の分析を行った。同論文の特色は、今まで理論（概念）的・学術的研究に留まる傾向のある適応・脆弱性の評価研究を実践的に利用できるように拡張し、さらに、既存研究のように客観的指標に基づいて適応能力の分析を行うのではなく、当事者の適応能力に関する認識を評価に取り入れたことにある。方法論としては、最初にコミュニティの構成員にインタビューを行い、定性的データを入手した後、それを定量的データに置換し、多変量プロビットモデルを用いて、分析を行っている。したがって、上記分類に基づけば、定性的分析から定量的分析へ順番に行っているが、定量的・定性的分析のどちらも重視しているため、同研究は *sequential transformative strategy* に分類される。

分析結果としては、過去における脅威と将来の脅威の同定（前者は主に、2007年の地震と津波と2008年から2009年にかけての世界経済危機；後者は気候変化や自然災害、人口増による食糧難）ができ、適応能力についての人々の認識の要因についても、社会的団結、リーダーシップ、協力のための個人の支えが重要であることが明らかになった。

Rees et al. (2008) は、バーレンツ海地域のトナカイ牧畜が気候変動やトナカイ牧畜関連の社会的・経済的要素に対してどのように変化するか、を分析した研究である（タイムスケールは1990年から2080年）。気候変動に関しては、トナカイ牧畜の受忍領域を算出する“*Tolerable Window Approach*”を用いて、植生、気温、河川凍結・融解、風、積雪について、社会的・経済的要素としては、補助金、制度構造、労働組織、インフラの入手可能性、土地利用の競合について、トナカイ牧畜への影響を分析した。

分析結果としては、気候変動による影響は、全体的に中立的影響もしくは悪影響をもたらすことが示唆された。地域別で見れば、スカンジナビア半島では悪影響、フィンランドでは中立、ロシアでは若干の好影響が予測された。分析対象であるバーレンツ海地域のトナカイ牧畜の脆弱性は小さいことも予測された。一方、社会的・経済的要素については、補助金制度の変更や放牧地の減少は影響が大きいことが予測された。また、気候変動と上記の社会的・経済的要素は独立したものとして分析されていたが、考察の中で、気候変動によって社会的・経済的要素からのトナカイ牧畜への影響が大きくなる可能性が指摘された。

方法論としては、定量的・定性的データを同時並行で扱い、定性的分析と定量的分析が等価であるため、同研究は *Concurrent Triangulation Strategy* の事例に分類される。

3 まとめ

昨年度の報告にも書いたとおり、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。上記の研究レビューで特筆すべきは、適応・脆弱性研究は気候変動がもたらす悪影響だけでなく、好影響にも目を向けなければネガティブ・バイアスがかかってしまう、ということである。今後は適応・脆弱性研究をさらに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。

参考文献

- 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.
- 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].
- Rees, W.G. et al., 2008. Vulnerability of European reindeer husbandry to global change. *Climatic Change*, 87(1-2), pp.199–217. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10584-007-9345-1> [Accessed October 31, 2012].
- Schwarz, A.-M. et al., 2011. Vulnerability and resilience of remote rural communities to shocks and global changes: Empirical analysis from Solomon Islands. *Global Environmental Change*, 21(3), pp.1128–1140. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378011000719> [Accessed October 8, 2012].

北方の水・雪・氷のフォークロア

山田 仁史
東北大学 文学部

1 はじめに

本稿は、北方の水・雪・氷のフォークロアに関する研究の中間報告である。ここで言うフォークロアとは民間伝承・民間知識の意で、英語の“lore”はドイツ語の“Lehre”「教え」と同語源である。以下では、次のようなことを考える材料を提供したい。「伝統的」生活の中で、水・雪・氷はどうとらえられてきたのか。それらに関わる災害の描写はどうか。それらが起きた場合の対処はどうか。古い文献（19世紀から20世紀初め）に見られるフォークロアと、現代のそれらとの間に見られる共通点・相異点は何か。今でも「生きている」観念・知識はあるか。北方を広く見わたした時に見られる共通点・相異点は何か。今日それらから学ぶことはあるだろうか。また広く、日本における異文化（とくにその環境観・自然観）理解の一助ともしたい。

2 水

【F1】 ハンティ人の洪水伝説

・ 出典：S. Patkanov, *Die Irtysch-Ostjaken und ihre Volkspoesie*, I. St. Petersburg: J. Glasounof, 1897, S. 134–135. (Anderson 所引)。

・ 著者：パトカノフ (Serafim Keropovič Patkanov, 1861–1918) はロシアの統計学者・経済学者・民族誌家。

・ 概要：大洪水の際、船に乗って逃れるが、悪魔に邪魔される。この地域では毎春、氾濫が起きることが背景にあるという。

・ 既存の日本語訳：山田仁史 2012a 「シベリアの洪水伝説：災害体験の継承方法としての神話」藤原潤子／檜山哲哉 (編) 『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)：165–182. 京都：総合地球環境学研究所、pp. 173–174 に訳出したので、ここでは省略する。

【F2】 サーミ人の水の妖怪たち

・ 出典：Holmberg, Uno. 1913. *Die Wassergottheiten der finnisch-ugrischen Völker*. (Mémoires de la Société Finno-Ougrienne; 32). Helsinki: Druckerei der Finnischen Literatur-Gesellschaft, S. 36–46.

・ 著者：ホルムベリ (Holmberg, Uno; 1927 年以後 Uno Harva と改姓、1882–1949) はフィンランドの民族学者。

・ 概要：沿岸部で知られる半人半魚で海難をもたらす妖怪、溺死者の霊、河童のような妖怪、セイレンのように船乗りをまどわす裸婦など。著者ホルムベリの研究成果なので、要約した形で示した方がよいかもしい。

・ 備考：以下の文献も要参照：Holmberg (Harva) 著の *Mythology of All Races* および *Die religiösen Vorstellungen der altaischen Völker* ; Paulson の *Religion der Menschheit* ; Pentikäinen のサーミ神話モ

ノグラフィ ; Bäckman & Hultkrantz, Saami Pre-Christian Religion ; Wörterbuch der Mythologie のサーミ編 ; Diederichs 社の Märchen aus Lappland. 上の【F1】とともに水の恐ろしさを示す。

【F3】ミーミルの智慧の泉 (ゲルマン [北欧] 神話)

・ 出典 : 『古エッダ』 「巫女の予言」 *Völuspá*, 28、および「ギェルヴィたぶらかし」 *Gylfaginning*, 15 (いわゆる『スノリのエッダ』の一部)。アイスランドの政治家・文学者スノリ・ストルルソン (Snorri Sturluson, 1178–1241) による、『古エッダ』に対する一種の解説書。ギェルヴィ王が旅人に身を変え、ガングレリと名乗って古い神話について3人の神々 (ハール、ヤヴンハール、スリジ) と語り合う。最後にギェルヴィは突然野原に立ち、今まであった壮麗な宮殿が跡形もなく消えていることに気づく。これが書名の由来。

・ 既存の邦訳 : 谷口幸男 (訳) 『エッダ : 古代北欧歌謡集』新潮社、1973年。

・ 概要 : 世界樹ユグドラシルの根もとに泉があり、ここには賢さと智慧が隠されている。持ち主のミーミルは角杯でその水を飲んでいるため、知識に満ちている。オージンはその水を所望し、片眼を担保にして一口のませてもらった。

・ 邦訳 : 「巫女の予言」 28 節 (谷口訳に補足)

〔わたし=巫女が〕一人で外に坐っていると、アースの老王 [Yggjunngr ása; オーディン] がやってこられ、わたしの眼の中をのぞきこまれた。何をわたしにおたずねになるのか。なぜ、わたしをおためしになるのか。オーディンよ、あなたがどこに眼を隠されたか、わたしはよく知っている。あの名高いミーミルの泉の中です。ミーミルは毎朝のように、戦士の父 [Valföðr; オーディン] の担保から蜜酒を飲む。おわかりか。

* 原文 (古アイスランド語) は Neckel/Kuhn 版を参照。ドイツ語・日本語含め各種訳あり。

・ 邦訳 : 「ギェルヴィたぶらかし」 15 章 (谷口訳に補足)

だが、霜の巨人 [Hrímþursar; 巨人らの祖ユミル Ymir は水から誕生] のいる方にむいている [世界樹ユグドラシルの] 根の下にはミーミルの泉があって、知恵と知識が隠されている。この泉の持主はミーミルという。彼は知恵の固まりだが、それは、彼が泉の水をギャラルホルン [Gjallarhorn 「高く響く角」] という角杯で飲んだからなのだ。そこへ万物の父 [Alföðr; オーディン] がやってきて、泉から一口飲ましてくれ、といった。そして、自分の眼を抵当にしてやっと飲ましてもらった。

* 原文 (古アイスランド語) は Jónsson 版を参照。Reclam 版の独訳も参照。

・ 備考 : 菅原邦城『北欧神話』東京書籍、1984年、pp. 112–113 など参照。水の豊饒性。

3 雪

【F4】月の男が降らす雪 (グリーンランド・エスキモー)

・ 出典 : Rink, Henry. 1875. *Tales and Traditions of the Eskimo*. Edinburgh: William Blackwood & Sons, pp. 440–441.

・ 著者 : リンク (Rink, Hinrich Johannes, 1819–93) はデンマークの地質学者で氷河学 (glaciology) のパイオニア。

・ 原題 「月」 (The moon)

・ 著者による注記 : 月へ行った人の話はいくつか知られる。次はそうした神話の一例。

・ 概要 : Kanak という男が死者の道をたどって月を訪れた。月に住む男の家の門は巨大で、猛犬が守っていた。何とか中に入ると、一人の女が食べ物を持ってきてくれたが、その背は骸骨のようだった。月の男が大きな煙管をふかし、床の穴から Kanak に地球を見せた。地球では雪が降っ

ていた。やがて Kanak は気絶し、追ってきた祖母により地上に帰されて、偉大なシャマン(angakok) になった。

【F5】雪が犬に変わる話 (エスキモー (カンバーランド湾))

・出典: Boas, Franz. 1901. The Eskimo of Baffin Land and Hudson Bay. (Bulletin of American Museum of Natural History; 15). New York, p. 323–325.

・著者: ボアズ (1858–1942) はドイツ生まれ、アメリカ人類学の基礎を築いた。北米各地で緻密な調査を行なった。

・原題: 「第 24 話 老女と孫」 (The Old Woman and her Grandchild)

・著者の注記: 第 40 話 (p. 221) ・第 54 話 (p. 248) も参照せよ。

・概要: 昔、飢餓のため人々は村を棄て、老女とその孫娘だけが残された。空腹のため、老女は呪文で狐を呼ぼうとするが、カリブー、ジャコウ牛、狼、熊、クズリ、兎が来て、次に狐たちが来た。老女は棍棒でみな殺した。次にランプの灯りのための獣脂が必要になり、老女は小便で氷に穴をあけ、アザラシを獲ってたっぷり獣脂を手に入れた。

これで足りないのは男だけとなった。老女は、ランプの火力調節のための骨をペニスにし、火打石を睾丸にして、アザラシ猟に行った。陰部を橈に変え、それから大便して、雪で汚れを拭いた。彼女は、汚れを拭いた雪片を地面に投げ、犬たちに変えた。額の入墨からカヤックを作り、頬の入墨から櫂を作った。それから彼女は少女と結婚し〔誤訳ではない〕、少女は間もなく身ごもった。ある時、一人の男が彼女らの雪の家に来て来た。老女はアザラシ猟から帰って来たが、家の入口から男の脚が見えたため、恥ずかしさのあまり落ちて〔半地下式の家屋構造か〕死んだ。男はこの若い女性を連れて行こうと思い、二人で橈に座ったが、犬に鞭をあてると犬たちは雪に変じ、橈ももとの物に戻った。それで二人は歩いてキャンプまで行ったが、その後まもなくこの若い女性は死んでしまった。

・備考: 北米のトリックスター譚によくありがちな、荒唐無稽と猥雑さが特徴。文身 (入墨) の描写もおもしろい。

【F6】火傷に効く雪や氷の呪文 (カレワラより)

・出典: リョンロット 1976 『カレワラ: フィンランド叙事詩』上下 (岩波文庫) 小泉保 (訳) 東京: 岩波書店、下巻 350–352 頁。

・リョンロット (Elias Lönnrot, 1802–84) はフィンランドの医師・民俗学者。聞書を経て 1835 年『カレワラ』を編纂。これはフィンランドの創世から始まる国民的叙事詩となった。

・邦訳 (小泉訳に山田補足):

「火よ神のつくりもの、創造物よ、火炎よ太陽の息子よ！なぜお前は悪事をしたか、それでわしの頬を焼き、わしの腰を焦がし、わしの脇を痛めたか？／どうしていま火を鎮めるか、炎を押さえるか、火を無能にし、炎を無力にするか、長く痛めないように、ずっと久しく苦しめないよう？／娘よトゥリヤ〔Turja; ルチヤ Rutja に同じ。フィンランド人によるノルウェー北部の呼称〕の国から来ておくれ、乙女よ、ラップ〔Lappi; ラップ＝サーミ人または彼らの居住地〕からやって

おいで。泥濘ぬかるみに靴下を、氷に靴を、霜にスカートの玉飾りを、囊の平鍋を手にし、平鍋に氷の柄杓を入れ！冷たい水を撒いてくれ、囊を零してくれ、燃えた場所へ、火の醜い傷跡へ！／それでも充分でないならば、少年よポホヤ〔Pohja 「底」の意。以下のポホヨラ Pohjola と同じで、北方にある陰の国。諸悪の根源地と見なされている〕からやってこい、子供よラップ本土から、背の高い人よピメントラ〔Pimentola; ポホヨラの別称〕から、森の樅の木ほどの丈の、沼松ほどの大

きさの、囊の手袋を手にし、囊の長靴を足にし、囊の帽子を頭にし、囊の帯を腰に締め！／囊をポホヤから持ってこい、氷を寒い村から！ポホヨラには囊が多い、寒い村には氷が多い。流れに囊が、湖に氷が、大気は滑って氷結し、囊の兎は跳ね回り、氷の熊は踊っている。氷の丘の真中で、氷の山の裾野で、囊の白鳥は滑り、氷の鴨は泳いだ。雪の川の中を、氷の急流の縁を。／囊を橇で運んでこい、氷を橇で引いてこい。険しい禿山の上から、強大な山の裾から！その囊で凍えさせ、氷の寒さで凍らせよ。火がもたらした傷跡を、火災の酷く焦した所を！／それでも充分でないならば、おおウッコ〔Ukko; 老人の姿をした雷神〕至高の神よ、ウッコ雲の守護者よ、切れ雲の支配者よ、東から雲を起こせ、西から叢雲むらぐもを送れ、縁を一緒に寄せ合わせ、端と端とを重ねよ！囊を降らし氷を降らし、良い軟膏を降らせよ。焼けた場所へ、まさしく火傷した所へ！」

- ・備考：フィンランド語原文は <http://fi.wikisource.org/wiki/Kalevala>。以下の文献も参照。
- ・森本覚丹（訳）1983『カレワラ：フィンランド国民的叙事詩』上下（講談社学術文庫；612・613）東京：講談社。（英訳からの重訳）
- ・Lönrot, Elias. 1999. The Kalevala. Translated from the Finnish with an Introduction and Notes by Keith Bosley. (Oxford World's Classics). Oxford: Oxford Press.
- ・小泉保（編訳）2008『カレワラ物語：フィンランドの神々』（岩波少年文庫；587）
- ・小泉保 1999『カレワラ神話と日本神話』（NHK ブックス；855）日本放送出版協会。
- ・Krohn, Kaarle. 1924–28. Kalevalastudien, 6 Bde. (FF Communications; 53・67・71・72・75・76). Helsinki: Suomalainen Tiedekatemia.

【F7】アイルランド（ケルト）未選定。文献は入手済。[] はトンプソンモチーフ番号

- ・「雪の起源」[A1135.2]
E [Ériu, the Journal of the School of Irish Learning, Dublin] V 25.
- ・「雪の呪的コントロール」[D2143.6]
RC [Revue Celtique] XII 351, XXIII 419;
TL [Tripartite Life of Saint Patrick with other Documents relating to that Saint, Whitley Stokes, 2 Vols., London, 1887] I 55;
IHK [Irische Helden- und Königsage bis zum Siebzehnten Jahrhundert, Rudolf Thurneysen, Teil I und II, Halle a.S., 1921] 152, 237;
BNE [Bethada Náem n-Érenn, Lives of Irish Saints, Charles Plummer, 2 Vols., Oxford, 1922] II 13, 33, 81, 112, 122, 129;
SG [Silva Gadelica, a Collection of Tales in Irish, Standish H. O'Grady, 2 Vols., London, 1892] II 32.
- ・「呪術により創り出された雪」[D2143.6.3]
TL I 55.
- ・「呪術的に燃える（溶かされる）雪」[D2143.6.4]
TL I 57;
BNE II 33, 152.
- ・「呪術的に溶けない雪」[D2143.6.5]
BNE II 13;
CHAS [Cork Historical and Archaeological Society, Journal] II 65;
VSH [Vitae Sanctorum Hiberniae, Charles Plummer, 2 Vols., Oxford, 1910] I cxxxviii.
- ・「ワインの味がする雪」[F962.11.1]

LG [Leabar Gabála Éirenn, Livre des Invasions, Henry Lizeray and William O'Dwyer, Paris, 1884] 119, 122;

ITS [Comann na Sgríbeann Gaedhilge, Irish Texts Society] VIII 135;

IT [Irische Texte, Whitley Stokes and Ernst Windisch] 3 Ser II 293, 391;

ZCP [Zeitschrift für celtische Philologie] XIV 67;

FM [Annala Rioghachta Éireann, Annals of the Kingdom of Ireland, by the Four Masters, John O'Donovan, 6 Vols., Dublin, 1856] I 55, 61.

・「雪嵐の中で生まれた子供」 [T581.5]

RC XXVII 263.

・「聖なる赤児の周囲の雪を、天使たちが溶かす」 [V238.2]

RC XXVII 265.

・文献：Cross, Tom Peete, Motif-Index of Early Irish Literature, Bloomington: Indiana University Press, 1952.

【F8】雪嵐の伝承（チュクチ）

・出典：Maydell, Gerhard. 1893. Reise in den nordöstlichsten Theil des jakutskischen Gebietes in den Jahren 1868–1870. (Beiträge zur Kenntnis des russischen Reiches und der angränzenden Länder Asiens; 4. Folge, Bd. 1). St. Petersburg: Buchdruckerei der K. Akademie der Wissenschaften, S. 618.

・著者：マイデル Gerhard Baron von Maydell (1835–94), エストニアのドイツ系地理学者・民族学者、東シベリア研究者

・1870年、Erri 岬においてチュクチ人から語られた話。原初には一人の男と一人の女だけが創られ、全ての人間は彼らに由来する。しかし人々は時とともに非常に邪悪になった。そこで善霊が罰として、当時まだ分かれていなかった大地にひどい雪嵐を起こさせた。この雪嵐はほとんどの人間を死なせ、その他の者たちを分散させたのみならず、大地を裂き、広く分け放った。そのため Kergaulen の土地、Koljutschin 湾、Wrangell 地方、熊島 (Bären-Insel)、その他の諸地方が生じ、分散した人間たちからは諸民族、すなわちチュクチ人、ラムート人、ユカギール人、ロシア人などが形成された。

【F9】創造主が雪を口にふくみ吐き出しながら逃走（コリヤーク）

・出典：Jochelson, Waldemar. 1908. The Koryak. (The Jesup North Pacific Expedition; Vol. 6). Leiden: E. J. Brill, pp. 170–171.

・著者：ヨヘリソン (1855–1937) リトアニア (当時ロシア領) 生まれの民族学者。

・概要：創造主 (tenanto'mwAn) は沢山のトナカイを持っていたので、羨ましく思ったチュクチ人とトナカイ・コリヤーク人が彼を殺そうと追う。創造主は海氷の上を逃げ、雪を口にふくんで吐き出すと、後ろの海氷が溶ける。次に、もう少し多くの雪を口にふくんで噛み、吐き出すと、牧草地が広がる。

4 氷

【F10】氷と霧と灼熱の原初世界（灼熱と寒冷の対立。ゲルマン〔北欧〕神話）

・邦訳：谷口幸男 (訳) 『エッダ：古代北欧歌謡集』新潮社、1973年ほか。

・エッダについては F3 参照。

・菅原訳：

それからヤヴンハールが言った、「大地が造られるよりも何代も何代も前にニヴルヘイムができて、その中央にフウェルゲルミルという名の泉があって、そこからこういう名前の川が流れているのだ。つまりスヴォル、グンスラー、フィヨリム、フィンブルスル、スリーズそれからフリーズ、シュルグとユルグ、ヴィーズ。ギョッルがヘルの柵にいちばん近い川だ。」

するとスリジが言った、「だが最初は、南半分はムスペッルという世界があったのだ。そこは明るくて熱い、その地方は炎をあげ、燃えている。そこはまた、よその土地の出身でそこに先祖伝来の家屋敷を持たない者たちには住めるものではない。国ざかいにいて国の守備に当たっている男は、スルムトという名前だ。こいつは燃えさかる剣を持っており、また世界の終わりには出かけて行って荒し、神々をことごとく打ち負かし、火で全世界を焼き尽すだろう。(後略)」(四章)

ガングレリが言った、「諸族が発生したり、人間が数を増す前には、どんなふうだったのでしょうか。」するとハールが言った、「エーリヴァーガルと呼ばれている河があるが、これがその源から非常に遠くまで達して、このため河についてきた毒泡が火から飛びだす^{かなくそ}金屎のように固くなってしまったとき、それは氷になった。そしてその氷が止まって流れなくなると、毒から発した霧雨がこれを覆って、そして霜となり、この霜は増えて重なり合ってギンヌンガガブ〔Ginnungagap; 創世以前の原初世界の呼称〕にまで至ったのだ。」

それからヤヴンハールが言った、「ギンヌンガガブ、これが北側に面しているほうは、重くて、また目方のある氷と霜でいっぱいになり、その中では霧雨が立ちこめ突風が吹いている。しかしギンヌンガガブの南側は、ムスペッルスヘイムから飛んできた火の粉と火花に出くわして軽くなっている。」

するとスリジが言った、「寒さと気味悪いものが全部ニヴルヘイムから発したのと同様に、ムスペッルの近くにあるものは明るくて熱かった。しかしギンヌンガガブは、風のない大気と同じように穏やかだった。そして霜と熱風がぶつかったとき、霜が溶けてしたり、そのしたり落ちる雫から、熱を送ってよこした者〔巨人や神々に優越する大神的存在か：菅原による〕の力で生命が起こり、人間に似たものができた。これはユミルと名づけられたが、霜の巨人どもはアウルゲルミルと呼んでいる。こいつから、『巫女の予言短篇』でいわれているように、霜の巨人の諸族が発生しているのだ。(後略)」

するとガングレリが言った、「どのようにしてそれから諸族が発生したのですか、またどのようにしたためにたくさん人間ができたのですか。あなたは、あなたがいま語ってくれた者を神だと考えておられますか。」

するとハールが答えた、「私たちは少しもその者を神だと認めるものではない。あれは邪悪で、その一族もみなそうだ。あいつらを私たちは霜の巨人と呼んでいる。ところで、こう言い伝えられている。あいつは眠っているときに汗をかいた。すると左腕の下から男と女が生まれ出てきた。そして彼の片方の足が別の足と息子をこしらえた。そして、これから諸族が生じたのだ、つまり霜の巨人だ。その老巨人を私たちはユミルと呼んでいる。」(五章)

・備考：菅原邦城『北欧神話』東京書籍、1984年、pp. 16-20 など参照。

【F11】 厳寒期の後、氷が溶けて洪水が起きた話（北米デネ・チッペワ（オジブワ））

・出典：Petitot, Émile. 1886. Traditions indiennes du Canada nord-ouest. (Les littératures populaires de toutes les nations; tome 23). Paris: Maisonneuve Frères et Ch. Leclerc, pp. 373-378.

・著者：プティトー（Petitot, Émile, 1838-1916）はフランス生まれのローマ・カトリック司祭、カナダの探検に従事。

・原題：世界の終末：Nni-na-oudléy（La fin du monde）

・著者の注記：1862年9月、グレートスレーヴ湖（Grand-Lac des Esclaves）畔のイエローナイフ市（Couteau-Jaune）にて、Tsinnayiné が語った話。

・概要：世の始めのこと。ある冬に雪が降り積もり、地上は埋もれてしまって、いちばん高い樅の木の新だけが見えていた。耐え難いことだった。人々と共に暮らし、会話していた動物たちも皆、熱を求めて空めがけて出発した。地上はすっかり氷原になり、寒さと飢えで死にそうだったから。急がないと、世界は消滅するのは明らかだった。動物の中でいちばん機敏なリスが、いちばん高い樅の木の新に登り、天蓋に穴をあけたところ、これが太陽になった。こうしてリスは、それまで暗く寒かった地上に昼というものを作った。次に熊が夜を作り、地上を暗闇にしてしまった。熊は悪者で、天の中央に聳える大樹の枝に、多くの革袋をぶら下げ、その中に熱やらその他、空から降るものをしまっておき、見張っていた：雨、雪、晴天、嵐、寒さ、熱。動物たちは誰がこの熱を奪って来るか話し合い、トナカイが泳いで行き、島に聳えたこの大樹から熱の袋を奪って持ち帰った。ある時、自分のボロ靴をこの袋の革で補修しようとしたハツカネズミがこの革を切ったため、熱は地上に広がり、そこを覆っていた巨大な氷も溶かした。その結果、大洪水が起き、水はどんどん上昇して、いちばん高い山まで覆ってしまった。・・・[残った動物たちが水中から土をもたらずアース・ダイバーの話が続く]。

【F12】氷が獣脂に変ずる話

・出典：(南ユート) Lowie, Robert H. 1924. Shoshonean Tales. *Journal of American Folk-Lore*, 37: 1-242, p. 11 No. 5.

- ・著者：ローウィ（1883-1957）ウィーン生まれ、アメリカで活躍した人類学者。
- ・内容未確認。
- ・備考：(メノミニ) Skinner, Alanson & John Valentine Satterlee. 1915. *Folklore of the Menomini Indians*. (Anthropological Papers of the American Museum of Natural History; 13). New York, p. 270. 【未見】；(クロウ) Lowie, Robert H. 1918. *Myths and Traditions of the Crow Indians*. (Anthropological Papers of the American Museum of Natural History; 25). New York, p. 23ff.にも類話。

【F13】女性シャマンがアイス・ジャムを割った話（エスキモー（グリーンランド））

・出典：Rink, Henry. 1875. *Tales and Traditions of the Eskimo*. Edinburgh: William Blackwood & Sons, pp. 148-152.

- ・著者：F4 参照。
- ・原題：不妊の妻（The barren wife）
- ・著者の注記：この大変よく知られた話は、主要な点において一致する3種の文書から集成された。
- ・概要：不妊の妻を持った男が、アザラシ猟をやめた老呪術師に頼んだところ、妻は妊娠し、息子をさずかった。この息子は Kujavarsuk と名付けられた（グリーンランドにはこの主人公についての物語が数多い）。彼はカヤックで海に出ると、毎回10頭のアザラシを獲るのが常だった。ある冬のこと、海は早く凍り始め、やがて氷の隙間は1箇所だけになってしまった。ここで彼は毎日、10頭のアザラシを獲った。さらに、その裂け目は狭くなり、彼のカヤックの両側が氷に接するほどになった。そしてとうとう、すっかり閉ざされてしまった。海全体が氷に覆われ、人々は大変困って、angakok（シャマン）を呼ばねばと話し合った。Igdlutsialik という寡婦の娘がシャマン儀礼に通じていた。Kujavarsuk は、氷を割ってくれたら大きなアザラシ皮をあげると使いを出したが、断られた。次に服やランプで頼んだが、断られた。最後に一掴みのビーズを届けると、これは彼女の気に入った。彼女は盛装し、海岸に散らばった氷塊の間から海中に入って行った。

彼女は3日間、海中深くに留まり、老女（エスキモー神話の *arnarkuagssâk* [セドナなど、ある種の〈海獣の女主人〉のような存在])と闘って、この老女が自らのランプの下に留めていた海獣たちを解放させた。3日目の夕方、彼女は氷塊の間から海岸に現れた。しかし海はまだ氷で覆われていた。けれども翌朝、氷は割れて、家々の近くにも隙間が現れた。しばらくすると隙間は広がり、男たちはカヤックに乗れるようになった。彼らは各々、すぐに2頭のアザラシを仕留めたが、Kujavarsuk はいつものように10頭獲った……。

5 まとめと展望

以上、不十分ではあるが、北方における水・雪・フォークロアの実例を挙げてきた。これらから若干の考察を行ってみたい。まず見られるのは、水の両義性である。すなわち一方における恐ろしい水（洪水、海難、溺死……）【F1・2】と、水の豊穡性（知恵の泉）や生命活動の根源としての水【F3】、という相対する観念が指摘できる。また水の恐怖は、H₂Oの別の形として、世界を滅亡へ追いやりかねない雪嵐などの形でも現れる【F8】。さらに対立は、寒冷と暑熱との間にも存在する。寒冷の象徴として雪・氷・曇などが現れている【F6・10】。

フォークロアには、豊かな想像力も表現されている。たとえば雪が煙草の灰(?)や犬と結びつけられている【F4・5】。

現実起きた災害の体験や記憶に基づく記述かと思われるものも散見される。氾濫による洪水【F1】、積雪と氷原の描写【F11】、氷で覆われた海・アイスジャム【F13】などがそうした例であり、このような事例を今後さらに探究してゆくことが当面の課題である。

アリュートルのフォークロアと自然関連語彙

永山ゆかり

北海道大学 スラブ研究センター

1 はじめに

本調査の目的はカムチャッカ先住民アリュートル人¹の自然観を明らかにするために、アリュートル語の民話および自然関連語彙から自然観を表わすと思われる部分を抽出し、提示することである。

アリュートル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。今回の調査では前年度に引き続き、筆者がこれまでに聞き取り調査によって収集したアリュートル語による民話資料訳 50 話の中から、「人と自然の関係」「人と資源の関係」「伝統的知識」についての記述を含むものを新たに訳出した。また水および地形に関連する語彙、地形認識をあらわす語彙を未発表の語彙データベースの中から抽出した。調査にもちいたのは筆者が 1997 年から 2012 年までの現地調査で収集したアリュートル語による音声資料を文字に起こしたものである。

以下、本稿では 2 節で水に棲む超自然的存在に関する民話を、3 節では水難事故にまつわる民話を紹介し、4 節では水に関連する語彙を提示する。

なお本稿ではひとまとまりの関連のある物語として語られた一連の文を「民話」と呼んでいる。アリュートル語において、こうした民話は大きくリュムングリ *lömŋŋəli* 「神話を含む架空の話」およびパニーナトウン *paninatvən* 「実際に起こった話（伝説など）」とに分けられている。創造主クトクニャクおよびその家族が登場する民話は「架空の話」に分類される（民話 2）。地名の由来（民話 1）や、過去のある人物にまつわる民話（民話 3、4）は「実際に起こった話」として分類される。なお、本稿で用いた民話のタイトルは筆者によるもので、通常は民話にタイトルつかず、登場人物の名前などで呼ばれることが多い。

2 水に棲むもの

アリュートル語で語られた民話には「水を司る神」にあたるような超自然的存在に関するものはない。水に関わる超自然的存在としては湖に棲むとされる魔物カマク (*kamak*) があり、角の生えた、あるいは毛むくじゃらの姿であられる。カマクによって人間が湖に引きずりこまれたり、湖に落ちたりするという伝説があるが、カマクが人間の生業活動に直接関与することはない。

以下に民話を紹介する。

2.1 湖に棲む角の生えたもの

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のチュクチ・カムチャッカ語族に属する。同系の言語にはチュクチ語、コリヤーク語、ケレック語がある。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されていたが、近年では別の系統の言語であるという見方が主流になりつつある。

湖には角の生えた魔物カマクが棲むとされている。カマクはロシア語でしばしば「龍 (Russ. drakon)」と訳されているが、全体像については語られず、「角がある」「毛むくじゃらである」などの限られた身体的特徴のみが伝えられている。

(民話1)「パタト湖の由来」

むかしクルトゥーシノ村とチリチキ村の間くらいに、パタトという名の男が住んでいた。パタトとパタトのトナカイ牧夫たちは、隊列を作って移動していた。たくさんのトナカイ橇があった。隊列はやがてパタト湖をとおりかかった。湖の氷の上には大きな角が一本突き出ている。男たちは角をナイフや斧で叩いて切ろうとした。すると角がぶるぶると動いた。それは(魔物の)頭に生えた角だったのだ。湖の氷が裂けて、そしてパタトも牧夫たちもトナカイも隊列もすべてすべて沈んでしまった。それで今でもその湖はパタト湖と呼ばれているのだ。

(2002年2月19日チリチキ村アブラム・ウレイ氏より採録)

解説

チリチキ村の近くにある湖の名の由来を語った話である。角のある魔物が湖に棲むという伝説はアリュートル人の作家によってアリュートル語で出版された民話集にも掲載されている (Kilpalin1993: 122-127)。

(民話2)「ティニーアナウトがカマクの嫁にされた話」

さて、毛むくじゃらの大きなカマク(湖の魔物)がいた。アマムクト²とその妻のティニーアナウトと2人のこども、アカトニュともう一人は誰だったかな。忘れてしまった。そのアマムクトはいつもベニテングタケを食べて酩酊している。いつも酩酊していて、正気ではない。正気にもどるとすぐにまたベニテングタケを食べる。そしてまた眠ってしまう。

あるときねずみの娘たちがアマムクトの妻のティニーアナウトのところへやってくるようになった。

「さあ、ごちそうを持ってきたよ」

ねずみたちがベリーと魚をまぜたごちそうを作って、それをいっぱい盛った皿をティニーアナウトに持ってきた。

「さあ、ごちそうを持ってきたよ。そのかわりあなたの夫を私たちにちょうだい」

ティニーアナウトはいった。

「無理だよ、子供たちの父親だもの。それにベリーと引き換えに夫をあげることはできないよ」

まもなくして、ティニーアナウトはツンドラにベリーを摘みにでかけた。ベリーを摘んで家に帰ってみると夫がいない。ねずみにさらわれてねずみの村に連れて行かれたのだ。ティニーアナウトは上の子に聞いてみた。

「父ちゃんはどこ？」

「ねずみが来て、肩に担いで連れて行っちゃったよ」

ティニーアナウトは泣き出した。夫が恋しかった。どこに連れて行かれたのか、どこを探していいのかもわからない。やがて上の子がいった。

「母ちゃん、おなかはずいたよ。何か食べたいよ」

母は子どもにいった。

² 創造主クトクンニャク(カラスの化身)の息子。

「でもどこにも行けやしないよ³」

彼らは村から離れたツンドラの、川のそばに住んでいた。まもなくアマムクトはしらふに戻った。アマムクトが家に帰ってみるとこどもと妻はたいそう喜んだ。アマムクトは急いでツンドラに狩りに行った。オオツノヒツジをしとめて、家に持って帰ってきた。妻はすぐにヒツジを煮て、こどもたちに食べさせた。アマムクトはベニテングタケが大好きなので、また食べて酩酊し、眠りこんでしまった。円形テントの支柱の根元で寝てしまった⁴。

妻がいった。

「もう誰も夫に触らないだろう」

そしてこどもたちを寝かしつけた。

目覚めてみると、またアマムクトがいない。またねずみに連れて行かれたのだ。そしてまた妻とこどもたちだけで暮らし始めた。

あるときティニアナウトは櫛を持って出かけた。それから大きな湖がたくさんあるところに来て、下のほうを見ながら髪をとかしはじめた。やがてそこから毛むくじらの水の魔物カマクが出てきた。角のある大きなやつだ。魔物はいった。

「おまえを嫁にする」

ティニアナウトはいった。

「いいや、私を嫁にすることはできないよ。私は子供も夫もいるんだから」

「いいや、絶対におまえを嫁にする。おまえがどこにしようと、必ず見つけてやる」

やがてティニアナウトは家に帰った。家に帰って泣いている。カマクはティニアナウトに2日間の猶予を与えたのだ。カマクはいった。

「2日たったらここへ来い」

2日たって、ティニアナウトは2人のこどもを残して出かけた。ティニアナウトが湖にやってくると、カマクが現れた。カマクは今度はティニアナウトを捕まえて、水の中へ引きずり込んだ。

やがて兄が弟を湖のそばへ連れて来た。弟は激しく泣き始めた。すると、湖の水面にティニアナウトがあらわれた。ティニアナウトは下の子に乳を飲ませると、上の子にいった。

「さあ、もう家に帰りなさい。おまえはお兄ちゃんなんだから、どうにかして自分の食べ物を見つけなさい」

このようなことが何度かあった。やがて湖から母親が出てくると、末っ子の乳飲み子は母親を怖がるようになった。母親は全身毛むくじらになってしまっていたのだ。

あるときアマムクトが家に帰ってきて、こどもたちにたずねた。

「母ちゃんはどこだ？」

上の子が答えていった。

「湖に角のある恐ろしい大きなカマクがいて、湖から出てくるんだよ。母ちゃんはそこにいて、家に帰してもらえないんだよ」

アマムクトは上の子に教えた。

「おまえたち二人で湖まで行け。それから弟を思いきりつねって激しく泣かせろ。おれは茂みの陰に隠れる」

アマムクトは投げ縄を持った。湖にやってくると、兄は弟を思いきりつねり始めた。末っ子は激しく泣きだした。湖から出てきた母親はすっかり毛むくじらになっていた。小さな子は母親をひどく恐れた。母は末っ子にいった。

³ 夫がいないため、女とこどもだけでは狩猟や漁に行くことができないことを意味する。

⁴ チュクチ・カムチャッカ型の円形テントは支柱にトナカイの毛皮製の覆いをかぶせたものである。ロシア語でヤランガ (Russ. iaranga) と呼ばれ、チュクチ語のヤラング (jaranǵ) に由来する。通常はテント内部の支柱に吊るした蚊帳のような形状の毛皮製インナーテントの中で眠り、支柱の根元で寝ることはない。

「こっちへおいで。母ちゃんだよ。こわがらなくていいよ」

湖にいたティニーアナウトが水面に出てくると、アマムクトは投げ縄を投げ、ティニーアナウトの首に縄をかけた。そしてすばやく縄をひっぱり、陸の上に引きずり出した。湖から離れたところまで引きずっていった。アマムクトは妻にいった。

「早く毛皮を脱げ」

ティニーアナウトはカマクの毛皮を脱いだ⁵。やがてアマムクトはいった。

「急いで荷造りして、別の場所へ引っ越そう」

家に帰ると急いで小さな身の回りのものだけをまとめて、重たい毛皮の衣類は持たなかった。肩に荷を担ぐと別の土地をめざして出発した。カマクが怒り狂ったため、湖はぼこぼここと沸騰した。

「俺の妻のティニーアナウトはどこだ?! こっちへ来い! ぜったいに探し出すぞ!」

カマクは水なしで、乾いた陸地では生きられない。置き去りにされたカマクが怒って湖がぼこぼここと激しく沸騰したので、湖の水はすべて溢れ出て、すっかりひあがってしまった。そしてカマクは乾いて死んでしまった。おしまい。

(2001年3月23日ハイリノ村マトリョーナ・イウナコ氏より採録)

解説

湖に住む毛むくじゃらの魔物カマクは人間の女をさらって妻にしてしまうと考えられている。カマクにさらわれた人間は、やがて自分も毛むくじゃらの魔物の姿になってしまう。しかし人をさらう以外に害をおよぼさず、さらわれた人は魔物とともに生き続ける(つまり殺されるわけではない)という点で日本の鬼などとは異なると考えられる。なお、同系のコリヤーク語の民話でも同様の存在が語られているが、コリヤーク語では湖に棲む魔物はカマクではなくケレ (kele) あるいはカラ (kala) と呼ばれる (Zhukova 198: 17-20, Jochelson 1908/1975: 27-31)。

2.2 異界への通り道としての水

次の民話ではツンドラからやってきた魔物が川に入ってボートに姿を変え、少女を川下へと連れ去ってしまう。つまり川が異界へと続く道として描かれている。

(民話3) 「わがままな少女が毛むくじゃらの魔物に連れ去られた話」

むかしむかし、海岸にはヌイムランの漁師だけが住んでいた。夏の間中ずっと干し魚だのなんだのをいろいろ作っていた。発酵した魚とか、丸のまま生干しにした魚とかを作っていた。

あるときベリーが熟したころ、一人の女がいった。

「さあ、今度はツンドラのほうにキャンプ地をうつして、ベリーや草の根やハイマツの実をとろう」

そこである老婆がいった。

「子供を連れて行ってはいけないよ。子供をツンドラに連れて行くのはよくないよ。ツンドラに連れて行くと泣いたりするからね」

すると一人の少女が激しく泣きだした。

「私もお母さんといっしょに行きたい。おばあちゃんたちといっしょに村に残るのはいや! えーん、えーん、私もぜったいいっしょに行くの!」

そこで大人たちはいった。

⁵ 毛むくじゃらの毛皮を脱ぐと、中から元の姿のままのティニーアナウトが現れたことを意味している。

「それなら連れて行きなさい。いっしょについてこさせなさい」

女たちは出発した。かつて村があったところに来た。そこはベリーがたくさんあった。そこにテントをはって、お茶をわかしはじめた。三本足のやつ⁶を立てて、鍋とヤカン（火に）かけた。お湯がわくと、魚を煮はじめた。やかんのお湯もわいた。

その少女は外に座って激しく泣いている。

「もう家に帰りたい。お茶なんて飲まない。煮た魚なんて食べない。えーん、えーん！生の鮭の頭が食べたいよ。えーんえーん、家に帰りたいよ！」

まもなく、テントのほうから毛むくじらの人間がやってくるのが見えた。生の鮭の頭をいくつも枝に通して輪にしたものを持っている。

「さあ、頭を食べるがいい」

そしてその毛むくじらの人間はツンドラのほうへ行ってしまった。

少女は喜んだ。

「やったー、頭を食べよう。生の頭をもらったよ」

少女は鮭の頭をひとつ食べた。すると少女の口のまわりが、炭をぬったようになった。みんながお茶を飲み終わると、ひとりの老婆が気がついた。少女は鮭の頭を食べていたのではなく、消し炭を食べていたのだった。

それからその少女は一晩中ずっと泣き続けた。二晩たってもまだずっと泣き続けた。

「やだやだ家に帰りたい。もうここにはいたくない。」

すると、すぐに毛むくじらの人間がやってきた。

「さあ、おれといっしょに行こう。あっちには鮭の頭もたくさんあるぞ。おまえに頭をたくさん食べさせてやろう。むこうの川には頭がたくさんあるぞ」

母親が止めようとしていった。

「そっちへ行っちゃだめ」

でも少女はいった。

「止めてもだめ。ぜったい一緒に行くんだから」

岸边に来ると、その毛むくじらの男は水面におりた。そして毛むくじらの体の毛皮を広げると、ボートになった。そして少女にいった。

「ここに乘れ」

少女はボートに乗り込んだ。そして男は足を櫂のようにして漕いで、川下へ向かって行ってしまった。どこか遠いところへ少女は連れていかれてしまった。その男は、オオカミのような人間のようなものだった。四足で歩いていた。そして少女はどこか遠くへ連れて行かれてしまった。キャンプ地では少女がどこにいったのかとみんながたずねた。娘が連れていかれてしまったと少女の母は答えた。やがて女たちは次のキャンプ地へ移動していった。こうして少女はさらわれて、どこか遠くへ連れて行かれてしまった。

(2002-03-10, マトリョーナ・イウナコ氏より採録)

解説

年長者の忠告に従わなかったわがままな少女が魔物に連れ去られたという教訓的な伝説である。

⁶ たき火に鍋ややかんをかけるための三本ひと組にした棒。

3 水難事故

民話の中でも、また実生活においても、海獣猟に出かけて命を落とす男性は多い。家族が亡くなるのは大きな不幸であるが、その原因は超自然的な力にあるわけではなく、病気などと同様に日常的な出来事としてとらえられている。また、家族に先立たれて一人残された老婆が自ら命を絶つというエピソードも民話にしばしばあらわれる。

(民話4) 「息子の仇をうった老婆」

むかしむかし、ずっと前に、一人の老婆があった。その老婆には一人の息子があった。老婆の息子はたったひとりであったが、ほかに同じ家に住んでいるものがたくさんあった⁷。

その同じ家に住んでいたものたちが、あるとき海に猟に出かける準備をしていた。

その少年がいった。

「いっしょに行ってもいいか」

(家のものたちは) 少年に行った。

「ああ、ついてくるがいい」

そしてみんな大きな皮のカヤック(舟)に乗って猟に出かけた。まもなくかれらは帰ってきた。獲物は何もなかった。

あるとき、また少年がまたみんなといっしょに猟に出かけようとしていたが、出発前に何も食べさせるものがなかった。そこで老婆は自分の乳を吸わせた。

「おいで、おっぱいを飲みなさい。何も食わずに猟に出かけるのはよくないよ」

老婆はひからびた乳を出して、息子に与えた。

まもなくして、家のものたちは帰ってきたが、少年は帰ってこなかった。母親は息子を待っていたが息子は帰らない。一晩たったが、まだ帰らない。

やがて老婆は考えた。

「息子はどこ？ 猟に出かけたものたちは帰ってきたのに、私の息子は帰らない。まさか何かあったんだろうか？」

老婆はみなのところに行って、たずねてみた。

「私の息子はどこ？」

「さあね、知らないよ。どこだろうね。溺れてしまったんだろうか？」

老婆はひどく心配しはじめた。

「たったひとり残った息子を死なせてしまった」

やがて老婆はいった。

「生きていても甲斐がない。私も死んでしまおう。」

みなのところへ行っていった。

「また猟に出かけるの？」

「ああ、明日の朝、海に猟に出かけるよ」

「私も一緒に行ってもいいだろうか」

同居人たちは老婆にいった。

「ああ、ついてきなよ」

⁷ 同じ住居に数家族が住むことがあった。通常は親族どうしであることが多い。

老婆は一晩かけて自分の女性用ナイフ⁸を研いだ。

翌朝、老婆はみんなのところに行っていった。

「さあ、出かけようか」

みんなは出かけて行った。ハンターたちは、遠い外海へ出かけて行った。老婆は毛皮のパーカーを着ていた。老婆はしゃがんで皮のカヤック（の底）を、鋭い女性用ナイフの刃で、ごしごしこすった。こうやってパーカーの下でナイフの刃をあててごしごしこすって、カヤックに穴をあけた。水がどっと噴き出しはじめた。そして、ハンターたちはみんな溺れてしまった。老婆自身も溺れて死んだ。

なぜなら老婆はこういったから。

「最後に残った息子を死なせてしまった。生きていても甲斐がない」

そしてみんな死んだ。

(2001-09-07, タチヤナ・ゴリコワ氏より採録)

解説

老婆は、息子が死んだのはいっしょに猟に出かけたものたちのせいであると考えており、復讐のためにハンターたちを道連れにして自分も死んだ。「最後に残った息子」といっているのは、ほかにも事故などで若くして亡くなった子供がいたことをうかがわせる。しかしこれらの事故による相次ぐ不幸は、日常的な生活の中のできごととしてとらえられており、因果応報といった教訓を述べているわけではない。

4 「水・雪・氷」に関する語彙

アリュートル語では一次語で6種類の「氷」、2種類の「雪」、3種類の「雨」を区別する。これらの語彙を包括する総称はないという点で、エスキモー語における雪をあらわす語彙と共通している。以下に筆者が収集した資料の中から水に関連する語彙をあげる。名詞は絶対格単数で、動詞は不定形で示し、語形の後の()に品詞を示した。nは名詞を、viは自動詞を、vtは他動詞を表わす。行末に示した略字は言語コンサルタントの頭文字を示す。それぞれのロシア語名/アリュートル語名/生年は以下のとおりである。

CMN (Chechulina Mariia Nikiforovna / kaŋaŋa / 1935), GTN (Golikova Tatiiana Nikolaevna / ləlqivŋawət / 1937), MDA (Mulinaut Dariia Andreevna / mulŋəŋawət / 1919), NVM (Nutaiulgin Vladimir Mikhailovich / nutajulyən / 1964), UAA (Ulei Abram Abramovich / uli / 1914), VNI (Voronova Natalia Innokent'evna / amn'utaŋav / 1948) (アルファベット順)

(I) 水・氷に関連する語彙

氷の状態や氷が張る場所の違いによって6種類の「氷」を区別する(2-7)。

- (1) miməl (複合語では iml-) (n) 「水」 NVM
- (2) itt-ə-ŋit (n) 「水面を覆うようにはった薄い氷」 VNI
- (3) kityəl (n) 「薄い氷」 VNI
- (4) simi-sim (n) 「水の表面に浮いている薄い氷」 NVM

⁸ エスキモーのウルのような、半円形の刃をしたナイフ。

- (5) yil-yil (n) 「海の氷」 NVM
 (6) ɲulq-ə-n (n) 「湖の氷」 UAA, GTN
 (7) qaritku-n (n) 「北の海、河岸にできる堅氷」 NVM
 (8) təlq-ə-γəŋ-ə-n (n) 「氷がとけてできた川のすきま」 < təlq-ə-k (vi) 「川の氷がとけてすきまができる」 CMN
 (9) aju-γəŋ-ə-n (n) 「海、湖、川などの氷面の割れた部分」 NVM
 (10) aju-sq-ə-n (n) 「水たまり」 VNI
 (11) irma-γəŋ-ə-n (n) 「水たまり、濡れること」 VNI < irm-at-ə-k 「濡れる」

(II) 雨・雪に関連する語彙

2 種類の「雪」(12, 13)、3 種類の「雨」(15-17)を区別する。雪および雨をあらわす名詞語幹からは対応する自動詞がつくられる。

- (12) paŋu-paŋ (n) 「降ってくる雪」 NVM
 a. paŋu-sŋat-ə-k (vi) 「雪が降る」 VNI
 b. paŋu-t-ə-k (vi) 「細かい雪が降る」 NVM
 c. paŋu-tku-k (vi) 「細かい雪がたくさん降る」 NVM
 (13) ʕəl-ʕəl (n) つもった雪 > ʕəl-at-ə-k (vi) 「雪が降る」 NVM
 (14) niya-k (vi) 「雪に埋もれる」 NVM
 (15) arŋi-n (n) 「雨」 NVM
 a. arŋin-at-ə-k (vi) 「雨が降る」 NVM
 b. arŋini-ə-sʔat-ə-k (vi) 「雨宿りする」 NVM
 (16) ili-ə-ʔilɪ (n) 「細かい雨、湿気」 NVM > ili-at-ə-k 「細かい雨が降る」
 (17) ɣateɣ-ə-n (n) 「通り雨、にわか雨」 NVM > ɣateɣ-at-ə-k 「にわか雨が降る」
 (18) kiɣiy-ə-n (n) 「雷」 > kiɣiy-ə-lʔat-ə-k 「雷が鳴る」 NVM
 (19) jəŋa-jəŋ (n) 「雲、雨雲、霧」 NVM > jəŋ-at-ə-k 「霧が出る」
 (20) wəjal-lə (n) 「吹雪」 NVM > wəjal-at-ə-k 「ふぶく」
 (21) qiraly-ə-n (n) 「凍るような寒さ」 NVM > qiraly-at-ə-k 「寒くなる」
 (22) qajaw (n) 「霜」 NVM
 (23) kirʔirʔ-ə-sʔ-ə-n (n) 「つらら」 VNI
 (24) alia-tv-ə-γəŋ-ə-n (n) 「一部だけ雪が融けて地面が露出しているところ」 CMN < ala-ʔal 「夏」

(III) 川に関連する語彙

- (25) wajam (n) 「川」(男性の名としてももちいる) NVM
 (26) walʕi-jusɣ-ə-n (n) 「川の流れるよどんだ浅いところ」 GTN
 (27) ekat (n) 「川岸」 NVM > ekat-ɣiŋ-at-ə-k (vi) 「川岸に沿って歩く」
 (28) jəŋər-rə (n) 「川岸の土が盛り上がったところ」 GTN
 (29) kaɣəŋ-ə-n (n) 「河口、半地下住居の開口部」 VNI
 (30) pəŋu-tkən (n) 「川の上流」 NVM
 (31) ɣəvni-n (n) 「川の深いところ」 GTN
 (32) iml-at-ə-k (vi) 「(川が) 氾濫する」 NVM (「水」からの派生語)

- (33) *ims-ə-sv-ə-k* (vi) 「川の水量が減る」 CMN
 (34) *iwsəs* (adv) 「下流に、川下に」 VNI (cf. *iwtəl* 「下に」)
 (35) *γəryus* (adv) 「上流に、川上に」 NVM (cf. *γəryul* 「上に」)
 (36) *wiwiv-ə-k* (vi) 「(魚や人などが) 川を下る」 VNI

(IV) 海に関連する語彙

海をあらわすのに日常的にもちいられる語は1語だが、民話の中では陸地から遠く離れた海をあらわす語彙がもちいられる(38-40)。海岸と川岸はそれぞれ一次語で区別される。

- (37) *aŋqa-n* (n) 「海」 NVM
 (38) *əmin-aŋqa-n* (n) 「大海」 GTN
 (39) *kəv-ʔ-aŋqa-n* (n) 「陸地から遠く離れた海」 CMN, MDA
 (40) *amijuqa-n* (n) 「陸地から遠く離れた海」 GTN
 (41) *arɣij* (n) 「海岸」 NVM
 (42) *inuŋ-ə-ŋqal* (adv) 「海側に (砂州などについて、湾と反対側の意味で)」 GTN
 (43) *vəl-ə-kki* (vi) 「海から陸にあがる、沿岸部から内陸部へ行く、海獣狩猟や漁労からトナカイ遊牧へ変わる、家の奥の部分に行く」 NVM
 (44) *iwini-k* (vi) 「海に出ていく、海獣狩猟に行く」 GTN
 (45) *aqeyat-ə-k* (vi) 「海が荒れる」 NVM
 (46) *məyu-ruʔ-ə-k* (vi) 「波が高くなる」 <*muməy* (n) 「波」 NVM

5 おわりに

以上、本稿ではアリュートル人の民話および自然関連語彙の中から、水・雪・氷に関連するものを抽出し、日本語に訳出して提示した。

ここで紹介した民話に共通しているのは、超自然的な存在による不幸も、水難事故も、人間の行為とは無関係におこる、いわば自然現象のようなものとしてとらえられているという点である。シベリアや世界のほかの地域の民話において、儀礼を怠ったり食べ物を粗末にしたといった人間の行為の結果として不幸がもたらされるという図式が描かれているのとは対照的である。

本稿で紹介した民話は4話にすぎないが、今後はさらに多くの民話を訳出し、カムチャッカ先住民の自然観解明のための基礎資料としたい。

参考文献

- Jochelson W. 1908/1975. *The Koryak: The Jesup North Pacific Expedition*. Vol. 6. AMS Press: New York (reprint from the edition of 1908, Leiden and New York).
- Kilpalin, K. V. (1993) *Ania: skazki severa* [Ania: tales of the North], RIOKOT: Petropavlovsk-Kamchatsky.
- Nagayama, Y. (2003) *Ocherk grammatiki aliutorskogo iazyka* [Grammatical Outline of Alutor], 大阪学院大学情報学部.
- Zhukova, A. N. (1988) *Materialy i issledovania po koriakskomu iazyku* [Materials and Studies on the Koryak Language]. Leningrad: Nauka.

サハのフォークロア

江畑 冬生

日本学術振興会 特別研究員

1 はじめに

本報告ではシベリアの少数民族であるサハ民族のフォークロアを紹介し、その分析を通してサハの人々の自然観を描き出すことを試みる¹。第2節では、サハ民族とサハ語について概説する。報告者は今年度、出版されたフォークロア資料の分析、およびサハ語話者への聞き取り調査を行った。得られた成果の一部を第3節において報告する。

2 サハ民族とサハ語

サハ語は、チュルク諸語（ユーラシア大陸の東西に分布する同系の約30の言語）の1つである²。サハ語の話者数は、2010年のロシア国勢調査によれば約45万人であり、その大部分はサハ共和国内に居住している。サハ語話者のほとんどはロシア語との二言語使用者である。サハ民族の伝統的生業は牛馬飼育であり、宗教的には自然崇拜やシャマニズムを行う[高倉(2012: 11, 36)]。

シベリアで話される少数民族言語の多くが消滅の危機に瀕している中で[Tsumagari *et al.* (2007)]、サハ語の置かれた状況はやや特殊であると言える。Черемисина(1992)によれば、サハ人、すなわちサハ民族であることを自認する人のうち、サハ語を母語とすると申告した人の割合は93.5%である。この数字は、同じくチュルク諸語の1つであるトゥバ語の98.5%に次ぐ、突出して高い数字である³。これには2つの理由が考えられる。1つには、サハ語はロシア連邦全体から見れば少数言語であるが、サハ共和国内では過半数の人々が話す比較的大きな言語であることである⁴。現在、サハ共和国の公用語はロシア語とサハ語である。もう1つの理由として、サハの人々は特定の地域に固まって居住している点が挙げられる。筆者が複数のサハ語話者に対して行った聞き取り調査によれば、いくつかの農村部の地方では人口のほぼ100%がサハ語話者であり、そのような地方出身の人々は義務教育開始以前にはサハ語のみを用いていたのだという。このような地方出身のサハ語話者は、日常生活における使用頻度において、ロシア語よりもサハ語の方が優勢であることが多い⁵。

¹ 本報告の内容は、「地球研シベリアプロジェクト平成24年度全体報告会」における口頭発表(2012年11月2日、名古屋大学)に基づいている。

² サハ語の他に「ヤクート語」の名称も用いられるが、本稿では地名の「サハ共和国」に倣い、言語名を「サハ語」に統一する。

³ Черемисина(1992)のサハ語・トゥバ語のデータは1989年の国勢調査に基づくものである。ウェブ上で確認できる2010年国勢調査の結果を見る限り[<http://www.perepis-2010.ru/>]、この状況は大きくは変わっていないと思われる。

⁴ サハ共和国で話される諸言語の概要については江畑(2012)も参照されたい。

⁵ 一方で、1970年代や1980年代のヤクーツク市内では、バスや商店などでサハ語を用いることは、明文化こそされないものの、暗黙裡に禁じられていた。

3 サハのフォークロア

3.1 フォークロアの位置づけ

フォークロアは、日本語では「民話」と訳される。Сивцев (1996: 5) はその序文において、「民話」(фольклор) を「文学」(литература) と対置しながら次のような導入を行う:「文学は、書記を持ってはじめて諸民族に存在することができる」(拙訳による。以下も同じ)。一方の民話について、再び Сивцев (1996) を引用する:「民族の、ことばによる芸術作品は民話 (фольклор) と呼ばれる。先に述べたように、民話は書記の助け無しに生み出される。民族の歌い手は自身の歌やオロンホ、昔話を記憶して歌う。ある人が歌った歌もしくはオロンホを、別な人はそれを真似てさらに歌う。歌う際に、元の作品よりも内容を増やしたり、減らしたりできるし、ある個所を自分の好きなように変えても良い。こうして人から人へ、口から口へ伝わり、村から村へ、地方から地方へ広まる」。つまり、書記に記されない言語芸術が民話と呼ばれるのである。本節ではまずサハ語の書記の歴史について簡単に触れ、その後、いくつかのフォークロアを紹介する。

3.2 サハ語の書記

サハ民族が正書法を初めて持ったのは 1929 年であり、当初はラテン文字ベースの正書法が用いられた。その後 1939 年に、現在でも用いられているキリル文字ベースの正書法が制定された。1929 年以前には正書法が無かったが、それでもサハの人々による書記記録がいくつか残っている。

サハ人自身によるサハ語書記として最初期のものは、1851 年に А.Я. Уваровской (1800-1861) がサンスクリット語学者である О. Böhtlingk に宛てた手紙であるとされる。この手紙は、サハ語文法書として最初のものである Böhtlingk (1851) に収録されている。手紙の表記法には Böhtlingk 自身が用いたのと同じキリル文字ベースの書記法が用いられている。手紙には、Böhtlingk への Уваровской の感謝の気持ちとサハ語を書けることへの喜びが良く現れている。

文学作品として最も古いものは、А.Е. Кулаковской (1877-1926、サハ名 Өксөкүлээх Өлөксөй) が 1900 年に発表した *Байанай алгыһа*『バヤナイの祈り』であるとされる(バヤナイとは狩猟の神様のことである)。1917 年には С.А. Новгородов (1892-1924) が国際音声字母(IPA)を改良したサハ語表記法を考案し、それは正書法制定までの期間に用いられた。

3.3 ルーブルダ

本節で紹介するのは、Эргис (1964) に収められた「ルーブルダ」(Лыбырда) と題する昔話である。この話は、サハ共和国北東のアブイ地方 (Абый) の方言で語られている。

金の網と金のボートを持つルーブルダ爺さんというのが暮らしていた。この人は毎日出かけては、金のうろこを持つキュンニュベイ⁶という魚を網から 1 匹ずつ取り、それを食べて暮らしていた。

ある朝起きると、ルーブルダ爺さんは 3 匹のキュンニュベイを取った。それから歌いながら歩いた:「太陽の娘は我が友、創造主の娘は我が友・・・」。

そうして歩いていると、森の中で人の声がある:「ルーブルダ、ルーブルダー！ 来てよ、来てよー！」と言った。これを聞いてルーブルダ爺さんは岸辺に出て、ボートを踏みつぶし、オールを踏み割り、魚を水

⁶ キュンニュベイ (күннүбэй)。サケマス科の魚で、ロシア語では рыба кондёвка と呼ばれる。標準サハ語では күндүбэй である。

に放り投げる。そしてわめきながら森に入った。入って頑張って探したが、森には何も見つけることができなかった。

戻って来ると、ループルダはボートをしっかり直した。ボートは元通りに直った。次にオールを直した。オールも元通りに直った。

川に入ると、また3匹の魚を取る。それからまた歌う:「太陽の娘は我が友、創造主の娘は我が友・・・」

また森の中で人の声がする:「ループルダ、ループルダー！ 来てよ、来てよー！」と言う。

岸辺に出て、オールを踏み割り、ボートを踏みつぶし、魚を水に放り投げる。また森の中にわめきながら入る。入って頑張って探したけれど、何も見つからない。

戻ってきて、ループルダボートをしっかり直した。ボートは元通りになった。それからまた網を仕掛けた所に入る。また3匹の魚を取る。歌いながら家に帰った:「太陽の娘は我が友、創造主の娘は我が友・・・」。

森の中でまた人の声がする:「ループルダ、ループルダー！ 来てよ、来てよー！」と言う。

岸辺に出て、ボートを踏みつぶし、オールを踏み割り、魚を水に放り投げる。またわめきながら森の中に入った。頑張って探して、古ぼけた馬の頭の骨を見つけた。

ループルダは「この大魔王がどんな言葉をしゃべるといふのだ?」と言って、骨を足で蹴った。すると骨に足がくっついてしまった。もう片方の足で蹴ると、その片足もくっついてしまった。手で押したら、手もくっついてしまった。それから頭で突いたが、頭がくっついてしまった。

こうしていると、9つの頭を持つ巨人アガラ・モグス⁷が来た。モグスは「オレの踏み罠⁸が齧られている」と言って、ループルダをつかんで腰につけたカバンにしまってしまう。そしてモグスの家に行く。

家に着いて、モグスは妻に言う:「黒い板を敷け。1尺の刃を持つ大斧を持ってこい。鋭い刀を準備しろ。ループルダを捕まえてきた」という。

妻は立ち上がるとすべてのものを準備する。

モグスはループルダをつかみ黒い板の上に置く。鋭い刀を腰に準備する。

ループルダは横になったまま言う:「おじいちゃん、ワシの背中が旨いよ。ワシを太らせてから食え」と言う。それに対しモグスは「こいつが言うのももつとだ。こいつを太らせようか」と言う。妻も賛成する。

モグスたちはループルダを倉庫に閉じ込めておいた。それから、この男に馬や牛の肉を食べさせ育てた。1年がたち「さて、お前はどれくらい太った?」とモグスは言う。

「ブーツの下のひもを結ぶのができなくなった。ブーツの上のひもを結ぶのはできる」と言う。

それから1年間また太らせる。1年がたち、またモグスは尋ねる「さて、お前はどれくらい太った?」。それにこたえてループルダは「ブーツのひもを結ぶのに手が届かない。ただ手足は動く」と言う。「それならもう1年食べさせよう」とモグスは言う。

モグスたちは1年間食べさせた。そして尋ねる:「さて、お前はどれくらい太った?」。ループルダは「手足が動かさなくなった。私は太った。さあ、食べてくれ」と言う。

モグスは黒い板を敷き、1尺の刃を持つ大斧を取り、鋭い刀を準備する。今や3年間ですっかり太ったループルダを、板のところに運んで置いた。

横になったままループルダは言う:「おじいちゃん、刀を見せてくれ」。モグスは刀を見せた。「おやまあ、おじいちゃん。あんたの刀は鈍っているじゃないか。それでは私の脂肪を切って食べるのは無理だよ。ボロイ爺さんの刀を借りて、その刀で切って食べたら、私の脂肪を余すところなく食べられるのに」とループルダは言う。

⁷ アガラ・モグス (Агала Монус)。サハの昔話によく出てくる愚か者の巨人の姿をした怪物。標準サハ語ではアラ・モグス (Алаа Моҕус または Алаа Моҕус) と呼ばれる。

⁸ 踏み罠 (чаархаан)。木製で、小型動物を捕るための小型の罠。ロシア語 черкан。

これに対しモグスは「その通りだ。ボロノイ爺さんの刀のところへ行こうか」と言い、そうしようと言って、ルーブルダを倉庫に閉じ込めてしまう。妻に「弱らせるな、太らせろ」と言ってボロノイ爺さんの所へ向かった。

ボロノイ爺さんの所に行きモグスは言う「うちに3年の間すっかり太ったルーブルダがいる。こいつを殺して食べるのにオレの刀は鈍ってしまっている。アンタの刀を貸してくれ」。

それに対しボロノイ爺さんは、「ワシの刀はすっかり鈍っている。子供たちが鈍らせてしまった。ハラナイ爺さんの所へ行き、黒い石を持ってこい。黒い石で研いでやる」と言う。

モグスはそっちへ向かった。ハラナイ爺さんの所へ着いて言う「オレの所に1匹のルーブルダがいて、殺して食っちゃうつもりだ。ボロノイ爺さんの刀を借りたが、すっかり鈍っている。研ぐためにアンタの黒い石を貸してくれ」と言う。

ハラナイ爺さんは言う「ワシの黒い石は誰にも動かさない石だ。唯一キュレネイ爺さんの赤毛牛だけが引くことができる。その牛を連れてこい」と言う。

モグスはそっちへ向かった。キュレネイ爺さんの所へ着いて「さあ赤毛牛を貸してくれ。ハラナイ爺さんの黒い石を運ばせて、ボロノイ爺さんの刀を研いで、ルーブルダを殺して食うんだ」とモグスは言う。

それに対しキュレネイ爺さんは言う「ワシの牛は誰にも捕まえられない牛だ。唯一アラナイ爺さんの斑馬だけが追いつける。それ以外には何も追いつけない牛だ」。

モグスはそっちへ向かった。アラナイ爺さん所へ着く。着いて言う「ややお爺さん、オレはとっても困った。ルーブルダを3年間太らせた。これから食ってやるつもりだ。オレの刀はすっかり鈍っている。ボロノイ爺さんの刀を借りに来た。ヤツのも鈍っている。ハラナイ爺さんの黒い石を運んできて研ごうと思った。この黒い石は唯一キュレネイ爺さんの赤毛牛だけが引っ張れるそう。そしてキュレネイ爺さんの赤毛牛を借りに来た。快足さは何も追いつけないほどだそう、この赤毛牛は。唯一アンタの斑馬だけが追いつけるそう。だからアンタの馬を貸してくれ」。

それに対しアラナイ爺さんは言う「話はすべて分かった。ワシの馬の引き綱は対岸の小屋に置きっぱなしだ。そこから持ってくると良い」と言う。

モグスは「でもオレはこの大河をどうやって渡れば？」と尋ねる。

「ああ！ それだったら、両足に2つの丸石を付けろ。両手に2つの丸石を付けろ。首にも丸石を付けろ。そして、真っ直ぐ河をつつきれ」と言う。

モグスは喜んだ。両足に2つの丸石を、両手に2つの丸石を、首にも丸石を結びつけ、河を渡った。渡りながら「おおい、なんて深いんだ」と言う。

アラナイ爺さんは「そこから向こうは浅くなるぞ」と言う。モグスの声が「オレの死に場所に来ちまったぞ」と言う。モグスはゴボゴボ沈んでいく。モグスは「死に行くオレの遺言を言うぞ」と言う。

「頼むからルーブルダに伝えろ。オレの脛骨は杵にしろ。頭蓋骨は臼にしろ。首の骨は9杯の水が入る大釜にしろ。オレの背骨で金のバラガン⁹を作れ。オレの持ち物はお前のものにしろ。オレの家畜はお前のものにしろ。オレの妻はお前の妻にしろ。オレの子供はお前の子供にしろ」と言いながら、ゴボゴボ沈んでいく。

その後、ルーブルダはモグスが死んだという噂を聞いた。彼の妻に、夫になってやると狡猾に言いくるめて、うまく脱出した。それからルーブルダはモグスの子供と妻を次々と殺してしまった。モグスの大事な大事な持ち物を選んで取り、くだらない持ち物は捨ててしまった。彼の家畜は自分の家畜とし、彼の家を自分の家とした。

ルーブルダはその後豊かに暮らし、その手柄は昨日まで伝わり、その高名さはつい最近まで言い伝えられた。

⁹ バラガン (балаган)。サハ伝統の冬用住居。

3.4 エジゲン地方 (Эдыгээн) の伝説

次に紹介するのは、2012年5月24日、ヤクーツクの研究所において1980年生まれ的女性研究者からのインタビューにより得られた伝説である。語り手は Павлова Надежда Васильевна さん。ヤクーツク市生まれで、6歳から Нам 地方の Хатырык 村で過ごし、15歳の時に再びヤクーツク市に戻ったという。この伝説には色々なバージョンがあることを断ったうえで、次のように語ってくれた。

17世紀、ヨーロッパロシアからアグルプアナ (Агырпыана) という名の女性が政治犯として送られ暮らしていた。彼女はとある大河の中州の島に住んで呪術のようなことをしていた。人の好き嫌いが激しい人で、人々はみな彼女を恐れていた。彼女が死んだ後も、人々は皆その島を恐れていた。人々は小舟に彼女への贈り物として好きな食べ物や装飾品を載せ、川に流していたという。その小舟はどうやってか島まで到達していたらしい。そうやって贈り物を送っていれば、人々は平穏に暮らせたという。ところがこの伝説を信じない人もいて、贈り物を贈らなかった。そういう人々には、突然の嵐で船が転覆したりするようなことが起こったという。この伝説はとともよく広まっている。

4 フォークロアに見るサハ人の自然観

本報告ではサハのフォークロアを概観し、2つの事例 (1つは出版資料からのもの、もう1つは現代のサハ人が実際に語ったもの) を紹介した。本報告では紹介しきれなかった資料も含めたフォークロアから導き出せるサハ人の自然観、特に「水」に関わる自然観は次のようなものである。

1つには、サハ人の生業に密接に関わる場所としての「水」である。高倉 (2012: 51) も指摘するように、サハ人にとってアラスは重要な場所であり、家畜の水飲み場、草刈り場として利用されている。さらにサハの人々は日常的に、湖や川で魚を捕る。「ループルダ」は、主人公ループルダが毎日魚を捕るという描写から始まる。言い換えれば、「水」は日常生活を送る場の1つである。

もう1つの側面は、非日常の場としての「水」である。エジゲン地方の伝説では、川の中州に呪術を行うアグルプアナが住んでいると信じられ、人々はその存在を畏怖していた。「ループルダ」の終盤では、怪物アガラ・モグスは川に沈んで死ぬ。本報告では紹介しきれなかったいくつかの話でも、湖や川はしばしば死亡ないし自殺の場面となる。「水」に対するネガティブな側面は、しばしばフォークロアに含意されると言える。

参考文献

江畑 冬生 (2012) 「サハ共和国に暮らす北方諸民族の言語」 北海道立北方民族博物館 第27回特別展「東シベリア・サハ 永久凍土の大地に生きる」展示図録 37-44.

高倉 浩樹 (2012) 『極北の牧畜民サハ』 昭和堂。

Böhtlingk, Otto N. (1851) *Über die Sprache der Jakuten. Grammatik, Text und Wörterbuch.* St. Petersburg.

Tsumagari, Toshiro, Megumi Kurebito, and Fubito Endo. (2007) *Siberia: Tungusic and Palaeosiberian.*

Miyaoka, O. *et al.* (eds.) *The Vanishing Languages of the Pacific Rim*. 387-405. Oxford University Press: Oxford

Сивцев, Д.К. (1996) *Саха фольклора. Хомуурунньук*. [サハの民話。記録集] Новосибирск: Наука.

Черемисина, М.И. (1992) *Языки коренных народов Сибири: Учебное пособие*. Новосибирск: НГУ.

Эргис, Г.У. (1964) *Саха остуоруйалара*. (Якутские сказки) т. 1. Якутск: Бичик.

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

報告書の最後に、2012年12月5日～7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。そして残された1年間における主要課題を記す。

循環プログラム主幹からのコメント (抜粋)

「本プロジェクトは4年目に入り、多くの成果がでており着実に進展していると評価される。とくに地球温暖化に伴う水循環や水環境の変化が、森林やトナカイの生態系に大きな影響を与え、自然および社会へのリスクを複合的に増加させているという様々な成果は非常に説得力があり、地球環境研究としての意義が高いと思われる。グループ1と2の自然科学的成果はうまく結合しているが、炭素循環については衛星を用いたグループ1との成果統合は次年度と言うことであったので、そのまとめを期待する。温暖化が引き金となった自然環境変化に対して、これまでは地域社会の「適応の在り方を提示する」ということであったが、今年度は「適応の様相を見出す」となっており、社会の実態解明により力点がおかれている。しかし多くの質問が集中したように、自然変化のスケールやトナカイに代表されるグループ3の成果との関係に、もう少し説明が必要と思われる。さらに、最終年度には、成果の社会的発信が期待される。国際会議など学術コミュニティーへの還元を重視されているが、トナカイを中心に「適応」の様相がうまく伝わるよう検討いただきたい。」

今後の課題

残された約1年間で行うべき研究課題は、以下の通りである。

1) 凍土生態系(熱・水・物質輸送)モデルの改良:

これまでと同様、2007年を中心とする過湿イベントに着目して解析する。特に、土壌の物理特性を確定させ、土壌水分量と植物の応答に着目して解析する必要がある。

2) 環境・植生変化と資源動物（トナカイ）利用の影響解析：

家畜トナカイについては東シベリアでは過放牧による大きな植生変化は見られないことがわかった。今後は、若いトナカイの成育（食料植物の確保）にとって大きな阻害となる春の氷板の形成、キャンプ地（あるいは移動ルート沿い）の微地形に着目し、資源動物としての家畜トナカイと牧民がしなやかに適応できている理由を探る必要がある。実施可能な現地調査の機会はほとんど無いので、現地調査の前に牧民への聞き取り調査内容を再検討する必要がある。特に、「気候変動による影響」に加え、「生活や生計を立てる上で経験した条件」を聞き出し、より多くのデータを収集する必要がある。一方、野生トナカイのトラッキングルートに日周期性があることがわかってきたので、動物行動学的な適応に関わる研究を促進することが重要である。特に、北米と北欧との比較からシベリアの特徴、または本プロジェクトで新しく出てきた知見を抽出することが肝要である。

今年度はグループをまたぐ共通テーマ（特に、トナカイ牧民経済の環境変化への適応）に関してシステムダイナミクスモデルを応用した研究を取り入れた。今年度採用したデータは本プロジェクトで得られたものとは限らず文献から得たものがほとんどであった。今後は、可能な限り本プロジェクト主導の社会経済データを取得し、それらを取り入れた形でモデルを応用していく必要がある。

3) 春（解氷）洪水と夏洪水の災害環境学：

流域土壌水分量と積雪深に着目し、どのような場合に春（解氷）洪水が災害に結びつくのかを、水文気候学的解析と人類学的知見を照らし合わせて定量的に明らかにする必要がある。

FY2012 FR4 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 2013

平成 24 年度 FR4 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：2013 年 3 月

ISBN978-4-902325-86-7

ISBN978-4-902325-86-7

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 シベリアプロジェクト