

# 各研究プロジェクトの紹介



## Circulation 循環領域プログラム

### プログラム主幹 ■ 谷口真人

地球環境問題を循環というキーワードで考えると、どのような課題設定が可能になるのでしょうか。ここでは、大きく2つの概念に分けて整理してみます。1つは、言うまでもなく地球表層の物質・エネルギーの循環です。この場合、物質には水や大気そのもの、およびそこに含まれる化学成分や生物、さらにより広い概念で見ると、人間や、人間を取り巻く様々な社会経済活動に伴う商品なども含まれます。地球表層では基本的には太陽放射エネルギーや化石燃料エネルギーが形を変えながら物質の動きを引き起こしています。そのような物質の動きは、ある時空間スケールをとれば循環として捉えることができますが、より小さなスケールでは、流れとして捉えることとなります。地球環境問題において問題になるのは、これら物質の循環が急激に変化すること、一見循環しているように見えても、実際はもとに戻らない螺旋状の循環で予測が困難であること、そして、そのような変化に人間の文化、思想や行動が大きく関与していることにあります。

もう1つの概念としては、地球環境問題を人間と自然の相互作用の結果生じるものとして見る場合、その相互作用そのものを一種の循環と捉えるというものです。すなわち、人間社会における欲望や経済・産業・科学技術の発展の結果、人口の集中、エネルギー消費の増大や土地利用の変化が起こり、地球温暖化や水資源の枯渇、生物多様性の減少など、いわゆる自然環境の変化をもたらすこととなります。その自然環境の変化は我々の生活、文化、経済活動にフィードバックされ、人間社会に影響を及ぼします。そして、人間活動の変化は再び自然環境に影響を及ぼすことになるのです。このような一連の相互作用、フィードバックの過程も、ここでは、広い意味での地球環境問題における循環と見なすことが可能でしょう。

以上のような2つの概念の下に、地球研の研究プロジェクトが個々に孤立したのではなく、プログラムそして地球研という研究機関の下に有機的に結びついて成果が発信できるものと考えています。

プロジェクト区分	プロジェクトリーダー	テーマ
終了プロジェクト		
<b>C-01 (CR)</b>	早坂忠裕	大気中の物質循環に及ぼす人間活動の影響の解明
<b>C-02 (CR)</b>	鼎 信次郎	地球規模の水循環変動ならびに世界の水問題の実態と将来展望
<b>C-03 (CR2)</b>	福嶋義宏	近年の黄河の急激な水循環変化とその意味するもの
本研究		
<b>C-04 (FR5)</b>	白岩孝行	北東アジアの人間活動が北太平洋の生物生産に与える影響評価
<b>C-05 (FR4)</b>	谷口真人	都市の地下環境に残る人間活動の影響
<b>C-06 (FR3)</b>	川端善一郎	病原生物と人間の相互作用環
<b>C-07 (FR1)</b>	井上 元	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

# 近年の黄河の 急激な水循環変化と その意味するもの

黄河の河川水が何故1990年代に下流に達しなくなったのか、そしてその事態は環境へどのような影響をもたらしたのか、1980年代からも渤海への河川流量が低下した黄河を対象として、その原因と環境への影響を調査、解析したプロジェクトです。乾燥地灌漑による多量の河川水導入は特に黄河だけではなく、半乾燥地に集中して発生している問題ですが、こと黄河に関しては、黄土高原に発する土砂の河床堆積による洪水氾濫の危険性、渤海環境への影響などが焦点となります。古来、中国の黄河治水思想の変遷をたどりながら、現在の黄河問題を探ってきました。

プロジェクトリーダー ■ 福嶋義宏 鳥取環境大学 (総合地球環境学研究所 2008年3月迄)

## 研究の目的

日本のおよそ2倍の流域面積を有する中国の黄河で、その河川水が1年間の内226日間も渤海に達しないという現象が1997年に発生しました。原因が単に、取水量の増加と降水量の減少に因るものかどうかを調べるのが、本プロジェクトの第一の目的で、ついで、その結果が渤海にどのような影響を及ぼしたかを調べました。

## 得られた成果

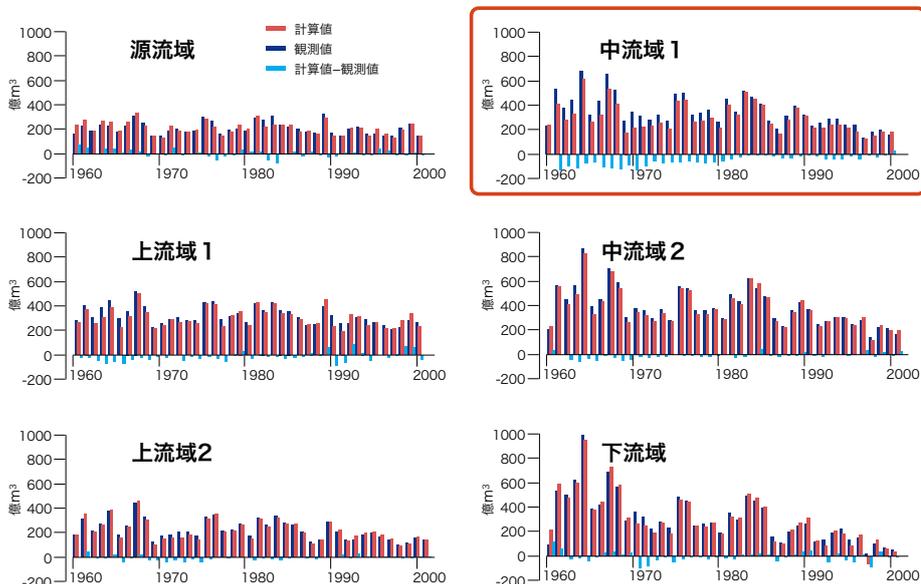
1997年だけでなく1990年代に急激に黄河流量が低下した原因には、まず黄河の中・下流域の年降水量の減少が影響しています。全般には灌漑取水量が70~80%と言われていたので、上流域にある広大な灌漑地による河川水使用量の解析を行いました。両灌漑地やその周辺域で取水され、そのまま農地から大気に戻る量は1960年から

2000年まで毎年100億トン程度で、ほとんど一定であることが、新規に作成した土地利用図と改良した水文モデルの算定でわかりました。しかし、黄河中流域の蒸発量が、最近では妥当な推測値を与えますが、40年前の1960年代では、観測流量の多いことが図の赤枠で囲った結果に示されています。左上図は源流域の結果ですが、草地ではこのような不一致は起こっていませんので、モデルの問題ではありません。黄土高原は1960年から1970年当時、はげ山に近い荒廃した状態だったようです。1950年代から、黄土高原域には「水土保持」と呼ばれる山腹植栽など土壌保全策が為されてきました。その効果があらわれてきて蒸発量が増え、逆に流出量が減少したものと推測されます。水高に換算すれば、わずかに年間40mm程度の増加ですが、中流部の流域面積は黄河流域の40%もあるので、流量減少としては年150億トンと多いのです。

さらに、花園口から下流では黄河の流水を取り入れた灌漑農地と都市域への送水で毎年130億トンを取水していますので、計380億トンの取水が為されています。中流部での流量減少が当初計画の想定外であったため、省ごとに割り当てられた取水可能量は上限を超えました。そのために、1970年代から徐々に「黄河断流」が増えてきたと考えられます。

黄河が流入する渤海では、図の右下のように流量減少によって、黄海との海水の交換量が減少し、基礎生物生産の制限条件が窒素からリンに変化してきました。また、植物プランクトンの指標であるクロロフィルaは黄河からの流入量減とともに低下傾向にあります。

図 モデルによる黄河流量の再現結果



# 北東アジアの人間活動が北太平洋の生物生産に与える影響評価

魚付林。岸边の森から流れ出す栄養分が沿岸に藻場を作り魚を育むことを指す言葉です。近年、アムール川流域が、オホーツク海や北部北太平洋親潮域の巨大な魚付林になっている可能性が浮かび上がってきました。アムール川からもたらされる溶存鉄が基礎になって、海の生き物をどう育てているか、また流域における人為的な土地改変が陸面からの溶存鉄流出にどう影響するかを総合的に解析し、変化の背景を探ることによって、陸と海の間での人や生物の健全な関係の構築を目指します。

プロジェクトリーダー ■ 白岩孝行 総合地球環境学研究所

コアメンバー ■ 植松光夫 東京大学海洋研究所

大島慶一郎 北海道大学低温科学研究所

大西健夫 総合地球環境学研究所

柿澤宏昭 北海道大学大学院農学研究院

岸 道郎 北海道大学大学院水産科学研究所

久万健志 北海道大学大学院水産科学研究所

近藤昭彦 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

柴田英昭 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

中塚 武 名古屋大学大学院環境学研究所

長尾誠也 金沢大学環日本海地域環境研究センター

花松泰倫 総合地球環境学研究所

春山成子 三重大学大学院生物資源学研究所

松田裕之 横浜国立大学大学院環境情報研究所

的場澄人 北海道大学低温科学研究所

楊 宗興 東京農工大学大学院共生科学技術研究所

## 研究の目的

日本には陸と海の生態学的つながりを意味する概念として「魚付林」という言葉があります。我々はアムール川流域からオホーツク海を経て親潮域に至る生態学的つながりの存在を提起し、これを「巨大魚付林」と名付けました。巨大魚付林には様々な機能がありますが、我々が注目するのはオホーツク海と親潮域の基礎生産を支える溶存鉄です。アムール川流域には、この溶存鉄を生成する広大な湿地と森林が広がり、オホーツク海には海水ができることによって駆動される鉛直の熱塩循環があります。これらの自然科学的な機構は、オホーツク海を南流して千島列島から太平洋へと海水を輸送する東サハリン海流と連携し、アムール

川流域起源の溶存鉄を広く親潮域へと輸送します。いわば、アムール川の陸域環境がオホーツク海や親潮域の命運を握っているといってもい

いでしょう。

アムール川流域はモンゴル、中国、そしてロシアによって占められ、そこには1億人を超す人々が暮らし、農業・林業・工業などに依存して生活しています。これらの活動は、様々な程度で土地利用の変化をもたらします。アムール川流域で生成される溶存鉄は、湿原と森林の存在に大きく依存しますので、湿原や森林の変化に関わる土地利用変化は、溶存鉄の生成量を変化させ、結果的に海洋の基礎生産にも影響を及ぼす可能性があります。

溶存鉄が輸送される仕組みを解明し、この驚異のメカニズムをいかにして維持し、将来にわたってオホーツク海や親潮域を持続可能な状態に保っていくかということ、巨大魚付林を共有する国々が協力できる方策の提言という形で実現することを、プロジェクトの目的としています。

## 主要な成果

2005年から2008年の4年間に実施した陸と海における鉄濃度観測により、アムール川流域からオホーツク海を経て親潮域に輸送される鉄の全容が見えてきました(図1)。アムール川は、毎年約10万トンの溶存鉄をオホーツク海に供給します。この大量の鉄は、アムール川の汽水域においてその大部分が凝集により海底に沈降してしまいます。オホーツク海の表面を輸送されるのは、残りのわずかな鉄のみですが、オホーツク海の植物プランクトンを養うには、十分な量となっています。一方、沈降した鉄は、大陸棚付近において海水の生成に伴って形成される底層水に取り込まれ、オホーツク海の中層を通過して千島列島にまで

図1 アムール川流域からオホーツク海と親潮域に至る鉄の年間輸送量(g/年)

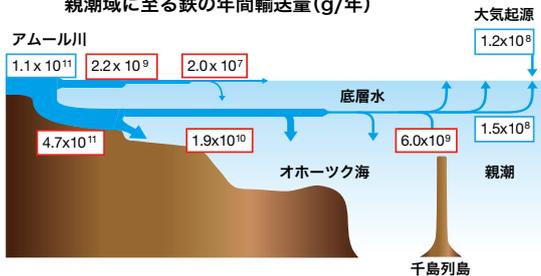


写真1 アムール川中流域の景観



図2 極東ロシアの木材輸出フロー(推定:2005年)

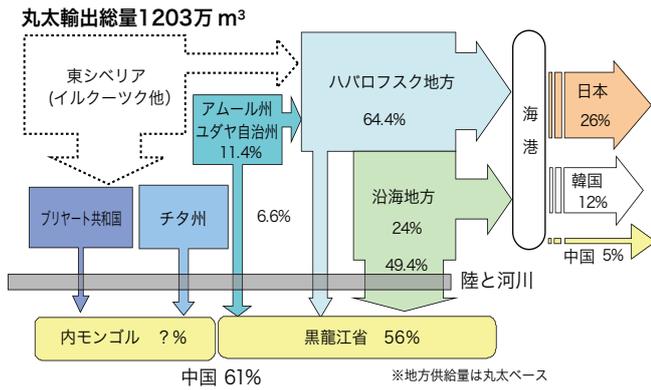


図3a 三江平原ナオリ川における溶存鉄濃度の時系列データ

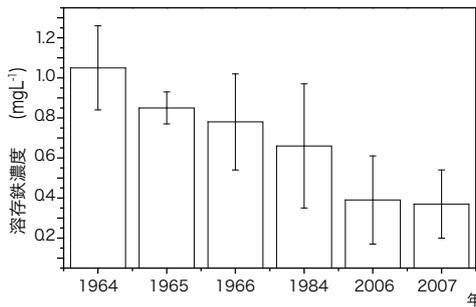
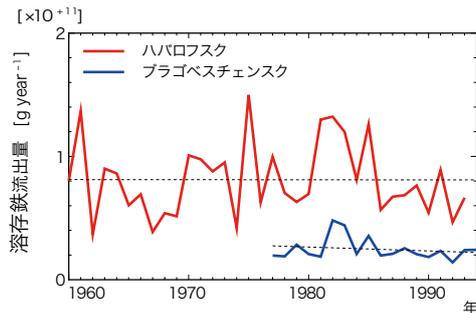


図3b アムール川本流の二地点における溶存鉄濃度の時系列データ

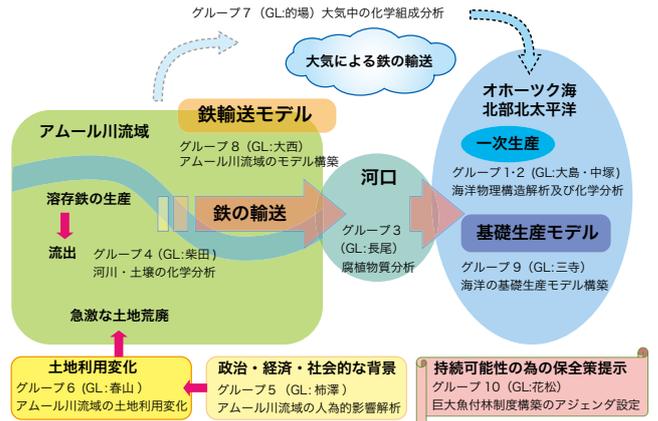


輸送されます。千島列島の狭い海峡部を通過する際、この中層の鉄は激しい潮汐混合によって海洋表層に輸送され、親潮域において植物プランクトンに利用されることになります。

このようにして、アムール川流域で生成された溶存鉄が実際に親潮域に輸送され、植物プランクトンの生育に利用されていることが実証されました。これは、内陸と外洋が溶存鉄を通じて生態学的に結びついていることを示した世界ではじめての研究です。

それでは、人為的な土地利用改変は、これらの溶存鉄の流出量に影響を与えているのでしょうか。20世紀の後半を通じ、アムール川流域では農業、林業、工業などが急激に進展しました(図2は林業の例です)。これらは溶存鉄を供給する湿原や森林の面積変化に顕著に現れています。さらに、中国の観測から、アムール川の支流規模の河川において、湿原を干拓し水田にすることにより溶存鉄が極端に減少する事例が見つかりました(図

図4 プロジェクトのグループ体制

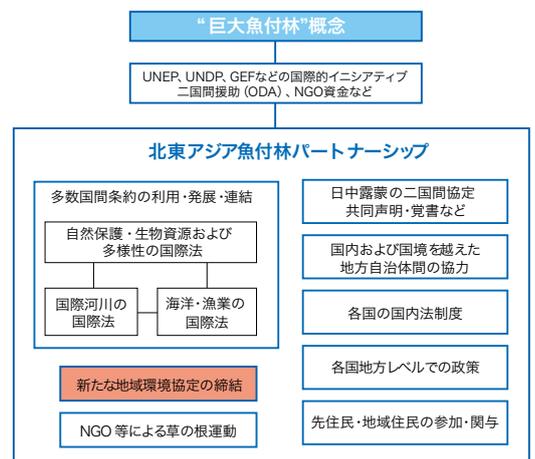


3a)。従って、土地利用変化が溶存鉄流出量に影響を与えることは明らかと言えます。一方、これらの支流が集まってくるアムール川本流においては、近年の顕著な溶存鉄流出量の減少は顕在化していません(図3b)。プロジェクトの最終年度である2009年度は、この原因を全力で究明していきたいと考えています。

### 今後の課題

本プロジェクトにより、アムール川流域とオホーツク海・親潮域という総面積にして1,000万km<sup>2</sup>におよぶ壮大な巨大魚付林システムが存在することが実証されました。このシステムに依存して暮らしている人々の利害関係は複雑で、国境を越えたこのシステムの保全は一筋縄ではいきません。我々は、「巨大魚付林パートナーシップ」(図5)という考えのもと、既存の法体系や制度を生かしつつ、不足する制度を提案しながら、いかにしてこの自然の大いなるシステムを持続可能な状態で次世代に引き継ぐかを最終年度である2009年の最重要課題としています。

図5 巨大魚付林の保全のための法的枠組



# 都市の地下環境 に残る人間活動 の影響

このプロジェクトでは、現在および将来の人間社会にとって重要であるがまだ評価されていない「地下環境」に与える人間活動の影響を、特に人口の増加・集中及び地下利用の増大が激しいアジア沿岸都市において評価します。様々な地下の環境問題が、都市の発達程度に応じて、アジアの各都市で時間遅れを伴って次々と発生していることから、都市の発達段階と地盤沈下・地下水汚染・地下熱汚染など様々な地下環境問題との関係を明らかにし、地上と地下の環境を統合することによって、将来の発展と人間の幸せのために、地下環境との賢明な付き合い方・共存のありかたについて提言します。

プロジェクトリーダー ■ 谷口真人 総合地球環境学研究所  
 コアメンバー ■ 吉越昭久 立命館大学文学部  
 山野 誠 東京大学地震研究所  
 福田洋一 京都大学大学院理学研究科

金子慎治 広島大学大学院国際協力研究科  
 嶋田 純 熊本大学大学院自然科学研究科  
 小野寺真一 広島大学大学院総合科学研究科

中野孝教 総合地球環境学研究所  
 遠藤崇浩 総合地球環境学研究所

## 研究の目的

これまで扱われてきた地球環境問題は、主に地表より上の問題のみを対象としてきました。これに対して地下の環境問題は、現在及び将来の人間社会にとって重要であるにもかかわらず、目に見えにくく評価しにくい現象であるため、長い間放置され続けてきました。地上と地下の環境は繋がっているにもかかわらず分断されてきたのが実情です。

地盤沈下・地下水汚染・地下熱汚染などの地下の環境問題は、都市の発達程度に応じて、アジアの各都市で時間遅れを伴って次々と発生しています。したがって、アジア地域沿海の都市発展過程のドライビングフォースと典型的な段階、地下環境問題と経済成長との関係を明らかにすることができれば、将来の発展と人間の幸せのために、地上の環境とリンクした地下環境と地下水の持続可能な利用に

様々な地下環境問題との関係について、社会経済的指標による解析と、歴史資料を用いた都市と水環境の復原により明らかにします。

- (2) 水文地球化学データと重力観測によって、地下水流動と地下水貯留量の変動を明らかにし、可能涵養量を評価することによって持続可能地下水利用量を評価します。
- (3) 地中水と堆積物中の水文化学・同位体分析とトレーサビリティによって、地下環境の蓄積汚染量の評価と、地下水流動による物質輸送を含めた

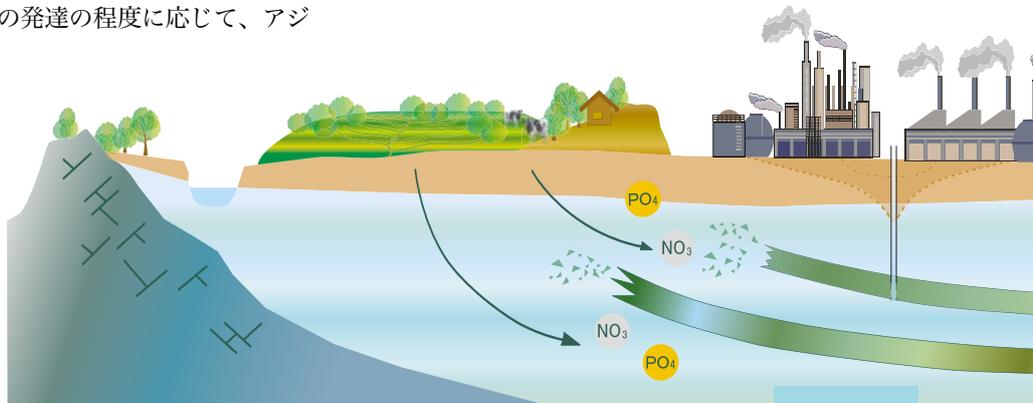
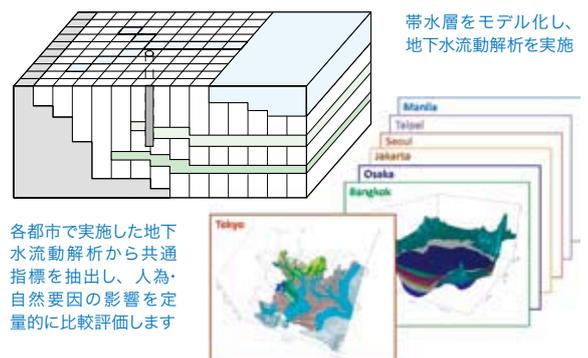


図2 Cross Cutting 統合モデル

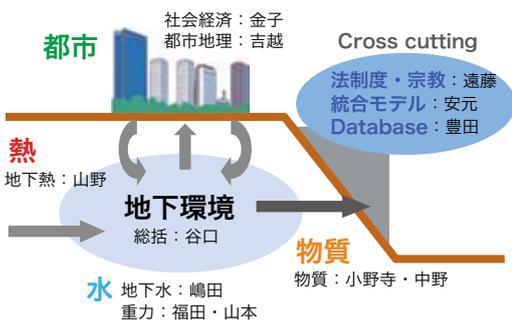
観測・収集データを統合するためのモデルワーキンググループ(モデルWG)を立ち上げ、7都市比較の枠組みと地下水流動モデルの共通指標を決定



帯水層をモデル化し、地下水流動解析を実施

各都市で実施した地下水流動解析から共通指標を抽出し、人為・自然要因の影響を定量的に比較評価します

図1 各班構成図



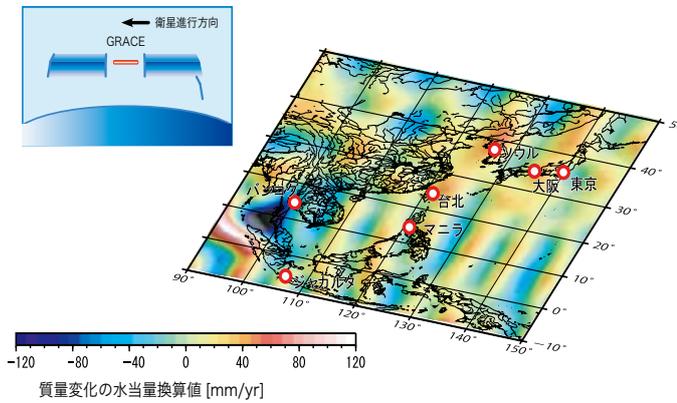
についてのシナリオを提言することができます。

本プロジェクトでは、以下の4つのサブテーマ・研究方法に基づいて研究を進めます。

- (1) 都市の発達段階と

図3 重力班 GRACE

GRACE衛星から観測された質量変動の経年変化(2002-2008年)  
陸域の質量変化は地下水を含む陸水の総貯留量の変化を示しています。  
空間分解能は約300-400 km。左端の大きな正負のシグナルは、スマトラアンダマン地震にともなう固体地球の質量変化。海洋域に見られる縦方向の縞は主に GRACEのデータ処理に伴う系統誤差によるものです



沿岸域への汚染物質負荷の評価を行います。  
(4) 孔内地下水温度の逆解析を用いた地表面温度履歴の復原と気象データを用いて、温暖化と都市化に伴うヒートアイランド現象による地下熱汚染について評価します。

これまでの主な研究成果

- 野外共同観測と現地データ収集調査を行い、都市の発達段階に応じた地下環境モニタリングを7都市で継続中です。
- 地下環境に関する自然・社会環境データのアセスメントと、GISを基

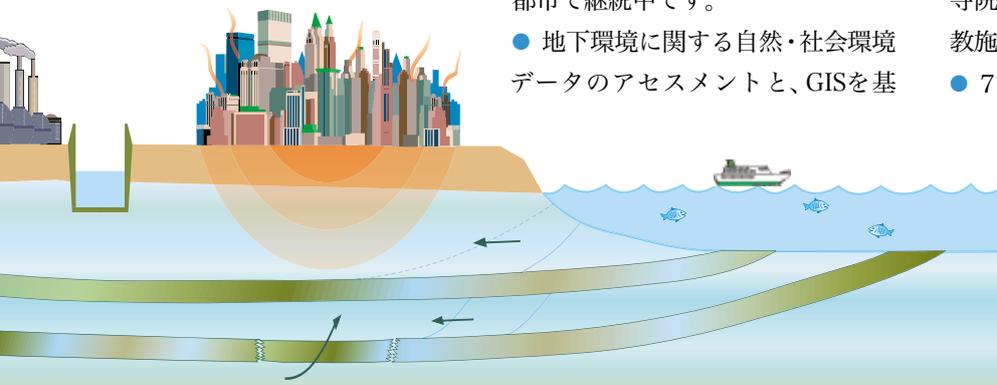


図4 Cross Cutting 法制度・宗教

地下水関連法の拡充と水源転換…地下水の過剰揚水が地表水への水源切り替えを促す構図が大阪に続きバンコクでも現れました。過剰揚水の防止にあたっては、単なる規制ではなく地表水による代替水源の提供が有効になる点が読み取れます

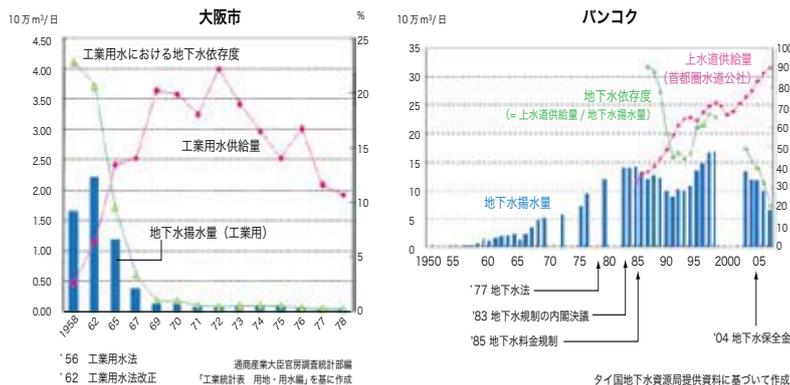
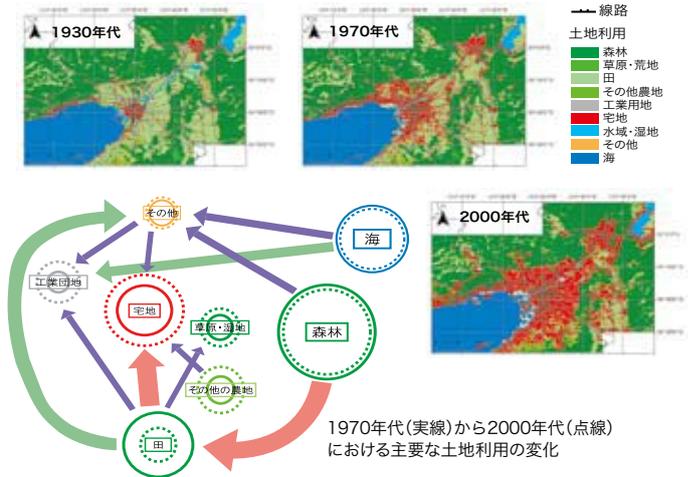


図5 Cross Cutting GIS-WG

大阪における土地利用の変化(1930年代、1970年代、2000年代)  
中心市街地へのアクセスが良い線路沿いに宅地が広がっていく様子が見て取れます



にしたデータベースの構築を継続し、アジア7都市の3時代区分(1930年、1970年、2000年)の土地利用図を0.5kmメッシュで完成させました。

- GRAPHICやGWSP、IAHSなどの国際機関と連携し、気候変動・人間活動の地下水資源への影響評価を行いました。また国際シンポジウムHydrChnage2008を開催し、源流域から海までの統合水管理に関する本(論文集)を出版しました。
- 宗教と地下水に関する調査をバンコクで行い、寺院の存在と地下水流出の関係、標高・土壌と宗教施設との関係を確認しました。
- 7都市地下環境比較モデルの構築を開始し、各班サブテーマとの統合を継続しました。
- 国際学術誌 STOTEN (Science of the Total Environment, Elsevier)の特集号として、プロジェクト成果の一部を公表しました。

今後の課題について

- サブテーマ間のクロスカッティングとして、法・制度と地表水(公水)・地下水(私水)問題をテーマに調査を行い、ドキュメント年表と実測データの統合を行います。
- 統合モデルによるクロスカッティングを継続し、地下水貯留変動を決める要因を明らかにするとともに、社会経済・水資源・環境負荷・対策/政策に関する地下環境統合指標の確立を行います。
- 地下環境変化を決定する要因としての土地利用・被覆の3時代7都市GISデータを用いて、地下水涵養量・地下熱貯留量・地下汚染要因としての物質負荷量の変動解析を行います。

# 病原生物と人間の相互作用環

近年の新たな感染症の拡大は、直接的あるいは間接的に人間生活の脅威となっています。本プロジェクトでは、『人間による環境変化—感染症の発生・拡大—人間生活の変化』の相互作用環を明らかにすることを目的としています。プロジェクトの成果を踏まえて、感染症の発生と拡大を防ぐ環境と、人間と病原生物との共存の在り方を提案することを目指します。

プロジェクトリーダー ■ 川端善一郎 総合地球環境学研究所

コアメンバー ■ 浅野耕太 京都大学大学院人間・環境学研究所

板山朋聡 国立環境研究所

大森浩二 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

奥田 昇 京都市大学生態学研究所

梯 正之 広島大学大学院保健学研究科

孔 南海 中国上海交通大学・環境科学与工程学院

呉 徳意 中国上海交通大学・環境科学与工程学院

那須正夫 大阪大学大学院薬学研究科

松井一彰 近畿大学理工学部

松岡正富 滋賀県朝日漁業協同組合

源 利文 総合地球環境学研究所

## 研究目的

ヒトや家畜や野生生物の感染症の拡大は人間を直接死に至らしめるだけでなく、経済的損失や生態系の崩壊を引き起こす可能性があり、人類が直面するきわめて深刻な地球環境問題です。感染症の拡大を未然に防ぐためには、発症の病理的メカニズムを解明するだけでなく、病原生物を生み出す背景としての人間と環境の相互作用環の理解が不可欠です。

本プロジェクトでは、病原生物を生み出し感染症が拡大する背景を明らかにし、感染症拡大のリスクを抑えた人間と病原生物とのかかわり方について提言することを目指しています。

## 研究内容と主な成果

本プロジェクトでは、1998年から急速に世界中へ拡大したコイヘルペスウイルス (KHV) 感染症を研究材料として、病原生物と人間との相互作用環の構造を明らかにし (図1)、これをモデルとして他の感染症への応用を図ります (図2)。

調査は琵琶湖全域と中国雲南省洱海 (Erhai) で行

います。研究体制は、以下のように研究グループ5班および統括班からなります。

●1班 (人間による環境変化班) 人間による環境変化のうち、富栄養化、水辺環境変化、生物多様性の低下および食物網の変化を取り上げ、これらの相互関係を実験的に明らかにする。

●2班 (病原生物・宿主生態班) 病原生物であるKHVと宿主であるコイ (*Cyprinus carpio carpio*) の動態と、これらに係る環境要因を明らかにする。

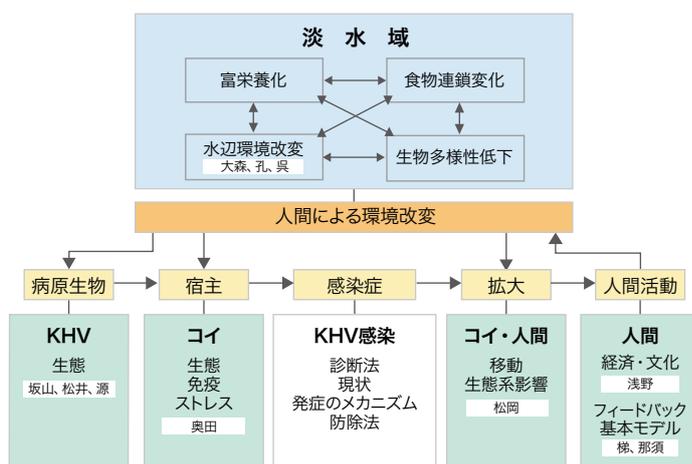
●3班 (感染経路・生態系影響班) KHV感染症伝播の経路と機構およびコイが消失した場合の生態系影響を明らかにする。

●4班 (経済・文化班) KHV感染症が起きた場合の経済的、生態的および文化的資源価値の消失とその代償的価値の創出過程を明らかにする。

●5班 (フィードバック班) 「病原生物 KHVと人間の相互作用環」の数値モデルを構築し、経済・文化の変化がさらなる環境変化に与える影響を明らかにする。

●総括班 各研究班の研究課題の関連性を検討し、調整する。「KHVと人間の相互作用環」モデルを他の感染症へ適用する。

図1 病原生物と人間の相互作用環



■は、未知な点が多い研究領域

2008年度までの主な成果は以下のとおりです。

- 琵琶湖におけるコイの生息環境としての内湖に注目し、6つの内湖の地形、底質、水質を調査した。その結果、多様な水域環境が存在することが明らかになった。これらの環境の違いがコイの行動の違いに影響を与えることが示唆された。またコイが琵琶湖の内湖間を移動すると仮定すると、内湖間の連結の分断化がコイにより強いストレスを与え、かつKHVの伝播速度が速くなるのが数値モデルにより予測できた。
- 中国雲南省洱海 (Erhai) において共同研究者と

写真 コイ料理



コイは貴重な食糧。コイ料理は貴重な文化

図2 『人間による環境改変-感染症の発生・拡大-人間生活の変化』の相互作用環解明に向けた各研究レベルのつながり

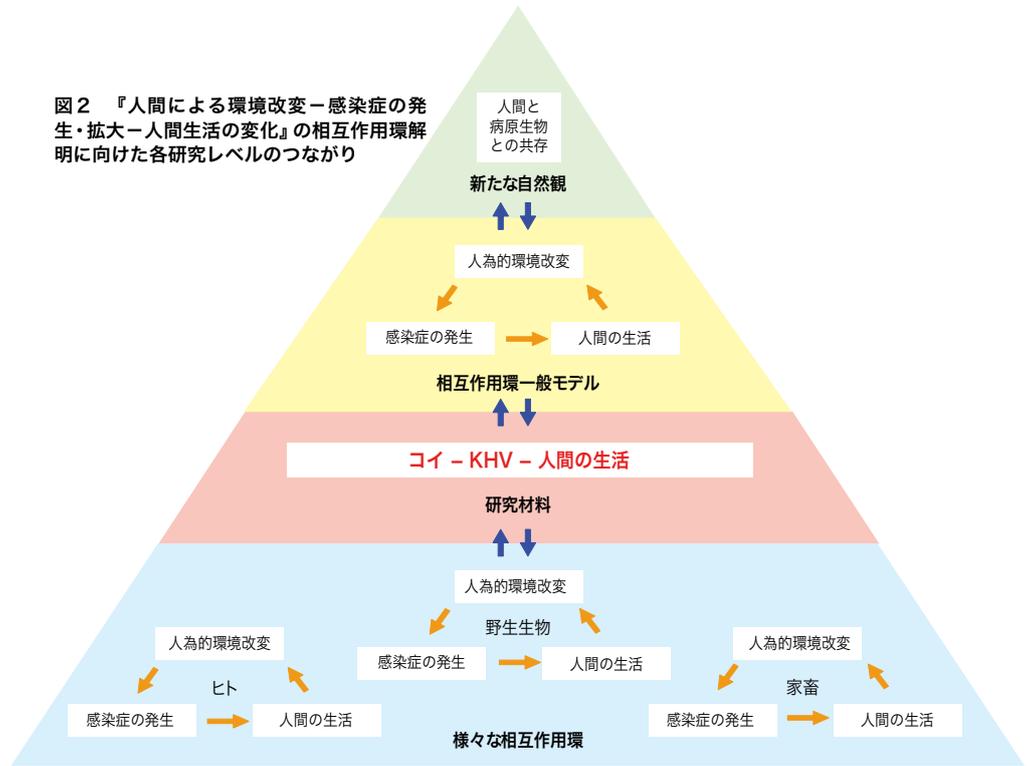
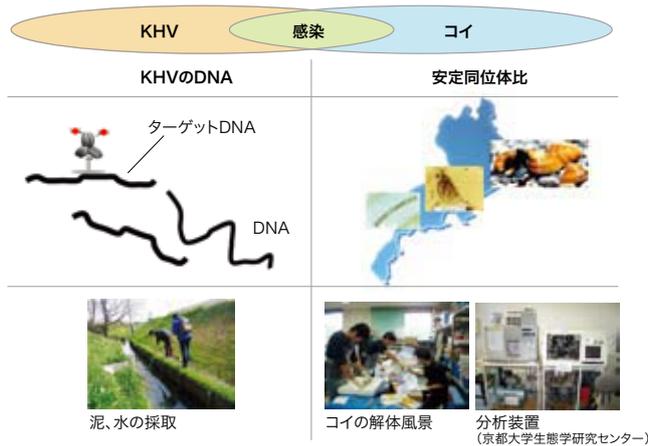


図3 感染症が起こる場所を知るためのKHVの分布とコイの行動範囲調査



予備調査を行った。

- 3) 湖水からのKHVの検出方法を世界で最初に確立した。
- 4) 琵琶湖全域7箇所からコイを捕獲し、各種安定同位体比を測定することによってコイの行動範囲を知ることができるかどうかを検討した(図3)。
- 5) コイへの水温ストレスの影響を知るために、水中のストレス物質コルチゾールの測定法を確立した。水温を制御した水槽実験を行った。
- 6) コイのKHV感染歴を知るために、コイの血液を採取し、抗体価を測定した。さらにコイの各組織からのKHVの検出を行った。
- 7) コイが消えたら人間にどのような影響を与えるかを知るための研究を開始した。
- 8) KHV感染症が他の感染症のモデルになるかどうかを知るために、他の感染症の研究チームとの情報交換を行った。

- 9) 「人間による環境改変-感染症の発生・拡大-人間生活の変化」の相互作用環を解明するために、各研究班をつなぐための研究項目を整理した。

### 今後の取り組み(2009年度)

- 1) テレメトリーを用いてコイの行動を明らかにする。
- 2) KHV感染履歴となるKHV抗体の有無別にコイの行動を明らかにし、どのような場所で感染が起きやすいかを明らかにする。
- 3) 琵琶湖においてKHVの分布と活性を明らかにする。
- 4) KHVとコイの存在場所が一致する環境特性を明らかにする。
- 5) 環境要因とストレスの関係を実験的に明らかにする。
- 6) コイの消失の経済的・文化的影響を評価する。
- 7) KHVと人間の相互作用環の骨格モデルを作る。
- 8) 他の感染症の事例を人間との相互作用から解析する。
- 9) 中国雲南省洱海(Erhai)の環境調査を行う。
- 10) コイの食料資源としての価値を評価する。
- 11) DIVERSITAS(生物多様性科学国際共同研究計画)との研究を強める。
- 12) 病原生物と人間の相互作用環の実証研究を推進する。
- 13) 自然環境水中のKHVの量と活性を迅速・簡便に測定できる方法を開発する。
- 14) KHVの現在量に関わる要因を明らかにする。
- 15) 病原生物と人間の共存のあり方を検討する。

# 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

シベリアは温暖化が最も顕著に進行する地域で、すでに洪水の多発、生態系の脆弱化、凍結環境の変化など、多くの変化が起きています。そのため、本プロジェクトではシベリアの水・炭素循環の特徴、都市から農村までの社会的な変動とその適応性を主な対象に国際共同研究を推進します。

プロジェクトリーダー ■ 井上 元 総合地球環境学研究所

コアメンバー ■ 山口 靖 名古屋大学大学院環境学研究所

佐々井崇博 名古屋大学大学院環境学研究所

太田岳史 名古屋大学大学院生命農学研究所

檜山哲哉 名古屋大学地球水循環研究センター

高倉浩樹 東北大学東北アジア研究センター

奥村 誠 東北大学東北アジア研究センター

## 研究の目的

本プロジェクトの目的は、温暖化によるシベリアでの炭素・水循環の変化を把握して、その変化が社会文化に与える影響とそのメカニズムを明らかにすることです。高緯度で内陸にあるシベリアは世界で最も早期に大幅な温暖化が進行すると予測されています。既に気温やエネルギー・水循環の変化を引き金とする雪氷・植生・気候の大きな変化（洪水の多発、森林の衰退、凍結環境の変化など）が始まっています。また、温暖化が二酸化炭素やメタンなど温室効果ガス収支を大きく変化させるだけでなく、森林火災やガスパイプラインによる大規模な二酸化炭素・メタン放出といった人為的イベントも増えています。寒冷・少雨の気候に順応した自然はそのような変化に対して脆弱であると考えられますが、シベリアに暮らす少数民族や都市住民の環境変化に対する適応性や防御能力などはよくわかっていないのが現状です。ロシアは、社会主義的近代化をへて北極圏・亜北極圏の他地域とは異なる独自の社会

システムを構築しており、社会構造、歴史、文化との関係でこれらを明らかにします。

を有しており、現在も炭素吸収を続けていると考えられていますが、その現状を明らかにし、将来を予測することが必要です。そのため地表の植生から推定するボトムアップの方法と、大気濃度観測から推定するトップダウンの方法を合わせて実施します。ボトムアップとしては、衛星による地表スペクトルデータ(ASTER, MODIS等)を用いて、シベリア地域の土地被覆変化の解析、陸域生物圏モデル(BEAMS)による炭素・エネルギー収支解析など、生態系・炭素収支変化を明らかにします。トップダウンとしては、世界で初めての温室効果ガス観測衛星である「いぶき」が明らかにする大気中の二酸化炭素やメタン濃度分布から、地表での炭素収支の分布を明らかにします。特に、シベリアの南北、東西の収支の違いに着目し、ボトムアップの方式と比較検討します。また、衛星データから森林火災や天然ガス漏洩などの点発生源の発生量を見積もる新しい試みも実施します。PRではそのための準備を行いました。

上記の課題に加えて、シベリアで多発している洪水・森林の脆弱化・トナカイの食物環境の変化などについて、どこで、いつ、どのような規模で起こっているかを、衛星データから明らかにします。

## ● G2: 水循環—生態系相互作用プロセス研究グループ

北極海の結水面積は気候変動予測をはるかに超えて急激に減少しており、将来は北極海からの蒸発が冬季にも続きシベリアの降水が増加すると考えられています。土壌水分環境と生態系との関係を明らかにするため、年輪の炭素同位体分析や年輪からの生長量解析を行い、過去の水環境を復元し、それと樹木の成長との関係を明らかにする研究を行っています。2008年度はツンドラ地帯(部分的には森林もある)である Chokurdakhで試料を採取

## 研究内容と主要な成果

研究の対象地域は、レナ河流域を中心とした東シベリアです。この地域の特徴は、寒冷気候のため温暖化の影響が非常に大きいこと、少雨気候ながら森林が凍土との共生のなかでかろうじて存在するような特異な生態系を持つことです。

## ● G1: シベリア広域グループ

シベリアは世界有数の炭素蓄積

写真1 レナ川の洪水で水没した民家



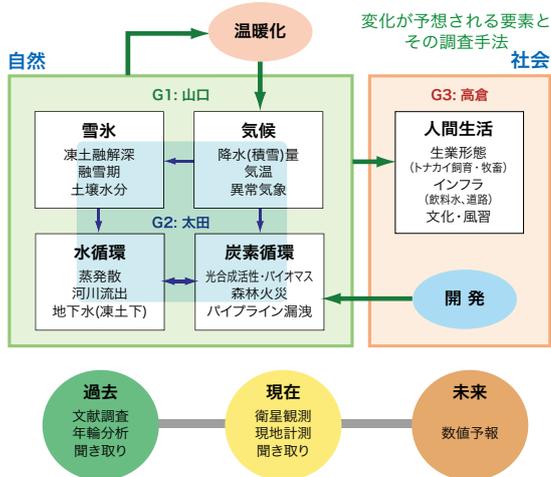
写真2 過度の湿潤化で衰退した森林



図1 シベリアでのこれまでの調査地点



図2 本研究プロジェクトの流れ



シベリアで急激に進行する温暖化と開発が、水環境(雪氷・永久凍土を含む)や生態系(温室効果ガス収支を含む)の変化を通じて、都市と農村の先住民族を含む人々に大きな影響を与えることが懸念されます。衛星や地上での調査や観測、先住民族の歴史や文化などの研究を通じて、これらの関係を明らかにします

を開発し、秋・冬・春の観測値との一致が大幅に改善しました。貯留水がどのようなメカニズムでどこに存在するかは分かっていません。それを明らかにする研究を検討中です。

● G3: 人間生態グループ

シベリアの生活は凍結環境に適応して営まれています。温暖化によりそれが変化しつつあると思われ。現地調査により既に飲料水・薪などの確保や放牧地の草生育、牛馬飼育・狩猟などの生業活動が影響を受けていることがわかりました。中でもトナカイの生育環境の劣化による狩猟、牧畜等の生業活動へのインパクトは大きいと考えられます。すでに市場経済化という社会システムの大きな変化と、洪水や解氷時期の変化によるトナカイの遊牧ルートの遮断や食物の減少など自然の変化により、遊牧・野生トナカイは激減していることがわかりました。農村を訪問しての聞き取り調査や、テレメトリーシステムと行動学調査に基づく野生トナカイの生態と行動変化を調査し、その原因を明らかにします。

このような温暖化やロシアの社会システムの変化は、人や地域社会に大きなインパクトを与えて

しました。

将来の多雨環境下での水循環予測も視野に、水蒸気・二酸化炭素・エネルギー収支をモニタリングするタワー観測を、既存のヤクーツク近郊に加え、新たに年間降水量がヤクーツクの約1.5倍のウスティマヤで開始することを決めました。また、永久凍土の融解層となる表層土壌のみを考慮した流出モデルでは、特に冬季の流水量が実際より小さく予測されます。そこで、貯留水と河川水の凍結を考慮したモデル

います。その大きさは、経済発展の段階、社会的な吸収能力、それを支える社会文化に強く依存します。特に社会文化的な要素はグローバルな気候影響予測モデルに反映できないこともあり軽視されていますが、その重要性を指摘できると期待されます。具体的には、都市と農村における自然環境や社会システムの変化に対する応答を現地調査するとともに、環境変動に対する住民の認識を在来知や社会運動、現地行政の対応をふくめて収集することで、現地において何が自然災害とされるか、つまり何が異常域とされるのかを解明できると考えています。また民族間の差異が、地域住民の温暖化への評価にどう影響するかを考察し、環境変動を地域の民族・社会階層の視点から分析します。こうして、自然の外力が現地の文脈においていかなるレベルで「災害」となるか解明できると考えています。

今後の課題

2007-08年度の現地調査により、レナ川の流氷が積みあがってできた堰堤が洪水を引き起こしていること、アラースと呼ばれる池の水位が上がりトナカイの生育環境が悪化していることがわかりました。それらが、河川の凍結・解氷プロセス、積雪の融解速度、永久凍土の融解などの変化とどのように関連しているかを明らかにすることと、その社会影響を調査する必要があります。

その基礎資料としてレナ川流域の水循環のメカニズムを明らかにする基礎的観測研究が重要で、年輪解析、フラックスタワーによる観測、地下貯留水の解明、凍結河川の研究などを引き続き実施します。また、衛星画像データから洪水の規模や時期などを明らかにし、トナカイの動態調査結果と併せて、洪水のインパクト評価の研究を開始します。

脆弱なシベリアの自然における人間の柔軟・適応的な社会と文化システムの仕組みを解明し、その適応性の限界域を明らかにするための現地調査を引き続き行います。特に、氷結水環境と都市や農村の生活との関係を明らかにする調査、トナカイ飼育量の変化やその原因を明らかにする調査を本格化します。

「いぶき」の打ち上げ成功により、大気中の二酸化炭素やメタンの濃度分布データが取得できるようになります。このデータを使ったメタンの収支解析や森林火災など点発生源の強度見積りの研究を開始します。