



# Circulation Program

## 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。

終了プロジェクト	プロジェクトリーダー	テーマ
<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 (CR)</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
<b>C-04 (CR1)</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
本研究	プロジェクトリーダー	テーマ
<b>C-05 (FR5)</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 (FR4)</b>	川端善一郎	病原生物と人間の相互作用環
<b>C-07 (FR2)</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
<b>C-08 (FR1)</b>	村松 伸	メガシティが地球環境に及ぼすインパクト ——そのメカニズム解明と未来可能性に向けた都市圏モデルの提案

# 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。岸辺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変化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めざします。

■プロジェクトリーダー 白岩孝行 北海道大学低温科学研究所 (総合地球環境学研究所 2010年3月迄)

## 何がどこまで分かったか

日本の北に広がるオホーツク海と親潮は、世界的にみても突出して植物プランクトンの生産量の多い海域です。我々は、その理由をアムール川流域に起源を持つ鉄に求めました。鉄は、植物プランクトンの生育に必須の元素であるものの、水に溶けにくいいため、外洋では枯渇しがちです。しかし、海水生成に起因する熱塩循環によって、アムール川が輸送した鉄が中層を通じてオホーツク海および遠く親潮まで効率的に輸送されている可能性に着目しました。アムール川流域に広がる森林地帯や湿原を鉄の供給地と考え、五年間に及ぶ陸と海でのフィールド観測からこの作業仮説を立証することに力を注ぎました。その結果、親潮域で年間に生産される植物プランクトンの約40%がアムール川起源の鉄を利用しており、残りの60%は微生物ループを通じて再生産される鉄を利用していることが判明しました。また、アムール川流域においては、中流域に存在する広大な湿原が主たる鉄の供給地であり、森林や耕作地に比べて圧倒的に高濃度の鉄をアムール川に供給していることもわかりました。一方、鉄の起源である中流域の湿原は、20世紀を通じた干拓と農地の拡大に伴い、大きく面積を減じてきました。1930年と2000年のアムール川流域の土地利用状況を古地図と衛星データによって復元し、それぞれの時代の鉄の輸送量を陸面水文モデルで計算した結果、この70年間に湿原はおおよそ50%減少し、アムール川が輸送する鉄は20%減ったことが推定されました。更なる湿原や森林の減少は、アムール川が輸送する鉄の減少、そしてオホーツク海や親潮域の基礎生産量の減少につながります。アムール川流域で生じている土地利用変化の背景を理解して、この問題に関わる様々なステークホルダーが共通の土台で議論する必要性がプロジェクトを通して各国の研究者の間で育まれてきました。

## 地球環境学に対する貢献

アムール川流域という大陸スケールの陸面環境が、オホーツク海や親潮の“魚付林”として機能していることを世界で初めて解明し、新しい物質循環・生態系連環システムの創出を行ったことが本プロジェクトの地球環境学に対する最大の貢献です。システムに存在する顔の見えないステークホルダーの間において、新しく構築した“巨大魚付林”とでも呼ぶべきシステムを共有の概念とすべく、認識共同体としてのアムール・オホーツクコンソーシアムの設立にも本プロジェクトが大きな役割を果たしました。

## 成果の発信

日本、中国、ロシアの市民に向けて、巨大魚付林の概要を紹介するための写真冊子の作成を国内の行政機関と共に行いました。また、中国黒龍江省やロシア極東地域の行政機関との連携も活発に推進して、劣化しつつある巨大魚付林の保全に向けて、国境や行政界を越えて連携する必要性を訴えました。

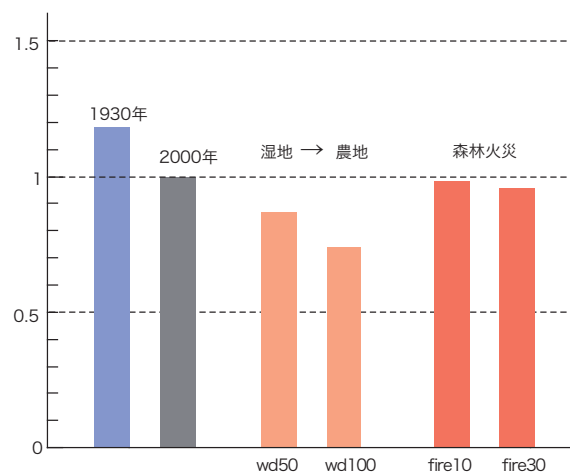


図 数値シミュレーションによる、1930年代におけるアムール川の鉄輸送量の見積り

値は2000年の値に対する比で示しました。将来、アムール川の湿原が50%および100%減少する場合(図中のwd50とwd100)、森林の10%と30%が森林火災によって焼失した場合(図中のfire10とfire30)の鉄輸送量の計算結果も示しました

# 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を、地上と地下の環境を統合することによって明らかにし、地下環境を地上の気候変動や人間活動に対する「適応・代替・回復」力と捉え、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教授  
専門は水文学。人と水のつながりを紐解く研究に従事。ユネスコプロジェクト「気候変動と人間活動の圧力下での地下水資源管理」代表。国際地下水委員会副代表。

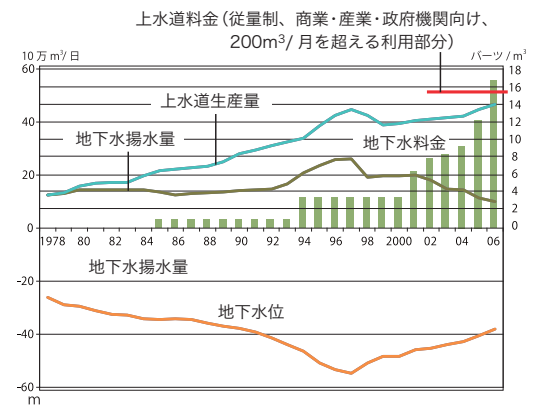
**コアメンバー**  
**吉越昭久** 立命館大学文学部  
**山野 誠** 東京大学地震研究所  
**福田洋一** 京都大学大学院理学研究科  
**金子慎治** 広島大学大学院国際協力研究科

**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** 筑波大学大学院生命環境科学研究科

## 地下環境問題とは

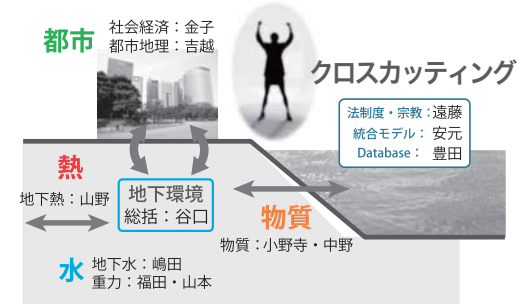
これまで扱われてきた地球環境問題は、大気汚染・地球温暖化・海洋汚染・生物多様性の減少など、地表より上の問題のみを主に対象としてきました。これに対して地下の環境問題は、現在及び将来の人間社会にとって非常に重要であるにもかかわらず、目に見えにくく評価しにくい現象であるため、長い間放置され続けてきました。地上と地下の環境は繋がっているにもかかわらず分断されてきたのが実情です。過剰揚水による地盤沈下・地下水汚染・地下熱汚染などの地下の環境問題は、都市の発達に応じて、アジアの各都市で時間遅れを伴って次々と

発生しています。したがって、アジア沿海都市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により、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ついてのシナリオを提言することができます。その際、将来の発展と人間の幸せのために、社会制度・宗教などの地域の叡智や社会・文化の多様性と、最新の技術による問題解決の両者の観点から問題を俯瞰します。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。



**図1 クロスカッティング 法制度**  
バンコクは1970年代後半から地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下に見舞われましたが、上水道網を整備し、地下水料金を上水道料金より高く引き上げたことで、沈下の鎮静化に成功しました

- ①都市の発達段階と様々な地下環境問題との関係を、社会経済学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元により明らかにします。
- ②水文地球化学データと現地及び衛星 GRACEを用いた重力観測によって、地下水流動系と地下水貯留量の変動を明らかにし、可能地下水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沿岸域への汚染物質負荷を評価します。
- 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元と気象データを用いて、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。



**図2 各班構成図**

## 統合指標と地下水モデルによる過去100年の地下環境変化

①変化する社会と環境に関する15指標を過去100年にわたって7都市で構築し、自然の許容量に関する指標と合わせて、地下環境に関する統合指標を完成させました。また、GISを基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



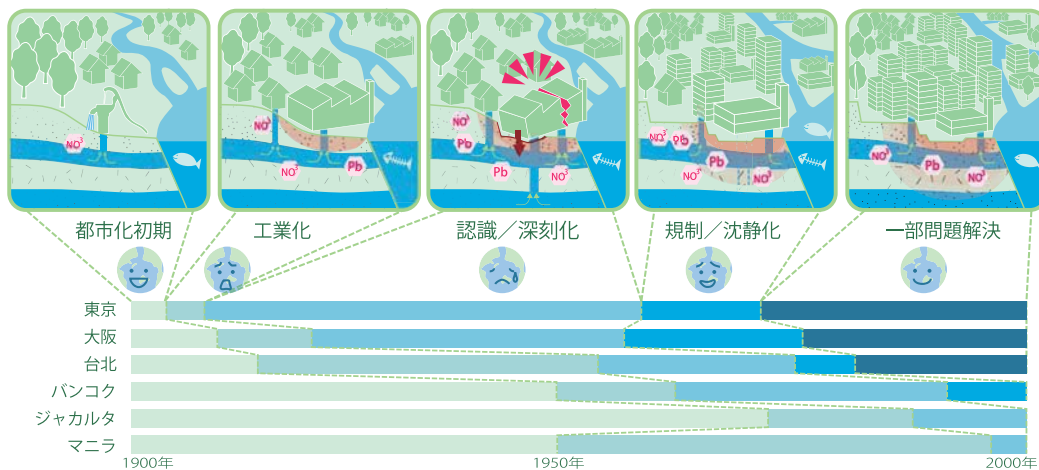


図3 都市の発展ステージモデル

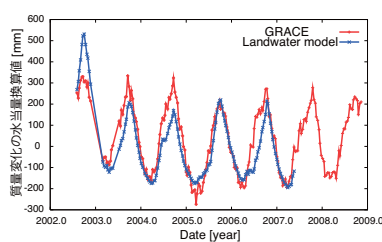
7都市の発展と地下環境への影響を定量的に評価するため、観測・収集データを統合し、共通した指標・分析方法を用いて比較分析を行います。左図は東京を基準にした地盤沈下問題に対するステージを表します

(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。

- ②東京・大阪・バンコク・ジャカルタにおいて地下水詳細モデルを構築し、涵養域の変動や水収支などを明らかにしました。また地下水貯留量変動評価のための衛星 GRACEモデルのダウンスケールと流域モデルの比較を行いました。
- ③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明らかにしました。また、都市の発展段階を5つのステージに分け、後発の利益と地下水涵養量/貯留量等の自然許容量を加味した統合モデルを構築しました。
- ④ IAHS/IAH国際会議でプロジェクト研究成果を発表し、IAHSPressから出版の“Trends and sustainability of groundwater in highly stressed aquifers”などに成果を公表しました。また第3回地下環境プロジェクト国際シンポジウム(台湾)を開催し、プロジェクトの成果統合を行いました。この内容は“Human impacts on urban subsurface environment”として Springerから出版予定です。

### 後発の利益と自然許容量に基づいた提言メニューの構築

- ①成果公表に向けて、データベースのプラットフォームを構築するとともに、法・制度と地表水(公水)・地下水(私水)問題を中心に、将来の地下環境のあるべき姿に関する提言メニューの構築をめざします。
- ②統合モデル・社会経済指標・土地利用/被覆 GISデータによるクロスカッティングを継続し、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うとともに、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。
- ③アジアでのプロジェクト研究成果を、国際機関プロジェクト(ユネスコ GRAPHICなど)をとおして発信し、問題解決のための国際対応へとつながる枠組みを模索します。



(上) GRACE衛星から観測されたチャオプラヤ川流域の質量の時系列変化(流域平均値)と陸水モデルとの比較。両者は良い相関を示しているのがわかります

(右) GRACE衛星から観測された質量の経年変化トレンド(2002-2009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。チャオプラヤ川下流域のバンコク周辺で質量が減少しているのがわかります。左端の大きな正負のシグナルは、スマトラアングラン地震に伴う固体地球の質量変化です

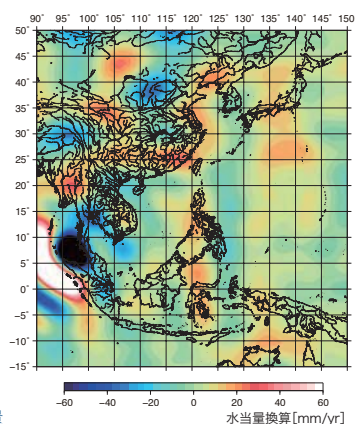
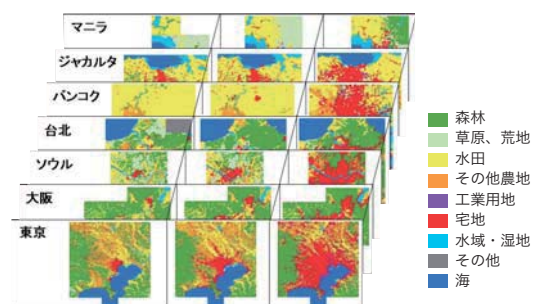


図4 陸水貯留量変動の解析



7都市3時代の土地利用変化(1930年代、1970年代、2000年代)都市の発展に伴い、市街地面積が拡大し、地下環境への影響が変化しています

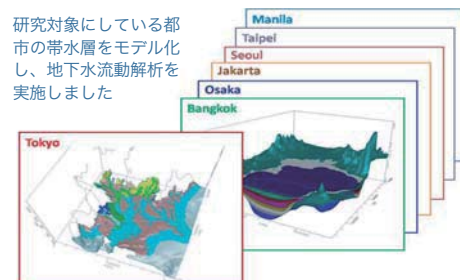
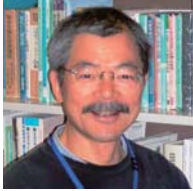


図5 クロスカッティング 土地利用変化と地下水統合モデル

# 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めざします。



## ■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教授  
東北大学理学部助手、愛媛大学農学部教授、  
京都大学生態学研究センター教授を経て、現職。  
専門分野は、微生物生態学、水域生態系生態学。

## ■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** 総合地球環境学研究所  
**大森浩二** 愛媛大学沿岸環境科学研究センター  
**奥田 昇** 京都大学生態学研究センター  
**梯 正之** 広島大学大学院保健学研究所  
**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所  
**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  
**山中裕樹** 龍谷大学理工学部

## 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、1) 1998年から急速に世界中に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、人間の環境変化が感染症の発生と拡大をまねき、結果的に人間の文化に関与していることを実証的に明らかにし(図1、2)、2)「環境変化—病原生物—宿主—人間系」モデルを様々な感染症へ適用し、3) 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めざします(図3)。

## 研究体制と研究内容

調査は琵琶湖全域と中国雲南省アーハイ (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 感染症が発生した場合の経済的、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」の概念モデルを構築する。

## ●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。さらに、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。



図1 コイヘルペスウイルス感染症で死んだコイ

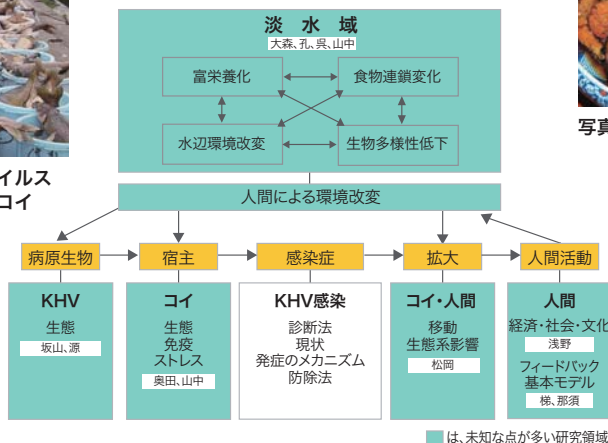


図2 「病原生物と人間の相互作用環」のケーススタディー：  
コイヘルペスウイルス感染症と人間の相互作用環



写真1 コイ料理

コイは貴重なタンパク源。コイ料理は貴重な文化



写真2 アーハイ(中国雲南省)における水温調査(2009年2月26日)



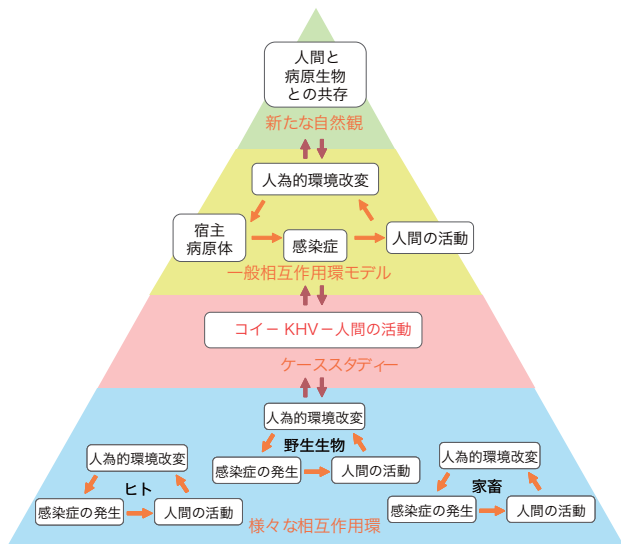


図3 『人間による環境変化-感染症の発生・拡大-人間生活の変化』の相互作用環解明に向けた各研究レベルのつながり

### これまでの主な成果

- 1) 人間の水辺改変が水温変化を引き起こすことがわかった。自然の水辺では多様な水温環境が存在するが、人工的な水辺では水温が時空間的に均質化することが明らかになった (Yamanaka et al., 2010)。この水温分布の変化が、コイの行動、KHVに対する免疫獲得、コイのストレスに影響をあたえることが考えられた。
- 2) 自然水域中の KHV 検出法の開発に成功した (Minamoto et al., 2009a; Honjo et al., 2010)。この手法を用いて琵琶湖の湖水中の KHV の現存量を 1 年半にわたり調べた結果、KHV 感染症のアウトブレイク終息 5 年後にも、水中に KHV が存在し続けることが世界で初めて明らかになり、KHV が琵琶湖に定着した可能性が示唆された (Minamoto et al., 2009b) (図 4)。
- 3) テレメトリーを用いて、コイの行動を 1 年にわたり追跡した結果、高水温を選択して移動していることが明らかになった。この行動と KHV 感染症の発症の低減の関係を、数学モデルによって検討できるデータが得られた。
- 4) 琵琶湖においてコイの KHV 抗体価と細胞中の KHV および水中の KHV 量を測定した結果、体長 30cm 以上のコイが KHV の免疫を持っていることが明らかになった (Uchii, et al., 2009)。成長に伴うコイの行動が KHV 感染症の起きる場所と拡大に重要な要因となっていることが考えられた。さらにコイの繁殖行動が感染を促進することが示された (Uchii et al., 2009)。
- 5) 水中のストレス物質を定量する方法を確立した。水温変化によってコイにストレスがかかることがわかった。
- 6) 琵琶湖の事例が他の水域でも存在するのかどうかを明らかにするために、中国雲南省のアーハイで水温の時空間的变化の調査を行った。浅い水深では、水変化の変動が大きく、琵琶湖の水温変動特性に類似していることがわかった。
- 7) 感染症に対処するためには、「環境変化-感染症-人間」の連環という視点をもった予防が重要であることを、国際会議、国内シンポジウム、招待講演等で積極的に発表した。

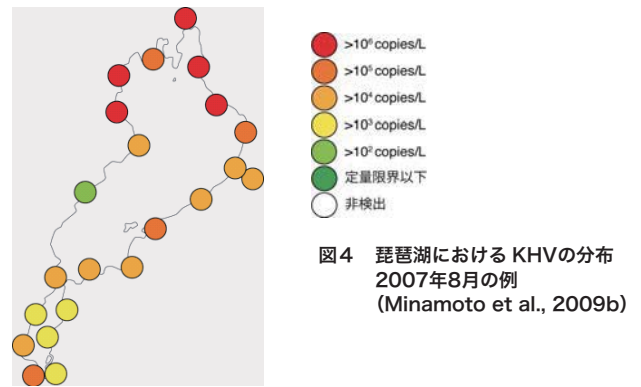


図4 琵琶湖における KHV の分布 2007年8月の例 (Minamoto et al., 2009b)

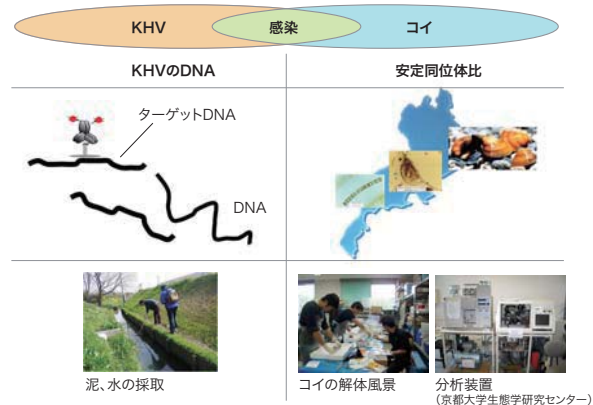


図5 KHV感染症発生予測するための KHV とコイの分布が重なる場所の調査

### 今後の主な取り組み(2010年度)

- 1) 湖水以外の試料(底泥やコイ以外の生物など)から KHV の検出方法を確立する。
- 2) 琵琶湖において KHV の分布と活性を明らかにする。
- 3) 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。
- 4) KHV の現在量にかかわる要因を明らかにする。
- 5) コイの水温選択性を明らかにするための実験を野外設置水槽で行う。
- 6) KHV とコイの存在場所が一致する環境特性を明らかにし、どのような場所で感染が起きやすいかを明らかにする(図5)。
- 7) コイに対する水温変化ストレスと KHV 感染症発症の関係を実験的に明らかにする。
- 8) コイの生態系影響を調べるための予備実験を実施池で行う。
- 9) コイの食料資源としての価値を評価する(写真1)。
- 10) コイの消失の経済的・文化的影響を評価する。
- 11) KHV と人間の相互作用環の骨格モデルを作る。
- 12) 琵琶湖で得られたモデルが他の湖に適用できるかどうか検討するために、中国雲南省アーハイ (Erhai) の環境調査を行う(写真2)。
- 13) 他の感染症の事例を人間との相互作用の観点から解析する。
- 14) DIVERSITAS (生物多様性科学国際共同研究計画) との連携研究を強める。
- 15) 病原生物と人間の共存の在り方を検討する。

# 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表れると予想される内陸部にあります。シベリアの温暖化には、降雪量、融雪や河川の凍結融解などの時期と速度、永久凍土の融解など、雪氷関連の変化が顕著に現れるという特徴があります。その結果として洪水の頻度や規模の増大・湖沼の拡大と長期化・森林土壌の湿潤化がもたらされ、住宅や農地・トナカイなどの牧畜や遊牧に大きな打撃となります。人々がその変化にどの様に適応しているか、どの辺りに被害の閾値があるのかなど、現地調査に基づいた研究を進めています。



**プロジェクトリーダー**  
**井上 元** 総合地球環境学研究所教授  
大気化学、とくに温室効果ガスとしての二酸化炭素やメタンの観測研究が専門です。シベリアでは22年の観測研究の経験があり、また、最近では温室効果ガス観測衛星「いぶき」のチーフサイエンティストを務めています。

**コアメンバー**  
**山口 靖** 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  
**高倉浩樹** 東北大学東北アジア研究センター

**佐々井崇博** 名古屋大学大学院環境学研究所  
**檜山哲哉** 総合地球環境学研究所  
**奥村 誠** 東北大学東北アジア研究センター

## 研究の目的

### ●鳥瞰的な把握

永久凍土地帯であるヤクーツクを中心とした東シベリアを主たる研究の場としていますが、永久凍土がない西シベリアとの対比で理解できるところもあります。また、北極海に面したツンドラ地帯から南

の山岳部の森林地帯と、南北にも異なった気候や植生帯に属します。その広大な地域を調査するためには、衛星データを利用する必要があります。衛星により取得された地表面のスペクトル画像の解析、「いぶき」による温室効果ガスの広域の分布データの解析、シベリアの開発など人間の営みに関する情報収集などを行っています。

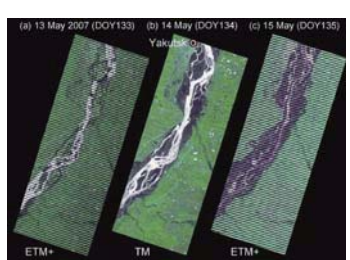


図1 Landsat画像から見たヤクーツク周辺の洪水発生の様子 (Natural Color, R:G:B = 3:4:2)



写真1 凍土の融解による地面の大規模崩落  
大きいものは長さは1km近くもあります。人や車が転落したり、村が寸断されて不便を強いられるという問題が起っています。2009年夏、レナ川中流域の村にて

凍結したレナ川の解氷時期にしばしば洪水

が起こりますが、その被害が拡大しています。その原因を明らかにするため、ヤクーツク付近の氷と水に覆われた面積の変化を衛星データの解析から明らかにしました。凍った河川に氷と水が流れてきて川幅が1日のうちに3倍近くに広がりますが、翌日には氷は流れ去り、その後数日かけて水が引いていくことが分かりました(図1、2)。これは上流で氷によりせき止められていた水が、氷が融けて一気に下流に流れ出したためと考えられます。ヤクーツクでは適度な洪水で肥沃な土が運ばれ、河川敷では良い牧草が取れるのですが、大洪水になると砂で埋もれるなど牧草地が荒れてしまいます。どの程度の洪水なら恵みとなり、どの程度から災害になるのか? その対策としてどのような方法が取られているのか? 文化人類学的な調査も必要です。

### ●凍土は融けているのか?

永久凍土地帯では、夏でも表面のせいぜい1m程度しか凍土が融けず、その下では土が凍ったままです。温暖化しても深いところまでは容易に熱が伝わらないので、凍土はそれほど融けないと考えられていました。しかし、冬の積雪が深くなるとその断熱効果で凍土が冷やされない上に、雪が一気に融けると川になって流れます。十分凍っていないところに水が流れると、土が流され凍土が露出します。そして夏でも凍土が融けて水の流れが続くという現象が起きています(写真1)。雪が融けると水は地下に浸透しますが、永久凍土で浸透が妨げられ、表層土壌に適度な水分を保ちます。そのため、この地域の降雨は少なく本来なら森林は無いはずなのが、水を最大限に利用して森林が育っていると言われてきました。しかし、その凍土が融け始めるとどんなことになるのか? 凍土の融解は限られた場所でしか起こらないのか、それとも広い範囲で起こるのか?

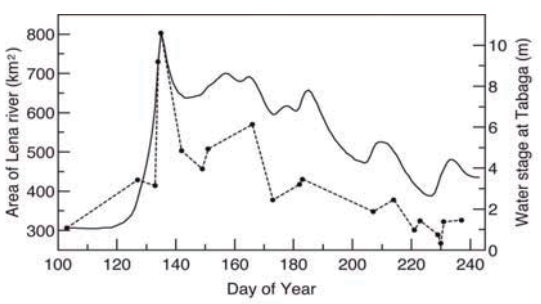


図2 Landsat画像から推定したレナ川の面積(破線)と地上観測による水位(実線)の時系列変化

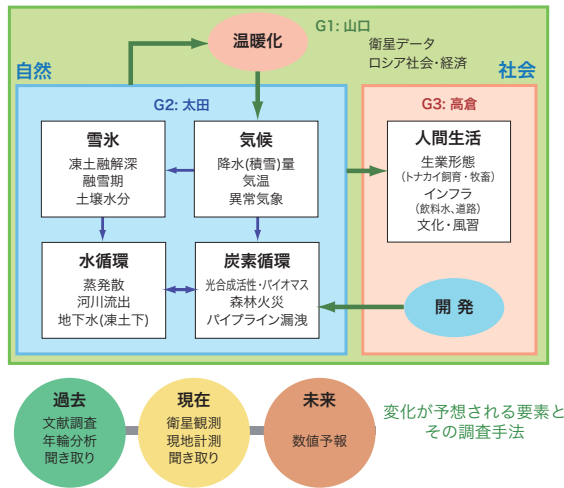


図2 本研究プロジェクトの流れ

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

その結果として降雨・保水・樹木からの蒸散という水循環が大きく変化してしまわないか? そうした疑問に答える研究をしています。

#### ●人々はそのような変化に耐えられるのか?

ヤクーツクの周辺ではダイヤモンドの採掘など鉱業活動もありますが、多くの人々、特に少数民族の人々にとっては、農業・トナカイなどの牧畜・漁労などが主な生産活動です。また、飲料水として凍結したきれいな水を利用したり、凍結した河川を利用して物資を輸送するなど、厳寒の気候にうまく適応した生活をしています。これらの活動が温暖化によりどのように変わるのでしょうか?

現在、北極海沿岸の野生トナカイは激減していると言われており、その原因は湖沼が広がり移動が困難になり、食物が不足しているためであると考えられています。トナカイは冬に雪をかきわけて枯れた草を探して食べています。温暖化により気温の変化が大きくなると雪が融けては再び凍るということが多くなるため、トナカイは固くなった雪を掘ることができず、食糧不足に陥ります。トナカイの行動を調査するために、トナカイに電波発信機を取り付け、その位置を衛星で調べます。

野生トナカイだけではなく、飼育トナカイにも同様な困難が起きています。ソ連邦の崩壊による市場経済の導入が農村の生活を一変させ、それに適応できず生産活動が低下している例も多くあります。研究者は農村に長期に滞在し、彼らの生活を理解し、変化が何をもたらしているか、新たな状況に適応できるのかなどを調査しています。

### 主要な成果

衛星観測による洪水のメカニズムのように、このプロジェクトで初めて分かったこともあります。多く

の研究課題は作業仮説の段階にあります。今後、現地での地道な調査や観測により徐々に解明されていくでしょう。2009年のその他の成果は次のとおりです。

今後、降雨が増えるという予測があるので、これまで観測を行ってきたヤクーツクでの水循環の観測に加え、新たに降雨が比較的多い南に観測点を設けました。雪のある時期にトラックと櫓で観測タワーの資材を運搬し、6月に建設と測器の取り付けを行い、7月から観測を開始しました。また、河川流量の数値モデルの改良や、河川の凍結や融解の調査、凍土の融解に関連した現地調査も行いました。

トナカイ飼育の状況調査、農村での産業や生活の調査、凍結河川を利用した交通の調査、洪水に対する防災策の調査、寒冷な気候が生活を豊かにする側面と変化が引き起こす困難などの現地調査などが進んでいます。具体的にはたとえば、レナ川中流域のロシア人・サハ人混住村では、牛馬の飼育、ジャガイモ栽培、川や森での漁労・狩猟・採集といった家庭内生産活動について調査を行いました。また、この村で近年起きている、永久凍土の大規模崩落、地下水位の上昇などの変化、及びそれらによる社会生活への影響についても調査を行っています。

温暖化の原因でもあり、また、温暖化により放出が増えると予想される二酸化炭素やメタンの衛星観測(温室効果ガス観測衛星「いぶき」)が始まりました。このデータから森林火災や湿原からの放出を見積もる準備が進んでいます。

### 今後の課題

2010年には次のような観測調査研究を計画しています。

- 1.スペクトル画像の衛星データから、もっと広範囲に河川での結氷や融解のプロセスを解析します。
- 2.衛星のスペクトル画像データからシベリアの森林面積の変化、炭素吸収の大きさとその変化などを推定します。これと「いぶき」のデータ解析と合わせて、シベリアが二酸化炭素の吸収源か、あるいは発生源に移行しつつあるのかという難しい問題にチャレンジします。
- 3.水収支や炭素収支をタワーで観測し、より正確な循環モデルの構築に貢献します。また、土壌や河川のモデルを高度化し、湿潤化や洪水の問題、凍土がどのように変化しているかという課題に迫ります。
- 4.雪氷環境と人々の生活とのかかわりを、歴史・文化・宗教・農業牧畜・交通・社会インフラなど様々な視点から明らかにします。また、環境問題を地域の人々がどの様にとらえているかなど、従来の文化人類学にない視点からの調査と解析を行います。



# メガシティが地球環境に及ぼすインパクト ——そのメカニズム解明と未来可能性に向けた 都市圏モデルの提案

都市は人類にさまざまなものを提供してくれます。しかし、同時に、集まることによる不利益、ひいては、地球環境全体への巨大な負荷ももたらします。その結果、都市に住むわたしたちは地球環境から手酷いしっぺ返しを受けつつあるのです。都市は地球や人類の敵なのでしょうか？ それとも味方なのでしょうか？ このプロジェクトの目的は、「都市」を「地球の敵」としてではなく、「地球の友」とするにはどうしたらいいのか、人類の幸せ、未来可能性を、「都市」を通じて増大させるにはどうしたらよいか、という大きな問いに肉薄することにあります。



## ■プロジェクトリーダー

**村松 伸** 総合地球環境学研究所教授

中国を中心としたアジアの建築史、都市史を研究してきました。都市をこれまでにない新しい見方で分析したいと考え、本プロジェクトに挑戦しています。著書に、『上海—都市と建築』、『中華中毒』、『象を飼う』、『アジア建築研究』、『全調査：東アジア近代の都市と建築』などがあります。アジアの近代建築の評価、保存、再生のNPO、mAAN(www.m-aan.org)創設者。

## ■コアメンバー

**岡部明子** 千葉大学大学院工学研究科

**籠谷直人** 京都大学人文科学研究所

**加藤浩徳** 東京大学大学院工学系研究科

**谷川竜一** 東京大学生産技術研究所

**林 憲吾** 総合地球環境学研究所

**深見奈緒子** 早稲田大学イスラーム地域研究機構

**村上暁信** 筑波大学大学院システム情報工学研究科

**山下裕子** 一橋大学大学院商学研究科

## 研究の目的——都市を地球の友に！

20万年前に誕生した人類は、遊動から定住化を果たしながらも、長期にわたって地球の有する生態系(自然)からのサービスに依存してきました。しかし、天災、農業生産の余剰などさまざまな要因によって、人類が生態系の直接的恩恵から切り離されたとき、「都市」が誕生したのです。ほぼ6,000年にわたるこの「都市」の成長により、生態系と共存することに適した20万年の人類の知恵(「生態と共生する知恵」、以下「生態の知恵」)は記憶の奥底に沈殿させられ、人口集積の中で生き残るための「都市の知恵」が成長してきました。しかし、19世紀以降、化石燃料の「発見」や蒸気機関の「発明」、地球への科学的知識の増大を経て、生態系への畏敬は急激に薄れてしまいました。

都市は、相対的に豊かな生命維持資源、集積の利益、公共財を人類に提供してくれます。しかし、同時に、増大・集中する人口を養い、環境資源を含む

さまざまな資源を爆発的かつ集中的に利用するため、水圏、空気圏、土壌圏、生物圏のそれぞれで、生命維持装置としての自然や生態系の破壊、再生可能な環境資源やエコシステム・サービスの劣化・消失など、地球環境全体への多大な負荷をもたらしています(図1)。そして、そのしっぺ返しは無視できない状況にまで至ってし

まいました。「都市」は、地球環境の敵なのか、あるいは、人類を不幸にした根本の原因なののでしょうか。

2008年、「都市」に住む人口は、遂に世界人口の半数を超えました。もはや、人類は「都市」なしでは生きていけません。このメガ都市プロジェクトの目的は、「都市」を地球の敵としてではなく、地球の友とするにはどうしたらいいのか、人類の幸せ、未来可能性を、「都市」を通じて増大させるにはどうしたらよいか、という大きな問いに肉薄することにあります。

## メガシティと「新生態都市」——目標

人口規模1,000万人以上のメガシティが、地球上、とりわけ発展途上国で多く生まれています。2020年には27にも上ると予想されるメガシティ(図2)は、およそ、3つのタイプ——**A.** 先進国資源大量消費型メガシティ(東京、ニューヨーク、ロサンゼルスなど)、**B.** 発展途上国資源大量消費追従型メガシティ(上海、広州、メキシコシティ、サンパウロ、ジャカルタ等)、**C.** 低開発国貧困共存型メガシティ(ダッカ、ラゴスなど)に分類することができます。本プロジェクトは、今後、大量消費、大量廃棄社会へと向かいつつあるメガシティのひとつ、ジャカルタを主対象に4つの項目、**1)** 都市の生態系と人工系を統合的に把握する手法の開発、**2)** メガシティにおける後発性の利益手法の発見、開発、**3)** 生態と慣習、文化や歴史が培った「生態の知」の批判的継承と(社会・人文・自然)科学の知を融合させた新たな「都市の知」の模索、**4)** 多様な都市政策(新たな「都市の知」)の実現へと方向付ける政治的選択手法の開発と実施、の研究をおこな

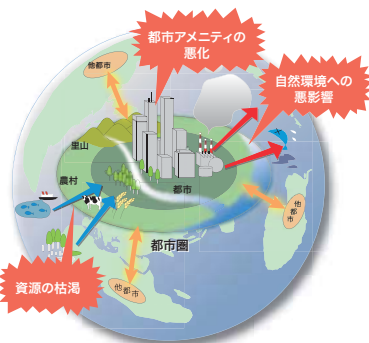


図1 都市の地球環境への負担

都市が地球環境に及ぼすインパクトは強大ですが、同時に、都市は人類に多くの恵みを提供してくれています。都市は決して地球の敵ではありません



図2 世界のメガシティ

地球上各地で人口1000万以上のメガシティが誕生しています。開発途上国に多く、近年では、経済成長とともにそれらの都市の地球環境へのインパクトが増大しています

うことをめざしています(図3)。ジャカルタから、新たな定義の「新生態都市(new eco-urbanity)」を提案し、B型メガシティへその方策を適用します。また、この「新生態都市」の都市政策が、A型メガシティあるいはC型メガシティにもたらす効果についても、都市間比較や考察を通じて検討し、全体として地球環境問題への貢献を図りたいと考えています。

### 都市への多様で統合的な視線(3E+ICH)

#### ——プロジェクトの手法1

都市は、人工物だけからなっているのではありません。しかし、太古からの自然がそのままそこにあるわけでもないのです。人類が定住し、手を加えることによって構築されてきたものであり、現在もそれは構築され続けています。この人工物、そこに活動する人間、それらを支える自然環境(地下、地上、天空)全体を、われわれは「都市圏」と総称することにします。生命の根源、水(湖、河川)を中心にひとは集まりました。漁猟をおこない、農耕を営み、余剰が権力を育み、防衛の装置を建造しました。交易をおこない、工業を興し、道路や建築物を築き、社会を組織しました。外部からひと、もの、情報、資本が流入し、そして流出します。かくのごとき複合的な様相の都市が地球環境に及ぼすインパクトを研究するためには、4つの要因「環境と生態系(Environment & ecology)」「社会公正(social Equity)」「経済(Economy)」「制度・慣習・文化、歴史(Institution, Culture, and History)」つまり、3E+ICHを統合的に理解し、都市の未来可能性をデザインしなければならないのです。

### 生態の知と(社会・人文・自然)科学の知の融合

#### ——プロジェクトの手法2

メガシティがもたらす不具合への対応には、単に科学技術による解決策だけでなく、人類が生態系に適応してきたローカルな知(「生態の知」)を掘り起こし、批判的に応用することが必要となります。多数の異なる学問領域、とりわけ、社会科学、自然科学、工学が培ってきた多元的な解決策(直接的、間接的、基盤的)

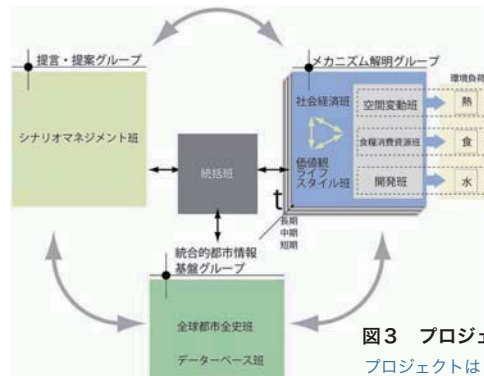


図3 プロジェクトの組織図

プロジェクトは3つの目標に即して3つのグループで構成されています。グループ内には、具体的な成果を挙げるためにいくつかの班が設けられています

を融合させると同時に、打ち水、昼寝、居住様式など、慣習、文化、歴史の中に潜む生態的解決策を評価することも、本プロジェクトの特色として掲げたいと思います。さらに、人文科学、つまり、文化、思想、宗教、文学、美学の中に、都市をよりよくする知恵があるはずで。地球研がおかれている京都を見れば、こういった人文科学の知恵の存在とその意義はすぐ理解できるでしょう。京都でこのプロジェクトを行い、日本の力として発信することの大きな意味のひとつは、1,200年の間、この都市の歴史と文化が培ってきた人文科学の知を、最先端の科学技術とともに十二分に活用することであるのです。

### 年々歳々、果、たわわに実る

#### ——5年間の計画と本年の課題

本年から始まり、5年にわたるこのプロジェクトの使命は、「都市を地球の友に」という名の世界樹に、毎年、一顆ずつ大きな実をたわわに結ばせること。昨年の準備段階、PRで、組織を立て、視野を拡大し、ジャカルタの研究者とのネットワークを構築しました。本年は、いよいよFR1の本格的な研究段階に突入します。ここで、実行すべきは、1)地球上の各種のメガシティについての知見を増やし、都市とは何かについて、大きな見取り図を描くこと、2)3E+ICHの都市評価指標の構築をすること、3)ジャカルタのマクロ情報を一気に集め、整理すること、4)都市が地球環境と結びつく3つの側面(資源の枯渇、自然環境への悪影響、都市アメニティの悪化)の仮説構築、5)五顆の最後の果実となる最終成果の枠組みを構築すること、の5点であります。目標達成のためには、いままで以上に、プロジェクトメンバーとの協調を進めることが必要となることでしょう。プロジェクトリーダーのわたしだけでなく、メンバーのひとりひとりが、現場を軽やかに歩きまわり、深く観察し、柔軟に思索し、それぞれの仕方で楽しみつつ、精魂こめたプロジェクトの成果を、京都、そして、日本から全世界に発信することは、本プロジェクトの参加者全員の責任であると同時に権利でもあるのです。



# 地球環境の今

## その1



### コイヘルペスウイルス病の大発生——琵琶湖

2003年から2005年にかけて日本国内の河川および養殖場などで大量のコイがコイヘルペスウイルスに感染しました。琵琶湖でも2004年の春から初夏にかけて10万匹以上のコイが死亡し、漁業にも甚大な被害を及ぼしました。コイヘルペスウイルス病蔓延を防ぐには、問題を引き起こした背景を探り、感染症を引き起こす病原生物と人間の関わり方を考えていく必要があります

関連プロジェクト：病原生物と人間の相互作用環  
提供：川端プロジェクト

### 地球温暖化の影響——オホーツク海

オホーツク海は冬に海水が発達し、北海道まで流氷として流れていきます。海氷のすぐ下には冷たく重たい水が作られます。この冷たい水が海の深くに沈んでいき、狭い千島列島の海峡を通過する際に上下にかき混ぜられて、中層の栄養塩や鉄などの植物プランクトンに必須の元素を含んだ水が表層に運ばれ、海の生きものの生産が支えられているのです。ところが、最近では温暖化によって海氷の発達が妨げられており、このかき混ぜる効果が弱くなっていることが心配されています。オホーツク海は世界有数の漁場であり、魚を多く食べる私たち日本人の生活にも影響を及ぼします

関連プロジェクト：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  
撮影：木村詞明(愛媛大学)



### 海面上昇による被害——ツバル

南太平洋の島国ツバルは、海拔はおしなべて2mくらいしかありません。地球温暖化で海の水位が上昇すると島が海に沈んでしまうかもしれません。でも、陸地が沈むことばかりが問題なのではありません。陸地がある現在でも、地下水に海水が混ざって井戸水が飲めなくなる問題が生じています

関連プロジェクト：都市の地下環境に残る人間活動の影響  
撮影：中田聡史

### 一斉開花する熱帯林——ボルネオ島

ボルネオ島にある熱帯林では、フタバガキをはじめとする多種多様な木々が一斉に花を咲かせる「一斉開花」という現象がみられます。一斉開花は、わずかな降水量の変化が引き金になっていると考えられています。一斉開花は、木だけでなく、虫や動物たちなど森林全体の維持に関わる重要な現象です。もし降水量のリズムが変化してしまったらどうなるのか？ それは、まだだれにもわかりません

関連プロジェクト：人間活動下の生態系ネットワークの崩壊と再生  
撮影：酒井章子



### 気候変動の影響を受ける農村——ザンビア

アフリカ南部のザンビアの農村では主食となるトウモロコシを畑で育てています。ほとんど雨が降らなくなる干ばつや大雨による水害など厳しい気候条件の中で人々は生活しています

関連プロジェクト：社会・生態システムの脆弱性とレジリエンス  
撮影：宮崎英寿