



NIES RESEARCH BOOKLET

# 環境儀

NO. 16 APRIL 2005

環境儀

国立環境研究所の研究情報誌

## 長江流域で検証する 「流域圏環境管理」のあり方

NIES RESEARCH BOOKLET No.16 APRIL 2005 独立行政法人 国立環境研究所

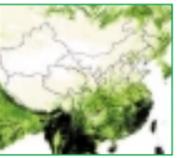


このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.S.で構成されています。  
N=波(大気と水)、I=水生命)、E・Sで構成される地球(世界)を表現しています。  
ロゴマーク全体が風を切っで左側に進もうとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております

独立行政法人  
**国立環境研究所**  
<http://www.nies.go.jp/index-j.html>



「開発」による「自然環境」の変化を観測し  
問題点と改善策を探る。  
それが、東アジアにおける  
「流域圏環境管理」のテーマです。

自然環境と共存しうる人間活動(開発)とは、どのようなものか……。衛星からの送信データや水質調査などの観測項目を軸に環境変化を追い、問題点を探るといった遠大な研究が日中の協力体制のもとに進められています。舞台は三峡ダム築造で世界に知られる長江流域。中国にあっても類を見ない開発が進むこの地域は、典型的なアジアモンスーンの気候帯、造山運動が活発な地帯に属するなど、わが国と共通する環境がそろうています。また地理的条件や海流から見ても、日本はこの地域の影響を受けやすい位置にあります。洪水被害を防ぎ水力エネルギーをもたらす三峡ダムの完成は現地の水源の水質劣化をまねき、生態系に影響をもたらす可能性も否めません。水界生態系のモニタリングデータまでを駆使し、「自然環境」と「開発」の共存への道標を模索する「流域圏環境管理」の最前線を紹介し



C O N T E N T S

長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方

Interview  
研究者に聞く..... P4 ~ P9

Summary  
流域圏環境管理研究プロジェクトの研究成果から ..... P10 ~ P11

研究をめぐって  
水循環と流域圏研究、世界の視点と動向 ..... P12 ~ P13

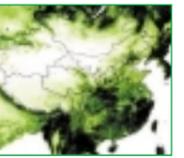
流域圏環境管理研究プロジェクトの全体構成  
..... P14

いま中国では、世界が注目する三峡ダムの築造が進んでいます。その舞台となる長江流域は、人間の持続可能な環境や資源の管理を模索する上で重要な試金石となるエリアです。本プロジェクトは国立環境研究所がイニシアティブをとり、中国科学院や水利部長江水利委員会との緊密な連携によりスタートを切りました。最先端の総合環境モニタリングを含む研究プロジェクトに携わる研究者ふたりに聞きました。



徐 開欽 / 流域圏環境管理研究プロジェクト主任研究員

村上正吾 / 流域圏環境管理研究プロジェクトリーダー



す。植物を通じて水分や熱エネルギー、二酸化炭素などを輸送する能力とか、水と熱を循環させる力もここでいう生態系の機能(サービス)に含まれますね。これらは自然界の微妙なバランスの上に成立しており、人間の開発によっていつ崩れるか分からない状態に置かれています。よって私たちは流域圏が持つこれらの生態系機能と、その機能の恩恵を受ける人間との関係を調べることで環境管理が可能になると考えています。生態系機能を見きわめることができれば、それを再現できるモデルを作ることもできます。そうすれば人と自然が共存する流域圏に「開発」が与える影響も予測されるし、結果としてそれが持続可能な流域圏の形成にも繋がるでしょう。日本と環境を共有する中国など東アジア諸国と手を携えてこの研究を進めれば、「持続可能な開発」というテーマに対する解答も見えてくるということです。

## 国際的な協力のもとに

# 「持続可能な開発」の道しるべを築く

### 1: なぜ「流域圏環境管理」を研究するのか?

**Q:** この研究は持続可能な開発、つまり人間が「自然環境と折り合うレベル」で続けられる開発を知り、それをコントロールするというテーマのもとに進行しているわけですね。その研究がなぜ東アジア、それも中国を舞台として行われているのでしょうか?

**村上:** 1990年前後から北西太平洋の海洋環境の保全のために、巨大河川による影響を正確に知ることが急務

との認識が広がりました。島国の日本は海を隔てて繋がる諸外国の影響を受けるので、特に東シナ海などの周辺の海にも目を向けなければなりません。その意味からも、経済成長が加速して1993年には三峡ダムの築造も始まった中国の変化は特に注目すべき対象でした。その流れを受けて、当研究所も渡辺正孝前プロジェクトリーダーを中心に1994年からアプローチを続け、中国科学院遥感応用研究所、地理科学与資源研究所や中国水利部長江水利委員会などと研究協定を結び、日中共同の環境モニタ

リング体制を確立して現在に至っています。たとえば環境基本法(1993)では「健全な環境は人類存続の基盤であり、生態系の微妙な均衡(バランス)の上に成り立つ」とうたっています。実際に人間社会の歴史を振り返ってみると、そこでは水を中心とした物質の循環が行われる“流域圏”が社会の存続を左右する最小単位となってきたことが分かるのです。この観点から私たちは、「生態系の微妙なバランス」は、流域圏が持つ生態系機能と、それを利用する人間との関係を知ることで、保持できると考えました。この両者の関係をしっかりと把握することが、「流域圏環境管理」の第一歩となると判断したのです。

**Q:** ここで言われる生態系機能とは、具体的に何をさすのでしょうか。また、その生態系機能に着目された理由もお聞きしたいのですが。

**徐:** たとえば食糧や木材、医薬品の材料といった資源(財)を供給してくれる自然界の能力などは分かりやすい例で

### 2: 生態系機能をめぐる現状を正確に掴む

**Q:** “流域圏環境管理”の研究で特に生態系機能の研究に重点が置かれているのも、いままでのお話のような理由によるわけですね。

**村上:** そうです。この研究は「生態系機能に起こっている問題点の検出(モニタリング)」、「その原因の解明(人間と自然環境の関係性の発見)」、「解決・防止のための予測モデルの開発」、「対策の提案と有効性の検討」という4つの段階から成り立っています。このステップに従って人間と自然環境(生態系)の関わりをつきとめ、両者がバッティングする利害対立の部分を明らかにすることが理想的な環境管理へのアプローチとなります。

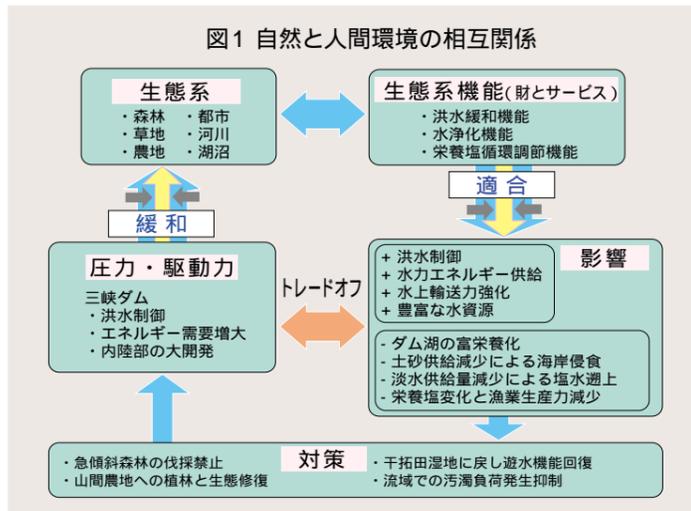
## 三峡ダムの偉容とその存在意義

万里の長城以来の世紀の大事業とされる中国・三峡ダムは1993年の着工で、2003年6月からは貯水も開始されました。膨大な水量と流れの強さから「昇り竜」と例えられた大河を舞台としたこの事業は、過去に多くの犠牲者を出してきた洪水防衛が第一目的とされています。しかし、発展途上にある中国としては、発電、水資源、水上交通、養殖漁業などの面からもダム開発を待望する声も大きく、開発の工程は黄河にまで及ぶ巨大なものです。全長6300kmというスケールからいっても、長江の開発は「持続可能な開発」への取り組みを見きわめるには格好の存在であるといえます。ダムを挟んで上海まで続く長江流域は4億人の生活の場であり、工業や農業を始めとする中国の産業生産の約40%を担う“流域圏”です。ダム湖の総貯水容量は



393億 $m^3$ (黒部ダム湖の約200個分)で、湖水面積は約1084 $km^2$ (琵琶湖の約1.7倍)、湖長は663km(ほぼ東京~姫路間)に達します。このスケールの河川から東シナ海に年間約1兆トンの水が流入することを考え合わせると、これは海洋に限らず多くの事象も含めて広大な地域で環境変化が起こることが予測できます。はるか85年前に孫文が提唱した長江の「治水」の理想は三峡ダムの完成によって実現し、歴史上に多くの犠牲者を出してきた洪水被害も大幅に減少するでしょう。中国全体の7.5%に相当する膨大な電力エネルギー(発電量847億キロワット)も広大な国土にもたらされますが、同時にこの歴史ある国家は『三国志』ゆかりの地として世界に親しまれた張飛廟などの遺跡や自然景観の多くを2009年までに水没させてしまうこととなります。この開発は中国国内でも大きな議論を呼んだ功罪が同居する国家事業なのです。

図1をご覧ください。これは人間と自然環境の関わる要素をフローチャート化し、相互関係を分かりやすく図示したものです。主な要素は、人間を支える環境(場)としての生態系、人間の期待や希望(駆動力)及び具体的な活動(圧力)とそれを可能にしてくれる生態系機能(財とサービス)です。これらは互いに結びついていて、基本的な流れはこの図のように示すことができます。実際の人間活動の場(生態系)への働きかけが最初の圧力となり、それに適合した生態系機能が発現しますが、期待した影響だけが出るとは限りません。正の影響とともに負の影響が現れることも多く、期待と実際の結果(影響)の間にギャップが生じるので、人間は生態系への働きかけのあり方を再考することになり、対策を講じます。その結果、水色の矢印で示される最初の圧力は緩和され、黄色の矢印のように小さくなります。対策は極めて人間的な悩み(図中のトレードオフ)から生まれてくる、諸要素の劣化や負の影響を最小限に抑えるための手段といえます。



### 3: 中国に見る「アジアの環境問題」の縮図

Q: では中国、特に今回の研究対象となった長江や、黄河流域の「自然環境」と「開発」の現状についてお聞かせください。

徐: 地理条件が厳しく開発も遅れている西北部では草原が後退し、砂漠化、土壌のアルカリ化など生態環境の悪化が進んでいます。人口の大半が長江、黄河流域などの河川がある東南部に集中していますが、ここでも河川流域を中心に急速な工業化や都市開発が種々の水質悪化を生み、水をめぐる環境は厳しいといわざるを得ません。降雨が不安定な気象状況である上に河川の土砂堆積が進み、「降れば洪水、降らなければ旱魃」という繰り返しが国民生活にも大きな影響を及ぼしています。三峡ダム築造の第一目的はまずはこの洪水対策で、付加的に発電や水上交通、水産資源開発なども期待されています。しかし100万人を超える住民の立ち退きや文化遺産の水没、希少生物種への影響など、他の多くの課題も残されています。また今後、これほどの巨大ダムの完成によって広大な流域圏の自然環境にどのような変化が起こるのかについて、監視して行く必要があるでしょう。

村上: これは中国ばかりでなく東アジア全体におよぶ問題です。「自然環境」と「開発」双方の変化を並列で追えるという側面も含め、我々が長江を対象として日中共同

研究を始めた理由もそこにあります。何しろ流域圏の対象地域は、重慶から三峡ダムを通じて上海から東シナ海、さらには日本にまで至るという東アジア全体に及ぶスケールですから。この規模で観測データを整備し、将来予測の可能なモデルを作ってその有効性の検証ができれば、今後起こってくるさまざまな環境劣化に対応する貴重な資料となることは間違いありません。

Q: しかし日中両国の共通目的があるにしても、観測実施までの過程にはご苦労もあったのでは?

徐: 対象地域が日本国外であるため、このプロジェクトには政策や利害関係など国家間のデリケートな問題に触れる部分も存在します。研究開始までには日中間の協力体制の取り決めなど、政治的な調整にも神経を使いましたね。でも国益を超えた意思統一がなければ、もはや東アジアをカバーする環境管理など望むことはできません。この研究の成果がやがては各国の財産となることを各方面に理解いただき、時間をかけて国際共同研究の体制を整えました。プロジェクトの実施段階に入っても研究資料や成果を日中両国間で取り交わしながら検討を進めなければならず、研究に対する熱意が問われるプロセスでした。

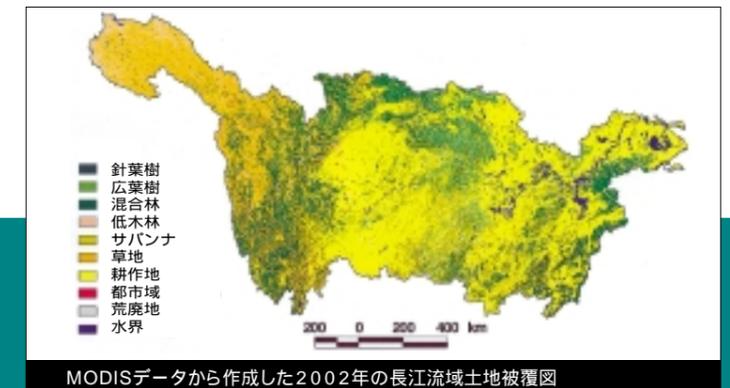
村上: 同様の「開発」の紆余曲折を経験してきた国家として、環境に対する危機管理を中国にも共有してもらい、ゆくゆくはそれを行政にも反映させていただきたいとい

う主旨に沿って研究を進めているということです。「自然環境」と「開発」が相対するこのようなケースは、これから世界各地で次々と生まれてくるのですから。

### 4: モニタリングとモデルから見てきたこと

Q: さて、いよいよ総合的な「流域圏環境管理」の内容について伺います。モニタリングの中核であるアジア太平洋環境イノベーション戦略(APEIS)と当研究との関連についてご説明ください。

徐: APEISは環境省主催のもとに、「持続可能な開発」を旨として2001年よりスタートした国際協調的な環境管理の枠組みです。これによってアジア・太平洋全地域をカバーするMODIS(Moderate Resolution Imaging Spectrometer)衛星データ等の蓄積ができるようになり、太平洋地域における環境関連の統合モデル開発が可能になりました。この枠組みが基盤となって、中国科学院地理科学与資源研究所、国立シンガポール大学、オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)などの参加も実現したのです。この時点で広域の環境情報を把握するIEM、すなわち「総合環境モニタリング」の開発が本格的にスタートしたといえるでしょう。このような国際協調が背景になれば、この研究プロジェクトは今日を迎えられなかったと思います。

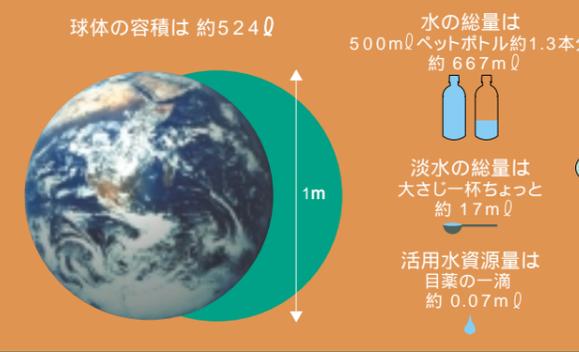


## 「水」をめぐる世界の環境変化

1998年の夏に中国で起こった長江大洪水では氾濫した河水の濁流が東シナ海に流れ込み、日本の近海でも汚濁負荷の急激な上昇や異常低塩分水の増加などが観測される事態となりました。このような例を待つまでもなく、水はさまざまな面から「地球環境の変化」に大きな影響を及ぼす存在です。地球上におよそ14億km<sup>3</sup>という総量で存在する水は、固体(氷)、液体(水)、気体(水蒸気)という三態をとりながら、さながら養分と老廃物を運搬する血液のように自然界を循環しています。地表のおよそ7割を覆う海の水量は全体の約97.5%を占め、淡水は約2.5%です。さらにこの淡水中の約70%は極地の氷であり、湖沼、河川など私たちが日常生活に利用できる水は地球上の水のうちの0.01%にすぎません。この貴重な水を使う私たちの水使用量は最近100年間で約9倍にも増大し、発展途上

国を中心に世界各地で深刻な水不足や水質の汚濁が報告され始めています。国連の報告書によれば安全な飲み水が不足している人口は世界で10億、水に関する適切な衛生サービスを受けていない人口は25億に及ぶということです。また世界の科学者や行政担当で構成される「世界水会議」は、2025年までに世界人口の約40%が水不足に直面するとの予測を立てています。もちろん人間による「開発」も、水をめぐる環境の変化に大きな影響を及ぼします。森林伐採や石炭・石油の燃焼は地球の温暖化を進行させ、海や川などの水分蒸発が活発化し、水の循環が加速して台風や暴風雨などの気象状況が頻発します。さらに海温の上昇は潮流や気流にも影響を与え、熱波や暖冬が恒常的に続いて生態系の変化や生物種の減少にも及ぶ事態が懸念されています。昨今に世界各地から報告されるハリケーンや台風の増加、季節はずれの気温上昇などは、これらの水をめぐる環境変化との関連性が否定できません。

### 地球を直径1mの球体として考えた場合...



地球	地球の体積1兆877億km <sup>3</sup>
	赤道半径6378km
	極半径6357km
	総水量13億8500万km <sup>3</sup>
	総海水量13億5000万km <sup>3</sup> 総量の97.47%
	淡水量3500万km <sup>3</sup> 総量の2.53%
	活用水資源12万6000km <sup>3</sup> (湖沼・河川水の合計) 総水量の0.01%



村上: モニタリングの対象は土地利用、土壌侵食、水循環など多岐にわたる生態系の機能です。たとえば我々のプロジェクトには中国領域内の代表的な生態系の中心に観測点を設置し、気象、水文、土壌水分、植生等に関する基礎データを集め、衛星からのデータと比較するという調査行程も含まれます。こうした地道な検証によって衛星モニタリングのデータが実体のあるものになってきています(図2参照)。例えばNASAが提供しているデータベースは、必ずしも中国の陸域生態系の本当の姿を現していないことも分かってきました。より広範囲の東アジアに適したプログラムを開発するには、当事者である東アジア各国と手を携えることが必要なのです。こうしたAPEISの取り組みに関する新しい動きは、徐さんが言われたように国際協調の気運や中国の成長などいろいろなファクターが重ならなければ実現しなかった流れでしょう。その意味からも、この研究を国際的な環境政策に反映されるような価値あるものとするのが私たちの課題だと思えますね。

Q: モニタリングからモデルを作成するという過程で、特に「持続可能な開発」に繋がる成果としてはどのようなものがありますか?

徐: 具体例として三峡ダムの富栄養化の可能性についてお話ししましょう。ダム湖は2003年6月に長江が締め切られて湛水が進み、現在の水位は135mです。日本の多くのダム湖も同じ状況なのですが、この三峡ダム湖でも富栄養化が進行する恐れが濃厚です。確証を得るためには種々のデータが必要ですが、取り返しのつかない事

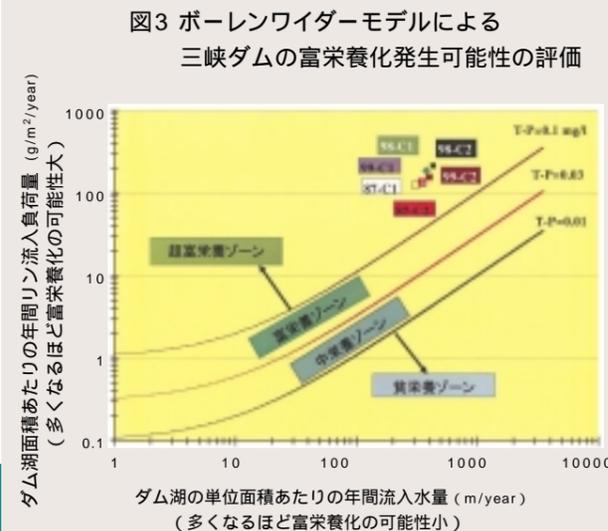


三峡ダム(2004年10月撮影)

態を避けるためには警報も必要ですからね。価値あるイエローカードとするために現状の保有データをもとに予測を試みました。下の図3をご覧ください。これは「ポーレンワイダーモデル」というモデルをもとに作成した、ダム湖の富栄養化の可能性を示すグラフです。ポーレンワイダーモデルは本来「リン負荷による環境影響」を評価するモデルでOECD(経済協力開発機構)などにも採用され、その有効性は広く認められています。ここでは栄養レベルの貧栄養と中栄養の境界をTP(水中の全リン濃度)=0.01mg/l、中栄養と富栄養の境界をTP=0.03mg/lとしました。また超富栄養の定義は

TP=0.10mg/l以上としています。三峡ダムは洪水期では正常水位175mより30m低い145mで運用し、渇水期には175mに戻す季節型のダムです。そこで常時175mのケース(比較的過大評価:C1)と145mのケース(比較的安全:C2)の2通りで検討しました。グラフに示されたとおり、貯水池内全層の平均TP濃度はいずれのケースも0.37~0.47mg/lの範囲という予測が出ました。現状のTP表面積負荷量レベルでは、三峡ダムに富栄養化の問題が発生する可能性が極めて高いことが示唆されたのです。

村上: この予測はダムの貯水開始後の長江流域の環境変化を正確に予見して大きな評価を得ました。先ほどの「流域圏環境管理」のフローチャート(図1)にこれを当てはめると、次のような利害対立が起こっていることが分かります。長江流域の経済を支える水力エネルギー、洪水防御、舟運改善等の期待(駆動力)により建設された三峡ダム(圧力)は、新たなダム湖という水界生態系を形成します。ところがこの新たに出現した生態系のために、生態系サービスの一つである水浄化機能は、必ずしも健全に働かない……このトレードオフ、すなわち利害対立の構造を解きほぐし、生態系機能の保持と人間活動への制約との理想的な相関関係を追究することが流域圏管理のテーマであり、現在はその方策を探ってい



ダム貯水池や湖沼などの淡水域においては、栄養塩類の中でも「リン」が植物プランクトンや他のプランクトンの増殖を左右することが知られています。ポーレンワイダーモデルはその傾向に着目し、湖沼・ダム湖の面積当たりの全リン濃度および平均水深と滞留時間比の関係を用いて、経験的に富栄養化現象の発生を推定するモデルです。

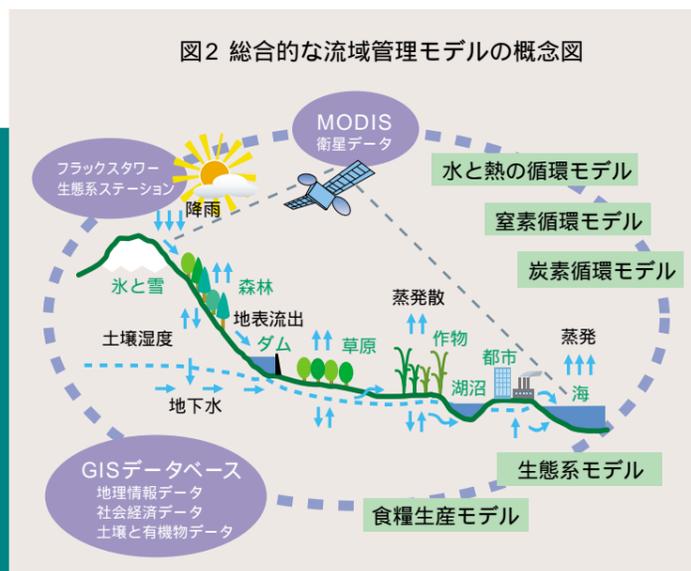
予測の対象年は最近15年の状況から、年間流量が上位にある2カ年(豊水相当年:1998、1999年)と中間に位置する1カ年(平水相当年:1987年)を選出しました。それぞれグラフ中に「98-C1」「98-C2」「99-C1」「99-C2」「87-C1」「87-C2」のポイントで表示しています(本文9頁参照)。

る段階です。このほか三峡ダムの洪水制御効果についての検討結果からは、ダムの性能だけに依存せずに流域内の生態系機能(森林の保水機能 湿地の遊水機能)を活用することによって洪水制御効果が高まることも明らかにしました。また華北平原においては、冬小麦の灌漑用に地下水が過剰に汲みあげられた結果、水位低下が持続的な農業への大きな脅威となっています。対策として最小の灌漑揚水量で最大の収穫量を上げられる地下水管理モデルの作成に取りかかり、すでにその有効性の検証段階に入っています。

Q: なるほど、現段階での成果がよく分かりました。最後に、実際に長江流域の現場に立って「自然環境」と「開発」を目にしてきた科学者の立場から「流域圏環境管理」の明日への展望をお願いします。

村上: 現状は診察、病気の特定、手当、予防という一連の流れを経験して、それを蓄積し始めたばかりという段階ですね。「自然環境」と「開発」の共存への道は時間・空間スケールによって変化する難しさもあります。それぞれに応じた研究と観測を地道に行ない、その結果の評価を将来に向けて粛々と続けることが肝心ということです。

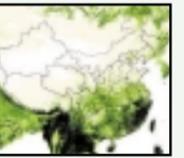
徐: 2004年の4月に国連本部で開催された「国連持続可能な開発委員会」(UNCSD)の第12回会議(CSD12)に招かれて、渡辺正孝前プロジェクトリーダーと一緒に議事に参加してきました。「自然環境」を視界に収めて「開発」を持続する気運は世界中で高まっていると思います。しかしテーマの大きさを考えれば、この研究はまだ緒についたばかりです。中国は長江流域ばかりでなく多くの開発を抱えています。世界には手掛けなくてはならないモニタリングと研究の対象がまだ山のように残っています。この研究プロジェクトがそれらの先駆けになればと思います。



長江流域における現地調査・実験

重慶付近での採水

渡辺正孝前プロジェクトリーダー(中央左)を中心としたAPEIS会議のひとつ。



「開発」と「自然環境」の調和を見きわめ、あるべき道すじを探るといふ「環境管理」の理念。そこには広大な地域に生じる変化を見逃さない観測の技術や、次代の変化を予測して備えを固める思考力も求められます。激変する中国において、当研究プロジェクトの成果の一部を紹介します。

## APEISに見る総合環境管理の体制

“流域圏環境管理”を効果的に実践するためには、広大な流域圏を持つ生態系や農業の生産システムを総合的に把握しなくてはなりません。その際の重要な調査項目が土壌の中に含まれる水の量を示す「土壌含水量」や、時間とともに推移する生物の現在量を示す「生物量(バイオマス)」などです。これらを正確に観測するために、APEISプロジェクトは新疆ウイグル自治区の区都ウルムチと北京に衛星データの受信設備を備えた地上受信局を設立しました。シンガポールとオーストラリアも参画するMODIS衛星観測ネットワークを構築し、アジア・太平洋全域でデータ受信を行う体制を整えました。ここから取得する情報はいずれも研究用に加工された葉面積指数(図4)や地表温度(図5)、地表面の反射率・放射率、土地被覆、植生指数及び光合成速度と純一次生産量などの重要な生態系変化をとらえた画像データです。高度な検証に適用できるよう、中国各地(草原:海北、畑地:禹城、水田:桃源、森林:千煙州、砂漠:阜康)の種々の生態系を対象とする気象・水文・土壌・植生に関する観測システムを完備し、熱・水・炭素の動き(フラックス等)などの生態学的要素の変化をさまざまな角度から追っています。

## 多角的に環境変化をとらえる

三峡ダム築造の最大の期待は洪水に対する抑止効果にあります。その性能を見きわめ、さらに将来への課題を明らかにするために実施された手法が、当研究所が流域圏の水量測定のために開発した「大流域水文モデル」を用いたシミュレーションです。これによって大災害となった長江大洪水時の三峡ダムと長江流域の状況が高い精度で再現され、同様の気象条件に直面した時にも対応できる環境管理モデルの作成が可能になりました。まず1998年6～9月の大洪水時に三峡ダムが完成していたとの仮定のもとに、洪水調節の操作を想定してみます。洪水期の放流量を一定に保つことを前提に、既存の観測データから洪水発生時にダム湖の流入水量が限界に達するタイミングを特定します。その際の設定放流量を長江中流域での「雨水流出シミュレーション」という手法で得られる上流からの流入量リミットに合わせ、ケースごとのダムの洪水制御性能を算出しました。

図6は、三峡ダムの1日あたりの平均放流量を一定にした際の「雨水流出シミュレーション」から得られる洞庭湖の日平均水位をグラフ化したものです。5本の折線グラフが示すとおり、想定したケースは4万 $m^3/s$ ～6万 $m^3/s$ までの5段階です。始めに三峡ダムが無いと仮定した場合(従来の観測流量をそのまま入力データとして用いた場合)、洞庭湖の平均水位が図中に示した洪水警戒水位(34.4m)を超過した日数は44日です。それに対してダムの存在を計算に入れた結果は、放流量を「5万 $m^3/s$ 以上」の一定値で制御した場合に水位超過日数はいずれも44日を下回る結果となりました。4万 $m^3/s$ に制御した場合は前述の洪水警戒水位を1m以上も超える日がありましたが、超過日数は24日で

した。4万 $m^3/s$ の場合には12日となり、水位超過も最大30cm程度にまで軽減されたことを示しています。以上の結果から洞庭湖周辺での十分な洪水抑止効果を得るためには、洪水期の三峡ダムが維持すべき放流量は4万 $m^3/s$ 程度との結論がもたらされました。

一方図7は、洞庭湖の洪水抑止には理想的とされた4万 $m^3/s$ 程度の放流を続けた場合に三峡ダム湖が記録する1日の貯水位平均値の推移(貯水位日変動)です。ご覧のとおりこの水量の放流を続けると、8月前後の洪水期にはダム水位を貯水限界(最大貯高181m)に留めることができません。つまり三峡ダムの放流量の調節だけでは洞庭湖の洪水抑止の目的が果たせないという結果が得られました。

以上のシミュレーションから、長江流域における水害抑止には広い視点からとらえた総合的な流域管理が不可欠であることが分かります。大規模の洪水発生に際しては水害対策を三峡ダムの操作のみに頼ることは困難であり、たとえば中国が政府レベルで打出した洪水対策などを抜きにしては問題の根本的な改善は実現しません。洞庭湖周縁部の干拓田の湖への復元(退田還湖)や上流域の急斜面耕作地の林地や草地への復元(退耕還林還草)など環境修復の作業を推進し、洞庭湖の遊水地(洪水緩衝)機能の向上や流域内の土壌保水能の回復など土壌浸食の抑制を図る政策も視野に収めなければならないことが明らかになったのです。

## 食糧生産を支える地下水の管理

中国・華北平原の北部、河北平原(約10万 $km^2$ )は穀物、特に冬小麦の生産に重要な役割を果たしている地域です。

ここでは大量の地下水利用に依存する灌漑用水網が広がり、4万 $km^2$ を越える地域が地下水位の急速な低下に悩まされてきました。中でも樂城(Luancheng)県では28年間(1974～2001年)で19.7mという急激な水位低下が確認され、現地の農業の持続的発展にとって大きな脅威となっています。そこで灌漑用水量を軽減し、地下水位低下を抑えつつ最大の収穫をもたらす灌漑計画を立てるために、冬小麦の成長モデルの開発に着手しました。

図8は2000年秋～2001年春の冬小麦の生産において「降水が無い」という条件下で2回の灌漑実施(1回の灌漑量は毎回50mm)を仮定した際の冬小麦の収穫量等を予測した結果です。グラフに示されたように4月10日と5月1日の2回の灌漑で1ヘクタール当たりの収穫量( $kg/ha$ )が最大となり、1平方メートル当たりの冬小麦の粒数( $個/m^2$ )も向上する可能性が提示されました。また水1トンで何キロの小麦を生産できるかを表す指標である、水利用効率:WUE(Water Use Efficiency)もこの灌漑計画で最高値に達することが分かったのです。これは当研究のモデルにもとづく数値実験が科学的な灌漑計画をもたらす、冬小麦の生産を最大限まで引き上げるとともに水利用効率の改善にも有効であることを証明するものです。

また本モデルにもとづき、灌漑時期、灌漑用水量等を変えて冬小麦耕作の数値実験を行ったところ、生育に影響を及ぼさない70～80mmの灌漑用水節約で作物成長期における約40～50cmの地下水低下防止が可能であることが判明しました。これらの成果は“流域圏環境管理”に関わる農業問題の改善に繋がる研究実績として期待されています。

図4 葉面積指数(Leaf Area Index:地表面積に対して、存在する植物の葉面積の比率)の推移をとらえた2002年のMODIS衛星画像(濃緑色ほどLAIが大きい)

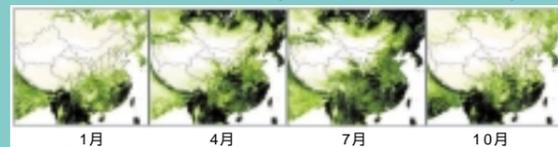


図5 地表温度の推移をとらえた2002年のMODIS衛星画像(赤色ほど温度が高い)

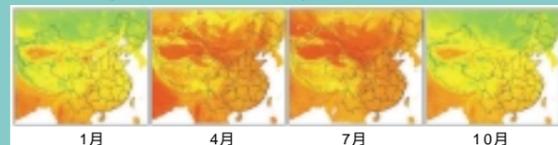


図6 1998年洪水期に三峡ダムによる放流量制御を想定した場合の洞庭湖における日平均水位の変動

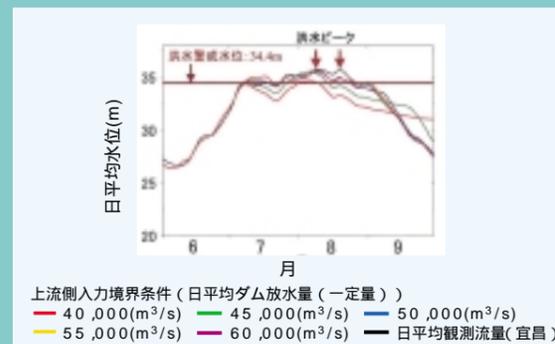


図7 1998年洪水期に三峡ダムによる放流量制御を想定した場合の三峡ダム湖における日平均貯水位の変動

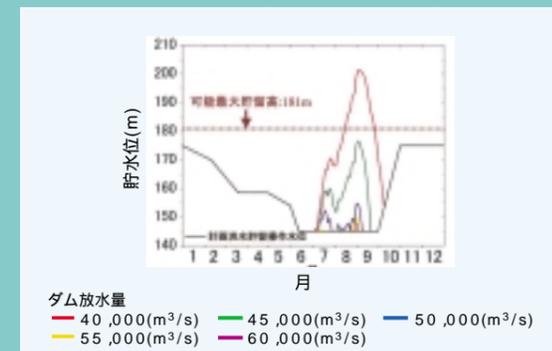
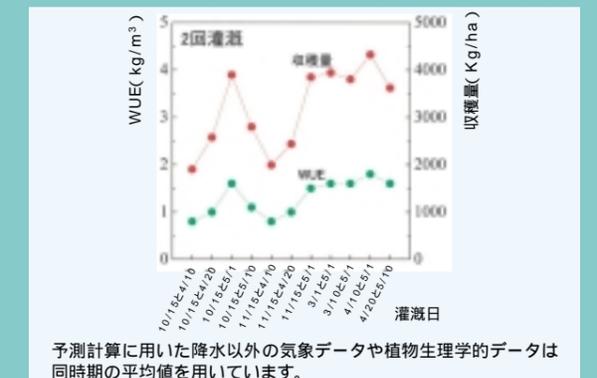


図8 2回灌漑の時期の違いによる冬小麦の収穫量の予測計算



# 水循環と流域圏研究 世界の視点と動向

“流域圏環境管理”の研究が進むほど生態系における「水の循環」が果たす役割の重要性がしだいに明らかになってきました。アジアの人口増加と経済発展は水の需要を増大させ、世界中の海域や国際河川では水をめぐる環境問題の発生が後を絶ちません。流域の生態系をおびやかす水の問題の解決を旨とする国際的な取り組みが始まっています。

## 世界では

「持続可能な開発」を模索するために流域圏を持つ生態系機能を総合的に観測して指標とする動きは、世界においても組織的に進行しています。特に2001年6月よりスタートしたミレニアムエコシステムアセスメント(MA)は「世界の生態系の変化がもたらす人間生活や環境に関わる影響について、政策決定者に対し総合的な科学的知見を提供することによって、管理を改善する」ことを目的としており、世界中から注目されています。世界銀行などの支援を受ける国際連合環境計画(UNEP)のプロジェクトでもあるMAは、世界の草地、森林、河川、湖沼、農地及び海洋などの生態系に関して水資源、土壌、食糧、洪水制御など生態系機能が社会・経済にもたらす恵み(財とサービス)の現状と将来の可能性を総合的に評価する機能を備えており、発足に際しての総予算は2100万ドルに及びました。2005年までに、世界の1500人に及び代表的な自然科学及び社会科学の研究者が参画して実施されます。生態系が持つ水や食糧を持続的に供給する能力に関して地球規模でアセスメントを行う世界初めての試みですが、APEISとも多くのテーマを共有するこれらのプロジェクトが国際協調のもとに展開されていることはきわめて意義深いといえます。

## 日本では

平成15年度より、総合科学技術会議が提唱する「地球規模水循環変動研究イニシアティブ」のテーマのもとに水循環に関わる環境変化について重点的な取り組みがスタートしました。同年9月には「地球観測調査検討ワーキンググループ」が結成され、世界気候研究計画(WCRP)や地球圏生物圏国際共同研究計画(IGBP)などへの参画とともに、地球観測の推進に関する府省横断的な取り組みが始まっています。特に急激な人口増加と社会の変動が予想されるアジア地域を対象に、日本との関係を水

循環の観点から考察する活動はめざましく、「アジアモンスーン地域を対象とした水循環モデルの構築」や「自然の水文循環と社会変動の相互作用を考慮した水循環モデルの構築」といったテーマのもとに研究機関の協力体制づくりが進行中です。アジアの淡水資源の利用可能性とリスクを定量的に評価・予測するという観点から、自然環境と開発のバランスを模索する研究が日本で成果を上げる基盤が整いつつあります。

### ～水問題に関する世界の主な動き～

- 1977年
  - ・国連水会議 開催/アルゼンチン(マルデルプラタ)
  - 「国際水供給と衛生の10年1980～」が決定
- 1992年
  - ・水と環境に関する国際会議 開催/アイルランド(ダブリン)
  - ・地球サミット 開催/ブラジル(リオ・デ・ジャネイロ)
  - アジェンダ21の中で「淡水資源の質および供給の保護」表明
  - ・国連持続可能な開発委員会(CSD)設立
- 1996年
  - ・世界水会議設立
- 1997年
  - ・第1回世界水フォーラム 開催/モロッコ(マラケッシュ)
  - 「世界の水とビジョン」策定を提唱
- 2000年
  - ・第2回世界水フォーラム 開催/オランダ(ハーグ)
  - 「世界の水とビジョン」を発表
- 2001年
  - ・国際淡水会議 開催/ドイツ(ボン)
- 2001年
  - ・ミレニアムエコシステムアセスメント(MA: Millennium Ecosystem Assessment)開始
- 2002年
  - ・持続可能な開発のための地球サミット 開催/南アフリカ(ヨハネスブルク)
- 2003年
  - ・第3回世界水フォーラム 開催/日本(京都・滋賀・大阪)
  - 「水行動集( Portfolio of Water Actions )」が発表され、「閣僚宣言」と「京都水宣言」を採択
- 2004年
  - ・国連「水と衛生に関する諮問委員会」設立

## 国立環境研究所では

このような現況の中で「開発」を支える環境の基本ユニットである“流域圏”の受容力が注目され、その研究が推進されています。長江を舞台としたプロジェクト概要はここまで記したとおりですが、さらに東アジアを見わたして、環境管理についてもさまざまな試みを行っています。たとえば人間活動による栄養塩や有害化学物質などの環境負荷が増大している東シナ海では、長江河口域を中心として河川を通じて流入する土砂等を詳細に検証しています。1980～90年代にかけて、この海域における赤潮の発生頻度は4倍前後まで増加しました。海域全体の栄養塩の種類の変遷が原因と推測されますが、その裏づけとなる水質などの重要な変化を多角的に追跡しています。これらの状況の推移は魚類のエネルギー源となる植物プランクトンの異変を呼び起こし、結果的に

生態系を通じた食物連鎖に重大な影響を及ぼすことも懸念されるからです。こうした観点から、生物生産及び生物多様性が高い東シナ海の海洋環境調査を、2001年より長期計画で実施しています。



第3回APEIS総合モニタリング国際ワークショップ (2004年12月 シンガポール)



アジア太平洋地域総合モニタリングシステム

## 流域圏環境管理研究プロジェクトの全体構成

本研究は以下の4つの課題に沿って平成8～17年度にかけて実施されています。

### 流域環境管理に関する国際共同研究

(平成8～12年度)

**課題1** 新たな水資源とエネルギーの大規模開発が進行している長江流域で、環境調和型の成長を可能とする調査・研究を中国水利部長江水利委員会、中国科学院地理科学与資源研究所と共同して実施しました。

### アジア太平洋地域における統合的環境モニタリング事業

(平成13～16年度)

**課題2** アジア太平洋地域の持続可能な開発のための革新的政策の立案を目的とした環境省主導のアジア太平洋環境イノベーション戦略(APEIS)の推進のため、科学的インフラ整備、当該地域における研究能力と体制の強化、流域環境管理モデルの開発を行いました。

### 東アジアの流域圏における生態系機能のモデル化と持続可能な環境管理プロジェクト

(平成13～17年度)

**課題3** 社会の持続的発展を支える基本単位は『流域・沿岸・海域』と繋がる流域圏であり、それを可能にするものが流域の生態系機能であるとの観点から、日本及び東アジア地域における人間活動と生態系機能との相互関係を総合的に観測、理解し、その構造をモデル化することで、流域圏の将来像を描くために実施しています。

### 陸域由来の環境負荷の東シナ海の海洋生態系に及ぼす影響

渤海・東シナ海における河川経由の環境負荷が海洋生態系に与える影響評価手法に関する研究

(平成8～10年度)

東シナ海における長江経由の汚染・汚濁物質の動態と生態系影響に関する研究

(平成11～13年度)

陸域由来の環境負荷変動に対する東シナ海の物質循環応答に関する研究

(平成14～16年度)

東アジアの代表的大陸棚である東シナ海は生物生産及び生物多様性が高い海域です。長江流域を中心とする大陸の開発の進行に伴い、流入する環境負荷の量は増大し質も大きく変化しています。こうした現状で東シナ海の海洋生態系に与える影響を評価する手法の開発を進めました。

課題1、3は、それぞれ国立環境研究所の重点共同研究、重点特別研究プロジェクトとして、課題2は環境省環境保全調査等委託費研究として、課題4は環境省地球環境研究総合推進費研究として、以下の組織・スタッフ(現在)により実施しています。

#### 研究担当者

水圏環境研究領域

渡辺 正孝、大坪 國順、内山 裕夫(現在筑波大学)、高松 武次郎、林 誠二、越川 昌美、原田 茂樹、天野 邦彦(現在土木研究所)

流域圏環境管理研究プロジェクト

流域環境管理研究チーム 村上 正吾、徐 開欽、王 勤学、亀山 哲、中山 忠暢、岡寺 智大

海域環境管理研究チーム 木幡 邦男、牧 秀明、越川 海

衛星データ解析チーム 田村 正行(現在京都大学)、松永 恒雄、山野 博哉

生物圏環境研究領域

渡邊 信、広木 幹也、河地 正伸

フェロー等

楊 永輝、張 繼群、香 宝、樋渡 武彦、関口 博之、陳 晋、金 大景、王 権

海外共同研究機関

中国水利部長江水利委員会、中国科学院地理科学与資源研究所、中国科学院遥感応用研究所、中国科学院新疆地理与生態研究所、中国科学院地理信息産業発展中心、中国科学院西北高原生物研究所、中国科学院亞熱帯農業研究所、中国華東師範大学環境学院

## 『環境儀』既刊の紹介

No.1	環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究	2001年 7月
No.2	地球温暖化の影響と対策 - AIM: アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル	2001年10月
No.3	干潟・浅海域 - 生物による水質浄化に関する研究	2002年 1月
No.4	熱帯林 - 持続可能な森林管理をめざして	2002年 4月
No.5	VOC - 揮発性有機化合物による都市大気汚染	2002年 7月
No.6	海の呼吸 - 北太平洋海洋表層のCO <sub>2</sub> 吸収に関する研究	2002年10月
No.7	バイオ・エコエンジニアリング - 開発途上国の水環境改善をめざして	2003年 1月
No.8	黄砂研究最前線 - 科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	2003年 4月
No.9	湖沼のエコシステム - 持続可能な利用と保全をめざして	2003年 7月
No.10	オゾン層変動の機構解明 - 宇宙から探る 地球の大気を探る	2003年10月
No.11	持続可能な交通への道 - 環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして	2004年 1月
No.12	東アジアの広域大気汚染 - 国境を越える酸性雨	2004年 4月
No.13	難分解性溶存有機物 - 湖沼環境研究の新展開	2004年 7月
No.14	マテリアルフロー分析 - モノの流れから循環型社会・経済を考える	2004年10月
No.15	干潟の生態系 - その機能評価と類型化	2005年 1月



## 『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれはどこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています、『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発行に当たって」より抜粋)

環境儀 No.16

- 国立環境研究所の研究情報誌 -

2005年4月28日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG: 原島 省、村上 正吾、徐 開欽、椿 宜高、清水 英幸、松本 公男)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) " 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 (有)ミントジャム広告事務所

〒330-0062 埼玉県さいたま市浦和区仲町4-21-3

無断転載を禁じます