

2.1.4 琵琶湖・淀川水系の現状診断と再生の要点（和田英太郎）

要旨 環境問題の戦後史を大気中の二酸化炭素の増加を軸にして、サミットの主題、発生した事件、環境の国際・国内共同研究の面から概括した。この軸に沿って、淀川水系史は一つの見方として、

- 1) GNP 上昇志向に基づく開発の時代(進歩の時代)、琵琶湖総合開発(1967 - 97)
- 2) 1992年のリオサミット以降の観測と環境修復を意図した時代
- 3) 1997年河川法改正以降の自然と人間の相互作用環解明を重視する時代
- 4) 2002年以降の淀川流域委員会に見られる理念と提言の時代
- 5) 今後の観測とシミュレーション予測とシナリオ提示を志向する時代

に区分されるであろう、そうして、今後5年から10年以内によく文理連携、住民参加の実現の道筋が見えてきたように思える。

(1) はじめに

第二次世界大戦後、我国における経済復興を中心とする変革は世界の中でも特異的に激しい流れであったと評価されよう。これに伴った国土利用計画が力技で行われ、現在に至っているいろいろな局面に歪が顕在化するようになった。第2次科学技術基本法に重点項目として環境が取り上げられ、なおかつ総合科学技術会議の中に地球温暖化、水循環と並んで自然流域共生圏・都市再生が取り上げられたのもこの歪を是正することの重要性が広く認められだしていることのアわれと見なせる。ここでは先ず環境問題の50年史を概括し、今後10年間に想定されることをまとめることにする。

図1は過去50年間の地球環境問題の主な出来事を私見を持ってまとめたものである。縦軸には大気中の二酸化炭素の濃度をppmvで目盛っており、この50年間、年1ppmv強/年の速度で増加してきたことがグラフの上に凸の曲線から読み取れる。増加曲線上には説明は割愛するが各時代に起こった事件が、また図の上段には世界政治におけるサミットを中心課題の時系列が示してある。第2次大戦終了後、サミットと中心課題が、戦後処理から軍縮・軍拡、経済問題、へと進み、地球環境問題が広く世界の関心を集めるようになったのは、1989年の環境国連に引き続く通称リオサミット以後である。このとき気候温暖化条約と生物多様性条約が締結されている。

視点を变えて、図の横軸に沿った国際共同研究の経緯を見てみよう。1957年国際地球観

測年（IGY、Int'l Geophysical Year）の時、現在著名となったキーリングによって、ハワイマウナロアにおいて大気二酸化炭素濃度のモニタリングが開始され、現在に至るも継続されている。これが1960年代の国際生物事業計画に引き継がれ（この計画もInt'l Geophysical Unionによって言い出されている。）、人間と生物圏計画（MAN & Biosphere：MAB）が1970年代に始まり、ユネスコが核となって現在も継続している。リオサミット以降には地球圏・生物圏国際共同研究計画（IGBP）や世界気候共同研究計画（WCRP）が本格的に始まり、DIVERSITASとIHDPは90年代の後半になって活発化している。横軸の下には衛星による地球観測の流れをまとめてある。リオサミット10年後に開催されたヨハネスブルグサミットでは地球観測国際戦略が討論され、一連の地球観測サミットを通して、全球規模の観測10年計画が2005年2月15日にベルギーのブラッセル第3回会議でまとめられる迄になっている。

この一連の経緯はキーワードで示すならば、地球環境問題は、地球温暖化、生物多様性、水、食料そして健康に代表され、地球の理解を深め、自然の物理・化学・生物・地質学的システムと人間活動の相互作用環の基本を解明し、未来予測可能なデータベースの整備と予測モデルの展開が求められるようになったと総括されよう。環境科学の研究は、基礎的な理解から政策立案を可能とするシナリオ提示型の成果を求められるように激変したといえよう。

地域性の強い、しかし人間生活とかかわりの深い流域共生系のマネージに関する社会の動向もそれなりに変革している。1997年（平成9年）に河川法が改正され、1964年（昭和39年）以来の「治水・利水の体系的な整備」から「治水・利水・環境の総合的な河川制度の整備」へと変わり、河川環境の整備と保全地域の尊守を重視した河川整備の計画導入がうたわれることとなった。ヨハネスブルグのサミットが開催された2002年（平成14年）滋賀県では世界湖沼会議が開催され、また上記の河川法の改正を受けて「淀川水系委員会」が発足し、河川環境の保全と整備、地域のいけんを反映させると言う役割に沿った活動が始まり、第1期4年間は2005年1月末まで続けられた。筆者も水質の専門家として、淀川部会さらに後半は淀川水系委員会の委員として参加した。その主な活動の成果は以下二つの報告書にまとめられました。

1) 淀川水系流域委員会中間とりまとめ。（平成14年5月）

） 現状

-) 流域整備の変革の理念
-) 整備計画の基本的な視点
-) 整備計画の方向性
-) 計画策定のあり方。
-) 整備計画推進のあり方

などについて、30年後を踏まえたとりまとめが行われた。

2) 新たな河川整備を目指して 淀川水系流域委員会・提言（平成15年・1月）

1. 琵琶湖・淀川流域の特性
2. 河川整備の現状と課題
3. 新たな河川整備の理念
4. 新たな河川整備計画のあり方

この報告書は（1）を更に発展させたもので、その内容はより具体的な項目が加えられている。

ここに述べた淀川水系委員会の4年間の活動は文理の学識経験者、NPO、地域の住民が委員として参画し、学習しながら発言の中身を深化して行ったと評価される。このような活動はおそらく国内でも抜きん出たものであり、それなりのインパクトを国中に与える淀川モデルの提案ともいえる活動であったと評価できよう。最後の会議における芦田委員長の総括を私なりにまとめると以下のようなようであった。

- ・ 淀川委員会の考え方を淀川モデルとして全国に発信する。
- ・ 災害の防備は流域全体で行う。すなわち治水、利水は流域全体で考えてゆく。
- ・ 破堤を防ぐ強化を重視する。
- ・ 流域管理者が的確な情報を発信し、住民との連携を強化する。
- ・ 河川の連続性を重視、魚道・流砂に対する対応を十分に考えてゆく。
- ・ 古代湖である琵琶湖の水位操作に生態学的な視点を重視する。
- ・ 淀川モデルに対して、以下のような不備が指摘された。

) 実践については未だ根本的な問題提起がなされていず、計画作りの新しい型を提示するところまで進んだ。

- ）委員会は三つの部会に分かれていたがその弊害もあった。
- ）住民参加の検証ができていない。
- iv) 流域の未来設計が描かれていない。

以上、地球レベルから流域レベルにいたるスケールダウンの方向で最近の動向をまとめてみた。

(2) 琵琶湖 淀川水系におけるプロジェクト研究

平成14年度(2002年度)から 琵琶湖 淀川 水系の流域管理モデルの構築 という課題で総合地球環境学研究所のプロジェクトに参画している。このプロジェクトは文理連携を標榜し、物質動態 WG、社会・文化システム WG、生態系 WG、流域情報モデリング WG の4つから構成されている。本稿では安定同位体法を主な手法とした物質動態 WG の成果を中心に環境容量や指標について紹介し、つぎに文理連携や住民参加の今後の展望について触れることにしたい(谷内ほか、2002)。

安定同位体精密測定法による琵琶湖・淀川水系の診断

山岳地帯の沢や溪流から小中河川、湖、平野部の河川を経て沿岸にいたる集水域をここでは「水系」と定義して扱う。

通常、有機物の生産者は、森林の樹木、河川内の藻類、葦など、そして湖や海の沿岸の植物プランクトンである。堆積有機物は、水系に沿って山岳森林地帯や平野部から枝葉や土砂の形で供給される。一方、湖や内湾では森林や平野部の植物起源の有機物と植物プランクトンの混合となる(和田他、2001)。

人間活動の影響は、食料の水系内への輸入、河川への N、P の負荷と汚泥の負荷の三つの面から考えることができる。後者は水界内に富栄養化をもたらし、藻類の繊維や赤潮を引き起こす。沈降した未分解の有機物や汚泥は、河床や湖岸・固定に堆積し、酸化・還元境界層の攪乱を引き起こし、局所的に脱窒、硫酸還元、メタン発酵などを引き起こすことになる。以下では筆者らが開発した SI 環境評価法について、2、3 の例をあげる。

i)汚濁の進んだ水系

生態系の有機物の生産者は植物である。同位体比の面から見ると、C 植物は大気中の二酸化炭素を利用する高等植物と水中の植物プランクトンに大別され、両者の同位体比は中

緯度では有意に異なっている。沿岸の堆積物を 15N - 13C マップ上に目盛りをとると、人間活動の影響の小さい河川では直線で示される(図2の直線 TM)。一方、水質汚濁の激しい河川の代表である淀川水系は図2に示したように直線から大きくずれてくる。ちなみに琵琶湖内での 15N の上昇は、水質汚濁の進行による集水域の小河川や内湖での脱窒に起因しており、大阪湾で低下するのは、富栄養化で生じた藻類が無機能窒素の一部を同化する時の同位体分別によるものと理解される。

近過去において著しく富栄養化が進行した琵琶湖では、この40年間の汚濁の進行状況は湖沼の堆積物や、固有魚イサザの生物標本資料が残されている。イサザ標本・堆積有機物の分析結果は、近過去の琵琶湖の窒素循環系の変化を浮き彫りにしていることが明らかとなった(小川ら、2003; Ogawa et al., 2001, 図2)。図2には現在の沖帯と沿岸帯の食物連鎖の基点の変化を太い矢印で示してある。

このような近過去における系の変動のメカニズムの解析と数値化は水系修復を目指すこれからの計画に定量的な物指しを与える重要な知見となりうる。

ii) 日本人のトウモロコシ依存性：食料の輸入度の評価。

ヒトの髪の毛は比較的入手しやすい試料である。その窒素・炭素同位体比は、その人が普段何を食べているかによって異なってくる(南川他、1986)。他の動物と同様、ヒトの 15N 値も食物連鎖の位置に対応した値となる(和田、2002)。

一方、高等植物には C 植物と C 植物がある。前者の 13C - 25‰に比べて、後者のとうもろこし、アワ、ヒエ、サトウキビなどの C 植物は - 13‰と有意に高い値を示す。

現在、世界の中でトウモロコシを家畜の飼料として用いている。その試料や家畜の肉は世界中に輸出されているので、当然日本にも入ってくる。このため、第二次世界大戦後日本人の髪の毛の 13C 値は、それ以前に比べて有意に高くなってきている。そこで、江戸時代の人と現在の米国人の髪の毛の 13C の両端の基準値として、炭素同位体比を現在の日本人の米国からの食料輸入(トウモロコシ輸入に相当する)依存度を試算すると60~70%となり、これは統計上の値とほぼ一致する(図3)。現在世界の人口は63億人となり、2050年には87億人に達するといわれている。この人口増を支える食料として、生産性の高いトウモロコシの消費が増すことが考えられる。すなわちヒトの髪の毛の $13\text{C}/12\text{C}$ 比は、高くなってゆくことが考えられる。

iii) **新しい環境指標としての 15N**；湖の一時消費者や河川懸濁粒子が示す 15N は集水域の人口密度と正の相関があることが知られており(西川ら、未発表；Cabana and Rasmussen, 1996), 筆者らは現在、以下のようなモデルを考えている(図4、高津他、1999；和田他、2002)。

まず、人口密度が低い水系においては、人口密度と 15N はほぼ直線関係にある。一般に生活排水の 15N は森林起源の有機物の値(T)に比べ高いことから、このフェーズでは両者の混合比により水系の 15N が決定されていると考えられる。これより人口密度の高い水系では生活排水の寄与が多くなり、水系への有機物負荷は増加する。しかしその殆どが酸化的に分解されるため、水系 15N は生活排水の値近くで安定する。更に人口密度が高まると、栄養塩や有機物不可の増加が水系での生物活動を活発化して系内の酸化還元状態に乱れが起こり、底泥は局所的に無酸素状態になると考えられる。このことは硝化、脱窒反応を促進することで系の 15N を高める。このような水系では富栄養化が進み水質は悪化すると予想され、温室効果ガスである NO やメタン、更には悪臭の原因となる硫黄化合物の発生を引き起こすことになる。15N が上昇しだす境界に当たる人口密度は日本の小河川では数百人/km²程度と見積もられ、これは水系が持続的にきれいに維持される上限の人口密度、すなわち一種の環境容量を表していると考えられる。ただし、実際には流量の違いを考慮する必要があるためこの値は地域によって変化する。しかしこのような概念は物質循環の観点から自然界と人間社会とをつなぐものであり、これまで便宜的に定められることの多かった環境基準に変わる新たな指標として、今後水系の持続的管理を考える上で有用な情報を与えてくれるものと思われる。

iv) **蛇砂川は琵琶湖東岸に位置する小河川で**、丘陵から始まり、町を抜け、安土城跡の南側に位置する西の湖に注ぐ、その 15N (PON) と人口密度には一定の関係が見出されている。図4。この下流域は有料物に富む汚泥が堆積し、最下流域と西ノ湖堆積物は高いNO₃-N放出能を示す。酸化還元境界層の層状構造は崩れ、堆積物表層は参加部位と還元部位がイリコ構造になり、そこにNO₃-Nに富む水が流入し、脱窒がセミアネロビク(半嫌気条件下)で生起していることがNO₃-Nの濃度とNO₃-Nの 15N から推察された。図5はこのような事実から、都市周辺の汚濁の進んだ小河川はNO₃-Nが最終生成物となる脱窒系が駆動している可能性が高いことを強調して描いてある。このような場は自然界には少なく、今後基礎的な研究が必要不可欠となる。

図6にはこれまでの研究に関連して、琵琶湖に係る新しい環境容量をまとめた。溶存酸素の中深層における飽和度は30-50%以下となり、現状では30万tものO₂が平均的に存在し、34万tものO₂が有機物の分解や魚の呼吸に使われる状況となっている。横軸に滋賀県の人口をとってあるが、これまで間接的には人口の増加と正の相関を持って、DOは低下し、CIは増加している。

また図4から得られた結果は、現在の下水処理方式(合弁処理方式)では、N、Pが再度小河川に流出する為、15Nの値から判断して数百人/km²が適正な人口密度であることをうかがわせる結果となっている。これぐらいまでは表層で脱窒は進まず、いやな匂いも少ない状況が保たれる。図6の1は太田ら(山梨大)がアジアについて得た統計的な値で、人口密度が100人/km²になると森林の消失が50%になることを示している。

(3) 科学の貢献： 指標からシナリオ提示への流れ

環境問題は待ったなしの対策・対応をする必要がある。しかしながら、自然界はローカルな生態システムといえども十分複雑な系であり、観測により複数のプロセスモデルの提示、その総括とそれに基づいた予測シミュレーションモデルと検証によって、戦略的、政策につながる成果があげられる。この意味において、観測とプロセスモデルそして予測シミュレーションが三位一体となって進むことが求められる。一方、社会システムはPlan Do Check Actionサイクルを骨格としたAdaptive Managementで柔軟に対応してゆくことになり、並行してこれを評価する指標群を提示することが求められる。

図7には従来の自然界における普遍性を追及する学問を進めながら人間社会システムの順応的管理(Adaptive Management)に関わる仕組みを模式化している。現時点では文理連携を急激に推し進めることは益無く、むしろ自然科学のほうから人間活動と自然界の相互作用を評価する新しい意味での環境容量や環境診断の指標を提案できることが急務となる。自然は十分に複雑な系であり、自然と人間活動の相互作用系の基本プロセスの研究は未だ歴史が浅く十分に理解されていないこと。複雑系は観測とプロセスモデルのみでは予測につながらず時空間に分解能の高いシミュレーションと組み合わせることが必須であること、すなわち理工連携(学際的研究プロジェクト)が戦略的に行われることが急務となっている。図8は図7の考えを今一步進めた考えに沿って筆者が描いたものであり、現在所属している地球環境フロンティア、生態系変動予測プログラムの中でも骨子となる枠組み

と考えている。すなわち、以下の考えでは、戦略的な予測モデルがある程度確立した時点で文理連携と住民参加が可能となる。

) Earth Simulator の進歩、また図 1 の横軸の下に示した衛星画像による地球の解析の進歩には目を見張るものがある。これまでの環境科学の限界は時空間に渡って地球全体の情報を同時に知ることが不可能であった。しかし現時点では海洋に降る雨の状況も判り、いわゆる地球物理学者による GCM(General Circulation Model)は、大気 海洋 陸域統合モデルへ展開し、炭素循環全域モデルも“日進月歩”の状況となっている。当面の目標となる空間格子(Grid)の細分化は大気では積乱雲の動態を解析できる 5 km 以下、海洋では、断水塊や冷水塊の解析を可とする 10km 以下である。私の所属する生態系変動プログラムでは陸域炭素循環モデルに窒素動態を組み込み、格子のスケールは 1km を目指す試みも始まっている。平行して人工衛星の空間解像度、センサーの開発も日進月歩の感がある。ここ数年進行中の地球観測サミットでは従来の地球環境問題(温暖化、水循環、気候変動、生物多様性その他)に加えて防災(地震、ツナミ、食の安全)などを含めた総合的な地球観測体制を組織化することを目指している。地上、海における観測はアルゴ計画に見られるように、ロボットブイがモニタリングの中心となっていくであろう。

このような流れから、ここ 10 年、20 年後には戦略的なデータベースに基づくシミュレーション・予測モデルはグローバル/リージョナル/ローカルの壁を越えて進化すると思われる。

ここにおいて現在の日本における環境の重点項目

- 1 . 地球温暖化
- 2 . 水循環
- 3 . 流域共生・都市修復

は、全球 地域 水系の連携研究によって総合し、持続性追及への本格的な道筋が見えることになる。なぜなら P-D-C-A サイクルの実行、すなわち環境問題への本格的対応は地域レベルにおいてのみ可能となるからである。この状況下では“もうひとつの難問である省庁の縦割り行政”は存続させたまま、情報の共有化が地域のシミュレーターの共有によって実現するであろうことも期待できる。

(4) 展望

過去 50 年に渡る地球環境問題の研究は自然そのものの理解と人間活動と自然の相互作用環の理解の間を揺れ動いてきた。これまでの成果の蓄積と衛星画像の 30 年にわたる蓄積、

情報処理システムの進歩は地球環境問題の解決の道筋に一つの方向を見せ始めたように思える。すなわち、観測の継続と基本プロセスの理解の進展、これを用いたシミュレーション実験の高度化がシナリオ提示の中身の信頼性が高くなってゆく予測モデルを生み出しつつある。理工連携によるこのような成果に基づいて、はじめて社会システムの対応などが可能となる文理連携が胎動することが可能となる。現在使われている地球趣味レーター (E.S.) は version up され、全球の格子は 10×10 km から 5×5 km そして 1×1 km に向かいつつある。シミュレーション実験においてはグローバルと地域の壁は取り除かれ、現在の E.S は 地方の E.S となり、省庁、専門分野の壁を残したまま情報の共有化が進み、統合化されたシナリオが提示されるようになる。ここに至って、国土保全計画や国土利用計画にはじめて文理連携と住民参加が可能となり、理解の深化に伴って、合意形成の可能性や新しいコモンズへの理解が高まることになるであろう。流域の再生を目指す出発点はまさにこの点にあることが明らかとなりつつあるように思える (図 8)。

本稿を纏めは総合地球環境学研究所 P3-1 プロジェクト、琵琶湖 淀川水系管理モデルの構築、に参画したことが基になっている。プロジェクトリーダー谷内茂雄氏をはじめとするメンバーの方々に厚く感謝いたします。

主な参考文献

和田英太郎、"地球生態学 (環境学入門 3、第 2 章)", p.25、岩波書店(2002)

谷内茂雄ほか、環境情報学、31(4)、17(2002)

高津文人ほか、生物資源科学、2(2)、1(1999)。

和田英太郎ほか、地球環境、17(1)、77(2002)。

和田英太郎ほか、RADIOISOTOPES、50 周年記念号、50、158s(2001)。

南川雅男ほか、地球科学、20、79(1986)。

小川奈々子によるデータを改変。和田英太郎ほか、エネルギー資源、24(1)、
27(2003)。

N.O . Ogawa ほか、limnol. Oceanogr., 46(5)、1228(2001)

G.Cabana and J.B.Rasmussen, Proc.Natl.Acad.Sci., U.S.A., 93, 10844(1996)

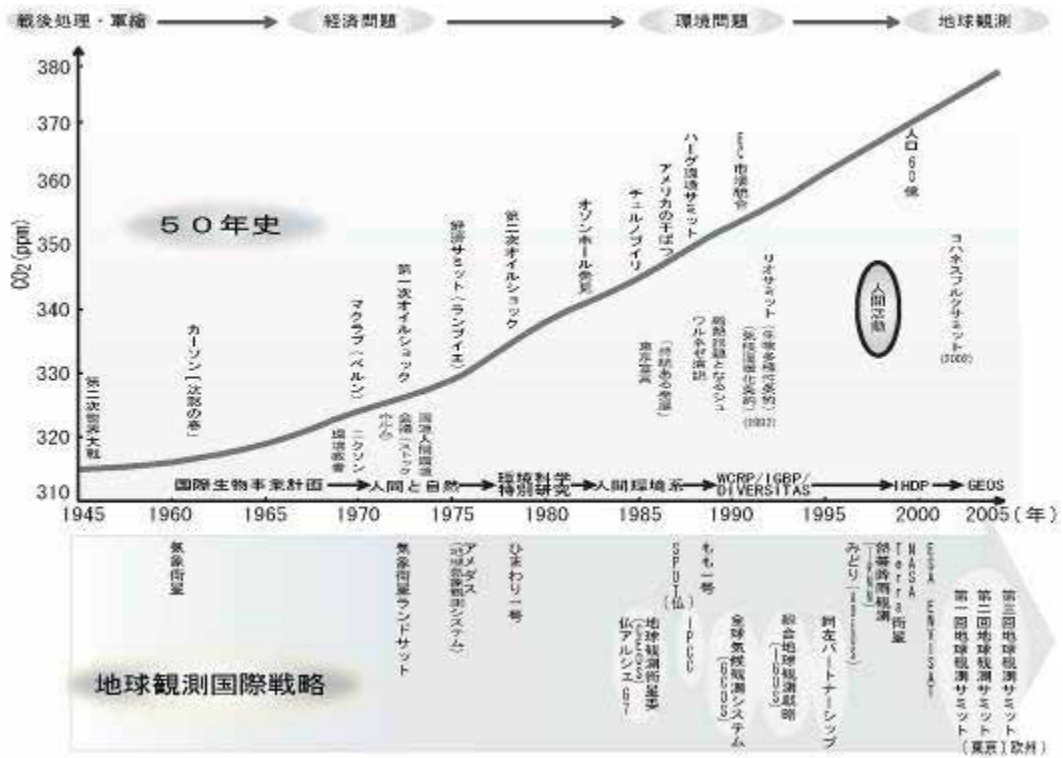
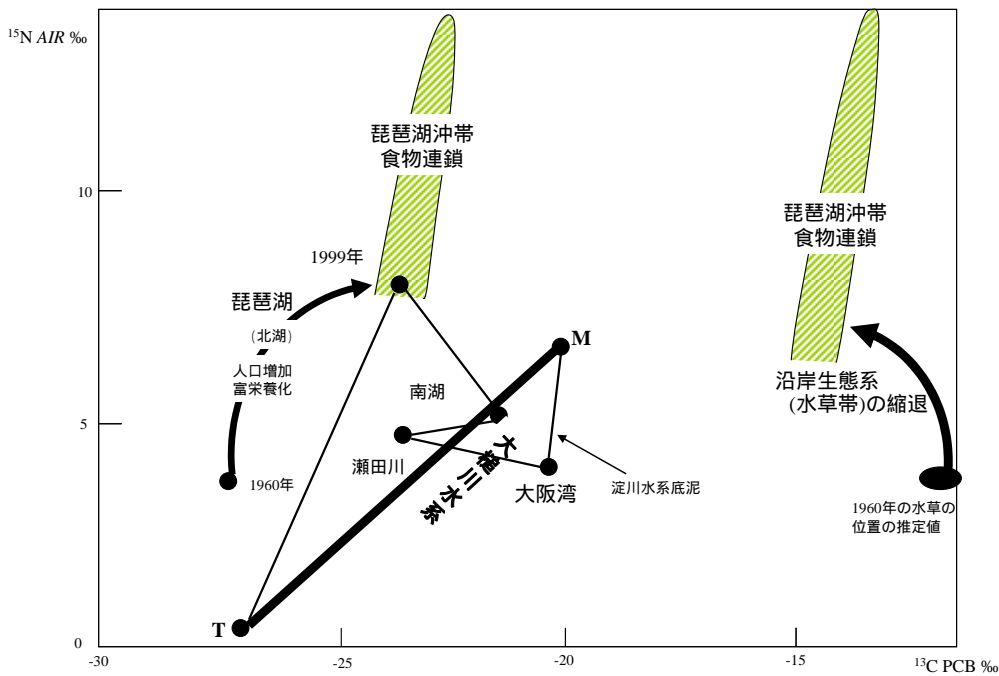
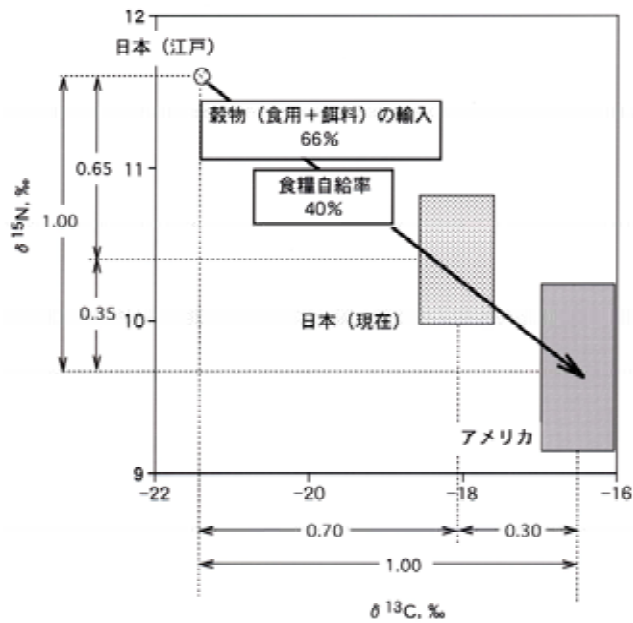


図1) 環境問題の50年史と大気二酸化炭素の増加



琵琶湖食物網構造の近過去史

図2) 琵琶湖の 15N- 13C マップの40年の変化



日本人毛髪の ^{15}N 値の変化
(髪の毛のデータはMinagawa 1992)

現在の日本人食糧の輸入依存度と安定同位体比

図3) 人の髪の毛の同位体比と食料の輸入

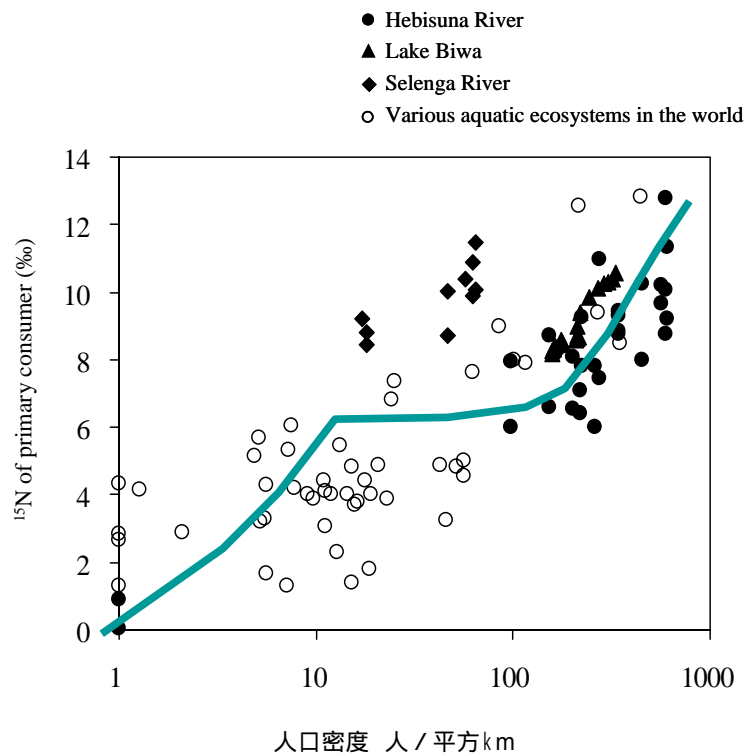
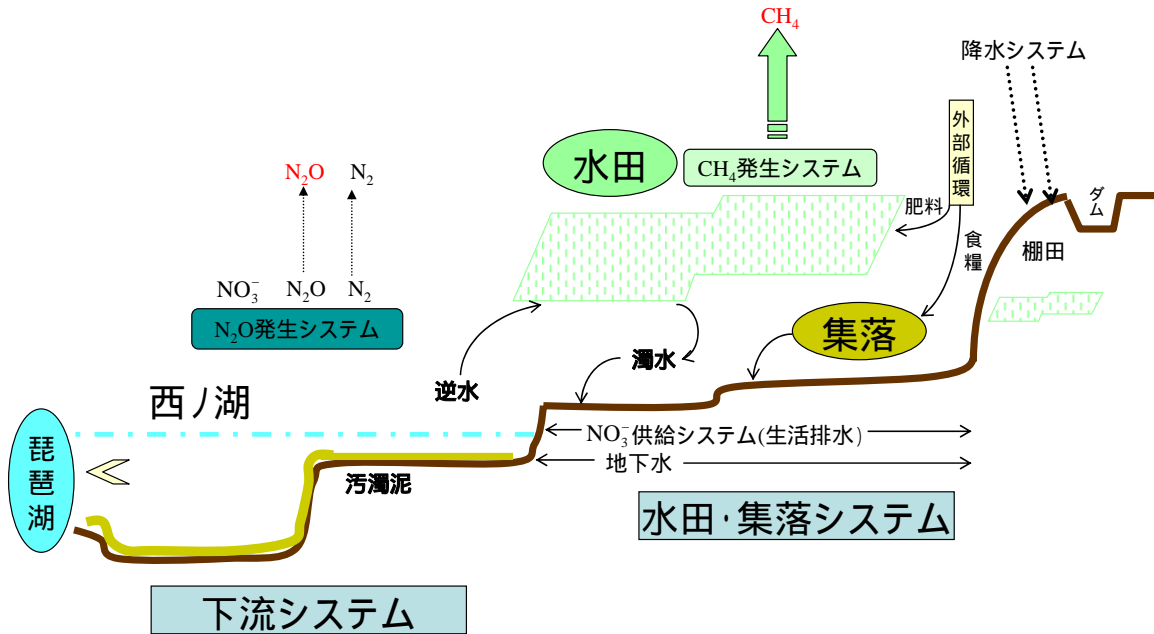


図4) 河川 POM の ^{15}N と集水域の人口密度との関係

蛇砂川水系のN動態

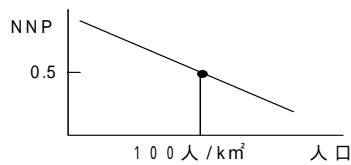


NO₃の濃くなった河川水がヘドロのたまった下流に流入し、不完全脱窒のためN₂O生成システムとなってしまうことが想定される。

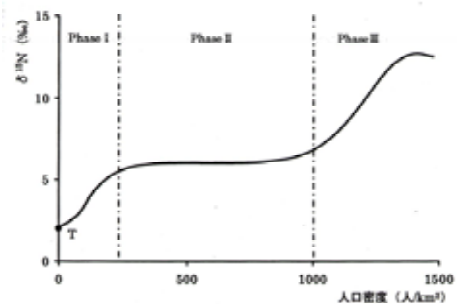
図5) 汚濁小河川のN₂Oの発生予想図

琵琶湖で得られた環境容量と環境状態にまつわる知見

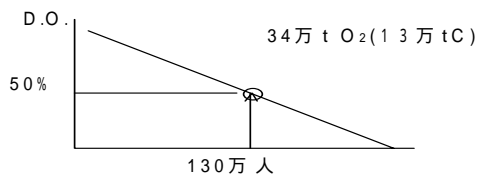
1) 森林の消失(モンスーンアジアの平均)



3) 集水域の小河川



2) 利用可能な溶存酸素量



水系の人口密度と堆積物や懸濁粒子の¹⁵Nとの関係

図6) 琵琶湖で得られた環境容量に関する図、

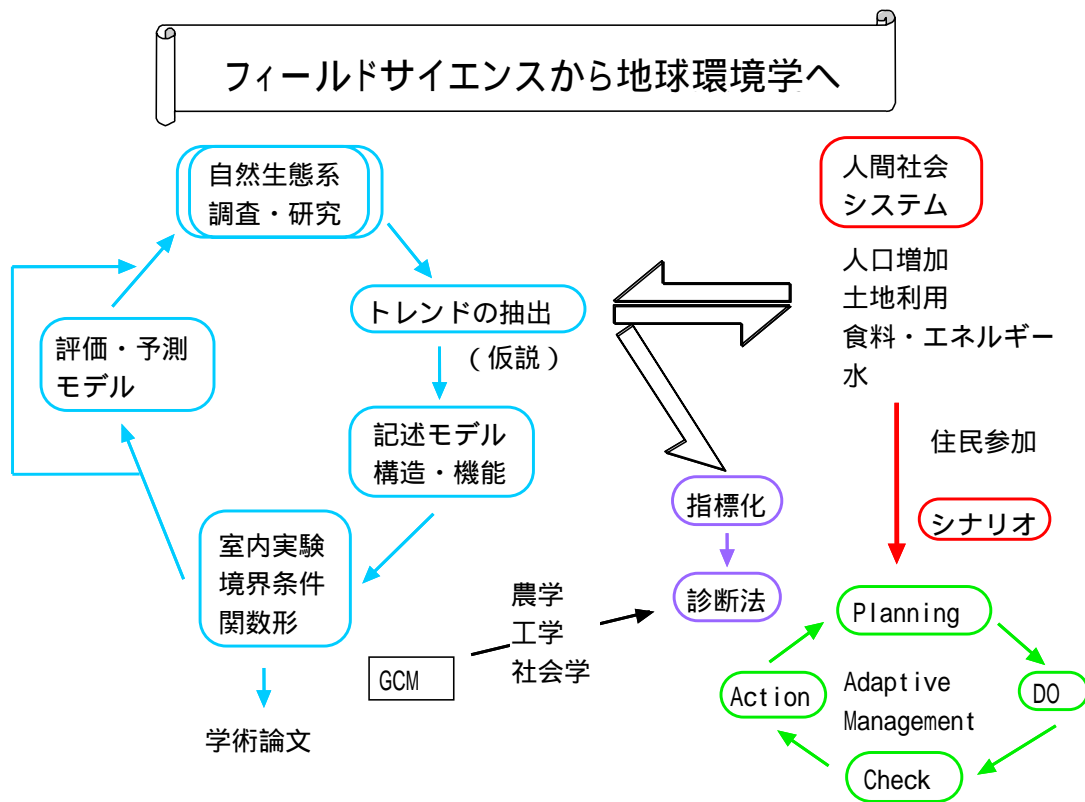


図7) 新しい環境科学と Adaptive Management の位置づけ

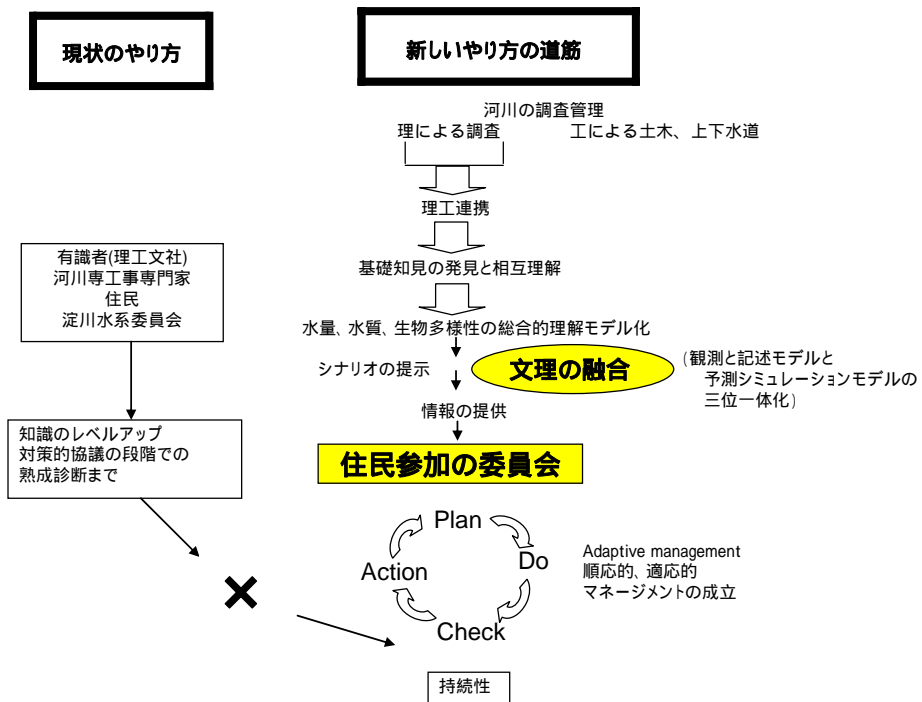


図8) 文理連携の模式図

2.1.5 自然再生の目標像と社会シナリオ（中村太士）

（1）はじめに

日本では、2001年7月に首相の私的懇談会「21世紀『環（わ）の国』づくり会議」において自然再生型公共事業の推進が提案され、失われた自然を積極的に再生する取組みを公共事業のテーマとする方針が打ち出された。また、2002年3月に「自然と共生する社会」の実現のためのトータルプランとしての「新・生物多様性国家戦略」が閣議決定された。そこでは、生物多様性の保全と持続可能な利用のための3つの施策方向のうちのひとつに「自然再生」が掲げられた。これらの背景を受けて、2002年12月に自然再生推進法案が成立している。

自然再生推進法案に関しては、当初から多くの自然保護団体、NPO、日本弁護士連合会などから、内容の修正もしくは反対の声明が出された。反対理由の根本には、この法案が新たな大規模公共事業を助長するのではないか、という不信感がある。自然再生事業の事業省庁は、国土交通省、農水省、環境省であり、これまでの方針とは「大きな転換」と映るからである。国土交通省（旧建設省）は、1896年の河川法制定以降、治水・利水を目的として河川を直線化し築堤してきた。それが今、堤防を引いて直線化する以前の蛇行河川に曲げるとはどういうことか。農水省は1961年の農業基本法制定以降、機械化による農業生産と効率の拡大を目的に、湿地や泥炭地を排水処理して農作物を生産できる農地を拡大してきた。なぜ今、農地を湿原に戻す必要があるのか。林野庁は戦後の国内需要の急騰に対応するため天然林を伐採し針葉樹拡大造林を実施してきた。なぜ今、自然林の再生を実施するのか。環境省はこれまで事業省庁としての実績がないが、技術的・制度的な裏付けがあるのか等々。河川法、農業基本法、（森林）林業基本法の改正、新・生物多様性国家戦略の策定など、各省庁内部ではそれなりに議論を煮詰めて今回の自然再生法案に到達したのだと推測するが、国民にその方向性が充分理解されているとは言い難い。人間が再生した自然は、元々あった自然生態系に比べれば、必ず劣る。むしろ今ある自然環境を守ることこそまず考えるべきであり、自然再生事業はその次である。

以上の観点から、自然再生事業が国民にひろく受け入れられるためにまず必要なことは、国の国土保全政策、農業政策、自然保護政策の一貫性である。そのためには、自然再生事業をこれまでの政策の評価と今後の方針のなかできちんと位置づけなければならないし、全く異なる新たな大規模公共事業を起こすなどと考えるてはならない。各省庁のこれまでの

施策と全く同じ延長線上にはないとは言え、何らかのかたちで過去の施策の評価にもとづいた自然再生事業の必要性をきちんと位置づけるべきだと思う。

国土交通省河川局が新河川法で定めた治水と利水、そして環境の軸がバラバラであってはならない。つまり、自然再生事業を実施することによって、治水や利水面でもより向上することをめざすべきである。日本は明治の河川法制定以降、高水工事を中心に築堤し河川を直線化してきた。その結果、都市型水害に見られるように、洪水のピーク流量はますます増加し、河道対策では限界のあることがわかってきた。オーストリア、オランダなどヨーロッパ各国で実施されている河川再生事業の多くは、一部堤防撤去も含む氾濫原再生であり、治水効果も必ず説明されている。内容は、ほとんどが河道拡幅もしくは氾濫原再生に伴う洪水貯留機能の向上である（中村 2002）。洪水貯留効果を考慮すれば氾濫原の復元事業は治水効果をもつと考えられるし、大規模な氾濫原湿地の拡大は、水質浄化にも少なからず機能するはずである。また、谷壁斜面の森林よりも平坦な地形面を形成し、厚い堆積物で覆われている河川氾濫原や後背湿地帯を保全し、河道を直線化せずに蛇行流路として維持することの方が、渇水期の水源涵養機能は大きいと思われる。このように、自然再生事業は目的である生態系の回復以外にも治水・利水・水質面からの評価が同時に必要である。

最も難しいのが農水省の自然再生事業だと思う。日本の伝統的な農村景観としてぜひ保全したい棚田の再生などは、農業という生業が維持されることによって存在する広い意味での自然であり、世論の賛成を得られると思う。また水田や用水路網なども、少し工夫をすれば生物の多様な空間を造成することができ、これも人為が加わることによって維持されてきた水田生態系として、農水省が行う再生事業になじむ可能性は高い。しかし、北海道における牧草地の湿原化などは、農業生産もしくは農地保全の観点から評価することは少々難しい。なぜなら、かつて農地改良事業によって明暗渠排水路を整備し、湿原を乾燥化させ、客土による農地化を実施してきた歴史があるからである。現時点で筆者が現在考えられる説明は「自然再生事業によって河川沿いに造成される湿原は、洪水時には氾濫貯留域として、さらに平常時には逆に農地からの肥料や糞尿が河川に流出するのを防ぐ緩衝域として機能させるため」である。近年、牧草地で使用される肥料や農薬、家畜の糞尿、農地侵食によって発生する微細土砂が、河川水質を悪化させており、流域の住民ならびに沿岸域の漁民にとっても重要な関心事になってきている。河畔の湿地帯は、ヨーロッパを中心とした研究によって、栄養塩や微細土砂などを効率的に除去したり沈殿させたりする

ことが実証されており、再生事業はこの点からも評価できる可能性は高い。いずれにしても、農地整備・防災計画にしっかりと再生事業を組み込んで社会に説明すべきである。

環境省には再生事業の理念や考え方において、ぜひともイニシアティブをとってもらいたいし、技術的な側面は、国土交通省ならびに農水省の協力を得る体制を作ってほしい。また多くの批判にあるように、今残っている貴重な自然をまず保護することを優先してほしい。こうした保護区が自然再生事業区の近隣にあれば、後で述べる再生の目標像を決める上で貴重な情報を提供するばかりか、再生事業区への移入・定着を可能にする生物種の供給場所として重要な役割を担うはずである。ぜひとも再生事業区の拡大とともに保護区の拡大も進めてほしいものである。また、保護区の考え方は河川整備や農地整備計画においても検討すべきで、現在残された貴重な自然環境を、今後の河川・農業事業で壊さないこと、つまり壊さなくてもできる新たな工法および計画を、環境アセスメントを踏まえて立案してほしい。

以上のようなかたちで、第1に国の国土保全政策、農業政策、自然保護政策の一貫性がしっかり示され、その中で自然再生事業がきちんと位置づけられること、第2に計画から立案、事業実施までが公開のうえ、NPOも含めた様々な管理主体の参加のもとに実現されれば、やがて国民の不信感は消えてゆくであろうと考えている。

(2) 自然再生、もしくは自然復元という言葉のもつ意味

前章で述べたように、自然再生事業は全く新たな大規模公共事業ではない。むしろ考え方の基本は、これまで安全性や利便性、生産性を追求するあまり、生物の棲めない単調な森林、人工河川や氾濫原、湿地や干潟を創出してしまった反省の上で、自然に与えてきた人為的規制を取り除き、自然が戻る力を生かすことである。

日本語において「自然再生」と「自然復元」とは同義であると思う。またこれらの言葉を英語で言うと「restoration」になる。他にも「revitalization（再活性化）」や「re-naturalization（再自然化）」など、スイスやドイツの近自然工法に対応するような用語が使われる時もあるが、科学論文ではあまり目にしない。restorationとは文字どおり「元に戻すこと」であり、「人為的攪乱以前の物理・生物・化学的特徴を持つ生態系に戻すこと」と定義されている。但し、実際には人為的影響が及ばない以前の昔の河川や湿地に戻すことは、土地利用などの社会制約条件を考えると不可能に近い。そこで、必ずしも昔に戻すことではなく「重要な機能と生息場環境を提供する自律した生態系をめざして改

良する」考え方も重要である。この restoration を「rehabilitation (修復)」として区別している海外文献も多い (Lake 2001)。復元 (restoration) と修復 (rehabilitation) を生態系の機能と構造の観点から図示すると図 - 1 のようになる。

もう一つ、近年よく使われる言葉に「ミティゲーション mitigation (影響緩和)」という言葉がある。もともと開発行為に伴う生態系への影響を最小限にするために行われる回避・低減・代償などの保全措置を意味する言葉であり、restoration とは異なる。しかし、ミティゲーションにおける広域および事業対象地域の基礎調査、ならびに代償ミティゲーションとして元々あった生態系に類似した生態系を創出しようとする場合の考え方は多くの点で復元の考え方と共通している。

日本の自然再生には、釧路湿原における再生事業のように、原生的自然を再生する試みと共に、阿蘇カルデラにひろがる草原再生のように、二次的自然を再生する試みがある。さらに、海外の自然再生に関する論文を眺めると「passive restoration (受動的自然復元)」と「active restoration (能動的自然復元)」という言葉が使われている (Wissmar and Beschta 1998)。ここで自然再生事業として強調したい考え方は前者の passive restoration である。passive restoration とは、「自然がみずから回復しようとする場合、まず必要なことは、それを規制している人為的要因を取り除くこと」であり、その後は「自然がみずからのシステムを創りあげるのを待つ姿勢」を意味する。こうした考え方は、原生的自然を再生する上できわめて重要である。人間はあくまでもその手助けをし、仕上げは自然に任せる考え方が重要である。

一方、里地里山に代表されるように、日本の自然景観の多くは、人間の営みが加わることによって維持されてきた二次的自然によって構成されている。これらの自然景観を復元するためには、明らかに「active restoration (能動的自然復元)」を実施しなければならない。ただ、どこまで能動的に対処するかについては、研究者の中でも意見が分かれるところである。また、二次的自然の再生で強調したいことは、できる限り循環的な生業によって維持することを考える知恵である。阿蘇の草原再生では、入会地 (組合) の維持や畜産や農業による草地の利用がカギになる。ボランティアでこれらの草地景観を維持することは、ほとんど不可能である。生物多様性維持の観点から、生業による維持とボランティアによる管理、さらに放置して森林化をめざす区域など、より具体的な地域区分が必要になると考えられる。

(3) 目標と評価の明確化

これまでの安全性や利便性、生産性については、全国一律の基準（たとえば洪水確率など）によって目標を設定し、実施することができた。しかし、環境、すなわち健全な生態系の整備と保全となると、途端に一律の基準を設定することができなくなってしまった。健全な生態系は、地域特有のものであり、地域ごとにその目標が変わることを念頭に置かなければならないからである。一方、今後の公共事業では、必ず目標と評価軸の提示が求められ、その成果が問われることになる。地域ごとに特徴ある目標をいかに設定し評価してゆくかは、自然再生事業の成否を決める重要な課題である。

ここでは2つの考え方を提案したい。一つは標準地（reference site）の設定であり、もう一つは順応的管理(adaptive management)の実施である。未だ手探り状態の再生事業を成功させるためには、目的 目標 実施 評価(検証)の手順を科学的に検証する必要がある(図-2)。まずは、目標の設定が重要である。自然復元の最終目標は、「人為的攪乱が加わる以前の生態系」であり、自然再生区の周辺で未だ人為的影響があまり加わっていない地域を目標像の標準地(reference site)として選出するのが望ましい。こうした標準地はいわば自然復元の手本になるばかりではなく、再生事業区への移入を可能にする生物種の供給場所として重要である。しかし、日本ではこうした手つかずの自然が周辺に残っていること自体まれで、過去の空中写真や調査資料をもとにその目標像を描くことが多いと思われる。

目標が決まった後は、再生事業の実施および評価段階である。ここでは再生事業区の環境傾度(水文、地形、土壌、光、気象、攪乱など)を標準地のそれに近づけることによって復元することを試みることになる。特に、標準地の植生を決定している要因を直接傾度分析(direct gradient analysis)によって明らかにし、まずは動物の生息場環境の基盤となる植生を復元することが肝要である。

目標像に近づくために要する時間も事業規模、さらに生物によって異なり、事後モニタリングの期間を決定するうえで十分考慮されなければならない。たとえば、個々の小湿地を復元するためには数年程度しかかからないのに対して、氾濫原全域を復元するためには数10年の時間を必要とするだろう。地域の生態系や生物多様性を客観的に表現することは、多大な時間と労力を必要とする。そのため、モニタリングによる再生事業の評価でも、対象地域の生態系を代表する生態的指標種(ecological indicators)や生物間相互作用の要を構成するキーストーン種(keystone species)、もしくは栄養段階の最上位に位置するアンブ

レウ種(umbrella species)などに注目して、これらの種が安定した個体群を維持できるような環境が復元されたか否かで評価することも多い。

(4) 自然再生を実施するにあたっての階層的考え方

図 - 2 に示したフローには、実は3つの空間スケール概念が含まれている。一番上段に書かれてある「保護・保全すべき生態系と修復すべき生態系の区分を地図化する」ためには、広域のスクリーニングが必要であり、医学で言えば「集団検診」に当たる。ここではこのスケールを地域スケール (regional scale) と呼ぶ。広域のスクリーニングによって、修復すべき生態系が抽出された段階では、生態系を劣化している原因を解明するために、「現状を把握に向けた詳細な調査を実施する」ことになる。これは、医学で言えば「精密検査」に当たる。原因解明に向けた流域スケール (catchment scale) の調査である。流域スケールの精密検査によって生態系を劣化させている原因がある程度絞られてきた段階では、その治療法を検討しなければならない。しかし、生態系の再生技術はいまだ初歩的段階であり、治療は試験的にならざるを得ない。順応的管理の必要性が言われるゆえんであり、試験的な再生技術の適用は地域限定的にならざるを得ない。ここでは、このスケールを地区スケール (local site scale) と呼ぶ。

1. 地域スケール (regional scale)

このスケールは 100 km² ~ 1000 km² オーダーの空間サイズを意味する。

日本の環境アセスメントや復元事業が、未だ初歩的段階にある原因の一つがこのスケールにおける解析がきわめて遅れていることに起因する。また、現存する自然生態系が、その重要性も認識されずに安易に改変を受けているのも、このスケールの解析に基づいた結果が地図化されていないことによる。地域スケールの解析はいわば生態系の評価と保全を目的に実施されるものであり、種の保全とともに、自然保護を進めるうえでの車の両輪を形成する。日本の保護論の多くは「絶滅に瀕する種 (endangered species)」には向けられるが「絶滅に瀕する生態系 (endangered ecosystem)」に対する配慮はきわめて弱い。米国では 1990 年代の初めから生態系管理 (ecosystem management) が台頭し、生態系プロセスを模倣することによって、生物多様性を保全しようとする動きが顕著になった (Franklin 1993) のに対して、日本では種や遺伝的なレベルにおける多様性保全にとどまっている。

現状の生態系の評価ができないならば、保護や保全・再生の検討はできないと言っても

過言ではない。手法的には広域をカバーする必要があるため、既存の地図データ（植生図や森林区分図、地形図、地質図、土地利用図等）環境影響評価等の調査事例、各機関の報告書、空中写真、衛星画像などによって把握することを主眼に置くべきであり、現地調査による情報収集は最小限にならざるを得ない。

こうしたスクリーニングの手法ならびにデータの基準化については、欧米やオーストラリアなどの発展国で検討され、すでに国土全体にわたって実施されている。欧米やオーストラリアで実施されている河川の診断内容を整理すると、以下の基準が見えてくる。

主として生物指標（水生昆虫、魚類等）からの評価であるか、物理指標（水質、流速、流量、河川構造等）からの評価であるか。

リファレンス（基準地：手本）との比較によるものか、点数積算による評価か。

解析の対象となる空間スケールはどの程度の大きさか。

遅れている日本の現状を考えると、既存の地図データやリモートセンシングを利用して診断に必要なデータを収集し、早急にある程度の評価手法を確立しなければならない。そのためには、植物データと物理環境である程度の診断を実施し、既存の動物データはその評価として使うことが考えられる。診断も細かく細分化する必要はほとんどないだろう。EU 全体で実施されている評価を見ても、たとえば生態系の健全度を5段階程度に区分して、健全度1（劣化した生態系を指す）の生態系の30%を、今後10年間に健全度3（中程度の健全度）の生態系に回復させることを「目標」として宣言し、EUからの資金援助を受けている。

診断そのものを細かく評価する必要はないが、診断の基準はしっかり組み立てなければならない。同じ森林、河川、湿原生態系と言っても、日本の国土ではさまざまな構造と組成、さらに機能を有している。生態系の機能評価が十分でない現状を考えると、安易なスコアリングによる評価は、地域特性を失う可能性もある。生態系管理の基本が、プロセスの模倣と達成した状態による評価であることを考えると、ここではリファレンスとの比較による評価軸を導入したい。そのためには、まず気候・地質・地形条件の類型化、そしてそれを反映しているであろう植生構造・組成の類型化を通じて適切なゾーニングを行い、そのなかでリファレンスとなる生態系を定める必要がある。リファレンスを仮に健全度5（もっとも高い）と評価したとすると、現状はその状態からどの程度開きがあるのかを判断することによって、段階的に評価することができる（図 - 1）。

2. 流域スケール (catchment scale)

このスケールは 10 km² ~ 100 km² オーダーの空間サイズを意味する。

仮に地域スケールのスクリーニングが終わり、劣化した生態系が抽出でき、その分布からプロセスが類推することができれば、次に重要なことは現地における精査であろう。流域スケールでは、集水域からの物質生産と流出が、生物生息場環境にいかなる影響を与えているかを明らかにすることが重要である。人間の生産活動が水や土砂、栄養塩の流れを変化させて生物生息場環境を劣化させてきた歴史を考えると、物質の流れとハビタットの関係を科学的に解明し、劣化原因にもとづいた復元手法、対策案まで提言したい。

解析方法としては、直接環境傾度分析(Direct Environmental Gradient Analysis)が重要となる。HEP(Habitat Evaluation Procedure)や河川でよく使われる PHABSIM(Physical Habitat Simulation System)などで議論される HIS(Habitat Suitability Index)などは、直接環境傾度に基づいた分析手法である。特徴は、地域スケールの分析方法の多くが、群集や生態系全体の診断・評価を目的としているのに対して、傾度分析は対象とする植物種もしくは動物種のハビタット環境評価として使われている点である。

物質の流れと生物の生息場環境を一般化して議論するために、ある河川区間における物質の流れを考えたい。たとえば、森林、草地、そして湿原生態系に至る流域の一連の過程を考える(図 - 3)。釧路湿原の事例では、森林や牧草地生態系で生産された物質が湿原生態系に堆積し、湿原縁辺部から立地条件を変えている。その結果、スゲやヨシの低層湿原群落がヤナギ類やハンノキを中心とした木本群落に変わろうとしている(Nakamura et al. 2002)。

仮にある種 *b* は S がプラスになる(貯留・堆積)生息場環境を好み、ある種 *a* は、 S がマイナスになる(流出・洗掘)生息場環境を好むことにする。流域物質収支のバランスが崩れて、貯留・堆積が一方的に進んだ場合、*b*種によって優占されることが予想できる。釧路湿原の樹林化はこのシナリオを証明している。鬼怒川や多摩川のカワラノギクの保全なども、レキ床河原が形成・維持されるような流砂の連続性や攪乱体制が維持されない限り、対処療法から根治治療へ向かうことは難しい。土地開発によって崩れた物質収支バランスと攪乱体制を修復することが、流域スケールの再生事業を成功に導くカギである。

3. 地区スケール (local site scale)

このスケールは ha ~ 1 km² オーダーの空間サイズを意味し、検証実験によって作業仮説を確かめるスケールである。

実験をする際に注意しなければならないことは、原因を検証するためのデザインになっているか否かである。実験計画は、実験する内容と社会的許容度にもよるが、事前調査(Before)と事後調査(After)という時間評価軸と、標準区(Reference)、対照区(Control)と改変区(もしくは再生事業区)(Impact)という空間評価軸をもつこと、さらにできるかぎりくり返し(replication)を設定することが望ましい(中村 2003a)。この BARCI デザインによって、目標像に近づけるための手段とその効果を科学的に検証することができる(図 - 4)。つまり、事業実施以前の標準区と改変区の立地環境は大きく異なり、再生事業によって改変区の環境を標準区のそれに近づける工事を実施する。事業後、改変区の生態系が変化し標準区と同様な組成や構造をもつ生態系を創り出すことができるかどうかによって評価することになる。ただし再生事業の規模が大きくなればなるほど、対照区や改変区のくり返しを設定することは不可能になる場合も多く、それぞれ1地区において複数回の事前事後調査を実施し、この時間的くり返しで統計的有意性を検証する方法も考えなければならない。

生態系の劣化原因が流域スケールの解析によって明らかになり、その原因をなんらかの方法で取り除いてやれば、生態系は健全な方向に向かう。受動的再生(passive restoration)の原則である。こうした実験による検証は、地区スケールで試みる重要なアプローチといえ、様々な治療法を試み、その中から最良の方法を選ぶことも可能になる。

(5) 情報公開と地域合意

国民に根強く残る行政への不信感をぬぐい、再生事業への理解を得るためには、徹底した情報公開しかない。自然再生事業の事前調査、立案、事業実施、モニターに至るすべての過程を公開しながら進めることが重要である。

また、地域では大学研究機関ならびに行政組織によって、さまざまな調査研究が実施されているにもかかわらず、そのデータは個々の組織や研究者が保持しており、ほとんど公開されていないのが現状である。したがって、再生事業の事前調査段階で、すでに実施済みの調査内容まで含めてしまうことも多く、何らかの形で情報を整理し共有してゆくシステム作りが必要である。合意形成の最低条件は情報の共有であり、これなくして地域合意はありえない。希少種や個人情報などを除いて公開できるデータは全面公開する方向でデータベースの構築を急がなければならない。これまで各省庁で検討されてきたデータベースの形式は、縦割りを反映してそれぞれの事業担当内容のみの情報に限られていた。しか

し、地域性を重視する自然再生事業では、地域を限定すれば、自然情報や土地利用情報、事業内容、さらに文章ファイルを含むこれまでの調査内容を串刺しにして抽出することのできるシステムが必要である。このためには、利用しやすいメタデータファイルを作成し、将来的には Web を通じて自由にアクセスできることが望ましい。行政が勝手に計画を進めているといったイメージでは自然再生事業の地域合意は得られない。NPO などの各種団体とも情報を共有しながら協力し、地道に事業を進めることが肝要である。

情報公開のみならず、地域住民や NPO の積極的な参加も促したい。自然再生事業の目標像は、地域のランドデザインや方針があって初めて明確なものになる。人為が加わる前の自然にもどしたいのか、里山等の人間が管理してきた自然が必要なのか、など様々な目標像が議論されるべきである。自然再生事業のモニタリングも、市民ボランティアを地域から募集し、研究者やコンサルティング会社の専門家といっしょに実施できれば、地域理解も深まる。さらに、小中学校の総合教育や社会人教育、専門家研究の場として生かされることが望ましいし、エコツーリズムなどの見学サイトとして機能し、地域活性化の一翼を担うことができれば、関心がますます高まるであろう。

(6) おわりに

本小論は、引用文献にある中村 (2002)、中村 (2003 b) ならびに中村 (2004) の内容に加筆修正し、全体を再構成したものであることを付記する。

引用文献

Franklin, J. F. (1993) Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscape? *Ecological Application* **3**: 202-205.

Lake, P.S.(2001) On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. *Ecological Management & Restoration* **2**: 110-115.

中村太士 (2002) 自然再生事業の現状と課題 . *環境研究* **126**: 55-63.

中村太士 (2003a) 河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論 - 釧路湿原および標津川における湿地、氾濫原、蛇行流路の復元を事例として - . *応用生態工学* **5**(2): 217-232.

中村太士 (2003b) 自然再生事業の方向性 . *土木学会誌* **88**: 20-24.

中村太士 (2004) 自然再生 - 地域 (region) , 流域 (catchment) , 地区 (local site) にお

ける分析と復元の考え方 . 日本緑化工学会誌 **30**(2): 391-393.

Nakamura, F., Jitsu, M., Kameyama, S., and Mizugaki, S. (2002) Changes in riparian forests in the Kushiro Mire, Japan, associated with stream channelization. *River Research and Applications* **18**: 65-79.

Wissmar, R.C. and Beschta, R.L.(1998) Restoration and management of riparian ecosystems: a catchment perspective, *Freshwater Biology* **40**: 571-585.

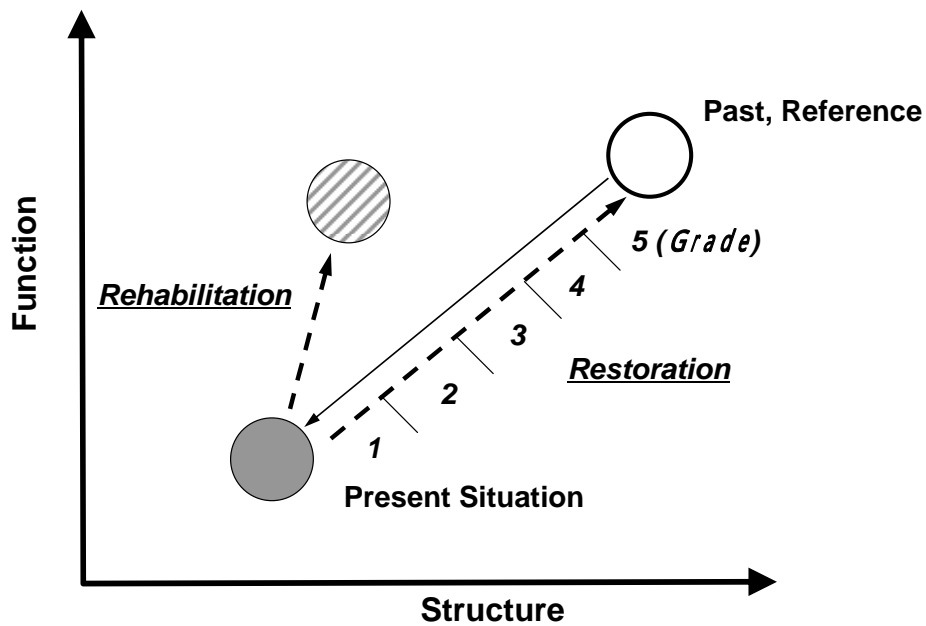


図 - 1 自然復元と評価の考え方（中村(2004)より引用）

ここでは、過去の生態系や目標となる生態系に戻す考え方を restoration(復元、再生)と呼び、構造を戻すことはできないが機能回復をはかる考え方を rehabilitation（修復）と呼ぶ。また、目標に到達するまでには様々な段階があると考えられ、それを grade として表している。

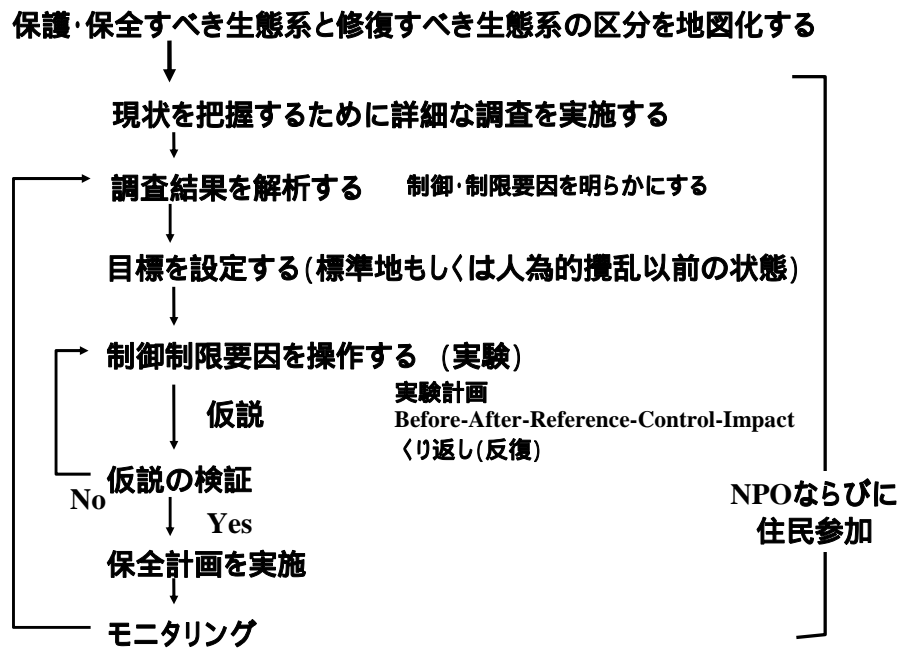


図 - 2 自然再生を実施する上での考え方のフロー

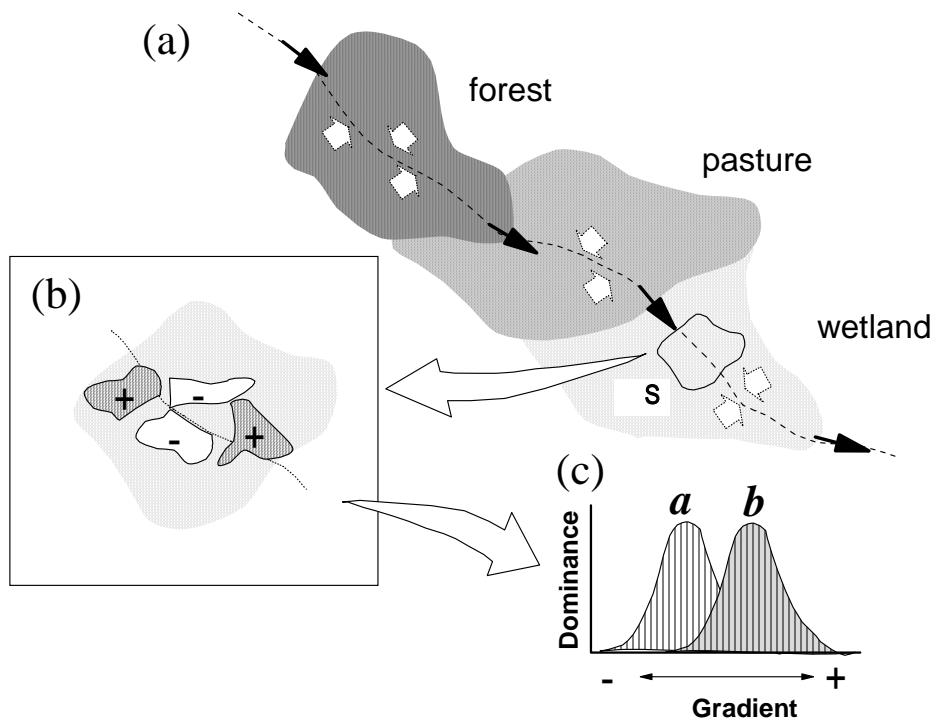


図 - 3 物質の流れと生物の生息場環境 (中村(2004)より引用)

(a)森林・草地・湿原生態系に至る物質の流れと湿原における貯留量 S の評価、(b)貯留量 S の空間的バラツキ、(c)物質貯留もしくは流出によってもたらされる生息場環境の変化と優占種への影響

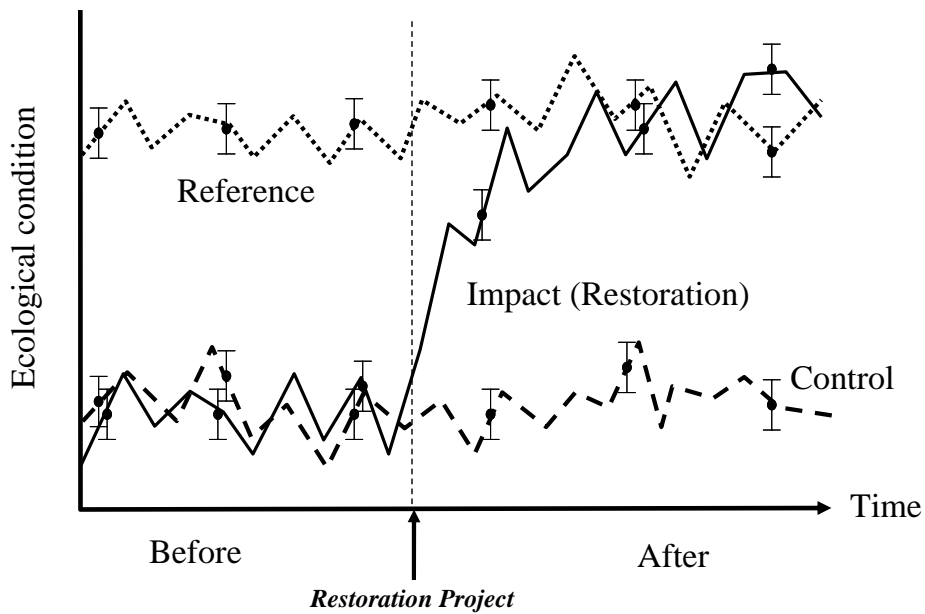


図 - 4 BARCI デザインによる再生事業の評価 (中村(2003a)より引用)

2.1.6 流域圏水循環系マネジメント（虫明功臣）

（1）はじめに - 水循環系として捉えることの意義

水の存在の仕方の最も基本的特徴は、一部の化石水を除いて常に循環していることである。水の循環は種々の物質の循環をともなっており、人間を含む地球上のあらゆる生物が、その循環過程にある水と係わっている。

その循環の仕方の特徴として、次の2つが、人間と水との係わりを考える上で基本的に重要である。

1) 自然現象として時間的・空間的に偏って変動する - ある時、ある場所に、集中的な豪雨があたり、あるいは逆に、少雨の期間が続くことなど - 。

2) 人間活動によっても変化する。

水の循環は、地球とそれを取り巻く大気圏、地圏、水圏、生物圏の様々な要素そして人為的要素によって構成されている。それら構成要素の複雑な相互関係を系統的に捉えようとする立場から、「水循環系」あるいは「水循環システム」という用語を使う。

最も大規模で閉じた系をなすのが、地球規模の水循環である。その主な駆動力となっているのは、太陽エネルギーと水の相変化に伴う大気密度の変化、地球の自転に伴うコリオリ力、それに重力の作用である。そうした駆動力の下に、地球上の海洋や陸域と大気圏それぞれの多様な要素の相互作用により地球規模の水循環システムは構成されている。地球規模の水循環においても、氷河期、間氷期、温暖期と言った地球歴史的な気候変動による変化やエルニーニョのような数年周期の自然的な海水面温度変動による変化に加えて、特に今世紀後半の産業活動の飛躍的な拡大による二酸化炭素等の温室ガスの増加など、人為的影響が顕在化しつつある。

人間と直接的に係わりが深いのは、河川流域を単位とした水循環系である。ここで河川流域とは、分水界を境として降水が集まってくる区域を言う。流域では、地上に達した雨の一部は地中に浸透・保留され、地中に入りきれない部分は地表面を流れて河川に流入し、地下水となった成分の一部もゆっくりと河道に浸出して河川水を涵養する、また、地表付近に保留された水は蒸発と蒸散により大気に戻り再び降水の成因となる。こうした自然の水循環系に加えて、ダムによる貯水、農業用水、生活用水、工業用水など各種用水の河川からの取水と排水、地下水の利用、築堤等の河川改修など、河川流域には様々な人工的水循環要素が関与していること、言い換えれば、人間が水の循環過程に働きかけ、それを大

大きく変化させていること、また、変化した水循環系によって人間側が大きな影響を受けていることが分かる。

特に 20 世紀後半からの始まった急激な人口増加と人間活動の拡大は、グローバルからリージョナル、ローカルに至る様々なスケールで水循環系に影響と変化を及ぼし、解決が必要な多様な水問題を発生させている。

具体的には、CO₂ 等温暖化ガスの増加に伴う気候変動と水資源の季節的・地域的分布の地球規模での変化、森林伐採や都市化の拡大による水環境の劣悪化と水災害の激化、安全な飲料水へのアクセスの不足、食糧生産のための水需要の増大と水不足、地下水の枯渇、水域生態系の保全・回復、などの問題である。

こうした水問題は、人間と水循環系との係わりの中で発生していると見ることができる。言い換えれば、水問題は、人間活動と物質循環をともなう水循環系との相互作用関係で系統的に捉えることができ、その解決のためには、人間と水循環系との好ましい関係を築くことが必要である。

人間と水循環系との係わりには、価値観と利害が異なる 3 つの側面、すなわち、水利用の側面、水害軽減の側面および環境維持の側面がある。また、同じ側面においても、例えば、治水・利水における上下流問題や左右岸問題のように利害が異なる場合が多い。これまで、研究領域においても行政分野においても、利水機能の向上、治水機能の向上あるいは環境維持機能の向上、さらにそれぞれの機能が細分化されて、個別的、縦割りの的に対応がなされてきた。例えば、河岸のコンクリート化は、洪水疎通能力を高める意味で治水機能上は最適解であるが、河川生態系の維持と言う点では最悪の対応であると言う例のように、単一の機能に着目した対応は、しばしば他の機能から見れば支障になることが多い。特に、環境の回復・保全の重要性への認識が高まった今日、それぞれの側面からの要求をいかにバランスが取れたものにし、持続可能な人間と水との総合的關係を築いてゆくかが、今後、流域を単位とした水マネジメントの基本的理念となるべきであろう。

こうした理念を表現するフレーズとして、近年、後述する「流域における健全な水循環系の構築」あるいは「流域水循環系健全化」が提示され、いくつかの流域において水循環系再生のためのマスタープランの策定と計画の実施が進められている。その発想は、従来から提唱されている“総合的水資源管理”や“流域管理”と気脈を一にするものである。しかし、“水循環系”という視点で水技術・施策を総合化しようとする立場からは、“総合的水循環系マネジメント”とか“流域水循環系マネジメント”といったほうが適切だと考えられる。

本稿では、次節において、水マネジメント特にその総合化に関する考え方を整理し、次いで、最近いくつかの流域で始められている「流域水循環健全化」概念に基づく水循環系マネジメントの現状と課題について紹介する。

(2) 水マネジメントにおける概念の整理

水に関連する行政分野はきわめて多岐にわたっている。いわゆる縦割り行政である。しかし、縦割り行政が決して悪いというのではない。これは、水が非常に多様な側面をもっており、水と人間との係わりには、要求と利害が異なる多くの課題があることの表れである。司、司でそれぞれの目的に沿った施策・事業の推進は大切である。

いっぽう、多様な側面をもっているために、水行政においては単独の観点だけで各課題に対応し解決を得ることは困難であるという基本的な性格をもっている。ほとんどの水施策や事業の実施に当たって、関連行政省庁・部局の間で調整が行われるのはその表れである。その意味で、水施策/事業では、古くからそれぞれの地域、各時代の水問題に応じて連携なり総合的対応が指向されてきたと見るべきである。

近代的な意味での「総合的水管理」や「流域管理」という概念が登場したのは、恐らく合衆国のテネシー川流域総合開発からであろう。これは、大規模なダム貯水池の開発が可能になったことを背景に、発電水力と灌漑用水や都市用水の開発とともに洪水調節とを併せ行おうという型の総合的水管理であった。これに対して、20世紀後半からの人口増加、都市化、工業化、過度の農業開発などによる急激な社会経済変化にともなって、特に20世紀最後の4半世紀から世界的に環境問題が重視され、水問題が複雑化、深刻化する中で、改めて、総合的水管理や流域管理が強調されている。現在の総合的水管理の特徴は、従来の利水・治水中心のトップダウン型の管理から、環境面を重視し、ステークホルダー参加型、ボトムアップ型管理の重要性が強く認識されている点である¹⁾。

“総合的対応”という言葉は、しばしば困ったときに使われ、その内容がはっきりしないことが多い。水マネジメントにおいても、最近、世界的にも、水を総合的に管理すべきであるとのコンセプトのもとに、似てはいるが、表現の違う用語が頻繁に使われる。すなわち、総合的水資源マネジメント、総合的水マネジメント、統合水資源マネジメント、統合水マネジメント、あるいは、流域水マネジメントなどである。必ずしも定義をして使われていないので、誤解や混乱を起こす場合がある。そこで、水文、水資源工学の立場から、それぞれの用語に対する概念の整理を以下に試みる。その際、英語での概念のほうがあっ

きりしているので、英語を併記する。

- ・ 水マネジメント (Water Management)

総じていえば、人間の福祉と安全の向上とともに自然環境の保全を達成するために、自然の水循環系あるいは人工の加わった水循環系にハード対策（施設整備）とソフト対策（仕組み・制度）を適用すること。水マネジメントの対象には、各種用水の給水と排水、水質の改善、洪水災害・土砂災害の軽減、親水と生態系の保全・再生など、多岐にわたる分野がある。それぞれの分野で目的を達成するためのマネジメント計画の策定から、必要な施設とその運用に関する計画立案、施設整備および施設完成後の操作、運用、経営までの各段階を含む。水循環系を重視する立場からは、“水循環系マネジメント (Water Cycle System Management)” を提唱したいが、こうした英語表現は未だ見たことがない。

- ・ 水資源マネジメント (Water Resources Management) と水マネジメント (Water Management)

欧米では、水資源は広義には利水、治水、水環境を含んだ用語とされている。しかし、水災害のウエイトが低い欧米や乾燥・半乾燥地域での水資源マネジメントには、治水を含んでいないことが多く、利水と水環境を対象として狭義な意味で水資源マネジメントが使われているのが、一般的である。この狭義の水資源マネジメントと区別して、治水はもちろん水問題全般を対象にした管理を水マネジメントとしたほうが、両者の相違が分かりやすい場合がある。

- ・ 総合的 (comprehensive)

関連する種々の要素が広く包含されていること。comprehensive は「包括的」と訳すのが適切であるが、我が国の水分野ではこれと同じ意味で「総合」あるいは「総合的」が使われていることが多い。因みに、我が国の「総合治水対策」の英訳は、「Comprehensive Flood Control Measures」である。

- ・ 統合 (integrated)

関連する種々の要素が構造をもって結び付けられていること。水分野には結び付けるべき要素が多く、この用語に含まれる意味も対象とする水問題によって異なるが、一般に水管理の総合化あるいは統合化に当たっては、表のような5つの視点、すなわち、(a) 機能的視点、(b) 地理的視点、(c) 行政的視点、(d) 水文・生態学的視点、(e) 学際的視点、が上げられる²⁾。これらの中で、(d) 水文・生態学的視点は、(a) 機能的視

点の一部と見ることができるが、特に環境問題の解決へ向けてのアプローチとして、水文循環と生態系の保全・回復という見方が重要であるので、敢えて一つの独立した視点として挙げてある。

- ・ 流域

陸域（地表と地下を含む）において水循環の諸過程と収支を考える上で設定される、分水界で囲まれた地理的区域。地表水が主な対象となる河川や湖沼の流域（River Basin あるいは Lake Basin, Watershed{支流域や小流域}、Catchment、Drainage Basin が使われる）の場合は、降水が分水界で分けられて当該河川や湖沼に集まってくる区域で、集水域とも言われる。地下水の場合は、帯水層（Aquifer；透水性をもち、水を含んだ地層）の構造によって決まる分水界を境として、涵養域と流動域を含めた区域を地下水流域あるいは地下水盆（Groundwater Basin）という。

- ・ 流域圏

上述の流域の定義は、水文学に基づくものであるが、水循環と人間との係わり、すなわち水マネジメントを考える場合は、この区域で完結しない場合が多い。集水域を越えて、利水域と排水域、また洪水氾濫域がある場合が多く、水マネジメントでは、当然こうした区域を含めなければならないからである。集水域と利水域／排水域と洪水氾濫域を含めて、流域圏という。こうした考えを広げると、広義の水利用はこの流域圏で閉じているわけではなく、間接的な水利用（Virtual Water - 仮想水）も考慮の対象になるであろう。今後の水マネジメントに Virtual Water の視点を取り入れられるようになると、流域圏の概念はさらに広がる可能性がある。

- ・ 総合的水マネジメントと統合水マネジメント

両者とも、前出の表における 5 つの視点のうち、(a)機能的視点や (d)水文・生態学的視点の総合化／統合化を目的として、(b)地理的視点の地理的範囲を決め、その目的を達成するために (c)行政的視点や (e)学際的視点の手段を講じること、といえる。具体的には、たとえば、上水供給や下水処理などの機能を結び付けて一体的に計画・管理すること、地下水利用と表流水利用を一括して管理すること、あるいは、ある地域の水不足と衛生問題を解決するために関連するステークホルダー（利害関係者）の連携・協働体制を作ること、などが上げられる。“統合的”と“総合的”との相違は、対象とする水問題に対して関連する機能が充分に取り入れられているか、さらに、明確な役割分担のもとに実行力のある行政的実施組織が構築されているか、によって判

表 . 連携・協働、総合化 / 統合化に当たっての視点

<p>(a) 機能的視点</p> <p>大きくは利水と治水と水環境、さらに細かくは、水の配分問題と水資源開発、上水 / 工業用水・農業用水・発電用水の供給と排水、河川洪水災害の軽減、都市内雨水対策、各種水質基準の策定と監視、生活排水・工業排水・農業 / 畜産排水の規制・処理、地下水利用の管理と規制、森林の保全・回復、水生生態系の保全・回復、等々、水管理には要求と利害が異なる様々な機能がある。</p> <p>対象とする水問題において、これらのどの機能を対象とし、各機能間を調整し、目的に対して有効な形にするかが、この視点である。</p>
<p>(b) 地理的視点</p> <p>規模や水計算に関わる基本的区域の問題である。例えば、地球全体とか、河川流域、地下水流域、行政区域、水管理組織区域、水に関する特定の場所や地域など、どのような地理的スケールで水管理を考えるかということがこの視点に含まれる。</p>
<p>(c) 行政的視点</p> <p>水管理は、一般に行政機関によって実施されるので、関連する行政機関の役割分担を決め、有効な連携・協働体制を構築することが重要である。これには、国あるいは地方自治体など同一レベルにあって異なる行政機関の間の横断的連携・協働と国 - 県 - 市町村のような垂直的連携・協働がある。利害団体、地域団体、市民 / 住民の参加もこの視点に含まれる。</p>
<p>(d) 水文・生態学的視点</p> <p>水文学的視点とは、降水、樹幹遮断、地下浸透、地表流出、地下水涵養、洪水流出と低水流出、蒸発散など自然的な水循環系と、ダム等による貯留調節、各種用水の取排水、土地利用変化など人工的な水循環系とを統合した水管理の面からの視点である。水文生態学的視点とは、水系あるいは流域における水循環システムとの関係で、植物、生物学的事項、野生動物学的事項などを総合的に把握し、保全・回復策を考える視点である。</p>
<p>(e) 学際的視点</p> <p>学際的視点とは、技術 / 工学、生態学、法律、財政、経済学、政治、社会学、心理学、ライフサイエンスなど、異なる専門分野から検討すること。</p>

断される。特に、要求の異なるステークホルダーの調整が鍵となる現代的な統合的マネジメントでは、組織の核となる、権限をもった調整機関を公的にオーソライズすることと、実施のための財政的負担を保証する措置を備えていることが、肝要である。

- ・ 流域管理

流域あるいは流域圏を地理的単位とした水の総合的ないしは統合的マネジメント。流域は、地表水、地下水ともその循環過程を追跡し、水収支や水需給バランスを考える上での基本単位であることから、水管理の上でも最も重要な地理的単位である。地表水が利水、治水の主な対象となっている湿潤地域では、河川流域を単位とした流域管理(River Basin Management, あるいは Watershed Management)が指向されるが、河川流域内の地下水も地表水と合わせて管理の対象となる。いっぽう、地下水が水利用の主な対象となっている乾燥/半乾燥地帯では、涵養量と取水量のバランスならびに水質保全を目標とする地下水盆管理(Groundwater Basin Management)が主体である。

英語では、流域圏管理という概念や用語はないが、正確には流域圏管理というべきと考えられる。

- ・ 小流域マネジメント(Watershed Management)

米国での流域管理(River Basin Management)は、1930年代のテネシー川総合開発に遡る古典的な概念で、利水と治水とを主眼として、多目的ダム等の施設と水源地や氾濫原の土地利用を含めて総合的に管理することを指向していた。その後、1960年代中頃から多くの河川で流域委員会を設置して総合的な管理を目指したが、成功した例は余り無いと評価されている。その主な理由として、米国では行政界が流域界とは全く関係なくほぼ直線で区切られている上に流域規模が大きすぎるので、流域単位で行政的管理を行うことが難しいこと、また、委員会に決定権限と求心力が無かったために、委員会メンバーに協働しようというインセンティブが生まれなかったこと、が指摘されている²⁾。

いっぽう、1980年代からは、環境保護庁を中心として、小河川流域単位での水質と生態系の保全・回復を主眼とし、市民参加を重視する流域マネジメントを推奨し、これを「Watershed Management」と呼んでいる。

(3) 「水循環系の健全化」を標榜した流域圏水循環系マネジメントの試み

1994年頃から国土庁水資源部、環境庁、建設省河川局と都市局下水道部など水関係省庁部局の間で“健全な水循環系の構築”あるいは“水循環系の健全化”という共通の政策フレーズが使われ、それぞれの省庁部局で個別に施策が提案・実施されていった。しかし、それぞれの施策が総合的な効果を発揮するためには、個別的な施策の実施だけでなく、関係省庁部局が連携した取り組みが必要であるとの認識のもとに、1998年に“健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議”(6省庁9部局)が設置された。この連絡会議の中間とりまとめ³⁾において“健全な水循環系”とは、「流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下に、ともに確保されている状態」と共通の定義が与えられている。

この定義の中で“流域を中心とした一連の水の流れの過程における人間の営み”とは、水資源工学の用語で“治水機能と利水機能”と言い換えることができる。したがって、水資源工学の立場からこの定義を読み直すと、「流域を中心とした水循環の場において、治水と利水と環境保全に果たす水の機能を適切でバランスの取れた状態にする」となるであろう。これは、総合的な“流域圏水循環系マネジメント”を志向する概念といえる。

都市河川流域を対象として水循環の健全化を図ろうとする試みが、1996年建設省河川局と都市局下水道部との連携の下に“都市の水循環再生リーディング・プロジェクト”として発足した。モデル流域として、東京都の神田川流域、千葉県の手賀川流域、埼玉県の大川流域、神奈川県の大井川と平戸永谷川流域および奈良県の菩提川流域の6流域が設定され、各流域で1998年に水循環再生構想を策定した後、いくつかの流域では実施段階に入っている。これらのケース・スタディを通して、都市の水循環再生構想を策定するに当たってのガイド・ラインが整理された⁴⁾。

流域の水循環再生と言うこのプロジェクトは、関連行政部局および地域・住民との連携と協働の下に実施するという点では、米国のWatershed Managementに似ている。市民・住民が自らの行動と係わりがあると認識できる流域という意味で、比較的小さな流域が対象となっている。この点で、利根川流域や淀川流域といった大河川の流域管理とは趣旨が異なっている。いずれのモデル流域においても、多数の行政部局、市民団体、企業、専門研究者などで構成される協議会が設置されている。構成メンバーは河川ごとの事情により異なるが、たとえば、海老川では、河川、下水道、環境、都市計画、公園、建築、住宅、

宅地、道路、教育委員会等の県と市の行政部課、都市基盤整備公団および専門研究者とともに、地域住民の参加・協力を得るために、複数の民間環境団体が構成される海老川流域水循環再生構想検討協議会が設けられた。立場が違う関係者が協働して事に当たるためには、計画立案当初からすべての関係者が参加していることが重要である。

その後、リーディング・プロジェクトの諸流域より規模が大きく、都県を跨ってより多くの関連行政機関をもつ新河岸川支流綾瀬川流域（東京と埼玉）と鶴見川流域（東京と神奈川）^{5）6）}、および利根川下流印旛沼流域（千葉県）^{7）}において、“水循環系の健全化”を理念とする水循環系マネジメント・プランの立案とその実施が進行している。これらは、いまだ途についたばかりで、行政部局間の連携・協働の意味でも、地域・住民参加型行政の意味でも、大きな社会実験といえる。

これらのマスタープランの立案やその実行の過程で得られた主な教訓と課題を以下に整理する。

- ・ 実際の河川流域で起こっている利水・治水・水環境に係わる問題は、上流域から中流域そして下流域へ、地表から地下へあるいは地下から地表へという空間的な広がりの中で、人間活動と水循環系との相互作用によって発生している。こうした認識の基にそれぞれ具体的水問題発生の因果関係をモニタリングとモデリングにより明らかにすること、これが問題解決へ向けての基本的な第1ステップである。
- ・ 具体的な水問題を流域水循環系というトータルな連鎖システムの中で捉えることによって、個別分野の縦割りの対応では問題の解決が困難であること、言い換えると、分野間の連携や総合的な対応が必要なことが理解できる。異分野間の連携・協働、異なる行政部門間の研究や施策の総合化は、一般論や抽象論では達成することが極めて難しい。しかし、現場で深刻な対処すべき問題が具体的に存在し、その解決に異分野/異行政部門間の協働が必要であることが認識されれば、連携や総合化は比較的容易に進む。まず、具体的な事例をもとに連携や総合化を進めるべきである。
- ・ 因果関係など水問題発生の構造をモニタリングとモデリングにより明らかにしようとする過程で、問題解決へ向けてのアイデアが得られる。その意味でも、具体的事例を対象としたモニタリングとモデリングの研究は重要である。
- ・ 流域水循環系（量と質の両方を含む）の中で具体的に水問題発生の構造をビジュアルに示すことによって、要求や利害が必ずしも一致しないステークホルダーの間に「流域共同体意識」をはぐくむことが可能である。

- ・ 「流域水循環系の健全化」は、手段であって目標ではない。最終的な目標は、これを通じて“地域の福祉と安全を向上させること”、活力のある地域社会の構築という視点が含まれる。
- ・ 流域あるいは地域の特徴 - 自然的・社会的・歴史的・文化的 - をどう捉え、何が求められているかについて知ることが重要である。それによって、総合化されるべき機能、地理的範囲、行政部門が異なる。画一的なマニュアルは無い。現に、上述したいくつかの事例の間で、掲げるキーワードは同じでも、行政機関や地域・住民の問題の捉え方、それに応じた連携や統合化の程度は著しく異なっている。
- ・ 多様な異なる要求（時には対立）をいかに調整するか？
 - 調整の核として、「協働的リーダーシップ (Collaborative Leadership)」が必要。現状では、そうした役割をもつ行政部門が無いので、流域的視点で行政を行っている行政部署が、その立場を越え、関連部局や地域・住民の信託を得ながら、この協働的リーダーの役割を果たすしかないであろう。
 - 流域協議会の決定に拘束力をもたせるために、これをオーソライズすることが必要。最小限、流域関係自治体の首長の合意によって、流域協議会の役割と権限についての申し合わせが無ければ、各自治体の関係部署が流域という視野で仕事ができないであろう。
- ・ 必要な資金をどのように調達するか？
 - すでに、計画が実行に移されている海老川流域では、実施プランの中に各行政部署がそれぞれの目的で実施する事業を位置付けている。将来、流域マネジメントの総合的目標を達成するために予算配分がなされる仕組みが望まれる。

(4) むすび

ここで述べた「流域水循環系の健全化」を標榜した水循環系マネジメントは、水分野に焦点を当て、都市、公園、環境、農地、林野、住宅・宅地、道路など、関連諸分野の施策と事業を総合化する地域/流域再生プロジェクトと見ることができる。その意味で、自然共生型流域圏・都市再生技術研究の趣旨に沿った好例ではないかと考えて、ここに紹介した。

環境分野の研究においても行政においても、異分野間の連携とか総合化の重要性、必要性が謳われているが、その実現は必ずしも容易ではない。しかし、特定の地域/流域における深刻な具体事例の解決を対象として設定すれば、事例そのものが分野横断的な総合問

題を含んでいるので、異分野間の連携・協働に対するインセンティブが自ずと生じることになる。ここに紹介した流域水循環系マネジメントへ向けての事例は、そうした方向性を持ってスタートしている。しかし、途についたばかりで、その成否の見通しは明らかでないが、やはり異分野間の連携や総合化が今後より具体的にどのように実現されるかが重要な鍵になると考えられる。

参考文献

- 1) 虫明功臣；流域水循環系の視点で考える - 新たな流域水マネジメントの構築、土木学会誌、87-3、27 - 30、2002.3
- 2) Neil S. Grigg 著、浅野孝監訳、虫明功臣・池淵周一・山岸俊之共訳：水資源マネジメントと水環境、技報堂出版、2000.8
- 3) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：健全な水循環系構築に向けて（中間とりまとめ）、1999.10
- 4) 雨水貯留浸透技術協会編：都市の水循環再生に向けて、1998.11
- 5) 鶴見川流域水委員会準備会：鶴見川とその流域の再生 - 鶴見川流域水マスタープラン策定へ向けた提言 - 、国土交通省京浜工事事務所、2002.3
- 6) 虫明功臣：都市の水循環系の再生、平本一雄編著、環境共生の都市づくり、第3章第3節、184 - 204、ぎょうせい、2000.2
- 7) 千葉県；印旛沼流域水循環健全化・緊急行動計画書、2004.2