

自然共生型流域圏環境アセスメント手法 に関する基礎的研究

STUDY ON STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHODOLOGY FOR ECO-COMPATIBLE RIVER BASIN MANAGEMENT

辻本哲郎¹・戸田祐嗣²・田代 喬³・尾花まき子⁴・佐藤圭輔⁵・椿 涼太⁵

Tetsuro TSUJIMOTO, Yuji TODA, Takashi TASHIRO, Makiko OBANA,
Keisuke SATO and Ryota TSUBAKI

¹フェロー会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 工博 名古屋大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻

³正会員 博(工) 名古屋大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻

⁴正会員 MSCE 名古屋大学大学院研究員 工学研究科

⁵正会員 博(工) 名古屋大学大学院研究員 工学研究科

This study aims to establish the technical framework of strategic environmental assessment considering eco-compatible management of river-basin. Environmental management of complex of multiple river-basins possessing a common bay is just a integrated assessment which requires a strategy to aim sustainability, and in this paper we have proposed a strategic framework eco-compatible management with concepts of “ecosystem service” and “categorized landscapes”.

The assessment methodology is composed of the following three: (1) Landscape categorization of river-basin, (2) Analysis of network of various fluxes (water, sediment and bioelements), (3) Mechanism of ecosystem and its function evaluated by the residua of flux, (4) Quantification of ecosystem service, and (5) Integrated procedure of strategic assessment of eco-compatible river basin aiming sustainability.

Key Words : *Eco-compatible River Basin Management, Strategic Environmental Assessment, Ise Bay, Sustainability, Ecosystem Service, and Categorized Landscapes*

1. まえがき

2007年度から開始した文部科学省科学技術振興調整費による研究プロジェクト「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」研究¹⁾では、自然共生型環境管理アセスメント技術の確立がその根幹をなすものである。本論文では、伊勢湾流域圏のように流末に閉鎖水域を擁す複数流域の集合体からなる流域圏で、その環境管理を戦略的に行えるためのアセスメント手法について議論する。それを軸に必要な管理・修復技術の集積によって、自然共生型流域圏の構築に向けた施策群の駆動が円滑に進むことを期待するものである。

2. 伊勢湾流域圏研究プロジェクト

本研究の本体である「伊勢湾自然共生型流域圏環境管理技術開発」研究は、平成18年度、文部科学省

科学技術振興調整費の重要課題解決型研究(国際競争力があり持続的発展ができる国の実現を目指す)の中の課題2-2「持続可能な流域圏管理技術の開発」に応募、採択されたもの(5年間)である。持続可能性を「自然共生型」で目指し、「伊勢湾流域圏」をフィールドとしながらも、日本の他流域や、東、東南アジアへの摘要汎用性を持つ戦略的なアセスメント技術を目指すものを提案、名古屋大学を中核に、国土管理の関わる行政機関と関係が深い国の研究機関である国土技術政策総合研究所、土木研究所、国立環境研究所、農村工学研究所、水産工学研究所、養殖研究所と連携して研究チームを組んだものである。

「自然共生型流域圏構築・都市再生」は第2期総合科学技術会議のテーマでもあり、東京湾、大阪湾などで先行的に精力的に行われた。従来の流域圏研究では流末である湾域の環境修復が目標となっている

観がある(流域陸側での環境負荷低減が湾域の水質をとおして湾の再生が図れるという仕組み)が、今回の研究では、持続性に関わる流域での自然共生型施策がもたらす陸域での効果と流末での効果の両方を総合的に評価する仕組みをもって、さまざまな施策が戦略的に位置づけられることを目論んでいる。すなわち、流域圏の環境指標を水、土砂、物質(とくに生元素)、生物のフラックス系の健全性でとらえ、陸域でのさまざまなフラックス変化によって地先ごとの環境劣化、改善として評価できるとともに、フラックス網の解析を通して流末である湾域への影響に関係づける仕組みを作る。またそのフラックスの変化を「生態系サービス」と関係づけることにより、生態系サービス享受によってたとえば化石燃料をどれだけ代替できるかなど、持続性への貢献評価に繋がるシナリオを描いている。



图-1 伊勢湾流域圈

こうした目論みのもと、「伊勢湾流域圏自然共生型環境管理技術開発」研究プロジェクトは以下に示すような5つのサブテーマから構成され、それぞれにいくつかの研究機関が主体的に取り組むこととしている。

- S1 自然共生型流域圏管理ビジョンへの戦略統合
S2 自然共生型流域圏管理シナリオ作成と戦略比較
S3 流域圏における生態系サービス評価モデル構築
S4 陸域生態系の機構解明と修復技術の開発
S5 海域生態系の機構解明と修復技術の開発

サブテーマS1では、流域でのビジョンは自然共生型そして生態系サービス享受によって持続性の評価を行おうとしている。「類型景観」の考え方で流域圏へ敷衍した総合評価をねらう(名古屋大学)。またS2ではビジョンを実現する施策群(シナリオ)や戦略を提示する役割を担う(国土技術政策総合研究所)。S3では森林や河口域(国立環境研究所)や河川～農地系を対象として検討が進められS1にフィードバックされている。S4, S5はフィールド研究で生態系の機構解明と修復技術についての研究を行い、それらを「類型景観」ごとに、学術的には、普遍化、実用的にはS1～3とともにツールボックス化を担う。河川域(名古屋大学, 土木研究所), 河川～農地連携系(農村工学研究所, 土木研究所), 森林・河口域(国立環境研究所), 都市～水域(食料を媒介に国立環境研究所, 水質を媒介に土木研究所), 沿岸域(水産工学研究所・養殖研究所, 国立環境研究所), 湾域(国立環境研究所)が対象となっている。

3. 自然共生型流域圏環境アセスメントの構成

(1) 流域圏とは

本研究での「流域圏」の捉え方について説明する。まず流域は分水嶺で囲まれたエリアで(水文学、地理学の定義)あるが、この領域は地球規模にも広がる水循環の降水～流出～蒸発散の空間的な単位である(この中で閉じている)。図-2に示すように水循環が土砂生産・移動システム(流砂系)、物質の移動・変化過程(とくに生元素に着目すると、無機物、生体、有機物間で循環しながら流下)、そして生態系をこの中で駆動しているというように捉えられる。そのフラックスは降水の流出・流下過程に応じて沿岸域を経て湾域に至る。一方湾域は外洋の影響も受け、また沿岸域は河川と湾の影響の交錯するバッファ域である。湾域には複数の流域からフラックス供給がある。流域は自然には分水嶺で分離されているが、上・下水道、用排水路網による水を介した人工フラックスが、また輸送網による物質の直接の人工フラックスがある。こうした人工系フラックス網は流域での人間活動(都市域を中心としている)に駆動されるものである。こうした河川水系から沿岸・湾域を含みさらに湾を共有する複数の流域からなる単位がここで対象とする流域圏である。人工系フラックス網は他流域圏とのフラックスのやりとりを可能にするが、流域圏を単位とした議論は、水だけに限定しない人工系フラックス(ここではVirtual Waterはひとつの指標になるだろう)も含む人間活動とその相克・調和の理解に繋がるし、「自然共生型」シナリオのReferenceとなるものである。

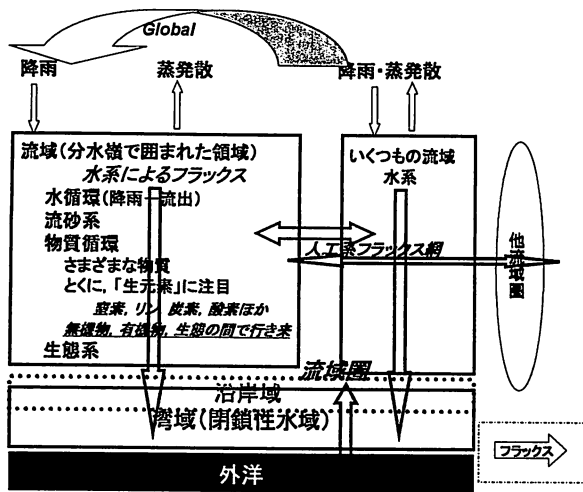


図-2 流域と流域圏

(2) 持続可能な国土管理としての自然共生型シナリオ

持続可能な国土管理を目標とすると、流域圏に着目した自然共生型環境管理が必然的なものといえる。とくに伊勢湾流域圏に着目したとき、複数流域流末の閉鎖性水域の環境問題が深刻化している一方、河川水系のダイナミズム（モンスーンアジアの特徴）が流域の根幹をなしており、大都市圏が流域圏全体の中で自然域、生産緑地とのバランスを極端に逸脱していない。また、人工系フラックス網整備によるさらなる高エネルギー投入型での都市疲弊と流末湾環境の問題解決に躊躇せざるを得ない状況、それは、東京・大阪大都市圏を除けば他の都市を含み流域負荷の影響を受けているわが国や、東東南アジアの流域圏のモデルとも考えられる。

流域圏で人間活動が活発化、都市が拡大していく中で、環境劣化に気づきさまざまな対応がとられ始めたが、その対策のほとんどはなお高エネルギー負荷型が多い。自然共生型は自然の機能（生態系サービス）回復を図るもので、それが高エネルギー負荷をどれだけ代替できるかで持続性を測る。

自然の機能や生態系サービスとして考えられるものは、流域圏のさまざまなフラックス ϕ が地先で変化する分 $\Delta\phi$ と関係づけられるものであることは容易に推測される。図-3にはこの生態系サービスとして想定される例を示すが、食糧生産、水質浄化などを例に挙げても、それらは生元素フラックスの各地先での変化分と関係づけられるであろう。このように各地先で生態系サービスに貢献するフラックスの変化は、フラックス網を通して流下方向に伝播し、最終的に流末に入り込むフラックスも変化、流末環境もその影響を受ける。流末環境も水環境のみならず生態系サービスとして評価する。たとえば水産資源もそのひとつである。沿岸域を含む流域圏全体での生態系サービスの総和を評価することが自然共生型アセスメントの要件であるが、各地先の生態系サービスの質は異なるが、先述の様にこれを代替できる化石燃料エネルギーとして評価することが、総合化を可能にする（図-4）。

自然共生は持続的か？

環境劣化の気づき→対応の必要性

（自然機能の劣化）

環境劣化への対応策（緩和策）

さまざまな施策群 なお、高エネルギー負荷型（化石燃料依存型）
多くの先端技術導入
多くの循環型施策

自然共生型

..... 生態系サービス享受型
「失われた自然」の「生態系サービス発現機能」の回復

自然共生型への移行＝どれだけ化石燃料依存を生態系サービスで代替出来るような施策群が取れるか
→持続性の確保

図-3 フラックス変化と生態系サービス

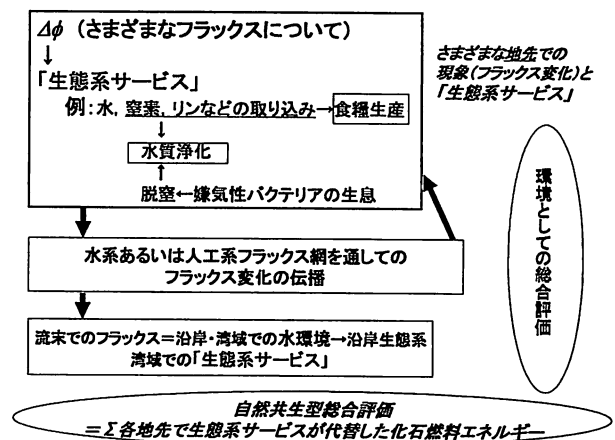


図-4 フラックス変化と生態系サービス

(3) 自然共生型流域圏環境アセスメントの枠組み

自然共生型流域圏環境アセスメントの枠組みは次のようになる。まず、①「自然共生型」のReferenceは自然系フラックス（降水流出が駆動する水循環、流砂系、生元素にかかわる物質循環、生態系）に依存するもので、そのフラックス網の解析、次に人間活動の理解としての②人工系フラックス網と土地利用変化の把握が必要である。こうした仕組みの中での、各地先でのフラックス変化分評価が基本である。

流域環境アセスメントとは？

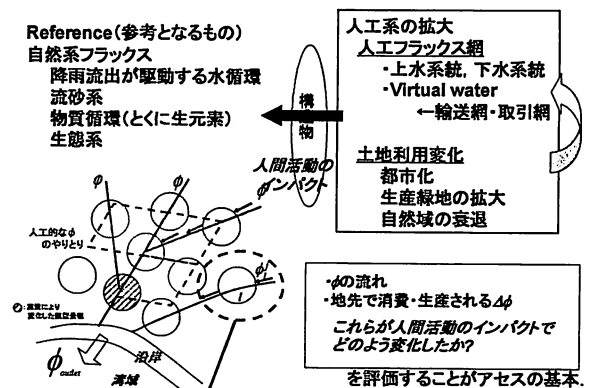


図-5 フラックス網

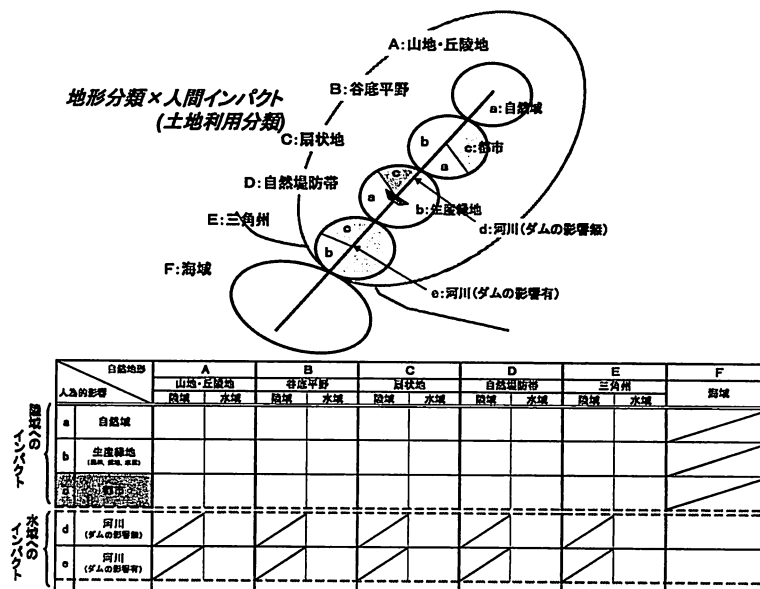


図-7 類型景観分類

こうした考えから、地先がフラックスで連結されているようなモデル、「団子と串」モデルを想定、串であらわされるフラックスが地先である「団子」で変化し、そこで変化したフラックスの分が生態系サービスをもたらすという仕組みである。

a) 類型景観

上述のように各地先でフラックスの変化分を評価することが必要であるが、無数の「団子」で $\Delta\phi$ を評価するのは実効性に乏しい。そこで「団子」を「類型景観」にカテゴリライズし、「類型景観」ごとに $\Delta\phi$ を評価する仕組み、手法が共通化できることを考えた。すなわち、注目フラックスの変化分は、それで代表される領域のサイズ A 、そこに流入するフラックス ϕ 、そしてその領域の特徴や施策の種類 ψ に依存する。形式的に表現すると次式となる。

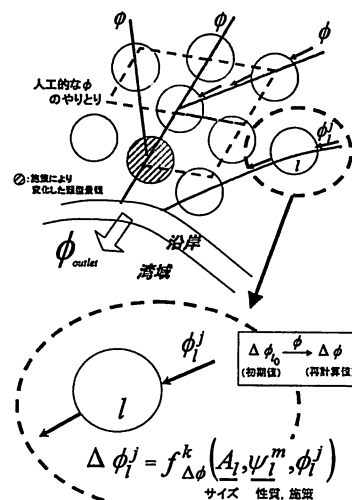


図-6 類型景観をもとにした流域圏モデル

$$\Delta\phi_l^j = f_{\Delta\phi}^k(A_l, \psi_l^m, \phi_l^j) \quad (1)$$

ここで添字はそれぞれ次のものを示す。 l : 各地先, k : 地先が属する類型景観, j : 着目するフラックス (複数), m : その地先の類型景観としての性質や施策の種類である (図-6)。同じ「類型景観」では、同じフラックスとその変化分が注目され、それゆえ同じ質の「生態系サービス」が期待される。また、同じ「類型景観」では生態系サービス享受のための自然機能回復や人工系フラックス網の設計施策が共通的に考えられる。

類型景観としてまず河川水系におけるセグメントを採用、陸域についてはその後背地を中心に自然的区分を考えた。さらにそれを土地利用など人工的区分と組み合わせることとした。図-7は自然区分と人工区分から分類される類型景観を示す表で、こうした表の各欄に着目フラックス、典型的な施策などが書き込まれることになる。

また図-8は、伊勢湾流域圏を対象に類型景観ネットワークを示したもので、伊勢湾研究プロジェクトでフィールド研究が実施されているものを示した。これらのフィールド研究は、同じ類型の景観に、フラックス変化分や生態系サービスを定量評価する手法が開発されることになっている。

b) 生態系サービスの評価

各地先で注目された、いくつかのフラックス (j) について $\Delta\phi$ が評価されたとしても、それが直接生態系サービスというものではない。これを評価する仕組みも類型景観 (k) ごとにツール化されるもので、それを形式的に書いたものが以下である。生態系サービスも類型景観ごとになんらか (i) ある。

$$ES_i = f_{ES_i}^k \left(\prod_j \Delta\phi_j \right) \quad (2)$$

上式 Π は、着目された、いくつかのフラックスについての $\Delta\phi$ の組み合わせによって決まることを形式的に表すものである (積形式に限定した表現でない)。

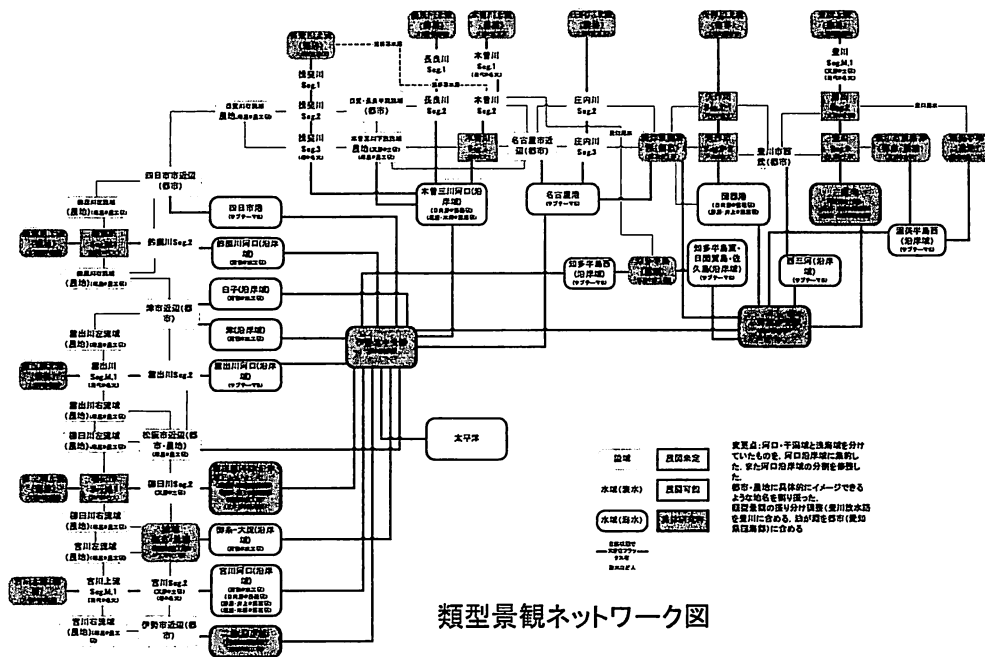


図-8 伊勢湾流域圏の類型景観ネットワーク

ここでは、 $\Delta\phi$ は各類型景観での物理、化学、生物指標の空間分布に関わるものといってもよい。景観は物理指標の分布による物理基盤、物質循環のアウトプットである生元素の $\Delta\phi$ 、物理基盤に生息場を与えられ、生元素のフラックスとやりとり(エネルギー摂取、排泄など)をする生物相の相互作用系として理解される。まず、物理基盤がどのように生物相を支えているかが、HEP(Habitat Evaluation Procedure)の手法で生息適性が物理指標の空間分布に対して評価される。一方、HGM(Hydro-Geomorphic Model)は物質循環機能を物理指標と関連づける手法である。生態系は図-9のような相互作用系で、生物相を生態量動態(Population Dynamics)まで議論し、物質循環をフラックスレベルで議論してこれらに関係づけることが望ましいが、物理指標を媒介にした、HEP-HGMモデルを利用するのが第一歩である。こうしたモデルで各地先の生態系サービスが定量化される仕組みが準備されつつある。

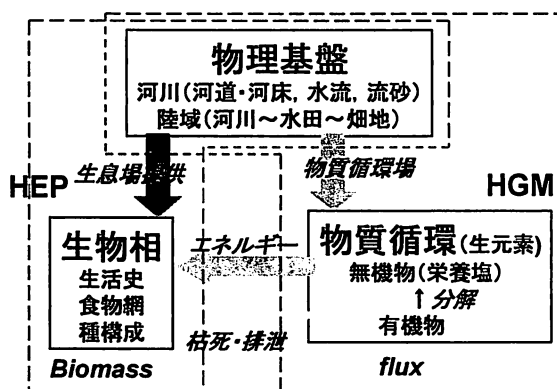


図-9 類型景観での生態系

c) フラックス網解析

各類型景観でフラックス変化量や生態系サービスを評価するのに、式(1)が示すように、地先領域に流入するフラックス網があらかじめ知らねばならない。他方フラックス変化や生態系サービスの評価は、その地先からの流出フラックスを規定する。つまり各地先でのフラックス変化を知らねば、系のフラックス網が評価できず、一方それがわからないと地先でのフラックス変化が評価できない。そこで、本アセスメントの枠組では、まず「第0次近似フラックス網」の解析をアセスメント手順の中で規定した。すなわち、各類型景観でのフラックス変化量の第0次解を、これまでの知見から、原単位法等で与えた第0次フラックス網解析を行ってこれをもとに今回開発する生態系機構にもとづいた類型景観ごとの手法によるフラックス変化を評価し、フラックス網は再計算し、各地先での生態系サービス、流末水環境の評価制度を向上させる(図-10参照)。

降雨・流出モデル→物質フラックス網解析

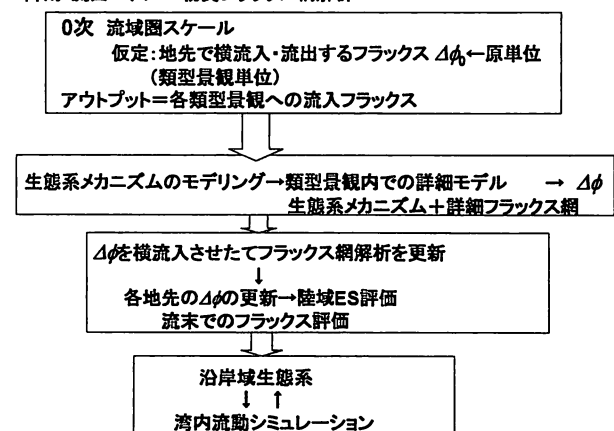


図-10 流域圏0次近似の河川ベースのフラックス網解析の意義

アセスメント手法

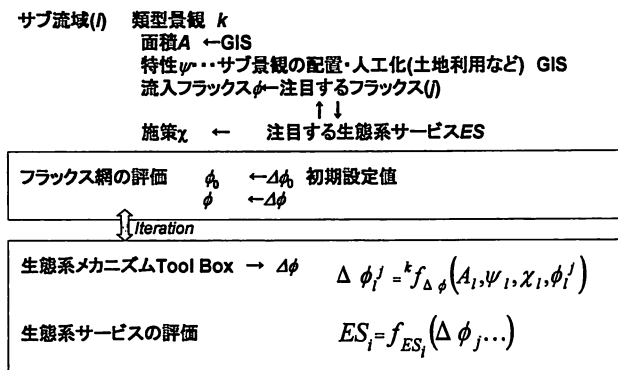


図-11 自然共生型流域圏アセスメント手法の流れ

今回のアセスメントは、類型景観での施策提案を重視した施策群シナリオごとの比較に重きを置いており、施策を積極的に提案できない部分は0次近似のまま残した解析をするような状況も想定される。注目された類型景観の役割や、そこで施策が実施されたとき流域圏全体としての持続性向上を総体評価するアセスメントには恰好の手法と考える。こうした手法を概略的に図-11に示してある。

d) 総合評価

上記の手法で、各地先の景観が自然共生型流域圏としてどのような貢献をしているかの評価ができることになる。一方、さまざまな地先でどのような施策が生態系サービスを向上させるかを推測するにも有意であるし、地先での施策の効果が、下流側の地先に、そして最終的に流末である湾域にどのように伝播するかが評価され、その意味では、流域総合評価である。一方、地先ごとには異なる「生態系サービス」でしか評価されていないことが、総合性の視点で危惧される。しかし、「持続性」という視点では、先にも述べたように、こうした生態系サービスの享受が化石燃料由来のエネルギーをどれだけ代替出来るかという評価をすれば、さまざまな施策群総体としての流域全体での評価が可能といえる。

類型景観ごとに「自然共生化」の目標を設定してのプロジェクトの想定とその実施過程監視、流域全体の「自然共生化」レベルが設定されれば、その達成のためにどの類型景観でどのような施策の実施が効果的かなどを戦略的に議論することも可能である。実行しやすい施策群の実施で当面の目標レベルを達成するようなシナリオを議論することも出来る。

5. あとがき

これまで述べてきたように、本研究では流域圏を自然区分と人工区分から構成される類型景観が、水循環に駆動される自然のフラックス網と人工系のそれとで連結されているものと捕らえ、各地先でのフラックス変化を生態系サービスと結びつけた。生態系は物理基盤、物質循環、生物相からなる相互作用系で、その機能を生態系サービスと呼ぶこととした。

類型景観ごとに着目するフラックスや生態系サービスはさまざまであり、またそういうシナリオで、類型景観ごとに自然共生を目指す施策が考案されることを想定した。各地先での施策を群として扱い、さまざまなところで生態系サービスが期待され、それを生み出すフラックスの変化を考慮した流域圏でのフラックス網が解析され、流末の湾域環境あるいはそこでの生態系サービスを生み出すシステムを捉えている。生態系の機能を重視しているため、機能の大きい種を厚遇するというおそれがあるが、これを避けるために「生物多様性」の概念を組み込むことも今後の課題としている。ただ、類型景観に着目し、個性を持つ景観をベースとしているので、流域全体で場の多様性が確保され、それが生物多様性を潜在的に保証しているという見方もある。また総合評価はさまざまな生態系サービスの享受を統一的に化石燃料代替性に置き換えようとしているが、その基準や手法は今後の課題である。

また、人間活動の影響を受けた自然系の類型景観、フラックス網の扱いは水循環駆動のもので自然科学ベースで普遍化されつつあるが、人工系については類型変化もフラックスも社会経済的な駆動力によっていて、自然系と融合したモデル化になお時間を要している。

さらに、自然共生型流域圏環境アセスメント手法の枠組みが形成されてきたが、自然共生型流域圏を構築するという実効性にアセスメントがどのような役割を果たすか、また必要な仕掛けについての研究には未着手である。

謝辞: 本研究は文部科学省科学技術振興調整費「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」(平成18～22年度)によって実施したものの一部で、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 辻本哲郎, 戸田祐嗣, 尾花まき子: 伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発研究プロジェクトのねらい, 河川技術論文集, 第13巻, pp.291-296, 2007.
- 2) 伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発ホームページ, <http://www.errp.jp/>.
- 3) 内閣府総合科学技術会議自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ: 自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ報告書, 260p., 2005.
- 4) Milhous, R.T., D.L. Wagner, and T. Waddle User's guide to the Physical Habitat Simulation System (revised). Instream Flow Inf. Pap. 11. U.S., Fish Wildlife Service, FWS/OBS-81/43. pp. 475, 1984.
- 5) Brinson, M.M., et al.: Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessments to Riverine Wetlands, TR WRP-DE-11, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. NTIS No. AD A308 365. 1995.

(2008. 4. 3受付)