

2.3 干潟生態系の評価の現実的な対応

干潟は河川水の海への出口にあたるため、河川、海の双方から様々な化学的・物理的条件を受け成立している。これらの影響のうち人為的影響のみをとりあげた場合でさえ、干潟内及び近接地での直接的なインパクトである船舶の航行～浚渫、養殖のほか、上流側の影響としてダム建設、農業・都市排水等、その空間的・時間的なスケールは多岐に渡り、自然営力の影響も考慮すると多様な影響を受けている区域といえる。

干潟生態系の評価にあたっては、本来的には、干潟生態系の成立・維持に係わる要因すべてを抽出し、その中から評価対象とするべき事業影響の切り分けを行うことが重要であるが、その対応は難しく、現実的ではない。

そこで、事業に係わる影響の定量化・評価を行うにあたっては、事業影響との関連づけが可能な事項、区域に注目し、さらに事業影響が予想される区域のほか、その周辺区域を対照区として設定、評価対象として事業影響を評価するといった対応が現実的であり、有用といえる。

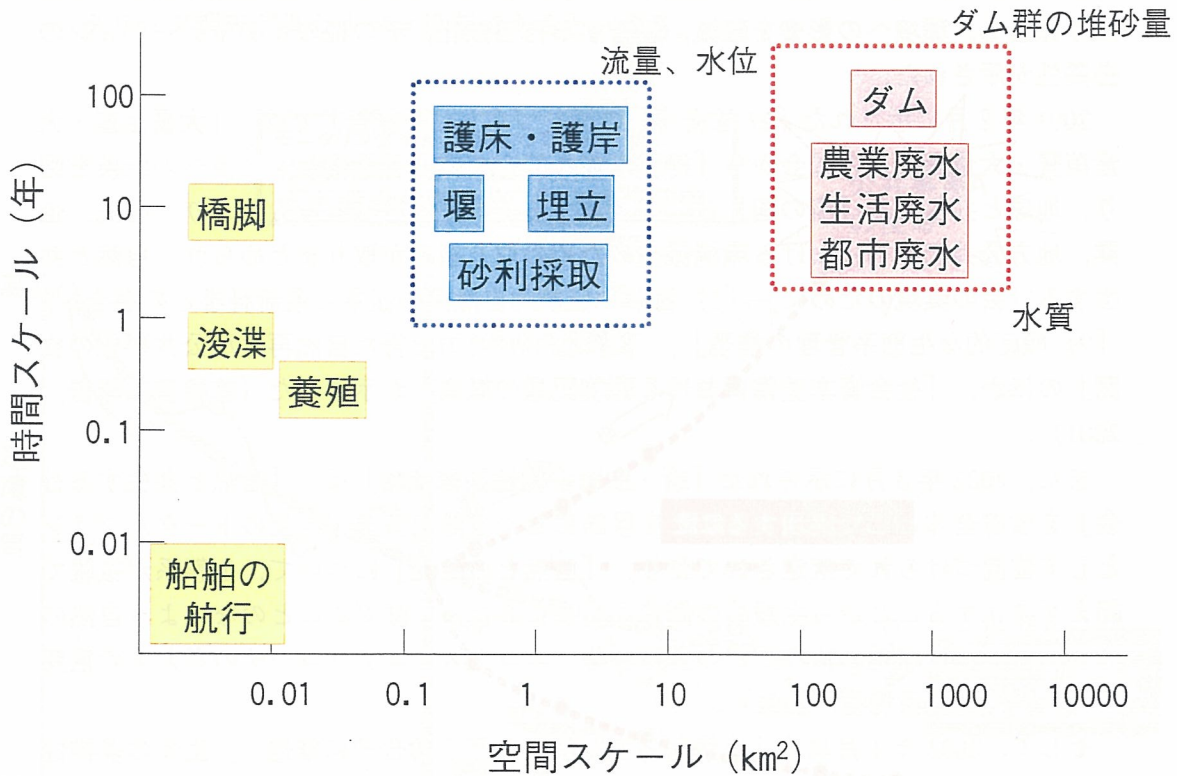


図 2-3 干潟生態系に作用する人為的影響の空間的・時間的スケール

3. 環境アセスメント・環境モニタリングの果たすべき役割と今後のあるべき姿

3.1 自然と共生する社会の実現にむけて公共事業の果たすべき役割

1980年代以降、欧米諸国を中心に人類の生存基盤として重要な生態系の環境保全機能が損なわれていくことに対する危機意識が高まり、失われた生態系を修復し、持続可能性を確保することこそ、21世紀の最優先課題であるという認識が広がっている（鷲谷・草刈，2003）。国際的には1992年のリオデジャネイロで開催された国連会議、地球環境サミットで「生物多様性条約」が採択され、我が国においても河川法をはじめとする国内法の見直し・整備のほか、各省庁においても環境保全に係わる施策、自然再生に関して多くの施策が展開されている。

例えば、1994年1月に建設省から示された「環境政策大綱」では、「健全で恵み豊かな環境を保全しながら、人と自然との触れ合いが保たれた、ゆとりとうるおいのある美しい環境を創造するとともに、地球環境問題の解決に貢献することが建設行政の本来的使命であるとの認識をすること、すなわち「環境」を内部目的化するものとする」と示され、特に、健全で恵み豊かな環境の保全のためすぐれた自然環境をできる限り保全し、環境への影響を軽減、解消する再自然化、その他のミティゲーションの必要性が示された。

2001年2月に示された「21世紀『環の国』づくり会議報告」では、「大量生産・大量消費・大量廃棄」の社会から「持続可能な簡素で質を重視する」社会への転換を図り、地球と共生する『環の国』日本を実現するため、政府施策はもとより、国民、企業、地方公共団体等における環境保全のための取り組みが取りまとめられ、自然と共生する社会の実現のために、「1）日本の伝統的自然観の伝承と最新科学との融合」、 「2）順応的な生態系管理の推進」、 「3）国民の協力を得た自然再生型公共事業の展開」のほか、「社会資本整備における環境配慮の徹底」が示された（首相官邸報告，2001）。

また、2002年3月に示された「新・生物多様性国家戦略」は、「自然と共生する社会」を政府全体として実現することを目的にした自然の保全と再生のトータルプランとして位置づけられて策定されており、「自然との共生」について、生態系が複雑で絶えず変化することから生態系の価値を将来にわたって減ずることのないよう自然の管理と利用を順応的に行うことの必要性等、エコシステムアプローチの考え方の重要性が示された（環境省，2002）。

そして、2003年1月には「自然再生に関する施策を総合的に推進し、生物の多様性の確保を通じて自然と共生する社会の実現を図り、あわせて地球環境の保全に寄与すること」を目的とした自然再生推進法が施行され、近年、全国各地で自然再生事業が展開されている。

公共事業は国土の保全や社会資本の整備を通じて、国民に生活の安心・安全の確保、快適性・利便性の向上、さらに、地域経済の活性化や雇用の維持等に重要な役割を果たしているが、その一方で規模・影響程度の大きさ等から公共事業によってもたらされる環境への負荷の増大、生態系の影響といった懸念が少なからず指摘されている（京都府，2004）。社会資本整備における環境配慮の徹底については、前述の「21世紀『環

の国』づくり会議報告」でも示されており、本来的には、すべての公共事業の展開に当たって「自然と共生する社会」の実現にむけ、これまでに失われた環境の再生・復元、持続可能な循環社会のための基盤づくりについて積極的に組み込むことを検討する必要がある。

図 3-1 に「自然と共生する社会」の実現にむけ、公共事業が果たすべき役割の概念図を示す。

本来、公共事業は「対象とする事業を実施しない場合に想定される環境の質に関する長期トレンドをより劣化させるような悪影響を与えない範囲で行う」という環境保全に対して消極的対応のみで許容されない。たとえ、対象とする公共事業が実施されない場合の長期トレンドにおいて環境の質の劣化が想定されていても、公共事業の実施後において「環境を劣化させないこと」は、すべての公共事業が最小限果たすべき役割である。理想的には、公共事業に環境改善効果が内包されており、公共事業を通じて、環境の質の向上が図られることが望まれる。

上記の視点で、ひるがえって環境モニタリング調査についてみれば、流域環境目標の達成度評価や環境保全対策事例・情報の集積は、事業との兼ね合い以外に環境モニタリング調査が果たすべき役割であるといえる。

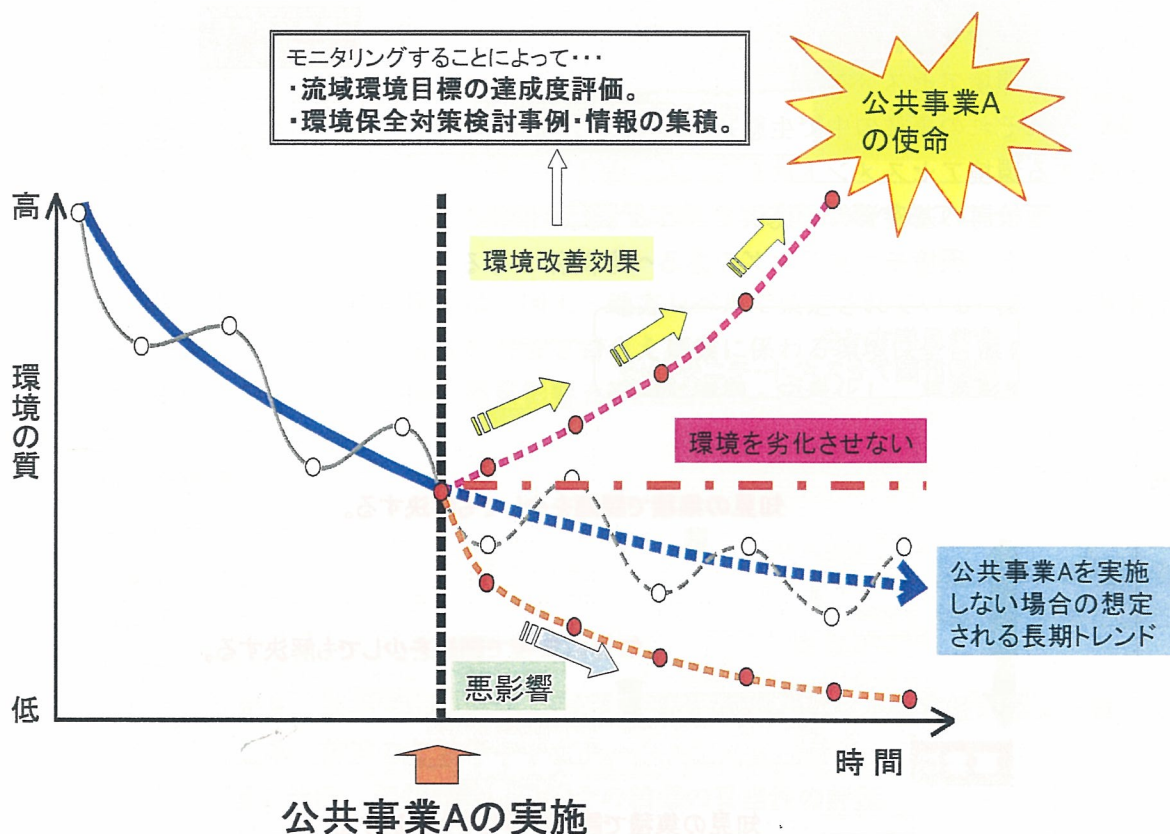


図 3-1 「自然と共生する社会」の実現にむけ公共事業が果たすべき役割

3.2 環境アセスメントと環境モニタリングの関係

環境アセスメント・環境モニタリングは、環境に影響を及ぼす行為について、事前にその環境影響を調査・予測・評価することを通じ、環境保全対策を講じ、その効果を評価・検証するという連携したプロセスであり、事業影響を環境保全上より望ましいものとするプロセスである。

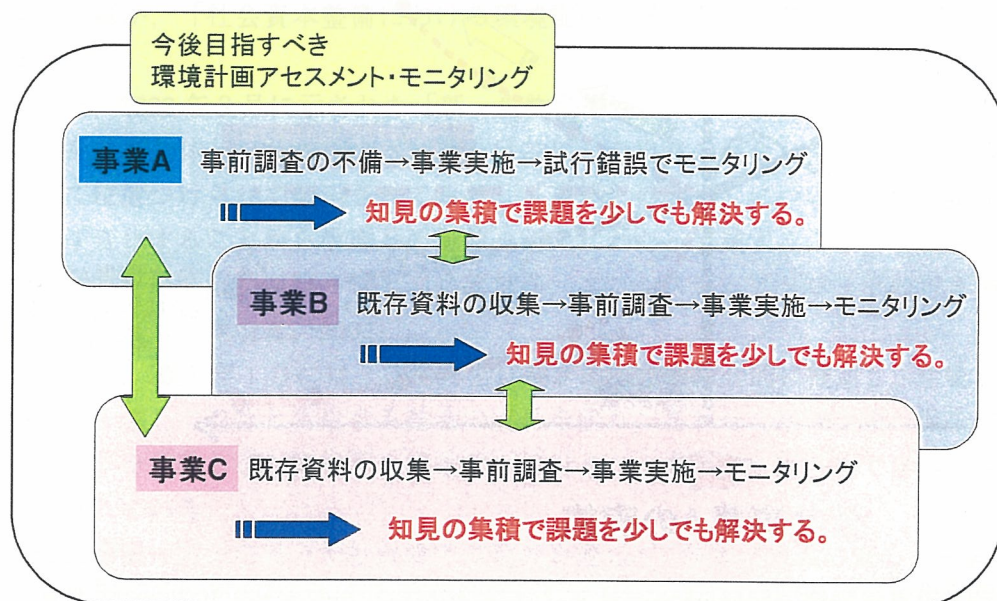
環境アセスメントについて注目してみると、事前調査が不十分なまま、あるいは、生態系評価に関する手法が未確立のまま、試行錯誤の中で予測・評価が行われることが少なくない。また、近接地域で行われている環境アセスメントが関連づけて実施されていることは極めて少ないため、それぞれの事業で試行錯誤の中で予測・評価が行われ、生態系評価手法に関する技術・知見の集積（情報の共有）が行われているとは言えない。

また、環境モニタリング調査についても明確な目標を持って実施されておらず、

- ・事業影響の予測、評価結果に関わりなく、環境アセスメントの段階で実施された基盤環境調査、生物相調査を継続的に実施する
- ・事業影響と関連づけが難しい広域モニタリング調査を行う

といった事例が少なくなく、環境モニタリング調査結果が適切に環境アセスメントにおける事業影響予測結果の評価、あるいは、環境保全対策の効果検証に活用されている事例は少ない。

本来、環境アセスメントは環境モニタリングと適切に連携して行われるのを前提とし、それぞれの事業の中で生態系評価に関する技術確立、知見集積を図るとともに、近接する環境アセスメントはもちろん、広く他の環境アセスメント、さらには地域の環境計画検討の基礎資料を提供できるよう関連情報が共有されるというのが、環境アセスメント・環境モニタリングのあるべき関係である。



事業間のアセスメント・モニタリングに関連性を持たせ、情報の共有を図る。
知見の集積により課題を徐々に解決していく。

図 3-2 環境アセスメント・モニタリングのあるべき情報の共有の形

3.3 環境アセスメント・環境モニタリングのあるべき姿

前述の「3.1 自然と共生する社会の実現にむけて公共事業の果たす役割」～「3.2 環境アセスメント・環境モニタリングの関係」を再整理し、環境アセスメント・モニタリングのあるべきフローを整理した結果を図 3-3 に示す。

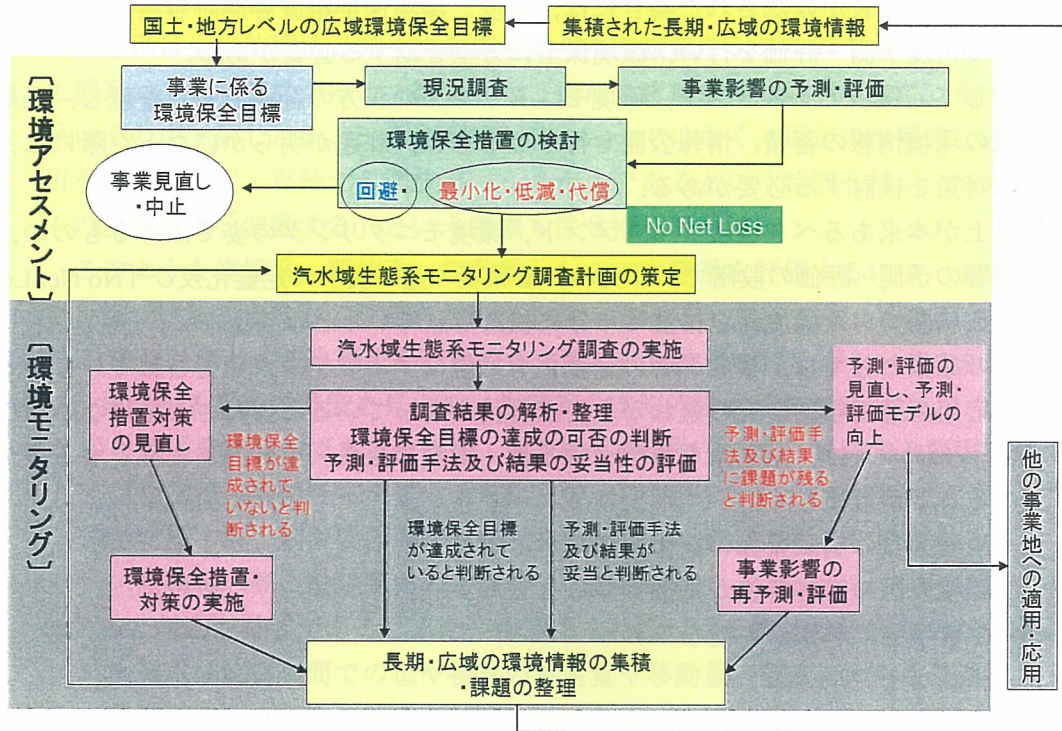


図 3-3 環境アセスメント・環境モニタリングのあるべきフロー

環境アセスメントの段階では、国土・地方レベルで策定されているべき広域環境保全目標を受け、事業、事業地の特徴を踏まえ事業に係わる環境保全目標を作成した上で、事業地の生態系の特徴、事業影響を適切に把握・定量化し、事業影響の予測評価を行う。この際事業の実施に伴い「失われる環境の質×量」を明確にした上で、環境価値を事業前後で減らさないように対処する「No Net Loss」の考えの下、失われる環境と同等レベル以上の環境を代償するための環境保全措置を講じる必要がある。

なお、事業の実施に伴い「失われる環境の質×量」があまりにも甚大で、環境保全措置を講じても事業に係わる環境保全目標の達成の目処が立たない場合、必要に応じて事業の中止・見直しによる回避処置も選択肢として検討する必要がある。

しかしながら、事業影響の予測、環境保全措置の効果には不確実性が常に内包していることを鑑み、前述のとおり

- 1)事業影響の予測・評価手法、及びその結果の妥当性の評価
- 2)環境保全に係わる目標の達成度評価
 - ・事業が内包する環境保全に係わる目標の達成度評価
 - ・流域環境目標の達成度評価
- 3)事業の実施に伴う環境の変化を把握
- 4)万が一の際の対策検討のための基礎的な情報・知見の集積

を目的とした環境モニタリング調査計画をあわせて検討する必要がある。

次に、環境モニタリングの段階では、まず環境モニタリング計画に基づきモニタリング調査を実施し、環境保全目標の達成の可否、予測・評価結果の妥当性について判断する。そして万が一、環境保全目標が達成されていない場合、あるいは、予測・評価結果に不整合が確認された場合には、再度、環境保全措置を検討した上で、新しい条件で再度予測・評価を行い、環境保全に万全を期する必要がある。

そして、環境アセスメント、環境モニタリングの双方の経過を適宜整理し、長期・広域の環境情報の蓄積、情報公開を行うとともに、課題が明らかになった際には、逐次、対策を検討する必要がある。

以上が本来あるべき環境アセスメント、環境モニタリングの姿ではあるものの、事業影響の予測・評価の段階で、「失われる環境の量×質」の定量化及び「No Net Loss」の考えに基づいた環境保全措置は十分に検討されているとは言えない。

この原因としては、事業影響の定量化を可能にするモデルが開発されていないという、応用生態工学的研究の遅れが主要な要因となっていると言わざるを得ない。ここで言うモデルとは、生態系を特徴づける種・種群の生息・生育適地を推定するモデルであることが望ましく、

- ・生物分布の制限要因の閾値を明らかにするモデル
- ・環境要因の応答特性が把握できるモデル
- ・生物学的に解釈が可能なモデル
- ・単純なモデル

であることが望ましい。

モデル構築のため、地理情報システム（Geographic Information System、以下、GIS）を利用した各種関連要因・情報の抽出・整理が有効と考えられるが、あわせて、PHABSIM (Physical Habitat Simulation) や HEP (Habitat Evaluation Procedure) の開発・改良も検討していく必要がある。

なお、上記モデルが確立された場合、以下のようなメリットが期待できる。

- ・環境保全措置の内容と効果が定量的に示すことが出来る。
- ・生態学的な知見を反映させたまま、事業者、コンサルタント、住民等による合意形成を経た事業計画の検討が可能となる。
- ・事業者においては、環境保全措置の実施内容及び目標がより具体的に示される。
- ・住民等については参加機会の拡大がはかられる。
- ・行政（あるいは事業者）については、事業計画の透明性が確保される

4. 汽水域生態系評価の考え方

4.1 汽水域生態系評価の視点及び調査・解析・評価のフロー

(1) 汽水域生態系評価の視点

生態系は生物的環境と非生物的環境からなる複雑なシステムである。それぞれの生態系はそれを特徴づける「構造」と「機能」を持っている。そして、個々の生態系は其中で閉じたシステムを形成しているのではなく、周辺の生態系との相互作用を通して成立・存続する開放系のシステムであるという特徴も持つ。さらに、個々の生態系は「変動する」という特徴も併せ持っている。

このような複雑系、開放系、変動系としての生態系を評価するには、まず生態系を特徴づける「構造」の評価のために

- 1) 評価対象とする生態系を空間の中に階層的に位置づけながら、その生態系を構成する要素の特徴を見出す（生態系の空間的階層性の整理）
- 2) 生態系構成要素である生物種・群や物質の分布を規定・制限する要因を見出す（生物種・群の分布を規定する制限要因の抽出）
- 3) 生物種・群と制限要因の応答特性を見出し、生態系の構造を把握する（生物種・群と制限要因の応答特性の把握）

といった対応が必要である。また、生態系を特徴づける機能の評価のためには

- 4) 生態系構成要素間での種や物質の生産量や移動量（収支）から生態系機能を見積もる（生態系機能の評価）

といった対応が必要である。そして、変動系としての特徴を留意し、上記の1)～4)の検討にあたっては常に

- 5) 様々な規模や頻度で生じる「攪乱」によって、これら生態系の構造や機能がどのように変化し、また、攪乱後の時間とともにどのように回復するのかを見積り、観察・測定された時点の生態系を時間スケール中に位置づける（生態系評価における時間スケールの考慮）

が必要である。

しかしながら、汽水域生態系を含め、生態系の評価に関する研究は途に着いたばかりであり、前述の1)～5)すべてについて技術体系を確立するのは難しい。そこで、本研究では生態系を特徴づける「構造」の把握に主観を置き、既往研究の蓄積でのアプローチが可能な1)～3)、特に当該地域を特徴づける生態系を構成する生物種とその分布を規程する制限要因、そしてその関係の把握・評価手法を中心に示す。

研究成果の蓄積を通じた取組みが必要な生態系の「変動」の考慮及び5)に関する事項については、「4.8 生態系評価における時間スケールの考慮」において考察を加えることとした。なお、生態系の「機能」の評価及び4)に関する事項については、今後の技術開発が期待される。

(2) 生態系の空間的階層性の整理の考え方

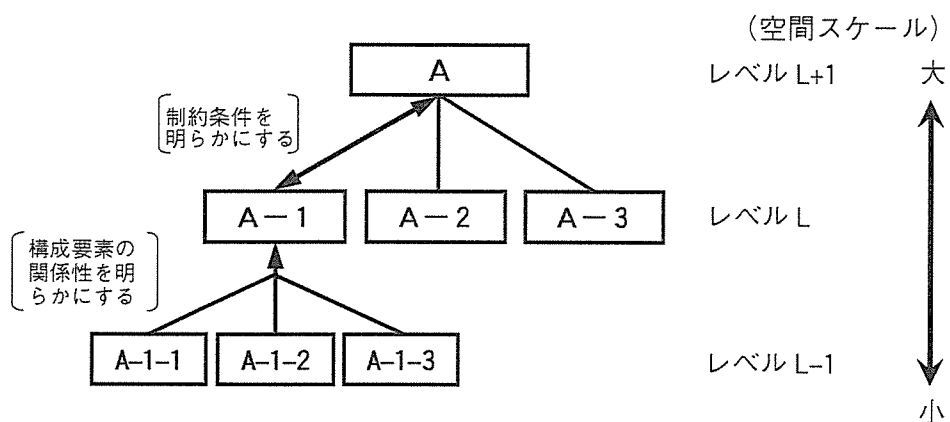
従来、生態学は局地的なスケールで環境条件と生物種・群の因果関係を実験によって明らかにすることを目的としてきた (Pickett et al.,1994;Wiens,1999) が、局地的なスケールの生態学的な知見は、特定の条件 (対象生物, 環境等) のみでしか有効でなく、生息地の分断~流域環境保全といった大スケールの問題の解決に貢献する一般性に欠けていることが認識されている (Brown,1995;Lawton,1999) .

この問題は、スケールによって対象とする生物の分布を規定する制限要因が異なることがあることを反映している。例えば、ある2種の生物の個体数について、局地的スケールでは競争関係にあるために負の相関を持つ一方で、地域スケールでは類似した生息地選択性から正の相関を示すということは十分にあり得る。それ故、小スケールで得られた知見を用いて大スケールで生じる現象を予測することは必ずしも適切でなく (Turner et al.,2001) , また、大スケールの現象や研究から得られる知見の一般性は高いが、大スケールの研究のみでメカニズムを探ることは難しく、特定の状態を予測することは難しいと言わざるを得ない (O'neill at al.,1986;Wiens et al.,1993) .

しかしながら、大スケールと小スケールのアプローチは互いに相反するものではなく、相補的と捉えるべきであり (Brown,1995) , いずれも必要なアプローチと捉えることができる (Crow and Gustafson,1997;Wiens et al.,2002) . そうした意味で生態系の構造の把握にあたって、階層性理論を利用し、生態系を階層として捉え、評価対象とする生態系を空間の中に階層的に位置づけることで特徴を見いだすことは、有効なアプローチと考えられる。

.....
階層性理論：複雑なシステムを階層的なレベルから構成されるシステムとして理解しようとする方法論

(O'neill at al.,1986 ; King,1997) . 特定のスケールの現象は階層的システム内で特定のレベルが割り当てられる。対象レベル (レベルL) の現象は、対象レベルの構成要素 (レベルL-1) の関係性から説明され、上のレベル (レベルL+1) から制約される。これにより、対象スケールよりも小さなスケールでの研究は対象スケールで認識される現象のメカニズムを明らかにし、逆に、より大きなスケールでの研究は現象の制約を明らかにするように概念化される (O'neill at al.,1986;Urban et al.,1987;O'neill at al.,1989) .



(3) 生物の分布を規定する制限要因の抽出の考え方

干潟生態系を構成する生物の分布を規程する主な制限要因は、気温、降水量、塩分濃度、底質の粒度組成、平均潮位からの比高等、地下水の供給、流路やワンド等として区分される地形単位だと考えられる。このうち、比高や地形単位は、塩水への冠水時間（塩分ストレスの強度）や洪水や波浪による攪乱強度・頻度に差異をもたらす要因となる。地下水による干潟への淡水の供給は、汽水域干潟に生息・生育する一部の種の定着・成長に欠かせない要因であると言われている。

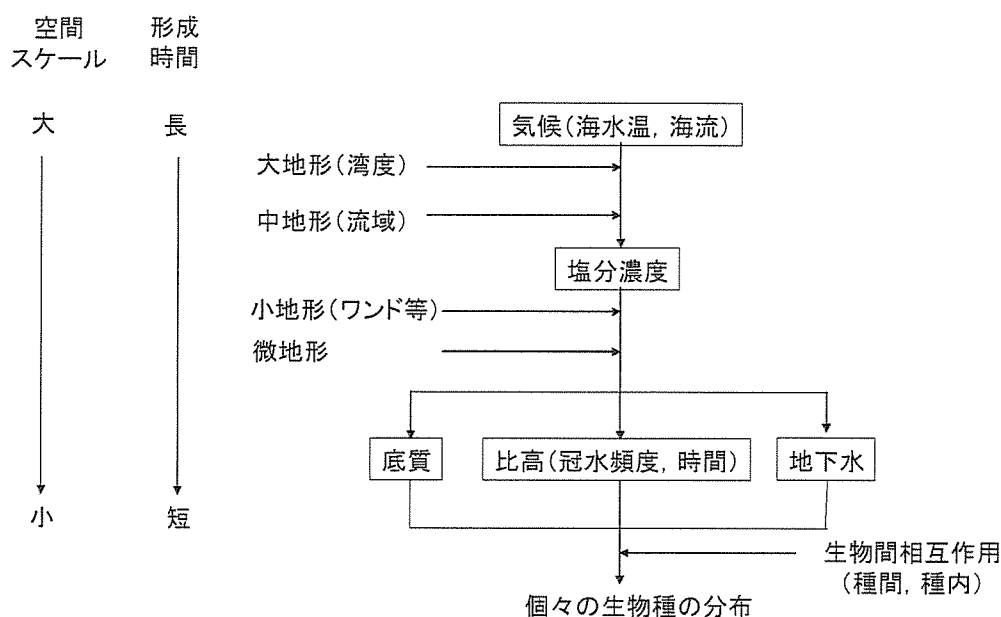


図 4-1 汽水域における生物分布の制限要因と空間スケール

これら制限要因と生物との対応特性を検出するために必要な空間スケールは異なっている。例えば、気温や有効積算温度の水平的変化は、数万 km²の広域単位でしか検出できない。そのため、気温等の気候要因は、グローバルあるいはマクロな生物分布の制限要因として作用するが、任意の河川汽水域を対象にする場合には制限要因になることはないであろう。

塩分濃度は、河口から汽水域上端の範囲内で 30‰～1‰程度に変化する。汽水域の流呈に沿って数 km 単位で変化を検出できる塩分濃度の変化は、メソスケールでの生物分布を制限する要因となる。それぞれの河川の縦断方向に沿った塩分濃度の変化は、河床勾配に依存して起こるが、その河床勾配を規定するのは流域の地形や地質である。

数メートル内で変化を検出できる平均潮位線からの比高や底質分布は、干潟内のミクロなスケールでの生物分布を規定する要因となる。また、数メートルという空間スケールの解像度では、これら物理環境のみならず、種内・種間の生物間相互作用を観察や実験によって検出することが可能になる。

このように、生物の分布を規定する個々の制限要因は、それを抽出するに適した空間解像度を持つ。一方、個々の種にはこのような環境要因群が入れ子的に作用し、

その分布を規定することになる。そのため、種の分布を規定する制限要因を見出すためには、空間解像度を粗いものから細かいものへと変化させながらそれぞれの解像度で制限要因と生物の分布との対応関係を見出していかなければならない。

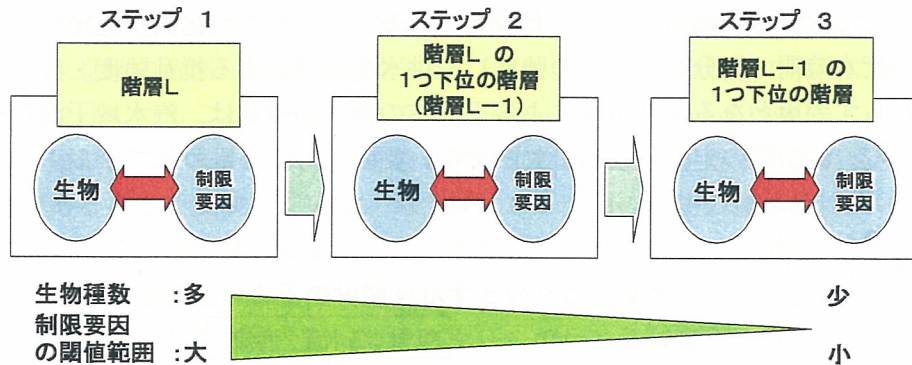


図 4-2 制限要因と生物の分布との対応関係を見出しプロセス

この時、より粗い解像度で検出される制限要因に対しては複数の種が抽出されることになるが、細かい解像度で検出される制限要因になるにしたがい、対応する種が絞り込まれるであろう。

事業アセスメント・モニタリングでは、このような概念的枠組みを用いて、制限要因との対応付けが可能なように対象種を抽出・選定していかなければならない。このような考え方にに基づき、汽水域の干潟生態系における事業アセスメント・モニタリング調査の概念的枠組みを、空間スケールと対応させて表 4-1 に示す。

表 4-1 汽水域生態系の構造把握に向けた調査の概念的枠組み

空間スケールのイメージ	生物分布に 係る 制限要因	空間 スケール	調査方法		抽出すべき制限要因	
			解像度 (最小抽出 単位)	調査方法	物理的な プロセス	生物学的な プロセス
汽水域 干潟	・地形条件 ・底質条件 ・塩分条件 ・植生	1km ² ~ (10 ⁴ m ²)	対象地の ハビタット群 サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例:塩沼地植生 海浜植生	特定のハビタット 群の分布制限 要因の把握	大 ↑ ↓ 小	小 ↑ ↓ 大
砂州・干 潟	・地形条件 ・底質条件 ・塩分条件 ・植生	1ha~ (10 ⁴ m ²)	対象地の ハビタット サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例:ヨシ群落 カキ群落	特定のハビタット の分布制限 要因の把握		
干潟 底質	・地形条件 ・底質条件 ・塩分条件 ・大型生物 による環境 形成作用	100m ² ~ (10 ⁴ m ²)	体サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例:シギ類の 採餌場 シオマネキ の分布域	特定の大型動 植物間の相互 関係、あるいは、 特定の種 の分布制限 要因の把握		
干潟 底質	・微地形条件 ・底質条件 ・塩分条件 ・小型生物 による環境 形成作用	1m ² ~ (10 ⁴ m ²)	体サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例:シオマネキ セコクチカノ の関係	特定の小型動 植物間、あるいは、 特定の差盤 環境条件との 相互関係の把握		

(4) 生物種・群と制限要因の応答特性の把握の考え方

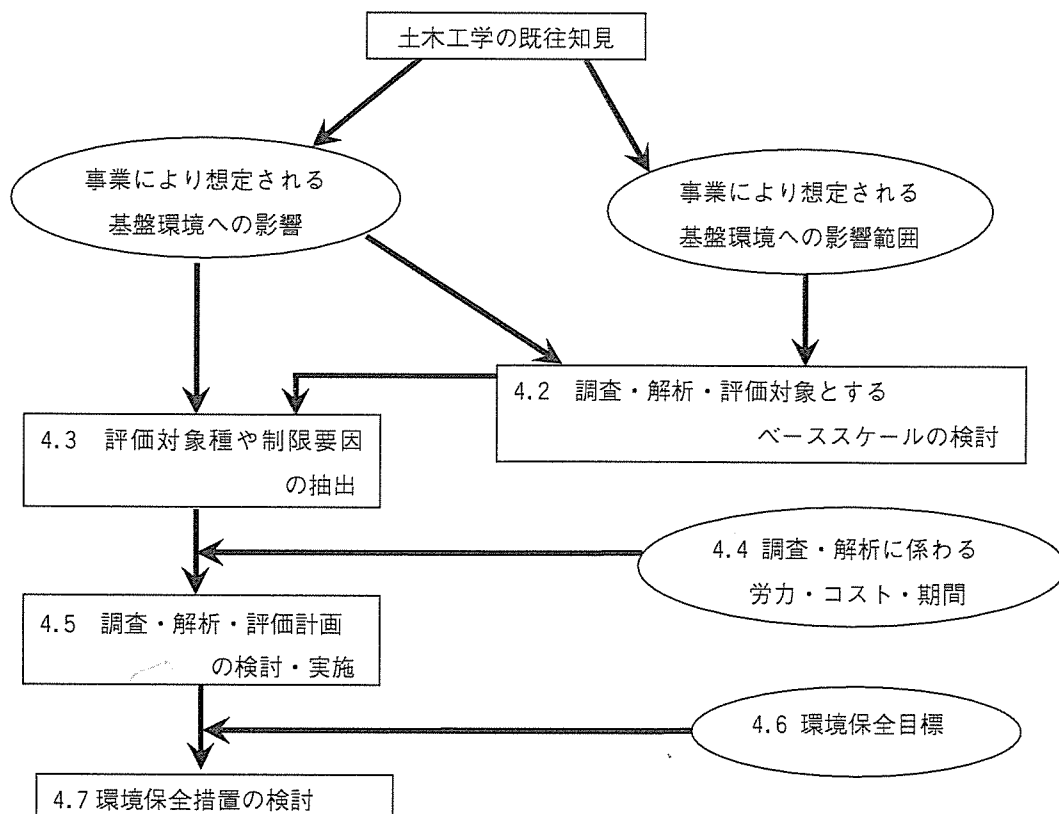
評価対象とした個々の生物(群)と制限要因の応答特性を把握し、評価対象種の潜在的生息・生育適地を推定するモデルを構築するとともに、構築したモデルについて、生態学的・生物学的解釈を行うというアプローチが必要である。また、必要に応じ、空間的階層においては下位に該当する現象に関する調査・解析・評価を行うことで、モデルの再現性の向上を図るものとする。

(5) 汽水域生態系の調査・解析・評価のフロー

図 4-3 に前述の生態系の構造の把握のフロー、環境アセスメントのあるべき姿を踏まえて、汽水域生態系の調査・解析・評価フローを整理した結果を示す。

公共事業の展開に伴い環境アセスメントを行うにあたっては、まず、土木工学の知見より、想定される事業が及ぼす基盤環境への影響やその影響範囲（空間スケール）を明確にし、調査・解析・評価対象とするベーススケールを検討する一方で、事業影響との関連づけの可否、生物の分布情報・環境条件を考慮し、評価対象種や制限要因を抽出する必要がある。そして、調査に係わる労力やコストを勘案しながら調査・解析・評価計画を検討し、調査・解析・評価を実施する必要がある。

その後、その結果を踏まえ、環境保全目標と照らし合わせ、環境保全措置を検討するというフローに従って検討を進める必要がある。



注) 「4.2 調査・解析・評価対象とするベーススケールの検討」～「4.7 環境保全措置の検討」について
次頁以降に示す

図 4-3 汽水域生態系評価のフロー

4.2 調査・解析・評価対象とするベーススケールの考え方

前述の通り、生態系の構造の把握において、大スケールと小スケールのアプローチは相補的な関係にあり、いずれも必要なアプローチである。

一般的に環境アセスメントの方法書作成段階で行われる広域スケールにおける既往環境情報の整理は、解析・評価対象地の広域スケールにおける位置づけを把握すると同時に、一般に生物の分布を規定する制限要因として事業影響より大きなスケールでのインパクトとなる気温、降水量、地形・地質条件との応答関係を踏まえて生物評価対象種の絞り込みを行うプロセスである。

そして、事業影響との関連性等、具体的な検討にあたっては、上記の結果を踏まえ、解析・評価対象とする生態系を空間の中に階層的に位置づけ、事業規模・事業特性、解析・評価対象地の特性を踏まえ、下記の通り解析・評価対象とするベーススケールを適切に設定する必要がある。

- ・ 数個の干潟の消失、大規模な変質が想定される規模の事業インパクトの場合

汽水域スケールの調査が中心。汽水域の中でどの干潟が影響を受けるのか？の定量化を通じ、汽水域のどの部分が消失、変質するか？を把握する。

- ・ 特定の干潟の変質が想定される規模の事業インパクトの場合

干潟スケールの調査が中心。どういったハビタットが影響を受けるのか？の定量化を通じ、干潟のどの部分が消失、変質するか？を把握する。汽水域スケールの調査は制約条件の事前把握調査に位置づけられる。

- ・ 特定の干潟・特定のハビタットの変質が想定される規模の事業インパクトの場合

ハビタットスケールでの調査が中心。どういったマイクロハビタットが影響を受けるか？の定量化を通じ、ハビタットのどの部分が消失、変質するか？を把握する。汽水域スケール、干潟スケールでの調査は、制約条件の事前把握調査に位置づけられる。

- ・ 特定の干潟・特定のマイクロハビタットの変質が想定される規模の

 - 事業インパクトの場合

マイクロハビタットスケールでの調査が中心。どういった生物種の動態が影響を受けるか？の定量化を通じ、マイクロハビタットのどの部分が消失、変質するか？を把握する。汽水域スケール、干潟スケール調査、ハビタットスケールの調査は制約条件の事前把握調査に位置づけられる。

それぞれの空間スケールでの調査・研究事例を巻末資料に示す。