

巻頭言	自然再生と技術者	国連大学顧問 東京大学名誉教授	高橋 裕	1
小特集	自然再生事業			
	自然再生の速度と建設事業		佐々木寧	2
	都市臨海部へ干潟を取り戻すための研究		細川恭史	7
	湖沼沿岸帯の復元に向けて		中村圭吾 島谷幸宏	12
	泥炭地の自然再生—北海道の湿原の自然再生事業—		辻井達一	18
	浚渫ヘドロを利用した干潟再生技術 —英虞湾再生プロジェクト—		上野成三	24
	荒川の自然再生への取組み		伊藤和彦 坂本 守 牛窪 徹	29

## 自然再生と技術者

国連大学顧問  
東京大学名誉教授 高橋 裕

20世紀、特にその後半は開発の半世紀であった。開発の効果は明らかで、世界各国は交通革命、エネルギー革命によって、生活の利便性は高まり生活水準は飛躍的に高まった。その典型例は日本で、高度経済成長を謳歌した。

しかし、この半世紀の間、地球環境の急速な悪化は、人類が初めて経験している深刻な状況である。特に日本列島でも自然が急速に失われている、絶滅が危ぶまれている動植物がリストアップされているレッドリストによれば、日本の哺乳類、両生類、汽水・淡水魚類、陸・淡水産貝類などはいずれも約4分の1程度が絶滅危惧種になってしまったのである。秋の七草として万葉時代から絶えることなく日本人に親しまれていたフジバカマ、オミナエシ、キキョウも絶滅が心配され、もはや滅多に見られなくなった。かつて日本の到る処の水路に群をなして泳いでいたメダカも絶滅が危ぶまれているとは、数十年前に誰が予測し得たであろうか？

我が国は元来、きわめて自然に恵まれている。生物相の豊かなことは、日本列島を取り巻く近海も含め、世界にもまれである。その恵まれた自然と巧みに共生して、我が国は独自の文化を育成してきた。南北に長い日本列島には多様な自然が存在し、それぞれの地域ごとに自然と融け込む生活文化が形成され、ひとつの独自の日本文化となった。豊かな降水量、四季の移り変わりの見事さは、日本人の自然観の繊細性を鍛え、自然と付き合う技術を発展させてきた。

この独特な風土が、江戸時代の循環型社会を生み、明治初期に日本を訪れた多くの外国の識者を感嘆させている。鷲谷いずみ教授によれば(自然再生事業 築地書館, 2003)、グリフィス (Griffis, W. E.) は、The Mikado's Empire (1883)において、日本の畑を中心とする農業生態系が、自然と調和し高い生産性を維持していることを絶賛した。イギリス婦人のイサベラ・バード (Isabella Bird) は1878年(明治11)、新潟市に約1週間滞在し、その運河網と柳並木など、水と緑と街並みの調和の見事さに驚嘆している(バード著、高梨訳、日本奥地紀行、東洋文庫、1973)。しかし、その自然との共生の見事さはどこへ行ってしまったのか。また、我が国特有の二次的自然ともいえる里山(近年は里海、里川の提唱もある)の豊かな生物相もまた、宅地化によって次々に姿を消し、甚だしきは廃棄物集積場となってしまった。

明治以来の急速な近代化、第二次大戦後の復興と経済成長は、いうまでもなく我が国に繁栄をもたらしたが、反面、日本の豊かな自然に甘え、それと巧みに付き合ってきた知恵を忘れ去ったことによる損失が、現在われわれの周辺にひしひしと迫っている。それが自然の喪失であり、生物多様性の危機である。しかも、その重大性について少数の関係者以外は十分に認識していないことを憂える。1992年生物多様性条約が地球サミットにて採択され、それに基づく国家戦略が、1995年、さらに新生物多様性国家戦略が2002年に策定され、同年12月には自然再生推進法が成立し、自然再生事業推進のお膳立ては整った。

ここで重要なことは、自然再生事業を、計画者、技術者がどのような姿勢で、どんな方法で実施するかである。地球環境が現在の科学技術の在り方を問い、従来の方法論の延長にはその解が求められないことを率直に認めることから、自然再生事業は出発しなければならない。この1世紀余、近代化を支えた技術は、科学技術の革新の恩恵を十二分に利用しつつ、自然の不都合な部分を変革することであった。それは時に自然を一部でも改変することを技術の勝利と考える風潮であった。

自然再生技術は、自然の特性を理解し自然とどう付き合うかの技術である。自然が持っている回復力に依存し、それに技術がどのような方法で対処するかを、技術者は創出する役割をになうべきである。それは従来の科学技術が得意とした分析もしくは解析に頼るのではなく、従来は不得意であった総合力をいかに発揮できるか否かにかかっている。専門分化することによって、深化してきた従来の手法ではなく、学際的協力の徹底化によって新たな手法を展開することこそ求められている。

自然再生は単に時代が要求している新技術を展開させればよい、という次元の課題ではない。人類が前世紀において技術を過信し、過度の開発によって傷めつけられた地球の自然を、幾分たりとも回復できるか否かの、現代の人類が抱えている重いテーマへの試練である。特に日本の場合、短年月に激しい開発を実行し、その成果を満喫するとともに、その反作用ともいえるべき環境破壊、生態系の変調もまた短年月の間に発生した。それを克服するための自然再生技術を開発し、再生の実を挙げることは、単に日本のためであるのみならず、同じ悩みを抱く他国に対する義務でもある。

# 自然再生の速度と建設事業

さ さ き やすし  
佐 々 木 寧\*

## 1. はじめに

生態系エコシステムや生物多様性バイオダイバーシティ等、生態系に関する用語が建設土木分野でも頻繁に言及されるようになり、建設事業の幅と奥行きが増してきた感がある。政府も平成5年「自然再生推進法」を制定、同時に自然再生基本方針が示された。平成14年「新・生物多様性国家戦略」、平成16年には「景観緑三法」の閣議決定と、建設事業の実務上でも対応が求められている。

用語・単語として安易に使用されるようになった生態系や生物多様性、ここで今一度見直してみよう。我々人間には世代を超えた歴史と文化があり、現代に生きる我々自身にも、個々人の社会生活にも大きく影響している。生物社会においても地盤環境や生物相互の関係を数千、数万年の時間を要し、適応と進化の過程を経て構築してきたものだ。

生態系とは個々の生物種が長い年月をかけ、自らの場(ニッチ niche)を得て、形作ってきた持続・安定化システムに他ならない(図1参照)。すなわち歴史・文化にも、生態系・生物多様性の安定化にも、四次元の時間的要素が欠かせないのである。我々が建設工事で計画・施工するのは、三次元までの空間構成までのことが多い。人工構造物に時間的要素が加味することで、歴史的建造物になり、重みを増すのである。

してみると、我々が自然再生を計画する時、必要な要素の投入と空間的配置を設定できたとしても、安定した生態系を得るためには時間の積み重ねを待つしかない。日本の代表的な人工林スギ、ヒノキの営林計画は、数十年後の取

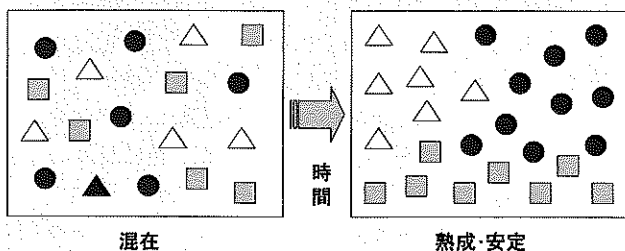


図1 無秩序な混在から、時間を経て自らの場ニッチを得て生態系が安定していく過程の模式

穫年の時間要因を含めた長期計画である。人工林であるスギ、ヒノキ林の場合、生産林であることから立木密度は自然の森に比較して約2倍以上高く設定してある。自然の森とは異なり、自然の再生とは次元の異なるものである。

## 2. 自然再生の速度

植栽された植物の成長、人は気にとめることも少ないが、その成長速度は意外と速い。スギは30~40年で立派な大木になるし、街によく見かけるサクラの古木も、調べて見るとせいぜい40年程だ。年輪の幅でみると、幅1cmを越えるものもある。樹幹の直径で毎年2cm以上肥大成長していることになる(図2参照)。九州鹿児島県で観察した雑木の例では年輪幅4cm、すなわち幹直径で年間8cmの肥大成長であった。

植栽された木は年々成長する。木の成長で見かけ上、立派な緑の空間ができるが、この場合も自然再生とは意味が異なる。

環境適応力の強いとされるヨシ原草原など、草本植物主体の場合で見えてみると、草本植物は春に芽生え、花実をつ

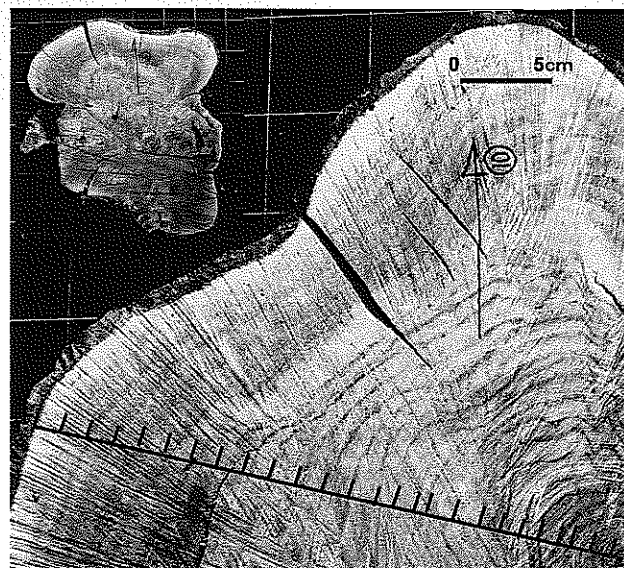


図2 関東平野低地でのサクラの年輪 (背景の柵目は5cm)

\* 埼玉大学工学部 教授

け、秋に枯れるという一年サイクルの生活形をもつ。生活形サイクルが短いと造成工事後わずか一年、すなわち次の年度には、緑は時に急速に回復する。湿地生態系の回復は、比較的速いといわれる由縁である。しかしこの場合、真先に発生し、一面緑の草で覆う植物はイヌビエ、オオイヌタデなどの一年生植物であり、帰化植物も多く混じっている。安定したヨシ原草原とは程遠いものだ。植物種の構成など緑の質、自然の質を吟味しておく必要がある。

## 2.1 見沼田圃遊水地

埼玉県下見沼田圃遊水地での湿地再生実験では、造成後わずか一年足らずで緑は回復した(図3参照)。しかし構成植物種の消長(変化率)、増減の安定、一年生植物か多年生植物かの生活形構成、外来植物の有無など複数の指標で評価してみると、実験開始後、数年経てもいまだ安定していないことがわかる。

見沼田圃での湿地再生実験で、生態系がどの程度再生しているかを複数指標によって評価することを試みた<sup>1)</sup>。用いた指標は以下のような項目である。

- ・全植被率(植被率100%に収束することで安定と評価)
- ・出現種数の増減  
(一定値に増加あるいは減少収束することで安定と評価)
- ・構成植物種の変化率  $RC_i = (|NP_i - NP_{i-1}| + \sum_{all})$



上：造成直後2000年4月 下：同年9月の状況  
図3 見沼芝川沿い実験池での植生回復状況

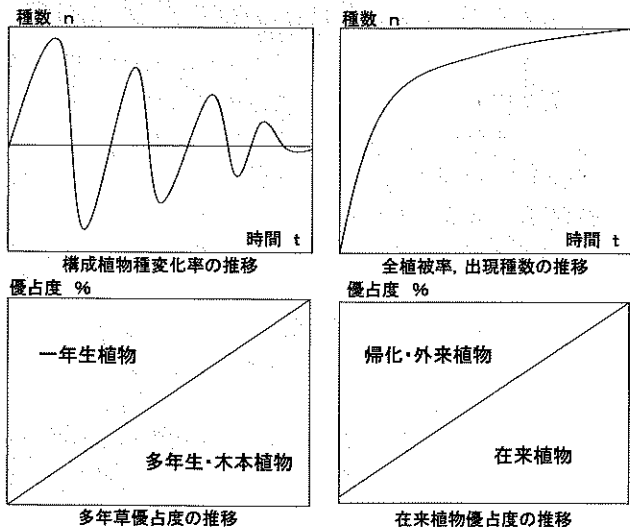


図4 複数指標による自然再生の評価と推移予測

$$SP_{i-1}SP/2$$

(種の入替わり変化率%が縮小、収束することで安定と評価)

$Np_i$ :  $i$ 年目の裸地割合

$Sp_i$ :  $i$ 年目の出現種ごとの優占度

- ・多年草優占度  $DRP = \text{多年草の被度総和} / \text{全出現種の被度総和} \times \text{全植被率}$

(多年生と木本植物の構成比増加、すなわち  $DRP = 100\%$  に収束することで安定と評価)

- ・在来植物優占度  $DRN = \text{在来植物被度総和} / \text{全出現種の被度総和} \times \text{全植被率}$

(外来・帰化植物の減少、在来植物の構成比増加すなわち  $DRN = 100\%$  に収束することで安定と評価)

- ・植生回復度  $R = [YO + (NP \times 0.6) + DRP] / 2$

( $R = 100$  に収束することで安定と評価)

$YO$ : 極相種の優占度 (この場合ヨシとオギ)

$DRP$ : 多年草優占度

$NP$ : ヨシとオギ以外の在来植物優占度 (極相種以外は  $\times 0.6$  の重みづけとする)

- ・遷移度  $DS = v \cdot \sum(d \cdot l) / n$

(草本群落の場合  $DS = 1000$  に収束することで安定と評価)

$l$ : 生存年限(一年生植物1, 多年生草本10, 低木50, 高木類100とする)

$n$ : 種数

$d$ : 積算優占度 (0~100)

$v$ : 全植被率 (0~1)

以上のような複数指標による評価で、生態系の再生状況を総合的に把握することが可能となる。

## 2.2 霞ヶ浦湖岸植生

霞ヶ浦で進められている自然再生事業の中に、絶滅危惧種の浮葉植物アサザの再生が組み込まれている。湖岸にはさまざまな形状の消波構造物が設置され、個体数が激減したアサザを、市民グループらが協力して人工増殖させ、自然に戻す作業が進められている(図5参照)。育てられた苗を自然に戻して1~2年、アサザの個体数は短期間で順調に増加している。一見成功のように見える。この場合、人工増殖の個体の多くは、親株から発生した小芽を切り離し、育成したクローン個体で、同一遺伝子集団である。

異なる遺伝子集団間で交雑し、自ら実生、成長していく自立更新システムが安定しない限り、アサザの持続的再生は成就しないと関係者は今も慎重である。

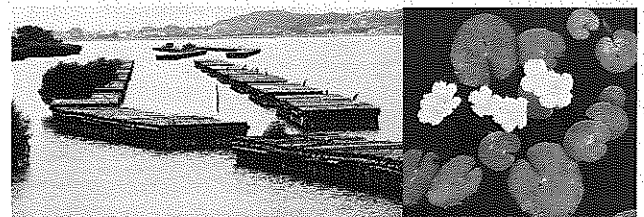


図5 敷設された消波堤と増殖中のアサザ(霞ヶ浦)

### 3. 先人による自然再生事例

首都圏に見られる大規模緑地(社叢林や大規模公園緑地)の内、すでに長い年月を経た造成例を見てみよう。

#### 3.1 金鳳山平林禅寺

約340年前に造成された埼玉県新座市にある平林寺。当時原野的趣きであったと予想される武蔵野台地に造成された禅寺で、現在は豊かな森に囲まれている(図6参照)。

農業形態をも組み入れた持続的境内林の育成を目指したものである。この場合、造成時の地盤環境作りが注目すべき点である。

安定的環境維持のため、野火止用水の分水を引き、落葉の堆肥利用など持続的利用管理が進められてきた。再生した森は、利用管理下にあったことから、生態系の回復がどこまで進んだかは、評価は難しいが、三百数十年を経た森は安定しているように見える。



図6 造営初期の平林寺鳥瞰図(新版江戸名所図会)<sup>3)</sup>

表1 首都圏の大規模緑地

緑地	造成年(経過年数)	面積	利用水源
平林寺	1663年(340年)	56ha	野火止用水分水
明治神宮	1929年(70年)	72ha	渋谷川流頭、湧水
新宿御苑	1906年(100年)	58ha	玉川上水分水
小金井公園	1954年(50年)	77ha	石神井川流頭
砧公園	1977年(25年)	39ha	谷戸川

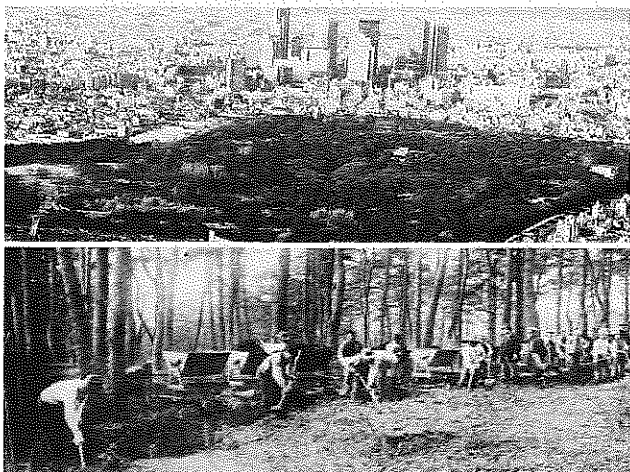


図7 東京都心部の明治神宮の森と造成当時の表層土確保作業(上:日本の山河<sup>8)</sup>, 下:大都会に造られた森<sup>9)</sup>)

#### 3.2 明治神宮

東京都内にある明治神宮の森。1929年から畑地とアカマツ林の場所に造成されたものだ。現在、常緑樹の大径木が並び、鬱蒼とした森に囲まれている。この場合も、安定環境を維持するため、渋谷川の流頭と湧き水を利用している。戦後の造成となる小金井公園や都立砧公園でも、大きな木立が目立つが、それぞれ石神井川流頭や谷戸川を水源として利水、森の持続的安定成長を計画、設計されている(表1参照)。

明治神宮の森造成の際には、さらに表層土壌(有機土壌)の確保と植栽地への覆土が行われている(図7参照)。

生態系再生の基本をふまえた造成方法による施工例であるといえる。しかし植栽された木々は、100年もの年数を重ねて大径木になったものの、自らの世代更新(天然更新)のシステムが確立してはおらず、今日なお人工的色彩が強く残っている。

#### 3.3 熱帯多雨林

マレーシアのクアラランブール郊外、森林事務所の敷地内に熱帯多雨林の実験再生林がある。熱帯性の主要構成種を人工植栽したもので、すでに数十年以上の年数を経ている。初めてここを訪れた際、私自身も自然林の森と思ったほど、見事な大径木が林立していた。しかし、森林事務所職員の説明では、これでも熱帯林の生態系は再生したとはいえないという。熱帯だけに木の成長は早く、巨大な大木に生長しているが、昆虫や野生動物がほとんど住みついていないからである。言われて見ると、森は妙に静まりかえっている。

1980年代、インドネシアのカリマンタンで見た自然の熱帯多雨林は、数十メートルに及ぶ多様な樹木群で構成される巨大立体空間で、鳥、獣、昆虫の鳴き声が絶えずこだまする立体シンフォニーの世界に感動させられたものだ。

いずれの例も、森の再生は一世代で成立しないことを示している<sup>4)</sup>。

### 4. 自然更新による世代交代システム

湿地草原など草本植物主体の生態系では、その生活サイクルは一年から数年程度と生活サイクルが短い。世代を重ねることで環境に適応しながら生態系は熟成していくと考えられる。そうして見ると森林の場合、樹木的生活サイクルが数10年、百年単位となり、世代を重ねるにはより長い年月が必要となる。生態系の安定にはきわめて長い時間がかかるのである。日本の山地に残る自然の森、あるいは原生林といわれる森も、現在の森の姿になって安定したのは、少なくとも2000~3000年以上前で、その後も幾世代と世代を重ねてきた結果として存在すると、花粉分析の成果などから知られている。

大径木が林立する明治神宮の森も、植栽された木々が成長した、まだ一世代目の森でしかない。枯れるべき木々が枯れ、環境に適応した草木が再生し、安定するには何世代もの年数を重ねる必要があるのである。



環境に適応した植物や動物だけが生き残り、その場での構成メンバーが決まってくる。次の段階で、彼らが持続的に存続できるよう子孫を残し、ほぼ同じような生態系を維持できる安定した自立再生のシステムが構築されねばならない。生態学分野ではこれを「天然更新」と呼称している。いずれにしろ生態系の安定には、長い時間軸要素が不可欠である。我々が計画し、施行できる範囲には限界があり、時間軸を考慮した計画、設計がどこまでできるかにある。

### 5. 自然再生を阻害する要因

科学的視点以外の要求と事情で決められた生物種の導入、たとえば外来牧草による早期緑化や美観重視の花木、園芸品種、外来樹種の投入された公園などでは、それら導入種が自然消滅するまで、自然の再生は足踏みすることになる。法面緑化に多用されるケンタッキーグラスなど緑化用外来牧草は、施工してから20年以上経っても消滅しないことが報告<sup>2)</sup>されている(図8参照)。

樹木の場合はその寿命が長いことから最低数10年から百年以上待たねばならない。自己再生力の強い外来樹種ハリエンジュは、治山緑化用に導入されて以来、今なお拡大し続け、自然消失しそうにない。多摩川の河川敷などでその蔓延が問題となっている。安易に導入した外来生物種が生態系再生の大きな足かせになる例である。

政府は「新・生物多様性国家戦略」や「特定外来生物による生態系等の係る被害の防止に関する法律案」の閣議決定(平成16年)などで、外来生物への対応を進めつつある(図9参照)。

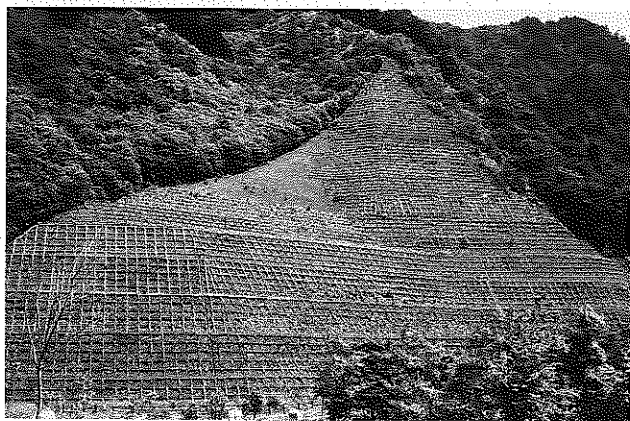


図8 外来牧草で緑化処理された巨大な法面。植生の遷移が長期間停滞することが予想される

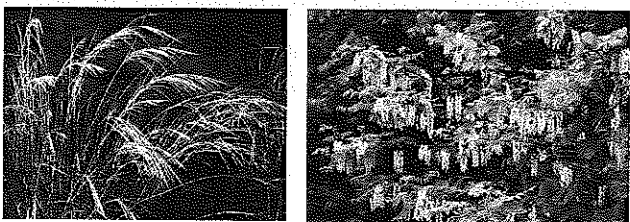


図9 緑化用植物として導入され、特に問題視されているシナダレスズメガヤとハリエンジュの外来植物

### 6. 自然再生の施工

人工的な緑地の代表として庭園がある。幾何学模様の整然とした欧州式庭園から、自然のたたずまいに近い日本庭園、あるいは個人の庭まで多様である。これら庭園の重要共通点は、人の管理下で成立していることである。水やり、肥料、ときに農薬、剪定、草取りなど維持管理の作業が欠かせない。人の管理下にあればこそ園芸品種や外来種の植付けも、その生存もまた可能である。

自然再生が目的にあり、造成後ほとんど放置される場合には、条件は大きく違ってくる。自然自身の持続的存続や

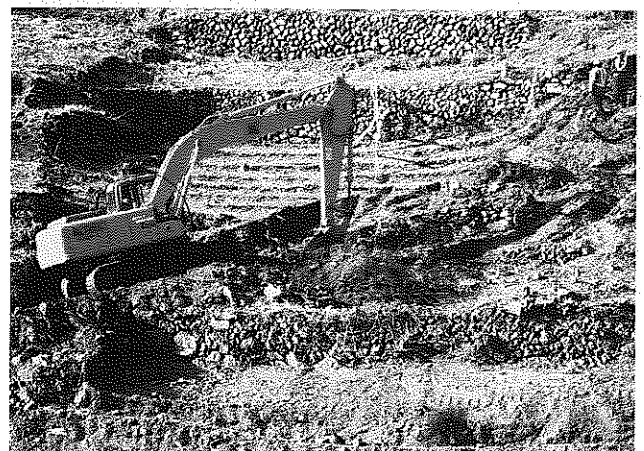


図10 埼玉県滝沢ダムでの原石山緑化現場と表層土確保の作業、投入植物も近隣に生育する在来種を利用

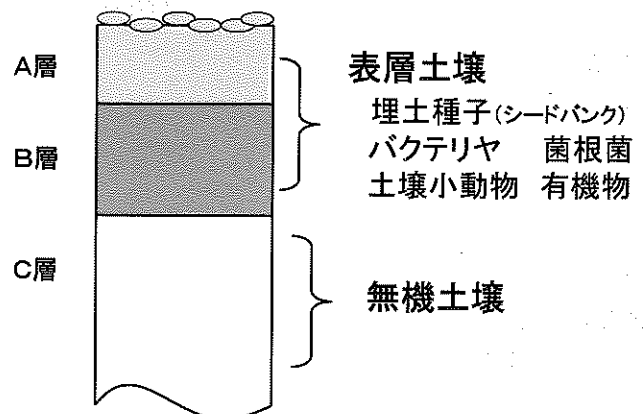


図11 土壌(バージンソイル)の断面構造と表層土

更新力が備わることが求められる。

計画・設計・施行の段階で、我々がなし得るものは、科学的知見を集約しての「場の設定」と「投入する資材料の選定」、 「生物種群の選定」である。

「場の設定」は、生物集団の生活基盤となることから、地形・地質・土壌等の地盤環境、水環境、温度環境など総合的な知見が必要となる。とくに、直接生物集団と接する表層部分において、熟成した有機土壌や共生者である土壌小動物、バクテリアなどの土壌菌、菌根菌、埋土種子（シードバンク）の存在が有効であるとされる。そのためには現場の自然表層土を確保し、造成後、還元復土する施工法が有効である。

投入する生物種群についても、その場固有の自然生物集団を投入する必要がある、生態系の基盤である植生については「潜在自然植生」の構成種を用いることが学問的裏付けの一つとなっている<sup>11)</sup>。

埼玉県秩父山中に構築中の滝沢ダム工事現場では、巨大な法面の現出が避けられない。とくに広大な裸地が生じる原石山に対し、計画の段階から緑化地盤の形成と表層土の被覆を組み込んできた。その法面と小段には、近隣に生育する在来種の播種、苗木植栽を進め、自然の再生に努めている（図10参照）。

## 7. 建設廃土リサイクル

表層土の確保は、自然再生に不可欠な時間的熟成を効果的に補う方法としてきわめて重要である。造成時発生する建設廃土はこれまで域外へ搬出、処理される例が多かった。自然界での表層土形成速度は、年間1mm以下とされ、日本の森林下での厚さは20~30cm程度とされる。カット面や盛土面など、表層土を失った地盤では、植物の生長を助ける土壌形成にとくに時間がかかる。植栽された植物の初期生長さえ保証されない。

家庭ゴミも分別収集することで資源活用が可能となるように、建設廃土についても、とくにバージンソイルの場合（図11参照）、可能な限り表層の土壌A、B層とC層を適切

に分別し、緑化対象地へ覆土利用していくことが求められる<sup>5)~7)</sup>。

## 8. おわりに

国土交通省も建設廃土の域内処理や、埋立地などの域外需要地への供給、有効利用を奨励している。環境先進国ドイツでは、早くから連邦自然保護法や建設法典で法制化<sup>10)</sup>し、道路構造指針等で表層土の処理と保全の仕様を細かく規定している。

表層土の有効利用は、建設事業では計画しづらい四次元部分（時間）を有効に補う手法として重要である。我が国においても今後、表層土の保全と利用について、制度化に向けての指針づくりが必要となる。

### 参考文献

- 1) 大本家正・今本博臣：ダム事業における緑化と今後の課題、土と基礎 49(9), 21-22, 2001.
- 2) 小林正和：湿地環境における自然再生に関する調査研究。埼玉大学大学院理工学研究科博士前期過程学位論文, 112 pp, 2002.
- 3) 鈴木棠三・朝倉治彦：新版江戸名所図会, 全三巻, 角川書店, 1975.
- 4) 佐々木 寧：土木屋の論理と生態屋の論理, 合して生態系の復元なるか, 植生情報, 6: 36-41, 植生学会, 2002.
- 5) 佐々木 寧：環境の世紀を目前にして(2)21世紀の環境デザイン, 豊かな住環境をめざして, 293 pp, 1998.
- 6) 佐々木 寧：海外における発生土処理—ドイツでの循環型有効利用の事例—, 基礎工, 26(11), 54-57, 1998.
- 7) 佐藤 正・佐々木 寧・稲葉悦雄：建設発生土の有効利用—表層土分別リサイクルによる自然再生—, 建設リサイクル2004, 26, 18-21, 大成出版, 2004.
- 8) 奈良本辰也(監)：日本の山河 35, 東京—天と地の旅—, 図書刊行会, 1979.
- 9) 松井光瑤・内田方彬・谷本丈夫・北村昌美：大都会に造られた森—明治神宮の森に学ぶ—, 農産漁村文化協会, 1992.
- 10) 道路緑化保全協会：道路緑化技術資料 No. 3, ドイツの自然景観保全に関する資料, 道路緑化保全協会, 2000.
- 11) 渡辺定元：富士山自然の森づくり—パッチ植栽法を用いた極相林構成種による自然林の復元—, 植生情報 6, 9-14, 植生学会, 2002.

## 都市臨海部へ干潟を取り戻すための研究

ほそ かわ やす し  
細川 恭史\*

## 1. 都市臨海部の成り立ち

我が国は海に囲まれ、海岸線の総延長は3万 km を越える。国土の7割は山がちで、国土形成の機構から、まとまった平地は内湾湾奥の河口部に広がる。自然資源が乏しいなどの条件の下での経済の成り立ちから、湾奥臨海部に大都市が発達し、人口や社会経済活動が集中してきた。その結果、内湾水面は、漁業・海運・冷却水取水・産業や都市用地確保・余暇活動などさまざまな活動に多重高密度に利用されてきた。一方、毎年の台風来襲による高潮・高波や地震・津波など、軟弱な低平地特有の災害の危険性を抱えているため、さまざまな防災施設が臨海部に整備され、防波堤などの人工構築物が都市の地先の海を囲ってきた。

こうして、内湾の都市臨海部では、大きな人口圧力による環境負荷が増大し、都市と海とが引き離され、自然な海辺が激減した。東京湾では、赤潮・青潮が引き続き起こっており、明治期の終わりに140~150 km<sup>2</sup> あったとされる干潟は9割ほどが失われ、湾岸の海岸線延長800 kmのうち自然の水際線は40 kmほどとされている<sup>1)</sup>。

環境基本法以降、河川法・海岸法・港湾法などが改正され、海辺への自然配慮施策が明示された。さらに、自然再生推進法の制定や新生物多様性国家戦略が策定され、循環型社会の形成と自然の再生への社会要請が強まってきた。ここでは、特に都市臨海部にある内湾干潟を取り上げ、その再生について考えてみる。

## 2. 干潟再生に関して今までに分かってきたこと

## 2.1. 干潟は人の技術で再生できるのか

## (1) 社会要請のレベル(目標の設定)

都市臨海部で失われた干潟を、人の応援や手助けによって再生することなど技術的にできるものであろうか?陸上の生態系に対しては、原生林の保全・保護議論とは別に、都市近郊における「里山」などの「人の手がかいて維持・管理される二次的生態系」の重要性と再生・回復の必要性

とが議論されている。都市臨海部の干潟は、かつて人の利用や管理を受け入れてきた地先の浜でもあった。「里山」のアナロジー(類推)で「里海」<sup>2)</sup>といった言葉も提示され、地先の浜としての都市臨海部干潟の再生が要請されている。

干潟とは、潮の干満につれて干出や水没を繰り返す、細粒砂泥でできたフラットな地帯を指す。干出・水没の環境変化や陸と海との境界における環境勾配が、海中や陸上とは違った特有の生物生息場を形成する。干潟の再生とは、①干潟に住むさまざまな生物の生息が回復し維持され、②干潟特有の物質の循環や食物連鎖が行われ、③干潟生物などにより構成されるひとまとまりの系が自然の中で破綻したり暴走したりすることなく自律的に維持されること、を意味する。

## (2) 干潟生態系の特性と系の形成実験

主要な干潟生物のグループ構成と食物連鎖の概念を図1に示す。生物の重量として見たときには、二枚貝や多毛類など体長数 cm 程度のベントス(体の大きさから、メアイ1 mm のふるいの上に残るベントスをマクロベントス、通過するものをメイオベントスと呼ぶ。)のグループが目立つ。このグループは、有機物を摂取する消費者となる。また、干潟生態系における生産者としては、海藻草類や付着藻が重要である。バクテリアは、排泄物や生物遺体などの有機物を分解している。また、潮の干満により、沖合いとの間で栄養や有機物や生物のやり取りが起こる。

干潟的な地形や地盤が新たに提供されたとき、干潟生物は住み着いてくれるかどうか、実験をした。横須賀市の旧港湾技術研究所(現在は独立行政法人・港湾空港技術研究所)敷地内に建物を建て、そこに図2のように水槽を並べた。水槽の底には、厚さ50 cm に東京湾の盤干潟から運び込んだ干潟泥を敷き詰めた。干潟泥は、陸上で十分乾燥し機械的に攪拌してあり、ベントスの個体や幼生などはいなかった。研究所が面している久里浜湾の自然海水をポンプで導き、一日2回の干満を起こした。海水は無処理のまま水槽に導いているため、降雨時には久里浜湾に注ぐ河川の影響を受け、塩分が低下する。建物はガラスの天井と壁とを持ち、水槽は日射を受ける。温度の制御はせず、冬寒く・夏暑いままになっている。

\* 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部



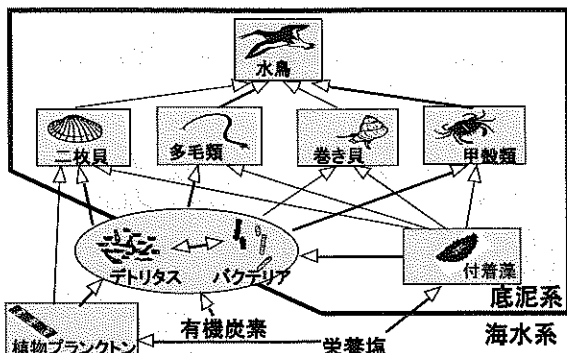


図1 干潟の食物連鎖概念図

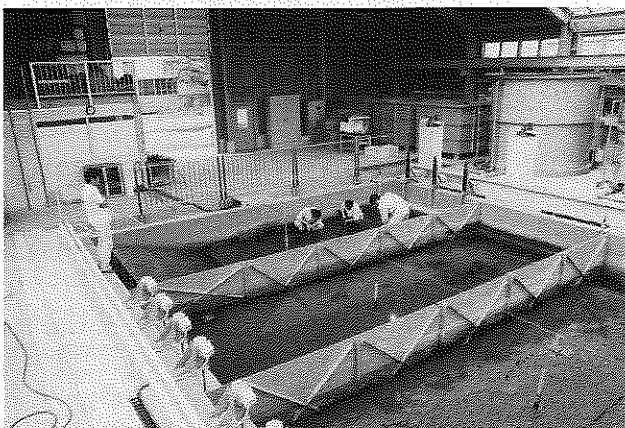


図2 干潟実験水槽 (20m×3m×3槽)

### (3) 実験結果

平成7年1月より運転開始した。数カ月で土壤中に微細な生物が観察され、半年後には土壌表面が付着藻で褐色に着色した。11カ月後の底生生物群衆のようすを図3に示す<sup>3)</sup>。横軸にそのグループの代表的な体長を、縦軸には生息している個体数密度をとっている。図には、盤州干潟での観察結果も併せて示してある。体長の小さな生物は個体数が多い、大きな生物は個体数密度が小さいという傾向(図では右下がりの分布となっている)が見て取れる。さらに、各グループの個体数密度は盤州干潟での値と似ており、生産者・消費者・分解者のバランスの取れた系が形成されていることがわかる。人の手では一切生物を持ち込んでいないことから、これらの干潟生物は自然海水に含まれて水槽に運び込まれたものと思われた。上載海水と干潟泥との栄養塩のやり取りを調べると、干潟での無機栄養塩の高い吸収が見られ、自然干潟と似た物質の移動や光合成が観察された。さらに、運転3年目から波を起こしている水槽でアマモが生育し始め、毎年生息面積を増やしている。季節変化や日変化を受けながらも、突然生物が死に絶えたり生物相が単調化したりすることなく、現在運転10年目を迎えている。実験・研究は、(独)港湾空港技術研究所の手で継続されている。徐々に卓越種を遷移させながら、水槽内の

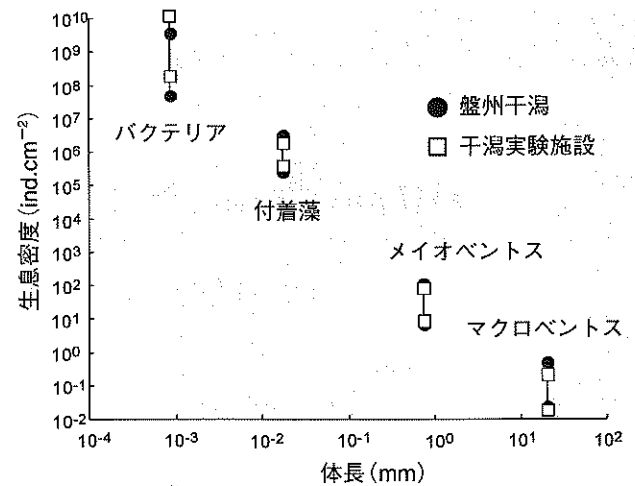


図3 干潟生物グループ別の生息密度 (実験開始後11カ月目)

生態系は成熟しつつある<sup>4),5)</sup>。

実験により、干潟生物が自然海水に含まれ持ち込まれ、水槽内土壌に住み着き、生態系が自己形成されることが確認された。また、生態系の構成生物は、普通に見られる干潟種であった。栄養塩の循環を測定したところ、干潟泥と海水とのやり取りの大きさは自然干潟で報告されている範囲内であり、とくに無機栄養塩の取り込み速度が速かった。人の手で生物を持ち込むことなく9年以上運転を続けているが、季節変動や気象変動にもかかわらず生態系が維持され成熟してきている。こうしたことから、干潟的な場を上手に提供できれば、干潟生態系の再生が可能であることが分かった。

## 2.2 干潟をどこに整備したらよいのか

### (1) 系の形成には生物の加入が必要

干潟生態系の回復には、海水に含まれて漂っている干潟生物の幼生・種子・卵が、干潟に運び込まれること(加入)が重要ということが分かった。干潟のベントスの生活史(誕生から死亡までのすごし方)を調べてみると、多くの生物で、発生の初期に数日から数週間の浮遊幼生期がある。それでは、内湾の海水には、干潟生物の幼生などがどのように含まれ、どこを漂っているのだろうか?東京湾で観測をした。

### (2) 湾内での広域的な流れの計測

まず、数日から数週間での内湾でのものの移動には、潮流や密度流などが大きく影響を与え、移動の空間スケールは数km~数十km程度(内湾の数分の一ぐらいの広さ)に及ぶと予想された。従来こうした広域の流れは、流速計をブイに係留し、とびとびの数箇所の係留点での流速から周囲の流れ場を推定する方法がとられてきた。流れ場は粗くしか見積もれない。そこで新たに広域に面的に流れを計測する装置を開発し、内湾に応用してみた。

海洋短波レーダによる方法は、陸上のレーダアンテナから発信された短波が海面で反射されるとき、海面の流れの影響を受けてドップラーシフトすることを利用している。1対2台のレーダ基地局を陸上に配置し、海に入らずに海

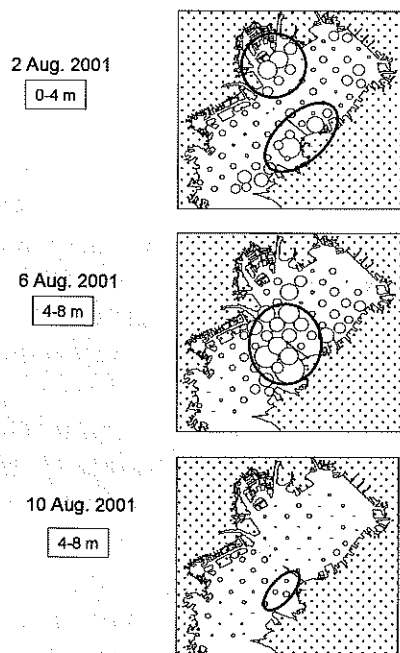


図4 東京湾内のアサリ浮遊幼生分布  
(上から2001年8月2日, 同6日, 同10日の状況)

面の流速分布を測定する。20 km 四方の海面に対し実用に耐えるデータが測得できている<sup>9)</sup>。東京湾や相模湾で観測された流速ベクトルは、国土技術政策総合研究所のホームページ (<http://www.nilim.go.jp/>) 上にもアニメーションとして公開されている。

### (3) 湾内での広域的なものの運ばれ方

アサリを干潟ベントスの代表とし、その浮遊幼生の東京湾内分布を測定した。平成13年8月はじめに、4日おきに3回、各回湾内65地点で海水を採水し、海水に含まれているアサリ幼生の数を数えた。抗原抗体反応を利用した「アサリ幼生のみ染色する技術」が開発されたおかげで、これだけの多点での幼生計数がはじめて可能になった。結果を図4に示す。発生数日後の小さな幼生が、東京港沖と盤州沖に多く見られたが、その4日後には少し成長した幼生が湾中央部に見られ、更に次の4日後には大きく成長した幼生が盤州干潟南部に少し見られるだけであった。湾内を広く浮遊しながら成長し、やがて海底上に沈降・着底しようとするが把握できなかった<sup>10)</sup>。

浮遊幼生の観測時に、同時に流れのようすをレーダにより測定した。観測値をベースに、湾内流れのようすが三次元的に推定された。これを用い、アサリ幼生の浮遊経路を数値計算でたどった<sup>9)</sup>。結果は、図5に示すように、湾内西岸(東京港付近)にあった幼生は、内湾奥部を広く広がり、西岸に沿って神奈川県横浜市沖から湾口に流れて行く。一方、湾の東岸千葉県盤州付近に置かれた幼生は、東岸沿いを南北に移動するもののその広がりや東岸寄りであり、一部は湾口へと流れてゆく。

### (4) 海の上の生態系ネットワークと配置計画

こうした幼生移動から、親貝の産卵・幼生の浮遊・稚貝の着底を通じて西岸の干潟や浅場が相互に結びついているらしいこと、そのため西岸の干潟などの整備や管理は、西岸として一体的に扱うことが望ましいこと、などが推測さ

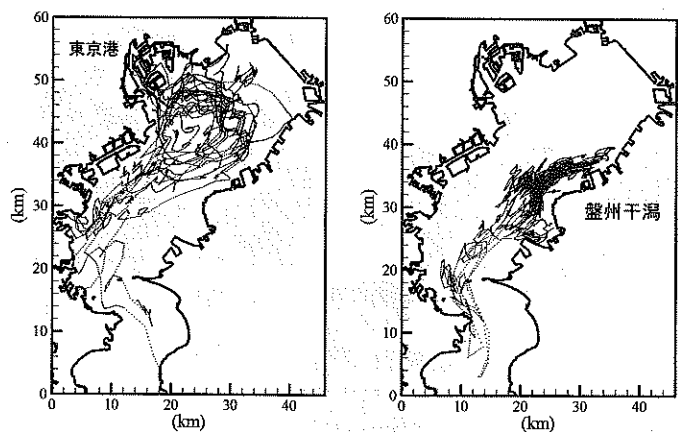


図5 アサリ幼生の浮遊経路(2001年8月2日の状態から150時間後までの浮遊経路の数値計算結果)  
左図: 東京港沖にあった幼生の経路  
右図: 盤州干潟沖にあった幼生の経路  
(計算初期の幼生分布は、図4の8月2日の観測結果を参照して与えた。)

れた。一方の、東岸の観測状況からは、東岸では産卵場に比較的近いところに着底する傾向が見られる。今ある広い生息地内をていねいに見てゆくことが望ましいと推測された。

## 3. 課題と技術開発の方向

### 3.1 残された課題

関連する科学的知見はきわめて限られている。現在までの個別生物の生態知見は主にいくつかの典型生物種に限られており、干潟生態系の形成過程や生物相互作用の総合的な解明にはまだ程遠い。外部条件の変動に対する干潟生態系の応答や、人為的に提供された場への生物の定着の順番や時間経過などの、詳細な予測はまだ困難である。

しかし、社会的要請の強さの中、限定的な科学知見の中で、いかにして実践的な方法論を構築してゆくのが問われている。水際線での干潟生態系を回復させる技術的な可能性と、それを促進させるための湾内における干潟配置の考え方とは、上記のように、システム的なアプローチから徐々に成果が積み重なってきている。さらに、自然の中に置かれた干潟の振る舞いについては、① まわりの系とのつながり、② 外部の条件変動に対する系の応答や自己修復、のダイナミズムの知見蓄積が望まれる。加えて、再生施策の展開には、③ 地域のさまざまな要望をどう干潟整備に反映してゆくのかの検討が必要になる。この検討は、自然科学の分野に限らない。

### 3.2 都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト

自然の中に置かれた干潟は、背後の陸域や都市からの影響や沖合いの海からの影響に加え、隣接する水際線部や気象や飛来物からの影響を受けることになる。特に、内湾湾奥では、大都市に隣接して干潟が存在することになり、水底質などが劣悪な環境下で、背後市民が憩える場が望まれている。

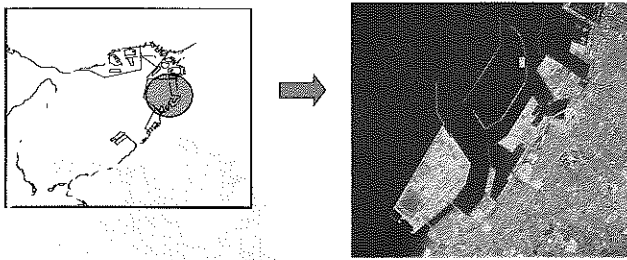


図6 大阪湾阪南南港内の造成干潟位置

このため、「都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト」と称した研究を平成15年度より開始した。この研究では、①自然の中に置かれた都市隣接干潟での生態系形成の実証的実験、②多様な生物生息を促しさまざまなダメージからの回復が早い干潟生態系形成への応援技術の開発、③市民的な利用や学習を促す仕組みの検討、などから構成されている。

干潟実験施設では、海辺の建物内部の水槽に形成された干潟生態系が9年以上維持されている。しかし、現場の干潟は、台風・降雨や青潮・赤潮の来襲を受け、背後都市からの負荷を受け、生息生物をついばむ鳥の来襲やひとの漁獲活動の影響を受ける。そこで、現在、大阪湾東岸の阪南港2区での造成干潟をお借りして、造成者の大阪府、地元の大阪市立大学、近畿地方整備局、(独)港湾空港技術研究所などと相談しながら、造成直後からの干潟地形や加入生物の変遷を観察している<sup>10)</sup>。図6に、平成15年度に新たに造成された阪南2区干潟の位置を示す。この研究の実施に際しては公募により民間の方々の研究参加を求め、提案をもとに4社の方たちと共同研究契約を結んでいる。また、地元での公開シンポジウムの開催などを考えている。自然変動の中で干潟生態系が自律的に系を維持することが必要で、それをどう応援してゆけばよいのかの検討を進めたい。

### 3.3 自然の変動を配慮した順応的な管理

自然の中に置かれた造成干潟では、造成直後に加入定着する生物について、あらかじめある生物グループを想定できても、種を特定することは難しい。また、周囲の自然条件の変動のもとで、あらかじめ予想した過程とは異なる成熟経路をたどることもあろう。さらに、科学的知見の不足から、より好ましいと思われた素材の使用や地形の工夫が、逆に生物生息を阻害してしまうこともあるかもしれない。

こうした場合、現実には何が起きているのかモニターし、望ましい方向に向かっているのかどうか評価し、少し先に起きることを予測しながら必要な手を入れてゆく、という管理手法を採用することが多い。生起したことに応じて、臨機応変に手を入れたり、見直したりするという意味で、順応的管理と呼ばれている<sup>11)</sup>。現場で比較実験をしながら造成用の素材を選んだり、微地形の形成を行うことなども含まれる。

すべての事象に関して科学的知見が整っているわけではないときに、少しずつ手を加えて整備を進める際の、有力な管理手法となる。この場合、モニターの仕方、今後生起することの予測や評価の仕方、手の入れ方の技術など、よ

く検討しておく必要がある。

## 4. 東京湾再生行動計画

### 4.1 干潟を取り戻すということとは

以上の議論を踏まえれば、都市臨海部に干潟を取り戻すということは、以下の4項目の実現を意味することになる。まず、①その場にふさわしい干潟生態系の構造や機能を取り戻すことを意味する。その場にふさわしい構造や機能に関しては、かつて存在した干潟のようすや周囲の干潟のようすが参考になる。

また、干潟生態系は自然変動や人の諸活動の影響を受け、絶えず新たな条件に見合った姿をとるように変化している。したがって、②外部条件や自然の変動に対し、干潟生態系自身が自律的に適応し、変化しつつも容易に破綻することなく継続し、長期的には安定的に系が維持できることを意味する。そのためには、新たな境界条件に対する干潟生態系の応答のようすを把握する研究が必要となる。また、自然変動の中での変化しつつも長期的にはある範囲におさまっているという、いわゆる「システムの動的安定性」の機構理解が必要になってくる。

加えて、干潟生態系は、その場の干潟だけで閉じておらず、周囲の隣接系と深い関係性の中で成立している。③河川—河口—隣接干潟—沖合い—内湾—外洋といった大きなつながりの中で、背後乾陸地—ヨシ原—感潮帯(タイドプールやミズミチ)—浅海藻場といった連結を持たせることを意味する。異なる空間サイズ間の階層構造や時間遅れを伴う伝播、さらには生態系の拠点とネットワーク、などのシステム解析が、望ましい結びつき方への示唆を与える。

都市からの環境圧力に加えて、都市住民の環境学習や都市漁業の促進など、干潟の機能の上手な利用が継続的な管理や異変の検知に有効とされている。つまり、④「地先の浜」として、地域の関心や協力で支えられて干潟が維持され管理されていることを意味する。二次的な自然を地域が賢く活用するためには、干潟生態系の利用の歴史と便益や社会的価値の解析も必要である。

### 4.2 東京湾再生行動計画

平成13年12月の内閣府都市再生本部の都市再生第3次決定に「海の再生」として、東京湾の再生が位置づけられた。これを受け、内閣府・農水省・環境省・国土交通省は、湾岸の7都府県市(現在は8都府県市)と協力して協議会を設立し、東京湾再生行動計画を策定した<sup>12)</sup>。実施可能な施策を、各府県が連携し、必要な場所で重点的に実施しようというものである。

平成15年3月に策定された行動計画には、湾域のモニタリング、東京湾への負荷削減、湾内の環境改善といった努力の方向がまとめられ、図7に示すような「重点エリア」と「アピールポイント」とが定められた。「アピールポイント」は、干潟・砂浜や河口ヨシ原など水際線部の整備が主体である。「重点エリア」のゾーン区分は、アサリ浮遊幼生の観測結果から認められた「一体的に考えることが望まし

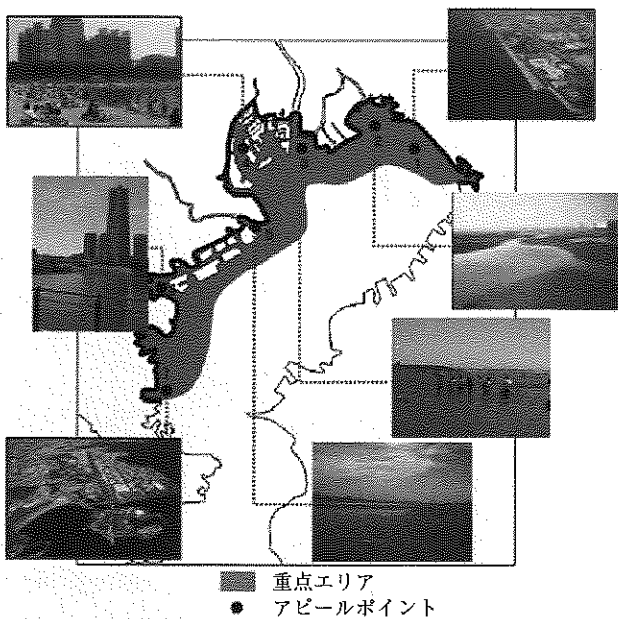


図7 東京湾再生行動計画における重点エリアとアピールポイント

い海域」と重なっている。さらに、順応的管理手法の導入が目指されている。また、異なる主体間の連携を促す公開シンポジウムなども、協議会の主催で開催されてきている。

科学的知見を効果的に活用し、少しずつでも湾岸に自然を取り戻す努力が始まっている。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局・環境省自然保護局編：干潟ネットワークの再生に向けて，国立印刷局，118 p，2004.
- 2) 諸星一信：新たな海辺文化の創造，国総研アニュアルレポート，No. 2，74-75，2003.
- 3) 細川恭史・桑江朝比呂：干潟実験施設によるメソコスモ実験，土木学会誌，第82巻第8号，12-14，1997.
- 4) 桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子：干潟実験施設における底生生物群集の動態，港湾技術研究所報告，第36巻第3号，3-35，1997.
- 5) 桑江朝比呂・三好英一・小沼 晋・井上徹教・中村由行：干潟再生の可能性と干潟生態系对环境変化に対する応答—干潟実験施設を用いた長期実験—，港湾空港技術研究所報告，第43巻第1号，21-48，2004.
- 6) 古川恵太・野村宗弘：湾内循環の観測手法とその観測成果，平成12年度港湾技術研究所講演会講演集，1-16，2000.
- 7) 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文：夏季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動，国土技術政策総合研究所報告，No. 8，13 p，2003.
- 8) 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文：秋季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動，国土技術政策総合研究所報告，No. 12，12 p，2003.
- 9) 日向博文・戸簾幸嗣・古川恵太・粕谷智之・浜口昌巳・石丸 隆・柳 哲雄：夏季東京湾におけるアサリ浮遊幼生の移流拡散過程に関する数値計算，2002年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集，日本海洋学会，2002.
- 10) 古川恵太：自然再生に向けた試み，平成15年度講演概要，港湾空港技術振興会，47-54，2003.
- 11) 細川恭史：干潟の順応的管理，Ship & Ocean Newsletter，No. 87，シップ・アンド・オーシャン財団，4-5，2004.
- 12) 東京湾再生推進会議：東京湾再生のための行動計画（最終とりまとめ），東京湾再生推進会議事務局，21 p，2003.

# 湖沼沿岸帯の復元にむけて

なかむら けいご  
 しま村 圭吾\*  
 島 たに 幸宏\*\*

## 1. はじめに

1990年の「多自然型川づくり」の通達にはじまり、1997年の「河川環境の整備と保全」を目的とした河川法改正、2003年の「自然再生推進法」の成立と水辺の自然を復元する動きが加速している。そのような動きの中で、湖沼沿岸帯（湖岸）も復元にむけてさまざまな取組みが始まっている。当初は、人間の利用を主眼とした親水整備的な復元が多かったが、最近はやより本来の湖岸の景観、生物相の復元を目指すものへと変わってきている。また、単に湖岸の地形・景観を整備するだけでなく、自然な水位の復元を試みる事例も出てきており、湖岸形成のプロセス自体を再生する試みもあらわれている。生物の復元に関して、単に植物を植え付けるのではなく、シードバンクの利用など自然の力を上手く活用した事例が出てきている。関連する研究事例や技術的な進展も多く見られており、湖岸の復元は、より高いレベルを目指して進化してきている。その一方、進展に伴い新たな課題もでてきている。ここでは、いくつかの特徴的な国内外の事例から湖岸の復元に必要な視点を説明し、その後、現状の課題、今後の方向性について論じる。

## 2. 湖岸の復元事例

### 2.1 霞ヶ浦—シードバンクを活用した植生帯の復元—

霞ヶ浦は東京の北東60kmほどにある面積(220km<sup>2</sup>)日本第2位の湖沼である。面積に比し、水深は4mと浅く、水質的にはきわめて富栄養である。これまでは、水質汚濁対策におわれ、生物多様性の保全についてはそれほど議論されてこなかったが、霞ヶ浦の湖岸植生帯が近年、急速に縮小し、危機的な状況にあることが認識されるようになってきた。図1に示すように、1970年代以来、ヨシを中心とする抽水植物は半減し、水中部に生育する沈水植物にいたっては、ほぼ絶滅状態である。

霞ヶ浦は水源としても重要で、そのため下流の常陸川水門によって水位管理がなされている。日本の湖は冬季に水位が低く春先にかけて水位が上昇し、夏季に水位が高いのが一般的である。しかし、水位管理をすると、この自然の水位変動パターンが変化する。水位管理が本格化した後、霞ヶ浦のシンボリック的存在である浮葉植物のアサザが激減するという状況が発生したり。湖岸植生帯、特にアサザの緊急保全対策として2000年度から湖岸復元事業が開始された。

この復元計画の作成にあたって、同2000年に「霞ヶ浦の湖岸植生帯の保全に係わる検討会」が設立され、その中で霞ヶ浦の湖岸地形の成り立ち、湖岸景観の変化、植生帯の変化、水位変化の影響、護岸の影響、復元箇所の設定、などが議論された。これら議論の結果を受けて、霞ヶ浦の復元では、過去の地形や勾配の復元、シードバンクの利用など種々の新しい試みがなされている。たとえば、過去の湖

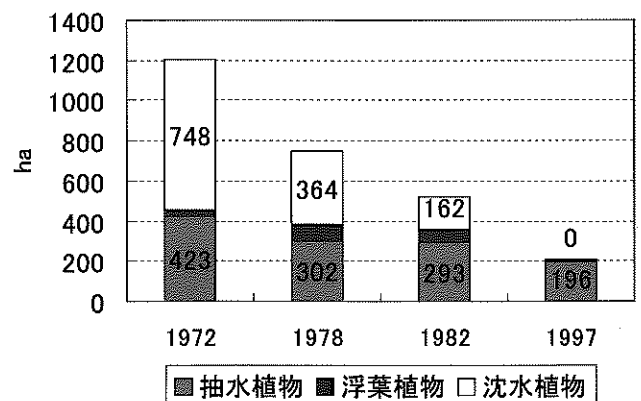


図1 霞ヶ浦(西浦)の植生帯面積の経年的変化 (Sakurai, 1990のデータに加筆)

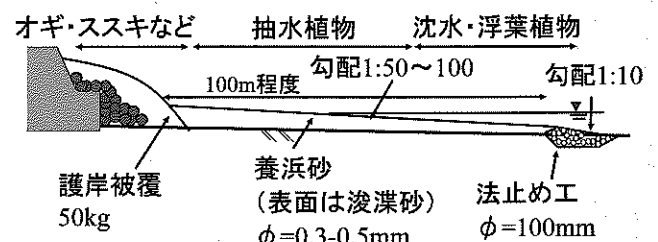


図2 復元湖岸の一般的断面

\* (独)土木研究所水循環研究グループ河川生態チーム 主任研究員

\*\* 九州大学大学院 工学研究院 環境都市部門 教授



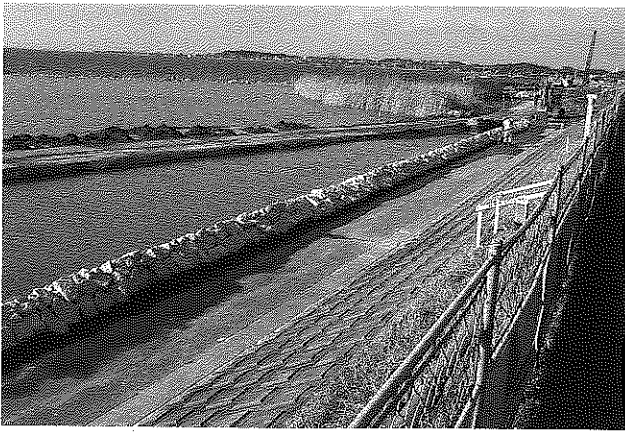


写真1 霞ヶ浦(永田地区)における復元事例、左: 施工中の写真, もともと直線的なコンクリート護岸であった。水際も直立護岸で連続性がなかった。右: 施工後, 3ヶ月。短期間に緑の復元が実現した。本来の沿岸帯らしいのびやかな風景が復元できている。

岸勾配を忠実に再現するために、もともとの湖岸勾配に近い1/50~1/100というきわめて緩い湖岸勾配で設計された(図2)。実際には、このような勾配はあくまでも目安で、その後波浪によって湖岸の勾配は自然の形態へと修正されていく。元の勾配に近い、緩勾配に設定することが重要で、ディーテールの形成は自然にまかせるという思想である。

投入する土砂はできるだけ霞ヶ浦のもので使用された。復元湖岸の養浜砂は量の確保の問題があり、霞ヶ浦の沖帯の粗い砂が使用されたが、粗い砂からは植物の復元が期待できないため、復元する湖岸表層10cmには、航路浚渫によって発生した浚渫砂が用いられた。浚渫砂は、霞ヶ浦の湖岸に生育する(していた)植物の種子の集団(シードバンク)を含んでいる。したがって、復元後の湖岸に植物を植えなくてもこのシードバンク\*からの復元を期待したわけである(\*厳密には種子のほか、株も含むので散布体バンクと呼ぶのが正しい<sup>2)</sup>)。

霞ヶ浦では上記の考え方にに基づき、湖岸植生帯の復元が実施された。竣工は2002年の3月から7月であるが、高川<sup>3)</sup>の調査によると工事完了から1~2週間で発芽がみられ、夏には全ての場所で沈水植物、浮葉植物、多くの湿生植物を含む湖岸植生帯が再生されつつあることが確認されている。写真1に示す永山地区では、3月の竣工後、8月には約7,500m<sup>2</sup>の範囲内において63種の植物が確認されている<sup>3)</sup>。そのなかには、シャジクモやエビモ、オオササエビモ、ササバモ、リュウノヒゲモ、コウガイモといった沈水植物をはじめ、絶滅危惧II類であるアサザ、ヒメビシなども確認されている。今回確認された水生植物の中には霞ヶ浦ではすでに絶滅したと考えられていた種も含まれ、シャジクモにいたっては実に30年ぶりに確認された。

## 2.2 宍道湖一湖浜の復元、ダイナミックな流入河川のポテンシャルを活かす一

宍道湖は島根県にある面積79.2km<sup>2</sup>の汽水湖で、中海と二連の汽水湖を形成している。宍道湖は、昭和初期に下流の大橋川の拡幅により、塩分濃度が大幅に上昇し大きな環境影響を受けた。その結果、紆余曲折はあったもののシジミの生産量が増加し、地域経済にとってはプラスに作用している<sup>4)</sup>。塩分濃度により環境が大きな影響を受ける湖

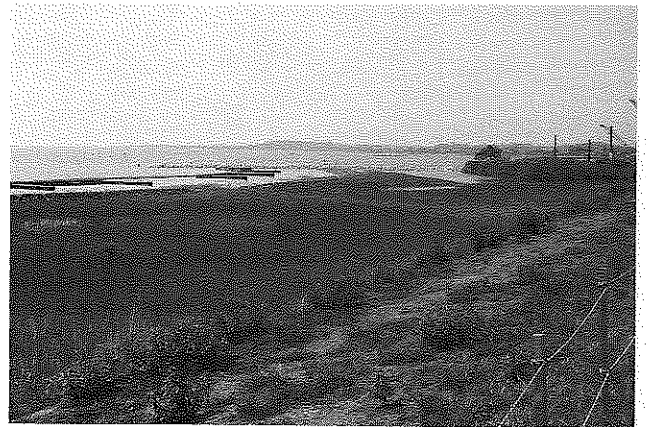


写真2 宍道湖の湖岸の様子: 湖岸道路が直接湖沼と接しており、景観的にも生態学的にも好ましい状態ではない。また、道路によって湖沼と周辺の山地の生態系、あるいは人間とのつながりも分断されている。

沼である。宍道湖は、上記の霞ヶ浦と比較すると水質もそれほど悪くなく、生物相も豊かであるが、意外なほどに湖岸の景観は貧弱である。大部分の湖岸には道路が接しており、道路擁壁を兼ねた直立の護岸がじかに水と接している(写真2)。宍道湖の昭和初期の写真を見ると、多くの湖岸は砂浜であり、ヨシ等の水生植物は河口付近の波浪が直接作用しない箇所を除くとそれほど多くない。昭和30年代まで、沈水植物も多く観察されたが、現在はほとんど見られなくなっている。その原因として、水質悪化、農薬、塩分上昇、しじみ漁業などが言われているが、はっきりとしたことは明らかではない。

宍道湖の特徴は河川からの流入土砂の豊富さである。最大の流入河川である斐伊川は、流域における古代からの製鉄業と花崗岩地帯という地質的要因によって日本を代表する「砂河川」となっている。斐伊川の他にも、湖沼の南北から流れる小河川からの土砂供給があり、これらの河川からの土砂供給量と湖沼の波浪あるいは湖流による侵食のバランスが、湖岸の地形を決定している。

宍道湖においても、湖岸の復元が実施されている。代表的な事例としては、1996年に平田地区に施工された事例がある。この事例は、既存の堤防を壊して、堤防を引いて沿岸帯を確保した画期的な事例である。景観的に非常に優れ

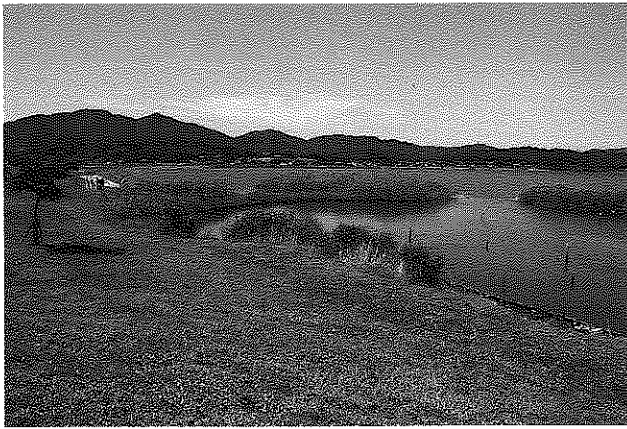


写真3 宍道湖，平田地区。既存護岸を壊して沿岸帯を再生した画期的事例。前面の消波堤は、消波堤、景観改善、生物生息場の3つの機能を有している。



写真4 宍道湖，斐伊川河口左岸。施工後，斐伊川からの土砂供給もあり，より自然な形状に変化。

ており、生物量の増加も確認されている（出雲工事事務所調査）。また、2001年度に施工された斐伊川河口付近の復元では、斐伊川から運ばれてくる土砂を受け止める形で、湖浜環境を復元している。この工法が興味深いのは、砂を完全に制御するのではなく、不完全に制御することで、自然に湖浜をデザインさせていることである。このように砂供給量の比較的多い宍道湖では、河川から排出される土砂を上手く活かした、河口部を中心とした湖浜環境の復元手法は適しているように思われる。土砂バランスを考慮し設計することが必要であるが、いまのところまだ十分に手法が確立しているとは言えず今後の課題である。

### 2.3 諏訪湖—やはり水質は復元の第一歩—

長野県にある諏訪湖では、水質と水生植物の関係を考えるうえで興味深い現象が起きている。諏訪湖は、周辺の流域人口も多いため以前から過度の富栄養湖であった。1979年から下水道の終末処理場が供用を開始した。供用後、一次的に透明度が改善したものの、その後は改善がなかなか進まなかったが、1999年以降明らかに水質改善に伴うと思われる現象が起きている。アオコが消滅し、透明度が改善し、一時期水質悪化の元凶として取り除かれたエビモなどの沈水植物にも復元の兆しが表れている。水中部に生育

する沈水植物にとってはやはり、透明度の改善を主とする水質の改善がきわめて効果的であることをこの事例は物語っている。霞ヶ浦においても、現在30cmほどしかない透明度を100cm程度まで改善することができれば、沈水植物などは自然にかなり復元されると考えられる。また、沈水植物自体が水質改善に大きく寄与することも土木研究所自然共生研究センターなどの研究により明らかになっている<sup>9)</sup>。諏訪湖の事例のように、浅い湖沼の場合は底泥が長期にわたって水に影響を及ぼすために浄化効果が見えるまで時間がかかることが多いが、合理的な計画に基づき、あきらめずに水質対策を続けることが重要であろう。

### 2.4 ボーデン湖—勾配と粒径の関係を設計に活かす—

ボーデン湖は、ドイツ、スイス、オーストリアの国境に位置し、面積は571.5km<sup>2</sup>と琵琶湖よりも一回り小さい湖沼である。水河湖で水深が深く（平均95m、最深部254m）、湖水量は485億m<sup>3</sup>と琵琶湖よりも大きい。ボーデン湖は、南部ドイツのリゾート地として有名であったが、他の先進国の湖沼同様、第二次世界大戦後、1950年代後半から水質が徐々に悪化し、透明度の悪化、植物プランクトンの増加などに見舞われた。しかしながら、1970年代から実施した徹底した下水道対策などにより、1980年代をピークに水質は改善し、現在はほぼ1950年代のレベルまで低下している。徹底的なリソ対策が功を奏したのである。もちろん諏訪湖と異なり水深が深いことも成功の大きな要因であろう。

ボーデン湖でも水質問題のほかに、湖岸の生態系の衰退が問題となった。湖岸侵食防止のために設置された直立護岸、水質悪化による糸状藻類の繁茂などによって湖岸植生帯の侵食・衰退が顕著になったのである。そこで、30年ほど前から湖畔のランゲンアルゲンにある研究所のシーエッカー博士らを中心に湖岸の復元が進められた。シーエッカー博士の復元のポイントは、徹底した自然湖岸の観察から見出した湖岸勾配と粒径の関係を利用するという方法である<sup>9)</sup>。図3に示すように湖岸の勾配と粒径には一定の関係がある。その関係に逆らわないように、湖岸を復元するという手法である。投入した土砂の前面には水面下に、土砂の岸沖方向へ移動を制御するための礫からなる法止めが設置される（図2参照）。

写真5の都市部に近く親水性の復元を目指すところでは、63mm程度までの比較的粒径の大きな礫を表層に30cmほど敷いて、レクリエーション目的に適した構造としている。コスト削減のため中詰め材料は沖の湖沼砂を利用している。

写真6は、写真5から少し東のロタッハ川の河口に広がる湖岸の復元事例である。前面の緩い湖岸地形にあわせて、かなり緩やかな勾配の湖岸を復元している。投入土砂の粒径もそれにあわせて砂程度としている。

オーストリアのブレゲンツ市の中心部近くでは、ワスレナグサの保全のために湖岸復元が実施された（写真7）。以前は春になると沿岸帯一面にワスレナグサが咲き誇っていたが、現在では名前のごとく「わすれないで（forget-me-

angle of slope 斜面勾配	substrate / (grain-size) 材質/粒径
	walls
1:1 - 1:2	boulders (30 - 100 cm)
1:2 - 1:4	boulders (200 - 300 mm)
1:4 - 1:12	Pepple stone (20 - 200 mm)
1:12 - 1:20	gravel (6,3 - 63 mm)
1:20 - 1:30	gravel (2 - 20 mm)
1:30 - 1:50	sand (0,2 - 2 mm)
1:50 - 1:75	fine sand (0,02 - 0,2 mm)
1:75 - 1:100	silt (0,01 - 0,063 mm)
< 1:100	clay (< 0,01 mm)

図3 ポーデン湖における勾配と粒径の関係<sup>6)</sup>

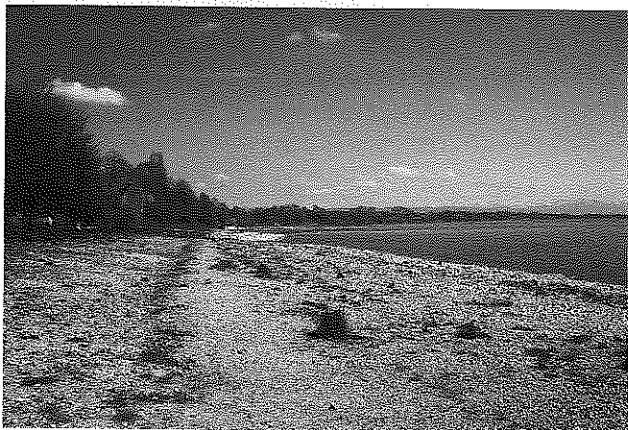


写真5 フリードリヒスハーフェン港付近の復元箇所：親水的整備



写真6 ロタッハ川河口の復元箇所：緩勾配の湖岸復元



写真7 ワスレナグサの復元が実施されている地区（オーストリア・ブレゲンツ）

not)」というほどしか残っていない。ワスレナグサの生育に適した緩勾配の礫質の湖岸は、建設材料として多くが掘削され、かつ湖岸の人工化により、適した生育場がほとんど失われてしまった。そこでこの地区ではワスレナグサの生育場の前面を保護・復元し、ワスレナグサの保全を試みている。将来的には復元した礫質の湖岸への拡大も期待している。ちなみにこのプロジェクトは、EUのライフプロジェクトとしてEUから50%の資金助成を受けている(LIFE00 NAT/A/007069)<sup>7)</sup>。

### 3. 復元に向けての基本的な考え方

河川の復元を実施する場合には、地形学的、水文学的、生態学的プロセスの三つを復元する必要があると言われて<sup>8)</sup>いる<sup>9)</sup>。湖沼においてはこれに加えて、水質の復元も重要な課題である。プロセスの復元とはいわば、アニメーションの復元である。静止した2次元あるいは3次元のイメージを復元するのではなく、時間的なプロセスも含む4次元の復元が必要であるということである。このようにして復元された自然は常に時間的に動きつつ、一定の動的な範囲で安定している。いわゆる科学的には動的平衡と呼ばれる状態が作り出されている。ここでは地形学的、水文学的、生態学的、プロセスに沿って沿岸帯復元の課題について考えてみたい。

#### 3.1 地形学的プロセスの復元

湖岸帯における地形学的プロセスの復元とは、河川あるいは周辺の沿岸から供給される土砂と侵食される土砂が崖や岩などの地形形状のコントロールポイントに制約されながら、平面的あるいは沿岸方向の砂の動きを常に有しながら、侵食や堆積を繰り返す、全体として湖岸帯の景観が安定している状態を作り出すことである。

たとえば、霞ヶ浦の写真1右の事例では波浪の侵入を許し、岸沖方向の砂の動きはある程度復元できている。しかしながら、既存の護岸の前面に設置しているため沿岸方向の砂の動きは左右の突堤によって制限されている。つまり、現状では沿岸方向の地形学的プロセスを動的に復元できていないのが課題である。工学的な安定と地形学的なダイナミクスをいかに調和させるかが、難しいポイントである。

さらに、もうすこし視点を広げる。湖沼沿岸帯は通常、堤防で仕切られた陸側にも大きく広がっているものである。本来の地形学的な沿岸帯の復元を実施するためには、堤防を引くか、可能な部分は一部取り除くなどして、背後の本来の沿岸帯である場所とのプロセスをいかに復元するかが問題となる。実際、このような試みは宍道湖においてははじまっており、霞ヶ浦においても計画されている。

#### 3.2 水文学的プロセスの復元

水文学的プロセスの復元とは、湖沼ではまず水位変動パターンの復元である。平均水位の復元だけでなく、水位変化のパターンを復元することが重要である。また、地形形状の起伏の違いにより水理的な外力の分布に差異が生じるこ

とも重要である。

湖沼の水文学的プロセスを操作していない場合、つまり水位操作をしていない場合は問題が小さい。たとえば、事例で挙げたボーデン湖などは水位調整していないのでこのプロセスに関しては復元する必要がない。一方、日本の多くの湖沼は水資源として利用され、治水上の機能も有しているため、なんらかの水位操作がなされていることが多い。たとえば、霞ヶ浦では治水・利水目的のために水位が人為的に操作されており、ほぼ自然変動の逆パターンとなっている<sup>9)</sup>。そして、そのことが湖岸植生帯に悪影響を与えている<sup>10)</sup>。このような状況に対し、諸外国では、自然(あるいは生物)も水利権者であるとして、その権利を認めようとする動きがある<sup>11)</sup>。日本でも、可能な範囲で自然に水を割り当て、共生をはかることが今後重要となってくる。上記の霞ヶ浦の事例では、復元対策として期間限定ではあるが植生帯の春の芽吹きの際に湖沼水位を30cm下げるという操作を実際に行い、速報ではアサザ群落などの復元に効果があったようである。河川の例であるが、ドイツのイザール川では、河道の復元と同時に、水利権の一部を電力会社からレンタルし、河川のダイナミクスと景観を改善している<sup>12)</sup>。さまざまな水の利用者がいるなか、完全に自然の水位変動に戻すことは難しいので、その程度が問題となってくる。現在、生態系の観点から必要な水量について河川分野では盛んに研究されているが、なかなか難しい課題である。これらの基礎的研究に加えて、この新たな水利権者(自然)に対応する法制度や合意形成の手法の開発も急がれる。

### 3.3 生態学的プロセスの復元

生態学的プロセスの復元は、前記の二つのプロセスが健全に機能すれば、自然に回復するものと考えられるが、回復すべき生物がすでに存在していない(地域個体群が絶滅している)場合、あるいは外来種の影響が大きい場合は、なんらか人為的操作を加える必要がある。たとえば、霞ヶ浦で行われている、湖沼堆積物をシードバンクとして活用するなどは有効な手法である。

水質が改善され、地形学的プロセスおよび水文学的プロセスが回復されれば、通常は自然の力で生態学的なプロセスも回復されるものと推察される。通常は前記の二つのプロセスが、復元計画で操作するプロセスになるのに対し、どちらかといえば生態学的プロセスは、復元の成功を評価する指標となるべきものであろう。

なお、たとえ、上記の地形・水文学的プロセスが復元できたとしても、外来種の侵入がある場合は、生態学的プロセスの復元は保障されない。実際、復元した地区に本来期待していた在来種ではなく、外来種が繁殖したということはよくあることである。復元地区における外来種の駆除あるいは管理手法の研究・技術開発が課題である。

## 4. 今後の課題と方向性

以上のように、湖岸帯の再生については、まだ各地で始まったばかりであり、その評価は今後待たねばならない

が、景観的あるいは植物帯の回復は驚くほどである。国内で実際に見ることができる再生事例が誕生したことはきわめて意義深い。最後に今後の課題と方向性について簡単にまとめてみたい。

- ① 過去のイメージの再現：筆者らが霞ヶ浦の再生に当たった際、中国の巢湖でみた自然湖岸の風景が大変役に立った。復元するには頭の中に、イメージが浮かぶことはきわめて重要である。過去の写真や再生された湖岸などを参考にイメージを再現することが必要である。
- ② 平面的な微地形にも着目：湖岸帯はおおむね陸から沖に次第に水深が深くなると捉えることができるが、平面的にもさまざまな地形的な制約から一様な形状をしていない。生物の多様性は環境の多様性により維持されているため、過去の微地形などを参考に、平面的な形状にも十分に注意し自然の力で多様な環境が形成されるよう配慮すべきである。
- ③ プロセスの相互作用：3節ではそれぞれのプロセスを個々に取り上げたが、水質、地形、水文、生態は相互に関連があり、これらを総合的に捉える必要がある。そのためには複数分野の研究者や技術者、NPOなどが協力して実施体制を構築し、総合化しようという努力をする必要がある。
- ④ 合意形成と情報公開：湖は生物生息の場として重要であるばかりでなく、身近な生産の場、親水利用の場あるいは水資源としても重要である。自然再生がすべての人に必ずしも支持されるわけではないことを十分に考えておく必要がある。生態系が劣化し多くの生物が絶滅しかけていることやその要因などの情報を十分に公開し、地元の住民や関係者と十分に話し合い、合意を形成しながら、自然再生を進めていくことがきわめて重要である。

### おわりに

湖岸沿岸帯の保全はまだ始まったばかりであるが、大きな成果を上げつつある。湖岸沿岸帯の復元は、植生の再生にとどまらず魚類やエビの産卵場の提供、水質の改善、風景の向上などにつながり、将来的に見れば地域の大きな資産となりうるものである。公共事業への批判が厳しい昨今であるが、環境再生は21世紀の人類共通の課題であり、粘り強く続けていく必要がある。

### 参考文献

- 1) 西廣 淳ら：霞ヶ浦におけるアサザ個体群の衰退と種子による繁殖の現状、*応用生態工学*, Vol. 4, No. 1, pp. 39-48, 2001.
- 2) 柚木秀雄・高村典子・西廣 淳・中村圭吾：浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとバイオマニピュレーションを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み、*保全生態学研究*, 第8巻, 第2号, pp. 99-111, 2003.
- 3) 高川晋一・西廣 淳・鷲谷いづみ：霞ヶ浦の自然再生事業によるアサザ群落および湖岸植生帯の再生、*応用生態工学研究会*, 第6



- 回研究発表会講演集, pp. 97-100, 2002.
- 4) 島谷幸宏・皆川朋子：大正・昭和初期の大橋川改修による宍道湖の環境変化と住民の共生過程に関する研究, 環境システム研究, 27, pp. 27-63, 1999.
  - 5) 中村圭吾・川村竹治・高村典子・西廣 淳・尾澤卓思：沈水植物の有無が池の水質に与える影響, 第 37 回水環境学会年次講演会, p. 151, 2003.
  - 6) Berthold Siessegger: Lake Constance—The Restoration and conservation of a disturbed, degraded and polluted littoral zone, 第 9 回世界湖沼会議 第 4 分科会発表文集, 4 B-P 20, pp. 268-271, 2001.
  - 7) フスレナグサの復元に関する情報：  
<http://europa.eu.int/comm/environment/life/project/>
  - 8) Thoms, M.: Floodplain-river ecosystems—lateral connections and the implications of human interference. *Geomorphology* 56, 335-349, 2003.
  - 9) 中村圭吾：湖岸の保全と復元, 地理, 47-7, pp. 30-35, 古今書院, 2002.
  - 10) Nishihiro, J., Miyawaki, S., Fujiwara, N. and Washitani, I.: Regeneration failure of lakeshore plants under an artificially altered water regime, *Ecological Research*, 2004 (in press.)
  - 11) Arthington, A. H. and Pusey, B. J.: Flow restoration and protection in Australian rivers, *River Res. Applic.*, 19, 377-395, 2003.
  - 12) München, *Geo special: Nr. 2 April/May*, 2003.
  - 13) 平井幸弘：湖の環境学, 古今書院, 1995.
  - 14) 池田 宏：地形を見る目, 古今書院, 2001.
  - 15) Nakamura, K. and Tockner, K.: River and wetland restoration in Japan, *Proceedings of the 3rd European Conference on River Restoration*, pp. 211-220, 2004.
  - 16) 西廣 淳・鷺谷いづみ：自然再生事業を支える科学, 「自然再生事業」, 鷺谷いづみ, 草刈秀紀編, 築地書館, pp. 166-186, 2003.
  - 17) 西廣 淳・中村圭吾：湖岸植生帯の現状とその水質浄化機能, 「エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化—持続的な水環境の保全と再生—」, 島谷幸弘, 細見正明, 中村圭吾編, ソフトサイエンス社, p. 70, 2003.
  - 18) Sakurai, Y.: Decrease in Vegetation Area, Standing Biomass and Species Diversity of Aquatic Macrophytes in Lake Kasumigaura (Nishiura) in Recent Years, *Jpn. J. Limol.*, 51, pp. 45-48, 1990.
  - 19) 宇多高明・西島照毅：水辺環境の保全と地形学, 第 5 章 風波の作用下における湖岸植生の繁茂限界と湖内の漂砂, 古今書院, pp. 112-147, 1998.



# 泥炭地の自然再生

## —北海道の湿原の自然再生事業—

つじ い たつ いち  
辻 井 達 一\*

泥炭地は火山灰地、重粘土地と並ぶ北海道の特殊土壌のひとつである。2003年の自然再生推進法の施行以来、各地で自然再生事業が展開されつつあるが、北海道で進められている釧路湿原とサロベツ湿原の二つの例は、この泥炭地を対象とする事業として特徴的である。ここではこの事業を通じて泥炭地の自然再生とは何か、それがどのような意義を持つのか、そして事業実施上の問題点は何かなどについて紹介を兼ねて述べることにした。

### 1. 泥炭地の生成と分布

泥炭は植物遺体が分解不完全のまま堆積したものであるから水中など酸素の供給が不十分な状態では気温(水温)の高いところでも形成される。しかし、気温(水温)が高ければ微生物などの分解者は多いし、それらの活動も活発であるから泥炭の形成はどうしても冷温帯や亜寒帯気候下でその典型的なものがみられることになる。

したがって泥炭地の分布は世界的には北半球の北部地方に偏っている。これは先に述べたような気候的な条件によるところが大きいですが、もっと基本的には北半球の北部に陸地ごとに大陸が多いことによる。

そこで日本での泥炭地は東日本から北日本にかけての地域に多く分布することになる。西南日本にもかつては湿地がかなり広く分布していたが、その大部分は鉱物質土壌を多く含む低位泥炭であったのと、古くからそれらが水田に転化された歴史を持つために近代に到る前に自然の形を失ったのであった。

山地の泥炭地はほとんど人による攪乱や開発の対象にはならない。それらは農地にするには使いにくかったり、人里から離れていたり、あるいは気候が農業には冷涼に過ぎたりしたからである。第二次大戦の後に各所で山地の湿地が緊急開拓と称して開拓されたことがあったがほとんど全てが失敗している。箱根湿生花園はそうした湿地開拓の跡地を湿原に戻した例である。

ここで付け加えておきたいのは泥炭地=湿原ではない、ということだ。水による酸素の遮断が泥炭生成を助けるこ

とは事実だが、たとえば気温が冷涼なら分解者の働きは低くなるから必ずしも水中でなくても泥炭化は進行する。したがって水没は要件ではない。逆に、湿原=泥炭地という図式も正確ではない。十分に水を湛えた湿原でもそこに泥炭があるとは限らない。分解が進行すれば水に覆われていても泥炭化は起こらず、泥炭の堆積も生じないからである。また、もっとも間違いの多いのは泥炭が石炭と同じようなものとの認識である。石炭も元は植物起源ではあるが、石炭が高圧の下で生成した鉱物であるのに対して、泥炭は炭という字は使われているが単なる植物遺体の堆積に過ぎない。

湿原は生物学的な用語で、泥炭、泥炭地は土壌学上の用語である。さらに、土地分類の上では泥炭地とは30cm以上の泥炭層を持つ土地を指す。

### 2. 北海道の泥炭地

北海道の泥炭地の多くは平野部に分布する。しかもその大きいものは石狩川、十勝川、釧路川、天塩川などの河口部にある。これはそのほとんどが最初、河口に発達した砂嘴によって閉じこめられてできたラグーンに由来するからである。ラグーンは次第に浅くなって最終的に湿原が成立する。湿原は最初、ヨシを主とする低位泥炭が堆積し、発達を続けて貧栄養のミズゴケによる高位泥炭の形成に到る。この途中相として中間泥炭が存在する場合がある。中間泥炭地ではヌマガヤが指標植物とされる。

低位泥炭の段階ではかなりの無機質土壌が含まれるから農地としての利用が可能であるが、ミズゴケを主とする高位泥炭地では無機質土壌の含有割合が少なくそのままでは農地には不向きで、この場合はミネラルを含む山土の客土が必要である。北海道の泥炭地はこうした土壌改良を経て現在の農地になった。石狩平野の大部分の農地はこうした過程を経ている。

釧路川下流の釧路湿原と天塩川下流のサロベツ湿原とは、両者ともに気候的に稲作の限界を越えているために農地化は牧野ことに牧草地化に主眼が置かれた。しかし、偶然にも両者ともに国立公園指定地と土地を分け合った形を取っているために、共存の方策を必要としたのである。

\* (財)北海道環境財団理事長

### 3. 泥炭地の自然再生の意義

なぜ泥炭地の自然再生が必要なのか。泥炭地は先に述べたように本州以南ではきわめて古い時代から、そして北海道でもここ百数十年來、営々として農地化が進められてきた存在である。その泥炭地の自然再生が何のために必要なのか、そしてそれにどういう意義があるのか。

泥炭地＝湿原という図式は必ずしも常に成立しないと述べたが、日本では限りなくイコールに近い。泥炭地はほとんど例外なく湿った土地である。

そこで日本の泥炭地では水位が低くなるとそこに堆積した泥炭はたちまち分解を始める。それは気温が（もっとも北方の地域と比べて）はるかに高いからである。ちなみに北海道は日本列島のもっとも北に位置していて、冬の気温は低くなるが、夏にはかなり上がって30℃を越えることもある。実は泥炭が生成するところとしては、そして平地でも高位泥炭地が存在するところとしては北半球でもっとも南に位置するところなのである。

しかも日本列島は、氷河期に氷河に覆われることがもっとも短かった。氷河の後退にともなってそれまで南方に避退していた植物たちは北進を始めたが、その速度はヨーロッパにおけるよりもはるかに早く始められた。そこで日本の湿原における植物の種の多様性はきわめて大きいものとなったのである。たとえば釧路湿原では750種類の高等植物が数えられるが、この数は同じ規模のヨーロッパの湿原の少なくとも2倍から3倍の数である。

もうひとつの特徴は湿原に特殊な植物や動物が生息していることだ。これにも氷河期との関連があって、氷河期にもっと北から南下していた生物たちが、先に述べたさらに南に避退して北進を始めたものたちに追い越され、湿原をいわば隠れ家としたことである。動物では釧路湿原におけるキタサンショウウオ、サロベツ湿原におけるコモチカナヘビなどがその例であり、植物では釧路湿原にクシロハナシノブ、十勝の上更別湿原、根室の別海にヤチカンバ、霧多布湿原にカラクサキンポウゲなどがある。

湿原は真正の陸地ではないし、そうかと言って真正の水界でもない。水はたっぷりあっても連続した水面があるとも言えない世界だから魚類の生息にも不向きである。陸生の動物は動きを阻まれる空間だから特殊な生物にとっては安全さが保たれることになる。これが生物生息についての湿原の機能である。

湿原に生成する泥炭は、スポンジさながらに水を含むからしばしば水面の見えないダム湖にたとえられる。ことにこの効果はミズゴケを構成種とする高位泥炭において高い。平地における高位泥炭地はその意味でも貴重な存在である。しかもその水はゆっくりと排出されるから連なっている河川にしても水位のコントロールに無理がない。

泥炭地に十分に水が貯留された状態は、いわば大型のバスタブに大量の湯が満たされた状態だから、夏季に暖まると冬に向かったの冷めかたがゆっくりになる。そこで寒冷地では泥炭地周辺の地域気候をマイルドにする効果がある。

このことはサロベツ湿原でも観測されているし、フロリダでも排水しすぎて水位が下がった農地で、オレンジに霜害を生じた報告でも裏付けられている。

泥炭はスポンジ状であると述べたが、このスポンジはまた、まさにその網目状の構造がさまざまな流入物質を捉えるフィルター効果を示す。釧路湿原でも浮遊砂のトラップ効果が大きいことが報告された。

また、さまざまな有機物も捉えられる。周辺や上流部に農地が多い場合にはかなりの栄養物質の流入が予想されるが、それらを捉えるのも泥炭の機能である。

### 4. 自然再生・釧路方式

釧路湿原は釧路川下流域に広がる日本最大の湿原（泥炭地）である。その面積はかつては約35,000 haあったが、現在、国立公園に指定されているのは26,861 haである。この国立公園は湿原単体としては初めて指定された。湿原を含む国立公園は戰場ヶ原や尾瀬ヶ原を持つ日光国立公園、北海道では後に述べるサロベツ湿原を含む利尻礼文サロベツ国立公園などがあるが、湿原単体のものはこの釧路が唯一のケースである。

河口に発達した湿原の例に洩れず、釧路湿原は周辺台地上や上流部の農地からのさまざまな影響を受けてきた。この地域では農地の主流は酪農であるから家畜の屎尿、牧野への施肥などととも農地造成や牧草の蒔き替え時の一時的な裸地化の土壌流出などが湿原への負荷となっている。

農地の排水条件を改良するために河川の直線化、排水溝の整備なども相次いで行われて、これらも湿原への負荷を大きくした。

まず、これらの負荷をできるだけ軽減しなければならない。この課題について2001年以來、北海道開発局（釧路開発建設部）は釧路湿原の河川環境保全に関する検討委員会を組織し、2003年に到るまで小委員会を含めて26回の会合を経て2003年3月に釧路湿原の河川環境保全に関する提言12項目をまとめた。

それは1) 水辺林、土砂調整地による土砂流入の防止、2) 植林などによる保水、土砂流入防止機能の向上、3) 湿原の再生、4) 湿原植生の制御、5) 蛇行する河川への復元、6) 水環境の保全、7) 野生生物の生息・生育環境の保全、8) 湿原景観の保全、9) 湿原の調査と管理に関する市民参加、10) 保全と利用の共通認識、11) 環境教育の推進、12) 地域連携・地域振興の推進である。

この12項目の提言によつての再生の目標は差し当たつて1980年当時の釧路湿原とした。それは1980年にラムサール条約（湿地の保護を目的とした「特に水鳥の生息地としての国際的に重要な湿地に関する条約」）による国際保護湿原として登録されたことから、その時点で登録されるに足る資質を備えていたと考えられることを判断基準としたものである。

これを目標として、水質、水位、植生、生物相、景観、河川の状態などをそれに近づけることとし、そのための必要条件と、技術的な方策を検討することとなった。現在、

河川の蛇行復元に関する予備的な工事段階に入っている。また、湿原再生についても試験的に水位を上げる実験を行っている。

環境省自然環境局（東北北海道地区自然保護事務所）は2002年から釧路湿原と、これを含む釧路川流域の5市町村25万haを構想対象地域と想定した自然再生事業を構想し、差し当たっての事業対象地として湿原とその周域に5地域（広里地域；達古武地域；塘呂・茅沼地域；久著呂・幌呂地域；温根内・北斗地域）を設定した。広里地域では湿原の再生と環境教育；達古武地域では森林の再生；塘呂・茅沼地域では水環境の再生；久著呂・幌呂地域では農地と湿原環境の融合；温根内・北斗地域では湿原の多様な生物相への接近をそれぞれテーマとなっている。

達古武地域では地元NPOに委託して植林あるいは達古武沼の水質調査が進められており、広里地域では将来の環境教育拠点の整備の基礎調査としてタンチョウの生息調査ならびにかつて牧野開発のために客土された土砂を取り除

いて泥炭表層を剥き出し、自然に埋土種子の発芽をうながす実験、排水溝の設置によって展開したと判断されるハンノキ稚樹の排除によるミズゴケなど高層湿原群落の回復助長などが行われている。

これらの構想を踏まえて2003年11月に自然再生推進法に基づく釧路湿原自然再生協議会が成立した。現在、その下に6つの小委員会が設置されて、それぞれ担当する課題の検討に当たっている。すなわち、2月15日の旧川復元小委員会を皮切りに釧路川の復元に関する実施計画案などについての協議・検討を、再生普及小委員会では再生目標の達成に必要な関連施策の検討を、土砂流入小委員会では河川や湿原への土砂流入防止に関する実施計画とモニタリング結果などについての検討を、湿原再生小委員会では湿原の再生に関する実施計画とモニタリング結果についての検討を、水循環小委員会では水質や地下水の動態把握、湖沼の再生などに関する実施計画を、そして森林再生小委員会では森林の再生による土砂の流入防止機能の向上に関する実

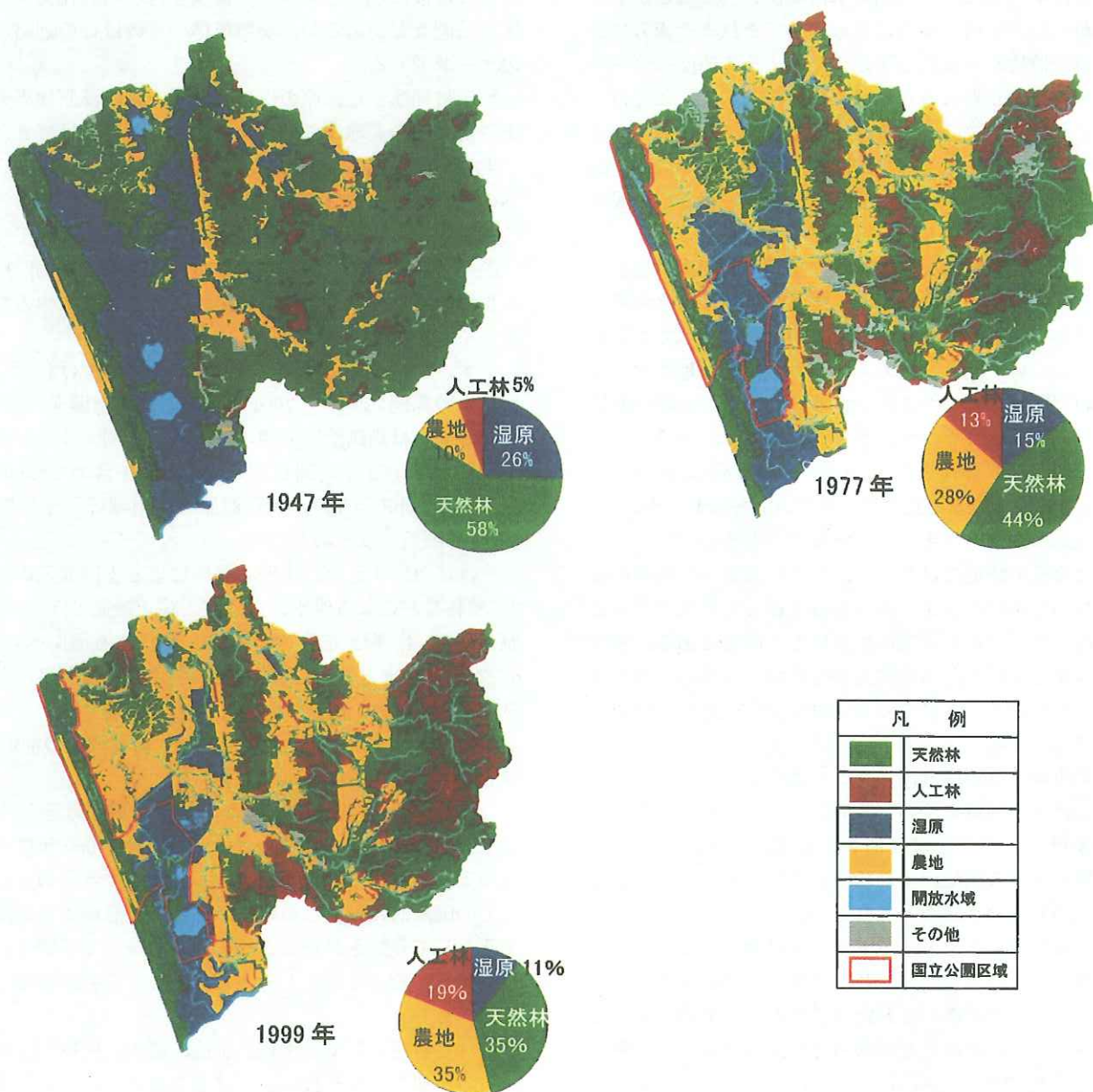


図1 土地利用の変遷



施計画案，モニタリング結果などについての協議・検討を開始した。

各小委員会はこれから逐次，それぞれの分担項目を検討して協議会に報告することになる。

協議会は全国から公募した委員によって構成されるが，百人を越すメンバーになったために，自然再生の実施に関することは各小委員会での実質的な議論を踏まえて，その結果を協議会で議論する手順とした。協議会で作成する全体構想についてはグループ討議を行って意見を集約する方法を採っている。

各小委員会の動きはそれぞれの小委員会のニュースレターで，また協議会の動きは自然再生協議会ニュースレターのほか，協議会ホームページで公開されている。

(<http://www.kushiro-wetland.jp/>)。釧路湿原自然再生協議会運営事務局の連絡先は [info@kushiro-wetland.jp](mailto:info@kushiro-wetland.jp)

実質的な作業としては，旧川再生事業が予備実験的に茅沼地区で開始されつつあり，まず旧川(蛇行する自然河川)の長年にわたって静水化した部分の堆積した土砂を取り除くにあたって，工事による水質の汚濁を最小化するために矢板を打って土砂の流出を防ぎつつ行う工法を選択して実施しつつある。

森林復元については遠古武地区で植林が進められている他，植林に必要な苗木の準備が行われている。

## 5. サロベツ泥炭地のケース

サロベツという名前は湿地を表わす Sar(サル，ことに湿地に多いヨシを示す)と，pet(ペツ，川)から成る。すなわち直訳すれば「芦川」であって，その名前が JR 宗谷本線の駅名として存在する。もともとは湿原全体を指す呼び名ではなくて，湿原の入り口に流れていたヨシの多い川を指すものであったと考えられる。

と，いうのは，このサロベツ泥炭地は，天塩川の河口に形成された大きなラグーン(汽水湖)が次第に淡水化し，さらにそれが湿性の植物によって埋められてできたもので

あって，きわめて大きい面積を占めるためにその中央部はほとんど河川の影響を受けない。つまり河川由来の土砂の供給量はきわめて少ないために貧栄養化が進んでいてヨシなどに代表される富栄養性の種類の群落は少ない。むしろミズゴケを主とする貧栄養性の群落が多い。したがってアイヌ語名の sar-pet は，その意味でもこの泥炭地を示すものとはならない。

このサロベツ泥炭地は古くは大正年代から周辺域の開拓が行われているが，湿原域については1950年から特にその北部において牧野化が徐々に進められた。これは戦後の緊急開拓によるものであった。

湿原本体については北海道未開発泥炭地調査の一環として表層地質のボーリング調査と植生調査が1955年頃から開始された。筆者も学生の頃にこの調査に参加してそのデータを学位論文に用いた(北海道未開発泥炭地調査報告：北海道開発庁，1962)。

この調査結果によればサロベツ泥炭地の泥炭層は，もっとも厚いところで約7mから8mに達していた。しかも先に述べたように関与する河川は泥炭地を周回する形で流れているために河川由来の無機質土壌の供給はきわめて限られていた。つまりサロベツ泥炭地は河川の氾濫などによって攪乱されることなく植物遺体すなわち有機質のみの堆積によるきわめて典型的な湖成泥炭地とみなされる。

植生もその泥炭分布に対応して高層湿原を中心としてその周囲にきれいな同心円状に中間湿原，低層湿原の群落が並んでいる。特に高層湿原の群落の広い分布はこのサロベツ泥炭地が日本では最大の規模である。

この調査はその名の示すように目的としては開発の基礎データを集めるものであった。

サロベツ湿原を巡る土地利用の変遷をみると，1947年から1999年に到る約50年間に，湿原については42%に減少しているのに対して農地は350%に増加している。同じく自然林は59%になったのに対して人工林は380%に増加している。湿原面積は1947年には約15,000haがあったと推定されるが，1999年には約6,800haになっている。この減

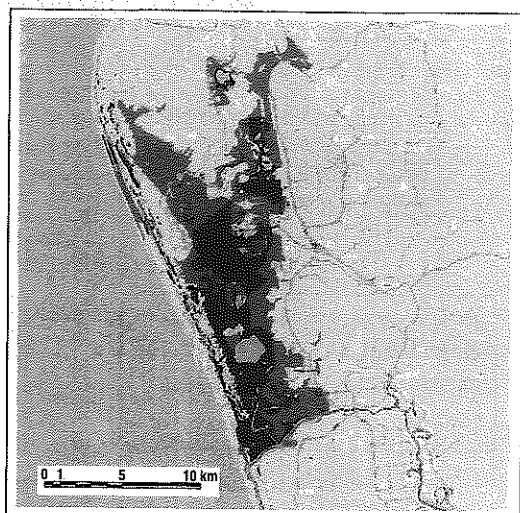


図2 サロベツ原野の湿原域

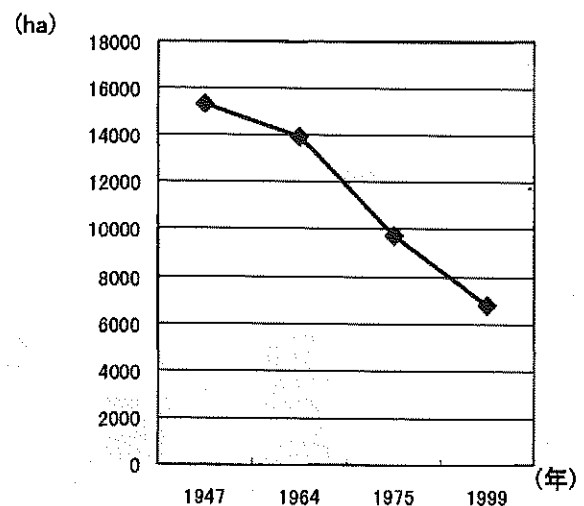


図3 サロベツ原野の湿原面積の推移

少は特に1964年から1975年の間において著しい。先にも述べたようにサロベツ湿原では高層湿原の占める割合が大きいことが特徴的であって、その面積は1947年には約1,400 haであったものが2000年には562 ha、すなわち割合としては約40%にまで縮小していることになる。

このように農地化が進んで相対的に湿原は減少していったが、湿原を農地化するというにはやはり限界がある。それはそもそも標高が低いところであるから排水の効果が上がらないことが大きかった。

さらにかねてから国立公園に指定されていた利尻礼文に

サロベツ湿原を加えれば面積的にも国立公園のレベルに達することもあり開発と保全のいわば線引きが湿原のほぼ中央部で行われることになった。

こうして一応の区分が立てられたのであったが、そもそも全く同じ標高のところで線引きであるから区分線の両側に水位条件の差はあるはずがない。そして一方の農地側ではできるだけ水位を下げたいし、もう一方の国立公園側としては自然の植生を維持するためには水位は一定に維持しなければならない。線を境に全く相反する必要条件が向かい合うことになった。

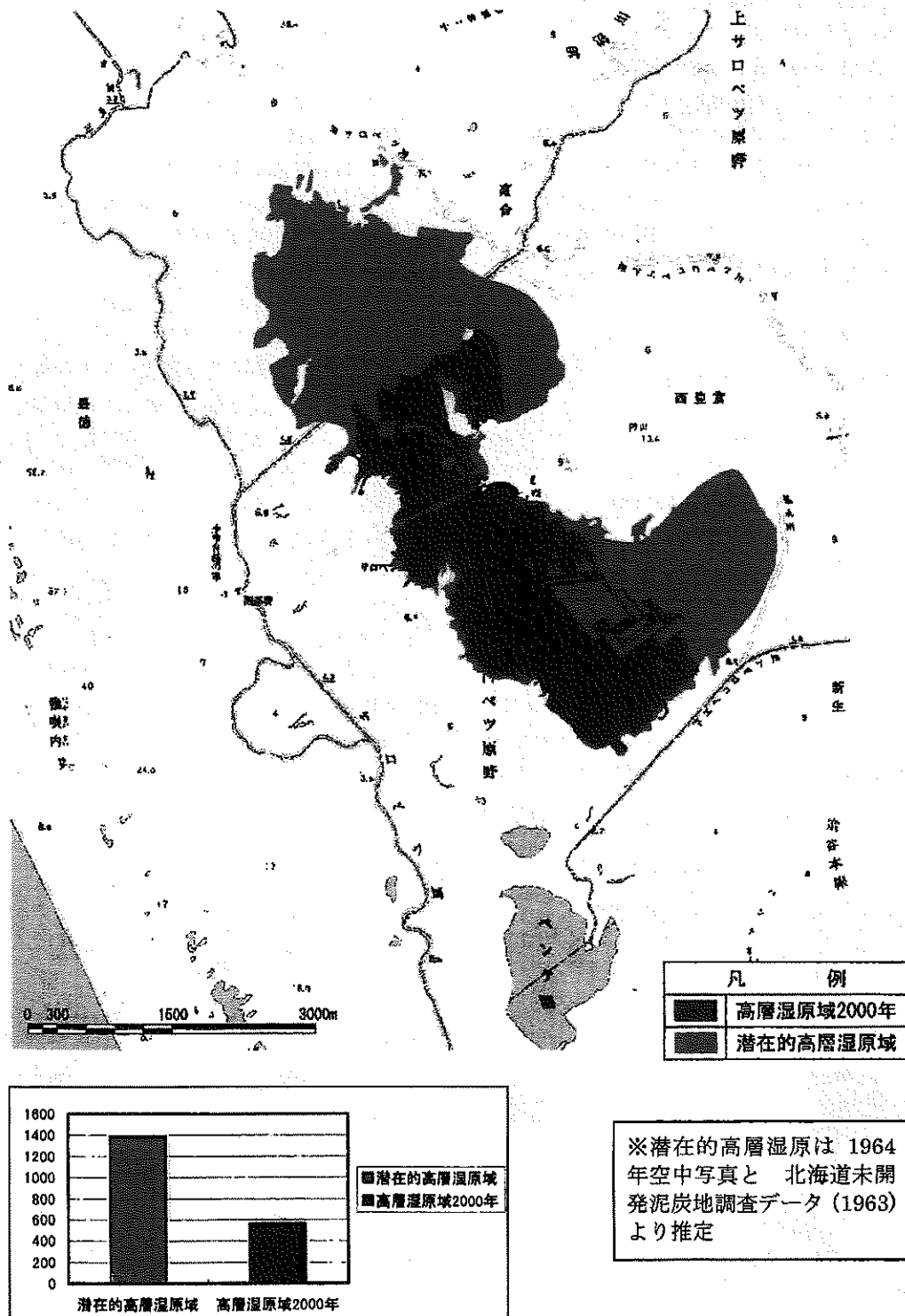


図4 高原湿原面積の推移



2003年の自然再生推進法に基づいて、この問題の解決への検討が始められた。現在のところ、国土交通省北海道開発局（農林水産部、稚内開発建設部）、環境省（西北海道地区自然保護事務所、稚内自然保護官事務所）が合同でサロベツ再生構想策定検討会を組織し、学識経験者、地元自治体、地元 NGO などによる検討会議で課題を整理し、課題ごとに方策を議論しつつある。

サロベツ湿原の場合は農地と湿原とのまさに接点の問題である。したがって開発局サイドも直接の担当は農業部局となっている。検討し、解決しなければならない課題は農業と自然との両立にある。この点で河川と自然との関わりが大きい釧路とは異なる。

この観点で基礎的な資料が収集され、提示された。それらの資料に基づいて今までに提案された方策には、たとえば農地と湿原との間に、一種の中間地帯（差し当たって多用途農地と呼ぶが）を設けて、水位が下がらなくて生産性の低い農地をこれに宛て、湿地に強い種類で新たな食用作物となる可能性のある植物を栽培して特産品として売出し不利な条件を逆手に取るなどがある。こうした提案については地元の農協も関心を示しており実験的に栽培を行おうと考えている。

サロベツ湿原の場合はまだ自然再生協議会は組織されていないが、協議会設立に向けて再生構想についての農家意向調査が実施される他、会議の公開、ニュースレター（サロベツ再生通信）による住民意見の募集などが行われている。

## 6. まとめとして

北海道にはこの他に北海道庁（土木部河川課、室蘭土木現業所）にオブザーバーとして北海道開発局（室蘭開発建設部）などが加わった美々川自然再生事業がある。これは新千歳空港付近に源流を持ち、ラムサール登録湿地でもある苫小牧のウトナイ湖に注ぐ美々川の自然再生を目的とする。この場合は比較的流れの短い川でもあり、湧水の維持と併せて流域ことに両岸の森林の維持ならびに回復（再生）によって河川状態を約 100 年前の自然に再生させ、都市近

郊にあることから良好な緑地空間としての活用を目標とすることとした。この川は厚い火山灰層を抜けてくるきわめて清冽な湧き水を源流としていることが特徴的である。しかし、源流部に養鶏場が多く、その影響もこれから検討し解決しなければならない。

先に挙げた釧路湿原とサロベツ湿原の場合は両例とも泥炭地における自然再生の事例である。泥炭地はこれも先に述べたように少なくとも低地（平地）の例としてはほとんど北海道に限られる。したがって本州以南では例がない再生事業になる。カナダ、北欧、東欧には泥炭地での問題は少なくないし、中国にもさまざまな問題がある。これも先に触れたが熱帯にも泥炭は分布するから、北海道における自然再生の事例はそれらの地域での参考になりうるであろう。すでに環境教育、再生工事に関しては釧路で毎年、JICA の発展途上国スタッフの研修が行われている。

最後に挙げた美々川のケースは火山灰地の中を流れる河川の例であるが、これも特殊土地地での問題である。期せずしてここに紹介した事例はいずれも特殊土地地における自然再生事業に関するものとなった。

火山灰地についてはともかく、泥炭地は我が国では土地利用の点では技術者にとっても研究者にとってもいわば新しい相手であった。得体の知れない相手であったと言ってもよかろう。どのように対処すればいいのか、どのような反応を示すのかさえ判らない相手である。

道路にしても堤防にしても泥炭地では一筋縄ではいかない。陥没したり、波打ったり、いくら土を入れても際限なく沈んでしまったりする相手である。しかも多量に存在する水の動態がまだ十分には判っていない。それは泥炭地ごとに異なっている。

北海道の湿原のスケールは小さいが、たとえば釧路以東にはほぼ 30 キロごとに分布する大小の湿原が、ことごとく異なったタイプのものである。あるものは砂丘列や砂嘴に閉じこめられたものであり、あるものは湖起源であり、あるものは段丘上で霧に涵養されて成立したものである。成因が違えばその植生も異なる。こうした多様な泥炭地を持つところは他にありはしない。したがってそれぞれに対処する方策と技術が要求されるのである。

# 浚渫へドロを利用した干潟再生技術 —英虞湾再生プロジェクト—

うえの せいぞう\*  
上野 成三\*

## 1. 英虞湾の環境悪化と再生に向けた取組み

三重県の伊勢志摩地方に位置する英虞湾は真珠養殖発祥の地として古くから発展してきた。しかし、英虞湾の環境は、都市や集落からの下水排水、有機汚泥の堆積、貧酸素水・赤潮の発生などの水質や底質の悪化が顕著化し、ここ数年では、新型渦鞭毛藻ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマによる有害赤潮の発生や、貝柱の赤変化に代表される感染症問題により、もはや英虞湾で一年を通しての真珠養殖が困難な状態にある。現状では、養殖業者による自主的対策として、赤潮発生時に他の健全な海域へ養殖貝を一時的に移動させたり、感染症に抵抗性のある貝を用いることによって、試行錯誤の防御作業を行っている。しかし、これらの防御作業は、有害赤潮や感染原因生物の拡散や生物多様性保全の観点から慎重な対処が必要であることから、英虞湾自体の環境再生を目指した根本的な対策が強く望まれている。

このような状況下、1998年より英虞湾の環境悪化のメカニズムを明らかにするために、湾全域を対象とした大規模な現地調査や数値シミュレーションを実施し、その研究結果をもとに、大学、県の研究機関や地元の漁業者とともに、英虞湾の環境再生に資する対策案を検討してきた。その検討過程において、都市排水や養殖事業からの負荷削減などに加えて、英虞湾自体の自然浄化能力の強化が必要であり、特に、干潟の再生が必要との認識が強まってきた。

英虞湾の海岸地形は写真1に示すように典型的にリアス式海岸であり、一般的なイメージと合致する広大な干潟は存在しないと考えがちである。しかし、英虞湾の海岸地形を詳細に見てみると、沿岸各部には細長い谷状地形が形成されており、この谷状地形に沿って沿岸の干潟から陸域の湿地までが連続する水際帯が数多く存在している。しかし、この谷状地形は沿岸部を堤防で締め切ると容易に陸地化できることから、高度成長期を中心に盛んに田畑への転換がなされた(写真2)。その結果、英虞湾全体の干潟面積の30～50%がすでに消滅している状態にあり、英虞湾の自然浄

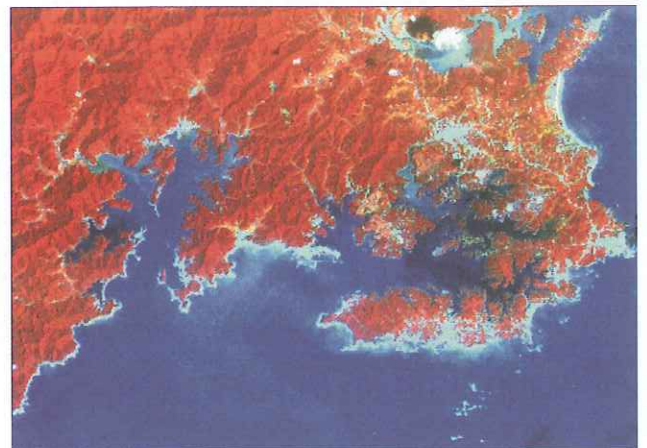


写真1 英虞湾の衛星画像

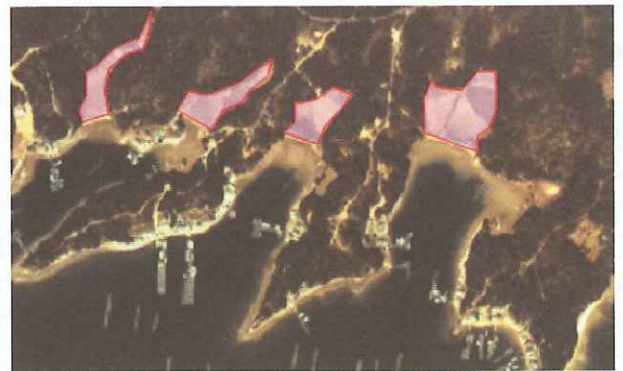


写真2 英虞湾の谷部干潟の消滅状況

化能力の低下が指摘されている。そこで、英虞湾の干潟を再生するために、地元漁業者が主体となり、三重県、三重大学、大成建設の協力の元に、干潟再生実験に着手した。

## 2. 浚渫へドロを用いた干潟再生工法の特徴

一般に、人工干潟の造成には清浄な山砂や海砂が使用されるが、良質な砂の不足に加えて、砂採取地での環境破壊が懸念されている。一方、底泥浄化事業として実施される汚濁底泥の浚渫では、浚渫へドロの処分が大きな問題となっている。このような観点から、浚渫土砂を利用した人工

\* 大成建設(株)技術センター土木技術研究所水域・生物環境研究室チムリーダー



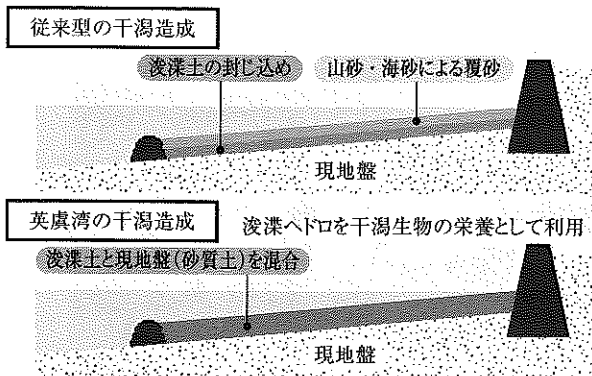


図1 浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法の特徴

干潟の実施例が増加してきた。その造成方法としては、浚渫土を干潟の内部に敷設し、その上から清浄な山砂あるいは海砂を覆砂する方法が一般に採用されている(図1上図)。この場合、浚渫土は干潟の「あんこ」として地下に封印され、単なる嵩上げ材料として利用されているにすぎない。また、干潟表面に清浄な砂で覆砂を行うと栄養分が不足して底生生物の復活が遅れるとの指摘もある。一方、浚渫ヘドロに多量に含まれる有機物は生物の栄養源であることから、重金属やダイオキシン類などの問題がなければ、浚渫ヘドロは干潟生態系への栄養供給材料として利用できる可能性がある。さらに、好気的環境にある干潟生態系では浚渫ヘドロ中の有機物の酸化分解が促進され自然浄化が進むと期待される。これは、従来、不要物として処分されてきた浚渫ヘドロを有効な資源と見なして再利用するもので、資源循環型の新しい干潟再生技術と言えよう。

そこで、英虞湾における干潟再生実験では、浚渫ヘドロを地下に封印せず、現地盤土と混合して干潟を造成することにより、干潟生態系への栄養供給を確保しつつ、浚渫ヘドロ自体の浄化を行うという新しい発想で、現地実験を実施した(図1下図)。浚渫ヘドロを用いた干潟では、干潟土壌にヘドロ分が多すぎると底質の嫌気化が進行して底生生物の生息に適さないものとなることから、健全な干潟環境を維持するために干潟土壌に浚渫ヘドロをどの程度混合すれば良いかという数値条件を明らかにすることが最重要課題である。そこで、本実験では、浚渫土の混合割合が異なる実験区を設けて、水質・底質の変化、底生生物の復活状況を3年間にわたり追跡モニタリングを実施して、干潟生態系に対して最適な浚渫ヘドロの混合率、底質粒度の最適条件を明らかにした。

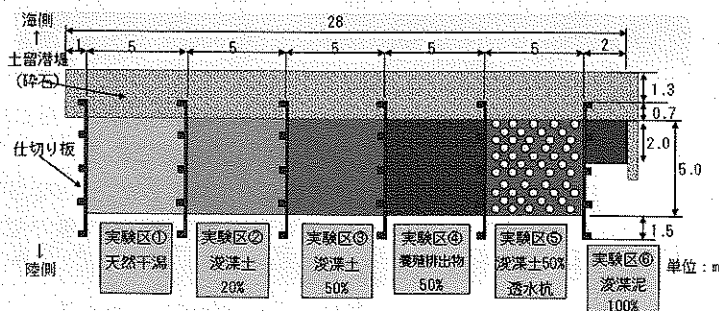


図2 干潟現地実験場の平面図

### 3. 浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法の現地実験

英虞湾立神浦に現地盤土(砂質土)と浚渫ヘドロを所定の割合で混合した6区画の干潟実験区を造成した。干潟実験区の平面図を図2に、干潟再生実験場の状況を写真3に示す。浚渫ヘドロは英虞湾の真珠養殖漁場で浚渫され脱水処理されたものを粉砕して用いた。浚渫処理土のCODは約37mg/g-dry, と高く、長年の養殖漁場利用により有機汚濁が進行したヘドロであると言える。各実験区の浚渫ヘドロの混合割合は、実験区①で浚渫ヘドロ0%(現地盤土のみ)、実験区②で浚渫ヘドロ20%、実験区③で浚渫ヘドロ50%とした。実験区④では養殖排出物50%と現地盤土を混合した。養殖排出物とは、真珠養殖の過程で多量に発生する廃棄物であり、アコヤガイに付着するカサネカンザシやフジツボなどが主な構成物である。養殖排出物は底泥汚濁の原因の一つであり、英虞湾の汚濁負荷削減のため適正な処理が必要とされている。実験区⑤では浚渫ヘドロ50%の干潟材に多孔質コンクリート製の透水杭( $\phi 20 \times L 30$  cm)を約100本打ち込んだ。この透水杭の設置は、地盤の透水性を高め有機物の酸化分解を促進することを目的としたものである。人工干潟は2000年9月29日に完成した。さらに1年後、2001年9月30日に浚渫ヘドロのみで造成した実験区⑥を増設した。各実験区の水質、底質、底生生物の変化について、2000年10月から2003年9月まで3年間にわたる追跡モニタリングを実施した。水質については干潟内と干潟の沖合200mで行った。底質については各実験区表層から3層で採泥と分析を行った。底生生物の調査は、各実験区の種類数、個体数、湿潤重量を調べた。

人工干潟の造成作業は、地域の漁業者、一般市民など多数のボランティアの協力により極力手作りの干潟造成を進めた(写真4左)。このような地道な作業を通して、英虞湾の環境再生に対する地域全体の意識が高まったと言える。また、この干潟実験場は地域の小学生に対する環境教育の場として活用されている。地元の立神小学校で干潟実験場を環境授業の場として利用し、人工干潟完成後の10月12日には全児童が参加してアサリの放流(約4万個)を行った(写真4右)。

英虞湾に限らず、全国の内湾や湖沼などの広大な水域の環境再生には、技術的な浄化工法の検討だけでは不十分であり、流域全体の地域住民が深い理解と熱心な協力の元に活動を進めることが必要不可欠である。英虞湾での取組み

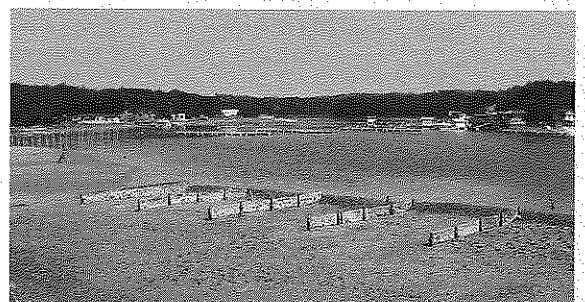
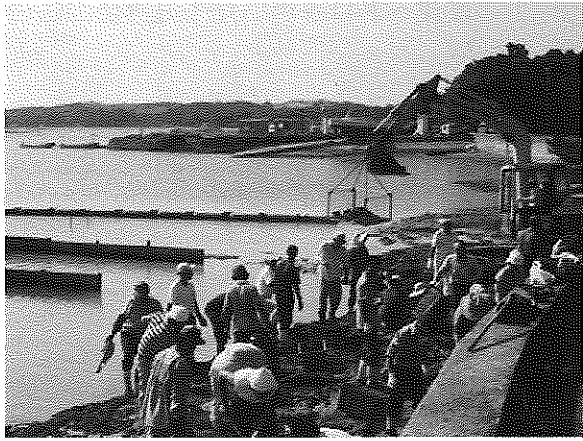


写真3 浚渫ヘドロを用いた干潟再生実験場の状況



ボランティアによる干潟造成



地元小学生によるアサリの放流

写真4 地元漁業者や市民が主体となった干潟造成

は地域主導型の環境再生の先駆的取組みとして、新聞やテレビなどのマスコミからも注目を浴びている。

#### 4. 浚渫ヘドロを用いた干潟再生実験の調査結果

干潟実験区①(現地盤)、②(浚渫ヘドロ20%)、③(浚渫ヘドロ50%)、⑥(浚渫ヘドロ100%)における底生生物の追跡モニタリング結果について、底生生物の種類数および個体数の経時変化を図3に示した。干潟土壌を混合した造成直後では各実験区ともほとんど底生生物が見られなかったのに対して、2ヵ月後から増加し、種類数は造成後約半年で、個体数は造成後約1年で、事前調査とほぼ同じ数まで増大した。干潟造成によるインパクトから底生生物が回復するまでの期間は約1年と意外に早い。造成後1年半を経過すると、底生生物の種類数、個体数とも、季節による変動は生じるものの、年レベルとしてはほぼ安定した状態に達した。浚渫ヘドロ100%の実験区⑥では、種類数は実験区1, 2, 3と同様に約半年で増加するものの、個体数の増加は他の実験区と比較してやや遅れている。これは、CODが25 mg/g以上と高く、底質も粘土状で、生物の定着に適していないためと考えられる。

各実験区の生物相は、多毛類の優先した単純な生物相ではなく、二枚貝・腹足類・甲殻類といった最大16種の多様なマクロベントスが生息していた。一般に、有機汚濁が進行した底泥中では多毛類が優占するのに対して、本実験結果によると、干潟土壌に適度に浚渫ヘドロを混合することにより多様な底生生物が棲息できる環境が実現できることが示された。

以上より、従来、不要物とみなされていた浚渫ヘドロを干潟の造成材として用いた場合においても、底生生物の種類数と個体数は順調に増加し、約1年で安定傾向になるこ

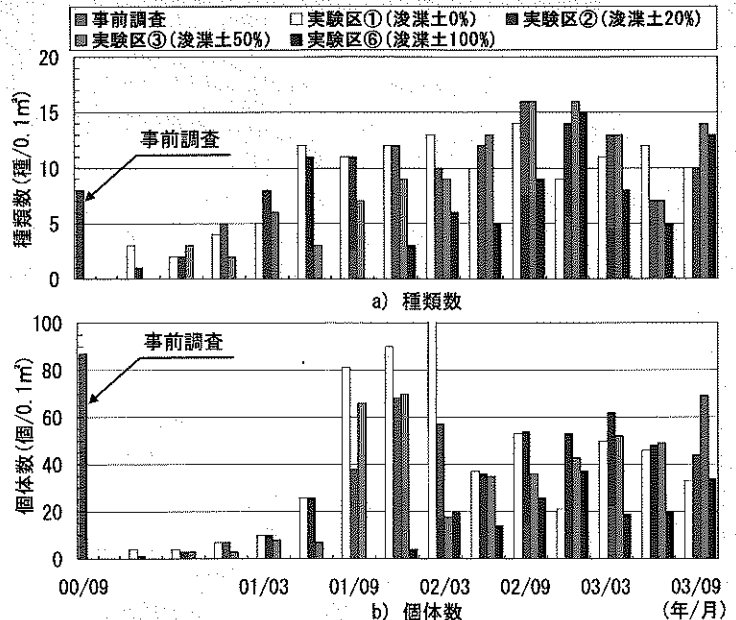


図3 干潟現地実験における底生生物の種類数と個体数の経時変化

とが確認でき、天然干潟と同レベル、もしくは、それ以上の底生生物が生息し多様性を維持した干潟生態系が再生できることが実証できた。

干潟実験区①(現地盤)、②(浚渫ヘドロ20%)、③(浚渫ヘドロ50%)、⑥(浚渫ヘドロ100%)に出現した底生生物の種類数と、干潟土壌のCOD、粘土・シルト含有量の関係を図4に示す。前述したように、底生生物が安定的に生息するまでに約1年の遷移期間が必要であることから、1年以前と1年以降で分けてデータを示した。COD、粘土・シルト含有量の各項目ともに、底生生物の種類数の変動パターンはある範囲で極大値を示すことから、底生生物の生息にとって、干潟土壌の性状に最適条件が存在することが分かる。この傾向は、底生生物の個体数も同様な結果

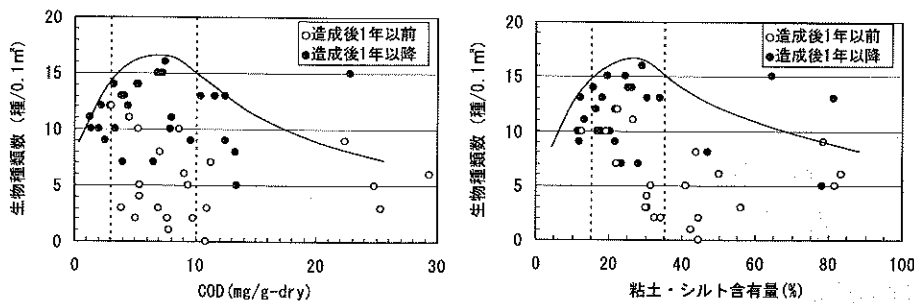


図4 底生生物の種類数と干潟土壌のCOD、粘土・シルト含有率の関係

となる。図4によると、底生生物の生息に対する干潟土壌の最適条件は、CODで3~10 mg/g-dry、粘土・シルト含有量で15~35%の範囲であることが示された。すなわち、干潟土壌が多量の有機物を含むほど底生生物は減少する一方で、逆に、有機物含有量が少なすぎても底生生物の減少につながることを示している。特に、従来の人工干潟造成に多用されてきた清浄な砂質土に比べて、浚渫ヘドロを適度に混合して有機物を含む土壌の方が底生生物の生息に適していることが示されたことから、浚渫ヘドロを干潟の造成材に用いる意義が明確になった。

なお、本干潟実験の取組みは、平成13年度土木学会環境賞を受賞した。

### 5. 干潟現地実験から大規模干潟の造成事業へ

英虞湾における干潟実験の成果を受けて、三重県では平成15年度三重保全地区英虞湾漁場環境保全創造事業として、浚渫工事と干潟造成工事が一体となった環境再生事業が実施された。その内容は、英虞湾の片田地区において海底に堆積したヘドロを浚渫し、その一部を立神地区に運搬して現地盤土と混合攪拌して干潟造成を行うものであり、現地実験規模の約30倍の大規模干潟が造成された(図5)。本事業は、ヘドロ浚渫による汚染源の除去と、その浚渫ヘドロを利用した干潟造成による環境再生が一体化した環境事業の新展開と言える。

造成した大規模干潟の平面図を図6に示す。干潟は浚渫ヘドロの混合率が30%と50%の2つの実験区からなり、全体で3,000 m<sup>2</sup>の面積である。干潟造成工事は、干潟造成範囲を貝殻土嚢で仕切る仕切工、浚渫土を所定の厚さで撒き出す浚渫土撒出し工、撒き出した浚渫土と現地盤土を混合攪拌する攪拌工で構成される。

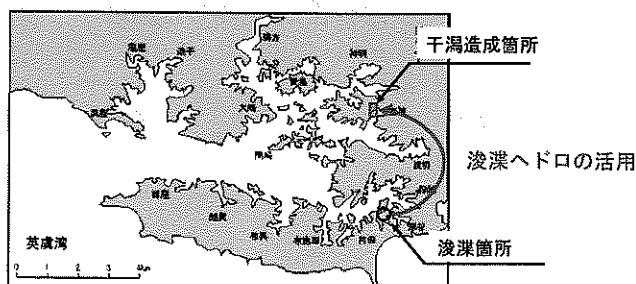


図5 浚渫ヘドロを用いた大規模干潟造成

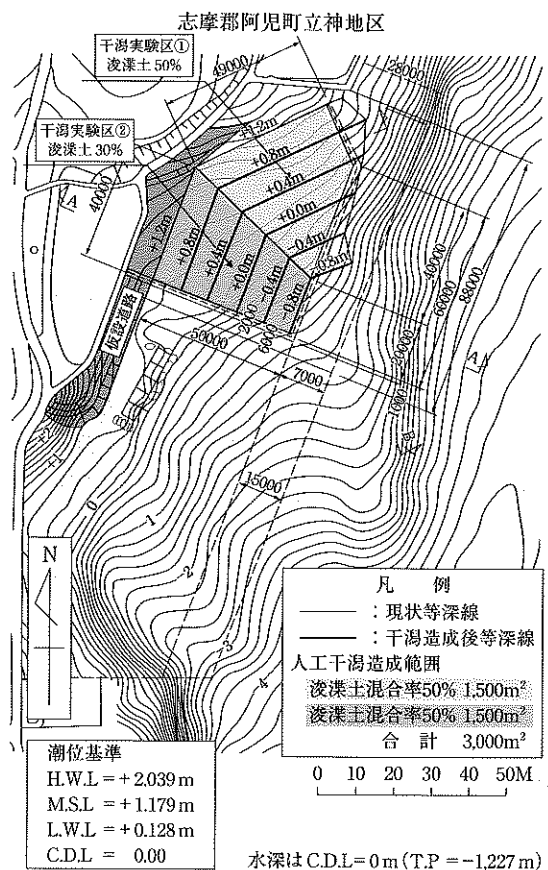


図6 大規模干潟造成区の平面図

仕切工では、干潟造成エリア周囲に設置した貝殻土嚢の設置と、浚渫土の混合割合の異なる実験区エリアを分けるための吸出し防止材の設置を行った。貝殻土嚢はアコヤガイの貝殻を袋詰めしたものを使用し、攪拌土の周囲への流出を防止することとあわせて、今まで廃棄されてきた貝殻の利用にも貢献する。さらに予

期していなかったことであるが、貝殻土嚢の設置後すぐに生物(貝、なまこ、蟹など)が見られたり、土嚢まわりの造成干潟に真っ先に生物が見られるなどの良好な状況が観察された。

浚渫土撒出し工は、陸送した浚渫土を、30 cm および 50 cm の厚さに撒出し、敷均しを行う作業である。この敷均し厚によって、干潟土壌の混合割合が決まるため、5 cm 程度の施工誤差で仕上げる必要があった。浚渫土は浚渫ヤードで脱水処理を施したものを運搬し、主として干潮時に泥上掘削機を用いて撒出・敷均した。

攪拌工は、泥上掘削機にスタビライザーを装着して、1 m の深さまで攪拌を行った(写真5)。この攪拌作業により最終の干潟土壌の性状が決まることから、攪拌時間や方法については攪拌試験や試験ボーリングの結果をもとに決定した。写真6に現地盤土、脱水後の浚渫処理土、混合攪拌後の干潟土壌の性状を示す。攪拌土の混合管理には細心の注意を払った結果、出来上がりの干潟土壌の粘土・シルト含有率が計画値の許容範囲である±10%の範囲を満足するこ





写真5 干潟土壌の攪拌状況



写真7 大規模干潟の完成状況

とができた。

干潟造成工事は2004年3月に完了し、英虞湾に新たな大規模干潟が完成した(写真7)。なお、本事業では全国各地から多数の方々が見学に来られるなど、新しい環境再生事業として関心が高いものとなっている。

## 6. 産官学民が連携した英虞湾の環境再生プロジェクト

人工干潟は単なる土木工事として完了するのではなく、その環境再生効果を長期的な追跡調査により検証し、問題点や課題を修正しながら管理していく順応的管理手法が重要である。しかしながら、継続的な追跡調査や科学的な解析・検討を進めるには、現実として予算面や人材面で大変困難な問題に直面する。

三重県では、2002年12月に科学技術振興機構の公募型事業に採択され、三重県地域結集型共同研究事業「閉鎖性海域における環境創生プロジェクト」が推進されている。本プロジェクトは3つの研究テーマで構成されており、その一つの研究テーマである「沿岸環境創生技術の開発」にお

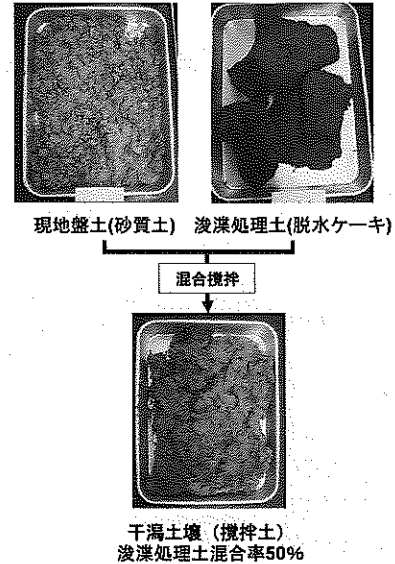


写真6 現地盤土、浚渫処理土、攪拌後の干潟土壌の状況

いて今回造成した人工干潟の長期的な環境モニタリングを実施中である。特に、三重県、三重大、民間企業などの研究機関に加えて、地元で結成された団体である英虞湾再生コンソーシアムの協力を得ながら、科学的、かつ、継続的な追跡調査が実施されている。また、干潟のみならず、アマモ場の造成、干潟・アマモ場の物質循環なども主要な研究課題となっており、干潟・アマモ場の沿岸環境を取り巻く新技術が開発されつつある。また、その他の2つの研究テーマである「底質改善技術の開発」、および、「環境動態シミュレーションシステムの開発」も推進中であり、浚渫ヘドロの固化や活用に関する新技術開発、英虞湾の環境をリアルタイムで観測し予報するシステムの開発などが進められている。この内、英虞湾のリアルタイム観測システムはすでにインターネットでデータが公開されており、地元漁業者に広く使われている (<http://www.agobay.jp/agoweb/index.jsp>)。

上記のように、英虞湾では浚渫ヘドロを用いた干潟造成という新しい環境再生事業が具体化し、さらに、英虞湾の環境を多面的に捉え新しい環境創生技術の開発を目指した産官学+民の取り組みが進められており、今後の成果が期待される。

### 参考文献

- 1) 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹：浚渫土を利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第48巻，pp.1306-1310，2001。
- 2) 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹・原条誠也：浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合率と底生生物の関係について，海岸工学論文集，第49巻，pp.1301-1305，2002。
- 3) 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，2004。(印刷中)。

# 荒川の自然再生への取組み

い とう かず ひこ  
 さ 藤 和 彦 \*  
 か 本 もと まる \*\*  
 坂 くぼ 守 \*\*  
 う し 窪 とおる \*\*\*  
 牛 徹 \*\*\*

## 1. はじめに

荒川は、その源を秩父山地の甲武信ヶ岳に発し、秩父盆地や長瀨渓谷、寄居町、熊谷市、さいたま市、東京都東部を流れ東京湾に注ぐ、幹線流路延長 173 km、流域面積 2,940 km<sup>2</sup> の一級河川である(図1)。流域内人口は、約 930 万人で利根川、淀川に続き全国第 3 位、また荒川の流水は広く農業用水や水道用水等として利用され、武蔵水路を通して流入する利根川の水と合わせ、その水道利用人口は約 1500 万人に上る。

荒川の特長は、その川幅(堤防間の幅)の広さであり、当事務所が管理する埼玉県戸田市から同花園町までの区間の平均川幅は 1.5 km になる。また川幅が最も広い箇所は河口から約 62 km 地点にあたる鴻巣市・吉見町にかかる御成橋付近でありその川幅は 2.5 km にもなり、これは日本一川幅の広い所になっている。また、川幅は広いものの常時水が流れる「低水路」幅は 100 m 程度であり、その分荒川には広大な河川敷が広がっている(写真1)。

この河川敷は、農耕地や公園・運動場、ゴルフ場などと

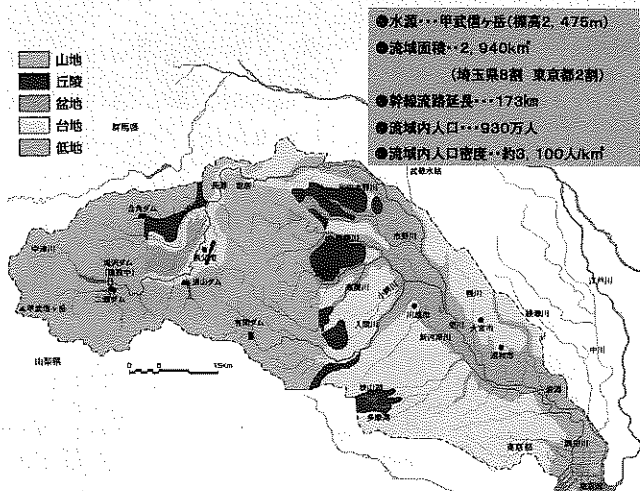


図1 荒川流域図

して利用される他、かつての集落周辺に作られた屋敷林、旧流路やその周りのハンノキ林、ヤナギ林、ヨシ原、オギ原などさまざまな自然が広く残っている。このような河川敷では、生息するのに良好な自然環境が必要なホンドキツネやオオタカなどの動物も確認されている。また、この良好な自然環境は、荒川が首都圏を流れる川であることから周辺地域の都市化が進行した結果として、荒川中流域に唯一残されている自然環境ともいえる(図2)。

しかし、この良好な自然環境も次のような要因による水辺や湿地の減少に伴う、湿生植物、水鳥や両生類の減少等



写真1 広大な河川敷

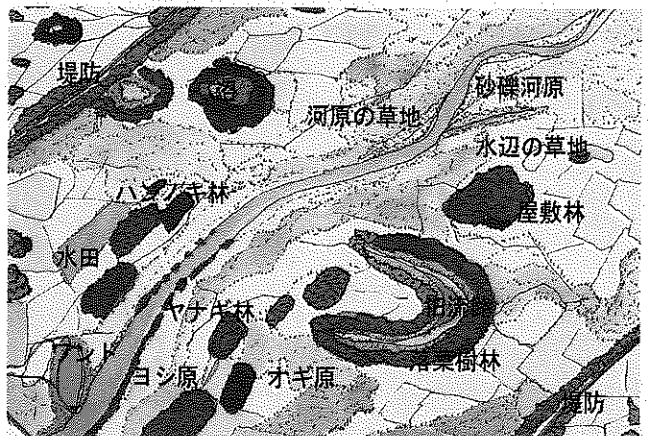


図2 荒川中流部の自然環境タイプ

\* 国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所 河川環境課長

\*\* 同 河川環境係長

\*\*\* 同 河川環境係

自然環境の質の劣化が発生してきている。

- ・河川敷の約6割は民有地でありその大半が農地であるため、冠水頻度軽減のための地盤の嵩上げ
- ・民有地へのアクセス用の道路を通行禁止にはできないため夜間を中心とした不法投棄
- ・高度経済成長期に盛んに行われた砂利採取による本川の河床低下、地下水位の低下
- ・洪水による土砂の堆積 等

こうした背景をうけ、荒川上流河川事務所では、良好な自然環境を保全するとともに、質が劣化した自然環境を回復させ、多様な生物を擁する豊かな生態系を育むために、荒川の自然再生への取組みである「管理河川を軸とした荒川エコロジカル・ネットワークの構築」にむけた事業を展開している。

本稿では、荒川での取組みとして、現在までの取組み、自然再生への取組み、そして自然再生推進法に基づく荒川太郎右衛門地区自然再生事業について報告する。

## 2. 現在までの取組み——ネットワークの「核」となるビオトープの整備——

エコロジカル・ネットワークの「核」となるビオトープの整備としては、築堤土採取に併せて採取後の形状を工夫して整備した越辺川ビオトープ(94年から4カ所)、熊谷市大麻生地区での砂礫河原の再生(95年)、サシバ(猛禽類)を頂点とする生態系の回復を目的とした荒川ビオトープ(96年)、湿地環境保全を目的に河川敷民地を買収し整備した三つ又沼ビオトープ(01年)、市民参加による「会議」で整備計画を策定し整備後は市民が主体となり「会」を発足して保全管理を行っている高麗川浅羽ビオトープ(03年)等を整備してきた。

また、03年度には、荒川太郎右衛門地区で湿地再生保全を目的とした自然再生事業に着手した。

以下に、整備したビオトープの代表例を示す。

### 2.1 荒川ビオトープ

#### (1) 荒川ビオトープの概要

荒川河口から約57 km 地点付近の河川敷周辺(北本市、



写真2 荒川ビオトープ

川島町)では、かつてはサシバや、キツネが繁殖をしていた。しかし、周辺地域の開発に伴い当地区での繁殖が確認できなくなった。

そこで、荒川ビオトープの整備に際しては、サシバを呼び戻すことを目標とした。サシバは生態系の上位種で、繁殖するには、50 ha以上の良好な自然環境が確保されている必要があるといわれている。

こうした状況から、荒川ビオトープでは、野生の生きものの少ない麦畑や牧草地だったところを変化にとんだ地形に戻し、隣接する北本自然観察公園と合せて50 ha以上の自然環境を確保した(写真2)。

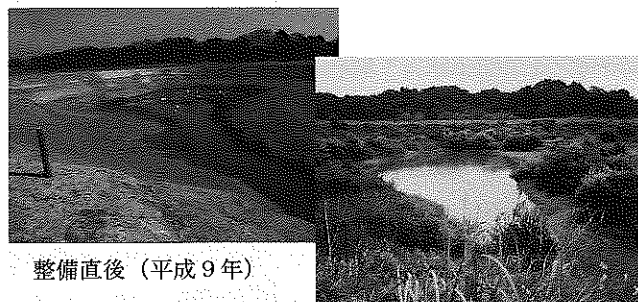
#### (2) 自然の回復は自然にまかせる

ビオトープの整備は、地域の環境NGO等と意見交換しながら、水路、池、湿地、ヨシ原、凸凹地、乾燥草地や砂礫地など自然に変化を持たせ、荒川中流部の代表的な生きものが生息・生育できるようにした。ただし、基本的な工事(掘削)終了後は人の手は加えず、また自然の回復を妨げないように、人の立入りを禁止している(写真3、図3)。

### 2.2 三つ又沼ビオトープ

#### (1) 三つ又沼ビオトープの概要

荒川河口から約48 km 地点付近の河川敷(上尾市、川越市、川島町)にある三つ又沼は、荒川と支川入間川のかつての合流点付近に残る旧流路の一部である。この沼およびその周辺では、水生植物や湿地性の植物が豊かに茂り、さまざまな野鳥や昆虫類が暮らしている。しかし、沼周辺が民有地であることから、畑作転換や残土処分地として改変される土地が増大し、沼周辺の湿地環境は悪化する傾向に



整備直後(平成9年)

約4年後(平成13年)

写真3 荒川ビオトープ

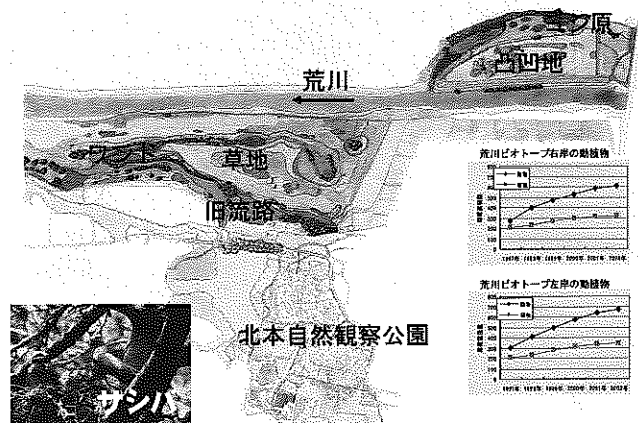


図3 荒川ビオトープ



あった(写真4)。

このような状況の中、三つ又沼およびその周辺の保全活動を続けてきた環境NGO等から、「保管理は我々が責任もって行うから、ぜひ国の方でここをピオトープとして整備し環境を保全して欲しい」と要望があった。当事務所としても、その要望を受けまたネットワークの「核」となるように整備するとともに自然環境保全の重要性を将来世代



写真4 三つ又沼ピオトープ



写真5 保管理作業

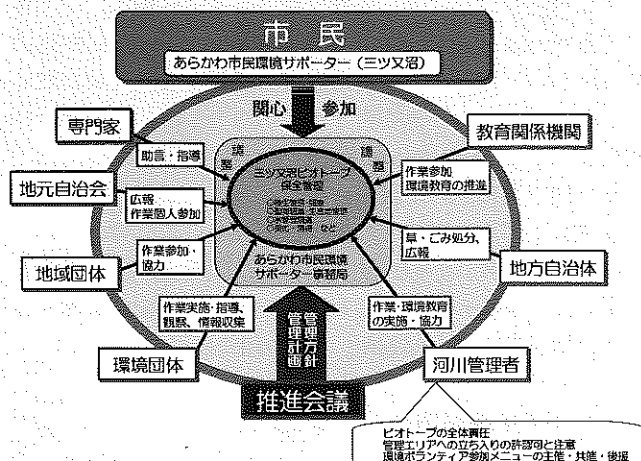


図4 行政と市民との連携の仕組み

に伝える自然環境学習の場とするため、民有地を買収し、環境NGO等と意見交換しながらピオトープの整備を行った。ピオトープ整備後は、ミクリやミゾコウジュといった希少植物も戻り、イタチやタヌキ等の生息も確認されている。また、環境NGOが中心となり、外来種の除去、ゴミ拾いや小学生を招いての自然環境学習等の保管理作業を実施している(写真5)。

#### (2) 官民協働のパートナーシップによる保管理

三つ又沼ピオトープの保管理は、当事務所と地域の環境NGO、三つの自治体との協働により実施している。複数の環境NGOが、実際に活動していくうえで、情報交換や、作業時期・内容の調整を図る場として、2カ月に1回「三つ又沼ピオトープ保全ミーティング」を開催している。保管理作業の日程は当事務所のホームページで公開し、一般市民の参加も呼びかけている。また、年1~2回、「三つ又沼ピオトープパートナーシップ推進会議」を開催し、上記環境NGOに学識者と地元自治会が加わり、各主体の役割の調整や新たに発生した諸問題の調整等を行っている(図4)。

このように、整備したピオトープについては、自然の回復を自然の営力にまかせるため人の立ち入りを禁止するものと、環境学習の場として利用するために人の立ち入りを前提としているものに分けて管理している。

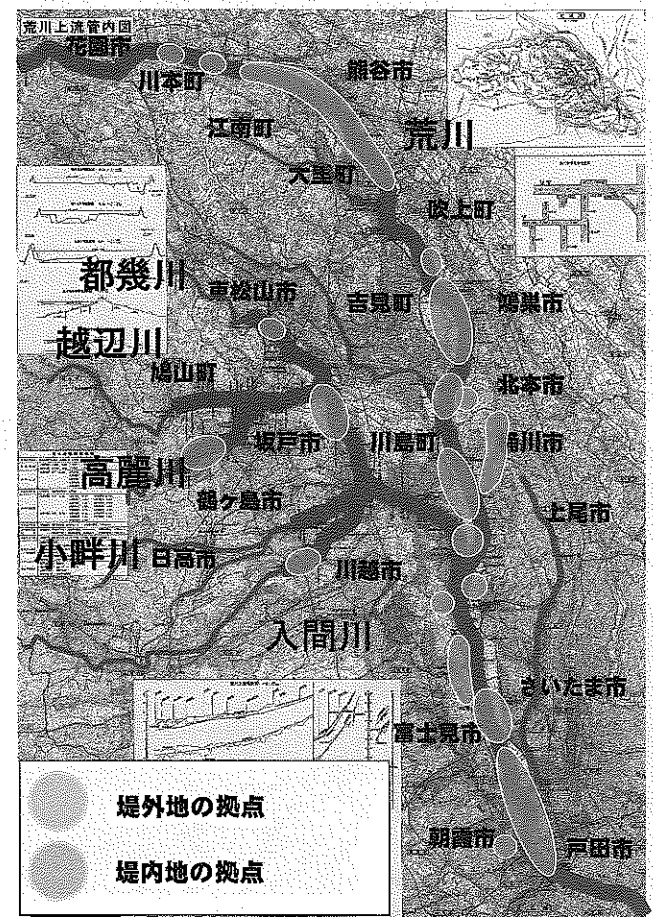


図5 エコロジカルネットワークの構築

### 3. 荒川の自然再生への取組み——荒川エコロジカル(ピオトープ)ネットワークの構築——

荒川の河川敷には多くの動植物が生息している。動物の多くは、餌取り、休息、繁殖等の目的に応じ、あるいは、1日、1年、一生の各ライフサイクルに応じて、異なるタイプのピオトープを必要とする。さらに、動物がピオトープ間を行き来するには、ピオトープが川や水路・樹林などでつながっていることが重要である。

また、生物は同じ集団だけで交配を続けていると、環境の変化に対応できない弱い個体が増え、種を維持することは次第に困難になる。種を保全するためにもピオトープのネットワーク化が必要になってくる。

当事務所では、荒川河川敷に残る貴重な自然を保全・再生し、豊かな生態系の保全・回復を図るため、自然の拠点を「核」として整備し荒川やその支川を活用しネットワーク化を推進している(図5)。

### 4. 荒川太郎右衛門地区自然再生事業——自然再生推進法に基づく事業の推進「皆が汗をかく協議会」——

#### 4.1 荒川太郎右衛門地区(桶川市、上尾市、川島町)の概要

荒川太郎右衛門地区は、荒川の河口から54kmに位置する太郎右衛門橋の下流約4km区間(桶川市、上尾市、川島町)に、今も残る荒川旧流路を有する地区のひとつである。当地区の旧流路は、約70年前の河川改修事業により従前の



写真6 荒川太郎右衛門地区

蛇行河道を山付き(大宮台地)側の捷水路として整備したため残ったものである。また荒川では、時をほぼ同じくして荒川河道内に遊水効果を高めるための「横堤」が建設されており、蛇行していた旧流路は、2本の横堤により分断され、三つの池(上池、中池、下池と呼ぶ。)として現在の形状となっている(写真6)。

当地区は、旧流路の水際、湿地や河畔林などの周辺環境と一体となって豊かな自然環境を形成している。当地区の環境構成要素としては開放水面、浮葉植物帯(ヒシ)、沈水植物帯(エビモ)、抽水植物(マコモ、ヨシ)、河畔低木林・河畔高木林(カワヤナギ、ハンノキ、エノキ・クヌギ)からなり、荒川の代表的な自然環境のタイプのひとつとなっている。

ところが、当地区では荒川本川の河床低下による冠水頻度の減少や旧流路内への土砂堆積等により、乾燥化が進行している状況にある。特に上池と下池については湿地環境が衰退傾向となっており、現状のまま放置した場合にはさらに乾燥化が著しくなり、良好な自然環境が消失し、この環境に依存する生物種の減少が危惧される。

そこで、現状の生息域を保全し、当地区の自然環境を回復するとともに、すでに保全を進めている上流の「荒川ピオトープ(北本市、川島町)」と下流の「三ツ又沼ピオトープ(川越市、上尾市、川島町)」を結ぶ「荒川エコロジカルネットワークの構築」の一環として、当地区の自然再生を図ることとした。

#### 4.2 自然再生推進法の適用

荒川太郎右衛門地区の自然再生事業は、02年度に河川環境整備事業として事業着手(一部用地取得)した。その後、自然再生推進法(03年1月1日施行)の仕組みを活用する事を視野に入れながら、同法に基づく事業の実施について検討し、法に規定される「自然再生協議会(学識者や地元住民、市民団体、関係自治体など多様な主体の参加を図る)」の設立に向けて03年2月に設立準備会を設置したうえで、委員と地区名の公募を行った。

委員については、応募資格を「計画段階から事業実施段階、および維持管理段階に至るまで、自然再生事業に協力いただける方々」として記者発表や事務所広報誌、事務所ホームページなどにより公募したところ、23個人、27団体の応募があった。当初30名程度を予定していたが、熱意のある応募いただいた方全員に協議会委員になっていただくこととした。この公募委員を含め学識者や関係自治体、行政機関併せて64の主体が参加している。

また地区名については、応募数が最も多かったことおよび現在も太郎右衛門橋として親しまれている橋梁が、かつての荒川の「渡し」のひとつであり、須田太郎右衛門家が荒川の渡しを始め、後に橋を造ったという歴史的経緯をふまえ、地区名を「太郎右衛門自然再生地」とした。

#### 4.3 自然再生協議会(03年7月設立)

第1回自然再生協議会において、協議会委員は以下の委員で構成し、任期を2年とし、途中参加・解任を可能とし



た。

- 学識者 6人 (河川, 環境, 教育, 市民連携, 生態系)
- 地方公共団体委員 7人 (埼玉県農林部農業政策課, 同農村整備課, 同県土整備部河川砂防課, 同公園課, 上尾市環境経済部環境対策課, 桶川市都市整備部都市計画課, 川島町都市計画課)
- 公募委員 50人 (27団体と個人 23人)
- 国 荒川上流河川事務所長

#### 4.4 自然再生協議会の実施内容

03年度は, 自然再生推進法に規定される「自然再生全体構想」を作成するうえで, 次の方法により合意形成を進める協議会の会議を5回開催した。

- ・公募による多様な主体の参加の確保
- ・ワークショップ形式によって委員ひとりひとりが発言しやすい場づくり
- ・行政, 専門家, 地域住民, NPO・NGO等がかかわり, 一緒に「考える」「計画する」「取り組む」「調べる」「調整する」「報告する」「見直す」など, 連携を図る場とする
- ・会議は原則公開とし, ホームページ, 事務所広報誌を通じて情報公開する

会議の進め方としては, ワークショップと全体会議を基本とした。最初に, 10人程度のワークグループで, 学識者をコーディネーターとして, 1時間程度議論を進める。そしてグループの結論を公平な立場からコーディネーターより全体会議で発表していただき全体で議論する。次に, 休憩時間を利用し, 各グループの発表内容について全体会議での議論を踏まえて, 学識委員全体でその回の「合意事項」案としてとりまとめ, 全体会議で, 委員からの意見をいただきながら最終的な「合意事項」として明文化するという方法で合意の形成を図った。

##### ○第1回協議会 (03年7月5日)

現状把握と自然再生への想い

- ・協議会設置要綱, 会長, 副会長の決定
- ・現状の把握 (現地調査および現状の調査報告)
- ・当該地の自然再生のあり方について委員各自の想い
- ・自然再生に際し何を行えるか (各委員自身の取組み)

##### ○第2回協議会 (03年9月6日)

課題の共通認識と自然再生の方向性

- ・課題の抽出と整理 (第1回の意見についての紹介)
- ・課題の共通認識 (現状の課題, 治水の制約等の共有化)
- ・目標設定 (自然再生の方針)

##### ○第3回協議会 (03年10月19日)

自然再生の目標設定

- ・湿地環境保全等に伴う水確保方法 (整備案の検討)
- ・全体構想目次案の提示

##### ○現地調査会 (03年11月11日, 20日)

・上池から下池まで学識委員, 専門家による説明を交えた意見交換

##### ○第4回協議会 (03年11月22日)

自然再生の目標, 自然再生事業の概要

- ・自然再生の目標
- ・自然再生事業の概要 (水確保以外の施策)
- ・各委員の役割分担

##### ○第5回協議会 (04年2月7日)

自然再生全体構想(案)の提示

第1回から第4回までの協議会の会議での「合意事項」を柱として, 協議会議事資料をとりまとめ「自然再生全体構想(案)」として提示し協議した。

そして, その後の修文について各委員に意見照会を行った後「自然再生全体構想」として04年3月31日に公表した。

#### 4.5 自然再生全体構想

自然再生全体構想に示す自然再生目標については, 当荒川太郎右衛門地区における狭義な目標のみではなく, 荒川全体を視野に入れるとともに, 当自然再生事業を実施していく上での姿勢についても, 協議会の合意事項として明文化している。

また, 事業施策については, 協議会で協議した時点で考えられるメニューとして提示し, すべてを実施するものではなく各施策はモニタリングを行いながら段階的に事業実施することを明記した (写真7)。

公表した「自然再生全体構想」は, 当事務所ホームページより入手可能です。

<http://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/saisei/index.html>

#### 4.6 今後のスケジュール

自然再生事業実施計画は, 自然再生推進法に規定されるとおり, 事業の実施者 (荒川上流河川事務所, NPO, 市町村等) それぞれが具体的に何を実施するのかを定めるものです。個々の実施者がそれぞれの事業実施計画の案を作成し, 協議会で協議しながら作成することになる。

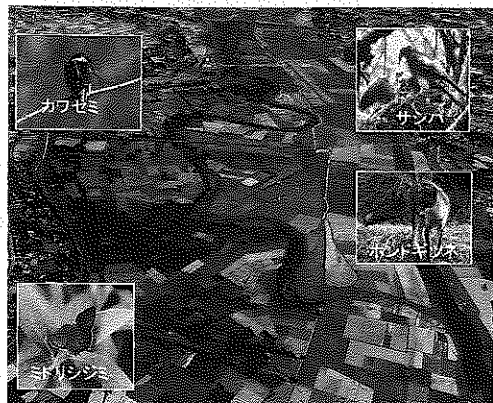
荒川上流河川事務所としては, 04年度に「自然再生全体構想」に示された事業メニューについて, 即効性のあるもの, 事業実施上の課題が小さくかつ知見を積上げ順応的管理を実施するうえで優位なもの等について優先度を検討したうえで事業施策を具体化し, 「自然再生事業実施計画」を作成する予定である。

また, 施策を具体化していく節目には協議会で協議することにあわせ, 現地で意見交換を行いながら進めていくこととしている。

なお, 自然再生事業は荒川上流河川事務所のみで実施するのではなく, 維持管理, 環境学習への活用, 広報等については, 当事務所も含めた協議会に参加する主体全員が「汗をかき」主旨に則り, それぞれ専門委員会を作り, 専門委員会で案を作成していただいて協議会で協議したうえで, 当事務所で作成する自然再生事業実施計画に取り込ませていただくことを予定している。

## 荒川太郎右衛門地区自然再生事業

### 自然再生全体構想



平成16年3月

荒川太郎右衛門地区自然再生協議会

写真7 自然再生全体構想

## 5. おわりに

荒川の自然再生への取り組みは、エコロジカル・ネットワークの構築であり、荒川を背骨として、荒川に流入する水路や隣接する自然地を介し、沿川地域にも自然環境をつなげていくものである。

これは、河川、道路、都市、公園、農地などの関係諸機関の連携はもとより、自然再生を地域の問題として捉え、それに係わる多様な主体が積極的に参加し、連携していくことが重要である。

03年度から開催している荒川太郎右衛門地区自然再生協議会では毎回、熱心な議論が行われ、互いの立場や自然環境に対する多様な価値観の相違を超えて合意が形成されてきている。これは、合意を形成する過程を通じて、賛成多数決ではない十分な話し合いにより行政、専門家、地域住民、NPO・NGO等がそれぞれを相互理解し、パートナーシップが育まれてきている事例であると思う。

自然再生を進めていくには、自然再生を地域の問題として捉え、それに係わる多様な主体が積極的に参加し、連携し、相互理解することにより、パートナーシップを育むとともに皆で「汗をかく」ことがまず必要であると感じた。

そして、小さな地域で取り組む場合にも、周辺地域さらには、流域全体を見据えて取り組むとともに、地域を広げた広域な連携に発展させていくことにより流域全体の自然再生に向かっていくものと考えている。