

河川整備基金助成事業

山川海をつなぐ河川・水環境と その保全・回復に関する調査研究委員会 報 告 書

助成番号 : 23-1215-013
社団法人国際海洋科学技術協会
立光武彦

平成23年度

はじめに

地上の水循環は雨水が山系、農地、都市から河川に集められ、河川から海へと流れて一つの水系をなしている。また、自然界の水系は、生態学的には山から海への一連の「連續の場」とし、様々な生物の生息環境を提供してきている。また、地球規模の温暖化防止などでも地球環境規模のみならず、地域環境規模にも「持続性のある環境」にするための努力が求められている。

我が国では、近年のライフスタイルの変化、経済活動のあり方によって自然環境への負荷の姿も変わりつつある。例えば、山林・農地の荒廃、ダムの堆積土砂の処置や下流への土砂供給不足、都市拡大に伴う都市排水の下水道化などによる水の利用形態の変化等は河川・河口・海岸域に下るにつれ、水の量と質の変化をもたらし、生物の生息環境、環境の基本となる水環境にもゆっくりと影響を及ぼしてきている。この課題となる問題項目を抽出し関係を結びつけ、河川・水環境の保全・回復に資することを今年度事業の目的とした。

この水環境の「連續の場」「生物生産の場」は持続可能な社会・環境につなげるためにも、一次生産の産業の持続性を保持するためにも重要なことである。「連續の場」は、環境と行政施策とで切り離せない関係にあるが、現実はそれぞれ農地、山林、市街化地域、河川など環境の担当部署がそれぞれの法律のもとに、管轄、維持管理されてきている。つまり、行政管轄と「環境管理」は統一されていない。ここでは「水環境」を軸として、これらを統合した多次元的な見方で、持続可能な環境を目指すことが必要である。そのための一つには、環境改変の事業目的と河川や海岸の管理の在り方の時間的・空間的なズレなどを科学的な観点から整理することで、これから管理や施策の方向性を示すことができる。このことが地域の水環境の持続性の推進に有効に働くと考える。

平成 21 年度には PCM 手法を用いて出された話題提供から、集水域、流域における地域の社会・自然状況の変化・改変とその流域の河口・沿岸環境の実体の変化がどのように関連してきたかをみた。特に環境変化・改変に伴う、山から海までの流入栄養塩等の実体の変化を捉え、それによる原因と結果の把握から、河口・沿岸環境へ影響を及ぼす課題を整理した。続く 22 年度は課題を検討するために、沿岸の水環境について東京湾、伊勢・英虞湾を研究フィールドとする研究者から、水管理の現状と課題及び水環境の改善への対策事例の報告を受けた。

これまで特例民法社団法人国際海洋科学技術協会の委員会では河口・海岸域に関し、平成 9~11 年度に「生態系環境評価」、同 12~14 年度に「生態系環境造成と管理」、同 15~17 年度に「生物生息場の機能と環境影響」、同 18~20 年度に「生物生息環境の総合化」を調査、研究してきた。これらの調査研究を元に今回の「山川海をつなぐ河川・水環境とその保全・回復に関する調査研究」を同 21 年度から続けてきたが、今後もこの活動が日本の河口・海岸域の開発における造成指針に結びつけられるようにしたい。

山川海をつなぐ河川・水環境とその保全・回復に関する調査研究委員会
委員長 石川公敏

目 次

はじめに	i
委員会名簿	ii
目 次	iii
委員会開催概要	iv
1. ダム建設に伴う沿岸域の生態系へのインパクト	
1.1 ダムの建設工事中に発生する影響と影響回避の努力	1
1.2 ダムの存在とダムの運用が及ぼす影響と影響回避の努力	1
1.3 ダム建設に伴う内湾・沿岸域への影響のまとめ	3
2. 「内湾力の回生と持続」を支える教育	
2.1 環境とくに海の教育の必要性	6
2.2 海の教育の現状	7
2.3 海の教育は何を教えるべきか	9
2.4 学校教育以外での「海の教育」と課題	12
3. 回生のために	
3.1 内湾域の施策・政策の課題の整理	14
事例紹介	
4. 内湾の環境ポテンシャルと養殖業の持続性	
4.1 養殖業の状況と問題点	19
4.2 環境インパクトを把握する	20
4.3 環境基準を設定する	21
4.4 養殖許容量を知る	22
4.5 残餌を減らす	23
4.6 養殖廃棄物を回収する	24
4.7 今後の課題	25
4.8 質疑	25
5. 英虞湾の干潟再生へ向けた取り組み	
5.1 はじめに	29
5.2 英虞湾の干潟の現状	29
5.3 沿岸休耕地の小規模干潟再生実証試験	31
5.4 大規模干潟再生事業への拡大	32
5.5 まとめと今後の展望	34
5.6 質疑	34

委員会開催概要

第1回委員会

日時	平成 23 年 7 月 4 日（月） 14:00～17:15
会場	三会堂ビル 2 階 C 会議室
出席者	石川公敏、勝井秀博、児玉真史、小松輝久、白谷栄作、中村 充、中村義治、日野明徳、渡邊国広、猪口茂樹
外部講師	横山 壽
会議内容	1. 平成 23 年度事業の目的、内容、方向の検討 2. プрезентーション：「内湾の環境ポテンシャル」調査研究報告（横山 壽）

第2回委員会

日時	平成 23 年 8 月 17 日（水） 14:00～17:00
会場	三会堂ビル 9 階第 1 会議室
出席者	石川公敏、勝井秀博、児玉真史、白谷栄作、中村 充、中村義治、日野明徳、古川恵太、渡邊国広、猪口茂樹
会議内容	1. 前回議事、発言の確認 2. プрезентーション：日野明徳委員 3. プрезентーション：中村義治委員 4. プрезентーション：石川公敏委員 5. プрезидентーション：渡邊国広委員

第3回委員会

日時	平成 23 年 10 月 6 日（木） 14:00～16:00
会場	三会堂ビル 9 階第 1 会議室
出席者	石川公敏、児玉真史、白谷栄作、鈴木輝明、中村 充、中村義治、日野明徳、古川恵太、渡邊国広、鈴木和富
会議内容	1. 前回議事、発言の確認 2. プрезентーション：日野明徳委員 3. プрезидентーション：白谷栄作委員 4. プрезидентーション：古川恵太委員 5. プрезидентーション：石川公敏委員 6. 次年度事業活動の協議

第4回委員会

日時	平成 23 年 11 月 16 日（水） 14:00～15:45
会場	三会堂ビル 9 階第 1 会議室
出席者	石川公敏、児玉真史、鈴木輝明、中村 充、中村義治、日野明徳、渡邊国広、猪口茂樹

- 会議内容
1. 前回議事、発言の確認
 2. 次年度事業活動の協議
 3. 「内湾力の回生（仮称）」図書出版事業検討

第5回委員会

- 日時 平成23年12月15日（木） 14:00～16:50
- 会場 三会堂ビル 2階C会議室
- 出席者 石川公敏、児玉真史、中村 充、中村義治、日野明徳、渡邊国広、猪口茂樹
- 講師 多部田 茂（東京大学）
- 会議内容
1. 前回議事、発言の確認
 2. プレゼンテーション：「沿岸漁業と漁業地域の再生のための水産業モーテリング」調査研究報告（多部田茂）
 3. 次年度事業活動の協議
 4. 「内湾力の回生（仮称）」図書出版事業検討

1. ダム建設に伴う沿岸域の生態系へのインパクト

明治以来、ダムは我が国の治水、発電、用水の目的で盛んに建設され、日本の殖産興業、食糧生産、戦後復興、高度経済成長を支え、生活レベルの向上に貢献してきた。しかし、その半面、ダムの建設により、父祖伝来の土地、村落が失われ、人々は半ば強制的に移転させられてきた。さらに、高度成長に陰りが見え始め、公害や環境問題への意識が高まるにつれ、徐々に、ダムが環境に与える負の影響がクローズアップされるようになってきた。本項では、山奥に建設されるダムが水の流れとともに、河川本体と沿岸海域に及ぼす影響、および、負の影響を回避または緩和するため現在とられている方策について概観する。

図1.1にダム建設が与える河川・沿岸域への環境影響の流れを図示する。影響の流れは、大別してダム建設の工事中に発生する影響と、完成後、ダムの存在による影響の二つに大別できる。

1. 1 ダムの建設工事中に発生する影響と影響回避の努力

ダム建設の目的は、洪水制御、発電、用水（生活・農業・工業）、砂防など多岐にわたるが、その目的からして、ダムは通常、降雨による集水に適した山奥に建設される。建設に当たっては、水没する地区の立退きや土地の補償問題を解決しなければならず、計画から工事が始まるまでに10年～20年、建設に数年から10年程度かかることが少ないと。したがって、この間の社会状況や需要の変化によって、近年、計画が棚上げになったり、工事そのものが中止となるケースが生じ、現在、ダム事業中止件数は全国で246を数える¹⁾。

建設の認可が下り、いよいよ工事開始の段階に至ると、周辺の環境はダム建設の工事過程における影響を受ける。ダム建設では、勾配の急な山肌を削って道路を作ったり、橋を架けたり、トンネルを開削し、資材や施工機械、作業員の通路を確保することから始まる。樹林を伐採し、河川の切り替えを行い、山合いの斜面と谷を掘削してダム本体を支える堅固な基礎岩盤を露出させる。基礎岩盤に亀裂が多い場合、地中深く止水壁を設けることもある。ダム本体の構築のため膨大な量の盛り立て材料やコンクリート用骨材を調達する目的で、周辺の山（原石山）を開削することもある。また、山中の地下に発電所を設ける場合、地下空洞の掘削において生じる膨大な量の掘削土砂を処分しなければならない。これら一連の掘削・土工の過程で、大量の土砂が移動し、濁水が発生するので、濁水が直接河川に流入しないよう、濁水中の細粒土砂を人工的に凝集沈殿させたり、沈砂池を設けて土砂分をトラップする必要がある。また、工事中の削岩や発破による騒音・振動が森林に生息する動物や鳥類に影響しにくい工事方法をとらなくてはならない。

しかし、大規模な掘削や壁体の構築は地表水・地下水の流れを変化させ、植生の変化、生態系の攪乱を招き、森林や溪流の消失と相まって自然環境の大きな損失を生じさせる。場合によっては、貴重種の消失といったことも起こりうる。

1. 2 ダムの存在とダムの運用が及ぼす影響と影響回避の努力

ダムが完成して、ダム湖が出現するようになると、ダムの寿命は通常100年といわれるが、ほぼ半永久的に、ダム湖から海岸に至るまでの区間の河川水域、沿岸水域が影響を受けることになる。以下に、ダムが出現したことによる影響とその対策について述べる。

a. ダム湖の存在による影響

まず、川を流れる水と異なり、水が長期間一か所に滞留することにより、ダム湖には上流からの栄養塩が蓄積され、水質の富栄養化を招きやすい。その結果、ダム湖内には植物プランクトンが大量に発生する。プランクトンの発生状況は、ダム湖の滞留時間（水が湖内に滞留する時間）により異なり、滞留時間が長いと珪藻類が優先するが、滞留時間が短いと魚類や景観に悪いアオコや鞭毛藻が多くなる²⁾。

プランクトンが大量発生すると、湖底に沈んだプランクトンの分解に酸素が消費され、貧酸素化や底泥からの栄養塩類の溶出、硫化水素の発生を招き水質は悪化する。その結果、底生の動物プランクトンは魚類の餌となる甲殻類から小型原生動物に遷移する²⁾。ダム湖の富栄養化を改善する方策として、ヨーロッパでは、ダム上流側に水源保護区を設け、耕地での肥料制限を行ったり、貯水池そのもののリン除去など直接浄化に取り組んでいる例がある²⁾。我が国では、生活用水取水に関係するダム湖では、さまざまな種類の曝気装置を設置して水質改善に取り組んでいる。

一方、ダムは河川の連続した流れを遮断するものであるから、魚類の遡上・降下妨げる。近年では、ダムや堰を構築する場合、魚道³⁾を併設して魚の通路を確保する努力をしている。

夏場、外気温が高い状況でダム湖の深部から水を放流すると、低水温による河川動植物や農業への悪影響がある。また洪水後の微細粒子が長期間ダムに捕捉された状態で、この濁水が放流され、生活用水の取水口に取り入れられると、浄水機能に悪影響を及ぼす。これらの影響を避けるため、ダム取水口の設置位置や放水方法に工夫が必要である。

b. ダムの土砂堆積による影響

通常、河川は山地から削り取られた土砂を下流に運び海岸に供給する。流送される土砂は、河道と海岸の維持に使われているが、ダムにより土砂の供給が遮断すると、河床低下、河岸浸食が起きやすくなる。土砂の最終点である海岸では、沿岸漂砂のバランスが壊れ、海岸浸食を引き起こす原因となっている。また、河川からの土砂供給が減ると、河口部付近の砂洲や河口テラスと呼ばれる浅瀬が消失し、浅場生態系の生物や水鳥などの生息環境が失われる。

さらに、河口付近で河床が低下すると、塩水が河道を伝わって遡上し農業用利水に悪影響を及ぼしたり、河口域にシルト・粘土を堆積させるため、河口付近の底質の砂分が低下する⁴⁾。有明海でのタイラギガイの漁獲減少の原因として、河口付近の砂分の低下を挙げる報告⁵⁾もある。

近年、ダム堆砂問題への取り組みとして、バイパストンネルや排砂ゲートを設け、堆積した土砂を下流に排出することが行われているが、ヘドロ化した土砂の排出は下流の生態環境に悪影響を及ぼすので、排出方法に注意が必要である⁶⁾。

ダムに堆積した土砂を管路または陸送により海岸に運び、浅場造成によるアサリ増殖なども検討⁷⁾されているが、コスト問題をクリアーできないようである。

c. ダムによる流量平滑化・低減による影響

ダムには、洪水制御のため、ピーク降雨による流量を一時的に貯留し降雨終了後に放流するという流量平滑化の機能がある。しかし、用水貯留などの目的で洪水時以外の平水時でも流量は低く抑えられる。流量が低下すると、玉石や大粒径礫材の流送能力が弱まり、河床の平坦化、淵の喪失を招き、アユやサクラマスの生息環境を悪化させる⁸⁾。また、中流の河床にはシルト・粘土が堆積しやすくなる結果、底性生物が変化したり、付着藻類の更新がなくなり糸状藻類に変質することにより、魚類の食餌環境が変化する。さらに、河床の擾乱が減少することにより、河床が固結化しやすくなり、植物が根を張りやすい環境となり樹林化を招く¹⁰⁾。大井川では、流量低下により上流側の河川敷の温度上昇が外気温の上昇を招き、その結果、周辺の茶の品質が悪化する例が報告されている¹¹⁾。

ダムによる流量減少は、河川からの取水と相まって、内湾への流入河川流量の低下を招く。三河湾では、豊川、矢作川の河川流量が減少したことにより、エスチュアリー循環が減少したことが報告¹²⁾されている。エスチュアリー循環は、河川流量の10倍のオーダーで湾口部からの海水流入、鉛直循環（沿岸湧昇）を生じさせ、内湾の海水交換、貧酸素水発生の抑制に大きく寄与する¹³⁾ものである。河川流量の低下は、河川水域の生態系と内湾の水質ひいては生態系に大きな影響を及ぼす。

d. ダムによる栄養塩・ミネラル類のトラップによる影響

ダムは土砂の堆積を招くだけでなく、上流からの栄養塩や・生態系に必要な有用金属（ミネラル類）をトラップする。栄養塩類は、その量の大小もさることながら、成分比率も重要である。たとえば、矢作川下流ではダム湖の植物プランクトンにより Si（ケイ素）が消費され、下流側の DSi/DIN が低下していること、ドナウ川では DSi/DIN の低下が魚介類に有用な珪藻類の減少、有害な鞭毛藻の増大を招いていることなどが紹介されている¹⁴⁾。また、森林からの Fe や栄養塩の減少は、沿岸の藻場の生育を弱めるといわれている。

1. 3 ダム建設に伴う内湾・沿岸水域への影響のまとめ

沿岸水域への影響をまとめると、まず第一に、土砂流送の低下による海岸浸食、砂洲やテラスの消失による魚介類やアユの稚魚の減少、鳥類の住処の消失が挙げられる。第二に、河川流量の低下により、エスチュアリー循環の低下、海水交換の低下、ひいては水質環境の悪化を招く。第三として栄養塩・有用金属のトラップにより、藻場の減少や魚介類の餌となる植物プランクトンの減少などが生じる。

ダム建設の負の影響を緩和するため、現在、様々な努力がなされている。しかし、たとえば土砂流送を促進する方策に関して、これまで多くの検討がなされてきたが、コスト面での制約が大きい。その他の問題に関しては、抜本的対策はないのが現状である。

[参考文献]

- 1) ウィキペディア：中止したダム事業，
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%AD%E6%AD%A2%E3%81%97%E3%81%9F%E3%83%80%E3>

%83%A0%E4%BA%8B%E6%A5%AD

- 2) 国包章一(2000) : 5. 水源生態系の保全と管理 : 須藤隆一編「環境修復のための生態工学」, 講談社サイエンティフィク, 2000
- 3) たとえば、谷瀬敦ほか(2006) : 北海道の魚道データーベースの作成について, 河川技術論文集, 第 12 卷, pp. 381-384, 2006. 6
- 4) 横山勝英(2007) : (7) 筑後川感潮域における土砂動態の変化, 第 18 回ジョイントシンポ, 流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える, 沿岸環境関連学会連絡協議会 (以下、沿関連), 2007. 5
- 5) 伊藤史郎(2007) : (8) 有明海における底質環境の変化が貝類 (タイラギ) に及ぼす影響, 第 18 回ジョイントシンポ, 流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える, 沿関連, 2007. 5
- 6) たとえば、角 哲也(2007) : (5) 黒部川連携排砂による河川・沿岸域を含む流砂系への環境影響, 第 18 回ジョイントシンポ, 流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える, 沿関連, 2007. 5
- 7) 石田基雄他(2007) : (9) 人為的な底質改善によるベントスの応答-堆砂を用いた干潟造成, 第 18 回ジョイントシンポ, 流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える, 沿関連, 2007. 5
- 8) 田子泰彦(2007) : (4) 神通川と庄川におけるダム堆砂放流の河川漁業への影響, 第 18 回ジョイントシンポ, 流域から沿岸までの土砂動態が生物生息環境に及ぼす影響を考える, 沿関連, 2007. 5
- 9) 辻本哲郎(2005) : (2) 河川から海岸への土砂移動と河川生態系, 第 13 回ジョイントシンポ, 海岸域から見た陸域流出の問題と構造, 沿関連, 2005. 4
- 10) 河川環境総合研究所(2005) : 流量変動と流送土砂量の変化が沖積河川生態系に及ぼす影響とその緩和技術, 河川環境総合研究所資料, 第 16 号, 平成 17 年 10 月, (財) 河川環境管理財団
- 11) よみがえれ 大井川—その変貌と住民—, 静岡地理教育研究会編, 古今書院, 1991 年
- 12) 市野和夫(1999) : 4 章 三河湾集水域の水資源開発, 西條八束監修 改訂版 三河湾, 三河湾研究会編, pp. 104-120, 1999
- 13) 宇野木早苗 (1988) : 内湾の鉛直循環流と河川流量の関係, 海の研究 7(5), pp. 283-299, 1988
- 14) 児玉真史・田中勝久・澤田知希・都築基・山本有司・柳澤豊重(2006) : 矢作川下流における DSi:DIN 比の変動要因, 水環境学会誌, Vol. 29, No. 2, pp. 93-99, 2006

2. 「内湾力の回生と持続」を支える教育

2. 1 環境とくに海の教育の必要性

海を知ることの難しさは、私たちの目に見えるのは水面だけであり、海流や潮流あるいは風のはたらきで海水が時々刻々移動、混合していることも、0.1mmにも満たない植物プランクトンの一次生産（基礎生産）が食物連鎖を支えていることも、また数千メートルの深海と表層とに物質のやりとりのあることも認識できないという点にあります。この三次元の、そして顕微鏡サイズのプランクトンが一次生産を担っている海の生態系とは反対に、草や木が一次生産を担い、草食動物、肉食動物が食物連鎖のピラミッドを構成しているのが陸上生態系なのです。言い換えれば、生態系の仕組みのほとんどが地表にあって目視できる陸上生態系に対し、海域や湖沼など水の生態系では、生物や環境を知るのにさえ専門的知識と機材が必要になります。一方で近年環境への関心が高まり、生態系という言葉が普通に語られ、また学校には小さなせせらぎを配したビオトープも作られていますが、人々がイメージを抱くのは草花や木や小川のある陸の生態系であり、仕組みも安定性も全く異なる海の生態系には思いを巡らさないように感じられます。これは、海の生物や環境、ましてやそれら相互のつながりについて考えるきっかけを与えられていないからであり、その背景には、学校や家庭、社会にあるはずの様々な環境教育の場面で海を取り上げることが希薄になってきたことがあるのでしょうか。

いっぽう海と人との関わりへの無理解が招いた問題に公害があります。世界でもっとも悲惨な公害を経験したと言われる我が国で四大公害とされるのは水俣病、新潟水俣病（第二水俣病）、イタイイタイ病、四日市ぜんそくです。このうち3つは水域で起こったものですが、まさしく人類が20世紀に未曾有の繁栄を遂げたことは「海をゴミ捨て場にした」結果だったことを物語っています。もし行政や産業側に、海の生態系の構造やそのなかで生産される食料と人との関わり方について教育、知識があれば、工業からの廃水が引き起こした健康被害の状況も違ったものになったでしょう。

このような負の側面はあるものの、前世紀が「工業の時代」と呼ばれるように、機械工業や重化学工業の急激な発展によって人類はかつて無い豊かな物質文明を享受しました。また石油や電力が潤沢に供給され、航空機や自動車、高速鉄道がもたらした「幸福」を否定することはできません。いっぽう地球上には、いつかはその幸福を味わいたいと思う人が未だに多数居ることも忘れてはいけません。これらから浮かび上がる21世紀の課題は、人々が自然と共に存しつつ豊かな生活を続けられることですが、その前に立ちはだかる問題に、すでに70億人を超えた地球上で飢餓人口が10億と言われるほどの食糧問題¹⁾と、生活排水による環境汚染問題があります。食糧については、動物性タンパクの供給源としての魚介類の重要性はFAO²⁾などでも論議されていますが、生産性の高い内湾や沿岸域の生態系の保全、機能の回復は重要な課題です。生活排水の問題も人口増加と共に深刻化しますが、科学的な管理、浄化を施すにせよ、下水道を経て川やその終点である内湾、沿岸域へ放流されることになります。要約すれば、今世紀なすべきことは、このように人類の将来に深く関わる海の生態系を保全し持続させること、そして適正、効率的に利用することですが、それには海への興味をふくらませ、陸上生態系と大きく異なる海への基本的な知識を学ぶことがスタートとなるはずです。また、海洋国にのみ与えられた「海で泳ぐ、

釣りをする、浜辺で遊ぶ、動植物を採取する」など生態系サービス^{※1}を安全に享受するためにも、海底の様子、波や流れへの注意、危険生物などへの知識が必要になるでしょう。さらに近年は、領海や EEZ（排他的経済水域）への外国船侵入などの話題が耳に入ることも多くなりました。国民一人一人に、海洋への基礎的な知識が求められるようになったのです。

2. 2 環境教育の現状

(国連における取り組み)

前世紀末になると、人類が繁栄の代償として負うことになった大気や土壤、水域の汚染、それらによる健康、環境の被害は一層深刻になり、また資源の乱開発もやがて人類の生存をも脅かすとの不安が募るようになりました。このような背景をもって始まった環境と人類の共生、「持続可能な開発のための教育(ESD: Education for Sustainable Development)」に関する国際社会および我が国の取り組みについては、上原³⁾による「国連・持続可能な開発のための教育の10年をめぐって－共生社会を目指した日本の取り組み－」に詳述されています。要点だけを簡略に記すと、1980年代に日本政府の提唱で生まれた委員会での「持続可能な開発(Sustainable Development)」(生態系を維持しながら生活の質を改良する、と捉えるのが妥当とされる)の概念を実体化するため、1992年の地球サミット(リオデジャネイロ)では行動計画「アジェンダ21」のなかに教育の重要性が説かれました。そこでは、基礎教育の目的は持続可能な生活への価値観や技能、洞察力を持たせることであり、そのうえで専門的な研修プログラムが開発されるべきであると述べられています。2002年には、このようなESDを世界的に推進するキャンペーンが我が国を中心に国連総会に提案され満場一致で決議採択されました。このなかに、2005年からの10年を「ESDの10年」と宣言することが含まれています。

(日本の環境教育への取り組み)

明治維新以来の富国強兵政策、また第二次世界大戦後も歴史上まれに見る発展を遂げた我が国ですが、その代償として明治時代からは足尾銅山をはじめとする鉱工業被害、戦後はさらに激甚ないくつもの公害を被ることになりました。1960年代末からは、ようやく環境中の有害物質濃度に基準が設けられ、70年代には工場からの煤煙、廃棄物、廃水に許容値と罰則が設けられるようになりました。また80年代以降は環境への教育の必要性が論じられるようになりました。上に述べたような国連への働きかけとともに国内の体制作りが始まりました^{※2}。現在は、上記国連総会の決議を踏まえた形で「持続可能な開発のための教育(ESD)」への法律、各省庁の行動指針などが整備されています。なかでも「環境教育等による環境保全の取組の促進に関する法律(環境教育等促進法) 平成23年6月15日公布」には、環境教育を「持続可能な社会の構築を目指して、家庭、学校、職場、地域その他のあらゆる場において、社会、経済及び文化とのつながりその他環境の保全についての理解

※1 自然から人が受けているサービス。食糧などの物質のみならず、文化、安全なども含む。

※2 例えば中央環境審議会答申「これから環境教育・環境学習-持続可能な社会をめざして-」(1999年12月24日);環境省HP、「報道発表資料」で検索。

を深めるために行われる環境の保全に関する教育及び学習をいう」と定義してありますが、この一文からは、環境教育が学校でのみ行われるものではないことが読み取れ、また学校では教科を問わず行われるものであることが理解できます。

海洋に限ってみると、2007年には海洋基本法が制定され、28条には「国は、海洋に関する政策課題に的確に対応するために必要な知識及び能力を有する人材の育成を図るため、大学等において学際的な教育及び研究が推進されるよう必要な措置を講ずるよう努めるものとする」ことが謳われました。この法律の実体化として、いくつもの大学で海洋教育、海洋政策を取り扱う機構が生まれており、「海洋教育、海洋政策」などをキーワードにして検索すれば容易に知ることができます。それらには、各校での教育・研究の機構やカリキュラムに新たな処置があるのみならず、資金や人材面などで積極的な援助を行う財團法人の存在も大きくなっています。

(環境教育における初等中等教育の重要性と海の教育の現状)

上記のように、環境教育は生活のあらゆる局面で環境に対する興味や考え方を養うことです、その導入部として、環境の諸現象を理解し知識を得るために基礎的な能力や考えの方向性を与えるには学校教育が必要で、なかでも人の素養としての知識や感性をすべての児童が身につけることを目的としている小学校、中学校の義務教育課程が重要と考えられます^{※1}。

2006年に改正された教育基本法には「生命を尊び、自然を大切にし、環境の保全に寄与する態度を養うこと」(第二条4)が新たに規定され、年次を追って学習指導要領に反映されてきました。ここに示される生命・自然・環境という3つのキーワードで考えれば、基礎的な教育は理科で取り上げることが効果的と考えられますが、小学校各学年の「目標及び内容」で見ると次のようないふた事項が該当すると思われます。

身近な生物・自然の観察(3年)、季節と生物の成長・活動(4年)、流水の働き・天気の変化(5年、流水は土地を削るなど)、生物と環境(6年、動植物の観察・資料から)

また中学校では、

「太陽系と恒星」では月の運動と見え方、また「自然と人間」では植物、動物及び微生物を関連付けてとらえ、自然界のつり合いについて理解させるとともに、様々な要因がそれに影響していることを理解し、自然環境を保全することの重要性と持続可能な社会をつくることを認識する。

となっていますが、指導要領では、小学校、中学校ともに「海」について教えるという項目はありません。わずかに、読書コンクールに向けて文部科学省が選定する「課題図書」には、小学校高学年向けとして「海は生きている」⁴⁾のように漁民が参画して森を守るという活動に触れているものがあります。

佐々木⁵⁾は、明治以後の我が国の水圏教育が、国策の重要な柱であった造船業、海運業、水産業などの産業振興のためへの専門家育成教育によって行われ、現在もなお、普通教育

※1 家庭教育の重要性を挙げるべきですが、家庭教育は行政が一律に規定できるものではなく、また学校教育の成果は次世代の家庭教育に反映され効果を挙げるでしょう。

には水圈への一般的な素養を学ぶ機会が設けられていないことを挙げていますが、高度成長期を経て産業の構造が大きく変化した結果、水産業と人とのかかわりが希薄になり、必然的に教育においても海洋やその生態系が忘れられることになったと考えてよいでしょう。

このような状況に対し、海洋政策研究財団^{※1}は、我が国の学校教育における海洋教育の位置付けが明確になっていないことに対して、教育界および海洋科学関連の専門家による研究の成果「21世紀の海洋教育に関するグランドデザイン」^{※2}を小中高校のカリキュラムならびに指導要領のかたちで提示しました。

2. 3 海の教育は何を教えるべきか

(生態系の物質循環 -海と陸の最大の相違点-)

言うまでもなく、教育には「最終的に何を、どこまで目指すか」を決めておくことが必要です。本項の冒頭（2. 1項）には、「人類の将来に深く関わる海の生態系」への理解の必要性を挙げました。生態系については、現在の初等中等教育の中にも生物多様性や、自然と触れ合い生態系への理解を深めることへ方向性が示されています。教科に取り上げられているほか、校庭には小さな水路を持つビオトープが設置されたりもしていますが、それらから、陸上と大きく異なる海の生態系を伺い知ることはできません。教育の過程でそれをどう教えるかは、教育を専門とする方々の知恵や技が必要になると思われますが、ここでは教育する側が認識するべき基本として、海の生態系と陸上生態系の原理的な違いについて述べることにしましょう。

生態系というと、その中にいる生物を思い浮かべるのが普通です。少し詳しい人は、植物が光合成でブドウ糖を作り、それを窒素、リンなどの栄養塩とともにタンパクや脂質に合成・貯蔵した植物の体が動物の餌になるという、食物連鎖のピラミッドまでイメージできるでしょう。しかし、動物や植物が死んだ後に微生物や菌類によって分解され、再び窒素、リンになって植物に戻るという「物質循環」（図2.1）があることまで知っている人は多くはありません。仮にこの機能が無ければ、生態系には死骸が分解されずに蓄積し、反対に植物には栄養塩が供給されず枯死する結果、それを餌にしていた動物もやがて居なくなるのです。そして、この物質循環作用には陸上と海で異なる点が多く、その理由を考えると、生態系保全への考え方も陸と海で大きく変える必要があることが分かります。

表2.1^⑥は、陸上生態系と海の生態系について、1m²当たりの植物の現存量（実際に存在する量）と、1年間の生産量をそれぞれ乾燥重量で表したものです。陸上には同じ面積で海の1000倍の植物があることになります。陸も海も太陽から来る光の強さは同じですから、この違いは栄養塩濃度（海は水の、陸は土壌の）の大幅な違いに由来します。一方、生産速度（m²当たりの年間生産量）ではわずか5倍の違いしかありません。これらの数字からは、同じ植物量で比べると、計算上海の植物は陸の植物の200倍も生産速度が大きいことが分かります。大きな理由は、陸の植物は樹木を例に考えると、大きな体（現存量が大きい）のうちで生産を担うのは葉だけであるのに対し、海の植物はほとんどが単細胞の藻類（海藻など大型の植物は、海洋のごく一部にすぎない沿岸部に生えている）で、体の

※1 <http://www.sof.or.jp/jp/index.php>

※2 http://www.sof.or.jp/jp/topics/11_08.php

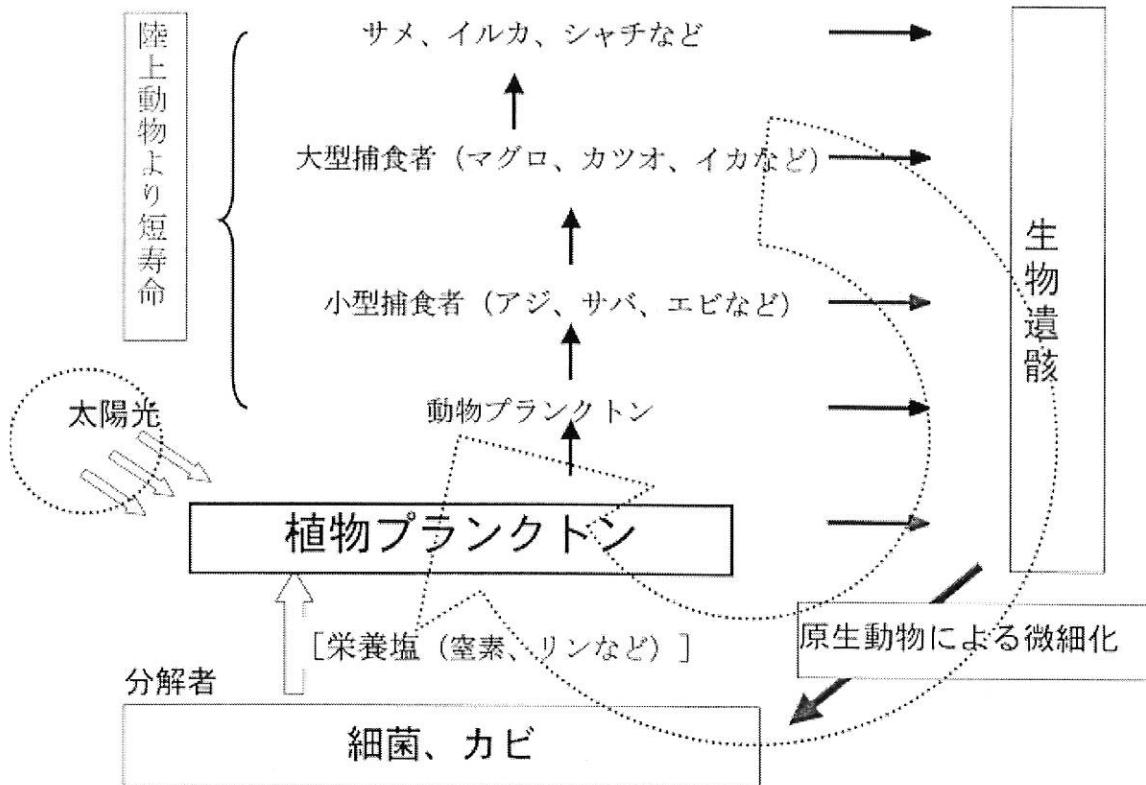


図 2.1 地球生態系の植物量と基礎生産速度

表2.1 地球生態系の植物量と基礎生産速度^{⑥)}

	現存量 Kg/m ²	生産速度 g/m ² ・年
陸上		
熱帯雨林	45	2200
温帯草地	1.6	600
耕地	1.0	650
平均	12.2	782
海洋		
外洋	0.003	125
湧昇域	0.02	500
平均	0.01	155

(乾燥重量で表した)

Whittaker & Likens(1975)より作成

(陸上平均) / (海洋平均)

植物量: 約1200 倍も異なる

生産力: 約 5 倍しか違わない

植物プランクトンの生産力は
、重量当たりにすると陸上植
物の 240倍

一部で生産する陸上植物とは反対に体の全部で生産しているのです。では、陸より栄養塩が少ないことはマイナス要因にならないのでしょうか。図 2.1 を見ると、生態系を構成している動物が陸上に比べて小さく短寿命であることが分かりますが、このことは、「栄養塩が植物を育て、それを食べた動物が死んで分解者によって栄養塩にリサイクルされる」という物質循環速度が速いことを意味しています。すなわち陸では、縄文杉のように何千年も栄養塩を体内に留める植物や、数十年も生きるほ乳類も多いのですが、海の生物は一般に寿命が短いため、体の構成成分として蓄積した有機物が分解し環境中に栄養塩としてリサイクルするまでの時間は短いことになります。すなわち、少ない栄養塩が何回もの生産に関与することによって、年間の植物生産量を高くしているのです。

この生態系の物質循環の速さが意味するものの第一は、循環の速さを支えるには、分解者である細菌類や、分解途中の微細な有機物粒子を摂餌・消化して栄養塩へのリサイクルを助ける微小な原生動物（多くは 0.1mm 前後）の働きが重要であるということです。しかしそれらの微生物は、高等生物と違い水温、塩分、酸素濃度、栄養条件などの外部環境の変化に耐性が低いため、死んだり弱ったりして種類が入れ替わる「遷移」現象が起こりやすいのです。第二に、図 2.1 に示した動物プランクトンや魚介類についても、上に述べたように寿命が短いことが「遷移」が起こりやすいことを意味しています。すなわち、海の生態系は環境のわずかな変化でも物質循環に変化が起こりやすく、また高等生物の遷移が起こりやすいと言うことができます。このような生態系の原理的な違いから、目に見える動植物の保護が生態系の保全につながる陸上とは反対に、海の生態系では特定の種を保護対象とすることは難しく、例えば陸上から流入する窒素、リンなどの栄養塩や有機物を生物の働きで吸収・浄化する干潟や藻場の保全のように⁷⁾、「場」の物質循環機能が保たれることを生態系保全の目的にするのです。なぜならば、海では水のもつ比熱の大きさや混ざりにくさが水温や塩分、その他水質などの変化を小さく保っているため、そのなかで進化してきた生物は環境変化に弱く、また、大気には 1 リットル中約 0.2 リットル含まれる酸素が水 1 リットルにはその約 30 分の 1 しか溶け込んでいないこともあって、物質循環の異常が直ちに酸素不足や水質の異常を招くからなのです。

(安全に関わる問題)

海の教育はまた、私たち海洋国の国民にとっては「安全」の観点からも必要です。例えば、領海や EEZ (排他的経済水域) など、国際紛争の可能性を持つ問題を高度に理解するには、大陸棚など海洋の構造、また国際法の知識も必要となりますが、より身近な問題である私たちの生活圏に近い内湾などの保全や利用、研究に直結する可能性を考えると、初等中等教育では、とくに自らの身体の安全に関わる海の知識を学ぶ必要があります。一番身近な問題は海水浴、釣り、ボート遊び、磯遊び、また学習などで遭遇する水難事故ですが、平成 22 年の全国の水難事故統計⁸⁾では行方不明を含め 877 名が水死し、そのうち 98% が川なども含めた自然水域で死亡しています。海では 54% が亡くなっていますが、干満、波浪、流れについての知識があれば改善できたものも多いでしょう。例えば、潮流は干満に合わせて方向が入れ代わること、干満の差は場所によって大きく異なること、波の大きさは一定ではなく時々大波が来ること、そして九十九里海岸など外海に面し波の強い海岸では沖

に向かう強い流れ（離岸流）が生じて水難事故が起きやすい、などを簡単な理由とともに教える必要があります。たとえば「月の運動と見え方」は中学校で取り上げられていますが、そのときに潮汐や流れ、波を関連して教えればより効果的と思われます。

2. 4 学校教育以外での「海の教育」と課題

海ばかりでなく水辺にある地域では、子供達は川や海岸で遊びながら自然に水の生物、環境への知識を学び、また水泳を身につけて育ちました。しかし、都市を抱え多くの人口が集中する内湾域では海岸が埋め立てられ、その結果、日本の多くの子供達の意識から海が遠いものになったのが現状です。学校での教育には、指導者側では文科省の指導要領に準拠するという制約のほか、生徒側では「理解の程度を評価される」という「嬉しくない」敷居の高さが付きまといますが、それらの問題から開放され、自由に海や生物への関心を広げて行く機会こそ今の我が国に必要であり、これは、環境教育が学校でのみ行われるものではないことを述べた環境教育等促進法（2. 2項）の趣旨に沿うとも言えましょう。

現在、全国で多くの法人（大学、財団、社団など）や省庁、自治体、漁業協同組合あるいは任意団体など様々な組織によって、小学生も対象とした海岸や藻場、干潟での生物調査、また保全活動が行われており、それらはインターネットの検索で海域名とともに「干潟、藻場、保全活動、学習、小学生、市民」などをキーワードに入力すれば数多く見ることができます。また、環境省、国土交通省や海域に関する独立行政法人の名称で検索しても、海の環境教育として充実した活動が行われていることが理解できます。しかし一部の企画には、海から遠ざかってしまった日本人の意識を海岸に近づけるという一時的な意味はあるものの、リクレーション的な要素が強いもの、また保全活動に科学的な根拠の希薄なものや、小・中学生の意識を後々海の利用と保全へ誘導することへの工夫が読み取れないものがあるのも事実です。これには、未だ我が国では市民活動としての海の教育が何を目指し、どう指導するかのコンセンサスが確立していないことが根底にあると考えられます。最も深刻な問題は、初めに海の生物に対して抱かせた博物学的な興味を、次のステップとして生態系へ、さらには永続的に海を利用し、また保全することの基本として地球全体が一つの生態系であるという認識まで発展させることを、企画や指導する側が義務感として持ち合わせていないケースがあることでしょう。

佐々木⁵⁾は近著で「我が国には水圏環境教育を支えるリーダーが決定的に不足している」こと、反対に「米国、フランスについて、市民や生徒達に対して自然科学への興味を引き出し、さらに高度な理解へ導いて行く教育に、学校のみならず水族館や博物館、NPO 法人などが重要な役割を担っており、国家的プロジェクトとして行われている」ことを述べています。また「2. 2項」で紹介しましたが、「これまで我が国では水圏教育が学校での専門家育成教育として行われてきたこと」とともに、「社会教育では学校の教育活動との連携が十分とは言えないこと」を指摘しています。そして、それらを解決して行くための考え方として「水圏環境リテラシー^{※1} 教育推進プログラム」を提示し、それを普及・教育するリーダーの育成に言及し具体的な行動例を紹介していますが、このような方向性をもって、

^{※1} 原義は「識字」など基本的な教養。最近は「知識と、それを操る能力を備えること」として使われることが多い。

これからのが国の海の環境教育への議論を拡大し実践して行くことが期待されます。

[参考文献]

- 1) FAO（国連食糧農業機関）：世界の農林水産（FAO News Spring 2010）通巻818号, 2010.
- 2) FAO（国連食糧農業機関）：FAO改革に向けた即時行動計画「漁業・養殖業」, 2008.
(www.fao.or.jp/fileadmin/contents/publications/FAOkaikaku-9.pdf)
- 3) 上原有紀子：レファレンス 平成17年3月号, 国立国会図書館, 63-82, 2005.
- 4) 富谷和子:海は生きている, 講談社, 2009, 142 pp.
- 5) 佐々木剛：水圏環境教育の理論と実践. 恒星社厚生閣, 2011, 214pp.
- 6) Whittaker, R. H. and Likens, G. E.: The biosphere and man, in The Primary Productivity of the Biosphere, edited by Lieth, H. and Whittaker, R. H., Springer Verlag, 305-328, 1975.
- 7) 鈴木輝明:干渴造成法, 恒星社厚生閣, 2007, 137pp.
- 8) 平成 23 年警察白書 : 平成 22 年中における水難の概況について, 2010.
<http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm>

3. 回生のために

3. 1 内湾域の施策・政策の課題の整理

① ICMの現状から（国土交通省）

（要旨：ICMを適用するための素地は出来上がってきているが、具体に適用するに至っていない）

＜総合政策局＞

- ・ 社会資本整備計画
 - 社会資本整備重点計画（H20-24）

＜国土計画局＞

- ・ 國土管理計画
 - 沿岸域圏総合管理計画策定のための指針（H12）
- ・ 施策・モデル事業
 - 環境行動計画モデル事業の実施
 - ICMのための沿岸域情報システム（国土庁）

＜総合海洋政策本部＞

- ・ 海洋基本法（H19）
- ・ 海洋基本計画（H20）

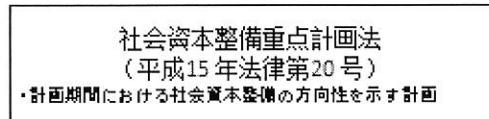
＜港湾局＞

- ・ 港湾環境政策
 - 港湾計画／港湾計画
 - 全国海の再生プロジェクト
 - 瀬戸内海修復計画
- ・ 港湾環境施策
 - データベース・センター
 - モニタリングポスト
 - 生物共生型護岸

社会资本整備重点計画(H20-24)

社会资本整備重点計画は、国民生活・産業活動の基盤を形成する社会资本について、計画期間中、どのような視点に立ち、どのような分野に重点をおくのかといった「整備の方向性」を明確にし、その方向性を踏まえて、社会资本整備に関する「政策目標」とその実現によって国民が享受する「成果」を示すとともに、「限られた財源の中で効果的かつ効率的に社会资本整備を実施するための取組」を明らかにするものです。

社会资本整備重点計画(総合政策局)



社会资本整備重点計画法

(平成15年法律第20号)

・計画期間における社会资本整備の方向性を示す計画

- (1) 社会資本整備重点計画とは、計画期間における社会資本整備の方向性を示す計画(計画期間:平成20年度から平成24年度)。
- (2) 平成15年に、社会資本整備重点計画法に基づき、従来の9つの事業分野別の計画(※)を一本化するとともに、計画の内容を「事業費」から「達成される成果」に転換。
(※)道路、交通安全施設、空港、港湾、都市公園、下水道、治水、急傾斜地、海岸の9分野
- (3) 今回閣議決定する計画では、
 - [1]地域の自立・活性化と成長力の強化に向け、「活力」という項目をより重視
 - [2]維持管理や更新の推進などの課題に対応するため、「ストック型社会への対応」という項目を、新たに追加。
- (4) さらに、現下の厳しい経済状況に対応し、機動的かつ戦略的な社会資本整備を実施することとしている。

「社会资本整備重点計画」の概要

国土交通省

第1章 社会資本整備事業を巡る現状と課題

- (1)活力ある地域・経済社会の形成、(2)安全・安心の確保、(3)生活者の視点に立った暮らしと環境の形成、(4)ストック型社会への転換に向けた社会資本整備

第2章 社会資本整備事業の実施に関する重点目標及び事業の概要

並びに将来実現することを目指す経済社会と国民生活の姿

《重点目標分野》

《重点目標》

《指標》

活力

- ①交通ネットワークの充実による国際競争力強化
②地域内外の交流強化による地域の自立活性化
③にぎわいの創出や都市交通の快適性向上による地域の自立・活性化

- ・国際・国内航空ネットワーク強化
・スーパー・中核港湾の機能強化
・地域の自主性を活かしたまちづくりに関する指標 等

安全・安心

- ④大規模な地震等の災害に強い国土づくり
⑤水害等の災害に強い国土づくり
⑥交通安全対策の強化

- ・災害時の安全な避難の確保
・ハード対策と一体となったソフト対策として、ハザードマップの作成
・交通安全の確保に関する指標 等

暮らし・環境

- ⑦少子・高齢社会に対応したバリアフリー化・子育て環境の整備によるユニバーサル社会の形成
⑧良好な景観・自然環境の形成等による生活空間の改善
⑨地球温暖化の防止・循環型社会の形成

- ・旅客施設のバリアフリー化
・良好な景観等、生活空間の改善
・汚水処理
・京都議定書目標達成計画に関する指標 等

ストック型社会への対応

- ⑩戦略的な維持管理や更新の推進
⑪ソフトの対策の推進
※新設

- ・道路橋等の社会資本の長寿命化・老朽化対策
・基盤地図情報の整備状況に関する指標 等

第3章 社会資本整備事業の進め方の改革

- (1)戦略的な維持・更新の推進、情報技術の活用
(2)事業評価の厳格な実施、コスト改革
(3)公共調達の改革
(4)多様な主体の参画と透明性の確保
(5)技術開発の推進
(6)民間能力・資金の活用
(7)国と地方の適切な役割分担

第4章 地方における社会資本整備

「地方ブロックの社会資本の重点整備方針」の策定(H21夏頃の予定)
※指標・個別事業も記載

第5章 事業分野別の取組

道路、交通安全施設、鉄道、空港、港湾、航路標識、都市公園、下水道、治水、急傾斜地、海岸の各事業分野別の取組

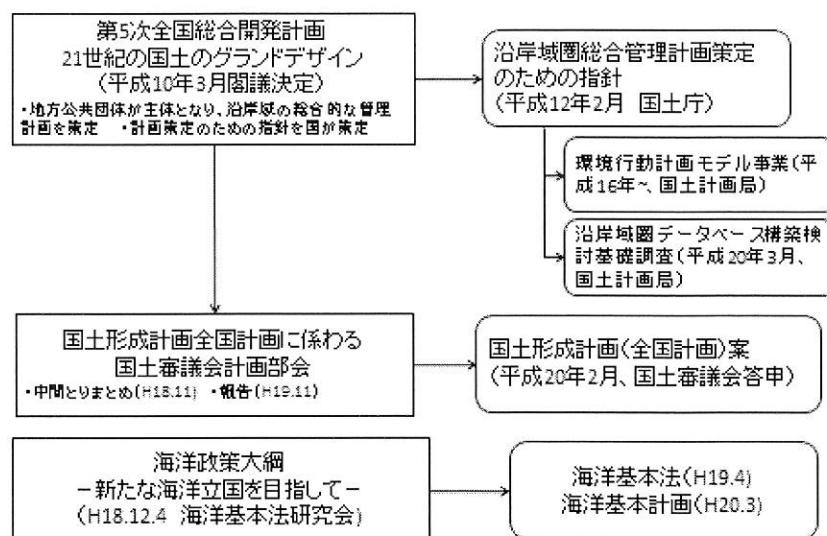
○社会資本整備により実現することを目指す《概ね10年後の経済社会と国民生活の姿》

海洋基本法（H19）海洋基本計画（H20）

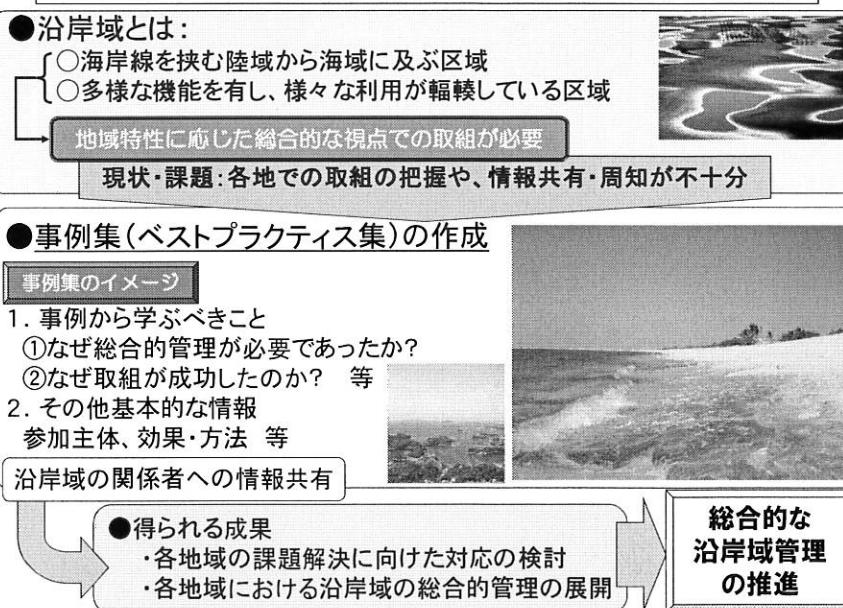
食料、資源・エネルギーの確保や物資の輸送、地球環境の維持等、海が果たす役割の増大、海洋環境の汚染、水産資源の減少、海岸侵食の進行、重大海難事故の発生、海賊事件の頻発、海洋権益の確保に影響を及ぼしかねない事案の発生等、様々な海の問題の顕在化などを背景として、海洋政策の新たな制度的枠組みの必要性に対応するために制定されました。

6つの理念、12の基本的施策の中には、海洋・沿岸域の総合的管理が謳われています。

沿岸域圏総合管理（国土計画局）



沿岸域の総合的管理の取組に関する先進事例集

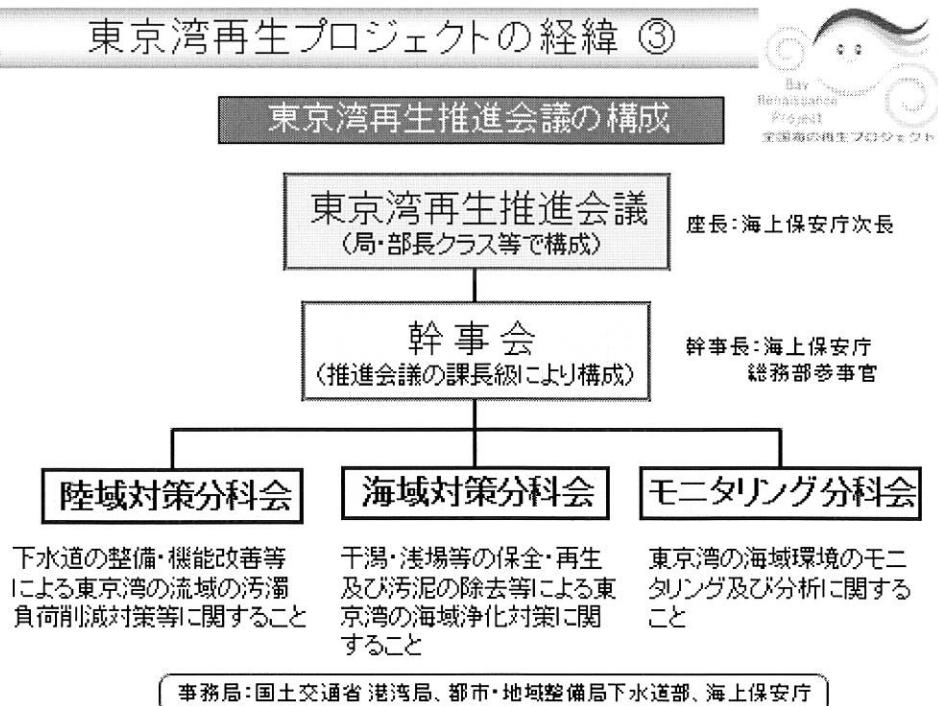


海の再生プロジェクト（第1期計画の終了：東京湾 H25、大阪湾 H26、伊勢三河湾・広島湾 H29）

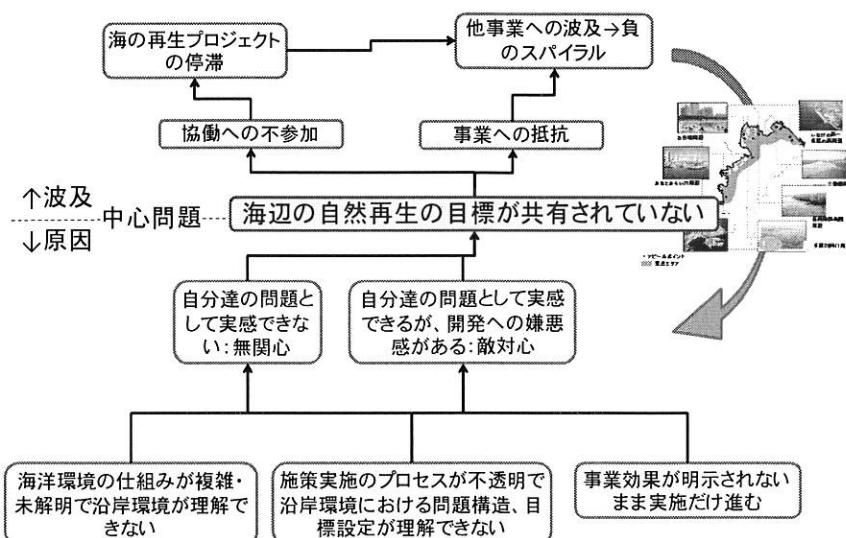
平成24年には海の再生プロジェクトが、最終年度を迎える年です。その総括としての評価、次期再生行動計画の立案に向けて、さらなる市民・関係者との連携・協働体制を整備していく必要があります。

しかし、沿岸域環境に関する各種情報（環境データ、評価、効果、モデル）を、関係者（行政、事業者、NPO、市民等）に提供するコミュニケーションツールが不足しており、関係者の理解が進まず、幅広い関係者間の連携・協働の広がりに限界がある状況です。

東京湾再生プロジェクトの経緯 ③



海の再生プロジェクトの停滞が懸念される？



4. 内湾の環境ポテンシャルと養殖業の持続性

水産総合センター増養殖研究所
横山 寿

4. 1 養殖業の状況と問題点

わが国における水産業(漁獲漁業と養殖業)の生産量と生産額は、1980年代前半にピークを示した後、現在まで低落傾向が続いている。部門別には、漁獲漁業の衰退が著しいのに対し、養殖業は落ち込みが比較的少なく、水産業全体の中で養殖業の占める位置が徐々に高くなっています。最近では養殖業の生産額は水産業全体の中で約半分、魚類養殖の生産額は養殖生産額の約半分で、年間4000億円前後をあげる大きな産業に発達しました。

養殖漁場は法律に基づいて定められた区画漁業権が及ぶ範囲に限られています。そのため、養殖生物の如何にかかわらず、生産量はその場所が有する生物生産と環境浄化のポテンシャルに大きく左右されます。海藻養殖では海藻の栄養源となる養殖漁場の栄養塩濃度が生産量に大きな影響を及ぼします。貝類養殖では貝類の栄養源となる植物プランクトンの質・量とともに、貝類の糞や擬糞の堆積による環境悪化が生産量に大きく影響します。他方、給餌を伴う魚類養殖では残餌や養殖魚の糞による有機物負荷および養殖魚の尿などとして負荷される栄養塩類が環境負荷となり生産量を左右します。ちなみに、生糞に投入された養魚飼料の窒素量を100とすると、収穫魚の体として回収できるのは12から26のみで、その他の88から74が溶存態の栄養塩類や糞・残餌等の粒状有機物となって環境中に流出してしまうことが知られています¹⁾。このような負荷物質の量が内湾が有する環境浄化のポテンシャルを超えると、図4.1に示すようなさまざまな過程を経て、養殖生物に被害が及ぶことになります。

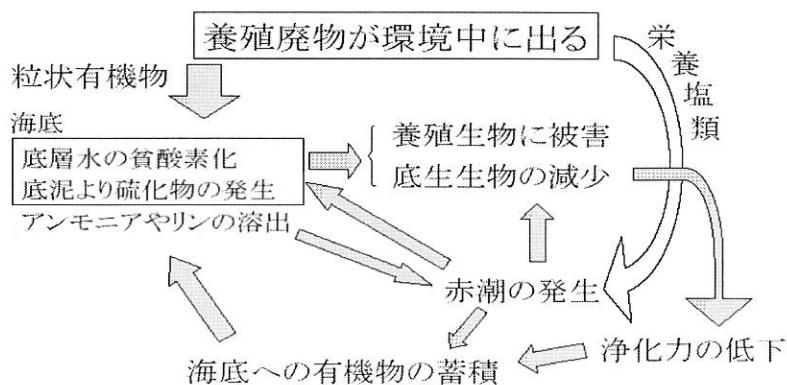


図4.1 養殖の環境インパクトに関する模式図

このような悪影響を減らし、持続的に養殖業を続けるには何が必要か、筆者らの研究グループは三重県熊野灘沿岸の魚類養殖場を主なフィールドとして長年、調査研究を続けてきました。その結果、まず最初に、(1)養殖活動が環境に及ぼすインパクトの質と量を把握する必要があり、その次に環境改善に向けて、(2)環境基準を守る、(3)養殖許容量を知る、(4)残餌を減らす、および(5)養殖廃物を回収する、といった取り組みが大切であることがわかりました。本稿では筆者たちが取り組んできた調査研究の概要を紹介し、持続性のある養殖業の成立に必要な要件を考えます。

4. 2 環境インパクトを把握する

養殖による有機物負荷はその湾の生物相にも大きな影響を及ぼします。三重県の五ヶ所湾では魚類養殖やアコヤガイによる真珠養殖が盛んですが、養殖がほとんど行われていなかった1941年当時の底生動物相が記録されており²⁾、1993年との比較により、この間に動物相が大きく変化したことがわかりました³⁾。たとえば、富栄養で停滞的な環境の指標種である二枚貝のシズクガイは1941年には五ヶ所湾の湾奥部に分布が限られていたが、1993年には湾の中央部から奥部にかけて広く分布するようになったこと、また、貧酸素に弱い棘皮動物のブンブクチャガマは1941年には湾奥部に多く生息していましたが、1993年には採集されなかった(図4.2)ことがあげられます。こうした動物相の変化に養殖活動による富栄養化・貧酸素化が影響を及ぼしていることが推測されますが、実際に、1993年8月には魚類養殖場から3kmの地点まで底層水の溶存酸素量は2mg/L未満であり、通常は十分に酸素が回復する4月にも養殖場から1kmまでの底層水の溶存酸素飽和度は70%程度で他の地点より少ない傾向がありました。

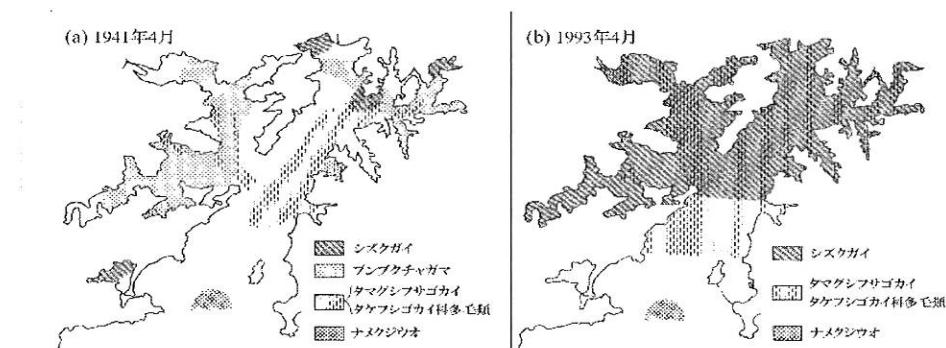


図4.2 五ヶ所湾における1941年²⁾ (a)と1993年³⁾ (b)の主要底生動物の分布。横山ら³⁾を改変

そこで、真珠養殖場と魚類養殖場において両養殖場に生息する底生動物の季節変化を調べました⁴⁾。真珠養殖場では生息密度や種組成の明らかな季節変化はありませんでしたが、

魚類養殖場では7月には底層水が無酸素になるとともに無生物となり、この状態が11月まで続きました(図4.3a)。しかし、底層水の酸素の回復後約2カ月が経過した12月より重汚濁海域の指標種とされる多毛類のイトゴカイが爆発的に増加し、その後、多毛類のコオニスピオやヨコエビ類などが順々に加入した(図4.3b)結果、3~4月には生息密度が16,000個体/m²と高くなりました(図4.3a)。また、動物群集の回復とともに堆積物の硫化物量(酸揮発性硫化物態イオウ量)が1.5 mg/gから0.8 mg/gに減少し(図4.3b)、底質が大きく改善されました。両養殖場における動物群集と底質の相違は漁場に負荷される粒状有機物量の相違(魚類養殖場では真珠養殖場の約5倍)によると考えられます。このように、動物群集の組成や季節的変動は有機物の負荷量によく対応していること、強度の汚濁域であっても酸素の回復後加入した底生動物が浄化に大きな役割を果たすことが示唆されました。

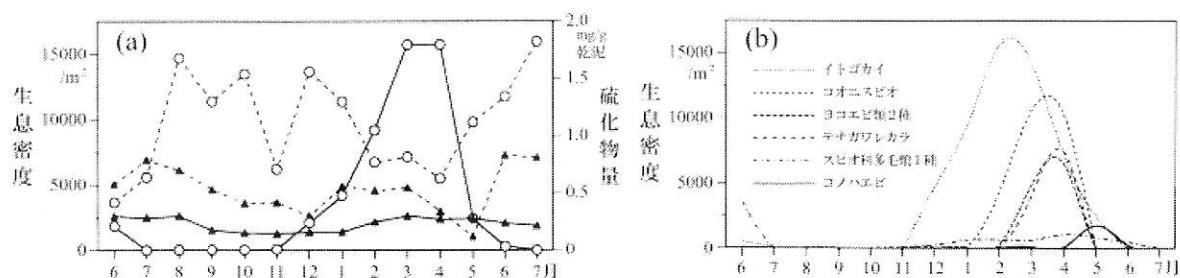


図4.3 五ヶ所湾の養殖場における底生動物と底質の季節変化。上図(a)は魚類養殖場(○)と真珠養殖場(▲)における底生動物の生息密度(実線)と硫化物量(破線)の季節変化、下図(b)は魚類養殖場における底生動物主要種の季節変化。Yokoyama4)を改変

4.3 環境基準を設定する

養殖漁場の環境改善を目的の一つとして、1999年に持続的養殖生産確保法が施行されました。この法律は生産者が自主的に漁場管理を行うことを趣旨にしており、その一環として生産者に「漁場改善計画」の作成を促しています。計画作成の目安となるように、水質の溶存酸素量、底質の硫化物量、底生生物および飼育生物のへい死率を指標として、養殖漁場の改善の目標となる基準(農林水産省告示)と状況が著しく悪化している漁場の基準(水産庁長官通達)が示されています(表4.1)。

この中で水質、底生生物と飼育生物に関する基準は運用上大きな問題はないと思われます。一方、底質の硫化物量に関する環境基準には問題があります。改善目標となる硫化物量の基準は、「酸素消費速度が有機物負荷量の増加とともに上昇する間は、有機物は生物により円滑に分解されており、養殖に伴う有機物負荷は許容される。従って、酸素消費速度の最大値に対応する硫化物量は養殖許容量の指標となる。」という考え方⁵⁾に基づいています。しかし、五ヶ所湾の養殖場調査から酸素消費速度の最大値を求めるることはできず⁶⁾、さらに数値計算モデルにより酸素消費速度の最大値を現場調査から求めることも現実的に困難であることが証明された⁷⁾ため、現在、本基準は使われていません。ただし、数値計算モデルにより基準値を求めることは可能で⁷⁾、この方法は持続的養殖生産確保法の底質基準を運用する上で有効な手段になると考えられます。

表 4.1 持続的養殖生産確保法に基づいて定められた海面養殖漁場(動物)の基準

項目	指標	改善の目標となる基準	著しく悪化している漁場の基準
養殖施設内の水質	溶存酸素量	4.0 ml/L を上回っていること	2.5 ml/L を下回っていること
養殖施設直下の底質	硫化物量	硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費量が最大となるときの硫化物量の値を下回っていること	硫化物量が 2.5 mg/g を上回っていること
底生生物		ゴカイ等の多毛類その他これに類する底生生物が生息していること	半年以上底生生物が生息していないこと
飼育生物(魚類)	疾病による死率	連鎖球菌及び白点虫による年間の累積死亡率が増加傾向ないこと	連鎖球菌又は白点虫による死亡が低水温期(12月～翌3月)でも毎年のように発生していること

4.4 養殖許容量を知る

前述したように、底生動物は環境の変化に鋭敏に反応し、その存在自体が生息場所の環境をよく表します。また、底生動物は残餌や魚糞を餌とすることによりこれらの有機物を分解して浄化に大きな役割を果たす⁸⁾ので、底生動物の生息状況から養殖許容量を知る手がかりが得られます。例えば、熊野灘沿岸の魚類養殖場における底生動物の種組成とそのタイプ分けから漁場環境の現状を健全(底生動物群集に悪影響が見られない)、要注意(底生動物が一部死滅し、種組成が単純化)および危機的(底生動物が全て死滅)の三段階に区分し、さらに、これに、湾口の幅と水深、湾口から養殖場までの距離、養殖場水深から計算される「内湾度指数(ED)」(漁場の水深が浅く湾奥に位置するほど数値が大きくなる)を組み合わせることにより養殖許容量が推定できます^{9,10)}。例えば、図 4.4aにおいて内湾度 6、年生産量 1,400 トンで夏季に無生物となる養殖場において無生物とならないようになるためには、生産量を 600 トンまで削減するか、内湾度 4 の場所まで生簀を移動すればよいことになります。また、生物浄化作用を十分に機能させ、持続的な生産を挙げるには、内湾度 2.5 の場所まで移動すればよいのですが、生産量の削減のみでこのレベルに達するのは難しいことがあります。

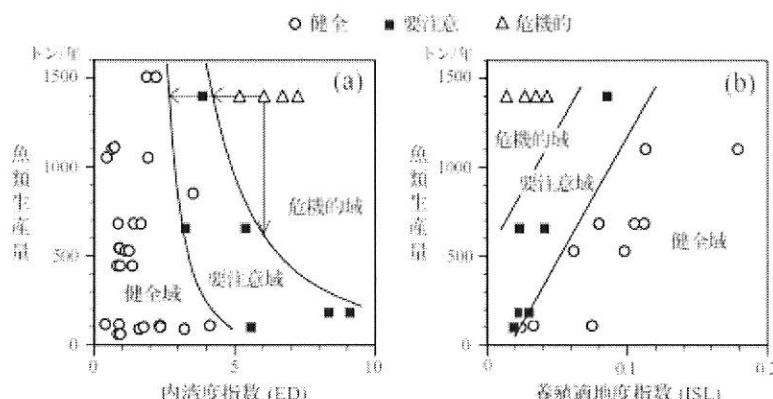


図 4.4 底生動物の群集型に基づく魚類養殖場環境の区分。横軸を左図(a)では内湾度指数、右図(b)では養殖適地度指数とした。横山ら 9,10) および Yokoyama et al. 11)

投入された飼料が残餌や養殖魚の糞となって海底に到達する単位面積あたりの量は「水深×流速」に反比例します。一方、海底での有機物の分解速度は酸素供給量に比例し、酸素供給量は流速に比例する傾向がありますので、「水深×流速」と「流速」を乗じた値「水深×流速²」が環境収容力を示すことになります。筆者らはこれを「養殖適地度指数(ISL)」と名づけ、その有効性を検討するために、五ヶ所湾と尾鷲湾の魚類養殖場で調査を行いました¹¹⁾。この調査では多くの地点でほぼ同時に流速を測定するために石膏球を用いました。石膏球の溶出量は流速にほぼ比例するので、流速計の代用となります。8か所の魚類養殖場の20地点で求めたISLとマクロベントス群集や化学分析項目との関係を検討した結果、(1)EDを用いた場合と同様に、漁場環境は健全、要注意、危機的の3区域に区分されることが(図4.4b)、(2)水質、底質、動物群集諸項目の値は魚類生産量とISLの傾度の中で規則的に変化したことから、ISLが環境収容力を示すより汎用性のある指標となることが示されました。石膏球は安価で簡単に平均流速を推定できるので、生産者が養殖許容量を自ら把握するのに役立つでしょう。

4. 5 残餌を減らす

最近、養魚飼料が高騰している中で、残餌を最小限に止めることは経営にとっても環境にとってもプラスになります。養殖現場において残餌と養殖魚の糞がどの程度生じているかを知ることができれば、給餌量の適正性を評価することができます。筆者らは、安定同位体分析により養殖場の堆積物中に含まれる残餌と魚糞を定量する方法を考案しました¹²⁾。堆積物中の有機物が残餌、養殖魚の糞および自然有機物の混合物であり、これら3者の炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)と窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)が明確に異なれば、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の測定により3者の割合が求まります。実際に、五ヶ所湾のマダイ養殖場における3者の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ、20.2%、9.7%(飼料)、24.3%、6.3%(魚糞)および19.9%、5.5%(養殖場外の堆積物)と互いに大きく異なっていました(図4.5)。飼料・糞間で $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が異なったのは、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の値がともに高い魚粉や生餌の成分が消化吸収されたのに対し、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の低い小麦粉や大豆油粕など陸上植物の成分が消化されず糞中に排出されたためと考えられます。養殖場とその周辺部における大多数の堆積物の値は図4.5において3者の値を頂点とする三角形の内部に位置したので、簡単な算術式(図4.5の説明文参照)により漁場堆積物の中で占める残餌と糞の割合が求まりました。その結果、養殖場内では堆積物中有機物に占める残餌の割合が平均29%、糞が平均12%であり、残餌の割合が高いことが分かりました。

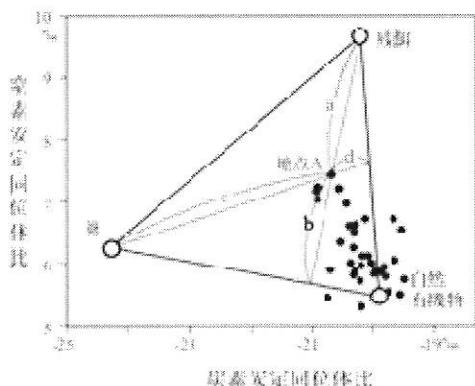


図4.5 堆魚糞の割合の計算方法。積物に含まれる残餌と五ヶ所湾魚類養殖場に投入された飼料(残餌)、養殖マダイの糞、自然有機物(対照地点の堆積物中有機物)と養殖場内外41地点の堆積物中有機物(●)の炭素・窒素安定同位体比を示す。例えば、地点Aの堆積物中有機物に残餌が占める割合は $100\{b/(a+b)\}\%$ 、糞が占める割合は $100\{d/(c+d)\}\%$ となる。Yokoyama et al. 12) を改変

これより過剰給餌の恐れがあると判断し、この養殖場内の1つの生簀で通常の給餌量で他方の生簀では給餌量を約2割削減して、生産者に当歳マダイを9ヶ月間飼育してもらい、その間の成長、死亡率や環境に及ぼす影響を比較しました¹³⁾。その結果、給餌量削減生簀下の堆積物中に含まれる残餌量が通常給餌生簀より少なくなった(図4.6a)ことに加え、通常の生簀と餌を減らした生簀の間でマダイの成長に差はなく(図4.6b)、給餌量削減生簀での死亡数は通常給餌生簀の44%と半減した(図4.6c)ことがわかりました。これらの結果は、給餌量の削減が環境負荷の低減だけでなく、飼料コストの節約や死亡率の低下にも寄与したこと示しています。

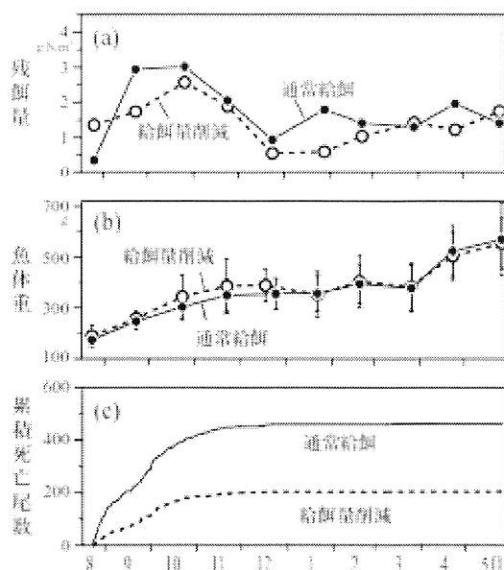


図4.6 通常給餌生簀と給餌量削減生簀における生簀下堆積物中の残餌量(a)、マダイの体重(b)および累積死亡尾数(c)¹³⁾

4. 6 養殖廃物を回収する

魚類養殖では生簀に投じられた飼料の中に含まれる窒素の60%以上が魚の尿などとなって環境中に拡散します¹¹⁾。このような溶存無機態の窒素は植物プランクトンの増殖を促し、時には赤潮となって養殖場に被害をもたらします(図4.1)。そこで、筆者たちは養殖由来窒素を回収する方法を緑藻のミナミアオサを使って検討しました¹⁴⁾。アオサを丸く切り抜いて、魚類養殖場内と対照地点で2週間培養したところ、養殖場のアオサの窒素安定同位体比と窒素量は対照地点より値が高くなり、日間生長率(SGR)は、養殖場では16~21%、対照地点では0~16%で、生長はいずれの月においても養殖場のアオサが勝りました。このことは、養殖場のアオサは養殖魚から排泄された窒素を吸収・同化して、高成長がもたらされたことを示しています。1日あたりアオサ1g(乾重)が固定する窒素量は4~14mgとなり、対照地点を4~11mg上回りました(図4.7)。ミナミアオサの生長率は今までに複合養殖が試みられたどの海藻より高く、しかも水温の高い夏によく生長するので、魚類養殖場由来窒素のバイオフィルタとして有望です。

一方、養殖により排出された粒状有機物は底生動物の食物源となっていることが示唆されています。ナマコ類のようなデトリタス食者を複合養殖種として配置することにより養

殖廃物を有価の水産物として回収することができれば、環境へのインパクトの低減と同時に養殖経営の改善に寄与できるでしょう。

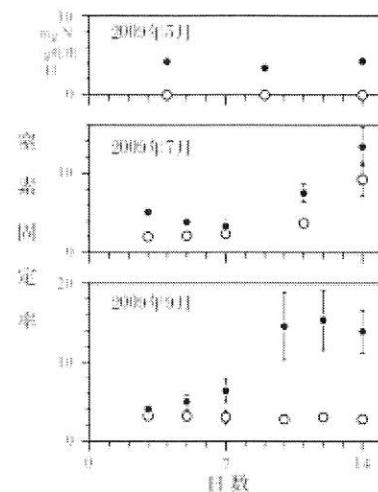


図 4.7 五ヶ所湾の魚類養殖場(●)と対照地点(○)における
ミナミアオサの窒素固定率 14)

4. 7 今後の課題

魚類養殖業は残餌や養魚の糞尿の処理を自然の浄化力に頼って成り立っています。これら養殖廃物の負荷量がこの能力を上回ると、自家汚染により持続的に養殖を営むことが難しくなります。したがって、持続的養殖には、まず漁場の環境評価を行い、環境基準を超えているようであれば、養殖許容量の範囲内に養殖量をとどめる、残餌をできる限り出さないように給餌量や給餌方法を適正化する、養殖より排出された栄養塩類や有機物をとりあげる、といった試みが必要です。これらの試みを進めるには環境項目の測定、内湾のポテンシャルの把握による養殖許容量と適正給餌量の推定、給餌量の日々の記録と養魚の定期的な計量など、多様なデータを集積、解析する必要があり、そのための体制作りが今後の課題です。

畜産家に家畜屎尿の処理義務があるように、養殖漁家には養殖廃物が環境に及ぼす影響を最小限に止める責務があります。魚を早く太らせようとするあまり残餌が多量にでてしまい「ハイグロース」型より、飼料効率を重視して収益を高め環境を守る「ハイリターン＆エコ」型の飼育方法を採用することが持続的養殖に結びつくと思います。これを達成するには、「自分たちの漁場は自分たちで守り、人々に安全・安心な食料を提供する」という生産者の気概と、これをサポートする体制が必要です。

4. 8 質疑

日野－全国的に見るとこういう取り組み、研究が生産者側が環境負荷を意識しながら生産に取り組むといったことがやられているのでしょうか。また、現実にはどういうところで見られるでしょうか。

横山－研究者サイドと養殖場の経営者サイドが密接に関与しているところは、養殖業者の

意識が非常に高いです。場合によっては養殖業者自らが研究を行っています。実際に複合養殖をやっているところとして熊本県八代があります。ここではコンブなどの海藻とアワビを組み合わせた試みを行っています。

勝井－養殖では給餌の結果を見て漁師の方々は実際に実行しているのでしょうか。

横山－餌の給餌量についてのデータがないとどんどん餌をあげて、とにかく速く太らせたいというのが養殖業者の思いです。隣の生け簀を見て魚が太っていると、お構いなく餌を与えるというのが自分たちの気性だと言っていました。私たちのデータを示すことによって、この養殖場では少なくとも2割の餌代を減らすことができました。

日野－そういった勉強会などは漁師の間では行われているのですか。

横山－漁協に行って勉強会を開きます。ショッちゅうデータを持って漁協の指導部の方々に説明をします。もっと大規模に実験出来ないかということで、魚種や場所によっても多くのデータを集めたいと思っています。

石川－今日の話題はマダイ養殖の事例で、方向としては本来はいろいろな予測に行くべきだと思います。その方向性は他の研究者には波及しているのでしょうか。

横山－養殖環境に取り組んでやろうということではあまり研究者はいません。増養殖研究所の中だけだと思います。

児玉－中央水研でも少しやっています。

石川－系の中に入れたものを系の中で取り上げたりして消滅させればいいのです。このようなことの基本が水産業の人達にはないように思います。今まで取り上げる目的（魚、漁獲量）に対しての評価ばかりでした。

日野－横山さんの研究がすごいのは、安定同位体を用いて研究を行い、ダイレクトに魚が出した糞尿だということが分かることです。

石川－時間概念というか、生態系機能の中に同位体という時間のズレやタイムラグの話を持ち込んだということですね。

中村（義）－成長量、事業効率といった言葉が出ましたが、成長魚となり大きくなったり、死亡することで減ったりします。バイオマスで表せばどのくらい餌量で飼えば一番いいか、経済効果も表せます。そうすると腹八分目くらいが一番適正であるというのがもっと明確に表すことができるのではないかと思います。

横山－養殖の技術は一つの形態だけでなくいくつもあります。例えば一つの漁港で全て成長と投餌のデータを取り、あるいは三重県の養殖業者から取ることを行いました。それを組織的にまとめれば、それぞれの魚種によってもかなりのところまでデータが集まると思います。そういうところまでは非やってほしいと思います。

中村（義）－採算は餌の供給だけでなく、薬の供給、生産者への販売等も係っているので、養殖業もものすごく複雑化した流通過程にあって、自然現象のメカニズムの把握だけでは産業としては非常に厳しいです。生産方法を考える上ではもう少し現実的な対応も同時に並行してやらなければいけないです。

日野－弱小漁協をたくさん作るのではなく、県に一つの窓口とするようなことを水産庁はコメントしています。

横山－それでも経営体はそれぞれ家族単位のところが多く、漁業が大きくなつたとしても形態はそのままで変わらないのです。漁家がどんどん高齢化しても子供に継がせないで、60、70歳になると漁業を辞めてしまうのです。経営的観点ではどれだけ餌をやって、どれだけ儲かるかの話しなので、企業としてはコスト計算が入ってきますが、今だに日本の養殖業は家族単位なのでそれができないのです。

中村（義）－横山さんの研究は、もう少し餌の量を減らすだけで魚の体調も良くなるし、収益性も良くなり、品質管理でも改善されます。どの程度改善すれば経営的に今よりもうまくやっていけるのかを研究対象にすべきだと思います。

石川－次の新しい研究テーマとして、水産を絡めて長期的な漁業のための手法開発といつたことで行ってはどうでしょうか。餌の問題や地球環境も絡んできます。工学でもあり経済でもあり技術でもあり、考えることがたくさんあります。

日野－研究者が組織的に本来やらなければならない、ものすごく大きなテーマです。

中村（充）－今までより餌を減らした方が魚の肉質がいいといったことがあればいいですね。

横山－食味試験や肉の科学的な試験を行います。食べ過ぎはストレスになるのです。食べ過ぎがどういうふうに死亡率に影響するかの調査がされています。

中村（義）－もっと大事なのは養殖密度の問題があります。一つの生け簀の中の魚の量を減らすとともに健全で、もっとコストダウン出来ます。和歌山県で養殖日誌をちゃんとつけている例でいうと、生残率はいいし、十分な成長があり、バイオマスもよく、コスト面でも品質面でもいいと言われています。

【参考文献】

- 1) Yokoyama H. (2010) Monitoring, assessment and management of fish farm environments in Japan. *Reviews in Aquaculture*, **2**: 154-165.
- 2) 宮地伝三郎, 増井哲夫 (1942) 的矢湾及び五ヶ所湾の底棲群聚の比較研究. 日本水産学会誌, **11**: 111-127.
- 3) 横山 寿, 杜多 哲, 阿保勝之, 山本茂也 (1996) 五ヶ所湾のマクロベントス相: 1993年と1941年の比較. 養殖研究所研究報告, **25**: 23-42.
- 4) Yokoyama H. (2002) Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. *Fisheries Science*, **68**: 258-268.
- 5) Omori K., Hirano T., Takeoka H. (1994) The limitations to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem, *Marine Pollution Bulletin*, **28**: 73-80.
- 6) 横山 寿, 坂見知子 (2002) 五ヶ所湾魚類養殖場における環境基準としての酸素消費速度の検討. 日本水産学会誌, **68**: 11-19.
- 7) 阿保勝之, 横山 寿 (2003) 三次元モデルによる「堆積物の酸素消費速度に基づく養殖環境基準」の検証と養殖許容量推定の試み. *水産海洋研究*, **67**: 99-110.
- 8) Yokoyama, H., Ishihi, Y. (2007) Variation in food sources of the macrobenthos along a land-sea transect : a stable isotope study. *Marine Ecology Progress Series*, **346**: 127-141.
- 9) 横山 寿, 西村昭史, 井上美佐 (2002a) 熊野灘沿岸の魚類養殖場におけるマクロベントス群集と堆積物に及ぼす養殖活動と地形の影響. *水産海洋研究*, **66**: 133-141.
- 10) 横山 寿, 西村昭史, 井上美佐 (2002b) マクロベントスの群集型を用いた魚類養殖場環境の評価, *水産海洋研究*, **66**: 142-147.
- 11) Yokoyama H., Inoue M., Abo K. (2004) Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls, *Aquaculture*, **240**: 233-247.
- 12) Yokoyama H., Abo K., Ishihi Y. (2006) Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture*, **254**: 411-425.
- 13) Yokoyama H., Takashi T., Ishihi Y., Abo K. (2009) Effects of restricted feeding on growth of red sea bream and sedimentation of aquaculture wastes. *Aquaculture*, **286**: 80-88.
- 14) Yokoyama H., Ishihi Y. (2010) Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, **310**: 74-83.

5. 英虞湾の干潟再生へ向けた取り組み

5. 1 はじめに

志摩市は古くから「御食つ国」と呼ばれ、水産業を中心に栄えてきました。また市の中心に位置する英虞湾は 1907 年に御木本幸吉らにより真珠養殖技術が確立されて以降、地域の経済を支える基幹産業となり、ピーク時には年間 160 億円の生産金額がありました。しかし 1960 年代以降、貧酸素水塊や赤潮の発生等により徐々に生産性が低下し、経営存続が困難な状況となっています。海域の生産性低下の原因は、過密な真珠養殖による海底への負荷の増加や、生活排水の増加の他、干潟・藻場の減少があげられます¹⁾。特に沿岸域では、江戸時代後期から戦前にかけて食糧増産を背景に干拓が行われ、70%以上もの干潟や藻場が消失しました（図 3.2.1）。しかし社会情勢の変化とともに、今はその 90%以上が休耕地と化しています。このような沿岸遊休地の問題は英虞湾だけではありません。明治以降、干潟を含む浅場は全国で次々と姿を消しています。干潟は戦後だけでもその約 4 割が消失したといわれています。特に高度経済成長期以降、沿岸域の大規模な埋め立て、食料増産のための干拓により大小多数の干潟が消失しました²⁾。しかし近年、東京湾や伊勢湾などの都市域の沿岸部には利用率の低い埋め立て地や干拓地が多く残されています。このような利用率の低いエリアの面積は無視できない規模であり、全国で約 60000ha³⁾ 東京湾では沿岸域一帯に約 2149ha³⁾、英虞湾では現存する干潟の約 2 倍（185ha）の休耕田が存在する⁴⁾といわれています。

こうした実情を背景に、志摩市では、英虞湾を生物生産性豊かな「里海」として再生するため、沿岸の利用率の低いエリアを干潟に再生する取り組みが実施されています。本報告ではその取り組みについて紹介します。

5. 2 英虞湾の干潟の現状

a) 英虞湾沿岸域の干拓の歴史

英虞湾の干拓の歴史は江戸時代後期までさかのぼります。かつてリアス式海岸の入り組んだ湾奥部に無数に存在した干潟は、江戸時代から昭和初期にかけて食糧増産を背景に新田開発という形で地元住民の手によって干拓されました。しかし 1960 年代の伊勢湾台風とチリ津波の来襲により、大規模な塩害が発生し、塩害から沿岸域の水田を守るために、コンクリート製の潮受け堤防が建設され、陸域

表 5.1 英虞湾内の干潟面積

海域面積 面積(ha)	現存干潟		消失干潟(堤防後背地)	
	河口干潟	前浜干潟	耕作地	未利用地
2710	3	81	31	154

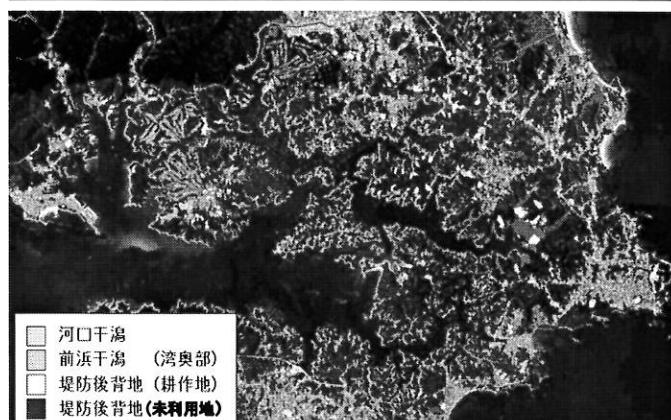


図 5.1 英虞湾内の形態別干潟の分布

表 5.2 干拓地の利用状況と潮受け堤防の特徴

調査年	数 (箇所)		面積(ha)
	河口干潟	前浜干潟	
自然干潟	2005年	-	3.0
		81.0	
	2005年	未耕作地	463
		耕作地	41
耕作状況	2010年	未耕作地	485
		耕作地	19
	2005年	湿地・荒地	108.9
		整地・その他	36.4
未耕作地の使用状況	2010年	湿地・荒地	378
		整地・その他	107
	2005年	コンクリート	210
		石積み	294
堤防の形状	2010年	崩壊	10
		海水の流入(有)	117
		海水の流入(無)	387
水門の状況	2010年	1ha以上	33
		1ha以下	471
干拓地の規模	2010年	-	-
		-	-

と海域の分断が進みました。しかし近年、社会情勢の変化により、休耕地化が進行しています。表5.2に示す干拓地の利用状況から、現在も休耕地化が進行していることが分かります。

b) 干拓による生態系と物質循環系の分断

図5.1に示した形態別に分類した干潟について代表的な場所を選定し、季節ごとの底質と底生生物の変化を整理しました。生息する底生生物を食性別に分けたものを図5.2に、各干潟の底質の特徴を表5.2に示しました。陸域から連続している河口干潟は砂泥質で有機物含有量が適度であり、河川からの栄養流入も豊富にあることから、懸濁物食性から肉食性までの豊富な生物相が定着し、個体数も最も多いことが分かりました。一方、英虞湾内に最も多く存在する湾奥部の潮受け堤防前面の前浜干潟では、陸域からの流入物質が潮受け堤防内にとどまるため、底質は砂礫質で有機物含有量(COD)は最も低く、AVS(酸揮発性硫化物)も低レベルで相対的に貧栄養のために、底生生物は海水から栄養を得る懸濁物食者が主体であり、生物個体数は河口干潟に比べて明らかに少ない状態でした。また、潮受け堤防の後背地は、水の交換も悪く底質の有機物含有量(COD)とAVSが非常に高い、過栄養で還元的な底質環境となっているため、生物相は他の干潟と比較し、著しく貧弱でした。つまり、潮受け堤防建設により、堤防の内側(陸域)と外側(海域)の関連が断たれて、双方ともに生物相が貧弱になるという「潮受け堤防による生態系と物質循環系の分断」が起きていることが推測されました。(図5.3)。

以上より、今後英虞湾の環境再生には、低下した潮受け堤防前後の浅場の生物生産性を向上させ、円滑な物質循環を促進することが必要不可欠です。そこで過去の干潟の干拓により阻害されている海水流動を回復する小規模干潟再生実証実験を2006年から実施しました⁵⁾。この取り組みは、沿岸休耕地の干潟再生事業へ向けた、再生効果実証実験として位置づけています。このような取り組みは、もともと干潟のない場

表5.3 形態別干潟における底質環境の特

	現存干潟		消失干潟
	前浜干潟	河口干潟	堤防後背地
外観性状	砂礫質	砂泥質	泥質
含泥率(%)	10.4	24.5	78.6
COD(mg/g)	1.39	14.3	86.1
AVS(mg/g)	N.D.	0.15	2.7

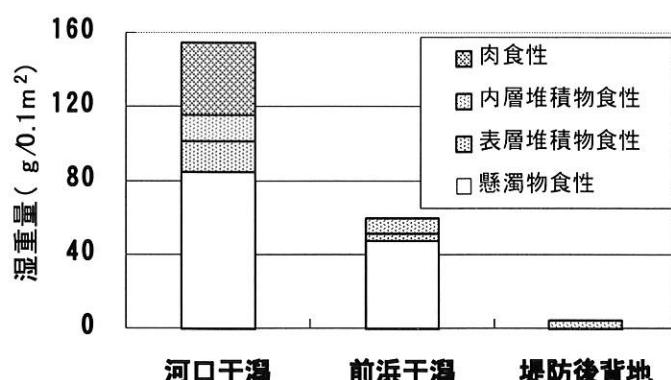


図5.2 形態別干潟に生息する底生生物の特徴

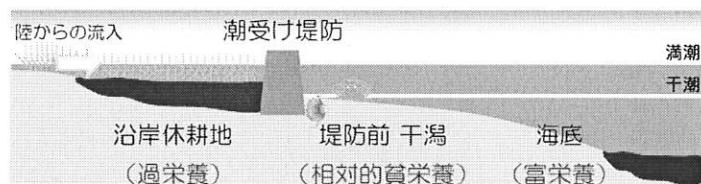


図5.3 湾奥部の浅場の現状(概念図)

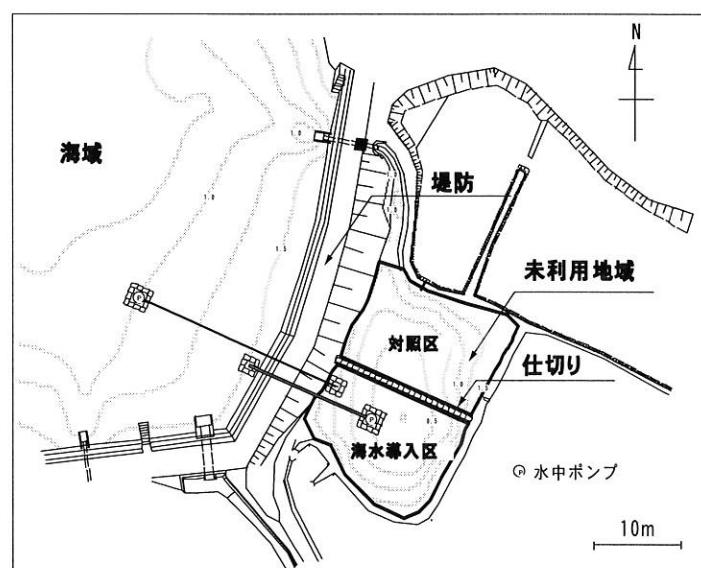


図5.4 小規模干潟再生実験区の概要

所に新たに造成することではなく、適切に人の手を加えることで干潟生物の生産性と多様性の両方を高め、「豊かな里海」を取り戻す重要な手法であるといえます。

5.3 沿岸休耕地の小規模干潟再生実証実験

a) 干潟再生実験の概要

2006年5月より英虞湾杓浦において沿岸休耕地の小規模干潟再生実験を開始しました。現地実験場所を図5.4に示します。本実験は、沿岸休耕地の再生技術開発の第一歩として位置付け、堤防により阻害されている海水流動をポンプにより回復させる干潟再生実験を実施しました。実験地は湾奥部に位置し、海域側は堤防により締切られ、陸側は山々に連続したヨシ原と隣接し、水田として整備された名残から実験地の周囲はあぜ道で囲まれています。本実験では、対象水域を中心で2区画に仕切り、1区画はポンプによる海水導入を実施する干潟再生区、もう1区画は対照区として現状が維持される条件としました。海水導入区の水位は、海域側の潮位に追随して変化するようポンプ流量を設定した。干潟再生前後の水質、底質、底生生物及び周辺海域への影響を検討しました。

b) 干潟再生後の生物生息環境の変化

干潟再生区、対照区および堤防前面の海域の地盤高DL+0.5mの測点で出現した底生生物と表層の底質について、事前調査より造成後3年間の変化を図5.5、5.6に示しました。事前調査では、底質の有機物含有量は高く、嫌気状態でした。底生生物は、塩分も低いことから、イトゴカイやユシリカのような小型かつ汽水域で生息する生物が優占していました。また湿重量は極端に小さく、多様性の低い生物相でした。海水導入開始後、干潟再生区では底生生物は、汽水性のものから、海水性に変化し、ミズヒキゴカイやホトトギスガイのような海水性かつ富栄養化した場所に生息する生物相に変化しました。さらに2年後では、種類数も29種類まで増加し、ソトオリガイやアサリ、マメコブシガニのような二枚貝類や甲殻類も出現した。また湿重量については堤防前面海域の潮間帯と比較するとまだ少ないが、徐々に増加しました。底質についても、干潟再生区でCOD、AVSともに減少がみられました。これは海水導入を行うことにより、堤内との海水交換が促進され、徐々に底質が好気的に変化していることを示します。それにより、堤内に堆積している高濃度の有機物の分解が進行し、底生生物の生息に適した底質環境へ変化することが推測されました。一方、堤防前面干潟海域についても、徐々に湿重量が増加傾向にありました。これは海水導入により、堤防後背地の有機物等を多く含む栄養分が流入したことが原因として考えられます。以上より、海水導入により過栄養化した潮受け堤防後背地だけでなく、堤防前の干潟を含めた生物生産性を向上できる

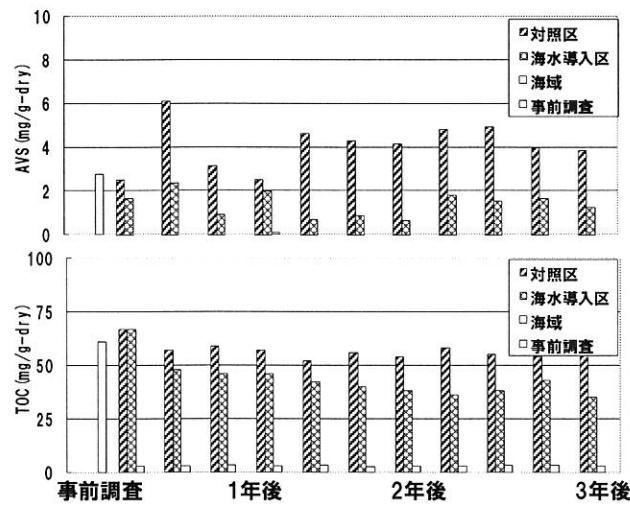


図 5.5 海水導入実験後の底質
(上段：AVS、下段：TOC) の変化

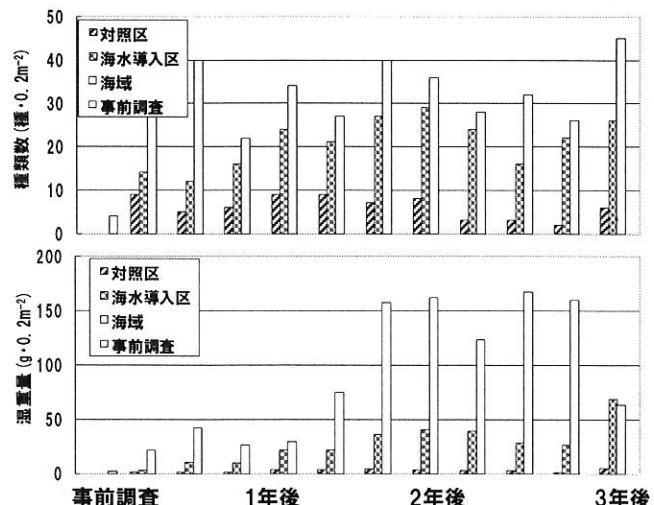


図 5.6 海水導入実験後のマクロベントス
(上段：種類数、下段：湿重量) の変化

可能性が実証されました。

5.4 大規模干潟再生事業への拡大

a) 沿岸休耕地再生の課題

前述した小規模干潟再生実験の結果により、沿岸休耕地に海水を導入することで生物の豊かな干潟へと再生できることが実証されました。しかし、実際に沿岸休耕地を干潟に再生するためには、防災面や沿岸管理者、土地所有者などの多くの課題があります。第一は複雑多岐にわたる沿岸域の管理の現状です。英虞湾の沿岸域は、環境省、三重県（農業部局、水産部局、建設部局）、志摩市（農業部局、水産部局、建設部局）、自治会、漁協等により管理されており、干潟再生を実施するためには管轄する行政部局との連携が不可欠です。また堤防を開放した際には海水が後背地に浸入しやすくなるため、災害に対する対策も必要です。さらに干拓された農地には休耕地であっても所有者が存在し、干潟に戻していくためには所有者の理解も必要です。以上のような課題を解決していくためには、研究所もしくは水産分野だけでは限界があります。今後干潟再生を実現に向けて、沿岸域を管轄する行政部局や地元住民の協力と理解が求められます。

b) 干潟再生海域の概要

前述した小規模干潟再生実験の成果を元に、実海域での干潟再生事業を2010年4月より開始しました。干潟再生を実施している海域は、英虞湾湾奥部に位置する石淵池という、かつて干潟であった場所です。干潟再生海域の概要を図5.7に示します。この海域は、昭和35年に干拓地を塩害等から守るために建設された潮受け堤防と干拓地の間にある約2haの未利用の調整池です。現在は陸域からの有機物が大量に堆積して富栄養化し、生物はユシリカや小型のゴカイのみであり、ほとんど生息していません。そこで海域と干拓地を分断している潮受け堤防の水門を開放し、海水導入を行うことにより、干潟再生を実施した。干潟再生海域は、その半分を地域住民の方々と連携したアサリ放流や海草場再生等のイベントに使用するために使用し、残りの半分を再生効果を評価するための調査地とした。調査地において定期的に底質や底生生物の変化を調査しました。

c) 地域住民と連携した干潟再生活動の概要

地域住民の方々に再生効果を実感してもらうために、生物観察会や生物調査、アサリの放流、コアマモの移植、アオノリの養殖等の再生活動を協力して実施しました。再生活動の連携体制を図5.8に示します。現在英虞湾全域を包括する志摩市では、漁業者や自治会、NPOや教育機関など約40の多様な主体から構成される「英虞湾自然再生協議会」が組織され、志摩市を中心に里海英虞湾の再生に向けて活動を開始しています。また、志摩市では、平成



図5.7 大規模干潟再生海域の概要

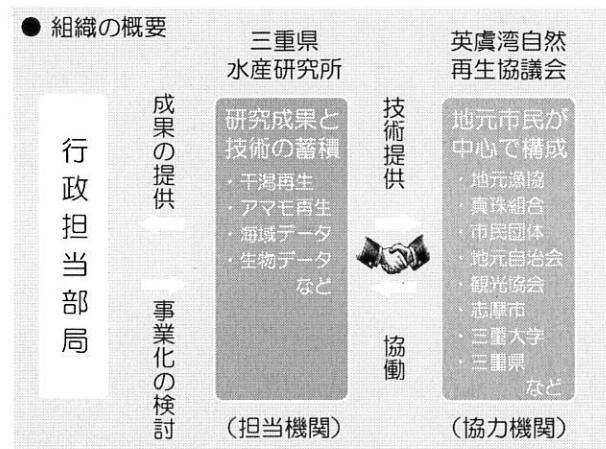


図5.8 干潟再生活動の連携体制

23年度から始まる第1次志摩市総合計画の後期計画において「新しい里海創生によるまちづくり」に重点的に取り組むとしており、関係組織の調整機能を持った「里海推進室」が組織され、統合的沿岸域管理に向けて先進的に活動しています。その協議会や志摩市と協力して干潟再生活動を実施しています。さらには事業担当行政部局である三重県の農業基盤室や環境省とも定期的に情報交換を行い、将来の事業化へ向けた検討も実施しています。

d) 干潟再生効果

海水導入実験区および堤防前面の自然干潟の地盤高DL+0.5mの測点における底質のAVSとCOD、マクロベントスの種類数および湿重量について、事前調査より海水導入開始後1年の変化を図5.9、5.10に示しました。事前調査では底質のAVS、COD共に高く、泥質で嫌気的な状態でした。しかし、海水導入直後より海水導入区でAVSが減少し、3ヶ月後以降CODについても徐々に減少しました。一方、堤防前面の干潟底質については、特に大きな変化は見られなかった。これは、海水導入を行うことにより、堤内外との海水交換が促進され、徐々に底質表層の有機物量が減少し、海水導入区が好気的状態に変化していることを示します。そのためAVSで示される還元物質の量が減少し、底質中の有機物が分解されていることが考えられました。

出現したマクロベントスについては、実験開始直後に、海水導入区では塩分が29から32に上昇しました。その結果、海水導入前では、イトゴカイやユスリカなどの汽水性で富栄養化した場所に生育する生物が6種類しか生育していなかったのに対し、海水導入後、再生干潟は汽水性から海水性の生物に変化し、海水導入3ヶ月後には、昆虫類はみられなくなり、それに変わって、カワゴカイ等の多毛類が増加しました。また、6ヶ月後にはホソウミニナやヘナタリ、ケフサイソガニのような移動性の生物を中心に20種類再生干潟に見られるようになった。さらに18ヶ月後には、ホトトギスガイやアサリ等の定着性の二枚貝も増加し、約30種確認できた。また湿重量は徐々に増加していることが確認できた。ここでは示していないが、目視調査においても、ボラやハゼやスズキの稚魚等の小型の魚類も再生干潟で多数確認できた。堤防前面の同水深の海域と比較するとまだ少ないが、徐々に生物が増加していることが確認できました。しかし生物の再生効果を評価するに

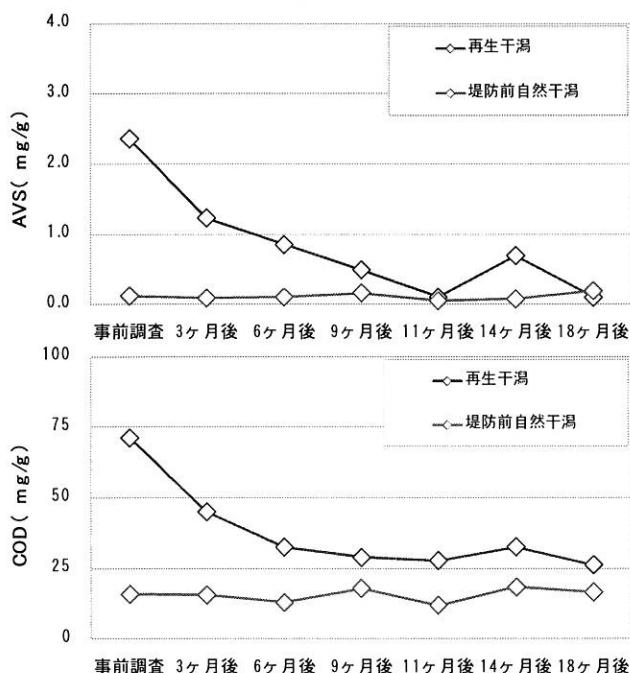


図 5.9 干潟再生後の底質の変化
(上段：種類数、下段：湿重量)

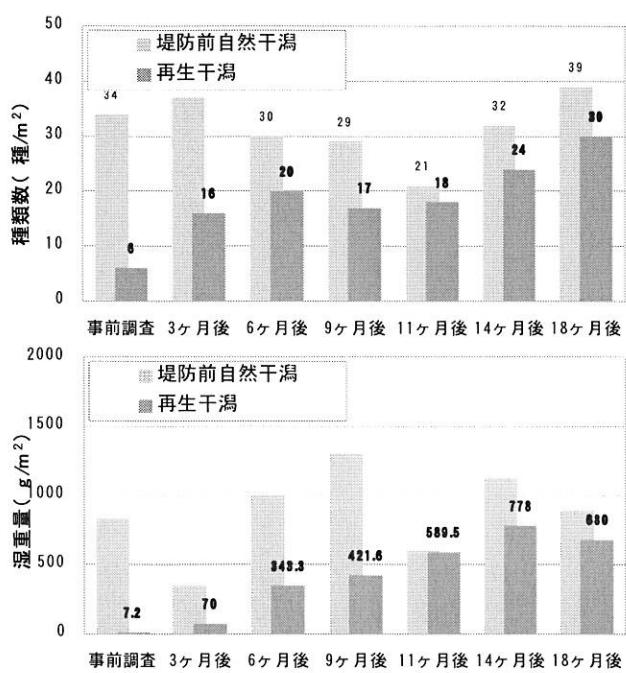


図 5.10 干潟再生後の底生生物の変化
(上段：種類数、下段：湿重量)

は少なくとも 3 年以上は必要であり、今後継続して調査を実施する必要がある。底質についても、前述のとおり、徐々に好気的に変化していることから、堤内に堆積している高濃度の有機物の分解が徐々に進行し、ベントスの生息に適した底質環境へ変化していることが推測されました。この結果は、前述した海水流動をポンプによる小規模な海水導入実験の結果とも同様の傾向を示しました。

5. 5 まとめと今後の展望

本報告では英虞湾において、食糧増産を背景とした湾奥部の干拓による干潟の消失と、潮受け堤防建設による物質循環系の分断が、堤防前後の生物生産性を著しく低下させていることを明らかにしました。さらに、実海域レベルで沿岸休耕地を再び干潟に戻す事業を実施し、生物豊かな干潟が再生できる可能性を示しました。本研究は決して過去の干拓を否定するものではありません。ただし現在はその当時からは社会情勢も大きく変化しているため、その時代に合った手法を順応的に選択する勇気が必要です。その一つの選択肢として干潟再生があります。今後はこの干潟再生を湾内 500 力所以上存在する同様の沿岸休耕地に展開していく活動を実施していく予定です。そのためには前述した、沿岸休耕地再生に関する課題について、地元住民と行政が一体となって本気で取り組む必要があります。これらの問題をクリアできなければ、真の里海「英虞湾」の再生にはつながりません。地道な活動ではあるが、できるところから取り組んでいく必要があります。

幸い、現在の英虞湾では、志摩市が中心となり、地元市民や漁業者、NPO、行政関係者、教育関係者、観光関係者、研究者など多様な主体が参画して、英虞湾環境の今後の方向性を考えていく、「英虞湾自然再生協議会」が 2008 年 3 月より発足されました。その中では、本研究成果を含めた英虞湾の環境について共通認識を確立しつつあり、今後の統合的な海域管理への進展が期待されます。本研究の本来の最終目標である、海域における円滑な物質循環に基づいた、干潟再生の実現へ向けて、地域住民との共同作業を通じて、海域環境の共通認識と環境再生に対する合意形成を図り、その時代、その地域にあった手法を検討し、順応的に沿岸環境を管理していくことが重要です。

5. 6 質疑

石川－堤防のフラップを上げた場所の土地所有者の利用承諾を得るのは、どういう段取りを取ったのでしょうか。

国分－この場所は幸いにも個人の持ち物ではなく、漁協などに話をしただけで利用することが出来ました。そのためモデル海域として使用出来ています。これをモデル海域として次に繋げたいのですが、次からはいろいろな問題が上がってくると思います。

全部の堤防に 1 個は水門がついています。堤防でシャットアウトしても、中の水が増えたときに抜く穴がついています。今はカキが着いていたり、多少海水が入っていたりしています。農地も幾つかタイプがあり、一度客土し、本当の干潟のレベルから上がっているところもあれば、そのまま水門を開けると水が入っていく昔のレベルのものもあり、様々です。客土したところは干潟化をやろうとすると地盤高調整が必要だと思います。514 力所あるので出来るところからちょっとずつやっていくことだと思います。

中村（義）－1965 年頃が真珠養殖のピークで、その後は生産量が減っています。その前には水産物の漁獲量が減っています。それは貧酸素化等の水質の問題ですか。

国分－それだけではないと思います。1960 年代初期に漁業をやめたのは真珠養殖に漁業がシフト

して、漁民が真珠養殖に移ったことが原因と思われます。また、貧酸素と真珠不況で環境が悪くなりみんなやめていったことがあります。ヘテロカプサの赤潮が出たり、赤変病という感染症で貝が死んだりといったことが原因です。

中村（義）－海水交換を人為的にポンプで行ったと言われましたが、その問題と絡んで諫早湾では干拓の仕分け堤防を開門することに決定し、すごく問題になっています。当面は中に溜まっている淡水化したものを出すので、海域に対する悪い影響を定期的に影響評価します。ちょっと長い目で見ると、海域側の生産力や生物の多様性が増えていくような印象もあります。両方のバックグラウンドが違うので何ともいえませんが、必ずしもマイナス要因ばかりではないと考えてもいいのでしょうか。

国分－私も初めはこういう状態だと思い、昭和35年頃から考えると50～60年有機物が溜まっていると考えられます。その時に一気に堤防を開くと、おそらくここに溜まっている泥がどっと流れでマイナスになる可能性がありますが、今回はポンプで水交換を行ったので、言い換えれば絞ってちょろちょろ出しているというイメージです。

石川－関の開閉について私は北上川での事例を持っていますが、そこも放流の時に下から開けると漁師は問題を言います。全部調べましたが、100mメッシュをとってもあまり影響はありませんでした。

中村（義）－アコヤガイのモデルはどこでやっているのですか。

国分－実測は水産研究所で行い、生態系モデルは四日市大学の千葉先生の研究室で作っています。

中村（義）－個体群動態として成長、呼吸、糞の量は計測していますか。ホタテ貝はプランクトンを食べて糞を出します。そういう意味では浄化の役にも立つし、糞を落とすので海底を汚染する側にもなります。密殖状態や湾の状態によりどちらに効くのかという話になってくると思います。

国分－今それもやっており、アコヤガイの量は密殖すると直下がすごく汚れて、それがどのくらい広がっていくかにより、どのくらいに配置すればいいかの適正養殖量をモデルでやろうとしています。実際にアコヤガイは浄化にも働いていて、直下は汚しますがトータル的にはそれほど負荷にはなっていません。何が効いているかというと、メカニズム的には直下に落としてその環境が悪くなり、その生き物が住めなくなり、それが広がっていくということではないかと考えられています。

ここまで干潟の話をしましたが、海の中で何が原因かというと養殖と保全が大事だとされています。養殖業者は自分たちの海なので、どうやって汚れを減らしていくかを取り組んでいく話もしています。

石川－英虞湾の窒素、リンや全体のバランスにプラス面とマイナス面がありますが、生活排水から入ってくる窒素、リンは元々はどのくらいの比率になっているのでしょうか。

国分－生活排水でいうと窒素で190トン位が陸域から湾全体に入っています。50年くらい前

から比べるとおよそ倍に増えています。

中村（義）－プランクトンフィーダーは汚染すると問題となるので、バイオキャパシティーを湾ごとに設定してやれば、経営していく上のキャパシティになると思います。そうすると環境に対するマイナスの影響があり、ひいては生産力にも影響が出るという説明に使えると思います。これは湾の形状や負荷の状況によりそれぞれ変わってくるので、そういう意味ではモデリングして早めに三重県の養殖業者を巻き込んでいくことが大事だと思います。

国分－「英虞湾・新しい里うみへ」には真珠養殖は海をきれいにする良い部分と糞を落とす悪い部分があると書いています。貝掃除のゴミや糞を捨てているのは悪いこととしていますが、これを取り上げて海を汚さない努力を続けることで、英虞湾の海の環境に繋がるということを漁協で話したいと思います。

勝井－食料増産のための農水系の潮受け堤防ということですが、チリ地震のような津波防波堤、堤防という考えはいつから出たのでしょうか。

国分－今の堤防ができるまでは石積み堤防でした。チリ地震津波や防災では災害から何を守るかということで、農地を守るためということでした。後ろに何があるか、名目で管轄も変わってきます。東南海地震がすぐにあるという話をされ、それに対して絶対に大丈夫かと言われると、私たちもそれに対する反論はできないのです。どうすれば両方がうまくいく道を見つけられるか探していくこうとしないと進みません。

石川－昔のように米を作らないのであれば、元に戻せばどうなるかという別のベクトルの評価が出てくるということや、ランドスケープ・景観の話ではないが、国立公園の美的な話であれば、このような価値があるといった事がすぐでなくとも壊れた段階で元に戻っていく可能性もあります。全部が税金ができるというわけには行きません。四角四面の考え方には柔軟に変えないといけません。その時に志摩市等がそういうことを含め、基本計画の中に座標軸を入れておいてもらうといいのです。維持管理は必ずいるし構造物は必ず潰れるので、その時の維持管理費をエンドレスで賄っていくのか、英虞湾が全体の中でどのくらいプライオリティが高いのか、優先順位もあります。その中でリスクをどう考えるかということと、沿岸の修復が将来環境にどのように反映されるかということなどが総合管理になると思います。

国分－その時に干潟や藻場という話に、私たちは水産基盤を再生していくと、漁獲、水産振興に繋がって基盤が増えていくというところが水産としてはメリットだと信じてやっています。それを皆、干潟を作るのはいいことだと言いますが、実際に自分の所に作ろうとすると、それほど一生懸命にならなければ、それほど実感できていないのだと思います。

中村（義）－再生協議会の方はもう少しビジネスモデルとしての環境の問題もあっていいのですが、生産を上げるのは海だけでなく陸域もあります。流通やマーケットとも連動していかないと、砂浜を造ったから、藻場を作ったからといってなかなか繋がらないのが現実です。その話のギャップが再生協議会の中でも霧囲気が出ていると思います。

国分－その通りで、環境は NPO やボランティアの興味のある人は一生懸命やってもらいますが、生業にしている人はどういうものになるかが目に見えないと動いてもらえません。その辺りをどうやって繋いでいくかが重要で、志摩市では総合計画に「稼げる、学べる、遊べる志摩市」というキヤッチフレーズを市長が考えて付けています。一番最初に稼げるとあり、市長の思いとしては、環境の基盤は志摩市の基幹産業である水産業や観光業で稼げると考えています。そこで繋げていくときに、本当に市民の共通認識を作っていると思います。

石川－ここへ來るのに観光や遊びながら水産業に結びついて、それが何年後かに真珠になるといったリンクがあれば自分が作ったように感じるだろうし、それはそれで記念になると思います。漁師と市民をくっつけないといけないと思います。

国分－いま海は漁師が汚していると思われ、少し離れていると思います。実際にそういった空気があります。一部の漁師さんと志摩市も協力することを考えていますが、環境に配慮したブランドの真珠ができるいかと考えています。自分達も環境に対して何かを行っていて、ちゃんと配慮し品質を保持した貝だということを志摩自体を里海プロジェクトのブランドとし、そこから取れるものは環境に配慮したバックグラウンドを表示し、付加価値を付けることができないかと考えています。志摩市では来年はここまで作ると言っています。来年は志摩市が持っている所と企業の近鉄が所有する所で再生試験を行いたいと思います。近鉄が所有する土地がたくさんあるので、自分たちが所有している施設や観光振興している英虞湾の環境も私たちは守っているということを前面に出し、再生を行ってほしいと思います。そこに私たちが入って調査を行ってもいいし、国立公園の観察会を行ってもいいと思います。そういう企業を動かすことが出来ないかと思います。

中村（充）－昔に比べ海の浄化力が低下し、負荷と浄化力のバランスがどんどん崩れています。その前に干潟の浄化力を定量的に表現しないかということを私は昔から言っています。そこで干潟が下水処理場の機能になるだろうと考えています。定量的に 1 km^2 や 1 ha の干潟が何万人分の下水処理場に匹敵するという、端的に置き換えて説得力があるような形で説明します。ただ干潟には浄化力があるといったり、あるいは窒素をどのくらい浄化する力があるかを話してもみんなピンとこないのです。浄化でいいのならば下水処理場と比較するのが一番いいと思います。

勝井－干潟部分の砂を客土しなければならないことはありませんか。

国分－堤防の中と外にアサリをカゴに入れて撒いてどれだけ育つか調査したところ、外側だけ全部死に、内側は全部が成長を続けました。生残率もすごく高く、内側が餌も多いし水が入り出しが増えることが分かりました。英虞湾は水の栄養レベルが伊勢湾の 5 分の 1 から 10 分の 1 くらいしかない貧栄養です。三河湾に比べればさらに低いレベルです。ですからこのアサリは身が痩せていてあまり美味しくありません。栄養レベルでいうと伊勢湾の方が 10 倍くらい窒素、リンの値が高いです。

英虞湾の窒素、リンの濃度は薄いですが、トータルで陸から入ってくる量と海から入ってくる量を比べると、圧倒的に外界からのものが多く、その割合は外海 50 対し陸は 1 といった感じです。英虞湾は富栄養のように思われていますが、外海の例えば黒潮の流れの編曲によりすごく影響を受けます。

勝井－ここでは昔、浚渫の計画がたくさんありましたが、今はどうですか。

国分－浚渫を水産基盤事業で行っています。立神では 2000 年から始めて、現在は浜島をやっています。ずっと続けていましたが今年で終わります。結局は COD30 以上が対象でしたが、このエリアは 800 ha あり、一年に出来るのが 1~2 ha で、1 haあたり 1~1.5 億円かかります。それを考えると 800 ha を行うのはとてもないお金と時間が係ります。上から降ってくるものを減らしていないのに、下だけ取ってあまり意味がありません。窒素除去量としては完全に取っているので多いのですが、3 年くらい経つとその 1 ha はほとんど変わらなくなってしまいます。それよりは堤防を撤去して干潟を作った方がいいと思います。

中村（充）－堤防改良としたらどうでしょうか。

国分－英虞湾ではそこが落としどころだと思います。実際に堤防は生活道として道路になっているところもあります。そうなると撤去出来ないので、そういうところは橋にしたり土管を入れたりで対処できればと思います。

石川－適正な場所の選定も行わなければいけませんね。

国分－英虞湾内の各地の堤防がデータベースに入れてあるので、堤防が壊れたところやコンクリートのところ、地盤高が高いところのソーティングができます。それらで適地選定が出来ると思います。一番大変なのは用地交渉です。

【参考文献】

- (1) 三重県：三重県地域結集型共同研究事業，英虞湾物質循環調査研究報告書，2008.
- (2) 環境庁自然保護局：第 4 回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書（干潟，藻場，サンゴ礁調査），第 2 卷 藻場，1994.
- (3) 国土交通省局：平成 14 年度首都圏白書、国土交通省、2002.
- (4) 国分秀樹、奥村宏征、松田治：英虞湾における干潟の歴史的変遷とその底質、底生動物への影響、水環境学会誌、Vol.31、No.6、pp.305-311、2008.
- (5) 国分秀樹、高山百合子、矢持進（2008）：英虞湾沿岸未利用地における海水導入による環境再生効果の検討 海岸工学論文集，第 55 卷，1271-1275.

助成事業者紹介

氏 名： 石 川 公 敏

現 職： 環境アセスメント学会 理事

主な著書： 海洋環境調査法

沿岸環境調査マニュアル 1, 2

海洋環境を考える

明日の沿岸環境を築く

干潟造成法

河川整備基金助成事業

山川海をつなぐ河川・水環境とその保全・回復

に関する調査研究委員会報告書

平成24年3月

発 行 社団法人 国際海洋科学技術協会
〒107-0052 東京都港区赤坂一丁目9番13号
三会堂ビル地下1階
電 話 03-6230-4373