

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.587

March 2010

海辺の自然再生の推進に向けた概念モデル化の 提案および事例によるモデル例の作成

堀江岳人・古川恵太・岡田知也

Conceptual Model for Promotion of Coastal Environment
Restoration and Its Examples

Takehito HORIE, Keita FURUKAWA, Tomonari OKADA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

海辺の自然再生の推進に向けた概念モデル化の 提案および事例によるモデル例の作成

堀江岳人*・古川恵太**・岡田知也***

要 旨

海の自然再生を推進するためには、対象水域の環境の因果関係や生態系が持つ機能が人々に提供する生態系サービスに配慮して、評価指標を政策決定者や市民が理解しやすい形で示し、再生に向けての行動計画・対策および環境モニタリングに反映させることが重要である。そこで本研究では、環境要因から生態系サービスまでの一連の流れを判り易く示す概念モデル化を提案し、幾つかの生態系サービスを対象として、概念モデル例を作成することを目的とした。

検討により、以下の結果を得た。

- (1) 海辺の自然再生に関して、生態系サービスをゴールとした環境メカニズムを端的に示す概念モデル化を提案した。
- (2) 概念モデルは、政策決定者や市民が、再生に向けての行動計画・対策および環境モニタリングのための評価指標を抽出する際に有効な手法であることが、実例を用いて示された。
- (3) 概念モデルは、知見の不足や発見、望まれる生態系サービスの変化等を反映し、柔軟かつ順応的に更新・改善されていくべきものである。

キーワード：自然再生，概念モデル，生態系サービス，環境評価

*沿岸海洋研究部海洋環境研究室交流研究員（株式会社アルファ水工コンサルタンツ）
**沿岸海洋研究部海洋環境研究室長
***沿岸海洋研究部海洋環境研究室主任研究官
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5023 Fax：046-844-1145 e-mail: furukawa-k92y2@ysk.nilim.go.jp

Conceptual Model for Promotion of Coastal Environment Restoration and Its Examples

Takehito HORIE*
Keita FURUKAWA**
Tomonari OKADA***

Synopsis

To promote coastal environment restoration, it is important to clearly show performance measures for the environment and the impact-response flow from environmental factors to ecosystem services to stakeholders and residents. In addition, it is necessary to adapt them to the restoration project and the environmental monitoring. In this study, we aimed to present the usefulness of the conceptual model that easily shows the impact response flow from environmental factors and ecosystem services, and we made some conceptual models for ecosystem services to explain the usefulness of the conceptual model.

Followings were major accomplishments of this study.

- (1) We proposed the coastal environment restoration conceptual model that easily showed the impact response flow from environmental factors and ecosystem services for the coastal environment.
- (2) We also indicated that the conceptual model was useful for stakeholders and residents to pick out suitable performance measures for the restoration project and the environmental monitoring by using examples of the model for ecosystem services related to coastal area.
- (3) Some conceptual models were not completely made, because of lack of the data and change of ecosystem services. Thus, it is necessary to modify adaptively conceptual models and constantly due to update.

Key Words: Natural restoration, Conceptual model, Ecosystem services, Environmental evaluation

* Visiting Researcher of Marine Environment Division, Coastal and Marine Department. (Alpha Hydraulic Engineering Consultants Co., Ltd.)

** Head of Marine Environment Division, Coastal and Marine Department.

*** Senior Researcher of Coastal and Marine Department.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5023 Fax : +81-46-844-1145 e-mail: furukawa-k92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 沿岸域における環境の評価手法について	1
2.1 沿岸域環境を評価するための手法	1
2.1.1 生態系モデル	1
2.1.2 生態系評価手法	2
2.1.3 インパクト・レスポンスフロー解析 (I.R.F.解析)	2
2.1.4 環境指標による評価	2
2.2 生態系サービス (Ecosystem Services)	3
3. 概念モデル (Conceptual Model) の構築例	3
3.1 概念モデルの概要と概念モデルの作成時における留意事項	3
3.2 概念モデルを用いた事例	4
4. 実例による概念モデル例の作成	4
4.1 臨海都市部の自然再生「芝浦生き物棲み処づくりプロジェクト」を対象とした概念モデル	5
4.2 沿岸域における「日々の散策」を対象とした概念モデル	6
4.2.1 「日々の散策」を対象とした概念モデル	6
4.2.2 「貧酸素水塊」を対象としたサブ概念モデル	6
4.3 沿岸域における「釣り」を対象とした概念モデル	7
4.3.1 市原海づり施設周辺における日々の釣果を対象とした概念モデル	8
4.3.2 東京内湾全域におけるシーズンの釣果を対象とした概念モデル	11
5. 主要な結論と今後の課題	11
謝辞	11
参考文献	12
付録A 第7回東京湾シンポジウムにおけるMike Connor氏 (サンフランシスコ汽水域研究所理事長 (当時)) の基調講演「海の健康: Performance measures for the health of the Bay」(2006)の概要	15
付録B 概念モデルの作成に用いた資料集	26

1. はじめに

戦後、我が国の港湾は、日本経済の高度成長を支える重要な役割を果たしてきた。しかし、著しい経済成長の一方で、大規模な埋立て、工場の立地、商業・工業の産業や物質輸送に向けた港湾整備などの海辺の開発が急速に行われた結果、干潟や浅場の喪失、海辺へのアクセスの悪化、生物生息場の喪失に伴う生物生息の減少などが見られるようになり、特に閉鎖性水域では富栄養化による赤潮や貧酸素水塊が頻繁に発生することが問題となっている。一方、近年の社会情勢の変化に伴い、国民の価値観の多様化や環境に対するニーズが高まる中、沿岸域においても、多くの生物が棲みやすい水環境へ向けた自然再生の取り組みや、人工海浜、海釣り施設などの親水空間の整備が求められている。

海の自然再生を推進するためには、対象水域の環境の因果関係や生態系が持つ機能が人々に提供する生態系サービスに配慮して、評価指標を政策決定者や市民が理解しやすい形で示し、再生に向けての行動計画・対策および環境モニタリングに反映させることが重要である。これまでに、沿岸域環境の評価手法として、因果関係に着目したインパクト・レスポンスフロー解析(以下、I.R.F.解析)、生物生息量を基本とする生態系評価指標および生態系機能に特化した生態系モデル等が提案されている。しかし、これらは環境要因から生態系サービスまで一連の流れを示していないこと、現象を詳細に示すあまり構造が複雑なため、政策決定者や市民が理解し難い等の欠点があった。一方、我が国は、近年の不況に伴う企業からの税収不足や少子高齢化に伴う社会保障費の増大などにより厳しい財政状況下にあることから、環境モニタリングに当てられる予算においても縮小される傾向にあり、モニタリングの地点数や検体数が減少するなど、適正な環境モニタリングの実施が困難となることが危惧されている。そのため、生態系サービスの向上に向けた効果的な対策・戦略の立案・実施に向けて必要不可欠な環境要素すなわちモニタリング項目を見極めることが可能な環境メカニズムのフローが必要であると考えられる。

本研究では、環境要因から生態系サービスまでの一連の環境メカニズムの流れを判り易く示す概念モデル化を提案し、幾つかの生態系サービスを対象として、生態系サービスの享受および向上を目的とした概念モデル例を作成することを目的とする。

本資料の章構成は、以下のとおりである。2章は、これまで開発および利用されている沿岸域環境の評価手法および生態系サービスについて述べる。3章は、概念モデル

の概要および概念モデルの参考事例について述べる。4章は、幾つかの生態系サービスを対象として概念モデル例を作成し、概念モデルから示される生態系サービス向上に向けた対策案について述べる。5章は、主要な結論と今後の課題である。また、付録に、第7回東京湾シンポジウムにおける、Mike Connor氏(サンフランシスコ汽水域研究所理事長(当時))の基調講演「湾の健康診断：Performance measures for the health of the Bay」(2006)を載せた。

2. 沿岸域における環境の評価手法について

本章では、これまで提案・利用されている沿岸域における環境の評価手法を挙げ、各手法における利点および課題について述べる。また、概念モデルの目標(ゴール)となる生態系サービスの概要について述べる。

2.1 沿岸域環境を評価するための手法

これまで、環境変化に対する生態系の応答を定量化する手法として、様々な手法が開発、提案されている。代表的な手法として生態系モデル、生態系評価手法、I.R.F.解析および環境指標による評価などが挙げられる。

2.1.1 生態系モデル

生態系モデルは、水質変化、水質浄化機能および一次生産量等の予測等に用いられる手法であり、栄養塩等の物質循環のフローに生物の働きを考慮し、別途計算された流動予測結果などと組合せて用いられている。沿岸生態系の変化を予測する代表的な生態系モデルとして、低次生態系モデル(細川ら(1993)、Yanagiら(1995)、中田ら(1997))、底質モデル(中田ら(1994)、今村ら(1997)、鈴木ら(1997))、マルチボックスモデル(古川ら(2002))、D0モデル(村上ら(1996))、内湾複合生態系モデル(相馬(2007))等がある。バクテリアやプランクトンなど栄養段階の低次の生物を考慮したものを低次生態系モデルと言う。また、魚類や鳥類などの高次消費者までを考慮したものを高次生態系モデルと言うが、系が複雑となるため一般化されたものはないほとんど無い(順応的管理による海辺の自然再生(2007))。

生態系モデルの課題としては、実用的な予測に使えるモデルが少ないこと、モデルの限界が明確にされていないこと、パラメータが非常に多いこと等(中辻ら(2007))に加え、現象を詳細に示すあまり構造が複雑で政策決定

者や市民にとって理解が困難であること、社会的背景や生態系サービスなど具体的な目標を組み込むことができないこと等が挙げられる。

2.1.2 生態系評価手法

沿岸生態系を評価する方法は、環境機能を評価する方法と生物生息機能を評価する手法に分けられる。

環境機能評価法は、自然再生がもたらす機能を評価し比較できるようにする手法であり、沿岸開発における影響評価法として、またミチゲーションの定量的評価法として開発されたものである(海の自然再生ハンドブック(2003))。基本的には生態系の機能を生物の存在量や種類数により代表させ、それと水温、塩分、水深などの環境条件を関連付ける評価関数を用いて、生態系としての適地面積や量が評価可能な手法である。環境機能評価法の代表例としては、対象種の利用できる生息域を質的・量的に評価が可能であり、ミチゲーションを目的としたHEP(U.S. Fish and Wildlife Service (1980))、湿地の機能評価およびミチゲーションを目的としたHGM(Smith, R.D., et al.(1995)) および WET(Adamus, P., et al.(1991))、汽水域環境の管理を目的としたB-IBI(Weisberg, S.B., et al.(2007))、河川環境・水資源の評価を目的としたIBI(Karr, J.R.(1991))、沿岸生息地の評価およびミチゲーションを目的としたBEST(Barnett, A.M., et al.(1991))、湿原におけるミチゲーションを目的としたHAT(Cable, T.T., et al.(1989))等が挙げられる。上述した各手法の詳細やレビューについては、Candy C. Bartoldus(1999)および生態系における構造と機能の評価方法に関するレビュー(2000)などに詳しい。環境機能評価法を用いた例として、中西ら(2001)はHEPを参考とした海生生物の生物場の環境評価、新保ら(2000)はHEPをベースとしたアサリを対象とした生物生息地適性評価モデルの開発、五十嵐ら(2007)はHSIをベースとした生物多様度指標を構築し、東京湾沿岸における環境評価を行っている。

生物機能評価法は、生物の活動による機能(代謝、分泌、呼吸等)や生活史、生態学的機能などをモデル化し、生態系の中における物質の輸送や循環などを指標として評価する方法である(海の自然再生ハンドブック(2003))。例として、生物の生長や代謝等を物質循環モデルから計算される水質・底質と関係付けることにより、環境機能の評価法において、経験的・帰納的に決定されていた生態系としての適正度を演算的に決定することが可能である。杉田ら(2002)は、生物機能評価において、生態系全体としての健全性や物質循環の構造性に着目した指標を用い

る場合と、二枚貝のろ過機能などのような個別の機能を評価する指標に分けることができるとしている。

上述した生態系評価手法は、客観的な評価が期待できる一方、対象とする生物の生息条件などが不明確である場合は、実験や観察などによりパラメータを決定しなくてはならず評価に時間がかかること、生態系評価指標のみから対象とする環境メカニズムを把握する事ができないこと等が、特徴として挙げられる。

2.1.3 インパクト・レスポンスフロー解析(I.R.F.解析)

I.R.F.解析は、生物の生息量に影響する様々な要因の連関分析から、ある環境変化を与えた時にどのように影響するかを網羅的に示し、着目すべき変化を抽出するために用いられており、複雑な生物・生態系の保全のためのモニタリングの実施、対応策策定の意義や目的を示す上で、重要な手法である。I.R.F.は、まず対象とした種の生活史や生態情報を整理し、起こり得る原因(インパクト)が対象種やその生息環境へ与える影響(レスポンス)の伝搬経路を整理して作成する。このようにフローで伝搬経路を整理することで、保全・再生手法や実施の際の配慮すべき事項を具体化することができ、その後のモニタリング調査項目の設定根拠も客観的に示すことが可能となる。また、フローの各経路の検証および得られた新たな情報をもとに確度や重要度を示すなど随時見直していくことが重要である(順応的管理による海辺の自然再生(2007))。I.R.F.解析を用いた例として、目黒ら(2005)は、I.R.F.解析を用いて砂浜海岸に海岸保全施設を設置した場合における生態系への影響について検討を行っている。また、順応的管理による海辺の自然再生(2007)では、鳥類、魚類、カニ類、貝類などを対象としたI.R.F.図が作成されている。

I.R.F.解析は、現象を詳細に示すあまり構造が複雑で政策決定者や市民にとって理解が困難である場合がある。

2.1.4 環境指標による評価

環境指標による評価として、生物多様性の定量的尺度を示す多様度指数、海域の富栄養化に密接に関連しかつ底生生物の生息の把握を目的とした溶存酸素濃度(以下、DO濃度)等がある。

多様度指数は、Shanon-Wiever(H')、Simpson(λ)、Brillouin(i)など多くの指標が提案されており、木元(1976)、木元(1989)に詳しい。多様度指数を用いた例として、小笹(1995)は、生物群集の質的評価を行うために多様度指数で表される出現生物のパラエティ等を、波高

と構造物形式をパラメータとして評価する試みを行っている。また、尾崎ら(2000)は、海藻の生物量等から算出する多様性指数を用いた海藻の多様性、海藻群落の類似性をふまえたうえで、護岸の藻場造成による環境創造効果を検討している。D0濃度を環境指標として用いた例として、自然と共生した首都圏にふさわしい東京湾を目標としている東京湾再生のための行動計画(2003)では、その達成状況を判断する指標として底層のD0濃度を用いており、また、これに基づき東京湾水質一斉調査(2009)にてモニタリングが実施されている。

環境指標による評価は、その場の代表的環境指標を用いることによって、その場の環境を端的に評価・把握が可能な手法であるが、環境をメカニズムとして把握するのは困難である。

2.2 生態系サービス(Ecosystem Services)

生態系サービスとは、生態系の機能や生物から、人間が得ている便益を意味する。2005年には、地球全体の生態系と生態系サービスの現状を把握し、生態系サービスから得られる人間の豊かさに対する影響やその将来像および対策を検討するため、地球規模の環境評価書としてミレニアム生態系評価(Millennium Ecosystem Assessment(2005))が国連を中心としてまとめられた。海辺から享受されている生態系サービスとしては、供給サービス(食料供給(魚介類、海苔、海藻類)、燃料および遺伝子ソース等)、調整サービス(浅場や干潟による水質浄化、気候の調整および防災等)、文化的サービス(釣り、レクリエーション、精神的および宗教的価値、教育場等)、支持サービス(一次生産、栄養塩サイクルおよび水サイクル)等が挙げられる。鈴木(2007)は、東京湾の自然資本が沿岸地域に提供している生態系サービスを幾つか例示し、その中で漁獲サービス、レクリエーションサービス等の経済的価値について検討を行っている。一方、近年では、東京湾沿岸から享受できる生態系サービスは低下していると考えられ、例として、東京湾内における漁獲量の減少、青潮発生による二枚貝の大量死、浅場や干潟の減少による水質浄化機能や生物生息機能等の低下等が挙げられる。

環境保全や再生を目的とした計画や政策の立案では、最終目標を単に水質を改善すること、とするのではなく、人が享受する生態系サービスの向上と位置づけた場合、多様な事業効果および目的などの説明や理解がしやすいと考える。従って、本研究における概念モデルのフローの目標すなわちゴールについては、具体的な生態系サー

ビスを挙げることにした。

3. 概念モデル(Conceptual Model)の構築例

海の自然再生すなわち生態系サービスの向上を推進するためには、環境メカニズムのフローを政策決定者や市民が理解しやすい形で示し、再生に向けての行動計画・対策および環境モニタリングに反映させることが重要である。また、モニタリングは、海の変化を知ることだけではなく、変化の中の規則性、つまり「概念モデル」を見つけることで環境の仕組みを明らかにすることが重要である。

本章では、概念モデルの概念について説明するとともに、概念モデルを用いた成功事例として、サンフランシスコ湾の環境事業の例を紹介する。

3.1 概念モデルの概念と概念モデルの作成時における留意事項

本研究における概念モデルの概念について、以下に述べる。なお、本研究における概念モデルは、第7回東京湾シンポジウムにおけるMike Connor氏(サンフランシスコ汽水域研究所理事長(当時))の基調講演「海の健康：Performance measures for the health of the Bay」(2006)を参考とした。なお、本基調講演における資料は、本論文の巻末に付録<A>として載せている。

概念モデルの定義および肝要な点として、以下の点が挙げられる。

- 概念モデルとは、環境要因から再生までの環境メカニズムのフローを、調査・分析結果及び既往の研究等から科学的考察に基づいて単純化し、そのフローだけから、生態系サービスの向上を目的として何をすべきか、何が変化すると他のものがどのように変化するかを読み取れるようにしたものである。
- 単純化に際しては、ゴールとなる生態系サービスの向上のための行動計画や、有効な対応策および環境モニタリングのための評価指標が読み取れることが肝要である。
- 上述した科学的考察とは、概念モデルの作成者の推測・予測を意味するのではなく、調査、研究および実験などから得られた既往の結果を示す。

また、概念モデルを作成する際には、以下の点について留意する必要がある。

- 概念モデルを作成する場合、考え方の根拠および科学的考察が必要であり、これが無い場合は、モデル

定性的モデルと定量化の手法がでたとき、 人々が現象を理解し、目標が設定される

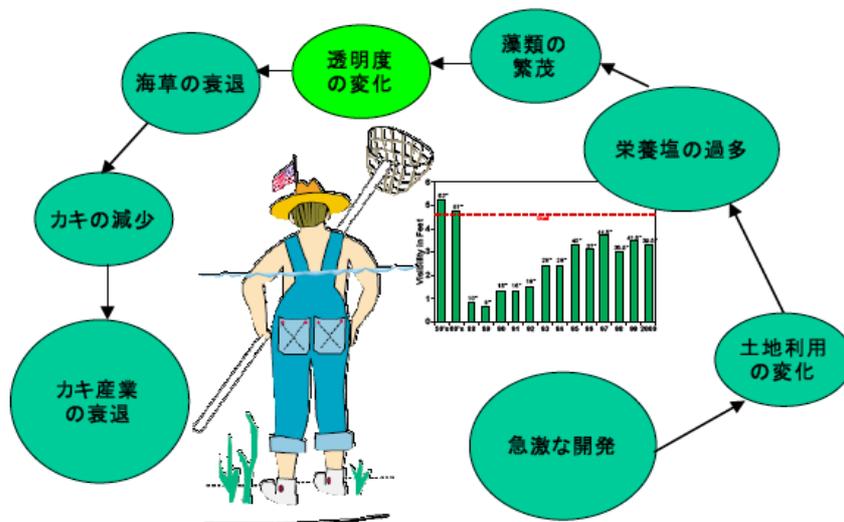


図-1 サンフランシスコ湾 Patuxent 川において牡蠣産業活性化に向けて構築された概念モデル(第7回東京湾シンポジウム(2006)にて実施された Mike Connor 氏の基調講演資料より(一部加筆・修正))

は正しく機能しない可能性がある。

- ・ 作成した概念モデルにおいて、考え方の根拠、科学的考察が不足している場合は、対象となる箇所を明確にし、科学的な研究の推進や調査・研究の実施により、概念モデルを更新・改善していく必要がある。
- ・ 目標に向けて、環境に変化を与えた時にどのように状況が変わるかということを正確に把握する評価指標(パフォーマンス・メジャー)が重要となる。

3.2 概念モデルを用いた事例

概念モデルを用いた環境事業の例として、サンフランシスコ湾におけるPatuxent川で実施されたモニタリング事例を示す。

1960年以降、サンフランシスコ湾では水質の悪化が進み、それに伴い牡蠣産業が衰退した。この一連の環境メカニズムに関する概念モデル(図-1)が作成され、その結果、急激な開発による水質の悪化すなわち透明度の悪化が牡蠣産業の衰退に繋がっていること、言い換えれば水質の向上すなわち透明度の向上が牡蠣養殖量の増加に繋がる事が示された。そこで、水質改善に向けた対策による透明度の改善度を把握するため、地域住民が白いスニーカーを履いて水の中に入り、自分のスニーカーがどの深さまで見えるかを指標としたモニタリング(Bernie Fowlerのスニーカー指標)が実施された(写真-1)。このよ

うに、影響の伝播を端的に示す概念モデルから、透明度を測定する意義が明確になると共に、目標達成に向けたインセンティブが与えられたことから、図-1の概念モデルはモニタリング事業の推進に役立った、と報告されている。

本事例から、概念モデルはミクロな定量性は担保されないが、再生・保全に向けたマクロな方向性を示し、モニタリングの市民への参加を促し再生への過程を共有する有効な手段であった、と考えられる。



写真-1 Bernie Fowlerのスニーカー指標(第7回東京湾シンポジウム(2006)にて実施された Mike Connor 氏の基調講演資料から)

4. 事例による概念モデル例の作成

本章では、生態系サービスの享受および向上を目的とした概念モデル例を幾つか作成し、作成した概念モデル

から、生態系サービスの享受および向上に向けた対策について検討を行った。

概念モデルを作成する際には、はじめに既往の研究結果や調査結果を用いて、対象とする生態系サービスをゴールとした環境メカニズムのフローを作成した。既往の知見が不足している場合は、新たにモニタリングデータを収集し、データ分析を実施した。また、構築した概念モデルにおいて、知見やデータ不足などから各コンパートメント間における因果関係の把握が困難な場合は、その事項を明確に示し、今後の課題とした。

4.1 臨海都市部の自然再生「芝浦生き物棲み処づくりプロジェクト」を対象とした概念モデル

芝浦生き物棲み処づくりプロジェクトは、都市臨海部における老朽化した護岸を、潮だまり部と干潟部を有したテラス型護岸(写真-2)へ改修することで生物多様性の場を再生し、それに伴い周辺住民の環境への関心を醸造させ、人と自然がふれあうことが可能な沿岸域を目的として、行政・市民・研究者の協働で実施された自然再生プロジェクトである。なお、本プロジェクトについては、早川ら(2008)や港湾環境情報(国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室WEBサイト(2010))に詳しいため、本論では割愛する。

テラス型護岸の機能として、潮だまりを設けることにより、側面や底面に付着した藻類の光合成により溶存酸素量が増加することでハゼなどの幼稚魚などが生息できる水環境となること、また干潟部を設けることにより、ベントスやプランクトンの発生によりマハゼやウナギな

どの餌料を確保すること、護岸改修前より芝浦護岸に生息しているエビ・カニの生息場を提供すること等を考慮した(岡田(2006), 柵瀬(2007), 他を参考)。

上述の知見を整理し、本プロジェクトにおける概念モデルを作成した(図-2)。本概念モデルでは、評価指標をゴカイの生息量およびマハゼの生息数とし、その生息数は、市民参加によるベントス調査やハゼ釣り調査によってモニタリングがなされた。本指標は、政策決定者や一般市民にもわかりやすく、かつ生物生息場としての機能を示す重要な指標であったと考えられる。また、溶存酸素濃度を評価指標とした場の考え方については、梅山ら(2010)にとりまとめられており、その指標としての有効性が示されている。このように本概念モデルは、政策決定者や一般市民がテラス型護岸への改修する目的の把握や都市臨海部における自然再生に向けた環境メカニズムの把握に有効であった。



写真-2 芝浦生き物棲み処づくりプロジェクトで造成された芝浦テラス型護岸(早川ら(2008)) 上：全景、左下：低潮時、右下：高潮時

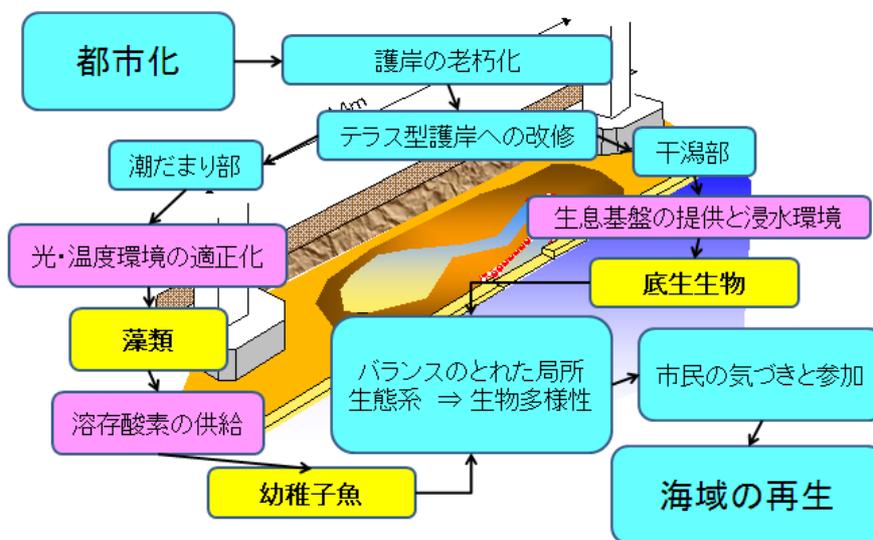


図-2 芝浦生き物棲み処づくりプロジェクトにおいて、人と自然がふれあうことが可能な沿岸海域を目的として作成した概念モデル

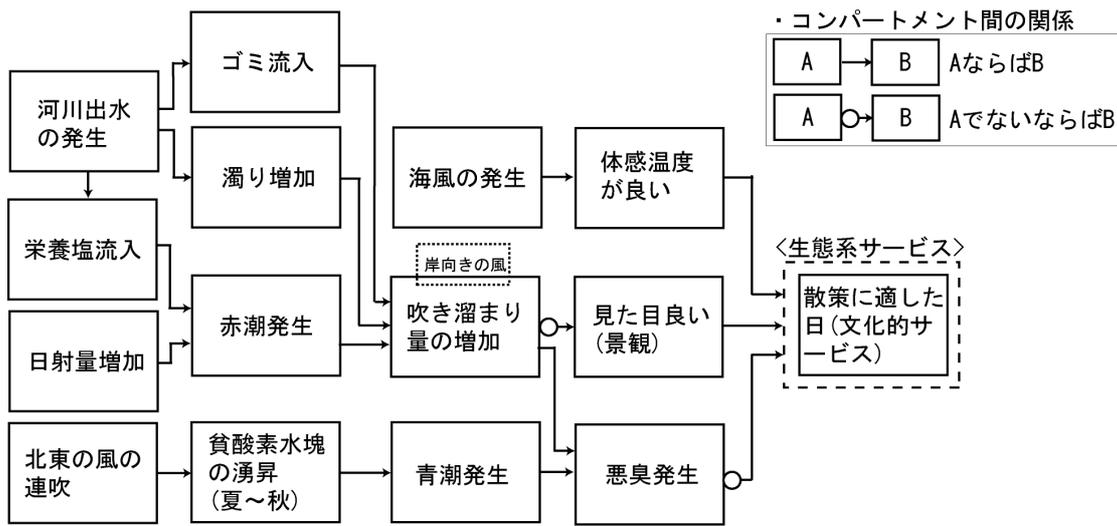


図-3 東京湾沿岸のうち東京湾奥千葉沿岸での「日々の散策」を対象とした概念モデルの例

4.2 沿岸域における「日々の散策」を対象とした概念モデル

東京湾から得られる生態系サービスの内、文化的サービスの一つとして得られる東京湾沿岸域での日々の散策を対象とした概念モデルを作成し、概念モデルからサービスの享受および向上に向けた対策について検討を行った。

4.2.1 「日々の散策」を対象とした概念モデル

東京湾沿岸では、散策を始め、スポーツ、レクリエーションなどを楽しめる場として海上公園が数多く整備されており、その中で東京都港湾局ではお台場海浜公園をはじめ、約40箇所の海上公園を開園している。また、隅田川やお台場では、水上バスによる水辺から見る東京湾沿岸の散策が人気を得ている。一方、沿岸部では、赤潮による悪臭の発生(タウンニュース(2009))、港や河川からのゴミの流入(栗山(2003))等が見られることから、沿岸域の汚濁負荷の削減を目標として、清掃船等による海面浮遊ゴミ等の効率的な回収、赤潮回収技術の開発や回収の実施、NP0や漁業者等による海底ゴミの回収や海浜・干潟の清掃活動が実施されている(東京湾再生のための行動計画(2003))。

上述を参考に、見た目、臭い、体感温度の3項目が心地よい散策を享受するための条件として、東京湾奥千葉側における日々の散策を対象とした概念モデルを作成した(図-3)。なお、概念モデル中の各コンパートメント間の

関係については、A→Bである時はAならばBであることを示し、A○→Bである時はAでないならばBであることを意味している(図-3中の凡例を参照)。また、概念モデルの流れが逆の場合は、必ずしも成り立たないことがある。

日々の散策を対象とした概念モデルから、臭いについては北東の風の発達による青潮の発生が悪臭の要因となっており(中辻ら(1995)、他)、すなわち北東の風が評価指標となることが示された。また、貧酸素水塊の解消が重要な対策の一つであることがわかりやすく表現出来た。見た目については、河川の出水によるゴミの流入(栗山(2003))や栄養塩の流入に伴う赤潮(鯉淵ら(2000)、他)が見た目の悪い要因となっていることがわかりやすく表現され、河川出水の発生が評価指標となることが示された。

4.2.2 「貧酸素水塊」を対象としたサブ概念モデル

上述したように、悪臭の解消については、貧酸素水塊の解消が重要であると示された。そこで、既往の調査結果や研究結果を参考に、貧酸素水塊を対象とした概念モデルを作成した(図-4)。貧酸素水塊については、これまでに多くの研究や調査が実施され、今日においても貧酸素水塊の解消に向けた多くの対策が実施されているところである。図-4の概念モデルと現在実施されている対策例とを関連づけると、以下ようになる。

- ・ 対策例①：「生活・産業排水の増加」のコンパートメントに対し、陸域(河川)から流入する栄養塩を少なくする目的として、台所、洗濯および風呂

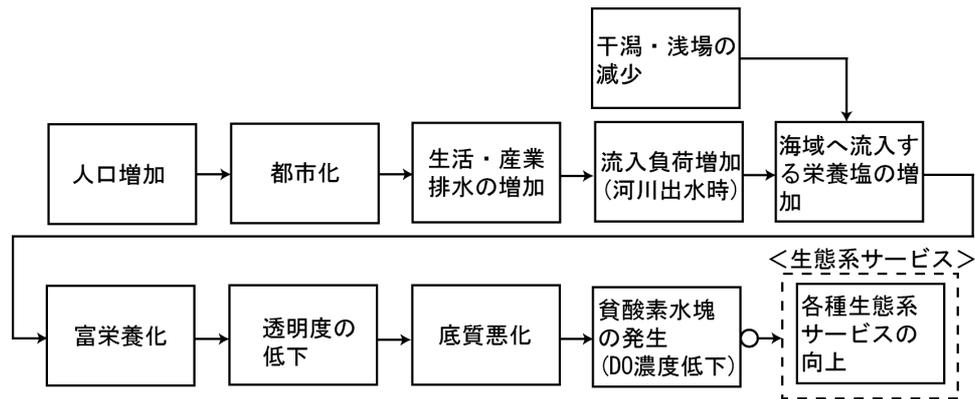


図-4 東京湾における貧酸素水塊の発生を対象としたサブ概念モデルの例

など、家庭から東京湾への流入負荷を減らす活動が行われている(東京湾の環境をよくするために行動する会(2008))。

- ・ 対策例②：「底質悪化」のコンパートメントに対し、閉鎖性が強くヘドロの堆積した海域の環境改善を目的として海域環境創造・自然再生事業による「覆砂」, 「浚渫」などが実施されている(東京湾再生のための行動計画(2003))。
- ・ 対策例③：「海域へ流入する栄養塩の増加」のコンパートメントに対し、水質総量削減対策による下水道の高度処理化, 農業集落排水施設の設置が実施されている(環境省(2009))。
- ・ 対策例④：「干潟の減少」のコンパートメントに対し、水環境再生事業として干潟の造成が実施されている。海域のCOD 値が改善されていない原因の1つに、浅場・干潟の減少に伴う海水浄化能力の低下が指摘されている(東京湾の環境をよくするために行動する会(2008))。
- ・ 対策例⑤：「貧酸素水塊の発生」のコンパートメントに対し、東京湾における貧酸素水塊の発生のメカニズムの解明に向け、東京湾水質一斉調査(2009)によるDO濃度のモニタリングが実施されている(東京湾再生のための行動計画(2003))。

貧酸素水塊を対象とした概念モデルは、貧酸素水塊の解消を目的とした行動計画や対策の環境メカニズムにおける位置づけを、明確に示すことができた。

貧酸素水塊に関しては、中山ら(2007)はDO濃度の概念モデルを用いて、風、河川流量が東京湾奥底層におけるDO濃度に与える影響を評価している。また柳(2009)は、博多湾奥部における貧酸素水塊の発生・消滅の一連の過程を、観測データを基に図-4で示した概念モデルに類似した形で推定し、重回帰分析を用いて

貧酸素水塊の再現を試みている。

4.3 沿岸域における「釣り」を対象とした概念モデル

東京湾から得られる生態系サービスの内、文化的サービスおよび供給的サービスとして得られる「釣り」を対象とした概念モデルを作成し、概念モデルから釣りの生態系サービスの享受および向上に向けた対策について、検討を行った。なお、魚種毎に生態及び生活史が異なることから、対象種をシロギスとして概念モデルを作成した。

高度経済成長後、東京湾沿岸域において実施された埋め立てや地形改変等による開発が、藻場・干潟等の浅場環境を喪失させ、徐々に魚類をはじめとする多くの沿岸生態系に影響を与えた面があることは否めない(港湾行政のグリーン化(2005))とする一方、大洋規模の長期的環境変動であるレジームシフトや海象・気象の変化が、魚介類の水産資源の変動や枯渇に影響することが知られており(川崎(2009))、釣果に対しても大きく影響を及ぼすことが考えられる。

本節では、東京湾での釣りで人気のあるシロギスを対象種とし、市原海づり施設周辺(図-5)における日々の釣果および東京内湾全域におけるシーズンの釣果を対象とした概念モデルを作成し、釣りの生態系サービスの享受および向上に向けた対策について検討を行った。なお、釣果数の把握は、東京内湾に位置する市原海づり施設、大黒海づり施設(写真-3)、本牧海づり施設の各海づり施設(図-5)で毎日実施されている釣果データを参考とした。

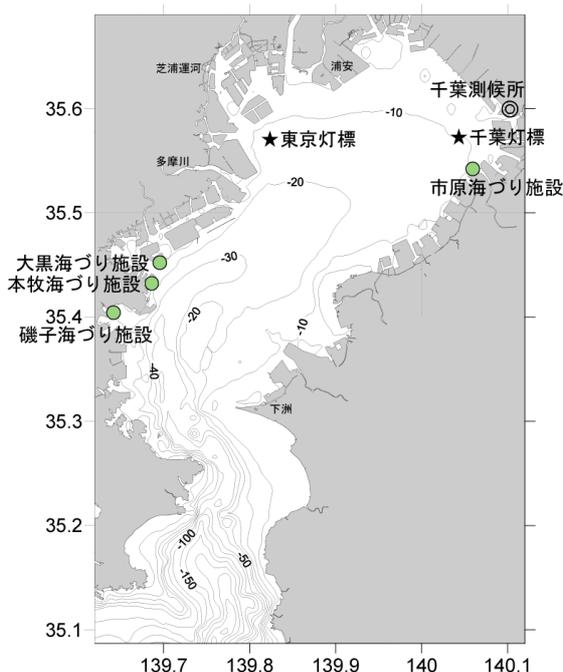


図-5 千葉灯標、千葉測候所、東京灯標及び各海づり施設の位置と東京湾水深コンター平面図



写真-3 神奈川県大黒海づり施設における釣り風景(東京湾読本(2008))

4.3.1 市原海づり施設周辺における日々の釣果を対象とした概念モデル

はじめにシロギス成魚の生態及び生活史に関する資料を収集・整理し、シロギスの生態的特長として、砂地である海底面から約30cm以内に群れで遊泳すること、高濁度および弱塩分に弱いこと等を把握した(河野(2006), 関東釣り場ガイド(2009), 他)。次に、上述した既往の知見等を参考に、釣り場における水環境とシロギス釣果数の関係についてデータ解析を行った。解析対象期間は、2009年度の釣果データでシロギスの釣果が見られた5月から8

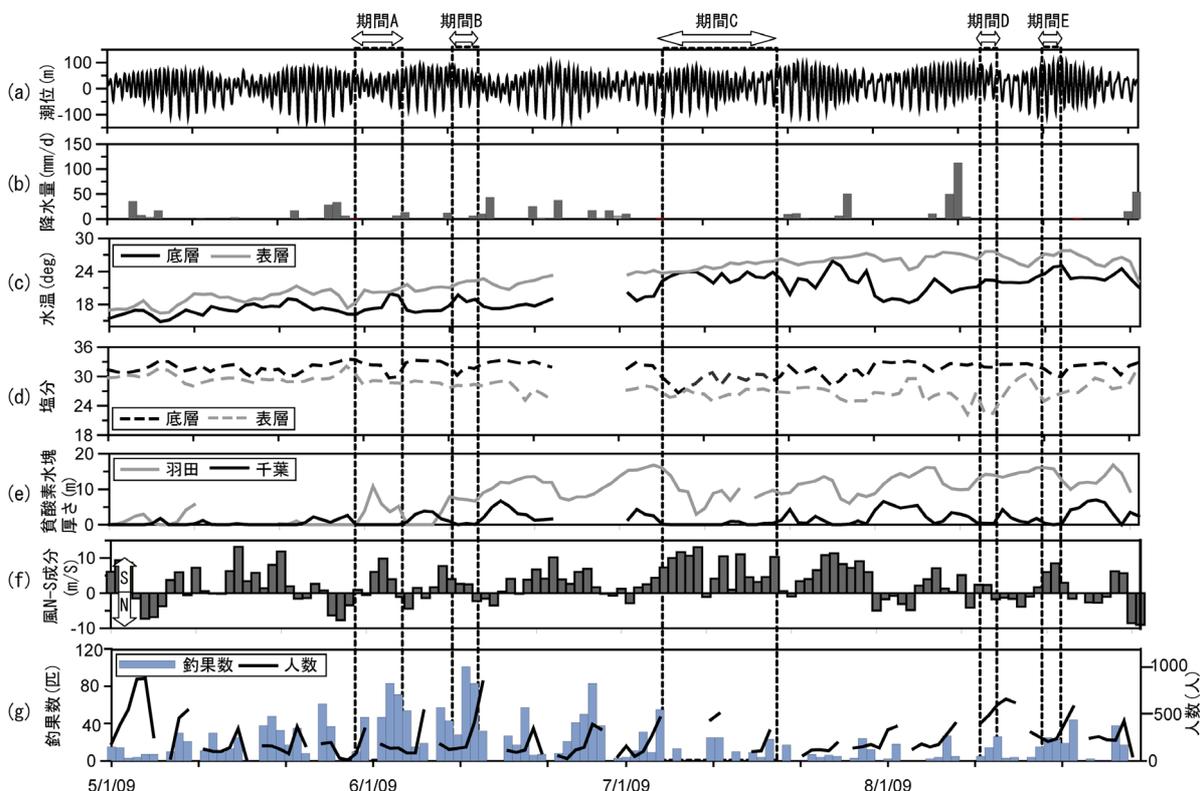


図-6 (a) 千葉灯標における実測潮位, (b) 千葉測候所における日雨量, (c) 千葉灯標における表層および底層の塩分, (d) 表層および底層の水温, (e) 貧酸素水塊の厚さ, (f) 東京灯標における風のN-S成分, (g) 市原海づり施設におけるシロギス釣果数と客数の各時系列(2009年5月~8月)

月までの4ヶ月間とした(図-6(g)). なお, 2000年度~2008年度においても, ほぼ同時期に釣果が見られた. 水質データは, 市原海づり施設から北北西へ約2.9kmに位置する千葉灯標(図-5)での水質連続観測結果(海上保安庁(2009))を用いた. 千葉灯標では, 毎正時に水面下0.5mから底面直上1.0mまで, サンプル間隔が1.0mでデータ測定されている. 東京内湾では, 貧酸素水塊は5月から見られるようになり, 6月以降では貧酸素水塊の厚さが厚い日が継続して見られた(図-6(e)). なお, 本論において貧酸素水塊の厚さは, 海底面からDO濃度が3mg/Lの高さまで, と定義している. 南の風が卓越すると貧酸素水塊が解消され, 釣果数が増加した(期間A, B, D, E(図-6), 図-7). これは, 南の風の卓越により底層水が湾軸西側に移動したためと考えられる(八木(2008)). しかし, 期間C(図-6)では, 南風成分が卓越し貧酸素水塊が解消されたが釣果数が増加しなかった. これは, 約10.0mを超える南風の連吹により成層が破壊され, 底層における塩分濃度が急激に低下したため, と考えられる. 日雨量とシロギスの釣果数には明瞭な関係が見られなかった(図-6(b)).

以上の結果を参考に, シロギスの日々の釣りを対象とした概念モデルを作成した(図-8). 概念モデルから, 市原海づり施設周辺における釣果は, 風に大きく作用されることから, 風が評価指標となることが示された. また, その主要因が貧酸素水塊の挙動にあることから, 日々の

釣果を向上させるためには貧酸素水塊の解消に向けた取り組みが重要であることが示された. 貧酸素水塊の解消については, 前述した貧酸素水塊の発生を対象とした概念モデル(図-4)から示された各対策が有効であると考えられる. なお参考に, 市原海づり施設で釣果実績が多いマコガレイ, スズキ, イシモチ, クロダイおよびサッパにおいても, シロギスと同様に貧酸素水塊が解消に向かうにつれて, 釣果数が増加することが示された.

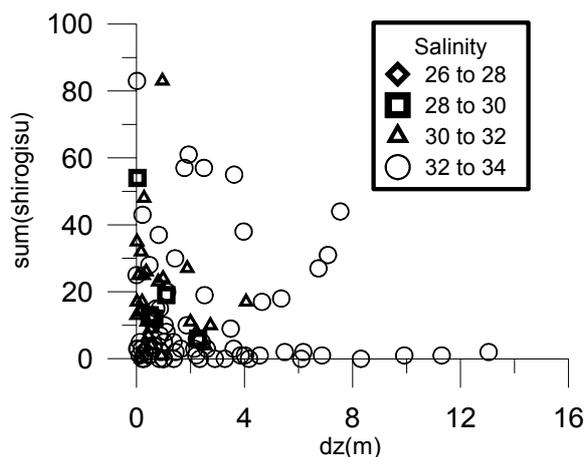


図-7 市原海づり施設におけるシロギスの釣果数と千葉灯標における貧酸素水塊厚さ(dz)との関係(2009年5月~8月) dzは, 海底面からDO濃度が3mg/Lの高さまでと定義

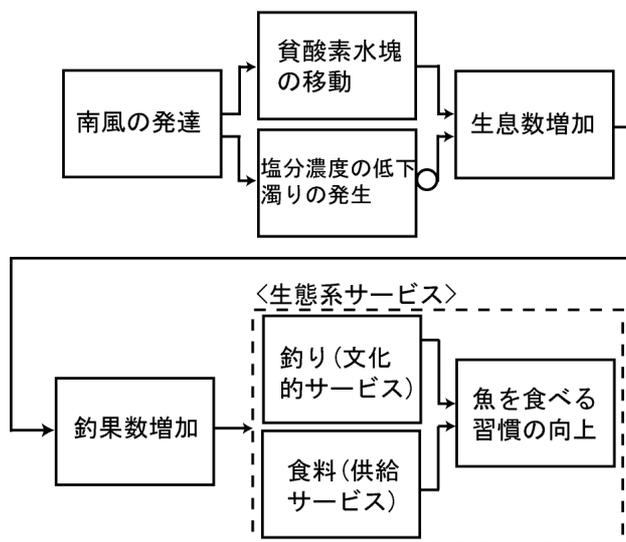


図-8 市原海づり施設周辺でのシロギスを対象とした「日々の釣り」の概念モデルの例

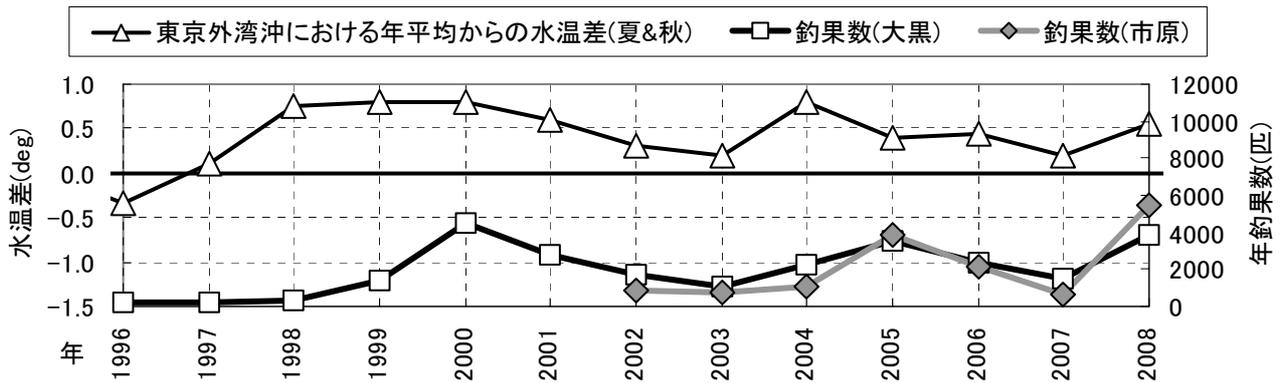


図-9 市原海づり施設周辺でのシロギスの釣果数と関東の南における水温の時系列

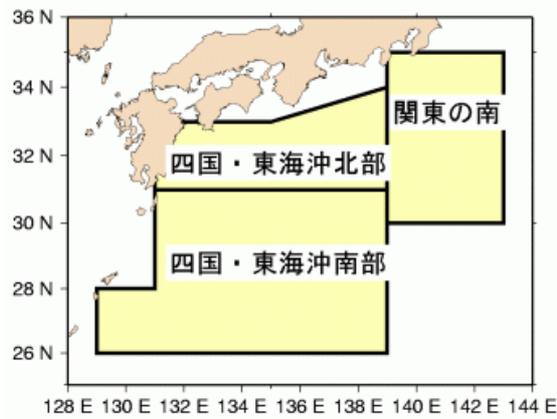


図-10 東京外湾の水温として用いた関東の南の水温の範囲(気象庁HP)

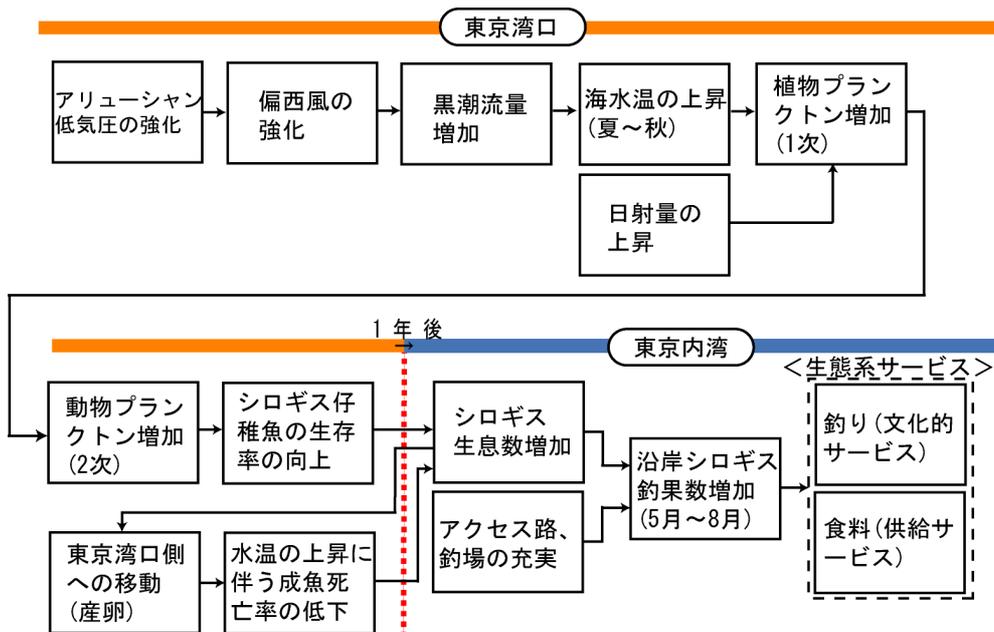


図-11 東京内湾全域におけるシロギスを対象とした釣果の概念モデルの例

4.3.2 東京内湾全域におけるシーズンの釣果を対象とした概念モデル

はじめに、シロギスの仔稚魚から成魚に至るまでの生態及び生活史に関する資料を収集・整理し、毎年5月に東京湾口付近から東京内湾に移動して成長し、その後8月～9月にかけて東京湾口部へ移動して産卵すること(平成14年度東京湾広域環境調査(2002), 河野(2006)), 産卵シーズンに総計約180万粒を産卵する多産卵性の魚種であること、仔稚魚期は東京湾口付近において成長すること等を把握した。次に、東京内湾に位置する市原海づり施設、大黒海づり施設、本牧海づり施設の各海づり施設(図-5)で毎日取得されている釣果データを参考に、シーズン別の釣果に関する分析を行った。大黒海づり施設および市原海づり施設におけるシーズンの釣果数の変動が同期していることから、東京内湾域におけるシーズンの釣果数は、湾口側から内湾側へ移動する数に依存すると考えた(図-9下段)。本牧海づり施設の釣果記録からシロギスの体長を分析した結果、約10cm～25cmの範囲にあることから、東京内湾では生後1年～3年の成魚が主要であると考えた。また、シロギスと同じく多産卵性魚であるマイワシが、水温の変化によって1歳までの生残率が変化すること(Noto and Yasuda(1999))等を参考に、大黒海づり施設および市原海づり施設におけるシロギスの釣果数と東京外湾沖の関東の南(図-10)における水温の年変動を分析した結果、両者に高い相関があることから、釣果には東京外湾の水温が強く影響することが示された(図-9)。一方、渡辺(2008)は、東京湾の水際線は直立護岸や港湾施設に占められており、陸から直接海に触れることができる場所はほとんどなく、結果的に海や海辺環境に対する市民の関心は薄くなっているとの事から、沿岸からの生態系サービスを享受するためには、沿岸域へのアクセスのあり方が重要であると考えた。

以上の結果を参考に、東京外湾における水温の変化および釣り場の充実を軸として、東京内湾全域におけるシロギスのシーズン釣果を対象とした概念モデルを作成した(図-11)。概念モデルから、内湾域に生息するシロギスは、東京外湾における水温の影響を大きく受けていることから、水温が評価指標となることが示された。その他に、沿岸域へのアクセスが容易であること、海釣り施設や海浜公園などの場の整備が重要であることが示された。

本概念モデルでは、魚類生態系の研究が推進段階であること、調査データが不足していることなどから、科学的根拠が弱い箇所(因果関係の根拠が弱い箇所)も見られた。このように不十分な概念モデルに関しては、更に科学的な研究の推進や調査の実施により、概念モデルを更

新・改善して行く必要があると考える。

5. 主要な結論と今後の課題

本資料では、海辺の自然再生に向けて、環境要因から生態系サービスまでの一連の環境メカニズムの流れを判り易く示す概念モデル化を提案し、幾つかの生態系サービスを対象として、概念モデル例を作成することを目的とした。本研究で得られた主要な結論を、以下に示す。

- 海辺の自然再生に関して、生態系サービスをゴールとした環境メカニズムを端的に示す概念モデル化を提案した。
- 概念モデルは、政策決定者や市民が、生態系サービスの再生に向けての行動計画・対策および環境モニタリングのための評価指標を把握する際に、有効な表現方法であることが、実例を用いて示した。
- 概念モデルは、知見の不足や発見、望まれる生態系サービスの変化等を反映し、柔軟かつ順応的に更新・改善されていくべきものである。

確立された概念モデルに対しても、政策決定者や市民のニーズや利用の状況をレビューし、様々な観点からの検討を加えて、継続的に改善していくことが重要であるとともに、概念モデルは、場の環境を直接評価できるものではないため、これまでの提案されている環境評価指標等と併用し、相補的に評価することが重要である。

(2010年2月15日受付)

謝辞

本研究を実施するにあたって、国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室の梅山崇研究官、上村了美研究官、同研究部沿岸域システム研究室の日向博文室長、同研究部沿岸防災研究室の熊谷兼太郎主任研究官には、大変有益な助言をいただきました。さらに、市原海づり施設、大黒海づり施設、本牧海づり施設、磯子海づり施設から、各海づり施設で実施されている貴重な釣果データを提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 五十嵐学・古川恵太(2007): 東京湾沿岸域における生物多様性を指標とした海辺環境評価の試み, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1161-1165.
- 今村正裕・松梨史郎(1997): 都市河川に流入する湾奥域における水-底質モデルの開発, 電力中央研究所我孫子研究所報告, U97050.
- 海の自然再生ハンドブック(2003): 国土交通省港湾局, 第1巻総論編, pp. 51-52.
- 梅山崇・古川恵太・岡田知也(2010): 生物生息環境を指標としたテラス型護岸の造成の基本的な考え方, 国土技術政策総合研究所資料(印刷中).
- 沿岸域における広域環境問題の取り組み(2000): 第Ⅲ期地球環境問題研究小委員会調査研究報告, 土木学会, pp. 1-5-7-1-5-12.
- 岡田知也・古川恵太(2006): テラス型干潟におけるタイドプールのベントス生息に対する役割, 海洋開発論文集, Vol. 22, pp. 661-666.
- 尾崎正明・伊藤利加・奥田泰永・二宮早由子(2000): 関西国際空港島護岸の藻場造成による環境創造効果について, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1196-1200.
- 小笹博昭・村上和男・浅井正・中瀬浩太・綿貫啓・山本秀一(1995): 多様性指数を用いた波高・構造物形式別の付着生物群集の評価, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1216-1220.
- 海上保安庁(2009): 東京湾リアルタイム水質データ MONITORING POST, Web による公開データ, <http://www4.kaiho.mlit.go.jp/kaihoweb/index.jsp>.
- 川崎健(2009): イワシと気候変動 漁業の未来を考える, 岩波書店.
- 関東周辺堤防釣り場ガイド(2009): 成美堂出版
- 木元新作(1976): 動物群集研究法 I, 共立出版, p. 192.
- 木元新作・武田博清(1989): 群集生態学入門, 共立出版, p. 198.
- 栗山雄司・東海正・田嶋健治・兼廣春之(2003): 東京湾海底におけるごみの組成・分布とその年代分析, 日本水産学会誌, 69. 5, pp. 770-781.
- 鯉淵幸生・五明美智男・佐々木淳・磯部雅彦(2000): 現地観測に基づく春季の東京湾における赤潮発生機構, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1071-1075.
- 河野博(2006): 東京湾魚の自然誌, 東京海洋大学魚類学研究室編, 平凡社.
- 港湾環境情報(2010): 国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室, 公開WEBサイト, <http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/engan/kaiyou/kaiyou1.htm>.
- 国土交通省国土技術政策総合研究所(2002): 平成14年度東京湾広域環境調査, WEBによる公開データ, <http://www.nilim.go.jp/>.
- 環境省(2009): 平成21年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, pp. 153-154.
- 港湾行政のグリーン化(2005): 国土交通省港湾局, 国立印刷局, p. 125.
- 柵瀬信夫・加藤智康・枝広茂樹・小林英樹・古川恵太(2007): 都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用, 海洋開発論文集, Vol. 23, pp. 495-500.
- 佐々木淳(1997): 東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1101-1105.
- 順応的管理による海辺の自然再生(2007): 環境配慮の標準化のための実践ハンドブック, 国土交通省港湾局海の自然再生ワーキンググループ
- 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・越川義功(2000): アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1111-1115.
- 杉田繁樹・中瀬浩太・古川恵太・重松孝昌・青木伸一(2002): 物理外力を考慮した生態系モデルによる干潟生態系の評価, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1236-1240.
- 鈴木寛・磯部雅彦(2007): 東京湾における生態系サービスの経済的な価値について, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 273-278.
- 鈴木輝明・畑恭子(1997): 底生生態系モデルEcosystem Engineering, Vol. 17.
- 生態系における構造と機能の評価方法に関するレビュー(2000): 水産工学研究集録, 水産庁水産工学研究所, February 2000 No. 8.
- 相馬明郎(2007): 「きれいな海」から「豊かな海」へー“干潟・浅海域と湾央域”及び“底生系と浮遊系”のカップリング(内湾複合生態系モデル)から見えてきたものー, 海洋理工学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 49-60.
- タウンニュース(2009): タウンニュース2009年6月18日号, <http://www.townnews.co.jp/index.html>.
- 東京湾再生のための行動計画(2003): 東京湾再生推進会議, 海上保安庁, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>.
- 東京湾水質一斉調査(2009): 海上保安庁, WEBサイト, http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renais

- sance/Monitoring/General_survey/index.htm.
- 東京湾読本(2008):東京湾の環境をよくするために行動する会, pp.23-24.
- 東京湾の釣り場ガイド富津～観音崎(2007):BIGシリーズ104, 株式会社海悠出版.
- 中田喜三郎(1997):沿岸生態系モデルの問題点 Ecosystem Engineering, Vol.17.
- 中田喜三郎・畑恭子(1994):沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境学会誌, Vol.17, No.3.
- 中辻啓二・尹鐘星・湯浅泰三・村岡浩爾(1995):東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.1066-1070.
- 中辻啓二・水谷法美・古川恵太(2007):特別セッション「生態系モデル」のまとめ, 第19巻, 海洋開発シンポジウム, pp.137-139.
- 中西敬・上嶋英機・上月康則・平田元美・宮城佳世(2001):海生生物の生息空間に及ぼす貧酸素水塊の定量的影響評価, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1061-1065.
- 中山恵介・佐藤千鶴・古川恵太(2007):東京湾奥における底層D0に対する風および河川流入の影響評価, 海洋開発論文集, 第23巻, pp.633-638.
- 早川修・古川恵太・川村信一・井上尚子・瀬藤一代・古川三規子(2008):市民協働による生き物の棲み処づくりの実践とその成果, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.771-776.
- 細川恭史・古川恵太(1993):海草の窒素吸収作用に着目した湾内窒素容量の数値計算, 環境システム研究, Vol.21.
- 古川恵太・中山恵介・岡田知也・宮野仁(2002):環境施策に資する内湾域の総合的な把握を目指したMEL1D-Mbモデルの構築, 国土技術政策総合研究所, No.1.
- ミレニアム生態系評価(Millennium Ecosystem Assessment 2005).
- 村上和男・長坂猛(1996):熱交換を考慮した鉛直一次元モデルによる貧酸素水塊の形成, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.1126-1130.
- 目黒嗣樹・加藤史訓・福濱方哉(2005):生態系の概念にもとづくインパクト・レスポンスフローを活用した海岸環境調査の提案, 海洋開発論文集, 第21巻, pp.235-240.
- 八木宏・内山雄介・鯉渕幸生・日向博文・宮崎早苗・灘岡和夫(1997):東京湾湾奥部における成層形成期の水環境特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.1076-1080.
- 八木宏・江連伸明・井瀬肇・Tanuspong POKAVANICH, 灘岡和夫・諸星一信・古土井健・有路隆一・森重輝政・小林聡(2007):東京湾羽田周辺水域における貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1036-1040.
- 八木宏・Tanuspong POKAVANICH・井瀬肇・灘岡和夫・有路隆一・古土井健・下司弘之・古殿太郎・大野幸正(2008):冬季東京湾多摩川河口沖海域への湾外系洲水波及と河口域への影響について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1086-1090.
- 柳哲雄・石井大輔(2009):博多湾奥部における貧酸素水塊発生・消滅機構, 海の研究, 18(2), pp.169-176.
- 渡辺彰(2008):追浜に“浜”を取り戻す活動!, 第9回東京湾シンポジウム報告書, pp.44-50.
- 湾の健康診断(2006):第7回東京湾シンポジウム, Mike Connor(サンフランシスコ汽水域研究所理事長(当時))基調講演, pp.6-16.
- Adamus, Paul R., Lauren T. Stockwell, Ellis J. Clairain, Jr., Michael E. Morrow, Lawrence P. Rozas, and R. Daniel Smith.(1991):Wetland Evaluation Technique(WET); Volume I: Literature Review and Evaluation Rationale. Technical Report WRP-DE-2. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Barnett, A.M. and T.D. Johnson(1991):Evaluation of the mitigative value of an artificial reef relative to open coast sand bottom by the biological evaluation standardized technique (BEST), Conference Proceedings, “Recent advances in aquatic habit technology”.
- Cable, T.T., V. Brack, Jr., and V.R. Holmes.(1989):Simplified method for wetland habitat assessment. Environmental Management 13,pp.207-213.
- Candy C. Bartoldus(1999):A COMPREHENSIVE REVIEW of WETLAND ASSESSMENT PROCEDURES, A Guide for Wetland Practitioners, ENVIRONMENTAL CONCERN INC.
- Hanawa, K. and J. Kamada(2001): Variability of core layer temperature (CLT) of the North Pacific subtropical mode water. Geophys. Res. Lett., 28, pp.2229-2232.
- Karr, J.R.(1991):”Biological integrity a long-neglected aspect of water resources management”, Ecological Applications 1,pp.66-84.
- Noto, M. and I. Yasuda 1999 Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 56, pp.973-983.
- Smith, R.D., A.Ammann, C. Bartoldus, and m. M.M.

Brinson.(1995):An Approach for Assessing Wetland Functions Using Hydrogeomorphic Classification, Reference Wetland, and Functional Indices. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-9. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.88.

U.S. Fish and Wildlife Service(1980):Habitat Evaluation Procedure HEP Manual(102ESM) U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.

Weisberg,S.B., J.A.Ranasinghe, L.C. Schaffner, R.J.Diaz, D.M.Dean, and J.B. frithsen (2007): “An estuarine benthic index of biotic integrity B-IBI for Chesapeake bay” Estuaries 20(1), pp.149-158.

Yanagi, T, T.Yamamoto, Y.Koizumi, et al.(1995):A numerical simulation of red tide formation, Journal of Marine Systems, Vo.6.

< 付録A > 第7回東京湾シンポジウム(2006)基調講演
「湾の健康診断：Performance measures for the health of the Bay」



サンフランシスコ湾研究所 理事長
Mike Connor 氏

There is an increasing emphasis in government agencies on developing performance measurements to track the progress of programs. In environmental management, the general structure for these performance measures is the use of a Pressure-State-Response (PSR) framework. This framework links pressures on the environment resulting from human activities with changes in the state of the environment. Programs and policies are then developed in response that reduce or mitigate the pressures or restore the natural resources. This framework has been adopted by many OECD countries.

In the United States, performance measures are now used for the management by all the "Estuaries of National Significance" managed by EPA's National Estuary Program (NEP). Generally these performance measures can be categorized into fisheries, water quality, sediment quality, habitat quality, and land use change. While these indicators are used by every one of EPA's NEPs, the conceptual model linking the pressure, state, and response can be weak or absent.

This paper investigates the performance measures for San Francisco Bay developed by the San Francisco Estuary Program and the California Bay Delta Authority. It then evaluates how these performance indicators can be improved by exploring four examples where PSR performance indicators have failed due to:

- Incompatible Goals: flow-based goals to protect salmon and native fish;
- Incomplete Knowledge: source reduction requirements for mercury discharges;
- Uncertain Causality: mercury contamination in fish; and
- Inappropriate Solutions: the evolution of stream toxicity from urban pesticides.

施策の進捗を評価する指標の作成が行政機関に求められている。環境管理においては、原因からの影響伝播（PSR）を基本とする手法が用いられる。この手法は、人間活動の圧力が状況を変化させ、環境への影響を引き起こしているということに基づいている。施策や政策は、こうした影響を緩和・低減したり、自然資源を再生するために計画される。こうした取り組みは多くのOECD加盟国で実施されている。

米国においては、環境省の国家汽水域プログラム（NEP）において管理されている” 国定重要湿地 “のすべてにおいて評価指標が導入されている。指標は水産、水質、底質、生息場の適正度、土地利用などに分類される。こうした指標はNEPの誰でも使えるようになっているので、圧力、状態、影響の概念モデルとの連携は無いに等しい。

本発表では、サンフランシスコ汽水域プログラムとカリフォルニア湾デルタ委員会が作成したサンフランシスコ湾の評価指標を紹介する。それがPSR式の評価が上手くいかなかった4つの例をもとに、どのように改良されたかを示す。

- ・ 比較が困難な目標設定： 在来魚とサケの保全のためのフローを考慮した目標
- ・ 不十分な知識： 水銀排出規制への必要性
- ・ 不明確な因果関係： 魚への水銀汚染
- ・ 不適切な解決手法： 都市の殺虫剤散布による川の汚染の発生

（事務局抄訳）

Performance Measures for Improving Estuarine Environmental Management: Lessons Learned From San Francisco Bay

Dr. Michael Connor
Executive Director
San Francisco Estuary Institute

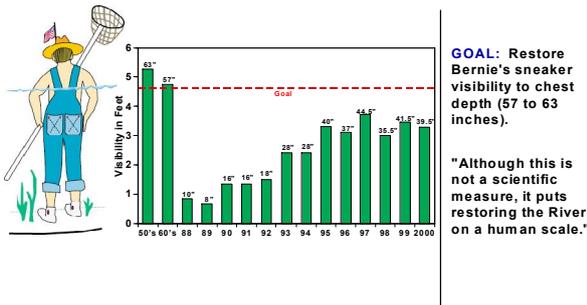


The Quintessential Environmental Performance Measure "Bernie Fowler Sneaker Index"



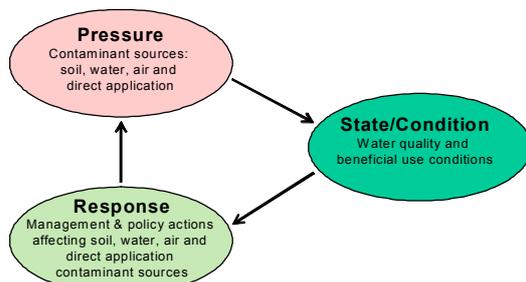
11th Annual Patuxent River Wade, June 1998 Photograph
Sneaker Index Score: 35.5 inches
Goal: 57 to 63 inches

Bernie Fowler has a Goal



Source: C. Bernard Fowler, 1992, 1993 Chair of the Chesapeake Bay Commission, Kent Mountford, U.S. EPA Chesapeake Bay Program.

"Pressure – State – Response" Model for water quality management



今日はご招待ありがとうございます。このような素晴らしい世界中の皆様と集まって仕事をするのはとても光栄でございます。今回訪日10回目なんですけれども、いつもこの東京湾の管理戦略と、それからサンフランシスコ湾との管理戦略を比較させていただいております。

正式なプレゼンテーションを始める前にアメリカの今週の間選挙についてちょっとコメントします。ご承知のようにブッシュ大統領が今回大敗を期しまして、それはやはりこの評価指標というのを使ってなかったからじゃないかと思うんです。例えばイラク戦争に関してブッシュ大統領がいつも「良くなっている」と言い続けているんですが、評価指標と比較すると、全然そのデータには注目していないということなんだと思います。それからこの評価指標で2つ目に重要な点というのは、いい概念計画、モデルがあるということです。どうすればこの状況が変わるかということを考えるわけです。ブッシュ大統領、いつも言うておりますようにイラクにはちゃんと計画を持っているんだと力説しておりますけれども、しかし毎週その計画は変わるわけです。ということはこれは現実的では決していないわけです。ですから2つ目にこういった評価指標を使う場合には状況がどのように動いていくかというモデルに基づいてなければならぬということです。そして民主主義のいい点というのは計画に関する情報、それから評価指標が明確である、透明であるということです。ですから一般の人達が政策がどのようなものであるか理解でき、そしてそれがどのように機能するかということが分かるわけです。

同じような考え方を環境の評価指標にも当てはめていきたいと思っております。これはBernie Fowlerのスニーカー指標と言われるものです。Bernie Fowlerはこの写真のど真ん中に写っている人なんですけれども、非常にたくさんの人達を率いて実はこれは水の透明度を測っているんです。Bernie Fowler Dayというのが1988年以来6月の第2日曜日にやっております。この日、メリーランド州の前上院議員、Bernie Fowler氏がPatuxent川に入っていくって、そしてどこまで深いところに行ったら足が見えなくなるかというのを試しているんです。

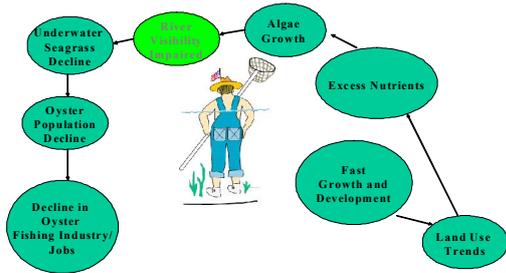
1950年代、60年代でしたら自分の胸くらいまでの深さでも見ることができたんですが、ここ数年、長い間ほとんど見えないという状態でした。この白いスニーカーが、非常にいい透明度盤の代替物となっているわけです。

この指標はなぜ有用かと申しますと一般大衆の人がこれをよく理解することができるからです。科学的指標としても、Bernieの個人の経験に基づいた指標としても有用なものとなりうるわけです。

アメリカの汽水域の管理者達もいろいろな評価指標を使っております。例えばこのPSR、原因からの影響伝播というフォーマットのモデルを使っています。これらのモデルは環境に対する負荷（例えば栄養物による汚染）が環境の状態・状況（例えば水の透明度）にどういう関係があるかということを示しております。

そうすることによりまして管理をするための栄養物の低減の戦略であるとか、或いは下水処理場の設立といったような、そういった対応策を検討するのであります。このPSRというモデルですが、これは環境管理におけるEUの戦略にも非常に大きな一端を成しております。

Sustainable Performance Measures Link to Conceptual Models



効果的にあるためにはこういった評価指標というのは明確な概念モデルを持っていなければなりません。それによりまして環境に対する圧力を環境に対するいろいろなその評価指標につなげ、そしてそれに関して一般の人達も注意を払うようになるからです。

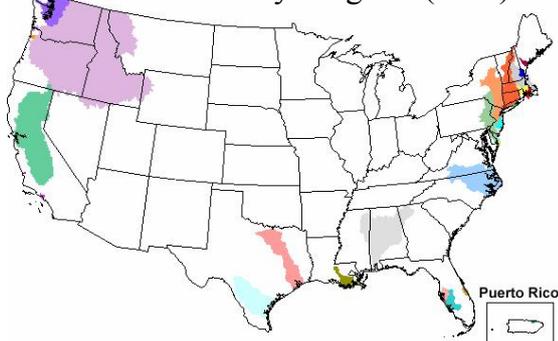
例えば、非常に迅速に都市化が進むことによりまして、排水が富栄養化し、そしてそれによって藻類の成長が促され、川の水の透明度が下がってしまいます。そうしますとこの水の下に住んでいる海藻の種類が変わり質が悪くなり、牡蠣が取れなくなるというふうにつながっていきます。

Outline

- Performance Measures Background
 - How They Work: Bernie Fowler Index
 - Survey of US Estuary Measures
- San Francisco Bay Case Study
 - 2 Successful examples
 - 4 measures needing improvement
- Lessons Learned

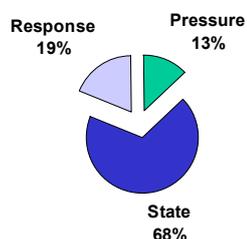
このような評価指標にはどういう困難があり、難しい点があるかという点についてお話ししたいと思います。まずアメリカにおける評価指標の話から始めたいと思いますが、そしてその中で特にサンフランシスコ湾の経験についてお話しし、そしてどのような教育があるかということをもとめたいと思います。

Estuary Watersheds of National Estuary Program (NEP)



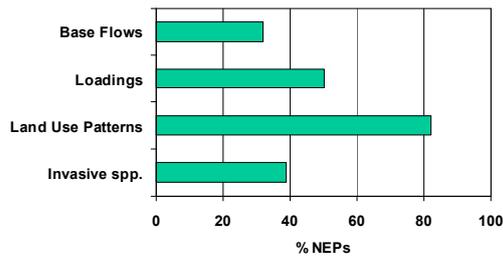
最も沿岸水域の大きな管理を行っているのが環境保護局の国家汽水域プログラム、NEP であります。そしてチェサピーク湾のプログラム、それからまた 27 の他のこの汽水域プログラムで使われている評価指標について調べてみました。全部で 709 の評価指標が 28 の汽水域から得られたわけですが、その中で大体 3 分の 2 くらいの評価指標というのがいわゆる環境の現況をはかるものであります。そしていわゆる影響、負荷に関するものは少なかったわけであります。

NEPs Emphasize State Measures (709 Measures from 28 Estuaries)



まずこの負荷に関する指標ですが最もよく使われているのが土地利用のパターンであるとか、また汚染物質の種類であります。環境の影響を測定するために汽水域の管理者達が最もよく使うのが、いわゆる魚資源であります。いろいろな水質の基準でありますとか堆積物の質、また魚の体内に含まれる汚染物質の量、それからまた鳥類の数の状況、そういったものが少なくとも半分の汽水域でこういった評価指標として使われております。

Pressure Indicators



San Francisco Bay Case Studies

- Wetland Restoration Goals
- Dissolved Oxygen
- Chlorophyll
- Mercury in Fish
- Riverine flow (salinity excursion)
- Water & Sediment toxicity

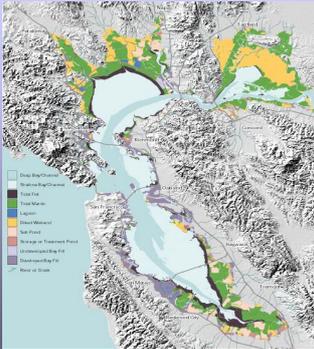


全国的に申しまして、アメリカの沿岸管理者が使っている評価指標というのはほとんどがこの汽水域の状態に関するものです。いわゆる Bernie Fowler のスニーカー指標といったような優れたエレガントなものではなく、また汽水域の状態と問題の原因、また管理、運営のための解決方法ときれいに繋がっていないものです。ですからまだまだ改善の余地があります。

それではもう少し細かく、サンフランシスコ湾における評価指標について見て行きたいと思います。まず2つの成功談として Wetland Restoration Goals、それからまた溶解酸素についてお話をしたいと思います。

そしてその後4つの評価指標で改善の余地のあるものについて言及したいと思います。クロロフィル、魚の体内の水銀、川の流水、そしてまた水及び堆積物における毒素であります。

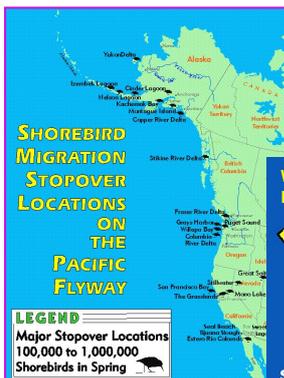
Guidelines for Future Baylands



この地図を使って今までの歴史を見ていきますと、この湾におけるゴールドラッシュが1849年にあったんですが、その前のいわゆる湿地帯の面積を見ていきますと、この地域には1,400 k㎡の淡水湿地があり、またいわゆるセントラルバレー、中央渓谷のデルタがありまして、それからまた後はいわゆるその塩水性の湿地が800 k㎡も広がっていました。今日では125k㎡の湿地が残っているだけです。もともと2,200 k㎡あったものが、95%が失われたということになります。

この100年間にほとんどの干潟というのは埋め立てられ、塩田化されました。そして堰を切ってこれを鴨漁場にしたり、それから農地にしたということでもあります。そこでこういった地図を見まして100名ほどの研究者、科学者、それから利害関係者が集まりました。再生するためのこの沿岸地域で、魚類、それから鳥類の生息地を最大化しようということをゴールにしたわけです。

サンフランシスコ湾の湿地帯ですけれども非常に重要な鳥の生息地として知られています。100万羽の渡り鳥が沿岸にいます。サンフランシスコのは飛行ルートに当たっており、水鳥の渡りがあるんです。



- International Importance for Migratory Birds
 - Pacific Flyway Migration and Wintering Area (20% of N. A. waterfowl in the Central Valley & SF Bay)
 - Western Hemispheric Shorebird Reserve Network





いろいろな種類の鳥がいて、それぞれ生息地の必要条件というのが違います。ですので我々の評価尺度としては出来る限り種の数を広く対象にしようということでありました。

というわけで、10万エーカーということですので40,000ヘクタール相当を改善しようという目標を設定しました。それも均一ではなく異なった生息地タイプのもを順次提供していこうと考えたわけです。これがはっきりした目標となりましたので評価尺度もはっきりしているわけです。そして将来はどうなるだろうという予測も立てることができます。またゴールを持つと目標を設定するというのは役に立ちます。というのは共通の目標が目に見える形で多くの団体を巻き込むことができ、湿地再生に関わりたいという公共、官公庁、それから環境保護団体、並びに民間団体、またNGOといった機関が関わるすることができます。

またゴールは改善していきます。即ちプログラムが始まってどういう特性が湿地生息地の質として重要なのかということがわかってくるからです。例えば現状の湿地というのは緑で示したものですけれども、こちらの方が小さく、また孤立した形になってます。もともと湿地帯の広がりがあったものが孤立してきているということが分かります。面積が小さいだけではないわけです。パッチのようなものである、それで測ってみますが、そういった特徴があると。ということは我々の改善目標として再生といった場合に大型化した、いわゆる湿地生息地をつくるべきではないか、それが重要ではないか。特に環境に感受性の高い鳥類、哺乳類に関してはそれが必要と考えました。



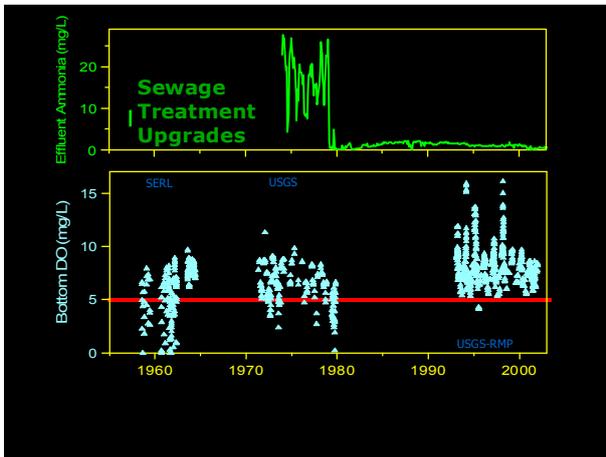
こちらは航空写真です。サンフランシスコ湾のサンノゼ近くのも塩田の跡地です。5,000ヘクタールくらいの土地改良をしました。サンノゼというのはカリフォルニア第2の都市なんですけれどもその近くです。

先ほど、評価尺度は4つあるんだということを申し上げました。まず概念モデルは因果関係をきちんと説明し、状況に即して判断できるようなものであるか、環境に対する負荷が測れるか、それから管理行動はきちんと取れるか、それから実行可能な目標であるかという評価項目です。

この湿地再生については、見ていただきますと、概念モデルということ、それから因果関係、結果に対してのもですが特に更に渡り鳥を増やそうというのはかなり原始的なものです。ただしパフォーマンスメジャー、評価尺度としてはこれは成績はいいですね。というのは管理行動というのはできたし、コンセンサスが随分多くの人達、団体が関与することになりました。且ついわゆる実現可能な目標で目標であったかということに関しましても「そうだ」という結果が出ているわけです。

Performance Measure Evaluation

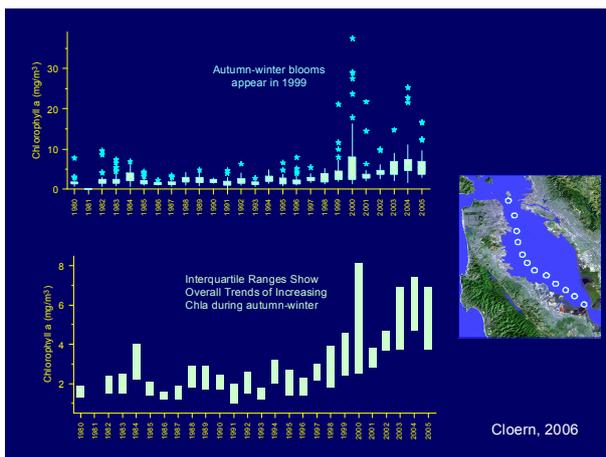
	Conc. Model	Causality	Mgmt. Action	Feasible Goals
Wetlands	*	*	***	***



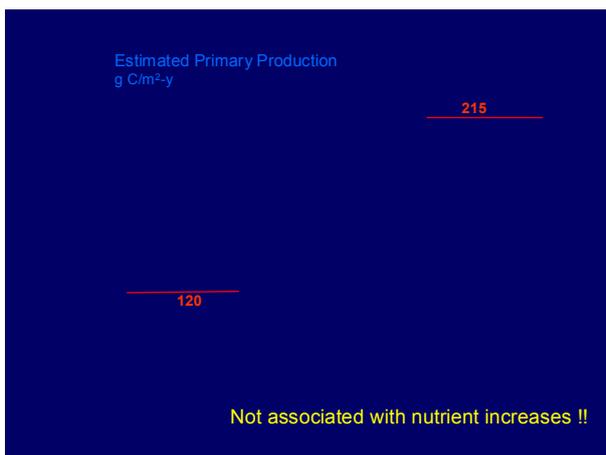
それからもう1つの成功した評価尺度として、酸素濃度があります。これは生物学的許容を逸脱した、つまり5ppmからかなり外れた値が60年代、70年代に観測されていました。これがいわゆる基準値外れというのが深刻になりまして、下水処理が更に行き届くようになったのが70年代後半です。これによりましてかなり排出水のアンモニア濃度が減少しました。これによって劇的な改善が、特に酸素濃度に関してサンフランシスコ湾では改善したということになります。



これは長期の水質モニタリングプログラムの結果です。この印がついてところが湾の軸に沿ってというところで計測されています。

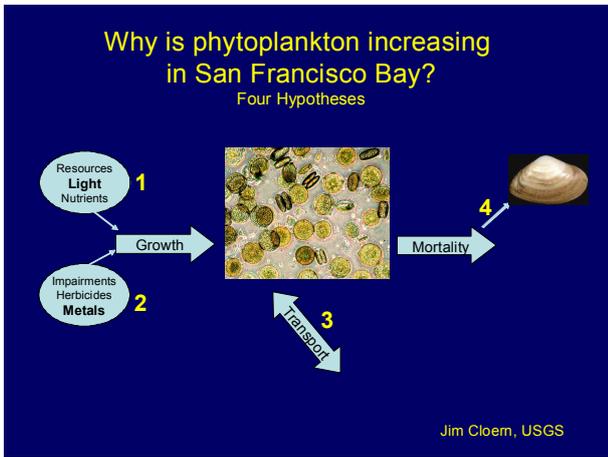


しかし他にも評価尺度はありまして、こちらの方はちょっとびっくりするような結果が出てきました。99年以降、クロロフィル濃度というのが湾内で上昇していました。特に大量発生、ブルームという形で秋、冬、これが跳ね上がっていたのです。

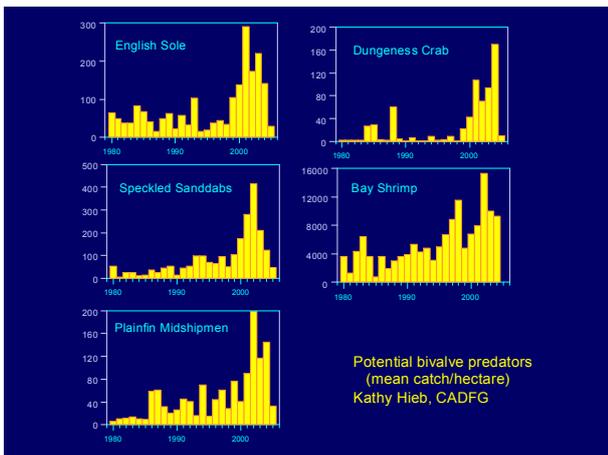


これを拡大してみたのがこちらです。そしてこの結果、基礎生産力が大体75%くらい上がったと推測されています。サンフランシスコ湾における栄養物のレベルというのはそんなに変わってませんし、一般的に言ってサンフランシスコ湾の植物性プランクトンは栄養物ではなく光によって制限されています。

ただ残念なことにこういうような変化がいわゆる水質、或いは水の透明度を上げるためにいろいろな管理手法を取ったからなのか、そしてまた金属の含有量を減らしたからなのか、或いは自然のプロセスとして例えば沿岸海水であるとか、或いは食物連鎖の効果によって植物性プランクトンのいわゆるこの二枚貝、が増えたか減ったかということが原因なのかなど、よく分かっておりません。



米国地質調査所の Jim Cloem が 1 つの仮説を出しています。まず水の透明度が上がった理由としてはいわゆるその地表水の流入がコントロールされ、そして長期的にダムが増えてきたことによって説明されています。そしてこのように透明度が上がりますと、植物性プランクトンの成長できる水の量が増えるわけです。それから 2 つ目に有毒金属の排出、例えば銅ですがこれが減りました。恐らくそれによってプランクトンに対する毒性が下がりました。それから 3 つ目に植物性プランクトンはいわゆる沿岸海域からこの湾に取り込まれた可能性があります。それから最期にこの植物性プランクトンの食性を持つ生物自身が減ってしまったということです。



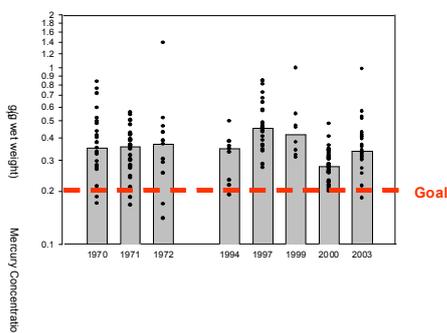
この仮説ですけど、私も気に入っております。この二枚貝が減った原因とはいわゆる魚が食べたからということではないかと思えます。こういった二枚貝を食している魚はほとんどその生活をこの沿岸の水域の中でしておりまして、この湧昇パターンが変わりますとこのように湾のところで魚が増え、それによって二枚貝が減ったということが考えられます。

Performance Measure Evaluation

	Conc. Model	Causality	Mgmt. Action	Feasible Goals
Wetlands			***	***
Oxygen	***	***	***	***
Chl a	*	?	?	?

これらの水質の評価指標を評価するのに酸素濃度がうまく使えるというふうに考えております。それはこれは良い概念モデルを持つことによりまして実現可能なゴールにたどりつくための手法に対して因果関係を提供することができるからです。一方でクロロフィルについては、まだまだ概念モデルは発展途上です。そして因果関係もはっきりしていません。更にこのような管理手法、そしてどのような目標を設定するのかというのがクロロフィルに関しては、まだそれが実現可能なものかどうかよく分からないのです。

Mercury in Striped Bass Shows No Trend



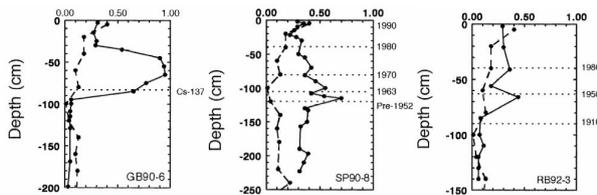
それからもう 1 つ大きな評価指標は、サンフランシスコ湾、それからまたアメリカ全体に言えることなんですけれども、魚の体内に含まれる水銀汚染のレベルであります。ストライプドバス、ズスキの仲間ではありますが 0.2 ppm これはカリフォルニアの目標値なんですけれどもこれを越えております。そしてこの状況は過去 30 年間全然変わっておりません。

Current Mercury Loads and Proposed Allocations

Sources	Current Mercury Load (kg/yr)	Load Allocation Goal (kg/yr)
Central Valley Watershed	440	420
In-Bay Dredged Material Disposal	410	170
Guadalupe River Watershed	100	10
Urban Storm Water Runoff	95	38
Rural Storm Water Runoff	62	62
Direct Atmospheric Deposition	27	27
Wastewater	14±4	18
Other Sources	16	16
TOTAL	1,200	760

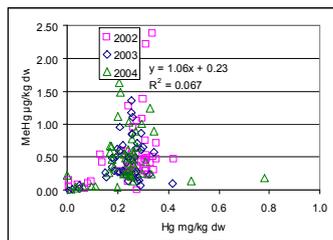
概念的モデルを使いましてこの堆積物における水銀の量と、それから魚の汚染度を関連付けて考えますと、州の当局は水銀の負荷が大きく下がったと言っておりますが、これはガダルペ流域における水銀の鉱山が廃坑になったということ、それからまた跡地の流出水が下がったということによって示されています。しかしながらこのデータから、この概念モデル自身が間違えてるのではないかということが示唆されています。

Hg Sediment Cores Show Significant Decreases in Hg Loads



と言いますのもこの堆積物のコアの部分、非常に大きくこのサンフランシスコ湾内における水銀の濃度が堆積物において下がった、特に50年間下がったということを示しているのですが、先ほど申しましたように魚の体内における水銀の量というのは全然変わっていないわけです。

Biologically Important MEHg Not Correlated with Total Sediment Hg



そしてこのデータからもう1つ分かることは、この堆積物の総水銀量と、それから生物濃縮されるメチル水銀との量の間にはほとんど相関がないということです。このデータから分かることは魚の体内の水銀を減らすということはこれは負荷の問題ではなくメチル化の問題ではないかということです。1つの潜在的なこのメチル水銀が増える理由と致しましては、この新しい、今開発しようとしている干潟ではないかと考えられます。と言いますのはこの干潟というのは、或いはその湿地というのはこのメチル化の主な起こるところでありまして、そしてそのメチル化した水銀が、そこでできたものが湾に持ち込まれるのではないかということです。

Performance Measure Evaluation

	Conc. Model	Causality	Mgmt. Action	Feasible Goals
Wetlands	*	*	***	***
Oxygen	***	***	***	***
Chl a	*	?	?	?
Fish Hg	?	?	?	?

こうして見ますと、評価指標として、魚の水銀というのは不十分な概念モデルで、しかも因果関係もはっきりしていないわけです。そしてその管理手法もはっきりせず、またゴールも実現不可能なものかもしれませんが、しかしながらこの場合、少なくとも一般の人達の懸念度がとても高くなっておりますので注意深く検討していく必要があります。そしてまた同時に、更に科学的な研究を進めることによりましてこの概念モデルを改善していきたいものであります。

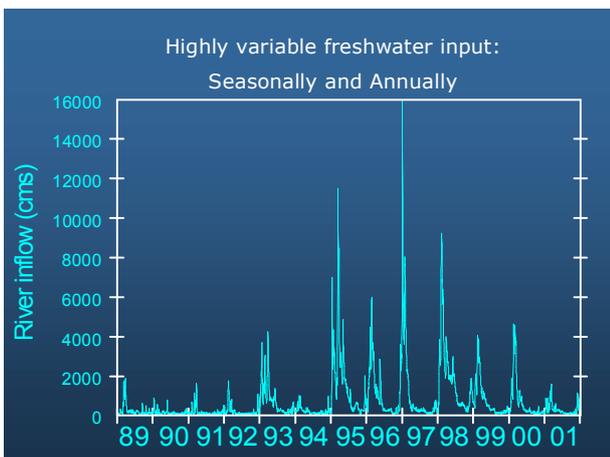
Bay Flow Indicators:

Since 1956, the California Water Projects have routed ~30% of inflow to irrigation and Southern California. Can Bay fisheries be preserved?

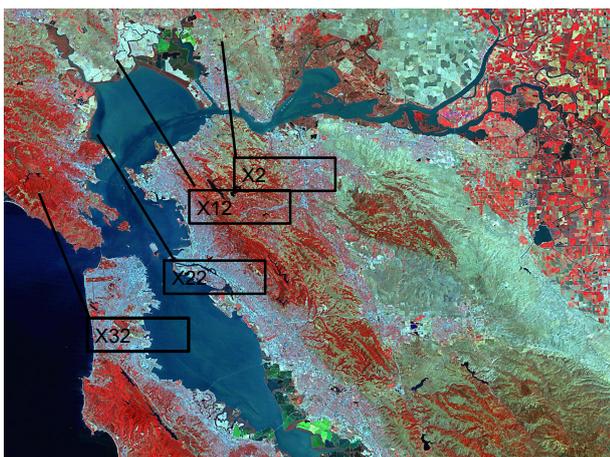


そして最も難しく、また非常に議論の分かれるところとなっているサンフランシスコ湾におけるこの評価指標であります。

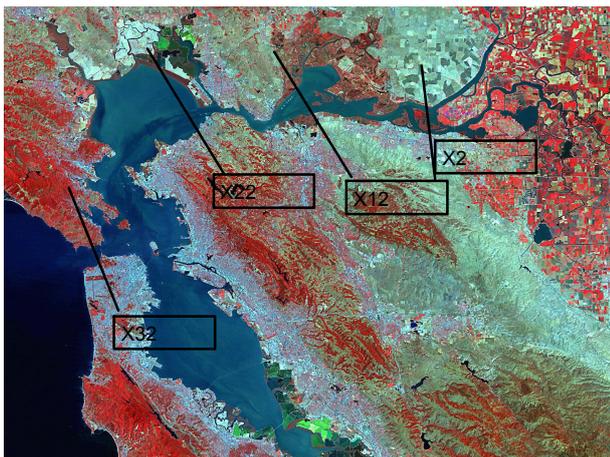
これは淡水の流入であります。サンフランシスコ湾の流域というのはカリフォルニア州半分を占めているわけですが、この過去50年間、この流入の30%がいわゆる灌漑と飲み水によって使われるようになっていました。



ですのでサンフランシスコ湾に対する淡水流入量というのはかなり季節変動がある。それから年によっても違うということになります。この流入水の量の高が結局塩分濃度に関わってきます。



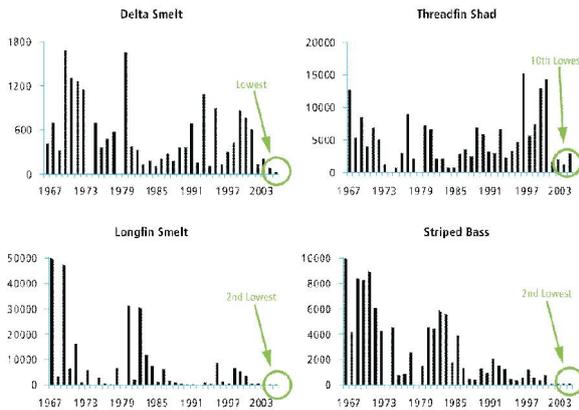
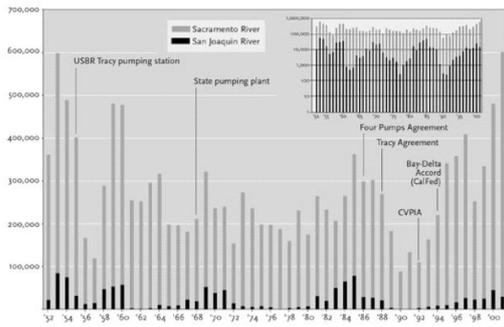
春になりますと重要な湿地生息地というのが淡水域になります。



ところが夏には、汽水域になっています。等塩分線で 2ppt というのを使っております。これはプランクトン量が相関しているからです。

Goal to Improve Salmon Runs

Total Valley Escapement



春は鮭の遡上がありますのでこれを守ろうということであり、鮭の遡上率を上げようというパフォーマンスゴールに関しては実ってきております。

しかし鮭の方は大丈夫なんです、今度は他の魚種に目を向けるとどうなのかということを考えてみましょう。塩分濃度によって制限されてくるような魚種もあるわけです。例えばこうしたものは上流の水温が高いということと、それから下流の塩分濃度に影響を受けて、その組み合わせによって生息地が狭まるということです。

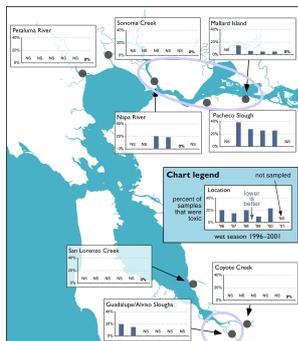
鮭の遡上を元通りにしよう、それから在来魚種を守ろう、それから飲料水を確保しよう、全部できるか？これはできないということになるわけです。

Performance Measure Evaluation

	Conc. Model	Causality	Mgmt. Action	Feasible Goals
Wetlands	*	*	***	***
Oxygen	***	***	***	***
Chl a	*	?	?	?
Fish Hg	?	?	?	?
Flow Goals	**	**	**	???

というわけで我々の概念モデル、因果関係、それから管理行動。サーモンの子を見るとこれは成績はいいわけです。しかし鮭の方は目標は大丈夫なんですけど浮魚、それから水をこのエコシステムから取り出して人間が活用する。この3つのバランスは取れるか？取れないわけです、というわけで水をめぐる政治的な議論というのが高まっております。

Water Column Toxicity Declined With Phase-Out of OP Pesticides 1996-2001

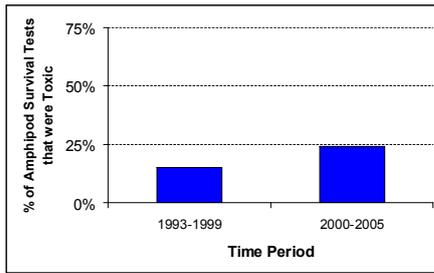


◆ Diazinon and chlorpyrifos toxicity has declined at these 4 sites

また別の指標で逆の作用を見てしまったものがあります。リン酸系の殺虫剤、ディアジノン、クロルピリフォスというのがそうなんです。

例えばこれは毒性のあるものを湾内に放出しないということで90年代、2000年代と段階的に殺虫剤・農薬の使用を廃止してきた状況を示しています。これはそのままうまくいったんです。ところが湾内の毒性は殺虫剤・農薬の使用が減ったので減りましたが、リン酸系の農薬が取ってかわったということでピレスロイド系シペルメトリン、ピフェントリンといったものが使われるようになってきました。

But Sediment Toxicity has Increased



これらは水中における毒性は低いわけですが、ところが残念なことはモニタリングをやってみましたところ、湾内の水の毒性は減りましたが、逆に底質の毒性が増えたというのが観察されました。

この毒性ですけれども何に関係があるのかということピレスロイド系の殺虫剤だったわけですが。これらの殺虫剤は水中や農業の生産従事者に対する毒性は低いのですが、残留毒性が非常に強く、底質の中にとどまる物質となっていました。というわけでリン酸系の農業現象低減というのはゴールに達成することができたわけですが、その結果、それ自体が逆の効果をもたらすようなものを持っていたということになります。

Performance Measure Evaluation

	Conc. Model	Causality	Mgmt. Action	Feasible Goals
Wetlands	*	*	***	***
Oxygen	***	***	***	***
Chl a	*	?	?	?
Fish Hg	?	?	?	?
Flow Goals	**	**	**	???
Pesticide Toxicity	**	**	???	?

というわけで評価指標というのは可能で、これをもってして公の行動を取ることもできますし、環境改善は実現可能であり、有効であると考えられます。

良い概念モデルがあるのかどうかということ、つまり環境に対する負荷、状態改善、それから管理対応といったものを実現可能なゴールにつなげていくということが大切です。特に、概念モデルの作成に当たって非常にきちんとした考え方、科学が必要です。これがないとモデルはうまく機能しません。また最後に見ていただいた2点に関しては、モデルも理解も良かったのですが、最後の結果というのは結局、代替案を念入りに検証できなかったことによって逆の結果を招いてしまった。最終的には非現実的なもしくは、相容れないゴールになってしまったということになります。

San Francisco Summary

- Successes- Wetlands, DO good conceptual models, linkages to actions;
- Chlorophyll - causality, incomplete knowledge, no linkage to Management actions;
- Mercury contamination in fish—expensive source reduction requirements with incomplete conceptual model;
- Flow-based Goals—Incompatible Goals to protect both salmon and native fish;
- Pesticides—management solutions inappropriate.



最後のスライドでこの3点を強調しておきたいと思えます。即ち概念モデル、それからそれらの関連性とゴールについてです。

沿岸の環境管理、改善というのは継続する実験のようなものです。実験をやるからには実験系の仮説がまずなければいけない。ですから概念モデルがなければいけないし、それを検証するというアプローチがなくてはなりません。そのための評価尺度を必要であるし、解釈も必要であるということになるんですが、且つその方針というのをデータが入ってきた時点で適切に変更していくということも必要であると、調節が必要です。なぜかと言いますと沿岸環境の管理というのは非常に遅々として進まないものでありますし、実験ですと言っても一箇所ですとまとめてぱっと結果が出るものではありません。

Lessons Learned

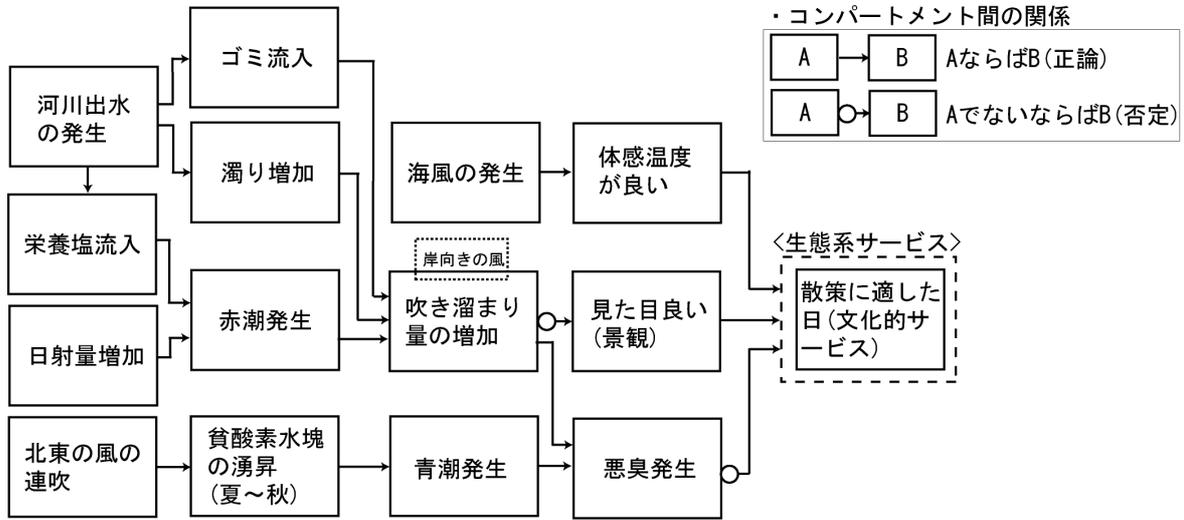
- Performance Measures Need to Link to a Conceptual Model that Includes Pressure-State-Response
- Performance Measures Depend on Scientifically-Based Linkages
- Performance Measures Need to Link to Clearly Articulated Goals. Multiple Goals Must Be Compatible



サンフランシスコ湾、それから東京湾に限ってできるものではないということでありまして。ただしこのように開かれたシンポジウム会議をすることによりましてそれぞれの経験の交流が出来るでしょう。成功・不成功というものをお互いに共有することができるかと思います。

昨日の新聞を読んでいましたら農林水産省が東京湾の食用魚の再生のために分科会を行うという記事を見ました。国土関係また農水産関係の当該官庁の協力により漁業や環境等様々な視点から、沿岸都市域や河口水域の環境再生ができることを祈っております。

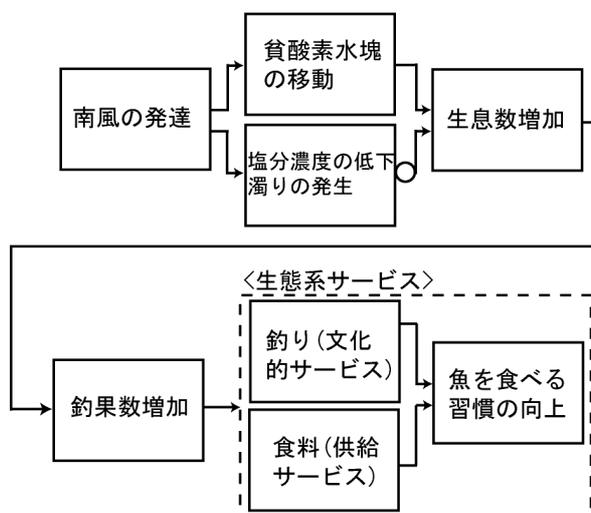
<付録B-1：日々の散策を対象とした概念モデルの例>



ー	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
1	河川出水の発生	ゴミ流入	沿岸域では、河川からのゴミの流入の影響を強く受けている。ただし、具体的な量に関しては不明である。 (参考文献例) ・栗山 雄司・東海 正・田島 健治・兼廣 春之(2003)：東京湾海底におけるごみの組成・分布とその年代分析, 日本水産学会誌, 69. 5, pp. 770-781.
2	河川出水の発生	濁りの増加	河川出水時における濁度の上昇は、数多くの調査にて報告されている。 (参考文献例) ・八木宏・江連伸明・井瀬肇・Tanuspong POKAVANICH, 瀬岡和夫・諸星一信・古土井健・有路隆一・森重輝政・小林聡(2007)：東京湾羽田周辺水域における貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 1036- 1040.
3	河川出水の発生	栄養塩の流入	出水時における栄養塩濃度の上昇は、数多くの調査にて報告されている。 (参考文献例) ・環境省(2009)：平成21年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, pp. 153-154. ・東京湾読本(2008)：東京湾の環境をよくするために行動する会, pp. 23-24.
4	栄養塩の流入	赤潮の発生	栄養塩と赤潮の関係について、数多くの研究結果が報告されている。 (参考文献例) ・鯉淵幸生・五明美智男・佐々木淳・磯部雅彦(2000)：現地観測に基づく春季の東京湾における赤潮発生機構, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1071-1075. ・柳哲雄・石井大輔(2009)：博多湾奥部における貧酸素水塊発生・消滅機構, 海の研究, 18(2), pp. 169-176.
5	北東の風の連吹	貧酸素水塊の湧昇	北東風の連吹があると、底層にある無酸素水塊が接岸し湧昇する結果、海表面を青白く変色させる青潮が発生する。 (参考文献例) ・中辻啓二・尹鐘星・湯浅泰三・村岡浩爾(1995)：東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1066-1070.

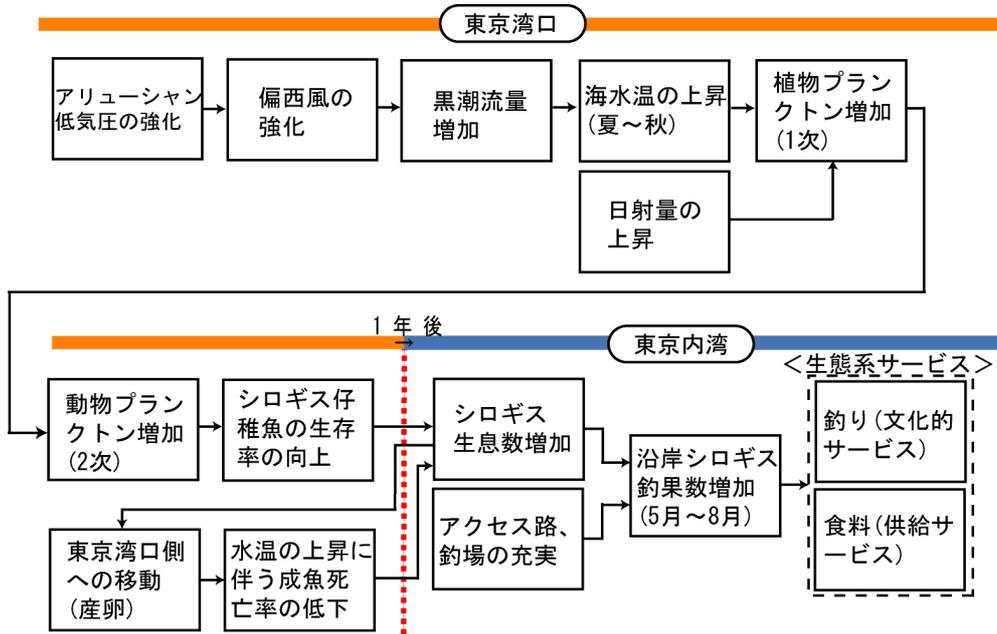
—	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
6	貧酸素水塊の湧昇	青潮発生	北東風の連吹があると、底層にある無酸素水塊が接岸し湧昇する結果、海表面を青白く変色させる青潮が発生する。
7	青潮発生	悪臭発生	<p>青潮は、水産生物など生息生物に多大な影響をもたらす、それに伴う死骸の漂着や青潮自体の悪臭が問題となっている。</p> <p>(参考文献例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京湾再生のための行動計画(2003)：東京湾再生推進会，海上保安庁，http://www1.kaiho.mlit.go.jp/.
8	赤潮発生/ゴミ流入	吹き溜まり量の増加	<p>滞留部に赤潮やゴミが滞留することに伴う悪臭が問題となっている。</p> <p>(参考文献例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タウンニュース(2009)：タウンニュース2009年6月18日号

<付録B-2：日々のシロギス釣果を対象とした概念モデルの例>



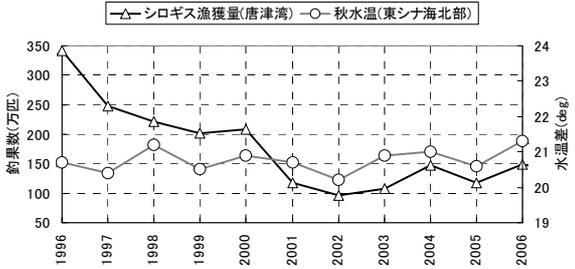
ー	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
1	南風の発達	貧酸素水塊の移動	千葉灯標における貧酸素水塊と東京灯標における風との関連を分析した結果、南風の卓越時において貧酸素水塊が解消された(本論中、図-6(e), (f))。これは南風の影響に伴い、湾内底層水が湾軸西側へ移動したためである。 (参考文献例) ・八木宏・Tanuspong POKAVANICH・井瀬肇・灘岡和夫・有路隆一・古土井健・下司弘之・古殿太郎・大野幸正(2008): 冬季東京湾多摩川河口沖海域への湾外系洲水波及と河口域への影響について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1086-1090.
2	南風の発達	塩分濃度の低下, 濁りの発生	千葉灯標における塩分濃度と東京灯標における風との関連を分析した結果、風速10m/secを越える南風が連吹した期間では、底層における塩分濃度が低下した(本論中、図-6(d), (f))。これは東京湾奥部において比較的強い南風が連吹すると、表層水が湾奥部へ吹き寄せられ、それによって底層まで高温・低塩分で満たされる状態になるためである。 (参考文献例) ・八木宏・内山雄介・鯉淵幸生・日向博文・宮崎早苗・灘岡和夫(1997): 東京湾湾奥部における成層形成期の水環境特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1076-1080.
3	貧酸素水塊の移動	釣果数増加	千葉灯標における貧酸素水塊と市原海づり施設におけるシロギス釣果数との関連を分析した結果、貧酸素水塊が解消時に釣果が多かった(本論中、図-6, 期間A, B, D, E)。なお、マコガレイ、スズキ、イシモチなどにおいても、同様な結果が得られた。
4	塩分濃度の低下	釣果数増加	千葉灯標における塩分濃度と市原海づり施設におけるシロギス釣果数との関連を分析した結果、底層における塩分濃度が低下すると釣果数が減少した(本論中、図-6, 期間C)。シロギスは海底面上約30cmを群れで遊泳し、高塩分水塊を好む魚類であることが要因として考えられる。 (参考文献例) ・関東周辺堤防釣り場ガイド(2009): 成美堂出版 ・河野博(2006): 東京湾魚の自然誌, 東京海洋大学魚類学研究室編, 平凡社

<付録B-3：シーズンのシロギス釣果を対象とした概念モデルの例>



ー	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
1	アリューシャン低気圧の強化	偏西風の強化	黒潮流量の長周期変動がアリューシャン低気圧の強度をあらわす北太平洋指数の長周期変動と5年遅れで相関が高い。このことは、北太平洋中央部における風の変動が、黒潮の流量の経年変動を引き起こしていることを示唆している。 (参考文献例) ・気象庁WEBサイト： http://www.jma.go.jp/jma/index.html ・Hanawa, K. and J. Kamada (2001) : Variability of core layer temperature (CLT) of the North Pacific subtropical mode water. Geophys. Res. Lett., 28, pp. 2229-2232.
2	偏西風の強化	黒潮流量の増加	北太平洋中央部における風の変動と日本南方の黒潮流量の変動が、約3年遅れで相関が高い。 (参考文献例) ・気象庁WEBサイト： http://www.jma.go.jp/jma/index.html ・Yasuda, T. and Y. Kitamura (2003) : Long-term variability of North Pacific subtropical mode water in response to spin-up of the subtropical gyre. J. Oceanogr., 59, pp. 279-290.
3	黒潮流量の増加	海水温の上昇	黒潮通過時において、水温の上昇がみられる。ただし、蛇行流路と観測地点に関する留意が必要である。 (参考文献例) ・気象庁WEBサイト： http://www.jma.go.jp/jma/index.html

ー	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
4	海水温の上昇	植物プランクトン増加	水温の上昇に伴い植物プランクトンが増加するとの考え方, また, 黒潮域の内側(陸側)において海底から栄養塩が湧昇し, それに伴い植物プランクトンが増加するとの考え方などがある. 今後, 本コンパートメント間における因果関係の解明に向けた調査や研究の推進が必要であると考え. (参考文献例) ・松梨順三郎(1993): 環境流体汚染, 森北出版株式会社
5	植物プランクトン増加	動物プランクトン増加	食物連鎖の関係から, 植物プランクトンの増減は動物プランクトン(シロギスの仔稚魚期の餌となるカイアシ類やアミ類)の成長に影響すると考えられる. (参考文献例) ・松梨順三郎(1993): 環境流体汚染, 森北出版株式会社 ・河野博(2006): 東京湾魚の自然誌, 東京海洋大学魚類学研究室編, 平凡社
6	動物プランクトン増加	シロギス仔稚魚の生存率の向上	シロギスの仔稚魚期では, 主にカイアシ類, アミ類等を多く摂餌する. スズキは仔稚魚期における餌の摂取量がその後の成長に大きく影響するとの例があるが, シロギスの場合, 接種量がどの程度寄与するかについては不明である. 今後, 本コンパートメント間における因果関係の解明に向けた調査や研究の推進が必要であると考え. (参考文献例) ・河野博(2006): 東京湾魚の自然誌, 東京海洋大学魚類学研究室編, 平凡社 ・水産学シリーズ (2007): 閉鎖性海域の環境再生, 156, 恒星社厚生閣
7	海水温の上昇	シロギス仔稚魚の生存率の向上	シロギスと同様に多産卵性魚であるマイワシが, 水温の変化によって1歳までの生存率が変化することを参考に, 大黒および市原海づり施設におけるシロギス釣果数と関東の南の水温(本論, 図-10)との年変動を分析した結果, 両者に高い相関関係があることから, 釣果には東京外湾の水温が強く影響すると考えた. ただし, 今後, 本コンパートメント間における因果関係の解明に向けた調査や研究の推進が必要であると考え. (参考文献例) ・Noto, M. and I. Yasuda(1999): Population decline of the Japanese sardine, <i>Sardinops melanostictus</i> , in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension. <i>Can. J. Fish. Aquat. Sci.</i> , 56: pp.973-983.
8	シロギス仔稚魚の生存率の向上	シロギス生息数/釣果数増加	大黒海づり施設および市原海づり施設におけるシーズンの釣果数の変動が同期していることから(図-9), 東京内湾域におけるシーズンの釣果数は, 湾口側から内湾側へ移動する数に依存すると考えられる.
9	シロギス釣果数増加	東京湾口側への移動(産卵)	東京内湾域において, シロギスの卵や仔稚魚が見られない, すなわち産卵時期にシロギスは東京湾口へ移動している. (参考文献例) ・国土交通省国土技術政策総合研究所(2002): 平成14年度東京湾広域環境調査, WEBによる公開データ, http://www.nilim.go.jp/ . ・河野博(2006): 東京湾魚の自然誌, 東京海洋大学魚類学研究室編, 平凡社
10	東京湾口側への移動(産卵)	水温上昇に伴う成魚死亡率の低下	産卵前後における死亡率については, 現在のところ不明点である. 従って, 本コンパートメント間における因果関係の解明に向けた調査や研究の推進が必要であると考え.

ー	前コンパートメント	後コンパートメント	考え方, 分析結果, 参考文献など
11	水温の上昇に伴う成魚死亡率の低下	シロギス生息数, 釣果数増加	<p>唐津湾におけるシロギスの漁獲量と東シナ海北部における水温(気象庁WEBサイト)を解析した結果, 水温の上昇・下降に伴い, シロギスの漁獲量も増加・減少する傾向が見られた(下図). なお, 1996年から2001年における漁獲量の線形的な減少は, レジームシフトの影響に伴い大型魚であるサワラの生息域が拡大したため, と考えている. なお, 本コンパートメント間における因果関係の解明については, 今後の調査や研究の推進が必要であるとする.</p>  <p>△シロギス漁獲量(唐津湾) ○秋水温(東シナ海北部)</p> <p>・気象庁WEBサイト : http://www.jma.go.jp/jma/index.html ・佐賀県玄海水産振興センター(2008) : 唐津湾海域におけるシロギスの資源状況の解析, http://fra-seika.fra.affrc.go.jp/~dbmngf/icons/each_pic/2602/2602_1.pdf, WEBサイト.</p>
12	アクセス路, 釣り場の充実	シロギス釣果数増加	<p>東京湾の水際線は直立護岸や港湾施設に占められており, 陸から直接海に触れることができる場所はほとんどないため, 結果的に海や海辺環境に対する市民の関心は薄くなっているとの事から, 沿岸からの生態系サービスを楽しむためには, 浅場や砂場の充実に加え, 沿岸域へのアクセスのあり方が重要であるとする.(参考文献例)</p> <p>・渡辺彰(2008) : 追浜に“浜”を取り戻す活動!, 第9回東京湾シンポジウム報告書, pp.44-50.</p>

※本概念モデルでは, 魚類生態系の研究が推進段階であること, 調査データが不足していることなどから, 各コンパートメント間において科学的根拠が弱い箇所(因果関係の根拠が弱い箇所)が見られた. このように不十分な概念モデルに関しては, 更に科学的な研究の推進や調査の実施により, 概念モデルを更新・改善して行く必要がある.

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 587 March 2010

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019 〕