

水産庁委託事業

漁場改善計画作成・運用のための手引書

(指導者編)

平成18年3月



社団法人 日本水産資源保護協会

はじめに

安全で安心な養殖魚介類を安定的に供給するためには、養殖業に従事する漁業関係者が主体となって養殖漁場の環境を改善していく必要があります。平成 11 年に成立した「持続的養殖生産確保法」においては、漁業協同組合等が中心となって「漁場改善計画」を作成・実行し、自らが漁場環境の改善・維持に努めることを求めています。

養殖漁場の環境改善を進めるためには、漁場行使の実態ならびに環境の現状を把握・評価し、改善目標を設定する必要があります。そして、改善目標を達成するための改善計画を作成し、計画に定めた環境改善のための方策を着実に実施していかなければなりません。また、環境改善方策の実施と併せてモニタリングを行い、その結果から漁場環境の再評価、さらに目標を再設定するなどし、漁場環境のさらなる改善を図ることが重要です。

社団法人日本水産資源保護協会では、水産庁の委託を受けて、漁場改善計画を今後より多くの漁業協同組合が作成・運用、さらに見直して、より実効性の高い計画とするための手引書として、「漁場改善計画作成・運用のための手引書（指導者編）」を作成しました。

本手引書は、漁場改善計画の作成・運用にあたって指導的立場に立たれる漁業協同組合や都道府県関係者の方々に利活用していただくために作成したものです。改善計画の作成・運用の手引書として参考になれば幸いです。

なお、手引書の作成にあたり、ご指導、ご助言をいただいた『環境保全型養殖検討会』の委員各位に対して深甚なる謝意を表するとともに、資料の提供やご意見をいただいた和歌山県、愛媛県、大分県および検討会による現地調査にご協力をいただいた関係漁業協同組合の方々に厚くお礼申し上げます。

平成 18 年 3 月

社団法人 日本水産資源保護協会
会 長 川 本 省 自

環境保全型養殖検討会委員

	氏 名	所 属・役 職
委員長	能勢 健嗣	元水産庁中央水産研究所 所長
委 員	松田 治	広島大学 名誉教授
	門谷 茂	北海道大学大学院 水産科学研究院 教授
	中村 義治	独立行政法人 水産総合研究センター 水産工学研究所 水産土木工学部 部長
	横山 壽	独立行政法人 水産総合研究センター 養殖研究所 増養殖システム研究グループ グループ長

(敬称略・順不同)

漁場改善計画作成・運用のための手引書（指導者編）

目 次

第1編 基本的事項

1. 持続的養殖生産確保法策定の背景と漁場改善計画	1
2. 漁場改善計画作成の目的	2
3. 漁場改善計画作成の手順	5
3.1 漁場利用の実態把握と評価、問題点の抽出	
3.2 問題意識の共有	
3.3 漁場改善のための取り組みに関する合意形成	
3.4 関係機関との調整	
3.5 推進体制の確立	
4. 漁場改善計画の作成（計画に記載すべき事項）	8
4.1 対象水域と範囲	
4.2 対象生物	
4.3 現状評価と改善目標	
4.4 漁場改善方策	
4.5 モニタリング	
4.6 モニタリング調査結果の評価と計画の更新	

第2編 養殖漁場環境評価の考え方

1. 養殖漁場の許容量と持続性	25
1.1 養殖漁場の許容量と持続性	
1.2 海域の自浄能力	
1.3 漁場環境の評価・目標設定のための指標	
2. 水質による評価	29
2.1 養殖漁場水質の管理項目	
2.2 改善目標設定の考え方	
3. 底質による評価	35
3.1 底質による養殖漁場の環境評価	
3.2 改善目標の設定	
3.3 底質調査の留意点	
4. 底生生物による評価	39
4.1 底生生物による養殖漁場の環境評価	
4.2 漁場生態系における底生生物の役割	
4.3 養殖による負荷がベントス群集に及ぼす影響範囲	
4.4 養殖活動の開始・中止に伴う動物相の変化	
4.5 底生生物の生物量に基づく環境評価と養殖許容量	
4.6 改善目標の設定	

第3編 評価事例

1. 底生生物の群集型による評価と養殖許容量の推定	47
2. AVS モデルに基づく評価と養殖許容量の推定	52
3. 数値モデルによる定量的評価	55

資料編

1. 調査方法に関する参考資料	資-1
2. 主な底生生物とその生活史	資-2
3. 参考文献	資-6
4. 用語解説	資-7

第1編 基本的事項

1. 持続的養殖生産確保法策定の背景と漁場改善計画

安全で安心な水産物を安定的に供給するため、漁業協同組合等が「持続的養殖生産確保法」に基づく「漁場改善計画」を作成・運用・見直し、漁業関係者が主体となって漁場環境の改善を進める。

養殖業は沿岸漁業の重要な一部を構成しており、国民に対し安全で安心な水産物を安定的に供給する上でも重要な役割を果たしている。一方、全国的に沿岸漁場、養殖漁場の環境が悪化しており、有機性汚泥の堆積、海底における硫化物の発生、底層の貧酸素化等により養殖対象生物や底生生物の生息に影響が生じている。その一因が過剰な給餌や過密養殖など、養殖業に起因することも事実である。このような状態が続きさらに悪化が進行した場合、養殖業そのものが成立しない状態になることが懸念される。また、漁場環境の悪化に加え、海外からの養殖種苗の輸入等によっても伝染性の疾病が侵入し、広がる危険性も高まっている。

これらの課題に対応すべく、持続的な養殖生産の確保を実現するための「持続的養殖生産確保法（以下『法』と記す）」が定められ、この法により、漁業協同組合等が作成した「漁場改善計画」を都道府県知事が認定できる制度が作られている。認定を受けることで計画内容の適正さが確保される。漁業協同組合等が主体となって漁場改善計画を作成し、計画に基づき改善策を積極的に実施し、継続的に漁場の評価を行い、適宜計画内容を見直す。

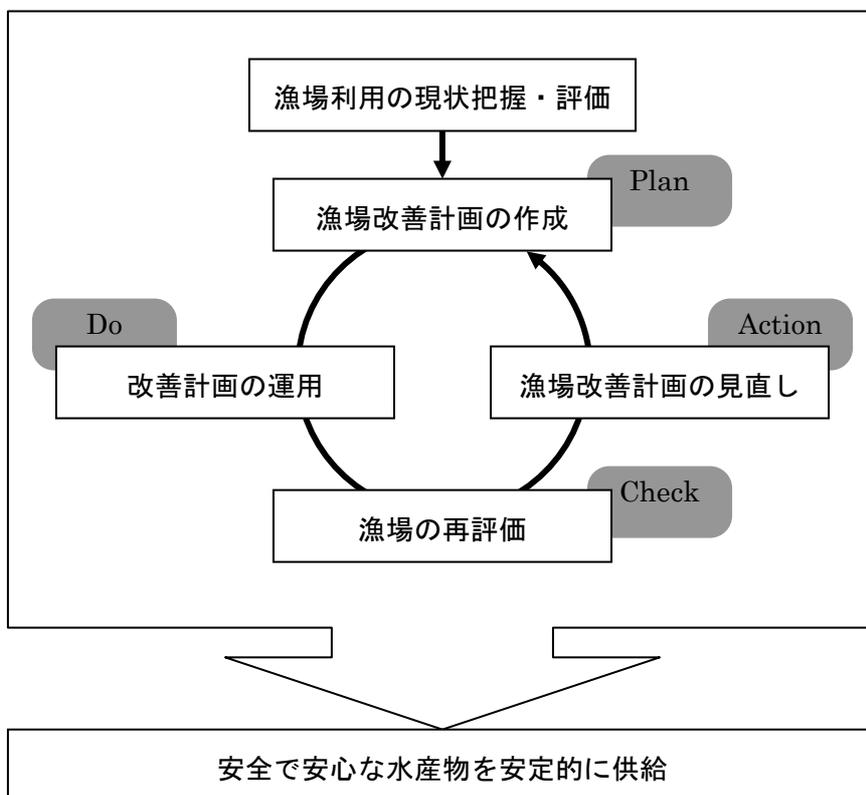


図 1-1. 漁場改善計画作成・運用・見直しの流れ

2. 漁場改善計画作成の目的

漁場改善計画作成・運用・見直しを行い、漁場環境の改善に努めることが、養殖魚介類の付加価値向上、適正給餌によるコストの削減、ひいては漁家経営の改善に資する。

水産業は自然環境に依存する産業であり、なかでも養殖業は沿岸域の環境にその成果が大きく左右される。沿岸域の環境は陸域からの負荷、埋立等による藻場や干潟の減少等多様な要因によって悪化しており、養殖業は多大な影響を被っている。一方、養殖業にともなう負荷が沿岸の環境を悪化させ、結果的に養殖業自体に影響が及ぶといった悪循環が生じていることも事実である。養殖業は被害者であるとともに加害者の側面を併せ持つ。

このような漁場の現状を踏まえ、漁場の環境を改善し、良好な状態に維持・管理することが、持続可能な養殖業につながるとの認識の下、漁業者自らが考え、行動するための基本計画として「漁場改善計画（以下『改善計画』と記す）」を作成する。

改善計画作成過程で、漁場利用の実態、漁場環境の現状を把握し、問題点を認識することができる。さらに改善目標を設定することにより、目的意識と具体的な方策を関係者間で共有することが可能になる。

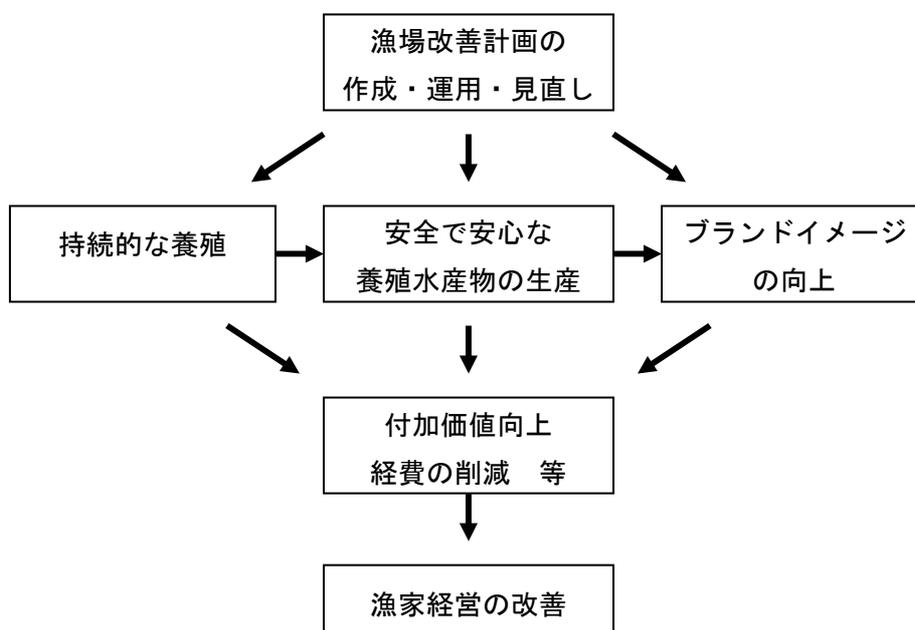


図 1-2. 漁場改善計画作成により期待される効果

改善計画においては、漁場の環境容量に応じて飼育量や餌の量を調整するなど、適切な養殖を展開する自助努力が中心となる。一方、漁場の環境は、陸域からの影響、海域の連続性による隣接海域からの影響を受けており、計画を作成するに当っては『養殖漁場の環境管理』＝『沿岸域の環境管理』といった視点が不可欠である。改善計画の作成・運用には、関係する多様な主体との連携が不可欠であり、広域的な取り組み、山・川・海の環境を一体的に捉えた取り組みが重要である。改善計画を作成・運用し、自助努力を行うことによって初めて、関係者への働きかけが可能になり、漁場環境の改善が実現される。

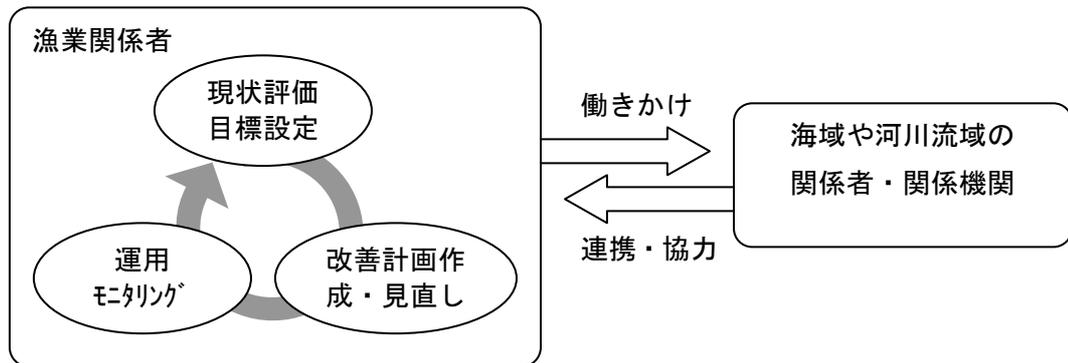
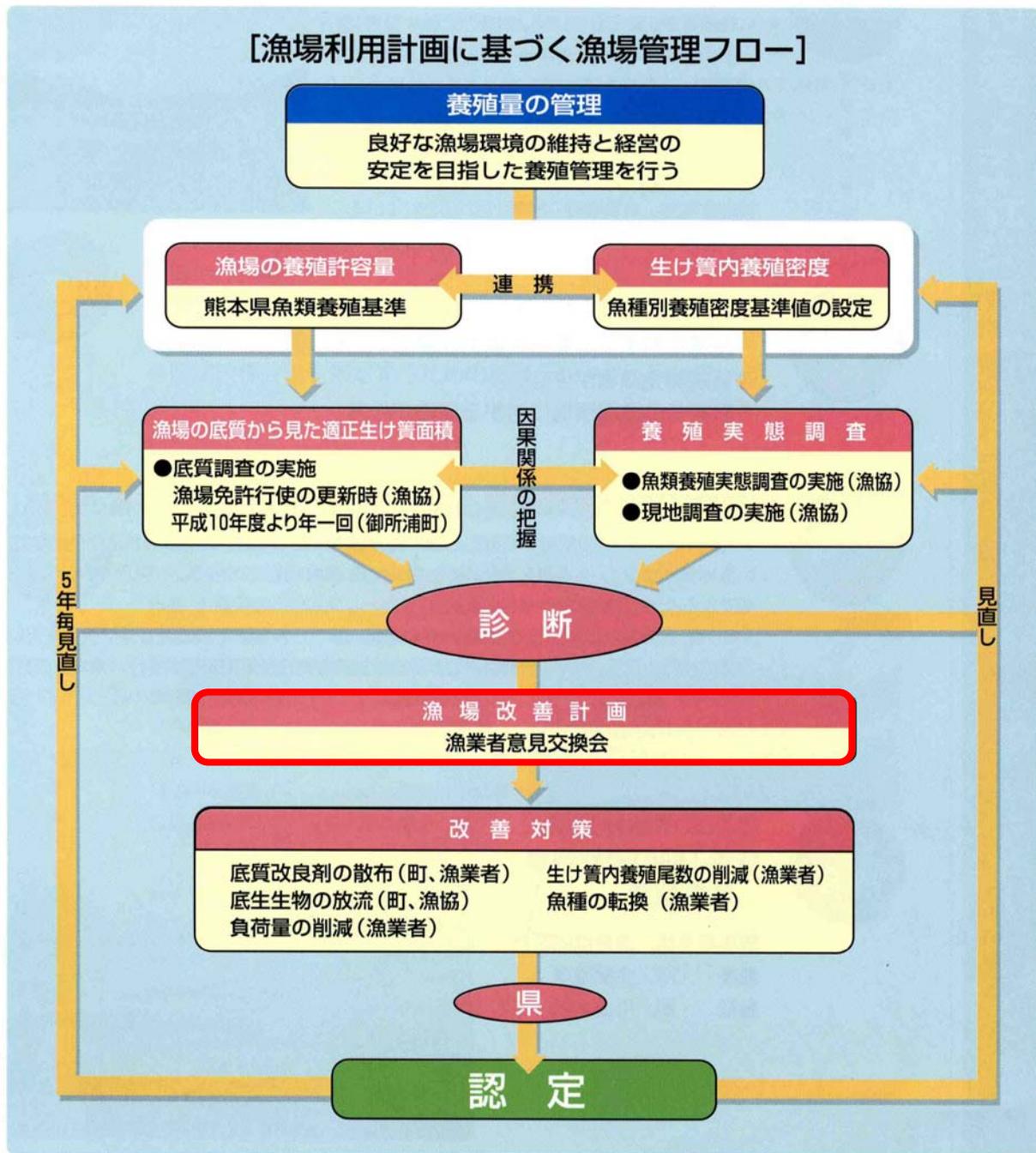


図 1-3. 改善計画による自助努力と関係者との連携

海域の特性は地域によって異なり、対象とする範囲やそこで飼育する生物によって漁場改善の方法が異なる。改善計画を実効性の高いものとするため、漁場利用の実態、漁場環境の問題点を踏まえ、地域特性に応じた改善計画を作成しなければならない。

事例： 熊本県御所浦町海面養殖業高度化推進対策事業地域推進協議会の取り組み

熊本県御所浦町では、漁場環境の改善、養殖管理手法の工夫・改善、経営の効率化を推進するため、以下のフローで持続的養殖の推進と経営の高度化に取り組んでいます。



資料：御所浦町魚類養殖振興基本計画「海拓」より

3. 漁場改善計画作成の手順

漁業協同組合等が主体となって漁場改善計画を作成し、都道府県知事もしくは農林水産大臣に申請、認定を受けることができる。

漁場改善計画の実行・評価・見直しはいうまでもなく、計画を作成するプロセス自体が重要な意味を持つ。

改善計画は、主に区画漁業権（入漁権を含む）を有する「漁業協同組合」、「漁業協同組合連合会」、「養殖業者」等が主体となって作成する。図 1-4 に示した手順に沿って、改善計画を作成・運用するとともに見直す。

3.1 漁場利用の実態把握と評価、問題点の抽出

養殖漁場利用の変遷と現況を把握・整理する。また、周辺海域の環境の変遷、漁場の環境調査データ等に基づき、養殖漁場環境の変遷と現状を整理する。それらの結果を踏まえ、養殖漁場環境の問題点、漁場環境悪化の内的要因、外的要因を抽出する。

なお、漁場利用の実態を把握するに当たっては、種苗の搬入、飼育尾数、投餌量、疾病の発生、斃死の有無、出荷尾数等を正確に記録した「養殖日誌」の記載及び一元的な管理が必要不可欠である。

表 1-1. 問題点の抽出に当り整理すべき主な項目

養殖漁場の利用	養殖魚種・量 給餌の実態（餌の種類と量） 歩留まりの変化 病気の発生状況 等
漁場環境の変遷	水質・底質 底生生物の種類や量、プランクトンの種類 赤潮や貧酸素の発生 等

3.2 問題意識の共有

漁場環境の現状及び問題点を関係者が認識し、改善の必要性に関する認識を共有することが重要である。関係者としては、養殖に従事する漁業者自身はいうまでもなく、同じ漁場を利用する他の漁業者、隣接する漁場の利用者等の漁業関係者、その他に漁港や港湾の管理者、公有水面の管理者、さらに、広い意味では流域の住民などが含まれる。

実効性の高い改善計画を作成し推進するためには、少なくとも漁業関係者内で問題意識を共有することが欠かせない。

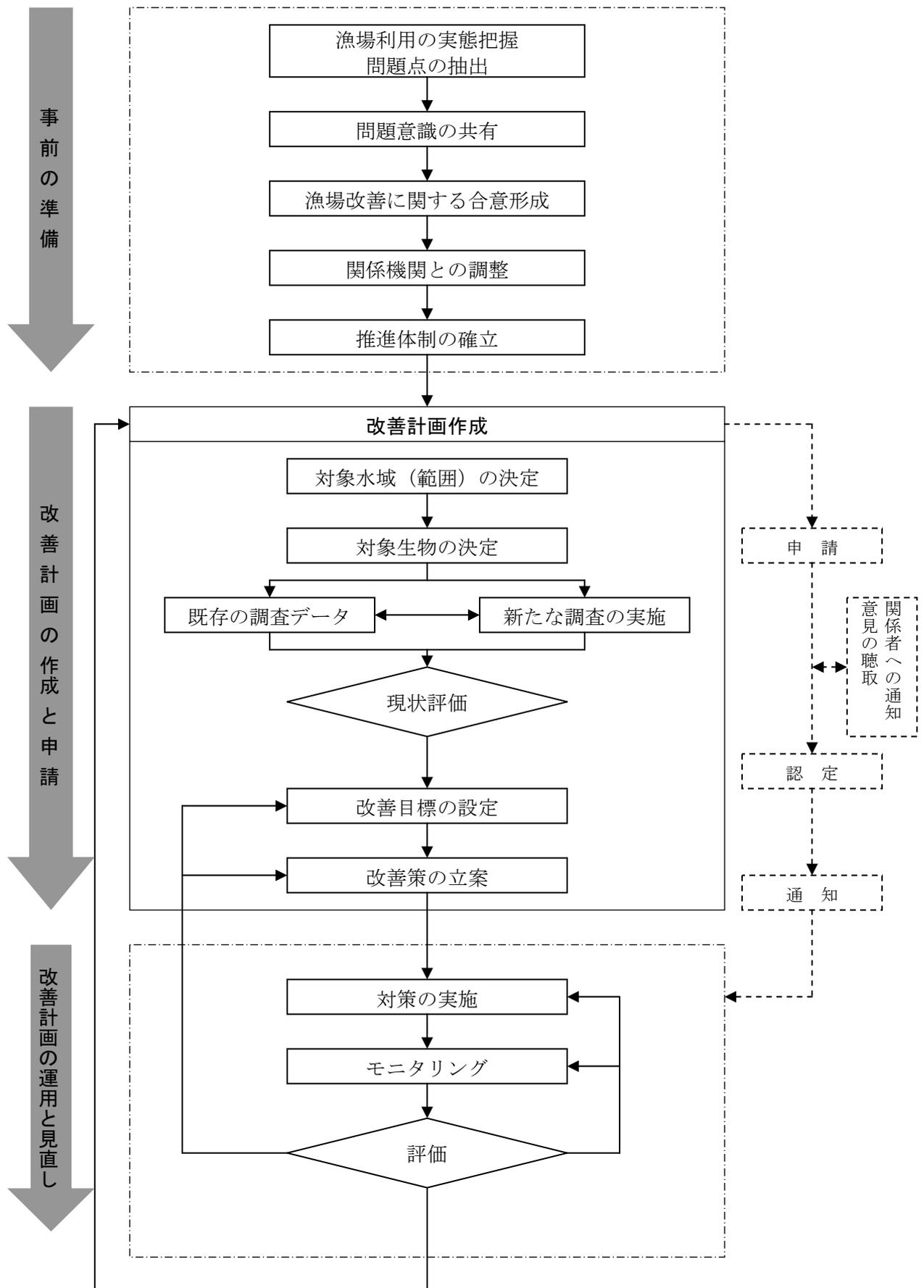


図 1-4. 漁場改善計画作成、運用、見直しの手順

3.3 漁場改善のための取り組みに関する合意形成

漁場改善の必要性、改善のための基本方針について合意を形成する。少なくとも漁業協同組合内部での合意形成は欠かせない。加えて海域の連続性、隣接海域との相互影響を考え、より広い範囲での合意形成が望まれる。

漁場改善のために、漁業権行使規則や入漁権行使規則を変更する必要がある場合には、あらかじめ所定の手続きに基づき関係者に合意を得るため、早い段階からの議論が必要である。

3.4 関係機関との調整

改善計画をより実効性の高いものにするため、合意形成の段階で各種の関係機関と調整をとることが望ましい。計画作成段階から、計画を運用する上でサポートや協力が欠かせない水産試験場などの研究機関と連携することが重要である。漁場の改善を進めるためには、漁業者自らの問題（例えば、搬入種苗、養殖密度や量、給餌量）の他に、流入負荷や海水交換など外部に起因する問題を解消しなければならない。中でも、漁場利用と密接に関わりがある機関、利害関係が生じるような機関と事前に調整を図っておくことが重要である。

3.5 推進体制の確立

改善計画を作成し、確実に運用していくためには、漁業協同組合もしくは漁業協同組合連合会の中に「(仮称) ○○漁場改善計画作成部会」等を設け計画を作成する。計画作成後は同委員会を「○○漁場改善推進協議会」とするなどして、定期的に会議を開催し、計画に記載した事項の実施状況のチェック、進行管理を行う。また、適宜内容の見直しを行う必要がある。これら会議には学識経験者や外部の関係機関、一般市民等の参加を求め、計画内容の専門性を深めるとともに客観性を高めておくことも有効である。

4. 漁場改善計画の作成（計画に記載すべき事項）

実効性の高い改善計画を作成するためには、地域の特性に応じた計画を漁業関係者自らが作成しなければならない。

改善計画が漁業者自身の生活を守るという認識、計画の実行が海域環境の改善・保全につながり、それが持続的な養殖を可能にするという意識の下に計画を作成する。

4.1 対象水域と範囲

地域の特性に応じ計画の対象水域・範囲を明らかにし、改善計画を作成する。

計画の対象はおおむね湾や入り江、浦、区画漁業権の範囲となる。養殖の規模、養殖の内容、現在の海面利用並びに将来的な利用の見通し、地形や流入する河川の有無などの地域の環境特性を踏まえて対象とする水域・範囲を設定する。なお、対象範囲については、漁業協同組合内部、隣接する組合や関係機関と事前に調整する。

なお、河口付近や内水面が改善措置の対象水域となる場合には、河川との関係、陸域との関係を考慮し、対象水域を広げて考える必要がある。

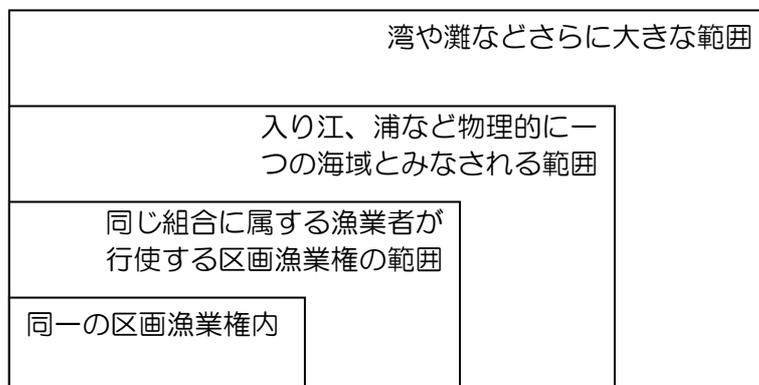


図 1-5. 対象水域の捉え方（模式図）

4.2 対象生物

養殖対象生物によって、漁場から受ける影響、漁場に及ぼす影響が異なるため、対象とする生物に応じた改善計画を作成する。

対象生物は図 1-6 のように大別され、対象とする生物によって漁場の改善方策が異なる。実効性の高い改善計画を作成し実施するためには、対象生物が水域の物質循環においてどのような位置付けで、どのような役割を果たしているのか、また、どのような影響を受けているのかを明らかにした上で改善計画を検討する必要がある。

なお、本手引書においては給餌魚類を対象とした記述が中心となっているが、無給餌養殖についても表 1-2 に示すような課題があり、給餌魚類と同様に改善計画の作成を進めるものとする。

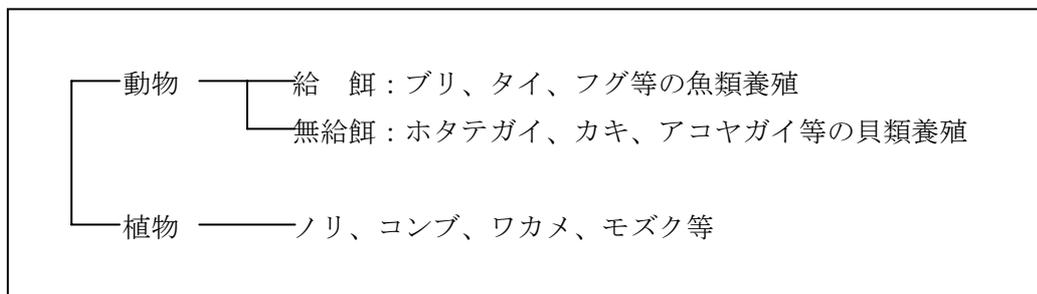


図 1-6. 対象生物の区分

表 1-2. 対象生物別、漁場環境における問題点と課題

対象生物	漁場環境における問題点	課題
給餌が行なわれる動物 (魚類養殖)	・給餌が海域への負荷となる	・餌の種類と量、投餌方法
無給餌の動物 (貝類養殖)	・糞、死骸、貝殻等が一定範囲の海底に集中的に蓄積されることによって底質が悪化する	・養殖する貝類の量と密度 ・付着物の処理方法
植 物 (海藻養殖)	・養殖海藻の枯死体やそれに付着する動物が海底に堆積し、底質が悪化する	・養殖面積、密度 ・付着物の処理方法
	・施肥を行っている場合、肥料が海域への負荷や水質悪化の原因となる	・施肥量、施肥の方法
共 通	・筏や生簀など養殖施設が流れに影響を及ぼし、海水交換の低下を招く	・筏や生簀の大きさ、数量、配置

4.3 現状の評価と改善目標

既存の調査データ等に基づき、養殖漁場の現状を評価する。
 評価の結果に基づき、地域の特性を踏まえ、定量的な改善目標を設定する。

漁場環境の調査データに基づき、養殖漁場の変遷と現況を取りまとめ評価する。

現況については、第2編に示す評価の考え方の中から地域の特性に適した手法を選定し、評価に用いる。また、評価手法に準じて改善目標とする項目を決め、基本方針に示された改善目標（表1-3）並びに目標設定に関する事項（表1-4～1-9）等を参考に、定量的な改善目標を設定する。

なお、現状が良好であると評価された場合には、現状を維持すること、現状をさらに良くすることが目標となる。現状をどのように評価したのか、また、どのような根拠で目標とする項目並びに数値を決定したのかを明記しておく必要がある。モニタリングの結果を踏まえ、改善計画を更新する場合にこれらの根拠が重要になる。

改善目標については計画の実施時期（対象期間）内に達成できるものであることが望ましいが、場合によっては、段階的な改善目標を設定する。

表 1-3. 基本方針*1に定められた改善目標

水産動物	海面養殖	水質	いけす等の施設内の水中における溶存酸素量が、4.0m L/L (5.7mg/L) を上回っていること。
		底質 (いずれかを満たす)	いけす等の養殖施設の直下の水底における硫化物量*2 が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となるときの硫化物量を下回っていること*3。
			いけす等の養殖施設の直下の水底において、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。
	飼育生物の状況	(魚類を対象とするものに限る) 条件性病原体である連鎖球菌及び白点虫による年間の累積死亡率が、増加傾向にないこと。	
	内水面養殖	水質	いけす等の施設内の水中における溶存酸素量が、3.0m L/L (4.3mg/L) を上回っていること。
		底質 (いずれかを満たす)	いけす等の養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となるときの硫化物量を下回っていること*3。
いけす等の養殖施設の直下の水底において、イトミミズ等の貧毛類、その他これに類する底生生物が生息していること。			
水産植物	飼育生物の状況	疾病による被害が増加傾向にないこと。	

*1：農林水産大臣が定めた持続的な養殖生産の確保を図るための基本方針

*2：本手引書中では、引用した文献等の表記に準じたことから、「硫化物」「全硫化物」「AVS」の表現が混在するが、これらは基本的に「酸揮発性硫化物態硫黄（AVS-S）」を意味する同義のものである。

*3：この値を現地で測定することは困難であるため、現在これに替わる目標値が検討されている。

(1) 目標設定に関する基本的事項

目標設定に当っては、養殖漁場環境に対する硫化物や有機物等の負荷を当該漁場の自浄能力の範囲内に抑えるということに主眼が置かれ、給餌養殖と無給餌養殖を区別せず、水質、底質等の各項目について、自浄能力の範囲内と考えられる数値等が基準として設定された。

(2) 水産動物を対象とする場合

① 海面養殖の改善目標に関する事項（海産魚介類を対象とする）

水産動物を対象とする海面養殖に関する漁場改善目標設定について、項目別（水質、底質・底生生物、飼育生物の状況）に、漁場環境が著しく悪化していると判断される基準、改善目標設定の考え方、改善目標、さらに、改善目標適用上の留意事項等をまとめたものを以下に示した。

表 1-4. 水質に関する基準と目標設定の考え方及び改善目標

（資料：基本方針にかかる運用通達より）

状態が著しく悪化している養殖漁場の基準	・成層期末期*の小潮の最干潮時の給餌前に、いけす等の施設内の溶存酸素量が、2.5mL/L (3.6mg/L) を下回っている状態。 ⇒2.5mL/L：ブリなどの養殖飼育生物の摂餌率が低下するとされる 3.0 mL/L と、へい死するとされている 2.0mL/L との中間値。
改善目標設定の考え方	・ブリをはじめとする養殖飼育生物の健全な生育の確保に必要な溶存酸素量を改善項目とする。
改善目標	・いけす等の施設内の水中における溶存酸素量が、4.0mL/L (5.7mg/L) を上回っていること。
備考	・溶存酸素量については周年にわたり目標を上回ることが望ましいが、海水交換が生じにくい成層期の末期（概ね 9 月）の小潮の最干潮時の給餌前に、目標を上回ることが目安となる。

*：海面の温度上昇や淡水の影響により海水の密度差が生じることによって、表層と底層の海水が混じりにくくなる状態の末期（一般の海域では 8 月下旬～9 月中旬となる場合が多い）

表 1-5. 底質・底生生物に関する基準と目標設定の考え方及び改善目標

(資料：基本方針にかかる運用通達より)

<p>状態が著しく悪化している養殖漁場の基準</p>	<ul style="list-style-type: none"> 成層期末期の小潮の最干潮時、いけす等の施設直下の水底における硫化物量が 2.5mg/g 乾泥を上回っている状態。 ☞2.5mg/g：汚染の進んだ都市部の内湾や一部の養殖漁場で観測され、無生物状態と考えられる値。 いけす等の施設直下の水底に半年以上ゴカイ等の多毛類、その他これに類する底生生物(肉眼で確認できるもの)が、生息していない状態。
<p>改善目標設定の考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"> 底質や移動性が小さい底生生物は、当該海域環境の履歴や状態を表すものであることから、これらを改善項目とする。 なお、水底における硫化物は強い毒性を有し、生物の生死に直接かわるものであることから、重要な指標である。
<p>改善目標 (いずれかを満たすこと)</p>	<ul style="list-style-type: none"> いけす等の養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となる時の硫化物の値を下回っていること。 いけす等の養殖施設の直下の水底において、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。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> 硫化物量、底生生物のいずれかの基準が周年にわたって満たされることが望ましいが、硫化物については成層期の末期(概ね 9 月)の小潮の最干潮時、底生生物については成層期末期において基準を満たすことが目安となる。

表 1-6. 飼育生物の状況に関する基準と目標設定の考え方及び改善目標

(資料：基本方針にかかる運用通達より)

<p>状態が著しく悪化している養殖漁場の基準</p>	<ul style="list-style-type: none"> 条件性病原体である連鎖球菌又は白点虫による死亡が、通常であれば発生しない低水温期(12月～翌3月)でも毎年のように発生している状態。
<p>改善目標設定の考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"> 魚類を対象とするものに限る。
<p>改善目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> 条件性病原体である連鎖球菌及び白点虫による年間の累積死亡率が、増加傾向にないこと。

② 内水面養殖（淡水魚介類を対象とする）

内水面養殖に関する漁場改善目標設定について、項目別（水質、底質・底生生物、飼育生物の状況）に、漁場環境が著しく悪化していると判断される基準、改善目標設定の考え方、改善目標、さらに、改善目標適用上の留意事項等をまとめたものを表 1-7、1-8 に示した。

なお、内水面においては、養殖漁場の悪化と関係する疾病に関する知見が少ないため、飼育生物の状況に関する基準を定めていない。

表 1-7. 水質に関する基準と目標設定の考え方及び改善目標

（資料：基本方針にかかる運用通達より）

状態が著しく悪化している養殖漁場の基準	<ul style="list-style-type: none"> ・概ね 8 月に、いけす等の施設内の水中における溶存酸素量が、2.0mL/L (2.9mg/L) を下回っている。 ⇒2.0mL/L：養殖飼育生物の摂餌率が低下する範囲が 2.1mL/L～2.8mL/L であることを考慮して定められた値。
改善目標設定の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・溶存酸素量に関する基準値は、コイ等の養殖飼育生物の健全な生育の確保に必要な溶存酸素量。
改善目標	<ul style="list-style-type: none"> ・いけす等の施設内の水中における溶存酸素量が、3.0mL/L (4.3mg/L) を上回っていること。
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・溶存酸素量については周年にわたり目標を上回ることが望ましいが、漁場環境が最も悪化すると考えられる時期（概ね 8 月）に、目標を上回ることが目安となる。

表 1-8. 底質・底生生物に関する基準と目標設定の考え方及び改善目標

(資料：基本方針にかかる運用通達より)

<p>状態が著しく悪化している養殖漁場の基準</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概ね 8 月に、いけす等の施設直下の水底における硫化物量が 2.5mg/g 乾泥を上回っている。 ⇒2.5mg/g：汚染の進んだ都市部の内水面や一部の養殖漁場で観測され、無生物状態と考えられる値。 ・いけす等の施設直下の水底に半年以上イトミミズ等の貧毛類、その他これに類する底生生物(肉眼で確認できるもの)が、生息していない。
<p>改善目標設定の考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・底質や移動性が小さい底生生物は、当該水域環境の履歴や状態を表すものであることから、これらを改善項目とする。 ・なお、水底における硫化物は強い毒性を有し、生物の生死に直接かわるものであることから、重要な指標である。
<p>改善目標 (いずれかを満たすこと)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・いけす等の養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となる時の硫化物の値を下回っていること。 ・いけす等の養殖施設の直下の水底において、イトミミズ等の貧毛類、その他これに類する底生生物が生息していること。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・硫化物量、底生生物のいずれかの基準が周年にわたって満たされることが望ましいが、概ね 8 月に基準を満たすことが目安となる。

(3) 水産植物を対象とする場合

水産植物を対象とする場合の漁場改善目標設定について、改善目標、さらに、改善目標適用上の留意事項等をまとめたものを表 1-9 に示した。

表 1-9. 水産植物を対象とする場合の改善目標

(資料：基本方針にかかる運用通達より)

<p>改善目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・疾病による被害が増加傾向にないこと。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・この場合の疾病とは、自然の気象条件等に起因するものは含まず、密殖などの不適切な管理を原因とするもののみをいう。

4.4 漁場改善方策

目標を達成するための具体的改善方策並びに実施期間を明らかにする。また、改善方策の実施体制、チェック体制を整える。

漁場改善目標を実現するための具体的な改善方策を定める。また、改善方策の実施状況、ルールの遵守状況をチェックする仕組みを作り、地域が一体となって漁場改善に取り組む体制を整える。

具体的な改善方策としては、設備や機械などハード面の条件整備とルールなどソフト面での条件整備があげられる。表 1-10 に魚類養殖の実施段階の別に、課題と改善方針・方策の例を示した。これらの方策を組合せて実施することが有効である。

改善方策の実施時期（改善計画を推進する期間、目標達成年次）は、区画漁業権の見直しが行なわれるまでの5ヵ年が基本となるが、地域の特性に応じて期間を短縮する、延長するなどの調整を行なう。

計画をより実効性の高いものとするため、漁業者及び関係者によって構成する、例えば「(仮称) 漁場改善推進協議会」を設置するなど、推進体制を整える。設備の整備や要員の拡充など新たな経費を必要とするものについては、費用負担のあり方について十分に検討する必要がある。一方、ルールについては自主的な取り組みであることから、地域が一体となって遵守する体制、内部のチェック体制を整える必要がある。

新たな養殖のあり方として、魚類に加え、海藻類、アワビ類やナマコ等を組合せて養殖する『複合エコ養殖』を積極的に推進し、生物の力で漁場環境の改善を図る取り組みが参考となる。

表 1-10. 養殖の段階別課題と改善方策の例

養殖の実施段階	課題	改善方策の例
種苗搬入	疾病感染種苗の侵入	<ul style="list-style-type: none"> ◆検査施設や検査機器の整備 ◇健全種苗の購入に関するルールづくり ◇検査員の配置による入口での疾病の侵入予防 ◇水産試験場との連携による防疫体制の確立
いけす、筏の設置	いけす・筏の適正な配置と密度の設定	<ul style="list-style-type: none"> ◇流れの予測モデルを用いた適正配置の検討 ◆施設の形状検討、流れを阻害しない形状の採用 ◇区画漁業権の位置及び内容の見直し ◇区画漁業権内の海面利用方法に関するルールづくり
給餌	餌の種類と量	<ul style="list-style-type: none"> ◇餌の改良、使用可能な餌に関するルールづくり ◇最適餌量、給餌方法のルールづくり ◇餌の共同購入、利用実績の管理 ◇水質観測システム導入による給餌管理
飼育	成長段階に応じた放養可能尾数	<ul style="list-style-type: none"> ◇各施設内での飼育量・密度に関するルールづくり ◇漁場全体での飼育量に関するルールづくり
病気発生	日頃の予防	<ul style="list-style-type: none"> ◆検査施設や検査機器の整備 ◇検査員の配置 ◇疾病に関する知識の普及・啓発
	発生時の対応	<ul style="list-style-type: none"> ◇早期診断・早期治療が可能な体制の整備 ◆斃死魚の処理施設の整備
モニタリング	水質・底質の把握	<ul style="list-style-type: none"> ◆水質測定機器の購入、配備 ◇機器使用方法の研修会開催（漁業者自らがモニタリングを行える体制の確立） ◇専属の調査員の配置 ◇水産試験場との連携強化、モニタリング体制の強化 ◇調査結果の集約と解析、データベース化 ◇公表のための仕組みづくり
筏・網の管理	網の清浄化	<ul style="list-style-type: none"> ◆網の洗浄施設整備、洗浄水の処理施設整備 ◇洗浄場所、洗浄時期に関するルールづくり
その他	日常管理	<ul style="list-style-type: none"> ◇養殖日誌の作成と漁協単位での一元的管理 ◇内部のチェック体制の確立

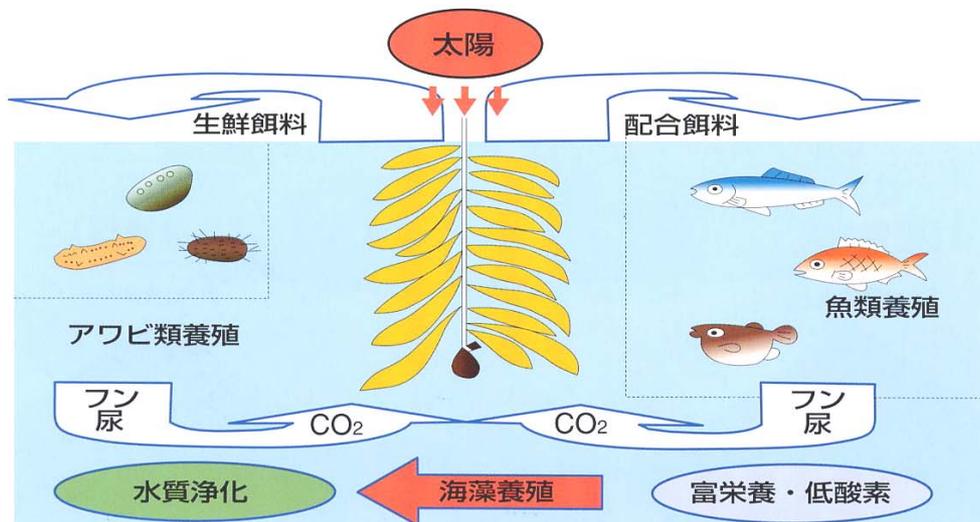
◆：主に施設や機材の整備などハード面の改善方策

◇：主にルールづくりなどのソフト面の改善方策

浅海養魚場における 環境保全型複合エコ養殖のすすめ

21世紀の海面魚類養殖業は、「環境に配慮した養殖」がポイントになります。「青い豊かな海を子孫に残すこと」が私たちの使命です。次の図は、環境保全を図りながら、美味しい魚介類を持続的に生産していくために行う、「環境保全型複合エコ養殖」の一例を示したものです。

「環境保全型複合エコ養殖」とは、主に、養魚と海藻類と貝類などを同一漁場で同時期に飼育することによって、魚類の給餌養殖から排出される有機物や無機物の環境負荷物質を限りなく低減させるゼロ・エミッション（ゴミ・ゼロ）型の養殖のことです。つまり、魚類養殖により排出されるCO₂や糞尿や残餌などから水中に溶・排出される窒素やリン等の栄養塩類を、アナアオサ、ヒトエグサ、コンブ、ワカメ、ヒロメ、クロメ、アントクメ等の海藻類に吸収させると同時に、O₂を発生させ水質浄化を図ります。養殖栽培した海藻類は乾燥粉末にして配合餌料の原料の一部として利用し、生鮮海藻はアワビ、トコブシ、ウニの生餌として活用できます。一方、養殖場の海底に沈降・堆積した新鮮な残餌や養魚の糞は、ヒラメ、ナマコ、クルマエビ、アサリ、イトゴカイ等の底生生物の餌として利用できるので、有機物の堆積分布に応じて適材適所に放流し、生物資源の育成に役立てます。複合エコ養殖は、時代のニーズに合った環境保全型養殖の一形態なのです。



図・養殖魚・海藻・アワビ類・ナマコの環境保全型複合エコ養殖の一例

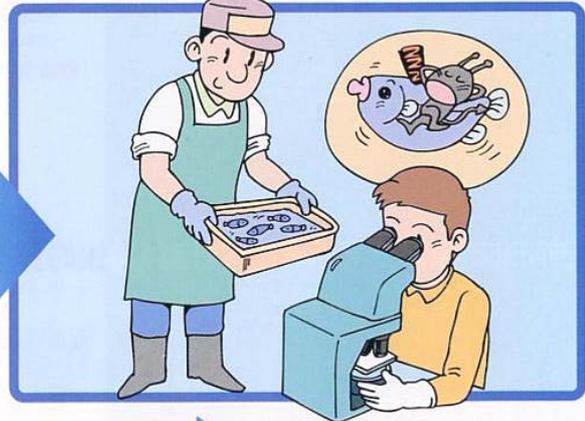
資料：（社）日本水産資源保護協会「平成15年度環境保全型養殖普及推進対策事業報告」
門脇秀策（鹿児島大学水産学部）より

種苗搬入時の疾病感染種苗の侵入予防

事例：熊本県御所浦町における防疫体制の整備

熊本県御所浦町では、漁協・町・漁業者で種苗購入に関するルールを作るとともに、購入した種苗を水産研究センターで検査し、入り口での防疫に努めています。

●防疫体制整備



種苗の購入は漁業者個々で行っており、そのため魚病の検査は、魚病が発生し被害がでるまで行われていませんでした。関係機関でも種苗の購入に関してはほとんど把握していない状態であり、今までにない魚病が流行する恐れがあります。

漁業者持ち込み
魚病検査
魚病パトロール

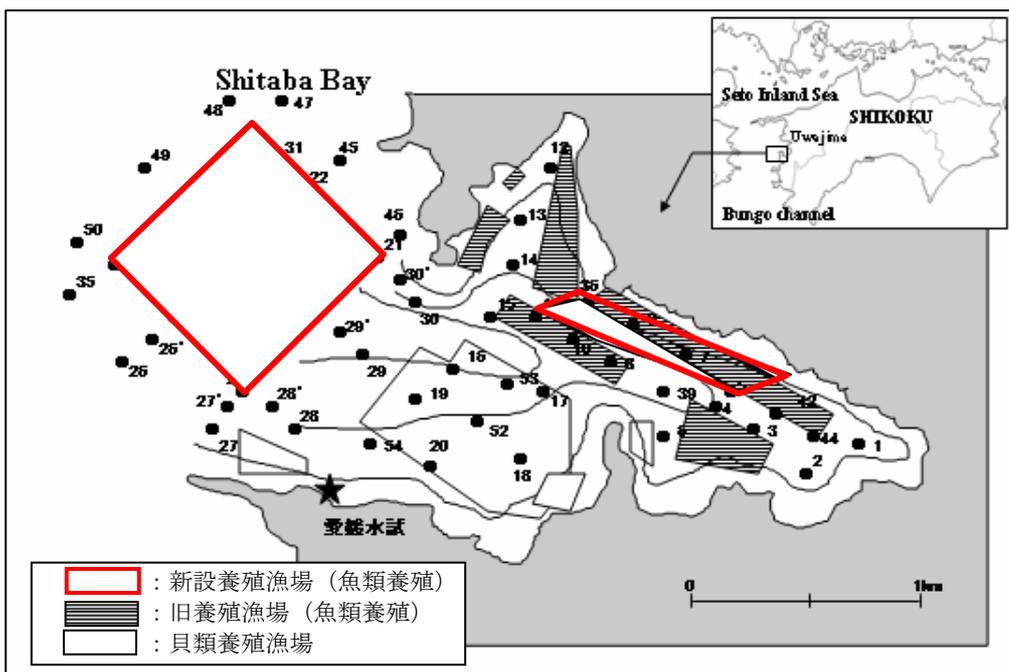
●御所浦町水産研究センターで種苗購入前に検査を行う。
●漁協・町・漁業者で種苗購入のルール、体制を作る。

資料：御所浦町魚類養殖振興基本計画「海拓」パンフレットより

生簀・筏の適正な配置と密度の設定

事例：愛媛県下波湾における養殖漁場の移設

愛媛県下波湾では、より養殖に適した漁場へと生簀（漁場）を移設し、養殖漁場の適正利用が図られています。



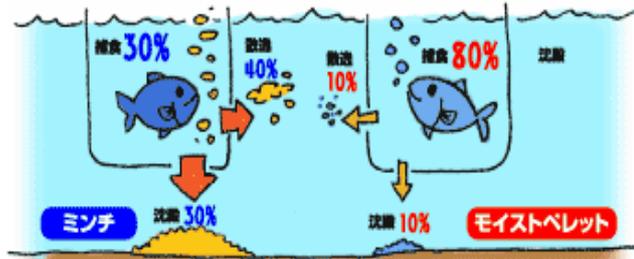
餌の種類と使用量の管理

事例：鹿児島県東町漁協における給餌対策

鹿児島県東町では、海域への負荷削減を目的に養殖漁業者が一体となって新たな餌料を導入するとともに、自家汚染のさらなる軽減を目指し、餌料の改良が続けられています。

養殖に欠かせないのが餌の研究です。

凍結餌料が使われるようになって、解凍時のドリップ（液）や餌の散逸を防止する目的で、MP（モイストペレット）を導入した。これにより環境の浄化、成長率の向上、餌料代の軽減などの効果があり、さらに DP（ドライペレット）、EP（エクストルーダー処理ペレット）といった餌料を多用することで、自家汚染の少ない環境に配慮した餌を工夫しています。



資料：東町漁業協同組合ホームページより

養殖魚の種類と養殖尾数の管理

事例：熊本県御所浦町における生簀登録制度

熊本県御所浦町では、「生簀登録制度」を実施し、漁場における生簀の台数、養殖魚の種類、養殖尾数が的確に把握されています。

養殖量の管理 養殖産地としての販売力強化のために、漁場情報の集中と管理を。

取組 ●生け簀登録制を実施

成果 ●生け簀台数、養殖魚の種類、養殖尾数の把握が効率化された。

課題 ●継続して実施することで登録制の精度を高めていく。

達成度 ★★★★★



資料：御所浦町環境保全型複合エコ養殖（持続的養殖生産推進事業）パンフレットより

魚病の予防、発生時の対策

事例：鹿児島県東町漁協における魚病対策

東町漁協では環境管理はもちろん、魚の生育と健康管理にもさまざまな取り組みを行っています。

- 魚病には感染症・寄生虫症・餌料性疾病などがあり、適宣治療管理がなされる。
- 東町漁協では県水産試験場の指導の下、これらの診断を行う技術員が3名、治療薬を取り扱う薬剤師が1名雇用されており、抗菌剤・抗生物質の使用に当たっては人体用医薬と同様に投薬指示を受けるシステムをとり、適正投薬を徹底管理している。
- 漁協でカルテを作って検査を行い、病気を確定したあと、どんな薬が良いかを指示します。カルテには、組合員の名前、生け簀の登録番号、魚数、成長段階のほか、投薬期間、指示者、担当者とかなり細かく書かれており、組合員、担当者のサインも直筆と徹底して管理しています。

漁場改善計画では、次の事項についてルールと具体的な方策が定められています。

- ・ 健全種苗の導入
- ・ 水産用医薬品の使用
- ・ 薬止め
- ・ 斃死魚の処理
- ・ 未承認医薬品等の使用禁止
- ・ 餌止め

資料：東町漁業協同組合ホームページより

魚病の予防、発生時の対策

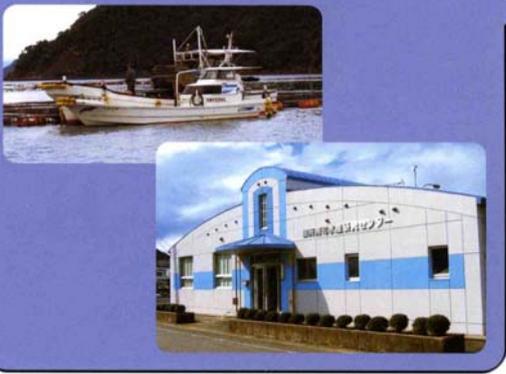
事例：熊本県御所浦町における魚病対策

水産研究センターにおいて、種苗並びに中間魚の購入前検査が行われ、魚病の侵入を予防しています。また、迅速に魚病の解剖・検鏡が行われ、病気の早期発見・早期対策が可能になっています。さらに、魚病パトロール、魚病診断、魚病講習会等を実施し、地域が一体となって魚病対策が実施されています。



魚病の対策

魚病に対する迅速な対応と早期発見対策のとれる体制をつくる。



- 取組** ●御所浦町水産研究センターの建設
- 取組** ●指導船導入
- 成果** ●水産用医薬品の適正利用
- 成果** ●魚病に対する迅速な対応
- 課題** ●御所浦町水産研究センターの魚病診断技術の向上
- 課題** ●魚病に関する生産者の技術向上のため、勉強会、研修会の継続が必要

達成度 ★★★★★

資料：御所浦町環境保全型複合エコ養殖（持続的養殖生産推進事業）パンフレットより

漁場のモニタリング

事例：熊本県御所浦町における漁場環境情報の収集、管理、提供

水質センサーが5つの養殖漁場に設置され、水温・塩分・溶存酸素のデータが水産研究センターで一元的に管理されています。漁業者には必要に応じて電話・FAXにて情報が提供されています。

漁場環境情報の提供 観測データの蓄積で養殖技術を確立する。



●気象・水質自動観測システムの設置及び伝達システムの確立

- 事業主体／御所浦町
- 場 所／牧本・越地・与一ヶ浦・横浦・大浦養殖場
- 時 期／平成11年～



資料：御所浦町魚類養殖振興基本計画「海拓」パンフレットより

漁場のモニタリング

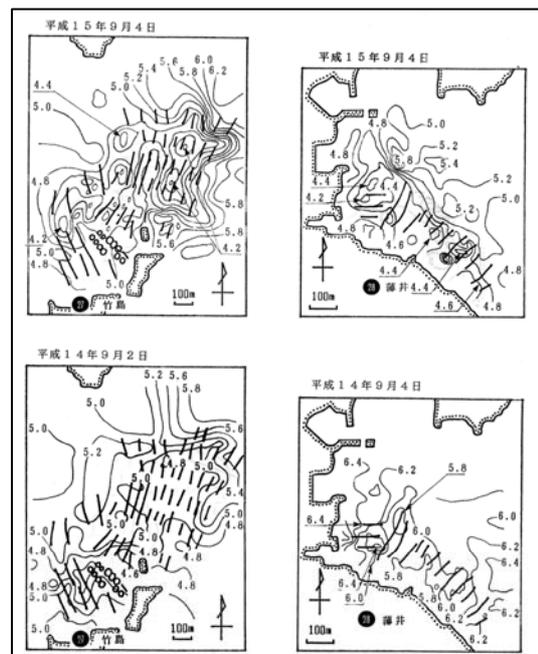
事例：鹿児島県東町漁協による漁場の調査

東町では、漁協が毎日漁場の水質（水温、塩分、溶存酸素）を計測し、掲示しています。

また、年2回、水質と底質の調査を実施するほか、大学と共同で行う漁場の環境調査と診断、その結果に基づく養殖天気図の作成が20年以上続けられています。



漁協の窓に表示された今日の水質



漁場毎に作成される養殖天気図

資料：浅海魚類養殖漁場の環境管理と保全、第20号（鹿児島大学水産学部・東町漁業協同組合）より

養殖日誌の記入・勉強会等の開催

事例：鹿児島県東町漁協による養殖管理日誌の記録

鹿児島県東町では、日常の養殖魚の観察と併せ、以下の事項を養殖管理日誌に記載することを定めています。

- ・ 生簀毎の飼育尾数
- ・ 斃死尾数
- ・ 飼餌料の種類と給餌量及び投薬記録

資料：東町漁業協同組合 魚類養殖漁場高度安定利用化計画（漁場改善計画）より

事例：熊本県御所浦町での各種勉強会の開催

熊本県御所浦町水産研究センターでは、漁場の環境管理や改善等について、大学の研究者を招くなどし、勉強会を開催しています。



資料：御所浦町魚類養殖振興基本計画「海拓」パンフレットより

4.5 モニタリング

モニタリング計画を作成し、計画に基づくモニタリングを実施する。その結果を改善方策にフィードバックする。

改善方策の効果を確認し、評価するためのモニタリング計画を作成する。計画にはモニタリング項目（基本的には目標として設定した項目となる）、調査地点、頻度、使用機器等の調査方法を記載する。

モニタリングについては日常のモニタリングが基本となる。日常のモニタリングは簡単な機器で手軽に行なえ、かつ継続できる内容とする。他の機関が行う調査（例えば浅海定線観測、公共用水域水質測定調査など）とうまく連携することによってその有効性が高まり、また、効率的に実施できる。実施状況に応じて段階的にモニタリングの内容を充実させることも考えられる。

日常のモニタリングに加え、漁場の状態を詳細に把握するために必要な項目を集中して行なうモニタリングを計画の中に位置づける。魚類養殖場の場合、漁場の状態が最も悪化する（底層のDOが悪化する）とともに魚自体の活性が高まる（酸素消費量が增大する）夏季に集中的な調査を行うことが望ましい。

これらのモニタリングに加え、赤潮、貧酸素水塊の湧昇、養殖対象魚類の斃死等異常が発生した場合に行う緊急時のモニタリングについても計画に記載する。

また、モニタリング結果を一元的に集約・解析し、漁場の状態を把握・診断するための管理体制を整える必要がある。

4.6 モニタリング調査結果の評価と計画の更新

モニタリングの結果に基づき漁場の状態を評価する。改善目標との対比、魚類の歩留まり、藻類の収穫量などにより、改善効果を定期的にチェックする。その結果を踏まえ必要に応じて改善計画を更新する。

モニタリングの結果と改善目標とを対比し、漁場の状態を評価する。評価の結果によって、改善目標や対策の見直しを行う。なお、見直した改善計画の内容については、都道府県知事に届け出、認定を受けることによって計画内容の適正を確保する。

モニタリング調査結果に基づく評価を行うためには、漁場利用の実態と照らし合わせた検討が必要であり、飼育尾数、給餌量、出荷尾数等、漁場の利用実態を一元的に把握・管理しておかなければならない。そのためにも各漁家における養殖日誌の記載励行、漁協等におけるデータの一元的管理が不可欠である。

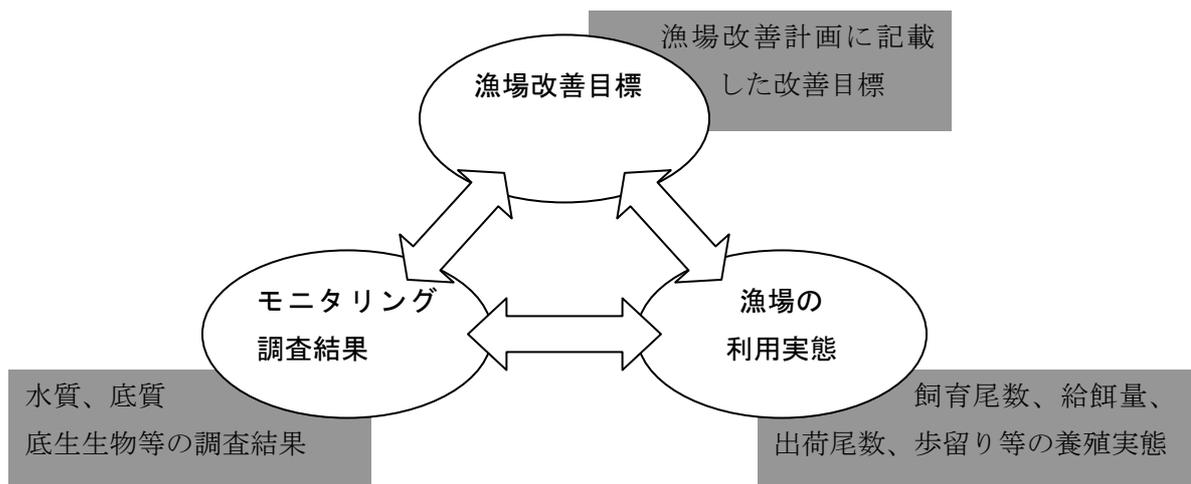


図 1-7. モニタリング調査結果の評価

第2編 養殖漁場環境評価の考え方

1. 養殖漁場の許容量と持続性

1.1 養殖漁場の許容量と持続性

経年的に底質や水質を悪化させない範囲で、一定水準以上の養殖生産を持続できる生産能力が持続的養殖の最大許容量となる。

持続性を確保するためには、負荷を削減し、漁場環境を良好な状態に維持する必要がある。一方、養殖が産業として成り立つためには、一定水準以上の養殖生産を持続できることを考えなければならない。一定水準以上、最大の生産量を持続的に維持するためには、「最大の養殖生産をあげるための限界値」を漁場の許容量とするのではなく「持続可能な養殖生産の限界値」を考えなければならない。そのためには、地域特性を踏まえ、『養殖対象生物の種類・量及び餌の量』と『海域の容量並びに自浄能力』を検討し、互いのバランスが取れる状態を明らかにする必要がある。

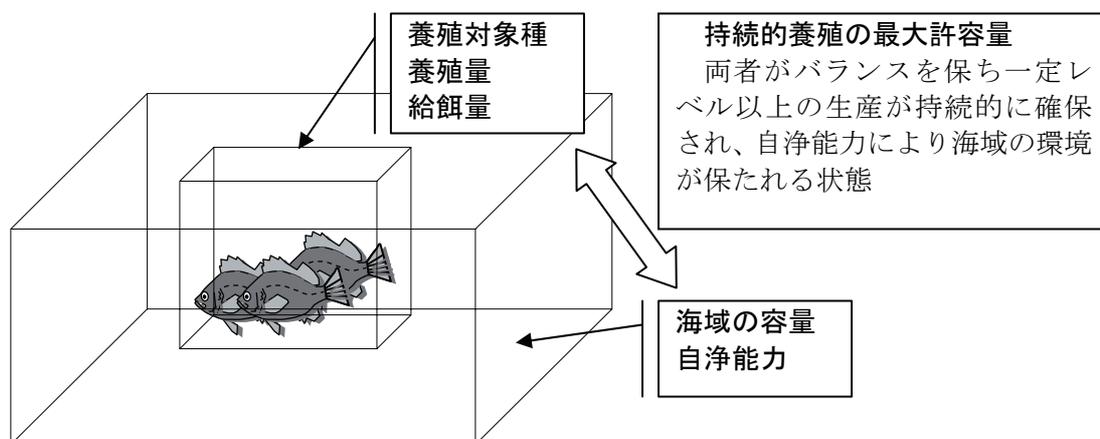
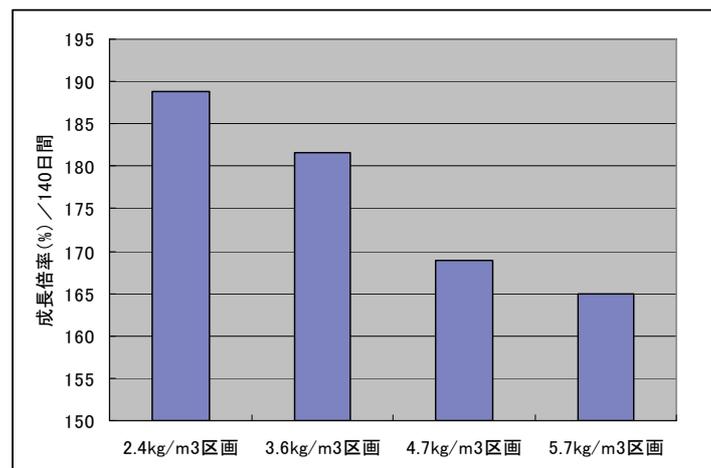
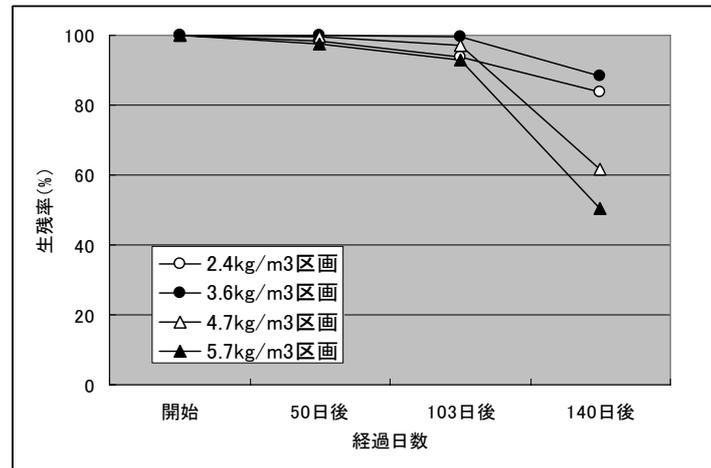


図 2-1. 養殖漁場の許容量と持続性

なお、養殖の中でもハマチなどの魚類給餌養殖とカキやワカメなどの無給餌養殖では、物質収支や環境への影響という観点からすると大きく異なる行為である。物質の収支から考えると、無給餌養殖のカキやワカメの養殖は、餌を与えずに海からものを取り上げる系外排出に当る。一方、魚類の給餌養殖は人為的に大量のエサを与え続けて、最後にそのごく一部を回収する行為である。窒素やリンなどの物質で考えると、最終的に水揚げする物質よりも遙かに多くの物質が養殖魚類の排泄物や残餌の形で環境中に取り残され、それらが水質や底質に対する負荷となる。

事例： マダイの飼育密度と給餌量を変えた飼育試験の結果

試験の結果からは、単位容量当りの飼育尾数を増やすほど生残率、成長倍率ともに低下する傾向が伺えます。



区画	①	②	③	④
収容尾数	130	195	260	318
単位重量	2.4kg/m ³	3.6kg/m ³	4.7kg/m ³	5.7kg/m ³

1.5m³の生簀に上記の尾数を収容して飼育した。50日、103日、140日後の生残率を上図、140日後の成長倍率を下図に示した。なお、実験過程においてエドワジエラ症と判断される細菌性疾病が発生したため、実験結果には疾病の影響が含まれている。

資料：平成16年度 環境保全型養殖普及推進対策事業検討会資料、和歌山県より

1.2 海域の自浄能力

養殖漁場における自浄能力としては、餌に起因する有機物が一定の範囲から流れによって他の場所に持ち出される「系外排出」と有機物がベントスやバクテリアなどによって摂餌分解される「無機化」がある。

自浄能力や浄化の定義は様々であるが、養殖漁場における自浄能力は、流れによる有機懸濁物の系外排出とベントス等による有機堆積物の摂餌分解と定義できる。前者を左右するのが海域の「潮通し」である。また、後者の有機物の分解について、最も望ましい分解様式は好氣的（酸素が充分にある状態）環境下での酸化分解である。還元的な条件下（酸素が少ないもしくは無い環境）での有機物分解では、代謝産物として硫化水素などのような毒性物質が生じるが、好氣的環境下での酸化分解では有機物が生物に害の無い無機物に分解される。また、好氣的環境下では有機物の分解が嫌氣的環境下に比べて速い。

好氣的酸化分解は十分な酸素供給の下で行われることから、「潮通し」の良い漁場では一般に酸素供給能力も大きく、系外排出と系内での望ましい無機化の両者をあわせた浄化能が大きいことになる。

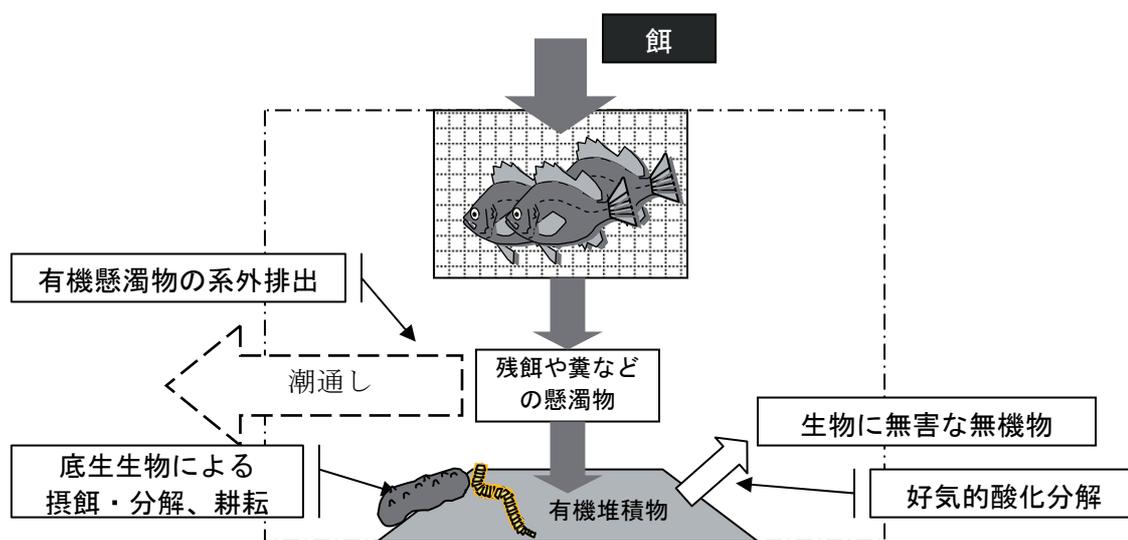


図2-2. 海域の自浄能力

1.3 漁場環境の評価・目標設定のための指標

水質、底質、底生生物を指標に漁場環境を評価する。また、これらの指標を用いて定量的な改善目標を設定する。

養殖漁場における「自浄能力を超えない汚濁負荷の範囲」は、単純化すると「有機物負荷量」と「流れ」と「水深」の関係によって成り立つことになる。このうち、漁場の水深と流れは湾の形状や潮汐の大きさなどの自然条件に強く依存しているものであり、人為的にコントロールすることは極めて困難である。従って、ある養殖漁場の与えられた自然条件（流れ・水深）に基づく自浄能力を超えないようにするためには、有機物負荷量を制御する必要がある。この有機物負荷量を越えない範囲での魚類生産量が、持続可能な最大許容量に相当することになる。

2. 水質による評価

2.1 養殖漁場水質の管理項目

地域の特性、養殖対象生物の種類を踏まえ、水産用水基準等各種基準を参考に、評価及び目標設定のための項目を選定し、定量的な改善目標値を設定する。

農林水産大臣が定めた持続的な養殖生産の確保を図るための基本方針（以下基本方針と記す）に示された改善項目（目標）は表 2-1 に示すとおりであり、水質については DO を指標とし、4.0 mL/L が改善目標値とされている。その他、水質の管理基準としては、水産用水基準、水質汚濁に係る環境基準などがある。このうち「水産用水基準」については「水産動植物の正常な生息及び繁殖を維持し、水域において漁業を支障なく行なうことができること、また、漁獲物の経済価値が低下しないような条件」として定められた基準である。水産用水基準に定められた海域の水質基準値を表 2-2 に示した。その他、水温、塩分、透明度が水質を管理するための基本的かつ重要な項目となる。主な項目の意味を表 2-3 に示した。

これらの項目及び基準値を参考に、地域の環境特性、養殖対象生物の種類に応じて、管理すべき水質項目を選定するとともに改善目標値を定める。

表 2-1. 基本方針に定められた改善項目と目標

海面養殖	水質	いけす等の施設内の水中における溶存酸素が 4.0mL/L (5.7mg/L) を上回っていること。
	底質	硫化物量が酸素消費最大時の硫化物量を下回る。
		ゴカイ等の多毛類、底生生物の生息。
飼育生物の状況	疾病による累積死亡率が増加傾向にないこと。	
内水面養殖	水質	いけす等の施設内の水中における溶存酸素が 3.0mL/L (4.3mg/L) を上回っていること。
	底質	硫化物量が酸素消費最大時の硫化物量を下回る。
		イトミミズ等の貧毛類、底生生物の生息。
飼育生物の状況	疾病による被害が増加傾向にないこと。	

表 2-2. 水産用水基準に定められた水質（海域）

項目		基準値		
水質	COD	<ul style="list-style-type: none"> 一般海域：1mg/L 以下 ノリ養殖場や閉鎖性内湾の沿岸域：2mg/L 以下 		
	全窒素 全リン	水産 1 種*1	全窒素：0.3mg/L 以下 全リン：0.03mg/L 以下	
		水産 2 種*2	全窒素：0.6mg/L 以下 全リン：0.05mg/L 以下	
		水産 3 種*3	全窒素：1.0mg/L 以下 全リン：0.09mg/L 以下	
		ノリ養殖に最低必要な栄養塩濃度	無機態窒素：0.07－0.1mg/L 無機態リン：0.007－0.014mg/L	
	溶存酸素 (DO)	<ul style="list-style-type: none"> 6mg/L 以上 内湾漁場の夏季底層において最低限維持しなくてはならない値 4.3mg/L (3.0mL/L) 		
	水素イオン濃度 (pH)	<ul style="list-style-type: none"> 7.8－8.4 生息する生物に悪影響を及ぼすほど pH の急激な変化がないこと 		
	懸濁物質 (SS)	<ul style="list-style-type: none"> 人為的に添加される（現状に対して新たに加わる）懸濁物質 2mg/L 以下 海藻類の繁殖に適した水深において必要な照度が保持され、その繁殖と成長に影響を及ぼさないこと 		
	着色	<ul style="list-style-type: none"> 光合成に必要な光の透過が妨げられないこと 忌避行動の原因とならないこと 		
	水温	<ul style="list-style-type: none"> 水生生物に悪影響を及ぼすほどの水温の変化がないこと 		
	大腸菌群	<ul style="list-style-type: none"> 大腸菌群数が 1000MPN/100mL 以下 		
油分	<ul style="list-style-type: none"> 水中に油分が検出されないこと 水面に油膜が認められないこと 			

*1：底魚類（クロダイ、ハマ等）、甲殻類（えび類、かに類）、頭足類（たこ類、いか類）、貝類（ハマグリ、アカガイ等）等の底生魚介類が豊富、多様な水産生物がバランスよく安定して生息している海域。

*2：いわし類、コノシロ、スズキ、かれい類といった浮魚から底魚までの魚類、水産動物のシャコ、なまこ等の漁獲がみられ、魚類を中心とした水産生物が多獲される海域。えび類、かに類等の底層の貧酸素化の影響を受けやすい種類の漁獲量は少なく、このような一部の底生魚介類にとっては望ましくない水質環境。

*3：いわし類、コノシロ、すずき類等のプランクトン食性魚、アサリ等の懸濁物食性の貝類など、特定種による漁獲が大部分を占める海域。多くの底生魚介類にとって好ましくない水質環境。

参考資料：水産用水基準（2000年版）、（社）日本水産資源保護協会

表 2-3. 主な水質項目の意味

項目	水産動植物等にとっての意味合い
水温	<ul style="list-style-type: none"> 水温は魚介類や海藻の生理や成長に大きな影響を及ぼす。 水産生物適水温図（日本水産資源保護協会、1992）に個別の生物に対する適水温が例示されている。 水塊構造（成層）や物質循環にも大きな影響を及ぼす。
塩分	<ul style="list-style-type: none"> 塩分は魚介類や海藻の生理や成長に大きな影響を及ぼす。 水生生物生態資料（日本水産資源保護協会、1981、1983）に個別の生物に対する好適塩分が例示されている。 水塊構造（成層）や物質循環にも大きな影響を及ぼす。
透明度 海中光量	<ul style="list-style-type: none"> 透明度は海水の濁りの状態、海中の光量の状態を示す取り扱いやすい指標である。一般的に補償深度（光合成による酸素生産と呼吸による酸素消費がつり合う深度）は透明度のおよそ2～3倍といわれており、海藻の繁殖可能な深度を判断する場合の目安となる。
化学的酸素 要求量 (COD)	<ul style="list-style-type: none"> 海域の有機性汚濁の指標である。CODの増加要因には有機性の排水や海域でのプランクトンの増殖（内部負荷）がある。 有機物が微生物によって分解される際に酸素を消費し、その量が多大となった場合貧酸素化を招く。
全窒素 全リン	<ul style="list-style-type: none"> 適切な濃度の栄養塩（窒素、リン）は海域の基礎生産にとって不可欠なものである。ただしこれらが過剰（富栄養状態）になると植物プランクトンの過増殖を招き赤潮を発生させる原因となる。 全窒素：1.0mg/L、全リン：0.09mg/Lの値を超えると、植物プランクトンの異常増殖によって、貧酸素あるいは無酸素水塊の形成が見られ、特に夏季の底層においては青潮や苦潮によるアサリの斃死のような漁業被害が生じうる状態と判断される。
溶存酸素 (DO)	<ul style="list-style-type: none"> DOは海中では植物プランクトンや海藻の光合成によって生産され、生物の呼吸や有機物の分解によって消費される。このほか、海面を通じて大気と交換される。 DOはその状態が動物の生死に直接影響することから重要な指標である。
懸濁物質 (SS)	<ul style="list-style-type: none"> 濁りは魚介類の行動に影響を及ぼすとともに海中の光量を減少させ海藻等の光合成に影響を及ぼす。また、海藻の遊走子（孢子）に吸着し遊泳を阻害するほか、岩の表面に堆積した場合にはそれらの着生を妨げる。 主な魚類への忌避影響濃度 <ul style="list-style-type: none"> ブリ：100 mg/L以上（濁り物質：海底泥）で影響 マダイ：150 mg/L以上（濁り物質：白陶土）で影響 マアジ：180 mg/L以上（濁り物質：海底泥）で影響 イシダイ：5mg/L以上（濁り物質：海底土）で影響 主な海藻への影響 <ul style="list-style-type: none"> ワカメ：3-4mg/Lの懸濁粒子が遊走子に吸着、遊泳阻害を起こし、着生密度に影響。堆積泥層の厚さが0.3mm程度で配偶体の着生、発芽に影響。泥層が厚いと9-10日頃から細胞が死亡 ヒトエグサ：10 mg/L以上で光合成に影響 アマノリ：10 mg/L以上で光合成に影響

参考資料：水産基盤整備事業における環境配慮ガイドブック、(社)全国漁港漁場協会

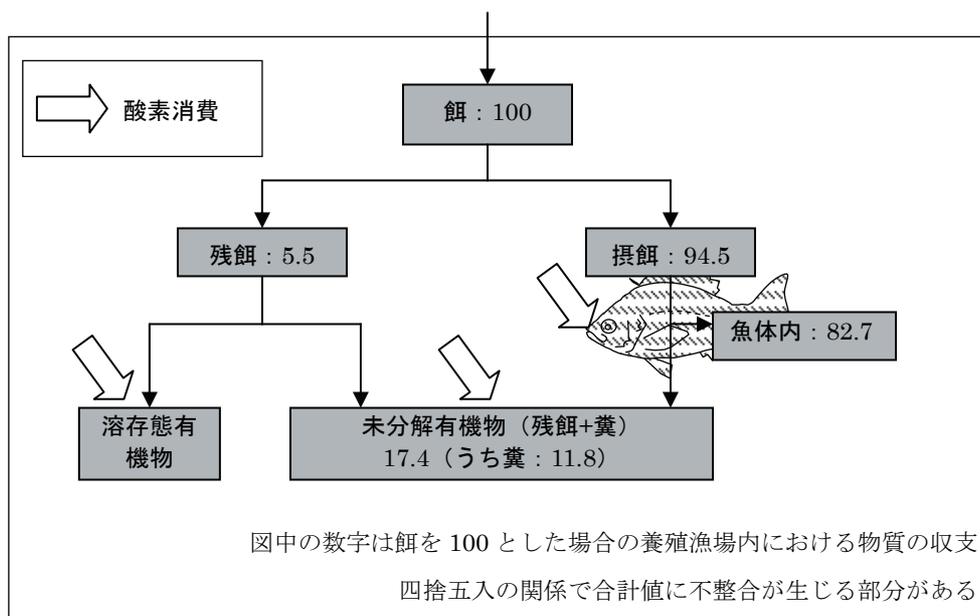
2.2 改善目標設定の考え方

水質評価の項目として、生物の生死や活性に直接的に影響を及ぼす溶存酸素（以下 DO と記す）が最も重要である。DO を指標に定量的に改善目標を設定する。

(1) 指標としての DO

DO は動物の生理に対して直接的な影響を及ぼすとともに、その影響が死に及ぶこともあるため、養殖漁場の水質を管理する指標として重要な項目である。また、比較的安価で簡便な機器を用いた計測が可能であり、現場で直ちに値を確認できることから管理項目として適している。

給餌を伴う魚類養殖場では、図 2-3 に示すように、残餌や養殖魚の排糞、老廃物、さらには魚の呼吸によって DO が消費される。また、潮通しや成層（塩分や温度の差によって、表層と底層の海水が混じりにくい状態）の発生しやすさといった海域の環境特性によって DO 環境が変動する。複合的な要因の組合せの結果を表すともいえる DO は、養殖漁場の水質環境を代表する指標となる。



資料：平成 16 年度 環境保全型養殖普及推進対策事業検討会資料、和歌山県

図 2-3. 養殖漁場における餌の収支と酸素消費

(2) 改善目標

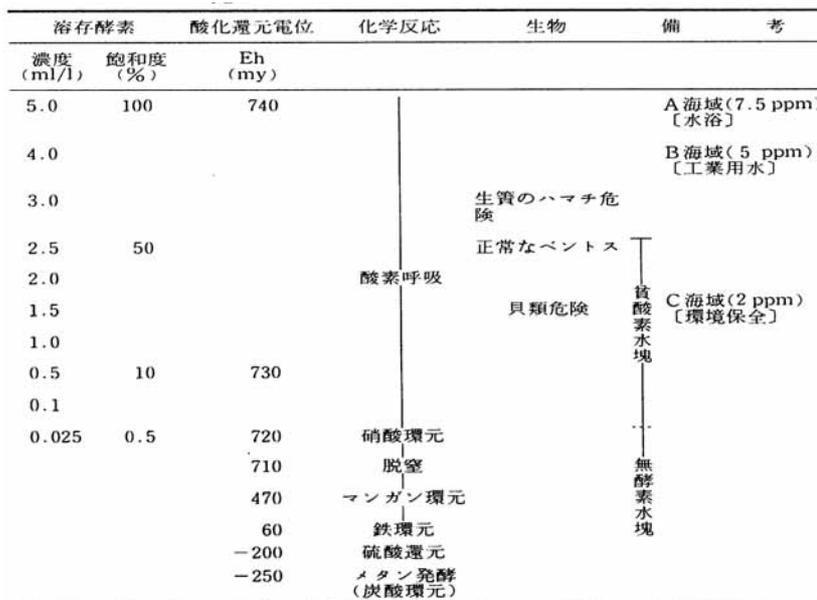
DO を指標に漁場の改善目標を設定するに当っては表 2-4 に示した「漁場の溶存酸素量の臨界濃度」が参考となる。また、海域における DO の意味づけ（生物の生理的状态との関係、化学反応との関係）が図 2-4 に示すようにまとめられており参考となる。

基本方針においては、生簀内の DO とブリの活性から、ブリが正常に摂餌する 4.0(mL/L)以上の状態が改善目標値として示されている。これらを踏まえ養殖漁場の特性と養殖の内容に応じて改善目標を設定する。また、改善目標値を適用する水深や季節など、地域特性に応じたよりきめ細かい改善目標の設定が望ましい。

表 2-4. 漁場の溶存酸素量の臨界濃度

区分		(mL/L)	(mg/L)
魚介類の致死濃度	底生魚類	1.5	2.2
	甲殻類	2.5	3.6
魚介類に生理的变化を引き起こす臨界濃度	魚類、甲殻類	3.0	4.3
	貝類	2.5	3.6
貧酸素と底生生物の生理、生態的变化	底生生物の生存可能な最低濃度	2.0	2.9
	底生生物の生息状況に変化を引き起こす臨界濃度	3.0	4.3
漁場形成と底層の酸素の濃度	底生魚類の漁獲に悪影響を及ぼさない底層の酸素濃度	3.0	4.3

参考資料：水産用水基準（2000 年版）、（社）日本水産資源保護協会



出典：沿岸海洋研究ノート、第 26 巻、2 号

図 2-4. 化学・生物過程と溶存酸素の関係

なお、DO は管理する水深や季節によって意味合いが異なる。例えば、図 2-5 に示した (A) の深さでは、DO の変動が養殖魚の生理状態ひいては生死に係わる問題となり、(B) の範囲においては DO が低下した場合でも養殖魚には直接影響を及ぼさないが、湧昇時には大きな影響が生じる。(C) の範囲については底質との関係において重要な意味を持つ。

基本方針においては、生簀など施設内の水中の DO が対象とされ、運用通達では、成層期末期の小潮の最干時給餌前の水質を対象に管理するものとされている。DO を測定し評価する場合には水深や季節に注意する必要がある。

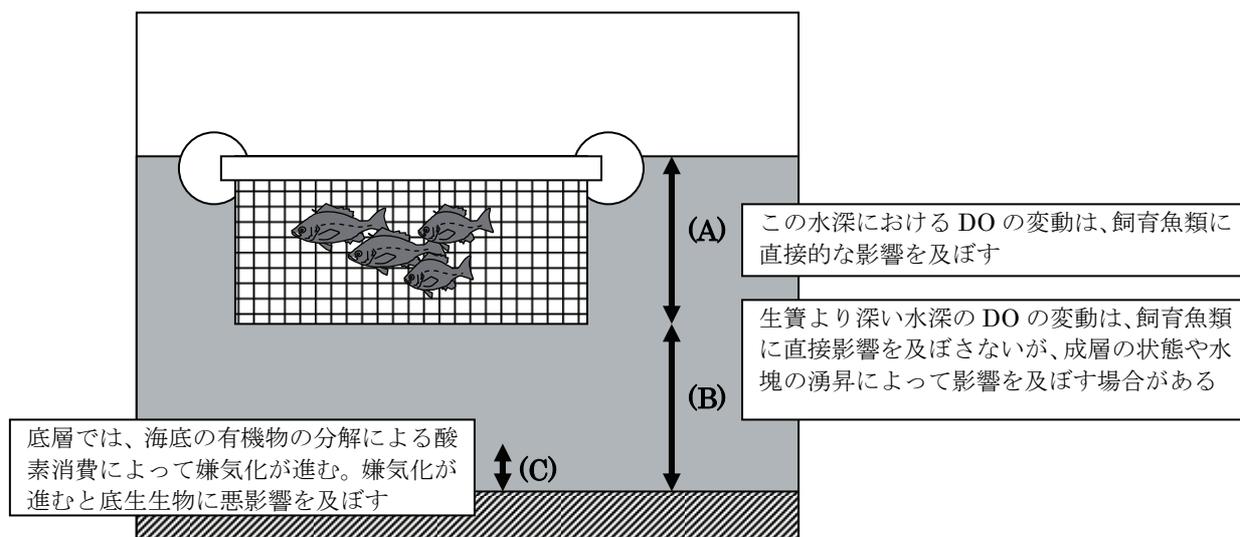


図 2-5. 養殖漁場における水深と DO の意味

3. 底質による評価

3.1 底質による養殖漁場の環境評価

底質は、養殖漁場における物質循環の状態を顕著に表すとともに、海水に比べてはるかに移動しにくいいため、漁場に関する長時間の情報を持っていることから、環境を評価する上で有効な指標である。

養殖漁場では、大きな負荷を受け止めることができる水域環境、水底環境であるかどうかを見定めることが必要となる。そのためには、水質調査だけではなく、堆積物の物理・化学的な環境条件、底生生物の生息状態などの情報が不可欠である。

一般にベントスと呼ばれている底生生物が豊富で多様性に富んでいることは、その海域の環境が良好に保たれていることを意味している。良好な水底環境下では、堆積物の中にも幾分か酸素が行き渡り、大型の生物が生息することで、さらに酸素が運ばれやすい状態になっている。ベントスが消費できないほどの有機物が沈降してくるような環境になると、海底では次第に酸素が無くなり大型の生物が生息しにくくなる。さらに有機物が投入されると、いよいよ酸素が枯渇して、硫化水素が発生するような環境に移行する。この硫化水素は呼吸毒であるので、ほとんどの生物は生息できなくなり、ある種の微生物のみが優占する単調な世界に変わってゆく。この状態になった海底泥は、金属硫化物の生成により黒色をしており、強烈な腐卵臭がする。

3.2 改善目標の設定

基本方針に定められた目標及び水産用水基準等を参考に、地域の評価及び目標設定のための項目を選定するとともに目標値を設定する。

基本方針に示された底質改善の目標を表 2-5 に示した。また、水産用水基準に定められた底質の基準を表 2-6 に、各項目の意味を表 2-7 に示した。なお、基本方針に定められた底質の改善目標については、表 2-5 に補足して示したように、現在これに替わる目標が検討されている。

これらの項目及び基準値を参考に、地域の環境特性、養殖対象生物の種類に応じて、管理すべき底質項目を選定するとともに改善目標値を定める。

表 2-5. 基本方針に定められた改善項目と目標

海面養殖	水質	DO : 4.0mL/L
	底質	いけす等養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となるとき硫化物量の値を下回っていること。*
		ゴカイ等の多毛類、底生生物の生息
飼育生物の状況	疾病による累積死亡率が増加傾向にないこと	
内水面養殖	水質	DO : 3.0mL/L
	底質	いけす等養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場の水底における酸素消費速度が最大となるとき硫化物量の値を下回っていること。*
		イトミミズ等の貧毛類、底生生物の生息
飼育生物の状況	疾病による被害が増加傾向にないこと	

*この値を現地で測定することは以下のように困難とされ、現在これに替わる目標値が検討されている。

底質基準「いけす等の養殖施設の直下の水底における硫化物量が、その漁場における酸素消費速度が最大となるとき硫化物量の値を下回っていること」はバクテリアを含むすべてのベントスの呼吸（酸素消費速度）より養殖漁場の環境容量を把握しようとするものである。この基準は海底における酸素消費速度が上昇する間は生物浄化が正常に営まれているとみなし、この範囲を望ましい漁場環境の条件としたものである。しかし、酸素消費速度の測定は技術的に難しく、今までに低酸素条件下の漁場で酸素消費速度の最大値が検出された例はない。

表 2-6. 水産用水基準に定められた底質の基準値（海域）

項目		基準値
底質	COD	20mg O ₂ /g 乾泥以下
	硫化物	0.2mgS/g 乾泥以下
	ノルマルヘキサン抽出物	0.1%以下
	・微細な懸濁物が岩面、礫または砂利などに付着し、種苗の着生、発生あるいはその発育を妨げないこと ・溶出試験（環告 14 号）により得られた検液の有害物質が水産用水基準の基準値の 10 倍を下回ること	

参考資料：水産用水基準（2000 年版）、（社）日本水産資源保護協会

表 2-7. 主な評価項目の意味

項目		水産動植物等にとっての意味合い
底 質	粒度組成	・粒度組成は底生生物の生息場としての適正を示す指標であるとともに、内湾では泥分含有量が有機物量と比較的高い相関を有することから、底質の汚れを判断する指標ともなる。
	化学的酸素要求量 (COD)	・底質に含まれる有機物量、有機性汚濁の指標。これらの値が高い場合には、底層で貧酸素水塊が発生する可能性が高まる。 ・CODについては 20mg O ₂ /g 乾泥が漁場環境を保つ上での目安となっている
	全硫化物 (T-S)	・硫化物は生物に対して強い毒性を有するためこの値が高い場合、底生生物などの生息が困難となる。 ・0.2 mgS/g 乾泥が漁場環境を保つ上での目安となっている。

参考資料：水産用水基準（1995年版、2000年版）、（社）日本水産資源保護協会
水産基盤整備事業における環境配慮ガイドブック、（社）全国漁港漁場協会

3.3 底質調査の留意点

底質調査の主な目的は以下に示すとおりであり、養殖漁場においては主に②③の目的で調査を行う。

- ① 海底表面の地形的特徴を調べる
- ② 底質中の物質濃度を把握し、長期的な物質の分布、拡散の現状を知る
- ③ 底質の粒度分布や物質組成を調べ、海域の特徴を把握する
- ④ 底質への物質の堆積速度、底土の海水への再浮上を調べ、底質の安定状態を調べる
- ⑤ 底質の諸特性とバクテリア、ベントス、プランクトン、ネクトンとの関連を調べる

なお、調査を行うに当っては調査計画の立案が重要である。中でも調査点、調査時期について留意し決定する必要がある。調査点、調査時期決定の留意点を以下に示した。

【調査点】

潮汐流、地形など既知の資料を調査計画の判断基準に利用することが望ましい。水塊に比べ、堆積物の性質の日周変化や季節変化は小さいが、場所的な変化は大きいので、同一場所でも少しずつ位置を変えて採取することが望ましい。これらの試料をそれぞれ別々に分析し、分析値のばらつきを明らかにしておくことが大切である。

堆積物の性質に関して既存の知見が無い場合は、採取点を均等に設けざるを得ない。特に河口や沿岸域のように環境変化の大きい場所では密に、環境変化が小さいかまたは比較的均一な場所では粗に選ぶ必要がある。

【調査時期】

海底に堆積してくる物質の量は、例えば内湾や沿岸域でも $1\text{cm}/\text{年}$ ($1\text{g}/\text{cm}^2$) を越えることは稀である。従って、採取物から日周変化や季節変化を読み取ることは甚だ困難である。堆積物の性質は水塊のように天候に左右されることはないので、気象条件や海況の静かな頃に採泥をおこなえばよい。しかし、季節による生物相の変化には注意が必要といえる。

4. 底生生物による評価

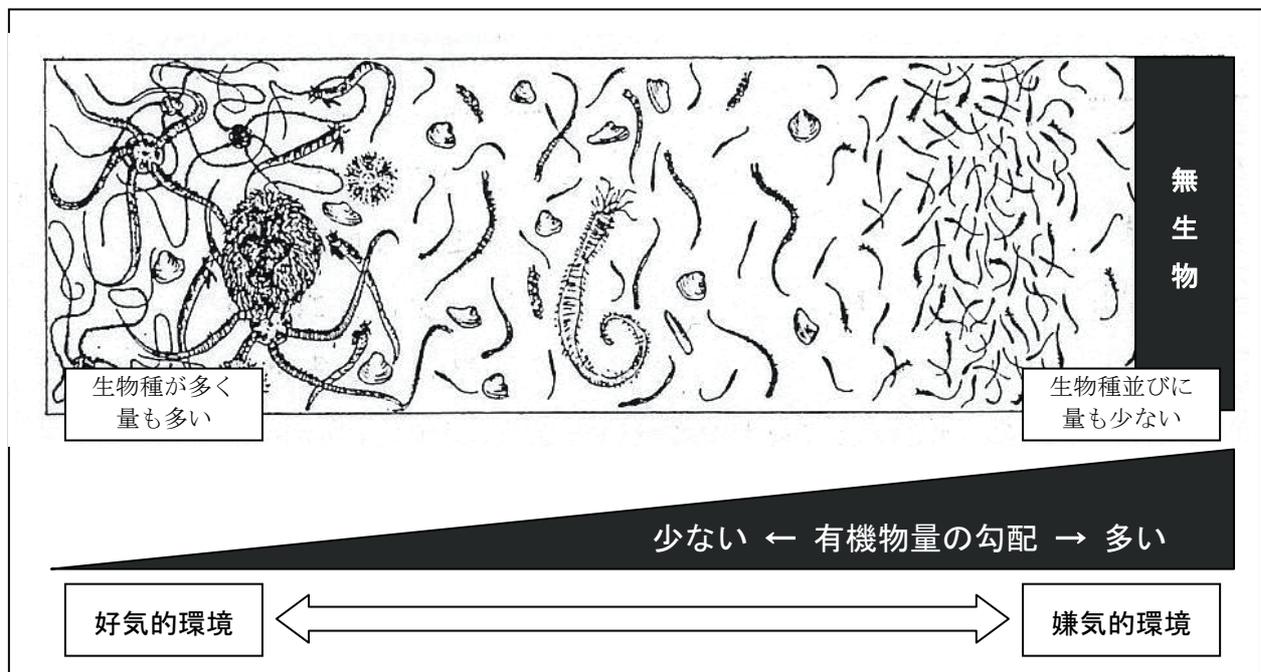
4.1 底生生物による養殖漁場の環境評価

底生生物は魚やプランクトンと比べ移動性が小さく、その種類組成や生物量が環境の状態、履歴を示す指標となる。

底生生物とは水底を生息場所とする生物のことであり、ベントスともいう。底生生物にはヒトデやカニのような比較的大きな生物(メガロベントス)、通常1mm目のふるいで砂や泥を洗って採集されるゴカイや貝類などの生物(マクロベントス)から、線虫(メイオベントス)や細菌(マイクロベントス)まで多様な分類群にわたる様々な大きさの動物が含まれる。

底生生物は移動性が小さく、その種類組成や生物量(単位面積あたりの生物の重量)が環境の状態を示す指標となる。特に、生活環が数10日から数年にわたるマクロベントスは、出現そのものがその場所で生活してきた期間の環境を積算的に反映する。なお、「持続的養殖生産確保法」の基準として扱われている底生生物はマクロベントスを指している。

養殖漁場では養殖活動に由来する有機物が海底に沈降するとそれが餌として底生生物に摂取される。その結果、有機物負荷が少ない海域では、養殖開始当初は出現種数、生物量及び生息密度(単位面積あたりの生物の個体数)が増加する。しかし、ある段階を超えるとこれらの値はいずれも減少し、最終的には無生物となる。



資料：水産学シリーズ「海面養殖と養魚場環境、底生生物」に加筆

図 2-6. 海底への負荷蓄積にともなう底質と底生生物の変化(模式)

4.2 漁場生態系における底生生物の役割

底生生物は養殖漁場の海底に沈降・堆積する有機物の分解に大きな役割を果たしている。

底生生物は海底に沈降・堆積する有機物を直接あるいは間接に摂取して生きている。また、堆積物に巣穴を掘って住みかとしたり、堆積物を直接食べることにより堆積物を耕す働きをする。このような活動を通して、底生生物は海底に沈降・堆積する有機物の分解に大きな役割を果たしている。

好気的な環境下では、養殖由来の有機物は底生生物の餌料となり、底生生物量の増加に寄与する。底生生物量が増大すると、動物による生物攪拌により堆積物の酸化が促進される結果、好気性バクテリアの活性が高まり、堆積物中の有機物の分解が進行するとともに還元物質がさらに減少する。増殖した底生生物は魚類など高次消費者に捕食され、生物生産の増大に寄与する。

このように漁場生態系において底生生物が重要な役割を果たしている反面、養殖活動による過大な負荷によって底生生物相が著しい影響を受ける。養殖活動の負荷による底生生物相の変化に関する一般的な傾向を表 2-8 に示した。

表 2-8. 養殖活動と底生生物相の変化

出現種の減少	水底における溶存酸素量の減少や硫化物の発生がベントスの生存や周辺域からの移入を阻害する結果、種の多様性(出現種数)が減少する。魚類いけす直下ではその傾向が顕著であり、無生物となることもある。貝類養殖場においても一般に多様性の低下がみられる。
汚濁指標種の高密度出現と棘皮動物などの減少、消失	<p>養殖漁場に出現する汚濁指標種として多毛類のイトゴカイ <i>Capitella</i> sp.、コオニスピオ <i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>、スキストメリンゴス <i>Schistomeringos</i> spp.、甲殻類のコノハエビ <i>Nebalia bipes</i>などが知られている。</p> <p>養殖漁場においては、有機汚濁が進むと多毛類の比率が高くなり、棘皮動物や甲殻類の比率が減少する例が多い。また、大型種の減少も見られる。これは、養殖漁場で夏季に貧酸素化や硫化物の発生が見られることから、数年の生活環を有する大型種がこれらの影響を受け、減少するためである。</p>
動物のサイズおよび鉛直分布の変化	<p>養殖漁場では周辺域と比べ小型の種が多くなり、種内の個体サイズは大型化する。前者の現象は、富栄養化が進行すると棘皮動物などの大型の動物が消失し、生活環の短い小型の種が主要な構成種となることによる。後者は、養殖に由来する栄養豊かな餌料の供給による。また、有機物負荷が進むと堆積物の深い層に生息する大型の動物が消失するとともに、堆積物の酸化層が減少し、動物の鉛直分布が表面近くに移行する。</p>

資料：横山、2005

4.3 養殖による負荷がベントス群集に及ぼす影響範囲

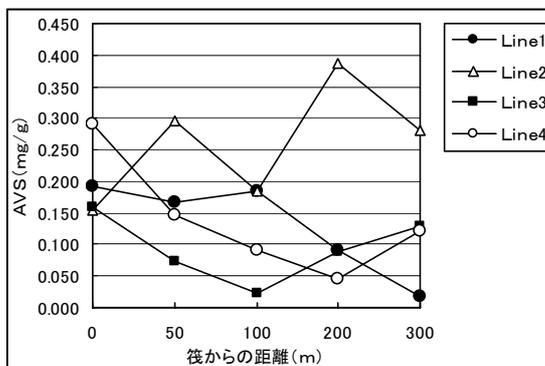
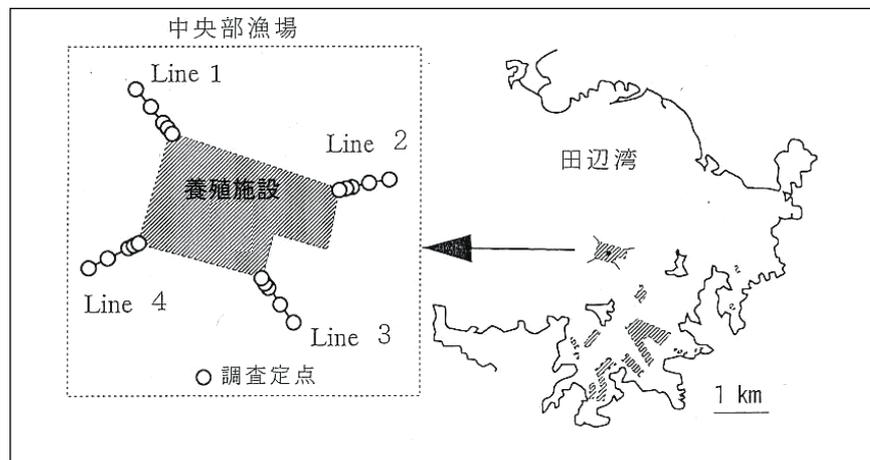
養殖による負荷の影響が及ぶ範囲は、養殖生物種、餌料の種類など養殖活動に関する要素と海水流動、水深などの物理環境要素に大きく左右される。

魚類養殖による有機物負荷がベントス群集に及ぼす直接的な影響は、養殖生簀の周囲 50 m 以内、大きくても 250m 以内と比較的狭い範囲に限られていることが多い。ただし、養殖場から 1.5 km まで影響が認められた例もある。宮城県のサケ養殖場では生簀直下より半径 15 m 以内の海底で養殖場に特徴的な動物相が発達することが報告されている。また、貝類養殖では通常、施設周辺の 40m 以内に限り、魚類養殖より影響範囲は狭い。

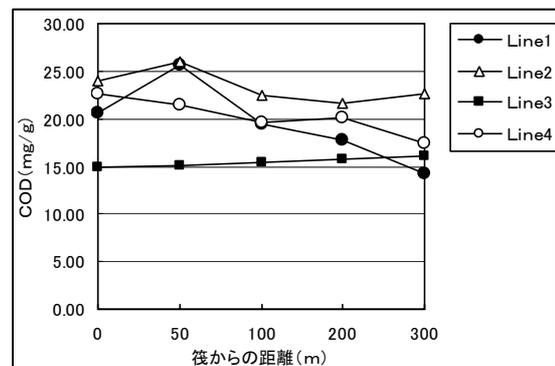
養殖による負荷の影響が及ぶ範囲は、養殖生物種、餌料の種類など養殖活動に関する要素と海水流動、水深などの物理環境要素に大きく左右されると考えられる。地域の特性に基づき影響範囲を想定し、また、改善計画の対象範囲、対策の実施範囲を決定するとともにモニタリング調査点を決める必要がある。

事例： 養殖施設からの距離と底質環境

潮の方向、湾の内外の向きなど各種の要因が重なっていますが、養殖施設から離れるに従い、概ね海底の AVS や COD が減少する傾向が読み取れます。



養殖筏からの距離と底質中の AVS の関係



養殖筏からの距離と底質中の COD の関係

資料：平成 16 年度 環境保全型養殖普及推進対策事業検討会資料、和歌山県

4.4 養殖活動の開始・中止に伴う動物相の変化

養殖からの負荷が底質環境に及ぼす影響は比較的短期に生じるが、負荷削減後の底質環境の回復には長期を要する。

養殖漁場の利用やモニタリングに当ってはこの点に留意しなければならない。

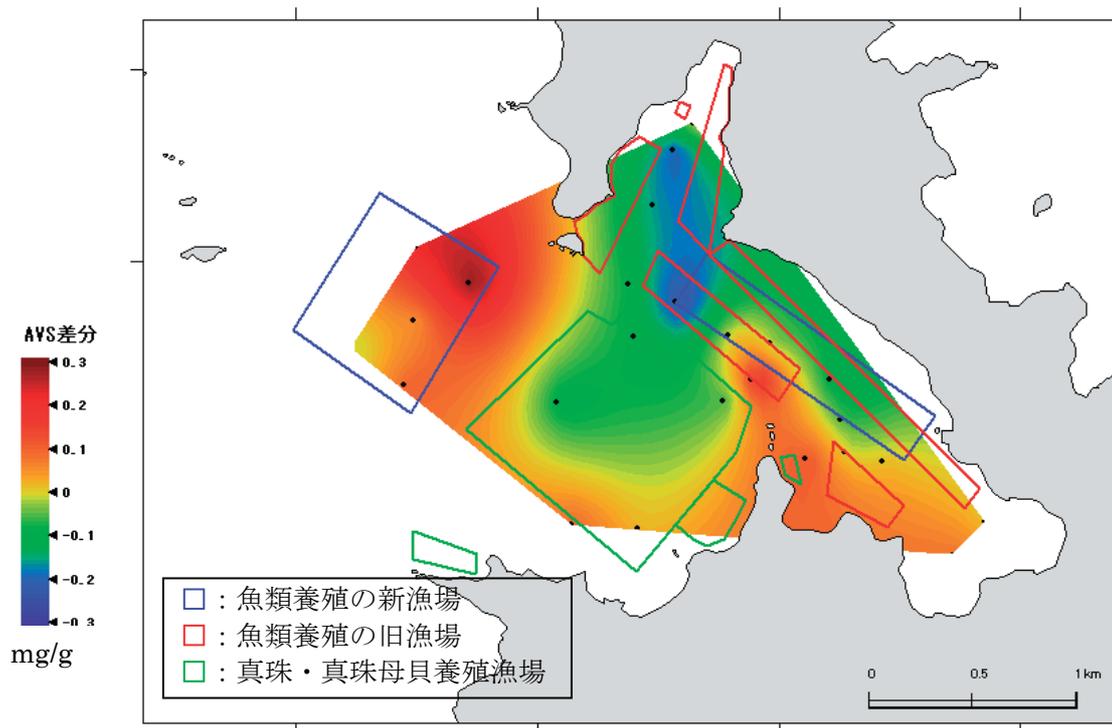
一般にベントス群集の変化は、給餌・無給餌を問わず養殖開始後2～3ヶ月で生じ、1年後には周辺域とは明らかに異なった動物群集がみられるようになる。一方、養殖中止後のベントス群集の回復に必要な期間に関する報告例は少ない。養殖活動中止後の底生生物相の回復に関する既存の知見を表9に示した。なお、動物群集が回復するまでの期間は有機汚濁の程度や潮流、水深などの物理要素および水温に大きく左右される。

表2-9. 養殖活動中止後の底生生物相の回復に関する既存知見

対象魚種	養殖活動中止後の底生生物相回復の状況	摘要
イガイ養殖場	養殖中止後1年半を経ても動物相に明らかな回復がみられなかった	Mattsson & Lindén, 1983
魚類養殖場	生簀直下の海底において、10週間後に部分的回復がみられた	Ritzら、1989
	23ヶ月後に部分的な回復はあったものの有機汚濁底に特徴的な動物群集が存続していた	Karakassisら 1999
	1年後には種数は増加したものの養殖前の動物相までには回復しなかった	Johannessenら 1994
ギンザケ養殖	中止1年後には生簀直下の海底よりイトゴカイやスキストメリンゴスが姿を消し、養殖期間中の動物相とは大きく異なった	佐々木ら、2002

事例：下波湾での調査データ

愛媛県下波湾では、養殖施設を移設した後、底質中の AVS が減少することが確認されています。（図中の赤い部分は AVS が増加、黄色は増減が無かった部分、青は AVS が減少した部分を示す）



資料：平成 17 年度 養殖漁場環境保全推進事業調査データ、愛媛県 より

4.5 底生生物の生物量に基づく環境評価と養殖許容量

底生生物の生物量、生物種に基づき、養殖漁場の状態が評価できる。また、養殖許容量を推測することができる。

群集パラメータの中でも底生生物の生物量は、海底における浄化力の指標になると考えられる。生物量を用いて養殖漁場の環境評価を行う場合、有機物負荷の増加とともに生物量が増加する範囲を漁場環境として健全、生物量が減少する範囲を要注意、無生物となると危機的な環境と評価できる。これらの関係を図2-7(上図)に示した。

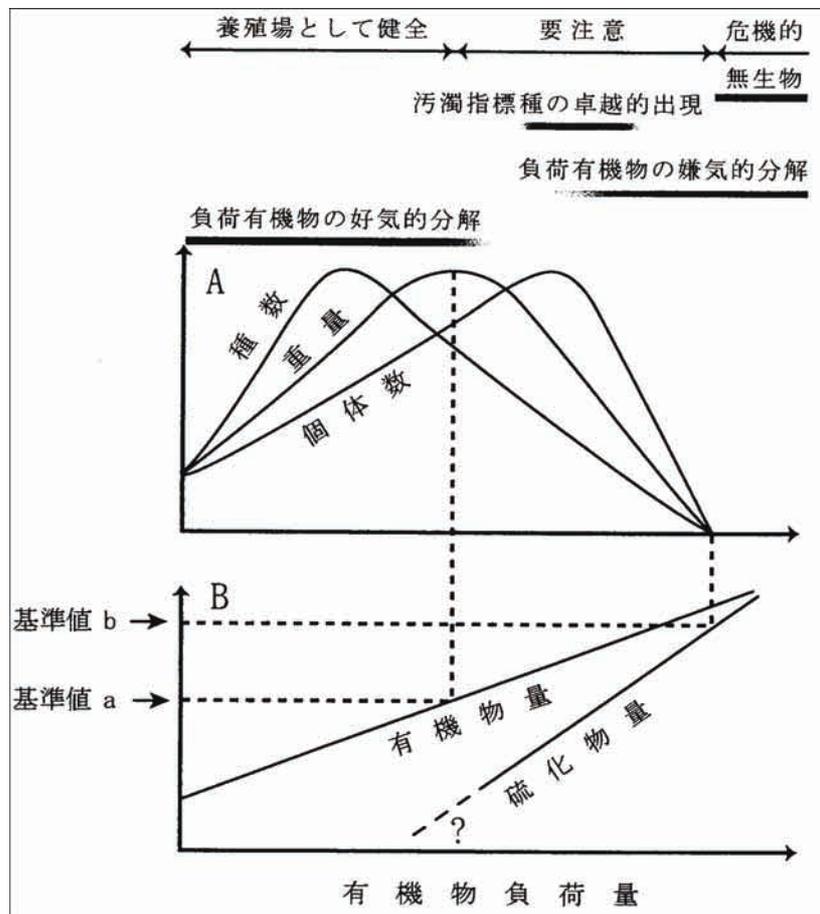


図2-7. 有機物負荷に伴う底生生物群集と底質の変化 資料：横山、2005

4.6 改善目標の設定

底生生物を指標にした底質改善目標の考え方を以下に示した。
地域特性を踏まえ、既存の知見や調査結果に基づき改善目標を設定する。

養殖漁場の環境を底生生物相で評価することが有効である。基本方針に示された改善目標を表2-10に示した。

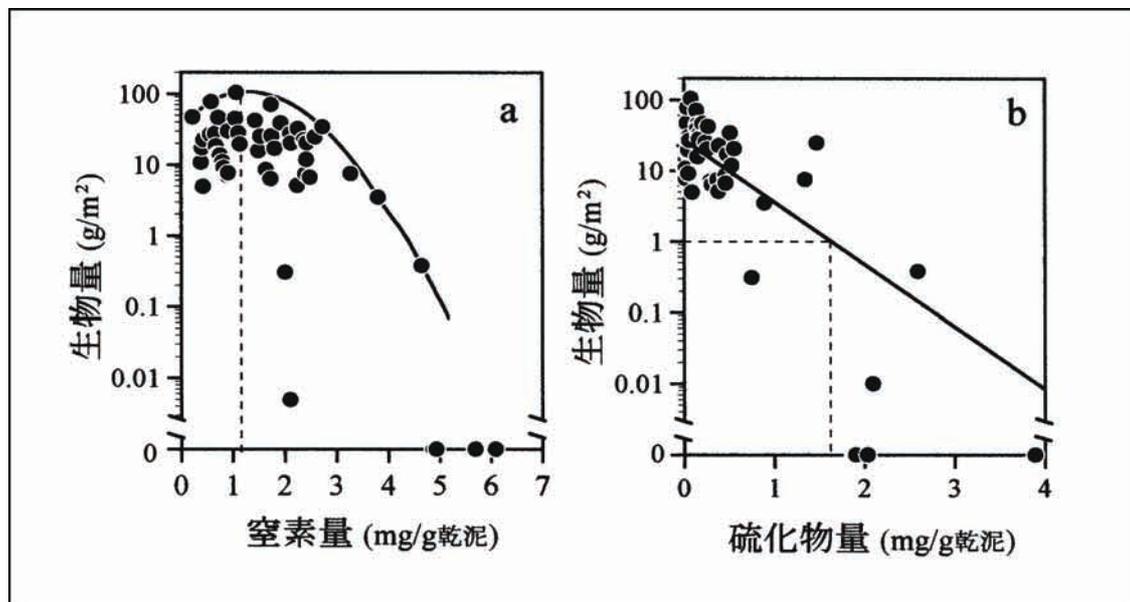
底生生物を指標に底質環境を評価することは有効であるが、一方では、底生生物の生物量を把握するには熟練と時間が必要なうえ、たとえ正確に測定しても同一漁場内で大きなばらつきが見られることが多い。そこで、漁場環境改善目標値の設定には、多くの漁場の調査より有機物負荷量と相関がある底質の化学分析値（窒素量、有機態炭素量など）と生物量との関係を求め、生物量の最大値に対応する底質分析値（図2-7の基準値a）を用いるのが現実的である。ただし、底質項目のうち硫化物量は、負荷有機物が好氣的に分解し、底生生物の生物量が増加する系ではほとんど発生せず、生物量が減少する系で生じるので、無生物となる危機的な環境を示す値（図2-7の基準値b）として用いることが望ましい。

表2-10. 基本方針に示された改善目標

海面養殖	水質	DO : 4.0m L/L
	底質	硫化物量が酸素消費最大時の硫化物量を下回る
		いけす等の養殖施設の直下の水底において、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。
飼育生物の状況	疾病による累積死亡率が増加傾向にないこと	
内水面養殖	水質	DO : 3.0m L/L
	底質	硫化物量が酸素消費最大時の硫化物量を下回る
		いけす等の養殖施設の直下の水底において、イトミミズ等の貧毛類その他これに類する底生生物が生息していること。
飼育生物の状況	疾病による被害が増加傾向にないこと	

事例：底質の化学分析値と生物量との関係

横山らは、熊野灘沿岸の魚類養殖場における底質と底生生物の調査結果から、底質の管理目標値（図 2-7 の基準値 a に相当する値）として窒素量 1.2 mg/g（下図 a）と有機態炭素量 9.0 mg/g、また、危機的環境を示す値（図 2-7 の基準値 b に相当する値）として硫化物量 1.7 mg/g（下図 b）を得ている。



熊野灘魚類養殖場における底生生物の生産量と堆積物の全窒素(a)、硫化物(酸揮発性)量(b)との関係

資料：横山ら、2002 a

第3編 評価事例

前編に示した評価の考え方に沿って、養殖漁場の環境を評価した事例を以下に示した。

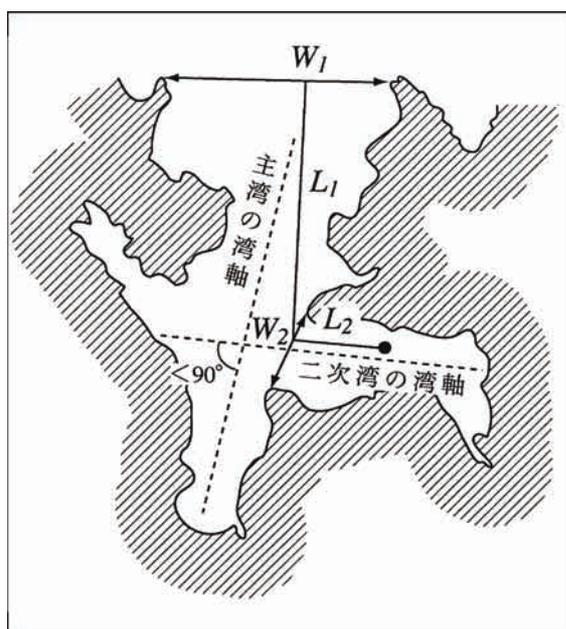
1. 底生生物の群集型による評価と養殖許容量の推定
2. AVSモデルによる評価と養殖許容量の推定
3. 数値モデルによる定量的評価

1. 底生生物の群集型による評価と養殖許容量の推定

底生生物の群集の状態（群集型）によって、養殖漁場の評価が可能である。また、養殖許容量を推定することができる。

養殖許容量は酸素供給力や残餌・糞の拡散の程度により変化する。これらの要素は海水交換に依存しており、湾内における漁場の位置や湾の地形に支配される。このような漁場の物理環境を数量的に表す指数として、湾口の幅(W)と水深(Dm)、湾口から漁場までの距離(L)および漁場の水深(Ds)から計算される「内湾度」(横山ら2002a)が有効である。図3-1に内湾度指数の算出方法を示した。

この指数は、湾口から漁場までの距離が長く湾口の幅が狭いほど、また湾口部や漁場の水深が浅いほど大きな値となる。熊野灘沿岸の魚類養殖場から求めた内湾度指数と水質・底質および底生生物生物量との関係を見ると、内湾度指数が大きいほど底層水の溶存酸素量が少なく、底質の窒素量が多く、硫化物量が多く、かつ生物量が少なくなる傾向が明らかであった。また、この傾向は小規模漁場より大規模漁場の方が著しかった(図3-2)。これらの結果は、養殖に伴う有機物負荷の量により環境は影響を受けるものの、基本的には養殖許容量は地形に強く支配されていることを示している。



$$\text{内湾度 } ED = (L / W) (45 / Dm) (20 / Ds)$$

漁場が二次湾の中にあり、主湾の湾軸と二次湾の湾軸が90度未満の角度で交差する場合

$$ED = (L_1 / W_1 + L_2 / W_2) (45 / Dm) (20 / Ds)$$

図3-1. 内湾度指数の算出方法 資料：横山ら、2002 a

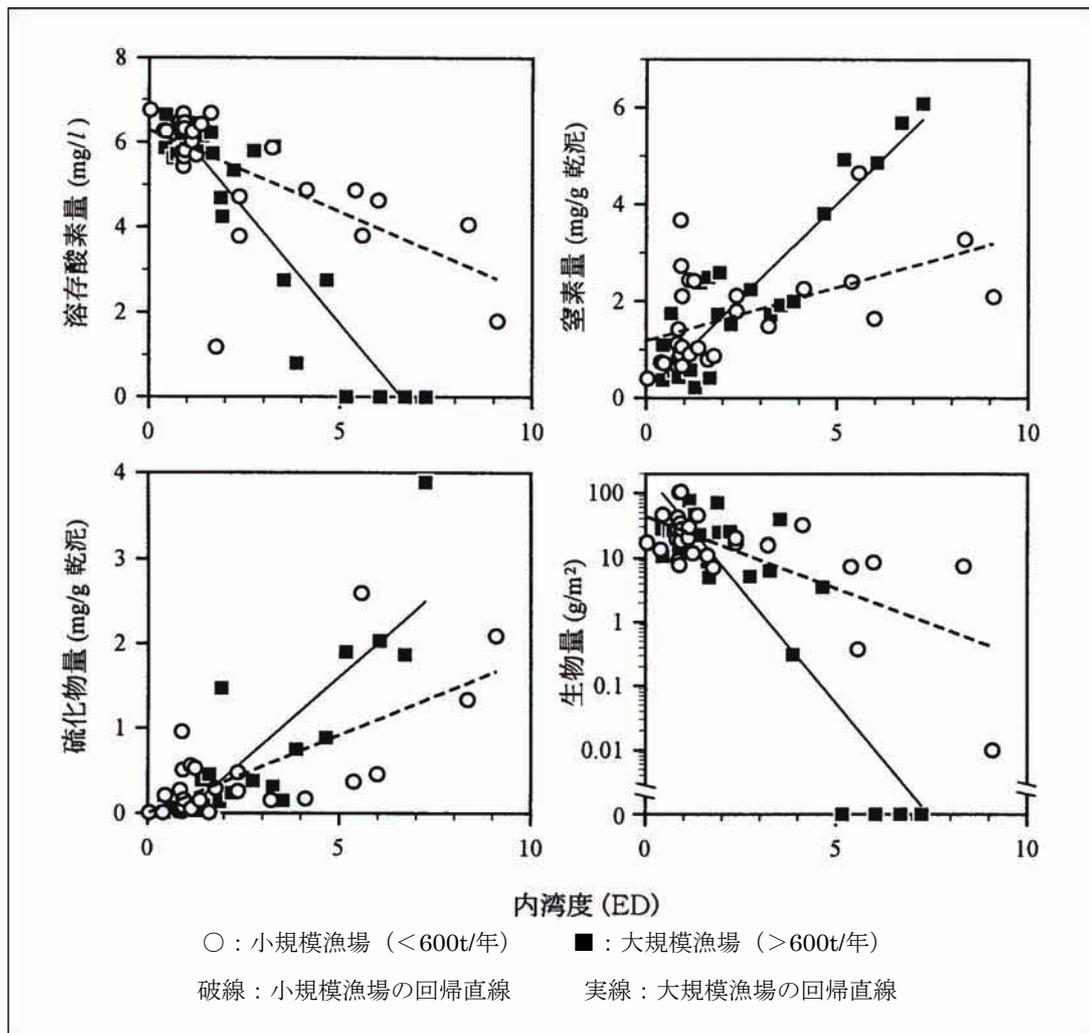


図3-2. 内湾度指数と養殖漁場における環境諸項目との関係 資料：横山ら、2002aを改変

つぎに底生生物の群集型（動物の集合体）を判別することにより漁場の養殖許容量を推定した例（横山ら、2002b）を図3-3に示した。

熊野灘沿岸における22カ所の魚類養殖場より底生生物の種組成が似た5群集をクラスター分析により抽出した。これらの群集は生物量や汚濁指標種の出現状態、底質の汚濁状態から、健全な環境下にある低攪乱型群集と要注意環境下にある高攪乱型群集に大別できる。これらの群集と危機的な環境を示す無生物の「危険な区域」を養殖生産量と内湾度指数の座標軸のなかに配置すると、それぞれの3群が占める区域間の境界線 x および y の位置を参考にして環境改善策を立てることができる。すなわち、図3-3(a)において漁場の地点が危機的な区域の中に位置した場合、その位置から垂直方向下の境界線 x との交点より下方が無生物を回避できる生産量、水平方向左の x との交点より左方が無生物を回避できる湾内での位置、さらに y との交点より左方が持続的な生産が可能な湾内での位置を示すことになる。

例えば、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するためには、生産量を600トンまで削減するか、或いは内湾度4の場所まで漁場を移動すればよい。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分かる。

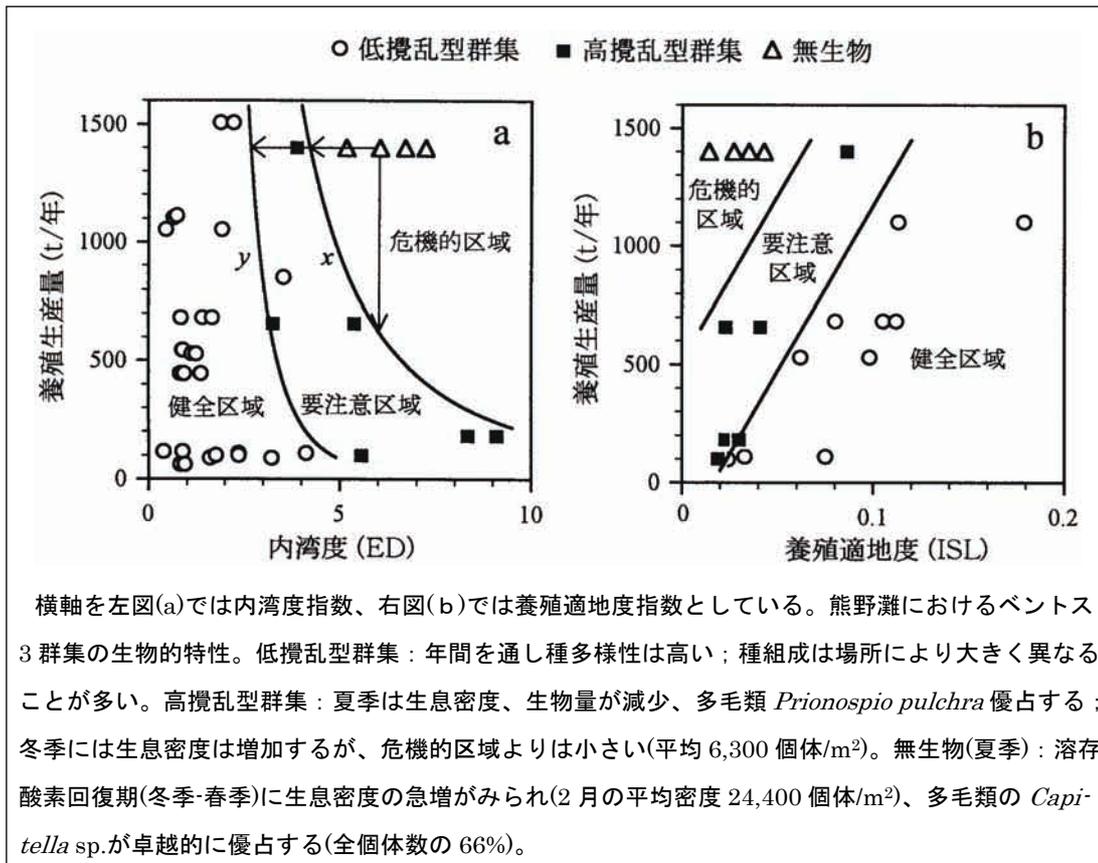


図 3-3. マクロベントスの群集型に基づく漁場環境の区分

資料：横山ら、2002 b 及び Yokoyama ら、2004 を改変

内湾度指数は環境容量を示すよい指数となるが、地域や湾の規模、潮汐差等が異なる漁場にこの内湾度を共通の指数として適用できるかは疑問であり、より汎用性のある指数を見出す必要がある。Yokoyama ら(2004)は負荷有機物の拡散、海底への沈降および酸素の供給に直接関与する海水流動の影響を評価するため、石膏球を用いて生簀直下、海底上 1m の平均流速を推定した (図 3-4)。

さらに、生簀下の有機物濃度が水深と流速に反比例すること、有機物分解に影響を及ぼす酸素供給力が一般的に流速に比例すると考えられることから、養殖場としての適正度を表す指標として、「養殖適地度指数 $ISL = (\text{漁場の水深 } m) \times (\text{平均流速 } m/s)^2$ 」を提案した。内湾度指数を養殖適地度指数に置き換えた、図 3-3(b)においても、低攪乱型群集が出現する地点、高攪乱型群集が出現する地点および無生物地点は図平面の右方から左上に向けて規則正しく配列しており、それぞれ健全、要注意、危機的の 3

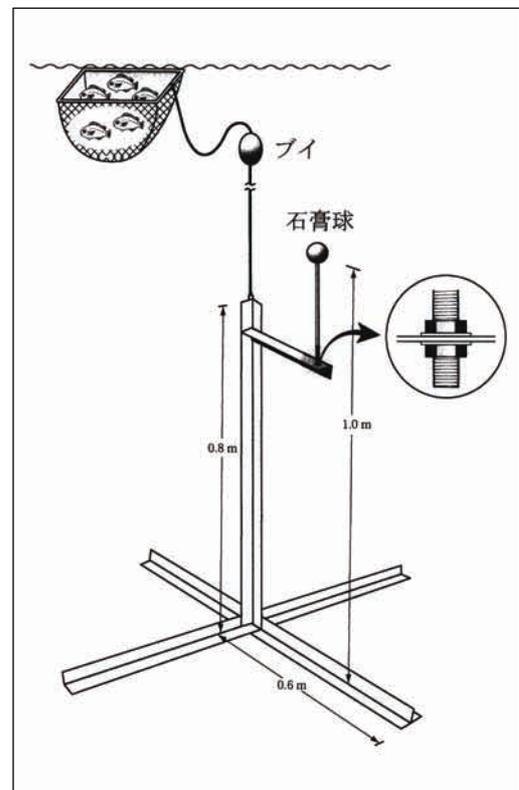


図 3-4. 石膏球を用いた平均流速測定装置

資料：Yokoyama ら、2004

つの区分に分けることができる。また、同図中に水質、底質と底生生物の諸項目の数値を記すと、それぞれ等値線を描くことができる(図 3-5)。

これらの図からも、養殖適地度が漁場環境を評価するよい指数となること、また、養殖適地度と生産量との関係の中で漁場環境の予測ができ、生産量に応じた適正な漁場の条件を推測できることがわかる。さらに、図 3-3(b)の環境区分を図 3-5 に重ねると、環境区分の境目に対応する各環境項目のおおよその値(表 3-1)を読み取ることができる。今後、他の漁場からのデータも加えて値の信頼性を高められれば、環境評価の基準値として利用できると思われる。石膏球を用いると多数の地点で同時に安価に簡便に平均流速を測定することが可能であり、生産者が漁場の環境容量を把握する有効な手法になると思われる。

これらの研究は地形や海水流動が環境容量に大きな影響を及ぼしていることを示している。このことは、養殖漁場の環境を良好に維持し、持続的に生産するには、海水交換や流速を支配する地形や湾内での位置がきわめて重要な要素となることを意味している。環境への負荷の少ない飼料・飼育技術の開発や自家汚染に関する生産者の意識の向上などにより、有機物負荷量を低減さ

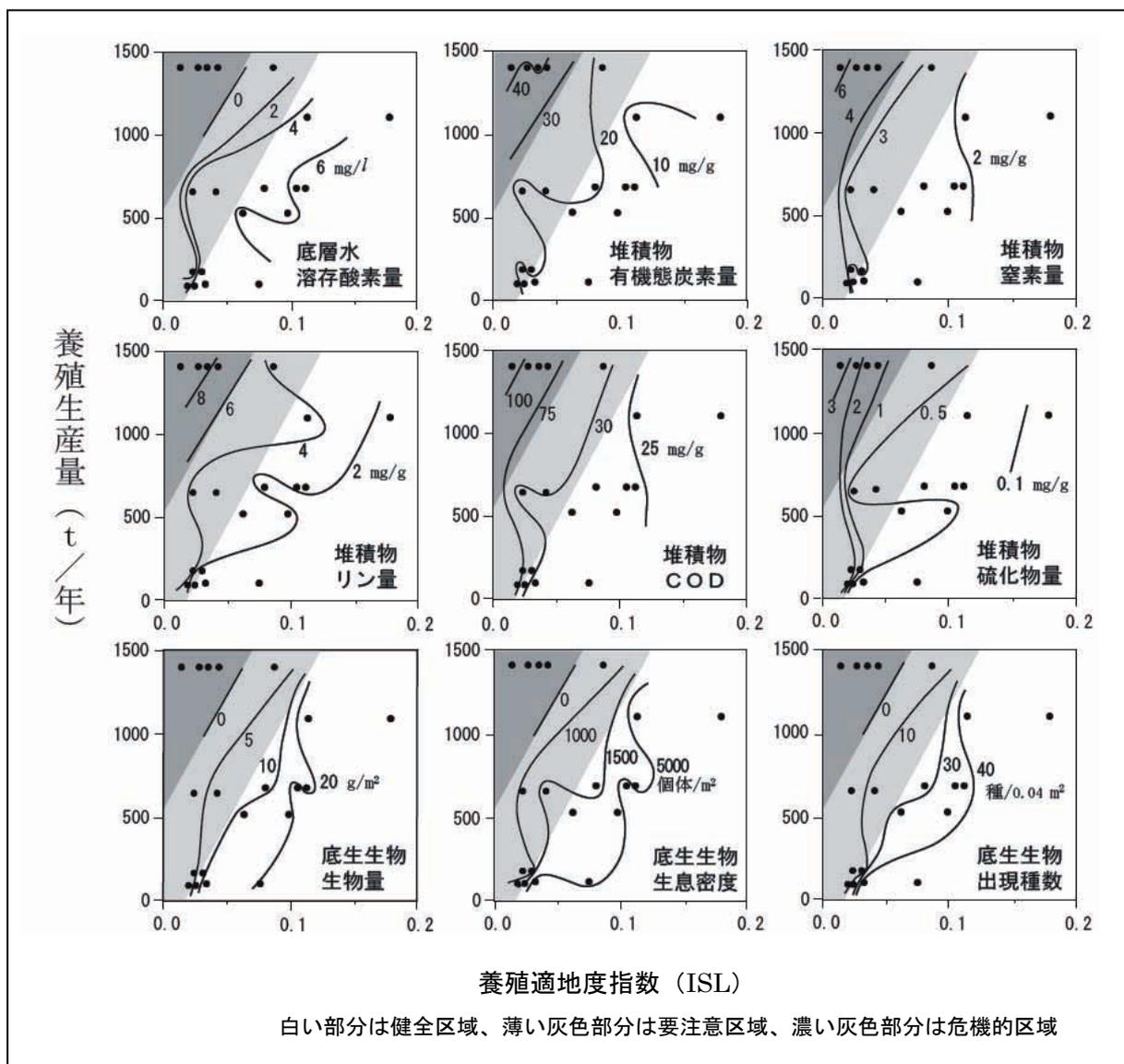


図 3-5. 養殖適地度指数と養殖生産量の傾度の中での環境・底生生物群集諸項目の数値分布

資料：Yokoyama ら、2004

せる努力を続けるとともに、より効率的な環境対策となる沖合養殖や海水流動の良好な漁場開発を進める必要がある。

表 3-1. 熊野灘魚類養殖場における環境区分の目安

項目	要注意区域	危機的区域
底質		
有機態炭素量 TOC (mg/g)	20～30	>30
全窒素量 TN (mg/g)	2.5～4	>4
全リン TP (mg/g)	4～6	>6
化学的酸素要求量 COD (mg/g)	30～75	>75
硫化物量 AVS (mg/g)	0.5～1.5	>1.5
底生生物		
生物量 (湿重量 g/m ²)	10g/m ² 以下で出現	0
個体数 (/m ²)	1500 個体/m ² 以下で出現	0
種数 (/0.04m ²)	20 種/0.04m ² 以下で出現	0

資料 : Yokoyama ら 2004

2. AVS モデルに基づく評価と養殖許容量の推定

AVS モデルは、「底質の状態」、「養殖に起因する負荷量」、「養殖漁場の閉鎖性」の3つの指標を用い、養殖漁場の状態を簡便に評価・診断するモデルである。評価・診断の結果に基づき、養殖許容量の推定や改善目標を設定することができる。

2.1 AVSモデルの概要

AVSモデルは「養殖漁場の閉鎖性」、「養殖に起因する負荷量」、その結果生じる「底質の状態」の3指標間の定量的な関係を明らかにすることによって、魚類養殖と養殖場環境の持続性について簡便に評価・診断し、さらに養殖許容量や改善目標を設定するための簡易的なモデルである。

養殖漁場の閉鎖性については、現地での観測に基づき算出される「海水交換量」の他に、地形や水深を用いて閉鎖性を評価する「内湾度」「閉鎖度」等の指標が利用可能である。養殖に起因する負荷量については「実際に投与された餌の量」の他にいけすで飼育されている「総尾数もしくは総重量」または「年間出荷量」に基づき負荷量を換算して示すことができる。底質の状態については、分析の結果から、COD、強熱減量、AVSなどの値を得て用いることができる。

これらの指標を「養殖餌料に起因する漁場への負荷量」(X)と「漁場の閉鎖性」(Y)と「底質の状態」(Z)をXYZの3軸に設定し、養殖漁場の現状をプロットすることにより、状態を診断することができる。モデルのイメージを図3-6に示した。

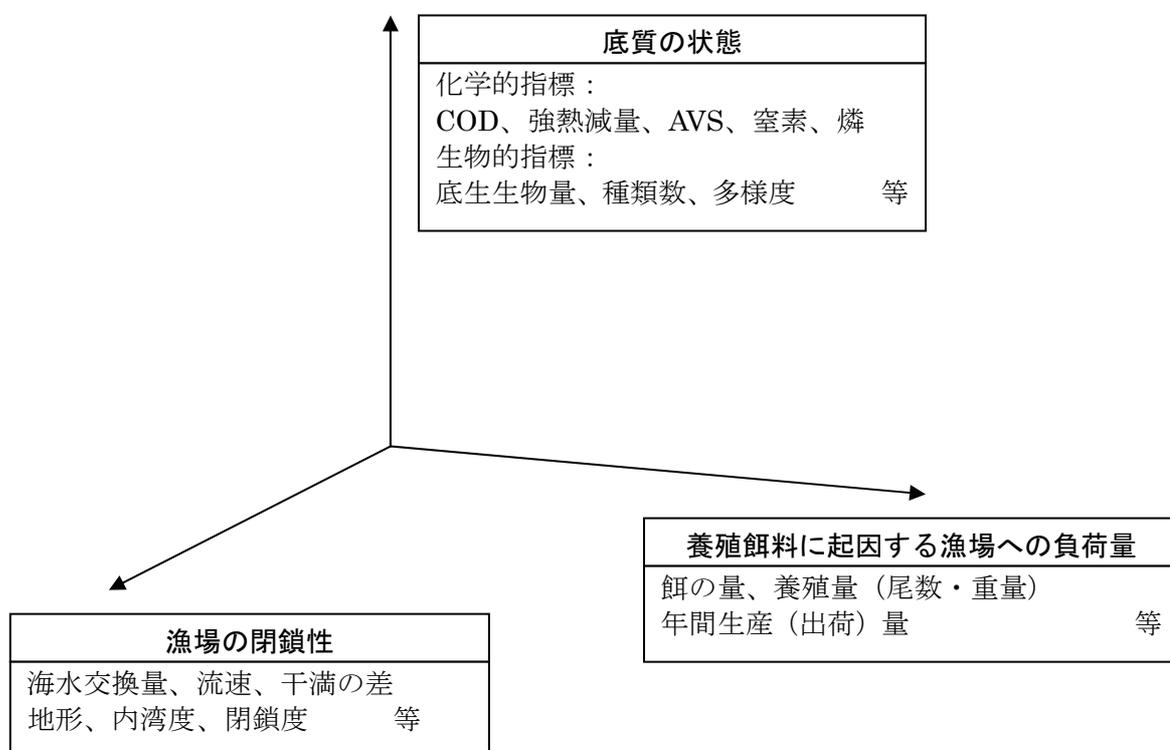


図3-6. AVSモデルの模式

2.2 AVSモデルの利用方法

AVSモデルを用いた評価の結果、「底質の状態」から漁場の持続性に問題があると診断された場合、「養殖餌料に起因する漁場への負荷量」に関する対策として、養殖魚の量や餌の量の削減、また、餌の種類や給餌方法の改善があげられる。また、「漁場の閉鎖性」に関する対策としては、地形や水深を改変することは困難であるため、養殖漁場を開放性が高い海域に移設する方法、筏や生簀等の配置や密度を変え、漁場の潮通しを改善する方法があげられる。後者については、区画漁業権の免許、海域の静穏性の確保など、対策を実施するに当たっての課題が大きく、前者が現実的な対応策となる。このような現状評価及び改善目標設定のイメージを図3-7に示した。

なお、負荷について、実海域では養殖餌料に起因する以外の河川や陸域からの負荷もあり、これらの削減を併せて進める必要がある。

また、覆砂や改良材によって底質を改善することにより、漁場の持続性を高める方策も考えられる。しかし、この方策は必ずしも根本的な原因の解決とはならないことから、並行して負荷の削減に取り組む必要がある。

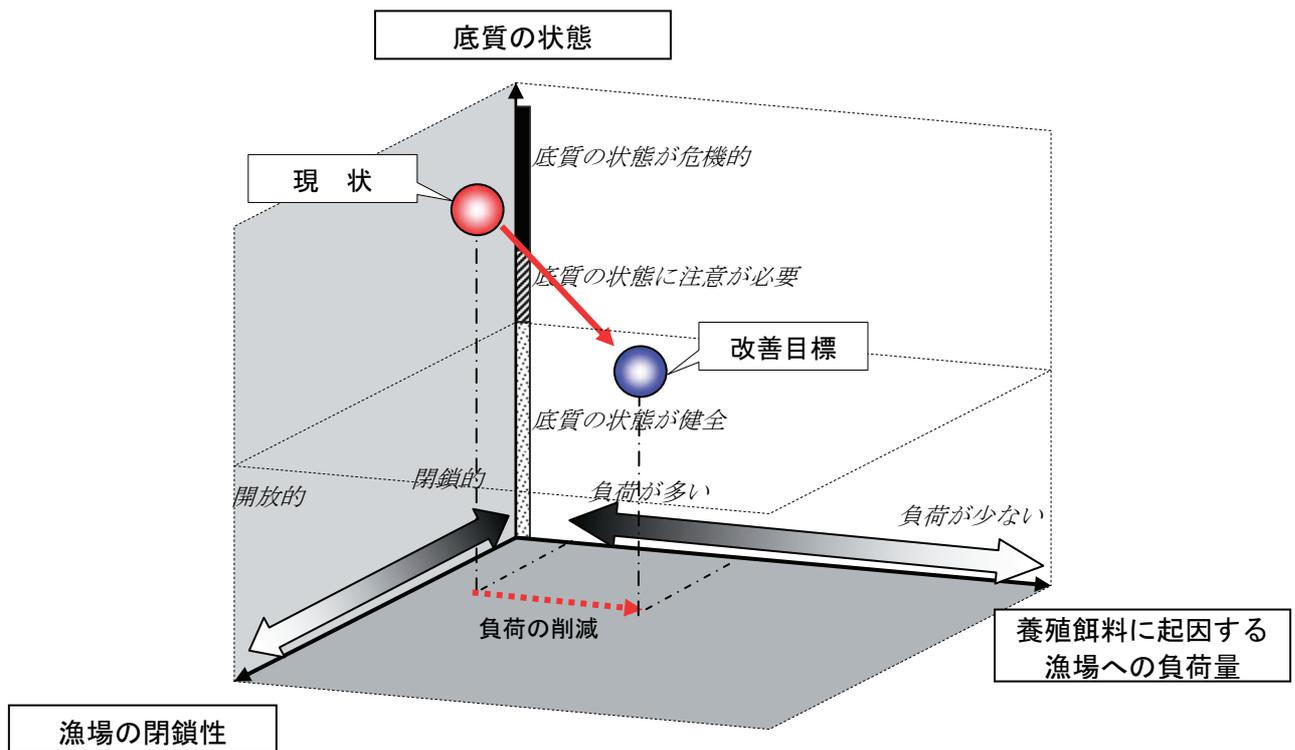


図3-7. AVSモデルによる現状評価・改善目標設定のイメージ

2.3 AVSモデルの現状と事例

AVSモデルについては、現場で簡単に用いることができるモデルの検討が進められ、評価の3軸に用いる指標が表3-2のように設定されている。今後、各指標の妥当性について調査・研究が進められ、汎用化が図られる。

表3-2. AVSモデルの3軸に用いることができる指標

軸	指標	備考
底質の状態	AVS	<ul style="list-style-type: none"> ・AVSは、CODや強熱減量、窒素や磷、さらに底生生物の量や多様性と比較的高い相関性を持つ。 ・現場で比較的簡単に測定可能であり、値のばらつきが小さい。
養殖餌料に起因する漁場への負荷量	年間出荷量	<ul style="list-style-type: none"> ・統計などから値を把握することができる。 ・ただし、魚種や餌の種類などによって負荷として海域に影響する度合いが異なることから、負荷への換算が必要。
	年間給餌量	<ul style="list-style-type: none"> ・購入した餌の量と在庫から給餌量を算出することができる。
漁場の閉鎖性	内湾度 閉鎖度 等	<ul style="list-style-type: none"> ・内湾度や閉鎖度など、地形や水深など地図から得られる情報に基づき算出可能。

3. 数値モデルによる定量的評価

数値モデルを用いたシミュレーションを行なうことによって、養殖許容量を推定することができる。

沿岸域における物質循環モデル、生態系モデルの精度が高まるとともに、今後さらに安価な計算機及び計算ソフトが汎用化されるものと考えられる。これらのツールを用いることによって、数値シミュレーションによる養殖漁場の定量的な評価が可能になる。例えば、養殖漁場における物質の収支及び酸素の収支を非常に単純化すると図 3-8 のように示すことができる。

本来物質は海中に粒状で漂っているもの（懸濁態）や海水中に溶け込んでいるもの（溶存態）を区別する必要があるが、ここでは懸濁態と溶存態を合わせて「物質」とした。また、厳密に物質収支を表現する場合には海中のプランクトンや生簀外に生息する魚介類を考慮する必要があるが、ここでは省略している。

図中の数字、記号の意味は次のとおりである。

- ①飼育している魚の量、②給餌量、③魚が食べる餌の量、④魚に食べられずに落ちる餌の量
- ⑤魚が出す糞や尿、⑥海底に沈降・堆積する量、⑦底生生物が食べる量
- ⑧バクテリアによって分解される量、⑨底質から海中に溶け出したり巻き上げられたりする量
- ⑩隣接海域から流れ込む量、⑪隣接海域へ流れ出る量、(a) 気体と海水の酸素の出入り
- (b) 魚が呼吸する酸素、(c) 有機物が分解される際に消費される酸素
- (d) 隣接海域から流れ込む酸素、(e) 隣接海域へ流れ出る酸素

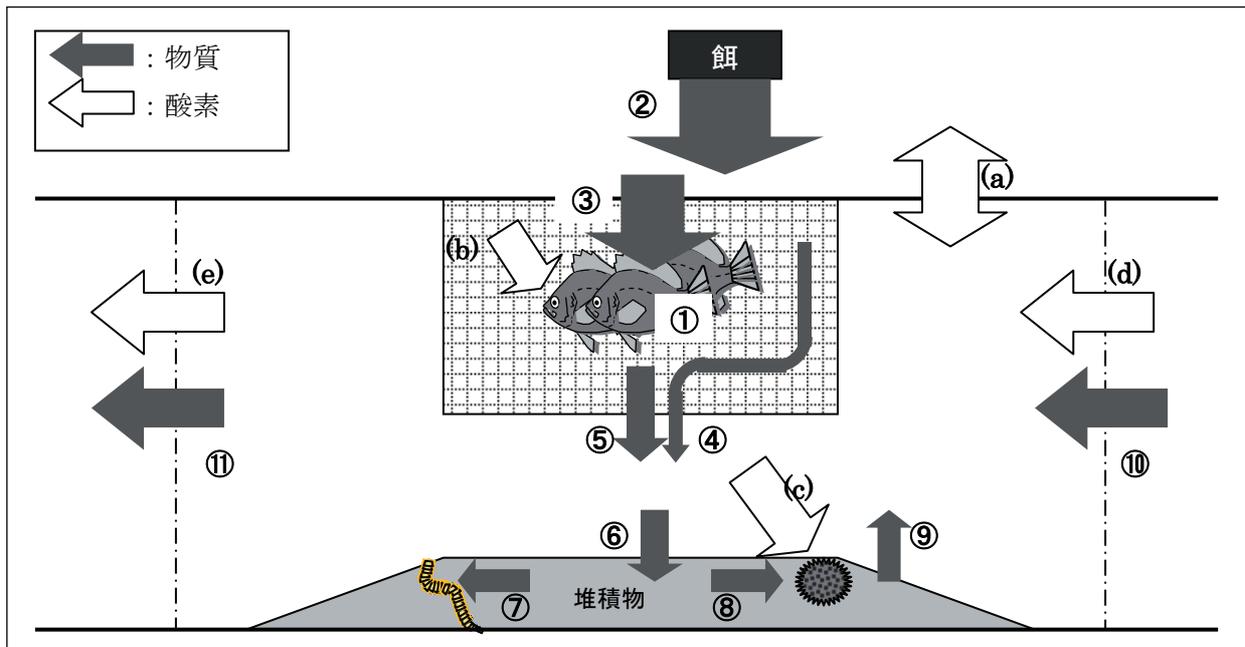


図 3-8 養殖漁場での単純化した物質収支、酸素収支

これら物質収支・酸素収支を構成する要素のうち、現地での流れや水質の調査に基づき、⑩⑪の隣接海域とのやり取りを設定し、さらに、①の魚の種類や量、②餌の量を設定することによって、数値計算モデルを用いて水質や底質の状態、溶存酸素の状態などを予測評価することが可能である。例えば、ハマチ〇〇トン进行飼育し、生餌△△kgを毎日与えると、海底にどれくらいの有機物が溜まり、海中の溶存酸素がどれくらい低下するのかといったことが分かる。

このようなモデルは大学や水産研究所などの研究機関で開発・改良が進められており、今後さらに利用しやすくなるものと考えられる。ただし、海域の条件によってはモデルが適用できない場合もあるため、漁場の特性や漁場改善計画を作成・運用する組織形態に応じて、モデルを導入し数値シミュレーションによる評価、目標の設定に取り組むことが有効である。さらに、漁場の利用実態を養殖日誌などに基づき管理するデータベースとこのような漁場評価モデルを組合せ、運用することによって、定量的な根拠に基づく漁場の改善が可能になる。システムのイメージを以下に示した。

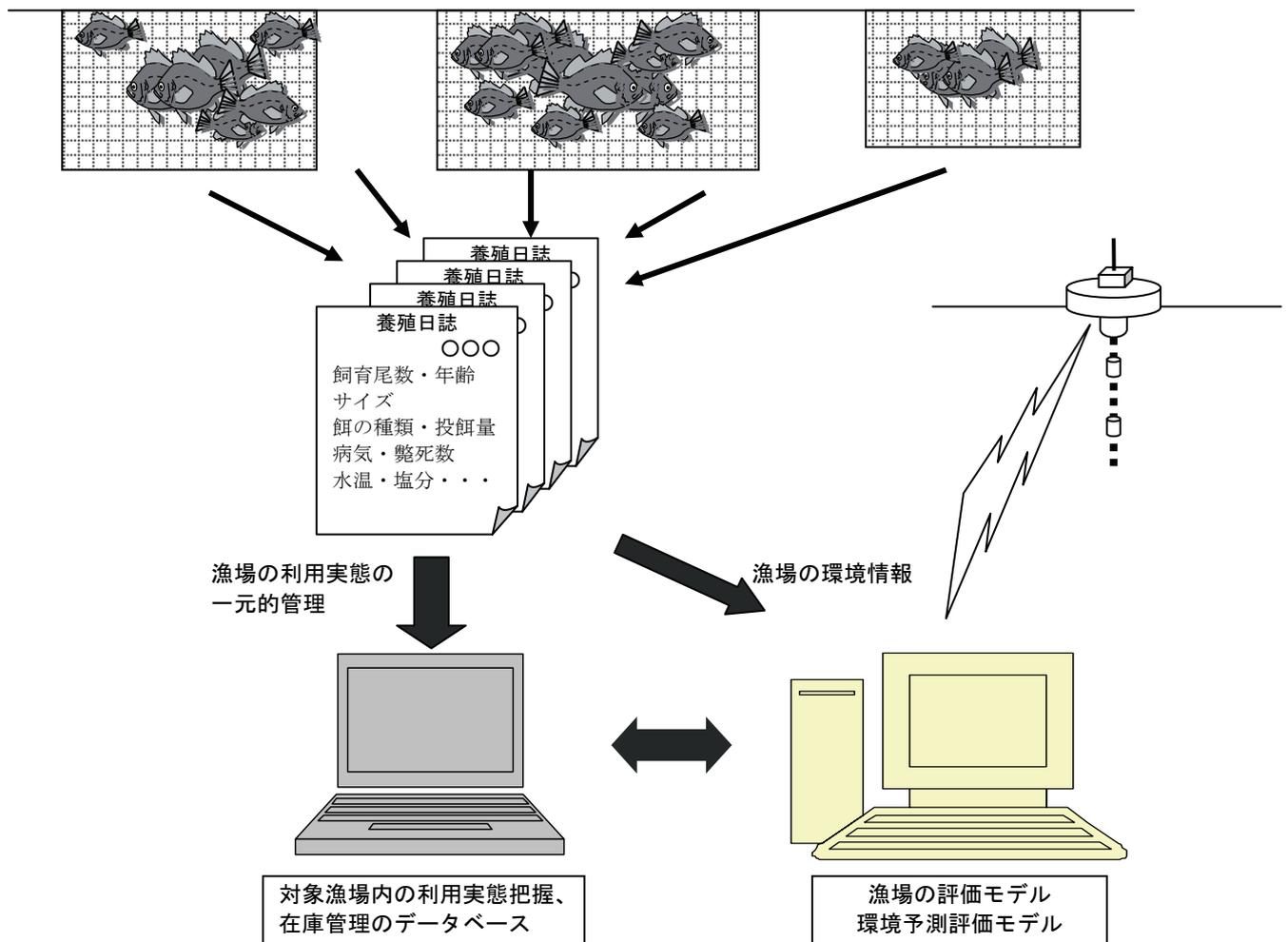


図 3-9. データベースと予測モデルを用いた漁場管理のイメージ

数値シミュレーションに基づく漁場環境評価の事例を以下に示す。また、サロマ湖でホタテガイ養殖漁場の環境管理を行うために用いられている物質循環モデルを事例に示した。

(1) 先駆的養殖管理モデル

宇和島湾におけるハマチ養殖場の物質循環モデル（武岡ら、1988）と大船渡湾におけるカキ養殖の生態系モデル（Terasawa et al.、1995）を例にして目的の異なる養殖管理モデルの構造と役割について整理した（表3-3）。

ハマチ養殖場モデルでは魚体の成長過程、体長や季節ごとの死亡率、水揚げ量、投餌量等が漁協から詳細な資料として提供され、それにもとづき計算のパラメータや条件が設定されている。更に、水底質環境の実測値はモデル検証用に使用されており、生産現場に密着した管理運用ツールとして評価される。

カキ養殖場モデルはカキ成長の代謝モデルを核に、その餌料生産プロセス、3次元の環境動態モデルを内蔵した大型の計算モデルである。カキ生産量を現状レベルの10%、30%増加した場合、逆に30%減らした場合の糞堆積による底層における各種化学環境の変化を予測している。同モデルは地理情報システム（GIS）をデータベースに他の漁業生産活動、陸上インフラ情報を視野に入れた総合的海域利用計画のツールに拡張することも可能である。

これらのモデルに共通する設計理念は、養殖規模拡大による生産力アップとそれによる環境劣化の程度を科学的立場から予測し、環境に調和した養殖場の生産管理を意図している点である。

ここではモデルの中核を成すハマチ及びマガキ個体群動態モデルの特徴を示した。

表3-3. 養殖場管理モデルの概要

	ハマチの養殖場モデル	カキ養殖場モデル
モデルの形式	物質循環モデル(炭素収支)	物質循環モデル(炭素収支)
モデルの構成	<ul style="list-style-type: none"> 個体群の成長式 糞の生産速度式 残餌の生産速度式 	<ul style="list-style-type: none"> 流速変動マルチレベルモデル 水質変動マルチレベルモデル 低次生産力モデル 個体群動態モデル
個体群動態モデル		
・ 生物量の単位	生簀内のバイオマス量 (炭素量) $\text{gC} \cdot \text{day}^{-1}$	単位容積中のバイオマス量 (炭素量) $\text{mgC}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$
・ 時間単位	計算間隔 0.5day 計算期間 1年間	計算間隔 300sec 計算期間 夏期
・ 空間スケール	生簀単位 1ボックス	湾スケール 3次元
・ 変動要素	群成長、水揚量、死亡量	摂餌量、擬糞量、排泄量、 呼吸量、死亡量、水揚量
・ 餌環境の設定	飼育日誌からの投餌量を設定 魚体重の成長曲線からの換算	低次生産力モデルからの動植物プラ ンクトン、デトリタス量を計算
・ 成長率の設定		代謝モデルによる計算
主要な結果		
・ 個体成長曲線		
・ 物質循環収支		
・ その他	糞、残餌の沈降フラックス量の予測	養殖規模と海底面の科学環境の予測
モデルの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 養殖ハマチへの投餌と糞を巡る物質循環モデル ・ 成長量、死亡量、水揚げ量については提供資料を利用 水底質、沈降量は実測値で検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 湾外水との交換を含む湾内3次元生態系モデル ・ カキ個体の代謝モデルの検証(計算値と実測値の整合性を確認)
成果と管理目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 投餌量に対する魚体重、糞、残餌の年間サイクルの予測と養殖場の自浄能力評価の推定 ・ 養殖生費の環境保全と月別ハマチ生産量の出荷調整 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 湾内カキ養殖残餌による底層水中のDO濃度変化予測 ・ 湾全体のカキ養殖規模と総生産量の関係及び環境保全上での環境容量の推定

参考資料：武岡ら（1988）、中村（2000）

① ハマチの個体群動態モデル（武岡ら、1988）

$$\frac{dF}{dt} = GF - Kd - Kf$$

バイオマスの時間変化 成長 水揚げ 死亡

養殖ハマチ（1年魚、2年魚の混養）の成長率は養殖場から提供された魚体の成長曲線（体重の変化）から換算したものを使用しており、これを最初に決めてから、投餌量に対する摂餌量、代謝量（呼吸に使われるエネルギー、運動エネルギー）、排泄量比率を既往データから配分する算定をしている。また、水揚げ量、死亡量は実測データを使用している。

このモデルは個体の呼吸量、摂餌量を体長と水温に依存する実験式で与え、同化効率を季節や餌の質等で設定して体長を逐次計算する方法であり、通常使われる代謝モデルとは異なっている。

養殖場の炭素循環モデルの解析結果によると、ハマチ養殖場では投餌の約4割が残餌（溶存態、懸濁態）、6割が摂餌される。摂餌により魚体に取り込まれたエネルギーは代謝67%、成長23%、排泄10%と配分される。また、排泄された糞は約半分が沈降し分解に伴い酸素を消費する。そして、残りの半分が海水交換により養殖場から排出される。

② カキの個体群動態モデル（Terasawa et al.、1995）

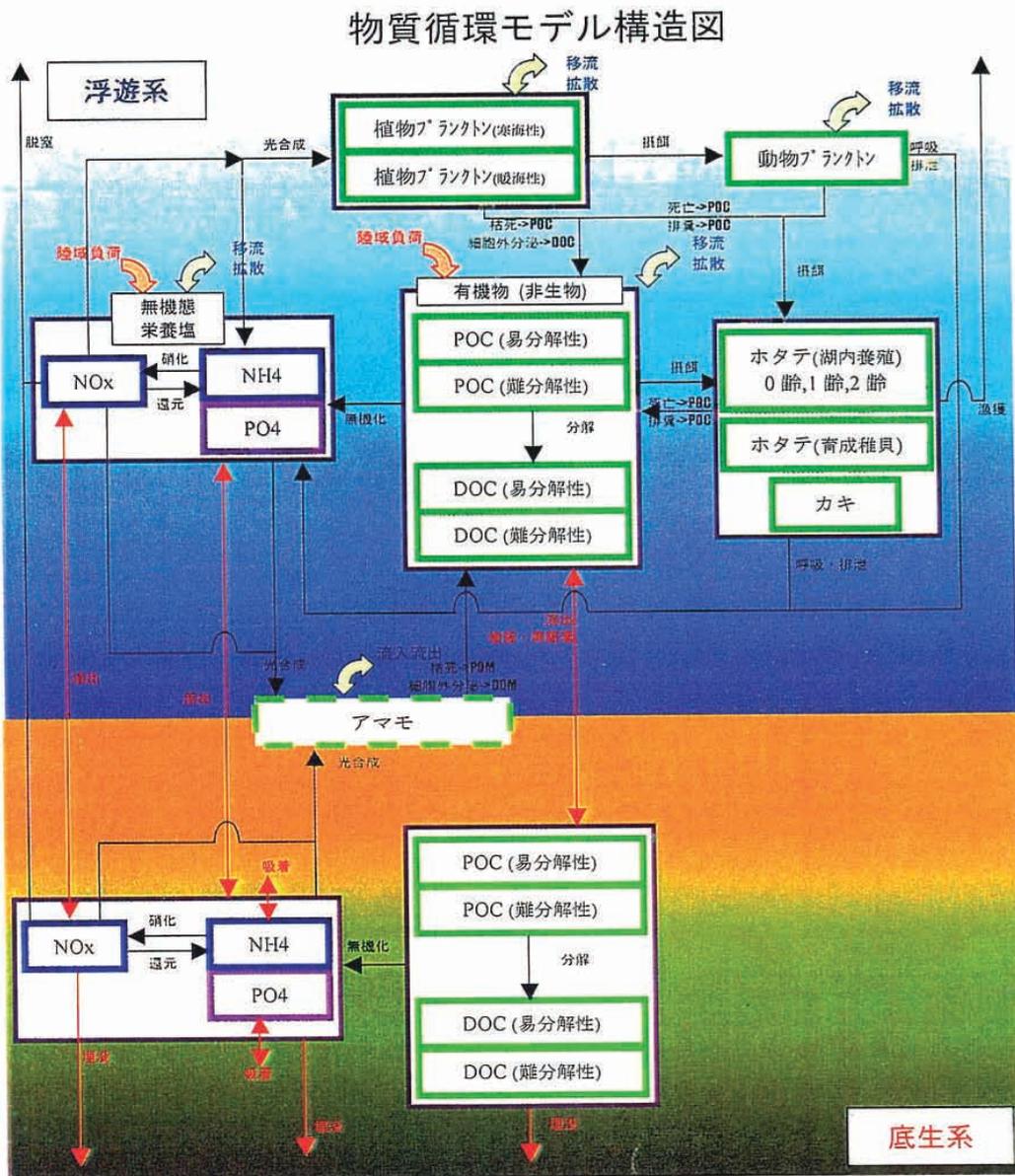
$$\frac{dMB}{dt} = MB1 - MB2 - MB3 - MB4 - MB5 - MB6$$

バイオマスの時間変化 摂餌 擬糞 排泄 呼吸 死亡 水揚げ

カキモデルにおける右辺の最初から4項（ $MB1 - MB2 - MB3 - MB4$ ）がハマチモデルのGFに相当している。摂餌量と呼吸量は水温と殻長に依存した実験式（餌密度及び塩分濃度は無視している）を使用している。擬糞量と排泄量については上限値を超える餌密度の変化に対し両者の比率が対数的に変化するよう設定され、高密度場では擬糞量が急激に増える。つまり、同化効率が急激に減少することになる。水温変化、餌プランクトンの生産等をもとに計算された成長曲線はよく現象を再現する。

大船渡湾のカキ養殖場を含めた炭素循環モデルの解析結果では、カキ生産に係わる餌料の寄与率は植物プランクトン≫植物プランクトン以外のPOC≫動物プランクトンの順である。バイオマス量では植物プランクトンとPOCは等量であることを考えると、生きている植物プランクトンの餌料価値の-highいことが示唆される。また、カキの摂餌量（1.6ton/day）に対する排泄量（1.05ton/day）の割合は約66%でハマチに比べ6倍高いことになる。そして、海水交換率による糞の湾外への排出は期待できないので海底面への堆積と分解による酸素消費は深刻な環境問題となる。

事例：物質循環モデルを用いたサロマ湖養殖漁場環境改善の取り組み



物質循環モデルの項目は正確に計算するために内容を細分化しています。

POC：粒子状有機炭素（海水中を浮遊したり、浮かんだり、沈んだりしている炭素）

DOC：溶存態有機炭素（海水中に完全に溶けている炭素）

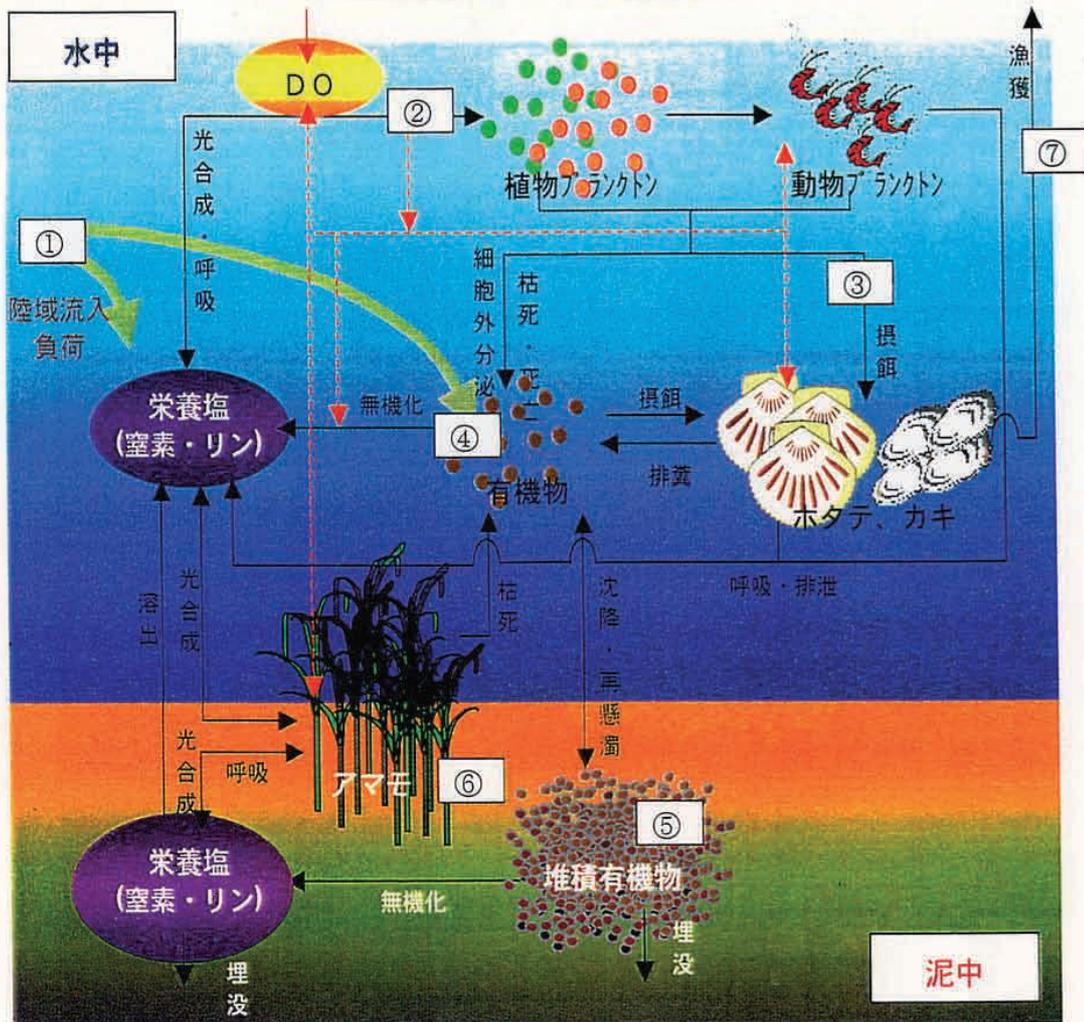
NH₄：アンモニア（植物が最も利用している窒素であり、河川からも大量に流入）

NO_x：NO₂⁻（亜硝酸）、NO₃⁻（硝酸）などアンモニアから変化した窒素の形

PO₄：オルトリン酸：植物に最も利用されやすいリンの形であり、湖沼の富栄養化（赤潮）はこれにより制御されると考えられています。

資料：サロマ湖養殖漁業協同組合資料より

物質循環モデルの概念図



- ①：河川から窒素、リンといった栄養塩や有機物がサロマ湖に流入してきます。
 - ②：栄養塩は植物プランクトンの増殖のために使われ、植物プランクトンは動物プランクトンに食べられます。
 - ③：植物プランクトンや動物プランクトンはホタテやカキの餌となります。
 - ④：ホタテやカキの糞は有機物として排出されます。これ以外の水中の有機物としては河川から直接流入するもの、動植物プランクトンやアマモの死骸、さらに時化などの際に海底から巻き上げられた泥などが含まれます。
 - ⑤：水中の有機物は海底に堆積しますが、一部は分解されて栄養塩類になり、再度水中に溶け出しています。
 - ⑥：アマモは水中や泥から栄養塩を吸収し、枯れたものは水中の有機物となります。
 - ⑦：ホタテ・カキは漁獲され、有機物としてサロマ湖から除去されています。
- ※ これ以外にも湖口での海水交換による物質の出入りも計算に入れています。

資料：サロマ湖養殖漁業協同組合資料より

資料編

1. 調査方法に関する参考資料

調査方法に関する参考資料を表1に示した。

調査を実施するに当っては、これらの資料を参考にするとともに、水産試験場などの専門的な機関に相談しアドバイスを受けながら、精度の高いデータの取得に努める。

表1. 調査方法に関する参考資料

参考資料名	発行等	摘要
海洋環境調査法	日本海洋学会編、恒星社厚生閣	1979
水質汚濁調査指針	日本水産資源保護協会、恒星社厚生閣	1980
沿岸環境調査マニュアル（底質・生物編）	日本海洋学会編、恒星社厚生閣	1980
沿岸環境調査マニュアル（水質・微生物編）	日本海洋学会編、恒星社厚生閣	1990
海洋調査技術マニュアル 海象調査編	(社)海洋調査協会	1990
海洋調査技術マニュアル 海洋生物編	(社)海洋調査協会	1990
海洋観測指針	気象庁	1999
海洋環境モニタリング指針	環境省	2000
硫化物の簡易測定法マニュアル	全国漁業協同組合連合会 (社) 全国かん水養魚協会	2002

2. 主な底生生物（汚染指標種）の生活史

底生生物に関する参考図書としては、一般向けのものは少なく、利用可能な専門書として、日本ベントス学会誌、海洋と生物（シリーズ：日本産多毛類の分類と生態）等があげられる。これらには様々な底生生物の分類や生態に関する研究レベルの情報・知見が記載されているが、反面非常に専門的である。

そこで、ここでは底生生物の中でも代表的な汚濁指標種として知られている次の3種を取上げ、その生態、生活史を整理した。

ヨツバナスピオA型 *Paraprionospio* sp.(form A)

イトゴカイ *Capitella* sp.

シズクガイ *Theora lubrica*

和名	ヨツバネスピオ A 型
学名	<i>Paraprionospio</i> sp.(form A)
形や大きさ	頭部の先端は三角～鈍円形。2 対の眼点がある。頭部の側縁には耳状の膜状体があり、頭部を左右より覆っている。感触手が頭部に、鰓が第 1～3 剛毛節背面にあるが、いずれも採集の過程で脱落しやすい。通常、第 1 剛毛節の鰓が最大、第 3 剛毛節の鰓が最小。日本沿岸域に分布するヨツバネスピオには形態が異なる 4 型があり、それぞれ別種と考えられている。このうち、A 型は鰓のひだが 2 葉に分かれる点、第 9 剛毛節腹足枝の針状剛毛は短く有翼である点、左右の背足枝間の背膜が第 21-35 剛毛節に存在する点などにより他の型と区別できる。A 型成体の体長は 20～81 mm、疣足を除く体幅は 0.8～1.8 mm。
生物学的特性	産卵期は夏～初秋であり、抱卵数は 3,100～100,000。卵径は 0.12～0.14 mm。幼生はプランクトン栄養型で、1～2 ヶ月程度の浮遊期を経て 7～9 月(大阪湾)、10～11 月(久美浜湾)に着底する。着底後、生殖可能になるまで 3 ヶ月以上を要する。寿命は 1～2 年程度。季節的に定まった年 1 回の加入期を有する点で他の汚濁指標種と異なる。 堆積物中に深さ 15 cm に及ぶ棲管をつくり、感触手と鰓を除く体幹を棲管に納めている。感触手を棲管口より水中に出し、水中と堆積物表面の有機物粒子を捕捉、摂食する。
成育環境	幼生は無酸素に近い水塊中に出現し、底生期個体群も停滞期に貧酸素となりやすい水深 20 m 以浅の浅海域に分布する。優占的出現は貧酸素環境の指標とされている。最大生息密度は 6,000 個体/m ² 。野外調査と室内実験より求めた生活史を完結しうる溶存酸素最低値は 1.9～2.5 ml/L。
備考	文献： 玉井恭一 (1981) 西日本周辺海域に生息する <i>Paraprionospio</i> 属(多毛類：スピオ科) 4 type の形態的特徴と分布. 南西水研研報, 18: 41-58. Yokoyama H, Tamai K (1981) Four forms of the genus <i>Paraprionospio</i> (Polychaeta: Spionidae) from Japan. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 26: 303-317. 玉井恭一 (1990) 底生生物, “海面養殖と養魚場環境”(渡辺競編), 恒星社厚生閣. 横山 寿 (1992) 沿岸域における汚染指標種の生態. 瀬戸内海科学, 4: 144-149.

和名	イトゴカイ
学名	<i>Capitella</i> sp.
形や大きさ	<p>世界各地の富栄養海底より <i>Capitella capitata</i> として報告されきた種には、形態的に区別がつきにくいと遺傳的に異なる数種の姉妹種が含まれている (Grassle & Grassle, 1976)。これらの中で天草下島巴湾の魚類養殖場から採取されたイトゴカイは <i>Capitella</i> sp. I である (Tsutsumi <i>et al.</i> 2001)。日本の他の地域の魚類養殖場から採取されるイトゴカイがどのタイプに属するかは確認されていないが、<i>Capitella</i> sp. I である可能性が高いので、ここでは Tsutsumi <i>et al.</i>により明らかにされた日本産 <i>Capitella</i> sp. I の形態や生態を紹介する (Kikuchi (1991)による総説を参照のこと)。</p> <p>成体の体長は 15~20 mm、胸部最大体幅は 0.7~1.2 mm 程度。体は前後 2 部に分かれ、体前部は円錐形の頭部と 9 剛毛節からなる。第 1~7 剛毛節の剛毛は背腹とも有翼針状剛毛。雌の 8~9 剛毛節の剛毛は鉤状被囊剛毛。雄の第 8~9 剛毛節背足枝には特殊な生殖剛毛がある。</p>
生物学的特性	<p>雌は加入後 4~6 週間(水温 20~25℃)、8~10 週間(12~15℃)で生殖可能になり、棲管内壁に 50~500 粒の大型卵(卵径 280~300 μm)を産出。孵化幼生は卵黄栄養型で短期間(24 時間以内)の浮遊期を経て着底。個体群として 1 年中生殖可能、主な加入時期は秋から冬。</p> <p>微細な粘土を含んだ薄い膜で形成された棲管を形成し、泥底中にもぐる。堆積物中の有機物を摂取する。ある種のアミノ酸、脂肪酸や易分解性有機物が個体の成長や生殖に大きな役割を果たしていることが明らかになりつつあり、このことが重汚濁域での個体群の維持に関与していると考えられている。Tsutsumi <i>et al.</i>(2001)は硫化水素を利用する化学合成細菌が産出する有機物をイトゴカイが栄養源としていることを見出し、還元的環境が本種の生残や成長にむしろ有利に働いていることを示唆した。</p>
成育環境	<p>停滞期の貧酸素化により無生物となる海底で秋から冬にかけて爆発的に生息密度が増加し(10³~10⁴/m²)、卓越的な優占種としてしばしば出現する。しかし、他のマクロベントス種が侵入するにつれ、本種の生息密度は減少することが多い。生活史を完結しうる溶存酸素最低値は 2.1~2.5 ml/L。</p>
備考	<p>文献：</p> <p>Imajima M, Hartman O (1964) The polychaetes annelids of Japan. Part 2. Allan Hancock Found. Occas. Pap., 26, 239-452.</p> <p>Grassle JP, Grassle JF (1976) Sibling species in the marine pollution indicator <i>Capitella</i> (Polychaeta). Science, 192: 567-569.</p> <p>玉井恭一(1991) 底生生物, "海面養殖と養殖場環境" (渡辺 競編), 恒星社厚生閣.</p> <p>Kikuchi T (1991)[シズクガイの表に掲げた文献と同じ]</p> <p>Tsutsumi H, Wainright S, Montani S (2001) Exploitation of a chemosynthetic food resource by the polychaete <i>Capitella</i> sp. I. Mar. Ecol. Prog. Ser., 216: 119-127.</p>

和名	シズクガイ
学名	<i>Theora lubrica</i>
形や大きさ	最大個体の殻長 20 mm、殻高 8~10 mm、殻幅 4 mm。成熟個体の最小殻長 5~6 mm。貝殻は白色半透明で薄く、脆弱。膨らみは弱い。
生物学的特性	着底後 6~7 週後(温暖期)、8~12 週後(冬期)に生殖可能。抱卵数 $10^2 \sim 5 \times 10^4$ 。卵径 120~140 μ m。プランクトン栄養型の浮遊幼生を生じる。浮遊期間 2~3 週間。着底後、1~3 ヶ月で生殖可能。個体群として 1 年中生殖可能。堆積物表面の有機物を水管で吸い込み摂食する。
成育環境	潮間帯下部より水深 90 m まで。夏季に水が停滞し、貧酸素水塊が生じやすい内湾や潟の軟泥底に多い。生活史を完結しうる溶存酸素最低値は 1.5~2.0 ml/L。
備考	文献： 波部忠重(1965)新日本動物図鑑(中)(岡田要他編)，図鑑の北隆館。 Kikuchi T (1991) Macrobenthic succession in the organically polluted waters, and ecological characteristics of some pollution indicator species. In: Mauchline J, Nemoto T (eds) Marine biology, its accomplishment and future prospect. Hokusensha, Tokyo, p 145-163 松隈明彦 (2000) 日本近海産貝類図鑑(奥谷喬司編)，東海大学出版会。 玉井恭一 (1990) 底生生物，“海面養殖と養魚場環境”(渡辺競編)，恒星社厚生閣。 玉井恭一 (1993) シズクガイの貧酸素耐性。日水誌, 59: 615-620.

3.参考文献

- 阿保勝之・横山 寿: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 2003; 67: 99-110.
- Johannessen PJ, Botnen HB, Tvedten OF: Macrobenthos:Before, during and after a Fish Farm. Aquacult. Fish. Manag.1994; 25: 55-66.
- Karakassis I, Hatziyanni E, Tsapakis M, Plaiti W:Benthic recovery following cessation of fish farming:a series of successes and catastrophes. Mar. EcoL Prog. Ser. 1999; 184: 205-218.
- Mattsson J, Linden O.: Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (Bivalvia), cultured on hanging long-lines. Sarsia 1983; 68: 97-102.
- Omori K, Hirano T, Takeoka H.: The limitations to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem. Mar. Pollut. Bull. 1994; 28: 73-80.
- Ritz DA, Lewis ME, Shen M.: Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. Mar. Biol 1989; 103: 211-214.
- 佐々木良・押野明夫・菊池亮輔: ギンザケ養殖生贄の直下海底における水質底質環境とベントスの蝸集.宮城水産研報 2002; 2: 17-26.
- 武岡英隆・橋本俊也・柳哲雄: ハマチ養殖場の物質循環モデル.水産海洋研究会報,1988,52, pp.213-220.
- 武岡英隆・大森浩二: 底質の酸素消費速度に基づく適正養殖基準の決定法.水産海洋研究 1996; 60: 45-53.
- Terasawa,T., K.Nakata and K.Taguchi: Numerical modeling on the Ofunato Bay Ecosystem including the oyster farming. Estuarine and Coastal Modeling, 1995, pp.1-12.
- Yokoyama,H., M.Inoue and K.Abo: Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls. Aquaculture, 240, 233-247(2004).
- 横山寿・坂見知子: 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.日水誌 2002; 68: 15-23.
- 横山寿・西村昭史・井上美佐: 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 2002a;66:133-141.
- 横山寿・西村昭史・井上美佐: 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 2002b;66:142-147.
- 横山寿: ベントスと漁業. 水産学シリーズ 144(恒星社厚生閣). 146-159. (2005)

4. 用語解説

赤潮(あかしお) 海域や汽水域で、プランクトンの異常増殖により水面が赤褐色に着色する現象

AVS(えー・ぶい・えず) 酸揮発性硫化物 Acid volatile sulfide の略。漁場環境の底質状態を表す化学的指標の一つ。硫化物にはさまざまな化学形態のものが存在するが、AVSは生物にとって強力な呼吸毒となる硫化水素と、硫黄と金属元素がゆるく結合している硫化鉄のような化合物の総量を指す

エドワジエラ症 魚類の細菌性疾病の一つ。腸内細菌科の *Edwardsiella tarda* による疾病で、ウナギ、ティラピア、マダイ、ブリ、ヒラメなどにみられる

汚濁負荷(おたくふか) 環境に排出される汚濁物質の量を指し、汚濁総量ともいう

化学的酸素要求量(かがくてきさんそようきゅうりょう) 水中の有機物が酸化剤によって分解される際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したもの.mg/Lなどで表す.COD(Chemical oxygen demand)と同義

環境容量(かんきょうようりょう) 汚染物質が環境中へ放出されても、自然の自浄能力によって、その汚染物質による環境への悪影響が生じないような収容力をいう

基本方針(きほんほうしん) 農林水産大臣が定めた持続的な養殖生産の確保を図るための基本方針

強熱減量(きょうねつげんりょう) 有機物

を強く熱したときに含有物の一部が燃焼したり、気化したりして減少した量

棘皮動物(きょくひどうぶつ) 皮下に石灰質の骨片か殻をもち、特有の管足があって運動する動物。ウミユリ、ヒトデ、クモヒトデ、ウニ、ナマコ類など

許容量(きょようりょう) 放射線や有害物質などについて、これ以下ならば安全だろうとする量

区画漁業権(くかくぎょぎょうけん) 一定の区域内において養殖業を営む権利

クラスター分析(くらすたーぶんせき) 異なる物質が集まっている中から、互いに似た性質のものを集めて集落(クラスター)を作って分類する方法

系外排出(けいがいはいしゅつ) 養殖漁場においては、餌に起因する有機物が海水の流れによって一定の範囲から他の場所に持ち出されること

嫌氣的分解(けんきてきぶんかい) 有機物を酸化するのに必要な酸素がほとんどない条件での分解

懸濁物質(けんたくぶっしつ) 水中に浮遊している小型(2mm~1 μ m)の粒状物。SS(Suspended solid)ともいう

コアサンプラー 堆積物の層を攪乱せずに採取するための柱状式採泥器

好気性バクテリア(こうきせいばくてりあ) 空気中あるいは酸素の存在下で生育する細菌

好氣的分解(こうきてきぶんかい) 空気中あるいは酸素の存在する条件での分解

光合成(こうごうせい) 植物が光エネルギーを利用し、炭酸ガスと水から炭水化物(デンプン)と酸素を作る過程

公有水面(こうゆうすいめん) 海・河・湖・沼その他の公共の用に供する水流または水面であって、国の所有に属するもの

COD(しー・おう・でいー) 化学的酸素消費量Chemical oxygen demandの略。一定容積の水中にある物質を酸化するのに要する酸素量。水の有機物汚染の指標

自浄能力(じじょうのうりよく) 生物の働きによる汚濁物質濃度を減少させる能力

持続的養殖生産確保法(じぞくてきょうしよくせいさんかくほほう) 漁業協同組合等による養殖漁場の改善を促進するための措置および特定の養殖水産動植物の伝染性疾患のまん延防止のための措置を講ずることにより、持続的な養殖生産の確保を図り、養殖業の発展と水産物の安定的な供給に資することを目的とした法

指標種(しひょうしゅ) 環境因子(条件)をよく反映する生物であって、立地や環境状態を推定することに利用される種

水産用医薬品(すいさんよういやくひん) 薬事法に基づいて農林水産大臣の製造承認を受けた動物用医薬品のうちで、水産動物の疾病に対する予防や治療などを目的としたものの名称

水産用水基準(すいさんようすいきじゅん) 水生生物の生息環境として維持することが望ましい水産用水の基準主として生物試験の結果に基づいて限界濃度を推定したもので、BOD・DO・pH・濁り・商品価値の低下をきたす成分・水温・急性毒

物について基準を定めたもの

生活環(せいかつかん) 受精卵から始まった個体が、次世代の受精卵を生み出すまでの生活史の過程

生物相(せいぶつそう) ある地域に生息する植物・動物のすべての生物種

ゼロ・エミッション 産業界における生産活動の結果、排出される廃棄物をゼロにして、循環型産業システムを目指した構想

大腸菌群(だいちょうきんぐん) 大腸菌およびこれに類似する性質を有する細菌の総称。大腸菌群の汚染は、食品の安全を計る指標として重要

多毛類(たもうるい) ゴカイ類など環形動物に属する生物綱

底生生物(ていせいせいぶつ) 水底に棲み、生活している生物。ベントスと同義

底質(ていしつ) 海洋、河川、湖沼などの水底を形成する表層土および岩盤の一部とその上の堆積物の性質を表わすもの

内湾度(ないわんど) 漁場の内湾性の度合いを表す指数。湾口の幅、水深、湾口から漁場までの距離および漁場の水深から計算される

入漁権(にゅうぎょけん) 設定行為に基づき、他入の共同漁業権または特定区画漁業権に属する漁場においてその漁業権の全部または一部を営む権利

バイオマス 特定の時点においてある空間に存在する生物の量を物質の量で標記したもの。生物体量ともいう

白点虫(はくてんちゅう) 魚類に寄生する繊毛虫の一種。体表や鰭、鰓などに寄生

- し、炎症や呼吸障害を引き起こす。一般に海水交換や飼育環境の悪いところで発生しやすい
- 貧酸素水塊(ひんさんそすいかい)** 水中の溶存酸素濃度がきわめて低い水塊
- 貧毛類(ひんもうるい)** 環形動物門の一綱で、ミミズなど
- 富栄養化(ふえいようか)** 水中の窒素やリン濃度が増加し、それに伴い一次生産量も増加すること
- 複合エコ養殖(ふくごうえこようしょく)** 養魚と海藻類と貝類などを同一漁場で同一時期に飼育することによって、魚類の給餌養殖から排出される有機物や無機物の環境負荷物質を限りなく低減させる養殖の考え方
- 物質収支(ぶっしつしゅうし)** ある区域で、一定時間内での物質の出入りをいう
- ベントス** 底生生物。水底で生活する生物の総称
- 防疫(ぼうえき)** 伝染病のまん延・流行を防止すること
- 補償深度(ほしょうしんど)** 水中の植物の光合成量による酸素あるいは炭酸ガスの出入りが、見かけ上ゼロとなる光量の深度
- モニタリング** 施設や設備の運転状態、水質や大気などの状態等を監視すること
- 有機性汚泥(ゆうきせいおでい)** 有機物を主体とした泥状の物質
- 有機態炭素(ゆうきたいたんそ)** 有機物を構成する炭素
- 有機態窒素(ゆうきたいちっそ)** 有機化合物の構成元素になっている窒素
- 湧昇(ゆうしょう)** 下層の水塊が表層に向かって上昇すること。湧昇流は光合成層に栄養塩を補給する流れとなる
- 優占種(ゆうせんしゅ)** ある生物群集で量的に勝っている種類
- 溶存酸素(ようぞんさんそ)** 水中に溶解している酸素。DO(Dissolved oxygen)
- 硫化物(りゅうかぶつ)** 硫黄を含む化合物の総称。海洋堆積物の硫黄化合物の主要な化学形態は、硫化水素や硫酸塩態、元素態および黄鉄鋼態のものなどがあるが、水産の環境問題などでよく取りあげられるのは、そのうちの酸揮発性硫化物(AVS)である
- 粒度組成(りゅうどそせい)** 土をその粒の大きさにより粘土、シルト、砂、礫などに分け、それぞれの重量比率をパーセントで表したもの
- 流入負荷(りゅうにゅうふか)** 河川や海流によって他所より流入する物質の総量
- 連鎖球菌(れんさきゅうきん)** ブリの代表的な細菌感染症の一つ。原因菌は、現在では *Lactococcus garvieae* と呼ばれている

参考文献

- ・国際総合環境用語集(2004):日刊工業新聞社
- ・総合水産辞典(1985):成山堂書店
- ・岩波生物学辞典(第4版)(1996):岩波書店