

# 二枚貝の生育環境と資源管理技術

Living Environments and Stock Management Technology of Bivalves

中 村 義 治

Yoshiharu NAKAMURA

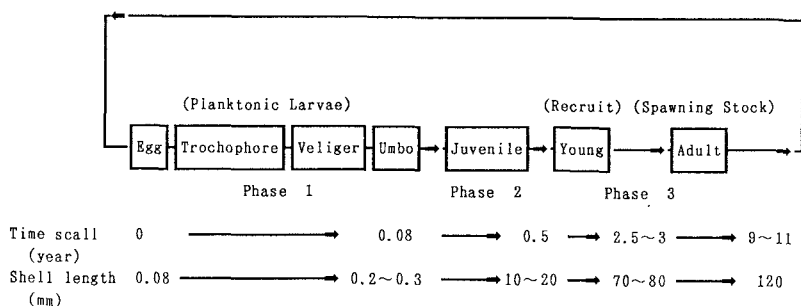
## 1. はじめに

2次のオイルショックや200 海里の漁業経済水域の設定以降、漁業をとりまく国際環境を反映して漁業の構造は沖合・遠洋主体から沿岸重視へ大きく方向をシフトしている。そして、沿岸漁業の重要性は昨今の栽培漁業の推進とリンクして、特にホタテガイやホッキガイなどの定着性二枚貝資源に対する管理漁業への期待感が大きい。一方、沿岸域の開発は漁業生産の低迷とは対照的に投資規模と多様化が増大する傾向にあり沿岸環境と生態系に対する影響が懸念される。しかし近年、生態系の保全に配慮し自然環境と調和することを理念に置き、海域の開発を行なおうとする概念が開発サイドにもみられる。特に干潟、藻場を含む浅海砂浜域は自然と人間活動との接点であり、ミティゲーション手法の展開など沿岸環境修復技術（例えば鮮，1995）に関する社会的要請が大きいといえる。

この小論では、東北・北海道の砂浜性二枚貝のなかで水産有用種であるホッキガイ（標準和名ウバガイ：*Spisura sachalinensis*）を取り上げ、本州のホッキガイの主産地である福島県における調査研究事例から生物学的特徴を整理した。また、資源変動に影響を与える海域環境の特性を解析して、それに基づく資源管理モデルを構築した。さらに、この管理システムを実際の漁業に利用している実験漁場（福島県諸戸海域）における計画操業の実例を紹介する。

## 2. ホッキガイの生活史とその初期生態

標準和名のウバガイは北海道、東北地方で一般にホッキガイと呼ばれ浅海砂浜底に生息する寒海性の成長の早い二枚貝である。日本での分布域は北海道から本州太平洋岸の範囲で南限は千葉県利根川付近までである。本種の全国漁獲量は年間 6千トン～ 8千トンの規模で、北海道はこの内約 6割を占めホタテガイに次ぐ重要な二枚貝資源となっている。一般的に砂浜性二枚貝の資源発生は不安定で時に大発生を引き起こすことが知られている。ここではホッキガイの生活史（図－1）の中で資源の発生規模を決定すると思われる産卵期から稚貝期までの初期生活史に關与する海域環境の役割に焦点をあて解析した。



図－1 ホッキガイの生活史

## 2.1 資源発生の不規則性と地域間の類似性

図-2 に福島県相馬市磯部海域における1963年以降の漁獲量と稚貝の出現密度の推移を示した。また、県下各漁場（図-7 参照）における漁獲量を平均値と標準偏差で正規化したものを 図-3 に示した。

これらの図より、ウバガイの発生量が年次別に不規則であること、及び卓越年級群の発生により発生後 2, 3年以降の漁業が維持されている状況が示されている。また、標準化した漁獲量変動が各漁場でよく似ていることから、発生規模の大きさが個々の漁場環境条件だけでなく、より大きい空間スケールの環境要因に支配されていることなどが推定される。

## 2.2 親子関係と子親関係

コタマガイ *Gomphina melanaegis* チョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii* 等の外海性二枚貝はホッキガイと同様、資源変動が非常に不規則で、稀に出現する卓越年級群により漁業が支えられていることについては、既に知られている（福田, 1976 ; 小沼, 1976）。産卵数は母貝密度に依存していると思われるが、産卵母貝数と稚貝発生数との間における再生産関係が不確定（図-4）であることから、ホッキガイの場合、資源発生量の規模は浮遊期と稚貝期における大きな初期減耗の程度に依存していると考えられる。

つまり、新規に発生する稚貝密度の大小は生物側の条件（成貝密度）だけでは決まらず、沿岸流動特性（浮遊幼生の沿岸輸送）や波による剪断応力（稚貝の岸沖輸送）などの物理過程が重要な役目をするのがこれまでの研究で示唆されている（中村, 1991）。

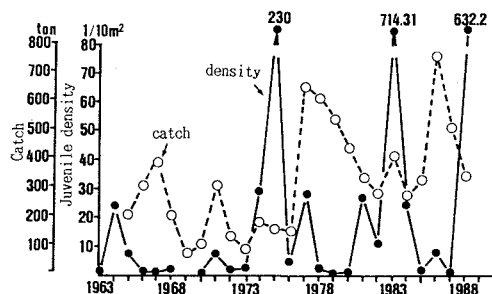


図-2 磯部漁場における漁獲量と稚貝発生密度の年次別変化

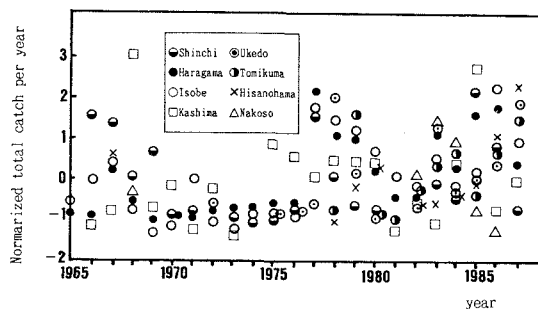


図-3 福島県下 8漁協での標準化した漁獲量の年次別推移  
[標準漁獲量 = (年別漁獲量 - 平均漁獲量) / 標準偏差]

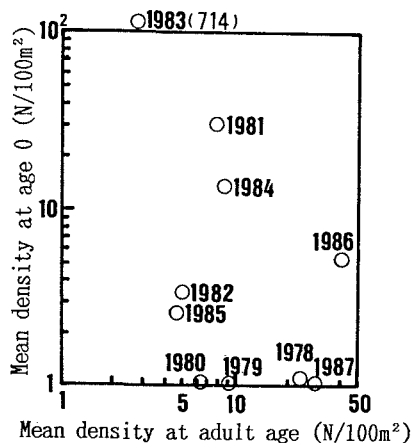
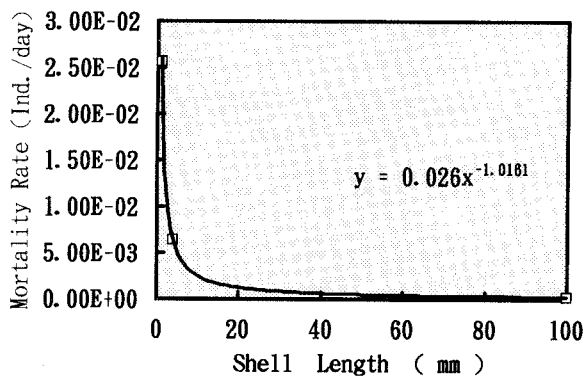


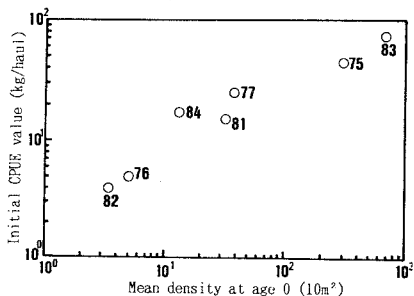
図-4 ホッキガイの親子関係

稚貝期の減耗曲線（図－ 5）は着底後急激に低下し、殻長が10mmを超える大きさに成長するとその後の減耗は小さく安定するようになり漁獲資源への添加量が予測できるようになる（図－6）。

このようにホッキガイの親子関係は不確定であるが、10mm以上の臨界殻長に達した以降の子親関係は安定し、生活史（図－ 1）の中で産卵後臨界殻長に達までの期間が資源学的に重要であることが確認される。



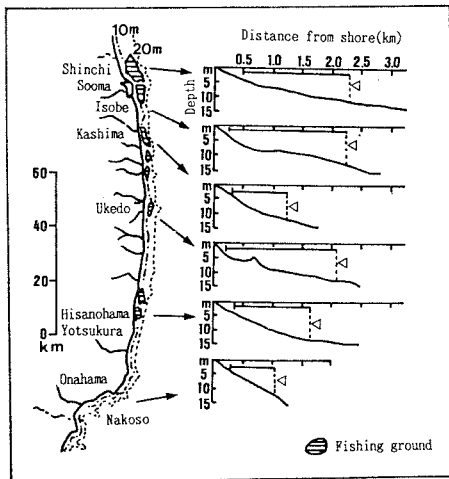
図－5 成長段階別の減耗率



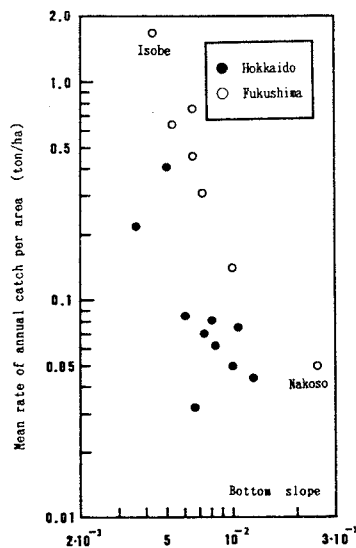
図－6 ホッキガイの子親関係

### 2.3 漁場の地理的条件と漁場生産性

一般的にホッキガイの漁場は沖浜帯の水深が10m より浅い砂浜域に形成されている（図－7）。但し、ここに示されるどの砂浜海岸でも好漁場が成立しているわけではなく、主に北部の比較的緩勾配の海岸が漁場としての利用価値が高い。漁場水深帯の海底勾配と漁場生産性（単位面積当りの年間平均漁獲量：ton/ha）の関係を福島県下の漁場および比較のため、北海道の漁場例（北海道栽培漁業振興公社，1988）も併せてプロットした（図－8）。北海道に比べて福島沿岸の漁場での生産性が全般的に高いことと、両海域とも緩勾配海岸ほど高い生産性をあげていることが認められる。



図－7 福島県の海岸地形と  
漁場地先の海底勾配  
◁: ホッキガイ漁場の沖側境界



図－8 漁場生産性と5m-10m水深の  
海底勾配との関係

## 2.4 底質環境と稚貝の生残率

採泥調査より得られた地点ごとのホッキ稚貝数とシルト含有率（ $63\mu\text{m}$ 以下の粒径成分の重量比）との間には負の相関を示すことが認められる（図-9）。また、このことを反映してシルト含有率の高い港湾内とか水深が10m以上の海域では漁場水深帯と比べ稚貝減耗率の高いことが確認されており（図-10）、稚貝の生残過程および生息水深に関して砂泥のシルト含有率は大きな制限要因となることが示唆された。

なお、図-10に示された水深別の稚貝生残曲線で、7m以浅が10m以深と同じ高い減耗状態を示しているが、ここでの底質のシルト含有率は沖合に比べて低いことから別の原因を考える必要がある。例えば、波浪、漂砂などの外力で稚貝が移動することによる見かけ上の減耗である可能性がある。

以上に述べたホッキガイの資源生態特性から、次に示すような稚貝の漁場形成機構の仮説をたてた。

- a) シルト含有率の大きい海底では稚貝の減耗が大きい。⇒港内や水深の大きな海域では生息できない。
- b) 漂砂量の激しい碎波帯付近では稚貝は定位できない。⇒浅すぎる海域でも生息できない。
- c) 従って、稚貝の安定して生息できる水深帯が存在することになる。⇒その生息区の広さ、いいかえると海底勾配の緩やかさが漁場機能の評価基準になる。

稚貝の成長式や死亡係数ならびに波による稚貝の岸沖輸送量を考慮した資源動態方程式を構成して、その数値シミュレーションを実施して場形成機構についての仮説の妥当性を検証している（中村，1990）。

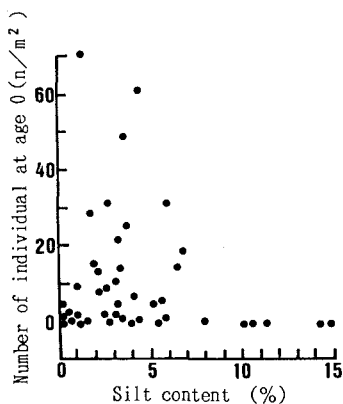


図-9 稚貝の出現密度とシルト含有量の関係

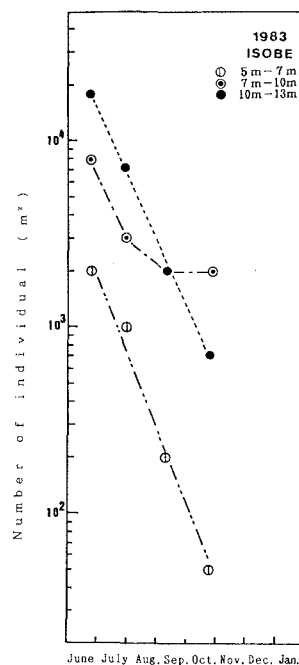


図-10 水深帯別の稚貝減耗曲線

## 2.5 稚貝の大発生をもたらす水理学的条件

開放性の海岸形状を有するホッキガイ漁場では、資源発生量は年次的に不規則で、卓越年級群の発生により発生後2、3年以降の漁業が維持されている（図-2）。また、産卵母貝数と稚貝発生量との間における再生産関係は不確定である（図-4）。更に、標準化した年次別漁獲量が沿岸の各漁場で類似している（図-3）ことから、漁場間（沿岸距離にして数10Km～100Kmの範囲）における稚貝発生変動に同期性が認められる。これらの状況から判断して、ホッキガイ資源の発生には生物側の条件よりも場の海域環境の及ぼす影響の大きいことが示唆される（中村，1995）。しかも、発生規模が個々の漁場固有な環境条件だけで決定さ

れているのではなく、より大きな空間スケールの海域環境特性に支配されていると考えられる。  
 そこで、沿岸流による浮遊幼生の輸送現象から大量発生を引き起こす水理学的条件について検討した。

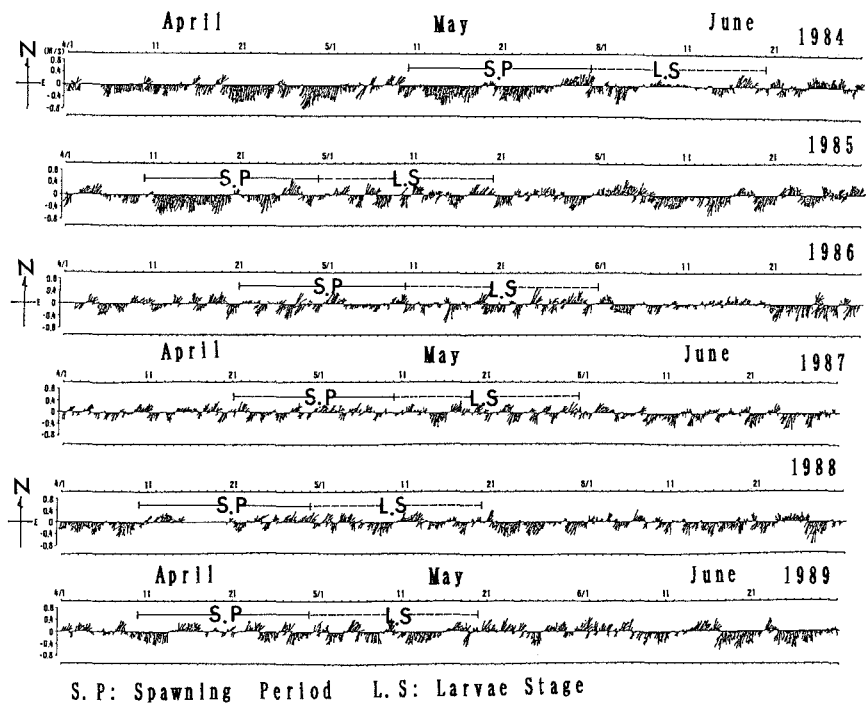


図-11 ホッキガイの産卵盛期および浮遊期間中の沿岸流動ベクトル  
 (富岡海岸地先 1.5Kmでの流速モニター資料より作成)

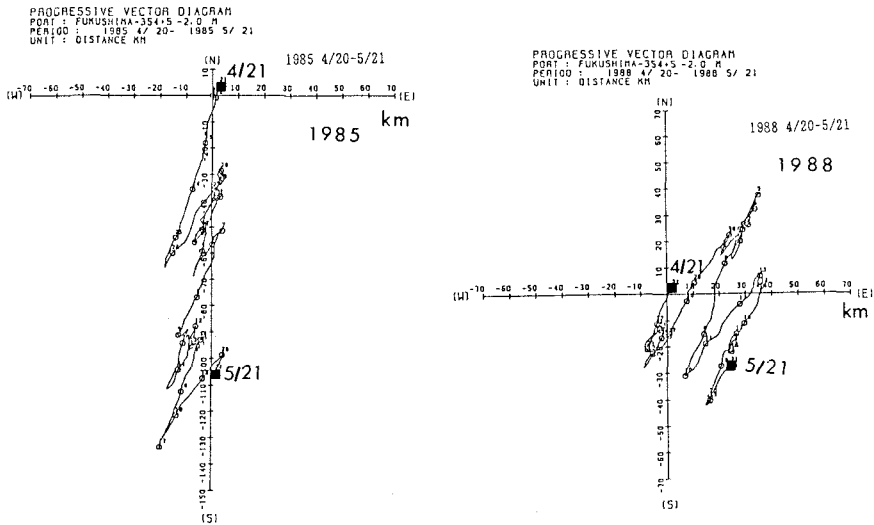


図-12 浮遊期間中の流跡図の比較 (大発生年: 1988, 不良年: 1985)

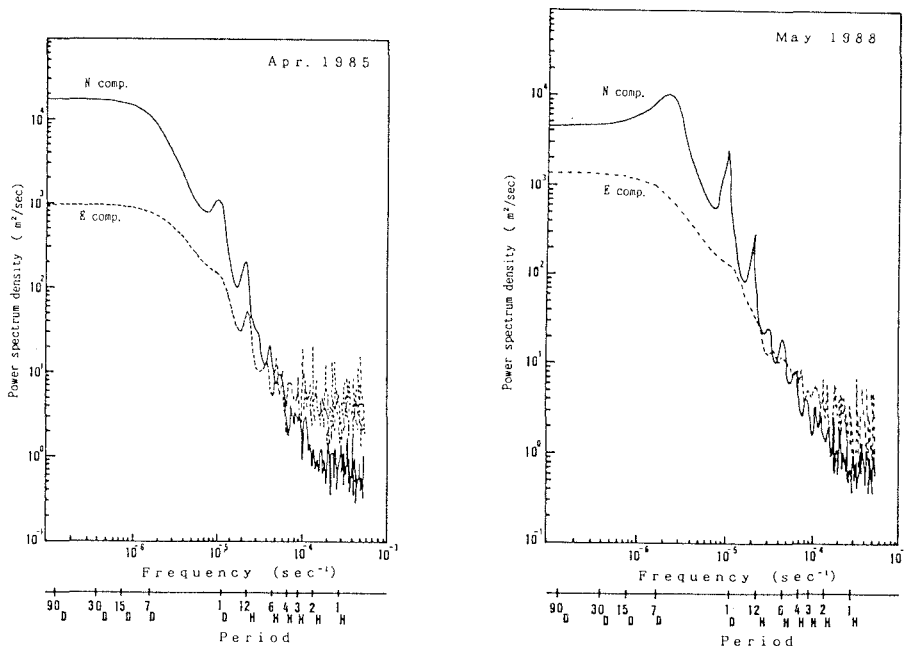


図-13 浮遊期間中の流速変動スペクトルの比較 (大発生年：1988, 不良年：1985)

福島沿岸で観測される流速変動は 3 日以上の大周期変動を伴い、海岸線沿いに数10Km以上離れた地点間で観測された流速変動には高い相関性が認められる (Kubota ら, 1981)。1979年から1989年までの11年間に調査された天然貝の産卵盛期から各年度の浮遊幼生期間を推定して、県中でモニターされている沿岸流動ベクトルを重ねて表示した (図-11)。そして、各年度の浮遊期間中における沿岸流速変動の諸特性を解析 (流跡図; 図-12, 流速変動スペクトル; 図-13) して、浮遊期間中の平均流速値 (南向き) と稚貝発生規模との関係を図-14に示した。図-14は福島沿岸北部に位置するホッキガイの代表漁場である磯部海岸における当歳貝の10m<sup>2</sup>当たりの発生密度 (11月調査) と浮遊期間中の平均流速値との関係を示したものである。一部の年度を除き、稚貝の発生規模と南向きの平均流速との間に負の相関関係がみられる。つまり、浮遊期間中の平均流速の小さい年度は浮遊幼生が産卵漁場から遠く離れた海域に輸送されずに着底することが保障され、これが大量発生につながる水理学的な必要条件となる。ホッキガイは本来寒海性の二枚貝であり常磐海域は分布の南限に位置している (佐々木, 1993) ので浮遊幼生の南への大幅な輸送は海洋構造の異なった生息限界を超えた海域への移動を意味している。このように開放性海域漁場では新規発生量の規模は残存母貝密度より浮遊期間中の環境流動特性に依存しているといえる。

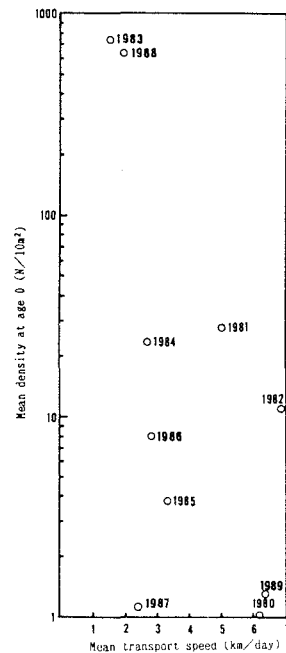


図-14 浮遊期間中の平均流速値と稚貝発生密度の関係

3. ホッキガイの資源管理方法

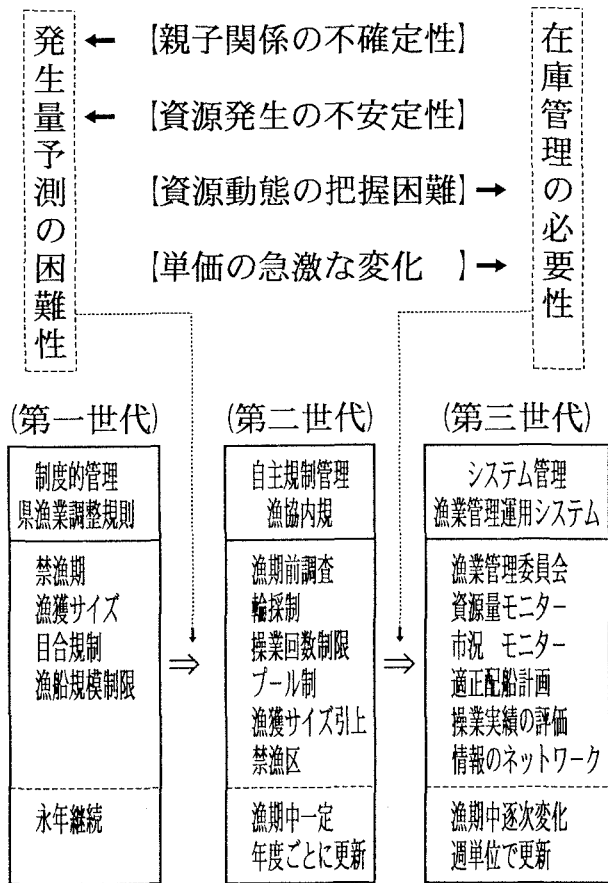
3.1 管理システムの推移

資源管理の始まりは漁業調整規則など制度的な管理から出発したと云える。この管理システムでは禁漁期、漁獲サイズ、目合規制、漁船トン数規模など主に漁獲努力量の制限に関する取り決めが主であり第一世代の管理システムといえる。実際の生産現場では漁場によって、また年度によって様々な資源環境が出現し単なる法規制だけでは合理的な資源の利用と管理が実施できない状況にある。そこで、毎年各漁場単位に漁期前調査を実施して現状の資源量を推定して、資源利用率と許容漁獲量を改めていく自主規制管理の時代に発展していった経緯がある。この第二世代の管理方式が今日での資源管理システムの基本となっている。

近年開発された各種の管理ソフトは第二世代の管理方針を実現するためのもので管理の時空間スケールは年度単位、漁場単位である場合が多い。第二世代への移行は資源の定量管理を可能とするものであると云えるが、実際の多くの場合は漁期前調査だけを頼りにした管理システムであるため資源量の空間分布および漁期中の資源動向にもとづく柔軟な対応は一般的に困難である。

さらに、資源量だけでなく急激な単価の変動に対応しても資源経済状況は大きく変化する状況を考慮して、新たな概念と時空間スケールを持った第三世代の管理システムを開発する必要がある。

この後で説明するホッキガイの漁業管理運用システムは第三世代の資源管理（在庫管理）を合理的に実現するためのツール（道具）であるといえる（図－15）。



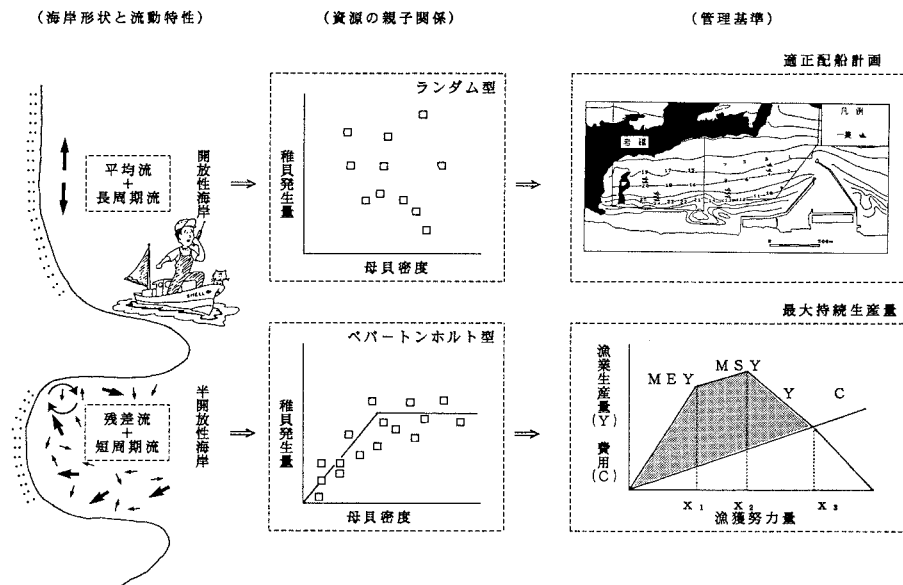
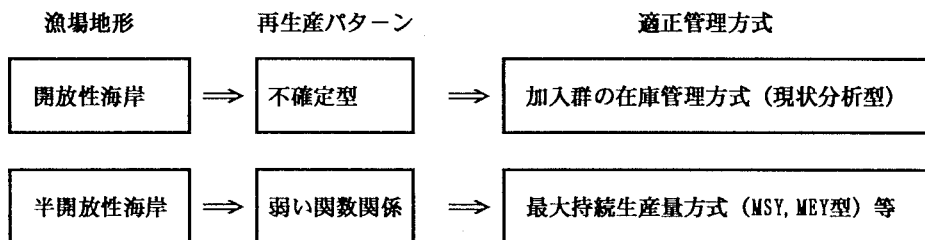
図－15 ホッキガイの資源管理システムの変遷

### 3.2 資源管理モデルとしての必要な条件

資源管理型漁業を推進していくためのツール（道具）として、何らかの管理モデルが必要であることは誰もが認識するところである。このために日本沿岸各地で様々な形式の管理モデルが提唱されその実用性が検討されている。管理モデルの代表的機能として、資源量を把握することと時間的な変動を予測することがあげられる。特に後者に関係する情報は管理をする側にとって特に重要と考えられ、主にコンピュータによる数値シミュレーションが実施されている。各海域で個々の資源を対象にした管理モデルは多岐に亘っており、管理モデルの分類方式も幾つか提案されている。ただし、せっかく開発された管理モデルの実用性を検証すると生産現場で実際に使われているケースは非常に少ないといえる。この原因を考えると、一番基本的な管理方式の決め方について問題があるように思える。問題点の認識とその改善について具体的に示す。

#### 1) 適正な資源管理方式の決め方の例

資源の再生産関係が不確実の場合でも何らかの関数を設定して管理方式をMSY, MEY理論（田中, 1985）へ無理にあてはめようとする場合が多い。親の資源量と新規発生量との関係である再生産関係（通称、親子関係）を把握することにより適切な管理方式が決められる。ホッキガイの再生産関係と資源管理基準の関係をイラストに示した。



## 2) 資源量解析の時空間スケールと単位についての改良

資源量の把握が一般的にコホートなどの年級解析にもとづくため、現状の資源量が求めづらい。これにかわるクイックアセスメントが必要になってくる。解析の時空間スケールを実際の漁業活動のスケールにあわせることが大切である。年単位の計算ステップや漁場全体の評価では荒すぎると考えられる。また、漁業者に通用する資源量の単位に翻訳することも大切です。

例えば、年令を体長（銘柄）に個数を重量（kg）にかえて表示した方がわかり易い。

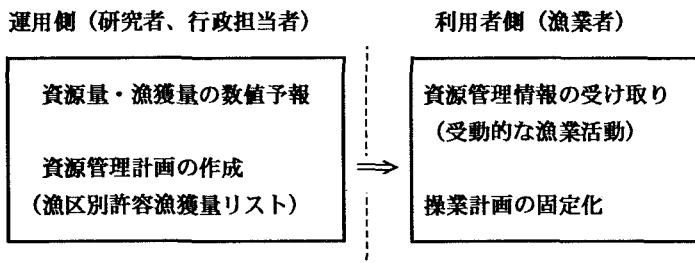
## 3) 柔軟で成長する循環型管理システムが望まれる

管理情報が管理側から漁業者側へ一方的に流れていく従来型の管理システムよりも、管理に必要な情報を漁業者自身が提供し、更に管理目標も状況に応じて変えることのできる柔らかな循環型の管理システムが望まれる。管理システムは漁業調整規則などの制度的なものから始まり、各種の自主管理へ移行し最終的にはシステム管理へと変革していく過程をたどるものと考えられるが、管理システムも内在的に成長していく機能を持っている循環型管理システムであることが望ましい。

循環型管理システムを導入するに際しての条件は、漁業情報の共有化が必要でありそのためには、漁業経営の共同化（プール計算制）を実現しなければなりません。そして、資源管理の導入が経済的メリットにつながることにについて事前に合意を得ることが重要です。

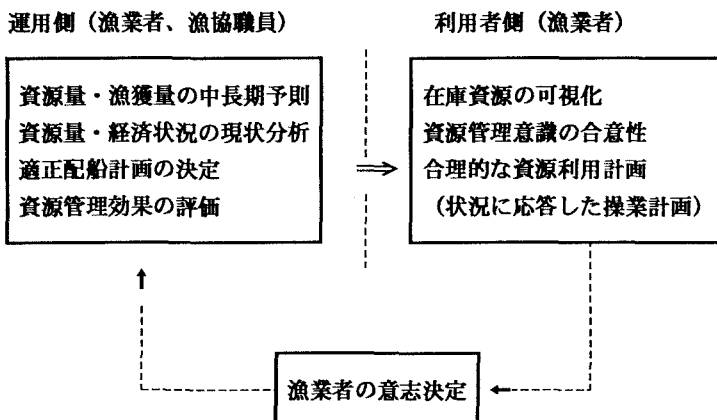
### 従来型管理システム

〈フォワード系〉



### 循環型管理システム

〈フィードバック系〉



#### 4. 管理手法と管理システムの運用例

##### 4.1 漁業管理運用システムの内容と管理の実施体制

本システムの基本理念は系統的、継続的に収集された客観的な情報をコンピュータによって、合理的に解析する仕事と漁業者の経験則による操業方針の意志決定を有機的に結びつける資源管理用のマン・マシンシステムを構築することにある。また、管理システムは資源解析を主体にした研究者用のものではなく、実際に漁業の生産現場で利用することを目的に作成されている。漁業管理運用システムのプログラム構造はツリー形式（図-16）になっており、主出力プログラムの入出力状況を表-1に示す。

漁業管理運用システムは、漁業者による自主管理に必要な5つのプログラムすなわち、『中長期資源動向予測システム』、『資源状況の時間的比較』、『現状分析システム』、『適正配船計画』、『管理評価システム』から構成されており、漁業者の代表によって組織される漁業管理委員会により運用される。

表-1 主プログラムの入出力関係と処理内容

| 主プログラム    | 使用するデータ         | 処理内容     | 備 考   |
|-----------|-----------------|----------|-------|
| 中長期資源動向予測 | 漁期前資源量調査データ     | シミュレーション | 付録1参照 |
| 資源状況の比較   | 操業日誌，市場調査，市況    | 図形       |       |
| 現状分析      | 操業日誌，市場調査，市況    | 編集、図形、解析 |       |
| 適正配船計画    | 配船計画入力表，CPUEマップ | シミュレーション | 付録2参照 |
| 管理評価      | 適正配船計画出力，操業日誌   | 編集，図形    |       |

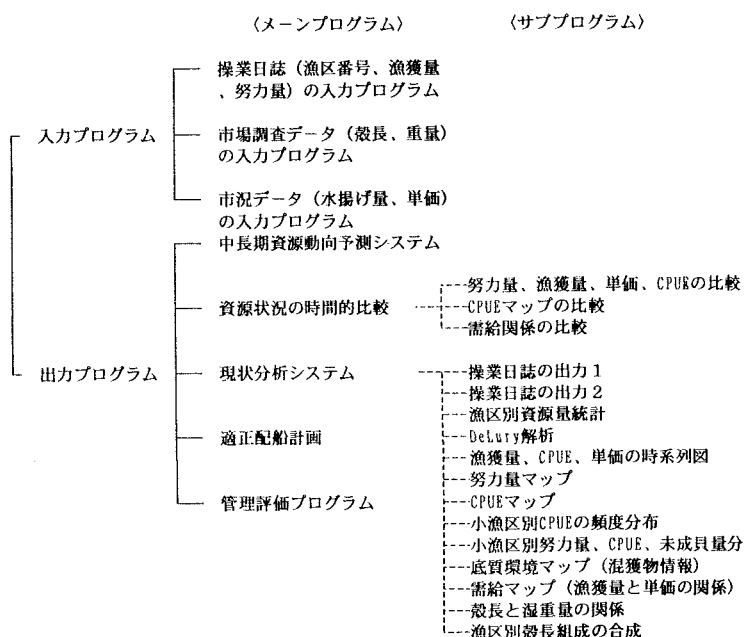


図-16 漁業管理運用システムの処理メニュー

これらのプログラム群と漁業管理委員会の活動内容及び情報の流れを図-17に示した。資源管理のモデル海域に選んだ実験漁場（図-27）では、システムを効率的に利用するため漁業管理委員会の開催を週単位に実施しており、過去20日間の漁獲実績からCPUE分布を算出し適正配船計画から操業計画の更新をしている。

#### 4.2 中長期資源動向の予測

現存資源量の中長期的な変動を予測することは、向こう 3年～ 5年程の大ざっぱな漁獲計画を立てる意味で重要である。予測期間は管理漁場におけるホッキガイの発生から漁獲加入までの成長期間に相当しており、北海道では5年、東北沿岸では3年をメドとしている。また、福島県沿岸では中規模以上の稚貝が発生（1-10 個/㎡）する平均年数とも一致している。中長期資源動向予測計算は計算に必要な初期条件ならびにパラメータ群を入力表に従い手入力することにより実行される。予測計算の基礎方程式および数値解析については付録1を参照していただくとして、その結果だけについて述べる。

計算初期（1991年 6月）における実験漁場の資源殻長組成には2つのモードがみられ、主要な資源は既に漁獲対象となっている1988年に発生した年級群である（図-18 a）。

資源殻長組成をバイオマス量に変換する（図-18 b）と、①漁場全体の漁獲資源量は1992年 8月頃をピークにその後は減少していく。②最大時の漁獲資源量は約800 トンである。③銘柄別の資源組成は1992年以降、1号（大）が主体になり1990年発生群の寄与は少ないことが予測される。これらの予測結果にもとづき、実験漁場における許容漁獲量〔（最大資源量-再生産のための残存資源量）／利用年数〕を決め、各種の漁獲方式による月別漁獲量、努力量、水揚げ額、残存資源量などの推移を予測し凡その漁業経営の目安がたてることができる。

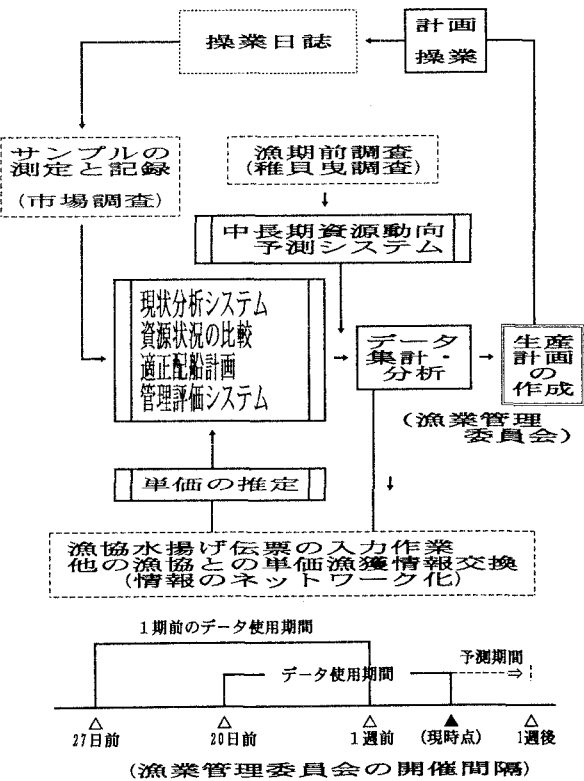


図-17 管理の実施体制

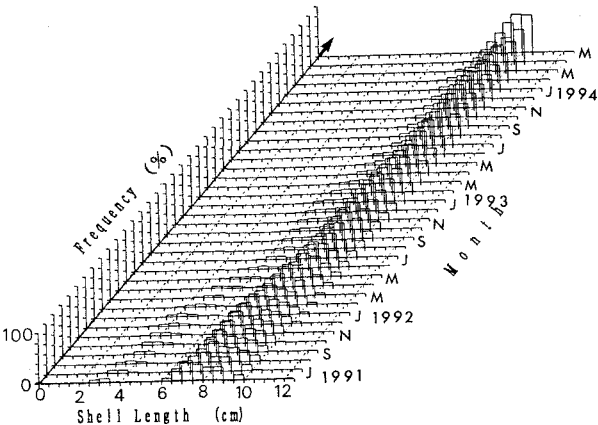


図-18 a ホッキガイ殻長組成の時間的変化  
(漁獲を行なわない場合)

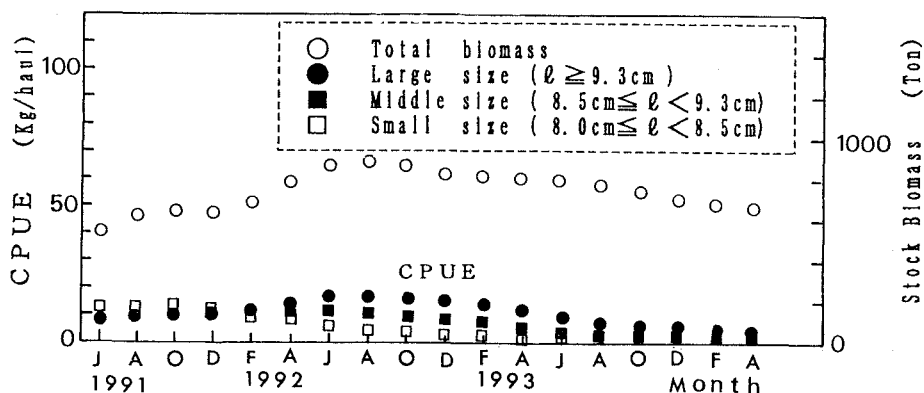


図-18b 銘柄別CPUEと全資源重量の時間的変化  
(漁獲を行わない場合)

#### 4.3 漁業運用システムによる計画操業の実施例

実験漁場では1991年6月1日に試験操業を開始し、データの蓄積と管理プログラムの完成を待ち、1991年9月11日に第1回目の漁業管理委員会が開催された。これ以降8回の委員会を開きシステム運用による計画操業が試行された。

計画操業を実施するにあたり、漁業管理委員会ではまず現状のCPUE分布(図-19)、単価の時系列変化(図-20)、CPUEの時系列変化(図-21)などを検討し状況を把握します。例えば、第3回目の計画操業時(9月25日～9月30日)では、9月中旬の一時および9月24日には1号銘柄(特大)が1000円/Kgを超える高値が付いたものの全般的には低値で推移しており、これから先1週間も低い水準で経過

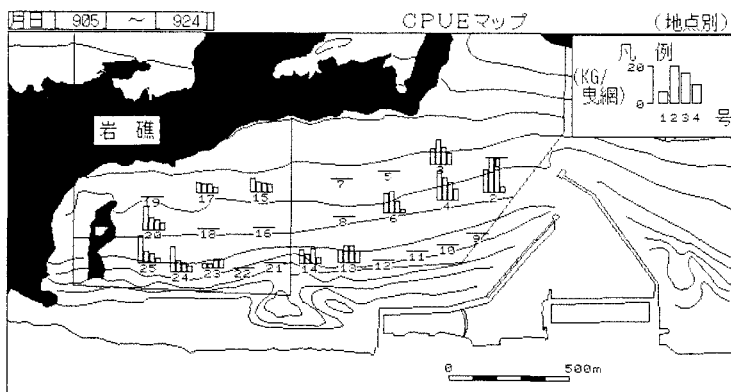


図-19 銘柄別CPUE分布

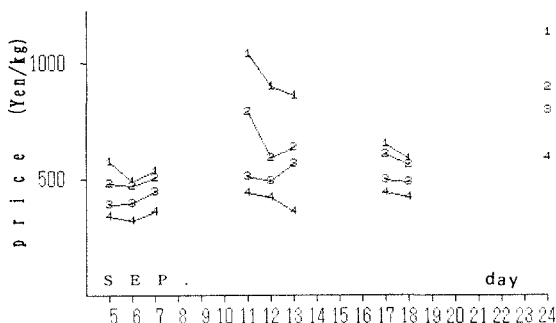


図-20 銘柄別単価の時系列変化  
図中の番号は銘柄を表す

すると判断される。

次に、CPUEは初旬が高く、中旬以降が若干低くなる傾向が認められるが、この格差は漁獲努力による資源の低下によるものではなく資源豊度の異なる地点での操業結果であることを日別のCPUE分布により確認している。そして、これらの情報を参考にして1日当たりの可能な平均総漁獲量について過去20日間の平均CPUE（32kg/曳網）と1日の総曳網回数（隻数×曳網回数）を掛けてた量として積算している。見積もられた総漁獲量に単価を重み付けして銘柄別の目標漁獲量が設定される。漁業管理委員会では、このような現状分析と試算に基づき計画操業のための適正配船計画入力表（表-2）を作成する。入力表を作成する過程で重要なことは銘柄別単価の予想、CPUE分布から予想される無理のない目標漁獲量を設定

必要がある。また、価格を重み付けとする漁獲量の銘柄配分など漁業者の経験則を活かした内容になっている。最後に表-2に示した漁獲目標を実現するための努力量の漁場内配置が線形計画法（付録 2）により計算される（図-22）。適正配船計画のシミュレーションで選ばれた操業漁区は 4番、13番、20番、24番であるが、これらの地点のCPUE（図-19）は概ね銘柄別目標漁獲量に似た組成比であることが判る。

4.4 適正配船計画の実績評価と全体的な管理効果

第 3回目の計画操業における結果について図-23に示した。努力量とCPUEについて、予測値と操業実績の比較からCPUEの総計だけでなくCPUEの銘柄組成についても適合度の高いことが認めらる。さらに、全計画操業（第1回～第8回）における計画と実績の比較一覧を表-3に示した。結果は努力量、CPUE、漁獲量、単価、水揚金額について期間中の平均値を対象にした達成率は全般的に高く、特にCPUEは90%以上である。

水揚金額については、若干達成率の低下は認められるが、この原因は荒天による努力量の減少と単価の推定誤差に由来するもので、総合的にみてこのモデルの目標達成度の高いことが評価される。

同システムの運用によりもたらされた最大の管理効果は、漁業者による自主管理が実践され、第三世代のシステム管理が実現したことにある。システム管理の狙いは資源、漁業、経済状況のモニターと予測を基盤にして合理的で具体的な生産計画を事前に立てることにある。管理前と管理後の漁獲状況の変化の一例とし

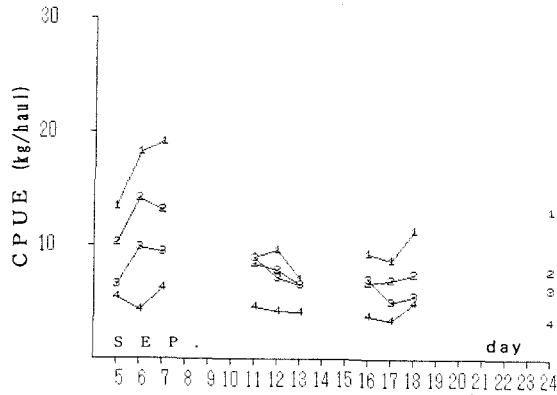


図-21 銘柄別CPUEの時系列変化

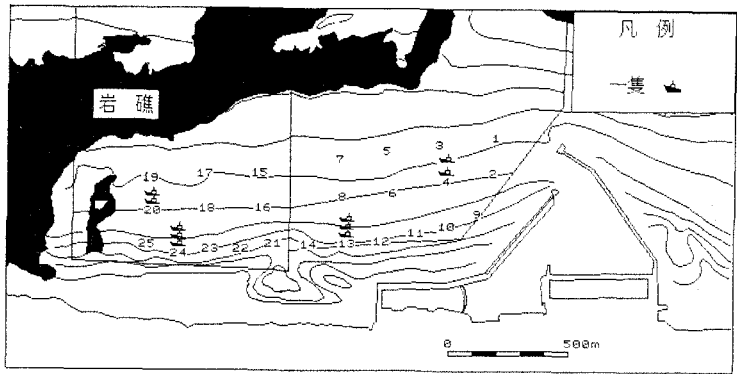


図-22 線形計画法から求めた漁獲目標を達成するための漁船配置（9月25日分）

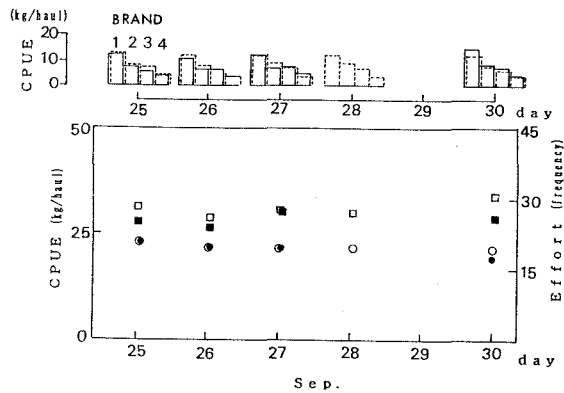
て、需給関係（漁獲量－単価関係）を図－24に示した。管理前は漁業者個々の自主判断に基づく自由操業に相当し全体的な資源量分布や市況情報の集約化が不十分で全体を見渡した合理的操業が困難である。そのことを反映して管理前の需給関係がランダムであるのに対して管理後は正の相関性が認められる。

この関係は通常の需給傾向に反しており、結果として単価の高い時に多く漁獲しているように見えるが実際は単価の高い銘柄順に漁獲量を調整したことに由来しています。つまり、単価格差を考慮した銘柄別漁獲量の配分計画において、適正配船計画による選択漁獲が成功していることが示唆される。

ただし、この管理方式が有効なのは、対象とする地区の漁業形態がプール計算制（漁獲利益の等配分制）を採用していること、および単価が漁獲量の影響をあまり受けない市場条件の下で成立することに留意しなければならない。

表－2 適正配船計画の計算入力表

| No. | 項 目         | 数 値                   | 単 位  | 備 考                    |
|-----|-------------|-----------------------|------|------------------------|
| 1   | 計算期間        | 6                     | 日間   | 期間中予想される休漁日、操業開始からの日数  |
| 2   | 計算開始日       | 9月25日                 |      |                        |
| 3   | 非利用漁区番号     |                       |      |                        |
| 4   | 休漁日の指定      | ① 5                   | 何日目  |                        |
|     |             | ②                     |      |                        |
|     |             | ③                     |      |                        |
| 5   | 予想単価        | 1号 P <sub>1</sub> 650 | 円/Kg |                        |
|     |             | 2号 P <sub>2</sub> 600 |      |                        |
|     |             | 3号 P <sub>3</sub> 550 |      |                        |
|     |             | 4号 P <sub>4</sub> 470 |      |                        |
| 6   | 漁獲目標        | 1号 C <sub>1</sub> 120 | Kg   | 1日当りの総漁獲目標量<br>(漁獲量制限) |
|     |             | 2号 C <sub>2</sub> 80  |      |                        |
|     |             | 3号 C <sub>3</sub> 70  |      |                        |
|     |             | 4号 C <sub>4</sub> 50  |      |                        |
| 7   | 1日当りの総漁獲隻数  | 12                    |      |                        |
| 8   | 1日1隻当りの曳網回数 | 2                     |      |                        |
| 9   | 探索船名簿       | 1, 6                  |      | 番号                     |



図－23 計画操業の計算予測と操業実績の比較

上段；銘柄別の平均CPUE組成（実線：実績，点線：予測）

下段；● 努力量（実績値）○ 努力量（予測値）

■ 平均CPUE（実績値）□ 平均CPUE（予測値）

表-3 実験漁場での計画操業実績の評価

| 回数 | 開催日<br>(管理期間) | 努力量                 | CPUE                | 漁獲量                 | 単価                  | 水揚げ金額               |
|----|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|    |               | 予測値<br>実績値<br>(達成度) | 予測値<br>実績値<br>(達成度) | 予測値<br>実績値<br>(達成度) | 予測値<br>実績値<br>(達成度) | 予測値<br>実績値<br>(達成度) |
| 1  | 9月10日         | 24                  | 32.1                | 750.7               | 417                 | 335.3               |
|    | (9月11日~       | 24                  | 26.9                | 644.8               | 611                 | 420.3               |
|    | 9月17日)        | ( 100 )             | ( 83.6 )            | ( 85.9 )            | ( 146 )             | ( 125.4 )           |
| 2  | 9月17日         | 22                  | 31.1                | 679.3               | 584                 | 422.5               |
|    | (9月18日~       | 14                  | 29.7                | 416.5               | 682                 | 320.7               |
|    | 9月24日)        | ( 63.6 )            | ( 95.4 )            | ( 61.3 )            | ( 116 )             | ( 75.9 )            |
| 3  | 9月24日         | 20                  | 30.1                | 614.1               | 567                 | 364.2               |
|    | (9月25日~       | 20                  | 29.8                | 579.5               | 707                 | 447.3               |
|    | 9月30日)        | ( 100 )             | ( 99.2 )            | ( 94.4 )            | ( 124 )             | ( 122.8 )           |
| 4  | 11月22日        | 22                  | 24.2                | 535.8               | 532                 | 303.2               |
|    | (11月23日~      | 17                  | 21.2                | 346.2               | 651                 | 243.4               |
|    | 12月2日)        | ( 77.2 )            | ( 86.8 )            | ( 64.6 )            | ( 122 )             | ( 80.3 )            |
| 5  | 12月2日         | 20                  | 22.2                | 436.0               | 615                 | 287.6               |
|    | (12月3日~       | 16                  | 18.1                | 290.5               | 700                 | 222.1               |
|    | 12月9日)        | ( 80.0 )            | ( 81.5 )            | ( 66.6 )            | ( 113 )             | ( 77.2 )            |
| 6  | 12月9日         | 19                  | 18.2                | 351.9               | 662                 | 248.0               |
|    | (12月10日~      | 14                  | 17.1                | 236.2               | 529                 | 136.2               |
|    | 12月16日)       | ( 73.6 )            | ( 93.9 )            | ( 67.1 )            | ( 79 )              | ( 54.9 )            |
| 7  | 12月16日        | 20                  | 20.2                | 403.9               | 517                 | 223.1               |
|    | (12月17日~      | 16                  | 15.2                | 240.0               | 632                 | 167.0               |
|    | 12月24日)       | ( 80.0 )            | ( 75.2 )            | ( 59.4 )            | ( 122 )             | ( 74.9 )            |
| 8  | 12月24日        | 24                  | 17.5                | 420.5               | 775                 | 346.7               |
|    | (12月25日~      | 16                  | 18.0                | 285.8               | 768                 | 276.3               |
|    | 12月30日)       | ( 66.7 )            | ( 102.6 )           | ( 68.0 )            | ( 99 )              | ( 68.4 )            |

努力量：日平均総電網回数 CPUE：日平均総CPUE(Kg/電網)  
 漁獲量：日平均総漁獲量(Kg) 単価：日平均単価(Kg/円)  
 水揚げ金額：日平均水揚げ金額(千円) (達成度指数) = 実績値 / 予測値 (%)

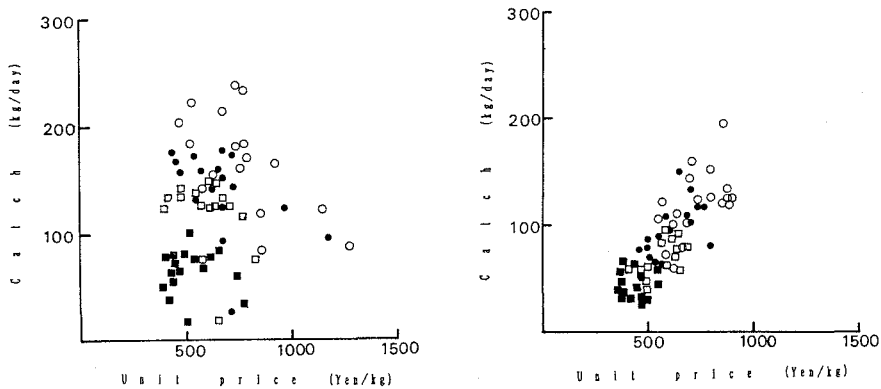


図-24 管理前(自由操業時)と管理後(計画操業時)の需給関係の比較

左；管理前(1991年8月) 右；管理後(1991年11月~12月)

図中の記号は銘柄区分を表す。

○ 1号(特大) ● 2号(大) □ 3号(中) ■ 4号(小)

## 5. 数値計算方法

### 5.1 殻長組成変化の計算方法（付録1）

#### 基礎方程式

中村ら（1989）はホッキガイ資源を連続的組成をもつ殻長分布としてとらえ、それらの時間的変動を任意の微小殻長部分における単位時間当たりの資源量フラックスと全減少量で表した。同様な試みとして、連続的年令組成を取り扱った人口系個体数学モデル（高橋，1972）や海底エコシステムのバイオマスを連続的な重量組成として解析している例が既に発表されている（Silverlら，1978；Okubo，1980）。

本システムを構成する三つの基礎方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial N(l, t)}{\partial t} + \frac{\partial u(l, t) N(l, t)}{\partial l} + Z(l, t) N(l, t) = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{1}{Z(l)} \int_{l_n}^{l_{n+1}} C(l, t) W(l, t) dl = \int_{l_n}^{l_{n+1}} q(l) N(l, t) W(l) dl \quad \text{----- (2)}$$

$$u(l, t) = K(l\infty - l) G(t) \quad \text{----- (3)}$$

(1) 式は図-25に示される任意の微小殻長部分  $\Delta l$  ( $l \sim l + \Delta l$ ) における資源個体数の変化を表した資源変動方程式である。第1項は微小殻長部分  $\Delta l$  における資源個体数の時間変化，第2項は成長に伴う単位時間当たりの資源量フラックスの変化，第3項は単位時間当たりの自然死亡と漁獲による資源減少量にそれぞれ相当している。実際の計算では逐次過緩和法（SOR法）による数値差分計算を実施する。

ここで， $l$  は殻長， $t$  は時間を表す。 $N(l, t)$  は殻長別資源個体数， $u(l, t)$  は殻長別成長速度（cm/year）， $Z(l, t)$  は殻長別全減少係数で自然死亡係数  $M(l)$  と漁獲係数  $F(l, t)$  の和である。

$$Z(l, t) = M(l) + F(l, t)$$

$$\begin{aligned} M(l) &= 0.5 \text{ year}^{-1} \quad (l < l_3) \\ &= 0.3 \text{ year}^{-1} \quad (l \geq l_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(l, t) &= q(l) z(t) \\ &= Q S_l(l) z(t) \end{aligned}$$

ここで， $l_3$  は漁獲制限殻長， $Q$  は総漁獲面積当たりの1曳網面積の比， $S_l(l)$  は目長  $l$  の選択性， $z(t)$  は努力量（曳網回数）をそれぞれ示す。

(2) 式は漁獲方程式でCPUEの形で表現している。したがって各時間ステップでの資源量  $N(l, t)$  が求まれば殻長-重量関係  $W(l)$  および漁獲能率  $q(l)$  から (2) 式左辺のCPUE (Kg/haul) が計算される。

この時積分範囲  $l_n \sim l_{n+1}$  は銘柄指定に相当す

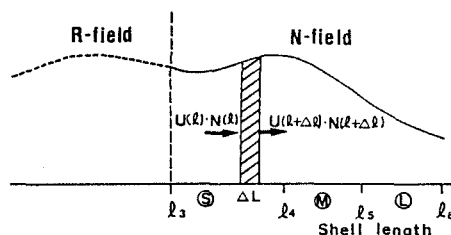
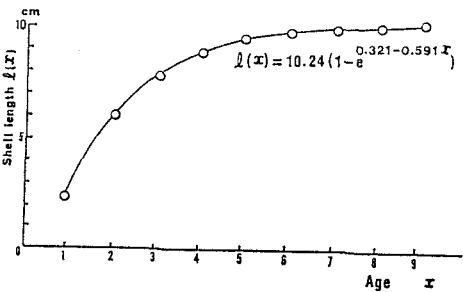


図-25 計算モデルの説明

R-field: 未加入資源，N-field: 漁獲対象資源  
 $U(l)$ : 殻長  $l$  cm における成長速度， $S, M, L$ : 殻長が  $l_3, l_4, l_5$  で区分される銘柄（小，中，大）を表す。

る。ここで、 $C(l, t)$  は漁獲物の殻長分布を示す。  
 (2) 式はまた、左辺の初期CPUEをあたえることにより、相対的な資源殻長分布から絶対的な殻長分布へ変換する補正係数を求めることができる。これにより初期殻長分布は相対的なヒストグラムを計算入力とすることが可能である。  
 (3) 式は成長速度式でホッキガイ殻長の成長式（図-25） $l_x = l_\infty (1 - e^{-K(x-x_0)})$  の年令微分  $dl_x/dx$  に成長速度の季節調整値  $G(t)$  をかけたものである。



差分方程式

(1) 式の差分方程式は次の (4) 式で示される。

図-26 ホッキガイの成長曲線

$$N(l, t+\Delta t) = \omega \{ C^{-1} \cdot B + D \cdot u(l-\Delta l, t+\Delta t) N(l-\Delta l, t+\Delta t) \} - (\omega-1) N(l, t) \text{----- (4)}$$

$$C^{-1} = \{ 1 + 0.5 \Delta t / \Delta l \cdot u(l, t+\Delta t) + 0.5 \Delta t \cdot Z(l, t+\Delta t) \}^{-1}$$

$$B = N(l, t) - 0.5 \Delta t / \Delta l \{ u(l, t) N(l, t) - u(l-\Delta l, t) N(l-\Delta l, t) + \Delta l \cdot Z(l, t) N(l, t) \}$$

$$D = 0.5 \Delta t / \Delta l \cdot C^{-1}$$

ここで、 $\Delta t$  は計算時間間隔、 $\Delta l$  は計算殻長間隔， $\omega$  は緩和係数で  $1 \leq \omega \leq 2$  の値をとる。逐次過緩和法では (4) 式に示した反復公式をもちいて各時間ステップでの解が次の収束判定条件を満たすまで繰り返す。

$$| N(l, t+\Delta t)_{i+1} - N(l, t+\Delta t)_i |_{max} \leq EPS$$

ここで、 $i$  は反復回数を  $EPS$  は収束判定定数を示す。この計算における初期条件としては漁期直前の殻長分布  $N(l, 0)$  を与え、境界条件は漁獲制限殻長より小さい任意の殻長  $l_b$  における資源個体数変化  $N(l_b, t)$  を与える。

モデルの特徴

表-4 計算に使用するパラメータ

|                                                                          |           |                                              |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|
| 銘柄と殻長 $l$ (cm) の関係                                                       | 銘柄 4 (小)  | : $l_3$ (7.5cm) ~ $l_4$ (9.0cm)              |
|                                                                          | 銘柄 3 (中)  | : $l_4$ (9.0cm) ~ $l_5$ (10.0cm)             |
|                                                                          | 銘柄 2 (大)  | : $l_5$ (10.0cm) ~ $l_6$ (11.0cm)            |
|                                                                          | 銘柄 1 (特大) | : $l_6$ (11.0cm) 以上                          |
| 殻長 $l$ - 重量関係 $W$ (g)                                                    |           | : $W(l) = 0.139 l^{3.27}$                    |
| 年令 ( $x$ ) と殻長関係 $l$ (cm)                                                |           | : $l(x) = 10.243 (1 - \exp(0.321 - 0.591x))$ |
| 季節補正 $G(t)$ 付き成長速度 $u$ (cm/year)                                         |           | : $u(l, t) = G(t) (6.05 - 0.591 l)$          |
| 計算殻長間隔 $DL$ (cm) : 0.25 , 計算時間間隔 $DT$ (day) : 30 , 初期CPUE (Kg/haul) : 17 |           |                                              |
| 目合サイズ (cm) : 10 , 月別漁獲係数 $F$ (year <sup>-1</sup> ) , 初期殻長組成 (%)          |           |                                              |

計算は(2)～(4)式を連立させ漁期直前の殻長分布を初期条件とし、表-4に示した計算パラメータのもとに殻長分布の時間的変動を逐次数値計算する。計算された殻長分布は(2)式を使い銘柄別CPUEや漁獲量に変換され漁獲実績モニターと比較される。

本モデルの特徴を簡単に言うと、従来型の年級群解析が固有の年級群の個体群変動を追跡するラグランジュ系の解析であるのに対し、本モデルは任意の殻長部分の時間的個体群変動を追跡するオイラー系の解析に相当している。そのため、漁期中の逐次加入量の推定、漁獲制限殻長の設定、資源量および漁獲量の銘柄表示といった実用的解析が容易に行なえる利点をもっている。つまり、同モデルは年令ではなく大きさを基準にした資源量解析であるため、網目の選択性、銘柄殻長区分など現実的な条件指定が可能であり、経済効果を目的関数にした最適操業システムを検索するモデルへ拡張することができる。

## 5.2 適正配船計画の計算方法(付録2)

### 資源量および漁獲量推移の計算方法

漁獲対象資源は、ここでは銘柄別に独立したものとして取り扱う。各漁区ごとの資源量は過去20日間におけるCPUE(kg/曳網)の単純平均値を資源量指数として求め、同漁区の有効面積を掛けて算出する。漁期中の毎日の資源量の推移は漁獲実績から同様に逐次推定する。予測期間中の毎日の銘柄別資源量と漁獲量の変化については中村ら(1993)の方式に従い計算する。

漁場は図-27に示した25の漁区と2つの混獲未成員の放流区(R地点)から構成される。1番目の漁区の過去20日間の操業記録から銘柄別*j*に平均CPUEを算出し、計算初日のCPUE分布( $CPUE_j(0, 1)$ )を作成する。計算初日とは、計画操業初日に相当しており、当日の漁区別資源量 $B_j(0, 1)$ が次式により推定される。

$$B_j(0, 1) = CPUE_j(0, 1) / Q_j(1) \text{-----} (5)$$

$$Q_j(1) = \alpha_j S_1 / S_0(1) \text{-----} (6)$$

ここで、 $Q$ は漁獲能率、 $\alpha$ は漁具効率×網目選択率で、1とした。また、 $S_1$ 、 $S_0$ は1曳網面積(100m<sup>2</sup>)および各漁区面積である。

計算期間中における漁区毎の*i*日目の漁獲量 $C_j(t, i)$ 、資源量 $B_j(t, i)$ および全死亡係数 $Z_j(t, i)$ の時間変化は(7)式～(9)式で予測する。なお、(7)式は単位時間 $\Delta t$ 内の操業形態にもとづく瞬間型の漁獲方程式である。

$$C_j(t, i) = F_j(t, i) \Delta t B_j(t-1, i) \text{-----} (7)$$

$$B_j(t, i) = B_j(t-1, i) \exp(-Z_j(t, i) \Delta t) \text{----} (8)$$

$$Z_j(t, i) = F_j(t, i) + M$$

$$= Q_j(1) x(t, i) + M \text{-----} (9)$$

ここで、 $F$ は漁獲係数、 $\Delta t$ は計算時間間隔(1日)、 $x$ は努力量(1日当りの操業回数)、 $M$ は自然死亡係数(0.3year<sup>-1</sup>)である。(7)～(9)式中の $B_j(t-1, i)$ 、 $x(t, i)$ は資源量の逐次推定および適正配船のための

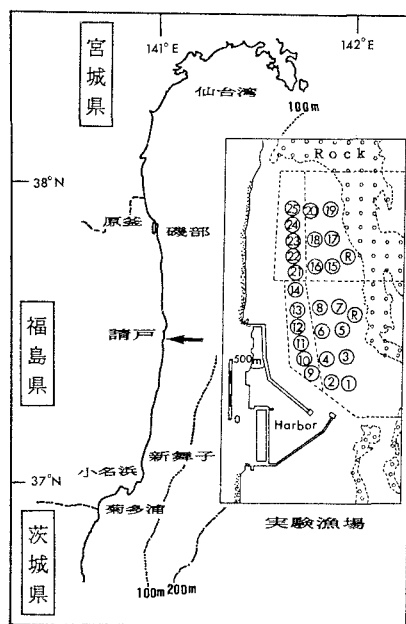


図-27 実験漁場の位置と漁区  
番号は漁区番号、Rは混獲  
した未成員の放流地点を示す。

線形計画法の計算出力として、また $\Delta t$ 、 $M$ はデータとして与えられる。

#### 適正配船計画の計算方法

漁業管理委員会では、最近の資源状況および単価変動傾向を分析し、次期操業方針を決定する。その結果を適正配船計画用の入力表（表-2）に記入する。適正配船計画では、銘柄別単価と過去20日間の漁区別銘柄別CPUEマップをもとに、入力表に示された目標漁獲量(10)式、総努力量(11)式および漁区別許容努力量(12)式を制限条件にして、(13)式に示した水揚げ額の最大化を達成する努力量配置を線形計画法より求める。

#### 制約条件式

$$\text{銘柄別漁獲量 } C_j \text{ の制限（漁獲目標）} ; CPUE_{j,i} x_i \leq C_j \text{ ----- (10)}$$

$$\text{総努力量 } x_c \text{ の制限} ; \sum_{i=1}^{25} x_i \leq x_c \text{ ----- (11)}$$

$$\text{漁区別許容努力量 } x_i \text{ の制限} ; x_i \leq \bar{x}_i \text{ ----- (12)}$$

#### 目的関数 $H_{max}$ （漁獲水揚げ額の最大化）

$$H_{max} = P_j CPUE_{j,i} x_i \text{ ----- (13)}$$

ここで、 $CPUE_{j,i}$ は銘柄別 $j$ 、漁区別 $i$ のCPUE行列（4行25列）、 $x_i$ は漁区別の努力量行列（25行1列）、 $P_j$ は銘柄別単価行列（1行4列）をそれぞれ表す。

(10)～(13)式における $C_j$ 、 $x_c$ 、 $P_j$ については表-2から、 $\bar{x}_i$ はデータとして直接与えられる。

また、 $CPUE_{j,i}$ は計算初日については操業日誌の集計結果 $CPUE_{j,i}(0, i)$ を使用し、予測期間中は(8)式から資源量 $B_j(t, i)$ を求め、それに漁獲能率 $Q_j(i)$ を掛けて算出したものを使用する。そして、(13)式を満たす適正配船結果 $x_i$ を(9)式に代入し、 $t$ 日目の全死亡係数 $Z_j(t, i)$ を求める。 $Z_j(t, i)$ 及び $t-1$ 日目の資源量 $B_j(t-1, i)$ を(7)式(8)式に代入することにより $t$ 日目の漁獲量 $C_j(t, i)$ と資源量 $B_j(t, i)$ が推定され、予測期間中は同様な逐次計算を繰り返す。

#### 操業実績の評価

適正配船計画の予測値と計画操業による実績値の比較を行なう。比較する項目は日別、銘柄別の漁獲量、平均CPUEおよび、日別の努力量（操業回数）、水揚げ額等である。これらの項目について、次に示す式により実績の評価を行う。

$$\text{目標達成率 (\%)} = (\text{実績値} / \text{予測値}) \times 100$$

#### 6. おわりに

近年開発されている資源管理システムは「資源部門」、「漁業部門」、「経済部門」の三本柱で基本的には構成されており管理の経済的効果を取り入れている点が重要である。しかし、システム全体を動かす因子が人間活動だけに依存する形式は不自然であると考えられる。

海域の開発行為が多様化し規模が拡大してきている今日では、従来のように漁業による海域利用が排他的に行なうことは開放性海域ですら困難な時代になっていくことが予想される。このような状況のもとでは漁業生産の経済価値を他の海域利用の生産形態と比較することが求められるので、漁業活動を維持していく根拠として生物生産管理の問題について環境や生態機能を導入した新しい次世代型管理システムを開発して、これまでの資源管理システムでは取り扱えなかった環境要素を操作因子に加えた新しい資源管理指針を提言する時期にきていると云える。

これまでの管理モデルでは主に漁獲サイズの資源だけを取り扱っているため、資源量変化に対する移動、

成長、自然死亡の寄与は小さく資源量の変化はもっぱら漁獲係数に依存したかたちをとっているのに対し、一般化した管理システムでは稚貝から漁獲サイズまで全てを解析の対象としているため、例えば稚貝の外力（波動）による空間移動なども評価の対象となる。このために工学部門の研究者とも共同して水理実験や数値解析から研究をすすめる必要がある。また、成長や自然減耗要因についても環境要素との関係を取り入れてモデル化することが必要になり漁業経済モデルから生態系工学モデルへと脱皮が要求される。

## 参 考 文 献

- 鮮干 激 (1995) : ミティゲーションも中で期待される生態系修復技術と評価, 第15回生態系工学シンポジウム講演要旨, pp. 1-35.
- 福田英雄 (1976) : 鹿島灘チョウセンハマグリ of 生態について - 1, 茨城水試研報, pp. 9-16.
- 小沼洋司 (1977) : コタマガイの成長と大発生, 茨城水試研報, pp. 9-15.
- 中村義治 (1991) : 沿岸域の水理環境とウバガイの漁場形成機構に関する研究, 福島水試研報 7号, pp. 1-118.
- (社) 北海道栽培漁業振興公社 (1988) : 特定海域沿岸漁場等開発事業推進調査報告書 (資料編), pp. 387-455.
- 中村義治・三村信男・秋元義正 (1990) : 波による二枚貝の輸送モデルと漁場形成機構, 第37回海岸工学論文集, pp. 818-822.
- 中村義治 (1995) : ホッキガイの大発生と自主管理システム, 水産海洋研究, 第59巻, 第1号, pp. 62-68.
- Kubota, M, K. Nakata and Y. Nakamura (1981) : Continental shelf waves off the Fukushima coast Part 1. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 37, pp. 267-278.
- 佐々木浩一 (1993) : ウバガイ (ホッキガイ) の生態と資源, 水産研究叢書42, pp. 1-4.
- 田中昌一 (1985) : 水産資源学総論, 新水産学全集8, 恒星社厚生閣, pp. 342-350.
- 中村義治・平山信夫・秋元義正 (1989) : 動的モデルによるウバガイ資源変動の解析方法, 日本水産学会誌, 第55巻, 3号, pp. 417-422.
- 高橋安人 (1972) : 個体数の力学モデル I, 計測と制御, 第11巻, pp. 797-804.
- Silvert, W., Platt, T. (1978) : Energy flux in the pelagic ecosystem : A time-dependent equation, Limnol Oceanogr., Vol. 23, pp. 813-816.
- Okubo, A. (1980) : Diffusion and Ecological Problems: Mathematical Models, Springer-Verlag, pp. 217-223.
- 中村義治・平山信夫・深町孝子 (1993) : 漁業管理運用システムによるホッキ貝桁網漁業の適正配船計画, 日本水産学会誌, 第59巻, 4号, pp. 601-608.

