

ナマコ漁業の地域特性と管理目的に適合した施策の選択

シミュレーションを用いた考察

(独)水産総合研究センター

牧野光琢

1. 諸言

(独)水産総合研究センターは、2009年3月末に発表した「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理のあり方(以下「管理のあり方」と略称)」において、我が国水産業に適した総合的管理の考え方を提示した¹。そこでは、「管理の目的」、「管理の評価」、「管理の手法(施策)」という3つの側面の総合性について詳しく議論した²。このうち管理の手法(施策)については、生態系および社会の変化や不確実性・多様性を前提とし、かつ、各管理施策の適性や有効範囲・限界などを踏まえたうえで、複数の施策を組み合わせることにより、相乗的で頑健な効果を発揮させることの重要性を強調している³。

しかしながら、地域による操業内容・経営内容の違いや、現場での人的・資金的・時間的制約を前提とした具体的提案を行うためには、施策導入の程度や効果の違いの定量的な比較が必要となる。よって本稿では、どの施策を優先的に導入すべきか、どの施策ではどの程度の効果が期待できるのか、どのような施策の組合せが有効なのか、を考察するために、不確実性を明示的に組み込んだシミュレーションモデルを作成した。

不確実性を前提とした考察では、「管理の目的」に関する分析視点が重要となる。たとえば、一定の再生産関係に基づいて変動する資源の場合、平均漁獲量を最大化する漁獲計画は、しばしば生産量や収入の変動が大きくなりやすい⁴。特に日本産乾燥ナマコのように海外市場でブランド化されている場合や⁵、ナマコ漁業からの収入が家計収入の大部分を占めるような場合には、貨幣的な意味での“効率性”を多少犠牲にしても、供給量や収入の“安定性”を重視すべき場合もあろう。よって本稿では「管理のあり方」で提示された水産政策の5つの理念(資源・環境保全の実現、国民への食料供給の保障、産業の健全な発展、地域社会への貢献、文化の振興)に依拠した複数の指標を定義し、管理施策の比較・検討をおこなった。

沿岸性で定着性の強い無脊椎動物の漁業管理に関する既往研究としてはホタテガイやホッキガイが有名である⁶。しかし、ナマコに関する考察はこれまで行われていない。今回ナマコに着目した主たる理由は、一般的な水産資源に比べて1)定着性の強い資源であり比較的管理しやすいこと、2)比較的長い寿命をもっていると考えられ生活史やサイズに応じた様々な施策があること、3)地域によっては沿岸漁業経営上の重要資源であること、4)国際市場および国際環境保護の議論において近年注目度が増していること⁷、の4つで

ある。

次節では、資源動態式を含む生物経済モデルの構造と、管理効果の比較・検討のための指標を定義し、不確実性下の漁獲計画を導出する。第 3 節では、漁獲計画以外の諸管理施策を導入した場合に期待される管理効果を計算する。最後に第 4 節では、地域による漁業特性の違いを考慮し、沿岸漁業経営全体の見地から管理の方向性を考察する。なお、ナマコ漁業現場では密漁が非常に大きな問題となっているため、引用文献で明記した公表資料を除き、海域や具体的データの公表は差し控えたい。

2. モデルの定義と漁獲計画の導出

(1) 資源動態式の推定と、決定論による最適解の導出

青森県 A 海域におけるナマコ資源評価結果を用いて、ナマコ資源の再生産関係式を推定した⁸。各種関数型を赤池情報量基準 (AIC) を用いて比較・検討した結果、ロジスティック・モデル ($X_{t+1} = r * X_t (1 - X_t / K)$; X_t は t 年の漁期前資源量、 r は内的自然増加率、 K は環境収容量) による以下の推定式を得た。

$$X_{t+1} = 1.695 X_t (1 - X_t / 945.6)、標準誤差 () = 306.3 \text{ トン}$$

この資源動態推定式を使用し、不確実性を考慮しない決定論における最適生産を解析解によりもとめた⁹。ナマコ生産現場での生単価 (p) については、モデル海域と同じ青森県に所在する川内町漁協の事業報告書から得られた直近 3 年間の平均値 (1982 円/kg) を使用した¹⁰。なお、延出漁日数や延曳網回数など投入努力量のデータが入手できなかったため、生産関数が推定できず、従って単位漁獲当りコストも推定できなかった¹¹。よって、現場聞き取り調査の結果を参考に、単位漁獲当りコストを単価の 4 割と仮定した。割引率は安全資産 (長期国債) の利率を参考に年 3% とした。

以上の値を代入した結果、最適な年間漁獲量 (Y^*) は 400.6 トン/年、 Y^* を実現するための漁期終了後資源量 (X^*) は 464.4 トン、 Y^* の漁獲による A 海域全体での年間利潤 (π^*) は 476.3 百万円/年、現在から 20 年間 Y^* で操業する場合の A 海域全体の正味現在価値 (NPV) が 7,086.8 百万円となった。なお、最大持続生産量 (MSY) は 400.7 トン/年、MSY を実現するための漁期終了後資源量 (X_{MSY}) は 472.8 トンであった。

なお、実際の漁期終了後資源量が $X^*=464.4$ トンに一致しない場合、最適パスへの移動経路によって NPV は異なる値をとる。このモデルの場合、経済学的な最適経路 (動的最適解) は、漁期終了後の残存資源漁が 464 トンになる最短距離をとる (Most Rapid Approach Path)。たとえば、今年の漁期前の資源量が 649 トンの場合、もし今年の漁期に $Y^*=400.6$ トンを採捕すると、漁期終了後の残存資源量が $X^*=464.4$ トンよりも少なくなってしまう。よって今期だけは漁獲量を 184.6 トンに抑えれば、漁期終了後には最適パスに乗り、来年度以降理論的には $Y^*=400.6$ トンの漁獲を続けることができるという計算になる。この場合

の NPV は 7,007.1 百万円となる。

(2) 不確実性下の漁獲計画の定義

実際の海域生態系には自然由来の変動が存在する。さらに、資源推定の誤差に基づく不確実性や、モデルの説明能力不足に由来する不確実性もある。これらの不確実性を無視した分析は、現実には、ほとんど役に立たない。ナマコという、定着性で比較的安定した資源と想定されるものにおいてすら、モデル海域 A の標準誤差は 300 トン以上である。計算上の最適年間漁獲量 (Y^*) が 400.6 トンであることに鑑みれば、不確実性を明示的に組み込んだ分析の必要性は明らかである。

不確実性下での望ましい漁獲計画の導出に際しては、いくつかの考え方がある。生物経済学において通常議論されるのは、利潤の正味現在価値を最大化する計画である。その場合は、動的計画法 (Dynamic Programming) によって数値的に計画を導出することができる¹²。このようにして得られる、貨幣的な意味での最適計画を、漁獲計画 1 とする。

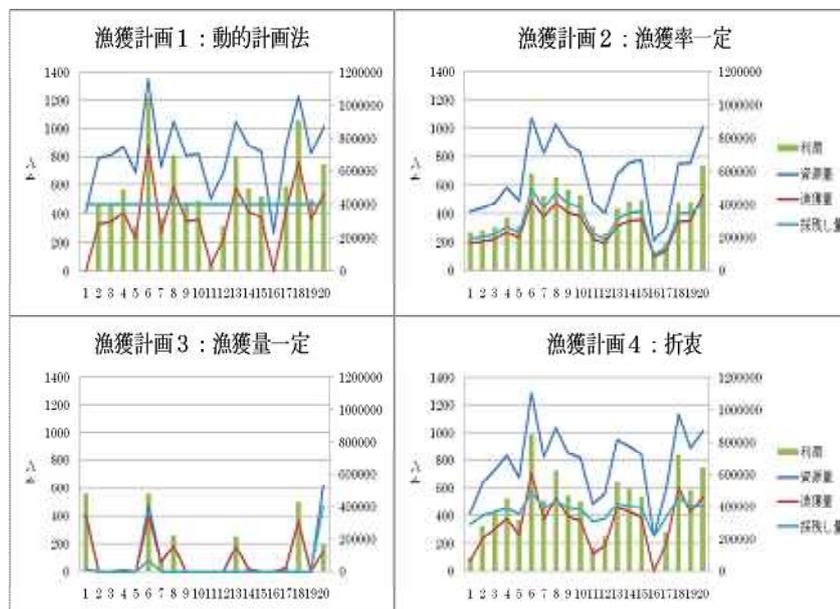
一方、動的計画法による漁獲計画は、漁獲量の年変動が大きいという欠点がある。たとえば加入資源量が少ない年には、しばしば禁漁の実施が解となる。つまり、漁獲計画 1 は“貨幣的効率性”は最も高いものの、収入や生産の“安定性”は低い計画であると言うべきであろう。第一節でも述べたように、乾燥ナマコがブランド化されている場合や、ナマコ漁業からの収入が家計収入の大部分を占めるような場合には、貨幣的効率性を多少犠牲にしても、供給量や収入の安定性を重視することが必要となる場合もあろう。よって、本モデルでは、漁獲計画 1 との比較対象として、以下の 3 つの代替的漁獲計画を算出する。

まず、漁獲計画 2 は、漁期前の資源推定量に対する漁獲率を一定に固定して、毎年の漁獲計画をたてるという計画である (漁獲率一定計画)。漁獲率には、決定論で導出された比率 (漁期前資源量の 46.3%) を使用した。漁獲計画 3 は、漁獲量を一定とする計画である (漁獲量一定計画)。漁獲量には、決定論で導出された決定論の最適漁獲量 (400.6 トン/年) を使用した¹³。最後に漁獲計画 4 は、1 と 2 の折衷案である。両者の漁獲量の平均値を使用した。

(3) 計算例

以下の計算では、さまざまな変動性・不確実性要因が重層的に影響した結果として資源動態推定式の標準誤差 =306.3 トンが発生していると解釈し、また、この誤差は正規分布に従い互いに独立と仮定した。つまり、今年の漁期終了後のナマコ資源量を所与としたとき、来年の漁期前のナマコ資源量は、上述のロジスティック式で計算される値を平均とし、標準偏差=306.3 トンの正規分布に従うとし、今後 20 年間の漁獲計画を導出した¹⁴。なお、既に述べたように、今回のモデルでは生産関数が推定できなかった。よって、資源が多い年にあえてたくさん採り残すことによるコスト削減効果を反映できず、動的計画法による解は毎年一定の量の資源を採り残す計画 (採残し一定計画) となった。

図1は、一組の正規乱数(20個)によって描写された20年間の不確実性に対する4つの漁獲計画を比較した例である。漁獲計画1(動的計画法)では、資源量が少ない年には禁漁が実施され、収入がゼロとなるなど、生産量と利潤の変動がはげしい。いわば、資源変動に直接的に順応した漁獲が行われる。凹凸は激しいが、算術平均値でみると、資源量・生産量・利潤全ての値が最大となる。漁獲計画2(漁獲率一定)では、漁場に資源が少しでもある限り禁漁は実施されず、生産量・利潤ともに変動は小さいが、それらの平均値も小さくなる。漁獲計画3(漁獲量一定)では、何らかの不確実性要因により一度でも資源が減少すると、ほとんど資源が枯渇してしまう。またその後は突発的に加入の良い年があっても、ほとんどすぐに採りつくしてしまう。一方で漁獲計画4(折衷)は、漁獲計画1と漁獲計画2の平均値を使用しているため、生産量・漁獲金額ともに両者の中間の性質となっている。この計画の場合、資源の多い年には漁獲計画2(漁獲率一定)よりも多く獲り、資源の少ない年には漁獲計画2よりも少なく獲る、という対応となる。



< 図1 各漁獲計画の計算結果の例 >

(棒グラフで示された利潤: 右軸(円) 他の折れ線グラフ: 左軸(トン))

(4)「管理の目的」に関する指標の定義

先に定義した4種類の漁獲計画の性格を比較・検討するため、「管理の目的」に関する指標を以下のように定義した¹⁵。まず、水産政策の5つの理念のうち「資源・環境保全の実現」に対応する資源面の指標として、各年の漁期終了後の資源量の期待値(E(X))を定義した。

また、漁期終了後の資源量が、決定論の最適値 ($X^* = 464.4$ トン) の 1/2 を下回る確率を、資源リスクとした (X risk)。「国民への食料供給の保障」に対応する生産面の指標として、各年の生産量の期待値($E(Y)$)と、各年の生産量が決定論の最適値 ($Y^* = 400.6$ トン) の 1/2 を下回る確率 (生産リスク: Y risk) を、それぞれ定義した。「産業の健全な発展」に係る漁業経営面の指標として、各年の利潤の期待値($E(\pi)$)と、それが決定論の π^* の 1/2 を下回る確率 (経営リスク: π risk) を定義した。最後に、「地域社会」を構成する後継者確保に対応する指標として、現在から 20 年間ナマコ漁業を操業すると仮定した場合の利潤の期待現在価値($E(NPV)$)を算出した¹⁶。この $E(NPV)$ は、いわば“長期的な漁場の価値”を見積もったものであり、この漁業に後継者や新規参入者が着業する上で、単年の利潤である π^* とならび重要な指標である。また、シミュレーションにおける各 NPV が決定論での NPV (=7,086.8 百万円) の 1/2 を下回る確率を後継者リスク(NPV risk)と定義した。

なお、新規参入者や後継者にとって、年による利潤変動は、生活設計や安心の面で特に重大な問題である。よって、 $E(NPV)$ の算出に際しては、この変動の程度を経済的に正当に評価する必要がある。本研究では、牧野(2007)の手法を用いてリスク・プレミアムを推定・適用することにより、将来の利潤の変動の大きさを加味した現在価値を算出した¹⁷。

(5) シミュレーション結果

さまざまなパターンの不確実性を描写するため、20 年分の正規乱数の組を 500 組作成し、各指標の値を計算した結果が表 1 である。シミュレーションはマイクロソフト社 VBA (Visual Basic for Applications) によりプログラムを作成して実行した。

表 1 各漁獲計画の比較 (500 回のシミュレーション結果)

	漁獲計画	1	2	3	4
資源指標	$E(X)$	464.8	354.9	76.3	436.6
	X risk	0.00	32.11	86.66	4.82
生産指標	$E(Y)$	398.0	301.7	157.6	363.4
	Y risk	28.86	34.13	62.10	28.11
経営指標	$E(\pi)$	473317	358777	187456	432101
	π risk	28.86	34.13	62.10	28.11
後継者指標	$E(NPV)$	6026351	4864386	2842422	6335605
	NPV risk	0.20	18.40	79.60	2.80
	RP	1.480	0.859	0.829	1.176

$E(X)$: 漁期終了後資源量の期待値 (トン)

X risk : 漁期終了後資源量が、決定論の最適値 (464.4 トン) の 1/2 を下回るリスク (%) 資源リスク

$E(Y)$: 各年の生産量の期待値 (トン/年)

Y risk : 各年の生産量が、決定論の最適値 (400.6 トン) の 1/2 を下回るリスク (%) 生産リスク

E() : 各年の利潤の期待値 (千円/年)
risk : 各年の利潤が、決定論の最適値 (476356 千円) の 1/2 を下回るリスク (%) 経営リスク
E(NPV) : 新規着業者にとってのナマコ漁場の価値の期待値 (千円)
NPV risk : ナマコ漁場価値の期待値が、決定論の価値の 1/2 を下回るリスク (%) 後継者リスク
RP : リスク・プレミアムの 500 回の平均値

資源指標に着目すると、漁獲計画 1 (動的計画法) は、資源量の期待値が高く、資源リスクは 0% である。いわば、もっとも資源に対して配慮した計画といえることができる。その対極にあるのが漁獲計画 3 (漁獲量一定) である。期待値は著しく低く、また資源リスクは約 87% である。漁獲計画 2 (漁獲率一定) は資源リスクが 32% あり、期待資源量も計画 1 より 2 割以上小さい。折衷案の漁獲計画 4 は資源リスクが約 5% であり、資源量の期待値は漁獲計画 1 より 6% ほど下回っている。生産指標に関しては、一年あたりの期待生産量が最も大きいのが漁獲計画 1 であり、生産リスクは約 29% である。それに比較して、漁獲計画 4 は、期待生産量が約 9% 小さいものの、生産量の安定性が高い (年変動が小さい) ため、生産リスクは漁獲計画 1 よりわずかに小さい。漁獲計画 2 と 3 は、期待生産量の面でも生産リスクの面でも他の二つより大きく劣っている。経営指標は、生産面とほぼ同じ傾向である。後継者指標をみると、漁獲計画 4 が最も優れている。これは、収入の年変動に関連するリスク・プレミアム (RP) が漁獲計画 1 では大きいため、将来の収入が低く評価されているからである。

以上より、資源面では漁獲計画 1 が、後継者面では漁獲計画 4 が優れていることが明らかとなった。また、生産面と経営面では、期待値に関しては漁獲計画 1 が優れているが、リスクや変動の面からは漁獲計画 4 がわずかに優位であることがわかった。漁獲計画 2, 3 については、ほぼすべての指標において、漁獲計画 1, 4 よりも明らかに劣っていた。

よく知られているように、不確実性を前提にすると、所謂「最適解」というようなものは一意には決まらない。多くの生物経済学の文献で“不確実性下の最適解”と称されている解は、単に交換価値 (貨幣的価値) の効率性に関する最適化を行っているにすぎない。効率性と安定性の比較衡量や、利潤と生産量と資源量のどれをどの程度重視するのか、あるいは、短期的視点と長期的視点のどちらがどの程度大切か、などの判断により、望ましい解は異なる。換言すれば、多魚種操業が一般的である我が国沿岸漁業において、当該資源に何を求めるのか、当該漁業を経営の中でどう位置づけるのか、によって、取るべき施策が決まるのである。この点については第 4 節で考察する。

3. 管理施策の効果の検討

表 2 に「管理のあり方」で議論した 8 種類の各管理施策の内容と、具体例、およびシミュレーションモデルの諸パラメータとの関係を整理した¹⁸。前節で比較検討した漁獲計画 1 ~ 4 の実施は、C、D の施策に相当し、また、G と H は管理全体の精度向上に寄与するもの

として整理した¹⁹。なお、今回は齢構成を考慮しない資源動態モデル（ロジスティック式）を採用している。よって、サイズ別の市場ニーズに応じた採り分けや、稚ナマコに特化した保護策などの管理施策については、その効果を検討できなかった。今後、齢別資源動態モデルを構築する際に検討したい。

表2 施策の分類と具体例およびパラメータとの関係

内容	具体例	パラメータの変化
A 生態系の維持・修復	天敵・害獣駆除、藻場・干潟の修復、海底耕耘、植樹活動、流砂・土砂の管理、ランドスケープレベルや集水域単位での水質管理、等	環境容量(K)の増加
B 資源の積極的添加・培養	漁場造成、天然採苗・放流、人工種苗生産・放流、育苗、等	標準誤差(σ)の減少
C 漁獲圧の管理(入口管理)	漁期・漁具・漁法・漁場・漁船数・漁船サイズ・操業時間などの規制、単位漁労時間の制限、禁漁区の設置、輪採制、グループ操業、賦課金・会費徴収、漁業種間での操業海域調整、曳網回数制限、目合の拡大、仕向けに応じた漁獲時期・漁獲場所の工夫、個別努力量割当(IEQ)、譲渡可能個別努力量割当(ITEQ)、等	漁獲計画の実施(本稿第2節)
D 漁獲物の管理(出口管理)	サイズ規制、年間漁獲量規制、一日あたり漁獲量制限、個別割当、混獲個体の買い取り・再放流、時期別TAC・IQ・ITQ、品種別TAC・IQ・ITQ、サイズ別TAC・IQ・ITQ、漁具別TAC・IQ・ITQ、等	漁獲計画の実施(本稿第2節)
E 経営構造の改善	兼業魚種の組合せ・開発、生産規模に合わせた漁業資本や加工資本の縮小、漁業資本や加工資本の共有、協業化、減船、等	単位漁獲コスト(c)の低下
F 処理・加工・流通の改善	船上処理の改善、品種別の仕向け規則の策定、組合自営工場による加工、市場ニーズの把握と製品への反映、出荷時の選別の実施、直接取引ルートの確立、トレーサビリティ・システムの導入、新商品の開発、未利用資源や残滓の有効利用、加工作業の精度を上げるための奨励金・課徴金、MEL-JapanやMSCなど第三者認証の活用によるブランド価値の維持・創出、衛生基準の取得・設置、等	生単価(p)の向上
G 人的・組織的体制の重点化	新たな管理組織の設立・実施、操業日誌の義務化、管理活動内容の普及・発信、密漁監視体制の強化、公的機関との連携による事業の実施や体制の整備、等	上記すべて
H 科学・技術振興	生態機序・資源動態の調査・把握、管理マニュアルや広報誌を通じた成果の普及・共有、等	上記すべて

以上より、さまざまな管理施策の効果として検討すべきパラメータ変化は、環境収容量(K)の増加、予測資源量の標準誤差()の減少、生単価(p)の上昇、単位漁獲コスト(c)の低下、の4通りに要約できた。さらに、これらの2つ以上のさまざまな組み合わせ(11通り)により、合計15通りの施策の組み合わせ方が想定できた。この15通りの施策の組合せについて、表2で整理した関連パラメータを限界的に変化させ(1%の変化)表1

で定義した諸指標にどのような効果をもたらすかについて、それぞれ 500 回のシミュレーションを実施した（結果の詳細は補足資料 3 参照）。

以下、漁獲計画 1（動的計画法）と漁獲計画 4（折衷）について、諸指標への効果を要約する。まず資源面について、漁獲計画 1 はもともと期待値が高くリスクもゼロである。一方で漁獲計画 4 では、施策 B の「資源の積極的添加・培養」を実施し標準誤差 を削減すると改善されるが、その効果はそれほど大きくない。よって、資源面に関しては、施策 C、D に相当する漁獲の管理と、それを支える人的・組織的側面（G）や、科学・技術的知見の整備（H）が何よりも重要である。表 1 で明らかのように、漁獲計画 1 または 4 を実施することで、資源は保全される。

生産面では、施策 A により、生態系の保全や漁場・生息地保全をおこない、環境容量を高めることが効果的である。漁獲計画 4 の場合は、さらに施策 B の資源の積極的添加や培養を実施すると相乗的效果が得られ、期待生産量は 1%以上増加し、リスクも 1%近く削減できる。

利潤の期待値では、主に施策 E と F の施策による単価の向上とコストの削減が効果的である。一方で経営リスクは、A の生態系の保全や漁場・生息地保全をおこない、環境容量を高めることも大きなリスク削減につながる。漁獲計画 1 は期待利潤が既に大きいので、リスク削減を優先すべきであろう。一方、漁獲計画 4 では経営リスクが小さいので、単価向上を優先しつつ、なるべく多くの施策を組み合わせることが効果的である。

後継者指標については、どの施策も漁獲計画 4 に効果的である。特に施策 F により単価を向上させると、NPV の期待値は 15%以上改善する。漁獲計画 1 でも、生単価向上や環境容量向上、コスト削減の順に効果を持つが、その改善度は小さい。

4．海域の漁業特性に応じた管理施策の検討

以上の分析結果をもとに、海域による漁業特性の違いを前提とした沿岸漁業経営全体の見地からの管理の方向性を考察する。具体的には、著者らが現場調査を実施した 3 つの海域（北海道オホーツク海域、青森県陸奥湾海域、長崎県大村湾海域）の特徴を参考に、表 3 のように沿岸漁業経営のタイプ分けを行い、各タイプごとに適した管理施策の組合せを検討した²⁰。

表 3 ナマコ漁業に係る沿岸漁業経営のタイプ

	経営の特徴	例	管理の方向性
沿岸漁業タイプ	ナマコ漁業からの収入が総収入の 8 割以上を占める専業漁業。総収入は地域の平均的雇用就業者よりも大きい。	オホーツク海域	すでに収入は十分大きいので、ブランド維持のためにも、生産量の安定性を高めることを優先
沿岸漁業タイプ	ナマコ漁業からの収入は全家計収入の 3~4 割で、主要な漁業種類ではあるが、他に	陸奥湾海域	ブランド維持のために生産量の安定性を重視しつつ、後継者確保のために収

	も太い副業漁業種がある専業漁業。総収入は地域の平均的雇用就業者の所得とほぼ同じ程度		入の安定性や漁場価値も重視。つまりバランスが重要。
沿岸漁業タイプ	ナマコ漁業は多様な漁業種類の一つで依存度が低く、また、漁業以外の収入が半分以上を占める第2種兼業漁業。	大村湾海域	主要な収入源は他で確保されているため、ナマコ漁業からはなるべく多くの収入を得ることを優先。

沿岸漁業タイプ の海域（例：オホーツク海域）では、既に高い総収入があり、またナマコへの依存度が高いため、漁獲計画4（折衷案）により安定的な生産および利潤を維持することにより、ブランド価値の確保と経営の安定性を高めることが重要である。しかし、2.(5)でまとめたように、漁獲計画4は生産量と収入の期待値が相対的に低いため、施策Fによる単価の向上と、施策Aによる環境容量の増大を中心に、実施に必要な費用を勘案しながら施策を組み合わせることも有効である。

たとえば施策Fについては、船上処理について検討の余地がある。枝幸漁協では、船上で組合指定の容器にできるだけたくさんの漁獲物を詰め込むが、氷や散水機等の使用による品質向上効果を検討することは有効であろう。また、加工について、現在は組合作成のマニュアルに従い、各漁業者が各自で所有する加工場で乾燥処理を行っている。今後は科学的な評価に基づいて、各漁業者が散在的に有している加工法を評価・共有することにより、組合の全体的な加工技術の底上げを図り、枝幸産乾燥ナマコの品質のばらつきを小さくすることも有効である²¹。また、上記の船上処理や加工法の改善について、成果に応じた奨励金や課徴金の導入など、経済的な手法の導入も検討できる。加工品の品質を組合や第三者機関が評価し、その認証をラベルとして製品に添付するといった手法や、製品のトレーサビリティの確保なども有効であろう。

一方、沿岸漁業タイプ の海域（例：大村湾）では、漁獲計画1（動的計画法）によってナマコからの期待利潤の最大化を優先することにより、総収入を高めることが有効であろう。総収入における漁業依存度が低いこと、および、ナマコからの収入の絶対額が小さいことを勘案すれば、なるべく費用のかからない施策をE、F、から選んで、単価向上とコスト低下のための取り組みを中心に行うことが効果的である。たとえば施策Eについて、公的資金の活用も視野にいれながら、漁業資本の共有やグループ操業などによるコストの削減も有効であると思われる。施策Fについては、大村湾産ナマコの場合は生食としての需要が大きいことから、公的試験研究機関とも連携して、鮮度維持技術の改善、衛生基準やトレーサビリティ・システムの導入などが考えられる²²。

沿岸漁業タイプ の海域（例：陸奥湾）では、効率性と安定性のバランスが重要である。貨幣的効率性の高い漁獲計画1を採用しつつ、安定性を高める管理を実施するか、あるいは、安定性の高い漁獲計画4の採用と同時に、収入の平均値を高める管理を導入すること

が有効である。副業漁業種の性質を踏まえて、収入の拡大を志向するのであれば前者、後継者確保を優先するのであれば後者を採用すべきであろう。なお、陸奥湾の川内町漁協では平成 15 年に突発的なホタテ大量斃死が発生したが、その損害を埋めるため、緊急避難的にナマコ総漁獲量を増加させたことにより、多くの漁業者が経営的窮地をしのごうができた。つまり、資源量の維持と操業の多角化という施策により経営の回復能力（レジリエンス）も高まったことが指摘できる^{2,3}。

5 . 結語

本研究は、全過程を貫く概念としての管理施策に着目し、定着性資源の一つであるナマコを対象に数理生物経済モデルを作成して、沿岸漁業の特性や管理の目的に応じた施策の優先順位と組合せを考察した。

ただし本稿で採用したモデルの型により、本稿の結果も大きく制約されている点は注意する必要がある。たとえば、資源動態式には齢構成をもたないロジスティック式を用いており、サイズ別の採り分け施策や、稚ナマコに特化した保護策等の効果を検討することができなかった。特にサイズ別の採り分け施策は、単価の向上と再生産の促進の両方に貢献する重要な施策であり、検討の必要性が高い。よって、現在著者らは青森県 B 海域でサイズ別資源動態調査を実施している。データの蓄積を待って齢構成モデルの構築を試みたい。

また、生産関数が推定できなかったため、施策 C と D の違い、すなわち入口管理（漁獲圧の管理）と出口管理（漁獲物の管理）の効果の違いも明示的に分析できなかった。この違いは、今後日本の沿岸漁業管理を国際的文脈で比較・検討する際に特に重要な分析視点になると考える。特に、単純な構成の資源を対象にした漁業の管理と、多様な生物学的性質や市場価値を有する多数の資源を対象にした漁業の管理について、管理の効率性や有効性、さらには生態系に及ぼす影響などの定量的分析を進めたい。

本稿で行った管理の海域間比較においては、青森県 A 海域の資源動態式を全ての沿岸漁業タイプにあてはめて議論している。しかし、ナマコの生物学的特性には地域差も存在するため、これらの生物的特性の違いが、現場での管理施策の選択にどのような違いを生むのかという視点は、本研究の枠組みをナマコ以外の生物に一般化していく上でも重要である。

同様に、各施策とパラメータとの関係についても、自然科学的知見に基づき、さらに細かい検討が必要である。各管理施策の効果予測に関する自然科学的知見が整備されれば、コストと効果の比較など、「管理の評価」の側面を含めた検討が可能となる。ナマコ単価についても、需給分析などより詳しい考察が必要であろう。

最後に、本稿のモデルには空間的要素が考慮されていない。このモデルを沿岸漁業管理汎用モデルに拡張していくためには、産卵場・育成場・漁場の違いや、近隣海域とのリンクなどの空間的要素をいかに組み込んでいくか、が大きな理論的課題である。

<本研究は農林水産技術会議事業「乾燥ナマコ輸出のための計画的生産技術の開発（平成19～21年度）」の成果の一部を加筆・修正し、論文としたものである>

1 水産総合研究センター(2009)『我が国における総合的な水産資源・漁業の管理のあり方』および、その解説である牧野光琢(2009)『「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理のあり方」について』(水産振興 504号)。

2 「漁業管理」と「資源管理」の定義については、牧野光琢(2007)「順応的漁業管理のリスク分析試論」漁業経済研究 52(2): 49-67の注1を参照。また、近年の漁業管理理論の国際的動向については Grafton R.Q. et al. (2010) *Handbook of Marine Fisheries Conservation and Management* (Oxford University Press)。

3 同旨の海外文献としては、Carles A. (2001) *Sustainable Fishery Systems*, Blackwell Science、および、Charles A. (2007) *Adaptive Co-management for Resilient Resource Systems*, (Armitage et al. eds.) *Adaptive Co-management*, University of British Columbia Press, pp83、など。

4 不確実性下の意思決定に関する経済理論は Dixit A. K. and Pindyck R. S.(1994) *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press が詳しい。不確実性下の再生産性資源利用については、Conrad J.M. and Clark C.W. (2002) *Natural Resource Economics*, Cambridge University Press、や Clark C.W. (2005) *Mathematical Bioeconomics* (Second Edition), Wiley Inter-Scienceなどを参照されたい。水産資源学的な側面からアプローチしたものとしては、山川卓(2005)「長期的な漁獲圧の調節システム」(青木・二平・谷津・山川編『レジームシフトと水産資源管理(水産学シリーズ147)』恒星社厚生閣、p61-71、や、Oyamada S., Ueno Y., Makino M., Kotani K., Matsuda H. (2009) Bio-economic assessment of size separators in Pacific saury fishery, *Fisheries Science*, 75: 273-283、などがある。なお、国際捕鯨委員会(IWC)においては不確実性下の鯨類資源管理戦略に関する議論が長年続けられている(桜本和美(1998)『漁業管理のABC-TAC制がよくわかる本』成山堂書店、田中栄次(2002)「IWC改定管理方式」(加藤秀弘・大隅清治編)『鯨類資源は持続的利用可能か』生物研究社、p45-49)。さらに近年は、複数の管理戦略の中から最も不確実性に頑健な方策を選択するための方法論として、Management Strategy Evaluation という手法も発展している(Holland D. S. (2010) *Management Strategy Evaluation and Management Procedures: Tools for Rebuilding and Sustaining Fisheries*, OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers, No. 25, OECD Publishing)。

5 日本産乾燥ナマコの中国における流通については、廣田将仁(印刷中)「ナマコ流通の動態と供給体制の対応に関する研究」を参照

6 代表的な文献として、増田洋(1973)「ホタテガイ養殖経営の存立基盤と発展条件 むつ湾奥内地区とサロマ湖・佐呂間地区を事例として」北日本漁業 5: 84-98、富士昭(1979)「沿岸域利用からみたホタテガイ養殖」北日本漁業 10: 11-17、島秀典(1981)「ホタテガイ増養殖地帯における漁場利用と生産共同化: 猿払漁協の事例から」漁業経済研究 26(1/2): 11-44、宮沢晴彦(1983)「北海道におけるホッキガイ桁網漁業の漁業管理と漁場利用」北日本漁業 13: 12-29、佐久間美明(1990)「漁業管理の合意形成条件について - 磯部漁協を事例として - 」漁業経済研究 34(3): 26-51、境一郎(1992)「オホーツク沿岸におけるホタテガイの漁業管理」漁業経済研究 37(1): 1-31、本多剛・木俣昇(2002)「北海道渡島支庁におけるホタテガイ *Patinopecten yessonensis* 養殖業の目標生産量およびその配分システム」日本水産学会誌 68(5): 679-684、など。

7 赤嶺淳(2010)『ナマコを歩く』新泉社。

8 資源動態モデルの種類や推定法については、赤嶺達郎(2007)『水産資源解析の基礎』(恒

星社厚生閣。

9 補足資料 1 参照。

10 川内町漁業協同組合『業務報告書(平成 18-20 年)』。廣田(印刷中)によれば、現在は需要増により価格は下がりにくい状況である一方、市場での価格も上限に達していることから、当面の間は生産量が原料単価に影響を与えにくいと考えられるため、本稿では単価を一定と仮定した。今後は、需給に基づく価格形成の分析と、その資源動態モデルとの連結も重要である。

11 ナマコは比較的集性の強い資源なので、資源水準が良好であればこのモデルでも大きな問題は生じにくい。資源水準が低い場合には大きな失敗につながる可能性が高い。

12 補足資料 2 参照。

13 漁獲量一定計画は、現場で最も導入しやすい漁獲計画である。また、たとえ漁獲量一定計画に基づいて管理されている現場であっても、明らかに資源水準が低下した場合には、漁獲量の改訂を行うことが普通である。よって、この漁獲量をどの水準で固定すべきか、それをどのような基準で決定すべきか、この水準を定期的・順応的に改訂する場合は何年おきにどのように実施すべきか、などの点については、重要な分析視点である。

14 本モデルでは、各年の誤差項が互いに独立であるという仮定を置いているが、現実には漁海況変動による不漁は数年続く場合も多い。

15 本稿では、現場の漁協レベルでの管理意思決定に直接的に資することを目的に、漁業者らが直感的に分かりやすい指標を設定した。この他にも、枯渇した資源の回復速度、雇用数、地域の経済波及効果、仕向け多様性など、多くの指標が考えられるが、現場のニーズや資源の状況に応じた指標設定が重要である。漁業管理の目的における人間社会面の指標について考察した海外文献としては、Rice J.C. and Rochet M.J. (2005) *A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management*. *ICES Journal of Marine Science* 62: 516-527 や、De Young C., Charles A. and Hjort A. (2008) *Human dimensions of the ecosystem approach to fisheries: an overview of context, concepts, tools and methods*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 489. Rome などを参照。

16 漁船など固定資本の減価償却期間と、世代交代に係る期間を勘案し、20 年間という年限を設定した。なお本稿のモデルでは、この期間が長くなるほど、より安定性の高い管理が志向される結果となった。

17 牧野光琢(2007) 順応的漁業管理のリスク分析試論、漁業経済研究 52(2): 49-67 を参照。将来の利潤の変動が大きいほど、ペナルティーとして高い割引率を適用することにより、将来の利潤を低く評価するという考え方に基づいている。

18 表 2 の各管理施策の効果に関する研究は多く存在する。たとえば、A の干潟修復に関するものとして、細川恭史(1997)「干潟の創造・修復の技術と課題」水産工学 34: 93 - 103。B の種苗放流については注 6 の文献。また漁場(藻場)造成に関するものとして川俣茂(2001)「北日本沿岸におけるウニおよびアワビの接触到及ぼす波浪の影響とその評価」水産総合研究センター研究報告 1: 59-107。C・D に係る漁獲計画や漁獲管理については、漁業経済学会(2005)「第 3 章: 漁業管理」、『漁業経済研究の成果と展望』成山堂書店、や、漁業経済学会(2006)『漁業管理の現状と課題 TAC と TAE を中心として(第 54 回大会シンポジウム特集号)』漁業経済研究 52(2)など。E の協業化やプール制については、注 6 の文献の他、松井隆宏(2006)「プール制における水揚量調整の意義 駿河湾サクラエビ漁業を事例に」漁業経済研究 52(3): 1 - 20。F の加工・流通やブランド化については、漁業経済学会(2005)「第 5 章: 流通・加工・消費」、『漁業経済研究の成果と展望』成山堂書店、や、濱田英嗣(2008)「価格プレミアムとリピーター顧客の存在を目指す水産物ブランド試論」漁業経済研究 54(1): 19 - 34 など。F の管理組織について、特に漁協による沿岸漁業管理については、漁業経済学会(2005)「第 4 章第 1 節: 組織論 漁協組織研究の論点」、『漁業経済研究の成果と展望』成山堂書店、など。

¹⁹ 種苗放流などの資源添加施策が、内的自然増加率(r)の増加につながるという見解もある。しかし本稿では、資源添加は加入量の極端な低下を防ぐことを目的とした施策、つまり資源変動の平準化のための施策として位置付けた。今後、ナマコ種苗放流効果の推定など実証研究の蓄積を待って、さらにモデルを修正していきたい。また、CとDの違い、すなわち、入口管理(漁獲圧の管理)と出口管理(漁獲物の管理)の違いの重要性については、5. 結語において言及する。

²⁰ 2009年2月および7月に、北海道の枝幸漁協、宗谷漁協、猿払漁協など、オホーツク海域のナマコ漁業者、組合職員、北海道宗谷支庁稚内地区水産技術普及指導所枝幸支所職員に聞き取り調査を実施した。2009年2月および8月に、青森県陸奥湾の川内町漁協、むつ漁協、野辺地漁協、横浜漁協、蓬田漁協において、ナマコ漁業者、組合職員、青森県水産総合研究センター職員らに聞き取り調査を実施した。2009年6月および9月に、長崎県西彼杵郡の大村湾漁業協同組合、長崎県庁水産部、佐世保市水産センターで聞き取り調査を行った。

²¹ 漁獲後の保存法や加工法が乾燥製品に与える影響に関する分析として、成田正直(2009)「国内産乾燥ナマコの性状と化学成分」日本水産学会秋季大会口頭発表。

²² 青森県野辺地漁協では平成19年より生鮮ナマコにトレーサビリティシステムを導入し、QRコードにより生産者の氏名、顔写真、船名、漁法などが表示される

²³ レジリエンス概念の、社会および生態系への適用については、Walker B., Holling C. S., Carpenter S. R., Kinzig A. (2004) Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9(2): 5、を参照。