

北海道北部沿岸域のマナマコ資源管理の漁獲限度量の設定における自然増加量の利用可能性

佐野 稔*

北海道立総合研究機構栽培水産試験場

Availability of natural increases for defining catch limits of sea cucumber *Apostichopus armata* in northern Hokkaido coastal areas

MINORU SANO*

Mariculture Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan

Population size, catch, and natural increase in the sea cucumber *Apostichopus armata* were estimated in three coastal areas of northern Hokkaido, Japan, based on dredging data (swept-area method) collected between 2008 and 2017. Natural increase was estimated as the difference in the population sizes of the two annual cohorts, where the population size of the second cohort was the difference between the overall population size and catch of the previous year. The results showed that population size decreased annually in areas where the mean annual catch exceeded the annual natural increase. Conversely, the population size increased every year in areas where the mean annual catch was less than that of natural increase. Therefore, stock managers can use natural increase to define catch limits for *Apostichopus armata*.

キーワード： *Apostichopus armata*, 自然増加量, 資源管理, なまこけた網, マナマコ, 北海道, 面積密度法

北海道においてマナマコは重要な水産資源である。北海道における本種の漁獲量は2023年では年間1,779 t, 漁獲金額は87億円である(北海道2023)。本種は太平洋側の一部の海域を除いてほぼ全ての沿岸域に分布し, なまこけた網やたも網などで漁獲されている。北海道のマナマコ漁業は天然の再生産に依存しているため, 持続的利用には適切な資源管理が必要である。本種の資源管理は, 漁業協同組合やその支所が自主的に行っている。マナマコ漁業者は漁業協同組合や支所を単位にした集団(なまこ部会)を結成し, 入口管理である保護区の設定, 漁期の制限, 操業時間の制限や, 出口管理である漁獲された個体の体重の制限, 漁獲量の制限などを決めて実行している。客観的なデータに基づくマナマコの資源評価は, 本種のこのような資源管理の推進に必要である。

マナマコは雌雄異体であり, 浮遊卵, 浮遊幼生を経て着底して底生生活を行う。北海道において本種は潮下帯から水深40 m付近までの砂礫底や岩盤域に生息する(高橋, 2003)。本種の年齢形質は把握されておらず, 寿命は

明らかでない。本種は高水温期に体重を大幅に減少させて休眠状態となるため, 体重は季節的に増減を繰り返しながら増加していくが, 地域によってその成長パターンは大きく異なることが示されている(五嶋, 2012)。北海道北部の漁港内に設置した籠に, 1個体ずつ収納して飼育した結果では, マナマコの成長は個体差が大きいことが示されている(田園ら, 2016)。そのため, 魚類で行われているような寿命や年齢組成, 成長をもとにした資源評価は困難である。

佐野ら(2011)は, マナマコの資源評価手法として漁業情報を用いた面積密度法による高精度な資源量推定方法を開発した。この方法は, 全てのなまこけた網漁船の曳網ごとの漁獲量と, そのときの曳網航跡情報を組み合わせて漁期初めの資源量を推定する方法であり, 漁場全域に配置した各グリッドの分布密度を利用することから従来型のDeLury法(DeLury, 1947)よりも資源量の推定精度が高いのが特徴である。漁業者自らが収集した情報による高精度な資源量推定方法は, 漁業者が自主的資源

管理を進める上で、円滑な合意形成に資するものと考えられる。さらに、本資源量推定方法をもとに、情報通信技術を活用して漁業情報を収集して自動的に資源量を推定して資源評価を行うマナマコ資源管理支援システム（北海道マナマコ資源管理技術開発共同研究機関，2014）が開発されており、北海道北部の日本海側に位置する留萌市の新星マリン漁業協同組合留萌支所では、本システムを導入してマナマコの資源管理を推し進めている（佐野，2018）。

Russellの方程式（Russell, 1931）では、ある漁期における資源量の変化を ΔB とすると下記の関係式が成立する。

$$\Delta B = A + G - V - C$$

A は若齢個体の資源への加入量， G は資源内での個体の成長による総重量， V は漁業以外の原因による自然死亡率， C は漁獲量である。そして、前3者は以下の式でまとめられる。

$$P = A + G - V$$

P は自然増加量と呼ばれている。そして、 $P > C$ ならば資源量は増加し、 $P < C$ で減少、 $P = C$ で安定となる。前述の漁業情報を用いた面積密度法では、当年の初期資源量が高い精度で把握できる。そのため、当年の初期資源量と当年の漁獲量との差から当年の獲り残し量を計算可能である。翌年の初期資源量とこの獲り残し量の差から、漁期後から翌年の漁期初めまでの自然増加量 P を把握できる。

マナマコの資源量を維持して持続的に利用するには、自然増加量を上回らない漁獲量であることが必要である。Russellの方程式のとおり、自然増加量が推定できればマナマコ漁獲限度量の設定に利用できると思われる。そこで、本報告では北海道北部の3地区におけるマナマコの自然増加量と漁獲量の関係を把握し、自然増加量を利用した漁獲量規制の利用可能性について考察する。

なお、本論文のマナマコの学名は既報（佐野ら，2011）に準じて学名を*Apostichopus armata* Selenka, 1867とした。

試料及び方法

面積密度法によるマナマコの資源量推定は、北海道北部沿岸域の3地区において2008年から2017年にかけて行

った（Fig.1）。なお、現在マナマコは高単価で取引されており、密漁の被害が発生している。そのため、密漁を防ぐために、詳細な海域を示さずに匿名のa地区、b地区、c地区とした。これら地区のなまこけた網漁業の概要と資源管理の取り組みをTable 1に示す。

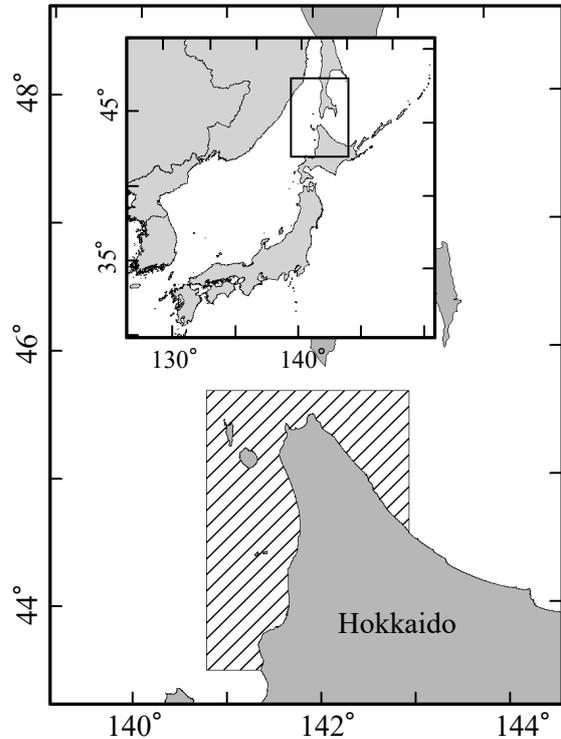


Fig.1 Location of the study site within the hashed rectangle

漁業情報を用いた面積密度法は佐野ら（2011）の手法を用いた。本手法の仮定は下記の通りである。

- ①漁期中は、漁場内外でのマナマコの移出入による加入はない。
- ②漁期中は、漁場内のマナマコの個体の成長による加入はない。
- ③漁期中のマナマコの自然死亡は無視できる。
- ④漁期中のマナマコの成長は無視できる。
- ⑤1曳網あたり漁獲量はマナマコ資源量に比例する。
- ⑥なまこけた網の漁具能率は一定であり、漁獲効率は1とする。すなわち、漁具が通過した場所のマナマコ

Table 1 Sea cucumber *Apostichopus armata* fishery data and stock management in three coastal areas (a, b, and c) of the northern Hokkaido

Items	a	b	c
Number of ships with dredge nets for sea cucumber	1	6	16
Fishing season	16 Jun - 30 Sep	1 Jul - 31 Aug	16 Jun - 31 Aug
Upper catch limit (ton) per boat	no limit	4.7	5 (2008–2009) 3 (2010–2013)
Minimum weight of individuals at capture (g)	100 (2008–2011) 120 (2012–2015)	130	100 (2011–2012) 130 (2013–2017)

は全て漁獲される。

⑦なまこけた網は漁船の真下で曳網する。

なまこけた網漁船の漁獲量, 曳網開始時刻, 曳網終了時刻, 緯度経度の時系列データの収集には, 操業日誌とデータロガー (和田ら, 2005) を用いた。なまこけた網漁船の漁業者は操業日誌の記録を行い, 漁船にはデータロガーを搭載した (佐野, 2013)。操業日誌には, 曳網のたびに曳網開始時刻, 曳網終了時刻, その時の漁獲量を記録した。データロガーは, なまこけた網漁船のGPSから出力されるNMEA信号をテキスト形式でコンパクトフラッシュに記録できる装置である。漁船によりNMEA信号の出力間隔は異なるが, 1-3秒間隔で時刻, 緯度経度を記録した。これら漁獲量, 曳網開始時刻, 曳網終了時刻,

緯度経度の時系列データを漁期後に回収した。なお, 一部の地区では, これらデータを携帯電話回線で陸上のデータベースサーバへ送信するデジタル操業日誌 (和田, 2014) とデータロガー (和田ら, 2005) を用いて, これらデータの収集を行った。

これらのデータ処理には地理情報システム (ArcGIS, ESRI inc.) を用いた (Fig.2)。操業日誌の曳網開始時刻, 終了時刻をもとに漁船の緯度, 経度, 時刻の時系列データから, 曳網中の緯度経度の時系列データを抽出した。これをGIS上でポイントフィーチャにした後, 時系列にそってラインフィーチャにし, 最後になまこけた網の幅を用いてバッファの作成を行いポリゴンフィーチャとした。これら一連の処理には, ArcGIS標準搭載ツールとETGeo

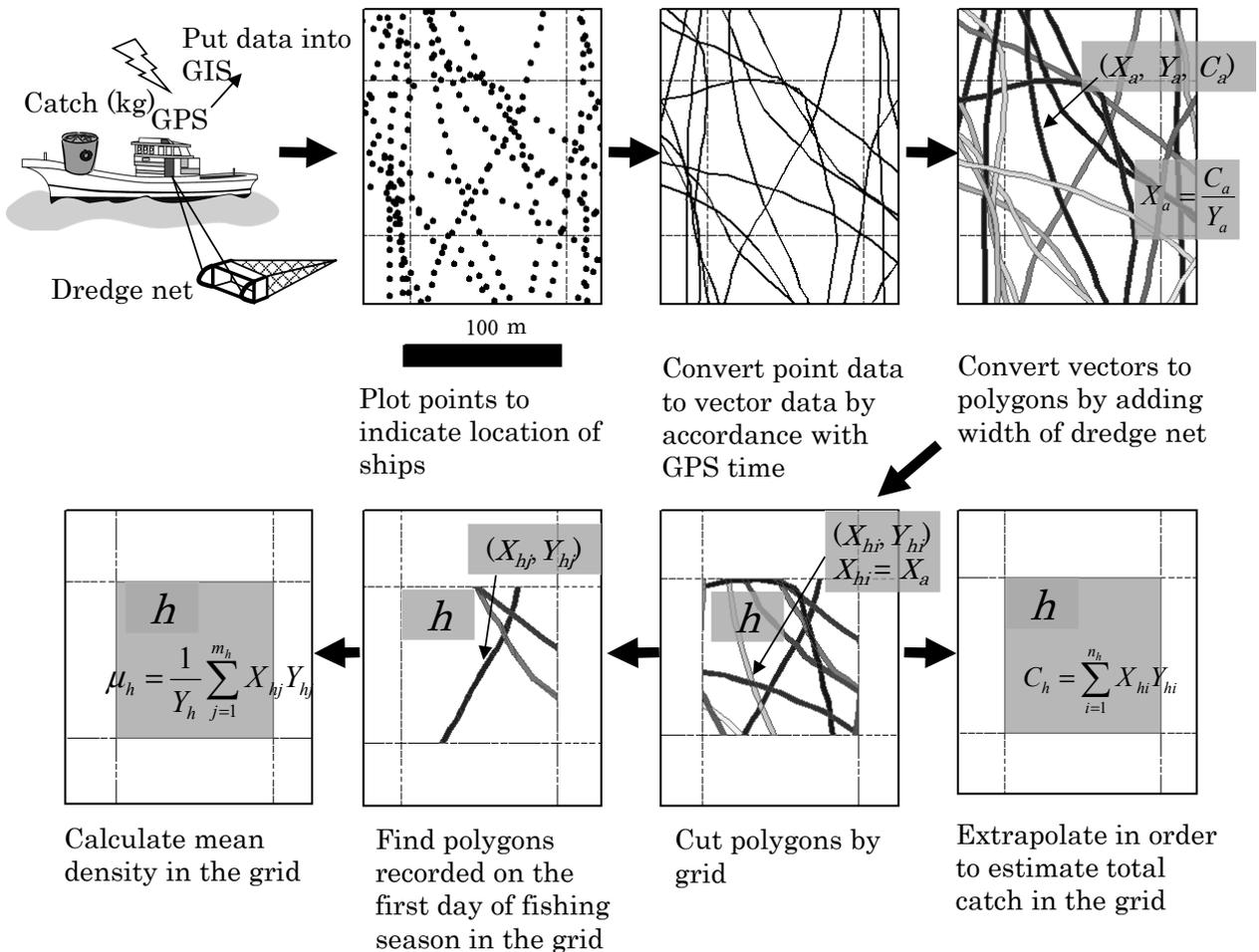


Fig.2 Spatial data methodology for calculating mean sea cucumber *Apostichopus armata* density and total sea cucumber catch in a grid. n : number of polygons. X_a : density (kg/m²) of the catch in the polygon a ($a = 1, 2, \dots, n$). Y_a : dredged area (m²) in polygon. C_a : catch (kg) in polygon. L : number of grids. n_h : number of selected polygons in the grid h ($h = 1, 2, \dots, L$). X_{hi} : density of selected polygon i in the grid h ($i = 1, 2, \dots, n_h$). Y_{hi} : area of the selected polygon i in the grid h . Y_h : total area of polygons in the grid h . C_h : total catch in the grid h . m_h : number of polygons recorded on the first day of fishing season in the grid h . X_{hj} : density of polygon j recorded on the first day of fishing season in the grid h ($j = 1, 2, \dots, m_h$). Y_{hj} : area of polygon j recorded on the first day of fishing season in the grid h . μ_h : mean density (kg/m²) in the grid h . Grid size was 100 m x 100 m. Modified from Sano *et al.* (2011)

Wizards (ET Spatial Technique) を用いた。これにより曳網ポリゴンフィーチャにおけるマナマコの分布密度 (X_a , 単位は $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) を下記の式で求めた。

$$X_a = \frac{C_a}{Y_a}$$

ここで、曳網ポリゴン a の漁獲量を C_a ($a = 1, 2, \dots, n$, n は曳網ポリゴン数, 単位は kg), 曳網ポリゴン a の面積を Y_a (m^2) とする。

次に全曳網ポリゴンを $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ のグリッドごとに切り分けて、総漁獲量を推定した。グリッド数を L とし、総漁獲量 (C_h , 単位は kg) を下記の式で求めた。

$$C_h = \sum_{i=1}^{n_h} X_{hi} Y_{hi}$$

$$X_{hi} = X_a$$

ここで、グリッド h ($h=1,2,\dots,L$) における曳網ポリゴン数を n_h , グリッド h 内の曳網ポリゴンの断片 i のマナマコ密度を X_{hi} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), グリッド h 内の曳網ポリゴン断片 i の面積を Y_{hi} (m^2) とした。曳網ポリゴン a の断片が曳網ポリゴン断片 i である場合、断片 i の密度は断片前の曳網ポリゴン a の密度 X_a を用いた。ただし、本手法は面積密度法をもとにしているため、漁場の面積が変わると資源量が変わる。そこで、経年的に資源量を比較できるようにする

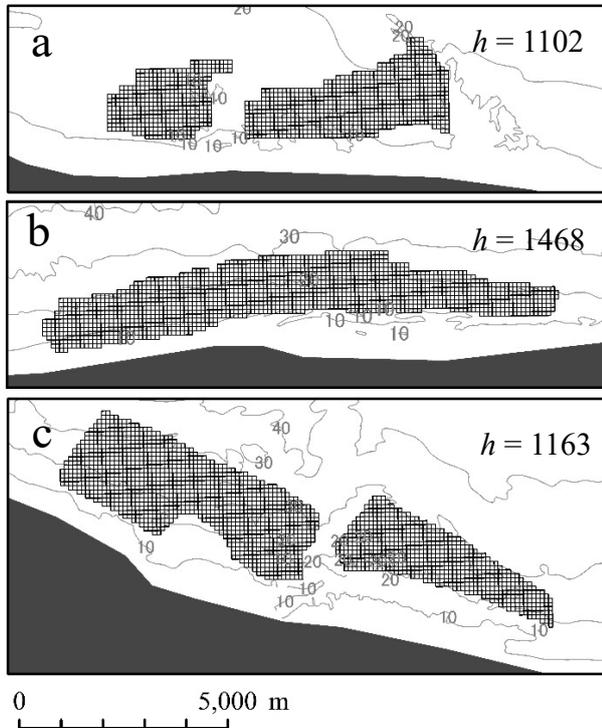


Fig. 3 Stock assessment sites (grids) in the three coastal areas (a, b, and c). Grid size was $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$. h : number of grids. Numerals on bathymetric contours indicate depth in meters.

ために、地区別に資源量推定漁場を固定した (Fig. 3)。

曳網ポリゴン断片のマナマコ密度を用いて、各地区における y 年の漁期初めの資源量 (以下、初期資源量 $N_{0,y}$ とする) を推定した。資源量推定漁場の各グリッドにおいて、曳網面積の合計値が5% (500 m^2) 以上のグリッドについて、漁期中に初めて曳網した日の曳網ポリゴンの断片を抽出した (Fig. 2)。グリッド h における曳網初日の曳網ポリゴン数を m_h とし、これら曳網ポリゴンの断片 j のマナマコ密度 (X_{hj} , 単位は $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) と面積 (Y_{hj} , 単位は m^2) から、グリッド h における漁期初めのマナマコ密度の平均 (μ_h , 単位は $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) を下記の式で求めた。

$$\mu_h = \frac{1}{Y_h} \sum_{j=1}^{m_h} X_{hj} Y_{hj}$$

これをもとに、資源量推定漁場のマナマコの初期資源量推定値 ($N_{0,y}$, 単位は kg) を下記の式で求めた。

$$N_{0,y} = \sum_{h=1}^L \mu_h \times 100^2$$

ここで 100^2 は1つのグリッドの面積である。

資源量推定漁場の自然増加量を求めるために、資源量推定漁場から最終的に出荷した数量を推定した。漁業者が船上で操業日誌に記録した合計漁獲量に比べて最終的に出荷する数量 C_y (y は年, 単位は kg) は少ない。それは、出荷する際に傷のついた個体など製品にならないものを漁場に放流するためである。 C_y は調査対象地区の水揚げ伝票より把握した。 y 年の資源量推定漁場における出荷数量 (C'_y , 単位は kg) を下記の式で推定した。

$$C'_y = C_y \times \frac{\sum_{h=1}^L C_h}{\sum_{a=1}^n C_a}$$

これをもとに、 y 年から $y+1$ 年にかけての自然増加量 P_{y+1} (単位は kg) を下記の式で求めた。

$$P_{y+1} = N_{0,y+1} - (N_{0,y} - C'_y)$$

結果

a地区では、初期資源量は2008年に60.4 t, 2009年に62.6 tであったのが、増減を繰り返しながら低下して、2017年には16.2 tとなった (Fig. 4)。漁獲量は2012年に調査期間中で最高となる20.4 tに達した後、低下して2017年は4.0 tとなった。自然増加量は増減を繰り返しながら推移し、最高は2013年の27.7 t, 最低は2017年の-5.9 tであった。初期資源量が減少傾向であった2009年から2017年の漁獲量の年平均値は $11.9 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$ に対し、自然増加量の年平均値は $8.2 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$ であり、漁獲量は自然増加量を上

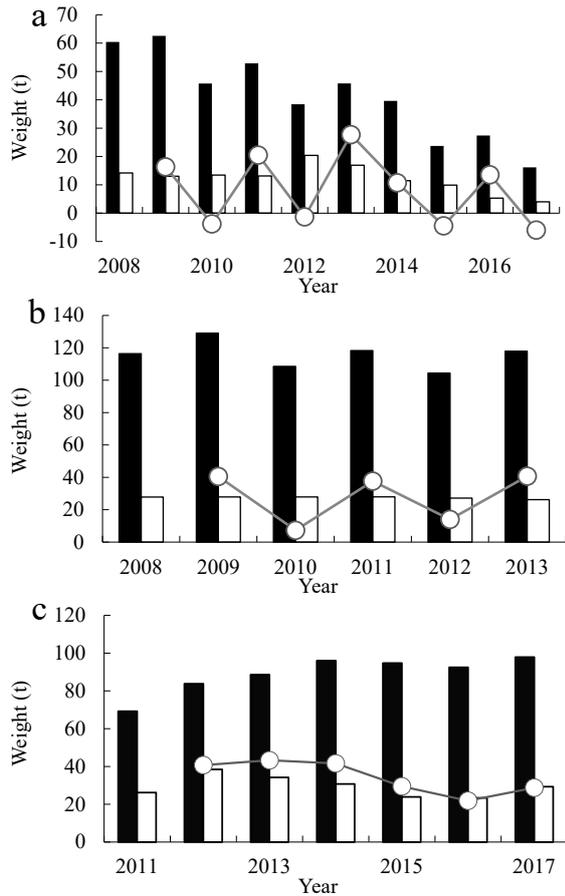


Fig. 4 Annual change in population size, total catch, and natural increase of sea cucumber *Apostichopus armata* populations in three coastal areas (a, b, and c) of northern Hokkaido. Solid bars: initial population size; open bars: total catch; open circles: natural increase.

回った。b地区において初期資源量は、104.3 tから129.1 tの範囲で増減を繰り返しながら横ばいで推移した。漁獲量は毎年ほぼ一定で26.2 tから27.9 tであった。自然増加量は増減を繰り返し、2010年に最も低い7.3 tであり、2013年には最も高い40.7 tとなった。2009年から2013年の漁獲量の年平均値は27.4 t・year⁻¹であり、自然増加量の年平均値は漁獲量を上回る28.1 t・year⁻¹となった。c地区では、2011年の初期資源量は69.3 tであり、その後増加して2017年の初期資源量は97.9 tに達した。2012年から2017年では漁獲量の年平均値は30.0 t・year⁻¹、自然増加量の年平均値は34.3 t・year⁻¹となり、漁獲量は自然増加量を下回った。

考 察

本研究の結果から、マナマコ資源において自然増加量を上回らない漁獲量であれば、初期資源量は年々低下しなかった。a地区では、調査期間中の漁獲量の年平均値が自然増加量の年平均値よりも多く、初期資源量が減少し

た。一方でb地区では、調査期間中の漁獲量の年平均値と自然増加量の年平均値がほぼ一致しており、初期資源量は横ばいで推移した。c地区では、調査期間中の漁獲量の年平均値は自然増加量の年平均値を下回った。この考えで資源状況を判断すると、a地区の漁獲量は過剰、b、c地区の漁獲量は持続生産量に収まっている。この自然増加量には、加入量、成長量、自然死亡量が含まれており、本資源量推定手法ではこれらを分離することは困難である。しかし、翌年の初期資源量から前年の初期資源量と漁獲量の差を引くことで直接自然増加量を推定することは可能であるため、漁獲量の管理には利用できると思われる。

自然増加量を上回らない漁獲量設定によるマナマコ資源管理では、漁獲限度量を設定する時期は自然増加量の予測データを入手できる時期によって異なる。過去の自然増加量しか利用できない場合には、過去の年平均値をもとに漁期前に決定することになる。本調査で得られた自然増加量は毎年一定ではなかったことから、単年の値では自然増加量を過大もしくは過小に評価してしまい、実効性のある漁獲量管理にはならない。a地区では、2008年から2017年の自然増加量の年平均値が8.2 tであったことから、漁獲量の年平均値がこの自然増加量の年平均値を上回らなければ資源量は減少しなかったと考えられる。また、b地区の自然増加量の経年変化を見る限り、4年以上のデータが必要かもしれない。一方で、漁期中にリアルタイムで自然増加量が把握できる場合には、漁期中に自然増加量を上回らない漁獲限度量を順応的に設定することができる。ただし、この場合には一例としてマナマコ資源管理支援システム（北海道マナマコ資源管理技術開発共同研究機関、2014）のような仕組みが必要になる。このシステムでは、漁期中に初期資源量を推定する操業データを収集し、処理、配信する。運用している留萌地区では16隻の漁船が1週間程度で漁場全体を曳網するので、漁期初日から1週間程度で初期資源量が把握できる。漁期は1~2ヶ月程度なので、漁獲限度量の設定には十分利用できる。また、過去の平均的な自然増加量を用いて漁期前にいったん漁獲枠を決め、1順目の操業結果から資源量推定を行って試算した自然増加量に基づいて、期中改訂を行うことも可能である。

本研究で用いた面積密度法による資源量推定方法では漁獲効率を1と仮定している。そのため、真の資源量よりも過小評価している。なまこけた網の漁獲効率を推定する手法（佐野ら、2013）はあるものの、本結果から漁獲効率を1と仮定して算出してもRussellの方程式により自然増加量を計算でき、この自然増加量を資源管理に利用することが可能であると思われる。また、本自然増加量では推定値のばらつきを漁獲量管理に利用していない。

それは、本面積密度法の資源量推定誤差が非常に小さい(佐野, 2011)ためであり、漁獲量管理の合意形成に支障をきたす精度ではないと思われる。

本結果より、マナマコ資源の漁獲限度量の設定において、自然増加量を指標にして漁獲量を抑制すれば資源の持続的利用が可能となることが明らかとなった。崔(1963)は、マナマコが平均 $140 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ で移動することを観察している。一方で、宮津湾(篠原ら, 2020)や横須賀市沿岸(菊地ら, 2018)では、漁期中に周辺からの移入があると考察している。本研究では、対象とした漁場全体の多地点から分布密度を把握していることから、漁場内外での本種の移出入は少ないと思われる。さらに、この1~2ヶ月程度の漁期の長さは、自然死亡および成長は無視できる範囲であると思われる。本資源量推定は、漁船の操業情報をもとに任意の時点の初期資源量を把握しているため、マナマコや貝類のように想定される移動範囲が漁場内に限られる資源については利用可能と思われる。一方で、広い海域を移動する魚類のような資源に適用するには、初期資源量の前提条件を満たすように空間範囲と時間範囲を設定して推定することが必要であろう。

謝 辞

本研究は、農林水産委託研究事業「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業」の「操業情報共有による北海道マナマコ資源の管理支援システム開発とガイドラインの策定(平成23~25年度)」を活用した成果である。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- DeLury DB. On estimation of biological populations. *Biometrics*. 1947; 3:145-167
- 五嶋聖治. 第2章 生態「ナマコ学 - 生物・産業・文化 - (高橋明義, 奥村誠一共編)」。成山堂書店, 東京. 2012; 19-34.
- 北海道. 北海道水産業・漁村のすがた2023 ~北海道水産白書~, 北海道. 2023.
- 北海道マナマコ資源管理技術開発共同研究機関. 北海道マナマコ資源管理ガイドライン. 北海道. 2014.
- 菊池康司, 小林美樹, 秋元清治. 横須賀市東部漁協横須賀支所におけるマナマコの資源管理について. 神奈川県水産技術センター研究報告 2018; 9: 1-4.
- Russell E S. Some theoretical considerations on the "overfishing" problem. *J.Cons. Int. Explor. Mer.* 1931; 6: 3-20.
- 崔 相. 「なまこの研究 - マナマコの形態・生態・増殖 -」海文堂, 東京. 1963.
- 篠原義昭, 澤田英樹, 鈴木啓太. 宮津湾におけるマナマコの資源評価と資源管理. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2020; 42: 1-7.
- 佐野 稔. 漁業者の合意形成に資するマナマコ高精度資源評価システム. *水産海洋研究* 2013; 77: 327-328.
- 佐野 稔, 前田圭司, 高柳志朗, 和田雅昭, 畑中勝守, 菊池 肇, 宮下和士. 北海道北部沿岸域におけるなまこけた網の漁獲効率の推定. *北水試研報* 2013; 84: 1-9.
- 佐野 稔, 前田 圭司, 高柳 志朗, 和田 雅昭, 畑中 勝守, 本前 伸一, 菊池 肇, 宮下 和士. 漁業情報を用いた北海道北部沿岸域におけるマナマコの資源量推定. *日本水産学会誌* 2011; 77: 999-1007.
- 佐野 稔. 漁業者が活用しているマナマコ資源管理支援システムとその展開. *日本水産工学会誌* 2018; 55(2) 145-148.
- 高橋和寛. マナマコ. 「漁業生物図鑑 新 北のさかなたち上田吉幸, 前田圭司, 嶋田 宏, 鷹見達也編, 永島敏博, 鳥澤雅監修」(北海道新聞社, 札幌. 2003; 408-409.
- 田園大樹, 合田浩朗, 中島幹二, 佐藤一, 永田淳人, 本前伸一. 籠中で飼育したマナマコの個体別成長とばらつき. *北水試研報* 2016; 90: 1-11.
- 和田雅昭. マナマコ資源回復へ~iPadを活用した漁業者主体の資源管理~. *豊かな海* 2014; 32: 1-5.
- 和田雅昭, 畑中勝守, 木村暢夫, 天下井清. 水産業における情報技術の活用について-I. 三次元海底地形図の取得と活用-. *日本航海学会論文集* 2005; 112: 189-198.