

宮津湾のマナマコ桁曳漁業における 操業データに基づく資源量推定方法の検討

篠原義昭, 澤田英樹*

Examination of resource estimation method based on operation data from daily report of dredge net fishing of Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* in Miyazu Bay

Yoshiaki Shinohara and Hideki Sawada*

For the resource management of Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* dredge net fishing in Miyazu Bay, simple method for estimating the amount of stock was required instead of the area-swept method. We examined the method based on the data of catch information recorded by the fishermen in the operation diary in 2018-2021 in conjunction with area-swept method. By area-swept method, it was observed that the amount of stock increased during fishing season for the cause of daily recruit by exudation to fishing ground and growth during fishing seasons in all years, and it was concluded that DeLury method was inapplicable. However, CPUE [ind./((h·fishing vessel)] showed flat or negative tendency throughout the fishing seasons in some years. It seemed that fishing ground selectivity of fishermen who preferentially tow the dense areas affect to CPUE, and the possibility was shown that the remaining amount of resource which didn't catch during fishing season could be estimated from CPUE at the end of fishing season.

キーワード：マナマコ, しみ出し, 成長, 面積密度法, CPUE, DeLury 法

若狭湾西部海域（通称丹後海）に位置する宮津湾（Fig.1）で冬期に桁曳網によって漁獲されるマナマコ *Apostichopus japonicus* は、夏期のトリガイ *Fulvia mutica* に並ぶ代表的な漁業資源である。近年、中国を中心としたマナマコの需要拡大に伴い、宮津湾においてもマナマコに対する漁獲圧が高まったと考えられ、2006年まで10 t以下であった年間の漁獲量は急激に増大し、2008年には約45 tにまで高まった。しかし、その後の漁獲量は急激に減少し、2015年には約7 tとなった。地元漁業者は、漁獲量の減少を受け、出荷量制限や出荷サイズの大形化などの資源管理に関する自主規制を強化してきた。出荷量制限では、2011年まで1人1日あたり一斗缶4杯（一斗缶1杯は概ね18 kg）までとされていたが、2012年には同3杯、2013年および2014年には同2杯とし、2015年以降は同1杯までとしている。サイズに関する規制では、2011年は体長15 cm以下のマナマコの漁獲を禁止していたが、2012年以降は湿重量制限に変更し、2012年は150 g以下、2013年は180 g以下、2014年は250 g以下、そして2015年以降は300 g以下のマナマコの漁獲を禁止している。漁期についても、2010年までは12月1日から4月30日まで解禁していたが、2015年以降は、1月中旬から4

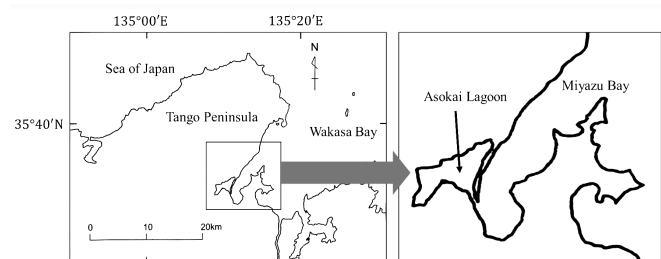


Fig. 1 Location of study.

月中旬までとして、1ヶ月以上短縮されている（篠原ら、2017）。筆者らは、宮津湾のマナマコ桁曳漁業終了直後に湾内複数箇所で一斉に桁曳網を曳網する調査（以下、面積密度調査）を実施し、曳網面積当たりの入網個体数から、面積密度法により獲り残されたマナマコの資源量を求め、京都府漁業協同組合が集計したその漁期の出荷記録から漁獲率を推定し、YPRおよび%SPR解析により資源状態を評価した。その結果、宮津湾における漁獲率は湿重量300 g以上のマナマコ資源量に対して30～40%程度と推定され、持続的な範囲で漁獲されていることを報告した（篠原ら、2019）。

資源管理に取り組むうえで、毎年の資源状態を継続的

* 京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所

*Maizuru Fisheries Research Station, Field Science Education and Research Center, Kyoto University

に把握、評価することが必要であり、調査に掛かる労力を軽減し、簡便化を図ることは重要と考える。上記の面積密度法に基づいた資源量の推定では、データの抽出誤差を少なくするために同時に多くの海域や水深帯で桁曳網を曳網する場合には、多くの人員と労力を要する。その点において、漁業者が日々記録する操業日誌などの漁獲情報を活用した資源量の推定が可能となれば、多くの人員と労力を必要とせず資源量を推定することができる。また、資源管理の効果の受益者が直接データを収集することから、持続的に資源評価を行いやすいと考えられる（佐野ら, 2011）。

漁獲データから資源量を推定する様々な手法が提案されているが、マナマコのように年級分けが困難な資源に対しては漁獲努力量当たりの漁獲量（以下、CPUE）をもとに DeLury 法を適用して、初期資源量が推定されることが一般的である。長崎県大村湾や神奈川県横須賀市において、DeLury 法によりマナマコの初期資源量が推定されている（松宮, 1984; 菊池ら, 2018）。一方で、畑中（1994）は、福井県小浜湾において、物理的に桁網を曳くことが出来ない構造物のある海域から桁曳網漁場にマナマコが移出する「しみ出し現象」により、漁期中における CPUE の低下が明確に表れず、DeLury 法の適用条件が満たされない可能性を指摘している。同じ若狭湾の西部海域に位置する宮津湾の桁曳漁業においても、しみ出し現象が CPUE を変化させ、DeLury 法による資源量推定が成立しない可能性がある。そこで本研究では、漁期中の宮津湾内のマナマコ資源量の変化を調べるため、2018 年から 2021 年のそれぞれの漁期の直前および直後の 1 日に、湾内複数地点にて面積密度調査を実施し、同種の分布密度および資源個体数を面積密度法により推定し、漁期前後の資源量の変化をみた。次に、宮津湾のマナマコの桁曳漁業における漁期中の CPUE の変化を把握するため、湾内で操業する漁船の約半数を対象に、漁獲可能サイズとなる 300 g 以上のマナマコの日別、曳網海区分別の 1 隻 1 時間あたりの平均の入網個体数（CPUE [個/時間/隻]）を調査した。さらに、操業日誌から得られた日々の CPUE と、面積密度法により推定した漁期前後の分布密度や資源個体数の変化を比較して、漁業者の漁場選択性が CPUE に与える影響について考察し、高精度かつ簡便なマナマコの資源評価手法について検討した。なお、マナマコは腹部の色彩などにより、種内変異としてアオ型、アカ型、クロ型の 3 つの色型に分けられていたが（崔, 1963）、近年の研究ではアカ型は遺伝的に異なる集団とする意見もある（Kanno *et al.*, 2006; Yamada *et al.*, 2009）。宮津湾には 3 つの色型とも生息しているが、アカ型は主に藻場内で水視漁法（磯見漁法）により漁獲され、アオ型、クロ型より漁獲量が少ないこと、桁曳網により漁獲されるのはアオ型、クロ型がほとんどであることから、本研究ではアカ型を資源量推定の対象とせず、

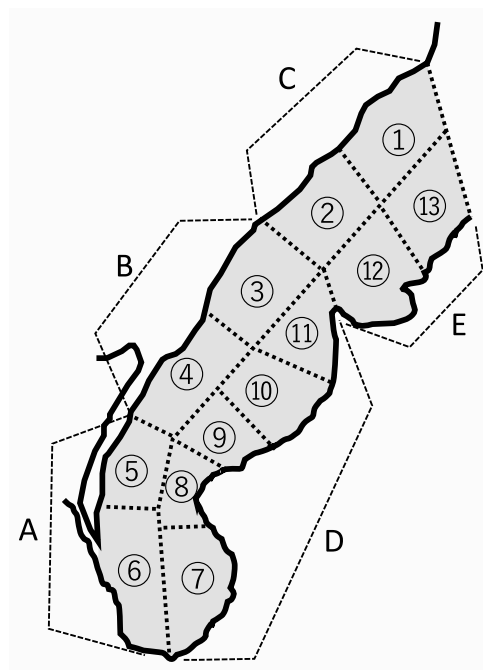


Fig. 2 For the area-swept survey, Miyazu Bay was divided into 13 sampling areas ①～⑬, and for the daily report survey, Miyazu Bay was divided into 5 sampling sections (A~E). Section A corresponded to ⑤⑥, section B corresponded to ③④, section C corresponded to ①②, section D corresponded to ⑦⑧⑨⑩⑪ and section E corresponded to ⑫⑬.

アオ型・クロ型の両者をマナマコとして区別せずに扱った（篠原ら, 2017）。

材料と方法

面積密度調査 調査は、2018 年～2021 年の漁期の前後に実施した。各年の漁期は、2018 年 1 月 19 日～4 月 16 日、2019 年 1 月 20 日～4 月 12 日、2020 年 2 月 1 日～3 月 20 日および 2021 年 2 月 2 日～3 月 31 日、調査日については、漁期直前が 2018 年 1 月 12 日、2019 年 1 月 10 日、2020 年 1 月 22 日および 2021 年 1 月 21 日、漁期終了後が 2018 年 4 月 17 日、2019 年 4 月 16 日、2020 年 3 月 25 日および 2021 年 4 月 2 日である。調査方法および資源個体数の推定方法は篠原ら（2019）の方法に準じた。すなわち、Fig.2 のように宮津湾を①～⑬の海区に分割し、5 名の漁業者が各漁船に搭載する魚群探知機を確認しながら、分担した海区の水深 5, 10, 15 および 20 m にて 10～15 分間桁曳網を曳網した。ただし、海区①②の水深 5 m および⑫⑬の水深 5, 10, 15 m 帯は岩礁帯であるため曳網しなかった。また他の地点でも気象条件により曳網が困難と判断した場合には曳網しなかった。漁船に同乗する調査員は、桁曳網の投入時刻および曳網終了時刻を記録した。また GPS 機器（GARMIN 社製 etrex 10J,

Foretrex301, etrex Vista HCx, GPSmap 62c) で調査中の漁船の航跡を全て記録した。調査員の記録した投入時刻、曳網終了時刻および GPS の位置情報から曳網距離を求め、漁船毎に使用した桁網の幅 (2.5-2.7 m) を乗じて曳網面積を算出した。曳網毎に入網した全てのマナマコの湿重量を測定した。各海域に設定した海区の 5 m および 10 m の水深で入網した 300 g 以上のマナマコの全個体数を、その曳網面積および曳網範囲内に分布したマナマコのうち入網したマナマコの割合を表す漁獲効率 (詳細は後述) で除して推定した分布密度に、同海域の水深 13 m 以浅の面積を乗じて、各海域の 13 m 以浅に分布したマナマコの個体数を推定した。同様に、15 m の水深帯の曳網から求めた分布密度には水深 13 ~ 18 m の面積を、20 m の水深帯の曳網から求めた分布密度には水深 18 m 以深の面積を乗じて、各海域・水深帯別に分布したマナマコの個体数を推定した。漁獲効率について、畑中 (1994) は福井県小浜湾においてマナマコの標識放流による再捕率からなまこごき網の漁獲効率を推定し、泥質の海域では 0.780, カキ殻が散在する海域では 0.555 とした。宮津湾のマナマコ漁場は砂質と泥質が卓越する平坦な海底であるため、本調査の漁獲効率には畑中 (1994) に倣って 0.780 を用いた。また、海域・水深帯別の漁場面積は篠原ら (2019) に従った。

操業日誌 2018 年から 2021 年の 4 年間に宮津湾で桁曳漁業によりマナマコを漁獲する漁業者 10 ~ 11 名に操業日誌の記録を依頼した。なお、湾内でマナマコ桁曳漁業に従事する漁業者は 20 名前後である。宮津湾を Fig.2 の海区 A ~ E に分割し、漁業者が 1 回の曳網毎に、その曳網時間 [分], 曳網した海区, 入網した 300 g 以上のマナマコの個体数を記録した。なお、海区 A が面積密度調査における海区⑤⑥, B が③④, C が①②, D が⑦⑧⑨⑩⑪, E が⑫⑬と対応する。

操業日・海区ごとの全標本船の総曳網時間と総入網個体数から、単位曳網時間当たりの入網個体数 (CPUE) [個体 / 時間 / 隻] を算出した。詳細は後述するが、各年ともに解禁後 10 日間程度急激に CPUE が低下したのち安定したことから、解禁後 10 日間の CPUE の値を除いて、Microsoft Excel の近似機能により、海区毎の操業日と CPUE との関係を示す回帰直線を求め、年・海区ごとの日々の CPUE の変化傾向を調べた。

結 果

面積密度調査 300 g 以上のマナマコの曳網海区 (A ~ E) 別の 2018 ~ 2021 年漁期前後の密度変化を Fig.3 に示す。2018 ~ 2020 年の海区 B および 2021 年の海区 E 以外のすべての年・地点において、漁期前に比べて漁期後の密度が高かった。得られた海区および水深帯毎の密度と、それぞれに対応する漁場の面積から求めた各海区の漁期前後の資源個体数を Table 1

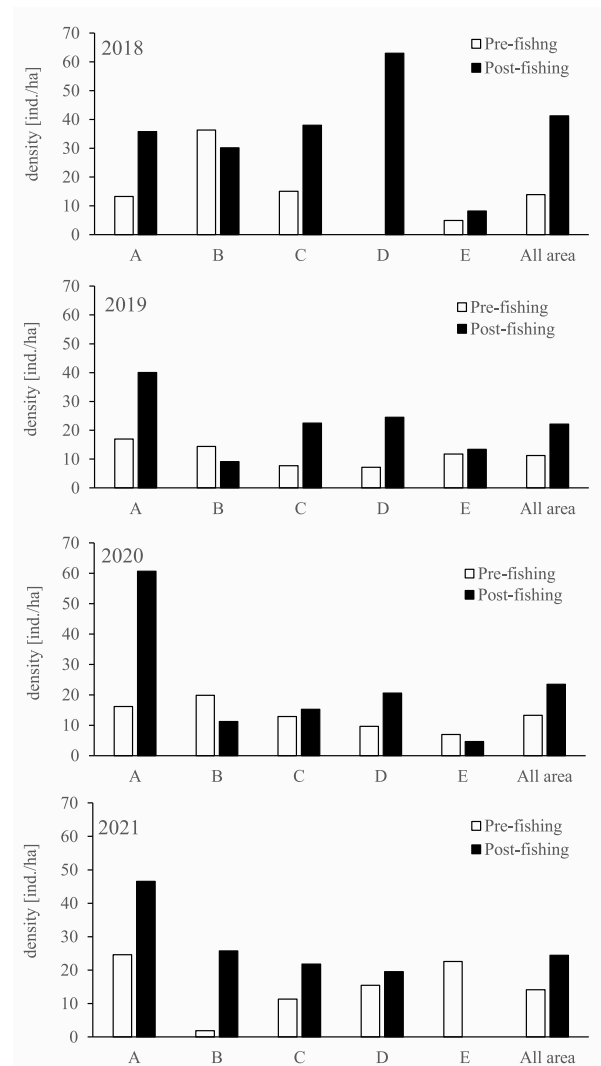


Fig. 3 Comparison of sea cucumber density at pre- and post-fishery season of 2018-2021 at each area by area-swept method.

に示す。調査したすべての年において、全域を対象とした資源量は漁期前より漁期後に増加した。

各調査で入網したすべてのマナマコの 1 階級 50 g 間隔の湿重量の組成を Fig.4 に示す。すべての年において、平均湿重量は漁期前より漁期後に増加した。また、漁期後の調査において、漁期前の調査ではほとんど入網しなかった 700 g を超える大型の個体が入網した。

操業日誌 標本船による操業日別・曳網海区別の総曳網時間の推移を Fig.5 に示す。すべての年において、漁期の序盤は海区 A および B が主要な漁場となり、後半は海区 D での操業が多くなる傾向が見えるが、後半においても海区 A および B での操業も行われており、湾奥～湾央 (海区 A, B, D) にかけては漁期中に広く利用されていた。一方で、湾口部 (海区 C, E) は、湾奥・湾央に比べるとあまり利用されなかった。

年別・海区別・操業日別の 300 g 以上のマナマコ

Table 1 Abundance of the Japanese sea cucumber stock and daily change of abundance of each fishery seasons in Miyazu Bay estimated in the pre and post fishery seasons of 2018-2021.

Section	Depth [m]	Area [10 ⁶ m ²]	2018		2019		2020		2021	
			1/12	4/17	1/10	4/16	1/22	3/25	1/21	4/2
			Pre-fishing abundance [10 ³ ind.]	Post-fishing abundance [10 ³ ind.]	Pre-fishing abundance [10 ³ ind.]	Post-fishing abundance [10 ³ ind.]	Pre-fishing abundance [10 ³ ind.]	Post-fishing abundance [10 ³ ind.]	Pre-fishing abundance [10 ³ ind.]	Post-fishing abundance [10 ³ ind.]
A	0-13	2.2	4.6	3.2	2.3	2.8	2.8	6.0	0.9	10.2
	13-18	1.1	2.2	0.8	1.1	2.8	0.0	1.8	2.4	1.7
	18-	0.6	0.3	2.0	0.2	3.0	0.0	0.0	0.5	0.3
B	0-13	1.1	5.8	2.0	1.3	0.5	2.8	2.4	0.4	7.0
	13-18	0.4	0.7	1.5	1.3	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0
	18-	1.7	5.7	2.9	3.1	1.8	5.5	0.0	0.6	0.0
C	0-13	0.7	1.6	8.7	1.7	4.0	1.5	8.8	1.7	6.5
	13-18	1.3	1.3	4.4	2.3	2.0	2.1	0.0	1.3	2.2
	18-	0.5	0.0	2.2	0.2	1.9	0.3	0.0	0.7	0.0
D	0-13	1.8	0.0	12.5	1.5	4.9	1.3	3.3	1.3	7.1
	13-18	2.2	0.0	3.2	0.4	1.2	0.6	3.3	3.9	0.5
	18-	2.6	0.0	0.0	1.2	3.3	0.0	1.8	0.6	1.0
E	0-13	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	13-18	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
	18-	4.1	4.0	9.9	9.5	10.5	5.9	3.7	9.2	0.0
Total abundance (A~E) [10 ³ ind.]			26.2	53.2	25.9	38.8	23.3	31.4	23.4	36.5
Total abundance (A, B and D) [10 ³ ind.]			15.2	28.0	12.9	21.5	14.6	19.9	10.5	24.2
Duration between pre and post-fishing investigation [days]			95		96		63		71	
Average increasing speed of abundance in all area [ind./day]			284		134		128		184	
Average increasing speed of abundance in area A, B and D [ind./day]			134		90		84		194	

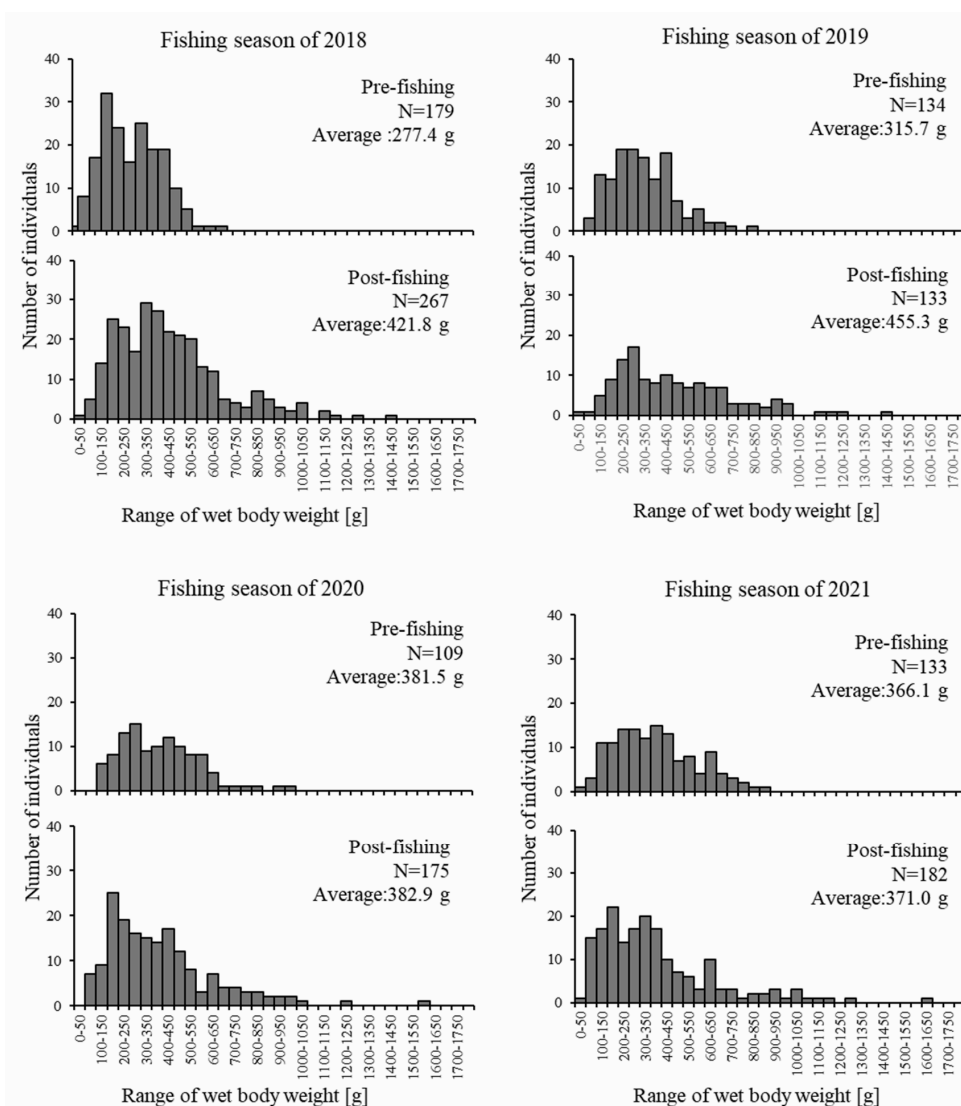


Fig. 4 Wet weight compositions of Japanese sea cucumbers collected by area-swept surveys.

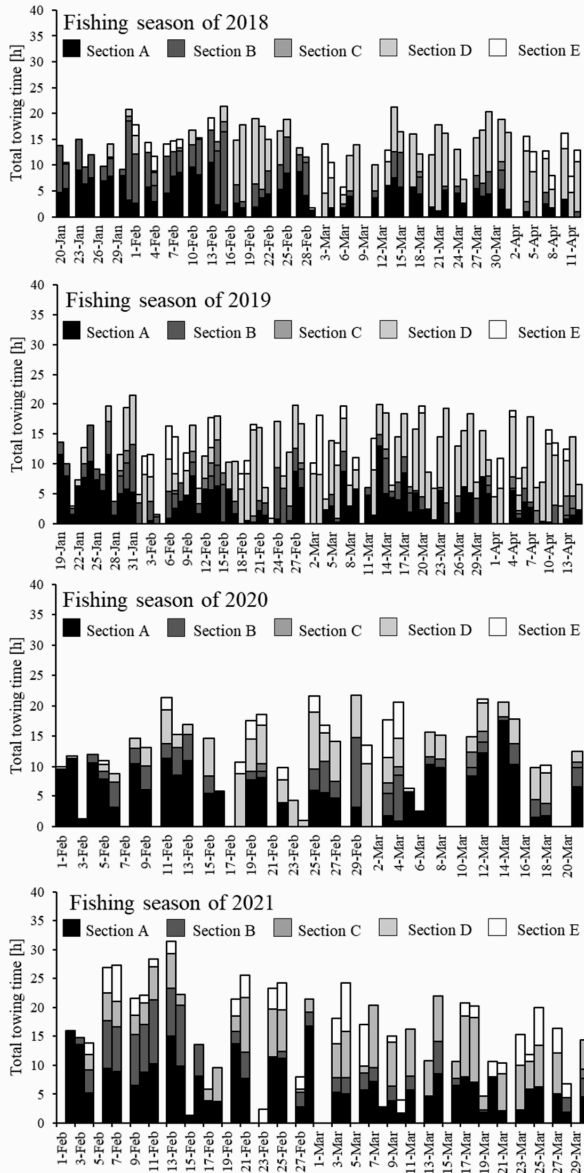


Fig.5 Total towing time by all specimen fishing vessels of each sampling sections (A~E) and fishery seasons.

の単位曳網時間あたりの入網個体数（以下 CPUE）の推移およびその回帰直線を Fig.6 に示す。どの年においても、解禁後 10 日間ほどで急激に CPUE が減少する例が多くみられた（白点）。その後の CPUE の推移は年によって異なり、2018 年および 2021 年は増加、2019 年はあまり変化せず横ばい、2020 年は減少する傾向が見られた（黒点および回帰直線）。解禁 10 日目以降の宮津湾全域、各海区および利用頻度の高い海区 ABD における CPUE の日々の変化量（Fig.6 における回帰直線の傾き）を Fig.7 に示す。利用されにくい海区 E を除くすべての年・海区において、CPUE の傾きは 2018 年から 2020 年にかけて減少し 2021 年に増加した。

面積密度法から推定した漁期前後の 300 g 以上のマナマコの密度および資源量については、調査を実施したすべての年において漁期前より漁期後の方が高くなった。マナマコは初夏から晩秋に掛けての高水温期に著しく代謝を下げて、転石の隙間などに身を隠して動かなくなる夏眠をする（崔，1963；瀧口ら，1990）。潜水調査や水槽での飼育観察では、京都府沿岸海域においてマナマコは例年 11 月中旬に夏眠から覚め、それ以前にはほとんど確認されない砂泥域にも分布するようになる（私信）。また、京都府沿岸のマナマコ桁曳漁業は 2~3 月に盛期を迎える。少なくとも 11 月頃から 3 月頃までの間、マナマコは桁曳網の曳網困難な沿岸の転石帯や人工構造物などの隙間から、曳網可能である砂泥域へ継続して移出し、このことが漁期中に資源量が増加する主要な要因と考えられる。さらに、面積密度調査で入網したすべてのマナマコの平均湿重量は、調査したすべての年で漁期前に比べて漁期後には増加した。これは、漁期中にマナマコが成長し湿重量が増加した、または大型の個体ほど漁場への加入が遅かったことの 2 つの要因が考えられる。マナマコは、夏眠中湿重量が著しく低下し、夏眠からあけた 11 月から 5 月ごろの産卵期にかけて急激に湿重量が増えることも明らかになっている（崔，1963；瀧口ら，1990）。本調査の結果からは体サイズによる移出時期の変化については言及できないが、少なくとも漁期中の成長により平均湿重量が増加した可能性が高い。漁期前に 300 g 未満であった個体の一部は、漁期中に 300 g 以上に成長していると考えられ、これも漁期中の加入にあたる。DeLury 法の適用条件は、①漁期中に資源の加入・逸散がなく、②漁期が短く漁期中の自然死亡が無視でき、③漁期中に漁獲効率が変化せず、④短期的に高い漁獲圧がかかることで CPUE が急激に減少することである（山川，2001）。宮津湾のマナマコの桁曳網漁業においては、漁場への同種のしみ出し現象と漁期中の成長加入により、少なくとも①④の条件は満たさず、小浜湾（畑中，1994）と同様に DeLury 法を適用することは出来ないものと考えられる。

一方で、CPUE は 2018 年と 2021 年には漁期中に増加したが、2019 年は横ばい、2020 年では減少の傾向を示した。宮津湾の漁業者の聞き取りからは、マナマコは水深が急激に変化するいわゆる「かけ上がり」に多く分布し、そのような地点を優先して曳網するとの意見がよく聞かれた。海底地形や底質によって、マナマコの分布密度は大きく異なると考えられる。また、漁業者は魚群探知機から得られる海底地形や水深の情報に加えて、経験や前日までの漁模様などに基づき、その時点で最も分布密度が高いと考える箇所を優先して操業する。佐野ら（2011）は、北海道北部沿岸域におけるマナマコ

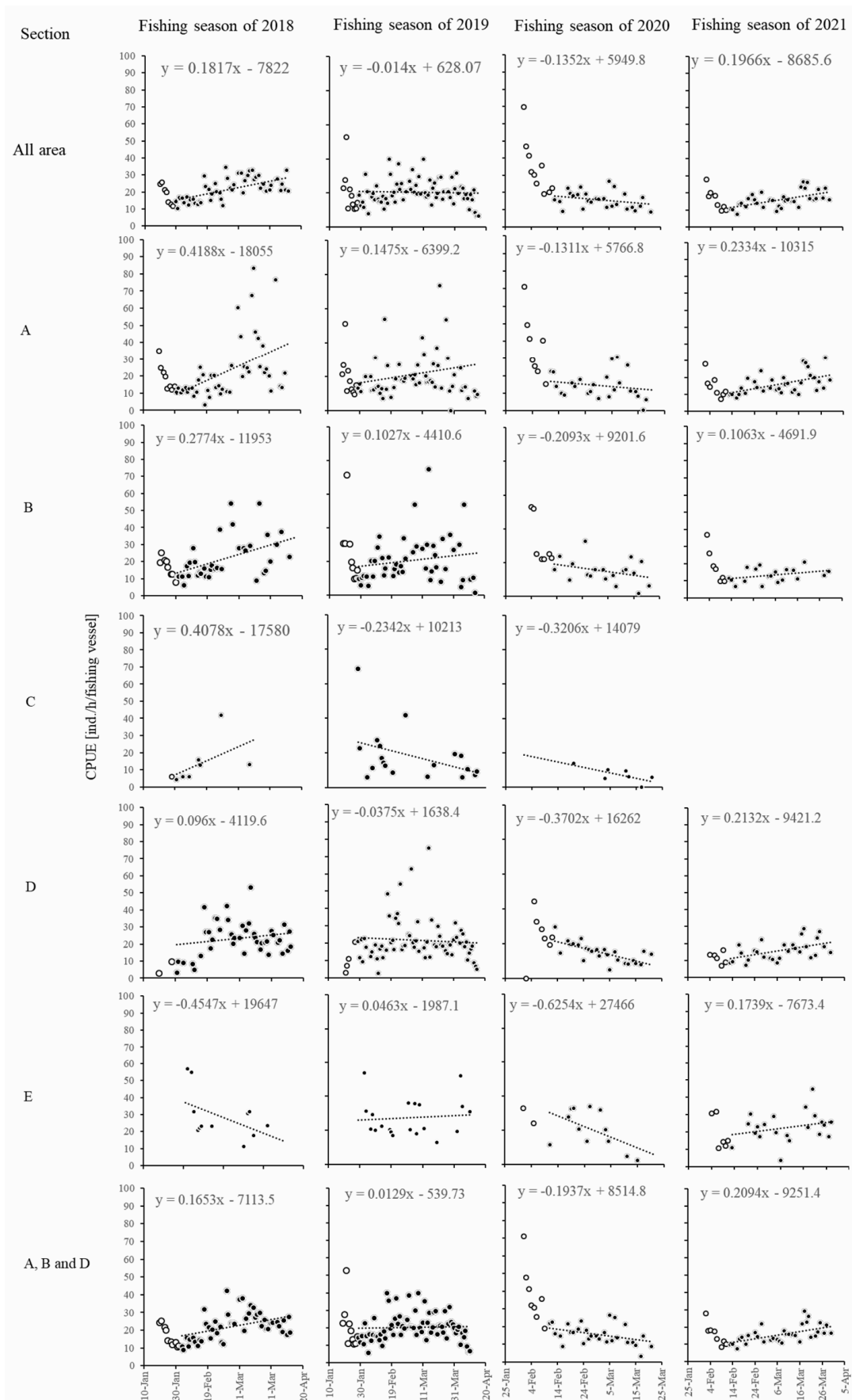


Fig. 6 The relationship between catch number of more than 300 g (wet weight) sea cucumber per a unit towing time per a specimen fishing vessel (CPUE [ind./h/vessel]) and operation day of each sampling blocks and years. No specimen vessels tow in section C in 2021. Dotted lines indicate the regression lines based on the CPUE data without the 10 days just after the opening of fishing seasons (represented as black points).

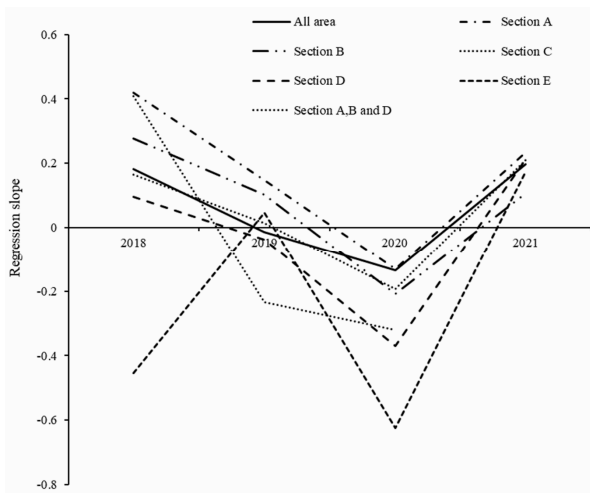


Fig.7 The relationship between inclination of regression line for daily transition of CPUE and fishery season of each sampling sections

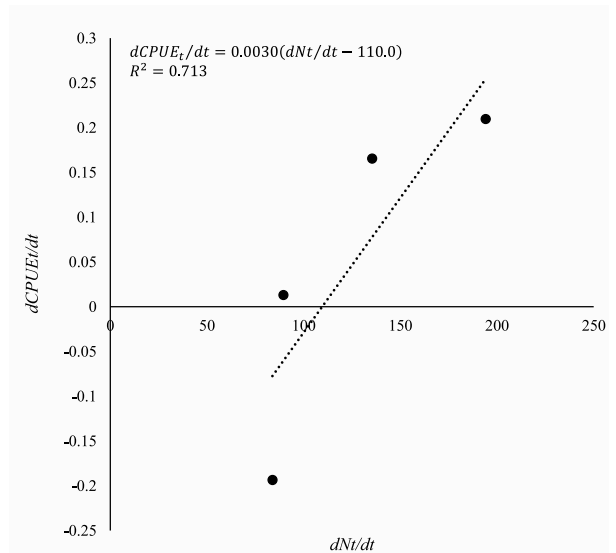


Fig.9 The relationship between dNt/dt and $dCPUEt/dt$ of sampling section A,B and D. Dotted line shows the regression line.

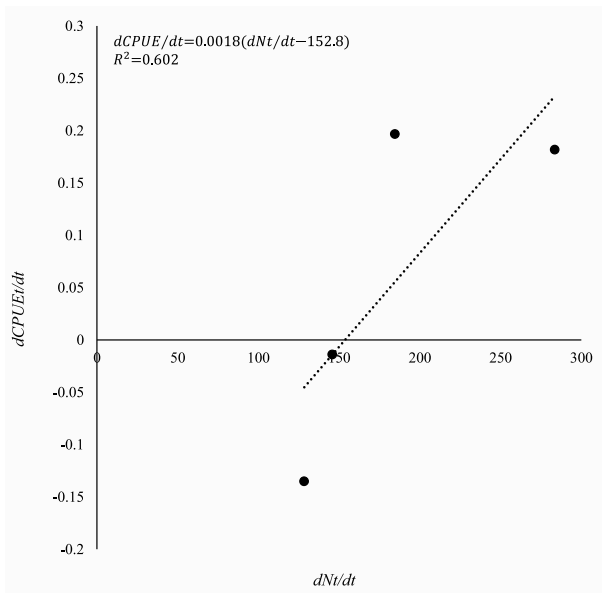


Fig.8 The relationship between dNt/dt and $dCPUEt/dt$ of all area of Miyazu Bay. Dotted line shows the regression line.

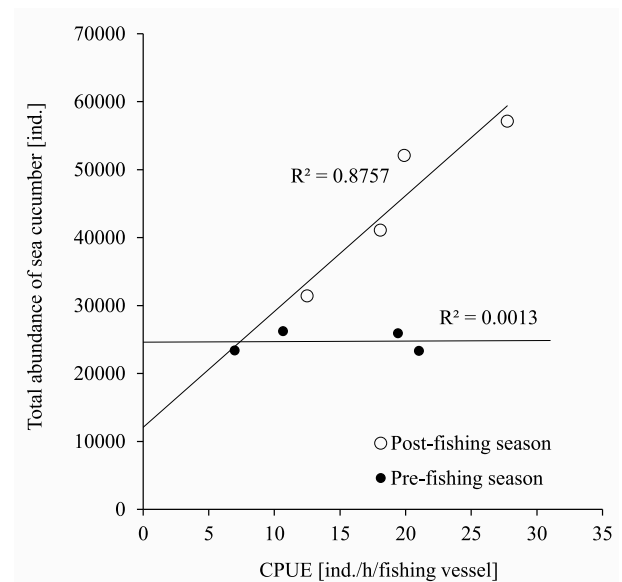


Fig.10 The relationships between the CPUE of the first (black dots) and last (open dots) day of the fishing seasons estimated from the slope of the regression lines of the daily variation of CPUE and the total abundance of sea cucumbers at pre- (black dots) and post- (open dots) fishing seasons estimated by the area-swept method

の桁網漁業において、漁業者は資源密度の高い場所から順に操業をするため、DeLury法における③の適用条件を満たさない場合があることを述べた。宮津湾においても漁業者は資源密度の高いと考える場所から順に操業されていると考えられ、そのような場合には、漁期序盤ほどCPUEが実際の資源量に対して過大評価されやすい。

ここで、漁期初日の資源量を N_0 、日平均しみ出し資

源量を α 、成長による日平均加入量を β 、日平均漁獲死亡量を γ とすると、解禁後 t 日目の資源量 N_t は式①で表される。宮津湾では、1日1船あたりの出荷規制量を一斗缶1杯(約18kg)までと定められており、悪天や何らかのトラブルがない限り漁業者は毎日18kgのマナモコを漁獲し出荷する。そのため、 γ の値は漁期中に大きく変化しない。また、漁期中の自然死亡は簡単のため考慮しない。

$$N_t = N_0 + (\alpha + \beta - \gamma)t \quad ①$$

よって、日々の資源の変化量は、 dN_t/dt で表され式②が得られる。

$$dN_t/dt = \alpha + \beta - \gamma \quad ②$$

漁期前後の面積密度調査から、調査を実施したすべての漁期において、全域で見ると漁期前より漁期後の資源量が増加したので、少なくとも2018～2021年においては $dN_t/dt > 0$ となり式③が得られる。

$$\alpha + \beta > \gamma \quad ③$$

つまり、2018～2021年においては、日々の資源の加入速度が漁獲による資源の減少速度を上回ったことを表し、先述したとおりである。

次に、 t 日目のCPUEを $CPUE_t$ とすると、一般的に $CPUE_t$ は N_t と比例の関係になるとされているが、宮津湾の操業日誌から得られるCPUEは漁期中に減少した一方で、面積密度法で推定された資源量は増加した年が観測されたことから、比例しないことが明らかとなった。これは上記のように漁業者がより高密度にマナマコが分布する地点から優先して操業することにより、漁期序盤のCPUEほど、実際の資源量よりも過大評価しているためと仮定し、漁業者の漁場の選択性による t 日目の資源の過大評価量に単純な線形関数 S_t を与えると、式④で表される。

$$S_t = -at + b \quad ④$$

ここで $a > 0$ 、 $b > 0$ とし、 a は過大評価される資源量の日変化量、 b は漁期初日($t=0$)に過大評価される資源量を表す。 $CPUE_t$ は N_t と S_t の和に比例するため、比例定数 δ を与え、式①②④から式⑤が得られる。

$$CPUE_t = \delta(N_t + S_t) = \delta[(dN_t/dt - a)t + N_0 + b] \quad ⑤$$

よってCPUEの日間変化量を表す $dCPUE_t/dt$ は式⑥となる。このように、資源の過大評価量が漁期を通じて線形に減少する単純なモデルを仮定すると、CPUEの日間変化量 $dCPUE_t/dt$ は、実際の資源の日間の変化量である dN_t/dt の線形関数として表すことができる。漁業者の漁場選択が働かない場合($a=0$)には、 $dCPUE_t/dt$ と dN_t/dt はともに正の範囲で比例の関係になるが、漁業者の漁場選択が働く場合には、 a の値によって $dCPUE_t/dt$ は負となる場合がある。

$$dCPUE_t/dt = \delta(dN_t/dt - a) \quad ⑥$$

ここで、年別の日間の資源の平均増加量 dN_t/dt は、面積密度法で推定した漁期前後の資源量の変化量を漁期前調査と漁期後調査間の日数で除した値である(Table 1)。また、年別の $dCPUE_t/dt$ は、操業日誌から得られるCPUEの日々の変化量の回帰直線の傾きとして表される。年別の dN_t/dt と $dCPUE_t/dt$ の関係をFig.8に示す。 $dCPUE_t/dt$ と dN_t/dt の関係には正の相関が見られた($R^2 = 0.602$, $p < 0.05$)。さらに、漁業者の利用頻度が高い海区ABDの dN_t/dt と $dCPUE_t/dt$ の関係はFig.9となる。決定係数は0.7127 ($p < 0.05$)となり、全域を対象とした場合よりも更に高まった。Fig.8およびFig.9に示

した dN_t/dt と $dCPUE_t/dt$ の関係から求めた線形回帰(式⑦⑧)より、全域を対象とした場合には $\delta = 0.0018$, $a = -152.8$ 、湾口部を除いた海区ABDを対象とした場合には $\delta = 0.0030$, $a = -110.0$ が得られる。これは、日々の資源の平均増加量($dN_t/dt = \alpha + \beta - \gamma$)が、全域を対象とした場合は152.8個体、湾口を除いた場合には110.0個体を下回ると、操業日誌で観測されるCPUEの日間の変化の傾きが負になることを表す。これにより、実際の資源量は漁期中に増加しているにもかかわらず、漁業者の漁場の選択性により漁期序盤ほど資源量が過大評価されることで、観測されるCPUEが漁期中に減少する可能性があることが説明可能となる。

$$dCPUE_t/dt = 0.0018(dN_t/dt - 152.8) \quad ⑦$$

$$dCPUE_t/dt = 0.0030(dN_t/dt - 110.0) \quad ⑧$$

また、 S_t の傾き($-a$)が負の値になることから、漁業者の漁場の選択性により過大評価される資源量は漁期が進むにつれて少なくなる。湾全域を対象としたCPUEの日々の変動の回帰直線から推定される漁期初日および最終日のCPUEと、面積密度法により推定された漁期前および漁期後の資源量の関係をFig.10に示す。漁期初日のCPUEは7.0～21.0の範囲で変動しているのに対して、面積密度法で推定された漁期前資源量は2.3～2.6万個体の範囲であり変化せず、相関は低かった($R^2 = 0.0013$)。一方で、漁期最終日のCPUEは12.5～27.7の範囲で変動したのに対して、面積密度法で推定された漁期後資源量は3.1～5.7万個体となり、漁期前の推定資源量に比べて変化量が大きく、また相関は高かった($R^2 = 0.8757$)。漁期終盤のCPUEは、漁業者の漁場選択性の影響が少なくなり、より純粋な資源量を反映している可能性は高い。現在宮津湾を対象に実施しているマナマコの資源評価では、漁期中のしみ出しや成長による漁期中の加入を考慮し、漁期後に獲り残された資源量を面積密度法により推定し、初期資源量や漁獲率を算定している(篠原ら, 2019)。引き続きデータを蓄積して標本数(Fig.10白点)を充実させ、漁期最終日のCPUEから獲り残し資源量を推定する検量線が作成できれば、漁期終盤に操業日誌を記録するだけで現行と同等の質の資源評価が可能となり、資源量の推定を簡便化する手法として非常に有効と考えられる。

最後に、面積密度調査での操船および操業日誌の記録に協力いただいた漁業者の皆様、および面積密度調査の際に調査員として協力いただいた京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所の鈴木啓太助教、小倉良仁技術職員、学生の皆様および京都府農林水産技術センター海洋センター・京都府水産事務所・京都府水産課の職員の皆様に心から厚く御礼申し上げます。

文 献

- 畑中宏之. 1994. ナマコこぎ網の漁獲効率の推定について. 水産増殖. **42** (2) :227-230.
- Kanno M., Suyama Y., Li Q., Kijima A. 2006. Microsatellite analysis of Japanese sea cucumber, *Stichopus (Aposichopus) japonicas*, supports reproductive isolation in color variants. *Mar. Biotechnol.*, **8**: 672-685.
- 菊池康司, 小林美樹, 秋元清治. 2018. 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. 神水セ研報, **9**: 1-4.
- 松宮義晴. 1984. 長崎県大村湾におけるマナマコ資源の解析. 1984. 長崎大学水産学部研報, **55**: 1-8.
- 崔 相. 1963. 「なまこの研究」. 海文堂, 東京.
- 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. 2011. 漁獲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. 日水誌, **77**(6): 999-1007.
- 篠原義昭, 西垣友和, 瀬田智文, 道家章生. 2017. 宮津湾におけるマナマコ *Apostichopus japonicus* の成長. 京都海洋セ研報, **39**: 16-21.
- 篠原義昭, 澤田英樹, 鈴木啓太. 2019. 宮津湾におけるマナマコの資源評価と資源管理. 京都海洋セ研報, **42**: 1-8.
- 瀧口克己, 藤本敏昭, 神菌真人. 1990. マナマコ人工種苗の大量放流による漁場形成に関する研究 I, 放流場所別放流効果と放流ナマコの成長, 福岡豊前水試研報, **3**: 53-62.
- Yamada K., Hori M., Matsuno S., Hamano T., Hamaguchi M. 2009. Spatial variation of quantitative color traits in green and black types of sea cucumber *Apostichopus japonicas* (*Stichopoididae*) using image processing. *Fish. Sci.*, **75**: 601-610.
- 山川 卓. 2001. DeLury 法 (Leslie 法・除去法). 「平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書— (社団法人日本水産資源保護協会編)」社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 73-90.

