

ガンガゼの密度変化と採捕数からの加入量と資源量の推定

長谷川雅俊*¹

西伊豆沿岸でガンガゼの駆除活動が実施されており、駆除活動前後でのガンガゼの生息密度、ガンガゼの駆除採捕数から加入量、資源量を推定する手法を考案した。Russellの方程式を個体数ベースで考え、生息密度変化は加入数から漁場面積当たり採捕数を引いたものに等しいとする式を導き、最小自乗法で加入量と漁場面積を推定する。資源量は加入量と漁場面積から求める。実際のデータに適用し資源量の推定を試みるとともに、推定の問題点について議論した。加入量が推定できれば、中長期な駆除活動の指針となる。本手法は駆除あるいは漁獲の前後に密度調査を行い、駆除採捕(漁獲)数が把握できる定着性の水生生物の加入量、資源量推定には応用可能である。

キーワード：ガンガゼ, *Diadema setosum*, 加入量推定, 漁場面積推定

静岡県水産技術研究所伊豆分場は、近年ガラモ場の衰退が認められていた静岡県駿河湾奥の内浦湾沿岸で、ガラモ場造成試験を行ってきた。まず、ホンダワラ類の生育阻害要因について調査が行われた結果、高密度に生息するガンガゼ*Diadema setosum*の摂食の影響が大きいことが明らかにされた¹⁾。2011年からガラモ場を回復させるため、瀬切り方式によりガンガゼの侵入を防ぐとともに、マメタワラの母藻投入を行ったところ、3年後にガラモ場が造成された^{2, 3)}。

この成果を受け、ガンガゼの分布が多いために藻場に影響を与えていると推定される西伊豆地区で、2015年から伊豆漁業協同組合によりガンガゼの駆除活動が行われている¹⁾。ガンガゼは、それまで漁獲や駆除の対象になっていないため、この駆除活動はガンガゼの処女資源を漁獲している貴重な事例とみなせる。駆除活動前後でのガンガゼの生息密度、駆除採捕数が把握されているので、それらのデータを解析することで、駆除活動や有効利用の中長期的指針として有用なガンガゼの加入量や資源量の推定が期待される。そこで、駆除活動前後でのガンガゼの密度変化、採捕数から加入量や資源量を推定する手法を考案し、推定を試みるとともに、その問題点・改善方法について議論したので、報告する。

材料と方法

使用したデータ

2015～2017年にガンガゼの駆除が行われた漁場を図1に示した。著者らは、この漁場において、ガンガゼ駆除前後の生息状況を明らかにするために、年1回、ライト

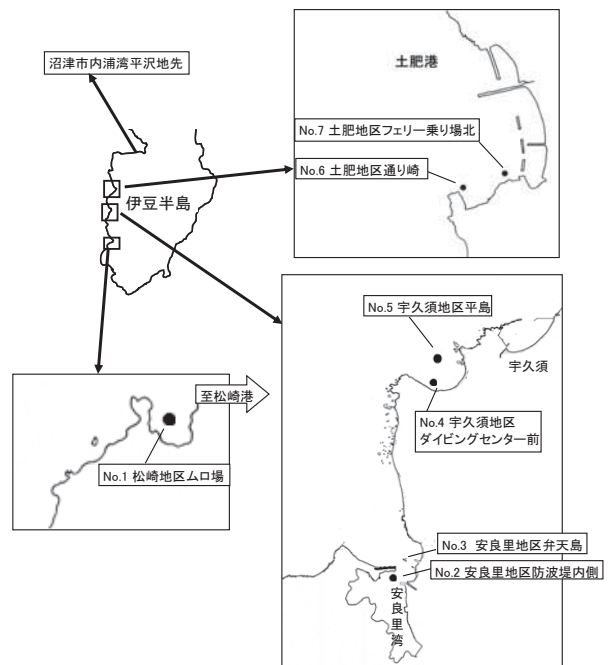


図1 漁場等位置図
 番号は調査漁場を表す。

ランセクト法(ライン長9~19m)によりその生息密度を調べており⁹⁾、2015~2017年に7つの漁場において、駆除前後の密度調査を計13回行っている。

これら一連の調査で得られた駆除前後の調査日、密度、駆除採捕数等(表1)をデータとして使用した。

加入量・資源量推定モデルの考案

Russellの方程式⁵⁾を改良し、加入数と漁場面積を推定する方法を考えた。

結 果

加入量・資源量推定モデル

D_{0ij} : 漁場iの調査jにおける駆除前密度(個/m², 既知)
 D_{ij} : 漁場iの調査jにおける駆除後密度(個/m², 既知)
 A_i : 漁場iの漁場面積(m², 未知)
 C_{ij} : 漁場iの調査jにおける1年間の駆除採捕数(個, 既知)
 R : 1年当たり単位面積当たり加入数(個/m²・年, 年や漁場に抛らず一定とし、各調査の間は1年間と仮定する。未知)

とすると、Russellの方程式⁵⁾を個体数ベースで考えることで漁場i調査jに関して次の式が成り立つ。

ここでは便宜的に、自然死亡は考慮しない。なお、ガンガゼの自然死亡に関する知見はない。

$$D_{ij}A_i - D_{0ij}A_i = RA_i - C_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

(1)式の両辺を A_i で除する。

$$D_{ij} - D_{0ij} = R - C_{ij}/A_i \dots\dots\dots (2)$$

(2)式は、密度の変化は単位面積当たり加入数から漁場

面積当たり採捕数を引いたものと等しいことを表している。この式が調査の数だけ成り立つ。(2)式の集合から、未知数 A_i と R を推定することを考える。

今回の場合、未知数は、漁場数の7と加入数 R の1で計8(i+1)個なので、(2)式が8個あれば、未知数は一意的に定まる⁵⁾。しかし、表1で示したように(2)式は13個ある。従って、適合度を定め、それを最良にする方法として最小自乗法を適用する⁵⁾。

実測値を $D_{ij} - D_{0ij}$ 、推定値 $\overline{D_{ij} - D_{0ij}}$ をとし、その偏差平方和(SS)を適合度とする。

$$SS = \sum \{ (D_{ij} - D_{0ij}) - (\overline{D_{ij} - D_{0ij}}) \}^2$$

で、(2)式から

$$SS = \sum \{ (D_{ij} - D_{0ij}) - (R - C_{ij}/A_i) \}^2$$

となるので、表計算ソフト「エクセル」(マイクロソフト株式会社)のソルバーを用い、SSを最小にする A_i 、 R を求める。

推定された A_i を用い、駆除前資源量は $D_{0ij}A_i$ 、駆除後資源量は $D_{ij}A_i$ で求められる。

漁場面積、加入数、資源量の推定結果

漁場面積(A_i)、1年当たり単位面積当たり加入数(R)、漁場別駆除前資源量($D_{0ij}A_i$)の推定結果等を表2に示した。漁場面積の最大は土肥通り崎の5,563 m²、最小は安良里防波堤内側の74 m²であった。加入数 R は2.95個/m²となった。駆除採捕前資源量は最大2.1万個(土肥通り崎2016年)、最小7個(安良里防波堤内側2016年)となった。

(2)式による密度変化の推定値と実測値の関係を図2に示した。相関係数0.583は危険率5%で有意であった。

表1 駆除採捕前後のガンガゼ密度と駆除採捕数

調査 No	漁場 No	漁場	駆除前調査 年月日	駆除後調査 年月日	調査間 年数	ガンガゼ密度(個/m ²)			ガンガゼ 駆除採捕数
						駆除前	駆除後	密度変化	
1	1	松崎ムロ場	2015/10/1	2016/6/28	0.7	5.3	0.5	-4.8	1,000
2			2016/6/28	2017/8/30	1.2	0.5	2.2	1.7	1,200
3			2015/9/3	2016/4/15	0.6	3.5	0.1	-3.4	600
4	2	安良里防波堤内側	2016/4/15	2017/8/30	1.4	0.1	6.4	6.3	0
5			2017/8/30	2018/5/29	0.7	6.4	0.5	-5.9	500
6	3	安良里弁天島	2016/4/15	2017/8/30	1.4	11.5	3.4	-8.1	3,400
7			2017/8/30	2018/5/29	0.7	3.4	4.9	1.5	6,800
8	4	宇久須ダイビング センター前	2015/9/3	2016/4/15	0.6	2.5	1.5	-1.0	1,780
9			2016/4/15	2017/7/18	1.3	1.5	0.5	-1.0	2,600
10	5	宇久須平島	2015/9/3	2016/4/15	0.6	6.8	1.7	-5.1	7,160
11			2016/4/15	2017/7/18	1.3	1.7	6.1	4.4	800
12	6	土肥通り崎	2016/3/29	2017/7/18	1.3	3.8	1.0	-2.8	32,000
13	7	土肥フェリー乗り場北	2016/3/29	2017/7/18	1.3	3.1	1.9	-1.2	9,300

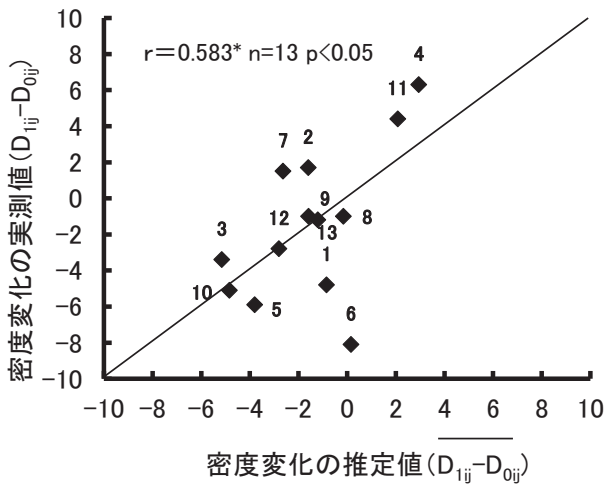


図2 密度変化の推定値と実測値の関係
数値は調査事例を、直線は等値線(y=x)を表す

考 察

駆除前のガンガゼ密度は概ね1~7個/m²であった(表1)が、このうち、調査事例No.1, 3, 6, 8, 10, 12, 13の駆除前のガンガゼ密度は漁獲の加わっていない処女資源時の密度と見なすことができる。その密度は最小2.5個/m²、最大11.5個/m²、平均5.2個/m²であり(表1)、西伊豆海域では処女資源といえども漁場によっては5倍弱の差が見られることがわかった。表1に駆除採捕前後の密度を示した。駆除を行った13例中9例で密度が減少したが、調査事例No.2, 4, 7, 11の4例で密度が増加した。駆除

採捕数が0で密度が増加した調査事例No.4(安良里防波堤内側2016年)では、加入によって増加したと、その他の例でも加入数が駆除採捕数を上回っていたため、採捕後であっても密度が増加したと考えられる。

推定された漁場面積(A)と1年当たり単位面積当たり加入数(R)の妥当性を図2(密度変化の推定値と実測値の関係)から判断した。相関係数は有意であり、No.6以外の調査事例はY=Xの等値線を中心にその上下に位置していることから、推定されたA, Rの妥当性を示していると考えられる。

1年当たり単位面積当たり加入数(R)は年、漁場に抛らず一定としたため、西伊豆海域における平均的な加入量を表す。また、今回のモデルでは自然死亡や移出入を考慮していないので、Rには自然死亡、移出入が含まれることに留意する必要がある。

Rは2.95個/m²・年と推定された。ガンガゼの漁場全体にわたる平均的な加入に関する知見はなく、新規加入に関して西伊豆海域に近い沼津市内浦湾平沢地先(図1)で、8月に殻径2mm程度の稚ウニが出現し1年で30mmに成長し、ガンガゼ除去1年後の当歳個体の最高密度29個/m²が知られる²⁾のみである。よって、推定値の妥当性の詳細な検証は今後の課題となるが、駆除前のガンガゼ密度が概ね1~7個/m²であったことは、推定値が法外でないことを示している。

また、ガンガゼの生息密度が2個/m²以下でガラモ場が

表2 漁場面積, 加入数, 資源量の推定結果

調査 No	漁場 No	漁場	密度変化の推定値*1	漁場面積(m ²)	加入数(個/m ²)	年*2	駆除前資源量(個)
1	1	松崎ムロ場	-0.84	264		2015	1,397
2			2016			132	
3			-5.15			2015	259
4	2	安良里防波堤内側	2.95	74		2016	7
5			-3.80			2017	474
6	3	安良里弁天島	0.16	1,218	2.95	2016	14,009
7			-2.63			2017	4,142
8	4	宇久須ダイビングセンター前	-0.15	574		2015	1,434
9			-1.58			2016	860
10	5	宇久須平島	-4.84	919		2015	6,248
11			2.08			2016	1,562
12	6	土肥通り崎	-2.80	5,563		2016	21,141
13	7	土肥フェリー乗り場北	-1.20	2,240		2016	6,944

* 1 (2)式, 表1から 加入数-(駆除採捕数/漁場面積)
* 2 駆除前調査を行った年

維持されるという指摘³⁾を考えると、駆除採捕後1~2年で再び駆除を行うことが必要と考えられる。今後、さらに正確、仔細な加入数推定ができれば、中長期的な駆除計画に役立つ。

推定された漁場面積(A_i)の序列は、土肥通り崎>土肥フェリー乗り場>安良里弁天島>宇久須平島>宇久須ダイビングセンター前>松崎ムロ場>安良里防波堤内側であった。ガンガゼ駆除採捕活動を行っている潜水者は1名で全漁場を操業しているが、聞き取り結果から漁場面積の序列を土肥通り崎>土肥フェリー乗り場>宇久須ダイビングセンター前>宇久須平島>安良里弁天島>松崎ムロ場=安良里防波堤内側と感じており、大まかな序列の傾向は一致した。今回推定した漁場面積は、今後の調査計画等に役立つと考えられる。

今回考案した手法について、現時点の問題点として次の5点が考えられる。①加入数 R は年、漁場に抛らず一定としたが、処女資源時の密度差が示唆しているように実際は大きく変動している、②同じ漁場で複数年調査がある場合、密度は連続データとなるが、独立したデータとして解析した、③漁場により設定した調査ラインの位置やライン長が不適切で、調査した密度が漁場の代表値ではなかった可能性がある、④調査の間は厳密に1年でなかった(表1)、⑤土肥通り崎と土肥フェリー乗り場北の2漁場では1年分しかデータがなかったので一意的に A_i が定められている。

以上の問題点について、次のような点が改善方向となる。問題点①、②はモデルの問題であり、①については、加入数 R を一定とせず、年によって分ける、また、データが増えてくれば漁場によっても分けることが考えられる。②については、モデルを改良し、 $n+1$ 年の駆除前密度を n 年駆除後密度と等しいとおく等、密度に制約条件を付けることが考えられる。問題点③、⑤は調査上の問題で、③については今回推定された漁場面積を参考に、適切な調査ラインの位置、長さを検討することが考えられ、⑤については調査を継続し、データを蓄積する必要がある。問題点④は調査上とモデルの問題であり、調査間隔を厳密に1年とする、あるいは加入数 R を月当たりにしたモデルが考えられる。以上述べたように、今後、モデルの改良と調査の充実を図ることで現実の加入数、漁場面積のより良い推定が行われると考える。推定された加入数、資源量は駆除活動や有効利用の中長期的指針として有用である。

なお、本手法はガンガゼの駆除活動を念頭に置き開発したが、駆除あるいは漁獲の前後に密度調査を行い、

駆除採捕(漁獲)数が把握できる定着性の水生生物の加入量、資源量推定に応用可能であることを付記しておく。

文 献

- 1) 安倍基温・石井理香・藤田大介(2008): 沼津市平沢地先におけるヨレモクモドキの生育阻害要因について、静岡県水産技術研究所研究報告, **43**, 13~17.
- 2) 山田博一・伊藤 円・秋田晋吾・藤田大介(2018): 静岡県のガンガゼ優占域におけるガラモ場の回復と拡大—瀬切りと中層網の利用—, 月刊海洋, **45**, 1~6.
- 3) 山田博一(2015): ガラモ場を回復させる方法, あたらしい水産技術, 606, 静岡県経済産業部, 9pp.
- 4) 長谷川雅俊・高木康次・鈴木勇己・山田博一・佐々木昭・飯田直樹・菅原清文(2018): ガンガゼ駆除による藻場回復, 平成28年度静岡県水産技術研究所事業報告, 207~212.
- 5) 田中昌一(1998): 水産資源学総論 増補改訂版, 恒星社厚生閣, 東京, 406pp.

Estimation of *Diadema setosum* recruitment and stock size from density changes and removal amount

Masatoshi Hasegawa

Abstract The tropical sea urchin *Diadema setosum* is being removed on the west coast of Izu. Here, we report a method for estimating the recruitment and stock size of *D. setosum* using density changes and removal amount. A formula (density change = recruitment - removal) was derived from Russell's equation on the basis of population number and was used to estimate the recruitment and area of fishing ground by least squares method. Stock size was calculated from the recruitment and area of fishing ground. Stock size was estimated by applying to actual data and discussed problems of estimation. Recruitment estimations provide a guideline for mid- to long-term removal activities. This method can be used to estimate the recruitment and stock size of aquatic organisms that can grasp removal amount and catch by conducting density surveys before or after removal and fishing.

Key words: Tropical sea urchin, *Diadema setosum*, Estimation of recruitment, Area of fishing ground