

クロアワビNordotis discus discusへの餌料効果とアイゴSiganus fuscescensの採食程度 を考慮した伊勢湾湾口部における褐藻類群落移植種の提案

誌名	水産工学
ISSN	09167617
著者名	蒲原, 聡 服部, 克也 原田, 靖子 鈴木, 輝明 高倍, 昭洋
発行元	日本水産工学会
巻/号	46巻2号
掲載ページ	p. 117-125
発行年月	2009年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



【報 文】

クロアワビ *Nordotis discus discus* への餌料効果と
アイゴ *Siganus fuscescens* の採食程度を考慮した
伊勢湾湾口部における褐藻類群落移植種の提案

蒲原 聡^{1*}・服部 克也¹・原田 靖子¹
鈴木 輝明²・高倍 昭洋³

Selection of Phaeophyceae Species for Marine Forest Formation
in Reefs around the Mouth of Ise Bay Considering their
Food Values for Disk Abalone *Nordotis discus discus* and
Grazing Intensity of Rabbitfish *Siganus fuscescens*

Satoru KAMOHARA^{1*}, Katsuya HATTORI¹, Yasuko HARADA¹,
Teruaki SUZUKI² and Teruhiro TAKABE³

Abstract

The marine forest Sagarame, *Eisenia arborea*, which had grown on the mouth of Ise bay, decreased because of grazing by rabbitfish, *Siganus fuscescens*, from 1998 and almost disappeared in 2005, remaining confined to only a limited area. It is said that the marine forests of the members of Phaeophyta are multi-functional. Massive restoration of these marine forests requires consideration of the expense involved. However, the authors did not have the required data to calculate the expense. In this study, the authors fed 3 brown algae, namely, *E. arborea*, *Ecklonia cava*, and *Sargassum micracanthum*, to disk abalone, *Nordotis discus discus*, and calculate the it's catching the fish from the growth formula of for these. Further, the authors calculated the cost of the protecting the marine forests from grazing by rabbitfish and selected beneficial one from three algae. The survival rate of abalones fed on *S. micracanthum* was low at approximately 40%; this algal species was not suitable for the creation of marine forests. The survival rate of abalone that fed on *E. cava* was the same as that of abalone that fed on *E. arborea*; the growth rate of abalone fed on *E. cava* was approximately 70% of that of abalones that fed on *E. arborea*. Based on these results, the authors conclude that developing *E. cava* forests is a suitable low-cost method for restoring and maintaining food resources for disk abalone; further, for the maintenance of these forests, protection from grazing by rabbitfish is not required.

1. はじめに

サガラメ *Eisenia arborea*, アラメ *E. bicyclis*, カジメ
Ecklonia cava, クロメ *E. kurome* など多年生大型褐藻類の

群落には、沿岸生態系の中での幼稚仔の成育¹⁾、アワビ
への餌料供給²⁾、水質の浄化³⁾ など多面的な機能がある
と言われている。特に、クロアワビ *Nordotis discus dis-*
cus は、伊勢湾湾口部の愛知県沿岸域において1995年に

2008年6月17日受付, 2009年1月20日受理

キーワード: クロアワビ, サガラメ, カジメ, トゲモク, アイゴ, 食害, 生産性

Key words: *Nordotis discus discus*, *Eisenia arborea*, *Ecklonia cava*, *Sargassum micracanthum*, *Siganus fuscescens*,
Grazing, Productivity

¹ Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyoura 2-1, Toyohama, Minamichita, Aichi, 470-3412, Japan (愛知県水産試験場漁業生産研究所 〒470-3412 愛知県知多郡南知多町大字豊浜字豊浦2-1)

² Aichi Fisheries Research Institute, Wakamiya 97, Miya, Gamagoori, Aichi 443-0021, Japan (愛知県水産試験場 〒443-0021 愛知県蒲郡市三谷町若宮97)

³ Research Institute of Meijo University, 1-501 Siogamaguchi, Tenpaku, Nagoya 468-8502, Japan (名城大学総合研究所 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

* Tel : 0569-65-0611, Fax : 0569-65-2358, suishi-gyoken@pref.aichi.lg.jp

約13トン漁獲されるなど⁴⁾、重要な水産資源として位置付けられている。しかし、クロアワビの漁獲量は、1998年には4トン、2000年には2トン⁴⁾にまで低下した。長谷川⁵⁾は、静岡県のカワバトイシガイの減少は、サガラメ群落の磯焼けが原因としており、愛知県のカワバトイシガイの減少についても、サガラメ群落が1998年以降減少し、2005年に一部を残し消滅した⁶⁾という事実が大きく影響していると推測された。これらの多面的機能を持った褐藻類群落を大規模に修復する事業を実施するには、費用対効果を考慮しなければならないが、効果の算定に必要な各機能の定量化は行われていない。そこで、効果の一要素であり、かつ、金銭的評価が可能なクロアワビの漁獲による収益と、群落を修復するための費用との損益から、効果の算定を試みた。そして、伊勢湾湾口部に分布している多年生大型褐藻類の中から効果的な移植種を選定した。

2. 材料と方法

伊勢湾湾口部に分布する多年生大型褐藻類のカワバトイシガイへの餌料効果を比較した。次に、想定した各種藻場毎に、褐藻類群落の移植効果の指標として、クロアワビ種苗を放流して漁獲するまでの損益を、クロアワビの成長を元に試算し比較した。

1) クロアワビに対する餌料効果比較

(1) 材料：餌料対象種の選定について

対象種としては、まず、静岡県におけるアワビの漁獲量の減少が、サガラメ群落の磯焼けに起因していることとされたこと、愛知のアワビとサガラメにも相関関係があると推測されたことに基づきサガラメを選定した。サガラメの他に伊勢湾湾口部に分布している多年生大型褐藻類の中から、カジメおよびトゲモクを選定した。なお、カジメおよびトゲモクは、伊勢湾湾口部ではサガラメと同じ水深帯で植生が見られ、サガラメ消滅海域においても植生が確認されている⁷⁾。また、サガラメとカジメ、サガラメとトゲモクを混植した場合においても、サガラメのみが選択的にアイゴ *Siganus fuscescens* の採食を受けることが確認されている⁸⁾。静岡県においても、サガラメとカジメの種苗を移植した場合、サガラメはアイゴの採食を強く受けて消滅するが、カジメはアイゴの採食を受けるものの再生している状況が確認されている⁹⁾。さらに、カジメについては、アワビの胃内容物から摂餌が確認されていること¹⁰⁾に基づき選定した。トゲモク *Sargassum micracanthum* については、ホンダワラ類のイソモク *Sargassum hemiphylum*、オオバモク *Sargassum ringgoldianum*、ヨレモク *Sargassum siliquastrum*、ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* と混合して給餌した場合に、アワビに餌料効果が認められていること¹¹⁾に基づき選定した。サガラメは2005年6月から2006年6月に

けて愛知県南知多町内海地先の海岸に漂着した個体を採取した。カジメは同期間に愛知県南知多町豊浜地先の海岸に漂着した個体および同地先に生育している個体を潜水して採取した。採取した藻体は、屋外水槽 (65cm×340cm×35cm) に各海藻5個体程度を收容し、砂ろ過海水を1.6L/secで注水、通気して供試するまで畜養した。トゲモクは、7月から9月の期間、藻体が小さく海域での採取の作業効率が悪いことから、母藻から幼胚を採取して、これをサガラメ種苗養成手法¹²⁾と同様に大型の藻体になるまで育成し使用した。また、海域で容易に採取できる時期には潜水により採取し、サガラメ、カジメとともに畜養した。

(2) 方法1：試験に供したクロアワビおよび飼育水槽について

給餌試験には、アワビの種苗放流を想定して、愛知県水産業振興基金栽培漁業部 (愛知県田原市小中山町一膳松1-3) で種苗生産され、海藻を摂餌するようになった1年齢のアワビ稚貝を用いた。アワビは平均殻長84mm (4年齢) までは成長は速やかでその後次第に緩やかになる¹³⁾ ことから、漁獲サイズの80mmまでは1歳齢の成長速度を適用できるものとし、1年間成長を測定した。個体識別のため、テブラ (カシオ計算機㈱, KL-A50E) で印字した3mm×4mmのプラスチック製番号テープを接着剤 (セメダイン㈱, ペグα) で殻頂部に貼り付けた。水深を10cmとした1トン水槽内 (124cm×124cm×100cm) に、プラスチック製の食器洗いカゴ (47cm×35cm×17cm, 目合い3mm, 以下飼育カゴ) 3個を設置し、各々に識別番号を施したアワビを收容した (Fig.1)。試験開始時の各給餌試験区のアワビ個体数は20個体とした。平均殻長および平均体重は、サガラメ給餌区33.1±1.6mm (標準偏差, 以下同じ) および4.65±0.67g, カジメ給餌区33.1±2.1mm および4.85±0.90g, トゲモク給餌区33.0±1.9mm および4.51±0.79gであった。いずれの試験区間においても有意な差 (*t*検定, $P<0.01$) はなかった。飼育カゴには、アワビのシェルターとして、32cm×20cmのプラスチック製の食器盆を各々1枚カゴの底に設置した (Fig.1)。また、暗所を好むアワビの活動性を保持するため、1トン水槽の上部を寒冷紗で覆い、日中

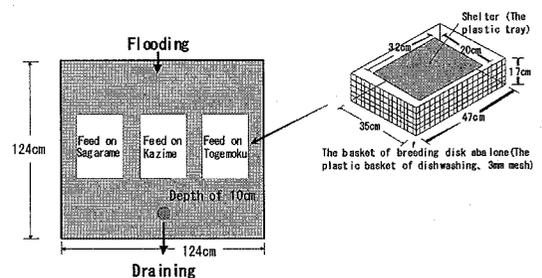


Fig.1 Layout and illustration of the basket of breeding disk abalone.

の水面照度が100Lux以下となるように調整し、砂ろ過海水を注水率（1時間当たりの水槽への注水量/水槽容量）9.35で注水した。

(3) 方法2：給餌試験について

給餌試験の期間は365日間（2005年7月5日～2006年7月5日）であった。給餌に際しては、各試験区で常に残餌が出るように飽食量を与え、残餌を全て取り上げた後、新たな藻体を給餌した。3日から5日の間隔で残餌の湿重量を計測し、給餌量（湿重量）と残餌量の差を摂餌量とした。なお、サガラメと同属別種のアラメの補償光量は400Lux、カジメの補償光量は200Luxである¹⁴⁾ことから、100Lux以下の環境下での生長は無視できるとした。また、伊勢湾湾口部においては、サガラメ、カジメ、トゲモクはほぼ同じ水深帯に分布しているため、トゲモクについても、生長による増量はないとした。個体毎の殻長および体重は、20日～30日間隔で測定した。測定に際しては、飼育カゴまたはシェルターに付着しているアワビを、飼育カゴごと2%エチルアルコール海水に5分間浸漬して剥離した。なお、給餌する藻体を葉部のみとしたトゲモクの葉体形状に合わせるため、給餌時に、サガラメおよびカジメの葉部は3cm×5cmに切りそろえた。また、1週間に1回全換水を行って、排泄物を流下除去した。

餌料の違いによるアワビの成長を比較するために、個体毎の測定値から、飼育日数と殻長および体重の変化を調べ、全期間を通した殻長倍率¹⁵⁾および増重倍率¹⁵⁾を求めた。また、開始時と終了時の各試験区の総体重および総摂餌量から、餌料効率¹⁵⁾と増肉係数¹⁵⁾を以下のとおり求めた。なお、餌料効率は試験に供した藻体の餌料としての質を比較するために、増肉係数は藻体の生長量からアワビ個体群の放流重量を決定するために求めた。

$$\text{殻長倍率} = \frac{\text{終了時の平均殻長}}{\text{開始時の平均殻長}}$$

$$\text{増重倍率} = \frac{\text{終了時の平均体重}}{\text{開始時の平均体重}}$$

$$\text{餌料効率} (\%) = \frac{\text{終了時の生物体量} - \text{開始時の生物体量}}{\text{摂餌量}} \times 100$$

$$\text{増肉係数} = \frac{\text{摂餌量}}{\text{終了時の生物体量} - \text{開始時の生物体量}}$$

ただし、生物体量 = 生存個体数 × 平均体重

摂餌量 = 湿投餌量 - 湿残餌量

2) アワビの漁獲金額とアイゴの防御施設費用から見た褐藻類群落移植の検討

防御の必要なサガラメ群落を造るのか、防御を必要としないカジメおよびトゲモクの群落を造るのかを検討し

た。そのため、アワビを対象とする褐藻類群落の再生を想定し、その群落で漁獲されるアワビの漁獲金額とアワビの放流種苗経費および褐藻類群落の防御経費から損益を算出し比較した。

(1) 褐藻類3種によるアワビ漁獲の損益比較

アワビ漁獲による損益を試算するために、以下の条件および手順を用いた。

- ① サガラメ、カジメおよびトゲモクにより造成された群落を、それぞれサガラメ群落区、カジメ群落区およびトゲモク群落区とする。実際には、褐藻類はアワビの他にウニなど植食動物の摂食を受けるが、摂食があったとしても各区とも均一に受けると考えられることから条件に入れず、褐藻類の植食動物をアワビだけに限定する。また、アワビは小型海藻¹⁶⁾や附着珪藻¹⁷⁾も摂食するが、静岡県のようにアワビ漁獲量の減少がサガラメなど大型褐藻類群落の減少に起因していると考えられていることから、大型褐藻類とアワビとの関係は強いとし、アワビは造成した褐藻類のみを摂食する。
- ② アワビ資源が減少していることから、評価の対象とする群落には当初アワビは存在せず、種苗放流で資源を投入し、放流サイズは、Table 2の殻長と飼育日数の関係式から殻長33mmとする。
- ③ 褐藻類の最大生長量を超えることがないように、収容限界重量を、Table 2の体重と飼育日数の関係式から求めた年毎の体重増加量のうち最大の体重増加量で除して、アワビの収容個体数とする。
- ④ 漁獲サイズ（殻長80mm：愛知県漁業調整規則）になった時点で、回収率31%¹⁸⁾で全て漁獲され、漁獲後直ちに種苗放流が行われ、漁獲が繰り返される。また、伊勢湾東部においては漁獲物中の放流貝の比率が80%台～90%台である¹⁹⁾ことから、天然資源からの再生産は考慮しない。
- ⑤ アワビの2年以降の殻長については、平均殻長84mm（4年齢）までは成長は速やかでその後次第に緩やかになることから¹³⁾、80mmで漁獲するここではTable 2の関係式を適用する。したがって、漁獲までに要する期間は、Table 2の殻長と飼育日数の関係式から算出する。
- ⑥ アラメは、年間、新生枚数と同数の葉が脱落して²⁰⁾アワビの餌になることから、同属のサガラメについても生長量分をアワビが摂餌する。同じ葉の更新形態をとるカジメ²¹⁾についても同様とする。トゲモクは、主枝が成熟後の6月に枯死脱落するノコギリモク²²⁾と同様の葉の更新形態を取るため、年間連続的に葉が脱落するサガラメおよびカジメとは異なるが、ここでは生長量分が摂餌されると仮定する。なお、褐藻類の生長量は1年単位で算出され

ていることから、アワビの成長についても年単位で表現する。

- ⑦ サガラメの生長量は、愛知県海域の生長量16.8kg w.w./m²・年(蒲原:未発表)とする。
- ⑧ カジメの生長量は、静岡県海域における生長量2.84kg d.w./m²・年²¹⁾と実測したカジメの湿重/乾重の比5.87から16.7kg w.w./m²・年とする。
- ⑨ トゲモクは生長量の数値がないため、山口県海域におけるノコギリモク(トゲモクと同じホンダワラ類)の生長量1.6kg d.w./m²・年²³⁾と実測したトゲモクの湿重/乾重の比6.43から10.3kg w.w./m²・年とする。
- ⑩ 収容個体数に漁獲回収率、漁獲時重量および市場価格を乗じて漁獲金額を求める。なお、褐藻毎にアワビが漁獲されるまでに要する期間が異なる場合、収益性を同一期間で比較する必要があるため、漁獲に至るまでの最小公倍数に相当する期間を求め、その期間における支出と収入を算出して損益を比較する。
- ⑪ 支出はアワビの種苗経費および群落のアイゴからの防御に要する経費、収入は漁獲金額とした。なお、種苗経費は(社)全国豊かな海づくり推進協会の平成17年度種苗単価²⁴⁾を、漁獲金額は2005年愛知県南知多町豊浜漁港アワビ市場平均取扱い価格²⁵⁾を参考とする。

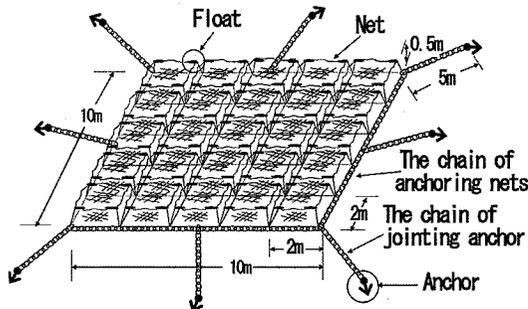


Fig.2 Illustration to protect the Sagaramé marine forest in 100m² (10m×10m) from grazing by rabbitfish.

(2) サガラメ群落のアイゴ防御施設の費用試算

評価の対象とする群落の面積は、100m² (10m×10m)とした。100m²のサガラメ群落を防御するために、試験で使用し実例のある2m×2m×0.5mのドーム形状の防御網⁸⁾を構成単位とし、これをFig.2に示したように5列×5列(25構成単位)の配置とした。そして、その4隅と中間位置の計8ヶ所に5mのチェーンを伸ばし、その先端に10kgのアンカーを結束して防御網を海底に固定することとした。防御網を用いたサガラメ群落の防御に必要なとされる経費には、防御網の購入費および設置、網糸への汚損生物付着による網交換と撤去に係わる潜水費とした。なお、本報で検討した網地、フロート、チェーン、アンカーについては公的機関が発行する単価基準一覧に掲載されていなかったことから、インターネットで公開されている価格を参考とした。防御網の使用期間はサガラメに対するアイゴの採食程度が最も強い9~11月⁷⁾とした。実際の使用状況から、網糸への汚損生物付着による防御網の交換はこの間に1回行うこととした。また、防御網の耐用年数は5年程度、チェーンおよびアンカーの耐用年数は30年程度と見積もり、台風などによる網の破損等の補修経費は計上しないこととした。

3. 結果

1) クロアワビに対する餌料効果比較

試験終了時における各給餌試験区の生残率、平均殻長、平均体重、殻長倍率、体重倍率、摂餌量、餌料効率、増肉係数をTable 1に示した。生残率は、サガラメ給餌区およびカジメ給餌区がともに95%であったものの、トゲモク給餌区では40%と低かった。殻長倍率は、サガラメ給餌区1.30、カジメ給餌区1.18、トゲモク給餌区1.02となった。体重倍率は、サガラメ給餌区2.28、カジメ給餌区1.55、トゲモク給餌区0.97となった。餌料効率は、サガラメ給餌区が4.98%、カジメ給餌区が1.96%、トゲモク給餌区は算出できなかった。増肉係数は、サガラメ給餌区が20.1、カジメ給餌区が51.1、トゲモク給餌区は算出できなかった。アワビに対する餌料効果は、サガラメが最も高くカジメがそれに準じた。トゲモクはアワビに対する餌料効果が認められなかった。褐藻類3種に対する

Table 1 Survival rate, average shell length, average body weight, growth magnification of shell length, growth magnification of body weight, amount of food consumed, feed efficiency and conversion factor after feeding on Sagaramé, Kazime, and Togemoku.

Species of food	Survival rate (%)	Average shell length* (mm)	Average body weight* (g)	Growth magnification of shell length	Growth magnification of body weight	Amount of food consumed (g)	Feed efficiency (%)	Conversion factor
Sagaramé	95	43.0±2.6	10.6±1.84	1.3	2.28	2177.6	4.98	20.1
Kazime	95	39.0±3.3	7.53±1.72	1.18	1.55	2356.1	1.96	51.1
Togemoku	40	33.2±2.1	4.21±0.74	1.02	0.97	1408.8	-	-

* Average±standard deviation

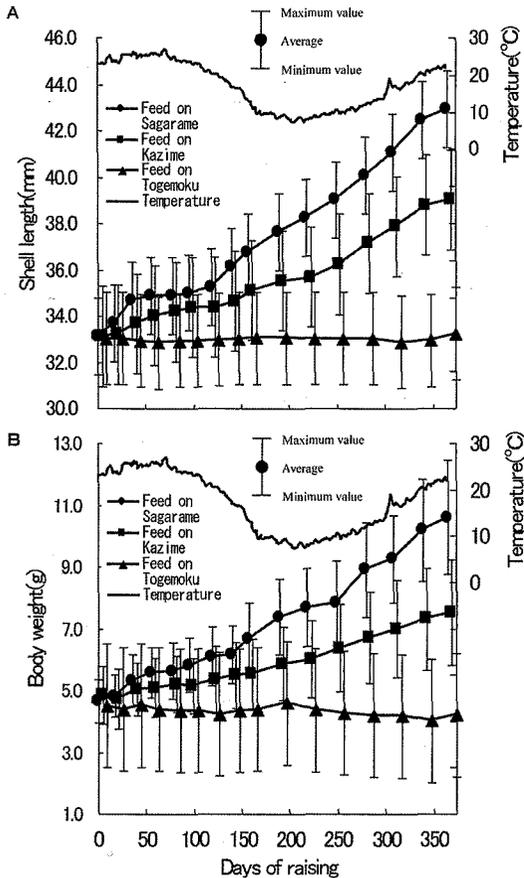


Fig.3 Increase in water temperature (the moving average of 3 days) and change of shell length (A) and body weight (B) of disk abalone after feeding to Sagaramae, Kazime, and Togemoku.

飼育日数と殻長の変化および飼育日数と体重の変化を Fig.3 にそれぞれ水温とともに示した。殻長、体重ともに飼育開始時からサガラメ給餌区の成長はカジメ給餌区を上回っており、試験終了時まで同じ傾向で推移して、その差は大きくなった。殻長では、サガラメ給餌区、カジメ給餌区ともに飼育55日目（8月29日）から飼育118日目（10月31日）にかけて横ばい傾向が認められ、体重についても殻長ほどではないものの同様の傾向が認めら

Table 2 Mathematical relation between the shell length and days of raising and between the body weight and the days of raising of disk abalone, which was calculated by the examination of disk abalone after feeding on Sagaramae and Kazime.

Species of food	Item	Relation	r ²
Sagaramae	The shell length and days of raising	S.L.= $3 \times 10^{-5} \text{day}^2 + 0.0149 \text{day} + 33.513$	0.9924
	The body weight and the days of raising	B.W.= $2 \times 10^{-5} \text{day}^2 + 0.0087 \text{day} + 4.7956$	0.9921
Kazime	The shell length and days of raising	S.L.= $3 \times 10^{-5} \text{day}^2 + 0.0067 \text{day} + 33.299$	0.9893
	The body weight and the days of raising	B.W.= $1 \times 10^{-5} \text{day}^2 + 0.0031 \text{day} + 4.8124$	0.9939

れた。アワビの成熟期は秋季で、産卵のピークは10~11月にかけて²⁶⁾とされており、殻長3cm以上の稚貝に生殖腺が発達する²⁷⁾ことが示されていることから、成長の鈍化傾向は成熟に伴って生じたと考えられた。全体的には、殻長、体重については両給餌区ともに概ね一定の傾向で成長していることが認められた。また、トゲモク給餌区の殻長、体重とはともに横ばいの状況を示した。Fig.3のグラフから得られた殻長と飼育日数および体重と飼育日数の関係式をTable 2に示した。

2) アワビの漁獲金額とアイゴの防衛施設費用から見た褐藻類群落移植種の検討

殻長と飼育日数の関係式を用いて、種苗放流時の殻長33mmから漁獲時の殻長80mmまでの期間は、サガラメ群落区が1,021.0日（2.8年）、カジメ群落区が1,141.0日（3.1年）となり、トゲモク群落区は体重が減少することから求めることができなかった（Table 3）。天然アワビの調査結果では、平均殻長で4年目（放流後3年目）に84mmとなるため¹⁷⁾、移植した褐藻類のみを摂餌すると設定した条件は妥当であると考えられた。個体の体重増加量の最大値は、サガラメ群落区で3年目の12.7g、カジメ群落区で3年目の7.8gであった。100m²のサガラメ群落区の年生長量1,680kgと増肉計数20.1から、収容限界重量は83.6kgとなった（Table 4）。同様に100m²のカジメ群落区の年生長量1,670kgと増肉計数51.1から、

Table 3 Annual increase in the weight of disk abalone from releasing (shell length, 35 mm) to catching (shell length, 80 mm) after feeding on Sagaramae and Kazime, which was calculated from the mathematical relation between body weight and days of raising (refer to Table 2).

Species of food	The weight of disk abalone at releasing (g/ind.)	Increase in body weight of disk abalone every year (g/ind.)				The weight of disk abalone at catching (g/ind.)
		One year (1~365days)	Two year (366~730days)	Three year (731~1,095days)	Four year (1,096~1,460days)	
Sagaramae	4.8	5.8	11.2	12.7 (Catching at 1,021.0 days)	-	34.5
Kazime	4.8	2.5	5.1	7.8	1.2 (Catching at 1,141.0 days)	21.4

Table 4 Amount of growth of seaweed (A) in the Sagarame or Kazime communities of 100 m², conversion factor (B, refer to Table 1), maximum increase in body weight (C, refer to Table 3), body weight of the catch (D), accommodation of body weight (E), accommodation of population (F), A catch of fish in 100 m² (I), intervals between release and catch (J), least common multiple of time intervals (K), number of catches (L), and catches of fish in 100 m² for 28 years (M).

Species of community	Amount of growth of seaweed (kg/100m ² /year)	Conversion factor	Maximum increase in body weight (kg/ind.)	Body weight of the catch (kg/ind.)	Accommodation of body weight (kg/100m ²)	Accommodation of population (ind./100m ²)	A catch of fish (thousand yen/catch/100m ²)	Intervals between release and catch (years)	Least common multiple of the time intervals (years)	Number of catches (times)	Catches of fish (thousand yen/100m ²)
	A	B	C	D	E (A/B)	F (E/C)	I (D×F×G*3×H*4)	J	K	L (K/J)	M (I×L)
Sagarame	1,680 *1	20.1	0.0127	0.0345	83.6	6,583	443	2.8 (1,021.0 days)	28	10	4,430
Kazime	1,670 *2	51.1	0.0078	0.0214	32.7	4,192	175	3.1 (1,141.0 days)	27.9	9	1,575

*1 Net production (wet weight) of Sagarame at the sea of Aichi prefecture.

*2 (Net production (dry weight) of Kazime at the sea of Shizuoka prefecture) × (wet weight/dry weight).

*3 31% (Catching recovery of disk abalone).

*4 6,299 yen/kg (The average market price of disk abalone in Toyohama market at 2005).

Table 5 Expenses of protecting Sagarame marine forest in 100 m² from grazing by rabbitfish for 28 years (refer to Table 4).

Item	The amount of money (thousand yen)	The unit price *1	Quantity	Standard Breakdown	The life of facilities
Net	147	368 yen/m ²	8m ² × 25 radices × 2 *2 sets	Stitches, 37.5mm Thickness, 2.4mm	5 years
Float for net	150	600 yen/ind.	5 ind × 25 radices × 2 *2 sets	105mm × 160mm Diameter of the hole, 20mm	5 years
Subtotal (The set of net for exchanging)	1,485	297 thousand yen	5 sets (Exchange by 5 year)		
The chain for anchoring the net	1,520	3,800 yen/m	8m ² × 25 radices × 2 *2 sets	Diameter, 11mm	30 years
The chain for joining the anchor	152	3,800 yen/m	5 m × 8 ind.	Diameter, 11mm	30 years
Anchor	60	7,560 yen/ind.	8 ind.	Weight, 10kg	30 years
Total (The set of facilities for protecting)	2,029	2,029 thousand yen	1 set (First year)		
The work of diving	376	62,600 yen/team/times	2 teams × 3 times *3	Team (licensed diver, liaison man, air supply man)	
Total (The set of the work of diving)	10,528	376 thousand yen	28 years (every year)		
Total	14,042	(The set of facilities for protecting+The set of nets for exchanging+The set of the work of diving)			

*1 Looking by URL at 8. 14. 2007.

*2 Two sets of protecting nets were needed. The reason is that once exchange of nets was needed to protect Sagarame from grazing by rabbitfish.

*3 Three times of the works of setting the facilities for protecting, exchanging of nets, and setting off the facilities were needed

収容限界重量は32.7kgとなった (Table 4)。収容個体数は、サガラメ群落区が6,583個、カジメ群落区が4,192個となった。漁獲時のアワビ個体体重は、サガラメ群落区が34.5g、カジメ群落区が21.4gであり、回収率31%と市場単価6,299円/kgから、漁獲金額はサガラメ群落区が443千円、カジメ群落区が175千円と見積もられた (Table 4)。両群落区での漁獲期間の最小公倍数までの漁獲回数は、サガラメ群落区10回、カジメ群落区9回となり、この期間の漁獲金額はそれぞれ4,430千円、1,575千円となった (Table 4)。アイゴの採食防御に係る経

費は14,042千円と見積もられた (Table 5)。これらの数値を元にして、両群落区の損益を比較したところ、餌料効果が高いもののアイゴに対する防御が必要なサガラメ群落区では、少ない種苗経費で最大の漁獲金額が出るように設定したにもかかわらず、11,732千円の減収となった (Table 6)。単位面積当たりの損益が赤字となることから、規模を大きくすることによるスケールメリットは考えられない。しかし、餌料効果は低いが防御が不要なカジメ群落区では360千円の利益が見込まれた (Table 6)。このため、今後も高水温化が続き、アイゴの採食がサガ

Table 6 Expenses involved in releasing disk abalone, protecting the marine forests from grazing by rabbitfish, and catch of fish, and the profits and losses of protecting 100 m² of the Sagaramé and Kazime marine forests for 28 years (refer to Table 4).

Species of making community	Item of expenditure	Item	Expense (thousand yen)	Note		
Sagaramé	Outgoings	Seed	2,120			
			(breakdown)	Cost of seed *1 32.2 yen/ind.	Population of seed *2 6,583 ind./time	Times of release *2 10 times
		Protect *3	14,042	(The method of protecting meristem : 2,183 thousand yen *4)		
	Incomings	Catch *2	4,430			
	Profit and loss		-11,732	(The method of protecting meristem : 127 thousand yen)		
Kazime	Outgoings	Seed	1,215			
			(breakdown)	Cost of seed *1 32.2 yen/ind.	Population of seed *2 4,192 ind./time	Times of release *2 9 times
		Protect	0			
	Incomings	Catch *2	1,575			
	Profit and loss		360			

*1 The cost of seed at 2005 in the National Association for the Promotion of Productive Sea.

*2 Refer to table 3,

*3 Refer to table 5

*4 2,183 thousand yen = 430 thousand yen (the cost of materials) + 1,753 thousand yen (the cost of diving).

ラム群落の再生を阻害する状態が継続し、網による防御施設を設置すると仮定した場合、カジメ群落を造成することが経済的に有利になる可能性が高い。伊勢湾湾口部では、サガラメとカジメの混植が確認されていることから、サガラメが消失した水深帯にカジメ群落を造成することは可能と考えられた。カジメは、サガラメと類似した生活史であるため、サガラメの種苗生産技術が応用できる²⁸⁾。しかし、サガラメ群落のアワビに対する餌料効果は最も高く、得られる漁獲金額も大きいことから、アワビによる収益とアイゴの採食防御経費の両方を見ながら海藻群落の再生を実施していく必要がある。網によるアイゴからの防御方法でいけば、サガラメの再生は経済的ではなく、カジメの方がアイゴの採食程度が低いため有効である。しかし、防御網よりも費用が格段に低減できる手法が開発されると、サガラメの再生も十分に考えられる。サガラメは分裂組織から側葉を新生する²⁹⁾ため、群落全体を守るのではなく、サガラメの分裂組織のみを守ることで、側葉がアイゴに採食されても最終的に群落を守ることは可能である。そこで、生分解性繊維を用いてアイゴの採食から分裂組織を防御する方法³⁰⁾を使えば、種苗経費および防御経費は2,183千円、損益は127千円となり (Table 6)、経済的にサガラメを再生させてアワビの漁獲による収益を高めることが可能と考えられた。この方法では、9~11月にアイゴの採食によりサガラメの葉体部が消失するが、この時期にはアワビは成熟し成長が鈍化するため、アワビの成長にはそれほど影響を与えないと考えられた。

4. まとめ

このように、褐藻類群落の再生は、経済的比較を念頭において、現実的な方法を検討する必要がある。アワビ資源を回復する手法としては、核藻場 (褐藻類種苗の供給場) となる群落は防御網により保護し、そこから拡大した種苗は生長部防御方法により保護する。それと並行して防御を必要としない褐藻類群落の再生も行う必要がある。アワビなどの地磯資源を回復させて魅力ある漁業とし、次世代に漁業を継承していくことが求められている中、海藻群落の再生は人為的な手間暇をできるだけ掛けずにコストを押さえて実施していく必要があると考えられる。今回は、伊勢湾湾口部の岩礁域におけるカジメおよびトゲモクの生長量を把握できておらず、群落をアワビだけの利用に限定し、アワビが造成した群落の褐藻類のみを採食するとした。今後、海藻群落の経済性をより詳細に比較検証していくためには、伊勢湾湾口部での海藻群落の現存量、生長量、他生物の摂餌による褐藻類の減耗量およびアワビの食性を把握する必要がある。カジメについては、移植した種苗がアイゴの採食を受けないこと、また採食を受けたとしても再生すること、およびカジメを餌としてアワビが成長し漁獲に至ることを実海域において検証する必要がある。なお、カジメは、サガラメが消失した場所に徐々に広がっている傾向が観察されているため、カジメの増加を人為的に助けることは、アワビの増産につながると考えられた。トゲモクについてはアワビの成長はみられなかったが、トゲモクは、魚の隠れ場所、安息場所の役割を果たし、ヨコエビを中心

とした甲殻類や軟体動物などが豊富で、漁業対象生物の餌料の場としての価値が高いガラモ場³¹⁾の構成種であることから、魚介類への餌料の供給、さらには水質浄化などの機能を把握する必要があると思われる。

5. 要 約

伊勢湾湾口部に群生していたサガラメは、1998年以降アイゴの採食を一因として減少し、2005年には一部海域を残して消滅した。サガラメなど多面的機能がある多年生大型褐藻類の群落を大規模に修復する事業を実施するには、費用対効果を考慮する必要があるが、算定に必要な各機能の定量化は行われていない。そこで、効果の一要因であり、かつ、金銭的評価が可能なクロアワビの漁獲による収益と修復のための費用との損益から効果を算定し、褐藻類のうち効果的な移植種を選定した。各種褐藻類をクロアワビ稚貝に餌料として与えた場合、トゲモクの生残率は40%と低く、クロアワビへの餌料効果は認められなかった。カジメは、サガラメを与えた場合と比べて成長率は約70%と劣るものの、伊勢湾湾口部海域ではアイゴに対する採食防御を必要としないことから、クロアワビの放流から漁獲までの損益はサガラメより高かった。

謝 辞

愛知県水産業振興基金栽培漁業部にはクロアワビ稚貝を提供していただいた。また、豊浜漁業協同組合および内海漁業協同組合には、海藻採取にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 新崎盛敏・新崎輝子：海藻の話。東海大学出版会，p.228, 1978.
- 2) 井上正昭：磯根資源とその増殖1—アワビ—，すみ場。日本水産資源保護協会，水産増養殖業書24，1972.
- 3) 片山勝介・篠原基之・石田公行・野上安久・小野秀次郎・土屋 豊・鈴木昭久（南西水産研究所編）：岡山県沿岸海域の藻場調査，沿岸海域藻場調査瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告書—藻場の分布—。南西水産研究所，大町町，pp.77-101, 1979.
- 4) 第43，46，48次愛知農林水産統計年報。東海農政局統計部，1997，2000，2002.
- 5) 長谷川雅俊：静岡県における磯焼けとその対策。水産増殖研究会，水産増殖研究会報，29，2003.
- 6) 蒲原聡・伏屋満・原田靖子・服部克也：1997年から2005年までの愛知県岩礁域におけるサガラメ *Eisenia arborea* 群落の様相。愛知県水産試験場研究報告，pp.13-18, 2007.
- 7) 蒲原 聡・服部克也・原田靖子・甲斐正信：アラメ群落再生緊急技術開発試験。平成18年度愛知県水産試験場業務報告，pp.14-15, 2007.
- 8) 蒲原 聡・服部克也・原田靖子・甲斐正信：アラメ群落再生緊急技術開発試験。平成17年度愛知県水産試験場業務報告，pp.17-19, 2006.
- 9) 二村和規・高辻裕史・増田 傑・冨本淳司：静岡県榛南海域へ移植したカジメ・サガラメ種苗の生長・成熟とアイゴによる食害。水産増殖，55(4)：541-546, 2007.
- 10) 井上正昭：磯根資源とその増殖1—アワビ—，すみ場。日本水産資源保護協会，水産増養殖業書24，pp.8-32, 1972.
- 11) 平成16年度栽培漁業技術開発事業報告書地先型定着性種（暖海域）グループ，pp.1-21, 2005.
- 12) 蒲原 聡・服部克也・岡村康弘・三宅佳亮・荒川純平：アラメ群落再生緊急技術開発試験。平成16年度愛知県水産試験場業務報告，pp.18-20, 2004.
- 13) 酒井誠一：エゾアワビの生態学的研究—Ⅲ女川湾付近におけるエゾアワビの生産構造の解析。日本水産学会誌，28(9)：891-898, 1962.
- 14) Miyuki Maegawa, Yasutsugu Yokohama and Yusho Aruga: Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis, *Hydrobiologia*, 151/152, pp.447-455, 1987.
- 15) 石田 修・石河正裕：配合飼料によるクロアワビ稚貝の飼育。水産増殖，40(2)：167-172, 1992.
- 16) 藤井明彦・小川七朗・四井敏雄：クロアワビ稚貝に対する各種海藻の餌料効果。長崎水試研報，12：19-25, 1986.
- 17) 浮 永久・大森正明・河原郁恵・石田亨一・柳澤豊重：栽培漁業技術シリーズNo.2，アワビ類の種苗生産技術。社団法人日本栽培漁業協会，pp.125-153, 1995.
- 18) アワビ種苗放流マニュアル，放流漁場高度利用技術開発事業，pp.55-56, 1990.
- 19) 柳澤豊重・吉村憲一・河合秀登・水野宏成：愛知県篠島におけるクロアワビ稚貝放流と漁獲の変化，栽培技研，17(1)：37-47, 1988.
- 20) 吉田忠生：アラメの物質生産に関する2・3の知見。東北水研研究報告，30：107-112, 1970.
- 21) YASUTSUGU YOKOHAMA, JIRO TANAKA AND MITSUO CHIHARA: Productivity of the *Ecklonia cava* Community in a Bay of Izu Peninsula on the Pacific Coast of Japan, *Bot. Mag.*, 100：129-141, 1987.
- 22) 村瀬 昇：褐藻ノコギリ目 *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究。水産大学校研究報告，49(4)：131-212, 2001.
- 23) NOBORU MURASE, HITOSHI KITTO, YUZURU MIZUKAMI AND MIYUKI MAEGAWA: Productivity of *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta) population in Fukawa Bay, Sea of Japan, *Fisheries Sci.*, 66：270-277, 2000.
- 24) 平成17年度栽培漁業種苗生産，入手，放流実績（全国）～資料編～。水産庁，独立行政法人水産総合研究センター，(社)全国豊かな海づくり推進協会，p.44, 2007.

- 25) 第51次愛知農林水産統計年報. 東海農政局統計部, 2005.
- 26) 浮 永久・大森正明・河原郁恵・石田亨一・柳澤豊重:栽培漁業技術シリーズNo.2, アワビ類の種苗生産技術. 社団法人日本栽培漁業協会, pp.5-8, 1995.
- 27) 菊池省吾:アワビの養殖に関する研究, 1964年北京シンポジウム水産連絡協議会, p.6, 1964.
- 28) 蒲原 聡・伏屋 満・柳澤豊重・服部克也:アルギン酸ナトリウムと砂の混合ゾルに混入させたサガラメ幼葉の海底基質への移植法. 水産工学, 43 (3): 201-206, 2007.
- 29) 蒲原 聡・原田靖子・服部克也:アイゴ*Siganus fuscescens*の摂食から生長点を保護したサガラメ*Eisenia arborea*の再生. 愛知水試研報, 13: 7-8, 2007.
- 30) 蒲原 聡・佐藤嘉洋・原田靖子・服部克也:平成20年度日本水産学会春季大会講演要旨集. 日本水産学会誌, p.176, 2008.
- 31) 大野正夫:藻場・海中林, 藻場・海中林の水産上の効用, ガラモ場内の環境. 恒星社厚生閣刊, 東京, pp.86-92, 1981.