

アイゴ成魚に対する動物性餌料の重要性

柴田玲奈¹⁾・片山知史¹⁾・渡部諭史²⁾・荒川久幸³⁾

The importance of animal components in the diet of adult rabbitfish *Siganus fuscescens*

Rena SHIBATA¹⁾, Satoshi KATAYAMA¹⁾, Satoshi WATANABE²⁾ and Hisayuki ARAKAWA³⁾

Abstract : The importance of animal matter in the diet of the adult rabbitfish *Siganus fuscescens* was determined using a combination of composition analysis of the diet and rearing experiments. The gut contents of rabbitfish inhabiting a barren area or a seaweed bed consisted mainly of macroalgae with a smaller concentration of animal matter such as hydrozoas and crustaceans. The carbon/nitrogen stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of rabbitfish living in the barren area were significantly lower than those of rabbitfish inhabiting the seaweed bed. This difference in the ratios is probably due to the lower concentrations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ found in crustaceans which are the main food source for rabbitfish inhabiting the barren area as compared to the concentrations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ provided by algae and other animals as a food source. Rabbitfish reared on brown algae alone showed reduced somatic growth, whereas the fish fed with krill and gammarid exhibited a greater increase in body weight and were found to be in better overall condition. Concentrations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in the fish fed only with brown algae showed a small shift during the rearing period. Thus, although the rabbitfish is regarded to be omnivorous with strong herbivorous tendencies, it appears that the inclusion of animal matter in their diet is also important for satisfactory growth.

Keywords: *Siganus fuscescens*, Feeding habit, Stable isotope ratio, Diet composition

-
- 1) (独) 水産総合研究センター中央水産研究所
〒238-0316 神奈川県横須賀市長井 6-31-1
National Research Institute of Fisheries Science,
Fisheries Research Agency, 6-31-1, Nagai,
Yokosuka, Kanagawa, 238-0316, Japan.
Tel:046-856-2887, Fax:046-857-3075
Email: renas@fra.affrc.go.jp
- 2) (独) 国際農林水産業研究センター
〒305-8686 茨城県つくば市大わし 1-1
Japan International Research Center for Agricultural
Sciences, 1-1, Ohwashi Tsukuba, Ibaragi,
305-8686, Japan
- 3) 東京海洋大学海洋科学部
〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7
Department of Ocean Sciences, Tokyo University
of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan,
Minato-ku Tokyo, 108-8477, Japan

1. はじめに

近年、我が国沿岸の天然藻場や造成藻場において磯焼けが広く発生している。磯焼けの要因としては、気象・海況の変化（高水温、貧栄養、台風による激浪等）、生物相の変化（ウニ・魚類などの藻食動物の摂餌圧の増大）、人間活動に伴う要因（生活・産業排水の流入に伴う汚濁・富栄養化、河川改修や護岸整備に伴う海水の停滞・懸濁物質・堆積浮泥の増加）、哺乳類・魚介類（ウニ等藻食動物の捕食者）の乱獲、そのほかに火山灰の堆積等が挙げられている（藤田，2002）。その中でもアイゴ *Siganus fuscescens* やブダイ *Calotomum japonicus*、ニザダイ *Prionurus scalprus* 等の植食性の強い魚類による食害例が近年増加し（吉村ら，2006）注目を集めている。これら魚類の過度な摂食圧が海藻群落を衰退させている現象は、近年では日本海を含めた多くの海域で観察されてい

る (藤田ら, 2006)。

アイゴは植食性魚類として位置づけられ (藤田, 2006)、磯焼けの報告事例 (増田ら, 2000 ほか) が多いことからアイゴの餌生物としては海藻が注目される場合が多い。一方、消化管内容物からは海藻・海草とともにワレカラ類、ヨコエビ類等の小型甲殻類やウミシバ等のヒドロ虫類の出現が報告されている (尾上ら, 2002; 桐山ら, 2002; 野田ら, 2002; 山口, 2006)。霜村ら (2003) は、海藻を含有しない配合餌料とカジメ *Ecklonia cava* を餌として用いた飼育実験により、カジメだけの給餌では体重が増加しないものの、カジメに加えた配合餌料が多いほど、体重増加量が大きいことを報告している。またカジメだけを与えた飼育実験では生残率が低いという報告もある (山田, 2006)。そこで著者らはアイゴが息息する磯焼け域および豊富な現存量を保っている藻場という異なる環境下におけるアイゴの動物性餌料の重要性を把握する目的で、アイゴの消化管内容物の組成を調べた。そして同化された食物起源を判定するため筋肉の炭素・窒素安定同位体比を計測した。さらに海藻及び小型甲殻類を単独給餌した飼育魚の成長および筋肉の安定同位体比を比較してそれぞれの同化特性を明らかにした。

2. 材料と方法

2.1 消化管内容物の観察

アイゴ成魚は、1994年以降一部を除き磯焼けが持続していて主にオオバキントキやヒラクサ、オオブサが植生している静岡県御前崎 (長谷川ら, 2003; 霜村ら, 2006)、および現在もカジメ、アラメ群落が高密度に維持されている横須賀市長井において2005年6月~12月に、両海域でそれぞれ刺網漁業によって漁獲されたものを使用した (Fig. 1)。冷凍保存したアイゴは解凍後に全個体の標準体長、体重を計測した (Table 1)。消化管

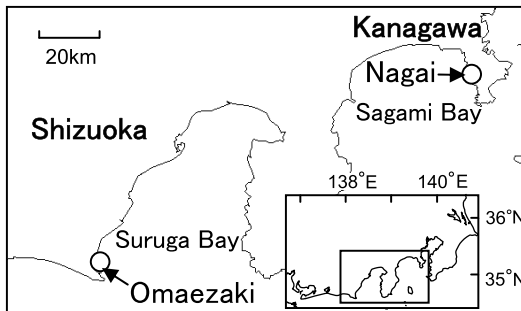


Fig. 1. Map of collection sites of rabbitfish.

内容物については、胃および腸を採取しその内容物重量を計測した。消化管内容物重量の指標として、秋山ら (2009) に従い、消化管内容物重量指数 (CSI: gut contents somatic index) を、御前崎は7月、長井は8月以降毎月次式より算出した。

$$\text{CSI} = \text{消化管内容物重量 (g)} \times 100 / \text{体重 (g)}$$

消化管内容物の重量組成を求めるために、消化管内容物全体の中から一部を取り出し、実体顕微鏡下で構成物の種もしくは分類群毎に分けた後、種類毎の重量を測定した。内容物は原形を留めて判別可能な場合のみを対象とし、消化が進み分類群の同定が不可能な場合は除外した。

2.2 炭素・窒素安定同位体比の測定

安定同位体比分析は、対象生物が直接摂餌した餌だけでなくその食物源を一次生産まで遡って解析できる手法であり、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は食物源の推定 (DENIRO and EPSTEIN, 1978)、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は栄養段階の推定 (MINAGAWA and WADA, 1984) にそれぞれ有効であると報告されている。本研究の炭素・窒素

Table 1. Standard length of *Siganus fuscescens* collected in Nagai and Omaezaki.

Omaezaki			Nagai		
Month	Number of fish	Range of Standard length (mm)	Month	Number of fish	Range of Standard length (mm)
June	16	196-282	June	11	212-330
July	22	214-290	July	21	232-328
Aug.	9	241-299	Aug.	17	268-332
Sep.	33	206-288	Sep	4	238-291
Oct.	52	192-314	Oct	13	228-348
Nov.	21	212-261	Nov.	7	228-292
Dec.	10	246-296	Dec	5	232-282
Total	163			78	

Table 2. Summary of feeding experiments of rabbitfish.

	Exp I	Exp II
Rearing period	Nov. 11-Nov. 30, 2005	Aug. 28-Sep. 25, 2006
Temperature (°C±SD)	19.5±0.6	25.0±0.8
Standard length (mm±SD)	286.1±23.7	184.8±20.4
Number of fish	30	21
Food item	<i>Ecklonia cava</i> <i>Euphausia superba</i>	<i>Ecklonia cava</i> <i>Gammarus pulex</i>

Table 3. Weight composition (%±SD) of food item in gut contents of rabbitfish collected in Omaezaki and Nagai.

Omaezaki (%)							
Dietary category	June (n=16)	July (n=22)	Aug. (n=9)	Sep. (n=30)	Oct. (n=52)	Nov. (n=19)	Dec. (n=8)
Green algae	6.3±21.4	0	0	0	0.2±0.1	0	0.9±2.3
Brown algae	58.5±44.6	46.0±43.7	48.9±49.5	2.4±5.0	26.4±22.0	18.7±17.2	0.1±0.4
Red algae	11.1±20.8	34.6±44.7	24.9±42.2	57.0±38.6	63.5±25.0	53.9±31.8	39.0±45.2
Hydrozoa	0.2±0.4	1.1±1.6	1.6±4.6	18.3±32.7	2.6±16.0	6.3±14.3	21.1±31.9
Crustacea	19.3±33.0	0	0	10.1±31.6	0.3±1.7	0.1±5.2	0.6±0.9
Other animals	3.9±15.7	0.0±0.1	0.1±0.3	0.1±0.1	1.3±5.5	1.6±7.4	0.9±1.5
Unidentified materials	0	0	0	0.4±1.4	1.2±3.8	0.2±0.7	1.4±3.2
Algae	76.0±38.8	92.8±19.0	97.9±4.5	67.7±41.2	92.2±21.2	77.1±38.3	68.3±39.1
Animal	24.0±38.8	7.2±19.0	2.1±4.5	31.9±41.6	5.0±16.9	22.7±38.3	30.3±39.1
Nagai (%)							
Dietary category	June (n=11)	July (n=19)	Aug. (n=17)	Sep. (n=4)	Oct. (n=13)	Nov. (n=7)	Dec. (n=5)
Green algae	0	0.0±0.1	0.1±0.1	0	0	0.7±0.3	0
Brown algae	81.7±31.0	78.8±29.8	72.0±37.7	92.4±10.1	93.6±9.6	93.9±3.5	84.7±16.4
Red algae	11.2±22.0	5.7±23.0	3.0±6.5	0.2±0.4	0.8±1.0	3.2±1.4	2.4±2.2
Hydrozoa	4.2±7.4	4.5±4.8	9.3±20.4	6.3±10.7	0.2±0.3	0.2±0.3	0.6±0.8
Crustacea	0.2±0.5	0.0±0.1	0.2±0.7	1.1±2.0	0.2±0.6	0.0±0.1	0.0±0.1
Other animals	2.7±6.4	3.8±7.2	15.4±29.7	0.0±0.1	4.1±6.1	1.6±2.8	11.2±12.1
Unidentified materials	0.1±0.2	0.8±3.3	1.1±2.3	0	0	0.0±0.1	0
Algae	92.8±11.2	90.9±9.6	74.7±33.9	92.6±10.3	95.3±6.8	97.8±2.6	87.7±13.4
Animal	7.1±11.2	8.4±9.8	24.2±32.6	7.4±10.3	4.7±6.8	2.2±2.6	12.3±13.4

安定同位体比の分析は高井ら（2003）を参考にした。概略は以下の通りである。背部筋肉を少量採取し、クロロフォルムおよびメタノールによる脱脂処理を行った後、元素分析計（Carlo Erba EA-1108）により分離した二酸化炭素および窒素ガスを、流量インターフェース（ConFlo II）を介して質量分析計（Finnigan MAT252）で計

測した。また胃内から摂取された餌生物の炭素・窒素安定同位体比についても魚体筋肉と同様の方法で計測した。アイゴ同一個体の胃から出現した餌生物は同一種類でまとめて分析した。なお小型甲殻類については外骨格中の炭酸カルシウムによる $\delta^{13}\text{C}$ への影響を除去するために1Nの塩酸処理を施してから計測に供した。

2.3 海藻及び小型甲殻類単独給餌による飼育実験

小型甲殻類の餌料価値を海藻と比較するため、海藻（カジメ）、小型甲殻類のオキアミ *Euphausia superba*、ヨコエビ *Gammarus pulex* の3種類をアイゴに与える飼育実験を4週間にわたり2回行った。実験Ⅰで使用したアイゴの平均体長は286.1mm、実験Ⅱでは184.8mmであった（Table 2）。実験Ⅰでは、アイゴにカジメと冷凍オキアミを別々に与え、実験Ⅱではカジメと乾燥ヨコエビ（テトラ社製テトラガマラス）を実験Ⅰと同様に別々に与え種々の実験項目を測定した。実験期間中に与えた餌の総量は実験Ⅰではカジメ約5kg、オキアミ約22kg、実験Ⅱではカジメ約3kg、ヨコエビ約10kgであった。カジメは付着物（生物を含む）を海水で洗浄後、冷凍保存したものを使用した。両実験は中央水産研究所横須賀庁舎（横須賀市長井）において複数の屋外水槽（自然海水・流水式、4m³）を用い、各実験区5~6尾ずつ収容して行った。供試魚にオキアミやヨコエビを餌として慣れさせる目的で、実験開始1週間から、実験で使用する餌を与え馴致した。なお、できるだけストレスを与えないために飼育全期間中の日毎の摂餌量の測定は行わず、飼育期間開始から1週間は1日1回9:00に給餌し夕方に残餌をすくい取り、日毎の給餌量から残餌量を引いた量を摂餌量として記録し、1尾1日あたりの摂餌量を算出した。実験開始時、2週間、4週間後に、体長（mm）、体重（g）を測定し肥満度を以下の式により算出した。

$$\text{肥満度} = (\text{体重} / \text{体長}^3) \times 10^3$$

実験Ⅰでは、実験終了時に個体毎の体長・体重の測定後、アイゴの筋肉および給餌した餌の安定同位体比分析を前述の方法で行った。実験Ⅱでは、実験開始2週間後に、個体毎にFA100（オイゲノール）で麻酔した後、生体から背部筋肉を採取し、体長・体重を計測後再び水槽へ戻して継続飼育した。背部筋肉採取の個体は安定同位体分析のみに供し、成長の解析には通常飼育の個体のみを用いた。本研究において種々の統計解析にはエクセル統計2006（（株）社会情報サービス）を用いた。

3. 結果

3.1 御前崎と長井におけるアイゴの食性

御前崎と長井で採集されたアイゴはそれぞれ体長192~314mm（*n*=163）、212~348mm（*n*=78）であった（Table 1）。Fig. 2に月毎の御前崎及び長井における平均CSIの季節的変化を示した。御前崎における各月の平均CSI値は2.89~9.38

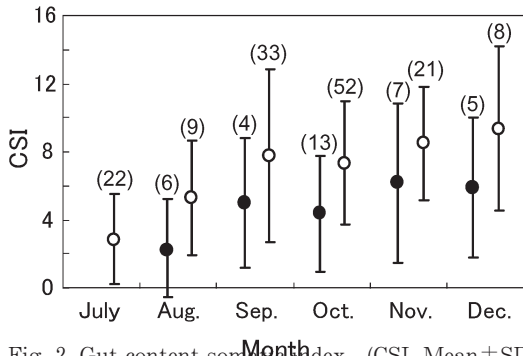


Fig. 2. Gut content somatic index (CSI, Mean ± SD) of rabbitfish collected at Nagai (closed circles) and Omaezaki (open circles) from July to December, 2005. Number of samples in parentheses.

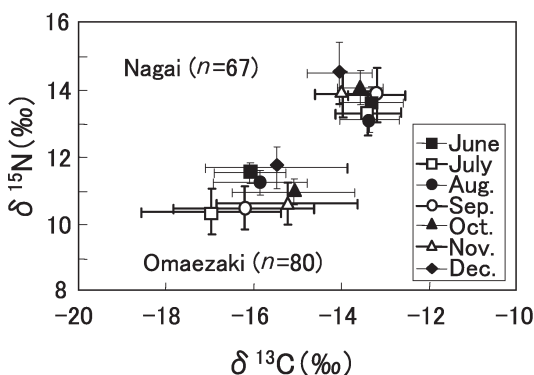


Fig. 3. Mean stable carbon and nitrogen isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, \pm SD) of rabbitfish collected in Nagai and Omaezaki.

であったが、長井のアイゴは2.24~6.19であり、御前崎は長井より高い値を示したが殆どの月で有意差は認められなかった。CSIは御前崎、長井の双方とも8月から9月にかけて増加したが、10月に低下し11月以降再び増加する傾向が見られた。

消化管内容物の組成は両海域とも藻類が大半を占めた（Table 3）。御前崎では6~8月は褐藻のアカモク *Sargassum horneri*、オオバモク *Sargassum ringgoldianum* 等のヒバマタ目、9月以降は紅藻の割合が高く、ピリヒバ *Corallina pilulifera* 等のサンゴモ目、オオバキントキ *Prionitis schmiziana* 等のスギノリ目、テングサ目等が観察された。一方、長井では全ての月でカジメ、ワカメ *Undaria pinnatifida*、アラメ *Eisenia bicyclis* 等のコンブ目の褐藻が常に70%以上を占めていた。動物に関して両海域ともにヒドロ虫類、ヨコエビ類、ワレカラ類等が出現して

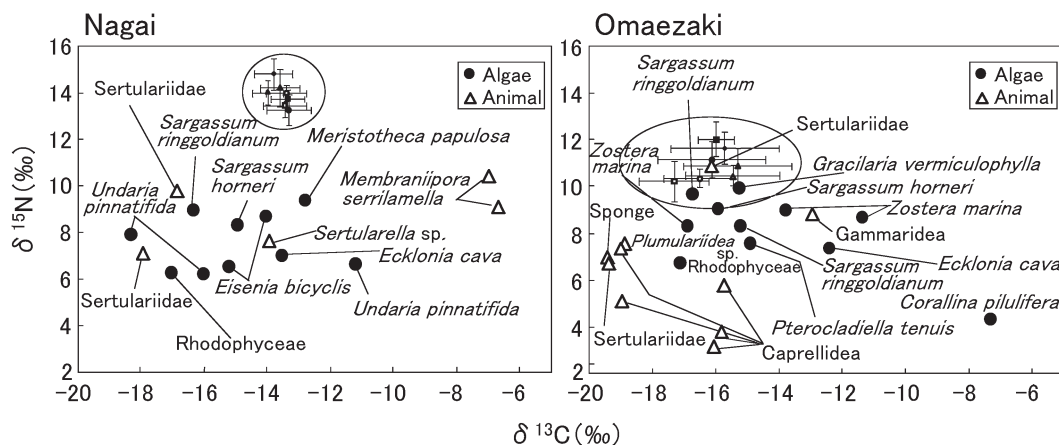


Fig. 4. Mean (\pm SD) $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of food items. Ranges denoted by dotted circles were data of rabbitfish in Nagai and Omaezaki, see Fig. 3. Food items analyzed in this study were brown algae (*Ecklonia cava*, *Eisenia bicyclis*, *Undaria pinnatifida*, *Sargassum horneri*, *Sargassum ringgoldianum*), red algae (*Gracilaria vermiculophylla*, *Corallina pilulifera*, *Meristotheca papulosa*, *Pterocladia tenuis*, Rhodophyceae), *Zostera marina*, Gammaridae, Hydrozoa, and Sponge.

おり、御前崎で小型甲殻類、ヒドロ虫、長井ではヒドロ虫類、その他動物（海綿動物等）の割合が高かった。消化管内容物に占める動物の重量割合（月毎平均）は、御前崎では2.1~31.9%、長井では2.2~24.2%であった。

長井におけるアイゴ筋肉の安定同位対比は $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ ともに御前崎より有意に高く（ t -test, $P < 0.01$ ）、 $\delta^{13}\text{C}$ の月平均は御前崎で $-15.1 \sim -17.0\text{‰}$ 、長井で $-13.2 \sim -14.1\text{‰}$ であり、 $\delta^{15}\text{N}$ の月平均は御前崎で $10.4 \sim 11.6\text{‰}$ 、長井で $13.1 \sim 14.5\text{‰}$ であった（Fig. 3）。また、得られた $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値について、御前崎、長井の2群としてBartlett検定によりそれぞれの分散を調べたところ、 $\delta^{15}\text{N}$ は有意差が認められなかったが、 $\delta^{13}\text{C}$ の分散は有意に異なっており（ $\delta^{13}\text{C}$: $\chi^2 = 35.6$, $P < 0.01$, $\delta^{15}\text{N}$: $\chi^2 = 0.02$, $P > 0.5$ ）、御前崎の $\delta^{13}\text{C}$ は長井に比べ個体間のバラツキが大きかった。

アイゴの餌料となった海藻の安定同位体比は、御前崎で多く摂食されていたアカモク、オオバモクやオバクサ *Pterocladia tenuis* の $\delta^{13}\text{C}$ が $-15 \sim -16\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $7 \sim 10\text{‰}$ であった。長井で多く摂食されていたワカメやカジメの $\delta^{13}\text{C}$ が $-12 \sim -18\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $6 \sim 8\text{‰}$ であった。 $\delta^{13}\text{C}$ は同一種においてもバラツキは大きく、 $\delta^{15}\text{N}$ は両海域で同程度であり海域間の明らかな差はみられなかった（Fig. 4）。動物性餌料の安定同位体比について、両海域で多く摂食されたヒドロ虫類と比較すると、御前崎の標本では $\delta^{13}\text{C}$ が $-16 \sim -19\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $7 \sim 11\text{‰}$ 、長井では $\delta^{13}\text{C}$ が -17

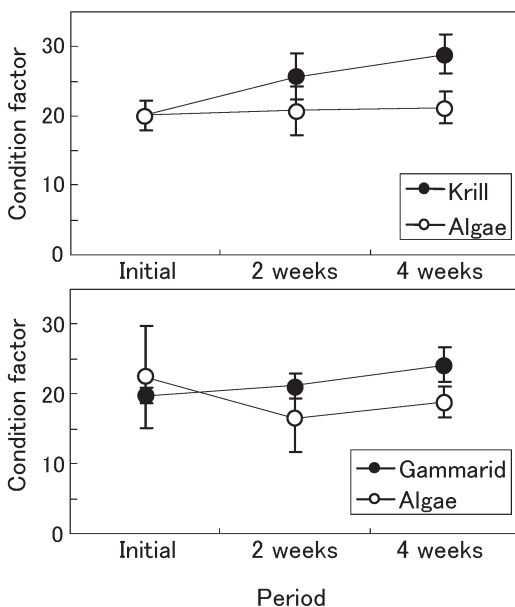
$\sim -18\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $7 \sim 10\text{‰}$ であり、海藻同様に海域間で差が認められなかった。しかし御前崎のアイゴの消化管内に多く出現したヨコエビ類やワレカラ類等の小型甲殻類の $\delta^{13}\text{C}$ は $-13 \sim -19\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $3 \sim 9\text{‰}$ であり、 $\delta^{15}\text{N}$ は他の生物に比べ有意に低い値を示した（ t -test, $\delta^{15}\text{N}$: $P < 0.05$ ）。そこで消化管内に出現した種を海藻と動物に分けて安定同位体比の平均値（ \pm 標準偏差）を求めたところ、海藻の $\delta^{13}\text{C}$ は御前崎 $-15.7 \pm 5.4\text{‰}$ 、長井 $-15.2 \pm 2.0\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ $7.7 \pm 1.6\text{‰}$ 、 $7.8 \pm 1.2\text{‰}$ となり両海域における $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の平均値および $\delta^{15}\text{N}$ のバラツキはほぼ同値であったのに対し、 $\delta^{13}\text{C}$ のバラツキは御前崎が長井に比べ大きかった。一方動物の $\delta^{13}\text{C}$ は御前崎 $-16.5 \pm 3.0\text{‰}$ 、長井 $-12.7 \pm 4.4\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ $7.2 \pm 1.9\text{‰}$ 、 $10.1 \pm 2.5\text{‰}$ で動物全体の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の平均値及びバラツキは両値とも御前崎が長井より低かった。

3.2 アイゴの飼育実験

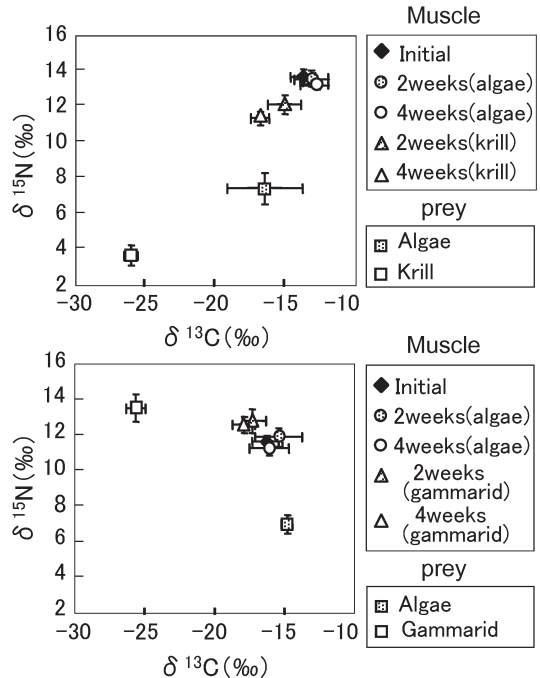
実験 I では、アイゴ 1 尾当たりカジメの摂餌量が 24g wet weight/day（アイゴの体重に対する平均相対重量は 4.8%）、オキアミが 100g w.w./day（同 19.7%）、実験 II における摂餌量は、カジメが 11g w.w./day（同 6.4%）、ヨコエビが 29g w.w./day（同 17.5%）であった。翌日の観察では残餌はほとんど確認されなかった。それぞれの摂餌量から推算した 1 日あたりの平均炭素摂取量と平均窒素摂取量は、オキアミはカジメに対しそれぞれ 7.0 倍、24.3 倍であり、ヨコエビはカジ

Table 4. Carbon and nitrogen contents in the food (g dry weight /day) taken by the rabbitfish.

Algae-krill exp.		
Food	Carbon	Nitrogen
Algae	0.97	0.07
Krill	6.80	1.70
Krill/algae	7.01	24.29
Algae-grammad exp.		
Food	Carbon	Nitrogen
Algae	0.44	0.03
Grammad	2.17	0.46
Grammad/Algae	4.93	15.33

Fig. 5. Temporal change in the mean condition factor of rabbitfish (\pm SD), in the krill-algae (top) and gammarid-algae (bottom) experiments.

メに対しそれぞれ 4.9 倍、15.3 倍であった (Table 4)。実験 I においてオキアミを与えたアイゴの肥満度 (平均 \pm 標準偏差) は実験開始時に 20.1 ± 2.1 であったがその後実験経過と共に増加し、4 週間後には 28.9 ± 2.8 にまで上昇した (Fig. 5)。一方、カジメを与えた実験区では 4 週間経過後に 21.0 ± 2.0 となり、開始時の 20.1 ± 2.1 からほとんど変わらなかった。また実験 II において、ヨコエビを与えた実験区のアイゴの肥満度は、実験開始時の 19.7 ± 1.1 から、2 週間後、4 週間後にそれぞれ 21.1 ± 1.8 、 24.2 ± 2.5 へと増加したが、カジメを与えた実験区では、開始時、2 週間、4 週間で、 22.4 ± 7.3 、 16.5 ± 4.8 、 18.9 ± 2.2 でありわず

Fig. 6. Mean (\pm SD) $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of muscle tissue samples of rabbitfish and food items (algae and krill; upper, algae and gammarid; lower), through rearing period.

かに減少した。オキアミ、ヨコエビを与えた個体に比べカジメを与えたアイゴの肥満度は 4 週間後には有意に低い値であった (実験 I、Mann-Whitney U test、 $U=0$ 、 $P<0.01$ 、実験 II、Mann-Whitney U test、 $U=0$ 、 $P<0.01$)。

実験 I において、アイゴの $\delta^{13}\text{C}$ は開始時 -13.8 ‰であったが、オキアミを与えて 2 週間後、4 週間経過後に -15.1 ‰、 -16.8 ‰と変化し、餌であるオキアミの -26.0 ‰に徐々に近づいた (Fig. 6)。 $\delta^{15}\text{N}$ も開始時 13.5 ‰であったが、4 週間後には 11.2 ‰となり、オキアミの 3.5 ‰に近づいた。しかし、カジメを与えたアイゴの $\delta^{13}\text{C}$ は、2 週間、4 週間経過後でも -13.0 ‰、 $\delta^{15}\text{N}$ も 13.0 ‰であり変化はわずかであった。実験 II において、ヨコエビを給餌したアイゴの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は実験開始時にはそれぞれ -16.2 ‰、 11.6 ‰であったが、4 週間後には -17.9 ‰、 12.5 ‰となり、餌であるヨコエビの値 (-25.6 ‰、 13.5 ‰) に近づいた。一方、カジメを給餌したアイゴの筋肉は、4 週間後にそれぞれ -16.1 ‰、 11.2 ‰となり、開始時のアイゴ筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ との差は実験 I 同様にわずかであった。なお開始および 2 週間後に筋肉を採取した個体と全く採取しなかった個体

の実験終了時の安定同位体比の値は炭素・窒素の両方において有意差はなかった (Mann-Whitney *U* test, $U=6\sim 9$, $P=0.3\sim 0.8$) ので、筋肉採取のストレスが安定同位体比の変化に与える影響は小さいと考えられた。

4. 考察

4.1 アイゴの消化管内容物

御前崎と長井の両海域とも共通して夏季に比べ秋季以降の CSI が高かった。CSI の季節変動は成熟との関連が考えられている。秋山ら (2009) は生殖腺重量指数 GSI の上昇に伴う CSI の低下及び産卵終了後の 11 月以降は越冬に向けた摂餌量の増大に伴い CSI が変動することを推定しており、本研究でもこれを支持する結果となった。

御前崎のアイゴの消化管から多く出現したヒバマタ目や紅藻にはワレカラやヨコエビが同時に出現する場合が多かった。一方、長井のアイゴの消化管から多く出現したカジメには、葉上に付着する形でヒドロ虫が存在する場合が多く見られた。ピンガーによる行動解析の結果から、アイゴは定着性が強いことが報告されており (山口ら, 2006)、アイゴの食性は生息域の餌料環境を反映していると考えられる。すなわち磯焼け域や藻場それぞれに存在する海藻種、さらに海藻に付着する生物種とその分布量から生じた餌料環境の差異が、両海域に生息する生物を摂取したアイゴの筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ にも反映されたと考えられた。

アイゴの餌生物に占める動物性餌料の重量割合は、大分県で約 0~13% (尾上ら, 2002)、長崎県上五島町で約 0~38% (桐山ら, 2002)、長崎県野母崎で 17.0% (山口, 2006)、山口県蓋井島で 1.2~1.8% (野田ら 2002) を示していた。アイゴは植食性の強い魚類と考えられているが、過去の知見や本研究の結果から、餌料環境に応じて動物性餌料の割合が高くなることが示唆された。

4.2 海藻と小型甲殻類給餌による飼育実験

カジメ摂餌量は実験 I と II で 2 倍程度異なったが、体長の大きいアイゴを使用した実験 I で摂餌量が多いことから、実験時期が摂餌量に影響したのではなく、実験魚の体長がカジメ摂餌量に影響したと考えられた。

また、甲殻類の摂餌量は、カジメに比べオキアミの摂餌量は 4.2 倍、ヨコエビは 2.6 倍高かった。オキアミやヨコエビは残餌をすくい取ることが難しく摂餌量を過大評価している可能性がある。しかし飼育実験における摂餌量が現場海域に比べ高くなったことは明らかであり、その要因を推察した。配合飼料をアイゴに与えた飼育実験では、カ

ジメ単独とカジメ+配合飼料の実験区で摂餌量に大きな違いはなく、7 月~10 月にかけて摂餌量は約 20g~約 50g との報告から (山田, 2006)、アイゴにとってオキアミは配合飼料以上に嗜好性が高い餌料と考えられた。また、アイゴ釣りの餌として、オキアミや蛹のミンチ等の動物性餌料が用いられることから (山内, 2006)、アイゴが選択的にオキアミやヨコエビを摂餌した可能性も示唆された。

4.3 炭素・窒素摂取量と安定同位体比分析

アイゴの摂餌生態に関する報告は、春・秋季における食性の違い (野田ら, 2002)、海藻の摂食選択性実験 (桐山・藤井, 2005) や、紅藻類は褐藻類に比べ摂餌選択性が高い (PILLANS *et al.*, 2004) 等、先述の通り海藻に注目した内容のものが多い。しかし、本研究によりアイゴは、動物性餌料をほぼ季節を問わず摂食していることが示された。動物性餌料と海藻を比較すると、消化管内容物重量は、海藻重量 1 に対して動物性餌料が約 0.16 (御前崎の平均)、および約 0.14 (長井の平均)、炭素摂取量は海藻の摂取量 1 に対して、約 0.28 (御前崎)、約 0.22 (長井)、窒素摂取量は同様に約 0.99 (御前崎)、0.69 (長井) であった。動物性餌料の重量や炭素摂取量は海藻に比べ少ないものの窒素摂取量は海藻と同程度であった。以上の結果から、海藻に劣らない窒素分を、少量の摂餌量で確保できる点で、動物性餌料は効率的といえる。

アイゴの消化酵素活性の分布は、アワビやサザエ等の植食性動物よりも雑食性の強いコイ科魚類と類似しているとの報告からも (SHIBATA *et al.* 2005)、アイゴが植物、動物の双方を利用しているという雑食的な食性を持つことが強く示される。また、植食性魚類の筋肉と餌の安定同位体比の関係を調べた研究では、炭素は海藻から、窒素は動物から摂取されていると推定されている (PINNEGAR and POLUNIN, 2000; CARSELDINE and TIBBETTS, 2005)。本研究において御前崎におけるアイゴ筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は長井に比べ低かった。また、御前崎のアイゴの消化管内に多く出現したヨコエビ類やワレカラ類等の小型甲殻類は他の生物に比べ $\delta^{15}\text{N}$ 値が有意に低いことから、アイゴ筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値はそれぞれ動物性餌料の値を反映したものと解釈される。一方、御前崎におけるアイゴ筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 値は長井に比べ個体間のバラツキが大きかった。御前崎における海藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値もバラツキが大きく、餌となる海藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値がアイゴ筋肉中の $\delta^{13}\text{C}$ 値に反映したものとわれ、炭素については動物に加え海藻

の影響があるものと推察される。さらにこの海藻の値のバラツキと磯焼けとの関係も注目すべき課題である。

なお、筆者の観察ではアイゴは消化管内に内容物が充満している時、すなわち摂餌量が多いと後腸から未消化の海藻がそのまま排出されるが、飢餓状態が続くと、後腸末端部の海藻は原形を留めないほど消化が進んでいた。すなわち餌生物が充分にない場合、海藻の利用度合が高まることも考えられる。

アイゴの摂餌生態を解明するために今後は、アイゴの消化機構や海藻・動物の分布密度と食性の関係を検討する必要があるだろう。

謝辞

本論文の作成に当たりご助言頂きました中央水産研究所浅海増殖部長興石裕一氏および同部浅海生態系研究室長張成年博士、海藻の同定にご助言頂きました瀬戸内海区水産研究所化学環境部長寺脇利信博士に感謝の意を表します。また標本魚収集にご協力頂きました太田議氏および梶ヶ谷貞夫氏をはじめ神奈川県長井町漁業協同組合の方々、静岡県相良漁業協同組合及び御前崎漁業協同組合の方々、調査・実験にご協力頂きました梶ヶ谷義一氏に厚く御礼申し上げます。

文献

- 秋山清二・長沼美和子・片山知史 (2009) : 千葉県館山湾におけるアイゴの生活年周期. 水産工学, **46**, 2, 107-115.
- CARSELDINE, L. and I. R. TIBBETTS (2005) : Dietary analysis of the herbivorous hemiramphid *Hyporhamphus regularis ardelio* : an isotopic approach. *J. Fish Biol.*, **66**, 1589-1600.
- DENIRO, M. J. and S. EPSTEIN (1978) : Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 495-506.
- 藤田大介 (2002) : 磯焼け. 日本藻類学会創立 50 周年記念出版 21 世紀初頭の総額の現況 (堀輝三・大野正夫・堀口健夫編), 山形, 102-104.
- 藤田大介 (2006) : 植食性魚類は海藻・藻場とどのように関わってきたか. 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで— (藤田大介・野田幹雄・桑原久美編), 成山堂書店, 東京, pp. 1-14.
- 藤田大介・綿貫啓・青田徹・桑原久美・横山純 (2006) : 2005 年の全国アンケート調査から. 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで— (藤田大介・野田幹雄・桑原久美編), 成山堂書店, 東京, pp. 26-32.
- 長谷川雅俊・小泉康二・小長谷輝夫・野田幹雄 (2003) : 静岡県樺南海域における磯焼けの持続要因としての魚類の食害. 静岡水試研報, **38**, 19-25.
- 桐山隆哉・大橋智志・藤井明彦・吉村拓 (2002) : 藻場に対する食害実態調査. 平成 13 年度長崎県総合水産試験場事業報告, pp. 85-91.
- 桐山隆哉・藤井明彦 (2005) : 藻食性魚類の生態調査. 水産業関係特定研究開発促進事業 藻食性魚類による大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究 総括報告書, 西水研, 長崎県, pp. 16-26.
- 増田博幸・角田利春・林義次・西尾四良・水井悠・堀内俊助・中山恭彦 (2000) : 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退. 水産工学, **37**, 135-142.
- MINAGAWA, M. and E. WADA (1984) : Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 1135-1440.
- 野田幹雄・北山和仁・新井章吾 (2002) : 響灘蓋井島の秋季と春季における成魚期のアイゴの食性. 水産工学, **39**, 5-13.
- 尾上静正・内海訓弘・三浦慎一・日高悦久・山本義博・寿久文 (2002) : 藻場再生緊急対策事業. 大分県海洋水産研究センター事業報告, 大分県海洋水産研究センター, pp. 223-253.
- PILLANS, R. D., C. E. FRANKLIN and I. R. TIBBETTS (2004) : Food choice in *Siganus fuscescens* : influence of macrophyte nutrient content and availability. *J. Fish Biol.*, **64**, 297-309.
- PINNEGAR, J. K. and N. V. C. POLUNIN (2000) : Contribution of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia*, **122**, 399-409.
- SHIBATA, T., J. MOTOMURA, K. YAMAGUCHI, T. KIRIYAMA, A. FUJII, Y. HAMA and T. NAKAMURA (2005) : Distribution of digestive enzymes in the rabbitfish *Siganus fuscescens*. *New Technol. Med.*, **6**, 368-371.
- 霜村胤日人・長谷川雅俊・伊藤円・山田博一・斎藤久輝・上嶋慎一・村尾秀治・山田照義 (2003) : III 海中林復元に関する研究. 平成 14 年度静岡県水産試験場事業報告, pp. 83-100.
- 霜村胤日人・長谷川雅俊・伊藤円・山田博一・上嶋慎一・村尾秀治・山田照義・田中直也 (2006) : III 海中林復元に関する研究. 平成 16 年度静岡県水産試験場事業報告, pp. 113-118.
- 高井則之・三島康史・星加章・吉原喜好 (2003) : 炭素・窒素安定同位体比分布から推察した安芸灘に生息する底生動物群集の炭素供給源. 水産海洋研究, **67**, 148-162.
- 山田博一 (2006) : 水槽飼育におけるアイゴ成魚のカジメ採食量とカジメ脱落量の季節変化ならびにアイゴ成魚の生残・成長におよぼす餌料の影響. 静岡水試研報, **41**, 15-19.
- 山口敦子 (2006) : 食性と行動生態を調べる. 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで— (藤田大介・野田幹雄・桑原久美編著), 成山堂書店, 東京, pp. 126-137.
- 山口敦子・井上慶一・古満啓介, 桐山隆哉・吉村拓・小井土隆・中田英昭 (2006) : バイオテレメトリー手法によるアイゴとノトリスズミの行動解析. 日

水誌, 72, 1046-1056.
 山内 信 (2006): バリ釣り (アイ釣り). 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで— (藤田大介・野田幹雄・桑原久美編著), 成山堂書店, 東京, pp. 159-166.

吉村 拓・桐山隆哉・清本節夫 (2006): 変わりゆく九州西岸域の藻場. 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで— (藤田大介・野田幹雄・桑原久美編著), 成山堂書店, 東京, pp. 33-51.

Appendix 1. Carbon and nitrogen isotope ratios (Min. to Max.) of food items of rabbitfish collected in Omaezaki and Nagai.

Location	Algae	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Omaezaki	<i>Zostera marina</i>	8.7 to 9.0	-16.9 to -11.3
	<i>Undaria pinnatifida</i>	7.3	-12.4
	<i>Sargassum horneri</i>	9.0	-15.9
	<i>Sargassum ringgoldianum</i>	8.3 to 9.7	-16.7 to -15.19
	<i>Pterocladia tenuis</i>	7.6	-14.9
	<i>Corallina pilulifera</i>	4.3	-7.3
	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	9.9	-15.2
Nagai	<i>Ecklonia cava</i>	7.0	-13.5
	<i>Eisenia bicyclis</i>	6.5 to 8.7	-15.2 to -14.0
	<i>Undaria pinnatifida</i>	6.2 to 7.9	-18.3 to -11.2
	<i>Sargassum horneri</i>	8.3	-14.9
	<i>Sargassum ringgoldianum</i>	8.9	-16.3
	<i>Meristotheca papulosa</i>	9.4	-12.8
Location	Animal	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Omaezaki	Gammaridea	8.8	-12.9
	Caprellidea	3.2 to 5.8	-19.0 to -15.6
	<i>Sertulariidae</i> sp.	6.7 to 0.9	-19.4 to -16.1
	Rhodophyceae	7.6	-18.9
	Sponge	7.0	-19.4
Nagai	<i>Membraniopora serrilamella</i>	9.1 to 10.4	-7.0 to -6.7
	<i>Sertulariidae</i> sp.	7.1 to 9.8	-17.9 to -13.9

受付 2010年10月8日
 受理 2010年12月25日