

# 炭素・窒素安定同位体比を指標とした 藻場造成効果の算定手法の開発

水産総合研究センター 養殖研究所  
飼育環境技術部 飼育技術研究室  
石樋 由香・横山 寿

調査実施年度：平成12～14年度

## 緒言

藻場造成は、藻場を産卵・育成場とする魚介類の増殖を促すばかりでなく、海藻が有する豊かな生産性から沿岸生態系の有機物源として水産資源の底上げに貢献していると考えられる。水産基盤整備事業を推進する上でこの貢献度を把握することは重要である。しかしながら、藻場での生産物は複雑な食物網を通して魚介類に取り込まれるため、一連の捕食・被食過程を通じた魚介類への有機物の供給という観点から藻場の機能を評価することはこれまで困難であった。

近年、複雑な食物網を解析する手法として炭素・窒素安定同位体比分析法が注目されている。この手法では動物の炭素・窒素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ) の値が餌の値を反映する性質を利用して食物網を解析する<sup>1)</sup>。この手法を用いれば、餌となっている一次生産者の動物への寄与率を算定することが可能となる。

平成9年度から11年度までの沿岸漁場整備開発調査で、我々は五ヶ所湾のガラモ場に出現する海藻および主要な動物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の測定により、食物網の枠組みを把握し、藻場に生息する動物の多くが海藻起源の有機物を利用している可能性が高いことを明らかにした<sup>2)</sup>。本課題では、さらに対象を藻場周辺の生態系に生息する魚類にまで広げ、内湾の有機物源としての造成藻場の機能を評価する手法の開発を試みた。まず藻場に隣接した小型定置網によって捕獲された魚類とその主要な餌と考えられる海藻上の葉上動物、湾内のマクロベントスの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を測定し、魚類の餌料源となっている一次生産者を推定した。次に、藻場から外に向かって設けた測点で採取した沈降物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を測定し、湾内における海藻由来有機物の流れを明らかにした。最後に飼育実験によりマダイにおける $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮率（餌と動物との間の値の変化）を算出し、魚類に対する海藻の寄与率から、藻場の貢献度を推定した。

## 調査方法

三重県度会郡南勢町の五ヶ所湾中部に位置する養殖研究所研究水面を調査水域とした。調査水域は、2つの岬に囲まれ、岩礁と砂浜の入り混じった地形を呈している。岸より平均水面下1.7m付近までの底質は岩盤または転石よりなり、それより沖合は次第に砂質堆積物の割合が増え、平均水面下4m以深では礫混じりの砂底となる。1984年にコンクリートブロック（90cm×90cm×高さ50cm）40個が投入され、藻場造成試験が行われている<sup>3)</sup>。本調査水域での海藻の年最大現存量は105.5 kg/m<sup>2</sup>（湿重）で、その大部分は藻場造成用に投入されたコンクリートブロック上に生育したアカモク等ホンダワラ類で占められており、

藻場造成が効果を上げていることが確認されている<sup>4)</sup>。

#### 1) 藻場とその周辺生態系の有機物源の解析

1998年～2001年の春季(3月～5月)に、五ヶ所湾のガラモ場とその周辺部において、餌の起源となる有機物(懸濁物、沈降物、海藻)、葉上動物とマクロベントス(端脚類、多毛類等)、および魚類と藻場動物(軟体動物、棘皮動物等)を採集し、それぞれ炭素・窒素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ )を測定した。懸濁物は、バンドーン採水器を用いて0.5m層と2.5m層から採水し、ろ過によってフィルター(Whatman、GF/F)上に捕集した。 $\delta^{13}\text{C}$ は0.5m層と2.5m層の値を平均して懸濁物の値とした。沈降物は、門谷式セディメントトラップを現場に一昼夜係留し捕集した。海藻および藻場動物は潜水によって採集した。葉上動物は、イソモク、ヨレモクモドキ、マメタワラ、アカモク、ヤツマタモクを海水中でビニール袋に入れて持ちかえり、葉上に生息していた動物を振り落として採取した。マクロベントスは、エクマンバージ採泥器によって得られた堆積物中から採集した。魚類は、調査水域に隣接した小型定置網で捕獲された魚類をサンプルとした。得られたすべての試料は、60°Cで乾燥させた後、粉末にした。懸濁物、沈降物については、炭酸カルシウム等を除去するため塩酸処理を行った。炭素・窒素安定同位体比は、元素分析計と接続された質量分析計を用いて測定した。

#### 2) 藻場由来有機物の輸送

藻場で生産された有機物の周辺部への輸送を明らかにするため、ガラモ場の中心部(測点A)とそこからガラモ場の外へ50m、100m、500mの地点に、測点B、C、Dを設けた(図1)。大潮時と小潮時の月2回、各地点にセディメントトラップを1昼夜垂下して沈降物を採取し、 $\delta^{13}\text{C}$ の測定を行った。

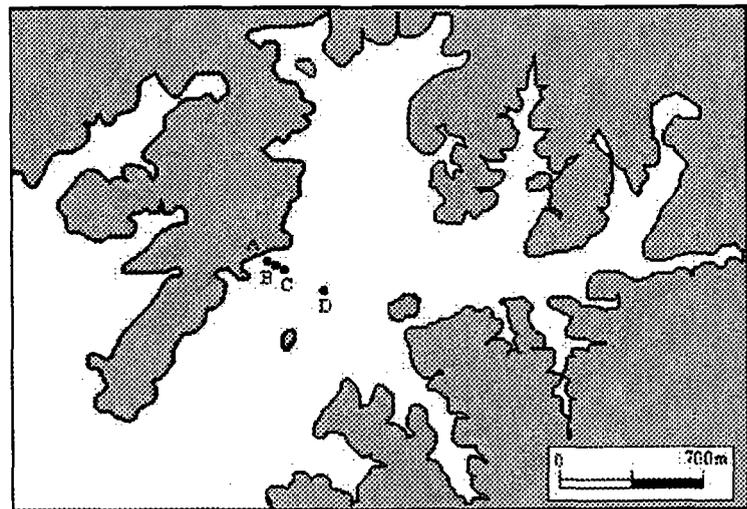


図1 調査地点

#### 3) マダイの炭素・窒素安定同位体の濃縮率の算出

海藻の寄与率を算出するために必要な炭素・窒素安定同位体の濃縮率を、マダイの飼育実験により算定した。平均体重85g、全長16cmのマダイに、オキアミとイカをそれぞれ単一の餌として与え、39週間飼育した。オキアミ餌区は0、7、14、28、56、87、113、231日目に、イカ餌区は231日目に、それぞれ3～5尾のマダイを取り上げ、背部筋肉、鱗、肝臓、脂肪組織、および魚体全体を同位体比測定用のサンプルとした。また276日目には、オキアミ餌区とイカ餌区マダイを取り上げ、魚体全体をサンプルとした。得られたサンプルは60°Cで乾燥した後、粉末化し、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を測定した。脂肪による濃縮率の変化をみるため、全体と背部筋肉のサンプルについては、クロロフォルムメタノール混合液で脱脂処理後、 $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。

#### 4) 魚類の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の測定と海藻起源有機物の寄与率の算定

五ヶ所湾内のガラモ場に隣接する小型定置網で、湾内に生息する魚類を周年にわたり毎

月1回捕獲した。得られた魚類は背部筋肉をサンプルとし、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を測定した。脱脂処理は行わなかった。これまでに得られている海藻と植物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比の値と魚類の値を比較し、今回得られたマダイの濃縮率をもとに藻場起源の有機物の魚類に対する寄与率を算定した。

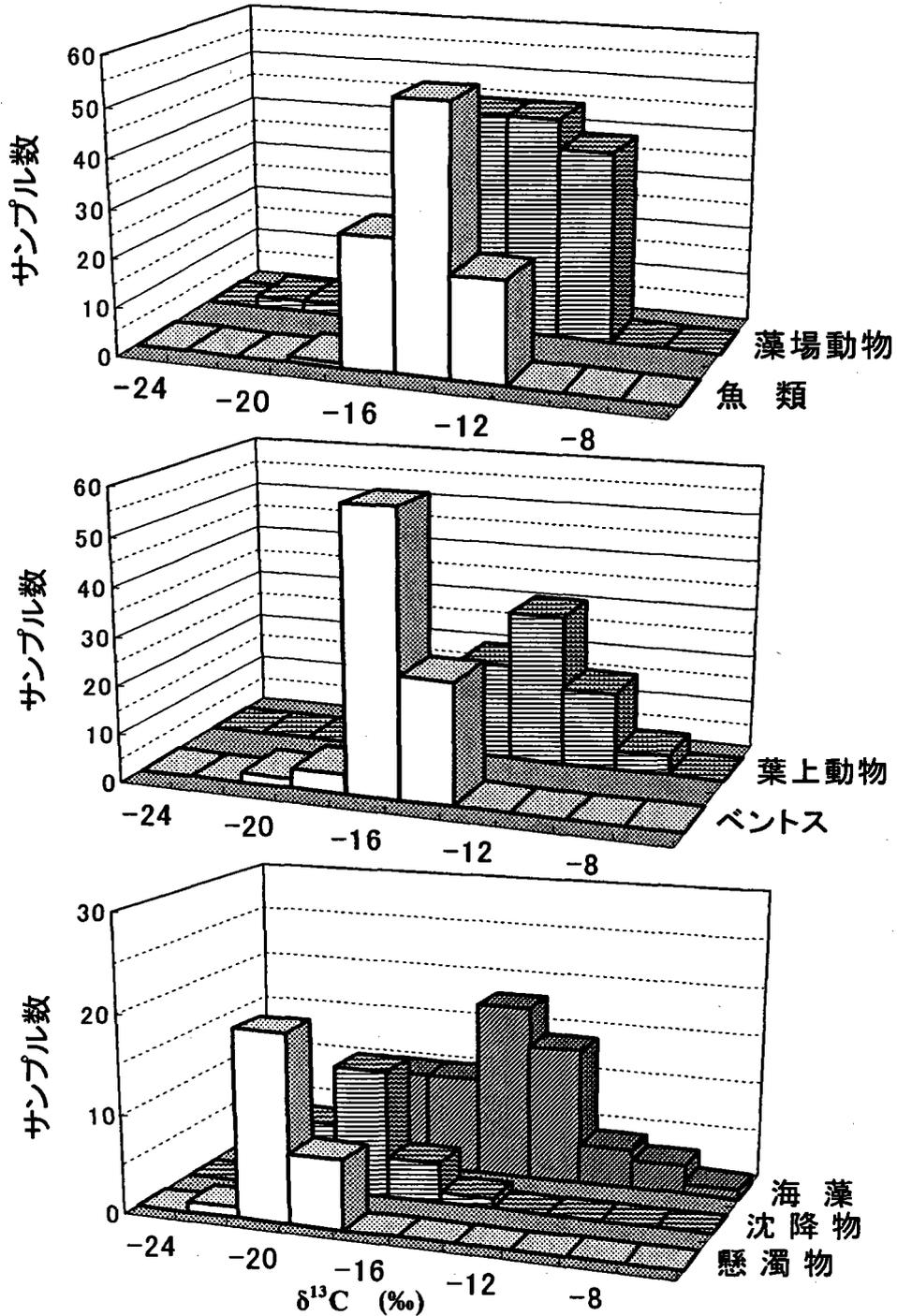


図2 五ヶ所湾の藻場とその周辺生態系における有機物源の解析  
魚類と藻場動物(上)、マクロベントスと葉上動物(中)、懸濁物(植物プランクトン)、  
沈降物(デトライタス)及び海藻(下)の炭素安定同位体比

## 調査結果

### 1) 藻場とその周辺生態系の有機物源の解析

海藻（ホンダワラ類等）、懸濁物（植物プランクトン）および沈降物（デトライタス）の  $\delta^{13}\text{C}$  値は各々、 $-24.1 \sim -7.6\text{‰}$  (中央値:  $-15.1\text{‰}$ )、 $-22.0\text{‰} \sim -19.2\text{‰}$  (中央値:  $-20.6\text{‰}$ )、および  $-20.9 \sim -14.6\text{‰}$  (中央値:  $-19.6\text{‰}$ ) を示した(図 2 下)。これら 3 者のうち沈降物の  $\delta^{13}\text{C}$  値は、他 2 者のレンジにまたがり、沈降物に含まれる有機物は海藻と植物プランクトンが混合したものとみなされる。

端脚類等の葉上動物の  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $-17.3 \sim -8.7\text{‰}$  (中央値:  $-13.0\text{‰}$ ) を示し、海藻由来の有機物に強く依存していることが明らかとなった(図 2 中)。また多毛類等のマクロベントスの  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $-20.8 \sim -14.4\text{‰}$  (中央値:  $-16.6\text{‰}$ ) を示し、沈降物を餌とすることによって海藻由来の有機物も利用していることが推定された(図 2 中)。

軟体動物、棘皮動物等の藻場動物の  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $-24.0 \sim -10.1\text{‰}$  (中央値:  $-13.7\text{‰}$ ) を示し、葉上動物同様、海藻由来の有機物に強く依存していることが明らかとなった(図 2 上)。また魚類の  $\delta^{13}\text{C}$  値も  $-19.1 \sim -12.8\text{‰}$  (中央値:  $-15.0\text{‰}$ ) を示したことから、葉上動物やマクロベントスなどを餌として、間接的に海藻由来の有機物に依存していると考えられる(図 2 上)。

これらのことから、海藻は葉上動物等に直接摂餌されるのみならず、デトライタス化して藻場周辺のマクロベントス等の餌となり、魚介類生産の基盤となる餌料源として重要な役割を果たしていることが示唆された。

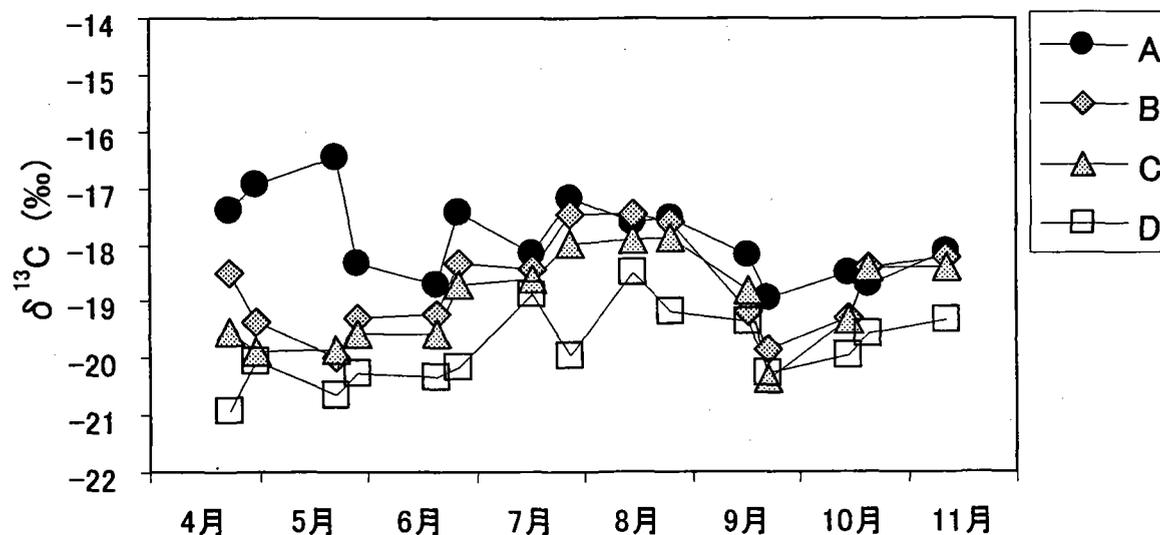


図3 五ヶ所湾のガラモ場を基点とするライン上で捕集された沈降物の炭素安定同位体比

### 2) 藻場由来有機物の輸送

ガラモ場を基点としたライン上(図 1)で月 2 回、4 月から 11 月までの期間で捕集された沈降物の  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $-20.9 \sim -16.5\text{‰}$  を示し、春から秋を通して、ガラモ場に近い測点ほど  $\delta^{13}\text{C}$  値が高い傾向がみられた(図 3)。これは、藻場に近しい測点で採取された沈降物ほ

ど海藻由来の有機物が多く含まれるために、 $\delta^{13}\text{C}$  値が高くなったものと考えられる。特に4月から5月にかけて測点Aの沈降物の $\delta^{13}\text{C}$  値が高かったが、これはこの時期がガラモ場を形成しているホンダワラ類の成熟期から流出期であったため、より多くの海藻由来有機物が供給されたと推定された。これらのことから海藻由来の有機物はガラモ場の周辺部に沈降物の形で輸送されていることが明らかとなった。

### 3) マダイの炭素・窒素安定同位体の濃縮率の算出

実験に用いた餌の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はそれぞれ、オキアミが-27.1%、2.4%、イカが-17.8%、10.6%であった。脱脂後の $\delta^{13}\text{C}$ は、オキアミが-25.0%、イカが-17.1%であり、脂肪分の多いオキアミは脱脂により約2%高くなることがわかった。

オキアミ餌区231日目のマダイは、平均体重300g、体長26cmに成長した。各組織の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の変化(図4、図5)から、どの組織も231日目までにおおむね定常状態に達していたと考えられた。餌の変化にともなう同位体比の変化は、指数関数で表されることが知られており、 $Y=ae^{bx}+c$  の式に近似することによって、それぞれa、b、cのパラメータが求まる。このパラメータをもとに半減期と漸近値を算出し、餌の値と比較することによってオキアミに対する濃縮率を推定した(表1-1、表2-2)。

イカ餌区における全体のサンプルの231日目と276日目の差は0.2%以下であり、オキアミ餌区で求められた半減期から推定しても、イカ餌区231日目の各組織の同位体比はほぼ漸近値に近い値を示すと考えられたので、この値をもとにイカに対するマダイの濃縮率を推定した(表1-2、表2-2)。

全体の $\delta^{13}\text{C}$ 濃縮率は、オキアミ餌区で1.4%、イカ餌区で-1.0%であった。餌の違いによって、全体の濃縮率に2.4%、筋肉の濃縮率に2.5%の差が生じた。それぞれ脱脂したサンプルで算出した濃縮率で比較すると、全体で1.0%、筋肉で1.1%の差となり、餌に含まれる脂肪の違いによって濃縮率が変化することが示唆された。全体の $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮率は、オキアミ餌区で5.6%、イカ餌区で2.6%でおよそ2倍もの差があった。その原因のひとつとして、オキアミの殻の影響が考えられた。オキアミの殻の $\delta^{15}\text{N}$ は-1.8%とオキアミ全体の値2.4%よりも3%以上も低い値をもち、オキアミ全体から殻を除いて $\delta^{15}\text{N}$ を測定すると3.7%になった。殻を除いたオキアミの $\delta^{15}\text{N}$ に対する濃縮率を推定すると4.4%となり、イカ餌区の濃縮率との差は1.8%となった。

### 4) 魚類の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の測定と海藻起源有機物の寄与率の算定

2000年5月から2001年12月に捕獲された魚種毎の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の平均値は、それぞれ-16.7~-14.3%、12.6~15.4%の範囲に分布した(表3)。これまでに五ヶ所湾で得られている海藻(ホンダワラ類等)と、有機懸濁物POM(植物プランクトン)の $\delta^{13}\text{C}$ の中央値はそれぞれ、-15.1%、-20.6%、 $\delta^{15}\text{N}$ の中央値はそれぞれ、5.7%、7.7%であった。この中央値と今回得られたイカの飼育実験で算出した筋肉における炭素・窒素の濃縮率(表1-2:1.5%、表2-2:3.0%)を用いてそれぞれの魚種ごとに餌有機物の値を算出し、その餌有機物の海藻に対する寄与率を推定した(表3)。非常に多くの魚種で海藻を有機物源として利用していることが明らかになった。特にメバルやフグ類でその傾向が顕著であった。

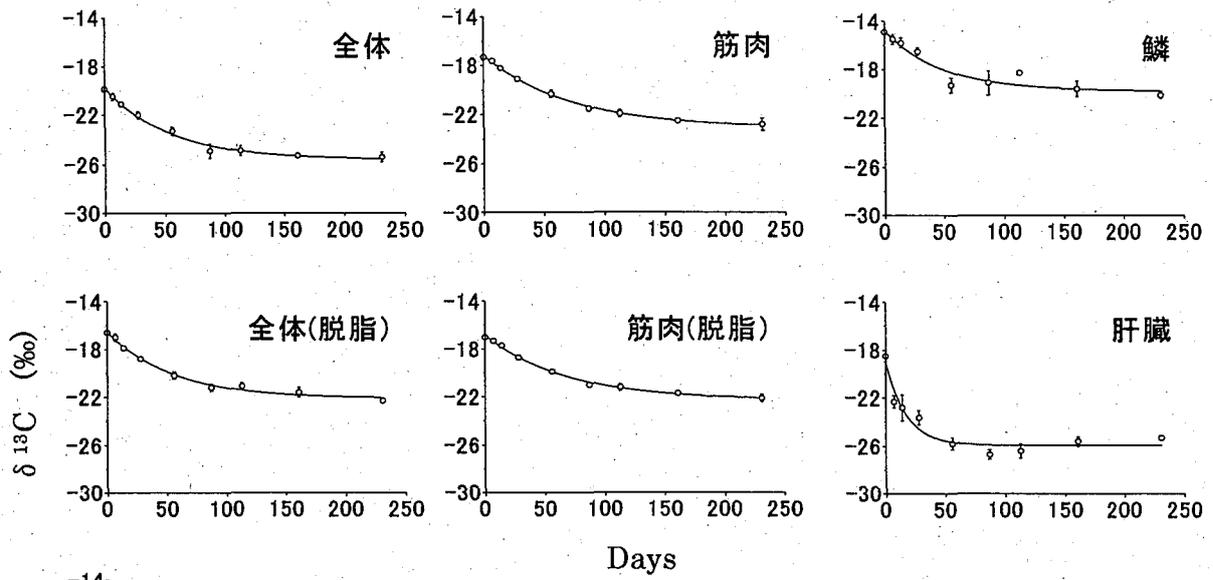


図4 マダイのオキアミ給餌期における炭素安定同位体比の変化

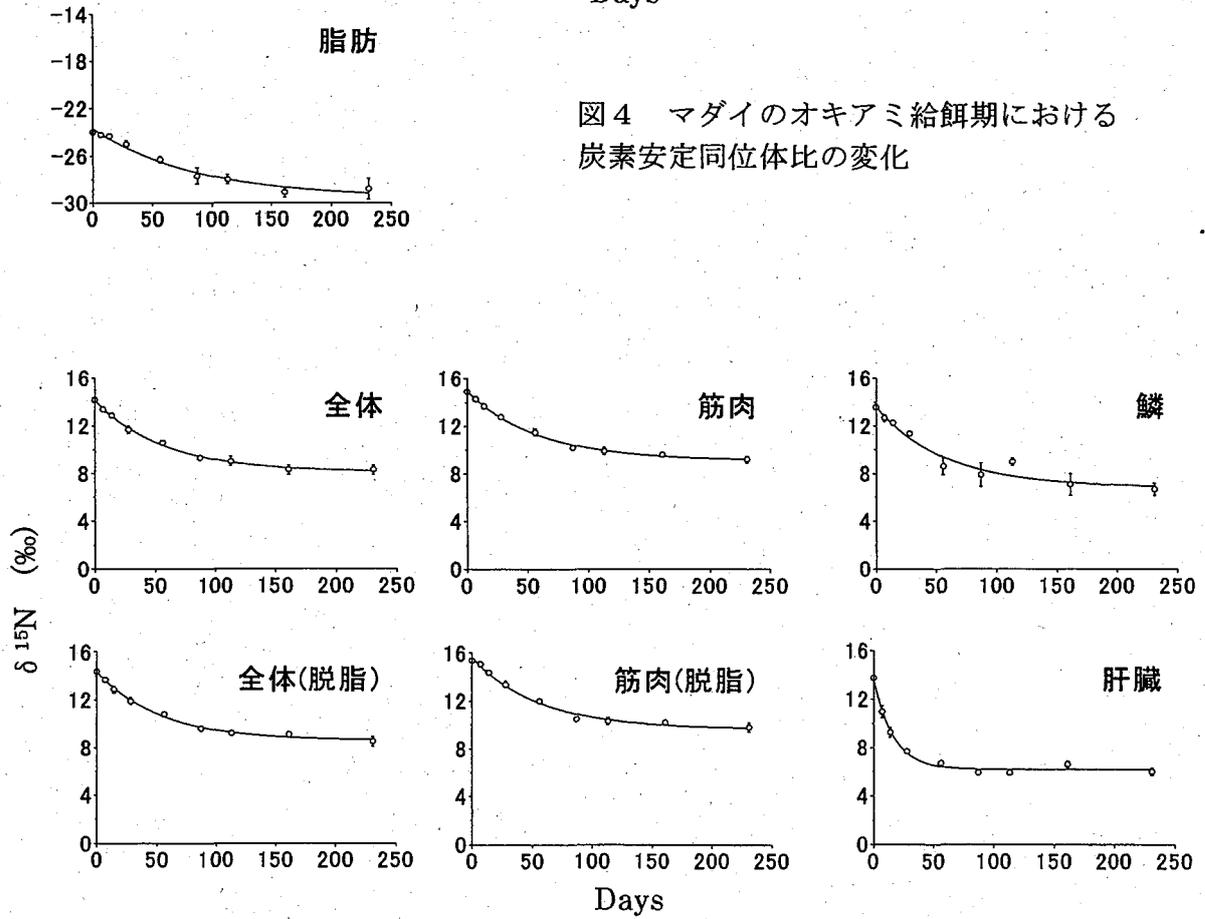


図5 マダイのオキアミ給餌期における窒素安定同位体比の変化

表1-1 オキアミを餌としたマダイの飼育実験によって算出された炭素安定同位体の半減期と濃縮率

	全体	筋肉	鱗	肝臓	脂肪	全体 (脱脂)	筋肉 (脱脂)
半減期 (日)	38	49	33	12	60	38	46
マダイ(オキアミ区)の $\delta^{13}\text{C}$ 漸近値 (‰)	-25.6	-23.1	-19.8	-25.9	-29.6	-22.1	-22.3
オキアミ(-27.1‰)に対する濃縮率	1.4	4.0	7.3	1.1	-2.5	5.0	4.8
脱脂したオキアミ(-25.0‰)に対する濃縮率	-0.6	2.0	5.3	-0.9	-4.5	2.9	2.8

表1-2 イカを餌としたマダイの飼育実験によって算出された炭素安定同位体の濃縮率

	全体	筋肉	鱗	肝臓	脂肪	全体 (脱脂)	筋肉 (脱脂)
マダイ(イカ区231日目)の $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-18.8	-16.2	-12.8	-17.4	-23.7	-16.1	-16.1
イカ(-17.8‰)に対する濃縮率	-1.0	1.5	5.0	0.4	-5.9	1.7	1.7
脱脂したイカ(-17.1‰)に対する濃縮率	-1.6	0.9	4.4	-0.2	-6.5	1.0	1.0

表2-1 オキアミを餌としたマダイの飼育実験によって算出された窒素安定同位体の半減期と濃縮率

	全体	筋肉	鱗	肝臓
半減期 (日)	40	41	39	11
マダイ(オキアミ区)の $\delta^{15}\text{N}$ 漸近値 (‰)	8.1	9.1	6.9	6.2
オキアミ(2.4‰)に対する濃縮率	5.6	6.7	4.4	3.7
殻を除いたオキアミ(3.7‰)に対する濃縮率	4.4	5.4	3.1	2.4

表2-2 イカを餌としたマダイの飼育実験によって算出された窒素安定同位体の濃縮率

	全体	筋肉	鱗	肝臓
マダイ(イカ区231日目)の $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	13.2	13.6	12.4	12.2
イカ(10.6‰)に対する濃縮率	2.6	3.0	1.9	1.6

表3 2000年5月～2001年12月に五ヶ所湾の小型定置網において捕獲された魚類の背部筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ および飼育実験で算出した濃縮率により推定された海藻の寄与率

種名	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		餌料源の推定値*		海藻の寄与率** (%)	栄養段階 TL***
		平均	SD	平均	SD	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
マアジ	47	-16.7	±0.9	13.7	±1.3	-20.8	5.6	0	3.7
チダイ	19	-16.5	±1.0	13.6	±0.5	-20.5	5.7	2	3.6
ナガエバ	10	-16.2	±0.5	14.0	±0.6	-20.3	5.8	6	3.7
メジナ	26	-16.3	±0.7	13.8	±0.4	-20.2	5.8	7	3.6
マダイ	38	-16.0	±0.8	14.2	±1.0	-20.2	5.9	8	3.8
ボラ	19	-16.5	±2.1	13.1	±1.7	-20.1	5.9	10	3.4
シマイサギ	15	-15.8	±0.9	14.3	±0.5	-20.0	5.9	11	3.8
カイワリ	15	-15.5	±0.8	14.4	±1.2	-19.7	6.0	16	3.8
ゴンズイ	26	-15.5	±1.5	14.5	±0.5	-19.7	6.0	16	3.8
マアナゴ	5	-15.2	±0.6	15.1	±0.4	-19.7	6.0	16	4.0
ブリ	10	-16.1	±1.0	13.1	±1.3	-19.7	6.0	17	3.3
ネンブツダイ	26	-16.0	±0.4	13.2	±0.8	-19.5	6.1	19	3.4
スズキ	10	-14.7	±0.6	15.4	±0.4	-19.4	6.1	22	4.1
ハコフグ	9	-15.7	±0.5	13.2	±0.4	-19.2	6.2	25	3.3
カワハギ	15	-15.7	±0.6	12.9	±1.1	-19.0	6.3	29	3.2
ウミタナゴ	16	-15.6	±0.8	13.1	±0.6	-19.0	6.3	29	3.3
ヒラメ	6	-15.1	±0.5	14.0	±0.4	-18.9	6.3	31	3.6
ダイミョウサギ	55	-14.8	±1.0	14.3	±0.6	-18.8	6.4	33	3.7
アイゴ	13	-15.6	±0.9	12.7	±0.8	-18.7	6.4	34	3.1
アカメフグ	6	-15.6	±1.0	12.6	±0.6	-18.7	6.4	35	3.1
メバル	9	-14.9	±0.7	13.7	±0.6	-18.5	6.5	39	3.4
コモンフグ	48	-14.5	±0.9	13.9	±0.8	-18.2	6.6	44	3.4
クサフグ	25	-14.3	±0.7	14.2	±0.5	-18.1	6.6	45	3.5
ヒガンフグ	11	-14.9	±0.9	13.0	±0.8	-18.1	6.6	46	3.1

\*餌有機物の推定値 (‰)

$$\delta^{13}\text{C}_f = (a_1 - a_2) / (b_2 - b_1)$$

$$\delta^{15}\text{N}_f = a_1 \times \delta^{13}\text{C}_f + b_1$$

$$a_1 = \epsilon_N / \epsilon_C$$

$$b_1 = \delta^{15}\text{N}_s - a_1 \times \delta^{13}\text{C}_s$$

$$a_2 = (\delta^{15}\text{N}_{p1} - \delta^{15}\text{N}_{p2}) / (\delta^{13}\text{C}_{p1} - \delta^{13}\text{C}_{p2})$$

$$b_2 = \delta^{15}\text{N}_{p1} - a_2 \times \delta^{13}\text{C}_{p1}$$

\*\*海藻の寄与率 (%)

$$f_1 = (\delta^{13}\text{C}_f - \delta^{13}\text{C}_{p2}) / (\delta^{13}\text{C}_{p1} - \delta^{13}\text{C}_{p2}) \times 100$$

\*\*\* 栄養段階

$$\text{TL} = 1 + (\delta^{15}\text{N}_s - \delta^{15}\text{N}_f) / \epsilon_N$$

$\epsilon_C$ :  $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮率 イカの飼育実験で求められた1.5‰を用いた

$\epsilon_N$ :  $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮率 イカの飼育実験で求められ3.0‰を用いた

$\delta^{13}\text{C}_s$ : 魚類試料の炭素安定同位体比

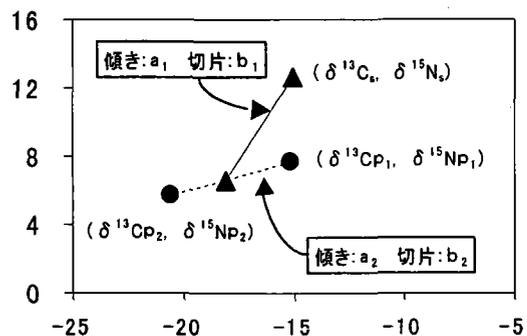
$\delta^{15}\text{N}_s$ : 魚類試料の窒素安定同位体比

$\delta^{13}\text{C}_{p1}$ : 海藻の炭素安定同位体比 (-15.1‰)

$\delta^{13}\text{C}_{p2}$ : 植物プランクトンの炭素安定同位体比 (-20.6‰)

$\delta^{15}\text{N}_{p1}$ : 海藻の窒素安定同位体比 (7.7‰)

$\delta^{15}\text{N}_{p2}$ : 植物プランクトンの窒素安定同位体比 (5.7‰)



## 考察

本調査では、海藻由来有機物による藻場造成の効果は造成された藻場のみにとどまらず、広く藻場周辺水域の漁獲対象種を含む大部分の動物に及ぶことが示唆された。また、それぞれの魚種に対して寄与率を算定したが、この寄与率を用いれば、藻場造成による効果の影響範囲を広げて、藻場周辺域での漁業生産量の増加を藻場造成の便益算定に組み込むことも考えられる。

今回、算定した寄与率は、マダイの飼育実験によって求めた濃縮率を基に計算を行ったが、この飼育実験では、用いた餌によって推定された濃縮率に差が生じることが明らかになった。実際の寄与率算定にあたっては、この濃縮率の差がなぜ生じるのか、その原因を明らかにして、算定に用いる濃縮率のデータに対する信頼度を高めることが求められる。これらの濃縮率等のデータの信頼度が増せば、実際の漁獲の増加量に寄与率をかけることによって、漁獲に対する藻場の貢献の算定を行うことができる。

沿整事業は、基本的には漁業生産量の増加を目的とする事業であり、便益の算定は漁業生産量の増加に伴う付加価値額の増加が中心になっている。しかしながら、沿整事業には、水域を中心とする沿岸域自然環境の保全に対する効果等も認められており、これを含めて経済効果を評価することが求められている<sup>5)</sup>。今回調査を行った藻場周辺の動物には、漁獲対象種外のものも多く含まれたが、そのほとんどに海藻由来有機物の寄与がみとめられ、海藻が藻場とその周辺生態系の主要な一次生産者として、食物網基盤を支えていることが明らかとなった。藻場造成によって海藻の生産が増加すれば、それだけ海藻によって沿岸域の栄養塩が有機物として固定される。海藻が多くの動物の有機物源となっているという本調査の結果は、海藻によって固定された栄養塩が食物網を通じて高次の消費者に受け渡され、豊かな生態系のなかで貯蔵され、さらに漁業や鳥等によって陸上に取り上げられるということを示しており、藻場造成がより有効に沿岸域での浄化を促進する効果があることを裏付けている。今後、一連の食物網を介した藻場の浄化能を算定するためには、本調査で得られた有機物の経路を骨格として、海藻や葉上動物、マクロベントス、魚類等のそれぞれの生物量を明らかにすることが必要である。

## 摘要

1. 藻場とその周辺生態系に生息する魚類、葉上動物、マクロベントスの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を測定し、それらの有機物の起源を推定した結果、海藻が主要な有機物として重要であることが明らかになった。
2. 藻場から外に向かって設けた測点で採取した沈降物の $\delta^{13}\text{C}$ は、藻場に近い測点ほど値が高く、海藻由来の有機物の影響を強く受けていると考えられた。
3. 飼育実験によりマダイにおける $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮率を算出したところ、餌に対する魚体全体の濃縮率は、オキアミ餌区で1.4%、イカ餌区で-1.0%であった
4. 五ヶ所湾の海藻と、植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ の中央値、マダイの飼育実験により求められた濃縮率を用いて、それぞれの魚種ごとに餌料源の値を算出し、その餌料源の海藻に対する寄与率を推定したところ、多くの魚種で海藻を餌料源として利用していることが明らかになった。

## 引用文献

- 1) 和田栄太郎、1991：海と地球環境 海洋学の最前線、東京大学出版会、東京、198-204
- 2) 石樋由香・山本茂也・横山寿、2002：炭素・窒素安定同位体比を指標とした藻場の周辺生態系への貢献度推定法の開発、平成 11 年度沿岸漁場整備開発調査(直轄)報告書、154-164
- 3) 飯倉敏弘・北村章二、1984：藻場の水理と物質の集積、近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究、昭和 58 年度年度研究成績報告書、107-116
- 4) 横山寿・石樋由香・豊川雅哉・山本茂也・鯨坂哲朗、1999：五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 II. ホンダワラ類の季節的消長と海藻類生産量、養殖研究所研究報告、28、27-37
- 5) 水産庁資源生産推進部整備課、2000：沿岸漁場整備開発事業 費用対効果分析の手引き