

# 炭素・窒素の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

養殖研究所 飼育環境技術部 飼育技術研究室  
石樋 由香・山本 茂也・横山 寿

調査実施年度：平成9～11年度

## 緒言

藻場は水産生物の繁殖場、生育場として有用な場であり、藻場の保護、造成が沿岸水産資源の保護管理、増殖を図る上で重要な課題となっている。また藻場を構成している海藻類は、沿岸生態系の中で最も高い一次生産力をもつことから、藻場で固定された大量の炭素がさらに高次の水産資源の再生産に利用されていると考えられる。藻場の保護、造成の効果を推定するためには、この藻場の炭素源としての機能を評価することが必要不可欠である。しかしながら藻場には多種多様な動植物が生息し、複雑な食物網を形成していることから、どのように藻場由来の炭素が高次の消費者に取り込まれているのかを追跡するのはこれまで困難であった。炭素、窒素の安定同位体比分析は、統一的なパラメータを用いて食物網を解析する手法であり、河口やアマモ場等での食物網解析に有効であることが知られている。炭素・窒素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) は、餌の値が捕食者に反映される性質があり、食物網を解析するための統一的な指標となりうると考えられる。本調査では、アマモ場とならんで日本沿岸の藻場を構成するガラモ場において、炭素・窒素安定同位体比を指標とした食物網解析を行い、藻場由来の炭素がどのように生態系に組み込まれるかを明らかにすることによって、藻場生産物の生態系への貢献度を推定する。

## I. ガラモ場生態系の概要把握 調査方法

### 1) 生物相

三重県五ヶ所湾中津浜浦の養殖研究所研究占用水面内に調査場所を設定した(図1)。調査水域は2つの岬に囲まれており、岩礁と砂浜が入り交じっている。1980年以降逐次、コンクリートブロック(90cm×

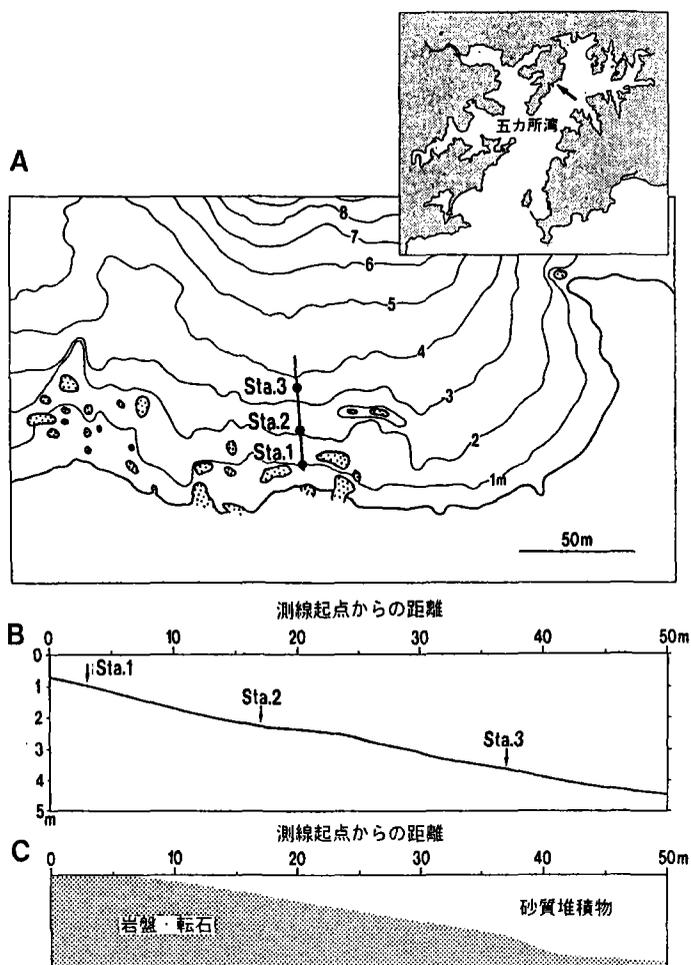


図1. 調査場所の地形および調査測線と坪刈り地点の位置 (A), 調査測線の断面 (B) および調査測線付近における岩盤・転石と砂質堆積物の比率 (C)

90cm×高さ 50cm) が約 40 個投入され、藻場造成が図られている。大潮差は約 180cm である。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、それより沖合い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 (図 1C)。平均水面下 0.7m の地点を起点として沖合いに向けて 50m の調査測線 (終点は平均水面約 4.5m) を設けた。平成 9 年 5 月から平成 10 年 6 月にかけて月 1 回、調査測線付近の海藻類と大型底生動物をスキューバ潜水により目視観察し、出現種とそれらの分布を記録した。

## 2) 海藻の季節的消長と現存量

調査測線の起点より 3m (平均水面下 1.0m)、17m (平均水面下 2.3m)、および 37m (平均水面下 3.6m) の地点に、それぞれ Sta.1、Sta.2、および Sta.3 を設けた。平成 9 年 5 月から平成 10 年 6 月にかけて月 1 回、Sta.1、Sta.2、Sta.3 の海藻が繁茂している場所に 50cm 四方の方形枠を置き、枠内の海藻を刈り取り (坪刈り)、種ごとに湿重量を計測した。主な種については個体ごとに全長を測定した。また種別に水分、炭素量、窒素量を測定し、これをもとに乾重量あたりの炭素量を算出した。

## 結果

### 1) 生物相

本調査場所における年間にわたる海藻類の出現数は緑藻類 10 種、褐藻類 30 種、紅藻類 31 種、計 71 種 (表 1) であった<sup>1)</sup>。種数は秋から冬にかけて 20~30 種と少ないが、春には 54~64 種と増加し、夏には 35 種以下に減少した。出現種構成からみると、外磯性のアラメ、オオバモク、ヒジキが出現するとともに、内湾性のオゴノリ類やカヤモノリ、ヒトエグサもみられ、種多様性が高かった。また冬から春にかけてホンダワラ類が優占したが、夏には流出してシワヤハズ、マクサ、カバノリ、フシツナギなどの下草類が目立った。出現種のほとんどは温帯性の種であったが、フサイワズタ、マユハキモ、カゴメノリ、シマオオギ、アヤニシキなど暖海性の種も出現した。

表 1. 調査場所に出現した海藻種

緑藻綱	アオサ目	ヒトエグサ, アナアオサ
	シオグサ目	フトジュズモ, ホソジュズモ, カイゴロモ, ツヤナシシオグサ
	イワズタ目	マユハキモ, フサイワズタ
	ミル目	ミル, コブシミル
褐藻綱	シオミドロ目	シオミドロ属の一種
	イソガワラ目	イソガワラ, イソイワタケ
	クロガシラ目	クロガシラ属の 1 種
	アミジグサ目	ヘラヤハズ, シワヤハズ, アミジグサ, ウミウチワ, コモングサ, シマオウギ
	ナガマツモ目	イシゲ, イワネバリモ, シワノカワ
	カヤモノリ目	ワタモ, ウスカワフクロノリ, フクロノリ, カゴメノリ, カヤモノリ
	コンブ目	ヒロメ, ツルモ, アラメ
	ヒバマタ目	ヒジキ, イソモク, アカモク, タマナシモク, ヤツマタモク, マメタワラ, オオバモク, ウミトラノオ, ヨレモクモドキ
紅藻綱	サンゴモ目	カニノテ, ウスカワカニノテ, ヒリヒバ, ヒライボ, ウミサビ
	テングサ目	マクサ, オバクサ
	スギノリ目	フクロフノリ, カイノリ, コメノリ, ムカデノリ, サクラノリ, ヒチリメン, トサカマツ, サイダイバラ, ヤツデガタトサカモドキ, オキツノリ, ホソバナミノハナ, ベニスナゴ, ミリン
	オゴノリ目	シラモ, オオオゴノリ, カバノリ, オゴノリ
	マサゴシバリ目	フシツナギ
	イギス目	ケイギス, イギス属の一種, アヤニシキ, ミツデソソ, クロソソ, ソソ属の一種

表2. 調査場所に出現した大型藻場動物種

門	綱	目	和名	
海綿動物	尋常海綿綱	硬海綿目	<i>Tethya</i> 属不明種	
		多骨海綿目	<i>Mycale</i> 属不明種	
		単骨海綿目	<i>Callyspongia</i> 属不明種3種	
		網角海綿目	<i>Carteriospongia</i> 属不明種	
刺胞動物	ヒドロ虫綱	軟クラゲ目	シロガヤ	
	花虫綱	ウミトサカ目	キバナトサカ, アカバナトサカ, <i>Stereonephthya</i> 属不明種	
		イソギンチャク目	オオギイソギンチャク, オオサンゴイソギンチャク, サンゴイソギンチャク, キッカイソギンチャク, シマキッカイソギンチャク, グビジンイソギンチャク	
		イシサンゴ目	ヒユサンゴ, キクメイシモドキ	
軟体動物	多板綱	新ヒザラガイ目	ヤスリヒザラガイ, ホソウスヒザラガイ, ヒザラガイ*, ケムシヒザラガイ	
		腹足綱	原始腹足目	トコブシ*, マツバガイ, コマキアゲエビスガイ, クロマキアゲエビスガイ, ナツモモガイ, チグサガイ, イシダタミガイ, クボガイ, コシダカガンガラ*, パテイラ*, アシヤガイ*, サンショウスガイ, コシダカサザエ*, サザエ*, ウラウスガイ*, スガイ*
	中腹足目		オオヘビガイ*, アワブネガイ, シマメノウフネガイ, ヒラフネガイ, メダカラガイ*, ホシキヌタガイ	
	新腹足目		ヒメヨウラクガイ*, レイシガイ*, ボサツガイ*, フトコロガイ*	
	アメフラシ目		タツナミガイ*, アメフラシ, アマクサアメフラシ, <i>Petalifera</i> 属不明種	
	囊舌目		アベミドリガイ, コノハミドリガイ*	
	ドーリス目		アオウミウシ*, シロウミウシ*, コモンウミウシ, キイロウミウシ, クロシタナシウミウシ*	
	スギノハウミウシ目		メリベウミウシ*	
	タテジマウミウシ目		オニシヨウジヨウウミウシ	
	二枚貝綱	翼形目	カリガネエガイ*, <i>Barbatia</i> 属不明種, タマエガイ, ヒバリガイ, ヒメイガイ, イシマテガイ, アコヤガイ*, ヒオウギガイ, シマナミマガシワガイモドキ, ケガキ, <i>Ostrea</i> 属不明種, マガキ*	
		異歯目	トマヤガイ*, キクザルガイ*, サルノカシラガイ, ドブシジミモドキ	
		無面目	キヌマトイガイ	
	環形動物	多毛綱	サシバゴカイ目	ミロクウロコムシ, マダラウロコムシ, <i>Ophiodromus</i> 属 不明種, クマドリゴカイ, フツウゴカイ
			イソメ目	シボリイソメ
フサゴカイ目			チンチロフサゴカイ*	
節足動物	顎脚綱	有柄目	カメノデ	
	軟甲綱	十脚目	ケブカヒメヨコバサミ, イソヨコバサミ, ホンヤドカリ, ケアシホンヤドカリ, ユビナガホンヤドカリ, トウヨウ コシオリエビ, コブカニダマシ, <i>Enosteoides</i> 属不明種, コワタクズガニ, ヨツバモガニ, ベニイシガニ, フタバベニツケガニ*, スベスベマンジュウガニ, スエヒロガニ, ケブカアワツツガニ, ヒメケブカガニ, シヨウジンガニ	
棘皮動物	ヒトデ綱	モミジガイ目	トゲモミジガイ*	
		ヒメヒトデ目	イトマキヒトデ, ヌノメイトマキヒトデ, トゲイトマキヒトデ	
	クモヒトデ綱	閉蛇尾目	ニホンクモヒトデ	
	ウニ綱	ガンガゼ目	ガンガゼ	
		ホンウニ目	サンショウウニ, コシダカウニ*, ラッパウニ, アカウニ*, バフンウニ*, ムラサキウニ*	
	ナマコ綱	タコノマクラ目	ヨツアナカシパン	
		楯手目	フジナマコ*, イソナマコ, <i>Holothuriidae</i> 属不明種, マナマコ*	
脊索動物	ホヤ綱	マメボヤ目	シロウスボヤ, カタユウレイボヤ	
		マボヤ目	シロボヤ, エボヤ, ベニボヤ*	

\*印: 安定同位体比を測定した種

動物については、種あるいは属まで同定しえた動物として 125 種を数えた(表 2)。この内訳は、海綿動物 6 種、刺胞動物 12 種、軟体動物 60 種、環形動物 7 種、節足動物 18 種、棘皮動物 17 種、脊索動物 5 種であった。潜水による観察によって、生息場所から、海藻上を住み場所とする種、岩盤上を住み場所とする種、砂上を住み場所とする種、これらの場所を行き来する種に、また行動様式から、這いずり回るもの、移動性はあるがあまり動かないもの、岩盤や海藻に固着しているものなどに分けることができる。このようにガラモ場では様々な分類群にわたる多様な生活様式や行動様式の動物が、あらゆる空間に入り込んで生活している様子が観察された。

## 2) 海藻の季節的消長と現存量

図 2 にホンダワラ類主要 6 種の高さ(黒丸)と乾重量(折線)の経月変化を示した<sup>2)</sup>。潮間帯を主な生息場所とするヒジキ、イソモク、ヨレモクモドキの 3 種はいずれも生長期(11 月~3 月)、成熟期(3 月以降)および流出期(2 月以降)がよく似ていた。一方、潮下帯に分布するマメタワラ、ヤツマタモク、アカモクは生長期、成熟期および流出期が種によって異なっていた。とくに一年生のアカモクは 11 月頃から藻体が急激に伸び始め、3 月には全長が最大 6.7m に達したように生長が早く、他のホンダワラ類より早い時期に成熟し(2~4 月)、流出する(3~5 月)点で、多年生のマメタワラとヤツマタモクとは大きく異なっていた。マメタワラとヤツマタモクにおいても成熟期などが異なっていた。

各月の測点ごとの海藻現存量を図 3 に、その海藻種組成を図 4 に示す。ホンダワラ類が茎状部または幼体で過ごす夏から秋にかけて、いずれの地点においても海藻現存量は、0.5kg(乾重)/m<sup>2</sup>未満と少なかった(図 3)。12 月以降、Sta.1 ではヒジキ、イソモク、ヨレモクモドキが、Sta.2 ではマメタワラとヤツマタモクが、Sta.3 ではマメタワラとヤツマタモクに加えアカモクが急激に生長し、海藻現存量は急増した。海藻の最大現存量は、Sta.1 では 2 月に 1.36kg(乾重)/m<sup>2</sup>、Sta.2 では 4 月に 1.54kg(乾重)/m<sup>2</sup>、Sta.3 では 3 月に 7.72kg(乾重)/m<sup>2</sup>を記録した。群落の年純生産量を、主要種ごとの最大現存量の合計によって推測すると、Sta.1 では 0.72kg C/m<sup>2</sup>、Sta.2 では 0.89kg C/m<sup>2</sup>、Sta.3 では 2.79kg C/m<sup>2</sup>となった(表 3)。

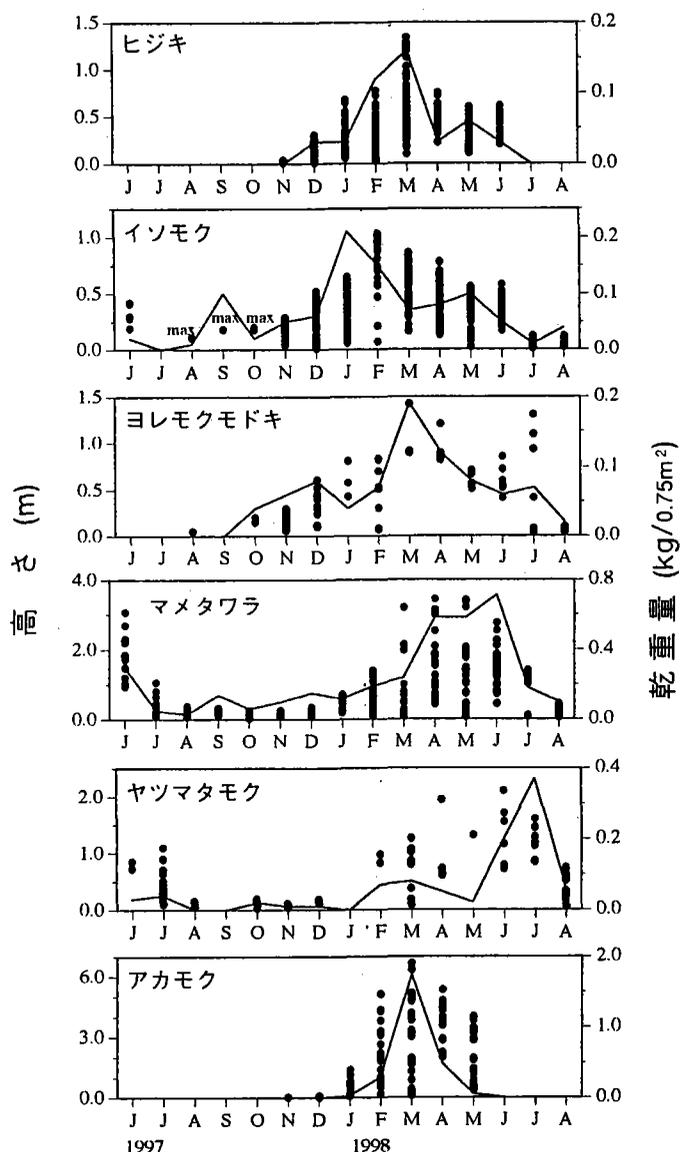


図 2. ホンダワラ主要 6 種の高さ(黒丸)と乾重量(折線)の経月変化

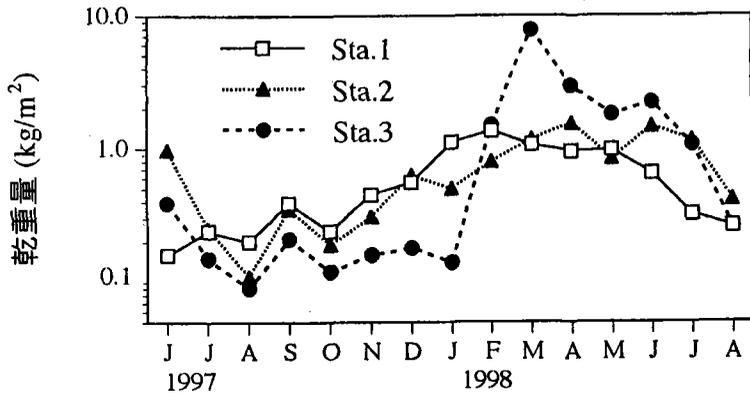


図3. 海藻現存量の経月変化

表3. 3測点の海藻の年最大現存量

測点	種名	湿重量	乾重量	炭素量
		(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )
Sta.1	イソモク	4.3	0.85	0.27
	ヒジキ	5.2	0.62	0.16
	ヨレモクモドキ	3.0	0.49	0.17
	その他	2.8	0.37	0.12
	合計	15.3	2.33	0.72
Sta.2	マメタワラ	7.7	1.08	0.34
	ヤツマタモク	5.7	0.80	0.25
	ヨレモクモドキ	3.7	0.60	0.20
	アカモク	3.4	0.27	0.08
	その他	0.5	0.07	0.02
合計	21.0	2.82	0.89	
Sta.3	アカモク	86.8	6.94	1.98
	マメタワラ	13.3	1.86	0.58
	ヤツマタモク	4.7	0.66	0.21
	その他	0.7	0.10	0.02
合計	105.5	9.56	2.79	

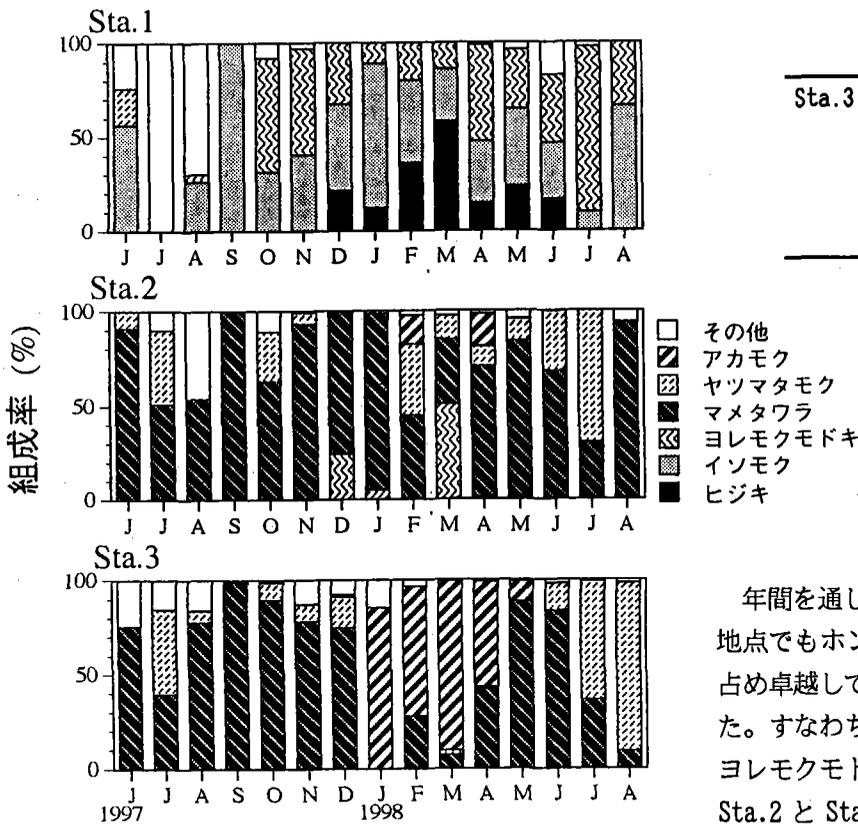


図4. 海藻群落の種組成

考察

年間を通してみると、本調査海域ではいずれの地点でもホンダワラ類が海藻群落の91%以上を占め卓越していたが、地点により種組成が異なった。すなわちSta.1ではヒジキ、イソモクおよびヨレモクモドキの3種が優占種となったのに対し、Sta.2とSta.3ではマメタワラ、ヤツマタモクおよびアカモクが主要な構成種となっていた。最も海藻現存量の多かったSta.3では、海藻現存量の大部分が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で占められ、藻場造成が効果をあげていることが推察された。またマメタワラ、ヤツマタモク、アカモクの3種は、ほぼ同所的に生育しているが、生長期、成熟期および流出期が異なることによって、それぞれが異なる時期に現存量の多い群落を形成することができ、ガラモ場の高い生産性を維持しようと考えられる。生物相の調査から、多様な海藻、藻場動物が生態系を構成していることが明らかになり、高い生産力をもつ海藻群落内およびその周辺に複雑な生物群集構造が構築されていると考えられた。

## II. 安定同位体比によるガラモ場食物網の解析

### 調査方法

ガラモ場の主要な炭素源と考えられる海藻、懸濁物、沈降物、堆積物、付着物を採取した。海藻は1998年4月に褐藻20種、紅藻10種、緑藻3種を採取した。また調査地点での海藻現存量の90%以上を占めたホンダワラ類6種については、藻体内での炭素安定同位体比の分布を明らかにするため、異なった高さに形成された側枝を試料とした。懸濁物は、1999年10月12日、12月9日、2000年1月20日、3月27日に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。沈降物は、1999年10月12日、11月8日、12月9日、2000年1月20日に門谷式セジメントトラップを現場に一昼夜係留し捕集した。海藻以外に重要な炭素源となっていると考えられる付着藻を採取するために、ガラス板を1999年10月13日、11月9日、2000年1月21日から1週間垂下し、その板に付着したものを試料とした。また海藻上に付着している付着藻を採取するため、1999年5月13日にウミウチワの表面を、2000年1月28日にアカモクの表面の付着物を擦り取って試料とした。

1998年4月から翌年6月にかけて毎月、スキューバ潜水により表2に示した主要なガラモ場の動物および頭足類のマダコ、魚類のアミメハギ、イザリウオ、ギンイソイワシ、ハオコゼ、マアジを採集し、原則として筋肉を安定同位体比測定試料とした。また得られた試料は、60°Cで乾燥させた後、粉末にした。動物の試料については、脱脂処理を行った。懸濁物、沈降物、付着物については、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。

### 結果

#### 1) 一次生産者

海藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は-21.3~-4.2%であったが(図5)、ほとんどの海藻が-18%~-10%の範囲に分布した。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は6.7~8.7の範囲であった。本調査地点での海藻現存量の90%以上を占めるホンダワラ類8種の平均値では、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が $-14.6 \pm 2.3(\text{SD})\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が $8.3 \pm 1.0(\text{SD})\%$ であった。また側枝の形成されている位置が高いものほど $\delta^{13}\text{C}$ 値が高くなる傾向が明らかになった<sup>31</sup>(図6)。

ガラモ場において食物網の起点となる可能性があると考えられたホンダワラ類、懸濁物、沈降物および付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値を図7に示した。海藻については、ホンダワラ類8種の本調査を通じた測定値の平均を、懸濁物については各サンプリングにおいて0.5m層と2.5m層の値を平均した値を図中に印した。

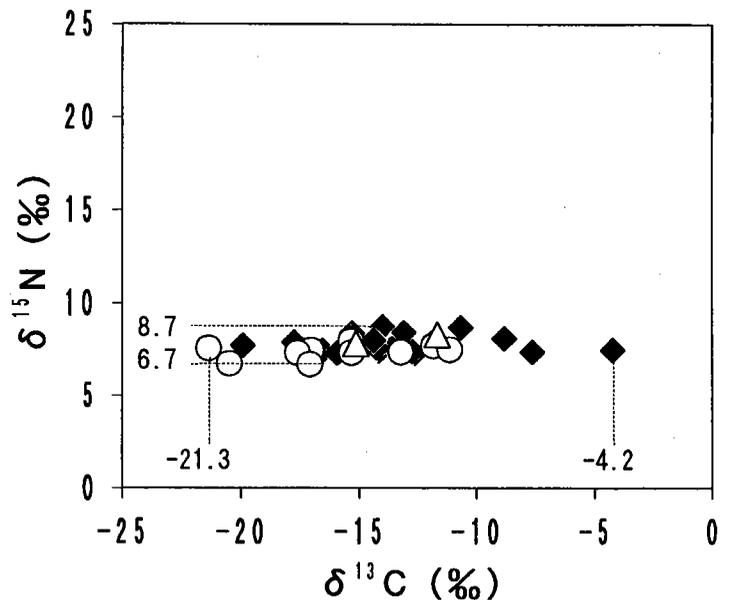


図5. ガラモ場の海藻の炭素・窒素安定同位体比

- ◆褐藻 (20種)  
アカモク, アミシグサ, アラメ, イシゲ, イソモク, ウミウチワ, ウミトラノオ, カヤモノリ, コモングサ, シマオオギ, シワヤハズ, タマナシモク, ネバリモ, ヒジキ, ヒロメ, フクロノリ, マメタワラ, ヤツマタモク, ヨレモクモドキ, ワタモ
- 紅藻 (10種)  
アヤニシキ, オオオゴノリ, オバクサ, カバノリ, シラモ, ホソバナミノハナ, フシツナギ, マクサ, ミツデソソ, ムカデノリ
- △緑藻 (2種)  
ホソジュジュモ, ミル

海藻以外に一次生産者として重要と考えられる植物プランクトンについては、海水中から完全に分離することは困難であるため、懸濁物の値によって推定した。懸濁物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-20.3\sim-22.6\%$ で、これまで報告されている日本沿岸の植物プランクトンの値<sup>4) 5)</sup>と大きな差はなかった。懸濁物の $\delta^{15}\text{N}$ 値については、 $7.5\%\sim 4.1\%$ の範囲に分布した。沈降物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-18.0\sim-19.1\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は $7.0\sim 7.6\%$ であった。ガラス板上付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-16.1\sim-21.5\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は $6.6\sim 7.6\%$ であった。沈降物とガラス板上付着物は、ともに植物プランクトンと海藻の中間の値であった。ウミウチワとアカモクの表面の付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の値はそれぞれ $-10.4\%$ と $-14.2\%$ で、付着していた海藻よりも高い値であった(図7)。

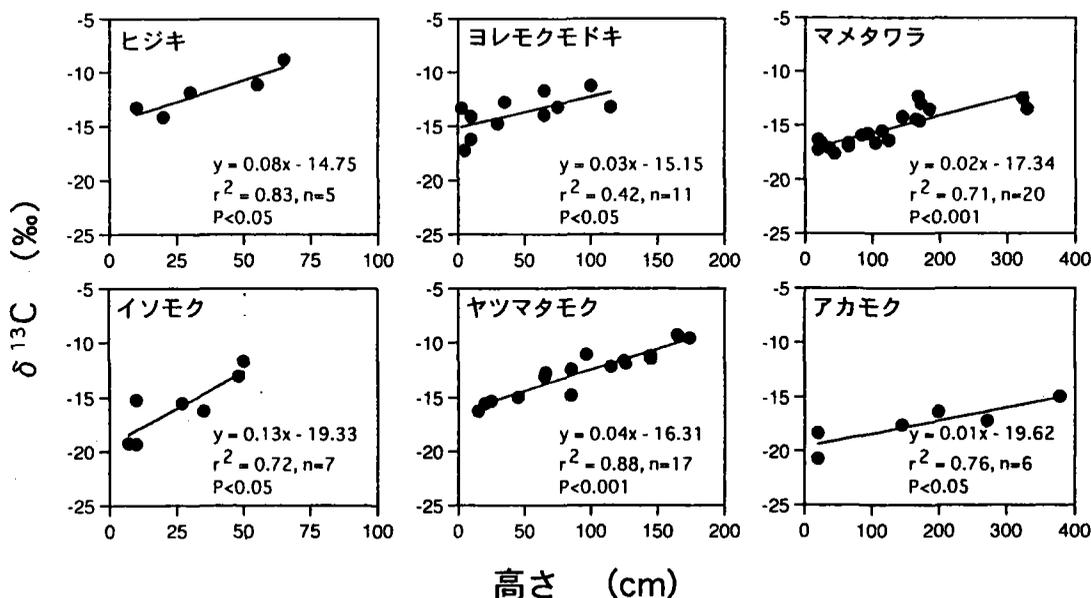


図6. ホンダワラ類の側枝の位置と $\delta^{13}\text{C}$ の関係

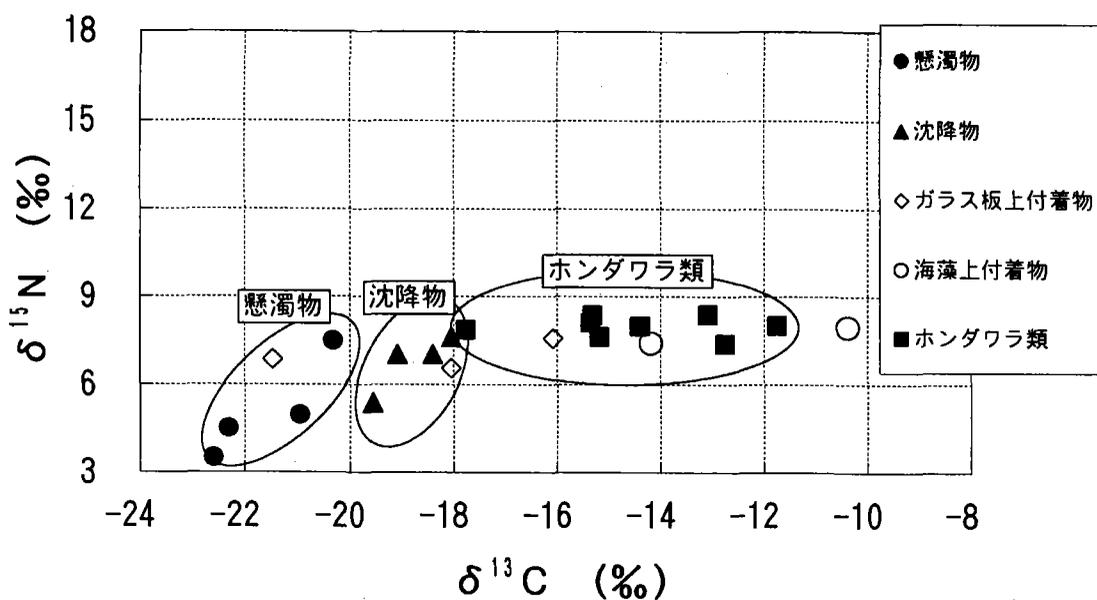


図7. ガラモ場のホンダワラ類、懸濁物、沈降物および付着物の炭素・窒素安定同位体比

2) ガラモ場動物

ガラモ場の主要な動物である軟体動物のスガイ、コシダカガンガラ、サザエ、オオヘビガイ、レイシガイ、ヒメヨウラクガイ、キクザルガイ、アオウミウシ、タツナミガイの炭素安定同位体比を毎月、一年を通じて測定した結果を図8に示す。測定を行った種の $\delta^{13}\text{C}$ 値に、季節による大きな変化はみとめられなかった。よって以下の解析は、年平均で行うこととした。

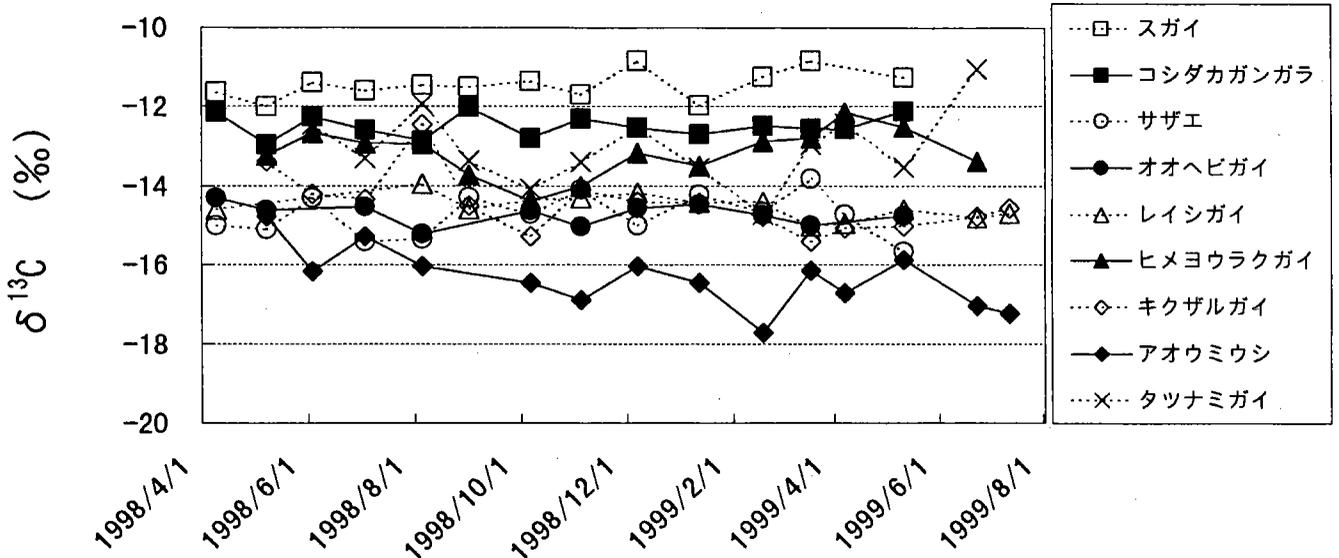


図8. ガラモ場動物の炭素安定同位体比の経月変化

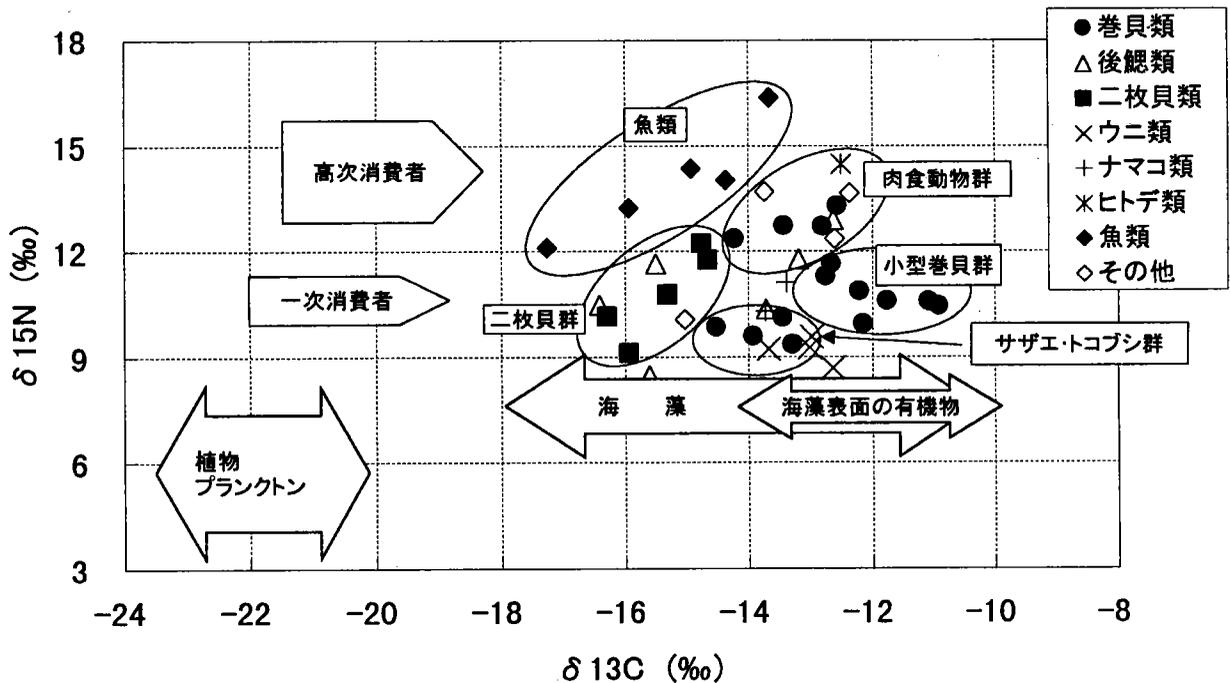


図9.  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップによるガラモ場食物網の解析

主要な藻場動物の年平均値（年間を通してサンプルが得られなかったものについては、得られたサンプルの平均値）を図9<sup>6)</sup>に示す。今回の測定で一次消費者と推定された動物の大部分を占めた軟体動物では、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の低い順にマガキ、キクザルガイ等の二枚貝群（種ごとの平均値； $-16.9\sim-15.4\%$ ）、サザエ・トコブシ群（ $-15.2\sim-13.8\%$ ）、コシダカガンガラ、スガイ等の小型巻貝群（ $-13.4\sim-11.4\%$ ）の3群に分類することができた。窒素安定同位体比では、サザエ・トコブシ群の $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均で $9.3\%$ と、他の群に比べて低い値であった。後鰓類（ウミウシ）については一つのグループにまとまることなく幅広く分布した。棘皮動物のウニ類については、サザエ・トコブシ群と近い $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値をとったが、コシダカウニの標準偏差が $0.9$ を示すなど、個体間での値のバラツキが大きかった。 $\delta^{15}\text{N}$ 値が $12\%$ 以上で高次生産者と推定された動物は、レイシガイ、ヒメヨウラクガイ、フタハベニツケガニ、トゲモジガイ、メリベウミウシ、マダコおよび魚類であった。

## 考察

安定同位体比は各同位体分子の物理化学的な過程によって変動する。炭素・窒素安定同位体比を食物連鎖構造の解析に用いる場合には、同化の過程での同位体比の変動を利用する。炭素安定同位体比については、捕食者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、餌の値に対して $1\%$ 以下の濃縮であり大きく変化しない。よって食物網の出発点となる一次生産者の $\delta^{13}\text{C}$ 値はそれを食べた動物に反映されるため、動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値からその動物の有機物源を推定することができる。一方、窒素安定同位体比については、同化の過程で $\delta^{15}\text{N}$ 値が $3.3\%$ 程度、濃縮されることが知られている。よって $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いれば、食物網の中でどの栄養段階に属しているかを推定することができる。

ガラモ場の有機物源としては、海藻、植物プランクトン、付着藻などが考えられる。今回海藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-20\%$ 以上であり、植物プランクトンの値と識別できることが明らかとなった。付着藻については、ガラス板上付着物、海藻上付着物の2種類のサンプリングを試みたが、どちらも顕微鏡下で観察するとデトライタスが多く含まれ付着藻単体の値を推定するには至らなかった。しかしながら海藻上の付着物については付着していた海藻よりも高い値を示し、ガラス板上の付着物の値と異なった。このことは海藻表面の付着物の中に海藻由来の有機物が含まれている、あるいは海藻を基質として増殖する生物（付着藻やバクテリアなど）のつくる有機物の値が $\delta^{13}\text{C}$ 値を引き上げている可能性が考えられ、海藻上付着物はなんらかの形で海藻に依存していると推定された。また現場においても海藻上の付着物と岩盤や礫上の付着物では有機物の内容が異なっていることが示唆された。沈降物については、海藻および植物プランクトンの中間の値であったことから、付着藻も含めて複数の有機物源が起源となっていることが考えられた。

今回測定を行った藻場の動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、 $-18\sim-10\%$ の範囲で分布し、多くが海藻および海藻上付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値である $-21.3\sim-4.2\%$ （多くは $-18\sim-10\%$ ）の範囲に分布していることから、海藻に由来する有機物を重要な有機物源としていることが推定された（図9）。前述のグループごとにみると小型巻貝群（ $\delta^{13}\text{C}$ ； $-13.4\sim-11.4\%$ ）は他の動物よりも $\delta^{13}\text{C}$ 値が高く、主に海藻および海藻上の有機物を利用していると考えられた。サザエ・トコブシ群は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値（ $-15.2\sim-13.8\%$ ）からは海藻を主体とした有機物を餌としていると推定されたが、 $\delta^{15}\text{N}$ 値（ $9.3\sim9.8$ ）からは栄養段階が1段階あがると $3.3\%$ 程度高くなるという経験則より、今回測定した海藻の $\delta^{15}\text{N}$ 値（ $6.7\sim8.7$ ）よりも低い値をもつ有機物が餌に含まれると考えられた。アマモ類の分解試験では、試験後の $\delta^{13}\text{C}$ 値はアマモ生体と比べ概ね同じであったが、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下することが報告されている<sup>7)</sup>。このことが海藻にもあてはまるとすると、分解の過程を経て $\delta^{15}\text{N}$ 値が低くなった海藻等がサザエ・トコブシ群の餌になっている可能性もあると考えられた。二枚貝群においても $\delta^{13}\text{C}$ 値が $-16.9\sim-15.4\%$ を示し、他の動物よりも低い値ではあったが、海藻由来の有機物に依存していると考えられる値を示した。二枚貝類はろ過食性であるため沈降物等に含まれるデトライタスなどを通し

て、海藻由来の有機物が二枚貝類にも流れていることが考えられる。この経路を明らかにするためには、今後、沈降物の起源に関する調査を行う必要がある。後鰓類（ウミウシ類）の $\delta^{13}\text{C}$ 値（-16.4~-12.6‰）、 $\delta^{15}\text{N}$ 値（8.5~12.9‰）が幅広く分布したことについては、多様な食性を反映した結果と考えられる。ウニ類に関してはサザエ・トコブシ群と同じく海藻もしくはその分解物を有機物源にしていることが考えられたが、個体間のバラツキが大きかったことから、幅広い食性をもつことが考えられる。栄養段階がおよそ3以上と推定された肉食動物群の $\delta^{13}\text{C}$ 値は-14.9~-13.1‰で、海藻および海藻上付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値のほぼ中心の値を示し、これらの高次生産者が海藻もしくは海藻上有機物を起源とする食物網の頂点にあることが推定された。また魚類については、ギンイソイワシ、マアジ、アミメハギ、ハオコゼ、イザリウオの順で $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値ともに重くなり、遊泳性の高い種が植物プランクトン側に分布し、遊泳性の低い種が海藻由来の有機物に依存している傾向が $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値によって示唆された。

従来、ガラモ場を構成するホンダワラ類の機能としては、生育場、繁殖場などの場としての有用性が注目され、餌料としての価値についてはあまり評価されてこなかった。今回の調査では、ガラモ場の生態系を構成する多くの動物の有機物源としても非常に重要であることが示唆された。また二枚貝などのろ過食者までその影響がみられたことから考えると、ガラモ場の有機物がさらに周辺の生態系に有機物源としての効果を及ぼしている可能性もある。ガラモ場は水産資源の豊富な内湾の中に存在することからも、この有機物源としての価値を評価することは非常に重要であると考えられる。今後、藻場造成の効果を評価する上でこの有機物源としての機能についても正当に評価する必要があるといえる。

#### 摘要

1. 海藻 71 種、動物 125 種が調査海域で確認され、多様な生物がガラモ場生態系を構成していることが明らかになり、高い生産力をもつ海藻群落内およびその周辺に複雑な生物群集構造が構築されていると推定された。
2. 海藻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、-21.3~-4.2‰の範囲に分布した。海藻現存量の 90%を占めるホンダワラ類 8 種の $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均は $-14.6 \pm 2.3$ (SD)で、そのうち 6 種では形成されている位置が高い側枝ほど、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が高くなることが明らかになった。
3. 植物プランクトンを主体とする懸濁物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は-22.6~-20.3‰で、ホンダワラ類の値とは異なった。このことから両者の $\delta^{13}\text{C}$ 値を使って植物プランクトンとホンダワラ類のそれぞれを起点とする食物網の識別が可能であることが明らかとなった。
4.  $\delta^{15}\text{N}$ 値から二次生産者と区分された主要軟体動物は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の低い順に二枚貝群、サザエ・トコブシ群、小型巻貝群の 3 群に分類された。また、肉食巻貝類、頭足類、カニ類、魚類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 12‰以上を示し、高次生産者として位置付けられたことから、 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ上での食物網の解析が有効であることを確認した。
5. ガラモ藻場の生物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、概ね-17~-10‰の範囲内に分布し、海藻由来の有機物が重要な有機物源となっていることが示唆された。
6. 従来のガラモ場の機能に、海藻による沿岸水産生物への餌料供給という価値が付加され、多面的機能を取り入れたガラモ場造成計画の策定に貢献する。
7. 炭素・窒素安定同位体比測定法は、今後、藻場造成の効果を評価する上で周辺生態系の有機物源としての機能についても正当に評価できる手法として有用であることが示唆された。

## 引用文献

- 1) 鰻坂哲朗・石樋由香・山本茂也・横山寿, 1999: 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 I. 海藻相, 養殖研研究報告, 28, 15-26.
- 2) 横山寿・石樋由香・豊川雅哉・山本茂也・鰻坂哲朗, 1999: 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集構造 II. ホンダワラ類の季節的消長と海藻類生産量, 養殖研研究報告, 28, 27-37.
- 3) 石樋由香・山田佳裕・鰻坂哲朗・横山寿, 1999: 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 III. 海藻類の炭素・窒素安定同位体比, 平成 11 年度日本水産学会春季大会講演要旨, 17pp.
- 4) Wada E・Minagawa M・Mizutani H・Tsuji T・Imaizumi R・Karasawa K, 1987: Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 25, 321-336.
- 5) Yamada Y, Ueda Y・Wada E, 1996: Distribution of carbon and nitrogen isotope ratios in the Yodo River watershed, *Jpn. J. Limnol.*, 57, 467-477.
- 6) 石樋由香・山田佳裕・横山寿, 2000: 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 IV. 藻場動物の炭素・窒素安定同位体比, 平成 12 年度日本水産学会春季大会講演要旨, 61pp.
- 7) 水産庁研究部研究課・全国沿岸漁業振興開発協会, 1997: 平成 7 年度沿岸浅海域構造評価高度化事業報告書, 73 pp.