

機関番号：17201

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21780179

研究課題名 (和文) 干潟の季節性により支えられる浅海域の高次生産

研究課題名 (英文) Productivity in shallow subtidal zone mediated by seasonal changes in ecosystem function of tidal flats

研究代表者 吉野 健児 (Yoshino Kenji)

佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・特別研究員

研究者番号：40380290

研究成果の概要 (和文)：

本研究では干潟の生態系機能が水質浄化機能と底性微細藻類を介した隣接海域への有機物供給機能で季節変化するという仮説を検証するため、有明海湾奥部の軟泥干潟において安定同位体を用いて検証した。その結果、干潟表面の底性藻類を食べる生物が活動しなくなる冬期に干潟底性藻類が浅海域のベントス生産への寄与率は夏期よりも高まり、その寄与は沖合域でも平均60%にも達した。しかし夏期でも底性藻類の寄与率は平均44%で高かった。底魚類への寄与率は季節に限らず70%以上であり、有明海の軟泥干潟は水質浄化よりも有機物供給源として主に機能し、これが本海域の高次生産にも反映されていた。

研究成果の概要 (英文)：

We investigated mudflat ecosystem function using stable isotope analyses in Ariake Bay to test whether ecosystem function of mudflat seasonally changes from water purification to the fueling of neighboring subtidal production by sourcing of benthic microalgae. Isotope analyses showed that the energy contribution of mudflat benthic microalgae to subtidal benthic production increased from 44% in summer to 60% even in offshore area in winter, when the activity of mudflat grazer decreased. However, such fueling function was relatively high. Isotope signatures of demersal fish also showed benthic algae-oriented signatures, about 70% contribution of benthic algae. Hence, mudflat in Ariake Bay fundamentally functions as source of organic materials and partly supports higher production of higher trophic organism of this area.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：海洋ベントス生態学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：安定同位体、底性微細藻類、干潟、生態系機能

## 1. 研究開始当初の背景

一般に浅海域の一次生産の中心は水柱の植物プランクトンであり、ベントスの生産は表

層からの植物プランクトン由来の有機物に依存すると言われてきた。ところが河口域に広大な干潟が隣接する沿岸域では干潟から

の底生微細藻類（以下、底生藻）による一次生産物の供給効果は無視できないと考えられる。有明海湾奥部の場合、佐賀県沿岸には広大な泥質干潟がある。泥質干潟上では大型海藻などは繁茂せず、一次生産の中心は底生藻であり、その証拠に広大な干潟上には岸近くから沖合まで干潟表面の底生藻を餌とするムツゴロウやヤマトオサガニなどが多く分布する。底生藻は干潮時にはムツゴロウやヤマトオサガニなどのグレーザーに摂餌されるが、浸水時には大きな潮汐で巻き上げられ、水柱に懸濁状態になる (Koh et al. 2007)。こうした底生藻の隣接浅海域への供給効果の大きさを評価することは沿岸生態系の理解とその保全・管理策への応用上重要であるが、効果の大きさは干潟上での生物活動の季節性や捕食者の浅海域の利用様式により変動するはずである。また、供給を受ける側の浅海域生態系においてもそのエネルギーを高次生物まで伝達する食物網構造がその時期に存在していなければ意味がない。そのため干潟・浅海域双方食物網構造の季節的相互作用まで含めて理解しておく必要があるが、十分な検討がなされているとは言い難かった。また、干潟—浅海域のそうした相互作用の季節変化については現在でも十分検討はされていない。

## 2. 研究の目的

有明海の干潟—浅海域をモデルシステムとして、泥質干潟—浅海域横断的な調査を行い、そこに生息するベントスの分布様式、群集構造を明らかにし、かつ食物網内で干潟由来の底性微細藻類がどの程度エネルギー源として寄与しているか、またその季節変動をベントスを餌とする高次捕食者まで含め、安定同位体を利用して定量的に評価することが本研究の目的である。仮説として夏期は干潟上で活動するグレーザーが底性微細藻類を摂餌するため干潟は海域からの有機物を濾し取る水質浄化機能が卓越するが、冬期になりグレーザーが活動しなくなると底性微細藻類が浅海域へエネルギー源として流出する有機物供給機能が卓越すると予想した。

## 3. 研究の方法

### (1) ベントス群集構造

泥質干潟—浅海域のベントス群集についての基礎情報を与えるため、図1に示した地点A~Hにおいて2006年6月~2007年6月の横断地点で採集されていたベントス群集データについて非計量多次元尺度構成法 (nMDS) と Canonical analysis of principal coordinate (CAP) 法によって解析した。CAP法は主座標分析で構成される空間に対して関心のある要因について判別分析を行う方法で、nMDSによる群集構造の違いの視覚化より

も判別に重きがある分クリアな視覚化が可能である (Anderson 2008)。ここでは季節と地点での群集構造の違いに関心がある。

### (2) 干潟グレーザー活動状況

調査地点に近い佐賀県白石町新有明漁港内の干潟においてグレーザーの代表としてヤマトオサガニの活動状況を調べた。50 x 50 cmのコドラートを用い、コドラート静置後10分間の間にコドラート内に現れたヤマトオサガニの数を計測した。

### (3) 同位体分析

同位体分析サンプルについてはさらに沖合の1地点Iを加えた9地点 (図1) において採泥器によりマクロベントス採集を行った。また、干潟表層泥、沖合のJ地点で採水し、懸濁有機物の代表値として同位体分析を行った。干潟の底生微細藻類の同位体比は干潟表面でそれらを摂餌していると考えられるグレーザーの同位体比と窒素、炭素の同位体分別をそれぞれ3.4‰、0.4‰として推定した。底性藻類のマクロベントスへの餌資源としての寄与率を、干潟域 (地点A~C)、干潟縁辺部 (地点D, E, F)、沖合域 (地点G~I) の3エリアで堆積物食、濾過食ベントスそれぞれに分けて寄与率を計算した。寄与率の推定には Lubetkin and Simenstad (2004) の方法にならない以下の式を用いて算出した。

$$P_{BM} = \frac{\delta^{15}N_{anim} - \delta^{15}N_{POM} + f_N/f_C \delta^{13}C_{POM} - f_N/f_C \delta^{13}C_{anim}}{\delta^{15}N_{BM} - \delta^{15}N_{POM} + f_N/f_C \delta^{13}C_{POM} - f_N/f_C \delta^{13}C_{BM}}$$

ここでPは寄与の割合、 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{15}N$ はそれぞれ炭素・窒素同位体比、fは同位体分別効果で、添え字のBMは底生微細藻類、POMは懸濁態有機物、animは各マクロベントス、C、Nは炭素と窒素を表す。炭素の同位体分別は0.4‰、窒素は3.4‰で計算した。またPOMの寄与率は  $P_{POM} = 1 - P_{BM}$  となることから求めた。



図1. マクロベントス採集地点

(1) 泥質干潟—浅海域

調査地点に近い佐賀県白石町新有明漁港内の干潟においてグレーザーの代表としてヤマトオサガニの活動状況を調べた。50x50 cmのコドラートを用い、コドラート静置後10分間の間にコドラート内に現れたヤマトオサガニの数を計測した。コドラート観察は各季節5回行った。

4. 研究成果

(1) 横断地点でのベントス群集

nMDSとCAPによる解析結果をそれぞれ図2の上下に示した。季節と地点での群集構造の違いに関心があるが、nMDS解析で季節間での違いが明確でなかった。したがって群集構造自体は季節によって大きく変わらないことを示している。一方地点間での違いは顕著であったため、ここでは地点の違いに対して行った結果のみを示す。

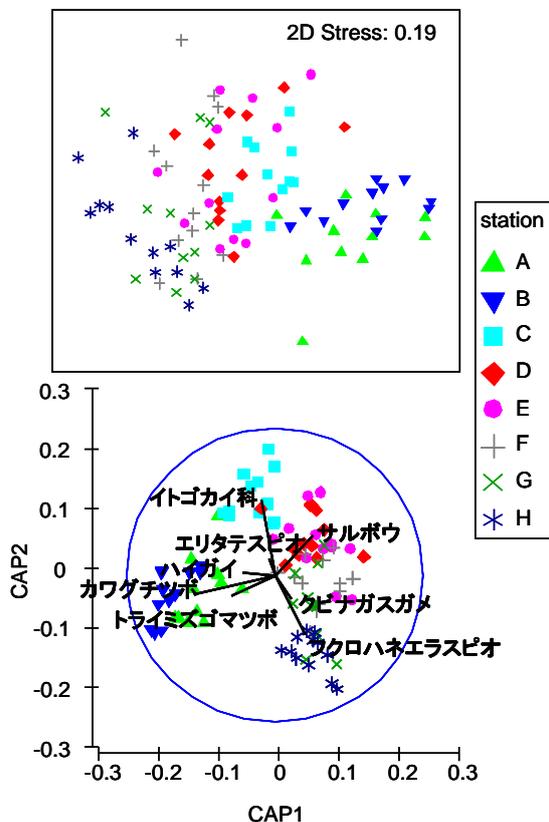


図2. nMDS(上)、CAP(下)による地点間の群集構造解析。

地点毎にプロットが分かれていることからわかるように、各地点で群集構造が異なっていることがみてとれる。干潟内でのAからCの3地点間で群集構造は違っているが、DからF地点では類似の群集構造をしており、同様にGからH地点は群集構造が類似している。こうした違いに寄与している主要な種がCAPのベクトルで示されている。同じフネガイ科

のハイガイとサルボウではハイガイが干潟の地点に多く、サルボウは干潟の少し沖合の縁辺部に多いことが見て取れる。逆にスピオ科多毛類のフクロハネエラスピオやヨコエビ類のクビナガスガメなどは沖合の地点で多く、イトゴカイ類やスピオ科のエリタテスピオは干潟下部で多い。これらの結果は干潟から浅海域にかけて帯状分布がみられることを示している。また、濾過食性二枚貝は沖合のG,Hの地点では少なかった。

(2) グレーザーの活動状況

ヤマトオサガニの活動状況を図3に示した。これまでの年と同様、夏期に活動していて、冬期にはほとんど活動する個体はみられなくなる。

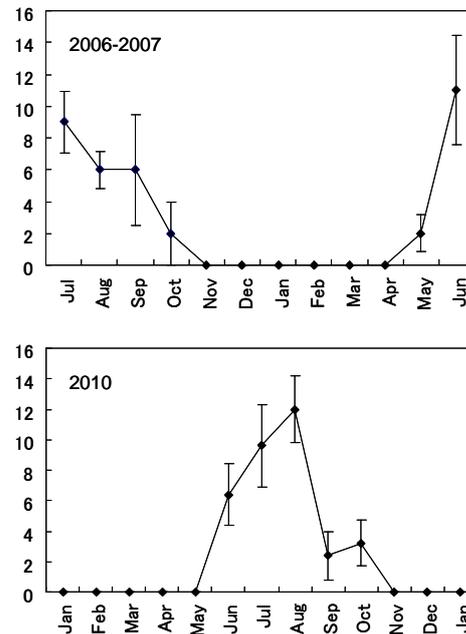


図3. ヤマトオサガニの活動状況

(3) 安定同位体分析

① 同位体マップ

グレーザー活動が活発な夏期と休眠する冬期の代表として2010年6月と12月に採取され、分析に供したサンプルの同位体マップを図4に示した。この区分は成果(1)でのベントス群集の類似性に基づいている。植物プランクトンの夏期の炭素・窒素同位体比がそれぞれ $-21.5 \pm 0.1\text{‰}$ 、 $8.7 \pm 0.6\text{‰}$ 、カワグチツボに基づく底性微細藻類の推定値は $-15.2 \pm 0.3\text{‰}$ 、 $4.7 \pm 0.2\text{‰}$ であった。冬期は植物プランクトンで $-22.7 \pm 0.3\text{‰}$ 、 $6.0 \pm 0.3\text{‰}$ 、底性微細藻類の推定値は $-16.7 \pm 0.1\text{‰}$ 、 $6.3 \pm 0.1\text{‰}$ であった。大部分のベントスの炭素同位体比はこの値の間に位置しており、両方を食物源として利用していることがみてとれた。

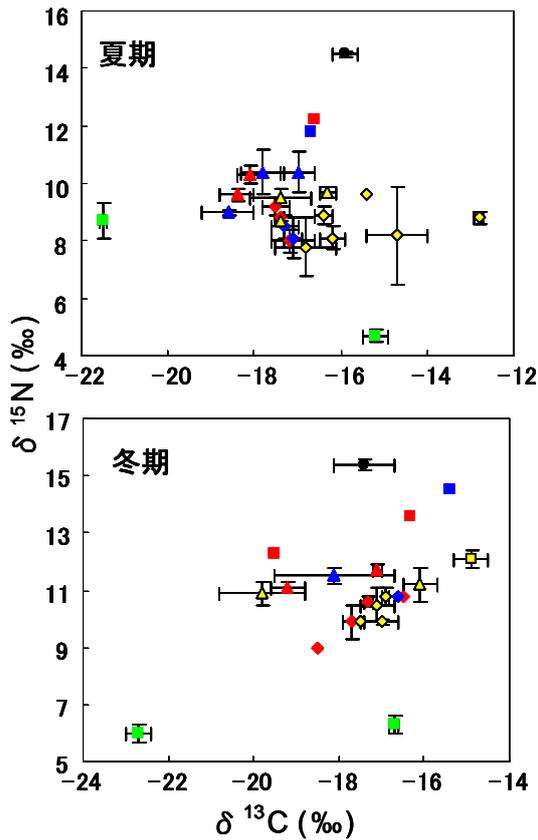


図4 夏期、冬期同位体マップ。赤は沖合域、青は干潟縁辺部、黄色は干潟域のベントスを表し、ダイヤが堆積物食者、三角は濾過食者、四角は肉食者である。黒塗りのプロットは魚類、緑はそれぞれ POM、底性微細藻類を表す。

表1. 夏期ベントス同位体比

	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD	N
<b>沖合域(地点G-I)</b>					
ダルマゴカイ	-17.2	0.6	8	0.4	5
シズクガイ	-17.4	0.1	8.8	0.1	5
チヨノハナガイ	-17.5	0.3	9.2	0.3	2
オウギゴカイ	-16.6		12.2		1
ヒメカノコアサリ	-18.4	0.4	9.6	0.2	10
イヨスダレ	-18.1	0.3	10.3	0.3	2
<b>干潟縁辺部(D-F)</b>					
ダルマゴカイ	-17.1	0.2	8.1	0.7	7
シズクガイ	-17.3	0.3	8.5	0.4	12
オウギゴカイ	-16.7		11.8		1
ヒメカノコアサリ	-18.6	0.6	9	0.1	4
サルボウ	-17	0.4	10.4	0.7	12
コケガラス	-17.8	0.5	10.4	0.8	5
<b>干潟域(地点A-C)</b>					
ダルマゴカイ	-16.8	0.7	7.8	1	5
シズクガイ	-16.2	0.3	8.1	0.4	8
Hediste sp	-16.4	0.2	8.9	0.3	5
エリタテスピオ	-15.4		9.6		1
ウミマイマイ	-14.7	0.7	8.2	1.7	2
テリザクラ	-12.8	0.1	8.8	0.2	2
サルボウ	-16.3	0.2	9.7	0.2	4
ハイガイ	-17.4	0.7	9.5	0.3	3
ヒラタヌマコダキ	-17.4		8.7		1

表2 冬期ベントス同位体比

	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD	N
<b>沖合域(地点G-I)</b>					
ダルマゴカイ	-17.7	0.2	9.9	0.6	3
シズクガイ	-16.5		10.8		1
フクロハネエラス	-17.3	0.1	10.6	0.2	2
エリタテスピオ	-18.5		9		1
ソコシラエビ	-19.5		12.3		1
Anaitides sp.	-16.3		13.6		1
サルボウ	-19.2	0.4	11.1	0.2	8
ヒメカノコアサリ	-17.1	0.1	11.7	0.2	5
<b>干潟縁辺部(D-F)</b>					
シズクガイ	-16.6		10.8		1
Anaitides sp.	-15.4		14.5		1
サルボウ	-18.1	1.4	11.5	0.3	12
<b>干潟域(地点A-C)</b>					
ダルマゴカイ	-17.5		9.9		
シズクガイ	-17.1	0.4	10.5	0.6	3
エリタテスピオ	-17	0.4	9.9	0.1	4
イトゴカイ科	-16.9	0.1	10.8	0.3	5
ウチワゴカイ	-14.9	0.4	12.1	0.3	3
サルボウ	-19.8	1	10.9	0.4	2
ハイガイ	-16.1	0.4	11.2	0.6	3

表1、2は図4における夏期、冬期のベントスの同位体比の詳細である。底性魚類では夏期のコウライアカシタビラメで炭素・窒素同位体比が $-15.9 \pm 0.3\text{‰}$ 、 $14.5 \pm 0.1\text{‰}$ 、冬期のハゼクチで $-17.4 \pm 0.7\text{‰}$ 、 $15.4 \pm 0.2$ であった。

② 底性微細藻類寄与率

濾過食と堆積物食ベントスにわけて季節別に示したのが図5である。

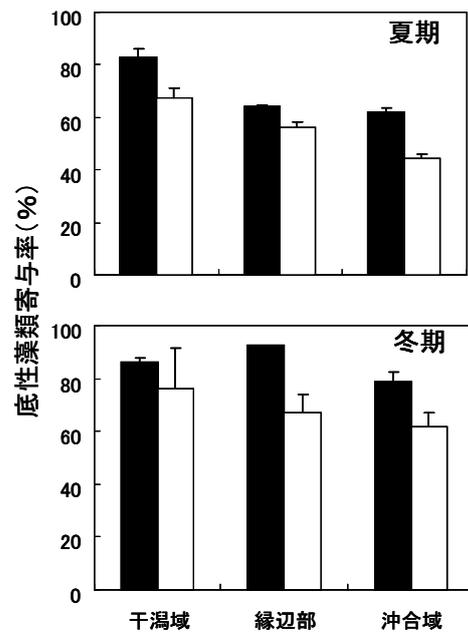


図5. 底性微細藻類寄与率(平均±標準誤差)。黒バーは堆積物食者、白バーは濾過食者

図5から夏期は濾過食者への寄与が干潟域から沖合域にかけて漸次的に減少していく様子がみとれる。冬期でも漸次的に減少していくが、夏期よりも全般的に寄与率は高い。このことは濾過食者について不等分散性を考慮した一般化最小二乗法による2要因分散分析を行った結果からも支持された。検定の結果、季節(夏期と冬期)と海域(干潟、縁辺部、沖合)の交互作用はなく( $F=0.38, p=0.68$ )、季節と海域の主効果でのみ有意差があった。海域についてはさらに多重比較も行った結果、すべての海域間で底性微細藻類の寄与率に有意差があった(TukeyHSD test,  $p < 0.05$ )。

堆積物食ベントスにおいても冬期のほうが夏期よりも底性微細藻類由来の有機物の寄与は大きい、濾過食ベントスに比べ、干潟から沖合域への寄与率の漸次的傾向は明瞭ではなかった。

底性魚類の寄与率(平均±標準誤差)は夏期で $73.0 \pm 0.02\%$ 、冬期では $71.0 \pm 0.06\%$ でほとんど変わらなかった。

#### (4) 考察

Yokoyama et al. (2009)によれば夏期の河川由来のPOMの炭素同位体比は $-26\%$ より軽く、ベントスの値とは大きく乖離している。冬期も $-25\%$ 前後であり、食物源となっている可能性は低い。冬期はノリの寄与も考えられるが、窒素同位体比が $9\%$ 前後であり(Yokoyama et al. 2009)、窒素の同位体分別が $3\sim 4\%$ であることを考慮すると、やはり餌資源とは言い難い。海域の植物プランクトンと底性微細藻類が主要な食物源と考えるのが妥当であろう。

濾過食ベントスの漸次的な底性微細藻類への依存度の変化から、冠水時に巻き上がった底性微細藻類は沖合域へと運ばれ、そこでのベントスに同化されていることを示していた。その寄与はグレーディングが低下する冬期のほうが夏期より高く、干潟生物活動の季節性が泥干潟の有機物供給機能の大きさに影響することがわかる。しかしながらグレーディング圧が高い夏期でも干潟域の濾過食ベントスへの寄与は $50\%$ を超えていたほか、底性魚類への寄与も冬期と夏期で変わらず、底性微細藻類起源のエネルギーに依存していた。それゆえ有明海湾奥部の軟泥干潟は季節に関わりなく浄化機能よりも浅海域へ有機物を供給する機能が卓越するといえる。

干潟の有機物供給機能は近年韓国の泥干潟や三重県の三河湾の干潟でも明らかになっている(Kang et al. 2003; Yokoyama and Ishihi 2007)。しかしながら季節変化について明示的に検証した例はほとんどない。今回の研究により、予測とは異なる結果となったが、干潟での生物活動の季節性が冬期の有機

物供給機能の大きさに影響していることは疑いない。生物種的生活史によっては冬期の干潟からの有機物供給が重要な種もあり得るほか、種によっては特定の有機物源を選択的に利用していることもあり得る。温暖化等により干潟生物の活動が冬期にも及ぶようになれば有機物の供給機能は低下し、浅海域の高次生産や種間関係、ひいては生態系構造そのものにも影響が出る可能性は否定できない。本研究は温帯域で普通にある「季節性」そのものの重要性を示す先駆けとなるものであり、地球温暖化が生態系に与えるリスクの一例としても重要と思われる。

#### (5) 参考文献

- Anderson et al. (2008) PRIMER-E: Plymouth, UK. 214pp.  
Kang et al. (2003), Mar Ecol Prog Ser. 259: 79-92.  
Koh et al. (2007), Estuar. Coast. Shelf Sci. 72: 45-52.  
Lubetkin S. C. and Simenstad C. A. (2004). J Anim Ecol, 41: 996-1008.  
Yokoyama H and Ishii Y (2007), Mar Ecol Prog Ser. 346: 127-141.  
Yokoyama H, Sakami T, Ishihi Y (2009), Estuar Coast Shelf Sci, 82: 243-253.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

Kenji Yoshino 他5名

The effect of ethanol fixation on stable isotope signatures in benthic organisms  
Plankton & Benthos Research, 5, 79-82 2010  
査読有

[学会発表] (計2件)

①吉野健児ほか3名

有明海湾奥部のサルボウ形態の種内変異  
日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会・千葉、2010年10月10日

②吉野健児ほか3名

有明海湾奥部海域のベントス群集における安定同位体解析  
日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会・函館、2009年11月17日

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉野 健児 (Yoshino Kenji)

佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・特別研究員

研究者番号: 40380290