

(14) 海草コアマモ場と近傍裸地における 底質有機物の起源

長濱 祐美¹・中山 亮²・Woo-Seok Shin²・藤林 恵²・野村 宗弘²・西村 修²

¹北海道大学 高等教育推進機構 (〒060-0817 北海道札幌市北区北17条西8丁目)

²東北大学 大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

* E-mail: nagahama@costep.hucc.hokudai.ac.jp

コアマモ場は干潟底質に対する主要な有機物供給源である可能性がある。本研究では、コアマモが底質の有機物に与える影響を、量的・質的な面から強熱減量と炭素・窒素安定同位体と脂肪酸組成を用いて検討した。その結果、干潟にパッチ状に形成されたコアマモ場では、近傍裸地と比較して強熱減量が大きく変化していなくても、有機物の起源が異なることが示され、有機物の量的な差異が質的な差異を反映しているとは限らないことが明らかとなった。また、コアマモの存在は干潟に底質有機物の質的多様性をもたらすことが示された。一方で、近傍裸地へもコアマモ場からコアマモ由来有機物が供給されていることが示唆され、コアマモ場の存在は近傍裸地の底生生態系へ影響を与えていることが示唆された。

Key Words : *Zostera japonica*, sediment, tidal flat, ignition loss, stable isotope, fatty acids

1. はじめに

干潟域は特有の生物相からなる生産性の高い生態系が形成され、海水浄化の機能や生物を育む機能など、様々な便益を人間に与えている¹⁾。自然再生法や新・生物多様性国家戦略等の法的整備、2007年の海洋基本法の制定からも、干潟生態系の重要性が認識されると同時に、保全・再生が求められている現状にあることが分かる。

干潟における一次生産者は、干潟泥上に生息する微小な珪藻類を中心とする付着藻、および、沖合の潮下帯を中心に生育する海草(藻)類、それに上げ潮海水と一緒に遡上してくる植物プランクトンなどと言われている¹⁾。

一方で、沿岸域に形成される海草場は単位面積あたりの一次生産量をもっとも大きい生態系の1つである²⁾ことから、沿岸生態系にとって主要な有機物供給源となっていると考えられているが、干潟に与える影響を検討した例は少ない。その理由として、多くの海草類が潮下帯に生育し、干潟に直接生育していないことがあげられる。

しかしながら、海草コアマモ (*Zostera japonica*) は潮間帯の干潟域に海草場を形成することが知られている³⁾。よって、コアマモ場が干潟底質に与える影響は、潮下帯に生育する海草よりも直接的であり、その影響も大きいものと考えられる。つまり、コアマモ場は干潟底質に対

する主要な有機物供給源である可能性がある。

これまでの研究で、コアマモ場内部の底質においては、中央粒径の低下や底質有機物 (IL) の増加が起こることが報告されている⁴⁾。さらに、Leeら⁵⁾はコアマモ場内外の底質においてデトリタスバイオマスを比較し、季節に関わらずコアマモ場内で有意に多かったことを示している。しかしながら、コアマモ場内で有機物の増加が起こったメカニズムについては明らかになっていない。また、コアマモはパッチ状に群落を形成するため、コアマモ場の形成された干潟はコアマモ場と近傍裸地とのモザイク状を示すと考えられるが、近傍裸地へコアマモ場が与える影響も不明である。

さらに、近年、有機物の量だけでなく質の違いが底質性状や底生生態系に影響を与えることが明らかになりつつある。Boschkerらの研究⁶⁾では、バクテリアは海草由来の有機物でなく藻類由来の有機物を積極的に取り込んでいることを示している。また、マングローブ葉の分解性を検討した研究⁷⁾は、マングローブ葉中のLCFAs (長鎖脂肪酸: Long-Chain Fatty Acid) が、他の脂肪酸と比較してバクテリアによる分解性が低く堆積しがちであることを示している。これらのことから、コアマモ場が底質の有機物に与える影響を、量的な側面からだけでなく、質的な面からも検討する必要があるが、今まで質的側面から検

討が行われた例はない。

そこで、本研究ではコアマモ場がコアマモ場と近傍裸地の有機物に量的・質的に与える影響を解明することを目的とした。コアマモ場と近傍裸地における底質中の有機物量の指標として既往研究例のあるILを、有機物の質の指標として炭素窒素安定同位体と脂肪酸組成を測定し、コアマモ場の影響を比較検討した。

2. 調査方法

(1) 調査地点とサンプリング手法

毎年、コアマモがパッチ状に群落を形成している宮城県松島湾内の桂島 (38° 20' 7.4 N, 141° 5' 14.7 W) で2006年6月にコアマモの採取を行った。この地点は淡水流入のない前浜干潟であり、大きな滞筋なども見られず、後背は植生の少ない切り立った崖状となっている。T.P. 約20~80cmのエリアにパッチ状に点在するコアマモ場の中から3つのコアマモ場を無作為に選出し、各コアマモ場中央付近で底質の採取を行った。さらに近傍裸地でも同様に採取を行った。調査地点の概念図を図-1に示す。底質の採取はφ6cm×30cmのアクリル製コアサンプラーを用いて、干出時に底質を攪乱しないように鉛直的に抜き取った後、沈降物や底生微細藻類の影響を検討する目的で底質表面から0~1cm部分 (以後、表層と標記) を採取した。さらに、コアマモ根茎の密集する底質表面から1~5cm部分 (以後、内部と標記) も採取し、それぞれ研究室に持ち帰った。採取した底質はそれぞれ24時間凍結乾燥し、1mmメッシュを透過させて底生動物を分離した後、無機炭酸塩を除去する目的で塩酸による前処理⁹⁾を行った。その後、ILと炭素・窒素安定同位体比、脂肪酸組成の分析を行った。ILの分析は既往方法⁹⁾に準拠し、各地点の表層、内部底質ともに1サンプルについて1回ずつ測定した。

(2) 炭素・窒素安定同位体比

質量分析計 (DELTAplus, Finnigan MAT, 精度±0.01‰) を用いて炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) を分析した。1サンプルにつき3回の繰り返し分析を行い、 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ は次式で評価した。

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$$

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ or } {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$$

ここで、 R_{sample} は分析試料のRを、 R_{standard} は標準試料のRを表す。標準試料は炭素がPDB、窒素は大気中窒素を用いた。分析誤差は $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 共に±0.2‰である。

(3) 脂肪酸組成分析

Mezianeら¹⁰⁾の方法に準拠して脂肪酸を抽出した後、ガスクロマトグラフ (GC-17A, Shimadzu, カラム径0.25mm, 100m) を用いて脂肪酸組成を分析した。1サンプルにつき3回の繰り返し分析を行った。キャリアガスにはヘリウムを用い、150°C 5min, 150-230°C 4°C/min, 230°C 10min, 230-250°C 4°C/min, 250°C 5minの昇温プログラムで分析した。標準脂肪酸には、PUFA No.3, SpelcoTM 37 Component FAME Mix, Bacterial Acid Methyl Esters Mix (いずれもSUPELCO社製) の3種類を用い、リテンションタイムから脂肪酸の同定を行った。また、ピークエリアの面積により各脂肪酸の重量割合を算出したものを各脂肪酸の含有率とした。さらに、各脂肪酸の含有率と、分析に供した底質の重量と脂肪酸の重量を用いて、底質1mgあたりのそれぞれの脂肪酸の含有量も算出した。

3. 底質に含まれる有機物の量と組成

(1) 底質に含まれる有機物の量

底質中の有機物量をILとして測定した平均値を図-2に示す。その結果、ILはコアマモ場、特にコアマモ場

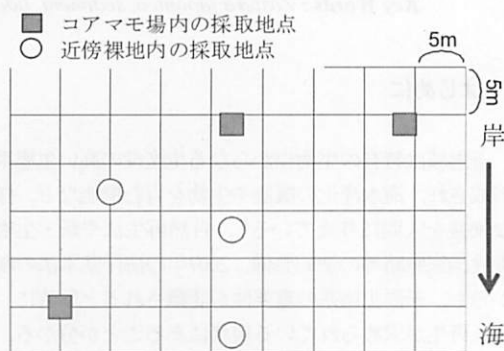


図-1 調査地点概念図。

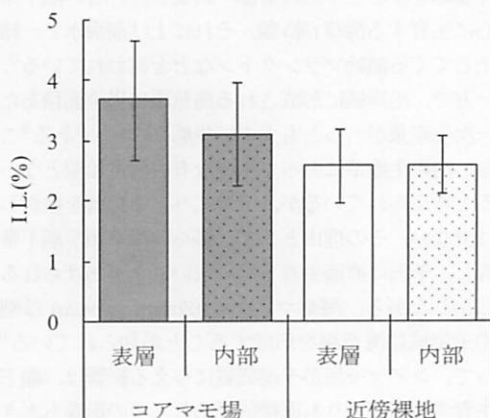


図-2 底質に含まれる平均有機物量 (I.L.)。エラーバーは標準偏差を示す (n=3)。

の表層底質で多い傾向が明らかになったが、既往研究⁴⁾と異なり、表層底質、または内部底質それぞれにおいてコアマモ場と近傍裸地間に有意差は確認されず、本調査地点において、コアマモ場と近傍裸地におけるLLと指標とした有機物量に有意な差は見られないことが分かった ($n=3$, t -test, NS)。このような既往研究との差は、群落の形成期間や群落サイズ、周辺環境の差などによって生じたと考えられる。コアマモ場においては植物体の枯死や懸濁物質のトラップ・沈降によって有機物が底質へ供給されていると考えられるが、今回の結果から、本調査地のコアマモ場では、植物体やトラップ・沈降によって供給される有機物量は多くないか、もしくは、供給された有機物が物理的な流出や生物学的な摂食・分解などの影響で底質から除去されていると考えられた。

(2) 底質中に含まれる有機物の安定同位体比

底質に含まれる有機物の起源について検討する目的で、底質中の平均炭素安定同位体比を、図-3に示す。図-3から、コアマモ場における底質表層の $\delta^{13}\text{C}$ は近傍裸地の表層よりも有意に高い値を持つことが明らかとなった ($n=9$, t -test, $p<0.05$)。同様にコアマモ場における内部の $\delta^{13}\text{C}$ は、近傍裸地の内部よりも有意に高い値を持つことが明らかとなった ($n=9$, t -test, $p<0.05$)。さらに、近傍裸地においては内部よりも表層で $\delta^{13}\text{C}$ が高いことが明らかになった ($n=9$, t -test, $p<0.05$)。このことから、コアマモ場と近傍裸地で有機物の起源が異なっていることが示された。さらに、近傍裸地においては表層と内部でも有機物の起源が異なっていることが示された。

一方、窒素安定同位体比の平均値を図-4に示す。底質表層の $\delta^{15}\text{N}$ にはコアマモ場と近傍裸地間に有意差は見られなかったが、内部の $\delta^{15}\text{N}$ はコアマモ場で近傍裸地よりも有意に高いことが明らかとなった ($n=9$, t -test, $p<0.05$)。また、コアマモ場、近傍裸地関係なく、内部の値は表層よりも有意に高いことが明らかとなった ($n=18$, t -test, $p<0.05$)。有機物の $\delta^{15}\text{N}$ の変動要因としては脱窒の影響が考えられた。脱窒過程による同位体分別係数は大きく、 NO_3^- が十分に供給される場合、脱窒によって $\delta^{15}\text{N}$ が約20‰まで増加することが知られている¹¹⁾。内部は表層よりも酸素が不足するために還元的であり、脱窒反応が進んだ結果、 $\delta^{15}\text{N}$ の値が上昇したと考えられた。さらに、コアマモ場で近傍裸地よりも内部の $\delta^{15}\text{N}$ が高かったことから、コアマモ場では近傍裸地よりも脱窒を含む生物分解が活発に起こっている可能性が示唆された。

また、コアマモ場底質内部の標準偏差は $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ ともに近傍裸地の内部よりも大きかった。これは、3地点のコアマモ場内の値がより異なっていたことを示している。つまり、コアマモ場における内部の有機物の質的環

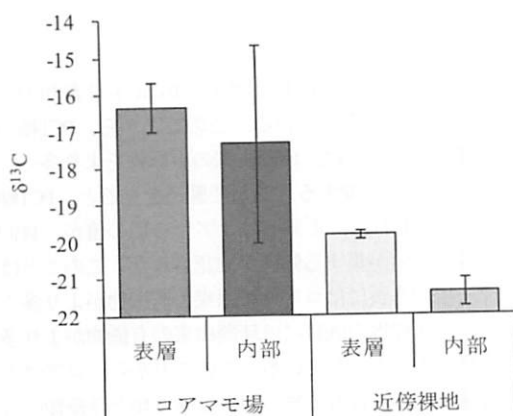


図-3 各地点における底質中の平均 $\delta^{13}\text{C}$ 。エラーバーは標準偏差を示す($n=9$)。

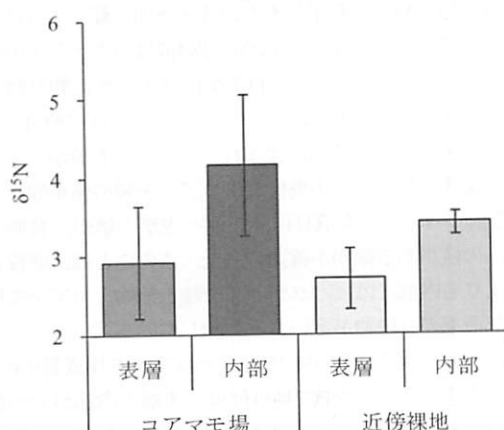


図-4 各地点における底質中の平均 $\delta^{15}\text{N}$ 。エラーバーは標準偏差を示す($n=9$)。

境はその群落ごとの多様性が大きいことが示唆された。コアマモ場ではパッチ状の群落ごとに草長や群落サイズが異なっている。コアマモ場内では海草の葉による水流の緩衝化によって攪乱が低減され、デトリタスや粒子の保持力を増加させて堆積物を増加させると考えられている⁴⁾ことから、個々の群落における海草の形態や群落のサイズ、形成期間の違いが堆積有機物の質へ影響していると考えられた。

(3) 底質中に含まれる有機物の脂肪酸組成

底質有機物の組成の類似性を検討する目的で、1%以上含有されていた脂肪酸の割合を元に主成分分析を行った結果を図-5に示す。まず、PC1軸は、主に18:1n9c, 18:2n6c, 18:3n3の含有率が大きいほど大きく正側へ傾くように設定されている。その中で、18:2n6と18:3n3はコアマモに多く含まれていることから¹²⁾、PC1軸の正側に値を持つことは、コアマモ由来の有機物をより多く含んでいることを示唆する。一方で、15:0, 16:1n7, 17:1, 20:5n3,

24:0の含有率が大きいほど大きく負側へ傾くように設定されている。20:5n3は珪藻のマーカースとして利用されている^{13, 14}。さらに、既往研究^{13, 14}では16:1n7も珪藻類のマーカースとして用いられている。このことから、PC1軸が負側に値を持つことは、珪藻由来の有機物をより多く含んでいることを示唆する。ここで図-5を見ると、PC1軸の4あたりを境目に、正側へはコアマモ場の値が、負側へ近傍裸地の値が集まる傾向が確認された。このことは、コアマモ場の底質にはコアマモ由来の有機物がより多く含まれ、近傍裸地の底質には珪藻由来の有機物がより多く含まれることを示している。このことから、コアマモ場と近傍裸地の底質有機物の組成は海草類と珪藻類の含有率に異なる特徴を持つことが示された。

一方で、PC2軸は、主にa-15:0, 15:0, 15:1, 18:1n7, 20:4n6, 20:5n3, LCFAsの含有率が高いほど負側へ傾くようになっている。このなかで、a-15:0と18:1n7はバクテリアの脂肪酸マーカースとして^{13, 15}、LCFAsは陸上植物の脂肪酸マーカースとして¹⁵利用されている。さらに、既往研究¹²では、コアマモの根茎部に含まれていることも分かっている。図-5を見ると、中央付近のコアマモ場の値を除き、PC2軸の+1の辺りを境目に、正側へ表層の値が、負側へ内部の値がある傾向が確認された。このことは、底質表層よりも内部には、バクテリアや陸上植物、コアマモ根茎部由来の有機物が多いことを示している。

しかしながら、図中央部付近のコアマモ場底質の6点は、上述したようなPC2軸+1付近で表層と内部が分かれる傾向を示さなかった。また、PC1軸に対しても、他コアマモ場底質のプロットよりも、近傍裸地に近い傾向を持っていた。中央付近のコアマモ場の6点は、いずれも同じコアマモのパッチ状群落から採取したものである。このことから、干潟内にパッチ状に広がるそれぞれのコ

アマモ場によって底質有機物の特性が異なっていることが示唆された。この点については、周辺環境条件等とも関連した検討が今後の課題である。

4. コアマモ場と近傍裸地の有機物の起源

ILの結果から、底質の有機物量に関してはコアマモ場と近傍裸地の間に有意差が見られなかったが、炭素・窒素安定同位体比の結果と脂肪酸組成の結果からは、コアマモ場と近傍裸地の底質有機物の組成には明瞭な差があることが示された。炭素安定同位体比や脂肪酸組成は一次生産者によって異なる値を持っていることから、コアマモ場と近傍裸地では底質有機物の起源が異なっていることが示された。干潟における一次生産者の中でも、コアマモが $-11.6 \pm 1.5 \sim -12.4 \pm 1.6\text{‰}$ と、特徴的に高い値¹²を持つことを考えると、近傍裸地よりもコアマモ場の $\delta^{13}\text{C}$ 値が高かった理由として、コアマモ場底質にはコアマモ由来の有機物が多く含まれていたためではないかと推測された。そこで、コアマモに多く含まれている18:2n6と18:3n3¹²、またコアマモ根茎部に含まれているLCFAs¹²の底質中における平均含有量を図-6に示す。その結果、いずれもコアマモ場で近傍裸地よりも有意に多い傾向を示した(t-test, $p < 0.05$)。一方で、干潟の主な一次生産者といわれている珪藻類を示す20:5n3の平均含有量も図-6に示すが、珪藻が多く生育している底質表層では、コアマモ場と近傍裸地では有意差がみられなかった(t-test, $p < 0.05$, NS)。このことは、コアマモ場と近傍裸地の有機物の起源の違いは、珪藻由来有機物の量というよりも、コアマモ由来有機物の存在量に依存していることを示している。コアマモ草体や根茎部は1mmのふるいを使

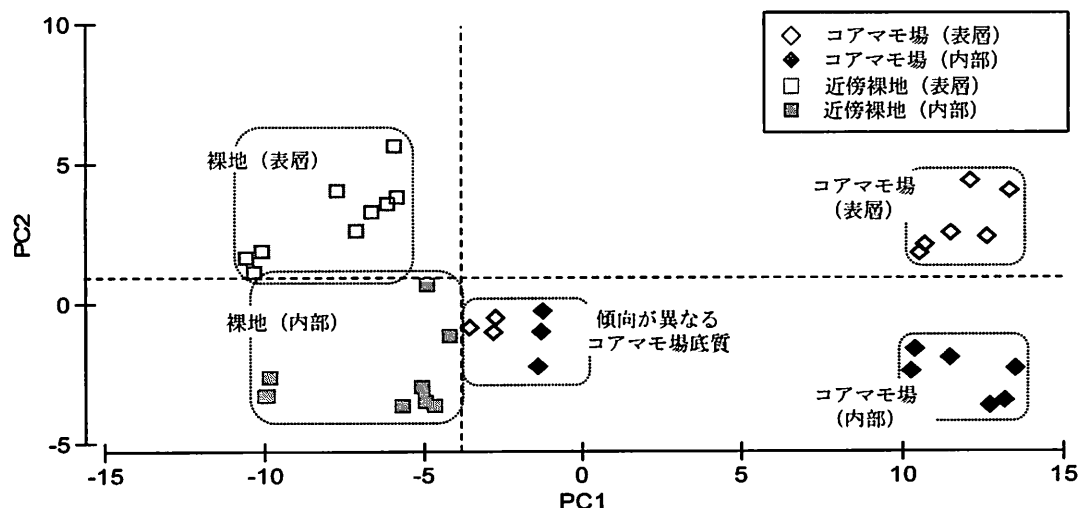


図-5 底質中の有機物における優占脂肪酸の主成分分析結果。

って除去しているが、1mmより細かいコアマモのデトリタスや、コアマモ由来有機物を摂食したバクテリアやミクロベントス、メイオベントスなどがコアマモ場の底質中に近傍裸地よりも多く存在していたためと推察された。また20:5n3は近傍裸地の底質内部で多いことが明らかとなったが、上記同様に珪藻類を摂食した生物が近傍裸地の底質内部に多く存在していたためではないかと考えられた。

一方で、近傍裸地においても18:2n6や18:3n3、LCFAsが検出された(図-6)。このことは、近傍裸地にもコアマモ由来の有機物が存在していることを示している。このことから、コアマモ場で生産されたコアマモ由来のデトリタスなどが海水中を通じてコアマモ場から近傍裸地へ供給されていると考えられた。

しかしながら、コアマモ場と近傍裸地において、コアマモ由来有機物の供給に伴って有機物の質が有意に異なっていた一方で、有機物の量を示すILの値に有意差は見られなかった。この理由として、底質内部の $\delta^{15}\text{N}$ がコアマモ場で近傍裸地よりも有意に高かったことから、コアマモ場では近傍裸地よりも活発な生物分解が行われている可能性が示唆されており、コアマモ場内で有機物が生物的に活発に摂食・分解されて除去されていることが考えられた。また、供給されたコアマモ由来の有機物が物理的に群落外へ流出している可能性も考えられる。さらに、本研究では、既往研究⁹⁾を参考に、有機物の量としてILを使用しているが、ILでは詳細な炭素量の違いを測定することが難しいため、炭素量に着目した有機物量の違いを検討することも今後の課題として重要である。

5. 結論

コアマモ場と近傍裸地の底質を表層と内部に分け、底質有機物における量の指標としてILを、質の指標として炭素・窒素安定同位体比、脂肪酸組成を測定した結果、ILでは有意差が確認されなかったが、安定同位体比と脂肪酸組成は異なることが明らかとなった。このことから、干潟にパッチ状に形成されたコアマモ場では、近傍裸地と比較してILが大きく変化していなくても、有機物の起源が異なることが示され、有機物の量的な違いが質的な違いを反映しているとは限らないことが示唆された。

また、安定同位体比と脂肪酸組成の結果から、コアマモ場と近傍裸地の底質中における有機物の質的な違いは、コアマモ由来有機物によって決定されていることが示された。よって、コアマモの存在は場に底質有機物の質的な多様性をもたらすことが示された。一方で、近傍裸地へ

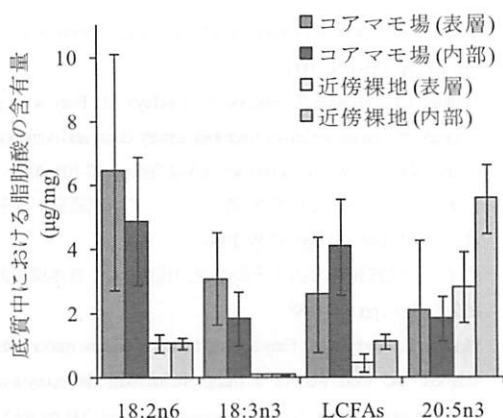


図-6 コアマモ場と近傍裸地における底質中の18:2n6, 18:3n3, LCFA, 20:5n3の含有量。エラーバーは標準偏差を示す(n=9)。

もコアマモ場からコアマモ由来有機物が供給されていることが示され、コアマモ場の存在は近傍裸地の底生生態系へも影響を与えていることが示唆された。

質的な違いが量的な違いに反映されていない理由としては、生物的な分解と物理的な流出に差があると考えられたが、これらの影響については今後の課題である。また、炭素量などに着目した底質有機物量の詳細な比較分析もまた必要であると考えられた。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(09J06022, 21360249, 21760413)と、平成22年度環境省環境研究総合推進費(課題番号:B-1004)の交付を受けて実施した。現地調査は、宮城県漁業協同組合塩釜市浦戸支所のご協力をいただいた。安定同位体分析は東北大学大学院農学研究科 伊藤絹子助教にご協力をいただいた。

参考文献

- 1) 須藤 隆一 編：環境修復のための生態工学，講談社，pp. 191-200, 2000
- 2) Hemminga M.A. and Duarte C.M.: Seagrass Ecology, Cambridge Univ. Press, pp. 20-26, 2000
- 3) 新崎盛敏：アマモ，コアマモの生態(Ⅰ)，日本水産学会誌，Vol. 15, No. 10, pp. 567-573, 1950
- 4) Posey M.H.: Community Changes Associated with the Spread of an Introduced Seagrass, *Zostera Japonica*, Ecology, Vol. 69, No. 4 pp. 974-983, 1988
- 5) Lee S.Y., Fong C.W., Wu R.S.S.: The effects of seagrass (*Zostera japonica*) canopy structure on associated fauna: a study using artificial seagrass units and sampling of natural beds, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 259, pp. 23-50, 2001
- 6) Boschker H.T.S., Wiersma A., Schaub B.E.M., Holmer M.: Limited coupling of macrophyte production and bacterial carbon cycling in her

- sediments of *Zostera* spp. meadows, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 203, pp. 181-189, 2000
- 7) Mfilinge P.L., Meziane T., Bachok Z., Tsychiya M.: Fatty acids in decomposing mangrove leaves: microbial activity, decay and nutritional quality, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 265, pp. 97-105, 2003
 - 8) 日本海洋学会 編: 沿岸環境調査マニュアル〈底質・生物篇〉, 恒星社厚生閣, pp. 57-59, 1986
 - 9) 改定版 底質調査方法とその解説, 社団法人 日本環境測定分析協会, pp. 5-6, 1988
 - 10) Meziane T., Tsuchiya M.: Fatty acids as tracers of organic matter in the sediment and food web of a mangrove/intertidal flat ecosystem, Okinawa, Japan, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 200, pp. 49-57, 2000
 - 11) 永田俊, 宮島利宏: 流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで, 京都大学学術出版会, pp. 199-214, 2008
 - 12) Nagahama Y., Nomura M., Fujibayashi M., Shin W. S., Nishimura O.: Characterization of the carbon stable isotope ratio and fatty acid structure of *Zostera japonica* in coastal areas, *Journal of Water and Environment Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 101-109, 2011
 - 13) Kharlamenko V.I., Kiyashko S.I., Imbs A.B., Vyshkvartzev D.I.: Identification of food sources of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur stable isotope ratio and fatty acid analyses, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 220, pp. 103-117, 2001
 - 14) Jaschinski S., Brepohl D.C., Sommer U.: Carbon sources and trophic structure in an eelgrass *Zostera marina* bed, based on stable isotope and fatty acids analyses, *Marine Ecological Progress Series*, Vol. 358, pp. 103-114, 2008
 - 15) Alfaro A.C., Thomas F., Sargent L., Duxbury M.: Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 70, pp. 271-286, 2006

(2011.5.30 受付)

Organic Matter Sources in Sediments of *Zostera japonica* Beds and Nearby Sandy Areas

Yumi NAGAHAMA¹, Ryo NAKAYAMA², Woo-Seok SHIN², Megumu FUJIBAYASHI², Munehiro NOMURA² and Osamu NISHIMURA²

¹Communication in Science and Technology Education and Research Program, Hokkaido University

²Graduate School of Engineering, Tohoku University

Zostera japonica may be the main organic matter source for tidal flat sediment. The objective of this study is to clarify the influence of *Z. japonica* on sedimentary organic matter on the basis of Ignition loss, carbon and nitrogen stable isotope ratio and fatty acid structures. It is revealed that the quantities of sedimentary organic matters in *Z. japonica* beds are not different from those in nearby sandy areas. However the sources of sedimentary organic matters in the *Z. japonica* beds differ from those in nearby sandy areas. This result suggests that the formation of *Z. japonica* beds in the tidal flat leads to an increase in the qualitative diversity of the sedimentary organic matter. Furthermore, our study suggests that *Z. japonica* affects the benthic ecosystems in nearby sandy areas because *Z. japonica* beds supply the organic matter of *Z. japonica* to the nearby sandy areas.