

湧昇マウンド礁周辺における懸濁態有機物に関する現地観測

Field Observation of Particle Organic Matter around the Artificial Upwelling Producing Structure

岡野崇裕¹・八木 宏²・中山哲巖³・足立久美子⁴・武田真典⁵
松村繁徳⁶・高城隆昌⁷・伊藤純一⁸・小川浩史⁹

Takahiro OKANO, Hiroshi YAGI, Akiyoshi NAKAYAMA, Kumiko ADACHI, Masanori TAKEDA
Shigenori MATSUMURA, Takamasa TAKAGI, Junichi ITO and Hiroshi OGAWA

Recently, the quantitative evaluation in the effect of the primary production of the artificial upwelling producing structure is tried by using a primary ecosystem model. In this case, it is important to understand the sinking flux of the particle organic matter because of the supply of the organic matter to the structure neighborhood and the reproducibility verification of the model. Then, the field observation that used the sediment trap to understand the behavior of the particle organic matter was done for the artificial upwelling producing structure in Nagasaki Prefecture. As a result, the sinking flux tended to increase relatively in the sea area where the upwelling was generated. Moreover, the big zooplankton etc. that did not sink were contained in the sample in the sediment trap by the influence of the formalin solution by about 33 percent.

1. はじめに

湧昇マウンド礁(人工海底山脈:以下,マウンド)は,石材やブロックを段階的に投入しながら山脈状に造成し,主として真光層への底層栄養塩の供給と,それによる一次生産量の増加を通じ,水産資源の増大を図る湧昇流発生構造物である.これまでに,長崎県や鹿児島等の事業主体により造成されている.また,2009年度からは水産庁のフロンティア漁場整備事業(2007年度創設)として,資源が減少しているマアジ・マイワシ・マサバを対象とした湧昇流発生構造物の検討が,長崎県五島西方沖(水深約155m)ではじまっている.

一方,湧昇流発生構造物による一次生産効果の評価手法として,中山ら(2009)による流動・低次生態系モデ

ルを用いた定量的評価が試みられている.この際,構造物近傍への有機物供給やモデルの再現性を検証する観点から,懸濁態有機物(Particle Organic Matter:以下,POM)の沈降フラックスを把握することが重要な要素となる.しかしながら,POMの性状やそれに関連したモデルパラメーター等については十分把握されているわけではない.

基本量であるPOMの沈降フラックスや沈降速度を現地観測により計測・評価する際の課題としては,(1)セジメントトラップや採水により得られるPOMの物質組成や値の妥当性,(2)POMの物質組成からみた沈降速度の算定法の適用性などが挙げられる.特に,後者については,一般によく用いられている次式で沈降速度を算定する場合,沈降試料や採水試料のPOMの性状や組成が沈降速度の精度を大きく左右する.

$$V = \frac{F}{C} \dots\dots\dots(1)$$

ここで, V :沈降速度(m/d), F :沈降フラックス(mg/m²/d), C :セジメントトラップ設置層における採水試料中の濃度(mg/m³)である.

そこで,本研究は,長崎県対馬市長崎鼻より東方約8km,水深約89mの位置に造成されたマウンド(2006年完成)を対象に,その周辺海域でのPOMの挙動を把握するための現地観測を行い,POMの組成やそれに基づくPOM沈降速度の評価,POMの分解特性等について検討を行った.

1	正会員	修(工)	(社)水産土木建設技術センター調査研究部主任研究員
2	正会員	博(工)	(独法)水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部水産基盤グループ環境水理研究チームチーム長
3	正会員	工修	(独法)水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部水産基盤グループグループ長
4	正会員	水産修	(独法)水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部水産基盤グループ主任研究員
5	正会員	修(工)	(社)水産土木建設技術センター調査研究部主任研究員
6			三洋テクノマリン(株)技術部アシスタントマネージャー
7			三洋テクノマリン(株)技術部チーフエンジニア
8			長崎県水産部漁港漁場整備課主任技師
9	博(農)		東京大学大気海洋研究所海洋地球システム系海洋化学部門生元素動態分野准教授

表-1 マウンドの構造諸元

峰部高さ	峰間距離	斜面勾配	材料	湧昇軸
15m	60m	1:2 (峰部), 1:2.41 (稜線部)	石炭灰ブロック (1.6m角)	南北

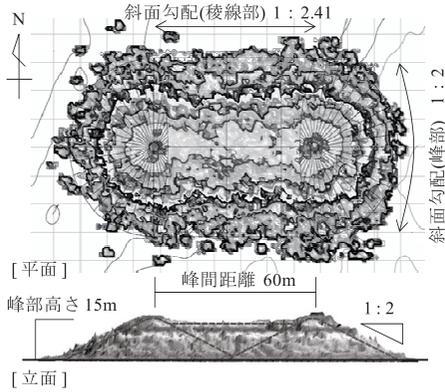


図-1 造成されたマウンドの平面及び立面

表-2 主な現地観測の概要

調査内容	期間	位置	水深	分析項目・対象
設置型観測	'09/9/7 ~9/11	B	水温, 塩分 (水深 10,20,25,30,35,40,70,89m 計8層)	
沈降物調査 (セジメントトラップ)	'09/9/7 ~9/11	A,B, C	75m	POC
	'09/9/10 ~9/11	C	40m	POC, PN (分解 速度実験用)
採水調査	'09/9/9, 9/10	A,B, C	75m	POC
顕微鏡観察	—	A,B, C	—	沈降・採水試料
粒度計測	コールター カウンター ※	—	A,B, C	小型粒子 (沈降・ 採水試料) の粒度組成
	顕微鏡			大型粒子 (沈降・ 採水試料) の粒度組成
備考	※: 50, 200 μ mのアパーチャー径を使用			

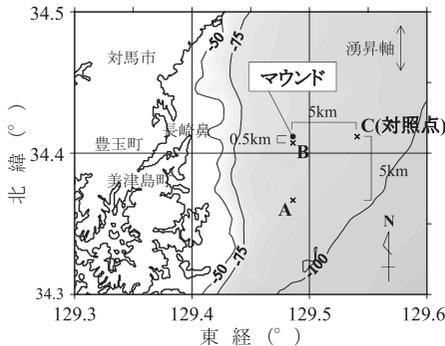


図-2 マウンドの位置及び観測位置

2. 現地観測の内容

対象とするマウンドの構造諸元を表-1及び図-1に示す。現地観測は、既往の現地観測結果等を踏まえ、表-2に示す内容で行った (観測位置は、図-2参照)。なお、既往の現地観測による流況計測 (2006年8月, 10月) では、クロロフィルaの極大層となる水深40m付近での恒流成分は南流傾向を示していた。

そこで、マウンドによる一次生産を通じたPOMの沈降は、マウンドの南側の海域に発現しやすいと仮定し、沈降フラックス評価用のセジメントトラップの配置を、マウンドの南側0.5km (B地点) 及び5km (A地点), 比較対照点としてマウンドの東側5km (C地点) とした。これらの設置水深は、海底面からの再懸濁粒子の影響を避けるため、海底面より15m程度離れた水深75mとした。また、各トラップの捕集容器には濾過したホルマリン海水 (塩分濃度約4%, ホルマリン濃度約5%) を予め充填し設置した。POMの分解速度実験に供するC地点でのセジメントトラップは、観測時のクロロフィルaの極大層 (水深40m) に設置した。捕集容器には、濾過海水 (塩分濃度約4%) を予め充填し設置した。

粒度計測として、コールターカウンター (Multisizer II, Beckman coulter社製) による計測では、概ね100 μ m以下の懸濁粒子 (以下, 小型粒子) を分析対象とし、顕微鏡による計測では、長径100 μ m以上の懸濁粒子 (以下, 大型粒子) を分析対象とした。

3. 観測結果と考察

(1) 観測期間中の気象・海象条件

観測期間中の気象・海象条件に関する結果を図-3に示す。上から、近隣のアメダス観測点である美津島町の風速ベクトル, B地点での水温, 塩分のコンタを示している。特徴的な傾向として、9月8日から9日の午前中にか

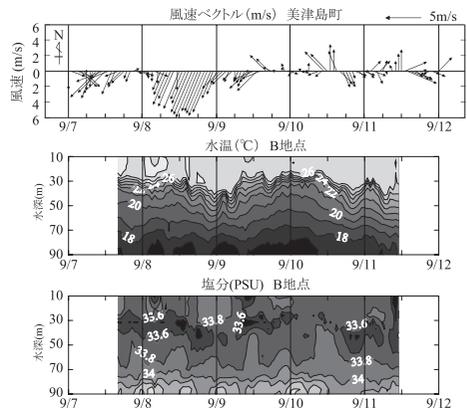


図-3 風速ベクトル (美津島町), 水温・塩分 (B地点)

け、北寄り風（ピーク時には6m/s強の風速）が卓越した。その後半には、高水温・高塩分の水塊が水深30m以深にまで及ぶ様子が窺え、この間の水塊構造が前後の時間帯と異なっていたことがわかる。特に、1回目の採水調査はその末期頃の実施となった。

(2) 懸濁物質組成

a) 顕微鏡観察

まず、セジメントトラップにより採集された試料（以下、沈降試料）及びそのトラップ設置層で採水した試料（以下、採水試料）の種組成について、顕微鏡観察した結果を表-3に示す。

沈降試料及び採水試料を併せ、種類数は全16種類に分類された。このうち、フィーカルペレットは紡錘形の粒子が卓越し、その大きさ等から、その大部分はカイアシ類からの排泄物と考えられた。

両者の種類数を比較すると、各地点ともに沈降試料が多い傾向を示した。また、沈降試料ではカイアシ類やノープリウス幼生、カイアシ類以外の甲殻類といった遊泳性の動物プランクトンが採水試料に比べて多く捕集され、捕集容器内に充填したホルマリンの影響と考えられる。

一方、「+++」及び「++」といった主要構成種（遊泳性の大型動物プランクトンを除く）としては、沈降試料と採水試料ともに、デトリタスやフィーカルペレット、珪藻であり、両者の種組成は比較的類似していた。

次いで、地点間の差異に着目すると、湧昇軸上のA地点やB地点では、C地点に比べてデトリタスやフィーカルペレットが多い傾向が窺えた。いずれも生物活動に起因する有機物であり、マウンドにより生じた一次生産効果

が湧昇軸上の海域に発現していることを示唆している。

b) 粒度組成

小型粒子を対象としたコールターカウンターによる分析結果を図-4に示す。なお、沈降試料と採水試料の粒度

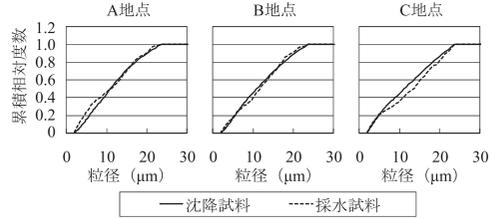


図-4 小型粒子の粒度組成

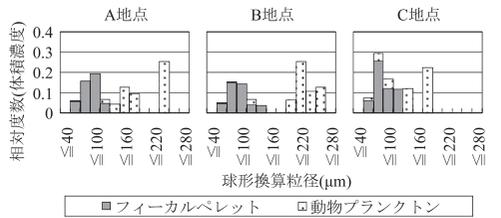


図-5 大型粒子の粒度組成（沈降試料）

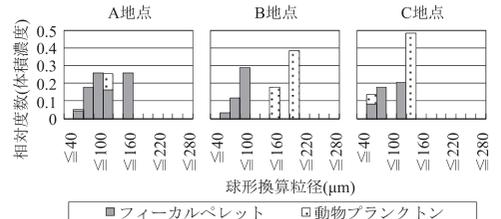


図-6 大型粒子の粒度組成（採水試料）

表-3 各地点における各試料の種組成

	A地点		B地点		C地点		備考
	沈降試料	採水試料	沈降試料	採水試料	沈降試料	採水試料	
(1) デトリタス	+++	+++	+++	+++	++	++	100 µm未満が卓越
(2) フィーカルペレット	++	++	++	++	+	+	長径100 µm以上の紡錘形状が卓越
(3) 珪藻	+++	++	+++	++	+++	++	長径100 µm未満が卓越
(4) 珪藻の殻だけ	+	+	+	+	+	+	
(5) 渦鞭毛藻	+		+	+	+	+	
(6) その他藻類	+		+		+		らん藻など
(7) カイアシ類	++		++	+	+		長径100 µm以上が卓越
(8) ノープリウス幼生	+	+	+	+	+		長径100 µm以上が卓越
(9) カイアシ類除く甲殻類	++		++		+		長径200 µm以上の介形虫類が卓越
(10) ヒドロ虫			+		+		
(11) 多毛類の幼生	+		+				
(12) 二枚貝の幼生	+		+				
(13) 腹足類の幼生					+		
(14) 有孔虫	+	+	+	+	+	+	
(15) その他動物	+	+	+	+	+	+	有鐘纖毛虫類など
(16) 甲殻類の殻, 死骸	+	+	+	+	+	+	

凡例 +++多い ++普通 +少ない

組成の差異を把握するため、両者で共通して把握された最大粒径の体積濃度 (23.6 μ m) を基準に相対化し、図化している。これより、小型粒子では両者の組成は比較的類似していることが把握された。

次いで、顕微鏡による大型粒子を対象とした分析結果を図-5及び図-6に示す。なお、各試料からは予め、沈降には寄与し難い非沈降性有機物 (概ね体長100 μ m以上の無傷な動物プランクトンと定義) を取り除いた。また、出現する粒子の形は不定形であることから、対象とする粒子を擬似体積化し、その長径や短径から体積を求め、球形換算粒径を算出し、図化している。識別できた種類は、動物プランクトンとフィーカルペレットであった。限られた対象の分析結果ではあるが、フィーカルペレットに関しては、両者で比較的類似した粒径範囲となっている。一方、動物プランクトンでは、両者の粒度組成にやや違いが認められ、沈降試料では採水試料に比べ大型のものが採集された。これは、沈降試料と採水試料で出現した種類が異なることの影響であった。

以上の結果から、大型粒子では、非沈降性有機物以外の動物プランクトンの種組成に差異が窺え、それが粒度組成の差異に影響していたが、フィーカルペレットや小型粒子では、両試料は比較的類似した粒度組成であることが把握された。

c) POMの組成

沈降試料及び採水試料に含まれる沈降性有機物及び非沈降性有機物のPOCの組成を図-7及び図-8に示す。

まず、沈降フラックスの総量に着目すると、対照点のC地点に比べ、湧昇軸に配置されたA地点やB地点での総量が多い傾向を示した。同様な傾向は、中山ら (2009) による長崎県五島列島の福江島北方沖に造成されたマウンド周辺海域での現地観測でも把握されており、マウンドによる一次生産効果を、POMの沈降フラックスの増加として捉えたものと考えられる。

次いで、両試料中における非沈降性有機物の割合に着目すると、沈降試料で約33% (3地点平均)、採水試料で約40% (3地点平均) であった。沈降に寄与するPOMを正確に把握するためには、捕集された非沈降性有機物を除去する必要があることがわかる。なお、沈降試料から非沈降性有機物を除去した沈降フラックスとしては、A地点で90.7mgC/m²/d、B地点で100.6mgC/m²/dと同程度の値を示し、C地点では38.3mgC/m²/dとなった。

さらに詳しく、C地点での試料を用いて種類別のPOC組成を調べたところ (図-9)、沈降試料と採水試料の組成は比較的類似していることがわかった。

以上、a) ~c) の結果から、沈降フラックスの正確な評価には、セジメントトラップによる沈降試料から非沈降性有機物を除去する必要があることが把握された。こ

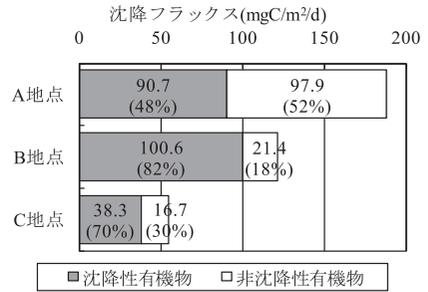


図-7 POCの組成 (沈降試料)

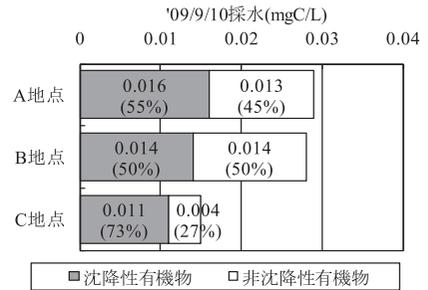


図-8 POCの組成 (採水試料)

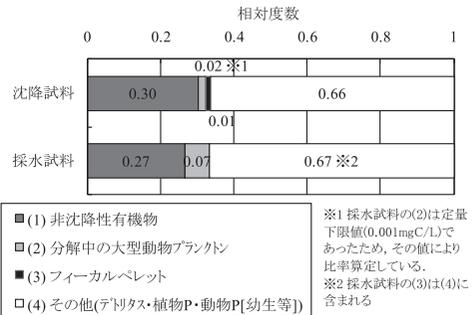


図-9 性状別みた POCの組成 (C地点)

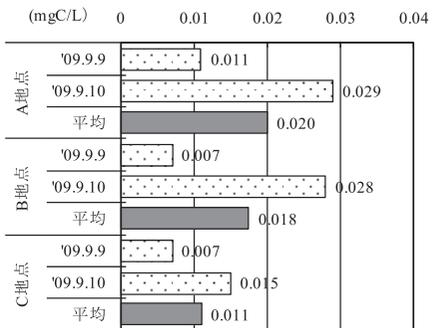


図-10 各採水日の POC

れを除去すれば、沈降試料と採水試料の粒度組成や種組成は比較的類似しており、式 (1) による沈降速度の算定結果には、一定の精度があると考えられる。

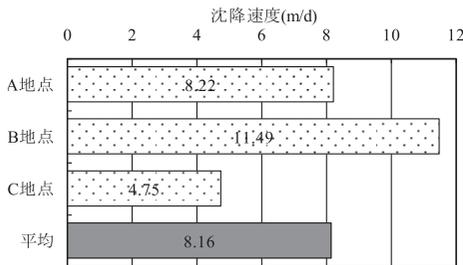
(3) POMの沈降速度

POMの沈降速度を算定する前に、セジメントトラップ

設置期間中に実施した2回の採水調査結果を図-10に示す。隣接した日に実施したにも係わらず、両者の濃度に倍以上の差異が生じた。特に9月9日の調査は、水塊構造が変化していた時期の末期頃に実施されたことから、その影響が示唆される。式(1)により算定する場合の採水調査は、セジメントトラップの設置期間中に、複数回実施することが望ましい。

以上の点に留意しつつ、沈降性有機物を対象に、式(1)による沈降速度を算出した。その結果を図-11に示す。

これより、A地点で8.22m/d、B地点で11.49m/d、C地点で4.75m/dであった(3地点平均で8.16m/d)。一方、既往知見(例えば、Smayda, 1970; Plougら, 2008)によるPOMの沈降速度としては、 $10^0 \sim 10^3$ m/dであった。主として室内実験による結果であることに留意が必要であるが、それらに照らし、算出結果は、低めのオーダーであった。その要因として、両試料にそれぞれ含有されていた植物プランクトンの影響が考えられる。表-3に示すとおり、両試料中には珪藻が「++」で出現しており、既往知見(例えば、Smayda, 1970; Huismanら, 2002)では、1m/d前後の沈降速度であることが把握されている。



※採水試料は9/9及び9/10の結果の平均値を用い、9/9の沈降性有機物の割合は、9/10の結果と同じ割合と仮定し算定している。

図-11 POMの沈降速度

(4) POMの分解速度

C地点を対象に実施したPOMの分解速度に関する室内実験結果を図-12に示す。

これより、分解速度として、POCで $0.0967 \mu\text{mol/L/h}$ 、PNで $0.0076 \mu\text{mol/L/h}$ が把握された。また、当該数値を基に、生態系モデル上のパラメーターである最大分解速度を算定すると $0.03/\text{day}$ となった。ただし、この数値は、比較的早期に分解されやすい易分解性有機物の分解速度であることに留意する必要がある。

4. まとめ

マウンド周辺海域でのPOMの挙動を把握するための現地観測より、以下の知見を得た。

(1) 湧昇軸上の海域では、マウンドによる一次生産量の増加を通じて、POMの沈降フラックスが増加する可能

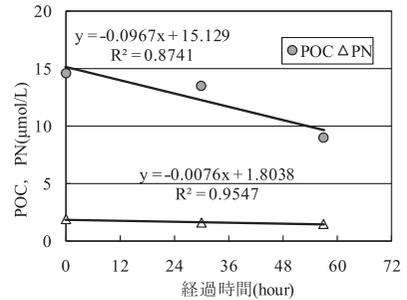


図-12 POMの分解速度実験(20°C, 暗条件)

性が示唆された。

- (2) 沈降試料や採水試料中には、非沈降性有機物が含有することが把握され(本観測の場合、30~40%程度)、沈降に寄与するPOMを正確に把握する場合には、これらを除去する必要がある。
- (3) 沈降試料及び採水試料の粒度組成やPOCの物質組成から、式(1)による沈降速度には一定の精度があることが分かり、非沈降性有機物を除去したPOMの沈降速度として、3地点平均で8.16m/dを得た。
- (4) 易分解性POMの分解速度として、POCで $0.0967 \mu\text{mol/L/h}$ 、PNで $0.0076 \mu\text{mol/L/h}$ を得た。

これら知見を踏まえ、中山ら(2009)により開発している湧昇流発生構造物の一次生産量の増加やその増加範囲を予測する流動・低次生態系モデルの精度向上を図るとともに、それと連動した効率的・効果的な現地観測手法について、検討していく必要がある。

謝辞: 本研究は長崎県による長崎県北部地区広域漁場整備工事(対馬東工区モニタリング調査業務委託)、及び科学研究費補助金基盤研究(B)「境界層計測プラットフォームを用いた陸棚海底環境の実態計測とモデル化」(代表者:八木宏)等により行われた。また、POMの分解速度実験は、東京大学大学院前澤琢也氏により行われたことを付記し謝意を表する。

参考文献

- 中山哲彦・八木 宏・藤井良昭・渡邊浩二・岡野崇裕・武田真典・渡辺秀俊・高城隆昌・小川浩史(2009): 湧昇マウンド礁による低次生産効果把握のための現地調査および数値計算手法の開発, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp. 801-805.
- Huisman, J. B. Sommeijer (2002): Maximal sustainable sinking velocity of phytoplankton, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol.244, pp.39-48.
- Ploug, H. M. H. Iversen, M. Koski, E. T. Buitenhuis (2008): Production, oxygen respiration rates, and sinking velocity of copepod fecal pellets: Direct measurements of ballasting by opal and calcite, Limnol. Oceanogr., Vol.53(2), pp.469-476.
- Smayda, T.J.(1970): The suspension and sinking of phytoplankton in the sea, Mar. Biol. Rev., Vol.8, pp.353-414.