

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510018

研究課題名(和文) 沿岸水域における浮遊懸濁物の起源とその変遷

研究課題名(英文) Dynamics of suspended substances in coastal waters

研究代表者

吉川 尚 (Yoshikawa, Takashi)

東海大学・海洋学部・准教授

研究者番号：80399104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：三河湾、フィリピンのバタン湾、タイのバンドン湾等を対象に、沿岸水や流入河川水の微量元素の起源、食物網構造の解析を行った。三河湾における微量元素組成の結果からは、人為的な影響を希土類のクラスター解析で、地質的影響を堆積物中のストロンチウム同位体比で追跡することでより正確に堆積物の起源推定ができる可能性が示された。また、食物網構造の解析では、二枚貝類、巻貝類、多毛類等の底生動物は、植物プランクトン、アオサ、アマモ、底生微細藻類等の様々な一次生産者を利用していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Origin of micro elements of coastal waters and food-web structure of coastal ecosystems were investigated in Mikawa Bay, Batan Bay in Philippines and Bandon Bay in Thailand.

研究分野：沿岸環境学

キーワード：浮遊懸濁物 多元素 同位体比

1. 研究開始当初の背景

浮遊懸濁物 SS (Suspended Substance) は、沿岸水域の光環境や海底地形等に大きく影響する。そのため、海洋生態学や海洋工学等の分野で重要な研究対象となっている。例えば、炭素の安定同位体比を指標とした浮遊懸濁物の有機成分の起源の解析 (例; Wada *et al.* 1987)、光量低下が植物プランクトンの光合成活性に及ぼす影響の評価 (例; Irigoien & Castel 1997)、浮遊懸濁物の堆積による海洋構造物の埋没 (例; 黒岩・野田 1991) 等がある。浮遊懸濁物の測定上の定義は、ガラス繊維上に濾過捕集したものの乾重量と明確である。しかしながら、実際の浮遊懸濁物は無機物 (泥・砂粒子等) と有機物 (微生物、生物死骸等) が混在した複雑なものであり、堆積と再懸濁を繰り返す間に分解や化学物質の吸着等を受け、常に変化している。そのため、浮遊懸濁物の捉え方や概念は、各分野や個々の研究者の立場によってまちまちである。以上のような状況を改善し、浮遊懸濁物の起源や動態に関する総合的な知見を得るためには、海洋生態学と海洋工学の両分野からのアプローチが必要である。

2. 研究の目的

浮遊懸濁物は、沿岸水域における水質及び底質の形成、沖合への物質輸送に重要な役割を果たしているにも関わらず、その実態については不明な点が多い。本研究では、マングローブ水域を対象に浮遊懸濁物の輸送・沈降・再懸濁を数値モデルで再現する。また、浮遊懸濁物の起源を多元素の同位体比分析から推定し、微生物の光合成及び呼吸作用による有機成分の変化を評価する。これらの結果を併せることで、浮遊懸濁物が水平及び鉛直方向に移動するに伴い、微生物の作用を受け、物理・化学的特性が変化する過程を解明し、浮遊懸濁物の概念を整理し明確化する。

3. 研究の方法

三河湾沿岸及び流入河川における水及び堆積物試料の採集調査は、2013年および2014年に複数回に分けて、豊川および矢作川の各5地点と各河川の河口付近、東幡豆干潟 (愛知県西尾市) で行った。2013年には河川水を2014年は河川水と河床堆積物および干潟や河口の堆積物を採取した。水試料に関しては現地で $0.2\mu\text{m}$ のフィルターで濾過後持ち帰った。堆積物の採取に関して、ふるいの目の大きさにより採取されたサンプルから検出される元素濃度値に違いが無いかわかるため、 1mm と $180\mu\text{m}$ のふるいをを用いた。採取したサンプルは後日蒸留水で洗浄した後、乾燥するまで数日間室内で保管した。その後粉砕機で粉砕し、硝酸、フッ酸、過塩素酸を添加した後ホットプレート上で溶解し乾固させたものを再び王水で溶解・乾固後、硝酸で溶解した。以上の手順で溶解した堆積物試料と

水試料を適切な濃度まで希釈し誘導結合プラズマ質量分析装置で51元素の分析を行い、さらに表面電離型質量分析装置でストロンチウム同位体比の分析を行った。

トンレサップ湖を対象とした採水調査は、2014年3月 (乾季、計16地点) と2014年10月 (雨季、計18地点) に実施した。流入河川では2012年8月 (雨季、計23地点) と2013年2月 (乾季、計25地点) に実地した。水試料は、現地で懸濁物を濾過除去後、冷暗所で保管した。計51種の微量元素濃度は、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) で分析した。各季節・地点における微量元素の濃度組成を基に、クラスター解析を行った。

三河湾沿岸を対象とした浮遊懸濁物等を出発点とする食物網に関する調査は、2013年4月・5月 (春)、7月・8月 (夏)、10月 (秋) に、東幡豆干潟において二枚貝類11種、巻貝類9種、多毛類13種、甲殻類12種、その他4種 (ユムシ類・スジホシムシ類・ヒモムシ類・ギボシムシ類) の底生動物を採集した。を採集した。餌資源候補として、懸濁態有機物 (POM)、プランクトンネット試料 ($20\sim 200\mu\text{m}$ 、 $>200\mu\text{m}$)、堆積有機物 (SOM; $0\sim 2\text{cm}$ 層、 $14\sim 16\text{cm}$ 層)、大型海産植物 (アマモ・アナアオサ・ボウアオノリ) を採取した。貝類は閉殻筋または腹足を摘出し、乾燥後、酸処理を行った。各試料の炭素及び窒素の安定同位体比は、元素分析計 (Flash EA) と連結した質量分析計 (DELTA V) にて分析した。各貝類による各餌資源の利用率は、混合モデルに基づいた解析プログラム (Iso Source) により推定した。

トンレサップ湖を対象とした浮遊懸濁物等を出発点とする食物網に関する調査は、2014年3月 (乾季) と2014年10月 (雨季) に、トンレサップ湖沿岸の南部 (コンポンチュナン、チュノックトゥリユー)、北部 (シエムリアップ) の市場等にて、現地周辺で水揚げされた漁獲物を購入して行った。魚類の有機物起源や餌候補として、堆積有機物、懸濁態有機物、動植物プランクトン、陸上植物、両生類、無脊椎動物 (二枚貝類、甲殻類等) を、湖内や市場等にて採集した。各試料は酸処理を行い再乾燥後、元素分析計 (Flash-EA) と連結した質量分析計 (DELTA-V) にて、炭素及び窒素の安定同位体比を分析した。

4. 研究成果

三河湾沿岸及び流入河川を対象とした、水及び堆積物の微量元素組成の分析結果については、関根ら (2012) と同様に、希土類元素の含有量と組成比を定量しクラスター分析を行うことで堆積物の起源推定から流域の判別を試みた。その結果、全希土類元素の濃度では大きく矢作川、豊川上流、豊川中流、沿岸域に分類された。こうした傾向が現れた原因は、非工業系よりも工業系希土類元素の影響であった。しかし、沿岸域のクラスターに豊川の中流地点が分類され、組成比のクラ

スター分析では流域別に分類されない等の問題もあった。同時に地殻の主要 10 元素のクラスター分析を行った。組成比において概ね矢作川と豊川に分類されたが、矢作川のクラスターに豊川の上流地点が分類される、濃度は組成比ほど流域を分類しない等注意すべき点が見られた。ストロンチウム同位体比は矢作川で高い数値を示し、豊川では概ね矢作川に比べ低い数値を示した。矢作川河口や矢作川河口に近い一色海岸は矢作川の数値と近い値が見られ、矢作川からの影響が伺われた。人為的な影響を希土類のクラスター解析で、地質的影響を堆積物中のストロンチウム同位体比で追跡することでより正確に堆積物の起源推定ができる可能性が示された。

トンレサップ湖及び流出河川の水試料の分析結果からは、微量元素の濃度組成を基にしたクラスター解析により、各季節・地点は大きく 3 つのグループ (A、B、C) に分けられた。A グループは Si、B グループは Ca、Si 及び Na、C グループは Na の割合が、それぞれ比較的高いといった特徴を有していた。湖内の地点は、季節を問わず全て B グループに含まれた。これらの 3 グループは、さらに 7 つのサブグループ (A₁、A₂、B₁、B₂、B₃、C₁、C₂) に分けられた。乾季は、湖とトンレサップ川のほぼ全ての地点が同じ B₃ サブグループ (Ca が比較的高い) となり、メコン河は B₁ サブグループ (Na と Ca が比較的多い) となった。このことから、乾季には、湖水がトンレサップ河を通じてメコン河に流出していることが伺えた。湖水及び河川水は、直接あるいは間接的に住民の生活用水として利用されている。本研究による微量元素濃度の分析結果を、世界保健機関による水道水基準と比較したところ、Al と Fe については、時期を問わず、湖内、河川の両方において、いくつかの地点で基準値を上回っていた。特に、Al は、河川 (4-3,523 µg L⁻¹) において、基準値 (<200 µg L⁻¹) の最大 18 倍となった。As (ヒ素) は、基準値 (<10 µg L⁻¹) を上回る値は検出されなかったが、基準値の 1/5 (<2 µg L⁻¹) を上回る値が雨季及び乾季の河川、乾季の湖で確認された。As は、特に乾季の湖の地点で高い値が見られる傾向にあった。

三河湾沿岸を対象とした浮遊懸濁物等を出発点とする食物網に関する調査からは以下のことが明らかとなった。まず貝類については、秋の結果を見ると、¹³C と ¹⁵N はともに巻貝類 (¹³C: -14.76 ~ -10.45‰、¹⁵N: 11.62 ~ 13.83) が二枚貝類 (¹³C: -15.98 ~ -10.89、¹⁵N: 10.29 ~ 14.31) と比べて高い傾向にあり、両者で餌資源が異なることが示唆された。さらに、巻貝類の中でも、¹⁵N が高く ¹³C が低いグループ (イボニシ、アカニシ、ツメタガイ、アラムシロ) と、¹⁵N が低く ¹³C が高いグループ (スガイ、ヘナタリ、ホソウミニナ) の二つに分けられた。前者のグループには主に動物食性、後者のグループには主に植食性または雑食性とされ

ている種が含まれていた。二つのグループにおける ¹⁵N の違いからは食性の違い (動物食性、植食性、雑食性) が、¹³C の違いからは餌資源が異なることが示唆された。例外として、巻貝類の中で唯一、ウスキシワタの ¹³C と ¹⁵N が二枚貝類と類似していた。これは、ウスキシワタが他の巻貝類と食性が異なることを反映していたと考えられる。また、ユウシオガイの ¹³C (-10.89 ± 0.84‰) は、二枚貝類の中で最も高く、¹⁵N (10.29 ± 0.51‰) は最も低い結果となった (P < 0.05)。この結果から、ユウシオガイは他の二枚貝類と食性が異なることが示唆された。さらに、秋の結果を元に推定した各餌資源の利用率をみると、ユウシオガイではアマモの利用率が最も高かった (72.74%)。一方、アサリでは、アナアオサの利用率が最も高く (60.83%)、次いで POM が高かった (0.33%)。また、季節変動に着目すると、貝類群集の ¹³C は春よりも秋で高い傾向にあった (P < 0.05)。次に、多毛類について、夏の結果をみると、¹⁵N は 11.1-14.1‰ と幅広い値を示し、様々な栄養段階の種類が存在することが示唆された。¹⁵N は、チロリ科の一種 (14.1 ± 1.5‰) で最も高く、チロリ科が肉食性であることを反映していたと考えられる。次いでゴカイ科の一種 (13.7 ± 0.4‰)、ツバサゴカイ科の一種 (13.1 ± 0.7‰)、ミズヒキゴカイ科の一種 (13.0 ± 0.3‰)、タマシキゴカイ科の一種 (13.0 ± 0.6‰)、フサゴカイ科の一種 (12.5 ± 0.2‰) の順で高い値を示し、シロガネゴカイ科の一種 (11.2 ± 1.6‰) とオフェリアゴカイ科の一種 (11.1 ± 1.1‰) が最も低かった。甲殻類の ¹⁵N はコブヨコバサミで最も高く (15.4 ± 0.3‰)、コメツキガニで最も低い値 (10.0 ± 0.8‰) であった。コブヨコバサミは雑食者、コメツキガニは堆積物食者とされており、両者の ¹⁵N の違いは食性を反映していたと考えられる。秋の結果を元に推定した各餌資源の利用率をみると、堆積物食者とされるミズヒキゴカイ科の一種では、アマモの利用率が最も高く (47-56%)、次いで、POM が高かった (0-43%)。濾過食者とされるツバサゴカイ科の一種では、アナアオサが最も高く (50-88%)、次いでアマモが高かった (12-31%)。¹³C の季節変化を見ると、ミズヒキゴカイ科の一種とツバサゴカイ科の一種では秋に最も高くなった (p < 0.05)。各餌資源について見ると、POM とアマモでは季節による違いは小さかったが、アナアオサでは夏に最も高かった (p < 0.05)。

トンレサップ湖を対象とした浮遊懸濁物等を出発点とする食物網に関する調査からは以下のことが明らかとなった。乾季の南部における ¹⁵N 値は、コイ科 *Barbonymus altus* (5.71 ± 2.95‰) で、他のコイ科魚類 *Puntioptis falcifer* (9.66 ± 1.28‰)、*Labeo chrysophekadion* (9.19 ± 2.40‰)、*Cyclocheilichthys enolops* (9.02 ± 0.94‰) に比べて、有意に低くなった (p < 0.05)。

^{15}N 値を採集場所で比較すると、コイ科魚類では、北部で南部に比べて、同程度かやや高くなる傾向を示した。特にフグ科 *Tetraodon cambodigiensis* の ^{15}N 値は、北部 ($11.44 \pm 2.57\text{‰}$) で南部 ($7.98 \pm 0.78\text{‰}$) に比べて有意に高く ($p < 0.05$)。 ^{13}C 値は北部 ($-31.16 \pm 0.94\text{‰}$) で南部 ($-26.60 \pm 1.59\text{‰}$) に比べて有意に低かった ($p < 0.05$)。無脊椎動物の ^{15}N 値では、テナガエビの一種 ($13.20 \pm 3.97\text{‰}$) が最も高かった。有機物起源や餌候補の ^{13}C 値は、SOM ($-20.31 \pm 0.36\text{‰}$)、POM ($-27.46 \pm 0.72\text{‰}$)、ハス ($-25.46 \pm 0.15\text{‰}$)、マンゴー ($-28.22 \pm 0.28\text{‰}$)、ホテイアオイ ($-29.46 \pm 1.53\text{‰}$) となった。雨季では、 ^{15}N 値は大部分の魚類において、北部で南部に比べて、同程度か低くなる傾向を示した。 ^{15}N 値の南北差は、コイ科 *Puntioplites falcifer* (北部 $3.58 \pm 0.92\text{‰}$ 、南部 $9.84 \pm 0.49\text{‰}$)、タウナギ科 *Monopterus albus* (北部 $3.02 \pm 1.89\text{‰}$ 、南部 $9.25 \pm 0.88\text{‰}$)、フグ科 *Tetraodon cambodigiensis* (北部 $11.23 \pm 0.36\text{‰}$ 、南部 $3.94 \pm 0.61\text{‰}$) で顕著であった。以上、雨季と乾季ともに、同一種で ^{15}N 値に南北差が見られ、さらに雨季と乾季では、南北間の変化が逆のパターンとなった。これらの結果ら、湖の場所や季節により、魚の食性、プランクトン等の低次生産者の組成等、食物網構造が異なる可能性が示唆された。

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2件)

早瀬善正、大貫貴清、吉川 尚、松永育之、社家間 太郎、前島(三河湾)の転石地潮間帯の貝類相 特徴的な16種の記録. 日本貝類学会研究連絡誌. 査読有. 受理済み

C. Sukudom, M. Kaewnern, I. Wudtisin, T. Yoshikawa, Y. Okamoto, K. Watanabe, S. Ishikawa & J. Salaenoi. 貝類漁場の底質環境 Organic contents and pH profiles of sediments in cockle farm at Bandon Bay, Surat Thani Province. Khon Kaen Agricultural Journal 査読有. 受理済み

[学会発表](計12件)

吉川尚・佐々木将大・山田美帆・松浦弘行・堀美菜・Hort Sitha・Nao Thuok・石川智士 カンボジア王国トンレサップ湖の栄養状態とプランクトン出現種 平成27年度日本水産学会春季大会、要旨集 P113、2015年3月30日、東京海洋大学(東京都港区)
船越圭佑・宮本浩史・吉川尚・高木映・堀美菜・申 基斐・中野孝教・岡本侑樹・石川智士・Hort Sitha・Nao Thuok カンボジア王国のトンレサップ湖及び流入河川における微量元素濃度 第4回同位

体環境学シンポジウム、要旨集 P43、2014年12月22日、総合地球環境学研究所(京都市)

船越圭佑・宮本浩史・吉川 尚・高木映・堀美菜・申 基斐・中野孝教・岡本侑樹・石川智士・Hort Sitha・Nao Thuok カンボジア王国のトンレサップ湖における微量元素濃度 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア、要旨集 P76、2014年11月28日、富士市産業交流展示場(富士市)

佐々木将大・山田美帆・吉川 尚・松浦弘行・石川智士 カンボジア王国トンレサップ湖の栄養状態とプランクトン出現種 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア、富士市、要旨集 P77、2014年11月28日、富士市産業交流展示場(富士市)

小関佑太・吉川尚・武藤望生・高木映・堀美菜・石川智士・Hort Sitha・Nao Thuok カンボジア王国トンレサップ湖の魚類群集の食性解析 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア、富士市、要旨集 P78、2014年11月28日、富士市産業交流展示場(富士市)

岡本侑樹・石川智士・申基澈・中野孝教・渡邊一哉・吉川尚・Jintana Salaenoi タイ南部・バンドン湾における貝類養殖漁場の水質評価 微量元素分析を用いて 平成26年度日本水産学会秋季大会、2014年09月19日-2014年09月22日、九州大学(福岡市)

Yuki Okamoto, Koetsu Kon, Kazuya Watanabe, Takashi Yoshikawa, Jintana Salaenoi and Satoshi Ishikawa. Preliminary survey on food-web structure and water characteristics of bivalve aquaculture area in Bandon bay, Surat Thani province, Thailand. 9th WESTPAC International Scientific Symposium, 22-25 April 2014, **Nha Trang Sheraton Hotel** (Nha Trang, Vietnam). Hilario Taberna Jr, Yuki Okamoto, Mae Grace Nillos, Ida Pahila, Nathaniel Añasco, Takashi Yoshikawa, Kichoel Shin, Takanori Nakano and Satoshi Ishikawa. Spatial variation in strontium isotopic and elemental composition of bodies of water around the Batan Bay Estuary. 9th WESTPAC International Scientific Symposium, 22-25 April 2014, **Nha Trang Sheraton Hotel** (Nha Trang, Vietnam). Ida Pahila, Yuki Okamoto, Mae Grace Nillos, Hilario Taberna Jr, Nathaniel Añasco, Takashi Yoshikawa and Satoshi Ishikawa. Characterizing sediment acid volatile sulfide and organic matter of Batan Bay Estuary. 9th WESTPAC International Scientific

Symposium, 22-25 April 2014, **Nha Trang Sheraton Hotel** (Nha Trang, Vietnam).
T. Yoshikawa, Y. Hayase, T. Tanekura, T. Shakema, Y. Matsunaga, D. Hayashi, H. Matsuura, S. Ishikawa. Biological and environmental diversities of the Higashi-Hazu tidal flat and adjacent macrophyte beds in Mikawa Bay, Japan. 9th WESTPAC International Scientific Symposium, 22-25 Apr-14, **Nha Trang Sheraton Hotel** (Nha Trang, Vietnam).
宮本浩史・吉川尚・高木映・石川智士・堀美菜・Hort Sitha・Nao Thuok カンボジア王国トンレサップ湖流入河川水の栄養塩及び微量元素 平成 26 年度日本水産学会春季大会、要旨集 P137、2014 年 3 月 28 日、北海道大学(函館市)
宮本 浩史、吉川 尚、高木 映、石川 智士 カンボジア王国トンレサップ湖流入河川水の栄養塩及び微量元素濃度 第 3 回同位体環境学シンポジウム、要旨集 P49、2013 年 12 月 17 日、総合地球環境学研究所(京都市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉川 尚 (YOSHIKAWA TAKASHI)
東海大学・海洋学部・准教授
研究者番号：60399104

(2) 研究分担者

仁木将人 (NIKI MASATO)
東海大学・海洋学部・准教授

研究者番号：30408033

(3) 連携研究者

今 孝悦 (KON KOETSU)

東海大学・生命環境科学研究科・助教

研究者番号：40626868