

令和元年5月29日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00515

研究課題名(和文) 貧酸素水塊環境下にある東京湾底質の非破壊状態分析と放射能分析から読み解く堆積環境

研究課題名(英文) A study on the marine sedimentary environments under the hypoxia in Tokyo-bay by non-destructive speciation of elements and radioactivity analysis.

研究代表者

松尾 基之 (Matsuo, Motoyuki)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：10167645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：過去に発生した貧酸素水塊の履歴が直下の堆積物に記録されているものと捉え、堆積物を鉛直方向に化学分析することで、貧酸素水塊と浚渫窪地の堆積環境との関連性を明らかにすることを目的とした。堆積物試料は千葉県幕張沖の浚渫窪地内および窪地外の自然海底と横浜沖で採取した。メスbauer分光法により、層別試料の鉄の化学状態を分析した結果、横浜沖が幕張沖に比べて酸化しており浚渫窪地が最も還元的事であることが示唆された。堆積物中に含まれる酸化還元状態に鋭敏な元素の濃度に着目した解析結果からも、同様の傾向が確認された。また、放射性セシウムをいわばトレーサーとして用い、堆積物内での物質移動の評価を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

貧酸素水塊の先行研究では、貧酸素水塊の実態を把握することによって短期的な水塊の分布を予測するものが多い。本研究では、これまで殆ど検討されてこなかった水塊直下の堆積物の化学状態に着目することによって、過去の貧酸素水塊の履歴を見いだすことに学術的意義がある。すなわち、本研究の成果は貧酸素水塊の発生の原因を解き明かす重要な知見を得る足がかりになると考えられる。また、貧酸素水塊直下の堆積物の化学状態や相対的な濃度変化を明らかにするこれまでにない着眼点を持った本研究により、貧酸素水塊の発生と浚渫窪地との関連性を解明することができ、本研究の成果は社会的意義も大きいものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the relationship between hypoxia and the sediment environment of dredged trench by chemical analysis of sediments in the vertical direction, assuming that the history of hypoxia is recorded on the bottom sediment. The core sediments were collected from the dredged trench and non-dredged seabed off Makuhari, Chiba Prefecture, and off Yokohama. Moessbauer analysis of iron in the layered samples revealed that the area off Yokohama was more oxidative than the area off Makuhari, and that the dredged trench area was the most reductive. The same tendency was confirmed from the analytical results focusing on the concentration of redox sensitive elements in the sediment. In addition, evaluation of mass transfer in the sediments was attempted by using radioactive cesium as a so-called tracer.

研究分野：環境分析化学

キーワード：貧酸素水塊 東京湾底質 浚渫窪地 非破壊状態分析 メスbauer分光法 機器中性子放射化分析 鉛直分布 放射性セシウム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東京湾のように閉鎖的な内湾では「貧酸素水塊」と呼ばれる、溶存酸素量が極端に少ない水塊が頻繁に発生することが知られている。貧酸素水塊は、生物の生息環境を悪化させ、漁業や養殖業、さらには生物多様性の保全にとって深刻な影響を与えている。この問題を解決するためには、貧酸素水塊の発生原因を特定し、その有効な改善策を検証することが重要であるが、その前段階として、海水中の溶存酸素量のモニタリングが不可欠である。千葉県幕張沖には浚渫工事により自然海底より深くなっている窪地があり、その特殊な地形が貧酸素水塊の発生原因のひとつだと考えられている。東京湾にはいくつかの水質モニタリングポストがあり、定期的に溶存酸素量を含む水質データが収集されているが、貧酸素水塊の原因になりうる浚渫地のような特殊な環境下での水質データは著しく不足している状況であった。

2. 研究の目的

このような状況の中、我々は過去に発生した貧酸素水塊の履歴が直下の堆積物に記録されているものと捉え、堆積物を鉛直方向に採取し堆積年代別に元素の化学状態の変化を分析することで、過去数十年間の貧酸素水塊の履歴を明らかにすることを研究目的とした。分析手法としては、試料の化学的前処理を全く必要とせずに元素の化学状態の分析を行うことができる、メスバウアー分光法および X 線吸収微細構造(XAFS)法を用いる。さらに堆積物中に含まれる redox sensitive な元素の濃度にも着目して、水質の酸化還元状態との関連性を検討する。また、福島第一原子力発電所の事故によって環境中に沈着した放射性セシウムをいわばトレーサーとして使い、堆積物内での物質移動の評価に使うことを試みる。本研究の遂行によって、一見するとコアトップからボトムにかけて一様に見える堆積物試料を用いて、redox sensitive な元素の分布と状態変化を堆積年代別に明らかにする、すなわち「可視化」することによって、海底環境の変動履歴を明らかにすることができると考えた。

3. 研究の方法

貧酸素水塊の発生・拡大のメカニズムの解明には、発生シーズン(主に夏期)の溶存酸素・水温・塩分濃度などの水質の面から検討することも重要ではあるが、毎年のデータの蓄積は得られても根本的な水塊の解析には直結しないと考えられる。そこで我々は貧酸素水塊の履歴が直接記録されていると考えられる堆積物の化学状態に着目した。しかし従来の化学形態分別(湿式分析)法では、分析中にその化学状態が変化する恐れがあり、正確にその場の環境を復元することには困難があった。そこで本研究では堆積物中の元素の化学状態を変化させることのない⁵⁷Feメスバウアー分光法やX線吸収微細構造(XAFS)法といった非破壊分析法を実験手法に適用することにより、本研究目的を達成するためのブレイクスルーの方法とした。具体的には、堆積物が嫌気的環境になると硫黄化合物の還元によりH₂Sが発生し、堆積物中の鉄と反応して硫化物を生成する。一方、堆積物が酸化的環境になるとgoethite (α -FeOOH)やhematite (α -Fe₂O₃)のようなオキシ水酸化鉄や酸化鉄が生成する。このことから、堆積物中の硫化鉄や酸化鉄等は貧酸素水塊の有無の指標となりうると考えた。また、堆積物中に含まれる redox sensitive な元素としてFe, Mn, U, Th, Ceに着目して機器中性子放射化分析(INAA)法による元素分析を行った。Fe, Mn, Th, Ceはより酸化的条件下で沈殿する傾向があり、Uはより還元条件下で沈殿する傾向にある。それらの元素濃度を指標とした水質の酸化還元状態の評価方法を検討した。堆積年代の決定には、²¹⁰Pb法を用い、先に得られた分析データ等を統計的に解析することによって、貧酸素水塊直下の堆積環境の履歴を明らかにした。

4. 研究成果

(1) メスバウアー分光法による堆積物試料中の鉄の状態分析

試料は水深 10~20 m にある軟泥質であるため船上からの採泥が必須である。採泥器には長さ 50 cm の HR 型不攪乱柱状採泥器(11 cm, 離合社製)を用いた。採泥と同時に、海底面の状況を把握するために、水中ビデオカメラを用いてビデオ撮影を行った。また同地点において、多項目水質計により水温、塩分、溶存酸素量(DO)、クロロフィル a、濁度、pH、酸化還元電位(ORP)の鉛直分布を観測した。採取した堆積物コアは研究室に持ち帰り、2~3 cm ごとに細分化した後、窒素充填したパウチ袋に封入した。遠心分離または加圧ろ過(窒素ガス 5 atm)により間隙水を分離した後、湿ったままの状態では堆積物を窒素ガス中で密封し、測定に供した。メスバウアースペクトルの測定には TOPOLOGIC SYSTEMS MFD-110D 型のスペクトロメーターを使用し、線源として 1.10GBq ⁵⁷Co/Rh を用いた。試料を透過した 14.4keV の線を 2~4 日間測定することにより、メスバウアースペクトルを得た。得られたスペクトルは、個々のピークの形状をローレンツ型の曲線とし、その線形結合によるカーブフィッティングを行った。基準物質として α -Fe 箔のスペクトルデータを使用した。

堆積物試料の採取は、2015 年 8 月 4 日に千葉県幕張沖浚渫窪地内および比較対照点として平場(自然海底)において行った。この年の貧酸素水塊は例年並みの規模・変動推移の中で、我々が堆積物を採取した当日はこの年最も貧酸素水塊が大きくなった日であった。また、それ以後の測定情報によると、同程度の状況が 1 か月ほど継続し、8 月下旬~9 月上旬に青潮や赤潮が

発生、その後沈静化と推移していったことが判明している。実際に当日の多項目水質計で測定した溶存酸素量は、海水表面付近で 6 mg/L 程度からほぼ単調に減少し、浚渫窪地内ではほぼ 0 mg/L となった。⁵⁷Fe メスバウアースペクトルを解析したところ、浚渫窪地および平場の全ての層において、常磁性高スピン Fe()に由来する doublet と常磁性高スピン Fe()に由来する doublet が観測された。これらはそれぞれ、粘土鉱物、珪酸塩鉱物中の鉄と推定された。また、多くの層において maghemite (-Fe₂O₃)に由来する sextet が観測された。maghemite は酸化的環境下で生成するので、平場のみならず浚渫窪地も酸化的環境になり得ることが示唆された。また、いくつかの試料については、還元的环境下で生成する硫化鉄 (FeS₂: pyrite)の存在が確認され、貧酸素水塊の影響が示唆された(図 1)。

貧酸素水塊の出現頻度とその強度は年によって異なるため、2015 年度の研究成果のみから普遍性を考察するわけにはいかない。そこで、2016 年度も昨年度やそれ以前に得られた結果の検証および補完をするために堆積物試料の継続的採取を行った。試料採取地点としては、これまでと同様に千葉県幕張沖の平場(M-1)および浚渫窪地(M-2)を選択した。さらに、貧酸素水塊の時期や度合いの異なる地点との比較検討を行うために、東京湾内の他地点として横浜沖(Y-1)でも試料採取を行った。地点ごとに、層別試料の鉄の化学状態別存在比を表したグラフおよび代表的な浅層試料のメスバウアースペクトルを図 2 に示す。横浜沖では切り分けた試料の全層で酸化鉄由来の(反)強磁性の sextet が観測された。一方で、幕張沖では酸化鉄由来の sextet は表層を含む一部の層でしか観測されなかった。また、Fe()の存在比を比較すると、横浜沖 < 幕張沖自然海底 < 幕張沖浚渫窪地となっていた。このことから横浜沖が幕張沖に比べて酸化的であり、浚渫窪地が最も還元的であることが推定され、水質データとも一致した。このように、海底質中の鉄の化学状態別の存在比は、海水中の溶存酸素量データと矛盾せず、溶存酸素量のよい指標となることが示唆された。また水質データが少なかった幕張沖の浚渫窪地という特殊な地形において、周囲に比べて還元的環境であることが裏付けられ、貧酸素水塊の発生源の特定に有用な情報が得られた。

なお、還元的環境の指標となる pyrite のピークは高スピン Fe()のピークと近接しているため、系統的な解析にはさらに高分解能の測定を必要とすることが分かった。そのため、SEM-EDS 法を用いて pyrite の定性分析を試みた。その結果、横浜沖および幕張沖の表層試料において、特徴的な形状の framboidal pyrite の結晶を複数個発見した。pyrite の生成には、硫酸還

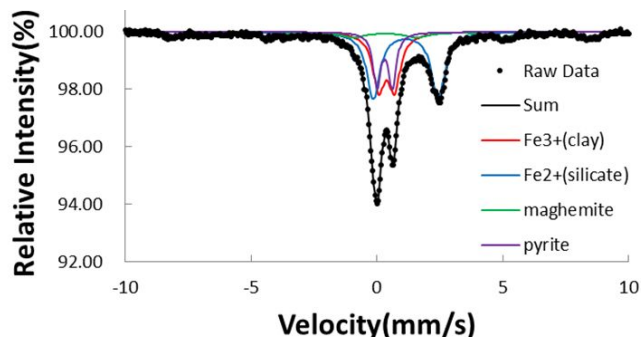


図 1 . pyrite の存在が確認された幕張沖浚渫窪地内底質の ⁵⁷Fe メスバウアースペクトル

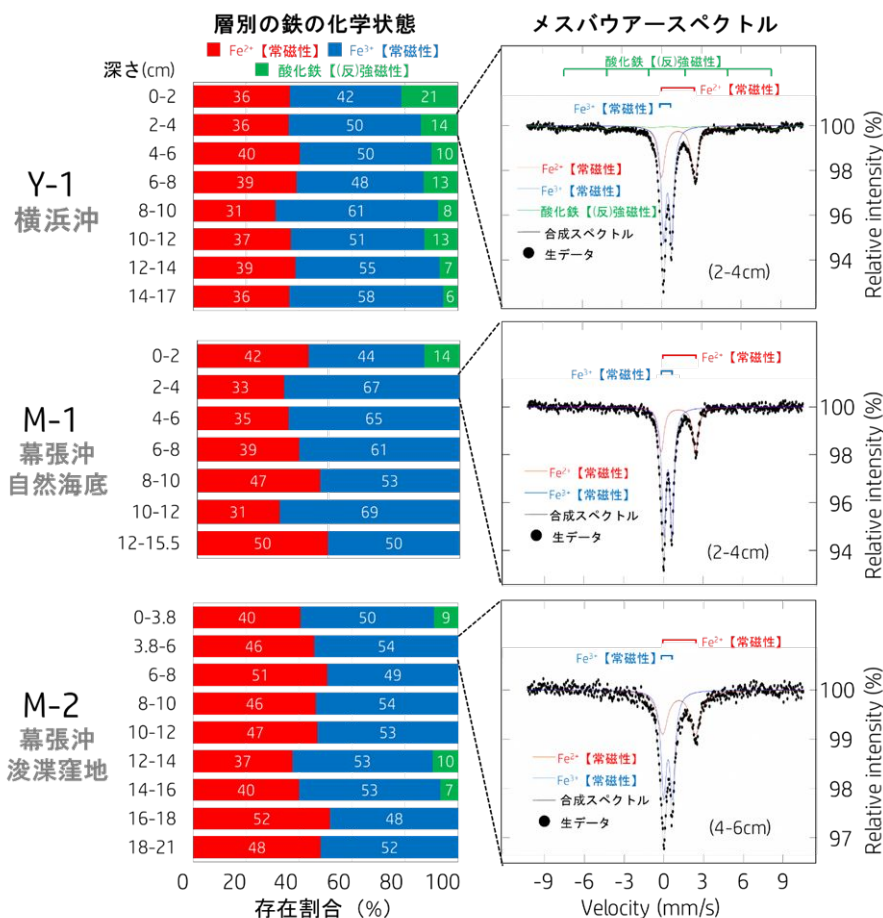


図 2 . 鉄の化学状態別存在比と代表的なメスバウアースペクトル

元菌が大きく寄与しているものと考えられる。そこで、底質中の硫酸還元菌の生菌数を調べたところ、底質 1 g 当り $10^2\sim 10^3$ オーダーの生菌が見つかった。現在、pyrite 結晶の大きさや硫酸還元菌数が、貧酸素水塊の発生頻度の指標になると考え、更なる検討を続けている。

(2) X線吸収微細構造(XAFS)法による堆積物試料の状態分析

X線吸収微細構造(XAFS)測定用には、加圧濾過を行わずにそのまま凍結乾燥させたものと、間隙水を加圧濾過によって抜き出してから乾燥させたものを用意した上で、測定に供した。測定は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)放射光科学研究施設の Photon Factory リング(2.5 GeV)の実験ライン(BL-12C)を使用し、酸化還元状態に鋭敏な元素とされる Fe と Mn をターゲットに、硬 X 線モードで測定した。本研究では蛍光法(Lytle 型検出器を使用)で測定を行い、実験は全て室温で行った。各元素の K 吸収端のスペクトルを、Quick XAFS (QXAFS)を用いて測定した。解析にあたっては、得られた X 線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルを、標準試料のスペクトルや先行研究の結果と比較した。その結果、Fe については、底質のスペクトルではいずれも 7128 eV 付近にピークが見られ、このピークは Fe_3O_4 、 FeOOH 、 FeS と近いと判断された。しかし、完全に形状が一致するものはなかったため、底質中には複数の鉄化学種が存在すると考えられる。Mn については、底質のスペクトルでは 6545、6549、6554 eV 付近にピークが見られた。6545 eV のピークは MnS に近く、6554 eV のピークは Mn_2O_3 に近く、6549 eV のピークは MnSO_4 、 MnPO_4 、 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ と近いと判断された。いずれにせよ、Fe と Mn の化学状態や価数については、試料の深度・加圧濾過の有無に関わらずほぼ同様のスペクトルが得られ、系統的な変化の追跡には至らなかった。

(3) 堆積物中の放射性セシウムの測定

本研究では元々堆積年代の推定のために ^{210}Pb と ^{137}Cs 濃度を測定していたが、今回、福島第一原子力発電所事故により拡散された放射性セシウムが、東京湾沿岸域の海底堆積物中でのような濃度変化を示しているかについて、浚渫窪地と平場との違いに着目して、併せて検討を行った。2015 年 8 月に採取した底質コアを、実験室にてオープンで 110・12 時間以上加熱乾燥し、加熱前後の試料質量の値から含水率を算出した。その後、U8 容器に試料が 30-40 mm 程度の高さになるように封入し、高純度 Ge 半導体検出器で γ 線測定を行った。試料の放射能に応じて 3600~14400 秒間(Live time)測定した。 ^{137}Cs は 661.7 keV のピークから放射能濃度(Bq/kg)を求めた。 ^{134}Cs は最も放出率の高い 604.7 keV をはじめとし、検出できた複数のピークから加重平均を求めた上で放射能濃度を算出した。またサムピークによる補正も行った。

浚渫窪地(深掘とも言う)、平場およびこの地点に最も近い河川である花見川の河口付近の深掘地点について、放射性セシウム濃度の鉛直分布を測定した。なお、放射性セシウムの濃度は、得られた乾燥重量の濃度に対し、含水率を加味し湿重量濃度とし、さらに環境中の放出が収まった時期にあたる 2011 年 3 月 21 日に壊変補正を施し、放射性セシウムの正味の移動を議論できるようにした。また、放射性セシウム濃度としては ^{134}Cs と ^{137}Cs の濃度の合算値を用いた。

その結果、放射性セシウムは、深掘・平場ともに、表層 5 cm までの部分での濃度に大きな変化は認められない一方で、深掘地点では 30 cm 付近の深層まで検出され、表層にとどまっていないことが分かった。この付近における ^{210}Pb 法による堆積速度は、約 1 cm/y であり、福島原発事故由来の放射性セシウムは、事故後約 4 年半の間に堆積したと推定される層よりも深い層まで沈降していることが分かった。なお、河口付近の深掘地点では採取した最下層まで高濃度の放射性セシウムが検出され、放射性セシウムが存在する最も深い層はさらに下にあることが予想される。インベントリ値は、深掘地点で 7.80×10^3 Bq/m²、河口付近の深掘地点で 4.89×10^4 Bq/m² となった。地点間の差異について、インベントリ値も加味しながら考えると、河口付近の深掘から検出された放射性セシウムは、花見川から流れてきたものと推測される。1 km 離れた従来の深掘地点との差を考えると、河川からの影響(蓄積)は事故後 4 年半たった時期でも、河口付近(数百メートル範囲内)にもっぱら残されているということになる。単に表層のみの議論ではなく、鉛直分布やインベントリを含めてもこのような推定に至ったことに意義がある。

また、放射性セシウムの鉛直方向への移動を理解することを目的に、底質粒子の多様な堆積パターンを持つ谷津干潟(千葉県習志野市)を対象とした調査を行った。放射性セシウムの沈降の仕方に関して、間隙水をキャリアとして粒子自体が動く粒子モデルと、粒子間を放射性セシウムが脱着を繰り返して沈降していく溶存態モデルに基づき、底質の違いによる放射性セシウム沈降メカニズムの違いについて考察を行った。その結果、同一の粒子中では 2 つのモデルが働きうるが、底質粒子が変わる境では粒子モデルの影響はなくなり、溶存態モデルのみの影響に変わる。そのため放射性セシウムの沈降が層の境で弱くなることが推定された。

(4) 機器中性子放射化分析(INAA)法による堆積物試料の元素分析

堆積物中に含まれる redox sensitive な元素として Fe, Mn, U, Th, Ce に着目して機器中性子放射化分析(INAA)法による元素分析を行った。測定に供した試料は、2016 年夏に横浜沖(Y-1)、幕張沖自然海底(M-1)、幕張沖浚渫窪地(M-2)の 3 地点において、HR 型不攪乱柱状採泥器を用いて採取した底質コアサンプルである。得られたコアは 2~3 cm ごとに切り分けて層別の試料とし、間隙水を遠心分離して除いた後、オープンで加熱乾燥させた。実験は、京都大学原子炉

実験所の研究用原子炉 KUR にて行った。短寿命核種測定は、照射時間を 10 秒とし、約 10 分間の冷却時間を置いてから live time 600 秒の条件で、線スペクトルの測定を行った。中寿命・長寿命核種測定は 20 分間(出力 1 MW 時)、もしくは 4 分間(出力 5 MW 時)中性子を照射し、中寿命核種測定は 2~5 日間の冷却期間の後、live time 1200 秒の条件で、長寿命核種測定は 2~3 週間の冷却期間の後、live time 10800 秒の条件で測定を行った。

3 地点の底質試料における Mn および Fe の鉛直分布を見ると、Mn に関しては、横浜沖(Y-1)、幕張沖自然海底(M-1)で 700-1100 ppm であったのに対し、最も還元的な環境であると考えられる幕張沖浚渫地(M-2)では 600-750 ppm と濃度が小さく、Mn 濃度は海底付近の酸化還元環境の影響を大きく反映することが示唆された。Mn が酸化物として沈殿する酸化還元電位は約 +250 mV であり、深堀のような特に還元的な環境ではその電位に達することが少ないことが推察された。Fe に関しては横浜沖、幕張沖のどの試料でもおよそ 4~5.5 %の数値を示しており、地点間に大きな差は見られなかった。このことから、今回試料採取した浚渫地では Mn の沈殿が起こるほど酸化的な環境にはなりにくい、Fe の沈殿が起こる程度には酸化還元電位の低下がとどまっていることが分かった。

上記で検討した Fe, Mn は、酸化還元状態の評価指標として有用であるが、酸化還元対の酸化体と還元体の濃度が等しくなるときの Eh の値はいずれもプラス側にある。そこで、さらに還元的な方面での変化を見積もるために、U, Th, Ce に注目し、元素濃度から酸化還元状態の評価を試みた。U は酸化的環境で溶解しやすく、還元環境で沈殿しやすいが、Th, Ce は逆の挙動をとる。これらの性質に着目し、Th/U, Ce/U の値の変化を検討した。すなわち、この値が大きくなるほど、より酸化的環境になってものと推定される。図 3 に、横浜沖(Y-1)、幕張沖自然海底(M-1)、幕張沖浚渫地(M-2) の底質試料における Ce/U 比および Th/U 比を示す。なお、横浜沖の試料に関しては、同一地点における 2016 年と 2017 年による違い(16Y-1 と 17Y-1)、および同一年度における採取地点の違い(17Y-1 と 17Y-2 で、Y-2 の方が沖合)についても調査した。その結果、同一地点での再現性は認められたが、Y-2 地点の値のばらつきについては更なる検討が必要と思われる。また、Ce/U および Th/U の両方の比の値から、横浜沖(Y-1) < 幕張沖自然海底(M-1) < 幕張沖浚渫地(M-2)の順に還元環境になっていることが分かった。このことは、水質データや、⁵⁷Fe メスバウアー分光法による推定結果とよく一致した。

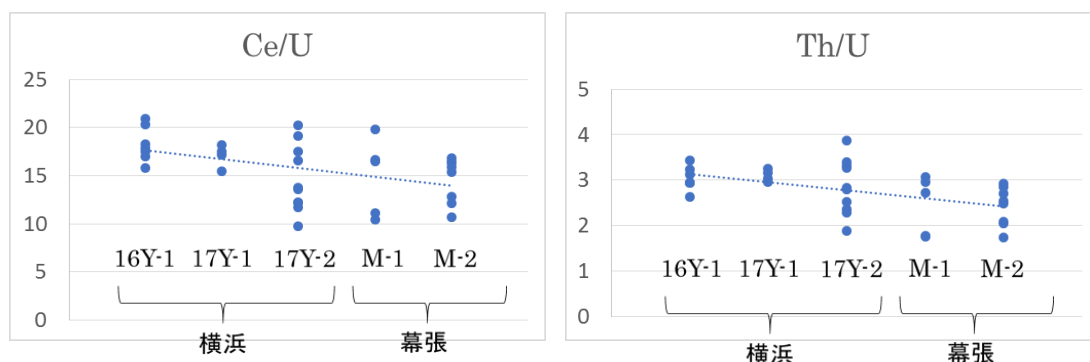


図 3 . 東京湾底質試料における Ce/U 比および Th/U 比

さらに、横浜沖(16Y-1)および幕張沖浚渫地(M-2)の底質試料に対して、横軸に Ce/U 比、縦軸に Th/U 比をとってプロットしたのが図 4 である。これらの比の値の分布をみると、試料採取地点に関わらずほぼ直線上に乗っていることが分かる。この結果は、いずれの地点の底質も、供給源および Th/U, Ce/U 比の値が異なる底質の混合物ではないことを示唆しており、これらの比の値はも

っぱら試料採取地点の酸化還元環境に起因するものと考えられる。また、これらの比の値の分布をみると、幕張沖浚渫地(M-2)で全体的に値が小さく、横浜沖(16Y-1)で値が大きいという傾向が明確にみられるので、幕張沖浚渫地(M-2)の方が横浜沖(16Y-1)より還

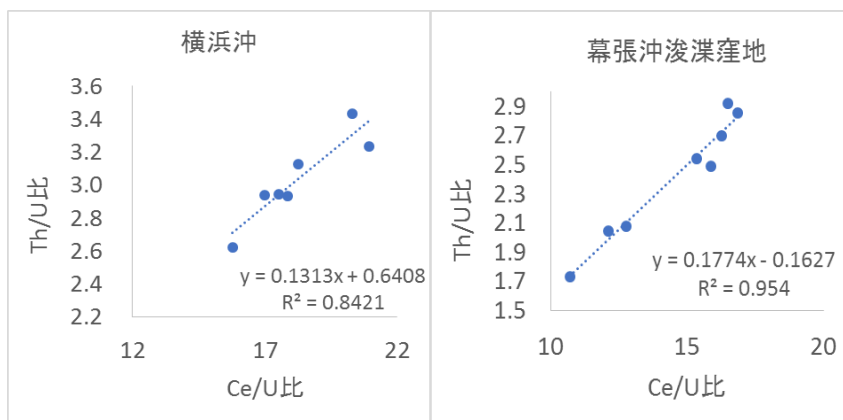


図 4 . 東京湾底質試料における Ce/U, Th/U 比の相関

元的であったものと考えられる。以上のように、複数の redox sensitive な元素の濃度を INAA 法で測定し、元素ごとに異なる Eh に着目する手法は、酸化還元状態の履歴の詳細な評価が可能であるゆえに有用であると言える。

これらのことから、メスバウアー分光法と放射化分析法を中心に用い、試料採取地点間の比較や堆積年代別の比較を行う手法は、場所を問わず適用できると考えられ、底質の過去・現在の酸化還元状態をより緻密に調査する上で大いに有効であると考えられる。また、本研究では、放射性セシウムをいわばトレーサーとして用い、堆積物内での物質移動の評価を試みた。その結果、福島原発事故由来の放射性セシウムは、底質の堆積速度から推定される層よりも深い層まで沈降していることが分かった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

杉森賢司・中村真樹・松尾基之、河口域、内陸河川および湖沼における硫酸還元菌の分布と鉄化合物に関する一考察、東邦大学教養紀要(査読無)、50、71-79 (2018)

M. Matsuo, K. Shozugawa, Y. Mihara, M. Komori, R. Okumura, Y. Iinuma and K. Takamiya, A study on the sedimentary environment of Tokyo-bay sediments under hypoxia using instrumental neutron activation analysis. KURRI Progress Report(査読無)、2017、146-146 (2018)

小森昌史・小豆川勝見・松尾基之、東京湾底質中の鉄の化学状態を指標とした海水中の溶存酸素量の推定方法に関する研究、放射化学(査読無)、37、16-17 (2018)

添盛晃久・小豆川勝見・松尾基之、東京都と千葉県都市河川の底質における福島第一原発事故由来の放射性セシウムの鉛直分布、放射化学(査読無)、33、45-47 (2016)

[学会発表](計7件)

松尾基之・小森昌史・小豆川勝見、貧酸素水塊下にある東京湾底質の堆積環境に関する研究、平成30年度KUR専門研究会、2019年1月

松尾基之・小森昌史・小豆川勝見・奥村良・飯沼勇人・高宮幸一、貧酸素水塊環境下にある東京湾底質の堆積環境に関する研究、第62回放射化学討論会(2018日本放射化学会年会)、2018年9月

三原祐吾・小豆川勝見・松尾基之、東京湾貧酸素水塊発生地域の底質中元素の挙動、平成29年度KUR専門研究会、2018年1月

小森昌史・小豆川勝見・松尾基之、東京湾底質中の鉄の化学状態を指標とした海水中の溶存酸素量の推定方法に関する研究、第61回放射化学討論会(2017日本放射化学会年会)、2017年9月

山本駿・添盛晃久・小豆川勝見・松尾基之、谷津干潟底質における福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの動態、第60回放射化学討論会(2016日本放射化学会年会)、2016年9月

添盛晃久・小豆川勝見・松尾基之、東京都と千葉県都市河川の底質における福島第一原発事故由来の放射性セシウムの鉛直分布、第59回放射化学討論会(2015日本放射化学会年会)、2015年9月

M. Matsuo, Environmental analysis using distribution and chemical states of elements in marine sediments. Invited talk in Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, August 2015

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：小豆川 勝見

ローマ字氏名：(SHOZUGAWA, Katsumi)

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院総合文化研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：00507923

研究分担者氏名：杉森 賢司

ローマ字氏名：(SUGIMORI, Kenji)

所属研究機関名：東邦大学

部局名：医学部

職名：講師

研究者番号(8桁)：30130678

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。