

ラジウム放射能比解析による諫早湾内の堆積作用特性

Sedimentological Characters in Isahaya Bay by Analysis of Radium Isotope Ratio, Isahaya Bay, Japan

秋元和實¹・野村律夫²・田中正和³・島崎英行⁴・滝川 清⁵

Kazumi AKIMOTO, Ritsuo NOMURA, Masakazu TANAKA
Hideyuki SHIMASAKI and Kiyoshi TAKIKAWA

The movements of the water masses are evaluated by Ra-228/Ra-226 (radioisotope ratio) in the open sea. However, the study on the water's movement in the littoral region based on this ratio is few, because the supply process of Ra-228 is complex. The purposes of this study are explication of the sedimentological characters and the seawater's circulation in the Isahaya bay based on the radium isotope, benthic foraminifers and topography. The erosion and redeposition, that are related with the inflow of the open seawater, are recognized from central to outer area in the southern part of the bay. The radioisotope ratio suggests that the stagnation in the seawater circulation is only present in the front of north drain gate on the dyke in Isahaya reclaimed land.

1. はじめに

諫早湾では、1997年4月14日に潮受け堤防が閉め切られた。その後、海水循環の低下と底質の泥化が問題になり、2002年11月6日に底質が系統的に調査され、底質分布図が公表された(秋元ら, 2004)。築堤前、湾内には泥が広域に分布していた(鎌田, 1967および木下ら, 1980)。木下ら(1980)の含泥率の分布図と秋元ら(2004)のそれを比較すると、後者では湾口から湾内に向かって砂が拡散している状況が認められた。しかしながら、築堤前後での底質変動量の明瞭な把握はなされていない。このため、砂の拡散が、堤防の閉切以降に発生したかは、さらに現在でも維持されているかは不明である。

流速も湾口において大潮の上げ潮と下げ潮の最強時に計測されている(中村ら, 2002)。しかしながら、全域における同時観測例はなく、循環の実態や流速の低下の実状は明らかにされていない。

Akimotoら(2004)は、調整池内に生息していた底生有孔虫群集が、堤防閉切直後に消滅したことを報告している。しかしながら、Akimoto and Tanaka(2006)は、緯度・経度で1分間隔に採集した表層試料において、殻の直径が63 μ m以上の底生有孔虫群集を報告している。とくに、湾口の砂堆で二枚貝(ビロードマクラ)の足糸などに固着して生息する石灰質有孔虫 *Neoeponides mira*

(Cushman)が、湾内では遺骸のみが分布している。直径0.063mm以上の大きさの遺骸の分布は、湾口の砂堆からの細粒砂粒子の分散範囲と底層流の存在を示すことになる。しかしながら、堤防近傍では試料を採集していないために、拡散範囲は未調査である。

湾内環境の保全・改善を目指した対策を検討するに当たり、現在の堆積特性の把握は生物生態環境に影響を与える重要な要素である。さらに、解析資料は、今後の開門調査の実施においても極めて有益な比較資料として利用できる。

本研究では、ラジウム同位体、有孔虫遺骸、地形を基に、諫早湾全域の堆積作用の特性を把握し、海水の循環と停滞の実態の解明を目的とした。

2. 方法

ラジウム同位体および有孔虫用の表層試料は、2008年8月7日にオランダ式グラブ採泥器で表層堆積物を採集し

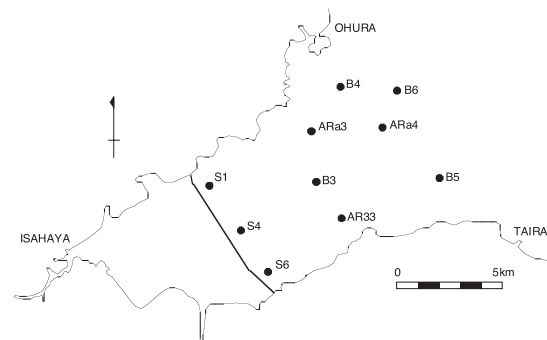


図-1 試料採集地点位置図

1	理博	熊本大学准教授 沿岸域センター
2	理博	島根大学教授 教育学部
3	理修	長崎県立長崎北高等学校
4		熊本大学技術職員 沿岸域センター
5	フェロー 工博	熊本大学教授 沿岸域センター

た。採集地点は、九州農政局諫早干拓事務所が管理している観測槽の近傍と、それらの中間に位置する。湾内の奥部、中央部、湾口部、湾外の計10地点である(図-1)。

(1) ラジウム同位体

海水循環の停滞している地点を明らかにするために、 ^{226}Ra (半減期1602年)と ^{228}Ra (半減期5.75年)の放射能比を測定した。測定試料は、海底表層堆積物の最上部約1cmを約10g採取して、100℃で乾燥・粉碎したものである。

この粉末試料から2gをスチロール管に入れ、管内のラドンガスが漏れないように厳封したのち、各娘各種(Rn-222 , Pb-214 , Bi-214 など)が親核種である ^{226}Ra と放射平衡に達する約1ヶ月後に γ 線を測定した。 Ra-226 および Ra-228 の放射能濃度は、それぞれ Pb-214 (295keVと352keV)と Ac-228 (338keVと911keV)をつかって求めた。測定には、Ge井戸型検出器(Canberra-Eurisys社: EGPC-150-P16)を使用し、測定時間は24時間である。

(2) 有孔虫群集

ラジウム同位体比を正確に分析するためには、 ^{228}Ra を含む堆積物の表層部のみを採集する必要がある。有孔虫は短期間に生殖を繰り返すので、Rose Bengal法で生体が含まれることを確認して、堆積物の表層部を採集したと判断した。

種構成が不明であった堤防近傍を含めて、群集の特徴を明らかにするために、10試料を目開き63 μm の篩上で水洗した。乾燥した残渣を分割器で正確に分割した。約200個体の底生種が含まれる1分割試料から、浮遊性および底生種の全個体を抽出した。底生種は、Akimoto et al. (2002)を参考にして同定した。

外海系水の影響の程度を表す指標とするために、浮遊性種が外海系水にのみ生息する特性に着目して、有孔虫個体の総数に対する浮遊性種の比(浮遊性有孔虫比: P/T ratio)を算出した。

(3) 地形変化

九州農政局が、潮受け堤防の着工後に4回(1990年, 1993年, 1996年, 1999年)実施した地形測量では、南部の地形が大きく変化していた。

そこで、2004年月に九州農政局で実施した観測槽S10における沈降瓶調査で捕集された粒子を実体顕微鏡で検鏡し、粒子の実態を把握した。並行して、捕集期間に観測槽B5の底層における濁度の記録とを比較した。

3. 結果

(1) ラジウム同位体

ラジウム放射能比は、湾奥北部(S1)の2.06を除いて、他の9地点では1.70以下と低い(図-2)。半減期1602年の ^{226}Ra の存在量は、11.98~16.85mBq/gであり、ほぼ一定

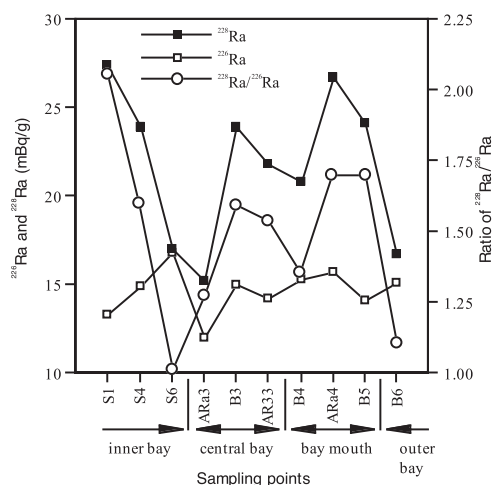


図-2 ^{228}Ra および ^{226}Ra の濃度、ラジウム放射能比

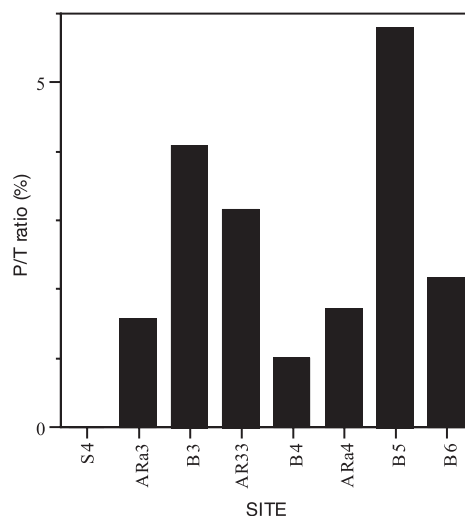


図-3 浮遊性有孔虫比

の存在量を示している。これに対して、半減期が5.75年の ^{228}Ra は、15.24~27.45mBq/gであり、地点ごとに異なる。

(2) 有孔虫群集

a) 浮遊性有孔虫比

浮遊性種の割合は、湾の南部の試料で高く、湾口のB5で5.8、湾央のB3で4.1、AR33で3.1である(図-3)。一方、北部では低く、湾外のB6でも2.2、湾口のB4で1.0、湾央のARa3では1.6である。堤防近傍の3試料からは浮遊性種は産出しない。

b) 底生有孔虫群集の種構成

堤防近傍のS1およびS6では、産出した個体数が10以下であり、議論の対象から除外した。

100個体以上産出した8試料において、生体の個体が含まれていた。多産する種の構成に基づいて、4群集が識

別された(図-4)。

全ての群集において、塩分変動に耐忍性のある *A. beccarii beccarii* が優占する。しかしながら、頻度に地域差があり、湾奥 (S4) から湾外 (B6) にかけて北側の群集では、20%を超え、湾口北部 (B4) では44%に達する。一方、南側の群集 (AR33, ARa4, B5) では、20%未満である。

堤防近傍のS4では、鹿児島県錦江湾奥部で多産する *Textularia kattegatensis kagoshimaensis* Oki³, 約40%を占める。湾央から湾口にかけて、北部 (ARa3, B4) では有機物付加の指標種である *Trochammina cf. hadai* Uchino も随伴し、さらにARa3では *Elphidium somaense* Takayanagi も高い頻度で共産する。湾口の中央 (ARa4) では、二枚貝の足糸や藻類に固着して生息する *Neoeponides mira* (Cushman) が多い。湾口南部 (B5) および湾外 (B6) では、外海系水の影響を受ける砂質堆積物表層に生息する *Elphidium advenum* (Cushman) の頻度が高い。

c) 地形変化

北側の海底地形において、断面図に顕著な変化が認め

られない(図-5)。

これにたいして、南側では、湾口に築堤用の採砂地の東側に、不規則な凸凹の地形が認められる。4回の地形調査の結果を重ね合わせると、凸凹の経年変化に規則性はないが、凹凸の分布範囲は2カ所をあわせて約9km²におよぶ。さらに、分布範囲の形状は、湾口から湾奥に向かって、湾軸に平行にのびている。地形変化をしている北側の海域に設置されていた観測槽S10において、2004年8月11日～8月21日に実施されたセディメントトラップでは、砂とともに二枚貝および底生有孔虫の殻が捕集された。

さらに、観測槽B5の同じ期間の下層の濁度が、大潮で急増している。これらのことは、堆積物が剝離されていることを示唆している。

一方、湾央では、東西4km、南北2kmにわたって、徐々に水深が浅くなり、湾軸に平行に堆積物が堆積している。

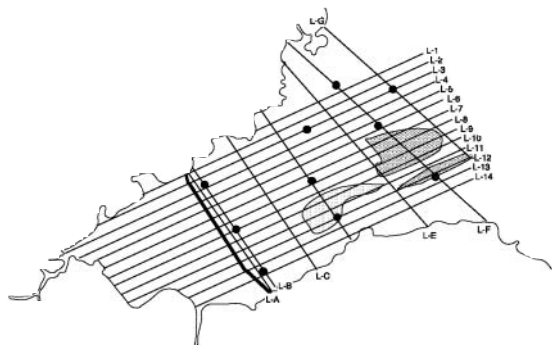


図-5 海底の剝離が認められる海域(斜めの網掛け)および堆積作用が認められる海域(砂目の網掛け)

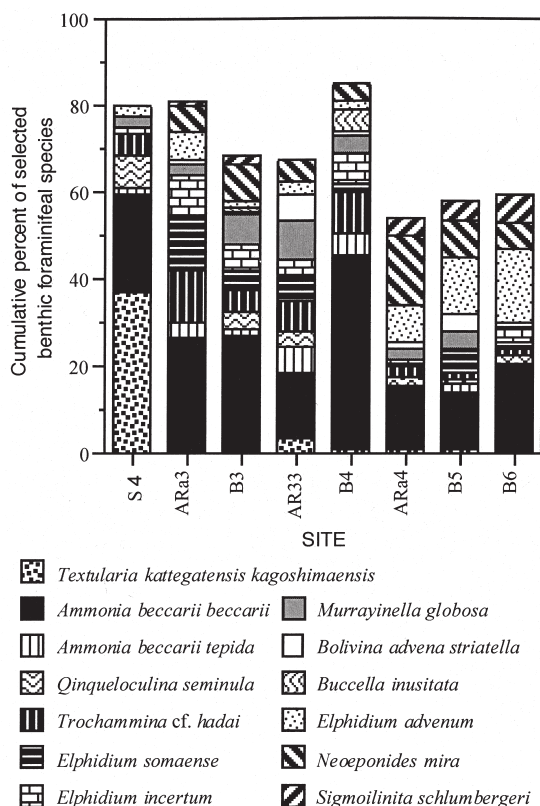


図-4 底生有孔虫群種の種構成

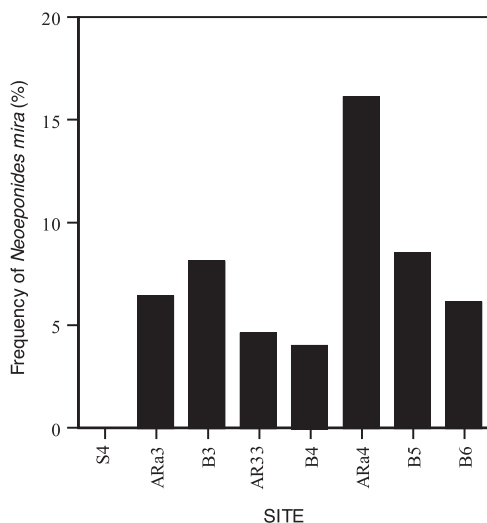


図-6 底生有孔虫群集における *Neoeponides mira* の頻度

4. 考察

(1) 外海系水による砂粒子の拡散範囲

外洋に生息する浮遊性有孔虫は、外海系水の流入によって湾奥までの拡散する。このため、外洋系水の影響を受ける海域の堆積物には、浮遊性有孔虫が多く含まれ、浮遊性有孔虫比も高くなる。諫早湾では、湾口から湾央にかけて南側で高いので、外洋系水は南側から流入していることになる(図-3)。さらに、地形調査の結果から、外洋系水の流入経路の直下では、堆積物の削剥と下流の湾央での堆積が進行している。削剥された砂粒子が湾内で拡散する範囲を、砂粒子と同じ直径を有する固着性底生有孔虫 *Neoponides mira* を用いて考察する。この種は、ARa4で生体が産出していた(Akimoto and Tanaka, 2006)。今回の調査でも、外海系水の下流にあたるB5、B3、ARa3では5%以上含まれるが、湾奥の試料では産出しない(図-6)。また、この種の頻度と浮遊性有孔虫比(図-7)および含砂率(図-8)と弱いながら相関が認められる。Akimoto and Tanaka, (2006) が報告した遺骸の分布も考慮すると、外海系水による削剥と再堆積の影響は、少なくとも湾央まで及ぶと推定される。

さらに、観測槽B5では、大潮で海底から10cm上における濁度が最大になり、S10の大潮におけるトラップ調査では底生有孔虫(*Bolivina*属)および二枚貝殻が捕集された。さらに、B5の上げ潮最強時の濁度は、下げ潮最強時のそれより高い。これらのことは、大潮における堆積物の削剥と湾央への移動・再堆積を支持する。

(2) 湾奥の海水循環

ラジウムの分布については、これまで海水中の存在量にもとづいて議論がなされてきた。トリウム系列のRa-226は親元素であるTh-230の崩壊によって形成され、ウラン系列のRa-228はU-232の崩壊によるものであるが、ともに後背地の地質を反映して河川から粒子態として海域に供給され、海水のイオン場で放出される。しかし一般に、親元素のトリウムは浮遊粒子への吸着性が強いいため、河川から海域に入った場合、陸棚に蓄積されやすい。したがって、遠洋性の海洋では陸棚から主な供給源となるRa-226に比べてRa-228は広く分布することになり、海水中のRa-228/Ra-226(放射能比)を検討することによって水塊としての動態を捉えることができる(Nozaki et al., 1990; Moore and Todd, 1993; Krest et al., 1999; Moore and Krest, 2004; Kawakami and Kusakabe, 2008)。

このような遠洋域におけるラジウムの挙動と異なっており、沿岸域では堆積物からの直接的供給、地下水からの供給、さらに浮遊粒子からの供給など複雑な過程が伴っている。そのため、ラジウム放射能比に基づいた沿岸水に関する研究例は、皆無といえる状況である。しかし、

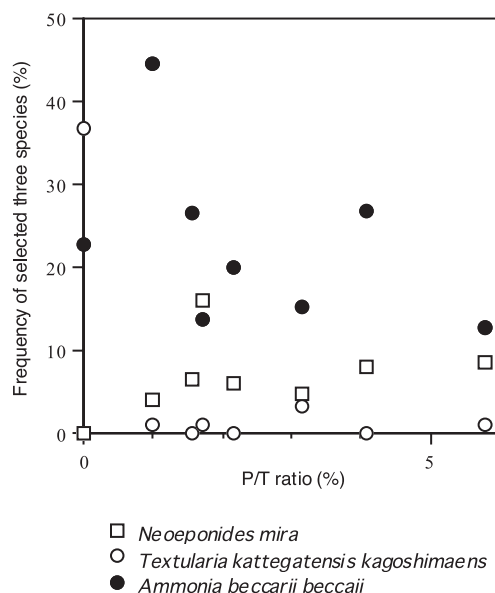


図-7 底生有孔虫 (*Neoponides mira*, *Textularia kategatensis kagoshimaensis*, *Ammonia beccarii beccarii*) の頻度と浮遊性有孔虫比との関係

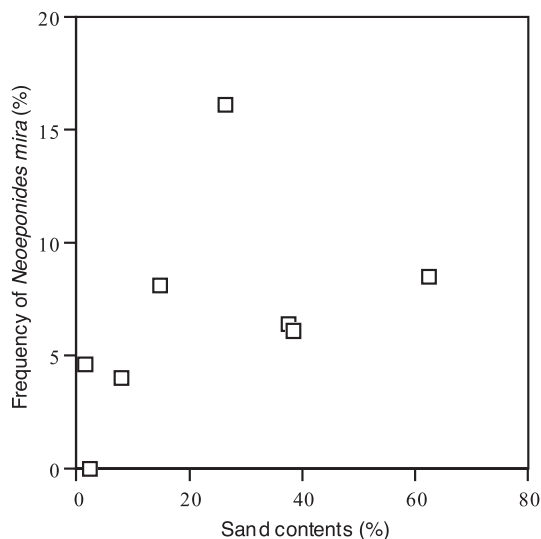


図-8 *Neoponides mira* の頻度と含砂率との関係

近年、閉鎖性海跡湖である中海でラジウム放射能比の分布の調査が進行している(野村, 2008)。そこで得られた放射能比をもとに、循環を検討した。

閉鎖性海跡湖では、Ra-226はあまり大きく変動することなく、Ra-228の変動幅は大きい傾向が認められる。この両者の違いを解釈するには、(1) 河川からのRa-228とRa-226の供給量が異なっている、(2) 河川から汽水域に流入したときに、遠洋性での挙動を説明したときと同じ

ように、河口域でRa-226がトラップされてしまい広く分散しない、(3) 湖底・海底からの溶出でRa-228がRa-226に比べて溶出しやすい、(4) 濃度の低い沿岸水の流入によってRa-228が場所によって希釈される、といった仮定を伴う。

仮定(1)については、年間の河川中の放射能比は大きな変化が無いことから仮定としてはこれ以上とりあげない。仮定(2)については、河口域に限ってRa-226が多くなる傾向が認められる。しかし、河口域から数km離れたところでは、Ra-226はほぼ一様な値をとる。仮定(3)については、海水中の放射能比を扱う場合には十分な検証のもとに議論すべきであるが、今回扱っているのは堆積物であるため、これ以上言及しないことにする。仮定(4)については今回の放射能比を解釈するうえでもっとも考えやすい。すなわち、ある一定の放射能比をもった堆積性粒子が閉鎖性沿岸域に供給されたとする、それより低い放射能比(Ra-228が少ない海水)をもった沿岸水によって薄められ、放射能比の分布に違いが起これと解釈される。閉鎖性汽水湖である中海では、このような堆積物の特性が確認され、より沿岸水の影響を受ける場所は、放射能比が ~ 1.0 、沿岸水の影響を受けない湾奥では高い放射能比(~ 2.2)を有している。

放射能比の地理的分布において、最大値2.06を示す北部S1は、他の地点の値とは明瞭に異なり、Ra-228が薄められない場所として認められ、沿岸水の影響が最も少ない場所といえる。中央(S4)の値(1.60)は、外海系水の影響を受ける湾奥のB3(1.59)およびAR33(1.54)に近似する。南部(S6)の1.01は、海水が循環する湾外(B6)の1.11を下回る。

湾奥の3地点で同位体比が異なる原因として、海水の滞留しやすい環境、あるいは閉鎖内からの流出する水の影響が考えられる。しかしながら、S1は北部排水門の、S6は南部排水門の外側にある。調整池からの排水に起因するのであれば、両者とも高い放射能比が想定される。S6の値が低すぎることは、想定と矛盾する。この点については、放射能比の近似する他の試料の海況から、堤防近傍において、北部では海水は停滞し、中央から南部では循環していると推定することができるかもしれない。さらに、循環が想定される2試料の位置は、湾奥まで流入してきた外海系水の西方にあたることも指摘される。堆積物の再堆積が近傍で起こっていることにも留意しなければならない。

以上のように、ラジウム放射能比を使って海水の循環を求めようとすることは、沿岸域においては初めての試みであり、今後の検証が期待されるところである。

5. 結論

有孔虫遺骸の分布および地形変化から、湾口南部に外海系水の流入および堆積物の削剥と湾奥への移動・再堆積が明らかになった。これは、観測槽およびトラップ調査の結果からも支持された。

ラジウム放射能比から、湾奥において海水が、潮受け堤防の北部排水門近傍では停滞し、それ以外では循環していることが示唆された。

参考文献

- 秋元和實・滝川 清・島崎英行・島井真之・長谷義隆・松田博貴・小松俊文・本座栄一・田中正和・大久保功史・筑紫健一・松岡数充・近藤 寛(2004):「がらかぶ」が見た有明海の風景 - 環境変化をとらえるための表層堆積物データベース -, 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター, NPOみらい有明・不知火。
- 鎌田泰彦(1967): 有明海の海底堆積物, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 第18巻, pp.71-82。
- 木下泰正・有田正史・小野寺公児・大嶋和雄・松元英二・西村清和・横田節哉(1980): 61-2 有明海および周辺海域の堆積物, 通商産業省工業技術院地質調査所公害特別研究報告書(環境特研), 第61巻, pp.29-67。
- 中村武弘・多田章秀・矢野真一郎(2002): AラインおよびEラインの流速観測について, 有明プロジェクト研究チーム編: 有明プロジェクト中間報告書(その1), pp.126-134。
- 野村律夫・瀬戸浩二・入月俊明・井上陸夫・小藤久毅(2008): 中海閉鎖性水域の開削に伴う湖沼循環の変化, 日本古生物学会2008年年会講演予稿集, p.75。
- Akimoto, K., Nakahara, K., Kondo, H., Ishiga, H. and Dozen, K. (2004): Environmental reconstruction based on heavy metals, diatoms and benthic foraminifers in the Isahaya Reclamation Area, Nagasaki, Japan. *Jour. Environ. Micropaleo. Microbio. Meio. vol. 1*, pp. 83-106。
- Akimoto, K. and Tanaka, M. (2006): Distribution of modern benthic foraminiferal assemblages in the Ariake sea, Kyushu, Japan. *Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, vol. 29, pp. 423-424。
- Kawakami, H. (2008): Surface water mixing estimated from 228Ra and 266Ra in the northwestern North Pacific. *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 99, pp. 1335-1340。
- Krest, J., Moore, W. S. and Rama, M. (1999): 226Ra and 228Ra in the mixing zones of the Mississippi and Atchafalaya Rivers: indicators of groundwater input. *Marine Chemistry*, vol. 64, pp. 129-152。
- Moore, W. S. and Todd, J. F. (1993): Radium isotopes in the Orinoco and Eastern Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, vol. 98(C2), pp. 2233-2244。
- Moore, W. S., and Krest, J. (2004): Distribution of 223Ra and 224Ra in the plumes of the Mississippi and Atchafalaya Rivers and the Gulf of Mexico. *Marine Chemistry*, vol. 86, pp. 105-119。
- Nozaki, Y., Kasemsupaya, V., Tsubota, H. (1990): The distribution of 228Ra and 226Ra in the surface waters of the northern North Pacific. *Geochemical Journal*, vol. 24, 1-6。