

論文の内容の要旨

水圏生物科学 専攻
平成 14 年 4 月 1 日 進学

大久保 綾子
指導教官 蒲生 俊敬

Thorium isotopes in sea water and their applications to marine biogeochemical studies (海水中のトリウム同位体とその海洋生物地球化学的研究への応用)

緒言

天然放射性核種を海洋物質循環の研究に用いる最大の利点は、放射性各種の濃度を測定することにより、海水の移流や拡散、粒子の沈降などの速度情報を得られる点にある。海洋における生物地球化学的サイクルの中でも粒子の沈降と分解再生の過程については、Th 同位体を用いた研究が盛んに行なわれてきた。天然放射性核種の一つである Th は、海水中では、 $\text{Th}(\text{OH})_4$ として存在していると考えられ

ており [Turner et al., 1981]、粒子に吸着されやすい性質がある。このために生じる、親核種の ^{234}U と娘核種の ^{230}Th (半減期 7.52×10^4 年) の放射非平衡から Th の除去フラックスが計算され、海洋の沈降粒子に関する速度情報が得られる。これまでの研究から、海水中の ^{230}Th は、表層から深層にかけて濃度が単調に増加するということが知られており、その鉛直分布はリバーシブルスキャベンジングモデルで記述されてきた [Nozaki et al., 1981; Bacon and Anderson, 1982]。このモデル計算

から得られる粒子の沈降速度や海水 - 粒子間の元素の交換速度は、Th 同位体に関する速度情報であるが、その他の元素についても、海水 - 粒子間の分配係数を考慮すれば、モデルによる解析が適用可能である [Nozaki and Alibo, 2003].

本研究では、 ^{230}Th 鉛直分布の解析から、海水中での Th 同位体の除去機構について議論し、その速度情報を得ることを目的としている。まず、代表的な外洋域として、生物生産性が低く、比較的安定した鉛直水塊構造を持つことが知られている太平洋中緯度域を調査海域に選んだ。また、Th 同位体の除去要因として、沈降粒子による除去以外に、海水中から海底面への直接的な除去 (bottom scavenging) も予測された。そこで、この効果が高いと考えられる半閉鎖性海域 (アンダマン海およびスル海) について調査を行ない、Th 同位体の鉛直分布に対する bottom scavenging の影響を検討した。

一方で、Th 同位体の粒子吸着性が高いことに注目し、沈降粒子フラックスの推定も行なった。調査海域の東部インド洋については、ベンガル湾を除くと、セジメントトラップを用いた沈降粒子フラックスの測定は行なわれておらず、今回の結果は、この海域の沈降粒子フラックスに関する初めての報告になる。

1. 太平洋中緯度域における Th 同位体の鉛直分布

東京大学白鳳丸 KH-00-3 次研究航海 (2000 年 6 月 - 7 月) で得られた、BO-4 (16°N, 160°W, Depth: 5597 m), BO-5 (19°N, 175°W, Depth: 5480 m) における ^{230}Th の鉛直分布を、過去の文献値 (CE-5: [Nozaki et al., 1985]) と共に示す (Fig. 1).

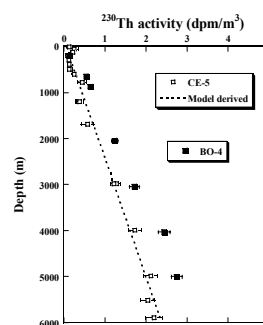
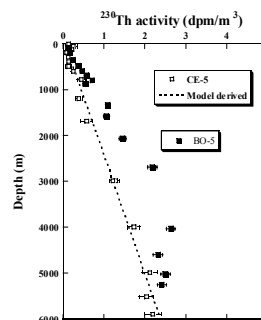


Fig. 1 Vertical profiles of ^{230}Th in the Pacific Ocean.

太平洋西部の測点である BO-6 と BO-7 (150°E-168°E) については、比較した CE-5 と同様の ^{230}Th 鉛直分布であった。

一方で、BO-4 および BO-5 については、300 m 以深で CE-5 よりも濃度が高い傾向を示した。表層の生物生産の分布が示すように [Berger et al., 1987], この海域は生物生産性が低い海域である。したがって、 ^{230}Th 濃度の高い理由は、Th の除去速度が低いためであると考えられた。リバーシブルスキャベンジングモデルを BO-4,5 に適用したところ、平均的な沈降速度はいずれの測点についても 300 m/y という値が算出された。これは、これまでの太平洋についての報告値の中でも最小の値である。また、モデルの予測値と実測値を比較したところ、BO-4, については予測値と実測値はほぼ一致したが、BO-5 では、4000 m 以

深で実測値がモデルよりも著しく低い値を示した。この理由としては、1) 低い ^{230}Th 濃度をもつ海水の流入 2) 粒子の水平輸送とその沈降に伴う ^{230}Th の除去 3) bottom scavenging の影響が考えられた。

2. 半閉鎖性海域における Th 同位体の鉛直分布

半閉鎖性海域のアンダマン海、スル海、および南シナ海の深層における ^{230}Th の平均値は、それぞれ 0.63 dpm/m^3 (アンダマン海), 0.5 dpm/m^3 (スル海), 0.73 dpm/m^3 (南シナ海)であった。これらの値は、外洋域について報告された ^{230}Th 濃度よりも著しく低く、スキヤベンジングモデルによって想定されていない要因が強く影響していると考えられる。

アンダマン海はシルによってベンガル湾から隔てられており、ベンガル湾の水深 1000m 付近の海水がアンダマン海の深層に流入していることが希土類元素パターンの解析から報告されている [Nozaki and Alibo, 2003]。また、アンダマン海の溶存酸素濃度の鉛直分布は、 1000m 以深において一定値をとっており、その値はベンガル湾の 1000m の濃度に等しい。このことから、アンダマン海の深層水は、有機物の分解に伴う溶存酸素の消費が濃度分布に現れるよりも速く入れ替わっていることが予測された。一方で、アンダマン海のような半閉鎖性海域では、外洋域に比べて海盆内の海水に対する海底の比表面積が大きい。このため、Th の除去過程としては、放射壊変と粒子除去の他に、海水中から堆積物表面への直接的な除去 (bottom scavenging) の影響を考慮する必要がある。アンダマン海については、この影響を、 $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ 比から検討した。その結果、アンダマン海深層水とベンガル湾

から流入してくる海水の間で $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ 比が一致したことから、アンダマン海の深層水は、bottom scavenging の影響が $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ 比に現れるよりも速く入れ替わっていると結論づけられた。そこで、アンダマン海の ^{230}Th 鉛直分布に、海水の交換の影響を考慮したスキヤベンジングミキシングモデルを適用したところ、深層水の更新時間は、6 年以下と極めて短いことがわかった (Fig. 2)。一方で、スル海および南シナ海の深層水中で ^{230}Th 濃度が低かった理由については、海水の交換では説明がつかず、海水が海盆内に滞留している間に、Th が深層で除去されていると考えられた。

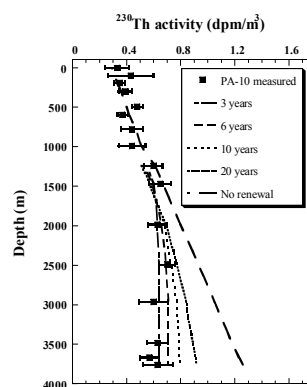


Fig. 2 Scavenging-mixing model derived ^{230}Th profiles in the Andaman Sea (PA-10) with renewal time variation.

3. ^{234}U - ^{230}Th および ^{228}Ra - ^{228}Th 放射非平衡を利用した東部インド洋における粒子フラックスの推定

海洋表層の植物プランクトンによる生物生産では、海水中の溶存無機炭素を炭素源として有機物を合成しているが、この有機物を主成分として生成された沈降粒子は、大きなもので $>100\text{m/day}$ の速度をもって海底に沈降・除去されていく。このように表層での生

物生産を起点とした海洋における炭素循環過程は、地質学的時間スケールに渡って大気中CO₂を海底に隔離するCO₂吸収過程であるとして注目されてきた。この沈降粒子フラックスの測定について、最近ではセジメントトラップ実験と平行して、粒子との反応性が高い元素であるトリウムをトレーサーとした研究が行われるようになった。本研究では、粒子との反応性の高いトリウムの中でも、半減期の長い²³⁰Th(半減期 7.52 x 10⁴ 年) 及び²²⁸Th(半減期 1.9 年) をトレーサーとして用いて、東部インド洋における平均的な沈降粒子フラックスを見積もり、この海域の生物・物質循環過程との関連を検討した。白鳳丸 KH-96-5 次研究航海 (1996 年 12 月-1997 年 2 月) で得られたデータを解析した結果、沈降粒子フラックスは、南大洋に近い測点の PA-4 とベンガル湾の PA-9 で高く、亜熱帯域の PA-7 とアンダマン海の PA-10 では低い値であった (Fig.3).

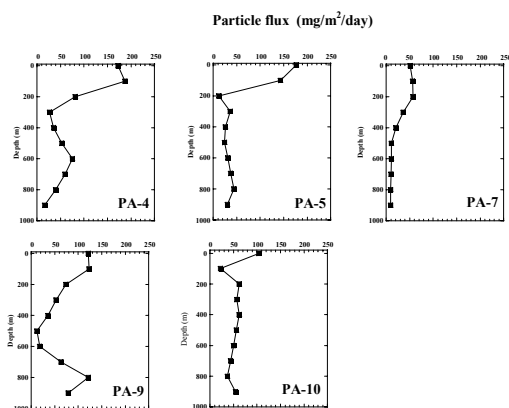


Fig. 3 Vertical profiles of particle flux in eastern Indian Ocean. ベンガル湾については、セジメントトラップ実験による沈降粒子フラックスが求められており [Ittekkot et al., 1991], 比較した結果、本研究の結果とよく一致することが明らかになった。また、ベンガル湾で行われた ¹⁵N

の取り込み実験による新生産量の見積もり [Kumar et al., 2004] とも整合性のある結果が得られた。本航海の同測点について報告された新生産量 [Nozaki and Yamamoto, 2001] と、有光層内の沈降粒子フラックスの積算値の相関は高く ($r^2 = 0.87$, Fig. 4), いずれの測点においても、沈降粒子の大部分が生物起源粒子であると考えられた。PA-4, PA-5 については、ケイ酸塩濃度が、600 m まで枯渇していたことと、堆積物が珪質軟泥であったことから、沈降粒子の主成分は生物起源オパールであると考えられた。珪藻が優占する海域では、粒子束も大きい、沈降過程におけるオパールの溶解も著しいことが報告されている [Francois et al., 2002]. 今回の結果についても、PA-4 と PA-5 では 200 m 付近での粒子フラックスの急激な減少が見られたが、400 m 以深の粒子フラックスの平均値 (PA-4: 49 mg/m²/day, PA-5: 33 mg/m²/day) は、亜熱帯域の値 (PA-7: 10 mg/m²/day) に比べて高い値であった。表層での生物生産が高い海域では、温度躍層以深でも高い沈降粒子フラックスとして対応していることが明らかになった。

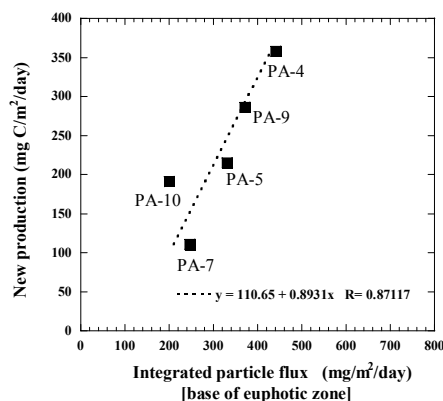


Fig.4 The relationship between new production and integrated particle flux in euphotic zone.