

放射性核種による北西部北太平洋の堆積環境の変遷について

村木広明 (北海道東海大学大学院理工学研究科環境生物科学専攻)

murakih@jamstec.go.jp

日下部正志 (海洋科学技術センター海洋観測研究部)

kusakabem@jamstec.go.jp

原田尚美 (海洋科学技術センター海洋観測研究部)

haradan@jamstec.go.jp

中村俊夫 (名古屋大学年代測定資料研究センター)

g44466a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

将来の地球環境を予測する上で古環境を把握することは極めて重要である。しかし、現在の海洋環境の知識に比べ古環境についてはいまだ不明な点が数多くある。本研究では、北西部北太平洋の堆積物中の放射性核種(^{232}Th , ^{230}Th , ^{238}U , ^{234}U , ^{231}Pa , ^{210}Pb , ^{14}C)分析及び、炭酸カルシウムの含有量を見積もることにより、古環境を復元、つまり堆積物の年代及び堆積速度を明らかにし、また、この海域における最終氷期の粒子フラックスを明らかにすることを目的とした。

多くのセジメントトラップ実験の結果から生物生産が活発な海域では、鉛直物質フラックスの増加が明らかになっている[Betzer et al.,1984]。表層での海洋生物が大気中の二酸化炭素を炭素として固定し、どのくらい深海へ輸送するかを実測する為には難溶性であり沈降粒子に極めて迅速にスクャベンジング(吸着、除去)される化学成分、特に放射性核種がトレーサーとして有効である。つまり、パレオフラックスを復元する為には、堆積物中の放射性核種を分析することが最も有効な手段であると考えられる。

海洋環境における放射性核種の一般的な挙動を図.1 に示す。海水中に溶存するウラン(^{238}U , ^{235}U , ^{234}U)とラジウム(^{226}Ra , ^{238}Ra , ^{234}Ra)は主に河川より供給される。また、海水中の ^{232}Th は粒状物として河川や大気から運ばれる。海洋中で溶存態で存在しているウランおよびラジウムの壊変により娘核種(^{234}Th , ^{230}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po など)が供給される。これらの核種は比較的反応性が強いために粒状物などに吸着しやすく、海水より除去され堆積する。海水中の ^{238}U 濃度は2.4dpm/Lとほぼ一定である[Ku et al.,1977, Chen et al.,1986]。そのため、娘核種である ^{230}Th の海水中の生成量も決まっており、半減期が約75200年であるのに対し粒子との反応性が高く生成されてからすぐにスクャベンジングされ滞留時間が100年と短いためにフラックスは水深と共に直線的に増加する。一方、 ^{235}U の壊変により供給される ^{231}Pa も粒子と高い反応性を持つにもかかわらず滞留時間が1000年と ^{230}Th に比べて長いために粒子の多いところでスクャベンジされる量が多く、特にMnとFeの酸化物の多い粒子にスクャベンジングされやすいといった特徴を持っている。また、北西部北太平洋ではセジメントトラップの実験結果より粒子フラックスが高くなると ^{231}Pa のフラックスも高くなることが明らかにされている[Lao et al.,1993]。言い換えると、粒子が多い海域、つまり沿岸などの生物生産が高い、または陸上からの鉱物粒子の流入が多い所では堆積物表層の $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$ の比が高くなる傾向が見られる。従って、堆積物中の $^{231}\text{Pa}/$

^{230}Th の比を調べることにより、その時代の粒子フラックスを考察することができると考えられる。

堆積物中の炭酸カルシウムは円石藻や有孔虫等の生物殻として形成されたものであるため、現場表層での生物活動、基礎生産力増減のトレーサーになる。また、炭酸カルシウムの生成、溶解は海水中のアルカリ度を変化させるため、アルカリ度の変化に伴う二酸化炭素吸収過程の変動を明らかにするためにも良いトレーサーになる。しかし、北部北太平洋では、炭酸塩の溶解（あるいは溶解速度）が急増する深度である溶解躍層（ライソクライン、CLD、calcite lysocline depth）が浅いために、炭酸カルシウムの堆積量が少ない。このライソクラインは北緯 40°C では水深約 $1000\text{m}\sim 2000\text{m}$ とされている。

2. 試料について

堆積物試料は海洋地球研究船「みらい」の慣熟航海(MR97-02)において北西部北太平洋にて採取した。サンプリング地点は St.8S（マルチプルコアラーが北緯 $44^{\circ} 47'$ 、東経 $170^{\circ} 10'$ 、ピストンコアラーが北緯 $44^{\circ} 46'$ 、東経 $170^{\circ} 10'$ 水深約 1774m ）である(図.2)。St.8S は天皇海山列の一つである推古海山(水深 1774m)の平らな地点を選んで試料採取を行った。この地点はライソクラインより水深が浅いために炭酸カルシウムの大部分が溶けずに残っており堆積速度の高い解像度の試料が得られる可能性が高い。 $5000\sim 6000\text{m}$ と水深の深い海域においてこの地点は水深が浅いため、海洋表層で生産された粒子の分解が少なく、海洋表層の生物生産を考察する上で極めて重要であると考えられる。

3. ^{14}C 試料処理

堆積物の年代を決定するために、堆積物中の有孔虫を集めて処理を行った。有孔虫は堆積物中で優占種である *Globogadrina pachyderma* を顕微鏡下で拾い集めた。

堆積物中の化石はその表面が二次的な有機物及び炭酸塩の付着などによって汚染されている。そこで、それを化学的に除去するために有孔虫表面を塩酸によりエッチングした。また、有孔虫化石中に含まれているタンパク質及びアミノ酸を試料を焼くことにより除去した。その後、真空ラインを使用し燃焼法にて炭酸カルシウムを二酸化炭素にし、精製の後に水素を加えて還元を行いグラファイトを生成した[Kitagawa et al.,1993]。

^{14}C 年代は、名古屋大学年代測定資料研究センターの加速器質量分析計により、試料の $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ 測定を行い NBS-シュウ酸(New)を標準物質として、その $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ の値との比較により算出した。尚ここでは 400 年のリザーバー補正を行った値を ^{14}C 年代として用いる。

4. ^{230}Th による年代

本研究において年代決定を行うために放射性炭素を使用するほかに以下の方法を使用した。

^{230}Th （半減期 $7.52\times 10^4\text{yr}$ ）は海水中で ^{234}U （半減期 $2.48\times 10^5\text{yr}$ ）が壊変することによって生まれる。海水中の ^{230}Th は滞留時間が数 100 年と半減期に比べて非常に短いため生成された ^{230}Th は壊変する前に粒子に取り込まれ沈降し堆積物となる。このことから堆積物中の ^{230}Th の分布は以下の式で表わされる。

$$N(x) = \frac{P(x)}{S(x)} \exp[-\lambda T(x)] \quad (1)$$

$$dT(x) = \frac{dx}{S(x)} \quad (2)$$

$N(x)$: 深さ x cm における $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ の濃度(dpm/cm³)

$P(x)$: 堆積物表層における ^{230}Th の一年間の堆積量(dpm/cm²/yr)

$S(x)$: 一年間の堆積率(cm/yr)

λ : 半減定数(/yr)

$T(x)$: 深さ x における年代

海水中の ^{234}U の濃度はこれまでの観測によりほぼ一定(2.4dpm/L)である。そのため、海水中の ^{230}Th の濃度もほぼ一定であり、ほとんどがスキヤベンジされる。海水からの海底へのフラックスも常に一定と仮定することができる。そこで $P(x)$ を一定とすると(1),(2)式より、次式が得られる；

$$T(x) = -\frac{1}{\lambda} \ln \left[1 - \frac{\lambda}{P} \int_0^x N(x) dx \right] \quad (3)$$

これにより深さ x における年代 $T(x)$ を計算することが出来る。

5. 結果及び考察

5.1. 年代及び堆積速度

^{230}Th 及び ^{14}C により算出した年代結果を表.1 及び図.3 に示す。 ^{14}C 年代の測定はマルチプルコアラーの試料について測定を行った。図.3 における MC, PP, PC はそれぞれマルチプルコア、パイロットコア、ピストンコアの試料を意味する。 ^{230}Th で算出した年代は表層におけるバイオターベーションの影響を考慮していないので、 ^{14}C により算出した年代により補正を行ったところ表層 0cm の堆積物の年代は約 1 万 1000 年、深さ 200cm で約 4 万年という結果となった。また、その年代を使用し算出した堆積速度(図.4)は平均で約 5cm/kyr、堆積物が古くなるにつれて早くなる結果となった。

5.2. 水平方向の堆積物の流入

堆積物中の ^{230}Th のフラックスの鉛直プロファイルを図.5 に示す。 ^{230}Th のフラックスは海水中での生成量が判っており水深と共に直線的に増加し比例する。St.8S の堆積物における海水中からのフラックスは理論的に約 4.7dpm/cm²/kyr と求められる。 ^{230}Th のフラックスがこの海水中からのフラックスを大きく上回る時は、海水中からのフラックス以外の水平方向からの堆積物の供給が考えられる。つまり、深さ約 20cm 付近の堆積物は海水中からの堆積に加え水平方向から流入した堆積物が多く含まれると考えられる。

5.3 粒子フラックスの変動

$^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}/^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ の放射能比の鉛直プロファイルを図.6 に示す。この比は年代により堆積した時代の放射性核種の量に算出し直したものである。この結果、この海域における粒子フラックスは $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}/^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ の放射能比が海水中の生産率(0.093)よりも常に高いことから、過去 4 万年の間、常に外洋において高かったと考えられる。この粒子フラックスは Yang et al.(1985)によって算出された現在のこの海域の表層における $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}/^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ の放射能比とほぼ一致した。つまり、過去 4 万年間の粒子フラックスと現在の粒子フラックスはほぼ一致していたと考えられる。

5.4.陸起源粒子の流入

^{232}Th のフラックスの鉛直プロファイルを図.7 に示す。 ^{232}Th は河川及び大気を経由して粒子として海水中に運ばれ堆積するという特徴があるため、 ^{232}Th のフラックスの変動は陸起源粒子のフラックスの変動を反映しているといえる。表層から約 90cm 深まで ^{232}Th は 1 ~ 4dpm/cm²/kyr の間を変動しているが、100cm 以深では値が増加し 13dpm/cm²/kyr まで増加している。これは年代にして 3 万年から 3 万 7 千年前にあたり、この時代、陸起源粒子が多く流入してきたと考えられる。

5.5.炭酸カルシウムを殻に持つ生物の生産

炭酸カルシウムのフラックスの鉛直プロファイルを図.8 に示す。最終氷期の中でも比較的暖かい時代、3 万年前以前には炭酸カルシウムを殻に持つ生物の生産が高く、最終氷期最寒期(1 万 8000 年~2 万年前)には低くなる傾向が見られた。また、寒暖期の移行期に炭酸カルシウムのフラックスが約 0.3g/cm²/kyr とかなり小さくなる変化が見られた。特に最終氷期最寒期の堆積物は珪藻軟泥であり、珪藻類の生産が盛んであったと考えられる。さらに珪藻の生産量が炭酸カルシウムフラックスの低い時代に高かったかどうかは、今後行われる予定であるオパール分析等で明らかになっていくものと考えられる。

謝辞

本研究を進めるに当り、多大なるご助言、ならびに、ご協力をして頂いた海洋観測研究部の楊永亮博士、本多牧生研究員、川上 創研究員をはじめ、海洋観測研究部の皆様、および深海研究部の皆様に対し、深く感謝いたします。サンプリング、船上作業を通じて多大なるご支援をして頂いた海洋地球研究船「みらい」の乗組員の皆様へ厚く御礼申し上げます。

また本研究を進めるに当り、多大なるご助言、ご指導頂いた東京大学海洋研究所の植松光夫助教授、北海道東海大学の浜中建一郎教授、南秀樹講師に心より感謝の意を表します。

引用文献

Betzer P.R., Showers W.J., Laws E.A., Winn C.D., Ditullio G.R. and Kroopnick P.M. (1984) Primary productivity and particle fluxes on a trowsect of the equator at 153°W in the Pacific Ocean, *Deep-Sea Res.*, 31, 1-11

Chen J.H., R.L. Edwards and G.J. Wasserburg (1986) ^{238}U , ^{234}U and ^{232}Th in seawater, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80, 241-251

H-S. Yang, Y. Nozaki, H. Sakai. (1985) The distribution of ^{30}Th and ^{231}Pa in the deep-sea surface sediments of the Pacific Ocean, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 81-89

Kitagawa H., Masvzawa T., Nakamura T. and Matsumoto E. (1993) A batch preparation method for graphite target with Low background for AMS ^{14}C measurements, *Radiocarbon*, 35, 295-300

Ku T. L., K. G. Knauss and G. G. Mathieu (1977) Uranium in open ocean: Concentration and isotopic composition, *Deep-Sea Res.*, 24, 1005-1017

Lao. Y, R.F. Anderson, W.S. Broecker, H.J.. Hofmann, W. Wolfli. (1993) Particulate fluxes of ^{230}Th , ^{231}Pa , and ^{10}Be in the northeastern Pacific Ocean, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 205-217

表.1 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 及び ^{14}C による年代測定の詳細

Depth (cm)	$^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 年代 (kyr)	^{14}C 年代 (yr)
0.0 - 0.5	0 ± 280	10720 ± 260
2.5 - 3.0	920 ± 470	
5.0 - 5.5	1650 ± 600	
7.5 - 8.0	2380 ± 630	
10.0 - 10.5	3120 ± 660	11000 ± 120
12.5 - 13.0	3820 ± 680	
15.0 - 15.5	4420 ± 690	
17.5 - 18.0	4980 ± 700	
20.0 - 20.5	5550 ± 760	14770 ± 130
22.5 - 23.0		
25.0 - 25.5	6100 ± 920	
28.5 - 29.0		16430 ± 190

測定に使用したサンプルはマルチプルコアーによって採取された。

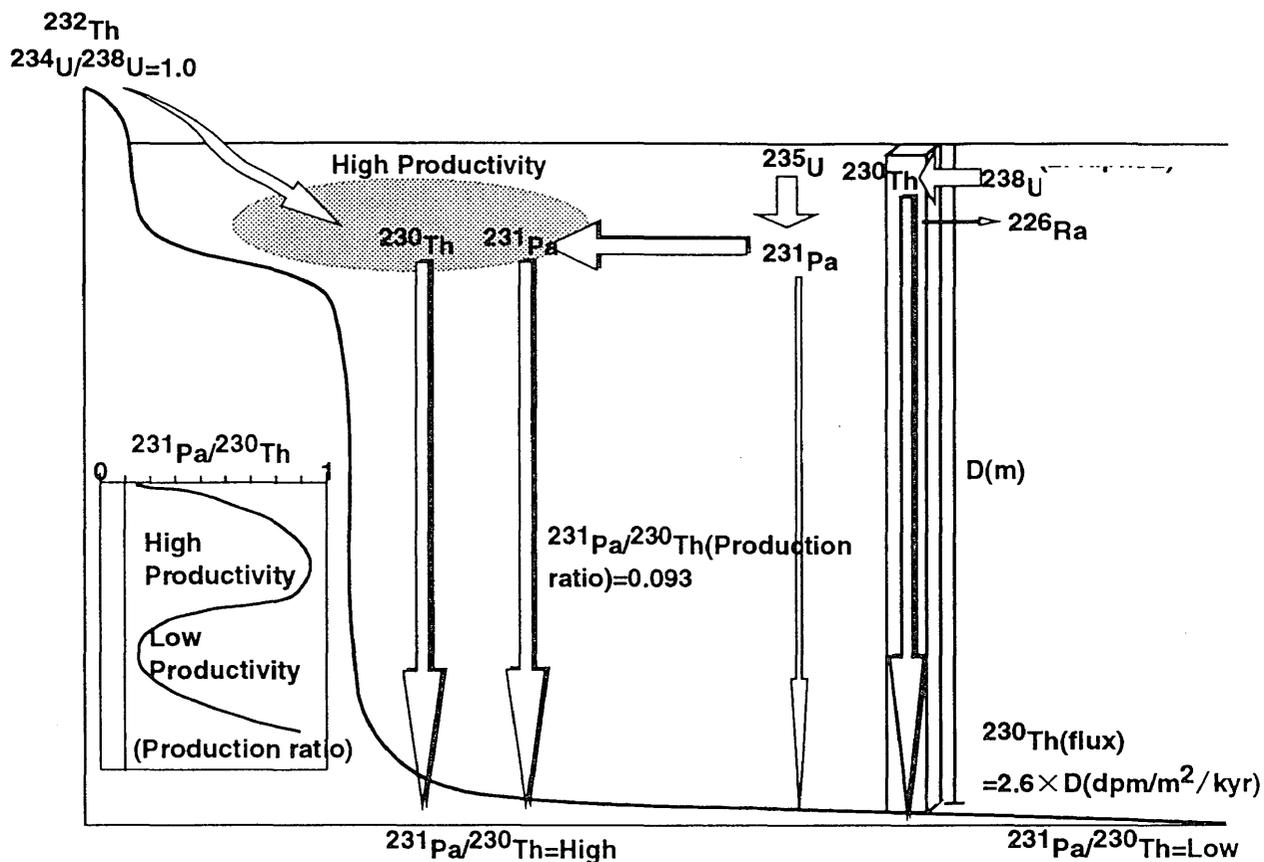


図.1 海洋環境における ^{230}Th 及び ^{231}Pa の挙動

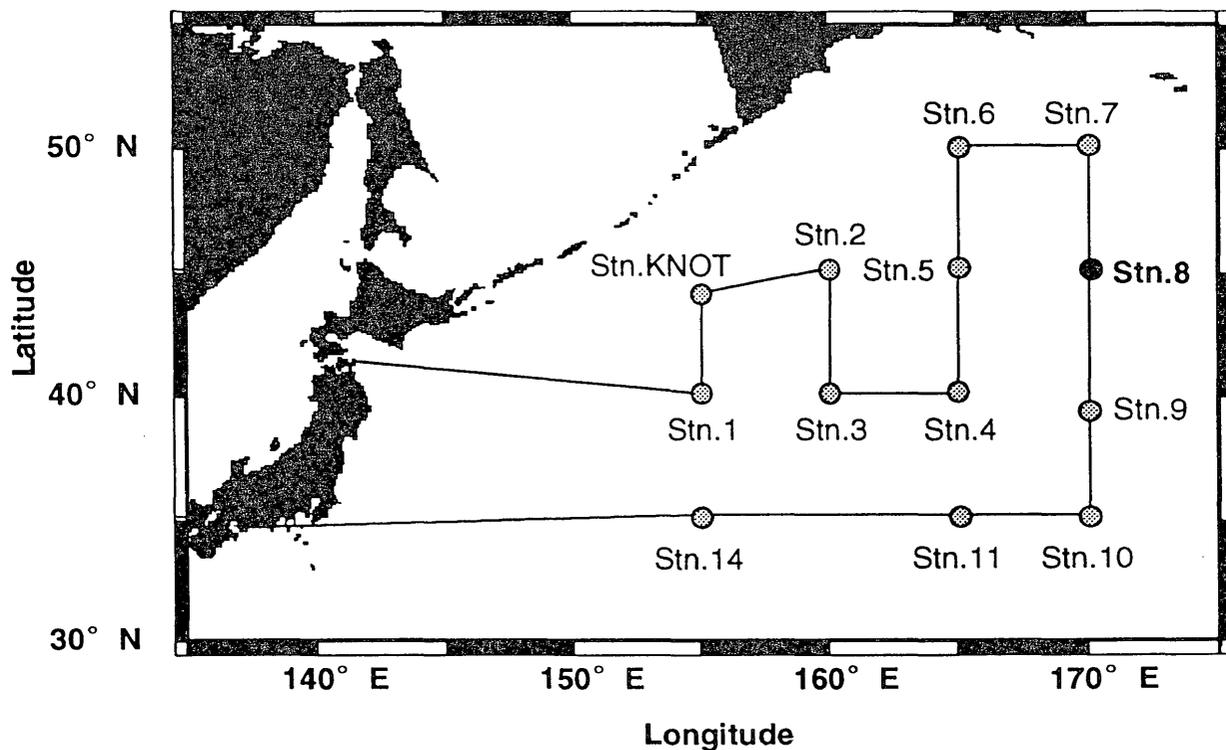


図.2 サンプル採取地点

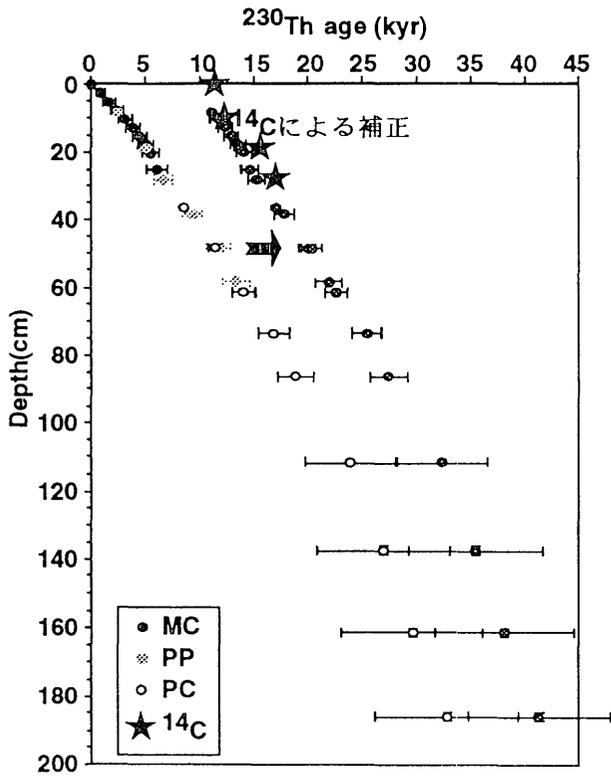


図.3 ^{230}Th 及び ^{14}C 年代

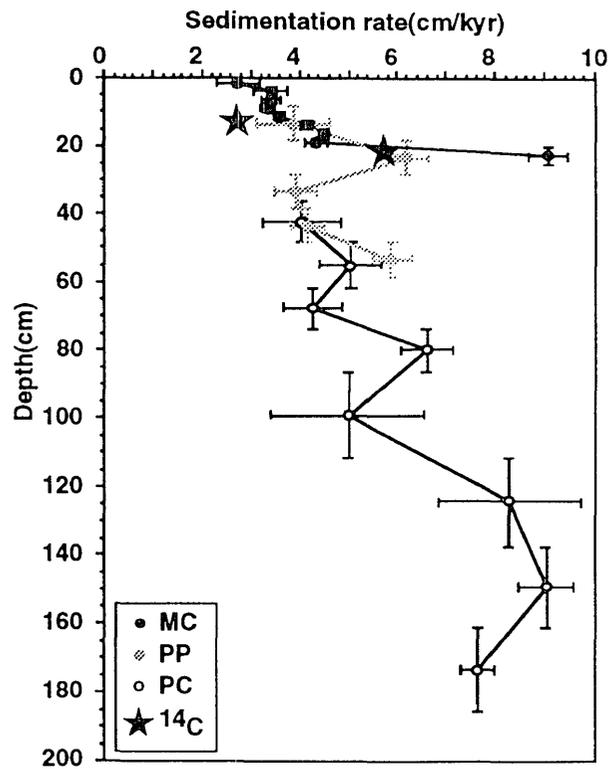


図.4 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ による堆積速度

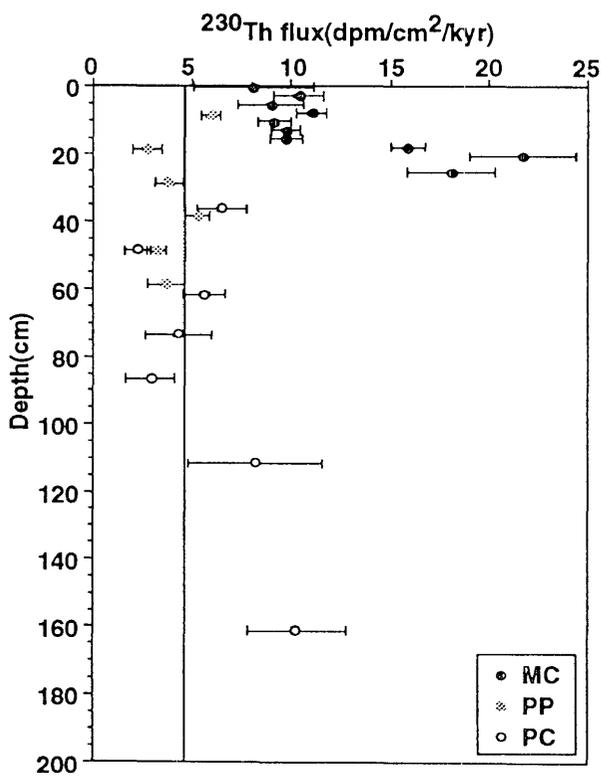


図.5 ^{230}Th フラックスの鉛直プロファイル

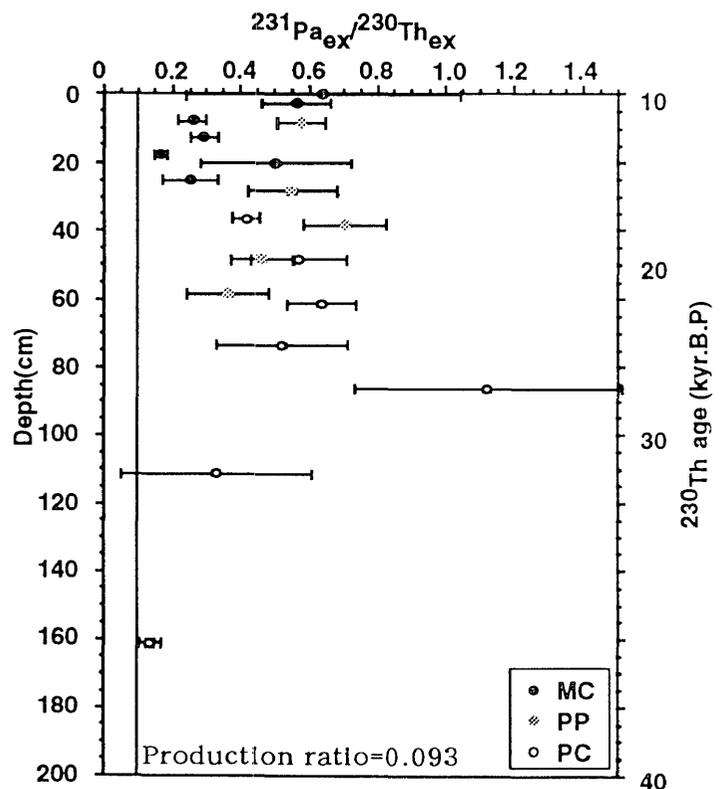


図.6 $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}/^{230}\text{Th}_{\text{ex}}(t=0)$ 放射能比の鉛直プロファイル

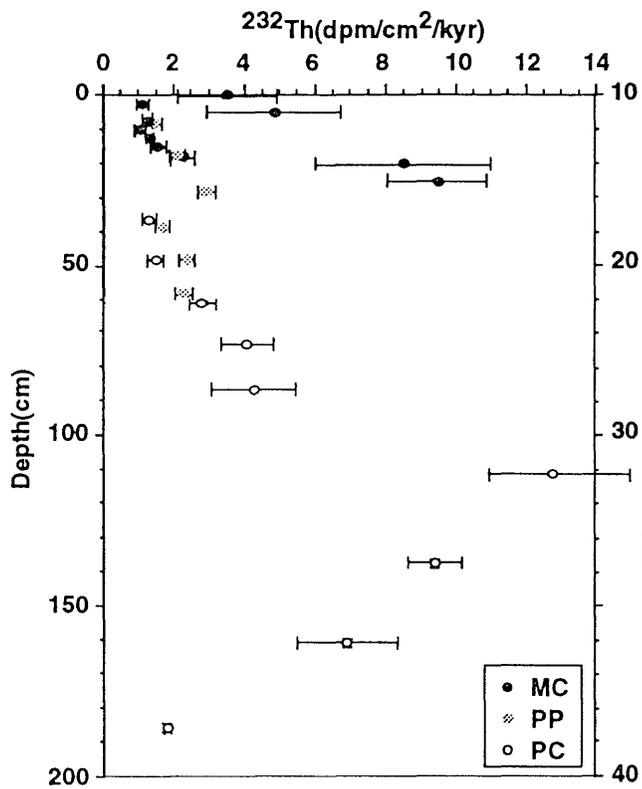


図.7 ^{232}Th フラックスの鉛直プロファイル

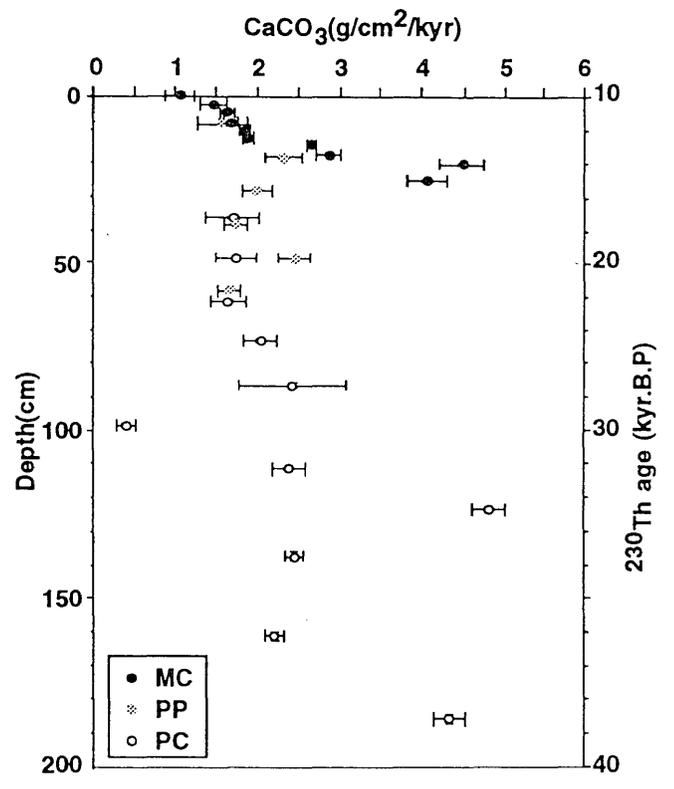


図.8 CaCO_3 フラックスの鉛直プロファイル

Particulate flux for last 40000 years in the northwestern North Pacific

H. Muraki

(Hokkaido Tokai University)

M. Kusakabe

(Japan Marine Science and Technology Center)

N. Harada

(Japan Marine Science and Technology Center)

T. Nakamura

(Dating and Materials Center, Nagoya University)

abstract

Sediment samples were collected at Stn. 8 which is located at the top of the Suiko Sea Mount in the northwestern North Pacific. Radioisotopes (^{230}Th , ^{232}Th , ^{238}U , ^{234}U , ^{210}Pb , ^{231}Pa and ^{14}C), and CaCO_3 were measured to understand the variation of paleo flux and sedimentation rate during the last glacial period.

^{14}C age data show that the ages at the top and 200cm depth are 11,400 yr BP and 40000 yr BP, respectively. The sediment at 20cm depth may have been of terrestrial origin. The ^{231}Pa data suggest that the particulate flux at the station has been high compared to average open ocean for last 40000 years.