

B-1 地球温暖化に係る二酸化炭素・炭素循環に関する研究

(2) 海洋堆積粒子形成過程とそれに伴う炭素循環及び環境因子に関する研究

研究代表者 工業技術院地質調査所海洋地質部海洋鉱物資源課 川幡穂高

通商産業省 工業技術院地質調査所

海洋地質部		中尾征三
海洋地質部	海洋地質部海洋鉱物資源課	川幡穂高
海洋地質部	海洋地質部海洋底質課	田中裕一郎・鈴木淳

平成5—7年度合計予算額 55,513千円
(平成7年度予算額 19,271千円)

[要旨] 地球表層の炭素循環系の中では、大気より海洋へ入った炭素の一部は、海洋表層で生物活動によって粒子状物質が形成され、最終的に地球表層より除去される。これらの値が地球の規模の炭素循環でどのような位置を占めているのかを評価するのが当研究の目的である。

平成7年度には、セジメント・トラップ観測を行ったオントンジャワ海台で、沈降粒子に含まれる炭素量を測定した。その結果、1,183mの水深のレベルで、全粒子束では $9.30\text{g/m}^2/\text{yr}$ の、炭酸カルシウムに含まれる炭素粒子束では $0.73\text{g/m}^2/\text{yr}$ 、有機炭素粒子束では $0.70\text{g/m}^2/\text{yr}$ という値が観測された。炭酸カルシウムと有機物の形成・分解は大気—海洋間の二酸化炭素のやりとりに関しては逆の効果がある。炭酸カルシウム炭素/有機炭素比が1.5であると、純量として $0.21\text{g/m}^2/\text{yr} (=0.7 - 0.73/1.5)$ と計算され、粒子状炭素が炭素の吸収の働きをしていることがわかった。

次に鉛直方向での炭素輸送量の変化をみると、この地域の基礎生物生産力は $30\text{gC/m}^2/\text{yr}$ と推定され、セジメント・トラップで観測された有機炭素粒子束は $0.70\text{gC/m}^2/\text{yr}$ で、これは基礎生物生産力の2.3%に相当する。そして、基礎生物生産力のたった0.08%しか表層堆積物に埋没されないことがわかった。これらの結果は、炭素の分解する場所が有光層・堆積物表層であることを示しており、これらの場所を研究することが炭素循環にとって重要であることが示された。これは、西カロリン海盆とアラビア海での値(0.10%, Kawahata, 1994; Haake et al., 1993)、ヘスライズの値(0.08%, Kawahata et al., 1995)や北部北太平洋での値(0.008%)の範囲に入っている。これらの結果を総合すると、基礎生物生産力が比較的高い地域の方が、基礎生物生産力で固定された粒子状炭素の堆積物での固定化率が高いことがわかる。

[キーワード] 沈降粒子, 堆積粒子, 有機炭素, 炭酸カルシウム, 沈積流量

1. 序

現在約70億tC/年の炭素が大気中に放出され、その半量が海洋に吸収されていると言われている。それを説明するために、三つのプロセスが提案されている。まず第一は、溶存成分として二酸化炭素が溶け込むというプロセスである。第二は、生物活動により二酸化炭素が有機物として

固定され、その一部がフィーカルペレットやマリンスノーのような大粒子に取り込まれ、沈降粒子となって、表層から中深層へ除去されているというものである。第三は、生物活動等を通じて溶存有機物が形成されそのリザーバーに蓄積しているというものである。

現在、地球環境問題に関連した大気中の二酸化炭素濃度に関する問題が活発に議論されているが、まず、自然のサイクルの中での炭素循環を解明することが大前提である。本研究の目的は、地球表層における炭素循環に関連した海洋地域の水塊と海底堆積物（沈積物）との相互作用を研究し、上記プロセス2に対応した水柱から海底表面に埋没し、堆積粒子を形成するまでの過程の解明と炭素流量を評価することである。

2. 沈降粒子と表層堆積物の採取および沈降粒子による炭素除去流量の推定

沈降粒子を採取するために、1994年から1995年に西太平洋中緯度域のオントンジャワ海台の北緯1度13.19分、東経160度34.0分の地点にセジメント・トラップを設置し、その近くの表層堆積物を採取した。

沈降粒子の中で有機物が分解しやすいため、有機炭素の粒子束には高い深度依存性がある。より浅い所で得られた粒子束を用いると有機炭素の除去流量は当然大きくなる。すなわち、浅い水深では、二酸化炭素に分解して海水中に溶出していく量も大きくなると予想される。ここではオントンジャワ海台の測点10の水深1,342mというかなり深いレベルでの沈降粒子による炭素除去流量の推定をする。

推定にはいる前にミシングシンクがどの位の量であるのかについて見積をしておく。化石燃料等によって大気中に放出される二酸化炭素に含まれる炭素量は年間70億t (7×10^{15} g)で、その半量が大気中に残存している。そこで、残りの 3.5×10^{15} gをすべて海洋が吸収していると仮定した場合には、海洋の面積 $361 \times 10^6 \text{km}^2$ で割ると、 $9.7 \text{g/m}^2/\text{yr}$ という平均値が得られる。

1,342mのレベルでは、全粒子束は $9.30 \text{g/m}^2/\text{yr}$ 、炭酸カルシウムに含まれる炭素粒子束は $0.73 \text{g/m}^2/\text{yr}$ 、有機炭素粒子束は $0.70 \text{g/m}^2/\text{yr}$ という値が得られている。そこで、単純に炭素除去流量を求めると、 $1.43 \text{g/m}^2/\text{yr}$ という値が得られる。しかし、炭酸カルシウムと有機物の形成・分解は大気—海洋間の二酸化炭素のやりとりに関しては逆の効果がある。そして、現在の表層水の化学組成では、炭酸カルシウム炭素/有機炭素比が1.5であると、これらの粒子状物質の形成で海水—大気間の実質的な二酸化炭素の輸送はないとされる。この比を用いると純量として $0.21 \text{g/m}^2/\text{yr} (=0.70 - 0.73/1.5)$ と計算され、先のミシングシンクとしての $9.7 \text{g/m}^2/\text{yr}$ という平均値の2%に相当することが明らかとなった。

3. 沈降粒子から表層堆積粒子形成過程での物質輸送量

オントンジャワでは、セジメント・トラップを水深1,183mに設置した。海底深度は約3.2kmである。沈降粒子の沈降速度が1日あたり160mであることを考慮すると、海底表面とセジメント・トラップとの間での粒子の分解は非常に限定されていると言える。そこで、セジメント・トラップの深度を通過したフラックスのほとんどは海底に到達したと仮定する。セジメント・トラップで採取された生物起源要素の量と堆積物への沈積流量を基礎生物生産力と比較することは海洋表層での生物生産から水塊での分解、そして、最終的に堆積物への埋没への道筋を明かにできるというメリットがある。ここでは基礎生物生産力として Berger et al. (1988)の値を用いることにす

る。オントンジャワ海台は赤道域に位している置いる。この地域では Koblents-Mishke の図でも低基礎生物生産力海域となっている(Koblents-Mishke et al., 1970)。そこで、これらの値は、約 $10\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$ 程度の誤差を含んでいいると考えられている。窒素の固定に関しては、レッドフィールド比を計算に用いた (Redfield et al., 1963)。

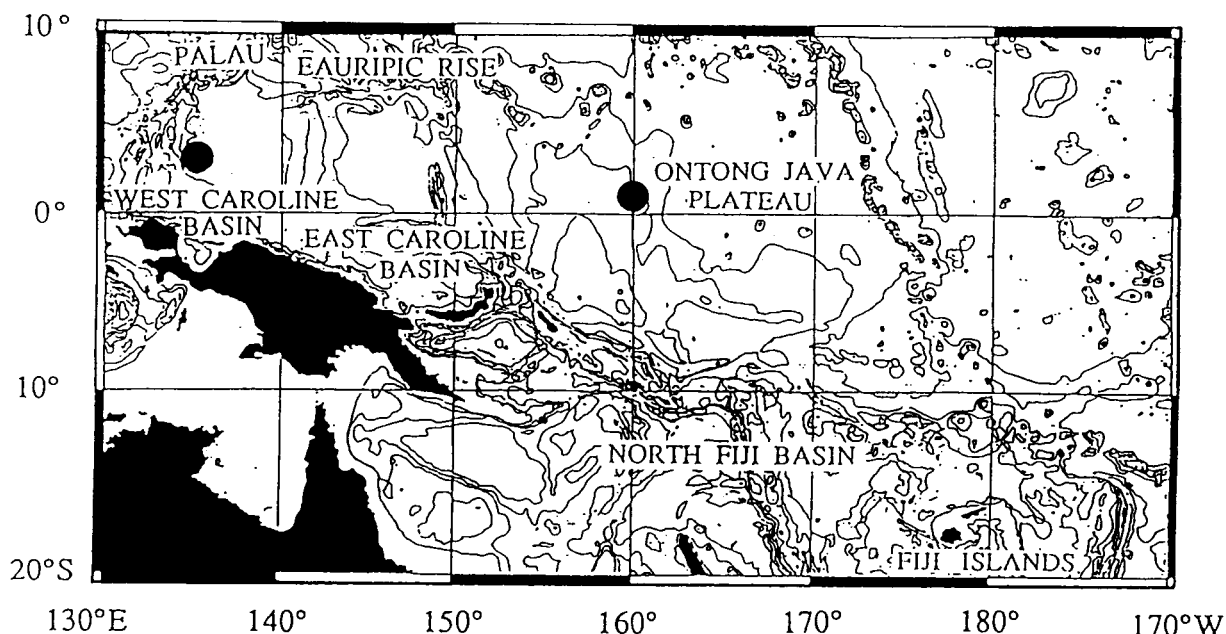


図1. オントンジャワ海台の観測点

堆積物中の炭酸カルシウム、有機炭素、窒素、の沈積流量は、セジメント・トラップ設置点の近傍から採取された堆積物コアの堆積速度分析値を用いて計算された (Kawahata et al., 1995)。セジメント・トラップで測定された生物起源成分の沈積流量は、セジメント・トラップ直下の表層堆積物で観察されたそれより高い値であった。

炭酸カルシウムのフラックスは、セジメント・トラップでは $6.08\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ であるが、堆積物表層では $8.9\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$ と、堆積物の方が大きかった。この理由として、セジメント・トラップ観測した期間のフラックスが通常年より小さかった、あるいは、表層堆積物の堆積速度の推定を酸素同位体で見積ったが、これは平均値なので、表層2cmあたりの堆積速度は実際にはこれより小さかったということが考えられる。しかも、有機炭素フラックスが小さいことから、有機炭素の酸化による二酸化炭素の形成、それに伴う炭酸カルシウムの溶解は抑制されていた可能性が高い。

表層堆積物に保存された有機炭素の相対的な量は、セジメント・トラップで観測された有機炭素粒子束の約4%、そして基礎生物生産力のたった0.08%にしか相当していなかった。それは西

カロリン海盆とアラビア海での値 (0.10%, Kawahata, 1994; Haake et al., 1993), ヘスライズの値 (0.08%, Kawahata et al., 1995) や北部北太平洋での値 (0.008%)の範囲に入っている。これらの結果を総合すると、基礎生物生産力が比較的高い地域の方が、基礎生物生産力で固定された粒子状炭素の堆積物での固定化率が高いことがわかる。そして、氷期・間氷期の変動において、通常、氷期の方が太平洋では基礎生物生産力が高くなったことが近年明かになってきているが、このことは、海表面で固定された炭素量も多くなったが、これに伴い固定化率も増大し、最終的に堆積物として除去された有機炭素も増加したことが示唆される。

引用文献

- Berger, W.H., Fisher, K., Lai, C., and Wu, G. (1988) Ocean carbon flux: global maps of primary production and export production. In C. Agegian (Editor), Biogeochemical Cycling and Fluxes between the Deep Euphotic Zone and Other Oceanic Realms. NOAA Natl. Undersea Res. Progr. Res. Rep., 88-1, pp. 131-176.
- Haake, B., Ittekkot, V., Rixen, T., Ramaswamy, V., Nair, R.R., and Curry, W.B. (1993) Seasonality and interannual variability of particle fluxes to the deep Arabian Sea. Deep-Sea Res., 40, 1323-1344.
- Kawahata, H. (1994) Sinking particulate matter and the vertical carbon flux through the water column in the West Caroline Basin. In Yoshida, K. et al., Proceeding of Techno-Ocean '94 International Symposium, Kobe, 427-431.
- Kawahata, H., Nobuhisa Eguchi, N. and Suzuki, A. (1995) The record of late Pleistocene biogenic sedimentation in the western Pacific. Proc. 8th International water-rock interaction, 255-258, Balkema, Rotterdam.
- Koblents-Mishke, O.I., Volkovinsky, V.V., and Kobanova, Yu.G. (1970) Plankton primary production of the World Ocean. In: Scientific Exploration of the South Pacific, ed W. Wooster, pp.183-193. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., and Richards, F.A. (1963) The influence of organisms on the composition of sea water. In: M.N. Hill (Editor), The Sea, Vol. 2. Wiley, New York, pp.26-77.

国際共同研究等の状況

本研究は、西太平洋を研究対象としており、日豪科学技術協力協定において、オーストラリア海洋研究所との間で「西太平洋熱帯沿岸域における炭素循環」というテーマの下でセジメント・トラップの共同研究が行なわれている。日独科学技術協力協定海洋パネルにおいて、ハンブルク大学教授、イテコット教授と「インド洋における海洋炭素循環 — モンスーン気候帯に存在する河川の沿岸海洋環境への影響 —」というテーマの下で共同研究が行なわれている。

成果発表の状況

誌上発表

1. 川幡穂高・太田秀和 (1995) 西太平洋外洋域における沈降粒子による炭素フラックス. 海洋科学, 号外 9, 91-96.
2. Ohkouchi, N., Kawahata, H., Okada, M., Murayama, M. and Taira, A. (1995) Benthic foraminifera cadmium record from western equatorial Pacific. *Marine Geology*, 127, 167-180.
3. Kawahata, H., Nobuhisa Eguchi, N. and Suzuki, A. (1995) The record of late Pleistocene biogenic sedimentation in the western Pacific. *Proc. 8th International water-rock interaction*, 255-258, Balkema, Rotterdam.
4. 川幡穂高・江口暢久・西村昭 (1995) 西太平洋底緯度域における過去30万年間の有機炭素沈積流量の変動. 海洋科学, 27, 545-548.
5. 田中祐一郎、川幡穂高、鈴木 淳 (1995) 北太平洋のセジメント・トラップ 試料中にみられる円石藻群集の季節変化. 海洋科学, 27, 554-557.
6. 岡本孝則、松本英二、川幡穂高 (1995) 太平洋中緯度域でのエオリアンダストと有機物沈積流量の変動. 海洋科学, 27, 558-561.
7. Kawahata, H., Suzuki, A., Eguchi, N. and Ohta, H. (1996) Export production in the western Pacific. *Proceeding of Oceanology* 96, 3, 243-255, Spearhead Exhibitionns Ltd, New Malden Surrey, Uk.

口頭発表

1. 川幡穂高・本山功・鈴木淳・太田秀和 (1995) 西太平洋北半球における沈降粒子と過去30万年間の基礎生物生産力. 1995年度日本地球化学会年会講演要旨集, p37-38.
2. 鈴木淳・川幡穂高・ (1995) 中部太平洋マジュロ環礁におけるラグーン海水の全炭酸・全アルカリ度収支. 1995年度日本地球化学会年会講演要旨集, p160.
3. Kawahata, H., Eguchi, N., Ohta, H. (1995) The fluctuation of export production during the late Pleistocene in comparison with export flux in the modern ocean in the western Pacific. 5th International conference on Paleooceanography, ICP Program and abstracts. p130.
4. Ohkouchi, N., Kawamura, K., Kawahata, H., and Taira, A. (1995) Molecular peleo-climatology: A new tool for reconstruction of paleo-terrestrial input to the ocean and paleoproductivity. p.57
5. Kawahata, H., Suzuki, A., Motoyama, I. and Eguchi, N. (1995) The fluctuation of primary productivity during the late Pleistocene in the western Pacific. Abstract for The third International Conference on Asian Marine Geology, 78.
6. 川幡穂高・江口暢久・鈴木淳・野際靖子 (1995) 「現在と過去50万年間のオントンジャワ海台における炭素除去」. シンポジウム「海洋中の炭素循環メカニズムの調査研究」1995年度講演要旨集, p9.
8. 川幡穂高 (1996) NOPACCS (北太平洋における炭素循環の研究). 東京大学海洋研究所シンポジウム「古海洋学の現状と将来—我々は何をなすべきか—」.
9. 川幡穂高 (1996) 沈降粒子と堆積粒子. 第240回地質調査所シンポジウム. 「後期第四紀の海洋環境と生物生産—海洋と気候変動の変遷—」.

10. 川幡穂高 (1996)地球化学的見地からの海洋環境変動—後期第四紀における西太平洋における海洋環境」。古生物学会1996年要旨集, p122.
11. 川幡穂高・鈴木淳・江口暢久 (1996) 赤道域から中高緯度域にかけての西太平洋における後期第四紀の基礎生物生産力の変遷. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, p124.