

学 位 論 文 題 名

Deep-dwelling planktonic foraminifers as proxies of subsurface and intermediate water

（過去の海洋中層環境復元指標としての浮遊性有孔虫に関する研究）

学位論文内容の要旨

海洋に生息する浮遊性有孔虫は、過去の海洋表層環境を復元するための指標として、広く用いられている。これらの炭酸カルシウムの殻における化学組成は海水の組成に近い。過去の栄養塩、水温、塩分、アルカリ度を復元する際に有用である。これらの研究は主に表層に焦点があてられ、中層環境を復元するために用いられることはまれであった。現在の海洋では、北大西洋と南極海で深層水が形成される。現在、北太平洋では深層水が形成されていないが、氷期において中層循環が活発化したという報告がある (Keigwin, 1998)。しかし、太平洋の深層は炭酸カルシウムについて未飽和であるため、太平洋における中層環境の情報は大陸に近い浅海堆積物からの底生有孔虫による解析に頼らざるを得なかった。この情報源の偏在を解消するため、比較的深い水深に棲息する浮遊性有孔虫を中層環境復元の指標として評価することを目的とした。太平洋には、外洋域に水深 3000m に達しない海山が点在しており、中層に棲息していた浮遊性有孔虫は、これらの海山の堆積物中に保存されている。そこで、本研究では、海洋に生息する浮遊性有孔虫 *G. scitula* を過去の亜表層—中層環境（特に炭素循環）を知る指標とするため、現在の海洋におけるこの種の安定同位体比、形態学的特徴と環境因子との関係を明らかにすることを目的とした。試料の採集はモックネスプランクトンネットとセジメントトラップを用いて行われた。

G. scitula の採集は、北西太平洋亜熱帯・亜寒帯域において、1997 年 5, 8, 11 月、1998 年 4 月の 4 度のモックネスプランクトンネット（多段開閉式プランクトンネット）と 1994~1998 年の約 4 年間にわたる時間分画式セジメントトラップを用いて行われた。モックネスプランクトンネットは 0-800m の深さを 5-6 層に分けて採集することにより、より細かい情報を得ることが可能となった。セジメントトラップによる観測は 14-35 日間隔という高時間分解能で行われた。これら 2 つの観測に共通して、*G. scitula* が $26.7-27.3\sigma_\theta$ の海水密度を中心に生息していることが確認された。

Baumfalk et al. (1987) は、*G. scitula* の殻表面に見られる空隙率が塩分の変化によるものという仮説を提案している。モックネスおよびセジメントトラップで得られた

サンプルを用いて各個体の殻の空隙率を測定し、この仮説の検証を行った。得られた結果は、塩分によって空隙率が変化しているという仮説を支持するものではなかった。一方、殻の空隙率は古いチャンバーほど高く、海水のカルサイトに対する飽和度と殻の空隙率には良い相関関係が見られたことから、空隙率の変動要因として、溶解の影響を提案する。

海水と *G.scitula* の殻に残された安定同位体比を比較した結果、殻に記録された酸素・炭素安定同位体比は、海水と同位体平衡ではなく、同位体平衡からのずれの大きさが海水中の炭酸イオン濃度に比例していた。しかし、今回得られた結果は、培養実験による研究 (Spero et al. 1997) とは大きく異なっていた。この原因として代謝由来の二酸化炭素の影響、殻の溶解の影響を検討した。*G.scitula* の最後の ultimate と penultimate チャンバーを切断して同位体比を測定した結果、古いチャンバーにより軽い同位体比が見られた。このことは、代謝が一定であると仮定すれば殻が小さい時ほど代謝由来の二酸化炭素を殻に取り込んでいると解釈できる。Bemis et al., (2000) は代謝活動の温度依存性を報告しているが、今回の結果からそれを確認することはできなかった。古いチャンバーほど空隙率が高いという結果をあわせると、古いチャンバーの溶解が安定同位体比に影響している可能性が考えられた。古いチャンバーには軽い同位体を取り込まれておりこれらが溶け出すと殻全体としての同位体比組成は大きい値にシフトするはずである。炭酸イオン濃度が小さいほど海水との同位体平衡に近づくという結果は、溶解の程度が大きいほど同位体平衡に近づくことを意味する。従って、*G. scitula* の安定同位体比に見られた炭酸イオン濃度依存性は殻の溶解が影響しているためと結論する。そして、殻の酸素安定同位対比を温度、カルサイト飽和度の関数として表現し、過去の *G. scitula* 生息深度を知る指標とした。モックネスプランクトンネットで得られた結果をセジメントトラップで得られたサンプルで検証した。その結果、モックネスプランクトンネットを用いて得られた生息深度や安定同位体比に関する結果の妥当性が確認された。セジメントトラップによる約 3 年半にわたる時系列観測で、海洋表層の鉛直対流の程度が *G. scitula* の生息個体数の変化に対応していることが明らかになった。この事実は、*G. scitula* が過去の鉛直対流の強さを知る手がかりとなりうることを示すものである。*G. scitula* の殻に残された安定同位体比と形態から得られる情報を組み合わせることにより、過去の *G. scitula* の生息深度における海水中でのカルサイト飽和度（あるいは、炭酸イオン濃度）および全炭酸の炭素安定同位体比の挙動が復元できることが示された。本研究の成果により、これまで情報が極端に不足していた過去の外洋域における亜表層—中層環境を復元することが可能となった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 乗 木 新一郎

副 査 教 授 大 場 忠 道

副 査 助 教 授 中 塚 武

副 査 助 教 授 山 中 康 裕

学 位 論 文 題 名

Deep-dwelling planktonic foraminifers as proxies of subsurface and intermediate water

(過去の海洋中層環境復元指標としての浮遊性有孔虫に関する研究)

古海洋環境復元に関する研究が近年盛んに行われているが、それらの研究は、表層・深層にほぼ限定されており、中層水深に関する情報が極端に不足している。その中でも、太平洋に関する研究は、大西洋のそれに比べ大きく遅れをとっているといわざるを得ない。ここでは、太平洋における古環境復元指標の開発を特に亜表層・中層環境に注目して研究を行った。

本研究では、亜表層・中層に棲息すると言われる浮遊性有孔虫 *Globorotalia scitula* について、その海水中存在量、フラックス、安定同位体比、形態学的特徴について、セジメントトラップ、モックネスプランクトンネットを用いた。水中で生成した炭酸カルシウムの酸素安定同位体比は温度の関数として表すことができることがわかっており古水温式が提案されている。ところが、モックネスで得られた個体の酸素安定同位体比は温度だけの関数で表すことができなかった。*Globorotalia scitula* の棲息深度がおよそカルサイトの飽和深度付近にあることから(Be, 1971)、殻の溶解の影響を考慮し、殻の酸素安定同位体比を温度とカルサイトの飽和度(Ω_{calcite})で表したところ、温度だけの関数とした場合よりも高い相関関係が得られた。また、カルサイトの飽和度が小さくなるにつれ海水と有孔虫の炭素安定同位体比のずれが大きくなる傾向がみられた。これらの事実から、*G. scitula* の殻の溶解が安定同位体比に影響を与えている可能性が示唆された。

次に *Globorotalia scitula* の空隙率と海水環境の関係について調べた。有孔虫の空隙率の変化要因については、これまでに塩分・温度・浮力説が提案されているが、*G. scitula* については、これらの仮説を指示する結果が得られなかった。安定同位体比の場合に示唆された溶解の影響が実際に空隙率にも反映されているかを調べるため、カルサイト飽和度と空隙率の関係を調べたところ、海水のカルサイトの飽和度が小さくなる、

すなわち、海水がカルサイトに対して未飽和になるにつれ、空隙率の増加が確認された。このことは、*G. scitula* の空隙率の変化要因として殻の溶解が影響していることを示唆するものである。

過去の海洋表層環境指標として浮遊性有孔虫を利用することを目的とし、セジメントトラップで得られた有孔虫 *G. scitula* および *N. dutertrei* のフラックスについて調べた。*Neogloboquadrina dutertrei* は、温度躍層が発達に伴ってみられる deep chlorophyll maximum の形成が明瞭になるにつれ増加しており、逆に混合層が深くなるにつれ減少していた。一方、*G. scitula* のフラックスは、冬季に増加する傾向にあり、特に鉛直混合が深くまで達する時期に最大値を示していた。このように、これら 2 種の有孔虫は混合層の発達に対し、逆の応答を示す。これら 2 種の有孔虫の比 $G. scitula / N. dutertrei$ と混合層の厚さ(MLD)の間には、 $MLD = 128 \cdot (G. scitula / N. dutertrei)^{0.52}$ ($n=11$, $r^2=0.77$, $p<0.01$)という関係がみられた。*N. dutertrei* は西岸境界流域に頻繁に産出する種であり、また、*G. scitula* が深い鉛直混合に応答して増えることを考慮すれば、得られた関係は、鉛直混合層の発達が顕著である、海洋亜熱帯・亜寒帯域に有効な指標となる。

本研究で得られた古環境復元指標は、過去の太平洋亜表層・中層環境を復元する際に必要不可欠な情報をもたらすことは、間違いない。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また、研究者として真摯な態度と研鑽する気構えを有しており、大学院博士過程における努力と取得単位などもあわせ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有すると判定した。