

博士（地球環境科学）佐川拓也

学位論文題名

Temperature and salinity variability of surface water off the eastern coast of Japan over the last 30,000 years deduced from Mg/Ca and oxygen isotope of planktonic foraminiferal tests

（浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca 比・酸素同位体比からみる
日本東岸沖における過去 3 万年間の表層水温と塩分の変化）

学位論文内容の要旨

西部北太平洋は、北大西洋と比較して亜寒帯循環が発達しており、亜熱帯循環との間に亜寒帯前線を形成しているため、緯度方向の水温・塩分の変化が大きい海域である。我々の住む日本列島は、それら 2 つの循環が収束する場所に位置する。亜熱帯・亜寒帯循環の西岸境界流はそれぞれ、黒潮・親潮と呼ばれ、黒潮は高温・高塩分の海水を低緯度から、親潮は低温・低塩分の海水を高緯度から輸送している。これらの海流は日本列島の東岸沖でぶつかり合って、水温・塩分勾配が非常に急な混合水塊を形成している。混合水塊表層の水温と塩分は親潮と黒潮の混合によって決まっており、ともに北から南へ向かって増加する。これら 2 つの海流とその間に位置する混合水塊の位置は日本列島の気候に大きく影響を及ぼすため、水温や塩分の定量的な見積もりとその変動要因を理解することは非常に重要である。

これまでに行われてきた海底堆積物中の微化石群集解析や浮遊性有孔虫の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) などの研究によって、日本列島東岸沖の混合水塊が過去の氷期・間氷期変動に伴って緯度方向の移動を繰りかえしてきたことが明らかになっており、この海域の海洋環境の変化は混合水塊の南北移動によって説明してきた。しかしながら、最近の研究で熱帯や亜寒帯域の表層水温・塩分が、比較的短い数千年の時間スケールにおいても変化していた可能性が示唆されている。このような変化は親潮や黒潮自体の水温・塩分の変化として表れ、その結果、日本東岸沖の海洋環境変動にも影響を及ぼすことが予想される。

過去の水温変化が混合水塊の南北移動によるものか、それとも、2 つの海流の変化によるものかを区別するためには、混合水塊内のある地点において水温と塩分の両方を復元することが有効であると考える。現在、混合水塊の水温と塩分はどちらも、ほぼ 2 つの海流の混合比で決められている。仮に、2 つの海流の水温と塩分が変化せずに、混合水塊が南北に平行移動した場合、塩分に対する水温の変化率は現在の混合水塊で緯度方向に見られる変化率と同じになると予想できる。しかし、海流自体の水温や塩分が変化した場合、塩分に対する水温の変化率は現在の混合水塊のそれとは異なるものになる。そこで本研究は、鹿島沖から得られた海底コアに含まれる浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比と Mg/Ca 比を分析することで、水温と塩分を復元した。塩分の指標として、海水の酸素同位体比を用いた。

浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca 比は現在、古海洋学的研究に水温計として広く用いられており、その最大の利点は $\delta^{18}\text{O}$ 分析と同試料を用いることにある。有孔虫殻の $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}_\text{c}$) は殻が形成されたときの水温 (T) と海水の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_\text{w}$) によって決まっているため、Mg/Ca 比古水温計と組み合わせることによって、 $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ を復元することが出来る。こ

の方法は北西太平洋において用いられた例がないので、本研究ではまず、Mg/Ca 比古水温計が北西太平洋で有効であるかを評価し、その後、鹿島沖から採取された海底コア (MD01-2420) に応用して過去約 3 万年間の表層水温の復元を行った。

混合水域の表層堆積物中に含まれる浮遊性有孔虫 *Globigerina bulloides* の Mg/Ca 比は、北から南に向かって増加しその値と水温との関係は、培養実験から得られた水温換算式 (Mashiotta et al., 1999) 上にプロットされる。このことから北西太平洋についても、Mashiotta et al. (1999) によって作成された水温換算式を適用できることがわかった。また、Mg/Ca 比によって推定された T と $\delta^{18}\text{O}_c$ の関係は、 $\delta^{18}\text{O}$ –温度スケールの式上に偏りなく分布することから、 T と $\delta^{18}\text{O}_c$ によって $\delta^{18}\text{O}_w$ を復元可能であることが確認された。

次に、MD01-2420 海底コアについて過去 3 万年間の T と $\delta^{18}\text{O}_w$ の復元を行った。完新世における T の平均値は現在の鹿島沖における水温(16.5°C)と良く一致した。最終氷期最寒期では現在よりも 10°C 低い、約 6.5°C であったことが明らかになった。また、 $\delta^{18}\text{O}_w$ から大陸氷床量の変動に起因する全球的な $\delta^{18}\text{O}_w$ 変動を差し引いて求められた地域的な $\delta^{18}\text{O}_w$ ($r\delta^{18}\text{O}_w$) は、 T の変動と同調しており、低温期に低い値をとる傾向を示した。 T と $r\delta^{18}\text{O}_w$ の時系列変動は、グリーンランド氷床コアの $\delta^{18}\text{O}$ 変動と良く似ており、北西太平洋の環境変化が北大西洋高緯度域の気候と密接に関わっていたことを示す。

過去 3 万年間の T と $r\delta^{18}\text{O}_w$ の変動は大きく 2 つのパターンにわけることができる。一つは、 $r\delta^{18}\text{O}_w$ に対する T の変化率が現在の混合水塊における変化率とほぼ同じである氷期一間氷期変動。もう一つは、 T の変化率が現在の混合水塊でみられるものよりも小さかった数千年スケールの変動である。これらの結果は、氷期一間氷期の時間スケールと数千年スケールの変動では、 T と $r\delta^{18}\text{O}_w$ の変動要因が異なっていることを示す。つまり、氷期一間氷期変動では、水塊の移動が大きく海洋環境を変え、数千年スケール変動ではそれ以外の要因が海洋環境に影響を与えてきたことを示唆する。最終氷期における数千年スケール変動の $r\delta^{18}\text{O}_w$ に対する T の変化率は、北太平洋西部亜寒帯循環でみられるものと類似している。このことは、最終氷期には混合水塊が南下していたため、親潮の影響が鹿島沖に強く、亜寒帯域の変動が親潮を通じて鹿島沖にまで及んでいたことを示唆する。日本東岸沖で水温と塩分を同時に復元することでそれらの変動要因が混合水塊の南北移動以外にも存在し、海流の特性の変化がこの海域の海洋環境に影響してきたことを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査教授 南川雅男
副査教授 杉本敦子
副査助教授 長尾誠也
副査助教授 山本正伸
副査助教授 豊田和弘
副査名譽教授 大場忠道

学位論文題名

Temperature and salinity variability of surface water off the eastern coast of Japan over the last 30,000 years deduced from Mg/Ca and oxygen isotope of planktonic foraminiferal tests

(浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca 比・酸素同位体比からみる
日本東岸沖における過去 3 万年間の表層水温と塩分の変化)

日本東岸沖では、亜熱帯循環の西岸境界流である黒潮（高温・高塩分）と亜寒帯循環の境界流である親潮（低温・低塩分）がぶつかり合って、水温・塩分勾配が非常に急な混合水塊を形成している。混合水塊表層の水温と塩分は、親潮と黒潮の混合によって決まっており、ともに北から南へ向かって増加する。これまでに行われてきた微化石群集解析や浮遊性有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ などの研究によって、混合水塊が過去の氷期・間氷期変動に伴って緯度方向の移動を繰りかえしてきたことが明らかになっている (Chinzei et al., 1987)。これまでの研究では、当海域の海洋環境の変化は親潮と黒潮の 2 水塊の勢力移動によって説明してきた。こうした過去の水塊を詳細に復元するためには、水温・塩分の変化を同時に考慮することが必要とされるが、主として有孔虫の酸素同位体によって行われていた過去の研究では、塩分変化の復元が困難なため、詳細な水塊の復元は困難であった。本研究では、有孔虫に含まれる Mg, Ca の濃度分析を新たに加えることによって過去の海水の塩分変化を復元し、より詳細に当海域の水塊環境の復元を行うことができた。

浮遊性有孔虫の Mg/Ca 比は現在、古海洋学的研究に古水温計として広く用いられている、その最大の利点は $\delta^{18}\text{O}$ 分析と同試料を用いることにある。有孔虫殻の $\delta^{18}\text{O}$ は殻が形成されたときの水温と海水の酸素同位体比 (δw) によって決まっているため、Mg/Ca 比分析と組み合わせることによって、 δw を復元することが出来るが、北西太平洋においては、この方法が用いられた例が

ないので、本研究では、混合水塊における現在の海洋表層水温と表層堆積物について分析した Mg/Ca 比の関係を調べるとともに、鹿島沖から採取された海底コア (MD01-2420) に応用して過去約 3 万年間の表層水温の復元を行った。

表層堆積物中の浮遊性有孔虫 *Globigerina bulloides* の Mg/Ca 比は、北から南に向かって増加し、その値と水温との関係は培養実験から得られた水温換算式 (Mashioita et al., 1999) 上にプロットされる。このことから北西太平洋についても、この水温換算式を適用して古水温を復元できることがわかった。次に、海底コアについて過去 3 万年間の水温 (T) と δw の復元を行った。 δw の変動は全球的(δg)と地域的(δr)両方の変動を記録しているため、氷期に大陸氷床が拡大したことによる全球的な δg の変化分を差し引いて地域的な δr ($\delta r = \delta w - \delta g$)を求めた。鹿島沖における T と δr の変化はグリーンランド氷床コアの $\delta^{18}\text{O}$ 変動と良く似ており、北大西洋高緯度域が低温な時期に T と δr は共に低下した。氷期から間氷期にかけての T と δr の変化は、混合水塊の移動によって起こっていたことを示した。このことは、浮遊性有孔虫群集解析による水塊指標の結果からも支持される。しかし、千年スケールの T と δr の変化は、水塊の南北移動以外にも要因があることが示唆された。特に、最終氷期最寒期(LGM) にあたる 18-21 ka の T と δr の上昇は、水塊指標が最も親潮の影響が強かったことを示す時期にあたる。この時期に水塊が最も南下していたとすれば、LGM に親潮の水温や塩分が上昇したことが示唆される。特に塩分の変動が顕著であることから、LGM に北太平洋亜寒帯域の塩分が大きく増加し、この影響が親潮を通じて鹿島沖にまで及んでいたと考えられる。

本研究では、海底コア試料に含まれる有孔虫に含まれる酸素同位体分析に加えて、微量金属の Mg/Ca 比分析をはじめて北西太平洋に応用し、それらの結果を詳細に検討して、過去 3 万年の鹿島沖表層水の塩分と水温の同時復元を行った。その結果、過去の黒潮と親潮の水塊変動にくわえて西部北太平洋亜寒帯域における周期的環境変化の可能性について明らかにした。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せて申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。