

博士論文

「中部・北西太平洋域の二重構造を有する海水起源マンガクラストの形成年代と古海洋環境」

平成 28 年 3 月

高知大学大学院総合人間自然科学研究科応用自然科学専攻

西 圭介

要 約

海水起源マンガクラスト（以下、クラスト）は、世界の全海洋で確認されており、100 万年に数 mm 程度の非常に遅い速度で成長している。クラストは単一の鉄マンガン酸化鉱物（バーナダイト）から形成されているため、一般的に化学組成の変動は小さい。中部・北西太平洋域に分布する 5 cm 以上のクラストには、もろく空隙に富む上位の鉄マンガン酸化物層（Layer 1）と緻密で硬質のリン灰石を含む下位の酸化物層（Layer 2）から成る二重構造が広く観察できる。両者の化学組成は大きく異なっており、二重構造はクラストの微細層序に見られる最も顕著な特徴である。二重構造に注目することで、クラストの成長構造や組成の変化と古海洋環境の変遷を対応付けできる可能性が高い。しかし、その組成や形成年代、形成環境は未だ解明されていない点が多く、特に、二重構造の境界年代と生成環境を解明することが課題となっている。

本研究では、高知大学が所蔵する中部・北西太平洋域の 33 海山の 60 以上のクラストから二重構造を確認し、研究に適した試料を可能な限り多く選択して分析を行った。また、微細成長構造の記載を基に Layer 1, Layer 2 の鉱物・化学組成の特徴を明らかにし、二重構造の境界年代の推定と形成環境の考察を行った。

本研究試料は、さらに 4 層の異なった副層（Layer 1-a, Layer 1-b, Layer 2-a, Layer 2-b）に分けることができる。Layer 1-a は試料の表層付近に観察でき、黒色から黒褐色で比較的緻密な構造を呈する。Layer 1-b は試料中央にしばしば観察でき、赤褐色から茶褐色で空隙が多く、数 mm 程度の鉱物片や微化石（主に有孔虫）を含む。Layer 2 は緻密かつ硬質で光沢がある黒色を示し、空隙は必ずリン灰石によって充填されている。Layer 2-a は黒色かつ緻密で微化石をしばしば含む。Layer 2-b は基盤岩直上に存在することが多く、黒色かつ非常に緻密で碎屑物をほとんど含まない。Layer 2 の微細成長構造は、空隙がリン灰石によって充填されているものの、Layer 1 と類似している。

^{10}Be 年代モデルは、本研究試料中に数 Ma にわたる明瞭な成長の中断が存在せず、連続的かつ一部の試料の碎屑物に富む部分を除いて、約 2–6 mm/Myr の安定した速度で成長し続けていたことを示唆している。Layer 1 内の成長速度はすべての試料で共通して下部（おおむね Layer 1-b に対応）でやや速い傾向を示す。Layer 2 内の成長速度は ^{10}Be 年代測定法の測定限界に達しているため、詳細な検討を行うことができない。限られたデータによれば、Layer 2 の成長速度は Layer 1 の下部と類似した

速度であり，Layer 1，Layer 2 で急激な速度の変化はないと推測できる。

赤道域に比較的近い試料は有孔虫に富む傾向があり，それらの試料に関しては有孔虫の同定を依頼した．その結果，中生代を代表する浮遊性有孔虫 *Globotruncana* 属のような特徴的な種群は全く検出されず，明らかに新生代型の浮遊性有孔虫と底生有孔虫であった．さらに古第三紀の浮遊性有孔虫，特に始新世を代表する *Morozovella* 属も見られなかった．観察できた種は，新生代でも，現生に通じる系列をもつ典型的な新第三紀の種群である．中でも *Orbulina* 属は，新第三紀中新世であることが示唆される（安田尚登による）．有孔虫年代と ^{10}Be 年代は，Layer 1 を通して調和的であり，観察できた有孔虫は新第三紀より新しい時代の種であったため，少なくとも前期-中期中新世から現在までクラストが成長していることを支持している．二重構造の境界年代は，中新世に集中しており，Layer 2 は後期中新世以降に形成されていない．その年代は水深によって変化することが新たに明らかとなった．浅い水深のクラスト（水深 991–1575 m）は約 10 Ma，深い水深のクラスト（水深 2262 m）は 17.1 ± 2.5 Ma を示す．

Layer 1 と Layer 2 を比較した場合，Layer 2 は Al, Ti, Fe, Co に乏しく，Ca, P, Y, Ni, Cu, Zn, わずかに La, Ce に富む．Mn およびアルカリ金属（Na, K），Ca 以外のアルカリ金属（Mg, Sr, Ba）は Layer 1, Layer 2 でほとんど変化しない．Layer 2 での Al, Ti, Fe の減少は特に大きく，Layer 1 中の Al の平均濃度は約 0.9%，Ti は約 1.0%，Fe は約 13% であるのに対し，Layer 2 では Al は約 0.3%，Ti は約 0.4%，Fe は約 6% である．この特徴は，Layer 2 の化学組成が一般的な海水起源の鉄マンガン酸化物（バーナダイト）に比べて，Fe に乏しく，Ni, Cu, Zn に富んでいることを示唆している．また，この組成は続成起源のマンガン酸化物（ブーゼライト）に類似している．

以上より，二重構造の形成プロセスを検討した．本研究では，Halbach et al. (1982, 1989) の結果を基に，Koschinsky et al. (1997) によって作成されたクラストのリン酸塩化作用モデルを引用し，二重構造の境界年代の変化を考察した．二重構造の境界年代は中新世の間に集中しており，数 Ma にわたる明瞭な成長の中断は見られない．この結果は，顕微鏡観察において，二重構造の境界の成長構造が連続的であることによっても支持される．中新世は南半球での中緯度偏西風や子午面表層の温度勾配の低下によって，全球的な熱塩循環および環流が弱かった (Herold et al., 2012)．また，13.9 Ma 以前は周極底層水および太平洋中層水（水深 1000–3000 m）の循環は弱く，南極氷床の拡大によって循環が活発化した (Holbourn et al., 2013)．西アフリカ沖では，中期中新世（約 15.5 Ma）に OMZ が拡大していたことが有孔虫化石から復元されている (Kender et al., 2008, 2009)．したがって，前期から中期中新世の海洋循環は，現在に比べてゆるやかであり，現在よりも溶存酸素量に乏しい OMZ を形成し，その範囲を拡大させていたという仮説を提唱した．この環境下では，現在のクラストとは異なる組成を示す鉄マンガン酸化物が沈殿していた可能性が高い．この仮説は Layer 2 の組成がより還元的な環境で生成するブーゼライトに類似して

いることとも調和的である。高 Mn/Fe 比を示す Layer 2-b は浅い水深帯のクラストのみに観察でき、これは形成当時の環境が現世より還元的であったことを示唆している。

Sorkhabi and Stump (1993) は、ヒマラヤ・チベット地域の隆起と侵食が特に 21–16 Ma と 11–7 Ma で速かったと報告している。この隆起や侵食はフロリダ卓状地でのリン酸塩化作用と関係している (Compton et al., 2000)。化学風化の増加は、リン酸などの主要栄養塩を陸域から海洋へ供給し、一次生産の促進と有機炭素の沈殿を引き起こしたと考えられる。Theyer et al. (1985) は、赤道太平洋域では前期から中期中新世の間に堆積物集積速度が増加したことを指摘しており、これらの考えは本仮説と調和的である。さらに、有機物の分解は海水中にリン酸イオンを供給し、CO₂ の増加は pH の減少を引き起こした可能性が高い。リン酸イオンは大陸の風化、高い生物生産および堆積物の分解による海水中への供給と pH の減少による一時的な保存によって過飽和になっていたと推測できる。この水塊は高い pH かつ酸素に富む深層水と混合することによってリン灰石の沈殿を引き起こしていたかもしれない。

中新世は気候・海洋変化の主要な時期であり (Zachos et al., 2001)、後期漸新世 (26Ma) から中期中新世 (15 Ma) の気候は、その前後と比べて温暖で安定していた (Miller et al., 1987)。特に、中期中新世 (17–15 Ma) の温暖化は地球規模であり、中期中新世気候最適と呼ばれている。その後は中期中新世気候変遷期 (約 14.2–13.8 Ma) に移り、新生代の全球的な寒冷化と南極氷床の拡大といった主要な変動が起こった (e.g., Zachos et al., 2001)。二重構造の境界年代値は水深が浅い試料ほど新しい時代を示しているため、クラストのリン酸塩化作用の停止は同時代ではなく、深い水深のクラストから停止が開始し、浅い水深のクラストへ推移していったと考えられる。この変動は新第三紀の底層流の漸次的な強化に伴って引き起こされる酸素極小層の縮小に規制されたという解釈である。これらの結果は、堆積物コアから復元された古海洋環境の変遷とも類似している。今後、大西洋、インド洋に分布する二重構造クラストの境界年代を決定していくことで全球的な古海洋環境の変遷をクラストから復元できると期待できる。また、本研究結果によって、クラストを用いた古海洋環境研究の意義を再検討できた。