

博士論文

「北西太平洋域の海山の地形・地質と鉄・マンガンクラストの地域分布の多様性」

平成 26 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

岡本 信行

要 約

鉄・マンガンクラスト (以下、「クラスト」という) は、遠洋の海山や海嶺に広く分布し、自動車産業や情報業において将来需要拡大が見込まれる Ni、Co、Pt、レアアースなどのレアメタルを含有する。北西太平洋域は、特にクラストの資源ポテンシャルが高い海域であり、1980 年代以降、ドイツ、米国、ロシア、韓国、日本、中国などによる調査が行われてきた。特に、我が国は、マーシャル諸島共和国 (RMI) やミクロネシア連邦 (FSM) 等の排他的経済水域 (EEZ) において、南太平洋諸国への技術協力の一環として、クラストの資源量把握を目的とした調査航海を実施し、膨大な地形・地質データが蓄積されたが、未だに研究面での考察が不十分のまま残されている。

一方、地球科学研究の立場からは、クラストの成長は海山の地形・地質・形成史と密接な関係があるとされるものの、広域～微細スケールまで非常に高い多様性の原因解明や、クラストの成長を規制する要因分析や科学的実態解明が正確になされているとはいえず、従って、将来の有望エリア選定のための、地質・地形情報に基づくクライテリア (科学的基準) の設定が不十分である。

本研究では、上記の海域の膨大な調査結果を総括した上で、まず、当海域に分布する多数の海山から代表的な 27 海山を選定し、海山規模、頂部水深、地質、海山の形成年代等とクラスト層厚との関連を比較検討した。

この結果、クラストの成長と海山の地形・地質との関係について、海山の山頂水深や海山山頂部に分布する遠洋性堆積物の産状、層厚に関しては、明瞭な関係を有することは認められなかったが、海山を構成する火山岩や石灰岩の形成年代や地形的特徴との関連をつかむことができた。

クラスト層厚と基盤岩である火山岩の年代との関係において、クラスト層厚は、23mm～190mm と幅広いレンジであり、その生成年代も 5.1Ma～82Ma と幅広いものの、形成年代が古い海山ほどクラスト層厚が厚い傾向が顕著に見られる。また、礁性石灰岩中には厚歯二枚貝などの大型化石が観察され、それらの鑑定結果から礁性石灰岩の生成年代レンジが推定され、海山の沈降が開始した年代の根拠となり、沈

降開始年代が古いほど、すなわち海面下にいる時間が長いほどクラスト層厚が厚いことが読み取れ、長期間にわたって沈降が継続した海山ほどクラストポテンシャルが高いことが分かる。

また、選定した 27 海山を 4 つの形態タイプ (大規模平頂海山、小規模平頂海山、円錐型海山、海嶺型海山) に分類し、それぞれ海山の形成史を推定し、クラストの成長との関連を検討した。この際に、平頂海山は、平頂部の面積から 2 つに区分し、 $1,000 \text{ km}^2$ を超えるものを「大規模」、それ以下のものを「小規模」に細分化した。27 海山の分類結果は、大規模平頂海山は 8 海山、小規模平頂海山は 13 海山、円錐状海山は 5 海山、及びその他 (海嶺型) は 1 海山である。

これらの結果を踏まえて、海山の形態タイプ毎に、火山岩の放射年代及び化石年代 (報告値) や音波探査記録などに基づき、山体形成から浸食・沈降、遠洋性堆積作用に至る海山の進化・環境の変化とクラスト成長についてのモデルを提案した。

大規模平頂海山については、白亜紀中期頃の 100Ma 前後に、巨大な火山噴火によって、大規模な火山島が形成され、その結果、火山の山頂は海面上に現れ、波浪によって火山の山頂は平坦面に浸食され、礁が形成された。石灰岩中の化石年代鑑定の結果、沈降が始まったのは、60 Ma ~ 80 Ma より古いと推定される。ミクロネシア連邦の MC10 海山のクラスト試料を使った $\text{Be}^{10}/\text{Be}^9$ を用いたクラストの成長速度が測定 (4.3 mm/m.y.) されており、そのデータを利用して、クラストの成長開始を推定すると 20 Ma ~ 40 Ma となる。その間、現在までにクラストは厚さ 75mm ~ 155 mm に成長したことになる。一般に、大規模平頂海山の上部斜面は急崖となっているが、これは恐らくリン酸塩化された石灰岩の硬質な構造を反映していると思われ、長期間安定な地質環境はクラストの連続的な沈殿と成長を促したと考えられる。

次に、小規模平頂海山は 50Ma 前後に起こった火山活動によって形成されたものが多い。頂部の一部が海面上に現れたが、その後の風化・浸食によって頂部が平坦化し、40 Ma ~ 50Ma に水没した。クラストの成長は、前述の成長速度を用いると 15 Ma ~ 30 Ma に始まり、55 mm ~ 140mm 厚に達した。狭い頂部の基盤岩のいくつかの部分は、硬い石灰岩が分布するものの、厚いクラストの分布域は一般に狭い。

円錐型海山は、海底の火山噴火によって形成されたが、海面における礁の形成はほとんどなかった。新鮮な火山岩は、強い風化にさらされ、海山の急激な沈降又は浸食などによる構造運動によって、海山が不安定になり、大規模崩壊や地形の変形を加速させた可能性がある。従って、このタイプは、頻繁な大規模崩壊が続き、長期的に連続的なクラスト成長を維持することができなかつたと考えられる。

海嶺型については、ミクロネシア連邦の EEZ に属する 1 海山であり、当該海山の形成は約 70Ma に起こったものと推定される。このタイプは、大規模崩壊の痕跡を有していることが地形・地質調査から分かっている。このため、クラストの厚さは最大 20cm のものまで認められたが、分布域は散在するのみでポテンシャルは大きくはないと考えられる。

以上、4つの形態タイプについて検討した結果、大規模平頂海山は、小規模平頂海山と比べて、山体形成年代は明らかに古く、またその後の沈降に引き続き、75-155mm程度の厚いクラストが成長する傾向が強いことが判明した。円錐型海山は海面下で火山形成が起り、礁を形成せずに沈降したため、火山岩から成る山体は風化による崩壊が起りやすく、クラストの発達に阻害される可能性が高いと判断された。海嶺型は1か所のみで、クラスト層厚が厚いものの、複雑な海山形成史をたどった可能性が高いと指摘した。

以上の考察に基づくと、広域的スケールの資源量に関して有望な海山は、1)大規模であること、2)安定した基盤を維持するためには強固な石灰岩に広く覆われた平頂海山が望ましい、3)堆積速度が小さな堆積環境、との選定基準を導いた。

次に、一海山における詳細スケールの地形変化とクラスト形成の関係について検討した。ミクロネシア連邦のEEZに分布する海嶺型海山をモデルとし、まず深海TVカメラとドレッジサンプリングに基づいて、本海山の平頂部から斜面にかけて海底の露岩状況を把握した。その結果、露岩域であっても、地形的条件によって、クラストが厚く分布するエリア(尾根部)と非分布域(谷部)が存在することが判明し、クラストの平均厚さの差は10倍近いことが確認された。海山の詳細地形に注目すると、谷地形が発達する海山は、火山体形成後、頻繁な山体崩壊や海底地滑り等が発生したことにより、クラスト資源量が低下する可能性を指摘した。

以上、広域的～詳細スケールの検討結果から、クラストの有望海域を選定するための地質学的条件を把握することができた。

すなわち、広域スケールでの有望海山選定に関わる地質学的要因としては、

- ① 十分な沈降期間を持つ大きな山体であること
- ② 頻繁な山体崩壊や海底風化の少ない地質学的に安定した基盤であること
- ③ 海洋の炭酸塩の大量かつ迅速な堆積作用を防ぐ要素があること

の3条件に集約される。このことから、4つの形態タイプの海山の中では、大規模平頂海山タイプが、クラストの発達に有望な海山であると結論付けた。

一方、詳細スケールの分布多様性に関わる地質学的要因として、海山単位で見た場合、反射音圧データはクラストが分布する露岩域の抽出に有効な手段であるものの、露岩域であっても海山の尾根部と谷部ではクラストの発達には大きな違いがあることが明らかとなった。つまり、クラストの地域的生成過程を通じて基盤岩体が地質学的に安定であることが重要な要件であることが明らかになった。

最後に、将来の研究調査の課題として、さらなる高分解能の地形・地質データ取得や掘削データなどの充実が必要であり、そのためには、地震探査や深部掘削による海山の内部構造の把握、石灰岩の解析による沈降年代やプロセスの把握、火山岩

の放射年代による海山形成年代の詳細、クラストのより一般的、広範囲の年代測定手法の開発等、を進めるべきであるとした。また、詳細スケールでの検討では、より多くの海山で検証する必要があることを課題に添えた。

以上のとおり、クラストの広域的～詳細スケールの分布産状と地形・地質環境との比較検討に関する事例研究の結果、クラストの有望海域を選定するための地質学的パラメータを示すことができ、将来のクラストの探査指針・資源量評価手法開発に大きく貢献すると思われる。