

研究航海報告

南太平洋ペンリン海盆の海洋地質，地球物理，及びマンガン団塊 (白嶺丸 GH 83-3 研究航海，1983 年 8 月-10 月)

臼井 朗 (編集)

I. GH 83-3 航海の概要 (臼井 朗・野原昌人・奥田義久・西村 昭・山崎俊嗣・斎藤文紀・宮崎純一・鶴崎克也・山崎哲生・原田憲一・李治源・P. フレミング)

地質調査所は 1979 年度から 1983 年度にかけて工業技術院特別研究「深海底鉱物資源に関する地質学的研究」を実施した。本研究はマンガン団塊の諸性質の広域的・局地的変化を支配する地質学的要因を解明することを目的として中央太平洋海盆を縦断するウェーク・タヒチ測線を調査対象とした。第 5 年次最終年度にあたる本調査航海には地質調査所，資源環境技術総合研究所 (旧公害資源研究所)，山形大学，韓国動力資源研究所，旧西独 Clausthal-Zellerfeld 工科大学から計 12 名の研究者及び 5 大学から 8 名の学生 (調査研究補助員) が参加した。

白嶺丸 (奥村英明船長) は 1983 年 8 月 8 日に船橋港を出港し，南太平洋マニヒキ海台西方のペンリン海盆西部 (南緯 12-14°，西経 158-160°) において調査を実施し，途中タヒチ島バペーテに寄港，同年 10 月 6 日帰港した。航海の前半には約 200 km×200 km の海域において概査的調査を行い，その結果に基づいてトラフの西側に精査海域 (60 km×70 km) を選定した。精査海域では約 1 km 間隔で 12 測線に沿って底質採取等を行った。調査方法は従来の白嶺丸航海と同様，音波探査，地磁気・重力調査，熱流量測定，底質採取，堆積物工学特性測定，海底写真撮影などである。航海後は所内外の研究者によってデータ解析・分析を行った。調査研究の結果，マンガン団塊の分布実態・性質に関するデータにとどまらず，当海域の地質構造，堆積史，堆積物の諸性質など，マンガン団塊の成因解明の上で貴重な成果が得られた。

II. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) の地形及び地質構造 (奥田義久・宮崎純一)

南太平洋ペンリン海盆において地形調査とエアガンを音源とした音波探査を行った。全体に水深 5100 から 5350 m の海盆が発達するが，調査海域中東部に N-S から NNE-SSW 方向に走る大きなトラフ状地形 (最深部は 6000 m 以上) が特徴的である。このトラフを境に西部の海底は平坦であり小さい海丘や凹地が点在し，一方東部は海底の起伏が激しく海丘の比高は 500 m を超える。

音波探査記録上では中央太平洋海盆で認められた Unit I 及び Unit II に相当する音響的ユニットが認められる。始新世または漸新世から第四紀までと推定される Unit I は局地的に薄く発達するのみであり，特に海丘などの基盤の高まりでは欠如している。これは本海域が長期にわたって強い底層流の影響下にあったことを意味する。Unit II は反射パターンから火山岩類の存在が示唆されるが近傍の深海掘削コアに認められたチャート質岩石の可能性もある。音響基盤はトラフの東部では西部に比べ平坦でありまた上位の Unit I が厚いことからトラフ軸を境に東西の構造運動，堆積史が性格を異にしている可能性が強い。

III. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) における 3.5 kHz サブボトムプロファイラーによる表層堆積層音響層序 (西村 昭・奥田義久・白井 朗)

GH 83-3 海域において海底表層堆積物の構造と採泥による堆積物試料の岩相区分、マンガング塊の分布との関係を明らかにするために 3.5 kHz サブボトムプロファイラーによる表層堆積層音響層序の検討を行った。

堆積層は音響基盤であるユニットを含めて 3 つに区分される。ユニット I は透明層で、ユニット II はユニット I の下位にあるときには半透明層であるが直接海底に露出するときには透明層である。ユニット III は不透明層で、海域の小海丘などの高まりを構成するほか音響基盤を含んでいる。

これらの音響層序は柱状試料の岩相との対比ができる。ユニット I はおそらく未固結の漸新世以降の遠洋性粘土-ゼオライト質粘土、ユニット II は半固結の遠洋性粘土、ユニット III は粘土岩と遠洋性粘土の互層とそれより下位の基盤岩を含むものに対応する。

マンガング塊はこの海域では、全域において高濃集で産出するが、上記で区分したユニット I の分布域においてはマンガング塊が産出しないか低濃集であるという特徴がある。

IV. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) の深海堆積物 (西村 昭・斎藤文紀)

ピストンコア・ボックスコアで採取した深海堆積物について、肉眼観察結果及びスミアスライドの鏡下観察結果により記載した。年代の推定はイクチオリス年代層序により行った。

調査海域の表層堆積物は生物遺骸の有孔虫や放散虫を含まない遠洋性粘土で、ゼオライトのフィリップサイトを多く含むものもある。これは調査域の採泥を実施した地点の水深が、炭酸カルシウムの補償深度である約 5,000 m より大きく、かつ調査域が生物生産量が大きな赤道域から南にはずれていることによる。

柱状試料に見られる岩相は大きく 3 分される。

- 1) 岩相区分 I; 漸新世以降の暗赤褐色遠洋性粘土-ゼオライト質粘土
- 2) 岩相区分 II; 暁新世後期-始新世の固結した暗褐色-暗赤褐色遠洋性粘土
- 3) 岩相区分 III; 白亜紀-暁新世前期の黒色粘土と黄褐色粘土岩の互層

ハイエータスは岩相区分の I と II の間にあり、固結度の違いやその境界にマンガングクラストが存在していることなどから長い時間の欠如を伴うものであると考えられる。

柱状試料において区分される岩相区分は、3.5 kHz サブボトムプロファイリング記録において認められた音響層序の区分とも良く対応がつく。

さらに、本海域堆積物の岩相区分は、南西方の南西太平洋海盆における DSDP 掘削点 Site 596 の層序ともほぼ一致している。

V. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) の深海堆積物—スミアスライドによる検討 (李治源)

ピストンコア・ボックスコアで採取した深海堆積物について、スミアスライドの鏡下観察を中心に記載した。スミアスライド法では、堆積物成分の絶対的な定量はできないが相対的な量比はよく把握できた。珪質微化石 (放散虫・珪藻・珪質鞭毛藻など)、石灰質微化石、魚の骨片、マンガングマイクロジュール、ゼオライト、及び粘土鉱物を識別した。

この海域の堆積物は粘土-シルトが優勢な泥質堆積物で、ゼオライトと魚の骨片が多く含まれるのが特徴である。これは、海域の水深が炭酸カルシウム補償深度より深いことと表層での一次生産の小さい海域であることによる。

VI. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) から採取された遠洋性粘土コアの古地磁気・岩石磁気 (山崎俊嗣)

南太平洋ペンリン海盆から採取された遠洋性粘土コアの古地磁気・岩石磁気学的研究を行った。本報告では、主に古地磁気層序と帯磁率について述べる。

コア P 398 と P 405 は交流消磁により二次磁化を除去可能で、古地磁気極性パターンから、ガウス期以降の堆積物であることが判明した。コア P 411 の 1.5 m 以浅も同様で、5 Ma 以降の年代と推定される。他のコアは交流消磁で除くことのできない二次磁化を持つ。この二次磁化は粘性残留磁化 (VRM) 起源と考えられ、熱消磁により除去可能であった。コア P 411 の 1.5 m 以深及び P 412 全体の熱消磁を行った結果、初生磁化方位を復元することができた。得られた伏角は、化石 (イクチオリス) より推定される年代から期待される古緯度と整合的であった。

帯磁率の周波数依存性の測定を行った結果、交流消磁で除けない二次磁化を持つ試料で周波数依存性がより大きいことが明らかになった。このことは、これらの試料では含まれる磁性鉱物の中で微小な超常磁性 (SP) 粒子の割合が大きいことを意味し、VRM 起源の二次磁化が SP 粒子に起因することを示す。コア P 398 と P 405 の帯磁率周波数依存性は年代が若くなるに従い減少し、ガウス期から現在に向かって磁性鉱物の平均的な粒径が大きくなってきていることを示唆する。

VII. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) における深海底堆積物の化学組成 (三田直樹・加藤甲壬)

ペンリン海盆において、ボックスコアラ及びピストンコアラによって採取された深海底堆積物について、 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , K_2O , MnO , P_2O_5 , $\text{H}_2\text{O}+$, Co , Ni , Cu , Zn , Pb の 16 成分を分析し、化学組成の特徴を検討した。表層堆積物 (海底面から厚さ 3 cm の試料) の Al/Ti 比は、7 点では海洋性玄武岩 (Al/Ti 比が 11) の値と同程度の 10.0-10.8 であるが、3 点では海洋性玄武岩の風化物とみられる値 (同比が 8.0-8.8) を示した。また、安山岩 (同比が 20) と海洋性玄武岩の中間値の試料 (同比が 15) が海底面から約 30 cm のところに、安山岩よりやや低い値の試料 (同比が 18.6) が深部で認められた。海底面から約 35 cm にいたる鉛直分布の特徴は、ボックスコア B 92 では SiO_2 と Cu が深くなるにつれて高濃度になる傾向を示し、 MnO と Co では低濃度になる傾向にあったが、ボックスコア B 95 では SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ni , Cu の 7 成分が深くなるにつれて高濃度になる傾向を示し、 MnO , Fe_2O_3 , Zn , TiO_2 , Al_2O_3 の 5 成分が低濃度になる傾向を示した。

VIII. ペンリン海盆南西部 (GH 83-3 海域) のマンガン団塊の産状及び広域的・局地的分布 (白井 剛)

本海域は最大濃集率 40 kg/m^2 に達する団塊の高濃集帯が大半を占めている。団塊は海水起源の s 型に相当する。海底での産状からは、1) 直径 1-2 cm の小型・不規則形、2) 径 7-8 cm に達する大型・球状、3) 露岩などを被覆するクラスト、に大きく分類される。これらの精査海域 ($60 \times 70 \text{ km}$) における地域分布は堆積物の各々 Unit I, II, III の分布と概ね一致する。すなわち 1) 全体及び 2) の外層は Unit I の堆積時に、2) の内部及び 3) のクラストは Unit I と II の間の堆積間隙 (西村・斎藤) 時またはそれ以前から成長を続けていると解釈できる。過去の調査を加味して広域的にみると、Unit II の分布域に伴う高濃集団塊域はマニヒキ海台の東縁に沿ってペンリン海盆西部に南北に帯上に広く連続する。これは南極底層水の流れによって長期間にわたって成長が続いてきたためであろう。

IX. ペンリン海盆南西部 (GH 83-3 海域) のマンガング塊の鉱物・化学組成, 及び内部構造 (白井 朗・三田直樹)

本海域のマンガング塊は vernadite を主成分とする海水起源の団塊である。これらは粒径・形態から 1) 大型球状団塊, 2) 小型の不規則形団塊, 3) 巨礫・露岩を覆ったクラストに大きく分類される。大型の団塊中心部には, 柱状コアの下部に認められる Unit II (漸新世-白亜紀) 中に埋没する団塊と酷似する古期団塊が存在すること及びその他の年代データからその成長開始時期は古第三紀あるいは白亜紀に遡る可能性が高い。一方直径 1 cm 以下の団塊及び大型団塊の外層は Unit I の堆積の時期に成長したと考えることができる。団塊の核をなす岩石は古期の堆積岩, 化石, 火山岩, 熱水性酸化物などであり, これらは上の解釈と矛盾しない。全岩の化学組成は若い時期に成長した部分で Co, Pb に富む傾向がある。また続成起源の busserite は団塊表面ではなく内部に薄層などとして存在し Cu, Ni, Zn を伴っている。

X. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) 産マンガング塊の化学組成の内部変化 (原田憲一・東谷一矢・崔宰豪・白井 朗)

ペンリン海盆産マンガング塊は, 球形を基本として多様な形態及び粒径変化を示すが, 起源に基づく従来の形態分類上では全て s 型団塊 (海水起源) に属する。本研究ではほぼ球形でサイズが異なる団塊を 14 個選んで分析試料とした。室温で乾燥させた試料を減圧容器中でゼラチン溶液に浸し固化した後, 上下判定を行い垂直に試料を切断した。小型団塊 4 個, 大型団塊 2 個の片方の断面を反射顕微鏡で観察した結果, 微細構造に基づいて 6 層の特徴的な成長層が上下両方向に対称に識別できた。この 6 層は産地により厚層の変化はあるものの, 異なる団塊間でも良く対比されほとんどの試料に欠落がない。一方の断面では垂直方向に各層を剥がして原子吸光法によって Fe, Mn, Cu, Ni, Co 含有量を求めた。団塊内での化学組成変化は核を挟んで上下にほぼ対称であることは, 形成過程で団塊が転動したためと解釈できる。表層堆積物の軟 X 線像に生物攪乱が認められないことから転動の原因は底層流と判断できる。全試料共通に Co 含有量が内側から外側へ向かって 1 桁近く増加するのは, 現在まで徐々に成長速度が低下したためかもしれない。表面から 2 番目の層への Cu, Ni の濃集は表層堆積物の初期続成作用の影響を示唆する。以上の団塊の構造・組成などの内部変化は底層流の消長などに伴う海底表層の堆積環境の変化によるものと判断され, 本研究によって団塊が海洋環境の変遷を記録している可能性が実証された。

XI. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) の地殻熱流量 (山崎俊嗣)

南太平洋ペンリン海盆にて地殻熱流量の測定を行い, 11 地点で新たな熱流量値を得た。全 11 地点の平均値は $62.0 \pm 12.3 \text{ mW/m}^2$ であり, 特に精度の高いと考えられる 7 地点の平均値は $60.9 \pm 3.6 \text{ mW/m}^2$ である。Stein & Stein (1992) による海洋地殻の熱流量と水深の年代依存性についてのモデル (GDH 1) と比較すると, 観測された熱流量値及び水深 (堆積層の補正後の基盤深度, 約 5400 m) は, 白亜紀後期の地殻年代 (80 Ma 程度) に相当する。ペンリン海盆はマニヒキ海台の形成後の, 白亜紀地磁気静穏期 (83-124 Ma) に形成されたと考えられている。従って, ペンリン海盆の熱史として, 1) 白亜紀後期に海底が形成された後 South Pacific Superswell のホットスポットの熱的影響を受けていない, あるいは, 2) 白亜紀中期に海底が形成され, その後ホットスポットの熱的影響のある程度受けた, の 2 つの可能性が考えられる。

XII. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) の底層水温 (山崎俊嗣)

南太平洋ペンリン海盆の16地点において、底層水温の鉛直プロファイルの測定を行った。調査海域 (GH 83-3 海域) はマニヒキ海台の南東に位置する。測定は地殻熱流量測定と併せて行い、相対精度は 0.01°C 、絶対精度は 0.2°C である。水深4800 m以深では、調査海域の南東方向に向かって底層水温が徐々に増加することから、調査海域における底層水の平均的流向は南東方向と推定される。水深4500 m以浅では水温の地域差は無くなる。マニヒキ海台北側のGH 82-4 海域と比較すると、底層水温はGH 83-3 海域の方が 0.08°C 程度高い。GH 82-4 海域では東向きの底層水の流向が推定されていることと併せてこれらの結果を解釈すると、マニヒキ海台、ノバカントン・トラフ南側のリッジ及びライン諸島に囲まれた地形的な通路に沿って、マニヒキ海台の北側及び東側を時計まわりに底層水が移動していることが推定される。従って、現在はペンリン海盆の底層水は北方から供給されており、サモア海盆から Aitutaki Passage を通じての太平洋底層水のペンリン海盆への流入はほとんどないと考えられる。

XIII. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) における重力異常、地磁気異常 (山崎俊嗣・奥田義久)

白嶺丸 GH 83-3 航海において、南太平洋ペンリン海盆の重力・地磁気異常の測定を行った。

フリーエア重力異常は、調査海域中央部に存在する北北西-南南東走向のトラフ/リッジ・システムに対応して ± 20 mgalの異常を示すほかは、 ± 10 mgal程度である。調査海域北部は南部に比べ正異常が卓越するが、水深はほとんど差がない。従って調査海域北部は若干アイソスタシーからはずれていることが示唆される。

地磁気異常は、調査の前半は機器のトラブルにより測定ができなかったため、測線が充分でない。従って断定的な結論を導くことは困難であるが、縞状磁気異常は確認されなかった。異常の振幅は ± 300 nT以内と比較的小さく、波長は短い。これらのことは、ペンリン海盆が白亜紀の地磁気静穏帯に属するとする従来の考えに矛盾しない。

XIV. ペンリン海盆 (GH 83-3 海域) における深海堆積物及びマンガン団塊の工学的特性 (鶴崎克也・山崎哲生・半田啓二)

マンガン団塊採掘のための基礎資料を得る目的で、船上において、ボックスコア及びピストンコアで得られた深海底堆積物試料について、含水比、ペーン剪断強さ、コーン貫入抵抗及び堆積物とノジュールとの間の付着力を測定した。また、マンガン団塊の大きさと重さとの定量的関係を把握するため及び海底写真からマンガン団塊の賦存量を推定する方法の基礎資料を得るため、個々の団塊についてその長径、短径、厚さ及び重量を測定した。各測定手法は、ほぼこれまでの研究航海と同様である。

7点のボックスコア試料の含水比、ペーン剪断強さ、コーン貫入抵抗の測定結果によれば、含水比は試料深さ4 cmで300%、30 cmで200%と大きく減少するが、それ以深でほとんど変化がみられない。ペーン剪断強さは、試料深さ4 cmで 10 g/cm^2 、16 cmで 30 g/cm^2 と増大し、30 cmでは 40 g/cm^2 と微増するが、それ以深ではほぼ一定となる。また、コーン貫入抵抗は試料深さ4 cmで 70 g/cm^2 、10 cmで $150\text{--}200\text{ g/cm}^2$ と急激に増大し、それ以深でも、30 cmで $300\text{--}400\text{ g/cm}^2$ と漸増する傾向を見せている。これらから、深海底堆積物の工学的特性としては表層から20 cm程度までは水分が減少し、強度が増大する傾向があるが、それ以深40 cm程度までは変化が乏しいといえる。含水比とペーン剪断強さ及びコーン貫入抵抗とは逆の相関を示しペーン剪断強さとコーン貫入抵抗とは正の相関を示す。ペーン剪断強さから計算した鋭敏比は2.5-3.5であった。

16本のピストンコア試料において50 cm毎にペーン剪断強さ及び含水比の測定を行った結果で

は、コア長全般にわたって同一の岩相を示す試料の多くは深度とともに含水比が単調に減少し、ペーン剪断強さが単調に増大する。例えば P 408 試料（表層から 6 m まで沸石質砂質粘土）では、含水比が 200% から 150% に、ペーン剪断強さが 20 g/cm² から 100 g/cm² に深度とともに単調に変化する。他のコアも概ね類似した傾向を示す。

マンガン団塊と堆積物間の投影単位面積当たりの付着力は 5-15 g/cm² であり、ばらつきが大きいのでこれまでのデータを総合し、堆積物の強度なども考慮して解析する必要がある。

マンガン団塊の個々の大きさ及び重量測定（48 地点 6000 個以上）に基づく粒径分布では、長径 1-2 cm が 36 重量% を占めるが累積 50 重量% にあたる長径は 4.2 cm である。マンガン団塊の長径、短径、厚さの間には一次式で、長径と重量の間には三次式で近似される関係があることが明らかになった。