

中部太平洋のマンガング塊

中央太平洋海盆での賦存率・品位・形態の関係を中心として

水野 篤行・盛谷 智之 (海洋地質部)

まえがき

深海底マンガング塊に関する研究は過去5年の間に世界的に急速にすすみ、とくにそれまでは概念的にしかわかっていなかった海底における分布状況、実際の産状を基礎とした諸性質、地質状況との関係などの諸知識が蓄積されてきた。そしてこれらに関しかなりの一般性があるらしいということがわかってきた。とはいってもの地域的なデータはまだ不足であって、今後のより詳しい研究が個々の海域について必要とされる。

マンガング塊の賦存率が全般的に有望域とみなされている海域においても大きな変化に富むということは、バルディビア号による東太平洋の調査結果によってはじめて具体的に示された。ハワイ南東方の東西約2,000kmにわたる“有望海域”では第1図に示すように団塊の密集部は最大200km程度“島”として点在し、全体として多産部は比較的少ないということが明らかにされた (SCHULTZE-WESTRUM 1973)。

一点におけるマンガング塊の賦存率・品位のデータがともに発表されている例は少ないが、最近 MENARD・FRAZER (1978) は太平洋のマンガング塊で両者のデータがあるものについて第2図のような関係図を作成した。そして全般的傾向としては賦存率とニッケル・銅品位は

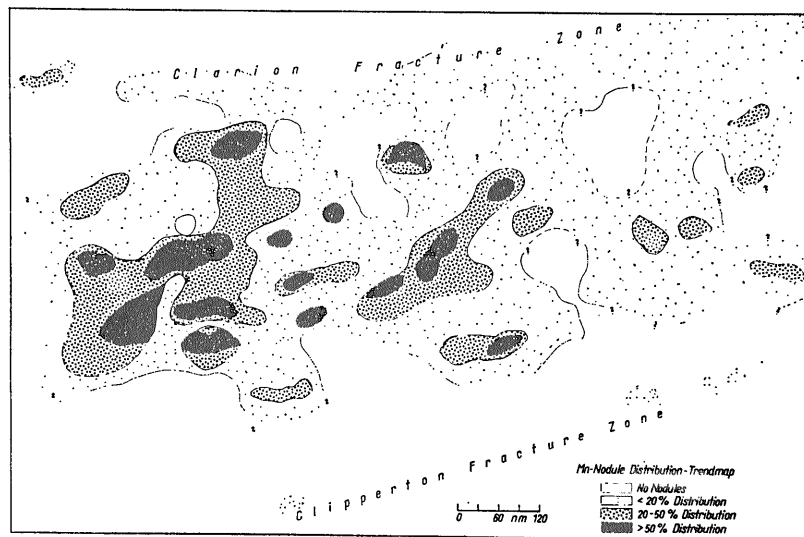
逆相関の関係にあるのではないかと述べ、団塊資源の過大評価の可能性に対し警告を発している。

筆者らを含む地質調査所の研究グループは既に本誌上でも紹介しているように (水野・盛谷 1977)、中部太平洋海山群南方、マーシャル群島東方、ライン諸島西方の中部太平洋 (中央太平洋海盆) のマンガング塊の研究をすすめているが (第3図)、その間 GH 76-1 海域 (5°~10°N 170°~174°W) のデータにもとづいて、賦存率とニッケル・銅品位の間に同様に逆相関の関係があることを述べた (MIZUNO・MORITANI 1977; 水野 1977)。ここではその関係はまた団塊の形態型、堆積層の音響的層序と関連している。これらは広域的にも狭域的にもなりたっていることが多い。さらに最近の研究 (USUI 1978; 白井・他 1978) によれば、団塊の形態型・鉱物相・金属量の間一定の関係が存在している。

本稿ではこれまで得られているデータに基づいて、中央太平洋海盆におけるマンガング塊の賦存率と品位との関係、それらに関連する諸データを総括的に紹介する。

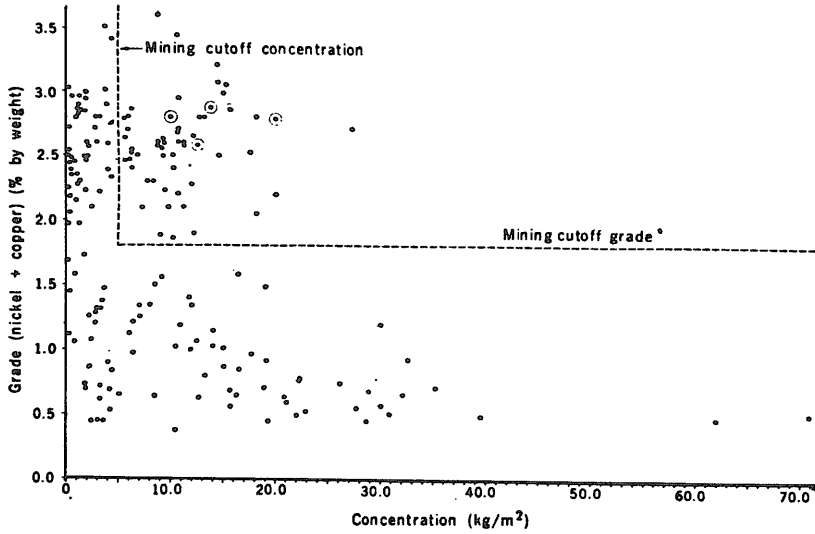
マンガング塊の賦存率と品位との関係

第4図は中央太平洋海盆の180°以東の海域の標記の関係 (団塊の湿重量—Ni・Cu 品位) をまとめたものであ

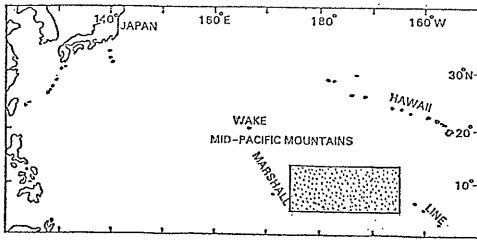


第1図
ハワイ南東方海域でのマンガング塊賦存率 (被覆率) の分布 (SCHULTZE-WESTRUM 1973 による)

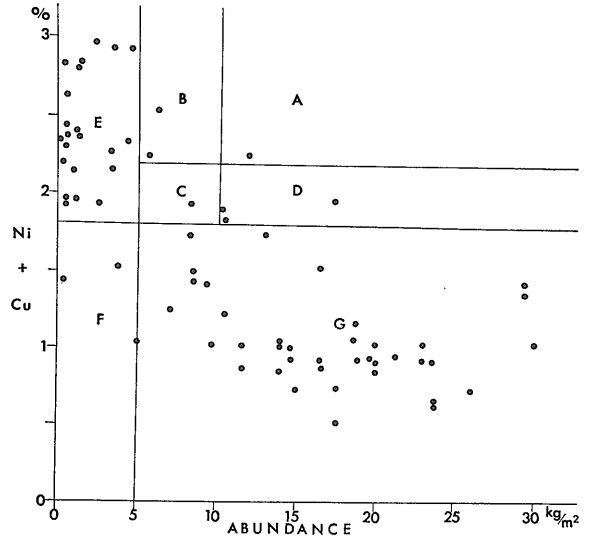
脚注 本稿は 本年9月に東京で開催された第5回国際海洋開発会議での発表論文 (MIZUNO and MORITANI 1978) の内容を中心とし、一部資料を追加あるいは削除したものである



第2図
太平洋のマンガン団塊の賦存率と Ni・Cu 品位との関係 (Menard・Frazer 1978 による) Cutoff grade と Cutoff concentration は Holser (1976 未発表) Kildow・他 (1976 未発表) にしたがう (Menard・Frazer 1978)



第3図 地質調査所による中部太平洋マンガン団塊の研究域



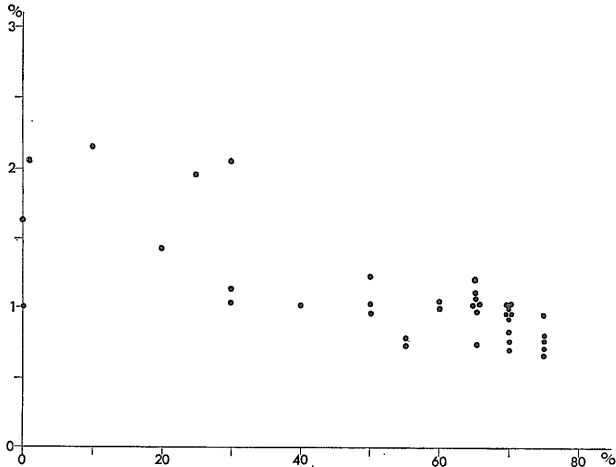
第4図
中央太平洋海盆 (180° 以来) におけるマンガン団塊の賦存率 (kg/m²) と Ni・Cu 品位の関係 A-G の各境界はまったく人為的に設定したものである (第14図参照)

る。また第5図はその一部 GH77-1 海域でのカメラ撮影結果による団塊の海底被覆率と Ni・Cu 品位との関係を示したものである。両図とも第2図に引用した MENARD・FRAZER による相関図と類似した傾向が認められる。

第4図は 中央太平洋海盆では全体的に団塊の賦存率はかなり高いが もし mining cutoff grade, mining cutoff concentration を HOLSER や KILDOW 他 (MENARD・FRAZER 1978) にしたがってそれぞれ 1.8% (Ni+Cu) 5 kg/m² に設定すると有望な団塊はごく一部に限られるということを示している。

マンガン団塊の賦存率・品位・形態型の関係
中央太平洋海盆のマンガン団塊は形態的に Sr SPr SEr Db Ss/Sps DPs ISs IDPs V に分類することができる (MORITANI・他 1977)。それぞれの特徴については第1表を参照されたい。これらは団塊の表面の特徴によってVを除き 表面が平滑な s (smooth) 群と粗な r (rough) 群とに大きくまとめることができる。両者の例を第6図に示した。産状との関係では r 群は堆積物中での埋没部分が多いタイプ s 群は海中での露出部分が多いタイプであり それぞれ埋没型・露出型とよぶこともできる。

さて 第4図の相関図上に個々の形態型をプロットし



第5図 中央太平洋海盆の一部 (GH77-1 海域) におけるマンガン団塊の賦存率 (被覆率) (横軸) と Ni·Cu 品位 (たて軸) の関係 (被覆率はプーマランカメラによる撮影結果にもとづいて目視算定; 盛谷・他の未発表資料による)

第1表 マンガン団塊の形態型

型	大きさ	形	表面の特徴
Sr	小～中	球/だ円体状	粗 (粒状または微ブドウ房状)
SPr	小～中	球/だ円体状/ゆ着状	粗
SEr	中～大	球/だ円体状	粗～ブドウ房状
Db	中～大	円板/だ円体状	粗～ブドウ房状
Ss/SPs	小～中	球状/ゆ着状	なめらか (ないし微粒状)
DPs	小～中	平板/円板/ゆ着状	なめらか
IPs	大	不規則/球状/平板状/角球状/確碎状	なめらか
IDPs	大	不規則/円板状/平板状/破砕状	なめらか
V	小～大	不規則	

型: 大文字は形をあらわし 小文字は表面の特徴 (r-粗 s-なめらか) をあらわす 大きさ 小: <4 cm 中: 4~6 cm 大: >6 cm

(MORITANI 他 1977による)

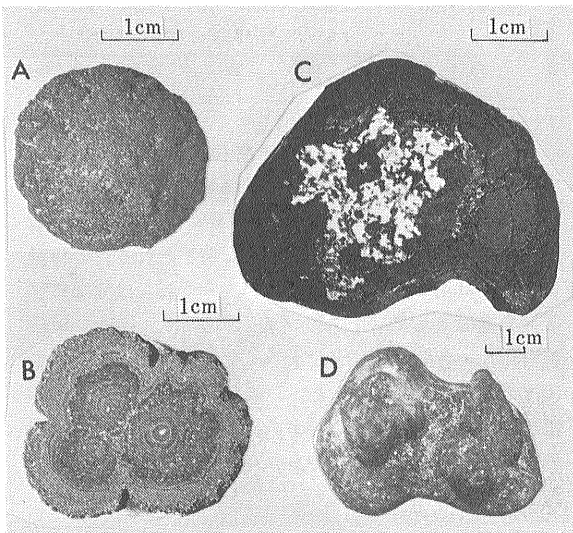
たものが第7図である。図にみられるように r 群 s 群は一部オーバーラップしながらもそれぞれ明瞭に認められるグループをつくっている。しかしそれぞれのこまかい形態型はかならずしもよいまとまりを示していない。とくに s 群の場合に顕著である。このことはマンガン団塊の賦存率と Ni·Cu 品位が形の相違 (形態型記号の大文字で示される) よりむしろ表面の特徴 (小文字で示される) の相違 (r 群—埋没型か s 群—露出型か) に大きく関係していることを示すものである。したがって この面だけからみる限り こまかい形態分類はそれほど意味がなく r 群・s 群の識別が重要なものと思われる。なお第7図の上で Sr SPr がそ

れぞれある程度のまとまりを示すがこれが有意なものかどうかについては今後の検討を要する。

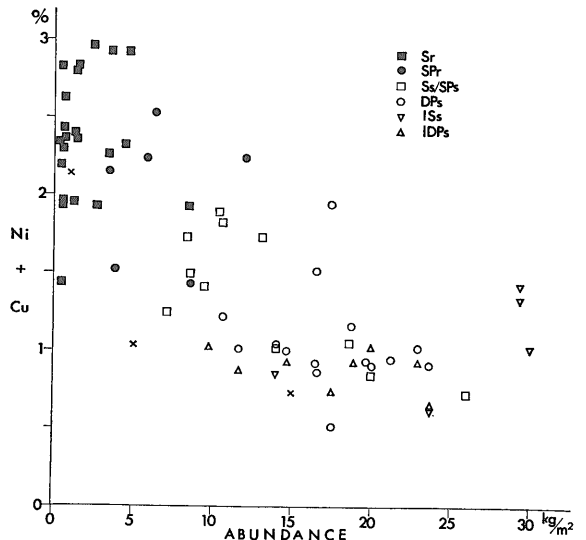
マンガン団塊の賦存率・品位の近距離間での変化

この問題についてはごく一部の海域についての資料 (それもかならずしも十分ではない) を得ているだけである。ここでは前述の関係がよくあらわれている中央南部 (5°N 173°W 付近) での1例を紹介する。

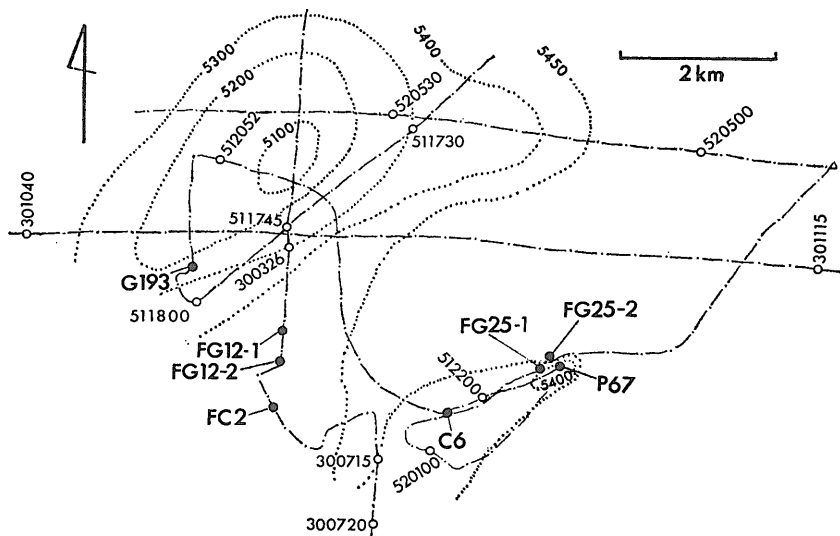
St. 414 付近は水深 5,500~5,600 m の海底上から高まる比高数百 m の小さな海丘 (Abyssal hill) である。第8図に示すように 500~2,000 m 間隔のサンプリングとカメ



第6図 マンガン団塊の r 群と s 群の例
A Sr 型 B SPr 型 C ISs 型 D DPs 型



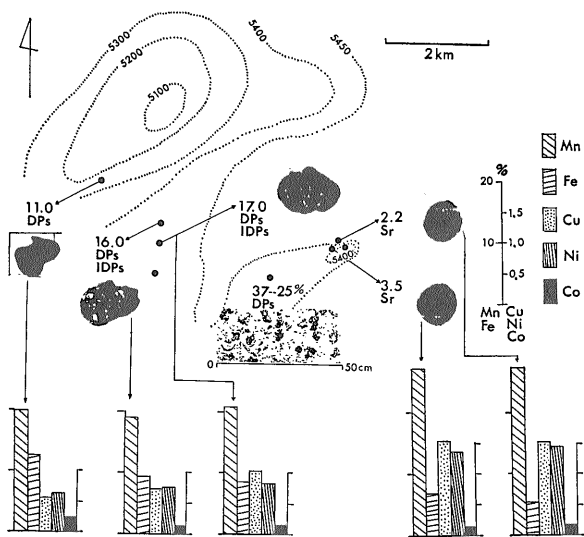
第7図 マンガン団塊の形態型と賦存率—Ni·Cu 品位との関係 (中央太平洋海盆—180° 以東) 図中×印は形態型不明のものを示す



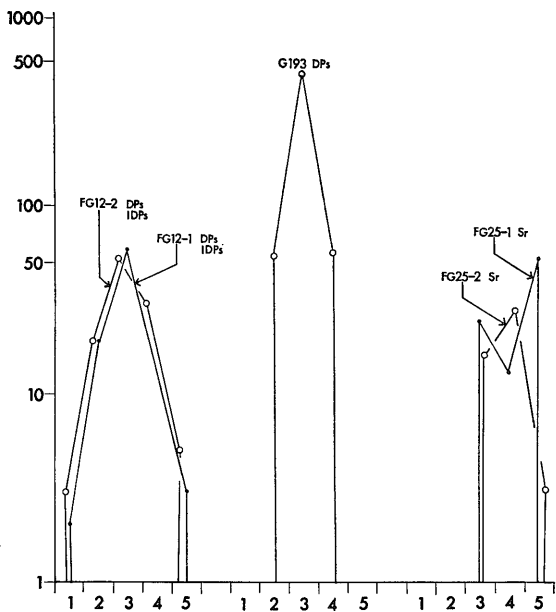
第8図
5°N 173°W 付近の測点・測線図
点線は地形等深線 (m) を示す
資料出所：クルーズ・レポート No. 8 (1977)

ラ撮影が行われ、また測点を結んで エアガン 3.5 kHz PDR の記録が得られた。得られた個々のデータについてはクルーズレポート No. 8 (MIZUNO・MORITANI eds., 1977) を参照されたい。第9図上で測点位置と航跡は NNSS 推測航法による実時間位置の修正計算結果 (ISHIHARA・ISHIBASHI 1977) によりプロットしたもので、等深線は測線・測点沿いの 12 kHz PDR 読みとり値の地形 MATTHEWS' table による補正值に基づいて筆者らが描いたものである。

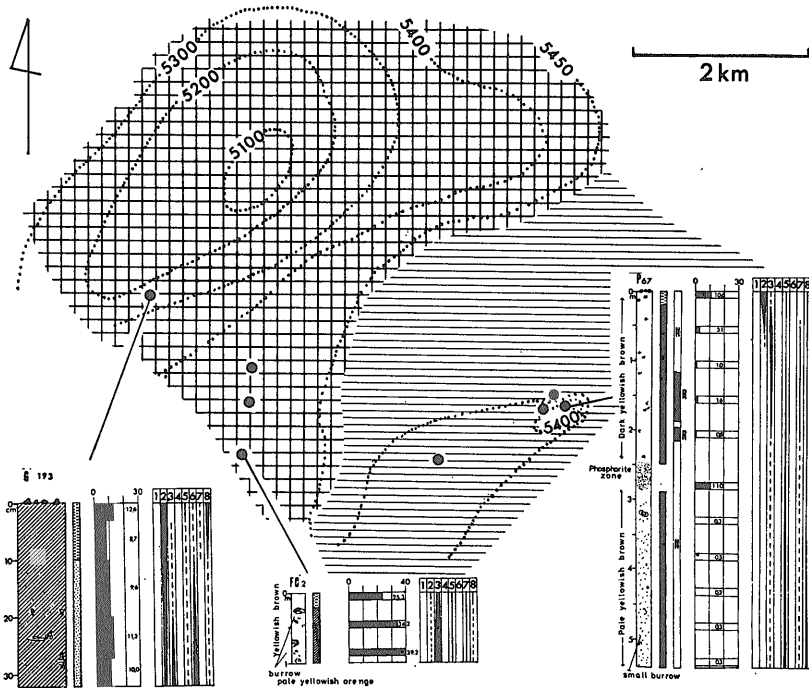
第9図は各測点のマンガン団塊の形態型・分析結果を示したものである。海丘主部では s 群の団塊が 11~17 kg/m² の賦存率で分布し、その東方約 3~4 km の地点では r 群の団塊が 2.2~3.5 kg/m² の賦存率で分布する。第10図は船上で測定された団塊の大きさ (直径) の頻度分布を示す。大局的傾向として海丘主部の s 群団塊は 2.0 g/cm³ の密度で 2~4 cm 径のものを中心として最大 6~8 cm に達し、いっぽう、東部の r 群団塊は 1.95 g/cm³ とやや密度が小さく、またより小型で 2~4 cm 以下の大



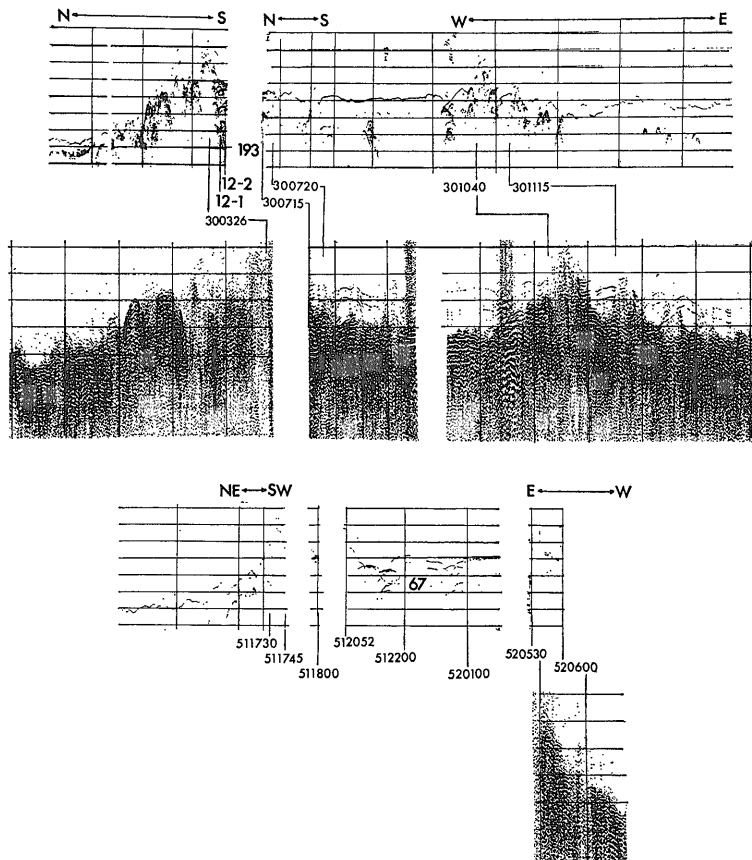
第9図 5°N 173°W 付近のマンガン団塊の形態型 賦存率と含有金属量
資料出所：クルーズ・レポート No. 8 (1977)



第10図 5°N 173°W 付近におけるマンガン団塊の大きさの頻度分布
たて軸 マンガン団塊の個数 横軸 マンガン団塊の直径
1-8~6 cm 2-6~4 cm 3-4~2 cm 4-2~1 cm
5-1 cm 以下



第11図
5°N 173°W 付近の堆積物とエアガン・
3.5 kHz PDR 記録による透明層の分布
格子部・平行線部はそれぞれ透明層の非
発達域・発達域を示す
資料出所：クルーズ・レポート No. 8
(1977)

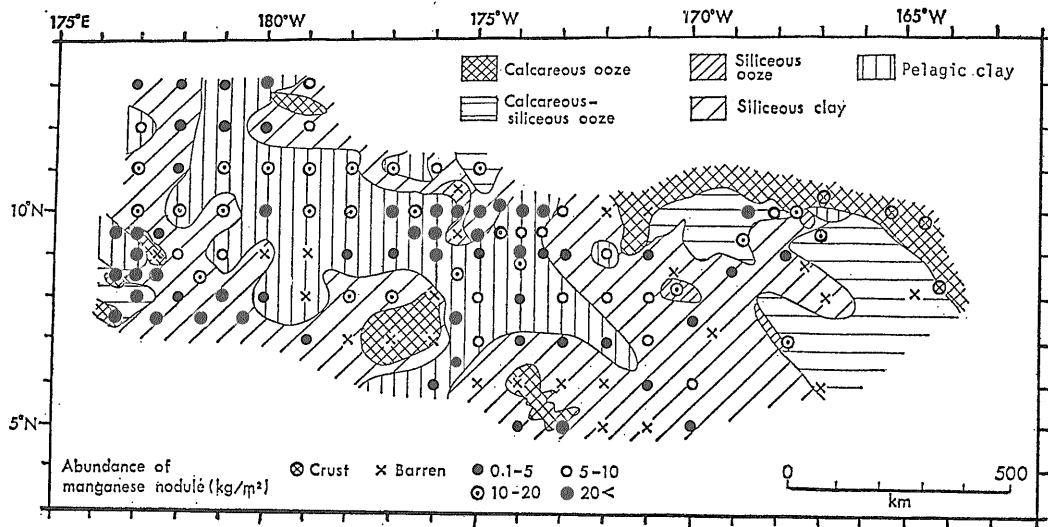


第12図 5°N 173°W 付近でのエアガン・3.5 kHz PDR 記録
資料出所：クルーズ・レポート No. 8 (1977)

きさのものからなっていることがわかる。

含有金属量については 第9図にみられるように Mn Ni Cu は r 群でより高く Fe は s 群でより高い。Co についてはほぼ同様であるが どちらかという s 群の方に多い。Ni+Cu は r 群では 2.9~3.0% s 群では 1.3~1.8% と前者は後者の約 2 倍の値を示している。第4図上の賦存率—Ni・Cu のタイプでいうと海丘主部のもの(s 群)は G 型に 一部 D 型に また東部のもの(r 群)は E 型に属する。

第11図は各測点の堆積物のサンプリング結果とエアガン記録上の透明層の発達状況を示したものである。海底下約 10~20 cm の範囲内の堆積物はいずれの場合にでも珪質粘土(放散虫等の珪質生物遺骸を 10~30% 有する)であるが その下位では地点ごとに異なり G193 では石灰質軟泥 FC 2



第13図 中央太平洋海盆におけるマンガン団塊の賦存率分布と堆積物分布
資料出所：クルーズ・レポート No. 4 (1975) クルーズ・レポート No. 8 (1977) および盛谷・他未発表資料

では珪質軟泥 P 67では遠洋性粘土となっている。

同図の透明層の発達状況は第12図に示すエアガン 3.5 kHz 記録から描かれたものである。堆積層全体の発達状況は第12図にみられるように海丘主部と東部とで著しく異なっている。すなわち海丘主部では透明層(後述ユニット I に属する)の発達が非常にわが 東部では透明層が 200 m をこえる厚さをもって分布する。

以上のように St. 414 付近では さきに述べた賦存率と Ni・Cu 品位の関係が近接した地点の間で顕著にあらわれており ここではそれが地形・表層の堆積物とは無関係であるが 堆積層全体 とくに透明層の発達状況と関連している。なお臼井朗(個人的談話)によれば 東部の r 群団塊では構成鉱物の 10 Å マンガンナイト(トドロカイトに類似する)の量が海丘主部の s 群団塊より多く Ni・Cu の富化と 10 Å マンガンナイトとの間に成因的関係があることが示唆されている。

マンガン団塊の賦存率・品位の広域的变化

第13図は現在研究をすすめている中央太平洋海盆域の東西約 2,000 km 南北約 500~600 km の範囲のマンガン団塊の賦存率分布と堆積物分布を示したものである。第1図に示した東部太平洋の調査結果と東西の距離がほぼ同一なので 中部・東部両太平洋の団塊賦存率分布の状況を比較しやすい。この図は 基本的には約 110 km (経緯度 1°) 間隔の 部分的にはより短距離の間隔のグラフサンプリングとボックスサンプリングによるサンプリングの結果に基づくものである。したがってあらい分布図であるが 大局的な傾向に関しては 測点間を結ぶエアガ

ン 3.5 kHz PDR 記録から類推する限り ある程度信頼性のあるものと考えている。

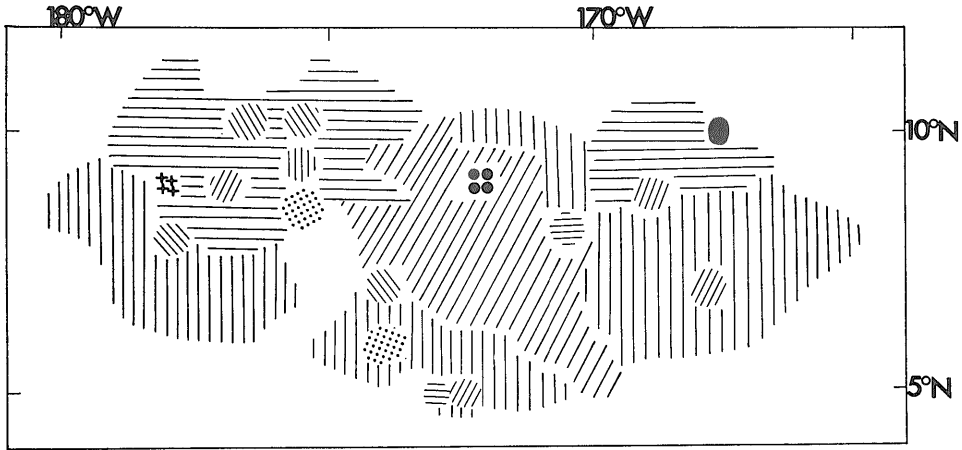
最高濃集域 ($20 \text{ kg/m}^2 <$) は 西・中部に $400 \text{ km} \times 150 \sim 200 \text{ km}$ 程度の範囲として分布する(そのなかの一部低濃集域も含まれている)ほか 東・南・北西部にごく小範囲のスポットとしても分布する。

高濃集域 ($10 \sim 20 \text{ kg/m}^2$) は西半部の中北部域にまよって分布するほか諸所にそれぞれ小範囲で分布する。

中濃集域 ($5 \sim 10 \text{ kg/m}^2$) は主として海域の中部にまよった分布を示す。低濃集域 ($0.1 \sim 5 \text{ kg/m}^2$)・無団塊域は北西隅 南半部~東部にかけて広域に分布する。

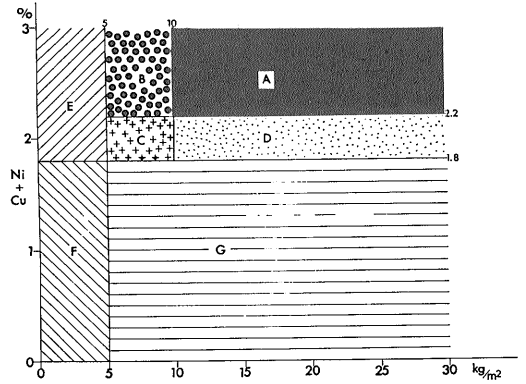
団塊の形態・品位分布の詳細については図示しないが第7図の関係から また 第8図から r 群・s 群の分布 Ni+Cu 品位の分布のおおよそを想像していただけるであろう。

第14図は 賦存率・品位ダイヤグラムを第4図に示すような区画にわけ 180° 以東の海域についてそれぞれのタイプの分布を示したものである。第13 14両図によって示されているように 少なくとも 180° 以東においては全般的傾向として 多産部は Ni・Cu に著しく乏しく貧産部は逆に Ni・Cu に富んでいる。全体的に Mining cutoff grade, Mining cutoff concentration 以下のもの(タイプ EFG)が広く分布し 以上のもの(タイプ A-D)はごく限られた散点的分布を示す。後者の個々の拡がりについてはまだほとんど資料が得られていないが かりに最大に見積ってもせいぜい 100 km 平方程度

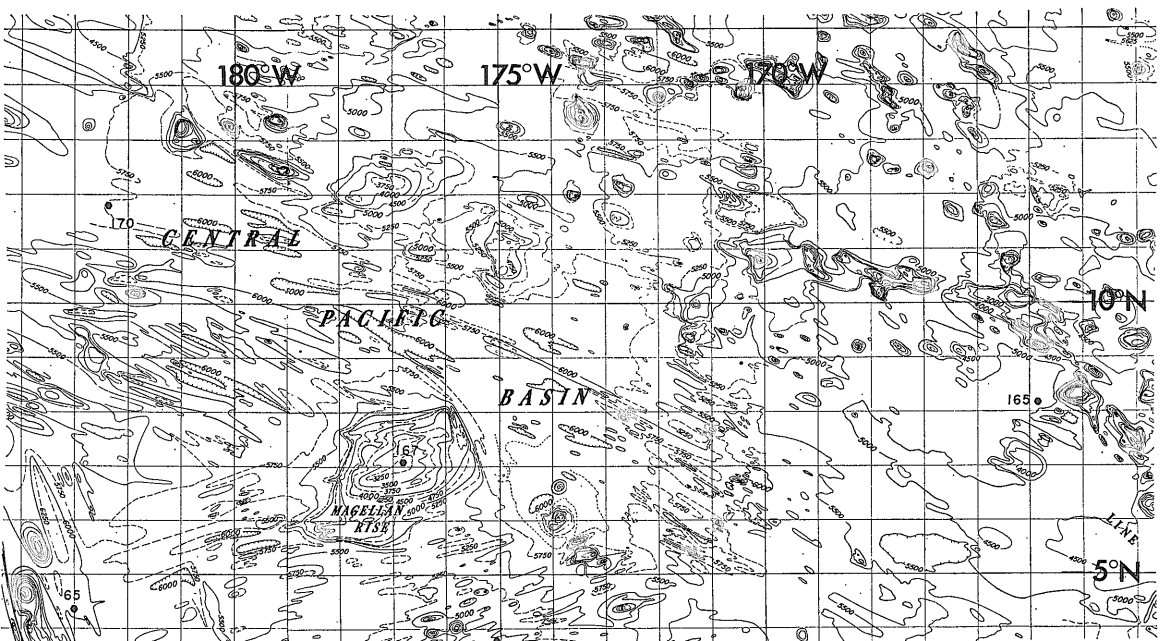


第14-1図 中央太平洋海盆(180° 以東)におけるマンガン団塊の賦存率—Ni·Cu の分布
A B...の記号については第4図を参照されたい

(実際には多分それ以下)であろうと思われる。 10° N 167°30'W 付近にみられるタイプAは1m²あたりの賦存率と Ni·Cu 品位に関する限りは First generation mine site となり得るかもしれないが その拡がりの点では—今後のチェックを要するが—決して有望ではないであろう。 しかし今後の他海域における探査の基礎としてこのようなタイプについて詳細な関連データを得た上 成因的検討を行うことは有意義なことと考えられる。



第14-2図

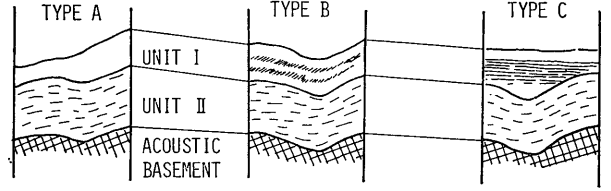


第15図 中央太平洋海盆の海底地形図 (WINTERER・EWING・他 1973 による)
過去4回の研究航海の結果 部分的にはかなり修正を要する箇所があるが 大要については問題がない

マンガン団塊の分布と関連諸データ

海広地形との関係 第15図は海域の海底地形の概要を示す。マジェラン・ライズその他の海山上 マジェラン・ライズ東側とクリマス海嶺の西側などにひろがる深海平原 (Abyssal plain) ではマンガン団塊の発達は著しく貧弱ないし皆無である。それら以外の主として西北西一東南東性の線状配列を示す深海盆一海丘地域においては 全体としては団塊の発達と地形との間に規則的な関係が認められない。ただしこの場合 165°~170°W の範囲では 海丘の間に分布する小凹地に比較的団塊が多く また 175° 付近では地形的にある程度独立的な海盆の縁辺部に 180° 以西では海丘群域に団塊が多いというような地域性がある。なお その海丘群と類似した地形的特徴をもつ 171° 付近では団塊の発達がわるい。

堆積物との関係 第13・14図にみられるように 賦存率・品位ともに堆積物のタイプとの間に全体的に規則的な関係は認められない。狭域内においてもすでに述べたように同様な堆積物であるにもかかわらず 団塊の形態型・賦存率・品位が数 km 離れた地点で 大きく異なる例がある (St. 414 付近)。GH 76-1 海域 (171°~174°W) に関しては 珪質粘土は微化石の特徴から第四紀に 遠洋性粘土は第三紀中頃に形成されたものと考えられ (ARITA 1977) そして全体的には r 群は珪質粘土に多く s 群は遠洋性粘土に多い傾向があることから両者の団塊は形成の時代あるいは古環境の相違を反映したものであるかもしれないとされた (水野・盛谷 1977)。これらの点についてはその後他域での検討がすすんでいないので 依然として今後の問題として残されている。しかし時代については別として (資料がないので) 形

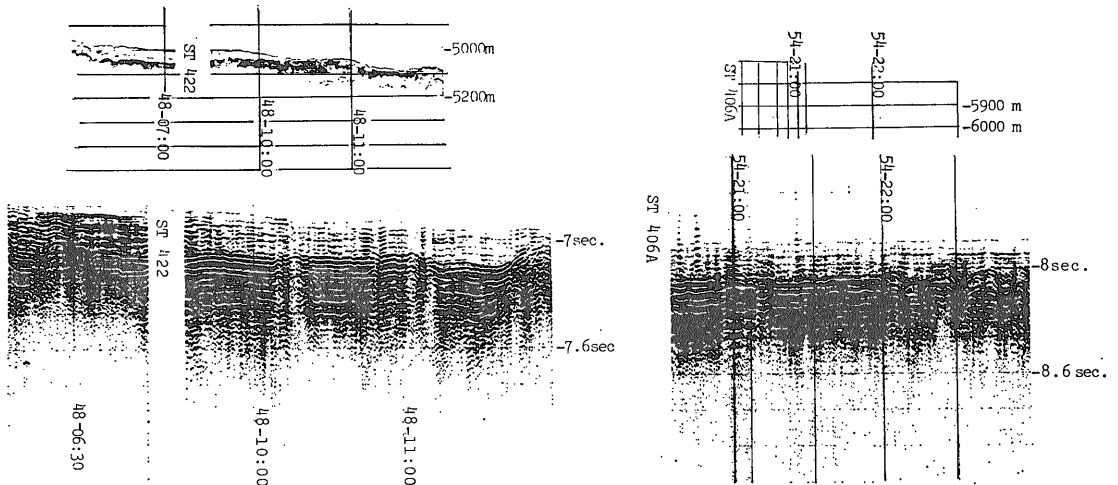


第16図 ユニットIの3つのタイプを模式的に示す (TAMAKI 1977 による)

態型と堆積物のタイプとの関係については海域全体としては普遍的な特定の関係はなさそうである。

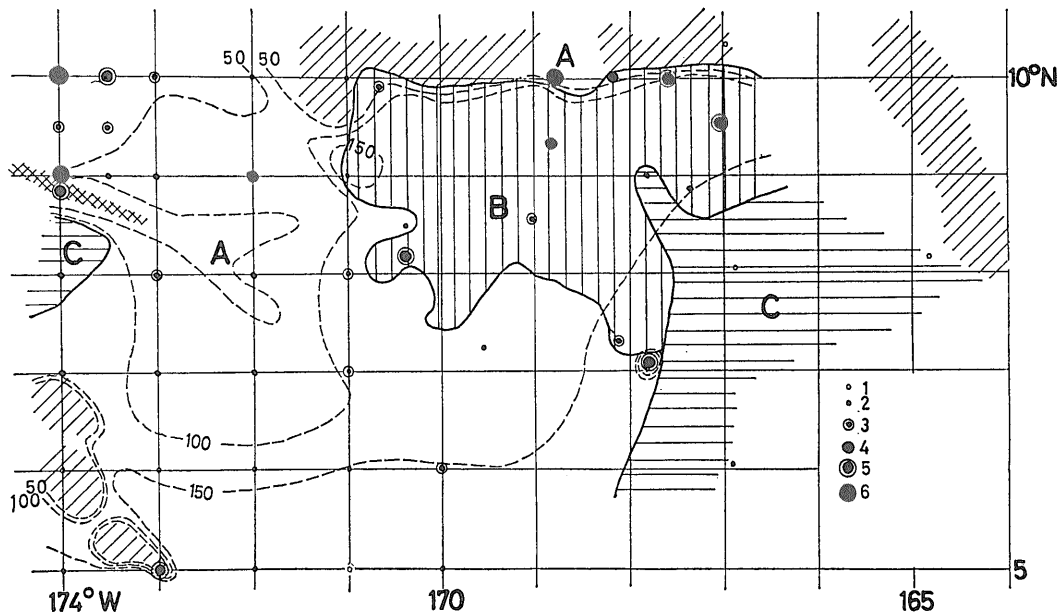
音響的層序との関係 St. 414 付近においてはマンガン団塊の形態型・賦存率・品位と透明度の発達状況の間に少なくとも見かけ上関係があることをすでに述べた。この海域全体の堆積層はエアガン記録上でユニットI (第四紀一漸新世ないし始新世中期) ユニットII (漸新世ないし始新世中期一白亜紀後期) にわけられ ユニットIIは海域を通じてほぼ一様に分布するが ユニットIは厚さの変化に富み また音響的層序の変化もみられタイプABCにわけられる (TAMAKI 1977)。タイプAは第12図の記録の大部分にみられるように透明層だけからなるもの タイプB Cは第17図に示すように それぞれ半不透明層 タービダイト層 (後者は DSDP 資料によって確認されている) を含むものである。

第18図は GH 74-5 76-1 海域での各タイプの分布ならびにユニットIの等層厚線を示す。あわせてマンガン団塊の賦存率を記してある。タイプC (深海平原を構成する) では団塊はほとんど認められない。タイプ

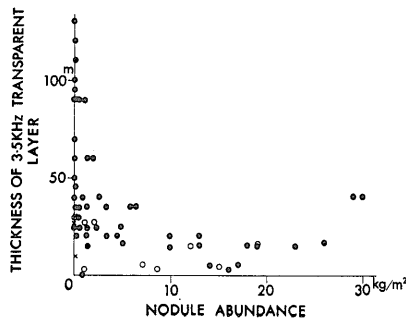
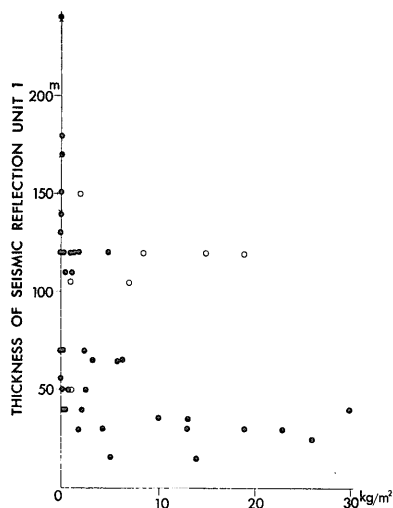


第17図 ユニットIのタイプB (左半) とタイプC (右半) (TAMAKI 1977 による)

左半の上図は 3.5 kHz PDR 記録



第18図 165°~174°W (GH 74-5 76-1 海域)におけるユニットIの各タイプの分布 (TAMAKI・他 1977 による) マンガン団塊の賦存率 (kg/m^2): 1-なし 2-1以下 3-1~5 4-5~10 5-10~20 6-20~30 斜線部 斜格子部はそれぞれ海山・マジェラン舟状海盆 破線はユニットIの等厚線



第19図 マンガン団塊の賦存率とユニットI (上図) 3.5kHz透明層 (下図)との関係 (TAMAKI・他 1977 による) 黒丸・白丸はそれぞれエアガン記録上のタイプA B ×はタイプC.

Aでは透明層が 50 m 厚以上だと団塊の発達が変わるく $10 \text{ kg}/\text{m}^2$ 以上の高濃集は 50 m 厚以下のところのみに認められる。タイプBでは 3.5 kHz PDR 記録にあらわれている最上部の透明層の厚さに団塊の発達が関係しているように思われる (第19図 下図)。音響的層序の構成堆積物の諸性質については部分的には DSDP 資料から類推可能であるが 全体的にはまだほとんどわかっていない。しかしこのような諸関係はマンガン団塊の成長・発達が漸新世ないし始新世中期以降の堆積様式あるいは堆積速度と何らかの関係しているらしいことを示唆している。なお第19図上図にみられるように タイプAで透明層の厚さ以下の場合に団塊の発達が多様であることは解釈が困難なところであって それ以外の要因も団塊の発達に関係していることを示すものであろう。今後の検討課題の一つとして残されている。

マンガン団塊の r 群・s 群と鉱物相との関係
r 群・s 群が Ni・Cu 含有量を大きく異にしていることをさきに述べた。USUI (1978 未発表) は両タイプの団塊の鉱物学的・地球化学的研究を行い 両者の鉱物相の相違を明らかにした。同氏の議論は次のように要約できる。

「中央太平洋海盆のマンガン団塊は 10\AA マンガナイト相 $\delta\text{-MnO}_2$ 相のそれぞれ光学的に均質な 2 相からなっ

ている。前者は高いマンガン含有量と数%のニッケル銅コバルトを伴う単一鉱物相で碎屑物含有量および鉄含有量は痕跡に近い。いっぽう後者はマンガンのほかに10%をこえる鉄を含むが鉄/マンガン比は一定しない。ニッケル銅含有量は前者にくらべ著しく少ない。またコロイド状碎屑物質に由来するSiが例外なく高い。マンガン団塊は2タイプに大別されタイプB*は10Åマンガナイト相からなるのにたいしタイプAでは埋没部分の表面は10Åマンガナイト相露出部分の表面と内部全体は δ -MnO₂相からなる。白井・他(1978未発表)による合成実験結果ともあわせ δ -MnO₂は結晶度の低い δ -MnO₂コロイドが非晶質酸化物碎屑性あるいは自生の珪酸塩コロイドとともに海水から直接沈殿することにより生成し10Åマンガナイト相は未固結堆積物中の間隙水中のMn²⁺が海底面付近の堆積物中で結晶として発達しNi²⁺ Cu²⁺などを格子内にとりこんで生成するものと考えられる。タイプAでは δ -MnO₂からなる古い団塊の破片のまわりに新しい団塊の成長がみられ露出部分は δ -MnO₂相埋没部分は10Åマンガナイト相からなっている」

一般にs群でニッケル・銅に低くr群で高いのは上記によって説明できる。さらにs群では古い団塊をおおって若い団塊酸化層の成長がみられかつ大型になるものが少ないことまた海底面で第三紀堆積物に存在することが少ないこといっぽうr群が第四紀堆積物中に一般に比較的小型のものとして成長していることはUSUI(1978)も示唆しているようにマンガン団塊には成長過程を異にするものがあることを示すものと思われる。

あ と が き

かつて当海域はわずかな資料からD.R. HORNらにより有望域の可能性があると考えられてきたにもかかわらず真に有望な団塊(Ni Cuを中心とした場合の)は少なくとも180°以東では最大の分布を想定してもあまり期待できそうにないことが次第に明らかにされてきた。いっぽう団塊の賦存率・品位・形態の間にはかなり明確な関係がありかつ品位・形態の関係については実験結果を加えて説明可能なことまたそれらと地形・海底面の堆積物の種類はあまり関係がなくむしろ大きくは音響的層序によって示される過去4,000~5,000万年(第三紀~第四紀)の間の堆積過程に関係があるら

しいことさらにこまかくは過去160~200万年(第四紀)の間の堆積過程も関係しているらしいことがわかってきた。しかし現在の資料ではまだこれらの問題についての適確な説明は困難であり今後の詳しい検討を必要とする。最後に未公表資料の引用を許していただいた東大工学部の白井朗氏に心からの謝意を表する。

引用文献

- ARITA, M. (1977): Bottom sediments. In MIZUNO, A. and MORITANI, T. (eds.), Geol. Surv. Japan, Cruise Rept., n. 8, p. 94-117.
- MENARD, H. W. and FRAZER, J. Z. (1978): Manganese nodules on the sea floor: inverse correlation between grade and abundance. *Science*, v. 199, p. 969-971.
- 水野篤行(1977): 深海底の資源——とくにマンガン団塊——*化学と工業* v. 30, p. 637-640.
- 水野篤行・盛谷智之(1977): 深海底鉱物資源探査に関する基礎的研究 *地質ニュース* n. 280 (1977-12), p. 5-13.
- MIZUNO, A. and MORITANI, T. (1977): Outline of GH76-1 Cruise and its results. In MIZUNO, A. and MORITANI, T. (eds.), Geol. Surv. Japan, Cruise Rept., n. 8, p. 1-20.
- MIZUNO, A. and MORITANI, T. (1978): Manganese nodule deposits of the Central Pacific. The 5th Intern. Ocean Develop. Conf., September, 1978, Tokyo, Print.
- MORITANI, T., MARUYAMA, S., NOHARA, M., MATSUMOTO, K., OGITSU, T., and MORIWAKI, H. (1977): Description, classification, and distribution of manganese nodules. In MIZUNO, A. and MORITANI, T. (eds.), Geol. Surv. Japan, Cruise Rept., n. 8, p. 136-158.
- SCHULZE-WESTRUM, HANS-H. (1973): The station and cruise pattern of the R/V Valdivia in relation to the variability of manganese nodule occurrences. In MORGENSTEIN, M. (ed.), Papers on the origin and distribution of manganese nodules in the Pacific and prospects for exploration, p. 145-150.
- TAMAKI, K., HONZA, E., and MIZUNO, A. (1977): Relation between manganese nodule distribution and aconitic stratigraphy in the eastern half of the Central Pacific Basin. In MIZUNO, A. and MORITANI, T. (eds.), Geol. Surv. Japan, Cruise Rept., n. 8, p. 172-176.
- USUI, A. (1978): Minerals metal contents, and mechanism of formation of manganese nodules from the Central Pacific Basin (GH 76-1 and GH 77-1 areas). In BRISCHOFF, J. L. and PIPER, D. Z. (eds.), Marine Geology and Oceanography of the Central Pacific Manganese nodule Province (in press).
- 白井朗・武内寿久弥・正路徹也(1978): 深海底産マンガン団塊の鉱物学的研究及びマンガン酸化物の合成——成因および地球化学に関連して——*鉱山地質* (印刷中)。
- WINTERER, E. L., EWING, J. I., et al. (1973): Initial Reports of the Deep. Sea Drilling Project, v. 17, Washington (U.S. Government Printing Office) xx+930p.

* タイプB Aはそれぞれ筆者らのr群s群にほぼ相当する(筆者ら注)