

**海洋資源調査SOPAC海域
資源開発協力基礎調査報告書
(第3巻)
マーシャル諸島共和国海域**

平成15年3月
(2003年)

国際協力事業団
金属鉱業事業団

鉱調資
JR
03-068

はしがき

日本国政府は南太平洋応用地球科学委員会(South Pacific Applied Geoscience Commission)〔SOPAC〕の要請に応え、加盟国沿岸における深海底鉱物資源賦存の可能性を検討するため、地質調査等の鉱物資源探査に関する調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門的な分野に属することから、この調査を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は平成 12 年から開始されたステージ 2 フェーズ I 計画として実施されたものであり、今年度はその 3 年次にあたり、マーシャル諸島共和国の排他的経済水域 (EEZ) 内を調査の対象としている。金属鉱業事業団は平成 14 年 6 月 4 日から平成 14 年 7 月 10 日までの 37 日間、深海底鉱物資源探査専用船第 2 白嶺丸を現地に派遣し、マーシャル諸島共和国政府の協力を得て調査を予定通り完了した。

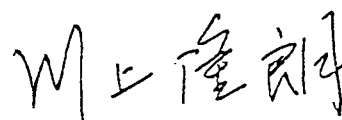
本報告書はマーシャル諸島共和国 EEZ での調査結果を取りまとめたものである。

本調査実施にあたってご協力いただいた SOPAC 事務局、マーシャル諸島共和国政府並びに外務省、経済産業省、在マーシャル諸島共和国日本大使館及び関係各位に衷心より感謝の意を表すものである。

平成 15 年 3 月

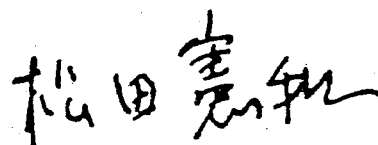
国際協力事業団

総裁 川上 隆 朗



金属鉱業事業団

理事長 松田 憲 和



要 旨

SOPAC 諸国に対する資源開発協力基礎調査(海洋資源調査)は、平成 12 年から 3 ヶ年計画として新たに開始した。今年度は、その 3 年次にあたり、平成 14 年 6 月 4 日から平成 14 年 7 月 10 日まで、マーシャル諸島共和国の排他的経済水域 (EEZ) 内を対象として調査を行った。現地調査日数は 37 日間、調査対象資源はコバルト・リッチ・マンガンクラスト (コバルトクラスト) 鉱床である。

マーシャル諸島共和国のコバルトクラスト鉱床の調査は、平成 8 年及び 10 年度 (1996 及び 1998 年度) に実施され、13 海山において MBES による海底地形図及び後方散乱強度分布に関するデータが得られ、ドレッジを中心とする試料採取が行なわれた。今年度は、過年度の調査結果をもとに MS01、MS11、MS12 の 3 海山を選定し、BMS (深海ボーリングシステム) を使用し、コバルトクラスト鉱床の賦存状況を把握する目的で調査を行った。さらに、コバルトクラストの分布する海山における環境特性を把握するため、環境調査を実施した。

本調査の結果、MS01、MS11、MS12 の海山に胚胎するコバルトクラストの平均層厚は、それぞれ 59mm、132mm、70mm の値が得られた。この値は過年度の調査結果から比べると厚い。

鉱量を推定すると、MS01、MS11、MS12 海山で、それぞれ 55.5 百万 t、173.2 百万 t、32.8 百万 t である。

音圧濃色域であっても未固結堆積物に薄く覆われた地点では、コバルトクラストが露出する地点と比べてコバルトクラストの層厚が薄い可能性があり、この点に関して、さらに詳しい調査が必要である。

深海底鉱物資源の開発に先立ち、開発行為が海洋環境に与える影響を予測するための基礎調査を実施した。MS01、MS11、MS12 の各海域における全般的な特徴として、メイオベントスの出現個体数は水深が深まるにつれて減少し、鉛直分布では表層において線形動物門が高密度で分布することが明らかとなった。マクロベントスの出現個体数は、メイオベントスと同様に水深が深まるにつれて減少し、表層における高密度分布が顕著であった。底質性状の鉛直分布では、有機体炭素または全窒素はいくつかの地点において底質の深度が深まるにつれて減少した。底生生物の餌の状態を反映する有機物量は山頂部に多く傾斜部に少なかったため、山頂から傾斜部にかけて生物の個体数が減少したものと考えられる。また、各海域で底生生物の出現量に差異がみられ、この要因として、地形の違いが餌料環境の不均一をもたらしているということが推察できる。

目 次

はしがき

要 旨

1章 調 査 要 項	1
1-1 調査件名	1
1-2 調査目的	1
1-3 調査海域	1
1-4 調査期間	1
1-5 調査員等	1
1-6 調査実績	3
1-7 調査機器	6
2章 調 査 方 法	8
2-1 調査対象海山の選定	8
2-2 調査方法	8
2-3 付 番	12
2-4 船位の決定	12
2-5 地形調査	13
2-6 サンプルング	13
2-7 調査データの処理及び解析	13
2-8 採取試料の室内試験	13
2-9 分類・区分基準	15
2-9-1 海山の地形区分	15
2-9-2 コバルトクラストのタイプ分類	16
2-9-3 コバルトクラストの層区分	17
2-10 環境調査	17
2-10-1 調査目的	17
2-10-2 調査項目	17
2-10-3 調査方法	17
2-10-3-1 採取・試料処理方法	17
2-10-3-2 分析方法	18
3章 調 査 結 果	19
3-1 調査海域の概要	19

3-1-1	地形概要	19
3-1-2	地質概要	19
3-2	MS01 海山の調査結果	22
3-2-1	海底地形と海底面状況	22
3-2-1-1	海底地形	22
3-2-1-2	海底面状況	22
3-2-2	試料採取結果	25
3-2-2-1	02SMS01BMS01 地点	25
3-2-2-2	02SMS01BMS02 地点	36
3-2-2-3	02SMS01BMS03 地点	37
3-2-2-4	02SMS01BMS04 地点	38
3-2-2-5	02SMS01BMS05 地点	38
3-2-2-6	LC による試料採取結果	39
3-2-3	地 質	40
3-2-3-1	地質状況	40
3-2-3-2	薄片観察結果	42
3-2-3-3	岩石の化学分析結果	42
3-2-3-4	化石鑑定結果	46
3-2-4	コバルトクラストの賦存状況	49
3-2-4-1	コバルトクラストの分布状況	49
3-2-4-2	コバルトクラストの分析結果	56
3-3	MS11 海山の調査結果	66
3-3-1	海底地形と海底面状況	66
3-3-1-1	海底地形	66
3-3-1-2	海底面状況	66
3-3-2	試料採取結果	69
3-3-2-1	02SMS11BMS01 地点	69
3-3-2-2	02SMS11BMS02 地点	80
3-3-2-3	02SMS11BMS03 地点	81
3-3-2-4	02SMS11BMS04 地点	82
3-3-2-5	LC による試料採取結果	83
3-3-3	地 質	84
3-3-3-1	地質状況	84
3-3-3-2	薄片観察結果	86
3-3-3-3	化石鑑定結果	88
3-3-4	コバルトクラストの賦存状況	92

3-3-4-1	コバルトクラストの分布状況	93
3-3-4-2	コバルトクラストの分析結果	101
3-4	MS12 海山の調査結果	109
3-4-1	海底地形と海底面状況	109
3-4-1-1	海底地形	109
3-4-1-2	海底面状況	109
3-4-2	試料採取結果	112
3-4-2-1	02SMS12BMS01 地点	112
3-4-2-2	02SMS12BMS02 地点	125
3-4-2-3	02SMS12BMS03 地点	126
3-4-2-4	02SMS12BMS04 地点	126
3-4-2-5	02SMS12BMS05 地点	127
3-4-2-6	02SMS12BMS06 地点	129
3-4-2-7	02SMS12BMS07 地点	130
3-4-2-8	LC による試料採取結果	131
3-4-3	地質	133
3-4-3-1	地質状況	133
3-4-3-2	薄片観察結果	135
3-4-3-3	岩石の化学分析結果	138
3-4-3-4	岩石の年代測定	140
3-4-3-5	化石鑑定結果	140
3-4-4	コバルトクラストの賦存	144
3-4-4-1	コバルトクラストの分布状況	144
3-4-4-2	コバルトクラストの分析結果	152
3-5	環境調査	160
3-5-1	調査海域	160
3-5-2	底生生物調査	160
3-5-2-1	メイオベントス	160
3-5-2-2	マクロベントス	166
3-5-3	底質性状調査	173
3-5-3-1	有機態炭素	173
3-5-3-2	全窒素	179
3-5-4	環境調査まとめ	182
4章	まとめ	183
4-1	コバルトクラストの賦存状況	183

4-1-1	調査結果のまとめ	183
4-1-1-1	MS01 海山	183
4-1-1-2	MS11 海山	185
4-1-1-3	MS12 海山	186
4-1-2	資源賦存量	187
4-1-3	考察	187
4-2	環境調査	187
	参考文献	190

[添付資料]

- 添付資料 1 ボーリング地点の海底写真
- 添付資料 2 ボーリングコア写真
- 添付資料 3 ボーリング柱状図
- 添付資料 4 LC 及び MC の海底写真
- 添付資料 5 LC 及び MC の柱状図
- 添付資料 6 コバルトクラスとの記載
- 添付資料 7 顕微鏡観察結果
- 添付資料 8 岩石顕微鏡写真
- 添付資料 9 化学分析方法 (岩石、コバルトクラスト)
- 添付資料 10 岩石化学分析の結果
- 添付資料 11 Ar-Ar 法年代測定
- 添付資料 12 化石鑑定
- 添付資料 13 コバルトクラストの分析結果
- 添付資料 14 航跡図
- 添付資料 15 MBES に使用した水深対音速値表
- 添付資料 16 気象・海象データ
- 添付資料 17 メイオベントスの分析結果
- 添付資料 18 マクロベントスの分析結果
- 添付資料 19 底質性状調査の分析結果

挿入図

図 1-3-1	調査海域位置図	2
図 1-7-1	調査機器の写真	7
図 2-1	調査海域図	9
図 2-1-1	各海山の音圧図	11
図 2-7-1	データ処理及び解析系統図	14
図 2-9-1-1	海山の地形区分概念図	15
図 2-9-2-1	コバルトクラストの分布	16
図 3-1-1-1	マーシャル諸島海域の海底地形図	20
図 3-2-1-1	MS01 海山地形図と陰影図	23
図 3-2-1-2	MS01 海山 MBES 音圧分布図	24
図 3-2-2-1	MS01 海山試料採取位置図	27
図 3-2-2-2	MS01 海山ボーリング孔位置図	28
図 3-2-2-3	MS01 海山ボーリングコア対比写真	29
図 3-2-2-4	MS01 海山 SBP01 及び SBP02 測線の音圧図	34
図 3-2-2-5	MS01 海山 SBP03 測線の音圧図	35
図 3-2-3-1	MS01 海山岩石とコバルトクラストの分布図	41
図 3-2-4-1	MS01 海山コバルトクラストの分布状況	52
図 3-2-4-2	MS01 海山コバルトクラストの層厚と水深	53
図 3-2-4-3	MS01 海山堆積物の厚さとコバルトクラストの層厚	53
図 3-2-4-4	MS01 海山コバルトクラストの層区分図	55
図 3-2-4-5	MS01 海山コバルトクラスト品位のヒストグラム	60
図 3-2-4-6	MS01 海山コバルトクラスト品位の散布図	62
図 3-2-4-7	MS01 海山コバルトクラストの Co 品位と層厚	65
図 3-3-1-1	MS11 海山地形図と陰影図	67
図 3-3-1-2	MS11 海山 MBES 音圧分布図	68
図 3-3-2-1	MS11 海山試料採取位置図	71
図 3-3-2-2	MS11 海山ボーリング孔位置図	72
図 3-3-2-3	MS11 海山ボーリングコア対比写真	73
図 3-3-2-4	MS11 海山 SBP01 測線の音圧図	78
図 3-3-2-5	MS11 海山 SBP02 測線の音圧図	79
図 3-3-3-1	MS11 海山岩石とコバルトクラストの分布図	85
図 3-3-4-1	MS11 海山コバルトクラストの分布状況	96
図 3-3-4-2	MS11 海山コバルトクラストの層厚と水深	97
図 3-3-4-3	MS11 海山堆積物の厚さとコバルトクラストの層厚	97
図 3-3-4-4	MS11 海山コバルトクラストの層区分図	99

図 3-3-4-5	MS11 海山コバルトクラスト品位のヒストグラム	104
図 3-3-4-6	MS11 海山コバルトクラスト品位の散布図	106
図 3-3-4-7	MS11 海山コバルトクラストの Co 品位と層厚	108
図 3-4-1-1	MS12 海山地形図と陰影図	110
図 3-4-1-2	MS12 海山 MBES 音圧分布図	111
図 3-4-2-1	MS12 海山試料採取位置図	114
図 3-4-2-2	MS12 海山ボーリング孔位置図	115
図 3-4-2-3	MS12 海山ボーリングコア対比写真	116
図 3-4-2-4	MS12 海山 BMS05 地点の海底面状況	124
図 3-4-3-1	MS12 海山岩石とコバルトクラストの分布図	134
図 3-4-4-1	MS12 海山コバルトクラストの分布状況	147
図 3-4-4-2	MS12 海山コバルトクラストの層厚と水深	148
図 3-4-4-3	MS12 海山堆積物の厚さとコバルトクラストの層厚	148
図 3-4-4-4	MS12 海山コバルトクラストの層区分図	150
図 3-4-4-5	MS12 海山コバルトクラスト品位のヒストグラム	155
図 3-4-4-6	MS12 海山コバルトクラスト品位の散布図	157
図 3-4-4-7	MS12 海山コバルトクラストの Co 品位と層厚	159
図 3-5-1-1	採泥調査地点 MS01	161
図 3-5-1-2	採泥調査地点 MS11	162
図 3-5-1-3	採泥調査地点 MS12	163
図 3-5-2-1	海域別のメイオベントスの生物群組成	165
図 3-5-2-2a	メイオベントスの地点別出現数	167
図 3-5-2-2b	線形動物の地点別出現数	167
図 3-5-2-2c	節足動物の地点別出現数	167
図 3-5-2-3a	メイオベントスの堆積物中の鉛直分布	168
図 3-5-2-3b	線形動物の堆積物中の鉛直分布	169
図 3-5-2-3c	節足動物の堆積物中の鉛直分布	170
図 3-5-2-4	海域別のマクロベントスの生物群組成	172
図 3-5-2-5a	マクロベントスの地点別出現数	174
図 3-5-2-5b	環形動物の地点別出現数	174
図 3-5-2-5c	線形動物の地点別出現数	174
図 3-5-2-5d	節足動物の地点別出現数	174
図 3-5-2-6a	マクロベントスの堆積物中の鉛直分布	175
図 3-5-2-6b	環形動物の堆積物中の鉛直分布	176
図 3-5-2-6c	線形動物の堆積物中の鉛直分布	177
図 3-5-2-6d	節足動物の堆積物中の鉛直分布	178

図3-5-3-1	有機炭素の鉛直分布	180
図3-5-3-2	全窒素の鉛直分布	181

挿入表

表1-6-1	調査実績表	3
表1-6-2	調査日程表	4
表1-7-1	使用調査機器	6
表2-1-1	既存調査結果	10
表2-9-1-1	海山の地形区分	15
表2-9-2-1	コバルトクラストのタイプ分類	16
表2-10-3-1	調査項目別試料処理方法及び保存方法	18
表3-2-2-1	MS01 海山過年度調査結果	26
表3-2-2-2	MS01 海山試料採取結果一覧表	31
表3-2-2-3	MS01 海山ボーリング地点の海底面状況	32
表3-2-3-1	MS01 海山顕微鏡観察記載	43
表3-2-3-2	MS01 海山岩石の化学分析結果	44
表3-2-3-3	MS01 海山堆積物の化石鑑定結果	47
表3-2-3-4	MS01 海山岩石試料の化石鑑定結果	48
表3-2-4-1	MS01 海山過年度調査による コバルトクラストの採取状況	50
表3-2-4-2	MS01 海山コバルトクラスト採取状況	51
表3-2-4-3	MS01 海山コバルトクラスト分析結果の基本統計量	58
表3-2-4-4	MS01 海山コバルトクラストの品位	59
表3-2-4-5	MS01 海山層別試料の基本統計量	63
表3-3-2-1	MS11 海山過年度調査結果	70
表3-3-2-2	MS11 海山試料採取結果一覧表	75
表3-3-2-3	MS11 海山ボーリング地点の海底面状況	76
表3-3-3-1	MS11 海山顕微鏡観察記載	87
表3-3-3-2	MS11 海山堆積物の化石鑑定結果	89
表3-3-3-3	MS11 海山岩石試料の化石鑑定結果	90
表3-3-4-1	MS11 海山過年度調査による コバルトクラストの採取状況	94
表3-3-4-2	MS11 海山コバルトクラスト採取状況	95
表3-3-4-3	MS11 海山コバルトクラスト分析結果の基本統計量	102
表3-3-4-4	MS11 海山コバルトクラストの品位	103
表3-4-2-1	MS12 海山過年度調査結果	113

表 3-4-2-2	MS12 海山試料採取結果一覧表	119
表 3-4-2-3	MS12 海山ボーリング地点の海底面状況	121
表 3-4-3-1	MS12 海山顕微鏡観察記載	136
表 3-4-3-2	MS12 海山岩石の化学分析結果	139
表 3-4-3-3	MS12 海山堆積物の化石鑑定結果	141
表 3-4-3-4	MS12 海山岩石試料の化石鑑定結果	142
表 3-4-4-1	MS12 海山過年度調査による コバルトクラストの採取状況	145
表 3-4-4-2	MS12 海山コバルトクラスト採取状況	146
表 3-4-4-3	MS12 海山コバルトクラスト分析結果の基本統計量	153
表 3-4-4-4	MS12 海山コバルトクラストの品位	154
表 3-5-2-1	メイオベントスとして出現した生物群一覧	164
表 3-5-2-2	マクロベントスとして出現した生物群一覧	171
表 4-1-1-1	調査結果のまとめ	184
表 4-2-1-1	コバルトクラストの賦存量	188

1章 調 査 要 項

1-1 調査件名

平成 14 年度資源開発協力基礎調査（海洋資源調査）

マーシャル諸島共和国海域

1-2 調査目的

本調査の目的は、SOPAC 加盟国であるマーシャル諸島共和国の EEZ 内に分布するコバルト・クラスト鉱床の賦存状況及びコバルト・クラスト分布域の環境特性を把握することである。

1-3 調査海域

平成 12 年 2 月 3 日付けで日本側調査担当機関と南太平洋応用地球科学委員会との間で締結された SOPAC 加盟諸国の EEZ 内における深海底鉱物資源に関する共同調査実施計画に基づき、今年度の調査範囲は、下記の点 a から d を順次結んで得られる海域とする（図 1-3-1）。

a. 20° 00' S、155° 00' E b. 20° 00' S、175° 00' E

c. 5° 00' S、175° 00' E d. 5° 00' S、155° 00' E

a. 20° 00' S、155° 00' E

1-4 調査期間

現地調査期間：平成 14 年 6 月 4 日から平成 14 年 7 月 10 日まで

解 析 等：平成 14 年 4 月 1 日から平成 15 年 3 月 31 日まで

1-5 調査員等

調査員

日本側

現地監督員 白井 朗（産業技術総合研究所）

調査団長 松本 勝時（深海資源開発株式会社）

斎藤 洋男（深海資源開発株式会社）

内山 昭憲（深海資源開発株式会社）

杉浦 則清（深海資源開発株式会社）

岡崎 正次（深海資源開発株式会社）

後藤 信博（深海資源開発株式会社）

馬場 秀人（深海資源開発株式会社）

立川 三郎（深海資源開発株式会社）

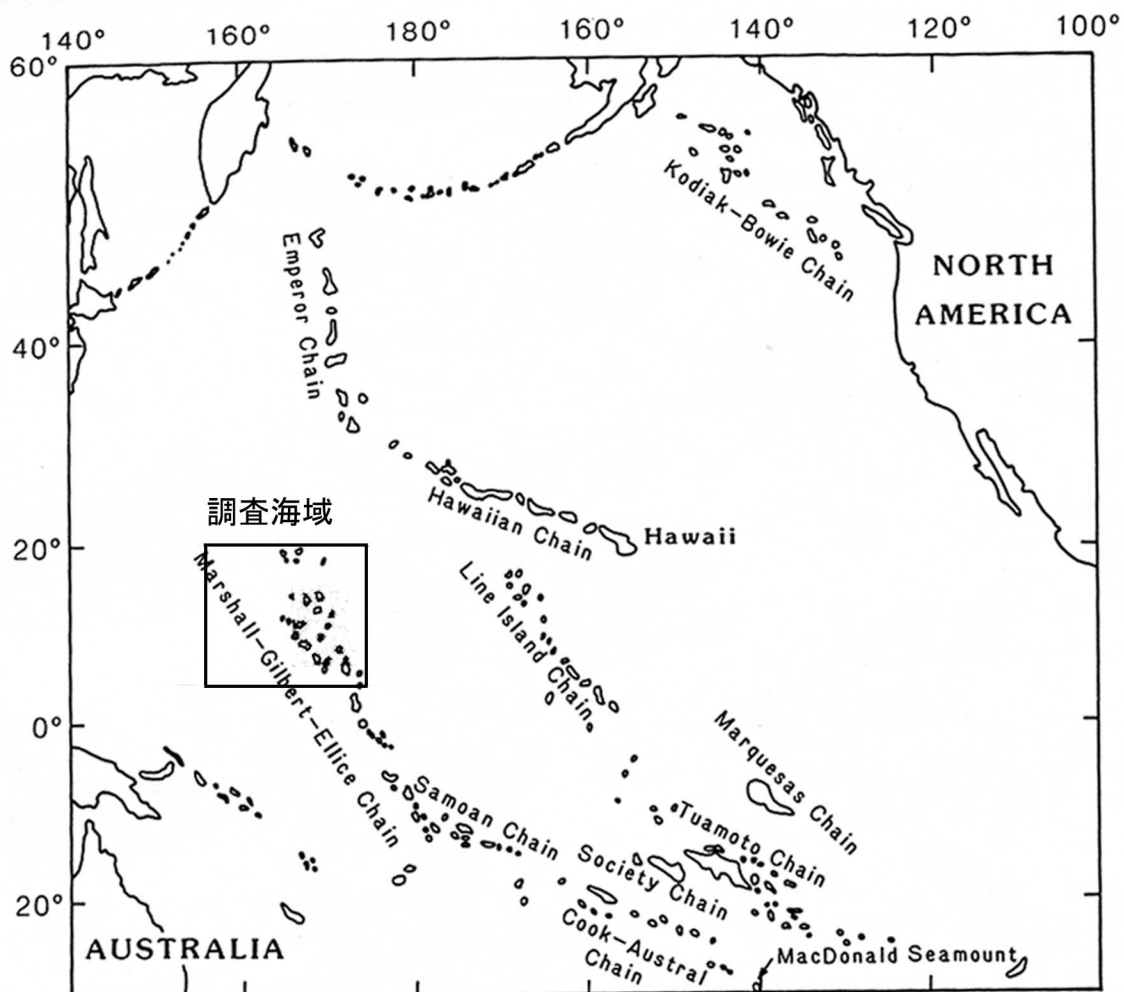


図 1 - 3 - 1 調査海域位置図

村野 源 (日本海洋生物研究所)
 吉田 建樹 (海洋技術開発株式会社)
 菊地 政明 (海洋技術開発株式会社)
 丸山 重信 (海洋技術開発株式会社)
 濱崎 雅弘 (海洋技術開発株式会社)
 富永 隆文 (海洋技術開発株式会社)
 一ノ瀬 登 (海洋技術開発株式会社)
 岩崎 誠二 (海洋技術開発株式会社)
 神崎 進 (海洋技術開発株式会社)

相手側 SOPAC 事務局 岡本 信行 (JICA 専門家)
 研修生 Mr. Terry Keju (Republic of the Marshall Islands)

1-6 調査実績

調査作業実績を表 1-6-1 に、調査日程を表 1-6-2 にそれぞれ示す。

表 1-6-1 調査実績表

項 目		実 績				
調査日程	マジロ出港	6月6日	16:00			
	MS12海山到着	6月9日	6:00			
	調査開始	6月9日	8:00			
	調査終了	7月2日	9:00			
	MS01海山離脱	7月2日	9:15			
	船橋基地入港	7月10日	9:00			
	実洋上調査日数	24日間				
		3	海山	MS01	MS11	MS12
サンプル採取	LC	34	点	1	9	24
	BMS	52	点	16	11	25
	MC	11	点	4	4	3
	合計	97	点	21	24	52
CTD	海山の音速測定					
	サンプリング時 (有効TD数)	3	測点	1	1	1
	サンプリング時 (有効CTD数)	45	測点	5	13	27
音響探査	NBS	30.0kHz	22.6 nm	18.5	4.1	—
	nSBP	3.5kHz	22.6 nm	18.5	4.1	—
	MBES	15.5kHz	2,179.7 nm	973.9	545.5	660.3
データ処理	MBES CD-R 図面作成	1枚 海底地形 航跡図、海底地形図、断面図、鳥瞰図、勾配図等				

表 1-6-2 (1) 調査日程表

日 数	日 付	曜日	海 域	調 査 作 業	地形航定 (海山毎累計距)	備 考
1	6月4日	火				マジユロ港停泊
2	6月5日	水				マジユロ港停泊
3	6月6日	木		マジユロ港出航		16:00 マジユロ出港
4	6月7日	金		移動		MS12海山へ向け移動
5	6月8日	土		移動		MS12海山へ向け移動
6	1 6月9日	日	MS12海山	LCサンプリング6測点 MS12LC19、20、21、22、 23、24	123.7nm	06:00 MS12海山に到着
7	2 6月10日	月	MS12海山	LCサンプリング5測点 MS12LC25、26、27、28、29 MC サンプリング 1 地点 MS12MC01	105.8nm (229.5nm)	
8	3 6月11日	火	MS12海山	BMSサンプリング 6本 MS12BMS01A、B、C MS12BMS02A、B、C	82.3nm (311.8nm)	
9	4 6月12日	水	MS12海山	BMSサンプリング 6本 MS12BMS03A、B、C MS12BMS04A、B、C	87.2nm (399.0nm)	
10	5 6月13日	木	MS12海山	BMSサンプリング 6本 MS12BMS05A、B、C、D、E、F	53.6nm (452.6nm)	
11	6 6月14日	金	MS12海山	LCサンプリング5測点 MS12LC30、31、32、33 MC サンプリング 1 地点 MS12MC02、03	74.1nm (526.7nm)	
12	7 6月15日	土	MS12海山	BMSサンプリング 7本 MS12BMS06A、B、C MS12BMS07A、B、C、D	42.5nm (569.2nm)	
13	8 6月16日	日	MS12海山	LCサンプリング6測点 MS12LC34、35、36、37、38、39	91.1nm (660.3nm)	
14	9 6月17日	月	MS12海山	LCサンプリング3測点 MS12LC40、41、42		13:00 MS12海山離脱 MS11海山へ移動
15	10 6月18日	火	MS11海山	LCサンプリング1測点 MS11LC14 (CTD計測) MC サンプリング4地点 MS12MC01、02、03、04	101.4nm	04:00 MS11海山に到着
16	11 6月19日	水	MS11海山	LCサンプリング4測点 MS11LC15、16、17、18 音響調査	108.4nm (209.8nm)	
17	12 6月20日	木	MS11海山	LCサンプリング4測点 MS11LC19、20、21、22 音響調査	113.3nm (323.1nm)	

表 1 - 6 - 2 (2) 調査日程表

日 数	日 付	曜日	海 域	調 査 作 業	地形航走 (累計距離)	備 考
18	13	6月21日	金	MS11海山 BMSサンプリング 6本 MS11BMS01A,B,C,D MS11BMS02A,B	99.3nm (422.4nm)	
19	14	6月22日	土	MS11海山 地形航走	123.1nm (545.5nm)	
20	15	6月23日	日	MS11海山 BMSサンプリング 5本 MS11BMS03A,B,C MS11BMS04A,B		21:00 MS11海山離脱 MS01海山へ移動
21	16	6月24日	月			MS01海山へ向け移動
22	17	6月25日	火	MS01海山 LCサンプリング1測点 MS01LC15 (CTD計測) BMSサンプリング6本 MS01BMS01A,B,C MS01BMS02A,B,C	90.4nm	07:00 MS01海山到着
23	18	6月26日	水	MS01海山 BMSサンプリング7本 MS01BMS03A,B,C,D MS01BMS04A,B,C	110.8nm (201.2nm)	
24	19	6月27日	木	MS01海山 BMSサンプリング3本 MS01BMS05A,B,C MCサンプリング4地点 MS01MC01,02,03,04	93.6nm (294.8nm)	
25	20	6月28日	金	MS01海山 地形航走	159.1nm (453.9nm)	海象荒天
26	21	6月29日	土	MS01海山 地形航走	174.8nm (628.7nm)	海象荒天
27	22	6月30日	日	MS01海山 地形航走	151.0nm (779.7nm)	海象荒天
28	23	7月1日	月	MS01海山 地形航走	140.8nm (920.5nm)	海象荒天
29	24	7月2日	火	MS01海山 地形航走 調査終了	53.4nm (973.9nm)	海象荒天 09:15 MS01海山離脱
30		7月3日	水	移動		
31		7月4日	木	移動		
32		7月5日	金	移動		
33		7月6日	土	移動		
34		7月7日	日	移動		
35		7月8日	月	移動		
36		7月9日	火	移動		
37		7月10日	水	09:00 船橋基地入港		
38		7月11日	木			船橋基地停泊

1-7 調査機器

今年度調査に使用した主要な調査機器類を表1-7-1に、調査機器類の写真を図1-7-1に示す。

表 1-7-1 使用調査機器

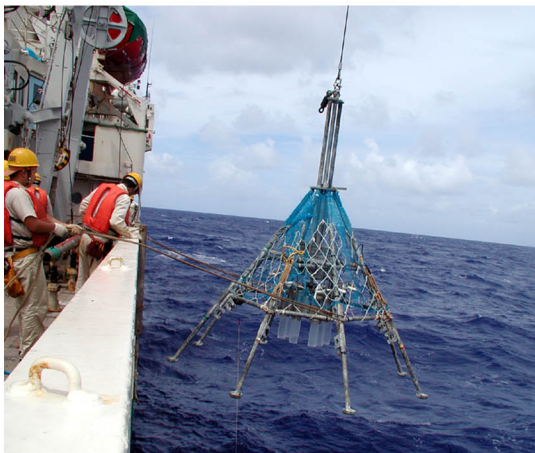
分類	探 査 方 法		調査機器・同システム	略 号	備 考
位置測定	衛星航法		Global Positioning System GPS+GLONASS	GPS	
海底地形地質調査	音響調査	測深及び海底地形	Multi-narrow Beam Echo Sounder Narrow Beam Echo Sounder	MBES NBS	
		表層堆積物調査	Narrow Beam Sub-Bottom Profiler	nSBP	
	音速水深調査		電気伝導度・水温・水深測定装置	CTD	
	サンプリング			マルチプルコアラ	MC
		大口径コアラ	LC		
		深海用ボーリング・マシン・システム	BMS		
海底写真	写 真		ワンショットカメラ (マルチプルコアラ、 大口径コアラ)		
データ収録処理装置	オンライン機能	データ処理システム		DPS	
	データ蓄積機能	センサーCPU			
	オフライン機能	ファイルサーバーCPU			
	↓	ホストCPU			
	航跡図・海底地形図	EWS CPU			
各種平面図・断面図	LAN, PC, ICM				



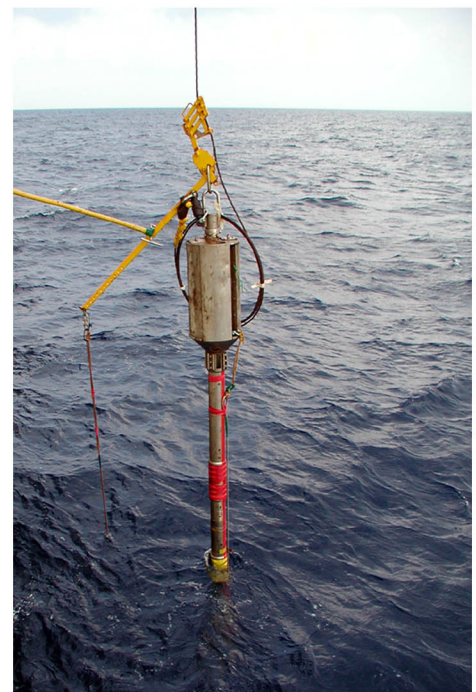
ボーリング・マシン・システム (BMS)



ワイヤー弛み防止フロート



マルチプルコアラ (MC)



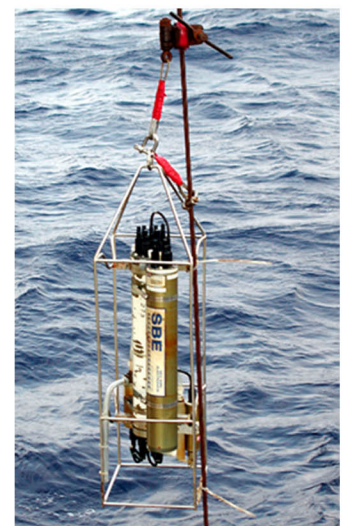
大口径コアラ (LC)



ワンショットカメラ



ピンガー



電気伝導度・水温・水圧測定装置 (CTD)

図 1-7-1 調査機器の写真

2章 調査方法

今年度は SOPAC 海域調査のステージ 2 フェーズ I 計画の 3 年目にあたり、マーシャル諸島共和国の EEZ 内の海底に分布する鉱物資源の賦存状況に関する調査を実施した。対象とする鉱床はコバルト・リッチ・マンガンクラスト鉱床（以下、コバルトクラスト鉱床と略称する。）である。

今年度調査対象海域であるマーシャル諸島共和国の EEZ 内におけるコバルトクラスト鉱床の調査は、平成 8 年及び 10 年度（1996、1998 年度）に実施され、13 海山の調査が行なわれた（国際協力事業団・金属鉱業事業団、1997、1999、図 2-1）。これらの調査により、13 海山において MBES による海底地形図及び音響的反射率データが得られ、ドレッジを中心とする試料採取が行なわれた。

そこで、今年度の調査は、これらの情報をもとに、BMS（深海ボーリングシステム）を使用し、海底面が平坦でコバルトクラストが厚く賦存すると考えられる地点で、柱状コアを採取し、コバルトクラストの厚さ及び品位を把握する目的で実施した。さらに、コバルトクラストの分布する海山における環境特性を把握するため、環境調査を実施した。

2-1 調査対象海山の選定

調査対象海山の選定は、過年度の調査結果をもとに行なった（表 2-1-1、図 2-1-1）。これら海山は、山頂の水深が 1,500m 程度とやや浅い海山と、2,000m 程度とやや深い海山の二つのグループに分けられ、水深の浅い海山は、対象性が良く典型的な平頂海山の形態をなすものが多く、水深の深いものは複雑な地形の頂部を持つものが多い。

海山の選定にあたっては、平坦域の露出面積が大きいこと、異なる水深帯に複数の平坦面を持つこと、さらに、山頂部の水深が異なる海山であること、マーシャル諸島共和国海域の海山を代表する海山であること等を考慮して、MS01、MS11、MS12 の三海山を調査対象海山として選定した。

2-2 調査方法

本調査は、上記の三海山においてボーリングによる試料採取を中心とする調査を実施した。

ボーリング調査は、基本的に将来、採掘するのに優位と思われる傾斜の緩やかなクラスト露出域を対象とし 1 日 2 地点を目標とした。それぞれの地点におけるクラスト層厚の変動を確認するため 1 地点で、それぞれ、50m 程度の距離間隔において 3 孔を掘削することを目標としてボーリング調査を実施した。それぞれのボーリング孔における掘進長は、クラスト及びその母岩を確認するのに十分と考えられる深度、すなわち 1m 以内とした。さらに、それぞれの海山における基盤岩の性状を確認するため、各海山で掘進長 1.5m 以上

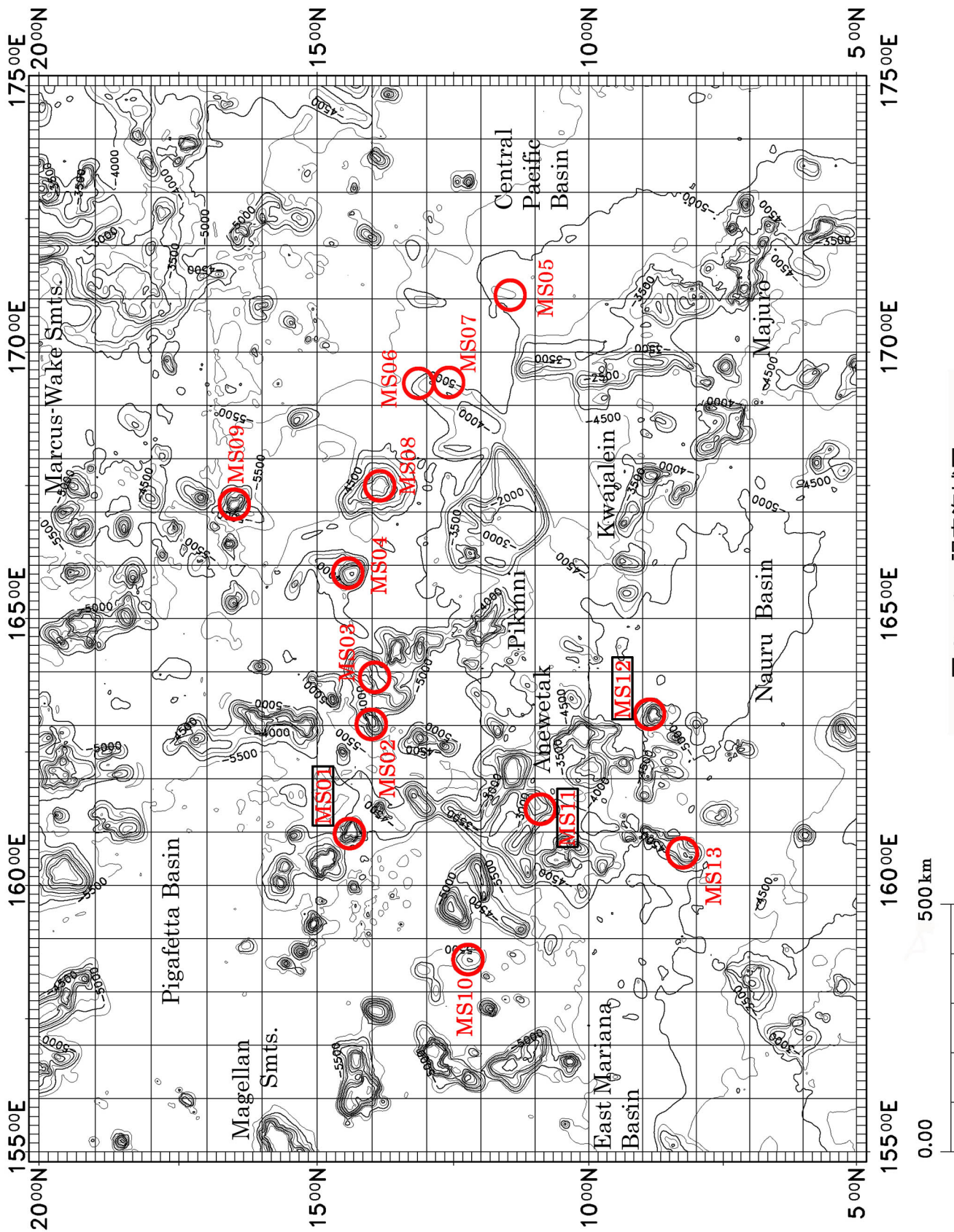


图 2-1 調査海域図

表2-1-1 既存調査結果

海山名	調査年次	対象水深(m)	対象部面積 (k m ²)			コバルト品位 (%)	各地点における平均厚 (mm)	各地点における最大厚の平均 (mm)	有効試料採取点数	備考
			対象水深の面積	堆積物の面積	露出域の面積					
MS01	2002	頂上～2,600	738	268	470	0.61	38	70	8	露出域はやや狭いが水深が浅い。異なる水深域に複数の平坦面を持つ、対称性の良い中規模な海山
MS11	2002	頂上～3,000	1,238	582	656	0.68	31	65	7	露出域は肩部から急な斜面にかけて分布し、頂部はやや複雑な地形をなす中規模の海山。
MS12	2002	頂上～2,000	462	228	234	0.68	23	63	12	露出域は狭いが水深の浅い所まで分布している。対称性が良く中規模の海山。

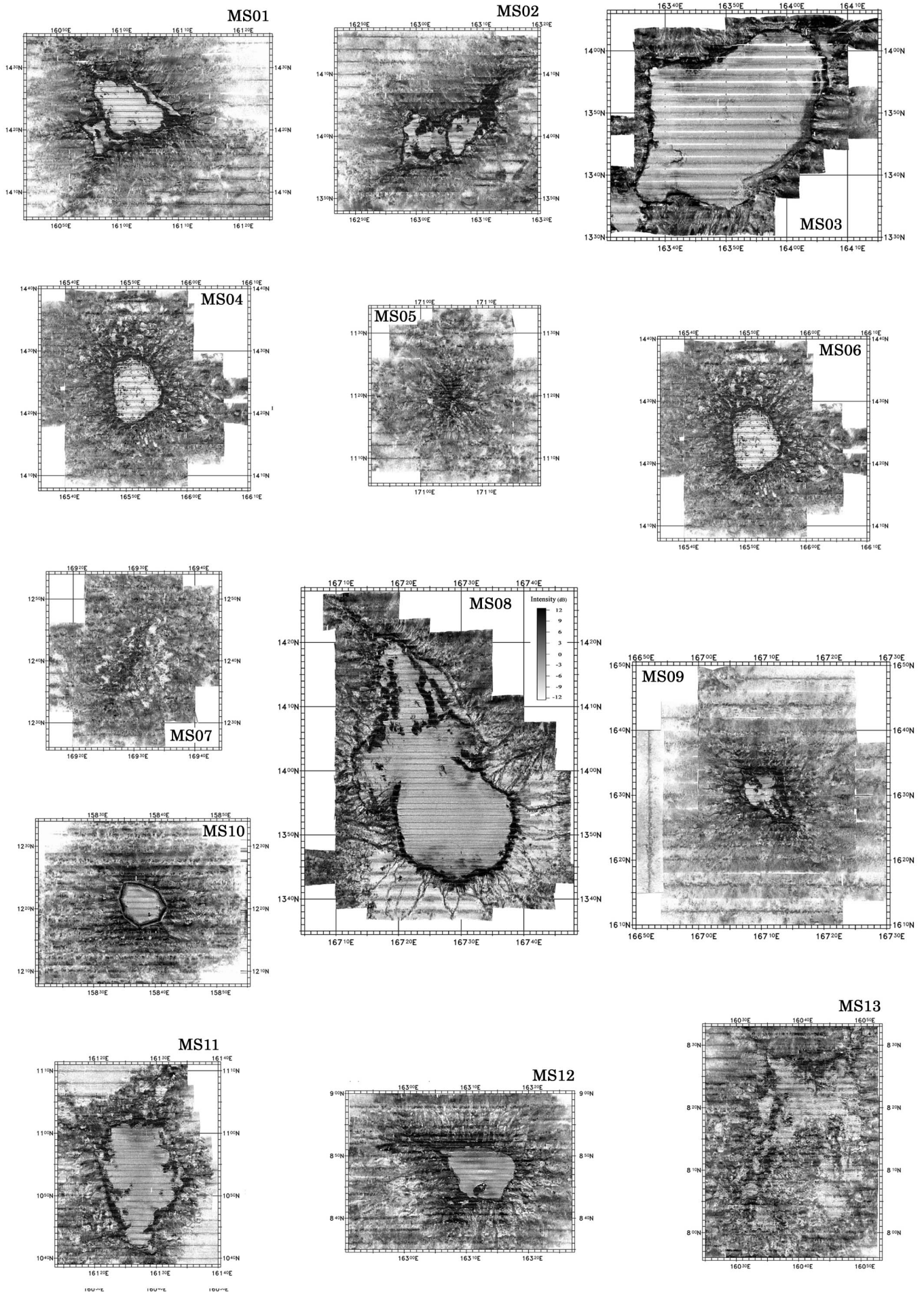


図 2-1-1 各海山の音圧図

のボーリング孔を少なくとも1孔、掘削した。荒天によりボーリングの掘削が不可能な時は、堆積物の状況及びその下部に存在すると思われるコバルトクラストの状況を把握するため LC を実施した。

ボーリング地点の選択は、地形図及び MBES 音圧図をもとにし、以下に示す調査目的を考慮し行なった。

- a. 平頂海山の山頂部のコバルトクラストの賦存状況の把握
- b. 水深別によるコバルトクラストの賦存状況の把握
- c. コバルトクラストの連続的発達状況の確認
- d. 堆積物下のコバルトクラストの発達状況

調査を行った三海山において、夜間には、過年度に行なった地形航走の測線間を補足して地形航走を実施し、より詳細な地形図を作成するように努めた。さらに、これら三海山において、MC により環境調査の試料を採取した。

2-3 付 番

サンプリング地点は、以下の要領で付番する。

[サンプリング点] 年号-S-海山名-使用機種-サンプリング No.

Sは SOPAC を示し、海山名は、既存調査で命名されている海山名を使用した。LC のサンプリング No.は、過年度から AD、CB、LC に対して連続して付番されている番号に追加して今年度の番号を付番した。BMS 及び MC は、それぞれの海山で初めて実施したので、サンプリング No.はそれぞれの海山で 01 からの通し番号とした。

例：02SMS01BMS01 (BMS の場合)
 02SMS01LC15 (LC の場合)
 02SMS01MC01 (MC の場合)

2-4 船位の決定

調査期間を通じて船位の決定はすべて GPS (Global Positioning System) を使用した。BMS 掘削中は、光・動力複合ケーブルが BMS 着底地点を中心に、無理のないカテナリーを形成するように、DPS (Dynamic Positioning System)を用いて船位保持のコントロールを行った。BMS の掘削孔位置は、BMS 着底時に船尾に配備した GPS による位置を読み取ることにより決定し、水深はそのときの音響測深値を用いた。BMS 曳航中の位置は、船の進行方向の後方に曳航体が位置するものと仮定し、船尾の GPS を基にして音響測深値の水深とケーブル長からピタゴラスの定理を用いて算出し、BMS の航跡図を作成

した。

LC 及び MC によるサンプリング地点の位置は、右舷のギャロス近傍に配備した GPS による位置を読み取ることにより決定し、水深はそのときの音響測深値を用いた。

なお、測地座標系は WGS84、船内時は 165° E 地方時 (GMT+11 時間) を用いた。

2-5 地形調査

海底地形調査は、すでに過年度に行なわれているが、今年度は地形図の精度を上げるため過年度の測線間を補足するように実施した。船速は 10~12 ノットで航走し、MBES は 8~12 秒毎、NBS は 8 秒毎の発信間隔により測深を実施した。MBES による地形調査では、同時に海底面における後方散乱強度 (音圧分布図) が得られる。地形調査と並行して、nSBP による海底表層断面調査を実施した。

2-6 サンプリング

コバルトクラストの賦存状況を把握するため BMS 及び LC によるサンプリングを実施した。可能な限り BMS による調査を行い、コバルトクラスト及びその母岩のコアサンプルを採取し、コバルトクラスト鉱床の賦存状況を把握することに努めた。荒天によりボーリング調査が不可能な場合は、堆積物の分布状況及び堆積物下のコバルトクラスト鉱床の賦存状況を把握するため LC を実施した。環境調査では、MC を使用して試料採取を行なった。

2-7 調査データの処理及び解析

船上でのデータ処理及び解析は、データ解析システム、MBES オフライン処理システム及びパソコンを使用した。図 2-7-1 にデータ処理及び解析系統図を示す。基礎的なデータは船上で処理及び解析を行い、さらに陸上において船上で実施できなかった一部のデータ処理や総合的な解析を実施した。

2-8 採取試料の室内試験

ボーリング調査及び LC で採取したコバルトクラスト、岩石や堆積物試料に対して各種室内試験を行った。

コバルトクラストに対しては鉱石分析を、岩石試料に対しては岩石の性状を把握するため岩石薄片の観察、化学分析、年代測定を行なった。さらに、石灰質岩や未固結堆積物については化石鑑定を行なった。

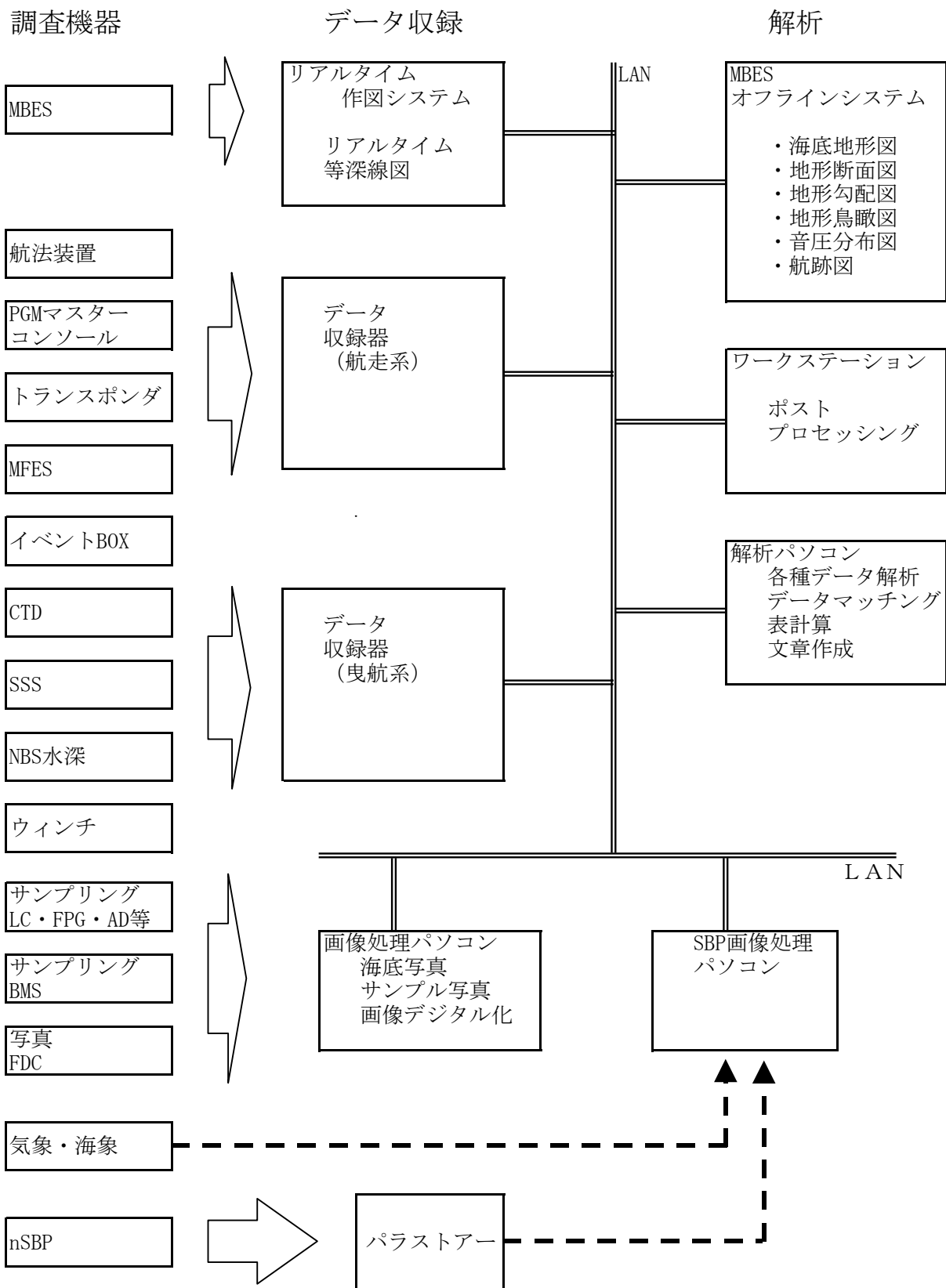


図 2-7-1 データ処理及び解析系統図

2-9 分類・区分基準

2-9-1 海山の地形区分

海山の地形区分を記載の便宜上、山頂部、斜面部及び海山裾野に大別し、斜面部はさらに上部・中部・下部に細区分した。その地形区分の特徴を表2-9-1-1に、海山の地形区分概念図を図2-9-1-1に示す。

表 2-9-1-1 海山の地形区分

地形区分		地形特徴
山頂部	中央部	山頂部中央の平坦または緩傾斜の部分。
	縁辺部	山頂部の肩とその周辺部。
斜面部	上部	斜面部の上部で最も急傾斜の部分。
	中部	斜面上部と斜面下部の中間部。傾斜は斜面上部よりもやや緩やか。
	下部	中部よりも下の斜面部。傾斜は緩やか。
海山裾野		斜面下部から大洋底に移行する部分。

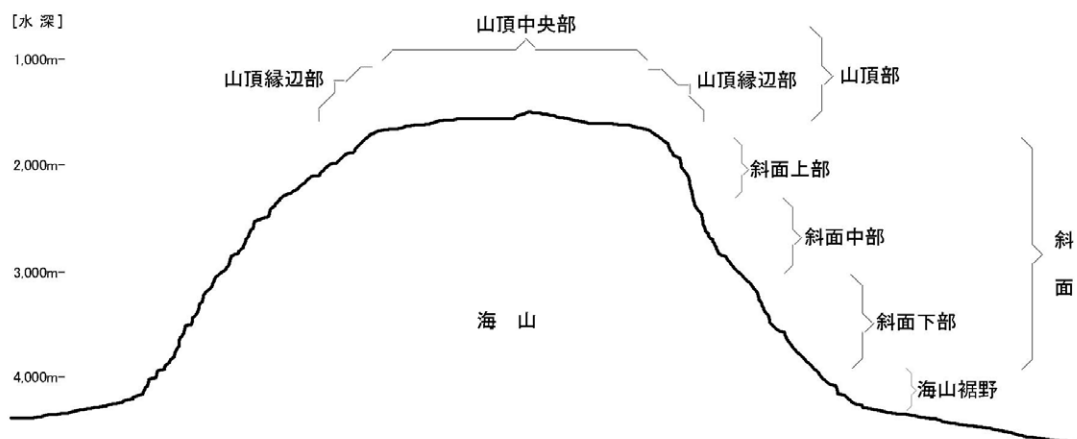


図 2-9-1-1 海山の地形区分概念図

平頂海山の場合、山頂部は平頂部分に対応する。地形区分は主に傾斜に基づいているので1つの海山でも場所によって地形区分の水深は変わる。また、海山により測深範囲が異なる

ため、あるいは海台の上に位置するため、海山毎に地形区分の水深は変わる。この水深変化に対応するように、斜面積及び勾配の統計値は各海山毎に異なる地形区分で算出した。

2-9-2 コバルトクラストのタイプ分類

コバルトクラスト鉱床調査におけるタイプ分類を表2-9-2-1に示す。また、その分布模式図を図2-9-2-1に示す。

表2-9-2-1 コバルトクラストのタイプ分類

タイプ	定義
クラスト	海山の岩盤をマンガン酸化物が被覆したもの。現地性。なお、採取した試料で岩盤が付随していないものをクラスト片と呼ぶ。
礫状クラスト	礫～巨礫の表面をマンガン酸化物が覆ったもの。径8cm以上。
ノジュール	礫の表面をマンガン酸化物が覆ったもの。径8cm以下。通常は球～楕円体を示す。

他に、コーティングがある。これは岩盤や礫の表面を厚さ1mm以下のマンガン酸化物が覆ったものを言う。

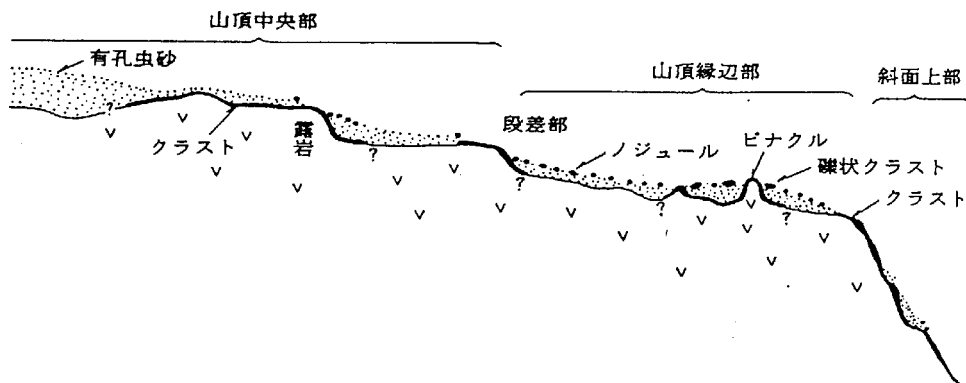


図2-9-2-1 コバルトクラストの分布

2-9-3 コバルトクラストの層区分

コバルトクラストの時間的な産状の変化を調べるためコバルトクラスト試料の層構造から各層のタイプを以下に示すように7タイプに区分した。

- タイプ1 均質な層状構をなし黒色、緻密な層
- タイプ2 均質な層状構造を持つがやや弱い斑～柱状構造を成す層
- タイプ3 斑～柱状構造をなし空隙を粘土が充填する層
- タイプ4 斑～柱状構造をなし空隙の充填は見られない層
- タイプ5 硬質、緻密であるがやや茶褐色を成し磷酸塩化した細粒の粘土を含む層、やや多孔質
- タイプ6 多孔質でコークス状をなす層
- タイプ7 薄い面状をなし面に沿って剥離性を持つ層

層構造は最外層を1層とし内側に向かって随時2層、3層、4層とした。

2-10 環境調査

2-10-1 調査目的

本調査は当該海域における深海底鉱物資源の開発に先立ち、開発行為が海洋環境に与える影響を予測するための基礎調査として実施した。調査内容は底生生物の分布状況を明らかにする底生生物調査とそれらの生息環境を把握するための底質性状調査に分けられる。

2-10-2 調査項目

2-10-2-1 底生生物調査

- (1) メイオベントス
- (2) マクロベントス

2-10-2-2 底質性状調査

- (1) 有機態炭素
- (2) 全窒素

2-10-3 調査方法

2-10-3-1 採取・試料処理方法

底生生物調査は、マルチプルコアラで採取した直上水と底質物を試料とした。得られた底生生物調査用の試料は、表層から3cm層または5cm層（一部6cm層）までを1cm間隔に裁断し、分析に供するまでの間、それぞれ分析項目ごとに必要な処理を施した。また、

底質性状調査は、マルチプルコアラーで採取した底質物を試料とした。得られた底質性状調査用の試料は、表層から 3cm 層までを 1cm 間隔に裁断し、分析に供するまでの間、必要な処理を施した（表 2-10-3-1）。

表 2-10-3-1 調査項目別試料処理方法及び保存方法

項 目	処理および保存方法
・メイオベントス	底質物の定量裁断（直上水、0-1、1-2、2-3cm 層） → ローズベンガル入り中性ホルマリンで固定（最終濃度 10%v/v）→冷蔵保存
・マクロベントス	底質物の定量裁断（0-1、1-2、2-3、3-4、4-5、一部 5-6cm 層） → ローズベンガル入り中性ホルマリンで固定（最終濃度 10%v/v）→冷蔵保存
・有機態炭素・全窒素	底質物の裁断（0-1、1-2、2-3cm 層）→凍結保存

2-10-3-2 分析方法

（1）底生生物調査

1）メイオベントス

ローズベンガルで染色した試料を目合 32 μm と 300 μm の篩でサイズ分けし、300 μm を通過し、32 μm に残った試料を対象に、生物群の同定と計数を行った。但し、有孔虫は、破損しやすく計数困難なため、定量データから除外した。

2）マクロベントス

ローズベンガルで染色した試料を目合 300 μm の篩で砂泥を洗い流し、篩上に残った試料中の生物群の同定と計数を行った。メイオベントスと同様に、計数困難な生物群（有孔虫と海綿動物）は定量データから除外した。

（2）底質性状調査

秤取した乾燥試料を CHN アナライザー（株式会社柳本製作所 MT-5 型）で測定したものを全炭素量及び全窒素量とし、4N 塩酸で無機炭素を除去し、再乾燥させた後、同様に CHN アナライザーで測定したものを有機態炭素量とした。

3章 調査結果

3-1 調査海域の概要

3-1-1 地形概要

マーシャル諸島は、中部太平洋の北西部に位置し、東側を中部太平洋海盆（Central Pacific Basin）に、西側及び南西側をそれぞれ東マリアナ海盆（East Mariana Basin）及びナウル海盆（Nauru Basin）に取り囲まれ、北北西-南南東方向に配列して分布する（図 3-1-1-1）。また、マーシャル諸島の南方延長にはギルバート諸島及びクック諸島が、北方延長には、マーカス-ウェーキ海山群及びマゼラン海山群が連なっている。

マーシャル諸島の東側に広がる中部太平洋海盆（Central Pacific Basin）は、水深 5,000～6,000m で、一部の海膨やトラフを除き全体的に平坦な海底面を形成する。また、マーシャル諸島の西側に広がるナウル海盆（Nauru Basin）及び東マリアナ海盆（East Mariana Basin）は、水深 5,500m を超える大洋底で、東マリアナ海盆の西端はマリアナ海溝まで続いている。したがって、マーシャル諸島海域に分布する海山や環礁の基底の水深は 5,000～5,500m であり、個々の海山の比高は 3,500～4,000m であるが、比高が 5,000m を超えるものも少なくない。

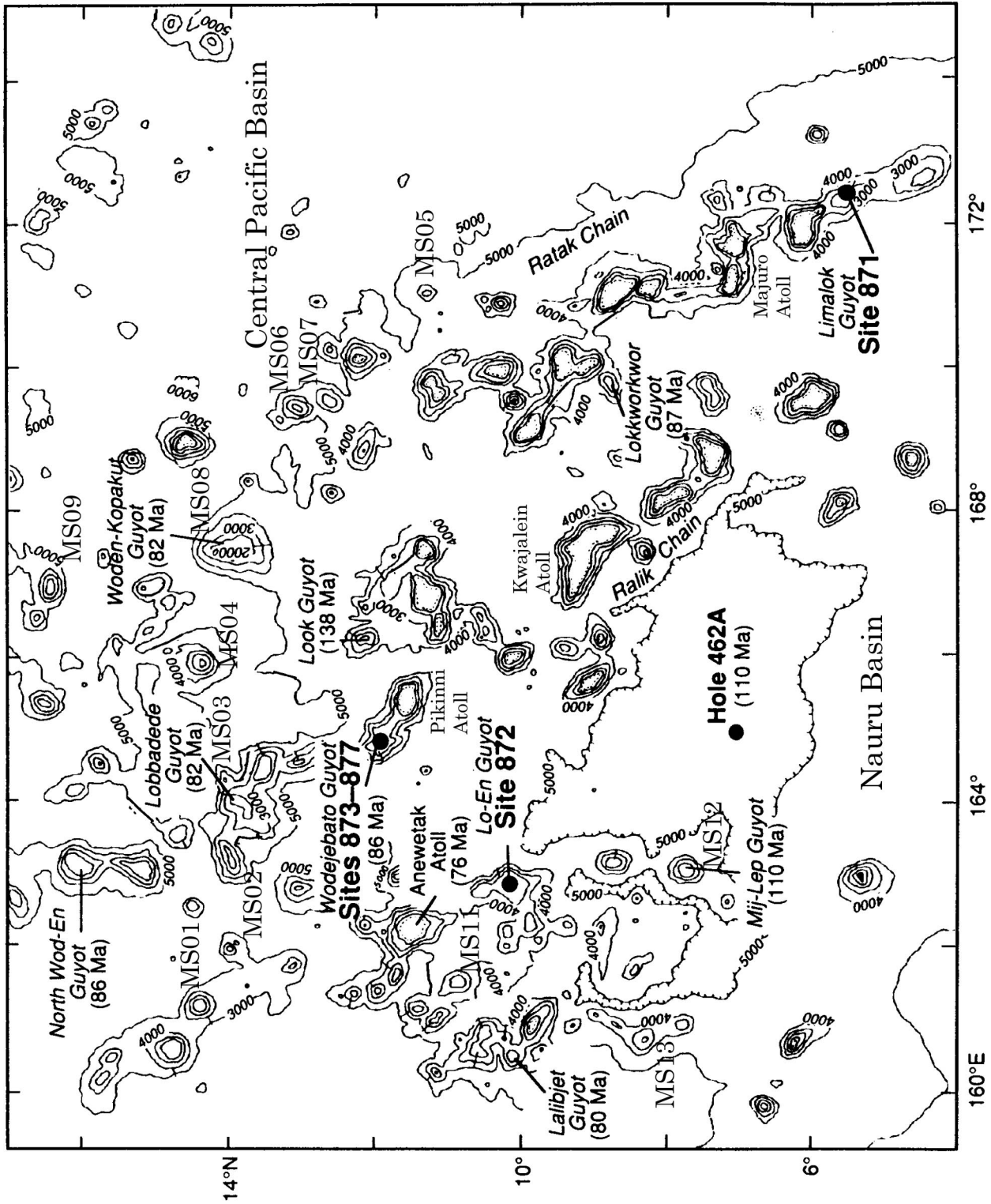
地形的に見ると、マーシャル諸島海域では環礁や海山が北北西-南南東方向に 3 列に連なり、それらは、東側より Majuro 環礁を含む Ratak 列、Kwajalein 環礁や Pikinni 環礁を含む Ralik 列、Anewetak 環礁を含みその北西方及び南東方に分布する海山群である。これら海山群の特徴とし、ハワイ-天皇海山列のように年代順に配列していないこと（Davis et al., 1989）、及び比較的南部に環礁が多く、海山と環礁が対をなして分布していることが上げられる。さらに、これらの海山は最浅部水深が 1,000～1,500m のドーム状の山頂を持つ平頂海山が多い。

今年度、調査を行った MS01 は Ralik 列に、MS11 及び MS12 海山は、Anewetak 環礁周辺の海山群である。なお、MS12 海山は、Mij-Lep Guyot と呼ばれている。

3-1-2 地質概要

マーシャル諸島を取り巻く中部太平洋海盆やナウル海盆の海洋地殻に記るされた磁気の縞は、ジュラ紀の年代を示し、従って、マーシャル列島地域の海山や環礁はジュラ紀の海洋地殻を基盤としてその上に存在する（Larson, 1976, Cande et al., 1978）。

マーシャル諸島の海山では、Limalok、Lo-En、Wodejebato などの平頂海山で ODP (Ocean Drilling Program) によりボーリング掘削が行なわれ、海山の地質状況が明らかにされた（Haggerty and Premoli-Silva, 1995 など）。これら海山は、本体の基盤を形成している玄武岩及び火山砕屑岩、火山活動が停止した後、海山が浅海に留まっている間に堆積した玄武岩を覆う浅海性石灰質堆積物、最上位に分布する海山が深海に沈下した後で堆積した遠洋性堆積物からなる（Bergersen, 1995a）。



Pearson(1995)に加筆

● Site 871 ODP掘削地点
(110 Ma) (岩石の放射年代)

図3-1-1-1 マーシャル諸島海域の海底地形図

マーシャル諸島の海山及び環礁の基盤をなす玄武岩類は、アルカリ玄武岩及びそれらが分化したハワイアイトやトラカイトからなる (Davis et al., 1989, Malcolm et al., 1989, Christie et al., 1995)。さらに、これら玄武岩類の微量元素及び同位体組成は、仏領ポリネシア地域の火山島の玄武岩類と類似しており、マーシャル諸島の海山及び環礁はこの地域における火山活動で形成したと考えられている (Staudigel et al., 1991, Anthony et al., 1995)。さらに、これら海山及び環礁の玄武岩類の Ar-Ar 法による年代値及び浅海性石灰岩類の化石年代から、マーシャル列島の海山及び環礁の形成時期は白亜紀中期 (アプチアン～セノマニアン) と白亜紀後期 (コニアシアン～カンパニアン) の二つの時期に分けられると考えられている (Lincoln et al., 1993, Haggerty and Premoli-Silva, 1995)。これらの海山群はハワイ海山列のように1つのホットスポットから形成されたのではなく、仏領ポリネシア地域の複数の異なる地点のホットスポットから発生し、現在の地点にもたらされたと考えられている (Lincoln et al., 1993, Bergersen, 1995b)。

ODP の結果によると、玄武岩類を覆う浅海性石灰質岩の形成の様相及び形成時期は、それぞれの海山の沈降史と関連し、各海山によって異なる (Haggerty and Premoli-Silva, 1995)。Anewetak 環礁南方の Lo-En 海山 (Site 872) では、浅海性の石灰質岩は見られず、玄武岩類を直接、遠洋性の堆積物が覆っている。Limalok (Site 871) 海山及び Wodejebato (Site 873-877) 海山では浅海性の石灰質岩の厚さは 289m 及び 82~183m で、化石の年代は、それぞれ、Limalok 海山で 57Ma~47Ma (後期暁新世~始新世中期)、Wodejebato 海山でアルビアン (107Ma、白亜紀中期) ~マーストリヒチアン (65Ma、白亜紀後期) であり (Premoli-Silva et al., 1995)、これらの時期の間、両海山は浅海に留まっていたことが想定される。各海山の頂上を覆う有孔虫ないしはナンノ化石を伴う軟泥からなる遠洋性堆積物の化石年代は Limalok 海山及び Lo-En 海山で漸新世~現世であり、Wodejebato 海山で中新世~現世である (Person, 1995)。遠洋性堆積物中の化石は、年代の異なるものが連続して現れるのではなく、随所で中断している部分が見られ、ハイエイタスが存在することが考えられる。

マーシャル諸島の EEZ 内におけるコバルトクラストについては Hein et al. (1988) や Hein et al. (1990) などにより報告されており、本海域に最大 100mm に達する厚いコバルトクラストが発達し、Co や Pt に富むことが報告されている。これら、コバルトクラストの形成を伴うマンガン酸化物の沈殿の時期は、海山が沈降し浅海性石灰質岩の形成が停止した後で、主に始新世から漸新世にかけての時期と考えられている (Watkins et al., 1995)。