

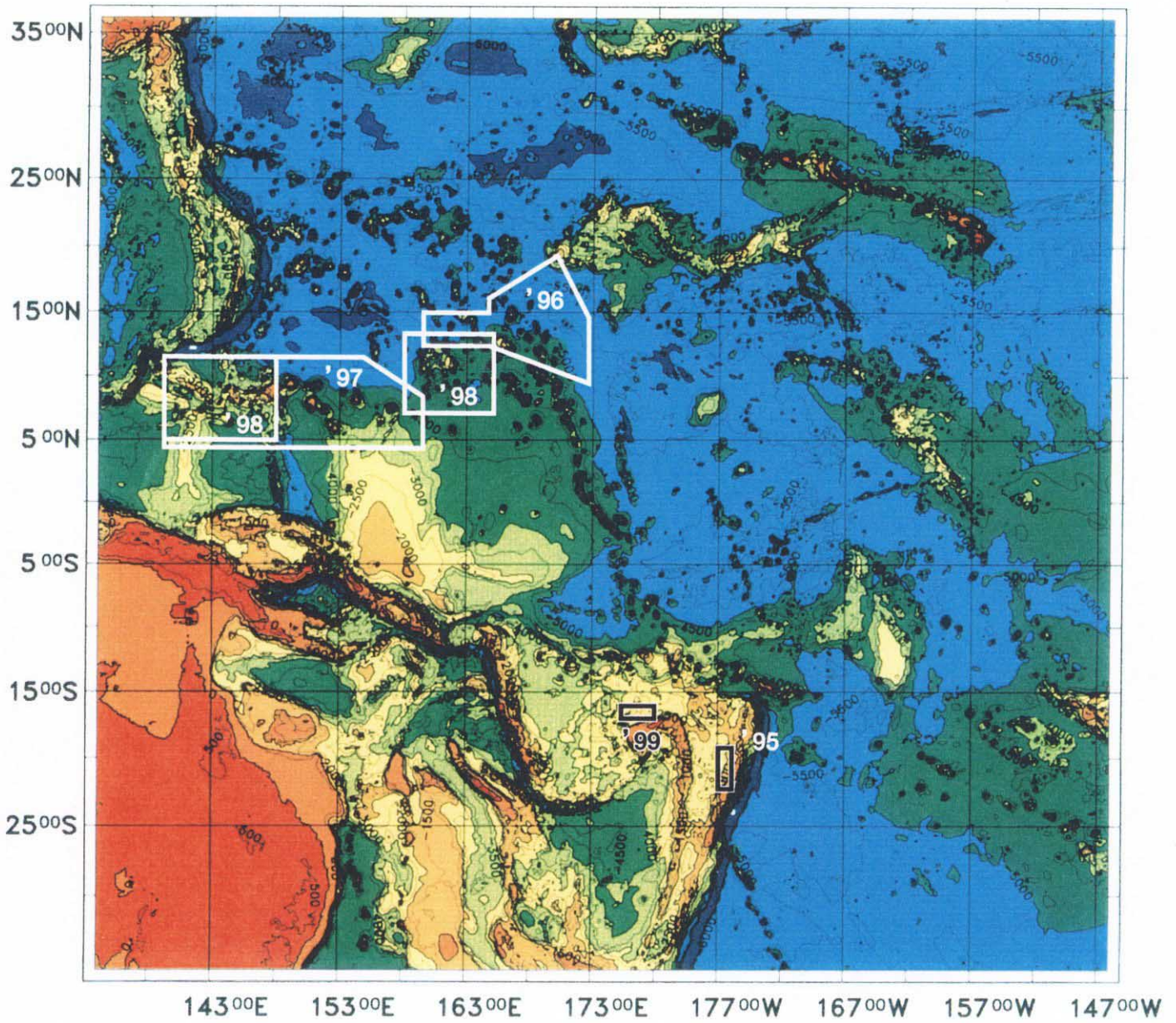
海洋資源調査SOPAC海域
資源開発協力基礎調査報告書

(第5巻)

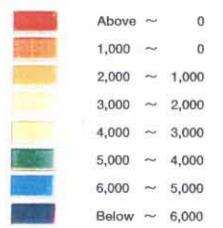
フィジー共和国

平成12年2月10日

国際協力事業団
金属鉱業事業団



凡例 (m)



調查海域位置図

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7年から5ヵ年計画で行われているもので、今年度はその最終年次にあたり、フィジー共和国のEEZ内を調査の対象としている。金属鉱業事業団は平成11年5月20日から7月2日までの29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、フィジー共和国政府の協力を得て調査を予定通り完了した。

本報告書はフィジー共和国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、フィジー共和国政府並びに外務省、通商産業省、在フィジー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12年2月

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎

金属鉱業事業団
総裁 田代 直弘

要 旨

SOPAC諸国に対する資源開発協力基礎調査(海洋鉱物資源調査)は、第3期5ヵ年計画として平成7年から逐次実施された。その最終年度に当たる今年度は、平成11年5月20日から7月2日まで、フィジー共和国の排他的経済水域 (EEZ) 内の約 14,500km² を対象として調査を行った。現地調査日数は44日間、調査対象資源は海底熱水鉱床である。

フィジー共和国のEEZ内においては、これまでの研究から North Fiji 海盆の Central Spreading Ridge を中心に熱水鉱床の存在が確認されている。そこで、今年度調査は鉱床規模の確認と海底ボーリングマシンシステム(BMS)を用いたコアサンプリングを行う既知鉱徴調査と、未発見地域における海底地形調査・鉱徴調査を行うこととした。しかし、BMSによるコアサンプリングは既知鉱床部における気海象条件の悪化により、場所を変更し、Extensional Relay Zone の海嶺状地形部とその北方の小丘で実施した。

既知鉱徴調査では、Central Spreading Ridge の3重点付近の地形的高まり部を「海域1」として、地形調査を行い、その rift-valley 内でサイドスキャンソナー(SSS)調査、深海カメラシステム(FDC)調査及び大口径コアラー(LC)調査を行った。

Central Spreading Ridge の3重点付近から東方へ伸びる North Fiji Fracture Zone では精密な地形図が未作成であった。そこで、3重点近傍から Fiji 島近傍までの範囲を「海域2」として、Fiji Transform Fault を中心とする南北24nm内においてMBESによる海底地形調査・音響反射強度調査、SBP調査及び磁気調査等を行った。さらに既存調査結果を参考に、「海域2」調査結果により177°20'E付近にある Extensional Relay Zone A(ERZ A)とその北方の小丘(Central Hill)を選定し、SSS・FDC・サンプリング等による鉱徴調査を行った。

「海域1」では、地形調査により3重合点付近の地形的高まり部とその中央部の rift-valley の存在を確認した。rift-valley 内で行ったSSS調査結果には、裂罅や小崖に沿ってチムニーやマウンドの可能性のある突起状の地形が散在しているのが認められた。これらは、SONNE1999航海で発見されたSO99サイトと考えられる16°58'S以北で特に密に分布する。FDC調査では、中軸谷底西側の173°55.1'E付近の高まり及び谷底中央部173°55.3E~55.4'Eの凹地を中心に、チムニー状のもの存在が確認されたマウンドとして9箇所と、マウンドと考えられる着変色部を6箇所観察した。個々のマウンドの大きさは径100m内外である。熱水活動の中心は中軸谷底中央部凹地にあり、今回の調査結果は、鉱徴地の範囲が1km×1kmを超えてさらに広がる可能性を示している。

「海域2」では、Fiji Transform Fault (FTF)に沿って、Yasawa、Yaduaなどのトラフや海嶺状の地形的高まりからなる東西方向の構造が顕著であり、それに付随してViwa RiftおよびERZ A等の南北性のリフト構造が見られる。全体的に地形要素が細かく、音響イメージは海嶺部、トラフ斜面等広い範囲で露岩している可能性がある高い音響反射率を示す。磁気調査結果から、顕著な正帯磁による磁気異常帯として、①Central Hill と N-S Ridge との間の平坦地、②Viwa Rift

北端部、③海域西端部の SW—NE に軸を持つリッジの 3 地域が挙げられ、地形的高所となっていない①と②の海域で高磁性岩体の存在が推定できる。

「海域 2」の調査結果から、構造上熱水活動がある可能性の高いところとして、

A、Yazawa Trough—Yadua Trough の間にある地形的高まりの「ERZ A」、

B、ERZ A の北方の小丘「Central Hill」、

C、Viwa Rift 底、

が考えられた。これらのうち、前 2 者の地域について鉍微調査を行うこととした。

ERZ A は N-S Valley を最も新しい活動の中心として、N-S Ridge とその西側の ridge との間で、数回の活動によりテラスを形成している。FDC 観察からは、N-S Valley の最深部凹地で lava flow が分布することと、東側の ridge に向かう斜面中段部に岩や堆積物の変色部・水温異常等が確認され、熱水活動の可能性が示唆された。CB、LC、BMS によるサンプリングにより、最深部凹地北側で黄鉄鉍を含む玄武岩を採取した。採取された玄武岩は中央海嶺玄武岩 (MORB) に類似したものである。これらのことから、ERZ A が拡大軸であり、それに伴う熱水活動が存在する可能性を示している。

Central Hill は、その南側の N-S Valley に続く凹地底に最も新しい lava flow の分布が推定され、さらに ERZ A の延長方向と考えられる山頂部の谷地形内にマウンド状の高まりが見られたことから、熱水活動の可能性に着目した。ここでは FDC 観察で約 300m 四方に亘る貝殻片の堆積や岩石の変質が認められた。CB サンプリングによって採取された貝殻片は、熱水性生物群集のものである可能性が大きい。さらに BMS により採取された未固結堆積物中に黄鉄鉍の堆積が確認された。また採取された斑レイ岩が島弧ソレライトに類似した化学組成を持つことから、Central Hill は島弧の一部と考えられ、そこに MORB に類似した化学組成を持つソレライトの貫入があったと推定される。今回の調査では確認できなかったが、未固結堆積物の下に硫化鉍物のマウンドが存在する可能性を示唆する。

今年度調査では、海域 1 において既知鉍床の規模を見るとともに、海域 2 において鉍床の存在の可能性を調査した。

海域 1 の SO99 サイトの概略範囲は 1km×1km となり、その熱水活動の範囲はマヌス海盆に見られるものに劣らないと推定されるものの、サンプル採取が少なく、確実な品位のデータが得られていないことから、その規模を図るまでにいたらなかった。

海域 2 では、ERZ A において黄鉄鉍を含む玄武岩を採取するとともに熱水変質の可能性を示す変色部を発見した。Central Hill では、300m×300m の範囲に渡って死滅した二枚貝のコロニーが観察され、さらに未固結堆積物中に黄鉄鉍砂が含まれていて、未固結堆積物の下に熱水活動によって形成された硫化鉍物のマウンドが存在する可能性が示唆される。

今後、海域 1 の SO99 サイトでは、各チムニー・マウンドを対象としたサンプリングを行い、その品位をふくむ詳細な鉍体分布を確認する必要がある。また Central Hill では未固結堆積物下のマウンドを発見すべく、BMS による調査を推進することが望まれる。

目 次

グラビア 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	3
1-6 調査実績	3
1-7 調査機器	3
2章 調 査 方 法	9
2-1 調査計画	9
2-2 付番	9
2-3 船位と曳航体位置の決定	10
2-4 地形調査及び音響調査	10
2-5 磁気調査	10
2-6 海底観察及び写真撮影	11
2-7 サンプルング	11
2-8 海水調査(CTD 測定)	11
2-9 調査データの処理及び解析	11
3章 海域1の鉱徴調査	13
3-1 調査海域の概要	13
3-1-1 北フィジー海盆の地形と構造	13
3-1-2 3重点の地形と構造	15
3-2 海域1の海底地形とSBP	17
(1) 海底地形	17
(2) SBP 調査	17
(3) MBE S音圧イメージ	18
3-3 SSS調査	22

3-4	FDC 調査	24
3-4-1	地形および地質	24
3-4-2	水温異常	25
3-4-3	生物分布	25
3-4-4	鉱徴分布	25
3-5	サンプリング結果	33
3-6	室内試験結果	34
3-6-1	薄片観察結果	34
3-6-2	化学分析	34
3-6-3	X線回折試験結果	38
3-6-4	硫黄の同位体分析	38
3-6-5	研磨片の鑑定	38
3-6-6	室内試験結果のまとめ	40
3-7	海域1の熱水鉱床	40
4章	海域2の調査結果	43
4-1	Fiji Fracture Zone の概要	43
4-2	海域2の海底地形とSBP	43
(1)	海底地形	43
(2)	SBP 調査	48
(3)	MBES 音圧イメージ	50
4-3	磁気調査	51
4-3-1	全磁力	51
4-3-2	磁気異常	51
4-3-3	極磁気異常	51
4-3-4	磁化強度分布	60
4-3-5	磁気構造図	63
5章	熱水活動の調査	65
5-1	ERZ における調査	65
5-1-1	ERZ A の地形	65
5-1-2	SSS 調査	66
5-1-3	FDC 観察	66
(1)	地形・地質	74
(2)	変質・鉱徴	75

(3) 生物分布	76
5-1-4 水温異常	76
5-1-5 サンプルング結果	76
5-1-6 室内試験結果	79
5-1-6-1 岩石の薄片鑑定結果	79
5-1-6-2 岩石の化学分析	79
5-1-6-3 Ar-Ar 法年代測定	85
5-1-6-4 X線回折試験結果	85
5-1-6-5 室内試験結果のまとめ	87
5-1-7 ERZA の熱水活動	87
5-2 Central Hill の調査	88
5-2-1 海底地形	88
5-2-2 FDC 観察結果	88
(1) 地形・地質	90
(2) 変質・鉱徴	92
(3) 生物分布	92
5-2-3 水温異常	92
5-2-4 サンプルング結果	93
5-2-5 室内試験結果	93
5-2-5-1 岩石の薄片鑑定結果	93
5-2-5-2 岩石の化学分析	94
5-2-5-3 Ar-Ar 法年代測定	104
5-2-5-4 X線回折試験結果	105
5-2-5-5 底質物の顕微鏡観察結果	105
5-2-5-6 底質物のX線回折試験結果	107
5-2-5-7 底質物の比重分離	107
5-2-5-8 底質物の微化石鑑定	110
5-2-5-9 Mn 酸化物の化学分析	110
5-2-5-10 貝殻片の鑑定及び ¹⁴ C法年代測定結果	112
5-2-5-11 室内試験結果のまとめ	114
5-2-6 Central Hill の熱水活動	114
6章 まとめと評価	116
6-1 まとめ	116
6-1-1 海域1の調査結果	116

6-1-2	海域2の調査結果	117
6-1-3	ERZ Aの調査結果	118
6-1-4	Central Hillの調査結果	119
6-2	評価	121
6-2-1	海域1	121
6-2-2	ERZ A	121
6-2-3	Central Hill	122

[参考文献]	123
--------	-----

[付帯図表]

付帯図

付帯 第1図(1)~(4)	航跡図	巻末
付帯 第2図(1)~(5)	FDCによる水温断面図	巻末
付帯 第3図	LC柱状図	巻末
付帯 第4図	採取試料写真(試験試料写真)	巻末
付帯 第5図(1)~(6)	X線回折試験チャート	巻末
付帯 第6図	有孔虫化石写真	巻末
付帯 第7図	貝の分類写真	巻末
付帯 第8図	鉍石の研磨片顕微鏡写真及び電子顕微鏡写真	巻末
付帯 第9図	CTD観察結果	巻末

付帯表

付帯 第1表(1)~(3)	海域1のFDCで観察された鉍微一覧	巻末
付帯 第2表	サンプリング結果一覧	巻末
付帯 第3表	岩石薄片顕微鏡観察カード	巻末
付帯 第4表	スミアスライド観察結果	巻末
付帯 第5表	MBESに使用した水深対音速値表	巻末
付帯 第6表	気象・海象データ	巻末

[付帯資料]

分析方法	巻末
------	----

[挿入図一覧]

図 1-3-1	調査海域図	2
図 1-7-1(1)	調査機器写真	7
図 1-7-1(2)	調査機器写真	8
図 2-9-1	調査データの処理及び解析のフロー図	12
図 3-1-1	南西太平洋の海底地形概念図	14
図 3-1-2	北フィジー海盆の地形構造	16
図 3-1-3	Central Spreading Ridge (CSR) 付近の海底地形	16
図 3-2-1	海域 1 の海底地形図	19
図 3-2-2	海域 1 の陰影図	19
図 3-2-3	海域 1 の 3 次元表現図	20
図 3-2-4	海域 1 の SBP 記録 (代表断面)	18
図 3-2-5	海域 1 の MBES 音圧イメージ	21
図 3-3-1	SSS, FDC 航跡図及びサンプリング位置図	23
図 3-3-2	SSS モザイク図	23
図 3-4-1	FDC による鉱微分布図 (サンプリング位置図も併せて記載)	26
図 3-4-2	FDC 断面図 (E-W 方向)	27
図 3-4-3	FDC で観察された表層地質	28
図 3-4-4	地形地質観察結果 (スチール写真)	29
図 3-4-5	FDC で観察された亀裂、崖等の分布	30
図 3-4-6	FDC で計測された水温異常	31
図 3-4-7	FDC で観察された生物分布	32
図 3-4-8	FDC で観察された代表的なチムニー・マウンド	35
図 3-4-9	FDC で観察された変質箇所の例	36
図 3-6-1	塊状硫化鉱床の $\delta^{34}\text{S}$	39
図 3-6-2	現世海底熱水系の硫黄同位体比の頻度分布	39
図 3-7-1	熱水の活動範囲	41
図 4-1-1	Fiji Fracture Zone (FFZ) の地形構造	44
図 4-2-1	海域 2 の海底地形	45
図 4-2-2	海域 2 の地形陰影図	46
図 4-2-3	海域 2 の海底地形 3 次元表現図	47
図 4-2-4	SBP 記録タイプ別分類例	49
図 4-2-5	SBP 記録タイプ区分図 (西地域)	52
図 4-2-6	SBP 記録タイプ区分図 (東地域)	52
図 4-2-7	海域 2 の MBES 音圧イメージ	53

図4-3-1	磁気異常図	54
図4-3-2	極磁気異常図	57
図4-3-3	IGRF 残磁気異常図	58
図4-3-4	極磁気異常・磁化強度分布・海底地形図	59
図4-3-5	磁化強度分布図	62
図4-3-6	磁気構造図	64
図5-1	調査位置図	67
図5-1-1	ERZ A の海底地形図	67
図5-1-2	ERZ A の海底地形陰影図	68
図5-1-3	ERZ A の海底地形3次元表現図	69
図5-1-4	ERZ A の MBES 音圧イメージ	68
図5-1-5	SSS モザイク図	70
図5-1-6	FDC で観察された変質箇所	71
図5-1-7	FDC で観察された表層地質	71
図5-1-8	FDC で観察された亀裂、崖等の分布	72
図5-1-9	FDC で観察された生物分布	72
図5-1-10	FDC09 断面図	73
図5-1-11	FDC11 断面図	73
図5-1-12	FDC で計測された水温異常	77
図5-1-13	サンプリング位置図	77
図5-1-14	BMS04 柱状図	78
図5-1-15	2成分相関図	80
図5-1-16	AFM ダイアグラム	81
図5-1-17	MnO-TiO ₂ -P ₂ O ₅ 図	81
図5-1-18	HFS 元素と LIL 元素のスパイダーグラム	82
図5-1-19	希土類元素のコンドライト規格化図	82
図5-1-20	Zr-Nb-Y 図	83
図5-1-21	Ar-Ar 法測定結果	86
図5-2-1	Central Hill での FDC による変質観察地点	89
図5-2-2	FDC で観察された岩石の分布	89
図5-2-3	FDC で観察された生物	90
図5-2-4	99SF FDC12 断面図	91
図5-2-5	99SF FDC13 断面図	91
図5-2-6	Central Hill で計測された水温異常	95
図5-2-7	サンプリング位置図	95

図5-2-8(1) BMS01 ボーリング柱状図	96
図5-2-8(2) BMS02 ボーリング柱状図	97
図5-2-8(3) BMS03 ボーリング柱状図	98
図5-2-9 2成分相関図	101
図5-2-10 AFM ダイアグラム	102
図5-2-11 MnO-TiO ₂ -P ₂ O ₅ 図	102
図5-2-12 HFS 元素と LIL 元素のスパイダーグラム	103
図5-2-13 希土類元素のコンドライト規格図	103
図5-2-14 Zr-Nb-Y 図	104
図5-2-15 Fe-(Cu+Ni+Co)*10-Mn 図	113
[挿入表一覧]	
表1-6-1 調査実績表	4
表1-6-2 調査日程表	5
表1-7-1 調査使用機器	6
表3-5-1 大口径コアによるサンプリング採取物と海底写真内容	33
表3-6-1 薄片観察結果	34
表3-6-2 分析成分及び検出限界	34
表3-6-3 分析方法一覧表	37
表3-6-4 化学分析結果	37
表3-6-5 イオウ同位体分析結果	38
表3-6-6 研磨片鑑定結果一覧表	38
表4-3-1 調査地域の四隅の地点での地磁気の三要素	55
表5-1-1 薄片観察結果(構成鉱物一覧表)	79
表5-1-2 岩石の化学分析結果	83
表5-1-3 X線回折試験結果	85
表5-2-1 薄片観察結果(構成鉱物一覧表)	99
表5-2-2 岩石の化学分析結果	100
表5-2-3 X線回折試験結果	106
表5-2-4 底質物の観察試料一覧表	105
表5-2-5 底質物の顕微鏡観察結果(構成鉱物一覧表)	107
表5-2-6 底質物のX線回折試験結果	108
表5-2-7 比重分離試料重量	109
表5-2-8 微化石鑑定結果	111
表5-2-9 Mn 酸化物の分析結果	110
表5-2-10 貝殻片の鑑定結果	112

1章 調査要項

1-1 調査件名

平成11年度資源開発協力基礎調査（海洋資源調査）
フィジー共和国海域

1-2 調査目的

SOPAC加盟国であるフィジー共和国のEEZ内において、地形調査及びサンプリング調査等により、海底に分布する鉱物資源の賦存状況を把握すること等を目的とする。

1-3 調査海域

平成7年3月13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、図1-3-1に示す多角形で囲まれた範囲（海域1及び海域2）である。

記

海域1			海域2		
番号	緯度	経度	番号	緯度	経度
①	16° 50' S	173° 50' E	①	16° 18' S	175° 00' E
②	16° 50' S	174° 00' E	②	16° 30' S	178° 00' E
③	17° 05' S	174° 00' E	③	16° 30' S	178° 00' E
④	17° 05' S	173° 50' E	④	17° 18' S	175° 00' E
①	16° 50' S	173° 50' E	①	16° 18' S	175° 00' E

1-4 調査期間

現地調査期間：平成11年5月20日から平成11年7月2日まで

解析等：平成11年4月1日から平成12年3月31日まで

1-5 調査員等

調整

日本側

松本 勝時 (金属鉱業事業団)

北 良行 (")

関本 真紀 (")

相手側

Bhaskar Rao (フィジー共和国)

Alfred Simpson (SOPAC)

Russel Howorth (")

Jacson Lum (")

小島 和浩 (")

調査員

日本側

現地監督員： 飯俣 幸吉 (工業技術院地質調査所) (6/14~7/2)

オブザーバー： 小島 和浩 (SOPAC) (6/17~7/2)

調査員： 小泉 俊夫 (深海資源開発株式会社) (6/14~7/2)

調査団長 前田 耕平 (") (5/20~7/2)

斉藤 洋男 (") (5/20~7/2)

村山 信行 (") (5/20~7/2)

岡崎 正次 (") (5/20~6/13)

松井 一徳 (") (5/20~6/13)

吉若 潤造 (") (5/20~7/2)

飯 博行 (") (5/20~6/13)

西川 哲也 (") (5/20~7/2)

武藤 雄大 (") (5/20~7/2)

佐藤 正 (海洋技術開発株式会社) (5/20~7/2)

橋本 豊 (") (5/20~7/2)

一ノ瀬 登 (") (5/20~7/2)

神崎 進 (") (5/20~7/2)

田中 利光 (") (6/16~7/2)

田中 和彦 (") (5/20~6/16)

松川 好克 (") (5/20~7/2)

清水ゆかり (") (5/20~7/2)

相手側

研究員： Mr.Wong Lau Loon (Republic of Fiji) (5/20~6/13)

Mr.Villiams Lutu Baleivanualala (Republic of Fiji)
(6/16~7/2)

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。

1-7 調査機器

今年度調査に使用した主要機器類を表1-7-1に、写真を図1-7-1(1)、(2)に示す。

表 1 - 6 - 1 調査実績表

項 目		実 績		
調査日程	スバ出港	5月20日	16:00	
	SOPAC 調査開始 (Leg1)	5月21日	15:00	
	SOPAC 調査終了 (Leg1)	6月12日	9:30	
	スバ入港	6月13日	9:00	
	スバ出港	6月17日	9:00	
	SOPAC 調査開始 (Leg2)	6月18日	14:00	
	SOPAC 調査終了 (Leg2)	6月23日	17:00	
	グァム入港	7月2日	9:00	
	実調査日数	29 日間		
調査海域		2 地域	海域 1	海域 2
サンプル採取	採試点数	6 点	2	4
	使用サンプラー			
	大口径コアラー (LC)	3 点	2	1
	チェンバケットドレッジ (CB)	3 点		3
	採取量	100 kg	3	97
	岩石	97 kg	3	94
底質物	3 kg		3	
BMS	採試点数	5 点		5
	掘削長	9.1 m		9.1
	採取量	183 cm		183
	岩石	152 cm		152
底質物	31 cm		31	
FDC	測線数	14 測線	7	7
	測線長 (曳航距離)	18 nm	5.4	13.0
	有効写真枚数	2,602 枚	1,068	1,534
	ビデオテープ本数	16 巻	7	9
CTD	FDC 取り付け	14 測線	7	7
	サンプリング時 (有効TD数)	8 測点	4	4
	サンプリング時 (有効CTD数)	2 測点	1	1
音響探査	NBS 30.0kHz	3,528 nm	305.0	3,223.4
	SBP 3.5kHz	3,528 nm	305.0	3,223.4
	MBES 15.5kHz	3,528 nm	305.0	3,223.4
	SSS 59.0kHz	29 nm	9.9	19.4
磁気調査	PGM	1,100 nm		1,100
データ処理	MBES MT	16 巻	(地形航走: 8巻、SSS: 1巻、FDC: 1巻 サンプリング: 1巻、海域内移動: 4巻)	
	図面作成	航跡図、海底地形図、磁力図、磁気異常図 FDC航跡図、SSS航跡図など		

表1-6-2 調査日程表

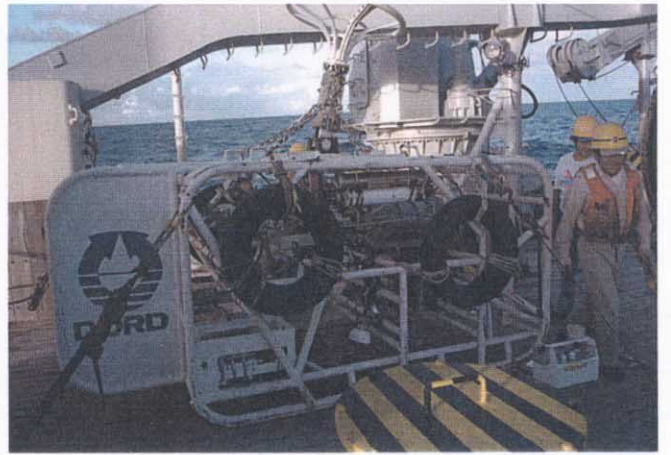
日数	日付	作業	地形航走(nm)	位置	備考
1	5月20日	木 SUVA出港			16:00 出港
2	1 5月21日	金 CTD調査	103.4	海域1	15:00 調査開始
3	2 5月22日	土 FDC01,02,03	115.1	海域1	
4	3 5月23日	日 SSS01,02	86.5	海域1	
5	4 5月24日	月 地形航走	120.6	海域2	
6	5 5月25日	火 地形航走	209.3	海域2	
7	6 5月26日	水 地形航走	209.3	海域2	
8	7 5月27日	木 地形航走	209.2	海域2	
9	8 5月28日	金 地形航走	209.3	海域2	
10	9 5月29日	土 地形航走	239.2	海域2	
11	10 5月30日	日 地形航走	198.1	海域2	
12	11 5月31日	月 FDC04,05,06,07	183.9	海域1	
13	12 6月1日	火 地形航走	163.9	海域2	
14	13 6月2日	水 地形航走	236.7	海域2	
15	14 6月3日	木 地形航走	159.9	海域2	
16	15 6月4日	金 地形航走	239.2	海域2	
17	16 6月5日	土 地形航走	248.1	海域2	
18	17 6月6日	日 SSS03	114.6	海域2	
19	18 6月7日	月 SSS04,05	93.1	海域2	
20	19 6月8日	火 FDC08,09	74.6	海域2	
21	20 6月9日	水 FDC10,11	91.9	海域2	
22	21 6月10日	木 FDC12,13,14	95.0	海域2	
23	22 6月11日	金 CB01,02,03	127.5	海域2	
24	6月12日	土 移動			9:30 海域離脱
25	6月13日	日 SUVA入港、BMS整備			9:00 入港
26	6月14日	月 BMS整備			
27	6月15日	火 Open House			
28	6月16日	水 BMS整備			
29	1 6月17日	木 SUVA出港、港外CTD調査			9:00 出港
30	2 6月18日	金 BMSテスト		海域1	
31	3 6月19日	土 LC04,05		海域1	
32	4 6月20日	日 BMS01,02		海域2	
33	5 6月21日	月 BMS03		海域2	
34	6 6月22日	火 LC06, BMS04		海域2	
35	7 6月23日	水 BMS05		海域2	12:00 海域離脱
36	6月24日	木 移動			
37	6月25日	金 移動			
38	6月26日	土 移動			
39	6月27日	日 移動			
40	6月28日	月 移動			
41	6月29日	火 移動			
42	6月30日	水 移動			
43	7月1日	木 移動			
44	7月2日	金 GUAM入港			9:00 入港

表 1-7-1 調査使用機器

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	
		サイドスキャンソナー調査	Side-Scan Sonar	SSS	曳航式
	磁気調査	Proton Gradio Meter	PGM	曳航式	
		三軸磁力計			
	音速水深調査	電気伝導度・水温・水深測深装置	CTD		
		水温水圧計	TD		
	サンプリング	大口径コアラ	LC		
		チェーンバックドレッジ	CB		
		深海底ボーリングシステム	BMS		
海底観察	TVカメラ及び海底写真	ファインダーTV付き深海カメラ	FDC	曳航式	
		大口径コアラパイロットカメラ	(LCカメラ)		
データ収録処理装置	オンライン機能	データ解析システム			
	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 各種平面図・断面図	EWSCPU LAN, PC, ICM			



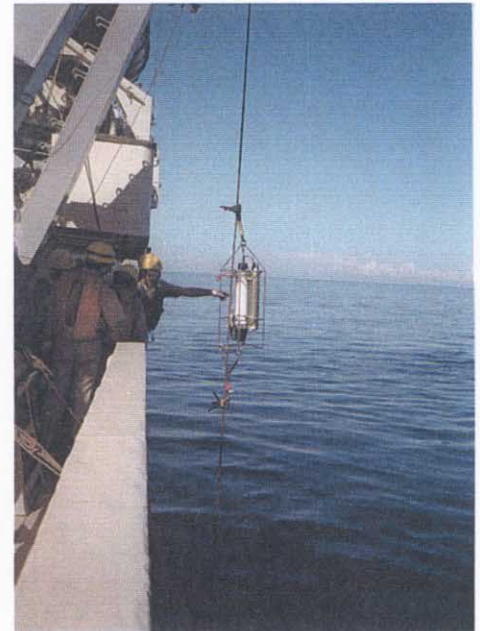
プロトンラジオメーター(PGM)



ファインダーテレビ付き深海カメラ(FDC)



サイドスキャンソナー(SSS)



電気伝導度・水温・
深度測定装置(CTD)

図1-7-1(1) 調査機器写真



水温水圧計(TD)



大口徑コアラー(LC)



チェーンバックドレッジ(CB)



海底ボーリングマシン (BMS)

図1-7-1(2) 調査機器写真

2章 調査方法

2-1 調査計画

今年度は SOPAC 海域調査第 3 期 5 年計画の最終年にあたり、フィジー共和国の 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。対象とする鉱床は熱水鉱床である。

Fiji 共和国の EEZ 内においては、これまでの研究から北 Fiji 海盆の Central Spreading Ridge を中心に熱水鉱床の存在が確認されている。そこで、今年度調査は鉱床規模の確認と海底ボーリングマシン（以下 BMS とする。）を用いたコアサンプリングを行なう既知鉱徴調査と未発見地域における海底地形調査・鉱徴調査を行うこととした。

既知鉱徴調査では、Central Spreading Ridge の 3 重点付近の地形的高まり部において地形調査を、rift-valley 内の White Lady site・Pere Lachaise field・SO99 site を含む範囲でサイドスキャンソナー（以下 SSS とする。）調査を実施し、マウンドの密集度が高い割に平坦度が高いと想定される SO99 site を中心にファインダーテレビ付き深海曳航カメラ（以下 FDC とする。）調査と大口径コアラー（以下 LC とする。）によるサンプリングを行った。ここで地形調査を行った範囲を「海域 1」と称する。

Central Spreading Ridge の 3 重点から東へ伸びる North Fiji Fracture zone では精密な地形図が未作製であることから、海底地形調査として、この 3 重点近傍から Fiji 島近傍までの範囲で、Fiji Transform Fault を中心とする南北 24nm 内において海底地形図・音響イメージ図・全磁力図等を作成した。この範囲を「海域 2」と称する

既存調査結果を参考に、「海域 2」の海底地形調査結果から 177° 20'E 付近にある Extensional Relay Zone とその北方の小丘を選定し、SSS・FDC・サンプリング等による鉱徴調査を行った。

BMS によるコアサンプリングは、当初 3 重点の既知鉱床部で行うことを計画していたが、気象条件の悪化により、Extensional Relay Zone の海嶺状地形を成す地点とその北方の小丘で実施した。

現地調査終了後、陸上においてサンプルの鑑定・分析、データの解析・検討を行ない、報告書としてまとめた。

2-2 付番

サンプリング地点は以下の要領で付番する。

〔CB及びLCサンプリング点〕年号-SF-使用機種-サンプリング No.

Sは SOPAC、Fは Fiji を示す。サンプリング No.は Area 1、Area2 を区別せず CB、LC を合わせた通し番号とした。

例：99SFCB01 (CB使用の場合)

99SFLC02 (LC使用の場合)

[BMS のサンプリング点] 年号-SF-BMS-サンプリング No.

ボーリング No.は、調査サイトを区別せず 01 からの通し番号とした。

例：99SFBMS01

[SSS 測線] 年号-SF-SSS-No.

測線 No.は Area 1、Area2 を区別せず、01 からの通し番号とした。

例：99SFSSS01

[FDC 測線] 年号-SF-FDC-No.

測線 No.は Area 1、Area2 を区別せず、01 からの通し番号とした。

例：99SFSSS01

[音響探査測線] 年号-月-日-測線記号

例：990615

2-3 船位と曳航体位置の決定

船位の決定には GPS を使用した。

FDC、SSS 等の曳航体の位置は、船の進行方向の後方に曳航体が位置するもの仮定し、曳航体に搭載した深度センサーの深度とケーブル長からピタゴラスの定理を用いて算出した。

なお、測地座標系は WGS84 を用いた。

ドレッジ (CB)、大口径コアラー(LC)を用いたサンプリング地点の位置はサンプラー着底時の船位を持って示し、水深は牽引ワイヤーに取り付けた TD センサーの水深を元に算出した。

海底ボーリングマシン (BMS) によるサンプリング位置は、着底時の GPS 船位をもって示し、水深はそのときの音響測深値を用いた。

2-4 地形調査及び音響調査

海底地形調査では 1 nm 間隔に平行な測線を設定し、船速 10~12 ノットで航走した。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音響反射強度が得られる。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。

海域 1 の rift valley 内と海域 2 の Extensional Relay Zone 部では、SSS 調査を実施した。SSS 測線は既知鉱徴の延長方向及び構造の延長方向に設定した。

2-5 磁気調査

磁気調査は、鉱床探査の一助として磁気構造を明らかとすることを目的として実施した。

PGM センサーは船体自体が持つ磁気の影響を避けるため船尾からケーブルで曳航した。船尾～センサー間は 770m である。6 秒毎に感度 0.1 γ で全磁力値測定をおこなった。測定データはオンラインで 10 秒毎にデータ収録コンピュータに収録し、データ処理を実施した。

また、磁気調査と並行し、三軸磁力計を設置し計測を行った。

2-6 海底観察及び写真撮影

スチルカメラ、TV カメラ、CTD を搭載した FDC を船速約 1 ノットで曳航しながら、カラーTV による海底観察及びスチル写真撮影を実施した。また、得られた海底面映像は VTR に収録した。

測線は既知鉱徴を含む鉱徴の延長方向及び既存調査や地形調査結果等から鉱徴が存在する可能性のあるところに設定した。

2-7 サンプルング

鉱徴の確認及び調査地域の地質状況を把握することを目的として、FDC の観察結果を踏まえ LC、CB 及び BMS による岩石及び堆積物のサンプルングを実施した。

採取試料は船上で観察、写真撮影の後密封処理し、試験試料とした。

採取試料に対して、以下の分析及び試験を行った。

新鮮な火山岩は地質構造を明らかにする目的で、薄片観察、化学分析及び Ar-Ar 法による年代測定を行った。特徴的な岩石や鉱化・変質作用が認められた岩石には薄片観察、化学分析及び X 線回折試験を実施した。また、岩石に付着して採取された硫化鉱物及び Mn 酸化物に対しては化学分析等を実施した。その他、必要に応じ、底質物の微化石鑑定、生物遺骸の鑑定・分類を行った。

2-8 海水調査(CTD 測定)

MBES に使用する音速プロファイルの決定とサンプルング水深の決定のため、LC 及び CB サンプルング時にメモリ式 TD を取り付け、水温・水深データを取得した。

熱水活動の示徴を把握するため、SSS に水温計を搭載し水温のデータを取得した。また、FDC にオンライン CTD を搭載し、水温、塩分、水深のデータを取得し、調査結果解析の基礎資料とした。

2-9 調査データの処理及び解析

調査データの処理及び解析は図 2-9-1 に示すフローに従い実施した。船上では基礎的なデータ処理及び解析を、陸上ではサンプルング試料に対する各種試験及び解析を実施し、両者を取りまとめて本報告書を作成した。

3章 海域1の鉱徴調査

「海域1」では、既知鉱徴調査として、SO99 site から Pere Lacheais、STERMER II - White Lady へと繋がる3重点部の鉱徴に対して海底地形図作成、SSS 調査および FDC による海底観察によるチムニー・マウンドの分布状況の把握及び BMS サンプルングによる鉱石（硫化鉱物）の採取を計画した。しかしここでの BMS によるコアサンプルングは気海象条件の悪化により実施できなかった。

以下に、北フィジー海盆と3重点の地形と構造の概要を示した後、「海域1」の調査結果を記す。

3-1 調査海域の概要

3-1-1 北フィジー海盆の地形と構造

北フィジー海盆を含む南西太平洋の海底地形概念を図 3-1-1 に示す。

南西太平洋ではインド=オーストラリアプレートと太平洋プレートとの境界でメラネシアボーダーランドと呼ばれる島弧縁海群が発達している。プレートの境界に沿って分布するマヌス海盆、ウッドラーク海盆、北フィジー海盆、ラウ=ハヴル海盆は海底拡大の継続が確認されている典型的な縁海盆である。

北フィジー海盆はこのうちで最も大規模な海盆で、北をビチャーズ海溝、西をヴァヌアツ島弧、南のニューヘブリデス海溝～ハンターフラクチャーゾーン、東のフィジー諸島によって囲まれた水深 2,500~3,000m の海盆である。

北フィジー海盆の海底地形は海嶺、海山、海丘とその間の凹地が間断なく分布し(図 3-1-2)、雁行あるいは並列する構造が錯綜する複雑な地形をなすが、大局的に以下のような直線構造が認められる (Monzier et al., 1991、Auzende et al., 1990a、Urabe et al., 1992 など)。

- 1) 海盆中央付近に広く南北に配列する多数の線状構造の存在とその中央部の高まりの列 (Central Spreading Ridge)
- 2) 海盆北西域から中央部の向かう高まりの列と地溝状地形 (Central Spreading Rigde)。
- 3) 海盆中央部からフィジー諸島北方を経てトンガ海溝に延びる断続的な高まりと凹地の列 (North Fiji Feacture Zone)。
- 4) フィジー諸島西方、海盆中央部の高まりとの間にある凹地と南北方向の高まり。
- 5) 海盆北東域から西方に、2)の地形と重複して発達する北東-南西方向の地形

これらの構造のうち1) および2) は拡大軸を形成し、3) は、4) と伴にフィジー諸島の回転に関連した断裂帯と考えられ、1)、2)、3) は $S17^{\circ}$ 付近で会合して Triple Junction (3重点) を形成する (Malahoff et al 1982、Auzende et al., 1988a など)。また、5) も海盆を横断する断裂帯であるとの考え方も示されている (Chase 1971)。

北フィジー海盆の形成史に関して多くの議論がなされているが (Chase,1971; Falvey,1975;

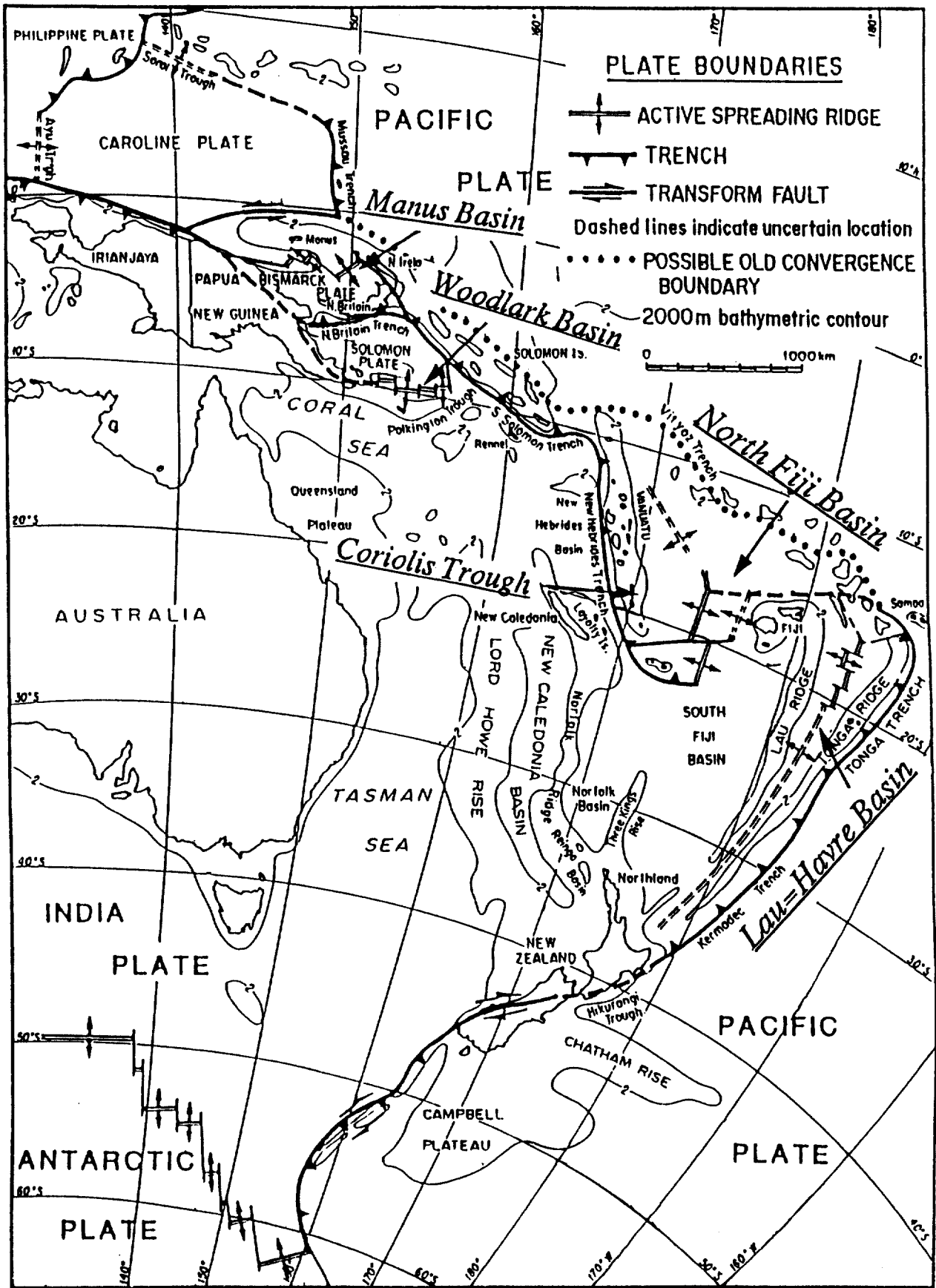


図3-1-1 南西太平洋の海底地形概念図

Packham, G.H. (1982)

Malahoff et al. 1982; Auzende et al., 1988a,b など)、これらによると北フィジー海盆の形成は約 10Ma に開始したと考えられている。すなわち、それ以前に Vitiaz Trench から沈み込んでいた太平洋プレートは Ontong-Java Plateau の衝突により沈み込みを停止し、サブダクションの極性が反転した。この極性の反転によって New Hebrides Arc が南西方向に移動し、その移動に伴い Fiji Platform の半時計廻りの回転が引き起こされた。これらの結果、最初に N45° から N55° 方向の拡大を伴う NW-SE 方向の拡大軸が形成された。さらに、New Hebrides Arc が d'Entrecasteaux Ridge 及び Loyalty Islands Ridge と衝突を開始し、引っ張り応力の方向が E-W 方向に変化して N-S 方向の拡大軸が中央部に形成された。

3-1-2 3 重点の地形と構造

図 3-1-3 に Central Spreading Ridge (CSR) 付近の地形図を示す。

Central Spreading Ridge (CSR) の 16° 57' S、173° 55.5' E に環状の凹地が見られる。ここを中心に南南西、北北西、北東の三方向に Spreading Center を構成する中央地溝が伸びており 3 重点 (Triple Junction) をなしている。ここから 南南西方向に伸びる直線的な溝地形が中央地溝であり、この部分の高まりは、延長 10km 程度の Topographic High を形成する。

ここでは日仏の STARMER PROJECT(1987~92)、ドイツによる Hyflux Project(1995)等の調査により、STARMER II - White Lady サイト・Le Pere Lachaise サイト・SO99 サイト等のチムニー・マウンド群が発見され、活発な拡大部と見られている (Auzende, 1995 他)。

3 重点より北北西方向、北東に伸びる地形も、中央海嶺状の台地状の高まりを分断する中央地溝の深い谷地形の組合せにより構成される。北東に伸びる構造は、16° 30' S、174° 30' E 付近まで続き、トランスフォーム断層を介して、東方の北フィジー断裂帯 (FFZ) に繋がる。

地形から推定される 3 重点の形成は、以下のとおりである。

- 1) 3,000m 程度の海底面に北西側の大地状の高まりを形成する拡大系の活動があった。
- 2) それを分断する北東方向を軸とする凹地が形成された。
- 3) 3 重点の南側に南南西に伸びる拡大系を中心とする活動が始まり、現在の地形が形成された。

拡大系の活動の時期については地磁気等から 1) は 3 Ma、2)、3) については 0.7 ~ 0.4Ma と推定されている。

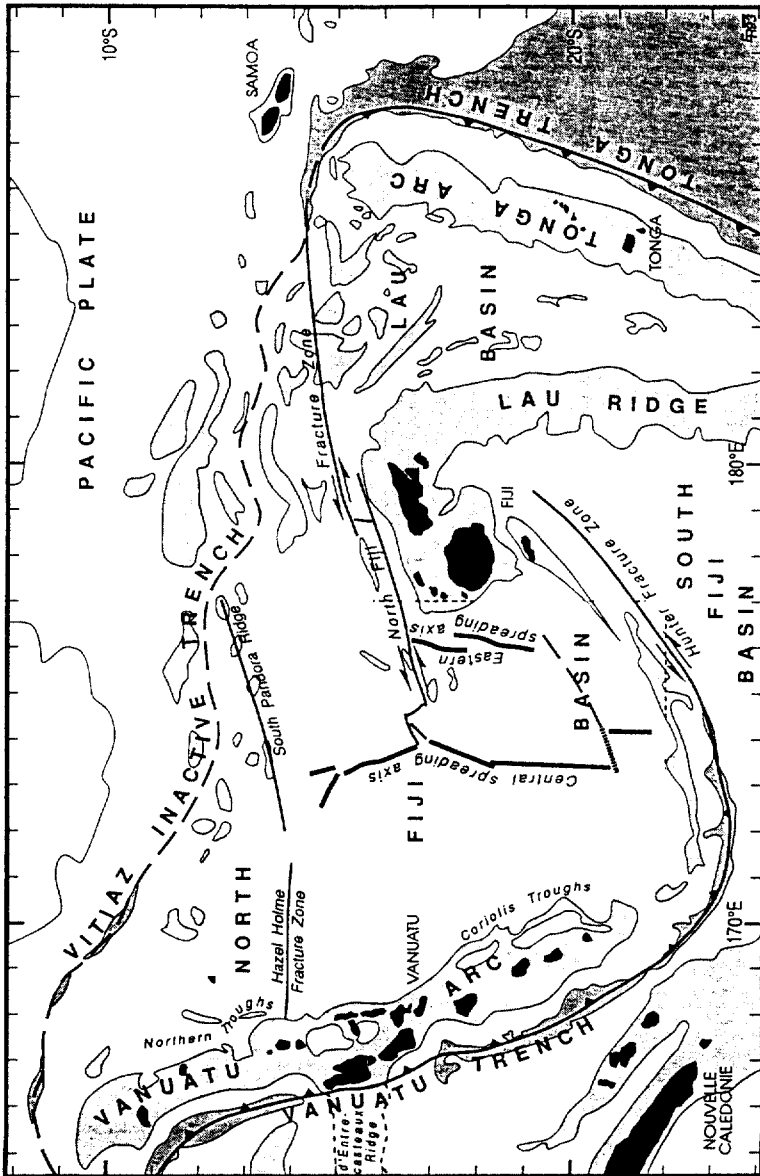
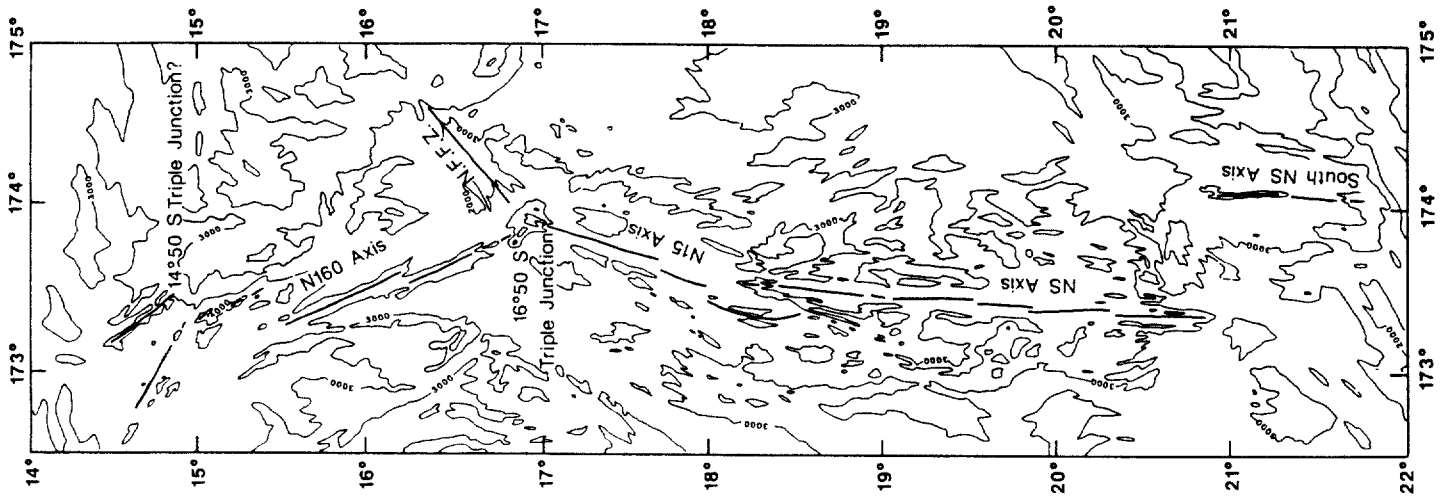


図3-1-2 北フィジー海盆の地形構造

Huchon, P. et al., (1982) より抜粋

図3-1-3 Central Spreading Ridge (CSR) 付近の海底地形

Auzende et al., (1994)

3-2 海域1の海底地形とSBP

(1) 海底地形

海域1の海底地形図、陰影図及び3次元表現図を図3-2-1~3に示す。

3重点付近のCSRは海盆部凹地の3,000m、海盆底の水深2,700m付近から、数条の2,500m程度の尾根状地をはさんで中央部に存在する地形的高まり（Topographic High）の水深2,000m未満部にいたる。拡大軸部の鉱床分布をつかむにあたってMBESによる海底地形調査はTopographic Highの全容をつかむことを目的として、水深2,100m以浅を中心に地形図を作成した。

Topographic Highは、2,100m等深線で20km×12km程度の広がりを持つ全体としては卵型の高まりで、最浅水深の1,860mを中心に北側で比較的急傾斜であり、南側は緩やかに深くなる。山体のほぼ中央を縦断して、幅2km程度の中軸谷がNNE-SSWに延びる。海丘は中軸谷の溝地形により平行する2つの尾根に分けられている。溝地形の両斜面は比高40~60mの直線的な急崖となっている。

地形図作成範囲(海域1)内において、3重点より南南西に延びる中軸谷の谷底部の水深は3重点側で浅く、南側で2,230mと深い。谷底は2~3段の階段状のテラスを形成し、中央部が深くなっている。

Topographic Highの北東方、北西方、南東方、西-南西方は、いずれも水深2,400mを超える凹地を形成している。作成した地形図の外側ではいずれも3,000mを超えて深くなり、一部は3,500mに達する。これらの比較的大規模な凹地と、その凹地を挟んで同様の方向に延長する尾根上の高まりの列はTopographic Highの中にある溝地形に対して古い構造である可能性を示唆する(棚橋 1990)。

(2) SBP調査

海底面の堆積物の分布状況を把握することを目的に、SBP調査を行った。SBP記録を図3-2-4に示す。

使用したnSBPは分解能は高いが、対象となる海底面の傾斜が5°を超えた場合、音響反射が得られない。調査海域の海底面は起伏に富み、海底面の傾斜が5°以上となる個所が多く、明瞭の記録が連続して得られなかった部分が多い。

得られたSBP記録は2つのタイプに分類される。タイプ1は海底面直下に均一な音響不透明層が見られ、タイプ2では粒状の音響不透明層が見られる。これらはともに露岩あるいは海底面に分布する堆積物が薄いことを示唆している。

海域内でSBP記録に数mを超える堆積物の分布を示す音響透明層が明瞭に記録された個所は認められなかった。

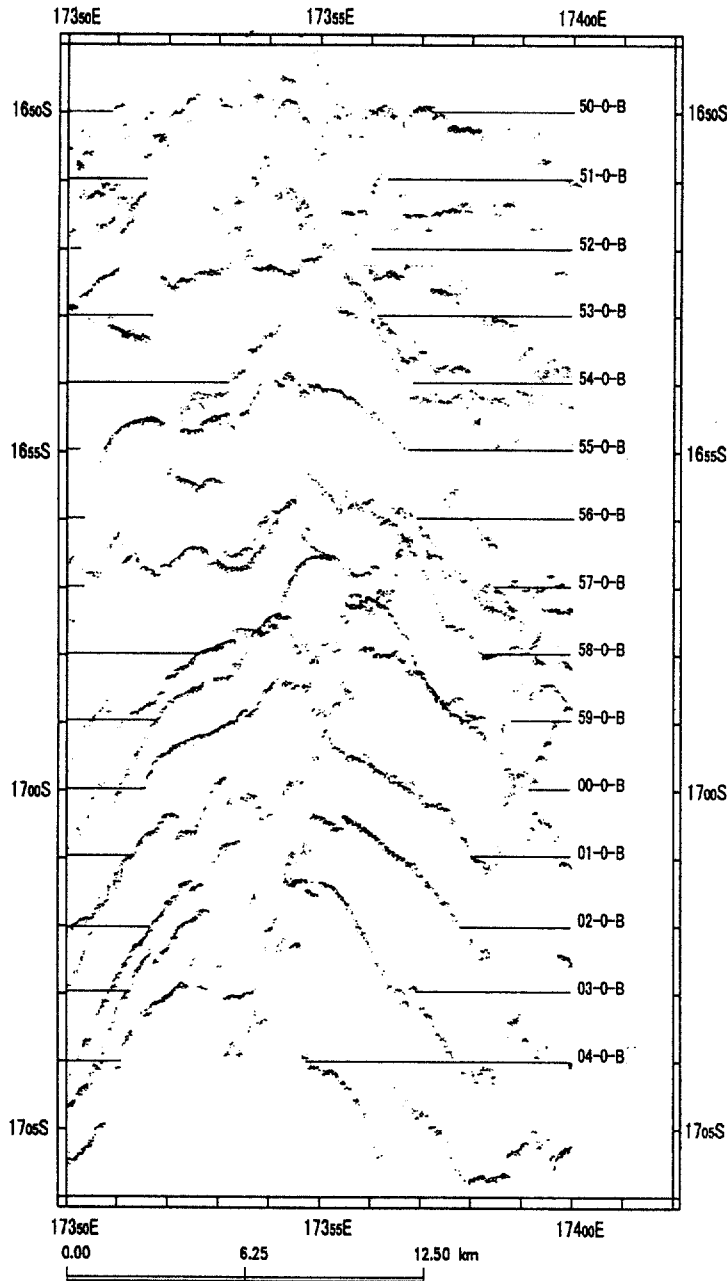


図3-2-4 海域1のSBP記録(代表断面)

(3) MBES 音圧イメージ

MBES 調査では、海底地形とともに、海底からの音響反射強度(音圧)値が得られる。この反射強度値を処理し、画像表示をおこなった。観測された音圧データは、音波の海底面との入射角に応じてその反射強度が大きく左右される。これらの入射角に対する後方散乱波の補正方法として、出力レベル、TVG、距離減衰等の補正処理を行なったあとのデータに対して入射角 0~90° の各平均音圧を求め、入射角毎に観測値と平均音圧との残差を求め補正音圧とした。

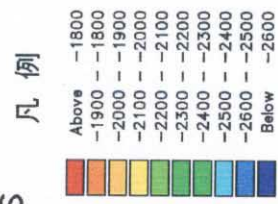
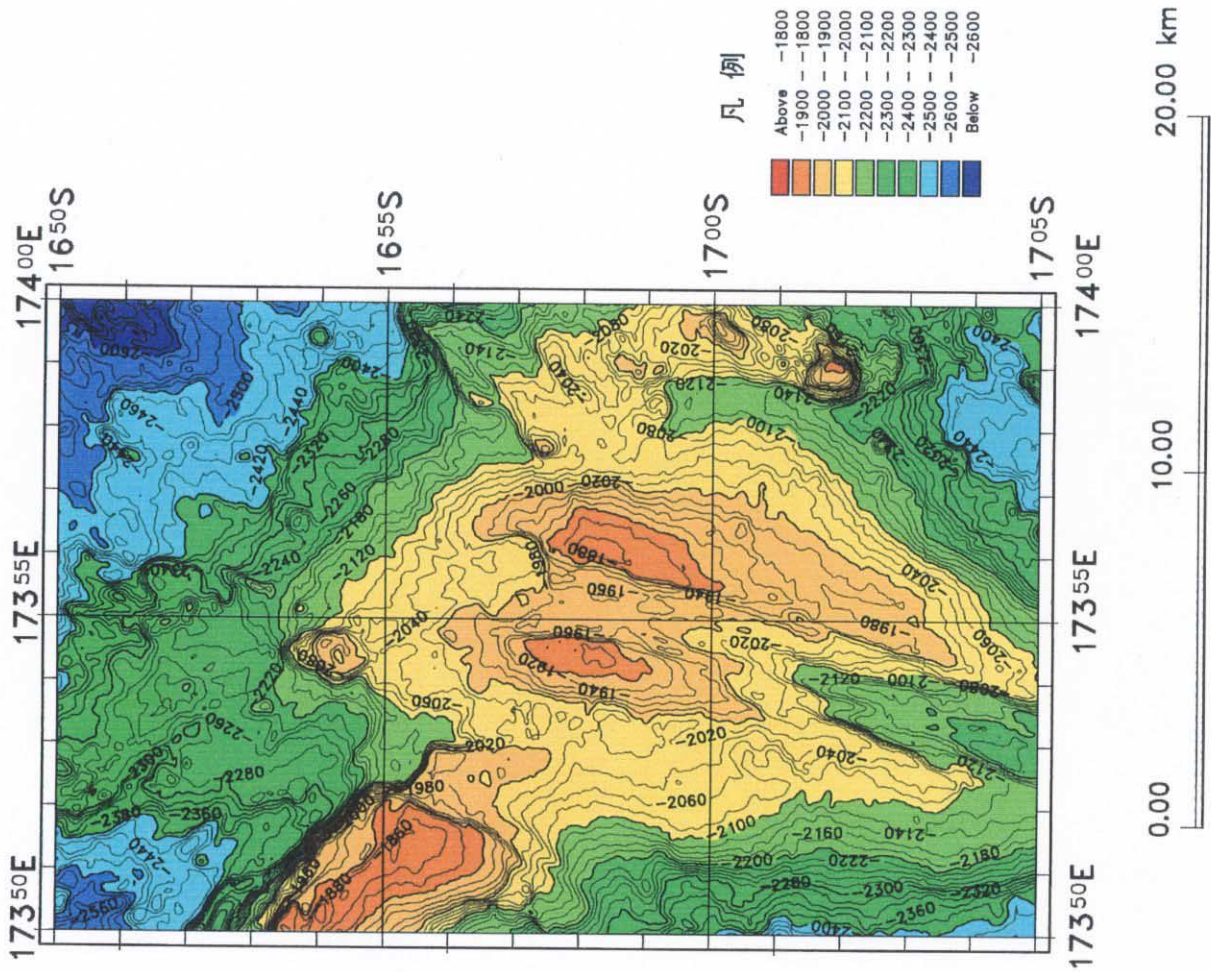
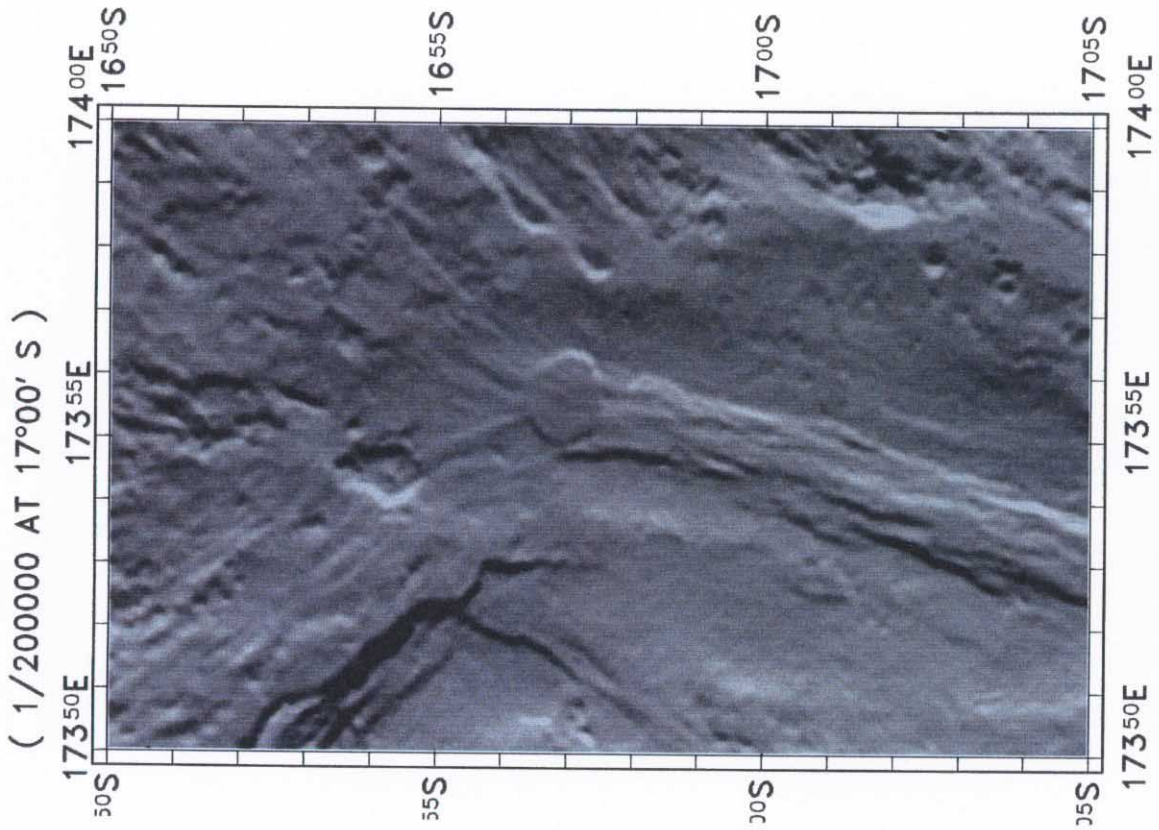


図 3-2-1 海域 1 の海底地形図

図 3-2-2 海域 1 の陰影図

上記手法により求めた音圧値の強弱のレベルを濃淡表示し音圧イメージを作成した。それを図 3-2-5 に示す。

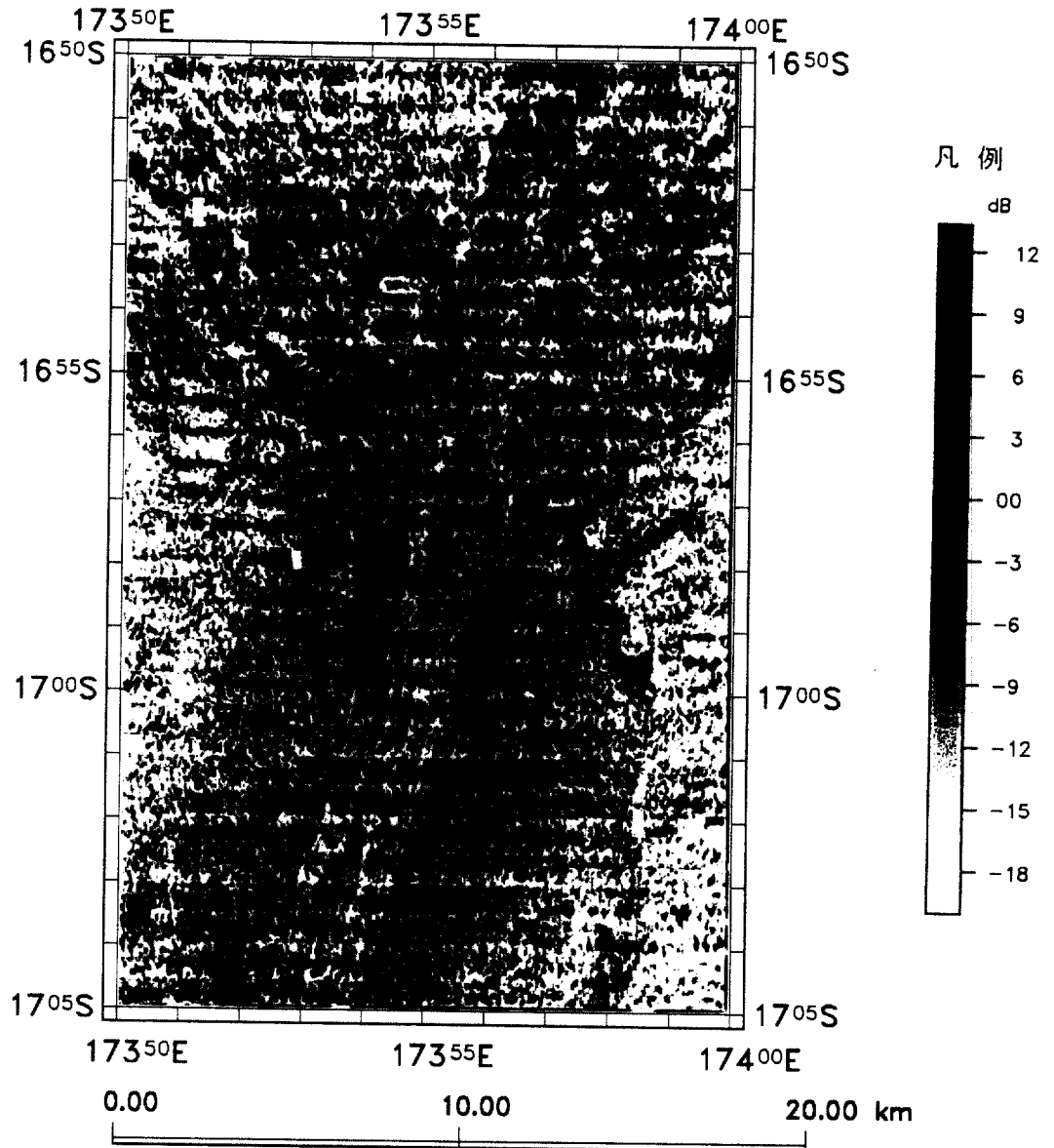


図 3-2-5 海域 1 の MBES 音圧イメージ

一般に MBES による音響反射レベルは底質および海底地形を反映している。すなわち、海嶺・海丘のように岩盤の露出が見られる個所では反射音圧が高く（ただし、高まり部の影にあたる個所では影になり、反射音圧は最も低い）、堆積物が覆っているような個所では反射音圧が低く、さらに、その堆積物の密度によって音圧が変化する。今年度海域の音響イメージも概ねそのパターンを示している。

3 重点付近では $16^{\circ} 58' S \cdot 173^{\circ} 55' E$ を中心とする高まりから SSW、NNW、NE の 3 方向に地形構造が存在するが、音圧イメージには SSW、NNW の 2 方向の線状構造が顕著

に認められた。線状の構造は NE 方向にもみとめられるが 2 方向に比べると弱い。音圧レベルは NNE-SSW を中心に高い。すなわち、ここでは未固結堆積物が薄く比較的新鮮な岩石が露出していると思われる。これに対し、海域 1 の東端部の高まり、西端部の凹地、北東~北部の高まり-凹地-高まり部等では中央部を通る NNE-SSW の高音圧部に対し低音圧を示し、堆積物が比較的多いことを示している。

局所的には以下の特徴が挙げられる。

- ・中央部の高まりから SSW に延びる 2 条の尾根状部で音圧が高い。特にその最浅部で最も音圧が高く未固結堆積物は薄いと見られる。
- ・2 条の尾根間の低地部では軸に沿った線状構造が認められ、その溝部では堆積物が認められる。
- ・2 条の尾根間の低地最深部で音圧が最も高く、未固結堆積物が薄い部分がある(16° 56.2' - 58.7' S)。
- ・3 重点より NW 方向に延びる凹地の南西端に、線状に、音圧が比較的高く未固結堆積物が薄いと考えられる部分が認められる。
- ・東端部に見られる南北系の尾根状地では音圧が低く、未固結堆積物が存在する。
- ・前述の尾根状地と、東端部の尾根状地に挟まれた低地から南部 2,460m の盆状地の最浅部に沿って南北系の高音圧部が認められる。
- ・北東部の 2,500m 以深の低地では大局的な地形構造は NW-SE であるが、局所的構造は SSW-NNE と同じ方向性が見られ、これに沿って比較的音圧が高く、堆積の発達が少ない。

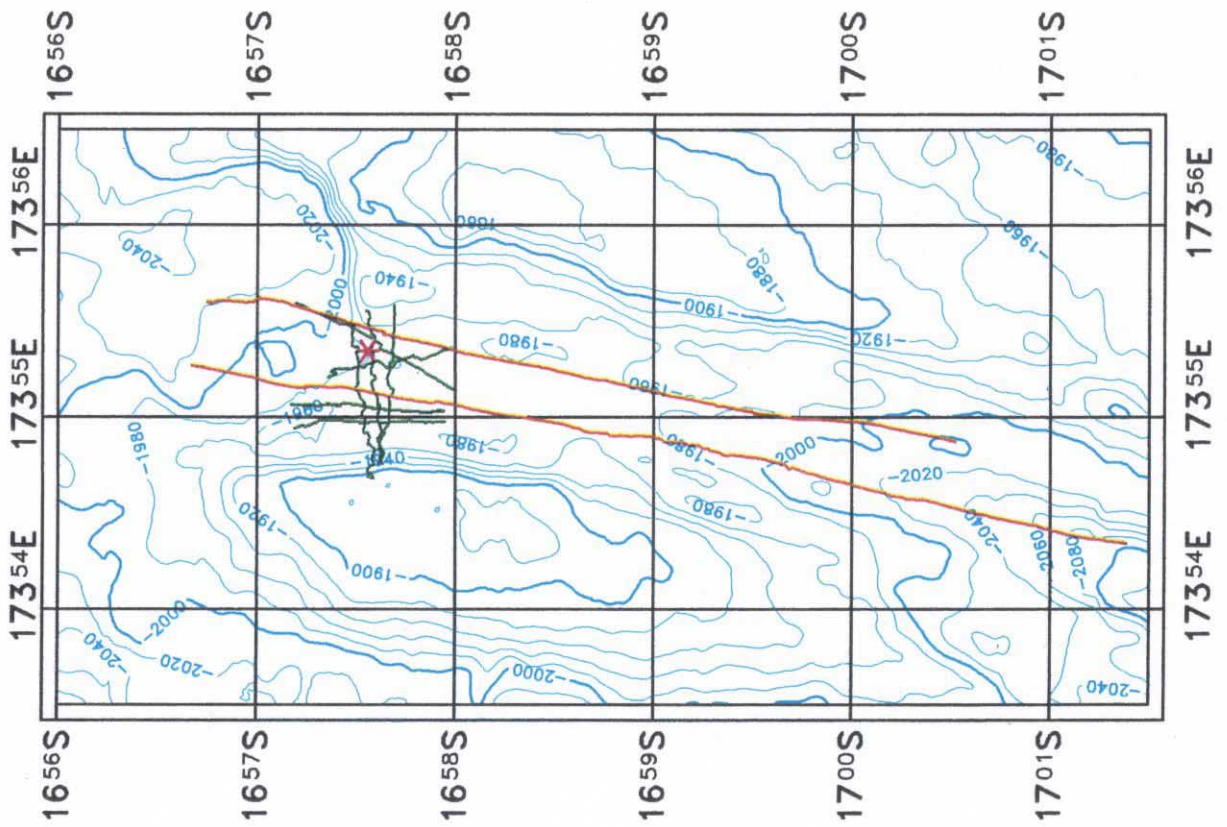
3-3 SSS 調査

3 重点の高まりの STERMER II-White Lady、Pere Racheise、SO99 等の既知鉱徴がある中軸谷の、海底面の状況を把握し、可能ならば熱水鉱床マウンドの分布状況を知ることが目的として SSS 調査をおこなった。

SSS 調査の測線図およびモザイク図を図 3-3-1 および図 3-3-2 に示す。測線は、既知鉱徴の分布の中心にあたる溝地形の主要部を観察できるよう溝地形内の西側を中心に、南北約 8km に配置した。この部分の溝地形は、2km 程度の幅を持ち、底部水深は北側の 3 重点中心部側で浅く、南側で深くなっている。東西の断面の中央付近に比高 30~40m 程度の斜面があり、この西側でより深くなっていることから、この部分を中心に観察をおこなった。

SSS イメージには、溝状地の軸に平行する N15° E 方向に発達する割れ目または階段状の構造を反映する線状の構造が明瞭である。全体に、東側のテラス部分よりも深くなる西側部分で画像濃度が濃くなっていて反射音圧が高いことを示し、東側のテラス面に比べ堆積物の分布が少ない可能性を示す。同じ西側の底部でも 16° 59.0'~59.5' S 付近を境にして、南側で濃く、高反射率であることを示す。この 16° 59.0'~59.5' S 付近で南北の線状構造

(1/70000 AT 17°00' S)



凡例

赤線: SSS側線

緑線: FDC側線

* : サンプルング地点

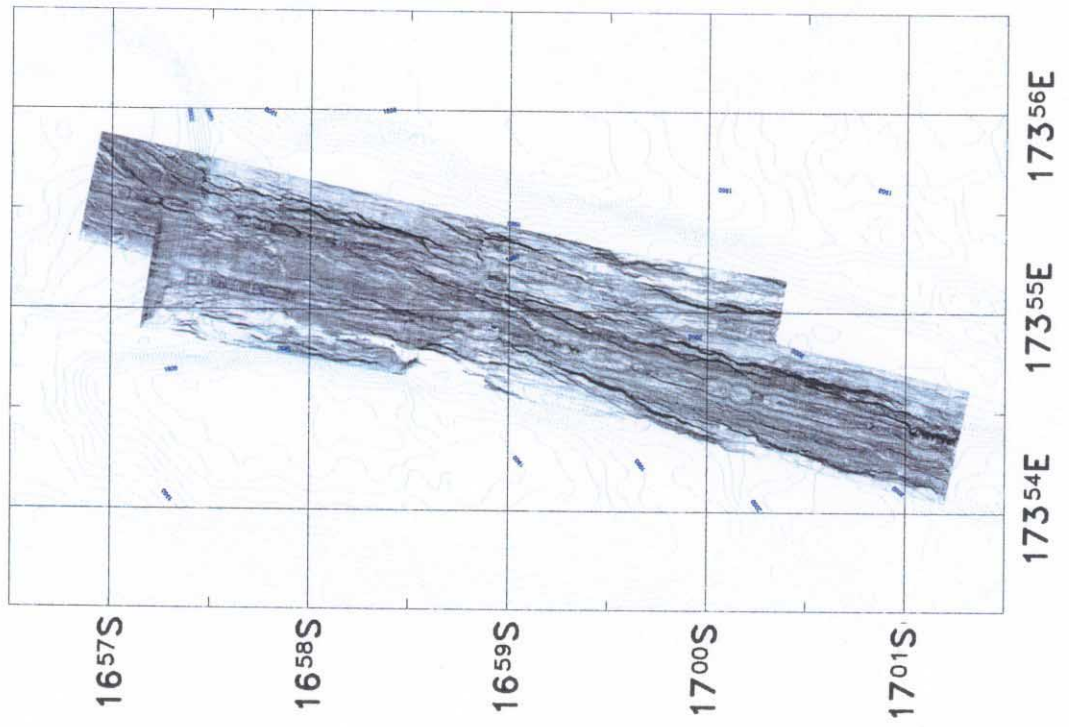


図3-3-1 SSS, FDC 航跡図及びサンプルング位置図

図3-3-2 SSSモザイク図

は多少のずれを示しており、北側の溝底部で南側同様の高い反射率を示す部分は、溝のより中央部のみとなる。これらの音響反射率が高いところが、拡大軸の中でも比較的新しい露岩の多い部分と考えられる。

北側では西側斜面に沿った溝底部に反射率が特に低いまたは無反射の部分が認められる。この部分には局所的な凹地が点在している。

チムニーやマウンドの可能性のある突起状の地形は階段状地形または割れ目の存在を示す線状の構造の所々に認められるが、 17° S以北に顕著で、特に $16^{\circ} 58' S$ 以北では密に分布する箇所が点在する。

3-4 FDC 調査

既知鉱徴として、最も密に分布しているとされる SO99 鉱徴地を中心に、FDC 観察を 7 測線で実施した。調査範囲は 3 重点中央付近の海丘頂部にある溝地形の北端部に位置し、SSS 調査で多数の突起状地形が確認されたところである。

図 3-4-1 に FDC により観察された鉱徴分布と共に水深等値線図を示す。FDC 調査データは付帯第 1 表に示す。

3-4-1 地形および地質

図 3-4-1 の鉱徴分布図に示す水深等値線図は、FDC 観察時に FDC フレームに取付けられた CTD によって計測された FDC 深度を用いたものである。図の北東・南東・南西・北西部分ではデータが得られていないため、海底地形図としては問題がある部分がある。また FDC 測線を東西面に投影した FDC 水深断面図を図 3-4-2 に示す。

FDC 調査範囲は、CSR の中央地溝の活動的な西側地溝部である。この範囲の山頂部一地溝底の比深は 80~90m で、底面は概ね平坦である。断面図に見られる西側の地溝壁部の比深 60~70m 付近にテラスがあり、これに東側の広いテラス面が対応する。最も活動的な海底はこれより深い部分にある。この地溝底には南北に連なる凹凸が数条認められ、その比高は西端の 30~40m から中央部の数 m まで変化する。

FDC 観察による海底の地質状況および代表的な岩石のスチル写真をそれぞれ図 3-4-3 および図 3-4-4 に示し、崖や亀裂の分布図を図 3-4-5 に示す。

FDC 画像では、西側の谷斜面及び谷底の全体にシート状溶岩の分布が観察された。底部の南側や中央部の凹地では、ロバイト溶岩や lava pond の存在を示す陥没や残柱が認められる。枕状溶岩は、裂隙に沿って局所的に分布し、シート状溶岩によって形成された平坦な海底面に高さ数 m の隆起を形成している。

海底面は全体に薄い泥質の未固結堆積物によって覆われている。また、谷斜面下部及び段差の下部には、崖錐の分布がみられる。崖錐堆積物の多くは数十 cm の溶岩礫であり、一部に柱状を示す礫も認められる。

3-4-2 水温異常

FDC のフレームに CTD を取り付け、海底観察と同時に水温測定を行った。水温はリアルタイムでモニターされるとともにメモリによって収録された。

FDC に取り付けられた CTD では水深による水温変化等を考慮して、 $1/500^{\circ}\text{C}$ 以上のものを水温異常として抽出した。水温異常個所の分布図を図 3-4-6 に示す。また、FDC による時間一水温断面を SSS での測定結果と合わせ付帯第 2 図(1)~(5)に示す。

温度異常地点は 22 個所で観測された。最も大きな異常値は 0.077°C である。22 箇所のうち 13 箇所では、FDC によりチムニーやマウンド、硫黄パッチ及び岩や堆積部の強い着・変色が観察された。残る 9 箇所のうち 6 箇所は堆積物に覆われ、1 箇所は枕状溶岩が分布している。

0.04°C 以上の高い値を示す個所が 3 点、調査範囲の中央部に南北に配列する。このうちの南側の 2 点では FDC でチムニー及びマウンドが確認された。北側の 1 点の海底面は堆積物によって覆われているが、一部に枕状溶岩がみられ、堆積物や露岩に強い着・変色が確認されている。

$16^{\circ} 57.6' \text{ S}$ 以南では、 $0.02\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ の比較的大きい温度異常を示す 5 箇所が点在する。東側の 2 点ではチムニー及びマウンドが確認された。FDC01 測線と FDC05 測線の交点にあたる西側の 1 点は崖錐に覆われているが、その周辺ではチムニーや硫黄パッチが確認された。南側の 2 点は堆積物に覆われている。このうち東側の 1 点は 0.04°C 以上の高い値を示す 3 点とほぼ直線状に並んでいる。

3-4-3 生物分布

FDC で観察された生物分布を図 3-4-7 に示す。

今回の FDC 観察からは熱水性生物群集（コロニー）の存在は確認できなかった。しかし、スチル写真等で明瞭に確認できなかったものの FDC03 で観察されたチムニー上に白色のエビが認められた。また、3 箇所のマウンド上でゴカイ類の巣とみられる数 cm の黄色で管状のものが認められた。これらは熱水性生物である可能性も考えられる。また、3 箇所のマウンドで白色の貝殻片が集積するのが見られた。

全体に観察地域に生息する生物は少なく、FDC 観察ではカイメン等の岩着生物、ウニ、ナマコ等の底性生物が確認されているが、これらが密に分布する箇所は見られなかった。

3-4-4 鉱徴分布

鉱徴及び熱水活動の兆候が認められた個所を図 3-4-1 および付帯第 1 表(1)~(3)に示す。FDC 画像により得られる鉱徴及び熱水活動の兆候とは、

- a. 噴気孔を持つか、赤褐・暗赤・緑・黄褐色等に着色した尖塔状の地形でチムニーの可能性が高いもの、

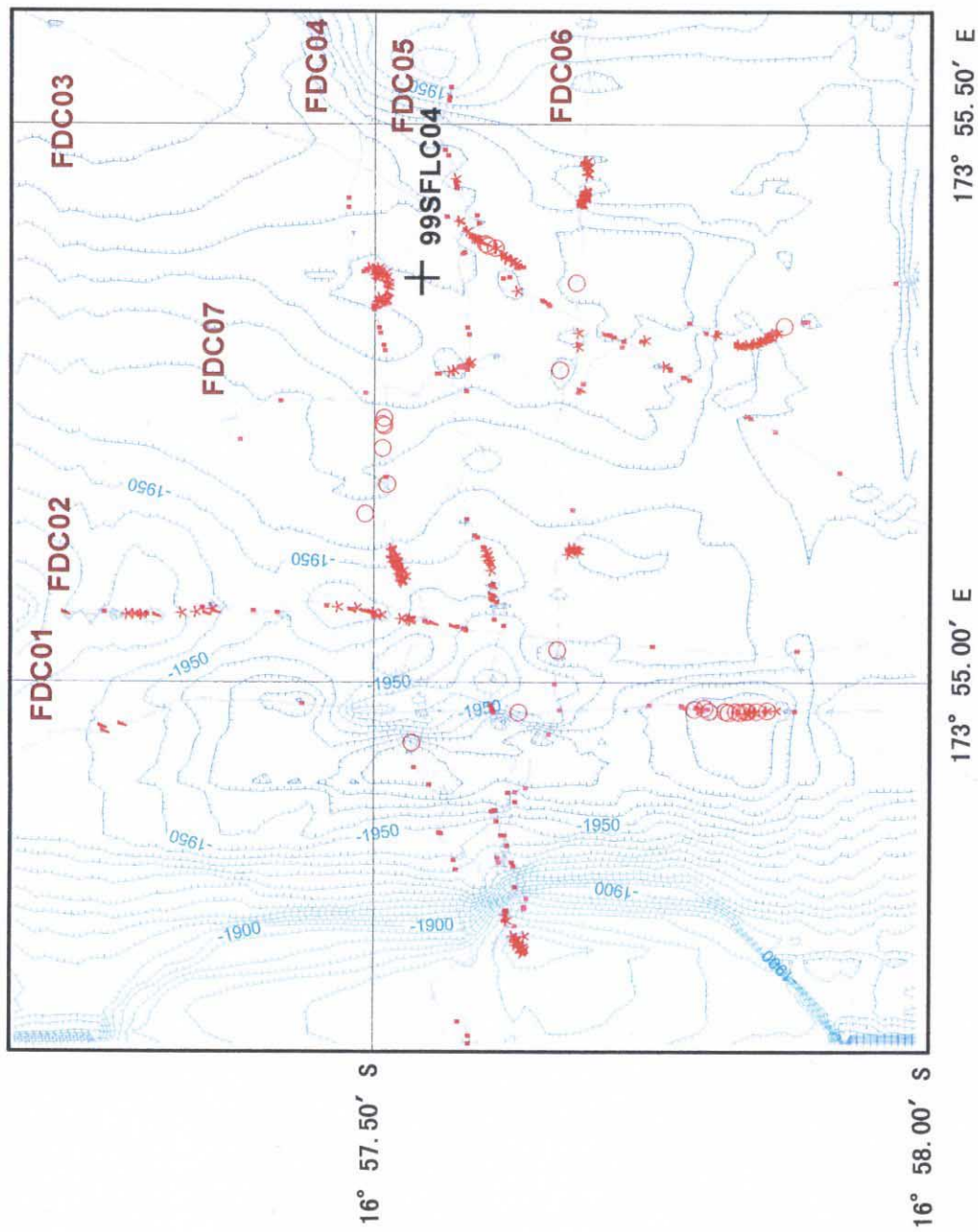


図3-4-1 FDCによる鉱徴分布図
(サンプリング位置図も併せて記載)

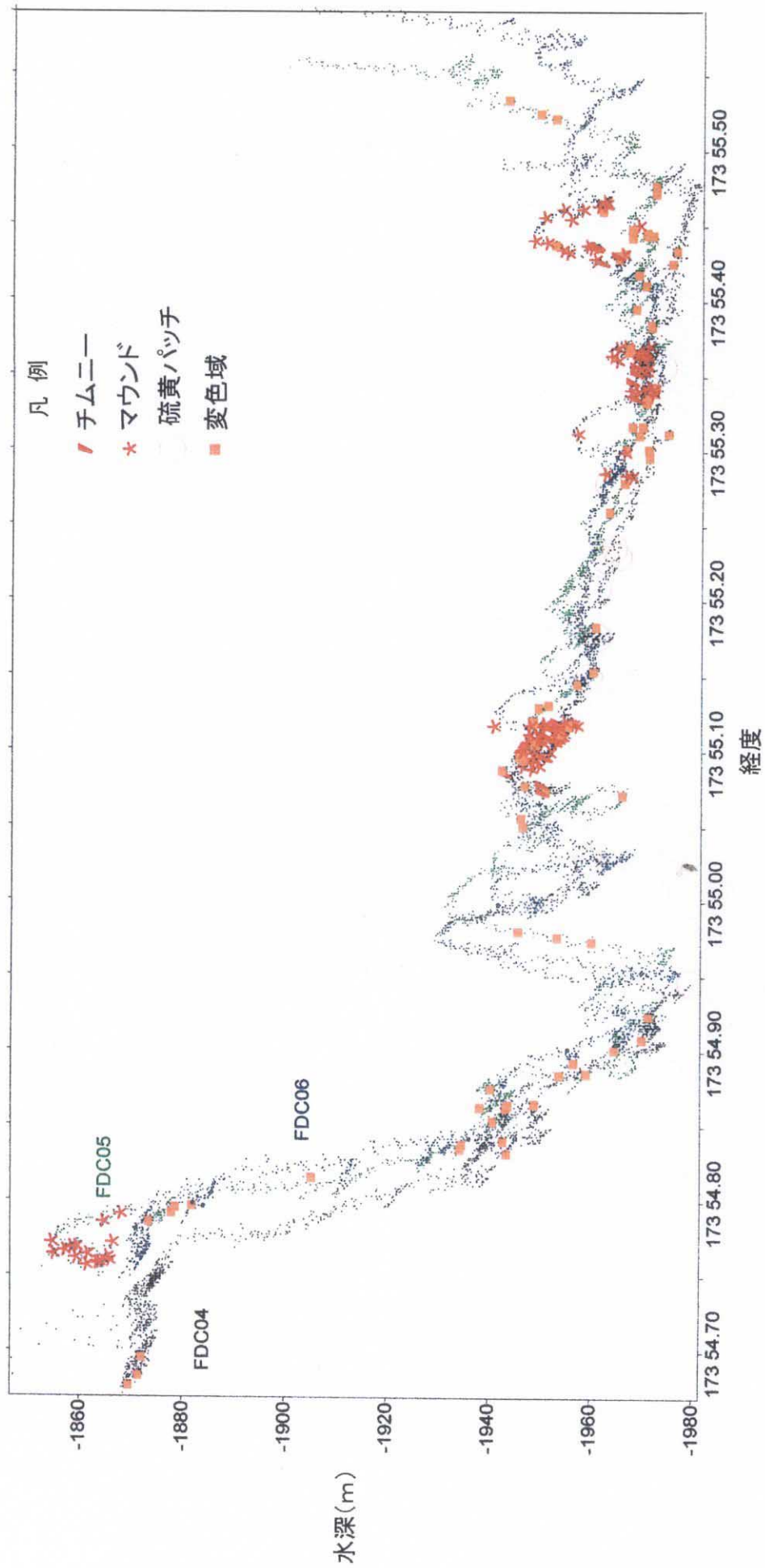


図3-4-2 FDC断面図 (E-W方向)

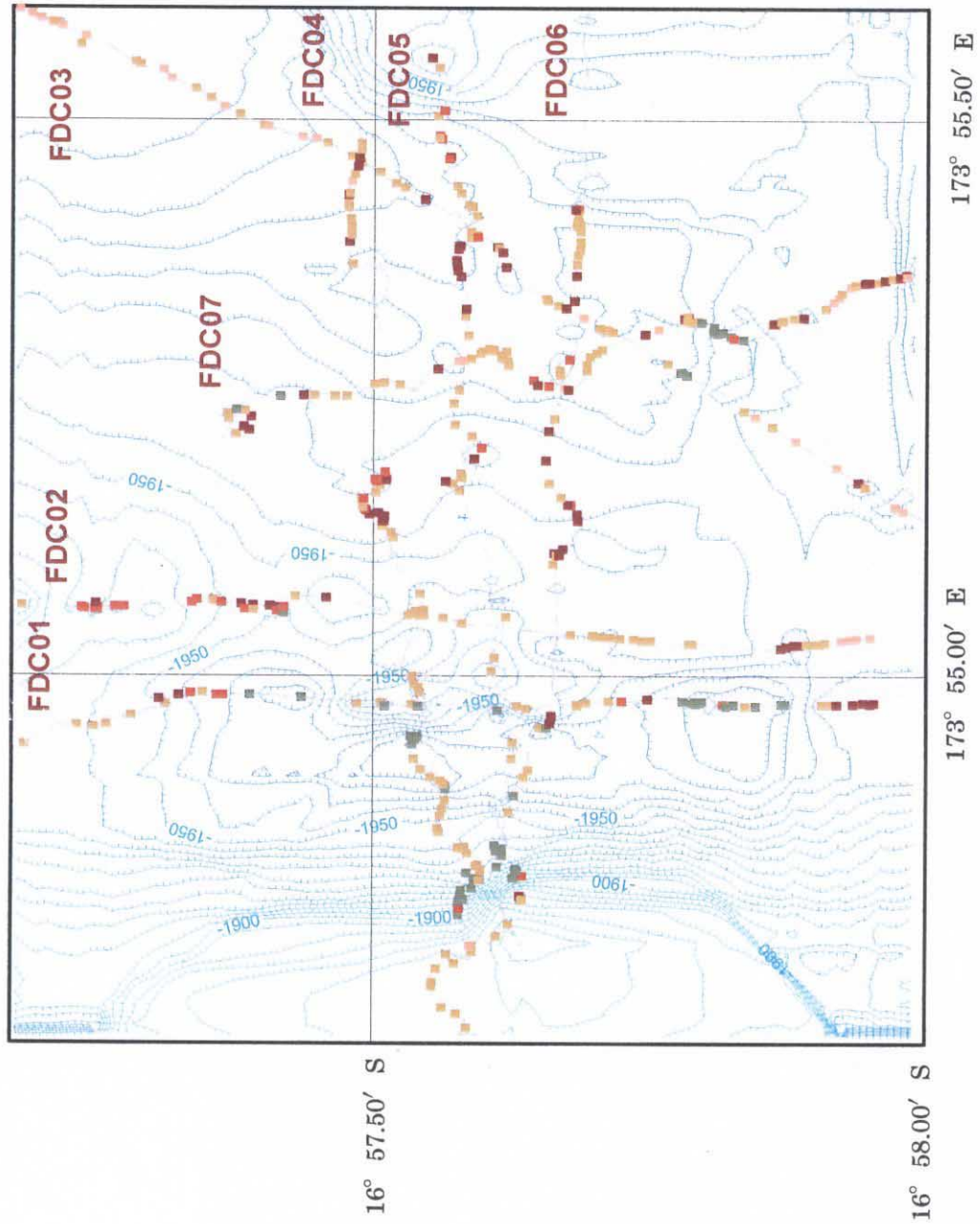


図 3-4-3 FDC で観察された表層地質

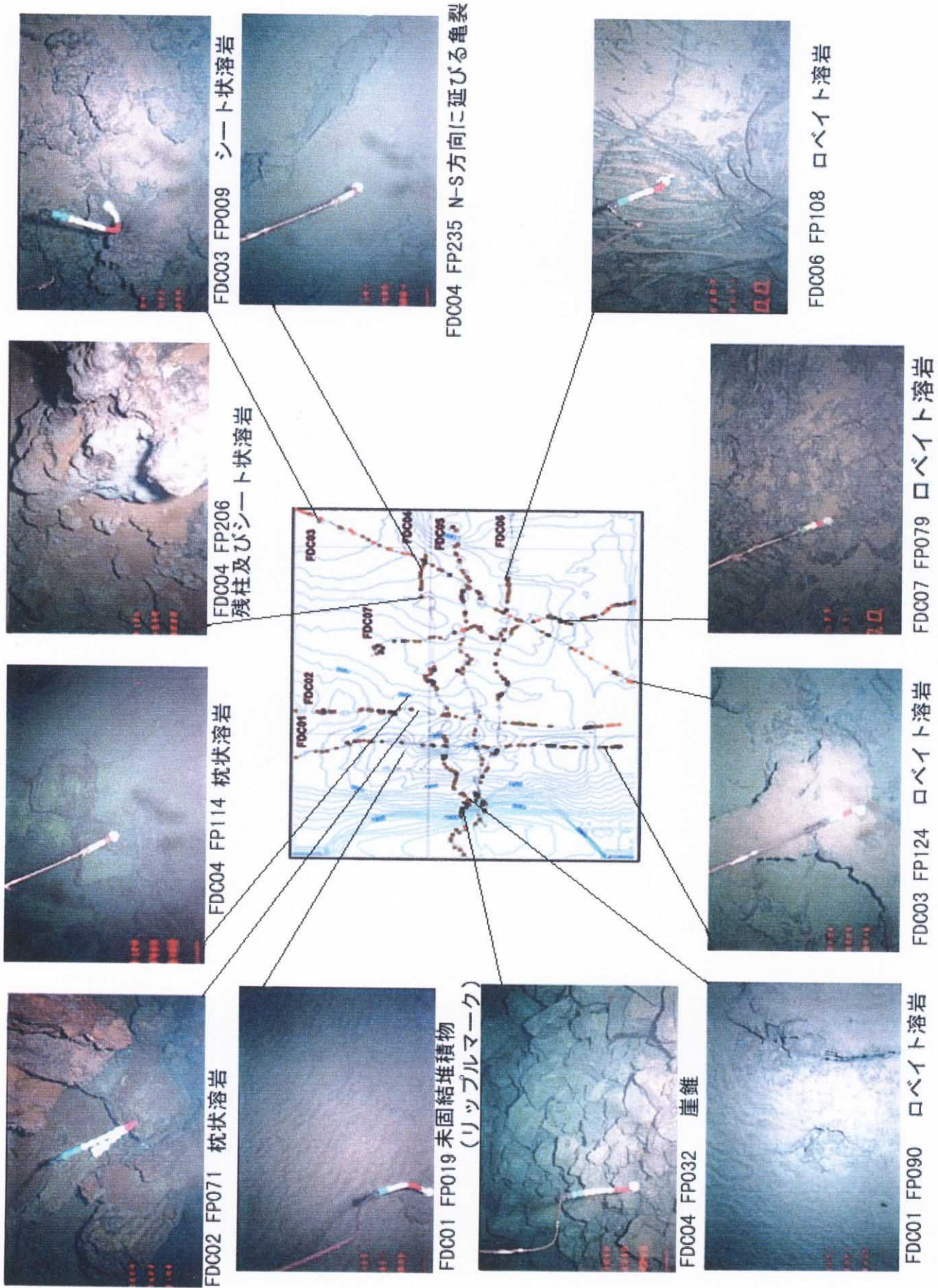


図3-4-4 地形地質観察結果(スチール写真)

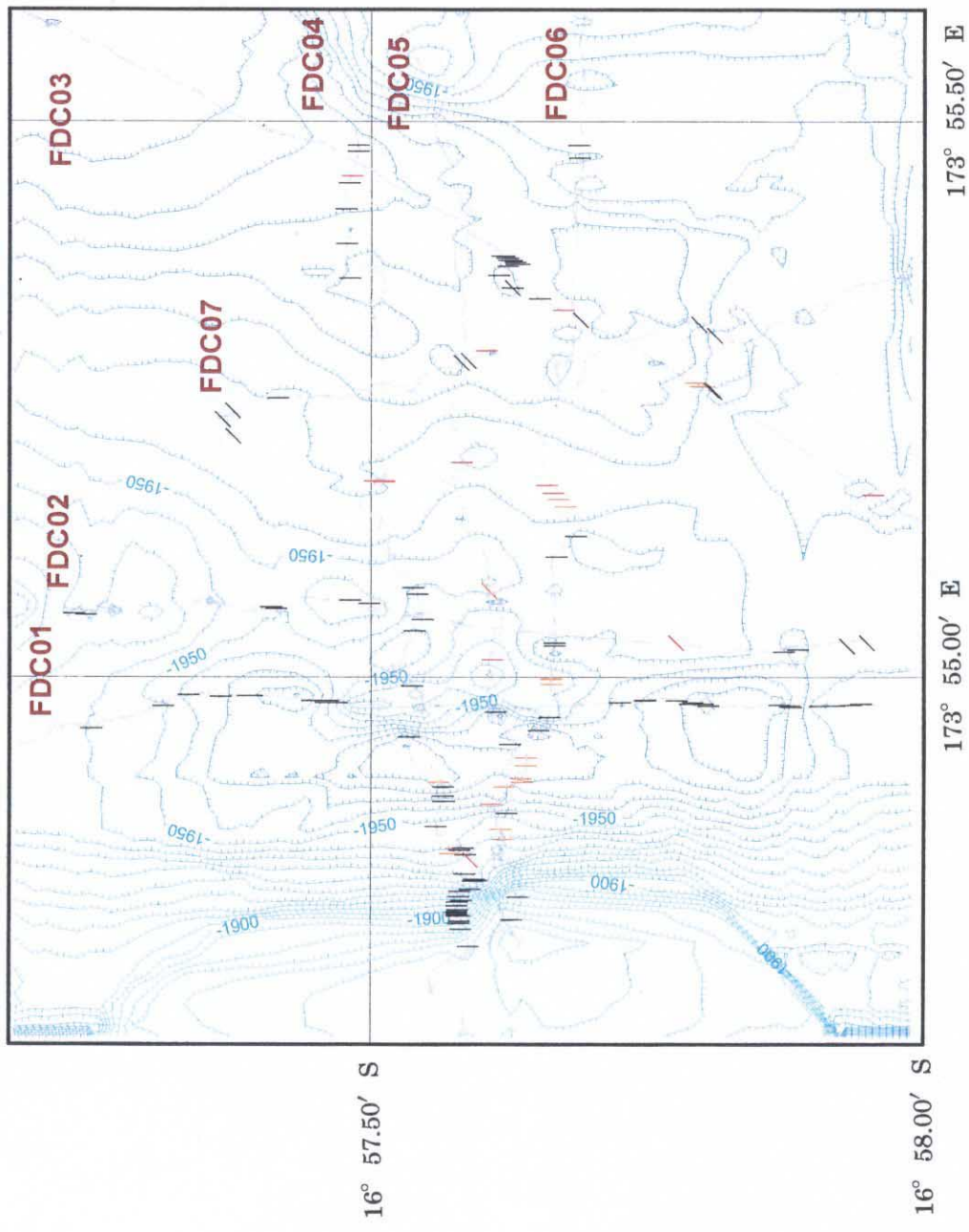


図3-4-5 FDCで観察された亀裂、崖等の分布

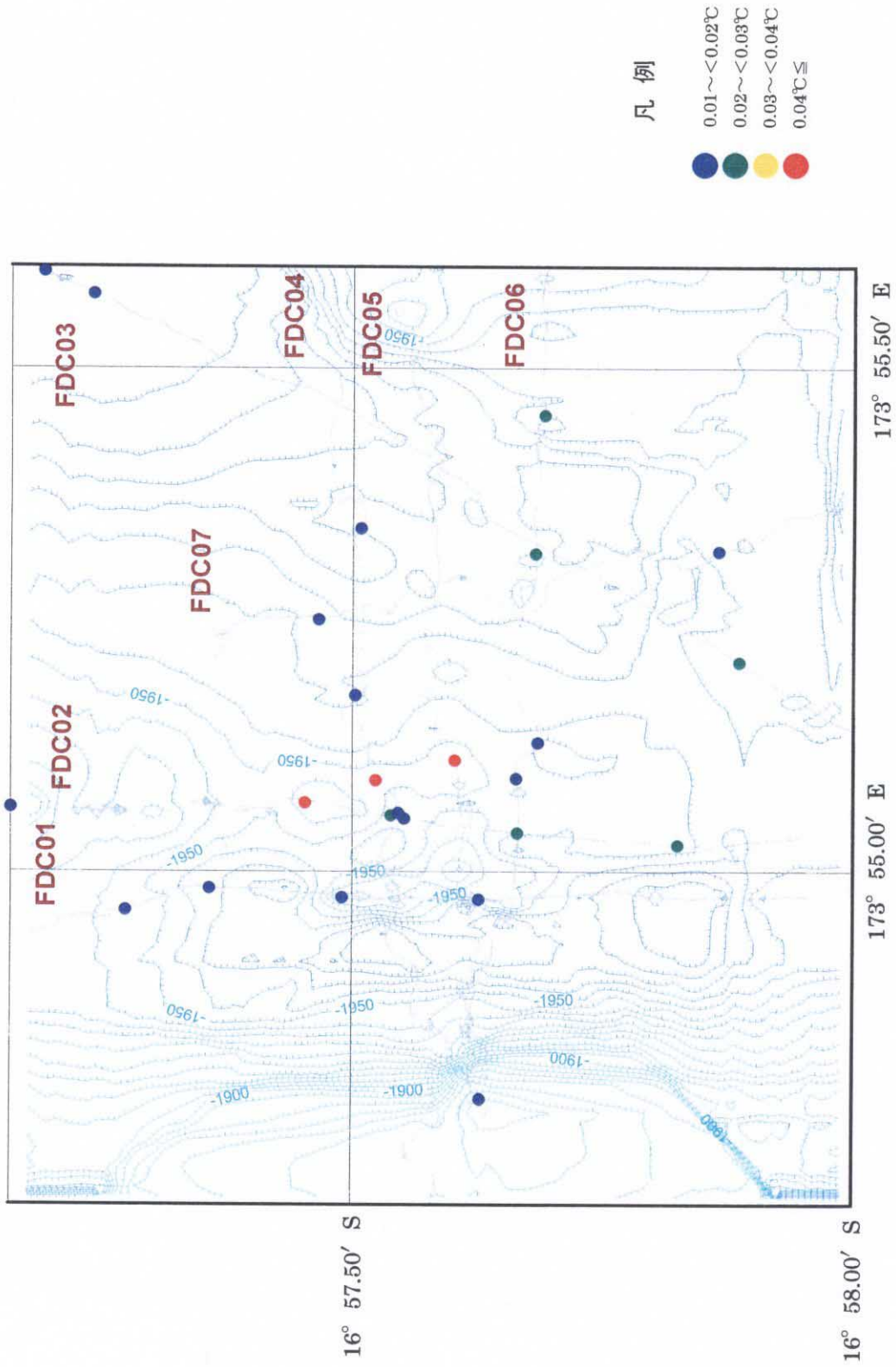


図 3-4-6 FDC で計測された水温異常

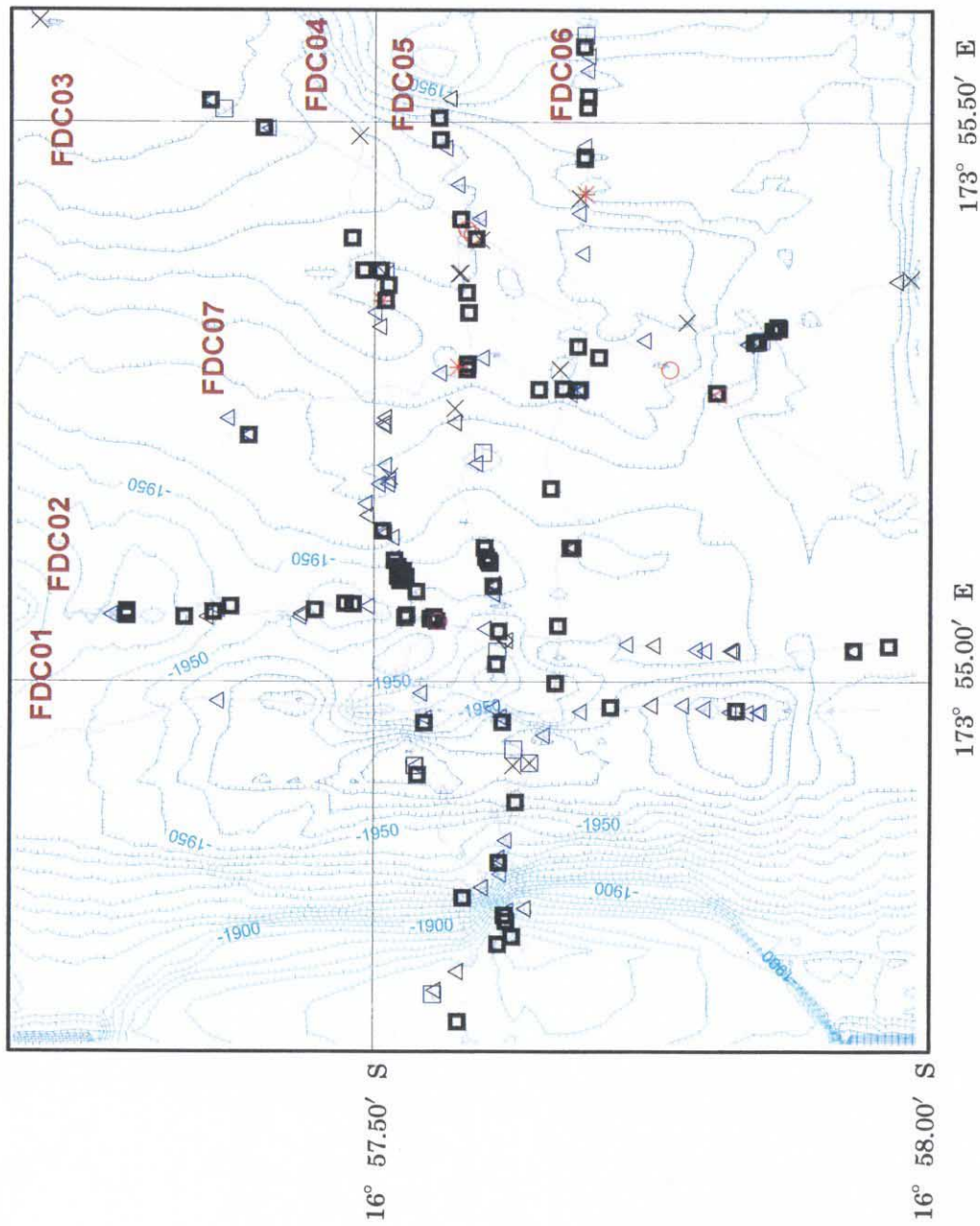


図3-4-7 FDCで観察された生物分布

- b.マウンド状の地形を示し、赤褐・暗赤・緑・黄褐色等に変色したもの、
- c.硫黄の噴出と考えられる黄色の変色、
- d.鉄錆色の変色等を示す。

数え方にも因るがチムニー・マウンド群の分布は、測線上で10数箇所以上認められる。チムニーを含んでその周辺に延長100m弱のマウンドが認められたものが10箇所弱、また、チムニーを確認していないが、岩や堆積物に著しい着色変色が見られるマウンド状地形が数箇所で見られた。チムニーと考えられる画像は、全体で50箇所以上観察された。

これらの鉱徴は、谷底の173° 55.1' E付近の高まりおよび173° 55.3~55.4' の凹地を中心に南北に配列している。チムニー・マウンドは、この付近に比較的多数見られる裂罅や小崖に沿って分布する。さらに中軸谷底の凹凸地形は、西端で30~40mの比高となるがこの最も大きい変化を示す部分の凹地底付近と、谷の西側の尾根上でもマウンドの分布が観察された。

代表的なチムニーの写真を図3-4-8に、変質箇所の写真を図3-4-9に示す。FDCで観察されるチムニーの表面は全般に変色あるいは沈澱物の付着によって淡褐色~褐色を呈しているが、全体または一部が灰色~灰緑色のものも見られる。チムニーの高さは主に1~2mであるが、3mを超えるものも数箇所で見られている。

3-5 サンプルング結果

LC04及びLC05の2点のサンプルングを実施し、うちLC04で試料を採取した。サンプルング地点は図3-4-1に、サンプルング結果を表3-5-1に示す。柱状図及び海底写真は付帯第3図に示す。

表3-5-1 大口径コアによるサンプルング採取物と海底写真内容

地域名	採試点番号	採試点深度	採取物内容(cm)	海底面の被覆率
海域 1	LC04	1,982m	鉱石(24)	(20%)
コア記載			海底面の観察結果	
緑灰色の鉱石を採取。表面全体にに~1mmの黄鉄鉱の自形結晶が認められる。			岩盤とこれを薄く覆う泥質の堆積物が認められる。堆積物は暗褐色を呈する。60×60cm程度の不定形の白黄色の堆積物が認められる。	

LC04の海底写真では、サンプルング地点の表層はシート状溶岩を泥質の堆積物が薄く覆い、岩石、堆積物ともに赤褐色の不均一な着色が見られる。また、堆積物の一部に黄褐色及び黄白色の部分が認められている。

サンプルングでは緑灰色の岩石が得られた。岩表面には微細な自形結晶の黄鉄鉱及び黒

色網目状の黄鉄鉱が付着する。黄鉄鉱結晶には最大 1mm のものが見られた。採取された LC 試料の断面写真を付帯第 3 図に示す。

LC05 ではサンプリングと同時にヒートフロー調査を実施した。しかし、LC が海底に着底後、転倒したと思われ堆積物中の温度が計測されず有効なデータは得られなかった。ただし堆積物の表層で LC 上部に取り付けたセンサー 4 が温度の上昇を捕らえている。

3-6 室内試験結果

3-6-1 薄片観察結果

薄片観察記載カードを付帯第 3 表に添付する。薄片観察結果は表 3-6-1 に示す。

表 3-6-1 薄片観察結果

LC 04 A (薄片 No.12)	
岩石名	硫化鉄鉱質岩
肉眼記載	暗灰緑色、塊状で、金属光沢を放つ細粒結晶を含む。全体にごつごつとした形状を呈する。
顕微鏡記載	全て、不透明鉱物からなる。
変質・変成状況	未変質。変質鉱物は認められない。
所見	岩石の重量感や匂いから、硫化鉄鉱物の固まりであると考えられる。

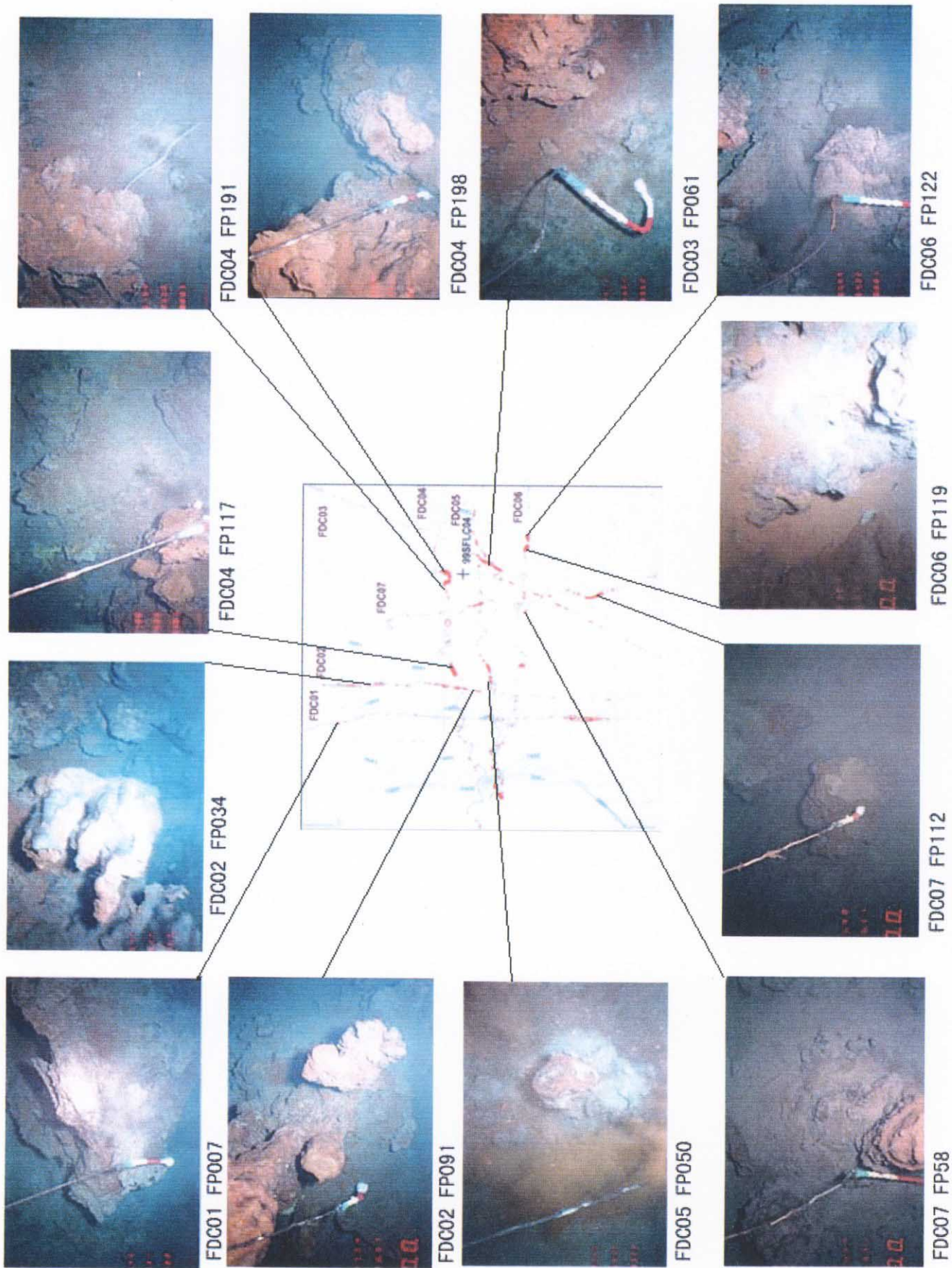
薄片では透明鉱物は認められず、0.1~0.3mm の不定形の不透明鉱物の集合体で構成されることから、マウンドを構成する塊状硫化物の一部と思われる。

3-6-2 化学分析

岩石の化学分析は主要成分を 14 成分、微量成分を 21 成分の計 35 成分について行った。分析成分と各成分の検出限界を表 3-6-2 に示す。

表 3-6-2 分析成分及び検出限界

分析成分 (35 成分)	主要成分 (14 成分)	SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , CO ₂ , H ₂ O ⁺ , H ₂ O ⁻ , LOI 検出限界は 0.01wt%
	微量成分 (21 成分)	Sr, Ba, Zr, V, Y Rb, Nb La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu 検出限界は 1ppm 検出限界は 0.1ppm 検出限界は 0.01ppm



3 図 3-4-8 FDC で観察された代表的なチムニー・マウンド

各元素の分析は、表 3-6-3 に示す方法によって行った。分析試料は表面の黄鉄鉱結晶を含まないように切り分け、前処理として脱塩処理を十分に行ったのち、恒量を確認するまで乾燥した。

分析結果を表 3-6-4 に示す。

分析の結果、このマウンドを構成すると思われる試料は Fe_2O_3 および FeO はそれぞれ 50.17% および 6.21% と Fe に富み Fe 換算で 39.92% を占める。

表 3 - 6 - 3 分析方法一覧表

分析成分	分析方法
SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5	ICP 発光分析法
FeO	滴定法
CO_2	高周波誘導加熱赤外吸光光度計 (LECO)
H_2O^+ , H_2O^- , LOI	重量法
Rb, Sr, Ba, Zr, V, Nb, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	ICP 質量分析法

表 3 - 6 - 4 化学分析結果

Major	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
Unit	wt%	Wt%	Wt%	wt%	wt%	Wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
	10.77	0.02	0.42	50.17	6.21	<0.01	0.31	0.18	0.22	0.04

Major	CO_2	H_2O^+	H_2O^-	LOI	TOTAL
Unit	wt%	Wt%	Wt%	wt%	wt%
	<0.01	1.51	0.52	30.15	98.51

Minor	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Nb	Y	La	Ce	Pr
Unit	ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm
	<0.1	18.0	602.0	4.0	21.0	0.6	0.8	0.27	0.60	0.08

Minor	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Unit	ppm	Ppm	Ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm
	0.10	0.03	0.14	0.02	0.13	0.03	0.09	0.01	0.08	0.01

3-6-3 X線回折試験結果

構成鉱物の同定を目的として、X線回折試験を実施した。試料は自然乾燥させた後、メノウ乳鉢で微粉碎し、これをアルミニウム製試料ホルダーに詰めて測定した。試験条件等の記載は巻末資料とした。

X線チャートは付帯第5図(1)～(5)に示す。また、電子顕微鏡(TEM)による観察も実施し、その写真を付帯第8図に示す。

X線回折では、多量の黄鉄鉱および中量の白鉄鉱と方解石が認められ珪酸塩鉱物や粘土鉱物のピークは認められない。

TEM観察では、黄鉄鉱・白鉄鉱表面に、球状の非晶質SiO₂(最大5μm)が多数付着しているのが見とめられた。しかし、非晶質のためX線回折チャートではシリカ鉱物のピークは現われていない。

3-6-4 硫黄の同位体分析

試料の黄鉄鉱を構成するイオウの同位体比を求めた。試験方法等は巻末試料に付す。分析結果を表3-6-5に示す。

表3-6-5 イオウ同位体分析結果

	LC04A
³⁴ S/ ³² S	0.045027
δ ³⁴ S	0.5±0.2‰

図3-6-1にBarnes(1979)より引用した塊状硫化鉄床のδ³⁴S図を示し、図3-6-2に酒井・松久(1996)より引用した現世海底熱水系の硫黄同位体比の頻度分布を示した。

本分析結果のδ³⁴S=0.5±0.2‰は、第三紀の海底における熱水鉄床起源と考えられる黒鉄鉱床に近い値を示し、図3-6-2に示した現世海底熱水系の硫黄同位体比の頻度分布では、中央海嶺(MORs)(EPR21)における熱水系に産する黄鉄鉱のδ³⁴S値に近い値を示している。

3-6-5 研磨片の鑑定

研磨片の鑑定結果を表3-6-6に示す。顕微鏡写真および電子顕微鏡写真を付帯第8図に示す。

表3-6-6 鑑定結果一覧表

試料名	岩石名	白鉄鉱	黄鉄鉱	黄銅鉱	閃亜鉛鉱
LC04A	硫化鉄鉱石	○	◎	・	・

※ 多量：◎，中量：○，少量：△，微量：・

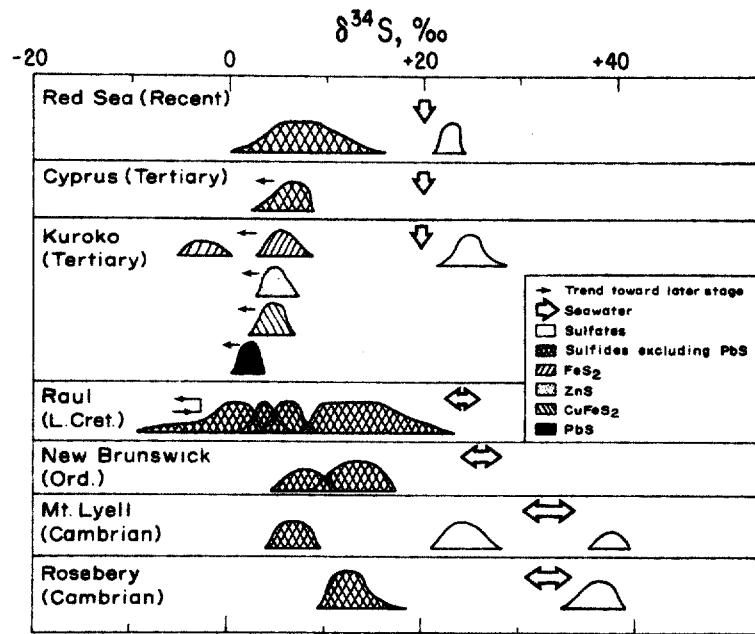


Fig. 10.13 Schematic presentation of sulfur isotopic data of some stratiform massive sulfide deposits associated with submarine volcanism. The sources of data on Cyprus, Kuroko, and New Brunswick are summarized in Rye and Ohmoto (1974). The data on Red Sea are from Kaplan et al. (1969) and Shanks and Bishoff (1975), on Raul deposits from Ripley and Ohmoto (1977), and on Mt. Lyell and Rosebery deposits from Solomon et al. (1969).

Barnes, 1979より引用

図 3-6-1 塊状硫化鉱床の $\delta^{34}\text{S}$

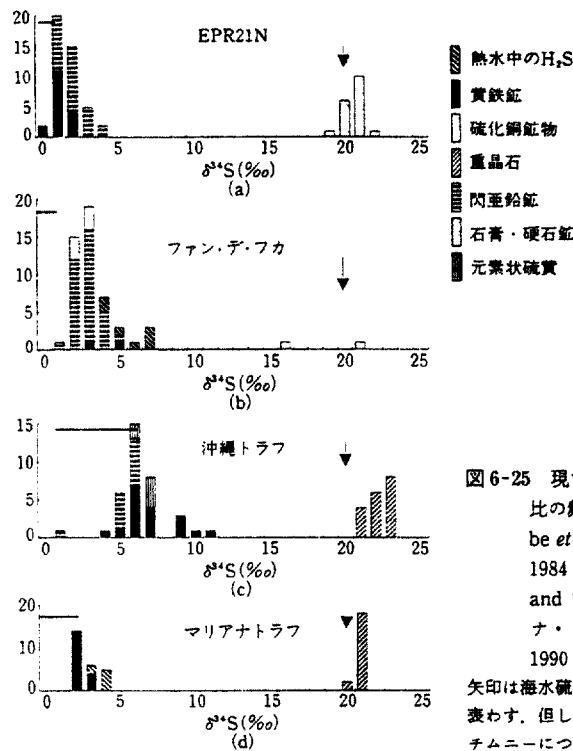


図 6-25 現世海底熱水系の硫黄同位体比の頻度分布 (EPR21N: Kusakabe et al., 1982; Zierenberg et al., 1984; ファン・デ・フカ: Shanks and Seyfried, Jr., 1987; マリアナ・トラフ: Kusakabe et al., 1990; 沖縄トラフ: 酒井, 未発表) 矢印は海水硫酸の, 横線は母岩の同位体比を表す, 但しマリアナ・トラフの値は1個のチムニーについて得られたものである。

酒井・松久, 1996より引用

図 3-6-2 現世海底熱水系の硫黄同位体比の頻度分布

鏡下での構成鉱物の特徴を以下に記述する。

黄鉄鉱は粒径 0.2mm 以下で、自形～他形を呈する。白鉄鉱は粒径 0.2mm 以下で半自形～他形を呈し、黄鉄鉱と共生する。

黄銅鉱は粒径は 0.1mm 以下で、半自形～他形を呈し、黄鉄鉱の空隙にしばしば認められる。閃亜鉛鉱は、粒径は 0.2mm 以下、他形を呈し、黄鉄鉱の空隙にしばしば認められ、他形の黄銅鉱と共生するが多い。

電子顕微鏡では極微量ではあるが 30 μ m 以下の重晶石および 10 μ m 以下の磁硫鉄鉱が認められた。

3-6-6 室内試験結果のまとめ

採取された岩石は微細な黄鉄鉱及び白鉄鉱の集合体で、熱水マウンドを形成する塊状硫化物と考えられる。黄鉄鉱を主体とするが、中量の白鉄鉱及び微量の黄銅鉱と閃亜鉛鉱が含まれており、低温熱水鉱床の特徴を示している。表面に見られる非晶質の SiO₂ は方解石と共に鉄硫化物の沈殿と同時あるいは沈殿後に、熱水溶液から凝集したものと考えられる。

西太平洋の熱水系に産する硫化物は EPR (East Pacific Rise) で得られるものに比べ Fe の含有比が小さいことが特徴となっているが、北フィジー海盆及び Lau basin の一部では例外的に Fe の含有比が大きいものが採取されている (Ishibashi and Urabe 1995)。今回採取した試料も Fe の含有比が大きく、CSR の硫化堆積物は MOR type と考えられる。今回の調査ではイオウ同位体の分析も実施した。その結果、黄鉄鉱の $\delta^{34}\text{S}$ 値も中央海嶺 (MOR s, EPR21) における熱水系に産する黄鉄鉱の $\delta^{34}\text{S}$ 値に近い値が得られた。

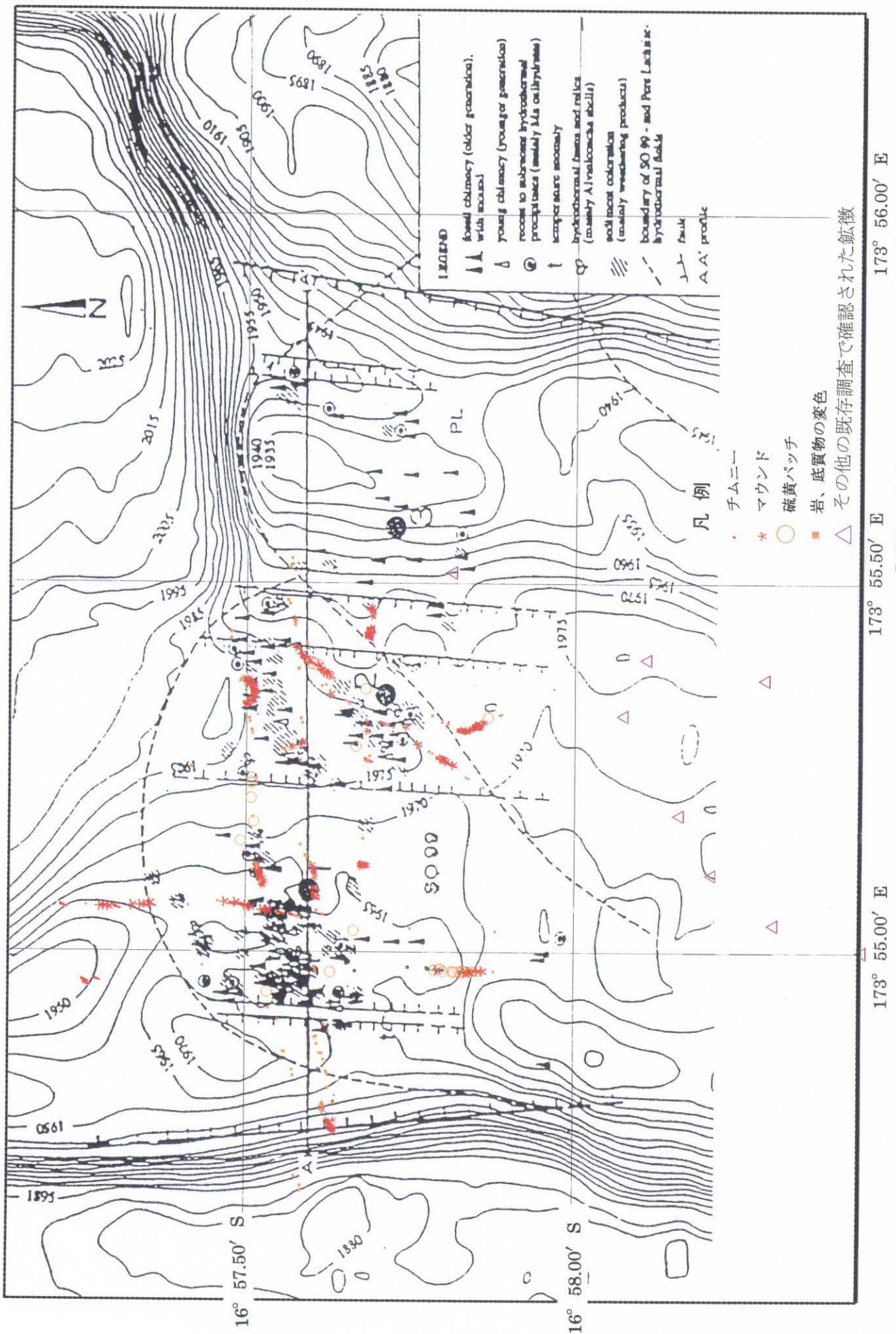
3-7 海域 1 の熱水鉱床

画像による観察のみの調査であるが、本調査において、チムニー状のものの存在が確認されたマウンドとして 9 箇所、マウンドと考えられる着変色部を数箇所観察した。

図 3-7-1 に今回の調査で得られた熱水活動範囲を示す。本図はドイツの R/V Sonne による SO99 Site の鉱徴分布図 (FU Berlin and Partner, 1998) を基図として用い、その上に、Pere Lachaise の鉱徴の位置と本航海の調査結果をオーバーレイ表示した。R/V Sonne による SO99 サイトの鉱徴分布図は公表されている図が小さい、調査方法・精度等の情報が不足している等により、その内容が必ずしも明瞭で無い、重ね合わせの位置が不確実である等の問題があるが、解釈にあたっては一応の精度を示すものと考えられる。

R/V Sonne による調査結果に示される chimney mark の分布は、SO99 サイトの鉱床が中軸谷底部西側の高まり (173° 55' E、16° 57.5' S 付近) と中央部凹地内 (173° 55.25' ~ 55.4' E 内で 16° 57.55' S、16° 57.7' E を中心とする 2 箇所) に集中する。

今回の調査では調査密度が荒いため、この傾向は確認できていない。中央部凹地内のものは、略それを示している可能性が高いが、西側の高まりのものはほとんど補足できてい



R/V Sonne による SO99 サイトの鉱徴分布図

図 3-7-1 熱水の活動範囲 (FU Berlin and Partner, 1998) に加筆

ない。これはこの部分のチムニーが地形上小丘の頂部付近に分布するのに対し、今回観察に使用したFDCが曳航システムの都合により小丘の麓部～斜面部を観察することが多いことによるものと考えられる。

SO99サイトにおける現在の熱水活動の中心は中軸谷底中央部凹地にあり、今回調査結果は、鉱床分布範囲がさらに広がる可能性を示している。

図3-7-1のオーバーレイ表示に示されるように、今年度の調査結果によると、中軸谷底中央部凹地内ものは凹地最下部に降りる階段状地形の斜面部にあるものを中心とし、さらにその分布範囲を周辺に拡大する傾向を示す。

また、中軸底部西側の高まり部において、最西端部の凹凸地の比高が最大を示すものよりも、その中央側にある次の高まり(173° 55.06' E、16° 57.55' Sを中心とする)に顕著なマウンド群が見られ、さらに北西方に伸びる高まりに沿って分布範囲が拡大する傾向を示す。FDC調査時の海水温測定(CTD)による温度異常も上述の2箇所を中心として認められ、ここが未だ熱水活動を維持している可能性が高いことを示す。

さらに、中軸谷のある **Topographic High** の頂上部に近い西尾根肩部にもマウンド・チムニーと考えられる変質部が観察された。

本地域の調査は、ボーリングマシンシステム(BMS)によるサンプル採取のための事前調査として実施した。しかし、実施時の天候の悪化と日程の都合によりその実施を断念した。このため、中軸谷底中央部凹地にあるマウンドの一箇所のみ、LCによるサンプルが得られた。サンプルは黄鉄鉱を主体とするが、白鉄鉱が中量含まれており、低温熱水鉱床の特徴を示している。