

中華人民共和国レアメタル総合開発調査
資源開発協力基礎調査報告書

広東南西部沿岸地域

総括報告書

平成5年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

鉱調資

CR(5)

93-063

中華人民共和国レアメタル総合開発調査
資源開発協力基礎調査報告書

広東南西部沿岸地域

総括報告書

JICA LIBRARY



1103154191

24719

平成5年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

24710

は し が き

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に応え、同国南部に位置する広東南西部沿岸地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、物理探査、ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸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分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。調査は1987年から1992年までの6年間実施され、この間、金属鉱業事業団は数次にわたり調査団を編成して現地に派遣した。これら現地調査は中華人民共和国政府関係機関、中華人民共和国有色金属工業総公司広東地質勘査局の協力を得て予定どおり完了している。

本報告書は、6年間の調査結果をとりまとめた総括報告書である。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいた中華人民共和国政府関係機関、ならびに外務省、通商産業省、在北京日本国大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成5年3月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理 事 長 石 川 丘

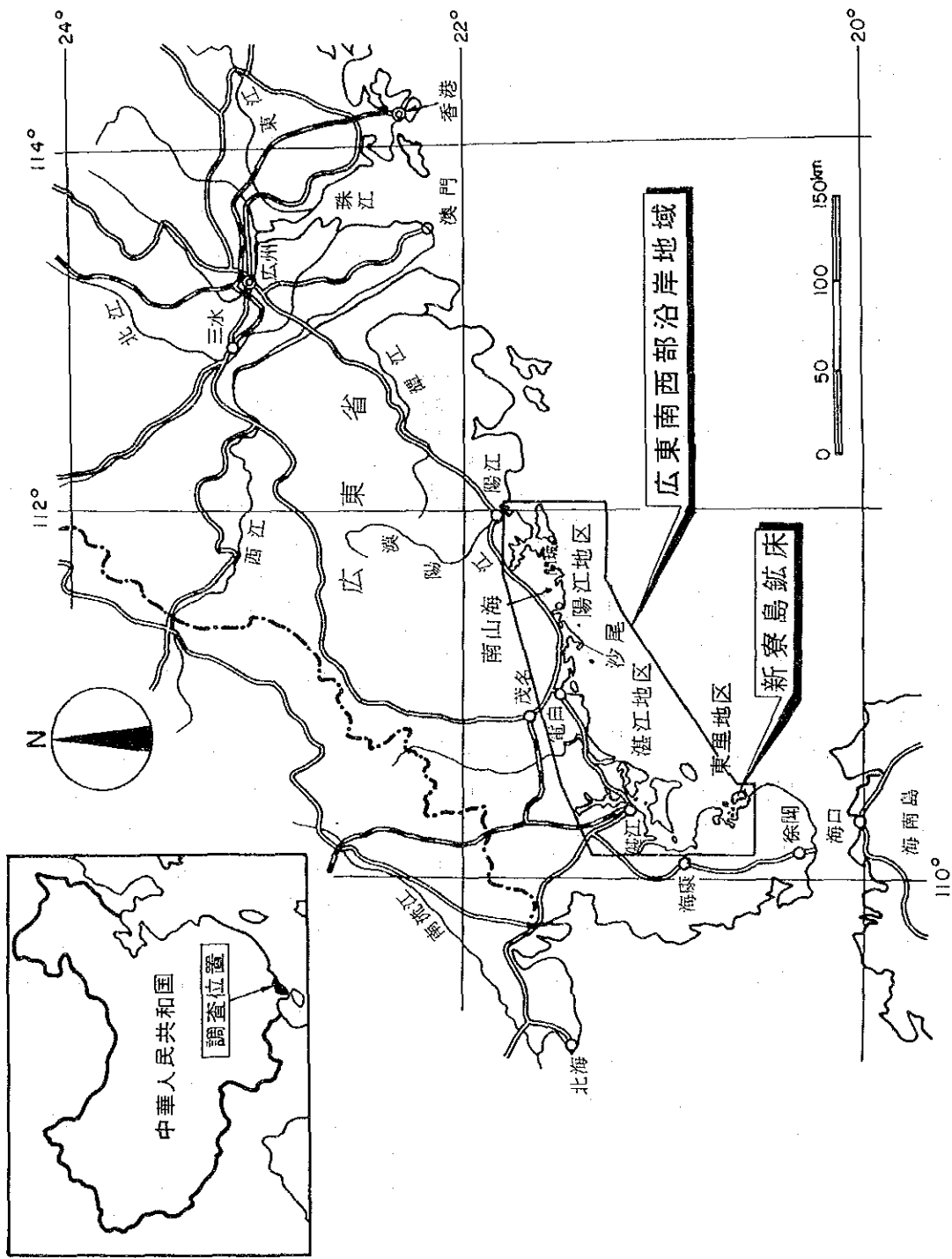


图 I - 1 廣東南西部沿岸地域調查地域位置图

要 約

要 約

中華人民共和国広東南西部沿岸地域におけるレアメタル総合開発調査は1987年から1992年までの6年間にわたり、重砂鉍床の探査を主目的として地質調査、物理探査、ボーリング調査が行われた。これら調査により新たに認められた重砂鉍床のうち、将来の開発に最も有利と考えられた東里地区の新寮島鉍床を対象として1992年に初期企業化評価調査が行われた。

本調査地域内の重砂鉍床は、現在の海浜から潮間帯及び浅海部に分布する第四系最上部の完新統砂層に胚胎し、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの5鉍物を含有する。これらの重砂鉍床の形成には次のような条件が必要であったと考えられる。

- 後背地の地質母体に重鉍物が豊富に含まれていること
- 熱帯湿潤気候のもとで岩石の風化が促進される条件があること
- 後背地の河川が重鉍物集積に適した形態で発達していること
- 沿岸の水宮力が重鉍物の淘汰集積に有利な条件にあること

新寮島鉍床は本調査地域南西端の東里地区内に位置し、埋蔵鉍量63,292千 m^3 、合計品位7,562g/ m^3 で、長軸方向9km、短軸方向最大4km、平均層厚3.4mの規模である。

初期企業化評価調査は、新寮島鉍床を稼行対象として、操業度10,000wt/日、年間操業日数330日、採掘は乾式法と湿式法を併用し、粗選には比重選鉍法を用い、精選は比重・磁力・静電選鉍法で行って、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイム5精鉍を生産し、財務評価期間を20年として収支を試算した結果、内部財務収益率(IRR)8.39%が得られた。なお建設期間は2年、初期投資額は3,764.48万と見込まれ、所要電力は買電可能、工業用水は地下水で賄い得るものと想定した。

以上のような6年間の調査結果から、将来に向けて次のように展望される。

本調査は海浜重砂鉍床探査を主目的にその起源から重鉍物の集積メカニズムに至るプロセスを検討し、その結果を採鉍に反映するという手法で実施された。広東南西部には当該調査範囲以外にも鉍化ポテンシャルの高い地域が考えられるので、本調査で確立されたこの手法をこうしたポテンシャルの高い地域に応用することによって新たな重砂鉍床発見の可能性を求めることができよう。

初期企業化評価調査の収支試算で内部財務収益率8.39%が得られたことは、新寮島鉍床が今後企業化について本格的な調査を行うに値するものであることを示している。なお含有重砂鉍物量算定の基礎である松散係数を中国側の新しい係数1.42として収支を概算すると内部財務収益率は18.35%に上昇し、企業化の可能性は向上する。また鉍体賦存域の立地条件は人口が密集し、農耕地等が多いことを除けば極めて優れている。したがって、この問題が解決されれば企業化の可能性は高いと思考され、当鉍床が開発され当該地区の発展に貢献するばかりでなく、中国経済に好影響を及ぼすことと期待したい。

目 次

はしがき

調査地域位置図

要 約

図表一覧

第I部 総 論	1
第1章 序 論	1
1.1 調査の経緯と目的	1
1.2 調査地域	1
1.3 調査方法と調査量	1
1.4 調査期間と調査員	1
第2章 従来 of 調査	7
第3章 調査地域の地質概要	9
3.1 東アジア大陸における広東南西部の地質学的位置	9
3.1.1 東アジアの地質構造	9
3.1.2 広東南西部の一般地質	10
3.2 広東南西部沿岸地域の地質概要	10
第4章 調査地域の状況	12
4.1 位置及び交通	12
4.2 地形及び水系	12
4.3 気候及び植生	12
第5章 む す び	14
第II部 各 論	19
第1章 広東南西部沿岸地域におけるレアメタル・レアアース鉱床の特質とその起源 ...	19

1. 1	調査概要	19
1. 2	後背地の地質と岩石	19
1. 3	後背地の岩石中の重鉍物	22
1. 3. 1	検討試料・岩石とラテライト性土壌	22
1. 3. 2	ラテライト性土壌中の重鉍物含有量とその構成比	23
1. 4	重砂鉍床の地域特性	24
1. 4. 1	重鉍物の構成比の地域特性	24
1. 4. 2	重鉍物中の希元素含有量の地域特性	25
1. 5	重砂鉍床中の重鉍物の起源	27
1. 5. 1	ルチル以外の重鉍物の起源	27
1. 5. 2	ルチルの起源	28
1. 6	重砂鉍床形成のメカニズム	30
1. 6. 1	重鉍物の供給源	30
1. 6. 2	重砂鉍床の粒度特性	31
1. 6. 3	重砂鉍床形成の堆積環境	35
1. 6. 4	重砂鉍床形成条件	37
1. 7	ラテライト性土壌における希元素の挙動について	37
1. 7. 1	問題の所在と調査方法	37
1. 7. 2	調査結果の解析と検討	38
1. 8	広東南西部沿岸地域の鉍化ポテンシャル	41
1. 9	総合検討	42
第2章	重砂鉍床の探査	44
2. 1	東里地区	44
2. 1. 1	調査概要	44
2. 1. 2	地質・鉍床	44
2. 1. 3	新寮島鉍床の埋蔵鉍量・品位	49
2. 1. 4	総合検討	50
2. 2	陽江地区	52
2. 2. 1	調査概要	52
2. 2. 2	地質・鉍床	52
2. 2. 3	総合検討	53
2. 3	湛江地区	56
2. 3. 1	調査概要	56

2.3.2	地質・鉱床	56
2.3.3	総合検討	57
第3章	初期企業化評価調査	60
3.1	地質・鉱床	60
3.2	埋蔵鉱量計算	60
3.3	採掘	61
3.4	選鉱	66
3.5	その他計画	73
3.6	開発スケジュール	75
3.7	生産計画・人員計画	76
3.8	起業費・操業費及び機械更新費	78
3.9	収支	80
3.10	まとめ	81
	付属資料	
1.	埋蔵鉱量と出鉱計画	86
2.	選鉱工程成績(年間)	88
3.	起業費	90
4.	操業費	94
5.	機械更新費	97
	付属図面	
02-001	地質・鉱床平面図	99
02-002	地質・鉱床断面図	101
03-001	採掘・実施計画	103
03-002	粗選設備	105
04-001	精選工場機械配置	107
04-002	精選処理系統図	109
第Ⅲ部	むすび	111
	文献	115
資料1	新寮島鉱床鉱量・品位一覧表	

図 表 一 覧

図 I - 1	広東南西部沿岸地域調査地域位置図	
図 I - 2	広東南西部沿岸地域調査フローダイヤグラム	5
図 I - 3	広東南西部沿岸地域鉱床有望地域抽出の流れ	6
図 I - 4	広東南西部沿岸地域 - 陽江 ~ 湛江地区 - 主要重砂鉱区位置図	7
図 I - 5	東アジア大陸地質構造概略図	9
図 I - 6	広東南西部沿岸地域地質概略図	11
図 II - 1 - 1	広東南西部沿岸地域地質模式層序図	21
図 II - 1 - 2	広東南西部沿岸地域地質模式断面図	21
図 II - 1 - 3	地質母体の重鉱物重量比領域図(1)	24
図 II - 1 - 4	地質母体の重鉱物重量比領域図(2)	24
図 II - 1 - 5	重砂鉱床の重鉱物重量比	25
図 II - 1 - 6	起源岩調査結果解析図 (南山海流域, 重鉱物重量比の変化図)	25
図 II - 1 - 7	分離重鉱物主要元素関係図	26
図 II - 1 - 8	変質チタン鉱物の化学組成	29
図 II - 1 - 9	変質チタン鉱物の $Fe^{3+} - Fe^{2+}$ 関係図	29
図 II - 1 - 10	大河川砂試料採取位置図	30
図 II - 1 - 11	大河川砂中の基本 5 鉱物重量比率	31
図 II - 1 - 12	水中における粒子の沈降速度	32
図 II - 1 - 13	堆積物が動き始める速度	32
図 II - 1 - 14	未固結堆積物の粒度特性	33
図 II - 1 - 15	鉱床母砂と重鉱物との中央粒径	34
図 II - 1 - 16	鉱床母砂と分離重鉱物の確率分布	34
図 II - 1 - 17	完新世海水面昇降曲線	36
図 II - 1 - 18	ラテライト性土壌粘土分中の軽・中・重希土類元素含有量比	41
図 II - 2 - 1	東里地区ボーリング位置図・鉱床分布図	46
図 II - 2 - 2	地質総合柱状図 (新寮島)	48
図 II - 2 - 3	新寮島鉱床鉱画図	51
図 II - 2 - 4	ボーリング位置図 (陽江地区)	54
図 II - 2 - 5	ボーリング地質解析断面図 (陽江地区)	55
図 II - 2 - 6	ボーリング位置図・解析平面図 (湛江地区)	58
図 II - 2 - 7	ボーリング地質解析断面図 (湛江地区)	59

表 I - 1	広東南西部沿岸地域実施作業内容一覧	2
表 I - 2	広東南西部沿岸地域室内試験項目及び数量	3
表 I - 3	調査員一覧及び現地調査期間	4
表 I - 4	広東南西部沿岸地域 - 陽江地区及び湛江地区 - 重砂鉍床の概要	8
表 I - 5	平均最高・最低気温	13
表 I - 6	平均降雨量・平均降雨日数	13
表 II - 1 - 1	ラテライト性土壌の重砂分析値 (L) と岩石人工重砂分析値 (R)	22
表 II - 1 - 2	地質母体別ラテライト性土壌中の重鉍物含有量	23
表 II - 1 - 3	未固結堆積物の粒度特性と堆積環境	35
表 II - 1 - 4	重砂鉍床の形成年代	36
表 II - 1 - 5	岩石及びラテライト性土壌の主要希土類元素及び Zr の賦存状況	39
表 II - 1 - 6	主要希土類元素及び Zr のラテライト性土壌中への平均濃集倍率	39
表 II - 1 - 7	軽・重希土類元素の地点別層別濃集倍率	40
表 II - 2 - 1	東里地区主要鉍体	48
表 II - 2 - 2	新寮島鉍床埋蔵鉍量	50

付図 ・レアメタル総合開発調査中華人民共和国広東南西部沿岸地域地質図 (縮尺 1:250,000)

用語・記号の説明

松散係数 : 土量換算係数 (Swell Factor), $k = \text{緩めた容量} / \text{地山容量}$

中国側では埋蔵鉱物量の計算に次式を用いている
鉱物量 (t) = 分析品位 (g/m³) × 鉱床体積 (m³) × 松散係数

m : メートル

km : キロメートル

mm : ミリメートル

" : インチ

m² : 平方メートル

m³ : 立方メートル

t : メートルトン

wt : " (湿量)

g : グラム

kg : キログラム

ℓ : リットル

kℓ : キロリットル

h : 時間

% : 百分率

ppm : 百万分率

kW : キロワット

kWh : キロワット時

MWh : メガワット時

Hz : ヘルツ

V : ボルト

kVA : キロボルトアンペア

HP : 馬力

°C : 温度 (摂氏)

φ : 直径

US\$: ドル (米国通貨)

第 I 部 総 論

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論

1.1 調査の経緯と目的

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、広東南西部沿岸地域のレアメタル総合開発調査の実施を決定し、1987年7月3日、本調査の実施に関する口上書を中華人民共和国政府と交換した。同日、日本国政府が中華人民共和国政府へ発した口上書及び中華人民共和国政府の口上書による回答に基づき、日本側国際協力事業団及び金属鉱業事業団と中国側中国有色金属工業総公司是、調査の実施を定め調印した。本調査は、締結された実施細則に基づき、資源開発協力基礎調査・レアメタル総合開発調査の一環として、中華人民共和国広東南西部沿岸地域において実施された。

本調査は1987年（第1年次）から1992年（第6年次）にかけて、広東南西部沿岸地域における地質状況を解明し鉱床賦存状況を把握して、有望鉱床を抽出し、その鉱山開発計画を策定すると共に、これら6箇年の調査の結果を取り纏め、総合評価を行うことを目的とした。

1.2 調査地域

本調査地域は中華人民共和国広東省南西部に位置し、南海に面する東西約250km、南北10～30km、面積約4,500km²の地域で、広東南西部沿岸地域と称する。地形は海岸とそれに続く海岸平野が発達し、内陸へ向って丘陵または山岳地形を呈する。気候は熱帯・亜熱帯気候に属し、陸域は農業・林業が、そして沿岸部では漁業が盛んな人口過密地帯である。行政区画は同省の陽江市から茂名市を経て湛江市に至るまでの各区・各県に属している（図I-1）。

1.3 調査方法と調査量

調査方法は、地質状況を解明し有望鉱床を抽出するために、地質調査、物理探査、ボーリング調査を、鉱山開発計画を策定するために、選鉱試験、開発計画調査などを実施した。これら調査の年次毎の調査量（表I-1、2）、調査フローシート（図I-2）及び鉱床有望地域抽出フロー（図I-3）を示す。

1.4 調査期間と調査員

各年次ごとの調査員及び調査期間を表I-3に示す。

表 I - 1 広東南西部沿岸地域実施作業内容一覧

年次報告書発行	調査時期	第1年次	第2年次		第3年次		第4年次	第5年次		第6年次	合計	
		(1987)	(1988)		(1989)		(1990)	(1991)		(1992)		
調査量		'87. 10 5 '88. 1	'88. 8 5 12	'89. 2 5 12	'89. 9 5 11	'90. 2 5 8	'90. 8 5 12	'91. 6 5 12	'92. 1 5 3	'92. 6 5 9		
調査項目	地区	1988. 3	1989. 3	1990. 2	1990. 2	1990. 11	1991. 2	1992. 2	1992. 12			
地質調査 (km)	陽江	2,500	913	—	—	—	} 3,000	} (5箇所)	—	—	11,813 (5箇所)	
	湛江	—	1,800	—	1,100	—			—	—		—
	東里	2,500	—	—	—	—			—	—		—
	計	5,000	2,713	—	1,100	—			3,000	—		—
鉱床調査(箇所)		—	—	—	3	—	—	—	—	3		
ボーリング調査 (m(本))												
陸上	クローラ	陽江	205.50 (15)	427.70 (35)	—	—	—	—	—	—	633.20 (50)	
		湛江	—	—	311.15 (16)	311.25 (16)	—	—	—	—	311.25 (16)	
		東里	1,436.15 (93)	418.80 (26)	—	—	—	—	1,211.00 (83)	1,040.00 (120)	1,063.00 (147)	5,168.95 (469)
		計	1,641.65 (108)	846.50 (61)	311.25 (16)	311.25 (16)	—	—	1,211.00 (83)	1,040.00 (120)	1,063.00 (147)	6,113.40 (535)
湖間帯	海上足場	陽江	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		湛江	—	—	—	—	116.50 (8)	—	—	—	116.50 (8)	
		東里	—	475.30 (29)	148.80 (8)	—	357.40 (19)	105.50 (7)	572.00 (41)	—	—	1,859.00 (104)
		計	—	475.30 (29)	148.80 (8)	—	473.90 (27)	105.50 (7)	572.00 (41)	—	—	1,775.50 (112)
浅海部	調査船・橋	陽江	—	—	—	—	71.00 (13)	—	—	—	—	71.00 (13)
		湛江	—	—	—	—	315.50 (15)	253.50 (13)	—	—	—	569.00 (28)
		東里	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		計	—	—	—	—	386.50 (28)	253.50 (13)	—	—	—	640.00 (41)
合計	陽江	205.50 (15)	427.70 (35)	—	—	71.00 (13)	—	—	—	—	704.20 (63)	
	湛江	—	—	311.25 (16)	—	432.00 (23)	253.50 (13)	—	—	—	996.75 (52)	
	東里	1,436.15 (93)	894.10 (55)	148.80 (8)	—	357.40 (19)	105.50 (7)	1,783.00 (124)	1,040.00 (120)	1,063.00 (147)	6,827.95 (573)	
	計	1,641.65 (108)	1,321.80 (90)	460.05 (24)	—	860.40 (55)	359.00 (20)	1,783.00 (124)	1,040.00 (120)	1,063.00 (147)	8,528.90 (688)	
採取試料(個)		1,694	1,410	478	—	983	375	1,852	1,080	1,105	8,887	
物理探査(km)	陽江	—	—	790	—	—	—	—	—	—	790	
	湛江	—	—	1,170	—	—	—	—	—	—	1,170	
	計	—	—	1,960	—	—	—	—	—	—	1,960	
選鉱試験							予備試験	本試験				
開発関連調査								採掘方法 検討調査		開発計画 調査		

1) 第5年次報告書(1992年2月): 選鉱試験(予備・本)は別冊
 2) 第6年次報告書(1992年12月): 第5年次1992年1月~3月実施のボーリング調査を含む。

表 I - 2 広東南西部沿岸地域室内試験項目及び数量

(単位：件)

調査区分	年次報告書発行	調査時期		第1年次	第2年次		第3年次		第4年次	第5年次		第6年次	合計
		年次	年次	(1987)	(1988)		(1989)		(1990)	(1991)		(1992)	
		87.10	88.1	87.10	88.8	89.2	89.9	90.2	90.8	91.6	92.1	92.6	
				12	12	11	8	12	12	3	9		
				1988.3	1989.3	1990.2	1990.2	1990.11	1991.2	1992.2	1992.12		
地質調査	室内試験項目												
	重砂分析												
	河川砂・海浜砂(6鉱物)	72	62	—	20	—	56	—	—	—	—	—	210
	ラテライト性土壌(6鉱物)	—	20	—	43	—	100	—	—	—	—	—	163
	ラテライト性土壌(5鉱物)	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—	50
	ラテライト性土壌(1鉱物)	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3
	鉱床原砂(6鉱物)	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	20
	鉱床原砂(3鉱物)	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	8
	粒度分析	72	30	—	20	—	56	—	—	—	—	—	178
	分離鉱物粒度試験(5鉱物)	—	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	9
	花粉鑑定	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
	全岩分析	8	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18
	岩石薄片作製・鑑定	30	20	—	9	—	—	—	—	—	—	—	59
	岩石蛍光X線分析	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10
	X線回折	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	50
	人工重砂分析	8	20	—	9	—	—	—	—	—	—	—	37
	絶対年代測定	8	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24
	(Rb-Sr)												
	(K-Ar)				2							2	
	(U-Th)						4					4	
	(¹⁴ C)	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	
地質調査(注)	重鉱物分離試験	—	49	2	3	—	—	42	—	—	—	96	
	分離重鉱物の元素分析	—	40	—	3	—	6	42	—	—	—	91	
	ラテライト性土壌・岩石の元素分析	—	—	—	—	—	—	55	—	—	—	55	
	顕微鏡モード測定	—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	32	
	岩石・原砂顕微鏡鑑定	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	40	
	X線回折	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	2	
	粒度分析	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	5	
	分離鉱物粒度試験	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	5	
	原砂比重測定	—	—	2	1	—	—	—	—	—	—	3	
	分離鉱物比重測定	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	5	
	全岩分析	—	—	—	9	—	1	—	—	—	—	10	
EPMA定性分析	—	12	—	—	—	—	19	—	—	—	31		
ボーリング調査	重砂分析(5鉱物)	1,694	1,246	478	—	893	375	1,852	1,080	1,105	—	8,723	
	(9鉱物)	—	76	—	—	—	—	—	—	—	—	76	
	重砂多項分析	—	10	10	—	11	9	10	—	—	—	50	
	重砂全分析	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	2	
	重砂鉱物分析(5鉱物)	—	—	2	—	6	10	20	—	—	5	43	
	重砂鉱物分析(2鉱物)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5	
	原砂化学分析	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10	
	粒度分析	20	98	25	—	133	48	220	120	10	—	674	
	分離鉱物粒度試験(5鉱物)	—	—	3	—	—	6	10	—	—	10	29	
	花粉鑑定	13	48	10	—	—	51	60	—	—	—	182	
微化石鑑定	—	—	—	—	—	—	33	—	—	—	33		
絶対年代測定(¹⁴ C)	2	10	6	—	11	2	10	—	—	—	41		
物理探査	重砂分析(6鉱物)	—	—	211	—	—	—	—	—	—	—	211	
	粒度分析	—	—	211	—	—	—	—	—	—	—	211	
	花粉鑑定	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	10	
	絶対年代測定(¹⁴ C)	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	10	

(注)：日本で分析

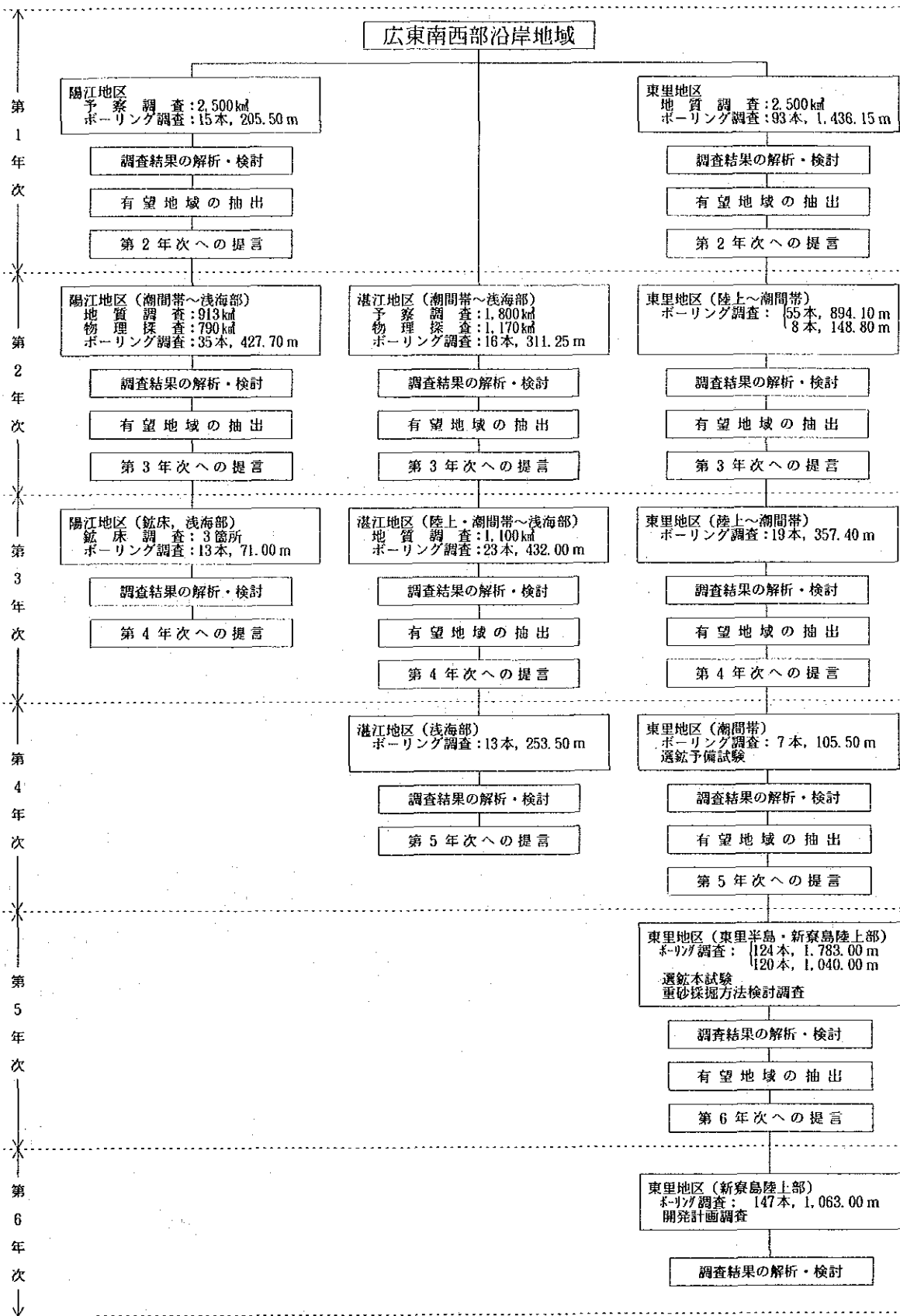


図 I - 2 広東南西部沿岸地域調査フローダイヤグラム

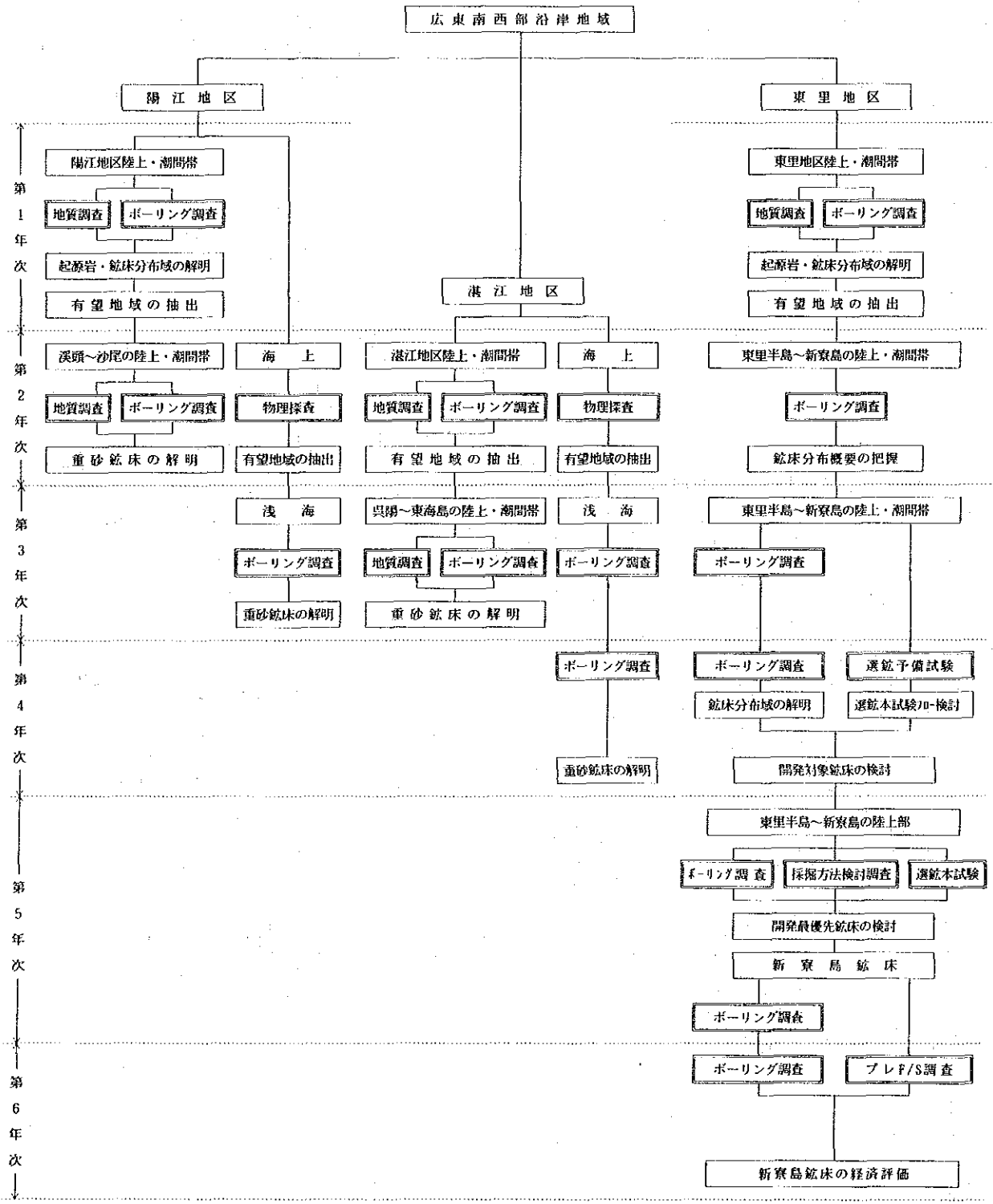


図 I - 3 広東南西部沿岸地域鉱床有望地抽出の流れ

第 2 章 従来の調査

広東南西部沿岸地域における重砂鉍床の探査は、1950年代から1970年代に盛んに行われ、数箇所ではボーリング調査が実施された。そのうち最も詳しく探査されたのは南山海鉍区で、1970年には南山海鉍床が本地域での最初で唯一の鉍山として開山している。図 I - 4 に本地域内の鉍区位置を、表 I - 4 に主要鉍区の概要を示す。

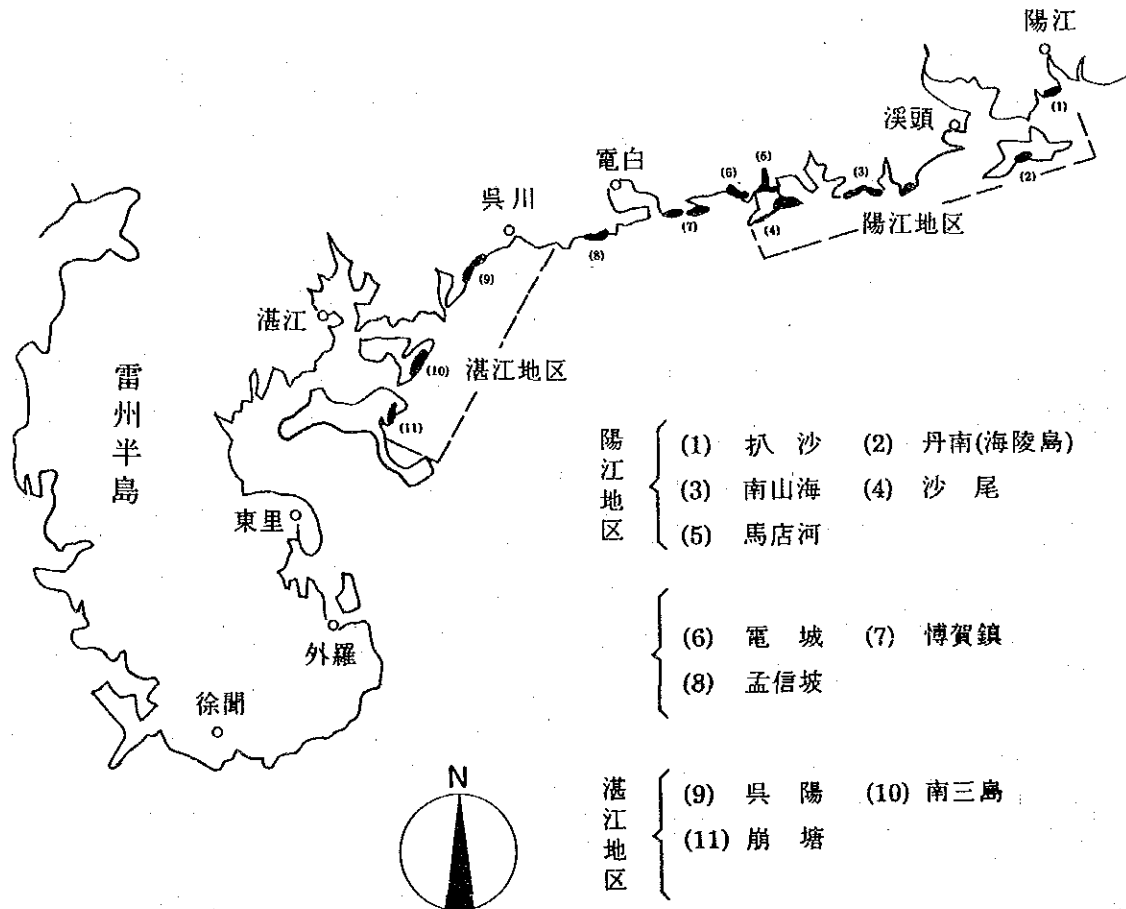


図 I - 4 広東南西部沿岸地域—陽江～湛江地区—主要重砂鉍区位置図

表 I - 4 広東南西部沿岸地域 - 陽江地区及び湛江地区 - 重砂鉱床の概要

(2) 丹南モナザイト鉱区	(3) 南山港モナザイト鉱区(3鉱床含)	(4) 沙尾セノタイム鉱区	(5) 馬西河モナザイト鉱区	(9) 吳陽セノタイム鉱区	(10) 南三島ジルコニウム鉱区
<p>探鉱経緯及び探鉱実績</p> <p>1957/1/7-12/11間及び1958/4/19-7/16間探鉱実施。</p> <p>探鉱訓練6本、ボーリング間隔80m、ボーリング本数112孔、総延長2,000m。</p>	<p>1959/6-1960/1間探鉱実施。</p> <p>1962/8広東省審査委員会が鉱量批准。</p> <p>探鉱訓練26本(兼打鉱床15本、河北港鉱床3本)、ボーリング間隔30-40mまたは80m、但し主要22-訓練は20m、ボーリング本数及び総延長は不明。(推定460孔程度)。</p>	<p>1971/7/11-1972/3/5間探鉱実施。</p> <p>探鉱訓練13本、ボーリング間隔は鉱床主要部で80m、ボーリング本数122孔、総延長1,109m。</p>	<p>1958年概査、1972/1-1973/10探鉱実施。</p> <p>探鉱訓練21本、ボーリング間隔40mまたは80m、ボーリング本数364孔、総延長1,674m。</p>	<p>1950年代に探鉱実施され、詳細不明。</p> <p>探鉱訓練5本、ボーリング間隔80m、ボーリング本数及び総延長は不明。</p> <p>(推定150孔程度)</p>	<p>1950年代に探鉱実施され、詳細不明。</p> <p>探鉱訓練5本、ボーリング間隔80m、ボーリング本数及び総延長は不明。</p> <p>(推定150孔程度)</p>
<p>鉱床の性状及び重砂物品位</p>	<p>● 雲村鉱床 鉱体面積 4.0km²×0.5km×4.7m、 鉱体面積 0.88km²、 平均品位 (g/m³): モナザイト 1,128、ジルコニウム 1,449、 イルメナイト 2,289</p> <p>● 南山港鉱床 6.0km²×1.0km×3.3m、 鉱体面積 2.38km²、 平均品位 (g/m³): モナザイト 1,084、ジルコニウム 1,495、 イルメナイト 2,386</p> <p>● 河北港鉱床 1.6km²×0.4km×4.9m、 鉱体面積 0.3km²、 平均品位 (g/m³): モナザイト 1,161、ジルコニウム 576、 イルメナイト 1,174</p>	<p>● 第1鉱体 9.0km²×0.88km×3.77m、 鉱体面積 6.5km²、 平均品位 (g/m³): モナザイト 126、 セノタイム 367、 ジルコニウム 1,582、 イルメナイト 2,680</p> <p>● 第2鉱体 0.9km²×0.2km×0.83m、 平均品位は第1鉱体より低い。</p>	<p>● 第1鉱体 - 第6鉱体あるが、第1及び第2鉱体で全体の鉱量の85%を占む。 ● 第1鉱体 8.8km²×0.34km×2.63m、 鉱体面積 2.88km²、 平均品位 (g/m³): モナザイト 600、 ジルコニウム 800-900、 セノタイム 13</p> <p>● 第2鉱体 3.2km²×1.2km×3.4m、 鉱体面積 3.68km²、 平均品位 (g/m³): セノタイム 57、 モナザイト 255、 ジルコニウム 1,487、 イルメナイト 1,510</p>	<p>● 第1鉱体 - 工業鉱量: セノタイム 1,102トン モナザイト 3,458トン ジルコニウム 10,960トン イルメナイト 47,484トン</p>	<p>探鉱資料不詳明のため一部は解説不可。 シルコニウムを主とし、これにモナザイトが随伴している。 品位の詳細は不明だが、推定値は以下の通り。 ● 鉱床帯北北東主要部 品位 (g/m³): モナザイト 1,500-2,000 ジルコニウム 100-500 ● 鉱床帯南西主要部 品位 (g/m³): モナザイト 700-800 セノタイム 50-100</p>
<p>獲得鉱量(重砂物量)</p>	<p>可採(案内)鉱量のC級: モナザイト 35,057トン ジルコニウム 52,527トン イルメナイト 70,274トン 合計 157,858トン</p>	<p>工業鉱量 セノタイム 3,103トン モナザイト 9,058トン ジルコニウム 37,799トン イルメナイト 63,649トン</p>	<p>モナザイト 10,000トン ジルコニウム 14,000トン セノタイム 1,000トン</p>	<p>不明</p>	<p>不明</p>
<p>鉱床賦存層と第四紀層岩相</p>	<p>鉱床は上新海成細-中粒砂層及び下部粘土-砂質粘土層の2層に見られるが、主要鉱床賦存層は上部層。 このほかには湾湖堆積相及び沖積礫土相がある。 ● 鉱体内C14年代: 5,000-8,000年を示しQ4下部層。</p>	<p>主要鉱床は上部の海成細粒砂層中にあり、一部は下位の海成砂層中にも見られる。この他に湾湖、陸成、沖積礫土の各相あり。</p>	<p>砂泥層、粘土層の下位に広がる海成砂層中に主要鉱床賦存し、最下位の礫層中にも若干見られる。河川海成混合型鉱床。</p>	<p>主要鉱床は北海層(Q2)にのる海成細粒砂中に賦存し、このほか同砂層下位の含気化石層中にも一部は見られる。最上位にはチャルタ堆積相及び洪積相がある。 ● 細粒砂層C14年代: 4,250年を示し、Q4中新層。</p>	<p>上部の砂層中に主要鉱床賦存しており、下部には粘土-含砂粘土層が見られる。</p>
<p>鉱床分布トレンチ</p>	<p>南山港鉱床: 巾1.3km、延長3.0kmで海岸線と平行に分布。海側へは伸長は見られない。 雲村鉱床: 巾400m、延長2.5kmで海岸線にも伸長しない。 河北港鉱床: 巾400m、延長2.5kmで海岸線と平行に分布。海側、陸側ともに伸長は見られない。</p>	<p>鉱床の中央-東部で巾700m、延長5.0kmで海岸線と平行に分布。東端は内陸側及び海側に広がったままだになっている。</p>	<p>不詳。内陸部に分布する鉱床は、海側への伸長は内陸トレンチはない。</p>	<p>内陸部2.5km付近を、巾400m、延長7.0kmで海岸線と平行に分布。南西側では海寄りには巾約2.5km張り出し見られるも、さらに海側への伸長は認められない。</p>	<p>巾600m、延長3.5km及び巾400m、延長2.0kmの2列あり海側は平行に分布。海側への伸長は見られない。</p>
<p>重砂物品位比率(セノタイム:モナザイト:ジルコニウム:イルメナイト)</p>	<p>*:1:1.39:1.88</p>	<p>1:2.88:13.4:19.95</p>	<p>1:4.6:6.5:?</p>	<p>1:3.09:11.42:43.47</p>	<p>?:1:6:?</p>

*注: セノタイムとモナザイトの鉱物分離は行われずセノタイムはモナザイトの内数として含まれている。

第3章 調査地域の地質概要

3.1 東アジア大陸における広東南西部の地質学的位置

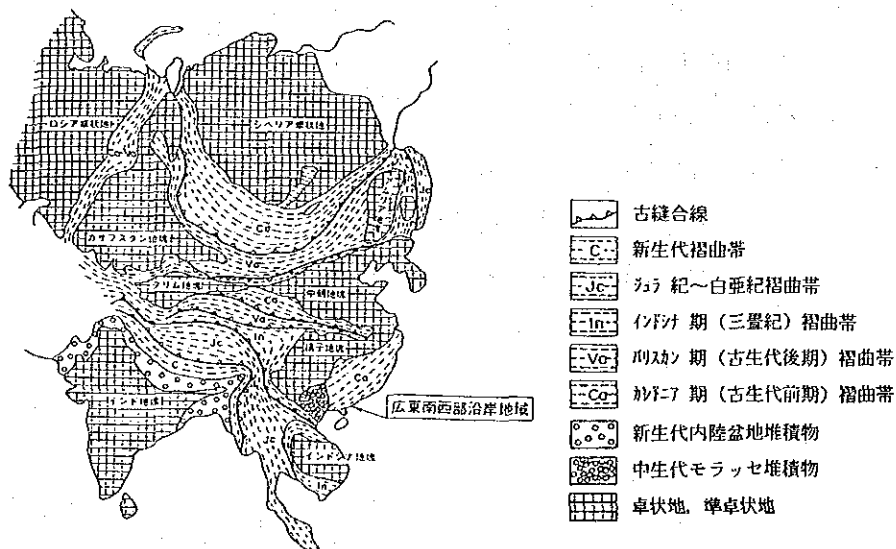
3.1.1 東アジアの地質構造

東アジア大陸はロシア卓状地、シベリア卓状地、カザフスタン地塊、タリム地塊、中朝地塊及び揚子地塊と呼ばれる6つの大陸地塊とそれらの間に発達した造山帯からなり、これらの大陸地塊は北方のシベリア卓状地に対して次々に衝突付加されていったと考えられている。

本調査対象地域、広東南西部沿岸地域の地質構造に影響の深い揚子地塊(Yangtze paraplatform)は四川盆地から揚子江の下流域までを含む地域に分布している。この揚子地塊は、その周辺部に先カンブリア系変成岩の露出があるが、内部では先カンブリア系基盤の上に顕生代の地層が厚く堆積している。北側にある中朝地塊とは秦嶺山脈(ヘルシニア造山帯)で境されている。

卓状地～準卓状地の間に発達する造山帯には強い褶曲やスラストが生じており、また広域変成作用が起り花崗岩が貫入している。揚子地塊の南東側の福建省・広東省にはカレドニア造山帯がある。この造山帯には沈み込み帯に関係した花崗岩の貫入が認められるので、揚子地塊に対する沈み込み帯が発達したコルディレラ型の縁海を持っていたとみられる。沈み込み帯における地向斜堆積物がカレドニア造山運動による影響で変成された変成岩が分布している。

古生代前期のカレドニア造山期には揚子地塊はまだ中朝地塊に付加されていたわけではなく、これらの変成岩はローラシア大陸とは無関係な位置において生じた造山運動によって形成され、後にそれが運ばれてきたものである。この地域ではカレドニア造山帯の上に古生代後期の地層が不整合に堆積しており、その後の火成岩の貫入を受けている。特にジュラ紀から白亜紀にかけてアジア大陸の東縁に沿って幅の広い火成作用(燕山期火成活動と呼ばれている)が起ったので、この時期にアジア大陸東縁は、それ以前とは全く異なる活動的な大陸縁辺になった(図I-5)。



図I-5 東アジア大陸地質構造概略図(丸山・酒井1986を簡略化)

3.1.2 広東南西部の一般地質

広東南西部は揚子地塊の東南側に発達するカレドニア造山帯中に位置している。古生代前期には揚子地塊はユーラシア大陸（ Gondwana大陸）とは離れた位置にあったと考えられ、当時その揚子地塊に沿って形成された地向斜に厚く堆積した陸源海成堆積物は、シルル紀末のカレドニア造山運動により酸性マグマの貫入やミグマタイト化作用を伴う構造的擾乱・変成作用を受けた。古生代後期には揚子地塊、中朝地塊、インドシナ地塊は互いに衝突して現在のアジア大陸東部の原形が形成された。その後中生代には東アジア大陸東部全体にわたり大規模な断裂運動を伴う酸性火成岩の活動が顕著となった。ジュラ紀～白亜紀の燕山期花崗岩類の貫入はその最大の活動のひとつであり、長期にわたる複数の貫入によって多様な岩相の花崗岩をもたらした。調査地域を含む広東南西部には、以上を反映して、カレドニア造山運動に伴う混合・変成岩類ならびに燕山期の花崗岩類が基盤岩をなして分布し、その上を第四紀層が覆っている（付図、図1-6）。

3.2 広東南西部沿岸地域の地質概要

本地域には先カンブリア紀の震旦系、古生代の変成岩類、白亜紀～第三紀の堆積岩類、第四紀層ならびに大別して2つの時期のマグマ活動による貫入岩類が分布している。また、東里半島には第四紀の玄武岩類が分布する。第四紀層を除く各岩石類は著しい風化作用を受け、地表部には風化殻（ラテライト性土壌）を厚く形成している。

震旦系は非変成の砂岩からなり、主として湛江北方に分布する。

古生代の変成岩類は、古生代前期の砂岩、頁岩、シルト岩などの地向斜性堆積物がカレドニア造山運動によってミグマタイト化あるいは広域変成作用を受け、片麻岩・混合岩類などとなったもので、陽江から湛江にかけて分布している。

白亜紀～第三紀の堆積岩類は、礫岩、砂岩からなり湛江の東に局在する。

玄武岩類は湛江西部から東里半島に玄武岩溶岩台地を形成している。

貫入岩類はカレドニア造山期の花崗岩類ならびに燕山期の黒雲母花崗岩である。前者は片麻岩類と漸移し、花崗片麻岩となっている場合も多い。後者は径数10kmに及ぶ大岩体をなすことが多いが、また小規模な岩株状の産状を示すこともある。

第四紀層は主に砂、泥よりなる陸成～海成堆積層で、これらは地質時代・層相的に4つの層に分けられている。本調査地域に分布する重砂鉱床はこれらのうち砂を主とする最も若い地層の一部に胚胎している（付図、図1-6）。

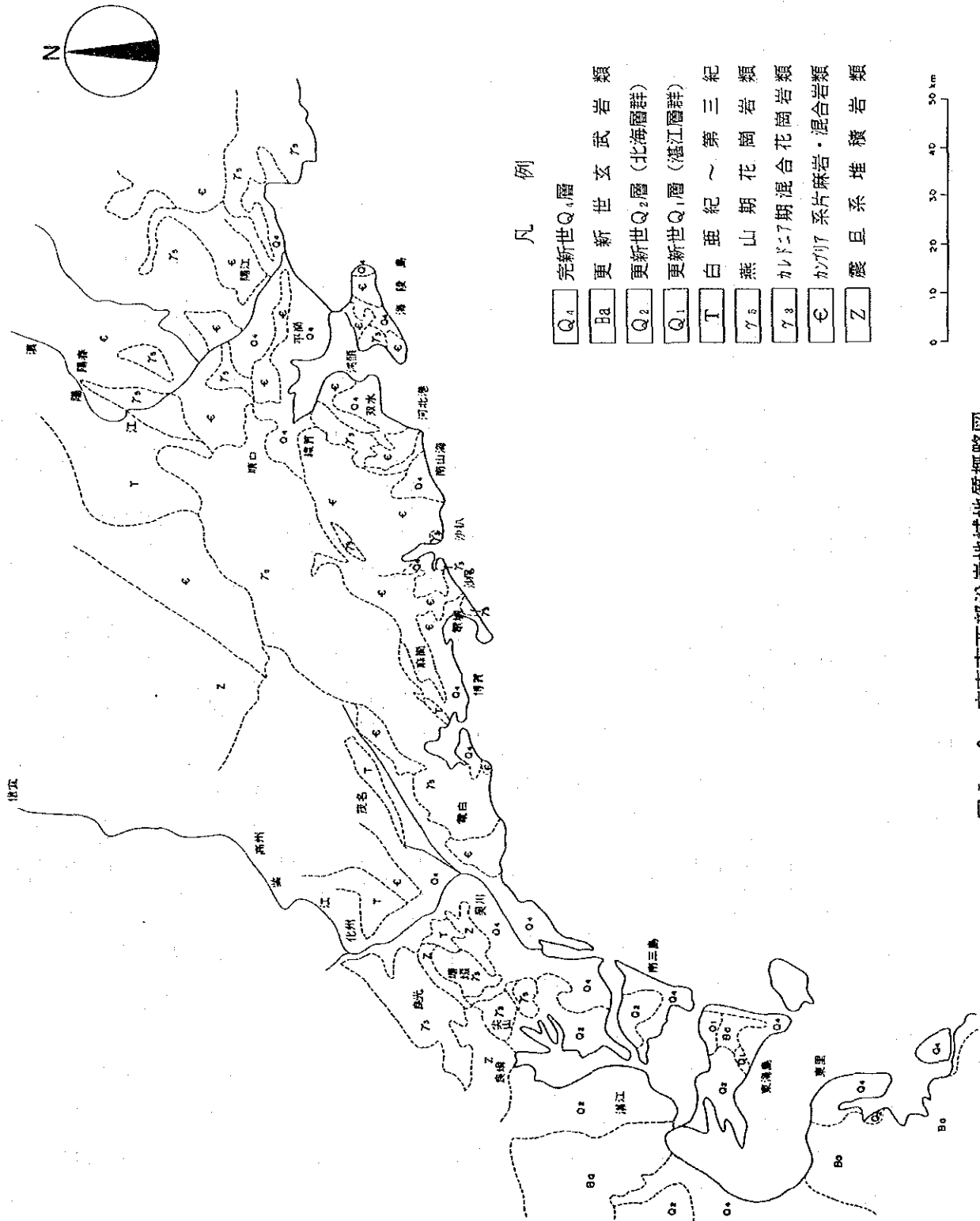
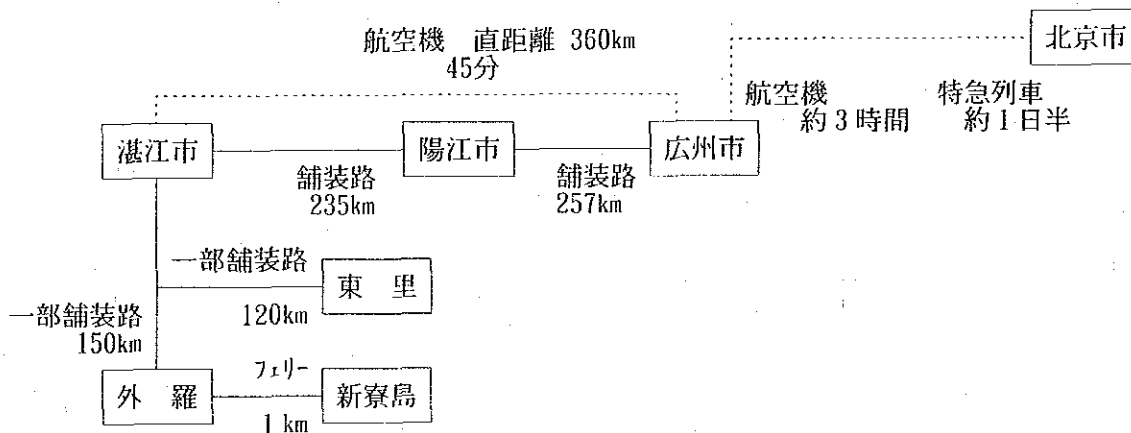


图 I-6 廣東南西部沿岸地域地質概略図

第4章 調査地域の状況

4.1 位置及び交通

本調査地域は、中華人民共和国南部の広東省南西部の沿岸地域に位置している。広東省の省都広州から調査地域への交通は空路及び陸路がある。なお、首都北京-広州間は空路で2,000km、約3時間、また鉄道では約1日半を要する。



4.2 地形及び水系

本地域の地形は沿岸部と内陸部に大別される。沿岸部は海岸平野、砂丘、砂州、海食崖などが組合わさった海岸地形を呈する。海食崖は岬状に突出した岩石地帯に形成されている。これら岬にはさまれて弧状の海岸線が発達し、これに平行して海岸、砂州、砂丘、海岸平野などが開けている。内陸部は調査地域東半分の湛江・陽江両地区では比高300m程度であるが、平野部より急にそそり立つ急峻な山岳地形を呈する。一方、西方の東里地区ではゆるやかな丘陵地帯が広がる。調査地域内の主要河川は陽江地区の漠陽江、湛江地区の釜河である。

4.3 気候及び植生

本調査地域は北緯21°～22°に位置し、熱帯～亜熱帯気候区に属するが、アジア大陸南縁部に位置することから一応四季がみられる。しかしながら、5～9月の平均気温25℃以上の夏期と1～4月の15～23℃の比較的涼しい時期に大別される。年間降雨量は2,000mm前後で、その約85%は夏期に集中している。また、本地域は台風の通路となっており、最盛期の7月から9月には、月間4回も通過することがある。

植生は、山岳部はユーカリを混えた灌木が覆う。丘陵部は、パイナップル、さとうきび、ゴムなどの熱帯農業、そして平野部は水田として広範囲に土地利用されている。

表 I - 5 平均最高·最低气温

(°C)

	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
陽江地区	平均	14.6	15.4	18.8	22.4	26.1	27.3	28.1	27.6	26.9	23.8	19.9	16.3
	最高	28.8	28.6	31.4	32.0	35.0	35.5	37.0	36.7	36.1	33.8	32.5	29.4
	最低	-1.4	2.2	6.6	9.9	16.4	19.6	21.5	20.6	17.2	9.4	4.6	2.2
海康地区 (東里)	平均	15.5	16.1	19.6	23.5	27.0	27.9	28.4	27.8	26.9	24.3	20.6	17.3
	最高	30.6	34.2	36.2	38.4	37.7	38.5	36.8	36.4	35.3	33.7	31.7	29.2
	最低	3.6	3.8	7.1	7.6	16.3	20.5	21.7	20.3	17.4	12.7	5.9	3.0

(注) 陽江地区 1953年~1980年資料
海康地区 1960年~1980年資料

表 I - 6 平均降雨量·平均降雨日数

(mm/月)

	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
陽江地区	平均降雨量	39.3	55.1	78.7	234.1	393.8	400.7	267.2	380.8	257.7	73.0	41.2	31.3	2,252.8
	降雨日数	8.2	11.3	14.0	13.9	17.6	21.0	19.2	19.7	15.3	7.2	5.0	5.4	157.8
海康地区 (東里)	平均降雨量	23.4	23.0	46.1	124.4	165.4	254.9	242.6	329.6	290.4	144.3	48.4	19.1	1,711.6
	降雨日数	7.3	8.9	11.1	11.0	13.3	15.3	14.1	17.7	15.0	9.7	6.9	5.3	135.6

(注) 陽江地区 1953年~1980年資料
海康地区 1960年~1980年資料

第5章 む す び

中華人民共和国広東南西部沿岸地域におけるレアメタル総合開発調査は1987年から1992年までの6年間にわたり、地質調査、物理探査、ボーリング調査が行われ、これら調査により新たに認められた重砂鉍床のうち、将来の開発に最も有利と考えられた東里地区、新寮島鉍床を対象として1992年に初期企業化評価調査が行われた。これらの調査により次のことが明らかとなった。

(1) 広東南西部沿岸地域は地質的には東アジア大陸の一部を構成する揚子地塊の東南側に発達するカレドニア造山帯中に位置し、カンブリア系片麻岩・混合岩類 (C), カレドニア期混合花崗岩類 (γ_3), 燕山期花崗岩類 (γ_5), 第四紀玄武岩類 (Ba) などが分布する。このほか東里地区に分布する第四系の Q_2 層は東里地区の鉍床を構成する重鉍物のソースとなっている点で特異な地層として注目される。第四系は下位から順に Q_1 , Q_2 , Q_3 及び Q_4 層に分けられ、重砂鉍床は主として第四系最上部の Q_4 層に胚胎している。

(2) 重砂鉍床の構成鉍物の起源は次のとおりである。

イルメナイト	……………	陽江・湛江地区では γ_3 及び γ_5 , 東里地区ではBa及び Q_2
ジルコン	……………	陽江・湛江地区では C及び γ_5 , 東里地区では Q_2
モナザイト	……………	陽江・湛江地区では C及び γ_3 , 東里地区では Q_2
ゼノタイム	……………	陽江・湛江地区では C及び γ_3 , 東里地区では Q_2
ルチル	……………	イルメナイトの酸化・変質によって形成された

(3) 本地域の重砂鉍床の形成には次のような必要条件が揃っていたと考えられる。

- 後背地の地質母体に重鉍物が豊富に含まれていること
- 熱帯湿潤気候のもとで岩石の風化が促進される条件があること
- 後背地の河川が重鉍物集積に適した形態で発達していること
- 沿岸の水営力が重鉍物の淘汰集積に有利な条件にあること

(4) 調査の結果いくつかの重砂鉍床が新しく確認されたが、その中で新寮島鉍床が陸上部にまとまってあること及び平均品位が高いことなどから、将来の開発に最も有利な条件を備えた鉍床であることが判明した。

新寮島鉍床は第四系 Q_4 層最上部の海成砂及び一部風成砂に胚胎され、含有重鉍物は量比の多い順にイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの5鉍物である。

(5) 新寮島鉍床は島の長軸方向(NNW-SSE)に延びる中央丘陵地帯と東側海岸丘陵地帯に分布、長軸方向9 km、短軸方向最大4 km、平均層厚3.4mの規模をもつ。本鉍床の埋蔵鉍量は63,291,600 m³、基本5鉍物合計平均品位は7,562g/m³である。ただし、この埋蔵鉍量・品位の計算は322本のボーリング孔のうち基本5鉍物合計品位のコア分析値が3,000g/m³以上で1m以上まとまる区間をボーリング着鉍区間とし、着鉍のうち鉍床としてまとまる276本について着鉍孔を中心とする鉍面を設定して行ったものである。

(6) 初期企業化評価調査

東里地区・新寮島陸上部に賦存する重砂鉍床、新寮島鉍床を対象として初期企業化評価調査を実施した結果、内部財務収益率8.39%を得たことは、本プロジェクトが今後本格的な企業化可能性の調査を行うに値するものであることを示している。なお中国側の新しい松散係数1.42を用い収支を概算すると内部財務収益率は18.35%と飛躍的に向上する。

本初期企業化評価調査結果の概要は以下のとおりである。

生産計画： 操業度は10,000wt/日とし、年間330日操業を行ってIlmenite, Rutile, Zircon, Monazite, Xenotimeの5精鉍を採取する。稼行鉍体を重砂品位の高い順に3地区に分割し、鉍山寿命は約30年あるが、評価のための財務計算期間を予め20年に設定しているため、3地区の内2地区を対象として生産計画を立案した。年間の採掘原砂および産出精鉍の鉍量・品位は次のとおり。

出鉍量： 3,300,000wt(2,768,000 t)

出鉍品位：	鉍物名	前期	後期	計算指数
	Ilmenite	6,410	4,935	前期：初年度～12年度
	Rutile	853	759	後期：13年度～20年度
	Zircon	1,759	1,445	可採率(%)：乾式=92, 湿式=76
	Monazite	131	116	ずり混入率(%)：乾式=8, 湿式=24
	Xenotime	18	18	地山1m ³ の乾重量：1.51 t
	計	9,171	7,273	松散係数：1.17

産出精鉍：

精鉍名	初年度～12年度		13年度～20年度	
	鉍量(t)	品位・採取率(%)	鉍量(t)	品位・採取率(%)
Ilmenite	9,945	TiO ₂ 53.0 (48.7)	7,617	TiO ₂ 53.0 (47.2)
Rutile	1,878	TiO ₂ 83.0 (14.4)	1,432	TiO ₂ 83.0 (13.9)
Zircon (1)	1,607	ZrO ₂ 64.0 (43.7)	1,259	ZrO ₂ 64.0 (42.2)
Zircon (2)	587	ZrO ₂ 62.0 (15.5)	462	ZrO ₂ 62.0 (15.0)
Monazite	106	TREO 55.0 (21.1)	106	TREO 55.0 (21.0)
Xenotime	16	Y ₂ O ₃ 27.0 (13.0)	14	Y ₂ O ₃ 27.0 (12.5)
	14,139		10,890	

操業計画： 採掘法は、鉍体の+3.5 m準部分はクローラー型フロントエンドローダーを使用する乾式、3.5m準以下の部分はドラッグラインによる湿式を採用する。粗選は常に採掘機械と行

動を共にする螺旋式選鉱機を搭載した移動式粗選ユニットで行う。粗選で採取した粗精鉱は小型トラックで精選工場へ運搬する。精選工場は現外羅工場敷地内に新設するが、各重砂鉱物の分離フローは1991年度・広州有色金属研究院で実施した選鉱本試験で得たプロセスを採用する。操業形態は採掘・粗選・精選とも1日3交替・24時間操業、すべて直轄作業とする。従業者の年間就労可能日数は330日とし、生産・補助部門の従業者数は合計232～229名である。

操業付帯計画： 生産活動に必要な電力は電力会社から買電するものとし、工業・生活用水には地下水を利用する。住宅は従業者全員に与え、主として現外羅精選工場敷地内に建設する。サービス施設は建設せず外羅鎮の公共施設を利用する。

起業費・操業費： 金額推定の基本として、機械類・消耗物品の価格、工事単価、給料・賃金などは何れも1992年8月のものを適用し、かつ建設・操業期間中のエスカレーションは考慮せず、また土地買収・各種の補償等々にかかわる費用は見込まないこととする。さらに必要な機材・消耗物品等は全て中国製品とし、給料・賃金は外国企業との合弁の場合を想定して設定、為替レートは1992年8月19日のものを基準とする。

起業費（万元）；

項目	金額
生産・付帯部門	3,157.67
倉庫品・予備費	247.53
建設期間金利	87.82
起業費計	3,493.02
運転資金	271.46
初期投資額	3,764.48

年間操業費（万元）；

期間	金額
初年度～12年度	1,085.85
13年度～20年度	1,031.89

機械更新費； 601.7 万元（通計）

（備考）；
建設期間＝2年，資本金＝850万元

収支計算： 現状価格ベース，計算期間＝20年とし，産出各精鉱は全て現行中国売鉱条件で中国国内に販売するものとする。減価償却は期間5～20年の定額償却とし，借入金金利は長・短期とも1992年8月19日の日本のプライムレートを仮に引用する。税金は中国税法で定められているもののうち企業所得税と工商統一税のみを考慮する。

計算結果；	項目	金額（万元）	備考
（20年通計）	精鉱販売額	30,738.88	内部財務収益率（IRR） ＝8.39%
	税引前利益	2,945.65	
	企業所得税	922.72	
	税引後利益	2,022.93	

このような6年間の調査結果から、将来に向けて次のように展望される。

本調査は海浜重砂鉍床探査を主目的に、その起源から重鉍物の集積メカニズムに至るプロセスを検討し、その結果を探鉍に反映するという手法で実施された。広東南西部には当該調査範囲以外にも鉍化ポテンシャルの高い地域が考えられるので、本調査で確立されたこの手法をこうしたポテンシャルの高い地域に応用することによって新たな重砂鉍床発見の可能性を求めることができよう。

初期企業化調査の収支試算で内部財務収益率8.39%が得られたことは、新寮島鉍床が今後企業化について本格的な調査を行うに値するものであること示している。なお含有重砂鉍物量算定の基礎である松散係数を中国側の新しい係数1.42として収支を概算すると内部財務収益率は18.35%に上昇し、企業化の可能性は向上する。また鉍体賦存域の立地条件は人口が密集し、農耕地等が多いことを除けば極めて優れている。したがって、この問題が解決されれば企業化の可能性は高いと思われ、これが当該地区の発展に貢献するばかりでなく、中国経済に好影響を及ぼすことを期待したい。

第Ⅱ部 各 論

第Ⅱ部 各 論

第1章 広東南西部沿岸地域におけるレアメタル・レアアース鉱床の特質とその起源

1.1 調査概要

本地域では、重砂鉱床の特質とその起源に関する地質調査及び鉱床調査が第1年次（1987年）から第5年次（1991年）まで行われた。地質調査は第1年次（1987年）に東里地区を、第2年次（1988年）に陽江地区を、第3年次（1989年）に湛江地区を、そして第4年次（1990年）には本地域全体を対象として行われた。一方、鉱床調査は第3年次に南山海・河北港・沙尾の各鉱床について行われた。さらに、第5年次（1991年）にはこれら調査の補充試験調査が行われた。

調査の主眼は、重砂鉱床を構成する重鉱物の起源岩ならびにその特徴、重砂鉱床の地域性、重砂鉱床の形成機構などを明らかにし、本地域での重砂鉱床ポテンシャルを把握することにあつた。

1.2 後背地の地質と岩石

調査地域は広東省南西部、南海沿岸に位置し、揚子地塊の東南側に発達するカレドニア造山帯の中にある。本地域には、主として震旦系堆積岩類（Z）、カンブリア系片麻岩・混合岩類（C）、カレドニア期混合花崗岩類（ γ_3 ）、燕山期花崗岩類（ γ_5 ）が分布し、これら基盤岩類を、下位より更新世のQ₁層（湛江層群）、Q₂層（北海層群）、玄武岩類（Ba）及び完新世のQ₄層からなる第四系が覆っている。これら基盤岩類及び第四紀の玄武岩類は風化して地表部はラテライト性土壌に変っている（図Ⅱ-1-1, 1-2）。

以下、これらの基盤岩類ならびに重砂鉱床を胚胎する第四紀層について記述する。

(1) 震旦系堆積岩類（Z）

本岩は斜長石に富むアルコーズ砂岩、粘土質シルト岩の厚さ10cm程度の互層で、細かく圧砕されている。湛江地区塘瓔付近に分布するが、風化が著しい。

(2) カンブリア系片麻岩・混合岩類（C）

黒雲母、斜長石、石英による暗色、明色帯が交互に数mmの厚さで繰返す葉状（片麻状）構造を有し、鏡下では、黒雲母5~20%、斜長石15~20%、カリ長石35~50%、石英30~35%を主とし、数%の角閃石、緑れん石や微量のジルコン、くさび石、緑泥石、燐灰石などからなり、また、磁鉄鉱、黄鉄鉱の不透明鉱物を伴う。

$Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$, CaO, $FeO + MnO + MgO$ を3頂点とするACF図に、本岩の全岩分析結果をプロットした結果、泥質岩~グレイワッケ領域にあり、本岩が砂泥質岩起源であることが示されている。

(3) カレドニア期混合花崗岩類 (γ_3)

本岩は、上述のカンブリア系片麻岩・混合岩類 (ϵ) としばしば混在しており、この場合、優白質な花崗岩質部分の本岩 (γ_3) と片麻岩質部分 (ϵ) は 1 m から数 m 単位で互いに漸移関係にある。葉状構造も本岩にも弱いと認められることができる。両者の混在する産状などからみると片麻岩類が部分熔融して花崗岩質メルトを生じた可能性もある。織簀南や尖山地区でこの岩体が分布しているところでは地形の突出していることがある。鏡下では、黒雲母 6~15%、斜長石 13~25%、カリ長石 30~45%、石英 30~40% を主とし、ほかに緑泥石、緑れん石、ジルコン、燐灰石などを微量含んでいるが、ペグマタイト質の部分では電気石、雲母、ざくろ石などの粗大結晶が認められることがある。

(4) 燕山期花崗岩類 (γ_5)

本岩は陽江地区から湛江地区電白付近にかけて北東~南西系の大規模岩体をなして分布している。岩質的に風化・削剝を受けやすく、ラテライト化も顕著で、多くの場合ゆるい丘陵地形をなしている。一般に中・細粒で時に斑状をなし岩相変化も著しい。鏡下では、黒雲母 3~7%、斜長石 12~33%、カリ長石 43~50%、石英 25~35% を主とし、磁鉄鉱、燐灰石、緑泥石、ジルコン、くさび石などを微量含んでいる。

(5) 白亜紀~第三紀堆積岩類 (T)

本岩は、花崗岩質亜角礫を主とする礫岩、砂岩で、固結度が高く淘汰不良の岩層であるが、30 cm 程度の堆積輪廻が認められる。湛江地区東部、旦場周辺に局部的に分布しており北西~南東系の走向、西南傾斜の層理が顕著である。周囲の基盤岩類とは断層で接していると考えられる。

(6) 第四紀層

本地域の第四紀層は、下位より更新世の Q_1 層 (湛江層群)、 Q_2 層 (北海層群)、玄武岩類 (Ba) 及び完新世の Q_4 層が基盤岩類を覆って広く分布している。 Q_1 層は模式地の湛江市付近に、 Q_2 層は鑿江流域の吳川付近から坡頭、南三島、東海島にかけて、また玄武岩類は湛江西部、東海島東岸及び東里地区に溶岩流として発達している。重砂鉄床を胚胎する Q_4 層は沿岸部全域に広く分布している。また、 Q_4 層の下位に上部更新統 (Q_3 層) 相当層がボーリングで認められる場合がある。

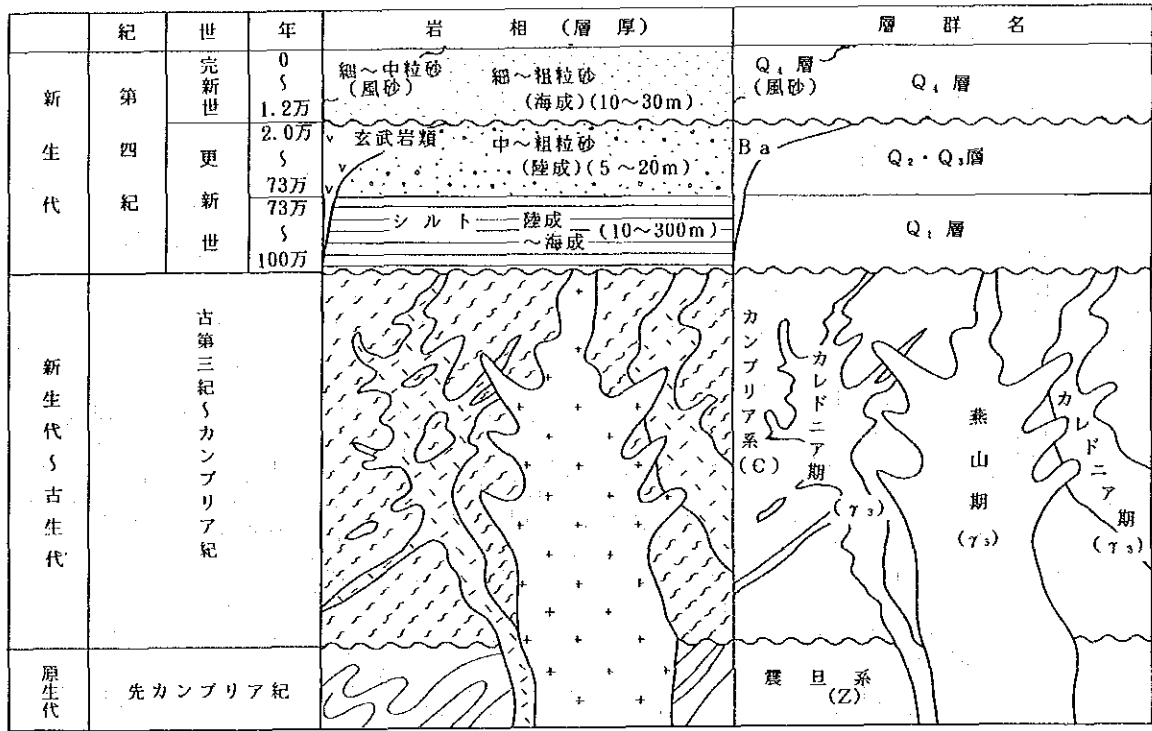
Q_1 層は主にシルトよりなり、1 cm 単位の葉理が顕著で、しばしば褐鉄鉱層 (10~30 cm) を挟む。

Q_2 層はアルコーズ質中粒~粗粒砂よりなり、白色石英円礫 (0.1~5 cm) を含み、赤褐~赤紫色斑状の脆弱な粘土質層 (数 m) を挟むことがある。淘汰は不良である。層厚変化は著しく坡頭地域では厚さ 20 m 以上に達している。

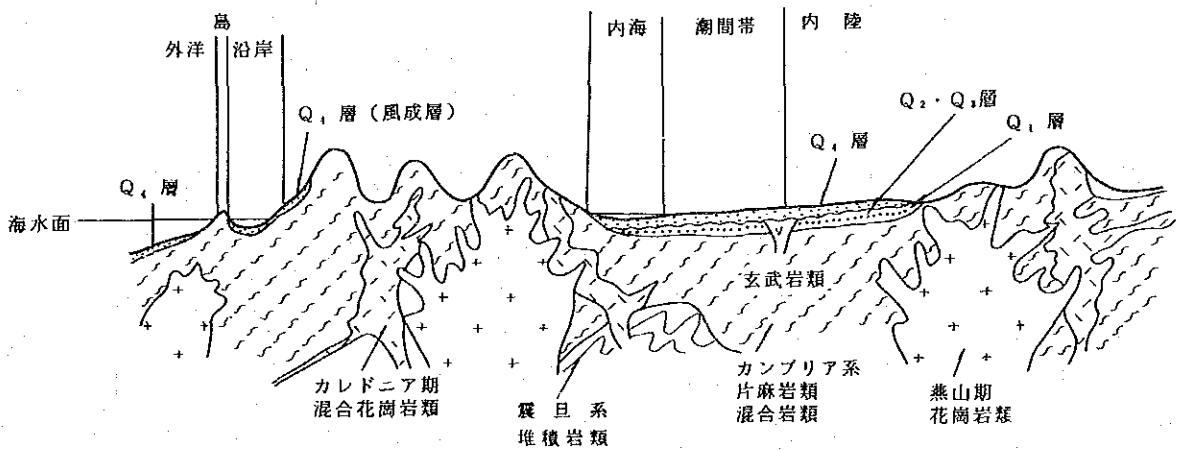
Q_3 層はシルトを主とし粗砂を伴う。層厚は 3 m 以上である。

玄武岩類 (Ba) は湛江西部、東海島東岸部及び東里地区に分布する。東海島、東里地区では Q_2 層を覆っており、玄武岩溶岩台地を形成している。ここでは鉄赤色のラテライト性土壤中に

50cm～1m大の玄武岩の円礫～亜角礫が残留している状況を観察できる。本岩は、少くともかんらん石1～2%、普通輝石48%の中粒玄武岩（大牛岭産）と、かんらん石10%前後、普通輝石30%以下、単斜輝石20～30%のかんらん石玄武岩に分けられる。



図II-1-1 広東南西部沿岸地域地質模式層序図



図II-1-2 広東南西部沿岸地域地質模式断面図

(7) 風化殻

基盤岩類及び玄武岩類は地表部では著しい風化作用を受け、赤茶色のラテライト性土壌からなる風化殻を形成している。この風化殻は風化の激しいところでは10m前後の厚さをもつ場合がある。地形的には燕山期花崗岩類(γ₅)や玄武岩類がゆるい丘陵を呈しており、ラテライト化が顕著である。

1.3 後背地の岩石中の重鉍物

1.3.1 検討試料・岩石とラテライト性土壌

後述のように岩石中の重鉍物はほかの造岩鉍物に比較して一般に風化抵抗力が高く、岩石の風化とともに風化殻、すなわちラテライト性土壌中に残留する。本地域のように風化殻の発達著しいところでは重鉍物の集積に果たすラテライト性土壌の役割は大きい。

一方、後背地の岩石中の重鉍物含有量の調査方法としては、従来から直接岩石を破碎してその中の重鉍物を調べる人工重砂分析が用いられてきた。しかしこの方法は試料採取、分析過程に慎重を期さねばならないこと及び相当の時間を要することなどの難点があり、これをラテライト性土壌の重鉍物含有量分析に置きかえることができれば、大量の試料処理・分析が可能となる。そこで、本地域に分布する岩石とその上位のラテライト性土壌との重鉍物含有量を比較検討した(表Ⅱ-1-1)。

表Ⅱ-1-1 ラテライト性土壌の重砂分析値(L)と岩石人工重砂分析値(R)

(単位 g/t)

試料番号	地 域		岩石	Ilmenite		Zircon		Rutile		Monazite		Xenotime		Magnetite		
	L	R		L	R	L	R	L	R	L	R	L	R			
0819-	1	2	海陵島, 白蒲	C	101	<1	156	496	5	1	74	239	15	41	19	724
0823-	14	8	双水	"	279	2	302	218	5	4	148	231	17	7	4	14
0823-	10	11	南中	"	9	-	192	51	<1	<1	79	6	25	1	2	534
0826-	5	6	海陵島, 白蒲	"	27	<1	208	312	0	<1	2	<1	1	<1	9	44
0827-	3	4	河北港	"	6	<1	60	163	<1	-	38	138	4	22	<1	201
0830-	1	2	織箕 S	"	8	41	120	362	<1	-	36	153	2	2	1	<1
0908-	1	2	珍門	"	2	3	178	335	<1	<1	53	78	3	5	100	12
0918-	1	2	巨場 E	"	5	47	59	144	<1	-	45	23	9	5	<1	2
			平均値	"	54.6	12.0	159.4	260.1	1.9	1.0	59.4	108.6	9.5	10.5	17.1	191.5
0826-	1	2	海陵島, 丹濟W, 蚌	γ ₃	<1	348	18	58	<1	<1	<1	77	<1	9	61	3065
0830-	4	5	通天竹	"	134	147	257	117	<1	-	65	9	34	3	<1	<1
0901-	7	8	上洋 N	"	4	2	23	5	<1	<1	8	8	<1	4	<1	177
0906-	5	3	沙扒	"	1178	2365	187	400	40	<1	66	190	60	14	2	253
0914-	7	8	尖山	"	80	7	3	14	<1	<1	52	117	<1	<1	<1	765
0916-	2	3	塘垌 N	"	50	140	<1	42	<1	<1	<1	19	4	8	<1	70
			平均値	"	241.2	501.5	81.5	106.0	7.5	<1	38.4	70.0	16.8	6.5	11.2	721.8
0823-	13	6	南中	γ ₅	829	195	193	32	<1	<1	24	<1	4	<1	7843	4637
0825-	1	2	塘坪	"	0.29	-	169	243	5	<1	<1	<1	<1	<1	8260	23819
0829-	1	2	塘口	"	122	763	92	145	<1	-	5	<1	1	2	1666	6019
0829-	4	5	河口	"	359	362	253	258	<1	<1	0	-	0	2	2664	4030
0908-	5	6	麻崗	"	457	1104	19	132	2	<1	<1	<1	<1	<1	403	3629
0914-	4	5	黄坡	"	983	3060	11	41	1	<1	49	91	1	3	952	6763
			平均値	"	459.2	917.3	122.8	141.8	1.8	<1	13.3	16.0	1.3	1.7	3631.3	8149.5

注1: 試料番号は上の2桁数字(88)を省く
(例: 880819-1→0819-1)

注2: L: テラト性土壌
R: 岩石人工重砂

その結果、一般的には岩石試料中の重鉍物含有量に比してラテライト性土壌試料中のそれが低くなる傾向がみられたが、その逆のことも認められた。後者の場合は同じ試料について各々の重鉍物が同一傾向にあるので、これは対象とする試料採取位置との関係などの要因による系統的な差異を表すと考えた。このように岩石試料とラテライト性土壌試料との各々の重鉍物含有量はほぼ同様の傾向を表しており、岩石試料の代わりにラテライト性土壌試料を用いて岩石中の重鉍物の検討を行う可能性が示唆された。

そこで、後背地の岩石中の重鉍物、起源岩の問題は岩石中の重鉍物含有量の代わりに、その風化産物であるラテライト性土壌中の同含有量を用いて検討を進めることとした。

1.3.2 ラテライト性土壌中の重鉍物含有量とその構成比

後背地の岩石中、すなわち地質母体別の重鉍物含有量の検討のため、本調査地域全体から各岩種別に合計 129箇所でラテライト性土壌を採取して重砂分析するとともに、中国側提供の28資料を加えて解析した。

表Ⅱ-1-2 地質母体別ラテライト性土壌中の重鉍物含有量

地質母体の種類	箇所数	イルメナイト		ジルコン		ルチル		モナザイト		ゼノタイム		磁鉄鉍	
		平均値	ランク	平均値	ランク	平均値	ランク	平均値	ランク	平均値	ランク	平均値	ランク
先カンブリア系 (Z)	7	181.1	○	32.3	△	8.1	△	3.4	△	1.6	△	8.1	△
カンブリア系 (C)	43	141.7	○	182.0	◎	13.7	△	76.2	◎	13.7	◎	54.1	○
加賀期花崗岩 (γ_3)	23	136.3	○	73.0	○	5.2	△	29.3	◎	8.4	◎	104.6	○
燕山期花崗岩 (γ_5)	22	599.2	◎	208.9	◎	9.0	△	12.2	△	3.4	△	2523.1	◎
玄武岩類 (Ba)	21	491.2	◎	27.4	△	5.8	△	2.3	△	1.3	△	156.9	◎
Q ₂ 層	11	572.6	◎	326.8	◎	38.6	◎	26.6	○	12.9	◎	8.1	△

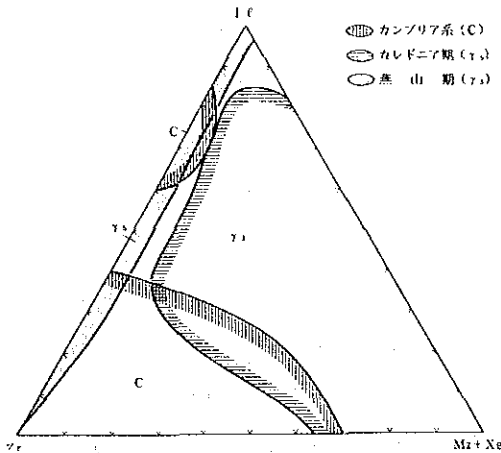
注：平均値は (g/T)。

ランクは ◎：極めて多い
○：多い
△：少ない に分け、平均値を比較してきめた。

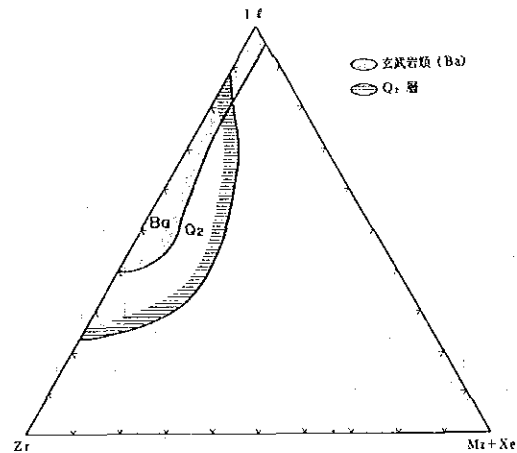
これらの分析値を用いて、イルメナイト (Il)，ジルコン (Zr)，モナザイト+ゼノタイム (Mz+Xe) の重量比を求め、三角ダイヤグラム上で検討した。(Il) - (Zr) - (Mz+Xe) 三角ダイヤグラムで各々の地質母体の重鉍物の重量比を比較すると、Cはジルコン比率が高く、モナザイト+ゼノタイム比率の比較的高い領域にまとまる。 γ_3 はモナザイト+ゼノタイムが高くジルコンの低い領域に散在する。 γ_5 はイルメナイトとジルコンに富むがモナザイトとゼノタイムに非常に乏しい領域にある。また、Baはイルメナイトが高くモナザイト+ゼノタイムの低い領域を占める。Q₂層はイルメナイトとジルコンが高く、かつモナザイト+ゼノタイムもある程度高い領域を占める。

このように、各々の地質母体の重鉍物の組み合わせは、それぞれ特徴があることが明らかであ

る(図Ⅱ-1-3, 4)。表Ⅱ-1-2は地質母体別のラテライト性土壤中の重鉍物含有量の平均値を示したものである。この表によれば各々の地質母体はここに示した6種類の重鉍物をそれぞれ含んでいるが、その含有量は岩種によって異なっており、それぞれの重鉍物の起源がどの岩石であるかがほぼ確認できる。なお、ルチルについてはこれらの分析結果からはその起源を特定することはできないので、別項1.5.2で検討した。



図Ⅱ-1-3 地質母体の重鉍物重量比領域図(1)



図Ⅱ-1-4 地質母体の重鉍物重量比領域図(2)

1.4 重砂鉍床の地域特性

1.4.1 重鉍物の構成比の地域特性

(1) 重鉍物の構成比

本調査地域の重砂鉍床の地域特性を考察するために、調査地域を代表する南山海、河北港、沙尾の各鉍床及びボーリング調査の行われた東里地区、湛江地区呉陽の5箇所について、それらの重鉍物構成比を検討した。

その結果、これら5箇所の重鉍物構成比は、 $I-Zr-(Mz+Xe)$ を頂点とする三角ダイヤグラム(図Ⅱ-1-5)にみられるように、明らかな差異が認められる。特に、南山海鉍床と河北港鉍床とはわずか数kmしか離れていないにもかかわらず、この差異を示す。これらのことは、本調査地域内の鉍床が広域的な条件によってというよりも、ごく近傍の地質条件の影響を受けて形成されたものであることを示唆している。

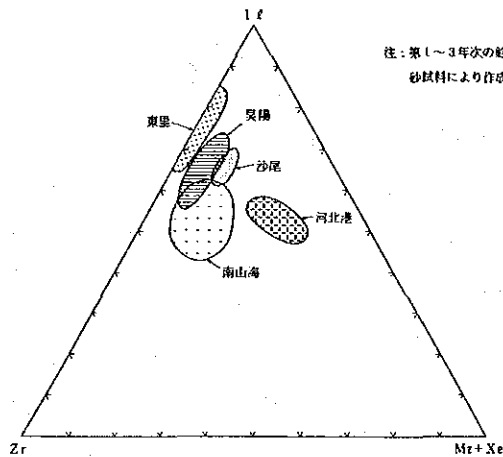
(2) 重鉍物構成比の地域特性

前項において重砂鉍床の重鉍物構成比を検討した結果、鉍床そのものがそれぞれ異なる重鉍物重量比をもち、地域的な特性があるということが明らかになった。さらに、鉍床は砂州に形成され、その砂州に物質を供給した河川の流域の持つ地質学的特性がその鉍床の性質を支配しているであろうことが十分予想されたので、代表的な鉍床、南山海鉍床、河北港鉍床、沙尾鉍床について、その分布位置を含む流域との関係で重鉍物の挙動を追跡することを試みた。すなわち、それぞれの流域に分布する岩石、そのラテライト性土壌、河川砂、海浜砂及び鉍床そのものについて

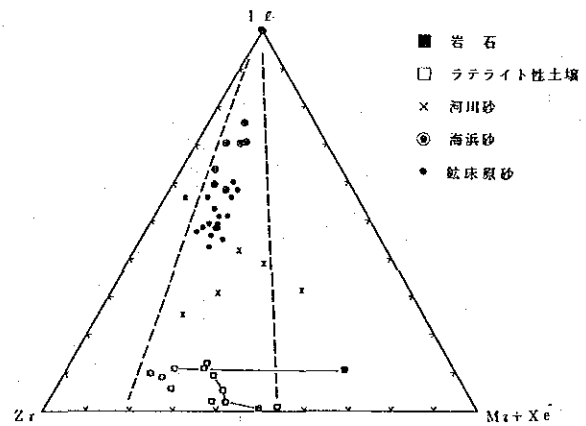
の重鉍物重量比の変化をみることにより重鉍物濃集の過程を考察した。

南山海鉍床では、本鉍床にかかわる河川の流域には、基盤岩類として ϵ 及び γ_3 が分布している。II-Zr-(Mz+Xe)重鉍物比の三角ダイヤグラム(図II-1-6)をみると、岩石からラテライト性土壌、河川砂、海浜砂へと運搬が進むに連れて、II重量比の高い方に移行する傾向にあるがZr:(Mz+Xe)比がほぼ一定に保たれているということから、これら重鉍物の起源を検討する上で近傍後背地に注目しなければならないことを示している。

このように、南山海鉍床を構成する重鉍物は鉍床を含む堆積物をその起源岩から剝削・破壊ないし運搬・蓄積した河川の流域内からもたらされたものである可能性が高い。河北港・沙尾両鉍床についても同様の解析結果が得られているので、これらの鉍床は極めて狭い範囲からの地質的影響によって形成されたことが示唆されている。



図II-1-5 重砂鉍床の重鉍物重量比



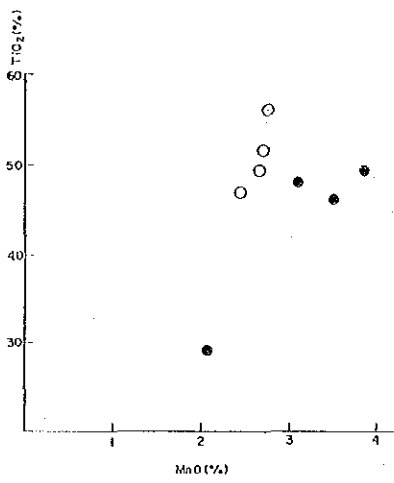
図II-1-6 起源岩調査結果解析図
(南山海流域、重鉍物重量比の変化図)

1.4.2 重鉍物中の希元素含有量の地域特性

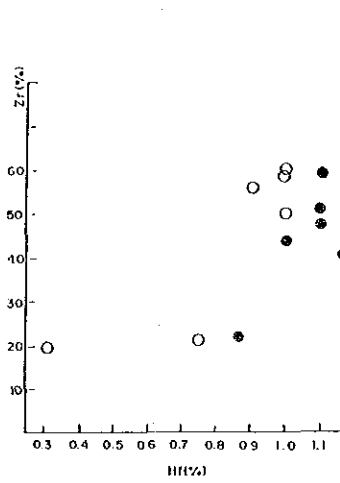
本調査地域のうち、東里地区として東里、吳陽のボーリング試料、陽江地区として海陵島、南山海のボーリング試料及び南山海、河北港、沙尾の鉍床試料のイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの元素分析を行い、これらの重鉍物の元素構成の地域特性を検討した。

イルメナイトは TiO_2-MnO を対象に、東里地区4試料、陽江地区4試料を、ジルコンはZr-Hf、同6試料、同6試料を、ルチルは TiO_2-Ta 、同4試料、同4試料を、モナザイトU-Y、Y-Ho、同6試料、同7試料を、ゼノタイムは P_2O_5-Y 、 P_2O_5-Er 、同5試料、同6試料を分析した。

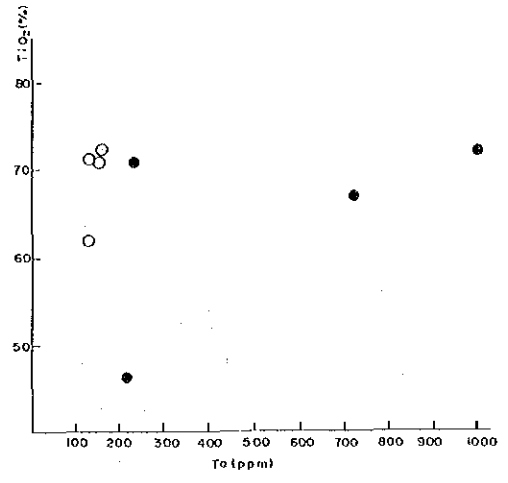
その結果、これらの重鉍物はそれぞれの地区の間に構成元素からみた性質の違いを示した(図II-1-7)。重鉍物の元素構成はそれが生成された物理的・化学的ならびにその他の諸条件によって定まるから、この事実はこれら地区ごとの重鉍物の間に起源的な差異があることを示すと考えられる。このことも、これらの重砂鉍床が特定の範囲の地質的影響によって形成されたことを示唆している。



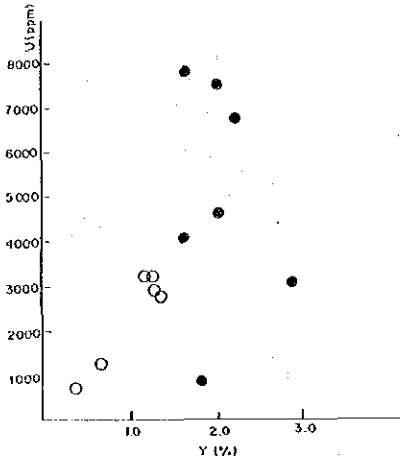
(イルメナイト)



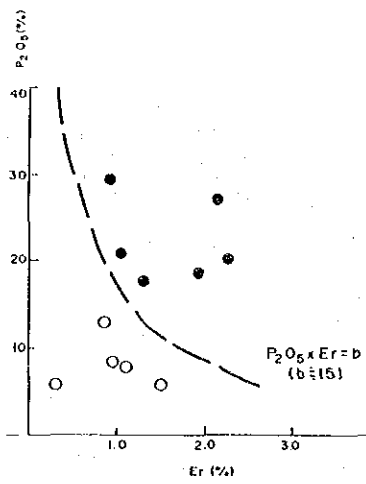
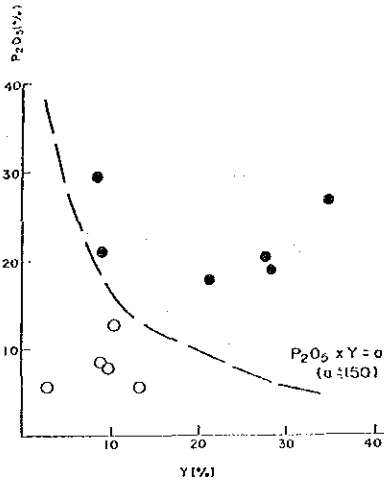
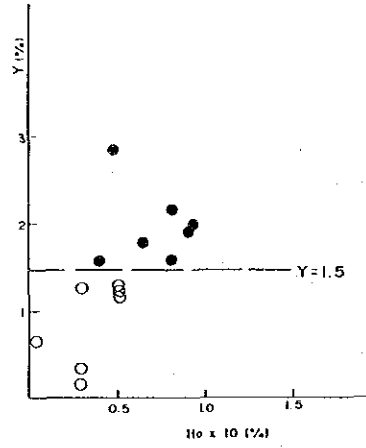
(ジルコン)



(ルチル)



(モナザイト)



注 ● 陽江地区
○ 東里地区

(ゼノタイム)

図 II - 1 - 7 分離重鉱物主要元素関係図

1.5 重砂鉱床中の重鉱物の起源

本地域にみられる重砂鉱床を構成する重鉱物は、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの5鉱物であるが、後背地の岩石の代表的岩種である先カンブリア系堆積岩類(Z)、カンブリア系片麻岩・混合岩類(€)、カレドニア期花崗岩類(γ_3)、燕山期花崗岩類(γ_5)、玄武岩類(Ba)、第四系(Q)のいずれにもルチルの造岩鉱物としての出現はほとんど認められない。そこで、ルチル以外の重鉱物とルチルとを分けてそれぞれの起源を考察した。

1.5.1 ルチル以外の重鉱物の起源

本地域に分布する岩石・地層は、それぞれ何ほどかの重鉱物を含有しているので、どの岩石・地層でも重砂鉱床を構成する重鉱物の起源岩となり得る。加えて、本地域内の鉱床はその重鉱物比などにみられるようにそれぞれの地域特性を有し、比較的狭い範囲から重鉱物の供給をうけて形成されたと考えられるので、それぞれの重鉱物の起源を特定の岩石に限定することはできない。また、同一重鉱物種でもその希元素含有比率に地域的な差異を示すことも、特定の重鉱物の起源を特定の岩石に求めるのではなく、鉱床に近接した地域に分布する岩石類にその由来を求めるべきことを示唆している。

- (1) イルメナイト：含有量の多い岩石は γ_5 、Ba及び Q_2 である。 γ_3 はイルメナイト含有量・含有比率ともばらつきが激しく、極めてイルメナイトに富むことがあるので、これが供給源となることもあるとみられる。 γ_5 及び γ_3 は陽江・湛江両地区の、そしてBa及び Q_2 は東里地区のそれぞれの主たるイルメナイト供給源となっている。
- (2) ジルコン：€、 γ_5 及び Q_2 に多く含有されている。€及び γ_5 は陽江・湛江両地区の、そして Q_2 は東里地区の主たるジルコンの供給源となっている。
- (3) モナザイト及びゼノタイム：€及び Q_2 が最も多く含有する。 γ_3 もばらつきはあるがこれらの重鉱物を多量に含有する場合がかなりある。€及び γ_5 は陽江・湛江両地区の、そして Q_2 は東里地区の主な供給源である。

東里地区における重鉱物の起源岩は玄武岩類及び Q_2 層であるが、第4年次の調査で次のことが判明している。

東里半島に分布する玄武岩類はK-Ar法、一部はU-Th法による年代測定結果では、715,000年前から5,000年前までの間に6回の噴出時期が認められている。これらの玄武岩類の風化産物のラテライト性土壤中の重鉱物はイルメナイトとごく少量のジルコンが認められたが、このうちイルメナイト含有量の多寡は玄武岩類のアルカリ度($(K_2O+Na_2O)/SiO_2$)と関係があり、イルメナイト高含有量の玄武岩は特徴的に低アルカリ度玄武岩に属することが判明した。

このような低アルカリ度玄武岩類は大牛嶺(イルメナイト 4,787g/t)、雷高(同 453g/t)及び錦和(同 516g/t)に分布しているが、これらの噴出時期はそれぞれ<5,000年、300,000年となっているので、特定の時期に噴出したものだけが低アルカリ玄武岩であったというわけではな

い。玄武岩類が岩相変化に富んでいることから、低アルカリ度玄武岩類は上記のほかにも賦存している可能性がある。こうした低アルカリ度玄武岩類が東里地区の重砂鉍床のイルメナイトの起源となっていたものと考えられる。

Q₂層は淘汰不良のアルコーズ質の中粒～粗粒砂よりなるが、本層を構成するアルコーズ質の物質がどこに由来するのか明らかでない。また本層の上部は削剝を受けており、従ってその層厚は削剝の割合によって極めて変化に富む。

東里地区のQ₂層の大きな特徴はイルメナイト、ジルコンをはじめモナザイト、ゼノタイムなどの重鉍物を相当量含んでいることである。第4年次の調査で採取した11試料の重砂分析結果によれば重鉍物含有量の平均値はイルメナイト 572.6g/t、ジルコン 326.8g/t、モナザイト 26.2g/t、ゼノタイム12.9g/tである。また同じくQ₂層に関する中国側の重砂分析結果では東里地区のQ₂層の7試料の重鉍物含有量の平均値はイルメナイト 8,493.7g/t、モナザイト 130.47g/t、ゼノタイム14.6g/tとなっている。これらの分析結果をみると、このQ₂層が沿岸部に分布するQ₄層に胚胎している重砂鉍床の一部の重鉍物の起源として十分な量に達する重鉍物を含有していることがわかる。

1.5.2 ルチルの起源

イルメナイト($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)は、風化その他の条件によって酸化すると、含まれているFe^{II}がFe^{III}に変化し $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 成分をある程度含有するにいたることが広く知られている。当地域のイルメナイト及び白チタン石についてそのFe^{II}とFe^{III}の関係をみると明らかにイルメナイトから白チタン石に向け酸化が進行していることが読みとれる(図II-1-9)。

物性的にイルメナイト、白チタン石、ルチルの3種に分離された当地域のチタン鉍物は顕微鏡観察及びEPMA分析の結果次の事実が明らかとなった。

- (1) イルメナイトがほとんど変形しないままで存在することもある。しかし、
- (2) 一般にイルメナイトはさまざまな程度において部分的に白チタン石を包含する。
- (3) 白チタン石もさまざまな程度において部分的にルチルを包含する。
- (4) ルチルの周辺部には白チタン石が部分的に認められることが多い。

このことはイルメナイトの酸化によって、白チタン石が形成されさらに白チタン石からルチルが形成されていることを示している。さらに、これらのチタン鉍物(イルメナイト、白チタン石、ルチル)の化学分析結果を $\text{TiO}_2 - \text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ の三角ダイアグラム上で検討してみると、それぞれの鉍物はかなり広い化学組成範囲をもっており、これらが特定の組成成分を代表するものではなくてさまざまな程度に頂点3成分の含有量が増減したものであることが明らかで、上記のイルメナイトの酸化によって白チタン石、ルチルが形成されたと考えることが不適当ではないことを示している(図II-1-8)。

以上の事実からみて、当地域のルチルはイルメナイトの酸化・変質によって形成されたもので

あると考えられる。なお、その酸化・変質は、一部後背地でも生じているが、主として重砂鉍床として重鉍物が堆積後に行われたと考えられる。その傍証として、東里地区の上盤鉍体と中盤鉍体とを比較すると、地表に胚胎し風化・酸化のより激しいと考えられる上盤鉍体の白チタン+ルチル合計量のイルメナイト量に対する比率が高いことがあげられる。

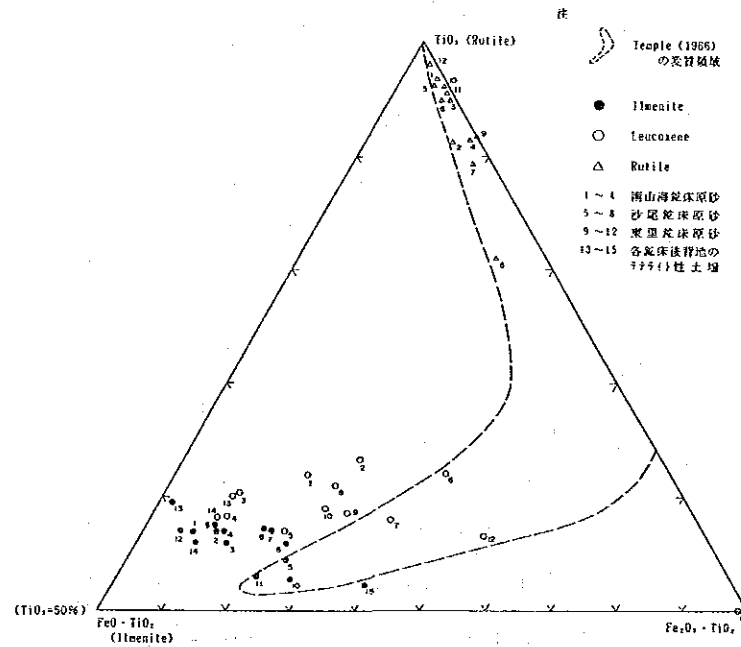


図 II - 1 - 8 変質チタン鉍物の化学組成

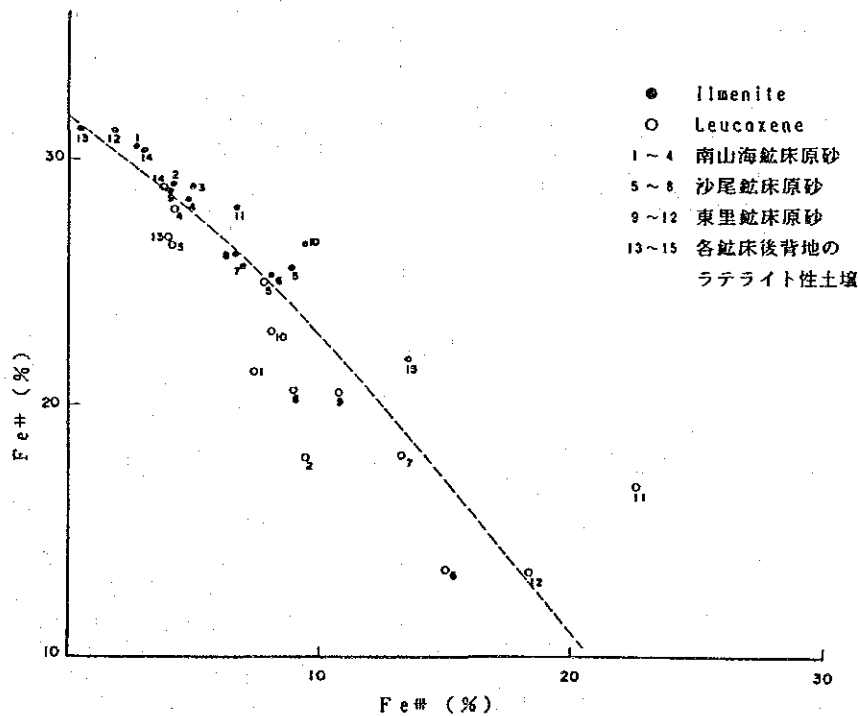


図 II - 1 - 9 変質チタン鉍物 Fe# - Fe## 関係図

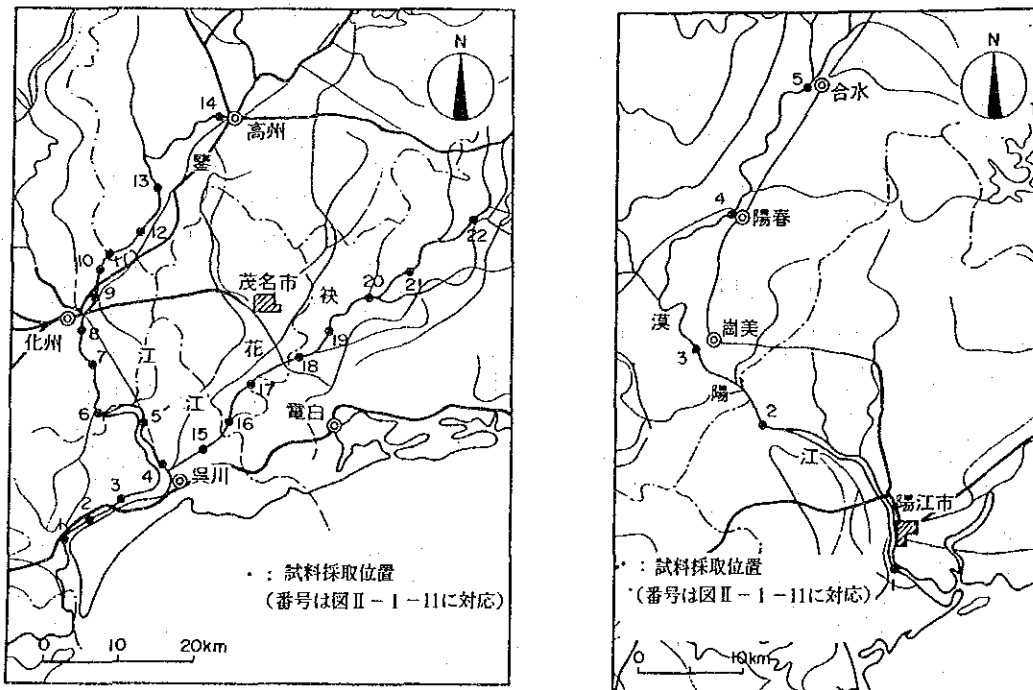
1.6 重砂鉱床形成のメカニズム

1.6.1 重鉱物の供給源

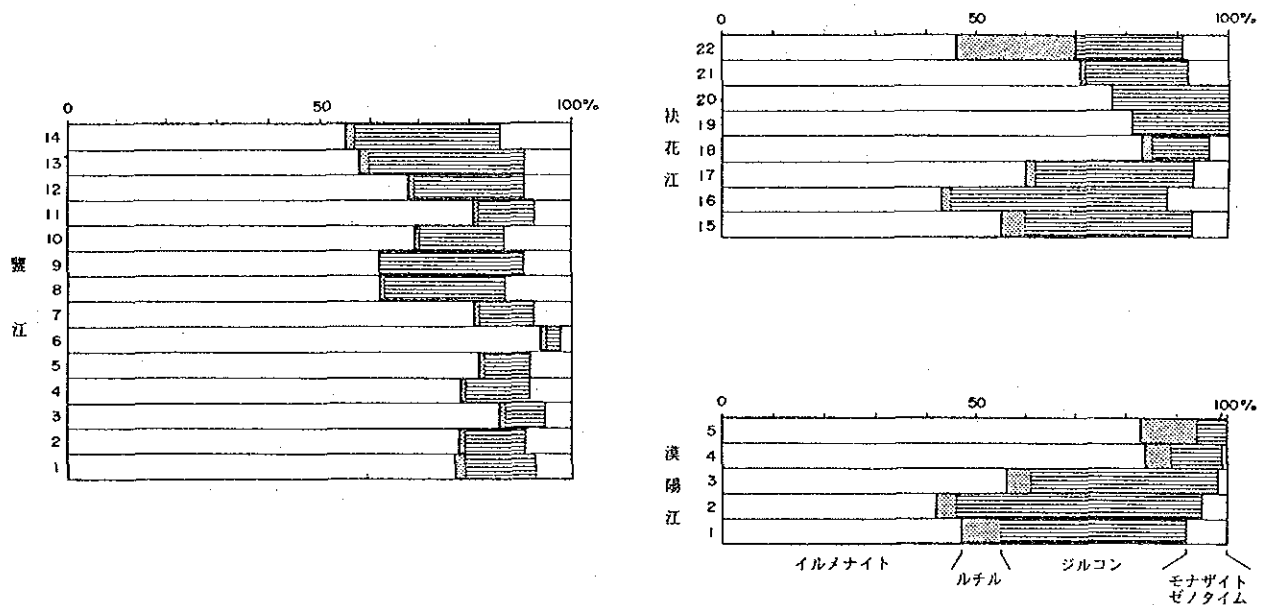
重砂鉱床の地域特性の項(1.4)で述べたように、本地域の重砂鉱床の重鉱物供給源は、それぞれの鉱床のごく近傍の狭い範囲に分布する岩石ではないかと示唆されている。そこで、本調査地域を流下し、海へ入る大河川の運搬する堆積物が、重砂鉱床の重鉱物供給源と考えられるかどうかを検討した。そのために、本地域の2つの大河川、鑿江とその支流の袂花江、及び漠陽江を対象に、河口より上流へ系統的に河川砂を採取し、含有するイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの基本5鉱物の挙動を調べた。試料は、鑿江とその支流では3~10km間隔、漠陽江では10~20km間隔となるように河岸または中洲で採取した(図Ⅱ-1-10)。検討に際し、重鉱物含有量は採取地点の多様性を反映した局所的な絶対値を示すと考えられるので基本5鉱物の重量比率を検討した(図Ⅱ-1-11)。

その結果、それぞれの河川で、河川砂中の基本5鉱物の重量比率が上流群と下流群の2つの集団に分けられ、しかもその境は不連続的に変化することが判明した。さらにこれら試料の採取河川長をみると、上・下流群それぞれ約30~50kmとなっている。

このように、一定の重鉱物重量比率を保った河川堆積物がある区間持続することは、その流域の地質を反映していて、地質が変われば、比率も急変すると考えると、大河川砂中の重鉱物は内陸奥地から延々と河口まで運搬されるわけではなく、ある一定の距離を移動・運搬されると推定され、本地域に胚胎する重砂鉱床の重鉱物の起源は、海岸線からある距離に分布する岩石である可能性が強いと考えられる。



図Ⅱ-1-10 大河川砂試料採取位置図



図Ⅱ-1-11 大河川砂中の基本5鉱物重量比率

1.6.2 重砂鉱床の粒度特性

これまでの調査により、本地域にみられる重砂鉱床は、後背地沿岸部の重鉱物を含む起源岩類が風化・削剝を受け、その碎屑物が河川を経て海中に運搬され、波浪などの海象営力により含有重鉱物が濃集して現在みられる重砂鉱床が形成されたことが明らかにされている。この一連の過程で、重鉱物を含有する未固結堆積物がどのような堆積環境にあったかをこれら堆積物の粒度特性から検討した。

まず、これまでの6年間の粒度分析資料を、河川砂、海浜砂、鉱床母砂及び底質堆積物に分類してそれぞれの粒度特性及びその相互関係、鉱床母砂と含有重鉱物との粒度関係、さらに重砂鉱床形成の場を考えた。

(1) 未固結堆積物の粒度特性

粒度分析件数は1,063件に及ぶ。そのうち試料種が明らかな河川砂(81件)、海浜砂(65件)、底質堆積物(211件)、鉱床母砂(南山海17件、河北港6件、沙尾3件、東里半島50件、新寮島267件)を検討資料とした。

一般に、未固結堆積物の流体中における運動は粒度によって異なり、その形式は粒子の沈降速度と初動速度から推定される。粒子は中央粒径が $\phi = 2$ 前後を境とし、それより粗い部分はインパクト則、逆に細かい部分はストーク則により沈降する(図Ⅱ-1-12)。そして水底に沈着した粒子が水流によって動きはじめるのは、まず砂質($Md \phi = 1$ 前後)のもので、水流の速度が増すに従って、より粗いものや細かいものが動きはじめる(図Ⅱ-1-13)と考えられている。水

中の未固結堆積物はこのような流体の速度変化により絶えず沈積・移動を繰り返し、河川では河川勾配、屈曲、水量の差などによって礫、砂、泥が分離して、それぞれ適当な場所へ堆積する。海浜～浅海では普通、海浜から沖に向かって礫、砂、泥の順に細くなる。

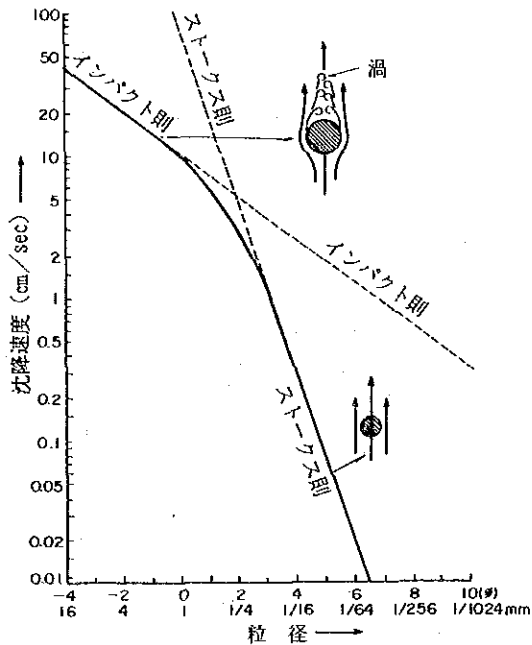


図 II - 1 - 12
水中における粒子の沈降速度 (奈須, 1961)

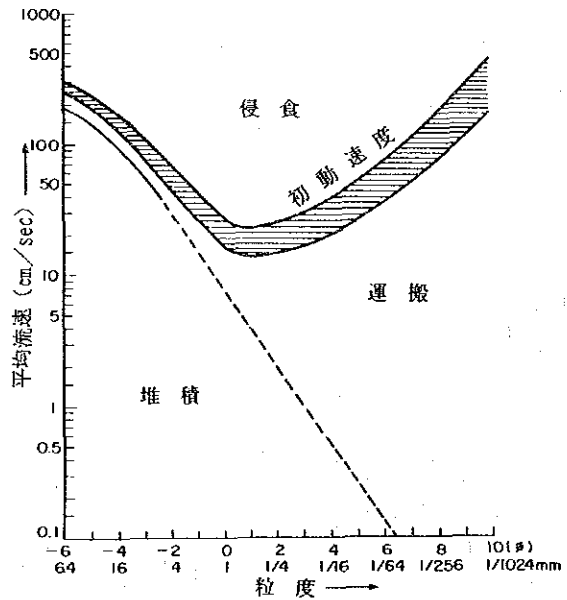


図 II - 1 - 13
堆積物が動き始める速度 (HJULSTROM, 1939)

このような未固結堆積物の流体中での運動と、これまでの粒度分析結果から次のことが考えられる (図 II - 1 - 14)。

河川砂はその流域背景を反映し、中央粒径 ($Md\phi$)、淘汰度 (So)、歪度 (Sk) とともに変化が激しく、粒度特性と重鉍物含有量との相関も低い。これらのことは河川砂には含泥率の高いもの、淘汰不良のものも多く、その組成成熟度が低く、特定の河川砂に重鉍物が濃集することを示していない。

海浜砂は $Md\phi$ 、 So 、 Sk とともにまとまり、やや高い成熟度を示す。重鉍物濃集は、海浜砂でも $Md\phi = 2.5 \sim 3.0$ の細砂にみられる傾向がある。河浜砂は現在の海岸を構成する砂で、日々刻々変化する海象条件を反映し、やや多様性のある組成を示していると考えられる。

底質堆積物は $Md\phi = 4$ を境とし、砂質部分と泥質部分に大別され、それぞれ次のようなことが考えられる。砂質部分の $Md\phi$ は $0 \sim 4$ にまたがるが So は $0.1 \sim 0.9$ 、 Sk は $-0.6 \sim 0.6$ の範囲にあり、やや高い成熟度を示す。そして重鉍物の濃集は $Md\phi = 2.9 \sim 3.9$ の極細砂に集中していることが注目される。泥質部分は $Md\phi > 4$ のシルト、粘土で構成され、 So 及び Sk とともに大きく変化し、重鉍物の濃集部は $Md\phi = 4$ に近い含砂質の一部のみである。これら底質堆積物の分布は海浜

から沖に向って砂から泥へ変化し、一般的な分布則と調和している。

重砂鉱床はそれぞれ高い成熟度を示す母砂で構成されるが、これら鉱床母砂のMdφは河北(0.9~1.7), 沙尾(1.3~2.1), 南山海(2.6~3.1)そして新寮島(3.1~3.8)へ次第に細粒化している。母砂の細粒化に伴い、淘汰は良くなるが、歪度はそれほど変化しない。粒度特性と重鉱物の濃集との関係を見ると、河北港, 沙尾, 南山海では採掘現場から試料を直接採取したのみなので、これらは特定の傾向が明白になるほどの資料にはならないが、新寮島鉱床では267件に及ぶ粒度分析が行われており、その結果からは基本5 鉱物合計品位 3,000g/m³以上を含有する母砂はMdφ = 3.1~3.4という極めて狭い範囲にあることが注目される。

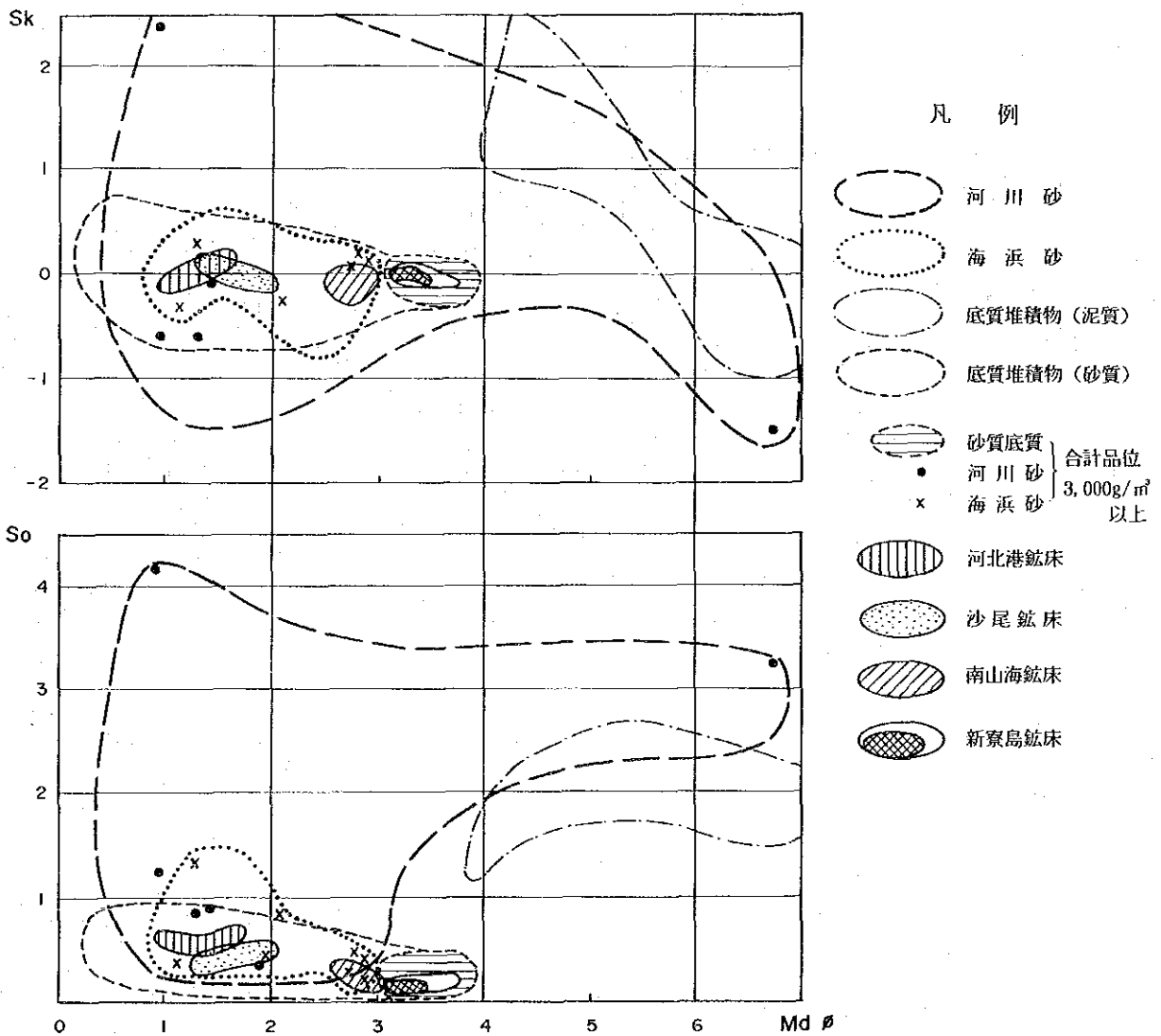
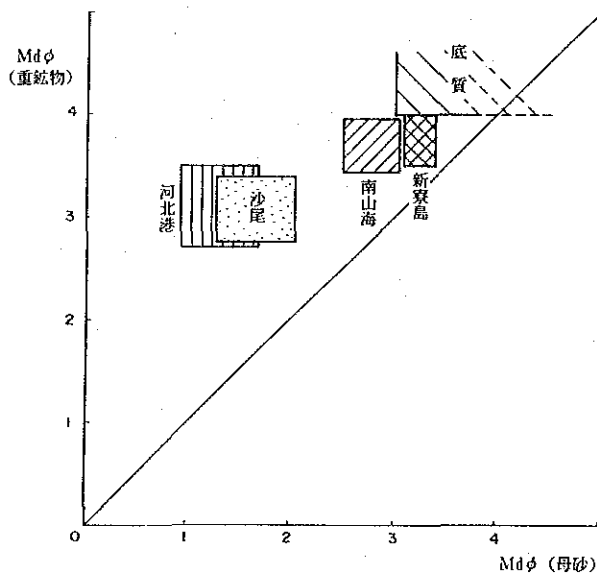


図 II - 1 - 14 未固結堆積物の粒度特性

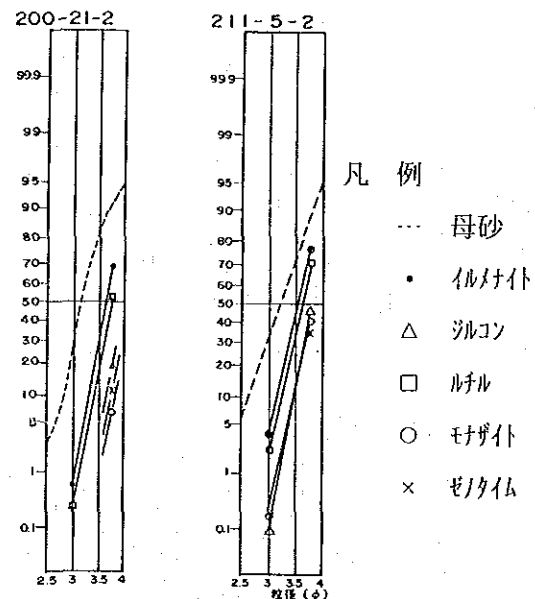
(2) 鈇床母砂と重鈇物との中央粒径

鈇床母砂の粒度分析に加え、分離鈇物粒度試験（5鈇物）38件が行われている。これまでの試験結果では5鈇物個々の粒度確率分布は、同一試料の場合では $\phi = 0.5$ 以内の変動幅で平行に分布することが多いので、鈇床母砂と分離鈇物との中央粒径（Md ϕ ）を比較検討するために、5鈇物の中央粒径の最大値と最小値をその試料の重鈇物中央粒径範囲に採用した（図II-1-16）。

重鈇物のMd ϕ は河北港(2.7~3.5), 沙尾(2.8~3.4), 南山海(3.5~4.0), 新寮島(3.5~4.0)へ順次細粒化し、この傾向はこれら鈇床の母砂の粒度傾向と良く調和する。重鈇物のMd ϕ と母砂のそれとは重鈇物の方が細粒であり、これは同一水動力下での重鈇物と母砂の比重差を反映したものと考えられる（図II-1-15）。しかしながら、重鈇物及び母砂ともに最も粗い河北港ではその差が ϕ スケールで2前後であるのに対し、最も細かい新寮島では0.5~0.8の差しか示さない。このことは、母砂及び重鈇物の粒度が細くなればなるほど、両者の水中での挙動が互いの比重差というよりはむしろ粒径に左右される場合が多いことが考えられる。



図II-1-15 鈇床母砂と重鈇物との中央粒径



図II-1-16 鈇床母砂と分離重鈇物の確率分布

(3) 重砂鈇床の堆積環境

以上述べた未固結堆積物の粒度分析及び分離鈇物粒度試験の結果から、重砂鈇床形成についての一考察を試みた。

河北港、沙尾、南山海、新寮島各鈇床の母砂の粒度特性は、海浜砂及び砂質部分の底質堆積物のそれとよい対応を示し、各鈇床母砂は中央粒径の細粒化と淘汰度の上昇に相関性がみられる。一方、歪度はいずれの鈇床でもゼロ前後と変化が少ない（図II-1-14）。このことは重鈇物の濃集が淘汰度と関係することを示している。そして、これら鈇床の未固結堆積物の侵食・運搬環

境から堆積環境へ変わる水流の平均速度は、その鈎床母砂の中央粒径の分布範囲から河北港（2～4 cm/sec）、沙尾（2～4）、南山海（1～1.5）、新寮島（0.5～0.7）と推定される（図Ⅱ-2-13）。さらに砂質底質の重鈎物の濃集は中央粒径が 2.9～3.9 の極細砂に多く、これらは水深 5～12m の浅海底に分布していることが明らかにされている（第 2 年次物理探査）。

これらのことから、本地域の重鈎床の堆積環境は、寄せ波で形成される堆積海岸というよりは、海浜で水中へ懸濁された比較的細かい粒子が引き波によって浅海へ運搬されてその流速の減少に応じた場所に堆積するようなどころであったのではないかと考えられる。河北港、沙尾の鈎床母砂は海浜砂に近い性質をも有するので、浅海というよりは潮間帯に近く、時には寄せ波の影響も受けたような環境（海灘）であったであろう。南山海、新寮島の鈎床母砂は砂質底質の重鈎濃集部に近い性質を示し、現在の沖合にみられるような水深 5～12m の浅海（水下岸波）のような環境で堆積したものと考えられる。

また、これら重鈎床は現在の海岸に平行しているので堆積当時は海岸流の影響も受けていたと推定される。

未固結堆積物の粒度特性とそれから考えられる堆積環境を表Ⅱ-1-3 にまとめる。

表Ⅱ-1-3 未固結堆積物の粒度特性と堆積環境

堆積物	母砂の粒度特性					重鈎物の Mdφ	母砂のMdφから推定される沈降速度 (cm/sec)	重鈎物の濃集が考えられる堆積環境
	Mdφ	So	Sk	成熟度	重鈎物の濃集			
河川砂	0～7	0.2～4.2	-1.5～3.5	低い	不定	—	不定	不定
海浜砂	0.8～3.0	0.1～1.5	-0.8～0.6	やや高い	Wφ=25-100級	—	1～4	潮間帯（海灘）
底質堆積物（砂質）	0～4	0.1～0.9	-0.6～0.6	やや高い	Wφ=29-198級	>4	0.5～10	水深5～12mの海底
底質堆積物（泥質）	>4	1～3	-1～2.5	低い	含砂部分	>4	<0.5	水深12m以深の海底
河北港鈎床	0.9～1.7	0.5～0.7	-0.2～0.2	高い	母砂全体	2.7～3.5	2～4	浅 潮間帯（海灘） ↓ 浅海部（水下岸波） ↓ 深
沙尾鈎床	1.3～2.1	0.3～0.6	-0.2～0.2	高い	母砂全体	2.8～3.4	2～4	
南山海鈎床	2.6～3.1	0.1～0.3	-0.3～0.1	かなり高い	母砂全体	3.5～4.0	1～1.5	
新寮島鈎床	3.1～3.8	0.1～0.2	-0.3～0.1	極めて高い	Wφ=31-311級	3.5～4.0	0.5～0.7	

1.6.3 重鈎床形成の堆積環境

第四系砂層中に胚胎する重鈎床は、当時の海水面変化と密接に関係し、特にその停滞期に形成されたと考えられている。本地域の重鈎床の形成年代は、¹⁴C年代測定により完新世中・後期の海水面停滞期に対比され、重鈎物の濃集に適した環境にあったことがわかる。

現在の海岸線に沿って分布する第四系砂層は延長数km～10数km、幅数kmの規模で砂嘴～砂州状

に発達したものと見られ、海陵島丹南鉾区、南山海鉾区、沙尾鉾区に見られるように弓状に分布することが多く、しかも陸上部で知られている重砂鉾床の大半はこの砂州状に分布する第四系砂層中に賦存している。

砂州は、広東南西部沿岸地域の沖合を東から西へと向って流れる海流が、海岸に近い浅海部において基盤岩類の隆起部などの障害にさえぎられて反転し、環流となって西から東へと向きを変え沿岸流となって、河口などの浅海部に沈積していた砂を沿岸漂移させて形成されたものと考えられる。また、砂州形成のもとになった浅海部の重砂混りの沈積砂は海流によって沖合への流出をさえぎられ逸散せずに浅海部に沈積したものと考えられる。一方、砂州の中に賦存する重砂の濃集メカニズムについては、一般的に漂移の過程で砂粒子が、分級・集積の淘汰作用を強く受けることが判っており、このような作用に関係して重砂の濃集が起ったものと考えられる。

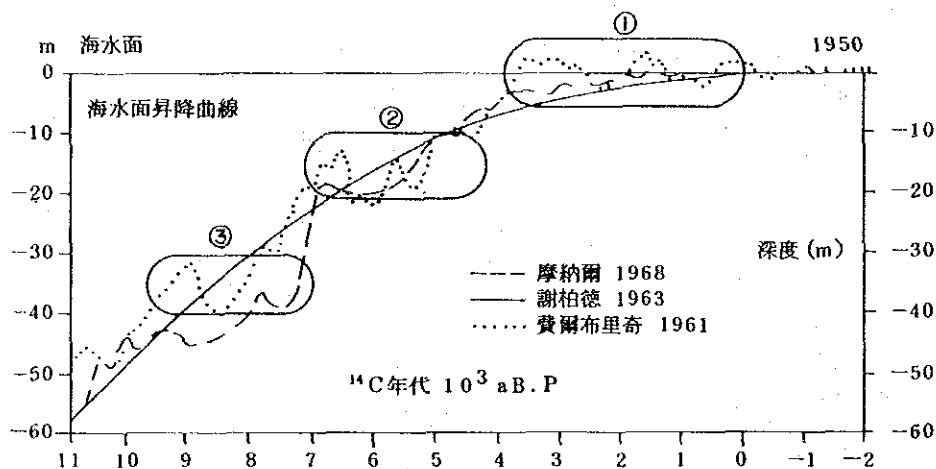


図 II - 1 - 17 完新世海水面昇降曲線 (根据默爾納, 1969)

表 II - 1 - 4 重砂鉾床の形成年代

図 II - 1 - 17 の番号	胚胎深度 (m) (現在の海水面) を基準	鉾 床 (体)	形 成 年 代	
			¹⁴ C年代	データ出所
①	+5 ~ -5	東里地区上盤鉾体	1,786 ± 100	ボーリング試料 1件 陸上探査データ解析 陸上探査データ解析
		呉陽鉾床	4,250	
		南山海鉾床	5,000 ~ 8,000	
		沙尾鉾床	?	
②	-10 ~ -20	東里地区下盤鉾床	4,410 ~ 6,060	ボーリング試料 3件 図 II - 1 - 17 参照
③	-30 ~ -40	浅海沖合	(7,000 ~ 9,000)	
	0	東里地区海浜砂	260 ~ 2,380	地質調査

1.6.4 重砂鉍床形成条件

重砂鉍床が形成されるための条件は、それぞれの鉍床のおかれた地理的条件により多岐にわたるものと考えられるが、本広東南西部沿岸地域の場合、次のことがあげられる。

(1) 後背地の地質条件が有利であること

後背地の地質母体に重鉍物が豊富に含有されていることが第一の条件である。本地域の場合、このような地質母体が複数存在していることが有利な条件となっている。

(2) 熱帯湿潤気候であること

本気候下では、化学的風化作用により比較的深部まで基盤岩類の分解・風化が促進され、基盤岩類に含まれる重鉍物は母岩から分離し、多雨などによる侵食により重鉍物の移動を可能にする。本地域は花粉鑑定などの結果、鉍床形成期にはこのような気候下にあったことが判明している。

(3) 後背地の河川が重鉍物集積に適した形態で発達していたこと

河川が中規模・枝状に発達し、重鉍物の磨耗に適当な距離の運搬が行われていること、ならびに雨季（増水期）と乾季の交代により流速の変化が生じ、物質運搬が多様化されることが重要な条件である。

(4) 沿岸が重鉍物の淘汰・集積に有利な環境にあること

砂州が形成されるような海岸地形と海象条件、さらに重鉍物が集積されるような陸水・海水の混合条件が存在することがある。また、上述の(2)の気候と関連し、海洋の波浪要因としての台風が季節的に生じ、重鉍物の集積に有利な淘汰作用を生み出すことも重要である。

1.7 ラテライト性土壌における希元素の挙動について

1.7.1 問題の所在と調査方法

本調査地域の重砂鉍床を構成する重鉍物は、後背地の基盤岩類にその起源をもち、このような基盤岩類が風化、削剥されてもたらされたものであることが判明した。この場合、風化に対して抵抗力のある重鉍物は、風化殻（ラテライト性土壌）中に残留し、風化殻の体積はもとの岩石の体積より縮小しているから、風化殻中の重鉍物含有量は基盤岩類中のそれより大きいことが期待された。しかしながら、第4年次までの調査では、多数の地点で風化殻中の重鉍物含有量が基盤岩中のそれより必ずしも高くなかったので、一部の重鉍物は風化作用の過程で破壊・分解されているのではないかと考えた。そこで風化過程における重鉍物構成元素の挙動に関する総合的な解析を第5年次補充試験調査として行った。なお、ラテライト性土壌中の「重鉍物構成元素」は重砂鉍床を形成する重鉍物に由来するもののみではなく、くさび石や雲母などの造岩鉍物にも由来することから、これらの元素の総称を「希土類等元素」として検討した。

ラテライト性土壌中の希土類等元素の挙動に関する検討は、一方では重鉍物が破壊されずに削剥、運搬に耐えて集積し重砂鉍床を形成するのに対し、他方、風化殻の中で重鉍物が物理・化学的に破壊された場合、そこに含有されていた希土類等の元素がラテライト性土壌の中でどのよう

な挙動をするかを調べるのが目的で、ラテライト性土壤中にこれらの元素の濃集があるかどうか、あるとすればそれがどこにあり、どういう特徴をもっているかを探ることにその検討内容を限定した。

調査方法は代表的な基盤岩類であるカンブリア系片麻岩類(ε)で1箇所、カレドニア期混合花崗岩類(γ₃)で1箇所、燕山期花崗岩類(γ₅)で3箇所を選定し、各地点でラテライト性土壤を上下10層に区分して採取するとともに、その下位の岩石をも採取し、ラテライト性土壤の粘土鉱物同定さらに同土壤と岩石の希土類元素含有量分析を行い検討データとした。

1.7.2 調査結果の解析と検討

(1) 基盤岩類中の希土類等元素は、その上位のラテライト性土壤の中では、重鉱物中に保有されるか粘土層中に残存しているかの二通りの存在形態をもつ。

(2) 前者を鉱物内保有量、後者を化学的残存量と名づけると、基盤岩類中の希土類等元素はラテライト性土壤の中では大部分が化学的残存量として存在し、ここで試算した限りでは鉱物内保有量として存在しているのはおよそ全体の20%程度以下である(表Ⅱ-1-5, 6)

ただし、岩石中では希土類等元素は、ここで注目したモナザイト、ゼノタイム、ジルコンだけでなく、くさび石、褐れん石、燐灰石、雲母などの希土類元素を含む副成分鉱物にも含まれていると考えられるので、ラテライト性土壤中の希土類等元素のうち、どれだけが重鉱物の破壊に由来するものであるかは明らかでない。

(3) 基盤岩類中の希土類元素はラテライト性土壤中に濃縮されているが、その濃縮度は元素によって一様ではない(表Ⅱ-1-6)。

(4) ラテライト性土壤中の層別の元素集積状況をみると、各地点において特定の層準に多くの元素が濃集している(表Ⅱ-1-7)。

(5) 希土類元素を軽希土、中希土、重希土に分けて3者の比率をみると、軽希土のみ変化が著しいので軽希土類元素はラテライト性土壤中を移動し特定の部位に集積しやすいとみられる(図Ⅱ-1-18)。

第1~4年次の起源岩調査においては重鉱物の挙動のみに注目してきたため、岩石中の大部分の希土類等元素が重鉱物中に保有されずに粘土中に残存しているということは考えなかったもので、上記のうち(1)、(2)の指摘が特に重要と考える。

表II-1-5 岩石及びラテライト性土壌の主要希土類元素及びZrの賦存状況

(単位: ppm)

項目 地点 (基盤岩類)	Ce				Sm				Y				Zr			
	岩石中	ラテライト性土壌中			岩石中	ラテライト性土壌中			岩石中	ラテライト性土壌中			岩石中	ラテライト性土壌中		
		鉱物内 保有量	化学的 残存量	計		鉱物内 保有量	化学的 残存量	計		鉱物内 保有量	化学的 残存量	計		鉱物内 保有量	化学的 残存量	計
塘口 (γs)	116.0	0.187	821.7	821.9	6.40	0.014	1.81	1.82	55.0	0.801	5.5	6.30	91.0	36.6	81.5	118.1
小良 (γs)	94.0	0.129	560.9	561.0	5.00	0.010	13.31	13.32	51.0	0.801	34.0	34.80	93.0	66.0	272.0	338.0
黄坡 (γs)	70.0	10.698	104.9	115.6	3.70	0.769	5.51	6.28	23.0	1.624	7.5	9.12	157.0	4.1	191.5	195.6
麻崗東 (ε)	190.0	37.501	273.3	310.8	8.90	2.702	15.23	17.93	47.0	14.822	42.0	56.82	189.0	67.5	125.0	192.5
良光 (γs)	162.0	2.374	221.9	224.3	32.00	0.179	18.05	18.23	85.0	9.377	23.5	32.88	169.0	3.0	235.5	238.5
平均	126.4	10.178	396.54	406.72	11.20	0.735	10.78	11.52	52.2	5.485	22.5	27.99	139.8	35.38	181.0	216.5

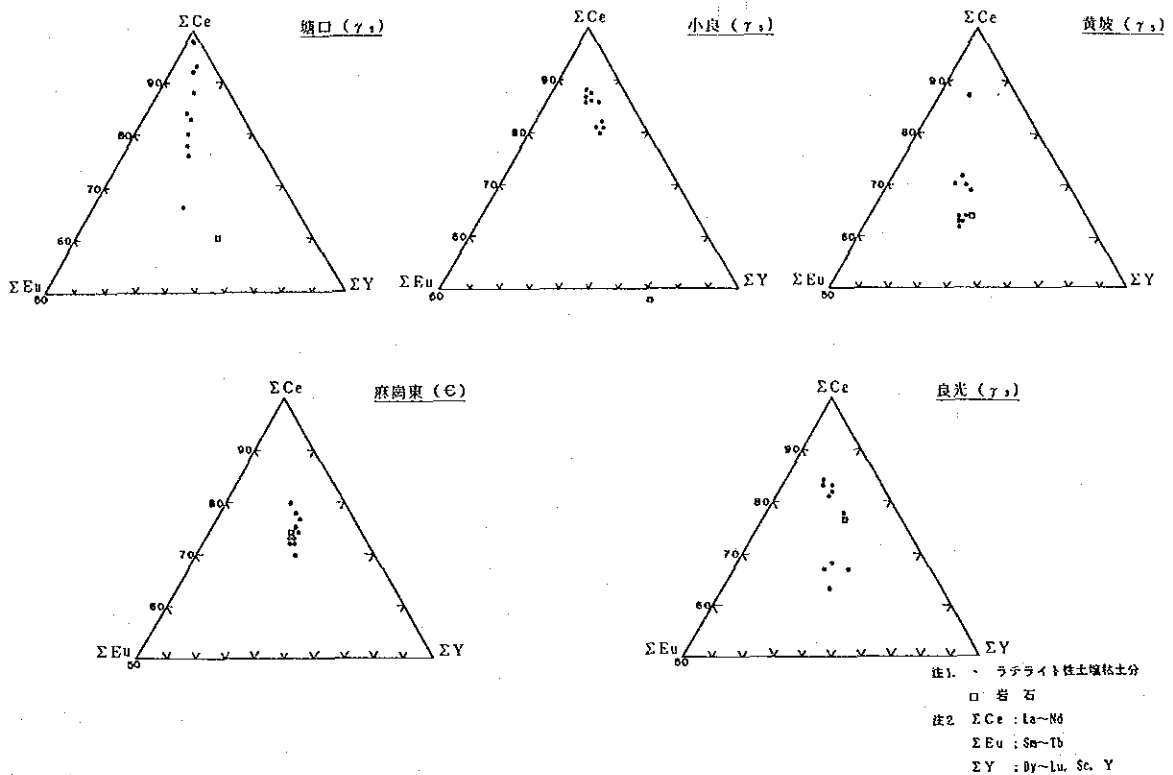
表II-1-6 主要希土類元素及びZrのラテライト性土壌中への平均濃集倍率

	記号	Ce	Sm	Y	Zr
基盤岩類中の残存量 (ppm)	(A)	126.4	11.20	52.2	139.8
ラテライト性土壌中の残存量 (ppm)	(B)=(C)+(D)	406.72	11.52	27.99	216.5
うち	重鉱物内保有量 (割合)	10.18 (2.5%)	0.74 (6.4)	5.49 (19.6)	35.38 (16.3)
	化学的残存量 (割合)	396.54 (97.5%)	10.78 (93.6)	22.50 (80.4)	181.1 (83.7)
濃縮倍率	(B)/(A)	3.22	1.03	0.54	1.55

表II-1-7 軽・重希土類元素の地点別層別濃集倍率

地 点 (基盤岩類)	分 層	La	Ce	Nd	Sm	Yb	Y	6 元素平均
塘 口 (γ _s)	①	0.30	1.29	0.34	0.22	0.05	0.09	0.38
	②	0.28	2.66	0.23	0.20	0.05	0.09	0.58
	③	0.28	2.24	0.29	0.19	0.10	0.09	0.53
	④	0.64	8.97	0.89	0.64	0.10	0.09	1.89
	⑤	0.30	2.93	0.31	0.19	0.10	0.09	0.65
	⑥	0.42	4.14	0.43	0.27	0.24	0.09	0.93
	⑦	0.36	3.76	0.23	0.23	0.10	0.09	0.79
	⑧	0.44	9.14	0.37	0.30	0.10	0.09	1.74
	⑨	0.50	29.74	0.54	0.33	0.24	0.09	5.24
	⑩ average	0.28	5.97	0.31	0.27	0.17	0.18	1.20
	average	0.38	7.08	0.39	0.28	0.12	0.10	1.39
小 良 (γ _s)	①	1.87	4.83	1.56	1.56	2.13	0.59	2.09
	②	2.21	6.86	2.16	1.76	1.50	0.29	2.46
	③	2.39	7.12	2.40	1.78	1.33	0.20	2.54
	④	1.89	6.12	1.76	1.42	0.63	0.10	1.99
	⑤	2.26	5.85	1.88	1.66	0.58	0.10	2.06
	⑥	2.63	6.17	2.36	1.88	0.88	0.29	2.37
	⑦	6.61	5.57	6.56	5.86	3.25	1.76	4.94
	⑧	3.42	6.78	3.60	3.00	1.58	0.78	3.19
	⑨	3.42	4.15	2.52	2.20	1.50	0.69	2.41
	⑩ average	7.61	6.22	6.48	5.54	3.04	1.86	5.13
	average	3.43	5.97	3.13	2.66	1.64	0.67	2.93
黄 坡 (γ _s)	①	2.25	1.57	1.73	2.41	2.00	0.65	1.77
	②	1.47	1.03	1.10	1.35	1.90	0.43	1.21
	③	1.53	1.10	1.13	1.46	1.60	0.43	1.21
	④	1.64	1.10	1.10	1.38	2.00	0.43	1.28
	⑤	1.97	1.71	1.23	1.54	2.00	0.22	1.45
	⑥	1.58	1.16	0.87	1.08	1.30	0.22	1.03
	⑦	1.42	1.17	0.77	0.89	1.40	0.22	0.98
	⑧	1.89	2.00	1.20	1.30	1.40	0.22	1.33
	⑨	1.94	2.00	0.37	1.62	1.20	0.22	1.23
	⑩ average	2.06	2.14	12.67	1.86	1.50	0.22	3.41
	average	1.78	1.50	2.22	1.49	1.63	0.33	1.49
麻 崗 東 (ε)	①	1.00	2.06	1.05	1.38	2.60	0.53	1.44
	②	1.31	1.29	1.18	1.48	2.60	0.85	1.45
	③	1.33	1.74	1.37	1.80	3.07	0.85	1.69
	④	1.45	1.30	1.43	1.83	3.07	0.96	1.67
	⑤	1.39	1.18	1.37	1.72	2.80	0.96	1.57
	⑥	1.63	1.89	1.63	2.02	3.47	0.96	1.93
	⑦	1.30	1.26	1.29	1.64	3.00	0.85	1.56
	⑧	1.56	1.46	1.49	1.97	3.67	1.66	1.87
	⑨	1.52	1.26	1.40	1.88	3.47	1.06	1.77
	⑩ average	1.15	0.95	1.06	1.39	2.53	0.85	1.32
	average	1.36	1.44	1.33	1.71	3.03	0.89	1.63
良 光 (γ _s)	①	0.17	0.62	0.15	0.19	0.41	0.18	0.29
	②	0.21	0.86	0.20	0.25	0.43	0.24	0.37
	③	0.19	0.74	0.16	0.20	0.30	0.12	0.29
	④	0.21	0.74	0.18	0.23	0.33	0.12	0.30
	⑤	0.45	1.86	0.38	0.46	0.24	0.06	0.58
	⑥	0.42	1.37	0.35	0.43	0.24	0.12	0.49
	⑦	0.55	2.47	0.48	0.53	0.26	0.12	0.73
	⑧	0.42	1.75	0.48	0.60	0.39	0.18	0.64
	⑨	0.90	1.87	1.04	1.24	0.80	0.53	1.96
	⑩ average	1.07	1.41	1.20	1.51	1.35	1.12	1.28
	average	0.46	1.37	0.46	0.56	0.48	0.28	0.60
TOATL 平均		1.48	3.47	1.34	1.34	1.38	0.45	1.61

注；濃縮倍率は各元素の分析値につき、風化断面各層準（ラテライト性土壌）の値の岩石の値に対する倍率w/Rを示す。



図Ⅱ-1-18 ラテライト性土壌粘土分中の軽・中・重希土類元素含有量比

1.8 広東南西部沿岸地域の鉍化ポテンシャル

地質調査によって広東南西部沿岸地域の重砂鉍床は後背地に重鉍物の起源となる地質的条件を備え、かつ好適な風化・削剝環境にあることによって形成されたものであることが明らかになった。また、これらの鉍床は中小河川の河口付近に発達する砂州に分布していることが判明したので、陸上部の重砂鉍床探査は地形的に過去及び現在の砂州を中心に海岸付近で実施された。一方、潮間帯ならびに沖合浅海部に関しても、海上物理探査（音波探査）及び海上ボーリング（調査船・櫓方式）による調査が実施され重砂鉍床賦存可能性が検討された。これらの調査結果、本広東南東部沿岸地域は重砂鉍床の胚胎するポテンシャルが高い地域であり、潮間帯ないし沖合浅海部においても重砂鉍床が形成されていることが明らかになった。これらを地区別にみると次のとおりである。

(1) 陽江地区

沿岸・潮間帯について、ボーリング（クローラドリル）により、第1年次は海陵島・平崗付近で、第2年次には溪頭～沙尾で探査が行われた。また、沖合浅海部については、第2年次に海上物理探査（音波探査）が実施され、この結果を踏まえて第3年次には調査船・櫓方式海上ボーリングが行われた。

海岸・潮間帯及び沖合浅海部には重砂鉍床胚胎層準の第四系完新統の砂層が広く分布すること

が判明したが、ボーリングの着鉱状況はいずれもまばらで連続性を欠き大規模な鉱床を認めることはできなかった。一般的には、粒度分析結果から重砂鉱床胚胎層準の砂層は淘汰が良くない砂層で母砂の堆積環境が重鉱物の濃集に適するものではなく、鉱床の形成に有利ではないと考えられる。

(2) 湛江地区

海岸・潮間帯について呉陽・東海島で第2, 3年次にボーリング(クローラドリル, 海上足場)による探査を実施, また, 沖合浅海部に関しては第2年次に海上物理探査(音波探査)を行いその結果を踏まえて第3, 4年次に海上ボーリング(調査船・櫓方式)が実施された。

海岸・潮間帯では重砂鉱床胚胎層準の第四系完新統の砂層が広く分布することが判明したが、ボーリングの着鉱状況はいずれもまばらで連続性を欠き大規模な鉱床を認めることはできなかった。沖合浅海部では物理探査で現世堆積物相当とされた砂層に13本のボーリングで重砂鉱床が認められたが、ボーリング間隔が広く、鉱床帯としての連続性に不安があることがわかった。

(3) 東里地区

第1年次から第4年次までのボーリング調査の結果, 東里半島陸上部, 新寮島陸上部, 及び北莉島~新寮島東側潮間帯の3箇所に本地区の優勢な重砂鉱床が認められた。この結果を踏まえて行った第5年次のボーリングにより, 新寮島鉱床が陸上部にまとまっていること及び平均品位が高いことなどから, 将来の開発に最も有利な条件を備えた鉱床であることが判明した。

1.9 総合検討

(1) 広東南西部沿岸地域は東アジア大陸の一部を構成する揚子地塊の東南側に発達するカレドニア造山帯中に位置し, 多くの岩石類はカレドニア造山運動による酸性マグマの貫入やミグマタイト化を伴う構造的擾乱及び変成作用を受けている。中生代には燕山期花崗岩類に代表される酸性火成活動が断裂運動を伴って生じ, また第四紀には東里半島において玄武岩類の活動がみられた。玄武岩以外の第四系は下位から順に Q_1 , Q_2 , Q_3 及び Q_4 層に分けられている。

(2) 上記の地質的条件を反映して本地域の重砂鉱床分布域の後背地にはカンブリア系片麻岩・混合川類(ϵ), カレドニア期混合花崗岩類(γ_3), 燕山期花崗岩類(γ_5), 玄武岩類(Ba)などが分布する。このほか東里地区に分布する第四系の Q_2 層は東里地区の鉱床を構成する重鉱物のソースとなっている点で特異な地層として注目される。

(3) 本地域の重砂鉱床はこれらの各岩石に含まれる重鉱物が岩石の風化・削剝などにより分離し, 河川によって運搬され海浜の砂層に集積したものである。重砂鉱床の形成されている砂層は主として第四紀層の最上部 Q_4 層である。

(4) その起源は次のとおりである。

イルメナイト …… 陽江・湛江地区では γ_3 及び γ_5 , 東里地区ではBa及び Q_2

ジルコン …… 陽江・湛江地区では ϵ 及び γ_5 , 東里地区では Q_2

モナザイト …………… 陽江・湛江地区では ϵ 及び γ_3 , 東里地区では Q_2
ゼノタイム …………… 陽江・湛江地区では ϵ 及び γ_3 , 東里地区では Q_2
ルチル …………… イルメナイトの酸化・変質によって形成された

(5) これらの重砂鉍床は、鉍物構成比の上でも重鉍物の元素構成の上でも特性に差異があるので、かなり狭い範囲からの地質学的影響によって形成されたと考えられる。

(6) 粒度分析結果から、重砂鉍床は比較的淘汰の良い母砂からなっていること、ならびに重鉍物の中央粒径と母砂のそれとは重鉍物の方が細粒であり、これは同一水動力下での重鉍物と母砂との比重差を反映していることが明らかになった。

(7) 本地域の重砂鉍床の形成には次のような必要条件が揃っていたと考えられる。

後背地の地質母体に重鉍物が豊富に含まれていること

熱帯湿潤気候のもとで岩石の風化が促進される条件があること

後背地の河川が重鉍物集積に適した形態で発達していること

沿岸の水動力が重鉍物の淘汰集積に有利な条件にあること

(8) ただ、試験的な調査の結果から、後背地の地質母体に含まれている重鉍物の中には化学的に分解されて風化殻のラテライト性土壌に残存するものも相当量あるということが判明した。

(9) 調査の結果、本地域は陸上に多数の重砂鉍床が分布するばかりでなく、潮間帯や一部浅海にも鉍床の賦存の可能性が認められ、全体的には鉍化ポテンシャルの高い地域であると言える。

第2章 重砂鉱床の探査

2.1 東里地区

2.1.1 調査概要

東里地区での重砂鉱床探査はボーリング調査を主とし、本地区の東里半島から北莉島、新寮島を経て外羅に至る地域の陸上部及び潮間帯を対象として実施された。ボーリング調査は陸上部とそれに連なる一部の潮間帯ではクローラドリル方式で、そして潮間帯では海上足場（SEP）方式で行われた。

第1年次（1987年）及び第2年次（1988年）には調査対象地域のうち、陸上部とそれに連なる潮間帯部分で、2,400m間隔の測線上で960m（一部では480m以内）ごとに合計148本、2,330.25mのボーリングを行い、重砂鉱床胚胎状況の把握に努めた。さらに、潮間帯でも第2年次（作業は1989年に実施）から第3年次（作業は1990年に実施）を経て第4年次（1990年）まで、2,400m間隔以上の測線上で1,000mごとに合計34本、611.70mのボーリングを行い、重砂鉱床胚胎状況の把握に努めた。

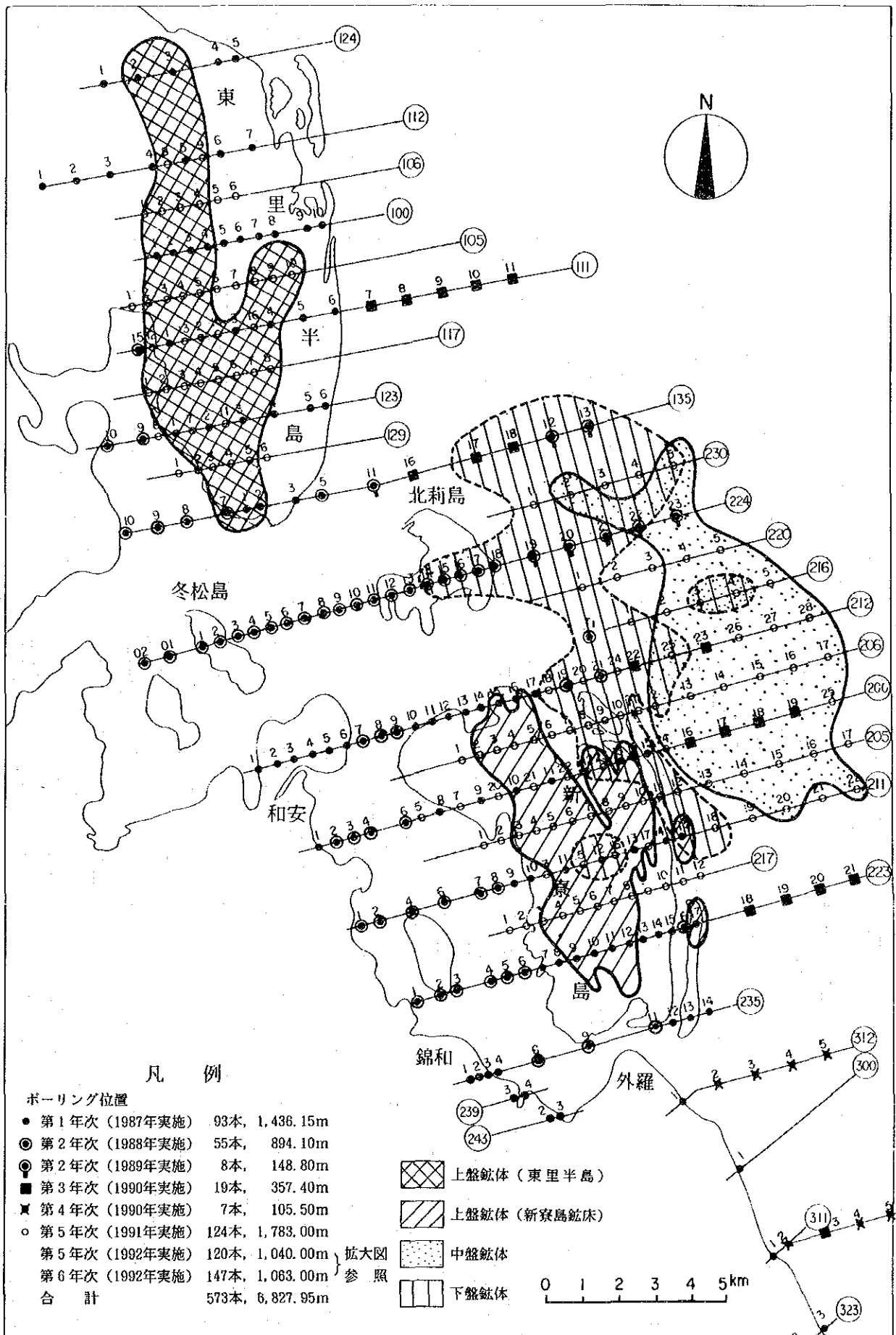
このような第1年次から第4年次までのボーリング調査の結果、本地区の優勢な重砂鉱床は東里半島陸上部、新寮島陸上部及び北莉島-新寮島東側潮間帯の3箇所認められたので、第5年次（1991年）にはこれらの鉱床のひろがり把握のために測線間隔1,200m、測線上で480m間隔となるように124本、1,783.00mのボーリングを行った。この結果、新寮島陸上部に延長9km、最大幅4kmの規模の新寮島鉱床が、平均品位が高く鉱体としてのまとまりがあり、しかも陸上部に胚胎し、本地域内では将来の開発に最も有利な条件を備えた鉱床であることが判明した。

そこで1992年1月から3月の間、第5年次追加調査として新寮島鉱床全体を600m×240m格子のボーリング調査、120本、1,040.00mを行い、さらに同年6月から8月の第6年次調査では鉱床中心部に2本の間測線を追加するとともに、これを含む中心部の測線上で80m間隔となるように147本、1,063.00mのボーリング調査を行って本鉱床評価の基礎を高からしめた（図II-2-1）。

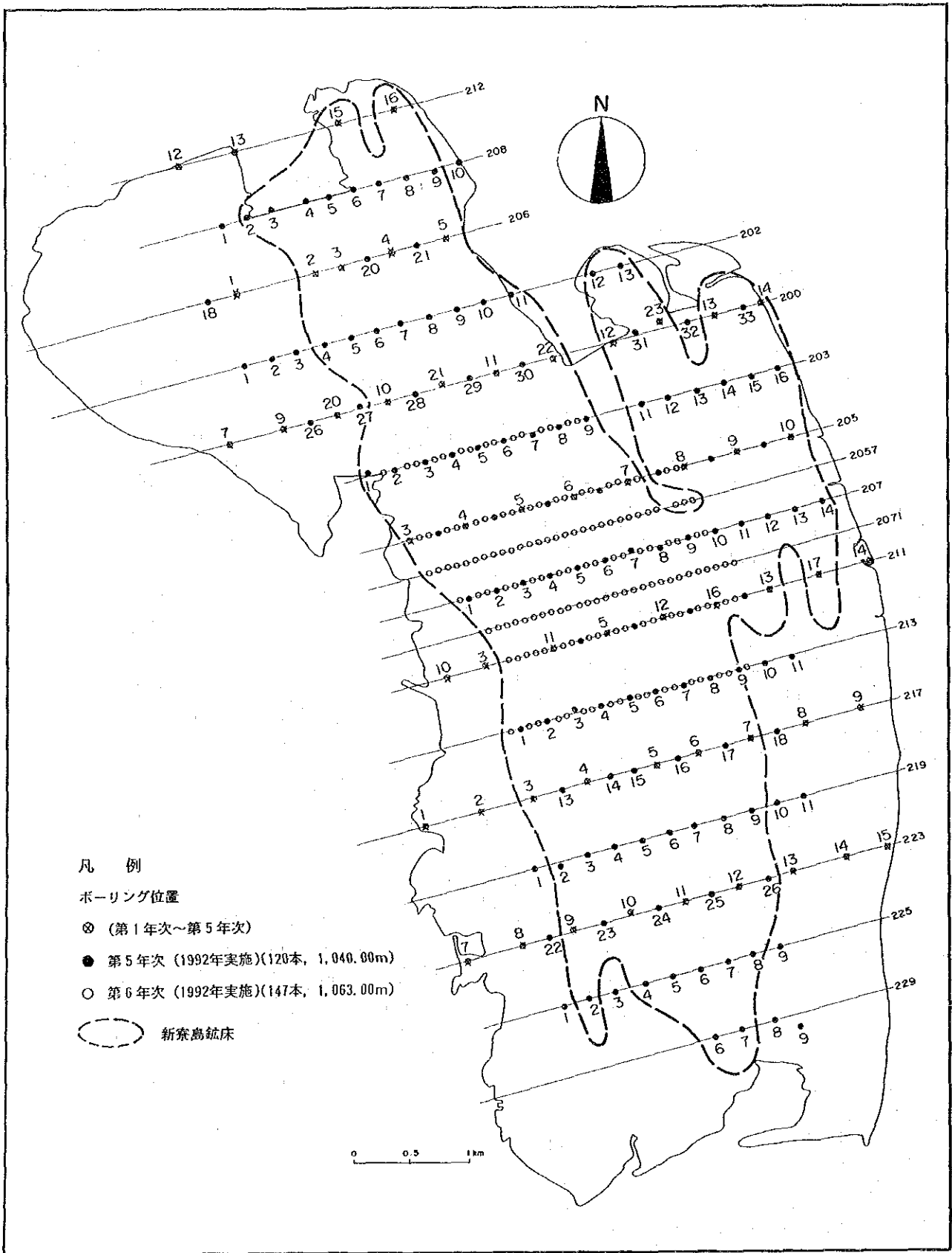
2.1.2 地質・鉱床

東里地区は広東省南西部、雷州半島東側の海岸部に位置し、同半島より東～南東へ派生する小半島部（東里半島）及びその南側の新寮島一体を含む地区である。

本地区に分布する地層は未固結堆積物で、¹⁴C年代測定結果から第四紀更新世～完新世の堆積物に対比させている。これらは下位から下部更新統Q₁層（湛江層群）と呼ばれるシルト質土（層厚10m以上）、中部更新統Q₂層（北海層群）のアルコース質中・粗粒砂（0～6m）、上部更新統Q₃層のシルト（3m以上）及び完新統Q₄層の海成砂（5～10m）、風成砂（0～3m）である。これら地層のうちQ₃層とQ₄層とは不整合に境するが、そのほかは整合的である。



図II-2-1 東里地区ボーリング位置図・鉾床分布図



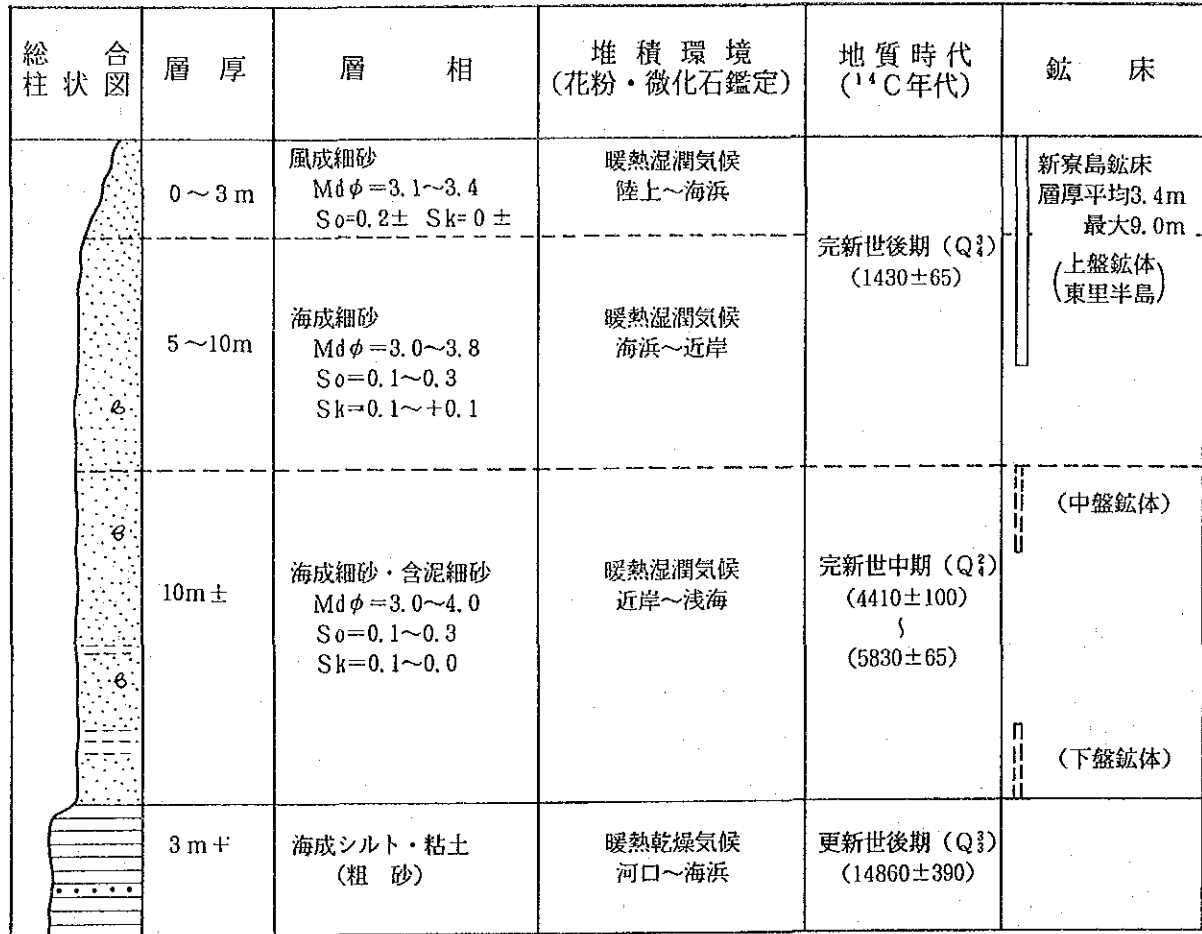
東里地区ボーリング位置図・鉱床分布図 (拡大図)

また、雷州半島中央部には更新世の数次に及ぶ噴出により形成された玄武岩が広く分布し、一部は同半島東側海岸近くまでみられる（図Ⅱ-1-1，2）。

これら堆積物のうち、重砂鉍床を胚胎するQ₄層の海成砂は細砂を主とし、粗・中砂及び粘土・シルトを伴う。細砂は石英の亜角粒子を主成分とする。その色調は、暗灰色から灰緑色、帯緑暗青色、暗青緑色と変化する。粗・中砂は、暗灰色～灰緑色を呈し、しばしば多量の貝殻片を含有する。Q₄層の風成砂は灰褐色からベージュ色ないし灰緑色を呈し、ほとんど膠結していない細砂からなる（図Ⅱ-2-2）。

東里地区の主要鉍体は次の4鉍体が認められている（図Ⅱ-2-1，表Ⅱ-2-1）。

- ① 上盤鉍体（東里半島）：東里半島西側に、124測線から135測線にかけて、延長約12km、最大幅約4km、平均層厚6.1m（最大20.3m）の規模で分布する。本鉍体は鉍体層厚4m以上の部分が広い範囲を占めるが、品位6,000g/m³以上の高品位部分は小さく分散する。
- ② 新寮島鉍床：新寮島陸上部、特にその中央部を中心として212側線から229側線にかけて、延長9km、最大幅4km、平均層厚3.4m（最大9.0m）の規模で分布する。本鉍体の鉍体層厚4m以上の範囲は200測線から217測線までの延長約4km、幅約1.5kmであり、しかもその範囲は合計品位6,000g/m³以上の高品位域に一致しており、単位鉍量当りの重鉍物含有量の高い部分となっている。
- ③ 中盤鉍体：新寮島東側浅海部の海底に、230測線から211測線まで、延長約10km、最大幅5km、平均層厚5.0m（最大8.6m）の規模で分布する。本鉍床は平均層厚4m以上の範囲は広いが、合計品位6,000g/m³以上及び同5,000g/m³以上の高品位の範囲が極めて狭いことが特徴的である。
- ④ 下盤鉍体：北莉島より同島東側浅海部に、135測線から216測線までの約5km×約6kmの範囲に、平均層厚3.6m（最大8.2m）の規模で分布するが、その形状は本鉍体の堆積環境を反映してか北莉島から東へ開いた扇形を取り、他鉍体のような弧状を示さないようである。
本鉍体の層厚及び合計品位については、230測線上のボーリングのように本鉍体を完全に貫いていないボーリング孔があるので、その外形のみを図Ⅱ-2-1に示してある。また、本鉍体はその上部を厚さ10m程度の不毛砂層に覆われてた状態であり、他の3鉍体はその上面を地表または海底に露出させているのと異なる。



図II-2-2 地質総合柱状図 (新寮島)

表II-2-1 東里地区主要鉱体

鉱体名	位置	鉱体規模					重鉱物構成比 (%)					基本5鉱物 合計品位 (g/ml)	鉱床母砂中 中央粒径範囲 (φ)	重鉱物中央 粒径範囲 (推定) (φ)
		延長 (km)	最大幅 (km)	平均厚 (m)	最大厚 (m)	特徴	クワ	ルチル	チタン	ジルコン	その他			
①上盤鉱体 (東里半島)	東里半島西側 陸上部	12	4	6.1	20.3	広範囲に層厚4m以上、高品位部は分散。	68.2	18.5	12.4	0.4	0.1	5.164	3.0~3.3	3.5~3.8
②新寮島 鉱床	新寮島陸上部	9	4	3.4	9.0	層厚3m以上で高品位部がまとまる。	68.6	19.7	10.0	1.6	0.2	7.562	3.1~3.9	3.5~4.0
③中盤鉱体	新寮島東側浅 海底部	10	5	5.0	8.6	広範囲に層厚4m以上、高品位部は狭少。	59.3	27.1	10.7	2.6	0.3	4.111	3.5~3.8	(> 4.0)
④下盤鉱体	北莉島東側浅 海部	6	5	3.6	8.2	扇形分布、不毛層に覆われる。	62.0	24.0	12.4	1.4	0.2	5.804	3.0~3.8	(3.5~4.0)

- 1) 鉱体規模・平均厚 : 合計品位 3,000 g/ml 以上の主要着鉱部の算術平均。
- 2) 基本5鉱物合計品位 : 合計品位 3,000 g/ml 以上の主要着鉱部の加重平均。
- 3) 鉱床母砂中央粒径範囲 : 第5年次粒度分析参照。
- 4) 重鉱物中央粒径範囲 (推定) : 第5年次分離重鉱物粒度分析参照。
- 5) 新寮島鉱床は第6年次までの資料を加えた。

2.1.3 新寮島鉱床の埋蔵鉱量・品位

第1年次(1987年)から第6年次(1992年)までに新寮島陸上部で行われたボーリング調査量は322本、3,059.40mに及ぶ。ボーリング孔は鉱床長軸方向に対し間隔600m、一部では300mに設定された17本の測線上で240mごとに、そして鉱床主要部では80mごとに配置されている。

これらボーリング孔のうち基本5鉱物合計品位のコア分析値が $3,000\text{g}/\text{m}^3$ 以上で、層厚1m以上にまとまるボーリング着鉱区間を鉱床とし、着鉱孔を中心とする鉱画を設定して埋蔵鉱量・品位の計算を行った。その手順は次のとおりである。

- (1) ボーリング着鉱区間の選定と同平均品位の計算
- (2) 鉱床の連続性と着鉱ボーリング孔
- (3) ボーリング孔の配置と鉱画
- (4) 埋蔵鉱量・品位の計算

(1) ボーリング着鉱区間の選定と同平均品位の計算

新寮島鉱床の含有重鉱物はイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの5鉱物(基本5鉱物)で、ボーリングコアは原則として1mごとにこれらの基本5鉱物が分析されている。本鉱床のボーリング着鉱状況をみると、孔口より基本5鉱物合計品位が数 $1,000\text{g}/\text{m}^3$ から時に $20,000\text{g}/\text{m}^3$ 以上に達する鉱床帯が1~5m程度連続し、その下位では合計品位 $1,000\sim 2,000\text{g}/\text{m}^3$ 台またはそれ以下の低品位帯に急変するのが一般的である。

このようなボーリング着鉱状況より、コア分析値の基本5鉱物合計品位が $3,000\text{g}/\text{m}^3$ 以上で孔口から1m以上まとまる区間をボーリング着鉱区間とした。この区間内に層厚1~2m程度の $3,000\text{g}/\text{m}^3$ 以下の部分があれば含まれる場合には、その下盤の品位を考慮して着鉱区間に含めた。着鉱区間の平均品位は分析区間長の加重平均で計算した(表II-2-2)。

(2) 鉱床の連続性と着鉱ボーリング孔

本鉱床の分布範囲は、第5年次追加調査までに15本の測線(間隔600m)上で、孔間隔240m、つまり $600\text{m}\times 240\text{m}$ 格子のボーリング調査によって、全体的な広がり把握された。その後、第6年次調査では本鉱床主要部について調査密度を高めるため、測線上の240m間隔孔の間にボーリング2本を追加し、孔間隔80mにして鉱床短軸方向の連続性を詳細に検討するとともに長軸方向には2本の間測線を追加して長軸方向の連続性を追求した。

このような調査方法から、本鉱床の連続性は、まず80m間隔のボーリング調査測線での短軸方向の連続性を検討し、次いでこれら短軸方向の鉱床断面から240m間隔孔の測線での鉱床断面を推定していった。測線上での連続性の確認は着鉱隣接孔を次々に連続させることによって行い、未着鉱孔部分は不連続とした。測線断面間の対比にはこれら不連続部分の長軸方向延長をも考慮した。さらに、測線上での現在の孔間隔240mまたは80mを越えて孤立した着鉱ボーリング孔のように鉱床としてまとまり難いものは計算対象外とし、最終的に新寮島陸上部で行われたボーリング孔322本のうち276本を計算対象とした(図II-2-3)。

(3) ボーリング孔の配置と鉞画

新寮島鉞床のボーリング調査は 600mまたは 300m間隔の17本の測線上で、240mまたは80m間隔で行われ、同一測線上でもボーリング間隔が 240m及び80mで行われている測線もある。このようにボーリング配置が 600m×240m格子から 300m×80m格子まで混在するので、本鉞床の埋蔵鉞量・品位の計算にはボーリング孔を中心とする多角形鉞画法を採用することとした。

1本のボーリングを中心とし、短軸方向へは隣接孔までの距離の 1/2、長軸方向へは隣接測線までの距離の 1/2の範囲をそのボーリングの影響する鉞画とした。最外側のボーリング孔も外方への低減を考慮せず、内側鉞画と同一の扱いとした。この結果、本鉞床ではボーリングの密度に応じて A : 300m×80m, B : 450m×80m, C : 600m×80mそして D : 600m×240mの4種類の鉞画を設定した(図II-2-3)。

(4) 埋蔵鉞量・品位の計算

まず個々の鉞画の鉞量・品位を計算する。鉞量は鉞画面積に中心ボーリング着鉞長を乗じて体積計算を行う。品位は先に計算したボーリング着鉞区間平均品位とする。

次いで個々の鉞画の鉞量・品位を累計する。鉞量は個々の鉞画鉞量を加算して得られる。品位は個々の鉞画の鉞量荷重平均で計算する。

このようにして得られた鉞画種類別及び同累計埋蔵鉞量・品位を表II-2-2に示す。

表II-2-2 新寮島鉞床埋蔵鉞量

鉞画区分	鉞 画 別											累 計								
	品 位 (g/m)						埋蔵鉞量		着鉞 孔数 (本)	平均 層厚 (m)	品 位 (g/m)						埋蔵鉞量		着鉞 孔数 (本)	平均 層厚 (m)
	体対体	シメコン	鉄	モリブ	ウチ	合計	(1,000m)	(%)			体対体	シメコン	鉄	モリブ	ウチ	合計	(1,000m)	(%)		
A	6,260	1,693	876	124	18	8,971	3,073.6	12.7	82	4.1	6,260	1,693	876	124	18	8,971	3,073.6	12.7	82	4.1
B	6,134	1,718	802	127	17	8,798	2,600.4	13.6	57	4.2	6,135	1,706	838	126	17	8,882	16,674.0	26.3	139	4.2
C	5,985	1,643	787	126	17	8,558	7,881.6	12.5	50	3.3	6,128	1,686	822	126	17	8,779	24,555.6	38.8	189	3.9
D	4,588	1,362	710	115	17	6,792	38,736.0	61.2	87	3.1	3,185	1,438	753	119	17	7,562	63,291.6	100.0	276	3.4

注1. 鉞画品位は、重砂分析値の着鉞加重平均、鉞量は鉞画面積×着鉞長で計算

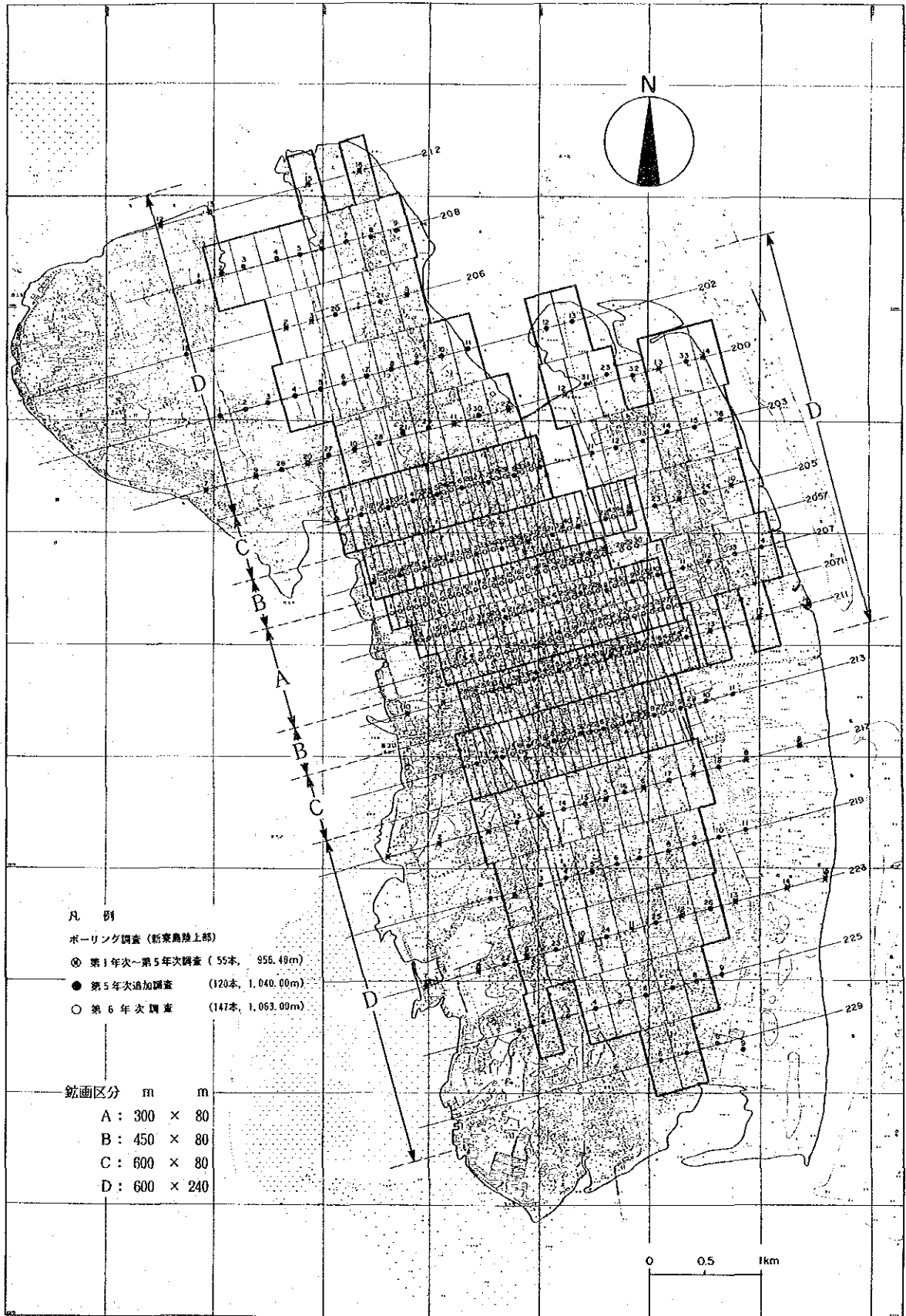
(個々の鉞画鉞量・品位は資料1を参照)

2. 鉞画別品位は、鉞画品位の鉞量加重平均、鉞量は鉞画鉞量の累計

3. 累計品位は、鉞画別品位の鉞量加重平均、鉞量は鉞画別鉞量の累計

2.1.4 総合検討

東里地区における6年間(1987~1992年)のボーリング調査、合計573本、6,827.95mの結果、本地区には4鉞体が認められ、そのうちの新寮島鉞床が平均品位が高く鉞体としてのまとまりが



図II-2-3 新寮島鉱床鉱画図

あり、しかも陸上部に胚胎し、将来の開発に最も有利な条件を備えた鉱床と考えられる。

新寮島鉱床は新寮島陸上部に広く分布する上部完新統（Q₃層）最上部の海成、一部風成の細砂・極細砂に胚胎し、鉱床が地表に露出するように分布する特徴がある。その規模は同島の長軸方向（NNW-SSE）に9km、短軸方向最大4km、平均層厚3.4mである。

新寮島陸上部でのボーリング調査は1992年に行われた第5年次追加分（120本、1,040.00m）と第6年次分（147本、1,063.00m）を含め、合計322本、3,059.40mに及ぶ。これらのボーリング孔は鉱床長軸方向に対し間隔600m、一部では300mに設定された17本の測線上で240mごとに、そして鉱床主要部では80mごとに配置されている。

322本のボーリング孔のうち、基本5鉱物合計品位のコア分析値が3,000g/m³以上で1m以上にまとまる区間をボーリング着鉱区間とし、これら着鉱孔のうち鉱床としてまとまる276本について、着鉱孔を中心とする鉱面を設定して埋蔵鉱量・品位を計算した結果、埋蔵鉱量として63,291,600m³、基本5鉱物合計平均品位7,562g/m³が得られた。

2.2 陽江地区

2.2.1 調査概要

陽江地区での重砂鉱床探査は本地区の海岸・潮間帯及び沖合浅海部で行われた。

海岸・潮間帯の探査はクローラドリル方式のボーリング調査が第1年次（1987年）に海陵島及び平崗を、そして第2年次（1988年）に溪頭から沙尾の間を対象とした。海陵島・平崗では2.4kmまたは4.8km間隔の6測線上で、そして溪頭-沙尾間では2km間隔の21測線上でそれぞれ1本から4本のボーリングを行った。沖合浅海部の探査は第2年次に海上物理探査が、そして第3年次（1989年）にはその結果に基づく海上ボーリング調査が行われた。海上物理探査は水深5mから25m前後の海域を対象に測線間隔2km（一部で1km）で音波探査を行った。海上ボーリング調査は調査船・櫓方式により2km間隔の測線上で1本または2本のボーリングを行った。さらに、物理探査測線上で2km×4kmの千鳥格子上に底質堆積物を採取した（図II-2-4）。

2.2.2 地質・鉱床

探査対象地区の地質は基盤岩類とこれを覆う新生界よりなり、重砂鉱床はこのうち第四系完新統に胚胎する。

基盤岩類はカンブリア系片麻岩類・混合岩類、カレドニア期混合岩・花崗岩類及び燕山期花崗岩類よりなり、凹凸のある形態を呈しながら陸上から海底へ向かってその高度を減じるように分布する。陸上では山岳・丘陵として露出するが、海岸部から海底部では第四系に覆われて未露出である。

新生界は新第三系相当層及び第四系よりなる。新第三系相当層は物理探査により沖合浅海部に認められたもので、基盤岩類の凹部を不整合に覆う層厚数十mの向・背斜を繰り返す砂・泥互層

である。その音波浸透状況が良いことから、本層は未完全石化層と考えられ、新第三系に対比している。さらに上位の第四系は物理探査及びボーリング調査で、下部の含砂泥質堆積物と上部の含泥砂質堆積物が認められる。下部層は下位層の凹凸支配されながらそれらを不整合に覆うように潮間帯から沖合に分布する。層厚は数mから30mで、 ^{14}C 年代測定結果から更新統(Q₃層)に対比される。上部層は下部層を整合的に覆い、海岸・潮間帯に広く分布する。層厚は数mから30m程度で細砂を主とし、泥または粗砂をはさむ。細砂は垂角礫石英を主成分とし、ベージュ色、灰緑色を呈し貝殻片を少量含む。 ^{14}C 年代測定から、上部層は完新統(Q₄層)に対比され、本地区の鉍床母砂となっている。これら第四系の堆積環境は、花粉鑑定から湿潤な熱帯-亜熱帯気候であったと推定され、当時の気候は重砂鉍床形成に重要な岩石も風化及びラテライト化に適していたと考えられる。

ボーリング調査の結果、本地区の重砂鉍床は第四系完新統の砂層中に認められ、基本5鉍物(イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイム)のうち、ジルコン、モナザイト、ゼノタイムに比較的富むことがわかったので、それぞれ1,000g/m³、500g/m³、70g/m³のいずれかの品位を越えて着鉍長1m以上の部分を鉍床とした。鉍床帯としては、海岸・潮間帯では既知の沙尾鉍床の東方延長相当部を認めたが、そのほかの着鉍状況は散発的で隣接孔への連続性も欠く状況であった。

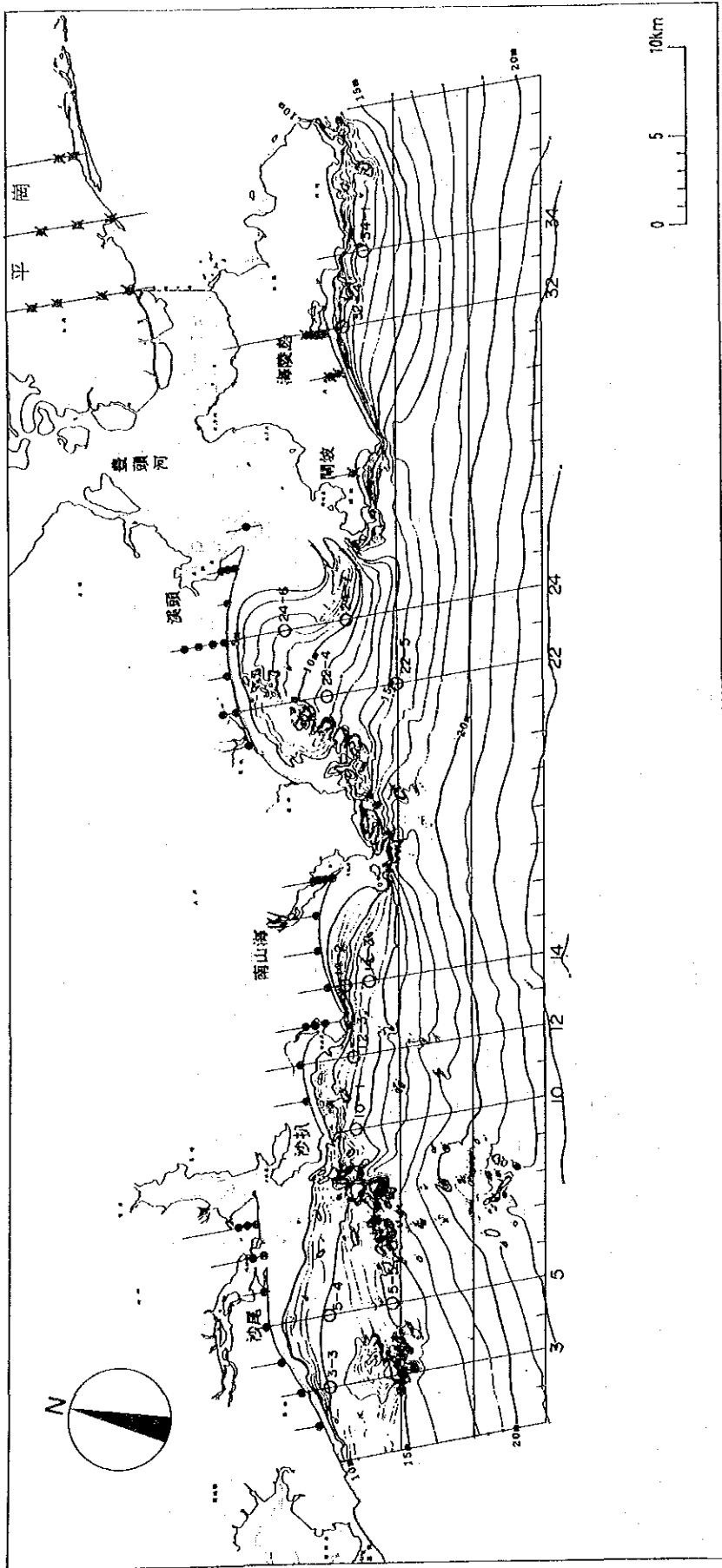
また、沖合浅海部のボーリング調査でも、その着鉍孔はまばらでまとまりを欠いていた(図II-2-5)。

2.2.3 総合検討

陽江地区の重砂鉍床探査を目的として、海岸・潮間帯では第1年次と第2年次にボーリング調査(合計50本、633.20m)を、沖合浅海部では第2年次に物理探査(音波探査790km²)、第3年次にボーリング調査(13本、71.00m)を行った。

その結果、海岸・潮間帯及び沖合浅海部には重砂鉍床胚胎層準の第四系完新統の砂層が広く分布することが判明したが、ボーリングの着鉍状況はいずれもまばらで連続性を欠き、大規模な鉍床帯を認めることは出来なかった。

^{14}C 年代測定と花粉鑑定の結果から、本地区の鉍床形成期は第四紀完新世で当時の気候は湿潤な温暖気候と推定され、重砂鉍床起源岩類の風化作用には適した古気候であったと考えられる。しかしながら、粒度分析結果からは、鉍床胚胎層準の砂層は淘汰不良で粒度変化の激しい砂層であり、母砂の堆積環境が重鉍物の濃集に適するものではなく、鉍床帯の形成に有利ではなかったと考えられる。したがって、本地区内に今後ボーリング調査を行ったとしても、将来の開発対象となるような大規模鉍床帯を捕捉する可能性は極めて低いと考えられる。



- 凡 例
- ボーリング
 × 第1年次 (1987年実施) 15本, 205.50m (平岡, 海陵島)
 ● 第2年次 (1988年実施) 35本, 427.70m (沙尾~溪頭)
 ○ 第3年次 (1990年実施) 13本, 71.00m (海上)
 合 計 63本, 704.20m
- 海底地形
 等深線
- 物理探査範囲

図II-2-4 ボーリング位置図 (陽江地区)

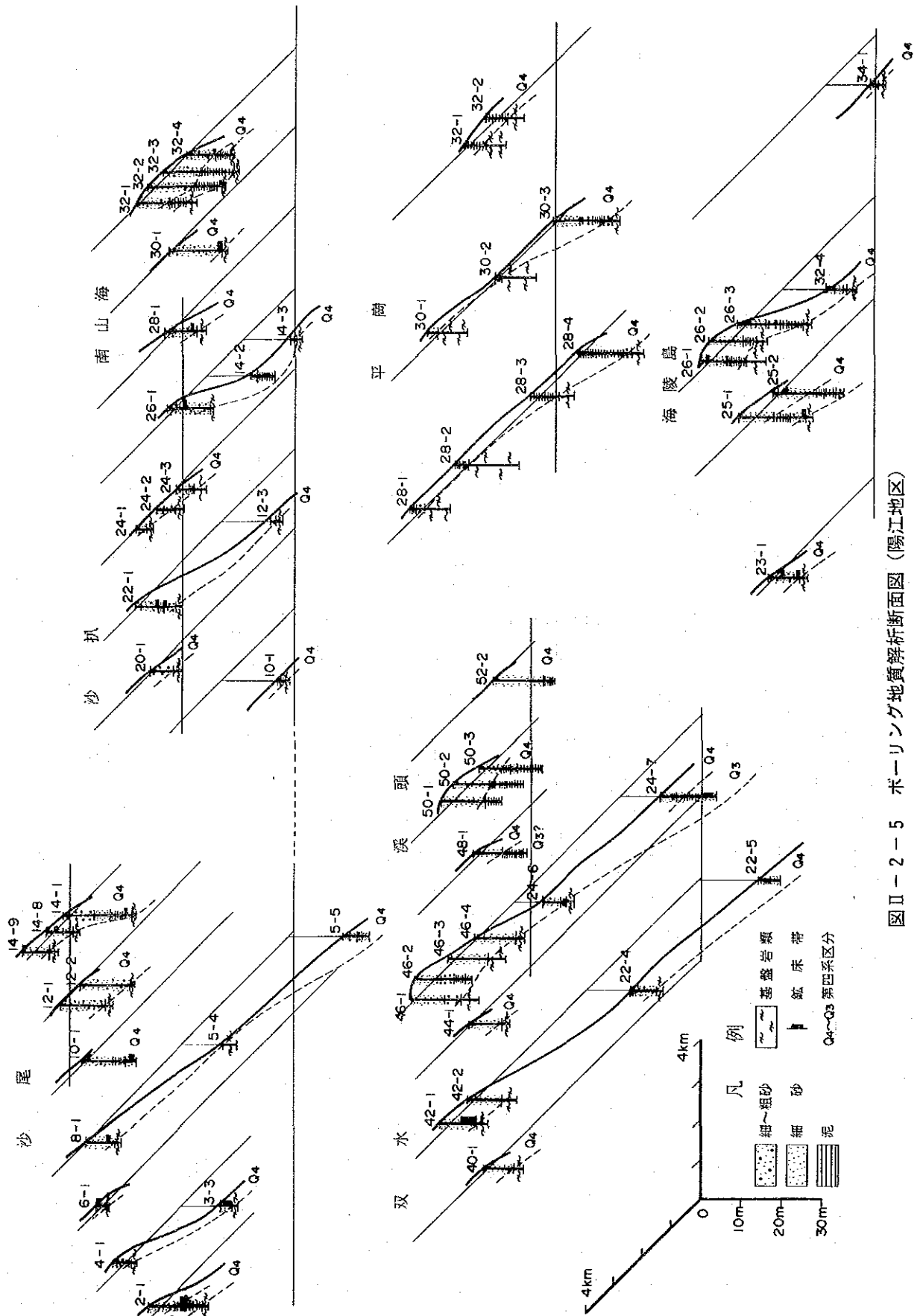


图 II-2-5 ボーリング地質解析断面図 (陽江地区)

2.3 湛江地区

2.3.1 調査概要

湛江地区での重砂鉍床探査は本地域の海岸・潮間帯及び沖合浅海部で行われた。

海岸・潮間帯の探査はクローラドリル方式及び海上足場（SE P）方式のボーリング調査が第2年次（1988年及び1989年）に呉陽から東海島の間を対象として行われた。ボーリングは4 km間隔の12測線上で1本から4本を行った。

沖合浅海部の探査は第2年次に海上物理探査、そして、その結果に基づき第3年次から第4年次（1990年）にかけて海上ボーリング調査が行われた。海上物理探査は水深5 mから25 mの海域を対象に4 km間隔の16測線について音波探査を行った。海上ボーリング調査は調査船・櫓方式により11本の物理探査測線上で1本から5本のボーリングを行った（図II-2-6）。

2.3.2 地質・鉍床

探査対象地区の地質は基盤岩類とこれを覆う第四系よりなり、重砂鉍床はこのうち第四系更新統に胚胎する。

基盤岩類は陸上部には露出していないが、物理探査結果から沖合浅海部の第四系直下に上面の起伏に富みながら北では深度20 m程度に、そして南へ向かって急激に深度を増しながら、深度100 m以上に達するように分布すると推定される。岩質はボーリング調査の結果、強く風化した花崗岩質岩が認められている。

第四系は層相と¹⁴C年代測定結果により、下から上へ下部更新統（Q₁層）、中部更新統（Q₂層）、上部更新統（Q₃層）及び完新統（Q₄層）に区分される。

Q₁層は呉陽南部のボーリング1本の孔底で礫混じりの淘汰不良砂よりなることを認めたが、物理探査結果からは砂泥互層及び泥層よりなり層厚100 m以上で基盤岩類を不整合に覆うと推定されている。

Q₂層は礫混じりの淘汰不良粗砂を主に粘土を伴う。層厚は20 m程度が認められているが、南へ向かって層厚を増すように分布すると考えられる。下位層とは不整合に境する。

Q₃層は粘土を主に淘汰不良の砂を伴う。層厚は一般に20 m以下と推定される。下位層とは不整合に境する。

Q₄層は淘汰の良い細砂が主で、下部に泥を伴うことがある。層厚は10 mから20 mで、広く分布する。物理探査では、本層はI₁層に区分され、さらに沖合浅海部では本層の最上部に5 m以下、一般に2 m程度の砂または泥よりなるI₁層が認められており、これは現世堆積物に相当すると考えられる。

第四系のうち、Q₁、Q₂、Q₃の各層は南へ緩く傾斜しながら層厚を増すように堆積しており、これらは当時の堆積盆地の北縁にあったと推定される。その後、Q₄期に至り、下位層を明らかな不整合に覆ってQ₄層が堆積していたと考えられる。

これら第四系の堆積環境は、更新世（Q₃期）には比較的湿潤な熱帯—亜熱帯気候であったこと、そして完新世（Q₁期）には乾燥・湿潤を繰り返す熱帯—亜熱帯気候であったことが花粉鑑定結果から推定され、当時の気候が重砂鉱床形成に重要な岩石の風化及びラテライト化に適した気候であったと考えられる。

本地区の重砂鉱床は、ボーリング調査の結果、主に第四系完新統の砂層（Q₁砂層）中に認められる。重砂鉱物は基本5鉱物（イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイム）を主とするが、ジルコン、モナザイト、ゼノタイムに比較的富む部分もあるので、基本5鉱物合計品位が 3,000g/m³以上、またはこれら3鉱物のいずれかの品位がそれぞれ 1,000g/m³、500g/m³、70g/m³のいずれかの品位を越え、着鉱長1m以上の部分を鉱床とした。

その結果、海岸・潮間帯ではQ₁砂層中に数箇所のボーリングで1mから2mの着鉱をみたが、これらは胚胎層準も異なりさらに隣接孔への連続も欠き、鉱床帯としてのまとまりをみせなかった。

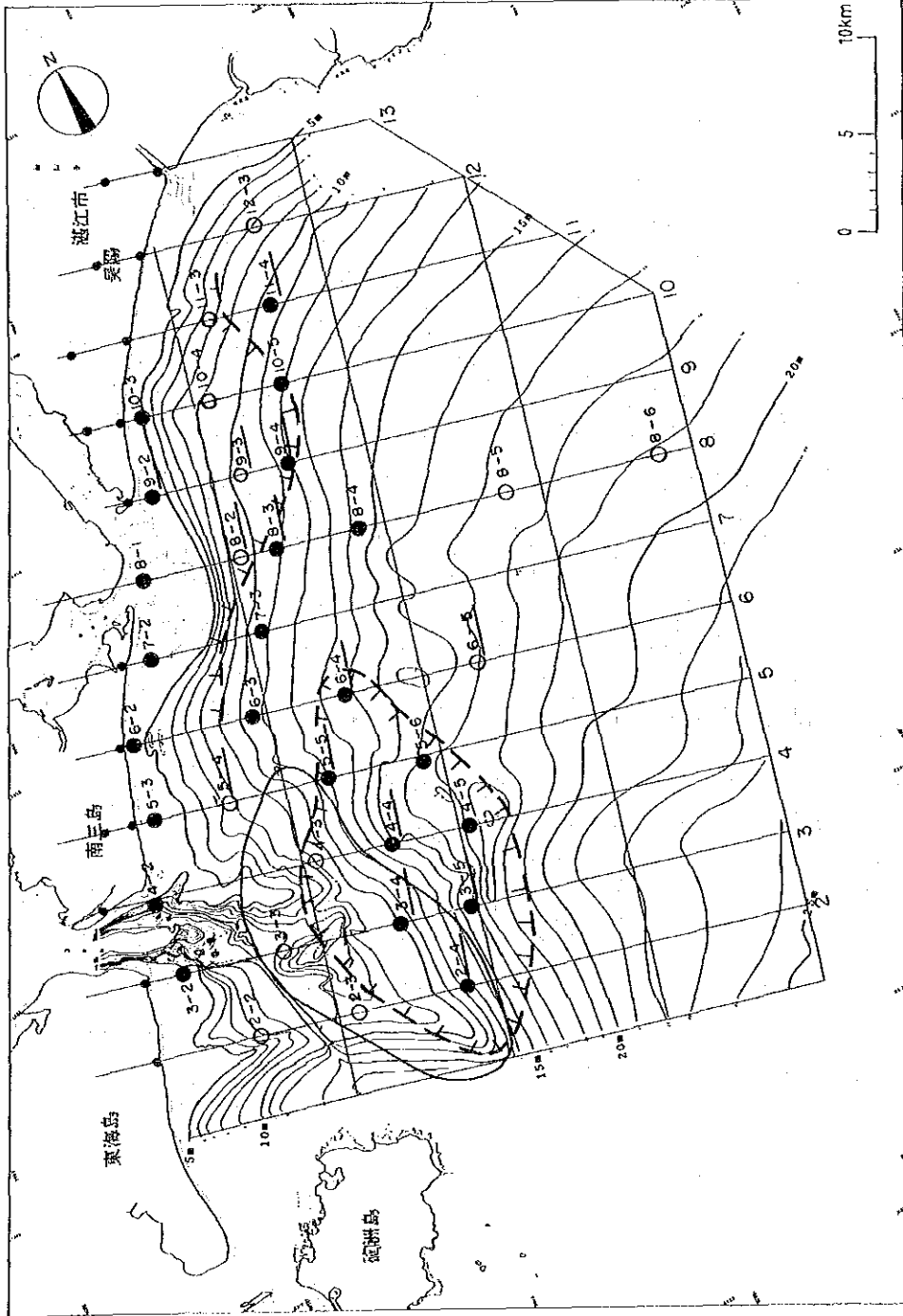
沖合浅海部ではQ₁砂層を主に、Q₃層、Q₂層の一部に着鉱をみた。Q₁砂層の着鉱はボーリング孔口からのものがほとんどで（13孔）、その着鉱長も1mから2mが一般的であり、このQ₁層最上部の着鉱は物理探査で区分された現世堆積物中のものと推定される。さらに、これらの着鉱孔は物理探査時に採取された底質試料の重砂分析値（基本5鉱物合計品位）が平均値（3,000g/m³）以上の範囲（10km×20km、6km×12km）にはほぼ一致することが特徴的である。

一方、Q₃層、Q₂層の着鉱はそれぞれ3孔でみられたが、隣接孔との対比も難しく、鉱床帯としてまとまらず、また、その着鉱深度も10m以深のことが多い（図II-2-7）。

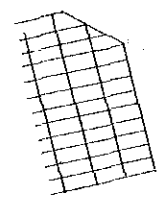
2.3.3 総合検討

湛江地区の重砂鉱床探査を目的として、海岸・潮間帯では第2年次及び第3年次にボーリング調査（合計24本、427.75m）を、沖合浅海部では第2年次に物理探査（音波探査 1,170km²）、第3年次及び第4年次にボーリング調査（合計28本、569.00m）を行った。

その結果、海岸・潮間帯では重砂胚胎層準の第四系完新統の砂層が広く分布することが判明したが、ボーリング着鉱状況はまばらで連続性を欠き、大規模な鉱床帯を認めることはできなかった。一方、沖合浅海部では物理探査で現世堆積物相当とされた砂層に13本のボーリング孔で重砂の濃集が認められたが、胚胎層が現世堆積物相当であること、さらにボーリング間隔も4km×4km以上離れていることから、鉱床帯としての連続性に不安があると考えられる。



海底地形
等深線



物理調査範囲(1989年)



I b 砂層発達範囲



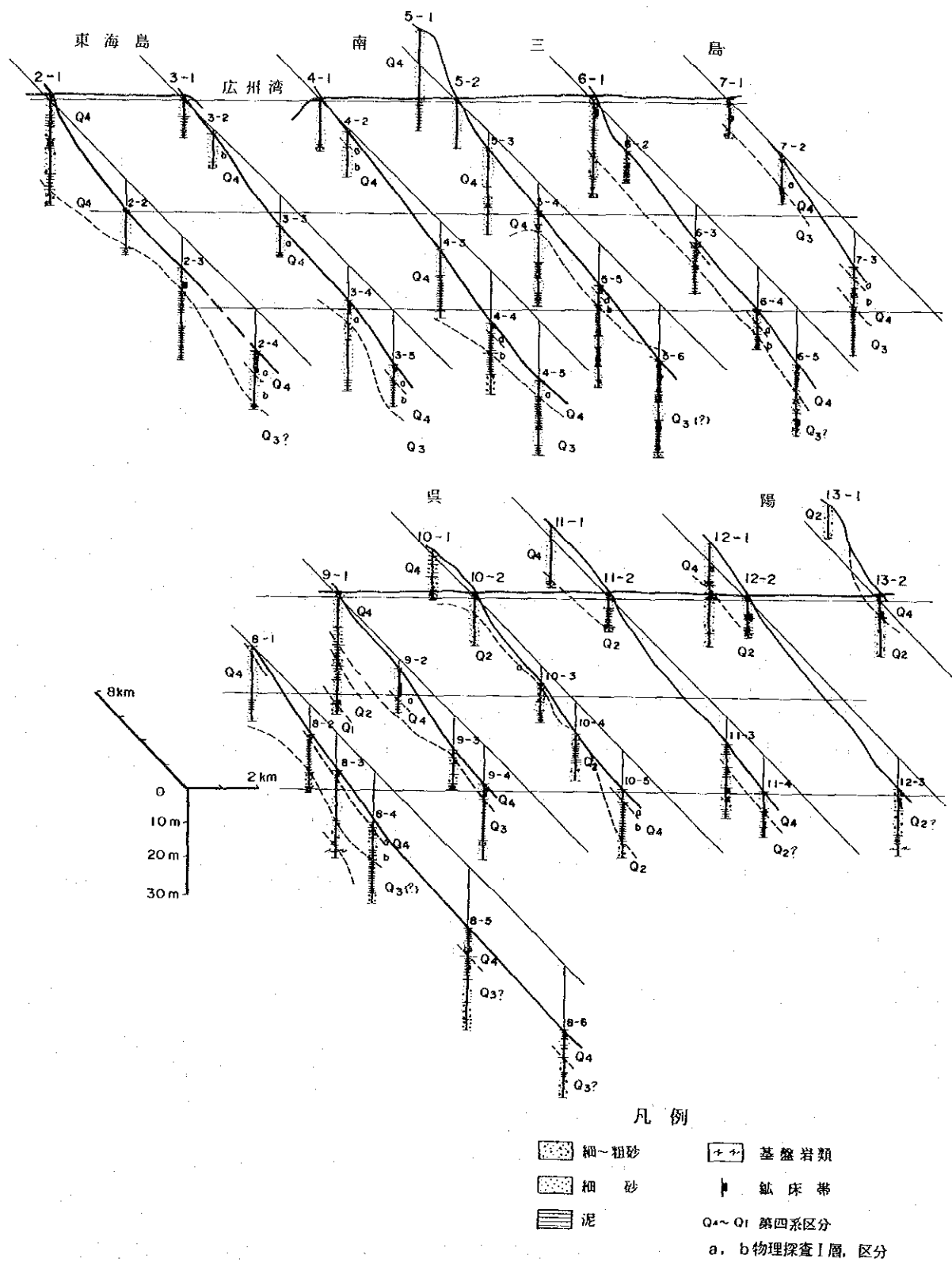
底質堆積物の
重鉱物濃集範囲
(合計3,000g/m²以上)

2-4 I a 砂層着鉱孔

ボーリング

- ・第2年次(1989年実施) 16本, 311.25m
 - 第3年次(1990年実施) 23本, 432.00m
 - 第4年次(1990年実施) 13本, 253.50m
- 合計 52本, 996.75m

図II-2-6 ボーリング位置図・解析平面図(澁江地区)



図Ⅱ-2-7 ボーリング地質解析断面図 (湛江地区)

第3章 初期企業化評価調査

3.1 地質・鉱床

東里地区新寮島は広東省南西部、雷州半島東岸の沖合1～4 kmに位置する面積約60km²の小島で、第四系の未固結堆積物が分布している。未固結堆積物は¹⁴C年代測定及び層相上の特徴から、下位より上部更新統Q₃層のシルト（層厚3 m+）、中部完新統Q₂層の海成細砂・含泥細砂（10 m前後）及び上部完新統Q₁層の海成細砂（5 m～10 m）・風成細砂（0 m～3 m）より成り立っている。これら堆積物のうち新寮島鉱床を胚胎する地層は、Q₁層最上部の海成砂及び一部風成砂であり、これらの砂は淘汰が良く（ $S_o = 0.2 \sim 0.3$ ）、歪みの少ない（ $S_k = 0.1 \sim 0.1$ ）極細砂（ $\phi = 3.0 \sim 3.5$ ）で、主に垂角礫の石英粒子より構成されている。新寮島鉱床は本島全体を覆うQ₁層最上部の海成砂、一部風成砂に胚胎し、鉱床が地表に露出して分布していることが特徴である。含有重鉱物は、量比の多い順に Ilmenite, Zircon, Rutile, Monazite, Xenotimeの5鉱物である。本鉱床は本島の長軸方向（北北西～南南東）に延びる中央丘陵地帯（海拔高度約8 m）と東側海岸丘陵地帯（同 最大12 m）に分布し、長軸方向約9 km、短軸方向最大約4 km、平均層厚3.4 mの規模である。

3.2 埋蔵鉱量計算

第1年次（1987年）から第6年次（1992年）までに、東里地区新寮島陸上部で322本、3,059.40 mのボーリング調査が行われた。ボーリングは、鉱床長軸方向（北北西～南南東）に対し間隔600 m（一部300 m）に設定された17測線上で240 mごとに、さらに鉱床主要部では80 mごとに実施された。これらのボーリングのうち、合計品位のコア分析値が3,000 g/m³以上及び層厚1 m以上にまとまるボーリング着鉱区間を鉱床とし、着鉱孔を中心とする鉱面を設定して埋蔵鉱量・品位計算を行った。

ボーリング着鉱区間は、コア分析値の高品位部分の出現状況より、合計品位が3,000 g/m³以上で孔口より1 m以上にまとまる部分とした。これら着鉱孔は600 m間隔（一部300 m）の17測線上で、孔間隔240 m（一部80 m）で行われているので、計算方法はボーリング孔を中心とする多角形鉱面法を採用した。1本のボーリングが代表する鉱面は測線上では隣接孔までの距離の1/2、測線間では隣接測線までの距離の1/2とした。この結果、ボーリングの配置に応じて300 m×80 m、450 m×80 m、600 m×80 m及び600 m×240 mの4種類の鉱面を設定した。

個々の鉱面の鉱量（m³）は鉱面面積にボーリング着鉱長を乗じて求め、品位はボーリング着鉱区間平均品位とした。276鉱面の鉱量・品位の合計鉱量と鉱量加重平均品位を計算した結果、埋蔵鉱量63,291,600 m³、Ilmenite 5,185 g/m³、Zircon 1,488 g/m³、Rutile 753 g/m³、Monazite 119 g/m³、Xenotime 17 g/m³、合計品位7,562 g/m³が得られた。

3.3 採 掘

3.3.1 概 要

新寮島の陸上部鉍床のみを稼行対象とし、1日当り 10,000wt(湿量)、年間 3,300,000wtの原砂を採掘する。陸上部鉍床は、賦存面積が約 17,000千㎡と広いが層厚は平均 3.4mと薄く、かつ鉍床に近接する海域の潮の干満差が 4.2mと甚だ大きい。え海水面下に全埋蔵鉍量の約 55%が賦存しているという特徴がある。

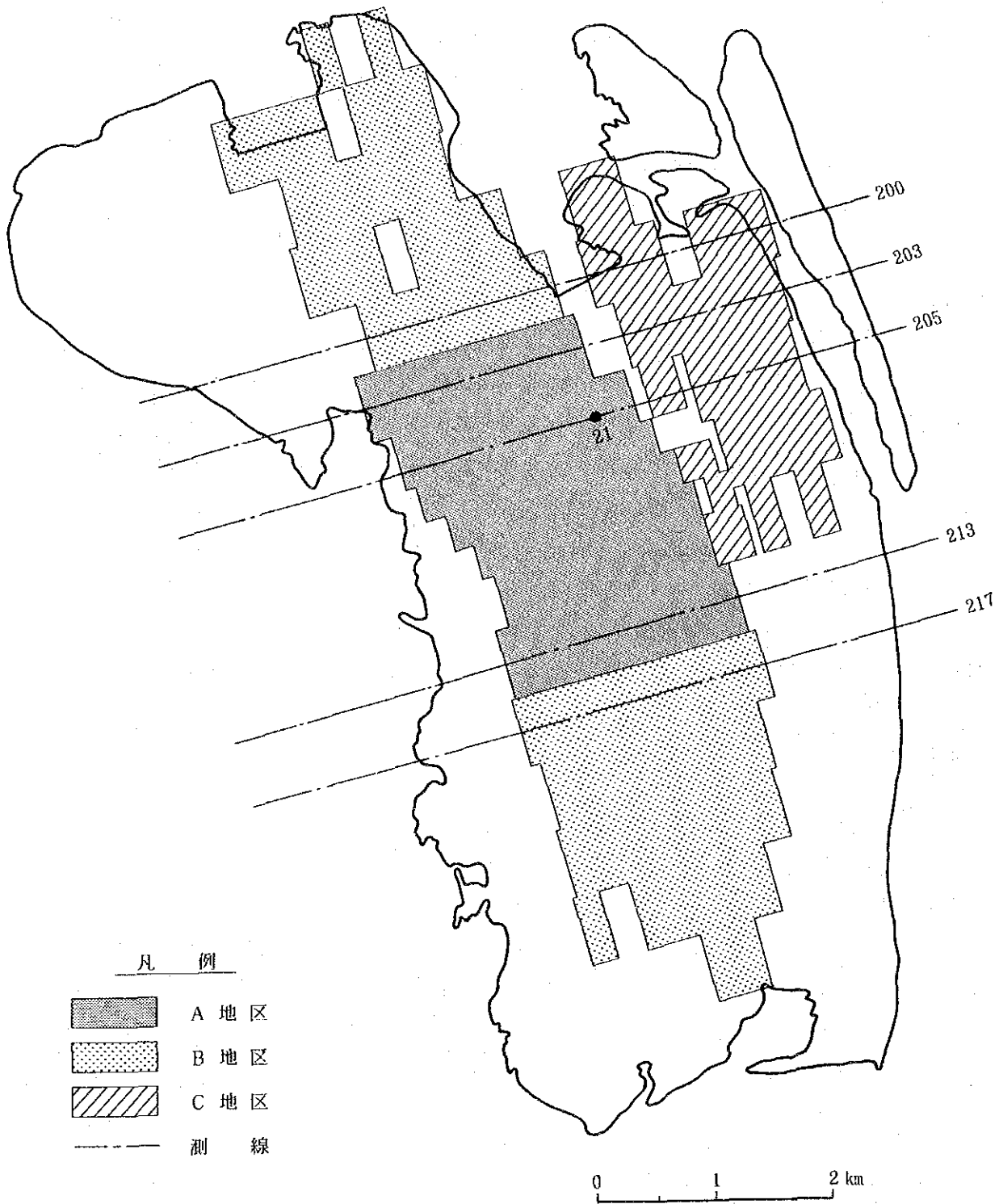
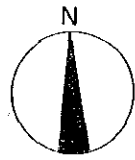
海水面以上の鉍体の採掘は鉍量・品位のコントロールが比較的容易であるが海水面下鉍体では難しいので、採掘は海水面レベルの上下をそれぞれ別々に行うことが合理的・実地的なので上部は乾式採掘法、下部は湿式採掘法を採用し、また開発の生産性・経済性を考慮して、先ず埋蔵品位の高い地域の鉍床から採掘を開始し漸次低品位域の鉍体に移行する。乾式/湿式採掘法を選択する基準となる海拔標高は、湛江港の検潮成果および島内の流水・地下水調査結果などから島内の地下水位は相当高いと考えられるので、国家基準海水面 0 mを基準として+ 3.5mに設定。

1日当りの採掘量に比べ鉍体が薄いため、年間の採掘面積は層厚にもよるが平均 500~ 700千㎡程度となるので採掘作業を一定箇所で行うことは不可能で、採掘場は常に短い期間内に移動しなければならない。また採掘原砂は粗選設備で処理して軽砂等の不純物を除去し、発生した不純物(廃砂)は採掘跡の復元に利用するが、廃砂量は原砂量の約 98%もある。従って原砂の採掘場から粗選設備までの運搬と、廃砂の粗選設備から採掘跡までの運搬を合理的・経済的に行うには、粗選設備の位置は常に可能な限り採掘場に近接させておくことが必要である。

3.3.2 採掘計画

埋蔵鉍量の区分： 採掘地域の稼行順序を決めるため、埋蔵鉍品位を基準として鉍体の賦存域を次の如く3地区に分類した。

項 目	A地区	B地区	C地区	計	備 考
鉍 量 (千㎡)	22,741	27,533	13,018	63,292	
品 位 (g/㎡)					A地区：測線 203~ 213間 (東部地区を除く)
Ilmenite	6,367	5,028	3,453	5,185	
Rutile	848	783	524	753	B地区：測線 200以北および 測線 217以南
Zircon	1,747	1,483	1,050	1,488	(東部地区を除く)
Monazite	130	119	101	119	
Xenotime	18	18	13	17	C地区：東部地区
計	9,110	7,430	5,141	7,562	



第1図 採掘計画・採掘順序

可採粗鉍： 採掘は± 3.5m準鉍体は乾式， 3.5m以下は湿式で行うが， 鉍体の賦存状況・厚さ・ボーリングで確認された鉍体下部の凹凸状態などから想定した可採粗鉍量・品位の計算指標およびこれを用いて求めた地区別・採掘法別の鉍量・品位は次の通り。

(1) 計算指標

(%)		
採 掘 法	可 採 率	ずり混入率
乾式法 (一次採掘)	92	8
湿式法 (二次採掘)	76	24

(2) 計算結果

採 掘	項 目	A地区	B地区	C地区	計
一次採掘 (乾式)	鉍 量 (千m ³)	14,370	10,850	3,460	28,680
	品 位 (g/m ³)				
	Ilmenite	5,858	4,627	3,175	5,084
	Rutile	779	718	482	722
	Zircon	1,607	1,360	964	1,420
	Monazite	120	109	93	113
	Xenotime	17	17	12	16
	計	8,381	6,834	4,725	7,355
二次採掘 (湿式)	鉍 量 (千m ³)	8,370	16,680	9,570	34,620
	品 位 (g/m ³)				
	Ilmenite	4,838	3,824	2,624	3,737
	Rutile	644	594	398	552
	Zircon	1,328	1,125	797	1,083
	Monazite	98	91	76	89
	Xenotime	14	14	10	13
	計	6,922	5,648	3,905	5,474

出鉍量と出鉍品位： 採掘は可採粗鉍品位の高いA地区より開始し漸次B， C地区に移行することを基本とする。しかし本報告書では本プロジェクトの開発の可能性検討の為の財務評価期間を20年としているので，年間出鉍量と可採粗鉍量の関係から，採掘計画の範囲はA地区全部とB地区の一部に限定しC地区は検討外とした。

採掘は年間 330日， 1日当り 3交替24時間操業で実施するが， A地区は約12年間で略々終掘（僅かな残鉍は13年度に採掘）， B地区鉍体はその約 60%を 8年間で採掘する。

年間出鉍量および松散係数を1.17として可採粗鉍品位より求めた出鉍品位は次の通りである。

（詳細は付属資料“1.3 年次出鉍計画”参照）

(1) 年間出鉍量

鉍 量	備 考
3,300,000 wt	wt=湿量メートルトン
1,833,000 m ³	地山1 m ³ の湿重量 =1.80 t (含水率 16%)
2,768,000 t	地山1 m ³ の乾重量 =1.51 t

(2) 出鉍品位

鉍物名	初年度～12年度		13年度～20年度	
	g/m ³	%	g/m ³	%
Ilmenite	6,410	0.425	4,935	0.327
Rutile	853	0.056	759	0.050
Zircon	1,759	0.116	1,445	0.096
Monazite	131	0.009	116	0.008
Xenotime	18	0.001	18	0.001
計	9,171	0.607	7,273	0.428

3.3.3 実施計画

事前作業： 採掘開始前に、満潮水位の+ 2.7m準から西海岸で鉍体が海域に接近している測線205に沿って測点21まで側溝を開さくし、乾式採掘の円滑化に備え砂層中に存在する水を排除する。また毎年採掘予定地域（平均 430千m²）の立木等の伐開を行なう必要があるが、剝土は表土が全般に薄いので特段考慮する必要はない。

作業手順： 排水・伐開作業が終了したのち先ず+ 3.5m準鉍体の一次採掘（乾式）を開始し、採掘面積が 300～ 350千m²に広がった時点で引続き当該箇所二次採掘（湿式）を始め、以後推定される乾式あるいは湿式採掘法を採用する鉍体の賦存比率に従って採掘作業を進める。採掘高さは、操業全期間を通じ一次採掘掘場で平均 2.3m（最高 5.0m）、二次採掘掘場で平均 1.9m（最高 5.0m）である。

掘場計画： 一掘場一日当りの採掘面積を一次採掘では 360m²、二次採掘で 544m²を標準とし、掘場の大きさは、鉍体の幅、掘場の集中性および作業工程などを考慮して 60×60mの小ブロックと、小ブロック4ヶが集合した 120× 120mの大ブロックとし、鉍体の東西方向に沿って14ヶ以上の大ブロックを設定する。

常時採掘を行っている大ブロックの数は、初年度から12年度までは一次採掘4カ所、二次採掘2カ所とし、13年度以降は夫々2カ所と4カ所とすることを標準とする。此の他に一次採掘予備掘場3、用水用採掘済掘場1、二次採掘跡の埋立中掘場2および埋立終了し整地中掘場2が存在する。