

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

第5年次

平成4年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

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

第 5 年 次

JICA LIBRARY



1099151 (1)

2405°

平成 4 年 2 月

国 際 協 力 事 業 団
金 属 鉱 業 事 業 団

国際協力事業団

24050

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。本年度調査はその第5年次にあたり、金属鉱業事業団は17名からなる調査団を編成して、現地に派遣した。

現地調査は、平成3年6月10日に開始され、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查局の協力を得て、平成3年11月9日予定どおり完了した。

本報告書は、第5年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

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4年2月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理 事 長 福 原 元 一

要 約

要 約

第5年次（1991年度）の広東南西部沿岸地域の調査は、陽江、湛江及び東里各地区における起源岩調査補充試験、東里地区のボーリング調査ならびに重砂採掘方法検討調査を実施し、これにより地質状況を解明し、鉍床賦存状況を把握し、さらに有望な東里地区の重砂鉍床の採掘にかかわる技術的検討を行った。

地質調査（起源岩調査補充試験）については、これまでの調査によって本地域の重砂鉍床の重鉍物の起源岩ならびに重砂鉍床形成のメカニズムはほぼ明らかになったが、2つの課題が残されていた。すなわち、(イ) 重鉍物のうちルチルの起源については、ルチルは後背地の岩石中にごくわずかししか存在しなかったため、イルメナイトの変質によって形成された可能性があるという視点から検討すること及び(ロ) 基盤岩類中の重鉍物が必ずしもラテライト性土壤中で濃集しているとは限らない場合がかなりあることが判明したため、重鉍物が破壊され、その構成元素が化学的に開放されていることが予想されたので、重鉍物構成元素の濃集が実際にあるかどうか、あるとすればそれがどこにあり、どのような特質をもっているかを解析することの2点である。これらの課題に対して、第5年次調査を行った結果、(イ) 重砂鉍床中のイルメナイト、白チタン石、ルチルの化学成分分析、顕微鏡観察及びEPMA分析によって、本地域の重砂鉍床中のルチルはイルメナイトの酸化変質により形成されたものであることが判明し、また、(ロ) 重鉍物等を構成する希土類等元素の大部分は、ラテライト性土壤中では粘土分中に存在しており、重鉍物中に保有されているものは限定されていること、及び、層準別の解析では、粘土分中に残存するものは特定の層準にさまざまな程度に濃集していること、さらに軽希土類元素は移動しやすく、比較的カオリナイト構成比の小さい層準に濃集する傾向があることが判明した。

ボーリング調査は、第5年次までの調査の結果、本地域内の東里地区、新寮島陸上部に延長8 km、最大幅4 km、層厚平均3 m（最大6.5 m）の規模の新寮島鉍床が認められた。本鉍床は平均品位が高くまとまりもあり、しかも陸上部に胚胎するので、本地域内では将来の開発に最も有利な条件を備えている鉍床と考えられる。ただし、そのボーリング調査密度は1,200 m × 480 m格子で、まだ十分とは言いがたく、今後は、将来の開発に資するように密度の高いボーリングを行うことが望ましい。

重砂採掘方法検討調査は東里地区の重砂鉍床の採掘にかかわる技術的検討と開発にかかわる基礎的な構想の設定、これに伴う問題点の発掘を行うために現地調査を実施した結果、採掘方法、粗選方法、及び環境への影響などに関して、技術的見解をまとめた。

第6年次（1992年度）への提言は次のとおりである。

- (1) ボーリング調査は、新寮島鉍床を対象に密度を高めたボーリング調査を行い、本鉍床の評価に資することが望ましい。
- (2) 開発計画調査は、新寮島鉍床の開発のための開発計画調査(Pre-F/S)を実施する。

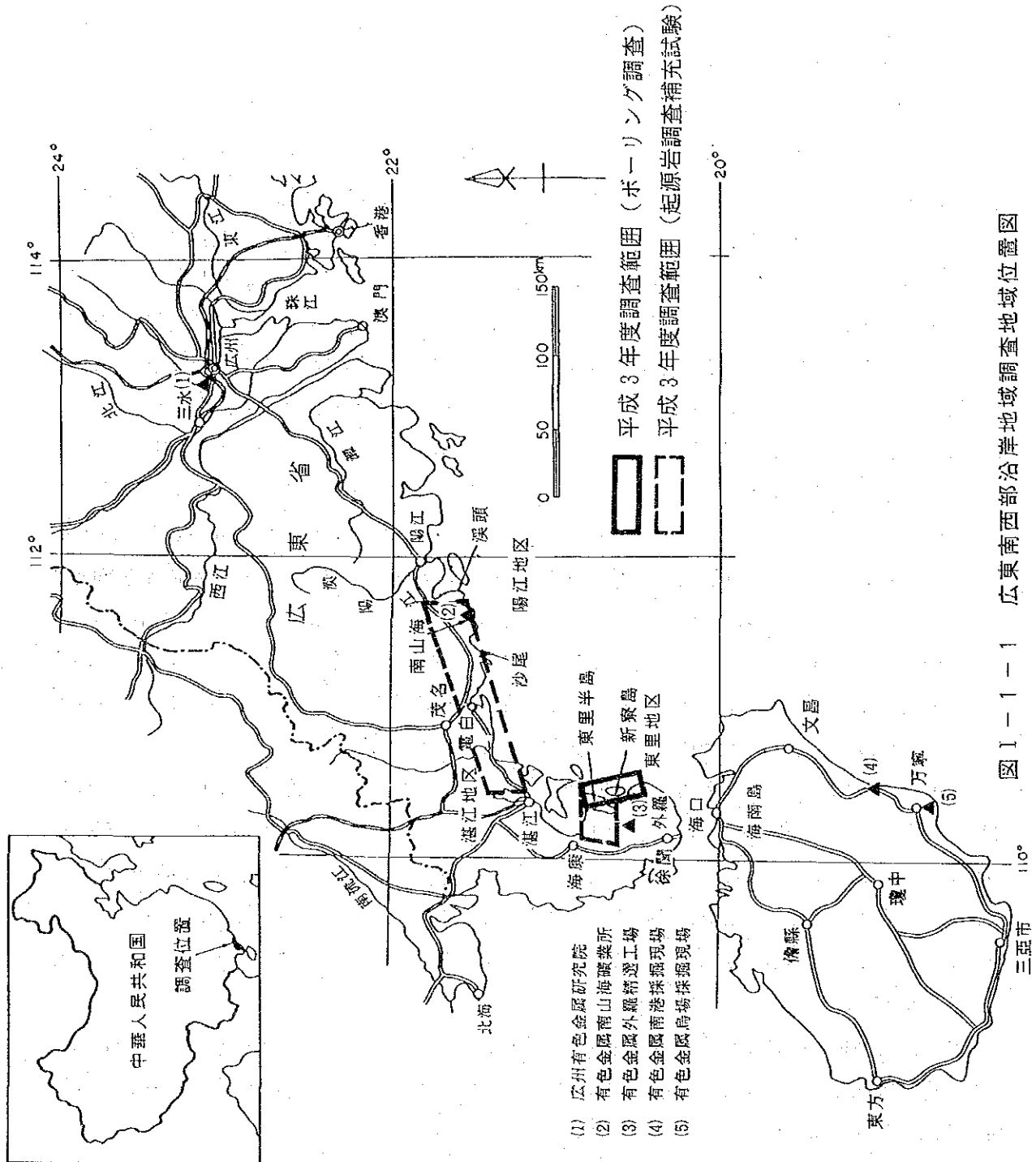


图 I-1-1-1 広東南西部沿岸地域調査地域位置図

目 次

はしがき

要 約

広東南西部沿岸地域調査地域位置図

目 次

図表一覧

第I部 総 論	1
第1章 序 論	1
1.1 調査の経緯	1
1.2 前年度調査の結論と提言	1
1.3 本年度調査の概要	2
1.3.1 調査地域	2
1.3.2 調査目的及び調査内容	2
1.3.3 調査団の編成	4
1.3.4 調査期間	5
第2章 調査地域の地理	6
2.1 位置及び交通	6
2.2 地形・水系	6
2.3 気 候	6
第3章 調査地域の地質概要	8
第4章 調査結果の総合検討	9
4.1 地質調査（起源岩調査補充試験）	9
4.2 ボーリング調査	11
4.3 重砂採掘方法検討調査	12
第5章 結論及び提言	16
5.1 結 論	16
5.1.1 地質調査（起源岩調査補充試験）	16
5.1.2 ボーリング調査	17

5.1.3	重砂採掘方法検討調査	17
5.2	提 言	19
5.2.1	ボーリング調査	19
5.2.2	開発計画調査	19
第Ⅱ部 各 論		21
第1章 地質調査(起源岩調査補充試験)		21
1.1	地質概要	21
1.2	地質調査(起源岩調査補充試験)の目的及び方法	24
1.2.1	調査の目的及び調査内容	24
1.2.2	試料の採取	25
1.2.3	調査班の編成	35
1.3	鉱床原砂中のルチルの起源について	35
1.3.1	問題の所在	35
1.3.2	試料の分析	38
1.3.3	調査データ	41
1.3.4	調査結果の解析	44
1.3.5	考 察	49
1.4	ラテライト性土壌中の重鉱物構成元素の挙動について	50
1.4.1	問題の所在	50
1.4.2	試料の分析	51
1.4.3	調査データ	52
1.4.4	調査結果の解析	62
1.4.5	考 察	77
1.5	解析結果のまとめ	79
第2章 ボーリング調査		81
2.1	調査概要	81
2.2	調査実施状況	83
2.2.1	ゴムクローラー	83
2.2.2	海上足場	83
2.3	試料の鑑定と採取	83
2.4	調査結果と考察	84
2.4.1	地質概要	84

2.4.2	着鉱状況	85
2.4.3	第四系の堆積環境と鉱床胚胎層準	85
2.4.4	主要鉱体の拡がり	92
2.4.5	鉱床母砂の鉱物組成	92
2.4.6	重鉱物の化学組成	96
2.4.7	まとめ	96
第3章	重砂採掘方法検討調査	100
3.1	中国側開発計画の概要	100
3.2	現地の状況	102
3.3	調査した施設の概要	104
3.4	分野別技術的見解	106
第Ⅲ部	結論及び提言	117
第1章	結 論	117
1.1	地質調査（起源岩調査補充試験）	117
1.2	ボーリング調査	118
1.3	重砂採掘方法検討調査	118
第2章	提 言	120
2.1	ボーリング調査	120
2.2	開発計画調査	120
文 献		121

図 表 一 覧

図 I - 1 - 1	広東南西部沿岸地域調査地域位置図	
図 I - 3 - 1	東南アジア大陸地質構造概略図	8
図 II - 1 - 1	調査地域地質模式層序図	22
図 II - 1 - 2	調査地域地質模式断面図	22
図 II - 1 - 3	起源岩調査補充試験試料採取位置図	26
図 II - 1 - 4	ラテライト性土壌試料採取地点スケッチ(1)~(5)	27
図 II - 1 - 5	南山海鉍床採取試料の垂直断面関係図 (採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)	32
図 II - 1 - 6	沙尾鉍床採取試料の垂直断面関係図 (採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)	33
図 II - 1 - 7	東里鉍床採取試料の垂直断面関係図 (採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)	34
図 II - 1 - 8	変質チタン鉍物の Fe ³⁺ -Fe ²⁺ 関係図	43
図 II - 1 - 9	変質チタン鉍物説明図 (A~E)	46
図 II - 1 - 10	変質チタン鉍物の化学構成	48
図 II - 1 - 11	風化殻中の希土類元素の挙動に関する考え方	51
図 II - 1 - 12	ラテライト性土壌及び岩石の重鉍物品位 (垂直変化)	54
図 II - 1 - 13	起源岩風化断面の重鉍物構成元素等含有量の垂直変化対比図(1-1)~(2-2)...	55
図 II - 1 - 14	ボーリング鉍床原砂分離重鉍物の希土類元素コンドライト・パターン	64
図 II - 1 - 15	鉍床原砂分離重鉍物の希土類元素コンドライト・パターン	65
図 II - 1 - 16	主要元素の岩石中及びラテライト性土壌中の総含有量関係図	71
図 II - 1 - 17	ラテライト性土壌 (粘土分) 及び岩石の希土類元素コンドライト・パターン	72
図 II - 1 - 18	ラテライト性土壌 (粘土分) の軽・中・重希土類元素含有量比	73
図 II - 1 - 19	ラテライト性土壌 (粘土分) の元素分析結果関係図	74
図 II - 1 - 20	軽・重希土類元素の風化殻/原岩 (濃縮倍率) の垂直変化	75
図 II - 2 - 1	東里地区ボーリング位置図・鉍床分布図	86
図 II - 2 - 2	東里地区ボーリング地質断面概略図	87
図 II - 2 - 3	第四系堆積環境と鉍床胚胎層準	89
図 II - 2 - 4	粒度特性	90
図 II - 2 - 5	鉍床母砂と重鉍物の確率分布	91
図 II - 2 - 6	ボーリング結果解析図・東里地区主要鉍体(1) (層厚図)	93
図 II - 2 - 6	ボーリング結果解析図・東里地区主要鉍体(2) (品位図)	94
図 II - 2 - 6	ボーリング結果解析図・東里地区主要鉍体(3) (層厚・品位図)	95
図 II - 3 - 1	雷州半島インフラ関連図	98

図Ⅱ-3-2	東里地区(東里半島~新寮島)関係図	99
表Ⅰ-1-1	調査内容及び調査量	2
表Ⅰ-1-2	室内試験項目及び数量	3
表Ⅰ-2-1	平均最高・最低気温	7
表Ⅰ-2-2	平均降雨量・平均降雨日数	7
表Ⅱ-1-1	起源岩の種類	24
表Ⅱ-1-2	起源岩調査補充試験用試料採取内容	25
表Ⅱ-1-3	南山海, 沙尾鉍床の重鉍物試料の化学成分分析, EPMA分析項目	36
表Ⅱ-1-4	東里鉍床及び各鉍床後背地の重鉍物試料の化学成分分析, EPMA分析項目	37
表Ⅱ-1-5	鉍床原砂, ラテライト性土壌及び同分離重鉍物分析件数	38
表Ⅱ-1-6	フランチ磁選機分離条件	39
表Ⅱ-1-7	EPMA線分析条件	40
表Ⅱ-1-8	東里地区鉍床のイルメナイト, 白チタン石, ルチルの含有量比較	44
表Ⅱ-1-9	ラテライト性土壌及び岩石の分析件数	52
表Ⅱ-1-10	基盤岩類特性一覧	53
表Ⅱ-1-11	ラテライト性土壌(粘土分)及び岩石の希土類元素コンドライト比(1), (2)	59
表Ⅱ-1-12	鉍床原砂分離重鉍物の希土類元素分析値及びコンドライト比	61
表Ⅱ-1-13	Boynton コンドライト基準値	62
表Ⅱ-1-14	各種分析値の地点別平均値表	66
表Ⅱ-1-15	鉍床原砂分離重鉍物中の主要希土類元素及びZrの含有量比	66
表Ⅱ-1-16	ラテライト性土壌に含まれる重鉍物中の 主要希土類元素及びZrの鉍物内元素保有量	67
表Ⅱ-1-17	岩石及びラテライト性土壌中の主要希土類元素及びZrの賦存状況	67
表Ⅱ-1-18	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縮倍率	68
表Ⅱ-1-19	希土類元素等各元素のラテライト性土壌中化学的残存量(平均値)の 岩石中含有量に対する比率	69
表Ⅱ-1-20	軽・重希土類元素の地点別・層別濃縮倍率	70
表Ⅱ-2-1	ボーリング調査現地調査工程	81
表Ⅱ-2-2	ボーリング調査実績	82
表Ⅱ-2-3	ボーリング調査使用機器一覧表	82
表Ⅱ-2-4	碎屑物名称分類	84
表Ⅱ-2-5	土質分類	84
表Ⅱ-2-6	東里地区主要鉍体	97

卷 末 資 料

- 資料 1 - 1 変質チタン鉱物の化学構成(1), (2)
- 資料 1 - 2 EPMA 研磨薄片顕微鏡写真(1)~(8)
- 資料 1 - 3 EPMA 面分析 (組成像) (1)~(20)
- 資料 1 - 4 EPMA 線・点分析位置図(1)~(4)
- 資料 1 - 5 EPMA 線分析結果(1), (2)
- 資料 1 - 6 EPMA 点分析結果一覧表(1), (2)
- 資料 1 - 7 第 5 年次鉍床原砂重砂分析値
- 資料 1 - 8 第 5 年次ラテライト性土壌重砂分析値(1)~(3)
- 資料 1 - 9 ラテライト性土壌 X 線回折結果(1)~(5)
- 資料 1 - 10 ラテライト性土壌の X 線回折結果 (粘土鉍物構成比)
- 資料 1 - 11 ラテライト性土壌 (粘土分) 及び岩石の元素分析結果一覧(1), (2)
- 資料 1 - 12 ラテライト性土壌 (粘土分) 及び岩石の元素分析結果 (合計希土類重量)
- 資料 1 - 13 採取試料リスト及び室内試験内訳表(1)~(5)

- 資料 2 - 1 東里地区ボーリング柱状図 (1/50) 及び重砂分析結果
- 資料 2 - 2 主要鉍床着鉍状況(1) (東里半島)
- 資料 2 - 2 主要鉍床着鉍状況(2) (新寮島・浅海部)
- 資料 2 - 3 年代測定 (^{14}C 法) 結果一覧表
- 資料 2 - 4 微化石鑑定結果一覧表
- 資料 2 - 5 花粉鑑定結果一覧表
- 資料 2 - 6 粒度分析結果一覧表
- 資料 2 - 7 分離重鉍物粒度試験結果一覧表
- 資料 2 - 8 重砂多項分析結果一覧表
- 資料 2 - 9 重砂全分析結果一覧表
- 資料 2 - 10 重砂鉍物分析結果一覧表

付 図

- 付図 1 東里地区ボーリング位置図(1), (2) (1/50,000)
- 付図 2 東里地区ボーリング地質断面概略図

第 I 部 総 論

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論

1.1 調査の経緯

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、黒竜江北西部地域及び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、調査の実施細則を定め調印した。

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中華人民共和国広東南西沿岸地域の第5年次として実施されたものである。

1.2 前年度調査の結論と提言

第4年次（平成2年度）の調査では、陽江・湛江及び東里地区の起源岩調査、湛江・東里両地区におけるボーリング調査ならびに東里地区の重砂鉱床を対象とした選鉱予備試験と重砂採掘方法検討調査をそれぞれ実施した。

○起源岩調査では、これまでの調査の結果、本地域の重砂鉱床は、起源岩が風化・削剝を受け、起源岩中の重鉱物が河川により海浜にまで運搬されて集積後、波浪などの影響により淘汰、濃集して鉱床を形成したことが判明したが、重鉱物のうちルチルについては、沿岸部に起源岩は存在せず、また遠隔地から大河川により運搬された可能性も少ないので、鉱床に含まれるルチルはイルメナイトの酸化・変質により生じた可能性が考えられた。

また、起源岩中の重鉱物はその風化により体積を減少させながらラテライト性土壤中に濃縮すると考えたが、多くの地点でラテライト性土壤中の重鉱物含有量が岩石中のそれより高くなく、風化の過程で重鉱物の一部は破壊されて、その重鉱物構成元素がラテライト性土壤（粘土分）中に化学的に解放された可能性があると考えられた。このようにこれらの点が検討課題として今後の調査が提言された。

○ボーリング調査は湛江、東里両地区においてこれまでに捕捉した鉱床帯のひろがりの確認のために実施された。その結果、湛江地区の鉱床は一般に鉱床厚がうすく、その連続性にも不安があること、また東里地区の主要鉱床帯の南延長部に優良なものがみられないことが判明した。したがって、第5年次調査として、上記東里地区の最も優勢なまとまりのある主要鉱体にボーリング調査を集中して将来の本鉱体の鉱床評価に資することが望ましいと提言された。

○重砂採掘方法検討調査は、東里鉱床の開発可能性を検討するための作業手順が選定され、第5年次にはこれに基づき重砂採掘方法検討調査を行うことが提言された。

1.3 本年度調査の概要

1.3.1 調査地域

本年度の調査地域は、第4年次（平成2年度）の提言に基づき、陽江、湛江及び東里地区の全域にわたっている（図I-1-1）。

1.3.2 調査目的及び調査内容

(1) 調査の目的

広東南西部沿岸地域において、地質状況を解明し鉍床賦存状況を把握して、有望地域を抽出することを目的とするが、第5年次の起源岩調査（補充試験）は、本地域で重砂鉍床生成機構の解明の残された課題のうち、起源岩が存在せず由来の不明な鉍床中のルチルについて、イルメナイトの変質の視点から解明すること、及び岩石が風化して、ラテライト性土壌（粘土分）中に分解、解放された重鉍物構成元素の挙動を解明することを重点とした。

第5年次のボーリング調査は、すでに捕捉された東里地区主要鉍体の賦存状況を詳しく把握し、その全体像を明らかにするため、ボーリングを本地区において高い密度で行い、鉍床評価に資することを目的として実施することにした。

重砂採掘方法検討調査は、東里地区の重砂鉍床の採掘に関する技術的検討を行い予備評価の円滑な推進をはかることを目的として実施した。

(2) 調査内容

調査内容と調査量及び室内試験項目と数量を、それぞれ表I-1-1、表I-1-2に示す。
なお、選鉍試験の調査内容は別に報告する。

表I-1-1 調査内容及び調査量

調査内容	調査項目	調査量	
地質調査 (起源岩調査 補充試験)	採取試料	重砂分析試料	
		鉍床原砂	8個
		ラテライト性土壌	53個
		元素分析試料	
		ラテライト性土壌	50個
		岩石	5個
ボーリング調査 (東里地区)	孔数, 掘進長	γカメラ	(本)
		海上足場	(m)
		合計	
	採取コ試料 (個)	γカメラ	1253
		海上足場	599
		合計	1852

表1-1-2 室内試験項目及び数量

試験項目及び成分	数量
<u>地質調査（起源岩調査補充試験）</u>	
① X線回折試験（チャート作成及び鑑定）	50 件
② 重砂分析	50 件
・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）	8 件
・ 3 鉱物（イルメナイト，ルチル，白チタン石）	3 件
・ 1 鉱物（イルメナイト）	
③ ・元素分析※ (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Er, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Cs, Nb, P, La, Zr, Hf)	55 件
④ 重鉱物単体分離処理※	42 件
⑤ 分離重鉱物成分分析 (TiO ₂ , FeO, Fe ₂ O ₃) ※	42 件
⑥ EPMA※	12 件
・研磨薄片作成	9 件
・組成像作成	6 件
・線分析（3 mm/件）	4 件
・点分析（20点/件）	
<u>ボーリング調査</u>	
コア試料分析	東里地区
重砂分析（5 鉱物）	1852 件
粒度分析	220 件
重砂多項分析	10 件
重砂全分析	2 件
重砂鉱物分析	20 件
分離鉱物粒度試験	10 件
花粉鑑定	60 件
微化石鑑定	33 件
絶対年代測定（ ¹⁴ C）	10 件

- 1) ※印のものは日本において実施。ほかは中国側分析所において実施。
- 2) コア試料分析は中国側分析所にて実施した。
- 3) コア試料分析のうち重砂分析（5 鉱物），重砂鉱物分析及び分離鉱物粒度試験は，イルメナイト，ジルコン，ルチル，モナザイト，ゼノタイムについて実施した。

1.3.3 調査団の編成

本調査の計画と折衝及び現地調査に参加した調査員は次のとおりである。

1) 協定折衝及び現地指導監督

(a) 日本側

清水 浩 (金属鉱業事業団)
石田 真 (")
小山恭一 (")
逆瀬川敏夫 (")
小沢悦夫 (")
目次英哉 (")
貝沼弘康 (")
荻津 毅 (" 北京連絡員)

(b) 中国側

陳鉄生 (中国有色金属工業總公司)
劉善方 (")
湯全洪 (")
袁傳盛 (")
崔虎林 (")
王 勇 (")
張吉慶 (広東地質勘探局)
候徳良 (")
孫長慶 (")
蒙合栄 (")
許幼撫 (")
馮家本 (")
金忠王 (中国有色金属工業總公司広州公司)
葉志平 (広東有色金属研究院)
任笑竹 (海南島冶金有色金属工業總公司)

2) 現地調査

(a) 日本側

(起源岩及びボーリング調査)

富沢尚明 (海外鉱物資源開発株式会社)
久米敏夫 (")
大田光弘 (三井金属資源開発株式会社)
山本延彦 (")
神成総二 (")
伊藤建紀 (")
伊藤政敏 (")
藤井究哉 (")
山口芳弘 (")
原田陽夫 (")
菅原一安 (")
石塚善章 (")

(b) 中国側

梁維業 (広東地質勘探局 935地質隊)
李 臣 (")
王家樹 (")
陳徳銭 (")
謝禮義 (")
周耒強 (")
鄒育全 (")
黄卓廣 (")
頼乙北 (")
季克昌 (")

(重砂採掘方法検討調査)

相沢直人 (海外鉱物資源開発株式会社)

山口武晴 (")

工藤淳一 (")

大久保和男 (")

熊谷直照 (")

1.3.4 調査期間

現地調査期間は、地質調査(起源岩調査補充試験)は平成3年8月8日から同年9月2日まで、またボーリング調査は平成3年6月10日から同年9月25日まで、重砂採掘方法検討調査は平成3年10月21日から同年11月9日まで実施した。

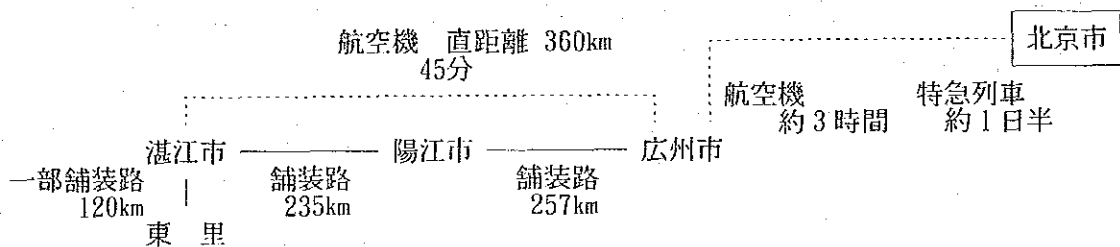
第2章 調査地域の地理

2.1 位置及び交通

調査地域は、中華人民共和国広東省のおよそ北緯 $20^{\circ} \sim 22^{\circ}$ ，東経 $110^{\circ} \sim 112^{\circ}$ の範囲に含まれる(図I-1-1)。

行政上は、陽江地区及び湛江地区は広東省南西部の陽江市から湛江市までの各県及び各市に属し、東里地区は海康県及び徐聞県に属している。

北京市から広東省の省都広州市を経て調査地域へいたる主たる交通経路は次のとおりである。



調査地域内の道路網は、主要都市間は舗装された国道で結ばれているが、そのほかの自動車道は一般に未舗装で、雨季には泥濘化する部分が多い。また平野部の農村地区には多くの農道が走っているものの、その幅が耕運機用であるためジープ以外の車両の通行は困難である。

2.2 地形・水系

陽江地区から湛江地区にかけては、第四紀堆積層の基盤をなす片麻岩類・混合岩類及び花崗岩類が後背地として広く分布し、標高最大 300m 台の、主として南北乃至北東～南西の方向性をもつ起伏の多い山岳部が陽江地区に多く、湛江地区は次第になだらかな平野部が多くなる。また東里地区には玄武岩類の溶岩台地が広く分布する。

海岸までは河川に沿った盆地、なだらかな平野及び海岸低地がひろがり、各所で海岸より内陸へ向い幅 1～2 km の砂丘が形成されている。湛江地区の西部から東里地区にかけては、海岸沿いに沖合 1～3 km 以上に及び潮間帯が発達するが、陽江地区における潮間帯の発達はあまり良好ではない。

水系としては、吳川、陽江に流出する鑿江、漠陽江の大河川の本・支流が主なものである。その他、これらの支流から分れる小河川が湛江、陽江両地区に数多く発達するが、東里地区はやや発達せず、河川の水量も少ない。

2.3 気 候

調査地域は低緯度地帯にあるにもかかわらず一応四季はみられるが、12月から2月までのやや

寒い時期を除き、夏期が圧倒的に長く、春及び秋に相当する時期は短い。最も暑い季節は7月～8月で相当高温多湿である（表I-2-1）。

降雨量については、調査地域全体が南東モンスーンの影響を受ける場所であり、陽江地区では年間平均 2,550mm、海康（東里）地区では年間平均、1,700 mm程度の降雨がある（表I-2-2）。

このうち、降雨の多いいわゆる雨期は、両地区共に4月から9月頃までの間で、特に5月、6月、7月及び8月に雨量は集中している。これは、本地域のモンスーンの影響による雨期と台風銀座といわれるくらい台風の影響を受けやすい場所に位置しているという地理的条件とに関係している。なお、7月から9月位までの間が、最も台風来襲の多い時期にあたる。

表I-2-1 平均最高・最低気温

(°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-2-2 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	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
(東里)	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

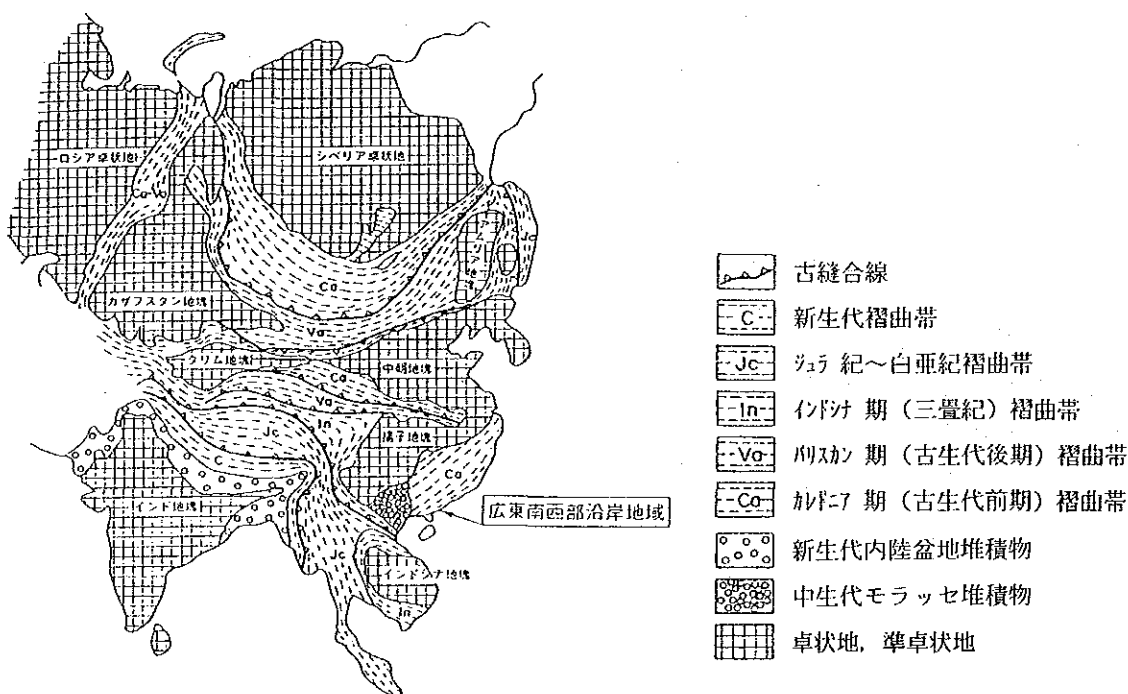
第3章 調査地域の地質概要

調査地域のある広東省南西部沿岸地域は、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する。古生代前期には揚子地塊はユーラシア大陸から離れていたと考えられ、当時この地塊に沿って形成された地向斜に堆積した陸源堆積物は、その後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を伴う構造的擾乱及び変成作用を受けた。その後中生代には、燕山期花崗岩類に代表される酸性火成岩活動が、断裂運動を伴って活動した（図I-3-1）。

調査地域には、これを反映して、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 ）及び燕山期花崗岩類（ γ_5 ）及び一部、先カンブリア時代堆積岩類（震旦系，Z）が基盤岩類として分布し、その上に第四紀層が被覆している。

本年度（第5年次）は沿岸地域の陽江から東里にいたる地域を調査対象としているが、本地域は主に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（ γ_3 ）が山地形をなして分布する陽江地区、燕山期花崗岩類（ γ_5 ）が大規模に貫入し、カレドニア期混合花崗岩類（ γ_3 ）と震旦系（Z）の基底部の露出する湛江地区、及び前2地区と地質構造が異なり、第四紀玄武岩類（Ba）の溶岩台地の発達した東里地区の3地区に分けられる。

また第四紀層は、下位よりQ₁層（湛江層群）、Q₂層（北海層群）、Q₄層の3層に分けられる。Q₁層は葉理の顕著なシルトを主とし、Q₂層はアルコーズ質中粒～粗粒砂層で、またQ₄層は細粒～粗粒砂層で主として本層中に重砂鉱床が胚胎している。さらにQ₂層を覆って玄武岩類（Ba）が発達している。



図I-3-1 東南アジア大陸地質構造概略図（丸山・酒井1986を簡略化）

第4章 調査結果の総合検討

4.1 地質調査（起源岩調査補充試験）

第4年次までの起源岩調査によって本地域の重砂鉍床の重鉍物の起源ならびに鉍床形成のメカニズムはほぼ解明されたが、なお検討課題として残された2課題、すなわち、重砂鉍床中にかなり含まれるルチルの起源に関し、ルチルがイルメナイトの変質によって形成されたとする視点から解析し、また風化殻断面のラテライト性土壤中で破壊された重鉍物の構成元素（希土類等）の挙動を追求するという2つの課題を解明することを目的として、本年度は各種試料を採取し、室内試験を行った。

(1) 起源岩調査において、ルチルは後背地の岩石中にごくわずかしかな存在せず、起源岩を特定することは不可能であったため、本地域の重砂鉍床中のルチルの起源に関し、これがオーストラリアや米国にみられるルチルの鉍床のように、イルメナイトの変質によって形成されたものである可能性があるという視点から検討した結果、次のようにまとめられた。

(1-1) 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^{2+} が Fe^{3+} に変化し、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 成分を或る程度含有するにいたることが広く知られている。

本地域のイルメナイト及び白チタン石について Fe^{2+} と Fe^{3+} を分析し、その関係を調べた結果では明らかにイルメナイトから白チタン石に向けて酸化が進行している。

(1-2) 物性的にイルメナイト、白チタン石、ルチルの3種に分離された本地域のチタン鉍物の顕微鏡観察の結果、(イ)イルメナイトがほとんど変質しないままで存在することもあるが、(ロ)一般にイルメナイトが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、(ハ)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、(ニ)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という事実が明らかになった。

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。

(1-3) 上記の顕微鏡観察の結果は、このような変化の程度を示す代表的試料のEPMA分析によってさらに明確に確認された。すなわち、このEPMA分析結果では、イルメナイトは変質して部分的に白チタン石に変化し、そこから、ルチルが形成されていることが明らかになった。

(1-4) 分離されたチタン鉍物（イルメナイト、白チタン石、ルチル）の化学成分分析の結果を、 $\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$ 、 $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 TiO_2 の三角ダイヤグラム上で検討してみると、これら3種の分離チタン鉍物はそれぞれ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成分の含有量を変化したものであることが明らかになった。この三角ダイヤグラムから読みとれる結果は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妥当であることを示している。

(1-5) オーストラリア、米国のチタン鉍床について研究した Temple (1966)によれば、イルメナ

イトの酸化によってFe^{II}がFe^{III}に変化すると、Fe₂O₃成分は赤鉄鉱となって溶脱するため鉱物中のTiO₂比率が上昇し、このプロセスの進行によってルチル(TiO₂)が形成されることが確認されている。本地域のルチルの形成もこのような過程によるものと考えられる。

(1-6) 東里地区の鉱床は上盤鉱体(東里半島)、上盤鉱体(新寮島)、中盤鉱体の層準に形成されているが、ルチル形成の問題に関連し白チタン石+ルチルの合計量のイルメナイト量に対する比率を層準別に調べると、やや下部にあり風化・酸化の少ないと思われる中盤鉱体においては低く、風化度の高い上盤鉱体においては相対的に高いことが明らかであった。この事実はイルメナイトから白チタン石を経てルチルにいたる過程が風化、酸化によるものであることをある程度裏づけていると考えられる。

(2) ラテライト性土壌は岩石の風化産物であり、もとの岩石よりは体積が縮小しているために、岩石に含まれていた重鉱物は、ラテライト性土壌中において岩石中の含有量よりも含有量がふえ、濃集していることが期待されたが、第4年次調査までの調査では多くの地点でラテライト性土壌中の重鉱物含有量はふえていないという結果がみられた。そのため、重鉱物が風化の際に物理化学的に破壊され、そこに含まれていた希土類等の元素が解放され、化学的な挙動をしていることが予想された。そこで、ラテライト性土壌中にこのような重鉱物構成元素の濃集が実際にあるかどうか、もしあるとすれば、それはどこにあり、どういう特質をもっているかを検討した結果、次のようにまとめられた。

(2-1) 基盤岩類中の重鉱物などに含まれている希土類等の元素は地表でその岩石が風化すると風化抵抗力が強く破壊されずにラテライト性土壌中に残留する重鉱物中にそのまま保有されているもののほか、物理化学的にこのような重鉱物が破壊されて岩石の風化産物であるラテライト性土壌(粘土分)の中に包含されているものがある。前者を重鉱物内保有量、後者を化学的残存量と呼び、次のようにして両者の定量を試みた。

(イ) ラテライト性土壌から岩石や鉱物の破片をとり除き粘土分だけをとり出してこの中に含まれている希土類等の元素量を分析した。

(ロ) 一方、ラテライト性土壌中の重鉱物含有量を重砂分析によって求め、過年度の分離重鉱物の元素分析結果から明らかになっている重鉱物中の元素含有量の平均値を算出、両者の値からラテライト性土壌の重鉱物中に含まれている希土類等元素の量を算出した。

(ハ) 算出対象はCe, Sm, Y, Zrとした。前3者は軽・中・重希土をそれぞれ代表し、かつモナザイト、ゼノタイムに含まれていることが確実だからであり、さらにZr元素はほとんどジルコンに保有されていて挙動の単純であるとみられるからである。

(2-2) その結果、次の重要な事実が明らかになった。すなわち、希土類等元素の大部分は、上記の2種類の存在形態のうち、粘土中に残存するかたちで大部分が存在しており、これに対し、残留重鉱物中に保有される量はかなり限定されている。

岩石中では希土類元素はここで注目したモナザイト、ゼノタイム、ジルコンばかりでなく、く

さび石、褐れん石、燐灰石などの含希土類造岩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元素のうちどれだけが重鉱物の破壊に由来するかは明らかでない。(2-3) 次にラテライト性土壤中の層準別の元素集積状況につき、層準ごと主要元素に関する風化殻/原岩の濃縮倍率を調べてみると、各地点において特定の層準に多くの元素が濃集する場合が認められる。たとえば、塘口に (γ_5) では第4層と第9層にLa, Ce, Nd, などが濃集している。

また、軽・中・重希土類元素のそれぞれの量の合計を3つの頂点とする三角ダイアグラムに、各層準のこの3者の比率をプロットしてみると、いずれの場合も軽希土の頂点に向ってほぼ直線的な分布を示している。このことは、軽希土が移動しやすいことを示唆しており、ラテライト性土壤の中で何らかの要因により、元素が移動し、特定部位に集積したものとみられる。

(2-4) ラテライト性土壤を構成する粘土鉱物はX線回折の結果、カオリナイト、イライト、ギブサイト、モンモリロナイトなどであると同定された。

重鉱物構成元素の濃集をこれらの粘土鉱物構成比との関係で検討した結果でははっきりした相関は認められなかったが、軽希土類元素についてはカオリナイト構成比の小さい層準に濃集する傾向にあるように見える。

(2-5) ラテライト性土壤中の希土類等元素の化学的残存量(平均値)と基盤岩類中存在量との比率はYを除き1.0以上になっており、これらの元素は平均的には風化殻の中で濃縮されているといえる。ただし、個別地点の個別元素についてみると必ずしも1.0以上になってはいないものもあるので、これらの元素の挙動には風化による溶出、移動などの複雑な要因が加わっていると考えられる。

(2-6) そこで、基盤岩類中の希土類等元素の含有量とそのラテライト性土壤中の総含有量(鉱物内保有量+化学的残存量)との関係をCe, Sm, Y, Zrについて調べてみたが、この両者の間にはZrを除くとほとんど相関が認められない。したがって、これらの元素は確かにラテライト性土壤中では濃縮されているが、その程度は一様ではなく、風化の過程において元素ごとに個別の挙動をしているといえる。

4.2 ボーリング調査

第4年次までのボーリング調査の結果、本地区の陸上部及び浅海部には4箇所の主要鉱床が認められていた。しかしながら、これらに対するボーリング密度は粗く、2,400m×960m(陸上の一部では480m)であった。第5年次のボーリング調査はこれら4箇所の主要鉱床のうち、最も優勢な鉱体が胚胎すると考えられる東里半島、新寮島及び同島東側浅海部に調査を集中し、124本、1,783.00mのボーリングを実施した。この結果、主要鉱体部分は陸上部では1,200m×480m格子、海上部では2,400m×960m格子のボーリングで覆われ、主要鉱体の規模、胚胎層準などが明らかとなった。

ボーリング地質は、下位より上位へ晩更新統のシルト・粘土を主とするQ₃層、これはを不整

合に覆い細砂を主とする中部完新統のQ₂層，整合的な細砂を主とする上部完新統のQ₃層よりなる。鉍床はイルメナイト・ジルコン・ルチル・モナザイト・ゼノタイムの基本5鉍物合計品位が3,000g/m³以上とすると，上盤鉍体，中盤鉍体及び下盤鉍体の3層準が認められる。上盤鉍体はQ₃層最上部に認められ，東里半島及び新寮島に分布する。中盤鉍体はQ₂層最上部に認められ，新寮島東側浅海部の海底に分布する。下盤鉍体はQ₂層最下底部に認められ，中盤鉍体と同様に新寮島東側浅海部に分布するが，Q₂層中部の不毛帯の下位に位置している。これら主要4鉍体の規模は次のとおりである。

- ① 上盤鉍体（東里半島）：延長12km，最大幅4km，層厚平均6.1m（最大20.3m）。
- ② 上盤鉍体（新寮島）：延長8km，最大幅4km，層厚平均3.0m（最大6.5m）。
- ③ 中盤鉍体：延長10km，最大幅5km，層厚平均5.0m（最大8.6m）。
- ④ 下盤鉍体：延長6km，最大幅5km，層厚平均3.6m（最大8.2m）。

しかしながら，これら鉍体のうち上盤鉍体（東里半島）は，層厚は厚いものの高品位部分が分散する傾向があり，中盤鉍体も厚い鉍体であるが高品位部分は狭い範囲に限られている。そして，下盤鉍体は全体的に品位が高めであるがその上位を不毛砂層に覆われているという将来の開発に対するマイナス要因を抱えている。

一方，上盤鉍体（新寮島）は，層厚が平均3.0m，最大6.5mとまとまった鉍体で，しかも，平均品位が高く陸上に分布するので，これら主要4鉍体のなかでは将来の開発に最も有利な条件を備えている鉍体と考えられる（この新寮島陸上部に胚胎する鉍体は，その名称をより明確にするために，今後は『新寮島鉍床』と呼ぶこととしたい）。

この新寮島鉍床は，これまでの1,200m×480m格子ボーリングにより，その鉍床規模が明らかにされたものの，ボーリング調査密度は将来の開発を考慮した場合の高品位部の在り方，連続性などの鉍床内部構造を把握するには十分とは言い難い。従って，今後のボーリング調査はこれら内部構造を確認し，本鉍床の開発に資するよう，これまでのボーリング密度をより高めた調査を行うことが望ましいと考える。

4.3 重砂採掘方法検討調査

東里地区の陸上部，潮間帯部及び浅海底部に賦存する重砂鉍床の採掘方法，粗選方法及び採掘・粗選に伴う環境への影響等を中心に行った調査の総合検討結果は以下のとおりである。

4.3.1 採掘

- 1) 東里半島陸上部；周辺の状況より地下水量が豊富と推定されるので，ドレッジャーでの採掘が可能と推定される。採掘規模は鉍床の広がり，鉍床層厚より400～500トン/時間程度が適当と考えられ，粘土層・固結層等の挟みも無いのでサクシオンカッター方式で十分である。
- 2) 新寮島陸上部；新寮島陸上部の鉍床は東里半島より高品位だが鉍体層厚が薄いためサクシ

ンカッター方式のドレッシングは適さない。したがって、乾・湿両方式の併用が適当である。

3) 潮間帯部（新寮島北部及び北東部）；潮間帯の大部分は剝土・伐開作業は不要であり、採掘方式は新寮島とほぼ同じ方式とし干潮時のみ採掘可能である。

4) 浅海底部（新寮島北東部沖合）；採掘対象地区は外洋であり波浪が高いため、バケットライン型のドレッジャーと粗選設備を備えた安定の良い大型ポントーンが必要である。しかしながら、波浪の影響によりダウン・タイム（予定外の休止時間）が大きいものと予想されるので、これを補うため大型ドレッジャー及び大型タグボートが必要となり、設備投資額は相当大きくなる。

4.3.2 粗 選

粗選ユニットはブルドーザー等で牽引可能なスキッド・マウント方式とし、粗選設備はスパイラル・コンセントレーターを主体として構成されるべきものとする。なお、東里地区産原砂は、重砂鉱物の含有量が少なく、かつ原砂及び含有量重砂鉱物の粒度が非常に細かいため粗選精鉱を効果的に採取することは非常に難しいと考えられる。

4.3.3 環 境

1) 東里半島

開発対象地域は大半が陸域に限定されること、及び湿式採掘が考えられることから採掘及び粗選が周辺環境に及ぼす影響要因としては、・住民、家屋及び一部の公共施設の移転、・幹線道路や用水路の使用不能化、・樹木の伐採、・地下水脈の変化と海水の混入、・エビ養殖池に対する堆積粗選尾鉱からの粉じん飛散等が挙げられ、これらに対する今後の詳しい調査と影響に対する評価及び対策の実施が必要である。

2) 新寮島及び周辺海域

島及び周辺海域における採掘は、陸上部においては乾式・湿式両方式の併用、潮間帯部では干潮時のみのブルドーザーによる採掘と陸上部における粗選、また沖合浅海底海域においては大型ポントーンを使用したバケットライン型のドレッジャーによる採掘・粗選方式が考えられることから採掘及び粗選が周辺環境へ及ぼす影響要因としては、先ず陸上部では東里半島と同様の影響要因が挙げられるほか、沖合浅海底海域では採掘と粗選尾鉱廃棄にともなう海底地形や海流の変化や周辺海域への濁りの影響が予想され、特に尾鉱廃棄による影響は著しいものと判断される。したがって、これらに対する今後の詳しい調査と影響に対する評価及び対策の実施が必要である。

4.3.4 最終年度の開発計画調査 (Pre-F/S)

1) Pre-F/S の進め方

1992年度の開発計画調査(Pre-F/S)は、比較的まとまりの良い高品位部が捕捉されている新寮島陸上部の鉱床を対象を絞って実施し、東里半島陸上部、潮間帯部及び沖合浅海底部の鉱床につ

いては概括的な見解を述べるに止めるのが望ましいと考える。

また、この Pre-F/Sでは本プロジェクト評価の最初の第一歩であるとの認識に立ち、本年度の調査で得られた概括的な現地情報を補完するための現地調査を行って先ず初歩的な開発計画を立案し、同時に Pre-F/Sに必要な他の部門についても現地で情報収集を行い、極めて楽観的な前提条件を設定したあと極くシンプルな計算手順により計算を行って、本プロジェクトの概括的な評価と問題点の指摘と提言を行う。すなわち、先ず既存のデータと簡単に収集できるデータを用い、大きな網を掛ける形での Pre-F/Sを実施するのが現実的であると考え。

2) 現地調査

(1) 採掘に関する調査

① 新寮島の採掘対象地域全域についての土地利用状況図（植生、民家・道路、田畑、湿地帯等）作成

② 道路、橋梁、港湾等を対象とするインフラ調査

③ 地下水レベル・地山比重の測定

新寮島の鉱床層厚の大きい高品位部で数箇所、ボーリング孔を利用し地下水レベルを測定する。測定期間は、少なくとも雨季から乾季まで連続的に実施する必要がある。また、同様な場所数箇所において地山の比重測定を行う。

④ 鉱床賦存状況のまとめ

1992年度実施のボーリングデータも含め、東里地区の鉱床・品位分布図を作成し埋蔵鉱量を計算する。

⑤ 採掘計画立案

鉱床・品位分布図と各調査結果をベースとして具体的な採掘計画を立案する。

(2) 法律等に関する調査

中国側関係官庁及び操業中の鉱山等を訪問し、重砂採掘事業に適用される法律等及びその運用状況を詳しく調査する。特に、環境関係の規定については、地方の実状に即した規定が設けられている可能性があり確認が必要である。

(3) 計算基礎データの収集

プロジェクト評価のための計算基礎データとして、現地において以下の項目について調査を行う。

① 給料・賃金基準（社会補償費・諸手当て込みの平均額）

② 従業員の年間可能就労日数（労働基準、習慣等）

③ 資機材コスト及び建設工事単価（1992年価格）

④ 販売精鉱価格（採用する基準価格の動向）

⑤ 精鉱運賃（業者契約の場合のコスト）

⑥ 通貨（為替レートの動向）

⑦ 減価償却（一般的な手段，恩典がある場合その詳細）

⑧ 税金（通常ベース，恩典がある場合その詳細）

3) 前提条件

Pre-F/S を円滑に遂行するためには，以下に述べるような事項について前提条件を設定する必要があり，現地調査の際に日中双方間で十分討議することが重要である。

- (1) 埋蔵鉱量・品位；（東里地区全体の）地域別，賦存状況別
- (2) 採掘場所；新寮島陸上部鉱床の採掘場所と開発優先順位
- (3) 年間採掘量；最大採掘量と最大採掘量に達するテンポ
- (4) 採掘方法；乾式，湿式あるいは両者併用か，地下水位の推定
- (5) 選鉱成績；粗選・精選精鉱の鉱量・品位，採収率
- (6) 操業条件；年間操業日数，1日当たり操業時間，交代制の形態
- (7) 精選工場；場所の選択，既存工場（例えば外羅精選工場）の増強か新設か
- (8) 電力供給；買電の可否，自家発電の範囲等
- (9) 用水供給；主として精選用水について
- (10) 粗精鉱運搬；運搬方法，運搬手段の選択
- (11) 用地補償；農地補償，立ち退き，終掘後の原状復帰等の費用の推定・手段
- (12) 福利施設基準；法令，習慣等
- (13) 評価基準；現状価格ベースかインフレーションを見込むか
- (14) 収支計算年数；鉱山寿命とするか，年数を設定するか
- (15) 精選販売収入；精鉱仕切り価格の設定方法
- (16) 税制上の恩典；適用される法律
- (17) 必要資金の調達；資本金及び借入金の推定
- (18) 評価手法；DCF法とし，財務評価のみ実施することの是非

第5章 結論及び提言

5.1 結論

本年度は、広東南西部沿岸地域において、陽江・湛江及び東里地区の地質調査（起源岩調査補充試験）を行い、また、東里地区でボーリング調査ならびに同地区重砂鉍床の採掘に関わる重砂採掘方法検討調査を実施した。さらに現地採取試料について各種室内試験を行った。

これらの調査・試験によって以下のような結論が得られた。

5.1.1 地質調査（起源岩調査補充試験）

本地域の重砂鉍床中の重鉍物のうち、これまで後背地の基盤岩類の中に起源岩を特定することのできなかつたルチルについてその起源を追求すること、及び起源岩に含まれていた重鉍物が風化過程において破壊されたとき、その重鉍物構成物質がラテライト性土壤中においてどのような挙動をするかを解明することという2つの課題に関して、本年度はそれぞれ鉍床原砂及びラテライト性土壤を採取して解析した。

その結果は次のとおりである。

(1) ルチルの起源

本地域の重砂鉍床中のチタン鉍物試料の化学成分分析の結果、イルメナイト($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)の Fe^{2+} が酸化されて Fe^{3+} に変わり、イルメナイトから白チタン石($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$)が形成され、さらに、この中の Fe_2O_3 が赤鉄鉍として白チタン石から分離してルチル(TiO_2)が形成されている。この事実は顕微鏡観察及びEPMA分析の結果によっても確認された。

(2) ラテライト性土壤中における重鉍物構成元素の挙動

- ・重鉍物構成元素（希土類等元素）は、一部の代表元素に関して試算した限りでは、ラテライト性土壤中に含まれる粘土層中に大部分が濃縮し、逆にラテライト性土壤中の重鉍物に保有されている量はかなり限定されている。
- ・上記の濃縮度は元素により、また地点により一様ではない。
- ・ラテライト性土壤の層準別の各元素濃縮状況をみると、特定の層準に多くの元素が濃集していることがある。
- ・希土類元素を軽・中・重希土類に分けた解析によれば、軽希土類はラテライト性土壤中を移動して特定の部位集積する傾向をもっているとみられる。
- ・ここで、これらの元素の濃集とその濃集層の粘土鉍物構成比との間にはっきりとした相関は認められなかったが、軽希土類元素はカオリナイト構成比の小さい層準に濃集する傾向がみられる。

したがって、このようなラテライト性土壤が侵食、運搬されて海岸に重砂鉍床を形成したとするならば、原岩中の希土類元素のうち、このようなメカニズムにより重砂鉍床を形成するものは、

全体のうちのごく一部であり、その他のものはその運搬過程で散逸してしまっていると考えられる。

5.1.2 ボーリング調査

第5年次までのボーリング調査の結果、調査対象地域内の東里地区、新寮島陸上部に、延長8 km、最大幅4 km、層厚平均3.0 m（最大6.5 m）の規模の新寮島鉱床が認められた。本鉱床は平均品位が高く、まとまりがあり、しかも陸上部に胚胎し、本地区内では将来の開発に最も有利な条件を備えている鉱床と考えられる。しかしながら、そのボーリング調査密度は1,200 m×480 m格子で、高品位部の在り方、連続性などの鉱床内部構造を把握するには十分と言えなく、今後のボーリング調査は、将来の開発に資するように、これら構造を確認できるような密度の高いボーリング調査を行うことが望ましい。

5.1.3 重砂採掘方法検討調査

東里地区の陸上部、潮間帯部及び浅海底部に賦存する重砂鉱床に対して行った現地調査の結果まとめられた日本側の分野別技術的見解は以下のとおりである。

1) 採掘方法

(1) 東里半島陸上部

周辺の状況より地下水量が豊富と推定されるので、ドレッジャーでの採掘が可能と推定される。採掘の具体的手法及び問題点等は以下のとおり。

- ① 伐開作業；立木はチェーン・ソウ、ブルドーザーを使用して伐採、除去する。
- ② 剝土作業；採掘跡地の原状回復のため、有機物を含む表土は地表よりおよそ30 cmブルドーザーで除去し仮置きしておく。
- ③ 採掘作業；採掘規模は鉱床の広がり、鉱床層厚より400～500トン/時間程度が適当と考えられ、粘土層・固結層等の挟みも無いのでサクシオンカッター方式で十分である。
- ④ 検討課題；ドレッジャーを使用する場合の採掘深度は、人工湖水面レベルの設定に左右されるので、人工湖水面レベルの設定に際しては、地下水レベルと鉱床の賦存深度との関係を考慮して慎重に検討せねばならない。

(2) 新寮島陸上部

新寮島陸上部の鉱床は鉱体層厚が薄いためサクシオンカッター方式のドレッシングは適さない。したがって、乾・湿両方式の併用が適当である。

- ① 伐開・剝土作業；東里半島の同様
- ② 採掘作業（乾・湿両方式の併用の場合の手順）；ピットを掘削し、ここにサクシオンポンプをセットし、ブルドーザーで原砂を当該ピットに流し込みポンプで吸い揚げる。ブルドーザー掘削が地下水の湧水で困難になった後は、水力モニターで原砂を押し流し

ピットに流し込む。人工湖方式と異なり採掘と埋め戻しを同時平行的には行えないので、採掘と埋め戻しの場所を1テンポずらす。

(3) 潮間帯部（新寮島北部及び北東部）

潮間帯の大部分は剝土・伐開作業は不要である。採掘方式は新寮島とほぼ同じ方式とし干潮時のみ採掘可能である。

(4) 浅海底部（新寮島北東部沖合）

採掘対象地区は外洋であり波浪が高いので、バケットライン型のドレッジャーと粗選設備を備えた安定の良い大型ポントーンが必要である。しかしながら、波浪の影響によりダウン・タイム（予定外の休止時間）が大きいものと予想されるので、これを補うため大型ドレッジャー及び大型タグボートが必要となり、設備投資額は相当大きくなる。また、粗選尾鉦の採掘跡への投棄は環境への影響が大きく、陸地への輸送も費用がかさむ。因って、海洋汚染に対する補償費と尾鉦輸送費との比較で処理方法を検討せざるを得ない。

2) 粗選方法

① 粗選プロセス；粗選ユニットはそりに乗せたスキッド・マウント方式とし、ブルドーザー等で牽引可能な移動式とする。現在、豪州をはじめ多くの国々で採用されている砂鉦床産の重砂の粗選プロセスは比重選鉦法で、使用する比重選鉦機械もスパイラル・コンセントレーター及びコーン・セパレーターの2種類が用いられている。しかしながら、後者は前者に比べ処理能力は大きいが選別効率において劣るので、本プロジェクトの粗選設備はスパイラル・コンセントレーターを主体として構成されるべきものとする。

② 粗選上の問題点；東里地区産の原砂は重砂鉦物の含有量が少なく、かつ原砂及び含有重砂鉦物の粒度が非常に細かいので粗選精鉦を効果的に採取することは非常に難しいと考えられる。

3) 環境への影響

(1) 東里半島

開発対象地域は大半が陸域に限定されること、及び湿式採掘が考えられることから採掘及び粗選が周辺環境に及ぼす影響要因としては、・住民、家屋及び一部の公共施設の移転、・幹線道路や用水路の使用不能化、・樹木の伐採、・地下水脈の変化と海水の混入、・エビ養殖池に対する堆積粗選尾鉦からの粉じん飛散等が挙げられ、これらに対する評価及び対策としては、半島における土地利用、経済活動、漁港利用状況等についての詳細な調査及び必要な対策費の算出、採掘対象域及びその周辺での観測井による地下水の予測評価、半島南西部区域での海水の侵入に対する予測評価と対策、散水による粗選尾鉦堆積場から養殖池への粉じん飛散防止策等が挙げられる。

(2) 新寮島及び周辺海域

島及び周辺海域における採掘は、陸上部においては乾式・湿式両方式の併用、潮間帯部で

は干潮時のみのブルドーザーによる採掘と陸上部における粗選、また沖合浅海底海域においては大型ポントーンを使用したバケットライン型のドレッジャーによる採掘・粗選方式が考えられることから採掘及び粗選が周辺環境へ及ぼす影響要因としては、先ず陸上部においては東里半島と同様の影響要因が挙げられるほか、沖合浅海底海域においては採掘と粗選尾鉍廃棄にともなう海底地形や海流の変化及び周辺海域への濁りの影響が予想され、特に尾鉍廃棄による影響は著しいものと判断される。これらに対する評価及び対策としては、陸上部に関しては東里半島と同様の評価と対策が求められるほか、今後浅海底海域での採掘を本格的に考慮する場合には、沖合浅海底海域における採掘と粗選尾鉍廃棄にともなう周辺海域の海水に及ぼす濁り（SS）の影響についての予測調査と周辺の漁業実態についての詳しい調査が必要と考えられる。

5.2 提 言

本年度の調査結果に基づく第6年次への提言は、次のとおりである。

5.2.1 ボーリング調査

本調査地域内の東里地区には、将来の開発に有利な条件を備えた新寮島鉍床が認められているが、そのボーリング調査密度は、鉍床評価には十分な精度とは言い難い。そこで今後の調査は新寮島鉍床を対象に密度を高めたボーリング調査を行い、本鉍床の評価に資することが望ましい。

5.2.2 開発計画調査

1992年度の開発計画調査（Pre-F/S）は、比較的まとまりの良い高品位部が捕捉されている新寮島陸上部の鉍床（新寮島鉍床）を対象を絞って実施し、東里半島陸上部、潮間帯部及び沖合浅海底部の鉍床については概括的な見解を述べるに止める。

Pre-F/S は以下の要領にて実施する。

1) Pre-F/S の進め方

1992年度の Pre-F/S は本プロジェクト評価の最初の第一歩であるとの認識に立ち、本年度を補完するための現地調査の実施と初歩的な開発計画の立案、極めて楽観的な前提条件の設定と極くシンプルな計算手順による計算を行って、本プロジェクトの概括的な評価と問題点の指摘・提言を行う。

2) 現地調査

- ① 採掘に関しては、新寮島の土地利用状況図（植生、民家・道路、田畑、湿地帯等）作成、同じく道路、橋梁、港湾等を対象とするインフラ調査と地下水レベルの測定、新寮島・東里半島両地区の鉍床賦存状況のまとめ、新寮島陸上部鉍床に関する採掘計画立案が必要である。
- ② 法律等に関しては、重砂採掘事業に適用される法律等及びその運用状況を関係官庁及び操

業中の鉱山等で詳しく調査する必要がある。

- ③ プロジェクト評価の計算基礎データとして、給料・賃金基準、従業員の年間可能就労日数、資機材コスト及び建設工事単価、販売精鉱価格、精鉱運賃、減価償却、税金等について詳しい調査を実施する必要がある。

3) 前提条件

Pre-F/S を円滑に遂行するためには、埋蔵鉱量、採掘場所、年間採掘量、採掘方法、選鉱成績、操業条件、精選工場、電力供給、用水供給、粗精鉱運搬、用地補償、福利施設基準、評価基準、収支計算、精選販売収入、税制、必要資金の調達、評価手法等について前提条件を設定する必要があり、現地調査の際に日中双方間で十分討議することが重要である。

第Ⅱ部 各 論

第Ⅱ部 各 論

第1章 地質調査（起源岩調査補充試験）

1.1 地質概要

前年度までに判明した地質概要は次のとおりである。

調査地域は広東省南西部、南シナ海沿岸に位置し、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、主として先カンブリア時代堆積岩類（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 ）が主に分布し、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）、Q₃層、玄武岩類（Ba）及び完新世のQ₄層から成る第四紀の堆積層が覆っている。

これら基盤岩類及び第四紀の岩層は風化して地表部はラテライト性土壤に変っている。地形的には、燕山期花崗岩類（ γ_5 ）や玄武岩類（Ba）がゆるい丘陵を呈しており、ラテライト化も顕著である。

図Ⅱ-1-1、Ⅱ-1-2に本地域の模式層序図及び模式断面図を示した。

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。

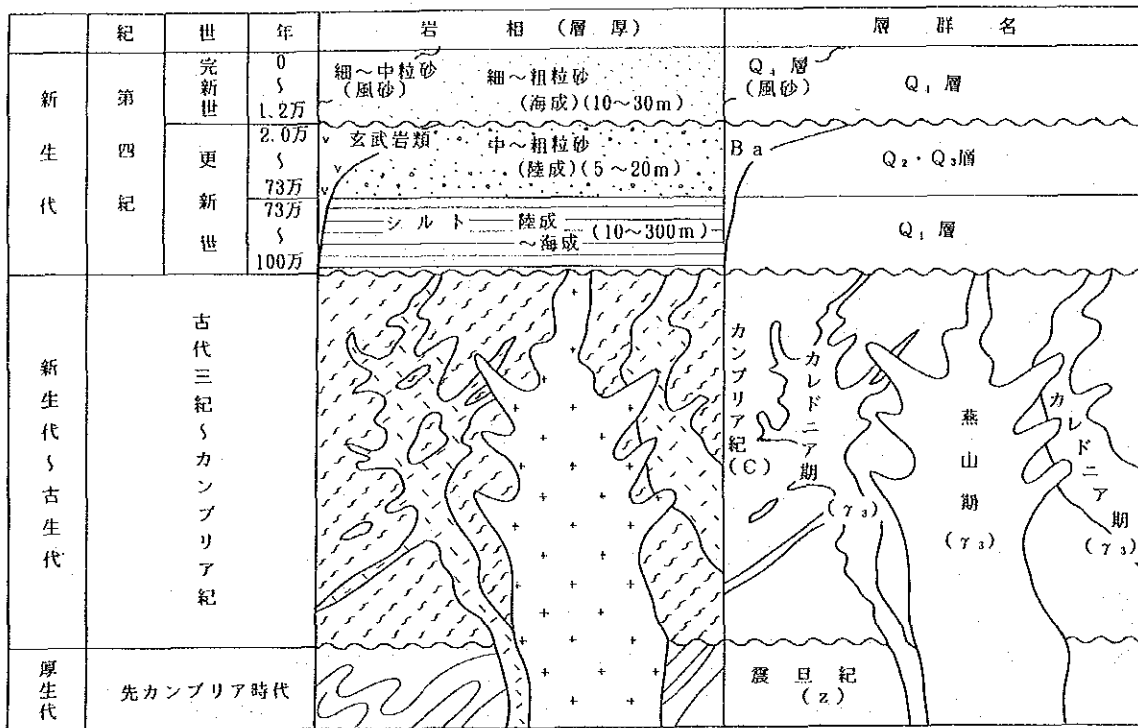
(1) カンブリア系片麻岩・混合岩類（C）

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、カレドニア期混合花崗岩類（ γ_3 ）をしばしば挟在している。鏡下では、黒雲母8～23%、斜長石15～20%、カリ長石8～35%、微斜長石30～40%、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、燐灰石などから成り、また、磁鉄鉱、黄鉄鉱の不透明鉱物を伴う。

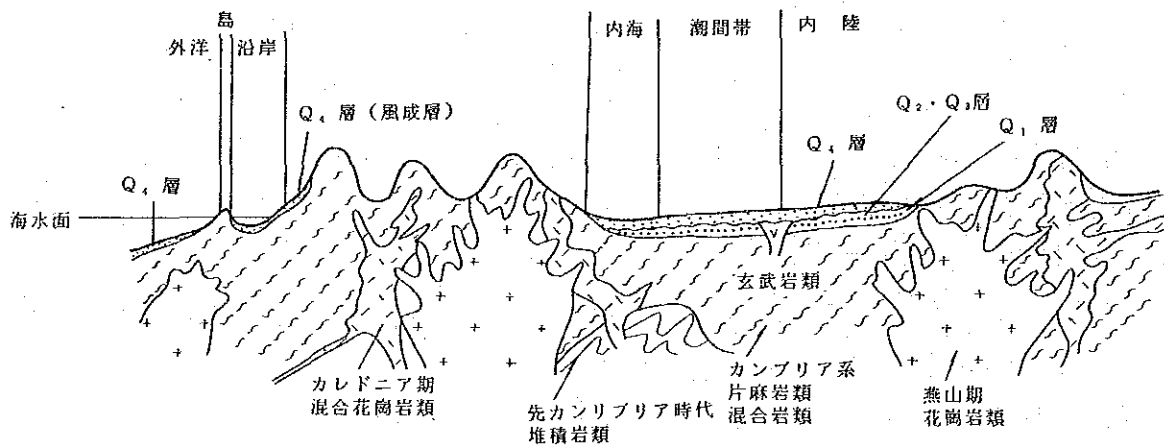
本岩類はその全岩分析結果が $Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ 、CaO、 $FeO + MnO + MgO$ を3頂点とするACF図において、泥質岩～グレイワッケ領域にプロットされることから、本岩が砂泥質岩起源であることが示されている。

(2) 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（C）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（C）は1m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期が部分熔融して花崗岩質メルトを生じた可能性もある。織篋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4～15%、斜長石15～45%、カリ長石35～45%、微斜長石40～45%、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。



図II-1-1 調査地域地質模式層序図



図II-1-2 調査地域地質模式断面図

(3) 燕山期花崗岩類 (γ₅)

本岩は陽江地区から湛江地区電白付近にかけて北東～南西系統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。中・細粒黒雲母二長石花崗岩と中・粗粒～斑状黒雲母花崗岩などに大別され岩相変化が著しい。鏡下では、黒雲母2～11%、斜長石15～50%、カリ長石12～37%、微斜長石14～50%、石英25～50%を主とし、イルメナイト、磁鉄鉱、燐灰石、緑泥石、ジルコン、くさび石などを微量含むが、岩相変化により、たとえば塘口、小良と黄坡では、本岩類におけるこれらの含有量にかなりの差異がある。

(4) 先カンブリア時代堆積岩類 (Z)

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

(5) 第三紀～白亜紀堆積岩類 (T)

本岩は、花崗岩質半角礫を主とする礫岩から砂岩質の固結度の高い岩層で、淘汰不良の岩層であるが、30cm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～南東系統の走向、西南傾斜の層理が顕著である。

燕山期花崗岩類と断層で接していると考えられる。

(6) 第四紀層

本地区の第四紀層として、下位より更新世のQ₁層(湛江層群)、Q₂層(北海層群)、Q₃層、玄武岩類(Ba)及び完新世のQ₄層が、基盤岩類を覆って広く分布している。Q₁層は標式地の湛江市付近に、Q₂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層として発達している。重砂鉱床を胚胎するQ₄層は沿岸部全域に広く分布している。

Q₁層は主にシルトより成り、1cm単位の葉理が顕著で、しばしば褐鉄鉱層(10～30cm)を挟む。殆ど水平である。

Q₂層はアルコーズ質中粒～粗粒砂より成り、白色石英円礫(0.1～5cm)を含み、赤褐～赤紫色斑状の脆弱な粘土質層(数m)を挟んでいることがある。淘汰は不良である。層厚変化は著しく坡頭地域では本層は厚さ20m以上に達している。

Q₃層はボーリング調査により認められたもので、シルト・粘土を主とする河口～浜岸堆積相である。

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Q₂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土壤中に50cm～1m大の玄武岩の円礫～半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(例、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。

Q₁相は石英及び長石質の粗粒~極細粒（主として細砂）の砂層とシルトで構成される海成~風成層で、本地域の重砂鉱床を胚胎する主要層準である。

1.2 地質調査（起源岩調査補充試験）の目的及び方法

1.2.1 調査の目的と調査内容

(1) 起源岩調査の目的は重砂鉱床を構成する重鉱物をもたらした起源岩を探り、その分布状況を確認し、さらに原岩の風化後、重鉱物が移動・濃集して最終的に鉱床を形成するまでのメカニズムを解明することにある。前年度までの調査の結果、次のことが明らかになっている。

- 本地域の重砂鉱床の重鉱物の起源岩は次のとおりである。

表II-1-1 起源岩の種類

重 鉱 物	起 源 岩	
	東 里 地 区	陽 江 ・ 湛 江 地 区
イルメナイト	玄武岩類 (Ba), Q ₂ 層	玄武岩類 (Ba), 燕山期 (γ ₅)
ジルコン	Q ₂ 層	カンブリア系 (Є), 燕山期 (γ ₅)
モナザイト	Q ₂ 層	カンブリア系 (Є), カレドニア期 (γ ₃)
ゼノタイム	Q ₂ 層	カンブリア系 (Є), カレドニア期 (γ ₃)

- 沿岸部に分布するこれらの起源岩が風化・削剝を受け、その碎屑物の一部は海浜にまで運搬される。その後、長い時間を経て、海浜集積物は波浪などの淘汰を受け、含有重鉱物が濃集され、これが現在の海浜堆積型重砂鉱床を形成した。

(2) このように重砂鉱床の起源岩及び形成メカニズムは解明されてきたが、次の2点がなお検討課題として残されている。すなわち、

- ルチルについては、ルチルを含有する起源岩が存在せず、イルメナイトの酸化、鉄分の脱離によりイルメナイトからルチルが生成した可能性のあることが考えられた。
- 岩石が風化してラテライト性土壌になり体積が減少すると、岩石中の重鉱物はある程度濃縮されてくることが期待されるにも拘わらず、前年度までの調査の結果は多くの地点で、岩石中よりもラテライト性土壌中における重鉱物の含有量の方が高いとはいえないということがわかった。すなわち、風化の過程で重鉱物の一部は破壊され失われている可能性がある。

そこで、本年度は上記課題を解明することを目的として起源岩調査・補充試験を実施した。

(3) 起源岩調査・補充試験の内容は次のとおりである。

- 3-1) ルチルがイルメナイトの変質によって形成されたことを明らかにする目的で、本地域を

代表する鉍床から鉍床原砂を採取するとともに、それぞれの鉍床の後背地を代表する岩石の上のラテライト性土壌試料を採取し、これらの試料中のチタン鉍物（イルメナイト、白チタン石、ルチル）の成分変化の過程を化学成分分析ならびに同E P M A分析によって追求した。考察にあたっては同様な形成要因が認められている世界の代表的鉍床のルチル鉍床の形成過程を参考にした。

3-2) ラテライト性土壌中の重鉍物構成元素の挙動を明らかにするために、本地域の起源岩の代表的な地点をえらび、岩石及びその直上の風化断面でラテライト性土壌を層準別に採取した。

これらの採取試料ごとの構成物質（重鉍物及び粘土鉍物）と希土類等元素の含有量とを重砂分析，X線回折（粘土鉍物同定），元素分析によって調べることにより、これらの元素の挙動を追求した。

1.2.2 試料の採取

(1) 本年度は次の試料を採取し、基礎データを得ている（表Ⅱ-1-2）。

表Ⅱ-1-2 起源岩調査補充試験用試料採取内容

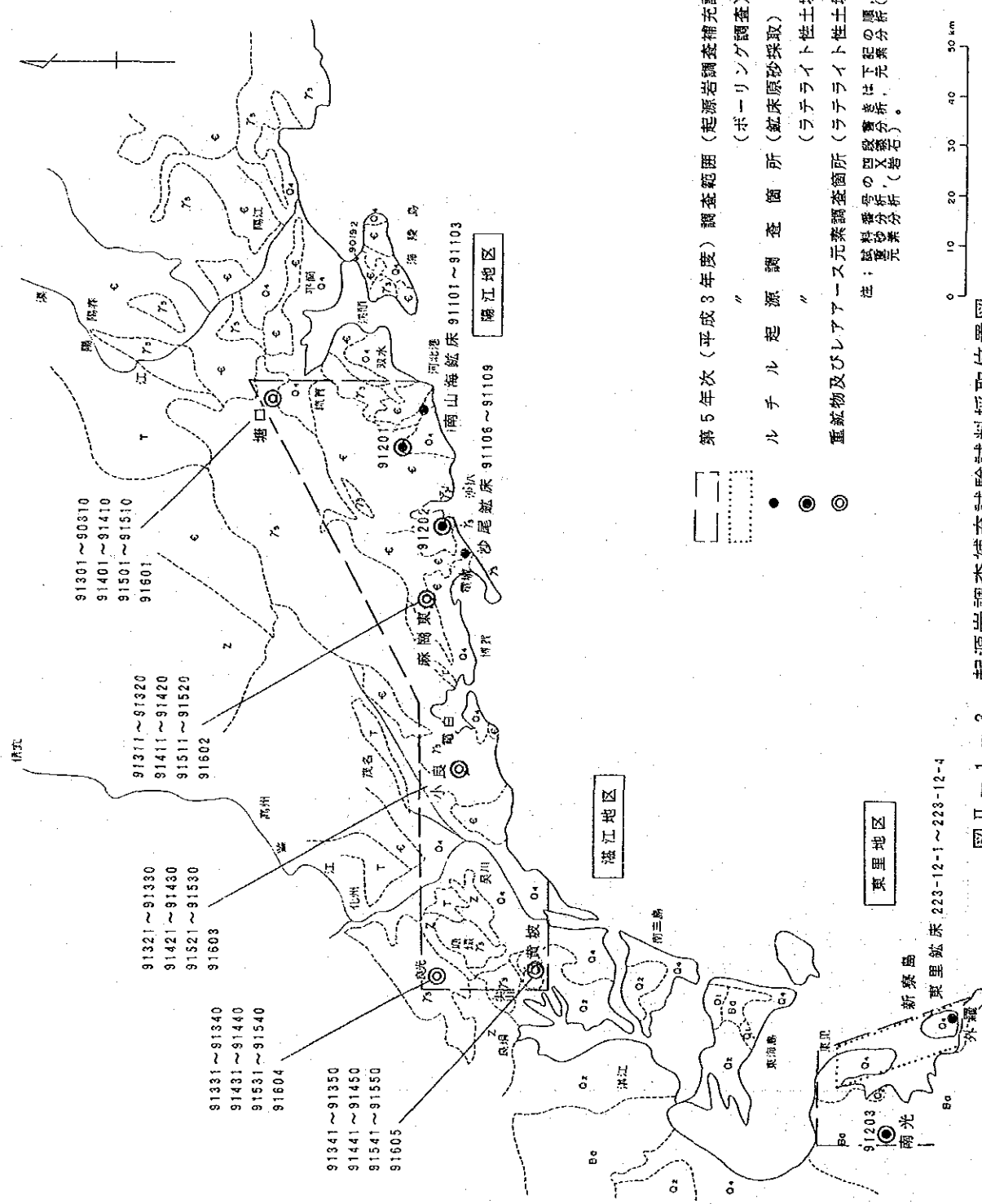
試験目的	採取内容	採取地点	採取件数	件数計
①鉍床原砂中のルチルの起源解明	鉍床原砂 (10kg/件)	南山海鉍山 沙尾鉍山 計 2 地点	4 件/地点	8 件
		東里鉍床 1 地点	4 件/地点	4 件
	鉍床後背地のラテライト性土壌 (10kg/件)	南山海鉍山 沙尾鉍山 東里鉍床 計 3 地点	1 件/地点	3 件
②ラテライト性土壌中の重鉍物構成元素の挙動の解明	ラテライト性土壌 ・重砂分析用 (10kg/件) ・元素分析用 (0.3kg/件) ・X線回折用 (0.5kg/件)	湛江地区 3 地点	10 件/地点	50 件
		陽江地区 2 地点	10 件/地点	50 件
	未風化の岩石 (0.5kg/件)	計 5 地点	1 件/地点	5 件

注

注 東里鉍床は第1年次ボーリング控試料使用。

(2) 試料採取位置は図Ⅱ-1-3に示した。

ルチル起源解明のための試料は、本地域の代表的な鉍床である南山海、沙尾及び東里各鉍床で採取した。各採取地点では、鉍床原砂層を上下4層に区分して各層から1試料ずつ計4試料を採

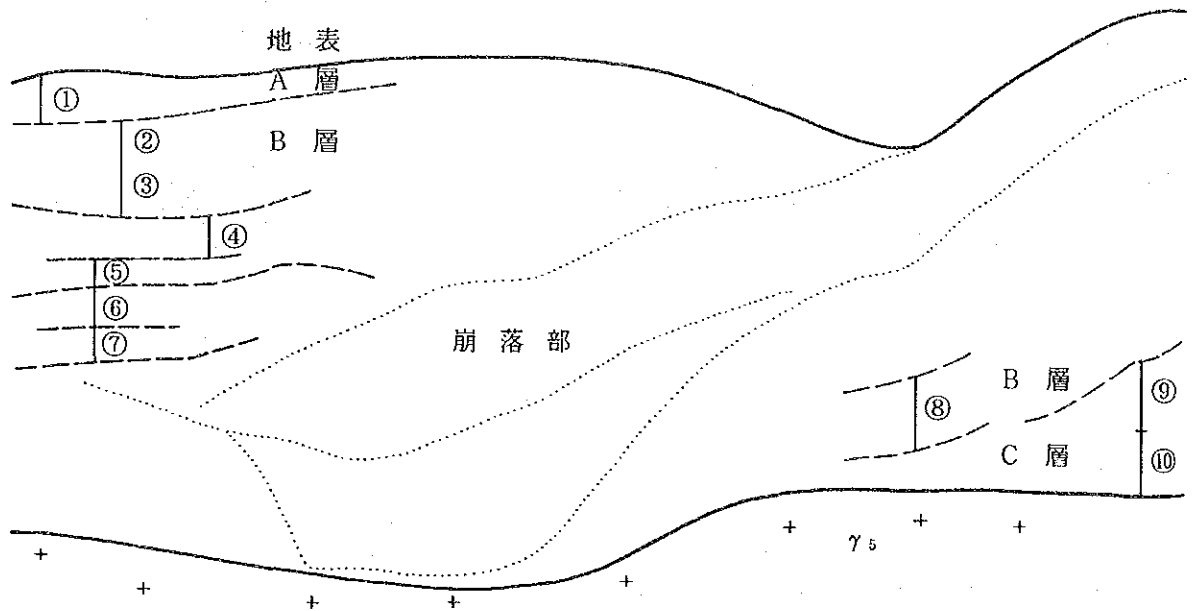


- 第5年次(平成3年度)調査範囲(起源岩調査補充試験)
 - ルネール起源調査箇所(磁床原砂採取)
 - 重鉱物及びレアアース元素調査箇所(ラテライト性土鑿採取)
 - (ボーリング調査)
 - (ラテライト性土鑿採取)
- 注: 磁床原砂の磁化率の測定, 土鑿の厚さの測定, 土鑿の成分分析, 土鑿の元素分析(ラテライト).

図1-1-3 起源岩調査補充試験試料採取位置図

塘口 (γ_s)

東向断面 (1/100)



総合柱状図 (1/100)

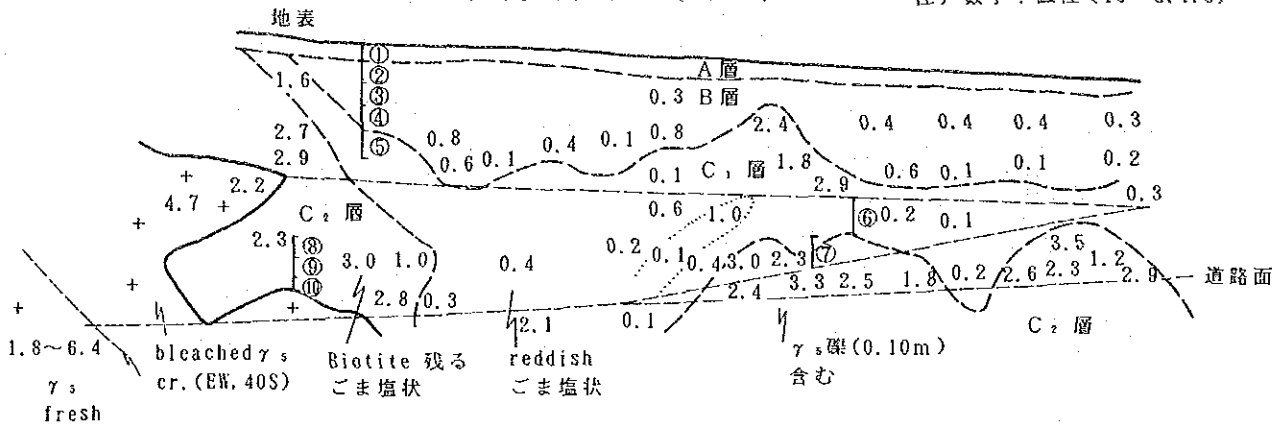
試料番号	(地表)	厚 (m)	色	礫 (結晶) 粒径 (mm)	混入 (%)	主要構成物	固結度	磁 性 ($\times 10^{-3}$ S. I. U)	分帯
① 91301 91401 91501		0.60	br	4	15	-	きざ	0.3	A
② 91302 91402 91502		0.70	br	6	40	Q	}	0.2~0.9	B ₁
③ 91303 91403 91503		0.70	dusky br	6	40	Q, Feld			B ₁
④ 91304 91404 91504		0.60	y. br	7	60	wh Feld, Q	} やや軟質	0.1~0.4	B ₂
⑤ 91305 91405 91505		0.40	y. br	5	60	wh Feld, Q			B ₂
⑥ 91306 91406 91506		0.60	dusky br	7	60	Q, (Feld)			B ₁
⑦ 91307 91407 91507		0.50	red. br	8	70	Q, Feid, Lm	}	0.2~0.4	B ₁
⑧ 91308 91408 91508		1.00	orange br	5	70	wh Feld, Q			0.4~1.1
⑨ 91309 91409 91509		1.00	dusky br	3	90	wh Feld, Q		0.3~1.3	C ₁
⑩ 91310 91410 91510		1.00	y. br	5	-	wh Feld, Q	がさが	0.3~2.2	C ₂
	R91601 (R880829-2)					wh K-Feld, Q カオリン (斑状)		2.5~5.2	γ _s

図 II-1-4 ラテライト性土壌試料採取地点スケッチ(I)

小良 (γs)

西南向断面 (1/200)

注) 数字: 磁性 (10⁻³S. I. U)



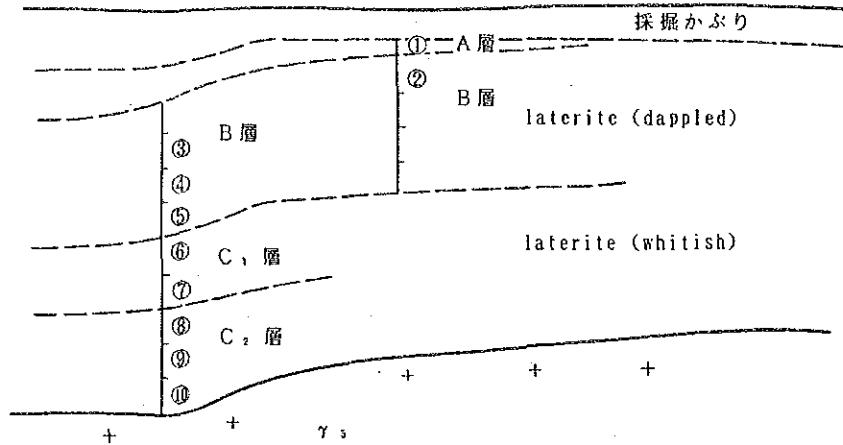
総合柱状図 (1/100)

試料番号	(地表)	厚 (m)	色	礫 (結晶) 粒径 (mm)	混入 (%)	主要構成物	固結度	磁性 (× 10 ⁻³ S. I. U)	分帯
① 91321 91421 91521		0.20	br	20	20	wh Q ^混 (20mm)			A
② 91322 91422 91522		0.70	br					0.3~0.8	B
③ 91323 91423 91523		0.70	(reddish)						
④ 91324 91424 91524		0.70							
⑤ 91325 91425 91525		0.90	reddish ~gray	30	10	(Feld, Biot)	軟質	0~2.9	C ₁
⑥ 91326 91426 91526		1.00							
⑦ 91327 91427 91527		1.00							
⑧ 91328 91428 91528		0.50	ごま塩状	100	30	Pink~wh Feld. Biot., Lm. clay Q.	軟質	1.0~3.5	C ₂
⑨ 91329 91429 91529		0.50							
⑩ 91330 91430 91530		0.50							
R91603 (R890929-5)	+					Pink Feld(10mm), Q Biot. (粗粒)		3~5	γs

図 II-1-4 ラテライト性土壌試料採取点質スケッチ(2)

黄坡 (γ₅)

南向断面 (1/100)



総合柱状図 (1/100)

試料番号	(地表) 厚 (m)	色	礫 (結晶) 粒徑 (mm)	混入 (%)	主要構成物	固結度	磁性 ($\times 10^{-3}$ S. I. U)	分帯
① 91341 91441 91541	0.25	red. br	50	30	γ ₅ 礫 Q, Feld.		0.08~0.12	採掘かぶり A
② 91342 91442 91542	0.55	red. br (dappled)	7	20	clay, Q	軟質	0.06~0.08	B
③ 91343 91443 91543	0.50						0.14~0.66	
④ 91344 91444 91544	0.50						0.06~0.50	
⑤ 91345 91445 91545	0.50						0.04~0.07	
⑥ 91346 91446 91546	0.50	orange ~br.	7	10	Q, Clay. (Feld)		0.04~0.06	C ₁
⑦ 91347 91447 91547	0.45						0.04~0.20	
⑧ 91348 91448 91548	0.50	pale yel. orange ~wh.	10	20	Biotite, wh. Feld, Q, Clay		0.12~0.75	C ₂
⑨ 91349 91449 91549	0.50						0.07~1.34	
⑩ 91350 91450 91550	0.50						0.00~0.94	

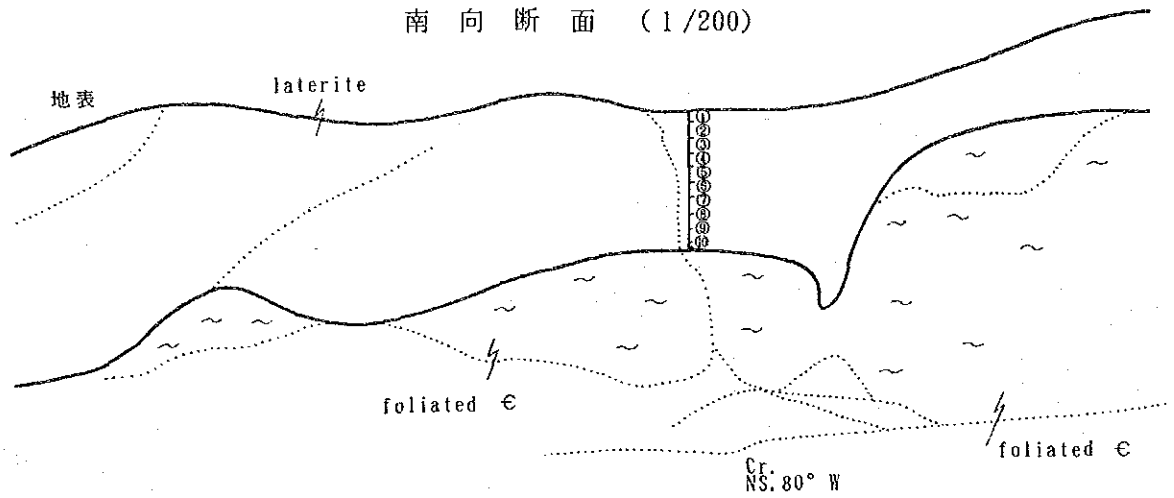
R91605
(R880914-5)

pink Feld,
Biot, Q
(中・細粒)

図 II - 1 - 4 ラテライト性土壌試料採取地点スケッチ(3)

麻崗東 (€)

南向断面 (1/200)



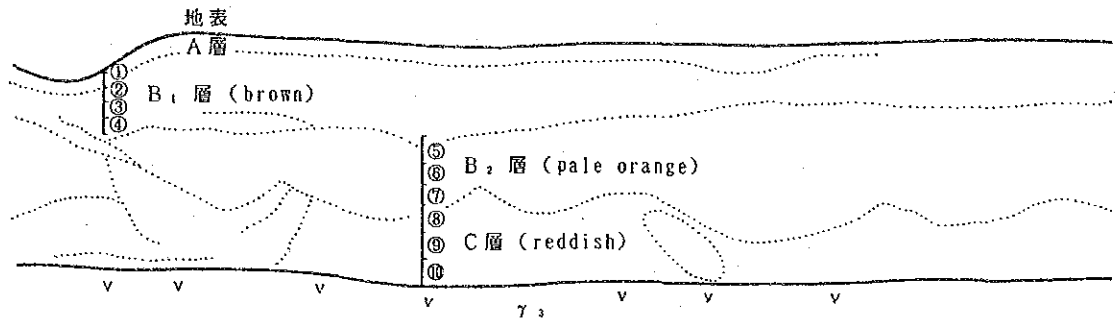
総合柱状図 (1/100)

試料番号			(地表) 厚 (m)	色	礫 (結晶) 粒徑 (mm)	混入 (%)	主要構成物	固結度	磁性 ($\times 10^{-3}$ S. I. U)	分帯
①	91311	91411	91511	0.15	dusky br	15	含 € 礫 (100mm)		0.00	A
②	91312	91412	91512	0.45	"	20				
③	91313	91413	91513	0.45	"	3	含 wh. Q 礫 (70mm)		0.00~0.01	B ₁
④	91314	91414	91514	0.33	"	5				
⑤	91315	91415	91515	0.33	"	3			0.00~0.03	---
⑥	91316	91416	91516	0.45	"	2				
⑦	91317	91418	91518	0.45	"	2	Biotite, Clay } 粘軟質		0.00~0.01	B ₂
⑧	91318	91418	91518	0.45	dusky, 白斑	1				
⑨	91319	91419	91519	0.45	"	1	weath'd € }		0.00~0.08	C
⑩	91320	91420	91520	0.20	reddish br.	5				
R91602 (R890926-5)									0.00~0.20	€

図 II - 1 - 4 ラテライト性土壤試料採取地点スケッチ(4)

良光 (γ₃)

東向断面 (1/100)



総合柱状図 (1/100)

試料番号	(地表)	厚 (m)	色	礫 (結晶)		主要構成物	固結度	磁 性	分帯
				粒徑 (mm)	混入 (%)				
① 91331 91431 91531		0.30	dk orange	1	15	γ ₃ , Q(1 _{mm})		0.00	A
② 91332 91432 91532		0.23	or. ~ br.	2	10	Clay, Q(2)	軟質	0.00~0.05	B ₁
③ 91333 91433 91533		0.24							
④ 91334 91434 91534		0.24							
⑤ 91335 91435 91535		0.40	pale orange	1		muscov.(1) Clay, Q		0.02~0.06	B ₂
⑥ 91336 91436 91536		0.30							
⑦ 91337 91437 91537		0.30							
⑧ 91338 91438 91538		0.40	red	2		Bio. Q Muscov. Feld, Mn	軟質	0.00~0.03	C
⑨ 91339 91439 91539		0.40							
⑩ 91340 91440 91540		0.40							
R91604 (R890919-11)								0.06~0.07	γ ₃

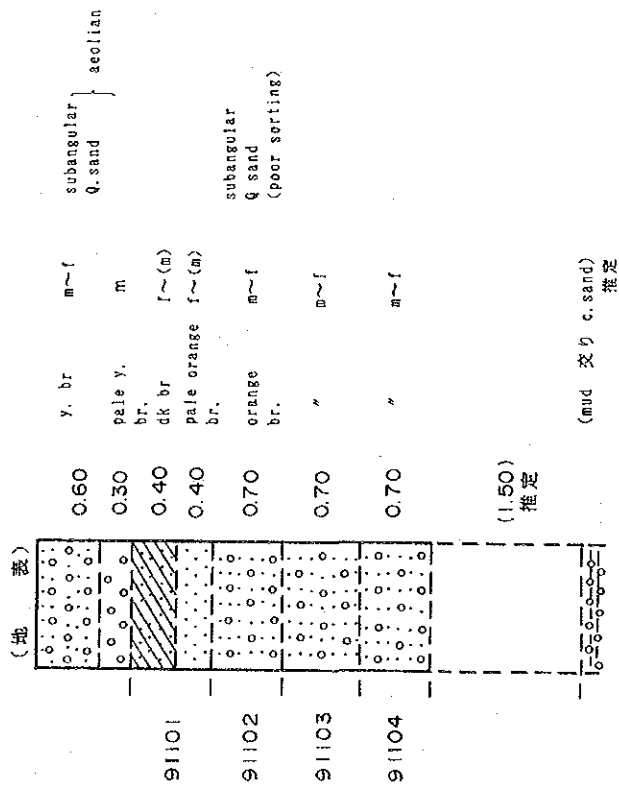
図 II - 1 - 4 ラテライト性土壌試料採取地点スケッチ(5)

延床原砂

試料番号

総合柱状図 (1/70)

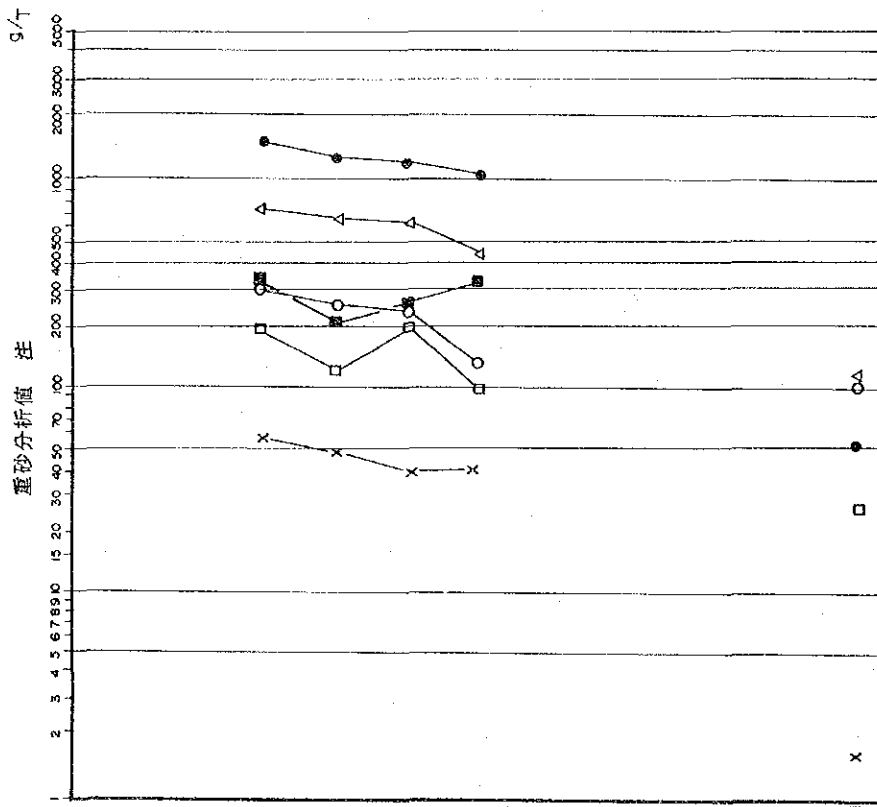
厚 (m) 色 粒度 主要構成物



付:

ラテライト性土壌 (後習地)

91201 (旧 90178E) : ㊦ laterite, red br. muscov. Feid. Q

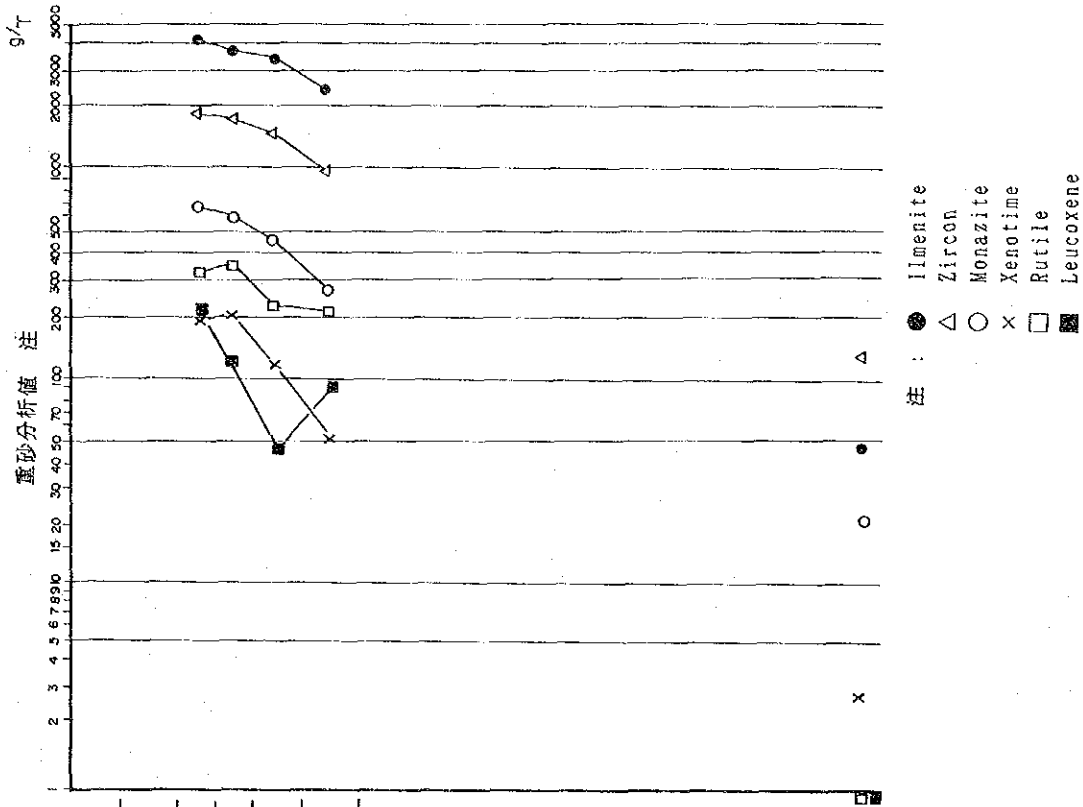
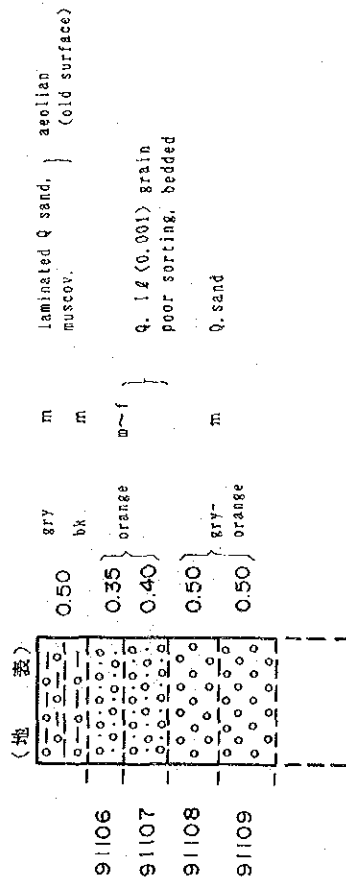


注: ● Ilmenite
 △ Zircon
 ○ Monazite
 × Xenotime
 □ Rutile
 ■ Leucocoxene

図 II - 1 - 5 南山海鉾床採取試料の垂直断面関係図 (採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)

総合柱状図 (1/70)

試料番号 厚 (m) 色 粒度 主要構成物



付: ラテライト性土壌 (後習地)
91202 (旧 90173) : γ; laterite, vel. br. feld. Q

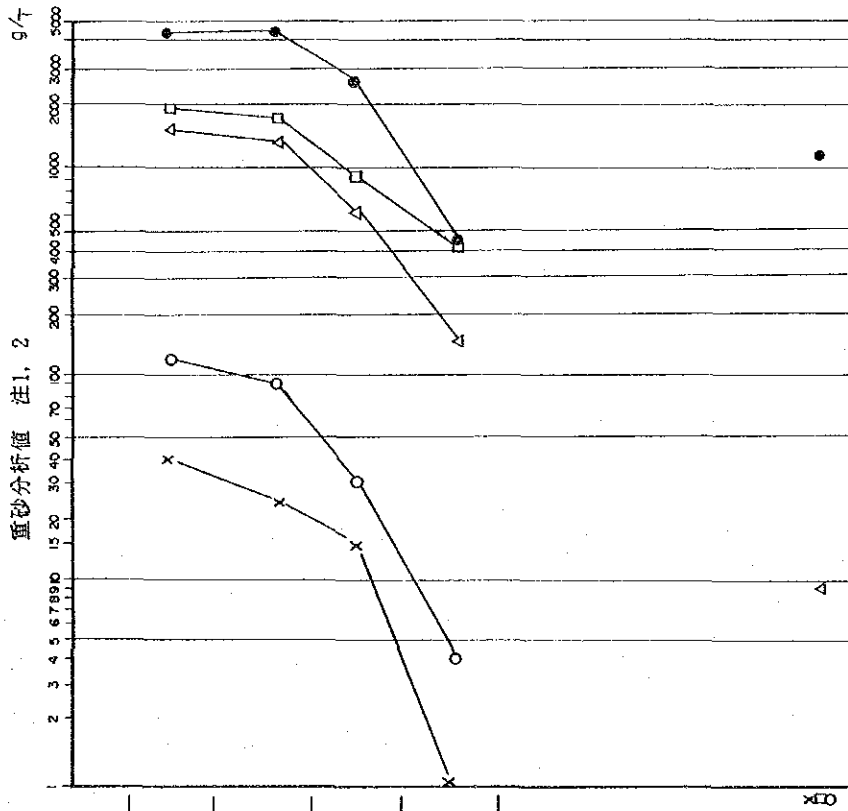
図 II-1-6 沙尾鉱床採取試料の垂直断面関係図 (採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)

鉾床原砂
試料番号

総合柱状図 (1/70)

厚 (m) 色 粒度 主要構成物

試料番号	厚 (m)	色	粒度	主要構成物
223-12-1	0.87	br-gold	f	Q. sand, il
223-12-2	0.90	"	f	"
223-12-3	0.93	gry-olive	f	Q. sand, il, olivin tourmaline, shell
223-12-4	0.97	"	f	"



注1: ● Ilmenite
△ Zircon
○ Monazite
x Xenotime
□ Rutile

注2: 分析値 (g/m³) ÷ 平均含水比 (1.8) = (g/T) を使用
注3: ボーリングデータ及び試料を利用

付:
ラテライト性土層 (後習地)
91203 (旧 890925-8) : Ba laterite, dusky br.

図II-1-7 東里鉾床採取試料の垂直断面関係図
(採取地点スケッチ-柱状図, 重砂分析値)

取した。南山海鉱床では、鉱床西部（第3年次調査の1号W採掘場の陸地側約700m地点）の風成被覆部直下の中～細粒砂層（厚さ2.90m）をえらび、また、沙尾鉱床では、現在農民による採掘が全く行われておらず、第3年次の調査壁は選鉱尾砂が混入するため、この地点より約60m東側の壁面にある風成被覆部直下の中粒砂層（厚さ1.75m）をえらんで試料を採取した。なお、東里鉱床については第1年次ボーリング調査時のボーリングコア中国側控試料（新寮島上盤鉱体着鉱部 223-12-1～4）を利用した。

さらに、各鉱床後背地のラテライト性土壌試料はそれぞれ1地点で、南山海ではカンブリア系€，沙尾ではカレドニア期 γ_3 ，東里では玄武岩類Baの上部のものを採取した。

次にラテライト性土壌中の重鉱物構成元素の挙動解明のための試料は、陽江・湛江両地区の基盤岩類のうち γ_3 ， γ_3 ，€の分布域から代表的な箇所5地点をえらび、各地点で岩石1箇及びその直上のラテライト性土壌を10層に区分して各層からX線回折用，元素分析用，重砂分析用に3個ずつの試料を採取した。

(3) 採取試料リスト及び室内試験内訳表を巻末資料1-13に示した。

本年度の試料の採取は、前年度までに作成した縮尺1:50,000の地質図などを利用して実施した。サンプリングの細部は調査スケッチ（図II-1-4，II-1-5，6，7）に明示した。調査スケッチは1:70～1:200の縮尺で作成し、観察事項を記載した。調査事項の中には基盤岩類、同風化断面のラテライト性土壌及び鉱床原砂層の分布、産状をはじめ調査にあたって実施した写真撮影やKappa meter（携帯用KT-5型帯磁率計）による帯磁率の測定結果も含まれている。なお、ラテライト性土壌の試料番号は分析内容に応じて、百位の数値を

3；重砂分析

4；X線回折

5；元素分析（岩石は6）

と区別した。

1.2.3 調査班の編成

現地調査は日本人技術者2名，中国側技術者1名，通訳1名，ジープ1台（運転手1名）により実施した。

1.3 鉱床原砂中のルチルの起源について

1.3.1 問題の所在

当地域に分布している火成岩，変成岩をみると，その代表的岩種であるカレドニア期混合花崗岩類（ γ_3 ）やカンブリア系片麻岩・混合岩類（€）ならびに燕山期花崗岩類（ γ_5 ），玄武岩類（Ba）のいずれに関して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。

一方，ルチルが当該調査地域外の遠隔地に起源をもち，そうした遠隔地から大河川によって運

表Ⅱ-1-3 南山海, 沙尾鉍床の重鉍物試料の化学成分分析, EPMA分析項目

試料種類	鉍床	試料番号	分離重鉍物	化学成分分析	研磨薄片		面分析				線分析	点分析		
					透過光	反射光	Compo	Fe	Ti	O				
鉍床	南山海	91101	I ℓ	○	○	○								
			Le ニ	} ○	○	○	○	○	○	○			本文説明 ⑤	
			Le ホ		○	○	○	○	○	○	○	○		
			Le ヘ		○	○								
			Le ト		○	○	○	○	○	○				
	Rt	○												
	山	91102	I ℓ	○										
			Le イ	} ○	○	○	○	○	○	○				
			Le □		○	○	○	○	○	○	○	○	" ⑥	
	Rt	○												
	海	91103	I ℓ	○										
			Le	○										
			Rt ハ	○	○	○								
	原	91103	I ℓ	○										
			Le	○										
			Rt	○										
	砂	南山海	91106	I ℓ	○	○	○							
				Le ニ	○	○	○							
				Rt ホ	} ○	○	○							
				Rt ヘ		○	○							
山		91107	I ℓ	○										
			Le	○										
			Rt	○										
尾		91108	I ℓ	○										
			Le	○										
			Rt	○										
尾	91109	I ℓ	○											
		Le イ	} ○	○	○	○	○	○	○	○	Line 4		" ⑦	
		Le □		○	○	○	○	○	○					
		Le ハ		○	○	○	○	○	○	○	Line 13	○	" ⑧	
Rt	○													

注1: 上記全試料を検鏡により適当粒を選別して研磨片(○印)を作成, さらに面分析以下の分析を行なう。
 2: 備考欄 ⑦→⑧とLine 4, 13, 6を本文中説明。
 3: Compo(反射電子像)。

表Ⅱ-1-4 東里鉍床及び各鉍床後背地の重鉍物試料の化学成分分析, EPMA分析項目

試料種類	鉍床	試料番号	分離重鉍物	化学成分分析	研磨薄片		面分析				線分析	点分析		
					透過光	反射光	Compo	Fe	Ti	O				
鉍床 原砂	東里	223-12-1	Iℓ	○										
			Le	○										
			Rt イ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	本文説明 ㊸
			Rt ロ		○	○								
			Rt ハ		○	○	○	○	○	○	○	○		
		223-12-2	Iℓ	○	○	○								
			Le	○	○	○								
			Rt	○										
		223-12-3	Iℓ	○										
			Le	○										
	Rt		○											
	223-12-4	Iℓ	○											
		Le ニ	○	○	○									
		Le ホ		○	○	○	○	○	○					
			Rt	○										
後背地の ラテライト性土壌	南山海	91106	Iℓ	○										
			Le	○										
	沙尾	91107	Iℓ	○										
			Le	○										
	東里	91108	Iℓ	○										
			Le	○										
南山海, 沙尾, 東里 鉍床及び後背地の 合計		42件 (重鉍物別)	12件 (重鉍物別)		10件				6件	4件				

注1: 上記全試料を検鏡により適当粒を選別して研磨片(○印)を作成, さらに面分析以下の分析を行なう。
 2: 備考欄 ㊸→㊹とLine 4, 13, 6を本文中説明。
 3: Compo (反射電子像)。

搬されてきたものではないかという仮説が成立する可能性も、前年度の大河川調査の結果、ほとんどないことが判明した。

つまり本地域では、ルチルを含有する起源岩が存在せず、したがってルチルについては他の重鉱物のように起源岩にもともと含まれていた重鉱物が風化・侵食・運搬というプロセスを通して濃集したという考え方は成立しない。したがってルチルは残された唯一の可能なプロセスであるイルメナイトの「変質」の過程において形成されたものであると考えるのが妥当である。このようなプロセスでルチルの起源を説明することが不適當ではないことは前年度実施した南山海及び沙尾の試料に関するイルメナイトとルチルの試験的分析結果から示唆されていた。

実際、オーストラリアなどにはイルメナイトの酸化及び引きつづくFe分の離脱によって形成されたルチル鉱床が現実に存在する。そこで、第5年次は、南山海、沙尾及び東里鉱床の原砂試料をそれぞれ上下4層準に区分して採取し（但し、東里は既採取ボーリング控試料を利用）、また、各鉱床の後背地のラテライト性土壌を採取し、これらに対して各種の室内試験を行うことにより、イルメナイトの変質過程でルチルが形成されたとする考えを検証した。

1.3.2 試料の分析

鉱床原砂中のルチルの起源を明らかにする目的で、採取した試料を対象に重砂分析、重鉱物単体分離処理、化学成分分析、研磨薄片作成、EPMA面・線・点分析をそれぞれ実施した。各分析法の概要を以下に述べる。

重鉱物の単体分離処理以降の項目を表Ⅱ-1-3、4に示した。分析件数は表Ⅱ-1-5のとおりである。

表Ⅱ-1-5 鉱床原砂、ラテライト性土壌及び同分離重鉱物分析件数

分析法	件数	内 訳 (表Ⅱ-1-3参照, 記号のみは1件をさす)
重砂分析	11	鉱床原砂8, ラテライト3
重鉱物単体分離	42	3鉱床×4層×Iℓ, Le, Rt+3ラテライト×Iℓ, Le
化学成分分析	42	”
研磨薄片作成	12	南山海Iℓ, Le2, Rt, 沙尾Iℓ, Le2, Rt, 東里Iℓ, Le2, Rt
EPMA面分析	10	南山海Le5, 沙尾Le2, 東里Le, Rt2
EPMA線分析	6	南山海Le2, 沙尾Le2, 東里Rt2
EPMA点分析	4	南山海Le2, 沙尾Le, 東里Rt

注; Iℓ; イルメナイト Le; 白チタン石 Rt; ルチル

(1) 重砂分析は、鉱床原砂ならびにラテライト性土壌の重鉱物含有量を調べ、これらがルチルの起源を検討する素材として不適當なものではないことを確かめる目的で実施した。分析は中国側

分析所において行い、テーブル重選と電磁選を用いている。基本5鉱物のイルメナイト、ルチル、ジルコン、モナザイト、ゼノタイムを分離するが、ほかに一部白チタン石(Leucoxene)の含有量を鏡下で推定計算している。

これらの重鉱物のうち、イルメナイト、白チタン石、ルチルは次の化学成分分析、EPMA分析などに使用した。

(2) 重鉱物単体分離処理

中国側重砂分析により分離したイルメナイト、ルチルの純度はそれぞれ93~98%、40~90%であり、成分分析、EPMA分析用試料としてはさらに精選が必要であった。このために、南山海、沙尾、東里鉱床原砂より各断面上4地点のイルメナイト、白チタン石、ルチル及び同後背地のラテライト性土壌より各1地点のイルメナイト、白チタン石を対象に合計42試料の精選を実施した。

重鉱物の精選はフランツ磁選機 (Franz Isodynamic Magnetic Separator (Model L1)) を用いて行った。

各試料からの不純物の除去のうち、磁鉄鉱の分離は、セパレーターの条件を表II-1-6のように設定し、磁鉄鉱、くさび石 (Sphene) を高磁側に落下除去させた。イルメナイト、ルチル、白チタン石は低磁側に濃集する。

表II-1-6 フランツ磁選機分離条件

重 鉱 物	電 源 (A)	Vertical slope (°)	Side Tilt (°)
磁 鉄 鉱	2 ~ 3	25	22
イルメナイト	2.5 ~ 3.5	10 ~ 20	20
白チタン石	2.5 ~ 8	8 ~ 15	5 ~ 12
ル チ ル	3 ~ 4	8 ~ 12	5 ~ 10

イルメナイトの精選は、その後、セパレーターの条件を表II-1-6のように設定し、イルメナイトを高磁側に濃集した。ルチルや白チタン石は低磁側に入る。

白チタン石の精選は、さらにその後、セパレーターの条件を表II-1-6のように設定し、白チタン石を高磁側に濃集した。ルチルやジルコンは低磁側に入る。

ルチルの精選は、磁鉄鉱、イルメナイトと白チタン石の除去後、セパレーターの条件を表II-1-6のように設定し、ルチルを低磁側に濃集した。ジルコンは高磁側に除去される。

(3) 化学成分分析

上記により精選分離した重鉱物 (イルメナイト、白チタン石、ルチル) につき FeO, Fe₂O₃, TiO₂の含有量を調べるため、これを化学成分分析 (42試料) に供した。分析精度はそれぞれ0.01%である。

(4-1) 研磨薄片作成及び鑑定

精選分離重鉍物より、とくにとり出した重鉍物粒子12試料の研磨薄片（重鉍物粒を樹脂で固めて作成）を用いて、イルメナイトの変質状況の確認ならびにE P M A分析に供する試料の選定などのため透過顕微鏡及び反射顕微鏡下で鉍物鑑定を行った。なお、試料は特定の鉍床にかたよらないように選んだ。研磨薄片の顕微鏡写真を巻末資料1-2に示した。

(4-2) E P M A面分析

研磨薄片で鑑定した12試料のなかから、代表的な重鉍物粒子（変質度の差が色彩、濃淡にあらわれ光学反射能の異なる粒子）を10粒選び、E P M Aの面分析を実施し、組成像写真を作成した。

E P M A分析装置は日本電子製CMA-733型である。分析元素はTi, Fe, O, Caの4元素で、一部試料ではMnの元素も追加している。さらに反射電子像写真もこれら組成像写真に添付した。E P M A面分析結果を巻末資料1-3に示す。線分析及び点分析についても、同様の装置を使用した。

(4-3) E P M A線分析

E P M A面分析を実施した10粒子のうち、代表的な6粒子を選び、E P M A線分析を実施した。線の設定は光学反射能の異なる部位をクロスするように同一粒子内で平行に実施している。1試料あたりの線分析の長さは3mmである。線分析元素は主にFe, Ti, O, Caである。線分析の条件は表II-1-7のとおりである。

線分析実施箇所を巻末資料1-4に示す。

(4-4) E P M A点分析

E P M A線分析を実施した6粒子のうち、代表的な4粒子について点分析を実施した。点分析数は1粒子につき20点である。点位置はランダムに設定した。点分析元素はO, Ca, Ti, FeおよびMnである。標準試料にはTiO₂, CaF₂, Fe₂O₃, MnSiO₃を使用し、標準試料と測定試料の特性X線（物質を構成する元素によって固有に発生する）強度比をZ A F補正し、点の組成を求めた。点分析実施箇所を巻末資料1-4に示す。

表II-1-7 E P M A線分析条件

鉍床	試料番号	O (k. c. p. s)	Ca (k. c. p. s)	Fe (k. c. p. s)	Ti (k. c. p. s)	粒子記号
南山海	91101 Le (ホ)	20	20	50	2	—
	91102 Le (ロ)	20	20	50	2	◎
沙尾	91109 Le (イ)	10	2	50	1	Ⓐ
	91109 Le (ハ)	20	20	50	2	Ⓓ
東里	223-12-1 Rt (イ)	20	2	20	2	Ⓔ
	223-12-1 Rt (ハ)	20	2	50	2	—

注1. k. c. p. s ; キロカウント・パー・セコンド

注2. 試料走査速度 50 μm/分

記録紙スピード 5 cm/分

1.3.3 調査データ

(1) 重砂分析結果を巻末資料1-7及び8（後段）に掲げる。

南山海，沙尾鉍床の8試料のデータは本年度の分析結果で，東里鉍床の4試料のデータは第1年次分析結果を利用した。これらの重砂分析値は前掲柱状図（図Ⅱ-1-5～7）に揭示し，断面上の重鉍物含有量変化を示した。

(2) 化学成分分析

単体分離処理したイルメナイト，白チタン石，ルチルの試料（42件）の化学成分分析結果は，巻末資料1-1変質チタン鉍物の化学構成(1)，(2)の該当欄に掲げた。本表には，ルチルの起源の解析に必要な各種解析値を計算してあわせて掲載した。

(3) 研磨薄片作成並びに鑑定

代表的なイルメナイト，白チタン，ルチル鉍物粒子などの顕微鏡写真を巻末資料1-2に掲げる。

(4-1) EPMA面分析

顕微鏡で変質状況が認められたイルメナイト、白チタン石、ルチルの代表的粒子10件に対してEPMA面分析を実施した。その結果を巻末資料1-3に示す。

(4-2) EPMA線分析

面分析10件のうち6件(1件延3mm)についてFe, Ti, Ca, Oに関する線分析を実施した。この6件のうち、代表的な3線(91109 Le IのLine 4, 91109 Le IIのLine 13, 223-12-1 Rt IのLine 6)の結果を巻末資料1-5にとり出した。

(4-3) EPMA点分析

線分析を行った試料のうち4件についてFe, Ti, Ca, Oに関する点分析による定量分析を行った。その結果は巻末資料1-6のとおりである。

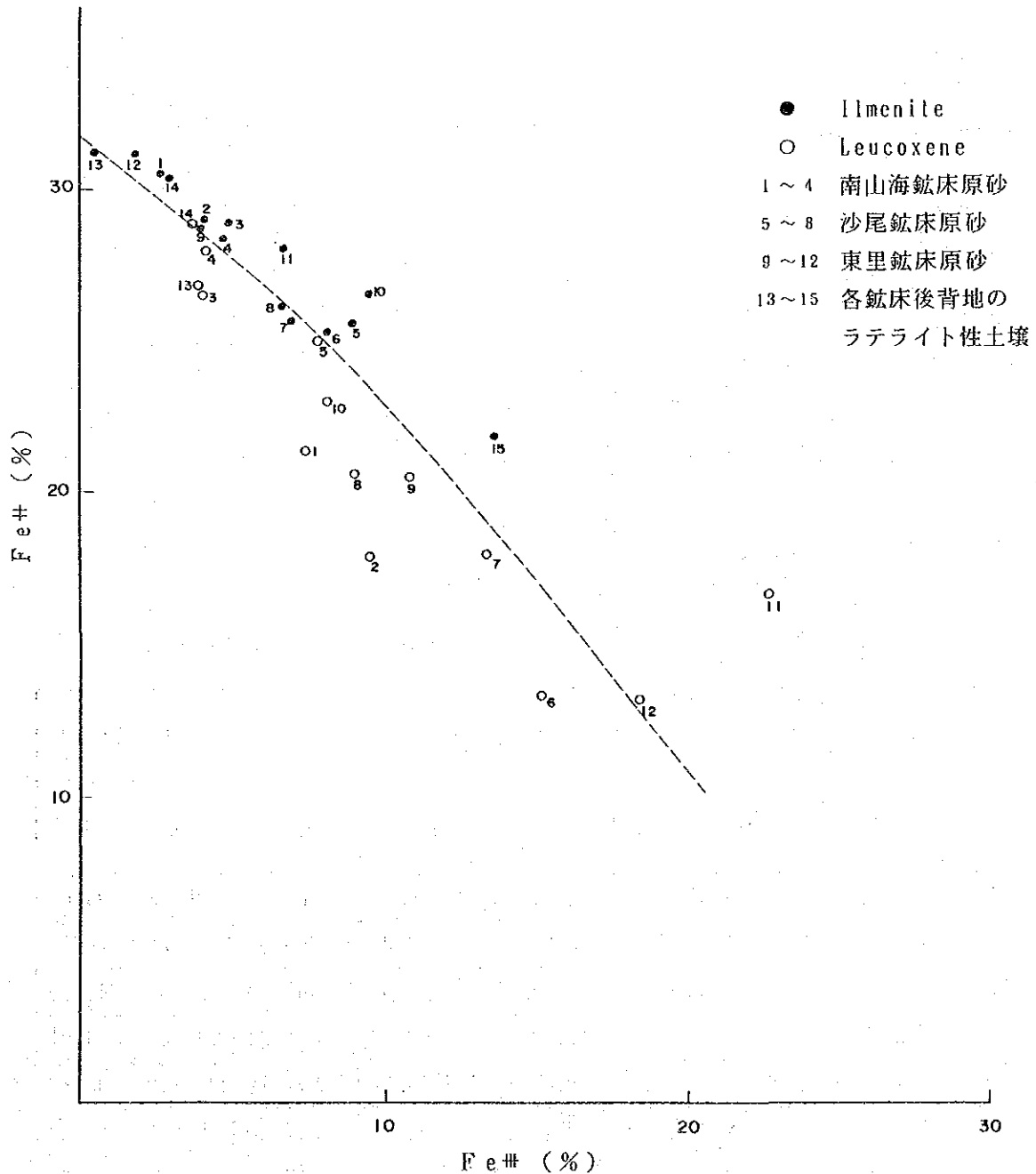


図 II - 1 - 8 変質チタン鉍物の Fe^{II} - Fe^{III} 関係図

1.3.4 調査結果の解析

前項の調査，分析データを用いて次の解析を行った。

(1) 各鉱床原砂の重砂分析結果，分離したイルメナイト，ルチル及び白チタン石（一部）が各鉱床原砂の高品位部を代表しているものであり，解析対象として妥当な試料であると考えられた。

上記重砂分析分離チタン鉱物をさらにフランス磁選機や顕微鏡下で単体分離処理を厳密に行い，化学成分分析，EPMA分析の対象試料に供した。

(2) 巻末資料1-1（Fe%欄）のデータを利用してイルメナイトと白チタン石のFe^{II}量とFe^{III}量との関係を図II-1-8に掲げた。図中の破線は全体の傾向を示すために描いたものでそのほかの意味はない。一般にFe^{III}は酸化によってFe^{II}から形成されるので，ここにあらわれている傾向は各々の鉱物がイルメナイトから白チタン石に向け酸化の進行途上にあることを示しているともみてよい。

(3) 東里地区の鉱床には，層準の異なる鉱体があるので，ここで風化・酸化の進行している上盤鉱体（東里半島），上盤鉱体（新寮島）と風化・酸化の少ない中盤鉱体との比較において白チタン石，ルチルの形成との関係を調べてみたところ，中盤鉱体においては，白チタン石+ルチルの合計量のイルメナイト量に対する比率は低く，一方，上盤鉱体においてはこの比率は高いことが判明した。

その状況は次表II-1-8のとおりである。

表II-1-8 東里地区鉱床のイルメナイト，白チタン石，ルチルの含有量比較

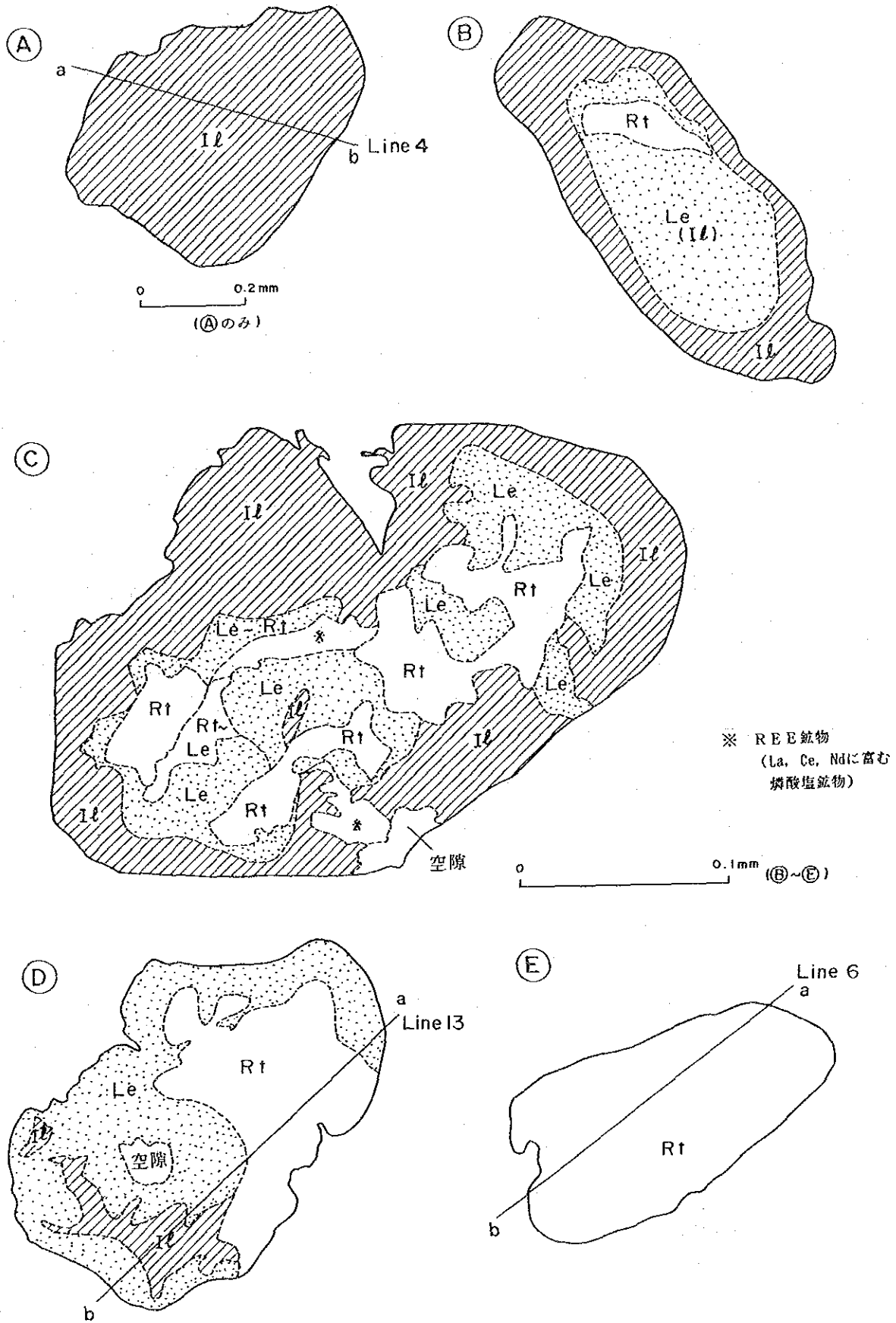
	ホ-リング孔	深 度 m	コア長 m	含有量 (g/m ³)			Le+Rt (g/m ³)	Le+Rt I ℓ %
				I ℓ	Le	Rt		
上盤鉱体 (東里半島)	123-11-3	2.00~3.00	1.00	2171.03	476.41	262.82	739.23	34.05
"	111-13-8	6.90~7.90	1.00	8430.57	913.86	1299.00	2212.86	26.25
" (新寮島)	200-21-2	1.00~2.00	1.00	3496.00	1094.00	363.83	1457.83	41.70
" (")	205-5-4	2.40~3.40	1.00	7198.75	896.94	831.81	1728.75	24.01
" (")	211-5-3	2.00~3.00	1.00	8782.19	2185.94	877.19	3063.13	34.88
中盤鉱体	206-13-2	1.00~2.00	1.00	3316.71	391.10	312.60	703.7	21.22
"	212-25-3	2.00~3.00	1.00	2275.93	414.07	177.90	591.97	26.01
" (?)	212-24-9	8.00~9.00	1.00	2304.38	32.25	294.75	327.00	14.19
"	216-3-1	0 ~1.00	1.00	4075.73	80.67	428.40	509.07	12.49
"	230-2-2	1.00~2.00	1.00	2220.27	11.22	279.46	290.68	13.09

注：第5年次重砂多項分析結果参照

(4) 顕微鏡により、チタン鉱物粒子を透過光及び反射光下で観察し、イルメナイト、白チタン石及びルチルなどの変質状況を詳細に調べた(巻末資料1-2)。イルメナイトの変質過程は、しばしば観察されるが、その各段階の事例として①~⑤を図Ⅱ-1-9及び巻末資料1-2に示した。粒子①は、のっぺりとした半角形のイルメナイトであり、長円形の粒子②は、中央部はイルメナイトを挟在しながら大半は広く白チタン石が占め、その一部(左上)にはルチルの明色部が認められ、一方、外縁部はイルメナイトが顕著な帯状構造をしている。粒子③は帯状構造はあまり明らかでないが、イルメナイト、白チタン石、ルチルが不規則に共生している。空隙のある部位が白チタン石、ルチルが多い。

また、粒子④では湾状部のルチルと、その外側に広くとりかこむ白チタン石の共生がきわだっており、左下の白チタン石中には食い残し状のイルメナイトが認められる。粒子⑤は全粒子が長円形のルチルである。

上記の①~⑤の観察結果からイルメナイト①は白チタン石②、③、④を経て、ルチル⑤に変化してきたことを明瞭に読みとれる。すなわち、鏡下の観察によれば、イルメナイトは白チタン石を部分的にさまざまな程度に含有し、また白チタン石はルチルを含んでおり、イルメナイトの一部が白チタン石に変化し、さらにそれがルチルに変化していることが明らかである。なお、しばしばちりめんじわ状の赤鉄鉱-白チタン石-イルメナイト離溶共生体(赤鉄鉱が主)や、赤鉄鉱の三角格子~塊状組織がみられる(巻末資料1-2 顕微鏡写真91106 Le, 223-12-2 1ℓ参照)。これは白チタン石からルチルが形成される際に白チタン石中の Fe_2O_3 が赤鉄鉱として溶脱していることをあらわすものと考えられる。



図II-1-9 変質チタン鉱物説明図 (A~E)

(5) 顕微鏡下で粒子をえらび、次のEPMA分析をすすめた。その結果を顕微鏡下でイルメナイトから白チタン石を経てルチルにいたる変質過程をあらわしている④～⑥の粒子に注目しながらみると次のとおりである。

(5-1) 面分析の結果は、④から⑥に向け順次粒子がTi成分が富んでいく様子がうかがえる。すなわち、粒子④は、Ti、Fe組成像が同じ濃度で一様にみられこの粒子がイルメナイトであることを示している。粒子⑤では長円形中央部に高Ti部が残りFe分の脱離が認められ、イルメナイトが変質していることが示されている。粒子⑥も中央部に広く高Ti部がみられ、Fe分脱離が顕著になり、白チタン石、ルチルが形成されていることがわかる。さらに粒子⑥では湾状部の完全なFe分脱離、高Ti部分（ルチルの形成）が現れている。粒子⑥は粒子全体においてFe分の組成像が現出せず、これがTi分の高いルチルであることを示している（巻末資料1-3）。

(5-2) 線分析の結果は、上記面分析の結果をさらに明瞭にあらわしている。これらの線は粒子④⑤⑥中の光学的反射能の異なる部位をクロスしており、④はFe、Tiがほぼ一様に存在していること、⑤ではFeが脱離し相対的にTi比率が高まっていること、⑥では全体が高Ti領域になっていることが示されている。（巻末資料1-5）。

(5-3) 点分析の結果によれば、イルメナイト、白チタン石（④⑤など）はTi品位31～61%、Fe品位0.3～34%で、一方、ルチル（⑥）は、Ti品位59～61%、Fe品位0.0～0.3%の範囲の測定値が得られた（巻末資料1-6）。白チタンの場合（④⑤）も、顕微鏡下でルチル化のすすんだ部位は、Ti品位が60%付近になっている。

これらの解析の結果、次のことがいえる。

すなわち、EPMA面分析によるTi、Fe組成像や、同線分析によるTi、Feカーブ、さらに同点分析によるTi、Fe定量分析結果は、チタン鉱物の変質に関わる顕微鏡の観察結果と一致しており、イルメナイト④から白チタン石⑤⑥⑦を経て、ルチル⑧にいたるチタン鉱物の酸化変質過程を反映して、イルメナイトの変質によりルチルが生成したとする考え方を支持している。

(6) 巻末資料1-1 変質チタン鉱物の化学構成(1)(2)のチタン・鉄成分比の42組のデータを、 TiO_2 （ルチル）、 $FeO \cdot TiO_2$ （イルメナイト）及び $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ を頂点とする三角ダイヤグラムにプロットした。

図II-1-10（上）は沙尾鉱床試料の分析データによる三角ダイヤグラムである。これから次の事実が明らかである。

(イ) イルメナイト（●印）は $FeO \cdot TiO_2$ 頂点付近に TiO_2 56～57%、FeO（ $FeO + Fe_2O_3 = 100$ として）72～78%の領域にある。

(ロ) その右側の TiO_2 57～62%、FeO 45～74%の比較的広い領域に白チタン石（○印）として分類された鉱物の領域がある。

(ハ) ルチル（△印）とされた鉱物は TiO_2 81～96、FeO 13.5～33%とかなり細長い領域にまたがっている。

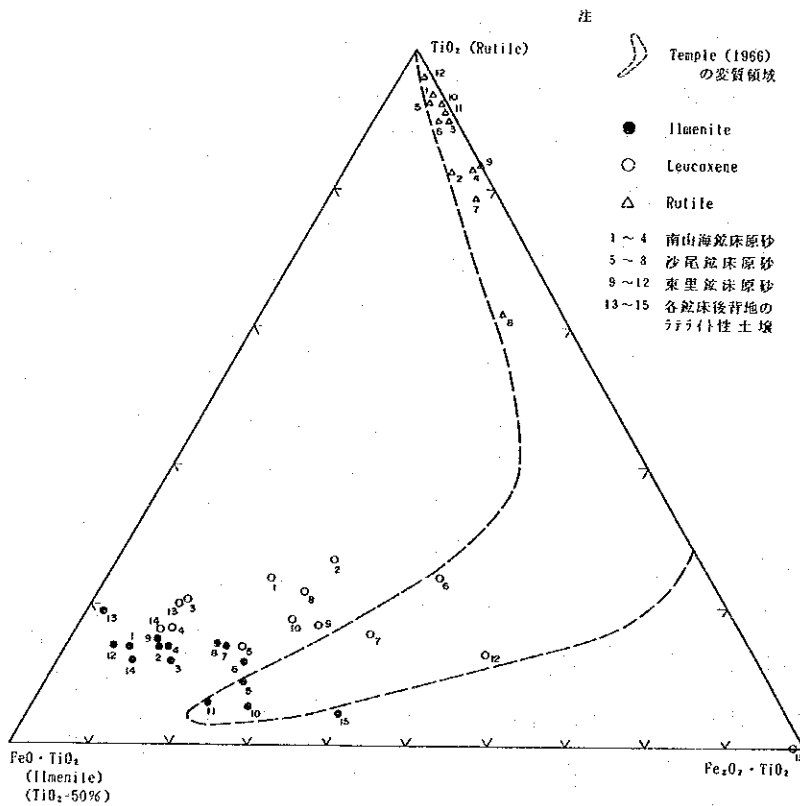
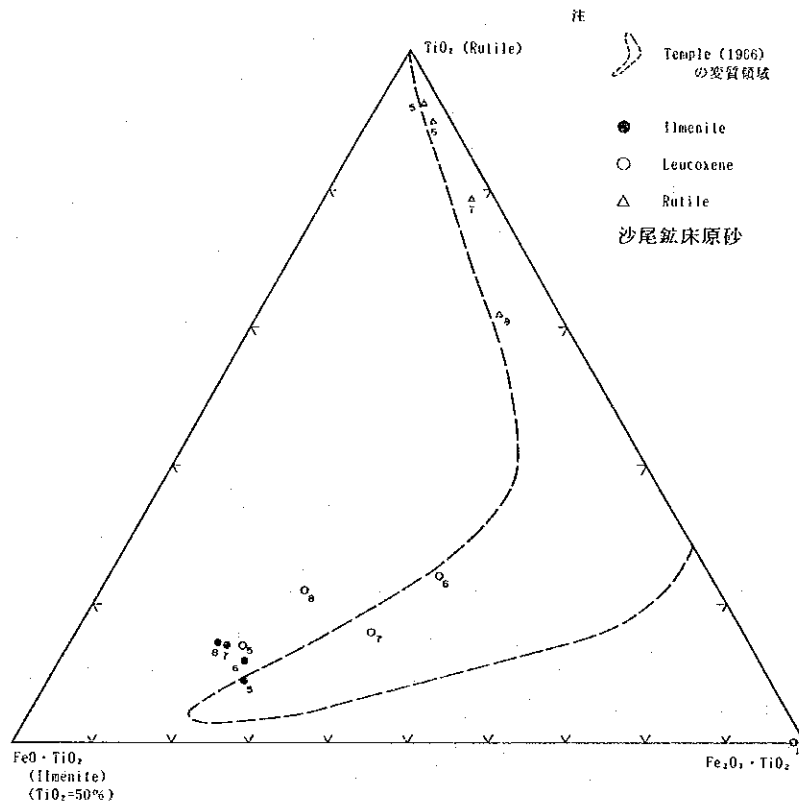


図 II - 1 - 10 変質チタン鉍物の化学構成

図Ⅱ-1-10(下)は沙尾のほかに、南山海、東里両鉱床のデータも含めた全試料のデータをプロットしている。これを一見して、沙尾鉱床試料に関する三角ダイヤグラムと同様に、イルメナイト、白チタン石、ルチルとして分離された鉱物がそれぞれかなり広い範囲に化学組成をもっており、特定の組成成分の鉱物を代表するものではないことが明らかである。

(7) 南山海、沙尾、東里の各重砂鉱床の後背地の地質母体直上のラテライト性土壌試料にもチタン鉱物が含まれている(巻末資料1-8(3))。このうち、沙尾及び東里の後背地の試料ではチタン鉱物はほとんどイルメナイトのみであるが、南山海後背地の試料からはルチルも見出されている。このことは、東里鉱床における前記(3)の事実とあわせて考えると、イルメナイトの酸化によるルチルの形成が一部後背地で生じているが、主として重砂鉱床として堆積したあとにこの酸化によるルチルの形成がおこなわれていると考えられる。

1.3.5 考 察

(1) 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^{2+} が Fe^{3+} に変化し $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 成分を或る程度含有するにいたることが広く知られている(たとえば、文献 Mackey, T. S. 1972, Temple, A. K. 1966, 山田新一 1978)。当地域のイルメナイト及び白チタン石についてその Fe^{2+} と Fe^{3+} の関係を調べた図Ⅱ-1-8では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。

(2) 東里鉱床の上盤鉱体、中盤鉱体の白チタン石、ルチルの量の比較では、風化・酸化のよりはげしいと思われる上盤鉱体において白チタン石+ルチルの合計量のイルメナイト量に対する比率が高い傾向がある。

(3) 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鉱物は顕微鏡観察の結果、(イ)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が、(ロ)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、(ハ)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、(ニ)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という事実が明らかになった。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。

(4) 上記の顕微鏡観察の結果は、このような変化の程度を示す5個の代表的粒子①、②、③、④、⑤のEPMA分析によってさらに明確に確認された。

すなわち、このEPMA分析結果では、イルメナイトは変質して部分的に白チタン石に変化しそこからルチルが形成されていることが明らかになった。

(5) 分離されたチタン鉱物(イルメナイト、白チタン石、ルチル)の化学分析結果を TiO_2 — $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ — $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ の三角ダイヤグラム上で検討してみると、これらの3種の分類チタン鉱物はそれぞれ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成分の含有量が変化したものであることが明らかとなった。この三角ダイアグラムから読みとれる結果は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當ではないことを示している。

(6) オーストラリア、アメリカのチタン鉱床について研究した Temple (1966)によれば、イルメナイトの酸化によってFe^{II}がFe^{III}に変化するとFe₂O₃成分は赤鉄鉱となって溶脱するため鉱物中のTiO₂比率が上昇し、このプロセスの進行によってルチル(TiO₂)が形成されることが確認されている。われわれの検討では、この過程にまで踏みこむことはしなかったが、上記の各種データの中にこうしたプロセスに対し、これを許容しにくいデータは全くない。そればかりでなく、顕微鏡の観察結果(巻末資料1-2の91106 Le, 223-12-2 Iℓ), 赤鉄鉱と白チタン石、イルメナイトの離溶現象が明らかにみられている。

(7) 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、主として重砂鉱床として重鉱物が堆積したあとにおこなわれていると考えられる。

1.4 ラテライト性土壤中の重鉱物構成元素の挙動について

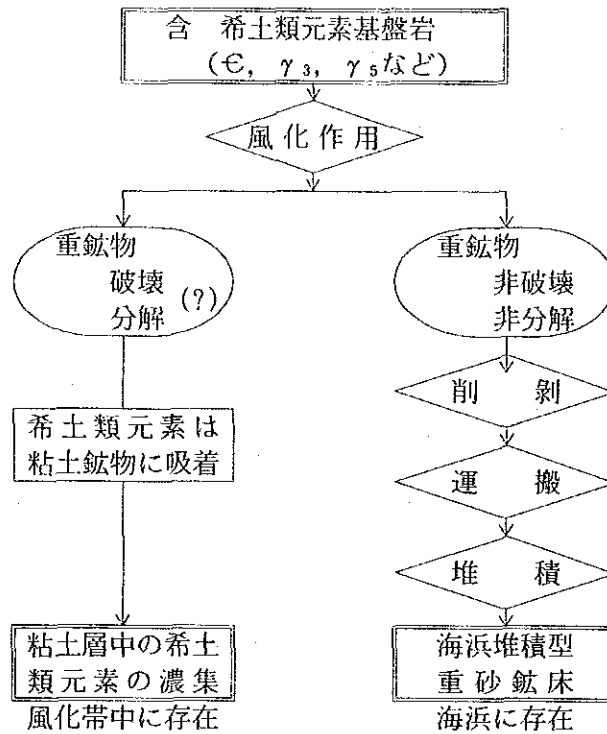
1.4.1 問題の所在

本調査地域の重砂鉱床を構成する重鉱物は、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・剝離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鉱物は、風化殻(ラテライト性土壤)中に残留する。通常、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、風化殻中の重鉱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るが、これまでの調査においては、多数の地点ではこのような期待どおりではなく、風化殻中の重鉱物含有量が基盤岩中のそれより必ずしも大きくなかったので、一部の重鉱物は破壊・分解されているのではないかと考えられた。そこで風化過程における重鉱物構成元素の挙動に関する総合的な解析が必要となり、この点を本年度の補充試験のテーマのひとつとした。なお、この検討の目的は重砂鉱床を形成する重鉱物の構成元素の挙動を追求することにあるが、ラテライト性土壤中の「重鉱物構成元素」は、そうした重鉱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鉱物にも由来することから、これらの元素の総称を「重鉱物構成元素」としては不都合な場合は「希土類等元素」とした。その表わすところは23元素(表I-1-2)である。

以上の考え方について簡潔にまとめたものを図II-1-11に示す。

重鉱物の濃集過程は、前年度までの調査においては破壊・分解されない重鉱物を対象にしており、これはこの図の右側に示されている。

本年度の調査のテーマは、破壊・分解された重鉱物を対象としており、図の左側に示した。



図Ⅱ-1-11 風化殻中の希土類元素の挙動に関する考え方

1.4.2 試料の分析

基盤岩類の風化過程で破壊された重鉱物構成元素の挙動の解析については、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、あるとすれば風化殻断面のどの層準に濃集し、またその層準はどのような特徴をもっているかを把握することを目的として、代表的な地点で試料を採取し、各種分析を行った。

分析試料の採取にあたっては、前項(1.2.2)で述べたように、陽江・湛江両地区の基盤岩類(γ_5 , γ_3 , ϵ)の分布域から代表的な5地点をえらび、各地点で岩石及び直上のラテライト性土壤(10層区分)の試料をとり、岩石試料については元素分析を、ラテライト性土壤については10層準それぞれの試料の重砂分析、元素分析、X線回折を実施した。ここで(1)ラテライト性土壤10層準の試料の重砂分析は含有重鉱物の品位(垂直変化)を知るためであり、また(2)同じくX線回折は各層準の極細粒部の粘土分の構成鉱物を知り、野外スケッチで分層した各層準の構成物質を把握するためである。(3)岩石及びラテライト性土壤(10層準各々の粘土分対象)の試料について行った元素分析は、希土類等元素(23元素)の原岩及びラテライト性土壤各層準(粘土分)中の含有量を調べることを目的とした。

各分析の手法については以下にその概要を述べる。

分析件数は表Ⅱ-1-9のとおりである。

表Ⅱ-1-9 ラテライト性土壌及び岩石の分析件数

分析法	件数	内 訳
重砂分析	50	5地点 ラテライト性土壌各10
X線回折	50	” ”
元素分析	55	” 岩石各1, ラテライト性土壌(粘土分)各10

- (1) ラテライト性土壌の重砂分析は、中国側分析所において行われ、基本5鉱物（イルメナイト、ルチル、ジルコン、モナザイト、ゼノタイム）の含有量を分析した。
- (2) ラテライト性土壌試料50個につき、その中に含まれる粘土鉱物を同定するためにX線回折を中国側分析所で実施した。
- (3) 岩石及びラテライト性土壌中の粘土分中の希土類等元素（23元素）の含有量を調べるため、岩石試料5、ラテライト性土壌試料50、計55の試料につき元素分析を日本において実施した。

元素分析の対象元素は、La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, Yの16種の希土類元素とP, Th, U, Nb, Cs, Zr, Hfを加え合計23元素である。分析法は機器中性子放射化分析（NAA）法を主に使用している。

試料の調製は、岩石については粉碎処理を行うがラテライト性土壌については次のような前処理を行った。なすわち、ラテライト性土壌試料（約200グラム）につき粗粒部を篩分除去後、遠心分離法により230ミクロン以下の微粒部から、5ミクロン以下の粘土分を回収し、これを元素分析の対象試料にした。

1.4.3 調査データ

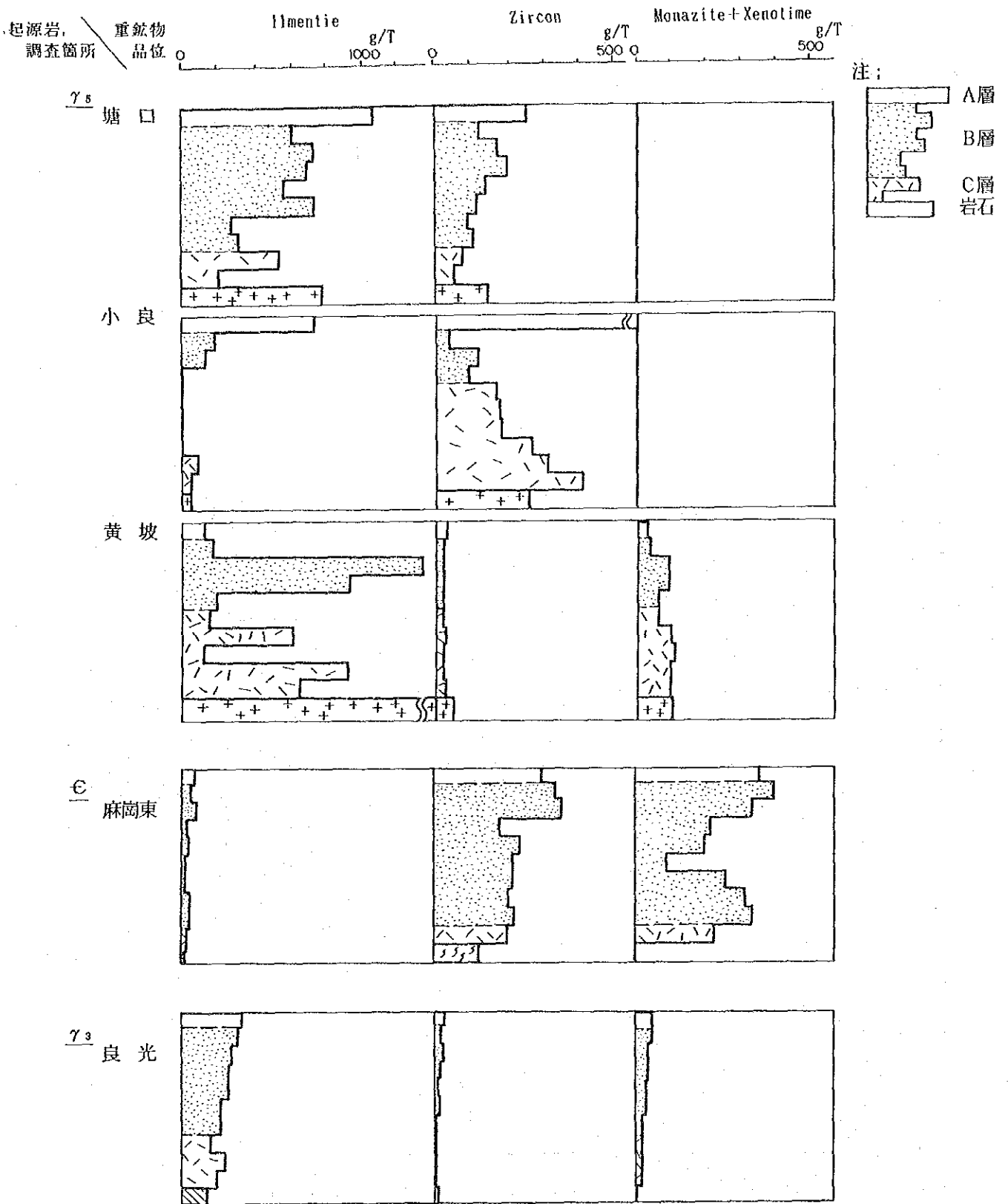
- (1) 調査5箇所の基盤岩類の特性を表Ⅱ-1-10に示す。これは前年度までのデータを使って人工重砂分析、顕微鏡結果、全岩分析結果をまとめている。
- (2) 重砂分析結果は、巻末資料1-8に示した。
調査5箇所の風化断面の重鉱物含有量を知るために、ラテライト性土壌の層別の基本5鉱物データ（合計50）と、各箇所の基盤岩の人工重砂分析データ（第2, 3年次結果）を含めて、（イルメナイト）、（ジルコン）、（モナザイト+ゼノタイム）の含有量の傾向を図Ⅱ-1-12に示した。
- (3) X線回折結果に関しては、粘土鉱物構成比を巻末資料1-10に示した。また、粘土鉱物の主要ピークを巻末資料1-9に掲載した。
- (4) 元素分析結果は、巻末資料1-11に一括掲示した。さらに、希土類元素については、軽希土、中希土、重希土の合計重量及びLa/Yb（比）を巻末資料1-12にまとめた。軽希土（ ΣCe ）

表Ⅱ-1-10 基盤岩類特性一覽

基盤岩類		γ ₃	γ ₅	γ ₅	ε	γ ₃
調査箇所		塘口	小良	黄坡	麻崗東	良光
試料番号		880829-2	890929-5,6	880914-5	890926-5,6	890919-11,12
人工重砂分析 (g/T)	I _ℓ	763.0	29.5	3059.7	14.3	131.6
	Zr	145.4	250.2	41.2	121.5	2.5
	Rt	-	-	0.1	-	< 1
	Mz	< 1	-	91.1	-	0.8
	Xe	2	-	3.2	-	1.7
	Ma	6019.4	4560.5	6763.0	46.3	-
	apatite	-	118.8	194.4	127.3	-
	sphene	-	1388.8	2.9	1.1	8.71
	garnet	17.6	-	2.8	-	-
	hornblende	-	-	2.2	-	-
	allanite	96.6	-	39.0	-	-
	Pyrite+Pyrrhotite	462.3	12.2	19.2	115.6	2.0
Renailite+Lincolite	184.0	206.7	58.7	-	-	
顕微鏡結果 (%)	plagioclase	○	△	◎	○	○
	Na, K feldspar	△	○	◎	△	△
	microcline	◎	◎	△	◎	◎
	Q	◎	◎	◎	◎	◎
	Biotite	○	○	○	○	○
	Muscovite	△	△	△	△	△
全岩分析 (%)	SiO ₂	73.65	71.33	72.48	70.81	70.77
	Al ₂ O ₃	13.56	14.23	14.93	13.51	14.82
	TiO ₂	0.19	0.39	0.23	0.56	0.40
	Fe ₂ O ₃	0.51	0.28	0.73	0.48	0.29
	FeO	1.15	2.47	0.06	4.28	2.63
	MnO	0.06	0.05	0.05	0.08	0.09
	MgO	0.19	0.52	0.40	1.85	0.76
	CaO	1.10	1.72	1.67	1.90	2.25
	P ₂ O ₅	0.05	0.18	0.07	0.11	0.27
	H ₂ O ₊	0.36	0.41	0.32	1.01	0.64
	H ₂ O ₋	0.07	0.07	0.00	0.08	0.07
	K ₂ O	5.34	5.29	3.90	4.36	4.49
	Na ₂ O	3.44	3.37	4.01	2.09	2.96
LOI	0.29	0.84	0.31	1.20	1.15	
BaO	n. d.	0.06	n. d.	0.11	0.13	
組	中粒黒雲母花崗岩	斑状花崗岩	中～細粒黒雲母二長石花崗岩	片麻状	一部片麻状花崗岩	
磁(10 ⁻³ S. I. U.) 性 { 岩石	5	4	6	0.1	0.07	
	ラテライト 0.2~1	0.1~3	0.1~1	0~0.1	0~0.06	

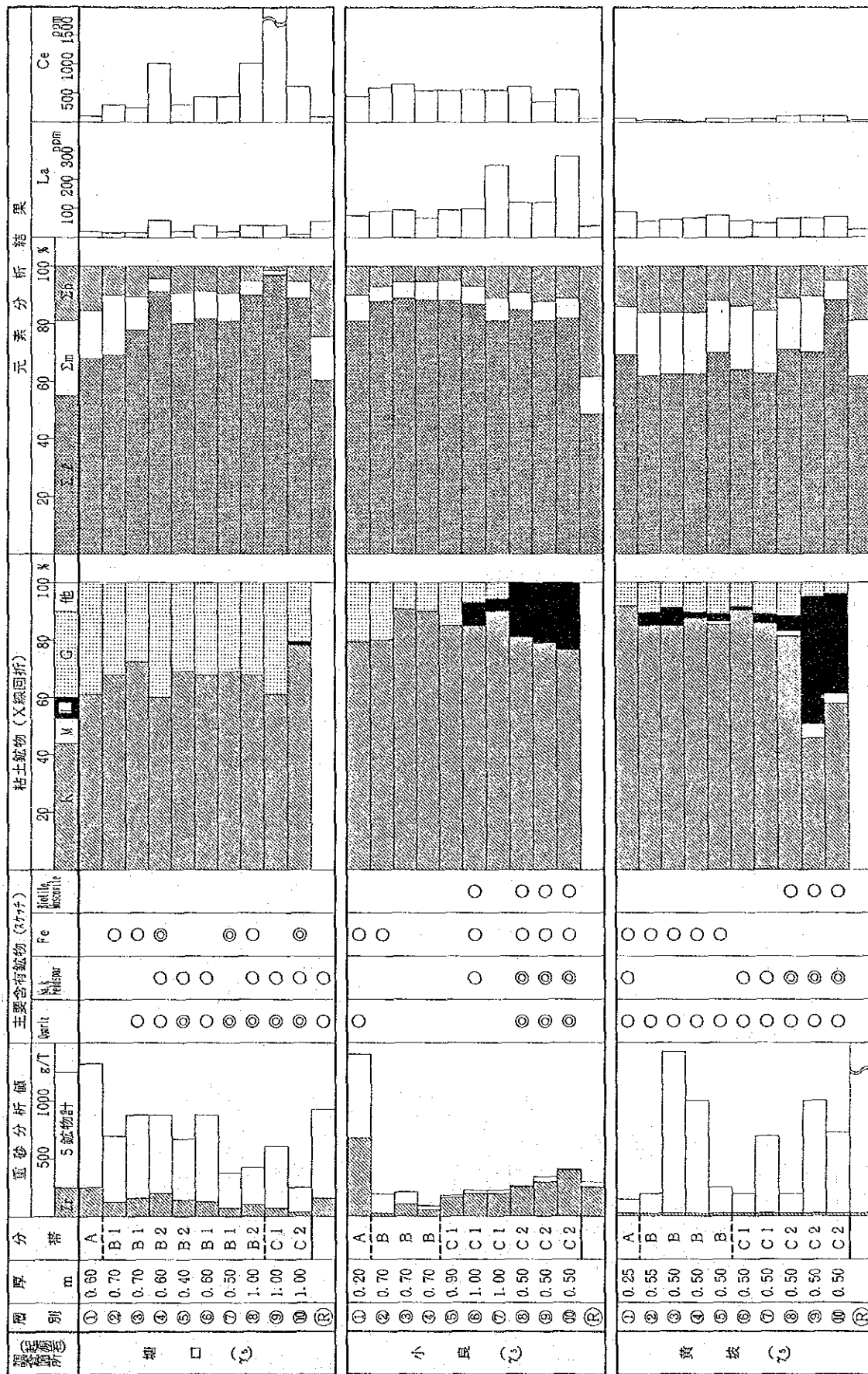
注：第2, 3年次報告書より抜粋

注：顕微鏡結果欄 ◎；多くみられる ○；しばしばみられる △；あまりみられない



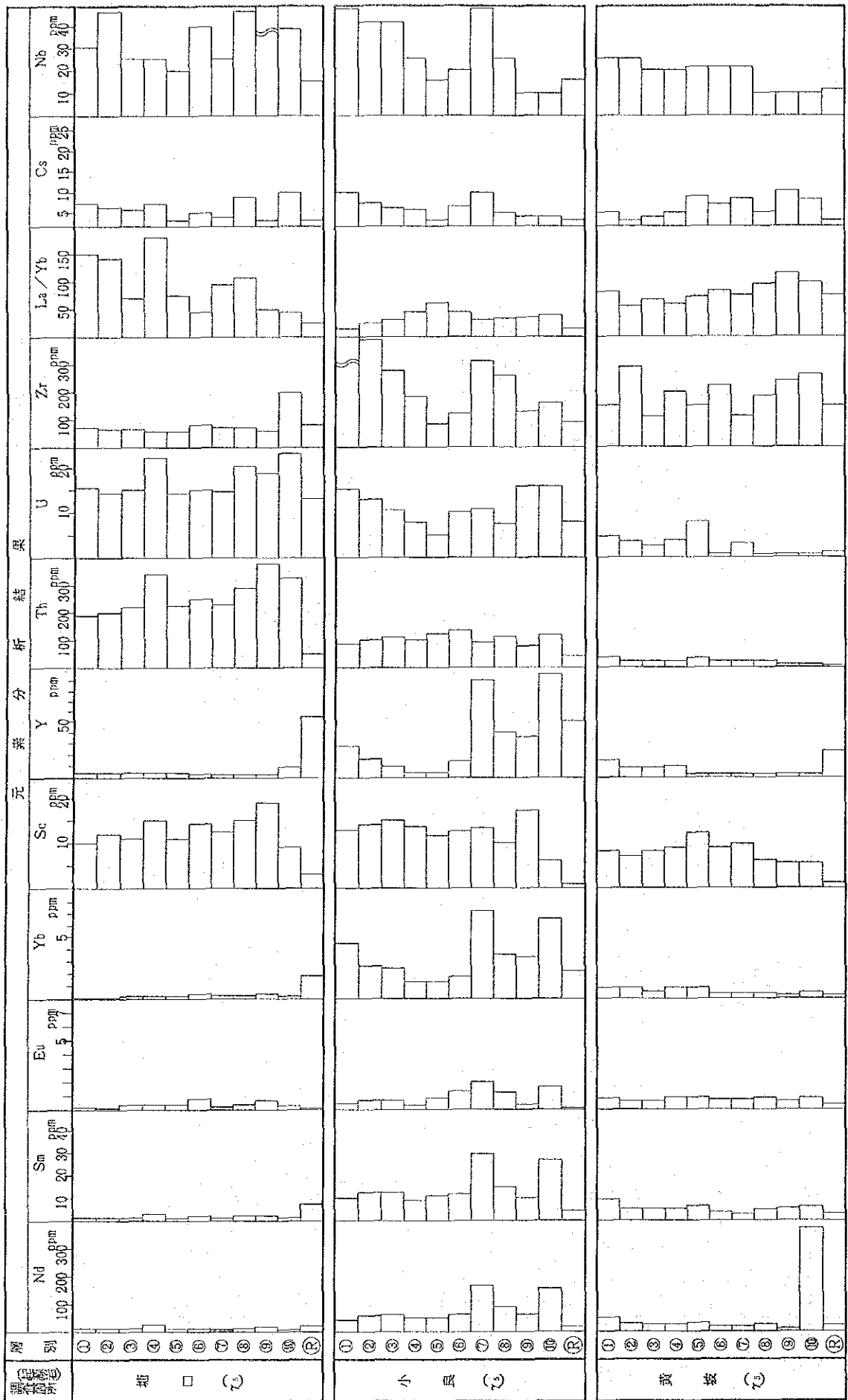
図II-1-12 ラテライト性土壌及び岩石の重鉍物品位 (垂直変化)

図II-1-13 起源岩風化断面の重鉱物構成元素等含有量の垂直変化対比図(1-1)

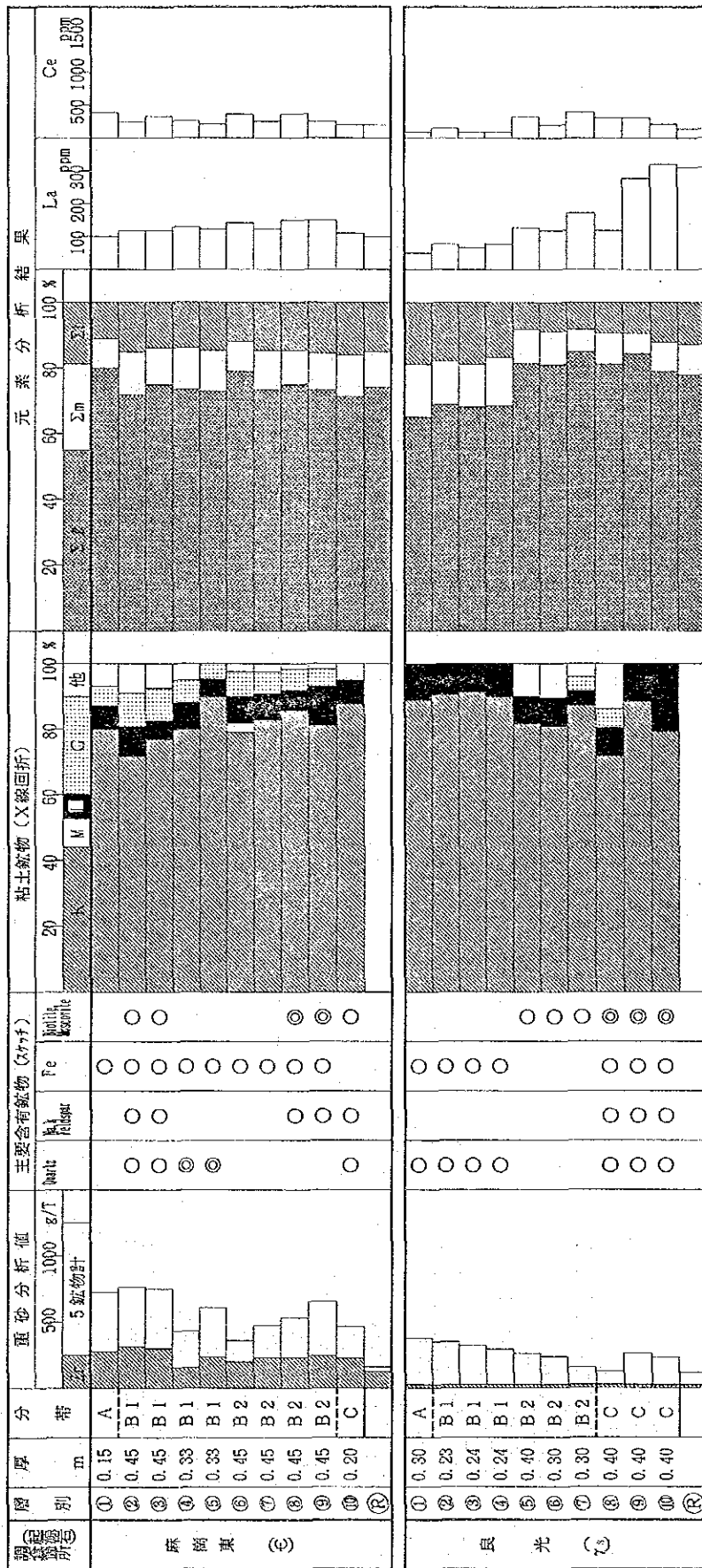


K: Kaolinite
 M: Montmorillonite
 I: Illite G: Gibbsite
 ΣL : ΣCe : (La~Nd)
 ΣM : ΣBa : (Sm~Tb)
 ΣH : ΣY : (Dy~Lu, Sc, Y)

図II-1-13 起源岩風化断面の重鉱物構成元素等含有量の垂直変化対比図(1-2)



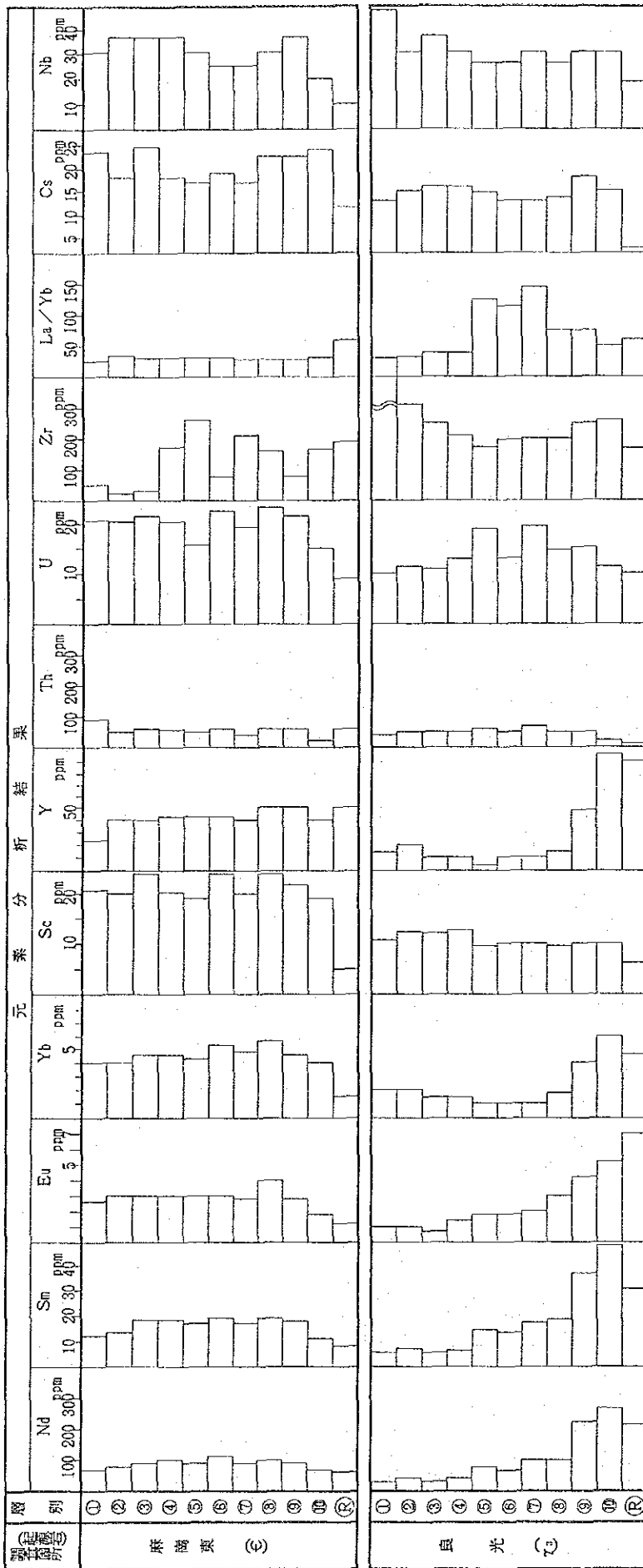
図II-1-13 起源岩風化断面の重鉱物構成元素等含有量の垂直変化対比図(2-1)



K: Kaolinite,
M: Montmorillonite,
I: Illite, G: Gibbsite

Σh: ΣCe: (La~Nd)
Σm: ΣEu: (Sm~Tb)
Σl: ΣY: (Dy~Lu, Sc, Y)

図II-1-13 起源岩風化断面の重鉱物構成元素等含有量の垂直変化対比図(2-2)



表II-1-11 ラテライト性土壌（粘土分）及び岩石の希土類元素、コンドライト比(1)

箇所 (起源岩)	試料番号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
塘 口 (7s)	91501	48.4	185.6	41.0	20.0	7.2	2.7	193.1	4.2	3.1	13.9	95.2	61.7	0.5	4.7
	91502	45.2	381.2	41.0	13.3	6.7	2.7	193.1	4.2	3.1	13.9	95.2	61.7	0.5	3.1
	91503	45.2	321.8	41.0	16.7	6.2	5.4	193.1	12.7	3.1	13.9	95.2	61.7	1.0	4.7
	91504	103.2	1287.1	41.0	51.7	21.0	5.4	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	1.0	6.2
	91505	48.4	420.8	45.0	18.3	6.2	5.4	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	1.0	3.1
	91506	67.7	594.1	41.0	25.0	8.7	13.6	193.1	21.1	3.1	13.9	95.2	61.7	2.4	7.8
	91507	58.1	539.6	41.0	13.3	7.7	2.7	193.1	4.2	3.1	13.9	95.2	61.7	1.0	4.7
	91508	71.0	1311.9	41.0	21.7	9.7	5.4	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	1.0	4.7
	91509	80.6	4269.8	41.0	31.7	10.8	13.6	193.1	21.1	3.1	13.9	95.2	61.7	2.4	15.5
	91510	45.2	857.7	41.0	18.3	8.7	5.4	193.1	12.7	3.1	13.9	95.2	61.7	1.7	9.3
R	91601	161.0	143.6	41.0	58.3	32.8	0.7	193.1	10.5	6.2	13.9	95.2	30.9	10.0	9.3
小 良 (7s)	91521	229.0	561.9	41.0	39.7	40.0	10.2	193.1	25.3	15.5	13.9	95.2	61.7	24.4	23.3
	91522	271.0	798.3	41.0	90.0	44.1	11.6	193.1	31.6	18.6	13.9	95.2	61.7	17.2	17.1
	91523	293.5	828.0	41.0	100.0	45.6	10.9	193.1	25.3	9.3	13.9	95.2	61.7	15.3	12.4
	91524	232.3	711.6	41.0	73.3	36.4	7.5	193.1	16.9	9.3	13.9	95.2	61.7	7.2	9.3
	91525	277.4	680.7	41.0	78.3	42.6	13.6	193.1	21.1	6.2	13.9	95.2	61.7	6.7	7.8
	91526	322.6	717.8	41.0	98.3	48.2	23.1	193.1	27.4	15.5	13.9	95.2	61.7	10.0	9.3
	91527	809.7	648.5	164.0	273.3	150.3	34.0	193.1	80.2	46.5	27.8	95.2	61.7	37.3	29.5
	91528	419.4	788.4	41.0	150.0	76.9	21.8	193.1	44.3	24.8	27.8	95.2	61.7	18.2	17.1
	91529	419.4	482.7	82.0	105.0	56.4	9.5	193.1	29.5	24.8	13.9	95.2	61.7	17.2	14.0
	91530	932.3	724.0	123.0	270.0	142.1	27.2	193.1	88.6	62.0	27.8	95.2	61.7	34.9	28.0
R	91603	122.6	116.3	41.0	41.7	25.6	0.7	193.1	4.2	12.4	13.9	95.2	30.9	11.5	12.4
黄 坡 (7s)	91541	261.3	136.1	41.0	86.7	45.6	13.6	193.1	29.5	6.2	13.9	95.2	61.7	4.8	4.7
	91542	171.0	89.1	41.0	55.0	25.6	9.5	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	4.5	4.7
	91543	177.4	95.3	41.0	56.7	27.7	9.5	193.1	8.4	6.2	13.9	95.2	61.7	3.8	3.1
	91544	190.3	95.3	41.0	55.0	26.2	12.2	193.1	14.8	6.2	13.9	95.2	61.7	4.8	4.7
	91545	229.0	148.5	41.0	61.7	29.2	13.6	193.1	21.1	3.1	13.9	95.2	61.7	4.8	7.8
	91546	183.9	100.2	41.0	43.3	20.5	9.5	193.1	8.4	6.2	13.9	95.2	61.7	3.1	3.1
	91547	164.5	101.5	41.0	38.3	16.9	10.2	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	3.3	3.1
	91548	219.4	173.3	41.0	60.0	24.6	13.6	193.1	21.1	3.1	13.9	95.2	61.7	3.3	7.8
	91549	225.8	173.3	41.0	18.3	30.8	10.2	193.1	8.4	3.1	13.9	95.2	61.7	2.9	3.1
	91550	238.7	185.6	41.0	633.3	35.4	13.6	193.1	10.5	3.1	13.9	95.2	61.7	3.6	3.1
R	91605	116.1	86.6	368.9	50.0	19.0	6.8	193.1	2.1	3.1	13.9	95.2	30.9	2.4	3.1

注1; 試料 ppm = コンドライト比
コンドライト ppm

注2; 試料番号欄Rは岩石試料, ほかにラテライト性土壌試料を示す。

表Ⅱ-1-11 ラテライト性土壌（粘土分）及び岩石の希土類元素、コンドライト比(2)

箇 所 起源岩)	試料番号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
麻 崗 東 (C)	91511	316.1	493.9	41.0	113.3	63.1	38.1	193.1	40.1	9.3	13.9	95.2	61.7	18.7	15.5
	91512	412.9	303.2	82.0	128.3	67.7	42.1	193.1	29.5	12.4	13.9	95.2	61.7	18.7	15.5
	91513	419.0	408.4	41.0	148.3	82.1	43.5	193.1	46.4	21.7	13.9	95.2	61.7	22.0	18.6
	91514	458.1	305.7	245.9	155.0	83.6	40.8	193.1	40.1	12.4	13.9	95.2	61.7	22.0	17.1
	91515	438.7	277.2	41.0	148.3	78.5	42.1	193.1	57.0	12.4	13.9	95.2	61.7	22.0	17.1
	91516	516.1	445.5	41.0	176.7	92.3	44.9	193.1	65.4	15.5	13.9	95.2	61.7	24.9	18.6
	91517	409.7	295.8	82.0	140.0	74.9	38.1	193.1	52.7	12.4	13.9	95.2	61.7	21.5	17.1
	91518	493.5	342.8	41.0	161.7	89.7	51.7	193.1	48.5	12.4	13.9	95.2	61.7	26.3	20.2
	91519	480.6	297.0	123.0	151.7	85.6	46.3	193.1	46.4	12.4	13.9	95.2	61.7	24.9	20.2
	91520	364.5	222.8	41.0	115.0	63.6	29.9	193.1	46.4	9.3	13.9	95.2	61.7	18.2	14.0
R 91602	316.1	235.1	123.0	108.3	45.6	20.4	193.1	35.9	9.3	13.9	95.2	30.9	7.2	6.2	
良 光 (73)	91531	167.7	123.8	41.0	53.3	31.3	10.2	193.1	21.1	9.3	13.9	95.2	61.7	9.1	9.3
	91533	206.5	173.3	82.0	73.3	41.0	11.6	193.1	25.3	9.3	13.9	95.2	61.7	9.6	9.3
	91534	187.1	148.5	41.0	58.3	33.3	9.5	193.1	25.3	6.2	13.9	95.2	61.7	6.7	7.8
	91535	206.5	148.5	41.0	66.7	37.4	13.6	193.1	27.4	6.2	13.9	95.2	61.7	7.2	7.8
	91536	451.6	373.8	41.0	138.3	74.9	21.8	193.1	23.2	9.3	13.9	95.2	61.7	5.3	6.2
	91537	416.1	274.8	41.0	130.0	69.7	21.8	193.1	29.5	9.3	13.9	95.2	61.7	5.3	6.2
	91538	548.4	495.1	41.0	175.0	87.2	25.9	193.1	42.2	21.7	13.9	95.2	61.7	5.7	7.8
	91539	419.4	350.2	328.0	175.0	98.5	32.7	193.1	38.0	15.5	13.9	95.2	61.7	8.6	7.8
	91540	893.5	375.0	615.0	381.7	204.1	59.9	193.1	73.8	27.9	13.9	95.2	61.7	17.7	14.0
	91540	1064.5	283.4	615.0	441.7	248.2	77.6	193.1	97.0	46.5	41.7	95.2	61.7	29.7	21.7
R 91604	993.5	200.5	573.8	366.7	164.1	95.2	193.1	111.8	55.9	13.9	95.2	30.9	22.0	24.8	

注1: $\frac{\text{試料 ppm}}{\text{コンドライト ppm}} = \text{コンドライト比}$

注2: 試料番号欄Rは岩石試料, ほかはラテライト性土壌試料を示す。

表II-1-12 鉍床原砂分離重鉍物希土類元素分析値及びコンドライト比

鉍床	重鉍物	試料番号	元素分析値 (上段: ppm, 下段: コンドライト比×10 ⁴)									備考
			La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Dy	Yb	Lu	
東里	ゼノクタイト	111-13-8	-	800 0.08	-	4,700 2.07	-	5,100 9.34	40,600 10.98	41,600 17.48	4,700 12.83	第5年次ボーリング 中方鉍物分析値, 一部元素使用
		200-21-2	-	1,900 0.19	-	5,200 2.30	-	8,300 15.21	61,300 16.58	26,500 11.13	8,500 23.21	
		211-5-3	-	1,800 0.18	-	4,400 1.94	-	6,200 11.36	57,400 15.33	30,000 12.60	7,100 19.39	
		216-3-1	-	1,200 0.12	-	2,000 0.88	-	8,000 14.66	55,400 14.99	44,200 18.57	12,100 33.04	
	100-8複合 (88XE-1)	6,100 1.97	24,500 3.03	5,400 0.90	2,600 1.33	230 0.31	1,900 4.01	8,200 2.55	8,600 4.11	700 2.17	第2年次ボーリング 複合試料	
鉍床	モナザイト	111-13-8	119,600 32.89	285,700 28.78	105,300 15.04	20,600 9.11	9,300 10.92	-	9,300 2.51	-	-	第5年次ボーリング 中方鉍物分析値, 一部元素使用
		200-21-2	151,800 41.75	293,300 29.55	114,000 16.29	21,900 9.68	7,400 8.69	-	1,300 0.35	-	-	
		211-5-3	162,000 44.56	291,600 29.38	105,300 15.04	17,100 7.56	6,400 7.52	-	3,900 1.05	-	-	
		216-3-1	157,700 43.37	286,600 28.87	108,100 15.44	22,300 9.86	6,700 7.87	-	4,300 1.16	-	-	
	100-8複合 (88MZ-1)	83,100 26.81	170,900 21.15	65,200 10.87	12,300 6.31	690 0.94	1,300 2.74	1,900 0.59	480 0.23	<100 0.31	第2年次ボーリング 複合試料	
南山海鉍床	ゼノクタイト	90XE-1	41,200 13.29	79,500 9.84	29,800 4.97	6,100 3.13	340 0.46	4,000 8.44	12,900 4.01	7,100 3.40	940 2.92	第4年次起源岩調査 複合試料
	モナザイト	90MZ-1	107,000 34.52	222,000 27.48	76,900 12.82	15,200 7.79	630 0.86	8,100 17.09	6,300 1.96	590 0.28	40 0.12	"
沙尾鉍床	ゼノクタイト	89XE-3	2,000 0.65	2,500 0.31	1,100 0.18	1,500 0.77	56 0.08	670 1.41	13,000 4.04	9,700 4.64	790 2.45	第3年次起源岩調査 複合試料
	モナザイト	89MZ-3	80,100 25.84	154,000 19.06	67,300 11.22	11,500 5.90	400 0.54	7,600 16.03	8,200 2.55	1,100 0.53	150 0.47	"

注1. ラテライト性土壌に変化のある主要元素のみを対象とする。

注2. コンドライト比はrecommended chondrite value by Boynton (1984) を使用。