

# タイ国ヒ素汚染地域環境改善計画調査 (予備調査)

## 報告書

平成 10 年 7 月

JICA LIBRARY



J 1144389 [2]

国際協力事業団  
鉱工業開発調査部

タイ国ヒ素汚染地域環境改善計画調査(予備調査)報告書

平成10年7月

国際協力事業団鉱工業

JICA  
122  
61.9  
MPH  
BRARY  
98-125

鉱調資
JR
98-125







1144389(2)

タイ国ヒ素汚染地域環境改善計画調査  
(予備調査)

報告書

平成 10 年 7 月

国際協力事業団  
鉱工業開発調査部



## 目 次

調査対象地域図

現場写真

略語表

目 次

(頁)

第1章 予備調査の概要 .....	1
1-1 調査要請の背景 .....	1
1-2 調査の目的 .....	1
1-3 調査団の構成 .....	1
1-4 調査の日程 .....	2
1-5 面会者 .....	2
1-6 組織図 .....	4
第2章 協議の概要 .....	7
2-1 協議結果 .....	7
2-2 総合所感 .....	9
2-3 実施細則 .....	11
2-4 協議議事録 .....	25
第3章 タイ国の鉱業及び環境 .....	35
3-1 鉱業の趨勢 .....	35
3-2 錫鉱山の状況 .....	35
3-3 環境の概要 .....	38
3-4 既往調査報告書等 .....	43
第4章 タイ国南部ロンピブーン地区の鉱業及び環境 .....	45
4-1 地域概況 .....	45
4-2 鉱山及びヒ素汚染の沿革 .....	60
4-3 錫採掘の状況 .....	60
4-4 ヒ素汚染被害状況 .....	71
4-5 汚染状況 .....	73
4-6 ヒ素汚染機構について .....	95
4-7 ヒ素汚染対策 .....	105
第5章 本格調査の概要 .....	113
5-1 本格調査の目的及び基本方針 .....	113
5-2 調査対象地域 .....	113

5-3	調査業務の内容	113
5-4	報告書手続き等	125
5-5	調査の実施体制	126
5-6	調査実施上の留意事項	127
参考資料		130

[付属資料]

- 資料-1 : Terms of Reference
- 資料-2 : 広中式ヒ素簡易分析法
- 資料-3 : 収集資料リスト

## 図 表 一 覧

(図)		(頁)
図-1.1	科学技術環境省の組織図	5
図-2.1	本格調査(タイヒ素)実施体制(案)	10
図-3.1	錫の国際価格動向	36
図-4.1	ロンピブーン位置図	46
図-4.2	ナコン・シ・タマラート県及びロンピブーン地区	47
図-4.3	ナコン・シ・タマラート県の交通	48
図-4.4	ロンピブーン地区の地形	49
図-4.5	ロンピブーン地区の地質及び鉱床	50
図-4.6	ロンピブーン地区の水系	53
図-4.7	ナコン・シ・タマラート県の河川図	54
図-4.8	ロンピブーン地区の地下水	55
図-4.9	ロンピブーン地区の水文	56
図-4.10	ナコン・シ・タマラート県の風について	59
図-4.11	ロンピブーン地区の錫鉱床位置図(1)～(2)	61
図-4.12	ロンピブーン地区の錫選鉱所	65
図-4.13	選鉱所-1の錫選鉱のフロー	67
図-4.14	選鉱所-3の錫選鉱のフロー	68
図-4.15	ヒ素汚染被害分布図	72
図-4.16	現地水質概査結果	77
図-4.17	水質キーダイヤグラム(表流水, 浅層・深層地下水) (1)～(2)	81
図-4.18	水質ヘキサダイヤグラム(表流水)(1)～(2)	83
図-4.19	水質ヘキサダイヤグラム(表流水)の分布図	85
図-4.20	表流水の各成分の濃度変化	86
図-4.21	水質ヘキサダイヤグラム(浅層地下水)(1)～(2)	90
図-4.22	水質ヘキサダイヤグラム(浅層地下水)の分布図	92
図-4.23	浅層地下水の各成分の濃度変化	93
図-4.24	水質ヘキサダイヤグラム(深層地下水)の分布図	97
図-4.25	深層地下水の各成分の濃度変化	98
図-4.26	土壌調査地点	100
図-4.27	ロンピブーン地区周辺ヒ素汚染調査結果	101
図-4.28	広域汚染調査(表流水)	103
図-4.29	広域汚染調査(河床堆積物)	104
図-4.30	ロンピブーン地区のヒ素汚染状況(平面図)	107
図-4.31	ロンピブーン地区のヒ素汚染状況(断面図)	109
図-5.1	本格調査範囲図	114
図-5.2	調査フロー	115

図-5.3	オーガー調査位置図 (案)	120
図-5.4	ボーリング調査位置図 (案)	121

(表)

表-1.1	現地調査日程	2
表-3.1	主な鉱産物の生産 (1992年)	35
表-3.2	錫の生産量	37
表-3.3	県別錫生産量	37
表-3.4	鉱山に関する環境関連法規	39
表-3.5	水質基準 (1) ~ (3)	40
表-3.6	既往調査報告書等	43
表-4.1	ナコン・シ・タマラート県の気象状況	57
表-4.2	錫鉱山数及び生産量 (t)	63
表-4.3	選鉱尾鉱分析値	69
表-4.4	河川及び湖沼中のヒ素	75
表-4.5	ヒ素含有鉱石鉱物	75
表-4.6	降雨水, 河川水, 地下水等の表層水中のヒ素	75
表-4.7	表流水の水質分析値	80
表-4.8	表流水の各成分間の相関	87
表-4.9	浅層地下水の水質分析値	89
表-4.10	浅層地下水の各成分間の相関	94
表-4.11	深層地下水の水質分析値	96
表-4.12	深層地下水の各成分間の相関	99
表-4.13	土壌分析結果	102





写真-1 カオ・ムアン・ムット山の中腹からロンピブーン盆地を望む  
(中央の平場はサッカー場)



写真-2 選鉱場-2の跡地（現在は撤去され、荒地化）



写真-3 廃止鉦山採掘跡及びズリの集積場  
(鉦山の奥に崩壊地形がある)



写真-4 錫鉦脈採掘跡



写真-5 鋳さい捨場（ズリ及び選鋳廃さい）



写真-6 粗選用の選鋳場跡地（?）

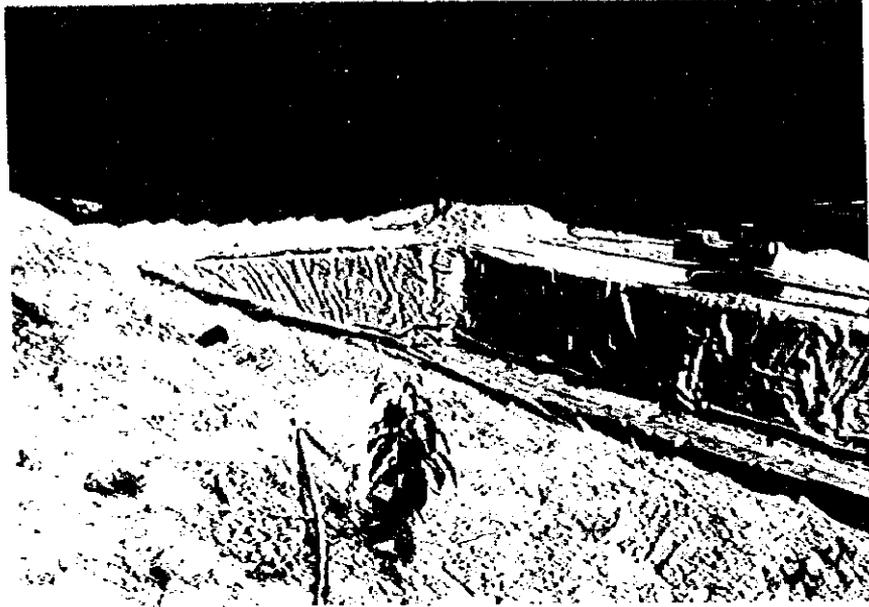


写真-7 工業省鉱物資源局（DMR）による  
ズリ用管理型処分場の建設



写真-8 処分場には2重のゴム・シート  
及び排水設備を設置



写真-9 稼行中の砂錫鉱山のオープン・ピット採掘現場



写真-10 砂錫用旧ドレッシング採掘跡地  
(池水はヒ素により汚染されている)

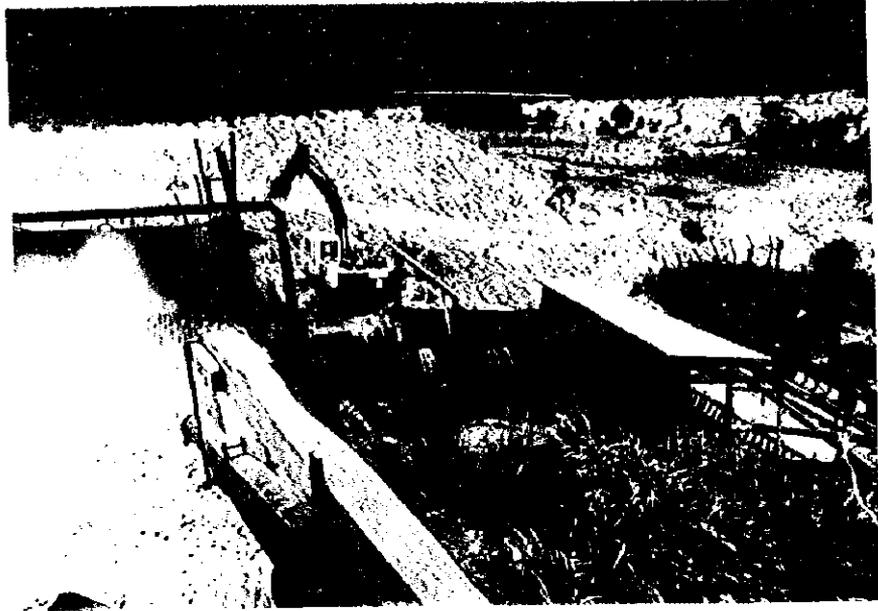


写真-11 稼行中の砂錫鉱山の粗選場  
(粗鉱はモニターにより水洗)



写真-12 稼行中の砂錫鉱山の粗選場 (猫ながし)



写真-13 選鉱場-1内の磁選機



写真-14 選鉱場-1敷地内の廃さい捨場



写真-15 ファイ・ロン・ナ川とカオ・ロン・ナ川の合流点  
(両川ともヒ素の汚染されている)

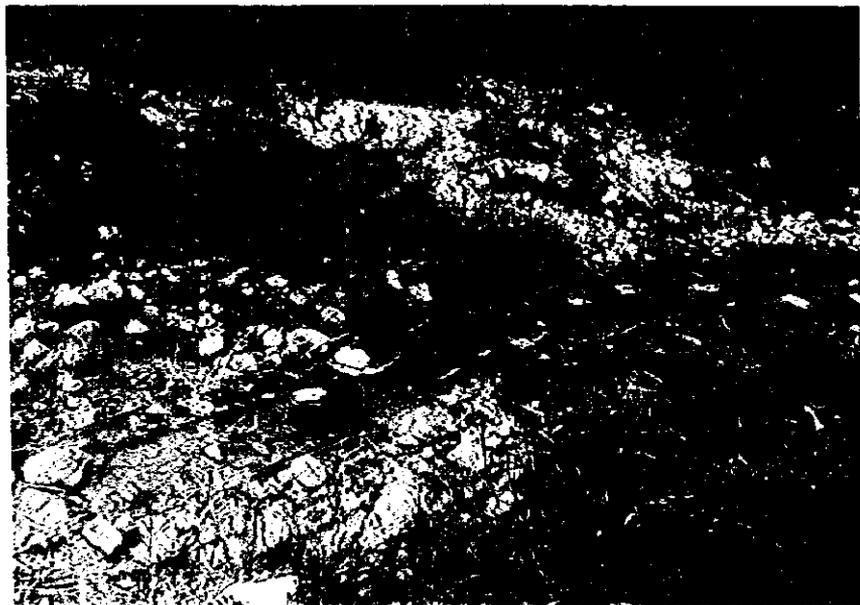


写真-16 サッカー場より上流側のファイ・ロン・ナ川の状況  
(酸化鉄が沈殿し、褐色を呈する)



写真-17 ロンピブーン地区内の水井戸の調査



写真-18 旧ドレッシング跡の池及び池水を利用している住民



写真-19 ロンビブーン地区の使用中の水がめ



写真-20 ロンビブーン地区内の水道設備



写真-21 S/W及びM/Mの協議及びサイン



写真-22 S/W及びM/Mの締結

## 略語表

(略語)	(名称)	(日本語名)
BGS	: British Geological Survey	: 英国地質調査所
BOI	: Board of Investment	: 国家投資委員会
DEQP	: Department of Environmental Quality Promotion	: 環境質促進局
DMR	: Department of Mineral Resources	: 鉱物資源局
DTEC	: Department of Technical and Economic Cooperation	: 技術経済協力局
ERTC	: Environmental Research and Training Center	: 環境研究研修センター
JICA	: Japan International Cooperation Agency	: 国際協力事業団
MOH	: Ministry of Health	: 保健省
MOSTE	: Ministry of Science, Technology and Environment	: 科学技術環境省
NEB	: National Environmental Board	: 国家環境委員会
NEDO	: New Energy and Industrial Technology Development Organization	: 新エネルギー・産業技術 総合開発機構
OEPP	: Office of Environmental Political Planning	: 環境政策計画庁
PCD	: Pollution Control Department	: 汚染対策局
PSU	: Prince of Songkla University	: ソンクラ大学

## 第 1 章 予備調査の概要

## 第1章 予備調査の概要

### 1-1 調査要請の背景

タイの首都バンコク (Bangkok) より南方800kmにあるナコン・シ・タマラート (Nakhon Si Thammarat) 県にあるロンピブーン地区 (Ronphibun District: 144,154人) はミャンマーからマレー半島, インドシナに続くベルト状の錫鉱床地帯の中に位置している。この地域では錫, タングステンを対象とした鉱業活動が約100年余り行われて来た。これらの鉱業活動によりロンピブーン地区ではヒ素汚染が大きな問題となっており, 1992年に実施された調査ではヒ素中毒患者が1,000人近くおり, 22%の児童がヒ素により皮膚障害 (皮膚癌等) を起こしていると報告されている。これは錫の選鉱過程で発生したヒ素が地下水を汚染し (地下水中に最大WHOのヒ素の許容ガイドライン ( $10\mu\text{g/l}$ ) の50~100倍の量が検出されている), その地下水を住民が利用することにより引き起こしていると考えられるが, 大部分の錫鉱山は廃坑しており, タイ側には汚染源の特定, 対応策立案に係る調査技術がないことから, 日本に調査および対応策の立案を要請してきたものである。

当方はこの要請を受け, 平成10年2月プロジェクト形成基礎調査団を派遣し, 要請内容の確認, 開発調査の実施可能について協議し, 本格調査の必要性和緊急性等を確認した。

### 1-2 調査の目的

本予備調査は, プロ形調査結果を踏まえ, 先方機関との協議や追加現地踏査を行い本格調査の調査内容, 手法, 作業分担等を検討することを目的とする。なお, 調査の進展状況によっては, 本予備調査時に本格調査の実施細則を締結することも視野に入れて実施した。

### 1-3 調査団の構成

調査団の構成を以下に示す。

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1) 宇佐見 毅 総括・団長         | 国際協力事業団 専門技術囑託                                |
| 2) 富永 衛 鉱山環境改善 (水質計測)  | 通商産業省工業技術院<br>資源環境技術総合研究所<br>水圏環境保全部 水質計測研究室長 |
| 3) 廣中 博見 鉱山ヒ素鉱害        | 福岡市保健環境研究所<br>理化学課主査 (微量分析担当)                 |
| 4) 増田 彦男 調査・企画         | 国際協力事業団 鉱工業開発調査部<br>資源開発調査課                   |
| 5) 梶間 幹雄 鉱山環境改善 (水理地質) | 三菱マテリアル資源開発 (株)<br>環境・土木部 副部長                 |

#### 1-4 調査の日程

調査団の日程を以下に示す。

- |             |                 |  |
|-------------|-----------------|--|
| 1) 5/12 (火) | 東京→バンコック        | 移動, JL717 11:00発, 15:15着   |
| 2) 5/13 (水) | バンコック           | JICAタイ事務所打合せ<br>DTEC, DEQP表敬訪問<br>合同会議<br>ERTC, DMR, PCD, MOH, OEPP他 |
| 3) 5/14 (木) | バンコック→ナコンシタマラート | 移動 (TG263 7:30発, 9:25着)<br>知事表敬 現地踏査 (選鉱所跡等)                         |
| 4) 5/15 (金) | ナコンシタマラート       | 現地踏査   |
| 5) 5/16 (土) | ナコンシタマラート→バンコック | 移動 (TG264 10:00発, 11:55着)  |
| 6) 5/17 (日) | バンコック           | S/W, M/M協議及び署名   |
| 7) 5/18 (月) | バンコック           | 国内打合せ, 報告書作成   |
| 8) 5/19 (火) | バンコック           | 日本大使館, JICA事務所報告   |
| 9) 5/20 (水) | バンコック→東京        | 移動 JL708 8:45発, 16:35着   |

現地調査の日程を表-1.1に示す。現地調査は旧山錫鉱山採掘現場、漂砂(砂錫)鉱床の旧ドレッシング跡及び露天掘採掘現場、旧選鉱場、廃さい捨場等を踏査した。

表-1.1 現地調査日程

日付	時間	訪問先・踏査場所	内容
5/14	07:30	TG263 to Nakhon Si Thammarat	移動
	10:30	Office of Province	県副知事, 他
	13:30	Ronphibun地区	地区事務所, 保健所
	16:00	選鉱所, 採掘跡地	漂砂鉱床採掘跡, 選鉱場状況, 水文状況
5/15	08:30	廃止鉱山跡, Huai Ron Na 川	産状, スリ捨場, 水文状況
	14:00	漂砂鉱床採掘場, 選鉱所	採掘状況, 選鉱状況
5/16	10:00	TG236 to Bangkok	移動

#### 1-5 面会者

- (1) 技術経済協力局 (Department of Technical and Economic Cooperation : DTEC)

氏名	役職	組織
Banchong Amornchewin	Chief	DTEC
Hataichanok Siriwardhanakul	Program officer	DTEC
Pin Sridurongkatum	Program officer	DTEC

(2) 環境研究研修センター (Environmental Research and Training Center : ERTC)

氏名	役職	組織
Monthip Srirattanta	Director	ERTC
Sukanya Boonchalermit	Chief of toxic substance reaction	ERTC
Pomthip Pancharoen	Scientist	ERTC
Mesak Milintawizamai	Researcher	ERTC
Nittaya Nugrawan	Environmentalist	ERTC
Janewit Wangsanaon	Environmentalist	ERTC

(3) 鉱物資源局 (Department of Mineral Resources : DMR)

氏名	役職	組織
Anong Paijitprapapon	Chief	DMR

(4) 土地開発局 (Department of Land Development)

氏名	役職	組織
Somannee Thbthonthoung	Senior scientist	Dept. of Land Development

(5) 科学事業局 (Department of Science & Service)

氏名	役職	組織
Patra Pantawathanakit	Scientist	Dept. of Science & Service
Dusadee Munkwandee	Scientist	Dept. of Science & Service

(6) 保健局 (Department of Health)

氏名	役職	組織
Pornpimol Varathorn	Environmental scientist	Dept. of health

(7) 医科学局 (Department of Medical Science)

氏名	役職	組織
Kanya Puksim	Medical Scientist	D. of Medical Science

(8) 汚染対策局 (Pollution Control Department : PCD)

氏名	役職	組織
Supranee Yongdeepaisarl	Environmental scientist	Pollution Control Dept.

(9) 環境政策計画庁 (Office of Environmental Political Planning : OEPP)

氏名	役職	組織
Sudravat Rungruangslip	Environmental scientist	OEPP, Bangkok

(10) ナコン・シ・タマラート県庁 (Nakhon Si Thammar Provincial Office : NST)

氏名	役職	組織
Pasaan Keawprasom	Vice Governor	NST Provincial Office
Sutthi Silamai	Officer	NST Provincial Office
Yutthana Sinlaparatsami	Provincial health officer	Public Health Office
Winal Walaung	Officer	Public Health Office
Borvorn Ramphosit	Officer	Public Health Office
Choa Phomthong	Officer	Public Health Office
Rapeephan Kerdduitong	Officer	Public Health Office
Ariya Rungsitswasoi	District officer of Romphibun	Romphibun District Office
Charan Chunak	Officer	Irrigation Office
Sarith Chuinchom	Officer	DMR, NST branch

(10) ソンクラ大学 (Prince of Songkla University : PSU)

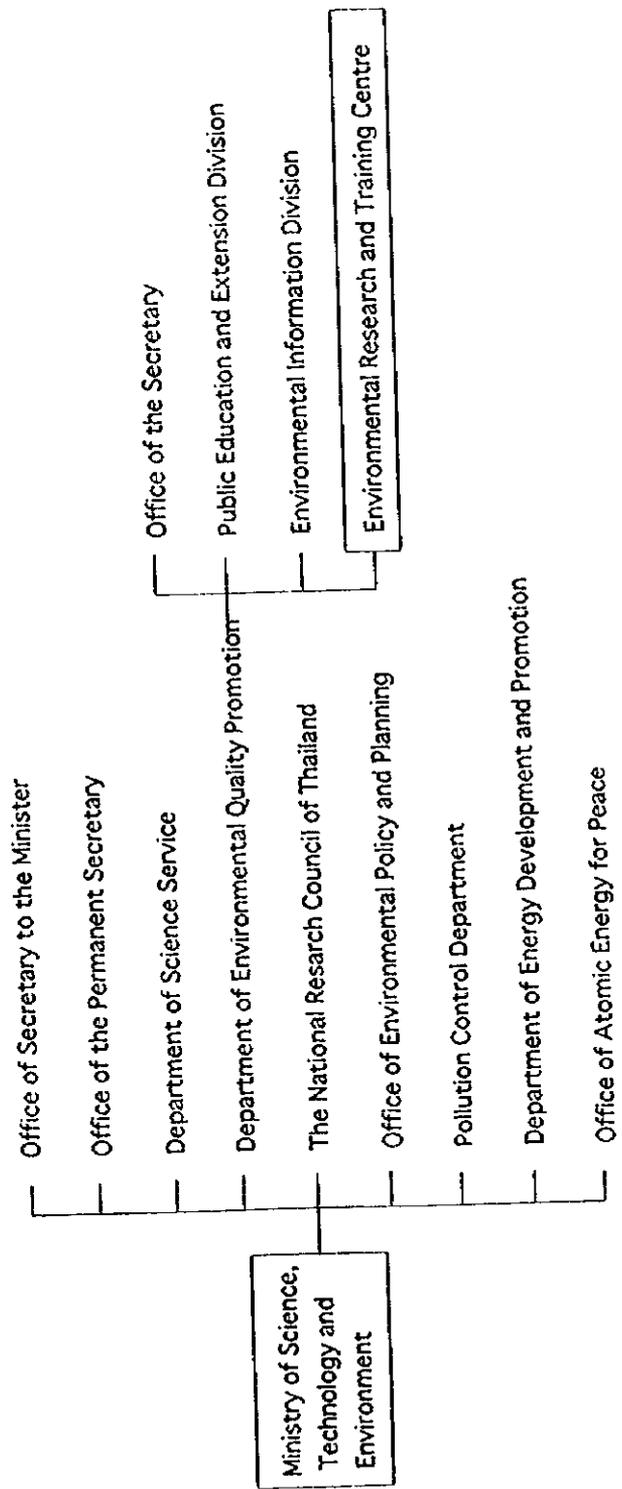
氏名	役職	組織
Shoko Oshikawa	Student	Prince of Songkla Univ.

(12) 日本側

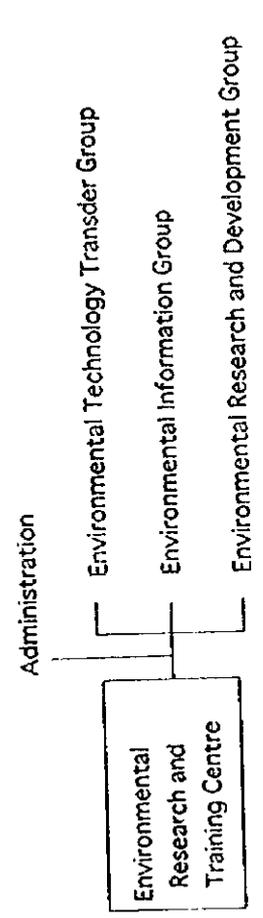
氏名	役職	組織
Yoshiaki Tojo	First Secretary	Embassy of Japan
Kenji Iwaguchi	Director	JICA, Thailand Office
Gen Usui	Assistant Res. Representative	JICA, Thailand Office

1-6 組織図

科学技術環境省及び環境研究研修センターの組織図を図-1.1に示す。



(1) 科学技術環境省



(2) 環境研究研修センター

図-1.1.1 科学技術環境省及び環境研究研修センターの組織



## 第 2 章 協 議 の 概 要



## 第2章 協議の概要

科学技術環境省環境促進局 (MOSTE, DEQP), 工業省鉍物資源局 (MOI, DMR) など, タイ側関連機関の代表者で構成される作業委員会との合同会議を皮切りに, ロンピブーン地区の現場汚染状況を調査し, タイ側実施機関となる環境研究研修センター (ERTC) との協議を行い, 調査全体計画に関する双方の同意が得られた。今後の留意事項を含め, 今回の調査に関する調査団所見は, 次のとおりである。

### 2-1 協議結果

#### (1) ヒ素汚染に関する基本確認

今回の調査結果を含め, ヒ素汚染に関しこれまで得られた情報の中で, 今後の本格調査内容を確認する上で, 特に重要と思われる主要事項を列記する。

- 1) ロンピブーン地区におけるヒ素汚染源は, これまで採掘跡, 選鉍所跡等幾つかが想定されていたがこれ以外にも汚染源と考えられる地点が発見されている。また, これらの汚染源から他ヒ素は, 主に表流水及び地下水によって広範囲にわたって移流・拡散し, 複雑な汚染状況を呈している。
- 2) 本地区のヒ素汚染は無機ヒ素化合物による汚染と考えられるが, 3価のヒ素の方が5価のヒ素よりはるかに大きな毒性を有するとされている。ヒ素は環境条件によって3価あるいは5価に変化する。このため現場で3価及び5価のヒ素を分析する必要がある。
- 3) 同じタイプの錫鉍床であっても, 酸化の程度により侵出水のヒ素濃度には大きな差異がある。
- 4) 従来 of 調査結果から, 環境水中のヒ素濃度は季節変化があると想定されるが, 今回の簡易分析結果からもその事実が確認された。
- 5) ロンピブーン地区でも使用されている井戸数85カケ所のうち65ヶ所で汚染が確認されているが, その汚染状況分布は地下水汚染源と一致する。
- 6) ロンピブーン地区の80パーセントの地区に水道水が供給されているが, 残り20パーセントにはまだ水道施設の計画が無い。特に, この地域の住民は, 生活レベルが低く, 井戸水を常用しているために, ヒ素中毒の症状が出ている。
- 7) タイ国政府は, 以前よりこの問題を重視し, 科学技術環境省 (MOSTE), 鉍物資源局 (DMR), 保健省, ソンクラ大学が調査を実施しているが, 対応がバラバラであったことから十分な成果が挙がっていない。
- 8) DMRによる直接的対策として, 山錫採掘跡にあるズリ (汚染源の一つ) の撤去, 埋立作業を進めているが, より危険度の高い汚染源 (選鉍所廃さい等) が後回しにされている。

## (2) 本調査の位置付け

複雑な要素を含むヒ素汚染問題の抜本的解決には、水文・水質調査による汚染源調査をはじめ、社会科学面あるいは保健医療面等からの総合的アプローチが必要なことは、前回の調査団からも指摘されているところである。今回も、タイ事務所長あるいは現地保健局の幹部より、特に飲料水の具体的対策について強い期待が表明された。このため、本調査の位置付けに関し、改めて下記の説明を行った。

- 1) 保健医療面等を含めた総合調査を推進する上で、全体のマスタープランを策定しておくことは、関連機関の協力体制を確立し一体となった取組みを進めるためにも重要であるが、これはMOSTEを中心としたタイ側の作業でもあること、
- 2) JICAの計画している本調査は、総合調査を検討する上で基盤となる部分であり、特に汚染源の特定、汚染メカニズムの解明は、今後適切な対策を策定する上で不可欠であること、
- 3) 本調査の成果は、地域住民に対する飲料水の供給に直接つながるものではないが、効果的な対応策に関する政策提言も視野に入れていること、
- 4) 本調査が契機となって、タイ側関連機関の連携がさらに強まることを期待していること。

以上であったが、本調査が単なる現場調査に終始するものではなく、資料収集・解析作業を通し、常に総合的視点から取組むことが重要である。

## (3) 調査実施上の問題等

本調査は、地形・地質調査、水文・水質調査、オーガー調査とボーリング調査による汚染源調査を概査（雨期）、精査（乾期）の2段階に分けて、しかも2年以内（実質1年位）に実施することから、できるだけ無駄のない作業計画を策定することが必要である。特に汚染源の特定、メカニズムの解明に不可欠な水質分析は、特定期間に大量のサンプルが集中するため、迅速かつ正確に処理できるよう、分析作業の実行体制を早期に詰めておくことが望ましい。

以上の共通認識のもとに、協議において確認した主要事項、今後の検討内容を要約すると下記のとおりである。

### a. 分析作業の具体的内容について

- (1) 主要な分析作業は実施機関であるERTCが行うが、必要な機材はJICAが供与する。
- (2) 3価及び5価のヒ素については、濃度変化を避けるため現地で処理する。現地のラボには、MOSTEの移動計測車を使用する。
- (3) その他の分析には、サンプルを持ち帰りERTC内で行う。
- (4) イオンクロマトグラフ法と原子吸光法を主に使用する。現場の測定では、必要に応じて、廣中式簡易試験法を用いる。
- (5) イオンクロマトグラフと原子吸光による分析作業を軌道に乗せるには、かなりの日数を要するため、前半の概査の段階では、廣中式簡易試験法を使用する。ただ

し、余ヒ素は改めて分析する。

(6) 上記の分析技術について、可能な限り技術移転を進める。

#### b. 調査の実施体制

本調査は、タイ国内の種々の関連が関与していること、調査地区がバンコックから800km（南方）近く離れていること、実施機関のERTCがバンコックにあること、種々の分野からのアプローチが必要なことなど、実行に当たっては、技術面以外の困難も予想される。このため、特にタイ側においては関連機関との調整等、ERTCのリーダーシップと行動力が望まれる。また、JICAにおいても、専門家からなる小規模のアドバイザリー・コミッティーなるものを設け、種々の面からサポートしていくことが必要である（図-2.1参照）。

#### (4) その他の留意事項

(1) 本調査は、オーガー調査、ボーリング調査などの現場作業が多いため、具体的な作業の実施に当たっては、ナコン・シ・タマラート県をはじめロンピブーン村等との関係は勿論のこと、地域住民の理解と協力のもとに進めていくことが重要である。ロンピブーン村の住民はこれまで種々の経緯があつて、中央政府さらには県、郡に対してかならずしも良い感情を持っていないので、地域住民との関係には特に留意する必要がある。

オーガー作業及びボーリング作業等は、具体的内容を事前に説明し、作業の一部に地域住民を可能な限り雇用することが望ましい。なお、ロンピブーン村には、ヒ素汚染に関する対策委員会が設置されているので、毎月開催されているこの委員会を意見交換の場として利用することを勧めたい。ナコン・シ・タマラート県に対しても3カ月に一度程度進捗状況等を報告して欲しい旨要請があつた。

(2) ロンピブーン村でかつてヒ素汚染の調査に長期間従事し、現在ソクラー大学での問題に取り組んでいる日本人専門家がいたので、本調査においてもできる限りの協力を要請してはどうか。

(3) 使用予定の分析機器（イオンクロマト+原子吸光）のスーパーバイズはタイ側では困難であるから、日本からの短期専門家を派遣することができないか。

#### 2-2 総合所感

最近、世界的にヒ素汚染が問題となっているが、その中でJICAが本調査を実施することは非常に意義があり、新しい環境汚染問題を国際協力として多面的に取り組むことに、世界的に注目が集まるといっても過言ではない。ヒ素汚染のメカニズムの解明は、かなり学際的な面も強いが、種々の分野からの基礎的なアプローチが、ひいてはヒ素汚染・中毒症の拡大を防ぎ、適切な汚染対策を講ずる上でも、また、地球環境といったグローバルな視点からも重要になる。

日本とタイとの協力により、良い成果が出ることは勿論のこと、それを広く公表できることを期待したい。

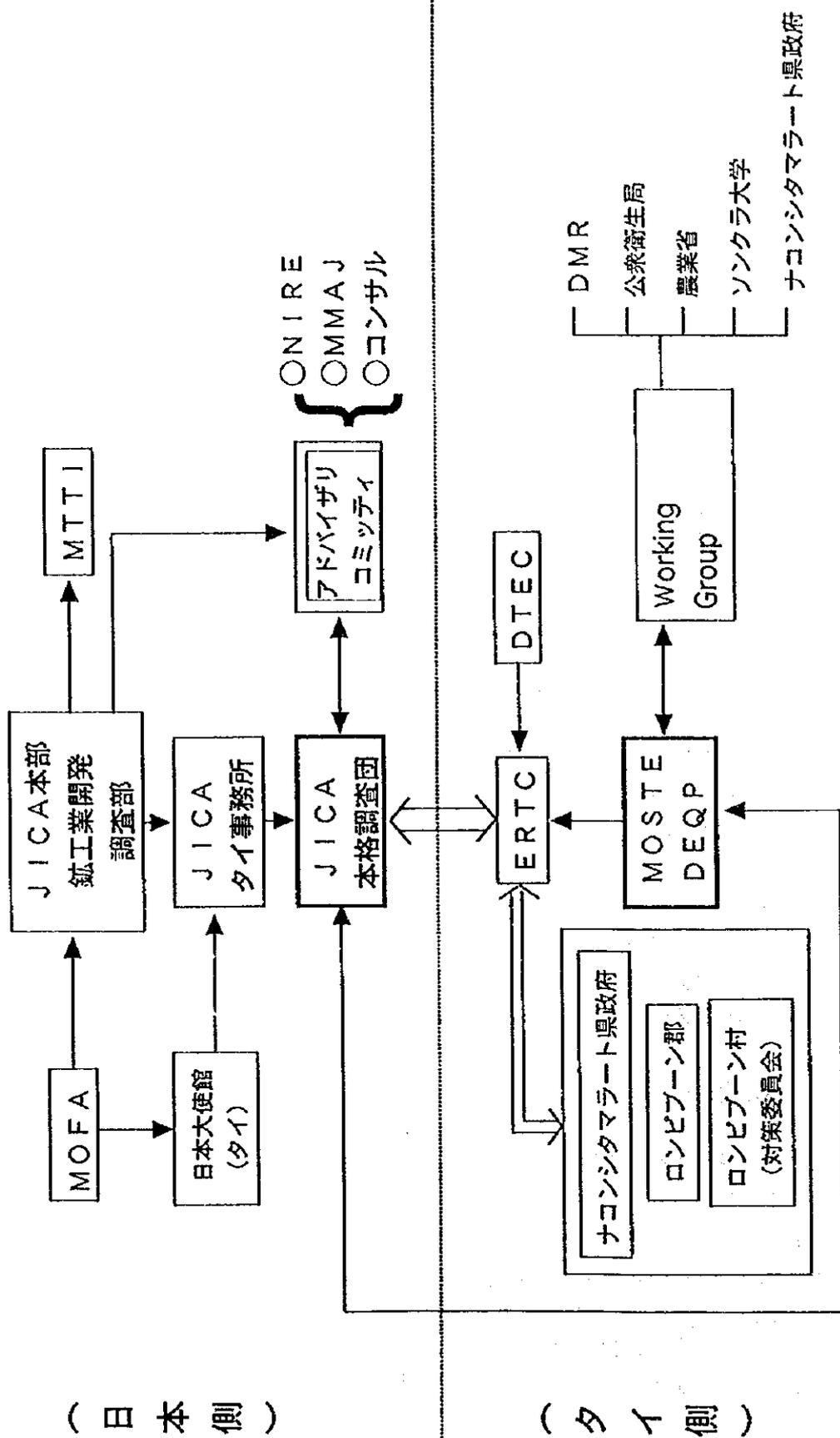


図-2.1 本格調査 (タイヒ素) 実施体制 (案)

2-3 実施細則 (S / W)



SCOPE OF WORK  
FOR  
THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLANNING SURVEY  
FOR ARSENIC CONTAMINATED AREA OF THE  
NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE  
IN  
THE KINGDOM OF THAILAND

AGREED UPON BETWEEN  
MINISTRY OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT (MOSTE)  
AND  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

BANGKOK, MAY 17, 1998

*S. Saganwongse*

Mr. Suvat Saganwongse  
Director General  
Department of Environmental Quality  
Promotion, Ministry of Science,  
Technology and Environment

宇佐美 毅

Dr. Takeshi Usami  
Leader of the Japanese Preparatory  
Study Team,  
Japan International Cooperation  
Agency

## I. INTRODUCTION

In response to the request of the Government of the Kingdom of Thailand (hereinafter referred to as "Thailand" ), the Government of Japan decided to conduct the Study on the Environmental Management Planning Survey for Arsenic Contaminated Area of Ronphibun District in the Kingdom of Thailand (hereinafter referred to as "the Study Team" ) in accordance with the Agreement on Technical Cooperation between the Government of Japan and the Government of Thailand signed on 5th November, 1981 (hereinafter referred to as "the Agreement" ).

Accordingly, the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA" ), the official agency responsible for the implementation of the technical cooperation programs of the Government of Japan, will undertake the Study in close cooperation with the authorities concerned of Thailand.

The Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Science, Technology and Environment (hereinafter referred to as "ERTC, DEQP, MOSTE" ) shall act as counterpart agency to the Japanese study team and also as coordinating body in relation with other relevant organizations for the smooth implementation of the study.

The present document sets forth the scope of work with regard to the Study.

## II. OBJECTIVES OF THE STUDY

The objectives of the Study are as follows:

- 1 To identify/characterize the arsenic contamination sources and its mechanism in the environment at the Ronphibun district and formulate remedial countermeasures to mitigate the present condition of the arsenic contamination and its impacts to the area.
- 2 To transfer relevant technologies to Thai counterpart personnel in the course of the Study.

### III. STUDY AREA

The Study area will be focus in the Ronphibun district (Appendix I).

### IV. SCOPE OF THE STUDY

In order to achieve the above objectives of the Study, the Study will cover the following study items:

1. Existing data collection and analysis

- (1) Legislation related to the mining and environment
- (2) Natural condition of the survey area
- (3) Mining activity and arsenic contamination and its impacts
- (4) Socioeconomic condition
- (5) Reexamination of components of preliminary field survey based on the existing photographs

2. Preliminary field survey

2-1 Topographic/geological survey

- (1) Topographic/geological investigation
- (2) Soil characteristics
- (3) Geological investigation in the mined areas

2-2 Hydrological/geochemical survey (1)

- (1) Hydrological/geochemical investigation
- (2) Surface water investigation (1)
- (3) Preparation of database for water wells
- (4) Meteorological observation (1)

2-3 Contamination source investigation (1)

- (1) Contamination investigation
- (2) Auger boring survey (1)
- (3) Drilling survey (1)
- (4) Dust fall investigation (1)

*al*      *Suvant*

3. Detail field investigation
  - 3-1 Hydrological/geochemical survey (2)
    - (1) Surface water investigation (2)
    - (2) Meteorological observation (2)
  - 3-2 Contamination source investigation (2)
    - (1) Auger boring survey (2)
    - (2) Drilling survey (2)
    - (3) Dust fall investigation (2)
  - 3-3 Water source investigation
    - (1) Water source investigation
    - (2) Measurement of out-flow
  - 3-4 Data collection/analysis
    - (1) Environmental consideration
    - (2) Civil engineering (Countermeasures)
    - (3) Socioeconomic analysis
4. Comprehensive analysis, evaluation and recommendation
  - (1) Present condition of arsenic contamination
  - (2) Contamination map of arsenic
  - (3) Identification of contamination sources
  - (4) Contaminated mechanism of arsenic
  - (5) Water balance, load balance of arsenic
  - (6) Diffusion simulation of arsenic contamination
  - (7) Formulation of remedial countermeasure design for arsenic contamination and its impact to the area
  - (8) Cost estimation and economic evaluation

#### V. WORK SCHEDULE

The Study will be carried out in accordance with the attached Tentative Work Schedule as shown in Appendix II.

66 Surat

## VI. REPORTS

JICA shall prepare and submit the following reports in English to the Government of Thailand in accordance with the attached Tentative Work Schedule shown in Appendix II.

1. Inception Report (20 copies)
2. Interim Report (20 copies)
3. Progress Report (20 copies)
4. Draft Final Report (20 copies)

The Government of Thailand shall provide its comments on the Draft Final Report within one (1) month after the submission of Draft Final Report.

5. Final Report (30 copies)

Within two (2) months after receiving the comments of the Government of Thailand on the Draft Final Report.

## VII. DIVISION OF TECHNICAL UNDERTAKINGS

The division of technical undertaking by ERTC and JICA of the Study is detailed in Appendix III.

## VIII. UNDERTAKINGS OF THE GOVERNMENT OF THAILAND

1. In accordance with the Agreement, the Government of Thailand shall accord benefits to the Japanese Study Team as follow:
  - (1) to permit the members of the Japanese Study Team to enter, leave and sojourn in Thailand for the duration of their assignment therein, and exempt them from foreign registration requirements and consular fees.
  - (2) to exempt the members of the Japanese Study Team from taxes, duties and other charges on equipment, machinery and other materials brought into Thailand for the conduct of the Study.
  - (3) to provide the necessary facilities to the Japanese Study Team for unrestricted reexport of equipment and machinery brought into Thailand for the conduct of the

Study,

- (4) to exempt the members of the Japanese Study Team from income tax and charges of any kind imposed on or in connection with any emoluments or allowances paid to the members of the Japanese Study Team for their services in connection with the implementation of the Study,
- (5) to bear claims, if any arises, against the members of the Japanese Study Team resulting from, occurring in the course of, or otherwise connected with, the discharge of their duties in the implementation of the Study, except when such claims arise from gross negligence or willful misconduct on the part of the members of the Japanese Study Team.

2. To facilitate smooth conduct of the Study, ERTC shall take necessary measures in cooperation with other relevant organizations,

- (1) to cooperate in secure the safety of the Japanese Study Team, when and a it is required in the course of the Study.
- (2) to cooperate in secure permission for entry into private properties or restricted areas for the implementation of the Study.
- (3) to cooperate in secure permission for the Japanese Study Team to take all data, documents, maps, photographs and materials related to the Study out of Thailand to Japan,
- (4) to provide medical services as needed. Its expenses will be chargeable on members of the Japanese Study Team.

3. ERTC shall, at its own expenses, provide the Japanese Study Team with the followings, in cooperation with other relevant organizations.

- (1) available data and information related to the Study,
- (2) counterpart personnel,
- (3) suitable office space with necessary equipment in Bangkok and the Study Site,
- (4) credentials or identification cards.

U Surt

## IX. UNDERTAKINGS OF JICA

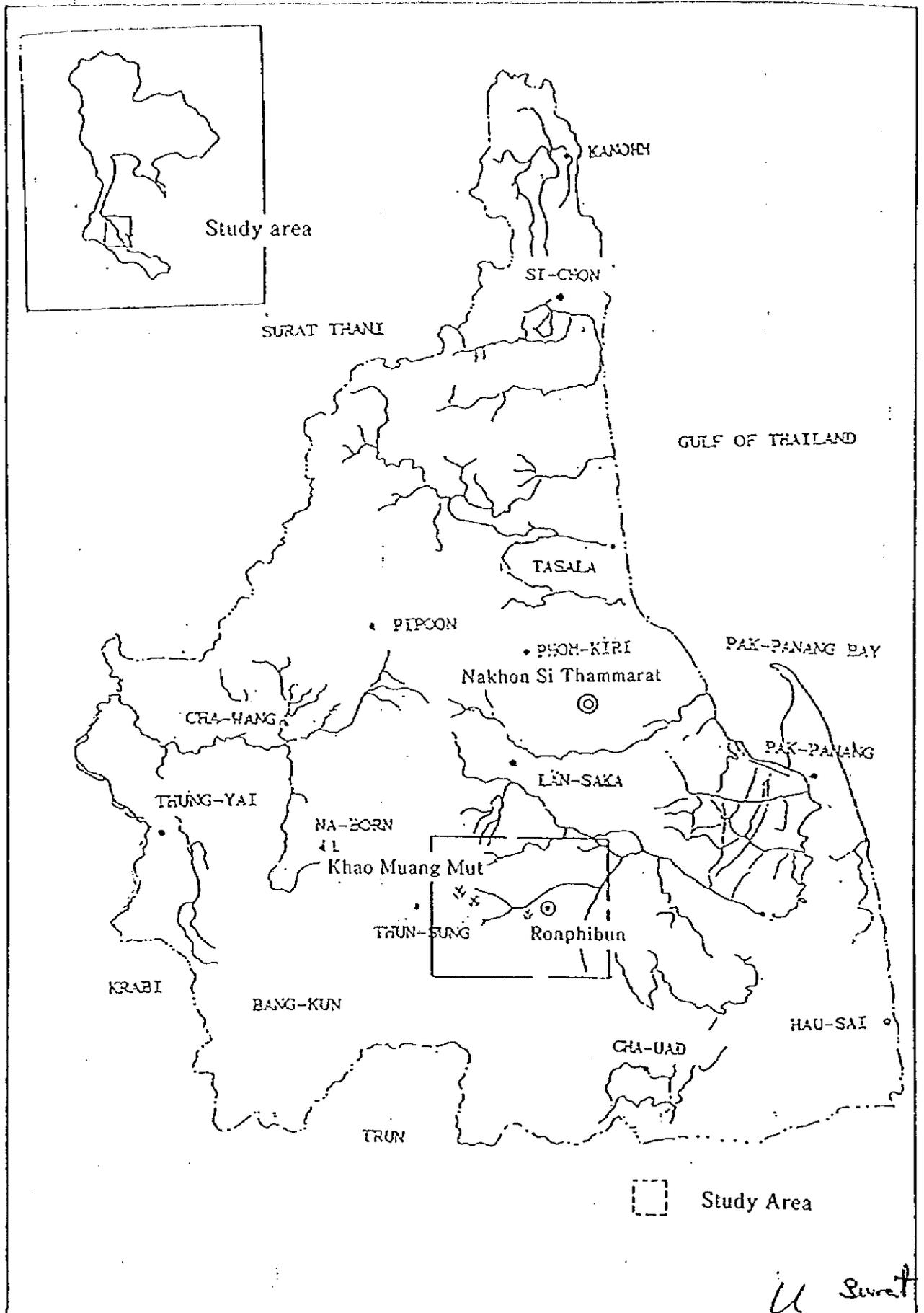
For the implementation of the Study, JICA shall take the following measures.

1. to dispatch, at its own expense, study teams to Thailand, and
2. to pursue technology transfer to the Thailand counterpart personnel in the course of the study.

## X. CONSULTATION

JICA and MOSTE (ERTC) shall consult with each other in respect of any matter that may arise from or in connection with the Study.

U Sent



Appendix I Study Area



(2)

Working items	Thai side	Japanese side
3. Detail field investigation	To assist in selecting counterpart personnel	To supervise the works and to transfer the techniques
3-1 Hydrological/geochemical survey (2)	Assistance of the survey	To carry out the survey
(1) Surface water investigation (2)	To assist the survey and chemical analysis	To carry out the survey and chemical analysis
(2) Meteorological observation (2)	Coordination of the survey	ditto
3-2 Contamination source investigation (2)	Assistance of the survey	To carry out the survey
(1) Auger boring survey (2)	To assist the survey and chemical analysis	To carry out the survey and chemical analysis
(2) Drilling survey (2)	ditto	ditto
(3) Dust fall investigation (2)	Coordination of the survey	To carry out the survey
3-3 Water source investigation	Assistance of the survey	ditto
(1) Water source investigation	ditto	To carry out the survey and chemical analysis
(2) Measurement of out-flow	ditto	Carrying out
3-4 Data collection/analysis	To assist in selecting counterpart personnel	To manage and compile the works
4. Comprehensive analysis, evaluation and recommendation	To assign counterpart personnel	To carry out the works
(1) Present condition of arsenic contamination	Assistance	Carrying out
(2) Contamination map of arsenic	ditto	ditto
(3) Identification of contamination source	ditto	ditto
(4) Contamination mechanism of arsenic	ditto	ditto
(5) Water balance, load balance of arsenic	ditto	ditto
(6) Diffusion simulation of arsenic contamination	ditto	ditto
(7) Formulation of remedial countermeasures and arsenic contamination and poisoning	ditto	ditto
(8) Cost estimation and economic evaluation	ditto	Carrying out

Appendix III DIVISION ON TECHNICAL UNDERTAKINGS

(1)

Working items	Thai side	Japanese side
1. Data collection and analysis	To assist in selecting counterpart personnel	To manage and compile the works
(1) Mining and environmental legislation	Assistance to collect data/information	To collect and review data/information
(2) Natural condition of the survey area	ditto	ditto
(3) Mining activity and arsenic contamination and poisoning	ditto	ditto
(4) Socioeconomic condition	ditto	ditto
(5) Interpretation of aerial photographs	ditto	ditto
(6) Reexamination of components of preliminary survey	ditto	ditto
2. Preliminary field survey	To assist in selecting counterpart personnel	To supervise the works and to transfer the techniques
2-1 Topographical/geological survey		To carry out the survey
(1) Topographical/geological investigation	To assist the survey and chemical analysis	ditto
(2) Soil characteristics	ditto	ditto
(3) Geological investigation in mined area	ditto	ditto
2-2 Hydrological/geochemical survey (1)	Assistance of the survey	To carry out the survey and chemical analysis
(1) Hydrological/environmental investigation	To assist the survey and chemical analysis	ditto
(2) Surface water investigation (1)	ditto	ditto
(3) Preparation for database of water well	ditto	ditto
(4) Meteorological observation (1)	Coordination of the survey	To carry out the survey
2-3 Contamination source investigation (1)	Assistance of the survey	ditto
(1) Contamination investigation	Coordination of the survey	ditto
(2) Auger boring survey (1)	To assist the survey and chemical analysis	To carry out the survey and chemical analysis
(3) Drilling survey (1)	ditto	ditto
(4) Dust fall investigation (1)	Coordination of the survey	To carry out the survey

CC Secret



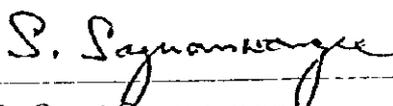
2-4 協議議事録 (M/M)



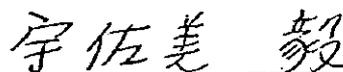
MINUTES OF MEETING  
ON  
SCOPE OF WORK  
FOR  
THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLANNING SURVEY  
FOR ARSENIC CONTAMINATED AREA OF THE  
NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE  
IN  
THE KINGDOM OF THAILAND

AGREED UPON BETWEEN  
MINISTRY OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT (MOSTE)  
AND  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

BANGKOK, MAY 17, 1998



Mr. Suvat Sagnawongse  
Director General  
Department of Environmental Quality  
Promotion, Ministry of Science,  
Technology and Environment



Dr. Takeshi Usami  
Leader of the Japanese Preparatory  
Study Team,  
Japan International Cooperation  
Agency

The preparatory Study Team (hereinafter referred to as "the Team" ) organized by the Japan International Cooperation Agency (JICA) and headed by Dr. Takeshi Usami, visited the Kingdom of Thailand from 12th to 20th May, 1998 for the purpose of discussing the Scope of Work for the Environmental Management Planning for Arsenic Contaminated Area of Nakhon Si Thammarat Province.

Team exchanged views and had series of discussion with agencies concerned of the Government of Thailand, including Ministry of Science, Technology and Environment (MOSTE), Environmental Research and Training Center (ERTC), Department of Mineral Resources (DMR), and other agencies concerned.

The Attendance list of the meetings is attached.

As a result of discussion, both sides confirmed the following points.

#### 1. Goal of the Study

The Study will be focussed on the following point of views.

- (1) Various document like database for well water, arsenic contamination map, water balance and arsenic load balance, diffusion simulation of arsenic contamination, etc. prepared in the course of the Study will be basic data defining the actual condition of the contamination in the area, and will be the basis for administrative actions to the Department concerned to be taken in the future.
- (2) The Study will provide necessary information for relevant organizations to review the past actions taken with the problem and to discuss and find out the appropriate approach in order to solve the problem.
- (3) The Study will cover the following study items.

##### (3). 1 Study area

The Study area will be focussed in the Ronphibun district (Appendix I).

#### 2. Components of the Study

The components of main works in the Study are confirmed as below.

*Sumit*  
*U*

(1) Geological survey

Sampling sites for the geological survey with focus on soil characteristics will be mainly carried out in the mountainous area are approximately 40.

(2) Hydrological/geochemical survey

Measurement points for the hydrological/geochemical survey are approximately 40.

(3) Meteorological observation

Set up two meteorological observation sites.

(4) Contamination source investigation

Sampling sites for the contamination source investigation are approximately 20.

(5) Auger boring survey

Total sites for auger boring are 450.

(6) Drilling survey

Sites for drilling survey will be carried out are 12 holes.

(7) Dust fall investigation

Measurement points of dust fall investigation using dust jar are 12.

5. Organizational Framework for the Study

Counterpart personnels are requested to participate in all of the field investigation.

6. Item of Technical Undertakings

Item for the chemical analysis is confirmed as below.

:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ , etc.

The following parameters should be analyzed at the site.

:  $As^{3+}$ , EC, ORP, pH, etc.

7. Counterpart Training

Refer to the Scope of Work, ERTC (DEQP) requested that counterpart personnel should participate in technical training program in Japan. The term replied to convey the request to JICA.

*[Handwritten signature]*

U

## 8. Equipments

ERTC (DEQP) requested the following equipments necessary for the implementation of the Study. The term replied to convey the request to the Government of Japan.

1. Hydride Generation Flow Injection System and Atomic Absorption Spectrophotometer for the analysis of total As : 1 set.
2. Ion Chromatograph and Hydride Generation Flow Injection System and Atomic Absorption Spectrophotometer with autosampler for the analysis of As (III) and As (V) : 1 set
3. Ion Chromatograph with autosampler for the analysis of inorganic cation and anion : 1 set.
4. Field Test kits for As analysis : 10 sets.

*Count*

*ll*

## LIST OF ATTENDANTS

### JAPANESE SIDE

#### 1. Preparatory Study Team

Dr. Takeshi Usami	Leader of the Preparatory Study Team
Dr. Mamoru Tominaga	Member
Mr. Hiromi Hironaka	Member
Mr. Tsuneo Masuda	Member
Mr. Mikio Kajima	Member

#### 2. JICA Bangkok Office

Mr. Kenji Iwabuchi  
Mr. Gen Usui

#### 3. Embassy of Japan

Mr. Kenji Iwabuchi

#### 4. Observer

Dr. Kunio Watanabe

### THAI SIDE

#### 1. Ministry of Science, Technology and Environment

Mr. Suvat Saganwongse

#### 2. Environmental Research and Training Center

Dr. Monthip Sriratana Tabucanon  
Ms. Sukanya Boonchalermkit  
Mr. Janewit Wongsanoon  
Dr. Nittaya Nugranad

*Print*

U

Ms. Hathairatana Garivate

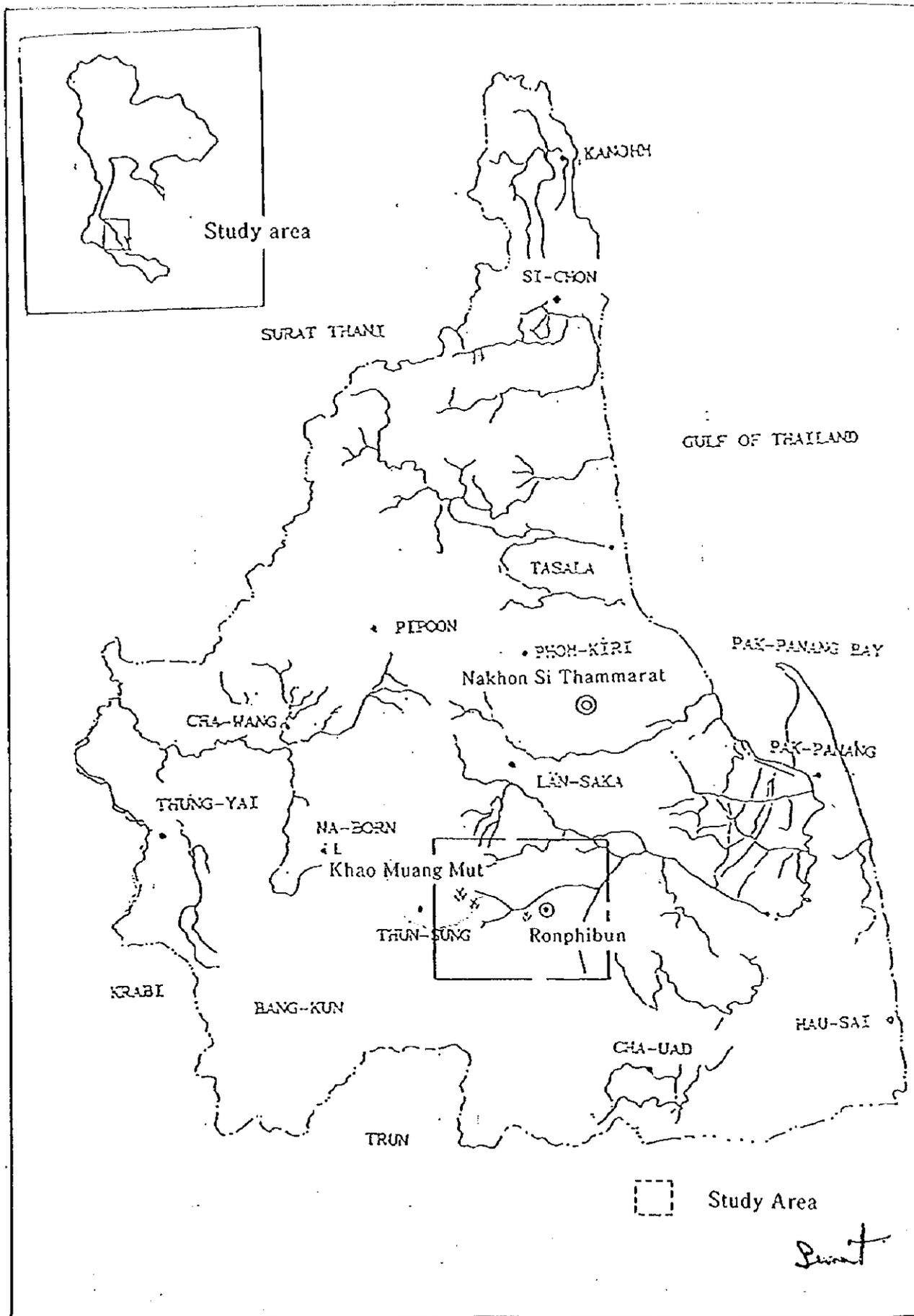
Mr. Meesak Mirintharasai

3. Department of Technical Economic Cooperation

Mr. Banchong Amorncheewin

*Secret*

*ll*



Appendix I Study Area

ll



### 第 3 章 タイ国の鉱業及び環境



### 第3章 タイ国の鉱業及び環境

#### 3-1 鉱業の趨勢

タイ国内では経済的に重要な鉱物種は22種であり、伝統的に錫鉱業が主力であった。しかし、1985年以降の価格下落により錫鉱業は競争力を失いつつあり（図-3.1参照）、錫に変わり亜鉛、非金属、石炭等が重要性を増している。また、天然ガス資源にも恵まれており、天然ガス・石油が生産され、将来が期待されている。

タイ国経済に占める鉱業・採石の比率は、1993年のGDP（名目）で1.5%であり、鉱業・採石の占める割合は小さい。また、鉱業・採石の中でも亜炭、亜鉛、錫、石膏及びセメントが大きな割合を占めている。1992年における主な鉱産物の生産量及び生産額を表-3.1に示す。

表-3.1 主な鉱産物の生産（1992年）

鉱種	生産	
	生産量 (t)	生産額 (M. Baht)
石膏	7,111,109	1,877.3
亜炭	15,618,230	7,809.1
亜鉛	407,180	2,419.1
石灰岩 (セメント用)	25,272,166	2,148.1
石灰岩 (工業用)	335,915	28.6
錫精鉱	11,484	1,239.2
ナトリウム	523,228	366.3
カリ	36,578	62.2
頁岩	2,860,084	257.4
大理石	86,995	221.4
カオリン (精鉱)	301,035	210.7
鉄鉱石	427,242	128.2
鉛鉱石	27,946	128.1
珪砂	594,325	208.0

#### 3-2 錫鉱山の状況

タイ国の錫鉱の生産量は1992年において11,484 tであった。錫鉱業の中心の一つであるナコン・シ・タマラート県では1989～1990年が最大生産量を示し、その後生産量が落ち、1995年以降から極端に減少している。1985年以降の錫価格下落の影響を受け、錫の生産量が減少している。タイ全国及びナコン・シ・タマラート県の錫の生産量を表-3.2に示す。

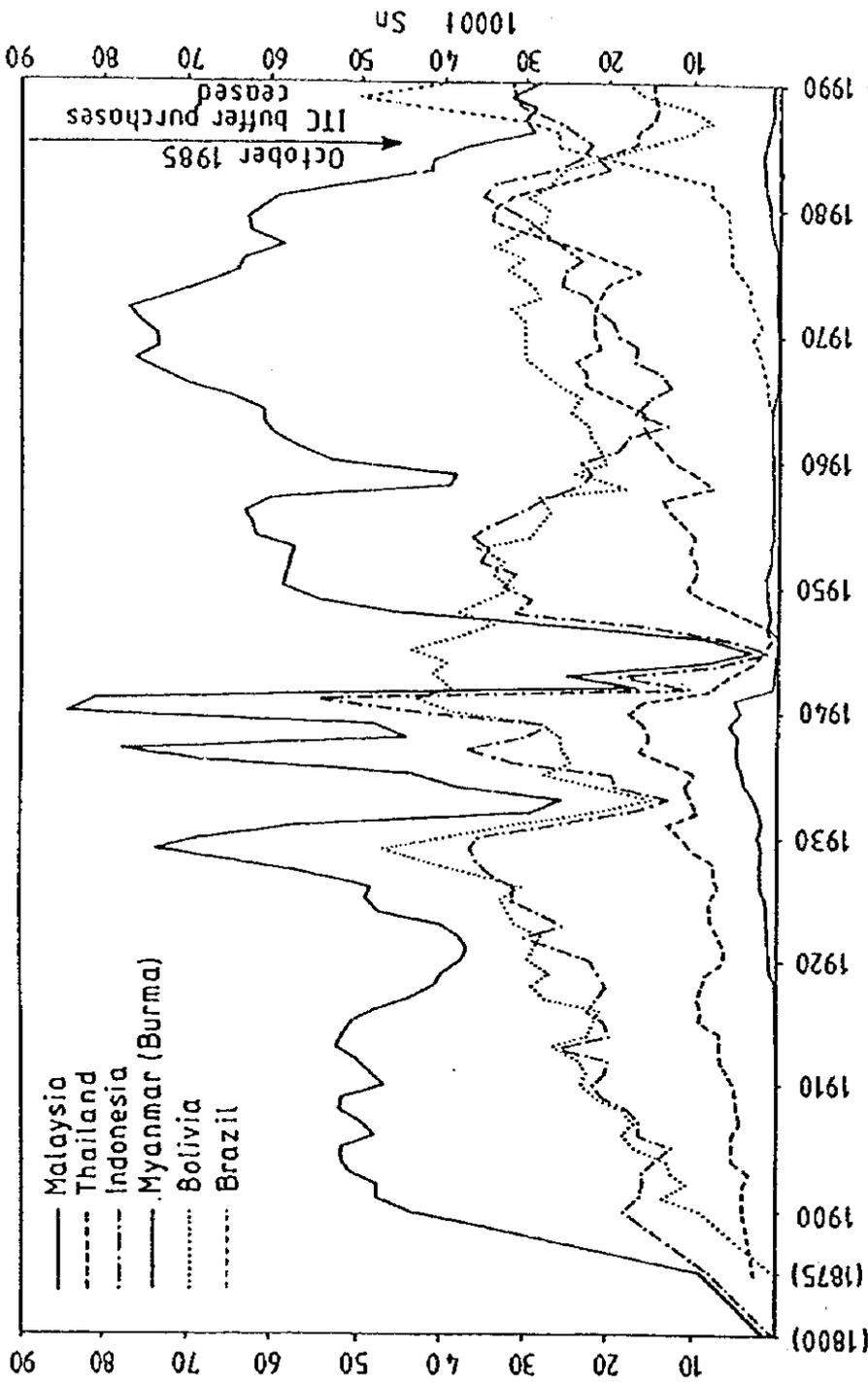


図-3.1 錫の国際価格動向

県別の錫の生産量（1986～1989年）を表-3.3に示す。ナコン・シ・タマラート県は5.2～15.5%の範囲にあり、全国で3～4番目の生産量を維持している。

表-3.2 錫の生産量

年	タイ全国	ナコンタマラート県
1980	45,986	1,571
1981	42,968	1,756
1982	35,644	1,531
1983	27,225	1,245
1984	29,979	992
1985	23,022	984
1986	23,298	1,201
1987	20,485	937
1988	19,420	1,468
1989	20,372	3,157
1990	19,979	3,166
1991	14,939	1,706
1992	11,485	1,964
1993	6,363	1,034
1994	3,926	1,044
1995	2,202	677
1996	-	252

表-3.3 県別錫生産量 (t)

生産地 (県)	1986年	1987年	1988年	1989年
カンチャナブリ	1,681	1,274	1,393	1,282
ナコン・シ・タマラート	1,201	937	1,468	3,157
バンガー	4,718	4,366	3,089	2,080
タクアバー郡	5,518	5,245	3,465	4,672
ブーケット	2,873	2,798	4,028	3,453
ラノー	1,477	1,049	1,055	923
ソククラ	1,150	818	474	489
スラータニー	678	609	491	385
その他	4,002	3,390	3,957	3,931
合計	23,298	20,486	19,420	20,372

### 3-3 環境の概要

#### (1) 環境概況

タイ国において、近年の急激な経済成長に伴って、大気汚染、水質汚濁等の環境問題が発生している。大気汚染は主要都市部及び工業地帯で著しく、バンコックでは交通渋滞と共に自動車排ガスが深刻化している。水質汚濁はチャオプラヤ川等の主要河川及びソンクラ湖等で著しい。

また、都市ゴミや産業廃棄物の増加が処理能力を上回り、環境悪化が進行しているのが現状である。

環境問題の深刻化に対し、環境行政として第7次国家経済社会開発計画（第7次5カ年計画：1992～1996年）において環境保全の強化に乗り出している。同計画のガイドラインは以下のとおりである。

- a. 水質汚濁
  - 1) 汚濁企業の再配置による汚濁排出量の減少化
  - 2) 水質汚濁地域での排出の禁止措置
  - 3) リサイクルの奨励
- b. 大気及び騒音公害
  - 1) 大気汚染の削減及び管理
    - ・交通手段
    - ・工場
  - 2) 自動車騒音レベルの低減
- c. 産業廃棄物処理

#### (2) 環境関連法規

タイ国の鉱山に関する環境関連法規を表-3.4に示す。

#### (3) 環境基準

水質（飲料水、飲料水用地下水及び排水）に関する環境基準を表-3.5に示す。

表-3.4 鉱山に関する環境関連法規

No.	法 令 名 称	制定年度
1	Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act <ul style="list-style-type: none"> <li>· National Environmnet Board</li> <li>· Environmental Fund</li> <li>· Environmental Protection</li> <li>· Environmental Impact Assessment</li> <li>· Pollution Control</li> </ul>	1994
2	Water Quality Standards <ul style="list-style-type: none"> <li>· Drinking water</li> <li>· Effluent</li> <li>· Coastal water</li> <li>· Surface water</li> <li>· Pollution Control</li> </ul>	1989
3	Solid Waste, Nightsoil and Hazardous Waste Management	1992
4	Mineral Act	1979
5	Tin Control Act	1971
6	Public Health Act	1992
7	Public Cleaning and Orderlines Act	1960
8	Land Development Act	1983
9	City Development Act	1975
10	Toxic Substance Act	1967
11	National Park Act	1964
12	National Forest Reserves Act	1964
13	Forest Act	1984
14	Wild Animals Reserves and	1960
15	Factories Act	1969

表--3.5 水質基準  
(1) 飲料水水質基準

No.	Parameters	Unit	Standard values	
			Max. acceptable	Max. allowable
1	Color	Pt-Co	5	15
2	Taste	TON	non	non
3	Odor	TTN	non	non
4	Turbidity	SSU	5	20
5	pH	.	6.5-8.5	$\leq 9.2$
6	Total solids	mg/l	500 (600)	1500 (1000)
7	Fe	mg/l	0.5	1.0
8	Mn	mg/l	0.3(0.1)	0.5 (0.3)
9	Fe & Mn	mg/l	0.5	1.0
10	Cu	mg/l	1.0	1.5
11	Zn	mg/l	5	15
12	Ca	mg/l	75	200
13	Mg	mg/l	50	150
14	SO <sub>4</sub>	mg/l	200	250
15	Cl	mg/l	250	600 (500)
16	F	mg/l	0.7	1.0
17	NO <sub>3</sub>	mg/l	45 (10)	45 (10)
18	Alkyl benzyl	mg/l	0.5	1.0
19	S. Phenolic substance	mg/l	0.001	1.0 (0.002)
20	Hg	mg/l	0.001	
21	Pb	mg/l	0.05	
22	As	mg/l	0.05	
23	Se	mg/l	0.01	
24	Cr	mg/l	0.05	
25	CN	mg/l	0.2 (0.1)	
26	Cd	mg/l	0.01 (0.005)	
27	Ba	mg/l	1.0	
28	Standard plate count	colonies/cm <sup>3</sup>	500	
29	Total coliform	MPN/100cm <sup>3</sup>	$\leq 2.2$	
30	E coli, etc.		none	
31	DDT	$\mu$ g/l	1	
32	Aldrin. & Dieldrin	$\mu$ g/l	0.03	
33	Chlordane	$\mu$ g/l	0.3	
34	Hexachloro benzene	$\mu$ g/l	0.01	
35	Heptachlor &	$\mu$ g/l	0.1	
36	Heptachlor, -HCH	$\mu$ g/l	3	
37	Methoxy chloride	$\mu$ g/l	30	
38	2,4-D	$\mu$ g/l	100	
39	Gross $\alpha$	Becquerel/l	0.1	
40	Gross $\beta$	Becquerel/l	1	

## (2) 飲料水用地下水水質基準

No.	Parameters	Unit	Standard values
1	Color	Hazen	20
2	Odor	.	none
3	Turbidity	Silica scale	5
4	pH	.	6.5-8.5
5	Total solids	mg/l	500
6	Total hardness as CaCO <sub>3</sub>	mg/l	100
7	As	mg/l	0.05
8	Ba	mg/l	1.0
9	Cd	mg/l	0.01
10	Chloride as chlorine	mg/l	250
11	Cr	mg/l	0.05
12	Cu	mg/l	1.0
13	Fe	mg/l	0.5
14	Pb	mg/l	0.1
15	Mn	mg/l	0.05
16	Hg	mg/l	0.002
17	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	4.0
18	Phenol	mg/l	0.001
19	Se	mg/l	0.01
20	Ag	mg/l	0.05
21	Sulphate	mg/l	250
22	Zn	mg/l	5.0
23	F	mg/l	1.5
24	Coliform	MPN/100ml	2.2
25	E. coliform	MPN/100ml	none
26	Disease causing bacteria	MPN/100ml	none

### (3) 排水水質基準

No.	Items	Unit	Standard values	Remarks
1	BOD	mg/l	20-60	
2	Suspended solids	mg/l	30-150	
3	Dissolved solids	mg/l	< 2000	< 5000 of DS
4	pH		5-9	
5	Permaganate value	mg/l	Max. 60	
6	Sulphide as H <sub>2</sub> S	mg/l	Max. 1.0	
7	Cyanide as HCN	mg/l	Max. 0.2	
8	Tar	mg/l	none	
9	Oil & grease	mg/l	Max. 50	
10	Formaldehyde	mg/l	Max. 1.0	
11	Phenol & cresols	mg/l	Max. 1.0	
12	Free chlorine	mg/l	Max. 1.0	
13	Insecticides	mg/l	none	
14	Radioactivity	B/l	none	
15	Zn	mg/l	5	Zinc industry: Max. 3.0
16	Cr	mg/l	0.5	Zinc industry: Max. 0.2
17	As	mg/l	0.25	
18	Cu	mg/l	1	
19	Hg	mg/l	Max. 0.005	Zinc industry: Max. 0.002
20	Cd	mg/l	Max. 0.03	Zinc industry: Max. 0.1
21	Ba	mg/l	Max. 1.0	
22	Se	mg/l	Max. 0.02	
23	Pb	mg/l	Max. 0.2	
24	Ni	mg/l	Max. 0.2	Zinc industry: Max. 0.2
25	Mn	mg/l	Max. 5.0	
26	Ag	mg/l		Zinc industry: Max. 0.02

### (4) 環境保全計画

1992年タイ政府は、1975年制定の環境保全法を廃止して新環境保全法を制定し、環境行政体制の大幅改組・強化し、国家環境委員会（NEB：National Environmental Board）委員長の首相への格上げ、環境基金の新設等を行った。また、工場法等についても改正を行い、投資政策の面からも環境の回復及び保全を促進するプロジェクトを投資奨励措置の対象とする指針が国家投資委員会（BOI）により立てられている。

### (5) 環境関連機構

新環境保全法に基づいて、国家環境委員会、環境基金委員会及び鉱害防止委員会を構成する諸官庁が、環境行政に関与している。環境関連官庁を以下に示す。

- ・総理府
- ・農業共同組合省
- ・大蔵省
- ・工業省
- ・科学技術環境省

- ・内務省
- ・文部省
- ・保健省
- ・交通通信相
- ・国防省
- ・国家経済社会開発庁
- ・国家投資委員会
- ・各県庁

科学技術環境省は、国家環境委員会、環境基金委員会及び鉱害防止委員会の事務執行機関であると共に、環境行政の中心実行機関として環境行政の企画、公害規制、環境事業の推進等の責務を遂行するが、環境行政の執行に当たり各省庁間の調整及び民間との協力体制の整備等の業務が重要となっている。さらに、公害規制及び環境改善に当たっては各地方の行政組織との連携が重要である。

### 3-4 既往調査報告書等

ナコン・シ・タマラート及びロンピブーン地区の錫鉱業及びヒ素汚染に係る調査・研究及び報告は、主に工業省鉱物資源局 (DMR: Department of Mineral Resources), 英国地質調査所 (BGS: British Geological Survey), 科学技術環境省環境研究研修センター (ERTC: Environmental Research Training Center) ソンクラ大学等により行われている。既往調査報告書等について表-3.6に示す。

表-3.6 既往調査報告書等

No.	報告書名	著者	年
1	An investigation of arsenic contamination of groundwater from mining waste, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand	Macdonald DMJ., et al.	1997
2	Mineral-related arsenic hazards, Thailand case-study Summary, Report British Geological Survey Technical Report, WC/97/49	Williams M., et al.	1997
3	Treatment of arsenic contaminated land in Thailand using diatomite, Preliminary field site investigations, PH Whitbread-Aburat	Pijitprapon A, et al.	1997
4	Technical report on the locations and the amount of high arsenic contamination waste piles generated from mining and ore dressing processes	Jariyawat P., et al.	1993
5	Groundwater contamination by arsenic from the mining industry in Ron Phibun, Thailand	Pijitprapon A, et al.	1994
6	Hydrogeochemistry of arsenic in an area of chronic mining-related arsenism, Ron Phibun District, Makhon Si Thammarat Province	Fordyce F.M., et al.	1995
7	Arsenic contamination in surface drainage and in part of the southeast Asian tin belt, Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand	Williams M., et al.	1996



## 第 4 章 タイ国南部ロンピブーン地区の鉱業及び環境



## 第4章 タイ国南部ロンピブーン地区の鉱業及び環境

### 4-1 地域概況

#### (1) 位置及び交通

ロンピブーン地区は、タイ国南部ナコン・シ・タマラート県の南部ロンピブーン郡に位置し、首都であるバンコックの南南西へ約800kmの距離にある(図-4.1)。ナコン・シ・タマラート県は21の郡(2亜郡を含む)、168の町及び1,401の村から構成されている(図-4.2)。

バンコックからロンピブーン地区への交通は、空路あるいは陸路がある。空路はバンコックから約1時間半でナコン・シ・タマラート空港に着き、車行約30分でロンピブーン地区に到達する(図-4.3)。陸路では鉄道及び車行があり、鉄道では約14時間を要し、車行では約1日半を要する。

#### (2) 地形、地質及び鉱床

##### a. 地形

ロンピブーン地区は、北北西-南南東に延びるカオ・ルアン(Khao Luang)山地の南東端の山地部から沖積平野部にかけて位置している(図-4.4)。

地区の西部は山地部であり、標高925mのカオ・ムアイ・ムット(Khao Muai Mut)山の東斜面に位置し、晩壯年期の中~小起伏山地に属する。比較的緩傾斜な尾根筋がほぼ東西に延長している。山腹斜面は比較的急傾斜であり、小規模な崩壊地形が多数分布し、荒れている状況を呈する。また、沢に沿っては概ね露岩し、河床堆積物が少ない。河床堆積物のほとんどは、断続的に(おそらく土石流として)下流側に流出したものと推定される。

平野部の標高は概ね50~60mであり、特にロンピブーン地区では平坦部が山地部の花崗岩地帯まで及ぶ山間盆地状地形(以下、ロンピブーン盆地と仮称する)を呈する。盆地状地形は南北1km及び東西約2kmの規模を有し、下流側の東側は石灰岩の小丘によって幅約500m程に狭められ、とっくり状を呈している。

山地部から平野部に至る山麓部の緩傾斜地の長さは比較的短く、明瞭な扇状地形は形成されていない。特に、フアイ・ロン・ナ(Huai Ron Na)支流域では選鉱所-2付近から下流へ約300m程の緩傾斜面を形成し、さらに長さ200m及び幅100~150m程の小規模な扇状地様地形が認められ、主に淘汰不良な礫層からなる。

##### b. 地質及び地質構造

###### ① 地質

基盤の地質は、カンブリア系の頁岩、オルドビス系の石灰岩及びそれらに貫入した白亜紀の両雲母花崗岩からなる(図-4.5)。

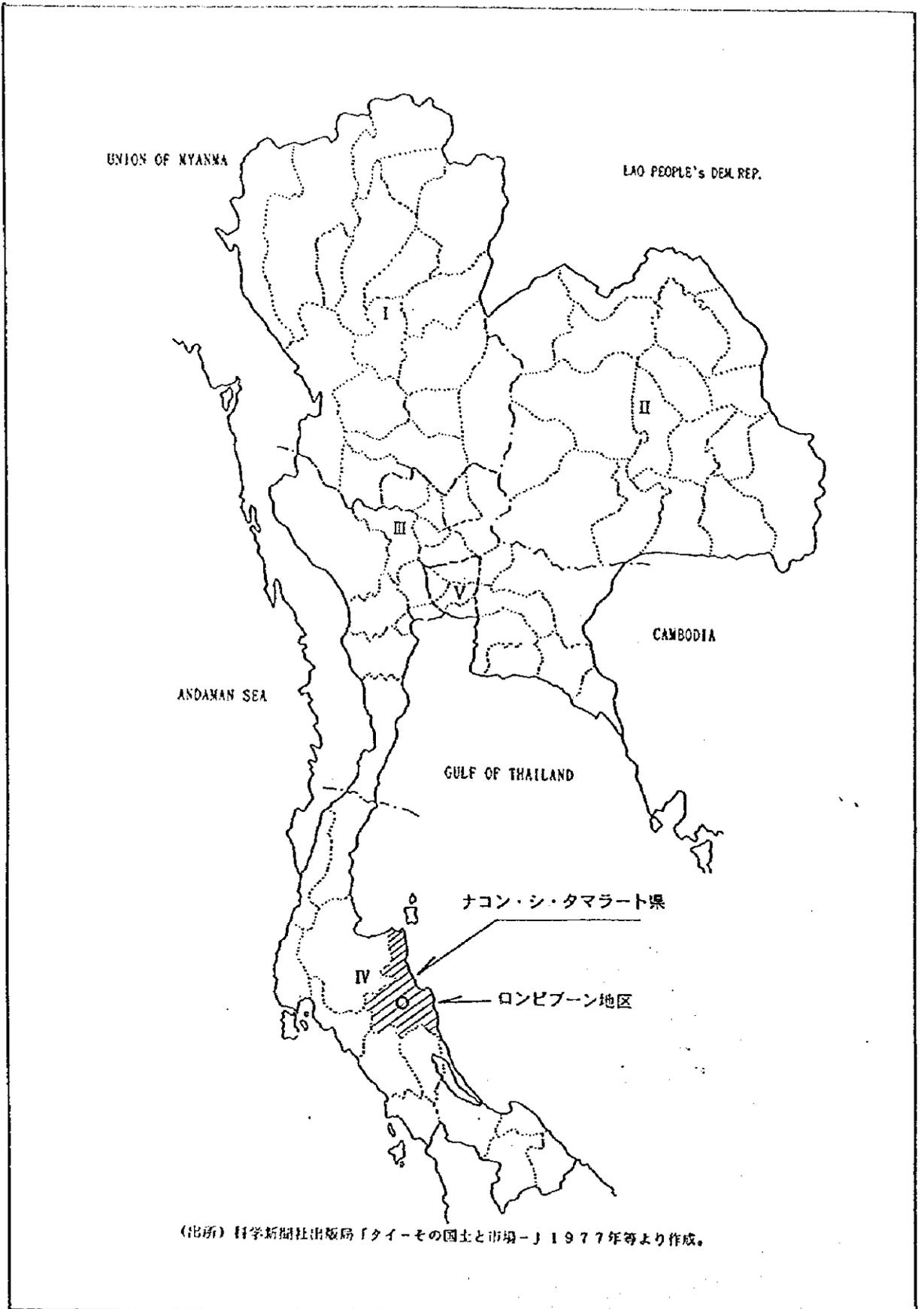
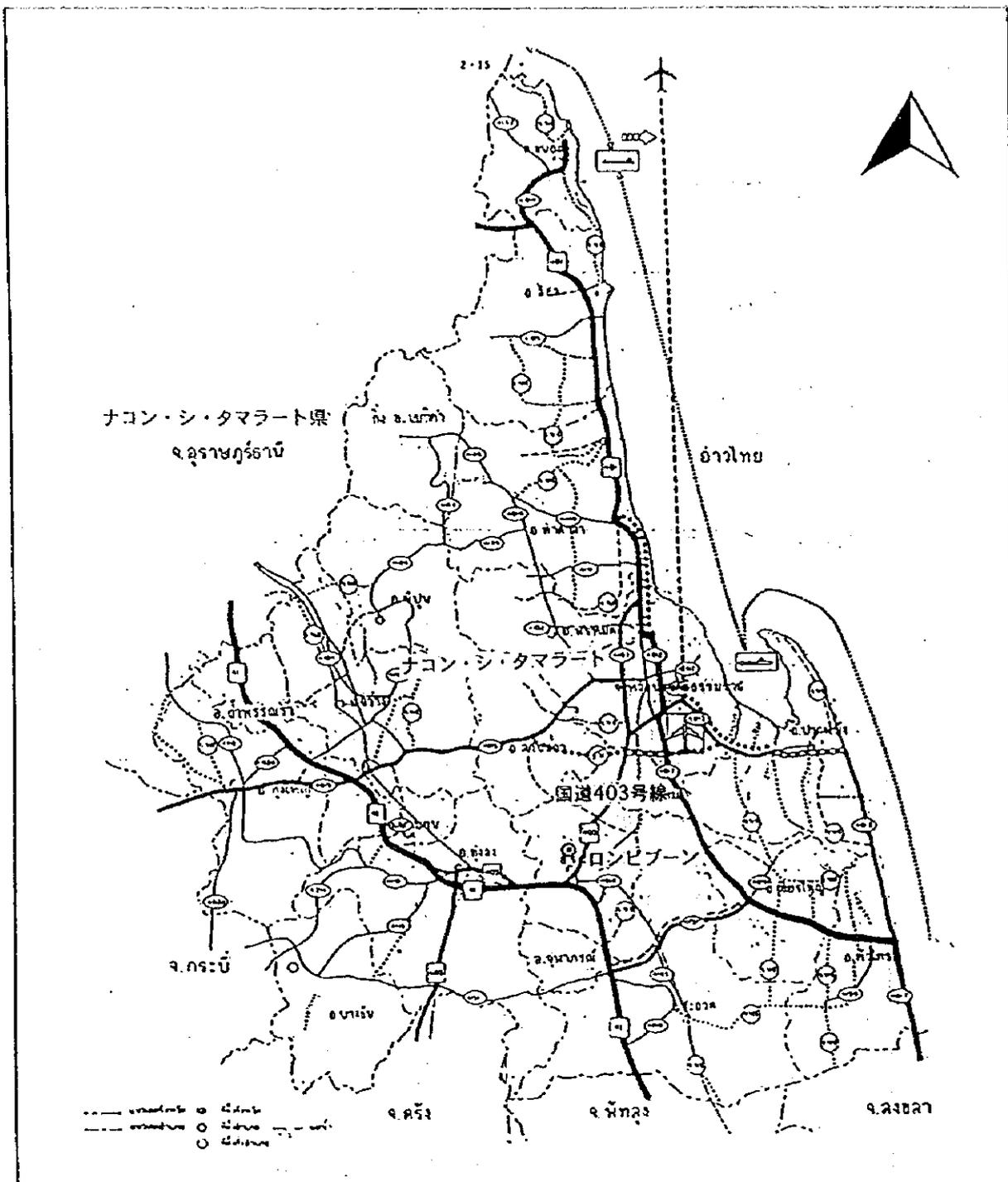


図-4.1 ロンピブーン位置図





สัญลักษณ์ รูปที่ 2.37 : โครงข่ายระบบคมนาคมและขนส่งจังหวัดนครศรีธรรมราช

- |                              |                                  |                             |                |                              |                   |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| — (thick solid line)         | เส้นทางหลัก                      | ✈ (airplane icon)           | สนามบิน        | ➡ (arrow in box)             | ท่าเรือ           |
| — (medium solid line)        | เส้นทางรอง                       | — (dashed line with arrow)  | ทางรถไฟ        | — (dashed line with diamond) | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (thin solid line)          | จุดบริการทางหลวง                 | — (dashed line)             | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (dotted line)              | ทางหลวง                          | — (dashed line with circle) | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (dotted line with diamond) | โครงการปรับปรุงถนนหลวงสายสูง     | — (dashed line with circle) | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (dotted line with diamond) | โครงการก่อสร้างถนนสายสูง         | — (dashed line with circle) | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (dotted line with diamond) | โครงการปรับปรุงหรือขยายถนนสายรอง | — (dashed line with circle) | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |
| — (dotted line with diamond) | โครงการก่อสร้างหรือขยายถนนสายรอง | — (dashed line with circle) | เส้นทางรถไฟสาย | — (dashed line with circle)  | เส้นทางรถไฟทางไกล |

ที่มา : กรมการผังเมือง, บริษัท ไมคัส คอนซัลแตนท์ จำกัด

図-4.3 ナコン・シ・タマラート県の交通

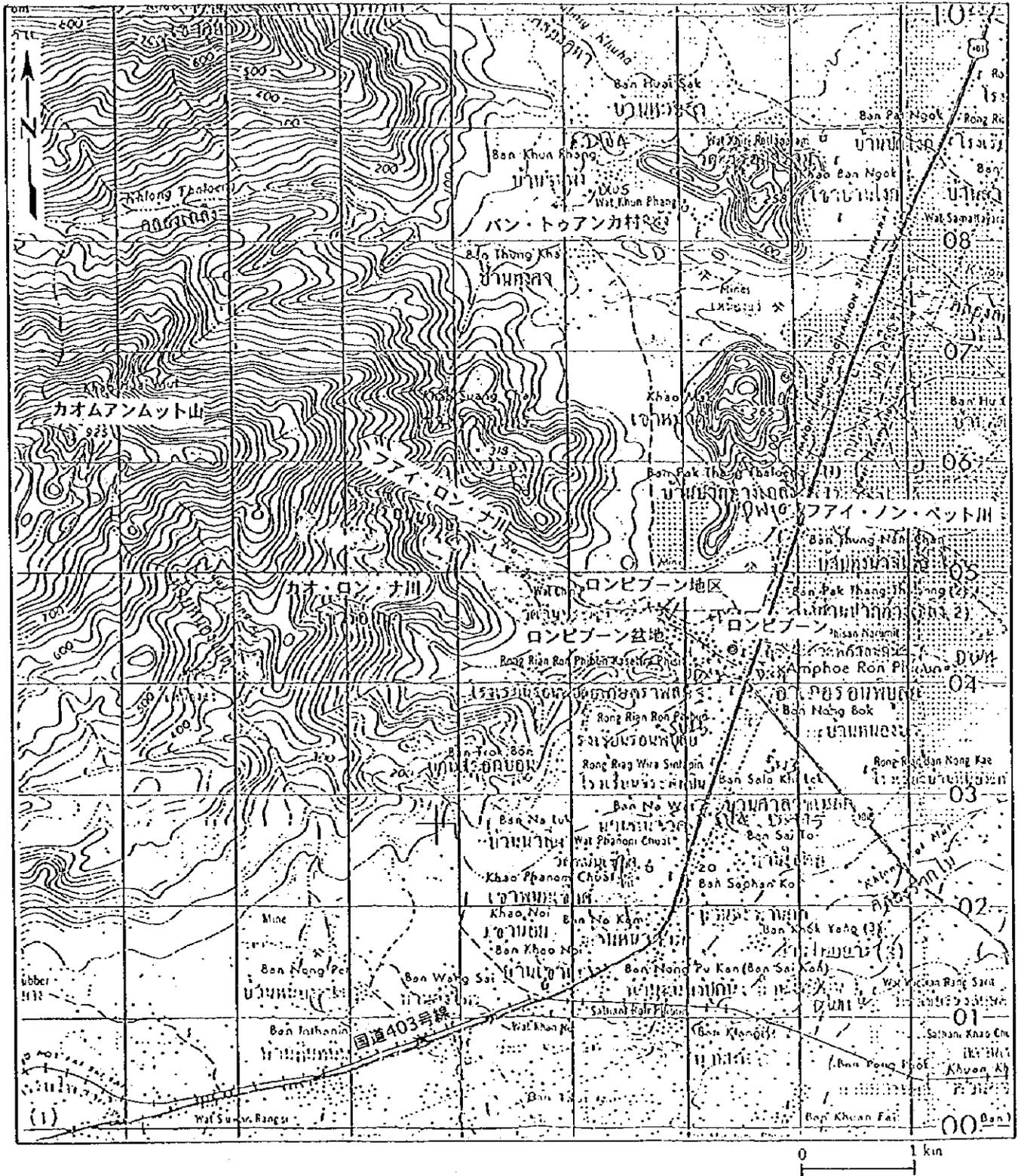


図-4.4 ロンブーン地区の地形

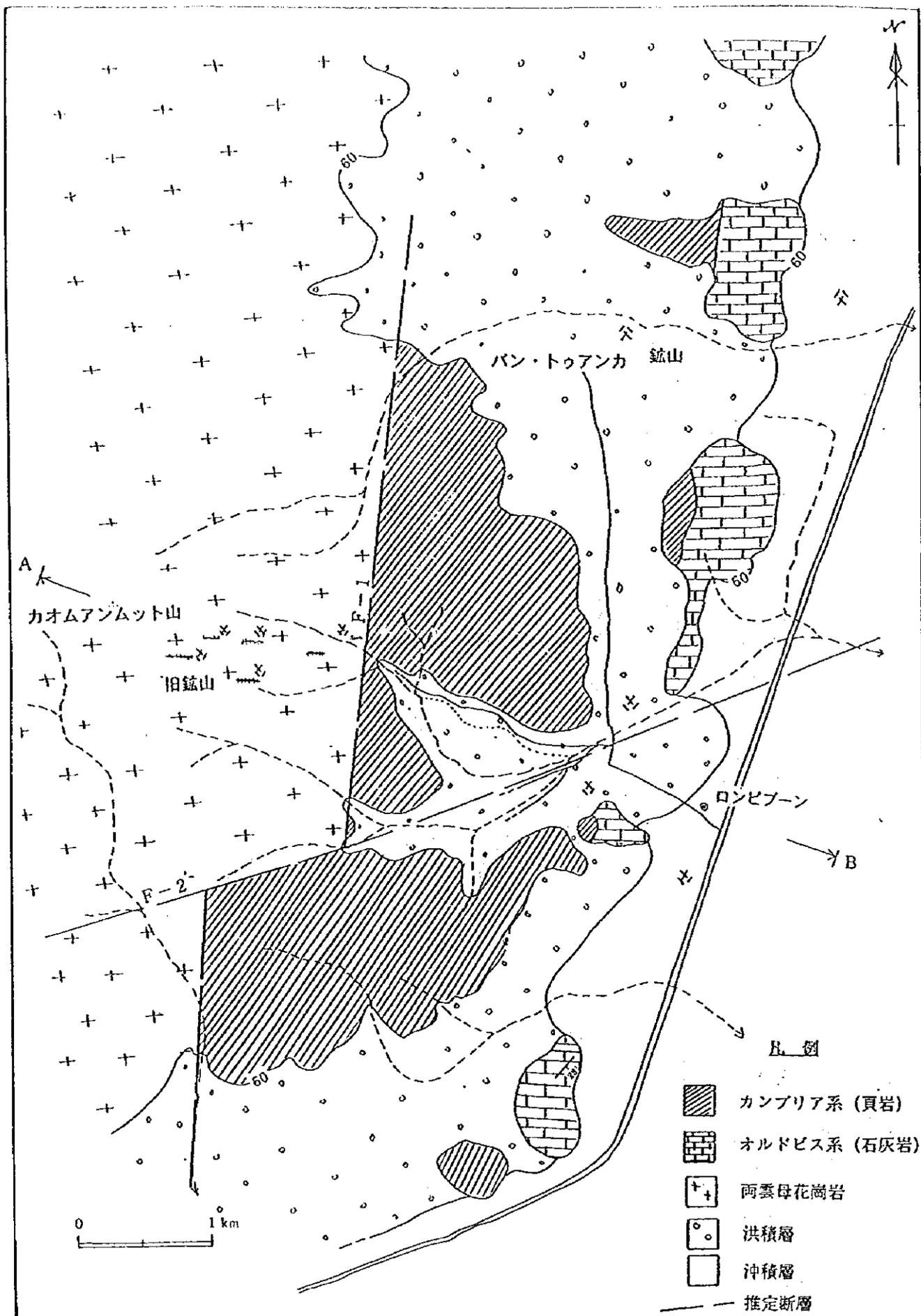


図-4.5 ロンピブーン地区の地質及び鉱床

カンブリア系の頁岩は暗灰色を呈し、板状である。走向は概ね北東-南西で南東方向に約25~35°傾斜している。岩質は堅硬緻密であるが亀裂が良く発達している。

オールドビス系の石灰岩は灰色を呈し、塊状あるいは層状である。地形的には周囲が急崖の小丘状を呈している。走向は北東-南西~南-北の走向で東方向に約25~35°傾斜している。岩質は堅硬緻密である。

両雲母花崗岩は古生層に貫入し、年代は白亜紀である。本岩は主に石英、長石、白雲母及び黒雲母を主要造岩鉱物とした等粒状結晶質深成岩であり、グライゼン化作用を強く受け、石英、電気石等の細脈を多数認められる。岩質は堅硬であるが、表層は風化によりマサ化を受け脆弱化している。

第四紀層は洪積層及び沖積層からなる。洪積層はロンピブーンの盆地及び山地部と石灰岩小丘との間に分布し、東側には沖積層に覆われているが広範囲に分布していると考えられる。本層は主に砂礫、砂からなり、シルト及び粘土層を挟在する。基底部には基底礫層が認められる。沖積層は現河川に沿って狭い分布であるが、東方では沖積平野を形成し、広く分布している。本層は主に砂礫及びシルト・粘土からなる。

## ② 地質構造

カンブリア及びオールドビス系は、北東-南西~南-北の走向及び東に傾斜する等斜構造を示す。

断層は花崗岩とカンブリア系の境界部に推定され、南-北方向と東-西方向の2方向が認められる。いずれも顕著なリニアメントを示している。東-西方向の推定断層はロンピブーンの盆地内に連続している。

## c. 鉱床

鉱床は錫鉱床であり、グライゼン型鉱脈鉱床（1次鉱床）及び第四紀漂砂鉱床（2次鉱床）の2形態からなる。

グライゼン鉱床とは花崗岩の貫入に伴う高温型（気成）鉱化作用の交代の変質によって形成された網状、接触交代、鉱脈鉱床であり、特に花崗岩が雲母及び石英からなるグライゼン（英雲岩）に変質されることを特徴としている。主要鉱物は錫石、重マンガン鉱であり、随伴鉱物として電気石、螢石、黄玉、緑柱石、方解石、ルチル、錫石、鉄マンガン重石、硫化鉱物（黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、タンタライト等）等からなる。

グライゼン型鉱脈鉱床はカオ・ムアン・ムット（Khao Muang Mut）山の東側及び南側中腹部の両雲母花崗岩中に胚胎されている。

第四紀漂砂鉱床はロンピブーン市街地の西側の盆地内、市街地内及びその北部及びロンピブーン村の北部であるトゥアン・カ（Thuang Kha）村及び南部のノン・ベット（Nong Pet）村周辺に広範囲に分布し、概ね現河川の下流域に一致していると考えられる。砂錫は主に洪積層の礫層及び基底礫層中に胚胎されている。

なお、二次鉱床での硫化鉱物（並びにヒ素鉱物）の含有量は、風化作用により硫化鉱物が酸化されることにより、その含有量が相対的に減少するのが一般的である。ロンピブーンの北部のバン・トゥアン・カ（Ban Thuan Kha）村の漂砂鉱床では硫化鉱物をほとんど含有していない。しかし、ロンピブーン周辺での漂砂鉱床では硫化鉱物を残存している可能性があり、硫化鉱物等に伴うヒ素が汚染に大きな役割を有していることが推

定される。硫化鉍物等に伴うヒ素については是非解明する必要がある最重要課題でもある。

### (3) 水系及び地下水

#### ① 水系

ロンピブーン地区の河川はクロン・ナム・クン (Khlong Nam Khun) 川水系に限定され、山地部では北半部がフアイ・ロン・ナ (Huai Ron Na) 支流域及び南半部がカオ・ロン・ナ (Khao Ron Na: 仮称) 支流域に区分される。錫鉍脈鉍床のほとんどは本支流域に属している。カオ・ロン・ナ支流は過去にその流路を変えており、いわゆる暴れ川を呈していたといえる。最近においても、1977年の土石流災害後の流路が南側に大きく変化し、現在でも蛇行により側方浸食が著しい。

カオ・ロン・ナ支流とフアイ・ロン・ナ支流の合流後、クロン・ナム・クン川は北東方向に流路を変えている (図-4.6)。

さらに、東から北東方向に流路を変え、パク・パ・ナン (Pak Pa Nang) 湾に注いでいる (図-4.7)。沖積平野部では灌漑用の運河が多数建設されている。

#### ② 地下水

ロンピブーン地区周辺の地下水面の標高は40~50mであり、動水勾配は約1/100である。ロンピブーンの東部では1/100~1/200であり、緩傾斜となる。山地部で灌養されたあと、概ね南南東~南東方向に流出し、ロンピブーンから約5~7km東方で北東方向に流向を変えており、北東-南西に伸張する帯水盆を形成しているものと推定される (図-4.8)。

ロンピブーン盆地ではフアイ・ロン・ナ川の流量の変化が認められ、表流水と地下水 (伏流水を含む) とのやりとりが大きいことが推定される。サッカー運動場周辺でのフアイ・ロン・ナ川の河床が酸化鉄の沈殿で黄褐色に汚濁されていることは、多量の鉄分を含んだ地下水が湧出していることが想定される。

また、ボーリング調査の結果から、ロンピブーン盆地は層厚10~40mの洪積層及び沖積層によって満たされ、小規模な帯水盆を形成していると考えられる (図-4.9)。帯水盆の東部では基盤の深度が浅くなり、帯水盆内の地下水の滞留を生じている可能性がある。

### (4) 気候及び植生等

ロンピブーン地区周辺は熱帯性モンスーン気候であり、雨期 (9月~1月) 及び乾期 (2月~8月) に大別され、乾期はさらに寒季及び暑季 (4月~8月) に分けられる。ナコン・シ・タマラート市の気温、降雨量、湿度、及び風向・風速を表-4.1に示す。

ナコン・シ・タマラート市での平均気温は25.2~28.6℃で温度変化が比較的小さい。年間の平均最高気温は5~6月の33.5℃であり、平均最低気温は2月の21.3℃である。平均湿度は75~85%であり、年間を通じてほぼ一定している。蒸発量は36.6~139.7mmで、年間1,315.9mmである。

卓越風向は1~4月の乾期は東風で、5~10月の乾期~雨期にかけては南西の風及び

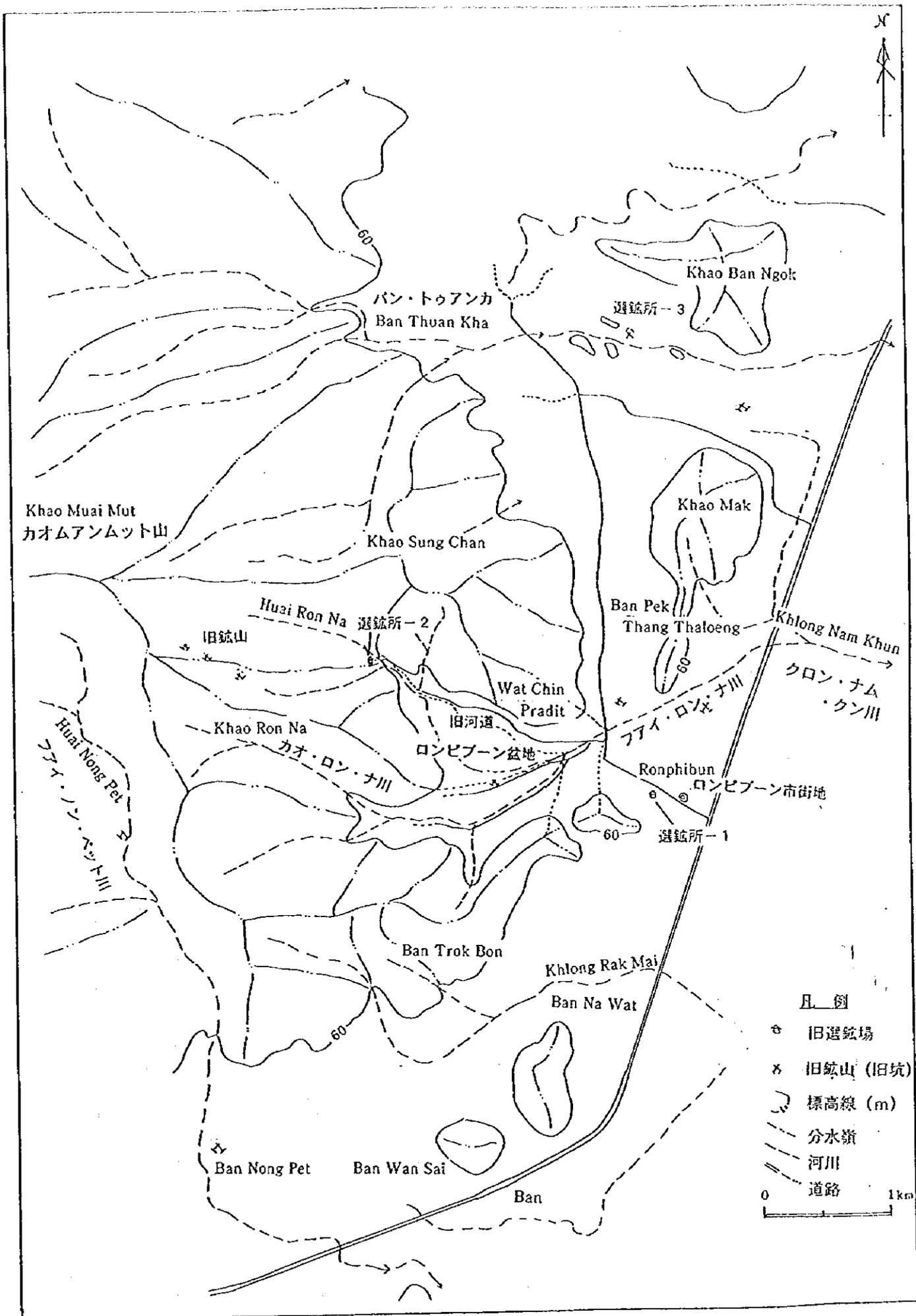


図-4.6 ロンピブーン地区の水系

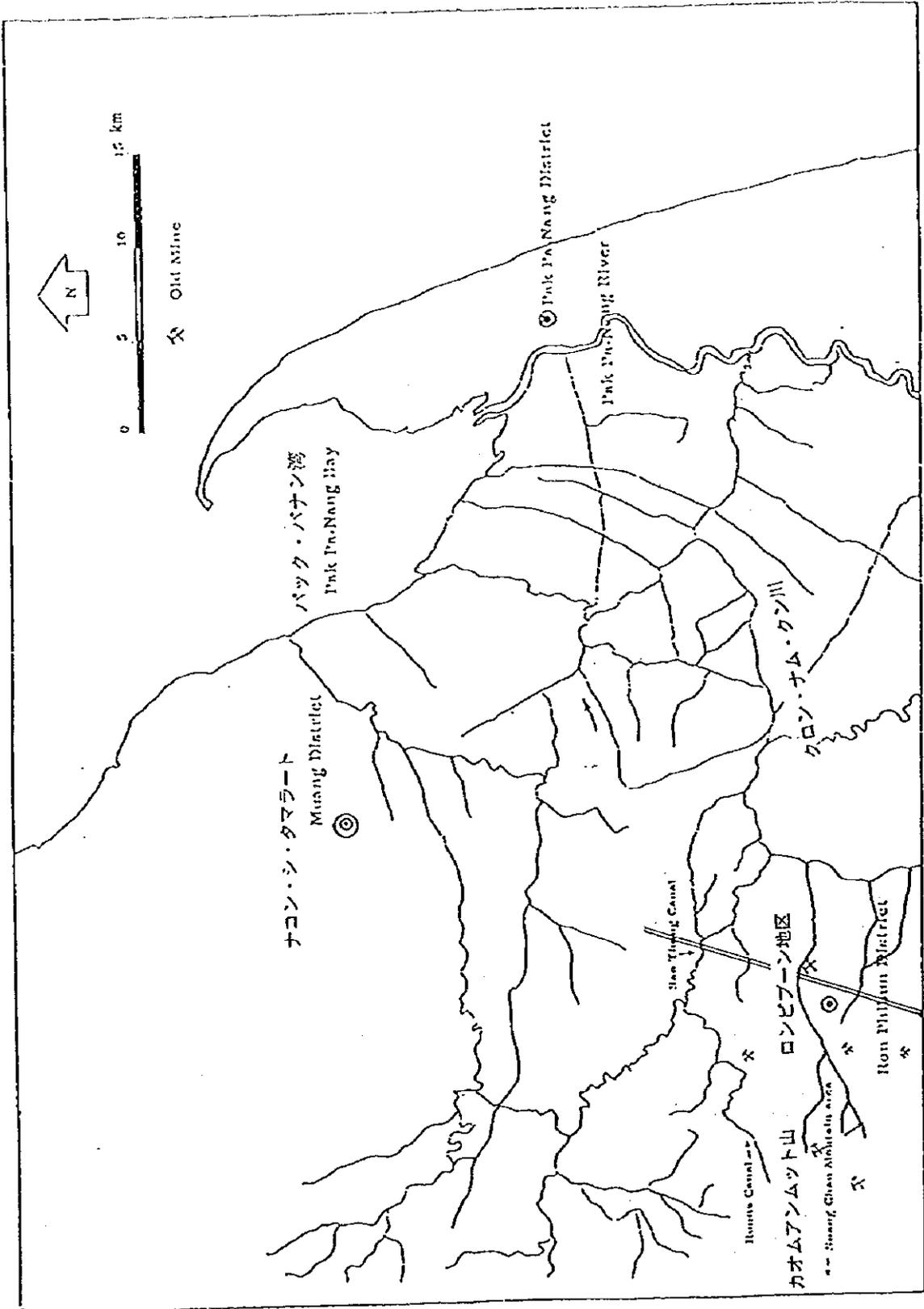
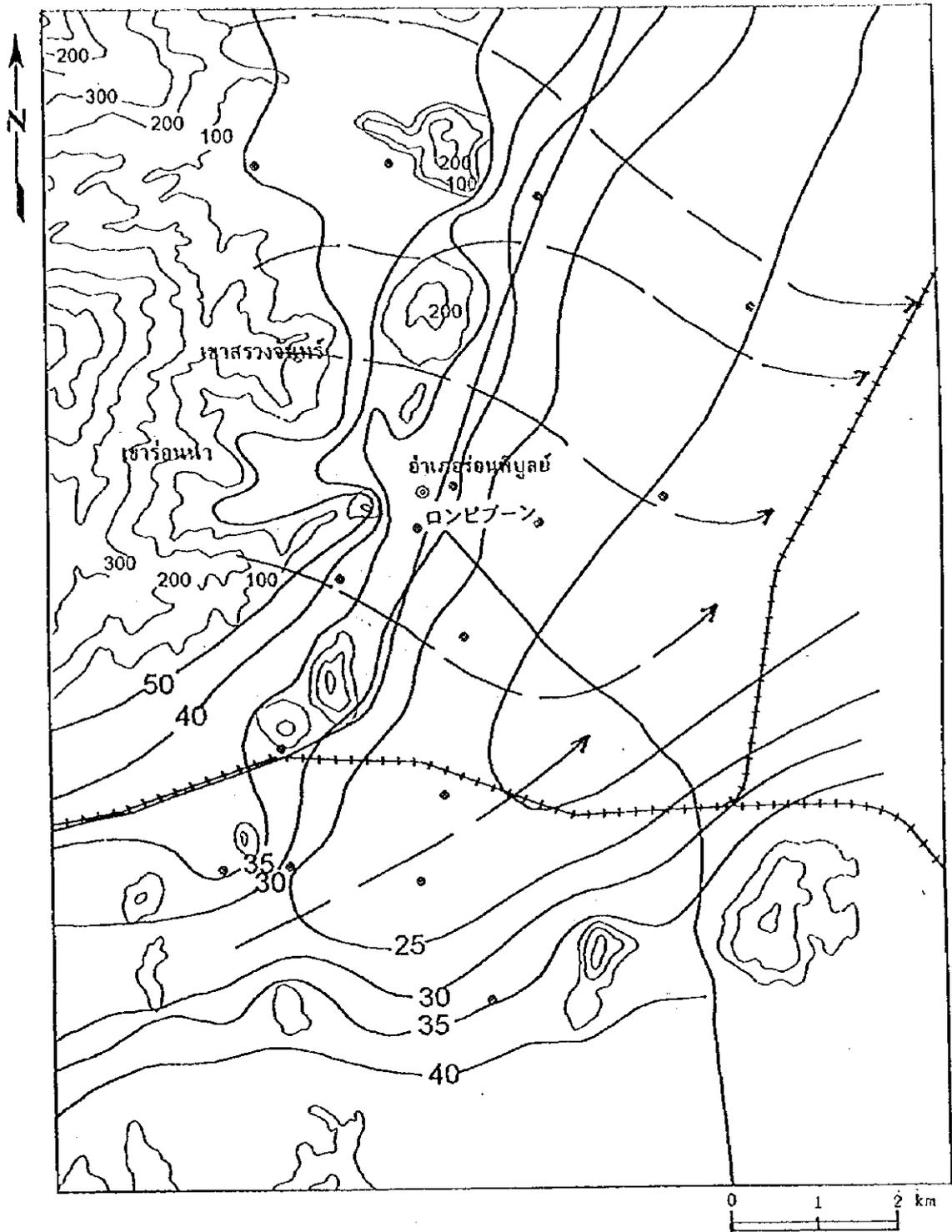


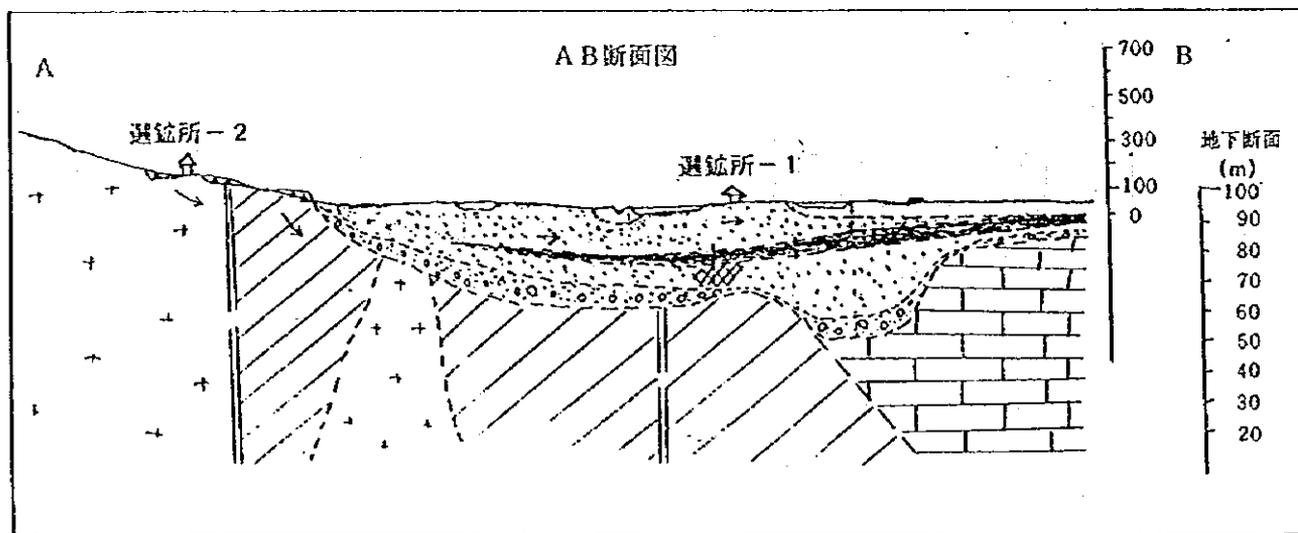
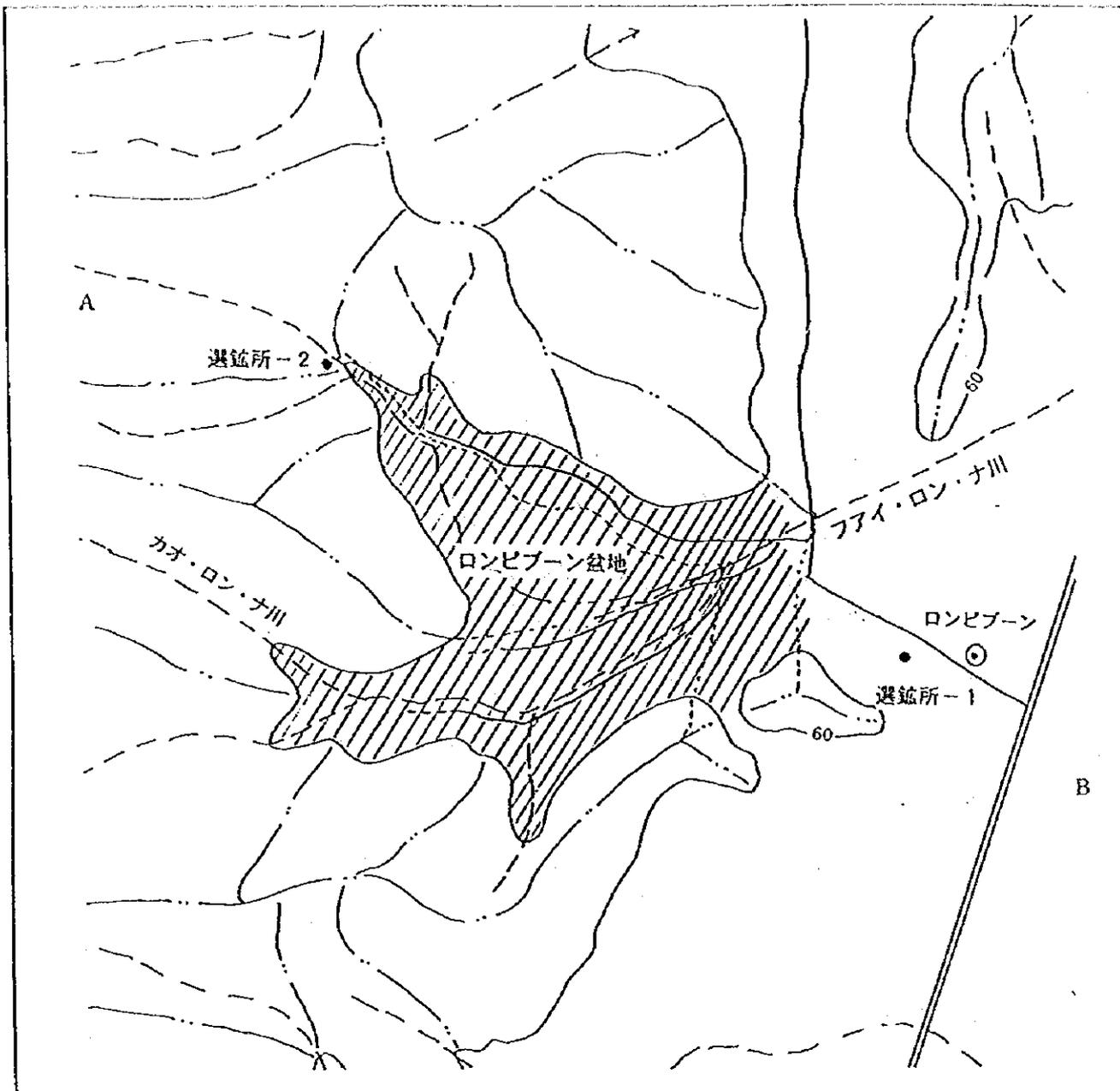
図-4.7 ナコン・シ・タマラート県の河川図



凡例

- |  |         |  |          |
|--|---------|--|----------|
|  | 標高線 (m) |  | 鉄道       |
|  | 地下水の流向  |  | 地下水位 (m) |
|  |         |  | 井戸       |

図-4.8 ロンピブーン地区の地下水



(凡例は図-4.5参照)

図-4.9 ロンビブーン地区の水文

表-4.1 ナコン・シ・タマラート県の気象状況

観測地点： ナコン・シ・タマラート  
 位置： 北緯 8° 23'  
 : 東経 99° 58'  
 標高： 7m

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
気温 (°C)													
平均気温	26.0	26.8	27.3	28.6	28.2	28.5	28.1	28.0	27.5	25.2	25.2	25.3	27.2
最高気温	29.9	31.2	32.7	33.8	33.5	33.5	33.3	33.2	32.3	31.2	29.7	29.2	32.0
最低気温	21.9	21.3	22.3	23.3	23.3	23.7	23.2	23.2	23.0	23.3	22.3	22.4	22.3
湿度 (%)													
平均湿度	81.0	78.0	76.0	77.0	79.0	75.0	75.0	75.0	78.0	83.0	85.0	81.0	78.0
最高湿度	96.0	95.0	95.0	95.0	95.0	93.0	93.0	93.0	93.0	95.0	96.0	95.0	95.0
最低湿度	55	51	57	58	58	58	57	57	59	57	73	71	62
蒸発量 (mm)	108.1	111.1	139.7	136.1	127.2	128.5	132.4	134.5	116.3	107.3	36.6	38.1	1,315.9
風													
風速 (ノット)	2.7	2.9	2.9	2.5	2.3	3.9	3.5	4.0	2.3	2.1	2.3	2.7	-
風向	E	E	E	E	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	N	-
降雨量 (mm)													
月降雨量	175.1	42.3	50.7	100.4	178.4	88.4	109.5	108.5	154.3	335.3	504.2	447.5	2,294.6
最大日降雨量	433.3	102.3	71.8	161.0	135.7	76.6	83.0	84.2	33.5	271.7	447.3	338.5	447.3

11～12月雨期には北風が卓越する（図-4.10）。

年間降雨量は2,294.6mmで、10～1月が卓越するが、年間を通じ降雨がある。

#### (5) 社会状況及びインフラストラクチャー

##### a. 人口

ナコン・シ・タマラート県の1994年の人口は1,488,776人である。ロンピブーン郡及びランサカー（Lansaka）郡の人口及び比率は、それぞれ94,882人（6.4%）及び39,501人に相当する。また、調査対象であるロンピブーン地区は両郡を含み、合計134,383人（1994年）を対象としている。

##### b. ナコン・シ・タマラート県のG P P（Gross Provincial Product）

ナコン・シ・タマラート県の1989～1993年のG P Pを下記に示す。

年度	G P P (million Baht)
1989	22,452
1990	25,733
1991	28,089
1992	30,104
1993	32,263

##### c. 工業

ナコン・シ・タマラート県内の工場数（1994年）は1,171であり、投資額6,065,246,872 Bahtである。工場に係わる労働者数は14,683人であり、県全人口の1%に相当する。

##### d. 交通

ナコン・シ・タマラート県内の交通状況を図-4.3に示す。

ロンピブーン地区へは国道403号線で南南西へ32kmの距離に位置している。国道403号線は完全舗装され、ナコン・シ・タマラート市からは車行約40分で到達する。

##### e. 電力

電力は現在不足状態を脱しており、供給制限あるいは停電の回数は相当改善されている。

##### f. 水道

ロンピブーン地区の公共水道は約80%が敷設されている。公共水道の水源地はカオ・スアンチャン付近の河川水である。その他は井戸あるいは雨水を利用している。

##### g. 通信

**NAKION SI TIAMMARAT**  
 Lat. 00 28 N. Long. 97 36 E.

Height of wind vane above ground 11.5 m (21.5 m above sea level)  
 Height of anemometer above ground 15.0 m (22.0 m above sea level)

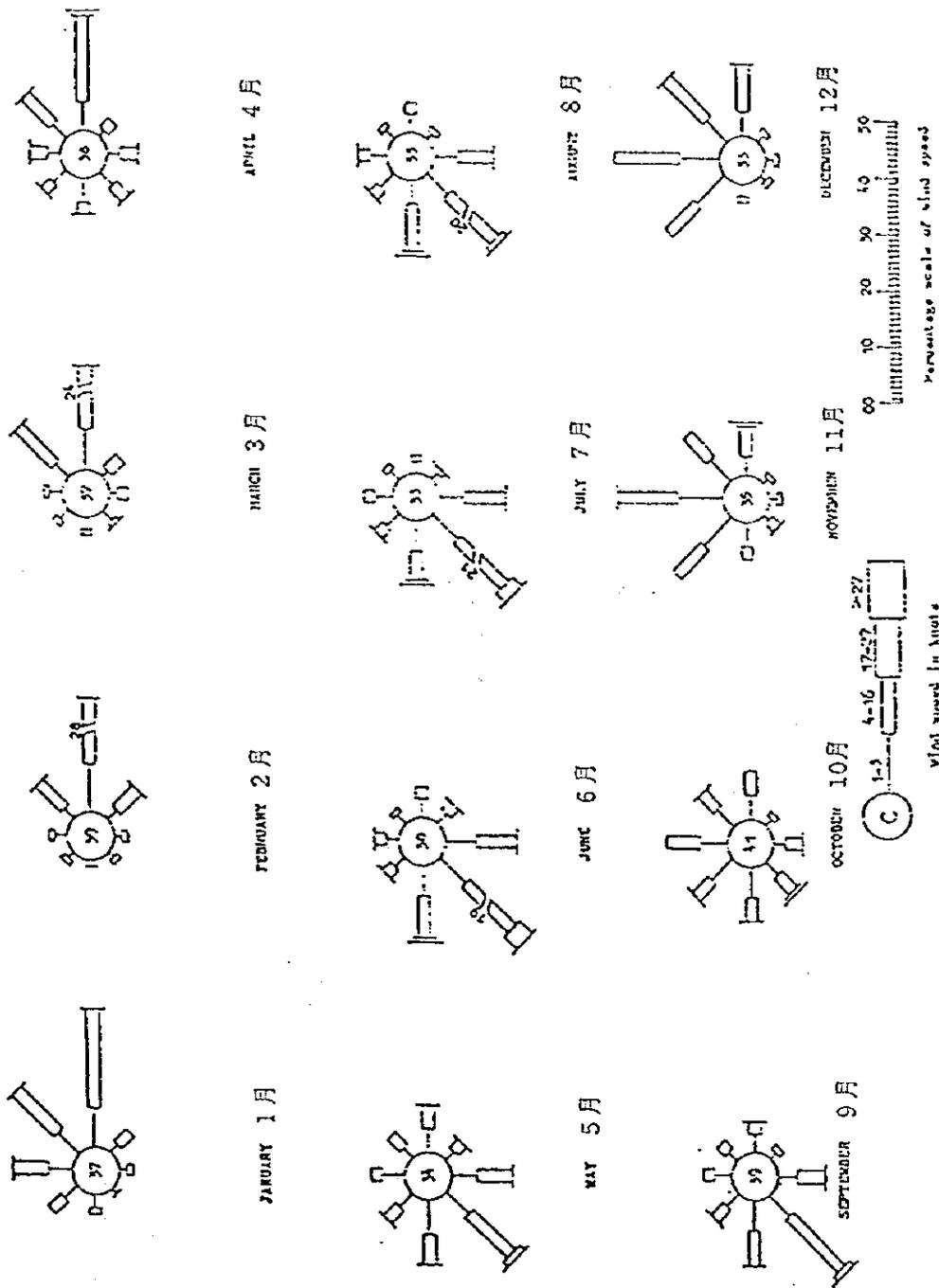


図-4.10 ナコン・シ・タマラート県の風について

電話は一部普及し、携帯電話は使用可能とのことである。

#### 4-2 鉱山の沿革及びヒ素汚染の経緯

##### (1) ロンビブーン地区の鉱山沿革

ロンビブーンの鉱山活動は約100年以上前から開始されていたらしく、主に山地部の錫鉱脈型鉱床及び河床の漂砂鉱床を対象としてたぬき掘り及びパンニングによる簡単な採掘及び選鉱を行ったものと推定される。山地部の錫鉱脈型鉱床は戦後中国系タイ人により採掘され、山元に選鉱場を建設している。錫鉱山は22年前に閉山となり、選鉱場は約10年前に操業を停止した。

漂砂鉱床は約65～60年前にマレーシアからイギリス人が来て、ロンビブーン地区内及びその北部でドレッシングを開始し、ほぼ同時期にオーストラリア人が南部のノン・ベクト村周辺でモニターを利用して採掘を開始した。その後、第二次大戦によりロンビブーン地区の採掘は停止したが、ロンビブーン及びその北部では一時タイ政府が係わったが、すぐ中国系タイ人が採掘を継続している。

錫鉱脈型鉱床（1次鉱床）は坑内採掘法（たぬき掘を含む）及び露天掘採掘法による採掘を行っていた。

漂砂鉱床は当初露天掘り及びモニターによる採掘を行っていたが、戦後大規模なドレッシング採掘も含めて行っている。錫鉱山のほとんどは1980年代の錫価低下の影響により閉山し、現在ロンビブーン北部の漂砂鉱床を対象とする1つの鉱山が露天掘法により採掘を継続しているのみである。

1980年～1997年に至るナコン・シ・タマラート県及びロンビブーン郡の錫生産量（錫精鉱）及び鉱山数について表-4.2に示す。

錫の鉱山数は盛時で20カ所の鉱区が設定されており、1982年には19鉱山が操業していた。しかし、1982年をピークに、その後の錫価格の低迷に伴い減少し、1994年には1鉱山となっている。生産量は効率化をはかり1989～1990年代の生産量（600～700 t.）には及ばないが、なお200 tを越えている。

#### 4-3 錫採掘の状況

##### (1) 鉱床及び採掘

###### a. 山錫

ロンビブーンヒ素汚染と関連する錫鉱床はカオ・ファイ・ムット山の東側山腹に胚胎する石英錫脈にほぼ限定される。採掘対象となった鉱脈は図-4.11（1）に示す5カ所であり、いずれも東-西の走向でほぼ南に急傾斜している。鉱脈の長さは10～40m、鉛直方向の長さ（深さ）が10～40m及び脈幅が3～35cmの規模である。Sn品位は5～10%で、硫砒鉄鉱の品位は1%以下である。

山錫の採掘は、坑内採掘法及び露天掘採掘法により採掘されていた。

露天掘及び坑内採掘法は小規模であり、1m×1mの立坑を鉱脈に沿って掘削し、運搬坑道及び通風坑として使用した。また、採掘坑道は2m×2mの無支保坑道が一般

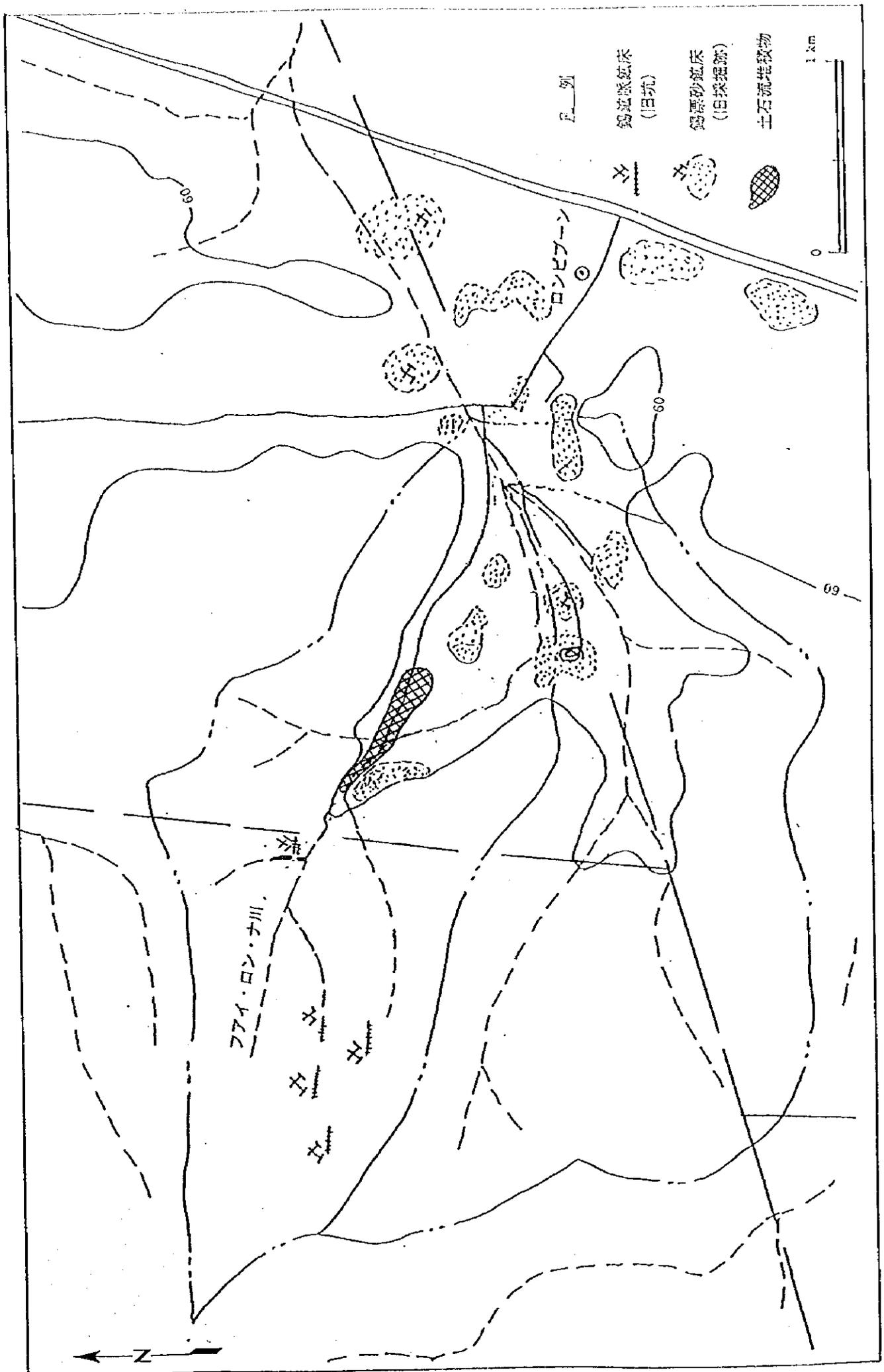


図-4.11 ロンピオン地区の錫鉱床位置図 (1)

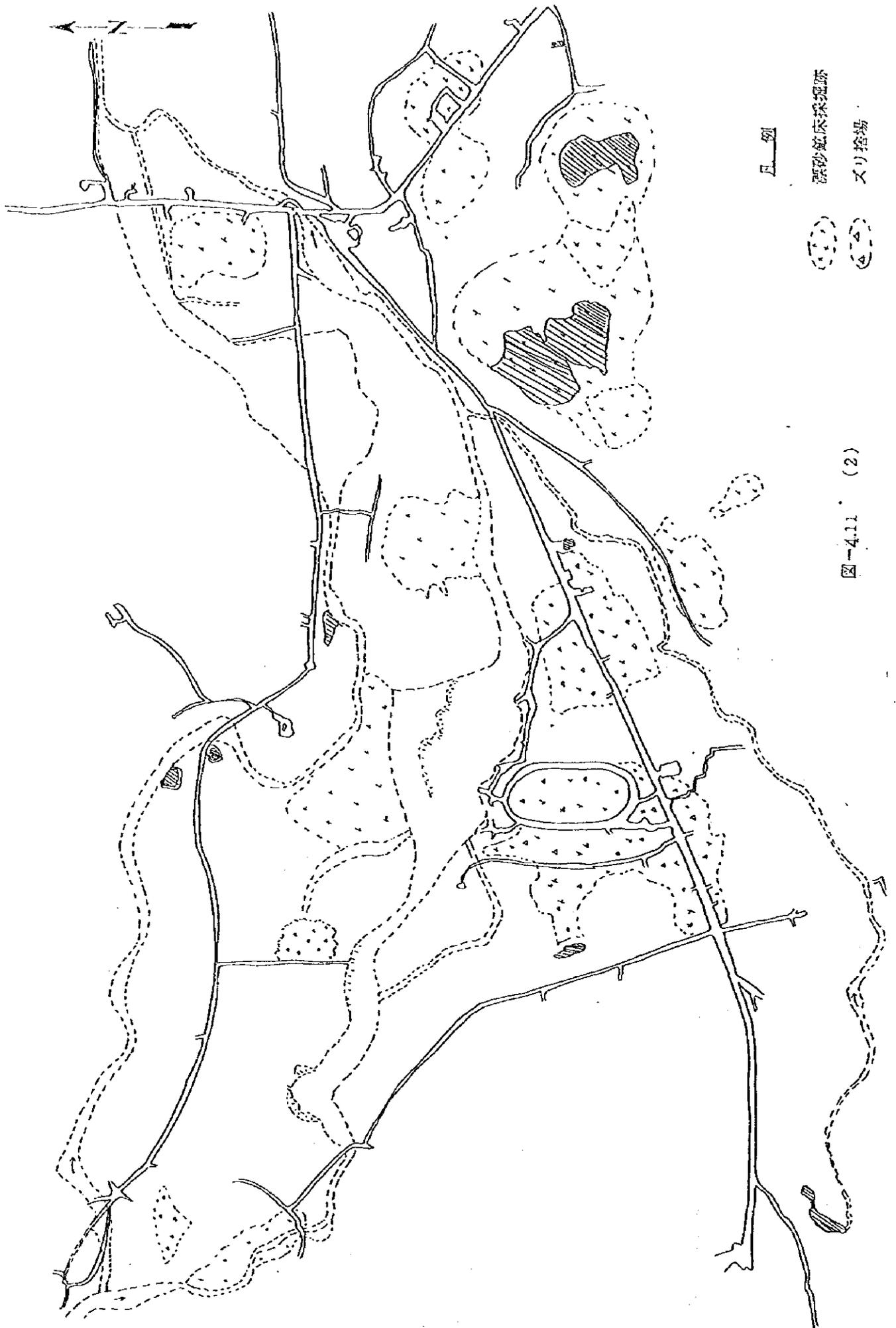


図-4.11 (2)

表-4.2 錫鉱山数及び生産量 (t)

年	ホンタラト県	ロンビブーン地区	S n 鉱山数	S n-W 鉱山数
1980	1,571	360.1	6	11
1981	1,756	308.9	7	7
1982	1,531	321.3	3	16
1983	1,245	259.4	10	0
1984	992	161.4	8	2
1985	984	222.7	7	1
1986	1,201	297.9	4	0
1987	937	202.0	1	2
1988	1,468	116.6	2	0
1989	3,157	742.1	2	1
1990	3,166	629.9	1	1
1991	1,706	415.3	1	1
1992	1,964	227.0	2	1
1993	1,034	534.9	3	0
1994	1,044	568.7	1	0
1995	677	354.8	1	0
1996	352	263.6	1	0
1997	no data	220.3	1	0

あった。露天掘及びそれに引続く坑道の採掘幅は、最小幅の90~120cmである。坑道は深さ約50mまで採掘されていたらしい。

現地調査した採掘跡ではほぼ東-西の走向で南に80°急傾斜した幅30~100cm程の石英脈を露天掘さらに坑内採掘を行っていた。採掘跡は坑内水により満たされており、坑内への立ち入りは不可能であった。また、1鉱山跡では鉱害対策により坑道が既に密閉され、整形されていた。なお、旧坑跡から直接坑廃水が湧出している状況は認められなかった。

#### b. 砂錫

洪積層及び沖積層内の漂砂鉱床である砂錫は、錫鉱胚胎層の深度は10m及び25mの2層が知られている。両層の層厚は0.2~1mである。粗鉱のSnO<sub>2</sub>品位(あるいはカットオフ)は0.24~0.31kg/m<sup>3</sup>である。ロンビブーン地区北部の操業中の錫鉱山では錫鉱床中に硫化物はほとんど含有されていない。したがって、砒素汚染も発生していない。

ロンビブーン地区での砂錫採掘は露天掘、ドレッシング採掘及び小規模なパンニングにより行われていた。露天掘りはロンビブーン盆地内及びロンビブーン市街地周辺で広く行われていた。また、ドレッシング採掘はロンビブーン市街地の北側で行われてお

り、最近までドレヅジ用いかだが浮いていた。露天掘及びドレヅジ跡は聞き込み及び空中写真で追跡することが可能であり、その推定範囲を図-4.11(2)に示す。

採掘跡は地形的に乱れており、人為的な微高地あるいは微凹地・遊水池を形成し、旧採掘跡及びズリ捨場が比較的容易に区分できる。ただし、極めて古いズリ捨場の場合、植生が再生し、周辺の自然状況と区別がつきにくい場合があることから、聞き込みによる確認が必要である。

採掘跡の分布はロンビブーン盆地内及び現河川の方角である北東側に延びている。基盤面において溝状に延びる地形的特徴がうかがえ、同方角が断層方角とも一致している。

パンニングは個人的な操業であり、主な作業域は山間部あるいはロンビブーン盆地西部の山麓部あるいは扇状地部と推定される。

現在はロンビブーンの北部(バン・トゥアンカ村)でドレヅジ採掘及び露天掘採掘が各1カ所のみ操業しており、露天掘採掘は乾季のみ行っている。また、小規模なパンニング法は現在ほとんど行われていない。

## (2) 選鉱及び精錬

ロンビブーン地区の選鉱所は3カ所が知られているが、製錬所はない。図-4.12に選鉱所の位置を示す。なお、ロンビブーン市街地の北側のドレヅジ跡地にも操業時に小規模な選鉱場が設置されていたが、その詳細は不明である。

### a. 錫の選鉱について

錫の原鉱(特に一次鉱床)には、一般にヒ素を含む硫化鉱物、酸化鉱物及び脈石鉱物が含有しており、選鉱を必要とする。錫鉱の選鉱法には比重選鉱、浮游選鉱、磁力選鉱、静電選鉱、物理特性(弾性)を利用した選鉱等がある。

錫石は比重が6.8~7.1と造岩鉱物より高いことから、ジグ、重液選鉱、揺動テーブル等の鉱物の比重差を利用した比重選鉱法によって選鉱される。また、硫砒鉄鉱も比重が5.9~6.2と高く、錫石とほぼ同様な流れとなる。

浮游選鉱は鉱物の表面の化学的性質の差を利用し、気泡の発生と共に微粉状の鉱物を浮上させて選鉱する方法である。錫の原鉱の場合は比重選鉱で得られた重鉱物内の硫化物を選鉱するために使用される。ヒ素鉱物もこの工程でその大半が選別される。

磁力選鉱は錫の精鉱内に含まれる磁性鉱物類である磁鉄鉱、磁硫鉄鉱、鉄マンガン重石等(ばい焼鉱を含む)を選別するためである。

静電選鉱は鉱物の誘電率を利用し、不良導体が静電的に荷電し引力・斥力を生じ選別される。錫の精鉱内の酸化物鉱物類(錫石、鉄マンガン重石等)と珪酸塩の重鉱物類(珪灰石、モナズ石、ジルコン等)とが選別される。

物理特性による選鉱では、特に弾性を利用して珪酸塩の重鉱物類が選別される。

また、砂錫の選鉱では山錫との構成鉱物が若干異なるがフローとしては同様である。

錫鉱石は選鉱によりSn品位60~70%の精鉱とし、精鉱中に硫化物を含む場合にはばい焼して硫黄及びヒ素分を取り除く。

錫精鉱中には0.001%程度のヒ素が含有されている。

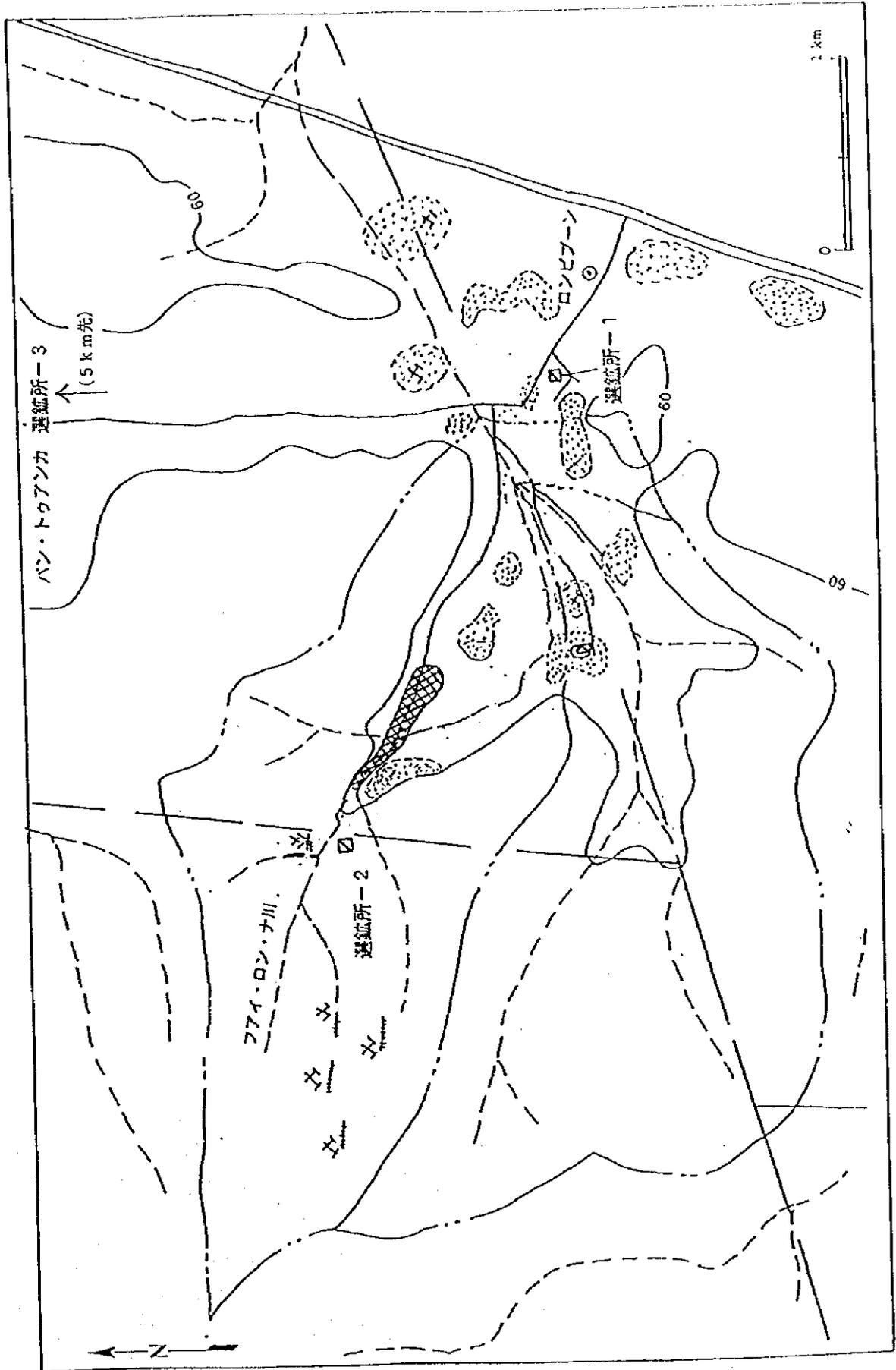


図-4.12 ロンピブーン地区の錫選鉱所

#### b. 選鉱所-1

ロンピブーン市街地内の選鉱所（選鉱所-1と仮称する）は、国道403号線から北西に500mに位置している。工場の敷地は約0.5haで小規模である。操業は1936年に開始し、1989年には操業を停止している。尾鉱の一部は現在もなお選鉱所敷地内の3カ所に乱雑に放置されている。

選鉱のフローを図-4.13及び選鉱過程の各尾鉱の分析値を表-4.3に示す。分析値はプロジェクト形成調査時に行ったものである。

錫粗鉱の取扱量は200~300kg/日であり、53年間の操業期間での総量は約5,000~10,000tと推定される。錫粗鉱は主にカオ・ファイ・ムット山の錫鉱山（山錫）であるが、その他ナコン・シ・タマラート県内からも集荷され、砂錫及び小規模なパンニング等による砂錫を含むものと推定される。操業期間内における各尾鉱の生産量及びヒ素の含有量の推定値を図-4.13に示す。

#### c. 選鉱所-2

カオ・ファイ・ムット山の山麓部の選鉱所（選鉱所-2と仮称する）は、ファイ・ロン・ナ支流の中流域に位置している。工場の敷地は約1haで小規模である。1994年には操業を停止し、現在は工場の全てを撤去している。

選鉱方法は、ほぼ図-4.13に示す選鉱所-1とほぼ同様であったと推定される。

#### d. 選鉱所-3

ロンピブーンから北へ約5kmのバン・トゥアン・カ（Ban Thuan Kha）村内に位置する砂錫鉱山に付属する選鉱所-3がある。選鉱方法を図-4.14に示す。粗選は採掘場脇に設置してある比較的規模の大きな猫流しで選鉱を行った後、選鉱所に輸送し精選される。本鉱山の粗鉱には硫化鉱物が含有されていないことから、ばい焼過程がない。粗鉱の $\text{SnO}_2$ の品位は0.2~0.3kg/m<sup>3</sup>であり、精鉱の $\text{SnO}_2$ 品位は約90%である。

錫粗鉱量は約24t/月である。選鉱過程の尾鉱の分析値を表-4.3に示す。分析値は今回の調査において行ったものである。

### (3) 鉱さいたい積場

鉱さいはズリ及び選鉱所からの廃さいからなる。ズリはカオ・ファイ・ムット山腹の錫鉱山及びロンピブーン及びバン・トゥアン・カの漂砂鉱床の採掘に伴って生じている。廃さいは各選鉱所から生じている。

鉱さいたい積場について、川の上流側から述べる。

#### a. カオ・ファイ・ムット山のズリたい積場

カオ・ファイ・ムット山腹の5カ所の鉱山に伴うズリが採掘現場の周辺にたい積されている。しかし、2カ所の採掘現場を調査したが、ズリたい積場としての形態はなく、野積み状態に放置され、自然状態のまま流出している。

最北部の採掘場でのズリ量はおよそ3,000m<sup>3</sup>（約4,500t）と推定される。残留ズリのほとんどは粗粒な角礫であり、一部硫化鉱物が酸化され赤褐色を帯びていることから、錫鉱及び硫化鉱物の低位品位鉱を含むと推定される。しかし、ズリの細粒物は残留し

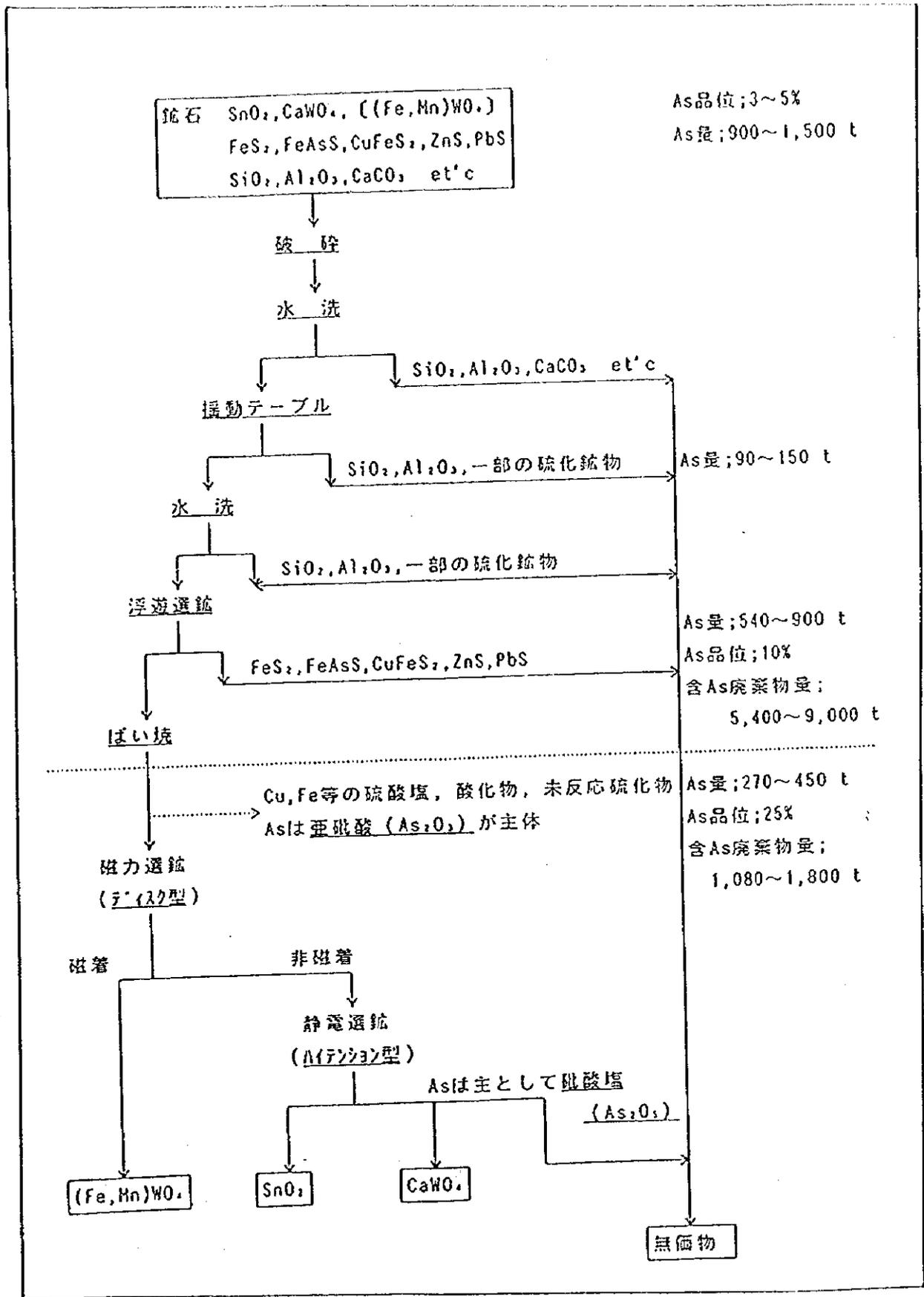


図-4.13 選鉱所-1の錫選鉱のフロー

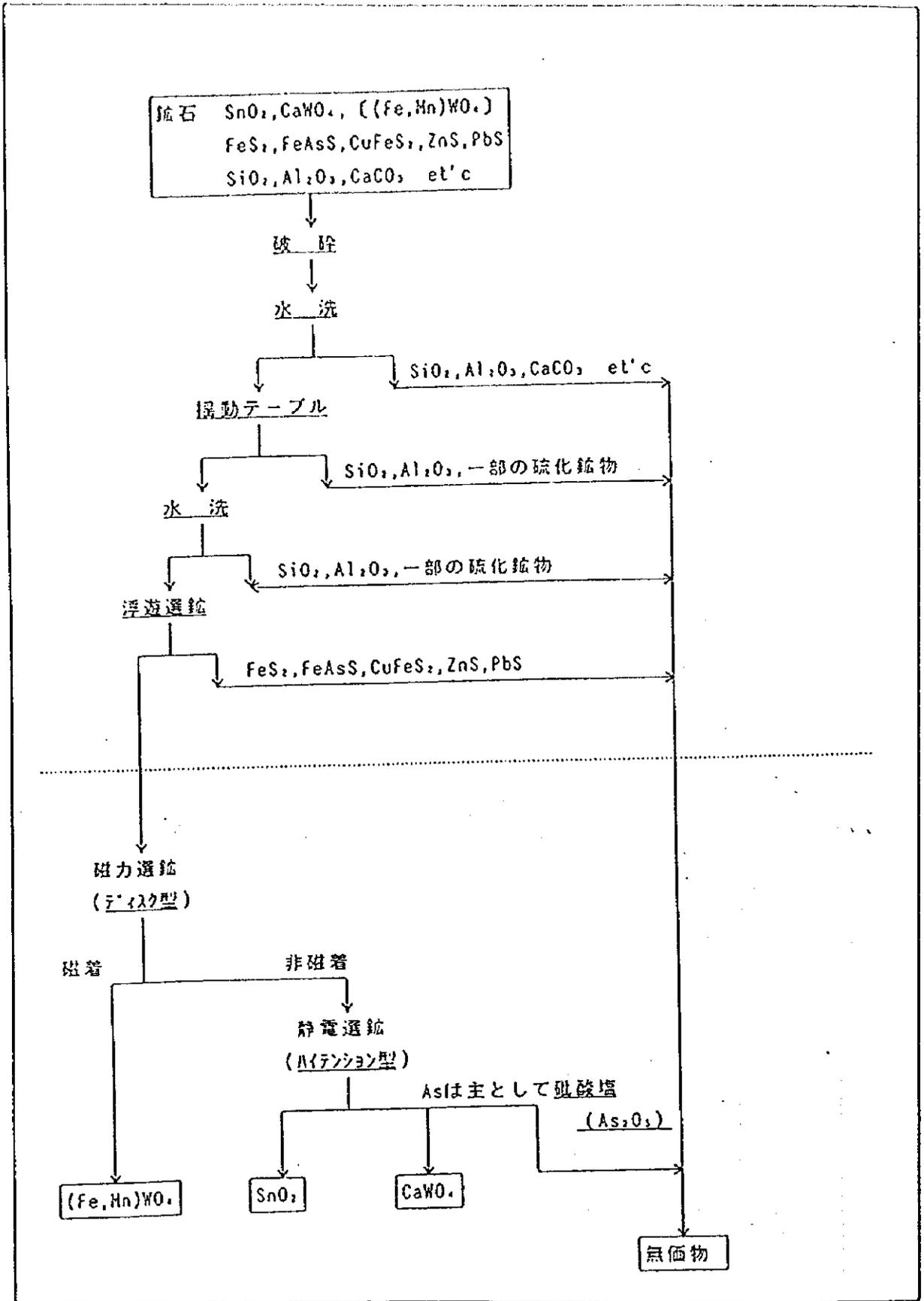


図-4.14 選鉱所-3の錫選鉱のフロー

表-4.3 選鉱尾鉱分析値

(%)

No.	名称	採取日	採取場所	Fe	Si	S	As	Sn	W	Ti	Mn	O	Mg	Cu	Zn	Se	Y	Mo	Cd	Ba	Pb	Total
1	探鉱スリ	980226	山麓旧選鉱場付近原盛場	8.40	25.78	0.32	10.77	0.02	0.53	0.00	0.01	42.76	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	98.69
2	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場空箱砂	9.46	0.00	0.17	0.08	1.39	43.37	1.28	7.12	17.23	0.00	0.01	0.01	1.11	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	91.31
3	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場廃水溝内	20.82	0.11	0.00	0.05	7.59	18.43	13.76	3.87	25.79	0.03	0.01	0.06	0.46	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	91.06
4	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場廃水溝外一黒	18.34	0.05	0.00	0.09	0.01	27.56	16.94	5.52	26.66	0.01	0.02	0.10	0.71	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	96.09
5	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場廃水溝外一黒	23.25	0.16	0.00	0.04	0.01	0.02	32.63	8.72	34.48	0.01	0.01	0.13	0.00	0.01	0.00	0.00	0.13	0.00	99.60
6	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場廃水溝外一白	16.88	0.12	0.03	0.07	0.01	22.09	16.66	5.76	27.07	0.02	0.02	0.03	0.59	0.00	0.01	0.00	0.06	0.02	89.44
7	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場ばい煙伊勢	9.72	0.06	0.02	0.07	8.03	28.39	13.28	2.25	24.51	0.01	0.01	0.13	0.11	0.00	0.01	0.00	0.06	0.02	87.32
8	ネコ流し堆積物	980226	ネコ流し上段表面	8.68	3.70	0.00	0.12	39.82	0.07	14.03	1.81	34.04	0.06	0.00	0.05	0.75	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	102.54
9	選鉱産物-1	980226	2次選鉱場テール産物	7.92	12.90	0.00	0.11	26.22	0.17	11.72	1.63	38.41	0.09	0.02	0.04	0.08	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	99.38
10	選鉱産物-2	980226	2次選鉱場テール産物	7.73	13.13	0.00	0.05	26.39	0.36	11.89	1.32	36.71	0.09	0.03	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	95.88
11	選鉱廃滓	980226	2次選鉱場選鉱堆積場内	8.44	18.85	0.00	0.10	13.17	0.26	14.68	2.10	41.26	0.02	0.01	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01	0.06	0.02	99.09
12	河川堆積物	980226	フットポール堤防の川の中	14.52	20.67	0.00	0.18	0.01	0.28	0.49	0.16	62.10	1.34	0.00	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	100.03

No.

- 1 S少。As約11%ある。
- 2 Snが低く、W、Feが高い。テール精鉱を静電選鉱して生じた廃滓か。
- 3 Sn、Wが尾鉱にしては高い。尾鉱のSn、Wが溝内で濃縮されたものか。
- 4 Fe、W、Tiが高く、Snは低い。テール尾鉱か。
- 5 Fe、Tiが高く、Wは低い。テール精鉱を磁選して生じた廃滓か。
- 6 Fe、Ti、Wが高い。テール精鉱を静電選鉱して生じた廃滓か。
- 7 Wが高く、Snも8%ある。テール精鉱をばい煙後、Snを回収した後の廃滓か。
- 8 2次選鉱のSn粗精鉱であり、S、As低い。
- 9 } テールをデモで動かした時、精鉱排出部から採取したもの。
- 10 } テール上のものが選別されずに排出されており、フィード並のSn品位。
- 11 As少。廃滓にしてはSnが高い。選鉱不十分のためか。
- 12 赤色泥炭物。Fe、Si三成分。Siは河底の砂の混入によるものか。

ていないことから、そのほとんどは流出したものと推定される。

他の鉱山のズリたい積場の状況もほぼ同様であるとすれば、5 鉱山のズリの総量は少なくとも $15,000\text{m}^3$  (約 $22,500\text{t}$ ) 程度と推定される。

なお、1977年に発生したファイ・ロン・ナ支流の土石流災害では、多量のズリを含んだ河床堆積物を巻き込んで流出し、土石流はロンビブーン盆地に約 $0.5\sim 1.0\text{km}$ までも押出して土石流堆積物として定置した。この結果、湿地帯内に微高地が形成され、河筋が南側に大きく蛇行した。現在の土石流堆積物は安定し、住宅地となっている。

現在、工業省鉱物資源局 (DMR : Department of Mineral Resources) の鉱害対策として、採掘場及びズリたい積場を整地し、ズリの一部を下流側に移動して安定化を計っている。

#### b. 選鉱所-2

選鉱所-2の廃さいの量は全く不明である。選鉱所-2には廃さいたい積場が設置されていないため、選鉱過程での尾鉱のほとんどは周辺に廃棄あるいは下流側に河川により流出したものと推定される。また、周辺に廃棄された位置も不明である。

したがって、選鉱廃さいの相当量はファイ・ロン・ナ支流の下流側に流出し、河床堆積物内に混入していると推定される。

#### c. 選鉱所-1

選鉱所-1の廃さいの総量は $5,000\sim 10,000\text{t}$ 程度と推定されている。選鉱所-1の廃さいは現在選鉱所内の3ヶ所に設置されているストックパイルに乱雑に放置されているが、その規模は過去の廃さいのたい積量としてはあまりにも小さいといえる。また、廃さいはストックパイルから逸散している状況を呈している。また、選鉱所裏手の廃水処理場の沈殿物 (廃さいの一部) は周辺に廃棄され、現在広範囲に分散・飛散し、小道は廃さいによりすっかり覆われている状況である。したがって、廃さいの相当量は旧廃さいたい積場から分散していると共に、廃さいの一部 (あるいは相当量) は近隣の採掘場跡地に埋め戻されているものと推定される。

#### d. 選鉱所-3

バン・トゥアン・カ錫鉱山の採掘現場での粗選における廃さいは、直接採掘跡地に廃棄されている。最も効率の良い処理といえる (ただし、水質のモニタリングは必要である)。

選鉱所-3の廃さいの総量は約 $1,000\text{m}^3$ である。廃さいたい積場は選鉱所の裏手に設置されており、その規模は若干小さくほとんど満杯の状態であるといえる。また、流出を防止するためにたい積場周辺は高さ $1.5\text{m}$ の盛土堰堤が設置されている。

さらに、たい積場脇には幅 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 及び深さ約 $1\text{m}$ の規模の集水池が設置され、満水になると揚水し排水している。この集水池には淡水魚が飼われている。