

4-3 錫採掘の状況

(1) 鉍床及び採掘

a. 山錫

ロンピブーンヒ素汚染と関連する錫鉍床はカオ・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。採掘対象となった鉍脈は図-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。鉍脈の長さは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、硫砒鉄鉍の品位は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の立坑を鉍脈に沿って掘削し、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であった。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鉍山跡では鉍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鉍床である砂錫は、錫鉍胚胎層の深度は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。粗鉍のSnO₂品位(あるいはカットオフ)は0.24~0.31kg/m³である。ロンピブーン地区北部の操業中の錫鉍山では錫鉍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。

ロンピ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。露天掘りはロンピブーン盆地内及びロンピ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ピブーン市街地の北側で行われており、最近までドレッジ用いかだが浮いていた。露天掘及びドレッシング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ピ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、同方向が断層方向とも一致している。

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ピ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。

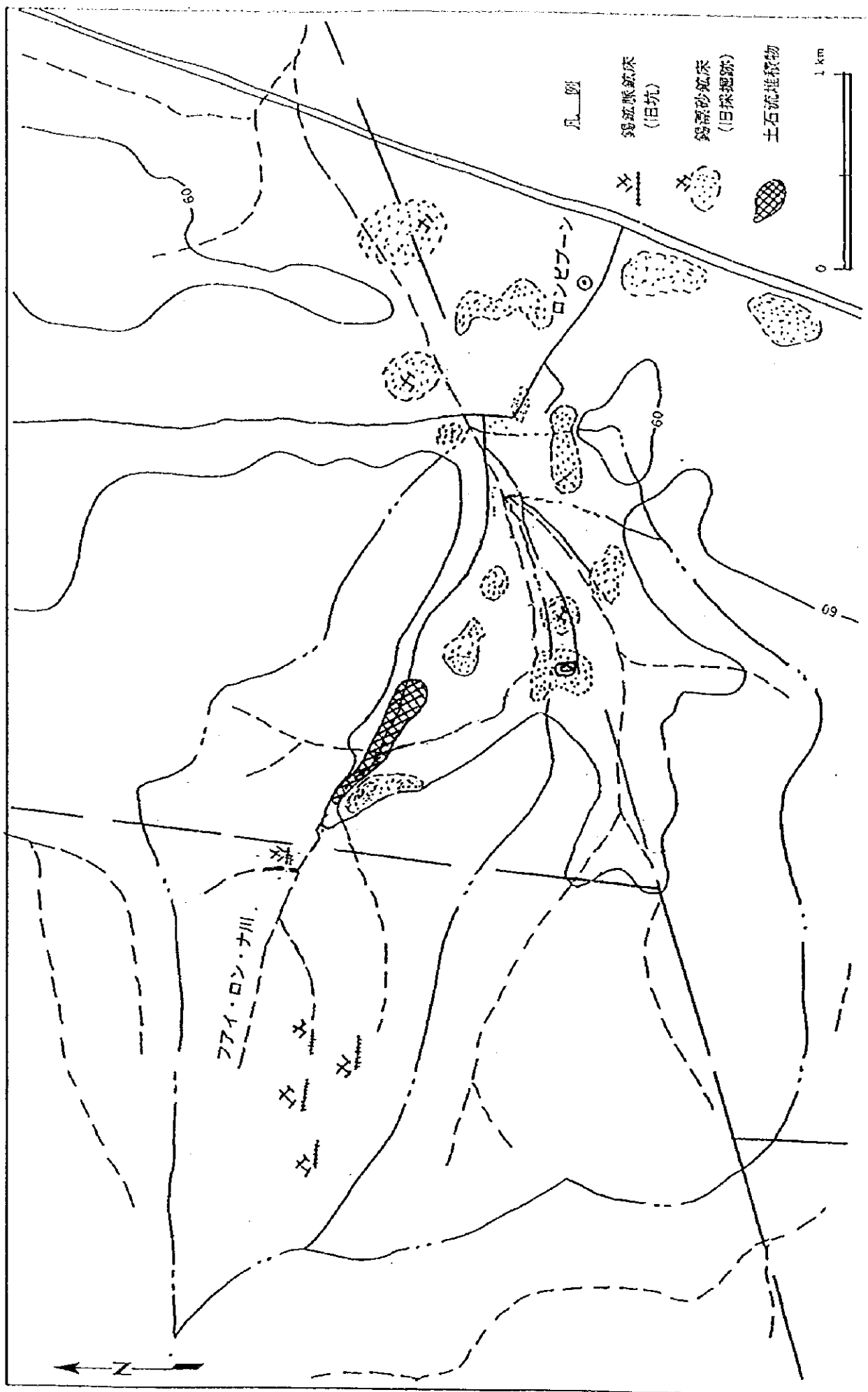


図-4.11 ロンピブーン地区の錫鉱床位置図 (1)

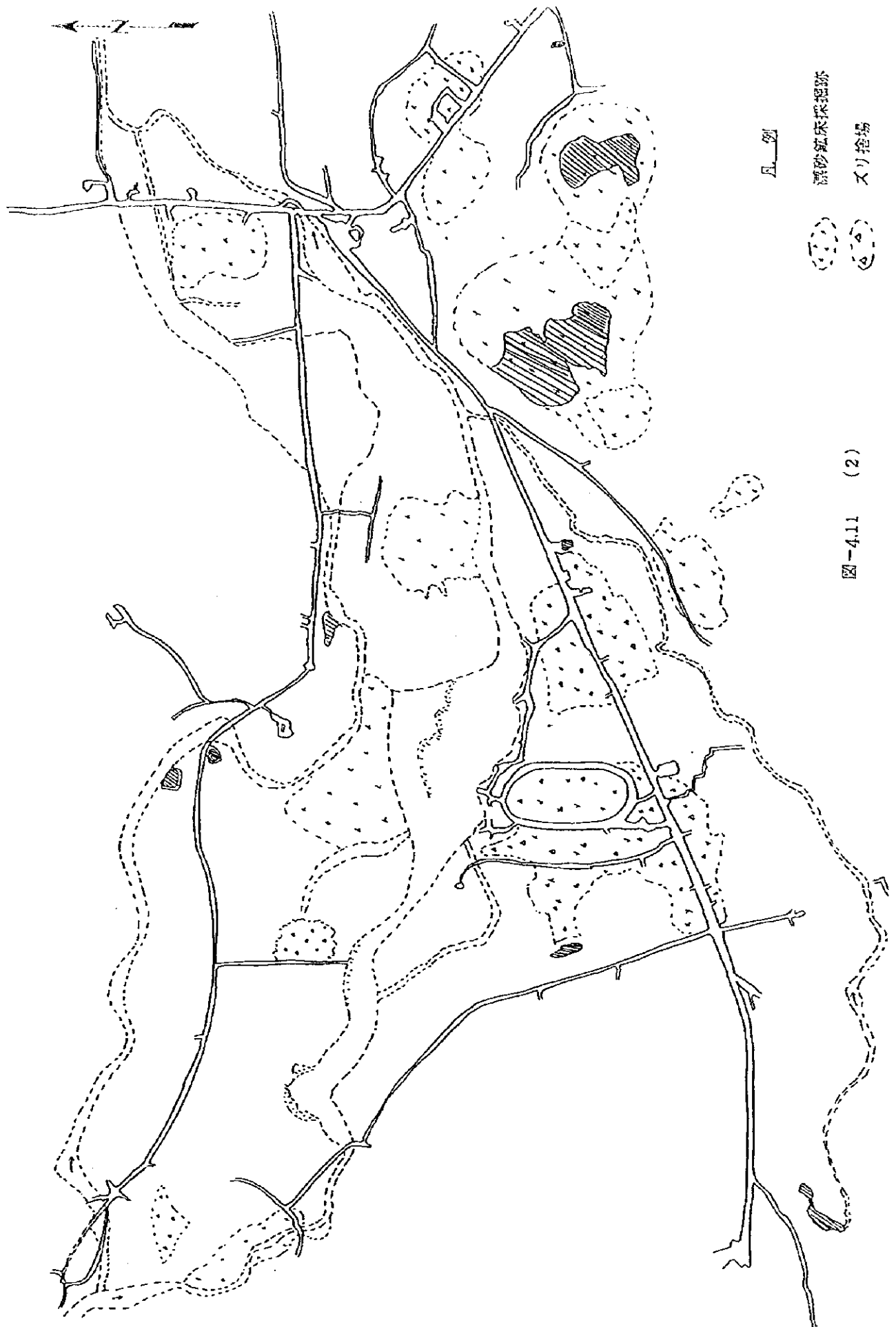


図-4.11 (2)

現在はロンピブーンの北部（バン・トゥアンカ村）でドレッシング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

ロンピ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、ロンピブーン市街地の北側のドレッシング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、錫石とは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。

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。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。分析値は今回の調査において行ったものである。

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。

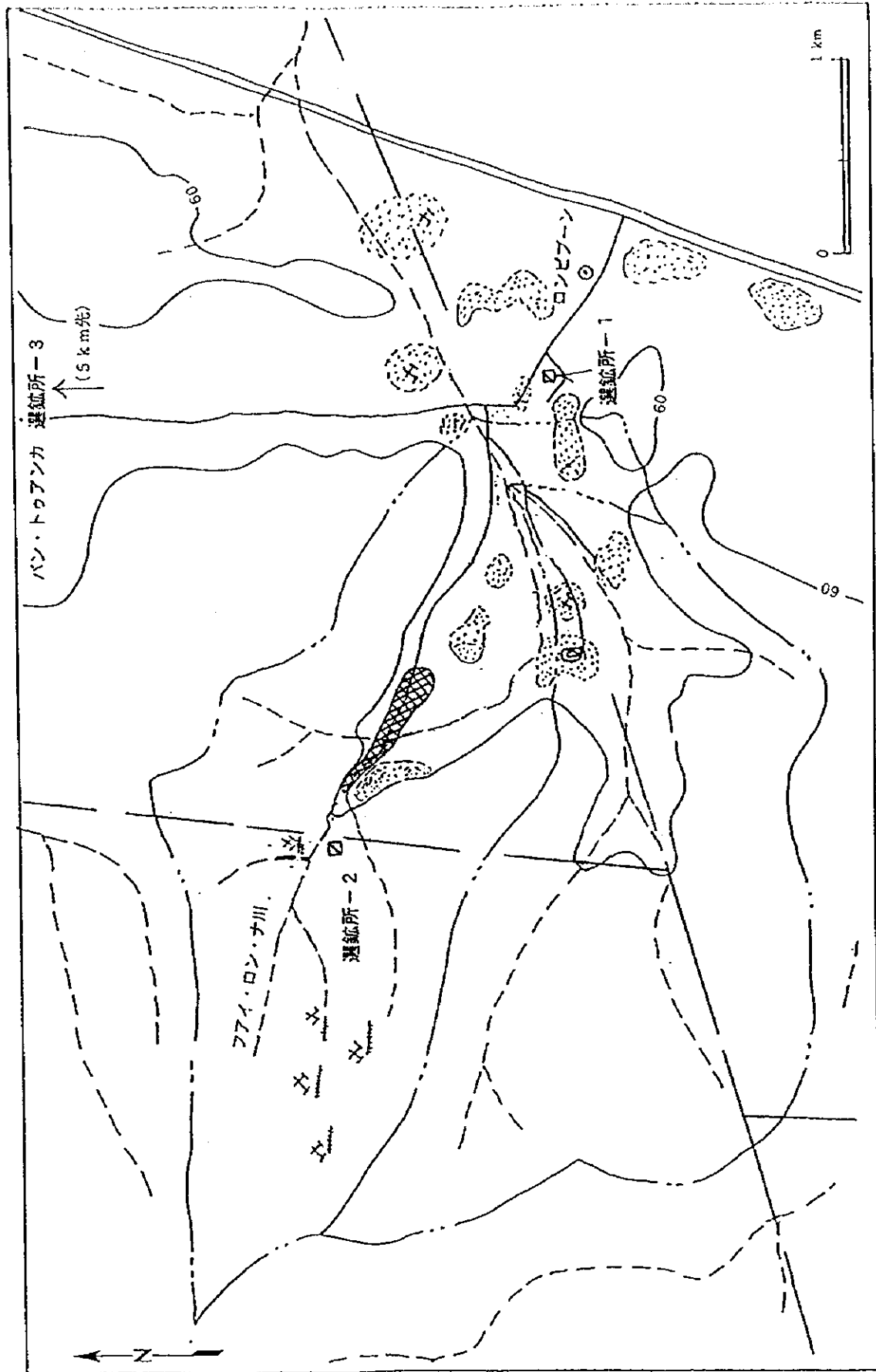


図-4.12 ロンピブーン地区の錫選鉱所

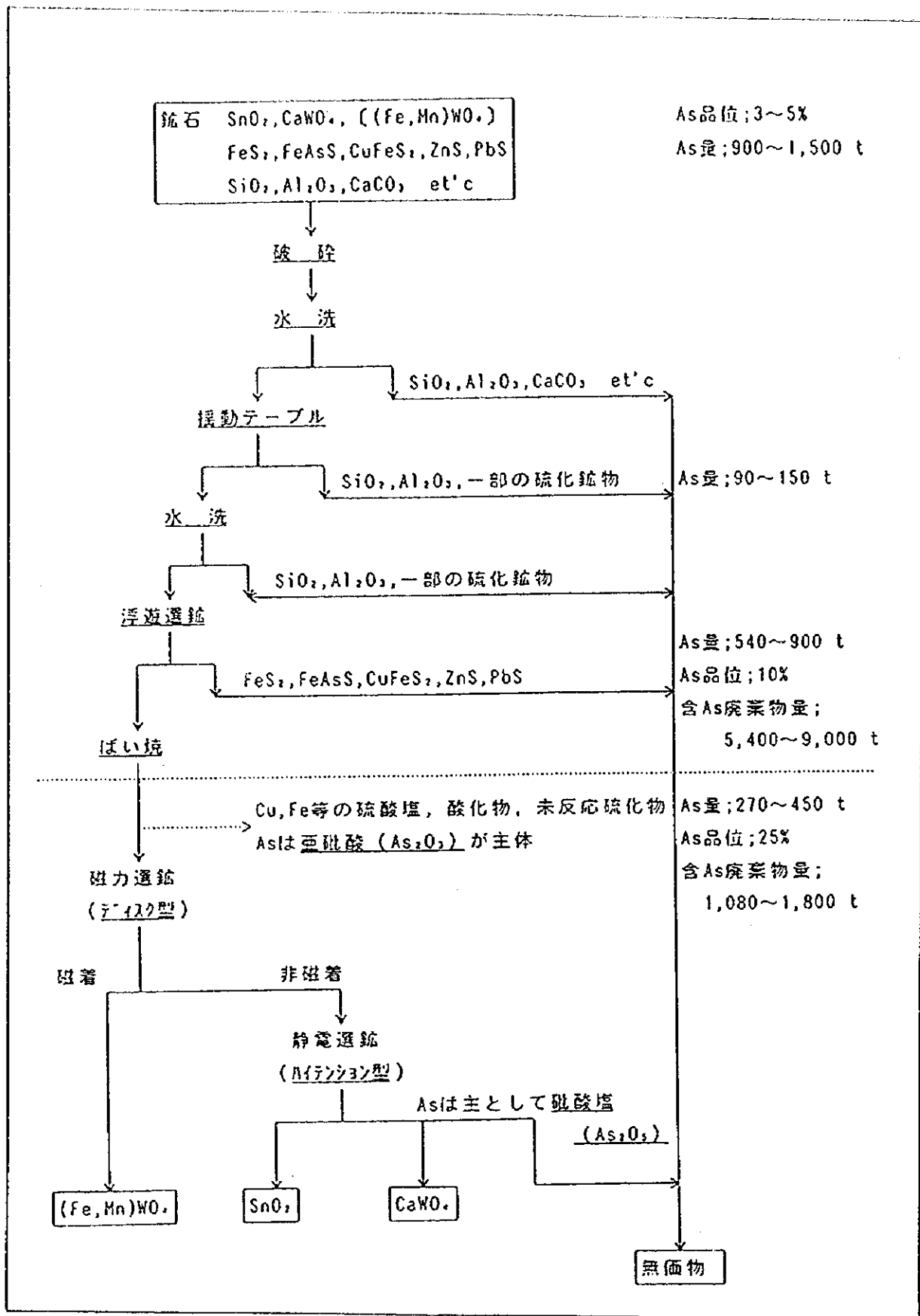


図-4.13 選鉱所-1の錫選鉱のフロー

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ている。選鉱方法はほぼ図-4.13に示す選鉱所-1と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 SnO_2 の品位は $0.2\sim 0.3\text{kg/m}^3$ であり、精鉱の 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 $3,000\text{m}^3$ （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22,500t）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、土石流はロンピブーン盆地に約0.5~1.0km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の廃さいの量は不明である。選鉱所-2には廃さいたい積場が設置されて

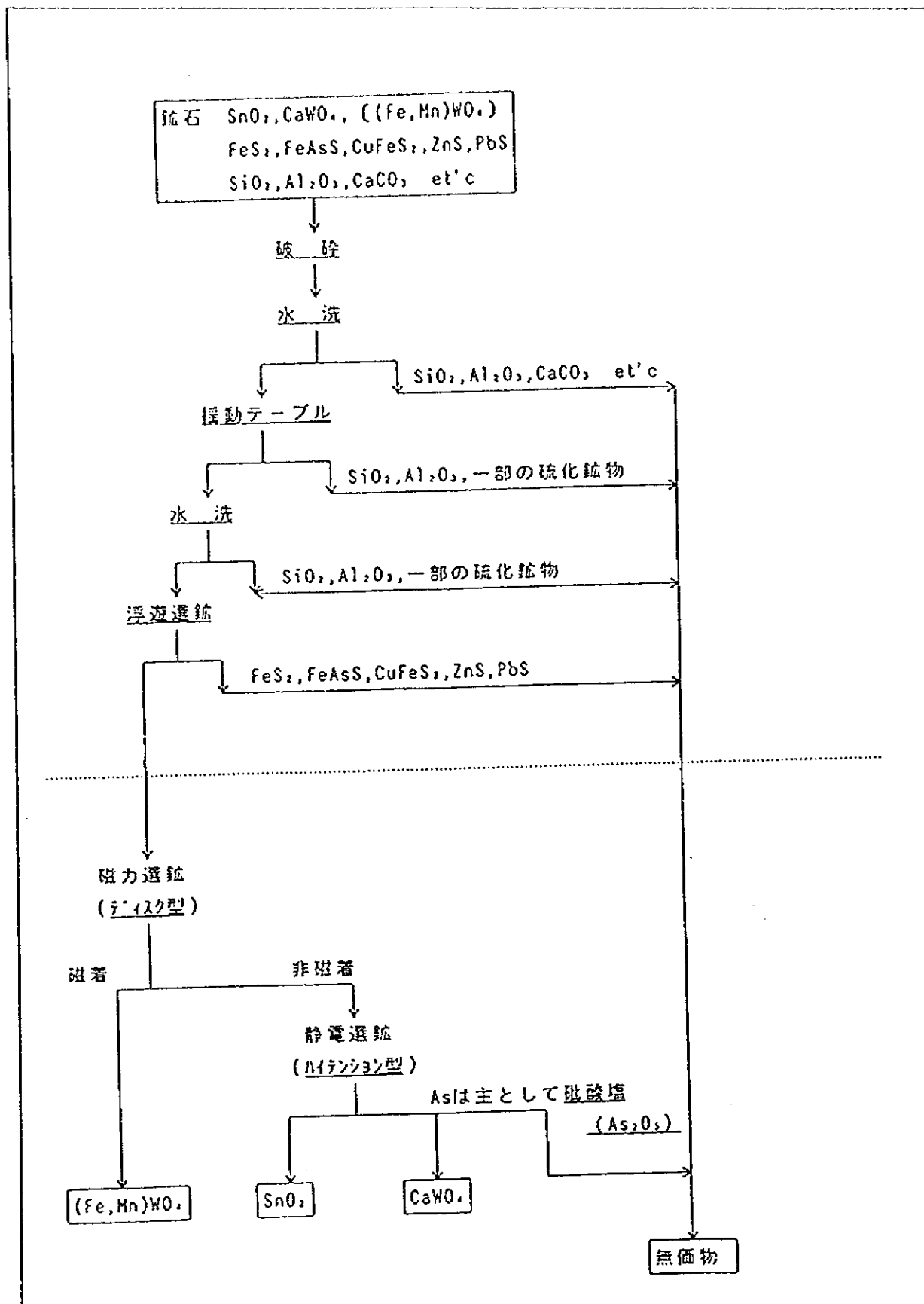


図-4.14 選鉱所-3の錫選鉱のフロー

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	山崎旧選鉱場付近破砕場	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	88.69
2	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場袋詰め	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	81.31
3	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場水溝内	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	町中旧選鉱場水溝外一畝	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	町中旧選鉱場水溝外一畝	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	町中旧選鉱場水溝外一畝	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	89.42
7	選鉱廃滓	980225	町中旧選鉱場ばい焼炉跡	9.72	0.06	0.02	0.07	8.03	28.39	13.28	2.25	24.51	0.01	0.01	0.13	0.75	0.00	0.01	0.00	0.06	0.02	87.52
8	ネコ流し埋積物	980226	ネコ流し上段裏面	8.68	3.70	0.00	0.12	39.82	0.07	14.03	1.81	34.04	0.06	0.00	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	102.54
9	選鉱産物-1	980226	2次選鉱場選鉱場テール塵物	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次選鉱場選鉱場テール塵物	7.73	13.13	0.00	0.05	26.39	0.36	11.89	1.32	38.71	0.09	0.03	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	99.88
11	選鉱廃滓	980226	2次選鉱場選鉱場選鉱場内	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	アットボール堤防の川の中	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	0.01	0.08	0.01	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, テール精鉱を精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, テール精鉱をばい焼後, 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 赤色沈殿物, Fe, Si三成分, Siは河底の砂の混入によるものか。

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。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5,000~10,000 t程度と推定されている。選鉱所-1の廃さいのストックパイルは選鉱場の脇に設置されているが、その規模は過去の廃さいのたい積場としてはあまりにも小さいといえる。また、旧廃さいたい積場から流出・飛散した廃さいが選鉱所敷地外に広く分散し、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あるいは近隣の採掘場跡地に埋め戻したものと推定される。

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1,000m³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1.5mの盛土堰堤が設置されている。

さらに、たい積場脇には幅5m×5m及び深さ約1m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。

4-4 ヒ素汚染被害状況

(1) ヒ素汚染被害

ロンピブーン病院に保管するロンピブーン地区のヒ素中毒患者のカルテによるヒ素中毒のステージを皮膚病研究所のターダ医師の3分類に従うと、

1. ハイパーメラノーシス：皮膚のメラニン色素細胞の異常増進による脱色・黒化
2. ハイパーケラトーシス：皮膚の異常な角質化
3. ボーエン病（皮膚ガンの前期症状）、BCC基底細胞ガン等

のいずれかの症状を持つ818人の患者が1987年以来発見されている。押川尚子（ソククラ大学）の修士論文の飲料水と症状の疫学的調査によると、その患者818人のうちここ10年間に死亡が確認された35例の死因中で12件がガンであった。6%の患者は症状のステージが進行しており、今もヒ素を含有する飲料水を飲んでいることがわかった。

一方、15%の患者は症状が改善されており、それらのほとんどは飲料水を水道水に切り替えた人々である。ロンピブーンの水道普及率は80%であり、地方政府は汚染井戸水の使用を禁止したが、水がめが足りないとか、雨の無いときは井戸水しかないとか、さらに水道を引いてある家でもヒ素中毒に対する知識の欠如から、井戸水がおいしいから飲

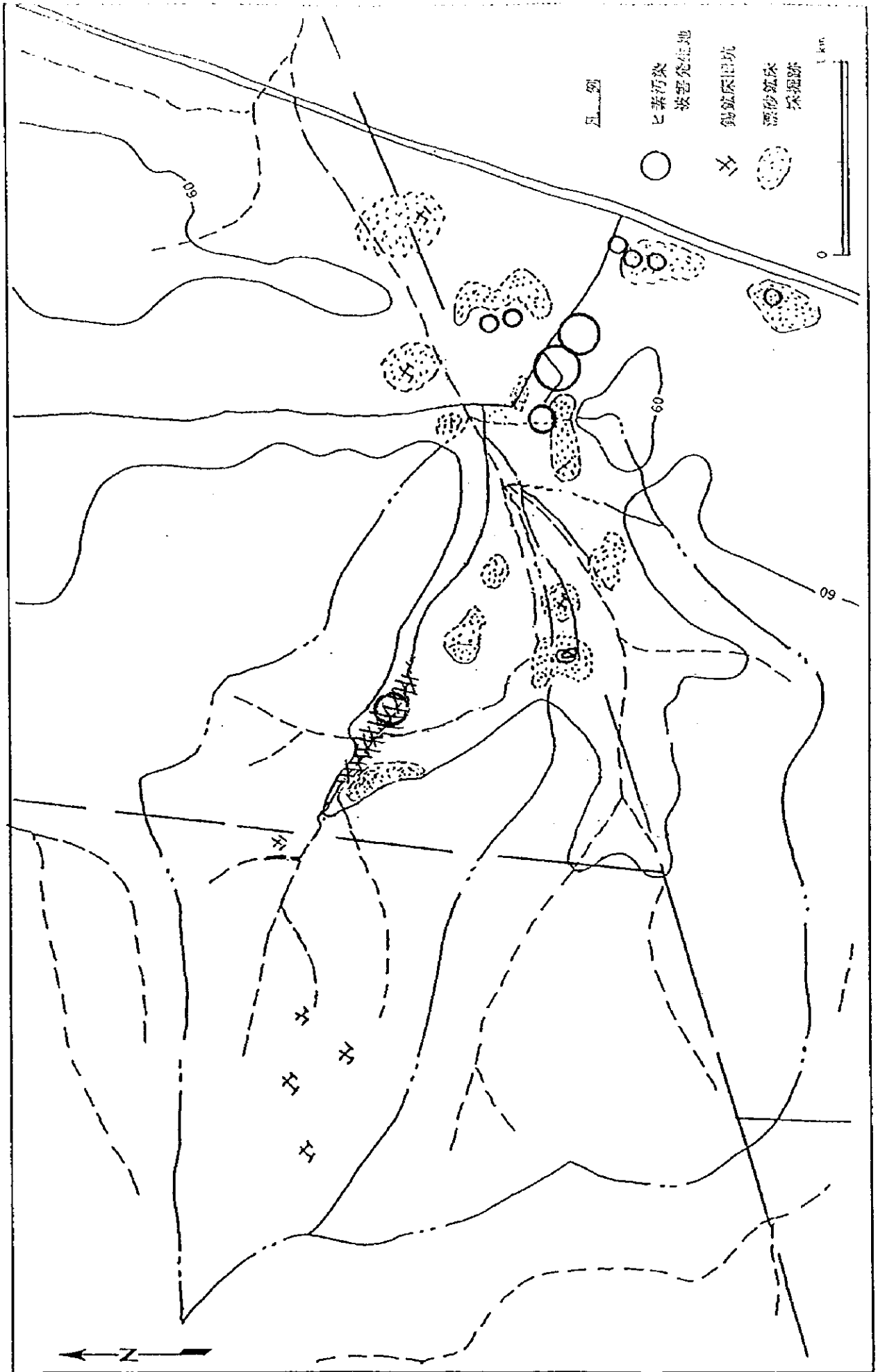


図-4.15 ヒ素汚染被害分布図

む、水道代が高いので使えない等の様々な理由で、人口の20%がヒ素に汚染された井戸を使用している。

地質調査の欠如すなわち廃さいの位置、ドレッシングした場所の確認、選鉱所の位置等すべて地下に隠れてしまっているため、ロンピブーン地区の管理計画の策定が困難な状況にある。

今回の聞き取り調査によると、約50年前に皮膚の黒化に悩むロンピブーンの女性がドイツ人医師の診察により、ヒ素中毒と言われたことが、ヒ素中毒発見の最も古い記録である。さらに、1977年にソククラ大学の博士論文の中にロンピブーン地方の井戸水にヒ素が含有していることを発表し、一時的に現地では新聞等を賑わしたが、中央政府まで情報が伝わらなかった。1978年10月に国立皮膚病研究所（ONEB）が調査に当たり、ヒ素中毒が判明し環境汚染が問題となった。

そのとき最初に現地入りした中央政府の役人がモンティプ氏であり、JICA有害物質専門家の広中が同行した。当時の首相であるプレム氏が1988年1月に現地を訪れ、汚染された水を飲むことをやめれば病気は治ると明言し、各省や援助国は競って対策を実施した。

（2） 現在の汚染被害状況

ロンピブーン地区で使用されている井戸数は85カ所であるが、そのうち65カ所でヒ素の汚染が確認されている。現在の汚染被害者の分布を図-4.15に示す。この分布は後述するように、地下水汚染区域と一致する。

（3） 援助及び対策の推移

最初にUSAIDは70万ドルを寄付して、サイアムセメントと共同で巨大な雨水かめを開発し、各戸に配る計画を進めた。現在も使用されているのを見かけるが、半数は使用されずに放置されており、乾期に水が足りないことと雨水収集の手間がかかるのが原因と推定される。

水道局（PWA）は水道を計画し、現在人口の80%をカバーしているが、料金が高いことと一部のヒ素高濃度地区が本管の引き込み距離が長いこと、負担金に及びきれず未だ水道が引かれていない状況である。

王室灌漑局（RID : Royal Irrigation Department）は、約2 km離れたところから、飲料用の良質水路を村の東北部まで引き、貯水池を作り、そこに簡易浄水施設をつくりPWAの1～2割の安値で水を供給する計画であったが、配水施設が作られないままである。現在患者の多い無水道地区からこの水を引くように要望があがっている。

鉱山局はヒ素を含む鉱脈の採掘を禁止し、環境調査をおこない、鉱さいや選鉱廃さいの除去移設保管などの措置を行い、積極的に対応していることは評価されるが、1996年のイギリス地質調査団の報告の内容を理解していない。

環境庁は井戸水質の調査を実施して膨大なデータを持っているが、位置や井戸構造、付近の地質状況などのデータを持っていないため、ヒ素汚染機構の解析に苦しんでいる。

保健省は、現地のロンピブーン病院の医師、保健婦やスントン医師の積極的な日本のNGO（アジアヒ素ネットワーク）協力で、1992年と1997年の2回にわたり、ヒ素の専門

医の診察を行い住民の中毒患者としてカルテ942枚を所有している。この2回の調査と、押川氏の修士論文の疫学調査により、井戸からPWAの水道に切り替えた家庭では病状が改善されていることが統計的にはっきり示されたが、雨水使用者や井戸使用者では病状が進行していることがわかった。水道普及だけでなく、住民の意識を変える必要がある。

教育省では、ローカル・エデュケーション・プログラムを作っている。

地方政府としては、住民参加プログラムでヒ素に関する教育を行っているが、中央政府からの予算が無く業務が進まない状況であった。

ソクラ大学では、疫学研究室、環境科学科などで修士論文、博士論文として積極的にロンピブーンに取り組んでいくつもの論文が発表されている。

上記のように、各省庁・機関がバラバラに施策を進めているのが現状である。しかし、ジャンペン医師、モンティプ氏らの学術研究グループは、ソクラ大学で毎年1回学会形式の会議を開いており、本グループが主体となって各省庁にまたがったプロジェクトを形成しようと試みているのが、今回の案件である。本案件はすでに鉱山局の持つ地質情報、地図情報と保健省の疫学的調査、環境省の水質調査などを一つのテーブルの上に載せることができ、省庁間の壁を取り除くのにかなり役立つものと考えられる。

4-5 汚染状況

(1) バックグラウンドとしてのヒ素について

a. ヒ素 (As) の存在量

ヒ素の地殻存在度は33番目の1.8ppmであり、地殻内に比較的多く存在する元素といえる。因みに、29~32番目はCu, Zn, Ga, Geであり、34番目はSeである。

火成岩及び堆積岩には、平均2~4 ppm程度のヒ素が含有されており、特に頁岩、粘板岩等の細粒相では10数ppmを示す。また、河川及び湖沼の第四紀堆積物中にも10数ppmのヒ素を含む(表-4.4)。金属、石油鉱床地帯及び温泉・地熱地帯では高濃度のヒ素が検出されることが多い。Fe, Cu, Pb, Zn等の鉱石鉱物中には1,000~10,000ppmも含まれている(表-4.5)。

土壌中では一般的に2~50倍程度で、土壌化が進むほどに濃集する。

また、ヒジキ等の海草、エビ、貝等の海産物には数~数10ppm(まれに数1,000ppm)のヒ素が有機ヒ素として濃集している。ただし、有機ヒ素の場合、毒性はほとんどないと言われている。

降雨水、河川水、地下水等の表層水中のヒ素は一般に数ppb程度である(表-4.6)。

ロンピブーン地区及びその周辺での表流水及び地下水に関する非汚染水のヒ素濃度(バックグラウンドとして)は、簡易分析の検出限界である0.01mg/l以下であることが今回の調査で確認された。

(2) 水文調査

水文調査は実施されていない。したがって、水収支及び負荷量収支についての定量的検討は困難といえる。なお、ファイ・ロン・ナ支流を概観してもその流量には相当変化に富んでいること、及び透水性の良好な砂礫・砂層が広く分布していることから、表流水と

地下水のやりとりは比較的大きいものと推定される。今後、水文調査が必要である。

(3) 水質調査

表流水、浅層地下水及び深層地下水の水質は、本調査及び既存資料から得られた。

a. 表流水

① 現地調査

本調査では現場分析としてpH、導電率、水温及びヒ素濃度（検出限界： $< 0.01\text{mg/l}$ ）を行った。分析結果を図-4.16に示す。

導電率は山間部で $29\sim 100\ \mu\text{S/cm}$ とやや低く、降雨水及び一部坑廃水が混入していることが推定される。バン・トゥアンカ村の錫鉱山での表流水とほぼ一致している。

一方、ロンピブーン盆地内では $104\sim 264\ \mu\text{S/cm}$ と高く、地下水の湧出・混入により高くなったものと推定される。因みに、ロンピブーン市街地での井戸水の導電率は $822\ \mu\text{S/cm}$ である。また、ロンピブーン市街地北部の錫ドレッシング採掘跡の池の水は $219\ \mu\text{S/cm}$ と高く、地下水の混入の可能性がある。

ヒ素濃度は $0.01\sim 0.40\text{mg/l}$ である。山錫鉱山周辺及び山間部では $0.05\sim 0.40\text{mg/l}$ とやや高く、中流域では $0.12\sim 0.25\text{mg/l}$ とほぼ一定して高くなっている。したがって、ファイ・ロン・ナ支流はそのほとんどがヒ素により汚染されていることが確認された。

山間部の選鉱所-2周辺での水質詳細調査では、旧選鉱所及び同整地部下の河川水及び湧水の濃度が相対的に高い。したがって、旧選鉱所及び同整地部がヒ素の汚染源である可能性が高いと推定される。

また、ロンピブーン市街地北部の錫ドレッシング採掘跡の池の水は 0.02mg/l であり、ヒ素により汚染されている。導電率の結果と合わせ、汚染された地下水の混入の可能性がある。

② 表流水既存データ解析

英国地質調査所（BGS）及びDMRによる調査結果（表-4.7）の再解析を行った。

ファイ・ロン・ナ及びカオ・ロン・ナ支流の表流水の水質キーダイヤグラム、ヘキサダイヤグラム及び同分布図をそれぞれ図-4.17、図-4.18及び図-4.19に示す。表流水は坑廃水ファイ・ロン・ナ支流河川水及びカオ・ロン・ナ支流河川水の3種類に分類される。

坑廃水はNo. 17であり、 SO_2 が特徴である。坑廃水の影響はNo. 19, 21, 1, 3, 13, 4, 及び14に認められ、ファイ・ロン・ナ支流はほとんど坑廃水が混入している。

カオ・ロン・ナ支流河川水はCa及び HCO_3 に富んでおり、頁岩及び石灰岩分布域の河川水の特徴及び地下水の影響を示している。ファイ・ロン・ナ支流との合流後もカオ・ロン・ナ支流河川水の影響を持続している。

ファイ・ロン・ナ支流の上流側から下流側にかけての重金属類及び SO_2 ・ HCO_3 の濃度を図-4.20に示す。 SO_2 及び重金属のCd, Cuは上流側で高く下流側で減少しているこ

表-4.4 河川及び湖沼中のヒ素 (ppm)

	No.	As濃度	平均値
河川・湖沼	38	0.000-22.40	0.003

表-4.5 ヒ素含有鉱石鉱物

鉱物名	化学組成	結晶系
<元素鉱物>		
自然ヒ素 (Arsenic)	As	六方
<硫化鉱物>		
銅燐銅鉱 (Enargite)	Cu_3AsS_4	斜方
ルソン銅鉱 (Luzonite)	Cu_3AsS_4	正方
錐コバルト鉱 (Cobaltite)	$CoAsS$	斜方
紅砒ニッケル鉱 (Niccolite)	$NiAs$	六方
ゲルスドルフ鉱 (Gersdorffite)	$NiAsS$	等軸 or 三方
砒鉄鉱 (Lollingite)	$FeAs_2 \cdot x$	斜方
砒砒鉄鉱 (Arsenopyrite)	$Fe(As,S)_2$	斜方
輝冠石 (Realgar)	As_4S_4	単斜
石黄 (Orpiment)	As_2S_3	単斜
安四面銅鉱 (Tetrahedrite)	$(Cu,Fe)_{12}(Sb,As)_4S_{36}$	等軸
<砒酸塩鉱物>		
スコロド石 (Scorodite)	$Fe(AsO_4) \cdot 2H_2O$	斜方
オリーブ銅砒 (Oivenite)	$Cu_2(AsO_4)(OH)$	斜方
水砒亜鉛砒 (Adamite)	$Zn_2(AsO_4)(OH)$	斜方

表-4.6 降雨水, 河川水, 地下水等の表層水中のヒ素

	No.	As濃度	平均値
降雪・雨	53	0.000-0.014	0.002
地下水	18	0.000-0.022	0.003

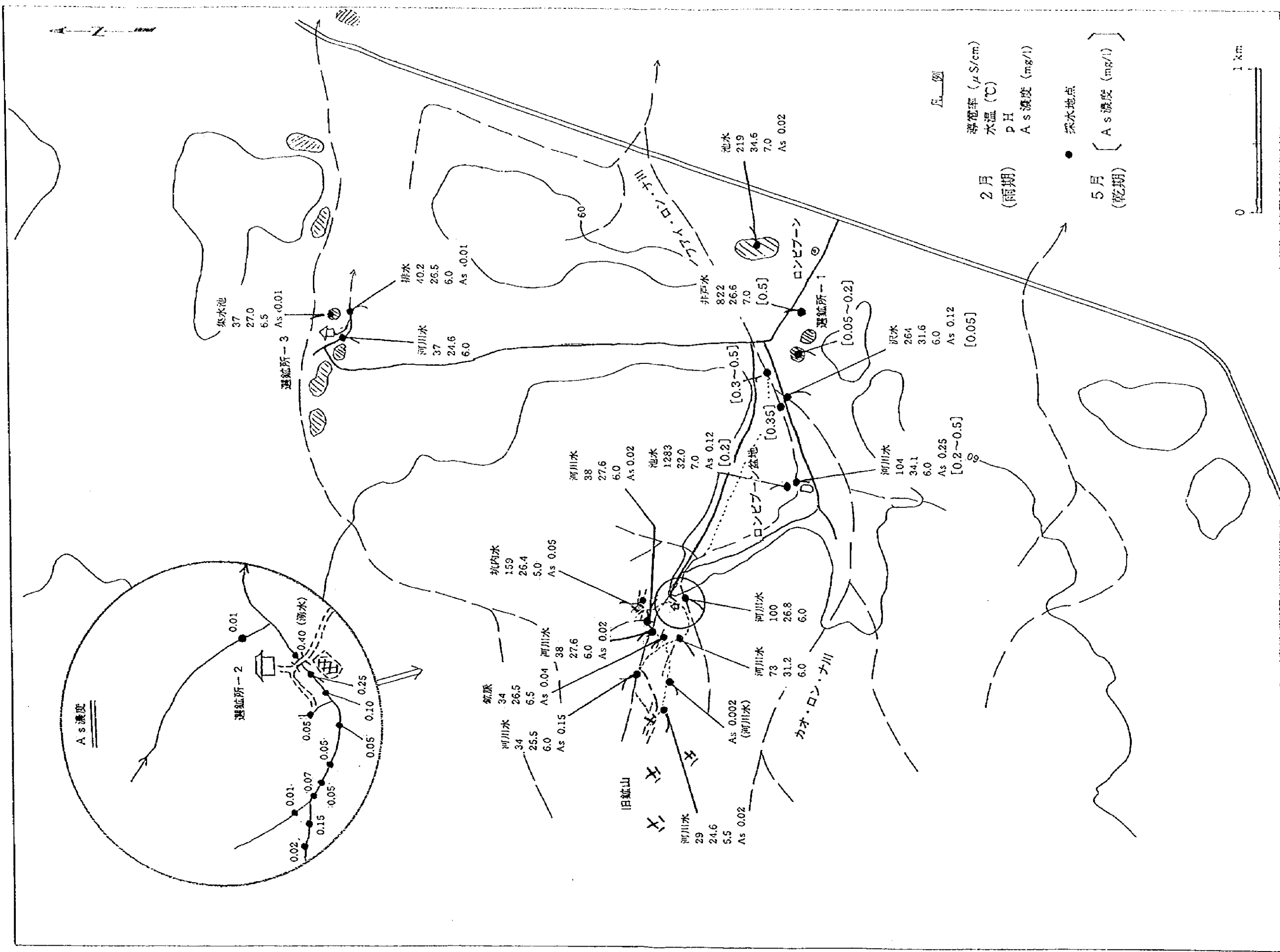


図-4.1.6 現地水質概要結果

表-4.7 表流水の水質分析値

Surface water		RPW1	RPW2	RPW3	RPW4	RPW5	RPW6	RPW7	RPWB	RPW9	RPW10	RPW11	RPW12	RPW13	RPW14	RPW15	RPW16	RPW17	RPW18	RPW19	RPW20	RPW21	RPW22	RPW23	RPW24	RPW25	RPW26	
No.																												
Sc	0.006	0.034	3.500	13.381	3.500	3.500	3.500	0.040	0.040	0.017	0.071	0.117	0.117	0.007	0.012	0.035	0.011	0.019	0.003	0.003	0.006	0.006	0.008	0.005	0.012	0.044	0.008	
Cd	79.344	3.500	21.355	13.381	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	15.315	8.749	8.749	8.749	15.315	8.749	3.500	3.500	246.976	24.184	102.490	37.314	25.412	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	
Ba	0.007	0.006	0.005	0.014	0.013	0.015	0.021	0.028	0.028	0.005	0.031	0.021	0.021	0.005	0.012	0.036	0.005	0.016	0.009	0.009	0.008	0.008	0.006	0.003	0.013	0.107	0.012	
Sr	7.850	14.091	9.027	9.063	21.034	17.037	14.400	11.443	13.687	13.301	12.572	14.418	14.418	9.120	9.140	9.026	9.296	20.124	6.607	8.059	7.807	7.807	9.352	11.870	8.221	6.022	6.022	
Mn	0.007	0.001	0.118	0.196	0.017	0.004	0.027	0.327	0.120	0.073	0.069	0.087	0.087	0.004	0.044	0.014	0.063	1.411	0.102	0.269	0.200	0.203	0.082	0.032	0.042	0.002	0.114	
Fe	0.222	0.004	0.004	0.166	0.073	0.004	0.159	0.703	0.367	0.232	0.087	0.362	0.362	0.004	0.006	0.021	0.146	4.880	0.011	0.018	0.045	0.027	0.156	0.307	0.492	0.117	0.575	
P	0.040	0.028	0.014	0.014	0.028	0.014	0.044	0.032	0.033	0.039	0.030	0.045	0.028	0.014	0.014	0.014	0.029	0.047	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.037	0.016	0.014
Mg	0.014	1.955	0.689	0.675	4.644	3.456	4.644	3.456	2.613	2.583	2.584	3.495	3.495	0.607	0.607	1.627	0.586	1.387	0.400	0.352	0.270	0.604	0.495	0.390	0.394	1.640	0.460	
Ni	0.596	6.760	5.159	5.156	8.784	8.524	6.981	5.962	6.508	6.356	6.333	6.224	6.224	5.167	5.279	5.640	5.224	5.671	4.034	4.255	4.520	4.617	5.675	5.266	8.208	6.860	7.165	
Al	4.65	7.00	81.34	72.97	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	41.53	7.00	7.00	398.07	68.14	43.10	7.00	10,507.80	48.86	3,009.00	408.67	698.56	7.00	7.00	2,075.62	60.92	42.71	
Be	0.846	0.100	0.365	0.482	0.100	0.100	0.100	0.252	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.444	0.366	0.100	0.100	6.389	0.501	1.143	0.501	1.047	0.100	0.100	0.866	0.100	0.100	
Ca	2.157	11.196	3.175	3.410	42.510	28.864	32.337	12.931	26.987	26.895	26.296	50.381	50.381	2.217	4.241	28.043	3.466	15.643	6.669	2.203	1.945	2.238	2.142	1.762	2.452	24.703	2.474	
Zn	310.455	14.105	230.809	179.979	6.857	8.350	47.303	10.822	10.555	10.555	13.887	201.422	201.422	4.030	1.500	1.500	1.500	34.065	13.100	72.508	19.222	8.470	1.500	1.500	12.412	43.565	60.777	
Cu	12.110	1.500	4.443	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	
Y	6.885	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
K	1.315	3.064	1.347	1.414	0.4511	1.116	1.228	1.648	3.496	1.570	1.628	1.026	1.026	1.945	1.233	1.428	1.442	3.445	1.255	1.096	2.232	1.422	1.302	1.198	1.543	2.196	1.131	
HCO3	10.000	49.000	10.000	10.000	169.000	119.000	123.000	40.000	101.100	88.000	88.000	88.000	88.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	
Cl	3.440	3.430	3.740	3.560	3.970	3.100	3.890	3.740	4.150	3.910	4.260	3.400	3.400	3.240	3.208	2.870	3.220	2.829	3.600	3.600	3.350	3.470	3.240	3.210	3.187	3.070	3.070	
SO4	15.700	0.390	14.600	14.200	1.310	1.970	8.860	3.580	3.510	3.560	5.510	3.560	3.560	14.300	13.400	9.410	1.000	142.000	8.470	31.400	16.100	17.400	1.010	0.870	1.040	1.040	1.040	
NO3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.170	0.170	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	
Fe2+	0.003	0.003	0.003																									
As	201.000	451.000	310.000	171.000	35.800	165.000	168.000	555.000	439.000	439.000	583.000	541.000	406.000	351.000	83.000	4.800	66.400	66.300	131.000	98.400	332.000	208.000	61.000	50.000	118.000	118.000	118.000	
As3+	10.700	19.600	9.600	7.400	7.700	7.700	7.600	25.600	18.600	24.900	28.400	20.800	17.400	17.400	17.400	17.400	17.400	4.800	4.800	4.800	6.100	11.500	6.100	6.100	7.100	7.100	7.100	
PH	4.190	6.100	6.100	5.100	6.200	6.400	7.490	5.010	6.050	6.050	7.000	7.000	7.040	5.400	6.700	7.900	6.190	2.990	4.890	3.440	4.510	4.500	2.010	6.840	7.450	7.450	7.450	
Temp.(C)	26.900	27.300	26.300	28.100	25.900	25.600	27.600	27.600	27.500	27.400	26.500	26.400	26.400	27.500	30.000	26.000	26.300	24.000	25.100	24.000	26.200	28.000	25.600	25.600	25.900	25.900	25.100	
Cond.(uS)	70.000	111.000	66.000	225.000	270.000	275.000	260.000	176.000	170.000	208.000	214.000	378.000	378.000	70.000	25.000	223.000	64.000	460.000	51.000	174.000	24.000	26.000	53.000	43.000	64.000	261.000	44.000	
Ch(mV)	405.100	478.700	437.000	264.900	436.100	438.400	424.200	487.000	403.500	376.600	366.500	341.600	404.500	293.000	366.000	362.700	630.000	408.900	490.000	487.800	468.000	396.900	391.000	346.200	346.200	346.200	346.200	

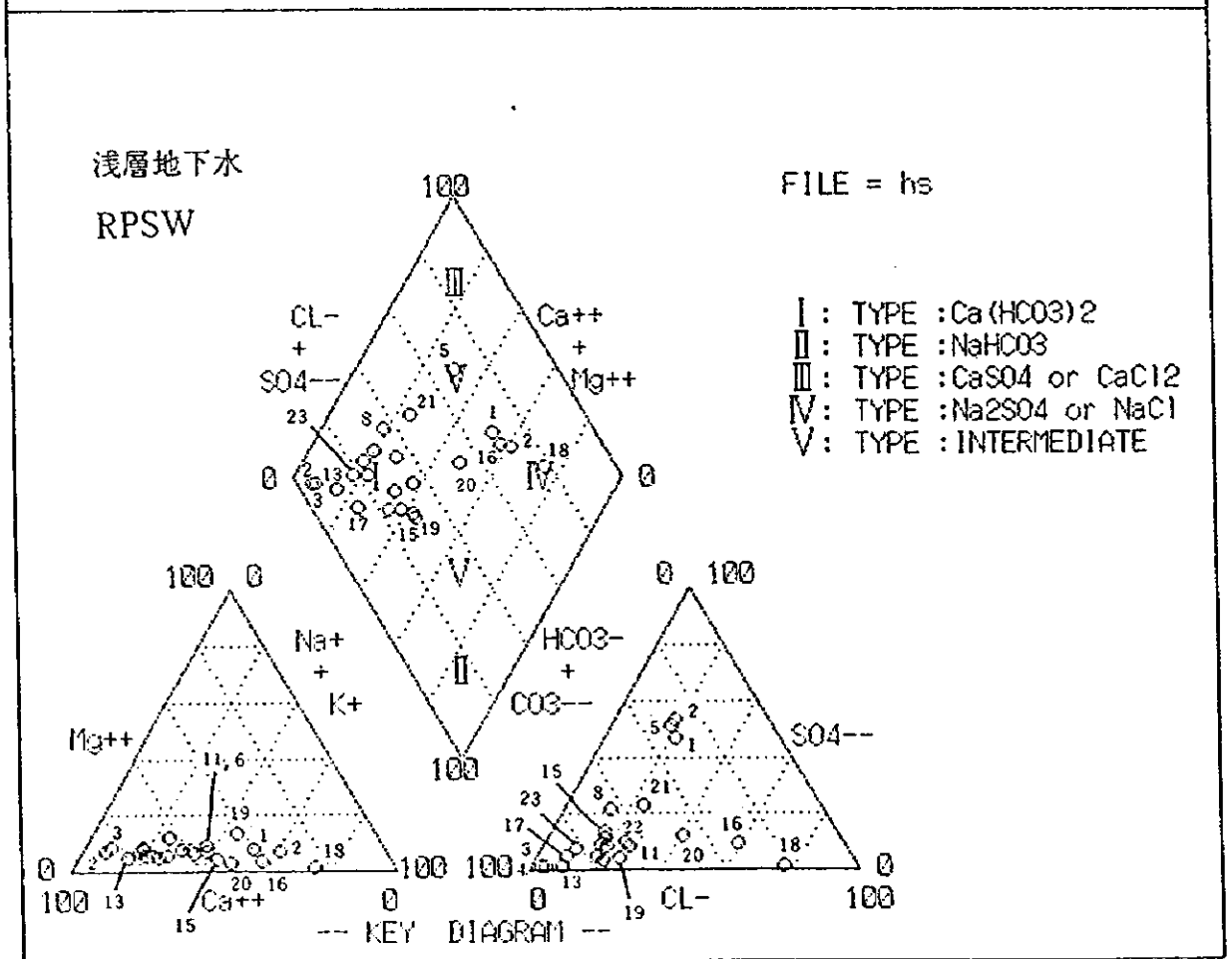
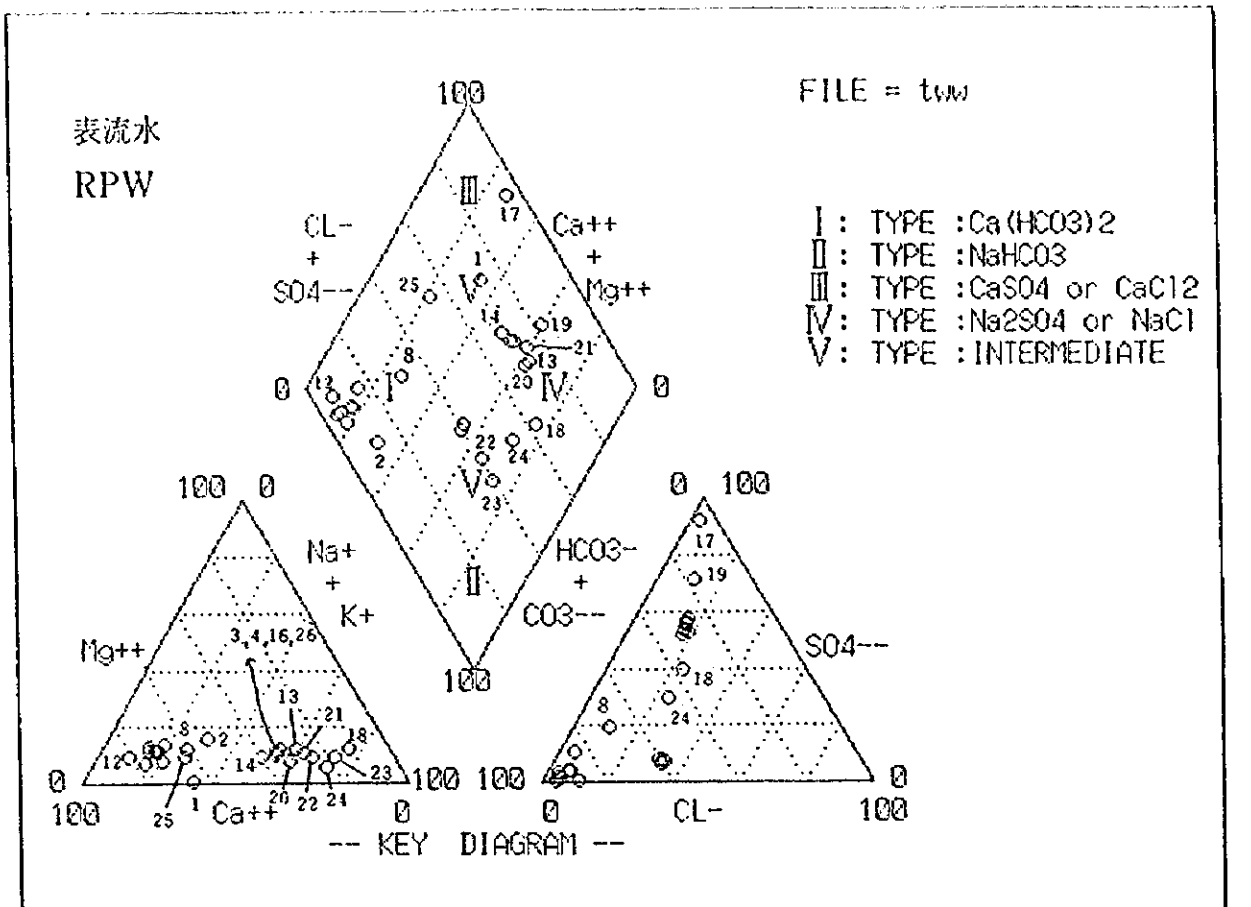


図-4.17 水質キーダイアグラム (表流水, 浅層・深層地下水) (1)

深層地下水
RPDW

FILE = hd

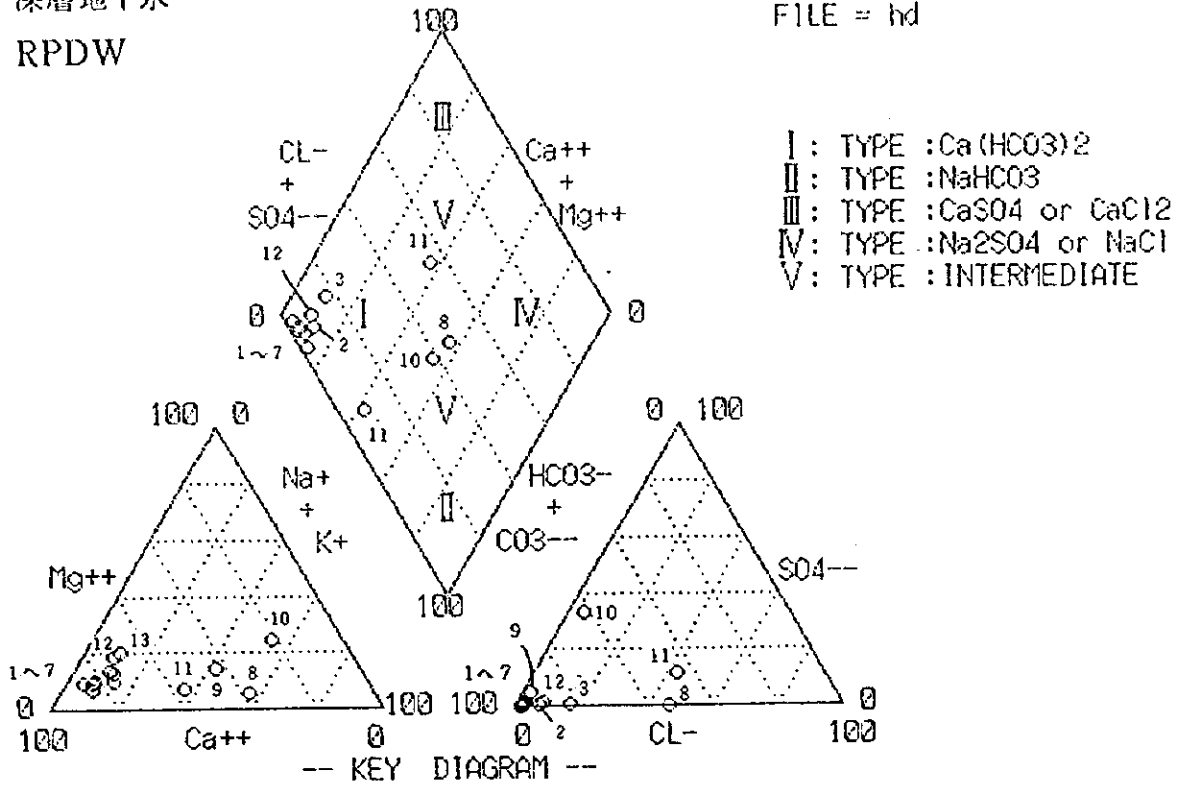


図-4.17 水質キーダイヤグラム (表流水, 浅層・深層地下水) (2)

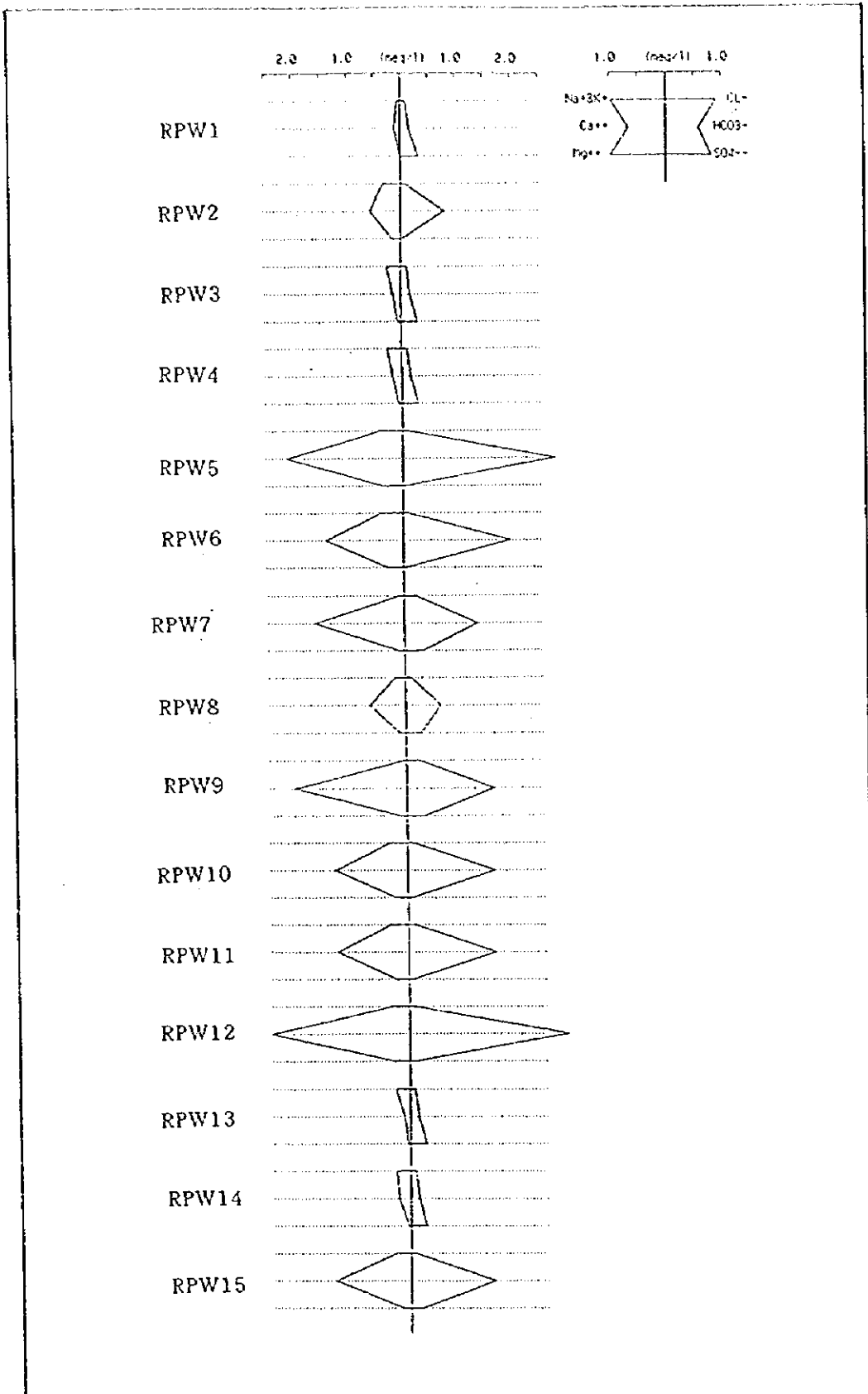


図-4.18 水質ヘキサダイヤグラム (表流水) (1)

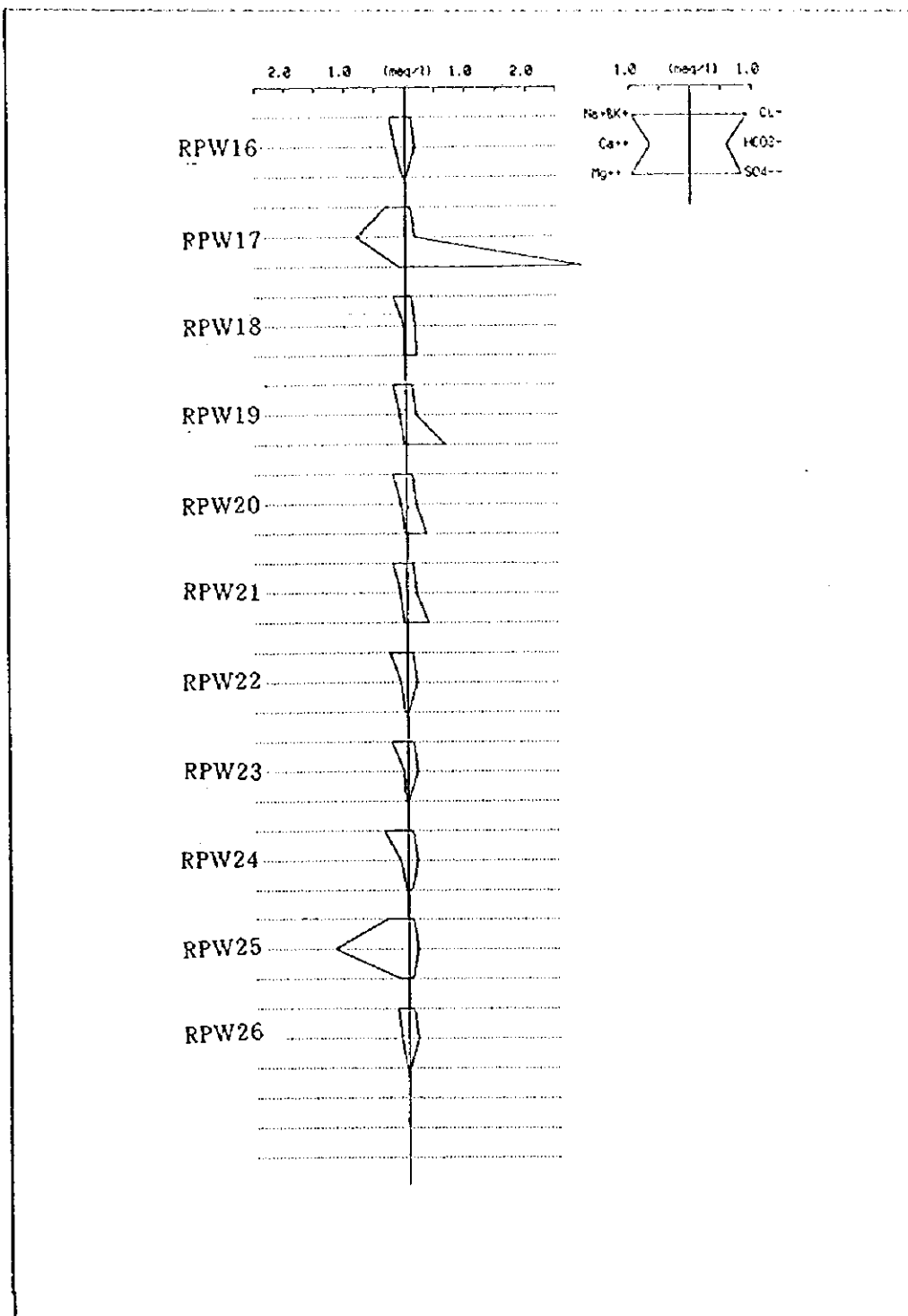


図-4.18 水質ヘキサダイアグラム (表流水) (2)

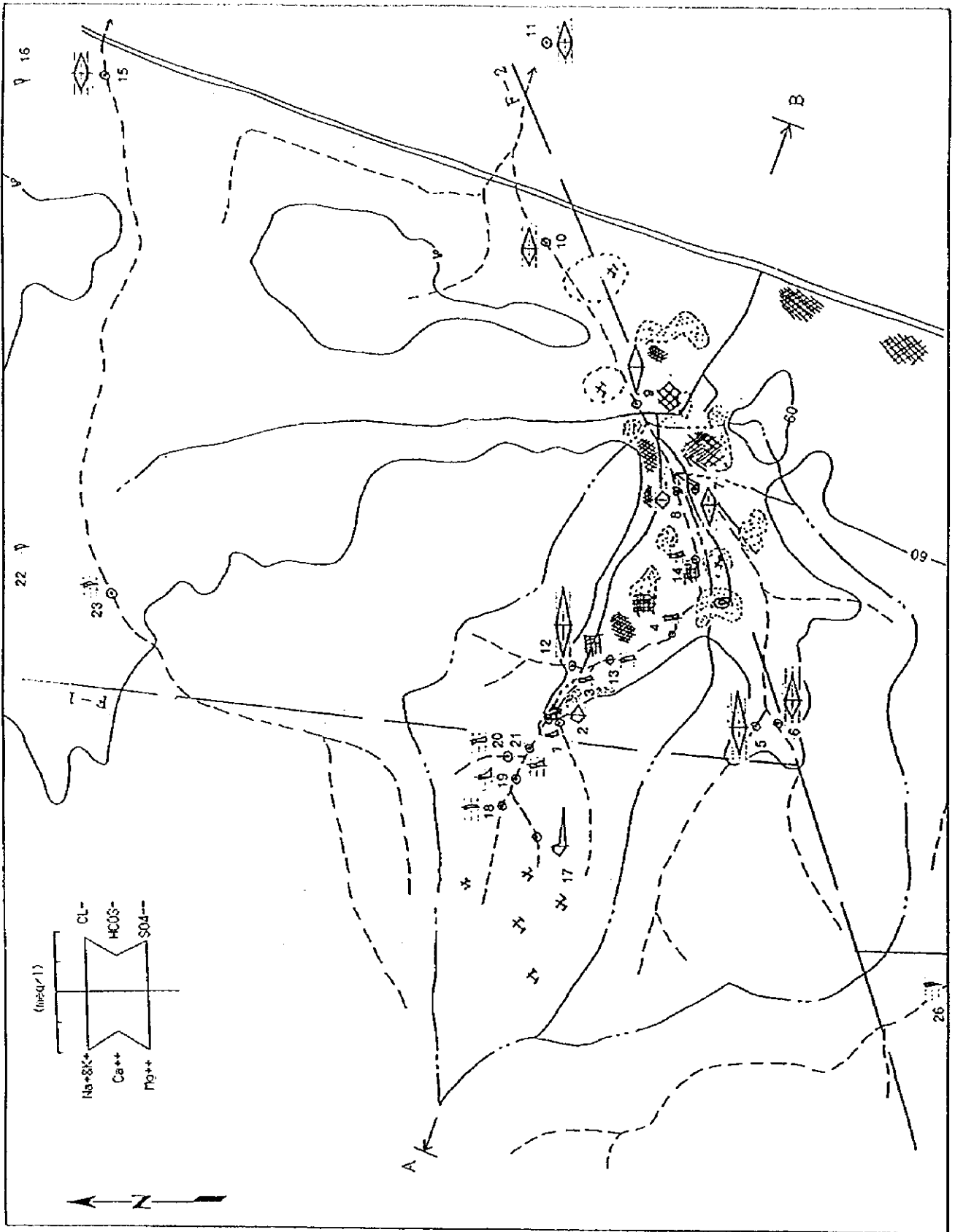


図-4.19 水質ヘキサダイグラム (表流水) の分布図

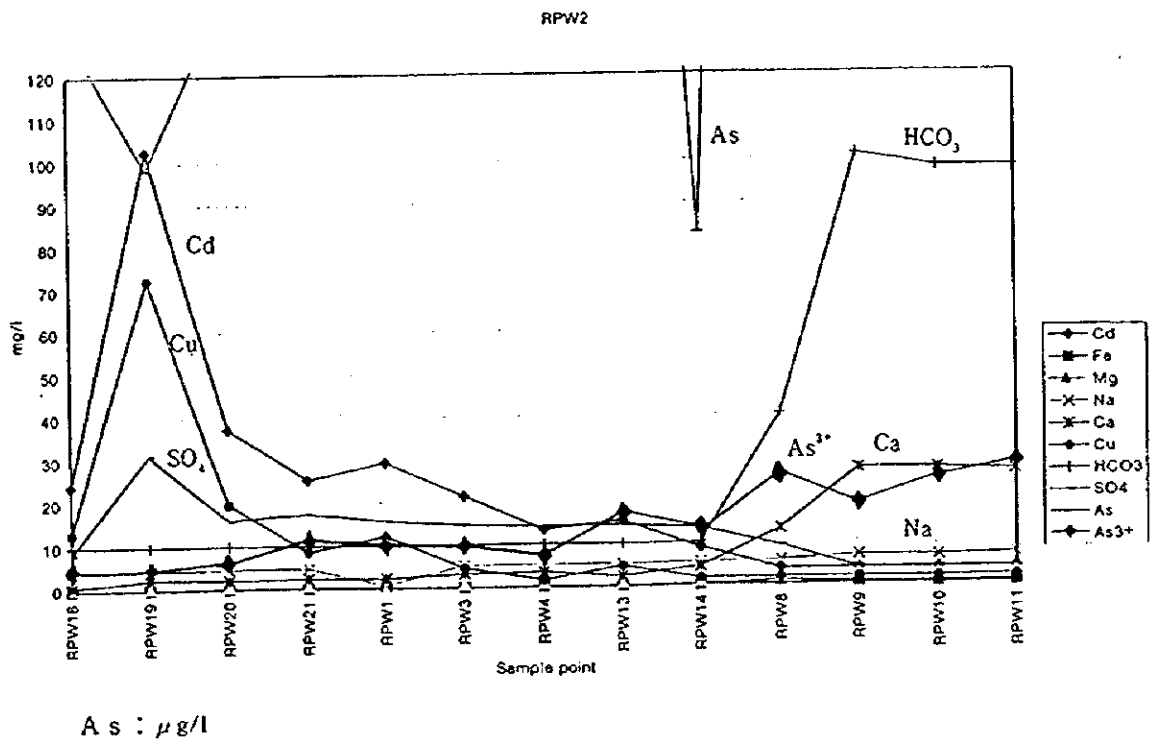
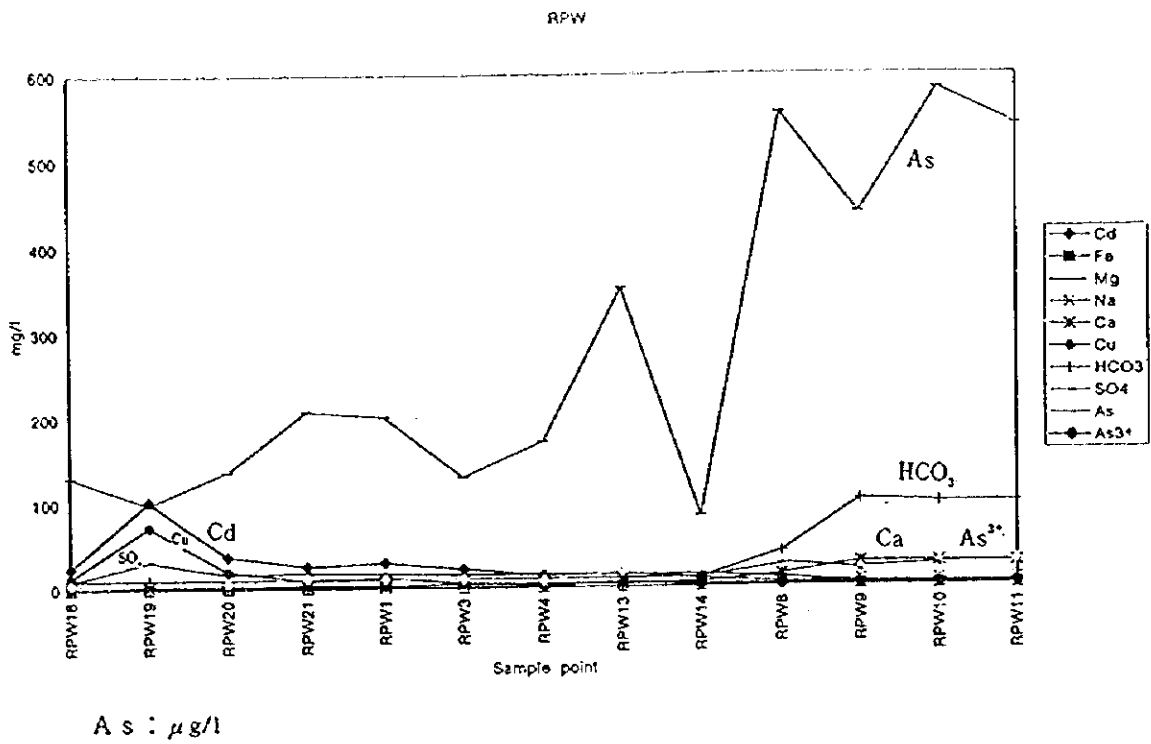


図-4.20 表流水の各成分の濃度変化

表-4.8 表流水の各成分間の相関

Items	Sr	Cd	Ba	Si	Mn	Fe	P	Mg	Na	Al	Be	Ca	Zn	Cu	Y	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	Fe2+	As	As3+		
Sr	-																								
Cd	-0.260	-																							
Ba	0.154	-0.159	-																						
Si	0.694	0.296	-0.639	-																					
Mn	-0.198	0.892	-0.116	0.335	-																				
Fe	-0.076	0.676	0.902	0.486	0.923	-																			
P	0.450	0.205	0.266	0.494	0.251	0.442	-																		
Mg	0.973	-0.183	0.060	0.793	-0.119	-0.009	0.394	-																	
Na	0.629	-0.208	0.375	0.653	-0.119	0.005	0.156	0.697	-																
Al	-0.211	0.964	0.013	0.384	0.896	0.928	0.296	-0.136	-0.031	-															
Be	-0.256	0.962	-0.069	0.339	0.921	0.943	0.287	-0.178	-0.149	0.976	-														
Ca	0.978	-0.144	0.218	0.680	-0.098	0.036	0.490	0.938	0.582	-0.097	-0.140	-													
Zn	-0.221	0.991	-0.122	0.353	0.917	0.928	0.256	-0.141	-0.147	0.977	0.982	-0.101	-												
Cu	-0.325	0.697	-0.197	-0.061	0.453	0.309	-0.110	-0.299	-0.350	0.581	0.507	-0.268	0.597	-											
Y	-0.196	0.985	-0.103	0.372	0.911	0.932	0.273	-0.116	-0.124	0.980	0.977	-0.077	0.994	0.597	-										
K	-0.168	0.724	0.276	0.215	0.799	0.863	0.421	-0.134	-0.019	0.786	0.806	-0.036	0.765	0.185	0.780	-									
HCO3	0.960	-0.270	0.003	0.664	-0.231	-0.130	0.338	0.934	0.337	-0.243	-0.281	0.928	-0.245	-0.286	-0.216	-0.311	-								
Cl	0.190	-0.013	-0.790	0.150	0.079	-0.105	-0.164	0.239	-0.238	-0.169	-0.110	0.121	-0.045	0.073	-0.050	-0.337	0.369	-							
SO4	-0.225	0.973	-0.141	0.334	0.931	0.931	0.245	-0.149	-0.184	0.956	0.982	-0.101	0.990	0.534	0.978	0.791	-0.239	-0.003	-						
NO3	-0.709	0.328	-0.240	-0.177	0.091	-0.082	-0.288	-0.206	-0.275	0.197	0.955	0.003	0.952	0.345	0.953	0.849	-0.157	-0.072	0.353	-0.046	-				
Fe2+	-0.116	0.905	-0.073	0.464	0.903	0.961	0.361	-0.031	-0.013	0.937	0.955	0.003	0.952	0.345	0.953	0.849	-0.157	-0.072	0.353	-0.046	-				
As	0.349	-0.211	-0.202	0.160	-0.026	-0.098	0.338	0.331	0.017	-0.231	-0.209	0.275	-0.200	-0.199	-0.200	-0.090	0.359	0.488	-0.165	-0.087	-0.171	-			
As3+	0.363	0.281	-0.152	0.123	-0.068	-0.141	0.333	0.334	0.015	-0.277	-0.240	0.293	-0.246	-0.268	-0.253	-0.103	0.371	0.445	-0.202	-0.168	-0.215	0.978	-		
pH	0.381	-0.677	0.434	0.000	-0.640	-0.449	0.077	0.303	0.507	-0.549	-0.623	0.360	-0.623	-0.644	-0.606	-0.296	0.339	-0.273	-0.641	-0.407	-0.444	-0.102	-0.064		
Temp.(C)	0.005	-0.524	0.053	-0.162	-0.412	-0.373	0.032	-0.031	0.056	-0.479	-0.423	-0.070	-0.482	-0.575	-0.530	-0.294	0.002	0.037	-0.411	-0.451	-0.413	0.244	0.276		
Cond.(uS)	0.662	0.430	0.179	0.733	0.446	0.562	0.323	0.680	0.438	0.468	0.444	0.753	0.482	0.059	0.490	0.485	0.573	-0.026	0.482	-0.115	0.550	0.065	0.064		
En(mV)	-0.079	0.701	-0.231	0.378	0.695	0.609	0.167	0.047	-0.047	0.656	-0.037	0.683	0.524	0.692	0.451	-0.085	0.136	0.650	0.242	0.242	0.619	0.021	-0.007		

とは、坑廃水の滲出及び下流側での稀釈として解釈できる。また、 HCO_3^- 、Ca及びヒ素 (As , As^{3+}) は下流側ほど濃度が高く、地下水の混入（湧出）の影響と推定される。全体として、RPW14及び8を境にして傾向が異なっており、ロンピブーン盆地の地下水の影響によるものと推定される。

ところで、ヒ素 (As , As^{3+}) の濃度は凹凸はあるが一貫して上昇していると解釈され、多地点でのヒ素汚染源を推定できる。また、RPW14地点でのヒ素濃度の減少はその上流側のサッカー場付近での鉄の沈殿によるヒ素の共沈により減少したと解釈できる。また、選鉱所-1による汚染は方向が異なることから不可能であり、ヒ素を含有する地下水の混入があると推定される。

表流水の各成分間の相関を表-4.8に示す。相関が強い関係は、

Fe	—	Cd, Si, Mn, Al, Be, Ca, Zn, SO_4 , K, Y
Ca	—	Sr, Mg, HCO_3
As	—	As^{3+}

であり、総じて相関は低い。特に、ヒ素と他の成分とは相関が低い。そのうちBa, P, K及びClとは若干弱い相関が認められることから、他の重金属類とは異なった挙動を示す。

b. 浅層地下水

① 現地調査

本調査は選鉱所-1の井戸水のみ実施した。井戸水の導電率は $822\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、表流水と比較して高い（図-4.16）。

② 浅層地下水既存データ解析

英国地質調査所 (BGS) 及びDMRによる調査結果 (表-4.9) の再解析を行った。

ファイ・ロン・ナ及びカオ・ロン・ナ支流の浅層地下水の水質ヘキサダイアグラム及び同分布図をそれぞれ図-4.21及び図-4.22に示す。浅層地下水は坑廃水及びその他の2種類に分類される。

坑廃水は SO_2 が特徴であり、No. 15, 2, 1及び5に認められる。

その他はCa及び HCO_3^- に富んでおり、頁岩及び石灰岩分布域の地下水の特徴を呈しており、下流側程溶存量が増加しており、地下水の進化が認められる。また、ロンピブーン市街地及び汚染被害地域を通過するNo. 3, 12, 8及び9は類似した地下水であり、地下水の流動方向と一致し、その北部と南部の地下水と溶存量が異なる。この差は滞留の時間的差によって生じるとすれば、ロンピブーン市街地及び汚染被害地域を通過する地下水の流速は相対的に若干早いと推定される。地下水の流向・流速については、今後確認する必要がある。

ファイ・ロン・ナ支流の上流側から下流側にかけての浅層地下水における重金属類及

表-4.9 浅層地下水の水質分析値

Shallow water		RPSW1	RPSW2	RPSW3	RPSW4	RPSW5	RPSW6	RPSW7	RPSW8	RPSW9	RPSW10	RPSW11	RPSW12	RPSW13	RPSW14	RPSW15	RPSW16	RPSW17	RPSW18	RPSW19	RPSW20	RPSW21	RPSW22	RPSW23
No.		0.011	0.007	0.113	0.125	0.033	0.200	0.194	0.144	0.133	0.129	0.198	0.138	0.111	0.315	0.029	0.130	0.049	0.232	0.066	0.028	0.050	0.079	0.058
Sr		3.500	18.923	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
Cd		0.008	0.012	0.057	0.027	0.063	0.081	0.020	0.034	0.015	0.032	0.075	0.048	0.115	0.055	0.009	0.028	0.029	0.092	0.026	0.031	0.070	0.062	0.019
Ba		9.104	9.536	9.953	13.789	10.487	15.621	11.861	10.525	9.129	8.236	14.323	20.971	7.331	15.492	12.196	15.901	9.841	12.951	9.025	6.809	6.609	6.679	5.861
Mn		0.189	0.174	0.283	0.020	0.238	8.061	0.135	0.053	0.162	0.001	0.015	0.560	0.285	0.417	0.175	0.068	0.010	1.019	1.280	0.229	0.289	0.124	0.338
Fe		0.037	0.008	0.022	0.004	0.027	0.021	0.011	0.004	0.007	0.010	0.004	0.004	0.009	0.004	0.321	0.008	0.007	0.052	0.014	0.046	0.088	0.004	0.050
P		0.030	0.014	0.059	0.066	0.014	0.675	0.193	0.133	0.053	0.567	1.471	0.628	0.014	0.115	0.058	0.033	0.506	0.448	0.116	0.055	0.048	0.162	0.050
B		0.017	0.008	0.022	0.023	0.022	0.167	0.034	0.025	0.027	0.040	0.051	0.020	0.021	0.022	0.019	0.008	0.026	0.022	0.008	0.008	0.019	0.022	0.008
Mg		0.459	0.422	3.132	3.229	0.887	7.048	5.245	3.681	3.645	5.008	6.389	2.936	1.807	7.569	1.691	0.323	1.499	2.371	1.225	0.632	1.696	2.430	1.820
Na		4.989	5.676	5.454	4.990	4.863	63.930	29.287	14.927	22.441	27.934	39.223	26.667	8.018	30.322	7.990	8.890	11.084	245.299	19.323	17.830	4.872	19.315	7.497
Al		330.111	378.247	7.000	7.000	204.666	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	98.462	7.000	7.497
Be		0.708	0.555	0.562	0.100	5.823	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	1.344	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Ca		3.926	2.992	50.555	62.040	11.231	91.804	105.421	56.130	72.449	64.743	60.956	42.881	46.873	110.137	8.318	5.984	33.919	71.833	23.675	16.846	14.033	46.416	29.908
Zn		140.236	260.831	218.937	13.467	11.825	25.139	7.171	13.921	9.247	14.926	73.720	49.890	7.360	13.379	20.867	17.912	1,173.736	17.127	16.957	22.144	32.791	22.659	9.126
Li		0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.008	0.001	0.005	0.001	0.015	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
K		1.629	1.471	0.487	0.928	2.513	16.061	6.318	2.772	6.500	22.650	17.110	3.756	3.773	1.053	3.542	1.924	4.504	11.775	5.037	1.896	2.344	4.290	1.025
HCO3		10.000	10.000	166.000	210.000	10.000	386.000	314.000	149.000	234.000	239.000	202.000	169.000	137.000	354.000	40.000	10.000	122.000	206.000	101.000	49.000	35.000	140.000	99.000
Cl		3.980	3.700	4.520	3.930	3.360	52.400	45.500	19.500	32.200	38.100	48.100	26.800	9.540	55.600	5.270	11.000	7.370	416.000	21.400	24.800	9.020	30.800	7.130
SO4		11.700	14.700	2.240	3.030	12.900	39.800	40.400	40.300	11.300	22.600	21.300	3.980	1.860	13.000	6.280	2.380	5.520	8.320	4.630	9.850	12.000	16.500	7.620
NO3		0.050	0.490	0.120	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.570	0.050	39.400	3.820	3.890	0.160	1.150	1.470	5.010	2.880	0.270	0.050	0.050	1.340	0.300
Fe2+		0.003		0.003		0.003	0.003	0.003			0.003		0.003			0.003	0.003		0.003	0.003				
As		440.00	192.00	34.10	84.00	4.15	7,114.00	880.00	42.50	39.60	1,536.00	475.00	1,071.00	12.00	2.75	1,542.00	1.25	43.30	3.15	14.00	1.25	41.40	7.20	1.80
As3+		22.800	11.800				125.000	47.100		75.200	20.400	50.900				72.300								
pH		6.470	6.040	6.370	6.610	7.130	6.680	6.900	7.080	7.070	7.410	6.980	7.030	7.340	7.100	5.950	6.000	6.560	6.970	6.600	6.110	6.680	6.940	6.780
Temp.(c)		27.400	26.700	25.800	27.600	27.000	27.500	26.100	26.900	27.600	27.900	27.000	26.700	27.100	26.700	26.000	26.900	26.800	26.600	26.700	26.200	25.800	25.600	25.100
Cond.(uS)		79.00	74.00	320.00	384.00	116.00	853.00	761.00	448.00	560.00	605.00	647.00	432.00	332.00	782.00	119.00	106.00	276.00	1,780.00	283.00	277.00	144.00	410.00	232.00
Eh(mV)		399.600	437.000	430.200	438.400	372.000	366.500	420.900	420.100	424.400	362.100	381.000	391.300	366.900	377.300	420.000	327.100	405.200	373.400	294.300	324.800	356.200	365.400	346.900

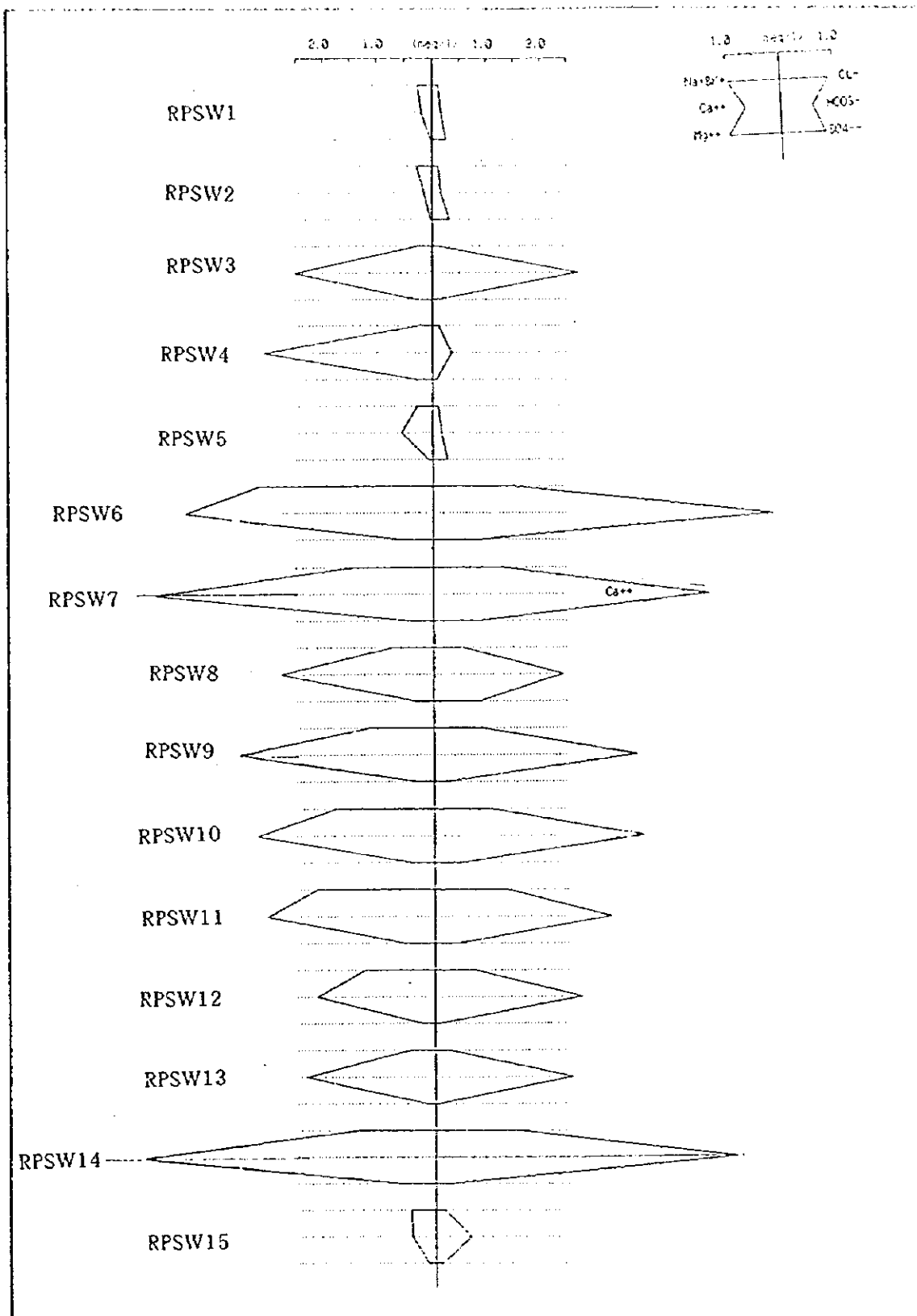


図-4.21 水質ヘキサダイアグラム (浅層地下水) (1)

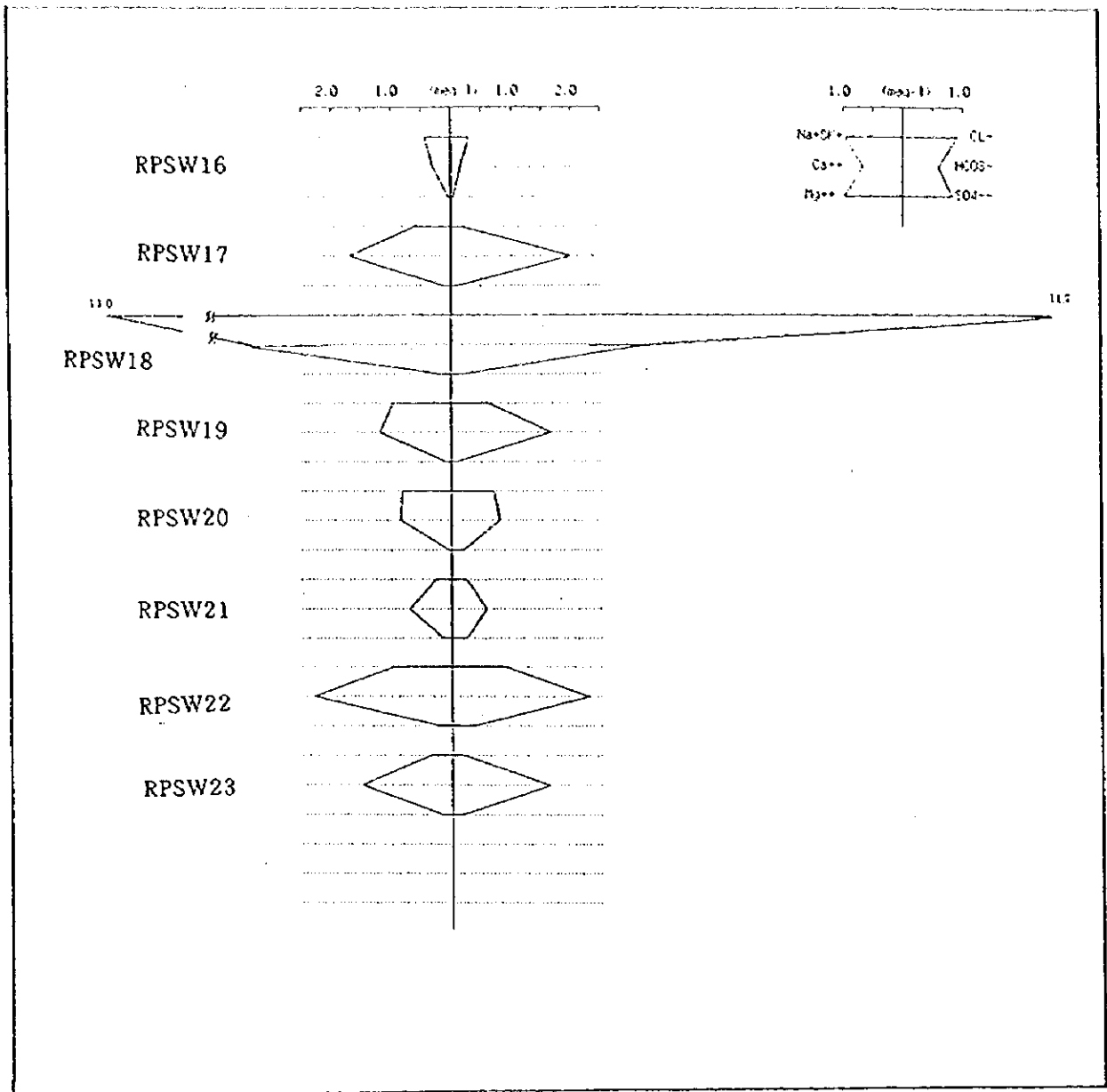


図-4.21 水質ヘキサダイアグラム (浅層地下水) (2)

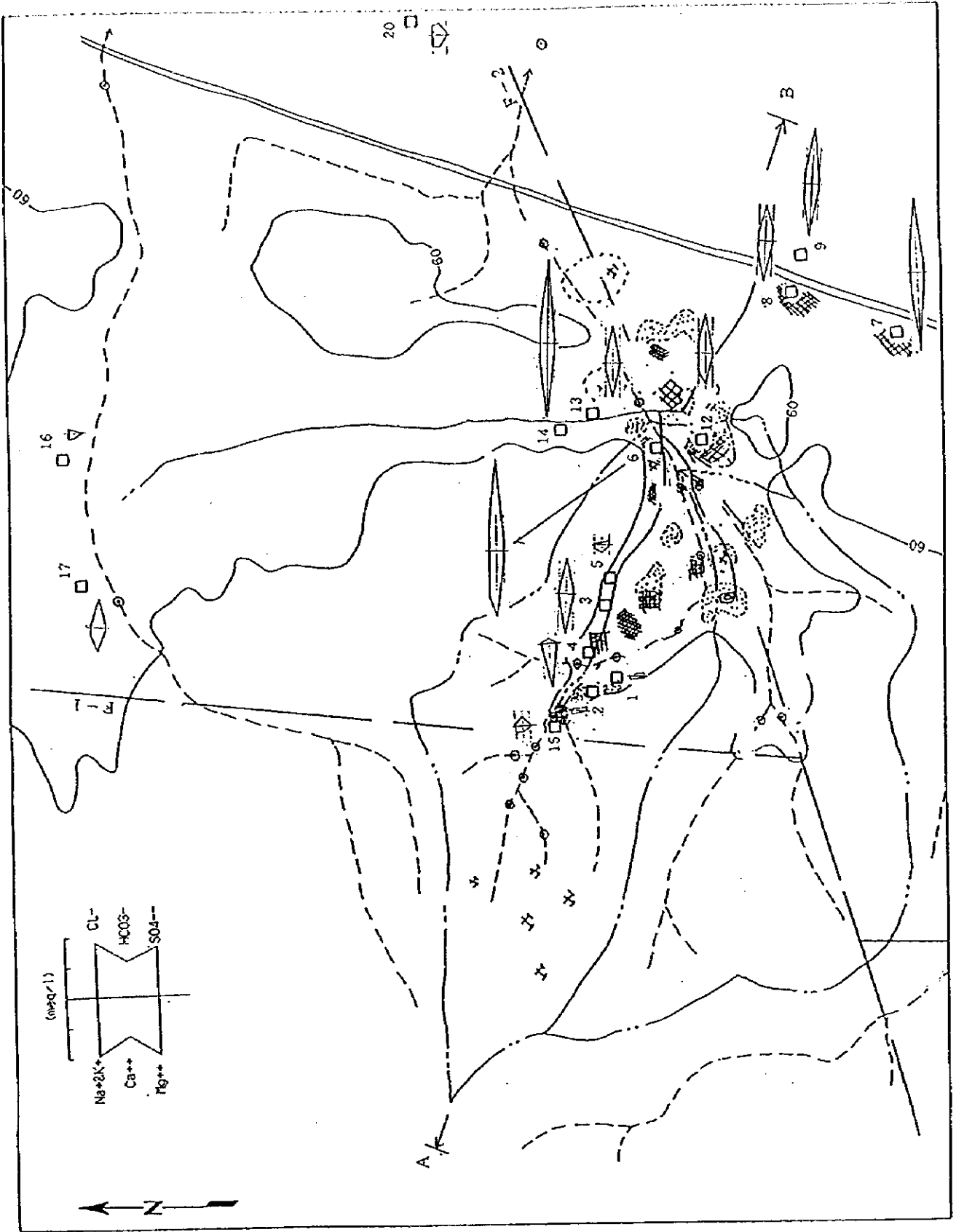


図-4.22 水質へキサダイヤグラム (浅層地下水) の分布図

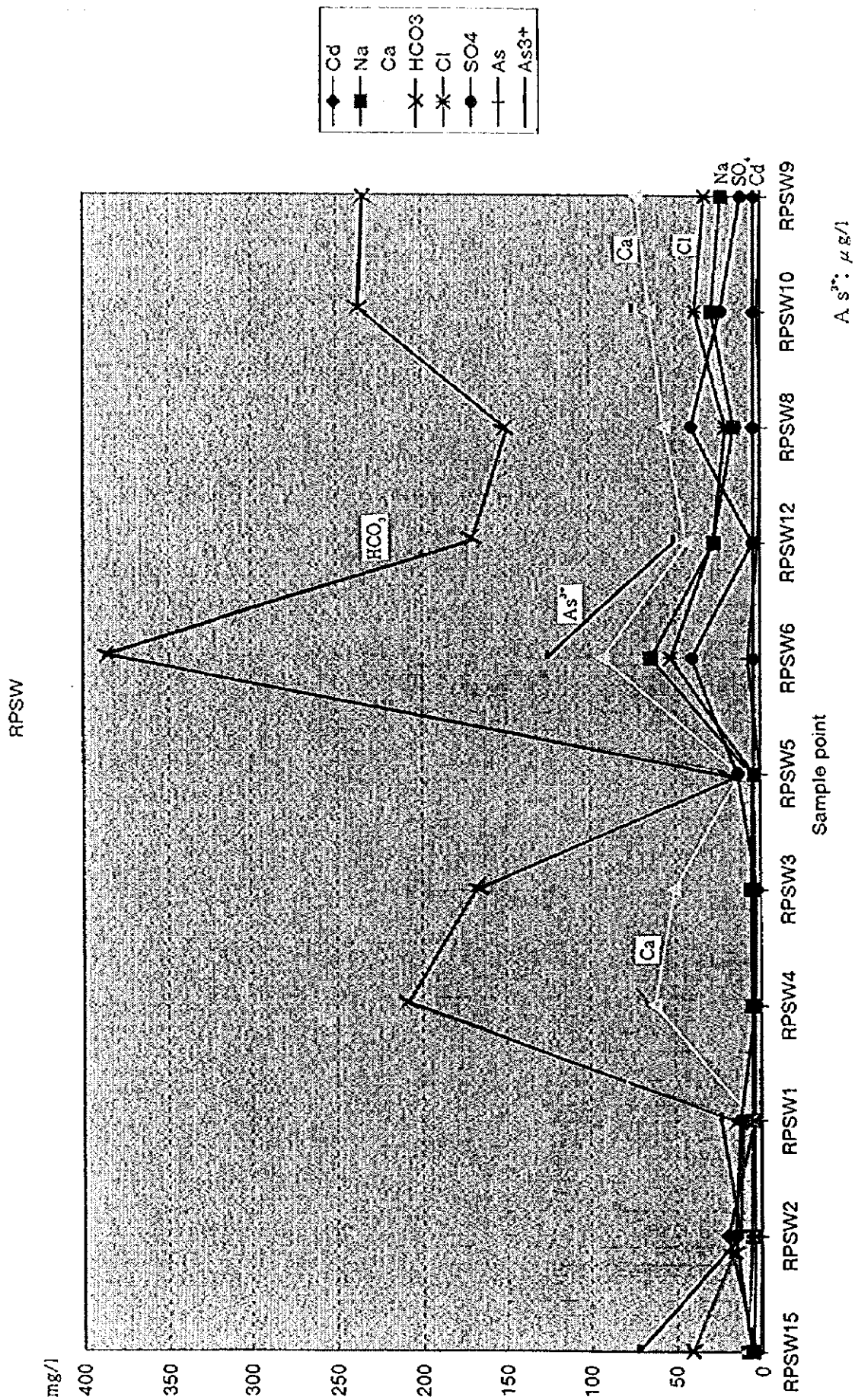


図-4.23 浅層地下水の各成分の濃度変化

表-4.10 浅層地下水の各成分間の相関

Items	Sr	Cd	Ba	Si	Mn	Fe	P	Mg	Na	Al	Be	Ca	Zn	Cu	Y	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	Fe2+	As	As3+			
Sr	-																									
Cd	-0.291	-																								
Ba	0.423	-0.247	-																							
Si	0.569	-0.083	0.073	-																						
Mn	0.267	-0.058	0.305	0.272	-																					
Fe	-0.310	-0.083	-0.212	-0.063	-0.036	-																				
P	0.419	-0.143	0.359	0.431	0.259	-0.180	-																			
Mg	0.383	-0.134	0.361	0.305	0.906	-0.086	0.488	-																		
Na	0.824	-0.245	0.309	0.408	0.397	-0.217	0.551	0.622	-																	
Al	0.500	-0.096	0.428	0.236	0.254	-0.005	0.317	0.196	0.183	-																
Be	-0.506	0.675	-0.268	-0.186	-0.105	-0.028	-0.266	-0.171	-0.430	-0.189	-															
Ca	-0.258	0.016	0.069	0.012	-0.079	-0.046	-0.204	-0.089	-0.293	-0.141	0.403	-														
Zn	0.877	-0.285	0.321	0.326	0.315	-0.340	0.344	0.483	0.808	0.368	-0.511	-0.332	-													
Cu	-0.253	0.147	-0.166	-0.077	-0.100	-0.107	0.151	-0.042	-0.190	-0.114	0.094	-0.064	-0.158	-												
Y	0.254	0.007	0.065	0.666	0.009	-0.178	0.152	-0.045	-0.072	0.088	-0.001	0.305	-0.148	-0.122	-											
K	0.391	-0.144	0.379	0.136	0.384	-0.104	0.748	0.592	0.550	0.426	-0.254	-0.172	0.424	-0.086	-0.060	-										
HCO3	0.840	-0.273	0.329	0.372	0.466	-0.314	0.409	0.614	0.911	0.329	-0.518	-0.376	0.974	-0.130	-0.149	0.498	-									
Cl	0.480	-0.089	0.402	0.184	0.133	0.002	0.243	0.073	0.128	0.990	-0.170	-0.128	0.338	-0.121	0.081	0.355	0.275	-								
SO4	0.342	0.020	0.037	0.055	0.417	-0.168	0.295	0.592	0.578	0.085	-0.017	-0.074	0.502	-0.177	-0.217	0.446	0.486	0.027	-							
NO3	0.240	-0.058	0.281	0.234	-0.099	-0.102	0.813	0.134	0.319	0.095	-0.127	-0.094	0.096	0.079	0.171	0.429	0.097	0.069	0.067	-						
Fe2+	-0.228	-0.049	-0.269	0.079	-0.052	0.946	-0.114	-0.056	-0.116	-0.080	-0.087	-0.061	-0.248	-0.070	-0.121	-0.062	-0.212	-0.081	-0.131	-0.044	-					
As	0.231	-0.058	0.196	0.334	0.918	0.114	0.361	0.936	0.479	0.133	-0.103	-0.116	0.321	-0.098	-0.010	0.520	0.484	0.007	0.517	-0.040	0.144	-				
As3+	0.169	-0.044	0.043	0.366	0.659	0.292	0.400	0.746	0.456	0.075	-0.083	-0.156	0.269	-0.134	-0.030	0.596	0.417	-0.030	0.493	-0.006	0.359	0.890	-			
pH	0.480	-0.357	0.535	-0.004	-0.015	-0.438	0.299	0.163	0.501	0.209	-0.271	0.065	0.577	-0.197	-0.212	0.422	0.529	0.211	0.289	0.151	-0.404	-0.013	0.607	-		
Temp.(C)	0.222	0.005	0.078	0.313	0.216	-0.337	0.259	0.349	0.249	0.081	0.133	0.113	0.214	0.013	0.138	0.451	0.276	0.017	0.150	0.100	-0.206	0.283	0.270	-		
Cond.(uS)	0.769	-0.210	0.466	0.311	0.309	-0.168	0.424	0.356	0.551	0.902	-0.388	-0.269	0.729	-0.165	-0.011	0.541	0.687	0.882	0.304	0.148	-0.180	0.232	0.178	-		
EH(mV)	0.050	0.306	-0.253	0.176	-0.176	0.096	-0.032	0.022	0.181	-0.083	0.233	-0.072	0.223	0.239	-0.252	-0.142	0.175	-0.072	0.171	-0.007	0.207	-0.018	0.082	-		

び $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ の濃度を図-4.23に示す。 SO_4 及び重金属のCdは変化が少ないが、下流ほど濃度が高い傾向を示し、表流水とは異なる。

HCO_3 、Ca及びClは同様な挙動を示し、RPSW6を境にしてロンピブーン盆地内と外と水質が溶存量において異なっている。この境は表流水での位置とほぼ一致している。

また、ヒ素 (As^{3+}) は HCO_3 及びCaとほぼ同様な挙動を示していることは、表流水とも一致する。

浅層地下水の各成分間の相関を表-4.10に示す。相関が強い関係は、

HCO_3	-	Sr, Na, Zn
Zn	-	Sr, Na
Mg	-	Mn
As	-	As^{3+} , Mn, Mg, HCO_3

であり、総じて相関は低い。特に、ヒ素とMn、Mg及び HCO_3 とは弱い相関が認められる。

c. 深層地下水

① 深層地下水既存データ解析

英国地質調査所 (BGS) 及びDMRによる調査結果 (表-4.11) の再解析を行った。

ファイ・ロン・ナ及びカオ・ロン・ナ支流の深層地下水の水質ヘキサダイアグラム及び同分布図をそれぞれ図-4.24及び図-4.25に示す。深層地下水はいずれも同種類に属する。RPDW11は南部で区域外である。

Ca及び HCO_3 に富んでおり、頁岩及び石灰岩分布域の地下水の特徴を呈しており、下流側程溶存量が若干増加している。

深層地下水の各成分間の相関を表-4.12に示す。相関が強い関係は、

SO_4	-	Sr, Mg, Na
Fe	-	Ba, Si, Mn
Mg	-	Na, HCO_3
As	-	As^{3+} , Zn, Mn

であり、総じて相関は低いが、 SO_4 とSr、Mg、Naとの相関が顕著である。深層地下水と硫化物の関連が示唆される。また、ヒ素とMn及びZnとは弱い相関が認められる。

(4) 土壌調査

BGS及びDMRによる土壌調査の位置及び結果を図-4.26及び表-4.13に示す。RPS 1及び2のヒ素含有量はそれぞれ550及び5,000mg/kgと高い濃度を示す、ヒ素の2次汚染であるが、新たな汚染源といえる。今後、汚染源調査と共に土壌汚染調査も実施する必要がある。

表-4.1.1 深層地下水の水質分析値

No.	RPDW1	RPDW2	RPDW3	RPDW4	RPDW5	RPDW6	RPDW7	RPDW8	RPDW9	RPDW10	RPDW11	RPDW12	RPDW13
Sr	0.214	0.365	0.263	0.197	0.163	0.169	0.217	0.199	0.329	0.639	0.111	0.321	0.358
Ba	0.012	0.047	0.004	0.033	0.043	0.033	0.216	0.295	0.090	0.036	0.177	0.111	0.041
Si	27.058	29.496	24.050	20.696	15.224	13.748	34.269	36.214	13.876	13.484	15.645	16.447	14.499
Mn	0.032	0.227	0.320	0.294	0.086	0.011	2.304	0.637	0.067	0.100	0.015	0.511	0.067
Fe	0.078	2.428	0.063	0.028	2.280	0.123	14.116	22.607	0.778	1.824	0.015	0.343	0.319
P	0.145	0.374	0.243	0.106	0.154	0.139	0.906	0.518	0.111	0.376	0.048	0.253	0.062
B	0.040	0.024	0.032	0.026	0.030	0.025	0.029	0.008	0.030	0.059	0.048	0.037	0.211
Mg	6.263	9.613	10.256	6.378	6.672	4.771	6.366	5.272	14.135	49.786	2.607	16.042	15.771
Na	9.491	16.221	14.363	9.723	6.606	10.786	16.470	101.401	75.647	209.775	25.677	14.602	15.009
Ca	85.793	90.563	92.454	97.114	103.583	94.152	82.498	60.130	69.113	73.163	35.563	100.787	90.474
Zn	3.625	1.055	0.434	1.351	0.077	4.175	6.658	3.942	0.767	0.613	0.012	0.999	0.109
U	1.327	2.656	2.950	2.453	2.064	1.726	6.321	2.246	1.514	6.037	4.719	1.353	0.618
HCO3	332.000	351.000	320.000	356.000	372.000	354.000	307.000	264.000	457.000	653.000	78.000	404.000	394.000
Cl	3.930	15.700	36.900	6.060	5.640	4.760	3.850	132.000	7.970	28.900	42.300	20.700	5.810
SO4	0.720	1.360	2.170	2.660	0.710	1.500	0.240	0.590	18.600	277.000	16.000	4.840	4.910
NO3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.120	0.050	0.050	0.050	0.050	28.200	0.050	0.050
Fe2+	0.070	1.860	0.003	0.003	2.260	0.110	14.200	16.200	0.740	0.003	1.740	0.330	0.280
As	1.032.00	13.000	9.100	3.100	1.250	3.060	133.000	3.250	2.800	3.550	23.800	8.700	1.250
As3+	47.000					53.600							
pH	6.520	6.810	7.090	7.270	7.110	7.010	6.600	6.440	6.960	6.920	6.870	6.670	6.950
Temp.(c)	27.700	30.300	28.900	28.200	28.200	27.300	26.900	27.700	26.800	26.600	26.800	26.600	27.100
Condi.(us)	550.000	650.000	675.000	621.000	626.000	600.000	645.000	990.000	801.000	1,657.0	444.000	727.000	669.000
Et(mV)	409.300	263.700	343.100	355.800	269.100	398.700	235.100	238.300	317.200	323.400	342.200	362.400	331.900

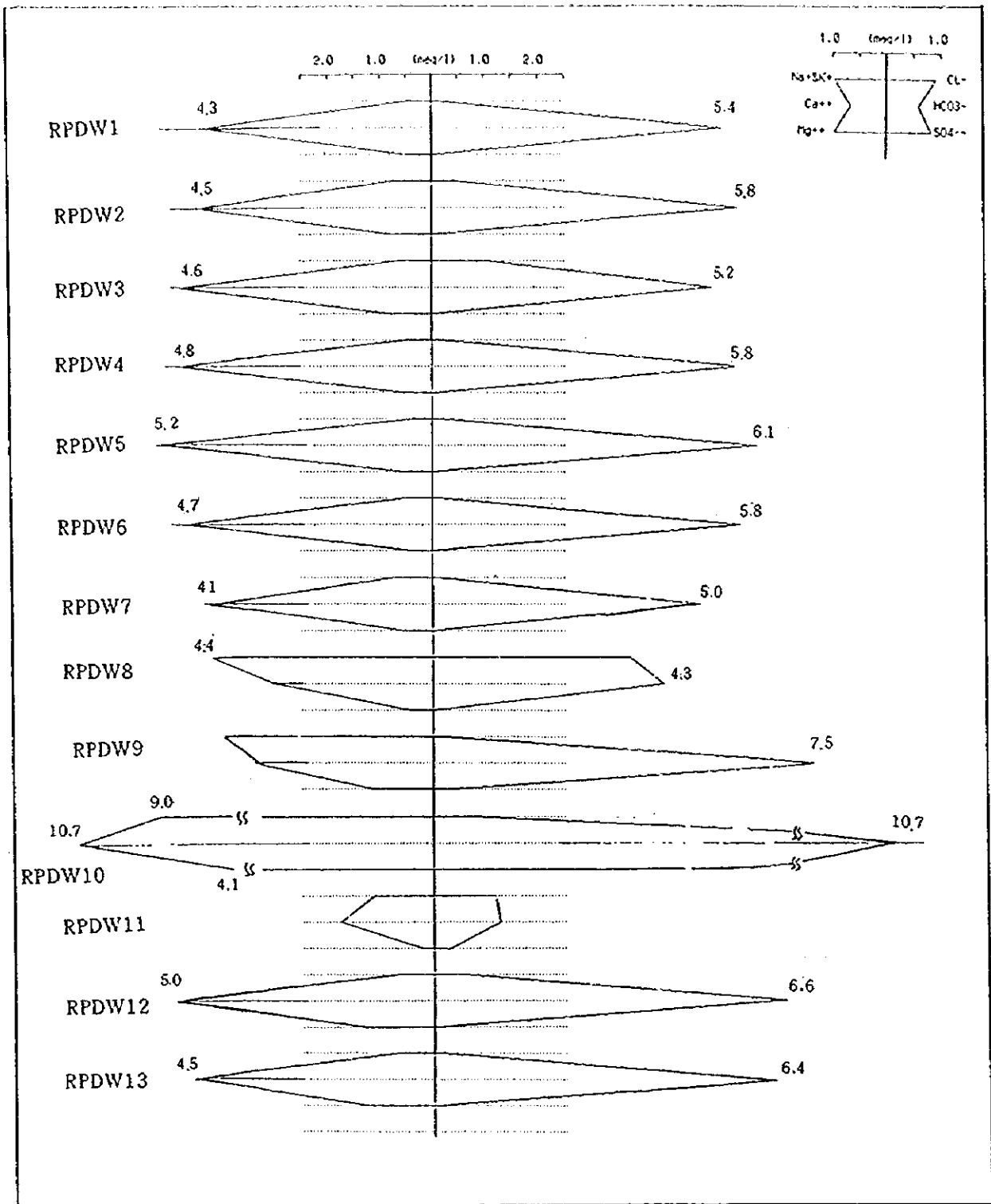


図-4.24 水質ヘキサダイアグラム (深層地下水) の分布図

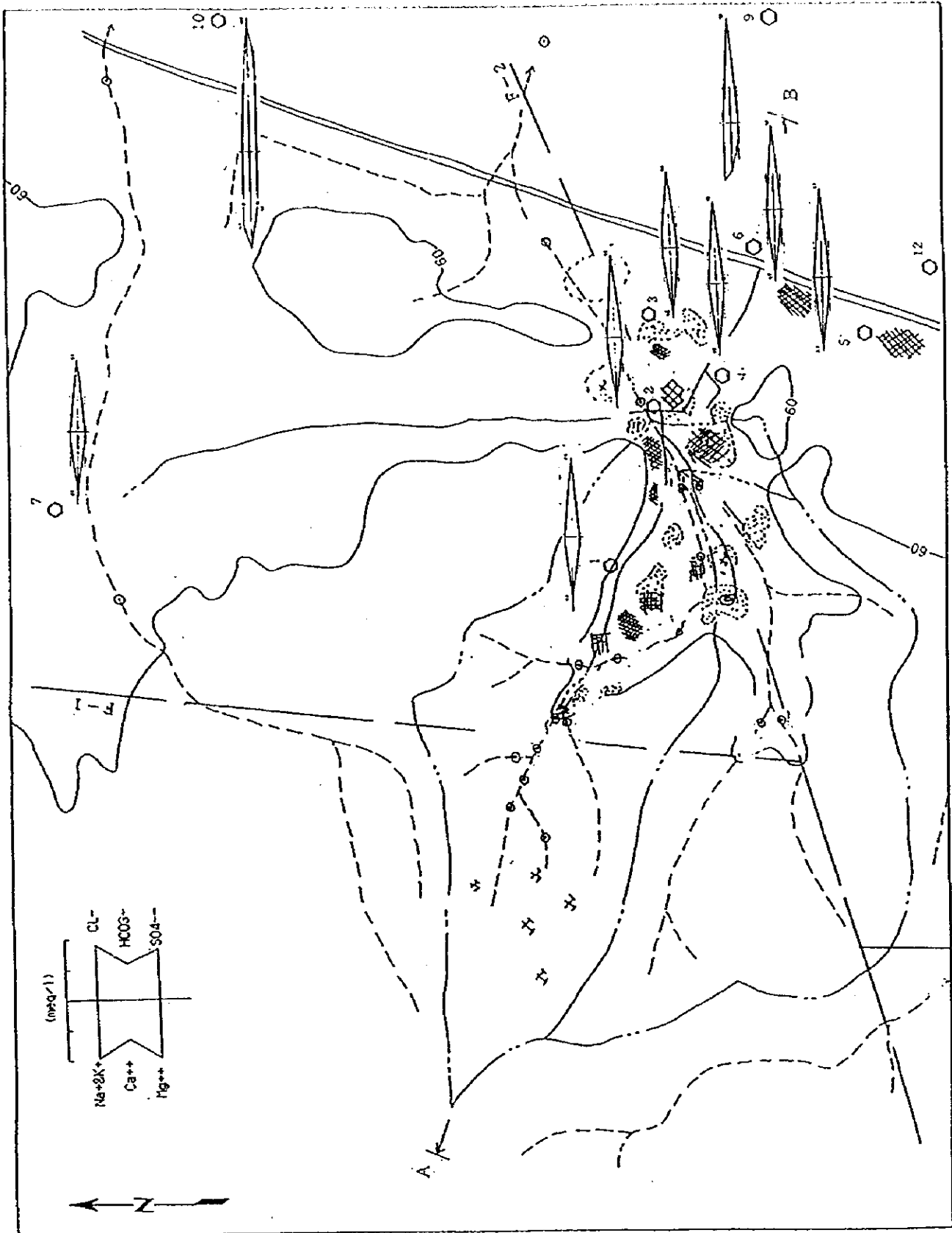


図-4.25 深層地下水の各成分の濃度変化

表-4.12 深層地下水の各成分間の相関

Items	Sr	Ba	Si	Mn	Fe	P	B	Mg	Na	Ca	Zn	Li'	HCO3	Cl	SO4	NO3	Fe2+	As	As3+	
Sr	-																			
Ba	-0.291	-																		
Si	-0.233	0.520	-																	
Mn	-0.124	0.568	0.625	-																
Fe	-0.155	0.840	0.750	0.627	-															
P	0.127	0.372	0.720	0.894	0.752	-														
B	0.298	-0.239	-0.366	-0.197	-0.269	-0.303	-													
Mg	0.940	-0.258	-0.370	-0.154	-0.169	0.076	0.246	-												
Na	0.721	0.168	-0.105	-0.092	0.251	0.217	-0.039	0.818	-											
Ca	0.079	-0.596	-0.081	0.026	-0.296	-0.040	0.068	-0.007	-0.410	-										
Zn	-0.295	0.452	0.639	0.705	0.618	0.693	-0.335	-0.307	-0.092	0.008	-									
Li	0.230	0.321	0.202	0.528	0.268	0.608	-0.242	0.353	0.442	-0.416	0.242	-								
HCO3	0.843	-0.455	-0.349	-0.138	-0.206	0.045	0.160	0.833	0.593	0.415	-0.165	0.017	-							
Cl	-0.087	0.683	0.460	0.049	0.716	0.257	-0.242	-0.052	0.401	-0.525	0.104	0.077	-0.287	-						
SO4	0.809	-0.164	-0.318	-0.151	-0.096	0.107	0.084	0.938	0.882	-0.199	-0.211	0.542	0.691	0.036	-					
NO3	-0.358	0.301	-0.201	-0.169	-0.151	-0.273	0.011	-0.228	-0.076	-0.745	-0.262	0.323	-0.662	0.155	-0.038	-				
Fe2+	-0.252	0.872	0.761	0.742	0.977	0.799	-0.267	-0.263	0.130	-0.309	0.674	0.344	-0.308	0.607	-0.179	-0.064	-			
As	-0.150	-0.197	0.279	-0.044	-0.094	-0.052	-0.052	-0.160	-0.179	0.036	0.342	-0.159	-0.088	-0.193	-0.113	-0.076	-0.060	-		
As3+	-0.186	0.165	0.527	0.634	0.263	0.532	-0.104	-0.200	-0.206	0.031	0.726	0.298	-0.134	-0.257	-0.146	-0.123	0.376	0.714	-	
pH	0.022	-0.625	-0.628	-0.419	-0.624	-0.543	0.137	0.089	-0.133	0.322	-0.572	-0.087	0.200	-0.454	0.083	0.009	-0.619	-0.463	-0.511	
Temp.(c)	-0.109	-0.314	0.410	-0.139	-0.041	0.002	-0.244	-0.308	-0.341	0.351	-0.139	-0.188	-0.153	0.015	-0.319	-0.231	-0.074	-0.001	-0.144	
Cond.(uS)	0.821	0.036	-0.103	-0.039	0.214	0.274	0.011	0.898	0.954	-0.140	-0.091	0.392	0.748	0.306	0.900	-0.296	0.082	-0.211	-0.207	
Eh(mV)	-0.050	-0.598	-0.526	-0.556	-0.722	-0.680	0.148	0.030	-0.201	0.163	-0.179	-0.378	0.059	-0.392	0.017	0.107	-0.742	0.409	-0.046	

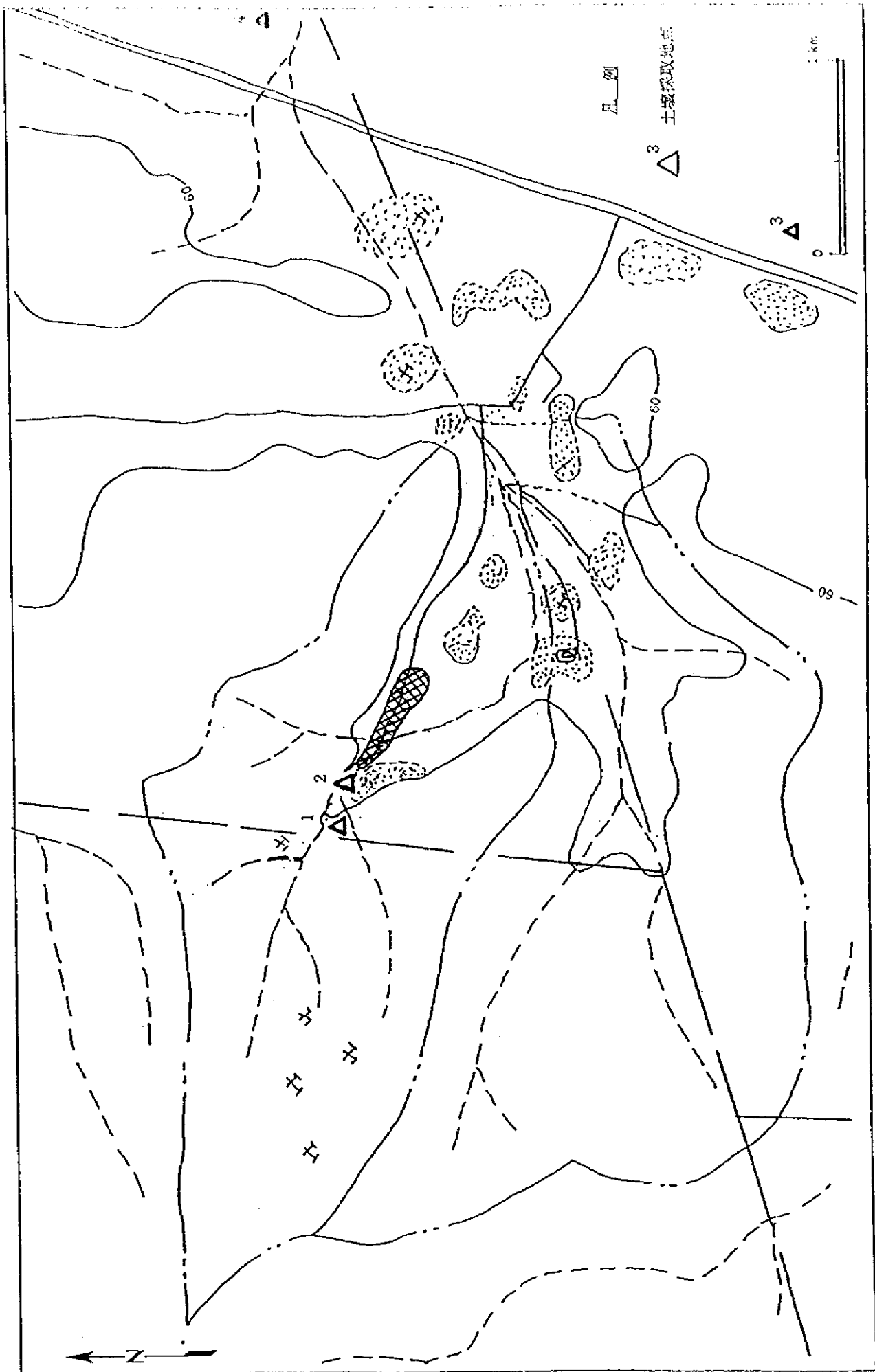


图-4.26 土壤調查地点

表-4.13 土壤分析結果

Sample	Total As (mg/kg)	Fulvic As (mg/kg)	% total As in fulvic fraction	Humic As (mg/kg)	% total As in humic fraction	Fe-oxide As (mg/kg)
RPS 1	550	10.8	1.9	12.5	2.2	88.7
RPS 2	5000	266.2	5.3	4.5	<0.01	879.0
RPS 3	<100	2	2.8	1.3	1.7	20.7
RPS 4A	<100	1.3	1.3	1.3	1.3	2.3
RPS 4B	<100	1.3	1.7	27.5	39.2	2.2

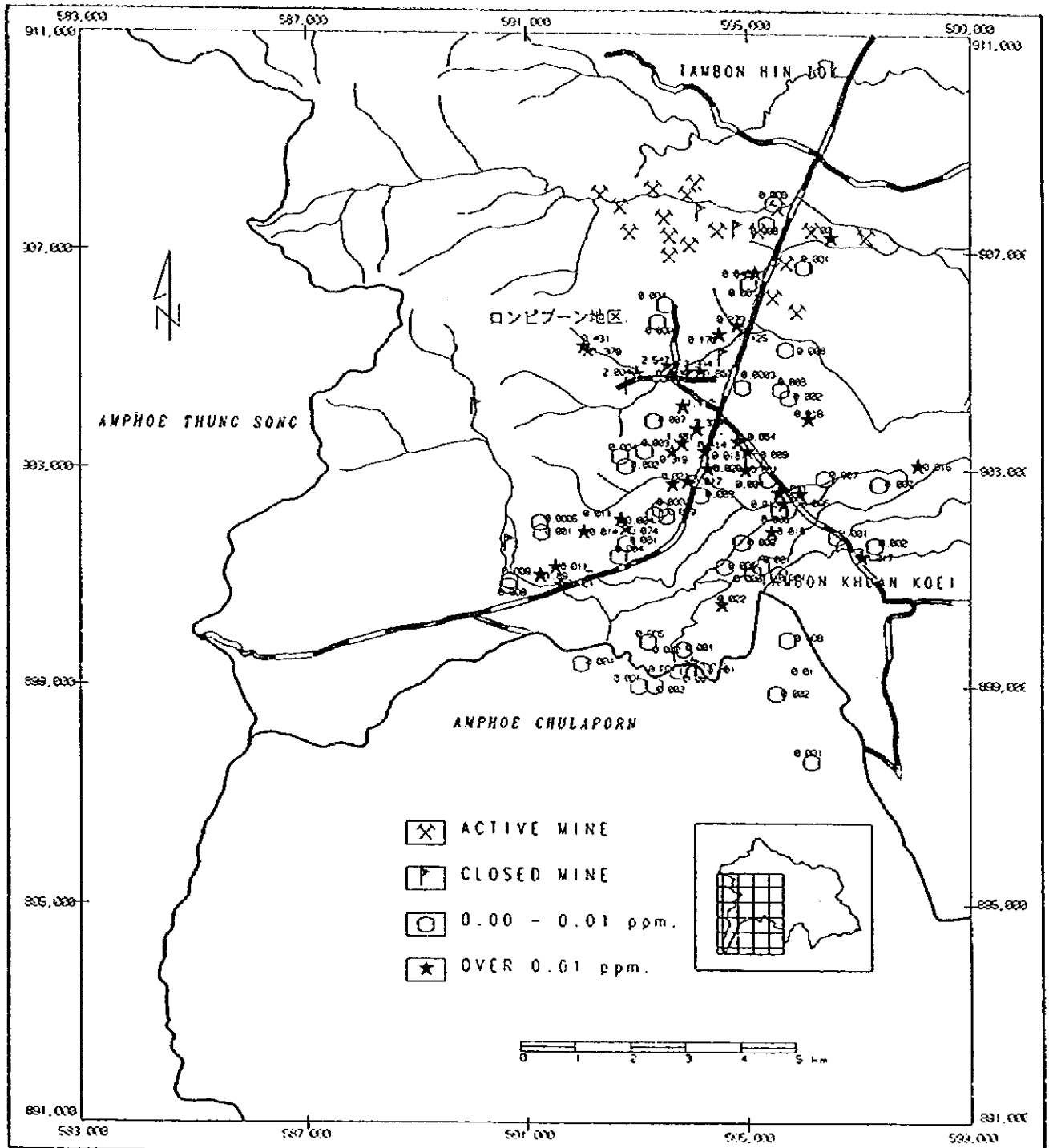
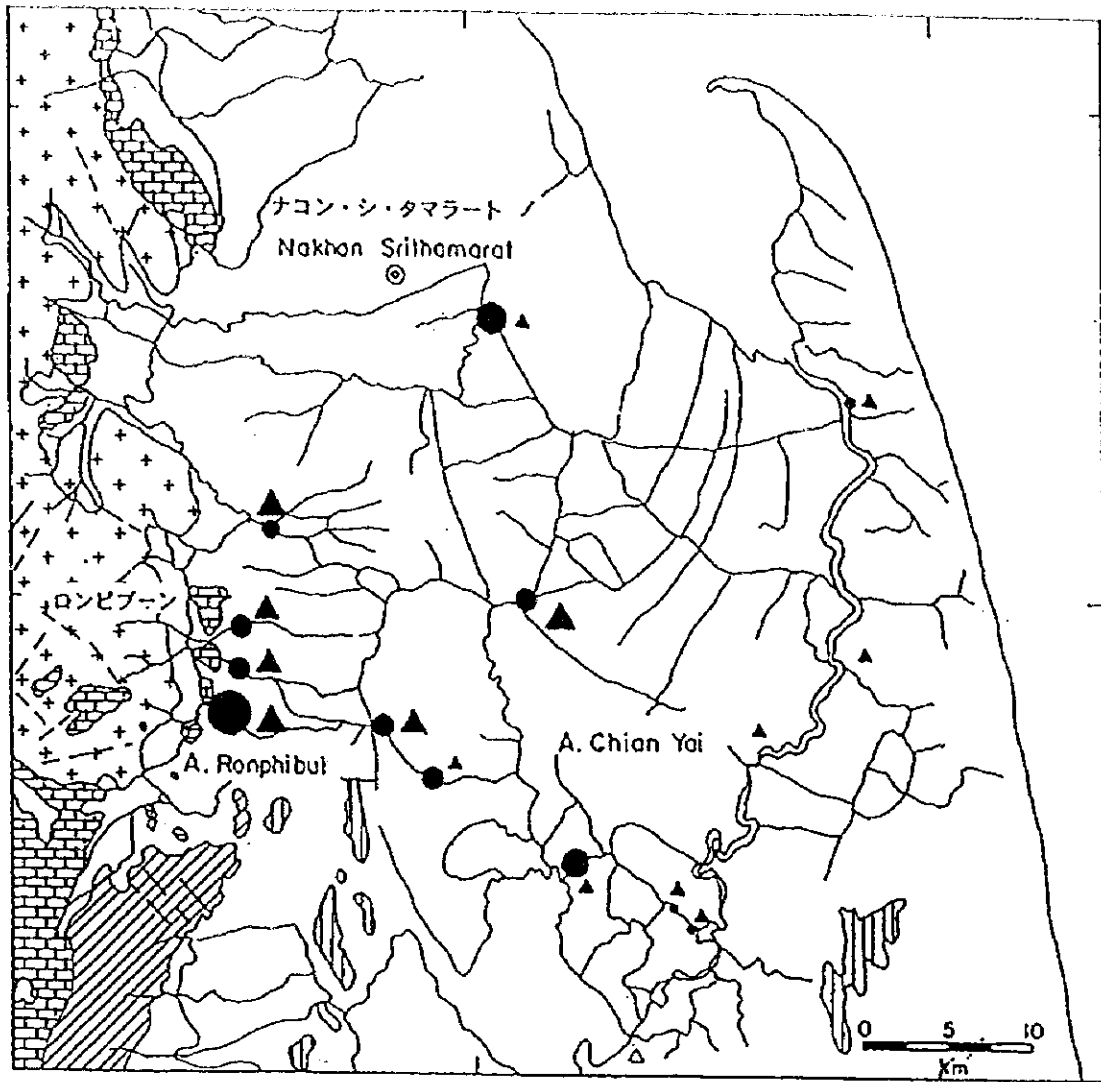


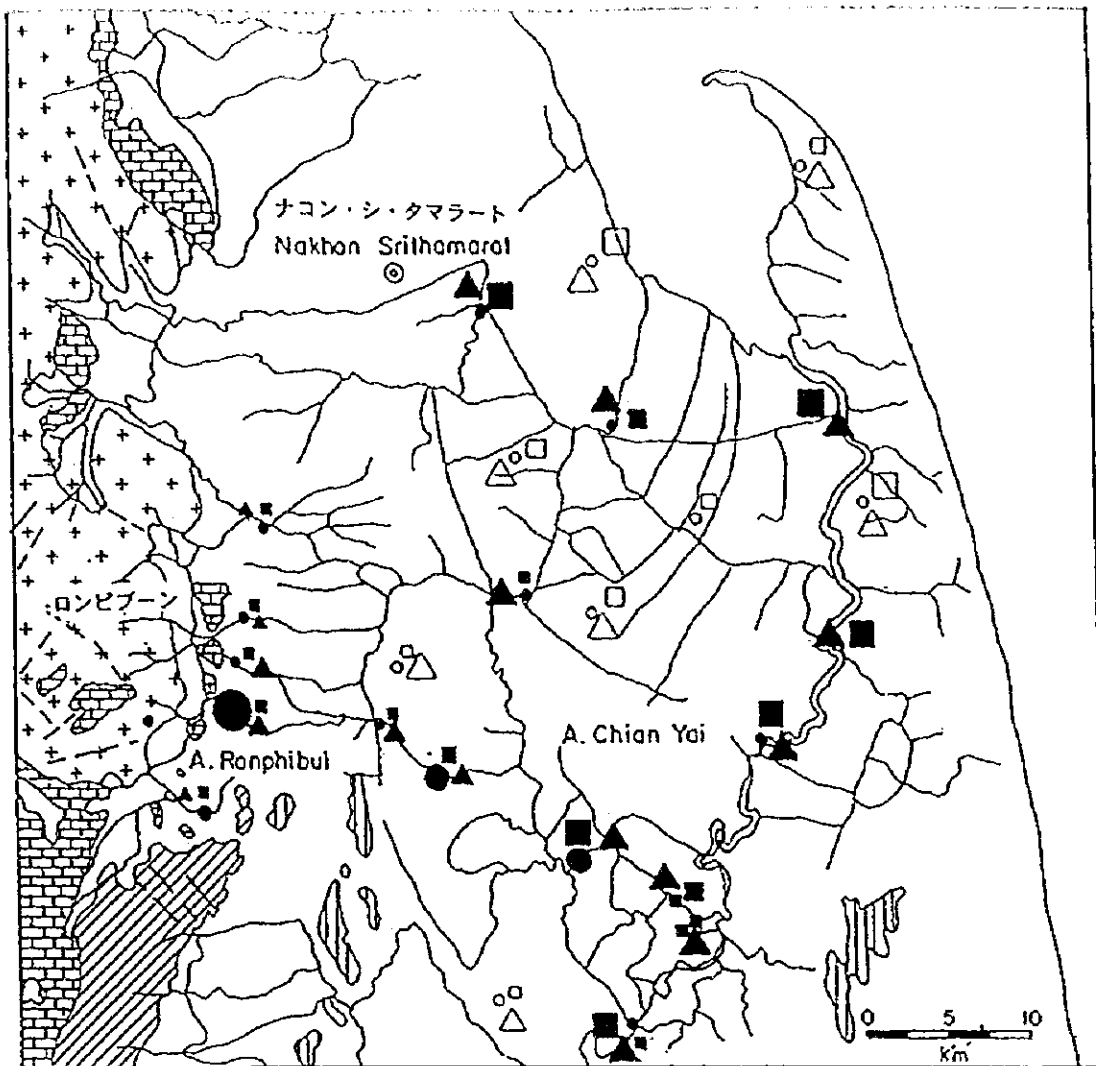
図-4.27 ロンピブーン地区周辺ヒ素汚染調査結果



รูปที่ 3 ปริมาณสารหนู (As) และ ตะกั่ว (Pb) ในน้ำผิวดินลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัด นครศรีธรรมราช (ปรับปรุงจาก Arrykul et al., 1996)

As (ppb)		Pb (ppb)	
●	<50	▲	<20
●	50-100	▲	20-30
●	100-200	▲	30-40
●	200-300	▲	40-50
●	>300	▲	>50

図-4.28 広域汚染調査 (表流水)



รูปที่ 2 ปริมาณสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และ ตะกั่ว (Pb) ในตะกอนลุ่มน้ำปากหนึ่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช (ปรับปรุงจาก Arrykul et al., 1996)

As (ppm)		Cd (ppm)		Pb (ppm)	
In stream sediments		In stream sediments		In stream sediments	
●	< 50	■	< 5	▲	< 10
●	50-100	■	5-10	▲	10-20
●	100-200	■	10-15	▲	> 20
●	200-300	■	> 15		
In soils		In soils		In soils	
○	< 5	□	< 5	△	< 15
○	5-10	□	5-10	△	15-20
		□	> 10	△	> 20

図-4.29 広域汚染調査 (河床堆積物)

ある。

(5) 広域汚染調査結果

広域汚染調査がDMR及びERTCによって行われており、調査結果を図-4.27、4.28及び4.29に示す。ロンピブーン周辺では国道403号線を越えて下流側に拡散していることが認められ、さらに下流側に拡散し、バック・パナン湾にまですでに達していることが推定されている。ヒ素汚染の拡散はほぼ明白であるが、河床堆積物（ストリーム・セジメント）の調査ではヒ素を含有する堆積物が広範に分布していることから、ロンピブーンからの汚染として特定及び評価することは極めて難しいと考えられる。

4-6 ヒ素汚染機構について

ヒ素はロンピブーン周辺に、固態として河床堆積物、ズリ、廃さい、土壌、粉じん及び液態として表流水、地下水、飲料水等多様な形態で移流・拡散し、広範囲に分布している。地下水のヒ素による高濃度汚染地帯とヒ素中毒症状の発生域とは一致していることから、ヒ素鉍害の主な要因は地下水のヒ素汚濁と推定される。

a. ヒ素の汚染源

ロンピブーン地区のヒ素の汚染図及び同断面図をそれぞれ図-4.30及び4.31に示す。

ヒ素の汚染源は、旧山錫鉍山採掘跡及び同鉍さいたい積場、漂砂鉍床旧採掘跡及び同簡易選鉍廃さい物（推定）、選鉍所及び同廃さいたい積場及び基岩である石灰岩の割目に定置したと推定されている（BGS）4つのケースが推定される。

旧山錫鉍山採掘は約100年前から操業を開始し、中～小規模（個人レベルまで）で行われていた。同鉍さいはたい積場に集積されているが、一部は既に下流側に流出・逸散している。また、旧採掘跡からの浸透水はほとんど地下浸透し、一部既存河川に湧出し、ヒ素汚染を発生させていると推定される。

漂砂鉍床旧採掘の規模は中～小規模（個人レベルまで）であるが、ロンピブーンの上流側及び周辺にはドレッシング後の池及び表土あるいはずりを廃棄した採掘跡地が多数あり広範囲に分布している。今回の現地調査でも表流水等にヒ素が検出されていることから、ドレッシング採掘に伴って表土及び簡易選鉍廃さい物がそれらの周辺及び採掘跡の廃棄され、それがヒ素の新たな汚染源になっていることが推定される。

旧選鉍・製錬場及び同廃さいたい積場はまた有力な汚染源と推定されるが、中腹部の選鉍場の廃さいの大半は流出し、またロンピブーン村内の旧選鉍・製錬場の廃さいたい積場は不明である。

基岩である石灰岩に関するヒ素の存在は不明であり、今後の調査を待つ必要がある。

また、ズリ及び土壌に吸着したヒ素等の重金属の飛散についても、検討する必要があるだろう。

b. ヒ素の移流・拡散

上記の汚染源から溶出したヒ素は、主に表流水及び地下水によって移流・拡散されるが、その過程において地質的環境・物理的環境・化学的環境等により還元・酸化（As⁺

$^3/\text{As}^{3+}$ ）、吸着・脱着、沈殿・溶出等の複雑な過程の繰り返しを経て、その結果としてロンピブーン地区にある水井戸に移流・拡散していると推定される。

また、 As^{3+} への酸化・還元には地質状況、有機物質、バクテリア等の関連も強く示唆されることから、さらに他のファクターについても検討する必要があると考えられる。

4-7 ヒ素汚染対策

汚染対策としては直接的対策としてはDMRによるズリの撤去が行われた。撤去量は約1,500 tであり、山麓部に袋づめ及びビニールカバーされて保管されている。さらに、数1,000 t規模でのズリの撤去が予定されている。

各省庁、援助機関等からの直接的及び間接的対策としては、水がめを利用して雨水を集水して水源とすること及び公共水道を約80%敷設完了しているが、なお100%をカバーするに至っておらず、一部においてヒ素中毒症状の悪化が継続しているのが現状である。

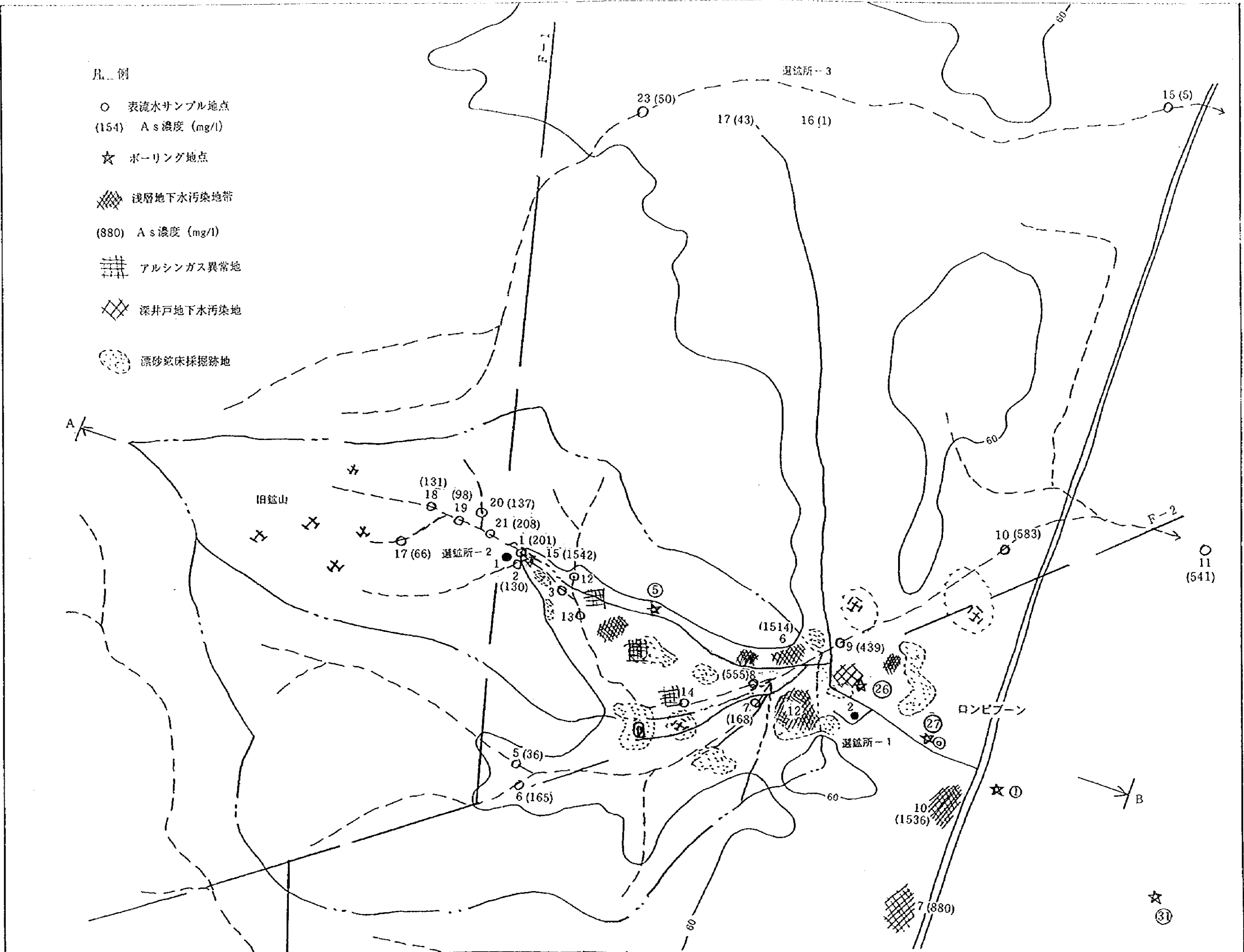
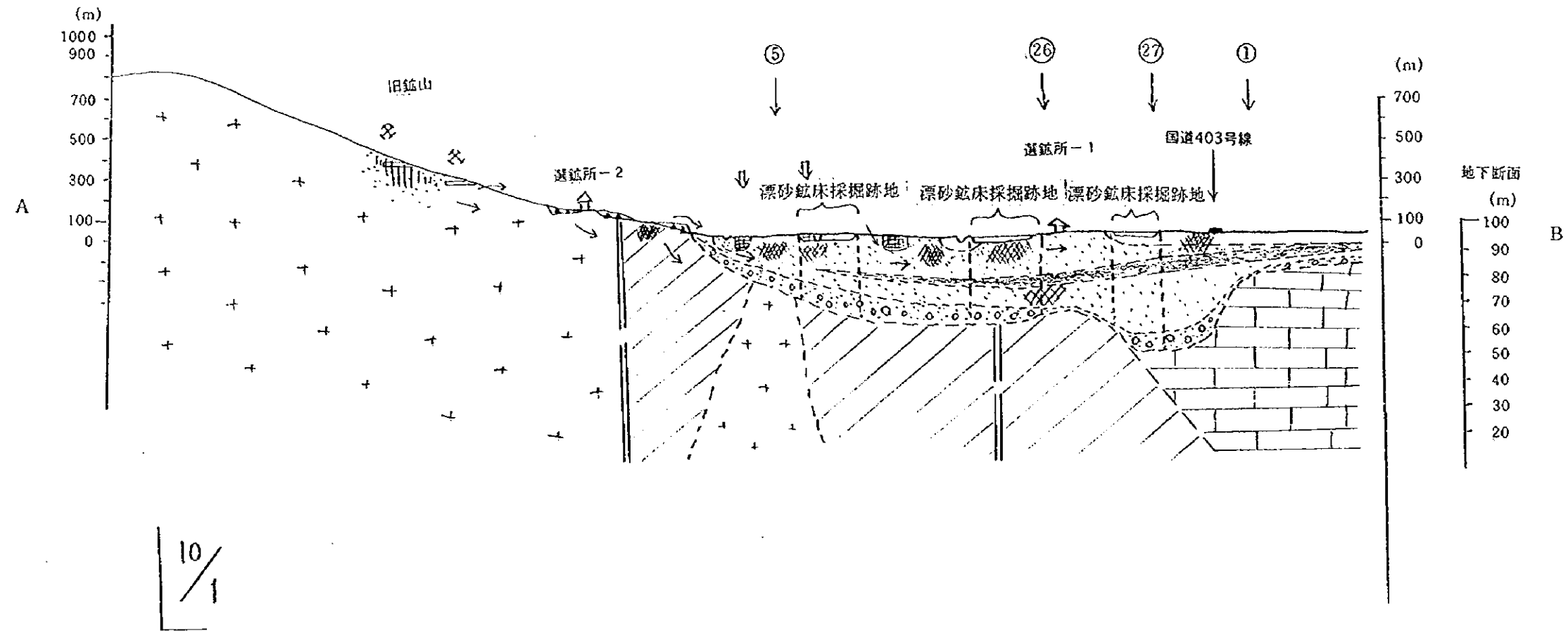


図-4.30 ロンビブーン地区のヒ素汚染状況 (平面図)



凡例

- | | | | | | |
|-----|---------------|----|------------|---|-------------|
| ++ | 両雲母花崗岩 | == | 推定断層 | ▨ | 浅層地下水汚染部 |
| /// | カンブリア系 (頁岩) | ▨ | グライゼン鉱床 | ≡ | アルシingas異常帯 |
| ▨ | オールドビス系 (石灰岩) | ⌒ | 選鉱所 (1及び2) | ▨ | 深井戸地下水汚染部 |
| ○● | 洪積層 | ▲▲ | ズリ捨場 | ▨ | |
| | 沖積層 | — | 採掘坑道 | ▨ | |
| | | ▨ | 粘土層 | → | 汚染経路 |
| | | ○● | 砂層 | | |
| | | ○● | 砂礫層 | | |

図-4.31 ロンピブーン地区のヒ素汚染状況 (断面図)

第5章 本格調査の概要

第5章 本格調査の概要

本格調査の内容について以下に述べる。

5-1 本格調査の目的

本格調査の目的を以下に示す。

- ① ヒ素汚染発生・拡大の背景を明らかにすること
- ② ヒ素汚染源の特定及び存在量の把握
- ③ ヒ素汚染状況の把握
- ④ ヒ素汚染による環境への影響予測及び評価
- ⑤ 必要なヒ素汚染対策の策定
- ⑥ 調査を通じての技術移転

5-2 調査位置

本格調査の位置は、ロンピブーン及びその周辺から下流域にいたる地域である（図-5.1参照）。

5-3 調査期間

調査期間は、2年間である。

5-4 本格調査内容及び手法

本格調査は既存資料収集及び解析，現地調査（概査），現地調査（精査）及び解析からなる。調査全体のフローを図-5.2に示し，調査の内容を以下に述べる。

(1) 既存資料収集及び解析

調査の概要及び調査地域の特性の把握を主目的とする。

- ・調査地域の把握
- ・調査地の社会・経済的状況の把握
- ・ヒ素汚染被害状況
- ・ヒ素汚染概況把握，地質，水文地質状況等
- ・空中写真の取得・解析

(2) 現地調査（概査）

現地調査（概査）は汚染の概況の把握を目的とし，地形/地質調査，水文/水質調査及び汚染源調査からなる。

a. 地形/地質調査

調査地域及び鉸床域の地形的，地質的及び土壌的状況を把握する。

- ・地形/地質調査（試料採取，分析）
- ・土壌調査（主に山地部：表土採取及び分析：40カ所）

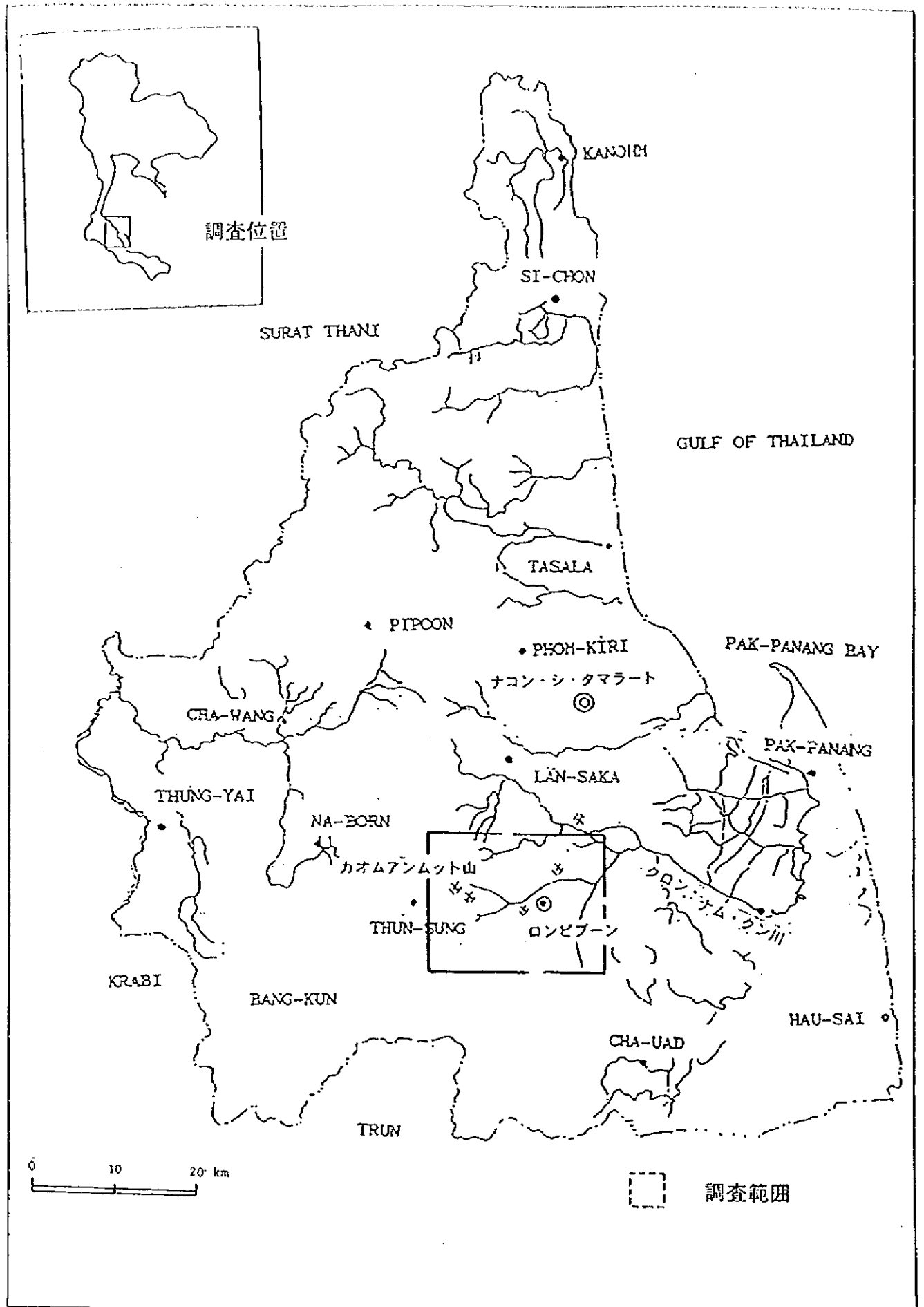
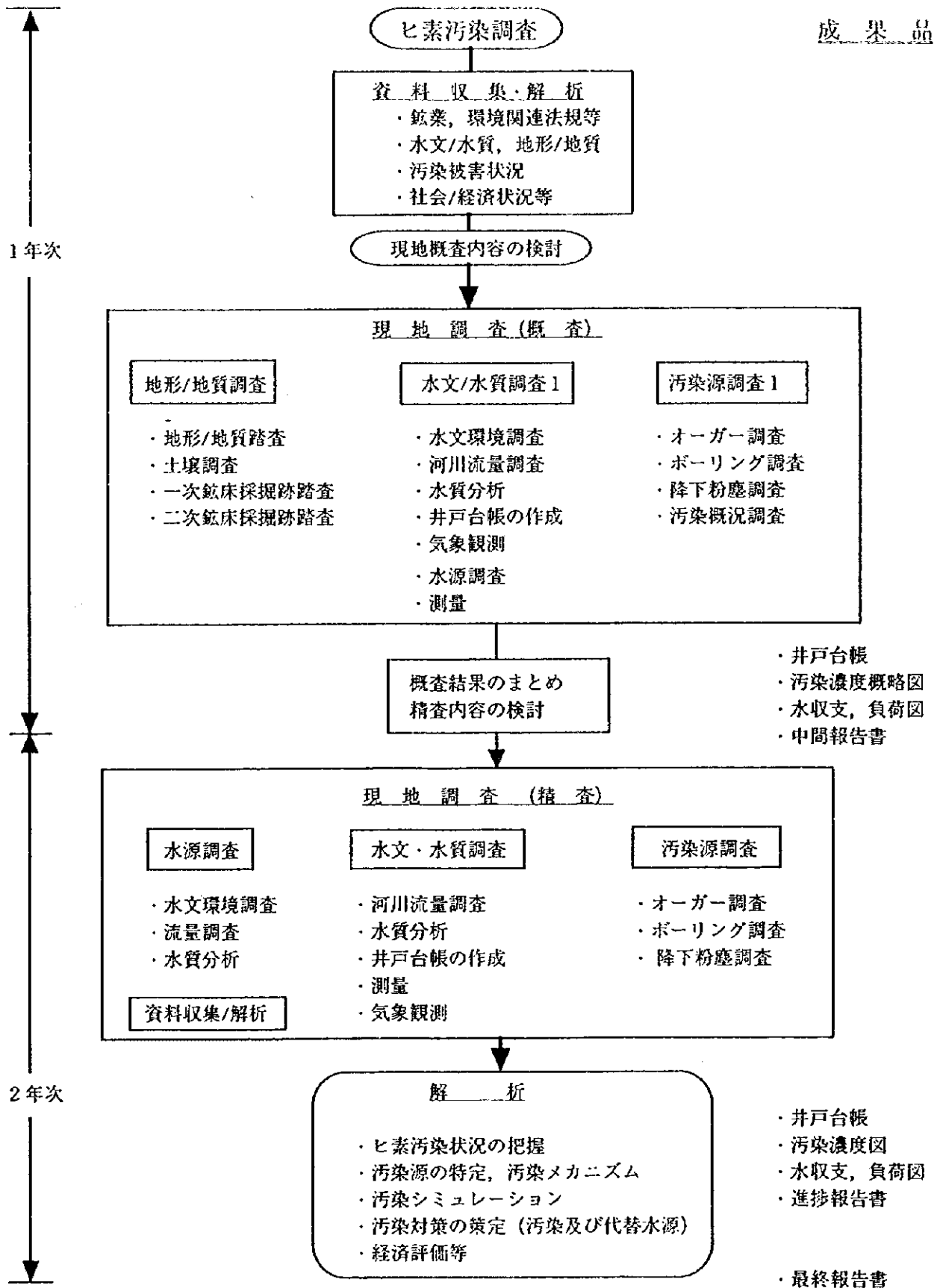


図-5.1 本格調査範囲図

図-5.2 調査フロー



- ・一次鉱床採掘跡踏査（試料採取，分析）
- ・二次鉱床採掘跡踏査（試料採取，分析）

b. 水文/水質調査1

表流水と地下水の状況の把握及び水源調査を行い，ロンビブーン地区の水収支及び負荷量収支を算定することを主目的とする。

- ・河川流量調査1（40箇所，水質分析）
- ・井戸台帳の作成（85カ所：井戸構造，地下水位，井戸水の採水及び分析）
- ・気象観測1（気温，湿度，降雨量，風向・風速）

c. 汚染源調査

汚染源として想定される箇所について詳細調査を実施する。

- ・オーガー調査1（平地部：300地点，土壌採取，地下水採取，地下水位観測等）
- ・ボーリング調査1（8孔/240m，コア調査，揚水試験，コア・地下水採取・分析，地下水位観測）
- ・降下粉塵調査1（4箇所，1年間）
- ・汚染概況調査（選鉱所等立入調査，汚染被害調査等）

(3) 現地調査（精査）

現地調査（精査）は主に概査で得られた汚染域の詳細調査であり，水文/水質調査2，汚染源調査2，水源調査及び資料収集/解析からなる。

a. 水文/水質調査2

- ・河川流量調査2（40箇所，水質分析）
- ・気象観測2（気温，湿度，降雨量，風向・風速）

b. 汚染源調査

汚染源の詳細調査を実施する。

- ・オーガー調査1（平地部：150地点，土壌採取，地下水採取，地下水位観測等）
- ・ボーリング調査1（4孔/120m，コア調査，揚水試験，コア・地下水採取・分析，地下水位観測）
- ・降下粉塵調査（4箇所，1年間）

c. 水源調査

汚染地域の井戸水の代替水源の調査である。

- ・水文環境調査
- ・流量調査
- ・水質分析

(4) 解析

解析の内容は以下のとおりである。

- ・ 現地精査のまとめ
- ・ 総合解析：ヒ素汚染状況の把握
 - 汚染濃度図
 - 汚染メカニズム
 - 水収支，負荷収支
 - 汚染シミュレーション
 - 汚染対策の策定（汚染及び代替水源）
 - 経済評価

参 考 資 料

1. 吉田 国夫 (1978) : 鉍産物の知識と取引, 通称産業調査会, 丸善
2. 厚生省薬務局安全課 (1990) : 毒物劇物取扱の手引, 時事通信社
3. 環境庁水質保全局 (1994) : 重金属等に係る土壌汚染調査・対策指針及び有機塩素系化合物等に係る土壌・地下水汚染調査・対策暫定指針, 環境庁
4. 地学団体研究会 (1997) : アジア地下水ヒ素汚染問題を考える, 地学教育と科学活動特別号, 地学団体研究会
5. 日本鉍業協会 (1987) : 鉍山たい積場マニュアル, 世界大ダム会議編
6. 日本鉍業協会 (1987) : 捨石, 鉍さいたい積場建設基準及び解説, 通産省立地公害局
7. W. キンツェルバッハ (1989) : 上田年比古監訳地下水解析, 森北出版
8. 国立天文台編 (1996) : 理科年表, 丸善
9. 瀧本清 (1969) : 新版鉍床学, ラテイス刊
10. 地学団体研究会 (1981) : 地学事典, 地学団体研究会
11. Macdonald DMJ., et al. (1997) : An investigation of arsenic contamination of groundwater from mining waste, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand, DMR, Thailand
12. Williams M. (1997) : Mineral-related arsenic hazards, Thailand case-study Summary, Report British Geological Survey Technical Report, WC/97/49
13. Pijitprapon A, et al. : Treatment of arsenic contaminated land in Thailand using diatomite, Preliminary field site investigations, PH Whitbread-Aburutat
14. Jariyawat P., et al. (1993) : Technical report on the locations and the amount of high arsenic contamination waste piles generated from mining and ore dressing processes
15. Pijitprapon A, et al. (1994) : Groundwater contamination by arsenic from the mining industry in Ron Phibun, Thailand
16. Fordyce F.M., et al. (1995) : Hydrogeochemistry of arsenic in an area of chronic mining-related arsenism, Ron Phibun District, Makhon Si Thammarat Province
17. Williams M., et al. (1996) : Arsenic contamination in surface drainage and groundwater in part of the southeast Asian tin belt, Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand

[付 属 資 料]

資料-1 : Terms of Reference

資料-2 : Quotionnaires

資料-3 : 収集資料リスト

資料－1： Terms of Reference

Project Title	Objective	Assistance Requested	Responsible Authority
Environmental Management Planning Survey for Arsenic Contaminated Area of Nakorn Sri Tammaraj Province, Thailand.	1. To identify/characterize contaminant source 2. To map current distribution of contaminant 3. To forecast expected movement of contaminant and its impact on environment 4. To design countermeasure for remedy and 5. To identify the most feasible alternative water supply for the area.	1. Grant Aid - Facilities Yen (.....B) - Construction 2. Technical Cooperation - Export m/m - Fellowship Study m/m Training m/m Study Tour m/m - Equipment Yen (.....B) - Other (Specify) Yen (.....B)	Dr. Monthip Sirinatsana Tabueanon Tel 66-2-5771136,7 Fax 66-2-5771138
Ministry of Science Technology and Environment Project site Nakorn Sri Tammaraj Province Duration 3 Yr.	1st year Preliminary investigation and source study (S)-1 2nd year Distribution and movement study (S)-2, and 3 3rd year Remedial design and water supply planning (S)-4 and 5	Requesting Agency Counterpart Contribution to the Project - Annual Budget.....B/Yr - Additional Budget Requested.....B/Yr Total.....B Counterpart Personnel 9 m	Note
Ministry's priority - Ministry of Science Technology and Environment - Ministry of Industry - Ministry of Public Health Sector in TA Plan Sector in White Paper Ministry of Science Technology and Environment special pays attention to the arsenic contamination problem in Nakorn Sri Tammaraj Province due to its effect to the quality of human health and environmental condition. MOSTE has tried to cooperate with related ministry to set up strategies/measurement to solve the problem and remedy the contaminated area			

Application for the Technical Cooperation (Development Study)
by the Government of Japan.

1. Project digest

(1) Project Title

Environmental Management Planning Survey for Arsenic Contaminated Area
of Nakorn Sri Tammaraj Province, Thailand.

(2) Location

Nakorn Sri Tammaraj Province, Thailand (Map was attached) See Annex 1

(3) Implementing Agency

Name of Agency : Environmental Research and Training Center
Department of Environmental Quality Promotion, Ministry of Science,
Technology and Environment, Thailand.

Number of Staff of the Agency : Permanent 63 persons

Temporary : 83 persons

Budget allocated to the Agency : 53 million baht

Organization Chart See Annex 2

(4) Justification of the Project.

- Present condition of the sector.

Thailand, like many other developing countries in the Asia Pacific Region, is beset with environmental problems arising mainly from events concomitant with its rapidly changing socioeconomic structure. Efforts to diversify the country's agriculture and develop other industries have resulted in high economic growth, quadrupling real Gross National Product and more than doubling per capita income in the last two decades. The main factor in the continuous high growth rate of the economy has been the balanced development of agriculture and industry, centering on the manufacturing sector.

While the light industries, such as food and textile, are dominant, the petrochemical industry using natural gas from the Gulf of Thailand as well as heavier industries such as motor vehicle assemblies and parts manufacturing are gaining share in the whole economy. Without proper management this leads to serious environmental problems resulting in water pollution, air pollution, noise and vibration, and generation solid and hazardous waste and toxic substances Thailand's environmental problems can best be classified

into rural and urban environmental problems. Rural environmental problems include deforestation, loss of biological diversity, soil erosion, flooding, water shortages and other natural resource-related problems. Urban environment problems include overcrowding, poor housing condition, traffic congestion, water and air pollution from both domestic and industrial sources, and hazardous wastes from industry.

In short, the environmental problems currently facing Thailand present serious constraints to future economic growth and sustainability. Immediate policy measures and actions are required to mitigate adverse environmental impacts, and to rehabilitate degraded natural resources, in order to avert the possibility of future economic decline.

- Sectoral development policy.

The seventh National Economic and Social Development Plan (1991-1996) has three principal objectives, namely :

- To sustain the country's economic growth at an appropriate level, with stability ;
- To promote more equitable income distribution and rural development ;
- To develop human resources, improve quality of life, and enhance the quality of the environment and natural resources.

The formulation of the Seventh Plan was intended to be a consensus-building exercise. It relied on the cooperative effort of all sectors, including not only government agencies, state enterprises and universities but also the private sector, and non-governmental organizations (NGOs). With a broad-based participation, the substance of the Seventh Plan reflects a liberalization process in many respects. It encourages the revision of existing legislation and the formulation of new laws and regulations for the conservation of natural resources and the protection of the environment. It also specifies clear development targets and defines the role of parties involved in the development process, including NGOs and the business sector.

In terms of natural resources and the environment, the Seventh Plan is a departure from the previous plans on a number of accounts. Most significant is the recognition that the tasks ahead are beyond the scope of Government alone. It is neither fair nor realistic to expect the Government to bear the burden of generating most of the revenues necessary for

environmental rehabilitation. The Seventh Plan has set definite targets to improve environmental quality throughout the country, such as the rehabilitation of water quality of the lower reaches of the Chao Phraya and Tha Chin rivers, control of the amount of lead, carbon monoxide and suspended particulates along major streets in Bangkok, the treatment of hazardous wastes generated from industries, the conservation of one quarter of the total land area of the country under conservation forest, and the protection of fragile tropical coral reefs.

These ambitious plans call for contributions from all sectors of the economy. In the area of environmental quality management, the ones of responsibility should fall on the polluters and generators of waste, by the industry or consumers. The Seventh Plan clearly supports the Polluter Pays Principle. The costs of pollution control must be built into the capital and operating costs of manufacturing products and providing services, rather than be subsidized through the use of national tax revenues for pollution control and waste treatment projects. A more equitable share of responsibility could then be achieved.

In the area of natural resources management, the government will involve local people in the task of managing the vast and diverse natural resources of forest, land, and water. At the village level, where the battle to conserve natural resources will be won or lost, the alliance with farmers whose livelihoods depend on nature will be crucial. The Seventh Plan recognizes the role of intermediaries such as NGOs who can assist Government in mobilizing rural people to participate in natural resources management.

Fundamentally, the Plan focuses on five major areas of environmental management policy : natural resources management, environmental quality, energy and environment, industry and environment, and urbanization and environment. These are viewed as the central environmental concerns associated with continued economic growth. The commencement of the Seventh Plan, in October, 1991 is a promising move towards more sustainable development, keeping a balance between growth and income distribution, industrialization and the protection of environmental quality, urbanization and support for the rural population.

- Problems to be solved in the sector.

The cause of keratosis and hyperpigment problems of people in Ronpibul was related to consumption of arsenic contaminated surface and ground water. Arsenic not only can be found in water but also in vegetable, food product marine organism and etc. Arsenic

poisoning has been more seriously and effected to human health and national economic. Thus, the problem should be consider and solved out as soon as possible, key to solve and protect environmental quality is capability of characterizing contaminant source. In general, such capability is still not well established and many problem can not be effectively solved

- Outline of the project.

The problem of arsenic residue in Ronpibul district, Nakorn Sri-Tammaraj province has occurred for many years due to existence of mining tin around this area. After the process of separating tin, lots of arsenopyrite minerals have been contaminated in the environment, especially in surface and underground water. Those arsenopyrite minerals are the primary source of producing arsenic which can affect people who drink these arsenic-contaminated waters. The most serious case of this problem can cause epidermistal cancer.

Clinical survey during 1987-1988 showed that more than 1,000 people between age from 4 months to 85 year was affected. In some school, over 80% of students showed high arsenic level in their hair and nails. According to the most recent survey in 1992 of school children in this district, a 22% incidence of skin lesions and hyperkeratosis was recorded.

However the source and distribution of contaminant has not yet fully understood in the area become of difficult nature of underground study. Hence no permanent countermeasure has not yet proposed. For this reason, complete investigation of contaminant source, distribution and future forecast of contaminant movement as well as design and planing for remedy the area is urgently required.

- Purpose (short term) of the project.

To idenitify/characterize contaminant source and design the most feasible solution for treatment arsenic contamination.

- Goal (long term) of the project

To relief the people from risk of further arsenic poisoning by controlling arsenic contamination and providing saft water source.

- Prospective beneficiaries.

Immediately beneficiaries to-144,154 people who live in Ronpibul district will be safe from arsenic poisoning and have better quality of life and environment. In addition, people who live in down stream area and other district of Nakorn Sri Tammaraj more than 1.

448, 029 people will get the beneficiaries from this study. In long term, people in southern part of Thailand (14 provinces) who would find to be suffered with arsenic poisoning problem will benefit.

(5) Desirable or scheduled time of the commencement of the Project

as soon as possible

(6) Expected funding source and/or assistance

- Ministry of Science, Technology and Environment

- Ministry of Industry

(7) Other relevant Project, if any

ERTC project, JICA technical cooperation project for ERTC has been active for last six years. ERTC staff has been trained for survey of ground water contamination as well as arsenic contamination. Hence those staff can be counter:part for JICA survey team.

2. Term of Reference of the propose study

(1) Necessity/Justification of the study

The skin manifestation of chronic arsenic poisoning was first highlighted in 1987 in Ronpibul district. Clinical survey during 1987-1988 showed that more than 1,000 people between age from 4 month to 85 year were affected. In some school, over 80% of students showed high arsenic level in their hair and nails. According to the most recent survey in 1992 of school children in this district, a 22% incidence of skin lesions and hyperkeratosis was recorded. The cause of sickness was related to the consumption of contaminated surface and ground water that probably sourced from tin mining site at Ronpibul district. The distribution of arsenic contamination is widely spread. By slowly flowing and diffusion, contaminant in ground water is not just remain but also spread to wider area. Surface water from Ronpibul district are flowing, through numerous canals and Pak Pa-Nang river into Pak Pa-Nang bay which is the important area for aqua culture. Investigation and study of the arsenic source from tin mining was evaluated by several organization. However there was no study investigating the real contaminant source which release arsenic into ground water. Therefore study on the main arsenic contaminated source, current distribution and situation of contaminant as well as design possible countermeasure for remedy and identify the most

feasible water supply for people in that area should be carried out as soon as possible in order to relief arsenic poisoning problem.

(2) Necessity/Justification of the Japanese Technical Cooperation

Underground contamination is highly complex phenomena. Investigation and study of such problem require multi discipline specialties such as mining engineering, geology, chemistry, hydrology, biology and etc. No agency in Thailand has experienced and/or capability to carry out these study. On the other hand, Japan has experienced in various mining related to environmental problem and their management and solution. Those experience in the past can be effectively utilized to solve the problem in Thailand.

(3) Objective of the study

1. To identify/characterize contaminated source,
2. To map current distribution of contaminant,
3. To forecast expected movement of contaminant and its impact on environment,
4. To design countermeasure for remedy and
5. To identify the most feasible alternative water supply for the area.

(4) Area to be covered by the study

Ronpibul district and down stream districts to Pak Pa-Nang Bay. See map attached.

(5) Scope of the study

Scope of the proposed study is as follows.

1. Contaminant source identification/characterization study.
 - 1-1 Geological investigation of tin ore
Distribution, mineralogical character, relation with arsenic
 - 1-2 Historical record investigation of mining activities
Mining activities of primary and secondary deposite
Mineral dressing and metallurgical activities
 - 1-3 Surface soil geochemical survey.
 - 1-4 High density hydrogeochemical survey.
 - 1-5 Drilling investigation at estimated contaminant sources.
 - 1-6 Evaluation of relative importance of sources to human health.

2. Contaminant distribution study
 - 2-1 Ground water study (including investigation drilling)
 - Understanding aquifer structure and contaminant distribution
 - 2-2 Geophysical resistivity survey
 - Mapping of sediment thickness and distribution
 - 2-3 Regional surface soil geochemical survey
3. Contaminant movement and forecasting study
 - 3-1 Hydrogeological study
 - Measurement of hydraulic conductivity and gradient
 - Estimation of ground water flow direction and rate
 - 3-2 Water balance study
 - Catchment, precipitation, run-off, evaporation etc.
 - 3-3 Regional river/stream study
 - Areal photo and satellite image analysis of flow pattern
 - 3-4 Computer modeling.
4. Remedial countermeasure design and planning study
 - 4-1 Contaminant source remedial design
 - 4-2 Contaminated ground water plume control design
 - 4-3 Contaminated water treatment design
 - 4-4 Economic evaluation
5. Alternative water supply planning study
 - 5-1 Deep aquifer development design
 - Distribution of carbonate aquifer and water quality study
 - 5-2 Contaminate water treatment design
 - 5-3 Economic evaluation

(6) Study schedule

- 1st year Preliminary investigation and source study (5)-1
- 2nd year Distribution and movement study (5)-2, and 3
- 3rd year Remedial design and water supply planning (5)-4 and 5

(7) Expected major output of the study

Investigation report covering,

- * identification/characterization of contaminant source
- * map of current distribution of contaminant
- * forecasting of expected movement of contaminant and its impact on environment
- * design countermeasure for remedy
- * identification of the most feasible alternative water supply for the area.

Report shall be followed up by countermeasure project.

(8) Request of the study to other donor agencies, if any.

(9) Other relevant information, if any.

- * The problem was first identified by former JICA experts.
- * JICA technical cooperation project at ERTC has been trained the Thai counterpart for basic skills required to cooperate with Japanese survey team.
- * Arsenic poisoning situation in Nakorn Sri Tammaraj and Tin mining information from ministry of Public Health, Mining of Industry and local agencies.

3. Facilities and information for the study team

(1) Assignment of counterpart personnel of the implementing agency

Dr. Monthip Sriratana Tabucanon	Director ERTC	Ph.D.(Engineering)
Ms.Pornthip Pancharoen	Chief, Water section ERTC	M.Sc.(Biology)
Ms.Sukanya Boonchalermkit	Chief, Toxic section ERTC	M.Sc.(Botany)
Mr.Meesak Milinthawisamai	Water section ERTC	M.Sc.(Radiochemsitry)
Mr.Janewit Wongsanon	Toxic substance section ERTC	B.Sc.(Biology)
Mr.Ussamol Limsakul	Water section ERTC	B.Sc.(Sanitary)
Mr.Sutiep Sriachai	Toxic substance section ERTC	B.Sc.(Sanitary)
Ms.Cheeranun Pithantajak	Water section ERTC	B.Sc.(Chemistry)

Ms.Varida Sawateyothin Water section ERTC B.Sc.(Chemistry)

Mr.Panompon Wongpan Toxic substance section ERTC B.Sc. (Science)

(2) Available data, information, documents, maps etc. related to the study

See Annex 3,4

(3) Information on the security condition in the study area

The area is considered as safe as any major region in Thailand

4. Global issues

(1) Environmental component of the project

The project is directly aimed for pollution control, water supply and environmental management.

(2) Anticipated environmental impacts by the project

The project will be expected to relief the natural and social problem caused by arsenic contamination of the area.

(3) Women as main beneficiaries or not

Women in the area has higher attack rate for arsenic poisoning than men. This is probably due to the fact that woman has to stay in the house and consumed contaminated water more than men who worked outside. In this regard, women may be bigger beneficiaries than men.

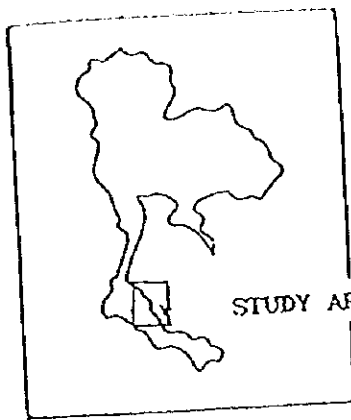
(4) Special consideration for women

No special consideration at this moment.

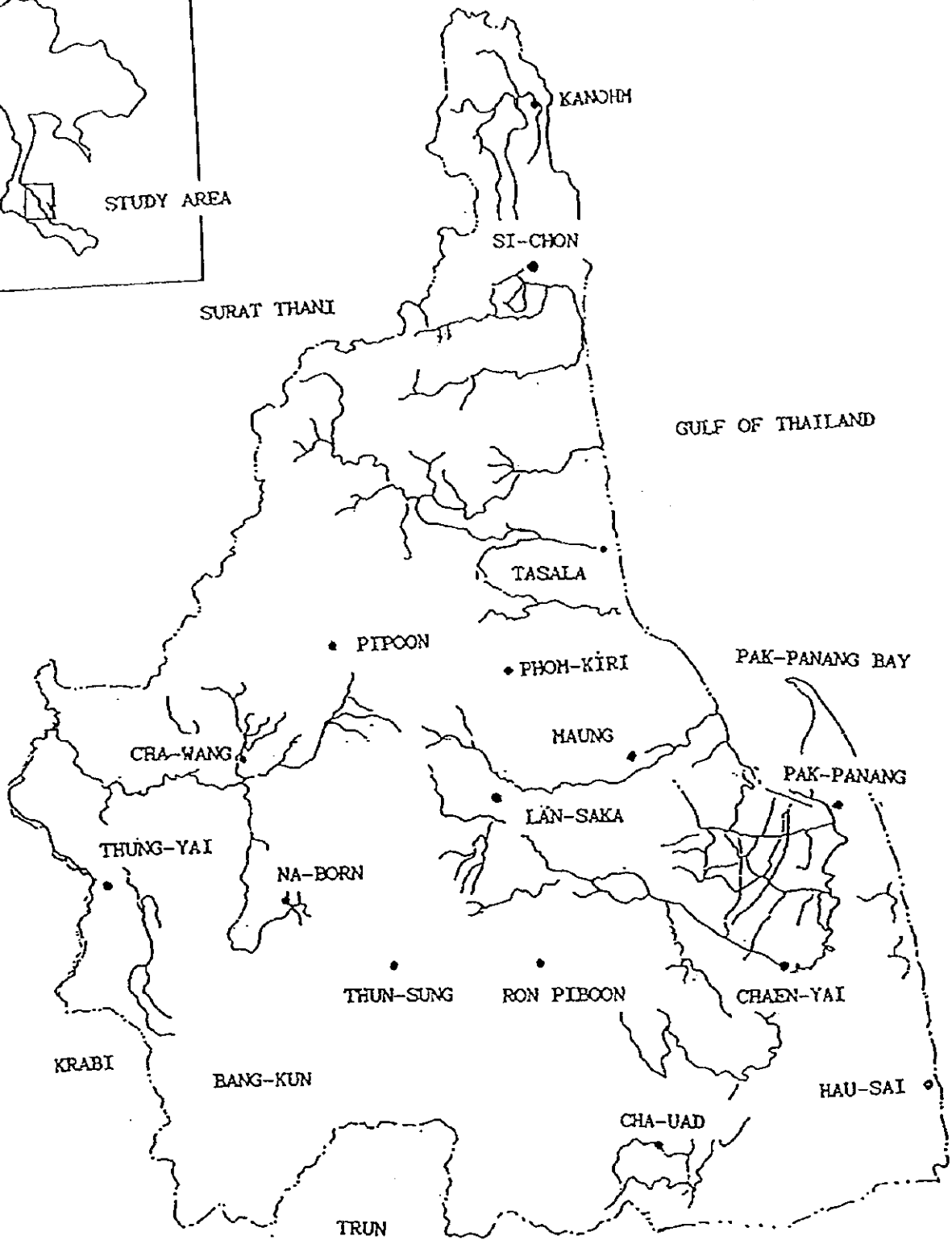
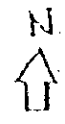
5. Anticipated impacts on women caused by the Project, if any

6. Poverty reduction components of the Project, if any

7. Any constraints against the Low-income people caused by the Project.

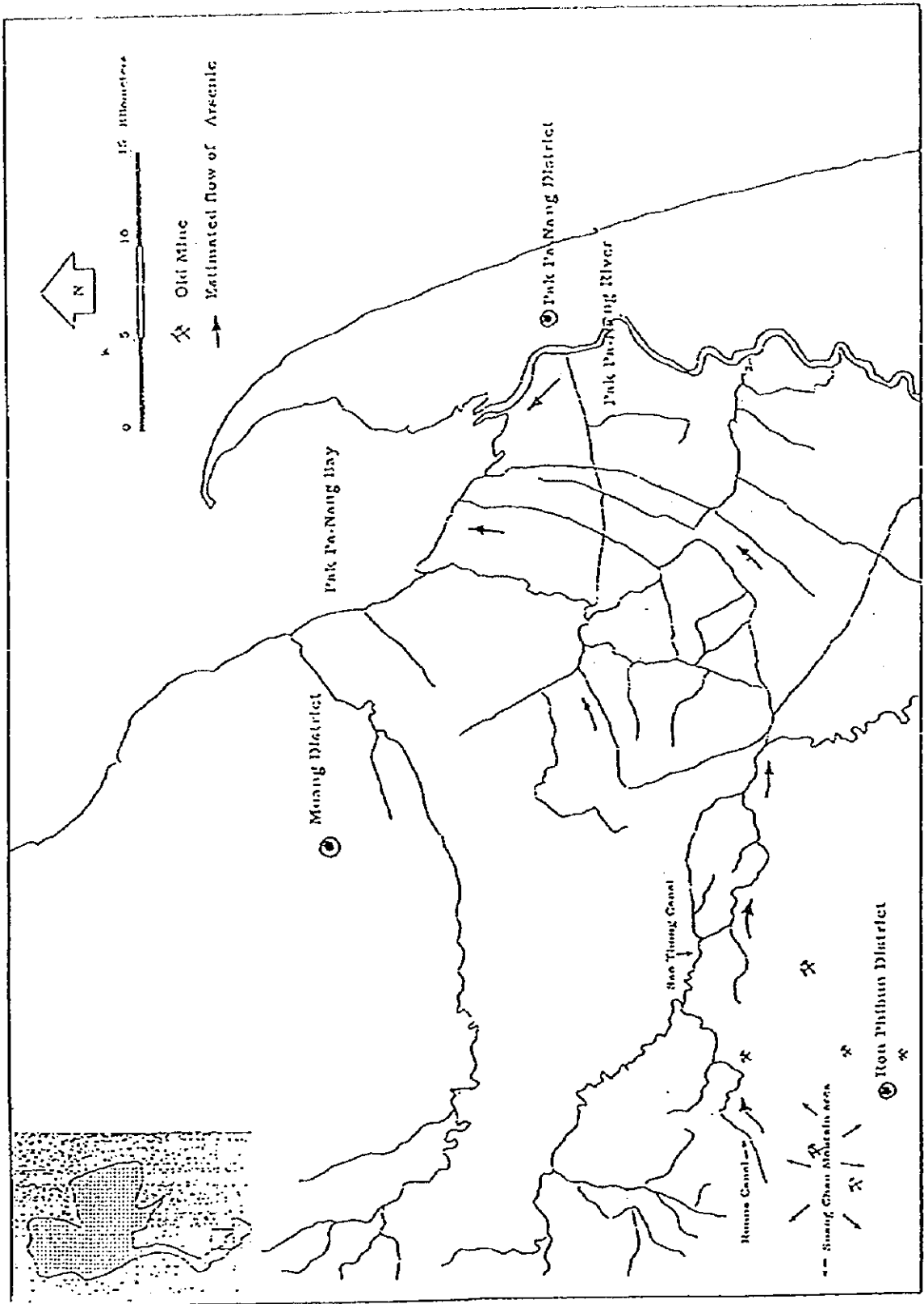


STUDY AREA

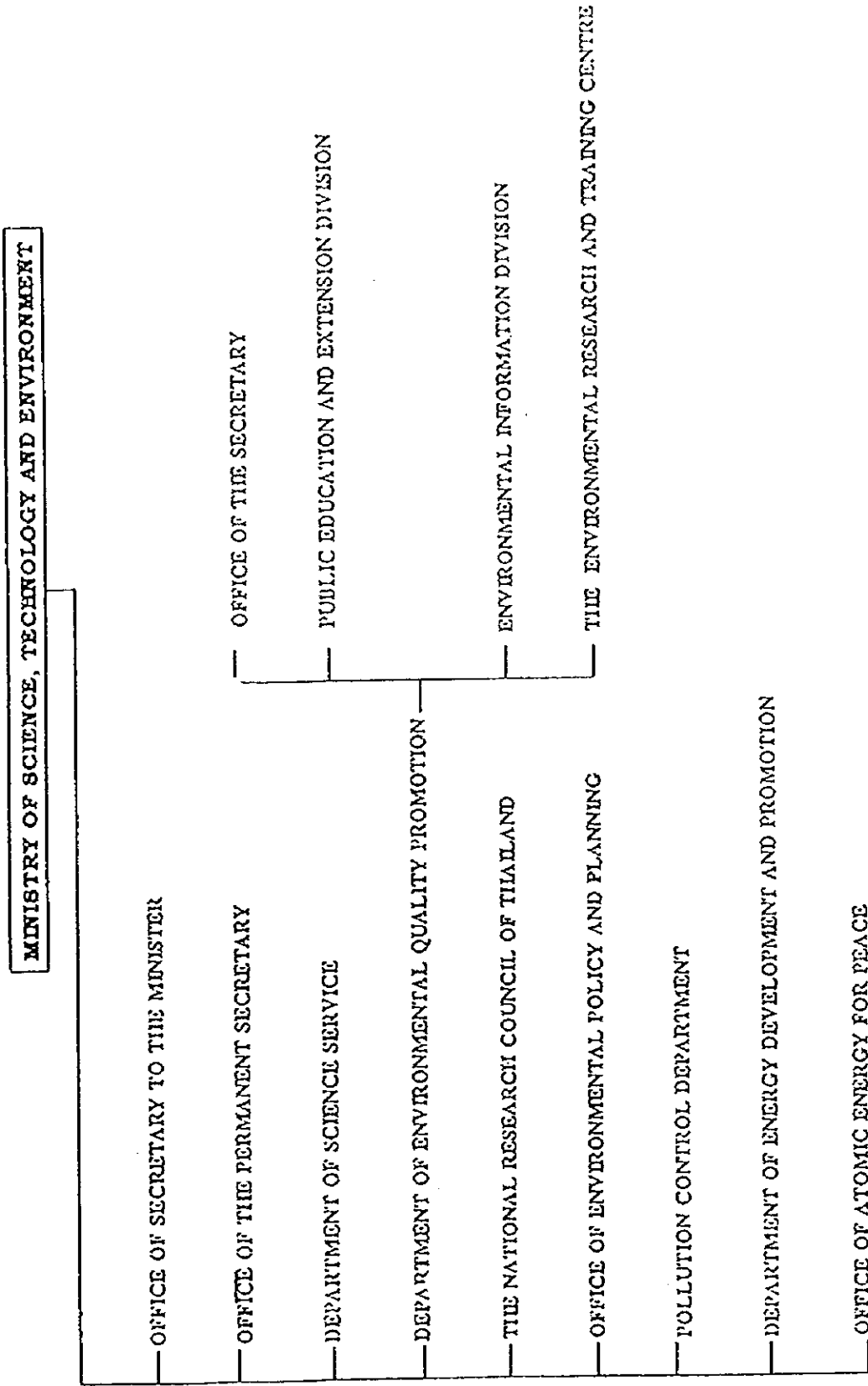


ANNEX 1 MAP OF NAKORN SRI THAMMARAJ THAILAND

ANNEX 3 Ron Phibun, Nakorn Si Thammaraj, Thailand



Annex 2 Organization Chart



ANNEX 4

1. A study of Arsenic Contamination in Pak Panang-Bay Nakorn Sri-tammaraj province Thailand.
Sukanya Boonchalermkit, Janewit Wongsanoon and Munehiro Fukuda
Environmental Research and Training Center
Department of Environmental Quality Promotion Ministry of Science,
Technology and Environment

2. Contamination of Assenic, Cadmium, and Lead in Pak-Panang river basin, Nakorn sithammarat, Thailand.
S.Artykul, K. Kooptanon, W. Wittayawarawat
Department of Mining and Metallurgical Engineering
Prince of Soukha University

3. Groundwater Contamination by Arsenic from Mining industry in Ronphiboon, Thailand.
Vachit Ramnarong & Anong Pajitprapaporn
Department of Mineral Resources

4. Chronic Arsenic Poisoning in Nakorn Sri-Thammarat
Amorn Rodklai, M.D.,Field Epidemiology Training Program (FETP) Sidney Shindell, M.D.,
Consultant to FETP

5. Survey on location of tin mining in Ronna and Saung-cha mountain, Ronpiboon, Nakorn SriThammaraj. (in Thai)
Puchara jariyawat, Theranai piyawong
Department of mineral Resources.

6. Diagnose on Arsenic Poisoning cases
Department at Medical

7. Study on Arsenic residue in Pak-Panang Bay by using biological samples. (in Thai)
Sukanya Boonchalermkit, Janewit Wongsanoon and Munehiro Fukuda
Environmental Research and Training Center
Department of Environmental Quality Promotion Ministry of Science,
Technology and Environment

8. Summary Report on countermeasure for solving arsenic poisoning in Runpibul district, Nakorn Sri-Tammaraj province.
Nakorn Sri-Thamarat public health center (in Thai)

9. Arsenic poisoning at Ronpiboon Nakorn Sri-Thammarat (in Thai)

Ministry of public health

10. Arsenic in Pak panang Bay. (in Thai)

Songklanakarin University

11. Contamination of Arsenic contamination in water, vegetable, fruits, and hair in Ronpiboon district,
Nakorn Sri-Thammarat (in Thai)

Naroug N. Chaingmai

Faculty of medical

Songklanakarin university

12. Chronic Arsenic Problem at Ronpiboon Nakorn-SriThammarat (in Thai)

Dr Chanphon Chujrapawan

Ministry of Public health

13. Toxicology and Arsenic poisoning Situation in Ronpiboon, Nakorn Sri-Thammarat (in Thai)

Office of Food and Drug Administration .

14. Sumary on report study for Arsenic contamination in soil, water for agriculture and plant (in Thai)

• Department of

• Ministry of Agriculture

15. Progress research on arsenic problem in Nakorn Sri-Tammaraj Province

Ministry of Public health (in Thai)

資料－2： Questionnaires

To : Messes. Department of Environmental Quality
Ministry of Science Technology and Environment

This is questionnaire shown as below for the “Environmental Management Planning Survey for Arsenic Contaminated Area of Nakon Sri Tammaraj Province” project.

[Questionnaire]

1. Mining

- Mining law and Mine safety law
- Mining history and products in and around the survey area
- Present condition of sin mines in and around the survey area
- Mining methods and volume of crude ore and waste
- Dressing method and volume of concentrate and tailing ore
- Smelting method and products, etc.

2. Laws and regulations related to the environment, etc.

- Environmental laws and regulations
- Environmental standards (Water quality, waste water, drinking water, soil quality)
- Budget relating to the environmental affair
- Environmental conservation plan
- Environmental monitoring plan
- Implemental organization including administrative organization for this project in Thailand
- Administrative setting, including organization and legislation, of this project within the whole development policy and planning in Thailand
- On the duties and authorities of each department relating to the environment, particularly concerning this project

3. Existing surveys in the Rom Pibun area

- Existing reports of investigation
- Reports of investigation results of Arsenic contamination at Ronphibun and other places by DMR
- Countemeasures for Arcenic contamination in the Rom Pibun area
- Results of water analyses and/or monitoring results in Rom Pibun area (pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, CO₃, Cl, SO₄, As, water temp.)
- Water quality in other areas (pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, CO₃, Cl, SO₄, As, water temp.)

4. Present condition of the survey area

- Population, etc. in Ronphibun village and Nakorn Sri Tammaraj prefecture
- Socioeconomic (Industries, average income, etc.) of Ronphibun village and Nakorn Sri

Tammaraj prefecture

- Infrastructure (road, water supply, etc.) of Ronphibun village and Nakorn Sri Tammaraj prefecture
5. Data of topography, geology and ore deposits in the survey area
- Topographic maps (1/10,000~1/50,000) in the survey area
 - Geologic map and map of ore deposits in the survey area
 - Hydrogeological map in Nakorn Sri Tammaraj prefecture
 - Results of drilling surveys in and around the Ronphibun area
 - Mining reports, etc. (Ore deposits, kind of ore, waste dump areas, etc.) in the Ronphibun area
 - Location of dump areas and volume of piled materials in the Ronphibun area
 - Drilling companies (Including Geological, hydrological and environmental consultants) and their past records in Nakorn Sri Tammaraj prefecture
6. Meteorological, hydrological and water quality data in the survey area
- Meteorological data (Temperature, precipitation, humidity, wind direction, wind speed, etc.) in Nakorn Sri Tammaraj prefecture
 - Distribution of water wells, water level and water quality result in the Ronphibun area (pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, CO₃, Cl, SO₄, As, water temp.)
 - Water quality of water supply around the Ronphibun area (pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, CO₃, Cl, SO₄, As, water temp.)
 - Data of discharge of rivers and water quality of river water in the Ronphibun area (pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, CO₃, Cl, SO₄, As, water temp.)
 - Concentration of As background of river waters, groundwater and soil around the survey area
 - Sampling method of water (Location, time, and frequency) and analyzing method of water quality
7. Arsenic injury (As) in Ronphibun village
- Condition of arsenic injury (Location, number of injured party, etc.)
 - Using volume of well water and drinking volume
 - Present countermeasures and remediation plan
8. Others
- Laboratory : Location, Accuracy, analyzing time and cost
 - Drilling company in the region

資料-3 : 収集資料リスト

資料リスト (収集資料 / 専門家作成資料)

平成 10 年 3 月 10 日 作成

主管部長	文書管理課長	主管課長	情報管理課長	技術情報課長	四半期記入日

(1)

地域	プロジェクトID	調査別名又は専門家氏名	調査の種別又は指掌科目	調査団番号	担当者				
タイ国 <td></td> <td></td> <td>タイ七素形梁地域環境改善計画調査</td> <td></td> <td>担当部課</td>			タイ七素形梁地域環境改善計画調査		担当部課				
国名	配属機関名	ZRTC	現地調査期間又は派遣期間	H10 年 2 月 22 日 ~ H10 年 3 月 3 日	担当者氏名				
番号	資料の名称	形態(図面・写真・地図・写真等)	収集資料	専門家作成資料	JICA作成資料	テキスト	発行機関	取扱区分	四半期記入日
1	An investigation of arsenic contamination of ground water from mining waste, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand.	論文	○				DHR, Thailand	JR・CR()・SC	
2	Hydrogeochemistry of arsenic in an area of chronic mining-related arsenism, Rongphibun district, Nakhon Si Thammarat Province, Thailand: Preliminary results	論文	○				MERC, UK	JR・CR()・SC	
3	Arsenic contamination in surface drainage and ground water in part of the Southern Asia tin belt, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand	論文	○				Environmental Geology, S.V.	JR・CR()・SC	
4	A novel soil-gss technique applied to an arsenic contaminated area of Rongphibun, southern Thailand	論文	○				MINDECO	JR・CR()・SC	
5	Rongphibun District: Arsenic exposure & human health, The search for a geochemical solution	論文	○				DFID, DHR	JR・CR()・SC	
6	水環境学会誌, 1998年2月号(技術)	報文集	○				日本水環境学会	JR・CR()・SC	
7	アツラ地水七素汚染問題巻23, 1997.11	論文集	○				地学国際研究会	JR・CR()・SC	
8	STANLONの汚染物質の調査, 論文1-2	論文	○				DHR, Thailand	JR・CR()・SC	
9	Rongphibun	論文	○				Rongphibun, Thailand	JR・CR()・SC	
10	ถาวรวัตถุสิ่งแวดล้อมสารพิษ	論文	○				DHR, Thailand	JR・CR()・SC	
11	ลักษณะของมลพิษสิ่งแวดล้อม	論文	○				DHR, Thailand	JR・CR()・SC	
	จังหวัดน่านการศึกษามลพิษ							JR・CR()・SC	

資料リスト (収集資料 / 専門家作成資料)

(2)

主管部長	資料管理課長	主管課長	情報管理課長	技術情報課長	国際部次長

地域	国名	プロジェクトID	調査ID名又は専門家氏名	配属機関名	調査ID番号	調査の種類又は調査科目		担当部署	
						調査の種類又は調査科目	現地調査期間又は派遣期間		
番号	資料の名称	形態(図形・写真・地図・写真等)	収集資料	専門家作成資料	JICA作成資料	テキスト	発行機関	取扱区分	国際部記入欄
12	สถานการณ์มลพิษทางน้ำในแม่น้ำโขงบริเวณพื้นที่อ่าว	報文	○				DMR, Thailand	JR・CR()・SC	
	ของกรมอุทกศาสตร์และกรมพิชุลย์ จังหวัดฉะเชิงเทรา							JR・CR()・SC	
13	การวัดค่าปริมาณสารหนู : ปัญหาและอุปสรรค	報文	○				DMR, Thailand	JR・CR()・SC	
14	Mobility of arsenic and other potentially harmful elements in metal mine waste in Thailand	論文	○				DMR, Thailand	JR・CR()・SC	
15	Enhancement and conservation of national environmental quality act B.E. 2535	法律	○				Thailand	JR・CR()・SC	
16	Laws and standards on pollution control in Thailand	法律	○				Thailand	JR・CR()・SC	
17	The eighth national economic and social development plan (1997-2001)	報文	○				Thailand	JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	
								JR・CR()・SC	

JICA

