

#### 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グ医師の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年以來発見されている。押川尚子（ソクラ大学）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。

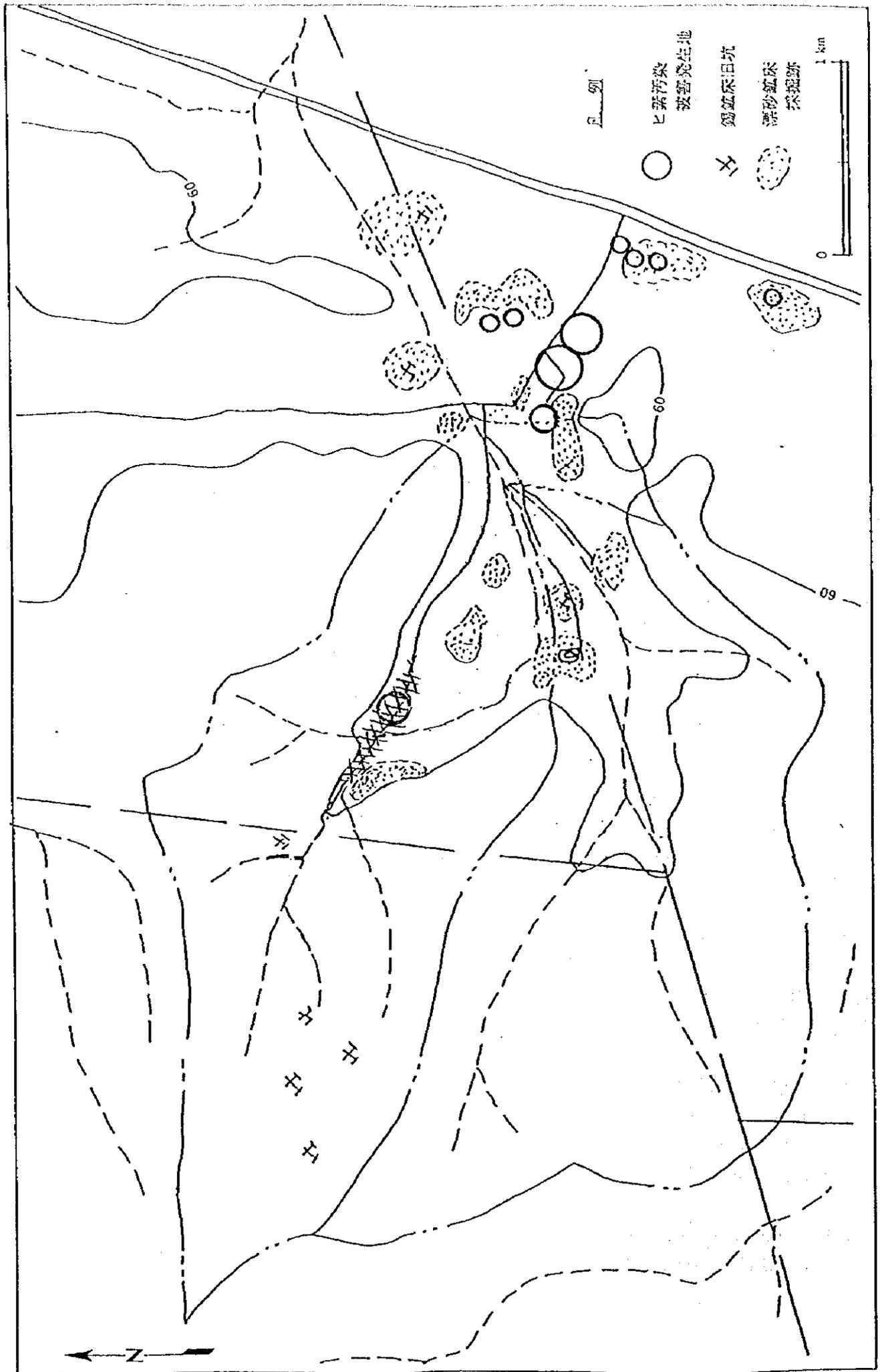
そのとき最初に現地入りした中央政府の役人がモンティプ氏であり、JICA有害物質専門家の広中が同行した。当時の首相であるプレム氏が1988年1月に現地を訪れ、汚染された水を飲むことをやめれば病気は治ると明言し、各省や援助国は競って対策を実施した。

##### (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



图一4.15 百草枯污染被毒分布图

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、料金が低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為、負担金に応じ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、井戸から水道局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、モンティブ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、科学技術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

プロジェクト形成調査及び本調査では現場水質概査としてpH、導電率、水温及びヒ素濃度(広中式ヒ素簡易分析法;検出限界:<0.01mg/l)を行った。分析結果を図-4.16に示す。

導電率は山間部で29～100  $\mu$ 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104～264  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ S/cmと高く、地下水の混入の可能性がある。

ヒ素濃度は<0.01～0.50mg/lである。山錫鉱山周辺及び山間部では0.05～0.40mg/lとやや高く、中流域では0.12～0.5mg/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・ナ支流域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周辺での水質概査では、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

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	88	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>		
閃亜鉛鉱 (Enargite)	$Cu_3AsS_4$	斜方
ルソン銅鉱 (Luzonite)	$Cu_3AsS_4$	正方
輝コバルト鉱 (Cobaltite)	$CoAsS$	斜方
紅銅ニッケル鉱 (Niccolite)	NiAs	六方
グルストルフ鉱 (Gersdorffite)	$NiAsS$	等軸 or 三斜
砒鉄鉱 (Lollingite)	$FeAs_{2-x}$	斜方
砒砒鉄鉱 (Arsenopyrite)	$Fe(As,S)_2$	斜方
碲冠石 (Realgar)	$As_4S_4$	単斜
石黄 (Orpiment)	$As_2S_3$	単斜
安西亜銅鉱 (Tetrahedrite)	$(Cu,Fe)_{11}(Sb,As)_4S_{12}$	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 (Olivineite)	$Cu_3(AsO_4)_2(OH)$	斜方
水砒亜鉛砒 (Adamite)	$Zn_3(AsO_4)_2(OH)$	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









能性が高いと推定される。

また、ロンビ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。

本調査は乾期に相当し、ヒ素濃度は2月の雨期の濃度と比較して全般に高い濃度を示し、雨期では雨による稀釈効果が働いているものと推定される。ただし、カオ・ロン・ナ川では5月の濃度が低くなっている。これは汚染源の一つでもあるドレッシング採掘跡の池の水位が低下することによる池の汚染水の流出が減少したことも原因であると推定される。

## 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<sub>2</sub>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<sub>3</sub>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<sub>2</sub>・HCO<sub>3</sub>の濃度を図-4.20に示す。SO<sub>2</sub>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<sub>3</sub>, Ca及びヒ素 (As, As<sup>3+</sup>) 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、ロンビ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<sup>3+</sup>) 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<sub>4</sub>, K, Y  
Ca — Sr, Mg, HCO<sub>3</sub>  
As — As<sup>3+</sup>

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,

表一4.7 表流水の水質分析値

Surface water		RPW1	RPW2	RPW3	RPW4	RPW5	RPW6	RPW7	RPW8	RPW9	RPW10	RPW11	RPW12	RPW13	RPW14	RPW15	RPW16	RPW17	RPW18	RPW19	RPW20	RPW21	RPW22	RPW23	RPW24	RPW25	RPW26	
No.		0.006	0.034	0.009	0.011	0.115	0.064	0.084	0.040	0.072	0.073	0.071	0.117	0.007	0.012	0.052	0.011	0.019	0.003	0.005	0.006	0.006	0.008	0.005	0.005	0.012	0.048	0.009
Si		29.344	3.500	21.355	13.361	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	15.315	8.749	3.500	246.976	24.184	102.490	37.314	25.412	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	
Cl		0.007	0.006	0.005	0.014	0.013	0.015	0.021	0.038	0.030	0.030	0.031	0.021	0.005	0.012	0.090	0.005	0.016	0.009	0.009	0.008	0.008	0.006	0.006	0.003	0.123	0.107	
Ba		7.850	14.091	9.077	9.063	21.034	17.037	14.400	11.347	13.642	13.031	17.527	14.400	9.170	9.140	9.296	70.124	6.607	8.659	7.807	7.807	9.269	9.357	9.357	11.670	8.273	6.022	
S		0.027	0.001	0.110	0.198	0.017	0.004	0.027	0.122	0.120	0.017	0.069	0.007	0.073	0.044	0.014	0.063	1.411	1.107	0.269	0.200	0.303	0.087	0.156	0.307	0.492	0.114	
Mn		0.272	0.004	0.008	0.160	0.073	0.004	0.159	0.703	0.107	0.237	0.087	0.302	0.004	0.000	0.021	0.146	4.880	0.011	0.014	0.045	0.027	0.156	0.307	0.492	0.112	0.525	
P		0.040	0.038	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	0.029	0.047	0.003	0.353	0.470	0.604	0.485	0.390	0.394	1.640	0.460	
Mg		0.014	1.965	0.609	0.675	4.644	3.456	3.053	1.545	2.613	2.584	3.495	0.579	0.579	0.607	1.627	0.586	1.387	0.400	0.353	0.470	0.604	0.485	0.390	0.394	1.640	0.460	
Na		4.65	7.00	6.760	5.156	8.784	6.524	6.981	5.862	6.506	6.356	6.633	6.274	5.167	5.279	5.640	5.224	5.671	4.054	4.255	4.570	4.617	5.675	5.768	8.206	6.860	3.764	
N		4.65	7.00	6.760	5.156	8.784	6.524	6.981	5.862	6.506	6.356	6.633	6.274	5.167	5.279	5.640	5.224	5.671	4.054	4.255	4.570	4.617	5.675	5.768	8.206	6.860	3.764	
Al		0.846	0.100	0.105	0.482	0.100	0.100	0.100	0.252	0.100	0.100	0.100	0.100	0.444	0.366	0.100	0.100	6.189	0.501	1.143	0.501	1.047	0.100	0.100	0.866	0.100	0.107	
Ca		2.157	11.196	3.173	3.410	42.510	28.884	32.337	12.938	26.907	26.895	26.796	50.381	2.217	4.241	28.043	3.460	15.843	0.669	2.783	1.945	2.218	2.142	1.267	2.452	24.203	2.424	
Zn		310.495	14.105	230.809	179.929	6.837	8.350	47.103	10.922	10.555	8.066	13.887	201.422	141.576	27.242	32.743	4.193	5.829	196.369	1,159.062	399.934	789.319	37.502	12.412	43.565	60.777	14.460	
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	4.630	1.500	1.500	1.500	34.055	13.100	73.508	19.732	8.470	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	117.661	13.514	37.165	10.731	6.474	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
K		7.375	1.064	1.342	1.414	0.851	1.176	1.228	1.846	1.496	1.520	1.628	1.026	1.245	1.233	1.438	1.442	3.445	4.255	1.096	1.233	1.437	1.367	1.198	1.543	2.196	1.131	
HCO3		10.000	49.000	10.000	10.000	169.000	119.000	125.000	40.000	101.100	98.000	98.000	178.000	10.000	10.000	94.000	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	3.350	3.970	3.100	3.090	3.740	4.150	3.910	4.280	3.400	3.240	3.280	2.870	3.320	2.650	3.600	3.600	3.550	3.470	3.240	3.240	3.240	3.020	3.020	
SO4		15.700	0.390	14.600	14.200	1.310	1.970	1.570	8.860	3.580	3.570	3.560	5.510	14.300	13.400	9.410	1.000	142.000	8.470	31.400	16.700	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	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	
Fe2+		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
As		201.000	451.000	170.000	171.000	35.800	165.000	168.000	555.000	439.000	583.000	541.000	406.000	351.000	82.000	4.800	66.800	56.500	131.000	98.400	132.000	208.000	61.000	50.000	50.000	50.000	118.000	
As3+		10.200	19.600	9.600	7.400	7.600	7.600	7.600	25.600	18.800	24.900	28.400	20.800	17.400	6.100	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	
pH		6.990	6.900	6.100	6.200	6.200	6.400	7.490	5.010	6.050	6.050	7.000	7.040	5.560	6.700	7.900	8.100	2.990	4.890	3.880	4.510	4.500	7.010	6.840	7.450	7.500	7.100	
Temp.(C)		26.900	27.900	28.500	28.100	25.900	25.600	27.800	27.000	27.500	27.400	28.500	26.400	27.500	30.000	26.000	26.300	24.000	25.100	24.000	26.200	26.000	25.000	25.000	27.800	25.900	24.100	
Cond.(US)		70.000	111.000	68.000	275.000	270.000	280.000	126.000	170.000	708.000	214.000	328.000	328.000	70.000	75.000	223.000	64.000	460.000	51.000	124.000	74.000	76.000	53.000	43.000	64.000	263.000	44.000	
En(mV)		405.100	478.700	437.000	264.900	438.100	438.400	424.700	487.000	403.500	376.600	366.500	341.600	494.500	293.000	366.000	367.700	450.000	408.900	490.000	467.600	408.000	396.900	391.000	346.200	366.100	329.900	

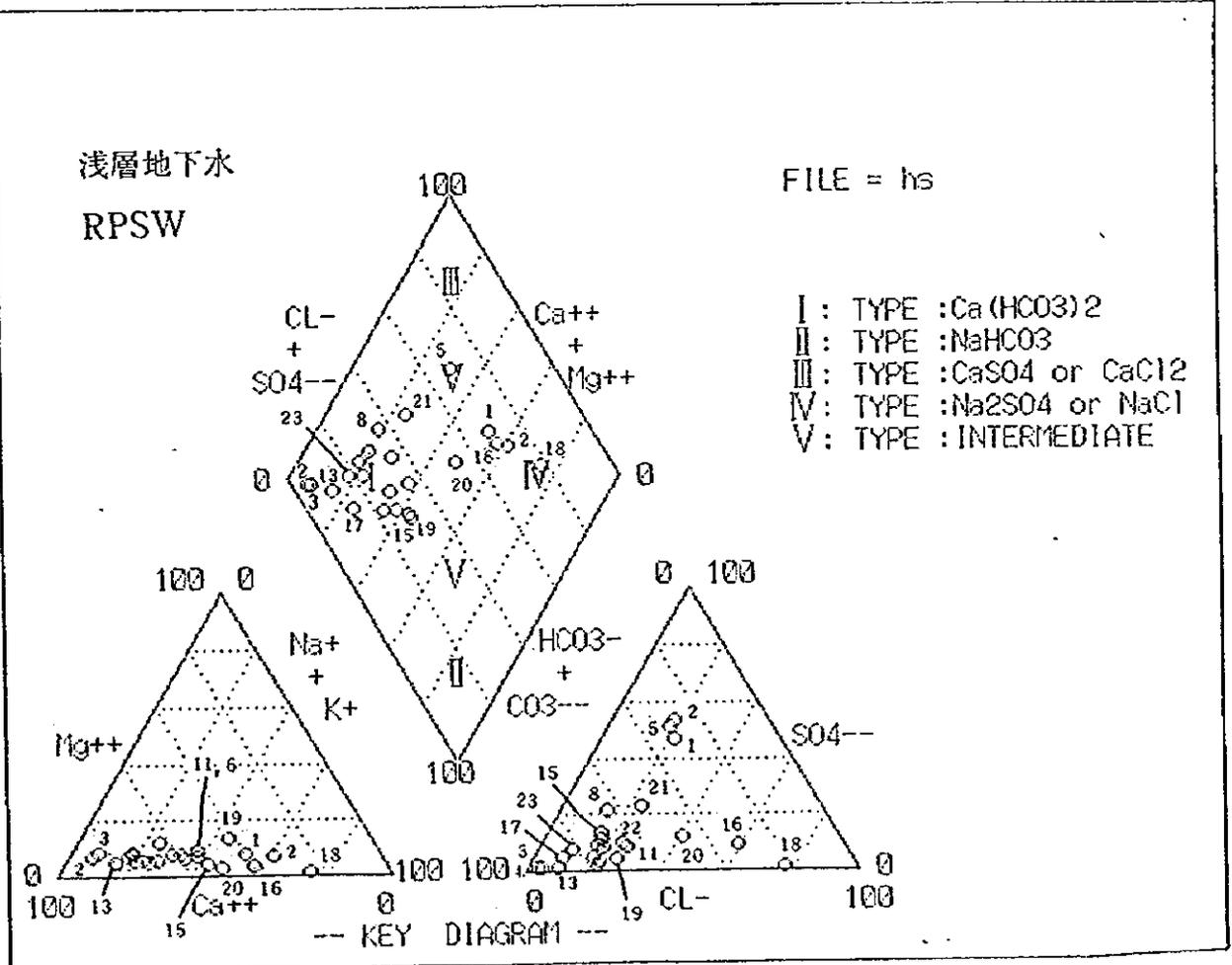
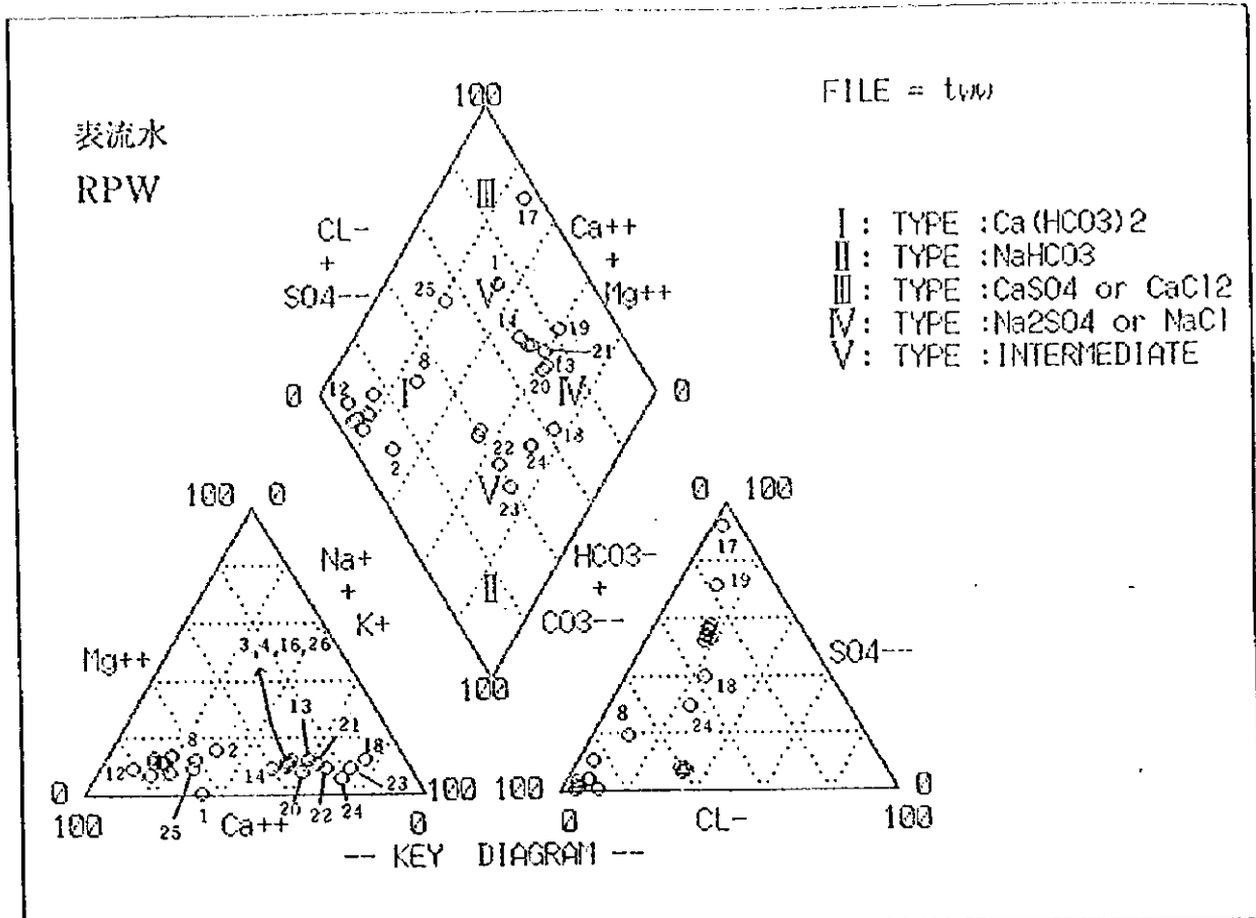


図-4.17 水質キーダイヤグラム (表流水, 浅層・深層地下水) (1)

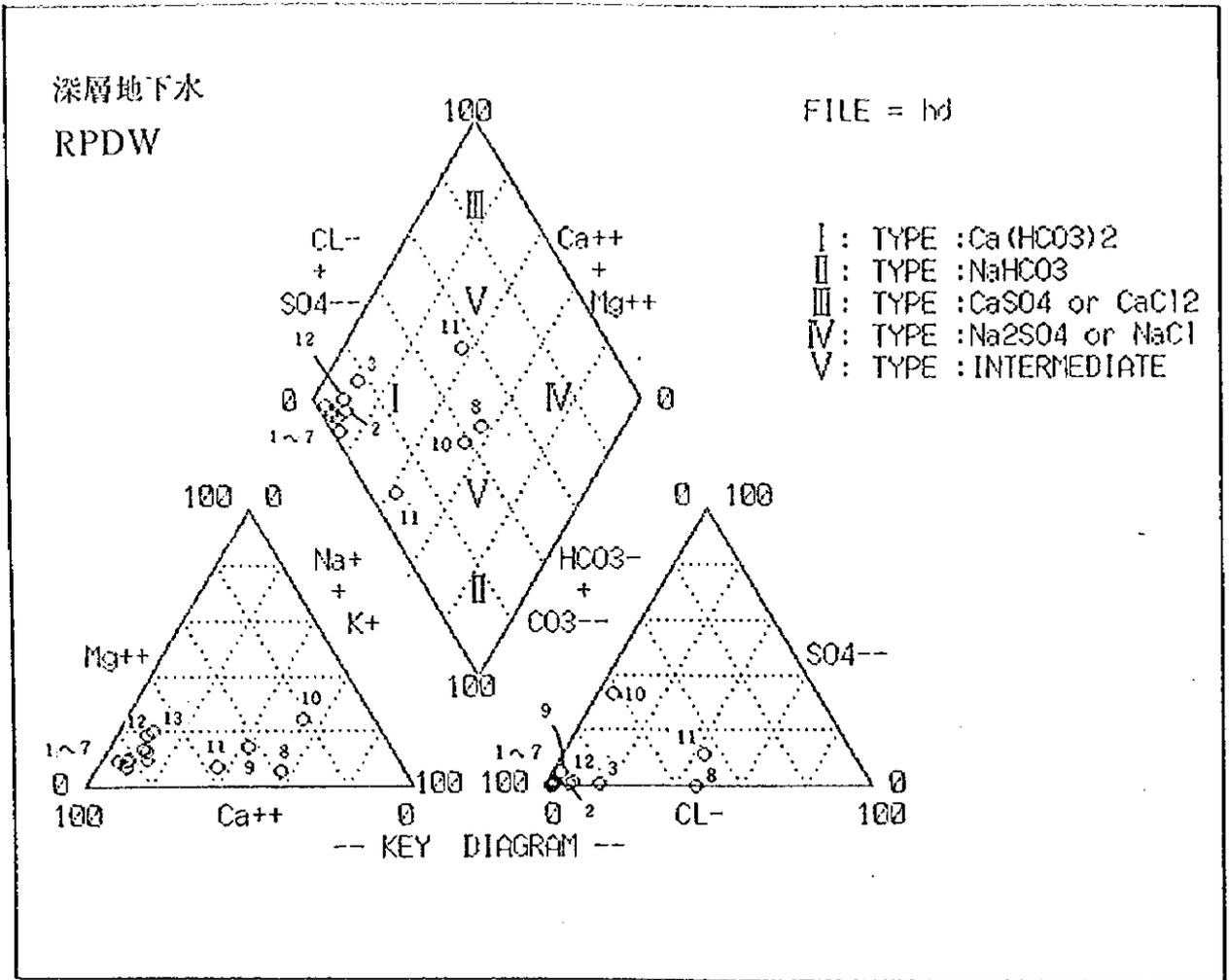


図-4.17 水質キーダイヤグラム (表流水, 浅層・深層地下水) (2)

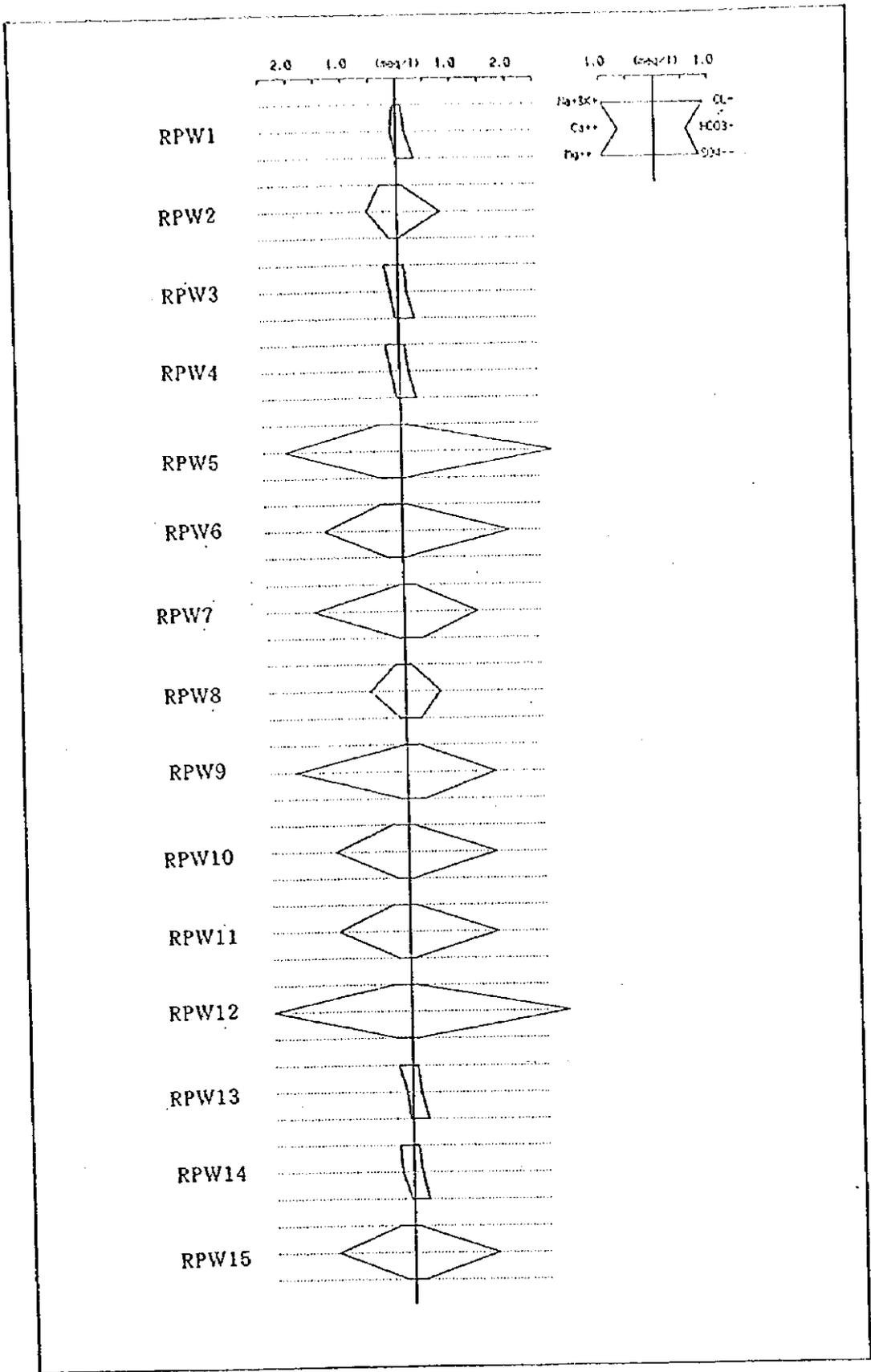


図-4.18 水質ヘキサダイアグラム (表流水) (1)

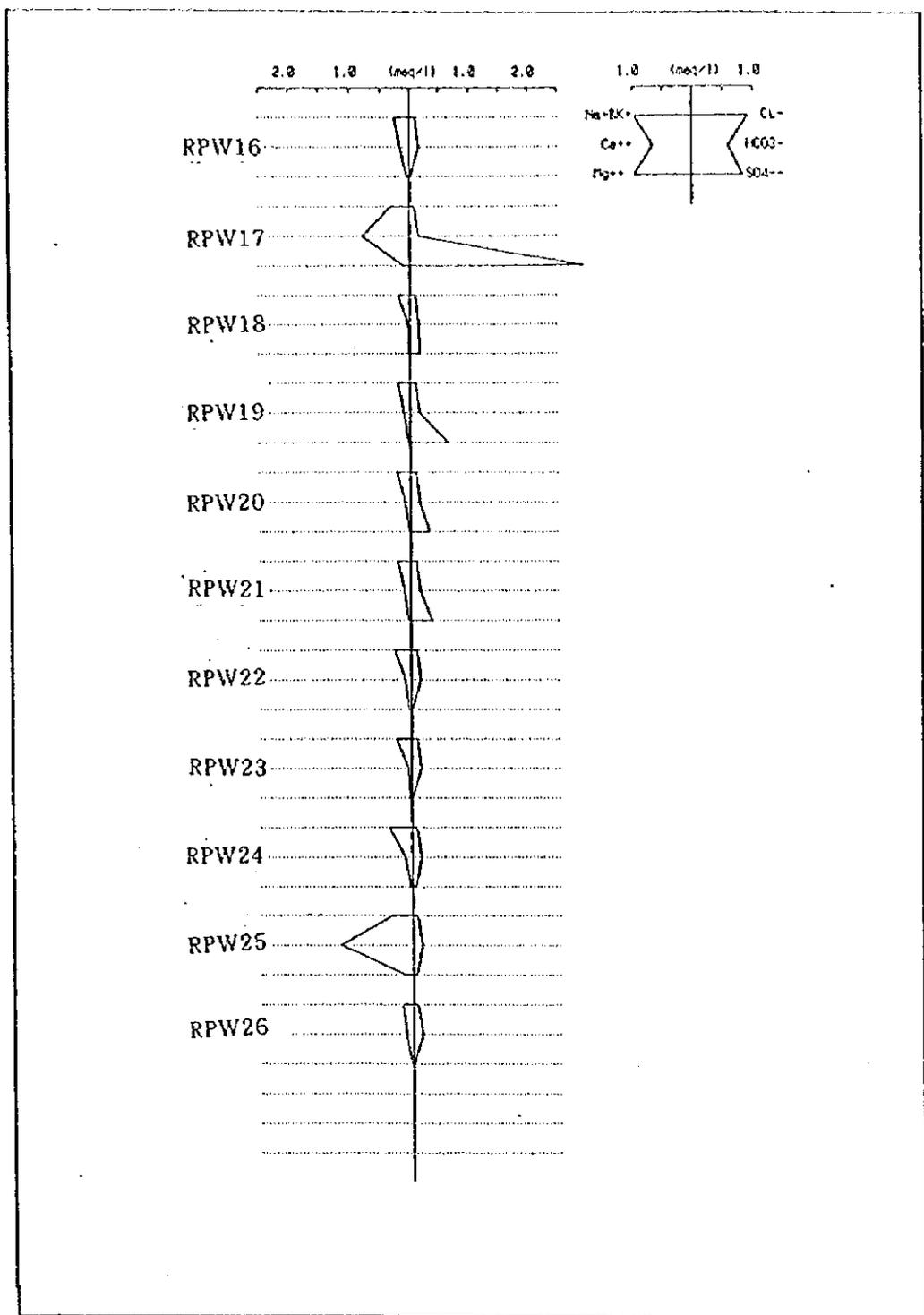


図-4.18 水質ヘキサダイヤグラム (表流水) (2)

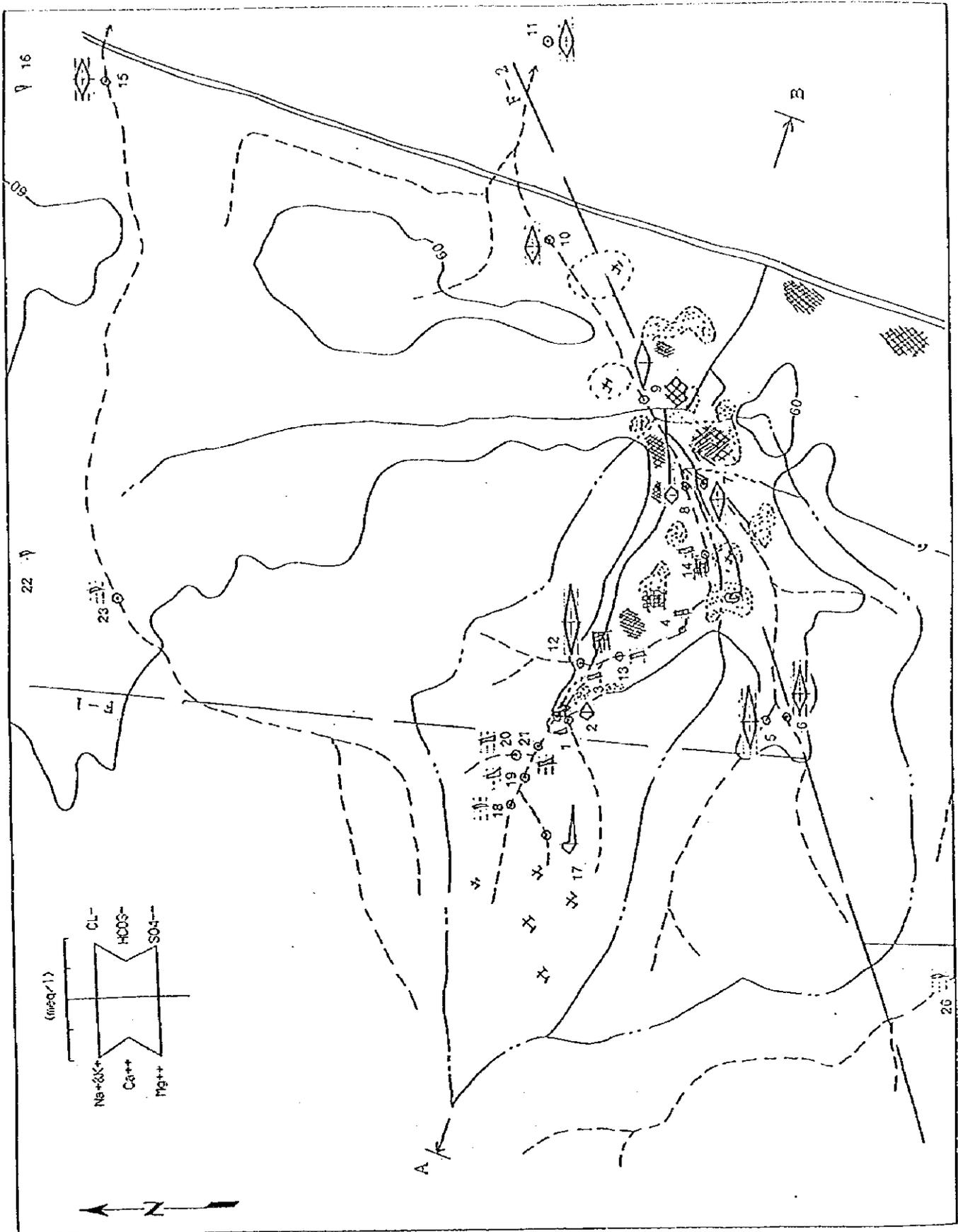


図-4.19 水質ヘキサダイグラム (表流水) の分布図

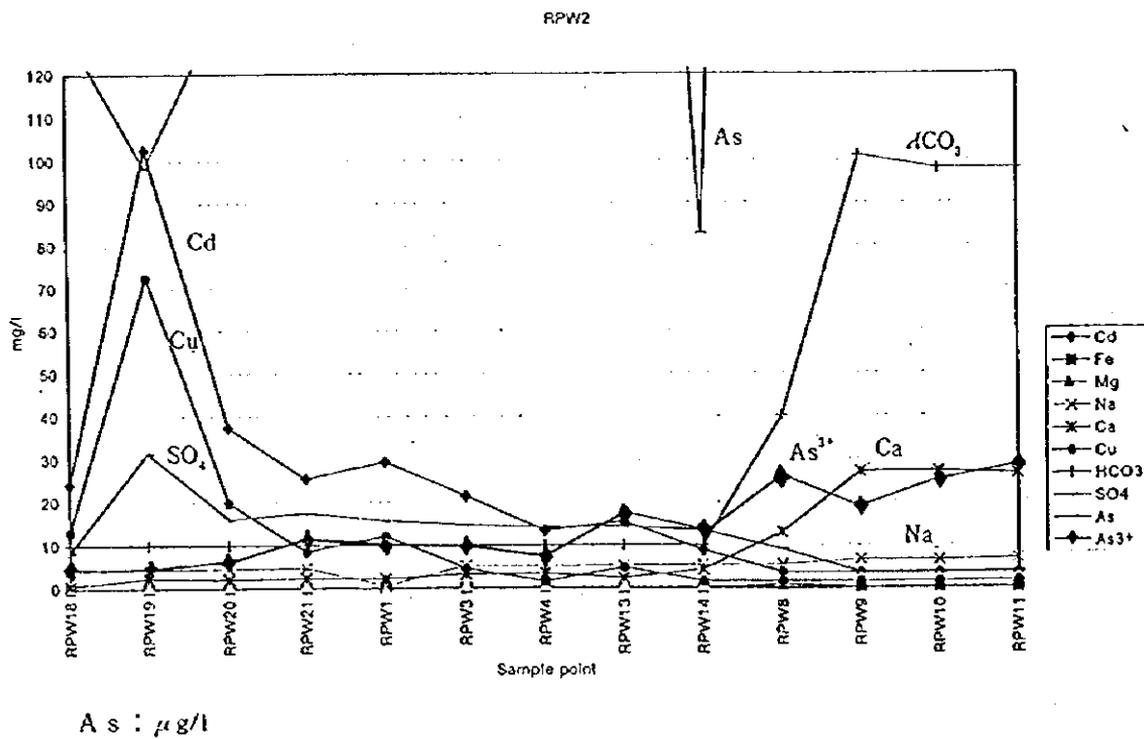
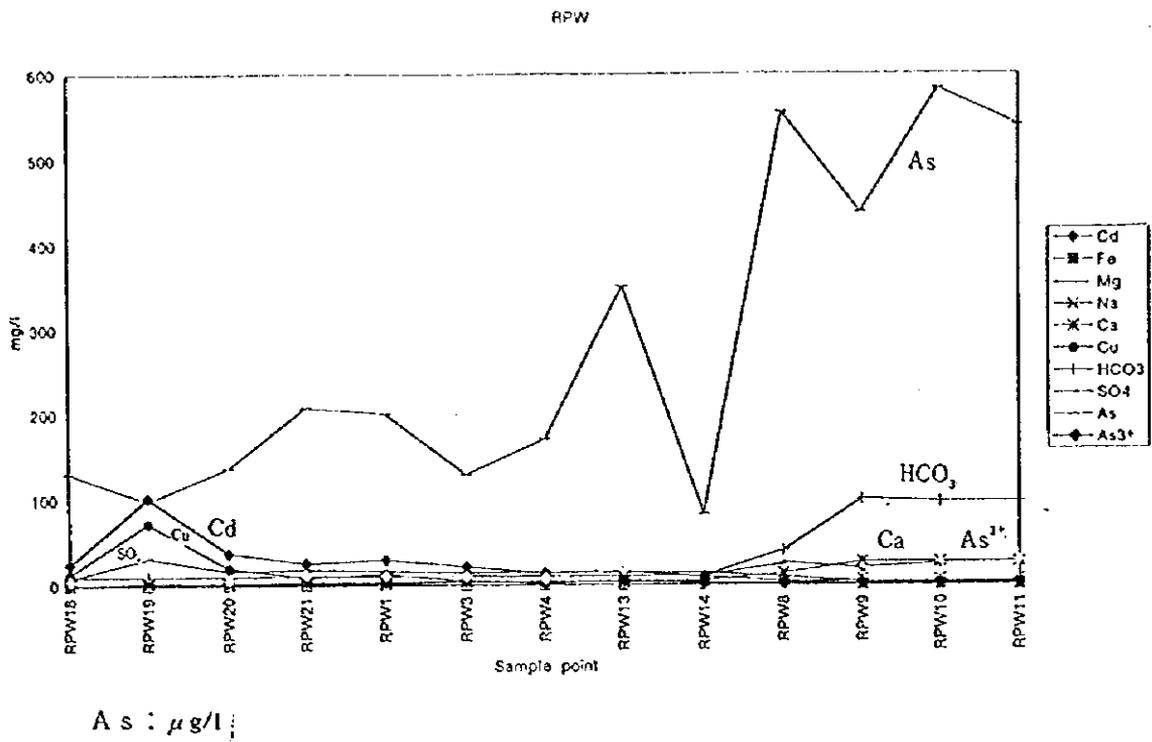


図-4.20 表流水の各成分の濃度変化

表-4.8 麦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	-0.039	-																					
Mn	-0.198	0.892	-0.116	0.335	-																				
Fe	-0.076	0.476	0.002	0.486	0.923	-																			
P	0.450	0.205	0.266	0.494	0.251	0.442	-																		
Mg	0.973	-0.103	-0.060	0.793	-0.119	-0.009	0.394	-																	
Na	0.629	-0.206	0.375	0.653	-0.119	0.005	0.158	0.697	-																
Al	-0.211	0.964	0.013	0.384	0.896	0.928	0.296	-0.136	-0.031	-															
Be	-0.256	0.902	-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	0.338	0.582	-0.097	-0.140	-													
Zn	-0.221	0.991	-0.122	0.353	0.917	0.928	0.258	-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	-0.038	0.785	0.185	0.780	-									
HCO3	0.960	-0.270	0.003	0.664	-0.231	-0.130	0.338	0.934	0.537	-0.243	-0.281	0.928	-0.245	-0.286	-0.218	-0.311	-								
Cl	0.190	-0.013	-0.790	0.150	0.029	-0.105	-0.164	0.239	-0.238	-0.160	-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	0.142	-					
NO3	-0.209	0.328	-0.240	-0.177	0.091	-0.082	-0.788	-0.206	-0.275	0.197	0.087	-0.206	0.211	0.870	0.273	-0.193	-0.134	0.223	0.142	-					
Fe2+	-0.116	0.905	-0.073	0.464	0.903	0.981	0.361	-0.031	-0.013	0.937	0.955	0.003	0.952	0.345	0.953	0.849	-0.157	-0.072	0.953	-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	-0.027	-0.171	-			
As3+	0.363	-0.261	-0.152	0.123	-0.008	-0.141	0.333	0.334	0.015	-0.277	-0.240	0.293	-0.248	-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	-0.673	-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	0.233	0.446	0.562	0.523	0.680	0.438	0.466	0.444	0.753	0.492	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	0.656	-0.037	0.683	0.524	0.682	0.451	-0.085	0.136	0.650	0.242	0.619	0.021	-0.007		

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 $\text{SO}_2$ 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 $\text{HCO}_3$ 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び $\text{SO}_2$ ・ $\text{HCO}_3$ の濃度を図-4.23に示す。 $\text{SO}_2$ 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。

$\text{HCO}_3$ 、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( $\text{As}^{3+}$ )は $\text{HCO}_3$ 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、

$\text{HCO}_3$	-	Sr, Na, Zn
Zn	-	Sr, Na
Mg	-	Mn
As	-	$\text{As}^{3+}$ , Mn, Mg, $\text{HCO}_3$

であり、総じて相関は低い。特に、ヒ素とMn, Mg及び $\text{HCO}_3$ とは弱い相関が認められる。

浅層地下水の水質分析値

表-4.9

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	0.052	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	15.421	11.861	10.525	9.129	8.236	14.323	20.971	7.331	15.492	12.196	15.991	9.841	12.951	9.025	6.809	6.609	6.679	5.861
Si		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	0.339
Mn		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
Fe		0.030	0.014	0.059	0.066	0.014	0.673	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
P		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
B		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	1.591	0.323	1.499	2.271	1.225	0.632	1.696	2.430	1.820
Mg		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
Na		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	7.000
Al		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
Be		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
Ca		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
Zn		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
Li		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
K		10.000	10.000	166.000	210.000	10.000	386.000	314.000	149.000	234.000	239.000	202.000	169.000	177.000	354.000	40.000	10.000	122.000	206.000	101.000	49.000	35.000	140.000	99.000
HCO3		3.980	3.760	4.520	3.930	3.360	52.400	45.504	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
Cl		11.700	14.700	2.240	3.030	12.900	39.800	40.400	40.300	11.300	22.600	21.300	3.990	1.860	13.000	6.280	2.380	5.520	8.320	4.630	9.650	12.000	16.500	7.620
SO4		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	6.300
NO3		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.390	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Fe2+		440.00	192.00	34.10	84.00	4.15	7,114.00	890.00	42.50	39.60	1,536.00	473.00	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											
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	6.580	6.970	6.600	6.110	6.680	6.940	6.780
Temp.(C)		27.400	26.700	25.800	27.000	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	25.700
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
Et(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	470.000	327.100	405.200	375.400	294.300	324.800	356.200	365.400	346.900

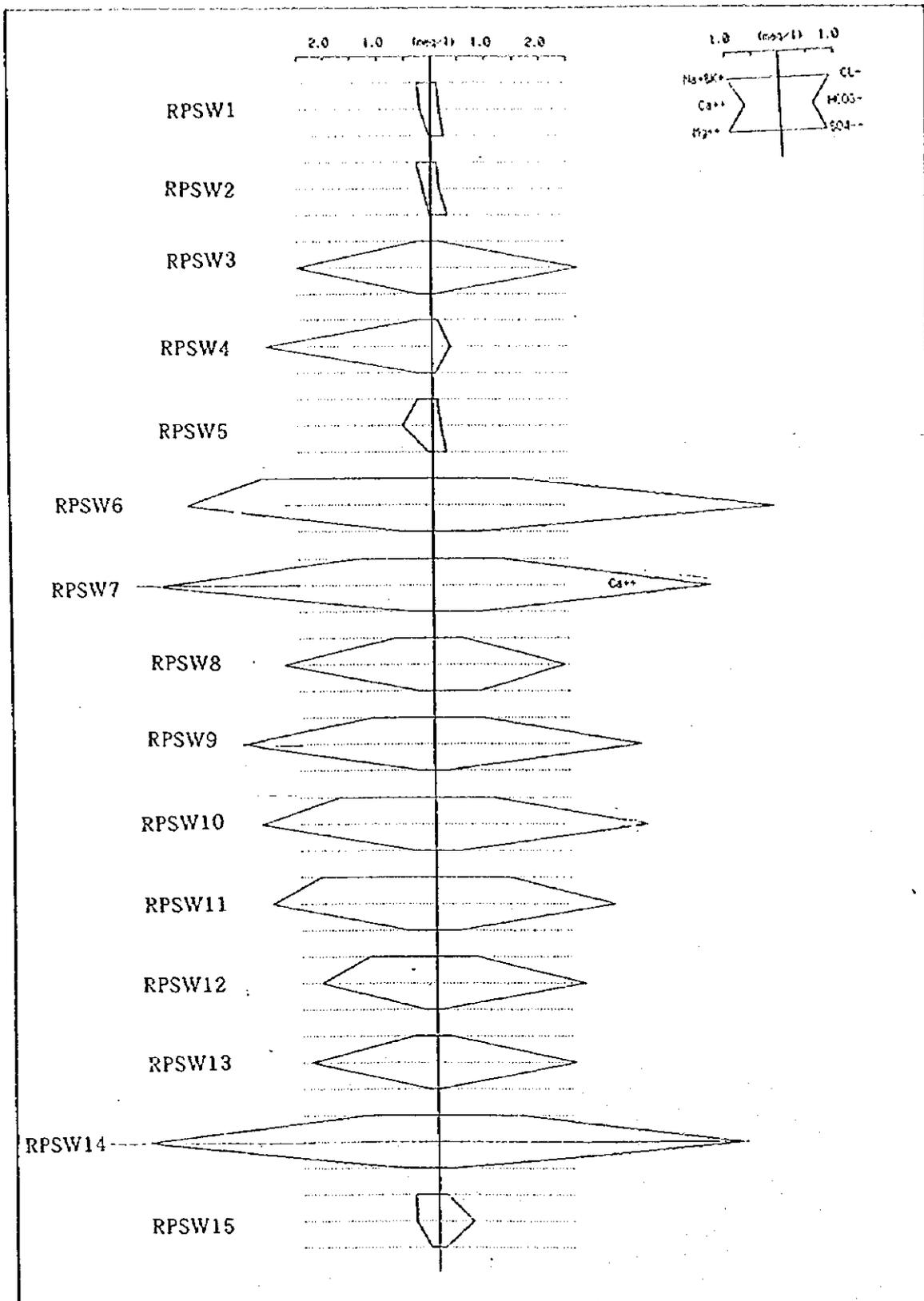


図-4.21 水質ヘキサダイアグラム (浅層地下水) (1)

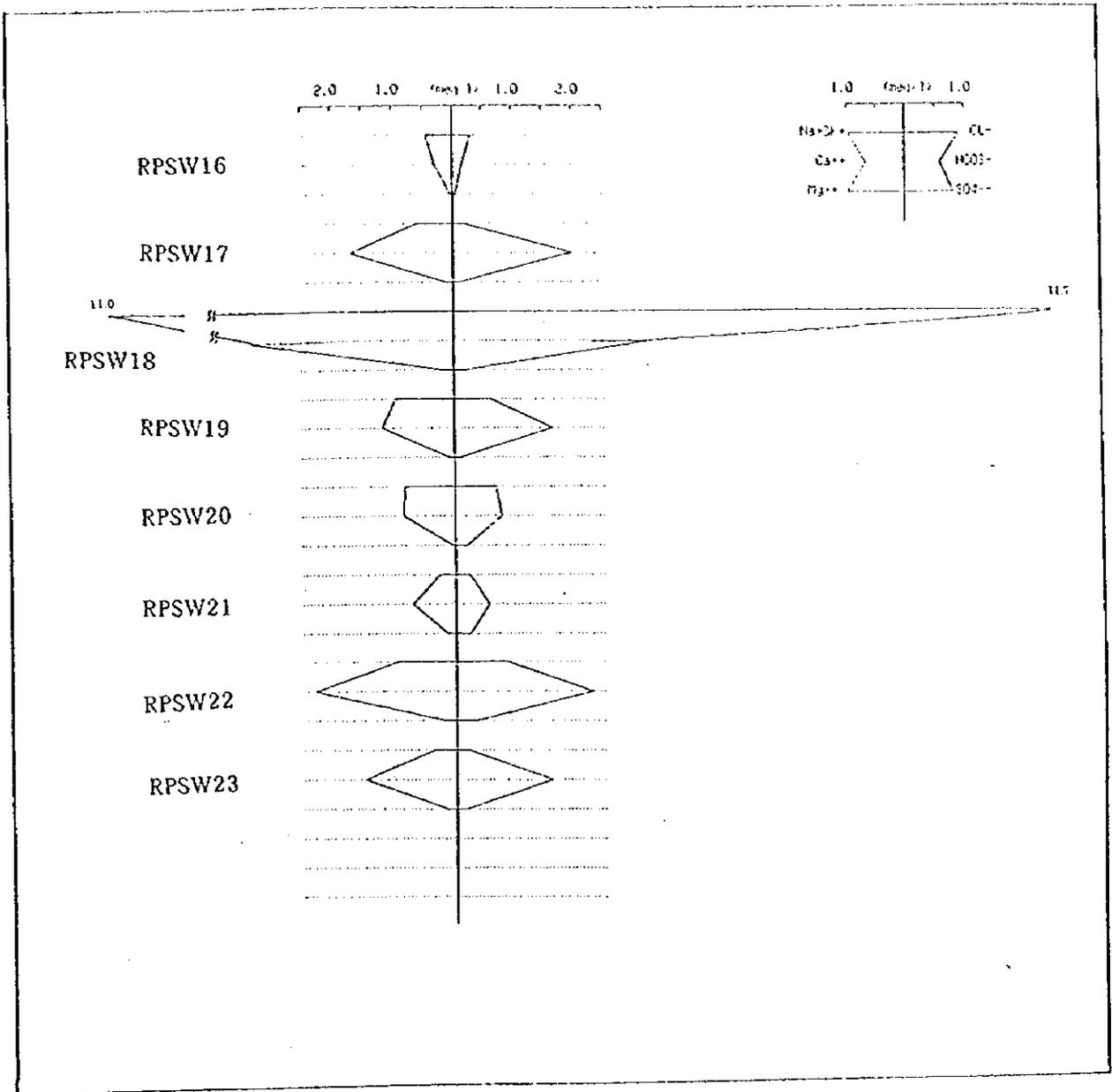


図-4.21 水質ヘキサダイヤグラム (浅層地下水) (2)

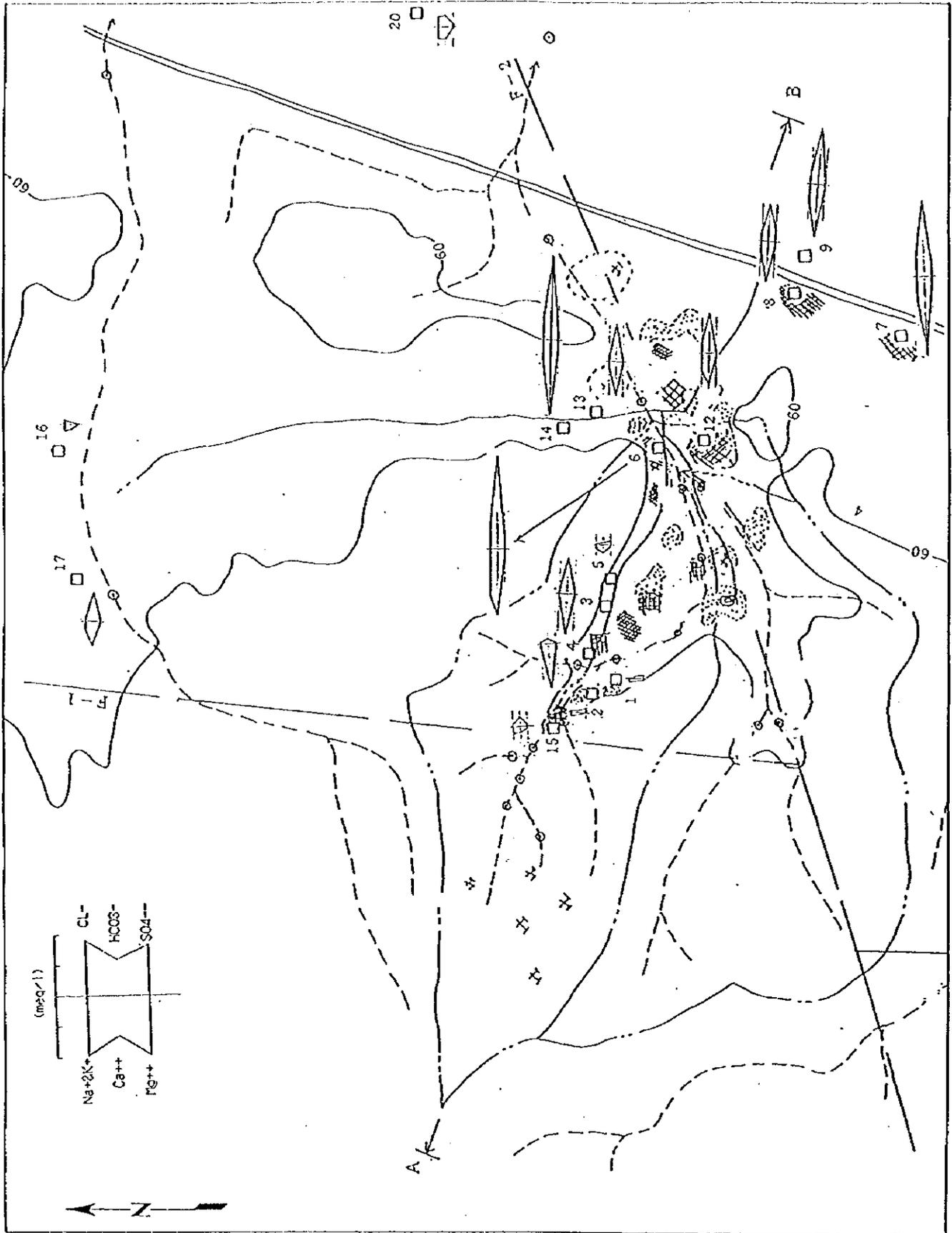


図-4.22 水質ヘキサダイグラム (浅層地下水) の分布図

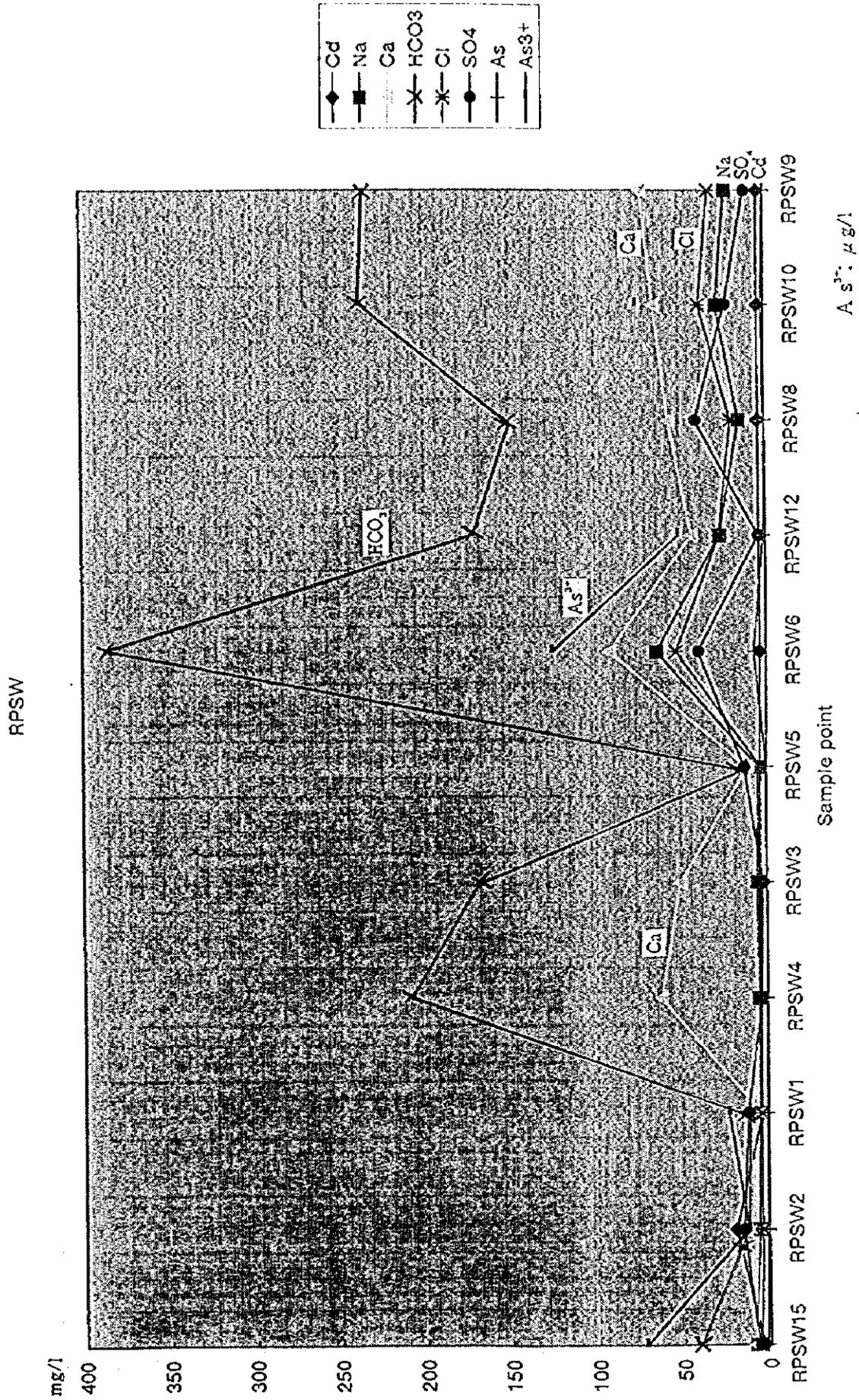


図-4.23 浅層地下水の各成分の濃度変化

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	0.303	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	0.888	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	-0.066	-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	-0.144	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	0.293	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	-0.050	-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	0.007		
Temp.(C)	0.222	0.005	0.078	0.313	0.216	-0.337	0.259	0.349	0.249	0.061	0.133	0.113	0.214	0.013	0.138	0.451	0.276	0.017	0.150	0.100	-0.206	0.293	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		

## 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ヤ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<sub>3</sub>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 <sub>4</sub>	-	Sr, Mg, Na
Fe	-	Ba, Si, Mn
Mg	-	Na, HCO <sub>3</sub>
As	-	As <sup>3+</sup> , Zn, Mn

であり、総じて相関は低いが、SO<sub>4</sub>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。RPS1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。

### (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ほぼ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。

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	27.038	29.436	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	0.096	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	6.386	5.272	14.135	49.786	2.607	16.042	15.771
Na	9.491	16.221	14.563	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
Li	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	4.750	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	7.050	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
Cond.(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
Eh(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

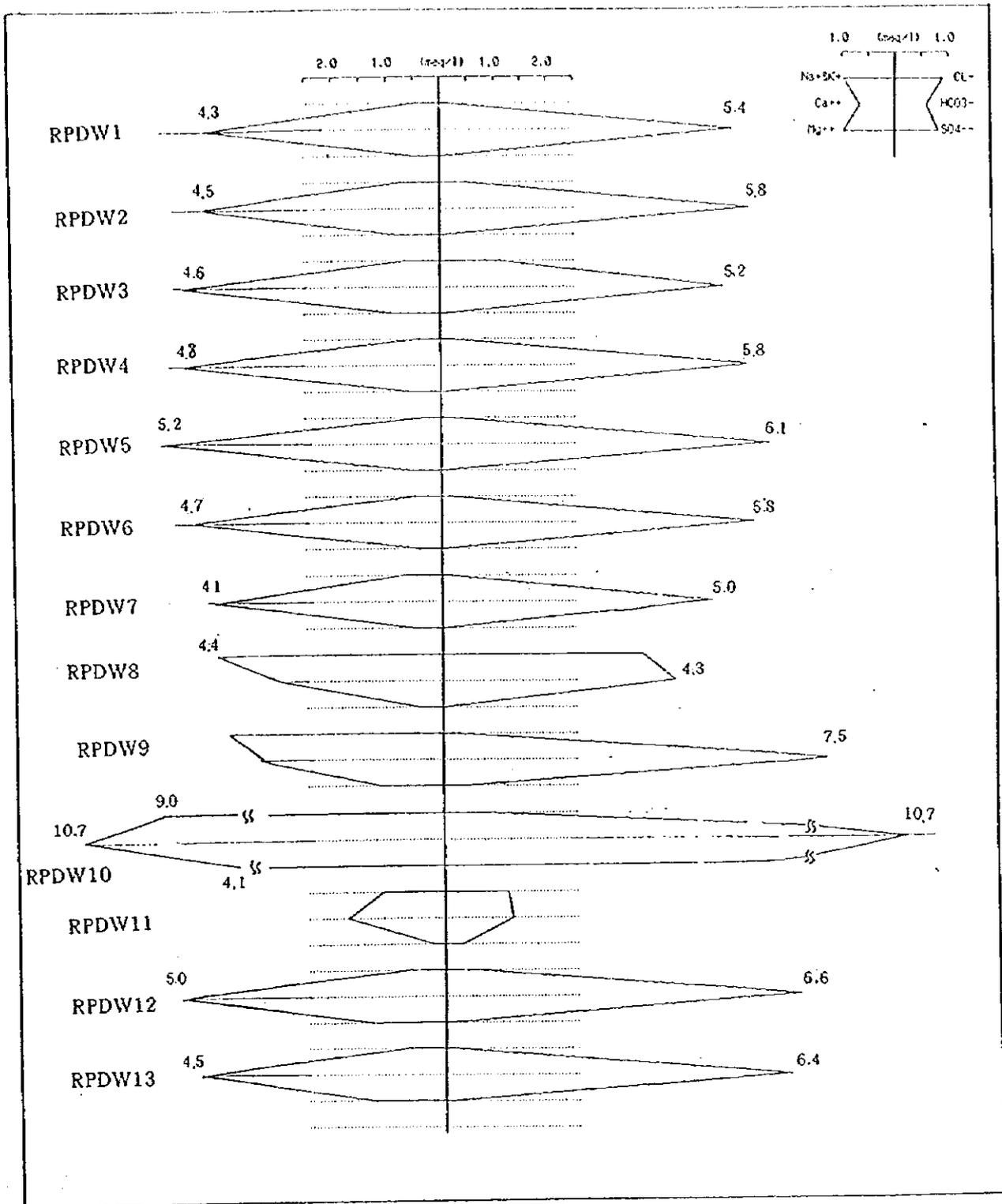


図-4.24 水質ヘキサダイヤグラム (深層地下水) の分布図

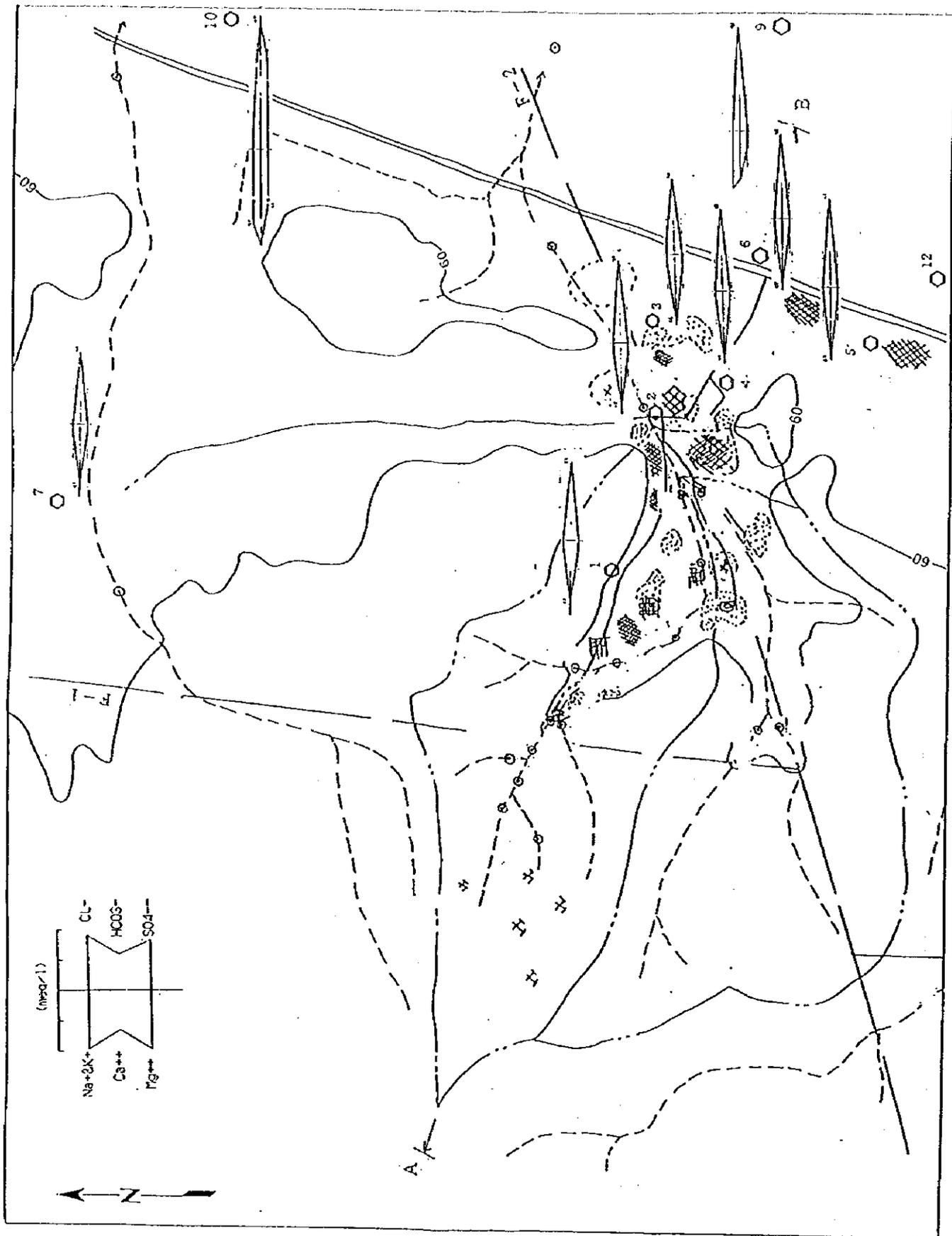


図-4.25 深層地下水の各成分の濃度変化

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	0.572	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	-0.080	-		
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	-0.163	-0.541	
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	

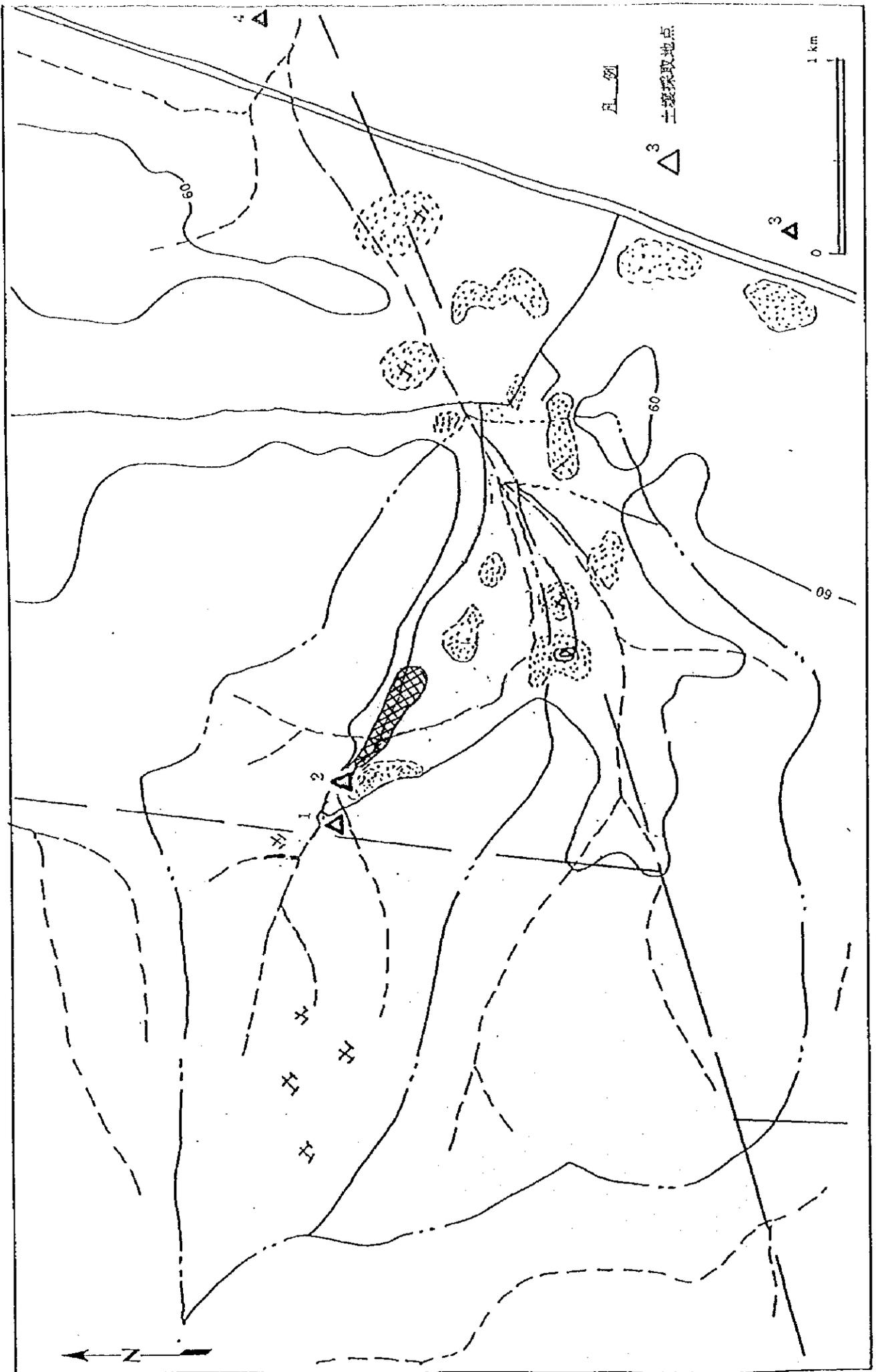


图-14.26 土壤調查地点

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

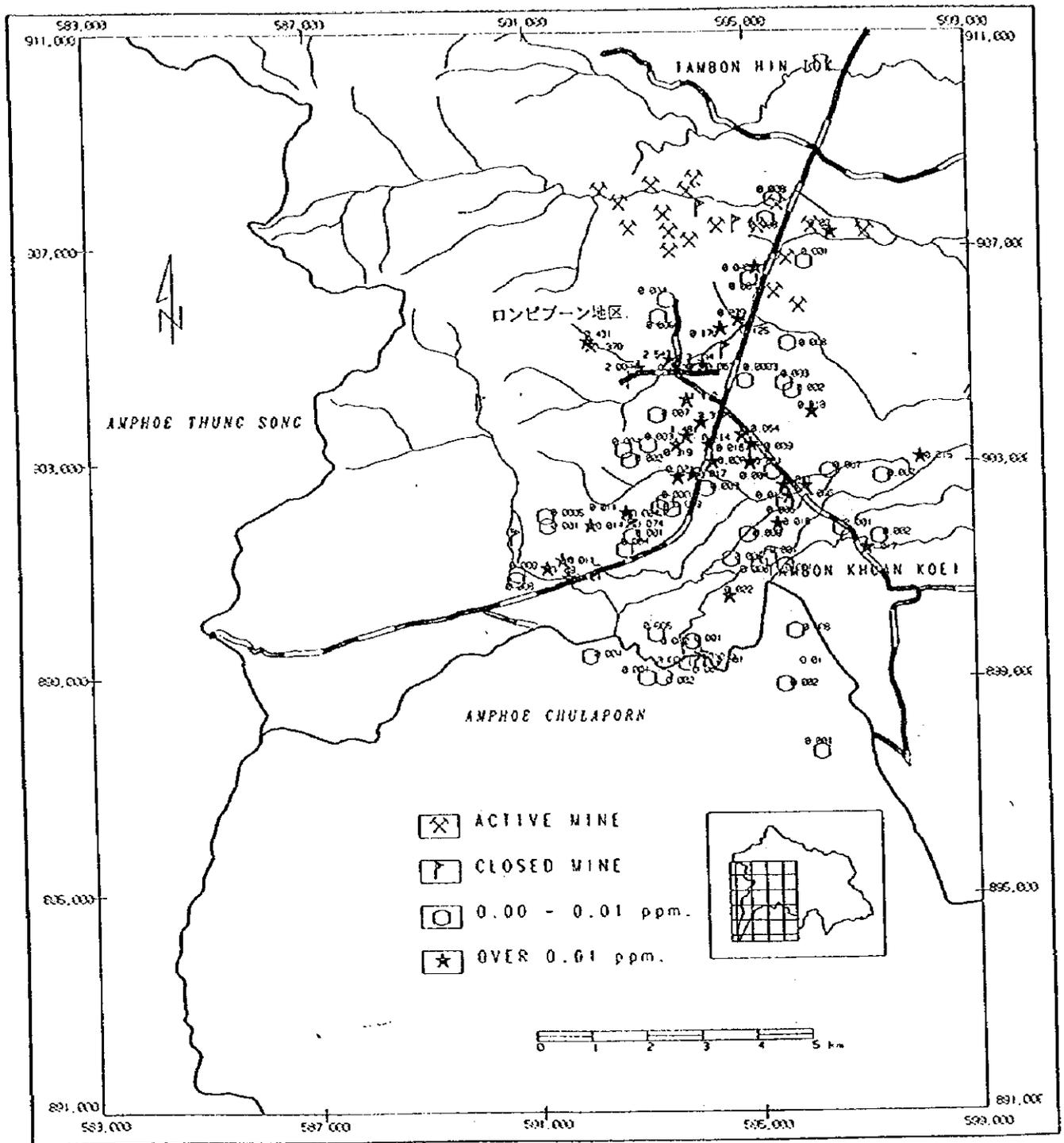
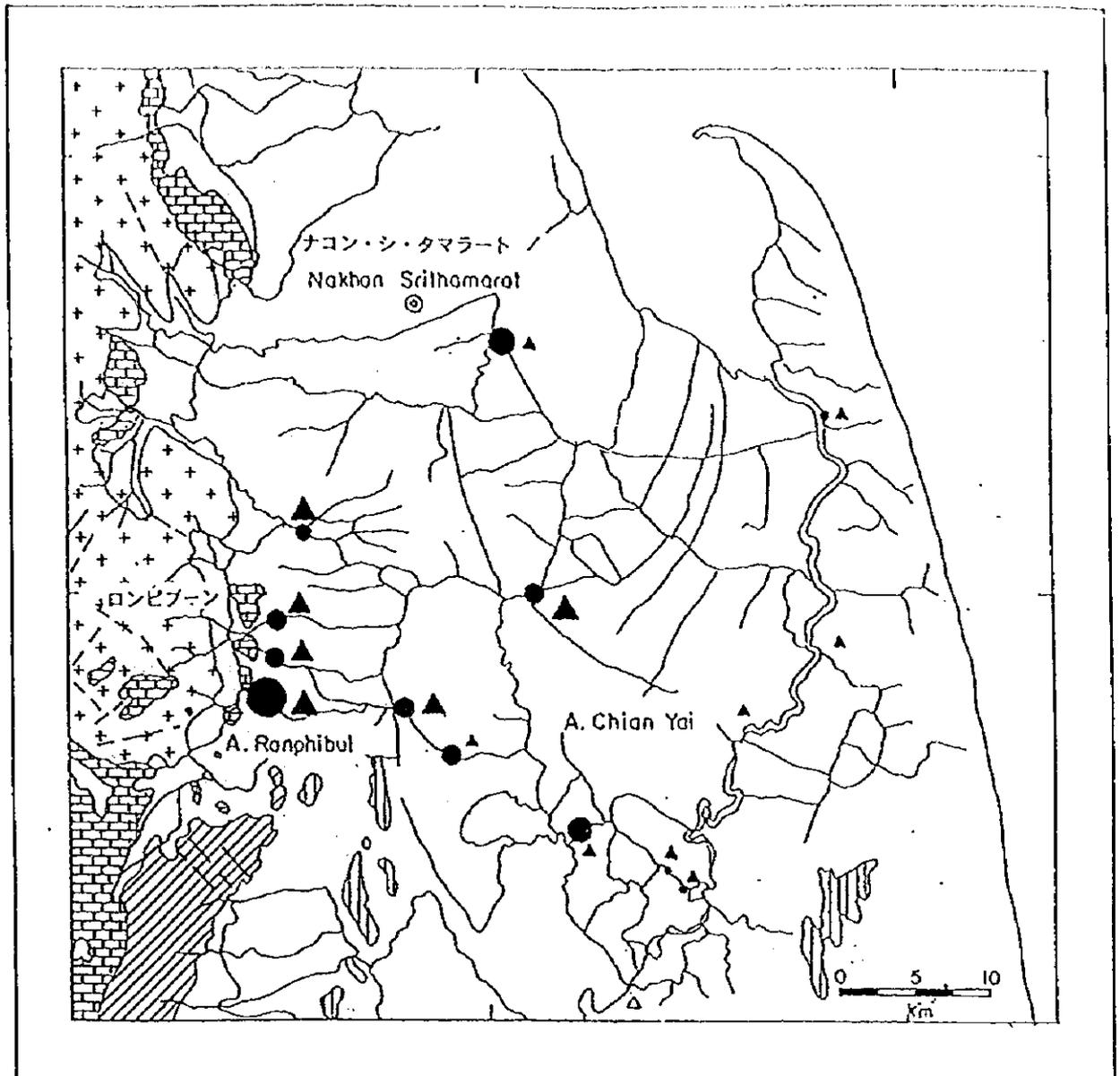


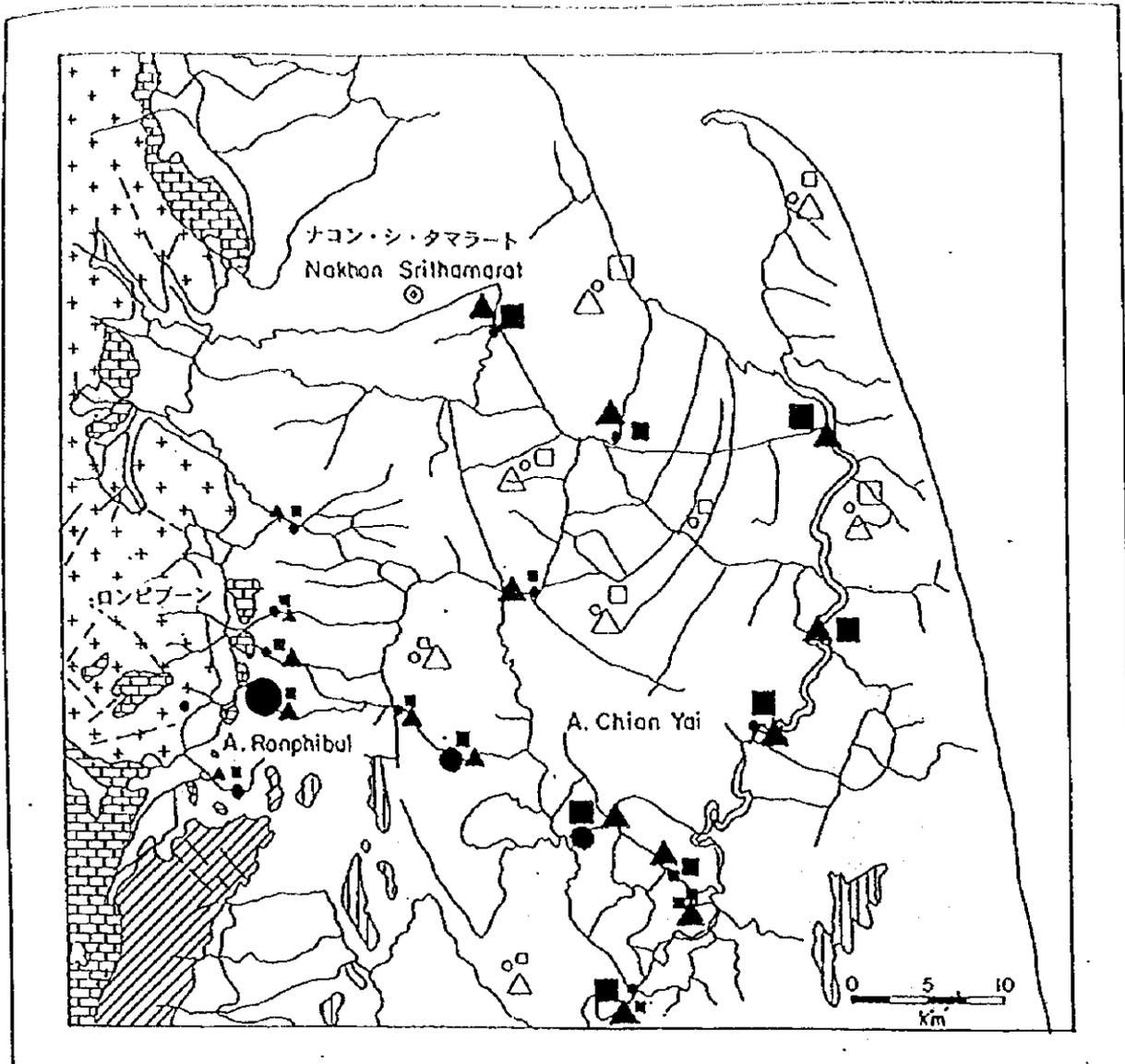
図-4.27 ロンビブーン地区周辺ヒ素汚染調査結果



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) ในตะกอนลุ่มน้ำปากพียง จังหวัดนครศรีธรรมราช (ปรับปรุงจาก Arykul 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

图-4.29 広域汚染調査 (河床堆積物)

#### 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、旧山錫鉱山採掘跡及び同鉱さいたい積場、漂砂鉱床旧採掘跡及び同簡易選鉱廃さい物（推定）、選鉱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。

旧山錫鉱山採掘は約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。同鉱さいはたい積場に集積されているが、一部は既の下流側に流出・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。

漂砂鉱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鉱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。

旧選鉱・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、中腹部の選鉱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鉱・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、ズリ及び土壤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（ $As^{3+}/As^{5+}$ ）、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によるズリの撤去及び管理型ズリたい積場（処分場）の建設が行われている。現在の撤去量は約1,500 tであり、山麓部に袋づめ及びビニールで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。

管理型ズリたい積場は現在建設中（添付写真参照）であり、ゴム・シートを2重に覆い、滲出水を排水できる構造になっている。たい積場は長さ約50m×幅約20m×深さ約3.5mの規模を有し、約3,500m<sup>3</sup>のズリをたい積する予定である。

その他の省庁、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





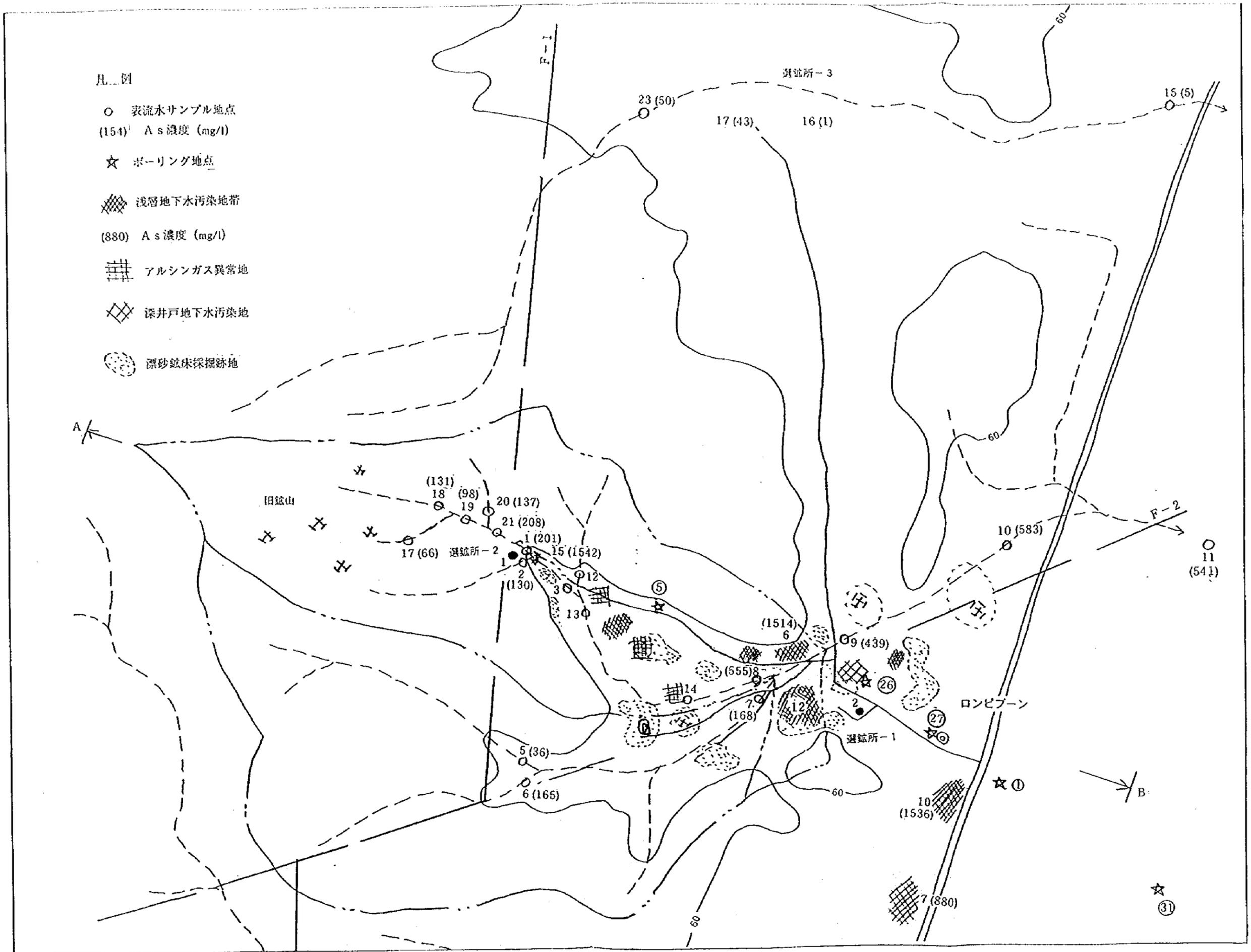
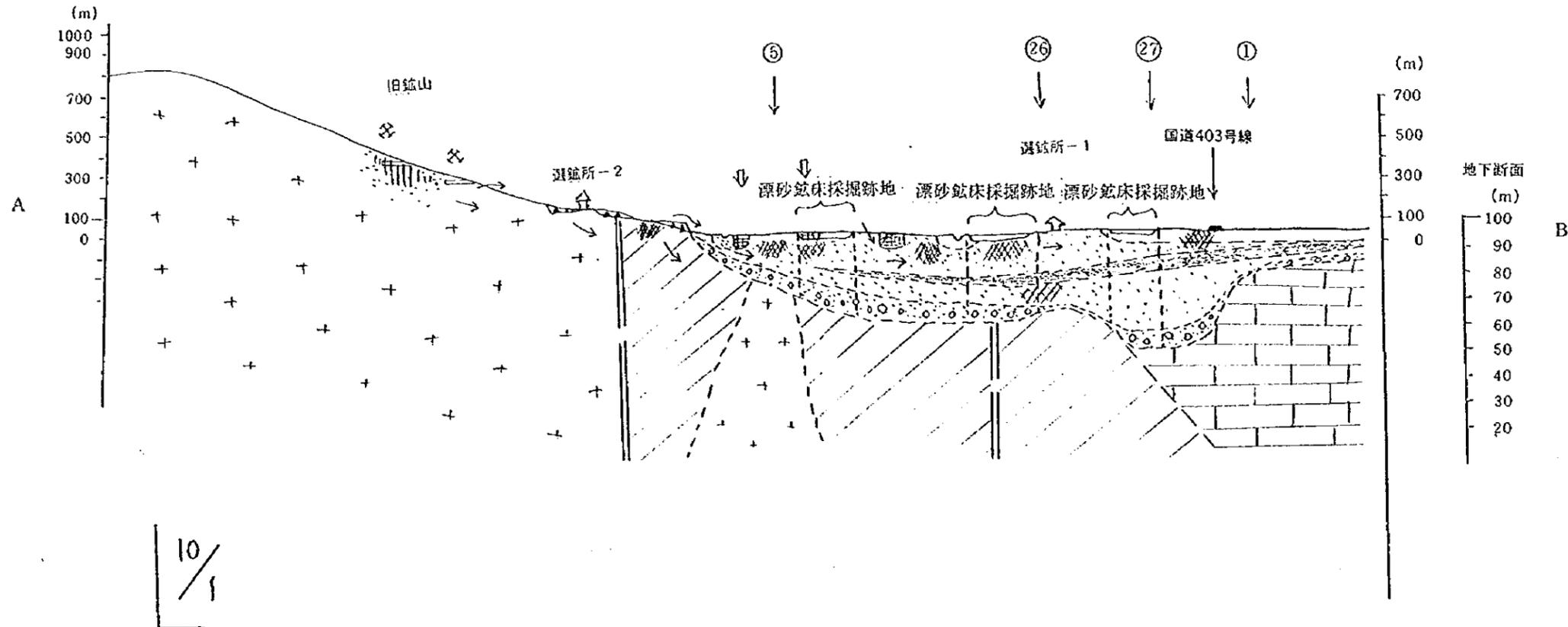


図-4.30 ロンビブーン地区のヒ素汚染状況 (平面図)



- 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       | ▨ | 深井戸地下水汚染部   |
| ○    | 沖積層           | —   | 採掘坑道       | ▨ | 深井戸地下水汚染部   |
|      |               | —   | 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)



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いない。ところで、残りの20%は水道本管が近場まで設置されているにも拘わらず上水道の恩恵に与れないのは、水道設置の一部負担及び水道代の支払いができない状況によるものである。したがって、井戸水の利用は継続されると共に、ヒ素中毒症状の悪化が継続しているのが現状である。



## 第 5 章 本格調査の概要



## 第5章 本格調査の概要

### 5-1 本格調査の目的及び基本方針

本格調査の目的は以下の2点からなる。

- (1) ヒ素汚染源の特定及びロンビブーン地区の環境への汚染のメカニズムを明らかにし、地域へのヒ素汚染とその影響を軽減する対策を策定する。
- (2) 調査を通じてタイ側カウンターパートへの関連技術の移転を行う。

さらに、上記の(1)項の目的については以下の5項目に具体化することができる。

- 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（汚染メカニズム）の把握
- ④ ヒ素汚染による環境への影響予測・評価
- ⑤ 必要なヒ素汚染対策の策定

調査においては、複数の汚染源の存在、広範に分散された汚染物質の現状、ヒ素の形態等による複雑な汚染状況に十分対応できる柔軟な調査方針及び調査・分析体制を整える必要がある。また、現地調査にあたっては現地住民の調査に対する意識を十分配慮して調査を進める必要がある。

### 5-2 調査対象地域

調査対象地域は、ロンビブーン地区を中心とする（図-5.1参照）。

### 5-3 調査業務の内容

本件調査の調査内容は、以下のとおりである。調査のフローを図-5.2に示す。

#### (1) 第1年次

##### a. 国内準備作業

国内準備作業は、資料調査、調査内容の検討及びインセプション・レポートの作成からなる。特に、既存資料については再解析を含め十分な検討を行う必要がある。主な既存資料はDMR、BGS、ERTC等であり、ソクラ大学等の資料は第1次現地作業時に収集する必要がある。

##### 1) 資料調査

- ① 鉱業、環境関連資料
- ② 自然状況関連資料

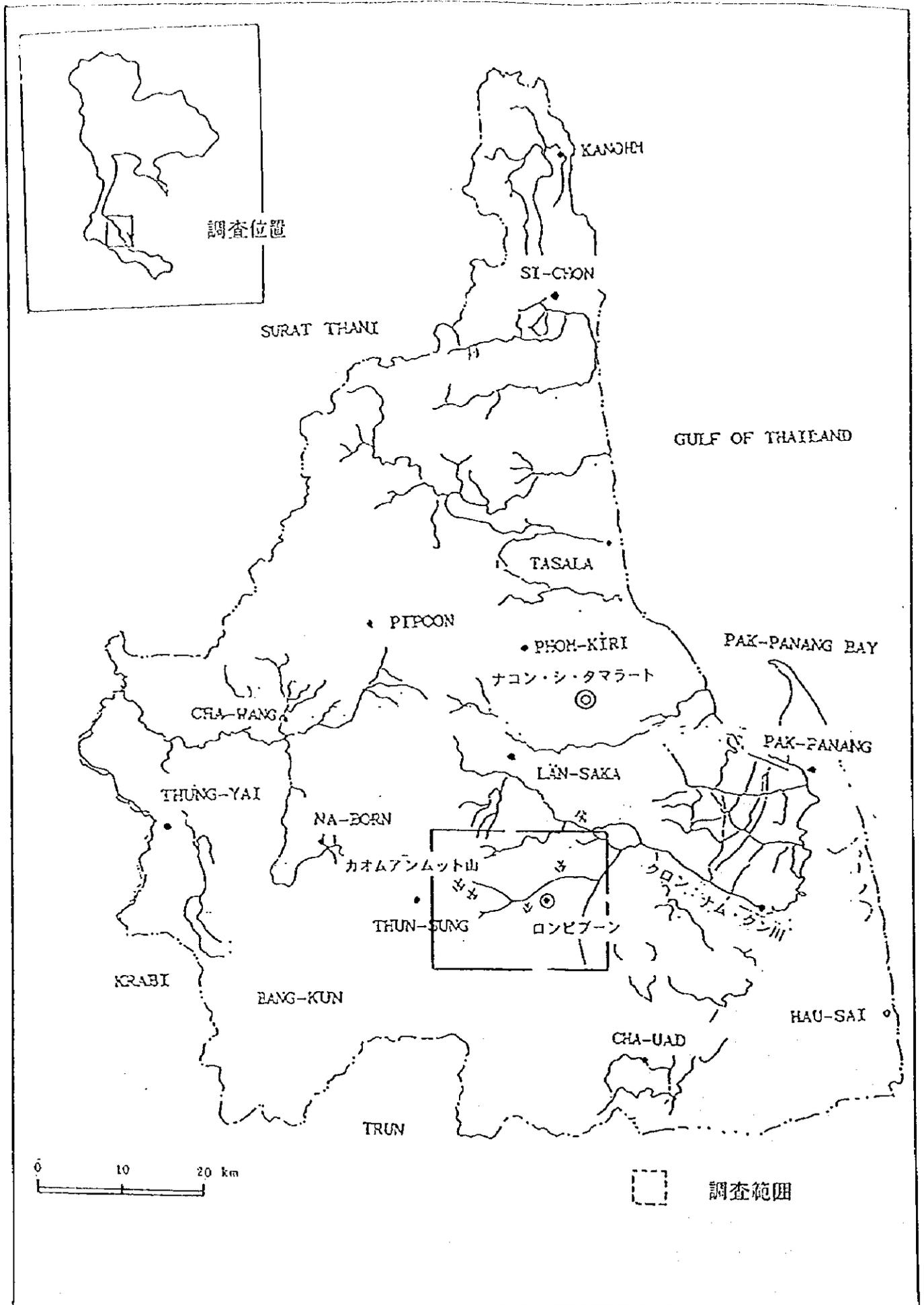


図-5.1 本格調査範囲図

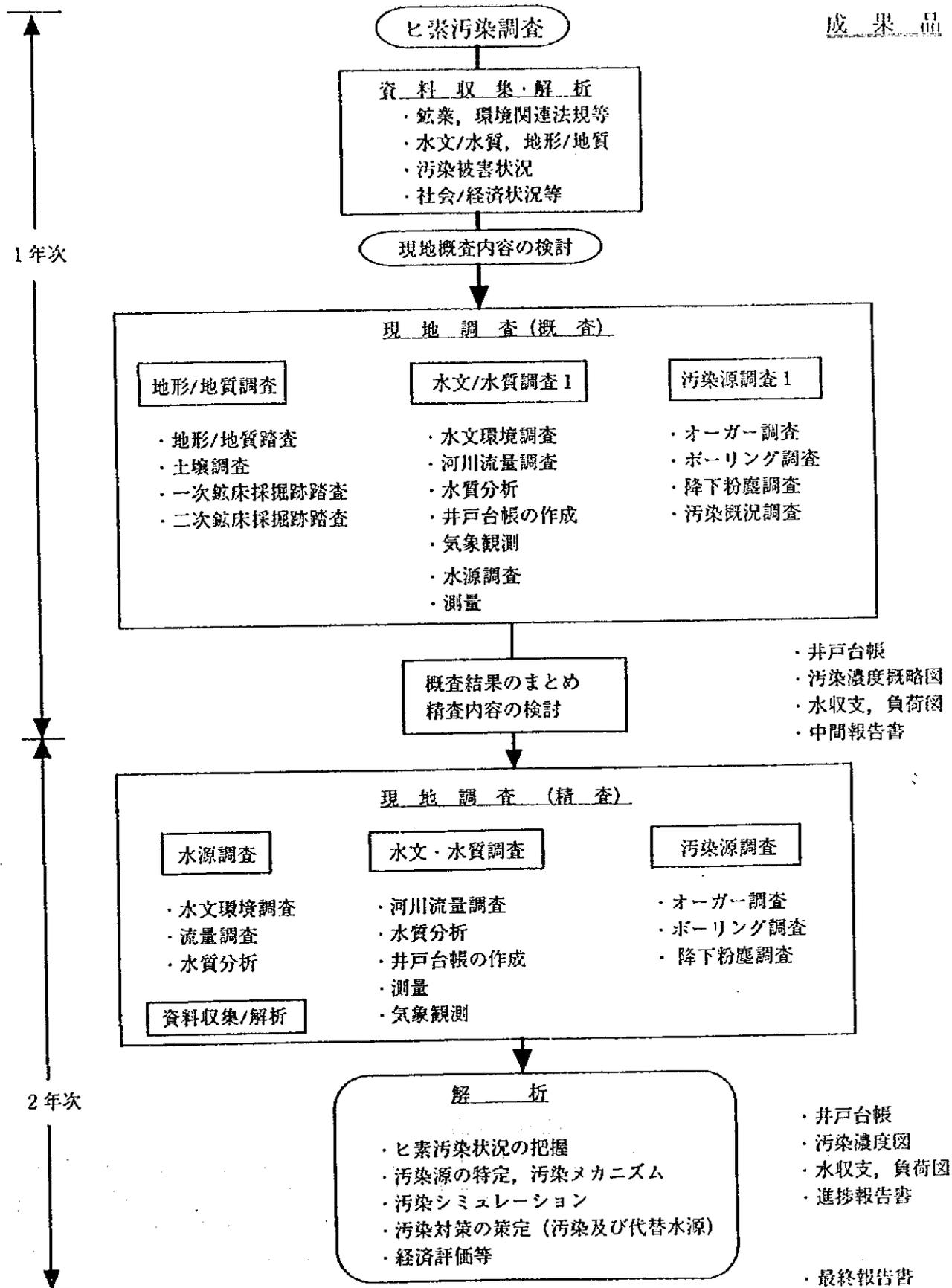


図-5.2 ヒ素汚染調査・対策のフロー

- ③ 社会/経済的状況関連資料
- ④ ヒ素汚染関連資料等

## 2) 調査の基本方針，方法，工程，手順等の検討

現地調査のうち井戸調査，河川流量調査，オーガー調査及びボーリング調査については，予めナコン・シ・タマラート県庁及びロンピブーン郡事務所の許可及び私有地については郡事務所の仲介のもと地権者の立ち入り許可を得る必要がある。汚染地区の住民の一部には各方面からの調査に対し不信を含む複雑な心境を有していることが推定されており，今次調査において軋轢を生じることのないように，住民意識を十分配慮して調査計画及び実施計画を策定することが必要である。

## 3) インセプション・レポートの作成

### 4) 技術移転計画の作成

ERTC等のカウンターパートに技術移転を行う目標，項目，内容，方法，時期等についての計画を作成する。

## b. 現地作業

### 1) インセプション・レポートの説明・協議

国内準備作業において作成したインセプション・レポートをERTCに説明・協議し，協議議事録（M/M）にて確認する。あわせて，技術移転計画を提示し理解を得る。

### 2) 既存資料・情報の収集・解析

調査地域の特性及びヒ素汚染に関する資料・情報を収集し，整理・解析を行う。特に，保健省，ソククラ大学等における医学的・疫学的資料及び水道局，工業省鉱物資源局等での一連の汚染対策について収集する必要がある。

- ① 鉱業，環境関連法規等
- ② 自然状況関連資料（地形，地質，水文，動・植物，気象等）
- ③ 社会/経済的状況関連資料
- ④ ヒ素汚染関連資料  
特にソククラ大学で多くの研究が行われている。
- ⑤ 空中写真の取得/解析
- ⑥ 分析関連資料（分析方法，分析基準，精度等）
- ⑦ 土木関連資料等

### 3) 現地視察及び現地行政府への調査内容説明

現地視察を行い，現地行政府（ナコン・シ・タマラート県庁及びロンピブーン郡事務所）への現地調査内容の説明，調査許可及び現地調査実施における地権者の承諾等の調整を依頼する。

なお，既存資料の収集・解析及び現地視察の結果に基づいて，現地調査（概査）の

工程等の検討を行う。また、現地コンサルタントへ再委託するボーリング調査の仕様について詳細検討する。

#### 4) 現地調査 (概査)

ヒ素汚染の現況及び特性を把握することを目的とする。なお、水質分析において pH, ORP, EC, 水温の現場測定と共に広中式簡易分析器による  $As^{3+}$  及び  $As^{5+}$  の現地分析を行い、ヒ素汚染の状況を把握しつつ、その結果を反映させた調査を展開する必要がある。また、2年次の現地調査には  $As^{3+}$  及び  $As^{5+}$  の分析用にイオンクロマト+原子吸光分析計を備えた移動計測車 (タイ側所有) を配置することから、この分析体制を確立させる準備を計画する。分析要員は機材供与である分析機器の到着後、ERTC による分析体制の確立を目指す。

なお、全ての水質分析、溶出/成分分析はERTCが行うが、水質分析、溶出/成分分析用試料のうち20試料について選定し、日本側でチェック分析を行う。鉱物分析は全て日本側が実施する。

##### ① 地形/地質調査

###### a) 地形/地質踏査

地形/地質踏査及び二次鉱床採掘跡踏査は、ロンピブーン地区が100年に至る鉱業活動により人工的地形改変を受けていることから、微凹地、微凸地等の微地形の解析及び2時期の空中写真を活用する必要がある。また、地形踏査に伴うズリ捨場、廃さい捨場等の搜索では人工的な微凸地等の存在、植生の相違、湧水の存在、沈殿物及び聞き込み等により位置を特定することが必要である。

調査結果はルートマップを作成し提出する。

###### b) 土壌調査

土壌調査は主に山地部の土壌概査であり、土壌断面及び分析用試料を採取する。なお、平野部の土壌調査は汚染源調査におけるオーガー調査に併せて行う。

土壌調査用ピットは一般的な幅約1m×長さ1.5m×深さ1.2mであり、土壌試料はb層～c層 (あるいは深度30～50cm) から採取する。

土壌の分析項目は、Asの溶出/成分分析からなる。溶出試験はタイ国の土壌に係る溶出試験の手法にて行う。

###### c) 採掘跡調査

一次鉱床採掘跡 (旧坑) 周辺の人工的地形 (ズリ)、湧水の確認及び坑内水、湧水等については現場水質分析を行う必要がある。

調査結果はルートマップを作成し提出する。

現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温  
(広中式ヒ素簡易分析計の仕様は巻末を参照のこと。)

##### ② 水文/地化学調査 1

水文/地化学調査1は雨期に相当する。本調査は水文環境調査、河川流量調査、井戸台帳の作成及び気象観測からなり、水文状況及び水文とヒ素汚染の関連を把握することを目的とする。

a) 水文環境調査

調査地域内の河川（表流水、伏流水、氾濫原、浸食域、堆積/再堆積等）状況、湿地、湧水、池、浸透域等の自然状況、農業用水、飲料水、井戸等の水利状況を把握しすること及び河川流量調査地点の再検討することを目的とする。

b) 河川流量調査1

表流水と地下水の収支関係を明らかにし、二次鉱床採掘跡の池水も採水/分析を行う。河川の流量測定地点の選定には水文環境調査で得られた知見から、河川の流入・流出及び水文的に区分される区域内の代表地点等を選定する必要がある。

水質分析の分析項目は以下の19項目である。

現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温  
分析項目 : Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Cd, Cu, Zn, Pb, As

c) 井戸台帳作成

井戸台帳作成はロンビブーン地区にある井戸85カ所を調査する。すでに使用されていない井戸も含まれる。また、すでに埋め戻されている井戸についても聞き取り調査を行い、井戸の位置でのオーガー調査により地下水を採取する。調査項目を以下に示す。

調査項目 : 位置, 標高, 井戸の形態, 掘削深度, 地下水位 (季節変化), 水質, 掘削日, 所有者, 揚水量, 利用目的等。  
(調査位置及び標高は、トランシット測量及び簡易測量により測定する。)

現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温  
分析項目 : Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Cd, Cu, Zn, Pb, As

d) 気象観測1

気象観測1は山地部と平野部の2カ所（例：選鉱所-1, 2付近）で、気温、降雨量及び風向/風速について行う。期間は12ヶ月である。

③ 汚染源調査1

汚染源調査はオーガー調査、ボーリング調査、降下粉塵調査及び汚染概況調査からなり、汚染源の特定及び汚染状況を把握することを目的とする。

a) オーガー調査1

オーガー調査は表層及び浅層地下水を対象とする。

本調査の範囲はロンピブーン盆地及びその下流域である平野部であり、オーガー調査地点の配置例を図-5.3に示す。

掘削深度は地下水面あるいは深度5mを限度とする。盆地内上流側での礫質土は、表層1m程はスコップで掘削し、それ以深はオーガーで可能な深度まで掘削する。土質試料は地表下30cm及び1mを採取し、Asの溶出/成分分析を行う。同時に地下水位の測定及び採水を行う。

調査位置及び標高はトランシット測量及び簡易測量により測定する。

オーガー調査地点のうち、汚染濃度の高いオーガー孔については第2年次にも観測するために地下水位観測用保孔管を挿入する必要がある。

土壌採取/溶出・成分分析 : As, SO<sub>4</sub>  
採水/分析件数 : As, SO<sub>4</sub>  
現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温

#### b) ボーリング調査1

ボーリング調査はロンピブーン地区の表層地質、基盤の地質、透水性の把握、浅層・深層の汚染状況等を把握するために行う。ボーリング調査地点の配置例を図-5.4に示す。

ボーリング調査はボーリング作業、現場揚水試験、採水及びストレーナー設置については現地再委託する。ボーリング調査の内容及び付帯試験の内容について下記に示す。

ボーリング調査 : 8孔 (基盤を2m確認)  
ボーリング調査内容 : オールコア掘り (孔径: 66~116mm)  
掘削総延長 : 240m (平均深度30m)  
(調査位置及び標高はトランシット測量あるいは簡易測量により測定する。)  
付帯試験 : 現場揚水試験16回 (浅層及び深層/孔)  
土質試料採取 : 240ヶ所 (1m毎)  
土質溶出/成分分析項目 : As, SO<sub>4</sub>  
地下水採水/分析件数 : 16件 (他の帯水層の地下水の混入しないよう留意すること)  
地下水分析項目 : Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Cd, Cu, Zn, Pb, As  
現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温  
鉍物分析 : 32件 (4試料/孔)  
(鉍物分析は各地層内に存在するヒ素の形態を明らかにするための試験であり、試験はX線回折及びE PMA成分分析からなる。)  
その他 : 採水及び地下水観測用保孔管の設置

#### c) 降下粉塵調査1

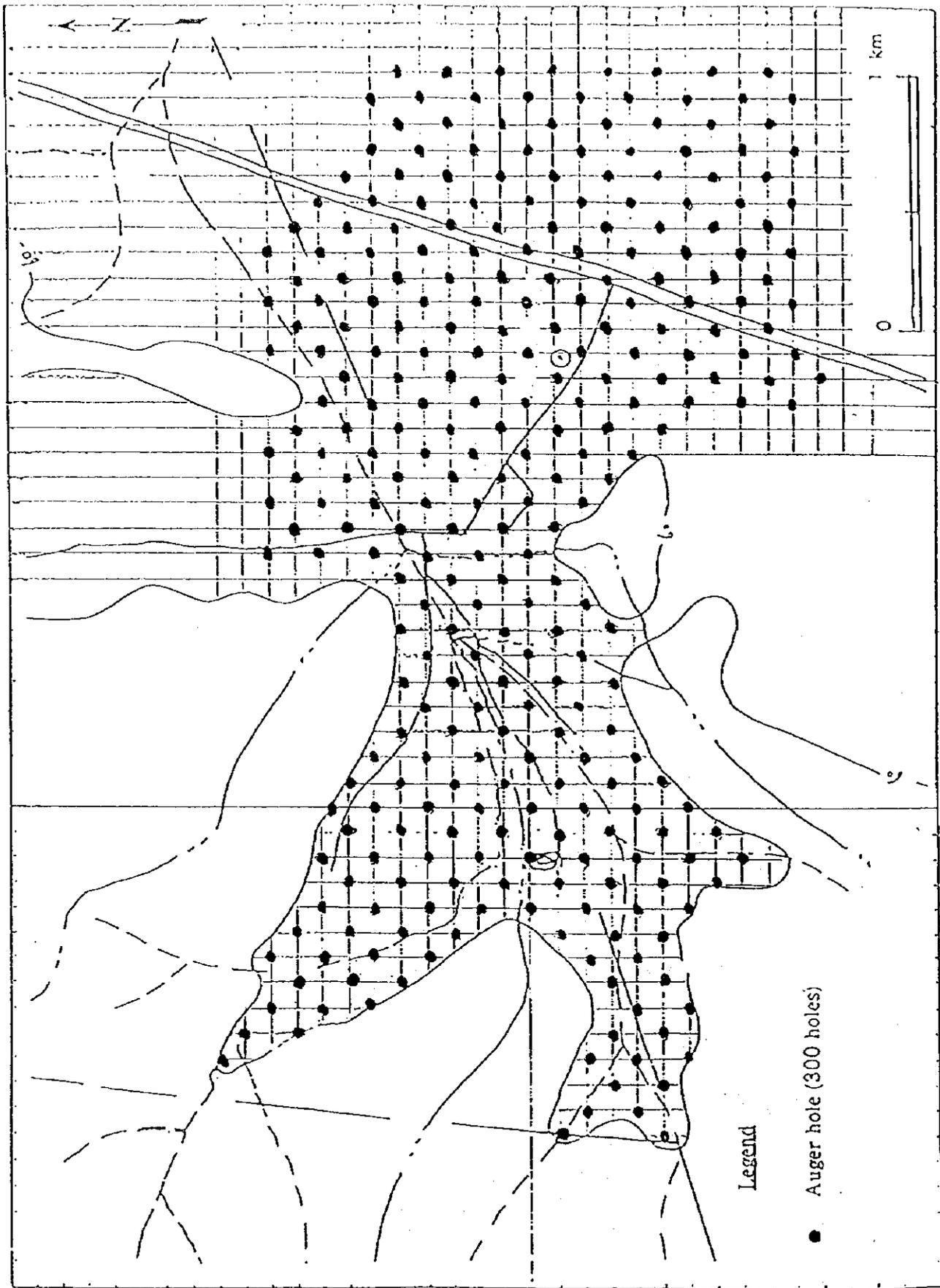


図-5.3 オーガー調査位置図(案)

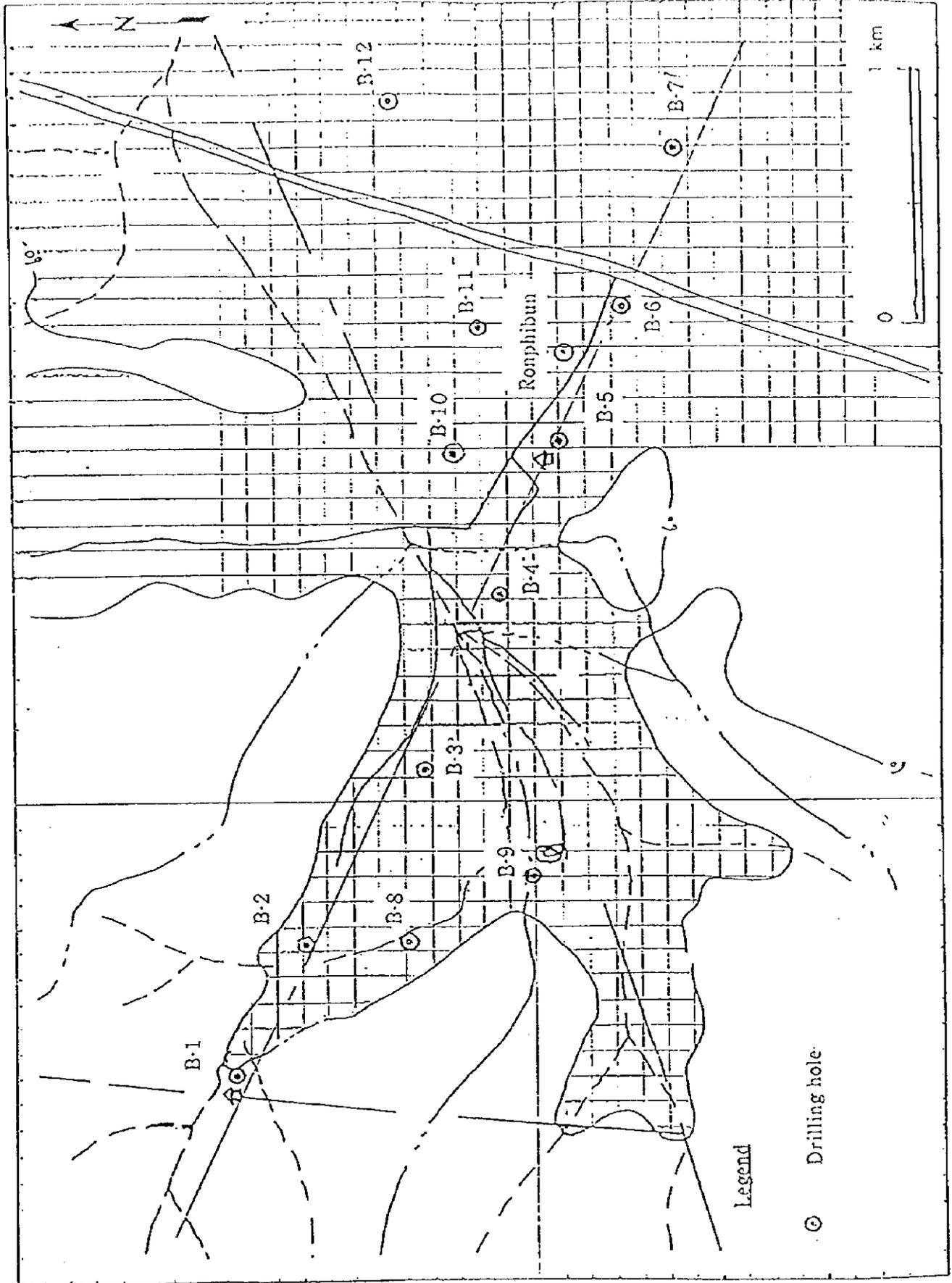


図-5.4 ボーリング調査位置図(案)

降下粉塵調査はロンピブーン地区に降下する粉塵の量及びヒ素濃度を把握することを目的とする。調査地点数は12箇所で、調査地点は主に平野部に配置する。

調査期間 : 12ヶ月  
成分分析 : 降下粉塵量, As

d) 汚染概況調査

廃止鉱山、選鉱所の立入り調査及びヒ素汚染被害についてその概要を把握する。

溶出/成分分析項目 : Fe, Mn, Cd, Cu, Zn, Pb, As

5) 経過報告書の作成・提出

第1次国外作業の終了時に経過報告書を作成し、ERTCに提出すること。本経過報告書はERTCを通じてナコン・シ・タマラート県庁及びロンピブーン郡事務所に配賦される。

c. 第1次国内作業

1) 収集資料・情報のまとめ・解析

第1次現地調査で収集した資料・情報のまとめ及び解析を行う。

2) 現地調査（概査）のまとめ・解析

概査で得られた調査結果のまとめ及び解析を行う。

井戸台帳、ヒ素汚染概略図、水収支・負荷量収支図、土壌分類図、鉱床分布図等の作成。

3) チェック分析及び鉱物分析

4) インテリム・レポートの作成

インテリム・レポートを作成する。

5) 現地調査（精査）の内容の検討

d. 第2次現地作業

1) インテリム・レポートの説明及び協議

インテリム・レポート及び現地調査（精査）の内容の説明及び協議。

(2) 第2年次

a. 第2次現地作業

1) 現地調査（精査）

より精度の高い調査によるヒ素汚染源の特定及びそれらの状況把握ならびに代替水源の可能性を把握することを目的とする。

水質分析については概査と同様に、pH, ORP, EC, 水温の現場測定と共に広中式簡易分析器によるAs<sup>3+</sup>及びAs<sup>5+</sup>の現地分析を行う。また、現地にはAs<sup>3+</sup>及びAs<sup>5+</sup>の分析用にイオンクロマト+原子吸光分析計を備えた移動計測車（タイ側所有）を配置する。

### ① 水文/地化学調査2

水文/地化学調査2は乾期に相当する。

#### a) 河川流量調査2

調査地点、分析項目等は、河川流量調査1と同様である。

分析項目 : Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Cd, Cu, Zn,  
Pb, As  
現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温

#### b) 気象観測2

気象観測2は、第1次現場作業に引き続き同地点で行う。

### ② 汚染源調査2

#### a) オーガー調査2

オーガー調査範囲はロンビブーン盆地及びその下流域である平野部であるが、汚染源調査1で得られた汚染範囲内をさらに調査間隔をせばめ精査を行う。掘削深度は地下水面あるいは深度5mを限度とし、地表下30cm及び1mの土質試料を採取し、Asの溶出/成分分析を行う。同時に地下水位の測定及び採水を行う。

土壌採取/溶出・成分分析 : As, SO<sub>4</sub>  
採水/分析件数 : As, SO<sub>4</sub>  
現場水質分析 : pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温  
(第1次現地作業にて保孔管を挿入したオーガー孔の地下水も測定する。)  
(調査位置及び標高はトランシット測量及び簡易測量により測定する。)

#### b) ボーリング調査2

ボーリング調査孔 : 4孔 (基盤を2m確認)  
ボーリング調査内容 : オールコア掘り (孔径: 66~116mm)  
掘削総延長 : 120m (平均深度30m)  
(調査位置及び標高はトランシット測量あるいは簡易測量により測定する。)  
付帯試験 : 現場揚水試験8回 (浅層及び深層/孔)  
土質試料採取 : 120ヶ所 (1m毎)  
土質溶出/成分分析項目 : As, SO<sub>4</sub>

地下水採水/分析件数	: 16件 (他の帯水層の地下水の混入しないよう留意すること) (ボーリング調査1の8孔の孔内水を含む)
地下水分析項目	: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , Cd, Cu, Zn, Pb, As
現場水質分析	: pH, ORP, EC, As (広中式簡易分析), 水温 (ボーリング調査1の8孔の孔内水を含む)
鉍物分析	: 16件 (4試料/孔)

c) 降下粉塵調査2

降下粉塵調査2は、降下粉塵調査1に引き続き同地点で行う。

降下粉塵調査地点数	: 12ヶ所 (主に平野部)
成分分析	: 降下粉塵量, As

2) 水源調査

水源調査はロンピブーン地区にあるヒ素汚染された井水の代替水源の調査であり、流量の少ない乾期に行う。

- ① 水源調査範囲 : ロンピブーン地区及びその周辺
- ② 流量調査 : 5ヶ所
- ③ 水質分析 : 5件 (40成分)  
(水質分析項目はタイ国の飲料水の原水に係わる水質基準に基づいて選定する。)

3) 資料収集/解析

主に環境, 土木, 社会及び経済に係る情報及び試料を収集し, ヒ素汚染対策の策定, 積算及び経済評価のための基礎資料を得ることを目的とする。

- ① 環境/土木
  - 環境保全対策関連資料
  - 植生・植生工関連資料
  - 保全対策に係る土木関連資料
  - 積算資料
  - その他
- ② 社会/経済
  - 社会/経済関連資料
  - 植生・植生工関連資料
  - ヒ素鉍害に係る社会/経済的な資料
  - 財務・経済分析試料
  - その他

#### 4) 経過報告書の作成・提出

第2次国外作業の終了時に経過報告書を作成し、ERTCに提出すること。本経過報告書はERTCを通じてナコン・シ・タマラート県庁及びロンピブーン郡事務所に配賦される。

#### b. 第2次国内作業

##### 1) 収集資料・情報のまとめ・解析

第2次現地調査で収集した資料・情報のまとめ及び解析を行う。

##### 2) 現地調査（精査）のまとめ・解析

精査で得られた調査結果のまとめ及び解析を行う。

井戸台帳，ヒ素汚染図，水収支・負荷量収支図，土壌分類図，鉱床分布図等の作成。

##### 3) 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

代替水源供給基本計画の策定

経済評価

##### 4) ドラフト・ファイナル・レポートの作成

ドラフト・ファイナル・レポートを作成する。

#### c. 第3次現地業務

ドラフト・ファイナル・レポートの説明及び協議。また、今次調査結果に基づく技術セミナーを開催すること。

### 5-4 報告書手続き等

#### (1) 報告書

##### 1) インセプション・レポート

(ERTC) 英文 : 20部

(JICA) 英文 : 3部, 和文 : 3部

##### 2) インテリム・レポート

(ERTC) 英文 : 20部

(JICA) 英文 : 3部, 和文 : 3部

##### 3) プロGRESS・レポート2

- |    |                 |      |   |      |      |   |     |
|----|-----------------|------|---|------|------|---|-----|
|    | (ERTC)          | 英文   | : | 20部  |      |   |     |
|    | (JICA)          | 英文   | : | 3部,  | 和文   | : | 3部  |
| 4) | ドラフト・ファイナル・レポート |      |   |      |      |   |     |
|    | (ERTC)          | 英文要約 | : | 10部, | 英文主文 | : | 10部 |
|    | (JICA)          | 英文要約 | : | 3部,  | 英文主文 | : | 3部  |
|    |                 | 和文要約 | : | 3部,  | 和文主文 | : | 3部  |
| 5) | ファイナル・レポート      |      |   |      |      |   |     |
|    | (ERTC)          | 英文要約 | : | 30部, | 英文主文 | : | 30部 |
|    | (JICA)          | 英文要約 | : | 11部, | 英文主文 | : | 11部 |
|    |                 | 和文要約 | : | 11部, | 和文主文 | : | 11部 |

(2) 調査業務報告書及び業務実施報告書

- 1) 月毎の調査業務報告書 : 1部
- 2) 第1次終了時の業務実施報告書 : 2部

(3) 収集資料 : 1式

収集した資料, データ及びそのリスト。

(4) 会議記録

調査団とタイ側との各種競技の議事録を作成し, その都度JICAに提出する。

(5) 技術移転報告書 : 2部

最終報告書とあわせ提出する。

(6) 報告書に含まれる各種成果図面

- 1) 井戸台帳
- 2) 土壌分類図
- 3) 地形分類図
- 4) ルートマップ
- 5) 鉋床分布図
- 6) 水収支図
- 7) 負荷量収支図
- 8) ヒ素汚染図 (平面図, 断面図)
- 9) 汚染機構図
- 10) 汚染シミュレーション結果図
- 11) 汚染対策基本計画図
- 12) 代替水源供給基本計画図

### 5-5 調査の実施体制

本調査は以下に示す分野をカバーする要員を編成し実施するのが適切であろう。

- 1) 総括・環境
- 2) 鉱山地質
- 3) 地質 1
- 4) 地質 2
- 5) 水文 1
- 6) 水文 2
- 7) 分析
- 8) 試錐
- 9) 選鉱精錬
- 10) 土木・環境
- 11) 社会・経済

## 5-6 調査実施上の留意事項

### (1) 調査全般

プロジェクト形成基礎調査及び予備調査を通じて、タイ側のヒ素汚染調査に対する期待の大きいことが十分感じられ、関連省庁が参加している作業委員会も組織され強い関心を示している。カウンターパートとして環境研究研修センター（ERTC）がメインではあるが、作業委員会の各メンバーからの資料・情報収集における援助、現地調査での補助等多面的な協力が得られることに同意しており、調査にとって有益であると期待される。

特に、工業省鉱物資源局（MOI, DMR）はヒ素汚染調査の多くの経験を有し、現在もヒ素鉱物含有ズリの処分対策を継続中であることから、資料・情報、空中写真、測量等の多面的な協力が得られると期待される。

### (2) 汚染状況

ロンピブーン地区のヒ素汚染は山錫採掘の廃坑跡及び同ズリ、選鉱所及び同廃さい等のいわゆる特定汚染源（point sources）の他に、河床堆積物内に多量かつ広範囲に散在している自然的・人為的ヒ素含有物（主にヒ素含有鉱物）及び人為的・断続的かつ多量に廃棄・散在されたヒ素を含む廃さいが大きなウエイトを占めると推定される。特に、後者はいわゆる非特定汚染源（nonpoint sources）の側面を有していると考えられ、現地調査に対し十分な配慮及び知識・経験を必要とする。

また、両性物質であるヒ素としての複雑な汚染状況に十分対応できる柔軟な調査方針及び調査・分析体制を整える必要がある。

### (3) 現地調査

現地調査のうち井戸調査、河川流量調査、オーガー調査及びボーリング調査については、予めナコン・シ・タマラート県庁及びロンピブーン郡事務所の許可及び私有地については郡事務所の仲介のもと地権者の立ち入り許可を得る必要がある。

汚染地区の住民の一部には各方面からの調査に対し不信を含む複雑な心境を有して

いることが推定されており、今次調査において軋轢を生じることのないように、例えばロンビブーン村内で食事をする等、住民意識を十分配慮して調査の計画及び実施してゆくことが必要である。

また、ロンビブーン地区ではヒ素汚染に関する対策委員会が設置されており、当委員会は地元のヒ素汚染に対する熱意であることから、当委員会の尊重及び地区とのコミュニケーションの場として利用することが重要である。

#### (4) 現地業務報告書

ナコン・シ・タマラート県庁及びロンビブーン郡事務所は、JICA調査団に対し現地調査（井戸調査、河川流量調査、オーガー調査及びボーリング調査）について3ヶ月毎にその進捗を報告するよう依頼している。したがって、JICA調査団は現地業務報告書をERTCを通じて提出する必要がある。ERTCはJICA調査団から現地業務報告書を受理した後、タイ語に翻訳し現地政府に提出することになる。

#### (4) 分析

現地水質分析におけるヒ素の分析には、広中式ヒ素簡易分析器を使用する一用がある。本分析法の分析精度は0.01mg/lであり、反応時間の相違から $As^{3+}$ 及び $As^{5+}$ の定量も可能なすぐれた簡易分析法である。分析方法は巻末に示した。

$As^{3+}$ 及び $As^{5+}$ の存在をさらに正確に把握するためには、現地での定量分析が必要となる。その目的を達するために、2年次に移動計測車を利用して $As^{3+}$ 及び $As^{5+}$ の現地分析の実施を計画している。移動計測車にはイオンクロマトグラフ分析計と原子吸光分析計を組み合わせたヒ素分析装置を搭載し、1年次の期間内に当分析法の確立及び分析体制の確保できる様、ERTCのスタッフに指導する必要がある。

#### (5) オーガー調査

多数の調査地点を格子状に配置したオーガー調査は、表層及び浅層地下水を対象とし、いわゆる地化学的土壌・地下水調査といえる。

本調査の範囲はロンビブーン盆地及びその下流域である平野部であり、掘削深度は地下水面あるいは深度5mを限度とする。ただし、盆地内の上流側及び表層での礫質土では、表層1m程はスコップで掘削し、それ以深はオーガーで可能な深度（最深5m）あるいはスコップで孔径を広げ地下水面まで掘削することとなる。スコップでの掘削は2m程が限度であると推定される。掘削後は原状に復帰させる。

オーガー調査の掘削作業員としてロンビブーンの村民を雇用することが望ましく、村民の調査に対する理解の向上、村民のヒ素汚染に取り組む連帯感の発揚、雇用による臨時収入等に寄与するものと考えられる。

1年次のオーガー調査は雨期に相当していることから、相対的に地下水位が高いと推定される。特に、11月後半～12月にかけては降雨が集中し野外調査に支障をきたす可能性があることから、できるだけ当期間を避け、それ以前に掘削作業を終了させる必要がある。

#### (6) ボーリング調査

ボーリング作業及び付帯試験は現地再委託業務である。

コアボーリング調査の可能な試錐業者はナコン・シ・タマラート県内ではなく、バンコック在住の試錐業者に委託する必要がある。

## 参 考 資 料

1. 吉田 国夫 (1978) : 鈦産物の知識と取引, 通商産業調査会, 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) : 重金属等に係る土壤汚染調査・対策指針及び有機塩素系化合物等に係る土壤・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. 日本鈦業協会 (1987) : 鈦山たい積場マニュアル, 世界大ダム会議編
6. 日本鈦業協会 (1987) : 捨石, 鈦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) : 新版鈦床学, 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-Abrutat
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 : 広中式と素簡易分析法

資料-3 : 収集資料リスト



資料- 1 : Terms of Reference



Project Title	Objective	Assistance Requested	Responsible Authority
<p>Environmental Management Planning Survey for Arsenic Contaminated Area of Nakorn Sri Tammaraj Province, Thailand.</p> <p>Department of Environment of Environmental Quality Promotion.</p> <p>Ministry of Science Technology and Environment</p> <p>Project site Nakorn Sri Tammaraj Province</p> <p>Duration 3 Yr.</p> <p>Ministry's priority</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ministry of Science Technology and Environment</li> <li>- Ministry of Industry</li> <li>- Ministry of Public Health</li> </ul> <p>Sector in TA Plan</p> <p>Sector in White Paper</p> <p>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</p>	<p>1. to identify/characterize contaminant source</p> <p>2. To map current distribution of contaminant</p> <p>3. To forecast expected movement of contaminant and its impact on environment</p> <p>4. To design countermesure for remedy and</p> <p>5. To identify the most sensible alternative water supply for the area.</p> <p><b>Workplan</b></p> <p>1st year Preliminary investigation and source study (S)-1</p> <p>2nd year Distribution and movement study (S)-2, and 3</p> <p>3rd year Remedial design and water supply planning (S)-4 and :</p>	<p>1. Grant Aid Yen (.....B)</p> <p>Construction</p> <p>2. Technical Cooperation m/m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Expert</li> <li>- Fellowship</li> <li>Study m/m</li> <li>Training m/m</li> <li>Study Tour m/m</li> <li>- Equipment Yen (.....B)</li> <li>- Other (Specify) - Yen (.....B)</li> </ul> <p>Requesting Agency Counterpart Contribution to the Project</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Annual Budget.....B/Yr</li> <li>- Additional Budget Requested.....B/Yr</li> </ul> <p>Total.....B</p> <p>Counterpart Personnel 9 m</p>	<p>Dr. Monthip Srirattana Tabucanon</p> <p>ICL</p> <p>66-2-57711367</p> <p>Exl</p> <p>66-2-5771138</p> <p>Note</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

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 : 88 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, of course, 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 epidemistal 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 idenitfy/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 counterpart 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 deposits  
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.(Radiochemistry)
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.Cheeranua Phanthajak	Water section ERTC	B.Sc.(Chemistry)

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

Mr.Panomporn 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.

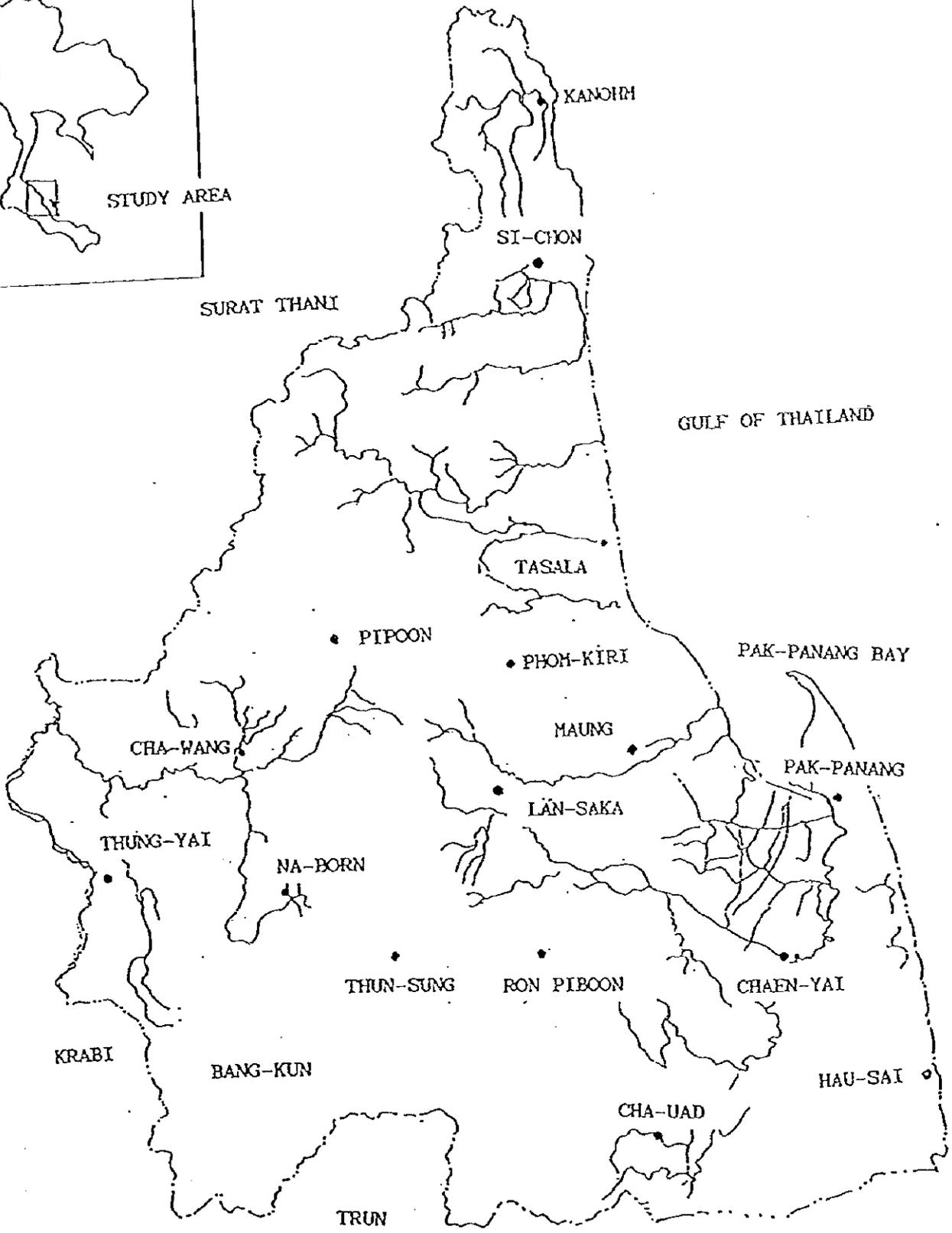
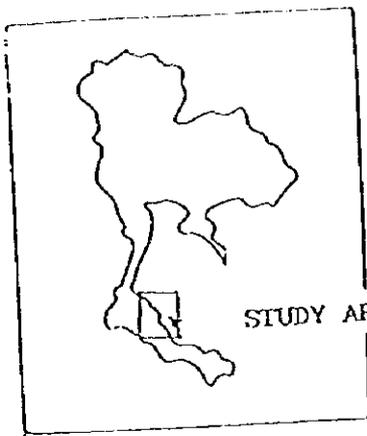
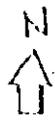
(4) Special consideration for women

No special consideration at this moment.

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

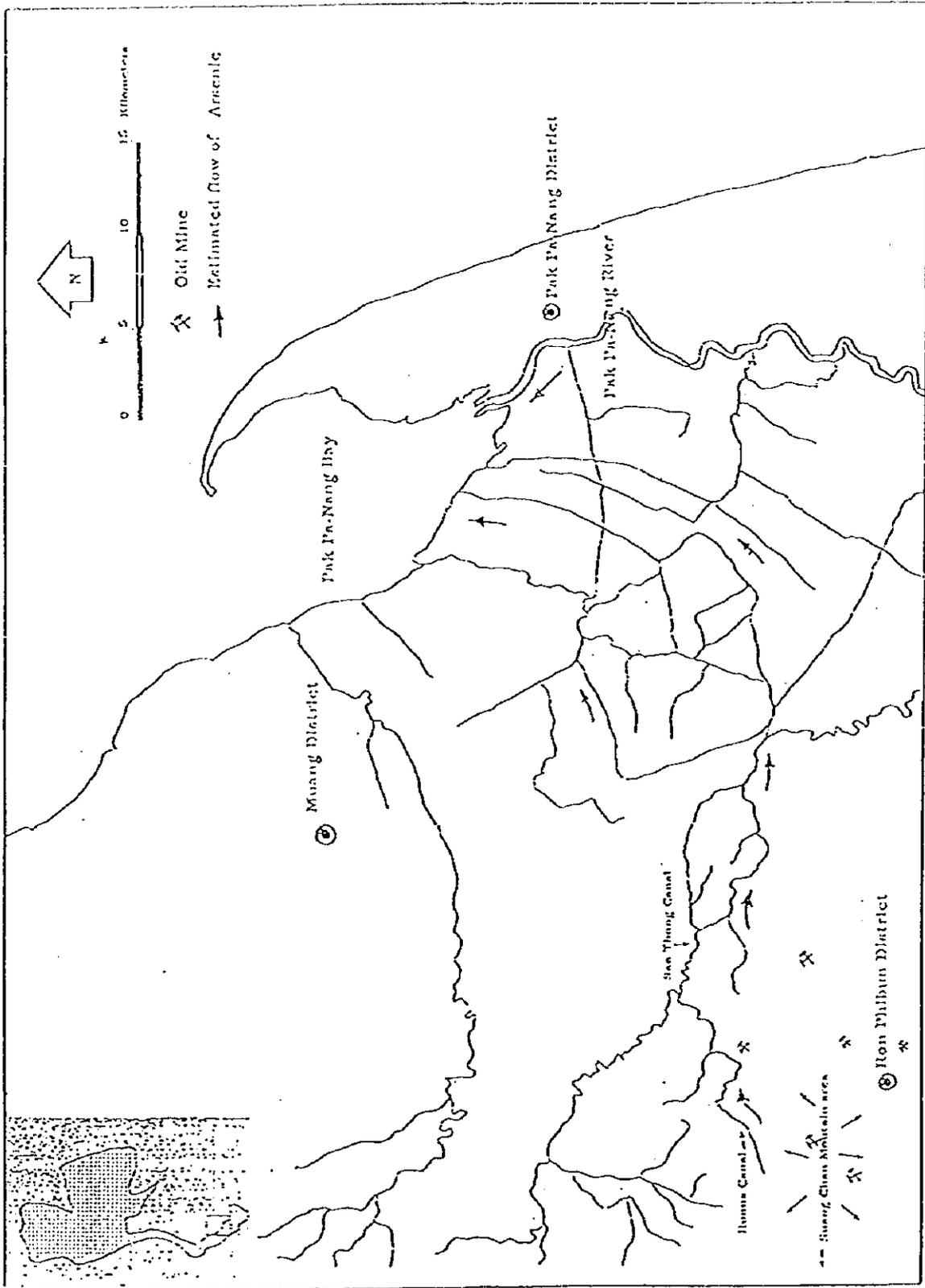
6. Poverty reduction components of the Project, if any

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

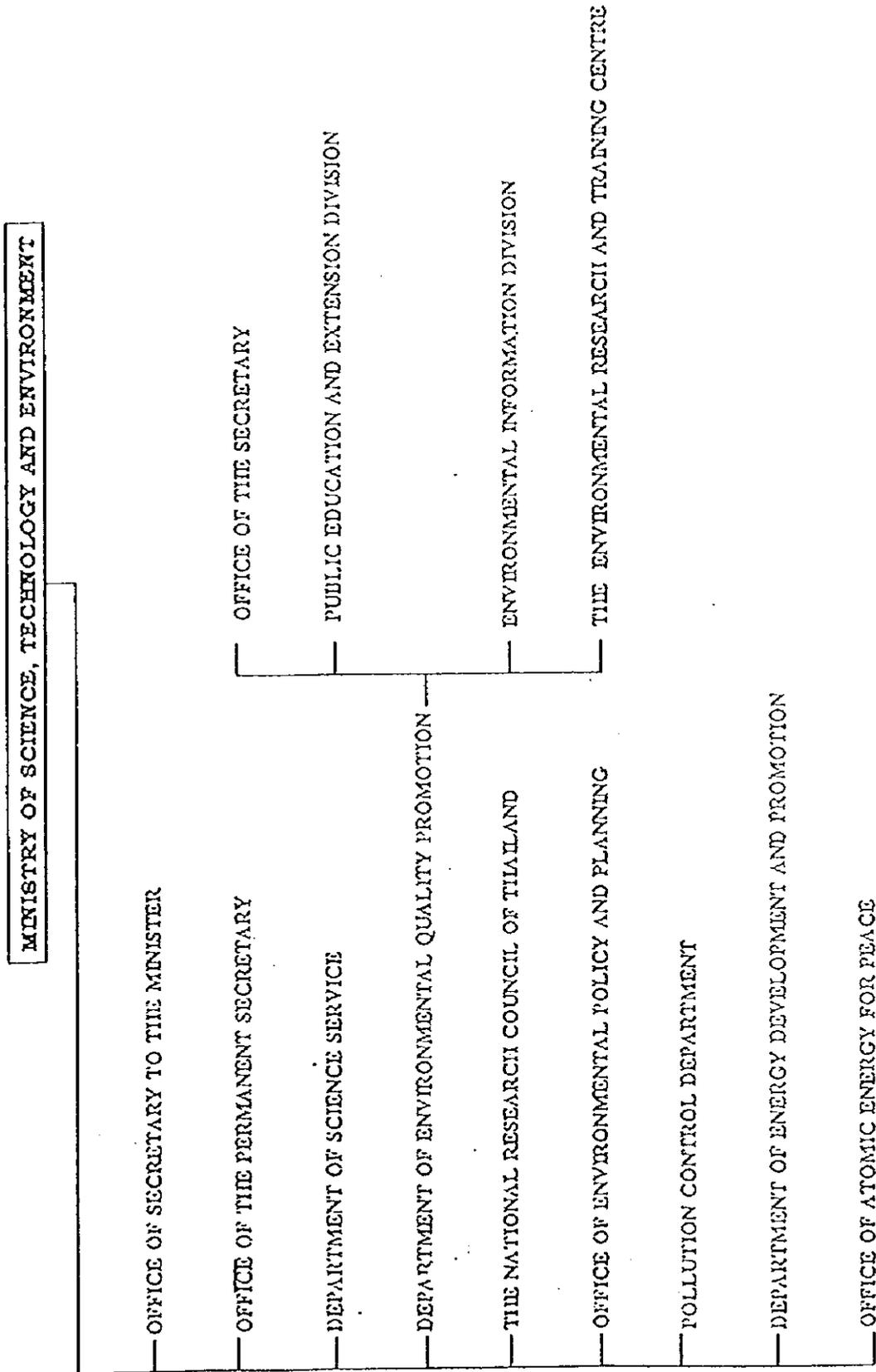


ANNEX 1 MAP OF NAKORN SRI THAMMARAJ THAILAND

ANNEX 3 Non Plumb, Nakorn Sri 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 Munchiro 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.Arykul, K. Kooptamon, 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 Pajitrapaporn  
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, Therana Piyawong  
Department of mineral Resources.
6. Diagnose on Arsenic Poisoning cases  
Department of Medical
7. Study on Arsenic residue in Pak-Panang Bay by using biological samples. (in Thai)  
Sukanya Boonchalermkit, Janewit Wongsanoon and Munchiro 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 Rongpiboon Nakorn Sri-Thammarat (in Thai)

Ministry of public health

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

Songklanakarın University

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

Naroug N. Chaingmai

Faculty of medical

Songklanakarın university

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

Dr Chanphen Chujrapawan

Ministry of Public health

13. Toxicology and Arsenic poisoning Situation in Rongpiboon, 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 researh on arsenic problem in Nakorn Sri-Tammaraj Province

Ministry of Public health (in Thai)



資料－2： 広中式と素簡易分析法



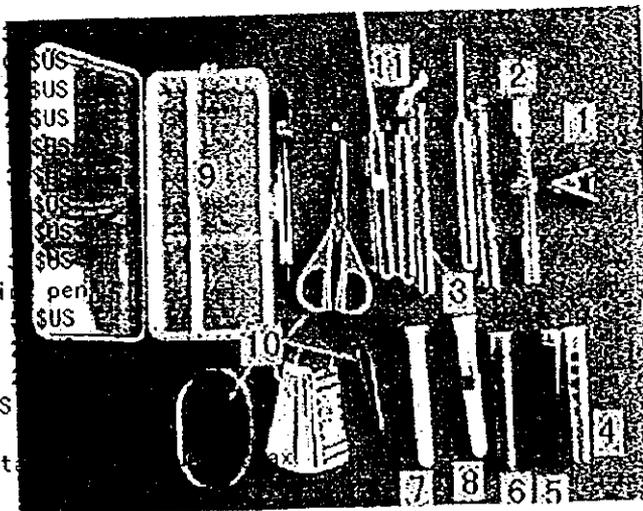
# Mercuric Bromide Paper Disk Method modified by HIRONAKA(AAN)

## 1. General Discussion

- a. Principle: Arsenic is liberated as arsine,  $AsH_3$ , by zinc in acid solution in a Test tube type Gutzeit generator. The generated arsine is passed through
- b 12mm I.D.-disk test paper . The generated arsine produces a yellow-brown stain on test paper impregnated with mercuric bromide. The developed color of the stain is roughly proportional to the amount of arsenic present.
- c. Interference: Antimony (>0. 10 mg) interferes by giving a similar stain.
- d. Minimum detectable quantity: 0.1 ug As.

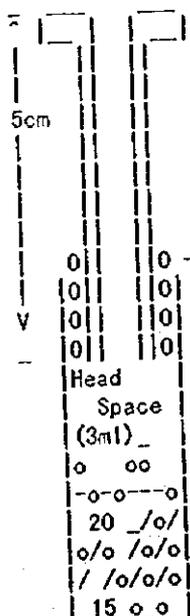
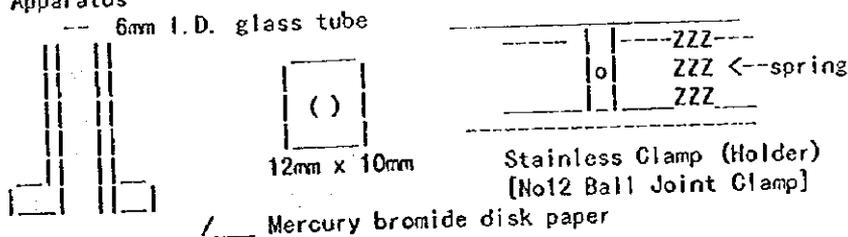
## 2. Apparatus

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Stainless Clip  | x 1     |
| 2. Glass Flange  | x 2     |
| 3. 15 ml Test Tube (with volume line)  | x 2     |
| 4. Color scala paper   | x 1     |
| 5. Arsenic Test Paper (HgBr <sub>2</sub> paper)  | 100 pcs |
| 6. Zinc powder   | 30g     |
| 7. Potassium Iodide  | 8-10g   |
| 8. SnCl <sub>2</sub> powder  | 10g     |
| 9. Plastic case  | 1       |
| 10. Field kits Stationaries; (option) Ball point Scissors, Forsette Memo pad, Mending tape |         |
| 11. As standard 5ppm x 10ml  | x 2     |
| 12. Flow Diagram of Test   |         |
| ----- total 30/35(with option) \$US  |         |



Field Test Kits prices are not enclosed post

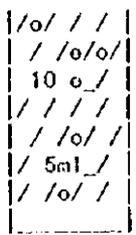
## 2. Apparatus



Glass Flange

## 3. Reagents

- Hydrochloric acid HCl, 1 + 1.
- Potassium iodide powder. Grind 50g of KI by coffee mill for 1 min. Store in a tight plastic case. (Black Film Case).
- Stannous chloride powder. Grind 25g arsenic-free SnCl<sub>2</sub>-2H<sub>2</sub>O and 25g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> by coffee mill for 1 min. Store in a tight plastic case.
- Zinc powder, Reagent grade fresh opened, arsenic-free.
- Mercuric bromide paper: Use 5 sheets of commercial 10cm I.D. filter papers cut uniformly into strips about 12 mm wide. Soak strips for at least 1 hour in filtered solution prepared by dissolving 3 to 6 g HgBr<sub>2</sub> in 100 mL 95% ethyl or isopropyl



alcohol; dry by waving in air 1 hour at dark place.  
 Cut into 12mm x 10mm square and store in dry, dark place. (KODAK filmcase is suitable for this purpose)  
 For best results, make up papers just before use.  
 Handle with forcette to set apparatus.  
 (Don't touch with hand).

Figure 1. Generator used with mercuric bromide paper disk method.

i. Stock arsenic solution:

- As 3+ standard :

Dissolve : 0.132 g arsenic trioxides, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, in 1 mL distilled water containing 0.4 g NaOH, and dilute to 100 mL with distilled water; 1.00 mL = 1.00 mg As. 3+ (CAUTION: Toxic --- take care to avoid ingestion of arsenic solutions)

- As 5+ standard :

Weigh 0.330g srsenic trioxides, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, put into test tube.  
 Add 2ml Conc. HNO<sub>3</sub>, and heat untill blown fume disappear.  
 Add 1ml Conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 1g Ammonium Oxalate, and heat untill blown fume disappear. (Decompose N

Intermediate arsenic solution: Dilute 5.00 mL stock solution to 500 mL with distilled water; 1.00 mL = 10.0 ug As.

Standard arsenic solution: Dilute 10.00 mL intermediate solution(10.0ppm) to 100 mL with distilled water; 1.00 mL = 1.00 ug As.

4. Procedure

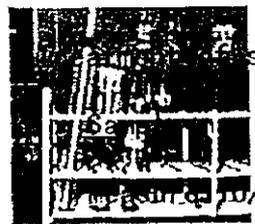
Reagent Blank and As-standard 0.1 to 0.3ppm Tests are required in every :

Prepare 1:1 HCL 100ml of conc. Hydrochloric Acid (ca. 12N Ar

Prepare Arsenic test paper  
 HgBr<sub>2</sub>-paper is slipped from a stock tubes,  
 Cut out a test paper into 10mm x12 mm size.

Put a test paper onto Disk flar

Test Paper Set



sample concentrate:

be diluted to 0.1ug/L to 0.5ug/L As.

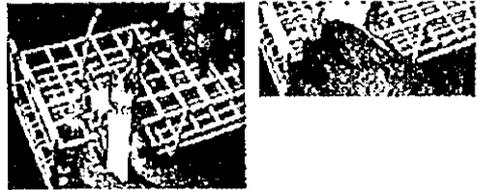
10/20mL of water sample in the 15/25ml Test tube,

Add ca. 0.1/0.2g KI powder,



ca. 0.1/0.2g SnCl<sub>2</sub> powder reagent,

and 0.2 to 0.5g Zinc powder.



Add 2 to 5 ml. 1+1 HCl solution, (ca. 6 formula)

Immediately connect the filter to the Test tube.



and allow evolution to proceed for 3-5 (As 3+) to 15-30 (As 5+) min. \*\*\*

Amount of Zinc powder and HCl solution may be controlled to generate hydrog

Remove clamp and pick up the mercuric bromide paper disk

Add 2ml HCl(1:1)

Using a calibration

the preparation of which is described by the Flange set as soon as possible

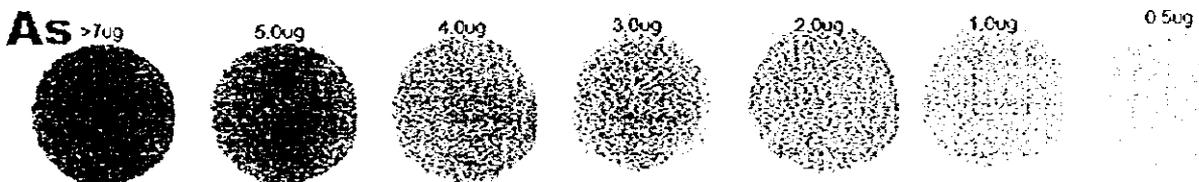
b. Preparation of calibration color chart. Prepare standards at 1-

Place in generator and treat as described for the sample concentrate. Remove to

Take photograph of Yellow - Brown color series for calibration .

Avoid sun light to protect fading the tested color paper.

On field analysis , may use this photograph as a standard color chart.



Don't neglect 2.0 ug standard check in every cue of analysis.

### 5. Precision and Bias

A synthetic sample containing 50 ug As/L (WHO old criteria) in distilled water was analyzed in five laboratories by the mercuric bromide paper disk method with a relative standard deviation of 50.0% and a relative error of 40.0%.

\*\*\* Determination of As 3+ and As 5+

If you want to detect only As 3+, you may change HgBr2 paper at 3-5min,  
80% of As5+ detected from 5min to 15min.

Thick HgBr2-paper can use both side (reversible test paper!).

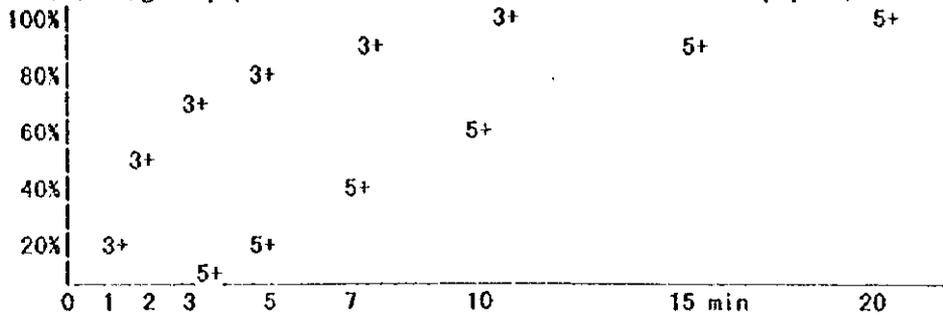


Fig.1 AsH3 detection curve(20°c , 10ml, SnCl2:0.1g , Zinc:0.3g ,6N-HCl 2ml

AAN FUKUOKA Branch: 2-19-35 Nagaoka, Minami-ku, Fukuoka, JAPAN 815  
H. Hironaka; Fax: 81-92-512-7539  
E-mail: aan-hironaka@ma3.justnet.ne.jp  
Office: 2-1-34 JIGYOHAMA, Chuou-ku, Fukuoka, JAPAN 810  
Office Tel: 81-92-831-0690 Fax: 81-92-831-0726  
Laboratory; Fukuoka City Institute for Hygiene and Environment

### Arsenic Field Test Kits order form

Please fill your request or information

Your Name

E-mail

Mail/Post Address

Phone and Fax No.

PHONE:

FAXNO:

Order of Items

Example a; 2kits+1000tset = 30\$×2 +10\$×2 +10\$(postage fee)=90\$US

Example b; HgBr2-paper only 1000test= 10\$+5\$(postage fee)=15\$US

Field Kits (30\$US/kits+10\$US/post fee):

Yes Quantity;

kits

(Post Fee :Air parcel to Bangladesh, India ,ASEAN 10\$US/kit)

Reagents are difficult to send by ordinal air-mail.

HgBr2-paper (5US\$/500pcs+ 5US\$/post fee):

Yes Quantity:

x500pcs

Total of Payment :

\$ US

Method of Payment ; please check and fill a box

Bank Account to BANK CODE=0177001 - 0913546 Hiromi HIRONAKA

Yes, -

From Account No.

Cash to AAN-Member;

Yes

== Name of AAN-Member ;

Bank Draft ;

Yes

== BANK and DATE

Message to AAN/ Arsenic Field Test kits



資料-3： 収集資料リスト



資料リスト

地域	プロジェクトID	調査図番号	案件形成調査	担当部署
ナコンタスラート県	タイヒ素汚染地域環境改善計画調査	調査の概要又は 図説等	H10年2月22日～H10年3月3日	担当部署氏名
国名	配属機関名	調査の概要又は 図説等	発行機関	取扱区分
番号	資料の名称	調査の概要又は 図説等	発行機関	取扱区分
1	An investigation of arsenic contamination of groundwater from mining waste, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand	論文 ○	DMR, Thailand	JR・CR( )・SC
2	Hydrogeochemistry of arsenic in an area of chronic mining-related arsenism, Ronphibun district, Nakhon Si Thammarat province, Thailand; Preliminary results	論文 ○	NERC, UK	JR・CR( )・SC
3	Arsenic contamination in surface drainage and groundwater 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 gas technique applied to an arsenic contaminated area of Ronphibun, southern Thailand	論文 ○	MNDECO	JR・CR( )・SC
5	Ronphibun District Arsenic exposure & human health, The search for a geochemical solution	論文 ○	DFED, DMR	JR・CR( )・SC
6	水環境学会誌, 1998年2月号(抜粋)	論文集 ○	日本水環境学会	JR・CR( )・SC
7	アジア地下ヒ素汚染問題を考える, 1997.11	論文集 ○	地学図体研究会	JR・CR( )・SC
8	STORIEDUBAUBUSU, LAMUN 1-2	論文 ○	DMR, Thailand	JR・CR( )・SC
9	Ronphibun	論文 ○	Ronphibun, Thailand	JR・CR( )・SC
10	การปนเปื้อนของสารพิษจากแร่ดีบุกในดินและน้ำบาดาล	論文 ○	DMR, Thailand	JR・CR( )・SC
11	การปนเปื้อนของสารพิษจากแร่ดีบุกในดินและน้ำบาดาล	論文 ○	DMR, Thailand	JR・CR( )・SC
12	การปนเปื้อนของสารพิษจากแร่ดีบุกในดินและน้ำบาดาล	論文 ○	DMR, Thailand	JR・CR( )・SC
13	การปนเปื้อนของสารพิษจากแร่ดีบุกในดินและน้ำบาดาล	論文 ○	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	En hancement 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)	論文 ○	Thailand	JR・CR( )・SC









JICA