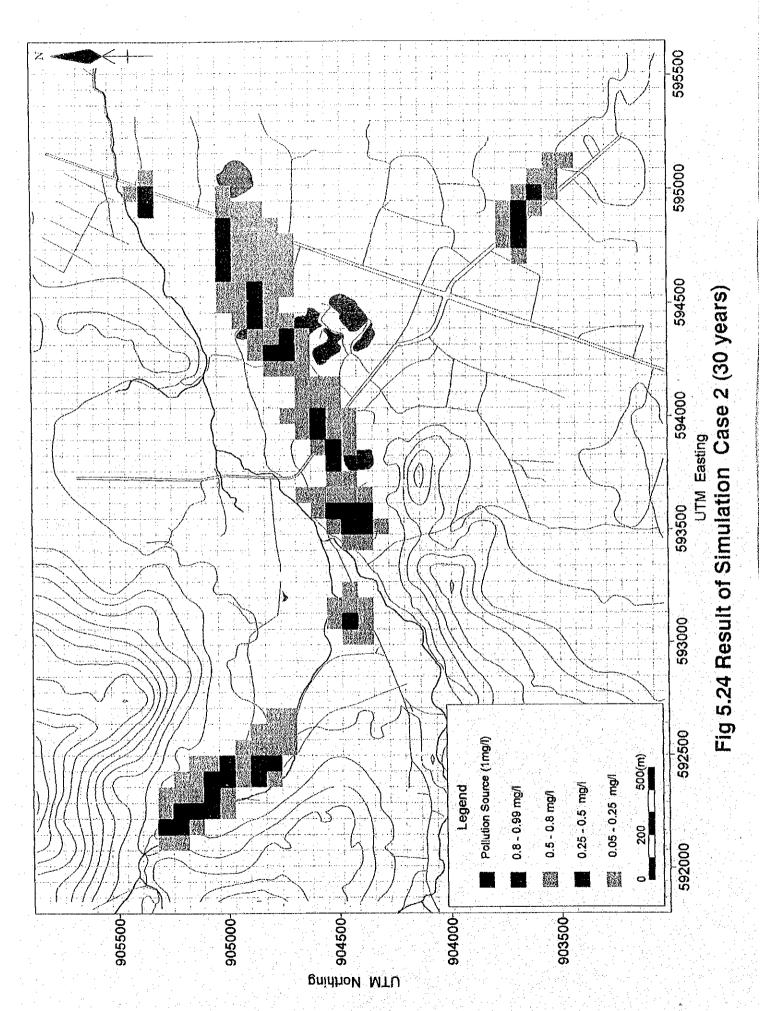
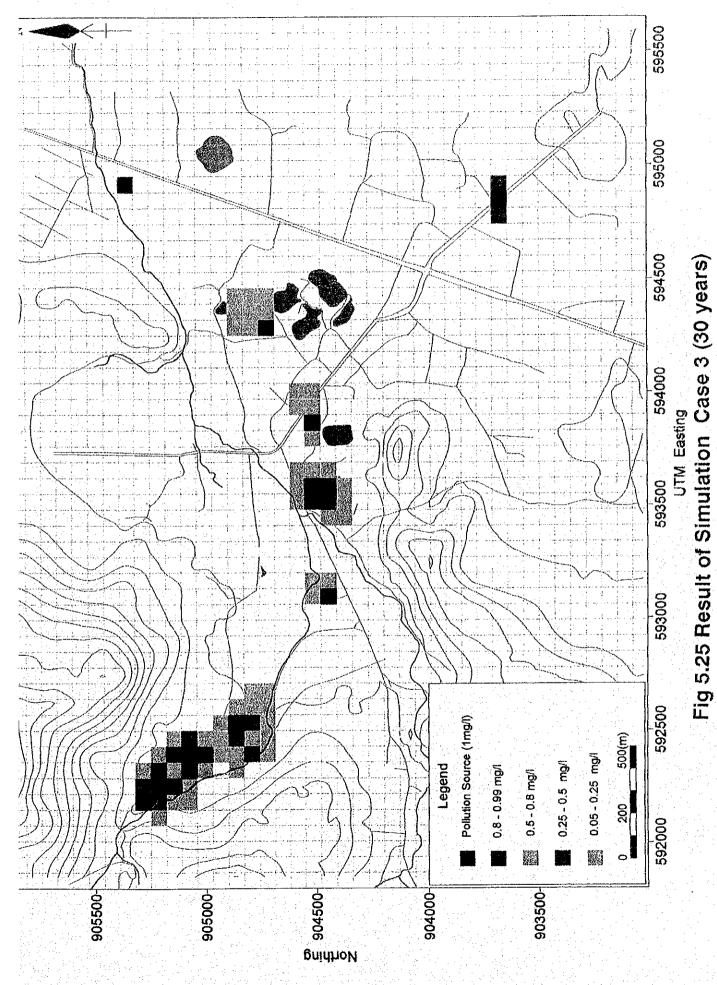
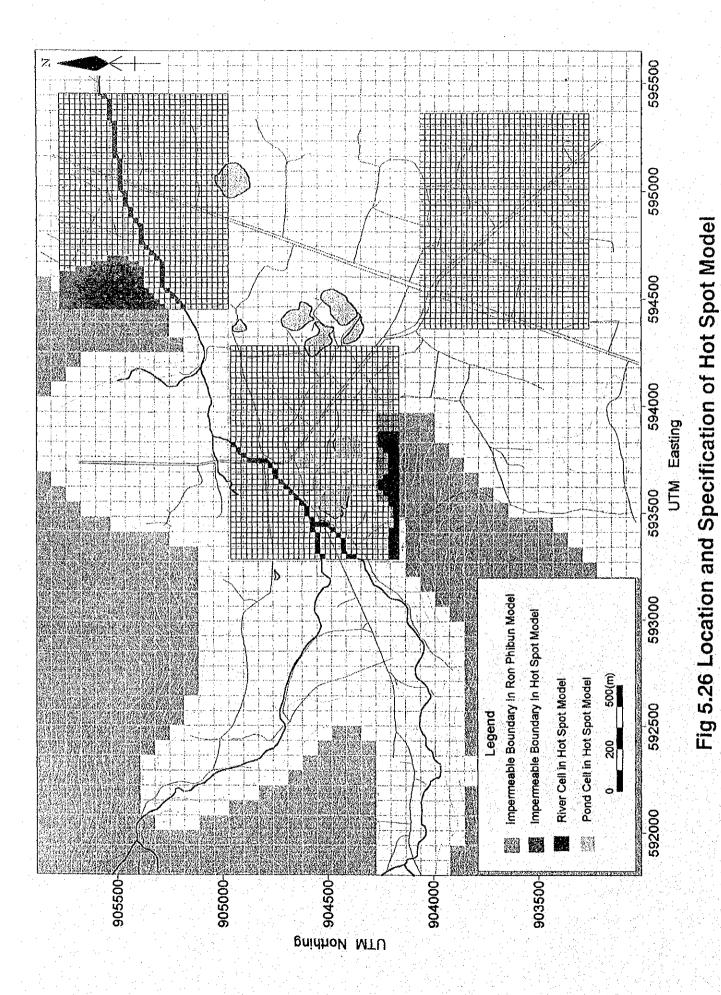


-115-



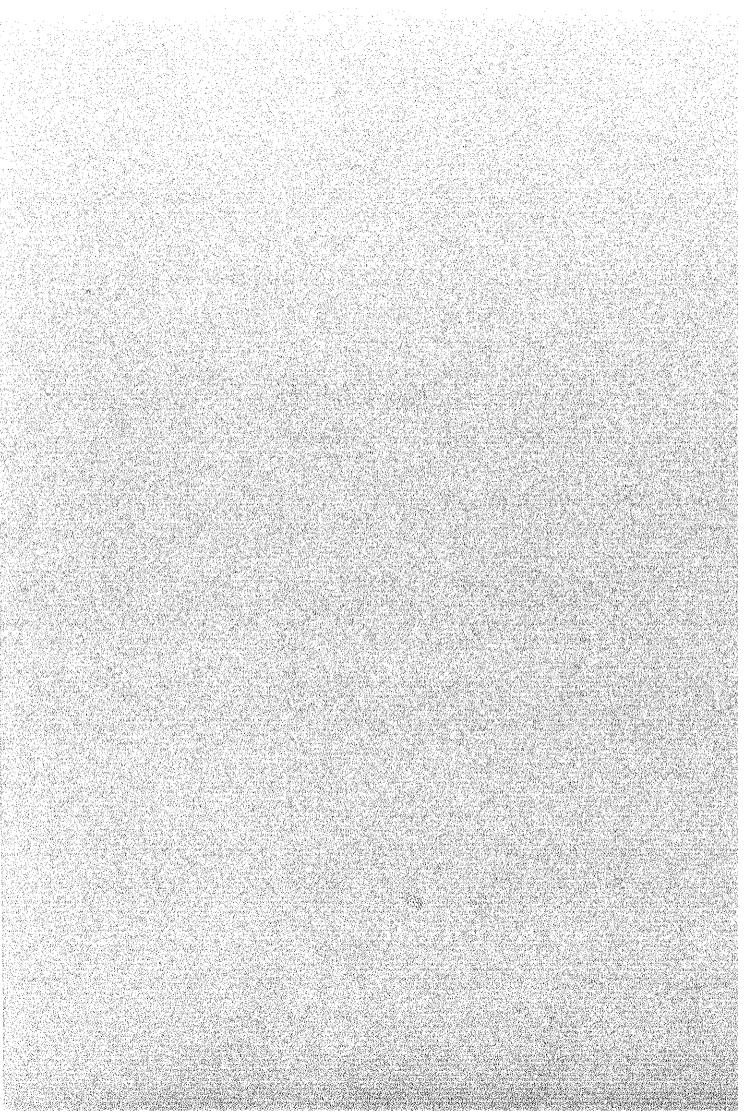


-117-



-118-

6. 汚染対策の策定



6. 汚染対策の策定

6.1 汚染対策の為の汚染現況認識

ロンピブン地区は Khao Suan Chan 山から南東に流れ下る Huai Ton I Hong 川からさらに東に延びる Huai Hua Mueng 川の流域で、南側からこれに合流する Huai Ron Na 川とともに Klong Nam Khun 川となって東へと国道を越えていく。Khao Suan Chan 山の南斜面からロンピブンの町中にかけて、山錫、砂錫の鉱床が拡がる。

調査地域の東側に隣接する地区の北には Khao Mak 山があり、その南斜面にも錫鉱床 地帯があり、選鉱場もあるが焙焼工程のないせいか、汚染問題は起きていない。

山地には硫ひ鉄鉱を含む錫鉱床が広く拡がって点在する。主体は山錫であるが、一部は 2次鉱床である砂錫も存在する。鉱床はこの山地から市街地へ連なっており、高品位、細 脈状の山錫から堆積型の砂錫鉱床に変わっていく。

この地区での錫の採掘と選鉱は DMR によりすでに禁止されているが、山地での砂錫の採掘とモニターによる選別 (猫流し) の行われている個所がある。

ロンピブン地区の北西の山地から南東に流れ下った水は幾つかの支流を加えて町中を東へと進み、平地では低湿地(Swamp)や池で停滞することもある。主要な川は東北東に流れるが、地下水も東へ進みナコンシタマラートと結ぶ南北に走る国道を越え西側へ流れる。 Klong Nam Khun 川の南には昔の川の流れていた跡がある。

本地域上流部では、1977年の土石流による災害が大きく記録されているが、雨期における小規模な洪水、土砂の流出は、歴史的に繰り返されたもののようである。これにともなう有害物の移動、堆積、流出が繰り返された可能性は高い。

硫ひ鉄鉱が山地から平地へと広く分布しており、本地域の地層土壌中にヒ素は、平均地 殻存在度の 1.8 ppm を越えることは予想できる。しかし硫ひ鉄鉱は鉄とヒ素との硫化物と して極めて安定した鉱物であり、この存在のみで地下水汚染、健康被害をもたらすことは 世界的に極めて稀である。すなわち硫ひ鉄鉱による地下水汚染は、強酸性環境下での硫酸 塩への酸化、分解から水中への溶出、さらにその後の還元によるヒ素の毒性の増大があっ て初めて、問題となるケースが考えられる。

当地区での錫採掘から選鉱の過程を見ると、その多くは単純な物理的加工を行うものである。すなわち採掘においては、バンニングやモニターによる猫流しなど山元での選別が行われ、ヒ素含有物が現地に堆積されたり放置されているものがある。しかしこれらについては、DMRが積極的に処理に乗り出し、遮水構造の管理型処分場を建設するなどの処置が行われている。

最大の問題は、山元、町中の2つの選鉱場で、比重選別、浮遊選鉱の成績に飽き足らず、 焙焼を行った事実があることである。焙焼によって硫化物の硫黄分は燃焼して除かれるが、 ヒ素はガス化して飛散するか溶出し易い酸化物として廃棄物中に残留し、いずれは雨水に 溶解し、地下水汚染の大きな原因物質となっている。

その他の選鉱廃棄物も若干ヒ素が濃集してはいるものの、原鉱石と同様に、雨水で抽出

され難い形である。しかし焙焼が行われ、この生成されたヒ素酸化物に対して毒性への認識がないと、その廃棄物は他の選鉱廃棄物と混合され、大量に発生する比重選別、浮遊選別の廃棄物の処理である凹地や沼地への投棄、埋立て、造成地の土盛り材料として、運搬、拡散したことが汚染原因となった事が考えられる。

ari Dananga Kini ing Pilipinangan kalangan ing palangan balangan balangan balangan balangan balangan balang pi

すなわちヒ素汚染の進行のシミュレーションとしては、原因物質からのヒ素の溶出、地下水の流動、ORPによる凝集・沈殿と再溶解などの反応と移動の速度過程を雨水量の中で検討しなければならない。

汚染の濃集地点としては、地下水流動の上流から、①山元の選鉱場付近からの下流、② 廃棄物処分場(旧)、③町中のドレッジ池、④町中選鉱場周辺、⑤廃棄物処分場(新)、⑥ 地点 32C 周辺、⑦地点 32L 周辺が確認された。Fig 6.1 にこれらの位置を示す。

6.1.1 調査結果から推測されるヒ素汚染の原因

本調査の結果、地下水中のヒ素濃度が特に高く、飲用に適さない地域のヒ素汚染の原因は、大別し下記の二点である。

- 1. 過去に実施されたの鉱石の錫選鉱・精錬における煤焼過程で、可溶性亜ヒ酸が生成された。生成された亜ヒ酸が選鉱廃棄物中に混入し、廃棄物の投棄および、投棄された 廃棄物の人為的もしくは洪水などの災害による移動によって土壌中に分散した。廃棄 物中の亜ヒ酸が地下水中に溶出し地下水を汚染させた。
- 2. 平地部に広く分布するラテライト中の水酸化鉄はヒ素を良く吸着する。この吸着されたヒ素は、ラテライトを酸化状態に保つと安定で地下水中に殆ど溶出しない。しかしながら、地表に粘土を盛土したり、湿地化したり、有機物を厚く堆積させラテライトを還元状態に置いた場合、ヒ素は水酸化鉄と共に地下水中に溶出し地下水を汚染させた。

6.2 ヒ素環境対策

本地域のヒ素中毒による患者発生を防止するための環境および福祉対策としては、ヒ素 汚染した水を飲用もしくは生活用水として使わないことが必須である。さらに既にヒ素中 毒に罹っている患者に対する医療面での支援は重要である。

これらを実施するためには、本調査地域に最も適した対策基本計画を作成し、それに基 づいて最良の対策法を順次実施する必要がある。

次の事項について、緊急性及び可能性を検討し対策基本計画を作成する必要がある。

- ◆ ヒ素汚染された地下水を利用している住民に対し、安全な飲料水・生活用水を供給する。(簡易水道設置、雨水利用、など)
- ヒ素汚染地域から住民を移転させる。
- ◆ ヒ素汚染土壌を除去すると共に汚染地下水を浄化し、地下水のヒ素汚染を改善する。
- ◆地下水中のヒ素濃度の変化を監視する。

◆ ヒ素中毒患者の治療・健康管理を支援する。

6.2.1 汚染物質、表土の処置

本調査は、地下水がヒ素汚染されている地域を抽出し、その原因解明し、今後のヒ素汚染進行を予測することである。したがって本調査結果に基づく汚染対策として、地下水汚染の進行を止め、地下水を浄化する方法について検討した。

汚染地域はかなり集約された形で把握され、その広がりの範囲、深さが概略決められた。 その多くは 1.0 m~2.0 m 程度の深さ以内と認められる。 これは調査地域の土質からすれば、バック・ホー等で容易に掘削が可能である。これは固体汚染物と同時に、その土壌中に含まれる汚染間隙水も撤去することを意味する。

この作業については、なお詳細の F/S が必要であるが、本報告ではプレ F/S 程度の計画を示す。 掘削上はダンプ・トラックにより、用意された管理型の処分場に堆積する。 この処分場は二重シールドの遮水構造とするが、有害漏水を考慮して集水施設と処理、回収設備を用意しなければならない。

現在の調査結果から、汚染源除去作業対象の各汚染濃集地点の規模を Table 6.1 のように想定する。

汚染	Location	Size	Area	Depth	Volume
IX No.		(m)	(m2)	(m)	(m3)
1	山元選鉱場周辺と下流域				
	Huai Hua Mueng上流部	300 × 40	12,000	2	24,000
	Huai Hua Mueng中流部	170×130	22,100	1.5	33,150
2	廃棄物処分場(旧)	100 × 100	10,000	2	20,000
3	町中ドレッジ池底質	100 × 150	15,000	1	15,000
4	町中選鉱場及び周辺	50 × 50	2,500	2	5,000
5	廃棄物処分場 (新)	100 × 150	15,000	1.5	22,500
5	32Cサイト	100 × 50	5,000	ŭ _g F⊈.	5,000
6	32Lサイト	20 × 200	4,000	2	8,000
./)					
	汚染土壌除去量計		81,600		132,650

Table 6.1 Summary of Contaminant Source Removal

各地点について、若干のコメントを加える。

①ここでは旧選鉱場作業での周辺土壌汚染の他,選鉱廃滓の堆積場があり、これらが さらに上部の採掘残土に加えて土石流として,数回にわたり広く拡散した状態となっている。またここは山側への道路,川の分岐点という地形と同時に社会的にも重 要な地点であるので,作業にはかなりの困難が見込まれる。したがって汚染源除去 が完全に行えないことを考慮して,下流の村への地下水流入を遮断する遮断工法も 検討する必要が出てこよう。

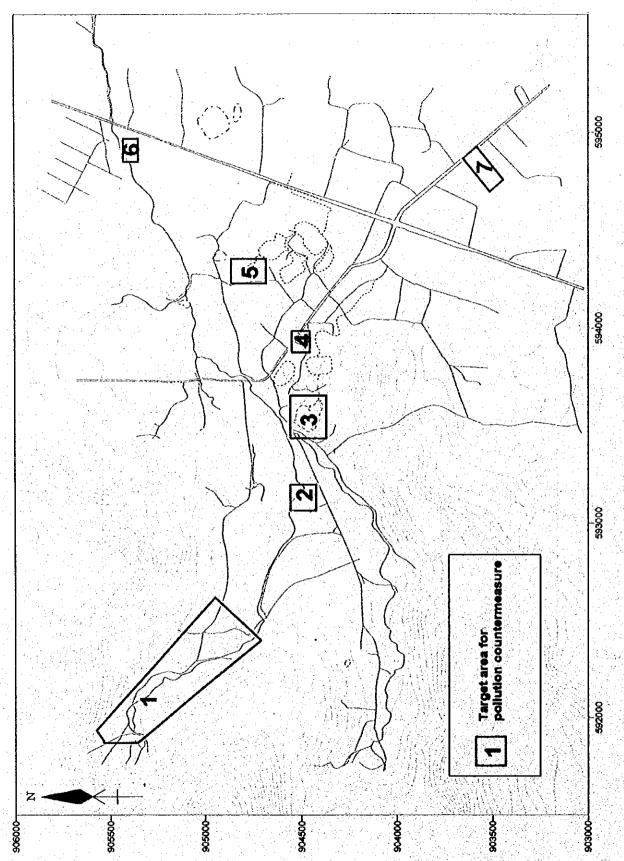


Fig 6.1 Target Area for Pollution Countermeasure

- ②ここは造成工事にともない汚染土の客土が行われた可能性とともに,ゴミ捨て場の 遮水構造が不完全なことが指摘される。またゴミと同時に汚染土壌も投入された可 能性も高く,掘削土除去と同時に廃棄物の再点検も含めてゴミ捨て場の改造,再建 設が必要である。
- ③ここは今回の調査では十分な実態が把握されていないが、底質が汚染しているのは 確認された。この底質をグラブ・バケットでドレッジするかポンプアップで除去す る必要があるが、その作業には底質にやや大きめの石塊が共存する可能性が高い。 そのため池の水を排水しての掘削、水の全量処理が有効ではあるが、水処理施設建 設との連携を経済性をもって計画しなければならない。
- ④選鉱場近傍には現在もなお明らかに汚染表土が見られる。ただここは町中であるので、作業には社会的配慮に重点が置かれなければならない。
- ⑤ここの状況は②と同様であるので、ゴミ捨て場の近代化という要素が大きい。村と しての廃棄物に対する長期展望が必要である。
- ⑥ここは造成での客土への環境的配慮の欠如が考えられる。したがって他の地点と同様, 掘削後の適正な客土の設計が重要である。
- ⑦ここも⑥と同様,造成設計,盛土の品質選定が適正に行われる必要がある。

これら汚染土壌の掘削並びに管理型堆積場での保管が必要な地域の内、その周囲の利用状況、人口密度、規模を考慮し、対策の必要性の最も高いものは次の通りと考える。

1. 町中ドレッジ池

- ◆ 町中ドレッジ池深部の水は、ヒ素汚染が非常に進み、最高ヒ素濃度は 3.2mg/literである。
- ◆ 池は数万トンの汚染水を地表に蓄えている。
- ◆ Ron Phibun の市街地人口密集地帯から 500m ほどしか離れず、池はその地下水上流部に有る。

2. 町中選鉱場及び周辺

- ◆町中ドレッジ池より市街地に近い。
- ◆可溶性亜ヒ酸を生成した煤焼炉の存在した場所であり、その廃棄物の処理場所は依然不明である。地下水ヒ素汚染のポテンシャルが非常に高い場所である。

3. 廃棄物処分場

◆生活廃棄物処分場であるが、廃棄物を堆積するのみで整理されておらず、ラテライ

トの還元状態によるヒ素汚染のみならず、他の有害物質による地下水汚染も心配される地域である。

それぞれで独特の問題を有する地点であるから、ここでの概略の掘削土量見積もりの総量 13 万 2,650 m3 はその後の F/S においてかなりの増減が考えられる。

6.2.2 汚染水の処理

現在の知識での地下水中のヒ素の除去は、鉄イオンとともに凝集、沈殿させてからろ過するのが経済的に優れた方法である。しかしそれでも、3価のヒ素 As(III)を5価 As(V)にする強力な酸化剤の添加、十分な量の凝集剤の添加が必要であり、その結果で得られる水を飲料水とする高度処理は困難である。

ここで一例として提案するのは、この最も基本的な酸化、凝集、ろ過法であるが、目標とするのは生活用水として洗濯、入浴等に用いられる中間処理水、すなわち中水であり、さらに現地で入手し易い材料を組み合わせた長期的な処理法の開発であり、一例としてその概念をFig 6.2 に示す。

このフローはまず汚染水に曝気、酸化から凝集剤添加を行い、生じたフロックについて傾斜板沈殿分離から急速ろ過、さらに砂ろ過を行う方法である。沈殿物はシックナーで濃縮し、固体は処分場に投入され、上澄水は原水に合流する。

こうして得られた中水(中間処理水)は一般的な生活用水,農業用水,工業用水の環境 基準をクリアすることが期待できる。もちろん河川への放流も可能である。また長期にわ たった運転を確保するためには、建屋に太陽光発電パネルを設け、電力を賄うことも有効 である。この設備一式は独立して設計が可能であり、わが国の休廃止鉱山の水処理施設で も実績を持つものである。

現地での知見から、酸化、鉄イオンの添加に有用なラテライト系の土壌が地区周辺に存在することが見出された。やや酸化機能が弱いものの造粒加工などで曝気層材料とする可能性がある。中水程度の製造を目標とするならば、このような安価で豊富な材料の開発はぜひ行いたい。

6.2.3 再溶出防止策

上述のラテライト系土壌の活用は掘削後の跡地埋め立て材料の選定で本質的な問題である。これが現地付近で供給できるか、あるいは簡単な乾燥、造粒処理、あるいは砂質分とのブレンドによって得られるならば、汚染土置換を経済的に行う上で効果は莫大であり、その開発研究の波及効果は計り知れないものと考える。

6.3 汚染対策評価と監視

汚染源が固体からすでに土壌中の間隙水に変わったものが多く見られることから、その

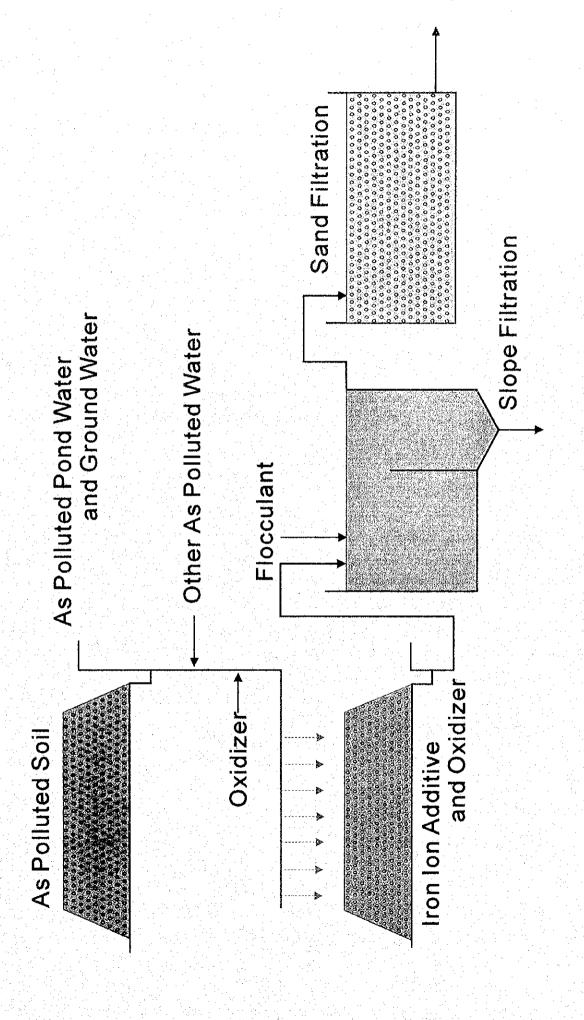


Fig 6.2 Process Flow of Arsenic Removal From Water

広がり、深さの範囲を特定し、掘削、除去が計画されるのが合理的と判断される。深部の地下水の汚染については、シミュレーション解析で汚染源処置後にこれがどのように変化するか、予測と監視が行える。ここでは前章で述べた3箇所のホットスポットモデルを活用して汚染対策による将来予測をおこなった。以下各モデルについて述べる。

kita talah batan 1988 tetah tetah kelulah dari berai antara Karan Talah Kelah Karan Karan terbah terbah terbah

(1) ドレッジ池モデル

Fig 6.3 はロンピブンモデルと同じ、ドレッジング池と町中選鉱場である汚染源が形成されてから現在までの 50 年間での汚染の広がりを示す(現況)。

Fig 6.4 は対策を実施しない場合の今から 50 年後の汚染の広がりを示す。池周辺の地下 水はかなり停滞しているので汚染の広がりは遅く、50 年後でも汚染範囲は汚染源から 150 mを超えない。

Fig 6.5 は汚染源である池水と底泥を全部取り除いた場合の 30 年後のヒ素残留状況を示す。地下水が停滞しているために、すでに汚染された地下水を取り除かないと、30 年経っても完全回復することは期待できない。従って、汚染源を取り除く対策を実施すると同時にすでに汚染された地下水をも取り除く必要がある。

(2) 32C モデル

Fig 6.6 はオーガーサイト 32C 周辺の埋め立て土汚染源が形成されてから現在までの 30 年間での汚染の広がりを示す。ロンピブンモデルでは同じ条件下でのシミュレーションを行ったが、セルのサイズが大きいために汚染の広がりがないように見えるが、ホット・スポットモデルでは拡大していることが分かる。

Fig 6.7 は対策を実施しない場合、50 年後の汚染の広がりを示す。オーガーサイト 32C 周辺の透水係数は浅層帯水層内最小であり、動水勾配も小さいので地下水の流速は極めて遅い。従って、50 年後でも汚染域は汚染源から 100m 以内の範囲にとどまる。

Fig 6.8 は汚染源としての埋め立て土を全部取り除いた場合の 20 年後のヒ素残留状況を示す。池周辺と同様、汚染された地下水を取り除かないと、20 年後でも自然浄化による水質回復は期待できない。

(3) 32L モデル

Fig 6.9 はオーガーサイト 32L 周辺特にその南側の埋め立てが行われてから 30 年後ヒ 素濃度の分布状況を示す。

Fig 6.10 は対策を実施しない場合の今から 50 年後の汚染の広がりを示す。前の 2 つのホットスポットと比べて、オーガー 32L 周辺の汚染源は面積が小さいのに、拡大速度大きく、50 年後には約 200m 先まで到達する。

Fig 6.11 は汚染源である埋め立て土を全部取り除いた場合の 20 年後のヒ素残留状況を示す。やはり汚染源を取り除くだけでなく、すでに汚染された地下水をも取り除く必要が

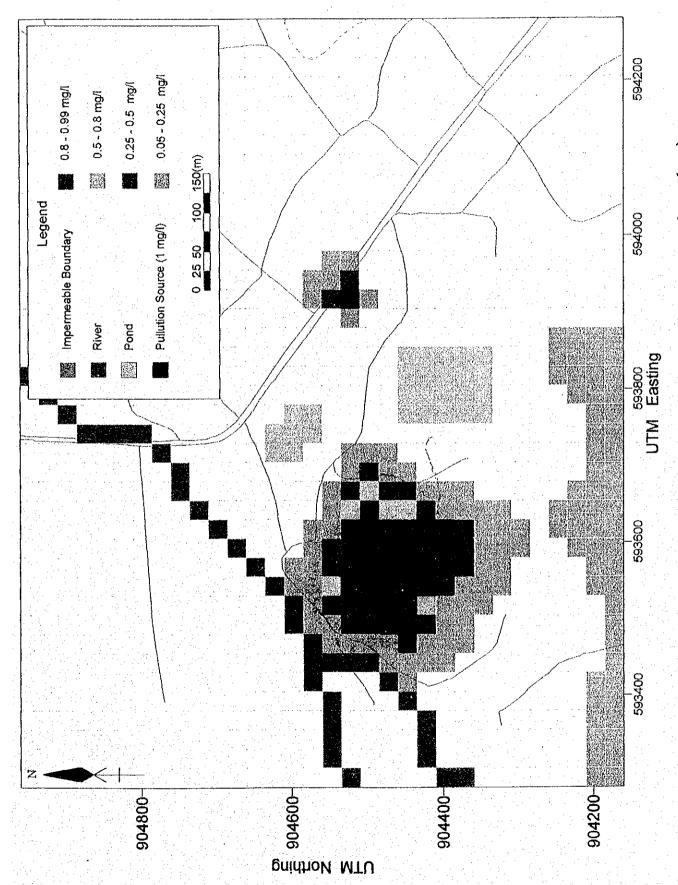


Fig 6.3 Result of Simulation around the Town (current situation)

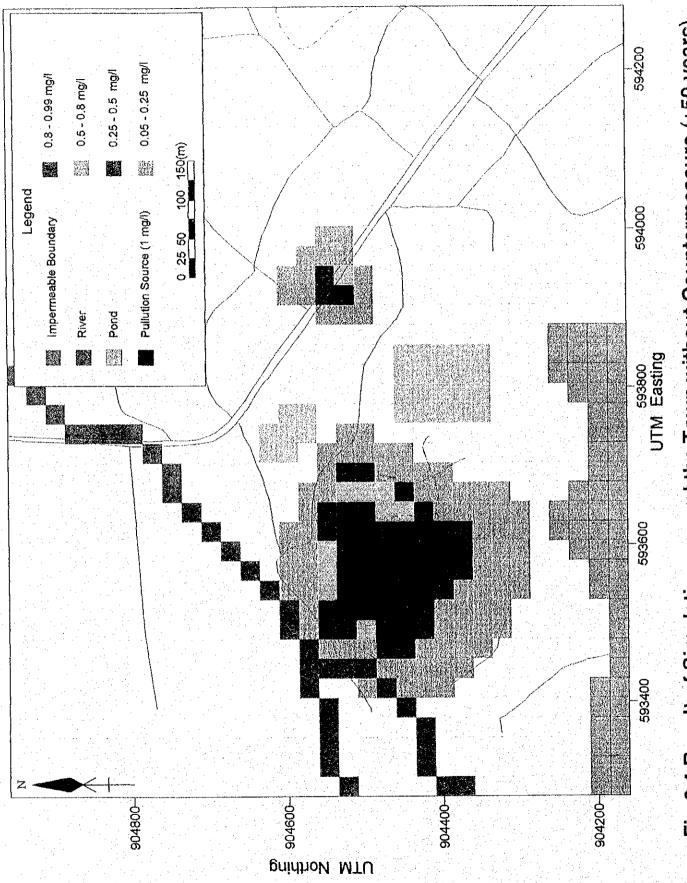


Fig 6.4 Result of Simulation around the Town without Countermeasure (+50 years)

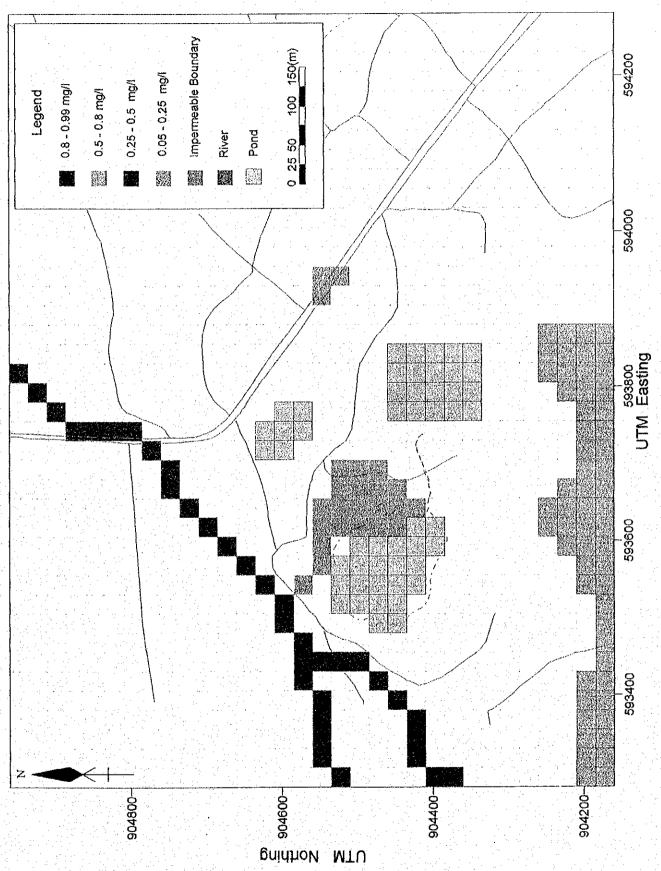
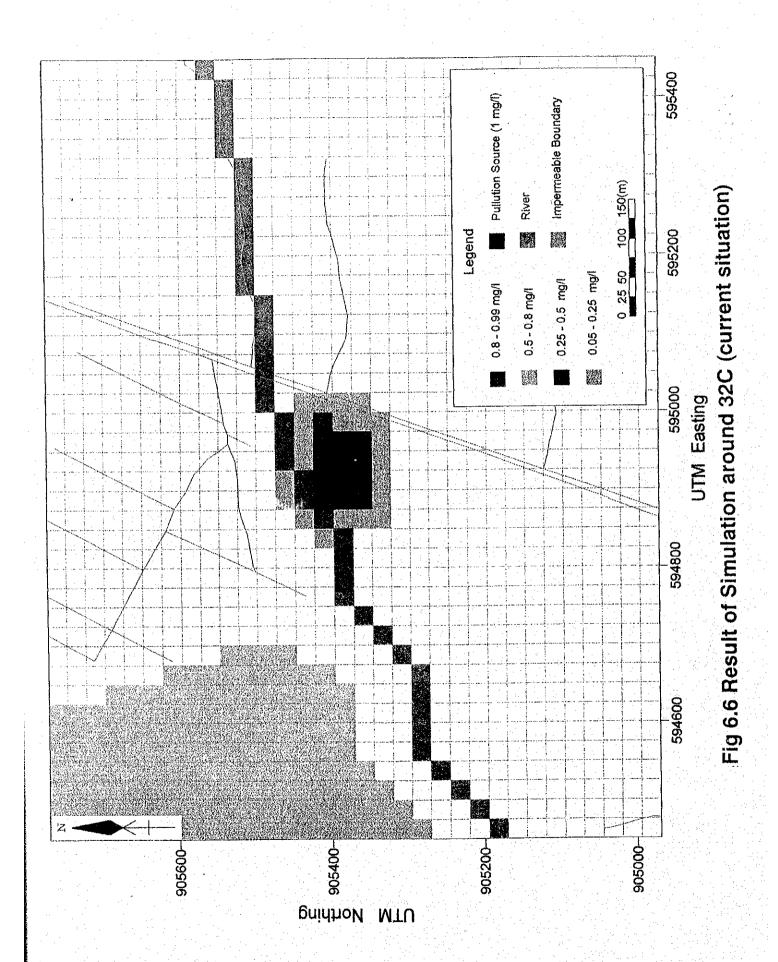
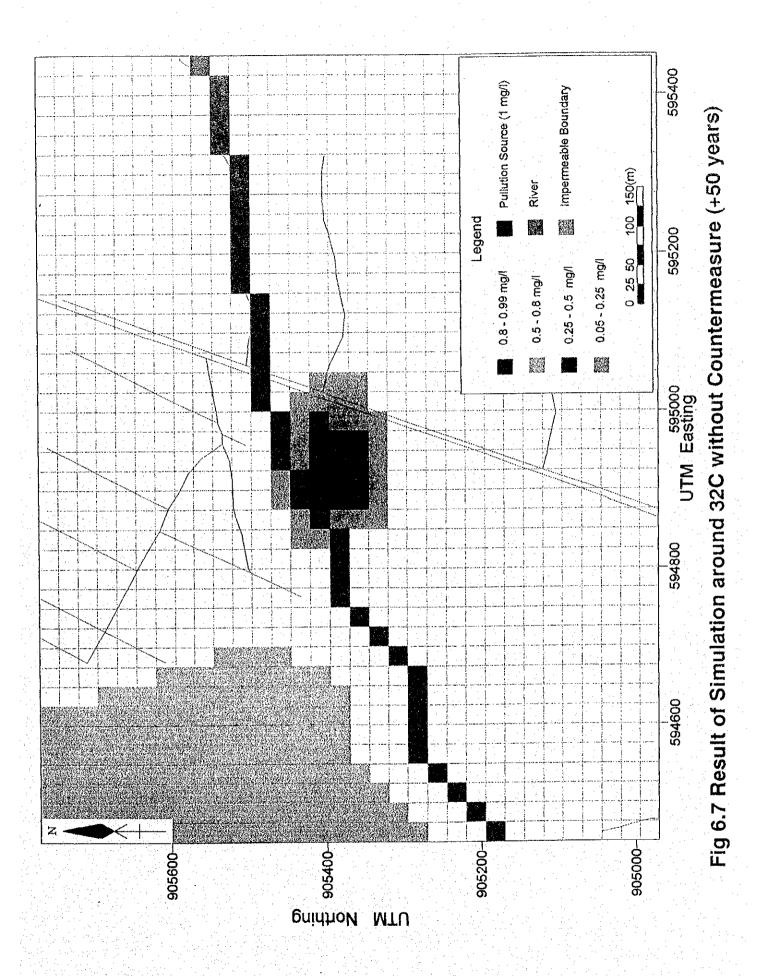
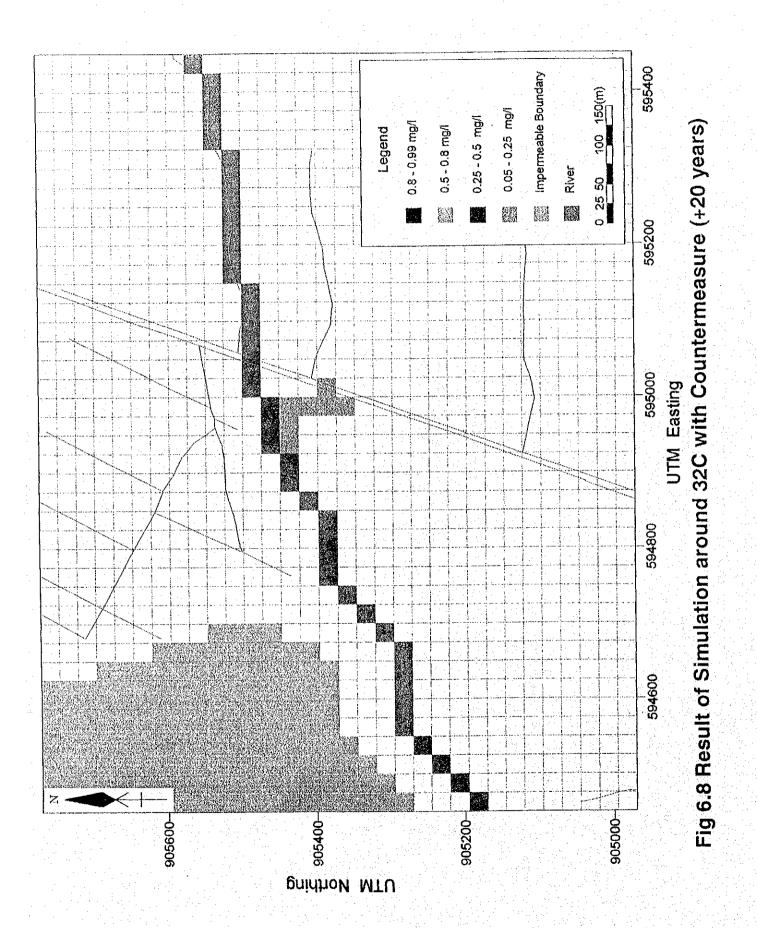


Fig 6.5 Result of Simulation around the Town with Countermeasure (+30 years)



-130 --





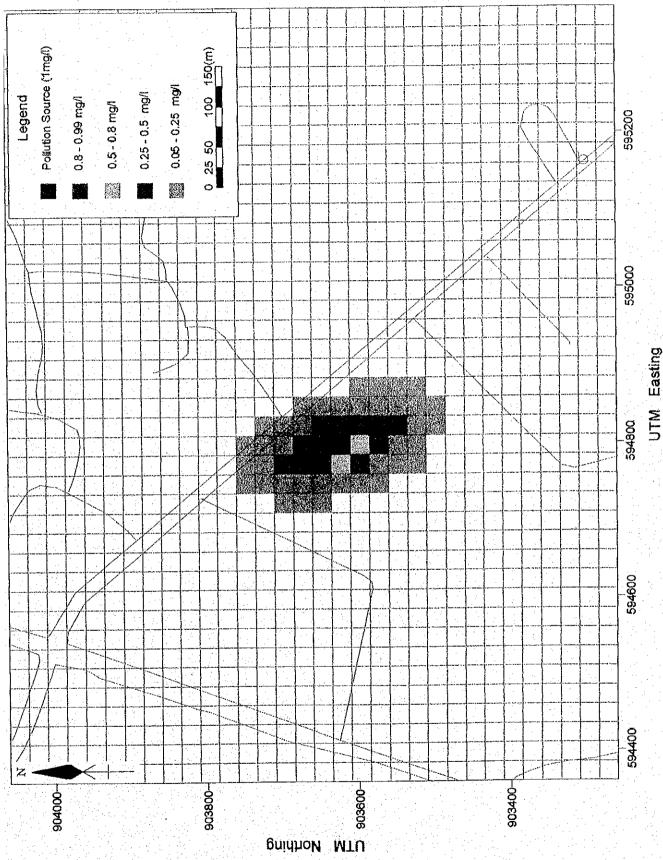
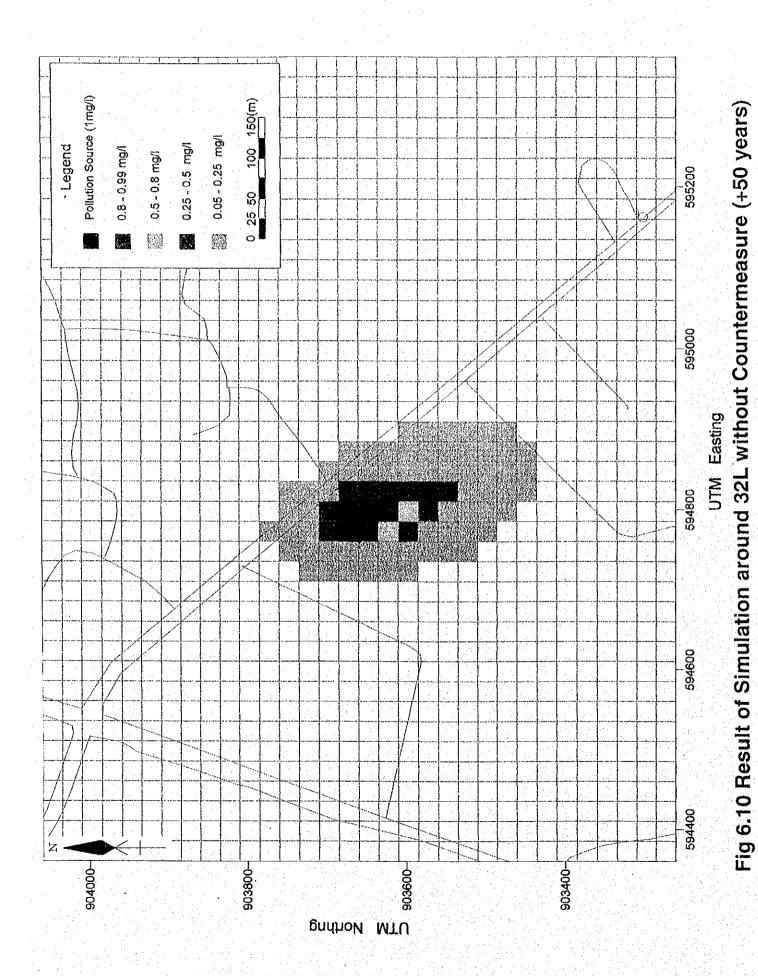
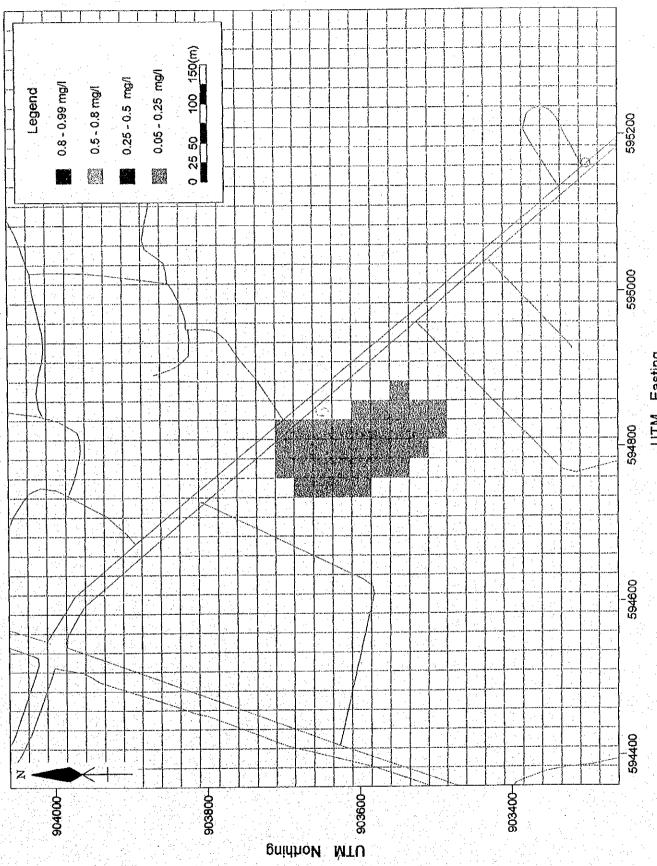


Fig 6.9 Result of Simulation around 32L (current situation)



-134 -



UTM Easting Fig 6.11 Result of Simulation around 32L with Countermeasure (+20 years)

ホットスポットモデルでも示されたように、汚染源を取り除くのは数多くの汚染改善対策の中で最も有効な対策であるが、それを実施するだけでは調査地域のような長年にわたって汚染が深刻化してきた地域に対してまだ十分ではない恐れもある。今回の観測結果、シミュレーション結果から観測点の決定は合理的に決定でき、また既存の観測并をそのまま用いられるものもあると考えられる。汚染を監視するため、数本の本格的な監視井で常時、水質の監視を行う体制が望ましい。

監視位置としては、まず山元選鉱場付近からの広域汚染処理が十分であったかをチェックする意味で、この付近の地下水流が村に到達する点が第1に挙げられる。ここは本来、地下遮水壁を設けたい個所であり、もしこの工事が可能であれば、この小規模地下ダムの水質を監視する構造としたい。

第2に町中選鉱場の付近は住民居住区の密度の高い地域であるので、ここを代表した汚染回復の指標として適当な位置を選定すべきであろう。

第3は国道を横切って下流の地区に拡散していく直前での監視位置を設定しておかねば ならない。

第4,第5は2つのゴミ捨て場の浸出水の監視であるが、ここでは対象をヒ素だけでな く、近代的な氷質管理の環境項目とすることが望ましい。

以上の5点が早急にモニタリングとして必要な監視井戸であり、そこでのヒ素の監視、 分析には、本調査で培われた原子吸光分析技術、同装置の導入と活用技術が有用であり、 そのための拠点研究室の整備が必要である。

ここでの汚染濃度がなかなか低下しないようであれば、ここから汚染水を大量に汲み上 げて処理に回すような計画も検討しなければならない。

6.4 土地利用についての啓蒙

本調査結果より、ラテライト質土壌の化学的相が還元状態になると、土壌中の鉄,マンガンに吸着されていたヒ素が地下水中に溶出する事がわかった。従って、32C や 32L 周辺のようにラテライト質土壌が多い地域では、その地表を粘土等で覆ったり、適切な処理を施していない生活排水を無計画に垂れ流すことは、土壌環境を還元状態にし、汚染を拡大することにつながる。

土壌を還元状態にする事を避けるために、ラテライト質土壌が存在する地域で、粘土を 盛り土する事や、生活排水を貯め、汚染が拡大する事がないよう地域住民に対して啓蒙活動を行うことが非常に重要である。

6.5 まとめ

本調査の結果、地下水中のヒ素濃度が特に高く、飲用に適さない地域のヒ素汚染の原因

は、大別し下記の二点である。

- 1. 過去に実施された錫精錬の鉱石の煤焼過程で、可溶性亜ヒ酸が生成された。生成された亜ヒ酸が精錬廃棄物中に混入し、投棄された廃棄物および、投棄された廃棄物の人為的もしくは洪水などの災害による移動によって土壌中に含まれた。廃棄物中の亜ヒ酸が地下水中に溶出し地下水を汚染させた。
- 2. 平地部に広く分布するラテライト中の水酸化鉄はヒ素を良く吸着する。この吸着されたヒ素は、ラテライトを酸化状態に保つと安定で殆ど溶出しない。しかしながら、地表に粘土を盛土したり、湿地化したり、有機物を厚く堆積させラテライトを還元状態に置いた場合、ヒ素は水酸化鉄と共に地下水中に溶出し汚染させた。

調査地域の汚染環境改善と住民の福祉のために、次の事について緊急性及び可能性を検 討し対策基本計画を作成する必要がある。

- ◆ヒ素汚染された地下水を利用している住民に対し、安全な飲料水・生活用水を供給する。
- ◆ヒ素汚染地域から住民を移転させる。
- ◆ヒ素汚染土壌を除去すると共に汚染地下水を浄化し、地下水のヒ素汚染を改善する。
- ◆ 地下水中のヒ素濃度の変化を監視する。
- ◆ヒ素中毒患者の治療・健康管理を支援する。

本調査結果を基に、地下水のヒ素汚染を改善し新たなヒ素汚染を発生させないためには次のことが重要である。

- A. 平地部にあるラテライト質土壌に粘土などを盛土したり、有機物を堆積させたりする ことによる、還元状態を発生させ無いよう土地利用を充分注意する。
- B. 汚染地域 (調査により判明した6地域) の土壌を除去し、汚染土壌を管理型処分場に 保管する。さらに水処理施設を設置し、汚染水を浄化し放流する。

これら汚染土壌の掘削並びに管理型堆積場での保管が必要な地域の内、その周囲の利用状況、人口密度、規模を考慮し、対策の必要性の最も高いものは次の通りと考える。

- 1. 町中ドレッジ池
 - ◆ 町中ドレッジ池深部の水は、ヒ素汚染が非常に進み、最高ヒ素濃度は 3.2m g/literである。
 - ◆ 池は数万トンの汚染水を地表に蓄えている。
 - ◆ Ron Phibun の市街地人口密集地帯から 500m ほどしか離れず、池はその地下水上流部に有る。
- 2. 町中選鉱場及び周辺
 - ◆町中ドレッジ池より市街地に近い。
 - ◆可溶性亜ヒ酸を生成した煤焼炉の存在した場所であり、その廃棄物の処理場所は依然不明である。地下水ヒ素汚染のポテンシャルが非常に高い場所である。

3. 廃棄物処分場

◆生活廃棄物処分場であるが、廃棄物を堆積するのみで整理されておらず、ラテライトの還元状態によるヒ素汚染のみならず、他の有害物質による地下水汚染も心配される地域である。