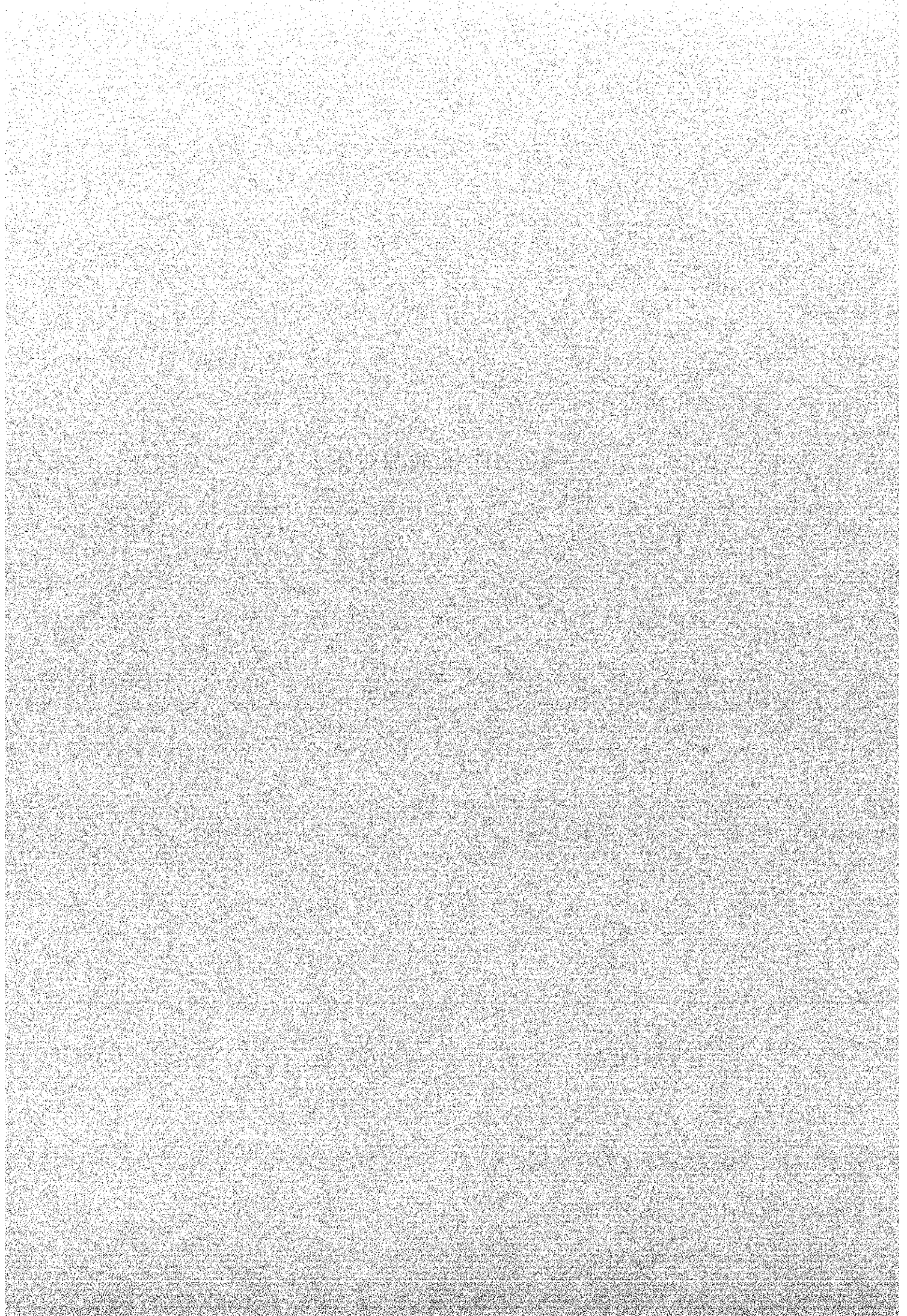


## 7. 代替水源对策



## 7. 代替水源対策

### 7.1 現況

ロンビブン行政区には地方水道公社 (PWA) が管理する水道と保健省 (MOH) が管理する水道の 2 系統がある。また深井戸による給水も一部で行われている。

#### (1) PWA 水道

PWA 水道の給水区域は Village 2,12,13,15 及び 7 で、給水戸数は 1,056 戸である。現在の水源地は Huai Nong Pet にある。この水道は約 20 年前にロンビブン町で建設したもので、もとの水源地は Khao Ron Na にあったが、仏歴 2533 年(1990 年)に PWA に移管されるとともに水源地が変更され施設が新たに建設された。元の施設は緩速ろ過池及び貯水池 (容量 160m<sup>3</sup>) であるが、現在は新設の凝集沈殿槽及び急速ろ過槽を使用し、貯水池に処理水を入れている。

水道管理はチャウワット (Ch Uad) 郡 (Amphoe) にある PWA 地方事務所が行っている。計画給水量は 125 m<sup>3</sup>/hour であるが給水実績は約 60 m<sup>3</sup>/hour (1 日当たり 1400 m<sup>3</sup>) 程度である。とくに乾季の最盛期には取水量が雨季の 10%程度に低下する。

水質基準全項目を年 1 回の定期検査でチェックしている。また月 1 回の簡易検査を行い水質をモニターしている。現在のヒ素濃度は 0.002 mg/l でタイ国の飲料水基準を下回っている。水道料金は全国均一料金が適用されており、平均で 11.71 Baht/m<sup>3</sup>、30m<sup>3</sup>までは 9 Baht/m<sup>3</sup> となっている。

#### (2) MOH 水道

水源はロンビブン町北部の Klong Thaloeng にある。水量は豊富であるが直上流で沖積鉱山の鉱業用水を取水している。この施設は約 60 年前に建設され、堰は老朽化し、口径約 40cm の鉄管も漏水が多い。現在、鉱山はほとんど休止しており一箇所だけ操業中の精錬所用水として使用されている。

現在の MOH 水道の取水施設 (堰) は 1995 年に王室灌漑局 (RID) が建設した。また、浄水場は 1996 年に MOH が建設した。水源地から浄水場までの送水本管の建設は RID が実施し、MOH は浄水場、給水タンク及び 2 次配水管を担当した。なお各戸へのサービス管の敷設費は住民負担となっている。

MOH 水道の給水範囲は Village 2,12,15 及び 1,3,9,16 である。配水本管は国道を横切り Village9 へ向かう路線が 5km、南の Village12 へ向かう路線が 3km である。しかし、当初計画のうち北の Village 11 へ向かう路線は建設されていない。また、水源水量が少なく給水範囲がひろいこと、一部住民は果樹園の灌漑用水などにもともと無料で河川水を利用していたこと、水料金を払うことに関するコンセンサスの欠如、盗水の横行などのため、現在までのところ MOH 水道施設は運転されていない。

### (3) 深井戸

地域振興開発局 (ARD) , 鉱物資源局(DMR), 公共事業局 (PWD)及び軍などの関係機関により深井戸、高架水槽及び配水管から成る深井戸給水施設が各村に建設されている。このほか、多数の管井(tube well)が掘削されているが、中には使用されていないものもある。これらの深井戸は井戸台帳にとりまとめた (井戸台帳調査参照)。

各深井戸は住民により管理されている。ロンビブン郡保健局でのヒアリングによると DMR が建設した深井戸給水施設の給水範囲は以下のとおりである。

WAT RONNA	Village2	60 戸
BAN HUDAN	Village 13	30 戸
BAN SAIYOA	Village 13	30 戸
BAN TUNGNUMJAN	Village 12	20 戸
WAT NEGKUMMARAM	Village 730	戸

### (4) 溪流からの取水

Village 単位で上記の水道とは別に溪流から取水している村がいくつか存在する。それらの Village は、No.2, 3, 8,10, 11 である。これらの水は溪流から直接取水しており無処理のまま使用している。

### (5) 水利用状況

水道用水の大半は洗濯、浴用、雑用などに利用され飲用、炊事用にはほとんど使われていない。これらの用途には雨水が利用されている。乾季には水道が使われるか、水道のない家庭では近隣からの貰い水により、飲用、炊事用としている。乾季には MOH により給水車が出動することもある。給水車は PWA 水源から取水している。

汚染管理局 (PCD) によるロンビブン行政区 (Tambol) 内 307 所帯のインタビューによる水利用調査の結果は以下のとおりである (重複回答)。

水源	雨水	85%	262 所帯
	水道	47%	144 所帯
	浅井戸	42%	129 所帯
	地表水	5%	14 所帯
	瓶詰水	4%	15 所帯

## 7.2 水道計画

ロンビブン南方の Huai Nam Sai に RID が建設した貯水量 8,000 万 m<sup>3</sup>の貯水池があ

り、水道用水の取水が可能である。PWA は、この貯水池からの導水により Cha Uad, Juraporn, Papayom を含めた広域水道を計画中である。また、この計画にロンビブンを含めた案が検討されている。しかし、本計画については財源難のため実施の見とおしはたっていない。ちなみに Cha Uad の水道は Klong Cha Uad から取水しているが、同水源は塩水遡上のため乾季には水質が悪化する。このため、上記の貯水池から塩害対策のための放流が行われている。

ロンビブン周辺には現在使用中と建設中の水源地が5ヶ所ある。この5ヶ所の水源地では集水するためのダムがすでに完成され、そのうち4ヶ所と連結するメインパイプも完成した。ただし、管理上の問題により Silaluk 水源地はまだ利用されていない。現在使用しているのは No.3 Dam、Huai Mut Dam と Bangyuan の3ヶ所である。

それらの水源地の分布と既存パイプラインを含む給水計画の概要は図 2-95 に示す。

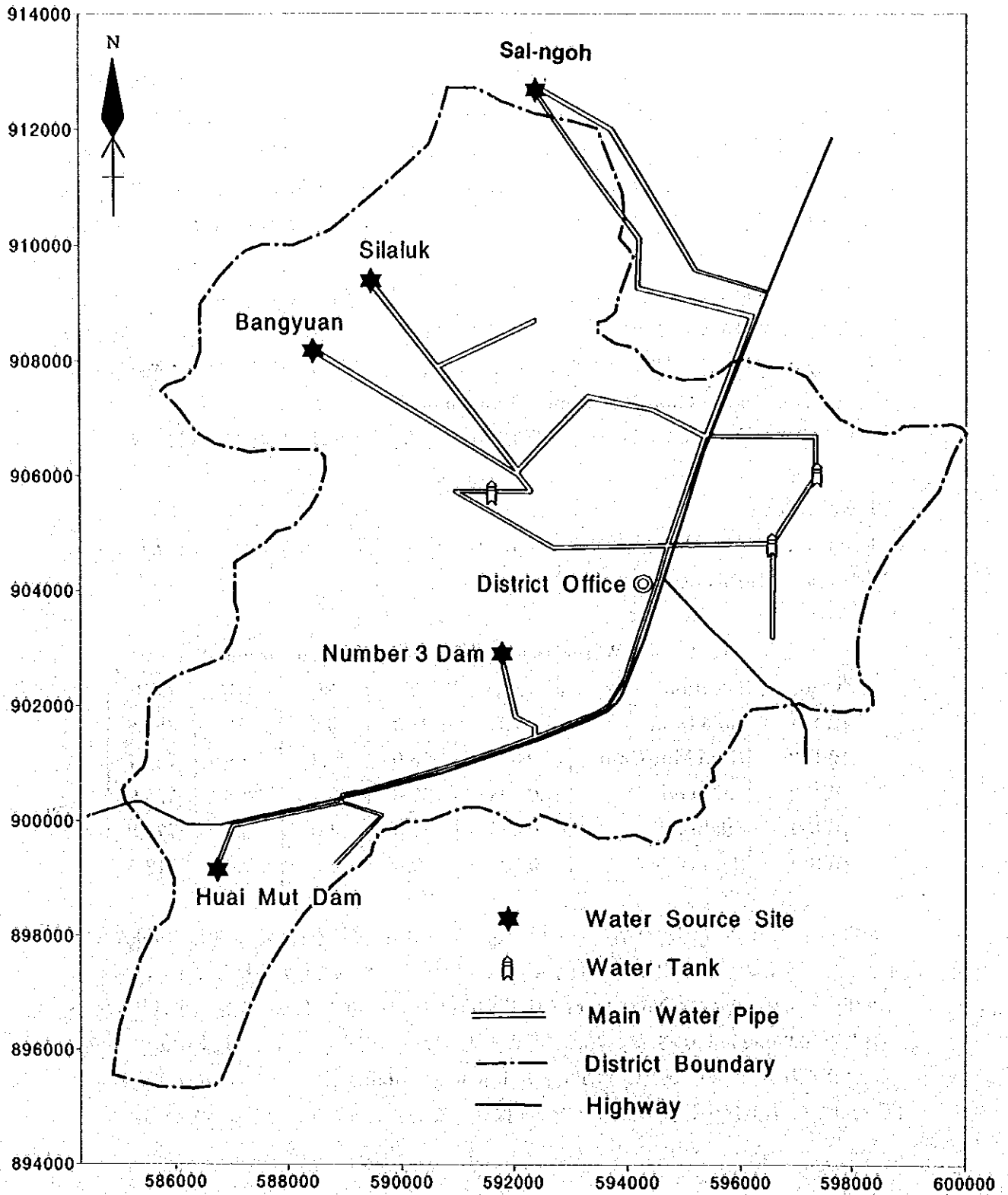
### 7.3 水源調査

ロンビブン周辺利用及び計画中の5ヶ所の水源地を対象として、水源調査を実施した。調査項目は流入河川の流量と水質である。

Table 7.1 Water Flow and Quality (field measurement)

Code	Location	流量m <sup>3</sup> /s	T	EC	pH	ORP
WR-1	No.3 Dam	0.3	23.0	3.2	7.2	283.8
WR-2	Huai Mut Dam	0.009	25.9	0.4	7.8	733.7
WR-3	Sai-ngoh	0.594	25.6	3.1	8.3	525.9
WR-4	Silaluk	0.443	27.0	4.0	8.0	478.9
WR-5	Bangyuan	0.193	30.6	4.5	7.8	412.3

現場測定の外にタイ国水質基準に準じて53項目の室内分析を行い、結果は Table 7.2 に示す。ほとんどの項目はタイ国水質基準を満たしたが、水源地1すなわち現在では最も多く利用されている水源地 No.3 Dam のヒ素濃度は 0.41mg/l であり、タイ国水質基準で決められた 0.05mg/l より8倍と高く、今のまま続けて利用すると新たなヒ素中毒患者が出ると考えられる。この水源地を放棄し、Sai-ngoh と Silaluk 水源地の建設を加速することはロンビブン行政区の住民の健康と安全を保障する上で不可欠なこととなっている。



**Fig 7.1 Water Service Network in Ron Phibun District**

Properties	Parameters	Units	Standard values		WR1	WR2	WR3	WR4	WR5
			Max. acceptable conc.	Max. allowable conc.					
Physical	Colour	Pt-Co	5	15	<5	<5	<5	<5	<5
	Taste	TON	non objectionable(3)	non objectionable(3)	ND	ND	ND	ND	ND
		TTN	non objectionable(3)	non objectionable(3)	ND	ND	ND	ND	ND
	Turbidity	SSU(NTU)	5	20	7.2	7.8	8.3	8	7.8
	pH	--	6.5-8.5	<9.2	3.2	0.4	3.1	4	4.5
	Electric	mS/m	--	--	283.8	733.7	525.9	478.9	412.3
	Oxidation	mV	--	--	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Reduction	Mg/l	500(600)	1,500(1,000)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Total Solids	Iron(Fe)	0.5	1	~0.09	~0.08	~0.05	~0.16	~0.18
	Chemical	D-Fe	--	--	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Manganese(Mn)		--	0.3(0.1)	0.5(0.3)	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
D-Mn(mg/l)		--	--	--	--	--	--	--	
Iron & Manganese (Fe & Mn)		--	0.5	1	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
		Copper(Cu)	--	1	1.5	0.08	0.08	0.16	0.16
Zinc(Zn)		--	5	15	0.76	65.23	0.72	1.02	0.95
Calcium(Ca)		--	75	200	0.25	5.45	0.15	0.25	0.23
Magnesium(Mg)		--	50	150	3.04	4.07	2.65	2.94	2.91
Sulfate(SO4)		--	200	250	0.43	0.17	0.13	0.14	0.14
Chloride(Cl)		--	250	600(500)	0.55	0.88	0.71	0.51	0.65
Fluoride(F)	--	0.7	1	0.06	0.01	0.02	0.01	0.02	
Nitrate(NO3)	--	45(10)	45(10)	0.01	0.01	0.03	0.04	<0.01	
Alkyl benzyl Sulfanates(ABS)	--	0.5	1	0.001	1.0(0.002)	0.01	0.01	<0.01	
Phenolic substance (as phenol)	--	--	--	--	--	--	--	--	

Table 7.2 Water Quality (laboratory analysis)(1)

Properties	Parameters	Units	Standard values		WR1	WR2	WR3	WR4	WR5
			Max. acceptable conc.	Max. allowable conc.					
	Sodium(Na)	--	--	--	3.69	4.76	4.11	5.55	5.56
	Potassium(K)	--	--	--	1.08	0.45	1.19	1.09	1.08
	Lithium(Li)	--	--	--	ND	0.02	ND	0.02	0.02
	Sulphite(SO2)	--	--	--	1.37	2.15	1.23	1.30	1.30
	Ammonia(NH4)	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Nitrate(NO3)	--	--	--	0.5453	0.875	0.713	0.5114	0.651
	Phosphoric(PO4)	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
Toxic elements	Mercury(Hg)	"	0.001	--	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Lead(Pb)	"	0.05	--	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	Arsenic(As)	"	0.05	--	0.41	nd	nd	nd	nd
	Selenium(Se)	"	0.01	--	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Chromium (Cr hexavalent)	"	0.05	--	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Cyanide (CN)	"	0.2(0.1)	--	<0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Cadmium(Cd)	"	0.01(0.005)	--	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	Barium(Ba)	"	1	--	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Bacterial	Standard plate count	Colonies/cm3	500	--	--	--	--	--	--
	Total coliform E coli	MPN/100cm3	<2.2 None	--	--	--	--	--	--
Epidemicbacteri <sup>a</sup>	Staphylococcus aureus	--	(none)	--	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
	Salmonella	--	(none)	--	Negative	Negative	Negative	group B	Negative
	Clostridium perfringens	--	(none)	--	Negative	Negative	Negative	Negative	Negative
	DDT(total)	Ug/l	-1	--	ND	ND	ND	ND	ND
Pesticide-	Aldrin&Dieldrin	"	-0.003	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Chlordane(total)	"	-0.3	--	ND	ND	ND	ND	ND

Table 7.2 Water Quality (laboratory analysis)(2)

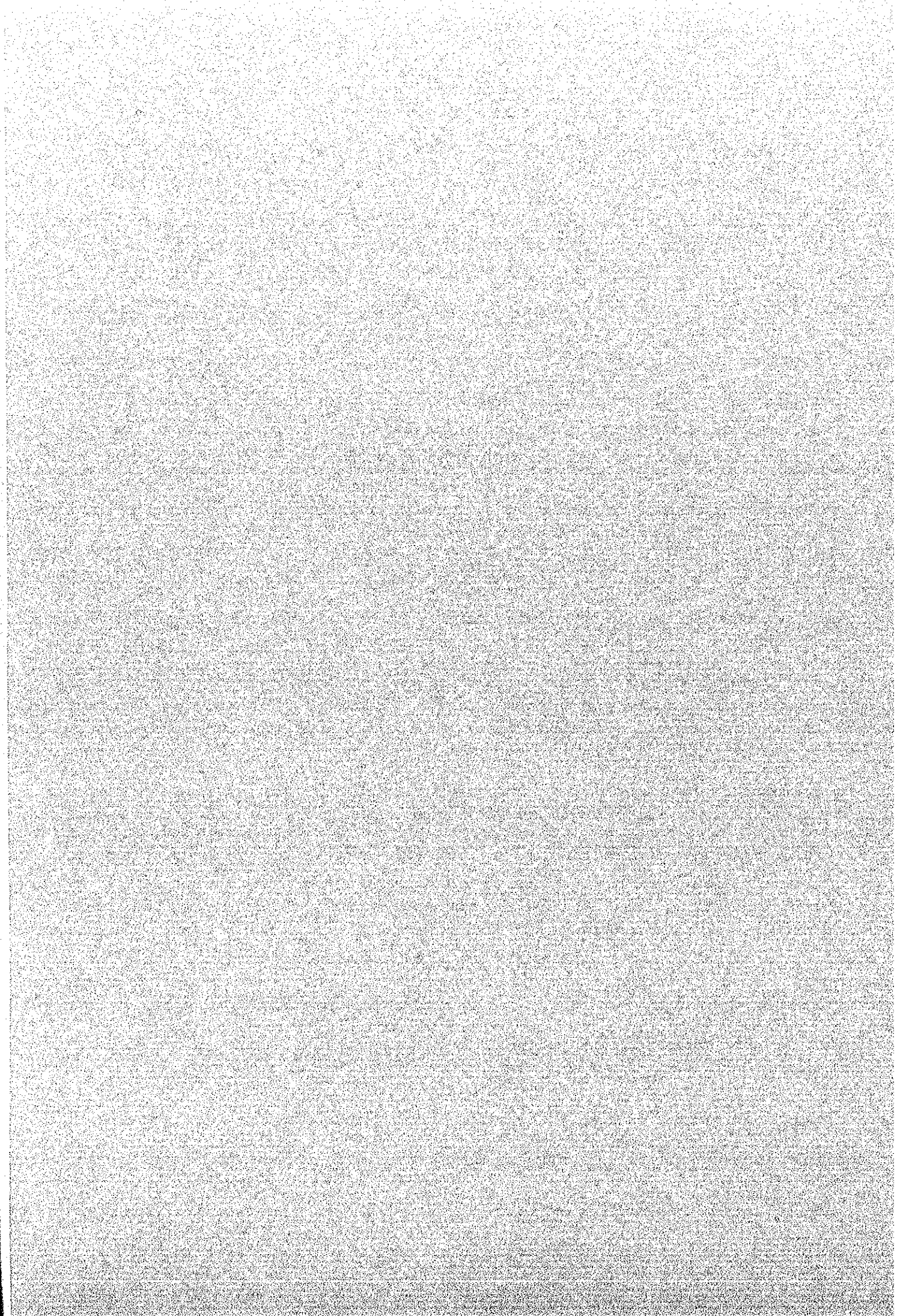


Properties	Parameters	Units	Standard values		WR1	WR2	WR3	WR4	WR5
			Max. acceptable conc.	Max. allowable conc.					
	Hexachloro Benzene	"	-0.01	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Hexachlor & Heptachlor epoxide	"	-0.1	--	ND	ND	ND	ND	ND
	$\alpha$ -HCH	"	-3	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Methoxy chloride	"	-30	--	ND	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	"	-100	--	ND	ND	ND	ND	ND
	HCB	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	b-BHC	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	G-BHC	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	d-BHC	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	PCNB	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Trans-Chlordane	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	OP-DDE	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Endosulfan I	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Endosulfan II	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	CIS- Chlordan	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Dieldrin	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	PP-DDE	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	OP-DDD	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Endrin	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	PP-DDD	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	OP-DDT	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
	Endosulfan Sulfate	--	--	--	ND	ND	ND	ND	ND
Radio-activity	Gross $\alpha$	Becquerel	-0.1	--					
	Gross $\beta$	"	-1	--					

Table 7.2 Water Quality (laboratory analysis)(3)



## 8. 社会経済評価



## 8. 社会経済評価

### 8.1 概説

本調査の結果、ロンビブン郡で発生したヒ素中毒に起因する人間の健康問題を改善するための方法が計画された。1998年のソクラ大学医学部論文「ヒ素中毒発現後10年間における皮膚疾患患者の再調査」(以下「1998年論文」)によれば、ヒ素による皮膚疾患の症状は過去10年間に水道水や瓶詰水などの安全な水を取ることによってある程度改善されたことが判明した。一方、雨水を飲用することによる有益な効果があるかどうかについての確証は得られなかった。従って、ロンビブン郡の住民に対しては今後さらに安全な水を供給することが必要である。この地区における水道水の供給計画は地方水道公社(PWA)によって予定されている。

前節で述べたように、汚染土壌の除去方法および汚染地下水の浄化方法が提案された。前者は、汚染凝集地点における汚染土壌を取り除き、それを管理型の処分場に堆積する方法であり、後者は、汚染水の浄化方法として、酸化、凝集、ろ過法を提案し、浄化目標としては、生活用水(洗濯、入浴など)、農業用水および工業用水を考慮した。

上記の対策を実施することにより、以下に述べるような直接的ないし間接的な便益が発生することが予測され、ロンビブン郡における住民の健康改善を含めた福祉の向上に大いに貢献するものと思われる。従って、このような対策事業を実現するためのより詳細な調査の実施が必要である。この報告書で提案された事業の実施によって将来発生するであろうと予測される便益の概要を以下に述べると同時に、便益の定量化のために将来必要となる調査項目の概要を述べる。

### 8.2 便益の概要

#### (1) 受益者数

ロンビブン郡で発生したヒ素中毒の患者数を推定するために、保健省は1994年に住民の健康診断調査を実施した。その結果、調査対象の616人のうち、162人(26.3%)が第1期ないし第3期症状の疾患を持つ患者であることが確認された。このことから、ロンビブン郡全体の人口のうち26%、すなわち約4,300人が慢性ヒ素中毒患者である可能性があるものと推測された。

既に述べたように、1987年に判明したヒ素中毒患者のうち、水道水または瓶詰水を飲用した第1期症状の患者は、浅井戸水だけあるいは雨水だけを飲用した者に比較してここ10年間に症状が好転したことが明らかになった。このような患者の比率は、10%(第1期から第0期へ)と18%(第2期から第1期へ)となっている。従って、大部分の患者は依然として慢性的なヒ素中毒に悩まされている。ヒ素中毒患者としてまだ認定されていない人たちも含めて、4,000人以上の人々が本調査で提案された対策の実施によって直接便益を得るであろうと予測される。

また、対策が実施されなかった場合は、この地域においてさらに新規のヒ素中毒患者が

発生する可能性が考えられる。例えば、ソククラ大学の調査（住民の水使用状況調査、1998年）によれば、調査対象の351世帯のうち、 $10\mu\text{g/liter}$ 以上のヒ素が5世帯で検出されたとのことである。そのうち1世帯は雨水を使用しており、2世帯は溪流からの取水、残り2世帯は井戸水を使用している。このような水を長期にわたって摂取した場合には健康に障害が起こる可能性がある。

#### （2）健康改善効果

提案された対策は、汚染土壌を除去し、それを管理型の処分場に堆積させるものである。また、汚染地下水の浄化方法も提案されている。これらの対策を実施することによって、地下水の水質が改善され、結果的に住民の健康改善につながるものと予測される。

1998年論文から明らかなように、ヒ素中毒患者がより安全な水を使用することによって、症状を改善することが可能である。また、同時に、新規ヒ素中毒患者の発生を防止することも可能となる。なお、これら健康改善の効果を定量化することは現段階では困難である。

#### （3）医療費軽減効果

上述の通り、対策の実施により、水質が改善され、住民の健康改善に寄与するものと考えられる。その結果として、住民は病院、保健所、診療所などへ出掛ける必要もなくなり、また薬局などへ薬を買いに出掛ける必要もなくなる。これらのことから、医療費が軽減されるという効果が発生することになる。

#### （4）時間節約効果

医療費の減少に加えて、多くの人々は、時間節約効果という便益を得ることができる。上述の通り、健康改善によって住民は病院、保健所、診療所などへ出掛ける必要もなくなり、また薬局などへ薬を買いに出掛ける必要もなくなる。すなわち、通院に要する時間や薬を買いに出掛ける時間を節約することが可能となる。これらの節約された時間を農業などの経済活動のほか、社会的な活動にも転用することが可能となる。

### 8.3 今後必要な調査項目

#### （1）汚染土壌対策事業

汚染土壌対策事業に関して今後必要な調査項目は以下の通りである。

- 除去の対象となる汚染土壌の確定（汚染源の範囲決定）
- 除去対象地の土地所有調査
- 除去跡地への新規土壌の選定調査
- 処分場の選定調査
- 処分場の設計調査
- 事業費の積算
- 実施計画の策定

#### （2）汚染水の浄化対策事業

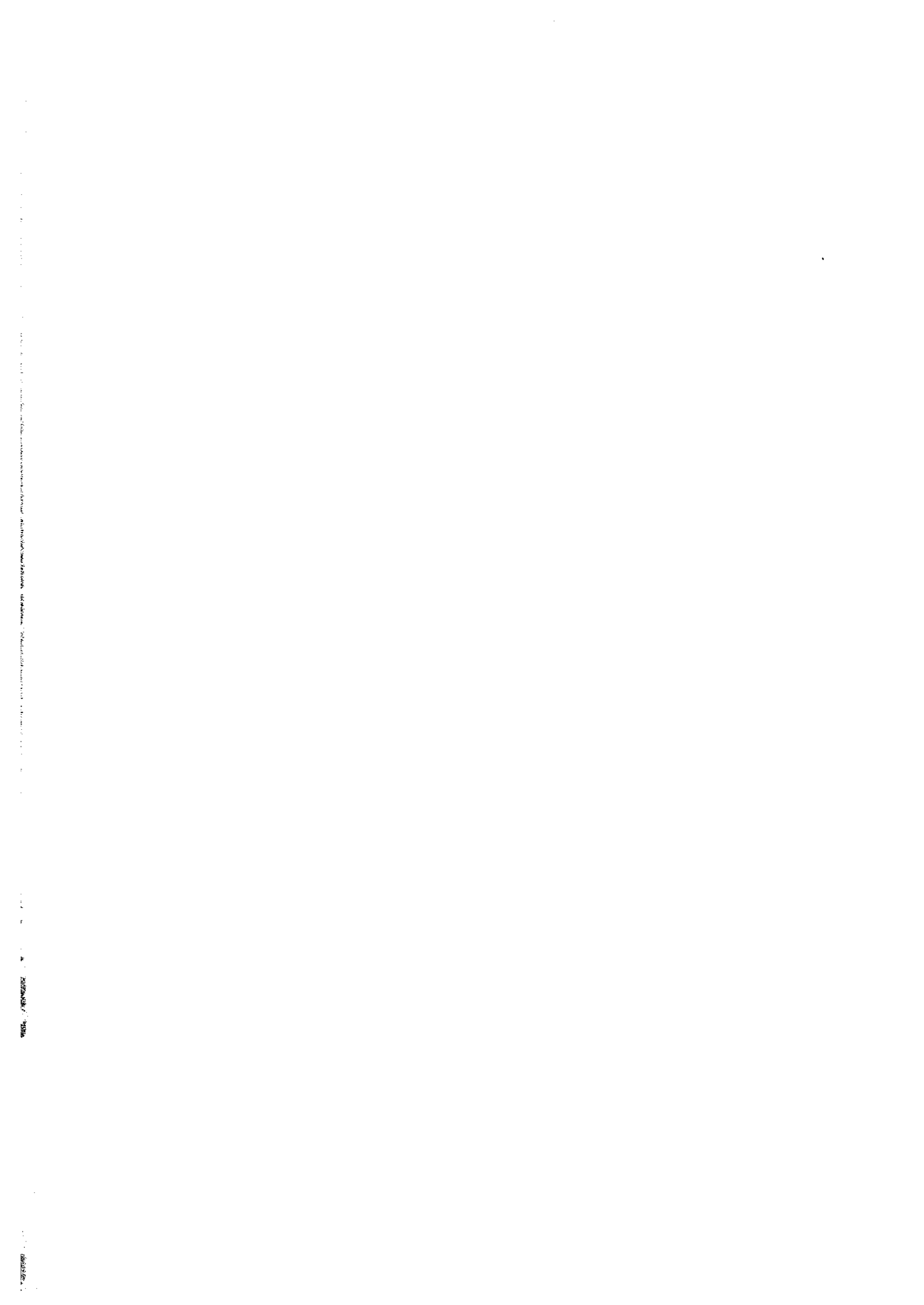
汚染水の浄化対策事業は主として地下水を対象としている。従って、対策事業の対象地区を選定するに当たっては、まず、PWA が計画しているロンビブン地区の水道計画についてより詳細な調査を行い、その実施計画の内容を十分に把握する必要がある。

- PWA による水道計画の内容および実施計画の確認
- 浄化対策事業の対象地域の選定
- 浄化方法の選定
- 事業費の積算
- 実施計画の策定

### (3) 便益算定に必要な調査

事業実施によって発生する便益を定量的に把握するために、以下の調査が必要である。

- 事業を実施しなかった場合に想定される汚染の範囲
- 事業を実施しなかった場合に想定される被害者数
- 事業を実施しなかった場合に想定される健康状態の進行度
- 事業を実施した場合に想定される被害者数
- 事業を実施した場合に想定される健康状態の進行度
- ヒ素中毒の疾患状態（第1期～第4期）による一人当たり年間治療費
- ヒ素中毒患者の通院に必要な時間数
- ヒ素中毒患者に必要な医薬品の年間コスト
- 住民の年間平均労働時間と平均労働者所得





## 9. 提 言



## 9. 提言

ロンビブン行政区では、長期にわたる錫鉱業活動に伴う地下水ヒ素汚染により、1000人を超えるヒ素中毒患者の発生が記録されている。現在、新たなヒ素汚染源となるような鉱業活動は行われていない。しかしながら本調査によると、過去の鉱業活動に伴うと思われるヒ素に汚染された地下水の分布する地区が多く有り、過去に蓄積された土壤中の汚染源からのヒ素の流出が続いていることが判明した。場所によっては、汚染された地下水中のヒ素濃度は飲料水中に許容されるヒ素量の数百倍にも達している。

本地域は、比較的降雨量が多く、雨期に地下水は涵養され下流域へと流出している。地下水流動に伴い、ヒ素に汚染された地下水は下流域へと拡散する危険を伴っている。

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。

対策基本計画によって、ヒ素汚染土壌の除去が必要と判断された場合、本調査結果を基に、地下水のヒ素汚染地域の汚染を軽減し、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。

### 1) ヒ素汚染土壌の除去

汚染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。

4. 町中ドレヅ池
5. 町中選鉱場及び周辺
6. 廃棄物処分場

### 2) 新規の汚染地域発生の回避

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、湿地化したり、有機物を堆積させたりすることにより還元状態を発生させ無いよう、土地利用方法に充分注意する。

### 3) 汚染水の浄化

汚染地下水と管理型堆積場からの汚染水を処理するために、水処理場を建設する。水処理場で汚染水を生活用水として利用可能な程度に浄化する。

### 4) 地下水の監視

上記対策の効果並びに新たな汚染発生の監視のために、定期的に地下水の質を調査する。

#### 5) 地元住民の啓蒙

地表付近の土壌が還元状態に置かれることと地下水のひ素濃度の間に関係があることが判明したので、地元住民に対し、表土を還元状態にしないよう啓蒙する。

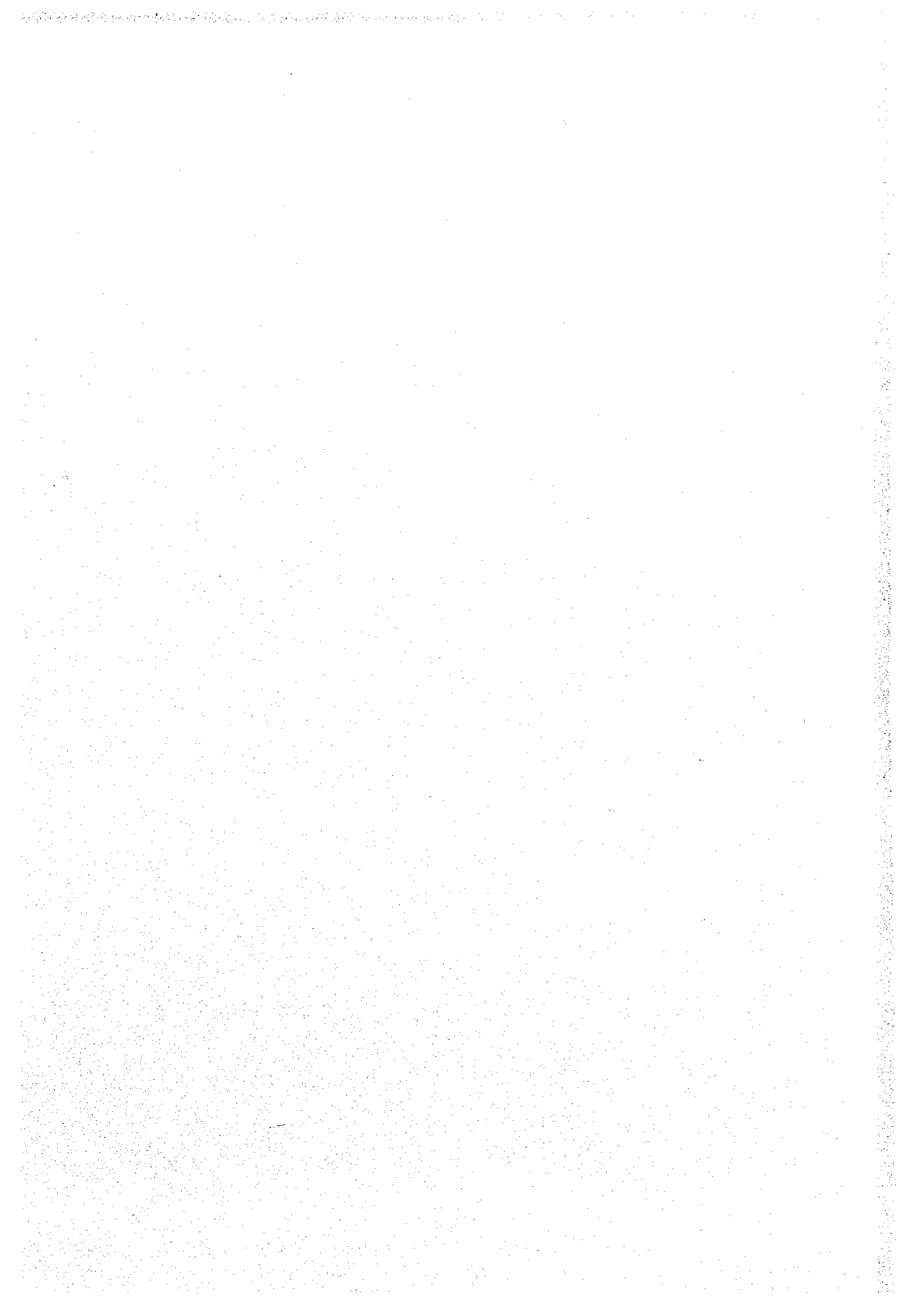
基本計画で汚染土壌の除去が必要とされた場合、次の事項を考慮した詳細な実行可能性調査を実施する。

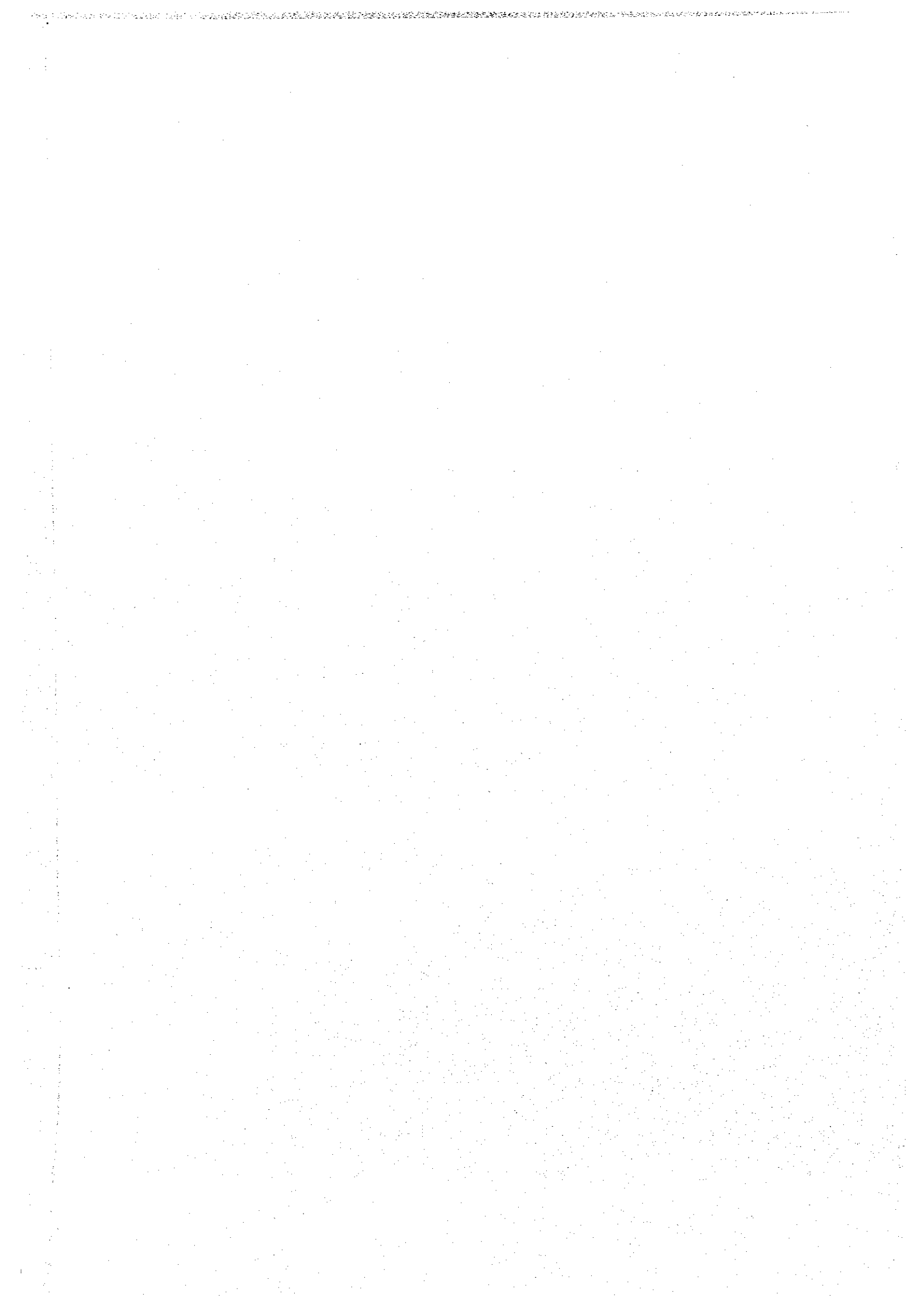
##### a. 汚染土壌の除去

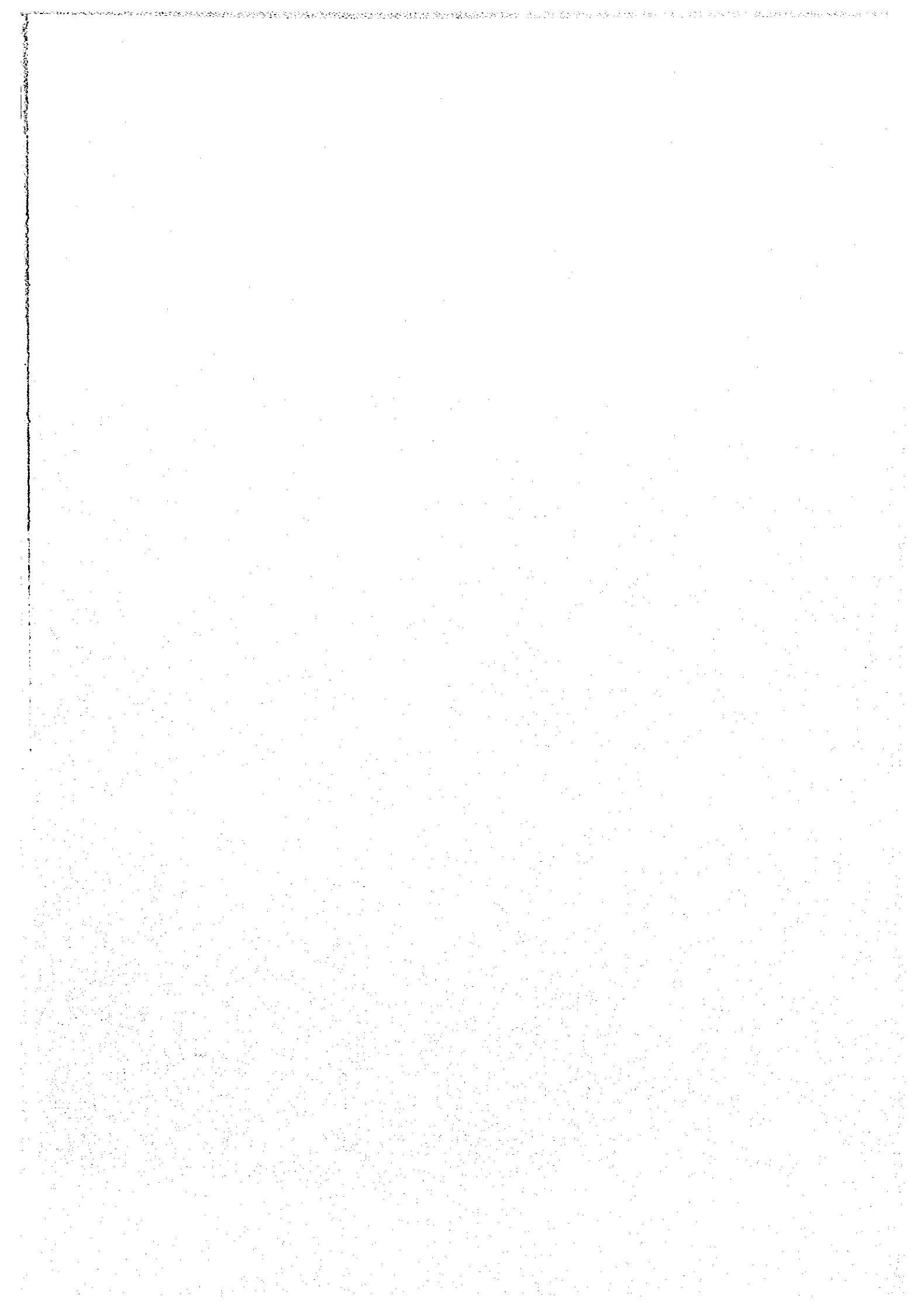
- 汚染地域範囲の詳細調査
- 汚染地域の土地所有者調査
- 汚染土壌除去後の埋立て用土壌調査
- 管理型廃棄物処分場用地調査
- 管理型廃棄物処分場設計
- 処分場建設並びに土壌除去費用の積算
- 実施計画

##### b. 汚染水処理場建設

- 処理方法の選定
- 処理場建設費用の積算
- 実施計画







JICA

