

IV 貯水池貯留水の水質評価

IV 貯水池貯留水の水質評価

1. 調査の内容

1.1 調査の目的

本調査は ELC のフィージビリティ調査によって前提とされていた通り San Roque ダムの集水域内で稼動する鉱山から排出される廃さいが、全て San Roque 貯水池内に収容される場合を想定し、貯水池貯留水の水質が季節的にどの様に変動し、又、長期的にどの様に変化するかを予測し、ダムからの流出水の水質を評価することを目的とする。

1.2 調査の方法

水質を予測する資料を得るために、定点観測及び汚染源調査を実施した。

1) 定点観測

自然汚染および鉱山活動に伴う汚染の現状を把握出来る様、次の5定点を設定した。

それらの位置を Fig. IV-1 に示す。

定 点 A

Binga ダムからの放水を対象とする。Binga ダムは鉱山活動の影響を受けない位置にあるため、San Roque ダム集水域の自然水を代表する定点とした。

定 点 B

Ambalanga 川に設定した。流域には、Benguet および Itogon 社に属する鉱山および精錬場が稼動しており、これらの影響を把握することを意図した。

定 点 C

Albian 川に設定した。この点より上流に、Philex 社に属する鉱山、選鉱場および第1廃さいダムが位置する。

定 点 D

Manaa 川に設定した。この点より上流に、Philex 社の、745 m 地並坑口および第2廃さいダムが位置する。定点Cと併せ、Philex 社の全排出物を捕捉することが出来る。

定 点 E

San Roque ダム予定地の下流に選定した。自然汚染、鉱山活動に伴う汚染の現状を一括把握出来る最重要定点である。

定点観測は1983年11月下旬から1984年11月末までの1年間にわたって実施し季節の1サイクルをカバーした。

定点における調査の内容は、流量、pH、電気伝導率、溶存酸素、濁度および透視度の観測と、分析用戸過水およびSSの採取であり、定点A～Dでは、10日に1回の観測およびサンプリングを実施し、又定点Eでは、1日4回の観測と1日1回の採水、10日に1回のSSサンプリングを実施した。

- X₁ Philox Mine ◇₁ Bangol mill
- / ₁ No 1 Talling dam
- / ₂ No 2 Talling dam

- X₂ Acupan Mine ◇₂ Balatoc mill
- X₃ Antamok Mine / No 1 & 2 Talling dam
- X₄ Boca Mine
- X₅ Kelly Mine

- X₆ Itagon Mine ◇₃ Itagon mill
- / Talling dam

- X₇ St. Nho Mine

- / AB Ambuklao power plant dam
- / BG Bingsa power plant dam
- / SR San Roque proposed dam

- Fixed Observation Point**
- A - E
- (Point A Same as BG)

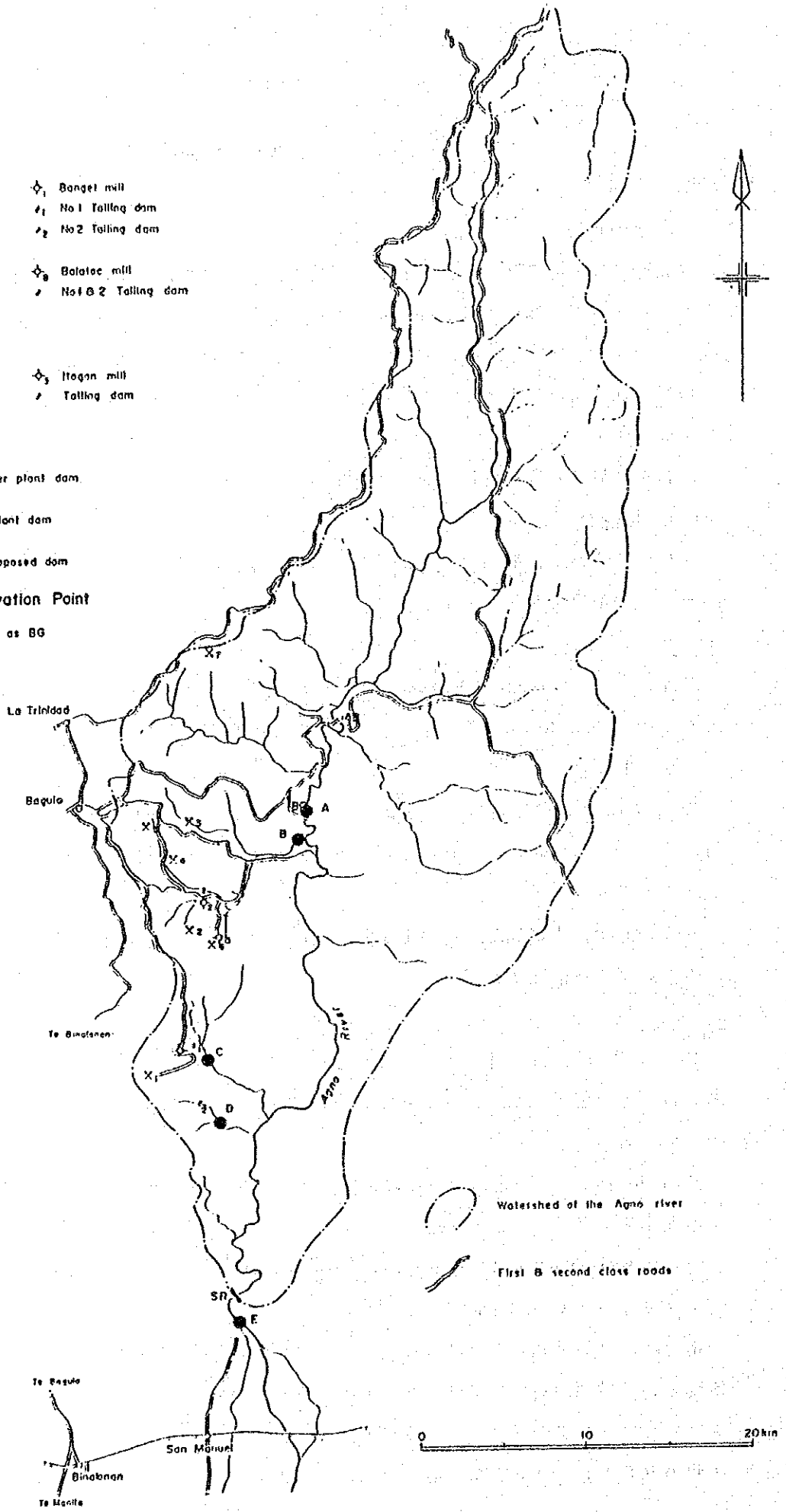


Fig. IV-1 Location Map of Observation Points and Mines

2) 汚染源調査

汚染源の実態を把握するために、1983年12月(第1次調査)、1984年2月(第2次調査)、1984年8月(第3次調査)の3回にわたり、自然汚染及び鉱山活動に伴う汚染源の現地観測、サンプリングと現地仮設試験所における各種試験を実施した。

自然汚染

自然水の代表としては定点Aにおける記録を用いることが出来る。自然堆砂の諸性質を把握するためにAmbuklaoダム、Bingaダムの貯水池内の堆砂を対象として、堆積状況の観察、化学分析、粒度分析を実施した。

鉱山活動に伴う汚染

鉱山活動に伴う汚染源としてはPhilex社、Benguet社及びItogon社に属する鉱山、選鉱場、精錬場から排出される坑内水、廃さいがある。

Agno川には次の4坑口から坑内水が放流されている。他にPhilex社1020mL坑口から排水されているが、これは選鉱用水として利用されており直接河川に放流されていない。

Philex社 745 mL 坑口

Benguet社 Acupan 坑口

Antamok 坑口

Itogon社 1300 mL 坑口

各坑口で水質を観測し、化学分析用試料を採取した。

廃さいは次の3工場から排出されている。

Philex社 Bange t 選鉱場

Benguet社 Balatoc 精錬場

Itogon社 Itogon 精錬場

各工場の排出口で水質を観測すると同時に、化学分析用試料、現地試験用試料を採取した。更に廃さいダム中の廃さいについても観察及び試料採取を行った。

3) 現場試験

現地仮設試験所で次の試験を実施した。

振とう法による溶出試験	}	廃さいが川を流下する過程で溶出する成分の検討
エアレーション法による溶出試験		
乾湿繰り返し法による溶出試験	}	廃さいがSan Roqueダムに收容された後溶出する成分の検討
モデル試験		
粒度試験(篩分試験、沈降試験)		自然堆砂、廃さいの粒度分布、粒度毎の性質の検討
粒度別溶出試験		ダムから流出した廃さいから溶出する成分の検討

2. 現地調査結果

2.1 定点観測結果

定点観測によって得られた全データについては資料“B”「定点観測のデータ」としてとりまとめた。以下特記すべき事項について述べる。

定 点 A

定点Aを設定したBingaダムでは8月末から9月上旬にかけてと10月末に余水吐からの越流が見られたが、その他の期間は越流がなく水力発電所の使用水のみが放流されていた。水質の観測およびサンプリングは貯水池の表層水を対象とした。

定点Aにおけるデータの月平均値を次に示した。

Month	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/l)	Turb. (ppm)	SS (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
Dec.	21.58	24.8	8.8	220	6.6	14.5	4	0.003	0.005	0.0031	25	5.6	-	22
Feb.	10.86	27.3	8.5	240	6.5	4.9	7	0.003	0.010	0.0026	37	6.0	<0.01	26
Mar.	20.13	29.5	9.0	220	6.7	8.0	3	0.003	0.010	0.0023	23	5.7	<0.01	28
Apr.	33.86	31.7	9.0	210	6.8	2.6	3	0.004	0.010	0.0033	26	5.7	<0.01	29
May	18.13	31.0	8.8	230	7.0	4.1	12	0.003	0.005	0.0031	30	5.9	<0.01	30
June	46.53	30.7	8.7	230	7.3	4.6	6	0.003	0.003	0.0032	27	6.0	<0.01	30
July	43.75	30.1	8.8	230	7.1	3.2	3	0.003	0.003	0.0033	29	6.0	<0.01	30
Aug.	67.14	27.8	8.8	220	8.9	4.3	3	0.003	0.004	0.0021	28	5.6	<0.01	22
Sept.	71.59	29.4	8.4	170	6.7	67.6	41	0.003	0.004	0.0010	22	4.8	<0.01	14
Oct.	45.75	26.9	9.0	170	7.2	8.0	9	0.003	0.006	0.0008	25	4.7	<0.01	19
Nov.	50.01	27.0	9.2	180	7.3	3.7	23	0.003	0.002	0.0015	21	5.1	<0.01	20
Average	39.03	28.7	8.8	200	7.0	15.7	10	0.003	0.006	0.0024	26	5.4	<0.01	23

- : No data
- * : Average of Cu is calculated on the ground that the Cu concentrations below the detection limit are regarded one half of the limit value:
0.005 × 1/2 = 0.0025

濁度、SS量に見られる様に8月下旬に襲来した台風Maringに伴う大洪水によって全層に及ぶ濁水が発生し、表層水の濁度が100 ppmを越える状態が9月上旬まで引続いたが、その他の期間の表層水は比較的清澈であった。

電気伝導率、分析値に示される様に、有害溶存物質は少なく良好な水質であった。

pH値は8～9で本地域の自然水が弱アルカリ性を示すことは注目すべき特徴である。

濃度の季節変動が少ないので、これらの年平均値をもって本地域の自然水を代表する値とし水質予測に使用した。

定 点 B

定点Bにおけるデータの月平均値を次に示した。

Month	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/ℓ)	Turb. (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	Cu (mg/ℓ)	Zn (mg/ℓ)	As (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	CN (mg/ℓ)	SO ₄ (mg/ℓ)
Dec.	2.80	24.9	8.3	1400	6.9	270	210	0.075	0.005	0.0344	258	13.8	-	541
Feb.	1.62	26.8	7.9	1600	7.1	870	650	0.545	0.010	0.0323	280	24.3	1.11	749
Mar.	1.41	28.1	8.2	1600	7.6	490	420	0.220	0.010	0.0380	191	24.4	0.13	841
Apr.	1.22	30.2	8.3	1600	7.4	690	630	0.200	0.010	0.0531	338	26.7	0.22	834
May	1.81	29.5	8.2	1400	6.8	470	700	0.467	0.008	0.0239	239	17.6	0.18	675
June	2.31	29.1	8.1	1100	7.1	690	880	0.181	0.009	0.0179	199	17.9	0.23	522
July	4.99	27.9	8.1	940	7.5	210	280	0.168	0.006	0.0151	156	20.5	0.20	444
Aug.	7.47	26.7	8.2	840	7.4	630	830	0.213	0.009	0.0159	147	18.0	0.51	390
Sept.	19.19	29.2	7.8	730	7.2	860	1400	0.135	0.010	0.0047	118	20.4	0.25	274
Oct.	6.05	26.5	8.0	960	7.2	300	420	0.188	0.039	0.0106	179	19.0	0.32	458
Nov.	7.37	25.7	8.2	880	7.5	230	320	0.132	0.008	0.0140	143	17.7	0.26	831
Average	5.11	27.7	8.1	940	7.3	570	820	0.179	0.012	0.0143	161	19.4	0.31	474

- : No data

流量は7月から11月までが比較的多く雨季の状況を示している。

定点Bでの電気伝導率は高く、特に乾季に著しい。溶存成分のうちではAs, Ca, Mg, SO₄濃度が乾季で高く雨季で比較的低い傾向をもち、これらの現象から雨季に希釈度が増したことが示されている。しかしながら、CuとCNの濃度は雨季になっても低下せず負荷量（濃度×流量）は雨季に非常に大きな値となることが判明し、有害成分の挙動として、その値が大きいことをも含めて注目を要する。Zn濃度は全般的に低く変動の傾向が把握出来ない。

定点C及びD

定点C及びDにおけるデータの月平均値を次に示した。

Fixed Point C

Month	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/ℓ)	Turb. (ppm)	SS (mg/ℓ)	Cu (mg/ℓ)	Zn (mg/ℓ)	As (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	CN (mg/ℓ)	SO ₄ (mg/ℓ)
Dec.	1.20	21.7	8.5	860	8.0	500+	3700	0.010	0.005	0.0010	187	6.3	-	383
Feb.	0.76	25.7	8.5	1200	7.4	2000+	10000	0.008	0.010	0.0006	258	8.0	0.01	702
Mar.	0.43	28.8	8.6	1700	6.8	1900+	18000	0.020	0.010	0.0010	317	8.6	0.01	781
Apr.	0.41	28.6	8.3	1200	7.7	2000+	22000	0.010	0.008	0.0006	357	10.5	0.00	809
May	0.76	27.7	8.2	1200	7.5	2000+	13000	0.006	0.010	0.0003	257	9.2	0.01	640
June	2.12	26.8	7.9	760	7.7	2000+	10000	0.008	0.009	0.0004	143	9.1	0.01	355
July	4.03	25.0	7.7	590	7.8	1800+	6600	0.003	0.003	0.0004	100	6.4	0.00	238
Aug.	4.99	23.4	8.1	620	7.7	2000+	9000	0.003	0.004	0.0003	95	7.3	0.01	226
Sept.	7.73	26.5	7.3	510	7.4	1200+	3900	0.006	0.008	0.0003	79	12.2	0.00	203
Oct.	3.17	25.0	8.4	600	7.5	2000+	11000	0.003	0.004	0.0008	126	6.1	0.01	287
Nov.	4.12	21.6	8.5	510	8.0	2000+	4500	0.005	0.003	0.0005	86	4.7	0.01	193
Average	2.70	25.5	8.2	640	7.7	1700+	10000	0.005	0.006	0.0004	116	8.2	0.01	278

- : No data

Fixed Point D

Month	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/l)	Turb. (ppm)	SS (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
Dec.	0.81	23.7	8.1	900	8.1	500+	1200	0.014	0.005	0.0017	207	7.2	-	433
Feb.	0.55	24.6	8.4	1100	7.3	1270	5800	0.005	0.010	0.0011	236	8.0	0.01	655
Mar.	0.41	26.2	8.3	960	7.7	820	630	0.008	0.010	0.0018	196	7.0	0.01	521
Apr.	0.45	28.2	8.1	1400	7.3	190	390	0.004	0.008	0.0013	314	8.4	0.01	747
May	0.72	27.9	8.1	1200	7.4	1600+	9200	0.004	0.013	0.0011	258	9.3	0.01	632
June	1.60	26.5	7.9	740	7.8	1900+	13000	0.003	0.006	0.0004	143	6.4	0.01	338
July	2.08	26.1	7.8	630	7.5	1400+	3800	0.003	0.003	0.0007	108	5.5	0.01	265
Aug.	2.76	21.8	8.0	470	7.6	880	1700	0.003	0.003	0.0004	80	3.6	0.01	173
Sept.	3.21	27.6	7.5	430	7.4	110	150	0.006	0.005	0.0006	68	6.3	0.01	160
Oct.	1.37	25.6	8.1	880	7.2	460	580	0.003	0.005	0.0004	195	6.4	0.01	439
Nov.	2.12	23.4	8.2	710	7.6	1100	2300	0.003	0.004	0.0005	118	3.5	0.00	276
Average	1.46	25.6	8.0	690	7.5	890+	3200	0.004	0.005	0.0007	131	5.7	0.01	310

- : No data

流量は両地点とも7月から11月までが比較的多く、B点と同じく雨季の状況が良くとらえられている。両地点とも濁度が非常に大きく濁度計の測定限度(2,000 ppm)を越えることが多い。

電気伝導率Ca, Mg, SO₄濃度は流量の増加によって減少しており、希釈度が増したことを示している。Cu, Zn, As, CN等の有害成分濃度は低く検出限界以下のことが多い。

定 点 E

定点Eにおけるデータの月平均値を次に示した。

Month	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	DO (mg/l)	Turb. (ppm)	SS (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
1983 Dec.	22.13	25.4	8.3	430	7.1	-	1200	0.010	0.005	0.0041	71	6.7	-	98
1984 Feb.	14.63	26.4	8.0	470	7.0	900	990	0.011	0.014	0.0045	81	7.3	0.01*	124
Mar.	32.27	28.9	8.2	440	7.1	610	920	0.011	0.010	0.0049	62	7.6	0.01	115
Apr.	32.37	31.1	8.3	430	7.0	290	510	0.018	0.006	0.0043	52	6.9	0.01	96
May	46.41	30.1	8.3	420	7.1	770	1300	0.012	0.005	0.0041	53	7.0	0.01	104
June	61.48	27.6	8.2	410	7.2	850	1400	0.018	0.003	0.0032	49	6.3	0.02	89
July	80.24	25.4	8.2	370	7.2	880	1600	0.036	0.003	0.0031	47	6.6	0.04	88
Aug.	265.25	26.1	8.1	240	7.2	1500	2900	0.014	0.003	0.0023	31	5.1	0.02	47
Sept.	198.90	26.6	8.1	250	7.2	360	410	0.011	0.004	0.0019	33	5.7	0.02	48
Oct.	114.53	26.5	8.2	330	7.3	590	2300	0.015	0.006	0.0018	47	5.7	0.01	88
Nov.	104.82	26.3	8.2	330	7.4	310	690	0.012	0.003	0.0021	41	5.9	0.01	77
Average	88.46	27.3	8.2	310	7.2	700	1600	0.015	0.004	0.0026	41	5.9	0.02	70

* : Concentrations below the detection limit are regarded one half of the limit value, so that CN content is 0.01 mg/l even if many of the daily data are below the limit.
 - : No data

流量は6月下旬から急激に増加し、9月上旬にピークに達した後減少を始める。この流量を水文解析に基づく月平均推定値と比較すると3月、4月、5月、8月、11月が推定値より大きく、2月、6月、7月、9月、10月が推定値より小さいが、その差は顕著でな

く、観測を行った12月～11月の期間は概して平均的流量を示すといえる。

pHは多量の雨水（雨水のpH測定9回の平均値6.9）が混入した洪水時期には一時的にpH 7.5まで下がるが平均的には8.0～8.3で推移することが認められており、次に述べる自然水のpH調査結果を考慮すると、水質予測ではSan Roqueダムの流入水のpHを平均8.0、最小7.5として考えることが出来る。

電気伝導率、As, Ca, Mg, SO₄濃度の5つの値の間にはお互いに正相関が認められる。更にこれらの値と流量の間には負相関が認められる。これは流量の増加によって濃度が希釈されていることを示している。しかし、Cu, CN濃度は6月下旬からの流量の増加に伴って増加することが判明した。この現象は定点Bと同じであり、有害成分の挙動として注目を要する。

自然水のpH調査結果

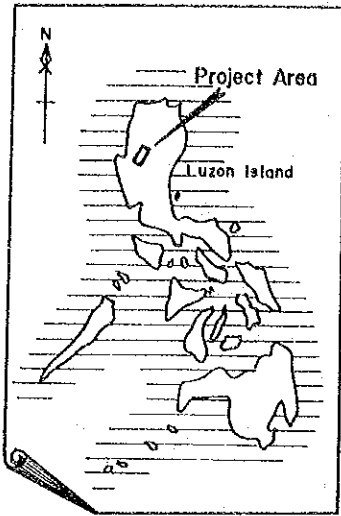
定点観測の結果に示される様に各定点のpH観測値は全て弱アルカリ性を示す。

重金属の一部が弱アルカリ性下では水酸化物として挙動することが推定されており、pH値はその溶解度に敏感に影響するのでチェックのため多くの小河川のpH値を測定した。その結果は次に示すとおりで自然河川水が弱アルカリ性を保つことは広域的な性質であることが判明した。

Table IV-1 REGIONAL SURVEY FOR pH AND EC IN THE BENGUET PROVINCE

No.	Sampling Place		June 4-5			August 12-13			
			pH	WT (°C)	EC (μS/cm)	pH	WT (°C)	EC (μS/cm)	
1	Kennon Road (Baguio to Urdaneta)	241.0 Km	7.6	23	380	7.9	24	380	
2	"	239.1	--	--	--	8.6	24	390	
3	"	238.1	8.2	24	430	8.5	24	410	
4	"	237.0	--	--	--	8.1	24	750	
5	"	235.3	8.4	26	390	7.6	25	360	
6	"	234.3	8.3	27	270	8.3	24	280	
7	"	232.1	9.6	26	480	8.1	25	260	
8	"	(Atski Bridge)	230.2	8.4	27	230	8.4	26	230
9	"	(Amasite Bridge)	228.9	8.4	27	290	8.3	25	230
10	"	(Twinpeaks)	223.2	8.3	27	160	8.2	25	160
11	"	(Colorado Bridge)	222.6	8.4	27	120	8.2	24	130
12	"	(Peak Bridge)	222.0	--	--	8.4	24	200	
13	"	(Bridal Veil)	217.0	8.5	27	230	8.5	24	250
14	"	(Hot Spring Klondykes)	215.0	8.6	38	2520	8.6	33	2160
15	Philex No. 2 Damsite	271.0	--	--	--	8.1	26	360	
16	"	271.8	--	--	--	8.1	26	320	
17	"	272.0	--	--	--	8.1	26	140	
18	"	272.4	8.6	26	60	8.0	26	60	
19	"	272.6	--	--	--	7.9	26	50	
20	"	276.2	8.0	29	130	8.4	26	120	
21	Philex No. 1 Damsite	268.3	--	--	--	7.1	25	680	
22	"	269.3	8.0	31	1040	7.8	26	170	
23	"	270.0	8.2	30	130	8.0	26	120	
24	Philex to Baguio Road	263.6	7.4	26	220	7.7	25	120	
25	"	263.2	--	--	--	7.9	24	80	
26	Binga to Baguio Road	278.0	8.4	28	70	8.3	25	180	
27	"	275.4	8.6	29	250	8.2	25	250	
28	"	275.4	8.2	28	260	8.5	25	240	
29	"	273.5	--	--	--	8.4	26	200	
30	"	271.9	--	--	--	8.1	24	180	
31	"	270.5	7.5	24	250	7.9	26	240	
32	"	264.0	--	--	--	8.3	24	140	
33	"	262.8	6.9	24	220	6.9	25	270	
34	"	260.2	7.4	23	180	7.4	24	180	

WT: Water Temperature



LEGEND

- Fixed Observation Point (A~E)
- Regional Survey Point

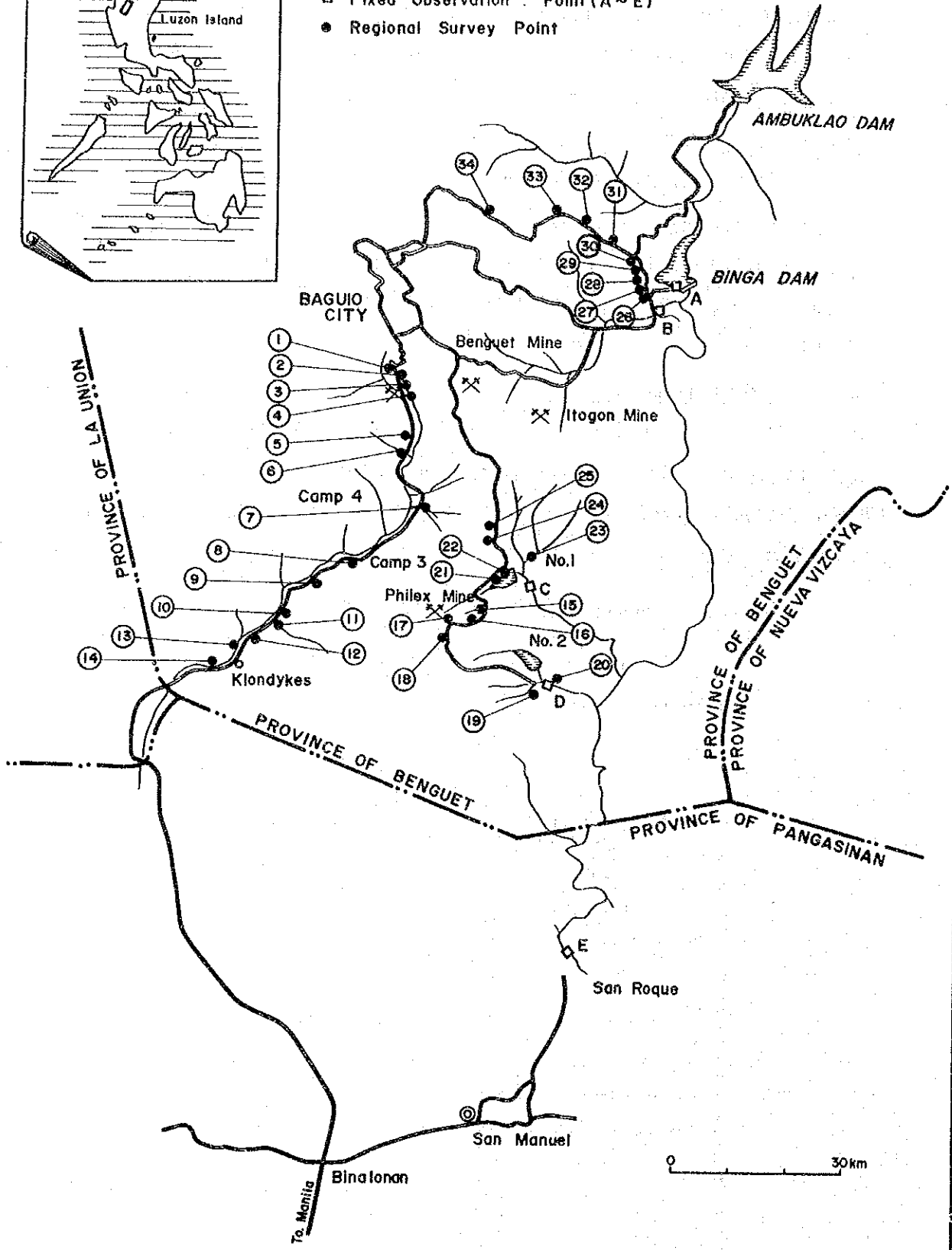


Fig. IV-2 Location Map of the Regional Survey Points

シアン化合物

シアン化合物は水中ではシアンイオンやいろいろのシアノ錯イオンの状態で存在する。本調査で分析しCNと記載したのは全シアン（pH 2以下で発生するシアン化水素）で試料水中のシアン化合物全部の濃度を示している。

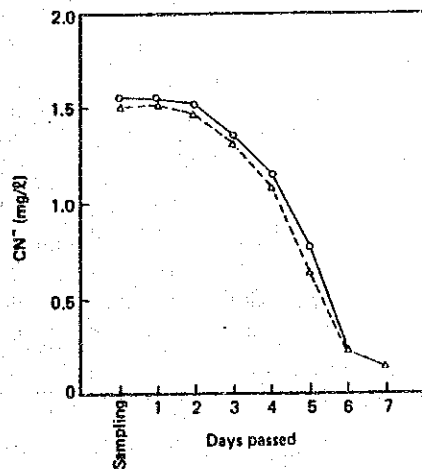
雨季になってE点におけるCN濃度が上昇したので、この中にシアンイオンがどの程度含まれているかをチェックするためにシアン化物（pH 5.5で酢酸亜鉛の存在下で発生するシアン化水素）の分析を行った。この前処理では、シアン及び生成定数の小さいZn, Cdのシアノ錯体からはほぼ完全に又、Cu, Niなどの錯体からは一部シアン化水素を発生する。

分析の結果は次に示す通りで全シアンのうち1/3～2/3は、安定なシアノ錯体即ちCu, Ni, Fe(I), Fe(II)などのシアノ錯体として含まれていることが判明した。

No.	Sample No.	Locality	Date	Cyanide (mg/l)	Total Cyanogen (mg/l)
1	E07172	Fixed Point E	July 17	0.03	0.09
2	E07192	- ditto -	July 19	0.04	0.06
3	E07272	- ditto -	July 27	0.02	0.06
4	E07312	- ditto -	July 31	0.05	0.08
5	E08082	- ditto -	Aug. 8	0.08	0.21
6	E08102	- ditto -	Aug. 10	0.05	0.15
7	E08241*	- ditto -	Aug. 24	0.03	0.05
8	E08242	- ditto -	Aug. 24	0.03	0.05
9	E09232	- ditto -	Sept. 23	0.02	0.06
10	E10022	- ditto -	Oct. 2	0.03	0.05
11	E10172	- ditto -	Oct. 17	0.01	0.02
12	E10222	- ditto -	Oct. 22	0.02	0.03
13	E10242	- ditto -	Oct. 24	0.01	0.02
14	E10282	- ditto -	Oct. 28	0.02	0.04
15	B09232	Fixed Point B	Sept. 23	0.51	0.73
16	B10032	- ditto -	Oct. 3	0.33	0.43
17	B10132	- ditto -	Oct. 13	0.20	0.32
18	B11032	- ditto -	Nov. 3	0.08	0.39
19	B11212	- ditto -	Nov. 21	0.04	0.08

* Filtered by No. 3 filter

なお、シアンイオンは、不安定で容易に分解し失われる。水溶液中のシアンイオン濃度が次第に低下することの検討例を示す。



pH6.5 採水後、無処理
のまま実験室内に保存
○-○ pH < 2.0 蒸留, 比色
△-△ pH 5.5 " "

金山の青化精錬廃さいの特異性

Benguet Itogon 両金山から排出される廃さい水は青化法を使用しているため強アルカリ性で且つCNを多く含む。この廃さい水には多量のCu, Znが溶存状態にあり、その濃度は弱アルカリ性溶液におけるCuイオン, Znイオンの溶存限界濃度をはるかに越えている。この現象について次のことが考えられる。

銅

定点観測の記録に見られる様にCu濃度とCN濃度との間には顕著な正相関が認められ、(E点データの相関係数0.742)過剰のCuは大部分シアノ銅錯イオン(例 $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$)として溶存し行動しているものと考えられる。

亜鉛

Zn濃度はpHが下がり弱アルカリ性になると急激に減少することから、両性の性質をもつ水酸化亜鉛が過剰のアルカリを含む水に亜鉛酸イオン(ZnO_2^{2-})として溶けることが高濃度を示す原因と考えられる。

シアノ亜鉛錯イオンはシアノ銅錯イオンに比べ不安定であること、Zn濃度とCN濃度との相関が認められないことから、シアノ亜鉛錯イオンの形態での溶存が主原因ではないと考えられる。

2.2 汚染源調査結果

汚染源調査によって得られた全データについては、資料“C”「汚染源調査のデータ」としてとりまとめた。以下水質予測に直接関係する事項についてのみ述べる。

1) 自然汚染

自然堆砂の性質を調べるためにAmbuklaoダム及びBingaダムの堆砂の観察,化学分析,等を実施した。化学分析の結果は次に示すとおりである。

Sample No.	Location	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	S (%)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)
AD 201	Ambuklao Dam	87	120	6.4	<0.10	15	0.4	0.01	900	4.78
AD 202	- ditto -	100	140	9.9	<0.10	25	0.5	0.02	1,000	5.55
AD 203	- ditto -	110	150	8.4	<0.10	29	0.5	0.01	880	4.72
AD 204	- ditto -	72	110	7.3	<0.10	13	0.3	0.01	780	4.58
AD 205	- ditto -	69	150	2.7	<0.10	23	0.4	0.01	1,100	4.76
AD 206	- ditto -	55	130	2.6	<0.10	17	0.3	<0.01	900	4.14
AD 207	- ditto -	37	76	1.9	<0.10	7.5	0.2	<0.01	520	4.11
BD 201	Binga Dam	45	70	3.3	<0.10	5.6	0.1	<0.01	600	4.37
BD 202	- ditto -	54	85	3.7	<0.10	7.4	0.2	<0.01	710	4.66
BD 203	- ditto -	48	82	3.5	<0.10	6.1	0.2	<0.01	720	4.96
BD 103	- ditto -	640	140	2	0.14	13	<2	<0.1	810	5.0
Average*		68	111	5.0	<0.10	15	0.3	0.01	810	4.66

※ BD103を除く

この平均値は流域の岩石中含有量として妥当な値を示すので自然堆砂を代表する値として水質予測に使用した。

2) 鉱山活動に伴う汚染

坑内水

坑内水については各調査時に1回計3回の観測とサンプリングを実施した。観測値と、分析値の平均値は次に示すとおりである。

Locality	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	
Philex	1020 ML Adit	0.085	21.3	7.5	380	0.005	0.018	0.0016	56	5.0	<0.01	114
Philex	745 ML Adit	0.32	21.8	7.9	890	0.023	0.016	0.0020	184	4.1	<0.01	380
Benguet	Acupan Adit	0.17	35.4	8.0	2500	0.045	0.049	0.365	497	17.8	0.12	1171
Benguet	Antamok Adit	0.42	26.8	5.8	2200	0.702	1.108	0.0049	541	50.9	0.36	1276
Itogon	1300 ML Adit	0.079	27.5	7.9	1600	0.005	0.017	0.037	310	31.5	<0.01	701

Cu, Zn, CN濃度はいずれもAntamok坑からの排水で高い。通常の坑内水には含まれないCNが検出されていることからCNは、多分Cu, Znと共に坑内充填している廃さいからの浸出水による汚染と考えられる。AsはAcupan坑で高い。この水が高温であることから、Asを含んだ温泉水の混入が主原因と考えられる。

廃さい

廃さいについては、第1次調査時に1回、第2次、第3次調査時に各2回計5回の観測とサンプリングを実施した。サンプルは滲過水と固形分に分けて採取し、化学分析を実施した。

これらの観測値と分析値の平均値を次に示す。

Observations

Locality	Flow Rate (m ³ /s)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	SS (mg/l)
Philex	1.13	26.3	10.3	2,300	250,000
Benguet	0.063	26.3	11.4	2,900	200,000
Itogon	0.039	22.3	10.7	890	86,000

Filtrates

Locality	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
Philex	0.015	0.009	0.0004	576	6.5	0.02	1,550
Benguet	23.2	13.2	0.0049	650	0.3	13.5	1,532
Itogon	4.4	2.4	0.075	72	0.6	20	129

Solids

Locality	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	S (%)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)
Philex	600	51	1.2	0.27	2.7	<0.1	<0.01	640	5.21
Benguet	250	700	72	2.57	220	2.2	0.32	3,000	3.62
Itogon	130	320	210	1.38	50	0.9	0.35	2,380	4.70

Benguet, Itogon両鉱山では膏化精錬を行っているため、pH11前後にコントロールしており、Philex鉱山の銅浮選では黄鉄鉱を抑制するためpHを9~12にコントロール

しているので、廃さい水は3鉱山ともアルカリ性である。

河過水中の溶存成分濃度は選鉱・精錬用水に乏しい乾季で濃く、豊富な雨季で薄い傾向を示す。従って表示の濃度は平均流量での濃度を示している。Cu, Zn, CN濃度はBenguet, Itogon 両鉱山の廃さい水で高く、特にBenguetで高い。Philex 鉱山の廃さい水中の溶存重金属は少ない。

固形分中の含有率についてPhilex 鉱山と、Benguet, Itogon 両鉱山とを比較すると前者でCuが高く、後方でZn, Pb, As, Hg, Cdが高く鉱床の性質の違いを示している。

廃さいダムでは、ダム内に廃さいが貯留されている間に酸化が進み溶出率が増加するか否かを主な観点として調査を実施したが、現場観察では酸化の進行は認められず、現場試験の結果でも溶出率の増加は認められなかった。(後述)

又ダムから浸透水の1部についても調査分析を実施した。その結果、次に示す様に、ダムに放流された直後の廃さい水に比べpHが中性になったこと、Benguet 第2次廃さいダムの浸透水においてZn濃度が著しく低くなったことが注目される。

Locality	Flow Rate (m ³ /sec)	Water Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	CN (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
Philex	0.14	25.0	6.8	2000	<0.005	0.014	0.0005	380	13.4	<0.01	966
Benguet	0.035	26.5	7.0	3100	10.8	0.26	0.137	560	19.2	15.8	1523

2.3 現場試験結果

現場試験によって得られた全データは資料「D」[現場試験のデータ]にとりまとめた。

以下基本となる結果についてのみ述べる。

1) 振とう法による溶出試験・エアレーション法による溶出試験

廃さいが河川に放流された場合を想定しその流下過程において溶出する金属元素の量を把握することを目的として、振とう法による溶出試験が実施された。またエアレーション法による溶出試験は、廃さいが川を流下する過程で大気と接触することによりどの程度Cu, Zn, Asが溶出するかを把握することを目的とした。なお対象とした金属元素はCu, Zn, 及び半金属元素のAsである。

これらの試験結果を次のTableに示す。いずれの試験においても溶出液中のCu, Zn, As濃度は低く、化学分析の検出限界以下となることがしばしばおこる。振とう法、エアレーション法の溶出率を比べるとエアレーション法の溶出率が振とう法の溶出率よりも必ずしも大きいということはなく、また大きい場合もオーダーの差は認められない。このことからエアレーションの効果は、それぞれの試験のばらつきに比べ小さいと判断される。従って廃さいの流下過程における溶出量を算出するうえでは、どちらの試験の結果を使っても大きな誤差は生じないと考えられる。

Philex 廃さいの溶出率は Cu が $0.27 \times 10^{-4} \sim 0.33 \times 10^{-3}$, Zn が $0.54 \times 10^{-3} \sim 0.93 \times 10^{-3}$, As が $0.65 \times 10^{-3} \sim 0.87 \times 10^{-2}$ を示す。Benguet 廃さいでは, Cu, Zn の溶出はおこらず, As の溶出率は $0.20 \times 10^{-4} \sim 0.31 \times 10^{-2}$ と計算される。Itogon 廃さいでは Cu の溶出はおこらず, Zn の溶出率が $0.10 \times 10^{-3} \sim 0.19 \times 10^{-3}$, As の溶出率が

振とう法, エアレーション法による溶出率

Sample Locality	Method	Stage of Survey	Elution Ratio 注)		
			Cu	Zn	As
Philex	Shaking	2	0.33×10^{-3} (0.34×10^{-3})	—	0.26×10^{-2} (0.29×10^{-2})
		3	—	0.93×10^{-3}	—
	Aeration	2	—	—	0.65×10^{-3} (0.70×10^{-3})
		3	0.14×10^{-3}	—	—
		3	0.27×10^{-4}	0.54×10^{-3}	0.87×10^{-2}
Benguet	Shaking	2	— (0.19×10^{-1})	—	0.20×10^{-4} (0.19×10^{-3})
		3	—	—	0.31×10^{-2} (0.32×10^{-2})
	Aeration	2	— (0.18)	— (0.83×10^{-2})	0.40×10^{-3} (0.59×10^{-3})
		3	—	—	0.19×10^{-2}
		3	—	—	0.14×10^{-2}
Itogon	Shaking	2	— (0.12×10^{-1})	— (—)	0.31×10^{-2} (0.37×10^{-2})
		3	—	0.13×10^{-3}	0.12×10^{-2}
	Aeration	2	— (0.86×10^{-1})	—	0.10×10^{-1} (0.10×10^{-1})
		3	—	0.10×10^{-3}	0.43×10^{-3}
			—	0.19×10^{-3}	0.38×10^{-3}

注) 付着水中の Cu, Zn, 又は As の量をさし引いて計算してある。

但しカッコ内の値は考慮しない場合を示す。

$0.38 \times 10^{-3} \sim 0.10 \times 10^{-1}$ となる。

なお第2次調査時には堆積場に一時貯えられた廃さいを対象として、振とう法、エアレーション法を実施した。その結果、Philex 廃さいの場合、Cuが 0.22×10^{-4} （振とう法の平均値）、 0.23×10^{-4} （エアレーション法）Znが 0.11×10^{-2} （振とう法の平均値）、Asが 0.14×10^{-2} （振とう法の平均値）の溶出率を示す。Benguet 廃さいの場合、Cuが 0.59×10^{-4} （振とう法の平均値）、Znが 0.98×10^{-4} （振とう法の平均値）、Asが 0.19×10^{-3} （振とう法の平均値）、 0.61×10^{-3} （エアレーション法）の溶出率を示す。これらの値は上記の選鉱場又は精錬所から直接採取した廃さいとはほぼ同じオーダーかむしろ小さい。従って廃さいが堆積場に貯えられた間に溶出率が上がるまで酸化は進行していないと考えられる。

ii) 乾湿繰り返し法

各鉱山から排出された廃さいは貯水池に堆積した後貯水位の変化に伴う乾湿繰り返し条件下におかれる。この条件下では、常時水中におかれるよりも廃さいの酸化がより促進され金属元素の溶出量が多くなると考えられる。そこでこのような条件下における溶出の程度を把握するため、乾湿繰り返し法による溶出試験を実施した。その結果をTableに示す。

乾湿繰り返し法による溶出率

Sample Locality	Cycle	Elution Ratio		
		Cu	Zn	As
Philex	1	0.50×10^{-4}	0.32×10^{-3}	0.62×10^{-2}
	2	—	0.74×10^{-3}	—
	3	0.37×10^{-4}	0.43×10^{-3}	—
	4	0.81×10^{-4}	—	0.34×10^{-2}
	5	—	—	0.46×10^{-2}
Benguet	1	^{注1)} (0.53×10^{-1})	—	0.10×10^{-2}
	2	—	0.74×10^{-4}	0.16×10^{-2}
	3	—	—	0.12×10^{-2}
	4	0.65×10^{-4}	0.69×10^{-4}	0.25×10^{-2}
	5	—	0.87×10^{-4}	0.32×10^{-2}

注1) Benguet 鉱さい（第3次調査の試料）の第1サイクル目は異常値として扱う。

Philex 廃さいからは各サイクルあたり Cu が $0.37 \times 10^{-4} \sim 0.81 \times 10^{-4}$, Zn が $0.32 \times 10^{-3} \sim 0.74 \times 10^{-3}$, As が $0.34 \times 10^{-2} \sim 0.62 \times 10^{-2}$ の溶出率を示す。

Benguet 廃さいからは各サイクルあたり, Cu が 0.65×10^{-4} , Zn が $0.69 \times 10^{-4} \sim 0.87 \times 10^{-4}$, As が $0.10 \times 10^{-2} \sim 0.32 \times 10^{-2}$ の溶出率を示す。

以上の溶出試験では短時間で酸化を促進させるために, 乾燥炉で 105°C まで温度を高めた。この条件下では, 硫化物を酸化させ, 金属元素の溶出を促進させるバクテリアの作用は消滅するかもしくは非常に小さくなる。従ってバクテリアの作用による溶出の程度を把握するために人工的にバクテリアを添加した条件で溶出試験を行った。

バクテリア添加法による溶出試験の結果を次の Table に示す。

これによると, バクテリアを添加したセットとバクテリアの入っていないセットとに溶出率に大きな差異は認められない。

このことから Philex 廃さい, Benguet 廃さいに対するバクテリアの酸化作用は軽微で溶出率に大きく影響を与えないと考えられる。

尚, バクテリア添加法が他の方法より高い値を示すのは, 塩酸を添加し酸性条件にしたためである。

iii) モデル試験

乾湿繰り返し法による溶出試験では, 溶出量を十分大きくするため乾湿の条件を極端にした。このため次に乾湿繰り返し法の 1 サイクルの間に溶出する量が San Roque 貯水池の上流部に堆積した廃さいからどのくらいの期間に溶出する量に対応するかを把握する必要がある。モデル試験は Philex 廃さいを地中に湿り気を帯びた状態で放置し, 月 1 回の割合で試料を採取して溶出の程度を把握するようにした。

Cu の溶出率は $0.82 \times 10^{-5} \sim 0.16 \times 10^{-4}$ を, Zn は $0.28 \times 10^{-3} \sim 0.97 \times 10^{-3}$ を, As は $0.57 \times 10^{-3} \sim 0.66 \times 10^{-3}$ を示す。

Cu, Zn, As とも 6 か月の間, 溶出率は一定の傾向を示さず増減する。このことは, 溶出量を支配する時間的要因と比べ, 試料の湿り具合等の不確定要因による影響が大きいことによるものと考えられる。しかし, 1 か月毎の溶出率は他の方法に比べ狭い範囲に収まっている。又, 乾季は通水を行なわないかんがい水路中の堆砂の溶出試験を行った結果をモデル試験結果と比較すると, As は若干高いが Cu, Zn はほぼ同じオーダーの溶出率を示す。従ってモデル試験で得られた溶出率は San Roque 貯水池に堆積した廃さいから金属元素の溶出量を予測するデータとなりうると判断される。

iv) 粒度試験

粒度試験として, Binga ダムの堆砂の篩分試験, Ambuklao ダム・Binga ダムの堆砂の沈降試験, 鉾山廃さい・堆砂の「粒度試験」, 定点の SS の長期沈降試験を行った。

バクテリア添加法による溶出率

Sample Locality	Cycle	Elution		Ratio
		Cu	Zn	As
Philex (without bacteria)	1	0.18×10^{-1}	0.66×10^{-1}	0.16×10^{-1}
	2	0.55×10^{-2}	—	0.17×10^{-2}
	3	—	0.19×10^{-1}	—
	4	0.31×10^{-2}	0.94×10^{-2}	—
	5	0.18×10^{-2}	0.43×10^{-2}	0.28×10^{-2}
Philex (with bacteria)	1	0.15×10^{-1}	0.53×10^{-1}	0.11×10^{-2}
	2	0.75×10^{-2}	—	—
	3	0.14×10^{-2}	0.20×10^{-1}	0.26×10^{-2}
	4	—	0.80×10^{-2}	—
	5	0.48×10^{-2}	0.16×10^{-1}	—
Benguet (without bacteria)	1	—	0.57×10^{-2}	0.61×10^{-3}
	2	0.35×10^{-3}	0.46×10^{-2}	0.58×10^{-3}
	3	—	0.11×10^{-2}	0.66×10^{-4}
	4	0.27×10^{-3}	0.21×10^{-2}	0.34×10^{-4}
	5	0.14×10^{-2}	0.18×10^{-2}	0.69×10^{-4}
Benguet (with bacteria)	1	—	0.96×10^{-2}	0.85×10^{-3}
	2	0.66×10^{-3}	0.21×10^{-2}	0.66×10^{-3}
	3	—	—	—
	4	0.13×10^{-2}	0.94×10^{-3}	—
	5	0.10×10^{-2}	0.25×10^{-2}	0.16×10^{-3}

モデル試験 (Philex 廃さい)

No.	Sampling Date	Elution Ratio		
		Cu	Zn	As
1	Mar. 4	{ 0.11×10^{-4} —	{ — —	{ 0.57×10^{-3} —
2	Apr. 5	{ 0.89×10^{-5} 0.14×10^{-4}	{ 0.28×10^{-3} 0.91×10^{-3}	{ — —
3	May 5	{ 0.12×10^{-4} 0.17×10^{-4}	{ 0.53×10^{-3} 0.57×10^{-3}	{ 0.66×10^{-3} —
4	June 5	{ 0.14×10^{-4} —	{ 0.71×10^{-3} 0.40×10^{-3}	{ — —
5	July 5	{ 0.82×10^{-5} 0.85×10^{-5}	{ 0.85×10^{-3} 0.77×10^{-3}	{ 0.64×10^{-3} —
6	Aug. 5	{ 0.90×10^{-5} 0.16×10^{-4}	{ 0.97×10^{-3} 0.52×10^{-3}	{ — —

モデル試験 (かんがい水路堆砂)

No.	Sampling Date	Elution Ratio		
		Cu	Zn	As
1	Dec. 15	0.71×10^{-4}	0.16×10^{-2}	0.15×10^{-2}
2	Feb. 6	0.26×10^{-3}	0.84×10^{-3}	0.11×10^{-2}
3	Mar. 5	0.58×10^{-4}	—	0.17×10^{-2}
4	Apr. 5	0.67×10^{-4}	0.61×10^{-3}	0.28×10^{-2}
5	May 10	0.10×10^{-3}	0.53×10^{-3}	0.32×10^{-2}
6	June 8	0.53×10^{-4}	0.32×10^{-3}	0.15×10^{-2}

この結果、Ambuklaoダム、Bingaダムの上流部分に見られる堆砂は中粒砂～極細粒砂を主体とし、シルト・粘土粒子の大部分は流されていることが確かめられた。一方E点を流下するSSは静置したメスシリンダー内では1週間で濁度10 ppm程度まで下がることが確かめられたことにより、San Roque貯水池に入ったSSもその滞留時間に比例して沈降し、それに応じて貯留水も静澄になることが推定された。3鉱山の廃さいは一般に74 μ 以下が50%以上にまで磨鉱されており、1 μ 以下のコロイド分が10%近くあることがわかった。

上記の粒度試験の結果のうち廃さいの粒度分布は、後述の「水質予測値の算出」のうちで流出水のSS濃度の計算に使用する。

V) 粒度別溶出試験

San Roqueダムから流出する水中のSSの一部がかんがい用水として水田に導びかれ酸性条件におかれる場合を想定して、酸性条件下で廃さいからCu, Zn, Asの溶出する程度を把握するため、0.1規定塩酸による溶出試験を行った。対象とした試料は、3鉱山の廃さい及び定点B, C, D, EのSSである。これらの試料をふるいにより篩分して粒度毎に溶出試験を行った。

粒度別溶出試験

Sample Locality	Elution		Ratio
	Cu	Zn	As
Philex	0.25	0.53	0.14
Benguet	0.63×10^{-3}	0.49×10^{-1}	0.80×10^{-3}
Itogon	0.18×10^{-3}	0.54×10^{-1}	0.19×10^{-2}

3. 水質予測値の算出

3.1 計算方法

3.1.1 流出水中の溶存成分濃度

1) 基本式

ダム貯留水の溶存成分濃度は均一であると考え、従って流出水の溶存成分濃度はこれに等しいと仮定すると、流出水中の溶存成分濃度 C_{out} は次の基本式で表される。

$$C_{out} = \frac{L_{res.1}}{V_{res.1}} = \frac{L_{res.0} + L_{in} - L_{out} + L_{dis} - L_{pr}}{V_{res.0} + Q_{in} - Q_{out} - E}$$

$V_{res.1}$: 貯水量 ($t=t_1$)	$L_{res.1}$: 貯水中の負荷量 ($t=t_1$)
$V_{res.0}$: 貯水量 ($t=t_0$)	$L_{res.0}$: 貯水中の負荷量 ($t=t_0$)
Q_{in} : 流入水量 ($t=t_0 \sim t_1$)	L_{in} : 流入水中の負荷量 ($t=t_0 \sim t_1$)
Q_{out} : 流出水量 ($t=t_0 \sim t_1$)	L_{out} : 流出水中の負荷量 ($t=t_0 \sim t_1$)
E : 蒸発量 ($t=t_0 \sim t_1$)	L_{dis} : 堆砂からの溶出負荷量 ($t=t_0 \sim t_1$)
	L_{pr} : 貯水からの沈澱負荷量 ($t=t_0 \sim t_1$)

2) 変数の導出

A. 基本式の分母は貯水の収支を表している。

Q_{in} 流入水量

水文解析によって妥当と考えられる各月平均値が得られておりこれを採用した、又渇水年、豊水年による変動についても水文解析によって信頼性があると考えられた21年分の記録を入力解析した

Q_{out} 流出水量

人為的コントロールされるものであり、ここではELCによって検討された最適ダム運用計画に準じて計算することにした。即ち与えられた要求発電量とダム設計値と上記流入水量から

$$\text{発電水量} = \frac{\text{要求発電量}}{\text{効率} \times (\text{貯水位} - \text{テイルレイスレベル} - \text{損失水位})}$$

により発電用水量を計算し、水量に余剰がある場合には余剰発電用水量を加算し、発電設備最大流量より多い場合は越流とした。計算に用いたダム設計値および流入砂量の計算は次のとおりである。

① ダム設計値

貯水池最大容量 V_{00} :	$990 \times 10^6 m^3$
// 最高水位 H_{max} :	290 m a. s. l.
// 最低水位 H_{min} :	225 m a. s. l.

ティルレイスレベルL : 100 m a. s. l

発電設備最大流量 Rmax 306 m³/s

” 損失水位 H_{los} 0.000156

” 効率 η 0.85

要求発電量 W

(単位 GWh)

月別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	96	96	96	24	24	24	24	24	24	57	57	57
W	102.	102.	102.	43.	43.	43.	43.	43.	43.	70.	70.	70.

② 流入砂量の計算

○ ピンガダムからの土砂流出量

フィージビリティスタディ (E L C) 及び定点 A 測定結果より $1.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ が雨期 6 か月間に流出すると仮定した。実容積 (見掛容積 $\times 1.5/2.7$) により $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 即ち 6 月～11 月の流入量は $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

○ ピンガ～サンロケ間からの土砂流出量

フィージビリティスタディ (E L C) より $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ が雨期 6 か月間に流出すると仮定し、実容積 $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 即ち 6 月～11 月の流入量は $0.089 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

○ 各鉱山からの廃さい量

対象鉱山である Benguet , Itogon , Philex の 3 鉱山よりの流入廃さい量は各鉱山の将来の出鉱計画及び充填計画より計算した。

鉱山名	廃さい量 t/day	
Benguet	2,275	実容積 = $(34.625 \div 2.7) \times 365$ = $4.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$
Itogon	350	
Philex	3,200	
計	34,625	

E 蒸発量

フィージビリティスタディ (E L C) によって把握されている各月の単位面積当り蒸発量を用い計算した。

(単位 mm)

月別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
蒸発量	269	275	293	245	203	180	166	140	140	219	251	259

以上の様にして Q_{in} , Q_{out} , E が与えられると $V_{res. 0}$, $V_{res. 1}$ は

$$V_{res. 1} = V_{res. 0} + Q_{in} - Q_{out} - E$$

により漸次求められる。尚、貯水池面への降雨量とダムからの漏水量は相殺と考え無視した。

B 基本式の分子は負荷量の収支を表している。

Lin 流入水中の負荷量

$$Lin = \{ C_n \times (Q_{in} - Q_{BT} - Q_{IG} - Q_{PX}) \} + \{ (K_1 \times C_{BT} \times Q_{BT}) + (K_2 \times C_{IG} \times Q_{IG}) + (K_3 \times C_{PX} \times Q_{PX}) + (K_4 \times D_{BT} \times S_{BT}) + (K_5 \times D_{IG} \times S_{IG}) + (K_6 \times D_{PX} \times S_{PX}) \}$$

により求められる。ここに

- C_n : 自然水中の溶存成分濃度
 Q_{BT}, Q_{IG}, Q_{PX} : 各鉱山の排水量
 S_{BT}, S_{IG}, S_{PX} : 各鉱山の排出固形物量
 C_{BT}, C_{IG}, C_{PX} : 各鉱山の排水中の溶存成分濃度
 D_{BT}, D_{IG}, D_{PX} : 各鉱山の排出固形物中の成分含有率
 K_1, K_2, K_3 : 排水中の溶存成分の残存率
 K_4, K_5, K_6 : 固形物中の成分の流下途中溶出率

である。

上式右辺の第1項は自然負荷量を第2項は鉱山からの負荷量を計算したものである。即ち、

※ C_n (自然水中の溶存成分濃度) は定点Aの年平均濃度を使用した

C_n mg/l	Zn mg/l	As mg/l
0.0025	0.006	0.0024

※ $C_{BT} \times Q_{BT}, C_{IG} \times Q_{IG}, C_{PX} \times Q_{PX}, D_{BT} \times S_{BT}, D_{IG} \times S_{IG}, D_{PX} \times S_{PX}$ (各鉱山から排出される負荷量) については、汚染源調査によって各鉱山より集取された操業計画及び測定値に基づいて計算された。具体的な操業計画は Philex 鉱山では 1985 年 9 月までに操業規模を 27,000 t/day から 32,000 t/day に増産の計画を進めており、又 Itogon 鉱山は 1984 年 10 月から 300 t/day から 350 t/day に拡大操業している。従ってこれら増産量に比例して廃さいからの汚染物質量も増加すると仮定し計算した。又鉱山の操業規模・様式更には鉱山の寿命は今後の探鉱成果や経済情勢によって左右されるものであり、予測することは難しいので、ここでは各鉱山が予測期間中操業規模・様式を変更しないものとした。

※ K_1, K_2, K_3 (排水中の溶存成分の残存率) は汚染源調査結果による鉱山排水中の溶存金属量と定点観測結果による定点Eを流下する水中の溶存金属量から計算される。

両者を比較するとCuとZnについては一般に後者が小さくなっており、溶存Cu, Znは鉱山から排出され流下する過程で不溶化する。即ち沈澱を生じることを示している。この現象は2.1項に述べた青化精錬の廃さいの特異性によるものであり、次のような沈澱経過をたどると考えられる。

Znは過剰のアルカリに溶けて ZnO_2^{2-} イオンとして溶存していた物が、自然水と混和し、pHが下がるとともに $Zn(OH)_2$ として不溶性となり急激に溶存濃度が低下する。

シアノ銅錯イオンは安定な錯イオンであり、その解離定数は小さいが $Cu(CN)_4^{2-} \rightleftharpoons Cu^{+} + 4CN^{-}$ と解離しており、この式でCNイオンが不安定で徐々に失われるため反応は右に進み、シアノ銅錯イオンは長期的には徐々に失われて行くと考えられる。 Cu^{+} は酸化して Cu^{2+} となり $Cu(OH)_2$ の溶解度積を越える部分は不溶性となる。尚、Asは両性の性質をもち、pHが低いときは As^{3+} イオン、pHが高くなると AsO_3^{3-} として溶けるがその変化の途中では、水酸化物の沈澱を生じない。この様に化学反応だけを考えても溶存Znは急激に減少するし、溶存Cuは徐々に減少する。又溶存Asは減少しない。このように3者3様の行動をとることが考察される。これ以外に粘土質物質に吸着されてSSといふに行動することも考えられる。

以上の事からBenguet, Itogon 両鉱山から排出される溶存Cu, Znについて残存率を査定し水質予測の変数に加えた。

Benguet 鉱山・Itogon 鉱山からの負荷の残存率は

$$\text{残存率} = \frac{E \text{点での負荷} - \text{自然負荷} - \text{Philex 鉱山からの負荷}}{\text{Benguet 鉱山からの負荷} + \text{Itogon 鉱山からの負荷}}$$

即ち

$$K_1 = K_2 = \frac{C_E \times Q_{in} - C_n \times (Q_{in} - Q_{BT} - Q_{IG} - Q_{PX}) - (C_{PX} \times Q_{PX})}{(C_{BT} \times Q_{BT}) + (C_{IG} \times Q_{IG})}$$

で求め、Philex 鉱山からの負荷の残存率 K_3 は1とする。

ただし

C_E : E点での溶存成分濃度(月毎の実測値)

このようにして求めた K_1, K_2 は種々の要因によって変化する。ここでは流量に比例するとして、 $K_1 = K_2 = \alpha \times Q_{in}$ の式で求めることとした。 α の計算方法は次の通りである。

測定した各月の K_i, Q_{in} から $\alpha_i = \frac{K_i}{Q_{in}}$ の式で各月の α_i を計算し、最小二乗法によって最適値 α (定数)を求める。この α に予測月の Q_{in} を乗じて求めた $K_1 = K_2 = \alpha \times Q_{in}$ を最適予測値の計算に用いる。又、計算した月毎の α_i のうちで最大値を最悪値として使用する。

	Cu	Zn	As
最大値 (最悪値)	0.125×Q	0.236×10 ⁻³ ×Q	1
最適値 (最適予測値)	0.468×10 ⁻³ ×Q	0.00×Q	1

※K₄, K₅, K₆ (固形物中の成分の流下途中溶出率)については現場試験の振とう法による溶出試験およびエアレーション法による溶出試験によって得た溶出率を使用した。

Benguet, Itogon の溶出率のうち Cu・Zn については上記のように沈澱が起っており、溶出は起こらないものとして計算した。

鉱 さい	Cu	Zn	As
Benguet	0	0	0.19×10 ⁻²
Itogon	0	0	0.10×10 ⁻¹
Philex	0.33×10 ⁻³	0.93×10 ⁻³	0.87×10 ⁻²

Ldis 堆砂からの溶出負荷量

$$Ldis = \sum_{t=1}^{t_0} (Tres, OBt \times k_{7,t} \times k_{8,BTt}) + \sum_{t=1}^{t_0} (Tres, OIG \times k_{7,t} \times k_{8,IGt}) + \sum_{t=1}^{t_0} (Tres, OPX \times k_{7,t} \times k_{8,PXt}) \quad (Cres, o < C_o \text{ のとき})$$

により求められる。ここに

$\left. \begin{matrix} Tres, OBt \\ Tres, OIG \\ Tres, OPX \end{matrix} \right\}$: ひと月間に死水位以上に堆積した各鉱山の廃さいの量

$k_{7,t}$: 堆積した廃さいのうち溶出にあずかる割合

$\left. \begin{matrix} k_{8,BTt} \\ k_{8,IGt} \\ k_{8,PXt} \end{matrix} \right\}$: $t = t$ の年月に堆積した廃さい量に係る溶出率

である。計算では堆砂は流入時の水位以下の貯水池底に下底と平行に同じ厚さで堆積するものと仮定した。

※Tres, o (堆砂量) は貯水開始から n か月までを $\sum_{i=1}^n (S_{BT} \times d_{BT} + S_{IG} \times d_{IG} + S_{PX} \times d_{PX})$ によって求められる。但し自然堆砂については溶出率が無視し得る程小さいのでこの式では除いている。d_{BT}, d_{IG}, d_{PX} は貯水池底に沈積する 5 μ 以上の堆砂に対する査定率で d_{BT} = 0.819, d_{IG} = 0.811, d_{PX} = 0.855 である。

※K₇ (堆砂のうち反応にあずかる割合) は堆砂のうち $t = t_0 \sim t_1$ の間に新たに水没した部分から溶出が起ると考え、その体積の比率を計算した。

※ K_0 (堆砂からの溶出率)については現場試験のモデル実験, 乾湿繰り返し法による溶出試験によって得た溶出率を使用している。

溶出率 K_0, K_{10} は $k_s = \frac{k_9}{k_{10} - k_9} (e^{-k_9 t} - e^{-k_{10} t})$ の形を仮定して最小二乗法により求めた。

鉱さい	係数	Cu	Zn	As
Philex	k_9	0.54×10^2	0.242×10^2	0.444×10^1
	k_{10}	0.48954×10^3	0.36674×10^1	0.79644×10^2
Benguet	k_9	0.55×10^2	0.215×10^3	0.4502×10^1
Itogon	k_{10}	0.61662×10^3	0.491×10^1	0.50362×10^3

※ C_0 (溶存限界濃度)は $\text{Cu}(\text{OH})_2, \text{Zn}(\text{OH})_2$ の pH 8 (平均), pH 7.5 (最小)における溶解度を溶解度積等から算出した。pHを8および7.5にしたのは2.2項に述べた理由による。

成分	溶解度積	溶存限界濃度	
		pH=7.5のとき	pH=8.0のとき
Cu	2.2×10^{-20}	0.014 mg/l	0.0014 mg/l
Zn	7.0×10^{-18}	4.6 mg/l	0.46 mg/l
As	—	大きな値	大きな値

Lpr 貯水からの沈澱負荷量

$$L_{pr} = V_{res.0} \times (C_{res.0} - C_0) \times k_{11} \quad (C_{res.0} > C_0)$$

によって求められる。ここに

k_{11} : 沈澱反応が進行する割合 (0~1)

以上の様にして $L_{in}, L_{out} (C_{out} \times Q_{out}), L_{dis}, L_{pr}$ が与えられると $L_{res.0}$,

$L_{res.1}$ は

$$L_{res.1} = L_{res.0} + L_{in} - L_{out} + L_{dis} - L_{pr}$$

により漸次求められる。

3.1.2 流出水中の懸濁物質濃度

1) 基本式

流入水が流出口に達するまでに沈積しない懸濁粒子は、すべて流出するものとする、流出水中の懸濁物質濃度 SS_{out} は次の式で表される

$$SS_{out} = \frac{S_{BT} \times k_{12} + S_{IG} \times k_{13} + S_{PX} \times k_{14} + S_N \times k_{15}}{Q_{out}}$$

ここに

Q_{out} : 流出水量 S_{BT}, S_{IG}, S_{PX} : 各鉱山からの流入廃さい量

S_N : 流入自然砂量 k_{12}, k_{13}, k_{14} : 流入廃さいの流出率

k_{15} : 流入自然砂の流出率

2) 変数の算出

流出水量 Q_{out} 3.1.1 項にて説明

各鉱山からの流入廃さい量 S_{BT}, S_{IG}, S_{PX}

流入廃さい量は各鉱山の排出固形物量と同じとした。

流入自然砂量 S_N

フィージビリテスタディ (E L C) により

① Binga - San Roque 間の土砂流出量

$2.5 \times 10^6 m^3/year$ (見かけ容積)

② Ambuklao - Binga 間の土砂流出量

$1.5 \times 10^6 m^3/year$ (見かけ容積)

を用い Binga ダムが堆砂で埋めつくされ砂防ダムとしての役割をはたさなくなるのが 2009 年と計算されるので 2009 年までは①のみ、2010 年以降は①+②が 6 月～11 月の 6 か月間に流入するものと仮定した。

※ただし見かけ容積 $\times 15/2.7 =$ 実容積により実容積に換算した。(Ambuklao ダム は 検討期間中に満砂とならない)。

流入廃さいの流出率 k_{12}, k_{13}, k_{14}

懸濁粒子の移動は、ストークスの式に従う沈降運動のみを扱うこととし^{注)}、ダム内の水の流れは、取水口標高付近の下位に形成される死水域 (停滞水域) を除く上位の全層に及ぶとすると、貯水のダム内滞留時間 T は死水域より上位の貯水が全部流出する時間 $T = \frac{V_0 - V_L}{Q_{out}}$ として求められる。 V_0 : 貯水量 V_L : 死水域水量

又、粒径 d の沈降速度 v はストークスの式

$$v = \frac{(\rho - \rho_0) g \cdot d^2}{18 \mu}$$
 により求められる。

注) 他のファクター、例えば乱流、水温などは粒子の沈降に関し無視し得ると考えた。

ρ : 粒子密度 (2700 kg/m³)

ρ_0 : 水の密度 (1000 kg/m³)

g : 重力加速度 (8.8m/S²)

μ : 粘性係数 (0.0009 Pa·s. 但し 25℃)

従って粒度 d の滞留時間内での沈降距離は $T \times v = \frac{V_0 - V_L}{Q_{out}} \times \frac{(\rho - \rho_0) g d^2}{18 \mu}$ で計算される。

ここで貯水位 H_0 , 死水位 H_L とすると $H_0 - H_L = v \times T$ を満足する粒径 d が最大流出径であ

$$d = \sqrt{(H_0 - H_L) / \left\{ \frac{(\rho - \rho_0) g}{18 \mu} \times \frac{V_0 - V_L}{Q_{out}} \right\}}$$

から求められる。各鉱山の廃さいの粒度分布が粒度分析によって把握されているので求められた粒径 d より細粒部分の割合を求め、廃さい流出率とすることが出来る。

自然砂流出率 k_{15}

平均的自然砂の粒度分布が不明であり、ここでは一律 7% として計算した。

3) 流出懸濁物質中の成分含有率

流出懸濁物質中の成分含有率 C'_{out} は

$$C'_{out} = \frac{S_{BT} \times k_{12} \times D'_{BT} + S_{IG} \times k_{13} \times D'_{IG} + S_{PX} \times k_{14} \times D'_{PX} + S_N \times k_{15} \times D_N + P}{S_{BT} \times k_{12} + S_{IG} \times k_{13} + S_{PX} \times k_{14} + S_N \times k_{15}}$$

で求められる。

ここで

$D'_{BT}, D'_{IG}, D'_{PX}$: 各鉱山の排出固形物中の細粒部分の成分含有率

D_N : 自然堆砂の成分含有率

P : 沈澱物負荷量

であり、

$D'_{BT}, D'_{IG}, D'_{PX}$ は各鉱山の廃さいの振とう法による粒度別溶出試験の結果から得られた 25 μ ~ 5 μ の粒径粒子の分析結果の Total 含有率と 0.1 規定塩酸可溶含有率の 2 種類の値を使用する。

D_N は発電用ダム堆砂の分析結果を用いる

P は貯水からの沈澱物負荷量に等しい

3.2 パラメーター（入力データ）一覧

	平均値	1月2月3月4月5月6月7月8月9月10月11月12月
サンロケ流入水量	Q_{in}	水文データ：水文相当算出平均値 (84.5m ³ /s)
自然水蓄存成分濃度	C_n	及び21年間突刺値 Cu mg/L 303 231 198 201 404 627 1209 2269 2162 1393 758 392 Zn mg/L As mg/L 0.0025 0.006 0.0024
ベンゲット坑内水の流量及び溶存成分	Q_{w-t1}	汚染源調査データ(3回測定値平均)
	C_{w-t1}	"
イトゴソ坑内水	Q_{w-t2}	"
	C_{w-t2}	"
フライレックス坑内水	Q_{w-t3}	"
	C_{w-t3}	"
ベンゲット選鉱廃さい量(水)及び溶存成分	Q_{w-m1}	汚染源調査データ(4回測定値平均)
	C_{w-m1}	" (5回)
イトゴソ	Q_{w-m2}	" (SS測定値から逆算× $\frac{3.59}{300}$)
	C_{w-m2}	" (5回測定値平均)
フライレックス選鉱	Q_{w-m3}	" (SS測定値から逆算× $\frac{32000.1}{27000t}$)
	C_{w-m3}	" (5回測定値平均)
ベンゲット鉱山からの流出水量	Q_w	坑内水+選鉱排水($Q_{w-t1}+Q_{w-m1}$)
イトゴソ鉱山	Q_{10}	" ($Q_{10-t1}+Q_{10-m1}$)
フライレックス鉱山	Q_{11}	" ($Q_{11-t1}+Q_{11-m1}$)

ベンゲット選鉱さい量(固体)及び各成分含有率	S ₉	将来の出鉱計画及び充てん計画	227.5 t/day	Cu ppm	Zn ppm	As ppm
	D ₉	採取試料の分析値平均(試料数5個)		250	700	72
イトゴ選鉱さい量(固体)及び各成分含有率	S ₁₀	将来の出鉱計画	350 t/day	Cu ppm	Zn ppm	As ppm
	D ₁₀	採取試料の分析値平均(試料数5個)		130	320	210
フィレックス選鉱さい量(固体)及び各成分含有率	S ₁₁	将来の出鉱計画	320.00 t/day	Cu ppm	Zn ppm	As ppm
	D ₁₁	採取試料の分析値平均(試料数5個)		600	51	(1.2)
ビンダムからの土砂流出量	S ₁₂	フィージビリティ・スタディ(E.L.C)及び 定点A測定結果	1989~2009年: 2010年~		0	
		1.5×10 ⁶ m ³ /yearが雨期6か月間に流出 すると仮定・突容量0.8×10 ⁸ m ³ /year	:1月~5月:12月 0 :6月~11月 0.051 m ³ /sec = $\frac{0.8 \times 10^8}{183 \times 24 \times 60 \times 60}$			
ビンガムサン・ロケ間からの土砂流出量	S ₁₃	フィージビリティ・スタディ(E.L.C)				
		2.5×10 ⁶ m ³ /yearが雨期6か月間に流出 すると仮定・突容量1.4×10 ⁸ m ³ /year				
流出土砂の各成分含有率	D ₁₂	ビンガ、アンプクライダム堆砂の分析値平均 (試料数10個)		Cu ppm	Zn ppm	As ppm
				58	111	50
ビンガムサン・ロケ間での溶存成分の残存率	k ₀	定点Aのデータから各溶存成分の値から沈着 等はおこらないと仮定		Cu	Zn	As
				1	1	1
ベンゲット鉱山からの鉱さい中溶存成分の残存率	k ₁	汚染源と定点との取交バランスを基礎として、 流量の関数として与える	最速	$4.68 \times 10^{-3} \times Q$	$0.0 \times Q$	1
			最大	$0.0125 \times Q$	$2.36 \times 10^{-3} \times Q$	1
イトゴ鉱山からの鉱さい中溶存成分の残存率	k ₂	"				
フィレックス鉱山からの鉱さい中溶存成分の残存率	k ₃	"				

	Cu	Zn	As
B*	0	0	0.19×10^{-2}
I _o	0	0	0.10×10^{-1}
P*	0.33×10^{-3}	0.93×10^{-3}	0.87×10^{-2}

pH	Cu mg/ℓ	Zn mg/ℓ	As mg/ℓ
7.5	0.014	4.6	充分大きな値
8	0.0014	0.46	"

鉱さい	係数	Cu	Zn	As
Philex	k1	0.554×10^{-2}	0.242×10^{-2}	0.4444×10^{-1}
	k2	0.48954×10^{-3}	0.36674×10^{-1}	0.79644×10^{-2}
Benguet	k1	0.55×10^{-2}	0.3215×10^{-2}	0.4502×10^{-1}
	k2	0.61662×10^{-3}	0.491×10^{-1}	0.50362×10^{-2}
Itoyon				

現場試験(主としてエアレーション法)

の測定結果から算出

ベンゲット鉱さいの溶出率

k 4

イトゴン鉱さいの溶出率

k 5

フィレックス鉱さいの溶出率

k 6

溶解度換等から算出(pH 7.5, 8)

Cu(OH)₂

Zn(OH)₂

C 0.

貯水池内の堆砂のうち

溶出反応にあずかる割合

k 7

現場試験(主としてモデル試験及び乾湿

くり返し法)結果から算出

$$k 8 = \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})$$

貯水池中での溶出率

k 8

反応速度論的考察及び汚染測定点調査の

結果に基づき収支バランスから予測

.....1 安全サイド

.....0 最悪

沈積(反応)が進行する割合

k 11

0.1N HCl 抽出量

	Cu ppm	Zn ppm	As ppm
Philex	1.45	63	0.14
Benguet	0.15	41	0.08
Iitagon	<0.05	28	0.33
OH	Cu, Znはすべて溶出		
自然砂	0とする		

粒度分布

鉱山	鉱さい量 t	累計通過分布									
		1 μ	2 μ	3 μ	4 μ	5 μ	6 μ	7 μ	8 μ	9 μ	10 μ
Philex	32000	8.7	10.9	12.2	13.5	14.5	15.6	16.4	17.3	18.0	18.7
Benguet	2275 (3250)	11.5	13.3	15.4	16.8	18.1	19.5	20.9	21.9	23.1	24.5
Iitagon	350	10.9	13.8	15.6	17.4	18.9	20.1	21.1	22.2	23.0	24.1

SS計算における死水レベル

195ml

細粒サイズの品位

	Cu	Zn	As
Philex	590 ppm	120 ppm	1.0 ppm
Benguet	240	840	100
Iitagon	140	520	170
自然堆砂	粗の平均 68	111	5.0

3.3 計算結果

計算結果の全ては資料“E”にとり纏めた。ここには各計算毎にその代表部分を表示する。

3.3.1 溶存成分濃度

以下流入水量として水文解析によって予測された平均流量を30年間繰り返した場合を平均流量、信頼性ありとされた21年間の実測値をあてはめた場合を実測流量と呼ぶ。又変数として現有資料で最も適切と考えられる値を入力した場合を適値、水酸化物の溶存限界濃度、溶存成分の流下途中の残存率、貯水池における沈澱反応割合の3変数に考えられる幅で一番悪い条件（予測値が大きくなる値）を入力した場合を最悪値と呼ぶ。

Run - 1

平均流量・適値の組み合わせの計算をRun-1とした。最も基本的な計算で、この計算により季節変動の傾向、長期的変化の傾向を知ることが出来る。章末にRun-1の5年毎の値を抜粋表示した。この計算で得られた最高値、最低値、15年目の年平均値は次の通りである。

	最高値	最低値	15年目平均値
Cu	0.0081 mg/l	0.0024 mg/l	0.0044 mg/l
Zn	0.0312 mg/l	0.0137 mg/l	0.0191 mg/l
As	0.0046 mg/l	0.0030 mg/l	0.0034 mg/l

Run - 2

平均流量・最悪値の組み合わせの計算をRun-2とした。この計算で最悪の場合を想定した予測値が得られる。Run-2についても5年毎の値を抜粋章末に表示した。この計算で得られた最高値、最低値、15年目の年平均値は次の通りであり、AsはRun-1と同じ値で変わらない。

	最高値	最低値	15年目平均値
Cu	0.0276 mg/l	0.0146 mg/l	0.0192 mg/l
Zn	0.0324 mg/l	0.0148 mg/l	0.0200 mg/l
As	0.0046 mg/l	0.0030 mg/l	0.0034 mg/l

Run - 3

実測流量・適値の組み合わせ計算をRun-3とした。

流量に渇水年、豊水年の記録が含まれているので当然数値の変動幅は大きくなり、実際に起り得る変動幅を知ることが出来る。次に渇水年の例として25年目、27年目、28年目、29年目の記録を、豊水年の例として15年目、17年目、18年目、19年目の記録を章末に表示した。この計算で得られた最高値、最低値は次の通りである。

	最高値	最低値
Cu	0.0089 mg/l	0.0021 mg/l
Zn	0.0547 mg/l	0.0085 mg/l
As	0.0061 mg/l	0.0026 mg/l

Run - 4

実測流量・最悪値の組み合わせ計算をした最悪の場合で変動幅が大きくなっており、全ての予測の中での最高値はこの計算の中で得られる。Run - 3と同様、湧水年、豊水年の例を章末に表示した。

この計算で得られた最高値、最低値は次の通りであり As は Run-3と同じ値で変らない。

	最高値	最低値
Cu	0.0313 mg/l	0.0082 mg/l
Zn	0.0554 mg/l	0.0100 mg/l
As	0.0061 mg/l	0.0026 mg/l

Case 1

特殊な場合として一時的に pH が下がる場合がある。Run-1の計算で水酸化物の溶存限界濃度のみを pH 7.5 の値に代えた計算を Case 1 とし 5 年分計算した。今回の計算では Cu のみの値が変わり、Zn, As は Run - 1 と同じ値で変らない。

Case 2, Case 3

平均流量・適値の組み合わせ計算で Benguet, Itogon 両鉱山が 21 年目に閉山した場合を Case 2 とし、Philex 鉱山が 21 年目に閉山した場合を Case 3 として計算した。長期変化が小さいので、これらの例によって鉱山が閉山した後の水質を知ることが出来る。章末に Case 1 の 2~5 年目の値, Case 2 および 3 の 27~30 年目の値を表示した。

3.3.2 懸濁物質濃度

懸濁物質についても平均流量の場合 Run - 1 と実流量の場合 Run - 3 を計算した。章末に夫々の代表例を示した。両計算で得られた最高値，最低値，15年目の平均値は次の通りである。

Run - 1

	最高値	最低値	15年目平均値
SS濃度	2350 mg/l	350 mg/l	720 mg/l
T - Cu	570 ppm	390 ppm	490 ppm
S - Cu	140 ppm	88 ppm	120 ppm
T - Zn	190 ppm	160 ppm	170 ppm
S - Zn	65 ppm	41 ppm	53 ppm
T - As	11 ppm	9 ppm	10 ppm

注) T : Total S : 0.1 規定塩酸可溶

Run - 3

	最高値	最低値
SS濃度	6380 mg/l	130 mg/l
T - Cu	570 ppm	380 ppm
S - Cu	150 ppm	85 ppm
T - Zn	190 ppm	160 ppm
S - Zn	65 ppm	39 ppm
T - As	11 ppm	9 ppm

又平均流量で Benguet , Itogon 両鉱山が21年目に閉山した場合 - Case 2 - , Phillex 鉱山が21年年目に閉山した場合 - Case 3 - を計算した。章末にその27～30年目の値を示した。

Table IV-2 RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-1 & RUN-2 (1/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Run 1			Run 2	
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow			Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
2	1	30.3	93.3	0.0	0.0	272.7	753.05	0.0025	0.0179	0.0033	0.0192	0.0182
2	2	23.1	114.2	0.0	0.0	250.5	527.38	0.0024	0.0208	0.0035	0.0201	0.0210
2	3	19.8	97.1	0.0	0.0	225.1	317.55	0.0028	0.0235	0.0038	0.0213	0.0238
2	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	316.80	0.0035	0.0270	0.0042	0.0229	0.0275
2	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	316.43	0.0046	0.0293	0.0043	0.0246	0.0302
2	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.6	328.00	0.0054	0.0275	0.0041	0.0260	0.0287
2	7	120.4	50.8	0.0	0.0	249.1	512.58	0.0069	0.0209	0.0036	0.0229	0.0226
2	8	226.9	41.2	9.1	0.0	290.0	983.26	0.0069	0.0156	0.0032	0.0168	0.0174
2	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	982.69	0.0053	0.0144	0.0030	0.0151	0.0156
2	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	982.11	0.0044	0.0139	0.0030	0.0158	0.0148
2	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	981.54	0.0033	0.0150	0.0031	0.0179	0.0156
2	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	919.99	0.0026	0.0171	0.0033	0.0191	0.0174
5	1	30.3	93.4	0.0	0.0	272.6	736.24	0.0025	0.0196	0.0034	0.0201	0.0199
5	2	23.1	114.4	0.0	0.0	250.2	510.20	0.0024	0.0224	0.0036	0.0210	0.0226
5	3	19.8	95.1	0.0	0.0	225.1	305.68	0.0028	0.0250	0.0039	0.0221	0.0253
5	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	304.94	0.0036	0.0283	0.0043	0.0236	0.0288
5	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	304.57	0.0047	0.0304	0.0044	0.0252	0.0312
5	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.6	316.15	0.0055	0.0281	0.0041	0.0265	0.0293
5	7	120.4	50.7	0.0	0.0	249.4	500.89	0.0070	0.0210	0.0036	0.0231	0.0227
5	8	226.9	41.2	11.0	0.0	290.0	966.53	0.0070	0.0157	0.0032	0.0168	0.0176
5	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	965.97	0.0053	0.0145	0.0030	0.0151	0.0158
5	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	965.38	0.0045	0.0140	0.0030	0.0158	0.0149
5	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	964.82	0.0034	0.0151	0.0031	0.0179	0.0156
5	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	903.26	0.0027	0.0172	0.0033	0.0191	0.0175
10	1	30.3	93.4	0.0	0.0	272.4	708.23	0.0025	0.0197	0.0034	0.0202	0.0200
10	2	23.1	114.7	0.0	0.0	249.6	481.56	0.0025	0.0225	0.0036	0.0211	0.0228
10	3	19.8	91.8	0.0	0.0	225.1	285.91	0.0029	0.0252	0.0039	0.0222	0.0256
10	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	285.17	0.0037	0.0286	0.0044	0.0238	0.0291
10	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	284.81	0.0049	0.0306	0.0044	0.0255	0.0315
10	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.7	296.42	0.0057	0.0280	0.0042	0.0267	0.0293
10	7	120.4	50.6	0.0	0.0	249.9	431.40	0.0072	0.0207	0.0036	0.0231	0.0225
10	8	226.9	41.2	14.2	0.0	290.0	938.65	0.0072	0.0157	0.0031	0.0168	0.0175
10	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	938.09	0.0054	0.0146	0.0030	0.0151	0.0159
10	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	937.50	0.0045	0.0140	0.0030	0.0157	0.0149
10	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	936.94	0.0034	0.0151	0.0031	0.0180	0.0157
10	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	875.37	0.0027	0.0172	0.0033	0.0192	0.0176
15	1	30.3	93.5	0.0	0.0	272.3	680.21	0.0026	0.0198	0.0034	0.0203	0.0201
15	2	23.1	114.9	0.0	0.0	249.1	452.88	0.0025	0.0227	0.0036	0.0212	0.0230
15	3	19.8	88.5	0.0	0.0	225.1	266.14	0.0030	0.0254	0.0040	0.0224	0.0258
15	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	265.41	0.0039	0.0289	0.0044	0.0241	0.0294
15	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	265.05	0.0051	0.0308	0.0044	0.0257	0.0318
15	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.7	276.68	0.0059	0.0279	0.0042	0.0269	0.0292
15	7	120.4	50.5	0.0	0.0	250.4	461.93	0.0074	0.0203	0.0036	0.0231	0.0222
15	8	226.9	41.1	17.4	0.0	290.0	910.78	0.0073	0.0156	0.0031	0.0167	0.0175
15	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	910.21	0.0055	0.0146	0.0030	0.0150	0.0159
15	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	909.63	0.0046	0.0140	0.0030	0.0157	0.0150
15	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	909.06	0.0035	0.0151	0.0031	0.0180	0.0157
15	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	847.49	0.0027	0.0173	0.0033	0.0193	0.0176

As is the same as Run 1

Table IV-3 RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-1 & RUN-2 (2/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (×10 ⁶ m ³)	Cu (mg/ℓ)	Run 1		Run 2	
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow				Zn (mg/ℓ)	As (mg/ℓ)	Cu (mg/ℓ)	Zn (mg/ℓ)
20	1	30.3	93.5	0.0	0.0	272.1	652.19	0.0026	0.0199	0.0034	0.0203	0.0202
20	2	23.1	115.2	0.0	0.0	248.4	424.16	0.0026	0.0228	0.0037	0.0213	0.0231
20	3	19.8	85.2	0.0	0.0	225.1	246.38	0.0031	0.0256	0.0040	0.0226	0.0260
20	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	245.66	0.0040	0.0291	0.0045	0.0243	0.0297
20	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	245.30	0.0053	0.0310	0.0045	0.0260	0.0320
20	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.8	256.96	0.0061	0.0277	0.0042	0.0271	0.0291
20	7	120.4	50.4	0.0	0.0	250.9	442.47	0.0076	0.0199	0.0036	0.0230	0.0218
20	8	226.9	41.1	20.6	0.0	290.0	882.90	0.0074	0.0155	0.0031	0.0165	0.0174
20	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	882.33	0.0056	0.0146	0.0030	0.0149	0.0159
20	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	881.75	0.0047	0.0139	0.0030	0.0157	0.0149
20	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	881.18	0.0035	0.0151	0.0031	0.0180	0.0157
20	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	819.60	0.0028	0.0173	0.0033	0.0193	0.0176
25	1	30.3	93.6	0.0	0.0	271.9	621.14	0.0027	0.0200	0.0034	0.0204	0.0203
25	2	23.1	115.6	0.0	0.0	247.7	392.30	0.0026	0.0230	0.0037	0.0214	0.0233
25	3	19.8	81.4	0.0	0.0	225.1	224.56	0.0032	0.0258	0.0040	0.0228	0.0262
25	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	223.86	0.0042	0.0294	0.0045	0.0246	0.0300
25	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	223.49	0.0055	0.0311	0.0045	0.0263	0.0322
25	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.8	235.06	0.0064	0.0274	0.0042	0.0273	0.0289
25	7	120.4	50.3	0.0	0.0	251.4	420.75	0.0078	0.0194	0.0036	0.0230	0.0213
25	8	226.9	41.0	24.1	0.0	290.0	851.64	0.0075	0.0153	0.0031	0.0164	0.0172
25	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	850.96	0.0057	0.0146	0.0030	0.0148	0.0159
25	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	850.24	0.0048	0.0138	0.0030	0.0156	0.0149
25	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	849.56	0.0036	0.0150	0.0031	0.0180	0.0156
25	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	787.96	0.0028	0.0173	0.0033	0.0194	0.0176
30	1	30.3	93.6	0.0	0.0	271.7	589.34	0.0027	0.0200	0.0035	0.0205	0.0204
30	2	23.1	115.9	0.0	0.0	246.9	359.59	0.0027	0.0231	0.0037	0.0216	0.0234
30	3	19.8	77.5	0.0	0.0	225.1	202.24	0.0034	0.0259	0.0041	0.0230	0.0263
30	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	201.54	0.0045	0.0296	0.0046	0.0250	0.0303
30	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	201.18	0.0058	0.0312	0.0046	0.0266	0.0324
30	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.9	212.79	0.0067	0.0270	0.0042	0.0276	0.0285
30	7	120.4	50.2	0.0	0.0	252.0	398.79	0.0081	0.0187	0.0035	0.0229	0.0208
30	8	226.9	41.0	27.8	0.0	290.0	820.02	0.0077	0.0150	0.0031	0.0162	0.0171
30	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	819.33	0.0058	0.0145	0.0030	0.0146	0.0158
30	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	818.62	0.0048	0.0137	0.0030	0.0155	0.0148
30	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	817.93	0.0036	0.0149	0.0031	0.0181	0.0156
30	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	756.32	0.0029	0.0173	0.0033	0.0194	0.0176

Table IV-4 RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-3 & RUN-4 (1/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Run - 3			Run 4	
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow			Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
15	1	17.2	101.9	0.0	0.0	253.5	490.28	0.0024	0.0229	0.0037	0.0196	0.0231
15	2	18.8	110.9	0.0	0.0	225.1	262.91	0.0027	0.0262	0.0040	0.0207	0.0265
15	3	10.0	9.4	0.0	0.0	225.0	262.13	0.0032	0.0306	0.0046	0.0223	0.0309
15	4	24.1	23.5	0.0	0.0	225.0	261.78	0.0042	0.0369	0.0049	0.0241	0.0376
15	5	17.1	16.6	0.0	0.0	225.0	261.41	0.0038	0.0424	0.0052	0.0255	0.0429
15	6	21.4	20.9	0.0	0.0	225.0	260.85	0.0040	0.0467	0.0054	0.0267	0.0473
15	7	55.7	55.3	0.0	0.0	225.0	260.26	0.0058	0.0396	0.0049	0.0275	0.0408
15	8	502.1	47.4	211.0	0.0	290.0	910.78	0.0058	0.0130	0.0029	0.0100	0.0154
15	9	255.3	40.1	214.5	0.0	290.0	910.21	0.0054	0.0122	0.0029	0.0127	0.0136
15	10	282.2	64.1	217.0	0.0	290.0	909.63	0.0052	0.0107	0.0028	0.0120	0.0122
15	11	99.5	62.4	35.7	0.0	290.0	909.06	0.0039	0.0115	0.0029	0.0145	0.0123
15	12	57.0	60.2	0.0	0.0	289.2	896.48	0.0031	0.0135	0.0030	0.0166	0.0140
17	1	7.9	105.0	0.0	0.0	246.4	419.09	0.0021	0.0268	0.0039	0.0203	0.0269
17	2	8.0	74.4	0.0	0.0	225.0	254.60	0.0024	0.0313	0.0043	0.0212	0.0314
17	3	8.1	7.5	0.0	0.0	225.0	253.92	0.0031	0.0371	0.0050	0.0227	0.0374
17	4	8.6	8.0	0.0	0.0	225.0	253.57	0.0031	0.0479	0.0056	0.0241	0.0481
17	5	229.4	46.1	0.0	0.0	278.7	742.31	0.0086	0.0223	0.0036	0.0152	0.0246
17	6	175.9	39.5	74.1	0.0	290.0	900.79	0.0057	0.0198	0.0033	0.0150	0.0211
17	7	156.8	37.5	118.5	0.0	290.0	900.21	0.0049	0.0177	0.0032	0.0153	0.0187
17	8	178.6	37.7	140.2	0.0	290.0	899.62	0.0052	0.0156	0.0031	0.0149	0.0167
17	9	244.6	39.9	204.0	0.0	290.0	899.06	0.0053	0.0133	0.0029	0.0133	0.0147
17	10	60.0	60.1	0.0	0.0	289.8	895.07	0.0032	0.0143	0.0031	0.0163	0.0148
17	11	54.3	62.5	0.0	0.0	288.2	869.94	0.0030	0.0164	0.0032	0.0180	0.0169
17	12	58.5	60.8	0.0	0.0	287.6	859.94	0.0032	0.0180	0.0033	0.0197	0.0185
18	1	27.1	92.6	0.0	0.0	273.8	680.68	0.0025	0.0206	0.0035	0.0206	0.0208
18	2	14.5	114.5	0.0	0.0	248.6	433.32	0.0022	0.0239	0.0037	0.0214	0.0241
18	3	10.3	77.4	0.0	0.0	225.1	251.01	0.0026	0.0277	0.0042	0.0224	0.0279
18	4	14.9	14.4	0.0	0.0	225.0	250.29	0.0036	0.0324	0.0047	0.0240	0.0328
18	5	18.5	18.0	0.0	0.0	225.0	249.92	0.0040	0.0391	0.0051	0.0254	0.0396
18	6	15.7	15.2	0.0	0.0	225.0	249.36	0.0037	0.0458	0.0055	0.0266	0.0463
18	7	108.0	51.9	0.0	0.0	244.6	397.67	0.0074	0.0305	0.0042	0.0240	0.0323
18	8	561.1	45.7	260.3	69.0	290.0	894.05	0.0052	0.0129	0.0029	0.0100	0.0149
18	9	726.0	41.1	264.9	419.2	290.0	893.48	0.0041	0.0092	0.0026	0.0082	0.0105
18	10	275.0	63.9	210.0	0.0	290.0	892.90	0.0053	0.0085	0.0027	0.0092	0.0100
18	11	60.1	62.2	0.0	0.0	289.4	883.39	0.0032	0.0102	0.0028	0.0121	0.0107
18	12	24.9	61.4	0.0	0.0	282.4	781.82	0.0024	0.0133	0.0031	0.0146	0.0135
19	1	21.7	96.5	0.0	0.0	264.7	577.96	0.0024	0.0167	0.0033	0.0158	0.0169
19	2	20.4	123.4	0.0	0.0	235.6	323.88	0.0026	0.0202	0.0036	0.0172	0.0204
19	3	24.0	51.9	0.0	0.0	225.0	246.74	0.0038	0.0227	0.0040	0.0196	0.0233
19	4	10.0	9.4	0.0	0.0	225.0	246.23	0.0033	0.0304	0.0046	0.0213	0.0308
19	5	43.0	42.5	0.0	0.0	225.0	245.86	0.0054	0.0322	0.0045	0.0239	0.0333
19	6	64.3	57.4	0.0	0.0	227.4	261.99	0.0062	0.0281	0.0042	0.0259	0.0295
19	7	213.7	46.0	0.0	0.0	276.9	709.05	0.0088	0.0160	0.0032	0.0165	0.0183
19	8	244.8	39.1	137.8	0.0	290.0	888.47	0.0061	0.0144	0.0030	0.0140	0.0161
19	9	350.2	41.1	264.9	43.4	290.0	887.91	0.0050	0.0117	0.0028	0.0112	0.0134
19	10	188.3	61.7	125.5	0.0	290.0	887.32	0.0053	0.0110	0.0028	0.0131	0.0122
19	11	58.2	62.3	0.0	0.0	289.1	872.76	0.0031	0.0127	0.0030	0.0154	0.0132
19	12	18.2	61.8	0.0	0.0	280.6	752.34	0.0022	0.0158	0.0032	0.0164	0.0160

As is the same as Run 3

Table IV-5 RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-3 & RUN-4 (2/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Cu (mg/l)	Run 3		Run 4	
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow				Zn (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
25	1	21.1	96.1	0.0	0.0	265.4	551.59	0.0024	0.0217	0.0036	0.0206	0.0219
25	2	18.0	123.4	0.0	0.0	234.9	291.66	0.0296	0.0251	0.0038	0.0215	0.0253
25	3	13.0	38.1	0.0	0.0	225.0	221.96	0.0033	0.0287	0.0044	0.0230	0.0290
25	4	18.7	18.1	0.0	0.0	225.0	221.45	0.0042	0.0346	0.0049	0.0248	0.0352
25	5	37.1	36.6	0.0	0.0	225.0	221.09	0.0054	0.0356	0.0048	0.0264	0.0366
25	6	56.3	55.8	0.0	0.0	225.0	220.40	0.0062	0.0313	0.0044	0.0274	0.0326
25	7	49.5	49.1	0.0	0.0	225.0	219.69	0.0060	0.0284	0.0043	0.0281	0.0296
25	8	180.6	47.8	0.0	0.0	267.9	573.49	0.0089	0.0165	0.0033	0.0184	0.0188
25	9	154.2	40.4	5.8	0.0	290.0	850.96	0.0061	0.0169	0.0032	0.0176	0.0183
25	10	139.1	60.9	77.1	0.0	290.0	850.24	0.0048	0.0167	0.0031	0.0176	0.0177
25	11	58.2	62.3	0.0	0.0	289.1	835.55	0.0032	0.0178	0.0032	0.0193	0.0183
25	12	31.8	61.3	0.0	0.0	283.4	752.71	0.0026	0.0202	0.0034	0.0204	0.0205
27	1	31.3	91.5	0.0	0.0	276.8	663.47	0.0026	0.0180	0.0033	0.0198	0.0183
27	2	19.6	111.4	0.0	0.0	254.3	436.22	0.0024	0.0212	0.0036	0.0207	0.0215
27	3	17.0	99.1	0.0	0.0	225.1	213.39	0.0029	0.0245	0.0039	0.0220	0.0248
27	4	18.8	18.4	0.0	0.0	225.0	212.58	0.0043	0.0279	0.0045	0.0240	0.0285
27	5	19.9	19.4	0.0	0.0	225.0	212.22	0.0044	0.0352	0.0049	0.0257	0.0359
27	6	24.1	23.6	0.0	0.0	225.0	211.53	0.0046	0.0401	0.0052	0.0270	0.0409
27	7	37.1	36.7	0.0	0.0	225.0	210.82	0.0055	0.0388	0.0050	0.0280	0.0398
27	8	148.8	49.3	0.0	0.0	259.0	475.48	0.0086	0.0217	0.0037	0.0204	0.0239
27	9	182.9	41.4	0.6	0.0	290.0	838.30	0.0070	0.0184	0.0033	0.0173	0.0201
27	10	121.0	60.6	59.2	0.0	290.0	837.59	0.0046	0.0185	0.0032	0.0181	0.0194
27	11	143.0	63.0	78.7	0.0	290.0	836.91	0.0048	0.0170	0.0032	0.0178	0.0181
27	12	65.4	60.1	3.9	0.0	290.0	836.54	0.0034	0.0178	0.0033	0.0197	0.0183
28	1	26.1	91.2	0.0	0.0	276.9	658.30	0.0025	0.0205	0.0035	0.0206	0.0207
28	2	18.6	111.5	0.0	0.0	254.0	428.24	0.0024	0.0237	0.0037	0.0215	0.0239
28	3	13.1	94.0	0.0	0.0	225.1	208.62	0.0027	0.0272	0.0041	0.0226	0.0274
28	4	11.3	10.9	0.0	0.0	225.0	207.81	0.0037	0.0323	0.0048	0.0243	0.0327
28	5	15.3	15.3	0.0	0.0	225.0	207.45	0.0042	0.0413	0.0053	0.0259	0.0418
28	6	21.5	21.0	0.0	0.0	225.0	206.76	0.0045	0.0464	0.0055	0.0272	0.0471
28	7	46.7	46.3	0.0	0.0	225.0	206.05	0.0061	0.0403	0.0050	0.0280	0.0415
28	8	84.3	53.5	0.0	0.0	236.7	286.76	0.0074	0.0281	0.0042	0.0276	0.0298
28	9	107.4	49.5	0.0	0.0	255.2	434.82	0.0070	0.0227	0.0037	0.0249	0.0244
28	10	81.4	73.2	0.0	0.0	257.4	453.78	0.0054	0.0227	0.0036	0.0261	0.0238
28	11	42.0	78.0	0.0	0.0	246.2	357.46	0.0039	0.0245	0.0038	0.0269	0.0252
28	12	17.2	73.7	0.0	0.0	225.0	203.83	0.0032	0.0285	0.0042	0.0276	0.0289
29	1	21.9	21.3	0.0	0.0	225.0	203.18	0.0047	0.0313	0.0047	0.0287	0.0320
29	2	14.3	13.6	0.0	0.0	225.0	202.85	0.0039	0.0406	0.0052	0.0297	0.0411
29	3	12.4	11.7	0.0	0.0	225.0	202.49	0.0039	0.0490	0.0058	0.0306	0.0495
29	4	18.1	17.5	0.0	0.0	225.0	202.14	0.0043	0.0547	0.0061	0.0311	0.0554
29	5	26.9	26.4	0.0	0.0	225.0	201.77	0.0050	0.0534	0.0059	0.0312	0.0543
29	6	24.0	23.5	0.0	0.0	225.0	201.09	0.0048	0.0535	0.0060	0.0313	0.0542
29	7	40.9	40.5	0.0	0.0	225.0	200.37	0.0059	0.0462	0.0054	0.0307	0.0474
29	8	82.6	53.6	0.0	0.0	236.0	276.19	0.0074	0.0312	0.0044	0.0291	0.0330
29	9	170.0	46.9	0.0	0.0	272.1	593.18	0.0082	0.0200	0.0035	0.0204	0.0220
29	10	84.2	65.6	0.0	0.0	276.2	639.49	0.0047	0.0214	0.0035	0.0224	0.0223
29	11	74.7	66.8	0.0	0.0	277.7	656.29	0.0041	0.0217	0.0035	0.0239	0.0225
29	12	54.7	64.8	0.0	0.0	275.1	625.83	0.0036	0.0227	0.0036	0.0249	0.0233

Table IV-6

RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF CASE-1

Year	Month	Case 1		
		Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)
2	1	0.0141	0.0179	0.0033
2	2	0.0142	0.0208	0.0035
2	3	0.0143	0.0235	0.0038
2	4	0.0144	0.0270	0.0042
2	5	0.0141	0.0293	0.0043
2	6	0.0138	0.0275	0.0041
2	7	0.0133	0.0209	0.0036
2	8	0.0127	0.0156	0.0032
2	9	0.0133	0.0144	0.0030
2	10	0.0136	0.0139	0.0030
2	11	0.0139	0.0150	0.0031
2	12	0.0141	0.0171	0.0033
3	1	0.0141	0.0195	0.0034
3	2	0.0142	0.0223	0.0036
3	3	0.0143	0.0249	0.0039
3	4	0.0144	0.0282	0.0043
3	5	0.0141	0.0302	0.0043
3	6	0.0138	0.0281	0.0041
3	7	0.0133	0.0211	0.0036
3	8	0.0127	0.0157	0.0032
3	9	0.0133	0.0145	0.0030
3	10	0.0136	0.0139	0.0030
3	11	0.0139	0.0151	0.0031
3	12	0.0141	0.0171	0.0033
4	1	0.0141	0.0196	0.0034
4	2	0.0142	0.0223	0.0036
4	3	0.0143	0.0250	0.0039
4	4	0.0144	0.0283	0.0043
4	5	0.0141	0.0303	0.0044
4	6	0.0138	0.0281	0.0041
4	7	0.0133	0.0211	0.0036
4	8	0.0127	0.0157	0.0032
4	9	0.0133	0.0145	0.0030
4	10	0.0136	0.0140	0.0030
4	11	0.0139	0.0151	0.0031
4	12	0.0141	0.0171	0.0033
5	1	0.0141	0.0196	0.0034
5	2	0.0142	0.0224	0.0036
5	3	0.0143	0.0250	0.0039
5	4	0.0144	0.0283	0.0043
5	5	0.0141	0.0304	0.0044
5	6	0.0138	0.0281	0.0041
5	7	0.0133	0.0210	0.0036
5	8	0.0127	0.0157	0.0032
5	9	0.0133	0.0145	0.0030
5	10	0.0136	0.0140	0.0030
5	11	0.0139	0.0151	0.0031
5	12	0.0141	0.0172	0.0033

Table IV-7 RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF CASE-2 & CASE-3

Year	Month	Case 2			Case 3		
		Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)
27	1	0.0018	0.0070	0.0024	0.0024	0.0196	0.0034
27	2	0.0019	0.0070	0.0025	0.0023	0.0225	0.0036
27	3	0.0021	0.0071	0.0025	0.0026	0.0251	0.0040
27	4	0.0026	0.0072	0.0025	0.0033	0.0286	0.0045
27	5	0.0026	0.0070	0.0025	0.0047	0.0304	0.0045
27	6	0.0025	0.0068	0.0025	0.0057	0.0269	0.0042
27	7	0.0025	0.0066	0.0024	0.0073	0.0192	0.0036
27	8	0.0024	0.0073	0.0024	0.0072	0.0150	0.0031
27	9	0.0021	0.0075	0.0024	0.0055	0.0142	0.0030
27	10	0.0020	0.0071	0.0024	0.0045	0.0136	0.0030
27	11	0.0019	0.0070	0.0024	0.0033	0.0147	0.0031
27	12	0.0018	0.0070	0.0024	0.0025	0.0169	0.0032
28	1	0.0018	0.0070	0.0024	0.0024	0.0196	0.0034
28	2	0.0019	0.0070	0.0025	0.0023	0.0225	0.0037
28	3	0.0022	0.0071	0.0025	0.0026	0.0251	0.0040
28	4	0.0026	0.0072	0.0025	0.0033	0.0286	0.0045
28	5	0.0026	0.0070	0.0025	0.0047	0.0304	0.0045
28	6	0.0026	0.0068	0.0025	0.0057	0.0269	0.0042
28	7	0.0026	0.0066	0.0024	0.0073	0.0191	0.0036
28	8	0.0024	0.0073	0.0024	0.0072	0.0149	0.0031
28	9	0.0021	0.0076	0.0024	0.0055	0.0142	0.0030
28	10	0.0020	0.0072	0.0024	0.0045	0.0135	0.0030
28	11	0.0019	0.0070	0.0024	0.0033	0.0147	0.0031
28	12	0.0018	0.0070	0.0024	0.0025	0.0169	0.0032
29	1	0.0018	0.0070	0.0024	0.0024	0.0195	0.0034
29	2	0.0019	0.0071	0.0025	0.0023	0.0225	0.0037
29	3	0.0022	0.0071	0.0025	0.0026	0.0251	0.0040
29	4	0.0026	0.0072	0.0025	0.0033	0.0286	0.0045
29	5	0.0026	0.0070	0.0025	0.0047	0.0304	0.0045
29	6	0.0026	0.0068	0.0025	0.0057	0.0269	0.0042
29	7	0.0026	0.0066	0.0024	0.0073	0.0191	0.0035
29	8	0.0024	0.0073	0.0024	0.0072	0.0149	0.0031
29	9	0.0021	0.0076	0.0024	0.0055	0.0141	0.0030
29	10	0.0020	0.0072	0.0024	0.0045	0.0135	0.0030
29	11	0.0019	0.0070	0.0024	0.0033	0.0147	0.0031
29	12	0.0018	0.0070	0.0024	0.0025	0.0169	0.0032
30	1	0.0018	0.0070	0.0024	0.0024	0.0195	0.0034
30	2	0.0019	0.0071	0.0025	0.0023	0.0225	0.0037
30	3	0.0022	0.0071	0.0025	0.0026	0.0251	0.0040
30	4	0.0026	0.0072	0.0025	0.0033	0.0286	0.0045
30	5	0.0026	0.0070	0.0025	0.0047	0.0304	0.0045
30	6	0.0026	0.0068	0.0025	0.0057	0.0269	0.0042
30	7	0.0025	0.0066	0.0024	0.0074	0.0190	0.0035
30	8	0.0024	0.0074	0.0024	0.0072	0.0148	0.0031
30	9	0.0021	0.0076	0.0024	0.0055	0.0141	0.0030
30	10	0.0020	0.0072	0.0024	0.0045	0.0135	0.0030
30	11	0.0019	0.0070	0.0024	0.0033	0.0146	0.0031
30	12	0.0018	0.0070	0.0024	0.0025	0.0169	0.0032

Note: The volume of stored water and others differ from Run 1 depending upon the volume of sediments.

Table IV-8 RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-1 (1/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Run 1						
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow			SS (mg/l)	T-Cu (ppm)	T-Zn (ppm)	T-As (ppm)	S-Cu (ppm)	S-Zn (ppm)	S-As (ppm)
2	1	30.3	93.3	0.0	0.0	272.7	753.05	551	597	190	11	172	68	0
2	2	23.1	114.2	0.0	0.0	250.5	527.38	475	614	192	11	189	70	0
2	3	19.8	97.1	0.0	0.0	225.1	317.55	558	617	195	11	193	73	0
2	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	316.80	2245	576	186	11	151	65	0
2	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	316.43	1222	592	191	11	168	68	0
2	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.6	328.00	1192	469	172	10	132	52	0
2	7	120.4	50.8	0.0	0.0	249.1	512.58	1326	453	170	10	118	50	0
2	8	226.9	41.2	9.1	0.0	290.0	983.26	1300	441	167	10	109	48	0
2	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	982.69	352	483	174	10	138	54	0
2	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	982.11	519	467	171	10	126	52	0
2	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	981.54	889	450	169	10	117	49	0
2	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	919.99	787	582	187	11	158	65	0
5	1	30.3	93.4	0.0	0.0	272.6	736.24	552	601	190	11	176	68	0
5	2	23.1	114.4	0.0	0.0	250.2	510.20	476	618	192	11	194	70	0
5	3	19.8	95.1	0.0	0.0	225.1	305.68	570	620	195	11	195	73	0
5	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	304.94	2258	577	186	11	152	65	0
5	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	304.57	1228	593	191	11	169	68	0
5	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.6	316.15	1196	470	172	10	133	53	0
5	7	120.4	50.7	0.0	0.0	249.4	500.89	1332	453	170	10	118	50	0
5	8	226.9	41.2	11.0	0.0	290.0	966.53	1261	442	168	10	109	48	0
5	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	965.97	352	483	174	10	138	54	0
5	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	965.38	520	467	172	10	126	52	0
5	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	964.82	890	451	169	10	117	49	0
5	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	903.26	788	582	188	11	158	65	0
10	1	30.3	93.4	0.0	0.0	272.4	708.23	554	601	190	11	176	68	0
10	2	23.1	114.7	0.0	0.0	249.6	481.56	477	619	192	11	194	70	0
10	3	19.3	91.8	0.0	0.0	225.1	285.91	590	619	195	11	194	73	0
10	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	285.17	2275	577	187	11	152	66	0
10	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	284.81	1238	593	191	11	169	69	0
10	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.7	296.42	1205	471	173	10	133	53	0
10	7	120.4	50.6	0.0	0.0	249.9	481.40	1342	454	170	10	118	50	0
10	8	226.9	41.2	14.2	0.0	290.0	938.65	1202	444	168	10	110	48	0
10	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	938.09	353	483	174	10	137	54	0
10	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	937.50	521	467	172	10	126	52	0
10	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	936.94	892	451	169	10	116	49	0
10	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	875.37	791	582	188	11	158	65	0
15	1	30.3	93.5	0.0	0.0	272.3	680.21	556	601	191	11	176	68	0
15	2	23.1	114.9	0.0	0.0	249.1	452.88	479	619	193	11	194	71	0
15	3	19.8	88.5	0.0	0.0	225.1	266.14	613	618	195	11	193	73	0
15	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	265.41	2291	577	187	11	153	66	0
15	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	265.05	1249	594	192	11	169	69	0
15	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.7	276.68	1214	472	173	10	133	53	0
15	7	120.4	50.5	0.0	0.0	250.4	461.93	1353	454	170	10	117	51	0
15	8	226.9	41.1	17.4	0.0	290.0	910.78	1149	445	168	10	110	49	0
15	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	910.21	354	482	174	10	136	54	0
15	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	909.63	522	467	172	10	125	52	0
15	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	909.06	894	451	169	10	116	49	0
15	12	39.2	60.8	0.0	0.0	286.0	847.49	793	582	188	11	158	66	0

Table IV-9 RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-1 (2/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Run 1						
			Primary Generation (m ³ /s)	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow			SS (mg/l)	T-Cu (mg/l)	T-Zn (mg/l)	T-As (mg/l)	S-Cu (ppm)	S-Zn (ppm)	S-As (ppm)
20	1	30.3	93.5	0.0	0.0	272.1	652.19	558	601	191	11	177	68	0
20	2	23.1	115.2	0.0	0.0	248.4	424.16	480	620	193	11	195	71	0
20	3	19.8	85.2	0.0	0.0	225.1	246.38	637	616	196	11	192	73	0
20	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	245.66	2308	578	187	11	153	66	0
20	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	245.30	1260	594	192	11	170	69	0
20	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.8	256.96	1223	472	173	10	133	54	0
20	7	120.4	50.4	0.0	0.0	250.9	442.47	1365	454	170	10	117	51	0
20	8	226.9	41.1	20.6	0.0	290.0	882.90	1102	447	169	10	110	49	0
20	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	882.33	355	481	174	10	135	55	0
20	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	881.75	524	467	172	10	125	52	0
20	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	881.18	896	451	169	10	116	49	0
20	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	819.60	795	582	188	11	157	66	0
25	1	30.3	93.6	0.0	0.0	271.9	621.14	560	601	191	11	177	69	0
25	2	23.1	115.6	0.0	0.0	247.7	392.30	481	620	194	11	196	71	0
25	3	19.8	81.4	0.0	0.0	225.1	224.56	667	615	196	11	190	74	0
25	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	223.86	2329	578	188	11	153	67	0
25	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	223.49	1274	594	192	11	170	70	0
25	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.8	235.06	1403	425	166	9	117	48	0
25	7	120.4	50.3	0.0	0.0	251.4	420.75	1571	407	163	9	102	45	0
25	8	226.9	41.0	24.1	0.0	290.0	851.64	1202	401	162	9	97	43	0
25	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	850.96	401	434	168	9	119	49	0
25	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	850.24	595	420	165	9	110	46	0
25	11	75.8	62.2	12.2	0.0	290.0	849.56	1028	403	162	9	101	43	0
25	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	787.96	798	582	188	11	157	66	0
30	1	30.3	93.6	0.0	0.0	271.7	589.34	562	601	191	11	177	69	0
30	2	23.1	115.9	0.0	0.0	246.9	359.59	482	621	194	11	196	72	0
30	3	19.8	77.5	0.0	0.0	225.1	202.24	701	613	196	11	189	74	0
30	4	20.1	19.6	0.0	0.0	225.0	201.54	2353	579	189	11	154	67	0
30	5	40.4	39.9	0.0	0.0	225.0	201.18	1290	595	193	11	170	70	0
30	6	62.7	57.5	0.0	0.0	226.9	212.79	1417	426	167	9	117	48	0
30	7	120.4	50.2	0.0	0.0	252.0	398.79	1587	408	164	9	102	45	0
30	8	226.9	41.0	27.8	0.0	290.0	820.02	1151	403	162	9	98	44	0
30	9	216.2	39.4	176.0	0.0	290.0	819.33	403	434	168	9	118	49	0
30	10	139.3	60.9	77.3	0.0	290.0	818.62	596	419	165	9	109	47	0
30	11	75.8	62.2	12.0	0.0	290.0	817.93	1031	403	162	9	101	43	0
30	12	39.2	60.8	0.0	0.0	285.9	756.32	801	582	188	11	157	66	0

Table IV-10 RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-3 (1/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (×10 ⁶ m ³)	Run 3						
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /s)	Over-flow			SS (mg/l)	T-Cu (ppm)	T-Zn (ppm)	T-As (ppm)	S-Cu (ppm)	S-Zn (ppm)	S-As (ppm)
15	1	17.2	101.9	0.0	0.0	253.5	490.28	525	615	193	11	190	70	0
15	2	18.8	110.9	0.0	0.0	225.1	262.91	505	631	196	11	206	74	0
15	3	10.0	9.4	0.0	0.0	225.0	262.13	4208	568	187	11	144	64	0
15	4	24.1	23.5	0.0	0.0	225.0	261.78	1963	586	188	11	162	67	0
15	5	17.1	16.6	0.0	0.0	225.0	261.41	2644	583	187	11	158	66	0
15	6	21.4	20.9	0.0	0.0	225.0	260.85	2971	449	167	9	121	48	0
15	7	55.7	55.3	0.0	0.0	225.0	260.26	1258	484	173	10	146	53	0
15	8	502.1	47.4	211.0	0.0	290.0	910.78	334	491	177	10	136	56	0
15	9	255.3	40.1	214.5	0.0	290.0	910.21	307	479	175	10	131	55	0
15	10	282.2	64.1	217.0	0.0	290.0	909.63	283	477	176	10	128	56	0
15	11	99.5	62.4	35.7	0.0	290.0	909.06	702	452	170	10	114	50	0
15	12	57.0	60.2	0.0	0.0	289.2	896.48	799	575	188	11	150	65	0
17	1	7.9	105.0	0.0	0.0	246.4	419.09	515	628	194	11	204	71	0
17	2	8.0	74.4	0.0	0.0	225.0	254.60	711	622	194	11	197	72	0
17	3	8.1	7.5	0.0	0.0	225.0	253.92	5131	568	187	11	144	63	0
17	4	8.6	8.0	0.0	0.0	225.0	253.57	4868	572	187	11	147	64	0
17	5	229.4	46.1	0.0	0.0	278.7	742.31	1113	577	187	11	152	65	0
17	6	175.9	39.5	74.1	0.0	290.0	900.79	628	472	171	10	132	51	0
17	7	156.8	37.5	118.5	0.0	290.0	900.21	470	481	173	10	138	53	0
17	8	178.6	37.7	140.2	0.0	290.0	899.62	419	480	173	10	136	54	0
17	9	244.6	39.9	204.0	0.0	290.0	899.06	319	484	175	10	136	55	0
17	10	60.0	60.1	0.0	0.0	289.8	895.07	1080	445	168	10	112	48	0
17	11	54.3	62.5	0.0	0.0	288.2	869.94	1045	449	168	10	116	49	0
17	12	58.5	60.8	0.0	0.0	287.6	859.94	796	583	188	11	158	65	0
18	1	27.1	92.6	0.0	0.0	273.8	680.68	559	603	191	11	179	68	0
18	2	14.5	114.5	0.0	0.0	248.6	433.32	480	624	193	11	199	71	0
18	3	10.3	77.4	0.0	0.0	225.1	251.01	687	618	195	11	193	73	0
18	4	14.9	14.4	0.0	0.0	225.0	250.29	2981	575	187	11	150	65	0
18	5	18.5	18.0	0.0	0.0	225.0	249.92	2484	582	187	11	157	66	0
18	6	15.7	15.2	0.0	0.0	225.0	249.36	3956	439	166	9	114	47	0
18	7	108.0	51.9	0.0	0.0	244.6	397.67	1334	468	171	10	130	51	0
18	8	561.1	45.7	260.3	69.0	290.0	894.05	235	504	178	10	148	58	0
18	9	726.0	41.1	264.9	419.2	290.0	893.48	126	500	182	10	142	60	0
18	10	275.0	63.9	210.0	0.0	290.0	892.90	290	466	176	10	117	56	0
18	11	60.1	62.2	0.0	0.0	289.4	883.39	1049	440	168	10	107	48	0
18	12	24.9	61.4	0.0	0.0	282.4	781.82	787	576	188	11	152	66	0
19	1	21.7	96.5	0.0	0.0	264.7	577.96	546	596	192	11	171	69	0
19	2	20.4	123.4	0.0	0.0	235.6	323.88	457	617	195	11	193	73	0
19	3	24.0	51.9	0.0	0.0	225.0	246.74	981	593	193	11	169	71	0
19	4	10.0	9.4	0.0	0.0	225.0	246.23	4239	568	187	11	144	64	0
19	5	43.0	42.5	0.0	0.0	225.0	245.86	1195	597	192	11	173	70	0
19	6	64.3	57.4	0.0	0.0	227.4	261.99	1226	473	173	10	133	54	0
19	7	213.7	46.0	0.0	0.0	276.9	709.05	1476	445	169	10	109	49	0
19	8	244.8	39.1	137.8	0.0	290.0	888.47	428	474	174	10	129	54	0
19	9	350.2	41.1	264.9	43.4	290.0	887.91	235	490	177	10	138	57	0
19	10	188.3	61.7	125.5	0.0	290.0	887.32	401	466	174	10	121	54	0
19	11	58.2	62.3	0.0	0.0	289.1	872.76	1048	443	168	10	111	49	0
19	12	18.2	61.8	0.0	0.0	280.6	752.34	784	581	188	11	157	66	0

Table IV-11 RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-3 (2/2)

Year	Month	Rate of Inflow (m ³ /s)	Rate of Outflow			Water Level (m)	Volume of Storage (x10 ⁶ m ³)	Run 3						
			Primary Generation	Secondary Generation (m ³ /sec)	Over-flow			SS (mg/l)	T-Cu (ppm)	T-Zn (ppm)	T-As (ppm)	S-Cu (ppm)	S-Zn (ppm)	S-As (ppm)
25	1	21.1	96.1	0.0	0.0	265.4	551.59	550	608	192	11	183	69	0
25	2	18.0	123.4	0.0	0.0	234.9	291.66	459	632	196	11	207	74	0
25	3	13.0	38.1	0.0	0.0	225.0	221.96	1285	593	192	11	169	70	0
25	4	18.7	18.1	0.0	0.0	225.0	221.45	2496	580	188	11	155	66	0
25	5	37.1	36.6	0.0	0.0	225.0	221.09	1371	597	192	11	172	69	0
25	6	56.3	55.8	0.0	0.0	225.0	220.40	1441	428	166	9	121	48	0
25	7	49.5	49.1	0.0	0.0	225.0	219.69	1614	420	166	9	115	47	0
25	8	180.6	47.8	0.0	0.0	267.9	573.49	1654	402	162	9	97	44	0
25	9	154.2	40.4	5.8	0.0	290.0	850.96	1610	392	160	9	94	42	0
25	10	139.1	60.9	77.1	0.0	290.0	850.24	595	425	165	9	115	46	0
25	11	58.2	62.3	0.0	0.0	289.1	835.55	1206	401	161	9	102	42	0
25	12	31.8	61.3	0.0	0.0	283.4	752.71	793	587	188	11	163	66	0
27	1	31.3	91.5	0.0	0.0	276.8	663.47	568	596	191	11	171	68	0
27	2	19.6	111.4	0.0	0.0	254.3	436.22	494	614	193	11	189	71	0
27	3	17.0	99.1	0.0	0.0	225.1	213.39	562	622	197	11	197	75	0
27	4	18.8	18.4	0.0	0.0	225.0	212.58	2479	577	188	11	152	67	0
27	5	19.9	19.4	0.0	0.0	225.0	212.22	2363	582	188	11	157	67	0
27	6	24.1	23.6	0.0	0.0	225.0	211.53	3113	402	161	9	105	43	0
27	7	37.1	36.7	0.0	0.0	225.0	210.82	2097	417	164	9	115	46	0
27	8	148.8	49.3	0.0	0.0	259.0	475.48	1615	409	163	9	103	44	0
27	9	182.9	41.4	0.6	0.0	290.0	838.30	1773	392	160	9	94	41	0
27	10	121.0	60.6	59.2	0.0	290.0	837.59	675	424	164	9	116	46	0
27	11	143.0	63.0	78.7	0.0	290.0	836.91	582	428	165	9	118	47	0
27	12	65.4	60.1	3.9	0.0	290.0	836.54	764	582	188	11	158	66	0
28	1	26.1	91.2	0.0	0.0	276.9	658.30	569	601	191	11	176	68	0
28	2	18.6	111.5	0.0	0.0	254.0	428.24	494	620	193	11	195	71	0
28	3	13.1	94.0	0.0	0.0	225.1	208.62	588	626	197	11	201	75	0
28	4	11.3	10.9	0.0	0.0	225.0	207.81	3854	571	187	11	147	65	0
28	5	15.8	15.3	0.0	0.0	225.0	207.45	2912	581	187	11	156	66	0
28	6	21.5	21.0	0.0	0.0	225.0	206.76	3466	401	161	9	106	43	0
28	7	46.7	46.3	0.0	0.0	225.0	206.05	1709	429	166	9	124	47	0
28	8	84.3	53.5	0.0	0.0	236.7	286.76	1505	422	165	9	114	47	0
28	9	107.4	49.5	0.0	0.0	255.2	434.82	1568	407	163	9	104	44	0
28	10	81.4	73.2	0.0	0.0	257.4	453.78	1083	418	164	9	113	46	0
28	11	42.0	78.0	0.0	0.0	246.2	357.46	1022	426	166	9	120	47	0
28	12	17.2	73.7	0.0	0.0	225.0	203.83	730	615	196	11	191	74	0
29	1	21.9	21.3	0.0	0.0	225.0	203.18	2185	581	189	11	156	67	0
29	2	14.3	13.6	0.0	0.0	225.0	202.85	3226	578	187	11	153	65	0
29	3	12.4	11.7	0.0	0.0	225.0	202.49	3643	579	187	11	154	65	0
29	4	18.1	17.5	0.0	0.0	225.0	202.14	2599	591	188	11	166	67	0
29	5	26.9	26.4	0.0	0.0	225.0	201.77	1824	603	191	11	178	68	0
29	6	24.0	23.5	0.0	0.0	225.0	201.09	3135	408	162	9	112	43	0
29	7	40.9	40.5	0.0	0.0	225.0	200.37	1928	428	165	9	124	47	0
29	8	82.6	53.6	0.0	0.0	236.0	276.19	1505	425	165	9	118	47	0
29	9	170.0	46.9	0.0	0.0	272.1	593.18	1650	402	162	9	99	43	0
29	10	84.2	65.6	0.0	0.0	276.2	639.49	1174	409	163	9	107	44	0
29	11	74.7	66.8	0.0	0.0	277.7	656.29	1152	410	162	9	108	44	0
29	12	54.7	64.8	0.0	0.0	275.1	625.83	773	592	190	11	167	67	0

Table IV-12 RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF CASE-2 & CASE-3

Year	Month	Case 2				Case 3			
		SS (mg/l)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	SS (mg/l)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)
27	1	508	594	120	1	52	691	879	110
27	2	436	595	120	1	45	887	909	110
27	3	615	594	120	1	61	838	933	110
27	4	2122	591	120	1	214	452	857	110
27	5	1159	592	120	1	119	620	891	109
27	6	1319	409	117	2	548	164	238	22
27	7	1478	405	117	2	623	129	229	21
27	8	1110	404	117	2	487	117	224	21
27	9	376	423	117	2	149	167	248	23
27	10	558	413	117	2	229	146	237	22
27	11	966	400	117	2	419	129	223	21
27	12	725	592	120	1	74	494	850	109
28	1	508	594	120	1	52	691	879	110
28	2	437	595	120	1	45	888	910	110
28	3	621	594	120	1	62	837	933	110
28	4	2126	591	120	1	214	453	858	110
28	5	1162	592	120	1	119	621	892	109
28	6	1322	410	117	2	548	164	238	22
28	7	1481	405	117	2	623	129	229	21
28	8	1101	404	117	2	485	117	225	21
28	9	376	423	117	2	149	167	248	23
28	10	558	413	117	2	229	145	237	22
28	11	966	400	117	2	419	129	223	21
28	12	725	592	120	1	74	494	850	109
29	1	509	594	120	1	52	692	879	110
29	2	437	595	120	1	45	888	910	110
29	3	627	594	120	1	62	836	934	110
29	4	2130	591	120	1	214	453	858	110
29	5	1165	592	120	1	119	621	892	109
29	6	1324	410	117	2	548	164	238	22
29	7	1484	405	117	2	624	129	229	21
29	8	1092	404	117	2	483	117	225	21
29	9	376	423	117	2	149	167	248	23
29	10	558	413	117	2	229	145	237	22
29	11	967	400	117	2	419	128	223	21
29	12	726	592	120	1	74	494	850	109
30	1	509	594	120	1	52	692	880	110
30	2	437	595	120	1	45	889	911	110
30	3	633	594	120	1	62	835	934	110
30	4	2134	591	120	1	214	453	858	110
30	5	1168	592	120	1	119	621	892	109
30	6	1326	410	117	2	548	164	238	22
30	7	1487	406	117	2	624	129	229	21
30	8	1083	405	117	2	481	117	225	21
30	9	376	423	117	2	149	167	248	23
30	10	558	413	117	2	229	145	237	22
30	11	967	400	117	2	419	128	223	21
30	12	726	592	120	1	75	494	850	109

4. 水質予測値の評価

4.1 検討対象成分

水質予測の検討対象とした成分はCu, Zn及びAsの3元素である。

Pb, Cd, Hgについては、廃さいの約90%を占めるPhilexの値を示すと固形物中の含有率で、

Pb - 2.7 ppm

Cd - 0.1 ppm 以下

Hg - 0.01 ppm 以下

と小さい。又、廃さい水分及びその他の水試料中の溶存濃度は、

Pb - 全て0.1 mg/l 以下

Cd - 全て0.1 mg/l 以下

Hg - 大部分0.0005 mg/l 以下、最大値0.0009 mg/l

と小さい。これらからPb, Cd, Hgについては検討を行う必要なしと判断した。

CN(全シアン)についてはE点水試料に検出され、年平均値0.02 mg/l、最大値0.24 mg/lを得ているが、全シアンの $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{3}$ が安定な錯イオン形で溶存していること、毒性の強いシアンイオン(CN⁻)は不安定で分解して次第に失はれて行き蓄積性の汚染物質とならないことから、検討対象としなかった。

4.2 溶存成分濃度

4.2.1 Cu

平均流量・適値の組み合わせのRun-1の貯水開始後2年目、15年目、30年目の月毎の濃度をグラフ化したものをRun 1-2, Run 1-15, Run 1-30として次図に示す。各年での最大値は流入水量に従って流入負荷量が増大する7~8月に現れ、最小値は流入水量が小さく従って流入負荷量も小さく、しかも貯水量が比較的大きい1~2月に現れる。これがCu濃度の季節変動のパターンである。2年目、15年目、30年目のカーブを比較すると後年ほど濃度が上っており、これが長期的変化の方向であり、主として堆砂によって貯水容量が次第に減少し、流入水に比べ濃度の低い貯留水の比率が低下するためである。貯水池内に蓄積された鉱さいからの溶出負荷量は次第に増大するが、最大の時(30年目8月)で 128×10^6 mg/monthである。これを濃度に直すと0.0002 mg/lであり、その寄与率は3%に達しない。

Run-1によるCu濃度の最高値は0.0081 mg/l(30年目7月)、最低値は0.0024 mg/l(2年目2月)であり、又、中間の15年目平均は0.0044 mg/lである。

実測流量・適値の組み合わせのRun-3によれば数値の変動範囲は大きくなる。濃度が最高値0.0089 mg/lを示すのは25年目8月でこれに次ぐ0.0088 mg/lを示すのは19年目7月、23年目7月の2回である。いずれも流量が増加する雨季の前半に当る。逆に濃度が

最低値 $0.0021\text{mg}/\ell$ を示すのは 16 年目 1 月, 2 月, 17 年目 1 月の 3 回, $0.0022\text{mg}/\ell$ を示すのが 11 年目 12 月, 16 年目 12 月, 18 年目 2 月, 19 年目 12 月の 4 回でいずれも乾季の前半に当たっている。

水酸化銅の溶解度積から pH 8 の場合の Cu の溶存限界濃度を計算すると $0.0014\text{mg}/\ell$ となる。貯水中の銅イオン (Cu^{2+}) がこの値を越え過飽和になると水酸化物として次第に沈殿するので、貯水中の銅イオン濃度は大きな値とならない。なを仮に銅イオンの溶存限界濃度を、pH 7.5 の値に代えて計算した Case 1 では予測値は $0.014\text{mg}/\ell$ 付近を上下する。pH が 8 より小さくなると予測値はこれに近づいて来るがこの様な現象は大洪水のあとなど一時的にしか起らないと考えられる。

銅イオン濃度は大きくならないので溶存 Cu の大部分はシアノ銅錯イオン ($\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$) で代表される錯イオンの形で溶存していると考えられ、錯イオンが流下中そして貯水池に滞留中にどの位減少するかが溶存 Cu 濃度を予測するポイントである。錯イオンの減少を考えられる幅で一番遅くしたのが残存率、反応速度を最悪にした場合で Run - 2 と同じ値となる。平均流量 - 最悪値の組み合わせの Run - 2 の貯水開始後 2 年目, 15 年目, 30 年目の月毎の濃度を Run 2-2, Run 2-15, Run 2-30 として図に示した。各年での最高値は流入水量が増加し始める 6 月に現れ、最低値は満水の状態が続く 9 月現れ、季節変動は Run-1 より希釈の度合に強く影響される。

長期的変化のパターンも Run - 1 と変り、濃度が上昇して行く時期では後年ほど濃度が高くなるが、濃度が降下して行く時期では後年ほど濃度が低くなる。これは貯水池滞留水中の錯イオンが減少しない条件にしたため堆砂によって貯水容量が次第に減少するに従い、前月から残留している貯水中の負荷量が次第に小さくなることによって起る現象である。

Run - 2 による Cu 濃度の最高値は $0.076\text{mg}/\ell$ (30 年目 6 月)、最低値は $0.0151\text{mg}/\ell$ (2 年目 9 月) であり又、中間の 15 年目の平均値は $0.0192\text{mg}/\ell$ である。

実測流量・最悪値の組合せ Run - 4 による最高値は $0.0313\text{mg}/\ell$ (29 年目 6 月) でこれが Cu 予測値中最大の値である。

溶存 Cu の挙動を模式的に示したのが次図で銅イオンによる負荷量は小さく、3 鉱山から排出されたものに自然汚染分が加わり、あまり増減せずに流出水に溶存する。シアノ銅錯イオンによる負荷量は大部分 Benguet, 一部 Itogon 鉱山から排出され、流下中にそして貯水池に滞留中に次第に減少しその一部分のみが溶存流出する (減少した銅量は水酸化銅に形を変え流出水中に懸濁するものと考えている。)

銅イオンおよび銅錯イオンの両者を合せた流出水中の溶存 Cu 濃度は、 $0.002 \sim 0.009\text{mg}/\ell$ の間で変動する。又、中間の 15 年目の年平均値は $0.004\text{mg}/\ell$ である。定点 E の実測値 (年平均値 $0.015\text{mg}/\ell$) に比べて値が小さいのは、貯水池に滞留中に錯イオンが減

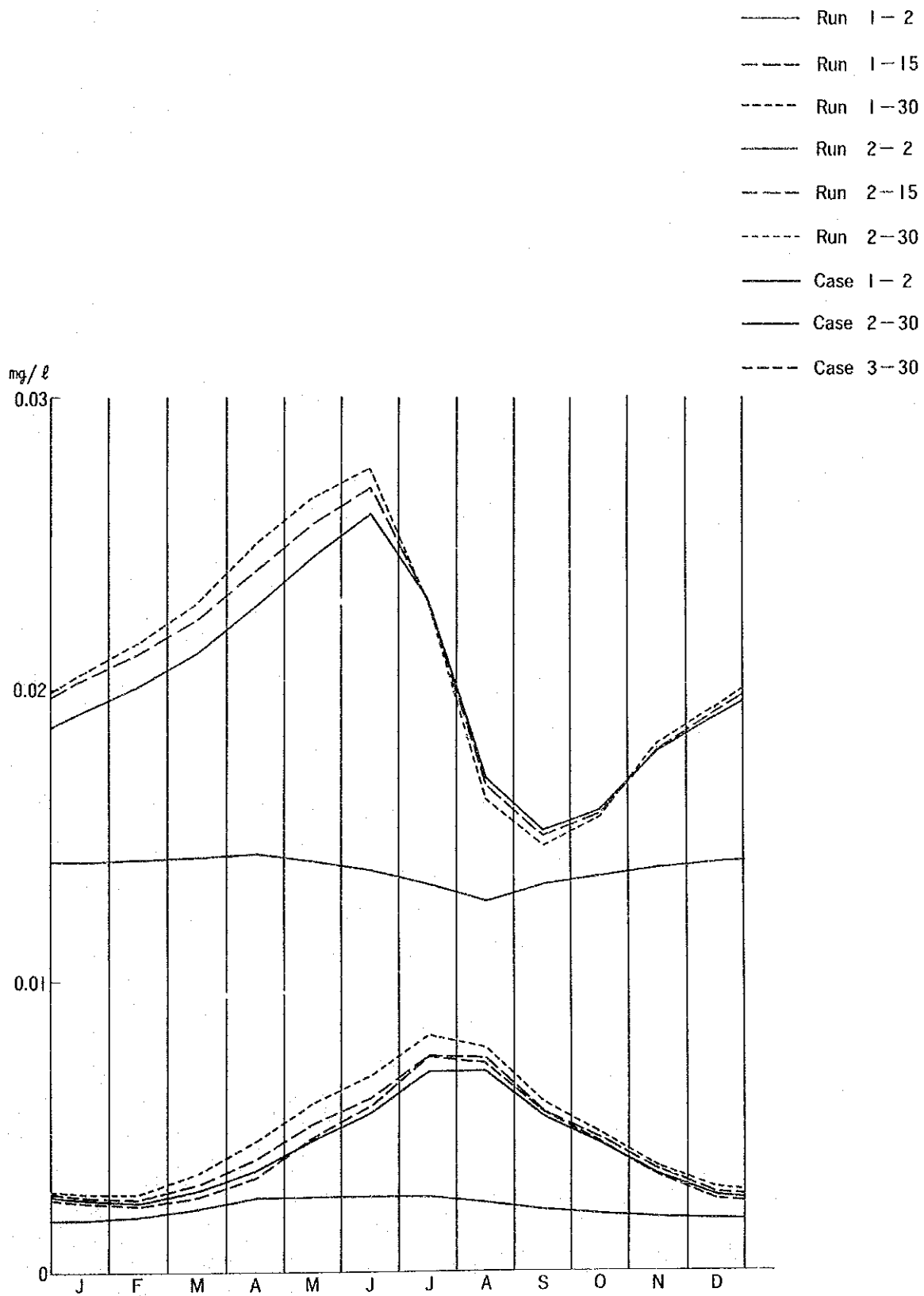


Fig. IV-3 Seasonal Fluctuation of Cu Concentration

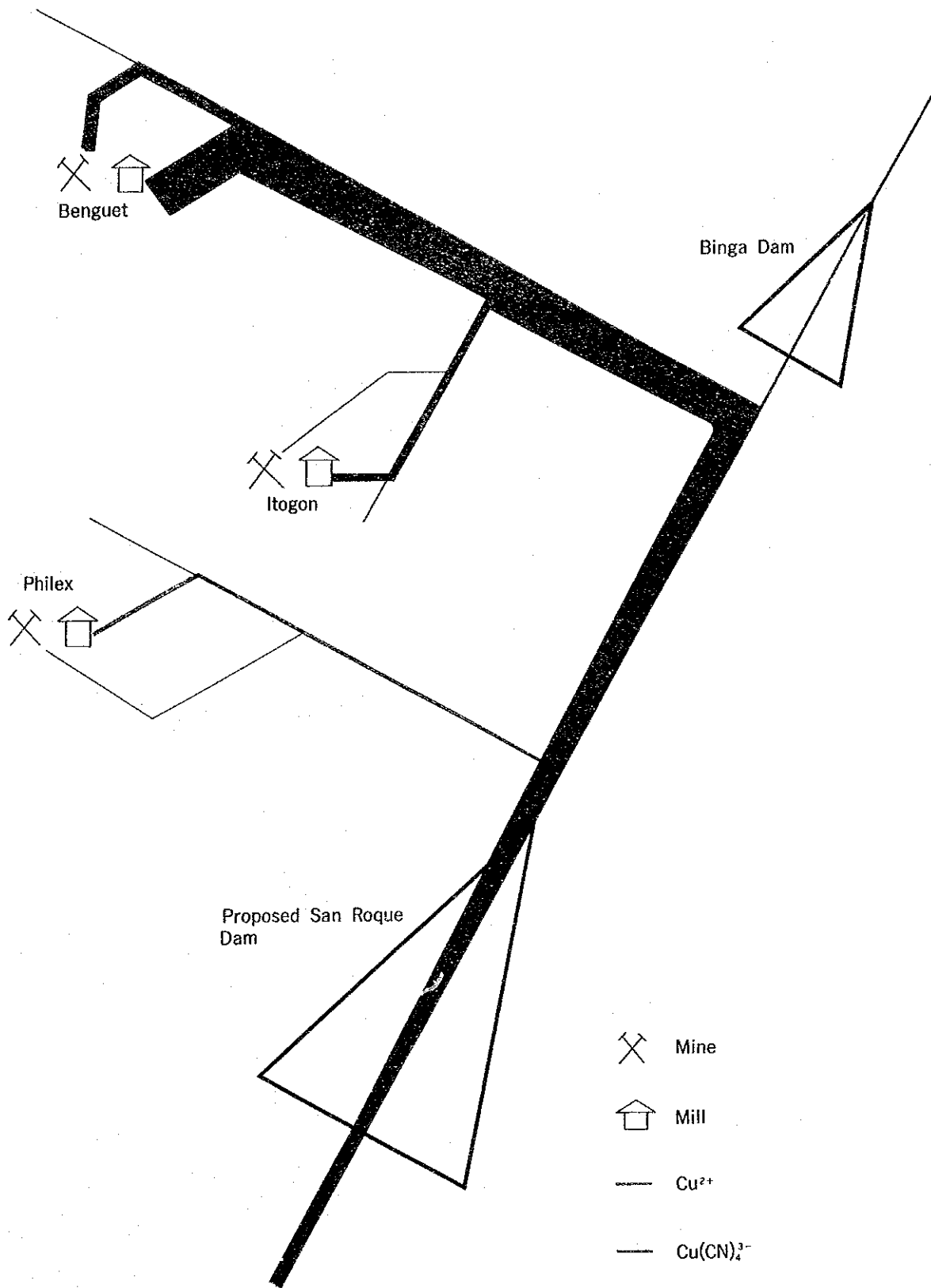


Fig. IV-4 Behavior of Dissolved Cu

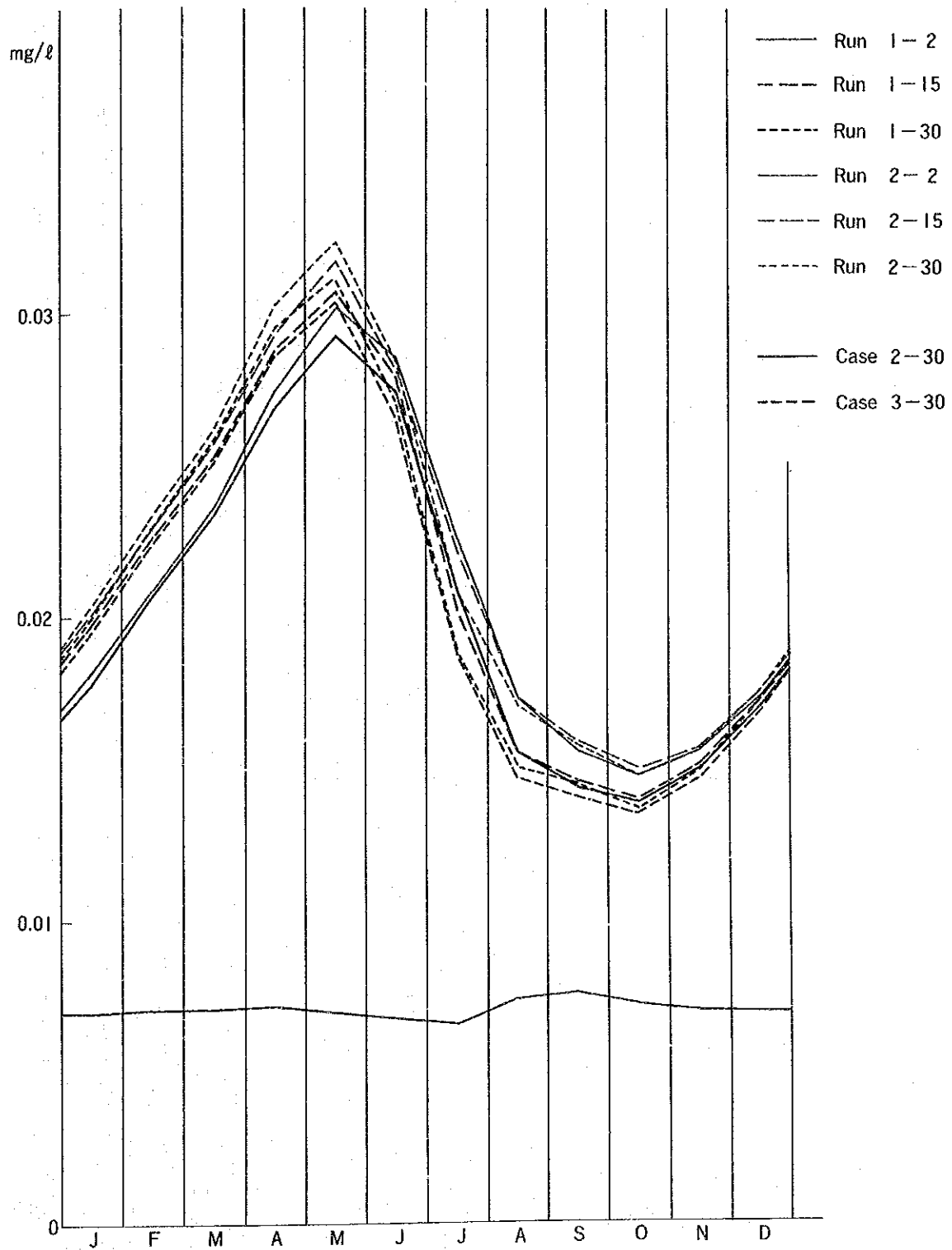


Fig. IV-5 Seasonal Fluctuation of Zn Concentration

少すると考えたためである。

Case 2, Case 3に見られる様に Philex 鉱山が閉山しても溶存 Cu 濃度はあまり低下しないが, Benguet, Itogon 鉱山が閉山するとシアノ銅錯イオンがなくなり, 溶存 Cu 濃度は著しく低下する。このように, Cu 濃度の予測値はクラス D (農業用水) 水質基準値^{注)} $0.2\text{mg}/\ell$ をはるかに下回っており, クラス C (漁業用水) 水質基準値 $0.02\text{mg}/\ell$ をも下回っている。

Cu 濃度が高くなるのは, シアノ銅錯イオンが残留する割合が大きくなる場合で最悪の場合には Cu は平均 $0.019\text{mg}/\ell$, 最高 $0.031\text{mg}/\ell$ まで上昇する可能性をもつ。Cu 濃度が更に大幅に高くなるのは, 青化精錬を行っている鉱山の操業様式が変わるなどしてシアノ銅錯イオンの排出量が増加した場合のみが考えられる。

4.2.2 Zn

Cu と同様 Run-1 の貯水開始後 2 年目, 15 年目, 30 年目の月毎の濃度をグラフ化したものを次に示す。どのカーブも貯水量が最小となる 5 月に最高値が現れ, 又満水の状態が続く 10 月に最低値が現れる。これが Zn 濃度の季節変化のパターンであり, 希釈度に左右されている。Cu の Run-1 とはピークの位置がずれており, Run-2 の場合に近い。貯水開始後 2 年目, 15 年目, 30 年目のカーブを比較すると濃度が上昇して行く時期では後年ほど濃度は高くなるが, 濃度が降下して行く時期では後年程濃度が低くなる。これは堆砂によって貯水容量が次第に小さくなることに伴って前月から残留している貯水中の負荷量が次第に小さくなるためであり, これが長期的変化のパターンである。

貯水池内に蓄積された鉱さいからの溶出負荷量は次第に増大するが最大の時 (30 年目 8 月) で $108 \times 10^7\text{mg}/\text{month}$ である。これを濃度に直すと $0.0013\text{mg}/\ell$ でありその寄与率は約 9% である。

Run-1 による Zn 濃度の最高値は $0.0312\text{mg}/\ell$, 最低値は $0.0137\text{mg}/\ell$ で共に年間変動範囲の一番大きい 30 年目の 5 月と 10 月に現れる。又中間の 15 年目の年平均値は $0.0191\text{mg}/\ell$ である。

Run-3 によれば数値の変動範囲は大きくなる。濃度が最高値 $0.0547\text{mg}/\ell$ を示すのは 29 年目 4 月であり, 濃度が $0.05\text{mg}/\ell$ を越えるのは 8 年目の 4~6 月, 11 年目の 4~5 月, 29 年目 (8 年目と同じ流量の繰り返し) の 4~6 月でいずれも乾季に異常渇水が起った年に当る。逆に濃度が最低値 $0.0085\text{mg}/\ell$ を示すのは 18 年目の 10 月であり, 濃度が $0.01\text{mg}/\ell$ を下回るのは 18 年目の 9 月, 10 月のみでこの時期には大洪水の水量を入力している。

水酸化亜鉛の溶解積から pH 8 の場合の Zn イオンの溶存限界濃度を計算すると $0.46\text{mg}/\ell$ となる。全ての予測値はこの値を下回っているため貯水池内では水酸化亜鉛は溶解が進み, 注) 比国の「1978 年国家公害規制委員会規則」による基準値。(以下同じ)

沈澱は起きないと見なされる。流下途中で一時的に沈澱した水酸化亜鉛も貯水池内で滞留中に再溶解するとして計算しているため、最悪値で計算しても Zn 濃度はあまり上昇しない。Run - 2 の貯水開始後、2 年目、15 年目、30 年目をグラフ化した結果、最高値が Run - 1 より 0.0012 mg/l 、最低値が 0.0011 mg/l 上昇するのみでグラフは、Run - 1 と同じ傾向を示す。Run - 4 による最高値は 0.0554 mg/l (29 年目 4 月) でこれが Zn 予測値中最大の値である。

溶存 Zn の挙動を模式的に示したのが次図である。

負荷量の $\frac{2}{3}$ 程度が Benguet から亜鉛酸イオンの形で放流されるもので、これは pH が弱アルカリ性になると水酸化亜鉛として急激に不溶化するが、貯水池内で多量の水と混じると徐々に再溶解し、結局山許から放出された量に近いものが亜鉛イオンとして溶存流出する。残りの $\frac{1}{3}$ 程度は自然負荷でこれは増減なく流出する。

以上、流出水中の Zn 濃度は $0.008 \sim 0.055 \text{ mg/l}$ の間で変動する。又中間の 15 年目の年平均値は 0.019 mg/l である。定点 E の実測年平均値 0.004 mg/l に比べ値が大きいのは流下途中に生じた不溶性の水酸化亜鉛 (この 1 部は現在は鉱山の廃さいダムに捕捉されている可能性がある) が貯水池に滞留中に再溶解すると考えたためである。

Case 2, Case 3 に見られる様に Philex 鉱山が閉山しても Zn 濃度はあまり低下しないが、Benguet, Itogon 鉱山が閉山すると著しく低下する。このように Zn 濃度の予測値はクラス C 水質基準値、クラス D 水質基準値共に 2 mg/l をはるかに下回っている。Zn 濃度が高くなるのは貯水池内に蓄積された鉱さいからの溶出率が大きくなる場合であるが、これは既に現場試験で得られた最大値を入力しており大幅に上昇する要因ではない。従って Zn 濃度が大幅に高くなるのは、鉱山の操業様式が変るなどして流出溶存負荷量が増加した場合のみが考えられる。特に Zn の根源の大部分は青化精錬の過程で金を沈澱させるために投入する亜鉛粉末と考えられ、その使用量 (現在 0.08 kg/Ton Ore) が影響する。

4.2.3 As

Cu, Zn と同様、Run - 1 の貯水開始後 2 年目、15 年目、30 年目の濃度をグラフ化したものを次に示す。どのカーブも貯水量が最小となる 4~5 月に最高値が現れ、又満水の状態が続く 9 月~10 月に最低値が現れる。即ち As 濃度の季節変化のパターンは Zn 濃度のパターンと同傾向を示し、希釈の程度に左右されている。貯水開始後 30 年目の濃度と開始後 2 年目の濃度の差は $+0.0004 \text{ mg/l} \sim -0.0001 \text{ mg/l}$ で、非常に小さく、長期的変化はほとんどないと言える。

Run - 1 により As 濃度の最高値は 0.0046 mg/l (28~30 年目、4 月、5 月他) 最低値は 0.0030 mg/l (各年 9 月、10 月) であり、又、中間の 15 年目の年平均濃度は 0.0034 mg/l である。

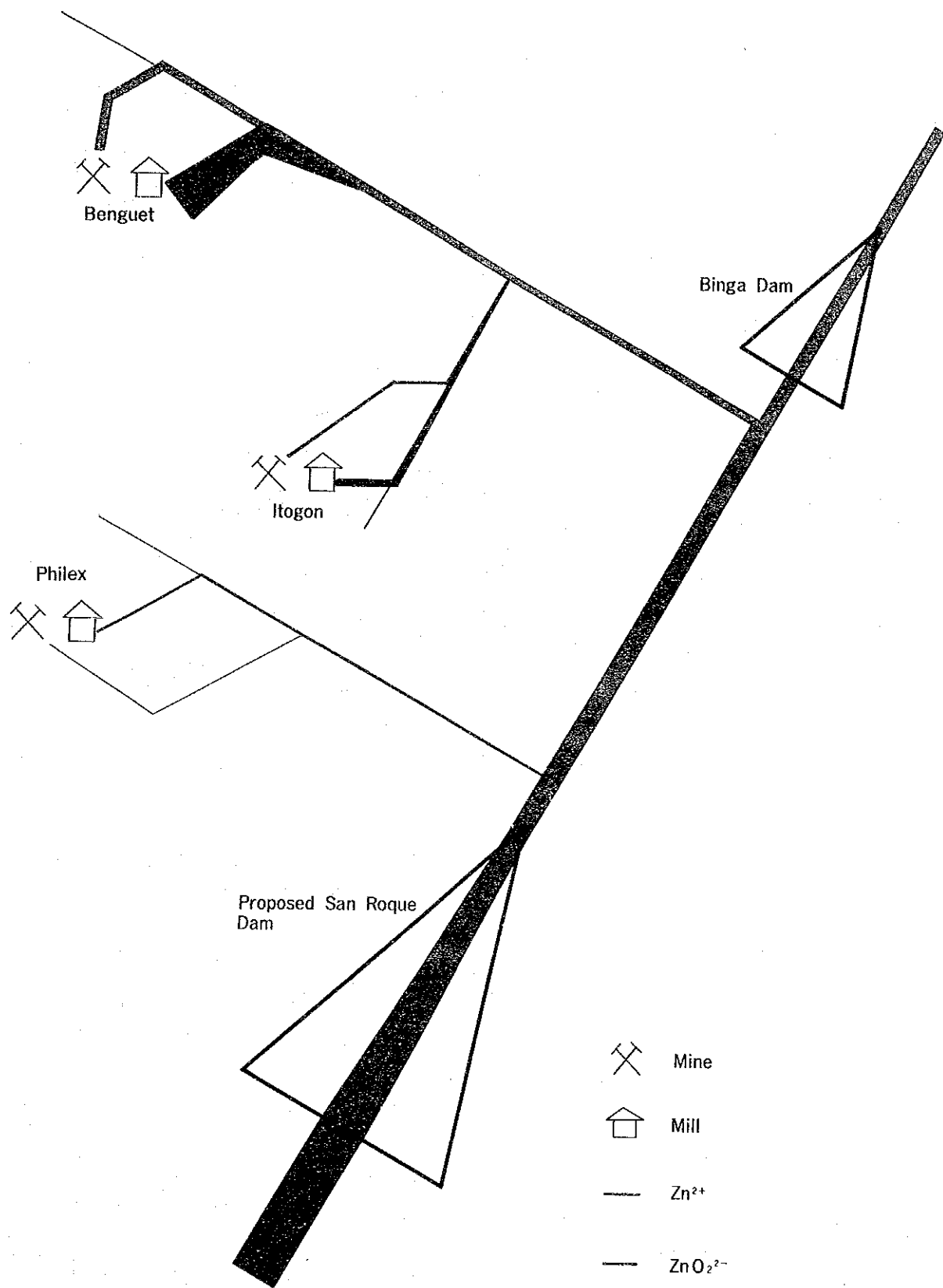


Fig. IV-6 Behavior of Dissolved Zn

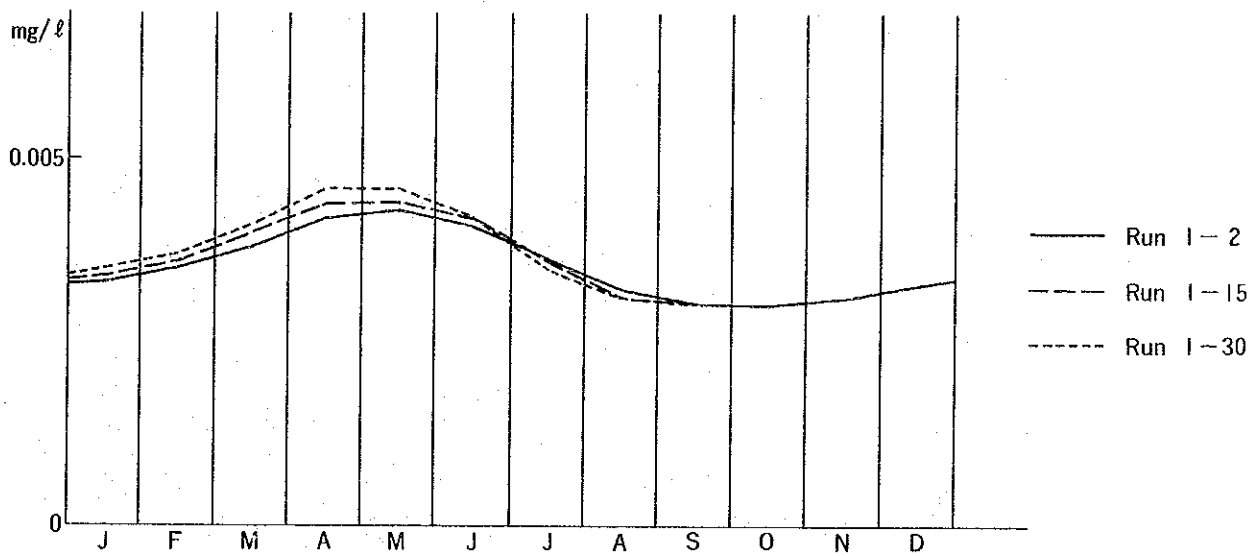
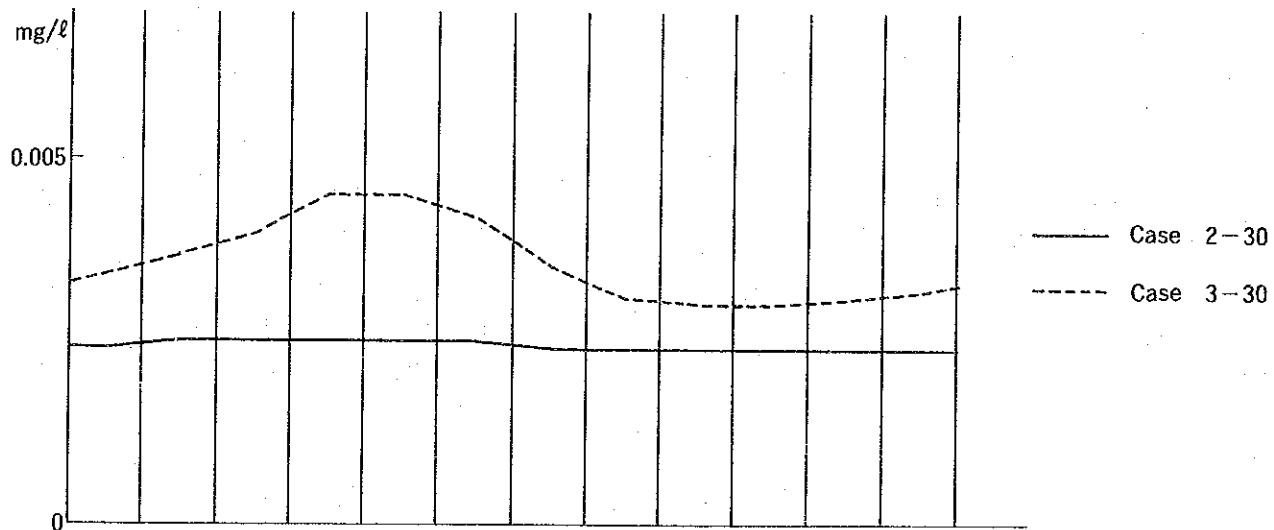


Fig. IV-7 Seasonal Fluctuation of As Concentration

Run - 3によれば最高値は 0.0061 mg/l (29年目4月) 最低値は 0.0026 mg/l (18年目9月) でこれらはZnと同じ傾向で現れる。

溶存Asの挙動を模式的に示したのが次図で、Asの場合、非常に単純で、主としてBenguet鉱山の坑内水と自然水に溶存している負荷量がそのまま流出するもので、濃度は希釈の割合によってのみ変動している。

以上、流出水中のAs濃度は $0.0026 \sim 0.0061 \text{ mg/l}$ の間で変動し、中間の15年目の年平均値は 0.0034 mg/l である。定点Eの実測年平均値 0.0026 mg/l との間に有意な差は認められない。

以上As濃度の予測値はクラスC水質基準値 0.05 mg/l 、クラスD水質基準値 0.1 mg/l をはるかに下回っている。Philexの隣りのAs含有率が小さい(1.2 ppm)ため、貯水池内に蓄積された鉱さいからの溶出は、溶出率を変えても大きくならない。As濃度が大幅に高くなるのは、含As温泉のAs濃度又は湧出量が増大したときが考えられる。

4.3 懸濁物質濃度金属含有率

平均流量によるRun - 1の貯水開始後2年目、15年目、30年目の月毎の濃度をグラフ化したものを次に示す。

各年での最大値は貯水位が低水位に下がり、流出水量が極端に小さくなった4月に現れ、最小値は満水となり流出水量が大きくなった9月に現れる。これがSS濃度の季節変動のパターンであり、主として希釈度に左右されている。

2年目、15年目、30年目のカーブを比較すると、後年で若干濃度が上る傾向があるが顕著でない。

Run - 1による濃度の最高値は $2,350 \text{ mg/l}$ (30年目4月)、最小値は 350 mg/l (2年目9月) であり、又中間の15年目の年平均値は 720 mg/l である。

実測流量によるRun - 3によれば変動範囲は大きくなり、計算上は最高値 $6,380 \text{ mg/l}$ (16年目5月) 最低値 130 mg/l (18年目9月) が得られている。

この最高値は貯水位が低水位まで下がった後も流入水量が極端に小さい異常湧水の記録を用いたときに起きており、計算された流出水量は $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$ と非常に少なく、実際面では取水を停止せざるを得ない状態であろう。流出水量が $10 \text{ m}^3/\text{s}$ を下回る計算となるのは30年間の計算のうち6か月分でこれらの月の記録を除いた場合の最高値は $3,960 \text{ mg/l}$ である。一方、最低値は大洪水により大量の越流が計算されるときに起きており計算された越流は $420 \text{ m}^3/\text{s} \times 86,400 \text{ s} \times 30 \text{ day} \doteq 1,090 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Month}$ とぼう大な量である。本予測では自然砂は雨季の6か月の間に平均して流入するものとしたが、実際このような大洪水のときにピークをもって流入するので、大洪水のときのSS濃度は自然砂によって高くなると考える必要がある。計算上越流が発生しているのは30年間の計算のうち7か

月分で、これらの月の記録を除いた場合の最低値は 290 mg/l である。

この様なことから流出水中の SS 濃度の変動幅は $290 \sim 3960 \text{ mg/l}$ 程度におさまると考えた方が妥当であると判断する。

SS の挙動を模式的に示したのが次図で、鉱山からの廃さいが 400 kg/s 、自然砂が 120 kg/s (年平均) 流入するうち前者の 14%、後者の 7% が懸濁状態のまま残り流出する。廃さいの 92% が Philex 鉱山から放出されるもので、Case 2 に示す様に、Philex 鉱山が閉山した場合を想定すると SS 濃度は著しく低くなる。なおここに計算した SS 濃度は発電用取水口から取水され発電所を經由して放出される水の濃度で、貯水池の表層水は長期沈降試験の結果を参考にすると濁度数 10 ppm まで清澄になると予想される。

SS 中の金属含有率は最大の負荷源である Philex の選鉱廃さい細粒分の含有率に左右され、自然砂の加わる 6 月～11 月に若干低くなる。その変動範囲は図に示した様に大きくない。

以上 SS 濃度の予測値は大きく、クラス D 水質基準には SS 濃度の規定はないが、一般河川には見られない様な濁水が一年中流出すると解析された。ストークスの式による SS の沈降速度は 2μ の場合約 36 cm/day 、 5μ の場合約 220 cm/day であり SS の沈降が促進され、濃度が下がるには微粒子の凝結が起るなどの特殊な場合を想定する必要がある。

流入濁水が特定の流動層を経て取水口により速く到達する事態が起れば濃度は上る。

なお、現在定点 E を流下している水の実測 SS 濃度は平均 $1,600 \text{ mg/l}$ であるが、この SS は大部分 5μ 以上の粒径のものであるのに比べ、本予測によってダムから流出するとした SS は大部分 5μ 以下の粒径のものであり現在の SS の様にかんがい用水路や水田の水口付近にのみ沈積せず水尻まで運ばれるなど挙動に違いがあることに留意する必要がある。

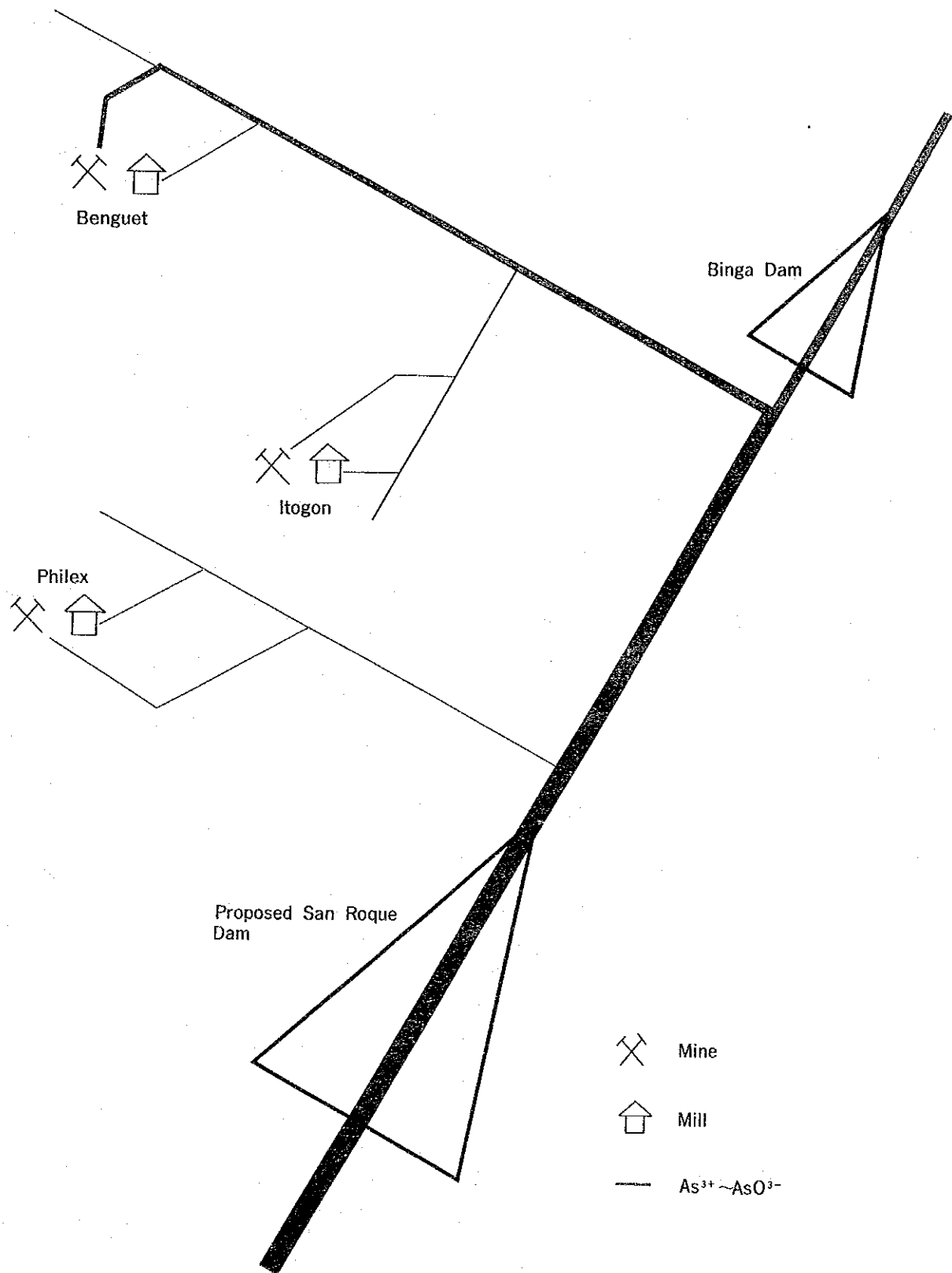


Fig. IV-8 Behavior of Dissolved As

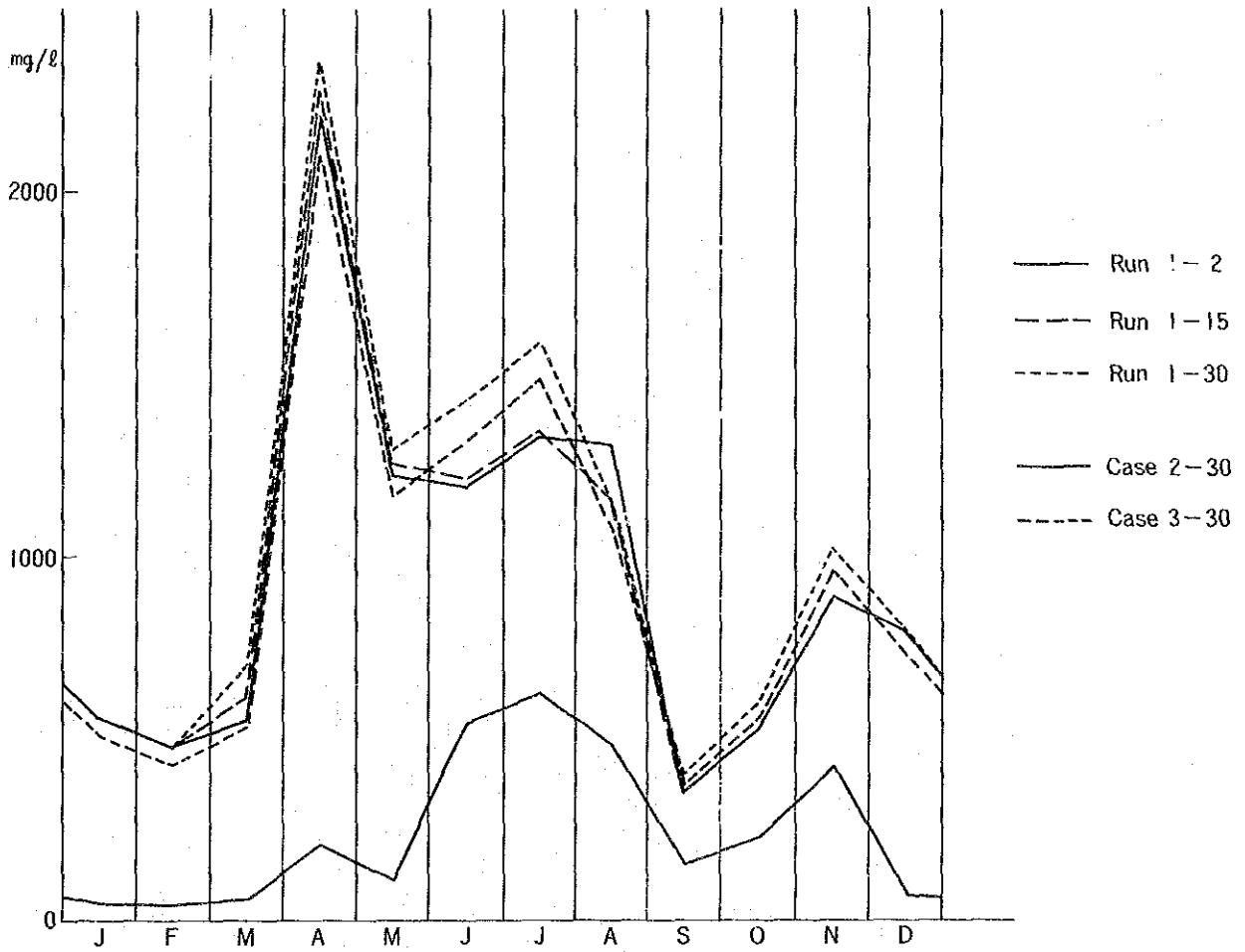
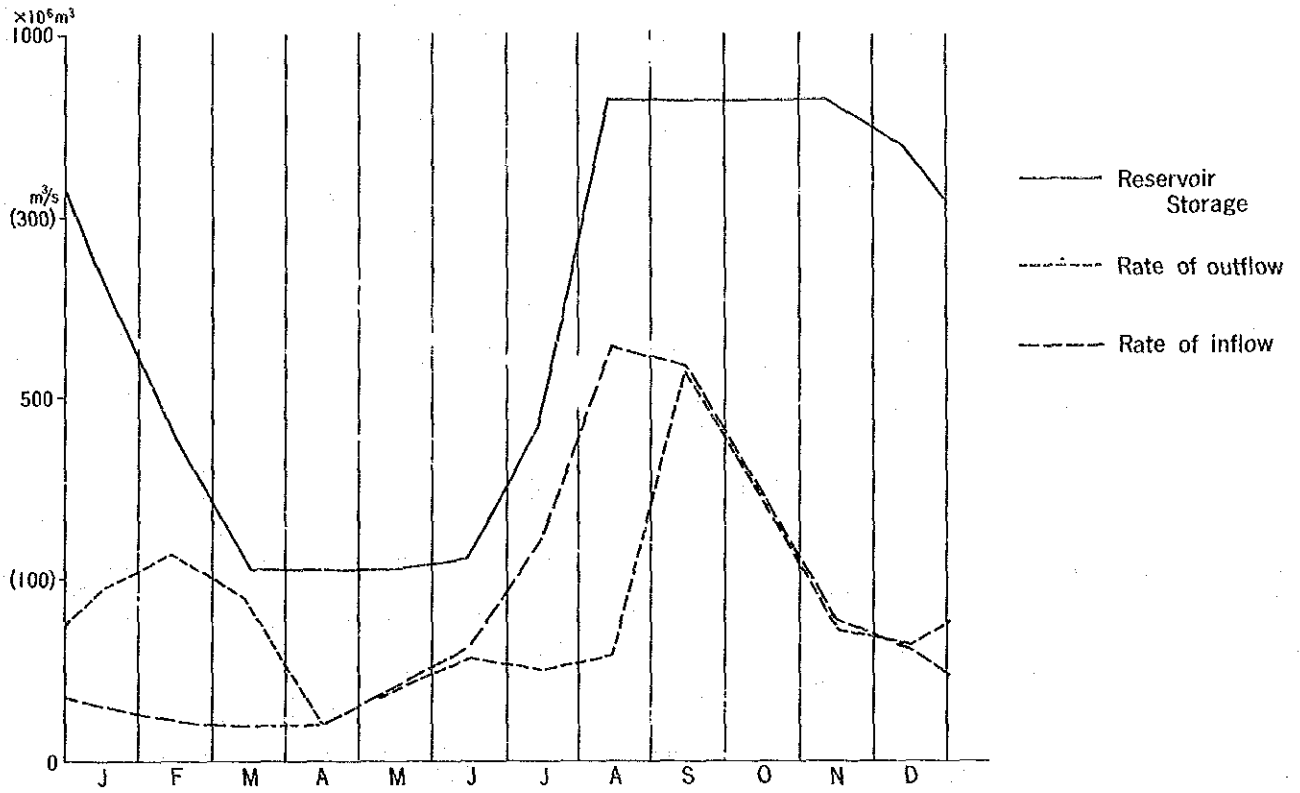


Fig. IV-9 Seasonal Fluctuation of SS Concentration

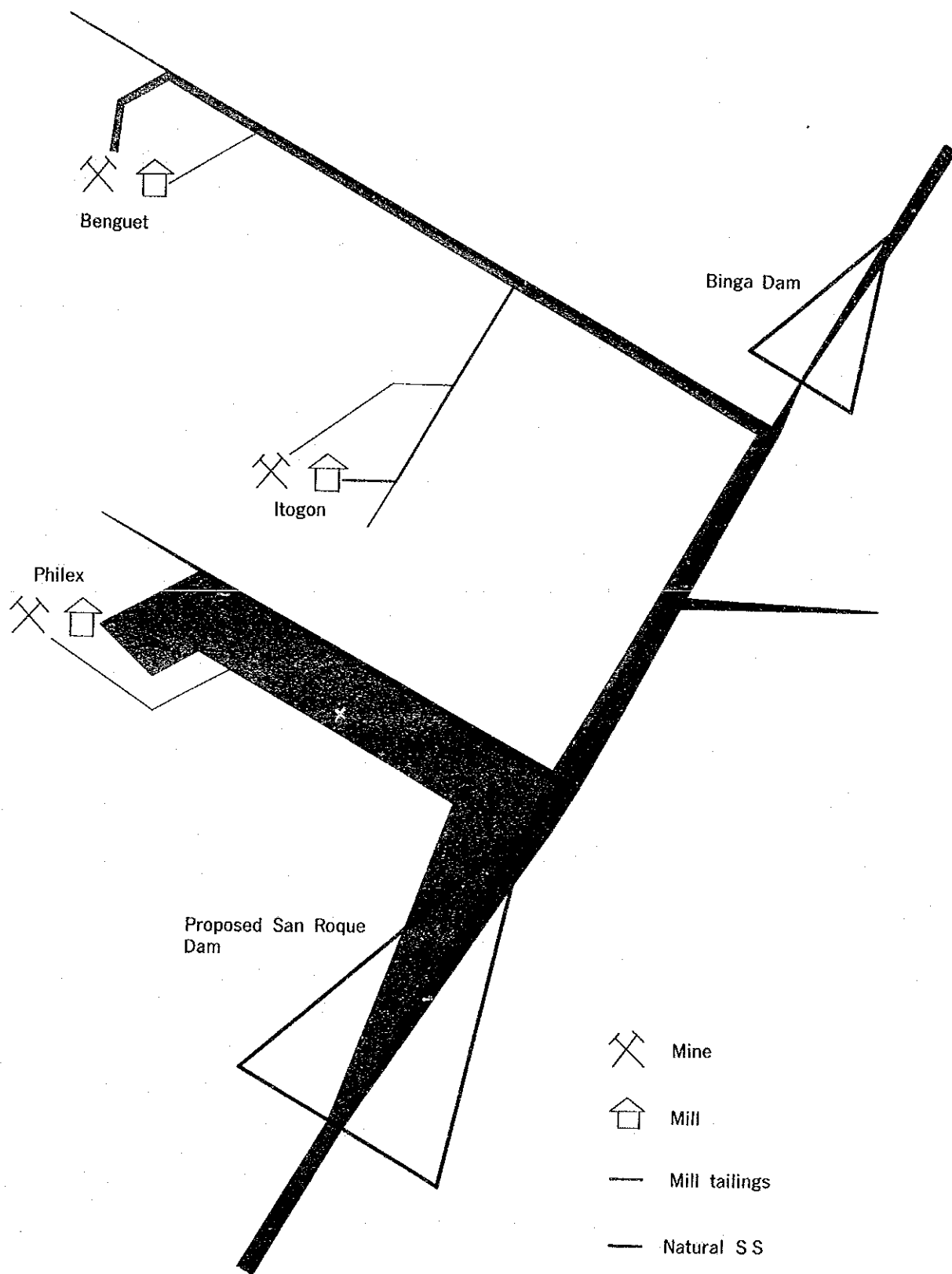


Fig. IV-10 Behavior of Suspended Solids

5. 要約及び結論

調査の目的および内容

貯水池貯留水の部門は、ELC のフィージビリティ調査に基づき San Roque ダムの集水域内で稼動する鉱山から排出される鉱さいが全て San Roque 貯水池内に収容される場合を前提として、貯水池貯留水の水質が季節的にどの様に変動し、又、長期的にどの様に変化するかを予測し、これによってダムからの流出水の水質を評価することを目的とする。

この目的を達するため

- 定点観測 — 水質の現状を把握する。
- 汚染源調査 — 汚染源の実態を把握する。

を実施し、採取した試料について各種試験と化学分析を実施した。

これらによって得られたデータに、収集したデータを加え、月毎の値として30年分の予測値を算出した。

予測の条件

予測値算出の基礎となる、水量および汚染物質量は、次の様に設定した。

- 流入水量は水文解析によって予測された値を使用する。(妥当であるとされた平均流量を30年間繰り返した場合と、信頼性ありとされた21年間の実測値をあてはめた場合の2通りについて計算を行った)
- 流出水量は ELC のフィージビリティ調査によって解析された、最適ダム運用計画に準じて計算する。
- 鉱山の操業規模・様式は予測期間中変更されないものとし、鉱山から排出される汚染物質負荷量を一定とする。

又、計算方法は、次の考えを基本とした。

- 溶存成分濃度は、貯水池内で均一であると考え、ダムからの流出水の溶存成分濃度はこれに等しいとして計算する。
- 懸濁物質濃度は、発電用水取水口から取水される水について考え、流入水が取水口に達するまでの滞留時間内に沈積しない微粒子が、懸濁状態で流出するとするとして計算する。

予測結果

算出した予測値をとり纏めると、次の表の通りである。

溶存成分濃度および懸濁物質濃度

		Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	SS mg/l	
予測値	変動範囲 注1)	0.002 ~ 0.009	0.008 ~ 0.055	0.0026 ~ 0.0061	290 ~ 3960	
	平均値 注2)	0.004	0.019	0.0034	720	
	季節変動	高	7 ~ 8月	4 ~ 5月	4 ~ 5月	4 ~ 5月
		低	1 ~ 2月	9 ~ 10月	9 ~ 10月	9 ~ 10月
長期的変化		顕著でない	顕著でない	顕著でない	顕著でない	
実測値	変動範囲	0.010 ~ 0.036	0.003 ~ 0.014	0.0018 ~ 0.0049	410 ~ 2900	
	平均値	0.015	0.004	0.0026	1600	

懸濁物質中の金属含有率

		T - Cu ppm	S - Cu ppm	T - Zn ppm	S - Zn ppm	T - As ppm	S - As ppm
予測値	変動範囲 注1)	400 ~ 621	97 ~ 196	162 ~ 196	43 ~ 74	9 ~ 11	nil
	平均値 注2)	520	140	180	58	10	nil

注1) Run 3の変動範囲を示した。

注2) Run 1の15年目の年平均値を示した。

考 察

1) Cu, Zn, Asの挙動

Cu - 汚染源から排出され流下するCuは、次の状態にあるものと考えられる。

- ①イオンの形で溶存する。
- ②水酸化銅の形で懸濁する。
- ③懸濁物質に含まれる。

Table IV-13 LOAD OF POLLUTANTS DISCHARGED FROM MINES

Source	Rate of Discharge (m ³ /s)	Concentration/content						Load					
		Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	As (mg/l)	Cu (g/s)	Zn (g/s)	As (g/s)	T-Cu (ppm)	S-Cu (ppm)	T-Zn (ppm)	S-Zn (ppm)	T-As (ppm)	S-As (ppm)
Dissolved metals													
Benguet tailings water	0.063	23.2	13.2	0.005	1.46	0.83	0.0003						
Benguet mine drainage	0.59	0.513	0.803	0.109	0.30	0.47	0.064						
Itogon tailings water	0.039	4.4	2.4	0.075	0.17	0.09	0.003						
Itogon mine drainage	0.079	0.005	0.017	0.037	0.0004	0.001	0.003						
Sub total	0.771				1.930	1.391	0.070						
Phillex tailings water	1.34	0.015	0.009	0.0004	0.020	0.012	0.001						
Phillex mine drainage	0.32	0.023	0.016	0.002	0.007	0.005	0.001						
Sub total	1.66				0.027	0.017	0.002						
Total	2.431				1.96	1.41	0.072						
Metals contained in SS													
Benguet tailings	26,331	250	0.51	72	6.58	0.013	0.816	1.90	0.003				
Itogon tailings	4,050	130	0.30	210	0.53	0.001	1.30	0.065	0.001				
Sub total	30,381				7.11	0.014	19.73	0.881	2.75	0.004			
Phillex tailings	370,370	600	70	44	222.22	25.926	18.89	16.296	0.44	0.030			
Total	400,751				229.33	25.940	38.62	17.177	3.19	0.034			

これら Cu 量の流下途中及び San Roque ダムを径由することによる変化は、次の通りと考えられる。

		汚染源から排出される Cu 量	ダム流出水中に含まれる Cu 量	
① 溶 存 Cu	鉱山源	2.0 ^(g/S)	(g/S) 0.4	
	自 然	0.2		
② 水 酸 化 銅	注 1)		1.9	
① + ②		2.2	2.3	
③ 懸濁物質中	酸可溶性 Cu	鉱山源	25.9	
		自 然	—	
	酸不溶性 Cu	鉱山源	203.4	22.1
		自 然	8.2	0.6
小 計		237.5	29.5	
合 計		239.7	31.8	

注 1) 鉱山から排出される時点で水酸化銅の状態にあるものは、懸濁物質中の酸可溶性銅として計算されている。流下途中で沈殿した、水酸化銅のみこの欄に示した。最終的には懸濁物質中酸可溶性銅に加算すべきものである。

上表の様に溶存 Cu は、大部分が流下途中で水酸化銅に形を変えるため減少するが、溶存 Cu + 水酸化銅で考えた場合は、減少することなくダムから流出する。

懸濁物質中に含まれる Cu は、ダムに沈積した堆砂に含まれる分だけ減少し、その捕捉率は 88% である。又、全体の捕捉率は 87% である。

青化精錬を行っている鉱山から排出される溶存 Cu は、大部分シアノ銅錯イオンの形で溶存していると考えられる。水質の現状観察から、このシアノ銅錯イオンは、鉱山から排出され、流下する間に、そして San Roque 貯水池に滞留する間に次第に分解すると考えられている。

そして分解によって形成された銅イオンはその時の pH における溶存限界濃度を越え過飽和になると水酸化物として沈殿する。アルカリ性の場合、銅イオン溶存限界濃度は非常に小さい (pH 8 の場合 0.0014 mg/l) ので、この反応が進み、溶存 Cu が水酸化銅に変わって行くと考えた。

本地域の自然水が pH 8 前後の弱アルカリ性を示すため、堆砂から溶出する銅量は非常に少ない。即ち堆砂に含まれる銅量は、酸可溶性であっても、大部分ダムに捕捉され流出しないと考えた。

Zn - 汚染源から排出される流下する Zn は、Cu と同様、次の状態にあるものと考えられる。

- ①イオンの形で溶存する。
- ②水酸化亜鉛の形で懸濁する。
- ③懸濁物質に含まれる。

これら Zn 量の変化は次の通りである。

		汚染源から排出される Zn 量	ダム流出水中に含まれる Zn 量
① 溶 存 Zn	鉍山源	1.4 (g/S)	(g/S)
	自 然	0.5	1.6
② 水 酸 化 亜 鉛		注 1)	0.4
① + ②		1.9	2.0
③ 懸 濁 物 質 中	酸可溶性 Zn	鉍山源	17.2
		自 然	—
	酸不溶性 Zn	鉍山源	21.4
		自 然	13.3
小 計		51.9	10.5
合 計		53.8	12.5

注 1) 鉍山から排出される時点で、水酸化亜鉛の状態をなすものは、懸濁物質中の酸可溶性 Zn として計算されている。流下途中で沈澱した水酸化亜鉛のみこの欄に示した。最終的には懸濁物質中の酸可溶性 Zn に加算すべきものである。

上表の様に溶存 Zn は、一部分が流下途中で水酸化亜鉛に形を変えるため、減少するが、溶存 Zn + 水酸化亜鉛で考えた場合は、減少することなくダムから流出する。

懸濁物質中に含まれる Zn は、ダムに沈積した堆砂に含まれる分だけ減少する。その捕捉率は 80% である。Cu に比べて捕捉率が小さいのは、Zn の場合、特に微粒子の Zn 含有量が高いためである。又全体の捕捉率は 77% である。

Zn の大部分は Benguet 鉱山から亜鉛酸イオンの形で排出されている。この亜鉛酸イオンは流下途中で pH が下るので急激に水酸化亜鉛の形に変わり、懸濁状態で San Roque ダムまで流下すると考えられる。ここで Zn の予測値は、全て pH 8 の場合で計算した Zn イオンの溶存限界濃度を下回っているため、水酸化亜鉛は貯水池内で徐々に Zn イオンとして再溶解すると考えた。従って Cu と比べ水酸化物に形を変えて流出する量が少い。

Cu と同様、自然の pH が弱アルカリ性を示すため、堆砂から溶出する Zn 量は少く、堆砂に含まれる Zn は、酸可溶性であつても大部分ダムに捕捉され流出しないと考えた。

As - 汚染源から流下する As は、次の状態にあるものと考えられる。

- ① イオンの形で溶存する。
- ③ 懸濁物質に含まれる。

これら As の流下途中の変化は、次の通りである。

			汚染源から排出される As 量	ダム流出水中に含まれる As 量
① 溶 存 As		鉱山源	0.1 (g/S)	0.3 (g/S)
		自然	0.2	
③ 懸濁物質中	酸可溶性 As	鉱山源	—	—
		自然	—	—
	酸不溶性 As	鉱山源	3.2	0.6
		自然	0.6	
	小 計		3.8	0.6
合 計			4.1	0.9

— 無視し得る量

上表の様に溶存 As は、自然負荷量の方が多く、溶存したまま流出する。懸濁物中の As は、主として鉱山廃さい中に不溶性の形で含まれている。全体の捕捉率は 78% である。

2) 溶存金属濃度及び懸濁物質濃度の変動

季節変動：Cu濃度の季節変動は、雨季の前半7～8月に高い値が、乾季の前半1～2月に低い値が現れるパターンを示し、流入する溶存Cu量と貯水池内での希釈度の両方に影響される。

Zn濃度、As濃度の季節変動は、渇水期の4～5月に高い値が現れ、満水状態が続く9～10月に低い値が現れるパターンを示し、貯水池内での希釈度に左右される。

懸濁物質濃度の季節変動は、溶存Zn及び溶存Asと同じ傾向の変動を示す。即ち懸濁物質濃度の変動と流出水量の変動は同じ傾向を示すが、懸濁物質濃度の変動幅に比べ流出水量の変動幅の方が大きいので流出水量が大きい9月10月に低濃度が、流出水量の小さい4月に高濃度が現れる。

長期的変化：Cu、Zn、Asのいずれも貯水池内に蓄積される鉱さいからの溶出量が小さいので、鉱さいの蓄積量が多くなる後年になっても濃度上昇はわずかしき起らない。即ち長期的変化は顕著に現れない。

Run-3による流量及び濃度の30年分の変動を参考までにFig. IV-11に示した。

この様に濃度予測値は、流入水量、流出水量の変動に伴って起るがこれ以外に負荷量を変動させる要因があれば変動する。

流出溶存負荷量を大幅に増大させる要因としては

- 水酸化物に形を変えて減少する率が小さくなる。
- ダムの堆砂から溶出する率が大きくなる。

の2点が考えられる。

第1点については、予測の中で、水酸化物に形を変えて減少する率を、考えられる幅の中で一番少なくした計算をRun-2、Run-4として行っている。

これによれば

Cu： 平均値 0.019 mg/ℓ 最高値 0.031 mg/ℓ

Zn： 平均値 0.020 mg/ℓ 最高値 0.055 mg/ℓ

の値が得られている。

Znの場合、ダムから水酸化亜鉛の形で流出するZn量が少ないため、数値がわずかしき変わらないが、Cuの場合非常に特異な現象であり、水酸化銅の形で流出する量が多いので、これを変動させると溶存Cu量が大幅に変る。この結果得られた最高値 0.031 mg/ℓ が現有資料で考えられる最悪の値である。

2点目のダムの堆砂から溶出する金属量は現在採用している溶出率を仮に10倍にしても予想値がほとんど動かない程小さいので、この要因による予測値の大幅な変動は貯留水のpHが弱アルカリ性を保っている限りないものと考えられる。

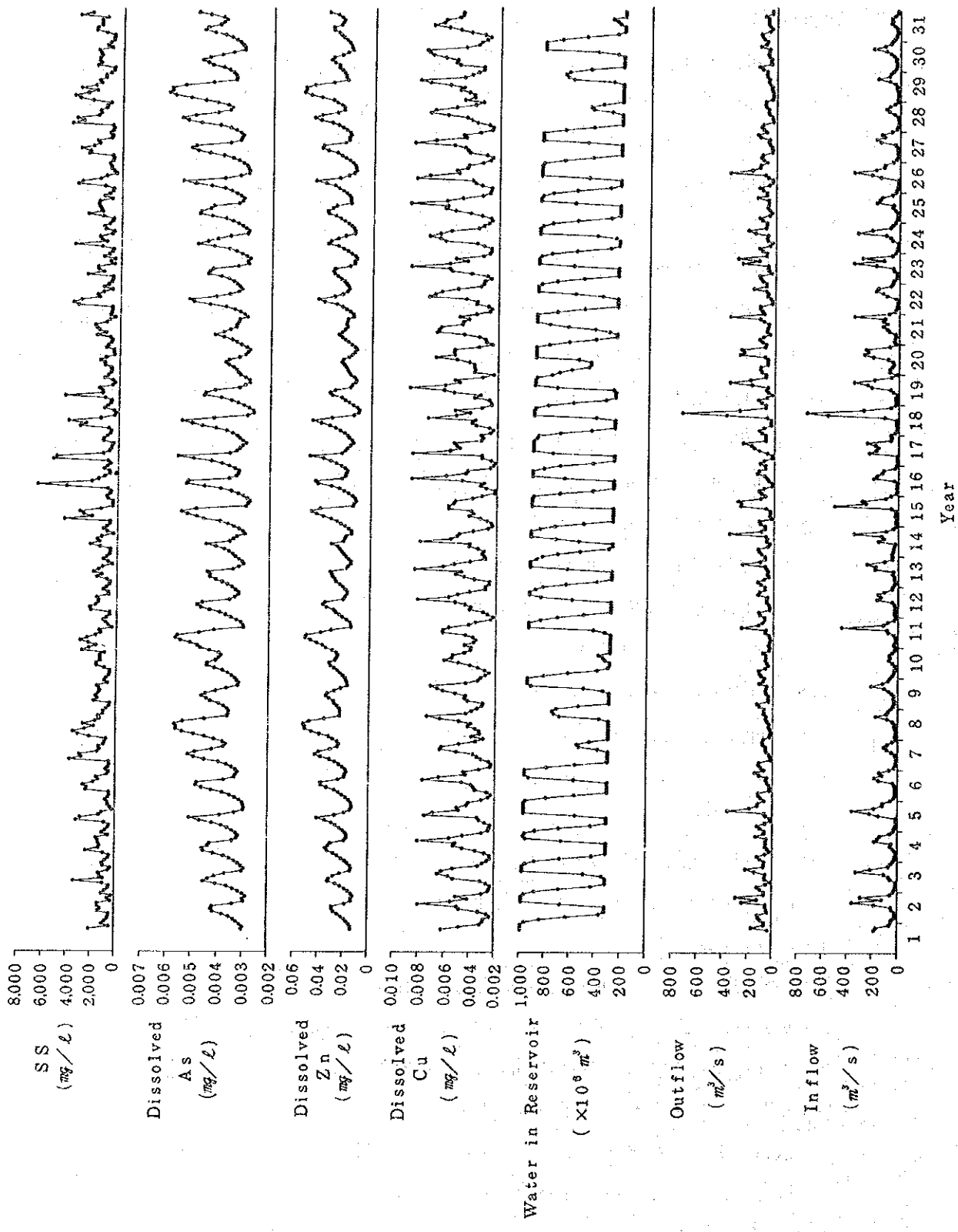


Fig. IV-11 Fluctuation of Calculated Values in Run-3

流出懸濁物質量を大幅に増大させる要因としては

- 懸濁物質のダム内に滞留する時間が短くなる。
- 懸濁物質の粒度分布で微粒部分が多くなる。

の2点の考えられる。

第1点については、流入濁水が特定の流動層を経て取水口に、より速く到達するときなどに起ることであるが、現時点ではこの様な現象が起るか否かを定める資料を得ていない。

第2点は鉸山において磨鉸工程が変更されたときなどに起ることであるが、鉸山が操業様式を変更するとすれば、他にも変動要因は多くあり、この点は考察しないことにした。

3) 懸濁物質中の金属含有率

自然砂中のCu量が少いので、自然砂起源の懸濁物質が加はる雨季に含有率が下る。

即ちCu含有率は

乾季：Total Cu 600 ppm ±, Soluble Cu 170 ppm ±

雨季：Total Cu 460 ppm ±, Soluble Cu 120 ppm ±

の2群に分れる。

Zn, Asについても同様に

乾季：Total Zn 190 ppm ±, Soluble Zn 70 ppm ±, Total As 11 ppm ±

雨季：Total Zn 170 ppm ±, Soluble Zn 50 ppm ±, Total As 10 ppm ±

を示す。

4) 予測濃度と実測濃度との比較

溶存成分濃度の予測値とダム予定地を現在流下している水の実測値とを比較すると、予測値は

Cu - 実測値より低くなる

Zn - 実測値より高くなる

As - 実測値とほぼ同じ

と予測されているが、これは

Cu - 溶存Cuが貯水池に滞留している間に水酸化銅に形を変えることによって減少する。

Zn - 懸濁流下した水酸化亜鉛が貯水池に滞留している間に再び溶解し溶存Znとなる。

(現在は山許の廃さいダムに大部分捕捉されていると考えられる。)

As - 形を変えることなく、そのまま溶存する。と考え計算したためである。

懸濁物質については、実測懸濁物質が大部分5 μ 以上の粒径のものであるのに比べ、

予測によって流出する懸濁物質は大部分 5 μ 以下の粒径のものであり、比較の対象とならない。この粒径の違いによる流下時の挙動の異なることに留意すべきである（現在の懸濁物質の様に、かんがい用水路や水田の水口付近にのみ沈積せず水尻まで運ばれる）。

結 論

貯水池貯留水の水質を予測し、San Roque ダムから流出する水質を評価した結果、流出水中に溶存する Cu, Zn, As の濃度はいずれも低く、D クラス——農業用水——水質基準を大幅に下回っていることが示された。

一方流出水中の懸濁物質は

- 年間を通じて濃度が高い
- 粒径が小さい
- 溶存 Cu の 20 倍を越える酸可溶性 Cu を含む

などの性質をもつことが示された。

以上の結果は流出水をかんがい用水として用いた時に、懸濁物質中の可溶性 Cu と溶存 Cu が水田土壌に蓄積した時の農作物に与える影響を検討すべきことを示しており、かんがい用水部門での検討が必要である。

V かんがい用水の水質評価

V. かんがい用水の水質評価

1. 調査の内容

1.1 調査の目的

灌漑部門の調査は、ELCのフィージビリティ調査に基き、San Roque計画ダムからの放流水をSan Roque計画灌漑地域の灌漑用水に利用することを与件に、貯水池貯留水の水質部門で予測された放流水の水質を、農業用利水の観点から評価することを目的として実施された。

1.2 調査の手法

この評価を行うために、San Roque計画灌漑地域に将来統合される二つの既存灌漑地区、すなわちAgno川灌漑地区（以下ARIS地区と略称）とAmbayoan-Diapolo川灌漑地区（以下ADRIS地区と略称）を選定し、1983年12月から1年間にわたり、灌漑用水、土壌及び作物の現況把握調査を実施した。このうち、ARIS地区の水源河川であるAgno川の上流域では、1ヶ所の銅鉱山と2ヶ所の金鉱山が操業中で、これらの鉱山の廃さいダムの堤体材料に使用されている鉱さいや鉱内排水の一部がAgno川の支流に流入し、Agno川本流の河川水汚濁の大きな要因となっている。一方、ADRIS地区の水源河川であるAmbayoan川の上流域には鉱山が皆無であり、洪水時を除いて極めて清澄な河川水が灌漑用水に取水されている。この現地調査と平行して、National Irrigation Administration（以下NIAと略称）の本庁、Region I支庁、ARIS及びADRIS両地区の事業所から関連資料を収集した。

現況把握調査は以下のように実施した。すなわち、灌漑用水については、ARIS地区に4ヶ所の通年定点観測地点と6ヶ所の雨期定点観測地点、ADRIS地区に2ヶ所の通年定点観測地点を設け、水質及び流量の測定を実施するとともに、水質分析用試料を採水した。土壌については、San Roque計画灌漑地域において試坑調査と試料採土を行い、重金属成分の土壌中天然賦存量と層位別分布の検討に供試した。さらに、ARIS地区内の灌漑水田の水口部分表土と作物生育調査実施水田の表土を採取し、重金属成分の蓄積量と面的分布の検討を目的とし、分析に供試した。ARIS地区内の灌漑用水路に堆積している底質物を採取し、重金属成分含有量の検討に供試した。作物については、ARIS地区に5ヶ所、ADRIS地区に1ヶ所の定点観測水田を選定し、乾期作及び雨期作水稻の生育調査並びに収量調査を実施するとともに、重金属成分及び養分吸収量検討のために分析用試料を採取した。さらに、収量構成要素解析のために、乾期8ヶ所、雨期18ヶ所で試料を採取した。

以上の現地調査の成績及び貯水池貯留水の水質部門の調査結果に基づき、重金属5成分

の中から、将来の灌漑用水の水質を評価する際の検討対象有害成分を選定した。次に、ELCのフィージビリティ調査で提案されている灌漑計画と水文部門で見直した雨量資料を基に、San Roque 計画灌漑地域の用水量を求めた。特定した検討対象有害成分に関し、与えられた San Roque 計画ダム放流水の水質予測値と灌漑用水量から、計画灌漑地域の水田 1 ha 当たりの年間負荷量を算定した。この算定結果を用い、計画灌漑地域の水田における特定検討対象有害成分の蓄積量を推定し、さらに日本の基準（農用地の土壌の汚染防止等に関する法律）との対比を行った。

1.3 水質評価に用いた資料

現地調査及び分析成績に加え、各種の資料を収集し評価作業に用いた。その主なものは、水文及び貯水池貯留水の水質の両部門の成果、ELCが1979年NPCに提出した San Roque 多目的ダム計画に係るフィージビリティ調査報告書並びに1981年NIAに提出した San Roque 灌漑計画に係るフィージビリティ調査報告書である。

2 現地調査の結果

2.1 既存灌漑地区の現況

San Roque 計画灌漑地域においては、NIAが管轄する国営大規模灌漑事業が3地区、域内の湧水や小河川に水源を依存している小規模灌漑事業が36地区で実施されている。総灌漑面積は35,300haに達し、地域内の水田全面積約79,300haの45%を占めている。残りの水田44,000haは天水田である。

灌漑用水の水源が通年確保されている水田では水稻二期作、乾期の灌漑水源が得られぬ水田では煙草や綿などの工芸作物、とうもろこし、緑豆、南京豆、野菜などの換金作物を組み合わせた二毛作あるいは水稻単作が行われている。乾期に休閑地となる灌漑水田面積は約25,100haである。

既存国営大規模灌漑事業のうち、ARIS地区は1957年から灌漑を開始し、その受益面積は20,200haである。San Roque ダム計画地点の下流2.5kmにある頭首工で分水した Agno 川の河川水を、延長46kmの幹線水路と207kmの支線水路を通じ、地区内に配水している。地区全体の平均水路密度は1ha当たり約33mである。本地区の灌漑用水には Agno 川河川水が搬送してくる大量の土砂が含まれ、これが水路底や水路構造物区間に堆積するために、NIAのARIS事業所は毎年多額の水路浚渫費用支出を余儀なくされている。しかも、流入土砂量が物理的・資金的浚渫能力を上回っており、年々、幹線水路及び

支線水路の断面縮小と末端水路の埋没区間増加を引き起している。1983年の灌漑実績は雨期作10,300ha, 乾期作2,000haと報告されている。

Agno川下流灌漑地区(LARIS地区と略称)は, ARIS地区頭首工の下流20km地点でAgno川から取水し, 受益面積10,200haに灌漑用水を供給している。水路延長は幹線31km, 支線161km, 水路密度は1ha当たり平均73mである。頭首工地点ではAgno川の河幅が広くかつ河道が不安定なため, 年間を通じて取水量が安定せず, 実質灌漑面積は雨期で7,400ha, 乾期作で2,900ha程度にとどまっている。

ADRIS地区は二つの水源河川をもち, いずれも清澄な河川水を灌漑用水に利用している。受益面積は両者合わせ10,500haあるが, 流域が比較的小さく, 流況が安定しないので, 最近の灌漑実績は雨期作5,200ha, 乾期作1,200ha前後である。両地区内の幹線水路は延長41km, 支線水路の延長は135km, 水路密度は1ha当たり53mとなっている。

2.2 灌漑用水水質調査

1983年は湯水年に当たり, Agno川の流量が大幅に減少したため, ARIS地区では1983/84年の乾期作灌漑面積が2,500haに限定された。定点観測地点は図V-1に示すように, ARIS地区内に4ヶ所, ADRIS地区に2ヶ所, 合計6ヶ所を設置し, 毎週1回, 水温, pH, 電気伝導度, 溶存酸素, 濁度の5項目の測定と隔週ごとに分析試料を採水した。さらに, 流量観測を週2~3回行った。採水試料は国内に送付し, 懸濁物含量と溶存重金属5成分, すなわち銅, 鉛, 亜鉛, カドミウム, ヒ素を定量した。乾期灌漑期間中の測定値及び分析値の概略は次のとおりである。詳細はAPPENDIX Fに記載し, 各定点ごとの概要は表V-1に取りまとめている。

	ARIS地区	ADRIS地区
水温(°C)	23.2~ 29.5	22.2~ 31.0
pH	7.8~ 8.8	7.8~ 8.9
電気伝導度(µS/cm)	260 ~ 1,000	230 ~ 300
溶存酸素(mg/l)	3.6~ 9.5	3.9~ 10.4
濁度(ppm)	100 ~ 500以上	80以下
懸濁物(mg/l)	145 ~ 2,150	2 ~ 520
銅(mg/l)	痕跡 ~ 0.015	痕跡 ~ 0.005
鉛(mg/l)	痕跡 ~ 0.022	痕跡 ~ 0.030
亜鉛(mg/l)	痕跡 ~ 0.065	痕跡 ~ 0.009
カドミウム(mg/l)	痕跡 ~ 0.004	痕跡 ~ 0.003
ヒ素	痕跡 ~ 0.016	痕跡 ~ 0.016

1984年は4月後半から降雨が始まり, 雨期前半の7月までは, 1978年から5年間の

同一時期の平均雨量を下回ったものの、間隔をおいてまとまった日雨量があった。ARIS地区の雨期作灌漑は8,400haを対象とし、しらかき用水の補給は順調に実施された。ARIS地区では、乾期に引き続き、水路の浚渫作業が雨期灌漑期間中も実施された。雨期灌漑用水の水質観測作業は、乾期の定点観測地点にARIS地区で新たに6ヶ所を追加し、図V-1に示すごとく合計12ヶ所を実施した。測定及び分析項目はヒ素を除き乾期と同様である。雨期灌漑期間中の測定値及び分析値の概略は次のとおりである。詳細はAPPENDIX Fに収録し、各定点ごとの概要は表V-1に取りまとめている。

	ARIS地区	ADRIS地区
水温(°C)	24.0 ~ 38.5	23.5 ~ 32.0
pH	7.2 ~ 8.8	7.8 ~ 8.9
電気伝導度(μS/cm)	260 ~ 640	105 ~ 275
溶存酸素(mg/l)	3.9 ~ 8.7	3.3 ~ 9.6
濁度(ppm)	75 ~ 500以上	5 ~ 500以上
懸濁物(mg/l)	42 ~ 8,300	3 ~ 748
銅(mg/l)	痕跡 ~ 0.019	痕跡 ~ 0.007
鉛(mg/l)	痕跡 ~ 0.038	痕跡 ~ 0.013
亜鉛(mg/l)	痕跡 ~ 0.022	痕跡 ~ 0.019
カドミウム(mg/l)	痕跡 ~ 0.011	痕跡 ~ 0.012

雨期後半の8月から10月にかけては、台風接近に伴う豪雨に再三見舞われ、各水源河川では一時的に大增水を見た。この間、灌漑用水の取水を中断した場合を除き、濁水が灌漑地区に流入し、その時点の採水試料の分析値は、特に懸濁物、溶存重金属成分が高濃度を示している。

計画灌漑地域内に存在する小規模灌漑事業地区の水源の水質は、ARIS地区の田面排水が混入している場合を除き、濁度が60ppm以下、懸濁物濃度が10ppm以下を示し、極めて清澄な灌漑用水が得られている。

2.3 土壌調査

試坑調査は計画灌漑地域全域を対象に10ヶ所を実施し、土壌断面の観察及び層別試料の採取を実施した。一般的に土層が極めて深く、かつ透水性・通気性が高いものの、保水力には乏しいことが特徴である。沖積地に広がる水田土壌の表土の典型的土性はシルト質埴壤土で、下層土の土性は微細地形条件に応じて砂土からシルト質埴壤土に変化している。低丘陵地の極緩傾斜地土壌の土性は全層砂質埴壤土である。採取試料の一般理化学分析はNIA技術研究所で実施した。その成績を総括すると、作土は弱酸性から酸性反応を呈し、電気伝導度も比較的大きい値を示す。これとは逆に、心土は弱酸性から中性反応を呈し、

電気伝導度の値は小さくなる。

土壌中の重金属の形態別定量分析は国内において実施した。土壌中に含まれ、植物体に吸収される可能性をもつ強酸可溶性重金属成分を定量した結果、銅と亜鉛の含有量から、Ago 川上流の鉱山活動が計画灌漑地域の水田土壌に及ぼしている影響の度合を類推できることが判明した。しかし、鉛とヒ素については、土壌中の濃度変化の傾向からは上述の影響との関係を見出せず、またカドミウムは全試坑地点の土壌中濃度がほぼ同一の低水準にあり、その挙動に関する検討を行う必要性は認められなかった。銅と亜鉛の土壌中濃度の変化は同一の傾向を示すので、銅を指標として、計画灌漑地域内の土壌中銅の天然賦存量と後天的蓄積量を次のように推定した。すなわち、計画灌漑地域のほぼ中央部に位置している低丘陵地は、これまで Ago 川の洪水で冠水したことがなく、また試坑調査の際に観察した土壌断面の層序からも、かつて天水田や畑地として利用され、耕起作業によって土層が攪乱された形跡は認められない。したがって、この試坑地点で採土した試料中の重金属成分の定量値は、計画灌漑地域の土壌中に天然に賦存している重金属成分量と考えることができる。ARIS 地区の試坑地点で採土した試料の分析値と上述天然賦存量を比較すると、表 V-2 に示すような明瞭な差異が認められる。一方、Ambayoan 川を水源とする ARIS 地区や現在天水田となっている地区の試坑地点で採土した試料の分析値は、上述の天然賦存量との間に余り大きな差は生じていない。また、ARIS 地区の各試坑地点の分析値は、土壌中銅濃度が下層土ほど小さくなることを示している。

ARIS 地区内の灌漑水田のうち、末端水路から直接用水を取り入れている水田は、必ず圃場の水口部分が小区画に区切られている。これは、用水とともに水田に流入してくる土砂を沈積させるために設けられており、沈砂区画中の堆積土砂量はおおむね過去の灌漑実績に比例している。この沈砂区画を対象に、ARIS 地区内全域 249ヶ所で表層 15 cm 部分の採土を実施した。この試料中に含まれる銅、鉛、亜鉛、カドミウム、ヒ素につき、作物体に吸収されやすい酸可溶性成分を定量した。その結果、表 V-3 に示すように、酸可溶性の銅濃度が極めて大きな変動幅を示し、かつ図 V-2 に示すように、この銅濃度分布が ARIS 地区の各支線水路に対する灌漑用水供給実績と一致することが明らかになった。

末端水路から水田に流入した土砂の大部分は沈砂区画に堆積するが、粒径の細かい土砂は灌漑用水とともに本田に移動し、また沈砂区画自体が堆砂で飽和している場合には、土砂のほとんどが本田へ直接流れ込んでいる。そこで、作物生育調査のために選定した定点観測水田において、沈砂区画を間に挟んで用水路につながっている最上端の圃場から、排水

路に開口している最末端の圃場まで、各筆ごとに水口、中央、水尻部分の表層と次層を採土し、酸可溶性銅を定量した。その結果、図V-3に示すように、ARIS地区では用水路に開口した圃場の水口部分から排水路に開口した水尻部分にかけて、土壤中銅濃度が順次減っていくことが判明した。

ARIS地区の水路に堆積した底質物の粒径別分析値によれば、酸可溶性成分の場合、銅、鉛、亜鉛の各濃度は粒径が細くなるほど高くなる。しかし、粒径組成そのものは0.2~0.02mmの粗砂部分が90%近くを占めているので、重金属成分の負荷源はこの粗砂と違って差し支えない。ちなみに、ARIS地区10ヶ所で採取した底質物の粗砂中酸可溶性銅濃度は90~180ppmの範囲に分布している。なお、鉛の濃度は10ppm以下、亜鉛の濃度は30~70ppmであるが、カドミウムの分析値はいずれも検出限界以下で、堆積土砂中にはほとんど含まれていない。

2.4 作物調査

水稲作付期間中の生育調査は、定点観測水田ごとに、沈砂区画から用水を受ける圃場とそれに連なる田越し灌漑圃場の中から調査水田として4筆の圃場を選んだ。各調査水田の水口部分の3株を対象に草丈及び分けつ数を毎週1回測定するとともに、栽培農家から肥培管理について聴取り調査を実施した。収穫時に際しては、生育調査株に加え、各調査水田の水口・中央・水尻の3地点で1m²宛全刈りを行い、一株穂数を計測の上、収量構成要素解析用代表株を選抜した。

ARIS地区内における収量分布状況を把握するために実施した収量調査でも、一連の田越し灌漑水田1ヶ所において水口から水尻まで平均5筆を選定し、上記と同様の方法で代表株を選抜した。

養分及び重金属成分の吸収量を明らかにするため、生育調査水田の生育調査株を籾・茎・葉・根に分別細断し、国内に送付の上、分析に供試した。

乾期作及び雨期作の生育調査の結果によれば、対照区であるADRIS地区の調査株は各筆いずれもほぼ同一の生育状況を呈し、かつ分けつも盛んで、有効分けつ数は乾期作で25~45本、雨期作で15~35本に達した。一方、ARIS地区においては、栽培農家の肥培管理法や作付品種の相違が調査株の生育状態に反映しているものの、概して、沈砂区画に近い圃場の水口部分で選定した調査株が貧弱な生育を示した。特に調査水田の沈砂区画から土砂が本田に流入している場合には、同一の調査水田の水尻部分の調査株と比較し、水

口部分の調査株の初期生育に遅れが発生していた。有効分けつ数も乾期作で最高35本、雨期作で最高30本と、ADRIS地区に比べてかなり下回っている。

収量調査で得られた乾期作調査水田に関する成績のうち、表V-4に示すように、ARIS地区最上流側調査水田の1ha当たりの収量は1.4～6.1 tonの範囲でばらついているが、単純平均して3.8 ton、ADRIS地区の収量は4.3～8.1 tonの間で変動し、単純平均値は6.1 tonとなっている。また、表V-4に示すARIS地区内8ヶ所で実施した収量調査成績によれば、1ha当たり収量は水口圃場で0.6～2.1 ton、水尻圃場で2.4～4.0 tonという傾向を示している。これは、本田中に土砂が流入した場合に、作土の土性が砂質化して土壌中の孔隙量が少なくなり、水稻の根の健全な発育を阻害していることを示唆している。雨期作の収量調査結果は表V-5に取りまとめて示してあるが、乾期作と同様の傾向が全般的に認められる。調査水田の1ha当たり収量は、ADRIS地区において最高3.2 ton、最低1.6 ton、平均2.8 ton、ARIS地区においては、最上流側調査水田で最高5.2 ton、最低2.4 ton、平均3.2 ton、最下流側調査水田で最高5.8 ton、最低3.5 ton、平均4.2 tonとなっている。また、ARIS地区内18ヶ所の収量調査成績によれば、1ha当たり平均収量は水口圃場で2.2～3.2 ton、水尻圃場で2.5～4.2 tonの間で変動している。

調査株の養分吸収量と圃場の位置との間には一定の関係は認められない。しかし、銅の吸収量に関しては、対照区であるADRIS地区とARIS地区の間に明らかな差があり、またARIS地区における水稻の銅吸収量は同一調査水田の場合、乾期作が雨期作を上回っている。また、調査水田の作土中の酸可溶性銅濃度と調査株の銅吸収量は正の相関が認められる。なお表V-6に示すように、乾期作の葉中銅濃度は、ARIS地区調査株の平均が50 ppm、ADRIS地区調査株の平均が5 ppmである。雨期作の葉中銅濃度は、ARIS地区調査株の平均が40 ppm、ADRIS地区調査株の平均が5 ppmである。

他の重金属成分のうち、特にカドミウムは玄米中に吸着され、食物として摂取されると人体に害を及ぼすことが知られている。ARIS地区における調査株を分析した結果、玄米中のカドミウム濃度は平均して0.02 ppm以下、例外的最大値でも0.04 ppmにとどまり、ARIS地区産米の品質については問題のないことが判明した。

3. 検討対象成分の選定

現地調査結果及び分析成績を検討した結果、Agno川の河川水を灌漑用水として利用する場合、現況の水質ならば、流入土砂が物理的に、さらに流入土砂に含まれる銅が化学的に、それぞれ水田土壌の理化学性を悪化させる要因として作用していることが判明した。

San Roque 計画ダムからの放流水の水質予測値によれば、将来の灌漑用水には粒径の粗い土砂は一切含まれなくなるが、逆に大量の極微粒子懸濁物を含む白濁水が計画灌漑地域の灌漑用水となることが指摘されている。この極微粒子懸濁物は静水状態でも沈澱せず、流水状態では水とほぼ同一の挙動を呈するものと考えられる。また、この極微粒子懸濁物中には、銅が常時相当量含まれることが示唆されている。

以上述べた現地調査の結果及び San Roque 計画ダム放流水の水質予測値を踏まえ、銅を検討対象成分として選定した。

4. 将来の灌漑用水の水質とその影響予測

4.1 予測水質値

San Roque 多目的ダム開発事業計画の実施によって新たに手当される水源を利用し、既存灌漑地区を含む70,800haの通年灌漑が可能となる。計画受益地域全体の灌漑用水は San Roque 計画ダムの下流2.5km地点にある頭首工から統合取水される。計画ダム及び頭首工の両地点間には、Agno川本流に流入する支流は存在しない。したがって、計画頭首工地点で灌漑用に取水される Agno 川の河川水の水質は、San Roque 計画ダムの発電所並びに洪水吐を経て貯水池から放流される貯留水の水質と同一のものとみなすことができる。

将来の灌漑用水の水質予測値によると、溶存成分としての銅濃度は0.002～0.009mg/ℓの範囲で変動する。一方、灌漑用水中の懸濁物の粒径組成は、現況では5μ以上の粒子で占められているが、San Roque 計画ダム完成後は一変して5μ以下の粒子で占められる。懸濁物濃度は現況の年平均値1,600mg/ℓに比べ720mg/ℓに低下するが、前述のごとく極めて微粒な懸濁物であるために、灌漑用水路あるいは水田の水口部分で沈澱することなく、大部分が灌漑用水とともに灌漑水田全域に拡散するものと予測される。この微粒な懸濁物中の全銅濃度と作物体に吸収されやすい酸可溶性銅濃度の年平均値はそれぞれ520ppm、140ppmと予測されている。

4.2 影響予測の手法

灌漑用水中に溶存する銅の濃度は、作物体が直接吸収しても生理障害を生ずる許容限界

に比較し、大幅に低いので、その影響については、懸濁物中の銅と合わせ、土壌中への蓄積という観点から予測することとする。

灌漑用水から新たに供給される銅が土壌中に蓄積する量は、年間用水量に灌漑用水中の銅の溶存濃度と懸濁物中の銅濃度を乗じて求められる。懸濁物の粒径が非常に細かいので、灌漑用水の水路からの損失水及び田面からの排水中の各懸濁物濃度と頭首工における取水水中の懸濁物濃度は同一とみなし、圃場内土壌への懸濁物すなわち銅蓄積率は計画灌漑効率に準ずるものと仮定した。設定した蓄積率は水田状態の場合は55%、畑地状態の場合は50%である。

4.3 灌漑用水計画

ELCのSan Roque灌漑開発計画においては、既設のARIS地区頭首工を統合堰に改築し、既存のARIS、ADRS、LARISの三地区に、現在は天水田のARIS拡張地区を加え、合計7,800haの灌漑用水を一括取水することが提案されている。

将来の作付体系は、乾期作の作目多様化に主眼を置いて、次の7種類が提案されている。すなわち、(a)水稲二期作、(b)水稲と綿の二毛作、(c)水稲と煙草の二毛作、(d)水稲と緑豆、とうもろこし、南京豆のいずれかとの二毛作、(e)水稲と野菜の三毛作、(f)野菜の年三作、(g)砂糖きびの周年栽培の7体系を、各地区の土地分級の結果を踏まえて組み合わせ、作付計画を策定している。地区別の計画作付体系を表V-7に示す。

ELCがフィージビリティ調査で使用した灌漑用水量算定のための諸元と、1949年から1983年の間の水文資料で信頼度の高い21年分の日雨量記録を基に、作付体系別の年次別月間粗用水量を算定した。さらに、計画灌漑地域内の各地区ごとに年次別月間粗用水量を求めた。詳細はAPPENDIX Fに収録し、概要は表V-8に示してある。

4.4 土壌中への銅蓄積量

以上の手順を経て得られた計画灌漑地域の地区別の粗用水量と、灌漑用水中の溶存銅及び懸濁物濃度、懸濁物中の銅濃度、蓄積率に基づいて、地区別に水田1ha当たりの銅の年間負荷量を推定した。

表V-7に示すとおり、各地区の作付計画が若干異なるので、年間灌漑用水量も多少変動する。したがって、計画灌漑地域内の水田1ha当たりの銅の年間負荷量推定値は表V-9に示すように1,150~1,350gとなる。また、San Roque計画ダム放流水の水質を最悪の条件設定で予測した場合、水田1ha当たりの銅の年間負荷量推定値は1,650~1,950gに増加する。

末端水路から水田に流入した極微粒子懸濁物は、水口部分の沈砂区画の有無にかかわ

らず、田面全体に用水とともに拡散するものと考えられる。この極微粒子懸濁物中の銅が年間負荷量に占める比率は、用水中の溶存銅と比較し、圧倒的に大きい。この形態の銅は水田に流入後、田面から排水路に用水とともに流出する部分を除き、土壌中に残留する。作物体への吸収量及び地下浸透量を無視し、残留量全量が毎年表土に蓄積するものと仮定すると、この蓄積銅は耕起の都度、土壌と混和される。耕起深度を15 cmとした場合に、毎年新たに水田土壌に負荷される銅の量を土壌中銅濃度に換算すると0.8 ppm程度となる。

土壌中銅濃度が作物の生育阻害要因となり、かつ減収現象を誘発する水準を、日本の基準と同様に125 ppmとする。計画灌漑地域の現在の土壌中銅濃度に年間増加濃度を累計していくと、ARIS川灌漑地区の場合、最短約120年間で上述限界値に達し、最悪の条件では約75年後となる。他の3地区では約160年後に限界値に達する。

実際には、地下浸透や収穫後の稲わらの一部が圃場外に持ち出され、銅の年間残留量は想定値を下回ることになるので、上述した基準限界値への到達年数はさらに長くなる。

5. 結 論

ELCのフィージビリティ調査に基づき、鉾山からの廃さいを全てAgno川支流に排出し、本流に建設されるSan Roque計画ダムの貯水池に流入土砂として収容した場合、計画ダムからの放流水には大量の極微粒子懸濁物が混入し、かつこの懸濁物には相当量の銅が含まれることが予測された。このような水質をもつ灌漑用水を計画灌漑地域に供給すれば、域内水田の全体に極微粒子懸濁物が用水とともに拡散、その大部分が田面に残留する。これに伴い、土壌中銅濃度が毎年継続的に増加していくものと想定される。そして、土壌中銅濃度が作物減収を誘発する許容限界に到達するのは約120年ないし160年後と推定した。この想定期間はELCのフィージビリティ調査で見込んだ事業評価期間50年を上回る。

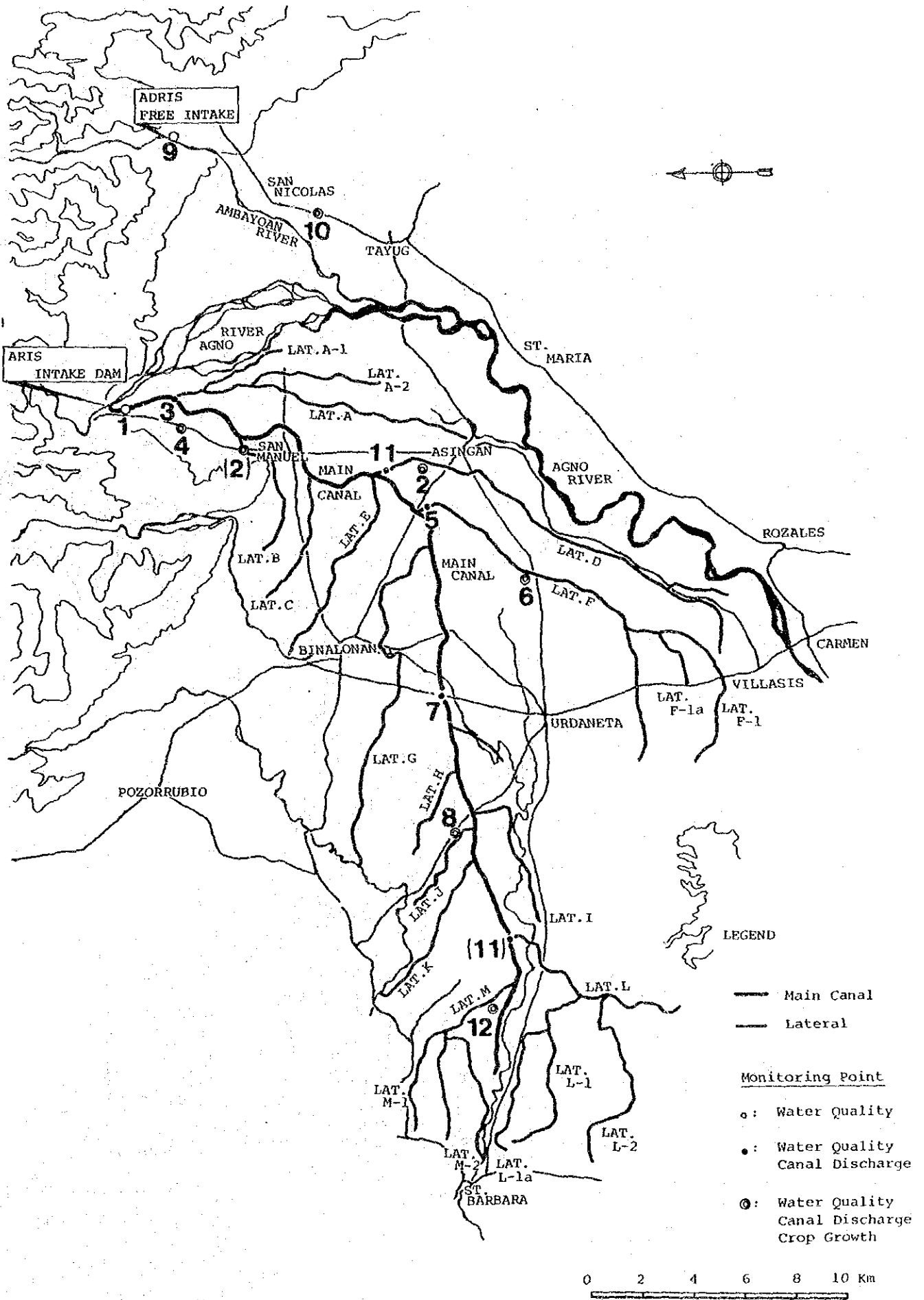


Fig. V-1 Location Map of Monitoring Points for Irrigation Water Quality

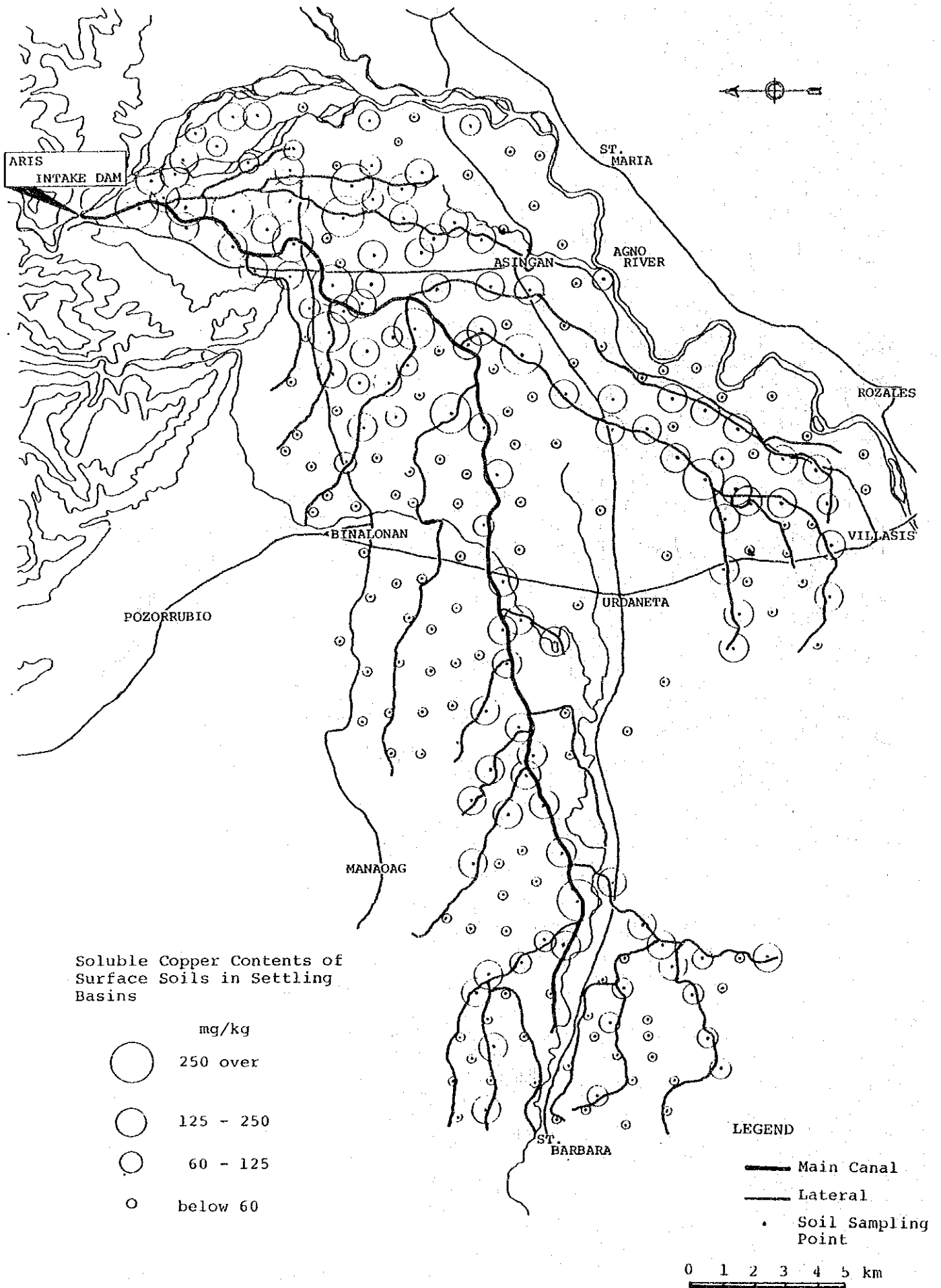


Fig. V-2 Soluble Copper Contents of Surface Soils in ARIS

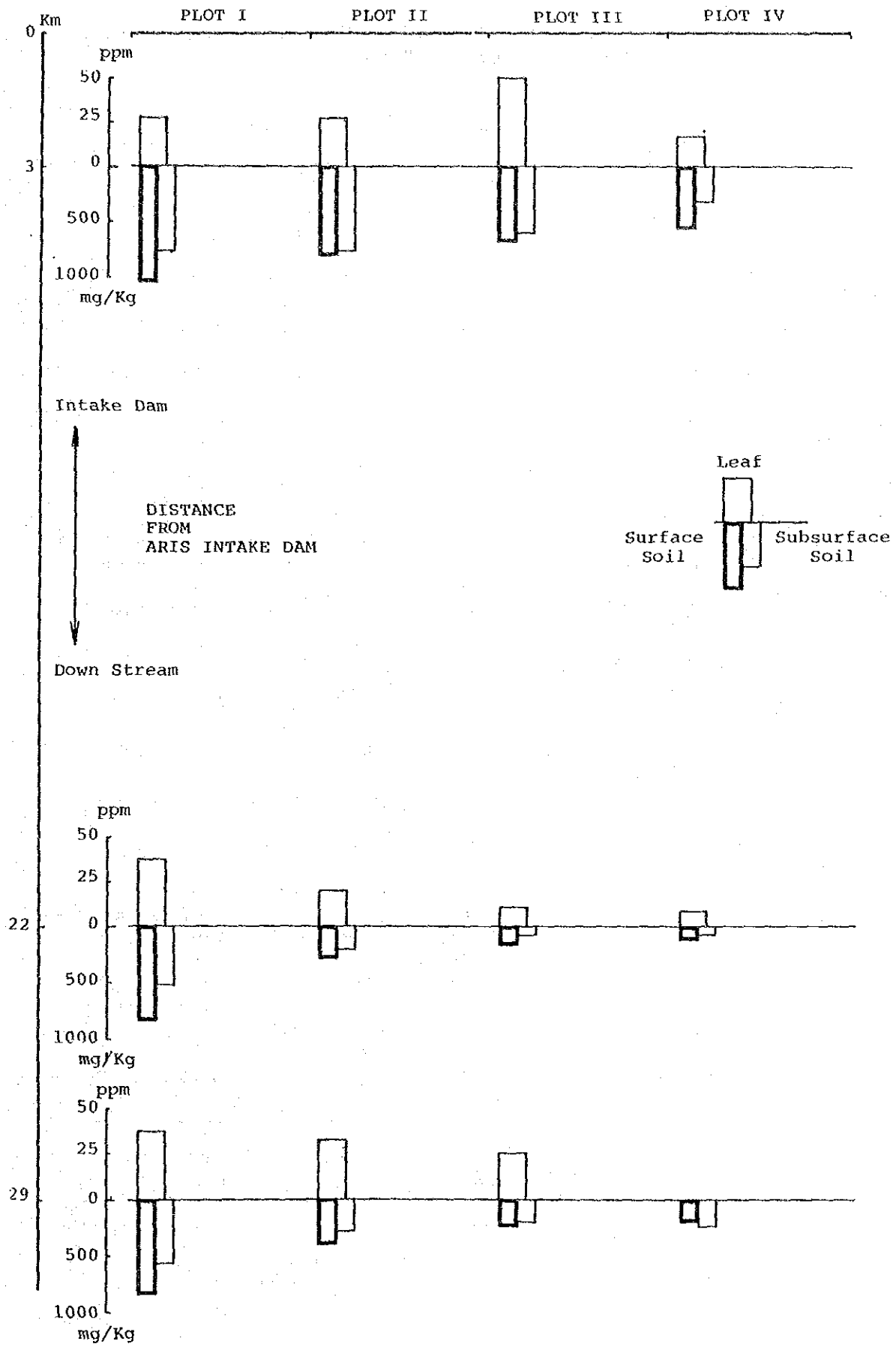


Fig. V-3 Horizontal Distribution of Copper Concentration of Rice Plant Leaf and Soluble Copper Contents of Paddy Soils

Table V-1 SUMMARIZED RESULTS OF LABORATORY TESTS ON DRY AND WET SEASON WATER SAMPLES

Unit: mg/l

Monitoring Point	Suspended Solid	Dissolved Heavy Metals				
		Cu	Pb	Zn	Cd	As
(1) Dry Season						
ARIS No. 1 Max.	2,150	0.015	0.020	0.065	0.004	+
	222	+	+	+	+	+
ARIS No. 2 Max.	425	0.013	0.019	0.025	0.003	0.024
	154	+	+	+	+	+
ARIS No. 3 Max.	1,130	0.015	0.020	0.048	0.003	0.016
	145	+	+	+	+	+
ARIS No. 4 Max.	1,970	0.014	0.022	0.007	0.003	0.016
	228	+	+	+	+	+
ADRS No. 9 Max.	523	0.005	0.030	0.007	0.003	0.016
	2	+	+	+	+	+
ADRS No. 10 Max.	63	0.005	0.026	0.009	+	+
	11	+	+	+	+	+
(2) Wet Season						
ARIS No. 1 Max.	8,317	0.009	0.020	0.034	0.010	—
	53	+	+	+	+	—
ARIS No. 2 Max.	3,084	0.019	0.020	0.013	0.008	—
	175	+	+	+	+	—
ARIS No. 3 Max.	2,295	0.008	0.038	0.024	0.010	—
	42	+	+	+	+	—
ARIS No. 4 Max.	2,680	0.014	0.037	0.024	0.010	—
	39	+	+	+	+	—
ARIS No. 5 Max.	5,568	0.009	0.020	0.023	0.010	—
	60	+	+	+	+	—
ARIS No. 6 Max.	1,696	0.010	0.012	0.015	0.011	—
	84	+	+	0.001	+	—
ARIS No. 7 Max.	3,581	0.009	0.018	0.019	0.011	—
	143	+	+	+	+	—
ARIS No. 8 Max.	1,568	0.026	0.026	0.024	0.011	—
	65	+	+	0.001	+	—
ARIS No. 11 Max.	2,547	0.009	0.018	0.014	0.010	—
	11	+	+	+	+	—
ARIS No. 12 Max.	2,372	0.005	0.015	0.015	0.010	—
	171	+	+	0.002	+	—
ADRS No. 9 Max.	748	0.007	0.013	0.011	0.011	—
	3	+	+	+	+	—
ADRS No. 10 Max.	459	+	+	0.019	0.012	—
	9	+	+	0.001	+	—

Remarks; + : Trace

Table V-2 COMPARISON OF EXTRACTABLE COPPER CONTENTS IN SOILS

Unit: mg/kg dry soil

Pit No.	Present Land Use Condition	Soil Layer				
		I	II	III	IV	V
7	Gentle slope of hill in ARIS fallow land	29.6	33.4	60.9	56.8	—
4	Irrigated paddy field in ARIS	474.0	571.2	83.0	31.2	30.6
1	Rainfed paddy field in upstream of ARIS	45.2	72.1	65.2	39.8	57.6
5	Rainfed paddy field in downstream of ARIS	102.8	83.8	74.8	71.6	63.5
6	Rainfed paddy field in ARIS Extension	46.4	55.2	54.6	61.0	40.0
10	Irrigated paddy field in ADRIS	38.2	34.2	38.2	41.9	44.2

Table V-3 VARIATION OF SOLUBLE HEAVY METAL CONTENTS OF PADDY SOILS TAKEN AT INLET PORTION OF OR SETTLING BASIN IN PADDY FIELDS OF ARIS

Unit: mg/kg dry soil

Location	No. of Samples	Soluble Heavy Metal				
		Cu	Pb	Zn	Cd	As
Along Main Canal	22					
Maximum		287.4	13.2	36.6	0.5	22.3
Minimum		23.1	1.3	3.4	0.1*	0.9
Along Laterals A to E	84					
Maximum		352.2	6.6	42.6	0.5	92.0
Minimum		6.7	0.3*	0.9	0.1*	0.3
Along lateral F	36					
Maximum		281.4	9.0	31.9	0.6	8.4
Minimum		6.6	0.3*	2.2	0.1*	0.3
Along laterals G to K	48					
Maximum		285.5	4.7	32.8	0.2	7.6
Minimum		0.1	0.3*	0.1*	0.1*	0.6
Along Laterals L and M	50					
Maximum		156.7	8.3	27.8	0.4	9.6
Minimum		0.7	1.0	0.5	0.1*	0.5

Remarks; 0.3* : Below 0.3 mg/kg dry soil
0.1* : Below 0.1 mg/kg dry soil

Table V-4 RESULTS OF YIELD SURVEY FOR DRY SEASON CROP IN ARIS AND ADRIS

Monitoring No.	No. of Panicles per Hill	No. of Grains per Panicle	Percent of Ripened Grains (%)	Weight of 1,000 Grains (g)	Weight of 1,000 Ripened Grains (g)	Average Unit Yield (ton/ha)
ARIS No. 2	15.2	50.2	70.6	16.0	20.2	3.3
ARIS No. 4	17.5	86.6	61.7	16.1	22.3	4.5
ADRIS No. 10	25.4	70.4	60.9	16.2	22.3	6.1
ADRIS 8 spots						
Inlet	12.3	49.7	57.5	15.9	22.6	2.1
Outlet	16.1	61.3	65.1	18.3	23.4	3.3

Table V-5 RESULTS OF YIELD SURVEY FOR WET SEASON CROP IN ARIS AND ADRIS

Monitoring No.	No. of Panicles per Hill	No. of Grains per Panicle	Percent of Ripened Grains (%)	Weight of 1,000 Grains (g)	Weight of 1,000 Ripened Grains (g)	Average Unit Yield (ton/ha)
ARIS No. 2	15.7	50.1	78.7	21.5	25.5	4.2
ARIS No. 4	18.5	62.2	75.1	17.7	21.1	3.9
ARIS No. 6	11.9	80.2	60.0	17.4	24.2	3.2
ARIS No. 8	14.8	96.2	67.6	15.6	19.9	4.1
ARIS No. 12	10.8	84.7	79.0	13.0	20.8	4.8
ADRIS No. 10	23.0	49.0	43.0	17.8	20.5	2.4
ADRIS 18 spots						
Inlet	14.4	54.6	70.6	18.3	21.6	3.1
Outlet	16.5	60.9	75.5	19.1	23.1	4.1

Table V-6 COPPER CONCENTRATION OF LEAF OF RICE PLANT IN ARIS AND ADRIS

Unit: ppm

Monitoring Point No.	Planting Season	Plot No.					
		I'	II'	I	II	III	IV
ARIS No. 2	Dry	50.5	170.5	75.5	33.8	35.8	23.3
	Wet	—	—	49.4	10.8	12.1	13.9
ARIS No. 4	Dry	—	—	26.5	94.8	26.0	17.5
	Wet	—	—	28.7	27.5	48.8	17.8
ARIS No. 6	Wet	—	—	36.4	19.5	10.9	8.6
ARIS No. 8	Wet	—	—	36.6	32.6	26.1	—
ARIS No.12	Wet	—	—	9.6	9.8	10.8	17.2
ADRIS No.10	Dry	—	—	5.3	7.8	3.8	3.5
	Wet	—	—	8.0	5.3	7.1	6.1

Table V-7 PROPOSED CROPPING PATTERN BY SYSTEM UNDER SAN ROQUE MULTIPURPOSE PROJECT

Cropping Pattern	ARIS		ARIS Extension		ADRIS		LARIS	
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
1. Paddy/Paddy	47	12,620	35	8,300	25	1,900	36	4,550
2. Paddy/Tabacco	8	2,150	9	2,130	19	1,440	18	2,280
3. Paddy/Cotton	16	4,300	28	6,640	21	1,600	12	2,660
4. Paddy/Corn	17	4,560	17	4,030	17	1,300	17	2,150
5. Paddy/Vegetables (2 crops)	3	800	5	1,180	14	1,060	3	380
6. Vegetables (3 crops)	1	270	1	240	4	300	1	130
7. Sugarcane	8	2,150	5	1,180	—	—	4	500
Total	100	26,850	100	23,700	100	7,600	100	12,650

Table V-8 AVERAGE MONTHLY IRRIGATION DIVERSION REQUIREMENT

Unit: m³/ha

Month	ARIS	ARIS Extension	ADRS	LARIS
January	4,087	3,814	3,303	3,808
February	3,386	3,317	3,032	3,333
March	2,136	2,094	2,011	2,109
April	715	648	668	621
May	388	310	291	254
June	1,527	1,568	1,416	1,539
July	1,548	1,662	1,569	1,673
August	1,054	1,035	958	1,083
September	577	577	534	609
October	444	464	470	486
November	1,052	818	597	803
December	2,283	1,993	1,609	1,982
Annual	19,199	18,302	16,458	18,300

Table V-9 AVERAGE MONTHLY ACCUMULATION OF SOLUBLE COPPER ON PADDY FIELD

Unit: g/ha

Month	ARIS		ARIS-Extension		ADRS		LARIS	
	Normal Case	Worst Case	Normal Case	Worst Case	Normal Case	Worst Case	Normal Case	Worst Case
Jan.	226	317	211	295	183	255	211	295
Feb.	178	281	175	275	160	252	175	277
Mar.	145	286	142	280	136	268	143	281
Apr.	140	162	126	147	130	151	121	141
May	46	72	37	58	35	54	30	48
June	141	219	145	225	131	203	142	218
July	142	168	152	180	144	170	153	181
Aug.	77	83	75	83	70	77	79	85
Sept.	17	38	17	39	16	36	18	40
Oct.	17	24	18	24	18	25	18	27
Nov.	62	78	48	59	35	43	48	60
Dec.	159	193	139	167	112	135	138	167
Annual	1,350	1,921	1,286	1,832	1,169	1,670	1,277	1,819

JICA