





No.

ザンビア 共和国  
エネルギー・水開発省

最終報告書  
要約

ザンビア国  
主要河川水資源開発計画調査

JICA LIBRARY



1096907(9)

23646

平成4年3月

国際協力事業団

社調二
CR(3)
92-029

国際協力事業団

23646

## 序文

日本国政府は、ザンビア共和国政府の要請に基づき、同国の水資源開発計画にかかる主要河川水資源開発計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成元年12月から平成4年3月までの間、5回にわたり、八千代インテリヤク(株)の中川喜夫氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、ザンビア国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成4年3月

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介



# ザンビア国 主要河川水資源開発計画調査

## 最終報告書 要約

### 目次

	頁
挿入図表目録 .....	( 2 )
調査域図 .....	( 4 )
水文観測所位置図 .....	( 5 )
第 1 章 調査の概要 .....	(101)
第 2 章 水文観測 .....	(201)
2.1 観測所の設置 .....	(201)
2.2 観測および測定 .....	(204)
第 3 章 井戸水位観測 .....	(301)
3.1 観測井戸の選定 .....	(301)
3.2 井戸水位の観測 .....	(301)
3.3 観測水位の解析 .....	(304)
第 4 章 水質調査 .....	(401)
4.1 採水 .....	(401)
4.2 水質分析 .....	(401)
4.3 分析結果の考察 .....	(405)
第 5 章 水文解析 .....	(501)
5.1 水文データベース .....	(501)
5.2 水位流量曲線 .....	(503)
5.3 貯水池水収支 .....	(504)
5.4 河川流量計算 .....	(508)
5.5 河川流量の特性 .....	(512)
5.6 解析結果の考察 .....	(533)
第 6 章 水文観測計画 .....	(601)
6.1 一般 .....	(601)
6.2 活動範囲 .....	(601)
6.3 水文観測組織および責任分担 .....	(604)
6.4 観測頻度 .....	(606)
6.5 水文観測所 .....	(606)
第 7 章 勧告 .....	(701)

<<< 挿入図表目録 >>>

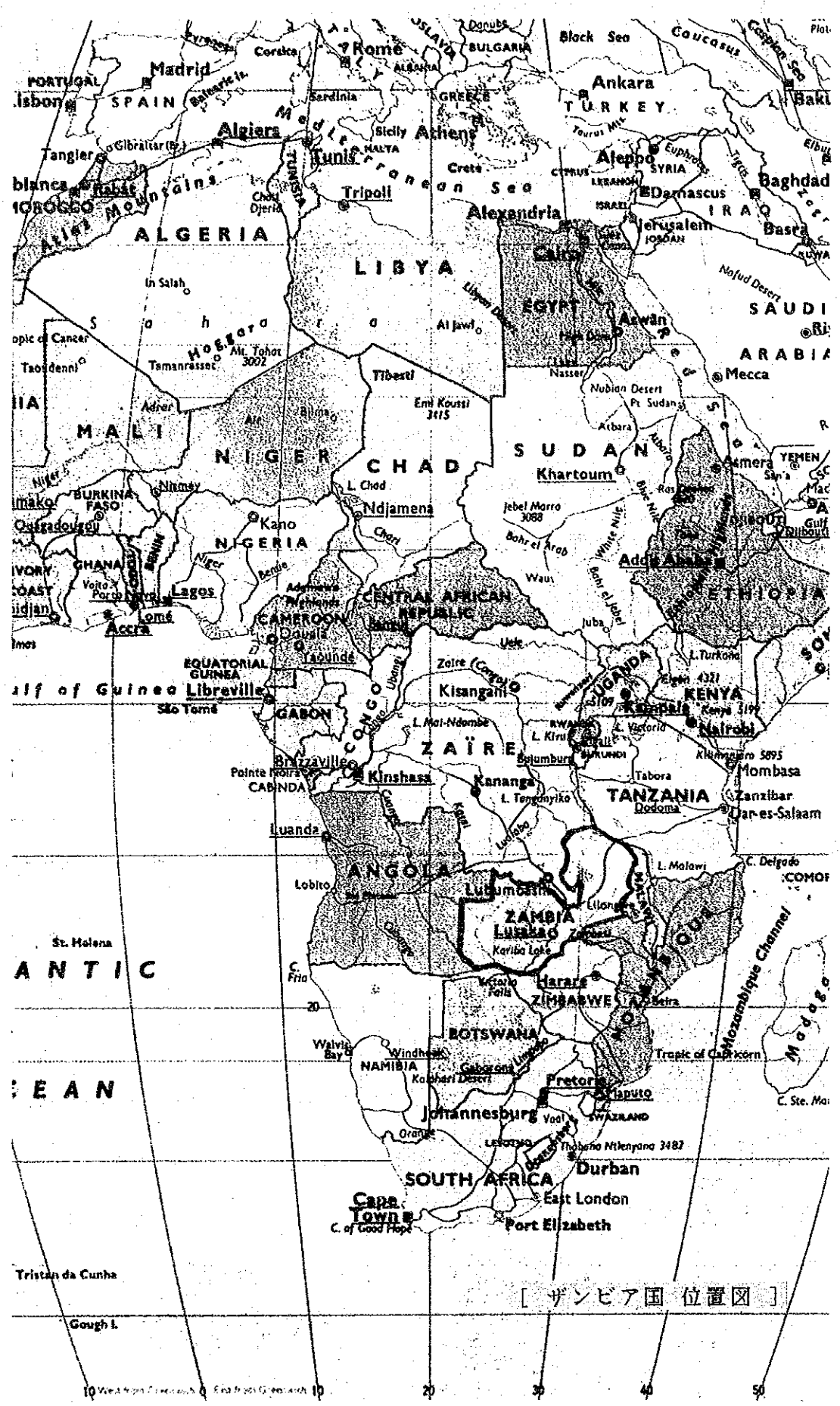
	頁
<b>第1章 調査の概要</b>	
図-1.1 調査フロー .....	(103)
表-1.1 調査の内容と工程 .....	(104)
図-1.2 調査組織 .....	(105)
<b>第2章 水文観測</b>	
表-2.1 選定した観測所および観測設備 .....	(201)
図-2.1 水文観測所位置図 .....	(202)
表-2.2 水文観測所のベンチマークの標高 .....	(203)
表-2.3 水文観測所ごとの流量測定データ .....	(204)
<b>第3章 井戸水位観測</b>	
表-3.1 観測井戸 .....	(301)
図-3.1 観測井戸の位置図 .....	(302)
表-3.2 月河川水位および月井戸水位 .....	(303)
表-3.3 観測井戸の水位変動 .....	(305)
図-3.2 河川水位と井戸水位の関係図 .....	(306)
図-3.3 (1) 河川と井戸の水位変動 (A.連動型) .....	(307)
図-3.3 (2) 河川と井戸の水位変動 (B.追従型) .....	(308)
図-3.3 (3) 河川と井戸の水位変動 (C.先行型) .....	(309)
図-3.3 (4) 河川と井戸の水位の動 (D1.A/B混合型) .....	(310)
図-3.3 (5) 河川と井戸の水位変動 (D2.B/C混合型) .....	(311)
<b>第4章 水質調査</b>	
表-4.1 水質分析項目 .....	(401)
図-4.1 水質調査の採水位置図 .....	(402)
表-4.2 水質分析結果 (一般項目) .....	(404)
表-4.3 水質分析結果 (特殊項目) .....	(404)
表-4.4 鉱山排水に含まれる成分の水質基準 .....	(406)
図-4.2 カヒュエ川の濁度の変化 .....	(406)
<b>第5章 水文解析</b>	
表-5.1 水文データベースシステム .....	(501)
図-5.1 水文データベースシステム .....	(502)
表-5.2 水位-流量曲線 .....	(503)
表-5.3 貯水池水収支計算結果の要旨 .....	(504)
図-5.2 貯水池水収支の要旨 .....	(504)
図-5.3 イテシテシダムの貯水池水収支 .....	(505)
図-5.4 カヒュエゴージダムの貯水池水収支 .....	(506)
図-5.5 カリバダムの貯水池水収支 .....	(507)
図-5.6 河川流量計算のための流域分割 .....	(509)



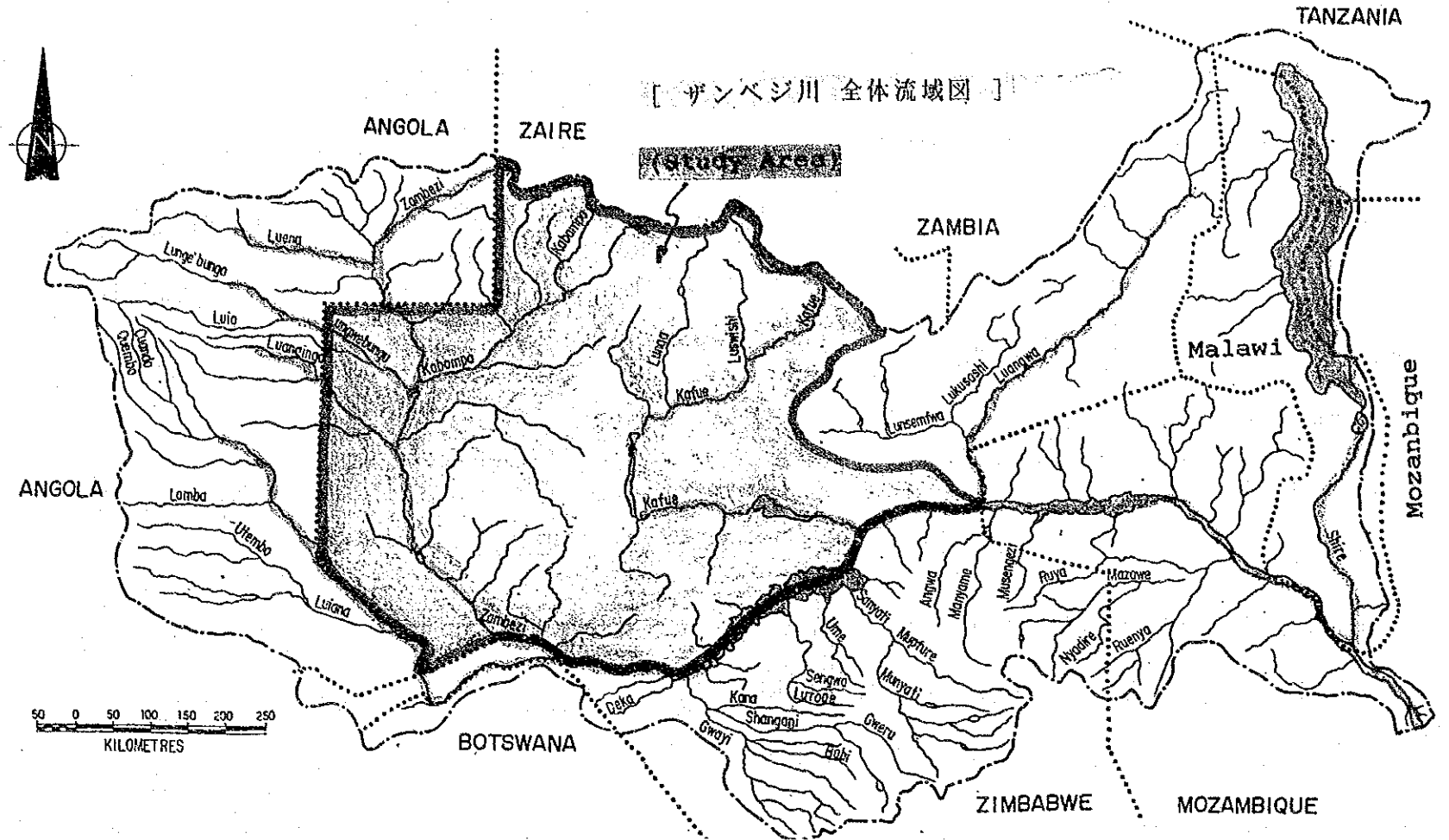
	頁
図-5.7	上流域の河川流量 ..... (510)
図-5.8	全体域の河川流量 ..... (511)
表-5.4	流量の特性 ..... (512)
図-5.9(1)	水文観測所 (1-150 リンパ"シ") ..... (513)
図-5.9(2)	水文観測所 (1-650 カホ"ンホ") ..... (514)
図-5.9(3)	水文観測所 (1-950 ワトハ") ..... (515)
図-5.9(4)	水文観測所 (2-030 ルクム) ..... (516)
図-5.9(5)	水文観測所 (2-250 カラホ") ..... (517)
図-5.9(6)	水文観測所 (2-400 センカ") ..... (518)
図-5.9(7)	水文観測所 (4-050 ラク"ラウ農場) ..... (519)
図-5.9(8)	水文観測所 (4-120 ルクム"シ") ..... (520)
図-5.9(9)	水文観測所 (4-130 スミス橋) ..... (521)
図-5.9(10)	水文観測所 (4-200 ルクム"タマト) ..... (522)
図-5.9(11)	水文観測所 (4-280 マキヤ) ..... (523)
図-5.9(12)	水文観測所 (4-350 チレンカ") ..... (524)
図-5.9(13)	水文観測所 (4-450 ルクム"ンケ") ..... (525)
図-5.9(14)	水文観測所 (4-560 チレンカ") ..... (526)
図-5.9(15)	水文観測所 (4-669 カヒユエ橋) ..... (527)
図-5.9(16)	水文観測所 (4-941 カレヤ D/S) ..... (528)
図-5.9(17)	水文観測所 (4-958 クムツ農場) ..... (529)
図-5.9(18)	水文観測所 (5-030 EXCG農場) ..... (530)
図-5.9(19)	水文観測所 (5-940 ルクム"ンケ"ア橋) ..... (531)
図-5.10	比流出量 ..... (532)
表-5.5	カヒユエ川流域の流出率 ..... (532)
表-5.6	概略氾濫水位および流量 ..... (533)
図-5.11	河道および氾濫域 ..... (533)
図-5.12	年間発電比 ..... (534)
表-5.7	モンク氾濫原の河川水収支 ..... (535)
図-5.13	モンク平原の氾濫モデル ..... (535)
表-5.8	カヒユエ川流域の水文的水収支 ..... (536)
図-5.14	カヒユエ川流域の水文的水収支 ..... (536)
図-5.15	年流量および年雨量の変動 ..... (537)
図-5.16	年流量の変動係数 ..... (537)
表-5.9	河川水の開発ポテンシャル ..... (538)
図-5.17	主要地点の河川水の開発ポテンシャル ..... (539)

## 第6章 水文観測計画

図-6.1	水文観測の組織 ..... (604)
表-6.1	組織および職員の責任分担 ..... (605)
表-6.2	流量測定の種類 ..... (606)
表-6.3	観測所のクラス分け ..... (607)
表-6.4	水文観測所の数 ..... (607)

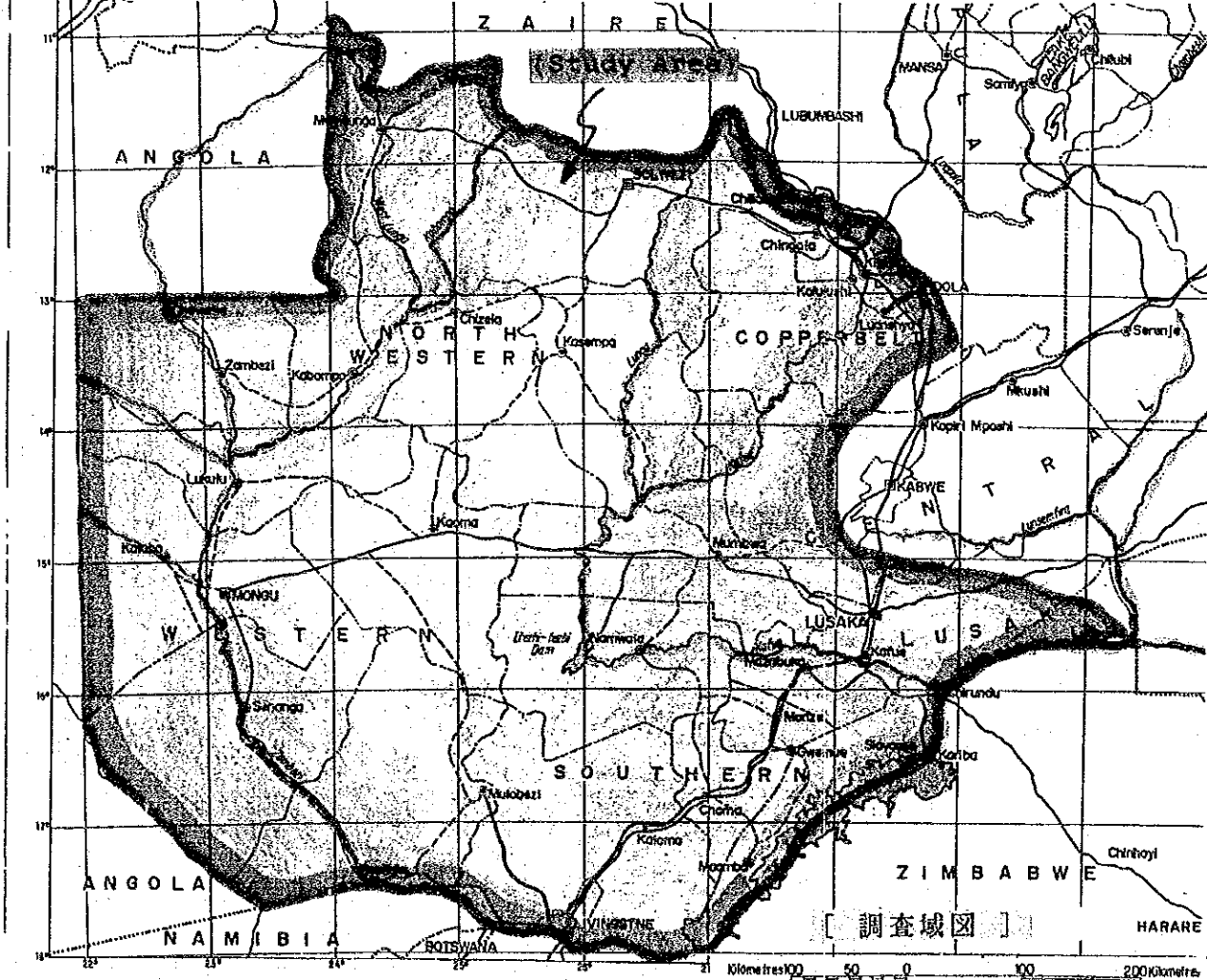


[ザンビア国位置図]

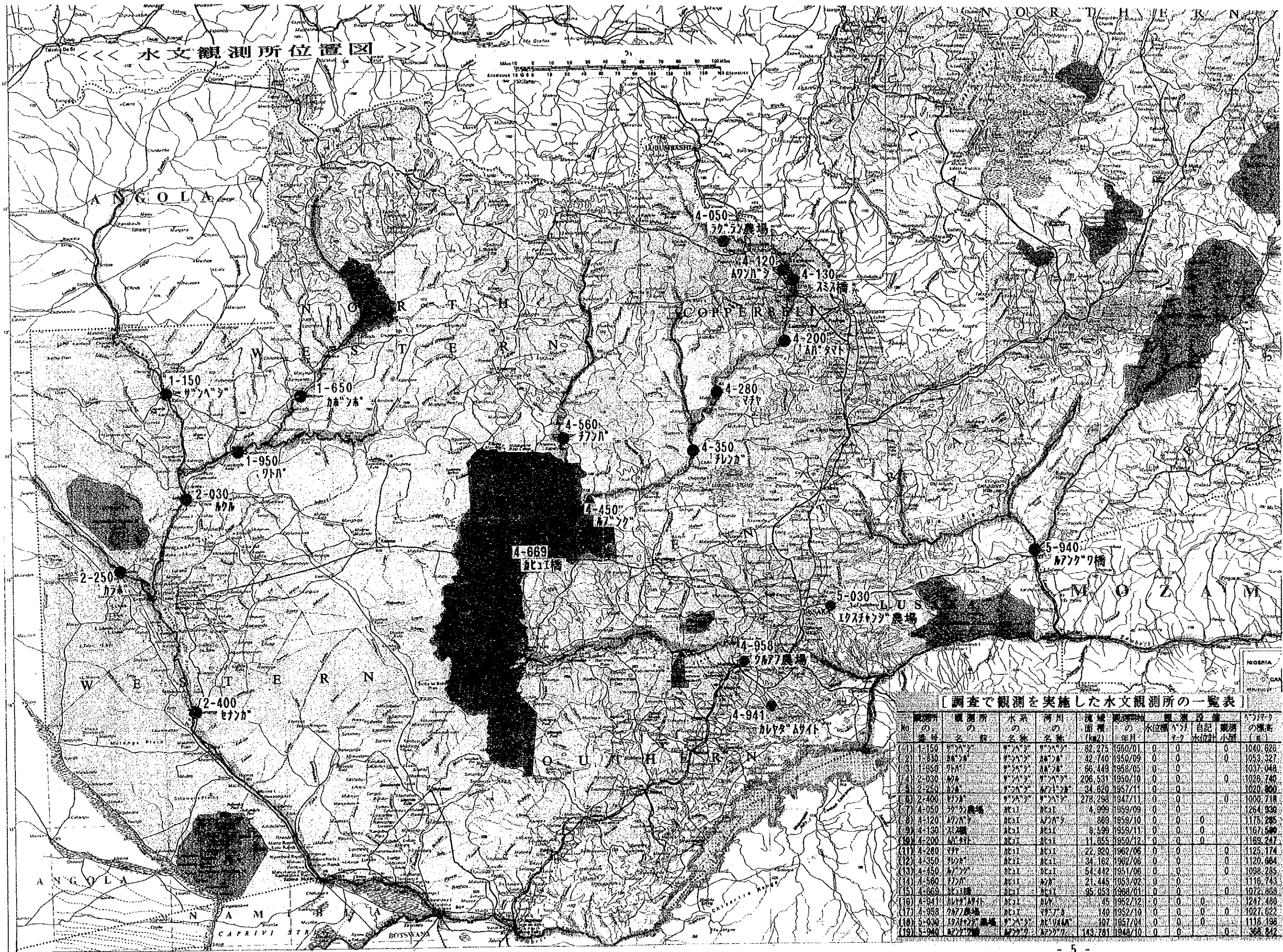


[ザンベジ川全体流域図]

(Study Area)



[調査域図]



水文観測所位置図

[調査で観測を実施した水文観測所の一覧表]

No	観測所の番号	観測所の名称	水系の名称	河川の名称	流域面積 (km <sup>2</sup> )	観測開始年月	観測設備	観測方法	観測の種別	
(1)	1-150	カバツ	カバツ	カバツ	82,275	1960/01	0	0	0	1040,626
(2)	1-550	カバツ	カバツ	カバツ	32,740	1950/09	0	0	0	1953,327
(3)	1-950	カバツ	カバツ	カバツ	66,449	1958/05	0	0	0	1037,048
(4)	2-030	カバツ	カバツ	カバツ	206,531	1950/10	0	0	0	1026,740
(5)	2-250	カバツ	カバツ	カバツ	34,620	1957/11	0	0	0	1020,900
(6)	2-400	カバツ	カバツ	カバツ	278,298	1947/11	0	0	0	1000,718
(7)	4-050	カバツ農場	カバツ	カバツ	4,999	1959/09	0	0	0	1264,936
(8)	4-120	カバツ	カバツ	カバツ	869	1959/10	0	0	0	1176,295
(9)	4-130	カバツ	カバツ	カバツ	8,599	1959/11	0	0	0	1197,500
(10)	4-200	カバツ	カバツ	カバツ	11,055	1950/12	0	0	0	1169,247
(11)	4-280	カバツ	カバツ	カバツ	22,920	1962/06	0	0	0	1125,174
(12)	4-350	カバツ	カバツ	カバツ	34,182	1962/06	0	0	0	1120,684
(13)	4-450	カバツ	カバツ	カバツ	54,442	1951/06	0	0	0	1098,285
(14)	4-560	カバツ	カバツ	カバツ	21,445	1953/02	0	0	0	1116,745
(15)	4-669	カバツ	カバツ	カバツ	95,053	1968/01	0	0	0	1073,868
(16)	4-94	カバツ	カバツ	カバツ	45	1952/12	0	0	0	1247,486
(17)	4-958	カバツ農場	カバツ	カバツ	140	1952/10	0	0	0	1027,622
(18)	5-930	カバツ農場	カバツ	カバツ	107	1957/04	0	0	0	1118,196
(19)	5-940	カバツ	カバツ	カバツ	143,781	1948/10	0	0	0	368,842



## 第1章 調査の概要

### (1) 調査の背景

ザンビア国は、銅鉱脈の発見以来、銅の生産に依存してきたが、1975年からの銅の国際市場価格の急激な落ち込みにより、国家的な経済危機に現在直面している。このような状況を克服するため、国内産業の転換を模索し、農業を国の開発計画の中心にすることを選択した。一方、世界的にみても高い年平均3%を越える人口増加率は依然として増加している。このような人口増加は都市や地方の生活用水の不足を、近年必ず、引き起こすことになるであろう。このような状況の下で、水資源開発が急務となっている。現存の水資源開発計画は、発電、都市用水、農業用水などの単一目的に限定され、流域の差異等を考慮した全体計画は未だ策定されていない。また、ザンビアの水資源開発計画立案の基礎となる水文資料の収集・整理・保管を行う水文観測については、英国を中心とした技術協力により1950年代から水文観測所の整備が進められ、現在、240を越える観測所が登録されている。しかしながら、財政的な事情もありここ10年の活動は不十分で、全体計画を策定するために必要な水文資料が十分に収集・整理されていないのが実状である。

このような現状を背景に、ザンビア国は昭和62年(1987年)2月に、主要河川の水資源開発計画立案のための技術協力を日本に要請してきた。この要請に答えるため、国際協力事業団(JICA)は昭和63年(1988年)11月に事前調査団を送り、ザンビア側と本調査の業務内容(S/W)を締結した。平成元年(1989年)12月にJICAは本調査の調査団を送り、本調査のカウンターパート機関であるエネルギー・水開発省(前の水・土地・天然資源省)水利局(DWA)の協力のもとに本調査を開始した。

### (2) 調査の目的

本調査の目的は、ザンビア国の主要河川流域における将来の水資源開発計画を策定する第一段階として、

- 1) 水文観測体制を強化・充実すること、および
- 2) 水文観測データを収集・整理・解析し、水資源の賦存量を概略的に把握することである。

また、調査を通じて、ザンビア側カウンターパートに技術移転を行なうことも本調査の目的の一つである。

### (3) 調査地域

本調査の対象となる地域(調査地域)は、ザンビアの西半分(面積:約34万km<sup>2</sup>)で、次のような流域を含む。

- 1) ザンベジ川支流カフエ川流域(約15万km<sup>2</sup>)および
- 2) 支流ルアングア川合流点までのザンベジ本川流域(ザンビア国の流域約19万km<sup>2</sup>。ただし、アンゴラ、ナミビア、ボツアナ、ジンバブエ等の国外流域を加えると約63万km<sup>2</sup>)

ザンベジ川は、その源をザンビア国の北西端に発し、その後アンゴラ国を通過してザンビア国の西部を南下し、ザンベジからセナンガに至る区間で大氾濫原を形成している。その後、川の向きを西に変え、途中で峡谷や滝を形成し、ビクトリア滝を経由して人造湖のカリバ湖に流入している。同川は、カリバダムの下流のカフヒュエゴージでカヒュエ川と、更に下流のルアングワで、タンザニア国境に源を発するルアングワ川と合流し、その後、モザンビーク国を通過してインド洋に流れ込んでいる。ビクトリア滝およびカリバダムでは、それぞれ、108MWおよび1,266MWの水力発電が行われている。ザンベジ川は、このように国際河川で、その流域に6ヶ国（ザンビア、アンゴラ、ナミビア、ボツアナ、ジンバブエ、モザンビーク）を含み、その全体流域面積はおよそ1.2百万Km<sup>2</sup>である。

カヒュエ川は、ザイルとの国境に接するコッパーベルトにその源を発し、国の中西部を流れている。その流域面積は15万km<sup>2</sup>、流路延長は1,200kmである。カヒュエ川の流域は全てザンビア国内にある。この流域に国の政治・経済・文化の中心が集まり、全人口の約1/3がこの流域の中で生活している。カヒュエ川には2つの大きなダム（イテシテシダム、カヒュエゴージダム）があり、川の水は水力発電に利用されている。イテシテシダムはカヒュエゴージダムの調整池で、カヒュエゴージダムでは、900MWの発電が行われている。この電気は首都のルサカやコッパーベルトの主要都市に送電され、産業や都市生活に利用されている。

#### （4）調査の範囲および内容

本調査の範囲は、調査地域に於ける水文観測体制の整備・強化と水資源賦損存量の概略把握までで、開発計画の立案は含まれていない。本調査は3フェーズで構成され、各フェーズの主な調査内容は次の通りである。図-1.1に調査フローを示す。

##### <フェーズ 1> 平成元年12月から平成2年3月まで

---

- 観測網の設定および観測所の整備
- 水文観測の実施
- データベースの作成およびデータの入力

##### <フェーズ 2> 平成2年5月から平成3年3月まで

---

- 水文観測の継続および技術移転（訓練段階）
- 水質調査および井戸水位調査
- 水文解析および既設貯水池の収支計算
- インテリムレポートの作成および内容協議

##### <フェーズ 3> 平成3年5月から平成4年3月まで

---

- 水文観測の継続および技術移転（熟練段階）
- 水文解析および水文観測計画の作成
- ドラフトファイナルレポートの作成および説明協議
- ファイナルレポートの提出

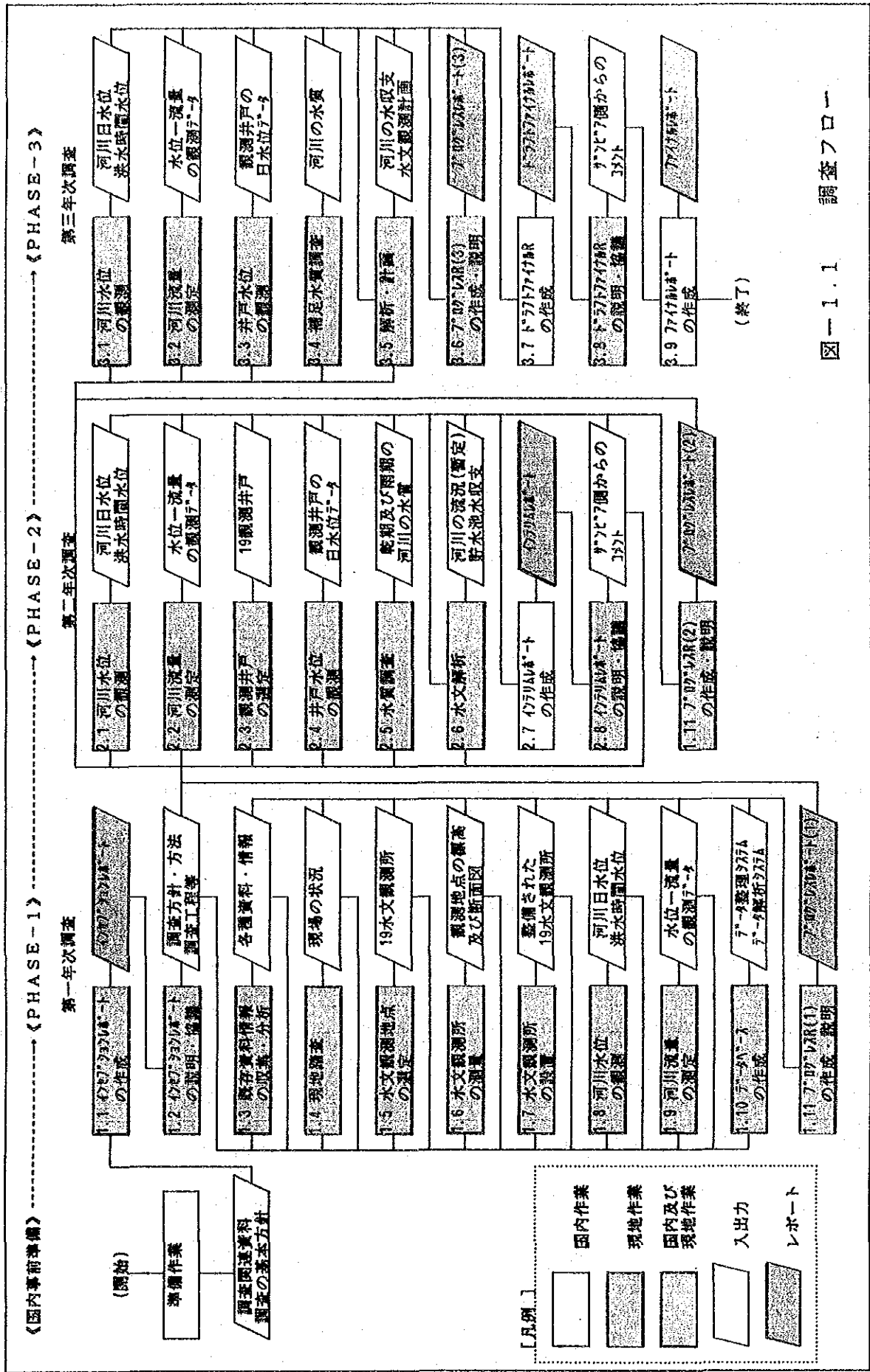


図-1.1.1 調査フロー





(6) 調査組織

本調査の調査組織は図-1.2に示す通りである。

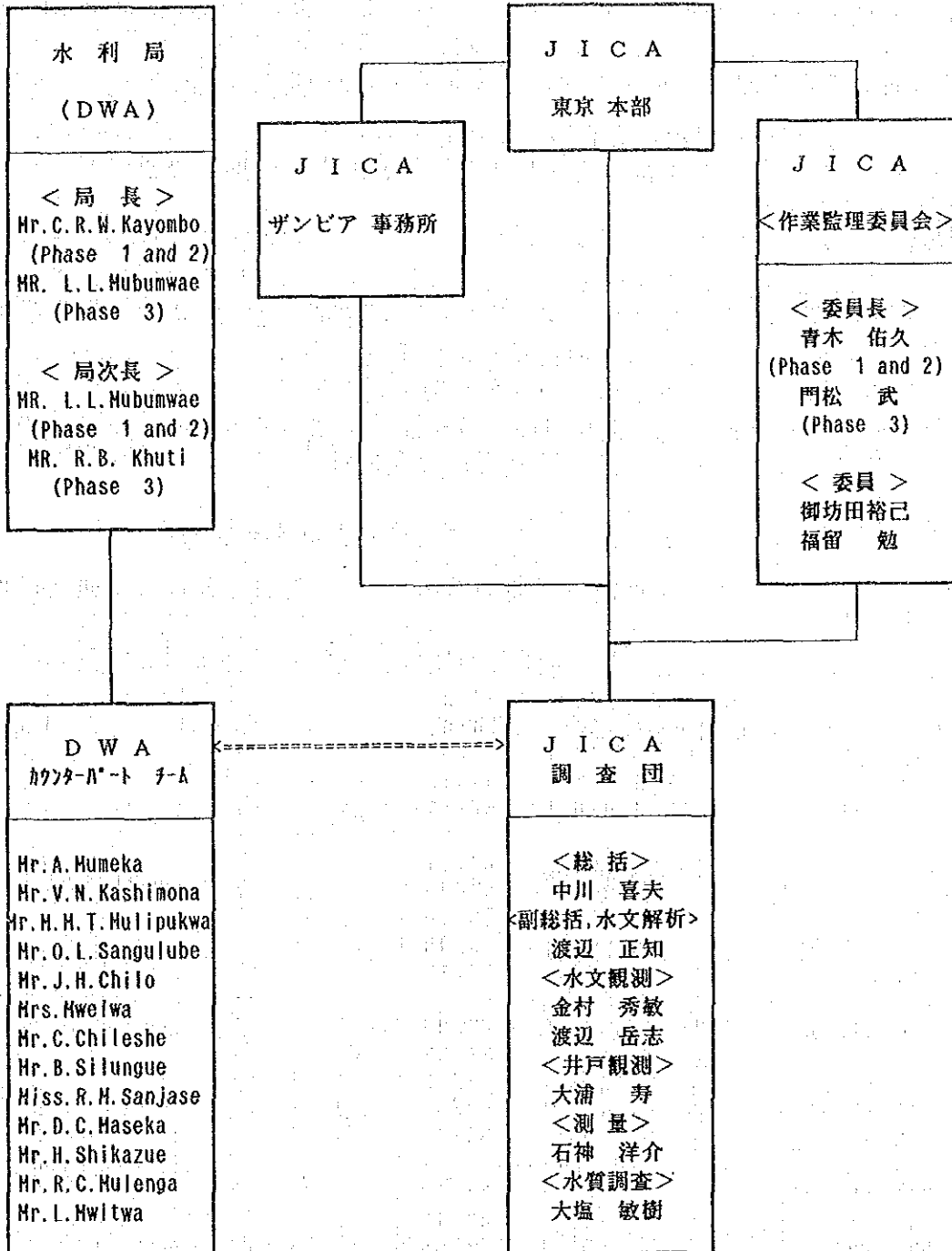


図-1.2 調査組織

## 第2章 水文観測

### 2.1 観測所の設置

#### (1) 観測地点の選定

本調査で実施する水文観測地点について、調査団は、現地調査および予備的な解析結果に基づいて、水利局と協議した。その結果、表-2.1および図-2.1に示す19ヶ所の観測地点を選定した。観測地点選定の要点は次の通りである。

- 1) 調査地域の河川流況を偏りなく把握できるように、観測地点を適切に配置する。また、長期間の流況が推定できるように長期間の観測データのある地点とする。
- 2) カリバダム、イテシテシダム、カヒュエゴージダム、シェシェケ、ビクトリア滝、ルアングワは基準点とするが、流量測定は行わない。なぜならば、各ダムでの貯水位やゲート操作の定期記録が利用できる、また、国境に接したその他の3地点での流量測定は困難である。
- 3) 自記水位計は小流域の開発有望地点に設置する。
- 4) ザンベジ川とルアングワ川の合流点流量を把握するため、本調査の調査域外であるが、ルアングワ橋で流量観測を行う。

表-2.1 選定した観測地点および観測設備

観測所	流域面積 (km <sup>2</sup> )	観測開始 (年/月)	本調査で付設した観測設備			
			水位標	マンマーク	自記水位	観測小屋
1-150 サンハツ P/H	82,275	1950/01	○	○		○
1-650 カホツホ ホマ	42,740	'50/09	○	○		○
1-950 ヲトハ ホンゾー	66,449	'58/05	○	○		
2-030 ルクル	206,531	'50/10	○	○		○
2-250 カラホ	34,620	'57/11	○	○		
2-400 センカ	278,298	'47/11	○	○		○
4-050 ラクラン 農場	4,999	'59/09	○	○		
4-120 ムツハツ	869	'59/10	○	○	○	
4-130 スミス 橋	8,599	'59/08	○	○	○	
4-200 ムハタマ	11,655	'50/12	○	○	○	
4-280 マチヤ フェリー	22,920	'62/06	○	○		○
4-350 チレンカ	34,162	'62/06	○	○		○
4-450 ルアング	54,442	'51/06	○	○		○
4-560 チンハ ホンゾー	21,445	'53/02	○	○		
4-669 カヒユ 橋	95,053	'68/01	○	○		○
4-941 カレヤ タムサイト	45	'52/12	○	○	○	
4-958 ウルア 農場	140	'52/10	○	○	○	○
5-030 イクシエンツ 農場	107	'57/04	○	○	○	
5-940 ルアングワ 橋	143,781	'48/10	○	○		○



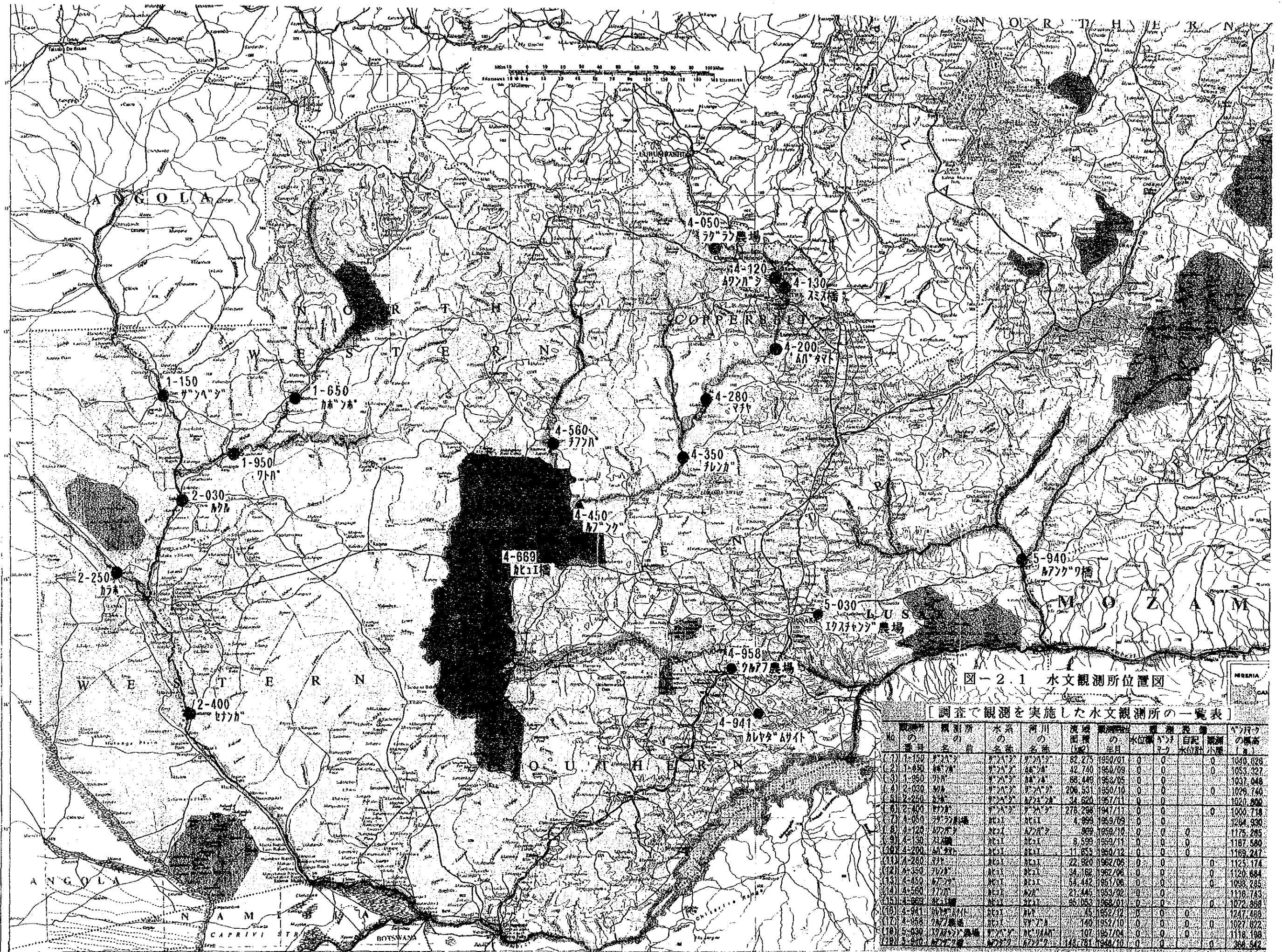


図-2.1 水文観測所位置図

〔調査で観測を実施した水文観測所の一覧表〕

観測所の番号	観測所名	水系名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	観測年月	観測水位 (m)	観測流量 (m <sup>3</sup> /s)	観測雨量 (mm)	観測地点の標高 (m)
1	1-150	ザンベジ川	ザンベジ川	82,275	1950/01	0	0	0	1090,028
2	1-650	ザンベジ川	ザンベジ川	42,740	1950/09	0	0	0	1053,327
3	1-950	ザンベジ川	ザンベジ川	88,449	1950/05	0	0	0	1037,048
4	2-030	ザンベジ川	ザンベジ川	208,531	1950/10	0	0	0	1026,740
5	2-250	ザンベジ川	ザンベジ川	34,520	1951/11	0	0	0	1020,890
6	2-400	ザンベジ川	ザンベジ川	278,298	1947/11	0	0	0	1000,718
7	1-950	ザンベジ川	ザンベジ川	4,999	1959/05	0	0	0	1204,930
8	4-120	ザンベジ川	ザンベジ川	859	1959/10	0	0	0	1175,283
9	4-130	ザンベジ川	ザンベジ川	8,599	1959/11	0	0	0	1187,580
10	4-200	ザンベジ川	ザンベジ川	11,855	1950/12	0	0	0	1189,247
11	4-280	ザンベジ川	ザンベジ川	22,920	1962/05	0	0	0	1125,174
12	4-350	ザンベジ川	ザンベジ川	34,162	1962/06	0	0	0	1120,884
13	4-450	ザンベジ川	ザンベジ川	54,442	1951/08	0	0	0	1098,285
14	4-560	ザンベジ川	ザンベジ川	21,445	1953/02	0	0	0	1118,743
15	4-669	ザンベジ川	ザンベジ川	85,053	1962/01	0	0	0	1072,869
16	4-941	ザンベジ川	ザンベジ川	45	1952/02	0	0	0	1247,482
17	4-958	ザンベジ川	ザンベジ川	140	1952/10	0	0	0	1027,622
18	5-030	ザンベジ川	ザンベジ川	107	1957/04	0	0	0	1118,199
19	5-940	ザンベジ川	ザンベジ川	148,781	1949/10	0	0	0	958,542



(2) 観測所の設置

選定された19ヶ所の観測所には、調査団により次のような観測施設が設置された。  
表-2.1に本調査で付設された観測設備を示す。

- 1) 自記水位計 (6カ所)
- 2) 水位標およびベンチマーク (19箇所)
- 3) 観測小屋 (10箇所)

(3) 観測所の測量

次のような測量を選定された19ヶ所についてを実施した。

- 1) 既存のベンチマークと観測所に設置されたベンチマークとの水準測量
- 2) 流量測定を行う地点の河川横断測量
- 3) 河川ベンチマークと流量測定基準点の位置測量
- 4) 水位標の設置測量

表-2.2に河川ベンチマークの水準測量の成果を示す。また、河川横断横断測量の成果は第5章の図-5.9に示されている。上項の3)および4)は観測所の設置の際に実施された。

表-2.2 水文観測所のベンチマークの標高

観 測 所	<--- 既知の水準点 --->		水準測量 の距離 (km)	河川 ベンチマーク の標高(m)
	名 前	標高(m)		
1-150 サンパツ P/H	T=P6	1,056.230	41.0	1,040.626
1-650 カホンホ ホマ	T=TP28	1,128.980	7.2	1,053.327
1-950 ワトホ ホンツ	T=TP30	1,110.380	62.0	1,037.048
2-030 ルクル	T=P7	1,032.430	5.4	1,026.740
2-250 カラホ	B=H89	1,046.000	7.9	1,020.800
2-400 センカ	B=17F7	1,009.392	0.1	1,000.718
4-050 ラクラン 農場	B=14M30	1,321.953	18.1	1,264.930
4-120 アツンツ	B=KITWE	1,205.831	12.0	1,175.285
4-130 スミス 橋	B=RM88CL	1,200.269	5.0	1,167.580
4-200 アンタト	B=E7M165	1,208.594	28.0	1,169.247
4-280 マヤ フィリ	B=E7M120	1,196.963	28.0	1,125.174
4-350 チレンカ	B=E7M75	1,161.896	21.0	1,120.684
4-450 ルツク	B=12M120	1,120.492	0.4	1,098.285
4-560 チンホ ホンツ	B=43M81A	1,079.549	0.8	1,116.743
4-669 カヒイ 橋	B=19/19	1,147.963	36.0	1,072.868
4-941 カレヤ タンサイト	B=19F1	1,136.021	13.8	1,247.486
4-958 ウルア 農場	B=9/19	1,125.102	0.3	1,027.622
5-030 イクスフィンツ 農場	B=12/63	1,097.606	0.1	1,118.198
5-940 ルツクワ 橋	B=TS289	944.570	12.0	368.842

## 2.2 観測および測定

### (1) 観測チーム

上記の19水文観測所の日水位観測、自記水位観測および流量測定の定常作業を行うため次の3観測チームが結成された。即ち、1) モングチーム (調査域西部の6観測所担当) 2) キトウエチーム (調査域北部の6観測所を担当) 3) ルサカチーム (調査域南部の6観測所およびM7ンクワ橋を担当) である。表-2.3参照。

### (2) 河川水位観測および流量測定

河川日水位観測は雇用した観測員を通して実施された。6観測所では、雨期の間、自記水位を記録した。本調査の流量測定は流速計を用い、観測所の地形条件に応じて 1)水中徒歩測定 2)橋上測定 3)船上測定のいずれかの方法により実施された。

### (3) 測定及び観測データ

本調査では、選定した19水文観測所の日水位および自記水位 (ただし、6観測所) を漏れなく収集することができた。観測水位は、本調査のなかで作成された水位流量曲線を使って、流量に変換された。調査中に得られた流量測定データは表-2.3に示す通りである。

表-2.3 水文観測所ごとの流量測定データ

観測所	本調査 以前の データ数	調査期間中の測定数				担当した 観測チーム
		1989/90	1990/91	1991/92	合計	
1-150 サンバツ P/H	0	5	7	2	14	モング
1-650 カホソホ ホマ	0	5	7	2	14	モング
1-950 ワトホ ホンヤン	173	7	7	2	16	モング
2-030 ルル	0	5	7	2	14	モング
2-250 カラホ	45	5	6	1	12	モング
2-400 センガ	2	4	8	2	14	モング
4-050 ラクラン 農場	127	2	8	2	12	キトウエ
4-120 ルンバツ	186	4	8	2	14	キトウエ
4-130 スミス 橋	226	3	8	2	13	キトウエ
4-200 アンタト	368	3	8	2	13	キトウエ
4-280 マヤ フェリ	261	3	7	2	12	キトウエ
4-350 チンガ	220	2	6	2	10	キトウエ
4-450 M7ンク	216	3	7	2	12	ルサカ
4-560 チンバ ホンヤン	54	3	5	2	10	ルサカ
4-669 カヒョ 橋	75	3	7	2	12	ルサカ
4-941 カヤ タンサト	15	2	5	2	9	ルサカ
4-958 ウルア 農場	11	1	4	2	7	ルサカ
5-030 イクシエン 農場	22	2	5	2	9	ルサカ
5-940 M7ンクワ 橋	133	3	7	2	12	ルサカ
合計	2,134	65	127	37	229	

### 第3章 井戸水位観測

#### 3.1 観測井戸の選定

##### (1) 井戸水位観測の目的

河川の水位と浅層地下水の水位との関係を知るため、表-3.1に示すように19ヶ所の観測井戸を水文観測所の周辺に選定した。原則として、1水文観測所の周辺に1ヶ所の観測井戸を選定した。しかし、2ヶ所の水文観測所（ルンク、ルンクワ橋）では、周辺に井戸がないので選定できなかった。図-3.1に観測井戸の位置を示す。

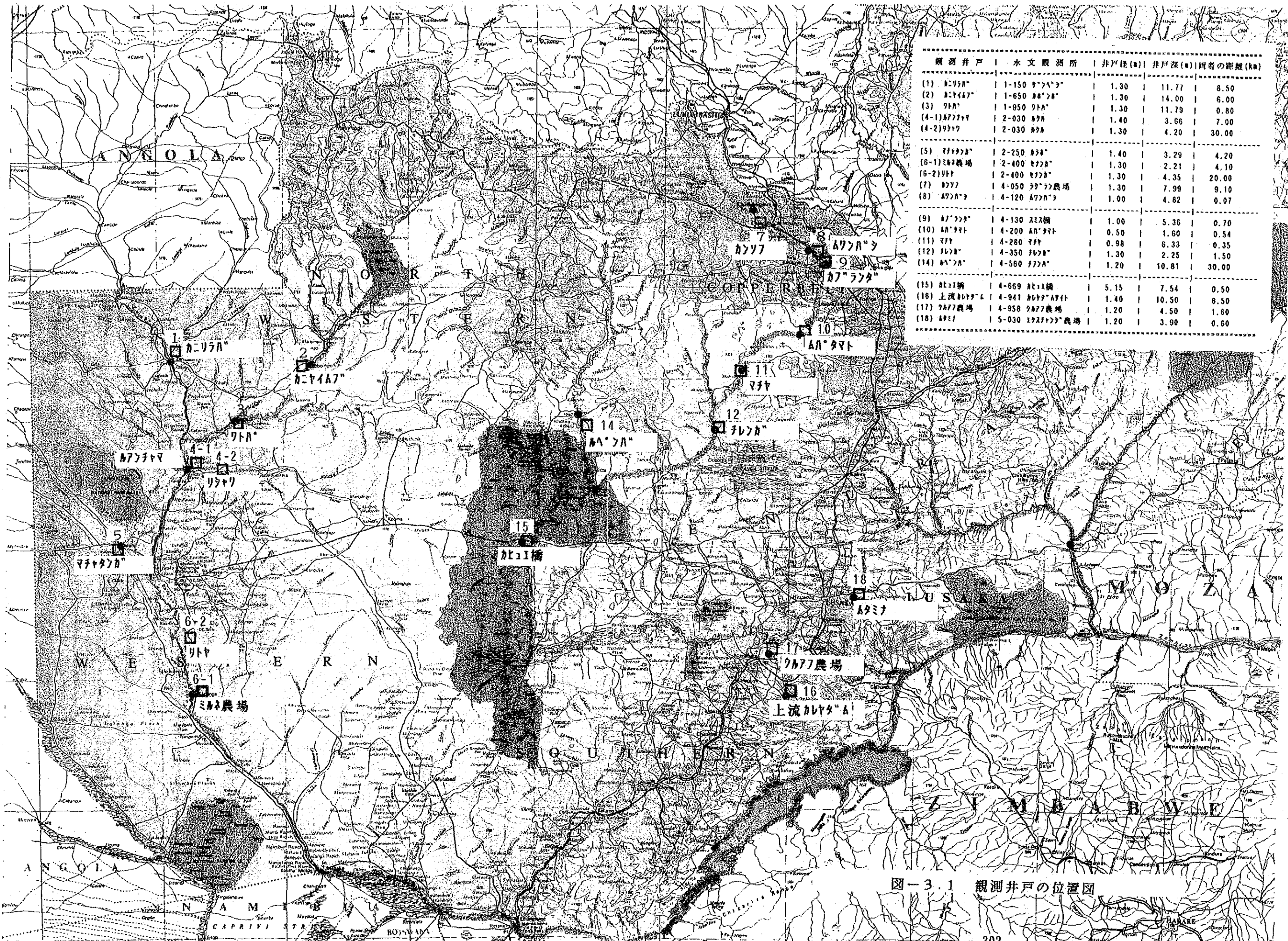
表-3.1 観測井戸

観測井戸	水文観測所	井戸径(m)	井戸深(m)	両者の距離(km)
(1) カニラハ	1-150 サンハツ	1.30	11.77	8.50
(2) カニヤイム	1-650 カホノホ	1.30	14.00	6.00
(3) ワトハ	1-950 ワトハ	1.30	11.79	0.80
(4-1) ルンク	2-030 ルンク	1.40	3.66	7.00
(4-2) リツトワ	2-030 ルンク	1.30	4.20	30.00
(5) マチヤタンカ	2-250 カラホ	1.40	3.29	4.20
(6-1) ミルネ農場	2-400 センカ	1.30	2.21	4.10
(6-2) リトヤ	2-400 センカ	1.30	4.35	20.00
(7) カソフ	4-050 ラクラン農場	1.30	7.99	9.10
(8) ムンハツ	4-120 ムンハツ	1.00	4.82	0.07
(9) カフランタ	4-130 スミス橋	1.00	5.36	0.70
(10) ムンタマ	4-200 ムンタマ	0.50	1.60	0.54
(11) マチヤ	4-280 マチヤ	0.98	6.33	0.35
(12) チレンカ	4-350 チレンカ	1.30	2.25	1.50
(14) ムンハツ	4-560 チレンカ	1.20	10.81	30.00
(15) カヒュイ橋	4-669 カヒュイ橋	5.15	7.54	0.50
(16) 上流カヤタム	4-941 カヤタムサイト	1.40	10.50	6.50
(17) ウルアツ農場	4-958 ウルアツ農場	1.20	4.50	1.60
(18) ムタミナ	5-030 イクスチャンツ農場	1.20	3.90	0.60

#### 3.2 井戸水位の観測

井戸水位の観測は、朝・夕の1日2回、観測井戸周辺に居住する観測員を雇用して実施した。観測時間は、朝：6時、夕方：6時とした。表-3.2に観測日水位を集計して、月河川水位と月井戸水位を示す。





観測井戸	水文観測所	井戸径(m)	井戸深(m)	両者の距離(km)
(1) カニラハ	1-150 ヴトハ	1.30	11.77	8.50
(2) カニヤハ	1-650 カニヤハ	1.30	14.00	6.00
(3) ヴトハ	1-950 ヴトハ	1.30	11.79	0.80
(4-1) ナツチヤ	2-030 ナツ	1.40	3.66	7.00
(4-2) リヤナ	2-030 ナツ	1.30	4.20	30.00
(5) マチヤカ	2-250 ナツ	1.40	3.29	4.20
(6-1) ミナニ農場	2-400 ナツ	1.30	2.21	4.10
(6-2) リトヤ	2-400 ナツ	1.30	4.35	20.00
(7) カツツ	4-050 ナツ農場	1.30	7.99	9.10
(8) アツナ	4-120 アツナ	1.00	4.82	0.07
(9) カツラツ	4-130 アツ橋	1.00	5.36	0.70
(10) アハタマ	4-200 アハタマ	0.50	1.60	0.54
(11) マチヤ	4-280 マチヤ	0.98	6.33	0.35
(12) チレンカ	4-350 チレンカ	1.30	2.25	1.50
(14) マンハ	4-560 マンハ	1.20	10.81	30.00
(15) カヒ橋	4-669 カヒ橋	5.15	7.54	0.50
(16) 上流カヤタ	4-941 上流カヤタ	1.40	10.50	6.50
(17) カツ農場	4-958 カツ農場	1.20	4.50	1.60
(18) アタミ	5-030 アタミ農場	1.20	3.90	0.60

図-3.1 観測井戸の位置図



表一 3. 2 月河川水位および月井戸水位

No.	Stations			JUN'90	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN'91	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	A/AG			
(1)	1-150 Zambezi P/H KANYILABA カニリラハ	River	Mean	2.05	1.43	1.07	0.72	0.58	0.50	1.18	3.07	7.73	6.39	5.56	3.10	1.76	1.17	0.79	0.62	2.36			
			Morning	35.02	34.62	34.03	33.54	33.10	32.69	32.38	32.87	36.17	36.91	36.94	36.39	35.80	35.14	34.46	33.91	34.62	34.62		
			Evening	34.79	34.28	33.62	33.09	32.72	32.23	32.05	32.64	36.04	36.78	36.77	36.19	35.47	34.68	34.04	33.33	34.29	34.29		
(2)	1-650 Katompo Bona KANYAIMBU カニヤイムブ	River	Mean	2.01	1.84	1.75	1.63	1.59	1.54	1.88	2.57	3.21	3.16	2.92	2.20	1.99	1.91	1.84	1.70	2.11			
			Morning	15.56	THERE WAS NO SUFFICIENT PERSON FOR										15.36	15.76	15.74	15.51	15.37	15.21	14.98	14.78	13.83
			Evening	15.56	READING TAPE.										15.30	15.57	15.43	15.36	15.13	14.77	14.53	14.10	13.57
(3)	1-950 Hatopa Pontoon HATOPA PONTOON ワトハ	River	Mean	2.22	2.05	1.94	1.78	1.73	1.68	2.05	3.37	4.66	3.99	3.69	2.53	2.38	2.27	1.95	1.79	2.51			
			Morning	2.24	2.09	1.94	1.74	1.57	1.37	1.21	1.19	1.98	2.33	2.33	2.17	1.95	1.78	1.57	1.37	1.80			
			Evening	2.11	2.09	1.94	1.74	1.57	1.36	1.22	1.20	1.99	2.33	2.32	2.17	1.95	1.77	1.57	1.37	1.79			
(4-1)	2-030 Lukulu LUAKHUMA ルアンチマ	River	Mean	1.48	1.05	0.83	0.62	0.58	0.57	0.99	2.34	4.96	4.48	3.88	2.65	1.61	0.90	0.71	0.53	1.76			
			Morning	27.19	27.11	26.98	26.74	26.66	26.55	26.71	27.88	28.28	28.19	27.94	27.64	27.46	27.36	27.25	27.05	27.31			
			Evening	27.19	27.10	26.97	26.70	26.53	26.36	26.62	27.85	28.23	28.11	27.85	27.50	27.34	27.28	27.16	26.98	27.24			
(4-2)	LISHUMA リシマ	River	Mean	42.08	41.96	41.84	41.63	41.44	41.36	41.48	42.11	42.73	42.56	42.39	42.11	41.99	41.78	41.67	41.42	41.91			
			Morning	41.26	41.15	41.00	40.94	40.76	40.68	41.08	41.79	42.36	42.21	42.10	41.71	41.44	41.40	41.13	41.06	41.38			
			Evening	41.26	41.15	41.00	40.94	40.76	40.68	41.08	41.79	42.36	42.21	42.10	41.71	41.44	41.40	41.13	41.06	41.38			
(5)	2-250 Kalabo MUCHATANGA マチャタンカ	River	Mean	1.91	1.40	1.00	0.77	0.58	0.39	0.39	0.55	1.99	3.04	2.76	2.15	1.70	1.28	0.97	0.69	1.35			
			Morning	13.28	13.27	13.27	13.24	13.17	13.22	13.25	13.51	14.13	14.05	14.09	13.75	13.73	13.95	13.50	13.27	13.54			
			Evening	12.99	13.01	12.95	12.92	12.91	12.87	12.93	13.52	13.93	13.62	13.71	13.22	13.40	12.65	12.95	12.65	13.14			
(6-1)	2-400 Senanga MILNE FARM ミルネ農場	River	Mean	2.51	1.45	1.02	0.76	0.66	0.62	0.94	1.71	3.02	4.17	4.00	3.58	2.24	1.24	0.95	0.74	1.85			
			Morning	23.02	23.01	22.99	22.92	22.85	22.80	23.01	23.09	23.45	23.37	23.29	23.23	23.22	23.21	23.18	23.08	23.11			
			Evening	23.02	23.01	22.98	22.91	22.84	22.79	23.01	23.08	23.44	23.37	23.29	23.23	23.22	23.21	23.18	23.08	23.10			
(6-2)	LITOMA リトマ	River	Mean	36.34	35.35	36.31	36.32	36.33	36.32	36.32	36.32	36.32	36.32	36.31	36.32	36.18	36.21	35.91	36.07	36.31			
			Morning	36.07	36.00	35.90	35.90	35.90	35.92	35.97	35.95	35.97	35.97	35.97	35.97	35.91	35.57	35.79	36.13	35.94			
			Evening	36.07	36.00	35.90	35.90	35.90	35.92	35.97	35.95	35.97	35.97	35.97	35.97	35.91	35.57	35.79	36.13	35.94			
(7)	4-050 Raglan Farm KANSOFU カンソフ	River	Mean	1.33	0.89	0.69	0.51	0.42	0.40	0.55	1.37	3.00	3.24	3.02	2.01	1.27	0.93	0.76	0.56	1.31			
			Morning	41.66	41.55	41.31	41.10	40.84	40.59	40.59	41.40	42.70	42.73	43.50	42.89	42.40	42.16	41.90	41.77	41.82			
			Evening	41.67	41.50	41.25	40.99	40.71	40.40	40.44	41.38	42.70	42.74	43.52	42.89	42.38	42.13	41.92	41.73	41.77			
(8)	4-120 Mambashi MAMBASHI ムンバシ	River	Mean	1.02	0.91	0.86	0.78	0.69	0.67	0.96	2.23	2.66	2.63	2.13	1.36	1.04	0.97	0.96	0.87	1.30			
			Morning	7.15	6.82	6.58	6.38	6.19	6.02	5.97	7.82	8.61	8.45	8.32	7.92	7.61	7.34	7.34	6.76	7.20			
			Evening	7.14	6.81	6.57	6.38	6.18	6.03	5.93	7.83	8.60	8.44	8.31	7.94	7.61	7.34	7.34	6.76	7.20			
(9)	4-130 Smith's Bridge KABALANDA カフランダ	River	Mean	2.76	1.51	1.24	1.04	0.91	0.86	1.27	3.45	4.81	5.01	4.44	3.13	2.15	1.72	1.45	1.15	2.31			
			Morning	10.30	10.22	9.90	9.73	9.42	9.39	9.89	11.35	12.79	12.32	12.07	11.12	10.58	10.35	10.11	10.03	10.60			
			Evening	10.26	10.16	9.86	9.69	9.39	9.39	9.87	11.37	12.77	12.31	12.05	11.10	10.56	10.34	10.07	10.00	10.57			
(10)	4-200 Mpatamato MPATAMATO ムパタマト	River	Mean	1.42	1.02	0.75	0.61	0.53	0.49	1.20	3.62	5.09	4.45	3.74	2.42	1.66	1.26	1.03	0.76	1.88			
			Morning	5.57	5.57	5.57	5.57	5.95	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.60	6.56	6.24	5.55	5.47	6.15			
			Evening	5.53	5.53	5.53	5.53	5.95	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.60	6.50	6.01	5.54	5.41	6.11			
(11)	4-280 Mochiya Ferry MACHIYA FERRY マチヤ	River	Mean	3.08	2.70	2.57	2.42	2.32	2.17	2.53	4.52	6.59	5.89	5.55	3.99	3.20	2.89	2.73	2.55	3.48			
			Morning	2.70	2.40	1.92	1.54	1.48	1.46	1.43	2.68	4.78	4.89	4.87	4.39	3.84	3.27	2.82	2.44	2.93			
			Evening	2.56	2.25	1.74	1.51	1.45	1.46	1.42	2.69	4.77	4.88	4.84	4.36	3.74	3.19	2.74	2.32	2.87			
(12)	4-350 Chilenga CHILENGA チレンガ	River	Mean	2.18	1.63	1.36	1.17	1.03	0.94	1.27	3.37	5.39	5.42	5.19	3.66	2.39	1.86	1.61	1.28	2.48			
			Morning	5.82	5.82	5.22	5.20	4.99	4.74	5.67	6.31	6.55	6.85	6.68	6.33	6.06	5.82	5.61	5.36	5.80			
			Evening	5.79	5.59	5.22	5.17	4.95	4.72	5.66	6.31	6.66	6.85	6.66	6.32	6.04	5.79	5.59	5.34	5.79			
(14)	4-560 Chifumpa Pon. LUPEMBA ルペムバ	River	Mean	0.72	0.62	0.55	0.45	0.40	0.34	0.49	1.30	2.37	1.83	1.43	0.87	0.69	0.60	0.53	0.45	0.85			
			Morning	32.51	32.24	31.48	30.84	30.57	31.04	34.33	35.24	34.95	34.59	33.83	33.11	32.63	32.28	31.79	32.76				
			Evening	32.27	31.79	30.91	30.40	30.39	30.90	34.34	35.22	34.97	34.54	33.78	33.04	32.52	32.02	31.63	32.58				
(15)	4-669 Kafue Hook B. KAFUE HOOK BRIDGE カフユ橋	River	Mean	1.99	1.81	1.72	1.63	1.55	1.49	0.49	0.73	3.02	3.01	2.82	2.34	2.02	1.84	1.77	1.67	1.87			
			Morning	5.27	5.00	4.97	5.02	4.93	5.26	5.98	6.16	6.16	5.92	5.60	5.23	5.24	5.00	4.97	5.38				
			Evening	4.63	4.39	4.31	4.41	4.34	4.77	5.42	5.69	6.52	6.56	6.24	5.87	5.88	5.64	5.61	5.35				
(16)	4-941 Kaleyā D/S UPPER KALEYA DAM 上流カレヤダム	River	Mean	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34	0.34	0.37	0.36	0.31	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.35			
			Morning	73.99	73.35	72.58	72.33	71.69	71.65	71.48	72.47	72.75	72.71	72.34	71.43	70.85	70.35	70.02	69.76	71.86			
			Evening	73.93	73.26	72.49	72.01	71.34	71.33	71.21	72.12	72.45	72.40	72.10	71.20	70.56	70.10	69.81	69.40	71.61			
(17)	4-958 Uruaff Farm URUAFF FARM ウルアフ農場	River	Mean	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			
			Morning	8.18	7.89	7.39	6.87	6.74	6.67	5.96	6.73	7.03	7.05	6.96	6.93	6.94	7.02	6.36	6.20	6.93			
			Evening	8.16	7.88	7.34	6.87	6.80	6.79	6.18	6.74	7.17	7.13	7.18	7.19	7.18	7.19	6.35	6.20	7.02			
(18)	5-030 Exchange Farm MUTAMINA ムタミナ	River	Mean	0.09	0.07	0.06	0.02	0.07	0.00	0.05	0.45	0.40	0.26	0.18	0.11	0.09	0.09	0.09	0.05	0.13			
			Morning	1.81	1.80	1.78	1.82	1.71	1.68	1.63	2.01	2.36	1.97	2.01	1.89	1.72	1.83	1.77	1.73	1.65			
			Evening	1.73	1.75	1.78	1.80	1.70	1.66	1.62	2.02	2.37	1.96	2.02	1.89	1.72	1.83	1.77	1.73	1.83			

水位： 各水文観測所のゼロ点高からの水位

### 3.3 観測水位の解析

各観測井戸の水位変化傾向を整理すると表-3.3に示すようになる。河川水位と対応した観測井戸の水位変化傾向については次のように分類・整理できる。図-3.2参照。観測井戸の代表的な水位変化傾向を図-3.3に示す。

1) Aタイプ（連動型）

河川水位の昇降に連動して概ね同時に地下水位が昇降する。河川と井戸との距離・比高が小さく、地盤の透水性の高い箇所と考えられる。この傾向が見られる観測井戸はN0.9(フツハ<sup>o</sup>)とN0.12(フツカ<sup>o</sup>)の2ヶ所である。

2) Bタイプ（追従形）

河川水位の昇降に対して地下水位が遅れて追従する。河川水位の上昇につれ徐々に地下水位が高くなる。また、河川水位の下降につれ徐々に地下水位が低くなる。最高水位、最低水位が月遅れになるものが多い。この傾向を示す観測井戸が7箇所と最も多く、N0.1(カリア<sup>o</sup>)、2(カヤイ<sup>o</sup>)、3(ワハ<sup>o</sup>)、7(カソ<sup>o</sup>)、8(カソ<sup>o</sup>)、11(マヤ<sup>o</sup>)、18(カミ<sup>o</sup>)がこれに該当する。

3) Cタイプ（先行形）

河川水位の昇降に先行して地下水位が昇降する。河川水位の昇降より早く、地下水位が昇降する。井戸周辺流域での降雨等の影響により地下水が上昇し、河川水位の昇降が遅れて追従する。観測井戸ではN0.5(マヤ<sup>o</sup>)、15(カヒ<sup>o</sup>)がこれに該当する。

4) D1タイプ（A/B混合型）

河川水位の高水位期には連動型を示し、河川水位の低水位期には追従型を示す。河川水位の下降に対して地下水位の低下が遅く、地下水が下がり難い。このタイプ観測井戸はN0.4-2(カマ<sup>o</sup>)とN0.14(フツハ<sup>o</sup>)の2ヶ所で、いずれも河川と井戸が離れ、井戸が高い所に位置している。高水位期の連動は、流域降雨による地下水の上昇と河川水位の上昇時期が一致することによるものと考えられる。低水位期には、井戸水位が河川の水位低下程には急激に低下し難く保水されていることを示している。

5) D2タイプ（B/C混合型）

河川水位の高水位期には先行型を示し、河川水位の低水位期には追従型を示す。山地部での降雨等の影響により地下水が河川水位より早く上昇し、河川水位の下降に対して地下水位の低下が遅く、地下水が下がり難い。観測井戸ではN0.4-1(カマ<sup>o</sup>)とN0.6-1(カマ<sup>o</sup>)の2ヶ所がこれに該当する。

6) Eタイプ（不規則型）

不規則E1タイプ（安定水位・一時下降型）は、N0.6-2(カマ<sup>o</sup>)で認められる。地下水位が変動し難い個所である可能性がある。不規則E2タイプ（全体低下・一時上昇型）は、N0.16(上流カマ<sup>o</sup>)とN0.17(カマ<sup>o</sup>)で認められ、全体的に地下水位の低下傾向がある。1991年の降雨が少なかったことが影響していると考えられる。不規則E3タイプ（冠水型）はN0.10(カマ<sup>o</sup>)で、雨期に井戸が冠水している。

このように、地形・地質に応じて水位変動タイプは異なるものの、河川周辺の地下水は河川水位と密接に関係していると言える。また、どの観測井戸に於いても井戸水位が河川水位より高いことから、降雨によってかん養された地下水が河川に向かって流出していることが分かる。このことから分かるように、開発規模によっては、地下水開発は有望な水資源開発手段の一つとなり得ると考えられる。今後、地下水開発の計画立案に当たっては、詳細かつ広範囲の調査が必要である。

表-3.3 観測井戸の水位変動

観測井戸	距離*1 (km)	比高*2 (m)	井戸周辺の地質	水位変動タイプ	最高水位月	最低水位月	井戸水位差 (m)
(1) カニラハ"	8.50	28	かり層群砂層	B	3月	12月	4.5
(2) カニヤイム"	6.00	21		B	3月	-	-
(3) ヲト"	0.80	2	氾濫堆積物	B	3月	1月	1.1
(4-1) ムアツチヤ"	7.00	17	かり層群砂層	D 2	2月	11月	1.7
(4-2) リツヤ"	30.00	32		D 1	2月	11月	1.4
(5) マチヤタンカ"	4.20	11		C	2月	11月	0.9
(6-1) ミル農場	4.10	14		D 2	2月	11月	0.65
(6-2) リトヤ"	20.00	28		E 1	-	7月	0.4?
(7) カソツ"	9.10	41	沖積層	B	4月	11月	2.6
(8) ムツノハ"	0.07	4		B	2月	12月	2.7
(9) カフ"ラウタ"	0.70	4		A	2月	12月	3.4
(10) ムノ"タマト"	0.54	1.5		E 3	-	8月	1.1?
(11) マチヤ"	0.35	4		B	3月	12月	3.5
(12) チレンカ"	1.50	0		A	3月	12月	2.1
(14) ムノ"ハ"	30.00	32	カフ"ルツカ"層群、頁岩、砂岩風化層	D 1	2月	11月	4.6
(15) カヒ"橋	0.50	2.6	上部沖積層砂層	C	3月	11月	1.2
(16) 上流カヒ"タ"ム"	6.50	183	沖積層	E 2	2月	12月	4 ?
(17) ムルツ"農場	1.60	3.5	カフ"カフ"カ"石灰質珪質岩	E 2	3月	12月	2 ?
(18) ムタミ"	0.60	1.9	沖積層	B	2月	12月	0.8

【説明】 \*1: 水文観測所と観測井戸の距離、\*2: 水文観測所の"ノ"マークから高さ

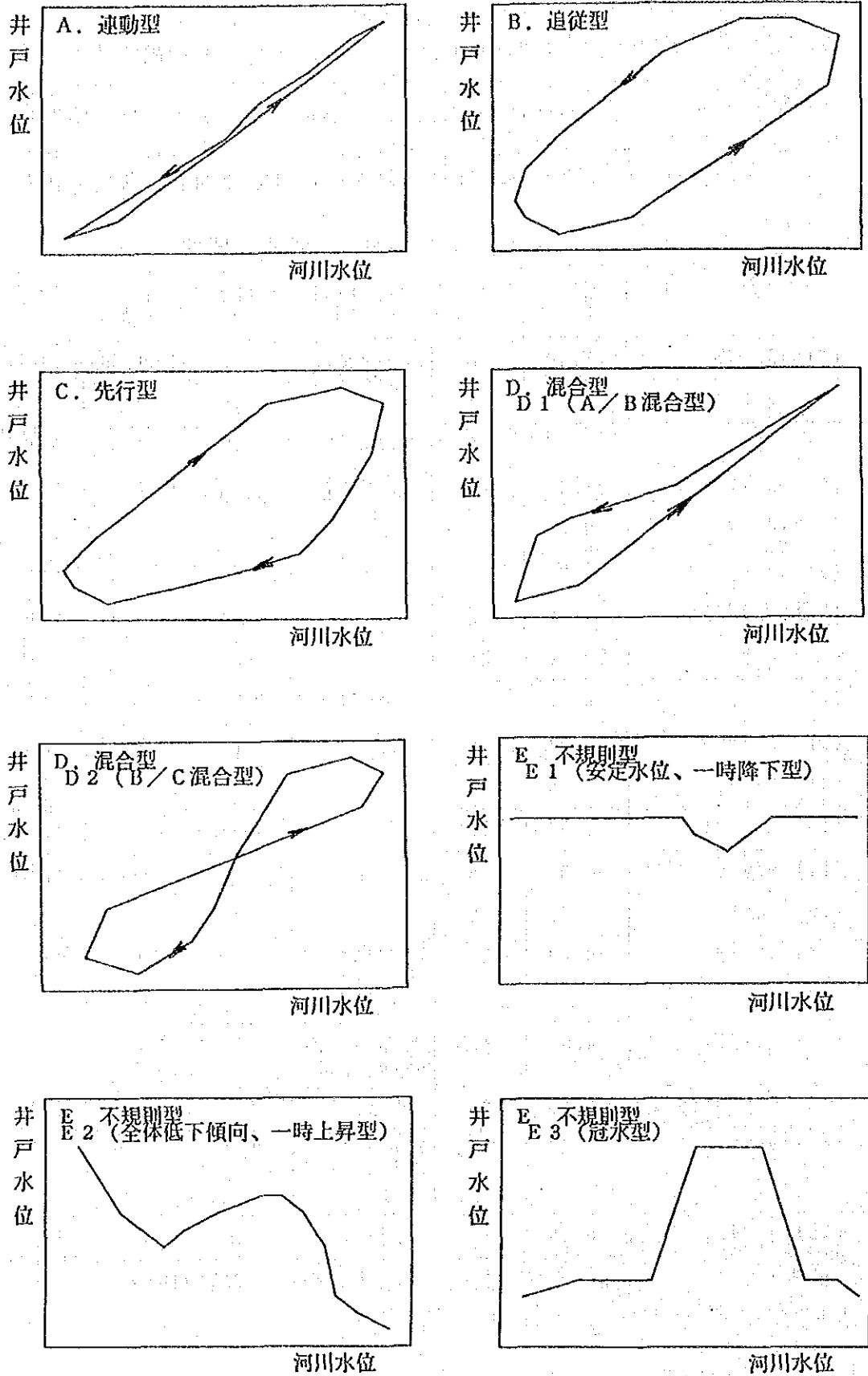
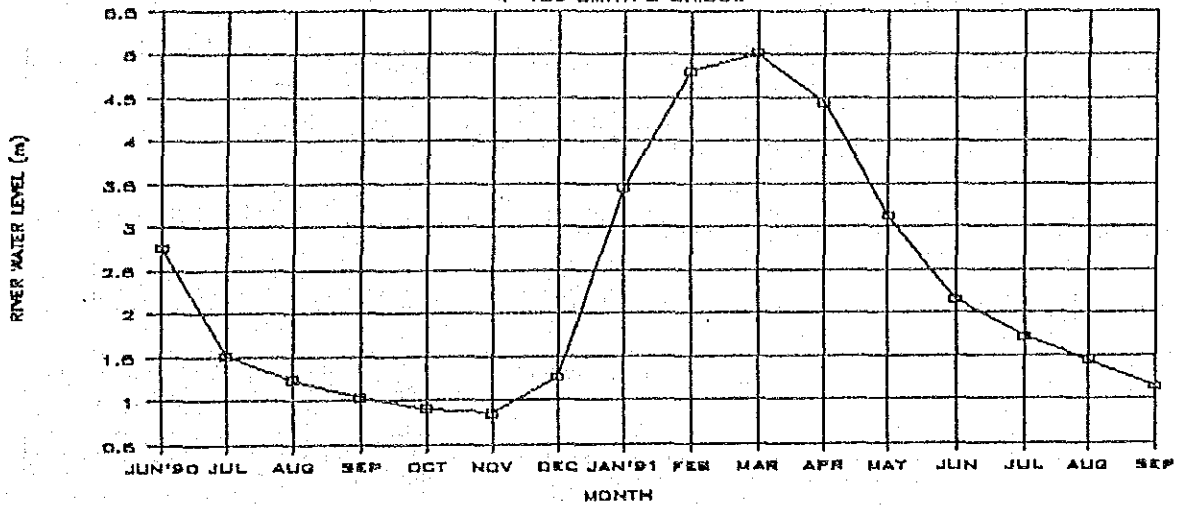


図-3.2 河川水位と井戸水位の関係図

<河川月平均水位>

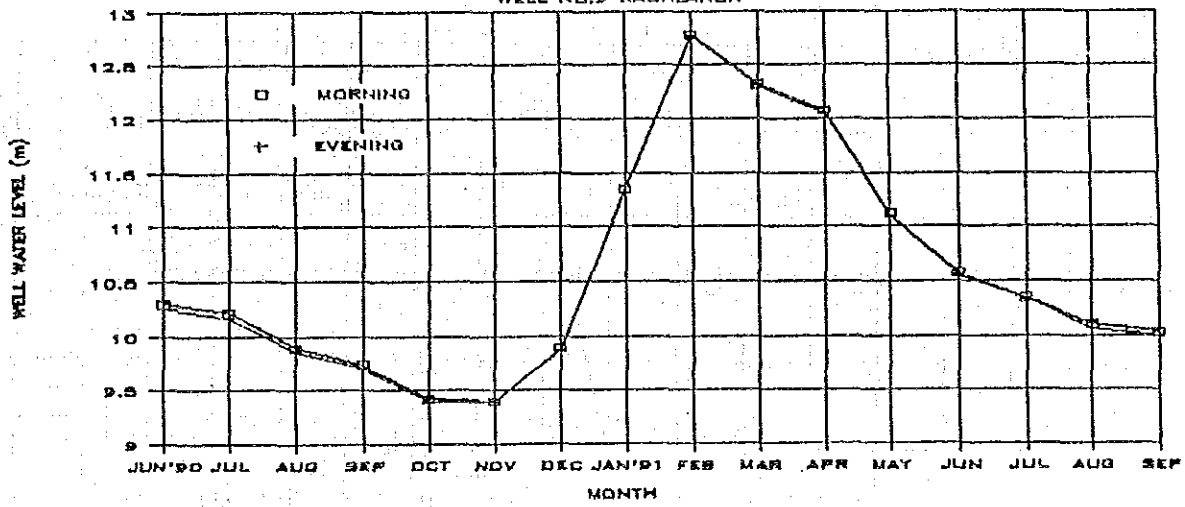
4-130 SMITH'S BRIDGE

(N0.(9) 加7"ラ)々)



<井戸月平均水位>

WELL NO.9 KAMALANDA



<河川水位と井戸水位の相関>

4-130 - WELL NO.9

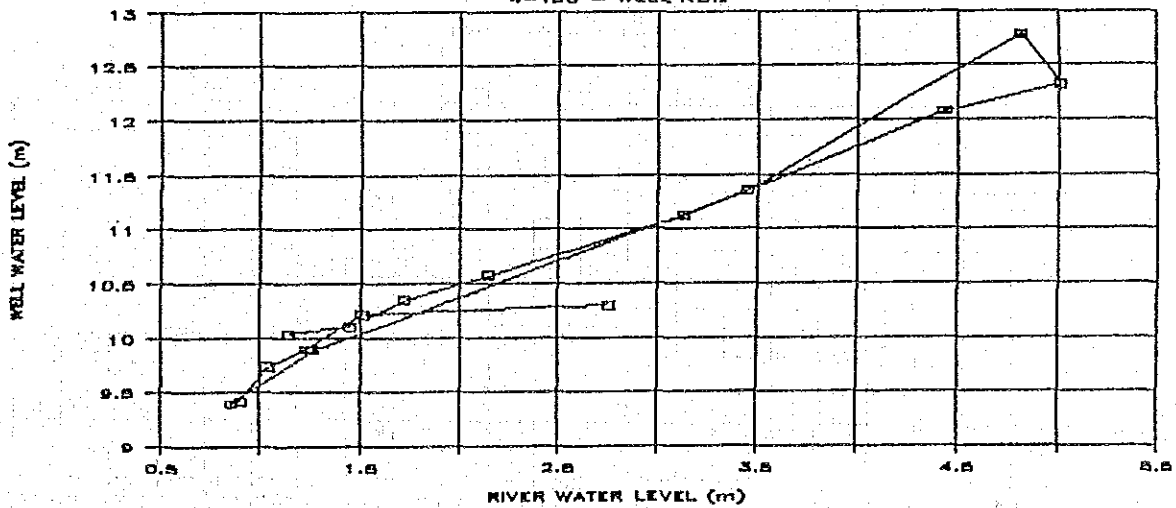
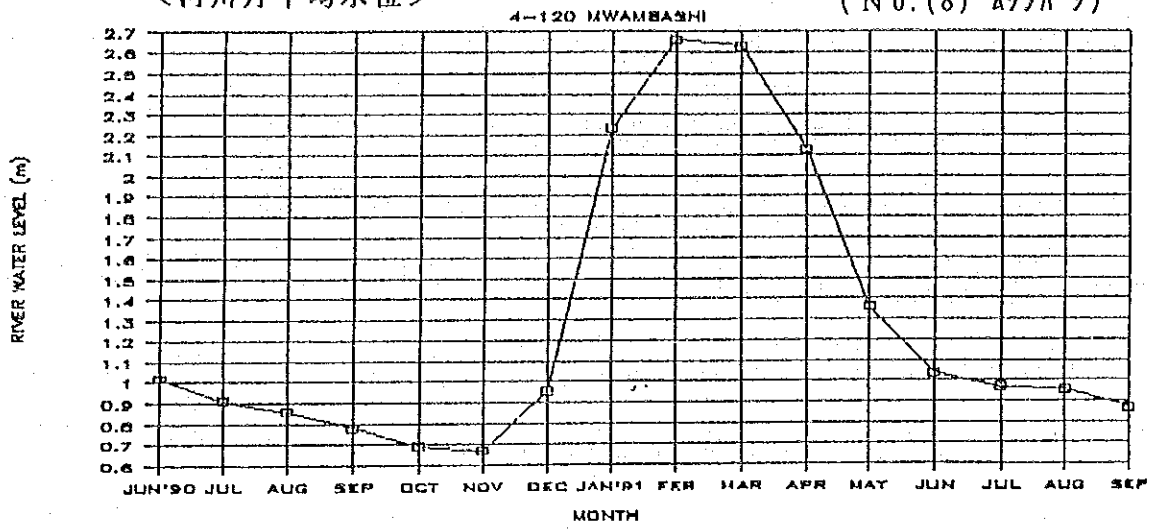


図-3.3(1) 河川と井戸の水位変動(A.連動型)

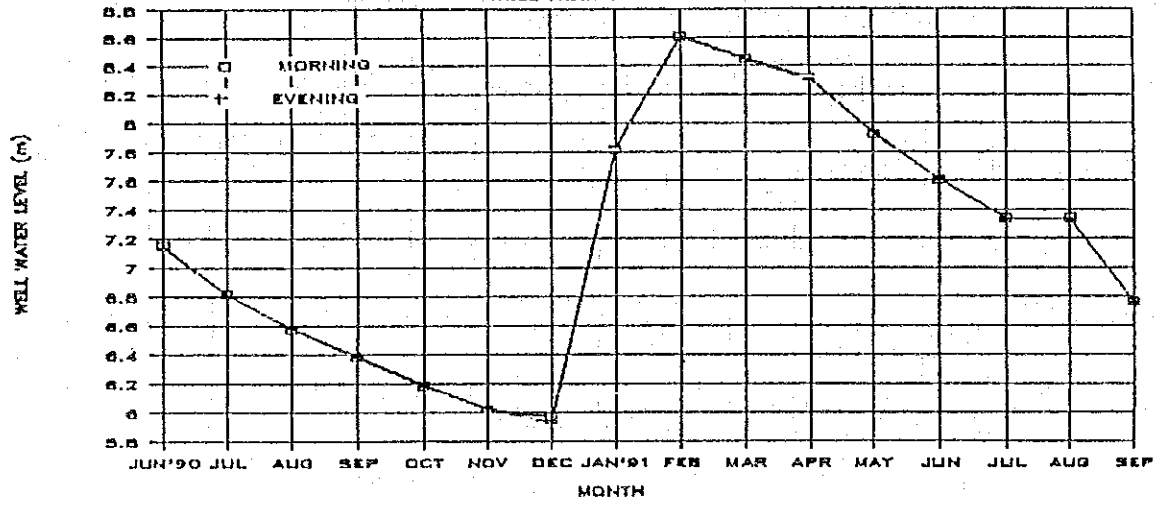
<河川月平均水位>

( N O. ( 8 ) 477A" )



<井戸月平均水位>

WELL NO.8 MWAMBASHI



<河川水位と井戸水位の相関>

4-120 - WELL NO.8

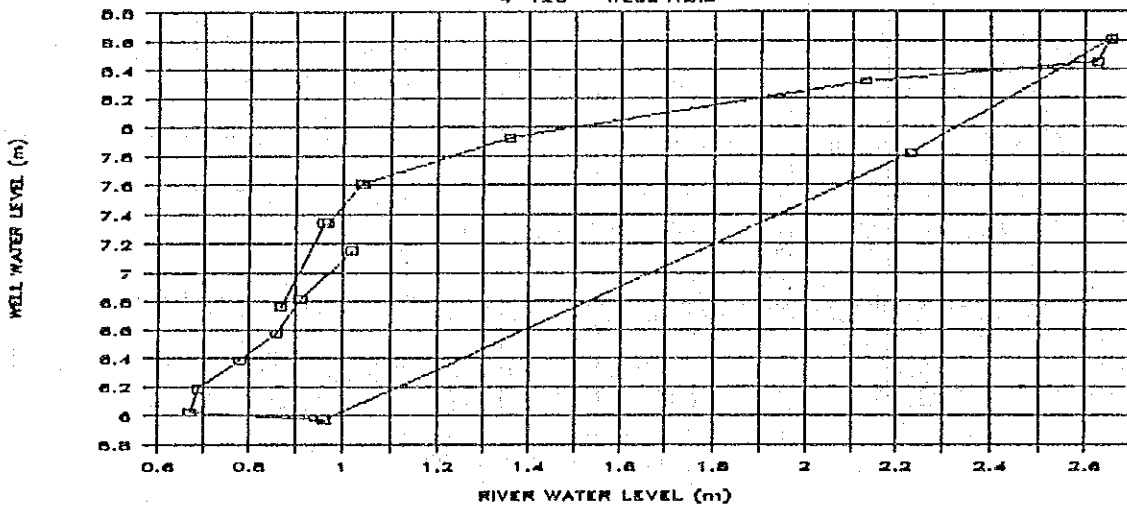
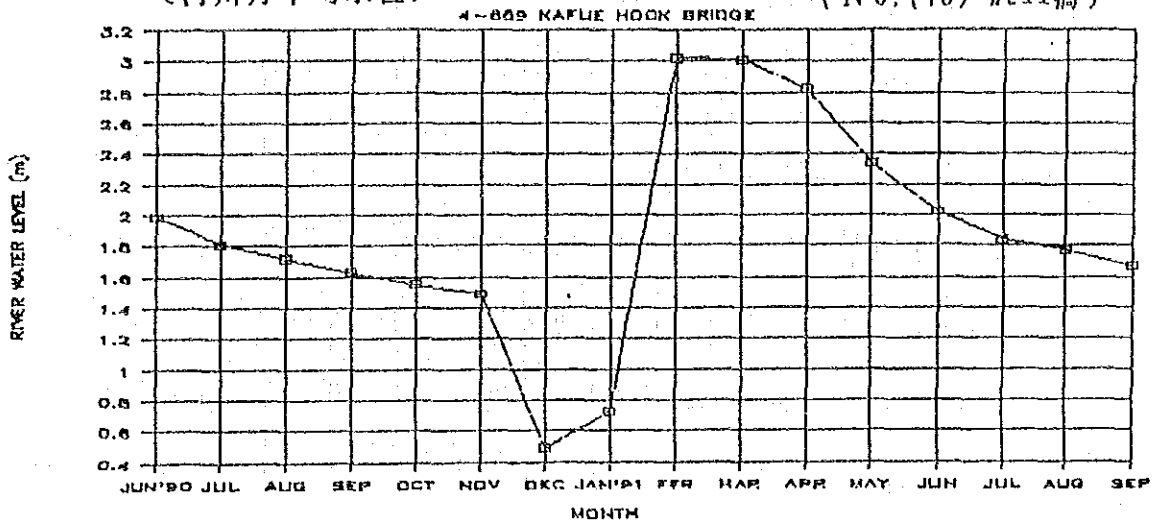


図-3.3 (2) 河川と井戸の水位変動 (B. 追従型)



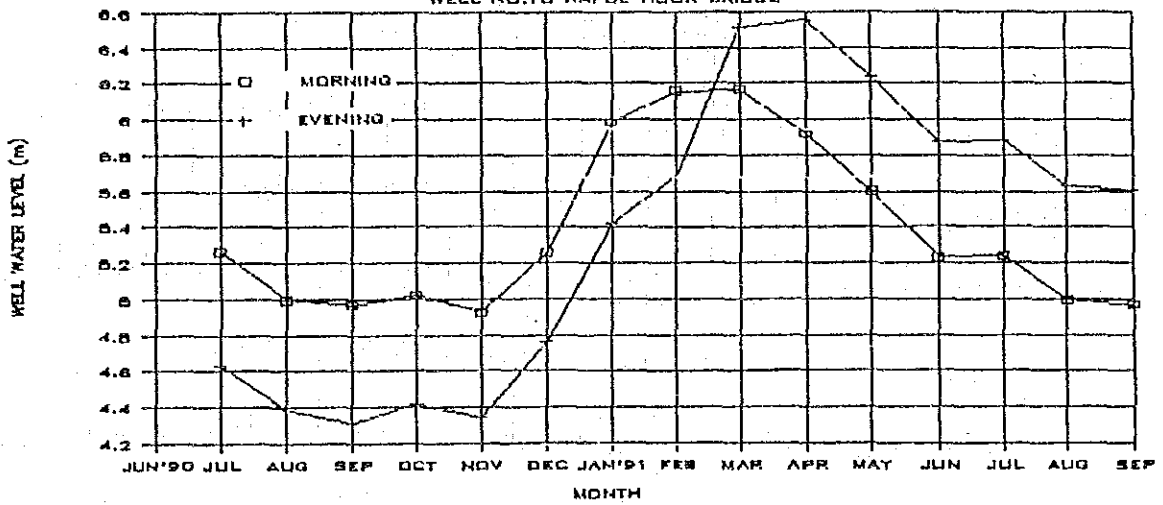
<河川月平均水位>

(NO. (15) 比叺橋)



<井戸月平均水位>

WELL NO.16 KAFUE HOOK BRIDGE



<河川水位と井戸水位の相関>

4-669 - WELL NO.16

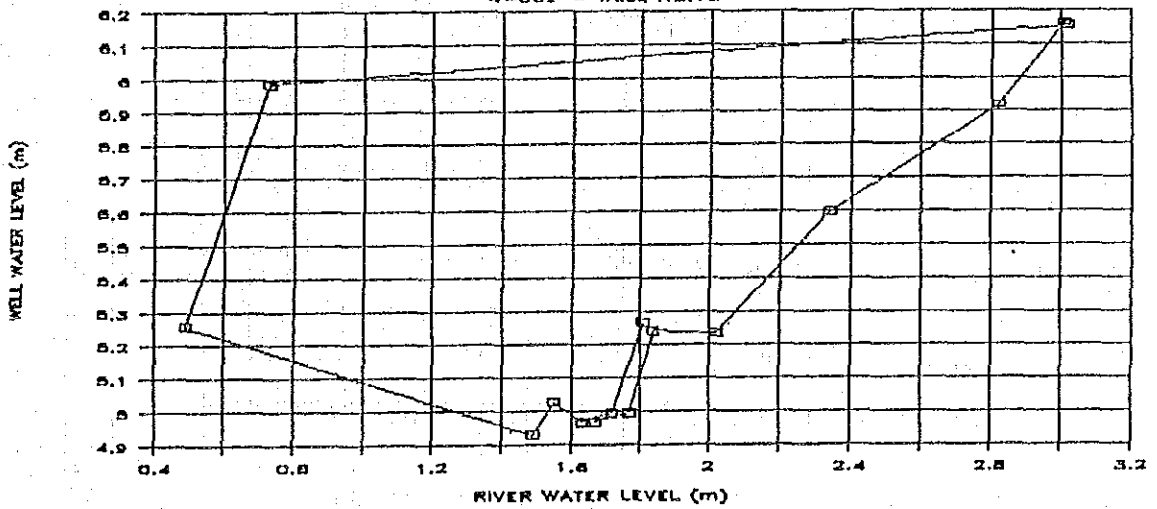
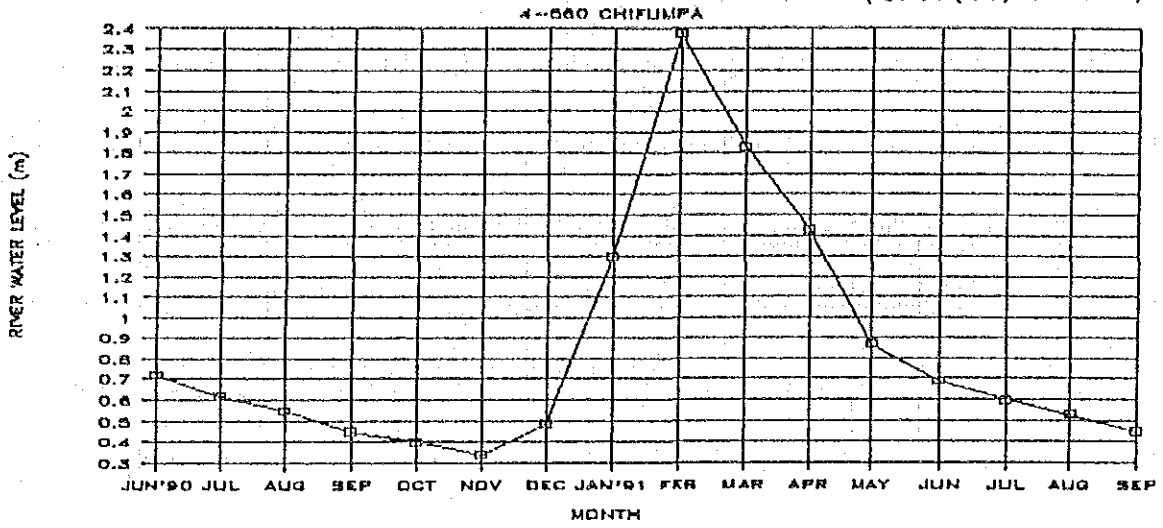


図-3.3 (3) 河川と井戸の水位変動 (C. 先行型)

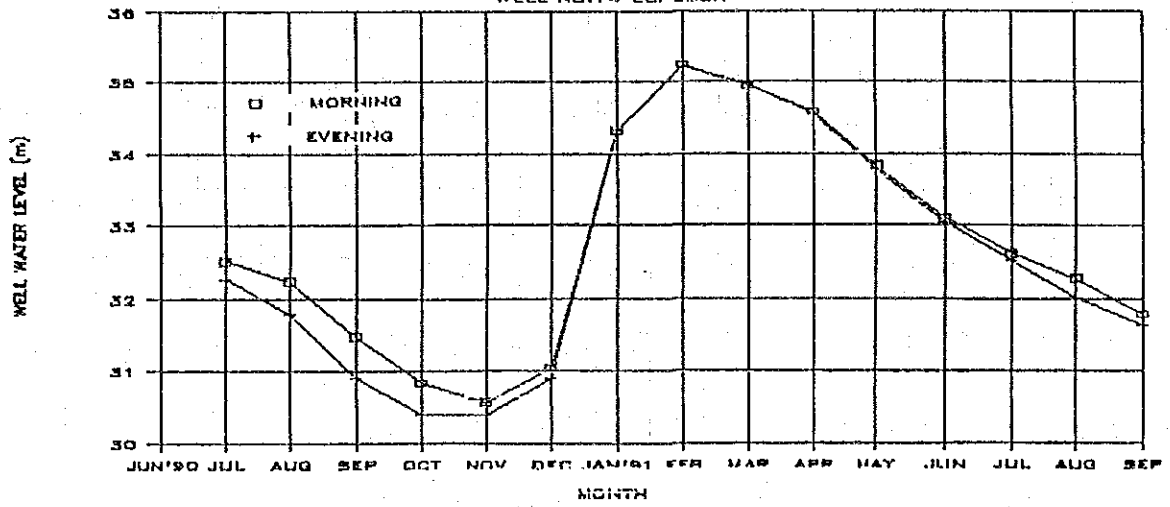
<河川月平均水位>

(NO. (14) MA' 11")



<井戸月平均水位>

WELL NO.14 LUPEMBA



<河川水位と井戸水位の相関>

4-560 - WELL NO.14

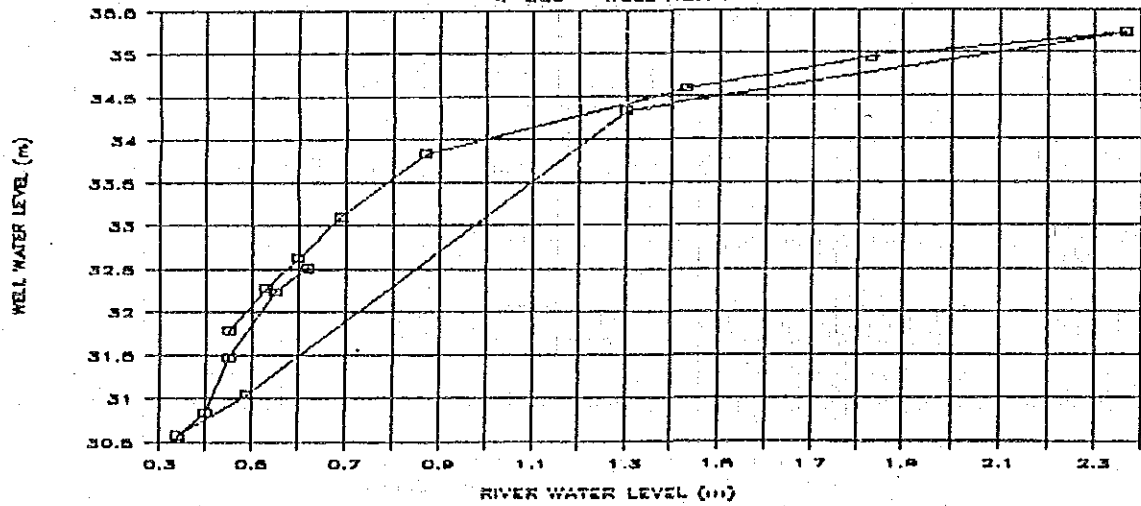
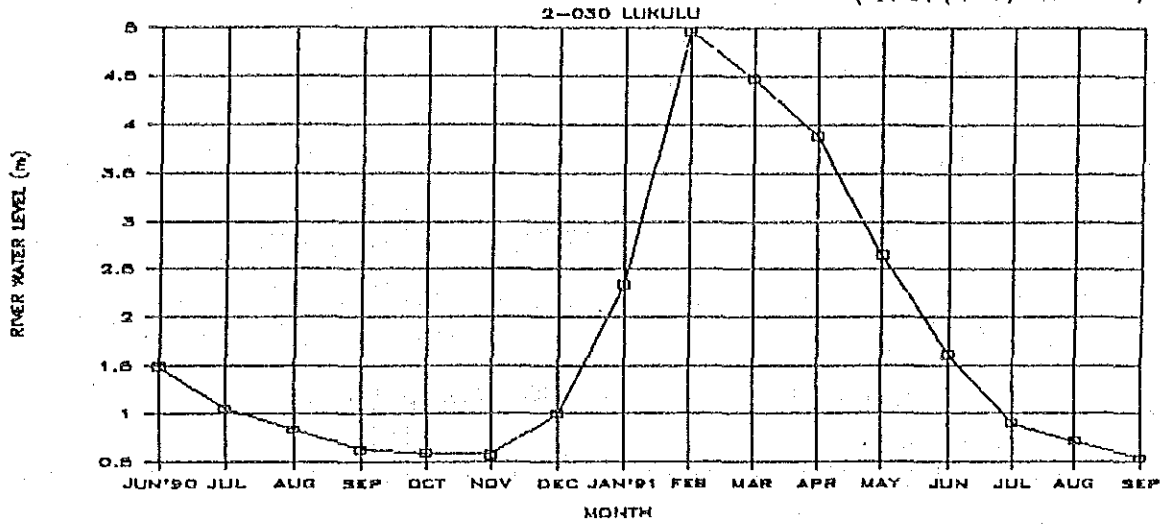


図-3.3(4) 河川と井戸の水位変動(D1.A/B混合型)

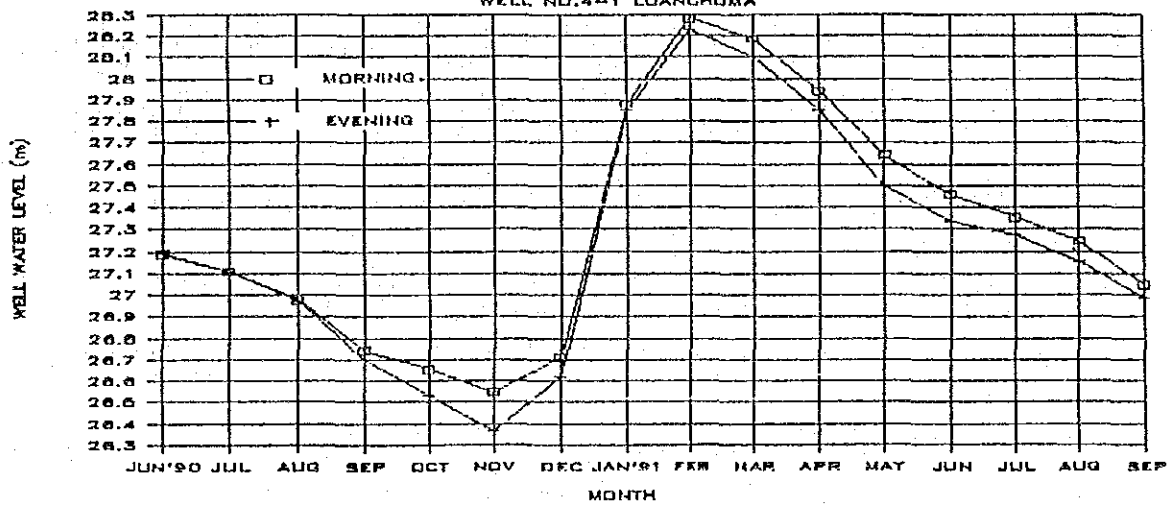
<河川月平均水位>

(N0.(4-1) 井戸)



<井戸月平均水位>

WELL NO.4-1 LUANGHUMA



<河川水位と井戸水位の相関>

2-030 - WELL NO.4-1

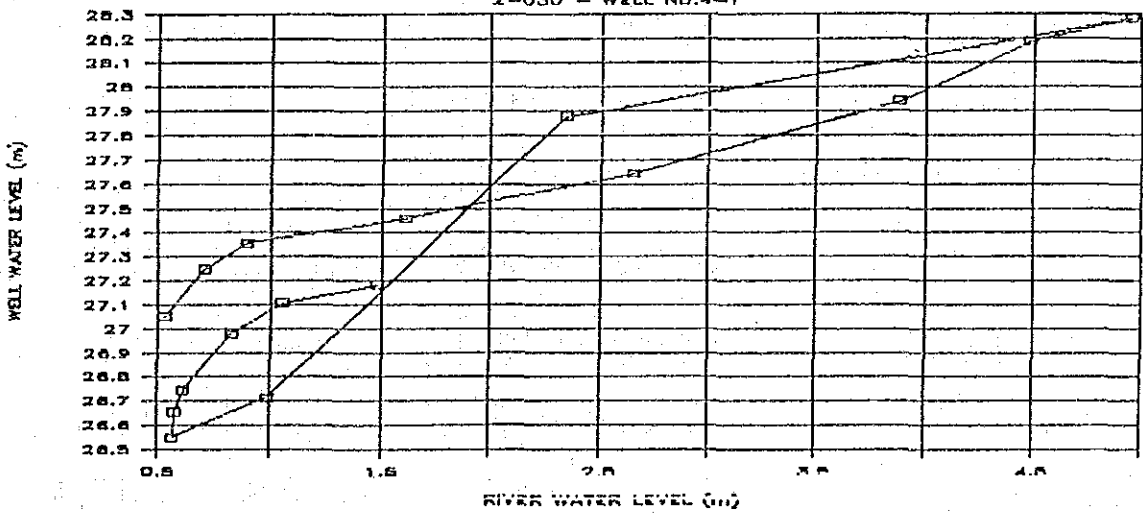


図-3.3 (5) 河川と井戸の水位変動 (D2.B/C混合型)

## 第4章 水質調査

### 4.1 採水

#### (1) 採水時期

調査域の河川水の水質を一般的に把握するため、下に示すような3期間にわたって水質調査を実施した。第一回調査は本調査の最初に提案されたものであるが、ザンビア側の希望に答えて、第二回および第三回の調査が実施された。第一回および第三回の調査は乾期の水質を、第二回の調査は雨期の水質を調べたものである。

- 1) 第一回水質調査 (1990年6月から1990年7月)
- 2) 第二回水質調査 (1990年12月から1991年2月)
- 3) 第三回水質調査 (1991年8月から1991年9月)

#### (2) 採水地点

採水地点はカフエ川流域 (56地点) に集中しているが、ザンベジ川本川流域 (8地点) およびルアングワ川流域 (2地点) にも分布している。合計採水箇所は66地点となっている。13カ所の水文観測所が含まれている。図-4.1 に採水地点を示す。

### 4.2 水質分析

#### (1) 水質分析項目

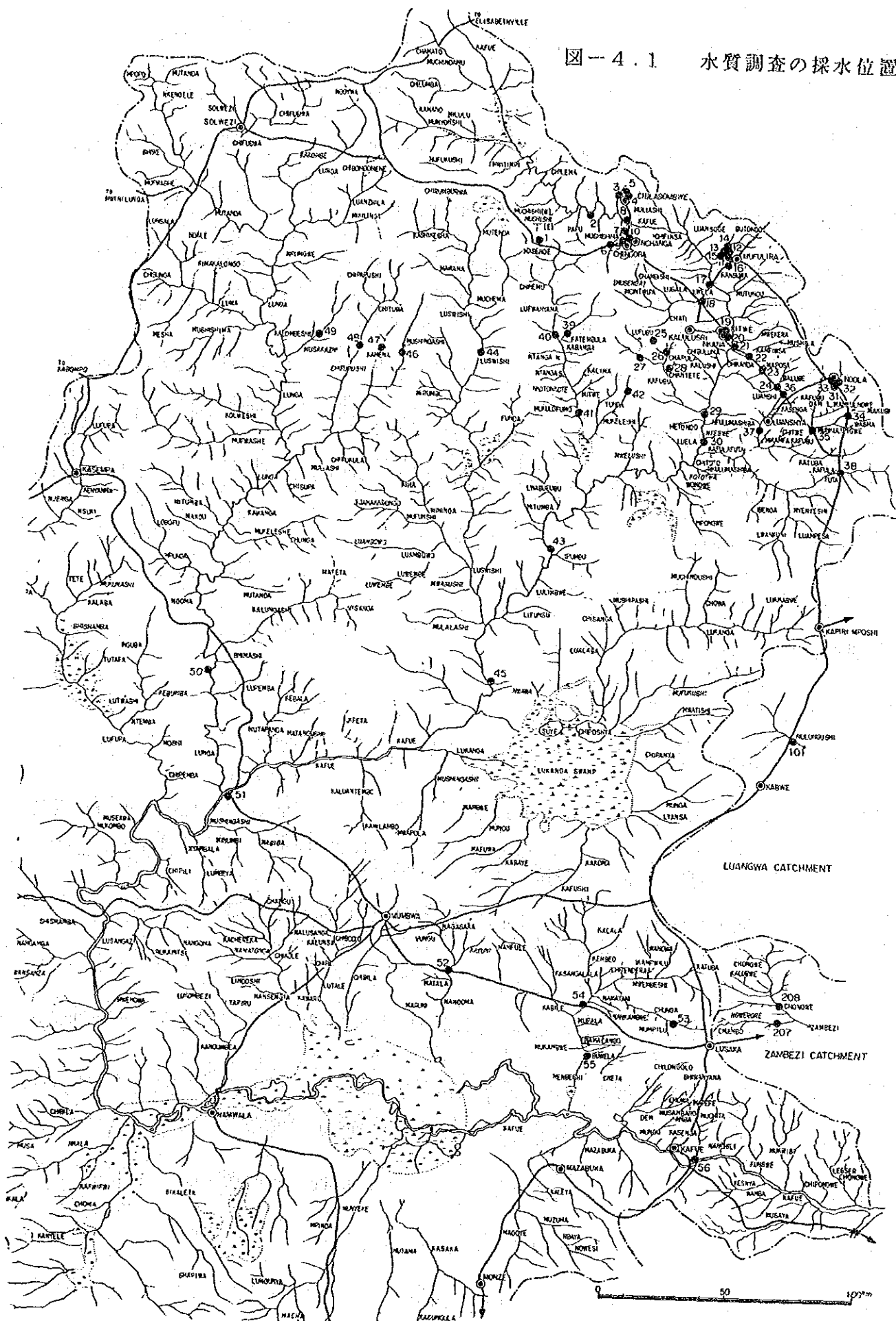
表-4.1 に示すような一般項目および特殊項目についての水質が調べられた。一般項目については、3回の各調査で調べられたが、特殊項目についての水質調査は第一回だけである。

表-4.1 水質分析項目

区分	調査項目	単位	第一回	第二回	第三回
一般項目	1) 水温 (Temp)	°C	○	○	○
	2) 濁度 (Turb)	mg/lit	○	○	○
	3) pH (pH)	-	○	○	○
	4) 電気伝導度 (EC)	m $\mu$ /cm	○	○	○
	5) 溶存酸素 (DO)	mg/lit	○	○	○
	6) 塩素イオン (Cl <sup>-</sup> )	mg/lit	○	○	○
	7) 銅イオン (Cu <sup>2+</sup> )	mg/lit	○	○	○
	8) マンガンイオン (Mn <sup>2+</sup> )	mg/lit	×	○	○
特殊項目	1) 全鉄 (Fe)	mg/lit	○	×	×
	2) 全銅 (Cu)	mg/lit	○	×	×
	3) 全マンガン (Mn)	mg/lit	○	×	×
	4) ヒ素 (As)	mg/lit	○	×	×
	5) カドミウム (Cd)	mg/lit	○	×	×
	6) 鉛 (Pb)	mg/lit	○	×	×

[凡例] ○: 実施 ×: 未実施

図-4.1 水質調査の採水位置図



## (2) 分析方法

### <一般項目>

一般項目として、温度、濁度、pH、導電率および溶存酸素について、ウォーターテック（日本製）を用い、採水地点で採水するとともに現場において測定した。さらに、水質の変化を知るため試験室において採水を再測定した。また、採水試料については、イオン計（定量限界：0.15mg/lit.、日本製）によって塩素イオンおよび銅イオンの分析を行なった。第二回以降の調査では、フォトメーター（定量限界：0.1mg/lit.、独製）を用い銅イオンおよびマンガンイオンを分析した。第二回以降の塩素イオンの調査は、適定法（定量限界：0.1mg/lit）を用いている。

### <特殊項目>

特殊項目として、全鉄、全銅、全マンガンおよびヒ素、カドミウム、鉛について、簡易検出管（定量限界：[全鉄,全銅,全マンガン]およびヒ素] 0.5mg/lit, [カドミウム] 0.1mg/lit、日本製）を用い、採水試料の分析を行なった。これらの成分は、採水後、水酸化物等の難溶性塩類に変化することおよび溶遊性物質に含まれていることを考慮して、塩酸を用いて採水資料を酸性化したあと分析する方法を採用した。

## (3) 水質分析の結果

分析結果の要約を表-4.2（一般項目）および表-4.3（特殊項目）に示す。分析結果の要点は次の通りである。

- 1) 66個の室内試験を含めて、279個のサンプルを分析した。
- 2) コッパーベルト地域の河川への主な汚染源（有機質および無機質）は、鉱山活動およびそれに関連した活動によって生じている。この地域のいくつかの地点ではこれらの汚染源によって汚染されている。
- 3) 水質試験結果から判断すれば、カヒュエ川の上流域で生じた河川の水質汚染はカヒュエ川の中流部および下流部までは影響していない。これはカヒュエ川の持つ自浄作用によるものと思われる。
- 4) ルサカ周辺の都市排水の影響を受ける支川では、有機性汚染が進み停滞水域では水草や藻類が繁茂し、富栄養化の傾向が見られる。
- 5) ザンベジ本川およびルアングワ本川の水質は良好である。
- 6) 一般的に、濁度は乾期より雨期のほうが高い値を示す。また、塩素イオンについては、逆に、乾期より雨期のほうが低い値を示す。
- 7) 銅およびマンガン等のイオンは、コッパーベルト地域の鉱山排水およびその影響を受ける河川で検出されているが、カヒュエ川の中・下流部では認められない。

表-4.2 水質分析結果 (一般項目)

調査項目	区分	第一回	第二回	第三回	合計
濁度 (Turb) mg/lit	資料数	109	98	60	267
	最高値	257	399	330	399
	最小値	2	2	1	1
	平均値	12	44	24	26
pH (pH)	資料数	120	97	59	276
	最高値	8.6	9.5	8.6	9.5
	最小値	5.9	5.4	6.2	5.4
	平均値	7.5	7.9	8.0	7.7
電気伝導度 (EC) m $\mu$ /cm	資料数	110	97	60	267
	最高値	1.9	2.9	2.0	2.9
	最小値	0.1	0.2	0.2	0.1
	平均値	0.9	1.0	0.8	0.9
溶存酸素 (DO) mg/lit	資料数	111	96	42	249
	最高値	12.3	18.0	10.7	18.0
	最小値	0.7	0.1	0.5	0.1
	平均値	7.4	5.2	6.6	6.4
塩素イオン (Cl <sup>-</sup> ) mg/lit	資料数	41	93	6	140
	最高値	53.6	18.0	3.0	53.6
	最小値	0.6	0.0	0.6	0.0
	平均値	6.4	1.0	2.4	2.7
銅イオン (Cu <sup>2+</sup> ) mg/lit	資料数	42	93	60	195
	最高値	6.3	51.0	38.0	28.0
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.0
	平均値	0.3	0.8	2.4	0.4
マンガンイオン (Mn <sup>2+</sup> ) mg/lit	資料数	-	93	59	152
	最高値	-	28.0	27.0	28.0
	最小値	-	0.0	0.0	0.0
	平均値	-	0.3	0.5	0.4

表-4.3 水質分析結果 (特殊項目)

採水地点 (カヒユエ川)	全鉄 (mg/lit)	全銅 (mg/lit)	全マンガン (mg/lit)	ヒ素 (mg/lit)	カドミウム-A (mg/lit)	鉛 (mg/lit)
2 観測所(ワカヲ農場)	-	ND	ND	-	-	ND
7 鉦山排水(ヲコラ)	5	45	31	5	ND	2
	10	53	32	7	ND	2
8 ヲヲホ"47"クイ橋	0.3	1.0	0.4	ND	ND	Tr
	0.4	1.0	0.6	Tr	ND	Tr
17 カヲイノク"	Tr	Tr	ND	ND	ND	ND
21 ミニヲイセンク橋	Tr	Tr	ND	ND	ND	ND

[説明] Tr: ごく微量、ND: 検出されず

#### 4.3 分析結果の考察

##### (1) カヒュエ川の水質

###### <主な汚染源>

カヒュエ川上流域のコッパーベルト州には、相当規模の銅鉱石の採掘場、堆積場、精錬所等の工場、事業所および関連事業所が広範囲に分布し、ンドラ、キトウェ、チンゴラ、チリランプウェ、ルアンシャ等の都市が形成されている。これらの事業所や都市から排水がカヒュエ川に流入している。主要汚染源とみられる鉱業排水は主として無機質である。特に、チリランプウェ橋付近でカヒュエ本川に流入する支川は、地点7の試料の分析結果が示すように、雨期乾期を問わず、チンゴラからの鉱業排水によって相当程度汚染されている。地点7の試料には、多量の銅およびマンガンを含むほか鉄、有害物質であるヒ素や鉛が検出された。この支川の流入するカヒュエ本川のチリランプウェ橋（地点8）では、地点7での成分が検出された。

###### <河川の自浄作用>

コッパーベルトの北部地域には上述の汚染河川以外にも鉱業活動に伴う排水による汚染負荷があるが、カヒュエ川本川の水質分析結果をみる限り、汚染の影響は流下とともに軽減されており、カヒュエ川中流部まで影響は及んでいないものと推定される。一般的に鉱山排水には多量の浮遊物質や金属成分等を含み、排水の酸性化によって溶存する金属成分の量が多いという特徴が見られる。しかし、今回の分析結果から判断すれば、可溶性の金属成分は水酸化物等に変化して不溶性化し、共存する浮遊物質と共に流下に伴って川底に沈澱・堆積しているものと思われる。また、カヒュエ川に流入する支川には、電気伝導度および塩素イオン濃度の試験結果から見て、水質の良好なものが少なくない。これら良好水質の流入によって、カヒュエ本川の水質が下流に行くにつれて改善されているものと考えられる。

###### <有機汚染>

有機汚染の程度を調べるため、溶存酸素濃度とその変化を測定した。測定結果から見ると、キトウェやンドラ等の市街地の中小河川（地点19,32）では溶存酸素が欠乏し悪臭を放っている所があるものの、一般的には、カヒュエ本川上流部の有機汚染の程度は特に問題にする程度ではないと判断される。カヒュエ川に流入する一部支川では、年間を通じて比較的水温が高い状態にあるため水草等が繁茂し、植物の炭酸同化作用によって溶存酸素やpHが上昇している例が見られる。特に、ンドラダムでは水草や藻類の繁茂が活発で水は停滞している。これらの現象から判断して富栄養化が顕著であるように思える。

###### <対策およびモニタリング>

現状では上述したような河川の自浄作用が期待できるが、排水中の金属成分は分解する事なく長期にわたって川底に堆積し、この堆積が進めば、将来的にはこれが汚染源となり得る。将来的な河川の水利用（とりわけ飲料水）を考えた場合、鉱業排水には厳しい基準（表-4.4参照）が設定されて成分が多く含まれているだけに、今後は、河川水質の監視とともに、中和・沈澱・分離処理を進め、河川に流入する負荷量自体を低減する措置を検討する必要があると考えられる。



表-4.4 鉱山排水に含まれる成分の水質基準

単位: mg/lit

水質基準	鉄	銅	マンガン	ヒ素	カドミウム	鉛
環境基準 (日本, 1970)	-	-	-	0.05	0.01	0.1
排水基準 (日本, 1970)	10	3	10	0.5	0.1	1.0
飲料水水質基準 (日本, 1970)	0.3	1.0	0.3	0.05	0.01	0.1
飲料水水質ガイドライン (ザンビア, 1986)						
<許容値>	1.0	1.5	-	0.05	0.1	0.05
<期待値>	0.3	1.0	-	0.01	0.005	0.01

(2) その他河川の水質

ルサカの都市排水の影響を受けているカヒユエ川支川では、有機性汚染が進んでおり、停滞水域では水草や藻類が繁茂し、富栄養化の傾向がみられる。ルサカの都市排水の影響を受けないルアングワ川流域およびザンベジ川流域の水質は、今回の調査から判断すれば良好であると言える。

(3) 水質の季節変化

試験結果から分かる一般的な傾向として、雨期は乾期に比べて、濁度が上がる。これは、雨水が多量の浮遊物質を河川に運び込むためである。また、雨期の高温と低溶存酸素量から判断して、雨期には有機物質の濃度が上昇しているものと考えられる。図-4.2はカヒユエ本川の上流から下流に沿った主な地点の濁度の変化を雨期と乾期に分けて示したものであるが、全地点で雨期の濁度は乾期よりも高いことが分かる。また、川の浄化作用によって、流下に従って濁度が低くなっている。

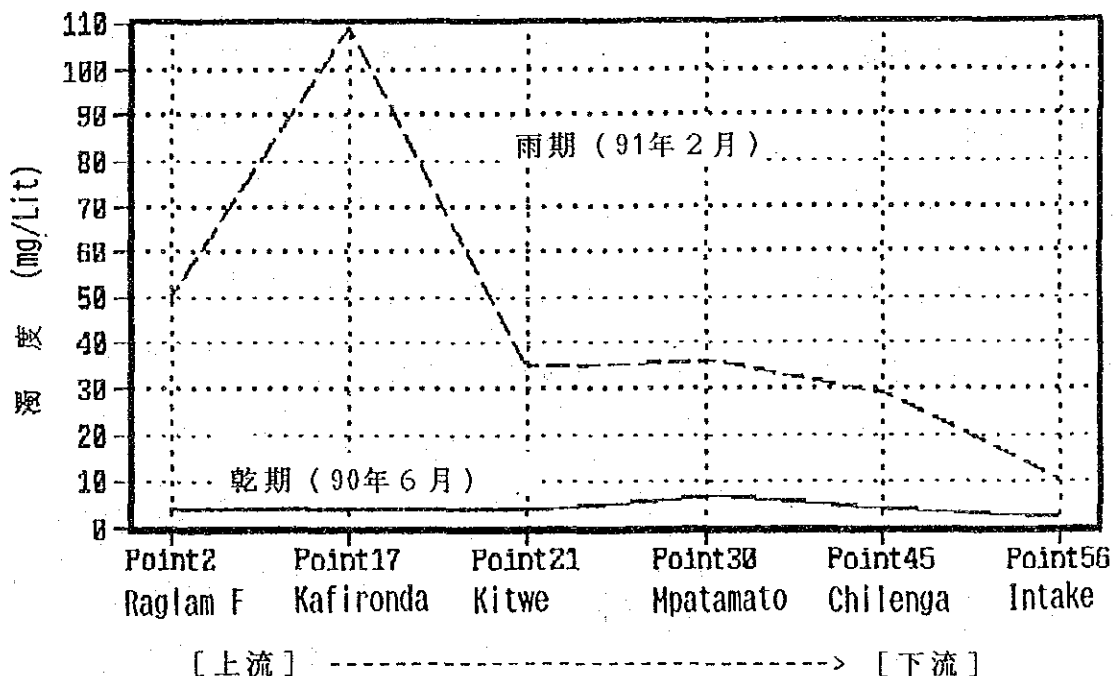


図-4.2 カヒユエ川の濁度の変化