

東南アジアおよび台湾における陸水の分布 (その1)

——水成地形変動の概況と陸水の地球化学的特性——

奥田 節夫・吉岡 龍馬*・北野 康*

DISTRIBUTION OF LAND WATER AT SOUTH-EAST ASIA AND TAIWAN (I)

——Outline of Active Fluvial Process and
Geochemical Character of water——

By *Setsuo OKUDA, Ryuma YOSHIOKA and Yasushi KITANO*

Synopsis

South-East Asia and Taiwan are under tropical and subtropical climate and easily erodible geological conditions. And in the region, active fluvial processes of denudation, mass transport and accumulation bring about a rapid topographic change and cause various damages to the inhabitants.

Outline of the field observations and the geochemical survey on the land waters are reported.

1. 緒 論

東南アジア、台湾を対象とした陸水学的調査は熱帯、亜熱帯における風化、浸食作用の活発な地域として地球化学的な立場から高い関心が寄せられているにも拘らず、あまり先例が見かけられなかった。

たとえばスンダ列島を対象とした調査は、ドイツ・スンダ陸水学探険¹⁾が1928～29年に行われた以後は空白がつづき、メナム・メコン川については1956～57年の採水にもとづく小林・瀬野・湯原による水質の検討²⁾が行われたのみであり、台湾についても日本統治時代に部分的に生物環境要素として湖沼調査が行われた程度であった。

著者らの一人奥田は昭和43年度海外学術調査「台湾および東南アジアの地形変動調査とその対策」に参加し、調査項目として風化・浸食・堆積作用の活発な流域水系を対象とした測水・採水をこころみ、100本を越える試料水を持ち帰った。

吉岡・北野は岩石風化の地球化学的研究の対象としてこれらの水の分析を行ない、風化・浸食のメカニズムとの関連性の検討に努めている。

1968年11月末現在、一部試料および関連資料（地質図、水文統計表など）が未着のために総合的な結論に到達し得ない部分もあるが、対象地域の水質の分析結果に高い関心を寄せられる学術分野も多いので、測水・採水地点の地形的特性を説明し、分析結果を表示し、さらに地球化学的特性に対する検討も一部こころみて中間的報告とした。

2. 調査地域の気候・地質

陸水の分布を調べ、とくに風化・浸食作用との関連性を考察するためにはその地域の気候とくに降水と気

• 名古屋大学理学部水質科学研究施設

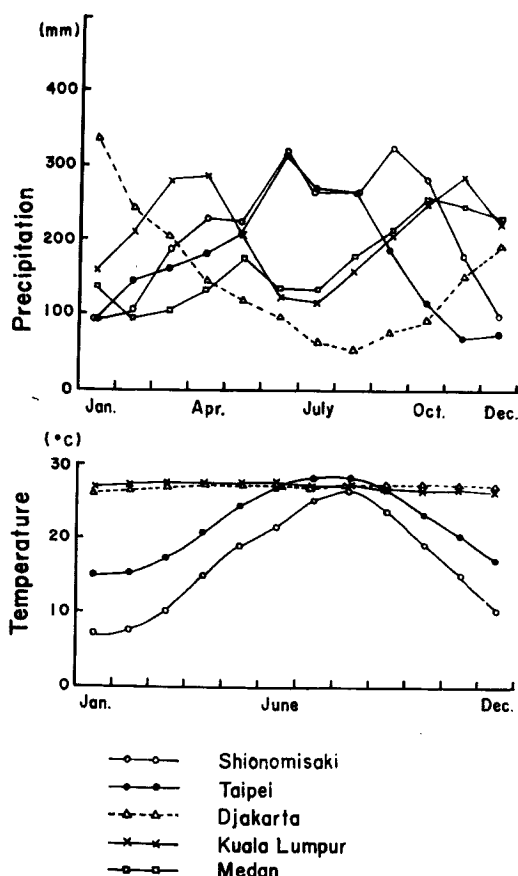


Fig. 1 Monthly mean Precipitation and Temperature.

我々の調査期間（マラヤ・9月下旬；インドネシア・9月末～10月上旬；台湾・10月中旬）はマラヤ，スマトラではすでに雨季に入っており，ジャバ，バリ島では乾季が終ったばかりのところであり，台湾では台風の季節が過ぎて乾季に入りかけた時期に相当する。

しかしながら毎年の降水の分布は長年の平均値を示した Fig. 1 の分布とはかなり異なるのが普通であり，たとえばジャバでは本年（1968）は乾季が非常に短かったという感想をしばしば聞かされた。

ただしインドネシア，台湾では気象資料は一般に公開されていないので，その実態は現在のところ不明である。

つぎに各地域の地質特性は気候とともに風化・浸食作用を大きく支配するものであり，各国の地質図（マラヤ，インドネシアはそれぞれの地質調査所作製，台湾は台湾大学地質学教室作製のもの）を入手し，またマラヤ以外の地域では松下進京大名誉教授に現地踏査を分担してもらったが，資料の一部が未着であり，後日の検討を要するところが多いので，今回は3で部分的に説明するにとどめる。

3. 調査水系

広大な地域を短期間で調査するためには調査対象を重点的にしぼらざるを得ない。

また調査目的は一般的な水質分布ではなく，風化・浸食のメカニズムとの関連に重点をおいているので，

温の分布を知る必要がある。Fig. 1 は日本の中で最も高温多雨の地点と思われる潮岬（Shionomisaki）をえらび，台湾では台北（Taipei），マラヤでは Kuala Lumpur，スマトラでは Medan，ジャバでは Djakarta をえらんで理科年表（昭和42年）にもとづいて降水と気温の月別変化を示したものである。

これによると一般に熱帯近くでは非常に高温で大雨が降りつづいているように思われ易いが，実際には潮岬の盛夏程度の気温が年中つづき，降水は雨季・乾季の別がやや明瞭に分れている程度で全降水量としてはあまり潮岬と異なるない。

とくに各地域の雨量分布図をみると，台湾・スマトラ・ジャバなどの脊梁山脈の高地では平地にくらべて雨量が2倍にも達する地域が存在するが，潮岬付近でも大台ヶ原では潮岬の2倍近い雨量があるから，概括的にみて調査対象地域は雨季でも月平均降水量からみると紀伊半島南部の夏の状態に近い。

ただ降雨の型については所謂スコール型の短時間に狭い地域に集中的に降る場合が多く，奥田もバリ島において時間降雨200ミリをこえる豪雨（2時間以上継続）に遭遇し，急激に生じた低地のはんらん洪水のために丘の上に避難した経験を有する。

とくに土砂生産、土砂流送の多い流域・水系をえらんで測水・採水を行なった。調査地点は Fig. 2, 3, 4, 7 の地図内に↓で示しており、その傍の数字は Table 1 および 2 の試料番号に対応する。

つぎに各地域別に調査対象とした流域・水系の特徴を概説する。

3.1. マラヤ

マレー半島の西岸および東岸での代表的な水系としては、Fig. 2 に示すように Perak 川および Pahang 川があげられる。Perak 川は Telok Anson 市の西方に河口を有し、顕著な蛇行形態をとって北上し、上流に Chenderoh dam (Fig. 2 中→3) が造られている。この川沿いには多数の錫鉱山があり、浮遊選鉱



Fig. 2 River Systems in Malaya (No; Water Sample Number)

後の濁水が川に流れこんで河水を非常に濁らせている。とくに蛇行の激しい下流では諸所に顕著な洗掘・堆積箇所が見受けられるが、**Fig. 5** に示す Telok Anson 市の蛇行部では Neck Cutting が進みつつあり、図中↓↓部分はとくに河岸崩れが発生しており、その対策が問題になっている。

この地点では潮汐による水位変動がかなり大きいので採水点1ではとくにボートを利用して層別採水および伝導度分布測定を行なったが、底泥でも伝導度が低く、あまり直接海水の影響は受けていない。

Pahang 川はマレー半島最大の川で土砂輸送量も多く河口ではデルタの発達が著しい。

その流域には度々洪水ははんらんが生じているが、はんらんは広範囲にわたってゆるやかに生じるために、流速、水位上昇速度が比較的小さく人命の被害は殆んどない状態である。

マラヤでは錫鉱山の乱掘による部分的崩れ以外にあまり顕著な崩れ災害は発生していないと思われるが、比較的に地すべり、崖づれがよく発生しているといわれる Cameron High Land を調査対象とした。

この地域は東西両河川の分水嶺地帯で両川の源流に当り、地質的には花崗岩地帯である。

しかし山腹崩れや地すべりの発生頻度、規模ともに小さく、石切場などの状況からみても花崗岩の風化が緩慢であり、日本の六甲、呉などの花崗岩風化地帯とは地形、植生が異なり、崩れ災害は相対的に非常に少ない。

3.2. インドネシア

インドネシアは多くの島からなり、島によって気候・地質がかなり異なるが、今回の調査はスマトラ、ジャバ、バリの三島を対象をしばった。

(i) 北スマトラ

北スマトラでは **Fig. 3** に示すようなトバ湖周辺とラントウ油田地帯を調査の対象にえらんだ。

トバ湖周辺は比較的新しい年代に隆起、陥没をくり返して現在の地形が形成され、その地質的構造がよく調べられており、Super Caldera に生じたトバ湖は貯水面積がびわ湖の2倍近くあり、最大水深が500mをこえる古い湖である。この湖はかつてドイツのスンダ陸水学探検隊が2ヶ月にわたる調査を行ない、また日本の技術者が水力開発計画を立てたこともあって、過去の資料が利用出来る。

またラントウの油田地帯は河口近くの低湿地で河川の蛇行が顕著であり、かつオランダ統治時代からの地図、航空写真などの地形資料が利用出来る。河川蛇行部における河道の変遷の一部を例示すると数十年の間

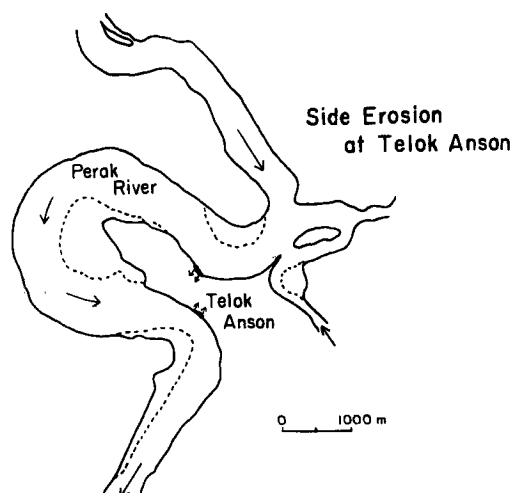


Fig. 5 Side Erosion at Meander Neck in Telok Anson City. (Malaya)

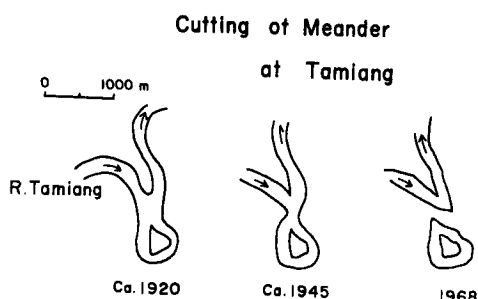


Fig. 6 Change in River Course at Rantau. (North Sumatra)

Table 1 Chemical analyses of natural

Station No.	River system	Location	Date collected	Water temp. (°C)	pH
Java	1 R. Liwung	Bogor	26/9/68	(26.5)	6.2
	2 R. Tarum trib. Sokan	Tjirandjang	"	26.5	6.9
	3 " main	Djatiluhur Dam discharge	27/9/68	27.2	7.0
	4 " "	Krawang	"	27.8	6.9
	5	Djakarta City water	28/9/68	29.0	6.6
	6 R. Brantas main	Porong	2/10/68	31.0 (25.0)	7.2
	7 " upper	Malang	"	28.0 (25.0)	7.3
	8 " "	Karangkates Dam	3/10/68	(25.0)	7.2
	9 " middle	Kediri	"	29.0	7.1
	10 trib. Konto	Kertosono	5/10/68	31.0	7.3
	11 R. Solo trib. Madium	Ngawi	3/10/68	30.0	7.4
	12 main	Surakarta	"	30.0	6.8
	18 trib. Gede	Bojolali	4/10/68	29.0 (23.5)	7.0
	14 head	Wonogiri	"	27.0 (23.0)	7.1
	15 R. Ojo	Jogjakarta	5/10/68	28.5	7.1
Bali	16 R. Sarikuning		6/10/68	29.0	7.2
	17 R. Daja	Negara	"		6.9
	18 Lake Bratan	Surface	7/10/68	22.0	6.5
		10m Depth	"		6.3
		20m " (Bottom 24m)	"	22.0	5.9
	19 R. Tjengtjengan	Giangjar	8/10/68	26.0	6.7
Sumatra	20 R. Belumai	Medan	29/9/68	26.3	6.8
	21 R. Perbaungan	Lubukpakam	"	25.0	6.9
	22 R. Padang	Tebingtinggi	"	26.2	6.6
	23 R. Suka	Hapal Valley	"	24.0	6.7
	24 R. Asahan	Entry	"	25.8	7.7
	25 R. Naborsahan	Prapat	30/9/68	25.0	6.8
	26 Lake Toba	Surface	"	25.5	7.7
		10m Depth			7.2
		20m "			7.3
		30m "			7.3
		40m "			7.5
		50m "		25.0	7.3
	27 R. Tamiang	Rantau oil field	1/10/68	25.0	6.8

waters in Java, Bali and Sumatra.

Specific conduct ($\mu\Omega/\text{cm}$)	Na ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (as Ca ²⁺) (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Soluble SiO ₂ (mg/l)	Comments
(80)	3.9	10.9	4.0	34.6	5.0	18.6	
120	5.8	21.1	1.9	72.7	8.3	25.0	
138	6.0	19.2	4.0	59.9	9.0	23.0	
140	5.8	19.6	6.4	61.9	8.6	22.5	
120	5.8	13.4	6.8	34.6	11.3	23.6	
(310)	12.8	46.2	6.8	158	10.9	55.2	
(410)	22.3	59.7	18.1	202	12.1	62.4	
(310)	10.9	51.8	5.6	173	8.8	59.2	
300	11.3	47.6	6.0	155	10.1	51.2	
325	13.2	40.7	11.1	134	10.7	57.2	
700	38.0	86.3	37.1	293	15.5	65.6	
340	22.4	44.9	23.7	152	10.0	32.0	
(235)	12.1	29.2	10.3	108	8.5	84.0	
(150)	6.9	33.8	4.7	105	9.1	15.1	
260	16.8	25.5	6.6	109	14.3	80.8	
600	47.5	70.6	55.5	233	22.0	75.6	
	15.3	32.6	11.5	119	8.4	45.6	Heavy rain 250mm/H
69	2.0	8.4	2.5	3.3	20.3	4.6	
	2.1	8.4	2.5	3.6	20.9	4.6	
	2.1	8.4	2.6	3.6	20.6	5.1	
78	5.6	11.7	10.2	45.1	5.8	40.8	Turbid after heavy rain
100	5.1	12.5	1.9	49.4	4.1	54.0	
100	6.5	9.8	3.1	51.3	4.4	72.8	
73	4.7	5.2	0.8	37.8	1.4	67.6	
75	5.5	5.2	0.5	40.1	2.2	72.4	Exposed lava area
180	10.0	21.3	3.5	87.8	5.3	26.0	
70	7.4	3.8	0.4	40.1	1.9	84.8	Flow into Laka Toba
170	10.2	23.0	3.6	89.5	5.1	24.4	
170	10.5	21.9	4.4	91.8	5.0	25.0	
	10.5	21.9	3.6	89.2	4.5	25.4	
	10.0	21.3	3.7	90.5	5.1	24.6	
	10.2	21.3	4.3	89.5	5.0	24.3	
	10.0	21.3	3.8	89.5	5.3	24.0	
	1.3	16.3	0.9	48.0	4.1	7.4	

Table 2 Chemical analyses of natural

Station No.	River system	Location	Date collected	Water temp. (°C)
1	Tan Shui Ho, main	Shihmen Res.	12/10/68	(22.0)
2	" , trib. Hsin Tien Chi	Wulai	20/10/68	16.0
3	San Chan Chi	Sanchan	13/10/68	(22.0)
4	Li Wu Chi, main	Lochienshe	"	(22.0)
5	" , trib. Ta Sha Chi	Tienhsiang	"	(22.0)
6	Hua-Lien Chi, trib. Mu Kua Chi	Yungshu	14/10/68	20.0
7	" , trib. Ching Shui Chi	Tungmne	"	(22.0)
8	" , trib. Mu Kua Chi upper	"	"	(22.0)
9	Li Yu Chih	Li Yu	"	25.0
10	Hua-Lin Chi, trib Laochi	Kungjung	"	(22.0)
11	" , main	Fengping	"	(22.0)
12	" trib. Chih Ya Han Chi	Lingjung	"	(22.0)
13	Ta Tu Chi, trib. Wu Chi	Hsinteng	17/10/68	25.0
14	Cho Shui Chi, main	Chichi	"	24.0
15	" , "	Zinryu Bridge	"	22.0
16	" , trib Chen Yu Chi	"	"	24.0
17	" , small Spring	"	"	23.0
18	Lih Yueh Tan, Surface	Off Kuanhuatao	"	23.7
	" , 5m Depth	"	"	23.5
	" , 10m "	"	"	22.6
	" , 20m "	"	"	21.9
	" , 25m (Bottom)	"	"	20.2
19	" , trib. Ching Shui Chi	Fanghaotzu	18/10/68	26.0
20	Shan Hu Tan, inflow		"	26.0
21	" , outflow		"	(22.0)
22	A pond in eroded mud stone region	Lungchuan	19/10/68	25.0
23	Hsia Tan Shui Chi, trib. Chi Shan Chi	Chi Shan	"	23.5
24	" , trib. Lao Nung Chi	Cho Chia	"	25.0
25	" , main, lower	Near Railroad Bridge	"	(22.0)

waters in Taitwan.

pH	Specific conduct. ($\mu\text{S}/\text{m}$)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (as Ca ²⁺) (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Soluble SiO ₂ (mg/l)	Comments
7.1	(200)	4.2	34.7	1.1	73.7	37.7	7.4	Storage water
6.8	95	2.9	16.7	1.7	38.5	16.2	9.7	
7.4	(205)	1.5	35.5	1.3	106	17.1	4.1	Turbid after heavy rain
7.7	(340)	2.9	71.7	0.9	133	74.2	6.6	Limestone area
7.7	(350)	2.8	88.2	0.3	136	114	7.6	
7.7	280	2.2	57.4	0.8	121	49.0	6.1	
7.5	(200)	1.3	40.7	1.3	99.4	18.1	5.7	
7.7	(320)	2.8	66.8	0.6	125	64.5	6.6	
6.6	78	3.7	9.4	5.7	30.3	2.6	1.4	Storage water
7.3	(200)	2.7	37.6	3.4	104	9.6	6.3	
7.6	(345)	4.1	69.4	2.8	153	52.1	7.3	
7.7	(245)	2.4	54.3	0.6	118	45.3	5.3	
6.9	300	7.0	55.6	3.2	118	55.1	9.4	
7.7	480	6.2	86.7	1.0	150	109	9.6	
7.7	470	5.5	97.6	1.6	156	135	10.2	
7.7	410	8.1	79.8	0.9	143	98.8	10.0	
7.4	440	3.3	83.6	1.2	162	86.4	19.0	
8.1	370	4.8	65.4	0.2	133	64.2	7.2	
7.4	330	4.8	66.4	0.4	136	64.4	7.4	
7.6	330	4.8	66.8	0.4	136	65.4	7.7	
7.5	330	4.8	68.3	0.4	136	66.6	7.3	
7.5	340	6.5	74.8	0.4	157	70.0	9.4	
8.1	340	14.0	53.3	2.4	149	42.3	7.2	
8.1	310	15.3	50.6	2.8	151	34.9	8.5	Discharge rate 12m ³ /sec
8.1	(280)	15.8	48.0	4.0	132	43.5	6.0	Storage water
7.6	690	92.0	41.8	56.5	63.8	188	0.1	Not connected to river
8.1	380	13.9	62.7	2.2	170	45.1	7.6	
7.8	430	8.1	72.9	1.7	155	68.7	12.8	
7.6	(370)	11.2	74.4	3.1	178	61.2	10.5	

に Fig. 6 に示す程度の変化が認められる。

(ii) ジャバ島

ジャバ島では Fig. 4 に示すように西部ジャバと東部ジャバの二地域を調査した。

西部では Djakarta, Bandung 付近の河川をえらんだが、ジャバ島内最大の人工貯水池（貯水容量30億 ton）である Djatiluhur Dam 下流地点（↓3）でも採水した。

東部ジャバはとくに流出土砂の多い Solo 川と Brantas 川をえらんで、それぞれ源流近くまでさか上って調査した。

いずれの川も上流は度々新しい火山噴出物でおおわれており、風化浸食作用が盛んで多量の土砂が河川に供給される。

また東部ジャバでは地図で判るように分水嶺が印度洋側（南岸）に極めて接近しており、そのために Solo 川、Brantas 川の上流は活発な火山をとりまいて土砂を集めながら北側の平野に流れ出る形態をとっているため、中下流域では堆積作用が著しい。

この地域の開発計画が日本の技術者の手によって進められており、関連水文資料が豊富に利用出来る。

(iii) バリ島

バリ島は地質的には一様に Recent Volcanic Rock で構成されているが、ジャバ島とは逆に分水嶺が北岸にせまり、南斜面には多くの河川が平行して流れているのに北斜面では河川はあまり発達していない。またこの島には4ヶの活発な火山があり、火山湖が多い。火山麓では最近の噴出物が激しい風化作用を受け、斜面浸食がはなはだしい。この島では代表的河川と Bratan 湖（Fig. 4, 地点18）で採水を行なった。

3.3. 台 湾

台湾では大河川をなるべく多く調査する予定であったが、9月末の台風のために交通が杜絶したままの地域もあり、他の調査との関連を考慮して花蓮渓流域と濁水渓流域に重点をおいた。調査地点は Fig. 7 に示される。

台北市を流れる淡水河は多量の土砂を運搬し河口を埋めるので、排水をよくするために河口の狭窄部を切開いたりしている。

その上流に造られた石門水庫には多量の土砂が流入するので、さらに上流域の砂防計画が進められている。

台湾東岸は中央山脈が迫っているために急流が多く河口まで大きな礫が流出し、支流毎に扇状地の発達が著しい。

木瓜溪（Fig. 7 の地点, 6, 7, 8）では奥地の大規模な山くずれ箇所からの流出砂礫で年間 10 m を越える河床上昇箇所がある位である。

濁水溪は多くの支流を集め、それらの支流の上流は大規模な山くずれが数多く発生しており、年間の土石輸送量は6千万 ton を越えるものと推定され、その中30%が礫で70%が砂と見積られている。

濁水溪の水をひき入れて貯溜する日月潭は日本統治時代に造られたが、沈砂池を通して導水するために水はきれいで余り堆積も生じていないようである。

台湾南部の諸河川には灌漑用の貯水池が多く築造あるいは計画されているが、いずれも堆砂速度が深刻な問題としてとりあげられている。とくに台南市東方の泥岩地帯では、風化、浸食作用が盛んで砂防対策がいそがれている。

なお台湾では諸河川の流量、流砂量の観測が組織的に行われつつあり、その資料も利用することが出来る。

4. 調査地域の水質

調査地域の陸水の水質の分析結果は Table 1 および 2 の通りであり、その時の採水地点は Fig. 2, 3, 4, 7 に示した。なお、pH、電導度の測定は現地で行い、その他は実験室で分析した。ただし水温および電導度

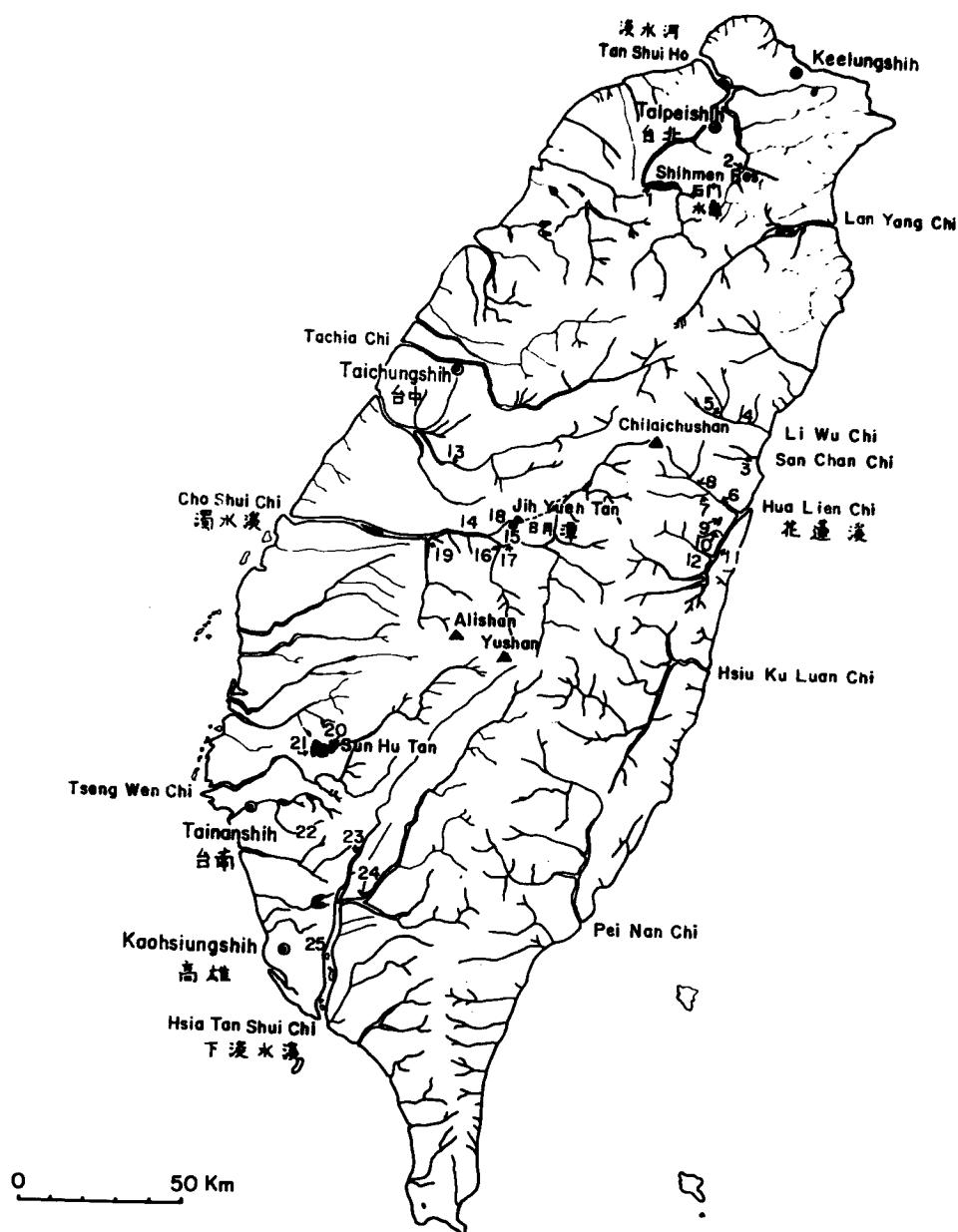


Fig. 7 River Systems in Taiwan.

の () の値は室内測定である。

一般に岩石の溶解現象は岩石と接触する地下水中の CO_2 によって惹起されるが、北野等のいうようにその溶解現象は岩石の種類(地質年代をも含めて)や岩石の風化程度により当然異なる。このことは地質環境や風化、浸食の異なるインドネシア、台湾との水質の相違からみても肯定できるものである。

ここでは、先ず最初に各地域別の水質の分布を述べ、次に溶存イオン間の関係について論ずる。

4.1. インドネシアの水質分布

4.1.1. ジャバ島

(1) **pH**：一般に中性ないし弱アルカリ性で pH 6.8 以下の弱酸性の水は Liwung 川 (St1), Diakarta 市水道水 (St 5), Solo 川本流 (St 12) の3つに過ぎない。

(2) **HCO₃⁻**：西部ジャバでは 34.6~72.7 mg/l で日本の平均河川水の1~2倍程度の含有量であるが東部ジャバではおおむね 100~200 mg/l と非常に濃度が高い。なかでも Solo 川支流 Madiun 川 (St 11) は 293 mg/l と異常に高い値を示しているのが特徴的である。

(3) **Cl⁻**：Cl 量も西部ジャバでは 1.9~6.8 mg/l と小さく Solo 川支流 Madiun 川 (St 11) 37.1 mg/l, Solo 川本流 (St 12) 23.7 mg/l, Brantas 川上流 (St 7) 18.1 mg/l と相当高い値を示すが、反対に Tarum 川支流 Sokan 川 (St 2) 1.9 mg/l と低い値を示している。そのほかはごく普通の河川水の 6 mg/l 内外である。

(4) **SO₄²⁻**：Solo 川支流 Madiun 川 (St 11) 15.5 mg/l, Ojo 川 (St 15) 14.3 mg/l のほかは、10 mg/l 内外で日本の平均河川水の程度で特記すべきものはない。

(5) **Ca²⁺+Mg²⁺**：西部ジャバ 10.9~19.6 mg/l でかなり高い、東部ジャバは西部ジャバの2~3倍と高い値を示す。とくに Solo 川支流 Madiun 川 (St 11) は 86.3 mg/l と異常に高い。

(6) **Na⁺**：西部ジャバと Solo 川源流 (St 14) では 3.9~6.9 mg/l で比較的うすいが、Solo 川支流 Madiun 川 (St 11) 38 mg/l, Solo 川本流 (St 12) 22.4 mg/l, Brantas 川上流 (St 7) 22.3 mg/l と濃い。そのほかは 13 mg/l 内外で普通の河川より少し高い程度である。

(7) **Soluble SiO₂**：西部ジャバおよび Solo 川源流 (St 14) はおおむね 20 mg/l 内外で極く普通の含量を示しているが、Solo 川支流 Gede 川 (St 13) 84.0 mg/l, Ojo 川 (St 15) 80.8 mg/l と異常に高い。そのほかでも西部ジャバの大略 1.5~3 倍と相に当高い値を示しているのが特徴的である。

4.1.2. バリ島

(1) **pH**：Bratan 湖 (St 18) の弱酸性 (pH 6.5 以下) のほかは中性である。

(2) **HCO₃⁻**：Bratan 湖 (St 18) 3.3 mg/l の最小量と Sarikuning 川 (St 16) 233 mg/l の最大量の差が大きいのが特徴的である。

(3) **Cl⁻**：Sarikuning 川 (St 16) 55.5 mg/l と異常に高い値を示しているのが特徴的である。

(4) **SO₄²⁻**：Sarikuning 川 (St 16), Bratan 湖 (St 18) が 21 mg/l 内外でかなり高い含量を示している。

(5) **Ca²⁺+Mg²⁺**：Sarikuning 川 (St 16) 70.6 mg/l と高い含量を示しているのが特徴的で、ほかに特記すべきものはない。

(6) **Na⁺**：やはり Sarikuning 川 (St 16) 47.5 mg/l と他のものにくらべて異常に高いのが特徴的である。

(7) **Soluble SiO₂**：Bratan 湖 (St 18) 5 mg/l 内外で小さいが、他のものは 40.8~75.6 mg/l と非常に高い。

(8) Bratan 湖は、河川流入、流出がない独立した水系であり、全水深 24 m にわたって均質である。

4.1.3. 北スマトラ

(1) **pH**：一般に中性ないし弱酸性であるが Asahan 川 (St 24), Toba 湖表面水 (St 26) だけが弱アルカリ性 (pH 7.7) を示す。

(2) **HCO₃⁻**：Asahan 川 (St 24), Toba 湖 (St 26), Tamiang 川 (St 27) は 90 mg/l 内外で非常に高い含量を示し、その他の河川水でも 45 mg/l 内外で比較的高い含量を示しているのが特徴的である。

(3) **Cl⁻**：Padang 川 (St 22), Suka 川 (St 23), Naborsahan 川 (St 25), Tamiang 川 (St 27) 等は 1.0 mg/l 以下で非常に小さいのが特徴的である。

(4) **SO₄²⁻**：おおむね 2~5 mg/l で、日本の平均河川水と比較すると 1/2~1/3 倍小さいのが特徴的である。

(5) $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: Asahan 川 (St 24), Toba 湖 (St 26) は 21 mg/l 内外でやや高いが、そのほかは通常みられる程度の含量で特記すべきものはない。

(6) Na^+ : Asahan 川 (St 24), Toba 湖 (St 26) は 10 mg/l でその他のものは 6 mg/l 内外で極くありふれた濃度である。

(7) Soluble SiO_2 : SiO_2 以外の元素が比較的多い Asahan 川 (St 24), Toba 湖 (St 26) では 25 mg/l 内外で他の河川水に比べて $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ が小さい。Naborsahan 川 (St 25) 84.8 mg/l とインドネシアの陸水中で最大量を示しているのが特徴的である。

(8) とくにトバ湖では表面から水深 50 m まで水温がほぼ一ようで水質も均一であり、鉛直交換がよく行われている。しかし流入河川 (Naborsahan 川しか調べていない) とは異質であり溶解物質の収支は今後の検討を要する。

4.2. 台湾の水質分布

(1) pH : 一般に中性ないし弱アルカリ性で pH 6.8 以下の弱酸性の水は淡水河新店溪 (St 2), 花蓮溪鯉魚池 (St 9) の2つに過ぎない。

(2) HCO_3^- : おおむね 100～180 mg/l で異常に高い値を示しているのが特徴的である。台湾では比較的うすい淡水河石門水庫 (St 1) 73.7 mg/l, 龍船近傍のため池 (St 22) 63.8 mg/l でも日本の平均河川の2倍の濃厚な値を示す。

(3) Cl^- : 龍船近傍のため池 (St 22) 56.5 mg/l の異常に高い値を示している。河川の半数以上が 2 mg/l 以下で、これより高くても精々 5 mg/l 内外で、一般的にいうて非常に希薄な値を示しているのが特徴的である。

(4) SO_4^{2-} : 100 mg/l 以上の濃厚な水は立霧溪大沙溪 (St 5) 114 mg/l, 濁水溪本流集々 (St 14)

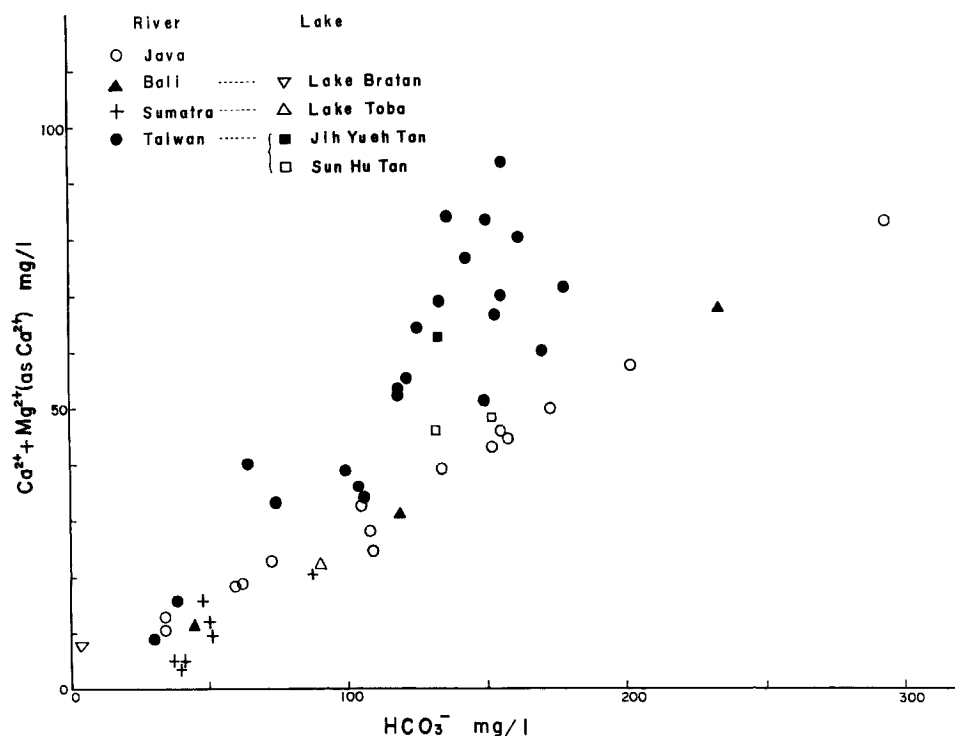


Fig. 8 Relation between contents of HCO_3^- and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in natural waters.

109 mg/l, 同神龍橋 (St 15) 135 mg/l, 龍船のため池 (St 22) 188 mg/l 等で, 大半は 40~100 mg/l である。

(5) $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: おおむね 40~90 mg/l で, 40 mg/l 以下の河水は淡水河石門水庫 (St 1) 34.7 mg/l, 淡水河新店溪 (St 2) 16.7 mg/l, 三棧溪 (St 3) 35.5 mg/l, 鯉魚池 (St 9) 9.4 mg/l, 花蓮溪老溪 (St 10) 37.6 mg/l 等である。

(6) Na^{+} : 龍船のため池 (St 22) 92.0 mg/l と異常に高い値は別としても, 濁水溪支流清水溪 (St 19), 珊瑚潭 (St 20, 21), 下淡水溪旗山溪 (St 23), 同本流 (St 25) 等は 11.2~15.8 mg/l とかなり高い値を示すが, 大半以上は 2.5~8 mg/l である。

(7) Soluble SiO_2 : 龍船のため池 (St 22) 0.1 mg/l と異常に小さい。濁水溪湧水 (St 17) 19.0 mg/l のほかは, 日本の平均河川より $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 倍が小さいのが特徴的である。

(8) 龍船のため池の水質が他と著しく異なるのは泥岩風化地帯にある小池で, 河川水との交流がないためであろう。また日月潭の貯水は鉛直混合がよく行われている。

天然水に溶解している元素の絶対濃度は当然流量によって変化するが, 調査期間はおおむね雨季に相当し, 流量が比較的大きいと考えられるから年間平均濃度はこれらの値より大きくなると予想される。次に溶存イオン間の関係について述べる。

4.2. 溶存イオン間の関係

4.2.1. HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の関係

Fig. 8 に HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ との含量関係を示した。北野²⁾等は多くの天然水において, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (Ca^{2+} の重さとして) と HCO_3^- との重量比は 1:3 でそれぞれの含量は大きく変動していることを

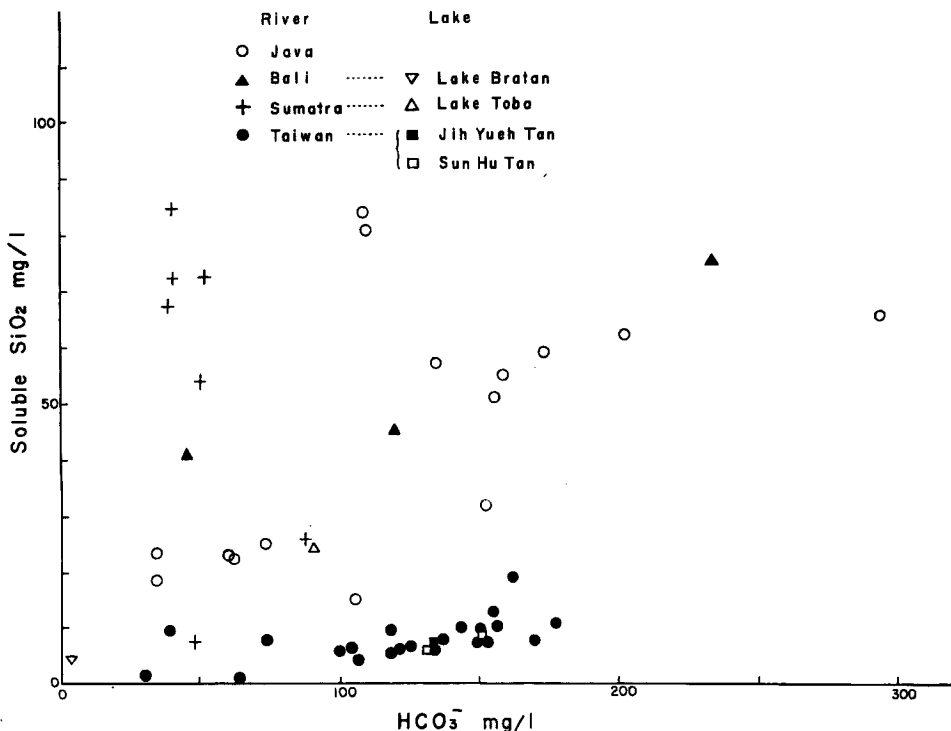


Fig. 9 Relation between contents of HCO_3^- and soluble SiO_2 in natural waters.

示した。先ず、インドネシアから検討すると、西部ジャバの水は HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ との原点を通る当量線上にあるが、一般的には、 HCO_3^- 含量が 110 mg/l 内外より大きくなると原点を通る当量線から右下へと平行移動している。このことは $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が HCO_3^- と結びつくには不足であって、これにみあうだけの Na^+ , K^+ が岩石から溶出してくることを暗示している。

一方、台湾では一般に $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^-$ の関係があるが、 SO_4^{2-} 含量の比較的少ない河川水は HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ との原点を通る当量線上に位置する。2, 3 の例外はあるが、 SO_4^{2-} 含量が増加するにつれて、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ と HCO_3^- の大小関係はますます $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の方が HCO_3^- より大きくなって、当量線より左上へと相対的にずれていく傾向がある。

4.2.2. HCO_3^- と Soluble SiO_2 の関係

Fig. 9 に HCO_3^- と Soluble SiO_2 の含量関係を示した。インドネシアの各地域ごとには相当よい正の相関関係がみられるが、台湾はよい相関はみられない。

4.2.3. HCO_3^- と SO_4^{2-} の関係

Fig. 10 に HCO_3^- と SO_4^{2-} の含量関係を示した。インドネシアでははっきりした相関関係はみとめられない。一方台湾ではほぼ正の相関関係がある。一般に河川水では $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ の関係が成り立つが、立霧溪大沙溪 (St 5)、濁水溪本流龍橋 (St 15)、龍船のため池 (St 22) では $\text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$ であり、その他の水質と異質的である。なぜこのような性質を示すかは現在のところ原因ははっきりわからない。

4.2.4. $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ の関係

HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} について、それぞれ当量濃度を算出し、三者間の当量百分率を三角座標に表示したのが Fig. 11 である。

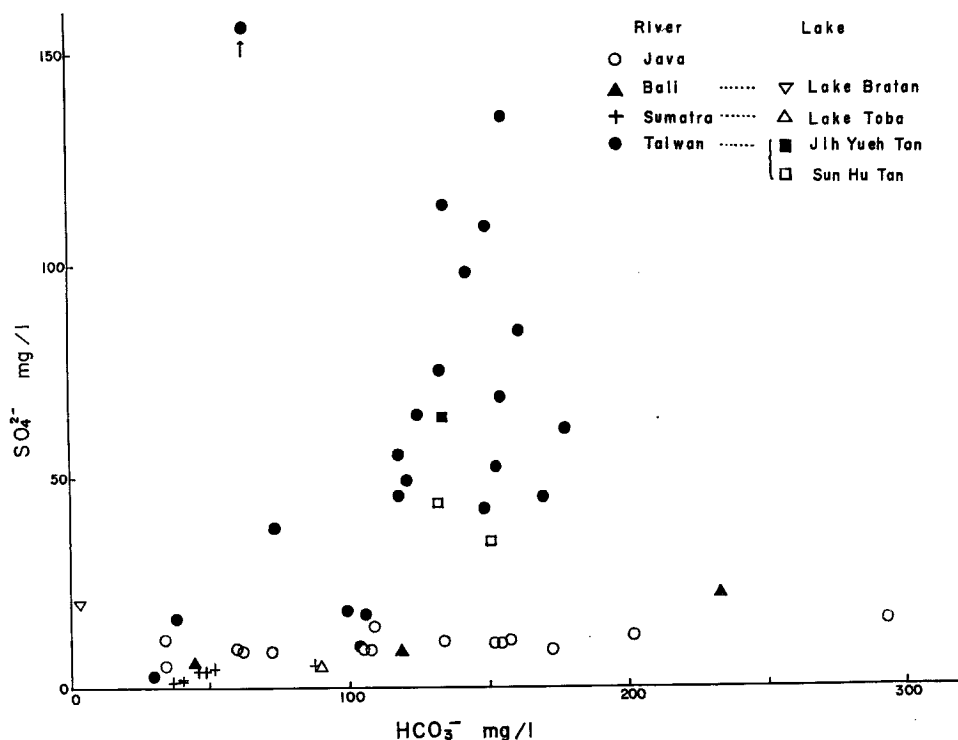


Fig. 10 Relation between contents of HCO_3^- and SO_4^{2-} in natural waters.

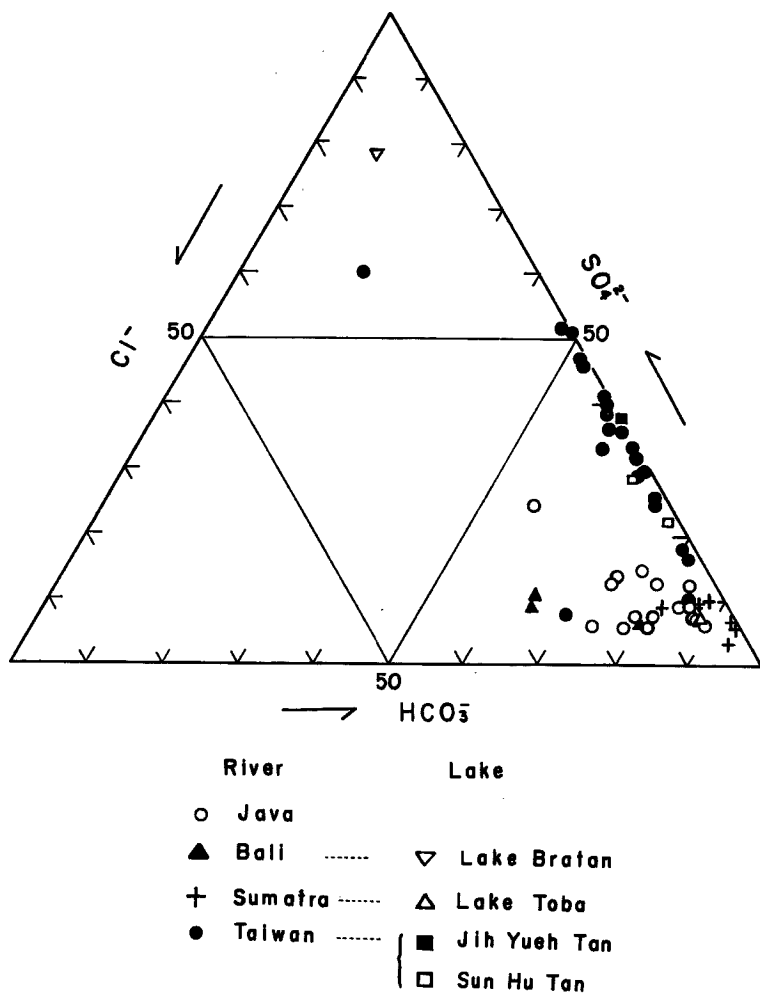


Fig. 11 Trilinear diagram of natural waters (Cl^- — HCO_3^- — SO_4^{2-}).

一般にインドネシアの陸水は相対的には HCO_3^- が大であり、例外として Bratan 湖 (St 18) の SO_4^{2-} が大きい。台湾では龍船のため池 (St 22) は別として Cl^- が非常に小さく、 SO_4^{2-} は半数の水が30~50%をしめているのが特徴的である。

今回の現地調査の結果を総括すると次のことがいえる。

1) 西部ジャバの岩石は水に対して比較的抵抗力が強く風化はおこりにくいと推定される。反対に東部ジャバ、バリ島、北スマトラの岩石は水に対する抵抗力が非常に弱い。従って風化、浸食作用が盛んであると考えられる。とりわけ Brantas 川 (St 7), Solo 川支流 Madium 川 (St 11), Sarikuning 川 (St 16) はそのさいたるものである。

2) 台湾では一般に風化、崩壊現象が顕著であることが推定される。特に三棧溪 (St 4, 5), 花蓮溪 (St 11), 濁水溪 (St 14, 15, 16, 17, 18), 下淡水溪 (St 23, 24, 25) 等の地域で浸食作用が著しい。

さて、水質の分析結果からはつぎのことがいえるようである。

そもそも、採水した陸水中に含まれる元素の量は（1）降水および降水物からくる元素、（2）人間活動（工業、家庭、農耕活動）に由来する元素、（3）火山や温泉に由来する元素、（4）岩石や土壌に由来する（溶解および吸着など）元素の供給量によって決まるものである。陸水の水質から、その天然水が接してきた岩石の風化状態を推論しようとするのは、上記の（4）によって供給される元素量を、陸水の水質から知ろうということである。水質について、今までに分ってきたことで本分析結果にあることをあげるとつぎの通りである。溶存ケイ酸含有量が多いことは、その水が長い間、可成地下深いところでケイ酸塩岩石と接触していたことを意味するものである。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ は恐らく岩石が水に接し、そこへ CO_2 ガスが供給され、岩石から溶かし出されたものが大部分であろう。そこで一般には、この $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ あるいは HCO_3^- の含有量が岩石の風化状態を反映し、示してくれるわけである。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ や HCO_3^- の含有量が大きく、かつ溶存ケイ酸の含有量も大きい水では、その $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ はケイ酸塩岩石からの溶出によると考えられるが、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ や HCO_3^- 含有量は大きい、溶存ケイ酸含有量が小さい水では、石灰岩質の岩石から $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が溶かし出されたかもしれないと、一応考えてみる必要がある。 Cl^- や SO_4^{2-} の含有量が大きい水は、恐らく火山や温泉に関連すると思われるような特異な型の水が地下から出てきて、まざったのであろう。このようなときには Cl^- か SO_4^{2-} の含有量ごとのグループに分けて、 HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 含有量間の関係を整理すると、その岩石から直接溶かし出されて、陸水に供給された $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の量を推定することが、不可能ではない。

以上のような知見にもとづいて、本水質調査の結果を論ずるには、それぞれの採水地域の地質がわからなければならない。しかし、地球化学的立場にたった天然水の水質と岩石の浸食状況の観察結果をあわせ考えると、両者の間に関連のあることはたしかである。詳細については、続報で報告したい。

謝 辞

本研究は文部省昭和43年度科学研究費補助金（海外学術調査）の援助によって行われたものであり、関係各位に深謝する。

また現地での調査、採水に格別の御支援をいただいた日本工営株式会社、北スマトラ石油開発協力株式会社、台湾省水利局ならびに農村復興会の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 吉村信吉：東亜の陸水（1943）p. 177
- 2) 瀬野錦蔵・小林純・湯原浩三：タイ国河川の化学成分の溶出機構，東南アジア研究，第3号（1963，3）p. 55
- 3) 北野康他：天然水の化学組成による岩石の風化，崩壊の研究，京大防災研年報，第10号A，昭42，p. 557—587.