

コンロン山北東の河川・湖沼の水質

村山 治太¹⁾・韓 春雨²⁾

Limnological Study of Rivers and Lakes at North and East Kunlun Mountains, in China.

Haruta MURAYAMA¹⁾ and Chun Yu HAN²⁾

Abstract: The scientific expedition was carried out from the Taklimakan desert (altitude 1000m) to the Tibet plateau (4000~5000m) passing through Kunlun mountains (over 5000m) by the members of Japan-China Joint Project which name was Kekexili, China Region Science Expedition. Water samples of rivers(14 samples), under-ground waters(3) and lakes(10) were collected from the desert and the plateau. Altitude, air temperature, water temperature and pH were measured at the sampling site. Density, electric conductivity, pH, EDTA-hardness, Na, K, Mg, Ca, Cl⁻ and SO₄²⁻ were measured at the Yokohama National University. Chemical compositions of water samples were contained more than mean value of Japanese river waters. More concentrated waters were decreased containing ratio of calcium. The maximum value of chloride ion concentration was 171g/l.

はじめに

1989年1月に中国科学探検協会が設立され、第一号事業として「日中共同カガシリ科学探検プロジェクト」が企画された。カガシリ地域はこれまで人跡未踏に近く、科学調査がなされていないため、総合自然科学調査の対象地域として取り上げられた。平均標高4500mに達する山岳・峡谷・湖沼地帯の成立経緯と、動植物界の実態を明らかにすることが主な目的であった。向こう3年間を目標として、第1回科学調査隊が1990年7月18日にウイグル自治区の首都ウルムチを出発した。ランドクルーザー3台を日本から持込み、北京ジープ4台とトラック6台を中国側が用意した。天山山脈を越え、コラからタクラマカン砂漠の縁に沿って東から南に廻り、ルオチャンからアルチン山自然保護区を通過して、コンロン山脈の東に位置するカガシリ山脈を含むチベット最北部の、標高4000~5000mの高原地帯を調査し、9月14日にウルムチにもどった。第一回調査

¹⁾ 横浜国立大学・教育学部・化学教室

Department of Chemistry, Faculty of Education, Yokohama National University.
156, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240.

²⁾ 中国科学探検協会

China Association for Scientific Expeditions. P. O. Box 634, Beijing, China.

隊の責務は地域全般の予察を行い、以降の計画の進行を図ることにあった。隊の構成は日中双方から動物・植物・地質・地形・古環境・陸水等の調査隊員9名の他、報道・設営・車両関係等も加えて、総勢40名であった。筆者は陸水調査を担当した。

1. ルートおよび試料採取地点

調査地域の位置を図-1、走破したルートを図-2、河川水・地下水の試料採取地点を図-3、湖沼水の試料採取地点を図-4にそれぞれ示す。ルート図(図-2)で、点線は当初計画していたルートであるが、チェモ-の南東(×印の地点)で川の水が多くて渡河出来ず計画を変更した。一度ルオチャン迄戻り、帰りのルートに予定されていた鴨子泉経由でカガシリ山地に入り、時間とガソリンの許す限り南下して同じルートに戻った。また図-3、-4の試料採取地点番号は河川水・地下水と湖沼水とを別々に、採取した順に通し番号をつけたもので、この地点番号を試料番号として以下の本文で用いることにする。

2. 試料採取地点の地理的特徴

2.1 河川水・地下水試料について(図-3参照)

試料を採取した河川は全て内陸河川で、海に達することがない。雨水の他に氷河融水や凍土からの融水・伏流水などを集めて流量を増すが、乾燥地帯を流れている間に蒸発によって流量を減じ、砂漠の中に消失するか、または湖沼に流入して終わる。図-3に

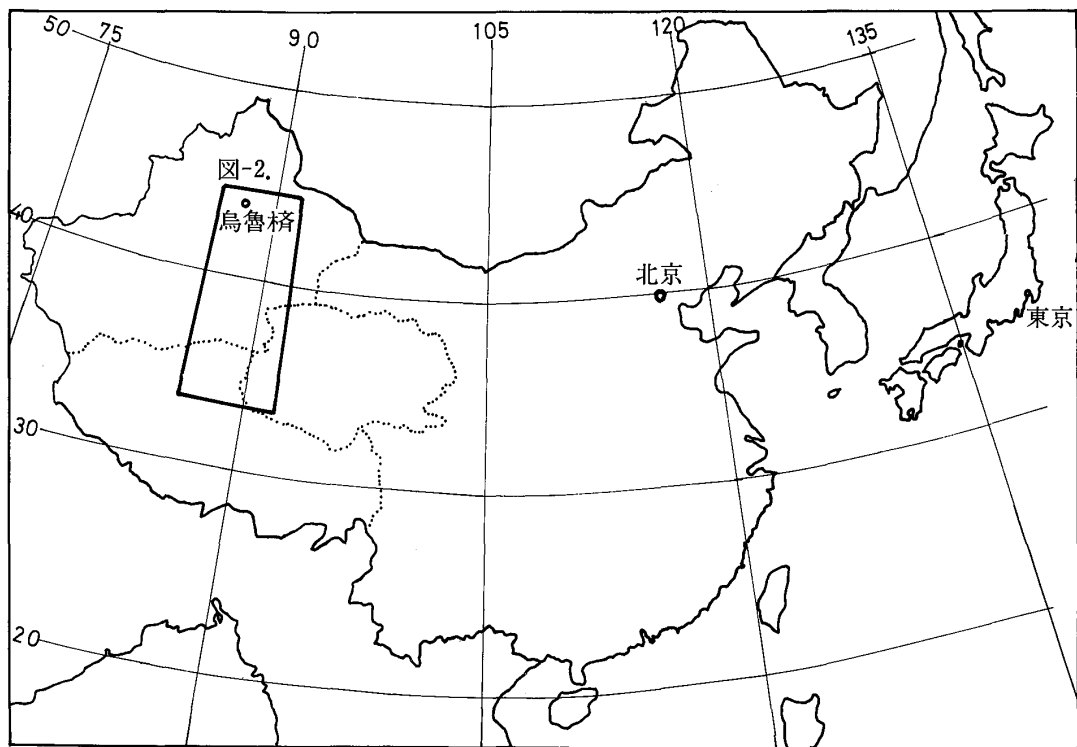


図1. 調査地域の位置.

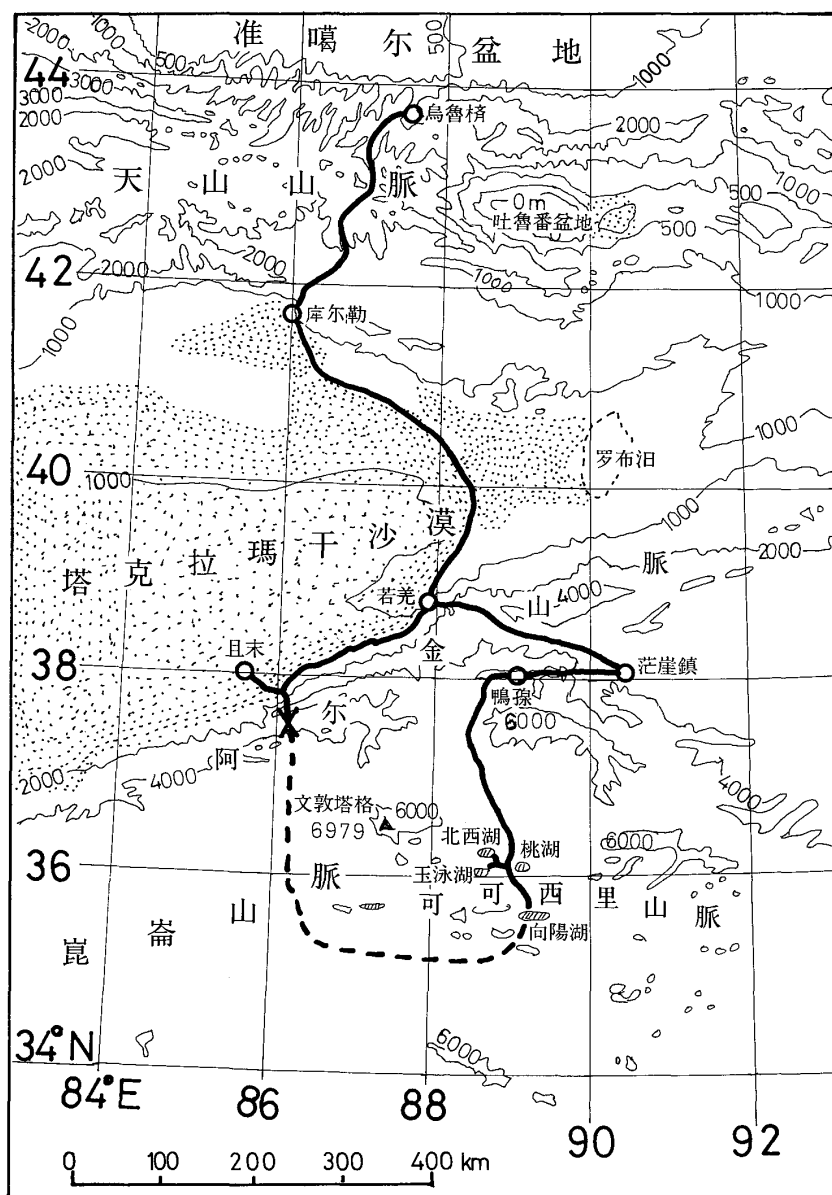


図2. ルート図.

示した河川のうち地点番号 1～3, 6～13 の河川は砂漠の中に消失し, 14, 16, 17は湖沼に流入していた。地下水 4, 5, 15 はオアシスで飲用水として浅層地下水を汲み上げていたものである。別の見方をすれば 1, 3, 9～11, 16, 17 は砂漠を流れている河川であり, 試料採取地点の標高も低い。それに対して 2, 6～8, 12～14は海拔高度 2000mを越えた高所の河川で, 13 は「鴨子泉」という地名にも示されるように, 海拔高度 3600mの湧水, 14 は向陽湖に流入する, 凍土を水源とする小川で試料採取地点の標高は海拔高度 4660mであった。

2.2 湖沼水試料について (図-4 参照)

天池 (試料番号 1) はウルムチに近い天山山脈中の海拔高度約 2000m に位置する,

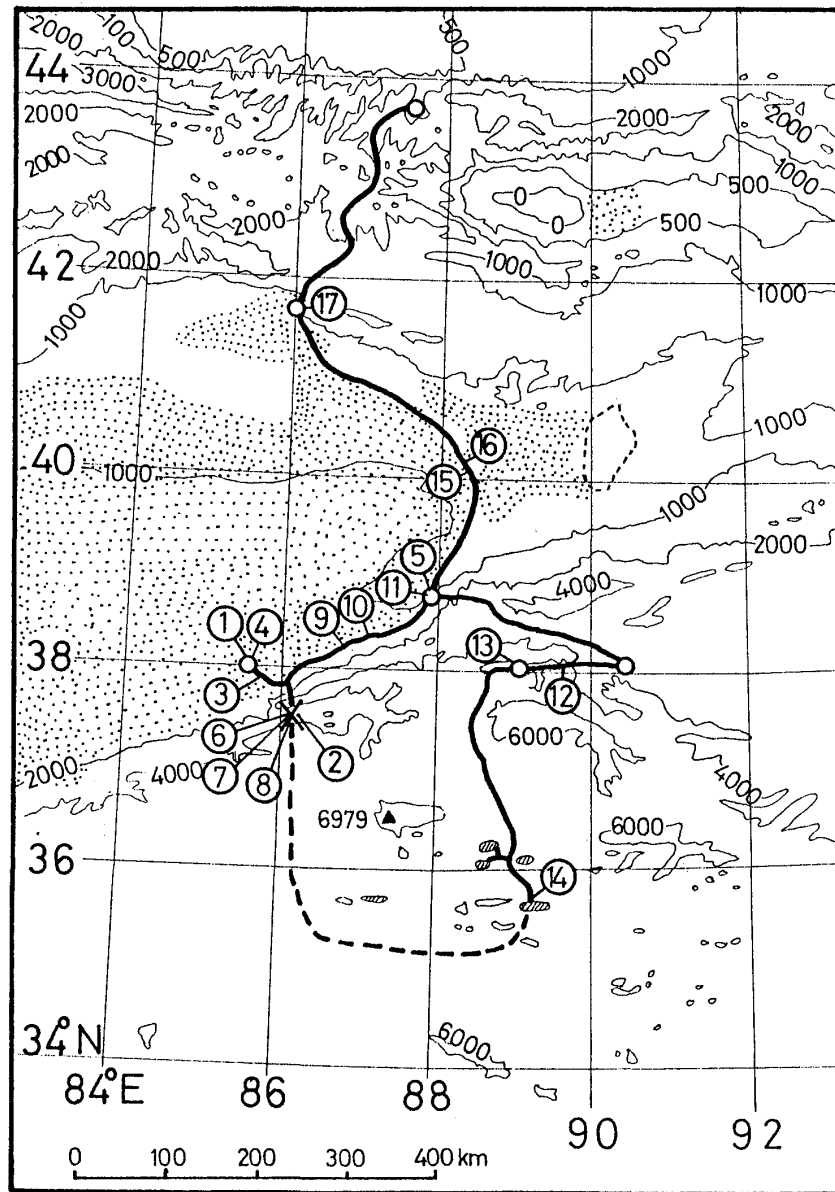


図3. 河川水・地下水試料採取地点.

氷河融水を貯めた湖である。試料番号 2～8 はコンロン山脈の東、海拔高度 4700～4900m のチベット高原北部に位置する湖沼である。試料番号 9 はコンロン山脈の北東端の海拔高度 3000m に位置する塩湖で、湖岸および湖底に塩化ナトリウムと硫酸ナトリウムの結晶を析出していた。大西海（試料番号 10）はタクラマカン砂漠東部の海拔高度 820m に位置する人造湖で、砂漠を農地化するための水源にするべく、タリム川を堰止めたものである。

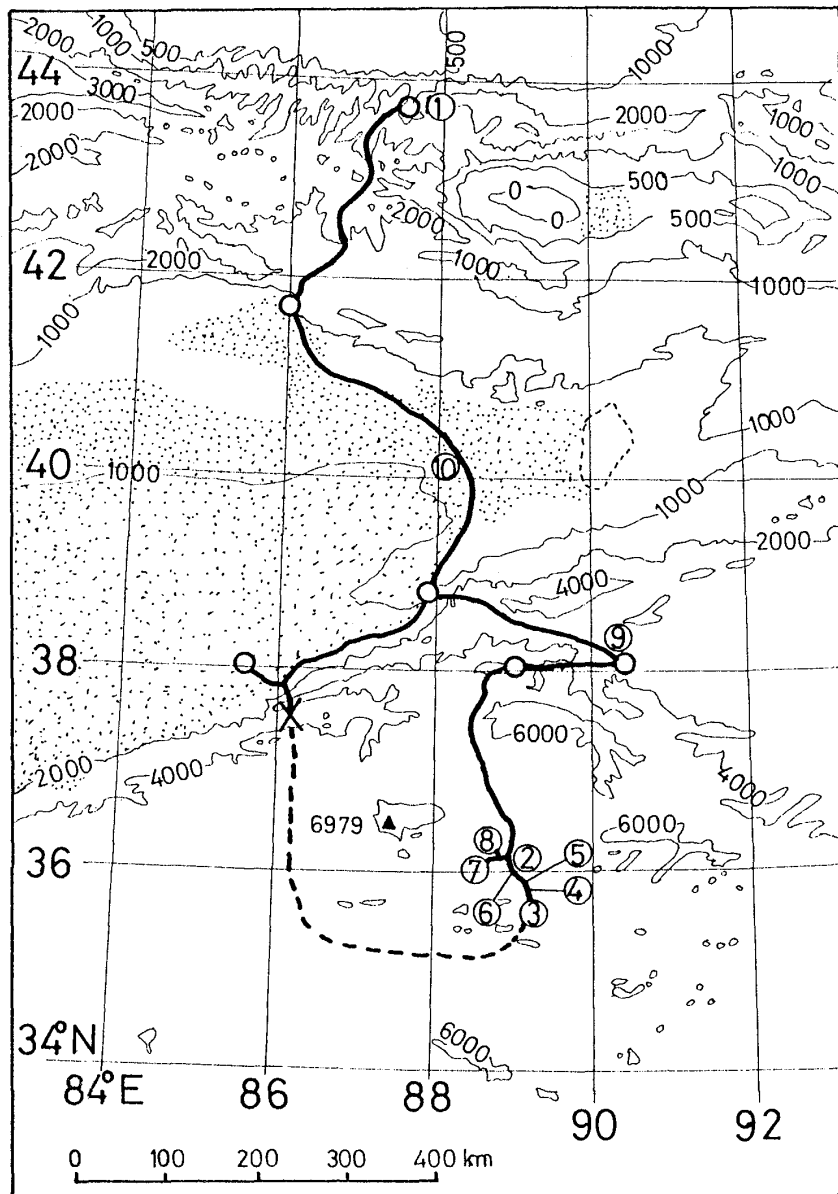


図4. 湖沼水試料採取地点.

3. 測定法および測定結果

3.1 物理的性質について

表-1に河川水・地下水, 表-2に湖沼水の物理的性質をまとめて示す。海拔高度は手持ちの簡単な高度計で測定した値である。PHは採水現場では試験紙を用いて測定したが、塩濃度の高い試料は正しい変色を示さないので、帰国後ガラス電極PHメーターを用いて測定した値を示した。なお、採取者を記してない試料は全て筆者が採取したものである。

表-1 河川水・地下水の物理的性質

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	海拔高度 (m)	比重 (20°C)	電気伝導率 (mS/cm, 20°C)	pH (20°C)	EDTA硬度 (CaCO ₃ mg/l)
1	7-23	且末河(街内)	1030	0.999	4.75	8.13	839
2	7-25	且末河上流(吐拉)	2195	0.996	0.712	7.98	185
3	7-26	且末河(街入口)	1050	0.997	0.633	7.93	185
4	7-27	且末飲用水(地下水)	1030	0.997	1.41	8.01	385
5	7-29	若羌飲用水(地下水)	900	0.997	1.29	8.15	320
6	8-08	ムナプラーク水場	2650	1.002	8.54	7.60	1.92×10 ³
7	8-08	チンプラーク水場	2850	0.997	1.11	8.11	302
8	8-11	カーツ橋	2750	0.997	0.881	8.10	203
9	8-11	砂漠の川-1(且末-若羌)	1400	0.997	1.20	8.07	347
10	8-11	漠の川-2(且末-若羌)	1400	0.997	2.19	7.82	555
11	8-13	若羌河	900	0.997	1.34	7.73	368
12	8-18	小川(若羌-鴨子泉)	2120	0.999	3.71	7.98	1.21×10 ³
13	8-20	鴨子泉	3600	0.997	0.513	7.83	154
14	9-01	小川(向陽湖流入)	4660	0.997	0.500	8.27	154
15	9-11	三十四団飲用水(地下水)	850	1.000	3.96	7.86	1.12×10 ³
16	9-11	塔里木河	830	0.999	1.75	7.85	345
17	9-11	孔雀河	980	0.998	1.73	8.04	419

試料番号 1 : 採取者 張 春光
 試料番号 2 : 採取者 馬 菜齡
 試料番号 3 : 採取者 馬 菜齡

表-2 湖沼水の物理的性質

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	海拔高度 (m)	比重 (20°C)	電気伝導率 (mS/cm, 20°C)	pH (20°C)	EDTA硬度 (CaCO ₃ mg/l)
1	7-12	天池	1980	0.997	0.137	7.51	5.03×10
2	8-27	桃湖	4780	0.998	3.52	9.34	4.17×10 ²
3	9-01	向陽湖	4660	1.036	68.5	8.57	6.02×10 ³
4	9-01	涸池	4740	1.118	116	7.54	1.30×10 ⁴
5	9-02	困山湖	4730	1.022	42.8	7.91	9.02×10 ³
6	9-03	仏の湖	4700	1.000	6.81	8.84	7.42×10 ²
7	9-04	玉液湖	4800	1.008	18.5	8.42	2.73×10 ³
8	9-04	北西進湖	4900	1.073	109	8.68	3.98×10 ³
9	9-08	阿尔金山北の塩湖	2985	1.236	123	7.09	1.57×10 ⁵
10	9-10	大西海	820	0.999	2.02	7.63	4.22×10 ²
	11-2	海水(大磯)	0	1.022	47.95	8.30	5.93×10 ³

試料番号 7 : 採取者 藪本 美孝

3.2 化学組成について

表-3 に河川水・地下水、表-4 に湖沼水の化学組成を示し、それぞれの測定法の概略を以下に記す。

ナトリウム・カリウム：原子吸光光度法

マグネシウム・カルシウム：EDTA 滴定法

塩化物イオン：硝酸水銀（Ⅱ）滴定法

硫酸イオン：クロム酸バリウム吸光光度法

マグネシウムが相対的に多い試料のカルシウムを測る良い方法が無い。EDTA 滴定法で測定困難な試料（湖沼水 4, 9）については、精度を犠牲にしてカルシウムを原子吸光光度法で測定した。参考のために日本の河川の平均値（小林・理科年表 p.668 (1990) より作成）を示した。また、帰国後神奈川県中郡大磯町の海岸で海水を採取し、比較用試料として用いた。

4. 考察

4.1 電気伝導率と塩化物イオン濃度との関係

電気伝導率は測定が簡単で、イオン性溶存物のおよその量を示しており、塩化物イオンの濃度と正の相関関係にあることが多い。表-1 と 2 に示した電気伝導率を縦軸に取り、表-3 と 4 に示した塩化物イオンを横軸に取って、両対数方眼紙にプロットしたも

表-3 河川水・地下水の化学組成-1

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	7-23	且末河(街内)	5.8×10 ²	3.2×10	7.32×10	1.59×10 ²	8.00×10 ²	8.0×10 ²
2	7-25	且末河上流(吐拉)	4.2×10	3.1	4.28×10	1.90×10	7.56×1	7.5×10
3	7-26	且末河(街入口)	5.0×10 ²	3.4	4.72×10	1.63×10	5.96×10	7.8×10
4	7-27	且末飲用水(地下水)	1.2×10 ²	7.0	6.76×10	5.25×10	1.70×10 ²	1.9×10 ²
5	7-29	若羌飲用水(地下水)	1.3×10 ²	3.8	5.76×10	4.28×10	1.57×10 ²	2.4×10 ²
6	8-08	ムナプラーク水場	1.2×10 ³	1.9×10	4.20×10 ²	2.11×10 ²	1.92×10 ³	1.5×10 ³
7	8-08	チンプラーク水場	9.2×10	3.5	5.64×10	3.91×10	1.17×10 ²	2.1×10 ²
8	8-11	カーツ橋	7.6×10	3.9	3.91×10	2.55×10	1.04×10 ²	1.0×10 ²
9	8-11	砂漠の川-1(且末-若羌)	9.0×10	3.8	9.96×10	2.38×10	1.21×10 ²	3.0×10 ²
10	8-11	砂漠の川-2(且末-若羌)	2.1×10 ²	8.5	1.72×10 ²	3.06×10	2.70×10 ²	5.8×10 ²
11	8-13	若羌河	1.1×10 ²	3.9	4.96×10	5.93×10	1.44×10 ²	3.1×10 ²
12	8-18	小川(若羌-鴨子泉)	3.6×10 ²	1.6×10	3.35×10 ²	9.04×10	4.24×10 ²	1.3×10 ³
13	8-20	鴨子泉	3.2×10	1.5	4.28×10	1.14×10	5.09×10	6.0×10
14	9-01	小川(向陽湖流入)	2.8×10	1.5	3.66×10	1.53×10	4.83×10	3.8×10
15	9-11	三十四団飲用水(地下水)	4.0×10 ²	1.5×10	2.11×10 ²	1.44×10 ²	6.69×10 ²	7.4×10 ²
16	9-11	塔里木河	1.8×10 ²	8.0	6.76×10	4.28×10	2.81×10 ²	2.9×10 ²
17	9-11	孔雀河	1.8×10 ²	9.0	5.44×10	6.88×10	2.08×10 ²	3.6×10 ²
		日本の河川の平均値(小林)	5.9	1.2	1.03×10	2.5	5.9	1.7×10

測定法 Na・K:原子吸光光度法 Ca・Mg:EDTA-滴定法 Cl⁻:Hg(NO₃)₂ 滴定法
SO₄²⁻:BaCrO₄ 酸懸濁法(吸光光度法)

表-4 湖沼水の化学組成-1

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	7-12	天池	3.4	2.4×10 ⁻¹	1.59×10	2.55	<1.0	1.1×10
2	8-27	桃湖	5.0×10 ²	1.0×10	9.24	9.57×10	8.25×10 ²	4.2×10
3	9-01	向陽湖	1.7×10 ⁴	2.5×10 ²	5.28×10	1.43×10 ³	2.98×10 ⁴	1.5×10 ³
4	9-01	酒池	5.4×10 ⁴	3.3×10 ²	1.7×10 ² *	3.06×10 ³	6.69×10 ⁴	3.9×10 ⁴
5	9-02	囲山湖	8.4×10 ³	1.7×10 ²	4.60×10 ²	1.91×10 ³	1.51×10 ⁴	5.5×10 ³
6	9-03	仏の湖	1.2×10 ³	2.4×10	4.56×10	1.53×10 ²	1.61×10 ³	4.3×10 ²
7	9-04	玉液湖	3.7×10 ³	5.6×10	1.21×10 ²	5.90×10 ²	5.42×10 ³	2.0×10 ³
8	9-04	北西進湖(4740m 地点)	4.0×10 ⁴	5.7×10	8.12×10	9.19×10 ²	4.87×10 ⁴	1.1×10 ⁴
9	9-08	アル金山北の塩湖	6.4×10 ⁴	2.7×10 ³	1.5×10 ² *	3.72×10 ⁴	1.71×10 ⁵	5.0×10 ³
10	9-10	大西海	2.1×10 ²	9.6	7.80×10	5.52×10	3.09×10 ²	3.7×10 ²
11-2		海水(大磯)	1.1×10 ⁴	3.0×10 ²	3.85×10 ²	1.21×10 ³	1.80×10 ⁴	2.7×10 ³
		日本の河川の平均値(小林)	5.9	1.2	1.03×10	2.5	5.9	1.7×10

測定法 Na・K:原子吸光度法 Ca・Mg:EDTA-滴定法 Cl⁻:Hg(NO₃)₂ 滴定法
SO₄²⁻:BaCrO₄ 酸懸濁法(吸光度法) (*:原子吸光度法)

のが図-5である。海水を希釈して測定した結果も併せて示してある。図-5からあきらかなように、電気伝導率と塩化物イオンの濃度とは正の相関関係を示している。「天池」は塩化物イオンの含有量が少なく、硝酸水銀(Ⅱ)滴定法では測定限界以下でプロット出来なかった。海水の希釈線より上側に並んだことは、塩化物イオン以外の陰イオンの存在を示唆しており、河川水の場合には炭酸水素イオンと硫酸イオンがその主なものである(図-5の実線部分)。「アルチン山北の塩湖」と「大西海」以外の湖沼水は、海水の希釈線および希釈線を濃縮側に延長した線に並んだ(図-5の点線部分)。「大西海」は「タリム河」を堰止めて造った人造湖であり、タリム河の値に近い(図-5の矢印)。

4.2 含有成分の特徴

4.2.1 河川水・地下水について

表-3から各イオンの当量数を求め、百分比で示すと表-5が得られる。主成分6種類の合計で日本の河川と比較すると、表-5であきらかなように内陸河川は溶存物質が多い。日本の平均値1.5ミリ当量に対して少ないものでも4倍余りも溶存していた。日本の河川ではカルシウムはナトリウムの2倍、マグネシウムはナトリウムの0.8倍位の割合であるが、内陸河川はナトリウム(I族元素)の占める割合が大きく、相対的にカルシウムとマグネシウム(Ⅱ族元素)の占める割合が減少している。Ⅱ族元素であるカルシウムとマグネシウムの割合も、日本の河川の平均値はカルシウムがマグネシウムの2.5倍であるが、今回得られた試料では、カルシウムがマグネシウムより少ないものが半数にも達した。この事実は、天然水が蒸発によって体積を減じるときにはまず最初に、溶解度の小さい炭酸カルシウムが沈澱し、カルシウムの相対的な存在量が減少

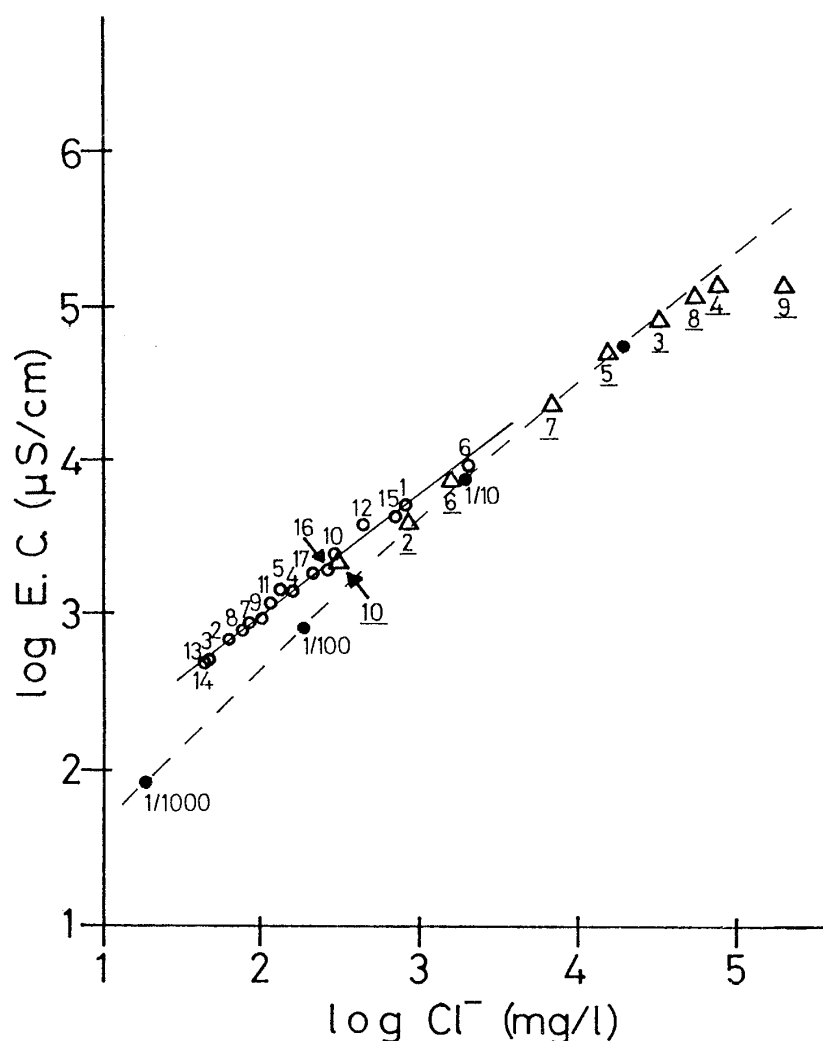


図5. 電気伝導率と塩化物イオン濃度との関係

- 印 河川水・地下水
- △印 湖沼水
- 印 海水

することで説明される。乾燥地帯を流れる河川は一般に溶存物質に占めるカルシウムの割合が小さい。地下水も河川水が伏流したもので、河川水と同じ傾向を示した。

4.2.2 湖沼水について

河川水と同様に表-4から各イオンの当量数を求め、百分比で示すと表-6が得られる。湖沼水の水質も河川水と同じ傾向を示しているが、表-6に示したように、湖沼水の溶存物質量はさらに大きく、海水の9倍の塩化物イオンを含有する塩湖もみつかった。

含有成分の割合も、ナトリウムに代表されるI族元素の割合が多くなり、この傾向は河川水より湖沼水に著しい。II族元素の割合は相対的に減少し、II族元素のうちではカルシウムが少なく、相対的にマグネシウムが多くなっている。

表-5 河川水・地下水の化学組成-2

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	Na (eq%)	K (eq%)	Ca (eq%)	Mg (eq%)	合計 (meq/l)	Cl ⁻ (eq%)	SO ₄ ²⁻ (eq%)	合計 (meq/l)
1	7-23	且末河(街内)	58	2	8	30	43	57	43	40
2	7-25	且末河上流(吐拉)	32	1	38	28	5.6	58	43	3.7
3	7-26	且末河(街入口)	36	1	40	23	5.9	51	48	3.3
4	7-27	且末飲用水(地下水)	39	1	26	33	12.9	55	45	8.8
5	7-29	若羌飲用水(地下水)	45	1	24	30	11.9	47	53	9.4
6	8-08	ムナプラーク水場	57	1	24	20	88	64	36	85
7	8-08	チンプラーク水場	38	1	28	33	9.9	43	57	7.7
8	8-11	カーツ橋	43	1	26	28	7.4	58	42	5.0
9	8-11	砂漠の川-1(且末-若羌)	35	1	46	18	10.9	36	65	9.6
10	8-11	砂漠の川-2(且末-若羌)	44	1	43	13	20.1	38	60	20
11	8-13	若羌河	38	1	20	40	12.1	37	59	11
12	8-18	小川(若羌-鴨子泉)	38	1	43	19	39	31	69	39
13	8-20	鴨子泉	30	1	50	22	4.3	55	46	2.6
14	9-01	小川(向陽湖流入)	28	1	43	29	4.3	63	37	2.15
15	9-11	孔雀河	47	1	17	35	16.1	44	56	13.4
16	9-11	塔里木河	51	1	23	24	14.6	57	43	13.9
17	9-11	三十四団飲用水(地下水)	43	1	26	30	40	56	44	24
日本の河川の平均値(小林)			26	3	51	20	1.01	32	68	0.52

表-6 湖沼水の化学組成-2

試料 番号	採取 月日	試料採取地点	Na (eq%)	K (eq%)	Ca (eq%)	Mg (eq%)	合計 (meq/l)	Cl ⁻ (eq%)	SO ₄ ²⁻ (eq%)	合計 (meq/l)
1	7-12	天池	13	1	68	18	1.16	0	100	0.23
2	8-27	桃湖	73	1	2	26	30	96	4	24.2
3	9-01	向陽湖	85	1	0	14	870	96	4	872
4	9-01	涸池	88	0	0	10	2600	70	30	2700
5	9-02	囲山湖	67	0	4	29	550	79	20	540
6	9-03	仏の湖	76	1	3	19	68	84	16	54.3
7	9-04	玉液湖	73	1	3	22	220	78	22	195
8	9-04	北西進の湖	94	0	0	4	1800	86	14	1600
9	9-08	阿尔金山北の塩湖	47	1	0	51	6000	98	2	4900
10	9-10	大西海	51	1	22	26	17.8	53	47	16.4
11-2		海水(大磯)	77	1	3	18	560	90	10	564
日本の河川の平均値(小林)			26	3	51	20	1.01	32	68	0.52

5. まとめ

採取した水試料は自然界での存在状態から「河川水」と「湖沼水」とに区別して別々に表示したが、前項の「電気伝導率と塩化物イオン濃度との関係」および「含有成分の特徴」から考えると、この区別では適当でない例がある。「天池」と「大西海」は共に河川水としての特徴を示しており、存在状態は湖沼であっても、河川の仲間に加えることが適当と考えられる。表-6からこの二つを除くと、乾燥気候に支配された地域の河川や湖沼の水質の特徴を以下のようにまとめることが出来る。

- (1) 日本の河川水と比べて溶存物質量が多い。
- (2) 濃縮が進む過程でまずカルシウムが除かれる。
- (3) さらに濃縮が進むと硫酸イオンが除かれる。
- (4) 以上の結果として溶存物質に占めるナトリウム・マグネシウムの割合が相対的に大きくなる。

6. 謝辞

本調査は中国科学探険協会の事業として行われた。数々の困難な状況をくぐり抜けて科学探険を成功に導いた中国科学探険協会の皆様、あらゆる協力を惜しまなかった中国と日本の関係者の方々に深い敬意を表します。75日間の海外調査を許可して下さった横浜国立大学教育学部教授会の皆様に感謝します。