

## キルギスの生活用水

### Water for Living in the Kyrgyz Republic

富田 寿代\*、水谷 令子\*\*

Hisayo TOMITA, Reiko MIZUTANI

#### Abstract

Usage and quality of water for living were investigated from Osh to Bishkek via Narin in the Kyrgyz Republic. About half of the people in the country do not have direct access to piped water and the residents outside the water supply area use untreated groundwater or surface stream water. The groundwater used for living showed hardness of 335–580 mg/L with high concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ , and had more than 0.35mg/L of  $\text{NH}_4^+$ . In tap water to the contrary, levels of electric conductivity and hardness were low with little content of ions such as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Keyword: water quality, water for living, the Kyrgyz Republic

#### 1. はじめに

1960年代から旧ソビエト連邦は「自然大改造計画」により、アラル海などの内陸湖沼に流入する河川から灌漑水路を沙漠地域に引き込み、大規模灌漑農業を繰り広げた。それにより、綿花や穀物の生産は飛躍的に増大したが、湖沼は干上がり土壌が塩類化するなどの環境破壊を引き起こした。

中央アジアにおける電力および道路等のシステムや上下水道等の施設は旧ソ連時代に計画・建設され、中央統制のもと運用されてきた。政権崩壊後は独立した5ヶ国に引き継がれ活用されているが、経済的な事情などから、それぞれの設備は十分な補修・管理がされないままで老朽化が著しい<sup>1)</sup>。この地域は石油・天然ガスなどの化石燃料がカザフスタン、ウズベキスタン、トルクメニスタンに偏在する一方、水資源はシルダリヤ及びアムダリヤ

---

\*本学教授、生活環境 (Living Environment)

\*\*本学名誉教授、生活文化 (Living Culture)

上流に位置するキルギス及びタジキスタンにある。かつては連邦を構成する共和国の間で水力発電（上流国）と灌漑農業（下流国）の役割分担がなされ、水資源を持つ国は灌漑用水供給のために貯水池運用をおこない、この補償措置として、下流国から冬期の燃料と電力を補給することで地域間のバランスが保たれていた。独立後は、それぞれが自国の利益を守ることを優先せざるを得なくなり、冬期発電放流による下流国での洪水発生と夏期の渇水発生などの被害が顕在化するようになっている。

キルギスは天山山脈の西側斜面に横たわる山国であり、南東に標高 7000m 級の連峰を隔てて中国新疆ウイグル自治区、北はカザフスタン、西はウズベキスタン、南西にタジキスタンと国境を接している。国土の 90%以上が標高 1000m を超える高原や山地で、そのうちの半分近くが万年雪と氷河に覆われた 3000m 以上の高山である。1925-50 年の非効率な林業経営で森林面積は国土の 3%まで減少し、その後の植林政策により 4.3%まで回復したものの、財政難と人手不足のため保育間伐がおこなわれず、森林の質が低下した。旧ソ連邦から独立後の 1997 年以降は持続可能な森林経営を目指し、法制度の整備を始めとする様々な取り組みがなされている<sup>2)</sup>。

この国では、物流・人流共に約 95%を道路交通に依存しており、道路は中央アジア地域を結ぶ交通手段としてだけでなく、地域住民の生活にも重要な機能を果たしているが、都市間を結ぶ幹線道路であっても、十分な維持管理はおこなわれておらず、毎年 200km の道路が機能を損失していると推定される<sup>3)</sup>。ほぼ中央に横たわる天山山脈の支脈によって、国土は南北に大きく二分され、北側にある首都ビシケクと南側のキルギス第 2 の都市オシュを結ぶのは空路か 2 つの道路のみとなる。これらの道路は国の大動脈でありながら、高い峠を越える山道で、冬期は雪のため通行止めになることもある。

中央アジアは地核変動帯を有していると同時に、レスに覆われた地域が多く、さらに、シルダルヤやアムダリヤからの出水などにより、地震・土石流・地滑り・洪水等の発生頻度が高く、社会インフラに影響を与える箇所も多い。さらに、温暖化の影響で氷河の一部が融解して氷河湖が形成され、その湖岸決壊により大量の湖水が土砂と共に流出し、下流の集落や都市に被害が発生している。国土の大半が山岳地帯であるキルギスは、常に地滑りのリスクにさらされている。2001-09 年の非常事態発令は 175 件で、死者は 85 名と報告され、特に南部地区の道路は危険箇所の割合が高い。また、ウラン鉱滓、有毒廃棄物、規格外鉱滓等の埋立処分所が 61 カ所あり、その周辺地域での地滑りに伴う放射性物質等の流出リスクが強く懸念されている<sup>4)</sup>。

キルギスのエネルギーは 8 カ所の水力発電所と 3 カ所の火力発電所に頼っている。主力水力電源は南部のナリン川流域（トクトグル貯水湖を含む）の 5 つの発電所であるが、北部の都市はビシケク火力発電所に接続していて、需要は南部より大きい。夏期は下流国の灌漑用にダムの放水をおこない水力発電量が国内需要を大きく上回るため、全体としては

電力輸出国（カザフスタンやウズベキスタンに輸出）の構造が示されている。近年、増加傾向を示している国内の電力需要は、暖房や給油等により冬期に集中しているが、化石燃料の輸入が必要なことと施設の老朽化等により、十分な火力発電はなされないで、冬期の電力不足は必然的に水力発電に頼ることになる。周辺国（下流国）はキルギスに対して、冬期の発電放流の抑制と夏期の灌漑流量の確保を求めているが、各国の利害調整が難しく、合意はできていない。2007-08年、2008-09年の厳冬による電力需要の急増と至近年継続的に流入量が減少したことなどにより、トクトグル貯水湖の貯水量が低下していることから、冬期の電力不足および灌漑用水の確保が危ぶまれている<sup>5)</sup>。

本研究は、乾燥地域における水環境の現状を把握するとともに持続可能な水資源保護を検討することを目的として、各地の生活用水調査をおこなっている<sup>6-10)</sup>。今回は、上記のような問題を抱えるキルギスのオシュからナリンまで、さらにナリンから北上してチョクトル（イシククル湖岸の町）、ビシケクまでの各地の生活用水を調査したので、その結果を報告する。

## 2. 試料採取および実験方法

オシュ～ジャララバード～（カルダマ峠）～カザルマン～（峠）～ナリン～（ドロノ峠）～チョクトル～ビシケクの各都市および集落で調理・飲用や洗濯等に使用されている井戸水や水道水を採取し、以下の項目について調べた。

＜アルカリ度、酸度、硬度＞ いずれも上水道試験方法<sup>11)</sup>に従って比色滴定で求めた。総アルカリ度とは水中に含まれる炭酸水素塩、炭酸塩、水酸化物などのアルカリ分をこれに対応する炭酸カルシウム量（mg/L）で示したものである。また、総酸度は水中の炭酸、鉍酸などを中和するのに必要なアルカリの量をこれに対応する炭酸カルシウム量（mg/L）で示したものである。総アルカリ度はMR混合指示薬（メチルレッド/ブロムクレゾールグリーン）、総酸度はフェノールフタレイン指示薬を用いた。総硬度は、水中のカルシウムおよびマグネシウムイオンの量をこれに対応する炭酸カルシウムの量（mg/L）に換算したものである。総硬度、カルシウム硬度ともに、EDTA（エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム）法により求めた。

＜その他の測定＞ pH、電気伝導度（EC）、全溶存固形物量（TDS）、酸化還元電位（ORP）、塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）、硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）は、マルチ水質モニタリングシステムU-23（堀場製作所）で、ナトリウムイオン（Na<sup>+</sup>）とカリウムイオン（K<sup>+</sup>）はイオンメータ（堀場製作所）で測定した。検水中の硫酸イオン（SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>）は可視紫外分光光度計（UV1200 島津製作所）を用いて硫酸バリウム比濁法 [5.0～300mg/L] で、また、デジタル水質分析計（DPM-MT 共和理化学研究所）により、亜硝酸イオン（NO<sub>2</sub><sup>-</sup>）はナフチルエチレンジアミン法 [0.020～1.000mg/L]、アンモニウムイオン（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）はインドフェノール青法 [0.20～5.00mg/L]、リン酸イオン（PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>）はモリブデン青法 [0.10～5.00mg/L]、溶存鉄（Fe<sup>+2</sup>、Fe<sup>+3</sup>）はo-フェナントロリ

ン法 [0.20~5.00mg/L]、有機物濃度に相当する化学的酸素要求量 (COD) はアルカリ性過マンガン酸カリウム法 [2.0~10.0mg/L] で、それぞれ吸光度法により定量化した。[] 内は測定範囲であり、これを超える場合は試料を希釈して測定した。全ての測定は  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  でおこなった。

### 3. 結果及び考察

キルギスは全体的に見ると乾燥した大陸性気候であるが、山岳地帯は冬の寒さが厳しく、西部の谷間や山麓での冬は比較的暖かく雨量も多い。ジャララバードからカザルマンへはカルダマ峠 (フェルガナ山脈) を、カザルマンからナリンを経由して北部へも幾つかの峠 (天山支脈) を越える険しい山道で、一部は舗装もされていず、随所に陥没箇所や崩れ落ちた土砂が散見された。オシュでは夜間 (午前 7

時ごろまで)、ナリンでは昼間 (午後 5 時ごろまで) に連日 8 時間ほど停電していた。ダム湖の貯水量の低下に伴い、需要の少ない時間帯の送電を止めているのであろう。上水道普及率は、ビシケクで 100%、その他の都市部では 65%、農村部は 35%、全体では約 50% と報告され<sup>12)</sup>、給水区域外の住民 (特に農村部の 65%、約 100 万人) は井戸水や表流水をそのまま利用している。調査したほとんどの都市や集落には上水道が設置されていたが、上水道がなく共同井戸を利用し



図1 調査地図 (数字は試料番号を示す)

表1 採取試料の詳細

No	採取日	採取地	資料の種類	特記事項
1	8/20	Almati/KAZAKHSTAN	水道水	洗面水 「BEST EASYERN OTRAR」
2		Qorday/KAZAKHSTAN	井戸水	休憩所トイレ
3		Bishkek	水道水	レストラン「コンドル」
4		Osh	水道水	洗面水「CRYSTAL HOTEL」
5	8/21	Jalalabat	水道水	レストラン
6		Kaldama pass	湧水	
7		Kazarman	井戸水	共同井戸
8	8/22	Kazarman	井戸水	7mの井戸/B&B
9		Ugut	湧水	農家の生活用水
10		Narin	水道水	レストラン「アナグル」
11		Narin	水道水	ゲストハウス 「GUEST HOUSE TOGUZ-AK」
12	8/23	Narin	河川水	Kichi-Narin河上流
13	8/24	Doloon pass	湧水	遊牧民の生活用水
14		Kochor	水道水	観光用工房
15	8/25	Chok-Tal	水道水	洗面水 「CLUB HOTEL ROYAL BEACH」
16		Tokmak	水道水	レストラン
17	8/26	Bishkek	水道水	洗面水「AK-KEME HOTEL」

ている村もあった。図 1 に調査地の概図を、表 1 に採取試料の詳細を示す。図中の数字は表 1 の試料番号である。

全ての試料中の 2 価および 3 価の鉄イオンは測定範囲以下であった。また、COD の値は 2.1mg/L 以下で、日本の水道水基準を満たしていた。アルカリ度を有する水には硫酸、塩酸、硝酸などの鉱酸による酸度は存在しないため、総酸度は遊離炭酸によるものである。遊離炭酸は水に新鮮さを与える成分であり、適量は 25mg/L 程度とされている<sup>13)</sup>。試料の総酸度は 0 または 5mg/L 以下であった。

＜井戸水・湧水＞ 井戸水や湧水の理科学的測定結果を表 2 に示す。

表2 井戸水・湧水の理科学的測定結果

No	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	Cl <sup>-</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/L	総硬度 mg/L	加カル硬度 mg/L	総アルカリ度 mg/L
2	7.21	74.2	0.47	317	38.5	83	26	0.020	0.42	2	< 0.1	169.0	335	235	320
6	7.56	34.0	0.22	402	0.76	3	9	0.020	< 0.2	0	< 0.1	17.9	150	120	185
7	7.45	148	1.20	429	65.6	47	25	0.042	0.37	3	0.11	284.0	580	465	315
8	7.69	61.0	0.39	385	47.7	37	16	0.027	0.35	2	< 0.1	148.4	335	240	250
9	7.64	57.2	0.37	432	10.0	16	13	<0.02	0.31	3	0.17	208.0	400	320	300
12	7.85	70.7	0.45	393	3.8	5	13	0.020	< 0.2	1	< 0.1	307.1	500	320	205
13	8.06	21.5	0.14	387	3.1	2	8	<0.02	0.21	0	< 0.1	< 0.2	160	125	165

コールダイ（カザフスタン）にある休憩所はカザフスタンとキルギスを結ぶ幹線道路沿いにあり、マーケットやレストラン、ガソリンスタンドなどが併設されている。No. 2 は多くの利用客が手洗い用に使っている地下水で、硬度 335mg/L、アルカリ度 320mg/L、SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> は 169.0mg/L であった。Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>濃度が 83、38.5mg/L で、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は 0.42mg/L 認められた。

キルギスのほぼ全土を東西に覆う天山山脈の支脈に対して、フェルガナ山脈は国の中ほどに南東から北西にかけてそびえている。No. 6 はフェルガナ山脈を越える道路脇に湧き出した水の 1 つで、カルダマ峠（標高 3062m）で採取したものである。EC は 34.0ms/m と低く、総硬度が 150mg/L で、各種イオンの含有も少ない。

カザルマンはこの峠の東側にある標高 1230m の町で、農業と牧畜を生業とする小規模な農業集落である。水道は引かれていないが、地下水位は比較的高く、水量も不足していない。No. 7 はこの集落の共同井戸、No. 8 は B&B で独自に掘った深さ 7m の井戸から採取した水で、どちらもカメやタンクに貯め置いて調理やシャワー等に利用していた。No. 7 は硬度

580mg/L、アルカリ度 315mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 284.0mg/L で、No. 8 は硬度 335mg/L、アルカリ度 250mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 148.4mg/L であった。同じ集落の中でありながら、このように値が異なるのは、井戸の深さによるものであろう。しかし、いずれも、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ の濃度が高く、 $\text{NH}_4^+$ は 0.35mg/L を超えている。さらに、 $\text{NO}_2^-$ は 0.042mg/L (No. 7) と 0.027mg/L (No. 8) であった。耕地は集落の端に集中しているが、住民は住居の敷地内に家畜小屋を持ち、野菜等も作っているため、糞尿や肥料による汚染も考えられる。さらに、この町の近くには金鉱や精錬所もあり、今回の調査からは結論づけることはできないが、地下水の水質に対する十分な監視が必要であろう。

カザルマンからナリンに向かう道は標高が低いところではナリン川と併走し、川岸の平地には延々と向日葵が栽培されている。そのうちの 1 軒の農家は、川の畔に厩舎を建てて家畜を飼い、川床からの湧水を調理や飲用に用いて生活していた。No. 9 はその湧水であるが、硬度 400mg/L、アルカリ度 300mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 208.0mg/L であった。 $\text{NH}_4^+$ が 0.31mg/L、 $\text{PO}_4^{3-}$ は 0.17mg/L 認められた。肥料や家畜の糞尿が川に流れ込み、湧水に混入している恐れがある。人間用のトイレは住居を挟んで川とは反対側の道路近くに作られていたが、川までの距離は十分とはいえない。No. 12 はナリン川上流 Kichi-Narin (標高 2300m) の河川水であり、硬度 500mg/L、アルカリ度 205mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 307.1mg/L であった。

都市部を離れた山の斜面には放牧された家畜（羊や山羊など）の群れと牧民が夏を過ごすためのユルタ（移動式住居）が幾つも造られている。ナリンから 50km ほど北に位置するドロニ峠 (標高 3028m) にもユルタがあり、傍の湧水を牧民が飲用や洗濯に利用していた。No. 13 はその湧水で、EC は 21.5ms/m と低く、硬度は 160mg/L であった。比較的標高が低い地域の地下水や表流水に比べると、標高 3000m 以上の峠の湧水は、2 つとも硬度が低く、イオン含有量も少ない。標高が高いところでは、地中に浸透した融雪水が、土壌の影響を受けずに、さらに、周辺に畑がないため肥料や農薬に汚染されることもなく湧き出したと思われる。

＜水道水＞ 調査地域の水道水については、赤水や断水などの苦情はきかれなかった。また、どの地域でも、水量に問題はないようであった。表 3 に水道水の理科学的測定結果を示す。

No. 1 はアルマティ（カザフスタン）のホテル洗面水で、EC は 32.9ms/m、硬度 160mg/L、アルカリ度 155mg/L であった。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 濃度は 14、7.2mg/L と低いが、 $\text{SO}_4^{2-}$ は 62.8mg/L であった。

キルギスの首都ビシケクはキルギス・アラ・トー（天山支脈）の北斜面に位置し、標高 800m の平地にある。町のどこからでも万年雪を頂く山々を望むことができ、その融雪水が町を潤し、樹木を茂らせている。旧ソ連時代の都市計画で造られ、広い道路が東西南北に

走り、街並みに特徴は乏しいが、都会的で洗練されている。No. 3 は市街地のレストランの水道水で、EC が 35.6ms/m、硬度 200mg/L、アルカリ度 195mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 45.6mg/L であった。また、No. 17 は町の南側にあるホテルの洗面水であり、EC が 41.7ms/m、硬度 245mg/L、アルカリ度 225mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 42.4mg/L であった。この 2 つの試料は数値に幾分ばらつきがあるが、同じ市内の水道水である。

表 3 水道水の理科学的測定結果

No	pH	EC ms/m	TDS g/l	ORP mV	$\text{Cl}^-$ mg/L	$\text{Na}^+$ mg/L	$\text{NO}_3^-$ mg/L	$\text{NO}_2^-$ mg/L	$\text{NH}_4^+$ mg/L	$\text{K}^+$ mg/L	$\text{PO}_4^{3-}$ mg/L	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/L	総硬度 mg/L	カルシウム硬度 mg/L	総アルカリ度 mg/L
1	6.75	32.9	0.21	345	7.2	14	23	<0.02	< 0.2	1	0.11	62.8	160	155	155
3	7.35	35.6	0.23	382	13.0	16	21	<0.02	0.22	1	< 0.1	45.6	200	150	195
4	7.56	40.2	0.26	343	5.9	9	14	0.060	0.21	2	< 0.1	81.4	230	140	150
5	7.44	41.7	0.27	424	5.0	11	20	0.024	< 0.2	1	< 0.1	49.9	230	190	255
10	7.87	36.5	0.24	386	5.8	10	9	0.020	< 0.2	0	< 0.1	45.7	175	125	170
11	7.85	37.6	0.24	422	6.2	10	9	<0.02	< 0.2	0	< 0.1	45.2	190	140	155
14	7.90	36.5	0.24	403	10.6	22	14	<0.02	< 0.2	3	< 0.1	46.7	220	170	215
15	7.88	27.5	0.18	410	4.2	11	11	<0.02	< 0.2	3	0.11	15.6	170	130	170
16	7.68	55.6	0.36	421	10.6	11	18	0.022	< 0.2	2	< 0.1	47.6	285	200	230
17	7.71	41.7	0.27	443	11.5	13	25	<0.02	< 0.2	1	< 0.1	42.4	245	215	225

オシュはフェルガナ盆地（フェルガナ山脈の西側）の南東部にあるキルギス第 2 の都市であり、南部の政治・経済・文化・交通の中心となっている。森林や街路樹などの緑は少ないが、土壌は肥沃で農業が盛んであり、水田で米も栽培されている。No. 4 は中心地にあるホテルの洗面水で、EC が 40.2ms/m、硬度 230mg/L、アルカリ度 150mg/L で、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 81.4mg/L であった。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  濃度は低い、 $\text{NO}_2^-$  が 0.06mg/L 認められた。

フェルガナ盆地の北東にあるジャララバードはオシュに次ぐ規模の町であるが、交通量は少なく、バザールを除いて人通りは少なかった。No. 5 は中心地にあるレストランの水道水であり、硬度 230mg/L、アルカリ度 255mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 49.9mg/L であった。

ナリンは、タシュラバト（15 世紀のキャラバンサライ跡）やトルガルト峠（中国との間

で唯一開かれている国境)などを訪れる際の拠点となっているが、シルクロードの主要ルートから外れていたためか街並みには特徴がない。上水道は布設されているが、大半の家庭には水栓がなく、住民の多くは共同水道を利用している。大きなレストランや宿泊施設には水道が引かれているが、浴室やトイレは共同である。No. 10、11 はレストランとゲストハウスの水道水である。硬度は 175 と 190mg/L、アルカリ度が 170 と 155mg/L で、pH、EC、イオン濃度等の値は類似している。このゲストハウスは町で最も設備の整った宿泊施設であり、共同バスは寝室の棟とは別になっていて、5 つのシャワー室と 3 つの水洗トイレを備えている。屋根の上に設置した 1000L の貯水タンクに水道水を引き上げ、数十人の宿泊客が温水シャワーを十分に利用できるようになっている。ドイツ製のドラム式の洗濯機を備えて、洗濯サービスもおこなっていた。また、厨房・シャワー・トイレ等の排水を直接下水処理施設に送るために、独自に下水道設備を設置していた。

コチュコルはドロン峠を挟んでナリンの北にある村で、水道水は各家庭に配水されていた。この村にある工芸品の工房では伝統的な手法でシルダック(フェルトのパッチワーク)やアラ・キーズ(染めた羊毛で模様を作って圧縮)などのフェルト工芸品を作成し、観光客に販売もしている。水道水は調理・飲用とともに工房での作業にも大量に使われている。No. 14 はこの水道水で、硬度 220mg/L、アルカリ度 215mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 46.7mg/L であった

No. 15 はイシクル湖畔の町、チョクタルのホテル洗面水である。EC が 27.5ms/m、硬度・アルカリ度ともに 170mg/L で、 $\text{SO}_4^{2-}$  が 15.6mg/L と低く、良く管理されているようである。イシクル湖の周囲は旧ソ連時代からの保養所や休養施設が点在し、夏季は避暑や湖水浴などを目的に国内外から多くの人が訪れるため水需用が急激に増加する。近年は観光開発の圧力が高まり、ペンションやレストラン・カフェなどが乱立している。湖畔最大の観光拠点である Cholpon-Ata は観光収入による外貨獲得をおこなう都市として経済面においても重要な位置づけを持っているが、夏場は下水処理場の能力を超えて排水が急増するため、沈殿処理のみで上澄みが放流され、湖水のバクテリア汚染などが深刻化している。また、下水を処理場まで揚水するポンプ施設も老朽化し、故障が頻発している状況であり、重大な故障により揚水できない場合は汚水が直接湖に流入し、深刻な水質汚濁を引き起こす危険もある<sup>14)</sup>。チョクタルは新しいリゾートホテルを中心に拓かれつつある町であり、現在は水道水の水質に問題はなくとも、遠くない将来に Cholpon-Ata と同様の問題が起これと予想される。大きな保養所やホテルは独自の排水処理施設を備え水源の保全に努めているが、昨今のホテルラッシュではそのような配慮は期待できないだろう。

トクマクはビシケクの東方 60km にある小さな町であるが、周辺に 6-13 世紀の遺跡(チュルク系民族のカラハン朝や契丹人の西遼、ソグド人・ペルシャ人・シリア人・中国人などで栄えた突厥の首都など)が点在し、観光の中継点となっている。No. 16 はこの町のレストランの水道水で、硬度 285mg/L、アルカリ度 230mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$  は 47.6mg/L であった。



表 2、3 の  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の相関を図 2 に示す。全体に  $\text{Cl}^-$  より  $\text{Na}^+$  が多く、相関係数は 0.84 であった。コールダイの地下水 (No. 2) は  $\text{Na}^+$  濃度が、カザルマンの地下水 (No. 7、8) は  $\text{Cl}^-$  濃度が高いために相関から外れている。

同様に総硬度と総アルカリ度の相関を図 3 に示す。

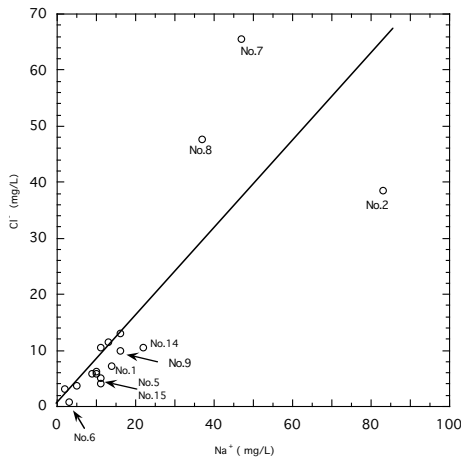


図 2  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の相関

$$y = 0.53 + 0.79x \quad (r^2 = 0.84)$$

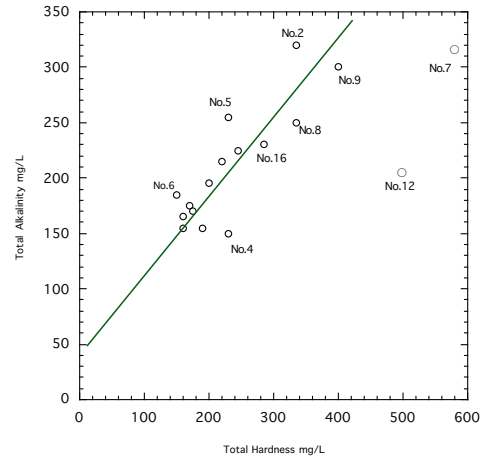


図 3 総硬度と総アルカリ度の相関

$$y = 41 + 0.71x \quad (r^2 = 0.91)$$

アニオンに比べてカチオンの濃度が高めであるが、相関係数は 0.91 でよく相関している。カザルマンの共同井戸水 (No. 7) と Kichi-Narin の河川水 (No. 12) は硬度が著しく高く、相関から外れている。表の  $\text{SO}_4^{2-}$  の値から、どちらも、 $\text{Ca}^{+2}$  や  $\text{Mg}^{+2}$  の一部が硫酸塩を形成し永久硬度となっていると推測される。

総硬度とカルシウム硬度の差がマグネシウム硬度であり、いずれの硬度もそれぞれのイオンの量 (mg/L) を炭酸カルシウムの量 (mg/L) に換算したものであるから、以下の式に従って  $\text{Ca}^{+2}$  と  $\text{Mg}^{+2}$  の値を算出した。

$$\begin{aligned} (\text{Ca}^{+2}) &= (\text{Ca Hardness}) \div \frac{(\text{CaCO}_3)}{(\text{Ca})} \\ &= (\text{Ca Hardness}) \div 2.5 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{Mg}^{+2}) &= (\text{Mg Hardness}) \div \frac{(\text{CaCO}_3)}{(\text{Mg})} \\ &= (\text{Mg Hardness}) \div 4.1 \quad (2) \end{aligned}$$

原子量は  $\text{Ca}=40.1$ 、 $\text{Mg}=24.3$ 、  
分子量は  $\text{CaCO}_3=100.1$  とする。

得られた  $\text{Ca}^{+2}$  と  $\text{Mg}^{+2}$  の相関を図 4 に示す。ややバラツキはあるが、 $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}=0.19$  なり、 $\text{Mg}^{+2}:\text{Ca}^{+2}$  は 1:5 程度である。オシュの水道水 (No. 4) と Kichi-Narin の河川水 (No. 12) は  $\text{Mg}^{+2}$  濃度が高いために相関から外れている。 $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$  の値は、No. 4 が 0.39、No. 12 が 0.34 である。

#### 4. まとめ

キルギスの南部オシュからナリン、北部のビシケクまでの各地で生活に使われている井戸水および水道水について調べた。山岳地帯では沢山の湧水があり、山間の集落における地下水の水量も豊富である。標高 3000m 以上の峠の湧水は EC、硬度ともに低く、低地の井戸水はイオン含有量の多い硬水であった。一部の井戸水で検出された  $\text{PO}_4^{-3}$ 、 $\text{NH}_4^{+}$  は水の味を悪くするだけでなく、濃度が高くなると健康被害も懸念されるため、継続した調査が必要であろう。水道水については、EC は 27.5 ~ 55.6ms/m、硬度は 160 ~ 285mg/L と低く、各イオンの含有も少ない。全試料の  $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$  はおよそ 0.19 で、表流水 (Kichi-Narin 河川水) は 0.34 であった。

中央アジアの他の国と同様に、キルギスの上下水道施設のほとんどは十分なメンテナンスがなされないままかなり老朽化しており、多くは使用に耐えない状態であると報告されている。また、上水道の水質は 50% が基準を満たしていないことに加えて、配水パイプや蛇口からの漏水により 30% 以上の水が無駄になっている<sup>12)</sup>。浄水施設の充実も急務であるが、配水設備の補修・交換とともに住民の節水意識の向上を図る必要があるだろう。キルギス政府は水源保護と 40% の下水接続率を提唱してきたが、肝心の処理施設の老朽化と維持管理費の不足により、十分な処理は望めないばかりか過放牧と不法伐採による森林喪失や鉱山公害により水源保護も危うくなっている。地域住民の公衆衛生の向上のためにも、上下水道施設の充実・改修や運営・管理などに早急な国際援助が望まれる。

前回の調査 (1999) では、天山山脈の北側 (イシククリ周辺やビシケク) に住む人々は、“天山の湧水や地下水は良質な水” という概念をもっていた。今回もビシケクや南部地方の住民から同様の言葉を住民から聞かされたが、灌漑井戸水の過剰揚水による塩害や農薬・家畜の糞尿・重金属による水質汚染も報告されており、人々が信じる「地下水は安全で美味しい」という神話は崩れつつあるようだ。

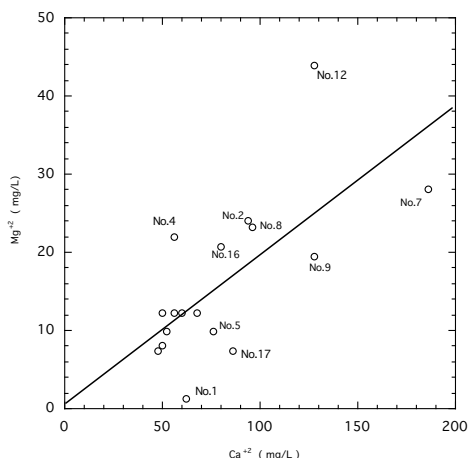


図 4  $\text{Mg}^{+2}$  と  $\text{Ca}^{+2}$  の相関

$$y = 0.67 + 0.19x \quad (r^2 = 0.73)$$

## 文献

- 1) 塚谷恒雄；「中央アジアの政治経済管見」（地球水環境と国際紛争の光と影），信山社，p73-87（1995）
- 2) 「キルギス参加型森林再生・保全プロジェクト事前調査報告書」，国際協力機構地球環境部，p1-10（2008）
- 3) 「キルギス共和国道路維持管理能力向上プロジェクト事前評価調査報告書」，国際協力機構社会開発部，p7-22（2008）
- 4) 「中央アジア地域防災分野プロジェクト準備調査報告書」，国際協力機構，p6-23（2009）
- 5) 「中央アジアの電力・水資源に関する地域連携に関する委託調査報告書」，国際協力機構，p8-89（2009）
- 6) 富田寿代，水谷令子：「中央アジアの生活用水の現状」，鈴鹿国際大学紀要 No. 7，p195-205（2000）
- 7) 富田寿代，水谷令子：「中国北西部の飲料水の現状」，食生活研究 22（3），p28-34（2002）
- 8) 富田寿代，水谷令子：「トルコの生活用水調査」，鈴鹿国際大学紀要 No. 11，p213-226（2004）
- 9) 富田寿代，水谷令子：「アムダリヤ周辺地域の生活用水」，鈴鹿国際大学紀要 No. 14，p119-129（2007）
- 10) 富田寿代，水谷令子：「トルコ南部の生活用水」，鈴鹿国際大学紀要 No. 15，p163-172（2008）（2008）
- 11) 日本水道協会：「上水道試験方法」，日本水道協会，p121-132（2001）
- 12) 「中央アジア援助研究会報告書」，国際協力事業団，p1-3，（2001）
- 13) 和田洋六；「飲料水を考える」，地人書館，p144-148（2000）
- 14) 「キルギス共和国 Cholpon-Ata 市水環境改善計画予備調査報告書」，国際協力機構 p10-68（2008）

