

アムダリヤ周辺地域の生活用水

Water for Living in the Amu-Darya(riv.) Basin

富田 寿代*、水谷 令子**

Hisayo TOMITA, Reiko MIZUTANI

Abstract

Usage and quality of water for living were investigated in the basins of the Amu-Darya(riv.) and the Karakum canal. The residents of this area used groundwater or piped water for cooking, washing and drinking, and the water had permanent hardness. Karakum Canal reaches across southern Turkmenistan from the Amu-Darya. The piped water of the area showed 49-83 ms/m of electric conductivity and had neither NO_2^- nor NH_4^+ . The groundwater used in the lower reaches of the Amu-Darya showed over 1000 mg/L of total hardness and contained NO_3^- , NO_2^- , and NH_4^+ . There is concern of serious health impairment led by possible groundwater pollution by chemical fertilizers and domestic sewage. People should be more aware of saving water since the leakage of water from faucets or feeding pipes was often found.

Keywords: water quality, water for living, the Amu-Darya basin

1. はじめに

世界第4位の面積をもつ湖であるアラル海の急激な縮小が話題になって久しい。アラル海はカザフスタンとウズベキスタンにまたがる塩湖で、外海とのつながりを持たない陸封湖である。乾燥地帯の水資源として草原を育み、また地域住民の生活に安定した水供給をもたらしていた。その主な水源はパミール高原および天山山脈に源を発するアムダリヤ(川)およびシルダリヤ(川)の流入水である。砂漠を流れる2つの大河流域では幾つものオアシスが形成され、これらのオアシス都市はシルクロードの中継都市として東西交易の重要

*本学教授、生活環境 (Living Environment)

**本学名誉教授、生活文化 (Living Culture)

な拠点であった。オアシス付近では古くから灌漑農業が盛んで、綿花や稲を自給的に生産していた。もともと中央アジアでは遊牧が盛んであったが、このあたりの国々がソビエト連邦に併合されると定住政策がとられ、1950年代から始められた大規模な灌漑事業により、周辺の砂漠には2つの川から引かれた多数の運河が走り、砂漠を開拓して作られた農地が広がっていった。主要な灌漑作物である綿花の収穫量を上げるために化学肥料が、害虫を駆除するために農薬が大量に使用され、さらに、綿花の収穫時に不要な葉を除くためメルカプタン系の落葉剤が使われた。周辺地域では、農薬や落葉剤による直接的な健康被害ばかりでなく、高い乳児死亡率も問題になっている^{1),2)}。これらの化学物質は耕地表層に残留し翌年の灌漑冠水で地下水脈に溶け込み、夏の乾燥期に地表へしみだす地下水中のミネラル分と化学物質が水分蒸発により取り残される。この過程の繰り返しにより塩類が大量に蓄積した耕地は放棄され、新しい土地に灌漑水路を設けて同様な作業が繰り返されることになる。当然のことながら、河川主流からの灌漑水路の距離は徐々に伸び、急激な開拓で水路の保守は杜撰になり、溝だけの水路がつくられ、漏水率が高まっていった。はじめのうち主流河川の下流に戻されていた灌漑排水は、規模の拡大に伴って砂漠や草原の窪地に放置され、そこで蒸発する。その結果、砂漠は塩化し、草原は泥沼と化した^{3),4)}。

砂漠での大規模灌漑は水の浪費によってしか成り立たなくなり、1970年代から2つの大河の流量は減少し、アラル海は急激に後退した。1989年頃には北側の小アラル海と南側の大アラル海に、さらに現在は大アラル海が東西に分断されつつある。その塩分濃度は9.9 g/Lから30 g/Lに上昇した。この値は海水と同じであるが、硫酸イオンが多いなど化学組成は異なり、1984年に魚は姿を消した。かつてアラル海周辺は生態系の神秘さの宝庫であったが、いまや樹木や灌木はなく、鳥類やほ乳類の種類も激減している。気温は、冬季は5~6℃低下し、夏季は2~3℃上昇した⁵⁾。以上のように、アラル海では漁業の壊滅や周辺地域の生態系の激変に加え、土地の塩害化や住民の健康被害など様々な問題が発生している。

中央アジア諸国のインフラ施設の大半は旧ソ連邦時代に建設されたもので、水道施設も例外ではない。そのため、配水管を含め、主な設備は耐用年数に達しているか、近々耐用年数に達するものが多い。しかし、資金不足で、新しい設備の導入はもとより修繕・維持にかかる費用さえ捻出が難しいという事情がある。ウズベキスタンでは、1991年の独立まで、上下水道などの公共サービスは国家により管理され、料金は低く抑えられていたので、水に対するユーザーの節約意識は希薄であり、節水対策も十分に実施されていなかった。そのため、産業を含めたユーザーの水使用量は現在も極めて高い。主な原因はトイレ等住宅施設における建物内の漏水率が高いことや無駄遣いが多いことなどが指摘されている。人口増加率を考慮すると将来的に水需要は増加すると予測されている。水の供給は現在の設備がフル稼働であり、夏期には協定されている取水量いっぱいまで使用しているため、水資源の開発や設備の増設が必要となるが、それには多額の投資や財政負担をせざるを得

ない⁶⁾。中央アジアではいずれの国も同じような問題を抱えている。

本研究では、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⁷⁻¹⁰⁾。ここにおいて、天山山脈西麓のキルギスとウズベキスタン南部の水は pH8-9、総硬度 200 mg/L 以上で、砂漠地帯ほど EC が高く、 Mg^{2+} 含有量が多くなっているという結果が得られた⁷⁾。ここでは、様々な問題を抱えるアムダリヤ流域のウズベキスタン・トルクメニスタンの主な都市における生活用水について報告する。

2. 試料採取および実験方法

アムダリヤ下流域のホラズム地方とトルクメニスタンのカラクム運河沿いの主な都市および水源の異なるブハラ、タシケントにおいて調理・飲用や手洗い等に使用される生活用水を採取し、採取試料の生物学的検査は現地で、他の項目については試料を持ち帰り、以下の方法で調べた。

<一般細菌、大腸菌群> 簡易検出紙（サン化学株式会社）に採取した水 1 mL を吸い込ませ、 35 ± 2 °C で 24 時間培養した後、コロニーの数を数えた。

<アルカリ度、硬度> いずれも上水道試験方法¹¹⁾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、MR 混合指示薬（プロメクリンブルー）を用いた。総硬度は、水中の Ca^{2+} および Mg^{2+} 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、EDTA（エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム）を用いた。

<その他の測定> pH、電気伝導度 (EC)、全容存固形物量 (TDS)、酸化還元電位 (ORP)、塩化物イオン (Cl^{-})、硝酸イオン (NO_3^{-})、カルシウムイオン (Ca^{2+}) 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^{+}) はイオンメータ（堀場製作所）で測定した。可視紫外分光光度計 (UV1200 島津製作所) を用い、溶性ケイ酸 (SiO_2) はモリブデン黄法 (420nm) で、硫酸イオン (SO_4^{2-}) は硫酸バリウム法 (460nm) で吸光度法により定量化した。また、検水中の有機物の濃度に相当する化学的酸素要求量 (COD) は過マンガン酸カリウム酸化法、亜硝酸イオン (NO_2^{-}) はナフチルエチレンジアミン法、アンモニウムイオン (NH_4^{+}) はインドフェノール青法で比色分析により求めた。

いずれの測定も 25 ± 2 °C でおこなった。

また、 Mg^{2+} は次式より算出した。 $Mg^{2+} = (\text{総硬度} - Ca^{2+} \times 2.5) \div 4.1$ (1)

すべての試料で、炭酸イオンの 1/2 当量と水酸イオンによるアルカリ度は 0 または 5 mg/L であり、得られた総アルカリ度はほとんどが炭酸水素イオンによるものであった。

3. 結果及び考察

先に述べたように、中央アジアの都市には旧ソ連時代に布設された上水道があるが、施

設の老朽化や薬品不足に加えて原水の水質悪化などの問題を抱えている。今回の調査地域において、大きな都市では各家庭に水道水が配水されており、水量も豊富らしくみえたが、郊外や砂漠の村では共同水道や井戸水を家庭のタンクに貯蔵して利用していた。

これは、地下水水位が下がっていること、水道があっても各家庭に水栓がなく、給水時間や水量に不安があるためと思われる。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。

アムダリヤはウズベキスタンのテルメズでアフガニスタンと接して流れた後、トルクメニスタンとウズベキスタンの国境を縫うように流れ、ウルゲンチ・ヌクスを経てアラル海に達する¹²⁾。流れの全てがアラル海に注いでいた時期もあったが、下流部の水量が激減した現在はアラル海のかなり手前で幾つにも分流し砂漠に消えている。表2にアムダリヤ下流域で採取した試料の理科学的測定結果を示す。

ホラズム地方はアムダリヤ下流のデルタ地帯を指し、古代から灌漑農業により都市が造られ中央アジアのオアシス文明の中核となったが、現在

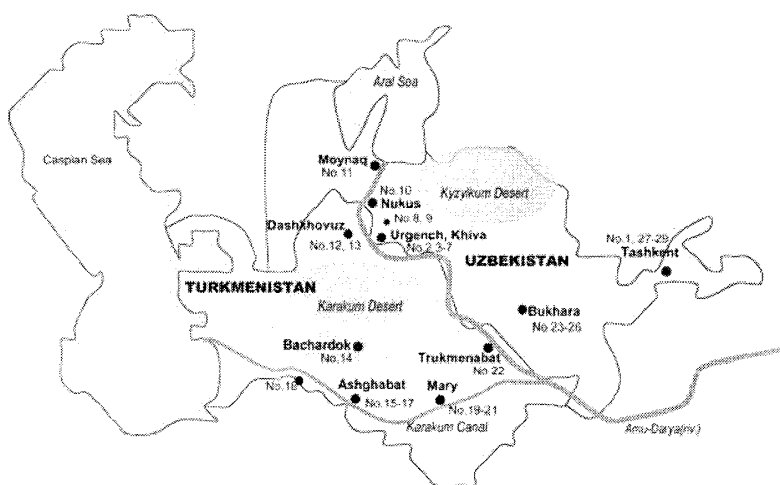


図1 調査地概図

数字は表1の試料番号を示す

表1 採取試料の詳細

Samp. No	採取日	採取地	資料の種類	特記事項
1	7.28	TASHKENT	ホテル洗面水 (水道)	Dedeman Hotel
2	7.29	URGENCH	水道水	空港
3	7.29	KHIVA	地下水	choyhona
4	7.29	KHIVA	地下水 (ポンプ井戸)	シルク系染め工房
5	7.29	KHIVA	地下水 (つるべ井戸)	Pahlavon Mahmud Mausoleum 伝説の泉、飲む人もいる
6	7.29	KHIVA	地下水	民宿台所
7	7.30	KHIVA	ホテル洗面水 (水道)	Azia Khiva
8	7.30	BERUNI	地下水 (ポンプ井戸)	民家調理用 (カメに貯蔵)
9	7.30	Topraq-Qala	水道水	麓から運んでタンクに貯蔵
10	7.31	NUKUS	洗面水 (水道)	Jipeg Jolly (P&B)
11	7.31	MOYNAQ	地下水 (ろ過処理)	民家調理用、タンクに貯蔵
12	8.1	DASHKHOVUZ	水道水	restaurant
13	8.1	DASHKHOVUZ	ホテル洗面水 (水道)	Uzboy
14	8.2	BACHARDOK	水道水	カラクム砂漠の村 (地下に貯蔵)
15	8.2	ASHGHABAT	ホテル洗面水 (水道)	Nissa
16	8.2	ASHGHABAT	水道水	restaurant
17	8.3	ASHGHABAT	水道水	restaurant (Hotel Turkmenistan)
18	8.4	Kov-Ata	湧水	調理・飲用
19	8.5	MARY	水道水	restaurant
20	8.5	MARY	ホテル洗面水 (水道)	Margush
21	8.5	MARY	水道水	郊外の民家 (地下に貯蔵、銀塊 が入れている) / 夕食
22	8.6	TURKMENABAT	水道水	restaurant / 昼食
23	8.6	BUKHARA	ホテル洗面水 (水道)	Azia Bukhara
24	8.7	BUKHARA	地下水	Chashma-Ayub Mausoleum 聖なる泉 (眼病に効く)
25	8.7	BUKHARA	水道水	Labi-hauz, chayhona
26	8.7	BUKHARA	水道水	Nadir Divabegi Medressa, chayhona
27	8.8	TASHKENT	水道水	民家 一戸建て
28	8.8	TASHKENT	水道水	restaurant, FLAGMA
29	8.8	TASHKENT	地下水	restaurant, 上海飯店

はウズベキスタンとトルクメニスタンの2つの国に分割されている。ウルゲンチはホラズム州の州都で、旧ソ連時代に造られた近代的な町である。

表2 アムダリヤ流域における採取試料の理科学的測定結果

Samp. No.	一般細菌	大腸菌群	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	COD mg/L	Cl ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	SiO ₂ mg/L	Ca ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	総硬度 mg/L	総アルカリ度 mg/L
2	0	0	8.2	87	0.55	159	3	113	100	34	0.02	0.2	298	7.7	98	50	450	140
3	34	40	7.6	168	1.10	205	5	483	350	103	1.00	0.2	448	26.3	241	114	1070	310
4	14	0	8.0	377	2.40	169	5	966	640	167	0.05	0.2	558	15.7	173	302	1670	395
5	49	55	7.8	613	3.90	165	7	1090	520	214	0.10	0.2	479	16.4	213	290	1720	335
6	42	33	7.9	745	4.80	162	0	845	560	208	0.10	0.2	432	15.2	166	199	1230	395
7	20	15	8.0	86	0.55	155	3	106	94	40	0.05	0.2	253	8.1	91	30	350	105
8	2	8	7.6	260	1.70	169	0	480	200	74	0.20	0.2	407	16.6	371	18	1000	305
9	13	30	8.1	164	1.10	163	0	203	190	47	0.02	0.2	463	9.0	106	94	650	140
10	0	0	8.0	78	0.50	161	0	87	85	35	0.05	0.2	214	7.1	82	13	260	140
11	35	17	7.2	20	0.13	319	0	22	33	9	0	0	6	2.1	3	2	20	35
12	0	0	7.8	216	1.40	261	0	184	200	27	0	0	20	10.4	87	91	590	155
13	0	0	7.8	233	1.50	235	0	217	24	30	0	0	499	11.3	89	108	665	165
22	0	0	8.1	80	0.51	261	0	40	55	17	0.02	0	137	6.9	47	31	245	105

No. 2 は町の 2 km ほど北にある空港の水道水で、総硬度 450 mg/L、SO₄²⁻ 298 mg/L、Na⁺ 100 mg/L、Cl⁻ 113 mg/L であった。ヒバは古代ペルシア時代からカラクム砂漠への出入口として栄えたオアシスの町である。ユネスコの世界遺産にも登録された旧市街は二重の城壁に守られ、一部再現されたものも含めて伝統的なオアシス都市の景観がそのまま保存されている。外壁と内壁の間に近代化された新市街があり、住民はここで生活している。旧市街には観光用のチャイハナや民宿があるが、上水道はないので地下水を使用している。No. 3～6 は旧市街の井戸水(チャイハナ、工房、伝説の泉、民宿)である。総硬度 1070～1720 mg/L、NO₃⁻ 103～214 mg/L、SO₄²⁻ 432～558 mg/L、Na⁺ 350～640 mg/L、Cl⁻ 483～1090 mg/L といずれも高い値を示した。No. 7 は新市街のホテル洗面水である。これは水道水であり、各イオンの濃度は旧市街の地下水に比べると幾分低くなっている。

ヒバから北に向かい、アムダリヤを越えると多数の都城跡が点在する。川の流れが変わるたびに城を造り替えられた古代ホラズム王国の城都遺跡で、岩と砂の小高い丘の上であり、その数は 1000 ともいわれる。これらの遺跡の間を埋めるように綿花畑が広がっているが、周辺の土地一面に塩類が析出していた。道路を逸れて脇道に入ると小さな集落があり、畑では白く溜まった塩類を避けるようにゴマや野菜が細々と栽培されていた。No. 8 はそん

な集落のひとつであるベルニの農家の生活用水で、ポンプ井戸で汲み上げカメに貯蔵していた地下水であり、総硬度 1000 mg/L、 NO_3^- 74 mg/L、 SO_4^{2-} 407 mg/L、 Na^+ 200 mg/L、 Cl^- 480 mg/Lといずれも高い値であった。トブラク・カラは都城跡の中で最も保存状態が良いとされている。遺跡に対面する丘の上には5棟のユルタとトイレが造られ、遺跡の管理人とその家族がキャンプを張りながら観光客に食事を提供していた。No. 9はその手洗い用の水で、地下水をタンクに貯蔵して利用しており、総硬度 650 mg/L、 SO_4^{2-} 463 mg/L、 Na^+ 190 mg/L、 Cl^- 203 mg/Lであった。

ヌクスはカラ・カルパクスタン共和国の首都で、No. 10 は市内にある B&B の水道水である。地下のパイプから直接給水しているので、水圧が弱く、2階にある水栓からは水が出にくかったが、細菌類は検出されていない。総硬度と SO_4^{2-} は 260 と 214 mg/L であった。ムイナクはかつてアラル海最大の港町であり、漁業とそれを利用した缶詰工場により賑わっていた。現在、海岸線は 100 km 以上後退し、昔の港は塩砂漠に変じ、海浜の施設は廃屋と化していた。漁業に携わっていた 1 万人ほどが失職したとされ、2000 人ほどに減少した住民は、ろ過した地下水を各家庭のタンクに貯蔵して使っている。この水 (No. 11) は、細菌類が検出されているが、pH7.2 で EC も低く、飲用・調理用として問題はない。

ダシュホブスはトルクメニスタン領ホラズム地方にあるトルクメニスタン北部最大の都市で、住民はウズベク人が多い。No. 12、13 はこの町のレストランとホテルの水道水である。どちらも pH7.8、EC はそれぞれ 216 と 233 mg/L、総硬度は 590 と 665 mg/L であった。No. 22 はトルクメンバットにあるレストランの水道水で、総硬度 245 mg/L、 NO_3^- 17 mg/L、 SO_4^{2-} 137 mg/L、 Na^+ 55 mg/L、 Cl^- 40 mg/L であり、これらの値はウルゲンチやヌクスのそれより幾分低い。トルクメンバットはウルゲンチより 400km ほど上流のアムダリヤ畔の町であり、原水成分が異なっているのであろう。

No. 7、8、10、11 を除き、 Mg^{2+} と Ca^{2+} の比 ($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$) は 0.5 以上であり、特に No. 4-6 の地下水と No. 12、13 の水道水は 1 を超えていて、 Mg^{2+} 含有量が多いことを示している。また、大半の試料では、総硬度に比べて総アルカリ度が低く、 SO_4^{2-} が多い。さらに、 Na^+ より Cl^- の濃度が高い。非炭酸塩は中性でありアルカリ度に関与しないため、試料中では、Ca や Mg の多くが塩化物や硫酸塩を形成していると思われる。一方、ウルゲンチからアラル海に至る各地の水道水や地下水は NO_2^- や NH_4^+ を含有しており、地下水は SO_4^{2-} と共に NO_3^- 濃度も高い。このことは、アムダリヤ下流で塩分濃度が高くなっているだけでなく、肥料等による地下水汚染を示唆するものである。

アムダリヤから発するカラクム運河はトルクメニスタンの南東端から南西端へ、灌漑農耕地の水源を補うように流れ、カスピ海の手前でカラクム砂漠に消えている。1946 年の建設開始から未だに計画の全ては完了していないが、この運河の水の大部分は農業用として、その他に工業用水や生活用水、飲用として使用され、トルクメニスタンの産業や生活を支

えている¹³⁾。表3にカラクム運河沿いの生活用水の理科学的測定結果を示す。

表3 カラクム運河沿いにおける採取試料の理科学的測定結果

Samp. No.	一般細菌	大腸菌群	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	COD mg/L	Cl ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	SiO ₂ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	総硬度 mg/L	総アルカリ度 mg/L
14	-	-	8.4	49	0.32	202	0	9	30	17	0	0	120	11.4	43	42	280	120
15	0	0	7.8	66	0.42	248	0	22	31	16	0	0	92	10.3	43	30	230	140
16	0	0	7.9	83	0.53	232	2	66	86	17	0	0	201	7.5	52	22	220	105
17	4	0	7.8	68	0.43	261	0	24	39	16	0	0	97	10.0	45	38	270	155
18	-	-	8.2	86	0.55	258	0	12	62	14	0	0	222	13.9	44	57	345	240
19	0	0	7.8	68	0.43	269	0	33	40	13	0	0	117	6.9	47	42	290	95
20	0	0	7.9	67	0.43	293	2	34	42	14	0	0	118	6.9	46	21	200	90
21	∞*	∞	7.8	72	0.46	270	3	41	53	15	0.02	0.2	133	9.2	46	33	250	110

*100以上は∞で示す

トルクメニスタンの首都アシュガバットは、北に広がるカラクム砂漠と南のコペット・ダグ山脈（イランとの国境になっている）の接点に築かれた町である。帝政ロシアが行政の拠点をここに置いた 1881 年からロシア風の都市として発展したが、1948 年の大地震によりほぼ全市が壊滅した。現在の市街は、それ以降の綿密な都市計画に基づいて再建されたもので、整然と区画された無機質な街並みが続き、大きな噴水と桑や葡萄の木々が植えられた広場が随所に造られている。No. 15～17 は市内のレストランやホテルの水道水で、pH 7.8～7.9、EC 66～83 ms/m である。中央アジアや中国に共通することだが、インフラ設備を布設したのちのメンテナンスはほとんどなされていない。ここのレストランでもトイレの手洗い用の蛇口がきちんと閉まらず、常に水が細く流れたままになっていた。

バハルドックはカラクム砂漠の中にある 3つの集落のひとつで、アシュガバットの北 100 km ほどに位置する遊牧民の村である。人口約 1500 人のバハルドック人は古くからこのあたりでラクダを遊牧して暮らし、ラクダの乳製品は彼らの貴重な栄養源となっている。No. 14 はこの村の生活用水で、pH 8.4、EC 49 ms/m であった。これは共同水道の水を各家庭の地下タンクに貯めて利用していたもので、住民は調理用としてだけでなくそのまま飲用していた。むき出しの配水管が村の中央を通り、管の亀裂から漏れて出来上がった水溜まりは、家畜（ラクダ）や犬の水飲み場となっていた。アシュガバットから 80 km 西にあるコブアタ地底湖は地下 60 m ほどにある温泉湖である。年間を通して 38℃と一定で、皮膚病や若返りに効果があるとされ、多くの人々が訪れている。温泉の入り口付近には幾つもの休憩所が作られ、裏山の湧水を調理や飲用に使っていた。No. 18 はこの湧水で、Cl⁻ 12 mg/L に対して Na⁺ 62 mg/L、総硬度と総アルカリ度は各々 345、240 mg/L であった。

アシュガバットの東方 300 km のマーリはトルクメニスタン第 2 の工業都市で、1884 年に主にロシア移民によって造られた町である。No. 19、20 は市街地のレストランとホテル、No. 21 は郊外の民家の水道水で、pH 7.8-7.9、EC 67-72 ms/m ある。この民家では水道水を地下のタンクに貯蔵して、銀の塊を沈めていた。家人は消毒のためと信じていたが、抗菌効果は銀イオンや錯イオンの形で発揮されるため、この試料では効果は全く現れていない。かえって金属の表面に付着した細菌類が貯蔵中に繁殖したのではなかろうか。近年、銀系抗菌剤は繊維やフィルム等資材に多く用いられているが、銀イオン自体の経口毒性も問題視されており、飲料水の消毒に用いるには注意が必要である。No. 19 を採取したレストランでは、手洗い用の蛇口が壊れ、水が溢れだしていた。

トルクメニスタンでは、人口の半分以上が灌漑用水を生活用水にしている³⁾といわれるが、今回調査したカラクム運河沿いの地域の人々はパイプで配水された水を使っていた。これらは、総硬度 200-290mg/L に対して総アルカリ度の値は 90-155mg/L と低く、 SO_4^{2-} が 92-201mg/L と高めであることから、硫酸塩による非炭酸塩硬度が存在していると思われる。また、コブアタの湧水 ($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}=1.29$) を除き、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ は 0.4-1.0 でややバラツキがある。しかし、 NO_3^- 濃度が 13-17mg/L と低く、 NO_2^- や NH_4^+ は認められず、生物学的にも問題はないので、塩素消毒等の処理はなされているようである。

ウズベキスタンのブハラとタシケントはアムダリヤ水系とは異なる河川の水を引き込んだ貯水池や運河に加えて地下水などを水源としている。中央アジアを流れるもうひとつの大河であるシルダリヤは、フェルガナ盆地を通り、タシケント北方からカザフスタンに入ってアラル海に達する。ザラフシャン川はサマルカンドやブハラなどのオアシス都市を育ててきた川で、ブハラを過ぎたあたりから砂漠に消えている。表 4 にタシケント・ブハラの生活水の理科学的測定結果を示す。

表 4 ブハラ・タシケントにおける採取試料の理科学的測定結果

Samp. No.	一般細菌	大腸菌群	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	COD mg/L	Cl ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/L	NO_3^- mg/L	NO_2^- mg/L	NH_4^+ mg/L	SO_4^{2-} mg/L	SiO ₂ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	総硬度 mg/L	総アルカリ度 mg/L
23	0	27	7.8	134	0.90	308	2	86	110	17	0	0	326	8.1	73	86	535	115
24	13	0	7.8	282	1.80	301	2	122	190	20	0	0	542	21.7	125	148	920	255
25	0	35	7.9	117	0.70	327	0	87	120	19	0	0.2	313	8.0	74	71	475	125
26	0	0	7.9	124	0.80	316	0	88	110	19	0.03	0.2	442	8.2	74	86	535	110
27	-	-	8.1	21	0.13	327	0	0.9	2	12	0	0.3	13	5.0	24	13	115	100
28	0	0	8.0	23	0.15	340	0	1.3	3	11	0	0.2	19	5.6	28	10	115	100
29	0	0	8.1	21	0.14	340	0	0.6	2	13	0	0.0	13	5.5	25	14	120	120
1	0	0	8.1	19	0.12	172	0	4.6	4	17	0.05	0.2	20	5.4	42	-	80	110

ブハラはシルクロードの重要拠点として繁栄した商業の町で、今世紀に至るまで中央アジアの定住文化の中心地であった。人口 22 万人の現在も伝統的な町の姿が保たれ、世界遺産に登録されている観光都市である。No. 23 は市内のホテル、No. 25、26 はチャイハナの水道水である。pH 7.8～7.9、EC 117～134 ms/m で、総硬度は 475～535 mg/L と高い値を示したが、総アルカリ度は 110～125 mg/L と低く、 SO_4^{2-} は 313～442 mg/L であった。No. 24 は市内に今も湧き出している聖なる泉の水で、EC は 282 ms/m とやや高く、総硬度 920 mg/L、総アルカリ度 255mg/L、 SO_4^{2-} 542 mg/L であった。泉を祀るために造られた廟の中で湧き出した水をタンクに貯め、蛇口からこれを汲むことができる。これら 4 つの試料の NO_3^- は 17～19 mg/L であった。また、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ は 1.0～1.2 で、総硬度に占めるマグネシウム塩や硫酸塩がやや多いと思われる。チャイハナには手洗い用の洗面台がいくつか設置されていたが、蛇口が閉まらず、元栓で操作していた。

ウズベキスタンの首都タシケントは人口 200 万人で、中央アジアの中心ともいえる大都市であり、紀元前 2 世紀まで遡る長い歴史を持つオアシス都市でもある。No. 1 と No. 27～29 は市内の水道水であるが、pH は 8.0 または 8.1、EC が 19～23 ms/m で、 Na^+ と Cl^- の値は 4 mg/L 以下、 SO_4^{2-} 13～20 mg/L、総硬度 と総アルカリ度は 80～120 mg/L である。No. 1 を除き、 NO_2^- は認められなかったが、 NH_4^+ が若干存在していた。他の都市に比べると、タシケントの水道水は、有機物を含まず、細菌学的にも問題はない。しかし、前述のように、水道事業の点からみれば多くの問題を抱えており、今後もこの水質を維持していくことが期待される。

各調査試料中の Na^+ と Cl^- の相関を図 2 に示す。相関係数は 0.95 であり、この 2 つのイオンに相関は認められるが、アニオンがやや多い。水中の Cl^- は健康よりも味に関する項目として考えられているが、 Cl^- 濃度が高い水は金属を腐食させるため、なるべく少ない方が望ましい。 Cl^- は現在の標準的な浄水処理方法では除去は不可能で、逆浸透膜法、イオン交換法、蒸留法などの処理が必要となる¹⁴⁾。同様に、総硬度と総アルカリ度の相関を図 3 に示す。相関係数は 0.90 であるが、傾きは 0.19 で総硬度が著しく高い。すでに述べたように、試料中では Ca^{2+} や Mg^{2+} が炭酸水素塩

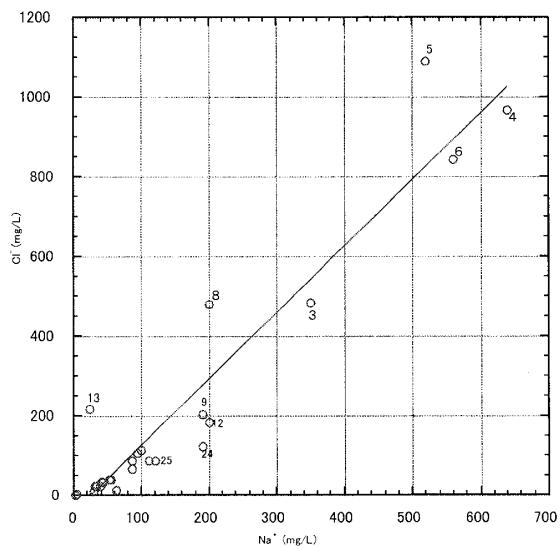


図2 Na^+ と Cl^- の相関
数字は表1の試料番号を示す。
 $y = -39.17 + 1.66x$; 相関係数 = 0.95

だけでなく、非炭酸塩としても存在していると考えられるので、塩化ナトリウム由来以外

の Na^+ ($\Delta\text{Na}^+=\text{Na}^+-\text{Cl}^-$ 、ただし $\text{Na}^+>\text{Cl}^-$ の場合) と Cl^- ($\Delta\text{Cl}^-=\text{Cl}^--\text{Na}^+$ 、ただし $\text{Cl}^->\text{Na}^+$ の場合) および SO_4^{2-} の値を用いて硬度とアルカリ度を補正したカチオンとアニオンの相関を図4に示す。相関係数は 0.96 となり、傾きは 0.79 となった。このことから、大半の試料中には硫酸塩や塩化物が多く存在し、永久硬度を示していることがわかる。

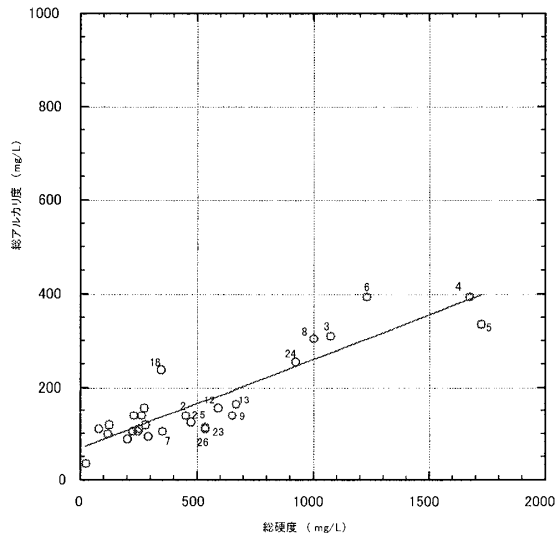


図3 総硬度-総アルカリ度相関

数字は表1の試料番号を示す。
 $y=67.51+0.192x$; 相関係数=0.90

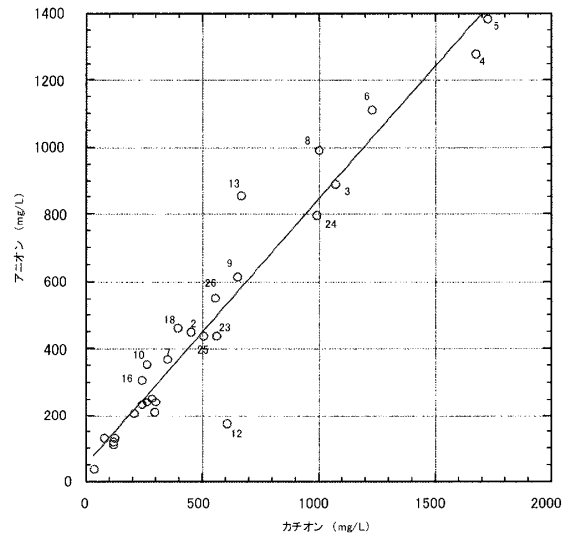


図4 カチオンとアニオンの相関

カチオン=総硬度+ ΔNa^+ 、アニオン=総アルカリ度+ $\text{SO}_4^{2-}+\Delta\text{Cl}^-$ 、
 数字は表1の試料番号を示す。
 $y=54.37+0.79x$; 相関係数=0.96

4. まとめ

アムダリヤ下流域のホラズム地方とトルクメニスタンのカラクム運河沿いの主な都市およびブハラ・タシケントの生活用水について調査した。この地域では水道水か地下水を生活に利用し、その水は Mg 含有量が多く、永久硬度を有していた。タシケントの水道水は、 NH_4^+ を若干含んでいたが、硬度、EC とともに低く、良く管理されていた。アムダリヤ下流域では水道水であっても総硬度が高く、大半の地下水は 1000mg/L を超え、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ を多く含有していた。トルクメニスタンの水道水は総硬度 200~290mg/L、EC49~83ms/m で、 NO_2^- や NH_4^+ は認められなかった。ブハラの水道水は総硬度が 475~535mg/L と高い値を示した。硬度が高いことに加えて、アムダリヤ下流域の地下水は肥料などによって汚染されている可能性も否めず、これを常時飲用することによる健康被害も懸念される。

アシュガバットやタシケントなどの大都市では、道や公園には桑や葡萄の木が植えられ、大きな噴水のある広場や庭園があちこちに造られている。砂漠の民にとって水は何より大切なものであり、巨大な噴水は権力と豊かさの象徴とも言えよう。アムダリヤ上流域では木々が多く緑が豊かで、綿花畑が広がっているが、アラル海に近づくほど川は複雑に枝分かれして細くなり、高濃度の塩水溜まりができ、塩が白く析出する荒廃した土地が目立つ

た。井戸や共同水道しかない集落では、水をタンクやカメに貯蔵して使用していたが、その一方で、配水管や蛇口からの漏水が目立ち、設備の老朽化だけでなく節水意識の低さが垣間見えた。近代的な水管理や公平な水利用など国や地域レベルでの対策も重要であるが、まずは住民ひとりひとりが無駄な水消費を抑え、限りある水資源を保全しようという意識を持たねばならない。そのためには、個人レベルでの環境教育の徹底が急務であろう。

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，p73-83（1955）
- 2) 国際協力事業団；「中央アジア援助研究会報告書 現状分析編 第I部」，国際協力事業団，p41-45（2001）
- 3) 塚谷恒雄；「環境科学の基本」，化学同人，p107-118（1997）
- 4) 広沢祐二・森季雄；「アラル海の水位変化と灌漑農業」（地球水環境と国際紛争の光と影），信山社，p89-103（1955）
- 5) 石田紀郎；「アラル海の悲劇」（地球水環境と国際紛争の光と影），信山社，p68-71（1955）
- 6) 大田昭和監査法人・日本上下水道設計株式会社；「ウズベキスタン国水道事業経営・料金政策改善計画調査最終報告書」，国際協力事業団，3-32（2000）
- 7) 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. 7，195-205（2000）
- 8) 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），28-34（2002）
- 9) 富田寿代・水谷令子；「中国タリム盆地の生活用水の現状」，鈴鹿国際大学紀要 No. 9，121-132（2002）
- 10) 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. 11，213-226（2004）
- 11) 日本水道協会；「上水道試験方法」，日本水道協会，121-129（2001）
- 12) 国際協力事業団；「中央アジア援助研究会報告書 現状分析編 第II部」，国際協力事業団，p74-75（2001）
- 13) 平田昌弘・石田紀郎；「独立後のトルクメニスタンの農業動向」，JRAK 調査報告 No. 9，1-23（2000）
- 14) 日本水道協会；「上水道試験方法解説」，日本水道協会，258-260，（2001）