

モロッコ中部の生活用水

富田 寿代¹、水谷 令子²

要旨

乾燥地域における水環境の現状把握と適切な水資源保護の検討を目的として、モロッコ中部で生活に利用している水を調査した。調査地域には水供給施設が備わっており、都市部や観光施設などには上水道が設置されていた。採取した試料の多くは水道水であったが、ECが高く、イオンを多く含有していた。また、半数の試料は、NO₃⁻濃度が50mg/Lを超えていた。汚水処理率が低いため、生活排水による河川や地下水汚染が懸念される。

キーワード

生活用水, 水質, モロッコ中部

1. はじめに

モロッコ王国は、アフリカの北西端に位置する立憲君主制国家で、ジブラルタル海峡を隔ててスペインと対している。東にアルジェリア、南に西サハラ（サハラ・アラブ民主共和国）に接し、西は大西洋に、北は地中海に面している。北部地中海沿岸の Ceuta と Melilla はスペインの飛地となっている。国土を北東から南西にアトラス山脈（北東から Moyan Atlas、High Atlas、Anti Atlas）が聳え、これらと離れて北に Ar-Rif がある。これらの山脈の北西側に広がる大平原には2つの河川（Oued Sous、Oued Tensift）が流れ、モロッコの農産物生産地帯となっている。地中海に面する北部と西部の平原は温暖な地中海性気候で、夏は暑いが比較的乾燥しており、冬は温和でしのぎやすい。平均標高3000mを超えるアトラス山脈には十分な降雨と積雪があり、南部一帯は砂漠気候である¹⁾。

ヨーロッパ、アフリカ、アラブをつなぐ交易の十字路として古くから重要な役割を果たしてきた結果、アラブ、ベルベル、アフリカ、地中海世界の文化が混ざり合っている。特に、北はスペイン色、大西洋沿岸はポルトガル色、砂漠は遊牧民文化、南はサハリアン&ブラックアフリカ文化が強い。主な民族はアラブ人とベルベル人で、アラビア語とベルベル語が公用語であり、イスラム教を国教としているが憲法により信仰の自由は保障されている。

2000年以降、経済成長が続いており、IMF²⁾によると、2016年のGDPは約US\$1,014億、1人当たりのGNIはUS\$2,880とアフリカ諸国では比較的高い水準にあり、アジアなどの新

¹ 国際人間科学部国際学科

² 本学名誉教授

興国に匹敵するレベルである。埋蔵量世界1位のリン鉱石を中心とする鉱業と、生産量世界第6位のオリーブ栽培などの農業が経済に貢献している。また、大西洋岸は漁場として優れており、日本にもタコなどを輸出している。9つのUNESCO世界文化遺産に加え、さらなる観光資源の開発や人材育成に力を入れている。先進工業国とは呼べないが、衣料品などの軽工業のほか、石油精製や肥料などの基礎的な諸工業が発達している。経済のグローバル化に対処するため、経済の自由化、一部公的企業の民営化、海外投資誘致政策を推進し、積極的に外国企業を誘致するとともに、高速道路、鉄道、港湾、社会住宅など公共事業に投資などインフラ整備や内需拡大を図っている³⁾。しかし、教育や保険などの社会インフラおよび輸送や通信などの経済インフラは都市部に集中し、経済格差が拡大しているため、農村地域から都市部への人口流入が止まらず、都市人口比率は60% (2017) を超えている。年齢別の人口構成は、65歳以上が6.77%と低く、0~14歳27.39%、15~64歳65.84%であり、失業率は9.40% (15~25歳の失業率18.60%)⁴⁾と高く、教育や雇用の問題が危惧されている⁵⁾⁻⁷⁾。

経済の発展に伴い廃棄物総排出量は都市部を中心に増加し続けており、ほとんどは適切な処理がなされないままオープンダンプ(あらゆるごみを分別しないで野積みにする)で処分されている。そのため、浸出水、悪臭、メタンガスによる汚染が周辺住民の生活や自然環境に深刻な被害を与えている。政府は廃棄物管理計画を策定し、民間事業への業務委託などにより改善を図っているが、地方の中小都市や村落では資金や処分場の不足により処理が進んでいない⁸⁾。また、医療サービスの向上により医療廃棄物の排出量も増大傾向にあるが、地方の国公立病院や保健センターでは医療廃棄物を処理回収する体制が確立されていない。そのため、注射針等の危険廃棄物の長期保管や感染性廃棄物の敷地内焼却処理等が常態化しており、二次感染のリスクが高い⁹⁾。

主要河川は、地中海に流れ込むOued Moulouya、大西洋に流れ込むOued Sous、Oued Tensift、Oued Draaなど10程度あり、降水量は少ないが、水力発電が総発電量の6%以上を占める。しかし、エネルギー消費量の約97%を輸入に依存しているため、エネルギー源の多様化、再生可能エネルギーの利用促進を目指し、世界銀行や各国の援助のもと太陽光発電プラントや風力発電ファームが建設されている¹⁰⁾⁻¹²⁾。

安全で清浄な水へのアクセスは健康で文化的な生活には不可欠であり、産業の発展にも重要である。本研究は、乾燥地域における水環境の現状を把握し適切な水資源保護管理を検討することを目的として、各地の生活用水の水質および使用実体を調査している¹³⁾⁻¹⁷⁾。本稿では、上述のような問題を抱えるモロッコ中部の生活用水の調査結果を報告する。

2. 試料採取および実験方法

モロッコ中部のHigh Atlas北側平地帯と南側砂漠地帯の都市等で生活に利用している水を採取し、以下の項目について調べた。

pH、電気伝導度(EC)、DO(溶存酸素量)、全溶存固形物量(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^{+})とカリウムイオン(K^{+})はイオンメータ(堀場製作所)で測定した。全ての測定は $22\pm 1^{\circ}C$ でおこなった。

3. 結果および考察

モロッコの年間降水量は $1,500$ 億 m^3 で、そのうち $1,200$ 億 m^3 は蒸発によって失われ、残りが河川水と地下水になる。地下水利用は古くから盛んで、1950年代以降はボーリングによる深井戸の開発が全土で行われているが、その水質は良好とはいえない。さらに、過剰揚水による地下水位の低下も問題になっている^{18) 19)}。

上水道の普及率(2015)は63.80%(都市部91.00%、地方22.80%)で、地域による格差が大きい。また、下水道接続率(2015)は73.00%であるが、都市の規模が小さくなると接続率は下がり、小さい村落ではほぼ皆無である。下水道未整備地域の生活排水はそのまま流され、開放性の側溝を経て河川等に放流されるか地面に浸透させる。そのため、悪臭、景観の悪化、地下水汚染などが懸念されている²⁰⁾。

調査した地域には水供給施設があり、都市や観光施設には上水道が設置されていた。表1に採取試料の詳細を、図1に調査地の概図を示す。図中の数字は試料番号である。

表1 採取試料の詳細(2013)

Samp. No.	採水日	採水地	試料の種類	特記事項
1	4.11	Marrakech 旧市街	ホテル洗面水/水道水	Riad Dar More 公共水道
2	4.11	Marrakech 旧市街Fna	レストラン厨房/水道水	le Marrakechi
3	4.12	Marrakech 郊外	新築民家台所/水道水	新興住宅地
4	4.13	Tamdakhte	ドライブイン厨房/水道水	オートアトラス山麓
5	4.13	Ait-Ben-Haddou	レストラン厨房/水道水	カスバ街道
6	4.13	Gorges Toudra	ホテル洗面水	Dar Ayour 渓谷入り口
7	4.14	Tnghir	ホテル洗面水	Hotel YASMINA トドラ川河川水をろ過
8	4.14	Merzouga	民家台所/水道水	浄水所からの水
9	4.15	Merzouga	ホテル洗面水/水道水	KASBAH MOHAYUT サハラ北端
10	4.15	Rissani	売店厨房水/井戸水	オアシス
11	4.15	Alnif	レストラン厨房水/井戸水	オアシス
12	4.16	Zagora	ホテル洗面水/水道水	Riad Dar Sofian オアシス公共水道
13	4.16	Ouarzazate郊外	ドライブイン厨房/水道水	公共水道
14	4.17	Casablanca 新市街	ホテル洗面水/水道水	Hyatt Regency Casablanca



図1 調査地概図(図中の数字は試料番号を示す)

Marrakech は、モロッコ中央部、High Atlas 山麓の丘陵地帯、Oued Tensift の南岸に位置する都市で、「南方産の真珠」と呼ばれてきた。東西 2km、南北 3km の城壁に囲まれた旧市街と、その西に広がる新市街からなり、郊外にはオアシスが点在する。旧市街には、王宮のほか、宮殿、庭園、モスク、神学校、墳墓群や陵、市場などがある。新市街の西端にはターミナル駅があり、鉄道は北に向かって Casablanca、東へ折れて首都 Rabat と Fez をつなぐ。Marrakech、Casablanca で採取した試料の測定結果を表 2 に示す。

Place Djemaa el Fna は、11 世紀後半に Marrakech が首都であった頃から街の中心で、かつては公開処刑なども行われていた。現在は、夕方になると飲食の屋台が並び、蛇遣いや曲芸などの大道芸が

表2 採取試料の測定結果(Marrakech, Casablanca)

No.	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
1	7.35	75.4	0.48	351	24.4	37.2	43.4	43	2
2	7.48	75.5	0.48	323	33.3	38.2	47.6	51	2
3	7.37	93.2	0.60	340	41.0	43.7	51.9	64	2
14	7.78	162	1.00	220	126	51.7	68.6	18	2

おこなわれ、深夜まで大勢の人で賑わう観光名所となっている。2009 年には UNESCO により無形文化遺産に認定されている。No. 1 は Fna 近くのホテルの洗面水であり、EC 75.4ms/m、Cl⁻ 24.4mg/L、Ca²⁺ 43.4mg/L、Na⁺ 43mg/L であった。No. 2 は Fna にあるレストランの厨房で使っている水で、EC 75.5ms/m、Cl⁻ 33.3mg/L、Ca²⁺ 47.6mg/L、Na⁺ 51mg/L あった。いずれも水道水であり、組成比は似ている。No. 3 は郊外の新築住宅の水道水で、EC 93.2ms/m、Cl⁻ 41.0mg/L、Ca²⁺ 51.9mg/L、Na⁺ 64mg/L であった。旧市街の水道水に比べて、イオン含有量がやや多い。Marrakech で採取した試料の pH 値は 7.35~7.48 であった。

Casablanca はモロッコ最大の経済都市で、アフリカ有数の世界都市でもある。北は大西洋に面し、港湾も経済を支える重要な要素で、漁業や缶詰業も盛んである。この国の商業と金融の中心地であると共に観光地でもあり、多くの人々が訪れる。No. 14 は Casablanca 新市街にあるホテルの洗面水である。EC 162ms/m、Cl⁻ 126mg/L、Ca²⁺ 68.6mg/L、Na⁺ 18mg/L であり、EC が高めで、Cl⁻ 含有量が多い。

High Atlas の南側に点在するオアシスには、アラブ人に肥沃な土地を追われたベルベル人が外敵の侵攻を防ぐために築いた要塞や要塞化された村が今でも多く残されていて、前者を Kasbahs、後者を Ksar という。Ouarzazate から Tinghir を経て Errachidia に到る Kasbahs が現存する街道を Route des Kasbahs と呼び、人気の観光ルートとなっている。表 3 に Route des Kasbahs で採取した試料の測定結果を示す。

Ait Benhaddou の集落は代表的な Ksar であり、UNESCO 世界文化遺産（1987 年）となっている。この地はかつて隊商都市として栄えたが、部族間抗争や盗賊などの略奪から自分たちを守るため Haddou 一族が Kasbahs 築いた。孤立した集落であるがゆえに、城砦に匹敵する

構造になっている。
敵の侵入を防ぐため、
集落への入口はひとつしかなく、通路は入り組んでおり、1階は窓がなく換気口のみである。また、外壁には銃眼が施されて、集落の最上階には籠城に備えて食

表3 採取試料の測定結果(Route des Kasbahs)

No.	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
4	7.42	22.2	0.15	366	1.90	42.8	12.7	4	1
5	7.78	90.0	0.90	291	42.3	51.5	71.7	78	8
6	7.87	83.1	0.53	274	48.8	55.5	59.6	64	1
7	7.94	85.2	0.55	239	10.0	49.5	86.7	13	0
13	7.87	97.7	0.63	259	42.9	53.9	73.7	73	2

料庫がある。日干し煉瓦で造られた建物の壁は非常に厚く、夏季に 40℃を超えても、室内を涼しく保てるようにできており、現在でも数家族がここに住んでいる。No. 5 はこの集落にあるレストランの厨房水で、EC 90.0ms/m、Cl⁻ 42.3mg/L、Ca²⁺ 71.7mg/L、Na⁺ 78mg/L、K⁺ が 8mg/L であった。Ksar の 7km ほど西に Tamdakhte の Kasbahs があり、No. 4 はこのドライブインの厨房水である。EC 22.2ms/m、Cl⁻ 1.90mg/L、Ca²⁺ 12.7mg/L、Na⁺ 4mg/L であった。ここは、High Atlas の湧水を水源としており、No. 5 に比べてイオン含有量が少ない。

High Atlas に端を発する Oued Dades は、長い年月をかけて山脈の東部を侵食し、40km に渡る大渓谷をつくり上げた。Gorges du Todra の入り口付近は、狭い道の両側に切り立った崖がそそり立ち、硬い岩盤とごつごつした岩壁は世界有数のクライミングスポットとなっている。また、崖の間を Oued Todra が流れ、夏季は遊牧民の水場や地元住民の避暑地にもなっている。渓谷から南下する川沿いには数家族が暮らすオアシスが幾つもあり、一帯では河川水をろ過して生活に利用している。No. 6 は渓谷の入り口にあるホテルの洗面水であり、EC 83.1ms/m、Cl⁻ 48.8mg/L、Ca²⁺ 59.6mg/L、Na⁺ 64mg/L であった。

Tinghir は Route des Kasbahs の中間に位置する町で、渓谷観光の拠点となっている。No. 7 は Tinghir のホテル洗面水で、EC 85.2ms/m、Cl⁻ 10.0mg/L、Ca²⁺ 86.7mg/L、Na⁺ 13mg/L であった。No. 6 とは組成比がやや異なり、この町の水源は Oued Todra ではないことがわかる。

Ouarzazate は、Oued Draa が平原に出る地点に位置するオアシスであり、この近郊に Ait Benhaddou がある。Marrakesh から山脈を越えてサハラに抜ける幹線道路沿いに位置しており、交通の要衝であり、空港もある。かつてはキャラバンが立ち寄るだけの小さな村であったが、1920 年代にフランス軍の基地が作られてから発展し、現在でもモロッコ軍が駐屯している。No. 13 は市郊外にあるドライブインの厨房水であり、EC 97.7ms/m、Cl⁻ 42.9mg/L、Ca²⁺ 73.7mg/L、Na⁺ 73mg/L あった。この試料の組成比は、No. 5 と似ている。これらの試料の pH 値は 7.42 ~ 7.94 であった。

Route des Kasbahs の南側には小規模な砂漠がいくつも散在し、そのままサハラへと続く。サハラ近くの村はラクダツアーや砂漠キャンプなど砂漠観光の拠点となっており、ツアー客用

の宿泊施設もある。表4にサハラ辺縁で採取した試料の測定結果を示す。

Merzouga は Tinghir の南東 150km に位置するアルジェリア国境付近の村で、ベルベル人が多く住んでいる。No. 8 は民家の台所の水栓から採取したもので、浄水所から配水された水であるが、EC 値が、290 ms/m と高く、Cl⁻

表4 採取試料の測定結果(サハラ北端)

No.	pH	EC ms/m	TDS g/L	ORP mV	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
8	7.91	290	1.90	222	107	46.9	99.0	15	3
9	7.84	175	1.10	265	48.9	47.5	102	67	4
10	8.02	216	1.40	210	67.2	50.9	69.9	18	0
11	7.55	218	1.40	191	52.8	53.3	90.4	19	6
12	7.61	722	4.90	176	303	63.8	317	40	6

(107mg/L) や Ca²⁺ (99.0mg/L) を多く含有している。No. 9 は砂漠近くにあるホテルの洗面水で、EC 175ms/m、Cl⁻ 48.9mg/L、Ca²⁺ 102mg/L、Na⁺ 67mg/L あった。2つの試料は水道水でありながら、組成比がやや異なっている。

Merzouga の北側には岩石砂漠や礫砂漠が広がり、小規模なオアシス村がいくつも存在している。村々には売店や食堂があり、トラック運転手や観光客等の休憩ポイントとなっている。No. 10 は Rissani の売店の厨房水で、EC 216ms/m、Cl⁻ 67.2mg/L、Ca²⁺ 69.9mg/L、Na⁺ 18mg/L であった。No. 11 は Alnif のレストランの厨房水で EC 218ms/m、Cl⁻ 52.8mg/L、Ca²⁺ 90.4mg/L、Na⁺ 19mg/L であった。いずれも井戸水を電動ポンプで汲み上げ、蛇口から取水できるようになっていた。

Oued Draa は、Ouarzazate から Zagora を経由し、その先はワジ(涸れ川)となってサハラに流れ込む。Zagora は Tinghir の南西 140km にあるオアシスで、かつてはマリ王国の都 Tombouctou との交易中継地だった。現在は、Merzouga と並び砂漠観光の拠点である。No. 12 はホテル洗面水であり、EC 722ms/m、Cl⁻ 303mg/L、Ca²⁺ 317mg/L、Na⁺ 40mg/L であった。EC 値が極めて高く、Cl⁻ と Ca²⁺ を多く含有していた。この地域で採取した試料の pH 値は 7.55~8.02 であった。

地下水汚染の指標となっている NO₃⁻濃度²¹⁾ は、すべての試料で 30mg/L を超えており、半数が 50mg/L 以上で、No. 12 は 63.8mg/L であった。モロッコのトイレ普及率²²⁾ (下水道や浄化槽に接続された水洗式トイレや水流式落し便所、コンポストトイレなどの衛生的なトイレを指す) は 76.70% (都市部: 84.10%、地方: 65.50%) であるが、汚水処理率は 39.50% と低く (2015)、生活排水の大半は未処理のまま流されている。農業や工業などの産業排水も同様で、河川水や地下水の水質への影響は必至である。

全試料の Na⁺ と Cl⁻ の相関を図2に示す。No. 8、10、11、12、14 は Cl⁻ 濃度に比べて Na⁺ が極めて少なく、相関から外れている。他の試料は、Na⁺ 濃度が幾分高めではあるが、Cl⁻ とよく相関しており、相関係数は 0.96 である。図3に Ca²⁺ と Cl⁻ の相関を示す。No. 7 と

14 は外れるが、残りの試料では相関が認められ、相関係数は 0.91 である。図 2 で相関から外れた試料のうち、サハラ北端で採取した試料中の Ca^{2+} は塩化物を形成していると思われる。

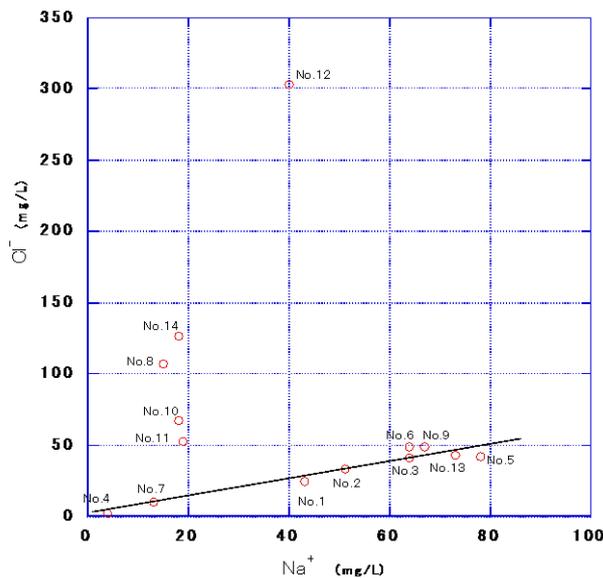


図2 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 相関

$$y = 0.62x + 1.02 \quad r^2 = 0.96$$

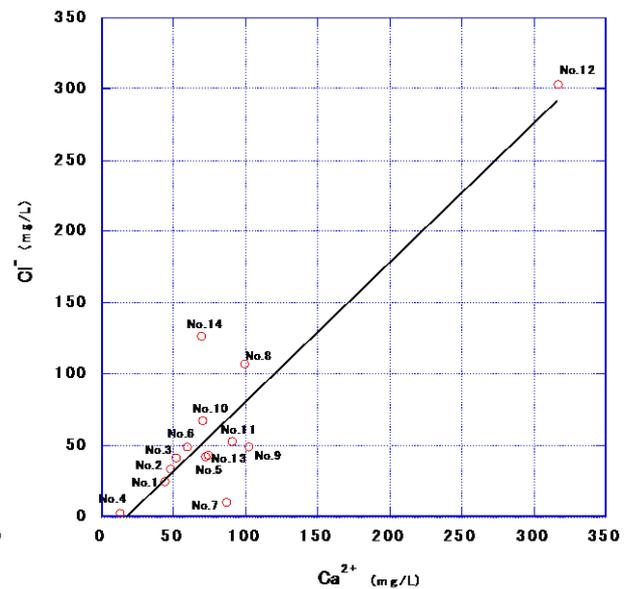


図3 $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 相関

$$y = 0.97x - 15.23 \quad r^2 = 0.91$$

モロッコは年間平均降水量 350mm 程度の乾燥地帯でありながら、各地に水供給施設が整備されている。上水道は都市部を中心に観光施設などには設置されているが、地方のオアシス村では井戸水を利用している。今回採取した試料の多くは水道水であったが、EC が高く、イオンを多く含有していた。政府は 2020 年までに下水道接続率を 80% に、汚水処理率を 60% まで引き上げることを目標として掲げているが、地方の小都市や村落はこの計画の対象とはなっていない³⁾。通常、汚水が河川や地下水に混入すると浄水処理に過剰なエネルギーや費用が必要となるが、この国の現状では、水源の汚染は生活用水の水質悪化をもたらし、さらには住民の健康被害にもつながりかねない。戸別に合併処理浄化槽などを設置することが効果的な対策と考えられるが、設置費用、地域特性への機能の適合や維持管理など課題は少なくない¹⁸⁾。政府の施策や諸外国からの援助に頼るだけでなく、一人ひとりが衛生観念を見直し、水源保護の大切さを再認識するために環境教育を徹底し、住民の意識を変えていくことも重要であろう。

引用文献

- 1) 二宮書店 (21018) : 「データブック オブ・ザ・ワールド 2018」、二宮書店 316-317
- 2) IMF (<http://www.imf.org/en/Data>) (2018.9.10 閲覧)
- 3) 国際協力機構、新日本有限責任監査法人、日本工営株式会社 (2016) : マグレブ地域 成長・安定促進のためのインフラ整備計画情報収集・確認調査最終報告書、JICA

- 4) ILO (<https://www.ilo.org/tokyo/information/database/lang--ja/index.htm>)
(2018.9.10 閲覧)
- 5) 国際協力事業団 (1998) : 国別環境情報整備調査報告書 (モロッコ国)、JICA、8-11
- 6) 国際協力機構、三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング (2011) : 平成 22 年度案件別事後評価 (モロッコ)、JICA、1-23
- 7) 船田クラーケンさやか (2010) : アフリカと環境問題、国際問題、No591、40-51
- 8) 国債協力機構、エクス都市研究所 (2016) : モロッコ国ティズニットし及び周辺コミュニティにおける廃棄物管理能力向上プロジェクト最終報告書、JOCA、25-35
- 9) 国債協力機構、中和機工 (2017) : モロッコ国地方の国公立病院と保健センターにおける医療廃棄物用焼却炉の導入に関する案件化調査業務完了報告書、JOCA、5-22
- 10) 国際協力機構、住友電気工業 (2017) : モロッコ国ワルザザトにおける集光型太陽光発電システム普及促進事業報告書、JICA、10-33
- 11) 国際協力機構 (2017) : モロッコ王国太陽光発電事業 F/S プロジェクト詳細計画策定調査報告書、JICA
- 12) 国際協力機構、東電設計 (2017) : モロッコ王国スマートグリッド導入に係る情報収集・確認調査報告書、JICA
- 13) 富田寿代、水谷令子 (2012) : カザフスタン南東部の水、鈴鹿国際大学紀要 18、65-73
- 14) 富田寿代、水谷令子 (2011) : ウズベキスタン南東部の生活用水、鈴鹿国際大学紀要 17、117-126
- 15) 富田寿代、水谷令子 (2010) : キルギスの生活用水、鈴鹿国際大学紀要 16、59-69
- 16) 富田寿代、水谷令子 (2009) : トルコ南部の生活用水調査、鈴鹿国際大学紀要 15、163-172
- 17) 富田寿代、水谷令子 (2008) : アムダリヤ周辺地域の生活用水、鈴鹿国際大学紀要 14、119-129
- 18) アース&ヒューマンコーポレーション、佐野総合企画株式会社 (2016) : モロッコ王国環境・エネルギー・廃棄物処理分野、水の浄化・水処理分野、教育分野に関するニーズ調査報告書、JICA、37-39、50-55
- 19) 島野安雄、藪崎志穂 (2018) : 名水を訪ねて モロッコの水、地下水学会誌 60 (1) 53-69
- 20) 国際協力機構、パシフィックコンサルタンツインターナショナル (2008) : モロッコ王国ハウズ平野総合水資源管理計画調査最終報告書、JICA、77-105、126-134
- 21) 日本水道協会 (2011) : 「上水道試験方法 2011 年版 I」、日本水道協会、35-36
- 22) WHO (<http://www.who.int/en/>) (2018.9.10 閲覧)

国際人間科学部国際学科 tomita@m.suzuka-iu.ac.jp

Water for Living in Central Morocco

Hisayo TOMITA, Reiko MIZUTANI

Keyword

water quality, water for living, central Morocco

