

【研究ノート】

水質汚染の要因と実際 －キリバス共和国における実態調査－

小野 洋*・野中 章久**・金井 源太**・山下 善道**・泉谷 眞実***

- | | |
|--------------|---------|
| 1. はじめに | 3. 水質調査 |
| 2. 水質汚染と生活習慣 | 4. おわりに |

1. はじめに

2015年末のCOP21において、2020年以降の地球温暖化対策の枠組みであるパリ協定が締結され、2016年11月に発効した。パリ協定では、COP16で決定した「産業革命前からの世界の気温上昇を2度未満に抑えること」を国際的な目標とし、先進国のみならず、途上国に対しても温暖化対策を求めている。この点が京都議定書との最大の相違である。こうして現在では、地球規模（196の国・地域）での温暖化対策が展開されている（環境省〔2〕）。

地球温暖化による被害としては、高温障害による農産物品質の劣化、干ばつ発生による食料不足等が挙げられるが、最も知られているのは、南太平洋島嶼国における海面上昇である。

サンゴの環礁で国土が形成されるこれらの国の海拔は2～4 mにすぎず¹⁾、そのため、海面上昇による国土の喪失が懸念されている。パリ協定締結時には、温暖化被害を国際社会に訴える当該国の政治家等の姿が、マスコミを通じ繰り返し報道された。

本稿が対象とするキリバス共和国（以下キリバス）は、2100年に国土の半分が海面下に沈むとするIPCCの報告〔1〕を受け、隣国フィジーに住民避難用の土地22km²を既に購入している。ニュージーランドも地球温暖化難民の受入を表明し、既に避難も始まっている。

*当学科准教授（おの ひろし） **農研機構東北農研（のなか あきひさ）(かない げんた)(やました よしみち) ***弘前大学農学生命科学部（いずみや まさみ）

Key words：1）水質、2）環境汚染、3）生活習慣

1) water quality, 2) environmental pollution, 3) life style

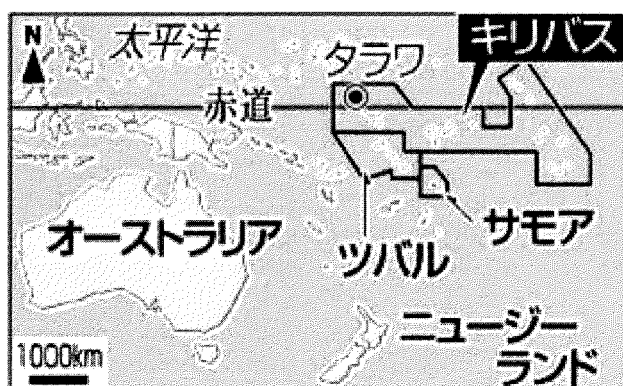


図1 キリバスの位置

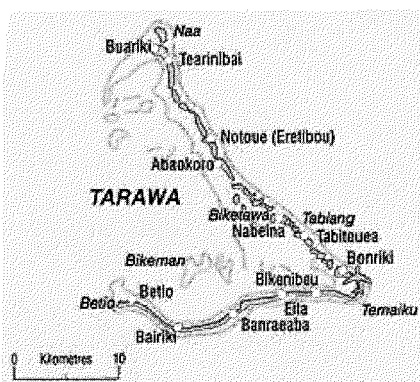


図2 首都タラワの地形

資料：JAXAHP

南太平洋島嶼国の環境問題として我々が最も良く知るのは、こうした地球温暖化による被害である。ただ、温暖化による海面上昇は年2～3mmであることから（IPCC〔1〕）、浸食被害が温室効果ガス増加の帰結である、との主張には否定的な見解も少なくない。

2016年12月、キリバスにおいて調査研究を実施した。そこで、水質汚染という、日常生活に大きな影響を与え、時には直接生存にかかわり、かつ短期的な対処が求められる課題を確認した。以下では、水質汚染に焦点を当てた報告を行う。

キリバスは太平洋の中央、フィジーの北、ハワイの南の赤道付近に位置し（図1）、2010年現在、33の島に10万人強が居住する。コプラ生産・輸出がほぼ唯一の経済活動であるが、この数年はコプラの国際価格の下落にともない、1人当たりGDPは大幅に低下している。2013年現在、1人当たりGDPは日本の約20分の1にすぎない（図3）。

キリバスは経済成長と環境問題の同時解決という、極めて困難な課題に直面している。紙幅の都合上、これ以上はキリバス経済を論じない。なお、キリバスの全般事情については、風間〔4〕を参照されたい。

キリバスにおける海面上昇被害と水質汚染は、実は根を同じくしている。

国土は環礁で形成されており（図2）、海拔は2～4mにすぎない。人口の95%はこの環礁に住んでいる。海面上昇被害に脆弱であることは一目瞭然である。環礁では森林や河川がなく、土壌の淡水保持力も脆弱である。このため、淡水の絶対量が不足し、各家庭では雨水の貯留を余儀なくされる。なお、キリバスでは雨水とあわせて地下水、水道水が利用されている。

生活排水は、土壌による十分な浄化機能がないままに地下に浸透し、海水の上にレンズ状の淡水層²⁾を形成する。近年みられる首都部での人口急増は、淡水の富栄養化、すな

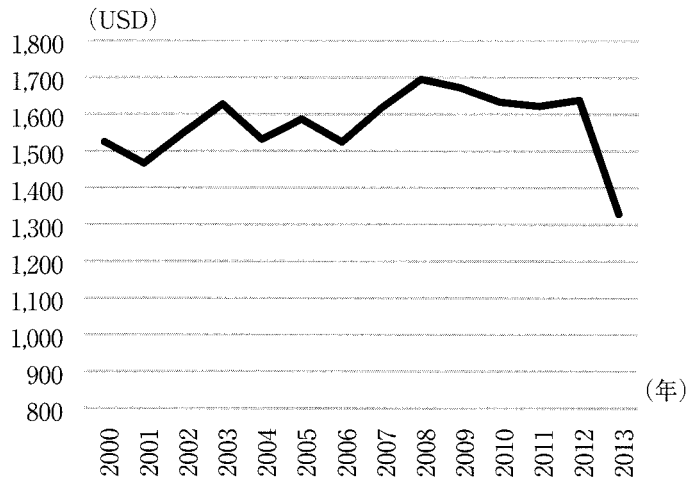


図3 1人当たりGDPの推移（名目値）

資料：Kiribati 2010 Census Report 2及び財務省統計

わち地下水の水質汚染をもたらしている。対応策としては、水処理施設建設が想定されるが、ランニング時の人材確保以前に、用地の確保が困難である。

以上を勘案すれば、環礁で構成され、かつ人口や都市化が急増している国々では、中長期的には海面上昇によって、短期的には水質等の生活環境の悪化によって、居住が困難になると想定される。水質汚染対策こそが、早急に解決すべき重要な課題である³⁾。

水質汚染は人口増加率の高い首都部のみで発生し、人口圧の低い離島部では発生していない。そこで以下では、首都部（南タラワ）を対象とする。

2. 水質汚染と生活習慣

(1) 海水と淡水の汚染

海水と淡水に区分して水質問題を考察する。共通する汚染要因としては、人口の増加と生活習慣が挙げられる。

まずは海水である。首都部は下水道が整備されているものの、排水管と排水ポンプという極めて簡易なものであり、汚水は簡易な処理のみで外洋（太平洋）に排出される。これによる水質汚染が懸念されるものの、外洋ゆえ汚染物質は拡散し、日常生活に問題を生じるレベルにはない。

他方、海水であってもラグーン（図2では逆L字型の内側、TARAWAの文字がある部分）は様相が異なる。人口密集地帯においては、地元住民にも海水汚染は認識されている。かつてはラグーン内の魚（リーフフィッシュ：leaf fish）は日常的に摂取されていたが、

現在では空港周辺部（ボンリキ等人口密度の低い地域）を除き、食用にはあまり適しないとされる。人口成長及び経済の拡大にともなう、シガテラ毒⁴⁾汚染被害も報告されている。

淡水については、レンズ水の存在により、井戸が比較的容易に掘削可能なことから、各家庭では伝統的に井戸水を利用している。ただ近年では、地下水汚染により中水として利用を余儀なくされており、上水とする場合には消毒が必要である。上水道は首都部でのみ整備されているが、これは民家の少ない北部地域で地下水をくみ上げ、これを全体に配布しているものであり、地下水である⁵⁾。

(2) 人口増加

首都部の人口増加率は年4%である。これはわずか18年で2倍になるスピードであり、人口爆発状態といってよい。事実、1995年に2.8万人であった人口は、現在は6万人を超えている。首都の人口密度は5,400人であり、大阪府（4,600人）を上回る。

要因は社会的増と自然増の双方にある。前者については、首都以外の離島部から首都部への異動が大きい。33ある離島にも高校はいくつかあるが、若者の多くは高校進学を機に首都部へ転居する。卒業後は、大学進学者を除き、その多くが首都部に定住し、就職・結婚をする⁶⁾。自然増に関しては、経済成長にともないそのスピードは徐々に緩やかになると思われるが、今後しばらくは人口転換理論⁷⁾で言う第二段階にとどまり、人口は増え続けるであろう。

激しい都市化の進展は図4に示される。センサスが実施された1947～2010年までをみると、首都部の人口はこの半世紀で30倍（1,671人→50,182人）、全人口に占める割合も5%から49%へと上昇している。

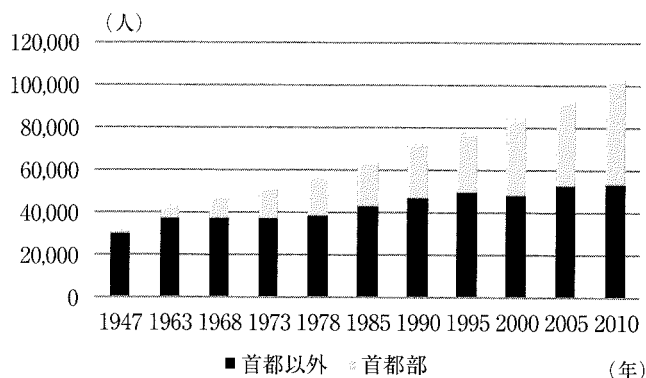


図4 首都部における人口増加

資料：Kiribati 2010 Census Report 2

(3) 生活習慣

次に、水質汚染とキリバス人の生活習慣の関連について言及する。1つめは埋葬である。死者は死後も家を守る、という信仰が根付くキリバスでは、家の庭に墓を作り、土葬するケースが多い。結果、遺体の腐敗による地下水汚染が生じる。仮に集団墓地であれば、汚染対策も可能であるが、集団墓地は既に受け入れ余地がほとんどない。個人の庭の防水加工が困難なことは言うまでもない。

敷地に余裕があった時代は、こうした習慣による環境汚染も軽微であったと考えられるが、人口が急増した現在では、埋葬地の確保さえ困難となり、道路に墓が面しているというケースは少なくはない(写真1、2)。写真1では、小さな屋根のかかった建物が墓地で、左側の居住スペースに隣接している。写真2も同様に、墓地のすぐ奥に居住スペースがみえる。なお、火葬を普及させようという動きもあるが、信仰に関わるだけに遅々として進んでいない。

2つめはトイレである。キリバスでは海洋（ラグーンないし外洋）で排泄を行う習慣が残っている。これは排泄物（特に大便）を忌避する意識の表れとされる。早朝ないし日暮前は女性の時間帯、それ以外は男性となっている。手に葉を持ちラグーンに入っていく



写真1、2 首都部における埋葬地

資料：筆者撮影

表1 2010年のトイレの整備・使用状況(%)

	首都部	首都以外	全国
水洗(下水道)	26.5	1.5	12.0
水洗(個別)	38.9	35.3	36.8
汲取り	10.5	9.9	10.1
海洋	21.0	47.5	35.8
草むら	1.3	5.2	3.6
その他	1.8	0.6	1.7

資料：Kiribati 2010 Census Report 2

人を（男女問わず）みかけることができる。結果、とりわけラグーンでの深刻な水質汚染が発生する。この点は政府も問題としており、センサスにおいても「トイレ」の調査が行われている（表1）⁸⁾。

首都部においても約2割が日常のトイレは海洋ですませている。ラグーンか外洋かは住宅の位置による。ラグーンと外洋の距離は狭いところでは数十m、通常でも200～300m程度であるが、ラグーン側に家をもつ住民が道路を渡って、かつ他人の敷地を通して外洋側まで行くことはない。逆もまた同様である。水洗率は下水と個別を合わせると65%に達するが、高度な排水処理は行われていない。



写真3 ラグーン内での排泄

資料：筆者撮影

3. 水質調査

キリバスの人口動態、生活習慣を勘案すると、強制移住や厳しい産児制限をかけない限り、水質を含む環境汚染の劇的な改善は望めない。この点に関し、2016年に発足した現政権は、離島部でのコプラ買取価格を前年比2倍に引き上げ、離島の所得を拡大することで、首都部への移住を間接的に抑制する策を講じている。本政策の帰結は、首都部の環境問題に大きな影響を及ぼすであろう。

現状の水質汚染状況の確認のため、島内複数箇所ですぐ地下水のサンプリングをした。センサスによると、浄化された飲料水割合は63.8%、言い換えれば36.2%（首都部以外では88.5%）の国民は、汚染の可能性がある水を飲用している。なお外国人が中心に、0.2%はボトル入りのミネラルウォーターを飲用水としている。

成分としては、亜硝酸イオン、硝酸イオン、アンモニアイオンおよびリン酸イオンを計測した。なお、カリウムイオンも計測したが、全地域で検出限界以下であったため、表には示さなかった。計測にはRQflex[®]plus10を用いた。得られた数値はそれぞれの換算係数を用いて変換してある。全試料の採取は筆者が行った。

(1) 調査成分

1) 亜硝酸イオン

亜硝酸態窒素は、主にアンモニウム態窒素の酸化によって生じるが、きわめて不安定な物質である。好氣的環境では硝酸態窒素に、嫌氣的環境ではアンモニウム態窒素に変化する。

る。亜硝酸態窒素の検出は、し尿や下水による汚染が継続して発生していることを示す。亜硝酸態窒素は、富栄養化の原因物質であるほか、血色素と反応して血液の酸素運搬能力を低下させるため、人体にも有害であり、時にはニトロソアミンという強い発ガン物質を生成する。従来は、亜硝酸態と硝酸態を合わせた環境基準であったが、亜硝酸単体で極めて有害であることから、わが国では2014年に単体での基準(0.04mg/ℓ以下)が設けられた。

2) 硝酸イオン

人体に摂取された場合、体内で亜硝酸態窒素に還元され、メトヘモグロビン血症などの障害を起こす。硝酸態窒素の存在は、その水が過去において汚染を受けたことを示し、水の履歴を示す。なお、わが国の水道水質基準では、亜硝酸態窒素と硝酸態窒素をあわせて10mg/ℓ以下と定められている。

3) リン酸イオン

リン酸イオンは肥料や合成洗剤、食品など広範囲に含まれているイオンで、この数値が高いほど富栄養化していることを示す。動物の遺骸も要因である。これが高くなると赤潮などの原因となる。

4) アンモニウムイオン

主としてし尿や下水中の有機物の分解や工場排水に起因する。アンモニウム態窒素は、水中では亜硝酸態窒素や硝酸態窒素に変化するため、アンモニウム態窒素の検出は、汚染されてから間もないか、汚濁が大きく溶存酸素が欠乏していることを示す。

(2) 分析結果

試料としては①～⑩の10点をとった。いずれも地下水であるが、⑦は塩素による殺菌消毒がされており、⑧は煮沸消毒がされている。またオープンな井戸は⑤のみであり、それ以外はいずれも給水管を通じ(つまり蛇口をひねって)給水するタイプであった。なお番号は、参考試料である⑩をのぞき、採取時間の時系列である。

採取場所は、①環境省(pH7.80)、②USP(南太平洋大)(pH7.79)、③KiriCAN(キリバス気候変動アクションネットワーク)(pH7.84)、④ベシオ地区レストラン(pH8.08)、⑤ベシオ地区民家(pH8.00)、⑥アンボ地区Utirerei Hotelの上水道(pH8.18)、⑦ボンリキ地区民家(pH7.71)、⑧同民家が飲料用に煮沸したもの(pH8.66)、⑨ビキニベウ地区民家(pH7.56)、このほか、参考として⑩隣国マーシャル諸島、マジュロ(pH7.76)をとった。pHはいずれも日本の飲料水基準を満たしていた。

⑥は水道水であるが、既に指摘したように地下水である。なお表の数値は日本の水質基準である。

し尿や汚水による汚染が継続していることを示す亜硝酸イオンは、6サンプルにおいて検出限界以下であり、日本の飲用基準を満たしていた。但し、2サンプルは非常に汚染が進み、日本では汚水に相当するレベルであった。

同様に過去の汚染の履歴である硝酸イオンは、3サンプルにおいて検出限界以下であるが、3サンプルでは汚染水レベル、かつ2サンプルは日本の水質汚濁防止法の排水規制を超えていた。⑦は河川の下流水レベルであるが、実際に上水として使われていることから、早急な対応が必要になろう。

洗剤の利用等による富栄養化を示すリン酸イオン、及び水中での汚染が進行中であることを示すアンモニウムイオン（なおアンモニアは有毒であるがアンモニウムイオンは無毒）は、汚水レベルのものはなかった。亜硝酸イオン、硝酸イオンに比べると、汚染の度合いは低いと言えよう。

サンプル⑦と⑧は同じ場所の地下水であり、数値変化は地下水を飲料水に変えるプロセスの効果に該当する。亜硝酸イオンは1.25が0.18へと、硝酸イオンは3.16が検出限界以下へと大幅に低下、またリン酸も低下している。亜硝酸イオンの低下要因としては、地下水くみ上げ後の貯水による曝気と考えられる。亜硝酸を硝酸に変える亜硝酸菌の活動は、ア

表2 亜硝酸イオン

環境基準	試料番号
飲用基準 ～0.04 (mg/ℓ)	①－ ③－ ④－ ⑤－ ⑥－ ⑨－
汚染されている ～0.2 (mg/ℓ)	⑩0.15 ⑧0.18
汚染が激しい ～0.3 (mg/ℓ)	
汚水 0.5 (mg/ℓ) ～	②1.02 ⑦1.25

表3 硝酸イオン

環境基準	試料番号
雨水 ～0.4 (mg/ℓ)	⑤－ ⑧－ ⑨－
河川の上流水 ～1.0 (mg/ℓ)	
河川の下流水 ～6.0 (mg/ℓ)	②2.94 ⑦3.16 ①3.39 ⑩4.07
汚染水 6.0 (mg/ℓ) ～	④8.36 ③15.60 ⑥16.95

*水質汚濁防止法基準～10.0 (mg/ℓ)

表4 リン酸イオン

環境基準	試料番号
清浄水 ～0.05 (mg/ℓ)	⑧－ ⑨0.00 ①0.03 ⑥0.03 ⑦0.03
河川の上流 ～0.1 (mg/ℓ)	③0.05 ②0.07 ⑩0.10
少し汚染されている ～0.65 (mg/ℓ)	⑤0.13 ④0.16
汚染水 0.65 (mg/ℓ) ～	

表5 アンモニウムイオン

環境基準	試料番号
湧水 ～0.05 (mg/ℓ)	②－
雨水 ～0.40 (mg/ℓ)	⑩0.31 ⑦0.34
河川水 ～5.00 (mg/ℓ)	④0.47 ③0.78 ⑧0.78 ①0.85 ⑨0.85 ④1.01 ⑥1.01
汚水 5.00 (mg/ℓ) ～	

ルカリ性 (pH7.8~8.8) で活発になり、かつ35度前後で最も活性化することから、地下水を一定期間地上で貯留することにより、亜硝酸イオンが低下したと考えられる。なお、サンプル⑧におけるアンモニウムイオンの0.5から1.0への上昇は、pH上昇の影響と推察される。

4. おわりに

本稿では、キリバスが抱える環境問題を論じた。世界的には地球温暖化対策が焦眉の急とされるが、その被害に最も脆弱とされるキリバスにおいて、より身近なかつ深刻な問題としての水質汚染を確認した。キリバスでは、包括的な水質調査は実施されておらず、住民は水質汚染の実態をこれまで知る機会がなかった。

データは、簡易な手法に基づき、かつ時間の制約もあり、数値の詳細な解析・解釈には至らなかった。また、調査日以前は1か月間程度降雨がなかったが、このことの地下水への影響の解析も十分ではない。なお現地では、地下水の水質は場所によって大きく異なり、人口密集地域か否かとの相関はあまりないことが知られている。

今回の水質調査における最もクリティカルな事象は、亜硝酸イオン及び硝酸イオンの検出である。わが国の排水基準をオーバーする程度に汚染された水、すなわち汚水とも言つてよい水が、日常的に中水として、時には上水として利用されている。ただ、キリバスでは生活習慣と水質汚染が不即不離の関係にあるため、即効性のある解決策は残念ながら存在しない。また、現在のキリバス経済が置かれた状況を勘案すると、高度（高額）な水処理施設設置の義務化は適切な解決策ではない。水質汚染軽減のためには、トイレ習慣の変更、土葬から火葬への転換は必須である。この実現には、地道で気の長い広報・普及活動が不可欠となる。

水質汚染が富栄養化の結果であることを勘案すれば、アンモニア態窒素や硝酸態窒素を含む水を肥料として有効利用することが考えられる⁹⁾。次年度以降は、この点についても考察を加えたい。

〔謝辞〕本研究は、在日本キリバス名誉領事オノ氏、Alice Enterprise阿部氏の便宜により行われた。感謝申し上げる。

注

- 1) 高山・甲斐山〔7〕はキリバスの地形の成り立ちを詳述している。山口〔8〕はキリバス・マーシャルの生活環境について触れている。
- 2) 海水を含んだ帯水層の上部に、密度差によって淡水がレンズ状に浮かんでいる。温暖化による海面上昇や、過剰なくみ上げは淡水レンズ層を縮小し、海水が淡水と混ざる（アップコーニング）。アップコーニングにより淡水層に海水が混ざると、淡水レンズ自体の使用が困難となる（幸田ほか〔5〕）。
- 3) 聞き取り調査では、キリバス国内最大規模の環境NGO（KiriCAN）の事務局長から、水質問題の深刻さと対策の重要性が指摘された。
- 4) 南洋における海洋プランクトンが産出する毒。シガテラ毒は生体濃縮により蓄積され、人間にも中毒をもたらす。なお、熱分解はしないため、加熱によっても毒素は減少しない。タラワではサンゴの損傷によって発生することから、水質汚染がシガテラ毒の原因となっている。
- 5) 上水管の老朽化による、配水途上での汚染水の水道管への混入が懸念されている。なお水道水は3t（1タンク）当たり10ASD（1ASD=93円）である。上水はタンクでの販売もしているが、渇水期には調達が困難となる。
- 6) 高校3年間で電化地域である首都で過ごした後、非電化地域である離島に戻るケースは限られる。男性も女性も大学進学しない場合は、高校卒業後の18～19歳で結婚するのが一般的である。女性は20代前半で出産する。高等教育について触れる。USP（南太平洋大学）の分校がキリバスにあるが、現在は短期コースのみであり、知識層の蓄積は脆弱である。これは、経済発展抑制の遠因と考えられる。なお、2016年に水産学部を誘致する計画があったが、進捗はみられない。但し、仮に学部誘致に成功しても、成果がキリバス社会に浸透するには少なくとも10年は必要となる。
- 7) 人口転換理論では、社会は、多産多死（第一段階）、多産少死（第二段階）、少産少死（第三段階）、成熟・人口減少（第四段階）と推移する。キリバスは第二段階、日本は第四段階にある。
- 8) 一定の所得階層以上の一部の家庭には水洗トイレが設置されている。これらの汚水は個別浄化槽を通じ外洋に排出される。
- 9) この点を論じるには、キリバスの農業生産に関する整理が必要となる。以下補足する。赤道直下にあるキリバスは、日射量が強く、かつサンゴ礁土壌ゆえ農業生産には適していない。2003年以降、国交を有する台湾が、農業技術開発を行い、チャイニーズキャベツやキュウリ、ナスなどを生産しているが、商業ベースには乗っていない。スーパーでも野菜を見かけるが、どれも貧弱であり、新鮮ではない。簡単な家庭菜園を行っている家庭もあるが、これも生産はごく少量である。キリバスでは、長らくコブラやタコノキ、パンノキなどを主食としてきたが、独立以降は米（かつてはオーストラリア産、現在ではインドネシア産やベトナム産が中心）が主食となった。副食としてはカツオ等の青魚が食べられ、この他、冠婚葬祭には豚の丸焼き、パパイ（タロイモ）が食される程度である。このように、食材が限られているため、栄養摂取には偏りがあり、平均寿命も男性63歳、女性68歳と日本に比べると極めて短い。センサスデータによると、離島では70歳以上人口がゼロというところも散見される。国民の福祉向上のためにも野菜等の生産が望まれている。

引用文献

- 〔1〕 IPCC, Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Cambridge University Press, 2013.
- 〔2〕 環境省地球環境局『COP21の成果と今後』2015年。
- 〔3〕 環境省水・大気環境局『未来へつなごう私たちの地下水』2009年、p.6。
- 〔4〕 風間計博『窮乏の民族誌』大学教育出版、2003年、p.325。
- 〔5〕 幸田和久ほか「マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島の淡水レンズの状況」『H26 農業農村工学会大会講演会講演要旨集』2014年、pp.618～619。
- 〔6〕 National Statistics Office, Census Report on 2010 volume2, 2012.
- 〔7〕 高山純・甲斐山佳子『珊瑚島の考古学』大明堂、1993年、p.230。
- 〔8〕 山口由二「キリバス共和国・マーシャル諸島共和国の生活と環境の現状」『環境創造』vol.6、2004年、pp.91～112。