

エジプトの西方砂漠に位置するハルガ・オアシスの窪地における利用水の¹⁴C年代
**Radiocarbon ages of inorganic carbon fractions from water resources
used in Kharga oasis, Western desert, Egypt**

中村俊夫^{1*}・塚本敏夫²・山田卓司³・橋本英将⁴・亀井宏行⁵

Toshio Nakamura^{1*}, Toshio Tsukamoto², Takashi Yamada³,

Hidemasa Hashimoto⁴, Hiroyuki Kamei⁵

¹ 名古屋大学宇宙地球環境研究所・² 元興寺文化財研究所・³ 龍谷大学文学部・

⁴ 天理大学文学部・⁵ 東京工業大学情報理工学院

¹ ISEE, Nagoya University, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

² Gangoji Institute for Research of Cultural Property, Chuin-cho, Nara-city, Nara 630-8392, Japan

³ Faculty of Letters, Ryukoku University, Fushimi, Kyoto 612-8577, Japan

⁴ Faculty of Letters, Tenri University, Somanouchi, Tenri, Nara 632-8501, Japan

⁵ School of Computing, Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Meguro, Tokyo 152-8550, Japan

**Corresponding author. E-mail: Nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp*

Abstract

Beside the main research program of “Introduction of information technology into investigation of archeological site - El-Zayyan site in Egypt”, the other program concerning water resources of oases in the western Egyptian desert was started at the time of the main program opening. According to the IFAO (International Federation for Artificial Organs) organization in Cairo, Egypt, archeological samples collected in Egypt are strictly prohibited to take out from Egypt for ¹⁴C dating. Radiocarbon dating program of Egyptian archeological samples in our research should be changed. Instead of archeological samples, we selected water samples, such as water for deep well, tap water, water for irrigation, and pet bottle water as well, to investigate how the water resources of oases in the Egyptian desert are composed. We conducted ¹⁴C dating on 12 water samples collected from Kharga oasis, Egypt, in 2007 and 2008. Such water samples as tap water, water for irrigation, which originate in the deep wells, showed ¹⁴C ages as old as 27,000 to 35,000 BP. Except for pet bottle water that was brought into the oasis areas from outside worlds, all water samples for living daily life are originated in deep well water. This tendency of using the water resources supplied from nearby areas is almost consistent with the water resource analysis in the Raqqa city, Syria, where the Euphrates river runs through the Raqqa city, and water from the Euphrates river is used mostly in the Raqqa area for daily life.

For estimation of the time span for water flow from top area of Mt. Fuji to its foot, water sample was collected from the spring located at Oshino-hakkai area, Oshino, Minamitsuru, Yamanashi Prefecture, Japan. ¹⁴C age of dissolved inorganic carbon from the water sample that gushed out at the foot of Mt. Fuji was dated as 1129 ± 28 BP (NUTA2-14859), although the residence time of underground water that is flowing down on Mt. Fuji slopes has been estimated as a few tens of years, based on geological and geochemical analyses of the surface layers of Mt. Fuji and the water pass through the layers.

Keywords: *Egyptian oasis; ground water; dissolved inorganic carbon in water: spring water from Mt. Fuji; accelerator mass spectrometry; radiocarbon dating*

1. はじめに

東京工業大学の亀井宏行教授(当時)の科研費基盤研究A(2007–2010)「考古遺跡調査への情報技術導入実験—エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」の研究協力者として、2007、2008年の12月に、エジプト西方砂漠のハルガ・オアシスの調査に参加した。この調査に参加した目的は、神殿やその周辺の施設の遺跡・遺構が使用された時期を高精度に特定することである。しかしながら、エジプトでは、国内産出の考古学試料の ^{14}C 年代測定はエジプト国内で行うことを原則としており、国外で測定を行うために試料を持ち出すことは禁止されている。カイロに置かれているIFAO (International Federation for Artificial Organs)という国立の研究機関に、2006年に設置された ^{14}C 年代測定部門があり、旧来の液体シンチレーション法による測定を行っており、これによる ^{14}C 年代測定を依頼するしかない。AMSでしか測定できない微量試料は、今後AMSの導入によって測定が可能になるのを待って保管されている。

そこで、考古学試料の ^{14}C 年代測定は諦めて、ハルガ・オアシスの水環境を、 ^{14}C を使って調査することに計画を変更した。降水はほとんどなく、低地にあるオアシスで地下から地表に染み出してくる僅かな量の地下水が溜まった池や、最近では動力を利用して地下水を汲み上げて生活用水として利用している。これらの汲み上げている地下水やホテルの水道水は2.5万年前～3.5万年前のかなり古い ^{14}C 年代を示した。中村ほか(2010)では、シリアのユーフラテス河中流域に位置するラッカ市の水環境の調査結果を報告しているが、ラッカ市周辺の水は、ユーフラテス河の水を利用しているらしく、ユーフラテス川の水が1200年前、一方、ホテルの水道水が1330年前とほぼ同じような ^{14}C 年代が得られている。ここでは予定変更の調査であるために、かなり乱暴な話になるが、ハルガ・オアシスの水環境の ^{14}C 測定結果を報告する。

2. 水試料の採取

2.1 ハルガ・オアシスの周辺の生活水の採取

エジプトの西方砂漠には、主として5つのオアシスが点在する(図1)。南からハルガ・オアシス(Kharga Oasis)、ダフラ・オアシス(Dakhla Oasis)、ファラフラ・オアシス(Farafra Oasis)、バフレイヤ・オアシス(Bahariyya Oasis)、スイーワ・オアシス(Siwa Oasis)である。本研究の対象は当初、西方オアシスで最大であり、人口は約5万人とされるハルガ・オアシスであった。ハルガの町から約20 km南に位置してアルザヤーン神殿遺跡がある。



図1 エジプトの全体図と西方砂漠の南部にあるハルガ・オアシス

図の右下のスケールは200 kmを表す。

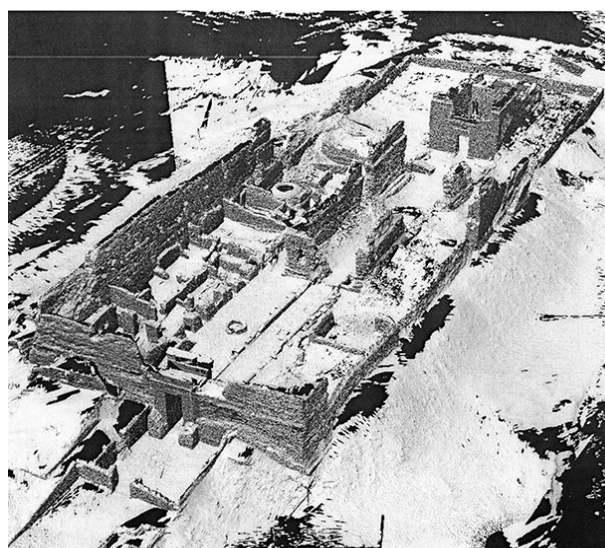


図2 ハルガ・オアシスに位置するアルザヤーン神殿遺跡の立体図

長距離測距計(GPT-3000)を用いて神殿の個々のパーツの位置を計測し、パソコンを駆使して神殿を立体構成したもの。

アルザヤーン神殿については、情報技術導入の一例として、レーザー光を利用した高精度長距離測距システムを用いてアルザヤーン神殿全体像の三次元デジタル計測が行われ（図2）、写真撮影によらない同神殿の三次元立体画像が作成された（Kamei et al., 2007）。

しかし、遺跡の考古学的な研究実現のために不可欠な、遺跡遺物の ^{14}C 年代測定が、上記の理由により不可能であることが明らかになり、研究目的の変更があり、 ^{14}C 年代測定を担当する、本研究の分担者（本研究の筆頭著者）も、研究の対象を変更せざるを得なくなった。そこで、オアシスの生活に不可欠な地下から汲み上げられた地下水の性質に関して、研究を進めることになった。このように、個人的な思いつきによって研究対象を変更したことから、システムチックな試料採取と考察は行われていないが、本研究により、後世の研究に役に立つ年代情報が提供できれば幸いである。

エジプトのハルガ・オアシスでは、2007年12月と2008年12月に調査を行った。2007年には、表1に示すように、ハルガ・オアシスのアルザヤーン神殿遺跡の近くの井戸（図3）、深さ800 mから汲み上げられた地下水が2点、ハルガ・オアシスの中心都市のハルガ市にて宿泊したホテル（Elradwan hotel）の水道水の1点、カイロに戻ってから購入したペットボトル1点の計4点である。

表1 エジプトのハルガ・オアシス周辺およびカイロ市の地下水、水道水、ペットボトル水の見かけの ^{14}C 年代

番号	試料番号	分析試料	試料採取日 (y, m, d)	無機炭素 濃度 (mg/L)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C 年代 (BP)	実験室番号 (NUTA2-)
71	ZAY-1-1	地下水, El Zayyan 周辺, Kharga Oasis	2007/12/09	24.0	-17.3	$35,059 \pm 581$	13094
72	ZAY-1-2	地下水, El Zayyan 周辺, Kharga Oasis	2007/12/09	22.9	-11.6	$33,538 \pm 168$	13093
81	EG-WELL08	地下水, El Zayyan 周辺の井戸, 深度:800 m, Kharga Oasis	2008/12/18	?	-11.9	$31,884 \pm 156$	13948
82	EG-Baris08	地下水, 北 Baris 市周辺の井戸, Kharga Oasis	2008/12/16	?	-14.5	$27,730 \pm 113$	13950
86	EG-RD-2	地下水, 汲み上げモーター停止中、Kharga 市内の井戸	2008/12/?	?	-10.7	$23,235 \pm 79$	13953
74	ZAY-2	水道水, Elradwan Hotel, Kharga City	2007/12/12	17.2	-18.5	$27,160 \pm 355$	13095
85	EG-RD-1	水道水, Elradwan Hotel, Kharga City	2008/12/08	?	-11.6	$27,437 \pm 109$	13954
87	EG-DASAN-1	Pet Bottle, 深井戸水, View Hotel, Cairo City	2008/12/13	24	-12.2	$29,154 \pm 122$	13955
83	EG-NESTLE08	1.5L Pet Bottle Water, Elradwan Hotel, Kharga City	2008/12/?	16.8	-12.8	-298 ± 25 ($R_{\text{cor}}=1.038 \pm 0.003$)	13951
84	EG-Cleop08	水道水, Cleopatra Hotel, Cairo City	2008/12/13	?	-6.4	90 ± 25	13952
88	EG-DASAN-2	Pet Bottle, View Hotel, Cairo City	2008/12/13	?	-11.0	286 ± 25	13956
73	ZAY-3	Pet Bottle, Cairo City	2007/12/?	63.0	-13.7	-223 ± 42 ($R_{\text{cor}}=1.028 \pm 0.005$)	13096

「番号」の列の2桁目の数字、7: 2007年に採取した水、8: 2008年に採取した水、を示す。「 ^{14}C 年代」の列の R_{cor} は、試料の ^{14}C 濃度とその誤差を表す。

2008年12月には、ハルガ市内の井戸 (Zayyan : 1点、ハルガ市内 : 1点) のほか、ハルガ市から 90 km 南方に位置する Baris 市内の井戸からも地下水を1点採取した。また、ホテルの水道水を、カルガ市の Elradwan hotel にて1点、カイロ市内の Cleopatra Hotel にて1点採取した。さらに、飲み水として購入したペットボトル水の3点を分析試料とした。それらは、ハルガ市の Elradwan hotel にて "Nestle" のラベルが貼られた1.5リットルのペットボトル水が1点、カイロの View Hotel にて深井戸水と示されるペットボトル水が1点、同じく View Hotel で購入したペットボトル水の1点である。採水は、100 ml のプラスチックボトル (テクノボトル、ニッコー (株)) に分取して、きつく蓋を閉じて、ビニールテープで蓋の部分巻いて封じ、ボトルの底を上側にして保管し、日本へ持ち帰った。



図3 アルザヤーン神殿遺跡の近隣における地下水の汲み上げと農耕用水としての利用

2.2 富士山の北東山麓の忍野 (おしの) 八海

筆頭著者が2009年8月4日に富士吉田の知人を訪問した際に、山梨県南都留郡忍野村忍草 (しばくさ) にある忍草浅間神社に案内された。その一帯では、富士山の湧水がこんこんと湧き出しており、忍野八海 (おしのはっかい) と名付けられた景勝地があった (図4)。筆頭著者は、湖水や地下水の起源、その ^{14}C 年代に興味を持っていたことから、地下から湧き出しており、滞留している池の水とは混合していない地点の湧水 (#91) を、100 ml のプラスチックボトルに分取して、実験室に持ち帰った (表2)。

また、名古屋大学内では、名古屋市から供給される市水とともに、別系統の井戸水が実験室に供給されていた。名古屋大学古川記念館の鈴木和博教授の実験室に供給されていた井戸水 (#92) を採取し、忍野八海から採取された富士山の湧水試料と共に ^{14}C 年代測定を行った。



図4 富士山麓の忍野八海 (おしのはっかい) における富士山の湧水状況

表2 富士山麓の湧水、名古屋大学の井戸水の見かけの ^{14}C 年代

番号	試料番号	分析試料	試料採取日 (y, m, d)	無機態炭素濃度 (mg/L)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C 年代 (BP)	実験室番号 (NUTA2-)
91	FUJI-1	富士山麓の、忍野八海の湧水	2009/08/04	17.6	-16.7	1129 ± 28	14859
92	NACL-1	古川記念館の鈴木教授の部屋の井戸水起源の水道水	2009/10/19	15.1	-19.6	1463 ± 28	14860

「番号」の列の2桁目の数字、9: 2009年に採取した水を示す。

3. 水試料からの無機炭酸成分の回収、グラファイトの作成、 ^{14}C 年代測定

水試料に溶存する無機炭酸成分の回収方法については、Nakamura et al. (1998)、中村ほか (2010) を参照されたい。概略として、水試料に塩化ストロンチウムを加えて、無機炭酸成分を炭酸ストロンチウムとして沈澱させ、 CO_2 -freeのグローブボックス内にて炭酸ストロンチウムを分離し、真空装置内で、リン酸を用いて炭酸ストロンチウムを分解して二酸化炭素を生成し、この二酸化炭素を精製して秤量する。次に、この二酸化炭素を水素還元法により鉄粉触媒の表面にグラファイトとして生成させ、名古屋大学タンデトロンの質量分析装置を用いて、試料の ^{14}C 年代を測定した。このとき、シュウ酸標準物質SRM4990C (HOxII)と、さらに ^{14}C ブランク試料 (キシダ化学 (株) 製特級シュウ酸試薬(#57952)を年代測定の標準体として用いた (中村, 2003、Nakamura et al., 2004)。

4. 水試料について得られた ^{14}C 年代の特徴

4.1 エジプトのハルガ・オアシスの水試料

ハルガ・オアシス関連水試料の ^{14}C 分析結果は以下のように、箇条書きにまとめられる。

① ハルガ・オアシスのアルザヤーン神殿遺跡の近くの井戸、深さ800 mから汲み上げられた地下水(#71, #72, #81の3点)では、 ^{14}C 年代は28,000~35,000 BPと得られ、今回測定した水試料の中で最も古い ^{14}C 年代を示した。これらの水は、更新性の終わり頃の酸素同位体ステージ3 (OIS3) の時期にエジプトの西方砂漠一帯に降った天水が地下に染み込み溜まったものが、現在、透水性のある地層を介して集まった地下水が、汲み上げられていることが考えられる。また、もっと後の時代に降った降水が、地層中に分布する ^{14}C を含まない石灰岩層と炭素交換を行い、見かけ上古い年代を示す地下水に変化した可能性も考えられる。エジプトの西方砂漠地帯の地層の成り立ちを調べる必要がある。

② ハルガ・オアシスの中心都市、ハルガ市の井戸水について、たまたま汲み上げ用のモーターが停止している時、すなわち汲み上げが停止して、井戸水の更新がない際に採取した地下水(#86)では、その溶存無機炭酸の ^{14}C 年代は、23,000 BPと若干若い年代を示している。多少の空気中の二酸化炭素の混入が有りそうである。

③ ハルガ市の90 km南方に位置するBaris市内の井戸から採取した地下水(#82)は、ハルガ市の井戸から採取した地下水に比べて、やや若い年代 (27,000 BP) を示した。同じ領域のオアシスに区分されているが、距離的に離れると、地下水の ^{14}C 年代が多少異なっていることがわかる。

④ ハルガ市で宿泊したElradwan Hotelの水道水試料(#74, #85)も27,000 BPと、井戸水ほどではないが古い年代を示した。

⑤ カイロ市で宿泊したView Hotelでは、深井戸水を詰めたペットボトル水(#87)が提供されていた。この水試料は29,000 BPの年代を示した。

⑥ カイロ市で宿泊したCleopatra Hotelの水道水試料(#84)の ^{14}C 年代は、 90 ± 25 BPとほぼ現代の年代を示した。カイロ市内では、水道水として、地下深いところから組み上げた地下水ではなく、ナイル川の水を引き込んで濾過、消毒して使用しているものと考えられる。

⑦ ハルガ市で宿泊したElradwan Hotelのペットボトル水(#83)では、微量ではあるが核実験起源の ^{14}C の影響が考えられる ^{14}C 濃度が見られた。このペットボトルのラベルには、Nestleの文字が見られることから、大手の飲料水業者が持ち込んだものと考えられる。また、カイロ市内で提供されたペットボトル水(#73)も、核実験起源の ^{14}C の影響が考えられる ^{14}C 濃度が見られたことから、大手の飲料水業者が持ち込んだものと考えられる。

4.2 富士山の東北山麓の忍野八海で採取された湧水試料

忍野 (おしの) 八海にて採取された富士山の湧水試料(#91)の分析結果を、名古屋大学の地下から汲み上げられた井戸水(#92)の分析結果と合わせて、表3に示す。富士山の湧水試料では、無機炭酸の含

有率は炭素の濃度にして17.6 mg/L、 ^{14}C 年代は $1129 \pm 28 \text{ BP}$ と得られた。

一方、富士山に降った雨や雪が山肌に染み込み、溶岩などからなる不透水層の上面を覆う透水層の中を流れ下って山裾にて湧水するまでに要する年数については、多くの研究が進められてきた(土, 2007)。その中でも、半減期が12.3年とされる放射性トリチウムの世界規模の原水爆実験による生成の経年変化と、放射性崩壊による減衰を元に、湧水中の核実験起源トリチウム濃度からの推定では、滞留年代が数十年とされている。この解析結果に比較すると、富士山湧水の無機炭酸成分の ^{14}C 年代 $1129 \pm 28 \text{ BP}$ は、古すぎる結果を示している。また、直接の因果関係はない事であるが、表3に示されるように、名古屋大学で汲み上げられている地下水(#92)中の無機炭酸の ^{14}C 年代は $1463 \pm 28 \text{ BP}$ と得られ、富士山湧水の無機炭酸成分の ^{14}C 年代とよく似た値を示している。

4.3 シリア・ラッカ市のユーフラテス河の水の生活水への利用

シリア・ラッカ市周辺の生活水の採取と分析は、主として筆頭著者が行ったものである。2005年度から5か年継続で、科学研究費補助金特定領域研究「セム系部族社会の形成—ユーフラテス河中流域ビシュリ山系の総合的研究」が実施されその関連研究として実施されたものである。このシリア・ラッカ地方の生活水の採取と ^{14}C 分析などについては、既に、中村ほか(2010)で報告されているので、ここでは、その結果を引用する。

エジプト西方砂漠の中でもハルガ・オアシスは、エジプトの最大河川であるナイル川に最も近いオアシスの一つであるが、直線距離で約200 km離れており、ナイル川の流水を引き込むことは困難である。これは、ラッカでは街のはずれをユーフラテス河が流れている状況とは異なる。ラッカでは、ユーフラテス河の水、灌漑用水路の水、ユーフラテス河の岸辺の少し小高い丘に点在する泉(wadi; ワディ)の水、ホテルの水道水、ペットボトル水、などを採取し、それらの ^{14}C 年代などを測定した(中村ほか, 2010)。その結果として ^{14}C 年代は、ユーフラテス河の水、灌漑用水路の水、ホテルの水道水の ^{14}C 年代は、 $1223 \pm 23 \text{ BP}$ ~ $1327 \pm 27 \text{ BP}$ とほぼ一致した値であった。泉の水の ^{14}C 年代は $659 \pm 27 \text{ BP}$ ~ $2784 \pm 27 \text{ BP}$ とばらつきの幅が広がり、ラッカ市内、シリアの首都ダマスカス市内で購入したペットボトルの水の ^{14}C 年代は、 $2567 \pm 28 \text{ BP}$ ~ $9040 \pm 35 \text{ BP}$ と大きくばらつきがあった。これらの結果をまとめると、ラッカ市周辺では、主たる生活用水として、ユーフラテス河の流水を利用していることがわかる。

5. まとめ

エジプトの西方砂漠およびアラビア半島のシリアの北部の砂漠地帯において、生活水として用いられる水資源を検討した。エジプトの西方砂漠の南部に位置するハルガ・オアシスでは、エジプトの大河であるナイル川の河川水を生活水に利用することができず、数百メートルの地下から組み上げる地下水を主たる生活水に利用していることが、本研究から明らかとなった。

また、筆頭著者がたまたま富士山北東山麓に位置する富士吉田周辺を訪問した際に、富士山の豊富な湧水を湛えた景勝地である忍野八海に出くわした。富士山では雨水が地面に染み込んだあと、山裾において湧水として湧き出すまでの程度の年数を費やすのか。そのような興味を持って、湧水の湧き出し口から、湧水試料を採取して無機炭酸成分を抽出して、 ^{14}C 年代測定を行った。無機炭酸成分の ^{14}C 年代は $1129 \pm 28 \text{ BP}$ と得られた。一方で、1950年代の終わりから1960年代の初めにかけて大気圏内で盛んに実施された原爆・水爆実験により生成された放射性トリチウム(^3H ;半減期:12.3年)の濃度の経年変化(土, 2007)や、富士山を構成する地層の地質学的な考察から、富士山の地下水の滞留時間は数十年程度と推察されている。富士山の湧水の無機炭酸成分の ^{14}C 年代が何を意味するのか、今後の研究が待たれる。

謝辞

1980年から名古屋大学理学部地球科学教室の実験アシスタントから始まって、2016年3月まで、旧名古屋大学年代測定総合研究センターの研究支援推進員として年代測定研究に協力していただいた太田友子さんに、水試料から溶存無機炭素の抽出の作業を分担していただいた。また、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究A「考古遺跡調査への情報技術導入実験—エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」、代表者：東京工業大学亀井宏行、課題番号：19254002（2007－2010年）を用いて行われた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 中村俊夫（2003）加速器質量分析(AMS)による環境中およびトレサ放射性同位体の高感度測定. *Radioisotopes*, **52**, 3, 145－171.
- 土 隆一（2007）富士山の地下水・湧水. 富士火山, 山梨県環境科学研究所, 375－387.
- 中村俊夫・星野光雄・田中 剛・吉田英一・齊藤 毅・東田和弘・桂田祐介・太田友子（2010）シリアのユーフラテス河中流域にあるラッカ市及びガーネム・アルーアリ遺跡周辺の環境試料の ^{14}C 濃度. *名古屋大学博物館報告*, **26**, 43－51.
- Nakamura, T., Kojima, S., Ohta, T., Oda, H., Ikeda, A., Okuno, M., Yokota, K., Mizutani, Y., Kretschmer, W. (1998) Isotopic analysis and cycling of dissolved inorganic carbon at Lake Biwa, central Japan. *Radiocarbon*, **40**(2), 933－944.
- Nakamura, T, Niu, E, Oda, H, Ikeda, A, Minami, M, Ohta, T, Oda, T. (2004) High precision ^{14}C measurements with the HVEE Tandatron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instr. and Meth.* **B223-224**: 124－129.
- Kamei, H. and Japanese team members (2007) Investigation of El-Zayyan Temple Site, Kharga, New Valley, Egypt. Annual Report 2007 (4/Dec/2007－18/Dec/2007), pp. 35.