

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2011～2014

課題番号：23254001

研究課題名(和文) 乾燥化・砂漠化の過程と人類の営みの解明 - エジプト西方砂漠ハルガオアシス -

研究課題名(英文) Coevolution of desertification and human activities in Kharga oasis, Western desert, Egypt

研究代表者

亀井 宏行 (KAMEI, HIROYUKI)

東京工業大学・博物館・教授

研究者番号：60143658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 39,700,000円

研究成果の概要(和文)：エジプトのハルガオアシスのアルザヤーン神殿遺跡周辺を対象として、乾燥化という環境変動と文明の関係を調査した。砂中の球状磁性体粒子を環境指標に用いる手法を開発し、エジプト初期王朝成立前4,200～6,700calBCの間に乾湿の繰り返しを2度存在したことを発見した。物理探査によりこの地域の水源は神殿の西2kmにあるゲベル・シーフ山で、ペルシャ期は山体中の宙水を利用、ローマ期は西麓を走る断層破砕帯からの地下水利用だったことを明らかにした。現在の西方砂漠の水資源・農地開発の動向を衛星画像で分析し、ハルガでは塩分濃度を抑える伝統的な農業が放棄されたため、休耕地や放棄畑が増大している実態を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Desertification in Egypt has rapidly advanced since the Early Dynastic Period. This study aimed to elucidate the process of environmental change for deepening our knowledge of how people conducted their life within the arid environment. Magnetic spherical fractions extracted as proxies from sand deposits suggested the environmental change featured by two humid-dry cycles within 4,200～6,700 calBP. A fault was found by Electro-Magnetic sounding in Kharga Oasis. Two drilling profiles were obtained at the vicinity of springs along the fault zone and in the field relics in the lowland. The results of the chemical and mineral analyses for the field-relic profile suggested the occurrence of environmental change including effects of irrigated water and cultivation. Landsat chronological data and DEM imageries of SRTM were utilized to understand the recent 30 years' land use change in Kharga oasis, having its own water source since ancient days, and the drastic change expected in future.

研究分野：考古情報学

キーワード：エジプト文明 砂漠化 球状磁性体粒子 断層破砕帯 ローマ ペルシア 物理探査 衛星画像

1. 研究開始当初の背景

北アフリカ地域では 18,000 年前は現在より湿潤で、その後、乾燥と湿潤が繰り返されながら、4,500 年前にサハラ乾燥化が本格化し、現在に至るといわれている(鈴木 2004, Walker et al., 2010 など)。エジプト文明のエジプト原始王朝時代(紀元前 4,200 年頃-紀元前 3,150 年)は、このような環境の劇的な変化の中で生まれ、さらなる乾燥化とともにペルシア、ローマの異文化支配を受けてきた(Kamei & Kogawa, 2007; Kamei & Nakano, 2012)。環境変化の過程を理解することで、人間が乾燥化という環境変動のなかでどのように対抗して生活し、技術を発展してきたか、ペルシア・ローマという異文化の導入が乾燥化への対抗手段として果たした役割について考えていくことにより、自然と人間の関わりの理解を深めることができる。

2. 研究の目的

(1)エジプト西方沙漠の砂堆積層に含まれる球状体粒子の特徴と古環境

現在砂漠景観であっても過去に植物が繁茂した結果、土壌生成(粘土生成)がなされたことにより残丘や砂堆積層からなる段丘状の微地形が残存する(Retallack, 1990)。こうした砂堆積層には、土壌生成の賜物としてさまざまな古環境の情報が含まれていると考えられる。そこで本課題では、エジプト西方砂漠ハルガ・オアシスの砂堆積層から検出される球状体粒子の特徴づけを行い、この地域の古環境プロキシを得ることを目的とした。

(2)衛星画像を用いたエジプト西方沙漠における水資源・農業開発の動向

衛星画像データを用いてエジプト西方砂漠の地形的特徴を明らかにし、古代より独自の水資源開発と農業利用を続けてきたハルガ・オアシスの水利環境と、近年の大規模な水資源・農地開発が将来ハルガ・オアシスに及ぼす影響を考察することを目的とした。

(3)ハルガ・オアシスにあるアルザヤーン神殿遺跡の古代の水源地の確定

アルザヤーン神殿内の貯水槽には神殿の西方から導水したローマ時代の水道管が残されている。また踏査や衛星画像から、西方の小山ゲベル・シーワにはペルシア時代のカナートの痕跡や、東に伸びる水路痕も発見されている。物理探査手法を用い、地下構造を推定することにより、古代の水源地を確定することを目的とした。

(4)断層破砕帯に沿う湧水帯付近砂層と畑遺構断面の特性と古環境

風成堆積砂から成る微高地ではなく、ヌビア砂岩層

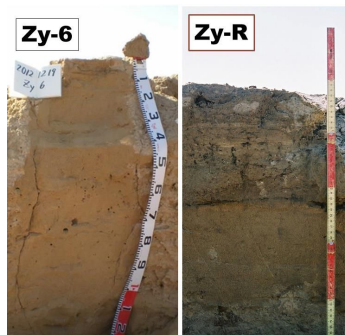


Fig.1 Sand profiles Zy-6 and Zy-R, Kharga, Egypt

最上部であるハルガ低地を掘削し、堆積層の特徴から古代の水利環境に関する手がかりを得ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1)エジプト西方砂漠ハルガ・オアシス南(N25°15'05.9"E 30°34'02.0" 標高 23m)に位置するアルザヤーン神殿周辺の沙漠の表層砂および2つの砂堆積層 Zy-R と Zy-6 (Fig.1)を対象とし、それぞれ 10 cm ごとに試料を採取した。砂試料は、室内で乾燥させたのち、粗腐植を除去し、篩を用いて粒度組成(重量%)を求めた。さらに 0.125mm 以下の粒子を用いてレーザー回折法(SALD-200V ER, Shimadzu)により、散乱強度スペクトルの測定にもとづく粒度分析を行った。ネオジウム磁石を用いて、砂試料(0.50-0.25mm)から磁性体粒子(magnetic fraction)を分離し、重量を測定した。各層で磁性体粒子の検出を3回行い、平均値を求めた。デジタルマイクロスコープ(VH7000, Keyence)を用いた磁性体粒子の色と大きさを観察し、黒色、赤褐色、黄褐色、緑色、茶褐色、白色に区分した。マイクロ天秤(AX26, Mettler Toledo)を用いて検出の重量密度($\mu\text{g g}^{-1}$)、個数密度(個 g^{-1})を求めた。検出された球状磁性体粒子(magnetic fraction)の表面構造観察を電界放射型走査型電子顕微鏡 FE-SEM (S4700, 日立製作所)により、粒子の元素組成をエネルギー分散型 X 線分析装置(Genesis, EDAX)により分析した。さらに、粒子の鉱物相の同定のために、微小部 X 線回折装置(D8-Discover, Bruker axs)による分析を行った。さらに、ダイヤモンドカッターを用いて粒子を切断し、SEM-EDX により内部構造の観察と元素分析を行った。分析結果をもとに、球状体粒子の特徴づけと分類を行ったのち、球状粒子の検出密度の断面分布を求めた。

(2) 1984~2013 年のランドサット(LT)/TM データを用いてエジプト西方砂漠における近年の土地利用変化の動向と特徴を抽出した。スペースシャトル SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)画像から作成した標高段彩図(DEM)を作成した。エジプト西方砂漠の地質・水文・地形的特徴を明らかにし、古代より独自の水資源開発と農業利用を続けてきたハルガ・オアシスを取りまく、近年の大規模な水資源・農地開発が将来ハルガ・オアシスに及ぼす影響を検討した。

(3)アルザヤーン神殿周辺 35 地点で、時間領域電磁誘導探査法(TDEM)を行った。使用装置は SIROTEM MK3(Geoex 製, Australia)で、電流ループは一辺 50m の方形に取り、地下 150m までの地中の電気抵抗率の垂直分布を求めた。その結果から、古代に水源として利用された帯水層の存在や地下水の上昇しやすい破砕帯を探した。

(4)アルザヤーン神殿西に位置する砂岩から構成されるゲベル・シーワ(標高約 75m)西側の断層破砕帯に沿う湧水帯付近とアルザヤーン神殿東の畑遺構にて深さ 90cm まで砂

層を掘削した (Fig.2)。掘削断面からサンプリングを行い、導電率 (EC、電気抵抗率の逆数) と有機態炭素含量の測定、蛍光 X 線元素分析、X 線回折を行った。また加速器 ^{14}C 年代と $\delta^{13}\text{C}$ 炭素安定同位体比を委託分析した。

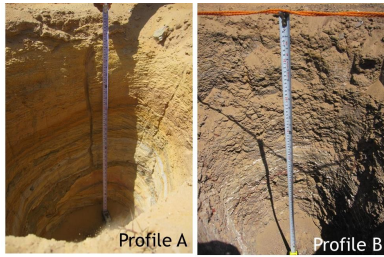


Fig.2. Zayyan Profiles from 2015 survey

4. 研究成果

(1) エジプト西方沙漠の砂堆積層に含まれる球状体粒子の特徴と古環境

砂堆積層の年代

砂堆積層には過去の植物根から浸出した有機酸と鉄が結合することにより、有機態炭素が 0.1% と微量ながら含まれている。酸処理を行った砂層試料を用いて ^{14}C 年代により砂堆積層の形成年代を推定したところ、Zy-R および Zy-6 の 2 つの断面で、それぞれ 5,000-8,400 yBP (3,800-7,600 calBC) と 5,500-7,800 yBP (4,200 ~ 6,700 calBC) の値が得られた。これらの値は、8.2 kaBP の完新世の気候イベントを挟み、Zy-6 断面は乾燥と湿潤の両方の環境下で存在していたと推定された。

磁性球状体粒子の特徴づけ

砂堆積層から検出した色別 6 グループの磁性体球状粒子の元素組成と鉱物相同定の結果は Fig.3 の通りである。

	形態的特性			化学的特性 元素組成(C,O,Hを除く)	鉱物的特性 結晶構造
	光学顕微鏡観察	SEM観察	断面構造($\times 3000$ 倍)		
黒色				Si, Al > Mg, Na > Fe	岩片 (頁岩由来)
赤褐色				Fe, Si > Al, P > Ca, Mg	リン酸化合物 Leucophosphate
黄褐色				Fe > Si, Al	ゲータイト goethite
黒褐色				Fe, Mn > Si, Al > Mg	ゲータイト goethite 石英 quartz
緑色				Si > Al, K > Fe, Mg	白雲母 (絹雲母) muscovite(sericite)
白色				Ca	方解石 calcite

Fig.3 Characterization of the spherical magnetic fraction

緑色球状粒子は表面と内部は鱗片状の微細構造物が走査型電子顕微鏡観察によって確認された。EDX 元素分析と微小部 XRD 分析の結果、この粒子は Sericite (絹雲母) であると同定された。Sericite は熱水作用によって生成される二次鉱物であり (Eberl et al., 1987 ほか)、さらにハルガ・オアシス北部に

Muscovite (白雲母) を含む緑色粘土層が確認されることから風で運搬されて Zy6 断面内に混入したとみられる。白色球状体粒子は EDX 元素分析の結果、calcite (方解石) であった。Calcite が二次生成物か東の石灰岩台地から運搬堆積したものは明らかにはできなかった。赤褐色の球状体粒子は EDX 元素分析の結果、Fe と P が検出され、微小部 XRD 分析によりリン酸塩鉱物の Leucophosphate と同定された。ハルガ・オアシス北部にリン酸鉱山があることから、卓越風向 (北) を考え合わせると、赤色粒子は風によって運ばれて混入したと考えられた。黒色球状粒子は、Quartz (石英) と Goethite (針鉄鉱) と同定されたが、石灰岩台地の下部を構成する頁岩に由来すると考えられる黒色礫と X 線回折チャートのスペクトルが一致し、マンガンを含まないという特徴がみられた。これらの粒子に対して、黄褐色球状体粒子は EDX 元素分析の結果、外部も内部も Fe を主成分としており、微小部 XRD 分析の結果、Goethite (針鉄鉱) であると同定された。また黒褐色球状粒子にはマンガンが多く含まれるという特徴があり、石英のまわりに Goethite が付着した粒子とみられた。

黄褐色球状粒子をプロキシとした環境変化の推定

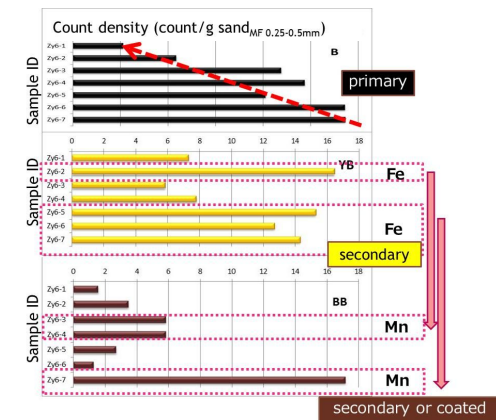


Fig.4 Forming process of different Goethite in Zy6 Profile

SEM-EDX と XRD によって特徴付けされた各種球状体粒子の検出密度 (磁性体球状粒子の磁性体粒子に対する個数および重量割合ほか) を求めた。その結果、黒色粒子と白色粒子は断面の下層で検出密度が大きくなったのに対し、黄褐色と黒褐色球状粒子の断面内における分布密度は断面内で変動がみられた。黄褐色と黒褐色の粒子密度の極大値出現層のずれから 2 つの土壌生成サイクルを検出することができた (Fig.4)。この特徴は、粒度組成分布との対応が認められた。

これらの知見から砂断面の ^{14}C 年代測定値を踏まえて古環境を推定した結果、ハルガ・オアシスではエジプト初期王朝の成立に向かう 4,200 ~ 6,700 calBC の約 2500 年間は湿潤から乾燥に向かっており、この間に 1 周期約 1000 年 ~ 1500 年の乾湿の繰り返しが 2 周期存在すると考えられた。

(2)衛星画像解析による西方沙漠の標高図と大規模水資源・農地開発の動向

DEMの作成により、ハルガ凹地とその北西に隣接するダフラ凹地とは比高400m以上の台地で隔たれており、2つの凹地の最低点の高度には100m以上の差があること(ハルガ凹地で最も低い海拔高度は東部の-18m、ダフラ凹地の低地の最低点の海拔高度100m)さらに、トシュカ低地とハルガ凹地とは、ほぼ同じ標高帯をもつ一続きの低地帯であるという地形の特徴が把握できた(Fig.5)。

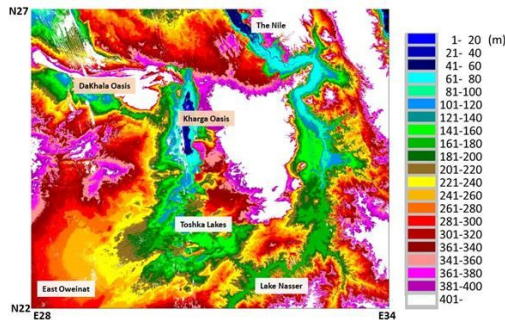


Fig.5 DEM of Kharga Oasis and its vicinity by SRTM

1984年、1999-2002年、2013年のハルガ・オアシスを中心とした4期のLTデータを解析した結果、1984年の画像ではナセル湖からトシュカ地区に向けて導水路の建設が、2000年の画像ではトシュカ地区に現れた湖が、2013年の画像ではトシュカ地区および東オワイナット地区にセンターピボット灌漑システムによる大規模な円形農場が確認された。トシュカ地区では1999年後半にナセル湖からトシュカ湖への導水が始まり、1998年9月から1999年3月までのランドサット画像から導水期の湖拡張変化を調査した。約2ヶ月間隔で湖水域を比較すると急速に拡大し、ピーク時は約56,000haとなったが、エジプト革命以後の2013年の画像で湖の縮小が確認された。一方、2000年及び年に観測された東オワイナット地区のLT画像では、東オワイナットプロジェクトで開発された大規模農地は、2000年の画像ではハルガ、ダフラ両オアシスから延びる道路と開発の骨格となる道路のみが認められたが、2013年では、本地区でも大規模円形農場が開発されており、1,133の円形農場が認められた。

ハルガ・オアシスでは、トシュカ地区および東オワイナット地区と異なり大規模な円形農場は認められなかった。ハルガ地区の中で最も標高が低い地点に近いアルザヤーン神殿周辺地区について取得された10年間隔の時系列データを用いて1984年以降の、農地開発の進行状況をみると、畑地がアルザヤーン神殿の西方向へ拡張する傾向がみられた。これはハルガ西を南北に縦断する道路ができた影響のほか、南北に並ぶ泉(ain)の列が知られているゲベル・シーワの西麓のさらに西側に当たることから、ヌビア砂岩層の涵養帯の存在が影響している可能性が示唆

された。ナツメヤシに着目して乾期の画像を用いた土地被覆分類を行い、29年間での農地面積の年増加率(%)を複利法によって求めたところ、ナツメヤシ・アカシア林地(1.5%)、密生するナツメヤシ伴う畑(1.8%)、ナツメヤシ疎林を伴う畑(0.6%)、作付け中の畑(0.9%)、休耕地(2.3%)、放棄地・集落(2.6%)となった。このうち、ナツメヤシ・アカシア林地の面積は、2003年で一度減少傾向がみられたが、その後2013年では増加に転じていた。使用した画像は8月(乾燥期)であるが、乾燥地では光合成効率の増大を狙ってむしろ高温乾燥期の「乾期」に作物栽培を行うことがまればない。エジプトでは、冬季に作付される穀物は、コムギ、クローバー、ソラムメなどであり、夏季作物は、綿花、米、サトウキビである。2004年~2012年12月における現地調査から、畑でのコムギ栽培から、近年新たに開墾されている畑では牧草を播種し、牛を放牧するという粗放的な経営が目立った。ナツメヤシなど避暑樹を伴わない安易な開墾は休耕畑や放棄畑の増加を招いていると考えられた。これは、1992年に、エジプト政府により土地改革法が一部改正され、小規模零細農家保護政策から農業生産性の向上を目的として農地の規模拡大を促す政策への転換が行われ、小作料の自由化等土地所有に対する制限が大幅に緩和されることとなったことが背景にあると思われる。

ハルガ・オアシスでは、灌漑水路沿いにはアカシアなどの高木を植えるなど伝統的な農業水利技術が継承されている。これは塩濃度の上昇を抑える古来の対策の一つである。近年では、牧草を蒔き、牛を放牧し、食べたなら次の場所に牧草を蒔き、というような粗放的な切替えがなされていく結果、塩類集積により劣化した土地が生じ、放棄地が増えていく可能性が示唆された。

ハルガには経済・定住拠点があり、水資源とその農業への活用法が古くから確立している。時系列ランドサット画像を用いて1980年代から30年間のハルガ・オアシス周辺域の農地開発を概観すると、トシュカ低地や東オワイナット地区で進む大規模な農地開発とは対照的に、ナツメヤシ・アカシア林を伴う畑地の漸増を確認することができた。一方で、農業生産性の向上を目的とした農地の規模拡大を促す政策への転換という社会的背景として、2000年以降にナツメヤシを伴わない放牧地の拡大が進んでおり、休耕地や放棄畑が増加しているという実態が衛星画像解析から明らかとなった。

ハルガ・オアシスと東オワイナット地区は同じヌビア砂岩帯水層を水源としている。東オワイナット地区の大規模水源開発がこのまま進めばハルガの水源の水位は下がり、より深い帯水層へ水源を求めなければならない。一方、ハルガ凹地とトシュカ低地はほぼ同じ標高帯をなす連続した低地帯であり、ハルガ凹地の東側は海拔高度が-18mと

さらに低い。今後トシユカ計画が進行した場合、アルザヤーン神殿東の低地が高塩分濃度の灌漑水の導水路となる可能性は高い。

(3) ハルガ・オアシスにあるアルザヤーン神殿遺跡の古代の水源地の確定

アルザヤーン神殿から西へゲベル・シーワを超えて伸びる約 2.5km の測線に沿った地下断面を求めると、西から東へ緩やかに傾斜する地表面に沿うような 4 層の地層構造を有している。表層(第 1 層)は、基盤を形成する砂岩、泥岩等の風化層で、低-中抵抗率を示している。ゲベル・シーワの西側は 14 m ほどの抵抗率を示しているが、東側に行くに従って低い抵抗率(4Ωm 程度)を示すようになる。第 2 層は、ゲベル・シーワ西側で表層下 10m から始まる極端に低い抵抗率(ゲベル・シーワの西側で 5.5 m, 東側に進むに従って 4~1.7Ωm)を示す層で、シルト、粘土、頁岩の挟み込み構造で、含水率も高いと想像される。第 3 層は、第 2 層下 40~60m から始まり、第 2 層より高い抵抗率(ゲベル・シーワの西側で 20~25Ωm, 東に進むに従って 28~5Ωm)を示している。粘土分の多い地層(砂質埴土)で、第 2 層に水分を蓄積させる作用をしている。最下層はさらに 60m 下から始まり、40~100Ωm という高抵抗率を示しており、北東サハラに基盤を形成しているヌビア砂岩層である。この砂岩層は、ゲベル・シーワの東側で急速に南西方向に沈降していく。ヌビア砂岩層は厚さが数 100m から 3km に達する厚い層で、豊富な真水を含んでおり、この地域でも現在は深さ数 100m の井戸を掘りこの水を利用している。古代においては、第 2 層が地下水の供給源であったと思われる。

ゲベル・シーワ北麓を横切る地下断面では、ゲベル・シーワの西麓の延長線上で、東側の地層が跳ね上がっている様子が捉えられており、ゲベル・シーワの西麓に沿った断層の存在が推定された。この断層破碎帯に沿って上昇してきている第 2 層あるいは第 4 層からの地下水を古代、特にローマ時代以降において灌漑に利用していたものと推定される。ペルシア時代は、ゲベル・シーワ山体中の宙水をカナートを掘削して利用していたと考えられるが、山体の大きさが小さいことから長期にわたり活用できた可能性は低い。

(4) 断層破碎帯に沿う湧水帯付近とザヤーン神殿畑遺構の砂堆積層の特性と古環境

地表掘削により取得した 2 つの砂層断面には、形態と化学性状に明瞭な違いがみられた。断層破碎帯の地点(ProfileA)では粗粒砂と細粒質の非固結砂層の互層が観察され、EC 値は下層(2 mS/cm)から表層(9 mS/cm)へ増大しており、地下水の毛管上昇による強い塩類集積が表層 0-40cm でみられた。一方、畑遺構の地点(ProfileB)では表層 10cm までの非固結砂層の下に灰色と暗赤褐色の硬化層があり、50-90cm 深には CaSO₄(石膏)の集積層がみられた。硬化層は石英のほか、層状ケイ酸塩鉱物(モンモリロナイト、カオリナイト、

ハロイサイトなど)やヘマタイトなどの酸化鉄が同定されたことから、粘土生成作用が及んでいるといえる。また、Profile B では EC 値が表層 0-20cm で 16 mS/cm を示し、極めて強い塩類集積がみられた。その下層 10-50cm の EC 値は 1~3 mS/cm で強い塩類集積はみられなかったが、50cm からは EC 値が 7~10 mS/cm と上昇し、下層ほど増大する傾向がみられた。CaSO₄(石膏)の集積が深さ 50-70cm でみられることを勘案すると、ProfileB では畑放棄がされるまでは、断面内の水の移動は地表から下向きが卓越し、灌漑水の影響によると考えられる。

ProfileA の有機態炭素量(OC%)は、表層 10cm で 0.06%、20-60cm では 0.01~0.02%であったのに対して、畑遺構の ProfileB の OC%は、表層 10cm で 0.1%、20-50cm で 0.1-0.2%、70-90cm で 0.4%と下層ほど大きかった。¹⁴C 年代と炭素安定同位体比を調べた結果、断層破碎帯に沿う湧水帯近傍の¹⁴C 年代は ProfileA の表層(0-20cm)で 3,770±30yBP、次表層(20-40 cm) 14,930 ± 50 yBP であった。一方、ProfileB の¹⁴C 年代は、表層(0-10cm)で 20,320 ± 60yBP、10-90cm で 20,850 ± 70~30,530 ± 140yBP、90-100cm で 37,610 ± 220yBP という値が得られた。対象試料の¹⁴C 年代値は、砂層が地表を形成していたときに繁茂した植物体だけでなく、化石水であるヌビア砂岩層帯水層やゲベル・シーワの宙水に含まれる有機態炭素の年代を指示すると考えられるが、¹⁴C 年代値の解釈にあたっては今後検討していく必要がある。なお、対象地の畑遺構は 19 世紀に作成されたハルガ・オアシスの地図(Ball, 1900)にも記載されており、現在も植生被覆が全くない。これに対して、ゲベル・シーワ北西麓の湧水帯近傍には現在も灌木や樹木が生い茂っている。また、10-30cm の層の年代値が 30,000yBP と下層よりも古くなっており、年代の逆転については現段階では解釈できない。

¹³C 値は ProfileA において全層を通して -20.7~-22.4‰ であるのに対して、ProfileB では 0-50cm が -23.5~-23.7 ‰、50-100cm が -24.6~-24.8‰ であった。湿性植物の¹³C は -10‰ 付近であることから、畑遺構地点で湿地環境が存在したことを指示する結果は得られなかった。乾燥地の植物は¹³C 値が大きい C4 植物(-16~-10‰)とされるが、本断面で得られた¹³C 値は C3 植物(-33~-24‰)と C4 植物の間にあった。ProfileB の編年について化学的・鉱物的性質および¹³C を加えて検討した結果、表層 0-50cm、50-90cm、90cm 以深の 3 つに区分された。50cm 深付近で灌漑水導入に伴う耕作の影響を含めた何かしらの環境変化があったと考えられ、粘土生成がみられた 50cm 以深は文明の支持基盤を形成していた可能性が示唆された。

【参考文献】

鈴木秀夫(2004)「気候変化と人間 1万年の歴史」原書房, pp 7-123

Ball, J. (1900) :Kharga Oasis, its topography and geology, Plate XV, Geo. Surv., Cairo

Eberl D.D. et al (1987): Sericite from the Silverton caldera, Colorado: Correlation among structure, composition, origin, and particle thickness. American Mineralogist, 72, 914-934.

Kamei, H. & Kogawa, K. eds (2007) : El-Zayyan 2003-2006, Tokyo Institute of Technology

Kamei H. and Nakano T. eds.(2012) :El-Zayyan Kharga Oasis 2007-2010, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

Retallack G.J. (1990) :Soils of the Past, pp 62-75. Unwin Hyman, Boston.

Walker, M.J.C et al,(2012): Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE. Journal of Quaternary Science 27,649-659

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

T. Kawae and H. Kamei, Geomorphological Aspects at the Giza Plateau in Egypt during the Age of Pyramid Building, Journal of Geography, 120(5), 2011, 864-868 査読有

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/120/5/120_5_864/article-char/ja/

B. Souri and M. Watanabe, Contribution of CaO/ZrO₂ and Parker Indexes to Evaluate Leaching Intensity of Calcareous Soils in Western Iran, Journal of Arid Land Studies, 21, 2011, 81-88 査読有

B. Souri and M. Watanabe, Mercury Concentration in Some Calcareous Soils of Western Iran with a Focus of the Contribution of Soil Weathering Process, Environmental Earth Science, 70, 2013, 1249-1262 査読有 DOI 10.1007/s12665-012-2211-0

渡邊真紀子、杉村俊郎、亀井宏行、時系列衛星画像を利用したエジプト西方沙漠ハルガ・オアシスの土地利用変化と特徴の抽出、日本リモートセンシング学会誌、34, 2014, 356-366 査読有

https://www.jstage.jst.go.jp/article/rssj/34/5/34_356/article

〔学会発表〕(計 12 件)

亀井宏行、砂漠の中のエジプト文明-オアシスに生きる-、日本赤外線学会創立 20 周年記念研究会、大阪産業大学、大阪市、2011 年 5 月 27 日(招待講演)

渡邊真紀子、ALOS 画像を用いたエジプト西方沙漠ハルガオアシスの水環境地図、計測自動制御学会リモートセンシング部会シンポジウム、首都大学東京、八王子市、2011 年 10 月 31 日(招待講演)

M. Watanabe, K. Kogawa, H. Kamei, T. Sugimura and T. Nakano, Water Environment

Map around El Zayyan Temple inn Kharga Oasis, Western Desert, Egypt based on ALOS Pan-Sharpned Imagery, The 9th International Conference on Archaeological Peospection, Izmir, Turkey, 2011.9.21

杉村俊郎、渡邊真紀子、亀井宏行、ALOS/PRISM データを用いたエジプト西方沙漠ハルガオアシス周辺の DEM 作成と精度検証、日本リモートセンシング学会第 52 回学術講演会、東大生産技術研究所、東京、2012 年 5 月 23 日-24 日

T. Sugimura, M. Watanabe, A. M. Abbas and H. Kamei, Application of ALOS Satellite Imageries for Geo-archaeological Studies of El-Zayyan Temple in Kharga Oasis, Western Deaert, Egypt, International Symposium of Remote Sensing, Makuhari, Chiba, 2013.5.15

M. Watanabe, N.Koizumi, R. Kikuchi and H. Kamei, Characterization of Magnetic Spherical Fractions in Sand Deposits for Interpretation of Environmental Change around El-Zayyan Temple, Kharga Oasis, Western Desert, Egypt, European Geoscience Union General Assembly 2014, Vienna, Austria, 2014.05.01

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014EGUGA..16.5596W>

亀井宏行、オアシスに伝わる古代エジプト-アル=ザヤーン神殿遺跡の調査-、古代オリエント博物館、東京、2016 年 2 月 13 日(招待講演)

亀井宏行、渡邊真紀子、Abbas Mohamed Abbas, エジプト・ハルガオアオアシス・アルザヤーン神殿周辺の時間領域電磁誘導探査(TDEM)による地下構造推定、日本文化財科学会第 33 回大会、奈良大学、奈良市、2016 年 6 月 5 日

〔図書〕(計 1 件)

H. Kamei and T. Nakano (eds), El-Zayyan Temple, Kharga Oasis, 2007-2010, Tokyo Institute of Technology, 2012, 194pages

〔その他〕

展覧会「オアシスに伝わる古代エジプト-アル=ザヤーン神殿遺跡の調査-」、古代オリエント博物館、東京、開催期間：2016 年 2 月 13 日~3 月 27

6. 研究組織

(1)研究代表者

亀井 宏行 (KAMEI, Hiroyuki)
東京工業大学・博物館・教授
研究者番号：6 0 1 4 3 6 5 8

(2)研究分担者

渡邊 真紀子 (WATANABE, Makiko)
首都大学東京・大学院都市環境科学研究科・教授
研究者番号：1 0 1 7 5 1 1 9