多衛星データを用いた古代エジプト遺跡 Site No. 52の発見について

A discovery of the ancient Egyptian archaeological site “Site No. 52” using a wide variety of satellite data

恵多谷雅弘*・中野 良志*・下田 陽久*・長谷川 奏**

エルサイードアッバスザグルール***

*Masahiro ETAYA, Ryoshi NAKANO, Haruhisa SHIMODA
So HASEGAWA and El-Sayed Abbas ZAGHLOUL*

Abstract : There are some Egyptian pharaonic sites discovered by the utilization of optical and microwave satellite data. Those discoveries suggested us that satellite data can be a powerful tool to detect unknown archaeological sites in the desert of Egypt. On the other hand, there are many Hellenistic archaeological sites at the Nile Delta. As a new application of satellite remote sensing, a wide variety of satellite data such as ALOS/PALSAR, Landsat-7/ETM+, CORONA, and WorldView-2 was used to detect Hellenistic archaeological sites distributed at the Nile delta. As a result of the study, a trace of the ground surface in a rectangular shape considered to be undiscovered Hellenistic archaeological site has been found. It is the first example in the history of archaeology of this area that a previously unknown and potential Hellenistic site of the Nile Delta was discovered by satellite data. This is a preliminary report about the discovery of Site No. 52.

Keywords : 多衛星データ, ナイルデルタ, 遺跡探査

1. はじめに

エジプト考古学において衛星データに最も期待されていることは、砂漠に埋もれてしまった未知遺跡の発見である。衛星データの活用によって実際に遺跡発見に成功した例として、メンフィス・ネクロポリスの砂漠地帯を対象に、ロシアの高分解能衛星画像 KVR-1000の空間的特徴量とナイル川の古環境の検討によってエジプト学史上初となる広大な墓域の発見と発掘に成功した Site No. 35 (ダハシュール北遺跡)、砂層透過性があることから地中探査に有効と考えられている衛星搭載 L バンド合成開口レーダ (SAR) で発見した王朝時代遺跡 Site No. 29 及び Site No. 39 (発見当初の名称は南サッカ Point A 地点)、そして QuickBird

などの高分解能衛星画像によって発見に至ったピラミッドの港湾施設 Site No. 49 などがあり、それらは衛星データが古代エジプト遺跡の探査に有効であることを実証した (坂田ら, 1996; 恵多谷ら, 1997; 恵多谷ら, 2005; 恵多谷ら, 2010)。

一方, こうした砂漠地帯を中心に分布する主に王朝時代の遺跡群に対して, ナイルデルタの低湿地には, ナイル川の氾濫が及ばないマウンド (ヘブライ語でテル, アラビア語でコーム) 上に煉瓦遺構や土器片が観察される遺跡 (以下テル状遺跡と呼ぶ) が多く存在する。今回, 多衛星データの画像特徴量から特定したデルタ内の未知遺跡の有望地点 (以下 Site No. 52 と呼ぶ) において, これまで報告されていないヘレニズム時代のものとは推定されるテル状遺跡の存在が発見された。そこには煉瓦構築物などの上部構造は残っていないが, 考古学的な地表観察でヘレニズム時代の重要遺構の存在を示唆する方形状の地表痕跡が確認されている。ナイルデルタを対象に, 未報告のテル状遺跡の存在を衛星データによって発見したのは本例がエジプト学史上初めてとなる。

* 東海大学情報技術センター

** 早稲田大学総合研究機構

***National Authority for Remote Sensing and Space Sciences (NARSS)

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 52, NO. 4, 2013

2. 対象地域

エジプトでは古代以来19世紀にかけて、ナイル川は毎年夏から秋に規則正しく氾濫し、沿岸とデルタのほとんどの地域を水で覆った。そうしたナイル川の氾濫によって形成された肥沃な低湿地は、同国の主要穀物である小麦や大麦などの栽培あるいはナツメヤシの生育の場となり、エジプト文明の歴史を通して豊かさの象徴であった。ナイルデルタの平坦な低湿地には、東のマンザラ湖から西のマリュート湖まで東西にわたって前6,000~5,000年頃の高進によって形成された大小の湖沼が分布するが、そのうちのラシード支流沿岸とその西の西方デルタには、おおむね神殿を中心とした煉瓦遺構、土器片、墳墓群、草地などで構成されるヘレニズム時代のテル状遺跡が多数存在している。対象地域内におけるテル状遺跡の面積は、小型のもので約0.003km² (Kom al-Madina 遺跡)、大型のものは約0.47km² (Kom al-Gharaf 遺跡) に及び、ナイル川の氾濫の影響を受けにくい海拔数m~十数m程度の高さを有している。

本研究では、そうしたヘレニズム時代遺跡の集中分布が見られるアレクサンドリア東部のアハイラ県のイドゥック湖南側に位置するアブーフンムス市~マハムディーヤ市を中心としたナイル西方デルタの低湿地(図1)を主な対象地域としている。

図1 対象地域

3. 方法

本研究では、衛星データと考古学資料からエジプト西方デルタの潟湖周域の古環境復元を主目的としており、それには未知遺跡を含めた対象地域の遺跡分布を理解することが不可欠となる。一方、イドゥック湖周辺の低湿地では、ナイルの氾濫の影響を受けない丘陵地の存在が遺跡立地の重要条件となっており、丘陵地の分布を知ることが新たな遺跡発見の重要な手がかりとなる。

ナイルデルタの遺跡やその周辺には、古砂丘堆積に由来する黄色砂の堆積で形成された丘陵地が多く存在するが、対象地域のイドゥック湖周辺には、Kom al-

図2 アル=ディバア(南)丘陵遺跡

図3 土地開発以前のイドゥック湖南岸の丘陵地分布(本図では、1960年代以降の最も近年に埋め立てられたと思われる丘陵群東側の農地部分も湖面範囲として示した)

Diba'a（アル=ディバア丘陵；図2）遺跡を含む岬状の丘陵地がかつて北西方向に大きく広がっていた（図3）。現在、丘陵地の殆どは土地開発などで消失してしまったものの、現在のイドゥク湖の湖面範囲に近いこの一帯は近年の開発が最も進行した地と思われ、考古学調査も進められてこなかったために、新たな遺跡発見が期待できる有望領域の一つと予測された。

こうした理由から、本研究では特にイドゥク湖周辺の丘陵地に着目し、ALOS/PALSAR, Landsat/

ETM+, CORONA, WorldView-2などの多衛星データの画像特徴量から、対象地域一帯に残存している可能性がある遺跡の痕跡を探し出すことにした。具体的な方法は以下の通りである。

3.1 衛星画像特徴量検討

ALOSのLバンド合成開口レーダPALSARは、ナイルデルタのテル状遺跡の分布を特徴的に捉えている（図4）。対象地域内に存在する既知のテル状遺跡の丘

図4 対象地域のALOS/PALSAR画像（左：2007/8/17撮影：HH偏波 ©JAXA/METI/RESTEC）とLandsat7/ETM+（右：band1238の演算によるカラー合成画像：2002/6/17撮影）

（分類項目）

- 1～8：水域，9～10：裸地，11～12：果樹園
- 13：集落，14～17：畑地，18～19：市街地
- 20～30：テル状遺跡または未知遺跡の有望地点

図5 最尤法による分類結果（左）と統合・抽出された未知遺跡の有望地点（右：赤い地点）

陵部を対象に、2シーンのPALSAR画像(2007年8月17日及び同年9月3日撮影, HH偏波)から計測した後方散乱係数 σ_0 は概ね -20dB ~ -22dB の低い値である。周囲にテル状遺跡とほぼ同じ値をもつ水域(河川, 湖沼, 養魚場等)が混在することからテル状遺跡のみを同画像から抽出するのは困難ではあるが、 -4dB から -14dB 前後の値を示す農地や集落などとは明確な差異が認められる。それに対して、ETM+画像(2002年6月17日撮影)では複数のバンドでテル状遺跡と水域の分光放射輝度の差異が認められることから、PALSARと組み合わせて分類処理することで、テル状遺跡と同等の画像特徴量をもった未知遺跡の有望地点(あるいは丘陵地)が抽出可能と考えられた。

3.2 未知遺跡有望地点の分類・抽出

そこで本研究では、同一縮尺, 同一座標系で幾何補正(リサンプリングサイズ=約15m)したPALSAR(HH/HV偏波)及びETM+画像から未知遺跡の有望地点を最尤法で分類・抽出することにした。最尤法での使用チャンネル数は合計6チャンネルであり、PALSARはHH, HVの両偏波, ETM+は既知のテル状遺跡の特徴が画像上で不明瞭なband4~7を除く4バンド(band1, band2, band3, band8)を選定した。分類項目数はテル状遺跡の主な土地被覆となる赤色煉瓦, 土器片, 黒色小石, 湿地, 草地に加え, 周囲の水域, 裸地, 畑地, 果樹園, 集落, 市街地などを含めた合計30とした。

最終的にテル状遺跡あるいはそれと類似した土地被覆をもつ地点に分類された合計11項目を未知遺跡の有望地点として統合・抽出した結果, PALSARとETM+の撮影時期の違い等に起因する土地被覆変化の影響が若干認められるものの, 未知遺跡の有望地点はIzbat al-Zaghaiba村を中心としたイドゥク湖南岸の丘陵地跡に概ね集中していることが明らかとなった(図5)。

3.3 未知遺跡の同定

以上のことから対象地域をイドゥク湖南岸に絞り込み, 同一縮尺, 同一座標系で幾何補正(リサンプリングサイズ=約50cm)したCORONA(1965年1月25日撮影)及びWorldView-2(2010年5月29日及び同年6月17日撮影)画像の比較判読によって, 未知遺跡の同定を試みた(図6)。1960年代に撮影されたCORONA画像は, WorldView-2などの最新の高分解能衛星画像と組み合わせることで, 過去の自然環境や遺跡分布を知るための有力情報となる。それらの画像によれば, イドゥク湖南岸はこの40~50年間の土地開発によって大きく変貌しており, 未知遺跡が存在する可能性が高い丘陵地の殆どは, 今は農耕地, 果樹園, 養魚場などとなっている。そうしたなかで, Kidwa Bab al-Ghazal(Kidwaは丘陵の意味)の遺跡の空白領域に位置する果樹園内において, 今現在も削平されず残存する黄色砂と草地の土地被覆から成る小丘Site No. 52の存在がWorldView-2画像から新たに

図6 未知遺跡の同定に用いたCORONA画像(左:1965/1/25撮影)とWorldView-2画像(右:2010/5/29・2010/6/17撮影のモザイク ©DigitalGlobe/HitachiSolutions/TRIC)

図7 遺跡が発見された Site No. 52地点の WorldView-2 画像
(左: 2010/6/17撮影 ©DigitalGlobe/HitachiSolutions/TRIC) と遺構の位置 (右)

図8 Site No. 52地点の丘陵上部で発見された方形の遺構痕跡

図9 エジプト政府考古部門(SCA)の遺跡登録台帳(・: 既知遺跡の位置 (Atlas of Archaeological Sites in Bahariya Prefecture, vol. 3, 2002: 原題はアラビア語))

確認され、小丘上には構築物の痕跡とも考えられる3本の直線構造も判読された(図7)。そこで2012年2月22日及び2012年9月9日の2度にわたってグランド・トゥルースを実施した結果、ヘレニズム時代の住居跡遺構と推定される方形の外郭をもつ地表痕跡が確認された(図8)。同地点の遺跡の存在に関しては、エジプト政府考古部門(SCA)の遺跡登録台帳(図9)にも記載されていない。

4. Site No. 52の特徴

Site No. 52は、Kom al-Diba'a 遺跡の北北東約1.2 kmのマンゴー畑内の東経31度13分01秒、北緯30度19分42秒の地点に位置する。畑内には大小2カ所の小丘が確認できるが、どちらも土地開発によって既に消失したと考えられていた Kidwa Bab al-Ghazal の丘陵の一部である。そのうち遺構の存在が確認されたのは北西側の草地で覆われた小丘上であり、そこから北西方向に下る緩斜面をもつ。小丘上に煉瓦構築物などの上部遺構の存在は確認できないが、その痕跡と推測される方形外郭をもつ草の未生育部分が大きな特徴となっている。WorldView-2 画像から計測した遺構の外郭部分の規模は、幅約11m、奥行き約18mであり、長軸は北東-南西方向を指向している。また ALOS/PRISM の3方向視モード DSM (Digital Surface Model) データから計測した丘陵上部の標高は約6m、周囲のマンゴー畑との比高は約3mであり、その地形

はナイル川の氾濫の影響を受けにくいテル状遺跡の立地条件を満たしている。

5. 考古学的所見と意義

SCA の遺跡登録台帳によれば、マハムディーヤ市には8の考古遺跡が、アブーフンムス市には44の考古遺跡が登録されている。本対象地域はその一角を占め、これらの中には墓地として利用されたり、既に近年の開発で削平されて、失われてしまったものもあるが、マハムディーヤ市の遺跡の中には、Kom al-Gahraf, Kom al-Ust, Kom al-Ahmar など、考古学的な調査の進行為期待される比較的保存状態の良い遺跡も多い。これらの丘状をなす遺跡形成のあり方は、デルタの同様の事例を参照にする限り、最下部に更新世の海抜降下による岩盤風食と粗砂堆積からなる隆起部を持ち、その上に主にナイルの氾濫によるシルト層と砂層が互層になっている堆積状況が想定される (Rowland ら, 2012)。一方、本稿で言及されているアブーフンムス市の一角は、上層の堆積に、古砂丘による黄色堆積が特徴的な一角であり、それがアブーフンムス市より北側に位置する考古遺跡 Kom al-Diba'a N, and S, Kom Hashim, Kom Aziza (Wilson, 2010) の一大特色をなすと思われる。従って、この一角に限っては、古砂丘による黄色堆積がなす丘状の高まり部分が、古代における住居跡(あるいは村落)の最も有力なテリトリーとなる。1866年に作成された Mahmud Falaki の地図に拠れば、往時の湖面範囲を復元する手がかりは、標高0.5m~1.0mのレベルであると考えられる。そこで1926年のエジプト測量局作成の地図(再版1931年及び1934年)をもとに、標高0.5m~1.0mのレベルを探てみると、この地域は、ナイルの氾濫時には、ほぼ北東~南西の軸をもつ長軸2~3 km, 短軸1~2 kmの細長い小島状の丘陵がいくつか分布して取り残された地域となり、一方で小島状の丘陵なかでも最も標高の高い部分が住居テリトリーとして選択されたと推測される。それによれば、発見された遺跡は、Kom Hashimや現在の Izbet Zaghaiba 村が位置する丘陵とは別の丘陵に属し、地図表記で Kidwa Bab al-Ghazal または Kom al-Ghazla などと呼ばれた古砂丘堆積の丘陵の一角に含まれていた可能性が高い。上述されているように、その一帯は殆どが削平され、現在は果樹園に変貌しているが、丘陵頂部

に残された遺構の痕跡は、長軸18m程度の比較的大きな規模の3区画構成が特徴となっている。もちろん日乾煉瓦の規格や遺物分布のあり方等の検討は今後に譲らなければならないが、考古資料の検索によれば、王朝末期(末期王朝時代からグレコ・ローマ時代)遺跡の施設に類似したプランをみつけることもできることから、住居区画の一角を占める信仰に関わる施設や、それに付属する貯蔵施設などが想起できる可能性もあろう (Kryzyżanowska ら, 2009)。この地区の遺跡分布図は、上述で引用した SCA の遺跡登録台帳か Penny Wilson の論考に限られていることから、Site No. 52の発見は、当該地域の考古学調査に新たな光を投ずるものとして評価しよう。

6. ま と め

ナイルデルタには前6千年紀頃の高進に由来する潟湖が分布しており、強い塩基性土壌のために灌漑システムの整備が遅れて来たことが知られる。その不毛の地に多くのヘレニズム時代遺跡が分布していたことは、ファラオ時代の後に地中海沿岸と古都メンフィスをつなぐ重要な戦略拠点がその一帯に存在していたことを示唆している。Site No. 52の性格や構築された年代に関しては現時点では確定はできないが、今回の発見は遺跡探査における衛星データの有効性を実証するだけでなく、これまで注目されてこなかったナイルデルタの遺跡分布の実態解明に向けた衛星データの新たな応用分野開拓に寄与するものと期待される。その一方で、今回新たに発見された遺構は、一帯の土地開発で近い将来に破壊されてしまう可能性もあることから、遺跡の性格や年代を特定するための早急な発掘調査の実施と遺跡の保護が次の課題となる。それらに関しては今後の調査結果を待って報告する。

最後に、本研究を進めるにあたり NARSS, SCA, 及び関係機関の多くの方々の協力を得ている。また、使用データの一部は ALOS データ利用公募型共同研究 (JAXA) で提供されたものであり、グラント・トゥールズは JSPS 科研費 (課題番号「24300304」「23251016」) の助成で実施した。ここに記して感謝の意を表す。

(受付日2013.7.8, 受理日2013.8.16)

参考文献

- 恵多谷雅弘, 下田陽久, 松岡龍治, 坂田俊文, 長谷川奏, 吉村作治, 2005, JERS-1/SAR によって検出された古代エジプト遺跡 Site No. 29に関する一考察, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 25, No. 5, pp.459-472.
- 恵多谷雅弘, 下田陽久, 長谷川奏, 吉村作治, エルサイドアップバスザグルール, QuickBird 画像による古代エジプトの港湾施設 Site No. 49の発見について, 2010, 写真測量とリモートセンシング, 49(4), pp.269-273.
- 恵多谷雅弘, 須藤 昇, 松前義昭, 坂田俊文, 衛星 SAR によるエジプト・南サッカラ地区の遺跡検出について, 1998, 写真測量とリモートセンシング, 37(2), pp.23-28.
- 坂田俊文, 恵多谷雅弘, 吉村作治, 近藤二郎, 長谷川奏, 坪井清足, 1997, 衛星によるピラミッド探査と古代エジプトの遺跡発見について, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 36, No. 6, pp.41-53.
- Krzyżanowska. A, and Miśliwiec. K., 2009, Tell Atrib: 1985-1995, II, Varsovie, Plan 2.
- Rowland, J.M. and Mohamed Hamdan, 2012, The Holocene Evolution of the Quesna Turtle Back: Geological Evolution and Archaeological Relationships Within the Nile Delta, Prehistory of Northeastern Africa, Studies in African Archaeology 10, Poznan, pp.8-20.
- Wilson, P., 2010, Settlement Connections in the Canopic Region, Alexandria and North-Western Delta (ed. by Robinson, D. and Wilson, A.), Oxford, pp.111-126.