

## 5. 先端的科学・技術による保存研究

# 衛星リモートセンシングデータを用いた メンフィス・ネクロポリスの遺跡調査

惠多谷 雅弘\*

### 1. はじめに

2008年8月19日から同21日にかけて、科学研究費基盤研究(S)「エジプト、メンフィス・ネクロポリスの文化財保存面から見た遺跡整備計画の学際的研究」の一環として、衛星リモートセンシングデータを用いたエジプト王朝時代遺跡の現況および立地環境に関する予備調査を実施した。今年度の調査では、ザヴィエト・アル＝アルヤーンからマズグーナまでの地域を対象として、衛星データの特徴量検討とグランドトゥールースによる地上検証を通したリモートセンシングの視点からの遺跡理解に主眼を置いた。以下はその報告である。

### 2. 調査方法

考古学調査において衛星データに最も期待されている役割は、地表からは確認不可能な遺跡の発見や、それらの立地環境や全体像の広域的な把握であり、エジプト考古学における衛星データの有効性に関しては、ナイル川西岸砂漠を対象に多衛星データの特徴量検討と古環境理解によって遺跡の発見と発掘に成功したダハシュール北遺跡の例などで既の実証されている。一方、QuickBirdなどの高分解能衛星データは、遺構建造物の現況やその痕跡の調査、地形、植生分布をはじめとした周辺環境の広域的理解など、考古学調査の重要な手がかりとなる様々な地表情報の収集に有効であり、特に最新かつ詳細な地図情報が必要な場合や地図の入手が困難な地域等の調査では、調査計画の立案あるいはグランドトゥールースにおける地図の代用として十分に利用可能である。

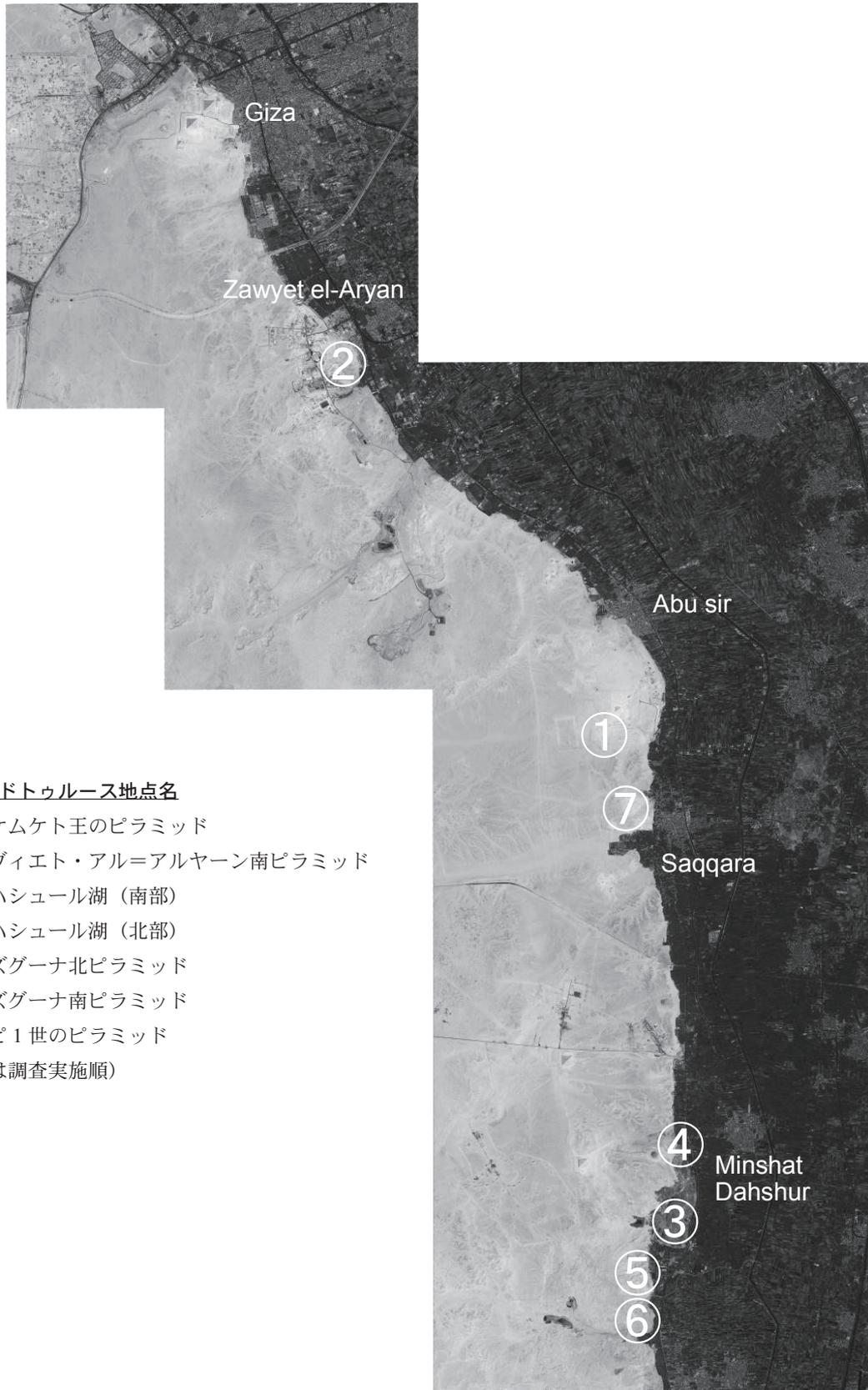
そこで今回の調査では、QuickBirdやCORONAなどの高分解能衛星データの空間的特徴やスペクトルの特徴の検討、およびグランドトゥールースによる地上検証によって、エジプト王朝時代遺跡の象徴であるピラミッドとその関連地域の現況理解を行った。グランドトゥールースの対象は、メンフィス・ネクロポリスに存在する数多くのピラミッドの中から特に建物の損傷が大きく遺跡整備計画策定において重要と考えられる地点や、遺跡の立地環境理解に必要と考えられる関連地域を衛星データの画像判読により選定した。選定したグランドトゥールース地点をFig.1に示した。

### 3. 調査期間

調査は、2008年8月19日から同21日までの3日間にわたって行った。

---

\* 東海大学情報技術センター事務長



**グランドトゥールース地点名**

- ① セケムケト王のピラミッド
  - ② ザヴィエト・アル＝アルヤーン南ピラミッド
  - ③ ダハシュール湖（南部）
  - ④ ダハシュール湖（北部）
  - ⑤ マズグーナ北ピラミッド
  - ⑥ マズグーナ南ピラミッド
  - ⑦ ペピ1世のピラミッド
- （数字は調査実施順）

(2004/05/31撮影 ©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)

Fig.1 メンフィス周辺の QuickBird 画像と選定したグランドトゥールース地点

#### 4. 使用データおよび機材

今回の調査では、東海大学情報技術センターが独自に構築中のナイル川流域の衛星画像データベースの中から、QuickBirdのパンクロマティック画像（1バンド）とマルチスペクトル画像（4バンド）から作成した地上分解能約60cmの高分解能カラー合成画像、いわゆるパンシャープン（Pansharpen）画像を主に用いた。以下は、予備検討およびグラントゥルースに用いた衛星データと機材である。

##### (1) 衛星データ

・ QuickBird パンシャープン画像	撮影年月日：2004/05/31
・ QuickBird パンシャープン画像	撮影年月日：2007/07/02
・ CORONA	撮影年月日：1963/12/22
・ CORONA	撮影年月日：1962/08/29

##### (2) 機材

・ カメラ：	D200 (Nikon)
・ 携帯型 GPS：	ポケナビ Mount Mini (EMPEX)
・ 土壌水分計：	TRIME-FM (IMKO Micromodultechnik GmbH)
・ デジタル温湿度計：	CENTER315 (CENTER TECHNOLOGY)

#### 5. グラントゥルース

グラントゥルースでは、現地で特に検証を必要とする地表物の緯経度を QuickBird 画像から計測し、事前に GPS 装置に入力しておくことで調査の効率化を図った。使用した画像は、エジプト住宅省発行の縮尺 1:5,000 地形図と東海大学情報技術センターが過去の調査で計測した GPS データを用いて精密な幾何学的補正がなされており、リサンプリングサイズは 0.022 秒 × 0.019 秒（約 60cm）/画素、測地系は WGS84 である。現地では、衛星画像上に 1 秒毎の緯経度線を重ね、縮尺約 1:3,000（A3 紙）でカラー出力したグラントゥルースマップ（現地調査用衛星画像図）を用いて調査を行った。各グラントゥルース地点の調査結果は以下の通りである（Figs.2～8）。

ポイント名	セケムケト王のピラミッド	
衛星データ		
	衛星 (センサ)	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月19日(火) 11:09
	撮影位置	ピラミッド本体北側
	GPS 計測値	N 29度51分58.2秒      E 31度12分46.2秒
コ    メ    ン    ト		
<p>第3王朝セケムケト王のピラミッドは、古王国時代の大型ピラミッド中でも新しい発見例として知られる。本体の上部構造はほとんど存在しないが、底部の石積みと玄室に続くものと見られる下りのスロープが北側の地表に露出している。ピラミッド本体は約600m×150mの規模を持つ方形の丘陵上にあり、その西側を中心として大量の排土が存在する。方形の南北方向の軸は真北よりやや西を指向し、隣接するグレート・エンクローチャーと同じ方位関係を持つ。丘陵上には関連遺構の存在を示唆する地表の凹凸も認められ、それらを含めるとこのピラミッドは同じ第3王朝に建造されたジェセル王のピラミッド・コンプレックスに匹敵する大規模建造物であった可能性が考えられる。</p>		

Fig.2 グラントゥールースデータシート (1)

ポイント名	ザヴィエト・アル＝アルヤーン南ピラミッド	
衛星データ		
	衛星 (センサ)	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月19日(火) 14:41
	撮影位置	ピラミッド本体東側
	GPS 計測値	N 29度55分57.6秒 E 31度9分42.6秒
コ メ ン ト		
<p>ザヴィエト・アル＝アルヤーンには2基のピラミッドの存在が知られる。そのうち北に位置する1基は軍事施設内に存在することから、グランドトゥルースは南の1基(第3王朝カーバ王のピラミッドである可能性が指摘されている)だけとした。</p> <p>南のピラミッドは、ザヴィエト・アル＝アルヤーンの町並みを西に向かって通り抜けた軍事施設と隣接する海拔約50mの砂漠丘陵上にあり、そこからはナイルデルタの緑地帯やギザのピラミッド群など、周囲の景色が一望できる。建物の上部構造はほとんど存在しないが、底部の石積みは残存している。河岸神殿や参道の存在は確認できない。ピラミッド本体北側には玄室入口と見られる南北方向の堀込みが見られ、石積みの上部は砂礫などがドーム状に覆っている。</p>		

Fig.3 グランドトゥルースデータシート (2)



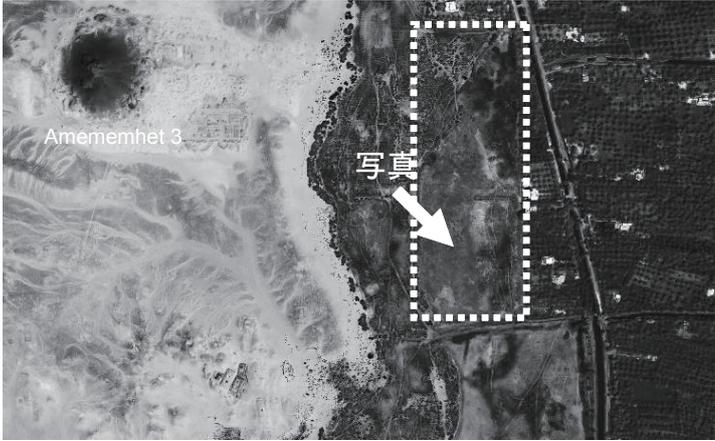
ポイント名	ダハシュール湖（北部）－ 方形構造	
衛星データ		
	衛星（センサ）	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月20日（水）11：29
	撮影位置	方形構造の東側
	GPS 計測値	N 29度47分22.8秒、 E 31度13分45.6秒
コ メ ン ト		
<p>ダハシュール湖周辺における第2の調査目的は、QuickBird 画像の予備検討で存在が確認された東西約190m、南北約500mに及ぶ大型方形構造（衛星データの破線表示地点）の地上検証である。同地点はダハシュール湖の北岸に位置し、アメンエムハト3世のピラミッドをほぼ西方に望むナイル川の氾濫原の縁辺に位置する。方形の長辺はほぼ南北を指向する。実際に現地を訪れると、現在の道路面からおおよそ1m低いほぼ平坦な土地の一面を雑草が覆っている。その位置関係からアメンエムハト3世のピラミッドと関連した人工的な構造物である可能性を連想させるが、詳細は不明である。</p>		

Fig.5 グラントゥールズデータシート（4）

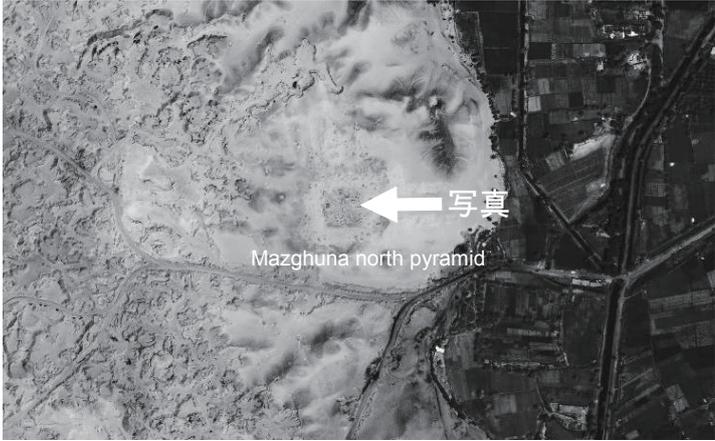
ポイント名	マズグーナ北ピラミッド	
衛星データ		
	衛星 (センサ)	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月19日(火) 11:09
	撮影位置	ピラミッドの東側
		N 29度46分3.0秒 E 31度13分16.8秒
コ メ ン ト		
<p>マズグーナの2基のピラミッドは、ミンシャート・ダハシュールからサッカラ街道に沿って約3km南下し、西に向かった砂漠縁辺の道路沿いの丘陵地上にある。両ピラミッドともオーナーは不明とされる。</p> <p>このうち北のピラミッドは、丘陵上から北方にダハシュールの大型ピラミッド群やダハシュール湖が望める地点に位置する。現在、上部構造物は完全に喪失し、その上に近代の墓群が形成されている。表土上には多量の石灰岩チップが分布しているが、当ピラミッドの存在を地上調査だけで識別するのは大変困難と思われる。</p> <p>QuickBirdの可視近赤外画像では、地表にピラミッドの痕跡と推定される正方形のパターン(約68×68mの規模)とそこから東方向に延びる平行した2本の線状構造の存在が認められる。</p>		

Fig.6 グラントトゥールースデータシート (5)

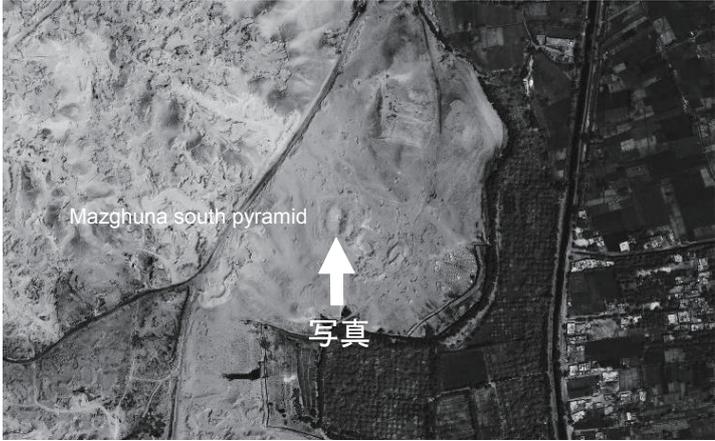
ポイント名	マズグーナ南ピラミッド	
衛星データ		
	衛星 (センサ)	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月21日 (木) 9:18
	撮影位置	ピラミッドの南側
		N 29度45分41.4秒 E 31度13分15.6秒
コ メ ン ト		
<p>マズグーナ南ピラミッドは、北ピラミッドから南方に約 600m 歩いた砂漠丘陵の緩斜面に位置する。建物の上部構造は完全に失われており、中央地点は地表が深く掘り下げられている。QuickBird 画像からは、同地点にピラミッドあるいは発掘調査の痕跡とも考えられる約 70m×70m の正方形の輪郭が判読されるが、現地でその存在は確認できなかった。</p>		

Fig.7 グラントゥールズデータシート (6)

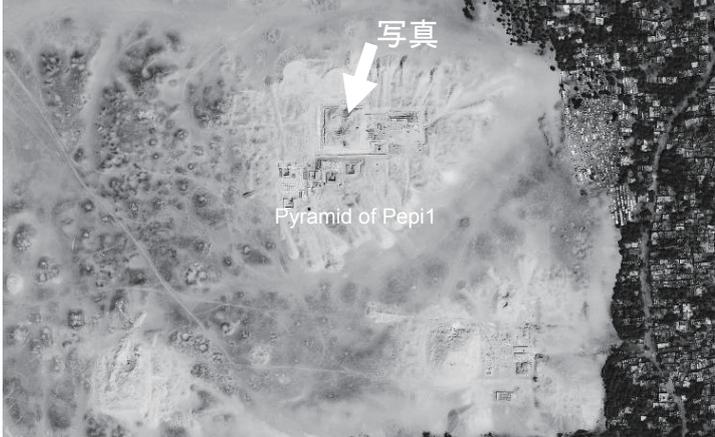
ポイント名	ペピ1世ピラミッド	
衛星データ		
	衛星 (センサ)	QuickBird (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)
	観測年月日	2004年5月31日
現地写真		
	撮影日時	2008年8月21日(木) 14:34
	撮影位置	ピラミッド本体の北北東
N 29度51分17.4秒 E 31度13分9.0秒		
コ メ ント		
<p>ペピ1世のピラミッドは、メンフィス・ネクロポリスに存在が確認されている上部構造が未完成あるいは崩壊したピラミッドの中でも、発掘調査と保存整備が大規模に進められているピラミッドの一つとして知られる。近年は南側の施設を中心に保存修復活動が進められているようであり、本研究が主題とする遺跡の保存・整備という観点において、こうしたピラミッドの現況把握は大変重要と考えられる。</p> <p>このピラミッドの特徴として、王のピラミッドの南を中心として王妃・王女のものとされる小型ピラミッド群と関連遺構が整然と配置され、発掘調査によるものと見られる大量の排土が周域に広範囲に認められる点が挙げられる。いずれのピラミッドも上部構造はほとんど残っていない。</p>		

Fig.8 グラントゥールースデータシート (7)

## 6. まとめ

### (1) ピラミッドの現状

エジプトには数多くのピラミッドが存在する。その代表例として、ギザの3大ピラミッド、ダハシュールの赤いピラミッド、屈折ピラミッドなどがよく知られる。しかしながらピラミッドが集中して建ち並ぶアブ・ロアシュからダハシュールにかけてのナイル川沿いの砂漠縁辺を踏査すると、建造当時の原形を残すピラミッドは少なく、建物の上部が未完成あるいは崩壊したために基礎部分だけが残っている半壊型のピラミッドや、地表構造が全く残っていない全壊型のピラミッドの存在が目立つ。

セケムケト王、ザヴィエト・アル＝アルヤーン南、ペピ1世のピラミッドは半壊型に分類できる。これらの共通特徴として、ピラミッド本体底部の石積みが地表露出していること、その上部が瓦礫の山のように石片や砂で覆われていること、北側に堀込みあるいはスロープ状の形態を持った入口が見られること、などが挙げられる。マズグーナの2基のピラミッドは全壊型と言える。北のピラミッドは多量の石灰岩チップの散乱、南のピラミッドは中央に長辺約30m、短辺約20mの楕円形の開口部を持った窪みが存在する点が地上において各地点を同定するための最大の特徴と言え、それ以外にピラミッドの存在や規模を示唆する地表特徴は今回のグランドトゥルースでは確認できなかった。両ピラミッドの西方にはおよそ4km<sup>2</sup>に至る大規模な採掘場が存在し、ピラミッドの近くを運搬用の大型トラックが頻繁に行き交う様子が見られる。この採掘場は近年になって形成されたものと見られ、1962年のCORONA画像では確認できない。採掘場の領域は既に両ピラミッドの近くにまで及んでいる。

一方、高分解能光学センサによって観測された衛星画像から判読される半壊型および全壊型のピラミッドの地表特徴をまとめると、Fig.9に示した6パターンに分類できる。それらは衛星データを活用した先行研究(坂田他1997; 早稲田大学エジプト学研究所編2003: 1-120; 恵多谷他2005)において今後新たな発見が期待されるピラミッドの残存形態にも想定されており、こうした特徴を持った崩壊遺跡の調査はピラミッド研究における今後の貴重な資料となるものと考えられる。

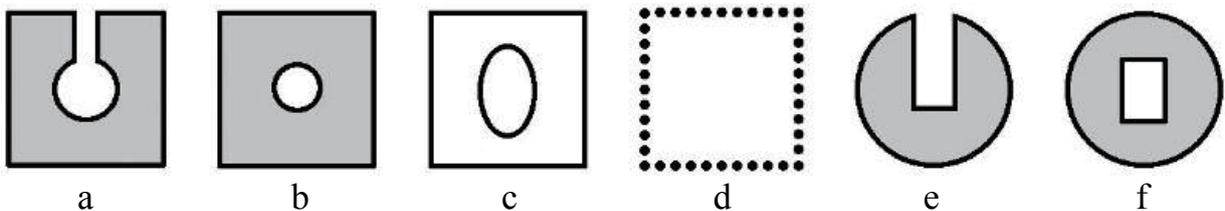


Fig.9 半壊型および全壊型のピラミッドの地表特徴

### (2) ピラミッドの立地環境

古都メンフィスのネクロポリスには、ナイル川を中心に4,000年近い年代の歴史的建造物遺構が集中している。アスワンダム建設が始まる19世紀以前のエジプトでは、ナイル川の定期的な氾濫があったことが知られるが、古代エジプトの象徴的建造物であるピラミッドは、古王国時代から中王国時代にかけてそうしたナイル川氾濫の影響を受けにくい西岸の小高い砂漠丘陵地に建造されている。今回グランドトゥルースの対象となったいずれのピラミッドも、やはり海拔30m以上の景観の良い砂漠丘陵上に存在していた。こう

したことから、ピラミッド建設と当時のナイル川を取り巻く水辺環境が極めて密接に関わっていた可能性が高く、なかでも以下の立地条件は重要と考えられる。

- ・西岸にあること
- ・川岸近く（砂漠縁辺）にあること
- ・氾濫の影響を受けにくいこと
- ・眺望が良いこと

これらのピラミッドの立地条件と関連した従来の水辺環境が今もよく残っている地域として、ダハシュール湖の帯がある。ダハシュール湖は、スネフル王の赤いピラミッド、屈折ピラミッド、アメンエムハト3世の大型ピラミッドを北西に望むナイル耕地の緑地帯と砂漠の境界に位置する。そこでは水辺の緑地に牛や羊などの家畜が放牧され、水面に水鳥が集う美しい景観を今も見ることができる。古地図を調べると、ダハシュール湖と同じような水辺環境がアブ・シールやサッカラにもかつては存在していたことが推察される。アスワン・ハイダム建設以降のナイル川下流域における水供給パターンの変化で、そうした遺跡周辺に残る従来の水辺環境が急速に失われつつあることが懸念される。

### (3) ダハシュール湖の特徴

グランドトゥルースで確認されたダハシュール湖の大きな特徴として以下の点が挙げられ、ダハシュール湖がナイル川の定期的な氾濫（Fig.10）を意識しながら計画的に形成された水利施設である可能性が推察される。

- ・枯渇した湖底に約 1km に及ぶ溝状の直線構造が存在する。
- ・岸辺から湖に向かって約 70m ～ 120m ほど突き出る栈橋のような地形が幾つも存在する。
- ・長辺が南北方向を指向する東西約 190m、南北約 500m の大型方形構造が存在する。
- ・人工的に掘削したものと見られる水路が存在する。
- ・水路で結ばれた小型湖が形成されている。

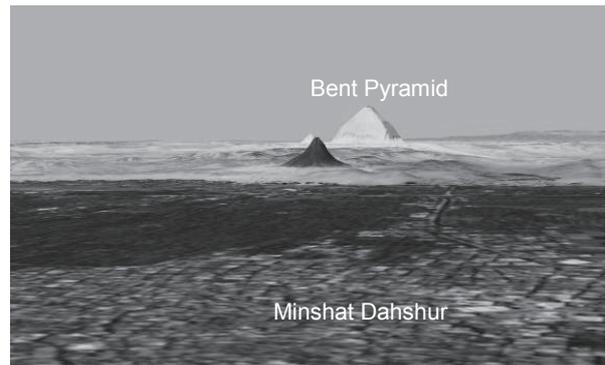
このうち特に注目すべき地点として、アメンエムハト3世のピラミッドに隣接する耕地帯で存在が確認された大型方形構造が挙げられる。これとよく似た形状を持つ遺跡として、規模や方位は異なるが、アメンヘテプ3世の時代にルクソールに築かれた人工池ビルケット・ハブがある。今回確認された方形構造がそれと同じような性格を持つ水利施設であるかどうかは現時点では不明であるが、同地点を 1962 年から 2007 年までに観測した多時期の衛星画像で調べた結果、傾向として、冬になると方形構造の内側約 4 分の 3 の領域が貯水池のように灌水していることが分かった（Fig.11）。同地点の詳細に関しては、近年の構築物であるか否かも含めて、さらなる調査を行う必要がある。

### (4) 土壌水分率

考古学調査において期待されている衛星センサのひとつに合成開口レーダ（SAR : Synthetic Aperture Radar）がある。なかでも L バンドの SAR は極めて乾燥した砂漠において地中を透過する性質があることが

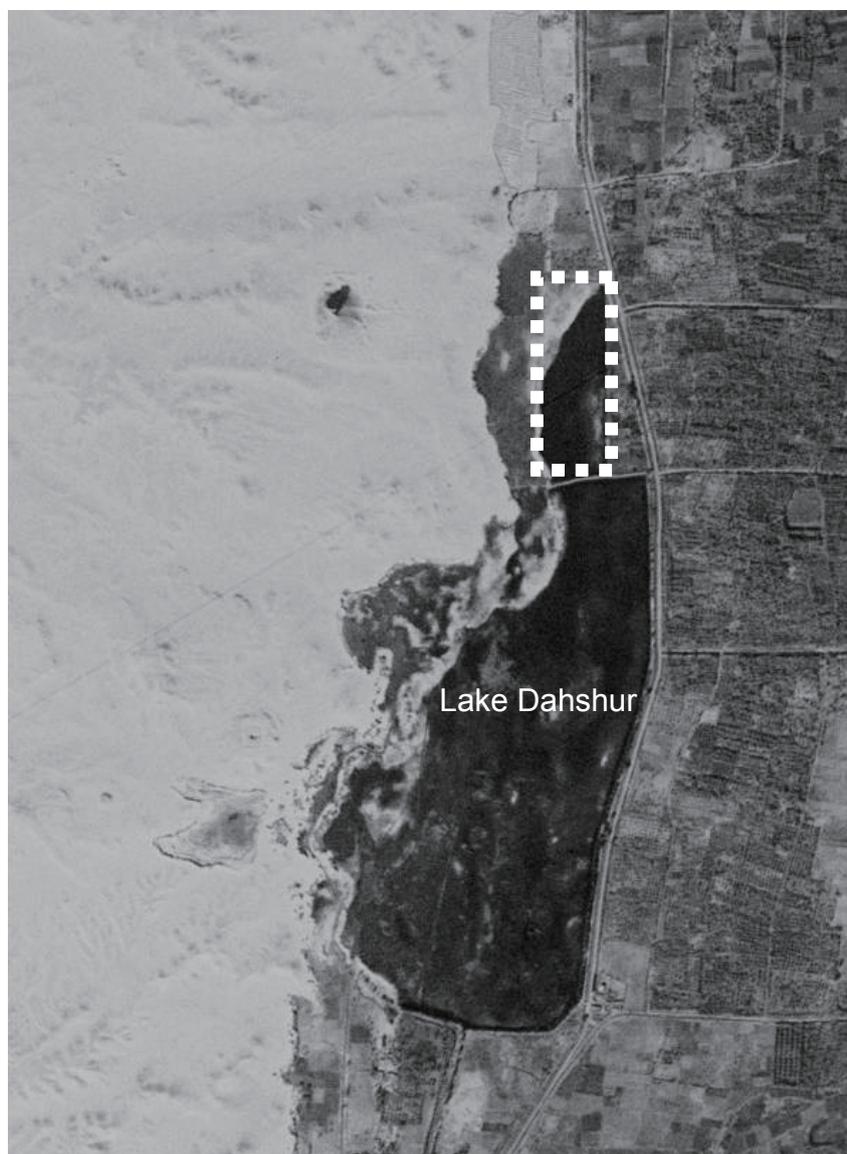


古写真 (Lehnert & Landrock)



QuickBird2004/05/31 (©DigitalGlobe/HitachiSoft/TRIC)

Fig.10 ダハシュール地域におけるナイル川の氾濫風景と衛星画像（鳥瞰図）で見る近年の景観



(CORONA 1963/12/22 撮影 ©TRIC/USGS EDC)

Fig.11 灌水状態にあるダハシュール湖北部の方形構造（破線表示）



Fig.12 土壌水分率計測（マズグーナにて）

ら、地中に埋没した遺跡の探査や地下の古水系などの検出に有効と考えられており、本研究でも導入を検討中である。

SARのマイクロ波は物質に含まれる水分量の影響を大きく受ける。そこで試験的ではあるが、今回のグラントゥルースに合わせて土壌水分率を計測することで、本研究における同技術の導入検討のための基礎データを収集した（Fig.12）。土壌水分率計測を行った地点はアブ・シールからマズグーナに至るナイル川西岸砂漠の任意の4地点であり、そこでの最大値は3.5%、最小値は0.0%、平均値は1.1%であった。計測した値は地表面下11.5cmまでの体積含水率である。

砂漠内の遺跡やワディにおける土壌水分率に関しては、既に2005年から調査を始めている。同調査によれば、サッカラからダハシュール一帯の土壌水分率は最大でも8.3%以下（2006年2月）であり、東海大学情報技術センターと早稲田大学エジプト学研究所が衛星SARで発見に成功したサッカラの未発掘遺跡 Site No.29における定点観測では、気温、湿度の日較差が大きいのにに対して土壌水分率は日中、夜間を通してほとんど変動がなく安定した傾向が見られる（恵多谷他 2008）。

## (5) 総括

近年、乾燥化、砂漠化、洪水など、地球の水循環と深く関わるさまざまな環境問題が発生している。ナイル川流域も例外ではなく、気候変動や地域開発に起因する水供給パターンの変化や水資源の減少がまさに起こっている。このような環境変動から遺跡を保護し、整備していくためには、個々の遺跡に着目するだけでなく、ナイル川流域全体の環境を含めた広域的視点での調査も不可欠であり、なかでも水と遺跡の関係をテーマとした研究は大変重要と考えられる。

今年度の調査では、衛星リモートセンシングデータを通して、ピラミッドを主体としたメンフィス・ネクロポリスの遺跡の現況についての広域的な調査を試みた。そのなかで、ピラミッド建造と深く関わる水辺環境が今も多く残る地点としてダハシュール湖の一帯が特に注目された。ダハシュールは、軍事施設に近いことから近年まで一般の観光客が近づけない地域であった。考古学調査に関してもそれは同様であり、赤いピラミッドや屈折ピラミッドの調査でもかつては厳重な査察が行われていたことから、その一帯の遺跡や周辺

環境に関してはいまだ十分に調査されているとは言えない。こうした点から、ダハシュール湖を中心とした古環境や遺跡形成に関する研究が、今後のメンフィス・ネクロポリスにおける遺跡保護や整備の基礎資料となる多くの知見をもたらすことが期待される。

#### 謝辞

今回のグランドトゥルースでは、エジプト考古最高評議会（SCA）、およびサイバー大学の青木繁夫先生、近畿大学の高宮いづみ先生に協力戴いた。また、使用した衛星データの一部は、科研費（課題番号 17300291）の助成によって取得したものである。ここに記して深く感謝の意を表したい。