

令和元年9月5日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B)（海外学術調査）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05128

研究課題名（和文）多衛星データの複合的活用による遺跡探査技術とその応用に関する研究

研究課題名（英文）A study on archaeological exploration technology and its application by combined utilization of a wide variety of satellite data

研究代表者

恵多谷 雅弘（Etaya, Masahiro）

東海大学・情報技術センター・技術職員

研究者番号：60398758

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,100,000円

研究成果の概要（和文）：古代エジプト遺跡の調査でその有効性が実証された多衛星データを用いた遺跡探査手法をエジプト以外の地域に新たに応用したところ、古代中国の歴史書『史記』に記述があるもののその所在地が確定していない始皇帝の秦東門遺跡の有望地点の特定や、ベトナム紅河流域の未知遺跡、及びサウジアラビア紅海沿岸の古代港市の可能性のある地点などの発見に至った。これらの遺跡の探査では水辺環境を中心とした遺跡が築かれた当時の古環境を理解することが重要であり、衛星リモートセンシングデータはそのためのツールとして有効と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

古代エジプトの遺跡検出で既に有効性が実証された遺跡探査手法をエジプト以外の地域で実践し、中国、ベトナム、サウジアラビアの各地域の考古学調査で遺跡の有望地点の特定や遺跡発見に成功したことで、同手法の有効性を改めて確認できた。このことで世界各地に存在する未知遺跡の高精度かつ効率的な検出を可能とする科学的根拠にもとづいた遺跡探査手法確立の目処が立った。

研究成果の概要（英文）：There are some archaeological sites discovered in Egypt by the utilization of a wide variety of satellite data. The same method was applied to areas other than Egypt. As the results, a possible location for the missing east gate of the Qin period describing in "Records of the Grand Historian" was identified, and also a possible tomb of the Red River Basin of Vietnam and a possible ancient port city of the Red Sea coast of Saudi Arabia were newly discovered. In the exploration of these sites, it is important to understand the ancient environment focusing on waterside environment at the time, and satellite remote sensing data considered to be effective as a tool for that.

研究分野：画像情報工学・文化財科学

キーワード：遺跡探査 衛星データ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、衛星搭載センサの高性能化が進んだことによって、砂漠や密林の下に埋もれた古代遺跡や古環境の調査・研究に衛星リモートセンシングデータ（以下衛星データと呼ぶ）が活用されるようになってきた。研究代表者らはピラミッドなどの大型建造物遺構が分布するエジプト・ナイル川流域を中心に「宇宙考古学」と呼ばれる衛星データの考古学的応用研究を推進しており、衛星搭載マイクロ波レーダ、可視近赤外センサ、高分解能光学センサなどの観測データが、砂漠周辺に分布する古代エジプトの未発見遺跡の探査に有効であることを実証してきた。一方、本研究の新たな課題として、エジプトの砂漠以外の地域での同手法の有効性の検証がある。世界には形状、規模、材質、立地環境など、条件や特徴が異なる多種多様な遺跡が存在することから、この新たな方法論をそうした遺跡調査にも応用可能な技術として確立できれば、今後世界各地で実施される考古学調査の大幅な効率化が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、エジプトの砂漠地帯において地中に埋もれた遺跡検出に成功した衛星搭載Lバンド合成開口レーダ（SAR：Synthetic Aperture Radar）データ、ピラミッドの港湾施設発見や秦始皇帝の陵園建造プラン解明で有効性が認められた高分解能衛星データ、そしてナイルデルタの遺跡探査において未発見遺跡の有望地点絞り込みに活用された可視赤外マルチスペクトル衛星データを複合的に組み合わせることで、世界各地の様々な環境下に存在する未発見遺跡の探査に幅広く応用可能な実用ツールとしての技術的体系を確立することである。

3. 研究の方法

現時点における最重要課題は、環境条件が異なる世界の様々な遺跡を対象に調査事例を積み重ね、その有効性を事例ごとに明らかにすることである。本研究では、エジプト（ナイル川流域）、ベトナム（紅河流域）、中国（黄河流域）、サウジアラビア（紅海沿岸）の各遺跡地区をテストサイトに、地域ごとの遺跡の立地条件や特徴を理解した上で、探査に必要な衛星データを収集し、その上で画像解析とグラウンド・トゥルース（Ground Truth＝リモートセンシングにおける地上検証調査：以下GTと呼ぶ）を通して、各地域における遺跡の共通性、衛星データの有効性、遺跡探査に適した方法論などを考察した。

4. 研究成果

(1) エジプト・ナイル川流域

ナイル川流域は、砂漠地帯に建造されたピラミッドや神殿などの石材建造物、マスタバなどの日乾煉瓦建造物、ナイルデルタのテル状遺跡など、上下エジプトを特徴づける古代エジプト遺跡群が集中的に分布していることから、本研究の基盤形成のテストサイトとして最も適した地域である。メンフィスネクロポリスなどに代表される砂漠の遺跡の立地環境については数多くの研究が行われているが、その一方で、ナイルデルタの遺跡に関する研究はほとんど行われていない。砂漠の遺跡と違ってデルタの遺跡はナイル河岸に形成されたマウンド（ヘブライ語でテル）上に神殿や住居遺構が分布している。

砂漠では、地中遺構の存在が土壌水分率の差となって地表に現れることがあり、それを赤外線画像などで容易に検出できる場合がある。その有効性を検証するため、デルタ北西部にあるKom al-Diba' 遺跡をテストサイトとして、衛星画像の特徴量と土壌水分率の相関関係を調べた（図1）。最終的な結果として、磁気探査などによって遺構の存在が見込まれているマウンド北地区をテストサイトに10mメッシュの区画を設定し、各区画の土壌水分率を計測した後に、WorldView-2衛星の可視～近赤外の4バンドの画像との相関を求めると、土壌水分率は当初予想された近赤外線バンドではなく、青（450-510nm）バンドと最も相関が高く、同遺跡の検出において、青CHの波長帯の情報が有効であることが分かった（図2）。

一方、メンフィスネクロポリスに関しても、新たに取得した地上分解能約50cmの高分解能衛星画像GeoEyeの画像特徴量解析によって未発見遺跡の検出を試みた。その結果、地表面にクレーター状の窪みが残存する北サッカラの調査ポイント（Point3）において、古王国時代のもと推定される砂漠に埋もれた大型マスタバの存在を特定することが出来た。ただし、同遺跡の存在に関しては、既に報告済（Mathieson, 2007）であることが調査後の文献調査で判明したことから新たな発見とはならなかった。



図1 土壌水分率計測（Kom al-Diba'）

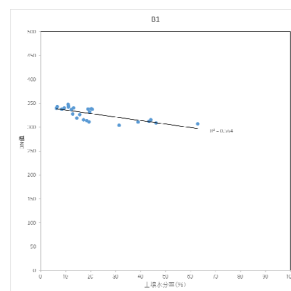


図2 青バンドと土壌水分率の相関図

(2) ベトナム・紅河流域

ベトナムの紅河下流域に分布する漢帝国の遺跡を新たな対象として、遺跡の立地条件を理解した上で、上記(1)の方法論とその技術的改良によって、エジプト以外の地域における遺跡探査での衛星データの有効性を検証した。対象は、ハノイ市中心部から東方約 18km の紅河デルタにある漢帝国交趾郡城レイロウ (LUY LAU) とその関連遺構である。

Landsat8 号 OLI、CORONA、ALOS/PRISM、SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) /DEM (Digital Elevation Model) 、WorldView-2/DSM (Digital Surface Model=地表高) などの多衛星データ解析から、レイロウ城は紅河支流の古河道ザウ (Dau) 河の氾濫原にある清姜社ルンケ (Lung Khe) 村の微高地に建造されており、南東の DSM 高さ 7m 程の微高地に樹木に覆われた漢帝国のマウンド型墳墓群が集中分布していることが理解された (図 3)。このうちデルタ内の平坦な農地に分布する墳墓群の立地、形状的特徴に関しては、規模こそ異なるものの、ナイルデルタのテル状遺跡と共通していることも分かった。以上のことからレイロウ城とその関連遺跡の立地条件として、河川氾濫の影響を受けにくい紅河デルタの小高い丘が選定されたこと、またその一帯の当時の氾濫水位は海拔 8m 未満であった可能性などが推定され、さらにそれらの遺跡が高分解能衛星 WorldView-2 の画像からおおむね検出可能であることも確認できた。

一方、レイロウ城東方の Tam A 北側の道路上に方形に樹木が茂る微高地 Site No. 54 が CORONA と SRTM/DEM 画像で確認された。GT の結果、今現在は集落となっているが、CORONA 画像が撮影された 1964 年当時まではレイロウ城の関連遺構とも考えられる何らかの構造物が存在していた可能性が考えられた。樹木に囲まれた部分を CORONA 画像から計測すると、その規模は約 50m×50m、南北中軸線の方角はレイロウ城と同じ西偏約 9 度であった。早急な考古学的検証が望まれる遺跡の有望地点である。

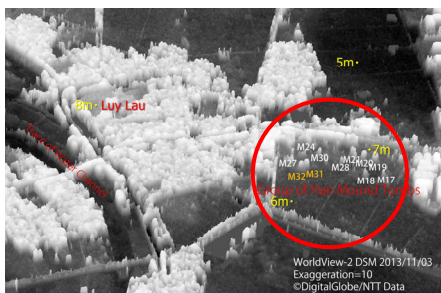


図 3 レイロウ城と漢墓 (○印) の分布
WorldView-2/DSM
(俯瞰図: 高さ方向 10 倍強調)



図 4 Site No. 54 の CORONA 画像

(3) 中国・黄河流域

上記(1)、(2)の方法論の応用として、秦始皇帝と関連する所在地不明の遺跡「秦東門」を対象に新たな遺跡探査を試みた。秦統一による領地拡大とともに始皇帝が新たに設置したこの門の所在地については、孔望山とする説、秦山島とする説、馬耳峰 (胸山の俗名) とする説などが知られ、いずれの説も黄河が南流する元から明代以前は海に面していた現在の江蘇省連雲港市周辺をその有力候補地と見ているが、具体的な場所については特定できていない。

秦東門と関わる具体的な記述として、『史記』巻 6 秦始皇本紀、始皇 35 年 (前 212) 条の「於是立石東海上胸界中、以為秦東門」がよく知られる。統一後の秦が都咸陽から 900km 以上離れた胸島の海上に始皇帝が石の門を立て東門としたというものである。この始皇帝が立てたとされる門闕の場所に関しては、『漢書』・『水経注』・『博物記』などの記述から両漢の東海郡胸県、唐宋の海州胸山県の領域内であることが推測される (丁義珍、1983)。

一方、秦東門と関わる『史記』以降の記述として、宋の地理書『太平寰宇記』(巻 22、海州・胸山県の条)がある。その記述から、東門を祀った植石廟が胸山県 (宋代) の北 4 里にあること、秦の東門としたという石は宋代には傾き倒れて数段となっていたこと、植石廟の北 100 許歩の場所に碑がありそこは「胸山」、といった門の具体的な位置や様子も理解できる。さらにこの史料には、胸県から周囲の県城あるいは山河までの漢尺による里程記載があり、そのうちの 7 か所のランドマークは胸山県、植石廟、秦東門の所在地確定において有力な手がかりになることが判明した。そこで、まずこの 7 か所の里程と方位図法投影の Landsat-8/OLI 画像から当時の胸山県の所在地 (里程の計測原点=Q 地点) の確定を試みたところ、Q 地点は現在の錦屏山北東部に位置し、植石廟はその近くにあった可能性が推定された (図 5)。次に秦東門の具体的な所在地であるが、『統漢書』注引『博物記』の「〔胸〕県の東北の海辺の植石は、秦が立てた東門である」との記述からは、植石廟は海辺にありその近くに秦東門があったことが分かる。この情報を太平寰宇記の記述と重ねると、錦屏山北東部で見晴らしがよく里程計測に最も適した環境をもつ塔山山頂またはその近くが Q 地点の最有力候補地と考えられた。また、塔山山頂から北東約 4 里に位置し、黄河が南流する明代中期頃まで東方が海に面していた孔望山南麓は植石廟の有力候補地となる。

以上の情報を WorldView-2、CORONA、Landsat などの画像データ、SRTM/DEM などの地形情報で構築した画像データベースに入力し、それをもとに Q 地点及び孔望山南麓の GT を行った。その結果、孔望山南麓の東海廟遺跡内において頂部に長方形の碑槽をもつ高さ約 4m、直径約 3m に及ぶ巨石が存在していることが確認された。この巨石は「石碑座（俗称：饅頭石）」といい、漢碑の座と推定されている。『太平寰宇記』の記述では、碑は植石廟の北百歩に位置していたとされることから、仮に石碑座を植石廟の碑と仮定すると、そこから南百歩（約 138.6m=漢尺）の地点 Site A に植石廟があり、その周辺に秦東門の石が建っていたと推定できる（図 6）。Site A は現在畑地であるが、地表には土器片などの分布も確認でき、周辺一帯を含めた中国側チーム（連雲港市重点文物保護研究所）による試掘調査が現在行われている最中である。これまでに植石廟の可能性もある何らかの建物の存在を示唆する木炭片などが Site A の地中から出土しているが、その詳細に関しては本格的な発掘調査の結果を待つて別途報告したい。

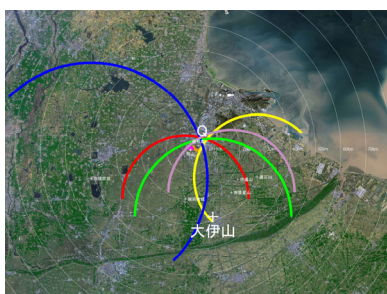


図 5 Q 地点の候補地（漢尺モデル）



図 6 植石廟有望領域 Site A の位置
データ：©DigitalGlobe/NTTdata CCS

(4) サウジアラビア・紅海沿岸

上記(1)～(3)の研究成果の実証テストとして、サウジアラビアの政府機関が中心となって進行中の遺跡調査プロジェクトに参加し、文献上存在する可能性がある歴史上重要な遺跡発見に挑戦しながら、世界各地に存在する未発見遺跡の効率的な検出を可能とする勘や経験に頼らない科学的調査手法の確立を試みた。

アラビア半島北西部（ヒジャーズ地方）の紅海沿岸地域は、ローマ時代から初期イスラーム時代にかけて商取引やイスラームの宗教巡礼の道と深くかかわる地域として知られ、地中海沿岸からインド洋地域に至るまでの海上交易の舞台となった。ストラボン『地誌』などに言及されているレウケー・コーメーはそうした海上交易の主要港として知られるが、その所在地に関して考古学的に確定していない。レウケー・コーメーの所在地については幾つか説があるが（薮勇造、2002）、本研究では現在最有力と考えられている初期イスラーム時代の集落が残るアル＝マディーナ地区ハウラー遺跡を中心とした紅海沿岸をテストサイトに、多衛星データの画像解析と古環境理解から関連遺跡を含めた所在地比定を目指した。

まず、地名、既知遺跡の分布図、ステレオ撮影された WorldView、CORONA などの高分解能衛星データ、それらから作成した DSM (Digital Surface Model：地物の高さ情報)、Landsat などの可視赤外多波長データ、ALOS-2 などのマイクロ波衛星データ、DEM (Digital Elevation Model：数値標高データ)、地質図などから、同一縮尺・同一座標系の遺跡探査用画像データベースを構築し、次にデータベースから、ハウラー遺跡とその後背地に存在する既知遺跡の画像特徴量（空間的特徴、分布、スペクトル特性、マイクロ波の散乱特性、標高）と立地環境理解によって、未発見の港湾施設が存在する可能性がある有望地点を絞り込んでいった。具体的な対象は、集落、港湾施設（船着き場）、神殿、岩壁碑文などである。

2018年3月、サウジアラビア考古局（SCTH：Saudi Commission for Tourism and National Heritage）と実施したハウラー遺跡とその後背地の合同調査において、WorldView-2 赤外カラー合成画像と DSM データから特定した遺跡の有望地点 SJ06 において港湾施設の可能性がある未報告の遺跡を発見した（図 7、図 8）。この遺跡に関しては今も調査中であり、遺跡の詳細、及びレウケー・コーメーとの関連性について今後計画されている考古学的な発掘の調査結果を待つて報告したい。



図 7 SJ06 地点の WorldView-2 画像
データ：©DigitalGlobe/NTTdata CCS



図 8 遺跡発見地点 SJ06

(5) 遺跡探査手法の他地域への応用について

以上で述べてきた遺跡探査手法の有効性はエジプトの調査で既の実証されているが、今回同じ手法をナイルデルタ、紅河デルタ、黄河下流域、紅海沿岸に応用し、各地において新たな遺跡発見、それにつながる有望地点の存在、探査に有効なデータ等を確認できたことで、多衛星データと古環境（特に水辺環境）理解を組み合わせた遺跡探査手法が世界各地で実施されている遺跡調査にも応用できる見通しが立った。

<引用文献>

- ① Ian J Mathieson, Geophysical Survey Project 2006 Preliminary Field Report for September-October 2006, Glasgow Museums Glasgow City Council, 2006
- ② 丁義珍, 「漢東海廟今地考」, P, 『文博通讯』1983-4, pp.7-12, 南京博物院, 1983.
- ③ 薮勇造, ミュオス・ホルモスとレウケー・コーマー, 東洋学報, 81-1, pp.1-28, 1999.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 惠多谷雅弘、鶴間和幸、中野良志、村松弘一、小林次雄、吉田愛、福島恵、“多衛星データを用いた秦帝国の空間的考察”、学習院大学国際研究教育機構研究年報第3号、pp.89-112、2017年.
- ② 惠多谷雅弘、鶴間和幸、村松弘一、福島恵、中野良志、段宇“衛星リモートセンシングデータと歴史資料を用いた秦東門考察—『太平寰宇記』を中心に—”、学習院大学国際研究教育機構研究年報第4号、pp.89-112、2018年.

[学会発表] (計8件)

- ① 惠多谷雅弘、黄 曉芬、阮文団、張得戦、岩下晋治、中野良志、“古代都市遺跡調査における多衛星データの応用について”、日本考古学協会第81回総会（帝京大学）、2015年5月24日.
- ② 惠多谷雅弘、黄 曉芬、阮文団、張得戦、岩下晋治、中野良志、“ベトナム・古代都市遺跡調査における多衛星データの応用について”、日本リモートセンシング学会第58回学術講演会（千葉大学）、2015年6月2日～3日.
- ③ 惠多谷雅弘、“衛星リモートセンシングデータを用いた古代都市遺跡調査”、国際学術シンポジウム「東アジア古代都市のネットワークを探る」、東京大学本郷キャンパス、2015年9月26日～27日.
- ④ 惠多谷雅弘、“古代史研究における衛星リモートセンシングデータの可能性について”、“2015 史学会第113回大会公開シンポジウム「歴史空間学の可能性」、東京大学本郷キャンパス、2015年11月14日.
- ⑤ 惠多谷雅弘、鶴間和幸、中野良志、岩下晋治、小林次雄、村松弘一、黄曉芬、段清波、張衛星、“多衛星データを用いた秦始皇帝の陵園空間検討”、日本リモートセンシング学会第60回学術講演会（日本大学生産工学部）、2016年5月12日～13日.
- ⑥ 惠多谷雅弘、“多衛星データを用いたルイロウ古城の領域空間検討”、研究集会「交趾郡治・ルイロウ遺跡の探求」、京都大学、2016年7月30日.
- ⑦ 惠多谷雅弘、“宇宙考古学の最前線”、日本西アジア考古学会シンポジウム「最新科学による西アジア文化遺産の調査と保護」、早稲田大学、2017年11月18日.
- ⑧ 長谷川奏、徳永里砂、惠多谷雅弘、“サウジアラビア紅海沿岸ハウラー遺跡の考古学調査（2018）—中世の港町とその後背地—”、第26回西アジア発掘調査報告会報告集、pp.85-89、日本西アジア考古学会、2019年3月24日.

[図書] (計2件)

- ① 惠多谷雅弘、“衛星リモートセンシングデータを用いたベトナム北部古城遺跡の調査”、交趾郡治・ルイロウ遺跡Ⅱ、pp.12-15、フジデンシ出版、2017.
- ② 惠多谷雅弘、“東アジア圏における衛星リモートセンシングデータを用いた古代都市遺跡調査”、東アジア古代都市のネットワークを探る 日・越・中の考古学最前線”、pp.31-48、汲古書院、2018年2月.

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

関連講演等

- ① 惠多谷雅弘、“宇宙の眼でひらく考古学最前線”、科学知総合研究所 SKIL 未来フォーラム5、東京大学弥生講堂一条ホール、2016年4月15日.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：鶴間 和幸

ローマ字氏名：(T S U R U M A, kazuyuki)

所属研究機関名：学習院大学

部局名：文学部史学科
職名：教授
研究者番号（8桁）：50143144
研究分担者氏名：長谷川 奏
ローマ字氏名：(HASEGAWA, so)
所属研究機関名：早稲田大学
部局名：総合研究機構
職名：客員上級研究員（教授）
研究者番号（8桁）：80318831
研究分担者氏名：黄 曉芬
ローマ字氏名：(KOH, gyofen)
所属研究機関名：東亜大学
部局名：人間科学部国際交流学科
職名：教授
研究者番号（8桁）：20330722

(2) 連携研究者

連携研究者氏名：村松 弘一
ローマ字氏名：MURAMATSU, koichi
連携研究者氏名：福島 恵
ローマ字氏名：FUKUSHIMA, megumi

(3) 研究協力者

研究協力者氏名：中野 良志
ローマ字氏名：NAKANO, ryoshi
研究協力者氏名：王 睿
ローマ字氏名：WANG, rui
研究協力者氏名：段 宇
ローマ字氏名：DUAN, yu
研究協力者氏名：周 昀
ローマ字氏名：ZHOU, yun
研究協力者氏名：莊 卓燐
ローマ字氏名：CHONEG, cheuklun

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。