

宇宙からの考古学——モンゴル、中国西部、カンボジア、ペルー Satellite Images used in My Archeological Surveys in Mongolia, West China, Cambodia and Peru

阿子島 功
AKOJIMA Isao

キーワード：衛星画像考古学 空中写真考古学 ナスカ地上絵 ゴルバンゴル計画 コロナ画像
ALOS

Key words : Satellite Image Archeology, Air-photo Archeology, Nazca Geoglyph, Gurvan-gol
Project, Corona, ALOS

1. 考古学調査と写真測量

写真測量（量を測る）と写真判読（質を読む）は立体写真の技法に支えられている。考古学専門の方には立体視はあまり必要とされていないが、地理学では立体視できない写真は物足りない。調査記録を目的とした立体写真の技法は写真技術のほぼはじめから利用されていたようである（覗き箱の名所案内や人物写真だけでなく、たとえば1871年にパウエル探査隊の撮影したアリゾナ州パイユート族のステレオ写真：赤澤ほか1992異民族へのまなざし。東大総合研究資料館、p.160所収）。

地上立体写真測量技術の遺跡への応用例は、たとえば2001年に破壊されたバーミヤーンの石窟仏像の破壊前の地上立体写真測量図であり、将来的に形の復元を可能にしている（ただし危機遺産の例として復元はされない）。さらに測量技法としては異なるが、ここ10年位にレーザー測量による遺跡・遺物の3D記録が確立した。

航空写真判読による遺跡検出は、軍事利用から発展した航空写真判読の当初から遺跡探

査にも使えることが認識されていて、大西洋横断をはじめて果たしたリンドバーグは航運会社を興し中米航路探索のおりに密林ピラミッドを発見し、クロフォードは第1次世界大戦の英国空軍の偵察員をへて考古学者になり、ストーンヘンジの周辺の埋まった溝を発見した（西尾、1988、p.129-131）。わが国へ航空写真の考古学利用を導入したのはクロフォード（1929）のAir Photography for Archologistを1931（S.6）年に紹介した森本六爾である（西村 2001、p.22）。戦後をはじめてわが国の航空写真によって遺跡が検出された例は1963年に西尾元充によって検出された茨城県の長者曲輪遺跡（7-8Cの区画濠）である（その経過は西尾 1988 p.10-13）。

さて山形県においては1980年後半から遺跡の立体写真測量が導入された。垂直写真を撮るため気球や高い金属ポールで大型カメラを吊って写真撮影が行われ（写真1・2）、撮影は外注や自前、図化は外部委託であった。高島町押出遺跡（第1次調査1985年）では等高線間隔2.5cmの遺構平面図が描かれた。

計測結果の2次利用といえば、等高線間隔20cmの古墳実測図からデジタイザーで入力して立体図とし、視点を変えて立体視ペアを作って微地形分類を行ったり、侵食された土量の計測などを試みたことがある(AKOJIMA, 1989)。16bitのCPU80286上で動くMS-DOS時代のASCII社のThirdyという3次元投影ソフトのはしりで、デジタイザーによるデータ作成などは手探りであった。

山形県における未知の埋没遺構の検出例はなかったと思う。一般地図測量目的の航空写真で山形市菅沢古墳などは周濠を含めてよく読めたし、低地遺跡の発掘調査に立ち会う際には埋没微地形の判読に有効であった。遺跡とは言えないが耕地整理後の水田のカラー空中写真に工事前の水路がよく透けて見える例(山形市西部CTO-76シリーズすなわち1976年に国土地理院によって撮影計画された東北地区の初めての測量用カラー写真、縮尺1/8,000)があり、繰り返し教材に使ったが、最近になって読売新聞2012.5.28の記事で田起こしの際に現在でもトラクターをスタックさせないために地下の地盤の硬軟を意識したメモ地図が作られていることを知った。

2. わが国の宇宙考古学の導入の経過

—Landsat画像など

わが国で“宇宙考古学”を提唱したのは東海大学の坂田俊文教授であろう。そのお手本となったのは、NASAが地球観測衛星ランドサットによって約920kmの宇宙からペルー、ナスカの巨大地上絵(約50kmの長さの三角形の図形)を検出した(西尾 1988 p.98、坂田 1991 p.135-137、坂田 2002)ことであろう。しかし、実態はナスカ台地を横切る道

路(送電線の工事道路・生活道路・パンアメリカンハイウェイ)であった(JOHNSON *et al.*, 1989)。後に私も現場を歩きながらその画像を見ると地上絵の線もたくさん写っていたが、上記の著書では道路を地上絵として説明している。

わが国で独自に宇宙考古学を実施したのは、読売新聞社・モンゴル科学アカデミー共同のジンギスカン陵墓探索(ゴルバン・ゴル=3つの河=プロジェクト 1990-1993)であった(坂田 1991 p.140-151)。私はその第2・3年次(1991-1992年)の遺跡分布調査に参加する機会を与えられた。このとき国外で入手できた地図は縮尺1:1,000,000のアメリカ製航空図ONCであり(1:500,000 TPCは名称からして作戦地図)持ち込むのに気がつかなかったが、地理凍土研の所長室にモンゴル全土のONCが貼り合わせてあって安堵した。衛星画像はランドサットデータなどを東海大学で処理したカラー合成画像(自然色でない画像)を使うことになり、地形図の代わりにはなったが、小さなマウンドを探して歩く(モンゴル時代の墓形式さえ確定していなかった)ので青銅器時代以降のすべての墓の分布を調査する)作業で、遺跡検出に役立つ精度はまだなかった。当時のLANDSAT/TMの分解能は約30mだった。私達は現場で使う機会がなかったがLANDSAT/MSS、MOS-1/MSSR(分解能50m)、仏SPOP衛星画像(分解能10m。ただし1ピクセルでは形がでないから遺構が認識されるには10×10ピクセル=現地100m以上を要する)などが準備された(Mongolian Academy of Sciences and the Yomiuri Shinbun, Japan 1993, p.34-35)。

プロジェクト2年目の1991年5月4日読

売新聞はSPOT画像で大きな方形（中国式の矩形の郭をもつ遺構で土城と呼んだ）が見えていることを報じた。ジンギスカン陵墓であればと現地ではいそぎ警備が立ったという話もあるがさだかではない。私達が連休あけに出発し現地に着く前に、そうではなく地質構造であることがわかって、それから後の2ヶ月間ひたすら地上踏査を行った。日モ合同調査でありロシア製1:200,000地形図が利用できるようになった。現在は航空写真も外国人料金で入手できる（阿子島・中村 2006）。なお1980年代に測量用航空機が失われて以降の写真はない。国外を広く網羅したロシア製地図はソ連邦崩壊によって海外に流出し自由に購入できるようになったが、当時は著しく高価であった。国内では唯一岐阜県立図書館の世界分布図センター（現在は岐阜県立図書館「郷土・地図情報担当」地図・地図関連資料コーナー）が体系的に収蔵していた。現在は米国からWEBで公開されている。当時衛星画像の利用を阻んだのは、データの価格、処理ソフトの価格・難しさであった。データメディアは大きなリールのテープから5インチフロッピーディスクへと変わりかけた頃である。

3. 中国西部の調査

— CORONA画像、Landsat ETM+画像

奈良シルクロード研究センターの中国青海省青蔵高原と四川省岷江の谷のシルクロード関連・仏教遺跡の調査（2000-02、2003-04）に参加させていただいた。調査にはCORONA画像が利用された。偵察衛星CORONAは初期の米軍事用衛星で撮影済みフィルムロールをパラシュートで放出し航空機で回収したとい

う画像であり、写真記号KHは鍵穴の意味である。年を経て機密解除となり公開された。1枚が幅7cm長さ76cmほどのパノラマ画像のポジフィルムであり、前視・後視画像を組み合わせて立体視ができ、分解能は最良で2-3mである。2本ならべたフィルムをルーペで立体視、スキャナーで取り込んで画面で立体視、ステレオペアプリントを現地に持ち込む手法は1998年頃から奈良女子大学（故）相馬秀廣教授を中心として開発されトルファン盆地調査などで利用が始まっていた。中国西部の調査に奈良シルクロード学研究センターが多用した（写真3）。囲郭やマウンドがよく読めた（阿子島ほか2002）。宇宙考古学の実用はこの頃からと言える。地形図はロシア製地図を利用した。中国では等高線地図は市販されていない。近年になって起伏陰影表現の地図が一部市販されているし、USGSから約100m格子の標高ファイルSRTM3が公開されているので等高線地図を描くことができる（阿子島 2008、AKOJIMA *et al.*, 2012）。東海大学坂田教授の“宇宙からみた古環境2002-03”にも参加させていただいたが、この頃になるとバンド別画像のカラー合成は高価な画像処理専用ソフトではなく一般的な画像処理ソフトphotoshopでもできる（田中ほか 2002）ようになっていた。中国で2000年に“遥感考古学”（宋宝泉・招錫惠編著）が出版されたが、航空写真の判読処理がほとんど衛星画像利用には触れていない。

4. カンボジア、アンコールワットの調査

— Landsat ETM+画像

東海大坂田教授のメコン河プロジェクト（2003）でアンコールワット遺跡を調査した

ときは、遺構、水利施設、太湖の湖岸の季節変化などをランドサットETM+画像(分解能15m)を中心に解析したが、バンド別ファイルからカラー合成処理済みのTIFFなどで提供していただいたのでとても楽だった(阿子島ほか 2003)。

5. ペルー、ナスカ地上絵の調査

—QuickBird画像、ALOS画像

山形大学人文学部で始まったナスカ地上絵プロジェクトは2004年頃からであるが、その前段があり、坂井正人(当時)助教授がペルー空軍の航空写真を購入する際にモザイク貼り合せ手法などの相談を受けたのが、私に関わる始めであった。既存の測量用垂直写真はナスカ地上絵の集中地区のみで、すでに図化されていた部分である。立体視できるので地上絵の線がケブラダ(通常涸れ川、まれに洪水流)に降りて渡っているなどが認識できた。坂井氏は台地全体の地上絵の分布を明らかにすることを目指しており、さらに広域の画像を手に入れることが課題であったが、航空写真の撮影を外注するには経費が膨大であり、衛星画像の利用を図ったのが1999年頃である。日本のALOS衛星Advanced Land Observation Satelliteの利用公募が1999年にはじまり、申請して撮影計画が2000年に受理されたがH2Aロケットがなかなか上がらない。そうこうしているうちに米商用衛星QuickBird画像を入手できた。分解能0.6mであり、貼り合せ(モザイク)の必要がない、さらにTIFF形式であったから、これがプロジェクトの突破口になった。画像は高価であった。少しづつ買い揃えたのに、1年程経った頃にGoogleEarthでほぼ同一精度の画像が

公開されるようになった。2006年の新発見の地上絵の報告(坂井ほか 2006)の直後、座標を知らせよというメールが続々と届いて坂井さんが困惑したのは多くの人がGoogleEarthで読めるようになっていたからである(写真4)。新発見の地上絵は一部が写っていてそれがきっかけとなってセスナ機から確認したのであるが、現地では幅0.3m程度のものであった。起伏ある丘の頂面にあるため、撮影時の光の加減で(シャドーマークとなって)運良く写ったのであろうと思われる。

GoogleEarthで読めても地図化するにはQuickBird画像が必要でプロジェクトで何度かにわけて購入した。当時院生であった門間政亮君をはじめ多くの学生さんのたいへんな努力によってナスカ台地全体の地上絵分布図がほぼできた。予算のことと、巨大なファイルは処理できないので、小分けで購入したので貼り合せの課題はある。1ファイル2GB程度に分割して購入したが、詳しいだけに読みこむのがかなり重い。画像処理によって地表面の安定度評価(ケブラダは最も不安定)図の作成も行った(AKOJIMA 2007)。QuickBird画像は立体視ができない。

ALOS画像が無償でいただけるようになったのは2007年からであり、ALOS/PLISMはモノクロームで分解能は15mであるが、立体視ができ(本会ではナスカ台地のアナグリフ画像を投影表示)、広い範囲を軽く読める特徴がある。ケブラダの洪水によって地上絵が壊される問題があり、洪水前後の画像の比較などができた(AKOJIMA and SAKAI, 2011)。

衛星画像はバンドを選んで画像処理すると目に見えない情報もみえるようになるのが特徴で高久・小川(2008)はALOS/PALSAR

(レーダー波)を用いてナスカ台地面下の水分の多い筋を読み出し、これとALOS/PLISM画像で読み出した地上絵とを関連づけようとした。台地上面では比高数mの放射状の谷筋が観察され、雨水の流れる筋などを説明できそうであるが、地上絵と短絡的に関連づけることはできないであろう。地表調査によって地上絵と地下水脈に関わる断層線が一致するものがあるというJOHNSON *et al* (2002)の見解の根拠とされたものを現地で再検討したがあやしい(阿子島 2010)。

衛星画像は全体像を知るのに最もすぐれている。空撮はだれしも考えることであり、バルーン、セスナ機、実機ヘリコプター、ラジコンヘリ、マルチコプターなど飛ぶ道具のすべてが試みられてきた。バルーンやセスナからの小型カメラによる簡易撮影の試みなどはJOHNSON W. L., *et al* (1989)が述べている。なお、個別の地上絵の細部測量は空撮から地上測量へと精度を上げている。現地での詳細測量の最先端は山形大学が行っている地上でのレーザースキャナー測量である。

文献

- AKOJIMA I. 1989 Hill-slope denudation rate during 10³ years estimated from archeological survey of ancient burial mound. 地形, 10-3, p.219-228
- AKOJIMA.I 1997 Archeological site mapping and the image processing in the semi-arid Mongolian grassland. International Symposium on the Role of Remote Sensing for the Environmental Issues in Arid and Semi-arid Regions, Chiba Univ., p.41-48
- 阿子島 功・杉本憲司・前園実知雄・中井一夫・三宅俊彦・江 介也 2002 青海(チンハイ)省柴達木(ツアイダム)盆地と共和(ゴンフォ)台地において風成地形の発現する地形条件(予報). (演旨) 季刊地理学 54-3, p.253
- 阿子島 功・坂田俊文・恵多谷雅弘・大竹良征・菅谷文則 2003 ランドサットETM+画像を用いたトンレサップ湖北岸の地形分類とアンコール遺跡群(演旨) 季刊地理学, 55-3, p.198-199
- 阿子島 功・中村篤志 2006 モンゴル東部スージン平原の耕作跡について. 山形大学歴史・地理・人類学論集, 7, p.1-17
- AKOJIMA,I. 2007 Mapa de Clasificacion Geomorfologico de las Pampas de Nasca,Peru. Estudio Preliminar de Las Lines y Geoglifos de Nasca:Una investigacion Interdisciplinaria (Masato Sakai y Isao AKOJIMA editores), Universidad de Yamagata, Japon, p.41-59
- 阿子島 功 2008 山西・内モンゴ地域の自然地理学的環境.『漢代北方境界領域における地域動態の研究』(平成17~19年度科学研究費 基盤研究(C) 17520528 代表者 上野祥史) 報告書 p.3-18, 図版1-2
- 阿子島 功 2010 ナスカ地上絵は地下水脈に関わる断層線を指示していない. 季刊地理学 62, pp.243-244
- AKOJIMA I. and SAKAI M. 2011 Monitoring of "Quebrada", the Dry River Channels, on the Nasca Pampa, Peru. Final Report of the ALOS Research Announcement Programs 1&2, 2011. (DVD-ROM), PI022 : 1-7
- AKOJIMA Isao, UENO Yoshifumi, SUGIMOTO Kenji, OKAWA Yuko 2012 Land Classification Map of Shan-Xi and Inner Mongolia to review the Distribution Pattern of Archaeological Sites in the Inter-fingering Zone of Nomads and Agricultural peoples during Han Dynasty. 7th CHINA-JAPAN-KOREA JOINT CONFERENCE ON GEOGRAPHY, Abstracts p.140(Poster Presentation), August, 3-6, 2012,

Chang-chun, China

JOHNSON W. L., *et al* 1989 Areal Photography of the Nasca Lines. The Lines of Nazca (Aveni. A. H. ed) American Philosophical Society pp.271-283

JOHNSON D. W, PROULX D. A and MABES S. T. 2002 The correlation between Geoglyphs and Subterranean Water Resources in the Rio Grande de Nazca Drainage. Andean Archeology II (Silverman, Isabell W. H. ed.) , Academic Publishers pp.307-332

Mongolian Academy of Sciences and the Yomiuri Shinbun, Japan 1993 A Report of the Joint Investigation under the Mongolian and Japanese GURVAN GOL Historic Relic Probe Project (1991-1993)

西尾元充 1981 空中写真の世界. 中公新書

西尾元充 1988 空から地下をさぐるには? 筑摩書房

西村 康 2001 遺跡の探査. 日本の美術 No.422

坂井正人・阿子島 功・渡邊洋一・門間政亮

2006 人工衛星がとらえた「新発見」のナスカ地上絵. ニュートン, 26-7, p.121

シルクロード学研究センター編 2002 中国・青海省におけるシルクロードの研究. シルクロード学研究センター研究紀要 Vol.14

シルクロード学研究センター編 2005 四川省における南方シルクロード(南伝仏教)の研究. シルクロード学研究センター研究紀要 Vol.24

坂田俊文 2002 宇宙考古学—人工衛星で探る遺跡と古環境. 丸善ライブラリー No.7

坂田俊文(代表) 2003 「平成14年度 宇宙からの古環境調査—メコン河と東アジアの大河流域—報告書」. (財)地球科学技術総合推進機構

宋宝泉・招錫恵(編著) 2000 遥感考古学. 中州古籍出版社

田中邦一ほか 2003 フォトショップによる衛星画像解析の基礎—手軽にできるリモートセンシング. 古今書院

高久克也・小川 進 2008 ALOSによるナスカ地上絵の同定. 地球環境研究 10, pp.1-9

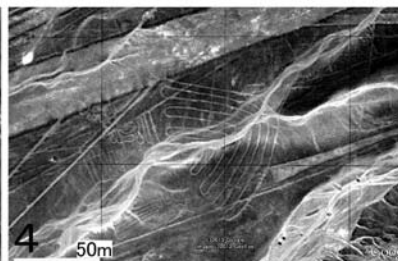


写真1 吊り上げカメラ(O印)による遺構撮影(米沢市早坂山遺跡 山形県教委1989調査)

写真2 気球吊り上げ大型カメラによる遺構撮影(高島町押出遺跡 山形県教委1985調査)

写真3 コロナ衛星画像に写った城郭. 中国青海省西海郡(奈良シルクロード学研究センター2000-02調査) 区郭の左隅を斜めに走る黒い線が鉄道。

写真4 ペルー、ナスカ台地の地上絵のGoogleEarth画像