

空中写真から埋没データを読む

高橋 学*

I. 視 点

近年、考古学の発掘調査によって、従来知りえなかった多くの情報が明らかにされはじめた。特に、発掘調査が大規模になったことは、考古学の研究対象を拡大させることになった。すなわち、従来の考古学では、土器などの遺物や住居址などの遺構が考察の対象であったが、住居址の集合体としての集落やその周辺における土地利用までもが考察の視角に入ってきたのである。さらに、これまで極めて概念的に取り扱われてきた集落と集落との関係までも具体的に検討されるようになりはじめている。

他方、花粉やプラントオパールなど微化石分析をはじめ様々な自然科学的分析も発掘調査の中に導入され、古環境復原が試みられたり、環境と人間活動との関わりについて検討されるようになってきた。

「環境と人間活動との関わりを考察する。」この古くて新しい地理学のテーマへアプローチする準備が、発掘調査の大規模化をきっかけによりやく整ってきたと言えよう。この様な中で、地形を中心とした自然環境の変遷を明らかにし、災害や土地開発との関わりを検討する方法として地形環境分析が考案され利用されてきた(第1図参照:高橋1990)。

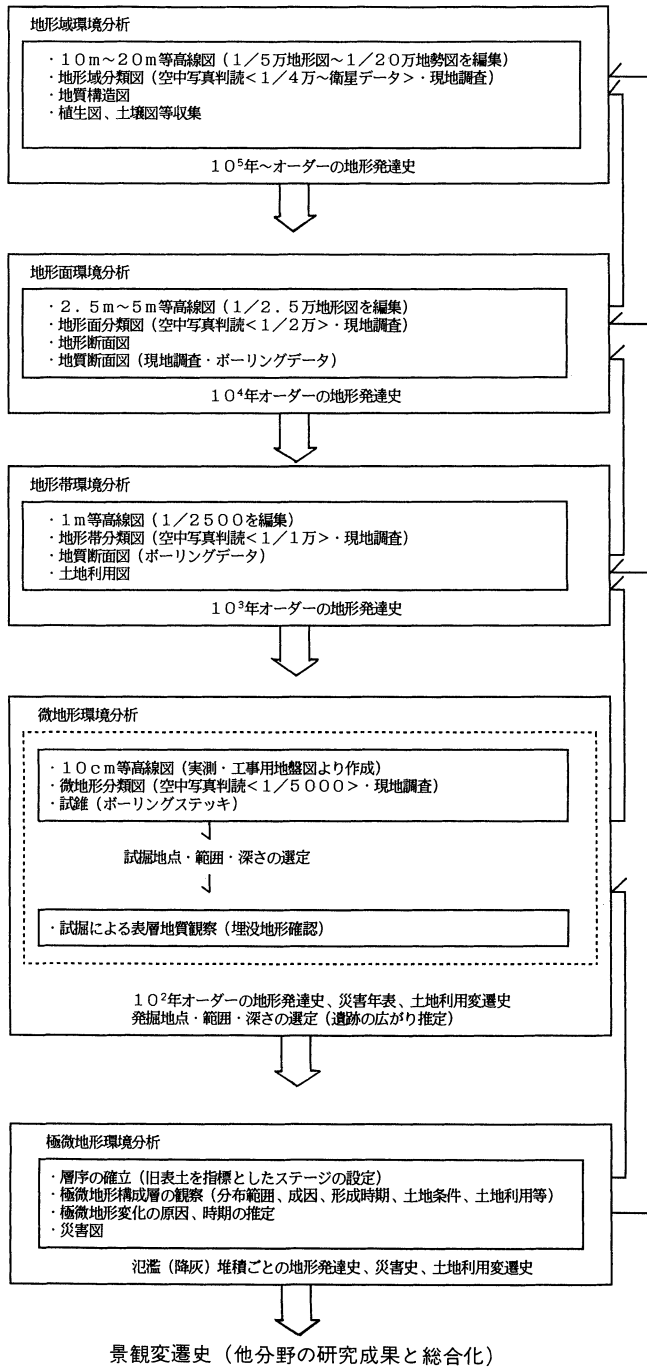
* 立命館大学文学部

地形環境分析において、空中写真判読は極めて重要なテクニックのひとつであった。ところが、各地の沖積平野において地形環境分析の事例が増えるとともに、いくつかの問題が存在する事が明らかになってきた。

たとえば、現在、われわれの眼前に展開する土地の状況は、さほど古くまで遡ることのできるものではなさそうである。これまで開発が古い地域にみとめられるとされてきた天井川は、せいぜい中世末までしか起源をたどることができないことが明らかになってきた。また、1/2万5000程度の縮尺の地形図で容易に自然堤防と判断できる微高地のうち、中世末を遡って存在した確認ができた例は必ずしも多くない。

他方、現在、地形分類図で後背湿地と分類され水田として利用されている所から、古代以前の集落遺跡がしばしば発見されている。これらの集落は、かつて微高地上に立地していたが、その後の環境変化によって微高地が機能を失ってしまったことにより水田と化したのである。この様な埋没微地形が、過去の、特に古代末以前の災害や土地開発を検討する上で重要であることが判明してきたのである。

これら2点の問題は、現在の地形分類図をあたかも過去の地形環境を復原したもののよう利用してきた地形学や歴史地理学の研究者に大きな警鐘を鳴らす。現在の状況を示し



第1図 地形環境分析の方法と手順

た地形分類図は、過去の地形環境を復原するためのデータのひとつにはなり得るものの、復原図ではないのである。

埋没微地形の状況を明らかにしていくことは、地形環境分析を進める上で必要不可欠である。ところが、埋没微地形を把握するために用いられてきた従来の3つの方法には、後に詳述するようにいくつかの制約があった。そこで、第4の方法として、空中写真の画像解析を行うことを試みた。ランドサットやスポットなど人工衛星によって得られたデータの画像解析は坂田俊文をはじめ多くの先学によってかなり身近なになってきた。しかしながら、空中写真の画像解析をおこなって判読に役立てた例は、管見のおよぶ限り存在しない。たしかに、空中写真から得られるデータは可視光線によるものがほとんどであり、MSS（マルチスペクトラルスキャナー）やTM（ジェマティックマッパー）の様に広い波長域をカバーしているわけではない。

しかしながら、空中写真は実体観察が可能なこと、解像度が高いことなどの長所も持っているのである。なお、分析には、ハードウェアに NEC9801RA51+画像処理用フレームバッファ+高速演算プロセッサ、ソフトウェアに HYPERSAYCO（デジタルーツ）を使用した。画像入力装置としてスキャナー（エプソン GT6000）を用い、出力装置としてモニター（NEC PCKD882）、プリンター（エプソン HG4000PC）、フィルムレコーダー（AVIO FR1000）を利用した。このシステムでは、①拡大・縮小、②コントラストの調整、③明度の調整、④色変換、⑤ノイズ除去、⑥輪郭の抽出、⑦強調、⑧重ね合わせなどの画像処理が可能である。

II. 埋没した土地割の復原

(1) 消滅した掘田の復原

最初に示すのは、大垣市域南部の低湿地に卓越した土地利用であった「堀田」の例である。日本において「堀田」は「島畑」と並び三角州帯で中世後半以降特に盛んになった土地利用形態である。これと同様の土地利用は中国の広東三角州では「四水六土」と称されている。すなわち、非常に低湿な土地を利用するために、耕地の四割にあたる部分を掘削し、その土を嵩上げのために残り六割の土地に積み重ねるのである。こうして、土地の高燥化を図ると同時に、掘削部分にためた水を灌漑に利用した。また、掘削部分は養魚池の役割をはたす。たとえば、愛知県弥富町や奈良県郡山市の金魚や静岡県浜名湖周辺の鰻養殖は、この「堀田」における養魚の発展したものと考えられる。この原型は、水田に淡水魚を飼う様子を示した画像磚が、揚子江上流の四川省において漢代の墓から出土していることから、日本においても、かなり以前に遡り得るものと考えられる。

ところで、「堀田」は近年の圃場整備の結果ほとんど消滅してしまった。そこで、現在、伊藤安男らによって地籍図から復原する努力が積み重ねられている。空中写真の画像解析によって「現在消滅してしまった堀田」の復原が可能であれば、a. 労力の節約ができ、b. 地籍図が残存していない地域でも復原が可能になる。また、伊藤らの成果と照合することで、空中写真画像処理の精度を確認することができる好都合である。

大垣市域を撮影した空中写真では、画像の縮尺が小さく、また、圃場整備を受けている



第2図 埋没した堀田の検出

ために「堀田」は判然としない。そこで、まず画像の拡大を行った。こうするとかすかに現地表面下に埋没した「堀田」の様子が浮かびあがってくる。一般にモノクロ空中写真では、地下水位が高く湿った場所は暗く、反対に乾燥した場所は明るいトーンで表現される（ソイルマークと呼ぶ）。すなわち、「堀田」の堀の部分、埋められてしまった場合であっても、暗く映る可能性が高い。そこで、次にコントラストを強調し、さらに、区別を明確にするために色変換を実施した（第2図）。この様にして、埋没した土地割である「堀田」の存在が明確になった。同様に、集落遺跡の立地するような埋没微高地（埋没自然堤防、埋没旧中州）を読みとることも可能であった。こうして得られたふたつのデータを比較検討した結果、埋没微高地の分布と「堀田」の分布との間には負の相関が高いことが明らかになった。いいかえれば、現地表面下数m以浅に埋没自然堤防や埋没旧中州が伏在している所は、相対的に水はけが良く「堀田」にする

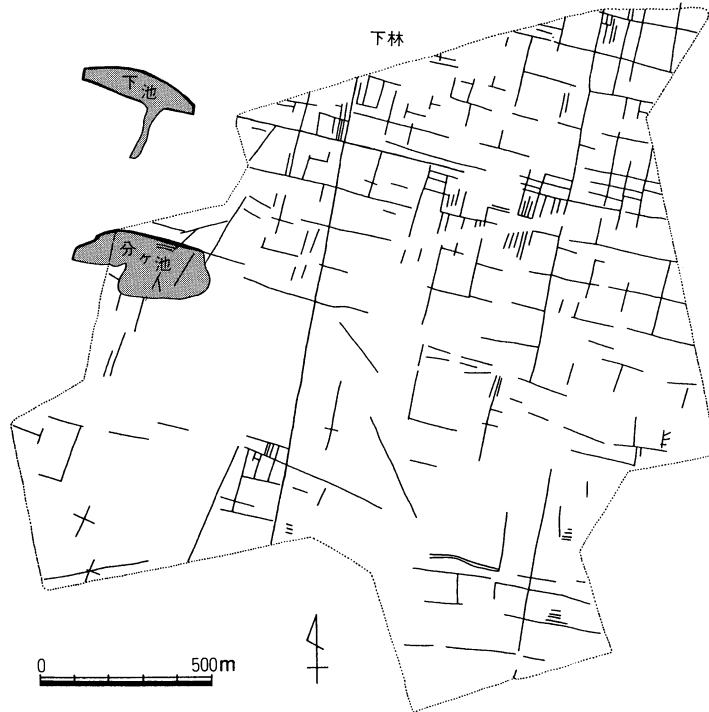
必要がないと判断されたといえる。

(2) 埋没条里型土地割の復原

次に香川県高松平野を事例として、現地表面下に埋没した条里型土地割の復原について検討したい。

N10°E 方向の条里型土地割が整然と広がる高松平野において、旧高松空港およびその周辺部では条里型土地割とは明確に区別される地割が展開している。この区域は、1944年（昭和19）に旧日本陸軍によって建設された飛行場の跡地である。ここは、敗戦後、連合軍により一時的に接収されたが、1952年に返還され、一部が水田として再開発された。その他の部分は、1955年に一般空港として整備され、1990年に新空港に移転するまで35年間にわたり高松の空の玄関として利用されてきた。

画像解析に用いられたのは、1962年に撮影された空中写真（モノクロ1/1万）である。未処理の段階には、旧高松空港およびその周辺には、下林地区から上林地区へ向かう南北道路と、下池から東へ延びる道路がわずかに条里型土地割の痕跡を残しているに過ぎなかった。この空中写真を、①コントラストを強調し、②拡大した。この極めて簡単な処理によって思いがけない成果が得られたのである。すなわち、滑走路としてコンクリートが貼られていた大規模人工改変地Ⅲ部分を除き、一時的に空港となったものの、水田として再開発された大規模人工改変地Ⅰ、そして空港敷地として芝の植えられていた大規模人工改変地Ⅱには、改変以前の条里型土地割と考えられる痕跡がソイルマークやプラントマーク（植物の生長の差として表現される）として読みとることができた（第3図）。条里型土



第3図 埋没した条里型土地割の検出

地割は、より北側で検出が容易であった。また、特に芝生になっている大規模人工改変地Ⅱでは検出状態が良好で、一坪内の地割まで復元が可能であった。また、飛行場造成以前に存在した分ヶ池の復元もできた。飛行場造成の人工改変は意外に少なかったと推定される。これと同様なことは、大阪空港や淡路島の三原平野に存在した旧三原飛行場跡地でも明らかになっている。なお、旧高松空港跡地では、香川県教育委員会の手で発掘調査が実施されつつあり、詳細は正式な報告を待たねばならないが、画像処理によって予想された様に飛行場造成に伴う人工改変は少なく、条里型土地割も検出されているようである。

Ⅲ. 埋没微地形の復元

現在地表面下に埋没し、通常空中写真判読では存在の確認が困難な微地形と過去の集落立地や水田開発などの土地利用に密接な関係のあることが地形環境分析の結果判明してきた。埋没微地形の状況を発掘調査以外の方法で知るためには、今まで3つの方法が利用されてきた。まず第1の方法として1/5000程度の大縮尺空中写真の判読があげられる。これによって、現地表面下2~3mまでに埋没している旧中州や自然堤防あるいは旧河道などの微地形の状況を知ることが可能になる。また、第2に赤外線カラーで撮影された空中写真を判読する方法がある。さらに、第3の方法として、圃場整備や道路建設などの1/

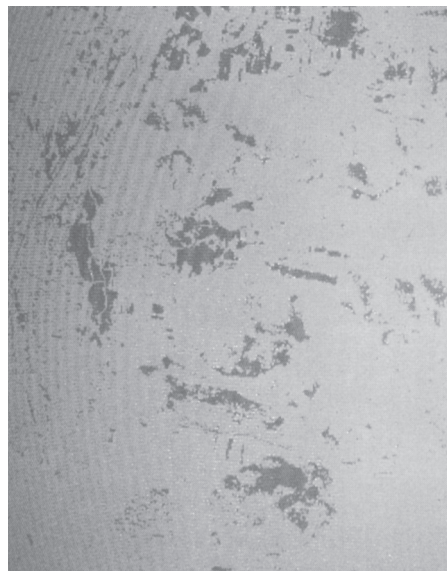
1000程度の現況図を用い、10 cm インターバルの微地形図を作成することでも、ほぼ同様の成果をあげることができる。ところが、これらには幾つかの点で問題があった。すなわち、いずれの方法も使用できる資料は比較的新しい年代のものに限られるのである。古い空中写真の場合、特別な場合を除いて縮尺が小さく、モノクロフィルムで撮影されている。大縮尺や赤外線カラー写真の場合、単価の上でも、枚数の上でも価格が高くなるのは避け難い。また、撮影されていたり基礎になる現況図の作成されている場所が限定されていることも見逃すわけにはいかない。一度に判読できる範囲が狭いため、時間がかかり精度に斑ができ易くなるといった分析上の欠点もある。埋没微地形を判読する能力の個人差はかなり大きく、判読技術の修得が容易でないことにも目を瞑るわけにはいかないであろう。

空中写真の画像解析を行った場合、上記のいくつかの問題が解消できる。すなわち、画像の拡大やコントラスト、明度の調整などが可能であり、撮影年次の古い小縮尺の空中写真であっても利用が可能になる。この結果、圃場整備など近年の大規模な改変を受ける以前の状態から分析に着手できるようになった。また、調査対象地が空中写真や大縮尺地図の整備状況によって制限されない点、あるいは一度設備を整えばその後は費用が嵩まない点が利点となる。そして、最も重要な点は、一度処理方法を確立すれば、同一の精度で分析を進めていけることである。そこでは、熟練度や疲労に起因する精度の斑をほとんど排除することが可能である。埋没微地形は現況の土地割や土地利用、小字名などに影響をおよぼしていないため、認識に困難がつきま

っていた。この点の改善は、地形環境分析をマニュアル化する上で重要な意味を持つものと判断される。

さて、モノクロフィルムで撮影された空中写真の場合、旧中州や自然堤防あるいはそれらが埋積されているところは、水はげが良いため光の反射率が高く、写真にはより白に近い色となる。他方、旧河道や後背湿地はより黒い色として表現される。すなわち、理論上は黒一白の間に無限の灰色が存在していることになる。そこで灰色部分を任意の段階に区分し、色変換することで埋没微地形の状況を把握することが容易になる。

第4図は1957年に撮影された兵庫県揖保川流域平野の空中写真の一部分を画像解析したものである。ここでは、現在の集落が立地する微高地はもちろん埋没微地形まで状況を知ることができた。また、第4図の西端には1町方格を囲む濠状の埋没遺構の存在が確認さ



第4図 微高地・埋没微高地の検出



第5図 濠で区画された中世の館址

れる。ここでは、兵庫県教育委員会が福田片岡遺跡と名付け、発掘調査した中世の館址が存在していた。第5図にはその様子が極めてよく映し出されている。

なお、現地表面下 2~3 m 以浅に埋積された埋没微地形は、必ずしも同じ時期に形成されたというわけではない。わが国の沖積平野は、完新世段丘Ⅰ面、完新世段丘Ⅱ面、現氾濫原面から構成されていることが明らかにされているが、これらのうち埋没微地形となっているのは、前二者である。現氾濫原面は完新世段丘Ⅱ面の段丘化をきっかけに形成が開始し、現在もそれが続いている場所である。前にも述べたように、ここでは、特に中世末以降に微地形の形成が進行し、まだ埋積はうけていない。

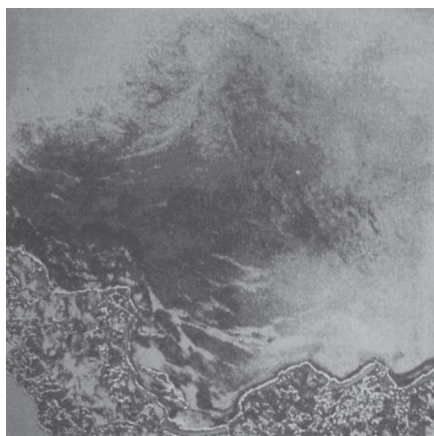
完新世段丘Ⅰ面は、弥生時代前期末~中期初頭に段丘化し形成を終えた地形面である。この地形面上では、埋没微地形は縄文時代晩期頃に形成され、それ以降埋積されたことが知られている。また、完新世段丘Ⅱ面は完新世段丘Ⅰ面の形成が終了して以降、古代末に段丘化するまで成長が継続した。完新世段丘Ⅱ面上では、埋没微地形は弥生時代前期末~中期初頭あるいは古墳時代前期~中期に形成

され、そして埋積されたようである。画像解析の結果を検討する際、微地形環境レベルばかりに目を奪われ易くなり、それより大きな相違点に焦点があいにくいことに注意が必要である。

Ⅳ. 潮の流れを探る

空中写真の画像解析の対象になるものは、地形や考古学的な遺構に限るわけではない。第6図は愛媛県越智郡馬刀潟湾の海況を知る目的で画像解析を行ったものである。馬刀潟湾の湾口部西端には、愛媛大学考古学教室の発掘調査によって縄文時代前期初頭~晩期末の貝塚を主とする江口遺跡が存在していることが明らかにされている。筆者は、この遺跡の発掘調査に参加する中で、地形環境分析を担当した。陸域には、3列の砂堆列が発達しており、その陸側には潟を起源とする三角州帯と扇状地帯とがみとめられた。

空中写真に映し出された海域は、いっけん穏やかな海況を呈している。ところが詳細に



第6図 馬刀潟湾の海況

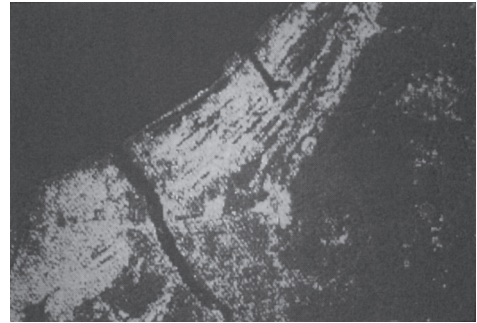
検討すると、それは必ずしも均質な状態ではなかった。そこで画像解析として①部分拡大、②コントラストの強調、③色変換を実施したところ、海岸線に並行して何列かの潮流を検出できた。また、潮流と潮流の干渉作用や半島状の地形による影響を受け水流の停滞したところも確認された。江口遺跡の立地している付近は、まさにこの停滞水域に面している。現在の海況が何時まで過去に遡り得るかは不明であるものの、海に関するデータが入手できる見通しが得られた点に注目しておきたい。

V. 海外調査にむけて

空中写真を利用した地形環境分析は、日本国内に限定した場合、都市化の進展や圃場整備などの状況により精度が多少おちることはあったとしても、不可能な地域は存在しないといえる。ところが、調査地域を海外に求めようとした場合、事情は全く異なってくる。空中写真の利用が可能である地域はかなり限定されてしまうのである。このような制限から自由であるためには、ランドサットなど衛星データに頼らざるを得ない。衛星データの場合、スポットのデータが分解能 10 m であり最も精度が高く、ランドサットなど他のデータが 30 m の分解能を持つ。

空中写真に比べ、やや分解能が落ちるのはやむを得ない。ここでは、将来、海外調査を行う前提として、衛星データの利用限度を検討しておきたい。

さて、まず新潟平野全域の衛星データを画像解析した。これによれば、信濃川の形成した自然堤防および砂丘列が明瞭に識別可能であった。第7図は、さらに信濃川、阿賀野川



第7図 信濃川河口付近の微地形

の河口付近を①部分拡大し、砂丘列と堤間湿地を明瞭にする事を目的に②コントラストを強調し、③色変換したものである。この画像をみる限り、衛星データを利用した場合、埋没微地形を検出することには問題が残るものの、従来行われてきた1/20000空中写真の判読と同程度、すなわち、現地表面を特徴づける微地形を識別することは可能と考えられる。

VI. まとめにかえて

空中写真の画像解析はまだ緒についたばかりであり、様々な問題を内包している。しかしながら、従来、非常にアプローチが困難であった埋没微地形や埋没地割などを比較的容易に検出できるなど利点も大きい。しかも、「より広範囲」、「より早く」、「精度の斑なく」地形環境分析を進めて行くことが可能である。その結果、重要な場所をピックアップし、その場所について集中的により高度な分析に力をそそぐこともできるようになる。また、空中写真の入手が困難な海外の地域を対象とした場合でも、分析の糸口を見つめることが可能である。

なお、画像解析の技術は、空中写真に限ら

さまざまなデータの処理に利用できる可能性がある。筆者は、すでに旧地表面認定を目的とした地層のソフトX線写真を解析に成功している。これについては目的を異にするため、稿を改めて報告する予定である。

〔付記〕本稿は、1991年度立命館地理学会シンポジウムにおいて発表した内容を骨子とし加筆修正したものである。研究をまとめるにあたり、終始ご指導いただいた日下雅義先生（現徳島文理大学）をはじめ立命館大学の諸先生に深くお礼申し上げます。

なお、本稿を公私にわたりひとかたならぬご指導をいただいた故富岡儀八先生（大阪商業大学）に感謝の意を込めて献呈いたします。

参考文献

- 江口遺跡第2次発掘調査団編『江口遺跡第2次調査現地説明会資料』、1990、15頁。
愛媛大学法文学部考古学教室編『江口遺跡第1次調査概報』、1989、14頁。
坂田俊文『「地球汚染」を解説する』、情報センター出版局、1989、254頁。
高橋 学「埋没水田の地形環境分析」、第四紀研究27-4、1989、253～272頁。
高橋 学「地形環境分析からみた条里遺構年代決定の問題点」、条里制研究6、1990、5～22頁。
高橋 学「土地を選ぶ水田」、季刊考古学37、1991、65～69頁。
高松市教育委員会編『弘福寺領山田郡田図比定地域発掘調査概報Ⅱ』、1989、111頁。
村井俊治・木全敬蔵編『図説ハイテク考古学』、河出書房新社、1991、165頁。

