

考古学のための航空測量

セクション 1. 目的と目標

1.1 このガイドについて

本ガイドは、航空写真（空中プラットフォームから収集された光学および赤外画像を含む）、衛星および空中リモートセンシング（さまざまなセンサーを使用）、およびこれらのデータソースから作成された考古学的判読によるデジタルリソースの作成および保存のためのグッドプラクティスガイドを目的としています。本ガイドで検討している生データのソースのほとんどは商用製品であるか、デジタル形式で作成・管理されていないため、詳細なアーカイブ化には適していません。その代わりに、アーカイブのガイドラインは、考古学的判読やマッピングなどの二次データに焦点を当てています。

航空写真やリモートセンシング画像の処理、管理、分析に使用されるハードウェアやソフトウェアは、最初のADSガイドが発行されて以来、大きく進化しており、このようなデータセットの使用は一般化し、もはや専門家だけの領域ではなくなりました。したがって、本ガイドは専門家以外の方を対象としており、写真やリモートセンシング画像の判読方法、航空写真画像の撮影方法、画像取得後の処理方法などに関する情報を提供するものではありません。オリジナルのデータソースを探して再利用するための一般的なアドバイスは、セクション 3 に記載されています。本ガイドでは、デジタルリソースの文書化とカタログ化のための既存の基準や、関連する既存の考古学的文献を多数参照しています。規格の重要性は本ガイド全体で強調されていますが、単一の規格を規定するものではありません。本ガイドの目的はより一般的なものであり、リソースを文書化する特定の方法を推奨するのではなく、優れた文書化の実践の重要性を読者に伝えることにあります。

初版と同様、この新しいガイドは、航空写真とリモートセンシングの歴史の簡単なレビューから始まり、デジタル製品の開発に焦点を当て、入門書への道標を提供します。続いて、利用可能なデータや、作成者が作成可能なデータの種類の説明について説明しています。本ガイドの中心となるのは、デジタルデータセットを適切に保存・記録するために、何を記録すべきか、また技術文献やその他の情報資源をどこで探すべきかについての詳細な提案です。その他のセクションでは、商業的なデータ提供者や、考古学で一般的に使用されている規格についての詳細を説明しています。

本ガイドの他の部分で強調されているように、多くのデジタル技術は統合される傾向にあり、画像処理、地球物理探査、地理情報システム（GIS）などの分野は別ガイドになっています。特に、考古学における航空写真やリモートセンシングデータのデジタル処理のほとんどは、通常、GIS 内で行われるため、本ガイドは必然的に GIS ガイドと重複する部分があります。可能な限り重複を避けるようにしているので、詳細

は関連するガイドを参照してください。

セクション 2. 空中写真、リモートセンシングと考古学

2.1 航空測量

このセクションでは、考古学における航空写真とリモートセンシングの歴史と役割について簡単に説明します。また、主な方法について説明します。

2.1.1 考古学のための航空写真の発展略史

航空写真は、現存する場合には直接、埋もれている場合には作物や土壌などの地表面の様子として、考古遺跡の所在や様相を明らかにすることができます。空中からの写真撮影は 19 世紀に気球で始まり、20 世紀には主に飛行機やヘリコプター、最近では衛星画像を使った景観調査の手段として発展してきました。最初期の遺跡の航空写真としては、1906 年に気球から撮影されたストーンヘンジの写真があります。2 つの世界大戦の間に、ヨーロッパ、中東、地中海で、イギリス、フランス、ドイツの学者たちがこの技術を発展させました。イギリスでは、1920 年代から 1930 年代にかけて、O.G.S. クロフォードやアレン少佐らが主な先駆者となりました。第二次世界大戦中には、軍事偵察を目的とした航空写真が開発され、航空写真の判読には高度な技術者が必要とされるようになりました。デリック・ライリー（爆撃機のパイロットで、後にスタントン・ハーコートで飛行教官を務めた）は、テムズ川流域の上空を広範囲に飛行し、そこで遺跡を観察、時には撮影することもありました。

20 世紀の大部分の業績は、航空写真の撮影・収集というデータの集積に集中していましたが、クロフォードは当初から航空写真から遺跡の地図を作成した先駆者でした。第二次世界大戦後、特に 1950 年代になると、航空写真から得られた情報の判読が、空中観察そのものと同じくらい重要になってきました。砂利採取が河川流域の考古学的遺跡に与える影響を調査する先駆的なプロジェクトは、代表的な出版物である『A Matter of Time』（RCHME 1960）や、テムズ川流域や英国の他の地域でのマッピングプロジェクトにつながりました。ケンブリッジ大学航空写真委員会（CUCAP、1949 年）と RCHME の航空写真ユニット（1965 年）の設立により、この分野の基礎が固まり、セント・ジョセフらによる一連の出版物により、データの収集にとどまらない発展がみられました。

空中観察と判読は、現在、英国およびヨーロッパの多くの地域で、考古学的サイトの発見と理解のための日常的な方法となっています。イングランドでは、1993 年から全国マッピングプログラムが実施されており [1]、スコットランドやウェールズでも対象となるマッピングプロジェクトが行われています。他のヨーロッパ諸国では、航空測量の達成の度合

いはさまざまですが、フランス、ドイツ、チェコ、ポーランド、イタリア、イギリスが特に進んでいます。1990年に冷戦が終結してからは、旧東欧圏の多くの国が調査を行うことができるようになり、航空測量はより広く利用されるようになっていきます。

2.1.2 航空写真の種類

航空写真には、フォーマット、フィルムタイプ、プリントサイズなどさまざまな種類があります。考古学的な目的のためには、垂直写真（地図作成や国勢調査などのために民間企業が撮影したもの、およびRAFが撮影した歴史的な垂直写真）と、考古学的な目的のために撮影された斜め空中写真があります。

垂直写真には多くのソースがあり（付録1参照）、歴史的な垂直写真の全国的なコレクションは、イングリッシュ・ヘリテージ、スコットランド古代歴史記念物協会（Royal Commission on the Ancient Historical Monuments of Scotland：RCAHMS）、ウェールズのウェールズ・オフィスが保有しています。斜め空中写真のコレクションも多数あり、考古学研究のための主なコレクションは、3つのロイヤル・コミッション（イングランド、スコットランド、ウェールズ）と、かつてのCUCAP、現在の景観モデリングユニット（Unit for Landscape Modelling）が保有しています。また、多くのカウンティ・カウンシルも、垂直および斜め空中写真のコレクションを持っています。

垂直方向の写真と斜め空中写真の特徴は以下の通りです。

垂直方向の写真は、考古学的な地図を作成する際に幾何補正が少なく済みますが、通常、遺跡の判読に最適な条件で撮影されたものではありません。斜め空中写真は、考古学的な目的で撮影されることが多く、そのため遺跡に関する情報が含まれていますが、斜めの角度であるため、地図を作成するためには、より複雑な変換システム（コンピュータまたは手動）が必要となります。

どちらの写真にも同じく航空写真判読技術が必要ですが、垂直写真の方がステレオペアで使用しやすいでしょう。ステレオ画像は、自信を持って判読する機会を増やします。斜め空中写真のステレオ画像は一部の航空写真家によって撮影されていますが、あまり一般的ではありません。

デジタル写真の急速な発展により、ここ数年、英国では「フィルム」による写真撮影はほとんど行われておらず、主にデジタルで撮影が行われています。1980年代まで航空写真の大半は白黒フィルムで撮影されていましたが、その後、（プリントまたはスライド形式ともに）カラー写真（垂直、斜めとも）が一般的になりました。赤外線フィルム（白黒およびフォールスカラー）も使用されていますが、コストや保管・取り扱いの難しさから、良好な結果が得られるにもかかわらず、それほど普及していません。校正された鉛直カメラを使用する商業的な調査会社を除けば、考古学的な航空写真家の大半は35mmの手持ちカメラか中判カメラを使用しています（Bewley 1993参照）。

2.1.3 航空写真から派生したマッピングデータ

一般的には、航空写真に含まれる情報を斜め（または垂直）方向の写真から地図や平面図にデジタル補正することが行われています。使用されている判読用マッピングデータにはい

くつかの種類があるので、詳細は関連ウェブサイトを参照してください。イングリッシュ・ヘリテージでは、近い将来、ナショナル・マッピングプログラムのためのマニュアルを作成する予定です。

- ・航空写真の判読から得られた紙またはフィルムの幾何補正図面：これらは通常、手動またはコンピュータのマッピングシステムにより作成され、半透明のフィルムにインクを使って手書きされています。縮尺は1:500から1:25,000までさまざまです。このタイプの図面は、1998年までのデータの大半を占めています。
- ・航空写真の判読に基づいて作成された暫定的なデジタル（幾何補正）平面図：これらは一般的に上記（紙・フィルム地図）の基礎として使用されます。
- ・最終形態のデジタル（幾何補正）平面図：デジタル幾何補正とコンピュータ支援設計パッケージを使用して作成され、最終的な平面図を作成します。これは、イングリッシュ・ヘリテージと2つのロイヤル・コミッション、および商業的な地図会社において、英国全土で標準的に行われています。
- ・（幾何補正なしの）スケッチプロット：考古学的遺構が写真からトレースされますが、幾何補正プログラムは適用されていません。これらは数が少なく、考古学的評価の目的には使用すべきではありません。

詳細な写真測量（RCHMEやヨーロッパのさまざまな地域、特にオーストリアやイタリアで使用されている）には、ステレオマッピングマシンに接続されたさまざまなコンピュータが利用可能ですが、大半のマシンはデジタイザーとプロッターに接続されたスタンドアローンのPCです。使用されているハードウェアとソフトウェアの仕様に関する詳細は、付録1の「航空写真のマッピングと判読」のセクションに記載されている組織のいずれかに依頼することができます。写真、地図、図面に関連する写真とデジタルデータの商業的なソースについては、付録1を参照してください。また、デジタルベクターマッピングの詳細については、「GISおよびCADガイド」を参照してください。

最後に、デジタルまたは紙媒体の地図は、地図に描かれた遺跡の説明や解釈が記載された考古学的な記録と併せて使用するのが最適であることを強調しておきます。イングランド、北アイルランド、スコットランド、ウェールズの記録、地元のHERs（Historic Environment Records）、商業考古学マッピング会社など、このような情報を提供するデータベースは数多くあります。遺跡に必要な基本情報は、場所（物理的および行政的）、年代、簡単な説明、解釈です。

[1] <http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/national-mapping-programme/>

2.2 リモートセンシング

2.2.1 デジタル・リモートセンシングの発展

考古学のためのリモートセンシングは、主に光学および近赤外波長の低高度航空測量技術に基づいています。1970年代以降の最も重要な開発は、デジタル・マルチスペクトル画像センサー、熱画像ラジオメーター、画像レーダー、そして最

近ではLiDARの導入です。これらのセンサーは、画像を取得できる波長範囲を短波長、中間（熱）赤外線、マイクロ波にまで広げました。データはデジタル形式で作成され、さまざまなアルゴリズムや専門的なソフトウェアを使用して幾何補正、修正、再分類することができます。このような手順で得られたデータは、研究者が関心を持つさまざまな遺構・特徴を特定するために使用できます。

ごく最近まで、民間の光学衛星画像は空間解像度が低く、考古学にはあまり利用できませんでした。しかし、特定の状況下でその価値を実証した注目すべき研究もいくつかありました。しかし新たな発展により、衛星画像の価値は変わりました。ロシアとアメリカの軍事スパイ衛星プログラムでは、2mの地上解像度を持つ写真が公開されており、このようなデジタル画像は幾何学的な正確性が高く、GISに簡単に統合することができます。またNASAのシャトル・イメージング・レーダー（SIR）が乾燥した滑らかな砂の表面を透過して埋もれた構造物を発見できることをCharles Elachi氏が初めて示して以来、レーダーによる画像取得にも重要な進展がありました（Elachi 1982）。シャトル・レーダーシステムはかなり強化されており、近いうちに軌道上のレーダーセンサーが導入されるかもしれません。

2.2.2 現在の進展

考古学のためのリモートセンシングは過去10年間で急速に発展しており、おそらく最も大きな変化はLiDAR（レーザービームを使用した景観の記録：Light detecting and ranging）の使用にあります（Crutchley and Crow 2009 参照）。宇宙イメージングの分野では、垂直方向の航空写真が高解像度の衛星デジタル画像に取って代わられるかもしれないという重要な進展があります。空中センサーは常に改良されており、構築と展開が非常に安価になっています。最近では、赤外線やレーダー画像センサーも改良されており、地中埋設物の検出に大きな可能性を秘めています。また、衛星からは、米国のGPSやロシアのGLONASSを使って地表の正確な位置情報を得ることができますが、これは比較的小規模な考古学的遺構の正確なマッピングには特に重要です。

画像処理の科学も、1960年代にNASAのジェット推進研究所で誕生して以来、非常に急速に発展してきました。現在では、プリントやフィルムを比較的安価にアナログからデジタルに変換したり、広く普及している処理技術を使って画像を幾何補正したり、視覚的に強調したりすることが可能です。高品質のイメージスキャナーが比較的安価に購入できるようになったため、デジタル画像処理を使用して、デジタルセンサーデータだけでなく、斜めや垂直の航空写真のジオメトリや視覚的品質を向上させることができます（Scollar et al 1990）。

2.2.3 センサーの種類とその用途

エアボーン・マルチスペクトル・スキャナー

考古学的構造物は通常、上空からよく見ることができますが、作物や土壌の痕跡を確実に検出することは困難です。特にクロップマークの視認性は、植生の種類や明るさ、土壌の状態に左右されます。マルチスペクトル・リモートセンシングでは、人間の目や写真フィルムよりも植生の状態に敏感な、さまざまな波長を同時に見ることができます。写真フィルムのスペクトル範囲（350-1100nm）の制限を克服するた

めに、デジタル形式でデータを記録する光電センサーデバイスを使用します。これらのデバイスは、光をいくつかの個別の狭い波長帯に分離するため、マルチスペクトルという言葉が生まれました。これにより、特定の波長域を単独で見たり、関心のある異なる波長域を組み合わせで見たりすることができるという利点があります。

英国では、自然環境研究評議会（NERC）により、フェンランズの一部（Donoghue and Shennan 1988a; 1988b; Shennan and Donoghue 1992）、ノッティンガム地域（Allsop and Greenbaum 1989）、ピカリング低地（the Vale of Pickering）（Pryor, Donoghue, and Powlesland 1992; Powlesland and Donoghue 1993; Powlesland et al. 1997）、ロクスター（未発表）、ウェランド川・ニーン川流域（未発表）で、マルチスペクトルデータの考古学的可能性が評価されました。米国では、ニューメキシコ州のチャコ・キャニオンをはじめとする遺跡や環境を記録するために、多くの研究が行われてきました（Lyons and Avery 1977, Lyons and Mathien 1980, Avery and Lyons 1981）。これらの研究は、作物や土壌の痕跡が残っていない地域で行われ、近赤外・熱赤外画像が考古学的な記録を補強する価値があることを示しています。

空中サーモグラフィー

熱探査技術は、地質学、考古学、環境モニタリングにおいて多くの重要な用途があります。夜明け前と日中の異なる時間帯のサーモグラフィーは、埋没している考古学的構造物の検出や追加情報の提供に役立つことが証明されています。しかしサーモグラフィーに含まれる情報の多くは、地表面の比較的均一な温度によって隠されてしまいます。熱の流れは、時間、深さ、密度、熱容量、熱伝導率に左右され、これらはすべて地表・地中のかく乱に関連します。夜明け前の画像と日中の画像を組み合わせることで、地面の日中の熱容量（別の言い方をすれば、温度変化に対する熱抵抗または見かけの熱慣性）を計算することができます。見かけの熱慣性（ATI）は、埋もれた遺跡の検出に大きな可能性を秘めています。Tabbaghによる先駆的な研究は、これらの技術の価値を示しています（Tabbagh 1976, 1979; Scollar et al 1990）。

英国では、NERCがサーモグラフィーを搭載した空中センサーを運用しています。また、英国王立空軍や警察が保有するアナログセンサーからも熱画像が得られます。広く普及しているわけではありませんが、これらのデータは考古学に関連する地表のかく乱の検出のために使用されています。空中熱放射計測は、低単価で広い範囲をカバーでき、他の情報源と組み合わせでデジタルデータを提供することができます。

宇宙からの光学画像

光学的宇宙写真の歴史は、最初の有人宇宙飛行にまでさかのぼります。地球上を系統的にカバーするためには、従来のフィルムやデジタル画像装置を使用した軌道衛星が用いられます。比較的高解像度のパンクロマチック画像は、フランスのSPOT-3衛星（解像度10m）とインドのIRSシステム（同5m）から得られます。ロシアの衛星画像は、40km × 40kmの範囲を2mの解像度で撮影するために写真フィルムをデジタル化したKVR-1000カメラによるものが最も優れています。アメリカのデータは、市販されているデジタルカメラシステムによるものが最も優れています。Earlybird（3m）、

Carterra-1 (1m)、Orbview-3 (1-2m)、Quickbird (0.82m) は、最近打ち上げられ、また間もなく打ち上げられる予定のものを含みます。Fowler (1996) は、この種の画像の応用例として、ウィルトシャーの調査を挙げています。これらの新しいシステムの中には、限定されたマルチスペクトル機能を持つものもあり、有効かもしれません。

宇宙からのレーダー画像

宇宙からのレーダー画像の価値は、非常に乾燥した滑らかな砂や、熱帯林の樹冠の天蓋を透過して、その下にある遺跡を明らかにする能力にあります。NASA のシャトル・イメージング・レーダー (SIR) システムのデータは、アメリカ、北アフリカ、中東の砂漠地帯にある古水路の存在を示すのに使用されました (McCauley et al 1982)。また、同じシステムを使って、メキシコやグアテマラのマヤ文明の運河、カンボジアのアンコール遺跡周辺など、密林の樹冠の下に隠された重要な遺跡が明らかにされました。SIR のミッションはまだ 4 回しかありません。最後のミッションは 1994 年だったので、データは地球の一部でしか利用できません。宇宙用レーダーは、自分でエネルギーを供給して地上を照らすため、天候や昼夜に関係なく機能します。ほとんどのレーダーセンサーは空間分解能が低く、考古学遺跡を直接検出するには適していません。しかし環境地図の作成には適しています。

地上画像処理

歴史的建造物やモニュメントなど、現存する構造物の考古学的調査には、地上からのリモートセンシング技術を利用することで、不可視の情報を可視化したり、鮮明化することができます。典型的なアプリケーションは、マルチスペクトル画像を使用して、壁や関連する建物の特徴を地質学のおよび建設段階的に区別したり、レーザー等高線プロファイリングやサーマルプロスペクションを使用して、漆喰の下に隠れている特徴を明らかにしたりします。

イギリスのノッティンガム大学では、歴史的建造物を広範囲かつ長期間にわたって調査する研究が行われています (Brooke 1989, 1994)。ドイツでは、不可視の建物の構造や特徴を明らかにするために、長年にわたってサーマルプロスペクションが採用され、成功を収めてきました (Cramer 1981)。

セクション 3. デジタルデータソース

3.1 市販のデータソース

航空写真や衛星画像を使用する考古学研究プロジェクトの大半は、自ら飛行計画を実施したり衛星を宇宙に打ち上げる必要がないと考えてよいでしょう。その代わり、ほとんどのプロジェクトでは、画像を収集・公開しているさまざまな商業組織を通じてデータを入手しています。また、商業用の写真や衛星画像を判読するために必要な専門的なアドバイスも提供しています。プロジェクトの初期段階で適切なデータセットを検討する際には、予算は別として、考古学コンピューティングの黄金律が適用されていることを覚えておくよいでしょう。すでにデジタル形式で保存されているデータを再デジタル化する必要はありません。

市販のデータセットを購入する際に考慮すべき点は、ス

ケールや解像度、エラー、著作権やライセンス情報、データに適用される前処理の種類、サポートの量と種類などです。誤った判断をすると、無効または不正確な結果を招く可能性があるため、プロジェクトの目的に合った適切なスケール、解像度、誤差のデータを選択することが特に重要です。同様に、ユーザーはデータ購入のコストを十分に把握しておく必要があります。ユーザーが特定の画像を使用するために必要な処理時間やスキルを十分に理解していない場合、コストは急速に増大します。一般的な商用データの入手先については、付録 1 を参照してください。

3.2 スキャンとデジタル化

3.2.1 ラスター形式へのスキャン

デジタルソースが利用できない場合、アナログ素材（フィルム、紙など）をフラットベッドスキャナーやドラムスキャナーでスキャンし、ラスター画像を生成することができます。スキャン装置の精度や解像度はさまざまで、フラットベッドスキャナーやドラムスキャナーの解像度は通常 100 ~ 1200 ドット/インチ (dpi)、高価なドラムスキャナーでは 3000 ~ 5000 dpi となっています。いずれの場合も、スキャンの真の光学解像度と、補間処理によって得られる解像度とを区別するように注意する必要があります。

通常、スキャン結果は 1 つのラスターデータファイルになります。ラスターデータを保持するための画像フォーマットには非常に多くの種類がありますが（例：TIFF、GIF、JPEG）、そのほとんどは写真画像用に設計されており、空間参照データ用ではありません。ラスター形式については、「ラスター画像ガイド」で詳しく説明しています。いくつかの GIS は、独自のラスターデータ構造を提供し、空間参照情報を記録しています。また、他の一般的なラスターフォーマットからデータをインポートするためのツールも提供しています。また、TIFF 画像規格は、ジオリファレンスと空間データを提供するために拡張されています。「geotiff」と呼ばれるフォーマットで、Geotiff 1.0 の公式仕様を含むこの規格の詳細は、Geotiff Web ページ [1] から入手できます。現在、限られた数の商用（プロプライエタリ）GIS でサポートされていますが、多くのメーカーがこの規格のサポートを表明しており、プラットフォームに依存しない、空間参照ラスター製品のアーカイブおよび転送方法を提供することが期待されています。

なおこの問題はラスターレイヤーを統合して検討するために使用するソフトウェアによってさらに悪化する可能性があります。その結果、色深度がさらに増加し、ファイルサイズが大きくなる可能性があります。

3.2.2 ベクトルフォーマットへのデジタル化

AP および RS データ（アナログまたはデジタル形式）は、デジタルイザースを使用して幾何学的に記述し、ベクターデータとして提供することが可能です。デジタルイザースは一般的に、x 方向と y 方向の両方で有限の解像度を提供します。解像度は、0.02 インチや 0.001 インチなどの数値で表されたり、200 lpi や 1000 lpi などのインチあたり線数 (lpi) で表されます。この情報はデジタルイザースのマニュアルに記載されています。スキャンされた原本が 1 つのラスター画像を生成するスキャン・プロセスとは異なり、1 つの原本をデジタル化することで、多数の個別の主題別ベクターデータ・レイヤー基盤を作

成することができます。さまざまなベクターフォーマットについては、「ベクター画像ガイド」で詳しく説明しています。

複合的な方法としては、原稿をスキャンし、そのスキャンした原稿をもとに、グラフィック・ワークステーションとポインティング・デバイスを使い、ベクターデータのテーマを作成する「オンスクリーン・デジタイズ」があります。これは「ヘッドアップ・デジタイジング」とも呼ばれ、デジタイザーがない場合や、デジタルラスター画像を第三者から入手できる場合には、魅力的なオプションとなります。地図や平面図のスキャン画像からベクターデータを取得するためのソフトウェアツールは数多く存在します。その中には、非常に洗練された半自動のトレースツールがあり、理想的な画像であれば、何もしなくてもデータの70～80%をベクター化でき、問題がある時には自動的に介入を求めます。このようなソフトウェアは高価になりがちですが、非営利の研究・教育機関であれば割引価格で入手できることもあります。また、

価格や機能の面では、安価なシェアウェアのツールも数多く存在します。これらのツールは、処理できる最大のスキャン解像度や、画像の最大サイズや複雑さに制限がある場合があります。なお、どのツールも、スキャンした地図や平面図を、手を加えずに100%ベクトル化できるとは限りません。どの程度の介入が必要かは、ベクタリング/トレースツールの精巧さ、スキャンの質、オリジナルデータの性質の関数となります。

[1] <http://trac.osgeo.org/geotiff/>

3.3 データ形式の概要

以下の表は、航空写真やリモートセンシング画像を扱う際に利用する可能性のある、一般的なデータフォーマットの一部です。

画像交換フォーマット

フォーマット	説明
BIL, BIP & BSQ	BIL (Band Interleaved by Line)、BIP (Band interleaved by Pixel)、BSQ (Band Sequential) は、シングルバンドやマルチバンドのデータを格納するためのラスターデータフォーマット[1]。
BMP	Bit-Mapped Graphics Format マイクロソフトが開発したビットマップ形式のグラフィックフォーマット。
GIF	Graphics Interchange Format、Compuserve が開発した商用（プロプライエタリ）フォーマット。詳細は「ラスターイメージズガイド」を参照。
GeoTIFF	TIF グラフィック規格を拡張し、地理参照情報を組み込んだもの。現在、対応している GIS は限られているが、多くのメーカーがこの規格のサポートを表明している。この規格は、プラットフォームに依存しない、空間参照ラスター製品のアーカイブおよび転送方法を提供することを目的としている。
HDF	Hierarchical Data Format (HDF) は、科学データを保存するための一般的なフォーマットであり、さまざまなバージョンやサブセット／モデル (HDF4、HDF5、HDF-SDS、HDS-EOF など) がある[2][3]。
JPEG	Joint Photographic Expert Group の略。標準的な画像圧縮アルゴリズムを設計した委員会の元々の名称。JPEG は、実世界の自然な風景のフルカラーまたはグレースケールのデジタル画像を圧縮するために設計されている。漫画や線画のような非現実的な画像にはあまり効果がない。JPEG は、白黒 (1 ビット / ピクセル) の画像や動画の圧縮には対応していない (Walker 1993)。
TIFF	Tagged Interchange File Format の略。業界標準のラスターデータフォーマット。業界標準のラスターデータフォーマットで、白黒、グレースケール、擬似カラー、トゥルーカラーの画像に対応しており、圧縮または非圧縮で保存することができる。TIFF は、アーカイブやデスクトップパブリッシングによく使われており、多くのスキャナやグラフィックアートパッケージのインターフェースとして機能している (ESRI 1996)。TIFF 形式でアーカイブする場合、LZW 圧縮は使用してはならない。TIFF のバリエーションとして、GeoTIFF (シングルファイル)、TIFF ワールドファイル (TIFF に .tfw ファイルを添付) があるが、いずれも TIFF イメージを地理的に参照して GIS システムに組み込むことができる。

商用（プロプライエタリ）画像フォーマット

フォーマット	説明
ENVI	ENVI ソフトウェアパッケージ [4] で使用される商用（プロプライエタリ）のシンプルなバイナリファイル。
ERDAS Imagine (.img)	ERDAS Imagine アプリケーションで使用される商用（プロプライエタリ）のラスターフォーマット。書き出しオプションも充実している。

フォーマット	説明
ERDAS ER Mapper (.alg, .ers)	ER Mapper アプリケーションの専用商用(プロプライエタリ)フォーマットだが、他の ERDAS アプリケーションと同様に、幅広いエクスポートフォーマットをサポートしている。
MicrolImages TNTMips	TNTMips アプリケーションに固有のさまざまなデータタイプ(ラスター、ベクターなど)を含むことができる単一の「プロジェクト」フォーマット。
PCI Geomatica (PCIDSK .pix)	PCI Geomatics Geomatica アプリケーションに搭載されている独自のフォーマット(幅広いエクスポートフォーマットもサポートしている[5])。
SPOT (DIMAP)	主にラスター画像に使用されるオープンフォーマットだが、ベクターデータを含むことも可能。GeoTIFFをベースにしている部分もある[6]。
Sun Raster Format (.ras)	Sun UNIX プラットフォーム固有のラスターフォーマット。

- [1] <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009t00000010000000>
[2] http://www.hdfgroup.org/why_hdf/
[3] <http://www.ncl.ucar.edu/Applications/HDF.shtml>
[4] http://www.geol.hu/data/online_help/Making_ENVI_Format_Files.html
[5] http://www.pcigeomatics.com/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=4
[6] <http://www.spotimage.com/web/en/235-the-dimap-format.php>

セクション4. リソースの文書化

4.1 なぜデータを文書化するのか？

積極的にデータを扱っている間は、各ファイルにどのような情報が含まれているのか、その情報が収集された地域はどこなのか、その情報がどのように収集され、その後どのように変更されたのか、データソースの主な長所と短所などを明確に把握しているでしょう。しかし実際にデータを扱うのをやめると、これらの情報は記憶から消えてしまいます。データを扱っている間、そして頭の中で明確になっている間に、データに関する明確な文書を作成することで、データの作成者と将来の利用者の双方が、データがどのように作成されたか、データに対してどのような処理が行われたかを理解することができます。

データを文書化するもう一つの理由は、他の人を助けるためです。自分のデータについて何らかの形で記録することは、一般的に、親しい同僚や組織で働く人たちにとって有益です。さらに重要なことは、他の人に役立つように自分の仕

事を永続的なアーカイブにするためには、文書化が不可欠だということです。アーカイブの利用者は、あなたが教えてくれない限り、あなたのデータについて何も知ることができません。データをアーカイブする理由については、「デジタル・アーカイブとは」で詳しく説明しています。

4.1.1 文書化の種類

デジタルリソースを文書化することで、ソースデータの特性から、個々の画像の処理に使用された数学的アルゴリズムまで、すべてを詳細に記録することが可能です。他のデータと同様に、適切な文書化のレベルは、その使用目的によって異なります。本ガイドでは、考古学者が航空写真やリモートセンシングデータから作成したデジタルリソースに適した文書化のレベルについて慎重に検討しています。文書化が絶対に「必須」と思われるものもあれば、「推奨」としか言えないものもあります。しかし、これにとらわれることなく、「より多く」が「より良い」ということに注意しておきましょう。

4.2 リソースを文書化する方法

このガイドの各所で述べられているように、文書化はいくつかの異なるレベルで必要とされます。一般的なプロジェクトレベルの文書は別の項目で説明されていますが(「プロジェクトのメタデータ」に関する一般的なセクションと、このガイドのセクション5.1を参照)、本セクションでは、航空調査プロジェクト内の個々のデータセットに必要な文書化の概要を説明しています。

以下の表は、考古学者が航空写真やリモートセンシングデータから作成するデジタルリソースに絶対に必要なメタデータ要素と文書のリストです。それぞれの項目は、以下の関連する見出しの下でより詳細に説明されています。

必須要素	説明
主題	考古学的なキーワード。必要に応じて用語集(Thesaurus of Monument Types など)から引用することが望ましい
対象範囲	対象物の空間的/地理的および時間的な位置を示す
フォーマット	データのフォーマット
権利管理	データの自由な使用に関する著作権およびその他の法的または金銭的な制限
作成者と協力者	データ作成の主なソース、著者、資金提供者、その他の協力者を明記

必須要素	説明
日付	ソースデータの最初の取得 / 調査の日時およびデータセットのライフサイクルにおける主要な日付
リレーション	他の場所に保存されている関連情報へのリンク

航空写真やリモートセンシングデータに基づくデジタルリソースには、追加のドキュメントを推奨します。それぞれの項目について、以下に詳しく説明します。

推奨要素	説明
機器	元のデータを取得するために使用された機器を指定し、どのスペクトルバンドが使用されたかを示す
解像度	データのスケール / 空間的な精度を示す
処理ログ	データを生成するために使用された処理ステップのログを含むフリーテキストフィールド
種類	画像の技術的な仕様(例: "oblique stereo photograph")
凡例	データセットで使用されている規則(色、記号など)
書誌情報	データの収集、処理、解釈に関する詳細な情報がどこにあるかを示す

4.2.1 主題

他の考古学者が自分の研究に関連する情報を見つけやすくするために、データセットの主題を記述することは難しいでしょう。特に、データセット（航空写真の解釈など）に、まだ発掘されていない、あるいは広範囲に渡って調査されていない遺跡や記念物に関する情報が含まれている場合はそうです。一般的な「考古学記念物」から「先史時代後期」などの用語、さらには「ヘンジ」などの特定の用語や「ストーンヘンジ」などの地名に至るまで、対象を説明するために数多くの用語が使用されます。幸いなことに、あなたが選択した主題キーワードを他の人がどのように解釈するかを確実に知るための方法がいくつかあります。

キーワードの割り当てレベルに一貫性があれば、あなたの文書をよく利用する他の考古学者も楽になります。また、可能性のあるキーワードを選んだ場合と、不確実なキーワードを選んだ場合を明確に示すことも有効です。

他の人が意味を正しく解釈できるようにキーワードを割り当てるには、標準的な専門用語を使うようにするのが一番です。英国では、遺跡や遺物を説明するために一般的に使用される言葉の提案を提供する、いくつかの有用なシソーラスが開発されています [1]。これらの用語基準は、専門家のニーズに十分な精度の用語を提供していないとしても、一般化されたちょうど良い出発点となりますし、より専門的な用語で正確な対象を特定するために、追加のキーワードを加えることもできます。

4.2.2 空間的・時間的カバレッジ

他の人は、データが地球上のいつ、どこのものであるのかを知る必要があり、あなたも自分の目的のために詳細な記録を残す必要があるでしょう。空中写真の空間的・時間的な位置を特定するには、テキストによる記述(例: 地名や期間名)や数値による記述(例: UTM座標、緯度・経度、国家グリッド参照)など、さまざまな方法があります。

空間的・時間的な位置を記述する際の一般的な留意点としては、場所名はしばしば重複し(例: アイルランドのダブリンと米国のオハイオ州ダブリン)、時間的な名称は場所によって異なる意味を持つ(例: 「ローマ」時代はスコットランドでは紀元後1世紀後半にならないと始まらない)ことから、テキスト記述だけでなく数値的な情報も記録しておくことが重要です。

画像の位置を数値で記述する場合は、有効な地理的代表点、バウンディングボックスまたはポリゴンの境界線の記述が必要です。x、y、z座標を明確に表示し、使用する測定単位を指定することが重要です。また、空間的な位置をどの程度の精度で記録したかを示しておくとは非常に便利です。

4.2.3 フォーマット

データセットの各ファイルがどのようなフォーマットで保存されているかを説明することは重要です。フォーマットの概要については3.3節で説明しています。航空写真やリモートセンシングによる画像から作られたデジタルデータセットを保存するのに適切なフォーマットについては、セクション5で説明しています。

4.2.4 権利管理

すべての情報利用者は、データ資源に関連する著作権の制限に関する正確な情報を必要とします。特に、デジタルファイルに含まれる情報のすべての側面について、誰が著作権を管理しているかを明確に示すことが重要です。自分が著作権を所有していないデジタルデータを再利用する場合は、その旨を明記し、情報へのアクセスや使用を許可する人と許可しない人を説明した文書を潜在的な利用者に紹介する必要があります。例えば、GISプロジェクトの一環としてSPOTの衛星画像を使用している場合、オリジナルの衛星画像を他の人と共有することはSPOTからのライセンスに違反する可能性があります。

4.2.5 作成者

「作成者」という言葉は少し誤解を招く恐れがあるかもしれませんが。なぜならば、デジタルリソースに対する第一の知的責任を負うのは一人の間人ではないことが多いからです。その代わり、デジタルデータセットの作成に関わった人を記録しておくことと便利です。これには、画像や判読、研究に出資した資金提供者や、開発者、ソース画像の製作に責任を持つ会社や組織、パイロット、写真家、修正者、画像処理者、プロジェクトマネージャーなどの情報が含まれます。ただし、デジタルデータセットを作成している部屋に入ってきたすべての人をリストアップするのではなく、データの作成と維持に最も重要な役割を果たした人や組織を選んでください。少なくとも、データの提供者とメタデータの作成者はここに記入すべきです。

4.2.6 日付

航空写真やリモートセンシングに関連するデジタルデータセットのライフサイクルにおいて、重要な日付にはさまざまな種類があります。しかし、日付フィールドには、画像の撮影日のみを示すべきです。デジタルファイルの内容（対象）の年代（例えば、モニュメントが建てられた考古学的な時期）は、「空間的・時間的カバレッジ」で説明するのが最適です。その他の日付情報（判読、文書化、出版、アーカイブの日付など）は、処理ログに記載する必要があります。

国際標準化機構（International Standards Organisation）は、ISO8601 [2] において、日付を記録するための最良の方法を推奨しています。この勧告では、日付はYYYYまたはYYYY-MM-DDのいずれかの形式で識別することになっています。また、衛星画像の陰影を最小限に抑えることが重要な場合など、画像が取得された正確な時間が関係する場合もありますので、この情報も記録してください。

4.2.7 リレーション

リソースを一意に識別するために使用されるテキストや数字のコードはすべて記録する必要があります。例として、商業データ供給者から取得した画像や写真のフレーム番号、内部プロジェクトの識別番号、アーカイブ、図書館、博物館、国家記念物記録（NMR）、地域の歴史環境記録（HERs）や遺跡記念物レコード（SMRs）が発行する受入番号などがあります。

4.2.8 機器

多くの場合、特定の機器には独自のソフトウェアが付属しており、航空写真の場合、専門のカメラには校正ファイル（特定の機器や画像に関連する歪みやその他のエラーを修正するための重要な情報）が付属していることがあります。航空写真やリモートセンシングデータのユーザーにとっては、機器の限界や特性を理解することが重要であり、データの提供者にとっては、機器やその他の関連する技術データを記録することが重要です。

一般的な機器としては、SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) と Landsat があります。

SPOT (SPOT Panchromatic、SPOT XS、SPOT 5 など) は、フランス国立宇宙センター (CNES) が開発したリモートセンシング衛星です。初代 SPOT (SPOT 1) は 1986 年 2 月に打ち上げられ、SPOT 2 は 1988 年に打ち上げられました。

Landsat (Landsat MSS、Landsat TM など) も、地球の画像を生成する衛星シリーズです。ランドサットのリモートセンシング衛星プログラムは、NASA (米国航空宇宙局) によって開発されました。ランドサットのデータは .BIL (band interleaved by line) または .BIP (band interleaved by pixel) フォーマットで提供されます。

その他の一般的な観測機器の種類は以下の通りです。

- ・ KVR 1000
- ・ MK4
- ・ KFA (1000/3000)
- ・ Shuttle Oblique Photography
- ・ Radarsat / Radarsat - Stereo
- ・ ERS 1/2
- ・ Carterra 1
- ・ Earlybird
- ・ Quickbird
- ・ Orbview 3
- ・ HSI
- ・ Aries 1

4.2.9 解像度

ほとんどのリモートセンシングデータは、デジタルラスタ形式で収集・提供されています。つまり、1つ1つのデジタル数値が、地球表面の1つの観測結果を表しているのです。この領域の大きさと形が空間分解能です。解像度は、縮尺や精度（データに存在する最小の特徴の大きさや位置を定量化すること）とは関係しますが、正確度（特定の記載された大きさや位置が実際に正しいかどうかを示すこと）とは関係しません。解像度の情報は、データに含まれる地理的な精度と考古学的な特徴の大きさを暗黙のうちに指定するものとして重要です。

場合によっては、データセットの解像度を1つの数値で指定することもできますが（「25m」は、XとYの解像度がともに25mであることを示す）、適切な方法は、XとYの解像度を別々に指定することです。さまざまな理由により、解像度の数値が1つでは不十分な場合があります。

使用する機器やセンサーによって、画像のすべてのピクセル（画像要素）で解像度が同じ場合もあれば、機器と地面の角度や距離によって解像度が異なる場合もあります。解像度は、ピクセルの水平方向のサイズ（トラック全体）と垂直方向のサイズ（トラックに沿ったもの）で示され、単位はメートルまたは秒です。低空飛行の航空機が収集した高解像度のRSデータのように、ピクセルが（極端に）細長くなることもあります。このようなデータには、記載されている解像度に対して他の一般的な歪みがありますが、多くの場合、機器を指定することでこれらを考慮することができます（上記参照）。

写真をスキャンしてデジタルフォーマットに変換する場合、ソフトウェアを設定することで、XとYの解像度を変えることができます。

デジタルデータセットに適用される幾何学的変換（ジオリファレンスなど）や画像拡張技術（フィルタリングなど）は、オリジナルの解像度とは直接関係のない、変更された解像度設定をもたらす可能性があることを覚えておいてください。解像度に関する正確な情報が得られない場合は、機器の高さ、オリジナルのスケール（APの場合）などのデータを提

供することが有用でしょう。

多くの汎用スキャナは、真の（光学的）解像度ではなく、偽の（補間された）解像度を適用するため、使用したスキャナとスキャン解像度を記録することが賢明な場合があります。スキャン解像度は通常、ドット / インチまたはライン / インチで指定されます。

4.2.10 処理ログ

記録することが重要な処理に関する情報として、前処理、クリーニング、修正の3つの主なカテゴリがあります。処理ログに記載されているすべての項目について、どのソフトウェアが使用されたか（正式名称とバージョン番号）、主要な処理ステップがいつ行われたかを明確に示すことは、良いアイデアです。

「前処理」とは、通常、デジタルデータを分析や解釈を始めるのに適した形にするために行われるあらゆる処理工程を指します。前処理の方法は非常に多岐にわたるため、ここですべてのオプションを紹介することはできません。しかし、一般的には、以下の項目を記録することが重要です。

- ・オリジナル画像の説明
- ・デジタル版の制作に至るまでのすべてのステップのリスト
- ・最終的な画像タイプ
- ・最終的な画像を保存したフォーマット

デジタルリモートセンシングデータのクリーニングに関する手順を文書化する際には、以下の内容を含めるとよいでしょう。

- ・使用したソフトウェアのリスト - 正確なバージョンを明記すると良い。
- ・すべてのラジオメトリック補正の説明
- ・すべてのデスクライビング作業の説明
- ・すべてのノイズリダクションまたはデスパイキング作業の記述

最後に、デジタル画像ファイルの補正やジオリファレンスを行う際に行われたすべてのプロセスを記録することが重要です。これには以下が必要です。

- ・「ターゲット」座標点の指定
- ・制御点の座標をどのように確立したかの記録。制御点の情報は、フィールドでの測定（GPS など）、地図、または他の画像から取得することができます。
- ・使用した補正方法と変換タイプ、およびその結果としての誤差。多くの方法があり、それぞれに長所と短所があります。それぞれに避けられない誤差があるので、それを記録しておく必要があります。

4.2.11 種類

扱う画像の技術的な説明を残しておくのは良いアイデアです。以下の表は、航空写真やリモートセンシングで利用可能な画像の主な種類をまとめたものです。

- ・空中写真：一般的には、垂直または斜めの写真フォーマットのバリエーションです。

- ・斜めパンクロマチック / パンクロマチックーステレオ
- ・斜めカラー / カラーーステレオ
- ・斜めFC / FCーステレオ
- ・垂直パンクロマチック / パンクロマチックーステレオ
- ・垂直カラー / カラーーステレオ
- ・縦型FC / FCーステレオ
- ・その他（具体的に記入）

- ・リモートセンシング - 空中のリモートセンシングデータは、一般的にデジタル形式で提供され、通常は磁気テープ、磁気ディスク、またはCD-ROMなどの光学メディアで提供されます。機器によっては、異なるスペクトルバンドを表す複数のプレーンの情報が含まれている場合もあります。

- ・マルチスペクトラルスキャナー
- ・サーマルラインスキャナー
- ・ビデオ撮影
- ・デジタル写真
- ・斜め衛星写真 - パンクロマチック / パンクロマチック・ステレオ
- ・斜視衛星写真 - カラー / カラーーステレオ
- ・垂直方向の衛星写真 - パンクロマチック / パンクロマチック・ステレオ
- ・垂直方向の衛星写真 - カラー / カラーーステレオ
- ・サテライトパンクロマチックデジタル
- ・衛星マルチスペクトルスキャナデジタル
- ・衛星レーダー / レーダー・ステレオ / レーダー・ポラリメトリ
- ・その他（具体的に記入）

4.2.12 凡例

航空写真やリモートセンシングされたデータに基づく判読には、使用された規則に関する文書が必要です。凡例がない場合、あるいは凡例が不十分で誤解を招くような場合は、一般的に画像データの評価は低くなります。凡例にはどのような情報を含めるべきか、時間をかけて考える価値があります。ほとんどの場合、これは困難な作業ではなく、一般的に、より効率的な方法で自分のデータを整理し、解釈することができます。組織によっては、グラフ出力を作成する際に遵守すべき標準的な規則のリストを提供しています。

凡例の最初には、説明的なタイトルを付けます。場合によっては、これだけで十分なこともあります。スキャンした航空写真の場合は、地理的な位置、解像度、出典、画像の種類などの情報がドキュメント内の別の場所にあるため、広範囲な凡例が必要になることはないでしょう。

しかし、一般的には、すべての画像には権威ある凡例が必要です。ほとんどの場合、これらの凡例は非常にシンプルなものになります。例えば、カテゴリーデータの場合、特定の特徴に関連する数値、カラーコーディング、シェーディング、シンボル、スティッピングなどを記録する必要があります。多くの場合、カラーコードの簡単な説明で十分ですが、コンピュータの画面によっては色の表示が異なる場合があることに注意する必要があります。

また、より複雑な状況も考えられます。標準的でないセン

サーで撮影されたマルチスペクトルやハイパースペクトル画像の場合、各バンドが何を表しているかを示す広範な凡例を提供する必要があるかもしれません。

凡例は、データを提供するために使用されるソフトウェアの複雑さや、専門ソフトウェアに関連するデータ構造を反映する必要があるかもしれません。例えば、航空写真の解釈がCADシステムで作成されている場合、凡例には、情報が特定のテーマを表す別々のレイヤーに分割されているという事実を反映させる必要があります。各レイヤーは、特定のオブジェクトやタイプの特徴を識別するために使用される、個別のグラフィック規則に関連付けられている場合があります。このような場合には、個々のレイヤーとそれに関連する規則を説明する入れ子式の凡例が必要になることは明らかです。また、関連するテーブルやデータベースを使って複数のテキストや数値の属性を付加できるGISで画像を作成した場合もあります。適切な文書には、グラフィカルなデータベースを使用するために必要なコーディングや関連情報を含む、データベース構造の説明が含まれます。

4.2.13 書誌情報

デジタルリソースの出典、処理、または解釈に関連する書誌的参照を記録しておくことは、有用です。考古学で一般的に

使用されているハーバード・システムを推奨しておきます。

- [1] For example, the English Heritage National Monuments Thesauri <http://thesaurus.english-heritage.org.uk/frequentuser.htm>.
- [2] http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=40874

セクション5. データのアーカイブ

5.1 情報の保存

アーカイブのために選択されたデータセットには、適切な文書とメタデータが添付されるべきで、できればデジタル形式でも提供されるべきです。セクション4.2で述べたように、データセットに付随する文書は、第三者がそのデータを理解できるものでなければなりません。セクション4.2で提案した文書に加えて、プロジェクトレベルの一般的な情報も必要です。これは一般的な「プロジェクトのメタデータ」のセクションで説明されており、以下では、記載することが望ましい情報の具体例を示しています。

要素	全体的説明	例／提案
説明	起点となるプロジェクトの歴史	プロジェクトの目的 研究のテーマ 地理的・時間的制限 その他の関連情報
説明	手法に関する情報	データセットの作成に使用された方法 データを地理的に参照する方法 整合性チェック エラーの修正 採用されたサンプリング戦略 その他の関連情報
リレーション	データセットの作成に使用された資料の詳細	デスクトップ評価のためのアーカイブの調査 サイトのグリッドや調査の地理的参照に使用した地図 遺跡の過去の発掘・評価 データの選択またはサンプリングの手順 ソースデータの更新、結合、または強化の手順 資料の著作権についての記述
リレーション	データセットが他のアーカイブや出版物とどのように関連しているかの詳細	そのサイトやプロジェクトに関する出版物の書誌情報 データセットに関連する資料を所蔵している公文書館、博物館、SMR、NMRなどに関する情報 データセットに関連する未公開の資料に関する情報
フォーマット	データセットの内容と構造	ファイル名と内容の説明のリスト データが作成され、操作されたコンピュータの種類 割り当てられた識別番号の説明 使用されたコードの一覧とその意味 既知のエラーの記述 既知の弱点分野の指摘 派生する変数またはカバーの詳細 データ辞書(あれば) 新しいシステムやフォーマットへの記録の変換に関する文書 データセットを記録するために使われている記録管理システムの説明 プロジェクトの主要スタッフの名前 データセットのフォーマット変更の履歴 データセットがどのように使われてきたかの履歴 その他の関連情報

5.1.1 保存形式

本ガイドの冒頭で述べたように、一般的に著作権の制限により、一次的なリモートセンシングデータをアーカイブすることはできません。データを自由にアーカイブしたり配布したりできる場合でも、デジタル保存のために最も安全なフォーマットは、ファイルに含まれる情報の種類によって異なります。そのため、ここでは航空写真やリモートセンシングデータを基にしたデジタルリソースに関する画像、文書、メタデータのフォーマットについて推奨します。なお、航空写真やリモートセンシングデータをGIS環境で管理する場合は、「GIS Guide to Good Practice」を参照してください。

画像ファイル

画像フォーマットは、航空写真やリモートセンシング画像の解釈や修正を保持するために一般的に使用されます。プロジェクトの期間中に作成されたすべての画像をアーカイブする必要はないかもしれませんが、優れたアーカイブは、最終的な分析に重要な画像の最終バージョンで構成されます。昔から言われていることですが、「百聞は一見にしかず」です。1枚の画像をアーカイブすることは、1,000語の文書よりも価値がある場合があります。しかし、画像が他の人にとって本当に役立つものであるならば、その画像がどのようにして、なぜ作られたのかを説明する背景文書が添付される必要があることを忘れないでください。

画像は、非圧縮のTIFFまたはPNG形式で保存することをお勧めします。この2つのフォーマットのうち、PNGは画像のガンマ値に関する情報を保持しているのをお勧めですが、現在、保存用の画像フォーマットとしてはTIFFの方がはるかに一般的です。その他の画像フォーマットについては、「ラスタ画像」で詳しく説明しています。

画像ガイドにも記載されていますが、他の多くのフォーマットでは、元の画像に含まれるデータが失われる可能性があるため、アーカイブ用のフォーマットとしては可能な限り避けるべきです。場合によっては、データセットを圧縮して情報を転送する必要がありますが、多数のコンポーネントファイルを含む大規模なデータセットは、この方法で最も簡単に処理できます。しかし、データの圧縮には、常にデータ損失のリスクが付きまといま

5.2 空中写真のケーススタディ

現在のイングランド、シュロップシャー州にある小さな村、ロクスター（Wroxeter）は、イギリスで4番目に大きいローマの町であり、クロノヴィー族（Cornovii）の自治都市でもあったヴィロコニウム（Viroconium）の跡地にあります。レーキン（Wrekin）と大セヴァーン・フォード（major Severn ford）近く、セヴァーン川（Severn river）中流域とシュロップシャー平野の一部をコントロールする位置にあることから、鉄器時代にはすでに重要な役割を果たしていたかもしれないと考えられています。

ロクスターとその周辺地域は、パーミンガム大学のフィールド考古学ユニット（BUFAU）のチームによって調査されています。このプロジェクトの資金は、1994年から1997年までレヴァリウム財団（Leverhulme Trust）から提供されました。このプロジェクトの目的の一つは、ディファレンシャルGPS、高解像度磁気測定、ジオリファレンス、写真測量な

どの最新のフィールド技術を用いて、可能な限り詳細で正確な町の地図を作成することです。

ロクスターには多くの航空写真があり、その多くは遺構を詳細に示しています。これらの写真をマッピングに使用するには信頼性の高い地上基準点が必要ですが、残念ながらほとんどの場合、不十分です。新しい高解像度な地球物理学探査マッピングでは、考古学的遺構が十分詳細に示されており、航空写真で判読される遺構の正確な位置を確定するのに必要な数のコントロール・ポイントを見つけることができます。そこで、CUCAPの高品質な垂直航空写真と、パーミンガム大学図書館のペイカー特別コレクションの斜め空中写真をスキャンしてデジタル処理することで、ローマ時代のロクスターの高解像度で高品質な地図を作成しました。ここでは、1969年に撮影されたペイカー特別コレクションの航空写真（ネガ86/140）がどのように作成されたかを示します。

デジタル画像の作成

オリジナルのネガとプリントは白黒であるため、スキャンは256階調のグレースケールで行われました。これにより、その後の補正や操作に必要なグレースケール画像が得られます。スキャンの解像度は、小さな考古学的遺構を確実に検出するのに十分な約20cmの地上解像度を得るために選択されましたが、ファイルサイズはそれほど巨大になりませんでした（もし大き過ぎれば、さらなる処理や保存が困難になったでしょう）。

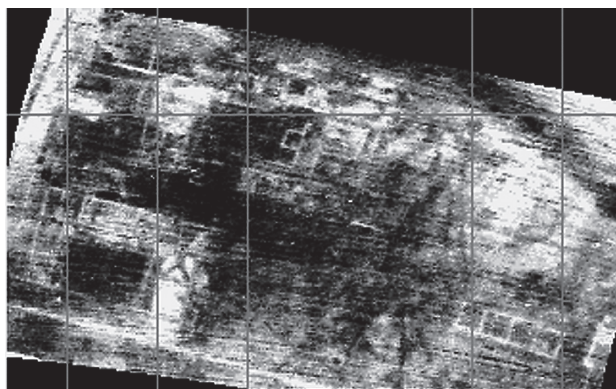
デジタル画像処理

画像のコントラストはグレースケール・イコライゼーションによって最大化されました。これは256階調のグレースケール値を画像上に均等に配分するための操作です。これ以上の補正（デストリップやシャープネスなど）は必要ないと判断しました。

この画像をGRASS GISソフトウェアにインポートし、「i.points」と「i.rectify2」を用いてジオリファレンスを行いました。ジオリファレンス情報のソースは、高解像度の物理探査（フラックスゲート・グラジオメーター）データを含む参照画像そのものでした。斜め空中写真を幾何補正したグラジオメーターのデータに重ね合わせる（ワープ）するために、2次の多項式による「ワープ」が適用されました。アフィン変換のような単純な1次多項式では、画像の歪みを十分に取り除くことができませんでした。また、3次の多項式による「ワープ」は、画像内で特定できるよりも多くの良好な地上制御点が必要となるため、不可能でした。

最後に、コントロール・ポイントから離れた位置にある地理参照画像の一部をクリップしました。ここでは幾何学的なコントロールが不十分になるため、残りの画像をグレースケールで均等化してコントラストを最大にしました。測定を容易にするため、画像上に10×10mのグリッドを重ねました。

その結果、画像は次のようになりました。



© Martijn van Leusen

メタデータの例

主題	ロクシター:Wroxeter ローマ時代 別荘地
カバレッジ	356790 308830 を中心とした 1ha 強の範囲
フォーマット	Gif
種類	斜め空中モノクロ写真
権利	© Martijn van Leusen from an original aerial photograph © Arnold Baker
作成者	Martijn van Leusen
日付	1969 年のオリジナル画像より 1998 年に作成
識別子	Negative 86/140
機器	手持ちカメラ
解像度	地上解像度最大 20cm
処理ログ	1. 256 のグレースケール値と約 20cm の地上分解能でスキャン 2. ディテールを切り取り、グレースケールで均一化する 3. GRASS i.rectify2 で 2 次変換 4. 中央部分を切り取り、グレースケールで均等化 5. 5. 10m グリッドラインを追加
ソース	バーミンガム大学図書館ベイカー特別コレクション
推定誤差	全体 RMS 誤差 0.98m
凡例	適用無し
書誌情報	Baker, W A 1992 Air Archaeology in the Valley of the River Severn. University of Southampton Ph.D. Thesis.

参考文献

Allsop and Greenbaum (1989) *Proceedings of the 5th NERC Airborne Symposium*. Natural Environment Research Council, Swindon, UK.

Avery, T. E. and Lyons, T. R. (1981) *Remote Sensing: Aerial and Terrestrial Photography for Archaeologists*. National Park Service, Washington DC.

Bewley, R. H. (1993) 'Aerial photography for archaeology' in J. Hunter and I. Ralston (eds.) *Archaeological Resource Management in the UK: an Introduction* Stroud. pp.197-204.

Brooke, C. J. (1989) *Ground Based Remote Sensing*. Institute of Field Archaeologists Technical Paper no. 7.

Brooke, C. J. (1994) 'Ground based remote sensing of buildings and archaeological sites: ten years research to operation'. *Archaeological Prospection* 1(2), pp.105-119.

Cramer, von J. (1981) 'Thermografie in Der Bauforschung'. *Archaeologie und Naturwissenschaft* 2, pp.44-54.

Crutchley, S. and Crow, P. (2009) *The Light Fantastic: using airborne laser scanning in archaeological survey*. Swindon: English Heritage.

Donoghue, D. N. M. and Shennan, I. (1988a) 'The Application of Remote Sensing to Wetland Archaeology'. *International Journal of Geoarchaeology* 3, pp.275-285.

Donoghue D. N. M. and Shennan, I (1988b) 'The Application of Multispectral Remote Sensing Techniques to Wetland Archaeology'. In *The Exploitation of Wetlands* edited by P. Murphy and C. French. BAR British Series 186, pp.47-59.

Elachi, C. (1982) 'Radar Images from Space'. *Scientific American* 247(6), pp.54-61.

ESRI (1996) *The GIS Glossary*. Environmental Systems Research Institute, Inc.

Fowler, M. (1996) 'High-Resolution Satellite Imagery in Archaeological Application - A Russian Satellite Photograph of the Stonehenge Region'. *Antiquity* 70, pp.667-671.

Lyons, T. R. and Avery, T. E. (1977) *Remote Sensing: A Handbook for Archaeologists and Cultural Resource Managers*. National Park Service, Washington DC.

Lyons, T. R. and F. J. Mathien (eds) (1980) *Cultural Resources Remote Sensing*. National Park Service Cultural Resources Management Division, Washington DC.

McCauley, J. F., Schaber, G. G., Breed, C. S., Grolier, M. J., Haynes, C. V., Issawi, B., Elachi, C. and Blom, R. (1982) 'Subsurface valleys and geoarchaeology of the eastern Sahara revealed by Shuttle Radar'. *Science* 218, pp.1004-1020.

NAPLIB (1993) *Directory of Aerial Photographic Collections in the United Kingdom*. Aslib, London.

Powlesland, D. and Donoghue, D. (1993) 'A multi-sensor approach to mapping the prehistoric landscape'. *Proceedings of the 9th NERC Airborne Symposium*. NERC, Swindon, UK, pp.88-96.

Powlesland, D., Lyall, J. and Donoghue, D. N. M. (1997) 'Enhancing the Record Through Remote Sensing. The application and integration of multi-sensor, non-invasive remote sensing techniques for the enhancement of the Sites and Monuments Record. Heslerton Parish Project, N. Yorkshire, England'. *Internet Archaeology* 2. http://intarch.york.ac.uk/journal/issue2/pld_index.html

Pryor, C., Donoghue, D. N. M. and Powlesland, D. J. (1992) 'Integration of remotely sensed and ground based geophysical data for archaeological prospecting using a geographical information system'. In A. P. Crackerell and R. A. Vaughn (eds) *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society*, pp.197-207.

RCHME (1960) *A Matter of Time*. HMSO.

Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A. and Herzog, I. (1990) *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press, Cambridge.

Shennan, I. and Donoghue, D. N. M. (1992) 'Remote Sensing in Archaeological Research'. *Proceedings of the British Academy* 77, pp.223-232.

Tabbagh (1976) 'Les proprietes thermiques des sols'. *Archaeo-Physica* 6, pp.128-148.

Tabbagh (1979) 'Prospection thermique aeroportee du site de Prepoux'. *Revue d'Archaeometrie* 7, pp.11-25.

Walker, R. (editor) (1993) *AGI Standards Committee GIS Dictionary*. Association for Geographic Information.

書誌および参考文献

このセクションは、学生がデジタル航空写真（AP）とリモートセンシング（RS）データ処理の分野の勉強を始めるためのものです。基本的なテキストは、航空写真については Wilson 1982 と 2002、航空写真、リモートセンシング、画像処理については Lillesand と Kiefer 1994 です。前者は今でも最高の入門書であり、後者は過去 20 年間、他の追随を許さない、明快で安価、かつ豊富な図版を備えたハンドブックです。

英国の学生は、より詳細な情報を得るために、Palmer and Cox 1993 と Bewley 1993 を参照してください。Scollar et al.1990 は、両方のタイプのデータのすべての重要な処理ステップの完全な技術的背景を提供しています。

フランスの学生には、Agache 1978、Barisano 1988、Chevallier 1964、Chouquer 1996 が興味深い出発点となるでしょう。ドイツ人の学生には、Esch 1997 や Scollar 1965 が有用な出発点となるでしょう。

書誌情報

Agache, R. (1978) *La Somme Pre-Romaine et Romaine*. Amiens.

Barisano, E. (1988) *Teledetection et cartographie thematique en archeologie*. CNRS, Paris.

Bewley, R. H. (1993) 'Aerial photography for archaeology' in J. Hunter and I. Ralston (eds.) *Archaeological Resource Management in the UK: an Introduction* Stroud. pp.197-204.

Chevallier, R. (1964) *L'avion a la decouverte du passe*. Paris.

Chouquer, G. (ed) (1996) *Les formes du paysage - etudes sur les parcellaires*. Paris.

Esch, A. (1997) *Romische strasse in ihrer Landschaft*. Mainz.

Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994) *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd edition. Wiley and Sons.

Palmer, R. and Cox, C. (1993) *Uses of Aerial Photography in Archaeological Evaluations*. Institute of Field Archaeologists Technical Paper 12, Birmingham.

Scollar, I. (1965) *Archaeologie aus der Luft*. Dusseldorf.

Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A. and Herzog, I. (1990) *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press, Cambridge.

Wilson, D. R. (1982) *Air Photo Interpretation for Archaeologists*. Batsford, London.

UAV サーベイ

はじめに

これは、考古学的調査の一環として、小型無人航空機（UAV）を使用してサイトの垂直に近い写真を作成する際の優れた実践方法を確立することを目的とした、2 部構成のガイドの第 2 部です。このガイドは、英国の考古学コミュニティの間で、新しく手頃な価格の UAV 技術の応用の可能性に

高い関心が寄せられていることを受けて作成されました。

このガイドのパート 1 [1] は、Jisc Digital Media から出版されており、データ収集について書かれています。ここでは、データ収集後のデータ管理やアーカイブについて説明しています。



図1：調査用のマルチローターUAVの準備。
Micheal HomanCC BY 2.0

メタデータとドキュメント

Guides to Good Practice の他の部分で述べられているように、デジタルアーカイブを成功させる鍵は、データを徹底的に文書化することです。データをどのように収集したか、データを記述するためにどのような規格を使用したか、そして収集後どのように管理したかということです。

一般的なプロジェクトレベルのメタデータに加えて、UAV サーベイレベルのメタデータと画像セットレベルのメタデータもアーカイブされることが期待されています。これらは全て、完成した UAV サーベイデータセットの一部を構成するものです。ADS 特有のメタデータのテンプレートは、ADS Guidelines for Depositors [2] に記載されています。

UAV サーベイレベルのメタデータは、プロジェクト内の特定の測量に関連する情報です。カメラの設定や画像のプロパティは、ほとんどが各画像に固有のものではないため、ここに含まれます。

画像セットレベルのメタデータは、調査の一部として撮影された特定の画像セットに関するものです。画像セットのメタデータは、何千もの個々の画像を記述することができます。派生データもアーカイブする場合は、さらに別のレベルのメタデータが必要となります。

処理メタデータは、再現性を容易にするために、生データからどのように新しい情報が得られたかを記述します。

UAV 測量データセットの構造

低高度の調査ごとに標準的なデータの「パッケージ」を構築することで、長期的なアーカイブが容易になり、データの共有や結果の再現が容易になります。最低限、一次（生）UAV サーベイデータセットには以下の項目が含まれていなければいけません（それぞれの項目については以下で詳しく説明します）。

- ・画像セットレベルのメタデータ
- ・UAV サーベイレベルのメタデータ
- ・未処理の画像セット
- ・レンズキャリブレーション用写真
- ・レンズキャリブレーションターゲット
- ・地上基準点情報
- ・フライトログ

未処理の画像セット

画像は、.tiff などのアーカイブに適したフォーマットであることが理想的です。画像を保存するために何らかの変換を行った場合は、その処理内容を「Additional UAV Survey Notes」に記載する必要があります。ExifTool [3] などのメタデータ一括編集ツールを使用して、上記の必要なカメラメタデータを各画像から自動的に取得することができます。

画像の名前は、撮影された順番を維持するために、先頭に十分なゼロを含める必要があります。例えば、'longbarrow-0001.jpg' ('longbarrow' は画像セットの名前)。ファイル名の付け方については、「デジタルデータの作成方法」を参照してください。

レンズキャリブレーション写真とレンズキャリブレーションターゲット

航空写真の作成に使用したのと同じカメラ、同じ設定で撮影された、レンズキャリブレーションターゲット（下記の「レンズの歪み」を参照）の写真。可能であれば、ターゲット自体（例：印刷して撮影したチェッカーボード.pdf）も添付してください。

地上基準点(GCP)情報

各 GCP の緯度、経度、標高を .gpx ファイルとしてフォーマットしたもの（10 進法の度数で表現、WGS84 基準）。これにより、各 GCP をウェイポイントとして指定し、画像セットで見える特定のマーカーと関連付ける必要があります。

フライトログ(作成されている場合)

UAV のフライトコントローラーによって作成されたこのログには、調査中の飛行経路に関するデータが含まれています。ログは.txt または .log ファイルで作成されます。Mission Planner [4] などのソフトウェアでは、フライトログから抽出したデータを用いて、「飛行経路のみ」の.gpx ファイルを自動生成する機能があります。このような「簡潔な」.gpx ファ

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<gpx version="1.0" xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/0"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/0
http://www.topografix.com/GPX/1/0/gpx.xsd">
<wpt lat="51.407955" lon="-2.388650"><ele>82.69</ele><name>GCP-A1</name></wpt>
<wpt lat="51.408042" lon="-2.389070"><ele>82.70</ele><name>GCP-A2</name></wpt>
<wpt lat="51.407694" lon="-2.389660"><ele>82.72</ele><name>GCP-A3</name></wpt>
<wpt lat="51.407754" lon="-2.388888"><ele>82.65</ele><name>GCP-A4</name></wpt>
<wpt lat="51.407393" lon="-2.389564"><ele>82.71</ele><name>GCP-A5</name></wpt>
<wpt lat="51.407399" lon="-2.389555"><ele>82.69</ele><name>GCP-A6</name></wpt>
</gpx>
```

図2：地上管制点 GPX ファイルの例（マーカー「A1」、「A2」などが関連する画像セットに表示されている場合）

UAV サーベイレベルのメタデータ

Element	Description
Survey extent	Given as top right corner and bottom left corner of a rectangle, expressed as decimal degrees, WGS84 datum
Survey date/s	Dates or date range of survey expressed as YYYY-MM-DD/YYYY-MM-DD ('/' denotes 'to')
Camera manufacturer	Camera manufacturer
Camera model name	Name of camera
Camera model number	Model number of camera
Shutter speed	At time image set was captured
Aperture value	At time image set was captured
Focal length settings	At time image set was captured
ISO Speed	At time image set was captured
Airborne GPS model name	Name of GPS
Airborne GPS model number	Model number of GPS
Airborne GPS base error rate	As published by GPS manufacturer (both horizontal and vertical accuracy, if known)
Terrestrial GPS model name	Name of GPS
Terrestrial GPS model number	Model number of GPS
Terrestrial GPS base error rate	As published by GPS manufacturer (both horizontal and vertical accuracy, if known)
Lens calibration image file name	File names of calibration photographs
Lens calibration target file name	If target is to be archived as part of the dataset
Lens calibration target information	Target dimensions, creator and other descriptive information
Additional UAV survey notes	e.g. name and version of software used to convert .raw images to .tiff or coordinates to GS84 datum

イメージセットレベルのメタデータ

Element	Description
Image name	e.g. longbarrow-0001.jpg
Longitude	Longitude of camera when image was taken. Expressed as decimal degrees, WGS84 datum
Latitude	Latitude of camera when image was taken. Expressed as decimal degrees, WGS84 datum
Altitude	Altitude of camera when image was taken. In meters, WGS84 datum

処理メタデータ

Element	Description
Dataset used	DOI or other unique identifier of data which have been drawn upon
Description of data processing software	Name, manufacturer and version number
Nature of processing	e.g. rectification methods or transformation types
Derived data	DOI or other unique identifier of a derived dataset
Description of derived data	e.g. a photogrammetrically generated 3D polygonal mesh. Or a processed subset of photographs, with lens correction applied, transcoded into Geotiff format

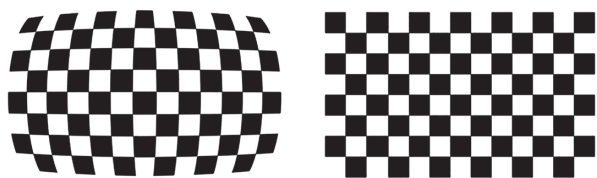


図3：レンズ校正前（左）と校正後（右）。Stephen Gray CC BY 2.0

イルは、関連性のない多くのフライト情報が除外されているため、好ましいものです。

派生データ

生データに加えて派生データをアーカイブする場合、派生データにはそれぞれ処理メタデータを添付する必要があります。データ処理作業の「連鎖」ごとにデータ処理メタデータが必要です。一つのデータ処理の連鎖が、複数の新しいデータセットを生み出すこともあります。

レンズの歪み

どんなレンズでも、撮影した画像は多少なりとも歪みます。歪みの種類には、色収差、周辺光量低下、樽型、ピンクッション型などがあります。カメラのレンズがもたらす歪みの種類と程度を判断することは重要です。正射影変換などの変換では、画像を正しく処理するためにこの情報が必要です。

画像からレンズの歪みを除去することは、重要な画像処理であるため、アーカイブされる前の「生」のデータに対して不可逆的に実行すべきではありません。

その代わりに、未処理の画像セットとともに、他の人が自分の写真から歪みを測定して除去する手段を含めることが重要です。これにより、不適切な画像補正が航空写真全体に不可逆的に適用されることを防ぐことができます。このような理由から、アーカイブされたデータセットには、校正対象の写真が含まれている必要があります。同じレンズでも、設定によって異なるパターンの歪みが生じる可能性があります。そのため、キャリブレーションターゲットを撮影する際には、カメラの設定を航空写真と同じにする必要があります。理想的には、レンズターゲット自体がアーカイブされたデータセットの一部となるべきです。最低でも、「Lens calibration target file name」と「Lens calibration target information」でターゲットを参照する必要があります。

Adobe [5] は、印刷可能な多数のレンズキャリブレーションターゲットを含むフリーソフトウェア「Lens Profile Creator」を提供しています。レンズの歪みやキャリブレーションの詳細については、「近距離写真測量ガイド」をご参照ください。

フライトログから画像の位置情報を抽出する

理想的には、すべての重要なメタデータが各デジタル画像に対して自動的に作成されることが望ましいのですが、今回の目的では、撮影時の緯度、経度、高度が含まれます。しかし、ほとんどのカメラは写真に「ジオタグ」を付けることができず、またジオタグを付けることができる場合でも、必ず高度は除外されてしまいます。

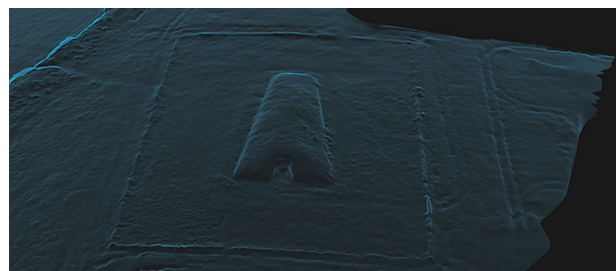


図4：航空測量データから作成したロングバローのデジタルモデル。スティーブン・グレイ CC BY 2.0

幸いなことに、カメラのシャッターを切るためにインターバルメーターを使用する場合、回避策があります（このガイドの第1部を参照）。標準的なポイント＆シュートカメラが確実に記録できる情報の1つは、写真が撮影された正確な時間です。写真が撮影された時刻と、フライトログから抽出されたUAVの対応する位置（同じ時刻）を比較することで、画像が撮影された時のUAVの位置を推定することができます。誤差はありますが、撮影された画像にGCPマーカーが写っているれば、誤差は少なくなります。

フライトログから関連するGPSメタデータを抽出する作業は手動で行うこともできますが、Michael Osborne氏のGeo Referencing tool for Mission Planner [6] のように、自動化するソフトウェアもあります。

フライトコントローラーに接続されたケーブルを介してカメラがトリガーされた場合（インターバルメーター機能ではなく）、フライトログには「今すぐシャッターを切る」というコマンドと、そのコマンドが発行された時間、その時点でのUAVの位置が記録されます。これにより、写真のおおよその位置を簡単に特定することができます。

まとめ

考古学者の多くは、これまで市販の航空写真を利用してきました。しかし、これは理想的なものではありませんでした。しかし、UAVと安価なデジタルカメラを使って収集したデータが実際に目的にかなっていることがわかってきたことで、エキサイティングな新しい可能性が開けてきました。

しかし、データの不正確さ、不完全さ、互換性のなさなどのリスクを克服するためには、結果として得られるデータセットが適切に記述され、適切なフォーマットであることを確認する必要があります。

データ収集の標準化については、Jisc Digital Mediaが発行しているガイドのパート1をご覧ください。

- [1] <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/infokit/3d/uav-survey>
- [2] <http://archaeologydataservice.ac.uk/advice/guidelinesForDepositors>
- [3] <http://www.sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool>
- [4] <http://ardupilot.com/downloads/>
- [5] <http://www.adobe.com/support/downloads/product.jsp?product=193&platform=Windows>
- [6] <http://diydrones.com/profiles/blogs/geotagging-images-with-mission-planner>