

# 発展途上地域における米軍偵察衛星写真の 地形学的研究への応用

熊原康博\*・中田高\*\*

## Application of the CORONA Satellite Photography to Geomorphological Studies in Developing Regions

Yasuhiro KUMAHARA\* and Takashi NAKATA\*\*

### 目次

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| I. はじめに              | III. 米軍偵察衛星写真の地形学的研究への応用 |
| II. 米軍偵察衛星写真の特徴と利用方法 | IV. おわりに                 |
| 1. 米軍偵察衛星写真の特徴       |                          |
| 2. 米軍偵察衛星写真の利用方法     |                          |

### I. はじめに

空中写真を自由に利用できることは、今日の地形学的研究を進める上で前提条件となろう。空中写真は室内にいながらにして、研究地域の地表情報を把握することができる優れたデータソースである。日本では戦後、自由に空中写真を利用できるようになり、このことが日本の地形学的研究を飛躍的に発展させた。同様に海外の先進国においても空中写真が整備され、広く一般に公開されている。しかしながら、世界の大部分を占める発展途上地域に目を向けたとき、空中写真の利用・閲覧は、国防上の理由から多くの国々で制限されている。閲覧が可能な国でも、外国人にはそれが許可されていない例が多く、発展途上地域で地形学的研究を進める上で、大きな障壁となっている。

1960年代から70年代の冷戦時代に撮影された米軍偵察衛星写真は、航空機によって撮影された空中写真と同等の精度をもち、実体視による判読が可能で、地球上の広い範囲をカバーするという特徴を持つ。したがって、これを空中写真の代替として地形学的研究に利用すれば、海外の発展途上地域での研究を格段に向上させることが可能となろう。

本論文では、まず利用が見込まれる米軍偵察衛星写真の仕様などについて解説する。次

---

\*広島大学大学院：Graduate student, Hiroshima University

\*\*広島大学総合地誌研究資料センター：Director, Research Center for Regional Geography, Hiroshima University

に他の観測衛星画像との比較から米軍偵察衛星写真の特徴と問題点について言及する。また、米軍偵察衛星写真の検索は、インターネットによって誰にでも容易におこなえることから、その効率的な検索方法を筆者らの経験に基づいて紹介する。後半では、ネパール南東部のヒマラヤ前縁帯活断層を事例に、米軍偵察衛星写真の地形学的研究への応用を検討する。米軍偵察衛星写真をどの程度、地形学的研究に利用できるのかということについて、空中写真やランドサット衛星画像と比較しながら検討したい。最後に発展途上地域での地形学的研究において米軍偵察衛星写真が果たす役割についてまとめる。

## II. 米軍偵察衛星写真の特徴と利用方法

### 1. 米軍偵察衛星写真の特徴

#### 1) 米軍偵察衛星写真とは

従来機密扱いで非公開とされていた米軍偵察衛星写真は、1995年2月22日にアメリカ合衆国大統領ビル・クリントンが、それらの解除を指示する大統領令に署名したことによって、一般に利用することができるようになった。公開された衛星写真は、アメリカ合衆国における衛星写真撮影の第一世代にあたる「CORONA (コロナ)」「ARGON (アルゴン)」「LANYARD (ランヤード)」と呼ばれるプロジェクトによって収集された。衛星写真の撮影目的は、当時脅威となりつつあった旧ソビエト連邦のミサイル発射能力を把握することや、国防省や合衆国政府機関による地図作成であったとされている。公開された衛星写真は、ほぼ全世界にわたって1960年から1972年にかけて撮影され、その総数は860,000枚以上に達している。すべての衛星写真は、インターネットによって検索することができ、アメリカ地質調査所 (USGS) を通じて広く一般に販売されるようになった。

#### 2) コロナ衛星写真の仕様

3つのプロジェクトのうち、コロナプロジェクトは、アルゴン (KH-5)、ランヤード (KH-6) プロジェクトと比較して、衛星写真の撮影数が最も多く、提供する情報の詳細さで最も主要なものと位置づけられる (小方, 1998, 1999; 小方ほか, 1998) (表1)。コロナプロジェクトは、KH-1, KH-2, KH-3, KH-4, KH-4A, KH-4B の6種の仕様がある。これら6種の仕様のうち、撮影枚数が多く、実体視が可能で地形学的研究において利用価値が高いと思われるKH-4, KH-4A, KH-4B衛星シリーズの仕様について紹介する。

これらの運用期間は、KH-4が1962年2月から1963年12月、KH-4Aが1963年8月から1969年10月、KH-4Bが1967年9月から1972年5月である。

表1 米軍偵察衛星写真の諸仕様

KH (Key Hole)	KH-1	KH-2	KH-3	KH-4	KH-4A	KH-4B	KH-5	KH-6
プロジェクト名	CORONA						ARGON	LANYARD
運用期間	1959.6- 1960.9	1960.10- 1961.10	1961.9- 1962.1	1962.2- 1963.12	1963.8- 1969.10	1967.9- 1972.5	1961.2- 1964.8	1963.3- 1963.7
撮影が成功した ミッション番号	9009	9013, 9017, 9019	9022, 9023, 9025, 9028, 9029	9031,9032, 9035,9037, 9038,9039, 9040,9041, 9043,9044, 9045,9047, 9048,9050, 9051,9053, 9054,9056, 9057,9062,	1001, 1002, 1004, 1006-1031, 1033-1052	1001-1112, 1114-1117	9034A, 9046A, 9058A, 9059A, 9065A, 9066A,	8003
撮影枚数	1,432	7,246	9,918	101,743	517,688	188,526	38,578	910
実体視可否	×			○			×	○
衛星の平均高度 mile (km)	90-250 (145-400)				100(160)	81(130)	174(280)	93(150)
焦点距離 inch (cm)	24(58.8)						3.0(7.6)	66(161.7)
焦点面の大きさ inch (cm)	約2.18×29.8(5.5×75.7)						約4.5×4.5 (11.4×11.4)	約4.5×25 (11.4×61.3)
カメラタイプ	パノラマ						フレーム	パノラマ
地上の撮影範囲 mile (km)	9.5×130~26×360 (15×209~42×579)				10.6×144 (17×232)	8.6×117 (14×188)	300×300 (483×483)	7.5×40 (12×64)
焦点面での解像度 (線/mm)	50-100				120	160	30	160
地上での解像度 ft (m)	25(7.6)				9(2.7)	6(1.8)	460(140)	6(1.8)
フィルム上での 縮尺	1:275,000~760,000				1:305,000	1:247,000	1:4,250,000	1:100,000
引伸の許容倍数 (倍)	<10				16		8	16
プレビュー画面の 縮尺 (ft/pixel)	530					430	4000	180
フィルム幅 (mm)	70						5 inch (20.3mm)	5 inch (20.3mm)

撮影が成功したミッションの数は、KH-4A が49と最も多く、KH-4 が20、KH-4B が17である。これら3つの仕様によって撮影されたおよそ80万枚の写真は、公開された衛星写真全体のうちおよそ93%を占めている。

衛星の平均高度は、最も低いKH-4B が81マイル (130km)、KH-4 が90～250マイル (145～400km)、KH-4A が100マイル(160km)である。

搭載しているカメラの焦点距離は24インチ (58.8cm)、焦点面の大きさは2.18×29.8インチ (5.5×75.7cm) で、焦点距離と焦点面の大きさは3つの仕様すべて同じである。

カメラタイプは、すべて縦に比べ、横が著しく長いパノラマタイプである。通常カメラの横方向は東西に相当し、縦方向は南北に相当するので、東西に長い写真になる。写真の横方向は東西と斜行することは多いが、横方向が南北になることはない。したがって、ほぼ東西走向のヒマラヤ前縁帯活断層を対象として写真を購入するのであれば、購入する写真の枚数は少なくてすむ。一方、南北走向の断層 (例：ミャンマーのサガイン断層など) を対象として、写真を購入するには、必要な範囲に対して非常に大量の写真を要する。

1枚の写真が撮影する地上の範囲は、KH-4 が最大26×360マイル (42×579km)、KH-4A が10.6×144マイル (17×232km)、KH-4B が8.6×117マイル (14×188km) である。

焦点面で解像度は、KH-4 が公称1mmあたり50～100線、KH-4A が公称1mmあたり120線、KH-4B が公称1mmあたり160線とされる。地上での解像度は、KH-4 が25フィート (およそ7.6m)、KH-4A が9フィート (およそ3m)、KH-4B が6フィート (およそ2m) とされる。ただし、実際は個々の写真の撮影状態に依存することが多く、この分解能はもっともよい条件下での値と考えた方がよいだろう。

フィルム上での縮尺は、KH-4 がおよそ27万5千分の1～76万分の1、KH-4A がおよそ30万5千分の1、KH-4B がおよそ24万7千分の1となる。また、写真を引き伸ばす際の最大倍率は、KH-4 が10倍以下、KH-4A とKH-4B が16倍とされている。この最大倍率で引き伸ばすとその縮尺は、KH-4B で縮尺1万5千分の1相当になる。ただし、筆者らが判読に用いた写真は、引き伸ばしをする機器の性能上、写真を約4倍に引き伸ばして利用した。KH-4B を4倍に引き伸ばすと、縮尺およそ6万分の1相当の拡大写真になる。

KH-4、KH-4A、KH-4B では前方視(Fwd.)、後方視(Aft.)の2台のカメラを搭載しており、同じ地域を撮影する前方視と後方視の写真2枚1組で実体視をおこなうことができる。前方視と後方視それぞれのカメラは約30度の角度で離れている。

衛星写真のうち、パノラマタイプは、写真の中心でレンズが鉛直になるよう撮影されていることから、写真の左右の両端で大きく歪んで撮影されている。また、カメラ自体が傾いて撮影されていることもあり、鉛直に写真をみることができないことも多い。

### 3) 撮影地域の不均質性について

米軍偵察衛星写真は、地球上におけるほとんどの地域を網羅しているものの、撮影されていない地域が若干存在している。また、衛星写真が撮影されている地域でも実体視可能な写真が撮影されていないことも多い。衛星写真を撮影する頻度は、地域によって大きく異なっている。このような撮影地域の不均質性を知っておくことは、衛星写真を効率的に検索することにつながるであろう。ここでは、アメリカ合衆国地質調査所ホームページにある衛星写真検索システムによって衛星写真を検索した結果に基づいて、衛星写真撮影地域の不均質性について説明する。

衛星写真を撮影していない地域は、北緯75度以北の北極地域である。北極地域では、実体視ができないフレームタイプの写真も撮影されていない。

衛星写真が撮影されているにもかかわらず、実体視可能な写真が撮影されていない地域を挙げると、カナダ、アメリカ合衆国、日本、オーストラリア、太平洋・大西洋・インド洋などの海域、南極大陸などである(図1)。カナダ・アメリカ合衆国、日本、オーストラリアは、各国の空中写真を利用できること、旧ソ連との冷戦時代、アメリカ合衆国にとって脅威とはならない国々であったことを考えると、それほど多くの情報を入手する必要がなかったものといえる。太平洋・大西洋・インド洋など海域に浮かぶ孤島も同様に実体視可能な写真が撮影されていないことが多い。南極大

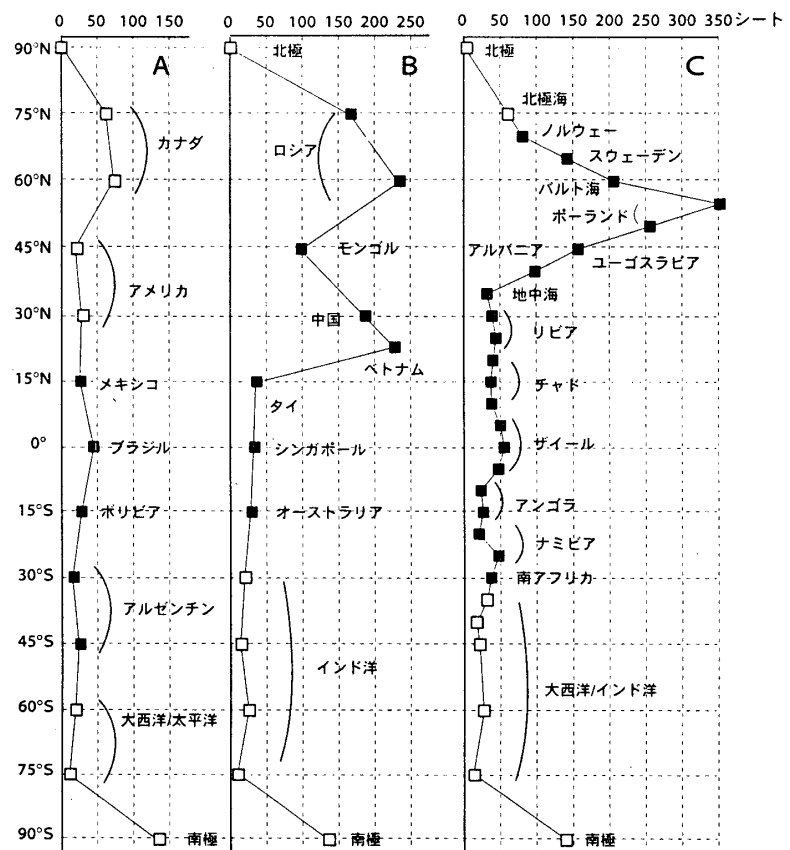


図1 米軍偵察衛星写真の撮影地域の不均質性

それぞれの地点の緯線と経線の交点が、南西角(南半球では北東角)となる10'(分)の範囲を撮影する衛星写真を検索した。黒塗りの地点は、実体視可能な写真が撮影された地点。白抜きの点は、実体視ができない写真のみ(あるいは若干の実体視可能な写真)が撮影された地点。

陸域で計測するために測線となる経線を以下のように移動させている。

- A: 測線は北緯90度~30度まで西経105度, 北緯15度では西経85度, 赤道・南半球は西経65度 (北/南アメリカ大陸)
- B: 測線は北緯90度~0度まで東経105度, 赤道・南半球では東経135度, ただし北緯20度の位置にある地点(ベトナム)のみ東経106度(ユーラシア大陸/オーストラリア大陸)
- C: 測線は東経20度(ヨーロッパ大陸/アフリカ大陸)

陸では比較的多くの写真が撮影されているが、実体視をおこなうことはできない。

衛星写真を撮影する頻度は地域によって大きく異なる。日本周辺における衛星写真の撮影数の地域差はこのことを特徴的に示している(図2)。測線は東経135度の経線で、北緯30度から46度にかけて2度ごとに、10'(分)の範囲内を撮影している写真の数を計測した。まず、実体視ができない衛星写真について見た場合、日本やロシア沿岸部で若干枚数が増えているが、概して変化は見られず、枚数も少ない。一方、実体視が可能な衛星写真について撮影数の変化をみてみると、太平洋・日本本土・日本海の北緯40度以南ではほとんど撮影されていないのに対して、北緯40度以北では実体視可能な衛星写真が急激に増加する。ロシア側の海岸線より大陸域を撮影する衛星写真は、250~300シートに達する。このように、実体視可能な衛星写真は、国防目的に利用されていたと推定され、衛星写真を利用する際には、地域によって撮影枚数が著しく異なることに留意する必要がある。

同様の計測を地球上の大陸を横切る経線を測線としておこなった(図1)。北/南アメリカ大陸をきる断面では、先に述べたようにカナダ・アメリカでは実体視可能な写真は撮影されていない。また、北緯15度から南半球の陸域までを見たとき、すべての計測地点で50シート以下であり、南アメリカ大陸は写真撮影が少ない地域とみなすことができる。ユーラシア大陸東部からオーストラリア大陸を横切る断面について見た場合、ロシア、中国、ベトナムで200~250シートと撮影枚数が多い。モンゴルは100シートと相対的に少ないものの、他地域と比較すると多いといえよう。このように撮影枚数の地域差は、米軍が当時の地域に関心を寄せていたかを端的に示しているといえる。ベトナムより南は50シート

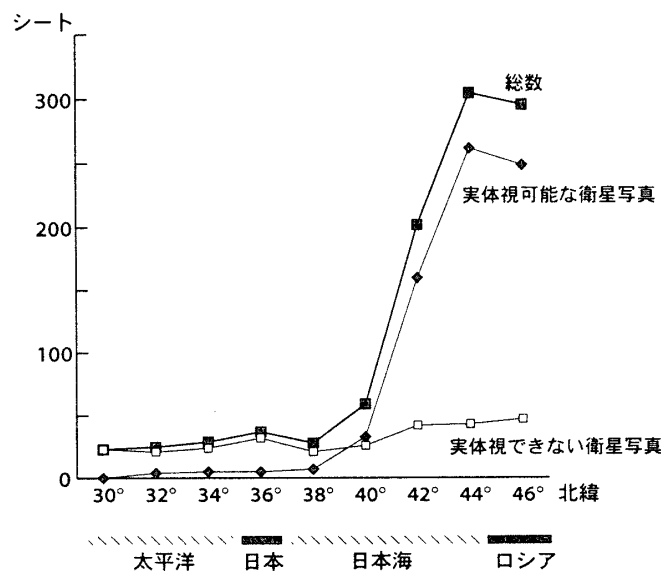


図2 日本周辺における米軍偵察衛星写真の撮影数の変化

北緯30°~46°間において2°ごとの緯線と東経135°の交点が、南西角となる10'(分)の範囲を撮影する衛星写真を検索した。

以下と撮影枚数が乏しい地域となる。東ヨーロッパ～アフリカ大陸を切る断面について見た場合、350シートをこえるポーランドを頂点とする三角形が特徴的であり、米軍の関心に恣意性があることを示している。地中海より南では、50シート以下と撮影枚数の少ない地域となる。

撮影枚数が多いことは、研究者が最適な写真を選ぶための選択肢が増えることになる。逆に撮影枚数が少ない地域では、雲量が多かったりフォーカスが悪い写真がある場合、有効な写真のない地域が生じることもある。

上記三つ測線での比較から、旧共産圏やアジアの発展途上地域を対象に多くの写真が撮影されていることがわかる。今なおこれらの地域では空中写真を利用することは困難であり、米軍偵察衛星写真を積極的に活用すべき地域であるといえる。逆に、南半球では撮影枚数が少ないこともあって、広い地域が、実体視可能な写真によってカバーされていない。

撮影地域の不均質性と同様に、雲の発達状態を検討することも必要であろう。赤道付近のように一年中、雲量の多い地域は、衛星写真によって地表をみることができないことが多い。また、北半球の雲南地域、ヒマラヤ地域では、5～10月が雨季にあたるため、この期間の写真は雲に覆われ、地表を観察することは困難である。

#### 4) コロナ衛星写真と衛星画像との比較

次に、コロナ衛星写真には、現在一般的に利用される観測衛星画像と比較してどのような特徴があるのか紹介する。コロナ衛星写真のうち、最も主要なものとして位置づけられるKH-4Aの仕様を表2に提示した。コロナ衛星写真は、ネガフィルム・ポジフィルムとダイレクトプリントの3種類のアナログデータで提供されるのに対して、衛星画像はデジタルデータで提供される。また、他の観測衛星は可視領域だけでなく、赤外領域のデータも得

表2 CORONA KH-4A と代表的な観測衛星の諸仕様

	CORONA KH-4A	Landsat MSS	Cosmos	SPOT HRV / P	JERS-1 / SAR
運用開始年	1963	1972	1984	1986	1992
実体視可否	○	×	○	○	○
地上での撮影範囲(km)	20×270	180×180	120×120	60×60	75×75
空間分解能(m)	3～8	80	10	10	18～24
価 格	ネガ・ポジ18ドル、 プリント14ドル	約95,000円 (ただし、一部 データは無償)	約1,000～ 3,000ドル	約334,000円	約124,000円
単位面積あたりの価格 (円/㎢)	0.37	2.90	7.6～22.9	92.80	22.00

資料) CORONA 衛星以外の観測衛星に関するデータは、長澤 (1997) 及び (財) リモートセンシング技術センターホームページをもとに作成。

ることができる。

コロナ KH-4A が運用をはじめたのは1963年であり、1960年代～70年代初期の土地の利用状況あるいは近代化・都市化にともなう改変以前の地形・遺跡などを詳細に記録している（小方ほか、1998）。これに対して、1972年に打ち上げられたランドサット（Landsat MSS）衛星は、衛星画像をはじめて一般に提供したが、この衛星によって得られた画像は実体視を行うことができない。コロナ衛星以後で実体視可能な写真を撮影できる観測衛星は、コロナ衛星が打ち上げられて約20年後にあたる1984年に打ち上げられたコスモス（Cosmos）衛星である。このことからコロナ衛星写真は、地表の情報を全世界的に記録する最も古いステレオ写真であるといえよう。

他の衛星画像の撮影範囲が、縦横同じ長さであるのに対して、コロナ KH-4A 衛星の写真は横に長いパノラマタイプである。また、コロナ衛星の撮影範囲面積は、ランドサット衛星画像やコスモス衛星画像の、それぞれ1/6, 1/3ほどしかないものの、スポット（SPOT HRV/P）衛星画像とほぼ同面積である。

地上分解能について比較した場合、従来、地形学的な研究で利用されていたスポット衛星の地上分解能は10mであるのに対して、コロナ KH-4A 衛星は、3～8mまで識別可能とされる。ただ、筆者らの検索した経験から述べると、コロナ KH-4A 衛星の撮影状況は必ずしも安定したものではないので、ここに示した KH-4A 衛星写真の分解能はもっともよい条件での値と考えた方がよい。

価格を比較する際には、他の衛星画像は多くの機能をもつために高価であるということも考慮する必要があるが、ここでは地表の形態についてのみ研究するために購入するものとして単純な比較をおこなう。コロナ KH-4A 衛星の写真は、ネガ・ポジフィルム各18ドル（約2,000円）、ダイレクトプリント14ドル（約1,500円）であるのに対して、他の商用衛星の画像は、ランドサット衛星が約9万5000円、コスモス衛星約11～33万円、スポット衛星約33万円、JRERS-1 衛星約12万円と格段に価格の差が見られる。

これをもとに衛星写真・画像において単位面積あたりの価格を求め、比較を試みた。この値が最も小さいのは、コロナ KH-4A 衛星であり、0.37円/km<sup>2</sup>となる。この値は、実体視ができないランドサット衛星（2.90円/km<sup>2</sup>）の1/8程度である。実体視が可能なコスモス衛星（7.6～22.9円/km<sup>2</sup>）、JRERS-1 衛星（22円/km<sup>2</sup>）と比較すると1/20～1/60程度であり、最も単位面積あたりの価格が高いスポット衛星の画像（92.8円/km<sup>2</sup>）の1/250である。このことから、地形学的利用に限って考えた場合、コロナ KH-4A 衛星写真は、他の衛星画像と比べて非常に経済的な衛星写真であるといえよう。



## 5) コロナ衛星写真の特長と問題点

前項までに紹介したコロナ衛星写真に関する仕様と他の衛星画像との比較をまとめると、以下のようなコロナ衛星写真の特長と問題点を挙げる事ができる。

まず、特長として次の点が挙げられる。なお、1～5の特長については、小方（1998, 1999）、小方ほか（1998）によって指摘されている。

1. 大縮尺地形図や空中写真の得にくい旧共産圏、紛争地域を中心に撮影されている。
2. 他の既存衛星画像と比べ解像度がよい。
3. 前方視・後方視の2組の写真を使って、実体視による判読が可能である。
4. 既存の衛星画像と比べ安価である。
5. 1960～70年代と従来からの衛星画像よりも古いので、既存の衛星画像との比較を通して、より長期にわたる地表面状態の変化を抽出しうる。また、近代化・都市化にともなう開発などにより失われた地形・遺跡などを明らかにすることができる。
6. 衛星写真ではネガ・ポジフィルムを購入できることから、観察したい範囲を自由に引き伸ばすことができる。

問題点としては次の点が挙げられる。

1. 衛星写真は、必ずしも全世界をカバーしていない。さらに実体視可能な写真は、撮影地域に偏りがあり、特に南半球の国々では撮影されていない地域がある。
2. 写真が必ずしも鉛直に撮影されていないので、判読が困難な場合がある。
3. 写真の両端に近づくほど、歪みが大きくなる。

## 2. 米軍偵察衛星写真の利用方法

### 1) WWW (World Wide Web) 上での衛星写真の検索方法

筆者らは、アメリカ合衆国地質調査所 (USGS) の Web サイト上に公開されている衛星写真の検索ページを利用して、必要な衛星写真の購入リストを作成している。ここでは筆者らが用いている衛星写真の検索方法について紹介する。この方法は、実体視が可能な衛星写真を検索するためにおこなったものである。検索方法のフローチャートを図3に示す。

まず、コロナ衛星写真の検索ページ (<http://edcwww.cr.usgs.gov/Webglis/glisbin/search.pl?DISP>) へいく(図4)。コロナ衛星写真検索 (CORONA Satellite Photography: Search Criteria) とタイトルには表記してあるが、コロナプロジェクトによって撮影された衛星写真だけに限らず、アルゴン、ランヤードプロジェクトによって撮影された衛星写真も同

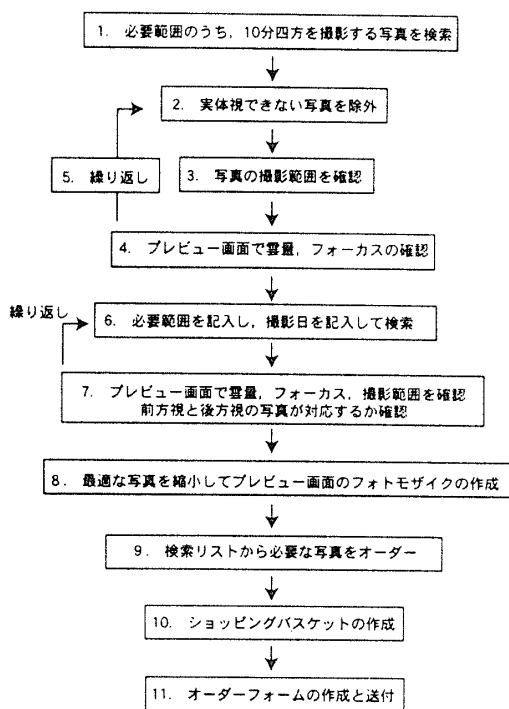


図3 衛星写真検索方法のフローチャート

時に検索できる。

はじめて衛星写真を検索するときには、撮影日がわからないので、地理的な範囲のみを検索条件とする。

必要とする範囲を検索する方法は3つある。1) 検索ページ(図4)にある緯度・経度を入力する欄に、検索したい地域の緯度・経度を入力する方法, 2) [\*1]のボタンをクリックして、違うページにある地図上から必要範囲を選択する方法, 3) [\*2]のボタンをクリックして、違うページにあるアメリカ合衆国の地名の選択欄から、地名を選択する方法である。筆者らが使用しているのは、アメリカ合衆国を対象としないこと、位置は地図帳などで特定できることから、緯度・経度を入力する方法を採用している。

(1) Geographic Coverage「地理的検索範囲」では検索したい範囲を入力する。はじめて検索をする場合には必要な範囲のうち、おおよそその中心にあたる10分四方の緯度・経度を入力欄[\*3]に入力する。例として挙げている図4では、北辺が北緯25度10分、南辺が北緯25度、東辺が東経90度10分、西辺が東経90度の10分四方を入力している。はじめから必要とする範囲すべてを入力しない理由は、仮に全範囲を入力した場合、検索に膨大な時間がかかること、同じミッション番号が重複するため、リストに挙げられた写真を一つ一つ確認するのは煩雑であるためである。筆者らの経験では10分四方とするのがおおむね適当である。

南半球の場合は北辺と南辺で‘S’を数値の前につけ、西経の場合は東辺と西辺で‘W’を数値の前につける。また、度、分だけでなく、秒単位でも検索が可能である。したがって、位置が厳密に決定されている場合、例えばある都市を撮影した写真を検索したい場合には、あらかじめ秒まで入力すると、検索時間が短縮され、必要な写真のみを検索できる。

Acquisition Date「撮影日」は最初は不明なので、空欄にしておく。

Browse Availability「プレビュー画面の有無」については、プレビュー画面がない場合、写真の品質や雲量を確認できないので、選択欄[\*4]のYesを選択する。これによってプレビュー画面がある写真しか検索されない。

すべて入力を終えた後、検索開始ボタン[\*5]をクリックする。

(2) 検索結果はリストとして表示され(図5)、撮影日の新しいものから並べられている。

図4 USGSのWebサイト上にある米軍偵察衛星写真の検索ページ  
<http://edcwww.cr.usgs.gov/Webglis/glisbin/search.pl?DISP>

DETAIL	ORDER	ENTITY ID	MISSION NUMBER	REVOLUTION	ER #	ACQ DATE	BR EL	CAM TYP	CAM RES
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1006-1054DF138	1006-1	054D	138	1964/06/05	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1006-1054DF139	1006-1	054D	139	1964/06/05	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1010-2117DF169	1010-2	117D	169	1964/09/22	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF175	1017-2	086D	175	1965/03/03	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF176	1017-2	086D	176	1965/03/03	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DA179	1017-2	086D	179	1965/03/03	Y	A	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DA180	1017-2	086D	180	1965/03/03	Y	A	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1025-2134DF103	1025-2	134D	103	1965/10/14	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1025-2134DF104	1025-2	134D	104	1965/10/14	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1030-2117DF080	1030-2	117D	80	1966/03/17	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1030-2117DF081	1030-2	117D	81	1966/03/17	Y	F	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1030-2117DA087	1030-2	117D	87	1966/03/17	Y	A	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1030-2117DA088	1030-2	117D	88	1966/03/17	Y	A	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1039-2102DA089	1039-2	102D	89	1967/03/01	Y	A	4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DS1039-2102DA090	1039-2	102D	90	1967/03/01	Y	A	4

図5 検索結果を表示するリスト

DETAIL[\*7]：詳細ボタン。クリックすると、その写真の詳細なデータをみることができる。

ORDER：注文ボタン。直ちに注文されることはなく、ショッピングリストに挙げられる。

ENTITY ID：一枚の写真に与えられた固有認識番号。以下のようなフォーマットになっている。

例) DS1045-1058DA001

DS = データセット名

1045-1 = ミッション番号

058D = レボリューション

A = カメラタイプ

001 = フレーム番号

MISSION NUMBER：ミッション番号。同一のミッションで撮影された写真は同じ番号が与えられる。

REVOLUTION：レボリューション。周回ごとに割り当てられた番号。

FR#：フレーム番号。

ACQUISITION DATE：撮影日。

BROWSE AVAILABILITY FLAG：プレビュー画面の有無。

CAMERA TYPE：カメラタイプ。4種類のカメラタイプがある。このうち、「C」「V」の表示がある写真は、実体視をおこなうことができない。

F = Forward：前方視

A = Afterward：後方視

C = Cartographic：地図作製用

V = Vertical：垂直

CAMERA/RESOLUTION：カメラ/解像度

# = 不明

1 = 垂直低解像度

2 = 垂直中解像度

3 = 垂直高解像度

4 = ステレオ中解像度

5 = ステレオ高解像度


この場合、図5での検索結果は、全部で59枚である。1画面では15枚分のリストが表示されているので、他の写真を見るときは、次の15枚を表示するボタン[\*6]をクリックして続けてみる事ができる。

まず、以下の点を参照しながら、判読に不適当な写真を除外する。

- 1) カメラタイプが「C」および「V」の表示である場合、その写真は実体視をおこなうことができないので除外する。
- 2) 同じミッション番号を持つ写真が1枚しかない場合、その写真は実体視をおこなうことができないので除外する。
- 3) 同じミッション番号にもかかわらず、それらのカメラタイプがすべて同じある場合(すべて「F」あるいは「A」である場合)は、対になるべき写真が同じ地域を撮影していないことを意味しており、実体視をおこなうことができない。このような写真も同様に除外する。

この検討を図5で示したリストでおこなうと、最初の固有認識番号[DS1006-1054DF138]と[DS1006-1054DF139]は同じミッションで撮影されたものであるが、カメラタイプをみると、ともに[F]の前方視で、対になるべき後方視の写真がない。したがって実体視をおこなうことができない。これらの写真は、今後の検討から除外する。[DS1010-2117DF169]は、同じミッション番号を持つ写真がないので、除外する。[DS1017-2086DF175]から[DS1017-2086DA180]の4枚の写真は、同じミッション番号であり、しかも実体視可能な前方視と後方視の写真が撮影されている。したがって、これらの写真は検討を続行する。同様に、[DS1030-2117DF080]から[DS1030-2117DA088]の4枚の写真も同じ理由で、さらに検討を続行する。なお、このリストはすべてプリントアウトしておくとも便利である。

(3) (2)で検討した同じミッション番号をもつ写真のDETAILボタン[\*7]をクリックする。移動したページでは、写真の詳しい記載と撮影範囲をみることができる(図6)。撮影範囲を表示する地図では、政治的境界(国境など)、人口密集地(星印でマーク)、湖・河川、道、道路なども必要に応じて表示させることができる。ただし、ここで留意すべきことは、地図上に表示された撮影範囲は実際の撮影範囲とは必ずしも正確に一致していないことである。また、まれではあるが、地図上に示された撮影範囲が実際の撮影範囲と全く異なることもあった。したがって、地図上の撮影範囲はあくまで目安として利用し、正確な撮影範囲はプレビュー画面で確認することをすすめる。図6は、図5のリストの[DS1017-2086DF175]について詳細を表示したものである。



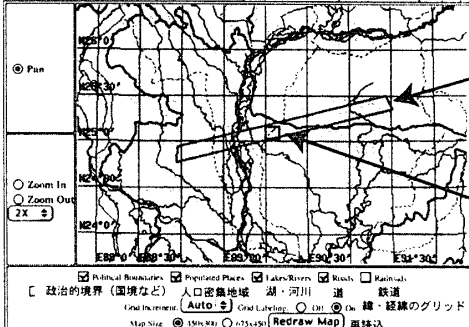
---

**Detailed Information about:**  
Entity Id: DS1017-2086DF175

---

**Map Information**

**Instructions for drawing on map:**  
To Pan, click on the Pan radio button. Then click on any spot within the map.  
To Zoom, select the Zoom factor and whether you want to Zoom In or Zoom Out; then click on your area of interest.  
To Add or subtract map layers, click the small buttons provided for each layer. Grid Inset and map size can also be changed to your preference.



写真の撮影範囲  
最初に定めた10分の範囲

Note: Preview images are resampled from the original data and may not accurately represent the full resolution product. For more information see "Usage of GIS Data Products Images Strategies".

Note: Preview images may take a while to download.

**Show me the Preview image for this entity** \* 8

Meta Data Details	
Entity Id	DS1017-2086DF175
Mapset Number	01072
Entity Number	078
Acquisition Date	06/03/00
Entity Description	USA
Entity Type	FORWARD
Acquisition Method	STYARD MED
Northwest Corner	N24 56
Southwest Corner	E088 57
North East Corner	N25 40
South East Corner	E091 26
Swathwidth	N25 21
Swathwidth	E091 31
Swathwidth	N24 46
Swathwidth	E088 57
Swathwidth	From partially covered swath area
Resolution	6002
Image Type	BLACK and WHITE
Image Type	30mm PANORAMIC
Generation	2
Product	BLGA.PVE
Product Path	01072\2086DF175\01072_2086DF175.jpg

この写真に関する詳細なデータ

---

Order area. Select Product and Media Type. Note: price shown is only an estimate.

**CONPRINT: PAPER PRODUCT \$14.00 each (est.)**

**Add to Shopping Basket** **Add to Shopping Basket and Return to Results** **Return to Results**

---

USGS Home Page/GIS Meta

---

U.S. Department of the Interior  
U.S. Geological Survey  
URL: <http://www.usgs.gov>  
Mainframe: <http://pubweb.cr.usgs.gov>  
Last modified: 14 October 1999

図6 1枚の写真に関する詳細なデータのページ

Show me the Preview Image for this entity (プレビュー画面をみる) というボタン [\* 8] をクリックして、プレビュー画面をみる。

(4) プレビュー画面では、地図上の撮影範囲とともに、衛星写真の縮小画像をみることが出来る(図7)。プレビュー画面をみて、雲量、写真のフォーカスが適当であるかどうかをチェックする。図7の場合、写真のフォーカスは適当であるが、若干雲が発達している。仮に今回の研究対象がこの地域の山麓線付近であるとしたら、その部分は雲に覆われていないので、この写真はこれまでの条件をすべて満たすといえる。したがって、さらに検討を続けるために、リストの画面(図5)に戻り、写真の撮影日を控えておく。

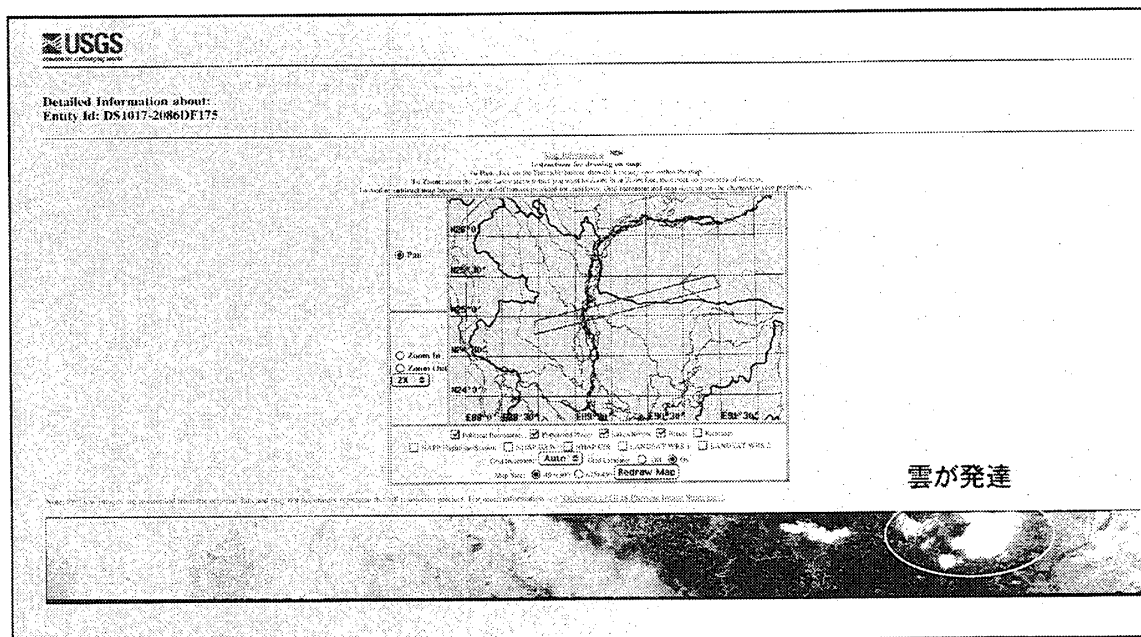


図7 衛星写真のプレビュー画面

(5) (2)において抽出した検討続行可能なミッション番号ごとに(3)と(4)の作業を繰り返す。(2)のリスト(図5)で挙げた検討続行可能なミッション番号をもつ写真中、[DS1030-2117DF080]に対して(3)と(4)の作業をおこなうと、写真全体が雲に覆われて、地表をみることはできなかった。筆者らは雲量が多い写真がある時は、同じミッション番号を持つ他の写真も、同様に雲量が多いことを確かめている。したがって、このミッション番号を持つ写真は、今後の検討からはずすことになる。ただ、雲の発達状態は二者選択ではなく、様々な状態がある。筆者らは、雲量に応じて5段階(雲なし、ちぎれ雲、10~20%、20~50%、50%~)の順位をつけている。後の検索では、雲がない写真から雲量が少ない順に検索をおこなうと効率がよい。

(6) はじめの検索画面(図4)に戻り、必要とするすべて範囲の緯度・経度を入力する。さらに(5)までの検討条件を満足した写真の撮影日を入力する。その際、最も雲量が少なく、必要な範囲をより広くカバーしている写真から検索をはじめるとよい。

(7) 検索の結果、同じミッション番号の写真がリストにあげられる(図8)。このリストに従って(4)と同じように1枚ずつプレビュー画面で雲量及び写真のフォーカス、撮影範囲を確認する。

また、前方視と後方視の写真が対になっているかどうかを確認する。例えば、[DS1017-2086DF175]に対応する写真は、図5のリストに挙げられている同じミッション番号の

DISP Results									
DELTA#	ORDER	ENLTY ID	MISSION NUMBER	EVALUATION	FR #	ACC DATE	BR EL	CAM TYP	CAM RES
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF139	1017-2	086D	139	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF140	1017-2	086D	140	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF141	1017-2	086D	141	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF142	1017-2	086D	142	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF143	1017-2	086D	143	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DA143	1017-2	086D	143	1965/03/03	Y	A	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DF144	1017-2	086D	144	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DA144	1017-2	086D	144	1965/03/03	Y	A	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DF145	1017-2	086D	145	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DA145	1017-2	086D	145	1965/03/03	Y	A	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DF146	1017-2	086D	146	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input checked="" type="checkbox"/>	DS1017-2086DA146	1017-2	086D	146	1965/03/03	Y	A	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF147	1017-2	086D	147	1965/03/03	Y	F	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DA147	1017-2	086D	147	1965/03/03	Y	A	4
┘	<input type="checkbox"/>	DS1017-2086DF148	1017-2	086D	148	1965/03/03	Y	F	4

\*9 points to the checked box in the row for DS1017-2086DA145.  
\*10 points to the 'View Shopping Basket' button.

Buttons: Show next 15 matches, Generate Report, Add selected items to the Shopping Basket and Show next 15 matches, Add all 132 items to the Shopping Basket, View Shopping Basket. \*11 points to the 'View Shopping Basket' button.

Footer: G.I.S Home Page(G.I.S.Hetzl)

図8 同じ作戦番号の写真の検索リスト

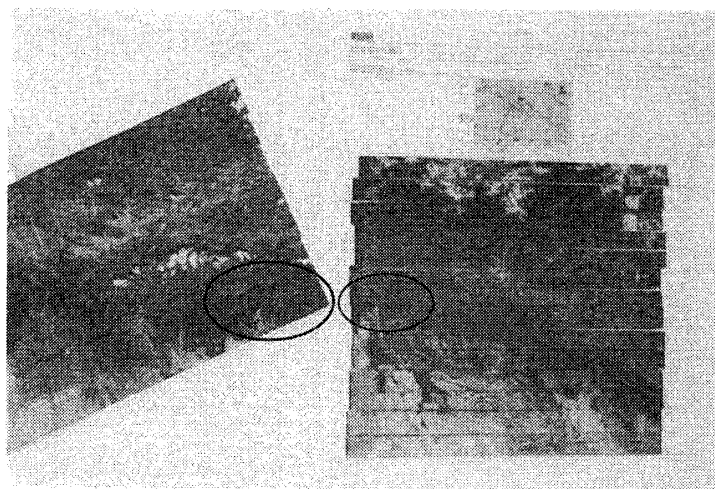


図9 プレビュー画面をプリントして張り合わせたフォトモザイク

フォトモザイクを作成することによって、オーバーラップしていることが確認できる（黒円内）。それぞれのフォトモザイクの大きさが異なっているのは、プリントアウトした時の縮小率が違うため。

後方視である [DS1017-2086DA179] あるいは [DS1017-2086DA180] である。さらにミッション番号ごとに他の写真も同様の確認をおこなう。

(8) 使用目的に最も合致した写真のプレビュー画面を縮小印刷し、前方視と後方視にわけてプレビュー画面を張り合わせてそれぞれのフォトモザイクを作成する（図9）。地図上の撮影範囲（図6）は必ずしも正確ではないので、モザイクを作成することによって、他のミッション番号の写真撮影範囲とのオーバーラップを確認することができる（図9）。できるだけオーバーラップさせ、写真の中心近くを利用することで、歪みの大きい両端部を利用しないようにすることが望ましい。



(9) このようにして、購入する写真が決定したら、リスト画面のORDER ボタン [\*9] をチェックする (図8)。ここでチェックした写真のみが、ショッピングバスケットへ入ることになる。なお、この時点ではショッピングバスケットに入っていない。表示されているリストで必要とする写真をすべてチェックした後に [\*10] ボタンをクリックすると、それらがショッピングバスケットにリストアップされ、次の15シートが表示される。購入写真すべてのリスト (ショッピングバスケット) は、[\*11] ボタンをクリックすることによって表示される。

(10) ショッピングバスケットには、購入を希望した写真が挙げられている (図10)。選択した写真のうち、必要がないものは Remove ボタンをチェックして、ショッピングバスケットの更新ボタンをクリックすれば除去される。シート数の欄には同一メディアタイプで同じ写真を複数枚購入するとき、その枚数を記入する。製品/メディアタイプのボタン [\*12] をドラッグして、1) コンタクトプリント (紙製品) 14ドル、2) コンタクトネガティブ (フィルム製品) 18ドル、3) コンタクトポジティブ (フィルム製品) 18ドルのいずれかを選択する。同一の写真であっても、違うメディアを同時に注文するときは、リスト画面 (図8) にもどり、再選択する必要がある。初期状態では、コンタクトプリント (紙製品) 14ドルになっているので、選択することを忘れないよう注意が必要である。購入するすべての写真とそのメディアタイプを選択したら、オーダーフォームの作成ボタン [\*13] をクリックする。筆者らは、コンタクトプリント、コンタクトネガティブの2種類のメディアを購入している。理由として、ネガティブだけでは現像する際に位置の確認が難しいこと、またダイレクトプリントでも実体視は可能であることから、あらかじめ明瞭な断層や地形は確認し、範囲を特定した上で引き伸ばすことができるといったメリットがある。

(11) オーダーフォームには、購入する写真とその製品タイプ、メディアタイプ、単価、シート枚数、合計金額および、購入する写真すべての合計金額と手数料が示されている (図11)。1つのオーダーフォームで、一律5ドルの手数料がかかるので、オーダーフォームはできるだけ1つにまとめた方が経済的である。このオーダーフォームが、正式な書類となるので、コピーをとることはもちろん、記載事項をよく確認する。購入写真リストの下には、申込者の住所、都市名、国名、電話番号、ファックス、E-mail アドレスを入力する。この表の下にも、送り先を入力する欄がある。申込者の住所と送り先が異なる際には、両方書き込む必要があるが、同一の場合は空欄でかまわない。

もれなく必要事項を入力した後, Submit order ボタン [\*14] をクリックする。

オンライン上だけでなく, オーダーフォームをファックスでおくり, 注文することも可能である。筆者らはファックスによる注文をしている。

ファックスの際には, オーダーフォームとともに, 購入者の所有するクレジットカードの会社名 (VISA, Mastercard, American Express, Discover のいずれか), 口座番号, 有効期限, 名義を書いて送っている。FAX 番号は +001-605-594-6589 (24時間対応)である。

送金方法は, カードによる引き落としのほか, 口座振替などがある (詳細は, 図11の支払方法を参照のこと)。

取引銀行: Treasury NYC/CTR: ABA routing number 021030004

受取人: 14080001 USGS NMD EDC Product Sales

なお, 成果品が届くまで, 約3週間から1ヶ月程度かかる。また, 成果品が届いた後60日以内であれば, 配達伝票 (the shipping summary)と交換・返品理由をそえて成果品を送り返した場合, 交換または返金できる (詳細は, 図11の返品方法を参照のこと)。

**USGS**  
science for a changing world

**SHOPPING BASKET**

Note: Prices are only estimates.  
Please do not place orders for products that are not in the shopping basket.  
Approximate Delivery Times for Products:

6 item(s) in the shopping basket. Showing 1-6

Remove	Dataset Name	Description	Copies	Product and Media Type
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DF144 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8174 Frame Number: 144	1	CONTACT PRINT : PAPER PRODUCT \$ 14.00 each (est.)
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DA144 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8756 Frame Number: 144	1	CONTACT POSITIVE : FILM PRODUCT \$ 18.00 each (est.)
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DF145 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8174 Frame Number: 145	1	CONTACT NEGATIVE : FILM PRODUCT \$ 18.00 each (est.)
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DA145 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8756 Frame Number: 145	1	CONTACT PRINT : PAPER PRODUCT \$ 14.00 each (est.)
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DF146 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8174 Frame Number: 146	1	CONTACT PRINT : PAPER PRODUCT \$ 14.00 each (est.)
<input type="checkbox"/>	DISP	Entity Id: DS1017-2086DA146 Acquisition Date: 19650303 Mission Number: 1017-2 Sequence Roll Number: 8756 Frame Number: 146	1	CONTACT PRINT : PAPER PRODUCT \$ 14.00 each (est.)

Special Instructions: (You can enter up to 100 characters)

**\*13**

Update shopping basket Complete order form Continue shopping

ショッピングバスケットの更新 オーダーフォームの作成 買い物続行

For all items: NEW  
Set number of copies to:   
Net product media type: CONTACT PRINT : PAPER PRODUCT \$ 14.00 each (est.)  
Apply to all

ショッピングバスケットに入っているすべての写真のメディアタイプをすべて単一のタイプにさせることができる。

EGIS Home Page[GIS Help]

U.S. Department of the Interior  
U.S. Geological Survey  
URL: http://www.usgs.gov/Website/edms5/shoppingbasket.cfm  
Member Since: 11/20/2000 10:00 AM  
Last modified: 7 February 2001

図10 ショッピングバスケット



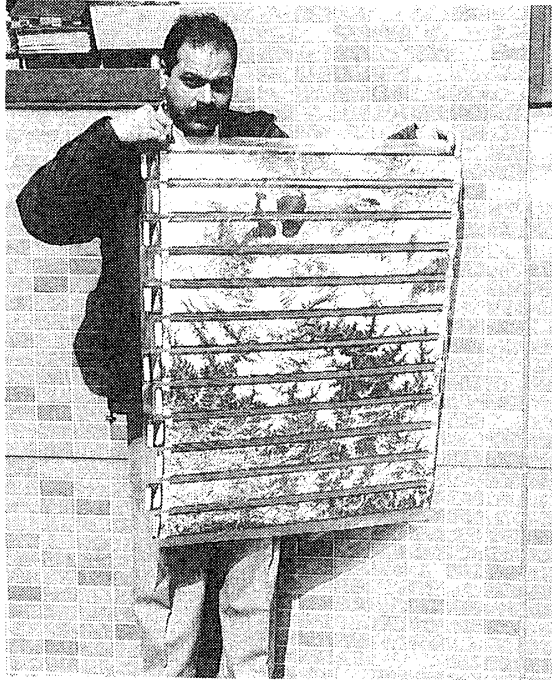


図12 ネガフィルム・ダイレクトプリントの  
保管シート

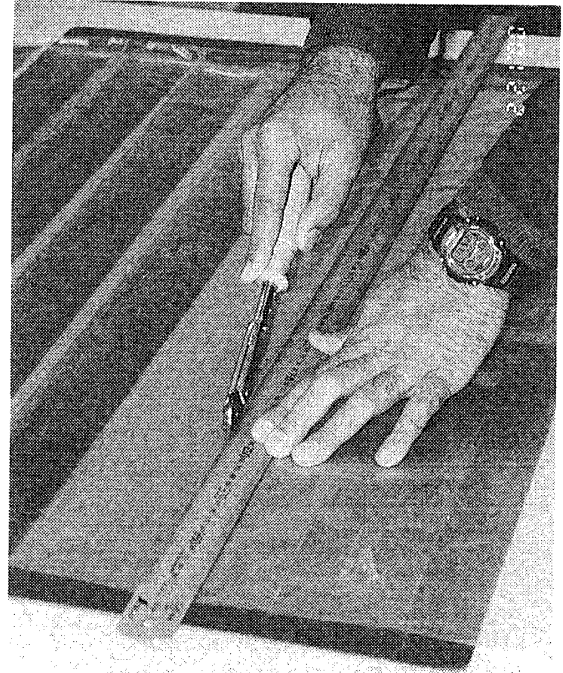


図13 保管シートの作成方法

2枚重ねたビニールシートを接着機によって鉄尺に沿わせながら接合させる。下にゴムシートを敷いておくと、より強力に接着する。ビニールが融けすぎると、トレーシングペーパーを重ねるとよい。

## 2) 衛星写真の整理方法

送られてくるネガ・ダイレクトプリントのサイズは、おおよそ80×7cmの長大なものである。写真を大量に購入した場合、写真の整理・保存が問題となる。筆者らが写真の整理のために考案した方法は、一般の写真を現像する際につくネガシートと同じような形状のシートを衛星写真の大きさに合わせて自作し、ネガおよびダイレクトプリントをミッション番号ごとに同じシートに入れるものである(図12)。必要なものは、幅約1m、厚さ0.05mmのビニールシート(一巻約4000円)、ビニールの接着機(株式会社石崎電機製作所製: SURE ビニレット NS-50, 価格約1600円)および、鉄尺、ビニールの下に敷くゴム板、トレーシングペーパーなどである。接着機は、はんだごてのような形状をしており、先端にコロが付いている。ビニールシートを2枚重ね、接着する線に沿ってコロを転がすことで、発熱したコロが上のビニールを溶かし、下のビニールと接着させるようになっている(図13)。ビニールシートは厚さ0.05mmが適当で、これよりも厚いと接着が難しく、これよりも薄い場合には、しわが生じたり強度に問題が生じる。

ビニールが融けすぎると、接着機とビニールの上にトレーシングペーパーを挟むとよい。筆者らはこれを大量に作成し、すべてのネガフィルム及びダイレクトプリントをこのシートに保管し、整理している。

### 3) 写真の引き伸ばしについて

筆者らは当初、民間の現像所に衛星写真の現像と引き伸ばしを依頼していたが、仕上がりに難があるとともに非常に高価（1枚500円～1500円）であった。民間の現像所は、ネガ全体の中間の階調にあわせて感光時間を決めるため、我々の思うように仕上がらないことも多かった。例えば活断層の判読を目的とする場合、一律に中間色にあわせて感光時間を決めると、著しく明るい部分（例えば雪に覆われた部分）あるいは暗い部分（例えば森林に覆われた部分）に断層が分布するときに、微細に地形を判読ができないことが多い。そこで筆者らは、広島大学文学部考古学教室の暗室を使用して、写真の現像を行った。自ら写真の現像・引き伸ばしを行うことで、断層付近の階調を考慮して感光時間を設定できるとともに、非常に安価（四切印画紙1枚の価格：80円）に、必要な範囲だけを現像・引き伸ばしをすることができる。これにより、焼き付ける写真の枚数を少なくしたり、必要に応じて同じネガを感光時間を変えて複数枚現像することもできる。

なお、筆者らが依頼した民間の現像所では、最大6倍までの引き伸ばしが可能であった。多くの現像所でもこの程度までの引き伸ばしに対応しているであろう。筆者自身がおこなった現像では、機械の性能上、約5倍程度の引き伸ばしにとどまったが、これによりおよそ縮尺6万分の1の衛星写真を作成する事ができる。

### 4) 衛星写真の判読方法

衛星写真の判読方法は、空中写真の判読方法となんらかわりがない。ただし、歪みの程度が著しい場合、微妙に写真の角度を変えて実体視をする必要がある。著しく歪んだ写真を判読するために、筆者らは、歪み修正台を自作した。歪み修正台は、カメラの三脚に利用されている雲台をプラ板に接着し、それらを木製の台に取り付けたものである。雲台は、上下左右あらゆる角度に動かすことが可能でありネジを締めることによって固定される。ネジと同じ径で長さ約40cmのスクリュー棒をネジ穴に挿入することによって、プラ板の下に手をいれることなく、雲台を調整することができる（図14）。この歪み修正台を用いた場合、判読する写真の高さが、通常よりおよそ5cm程度高くなり、実体鏡のピントがあわなくなる。また、歪み修正台は、実体鏡の下に置くと動きが制限される。筆者らは、これを解消するため、実体鏡の足をビニールパイプによって延長させ、実体鏡の高さを調節して判読をおこなっている（図14）。

別の歪みの解消方法として、スキャナーによって画像をコンピュータにとりこみ、画像処理ソフトで、写真の歪みを補正する方法もある。ある限られた範囲を判読する際には、対になる写真を重ね合わせて、ズレの分だけ歪みを補正して判読することは可能であった。

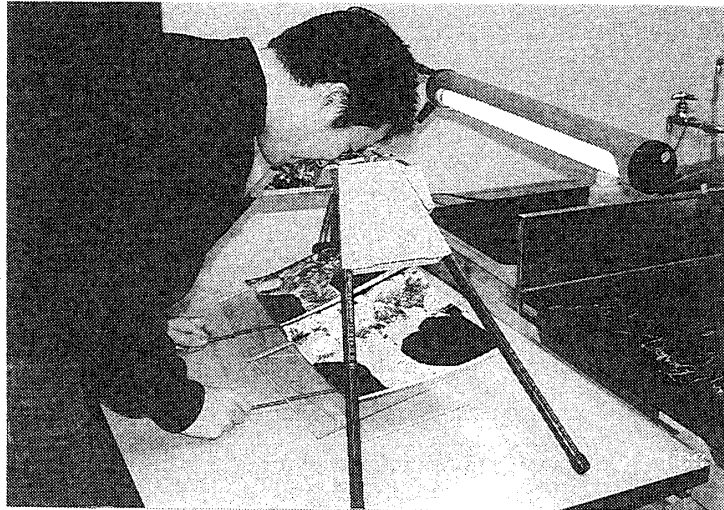


図14 自作の歪み修正台を利用した写真判読風景

手で持っている棒によって、自由に写真を置く台の向きを変えることができ、適当な角度で位置を固定することができる。  
実体鏡の足は、ビニールパイプを取り付けて延長させている。

ただし、既存の地図との重ね合わせをおこなうために、鉛直方向に画像を変換させる方法（オルソ変換）については、今回検討することはできなかった。

### III. 米軍偵察衛星写真の地形学的研究への応用

本章では、米軍偵察衛星写真が地形学的研究にどの程度利用できるのかを検討したい。ここでは主に断層活動による地形面の変形を対象に、空中写真・地形図等と比較しながら衛星写真利用の可能性とその限界について論じる。事例として取りあげるのは、変位地形が明瞭なネパール南東部ヒマラヤ前縁山麓ティマイ川兩岸である。判読に用いた衛星写真の縮尺は、約1/65,000である。本稿では衛星写真と1978年に撮影された空中写真(縮尺1/55,000)および縮尺1/25,000地形図を用いて比較を行った。

ネパール南東部ヒマラヤ前縁山麓には、MBF (Main Boundary Fault) とHFF (Himalayan Front Fault) の2つの活断層系が発達し、インド国境に近いTimai (ティマイ) 川付近でMBFとHFFに属する活断層が交差するため、本地域には複雑な変位地形が出現している(中田, 1988; Nakata, 1989) (図15)。MBFは低ヒマラヤとサブヒマラヤの地形・地質境界をなし、HFFはサブヒマラヤとガンジス平原を境していると考えられている。

中田(1988)は、図16の空中写真を用いて地形の判読と現地調査をおこない、この地域における断層変位地形について記載をおこなっている。そこで中田(1988)にもとづいて、ティマイ川兩岸に分布する活断層の変位様式と断層運動によって変位した河岸段丘面について概要を説明する。ティマイ川兩岸ではMBFの活断層は北西-南東方向にのび、東-

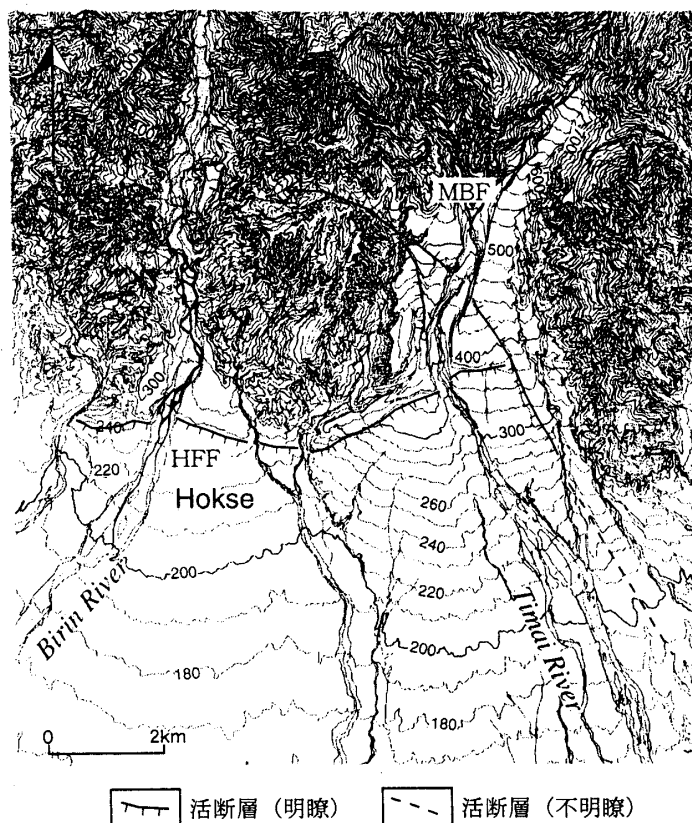


図15 ネパール南東部ティマイ川周辺の断層分布図

ケバは落ちの方向を示す。ネパール政府測量局作成の1/25,000の地形図の等高線をトレースして作成した。

西方向の HFF の活断層を横切って平野内に続いている。MBF の活断層は主として北落ちの低断層崖を形成している。しかし、この垂直変位はティマイ川右岸に見られる MBF の分岐断層沿いでは南落ちをなすほか、活断層が HFF を横切って南に延びる地域では南西落ちを示し、地域的にセンスは変化する。また HFF は、サブヒマラヤを構成するシワリク丘陵南縁では南落ちの断層崖として認められる。

ティマイ川右岸の高位段丘面(A面)は断層運動によって126m北上がりの変位をうけるとともに上流側に約4°逆傾斜している。また、ティマイ川沿いに発達する最も広い段丘は、その左岸では MBF に沿って北落ちに18.5m(B地点)、HFF に沿って南落ちに33m変位(C地点)をしている。ティマイ川右岸では、MBF とその分岐断層にはさまれて孤立する平坦面がある。この面(D面)の MBF に沿う変位量は北落ち36mであり、MBF 分岐断層に沿っては25m程南落ちになる。

筆者らは、上述したティマイ川兩岸の変位地形を米軍偵察衛星写真(図17)、地形図(図15)を用いて再度判読した。ランドサット衛星画像を用いた判読は、図18に示すように大きな地形境界を認識するには有効であるが、空中写真のように高精度の地形判読には



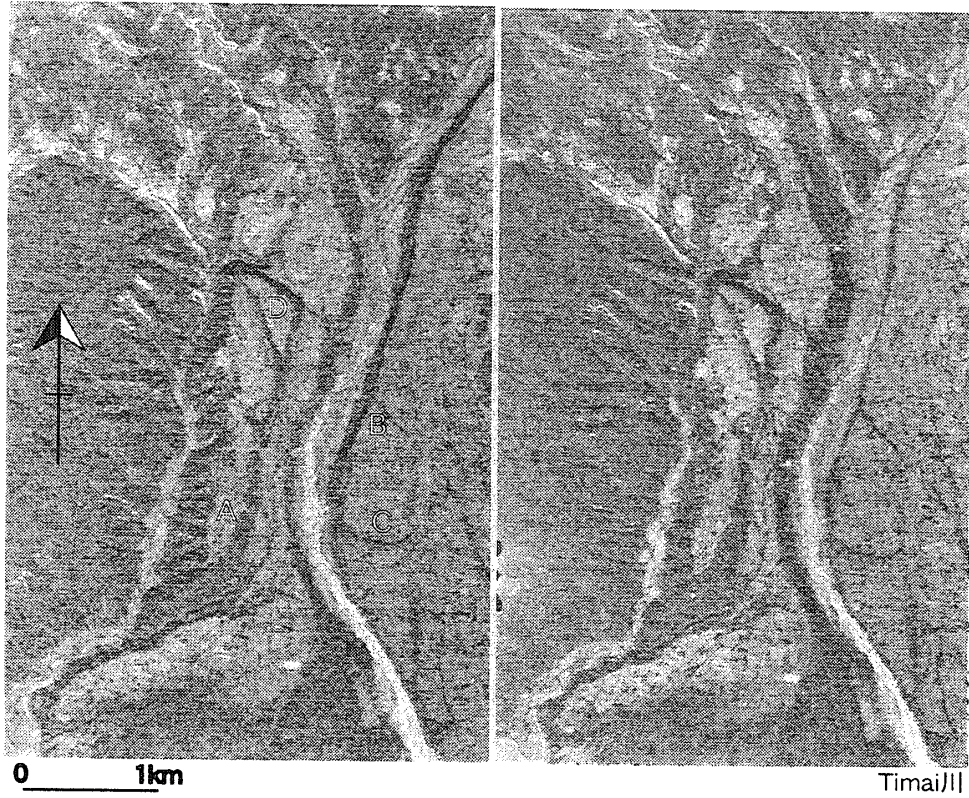


図16 ネパール南東部ティマイ川周辺のステレオ空中写真 (縮尺約1/55,000)

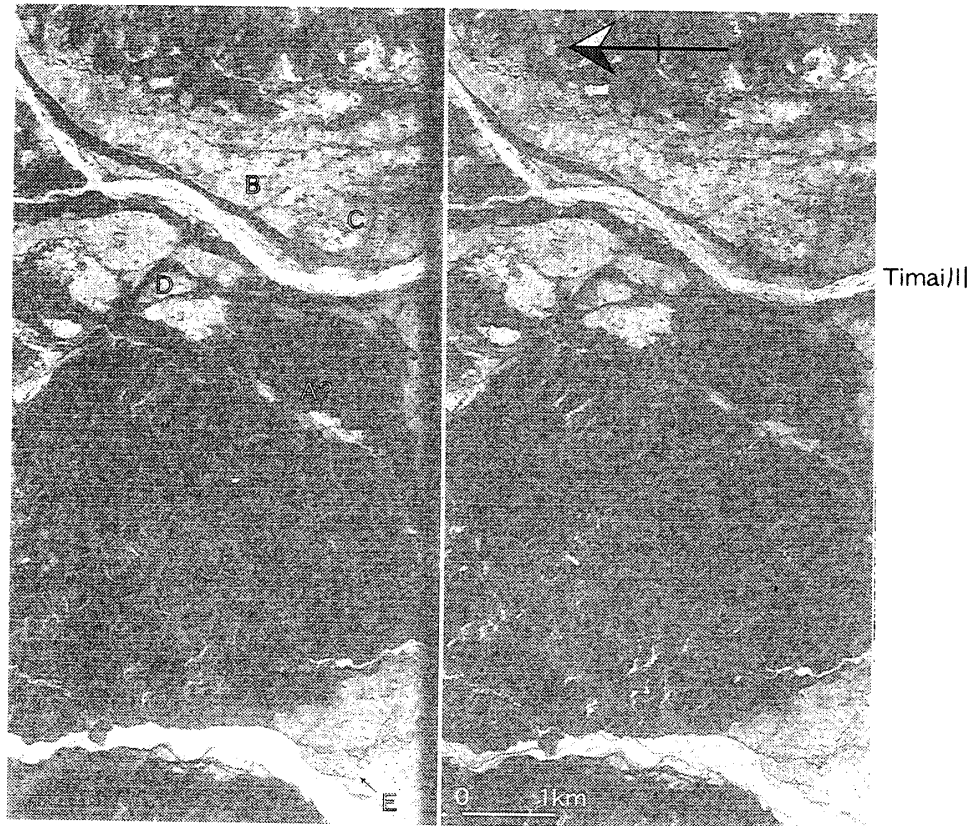


図17 ネパール南東部ティマイ川周辺のステレオ衛星写真 (縮尺約1/65,000)



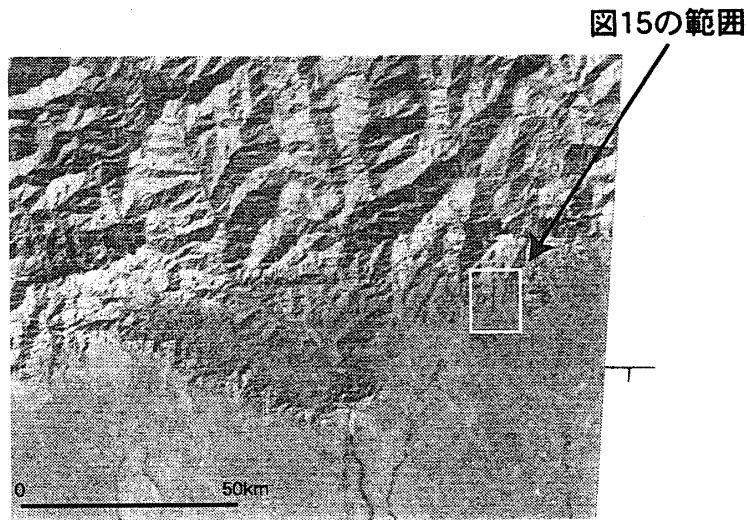


図18 ネパール南東部のランドサット衛星画像

適さない。

偵察衛星写真による判読からは、空中写真判読で得られた記載と同様、ティマイ川両岸ではMBFの活断層は北西-南東方向にのび、東-西方向のHFFの活断層を横切って平野内に続いていることが、確認できる。また、ティマイ川右岸に見られるMBFの分岐断層に沿っては南落ちも確認できるほか、活断層がHFFを横切って南に延びる地点での南西落ちも明瞭に認めることができる。一方、HFFの変位も南落ちの断層崖として認めることができる。このように断層の分布は、その連続性、変位の向き、あるいはここではふれなかったが、断層を挟む地表の階調変化なども空中写真とかわらない精度で判読することが可能である。地形図からは、垂直変位量が等高線間隔(20m)より大きければ断層崖を認識することが出来る(例えばC地点)が、垂直変位量が小さい地域では断層崖を認識することは難しい。

次に、断層運動によって変位・変形した段丘面について検討する。衛星写真の判読からは、ティマイ川右岸の高位段丘面(A面)を認識することは難しい。さらにこの面が断層運動によって北上がりの変位をうけるとともに上流側に逆傾斜していることを認定することも困難である。これは衛星写真の撮影当時A面が耕地化されておらず森林に覆われていたため、地形判読が困難になったものと思われる。加えて、衛星写真が撮影する森林の階調に差が小さいため、地形面の起伏・傾斜の判読をより困難なものにしていると考えられる。一方、ティマイ川沿いに発達する最も広い段丘が、左岸でMBFに沿って北落ち(B地点)に、HFFに沿って南落ち(C地点)に変位を受けていることを見いだすことは容易である。また、MBFとその分岐断層にはさまれて孤立する平坦面(D面)も明瞭に判読する

ことができる。

また、E地点では低位段丘が断層によって断たれていることを、衛星写真から判読することができる。実測によりこの崖の比高は約8mであることが明らかにされており、少なくとも10m程度の比高は十分に認識することが可能といえる。なお、1/25,000の地形図の等高線間隔が20mであるため、この低断層崖を地形図上で認識することは困難である。

#### IV. おわりに

合衆国政府から公開されている米軍偵察衛星写真は、北半球の発展途上地域および旧共産圏を広くカバーする高解像度で安価なステレオ写真である。今なお空中写真を公開していないこれらの地域において、その果たす役割は大きい。筆者らは主として南・東南アジア地域における変動地形学的研究を進めるにあたり、この米軍偵察衛星写真を利用してきた。その過程で得られた知見は以下のようにまとめられる。

1. 発展途上地域では空中写真を公開していない国が多数を占める上、地形学的研究に不可欠な地形図すら未整備または入手不可能な場合が多い。こういった地域では、米軍偵察衛星写真は地形判読を可能とする貴重なデータである。
2. 米軍偵察衛星写真の地上分解能は、好条件下では2mとされており、入手可能な他の衛星画像にまさる。筆者らの経験では、比高10m程度の崖は明瞭に判読可能であることが確認されている。
3. 写真の撮影時期が1960年～70年代であるため、開発による人工改変以前の状況を判読することができる。
4. ネガおよびポジフィルムでのデータ供与を受けることができ、必要に応じて拡大現像することが可能である。公称10～16倍の拡大が可能であり、この場合およそ1万5千分の1の写真を得ることができる。筆者らはおよそ5倍に拡大し、約6万5千分の1の写真を現像して使用している。現像された写真は同縮尺の空中写真とほぼ同じ解像度を有し、空中写真の代用品として十分な品質であるといえる。

#### 謝辞

本稿執筆にあたり、奈良女子大学の小方 登、高田将志両先生には米軍偵察衛星写真に関する情報および資料を提供していただいた。また、広島大学大学院生竹崎嘉彦氏には衛星画像に関する資料を見せていただいた。米軍偵察衛星写真の検索・整理及び、保管シートの作成では、広島大学学生山口泰道君に協力していただいた。以上の方々にお礼申し上げます。

## 参考文献

- 小方 登 (1998)：偵察衛星写真でみるシリアのヘレニズム植民地都市。『ユーラシアにおける都市圏郭の成立と系譜に関する比較地誌学的研究』科学研究費補助金研究成果報告書基盤研究(A) (2), pp.193~204.
- 小方 登・高田将志・相馬秀廣 (1998)：自然地理学・人文地理学における米国偵察衛星写真の応用。日本地理学会春季学術大会発表要旨, no.53, pp.402-403.
- 小方 登 (1999)：衛星画像と衛星写真について。『衛星画像による東アジアの都城の復原に関する歴史地理学的研究』科学研究費補助金研究成果報告書基盤研究(B) (2), pp.6~7.
- 中田 高 (1988)：活断層からみたヒマラヤの上昇-ネパールヒマラヤを例に。木崎甲子郎編著『上昇するヒマラヤ』築地書館, pp.129~150.
- Nakata Takashi(1989)：Active fault of the Himalaya of India and Nepal. Geological Society of America Special Paper 232, pp.243-264.
- 長澤良太 (1997)：海外地域調査のためのリモートセンシング活用講座。地理, vol.42, no.1~6.