

数値標高による地質情報の可視化と地質学への応用について

Visualization of Geological Information of Digital Elevation Data and Application for Geology

小出 良幸*・新井田秀一**

Abstract

Although 50m mesh digital altitude data of Geographical Survey Institute is open to public, we can use 10m mesh digital altitude data. The 10m mesh data reveals invisible geographical and geological features to be visible. Moreover, we could extract information reflecting geological features by the composition of digital altitude data and the satellite image, and analysis of topography by the digital altitude data. The accumulation of geological information should obtain the additional value with progressing IT.

I はじめに：地質情報のデジタル化

20世紀後半コンピュータや情報に関連する技術（Information Technology：以下ITと略す）の進歩と普及に伴って、多くの研究領域にコンピュータやIT関連機器が使用されるようになってきた。ITによる道具を利用して研究をするだけでなく、従来の道具や人手による作業をIT機器によって簡便化、あるいは高精度化がなされることによって、いろいろな付加価値が生まれてくるようになってきた。IT化の波は、人文科学や自然科学を問わずどのような研究分野でも、多かれ少なかれ影響を受けている。

IT化が遅れていると思われる人文科学では、その原因として、コンピュータで利用できる漢字に文字種が限定されていることがあろう。日本では、JIS（日本工業規格）が

文字の規格を定めているが、8ビットでは256種類（ 2^8 ）の文字しか表現できない。漢字の使用を考慮すると、日本語表記には種数が少なすぎる。そこで、2バイトで一文字を現す（ $2^{16}=65,536$ ）手法で、JIS基本漢字が決められた。ひらがな、かたかな、漢字、全角記号などの2バイト文字で、よく使われる漢字2,965字が第1水準として定められ、あまり使われないが常用に必要な第2水準の漢字3,388字を合わせて、6,353字のコード（漢字コード）を16ビットで表現するように規定している。それでも足りないことがあるため、JIS補助漢字として第3水準の6,067字（内漢字5,801字）や、JIS拡張漢字として第3水準の1,908字および第4水準の漢字2,436字の計4,344字（内漢字は3,685字）が規定されている（JIS補助漢字と一部重複する）。

これでも漢字数でみると1万字程度にすぎない。日常的な使用では不自由はないかもし

*KOIDE Yoshiyuki and 札幌学院大学人文学部

**NIIIDA Shuichi 神奈川県立生命の星・地球博物館

れないが、国文学などの研究者にとっては、数万字の漢字が必要となる。大修館書店の大漢和辞典は約5万字が収録されている。人文科学の基礎環境として、文字のデジタル化が完全になされていないがために、研究手段としてコンピュータやITの利用が、それほど需要がなかった要因かもしれない。

しかし、現在では、大量の漢字を利用できる環境が整備されてきた。現在、10万字以上の漢字が利用可能となっている（漢字文献情報処理研究会編，2000；文字鏡研究会編，2002）。そのシステムには、必要があれば新しい漢字を追加する仕組みも組み込まれている。人文科学の環境整備の一環として、古典文献のデータベース化もなされ、人文科学の研究素材のデジタル化が進んできている。現在では、人文科学でも多くの研究者がITの恩恵にあずかっている。

自然科学でも、野外調査に関しては、IT化が遅れていた。地質学における野外調査では、ある地点の観察、試料採取、ルートマップ作成などを行う。現在では、そのような野外調査へのコンピュータやITの利用が進められている。例えばGPS（Global Positioning System：全地球測位システムと呼ばれる）の小型化によって調査にGPSを持ち歩くことが可能となり、野外調査における位置情報が記録できるようになった。デジタル化された位置情報は、今までの研究者自身が行うよりも、はるかに高精度に、連続的に扱えるようになってきた。

位置情報と他のデジタル情報との連携によって、ルートマップや断面図の作成、試料採取地点のデータベース化など、付加価値を持って利用されるようになった（例えば小出，2004など）。デジタル化による付加価値の例として、野外の露頭や景観の記録もある。従来はアナログカメラでの記録をデジタル化しただけであった。しかし、現在では、デジタル画像をコンピュータ内で合成すると、画質を

劣化させることなく、人間の目で見える以上に景観を見やすくする技術（例えば小出，2004；2005など）が利用されている。

本論文では、地質情報のデジタル化として、高精度標高データを利用した可視化と、さまざまな応用を考えていく。

本稿で用いた地形の画像は、すべて独自に作成したものである。画像作成に当たって、2004年度札幌学院大学研究促進奨励金（共同研究）に基づき、高分解能デジタル標高データを北海道地図株式会社から購入して遂行したものである。また、ASTER衛星画像は、文部科学省科学研究費基盤研究（神奈川県立生命の星・地球博物館，研究代表 平田大二）によって購入したものを利用した。Landsat衛星画像はUniversity of MarylandのThe Global Land Cover Facility（GLCF）のものを用いた。国土地理院の2万5千分の1と5万分の1地形図画像、および250mと50m数値標高データを、地形解析は北海道地図株式会社製作のものを使用した。また、地形図作成や衛星画像と標高データ合成には、杉本智彦氏によるソフトウェアKashmirを使用した。以上の方々に感謝申し上げる。

II 地質情報のデジタル化

地質学の野外調査において、地図は不可欠である。野外調査の結果を地形図に記入し、最終的に地形図上に地質図が作成されていく。地質図、つまり岩石の分布とその連続・不連続を2次元に表示したものを作成することが、野外調査に次いですべき最初の室内作業となる。なぜなら、調査地域の地質図から、大地の履歴を知る上で非常に重要な情報を読み取ることができるからである。

一般に地質図は、地形図の上に作成される。地形図とは、もともと3次元の地表面を2次元に投影したもので、3次元の空間情報（標高データ）が等高線や標高値として付加されて記載されているものである。その地形図の

上に、さらに地質図が作成されていくことになる。

地質図は、研究者が野外調査で得た点もしくは線の地質情報を、2次元化、3次元化していくものである。そして最終的には、時間軸を加えて、4次元的な復元がなされていく。地質図作成とは、非常に複雑な作業をおこなって地質の復元を行っていることになる。

地形図自体が3次元情報の2次元化がなされている上に、地質図として複雑な地質情報が上書きされていくことになる。そのために、すべての情報を同一のレベルで表示すると、図面が複雑になり、肝心の地質情報が読み取りにくくなる。地質図を見やすくするために、地形図の情報が間引かれていくことになる。

地質図を用いれば、地層面や侵食面、断層面、貫入面などが、3次元空間にどのように分布しているかを、地形情報と組み合わせることによって読み取ることが可能となる。地質の3次元的分布とは、地下や地上の状況を知ることである。地表面より上部は、すでに削剥されていて今はなくなってしまったものを推定することになる。地下の部分は、地表からは見えないが、ボーリングなどを実施すれば、検証することは可能である。しかし、実際に個人の研究者が地質調査でボーリングをすることは不可能である。地表に現われている露頭スケールの3次元に広がる面情報を野外調査で読み取り、地下や地上へその情報を延長していけば、科学的に推定することが可能となる。

その推定結果は、地質断面として示される。地質図には、地質断面図が添えられていることもあるが、地質図から地質図学などの訓練によって地下の様子を読み取ることも可能となる。与えられた情報が同じであれば、間違いを犯さなければ、経験の程度によらず、同じ地質の地下分布を得られるはずである。

最近では、地質調査のデータを数値化して専用のソフトウェアに入力していけば、地下

の地質分布も数値処理でき、恣意性のない比較的客観性の高い地質図や地質断面図も作成できるようになってきている。このように、今まで経験や熟練によっていた野外調査や地質の分布復元においても、IT化がすすめられてきている。

III 数値標高データの利用方法

1 数値地図の重要性

地質の復元は、調査の精度をあげれば、原理的にはどこまでも精度を高くすることができる。しかし、人文科学における漢字の処理がIT化のボトルネックとなったのと同じように、地形図の精度が地質調査におけるボトルネックとなる。

地図は、国土地理院から2万5000分の1地形図が出版されているが、地質調査の目的によっては、さらに精度の高い大縮尺の地図が必要となる。その時は調査地がある市町村の役場にいけば、より高精度の1万分の1や5000分の1の地形図を入手することが可能である。その地形図上に調査データを記入することになる。それ以上の精度が必要となると、自分で地図を作成することになる。

土木工事や考古学などの野外調査では、測量をして必要とする精度を得ることが可能である。しかし、地質調査は、一人でそれも広域に行くことが多く、測量などできない。したがって、必要な部分だけ、手書きのスケッチ（10分の1や100分の1スケール）や大縮尺のルートマップ（100分の1や1000分の1スケール）を作成していくことになる。そして、広域の地質も最終的に小縮尺の地質図にまとめられる。しかし、重要な情報は、大縮尺のスケッチ、写真、柱状図、ルートマップなどとして、論文に掲載されていく。したがって野外調査をデジタル化して記録するなら、可能な限り精度の良い地図が必要となる。

地質学の野外調査の精度を上げるためには、大縮尺の地図にする必要がある。しかし、

費用や手間がかかるために、需要の少ない精度の地図は作成されない。日本全土では2万5000分の1地形図が基本となり、市町村では1万分の1や5000分の1地形図が基本となっている。

国土地理院で地図の精度を上げるために現在とられている方法は、地図情報のベクトル化である。ベクトル化とは、2次元的な地形（等高線、水系）、行政境界、交通（道路、鉄道）を、地理的座標を持った図形データのベクトル化することである。ベクトル化された線や図形は、コンピュータ上で拡大しても、写真画像のように粗くなることはない。国土地理院では、2500分の1の精度での日本全土のベクトル化がなされている。デジタル化された数値地図として国土地理院から公開され、コンピュータで処理できるようになっている。

2 メッシュ数値標高データ

線や図形が、ぎざぎざがなく滑らかだからといって、精度を保っているとは限らない。線が画面上できれいでも、現実と合わなければ意味を成さない。つまり、もともとのデータがどれほどの精度を持っているかが、ベクトルデータの精度を決めることになる。

行政境界、交通などは、人工的なもののなので、直線状もしくは単純な曲線で近似できることが多く、ベクトル化しやすいものである。それらについては、国土地理院では2500分の1の精度を達成している。

地形は、自然の不規則なものであるため、精度の良いベクトル化がしにくいものである。河川や海岸線などの線状で重要度のあるものは、丹念にトレースすれば精度を上げることはできる。だが、3次元的な標高はデータ量が膨大となり、精度を上げることは困難である。

地形図は、一定の高度からの隣り合う写真が重なり合うように撮影された空中写真をも

とに、地図情報が読み取られていく。標高も、かつては立体視可能な航空写真から読み取れていたが、現在では航空写真の代わりに、航空機によるレーザ測量（航空レーザスキャナ測量と呼ばれている）がおこなわれている。航空レーザスキャナ測量とは、航空機に搭載したレーザのパルスを地上に走査して、地上から反射するレーザとの時間差によって地上までの距離を測定するものである。距離データと、GPS測量機と慣性計測装置から得られる航空機の位置から、3次元の計測をして、精密な標高データ、地形、地物の形状を求めるものである。

航空レーザスキャナ測量において、標高の精度を上げるのは、非常に手間がかかる作業となる。地表の食生や建築物があるところでは、地形データではなく、レーザの反射面のデータとなる。したがってレーザ測量のデータは、地表面の標高ではなく、いろいろな反射が混在したものとなる（DSM: Digital Surface Model）。地表面の標高データにするには、計測したDSMデータから、地表面を遮蔽するような人工構造物や植生を除去したデータにしていかねばならない。そのように処理された地表面の標高値は、数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）と呼ばれている。

高精度のDEMデータを作成するには、IT化してあるとはいえ、多大なる労力と費用が必要となる。現在、国土地理院では、南北方向および東西方向に、それぞれ5m間隔の方眼（メッシュと呼ばれる）で覆う精度のレーザ測量をおこない、基本標高データを作成している。標高は各メッシュの中心の部分を読み取っている。しかし、5mメッシュ数値標高で日本列島全土が整備されているわけではなく、埼玉東南部、東京都区部、名古屋、京都及大阪、福岡などの大都市のみである。それは都市計画や防災計画などの需要と必要性があるためである。さらに必要に応じて1m

メッシュのレーダー測量も実用化され、50 cm メッシュのレーダー測量も利用可能となってきた(杉盛, 2000; 坪井・村手, 2000)。

国土地理院のメッシュ数値標高データとして、10 m メッシュが公開されているが、13 の火山(雌阿寒岳, 岩木山, 岩手山, 秋田駒ヶ岳, 鳥海山, 蔵王山, 安達太良山, 那須岳, 草津白根山, 鶴見岳, くじゅう連山, 阿蘇山, 霧島山)のみで、全国をカバーするものではない。2007 年 2 月には新たに 11 火山の 10 m メッシュ標高データが加えられた。

現在、日本全土覆う標高網として国土地理院から公開されているのは、1 km メッシュと 250 m メッシュ、50 m メッシュの数値標高データである。いずれの標高データも、2 万 5000 分 1 地形図から計測したものである。

アメリカ地質調査所(USGS: United State Geological Survey)からは、全世界の標高データを無料で公開されている。スペースシャトルによって測量された(Shuttle Radar Topography Mission: SRTM と略される)、SRTM-30 と呼ばれる 30 秒メッシュ(約 900 m 相当)、SRTM-3 と呼ばれる 3 秒メッシュ(約 90 m 相当)というものがある。アメリカ合衆国内の地形データは、SRTM-1 と呼ばれる 10 秒メッシュ(約 30 m 相当)が無料公開されている。

図 1 に示したように、同じ画素数で示される範囲で、各メッシュデータを比較すると、その違いは明瞭となる。メッシュ数値標高データは目的に応じた使用がなされている。

3 10 m メッシュ数値標高

日本での地質調査を考えた場合、SRTM-3(約 90 m 相当)を考慮しても、50 m メッシュが汎用としてえられる一番高精細のものといえる。50 m メッシュでは、2 万 5000 分の 1 の精度では、かろうじて使用に耐えるが、それより高精度では使用に耐えない。

例えば現在普及している GPS では、同時

に 12 機の衛星までを受信可能で、その精度であれば、位置情報は 15 m 程度の誤差で得られる。つまり 50 m メッシュのなかに、9 個の測定点が見分けられる精度があるということになる。このような精度に見合う標高データとは、15 m メッシュであるが、現在一般に使われているのは、10 m メッシュか 30 m メッシュになるであろう。

現在、新しい GPS には、WAAS (Wide Area Augmentation System) と呼ばれる補正機能が実装されている。これは、GPS の位置精度を上げるために、静止軌道上に 3 つの衛星を用意して全地球を覆い、補正情報を送信するもので、現在、試験運用中である。もしこの衛星が正式運用になると、WAAS 機能を使う事により GPS の精度は、3 m 程度の誤差に改善されることになる。

そうなれば、ますます数値標高データの精度が不足することになる。少なくとも 10 m メッシュ、できれば 5 m メッシュの全国の標高データが必要となろう。日本全土でそろえるのが可能なのは、10 m メッシュであろう。

現状では、デジタル化された位置情報と比べると、基礎素材となる地図の精度が悪く、十分 GPS の精度を反映できないことになる。これは、人文科学において漢字の種類数が少なく学問的に使用に耐えなかったのと同じ状況である。野外科学において数値地図の精度を上げるのであれば、数値標高データの精度をいかに上げるかが問題となる。

2 万 5000 分の 1 地形図において、実際の 50 m は地図では 2 mm になり、10 m は 0.4 mm になる。2 万 5000 分の 1 地形図を基本とした場合、10 m メッシュ以上に精度をあげることは不可能であり、現実の地形との整合性からも精度が保障されない。10 m メッシュ以上の精度を求めるのなら、レーザ測量が必要となる。しかし、5 m メッシュは上記の需要と供給の関係から、日本全土でそろえるのは当面困難である。以上のことから、2 万

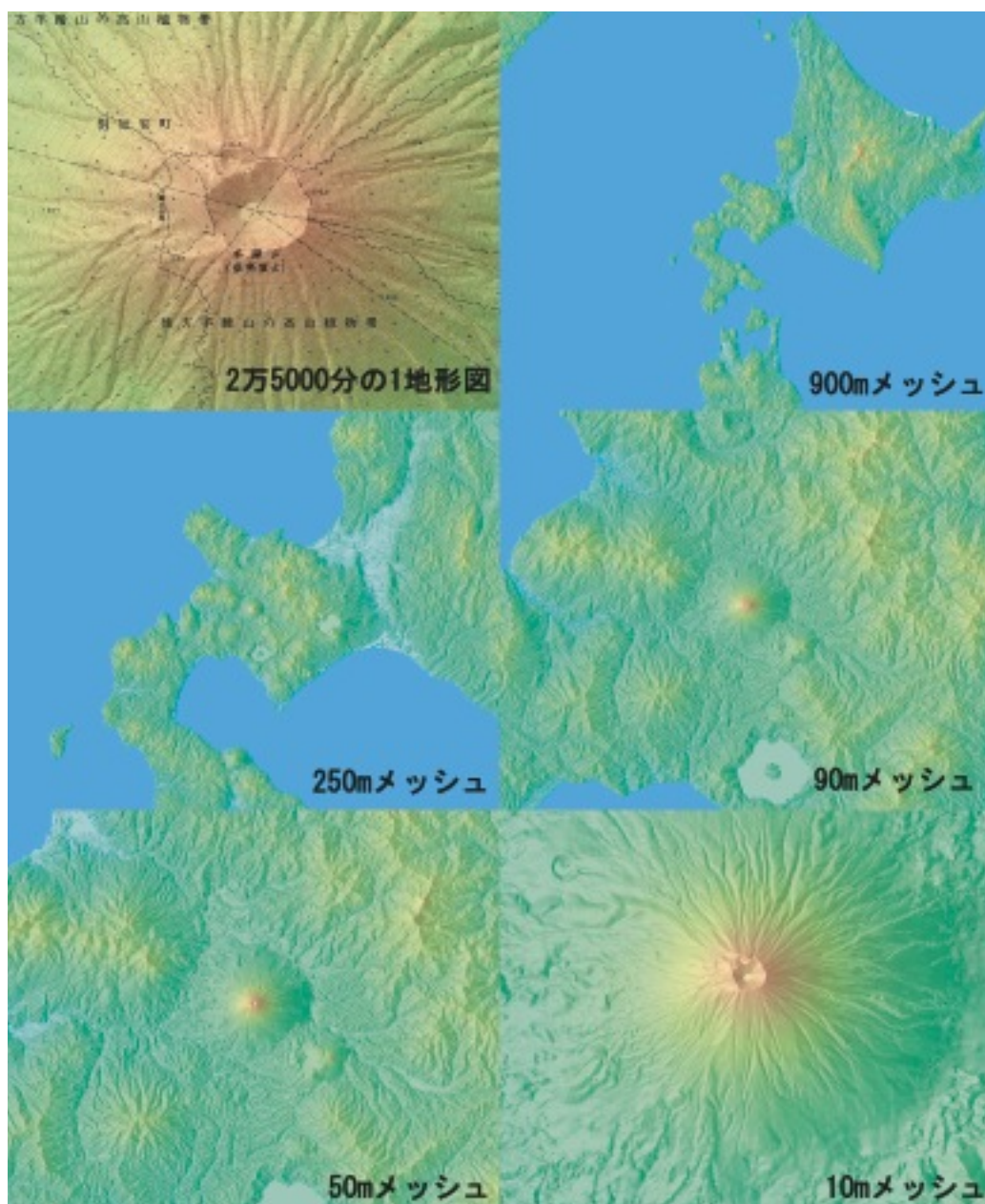


図1 数値標高

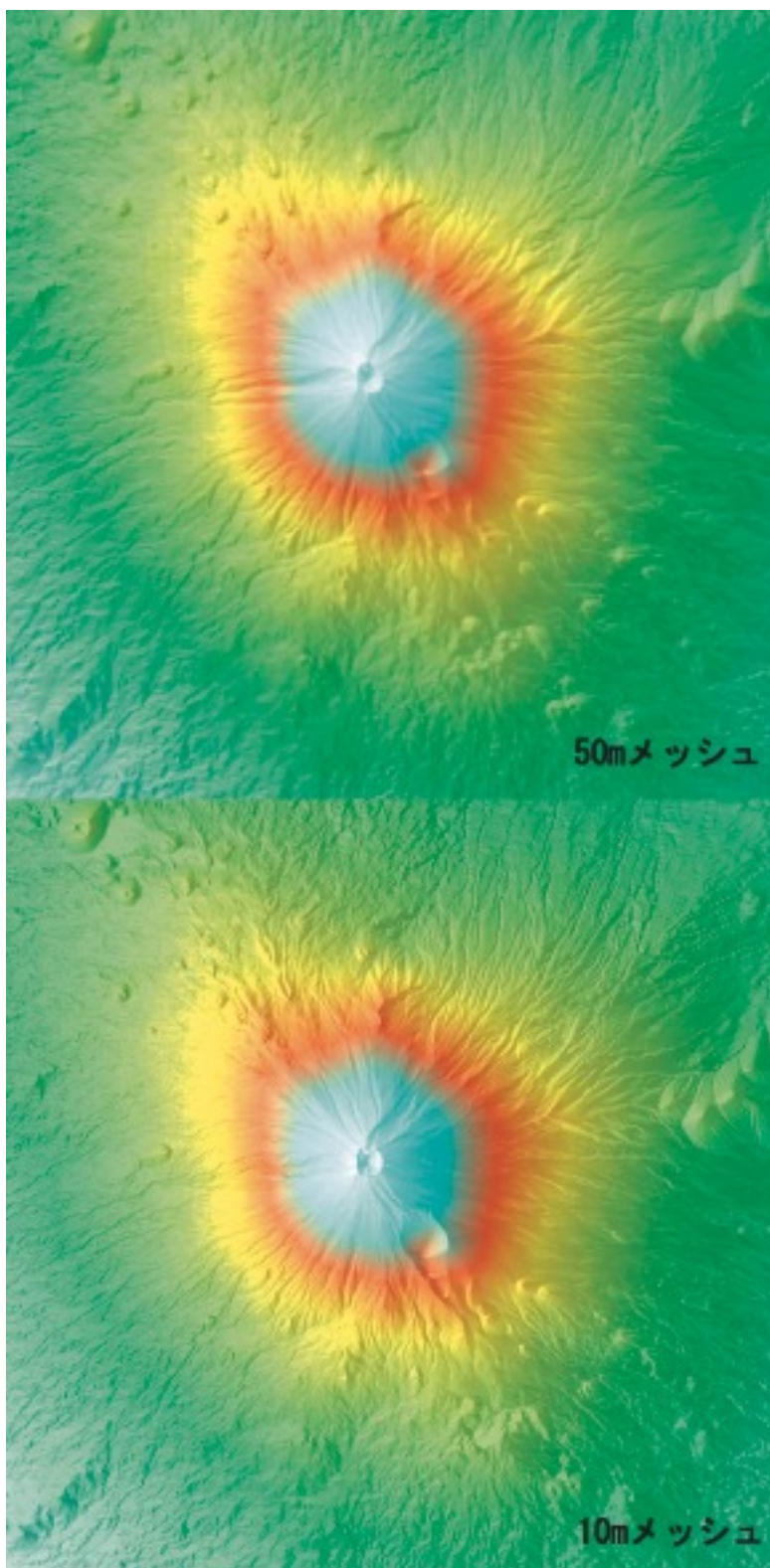
羊蹄山を中心とした標高データのメッシュの違いを示した。2万5000分の1地形図，SRTM-30（約900 mメッシュ相当），250 mメッシュ，SRTM-3（約90 mメッシュ相当），50 mメッシュ，10 mメッシュ数値標高による画像を，同じピクセル数の範囲で示した。これらの比較は，解像度の違いが表示範囲の広さに反比例するように表現されている。

5000分の1地形図から読み取りうる情報としては、10 mメッシュ数値標高データがほぼ限界といえるものであろう。

残念ながら10 mメッシュ数値標高データは、国土地理院から全国を網羅したものが公開されておらず、北海道地図株式会社から販売されているものだけである。北海道地図株式会社では、10 mメッシュ数値標高データは「高分解能デジタル標高データ」と呼ばれて、全国を網羅した商品となっている。これを利用することによって、50 mメッシュの25倍の精度を得ることができる(図2)。この10 mメッシュ数値標高データを活用すれば、単に地質学的調査の精度

図2 50 mメッシュと10 mメッシュ数値標高の比較

富士山の約20 km四方の範囲を段彩陰影図によって表示したもの。50 mメッシュ数値標高(上)と10 mメッシュ(下)による比較。10 mメッシュ数値標高の方が明らかに詳細な地形を示している。



に合わせるというだけでなく、付加価値が得られることがあると考えられる。

IV 10 m メッシュ数値標高データの応用

以下では、10 m メッシュ数値標高データを用了様々な可視化手法とその応用を考えていく。

1 衛星画像の利用

人工衛星による地表観察は、いろいろなメリットがあるが、広域を同じ時間に同じ精度での観測ができる点が重要である。地表の観測では、国境や山岳地帯、極地、紛争地帯など、人が調査するには困難を伴うところは、どうしても調査の精度が悪くなる。しかし、上空からの観察では、そのような調査条件によるデータむらができることなく、均質にデータが収集できる。衛星の観測データを蓄積すれば、経年変化を見出すこともできる。

人工衛星による地表観測は、かつては軍事目的だけであったが、20 世紀後半には科学目的のために観測がなされるようになってきた。1960 年代から 1970 年代にかけて、アメリカ合衆国で衛星画像の処理技術が開発され、利用が促進されてきた。

衛星で観測される波長の種類は多様である。電磁波は、周波数により伝播の性質や、物質との相互作用の特性が異なるため、さまざまな目的で利用されている。たとえば、マイクロ波は波長が長く、解像度は上げられないが、水蒸気による散乱が少なく雲を透過して観測できる。また、物質による反射光の違いの解析によって、地表の構成物質を推定することが可能である。

民生用の高精度衛星として IKONOS がある。IKONOS は、アメリカの規制緩和により、偵察衛星技術を民生用に転用されたものである。商用観測衛星として、1999 年 9 月 25 日に打ち上げられ、2000 年 1 月よりデータの提供

がされており、1 m の分解能をもっている。画像の 1 ドット分が、地表ではどれほどの大きさになるかで、そのセンサーの性能を比べることができる。これを分解能あるいは解像度と呼んでいる。1 m の分解能とは航空写真に匹敵するもので、それを高度 680 km から達成している。その精度を例えるならば、東京から函館や広島にいる人が見えることになる。このような最新の商用衛星画像の価格は高価である。

Landsat 1 号は、1973 年 7 月 23 日に打ち上げられ、その後 6 台の後継機が打ち上げられた。Landsat 6 号は、1993 年 10 月 5 日打ち上げられたが、軌道投入に失敗している。1999 年 4 月 15 日に打ち上げられた Landsat 7 号が、現在も運用中である。1984 年に打ち上げられた Landsat 5 号も運用中で、20 年以上にわたって利用されている。6 台の Landsat から得られた大量の画像が今では蓄積されていることになる。

Landsat は、高度約 700 km を北極から南極を通る縦の軌道（極軌道という）を、約 100 分で 1 周している。Landsat のカメラ（センサーと呼ばれている）は、幅 185 km、縦 170 km の範囲を 1 回の撮影でカバーできる。関東平野なら 1 ～ 2 枚、日本列島も 32 枚の画像で覆うことができる。広範囲を一度に撮影できるので、1 枚の Landsat 画像があれば、いろいろな地質や地形の情報を読み取ることが可能となる。

Landsat に搭載されているセンサーは、地表から反射する電磁波を、波長ごとに記録していくものである。初期の Landsat は、80 m の分解能であった。地上の 80 m 以上のものであれば、見分けられるという精度である。Landsat 4 号では分解能が 30 m となり、現在の Landsat 7 号では 15 m の分解能を持っている。現在の Landsat 7 号では、7 つの波長帯（バンドと呼ばれている）が利用されている。ETM+というセンサーのバンド 8 で

は、7つの波長帯と重複する広範囲の波長帯であるが、15 m の高分解能センサーとなっている。この解像度は、10 m メッシュの標高データに匹敵するものである（図3）。700 km のかなたから15 m ものを見分けられる解像度である。15 m といえば、個人の住宅が見分けられるというレベルである。例えると、東京駅から館山辺りにいる人が見える、あるいは富士山の山頂から江ノ島にいる人が見える、というレベルの分解能を持っている。その分解能で全地球を撮影しているのである。

現在、Landsat 画像で全地球を覆っている解像と時期の違う2つのセットが、University of Maryland の GLCF (The Global Land Cover Facility) から無料で公開されている。本研究では、その Landsat 画像を利用した。

本研究では、さらに ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) の画像も利用した。

ASTER とは、日本がアメリカ航空宇宙局 (NASA) の EOS 計画に



図3 Landsat TM と ETM+による画像

Landsat の TM センサー（上：解像度 30 m）と ETM+ センサー（下：解像度 15 m）による画像の比較。範囲は 3 km 四方。TM と ETM+ では解像度 30 m と 15 m の差があるため、海岸線は ETM+ の方が滑らかに見える。

参加した地球観測プロジェクトで、地球観測衛星 Terra に搭載されている資源探査用センサーのことである。Terra は 1999 年に打ち上げられ、日本とアメリカで共同運用されている。ASTER は、地質の解析、火山噴火などの地球環境に大きな影響を与える現象の把握を目指しているものである。

ASTER の可視近赤外 (VNIR) が、空間分解能を 15 m の高性能光学センサーをもって、15 m の分解能は、Landsat の ETM+ と変わらない。しかし、真下を撮影する望遠鏡と後を撮影する望遠鏡を備えているため、同じ地域を違う角度で撮影することができる。この 2 画像から立体視ができるので、標高データを作成することができる。標高データも 15 m の分解能を持ち、地上分解能というより空間分解能という性能となった。本研究では、価格も比較的安く、入手しやすい ASTER 画像を利用した (図 4)。

2006 年 1 月 24 日に日本の陸域観測技術衛星の「だいち」(ALOS) が、H-IIA ロケット 8 号機 (H-IIA・F8) で打ち上げられた。「だいち」の特徴は、パンクロマティック立体視センサー (PRISM) とよばれるもので、前方と直下、後方の 3 方向を同時に撮影する。その分解能は 2.5 m である。「だいち」は、地形情報を精度よく測定することができる。「だいち」で地表の 2 万 5000 分の 1 の精度の地形データを集め、「日本国内やアジア太平洋地域など諸外国の地図の作成・更新」することが、重要な目的の一つとなっている。この精度は、日本の国土ではすでに達成している精度であるが、正確な地図が作成されていない国が多いことを考えれば、国際的に非常に重要な貢献となる。現在、「だいち」の試験は終わり、定常観測運用がはじまり、2006 年 10 月 24 日より観測データの一般提供もはじまった。だが、今回の研究では利用できなかった。

衛星画像の特徴はなんといっても、直接視覚に訴えるわかりやすさがある。衛星は可視



図 4 ASTER と Landsat の画像

洞爺湖温泉街と西山火口周辺の 2 km 四方の画像。ASTER (上)、Landsat TM センサー (中)、Landsat ETM+ センサー (上) の画像と 10 m メッシュ数値標高を用いて比較したもの。TM センサーと比べ ETM+ と ASTER の画像は詳細である。ETM+ と ASTER では解像度 15 m で同じであるため、両者の差はない。

光の範囲を直接撮影する場合もあるが、多くの場合可視光以上の波長範囲をいくつかに分けて撮影される。例えば、ASTER では、可視から熱赤外領域までに 14 バンドに分けて観測している。反射光には物質の特徴が現れるので、そのスペクトル分析を行うことが目的となっているのである。これを、リモートセンシングと呼んでいる。

地質学においては、岩石や地層の分布状況、特徴的鉱物の分布による資源探査、火山噴火の時間変化、地質構造や地形の解析、津波や地震の被害や防災の基礎資料など、多くの応用がされている（例えば Dajesh, 2004）。

個別に観測された波長を組み合わせることで、擬似的ではあるが自然色に近い色で表現できる。擬似的な自然色に示された画像は、現実味のあるものとなる。さらに、数値標高データを用いて衛星画像（Texture と呼ばれる）と合わせて表現すれば、3 次元的な画像となる。このような合成をする時、解像度が同等であることが望ましい。現在、衛星画像の解像度は、15 m から 2.5 m、1 m へと上がっている。今回使用した ASTER の衛星画像や LANDSAT の ETM+ の 15 m の精度に対して、標高データは、50 m メッシュ数値標高では精度が悪すぎ、10 m メッシュ程度の精度が必要不可欠となる（図 5）。

2 地質の地形への反映

10 m メッシュ数値標高データを利用することによって、50 m メッシュと比べると数値の上では 25 倍（あるいは 5 倍）も詳細な地形を、判別できることになる。今まであった 50 m メッシュ数値標高データでは見えなかった地質を見ることが可能となる。コンピュータを使って可視化したり、衛星画像などと組み合わせたりすることによって、より可視性を高めることが可能となる。

地形は、構成する地質を反映している。詳細な地形の読み取れるということは、より詳

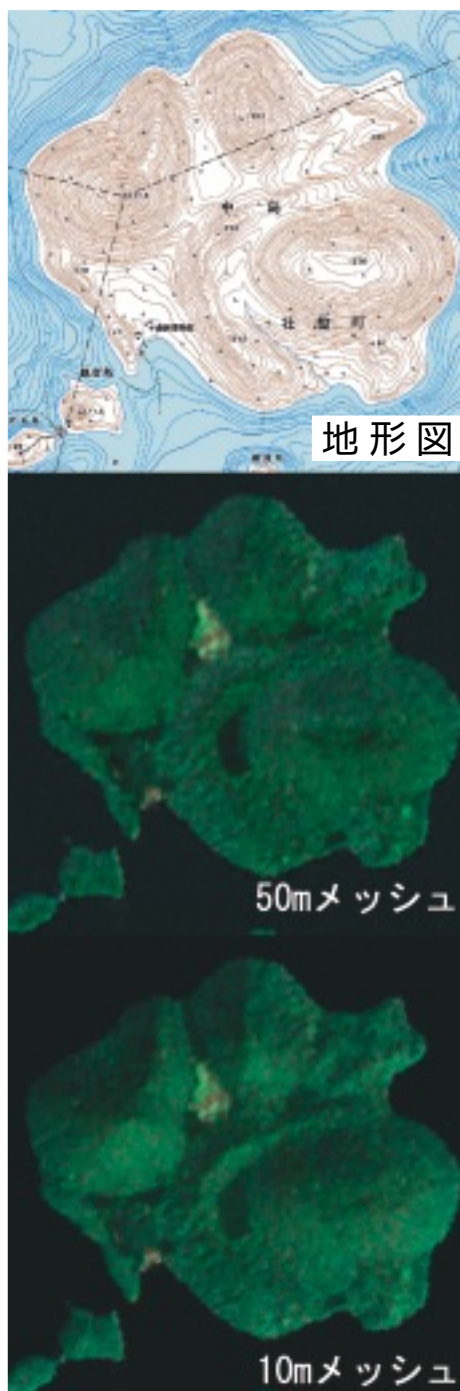


図5 ASTER 画像の 50 m メッシュおよび 10 m メッシュ数値標高による画像

洞爺湖中島の画像による比較。2 万 5000 分の 1 地形図（上）、ASTER 画像と 50 m メッシュ数値標高（中）と、同画像と 10 m メッシュ数値標高（下）を用いて表示したものを比較した。10 m メッシュ数値標高の方が、地形を詳細に示していることがわかる。

細な地質を判読することを意味する。

地質には、規模によって、いろいろなタイプがある（表1）。

大規模な地質構造は、数100～数10 kmのオーダーとなる。プレート境界(中央構造線, 衝突帯, リフト帯, 沈み込み帯), 構造線(巨大断層, トランスフォーム断層), 貫入岩体(バソリス), 巨大岩脈, 巨大火山などがある。

中規模の地質構造は、数 km～数100 mのオーダーとなる。地質帯の違い(メランジェ, オフィオライト), 中規模火山, 大断層, カルスト, リアス式海岸などがある。

小規模の地質構造は、数100 m～数 mのオーダーとなる。火山地形(中央火口丘, ドーム, 山体崩壊, 古い火山, 側火山, 泥火山など), 氷河地形(カール, U字谷, 周氷河地形), 海水準変動(海岸段丘, 海面上昇, 沈降地形), 河川地形(河岸段丘, 蛇行, 三日月湖, 扇状地, 氾濫原, 河川変更, 河川争奪), 小断層, 自然災害(洪水, 津波, 地滑り), 人間の営為などがある。

地質現象の規模によって空間サイズあるいはサイズスケールが異なる。これは、地質情報を地形情報への反映として読み取ろうとしたとき、情報の精度が一致していなければ、見えないことが起こるということを意味する。

大規模から中規模の地質が反映された地形は、50 m メッシュ数値標高やそれ以上の大きな粗いメッシュでも表現可能である(図6)。逆に10 m メッシュ数値標高を用いてもその効果は現われず、計算や処理に時間を要するだけで無駄な精度となる。中規模の地形は、50 m メッシュ数値標高で見ることができているが、10 m メッシュの方がより鮮明に見ることができる(図7)。一方、小規模な地形(図8)は、50 m メッシュ数値標高より小さいメッシュでないと表現されなかったり、あるいはほとんど現われなかったりするものがある。

このような中・小規模の地形は、地域の詳細な地質構造や、比較的短時間の地質学的営為を反映しているため、人間生活にかかわり

表1 地形に反映される地質と規模

地質と地形	例
大規模地形	数100 km～数10 kmのオーダー
プレート境界	中央海嶺, 衝突帯, リフト帯, 沈み込み帯
構造線	巨大断層: 中央構造線, フォッサマグナ トランスフォーム断層
貫入岩体	バソリス: 大崩山
巨大火山	阿蘇山
中規模地形	数 km～数100 mのオーダー
地質帯の違い	メランジェ: 夕張岳 オフィオライト
中規模火山	有珠火山, 洞爺湖
大断層	仏像構造線
カルスト	秋吉台
リアス式海岸	三陸海岸
小規模地形	数100 m～数 mのオーダー
火山地形	中央火口丘, ドーム, 山体崩壊, 古い火山, 側火山, 泥火山
氷河地形	カール, U字谷, 周氷河地形
海水準変動	海岸段丘, 海面上昇, 沈降地形
河川地形	河岸段丘, 蛇行, 三日月湖, 扇状地, 氾濫原, 河川変更, 河川争奪
小断層	いたるところにある
自然災害	洪水, 津波, 地滑り
人間の営為	ダム, 堤防, 護岸, 埋立地, 人工海岸, 河川改修

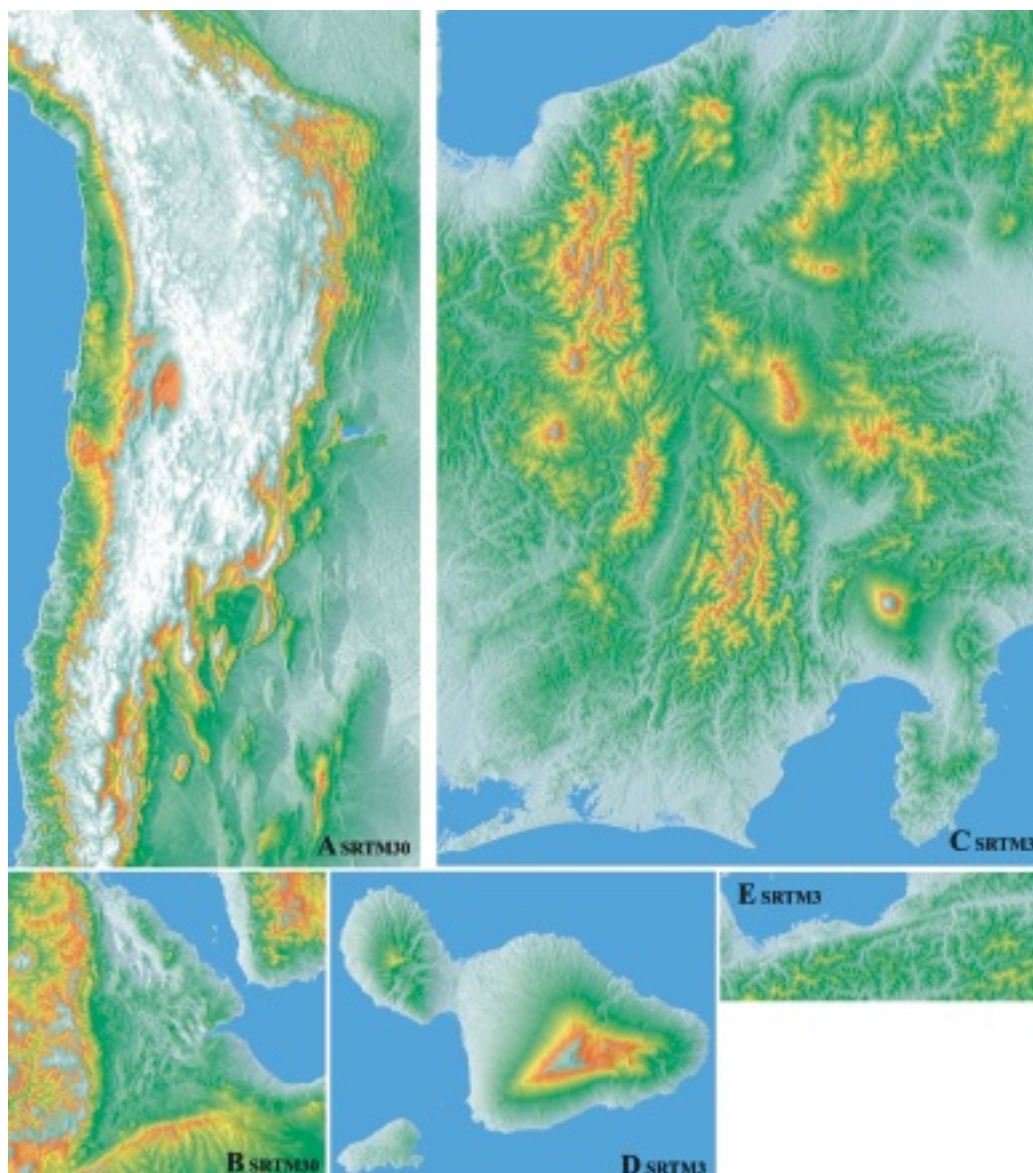


図6 大規模地形の表現例

A：SRTM-30 (約 900 m メッシュ相当) による褶曲地形である南米のアンデス山脈。B：SRTM-30 によるアフリカ北東部のリフト帯の始まりに当たるジブチ共和国のアファ三角地帯。C：SRTM-3 (約 90 m メッシュ相当) による巨大断層である日本のフォッサマグナ。D：SRTM-3 による巨大火山であるハワイ島。E：SRTM-3 による巨大断層である日本の中央構造線。

のあるものが多い。それらの地形を、解析することは、非常に重要となる。つまり、地形データを単にデジタル化するだけでなく、生活情報あるいは社会情報として別の利用価値を生み出せれば、より有効な利用ができるのである。ただし、あくまでも地形に現われた

地質学的特徴であるので、その実態や内容は、現地調査に基づかなければならない。

3 地形表現

数値標高データとそれを操作できるソフトウェアを用いることによって、地形の特徴を



図7 中規模地形の例

四国西部にある仏像構造線（左下から中央上に伸びる断層崖）を示すために、西側上空3 km から焦点距離28 mm のレンズで撮影するという設定で作成した陰影段彩鳥瞰図。50 m メッシュ数値標高（上）と10 m メッシュ数値標高（下）によるもので、断層崖50 m メッシュでも表現されているが、崖の険しさや地形は10 m メッシュの方が鮮明に現われている。

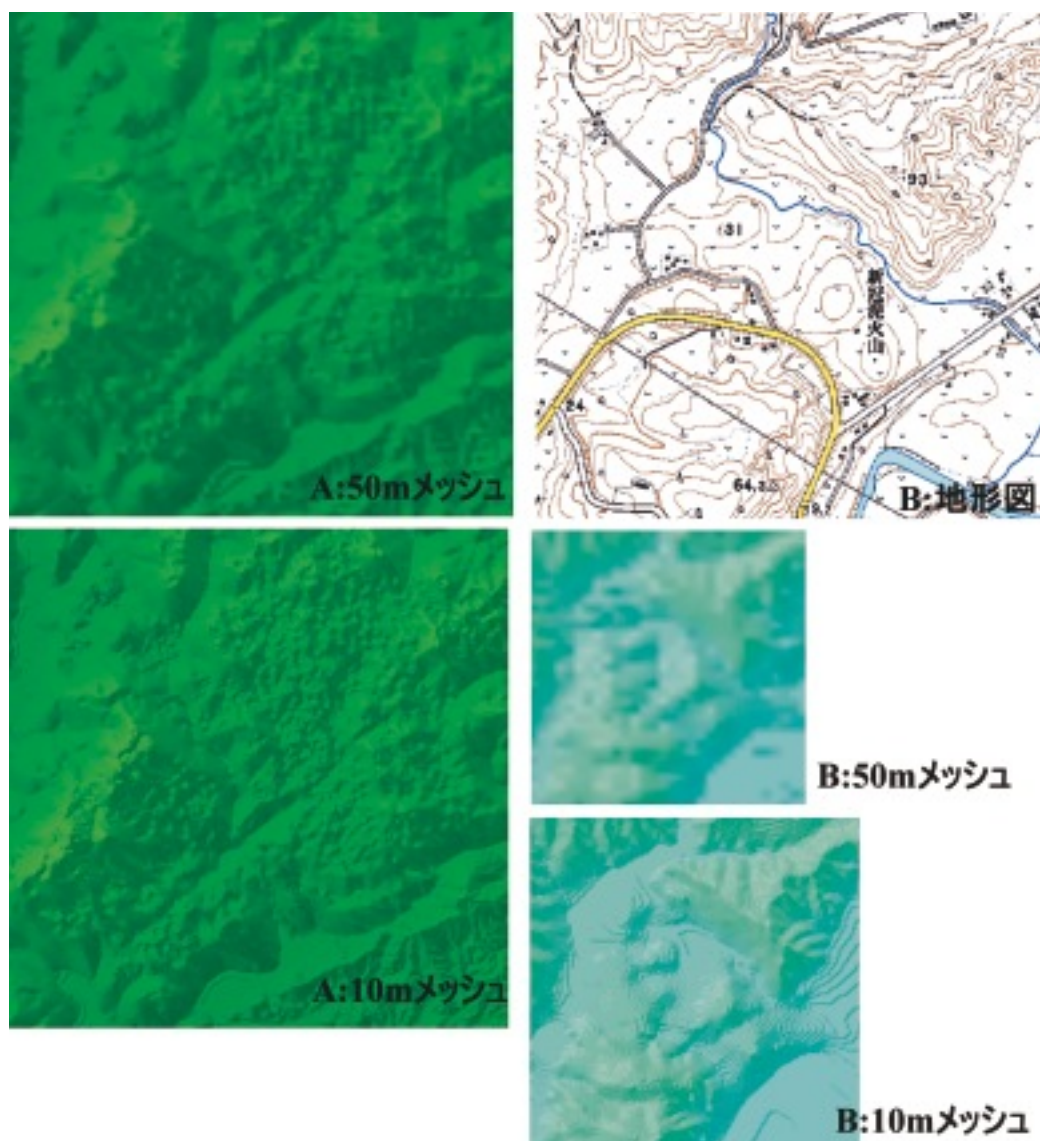


図8 小規模地形の例

A：秋吉台の5 km 四方カルスト地形のドリーネを50 m メッシュ数値標高(上)と比べて10 m メッシュ数値標高(下)で表示した。50 m メッシュ数値標高でもドリーネの地形は見えるが、10 m メッシュの方が明瞭である。B：新冠の泥火山の1.5 km 四方を地形図(上)、50 m メッシュ数値標高(中)、10 m メッシュ数値標高で示した。50 m メッシュ数値標高では見えない泥火山が10 m メッシュでは見えている。

よりよく示す地形表現の方法を自由に選択可能となる。地形表現の多くは、地形を立体的に表現することで、特徴を際立たせる方法である(図9)。地形平面図に標高による効果を加え、立体的に見えるように表現したものが一般的である。

立体表現としては、標高データを高度ごとに色分けする段彩図や、任意の方位と高度から光を当てて陰影をつけて立体感を表現した陰影図などがある。あるいは両者を組み合わせた陰影段彩図なども用いられる。

陰影段彩図にすると地形の凹凸が、標高を

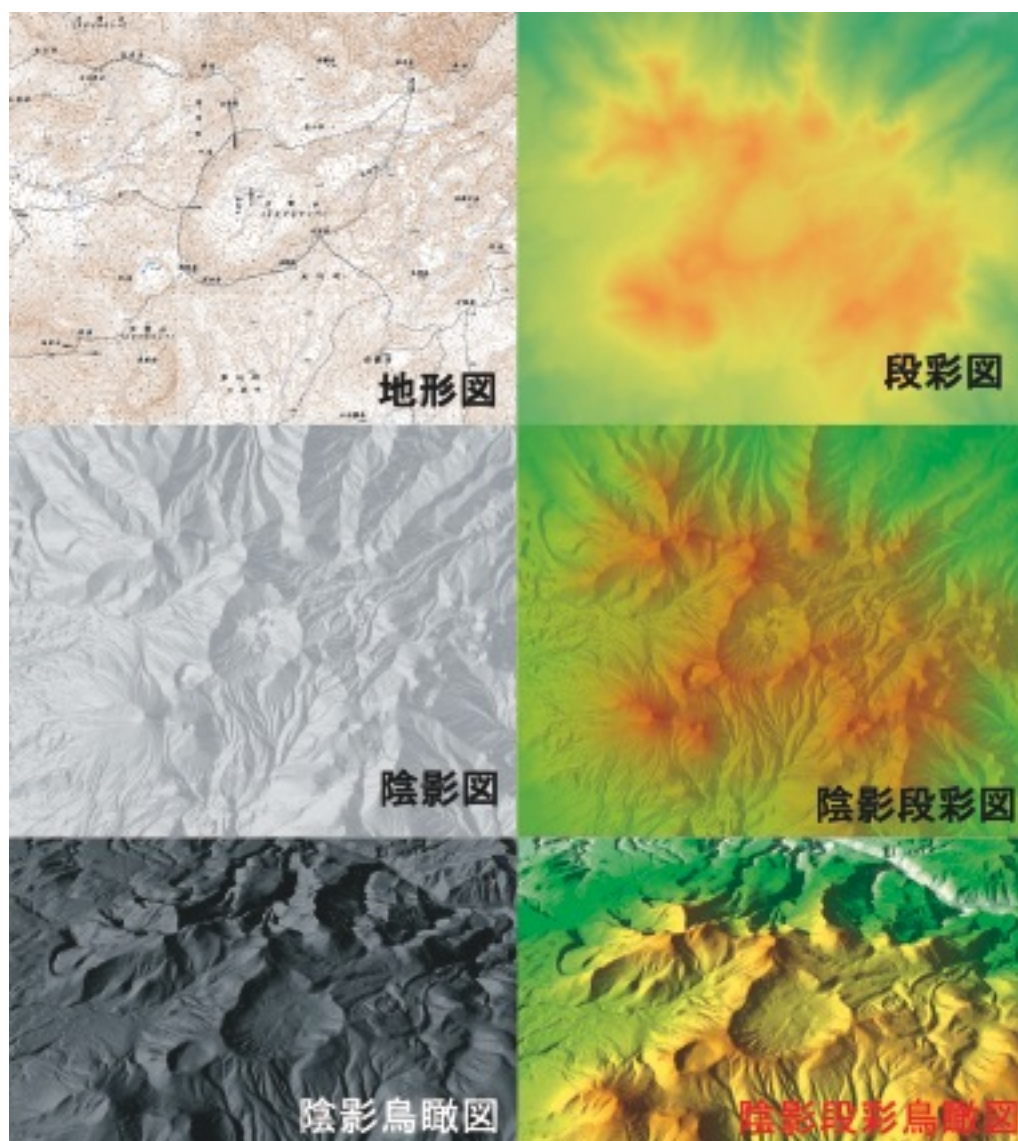


図9 地形表現の方法

地形表現の手法の比較のために 10 m メッシュ数値標高を用いて大雪山の御鉢平を中心とした場所で作成した。ただし、陰影鳥瞰図、陰影段彩鳥瞰図は御鉢平より南側の上空から見たものとして作成した。

等高線で示した地形図から読み取る時と比べると非常に可視性を高めることができる。特に陰影は、立体感を表すのに非常に有効となる。陰影は、通常太陽が当たるところと日影を計算して、地形を表現するものである。影の部分は暗くなるため見づらくなり、通常の太陽光のあたり方では凹凸が逆に見えるという欠点がある。このような欠点は、影の濃淡

を調整し、太陽光を北西から当るという作業がなされ、克服されている。衛星画像で立体感が反転して見えることがあるのは、現実の影の効果によるものである。

数値情報にしておけば、地形表現はコンピュータ上で自由に試行錯誤して、その地形や地質を反映しているものを選ぶことができる。もちろんデジタルであるから、変更や再

描写は容易である。

以上は平面図上での手法であったが、上空から地形を俯瞰した鳥瞰図という表現手法がある。これは、鳥のような視点で地形を俯瞰して作成するものである。鳥瞰図にも陰影だけのものから、陰影段彩図を重ねた陰影段彩鳥瞰図などがある。このような鳥瞰図は、コンピュータで作成するので、自由に視点の高度や位置を変更することができる。作図範囲もカメラでいえば、レンズの焦点距離を変えるように、望みの画角を得ることが可能である。ソフトによっては、大気のかすみ、地球の湾曲、雲、地面や海面のきめなどを効果としてさまざまな程度で加えることも可能である。図は2次元で示されているが、コンピュータ内では3次元情報として処理されている。

地形情報のデジタル化によって可視化が多様になった。地形情報を含む地理情報システムは、Geographic Information System を略して GIS と呼ばれている。GIS の進歩は、地図の概念を変えてきた。地図は馴れないとなかなか読み取りにくいものであったが、GIS の進歩によって、地図は誰にでも分かりやすく、利用しやすいものとなってきた。今では GIS と GPS を利用したカーナビなどで広く普及してきた。

野外調査においても、この恩恵を受けている。従来は既存縮尺に応じて、利用する地図が定まっていたが、現在では自由に縮尺にとれるために、必要に応じて目的にあった縮尺を自由に利用できる。目的に合った地図も自作できるようになってきた。見せたい範囲を見せたい手法や縮尺で、それも境界がなく（シームレス）利用できるようになってきた。

4 地形解析

このような地図情報のデジタル化の進歩は、地質を反映した地形を読み取るためにも利用できる。地形は地質を反映していることが多い。したがって、地形の特徴から、地質

の特徴を読み取るということが可能となる。その手法にはいろいろなものがあるが、標高データから地形の特徴を強調する計算手法を用いた解析法がよく利用される。地形解析の方法として、傾斜量、地上開度、地下開度、斜面方位、斜面形などがある（図 10）。

傾斜量は、ある点における最大傾斜方向の接線ベクトルから求めるもので、断層などの線構造の読み取り、地質の違い、斜面変化の見分けるのに有効である（神谷ほか、2000）。地上開度は、空の見通しの度合いを角度で示したもので、尾根地形の分布や密度を表現するのに有効である（横山ほか、1999）。地下開度は、空が地表に遮られる度合いを角度で示したもので、地形の発達状況や河川の分布・密度などを表現するのに有効である。斜面方位は、ある点における最大傾斜方向の接線ベクトルから求めるもので、日照量と関連し、植生量や融雪量を表現するのに有効である。斜面形は、斜面の凸凹を判定し、尾根部や谷部を読み取ることが可能で、斜面の変換部から土砂災害の予測などに利用される。

このような地形解析は、それぞれ目的に応じて利用されているが、特に傾斜量、地上開度、地下開度は、地質が地形に反映している状態を見分けるのに有効なものとなる（蟹澤・横山、1999）。

地形解析で経年変化や地質の違いを可視化すると、非常に鮮明に表すことができる（図 11）。あるいは、着色で広域の地質状況の可視性を高めることによって、地質の反映を見出すことも容易になっている（例えば、千葉、2006）。

V まとめ

野外調査は、アナログ的でデジタル化しづらいものであった。しかし、GPS による位置情報のデジタル化、そして地理情報のデジタル化によって、近年、一気にコンピュータが利用可能な状況になってきた。地質情報のデ

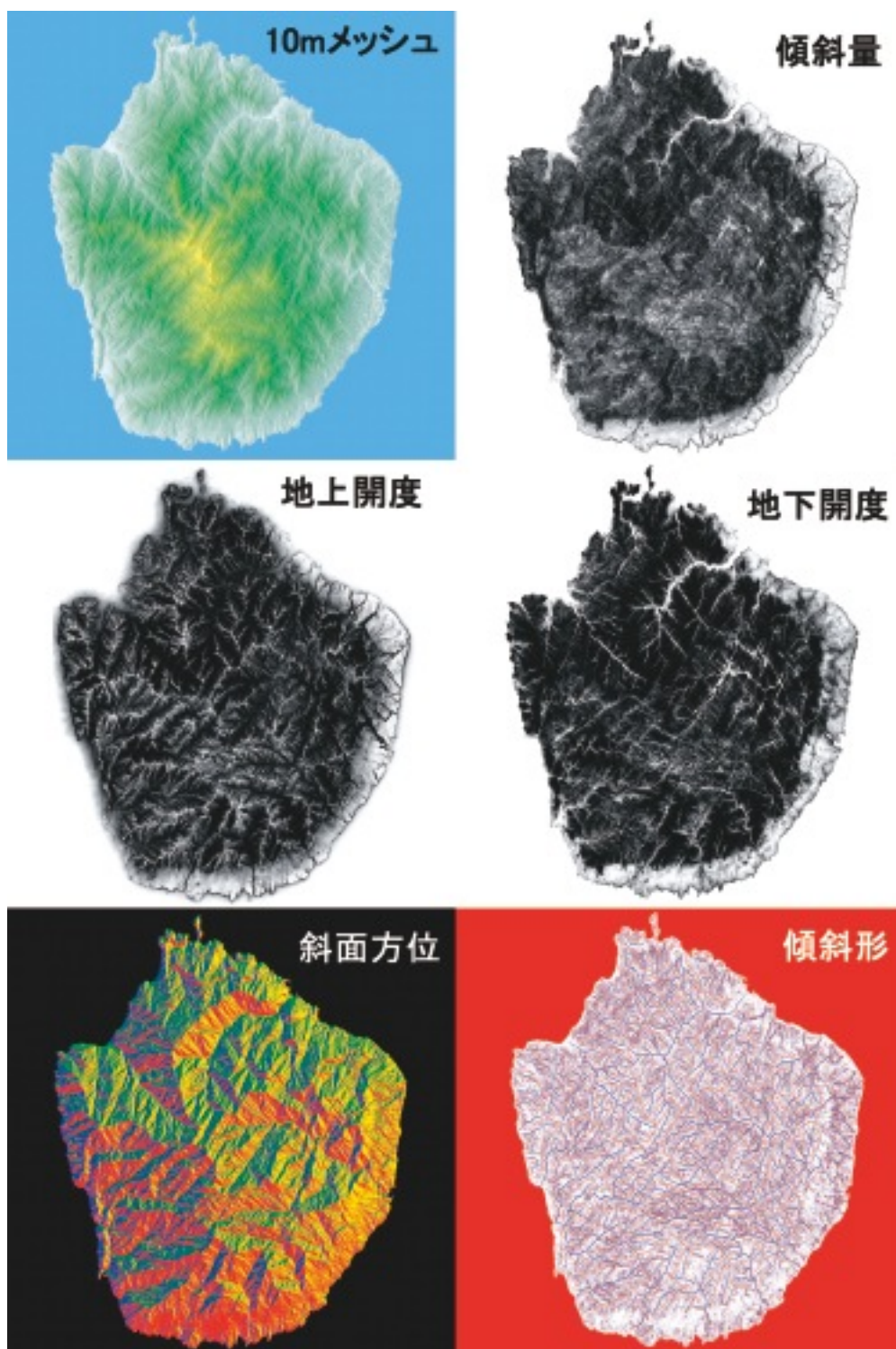


図 10 地形解析の方法
画像は比較のために屋久島の同じ範囲のものを作成した。

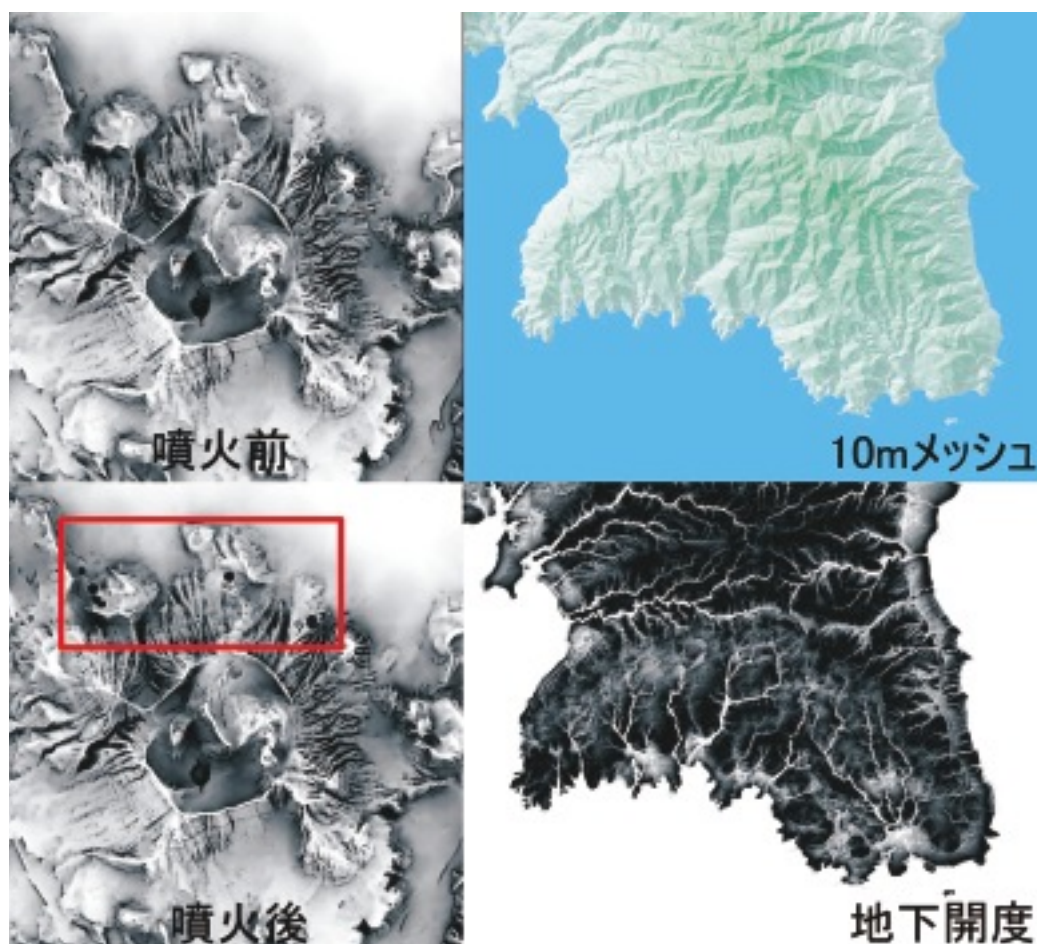


図 11 地質学への応用例

左：2000年の有珠山の噴火前後の地形変化（四角で囲んだ地域）を地形解析の地上開度図で示したもの。右：足摺岬の先端部を構成する花崗岩による地形変化。10 m メッシュ数値標高でははっきりしない地質の境界が、地下開度の地形解析では、半円形の地質境界が明瞭になっている。

デジタル化として、データ整理、データベースの作成のためだけでなく、今までのアナログ処理では生まれなかったさまざまな付加的情報がえられるようになった。

詳細で質の良い1次情報さえあれば、それを元に各種の2次情報へとデータの劣化なく誰でも自由にできるようになってきた。本稿で示したような地質が反映された地形の数値的解析や経年変化、地質の違いだけでなく、誰かが新しく考案した便利な手法は、熟練や経験を要することなく同じレベルの処理が初心者でもできるようになってきたのである。

これらの流れは、科学の手法として非常に重要な示唆を与えている。一つは、デジタル化が進めば進むほど、地質調査など野外でデータを採取する1次情報の重要が増してきたということである。1次情報の重要性は、今にはじまったのではなく、昔から重要であった。1次情報の収集では、目的に応じた調査手法を用い、なおかつ昔ながらの経験や熟練も必要となるであろう。

一方、室内の実験や作業は、デジタル化により、熟練はそれほど重要ではなく、時間もそれほど必要でなくなった。かつて野外調査

は、調査後のデータ処理の多様さや手間の多さから、ついつい調査のまとめを終えると、研究を終えたような安堵感があった。しかし、それは錯覚で、より深い科学的作業を要する部分へ序章に過ぎないのである。位置情報や地図情報のデジタル化によって、より早く簡単に野外調査のまとめができれば、重要なことへ多くの時間と精力を割くことができるのである。より普遍的な手法開発、原理原則の解明、考察など、非常に創造性を要する内容に精力を向けることになってくる。

これは、野外調査とその取りまとめという地質学の研究手法は変わらないが、その力の配分が、他の科学と同じように、精度の良いデータ収集と手法開発や考察に多くの時間を割けるようになってきたのである。

本稿で示したような数値標高データによる地質情報の可視化と、その地質学への応用によって、情報の付加価値を得ること、情報の価値を高めることが重要となるであろう。

文献

- 千葉達郎 (2006) 『赤色立体地図でみる日本の凸凹』技術評論社 136.
- 蟹澤聡史・横山隆三 (1999) 数値地図から地質情報読み取る——北上山地における傾斜図・開度図の応用——. 『地質ニュース』Vol.542, 31-38.
- 神谷泉・黒木貴一・田中耕平, (2000) 傾斜量図を用いた地形・地質の判読. 『情報地質』Vol.11, No.1, 11-24.
- 漢字文献情報処理研究会 (2000) 『電脳国文学 インターネットで広がる古典の世界』好文出版 286.
- 勝部圭一・白沢道生・青木宏人 (2005) 「地形解析図 (中国・四国)」について. 『地図』Vol.43 No. 4, 73-75.
- 小口高・勝部圭一 (2000) 細密 DEM を用いた地形解析. 空間情報科学研究センターシンポジウム「デジタル観測手法を統合した里山の GIS 解析」CSIS Discussion Paper, No.29, 19-26.

- 小出良幸 (2004) GPS と数値地図を用いた野外調査の効率化とデータベースの可視化. 札幌学院大学情報科学研究所『情報科学』Vol.24, 7-20.
- 小出良幸 (2005) 野外現況の記録とパノラマ画像を用いた提示手法について. 札幌学院大学情報科学研究所『情報科学』Vol.25, 13-31.
- 中山大地 (2002) リモートセンシング・DEM を用いた水文地形研究の展望. 原 美登里・小口高・西方美奈子編『水文学・水文地形学と空間情報』20-24.
- 文字鏡研究会編集 (2002) 『パソコン悠悠漢字術 2002 今昔文字鏡徹底活用』紀伊国屋書店 200.
- Rajesh, H. M. (2004) Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping - An overview. Jour. Mineral. Petrolog. Sci., Vol.99, 83-103.
- 杉盛啓明, (2000) 流出解析の基礎情報としての細密 DEM. 空間情報科学研究センターシンポジウム『デジタル観測手法を統合した里山の GIS 解析』CSIS Discussion Paper, No.29, 27-30.
- 坪井知美・村手直明, (2000) レーザレーダ 50cm-DEM の作成方法と精度. 東京大学空間情報科学研究センター公開シンポジウム『デジタル観測手法を統合した里山の GIS 解析』杉盛啓明ほか編, 地域環境 GIS 研究会, 15-18.
- 横山隆三・白沢道生・菊池祐, (1999) 開度による地形特徴の表示. 『写真測量とリモートセンシング』Vol.38, No.4, 26-34.

要 旨

国土地理院が公開している 50 m メッシュ数値標高データがあるが、それより 5 倍精度の高い 10 m メッシュ数値標高データを用いることによって、今まで見えなかった地形や地質が可視化できるようになる。また数値標高データと衛星画像の合成、数値標高データの加工による地形解析などによって、より地質を反映した情報を抽出することができるようになってきた。地質情報の蓄積は、付加価値を得られるようになってきた。