

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース



3月号

-
- | | | |
|-----|-------------------------------|-----------|
| 79 | 東伊豆単成火山群のフライ法解析 | 高橋雅紀・高橋壮司 |
| 93 | マンホールからのぞく地質の世界1 —筑波山— | 長森英明 |
| 100 | 新しい地質図の利用例 | 吉川敏之 |
| 108 | 地質学用語の中国語表記：第3回 構造地質学 | 伊藤 剛 |

東伊豆単成火山群のフライ法解析*

高橋雅紀¹⁾・高橋壮司²⁾

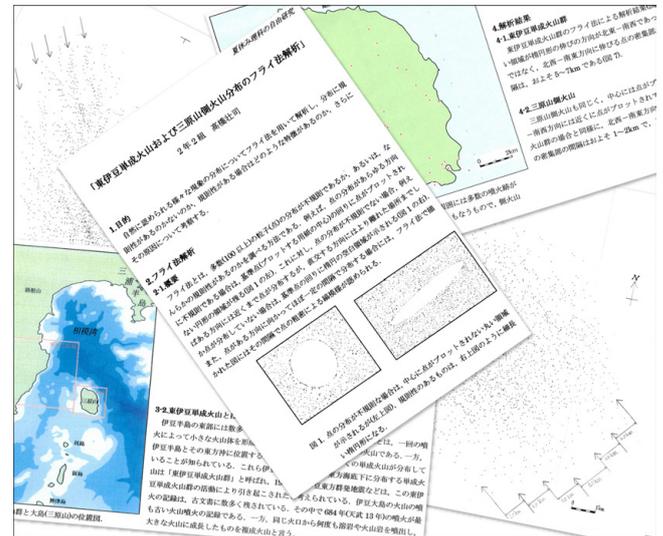
* 日本地震学会2016年秋季大会にて発表

1. はじめに

自然科学においては、通常さまざまな自然現象を観察・分析して経験則(相関)を見出し、そうせしめている原因やメカニズム、因果関係などを探っていく。地質学では、過去の地質現象の記録である地層や岩石を研究対象とする場合が多いので、類似する現在進行形の地質現象と比較して過去を推定する。その理由は、「過去の地質現象は、現在の地質現象を進行させているのと同じ自然法則のもとで進行した」とする考えに基づく。18世紀末にジェームズ・ハットン(James Hutton)が唱え、チャールズ・ライエル(Charles Lyell)が基礎づけたとされる齊一説(uniformitarianism)、すなわち「現在は過去を解く鍵である」とする考え方である。そのため、ほとんどの地質研究者は、現在と過去を行ったり来たりしながら研究を進めることになる。ここでは、現在進行形の地質現象(活火山分布)から何らかの特徴を見出し、その原因を紐解いていく過程を紹介したい。

ところで、著者の一人(高橋雅紀)は、教育の充実が研究全体の底上げに繋がると考え、ここ数年は地学教育に軸足を移している。高い山には広い裾野が必要であるように、一人でも多くの高校生が地学を履修し、地球科学を学ぶことを後押しすべきであると考えている。地学の中でも、概して地質学は難解な概念や憶えきれない量の専門用語が氾濫し、サイエンスを楽しめるようになるまでの道のりが大変遠い。如何に専門用語の置き換えを避け、サイエンスの醍醐味を子供達に体験してもらうか、時に研究以上に難しい課題と言える。その際、一方向の講義に比べて、体験型学習の方が、子供達の興味をより引き出すことは容易に予想がつく。

実は、今回のフライ法による研究は、著者の一人(高橋壮司)が今から10年前、当時中学校2年生の時の夏休みの自由研究として行ったものである(第1図)。夏休みの自由研究は、保護者にとっても頭の痛い宿題である。自分で研究テーマを考えデータを取得し、解析して研究成果にまとめるなど、職業研究者でも結構苦労するのだから、中



第1図 高橋壮司が中学校2年生のとき、夏休みの自由研究として行った東伊豆単成火山群と三原山側火山のフライ法解析。

学生には無謀な課題と思える。結局、親が何らかの手助けをしているのが実状ではないだろうか。当時もそのような状況であったため、父が息子に彼にでもできそうな課題を提案した。10年たった今、あえて中学生の夏休みの自由研究を紹介するのは、地学教育における“サイエンスの疑似体験”の可能性について、考察を行いたいと考えたからである。

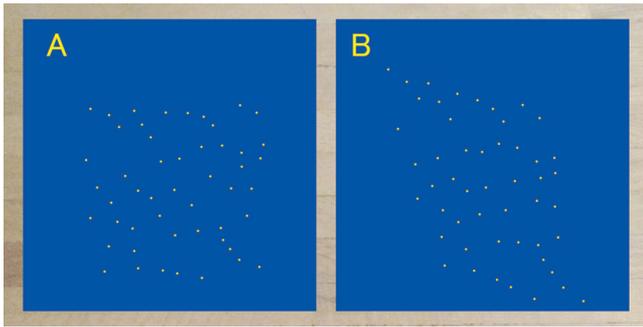
2. フライ法とは?

最初にフライ法(Fry method; Fry, 1979)について説明しておこう。フライ法は、構造地質学における歪み解析法のひとつである。岩石内にランダムに配列した粒子の中心間の距離は、岩石が短縮変形するとその方向で短くなり、伸長する方向では長くなる。そこで、粒子の中心間の距離と方向を統計的に扱うことにより歪み量を見積もる方法として、center-to-center法(Ramsay, 1967; Erslev, 1988)が提案された。その原理を視覚的に分かりやすくしたものがフライ法である(Fry, 1979; 狩野・村田, 1998)。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門 2) 茨城大学大学院

キーワード: フライ法解析, 単成火山群, 地学教育, 地学教材

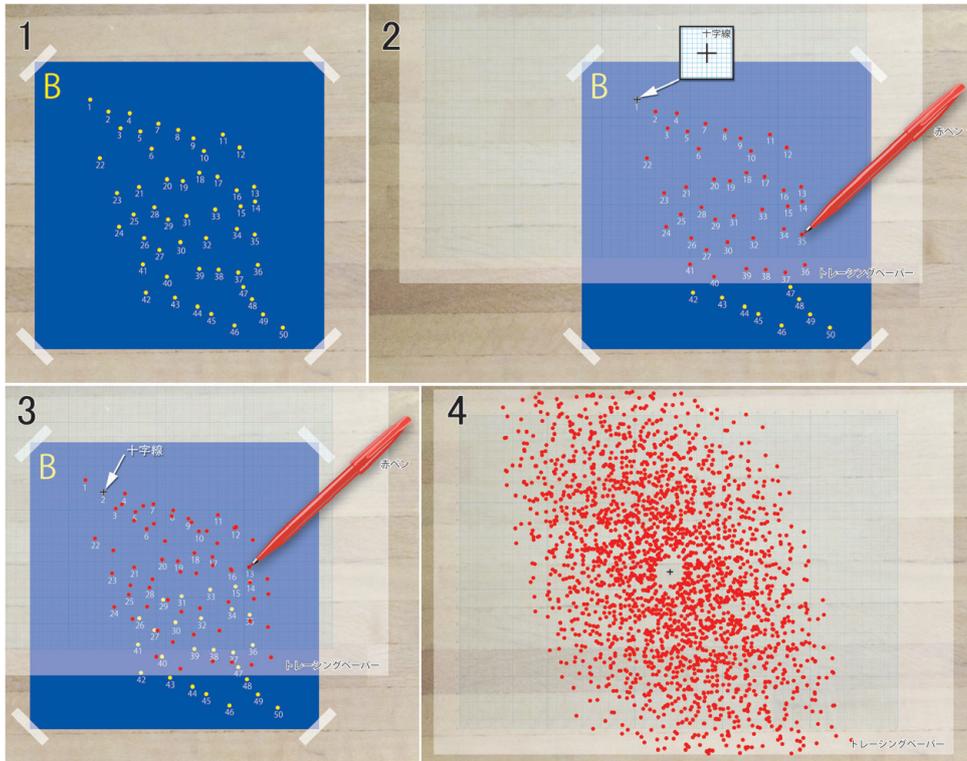
ここで、50個の点からなるAとBの2つの分布図を見よう(第2図)。一見して、Aは点の分布範囲がおおよそ正方形であるが、Bでは菱形の範囲に点が分布していることが分かる。しかし、分布範囲ではなく、点相互の位置関係に何らかの特徴があるのかないのか、一見ただけでは分からない。例えば、「AとBのどちらの方が、点の分布がランダムですか?」と問われても、とっさには返答できないであろう。それでは、これらの分布図に対し、フライ法を適用してみよう。



第2図 50個の点からなる2つの分布図。どちらの方が点の分布がランダムかをこの図だけから判断することは難しい。

まず解析対象となる分布図(ここではBの分布図)を机の上にセロハンテープ等で固定し、その上に分布範囲よりも十分大きいトレーシングペーパーを重ねる(第3図の1)。その際、分布図とトレーシングペーパーの平行性を保つため、方眼紙のトレーシングペーパーが作業しやすい。そして、トレーシングペーパーの中央部に、目印となる十字線を描き、分布図に示されている各点には、あらかじめ番号を振っておく。

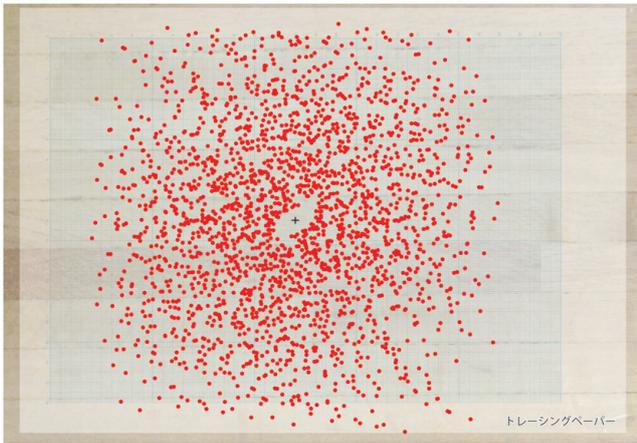
通常のフライ法解析では、最初に十字線を1番の点に合わせるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、1番の点に隣り合う点をトレーシングペーパーに描き写す(第3図の2)。ただし、今回は歪み解析だけではなく、離れた点の位置関係に何らかの傾向があるのかないのか検討する目的で、すべての点を描き写した。つづいて、2番の点に十字線が重なるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、同様にすべての点を描き写す(第3図の3)。さらに、十字線を3番の点に合わせるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、3番の点以外をトレーシングペーパーに写し取る。このような作業をすべての点について行くと、第3図の4のような点の分布図が描かれる。



第3図 フライ法の解析方法。(1) 対象となる図(ここではB)の点にあらかじめ番号を振っておき、セロハンテープ等で机に固定する。(2) つぎに、中央に目印の十字線を描いたトレーシングペーパー(方眼紙)を図と平行に重ね、この十字線を1番の点まで平行移動して、1番以外の点をトレーシングペーパーに描き写す。(3) つづいて、十字線を2番の点に重なるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、2番以外の点を描き写す。(4) 同様の操作をすべての点について行って得られた分布図Bのフライ法解析結果。点の分布に何らかのパターンは見出せない。一方、中央の十字線の周りには、丸い空白域が示された。

ここで、分布図 B のフライ法解析結果を見ると、点の分布には特徴的な粗密や何らかのパターンは認められない。一方、点の分布の中央部(十字線の周囲)には、点のない空白域が存在する。実は、点の分布がランダムだと、十字線の回りに残される点のない領域は円になる。したがって、分布図 B は点の分布がランダムであったと考えられる。

それでは、分布図 A の場合はどうであろうか。分布図 A についても同様の操作を行うと、十字線の周囲の空白域は楕円を示す(第 4 図)。実は、分布図 A は分布図 B を左上-右下方向に短縮させた図で、フライ法解析結果に表れた空白域の楕円は、歪み楕円を表している。このように、フライ法解析はランダムな分布が変形を被って歪んだ場合、歪み量を視覚的に表すことができる簡便な方法である。



第 4 図 分布図 A のフライ法解析結果。十字線の周囲の空白域は、左上-右下方向に短縮した楕円を示す。

ところで、地層や岩石の表面に現れている何らかの分布を、フライ法解析を用いて歪み解析を行う際、そもそもそれらの分布が初生的にランダムであったかどうかを判断することは困難な場合が多い。歪みとは変形前の形態と変形後の形態の写像であるが、アンモナイトや三葉虫などの化石を除くと、変形前の形態が不明のものが少なくない。そもそも、初生的にランダムであったと考えられる研究対象を探すことすら、容易ではない。

一方、初生的分布がランダムでないものをフライ法解析したら、どのようなことが予想されるだろうか。例えば、ある構造に規制されたなにかの分布をフライ法解析したら、何らかのパターンが見出されるかもしれない。例えば、縦横 1 cm 間隔の格子模様の交点を、その近傍にランダムに変位させた点の分布をフライ法解析したとしたら、等方的な分布図が得られよう。実際に行うと、第 3 図の 4

のように、中央に丸い空白域が残る。これに対し、縦線が 1 cm 間隔で横線が 2 cm 間隔の格子模様の交点について同様の操作を行うと、横方向に伸びる 2 cm 間隔の点の密集帯が現れると予想される。つまり、ランダムな点の分布が歪んだ結果、何らかのパターンが現れる場合もあれば、初生的に何らかの特徴を有する点の分布が強調され、解析によって明瞭なパターンが現れる場合もあるであろう。そこで、東伊豆単成火山群と伊豆大島の噴火口分布、さらに富士山の側火口についてフライ法解析を試みた。

3. 地質学的セッティング

伊豆半島は現在北西に移動するフィリピン海プレートに属し、ユーラシアプレートに帰属する本州と南部フォッサマグナで衝突している。密度が小さく厚い伊豆火山弧の島弧地殻は、フィリピン海プレートと共に沈み込むことはできないため、地殻の上部は本州にめり込んで、最終的には丹沢山地のように本州側に付加すると考えられる。伊豆半島を含む南部フォッサマグナは、世界的にも希な島弧-島弧衝突帯であり、伊豆半島周辺のテクトニクスは非常に複雑である。

太平洋プレートの沈み込みによって形成されている東北日本弧の第四紀火山列は脊梁山脈に沿って連なっており、南北に続く火山フロントをトレースすることができる。この火山フロントは、関東地方では赤城山-榛名山-浅間山へと東西方向に向きを変えるが、さらに八柱火山群から八ヶ岳を経て富士山へと続き、北北西-南南東方向の伊豆火山弧へと連続する。これらの第四紀火山は噴火を繰り返すことによって成長した複成火山(polygenetic volcano)であるが、伊豆半島の東部からその東方の海底下には、一回の噴火で活動を停止した単成火山(monogenetic volcano)が多数見られ、東伊豆単成火山群と呼ばれている(荒牧・葉室, 1977; 葉室ほか, 1980; 早川・小山, 1992; 小山ほか, 1995)。単成火山群は、大陸の分裂時や海洋底の拡大にともなって形成されることが多く、中立から伸張テクトニクスに関連した火山活動の産物と推定される(Nakamura, 1977)。

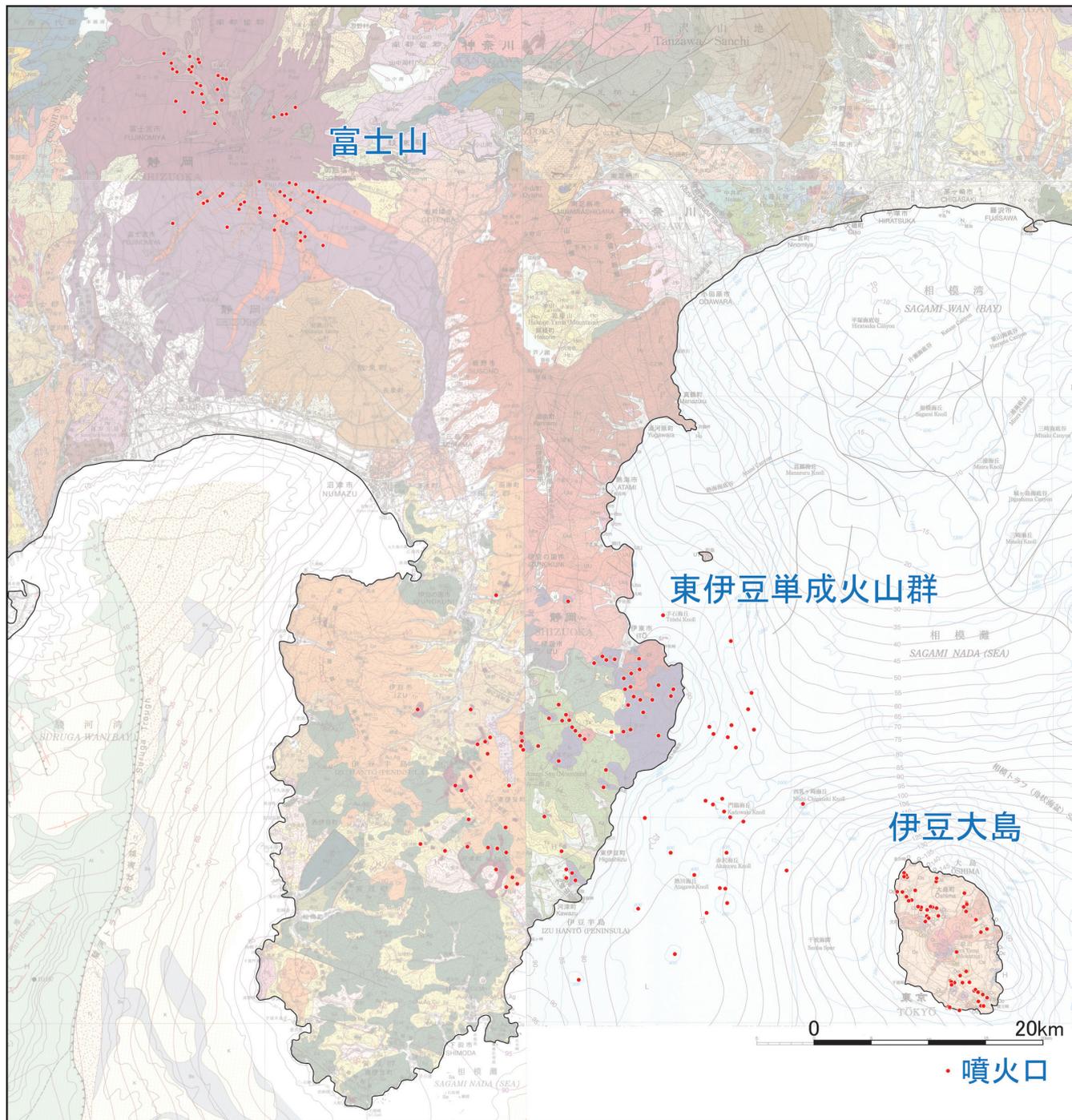
伊豆大島は伊豆-小笠原弧の火山フロントに位置し、玄武岩質噴出物からなる活発な火山島である(川辺, 1991)。水深が 300 ~ 400 m の海底からそびえる活火山の頂部が海面上に露出し、島の中央部のカルデラにある標高 764 m の三原山は中央火口丘である。伊豆大島は東伊豆単成火山群とは異なり、富士山と同様な複成火山であるが、中央火口とは別にスコリア丘など多数の噴火口が存在する。

玄武岩質噴出物からなる富士山(富士火山)は典型的な複成火山で、中央火口から裾野にかけて、80ほどの側火山(flank volcano)が確認されている(津屋, 1943)。これらの側火山は、中心火道から広がる放射状岩脈が地表に到達したものと考えられている(中村, 1969)。したがって、側火山の分布は火山体の地下のマグマの通り道、すなわち地殻上部の割れ目系を反映していると推定されている。第5図に、これらの噴火口の位置を20万分の1の地

質図に重ねて示す。東伊豆単成火山群については、葉室ほか(1980, 1983)を参考とした。

4. 解析結果および考察

伊豆半島の東部からその東方の海底に形成された東伊豆単成火山群のフライ法解析結果を見ると、中心部には北東-南西方向に長軸を有する楕円状の空白域が認められ

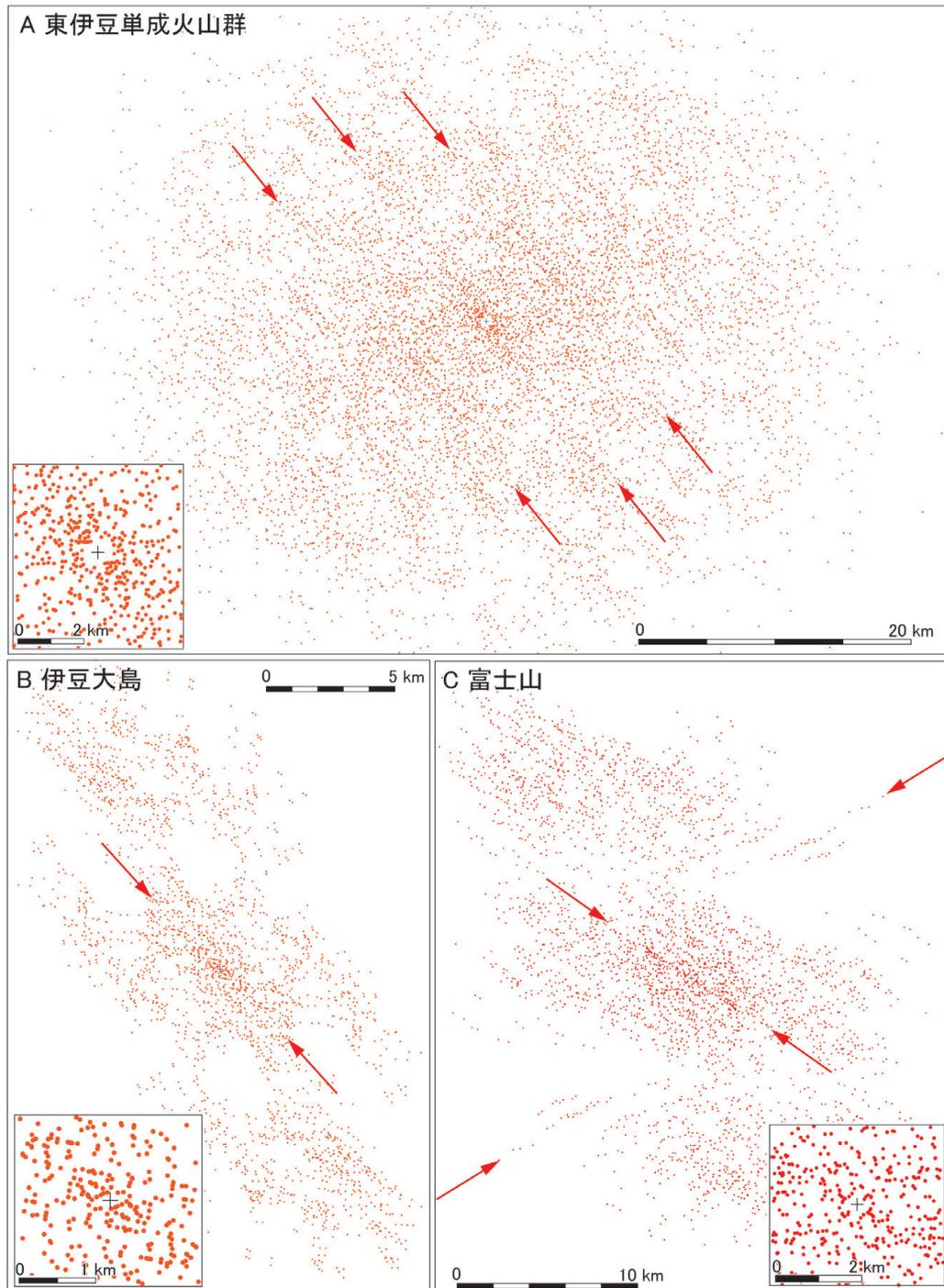


第5図 東伊豆単成火山群の分布と伊豆大島の噴火口分布(地質図は、尾崎ほか, 2002; 坂本ほか, 1987; 杉山ほか, 2010 および竹内ほか, 2015)。

る(第6図のA)。さらに、全体の分布には、北西-南東方向に伸びる点の密集帯が認められ、その密集帯は7~8 km 間隔で繰り返している。同様に、伊豆大島の噴火口のフライ法解析結果においても、北西-南東方向に伸びる点の密集帯が認められるが、中心部の空白域は長軸が東北東-西南西である(第6図のB)。一方、富士山の側火口の分布のフライ法解析結果でも点の密集帯が明瞭であるが、東伊豆単成火山群の結果(北西-南東方向)とは若干異なり、

西北西-東南東方向の卓越方向を示す。また、その方向とは別に北東-南西方向に連なる点の分布も認められる(第6図のC)。

このように、東伊豆単成火山や伊豆大島の噴火口、および富士山の側火口の分布はランダムではなく、何らかの構造を反映していると考えられる。火山活動が地質学的にはごく最近であることや、それらの地域が顕著な変形運動を被っていないことから、フライ法解析結果に表れた特徴



第6図 東伊豆単成火山群(A)と伊豆大島の噴火口(B)のフライ法解析結果。北西-南東方向に伸びる点の密集帯が繰り返している。一方、富士山の側火口(C)のフライ法解析結果には、西北西-東南東方向と北東-南西方向の2系統が認められる。

は、地理的にランダムに噴出した火山の分布がのちの地殻変動によって特徴的な配列になったとは考えにくい。単成火山や側火口の噴出位置そのものが、北西-南東方向に並びやすい地質学的規制を受けていると考えるのが妥当であろう。

実は、富士山の側火口や伊豆大島の噴火口等の並びについては、それら火山体に働く応力の方向を反映しているとする指摘が古くからなされてきた(中村, 1969)。例えば、高橋(1994a, b)は、浅間火山や日光男体火山、妙高火山や富士火山などの主要な複成火山について活動史をまとめ、火道の位置が安定し成層火山体をなす火山と火道が不安定で単成火山群を形成する火山の成因が、広域応力場の違いに起因する可能性を議論している。また、早川・小山(1992)や小山(1994)、小山ほか(1995)は、東伊豆単成火山地域の割れ目噴火の卓越方向から応力場を推定し、伊豆半島周辺の第四紀後期のテクトニクスを議論している。したがって、今回のフライ法解析によって認められた点の密集帯の配列方向は、広域応力場を反映していると考えられる。それでは、少し詳しく考察してみよう。

第7図は、伊豆-小笠原弧背弧域(火山フロントから西側)に発達しているリフト帯(A)と、リフトの形成と単成火山の噴出の関係を表した模式図(B)である。地殻が水平方向に伸張変形を被ると、地殻には無数の正断層が形成される。正断層と正断層に挟まれたブロックが沈降してできる凹みを地溝(graben)、沈降域に挟まれて残った高まりを地塁(horst)といい、地殻全体は薄くなりつつ沈降していく。このような地殻変動は、帯状に続く比較的狭い範囲に集中するので、地溝帯とカリフト帯などと呼ばれる。その代表例が、アフリカの大地溝帯である。

リフト帯に発達する正断層は概ね伸張変形方向と直交する方向に形成されるので、地溝や地塁の伸びの方向から伸張変形方向を推定することができる。伊豆-小笠原弧の背弧リフト帯(西村・湯浅, 1991)は伊豆-小笠原弧の方向と平行に続いているので、地殻は伊豆-小笠原弧の方向と直交する東北東-西南西方向に伸張しているであろう。

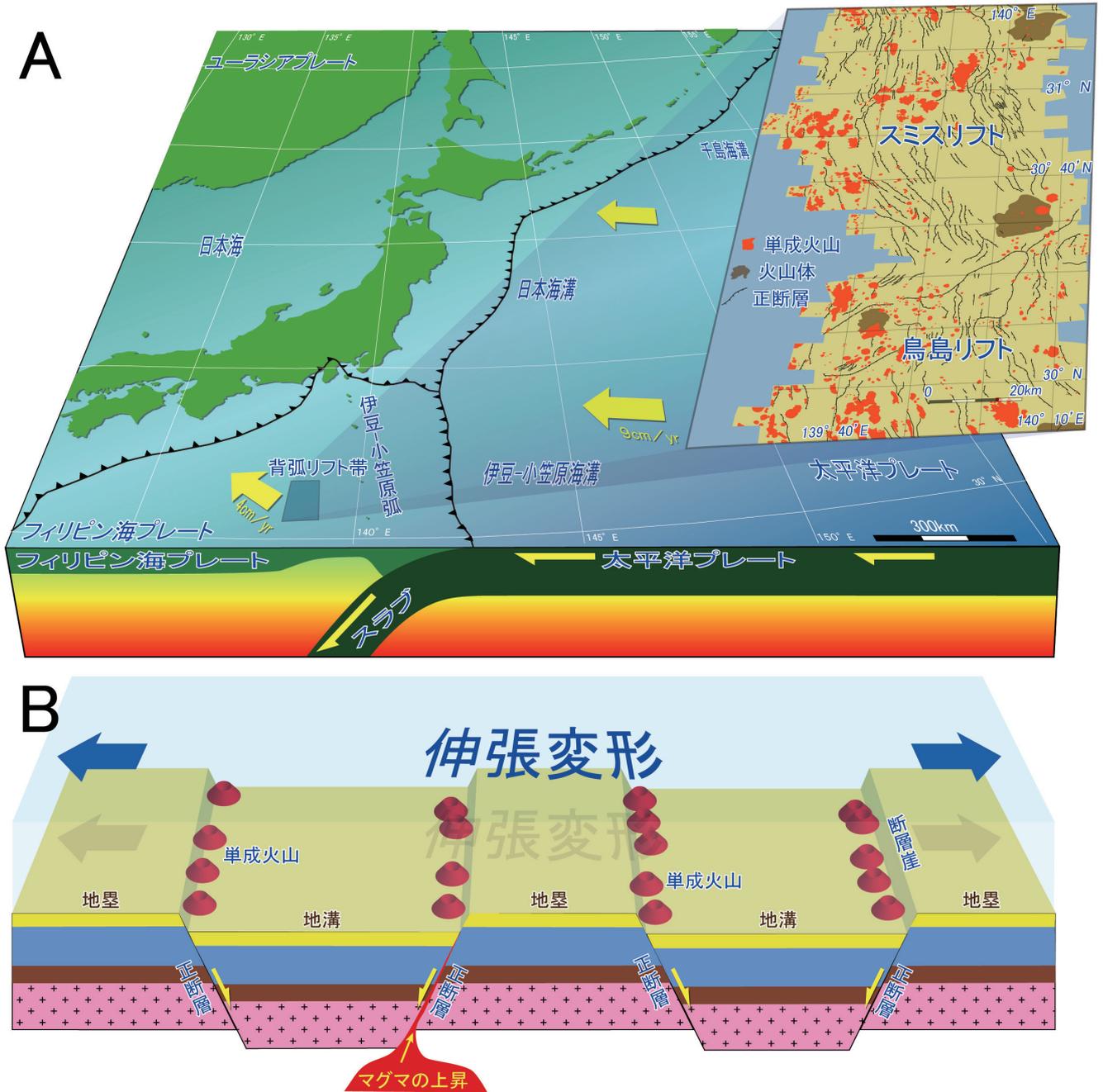
リフト帯は、地殻を切る無数の正断層に沿ってブロックがズレながら、全体として薄く変形していく。したがって、リフト帯には地殻を分断する規模の大きい正断層が無数発達していると考えられる。一方、伊豆-小笠原弧は太平洋プレートの沈み込みに伴い成長する活動的火山弧で、伊豆大島から南には直線状に連なる火山島が形成されている。海面上に露出する火山(島)は多くはないが、海面下には無数の火山(海底火山)が形成されている。

ところで、火山帯に沿って伸張変形が進行すると、地下深部のマグマは、弱線である規模の大きい正断層に沿って上昇してくると予想される。一方、伸張変形にともない活動する規模の大きい正断層の方向は、伸張変形方向に対しておおよそ直交しているであろう。そして、正断層に沿って上昇したマグマは海底に噴出して単成火山を作ると予想される。その結果、規模の大きい正断層に沿って、単成火山列が形成されると推定される。すなわち、単成火山の噴出位置は、伸張変形を被って変形している地殻構造(正断層の方向)に強く規制されていると考えられる。

また、地殻を切る規模の大きい正断層が、地殻の厚さや強度、歪み速度などの条件によって、ある程度のスペーシング(間隔)を有するであろうことも予想され得る。例えば、第7図のBでは、単成火山列の間隔は地溝や地塁の幅に概ね対応している。このような地殻構造に規制された単成火山列の分布に対してフライ法解析を行ったとしたら、正断層の方向に密集する単成火山の分布が強調されるであろうし、分布の密集帯には正断層の間隔に対応するスペーシングが認められるであろう。

とすると、東伊豆単成火山群や伊豆大島の噴火口の分布のフライ法解析結果に表れた北西-南東方向の点の密集帯や、7~8 km 間隔で繰り返す密集帯の原因は、伊豆背弧リフト帯の伸長方向ならびに地殻を切る規模の大きい正断層の間隔を反映していると推定される。すなわち、伊豆半島から伊豆大島にかけて、地殻が北東-南西方向に伸張変形し、規模の大きい正断層がおおよそ7~8 km 間隔で地殻を切断していると考えられる。ただし、東伊豆から伊豆大島の地殻が被る伸張変形方向は北東-南西方向で、伊豆背弧リフト帯の伸張方向(東北東-西南西)に比べて反時計回りに偏っている。

つづいて、伊豆半島周辺の地殻の伸長方向が、伊豆火山弧本体と異なる原因について考えてみよう。第8図に、主応力軸配置と断層のタイプの関係、および、日本列島の第四紀に活動している断層を示す。地殻に働く力は直交する3方向からの押しで表現され、大きい方からそれぞれ最大主応力軸(σ_1)、中間主応力軸(σ_2)、最小主縮応力軸(σ_3)と呼ばれる。自由界面である地球の表層では、3つの主応力軸のひとつがほぼ鉛直(鉛直主応力軸: $\sigma_{v=vertical}$)になりやすいので、残りの2つの主応力軸が水平面内にある。その内、大きい方を水平最大主応力軸($\sigma_{H-max=maximum}$)、小さい方を水平最小主応力軸($\sigma_{H-min=minimum}$)と呼ぶ。地殻上部は断層運動を伴う脆性変形が進行し、断層のタイプは主応力軸の配置で決まる。すなわち、最小主縮応力軸(σ_3)が鉛直なら逆断層型、中間主応力軸(σ_2)が鉛直なら横ず



第7図 A:無数の正断層と単成火山が発達する伊豆背弧リフト帯(Brownほか, 1988を元に作成). B:リフトの形成に伴う単成火山の噴出概念図.

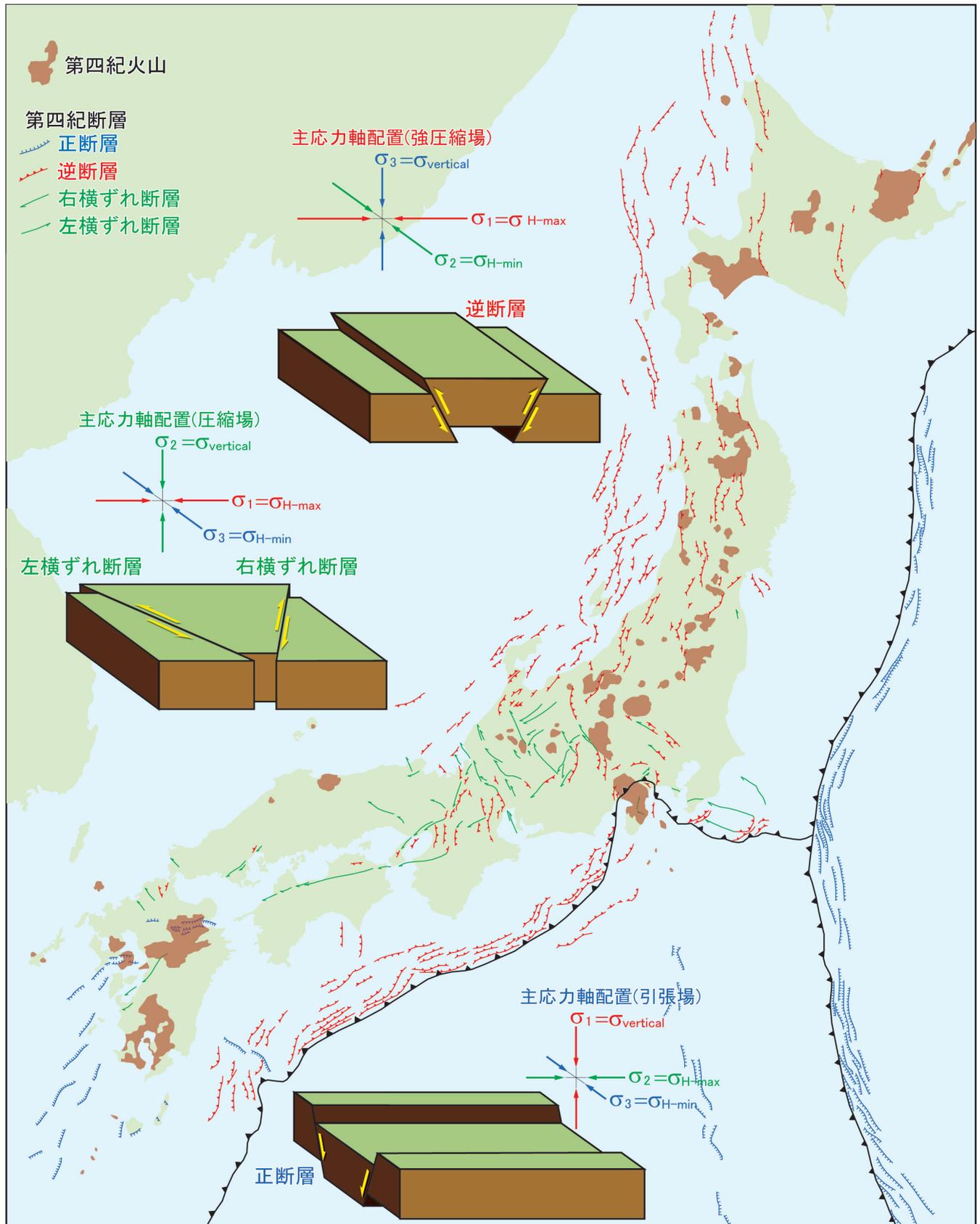
れ断層型, 最大主応力軸 (σ_1) が鉛直なら正断層型となる. 簡単に言えば, 地殻は最大主応力軸 (σ_1) の方向に短縮し, 最小主縮応力軸 (σ_3) の方向に押し出されるように変形する.

ここで, 鉛直応力 (vertical stress) は重力に起因するので, 地殻の密度が地域ごとに大きく変わらなければ, 同じ深さの鉛直応力は同じ値になる. そこで, 第8図の主応力軸配置の概念図では, 鉛直応力を表す矢印をいずれも同じ長さで表した. 一方, 水平方向に働く力はプレートの沈み込みや島弧の衝突などによって引き起こされ, 造構応力

(tectonic stress) とされる. 問題は, この造構応力が場所によって増減することである.

例えば, 東北日本ではおおよそ東西方向に最大主応力軸 (σ_1) が, 南北方向に中間主応力軸 (σ_2) が配置するため, 最小主応力軸 (σ_3) の方向, すなわち鉛直方向に地殻は押し出されるように変形する. その結果, 変形様式としては逆断層となる. 2004年の新潟県中越地震や2007年の新潟県中越沖地震は, そのような逆断層運動によって引き起こされた.

一方, 西南日本の最大主応力軸 (σ_1) は東北日本と同様



第8図 日本列島の地殻変動図(脇田ほか, 1992 をもとに作成)と主応力軸配置と断層のタイプ。重力に起因する鉛直応力を表す矢印は同じ長さにし、応力の大・中・小に対応するように矢印を色分けした。

に東西方向にあるが、南北方向に最小主応力軸(σ_3)が配置するため、地殻は南北に押し出されるように変形する。その結果、共役の横ずれ断層系が形成される。1995年の兵庫県南部地震は右横ずれ型の断層運動、一方、2005年の福岡県西方沖地震は左横ずれ型の断層運動によるもので、いずれも東西圧縮応力場に起因する。2016年4月に発生した熊本地震(右横ずれ型)と10月に発生した鳥取県中部地震(左横ずれ型)も東西圧縮応力場に起因し、西南日本はこれらの共役断層系によって東西に短縮していることが分かる。

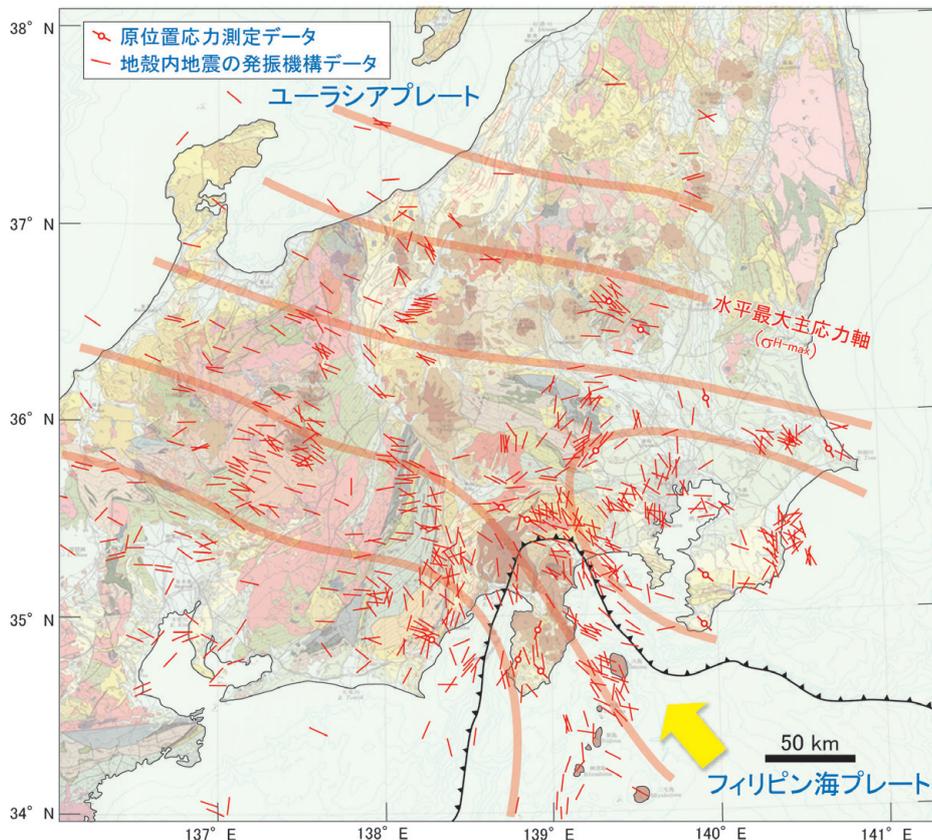
他方、九州から南西諸島にかけては水平面内にある主応力はいずれも鉛直応力より小さいため、地殻は上下に短縮するので正断層、すなわちリフトが形成される。正断層は地殻に働く応力が小さいことを示唆し、逆断層や横ずれ断層に比べて地震活動は活発ではない。

ここで、ほぼ一定である鉛直応力を基準に考えると、東北日本では東西・南北とも造構応力が大きく(強圧縮応力場)、西南日本では東西方向の造構応力のみ鉛直応力より大きい(圧縮応力場)、九州以西では造構応力は鉛直応力よりも小さい(引張応力場)ことがわかる。すなわち、造構応力は東ほど大きく西に向かって減衰し、九州付近で

ついに重力起源の鉛直応力より小さくなる。このことは、本州全域に働いている東西圧縮応力場の原因が、東方にある(東から押されている)ことを強く示唆する。

一方、第9図は日本列島の地質図(地質調査所、1992)の上に、地殻内地震の発震機構から推定された本州中央部の応力場(塚原・池田、1991)を重ねたものである。図の地殻応力方位は、水平最大主応力軸(σ_{H-max})の方向を表している。これだけでは、伸張変形と短縮変形のいずれの地殻変動が進行しているのかわからないが、前述のように東北日本では逆断層が、一方、西南日本では横ずれ断層が活動していることから、本州の広い範囲が東西圧縮応力場におかれていることは明らかである。すなわち、本州の大部分は、水平最大主応力軸(σ_{H-max})が最大主応力軸(σ_1)である。

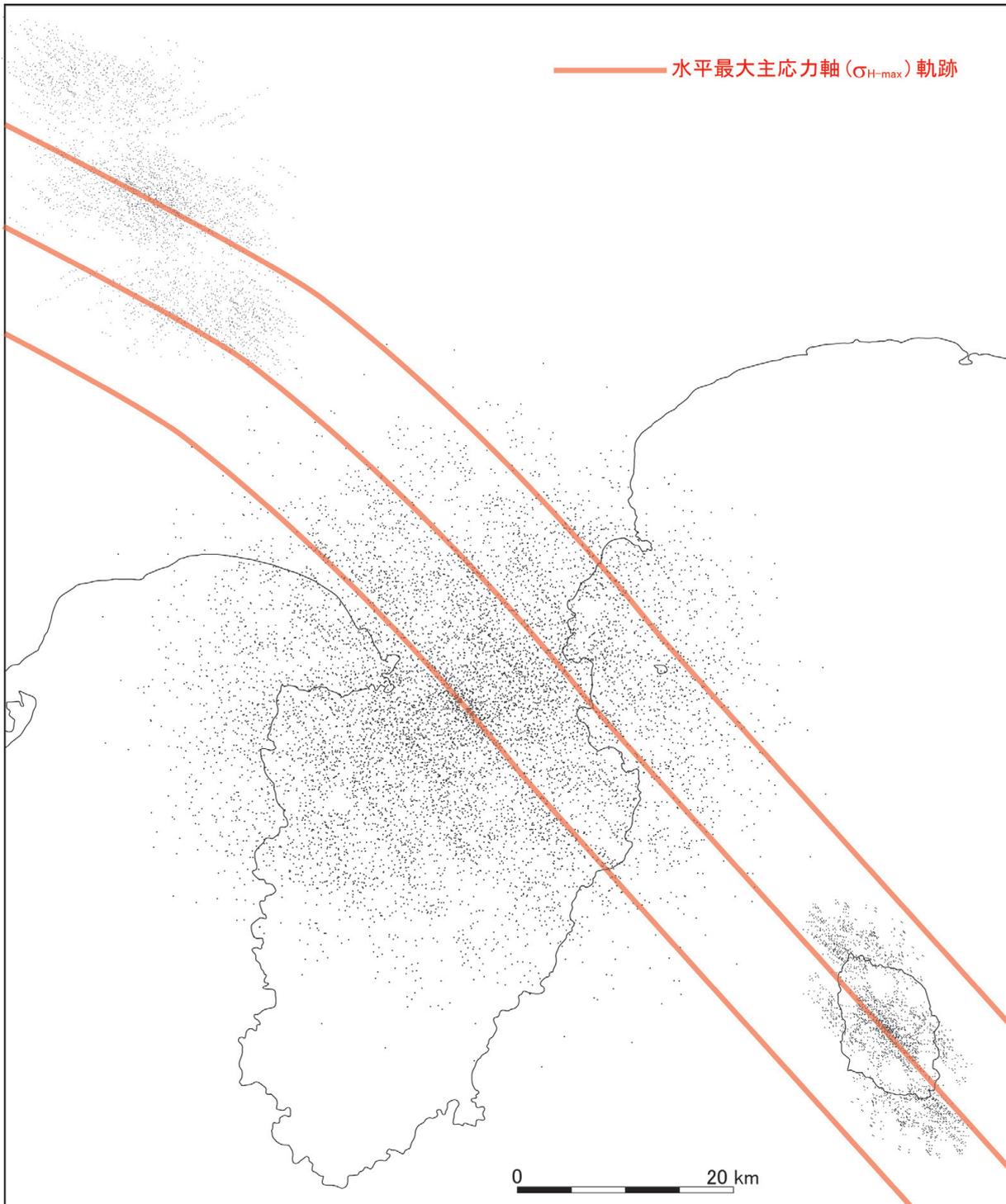
これに対し、伊豆半島から南に続く伊豆火山弧ではリフト帯が形成されていることから、伊豆-小笠原弧は本州とは対照的に伸張変形が進行していることが分かる。したがって、フィリピン海プレートに属する伊豆火山弧の水平最大主応力軸(σ_{H-max})は中間主応力軸(σ_2)であり、ユーラシアプレート側(上盤プレート側)が最大主応力軸(σ_1)を示しているのと異なる。



第9図 原位置応力測定データと浅発地震の発震機構から求めた本州中央部の地殻応力方位(塚原・池田、1991), および広域応力場。地質図は地質調査所(1992)。

これらの広域応力場を念頭に、東伊豆単成火山群や伊豆大島の噴火口のフライ法解析結果が示す応力場を考察してみよう。第10図は、東伊豆単成火山群と伊豆大島の噴火口分布、さらに富士山の側火口分布のフライ法解析結果をまとめたものである。富士山のような複成火山では、火道を中心に放射状岩脈が形成されることが多い。そのため、噴火口分布の卓越方向は、広域応力場ではなく山体内

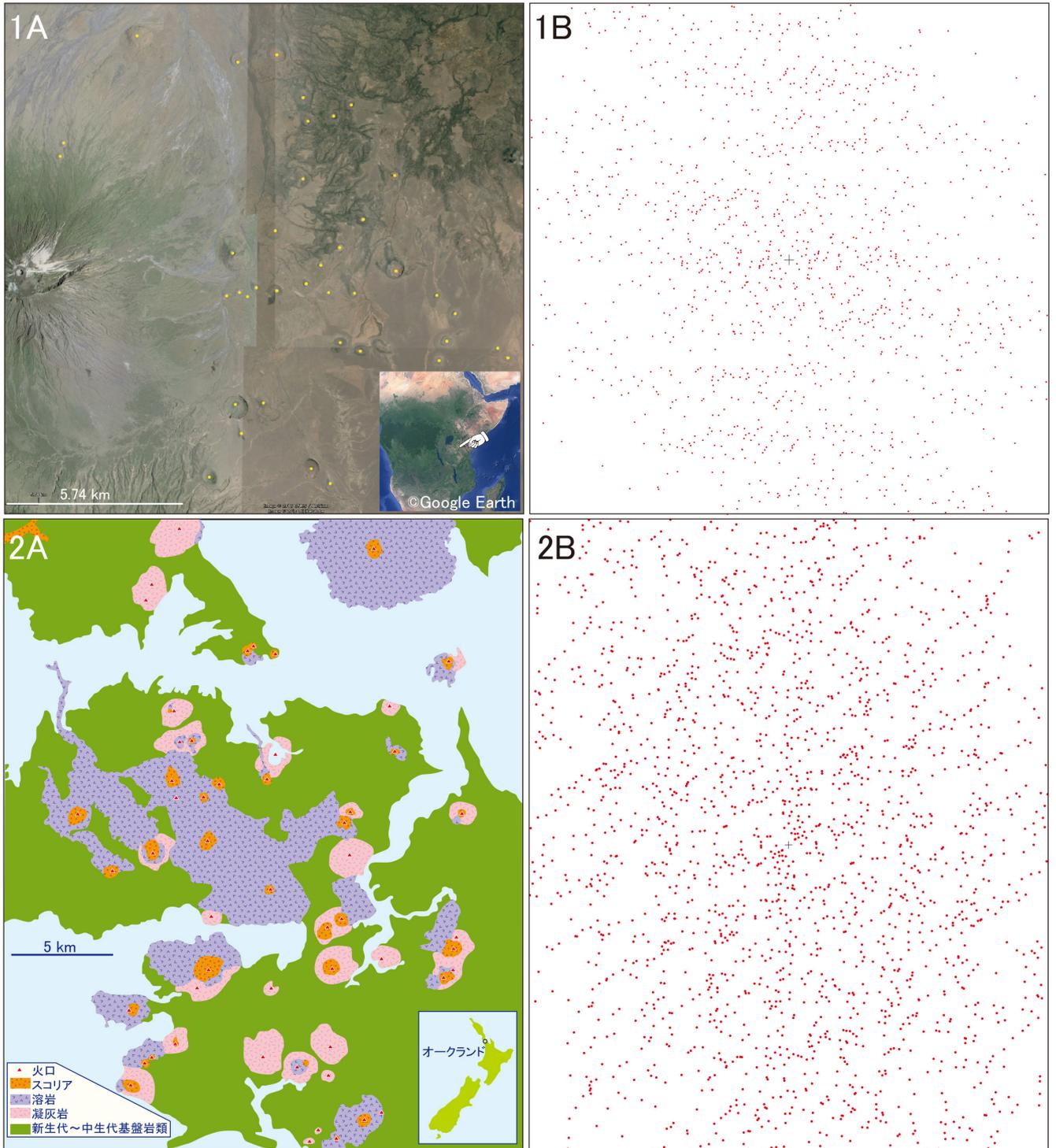
部に働く局所的な応力場を反映している可能性が否定できない。実際、富士山の側火口のフライ法解析結果を見ると北西-南東方向の縞状分布だけでなく、北東-南西方向に続く点の密集帯も認められる。しかしながら、北西-南東方向の点の密集帯が明瞭であることや浅発地震の発生機構(第9図)を考慮すると、この方向は広域応力場(σ_{H-max})を表していると推定される。



第10図 フライ法解析結果から推定される伊豆半島周辺の応力場。

さて、伊豆半島周辺は、ほぼ東西圧縮応力場 (σ_{H-max}) が支配する本州と、伊豆 - 小笠原弧の方向 (北北西 - 南南東) の広域応力場 (σ_{H-max}) を示す伊豆火山弧の境界領域にある。そのため、水平最大主応力軸 (σ_{H-max}) の方位は、伊豆 - 小笠原弧の方向から東西方向に連続的に変化しているであろう。ただし、東伊豆単成火山群や伊豆大島は、背弧リフトが形成されている伊豆 - 小笠原弧に帰属するので、

北西 - 南東方向を示す水平最大主応力軸 (σ_{H-max}) は中間主応力軸 (σ_2) を表している。これに対し、富士山は上盤プレート (ユーラシアプレート) 側に位置するので、北西 - 南東方向を示す水平最大主応力軸 (σ_{H-max}) は最大主応力軸 (σ_1) を表していると考えられる。したがって、応力軌跡 (stress trajectory) は向きを変えながらも連続するが、主応力軸配置は伊豆半島の北縁に沿って推定されるプレート



第 11 図 タンザニアの単成火山群 (1A) とフライ法解析結果 (1B), およびオークランドの単成火山群 (2A; Kereszturi ほか, 2013) とフライ法解析結果 (2B).

境界を境に大きく転換している。すなわち、伊豆半島側では北東-南西方向に伸張地殻変動が進行し、一方、富士山側は北西-南東方向に短縮する地殻変動で特徴づけられる。

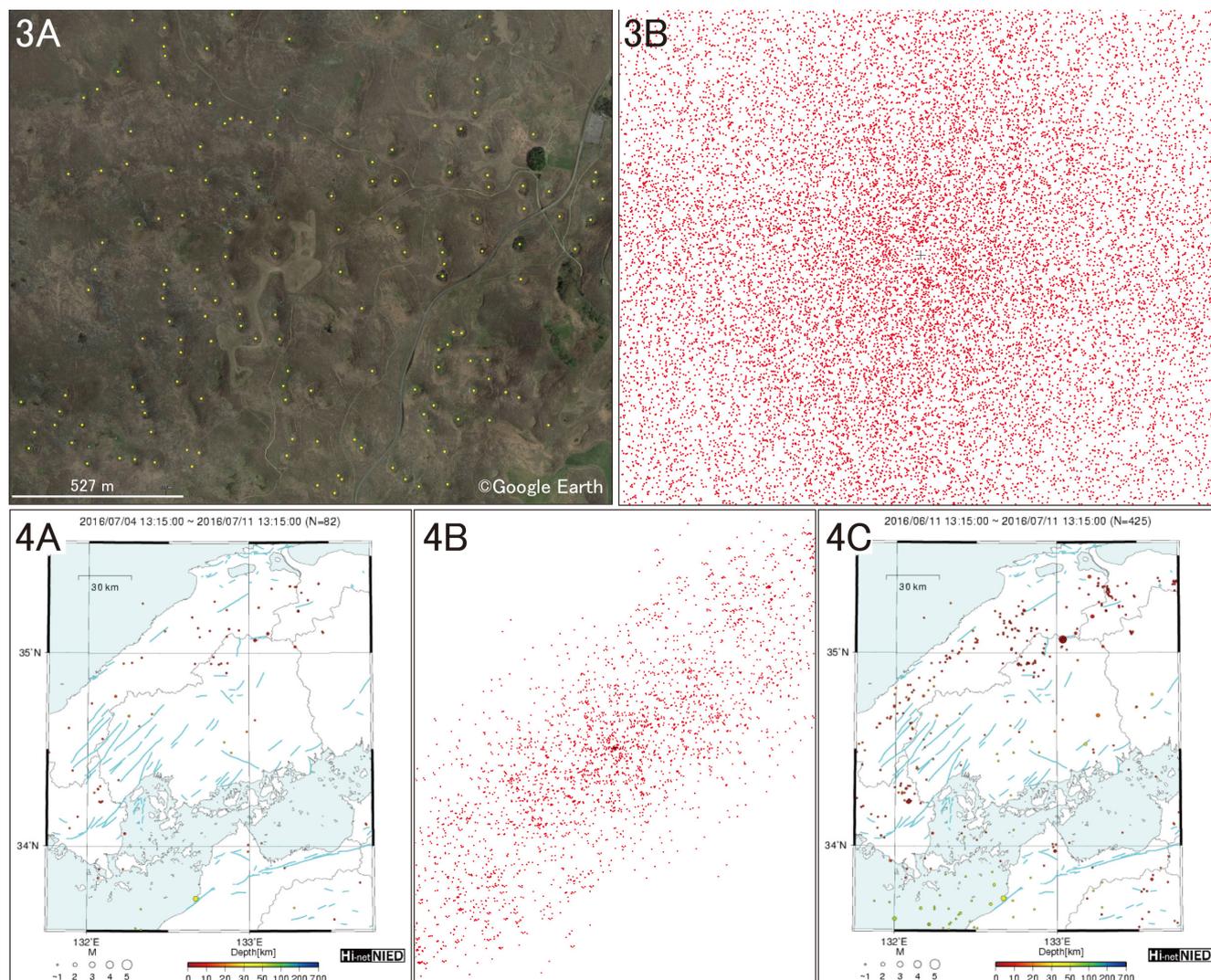
5. おわりに

伊豆半島周辺の単成火山や噴火口分布についてフライ法解析を行い、それぞれ特徴的な分布図が得られた。本州中央部の地震活動や活断層の分布と断層のタイプを総合し、フライ法解析結果の地球科学的意味について考察を行った。複数のプレートが関与する本州中央部の地殻変動は複雑で、地質学的に解析した結果の解釈は困難な場合が少なくない。ここで議論した内容も、ひとつの解釈に過ぎない。しかしながら、フライ法解析を行う前の単成火山や噴火口

分布から、このような考察を行うことは困難であろう。フライ法は、ときに一見無秩序な情報から何らかの構造を見出すことが可能な方法のひとつと言える。

さて、科学において重要なのは、自然に何らかの特徴を見出し、そうせしめている背景(原因)に迫る姿勢である。それは、研究の醍醐味と言っていいだろう。今回紹介したフライ法は、中学生でも解析できる簡便な方法のひとつである。解析を進めるうちに、それまで何もパターンが認識できなかった図に何らかの特徴が見え始めたときの驚きは、子供に限らず研究者でもワクワクする。そして、そこから、本当のサイエンスが始まる。といっても、現段階では、何らかのパターンが見出せ、その地球科学的解釈あるいは考察がなされ得る題材は、本論で紹介した東伊豆単成火山群の他にあまり見出せていない。

例えば、第11図はアフリカの大地溝帯に発達する単成



第12図 秋吉台のドリーネ群(3A)とそのフライ法解析結果(3B), および中国地方の一週間の内陸地震震央分布(4A)とそのフライ法解析結果(4B), ならび1ヶ月間の内陸地震震央分布(4C). 震源データは、防災科学技術研究所が公開しているHi-net自動処理震源マップ*を使わせて頂いた。*Hi-net自動処理震源マップ(<http://www.hinet.bosai.go.jp/hypomap/?LANG=ja>)において、範囲を「西日本」を選択し、2016年7月11日に取得。

火山分布と、ニュージーランドの単成火山分布のフライ法解析結果である。東伊豆単成火山群ほど明瞭ではないが、オークランドの単成火山群の解析結果は北東-南西方向のトレンドが示唆される。一方、第12図の3Aと3Bは、山口県秋吉台の石灰岩台地に発達するドリーネ(凹み)とその分布のフライ法解析結果で、石灰岩に発達するであろう摂理系が認識されるのではないかと期待して解析したが、特徴的なパターンは認められない。

他方、第12図の4Aは、2016年7月4日から1週間の間に発生した中国地方の内陸地震の震央分布で、そのフライ法解析結果が第12図の4Bである。第12図の4Bを見る限り、特徴的なパターンは見出せない。ところが、同期間を含む一ヶ月間の内陸地震の震央分布(第12図の4C)を見ると、中国地方の日本海側に沿って北東-南西に続く帯状の震央分布が明瞭である。一週間の地震活動では見いだされない一ヶ月分の地震活動の特徴が、一週間分のデータをフライ法解析することによって見出すことができたとしたら興味深いと期待したが、残念ながらこのケースではそのような結果は得られなかった。

このように、フライ法は、自然現象に潜む何らかの特徴を強調する、興味深い手法のひとつである。解析には特別な機器や高度な能力は不要で、トレーシングペーパーなど簡単に用意できる教材だけで体験することができる。そのため、中学生や高校生を対象とした“サイエンスの疑似体験”の教材としても魅力的であり、今後もさまざまな地学現象を解析して、新たな題材(地学教材)の発掘を進めていきたい。

謝辞: 地質調査総合センターの火山の専門家である川邊禎久および山崎誠子の両博士には、素稿を読んで頂いた。

文 献

荒牧重雄・葉室和親(1977) 16. 東伊豆単成火山群の地質-1975-1977 中伊豆の異常地殻活動に関連して-. 東京大学地震研究所彙報, 52, 235-278.

Brown, G.・村上文敏・西村 昭・Taylor, B.・湯浅真人(1988) スミスリフト及び鳥島リフト海底地質図(20万分の1). 海洋地質図31, 地質調査所.

地質調査所(1992) 100万分の1日本地質図 第3版. 地質調査所.

Erslev, E. A. (1988) Normalized center-to-center strain analysis of packed aggregates. *Jour. Struct. Geol.*, 10, 201-209.

Fry, N. (1979) Random point distributions and strain measurement in rocks. *Tectonophysics*, 60, 89-105.

葉室和親・荒牧重雄・藤岡換太郎・石井輝秋・田中武男・宇都浩三(1983) 21. 東伊豆沖海底火山群-その2-および伊豆諸島近海海底火山. 東京大学地震研究所彙報, 58, 527-557.

葉室和親・荒牧重雄・加々美英雄・藤岡換太郎(1980) 13. 東伊豆沖海底火山群-その1-. 東京大学地震研究所彙報, 55, 259-297.

早川由起夫・小山真人(1992) 東伊豆単成火山地域の噴火史1:0~32 ka. 火山, 37, 167-181.

狩野謙一・村田明広(1998) 構造地質学. 朝倉書店, 298 p.

川辺禎久(1991) 伊豆大島嶽山の岩石学的発達史. 火山, 36, 297-310.

Kereszturi, G., Németh, K., Cronin, S.J., Agustín-Flores, J., Smith, I.E.M., and Lindsay, J. (2013) A model for calculating eruptive volumes for monogenic volcanoes-Implication for the Quaternary Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 266, 16-33.

小山真人(1994) 伊豆・小笠原火山弧北端部における現在および第四紀後期のテクトニクス. 地学雑誌, 103, 576-590.

小山真人・早川由起夫・新井房夫(1995) 東伊豆単成火山地域の噴火史2:主として32 ka以前の火山について. 火山, 40, 191-209.

中村一明(1969) 広域応力場を反映した火山体の構造. 火山, 14, 8-20.

Nakamura, K. (1977) Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-principle and proposal. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2, 1-16.

西村 昭・湯浅真人(1991) 伊豆・小笠原弧のスミスリフト-海洋性島弧における背弧リフトの形成の一例-. 地球科学, 45, 333-344.

尾崎正紀・牧本 博・杉山雄一・三村弘二・酒井 彰・久保和也・加藤碩一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久(2002) 20万分の1地質図幅「甲府」. 産総研 地質調査総合センター.

Ramsay, J. G. (1967) *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill, New York.

坂本 亨・酒井 彰・秦 光男・宇野沢昭・岡 重文・広島俊男・駒澤正夫・村田泰章(1987) 20万分の1地質図幅「東京」. 地質調査所.

- 杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松 武・松田時彦・石塚 治・及川輝樹・高田 亮・荒井晃作・岡村行信・実松健造・高橋正明・尾山洋一・駒澤正夫 (2010) 20万分の1地質図幅「静岡及び御前崎」(第2版). 産総研地質調査総合センター.
- 高橋正樹 (1994a) 複成火山の構造と地殻応力場 1. 火道安定型・不安定型火山. 火山, **39**, 191-206.
- 高橋正樹 (1994b) 火山活動と地殻応力場 - 我が国における研究の現状と今後の課題 -. 地学雑誌, **103**, 447-463.
- 竹内圭史・及川輝樹・斎藤 真・石塚 治・実松健造・駒澤正夫 (2015) 20万分の1地質図幅「横須賀」(第2版). 産総研地質調査総合センター.
- 塚原弘昭・池田隆司 (1991) 本州中央部の地殻応力方位分布 - 応力区とその成因 -. 地質学雑誌, **97**, 461-474.
- 津屋弘達 (1943) 富士火山の地質学的並びに岩石学的研究IV 寄生火山の構造及び分布. 東京大学地震研究所彙報, **21**, 376-393.
- 脇田浩二・岡村行信・栗田泰夫 (1992) 日本地質構造図 (300万分の1), 地質調査所.
-
- TAKAHASHI Masaki and TAKAHASHI Soshi (2017) Fry-method analysis for the distribution of Higashi-Izu monogenetic volcano group, central Japan.
-

(受付: 2016年12月7日)

マンホールからのぞく地質の世界 1 —筑波山—

長森英明¹⁾

1. マンホールと地質の関係？

近年色々なメディアでデザイン性の高いマンホールの蓋について紹介されることが多くなってきました。このため、すでにデザインマンホールについてご存じの方も少なからずおられると思います。

マンホールの蓋は足下にあるので、ほとんどの人は意識せずに暮らしていると思います。そこで、そもそもマンホールとはなにかを整理してみます。大勢の人が暮らしていく上で、生活を支えるライフラインは必要不可欠な存在であり、日本全国津々浦々に張り巡らされています。電気、ガス、通信、上水道、下水道などのライフラインの一部は地中に埋設されています。特に下水道などの暗渠^{あんきよ}は、中に人が入ってメンテナンスをするための縦孔、いわゆるマンホールが設置されています。このマンホールの入り口に設置される蓋は道路に設置されることが多いため、強度のある鋳物製の製品が多く、表面には滑り止めのための凹凸が施されています。町中に無数にあるマンホールの蓋を観察してみると、表面の凹凸が織りなす様々なデザインがあることが分かるでしょう。

では、マンホールと地質にはどのような関係あるのでしょうか？地質学的な話題でマンホールが取り上げられるのは、せいぜい地震で発生した液状化現象によってマンホールが浮き上がってしまう現象くらいでしょうか。筆者は研究のために各地で地質調査を行う機会が多いのですが、いつのころか地域によってマンホールのデザインが違うことに気づきました。どうやら、市町村毎に異なるようです。その意匠性に興味を持ち、マンホールの蓋を見かける度に写真に納める習慣ができました。すると、いろいろなデザインの中に、郷土の地質に関係するデザインがあることに気づきました。デザインに取り込まれているものは、その地域に根ざした身近な事象であるとも言えます。なお、意匠に富んだマンホールの蓋は一般的に「デザインマンホール」と呼ばれています。

暗渠のうち、下水道などは自治体毎に管理されていることが多いので、それぞれマンホールの蓋のデザインには郷

土の特徴がちりばめられています。例えば、市で制定された木・花・鳥・動物、観光名所、お祭りなど、その意匠には様々なものが取り入れられています。割合は多くないのですが、地質に関連するものがデザインに盛り込まれていることがあります。本稿では、そのような地質に関係したデザインが施されたマンホールの蓋を通して、それぞれの郷土を特徴づける地質の世界を紹介します。

2. マンホールの蓋に見る筑波山

地質に関するマンホールの蓋を紹介するにあたり、第一弾は「GSJ 地質ニュース」を発行している産業技術総合研究所地質調査総合センターから見える筑波山(第1図)をテーマにしたいと思います。

筑波山は福島県から茨城県にかけて連なる八溝山地^{やみぞ}の南端に位置し、西の男体山(標高871m)、東の女体山(標高877m)の2つの峰からなります。さほど標高は高くはないものの、半島状に突き出した山地が平坦な関東平野に囲まれていることから、色々な方向や遠方から見る事ができる山です。遠くは富士山の山頂などからも望むことができます。また、古くからの山岳信仰や、登山などで有名な山です。古くはかの万葉集で25首もの和歌が詠まれています。



第1図 産業技術総合研究所地質調査総合センターから望む筑波山
この写真は、ほぼ南からの眺望となります。向かって左側の頂が男体山、右側の頂が女体山です。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード：デザイン、マンホール、郷土、地質

それでは、筑波山がデザインされたマンホールの蓋(以下筑波山マンホールと表記)を紹介しましょう。第2図に筑波山の位置と筑波山マンホールが設置されている市町村の位置を示します。筑波山を取り囲むようにして筑波山マンホールが採用されています。このことから見ても、周辺地域において筑波山は郷土の山として親しまれていることがわかります。

山はデザイン化されると固有の容姿が判別しづらくなる傾向にあります。筑波山は2つの頂をもつため、わかりやすく映えるデザインとなります。筑波山の形は起伏が豊かで複雑なために、見る位置によって形状が変わってきます。筑波山マンホールもそれぞれの土地から見える姿が描かれており、違いが認められます。筑波山を中心にして南側、西側、北側、南東側、東側の地域に分けて、山の見え方とマンホールのデザインについて説明します(第3図、第4図)。

<筑波山の南側>

南側から見る筑波山は、2つの頂が明瞭で綺麗なシルエットを描きます。東の女体山の頂が若干高く見えることが特徴となります。

つくば市 背景に市の最北部に位置する筑波山が描かれています。数多くの研究所が所在する土地柄から、科学技術をイメージしたスペースシャトルと土星が描かれています。つくば市にはかつて宇宙飛行士を輩出した宇宙開

発事業団(NASDA)という研究機関があったことから、デザインマンホールに宇宙のイメージが採択されています。NASDAの名称はすでに無く、小惑星探査機「はやぶさ」を打ち上げた宇宙科学研究所(ISAS)などと合併し、現在は宇宙航空研究開発機構(JAXA)へと変わりました。「はやぶさ」は小惑星「イトカワ」から岩石試料の微粒子を持ち帰り一躍有名になりました。「はやぶさ」のミッションは、宇宙工学がなしえた偉大な地質調査と言ってもよいかもしれません。

土浦市 霞ヶ浦の遠景に筑波山が描かれています。湖には伝統的な漁船の帆引き船が浮かんでいます。市の木「マツ」と市の花「キキョウ」も配置されています。

龍ヶ崎市 市の鳥「ハクチョウ」がたたずむ牛久沼の背景に筑波山がみられます。

<筑波山の西側>

筑波山の2つの頂は東西に配列しているため、頂の間隔が狭く、場所によっては重なって見えます。また、遠近感で2つの頂の高さは同じように見えます。また筑波山の北側には小さな頂を持つ尾根があるため、向かって左側のシルエットは南側から見るものと異なります。

下妻市 砂沼大橋が架かる砂沼の遠方に筑波山が描かれています。

境町 ほとりに町の花「カンナ」が咲き誇り、荒々しく流れる利根川の遠くに筑波山を望むデザインです。



第2図 筑波山マンホールの地図

市町村名はデザインマンホールが採用されたときの名称で記載してあります。八溝山地の範囲は貝塚ほか編(2000)に従っています。



第3図 筑波山マンホールの蓋大全1
市町村名はデザインマンホールが採用されたときの名称で記載してあります。

<筑波山の北側>

筑波山の北には、きのこ山、足尾山、丸山、^{かほさん}加波山、^{つぼくろさん}燕山などの標高 500 m を越える山が連なり、筑波山地、筑波山塊などと呼ばれています。そのため、北側からの筑波山の眺望は、手前の低い山に隠れ気味となります。

桜川市 筑波山の西側を南流する桜川を手前にし、背後に筑波山が位置しています。向かって左側の女体山は遠方になるので、実際の高さとは異なって右側の男体山よりも低く見えます。市の木「サクラ」に彩られています。

岩瀬町(現 桜川市) 市の花「サクラ」を主体としたデザインで、筑波山地の北側を西へ流れる桜川の背景に山々があります。岩瀬町と筑波山の間に加波山や足尾山などの 600 m を越える筑波山地の山々が手前にあるため、市街地からは筑波山はほとんど見えません。筑波山地の山がモチーフとなっているので、一緒に紹介します。

大和村(現 桜川市) ^{やまと}田園風景の中にいくつかの山が配置されています。左上の塔は^{あまびき}雨引観音の多宝塔でしょうか。右側の 2 つの頂を持つ山が筑波山です。筑波山地で花崗岩が採掘されていることから石材業が盛んであり、「石まつり」という祭りが開かれています。

<筑波山の南東側>

南東側から見た筑波山は、手前に低い山があることが特徴です。

霞ヶ浦町(現 かずみがうら市) 町の花「アジサイ」を手前にして、帆引き船が浮かんだ霞ヶ浦を中心にデザインされ、背景に筑波山がそびえています。手前にあるはずの低い山は省略されています。

玉造町(現 行方市) ^{たまつくり}霞ヶ浦ふれあいランドと^{なめかた}霞ヶ浦大橋が架かる霞ヶ浦をメインのモチーフとして、背景に筑波山が見られます。

玉里村(現 小美玉市) ^{たまり}村の木「カキ」、^{おみたま}村の花「コスモス」、村の鳥「シラサギ」を主体にデザインが構成されています。筑波山を背景に霞ヶ浦が広がっています。

<筑波山の東側>

八郷町(現 石岡市) ^{やさと}筑波山を中心にして町の花「ユリ」と町の木「シイ」の葉で囲んだデザインです。東側の八郷町から筑波山を見ると男体山と女体山がほぼ重なって見えるはずですが、2 つの頂を描いて山の特徴を優先したデザインとなっています。

3. 筑波山の地質

12 種類の筑波山マンホールについて紹介した中で、山の姿が明確になってきました。では、筑波山はどのような山なのでしょうか？植生や山岳信仰など筑波山を考える上では、興味深い様々なテーマがたくさんあるのですが、ここでは山を形作っている地質について調べてみましょう。筑波山一帯の地質は、宮崎ほか(1996)によって詳細に報告されていますので、その内容に沿って紹介します。

筑波山一帯の地質概略図を第 5 図に示します。筑波山の山頂付近には斑れい岩という岩石が分布しています。斑れい岩を取り巻くように赤色系の色で示した花崗岩類が分布しています。筑波山の東側には変成岩、裾野には山が崩れて形成された山麓斜面堆積物があります。これらの地質は様々な現象が長い時間をかけて生じた結果、今の状態に至っています。その成り立ちを古い方から順番に説明します。

筑波山一帯で最も古い岩石は八溝層群です。八溝層群はジュラ紀から白亜紀前期にプレートの沈み込み帯で形成された付加コンプレックスという地層で、砂岩や泥岩から構成されています。後述するように八溝層群は変成岩になってしまったため、第 5 図では表現されていません。その後、約 7,500 万年前(白亜紀)に斑れい岩のマグマが貫入し、しばらく間をおいて約 6,000 万年前(古第三紀)に筑波花崗岩のマグマが貫入してそれぞれが冷却した後に大きな岩体が形成されました。筑波花崗岩は、およそ 12 km の深さで貫入したと推定されています(宮崎, 1999)。その時に八溝層群は高温低圧型の接触変成作用をうけて、元々の状態から変貌して筑波変成岩類へととなりました。

その後、筑波山塊は浸食をうけつつ隆起しました。現在地表に露出している筑波花崗岩は約 12 km の深さで形成されたので、その上に存在したはずの厚さ 12 km もの岩石は浸食で削られたこととなります。斑れい岩は花崗岩に比べると風化しにくいいため、斑れい岩からなる筑波山は相対的に浸食されにくく、一帯において一番標高が高い山として残されています。筑波山の山麓には筑波山の花崗岩や斑れい岩が崩れた巨礫や花崗岩質の砂などからなる山麓斜面堆積物が覆っています。麓に広がる低地や台地には 30 万年前から現在まで至る間に海や河川で堆積した地層が分布しています。

ちなみに、庭石として珍重される有名な筑波石は、山頂付近に分布していた斑れい岩が崩れて山麓に埋もれていたものを掘り出したものです。現在は国定公園に指定されているため、新たな採掘は難しいそうです。

岩瀬町



大和村



霞ヶ浦町



玉造町



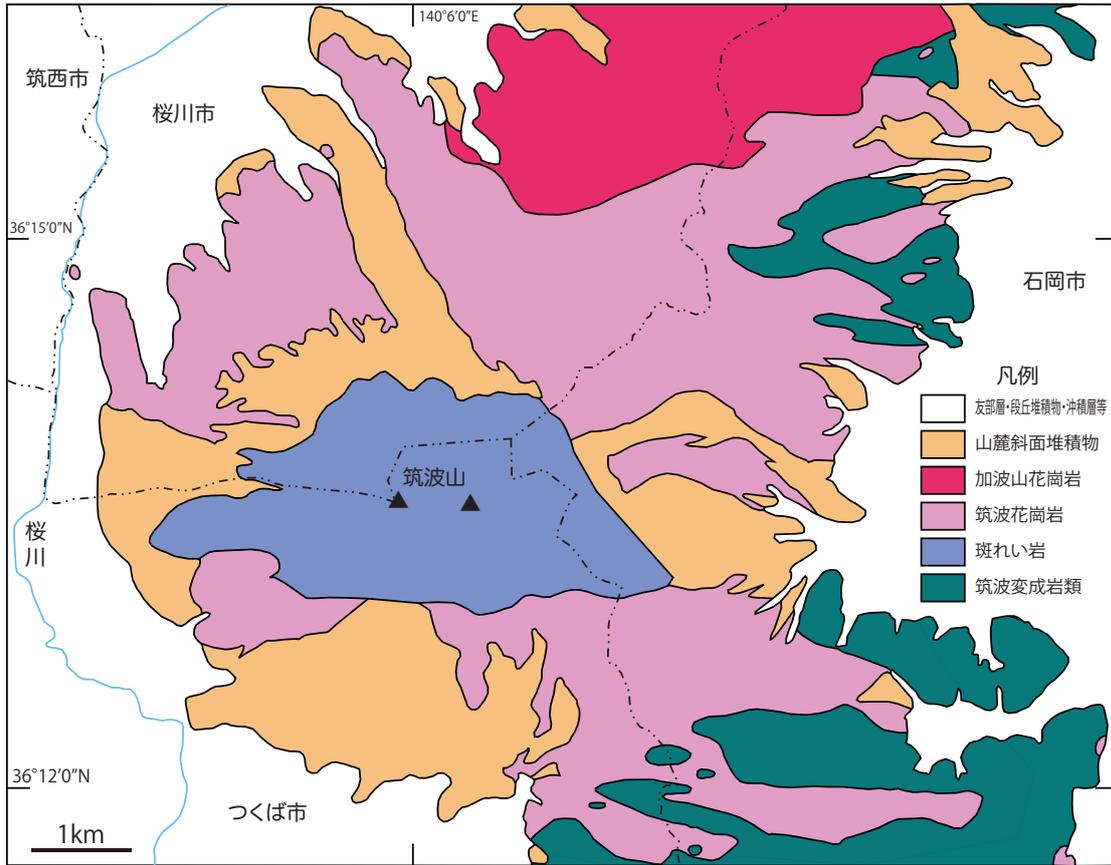
玉里村



八郷町



第4図 筑波山マンホールの蓋大全2
市町村名はデザインマンホールが採用されたときの名称で記載してあります。



第5図 筑波山の地質概略図
宮崎ほか(1996)の地質図の一部を元に簡略化。緯度経度は世界測地系。

4. 最後に

本稿では、デザインマンホールを題材として地質の世界を紹介するにあたり、第一弾として12種類の筑波山マンホールを選びました。最近の2016年9月9日に筑波山地域が日本ジオパークに正式に認定され、郷土を盛り上げる気運が高まっています。マンホールという視点からも筑

波山を楽しむことができることを知っていただけたら幸いです。なお、これらのマンホールを全部見るためには、広範囲に分散しているので2日はかかります。

今回紹介したものの他にも地質に関するデザインマンホールがたくさんありますので、随時紹介していきたいと思えます。

マンホールカード

国土交通省と日本下水道協会が連携して制作された「マンホールカード」の配布が2016年4月1日から始まりました。現在は第2弾まで制作されており、74種類が発行されています。下水道広報プラットフォーム（ホームページ <http://www.gk-p.jp/> 2016/10/11 確認）という組織が各市町村と共同で作成し、各地の役所などで入手することができます。実は本文で紹介した筑波山マンホールのうち、つくば市のマンホールカードも発行されていますのでここに紹介します。

表

裏

つくば市のマンホールカード(縦88mm, 横63mm)

つくば市・下水道広報プラットフォームで発行されたつくば市のカラーデザインマンホールカード。

文 献

貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編
(2000) 日本の地形4, 関東・伊豆小笠原. 東京大
学出版会, 東京, 349p.

宮崎一博 (1999) 筑波変成岩類の温度圧力見積もり. 地
調月報, 50, 515-525.

宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和 (1996) 真壁地域の地質.
地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査
所, 103p.

NAGAMORI Hideaki (2017) The geological world from
the view of designed manhol covers 1, -Mt.Tsukuba-.

(受付:2016年10月11日)

新しい地質図の利用例

吉川敏之¹⁾

1. はじめに

産総研地質調査総合センター（以下、GSJ）では、前身の地質調査所時代から日本全国の地質図を制作してきました（第1図）。その手法として、編さんによる制作もありますが、常に独自の野外地質調査・室内分析を行って研究を進めてきています。言い方を変えれば、GSJにおける野外地質学の代表的な成果物が公表された地質図です。

21世紀も十数年を過ぎようとしている現在、その地質図が変わりつつあります。変化の要因は、大きく分けて次の3つです。

- ・ 情報技術(IT)の進歩：地図のウェブ配信技術が進化し、利用が一般化しています。
- ・ オープンデータの進展：データを二次利用する動きが広がっています。
- ・ 社会的な関心の高まり：近年、地質(地盤)に対する一般の方の関心が高くなっています。

これらの状況変化に伴い、地質図もウェブからの利用や一般ユーザーの利用を意識した対応が進められてきました。本解説記事では、そのような新しい地質図の利用例をご紹介します。

2. 地質図利用の多様化

19世紀から出版されてきたGSJの地質図は、伝統的に印刷された紙媒体によって提供されてきました。現在では印刷物のほかにCD/DVDでの出版や、ウェブからの配信などが進められています。

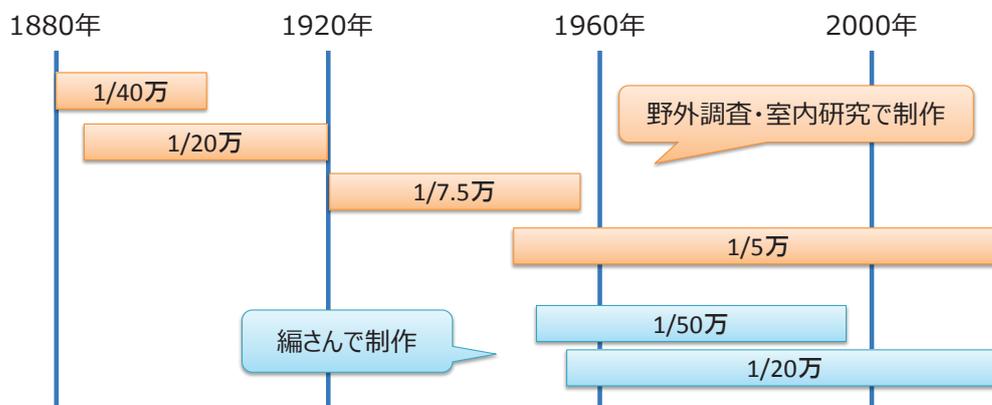
ここ数年で特に変わったのはウェブからの利用です。利用できるサービスが増え、見る・ダウンロードするといった際にも、2D/3Dのビューア、数種類のファイルフォーマットなど選択肢が増えました。紙では絶版になっていた地質図も、ウェブから無料で閲覧・ダウンロードなどができるようになり、新たな利用が可能です。

また、利用ガイドラインも改定され、2013年10月にCCライセンスを採用したのに続き、2016年10月にはウェブサイトの利用ガイドラインが「政府標準利用規約(第2.0版)」に準拠しました。原則として出典を明示すれば利用の届出が不要なので、次第に二次利用例も増えてきています。

以下には具体的なウェブからの地質図の利用例を列記します。

2.1 閲覧

GSJには「地質図 Navi」という公式ビューアがあります



第1図 地質図制作の歴史。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報基盤センター

キーワード：地質図，ウェブからの利用，二次利用，地理空間情報，オープンデータ，GIS

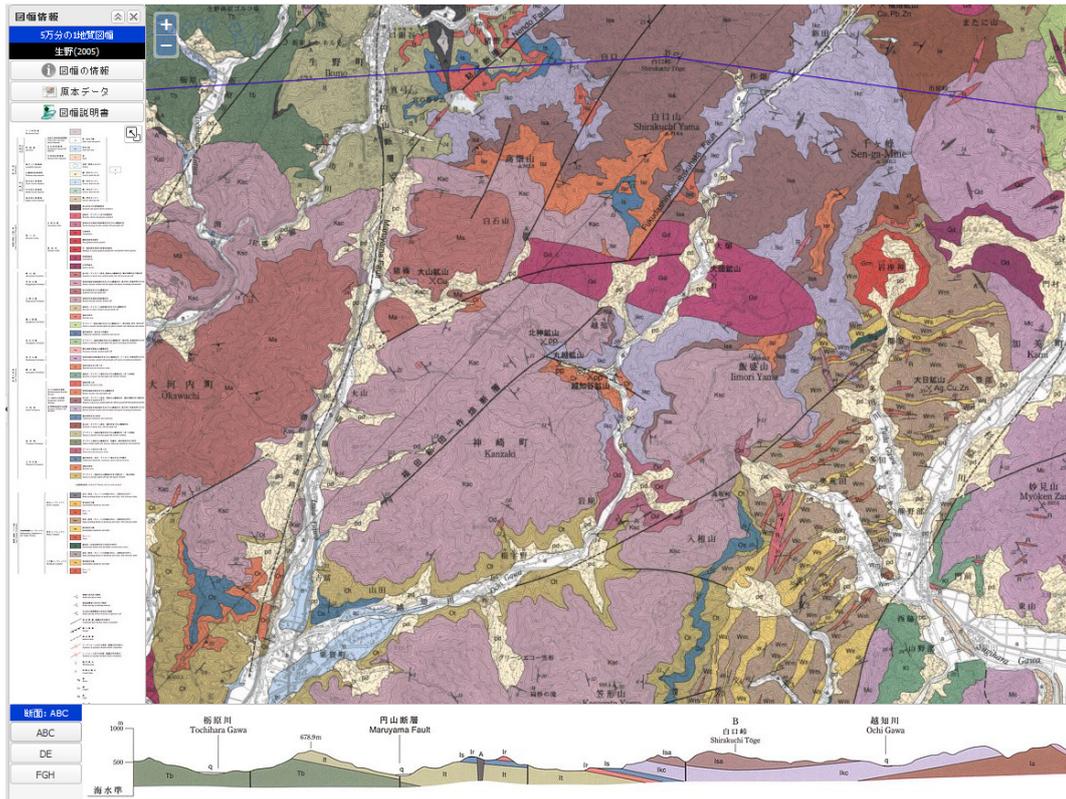
(*1). 地図上から好みの場所を選ぶと、そこで利用できる地質図が選択できるようになっている便利なアプリケーションです。

第2図は地質図 Navi で表示した 1/5 万地質図幅「生野」の例です。断面図とその断面線位置(平面図上の青い太線)も表示されます。説明書の pdf ファイルへのリンクもあり、オンラインで読むことができます。

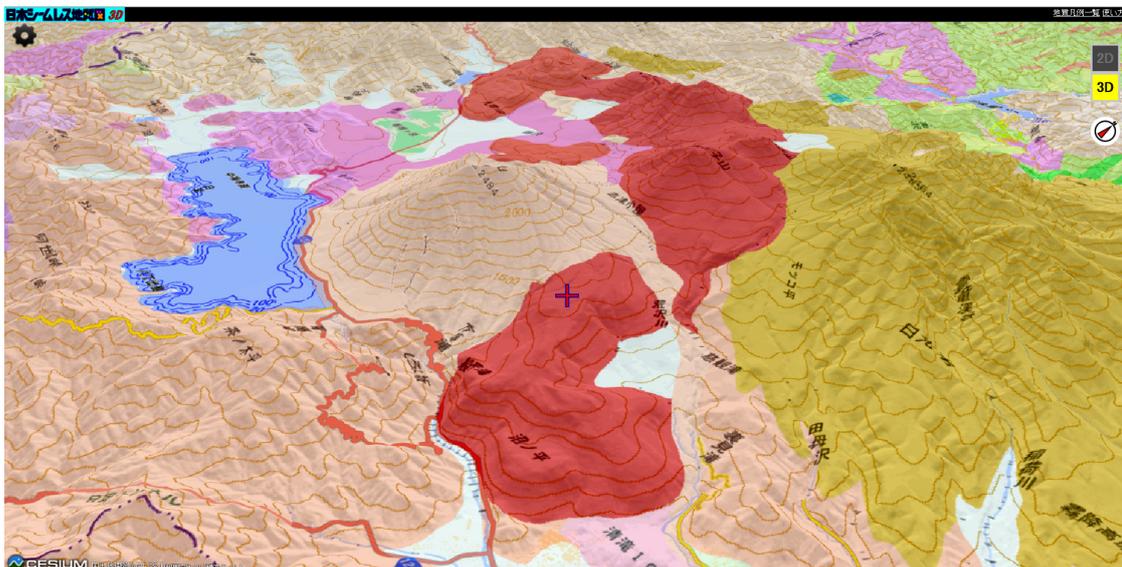
第3図は「1/20 万日本シームレス地質図データベース(*2)」で公開されている 3D 版の地質図の表示例です。地質図は 1/20 万日本シームレス地質図に限定されますが、好みの角度、好みの倍率で立体地質図を見ることができます。

2.2 ダウンロード

現在、地質調査総合センターのウェブサイトでは、ファ



第2図 地質図 Navi による 1/5 万地質図幅「生野」の表示例。



第3図 日本シームレス地質図 3D 版による立体的な地質図の表示例。

イルの準備ができた地質図からダウンロードが可能になっています。地質図データのダウンロードは「地質図カタログ(*3)」、「地質図類データダウンロード(*4)」をご利用ください。これまでに1/5万地質図幅、1/20万地質図幅の整備が進められており、利用できるファイルの種類は以下の通りです。

- ラスターデータ (JPEG, GeoTIFF, KMZ / 200dpi)
- ベクトルデータ (Shapefile, KMZ)
- 説明書 (PDF)

ラスターデータで採用されている200 dpiという解像度は、図郭の南北方向が2900 pixel以上になります。解像度は第4図でご確認ください。また、ラスターデータ、ベクトルデータともKMZファイルが用意されていますので、Google Earth等のアプリケーションを使うと3D表示の地質図を簡単に見ることができます。

2.3 配信サービス

1/20万日本シームレス地質図のように日本全国規模の地質図は、データをダウンロードするとファイルサイズの大きさが問題になります。このような場合は、ネットワーク常時接続環境が整っていれば、配信サービスを利用するのが便利です。また、データ更新を気にしなくて済むメリットもあります。地質調査総合センターの配信サービス

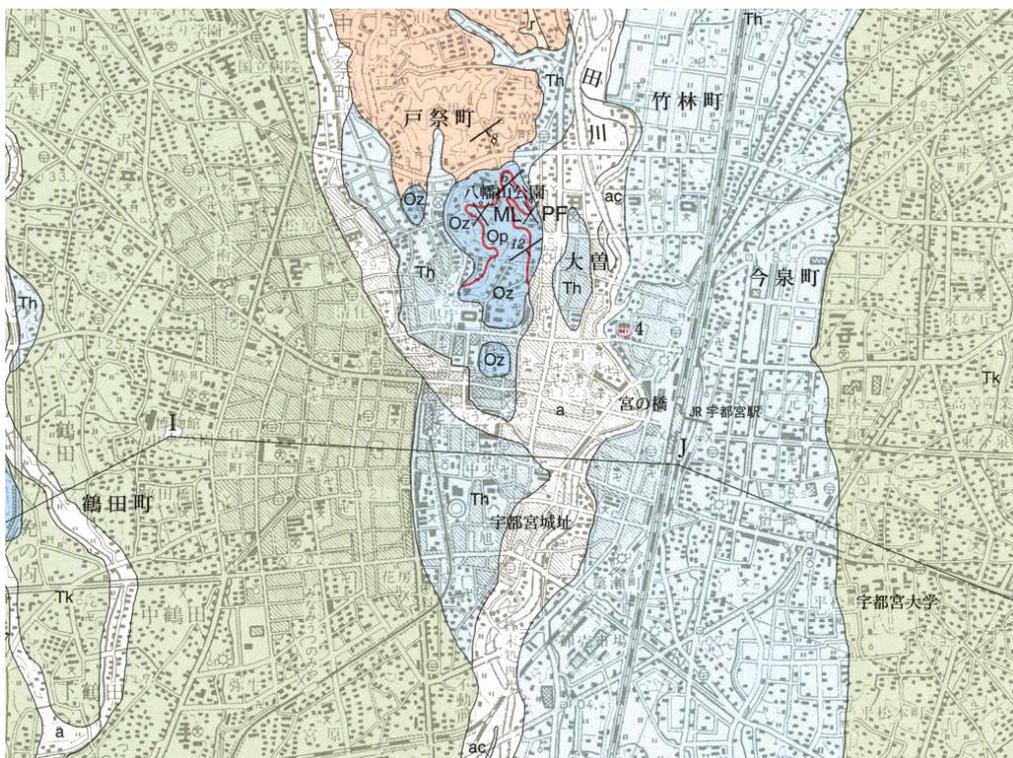
は順次追加中で、「地質情報配信サービス(*5)」のページで確認することができます。

GSJのすべての配信サービスは、配信ページに用意してあるプレビュー用アプリケーション「EasyWMSView」を使って閲覧することができます(第5図)。ブラウザでブックマークしたり、デスクトップにショートカットを作成したりしておけば、簡易地質図アプリとしてもお使いになれます。なお、「EasyWMSView」自体もオープンソースソフトウェアとしてご利用いただけます。詳しくはウェブページにある説明でご確認ください。

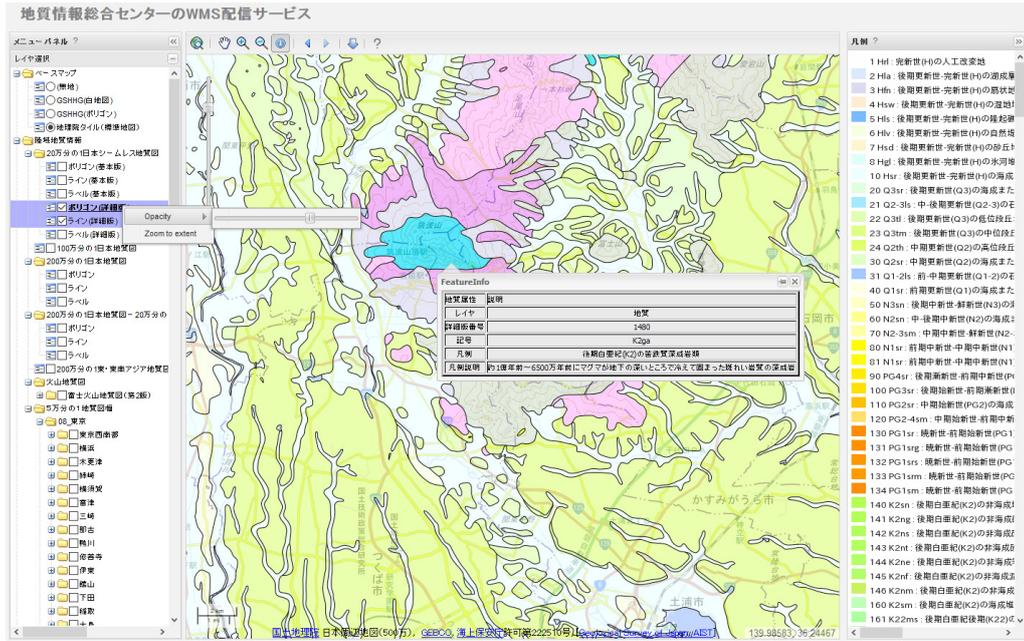
配信サービスを使うと、データ自体を用意しなくても自らのブログやウェブサイトに地質図を表示することが可能です。ユーザーからすればデータファイルを扱う手間が不要になるので、この形態の二次利用例が次第に増えてきています。

2.4 その他

地図表示機能をもつフリーソフトのうち、いくつかのソフトウェアやアプリケーションでは、地質図へアクセスするための設定がプリセットされているものもあります。例えば、カシミール(Windows用*6)、FieldAccess2(iOS用*7)、野外調査地図(Android用*8)などがそうで、手軽に地質図を表示することができます。



第4図 1/5万地質図幅「宇都宮」ラスターデータの例。



第5図 EasyWMSView の表示例。

プリセットがなくても、新規に設定することで地質図を追加表示できる場合もあると思います。お使いのソフトウェアやアプリケーションの例も調べてみてはいかがでしょうか。

3. 地質図表現の自由

そして、重要なことに、結果としてユーザーの自由度が大きく増えました。かつて、ユーザーが利用できたのは紙に印刷された表現形態ひとつだけでした。研究者も、限られた紙面にできるだけ多くの情報を詰め込もうとしていました。しかし、オープンデータの流れにより各機関から標準化された地理空間情報が提供されるようになり、データの分離が進んだこと、またソフトウェアやアプリケーションの機能が向上したことにより、ユーザーは好みのデータを自由に選択し、自由に組み合わせられるようになってきているのです。

例えば、GISソフトを使うと、誰でも好みの地図を作ることができるようになります。第6図aは、QGISで奥日光付近の国土地理院の標準地図を読み込み、表示させたところです。これに対して第6図bは、上と同じ地域について、1/20万日本シームレス地質図(基本版)WMSを読み込み、重ね合わせ表示させたものです。レイヤ表示を切り替えることで、地図としても地質図としても便利に使うことができます。

また、地質図は平面図だけではなく、独自の点や線の情

報を含むことも多々あります。ベクトルデータを利用すれば、これらの点や線の情報だけを単独で利用することもできるようになります。

このように、ツールとデータをうまく利用することで、既にユーザーが自由に地質図をカスタマイズし、表現できるようになっています。すなわち、これからはユーザーが主役の時代なのです。

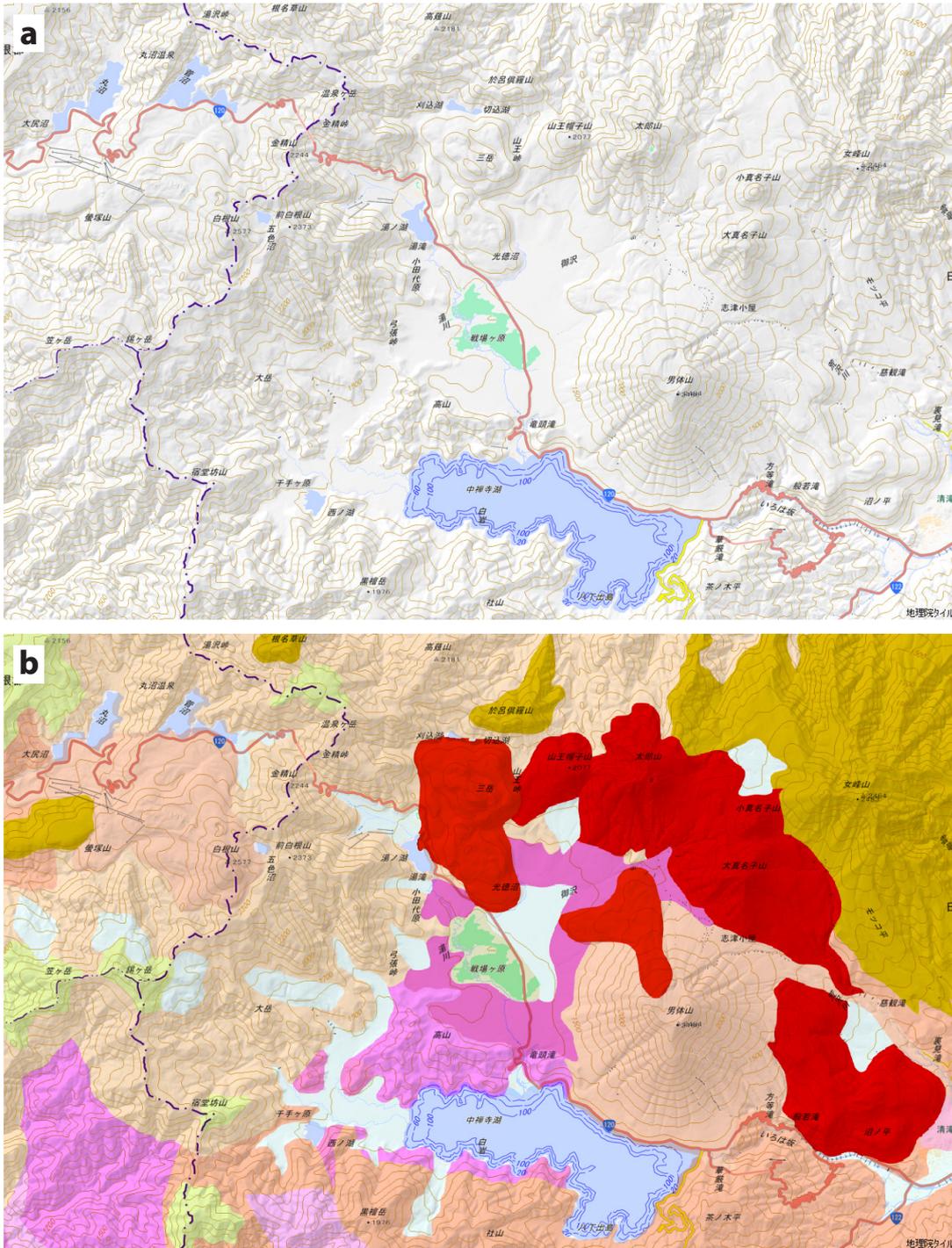
4. フリーソフトでの利用例

以下では、GISを利用した地質図の表示例をもう少し具体的にご紹介します。GISにはフリーソフトもありますので、手軽に始めることができます。ここでは代表的なフリーGISツールであるQGIS(*9)を利用しています。

【必要なもの】

- QGIS(*9)
- タイルレイヤプラグイン(*10)：地理院タイルを読み込むのに必要
- ネット接続環境

ソフトがあってもデータがないと作業が始まりませんが、幸いQGISではWMS/WMTSを設定一つで表示させることができます。ここでは試しに「1/20万日本地質図—1/20万日本シームレス地質図(解像度切替版)」を表示してみましょう。QGISのメニューから[レイヤ]-[レイ



第 6 図 QGIS による奥日光付近の地形図および地質図表示の例
 a: 奥日光付近の地形図 (地理院地図 標準地図を利用), b: 奥日光付近の地質図 (1/20 万日本シームレス地質図 (基本版) WMS と地理院地図 標準地図を利用).

ヤの追加]-[WMS/WMTS レイヤの追加]と進みます。新しいウィンドウで[新規]をクリックし、名称と URL に以下のように入力したら、[OK]を押します(第 7 図)。

- 名称：1/200 万日本地質図－1/20 万日本シームレス地質図 (解像度切替版)
- URL：https://gbank.gsj.jp/ows/geologicmap_multiscale

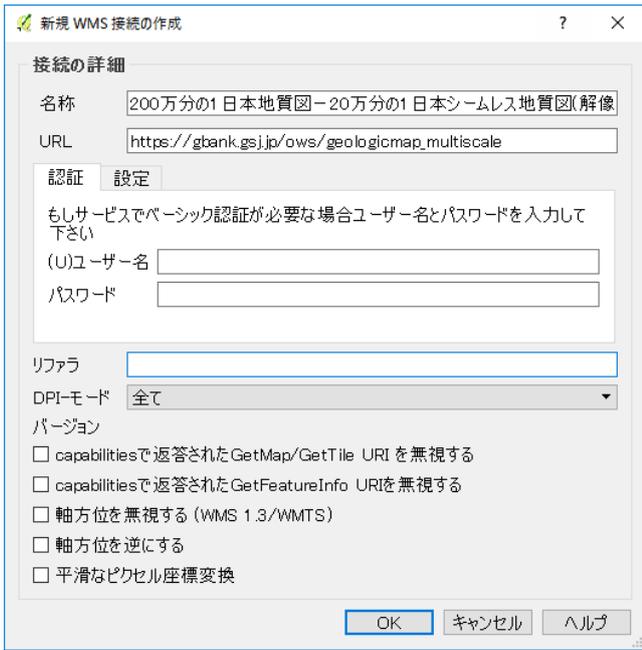
[接続]を押すと、利用できるレイヤ (この WMS の場合はポリゴンとラインとラベル)が表示されます。第 8 図のように個々に追加しても良いですし、すべてを選択して一度に追加することもできます。追加し終わったら、[閉じる]を押してウィンドウを閉じてください。これで、GIS ソフト上で全国の地質図を見ることができるようになりました。拡大縮小や表示範囲の移動ができますので確認

してみてください。

続いて、地図上から地質の情報を表示させてみましょう。[ビュー]-[地物情報表示]を選んでください。カーソルの形が変わります。そのまま、好きな場所でクリックしてみてください。左のウィンドウに説明が表示されます。ちなみに、富士山周辺に分布するピンク色の地質の場合、第9図のように表形式の説明が出ました。もし、う

まく動作しないときは、ポリゴンのレイヤが選択されているかを確認してください。一方、ラインの情報を表示したいときは、ラインのレイヤを選択し、地図上で好みの線をクリックすればOKです。

これまで地質図で難しかったのが、色と記号で分けられた地質区分を、数ある凡例の中から探し出す作業でした。デジタル地質図では、上記のように好みの場所でクリックするだけで良い場面が増えました。これは、ベクトルデータを使っている場合の大きなメリットです。



第7図 新しいWMS 接続の設定例。

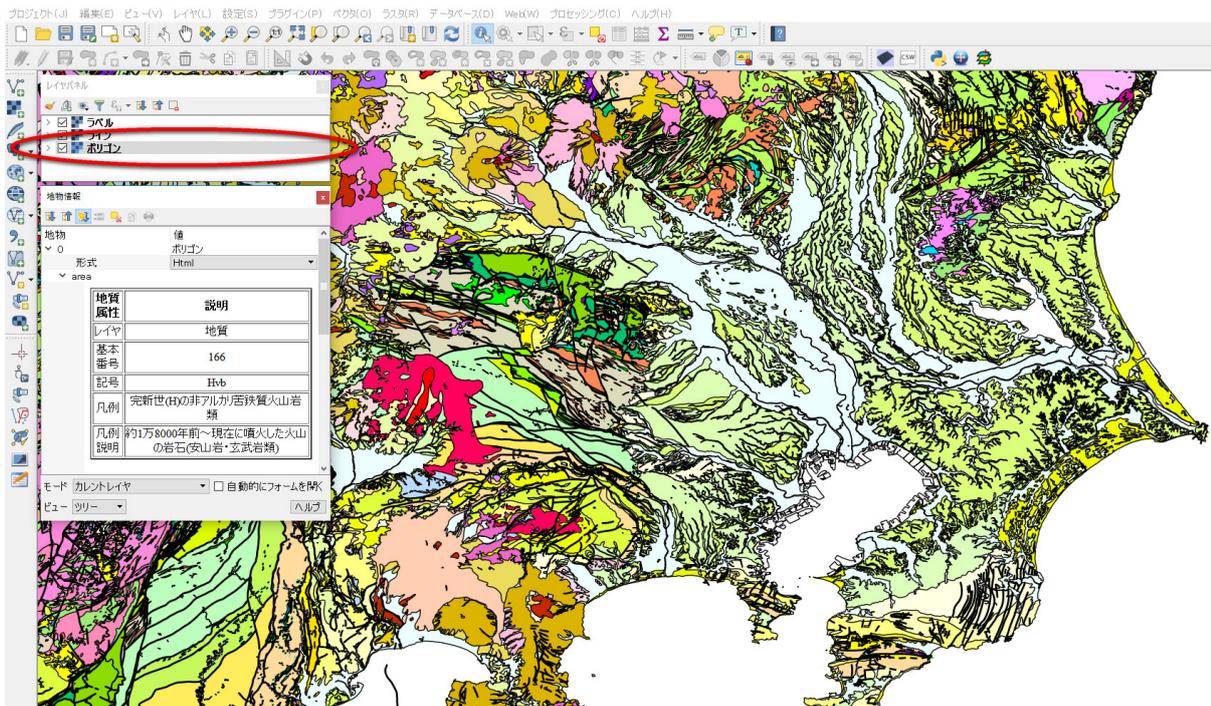
5. レイヤを重ねる

GIS では、複数のデータを重ね合わせて利用することが簡単にできます。地質図だけでは位置を確認することが容易ではないので、国土地理院の配信している地理院タイルを重ねてみましょう。タイルレイヤプラグインを準備してあれば、QGIS のメニューから [Web]-[タイルレイヤプラグイン]-[タイルレイヤを追加する] と進みます。選択肢の中から、GSIMaps の標準地図を選び、[追加] します。レイヤのパネル (小さいウィンドウ) に標準地図が追加されます。この名前をドラッグして、一番上にドロップしてください。QGIS では上にあるレイヤが優先されるので、地質図が見えなくなってしまいました。

そこで、標準地図のレイヤ名を右クリックして[プロパティ]を選んでください (またはダブルクリックでも



第8図 利用できるレイヤの表示。



第9図 凡例情報の表示。

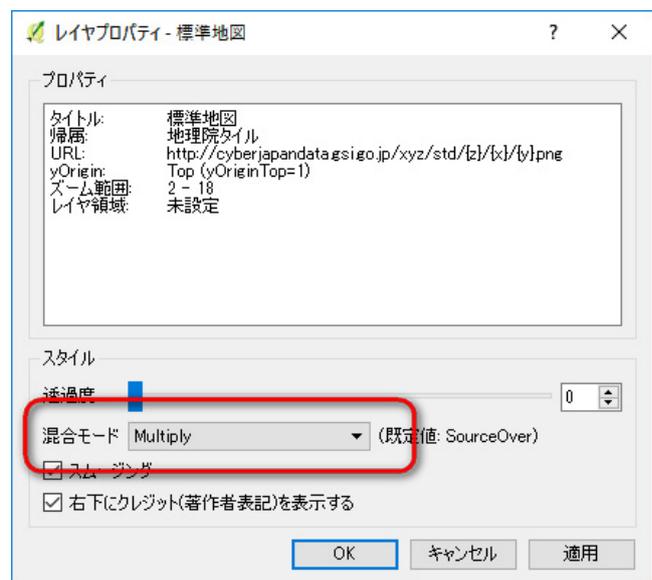
OK)。ここで、表示の設定を行うことができます。混合モードが選べるので、[乗算 (Multiply)] を選んで [OK] を押してください(第10図参照)。すると、地理院地図と地質図とが合成された地図が表示されます。

先の要領で、国土地理院の配信している色別標高図も重ねてみましょう。QGISのメニューから [Web]-[タイルレイヤプラグイン]-[タイルレイヤを追加する] と進み、GSIMapsの色別標高図を追加してください。こちらは色が濃いので、思い切って透過度を上げます。80くらいにしても大丈夫です(第11図参照)。

きれいに表示するには、空間参照システムを確認してみましょう。右下の「EPSG」と書いてある欄をクリックして WGS 84 (EPSG: 4326) を選んでみてください。また、1/20万シームレス地質図は、拡大に耐える位置精度がないため、あまり拡大すると表示されないようになっています。表示可能な縮尺は、最大で、1/50,000程度です。

6. おわりに

情報技術の進歩は速く、いまや小学生でもウェブ地図を使って世界中を見て回るできるようになりました。また、ウェブサイトからの地図情報発信は、いまや個人でも普通に可能な時代になりました。今後、多くの地理空間情報のひとつとして、地質図も利用の幅がさらに広がって



第10図 レイヤのプロパティ。

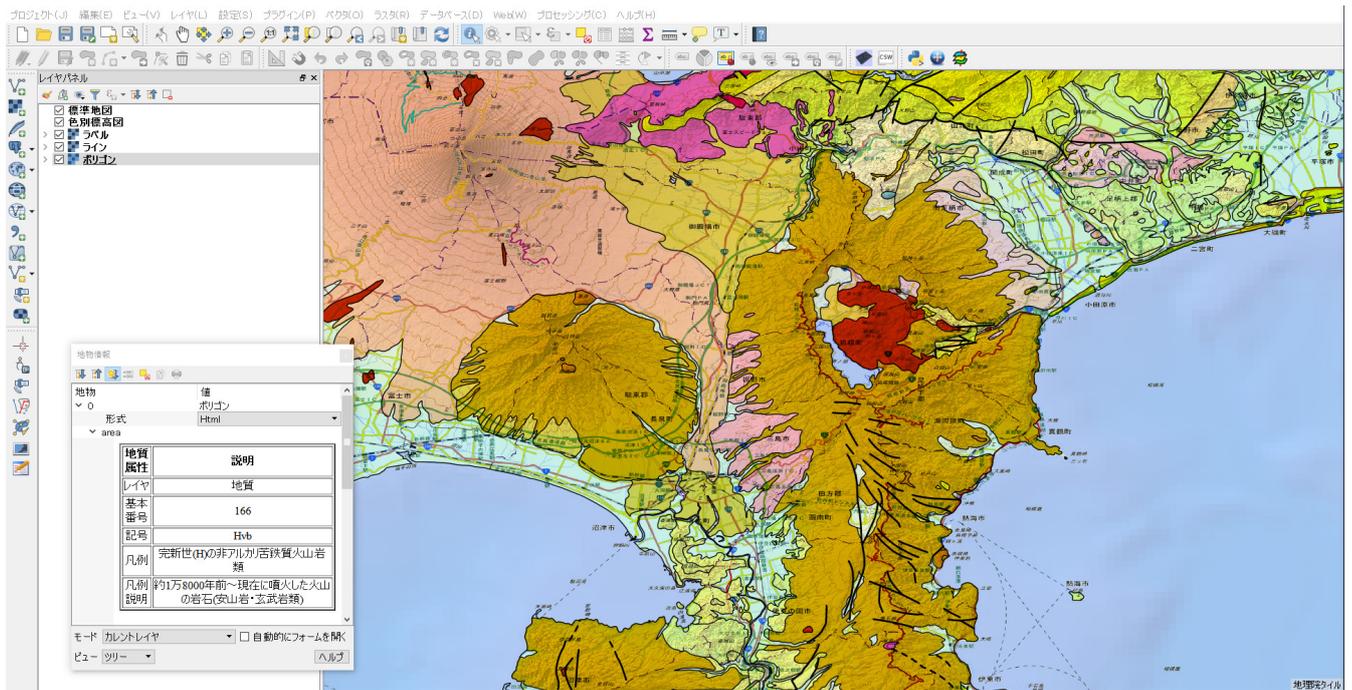
いくことを期待しています。

出典

本解説記事は、著者の個人ウェブページ(下記)で公開中の内容に加筆して作成しました。

<https://staff.aist.go.jp/t-yoshikawa/Geomap/NewGeomap.html>

新しい地質図の利用例



第 11 図 重ね合わせ表示の例.

- | | |
|--|--|
| *1 地質図 Navi
https://gbank.gsj.jp/geonavi/ | *7 FieldAccess2 (iOS 用)
http://dendrocopos.jp/fieldaccess/ |
| *2 1/20 万日本シームレス地質図
https://gbank.gsj.jp/seamless/ | *8 野外調査地図 (Android 用)
http://fieldstudymap.com/ |
| *3 地質図カタログ
https://www.gsj.jp/Map/ | *9 QGIS (Windows / Mac / Linux 用)
http://qgis.org/ja/site/ |
| *4 地質図類データダウンロード
https://gbank.gsj.jp/datastore/ | *10 タイルレイヤプラグイン
http://space.geocities.jp/bischofia_vb/qgis-plugins/TileLayerPlugin/ |
| *5 地質情報配信サービス
https://gbank.gsj.jp/owscontents/ | |
| *6 カシミール (Windows 用)
http://www.kashmir3d.com/ | |

いずれも 2016 年 11 月 1 日確認.

YOSHIKAWA Toshiyuki (2017) The new usages of Geologic Maps.

(受付:2016年11月17日)

地質学用語の中国語表記：第3回 構造地質学

伊藤 剛¹⁾

今回は構造地質学に関する用語を中心に、その中国語表記を紹介する。まず、地層を区分する際に用いられる地帯構造区分及び岩相層序単元の中国語表記への対応を示す(第1表)。合わせて、構造地質学に関する用語の対訳を示す(第2表)。最後に、比較的新しい概念であるプレートテクトニクスに関わる用語が中国語ではどのように表記されているのかについて紹介する(第3表)。

1. 地帯構造区分及び岩相層序単元

Suture zone(縫合帯;縫合帯)とTectonic zone(構造帯;構造帯)に関しては、同形語が使われている。ただし、日本の漢字と簡体字との違いはみられる。日本語ではカタカナが用いられているテレーンやコンプレックスに関しては、中国語では意味に基づいて漢字が当てられている。例えば、Complexには「複雑」の簡体字である「复杂」あるいは一部を用いた「杂岩」が用いられている。

岩相層序単元に関しては、Bed(単層;層)及びFlow(流;流)で同じ漢字が用いられているものの、それ以外の単元では異なる漢字が使われている。特にFormationの訳が

異なり、日本語表記では「層」の字が当てられているのに対し、中国語表記では「組」の簡体字である「组(Zǔ)」が当てられている。

ところで、「層;层」の漢字は「積み重なる」などの意味を持ち、layerやbedにも用いられる。しかし、岩相層序単元のFormationに本来これらの意味はない(日本地質学会, 2001)。原義に近く混乱を招きにくいといった点では、単に一定のまとまりを示す「组」を用いる中国語表記のほうがより適切かもしれない。

2. 構造地質学用語

日中同形語が用いられている用語が多い。しかし、日本ではカタカナが用いられているいくつかの単語に関しては、中国独自の漢字が使用されている。例えばFault gouge(断層ガウジ;断层泥)は断層運動により細粒化して泥状になったものを指すため、中国語では「泥」の字と「断层」が組み合わさった形となっている。

Thrustの中国語「逆冲断层」に使用されている「冲」は「衝」の簡体字である。この漢字はSubduction zone

第1表 地帯構造区分及び岩相層序単元の対訳。

英語	日本語	中国語	ピンイン
Suture zone	縫合帯	缝合带	Féng-hé-dài
Tectonic belt	構造帯	构造带	Gòu-zào-dài
Terrane, Terrain	テレーン	地带, 地体	Dì-dài, Dì-tǐ
Complex	コンプレックス	复杂体, 超群, 杂岩	Fù-zá-tǐ, Chāo-qún, zá-yán
Group	層群	群	Qún
Formation	層	组	Zǔ
Member	部層	段	Duàn
Bed	単層	层	Céng
Flow	流	流	Liú

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：地質学用語, 中国語, 日本語, 英語, 構造地質学

第2表 構造地質学用語の対訳。常用漢字外の表記の場合はカッコ内に示す。

英語	日本語	中国語	ピンイン
Strike	走向	走向	Zǒu-xiàng
Dip	傾斜	傾斜, 倾向	Qīng-xié, Qīng-xiàng
Fault	断層	断层	Duàn-céng
Normal fault	正断層	正断层	Zhèng-duàn-céng
Reverse fault	逆断層	逆断层	Nì-duàn-céng
Strike-slip fault	横ずれ断層	平移断层, 走滑断层, 横冲断层	Píng-yí-duàn-céng, Qīng-huá-duàn-céng, Héng-chōng-duàn-céng
Thrust	衝上断層, スラスト	逆冲断层	Nì-chōng-duàn-céng
Conjugate faults	共役断層	共轭断层	Gòng-è-duàn-céng
Slicken side	鏡肌	擦痕面, 断层擦面, 断层擦痕	Cā-hén-miàn, Duàn-céng-cā-miàn, Duàn-céng-cā-hén
Fold	褶曲	褶皱	Zhě-zhòu
Hinge line	ヒンジ線	枢纽线	Shū-niǔ-xiàn
Antiform	アンチフォーム	背斜构造, 背形	Bèi-xié-gòu-zào, Bēi-xíng
Synform	シンフォーム	向斜构造, 向形	Xiàng-xié-gòu-zào, Xiàng-xíng
Anticline	背斜	背斜	Bèi-xié
Syncline	向斜	向斜	Xiàng-xié
Joint	節理	节理	Jié-lǐ
Fissure	裂か (裂罅)	裂缝, 裂隙	Liè-fèng, Liè-xì
Fracture	断裂	断裂, 破断	Duàn-liè, Pò-duàn
Fault rock	断層岩	断层岩	Duàn-céng-yán
Fault gouge	断層ガウジ	断层泥	Duàn-céng-ní
Fault breccia	断層角礫岩	断层角砾岩	Duàn-céng-jǎo-lì-yán
Cataclasite	カタクレーサイト	压碎岩, 碎裂岩	Yā-suì-yán, Suì-liè-yán
Pseudotachylite	シュードタキライト, 偽玄武岩玻璃	假玄武玻璃	Jiǎ-xuán-wǔ-bō-lǐ
Dike/Dyke	岩脈	岩脉, 岩墙	Yán-mài, Yán-qiáng
Sill	シル, 岩床	岩床	Yán-chuáng
Vein	ベイン, 鉱物脈	矿脉, 岩脉	Kuàng-mài, Yán-mài

(俯冲帯)にも使用されている。

長い用語に関しては、省略された用語が使われることもある。Antiform と Synform はそれぞれ「背斜构造」と「向斜构造」と表記されるが、短い「背形」と「向形」も使用される。

3. プレートテクトニクス

日本で漢字が用いられている用語では、Island arc (島弧; 島弧) や Crust (地殻; 地壳), Sea mount (海山; 海山) のように同形語が用いられている例がある。また、

第3表 プレートテクトニクスに関わる用語の対訳

英語	日本語	中国語	ピンイン
Plate tectonics	プレートテクトニクス	板块构造, 板块学, 板块理论	Bǎn-kuài-gòu-zào, Bǎn-kuài-xué, Bǎn-kuài-lǐ-lùn
Plate	プレート	板块	Bǎn-kuài
Ocean plate	海洋プレート	大洋板块	Dà-yáng-bǎn-kuài
Continental plate	大陸プレート	大陆板块	Dà-lù-bǎn-kuài
Crust	地殻	地壳	Dì-qiào
Mantle	マントル	地幔	Dì-màn
Mantle plume	マントルプルーム	地幔柱, 幔柱	Dì-màn-zhù, Màn-zhù
Hot plume	ホットプルーム	热地幔柱, 热幔柱	Rè-dì-màn-zhù, Rè-màn-zhù
Cold plume	コールドプルーム	冷地幔柱	Lěng-dì-màn-zhù
Magma	マグマ, 岩漿	岩浆	Yán-jiāng
Seamount	海山	海山, 海峰	Hǎi-shān, Hǎi-fēng
Ridge	海嶺	海脊, 海岭	Hǎi-jǐ, Hǎi-lǐng
Trench	海溝	海沟	Hǎi-gōu
Island arc	島弧, 弧状列島	岛弧, 弧形列島	Dǎo-hú, Hú-xíng-liè-dǎo
Subduction zone	沈み込み帯	消滅帯, 消亡帯, 俯冲帯	Xiāo-jiǎn-dài, Xiāo-wáng-dài, Fǔ-chōng-dài
Accretionary prism	付加体	增生棱柱体, 增生楔	Zēng-shēng-léng-zhù-tǐ, Zēng-shēng-xiē
Imbricate structure	覆瓦構造	叠瓦构造, 叠覆构造	Dié-wǎ-gòu-zào, Dié-fù-gòu-zào
Mélange	メランジュ, 混在岩	混杂岩	Hùn-zá-yán
Décollement	デコルマ	滑脱	Huá-tuō

Magma(マグマ; 岩漿)のように, かつて日本で使われていながら今日では一般的でない言葉が使用されている例もある。日本ではカタカナ表記されている用語には中国独自の漢字が使用されている。Plate(プレート; 板块)などは意味に基づいて漢字が当てられている。なお, Plateの中国語訳「板块」に使われている「块(Kuài)」は「塊」の簡体字である。Mantle(地幔)には「幔(Màn)」が当てられているが, この漢字はカーテンを意味する。一方, Mantle はラテン語でベールなど覆うものを広く指す *mantellum* あるいは *mantelum* に由来する(歌代ほか, 1978)。中国語ではベールを指す漢字としては「纱(Shā)」などもあるが, 発音も考慮して「幔」が用いられた可能性も考えられる。

文 献

- 日本地質学会(2001) 国際層序ガイド 層序区分・用語法・手順へのガイド. 共立出版株式会社, 東京, 238p.
- 歌代 勤・清水大吉郎・高橋正夫(1978) 地学の語源を探る. 東京書籍, 東京, 195p.

ITO Tsuyoshi (2017) Geological terms in Chinese: Part 3. Structural geology.

(受付: 2016年7月25日)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 岡井貴司
副委員長 中島礼
委員 中嶋健
星野美保子
竹田幹郎
山崎誠子
小松原純子
伏島祐一郎
森尻理恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第6巻第3号
平成29年3月15日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

印刷所 前田印刷株式会社

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : Takashi Okai
Deputy Chief Editor : Rei Nakashima
Editors : Takeshi Nakajima
Mihoko Hoshino
Mikio Takeda
Seiko Yamasaki
Junko Komatsubara
Yuichiro Fusejima
Rie Morijiri

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 6 No. 3
March 15, 2017

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan

Maeda Printing Co., Ltd



北海道の浦河町と釧路市を結ぶ国道 336 号のうち、日高山脈南東縁に沿ったえりも町^{えりも}庶野～広尾町広尾橋の区間は、“黄金道路”と呼ばれている。この名称は、太平洋に面した断崖絶壁の海岸道路であるために、工事費がかさみ、黄金を敷きつめられるくらいの金額になったことからついたとされる。道路沿いには古第三紀の付加体とされる日高累層群(中の川層群)、日高変成岩類・火成岩類の大露頭が連続して出現するが、これらの岩石は現在の山脈の隆起に伴う剪断破壊を受け岩盤としては脆弱であり、この地が地震津波常襲地帯であることから、今後道路を維持管理するためには、多額の費用がかかることが予測される。

(写真・文:地質調査総合センター地質情報研究部門 七山 太・高橋 浩)

The "OGON-DORO" road along the southeastern side of Hidaka Mountains viewed from Hiroo Town, eastern Hokkaido. Photo and Caption by Futoshi NANAYAMA and Yutaka TAKAHASHI