

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⁾

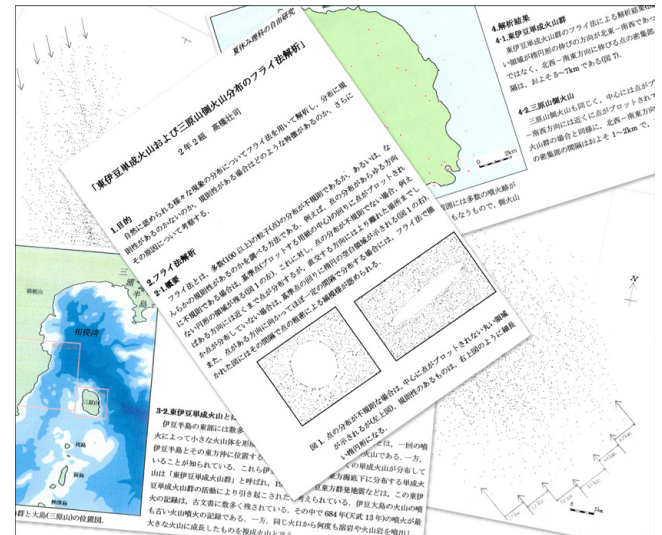
* 日本地震学会2016年秋季大会にて発表

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。

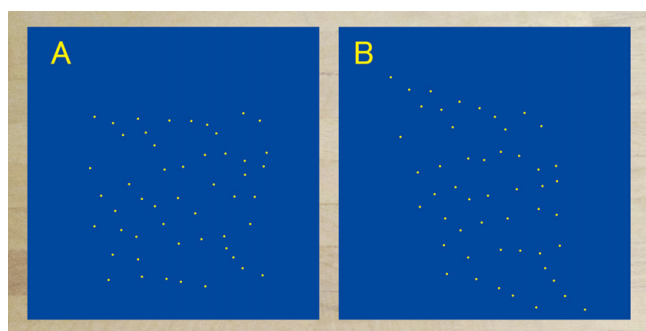
2. フライ法とは?

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

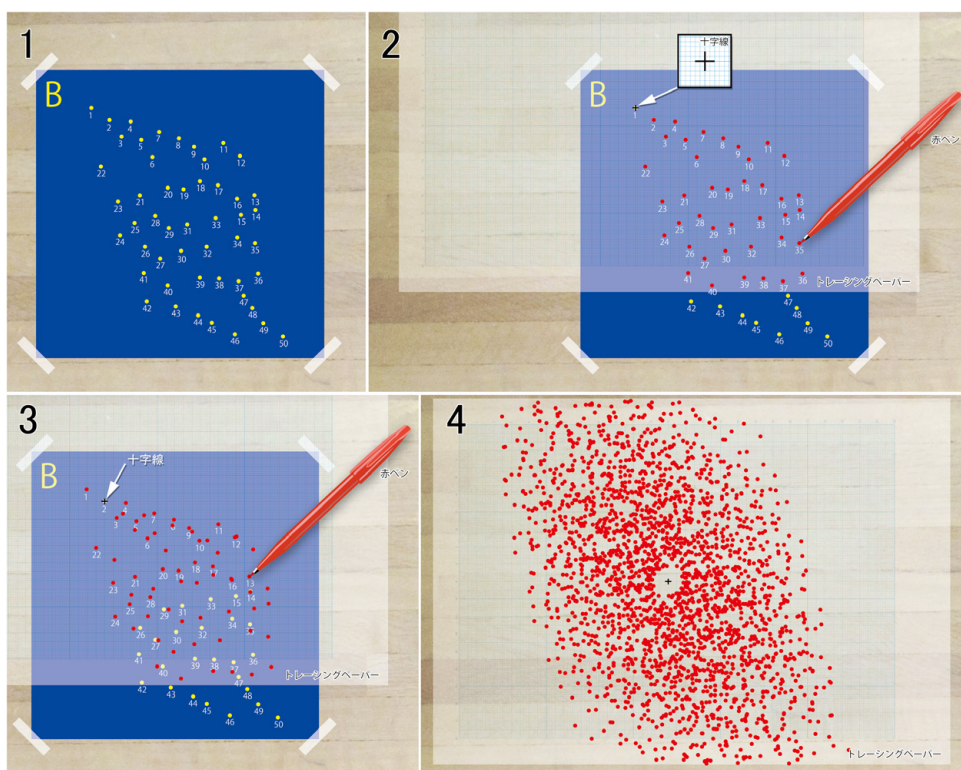
ここで、50個の点からなるAとBの2つの分布図を見よう(第2図)。一見して、Aは点の分布範囲がおおよそ正方形であるが、Bでは菱形の範囲に点が分布していることが分かる。しかし、分布範囲ではなく、点相互の位置関係に何らかの特徴があるのかわからない、一見ただけでは分からない。例えば、「AとBのどちらの方が、点の分布がランダムですか?」と問われても、とっさには返答できないであろう。それでは、これらの分布図に対し、フライ法を適用してみよう。



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。

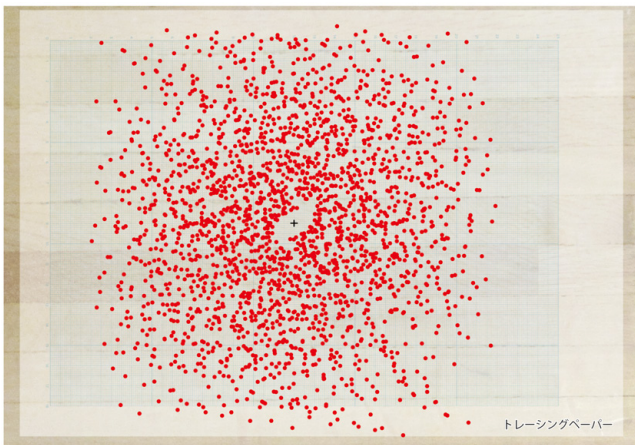
通常のフライ法解析では、最初に十字線を1番の点に合わせるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、1番の点に隣り合う点をトレーシングペーパーに書き写す(第3図の2)。ただし、今回は歪み解析だけではなく、離れた点の位置関係に何らかの傾向があるのかわかるか検討する目的で、すべての点を描き写した。つづいて、2番の点に十字線が重なるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、同様にすべての点を描き写す(第3図の3)。さらに、十字線を3番の点に合わせるようにトレーシングペーパーを平行移動させ、3番の点以外をトレーシングペーパーに写し取る。このような作業をすべての点について行くと、第3図の4のような点の分布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



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書き写す。(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)。

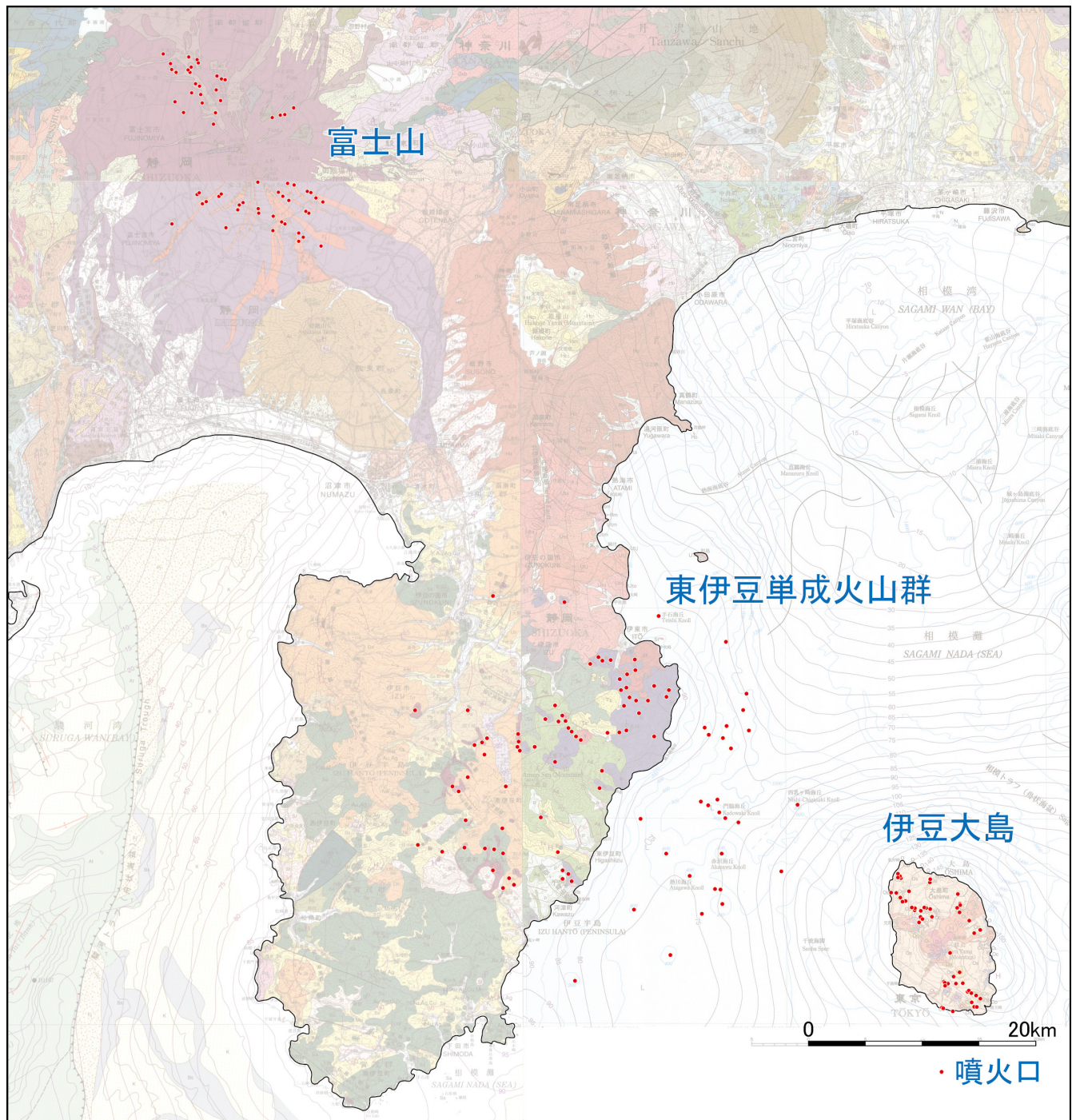
伊豆大島は伊豆-小笠原弧の火山フロントに位置し、玄武岩質噴出物からなる活発な火山島である(川辺, 1991)。水深が 300 ~ 400 m の海底からそびえる活火山の頂部が海面上に露出し、島の中央部のカルデラにある標高 764 m の三原山は中央火口丘である。伊豆大島は東伊豆単成火山群とは異なり、富士山と同様な複成火山であるが、中央火口とは別にスコリア丘など多数の噴火口が存在する。

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

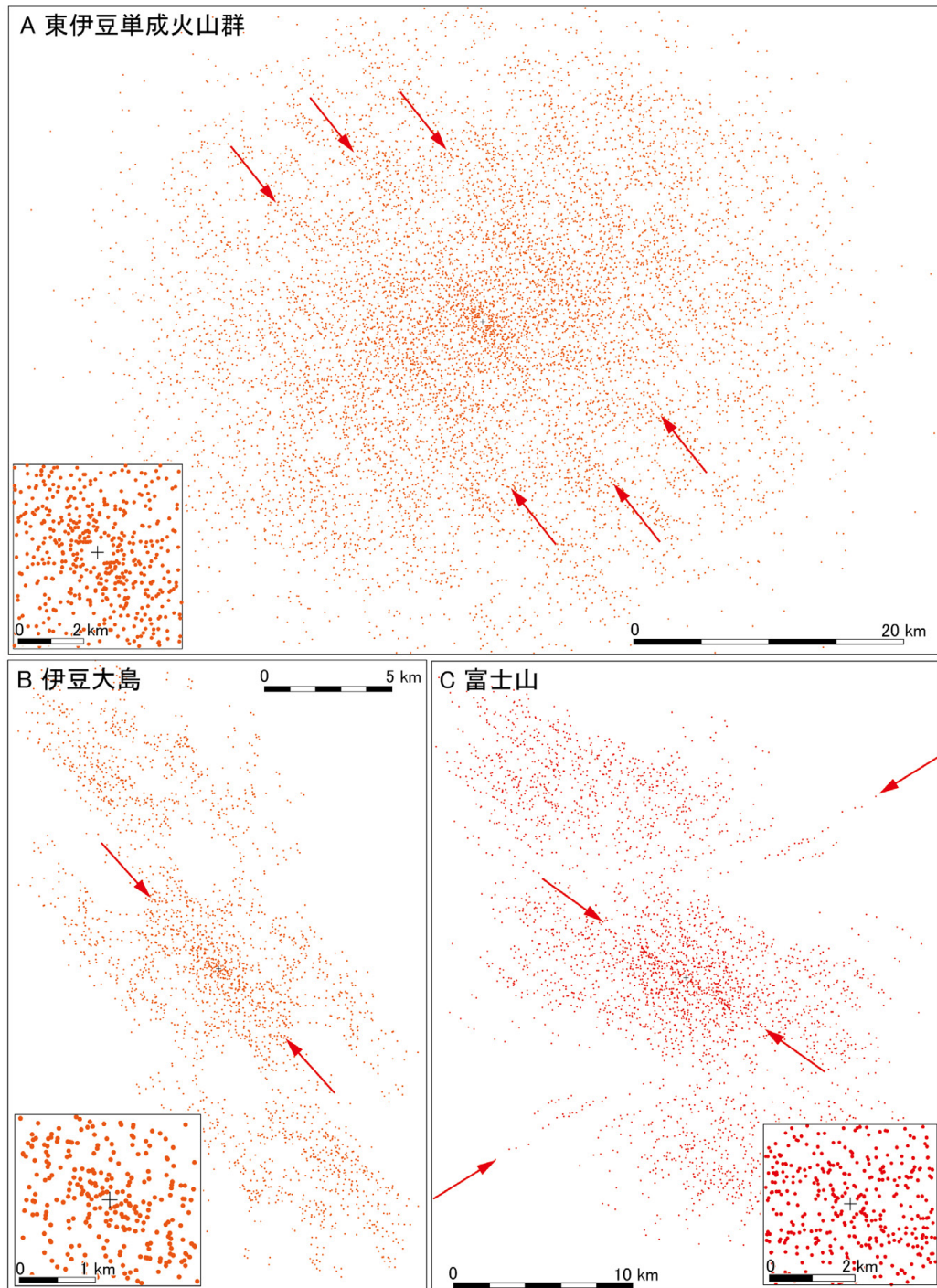


第5図 東伊豆単成火山群の分布と伊豆大島の噴火口分布(地質図は、尾崎ほか, 2002; 坂本ほか, 1987; 杉山ほか, 2010 および竹内ほか, 2015)。

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。

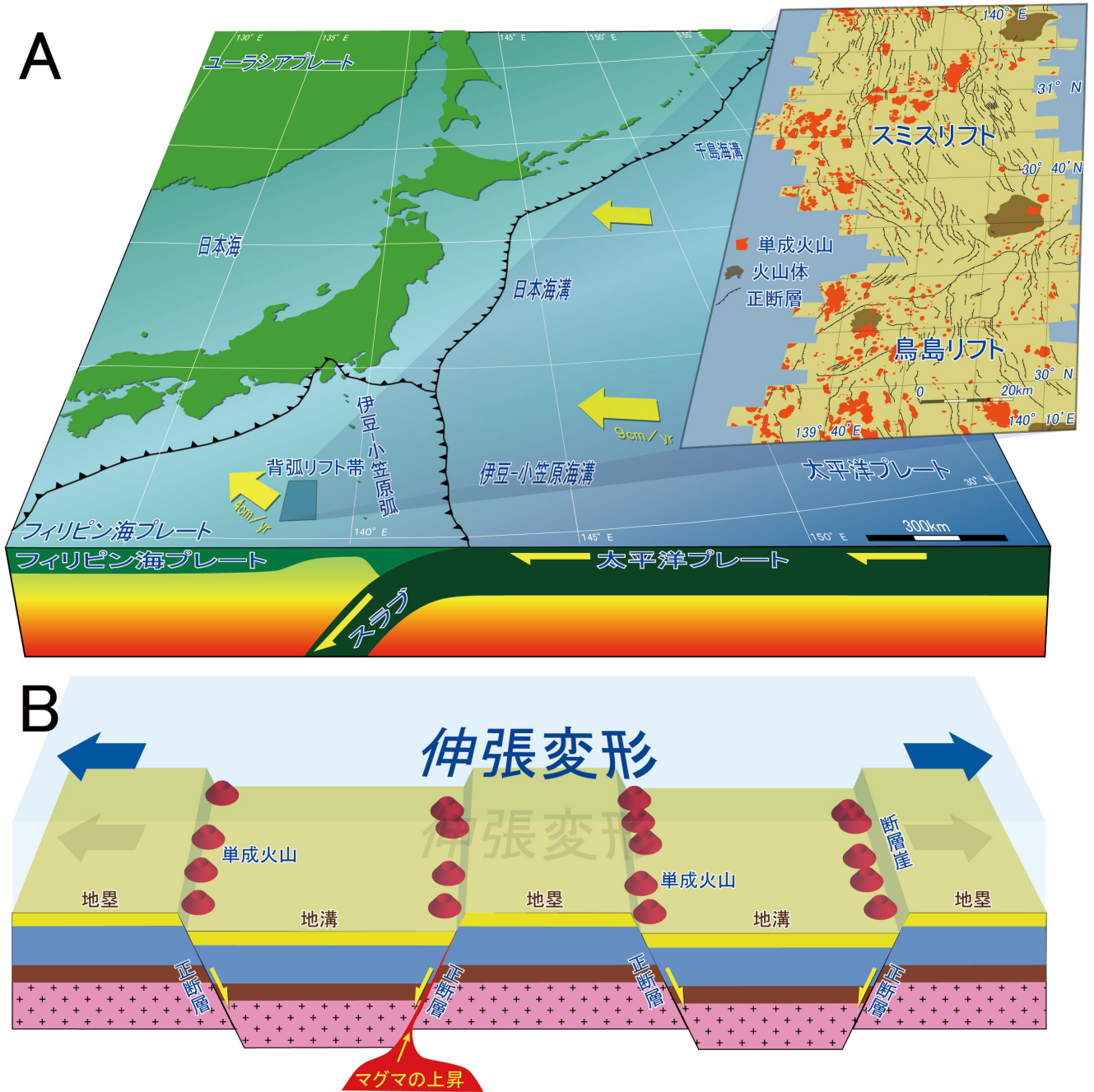
リフト帯は、地殻を切る無数の正断層に沿ってブロックがズレながら、全体として薄く変形していく。したがって、リフト帯には地殻を分断する規模の大きい正断層が無数発達していると考えられる。一方、伊豆-小笠原弧は太平洋プレートの沈み込みに伴い成長する活動的火山弧で、伊豆大島から南には直線状に連なる火山島が形成されている。海面上に露出する火山(島)は多くはないが、海面下には無数の火山(海底火山)が形成されている。

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.

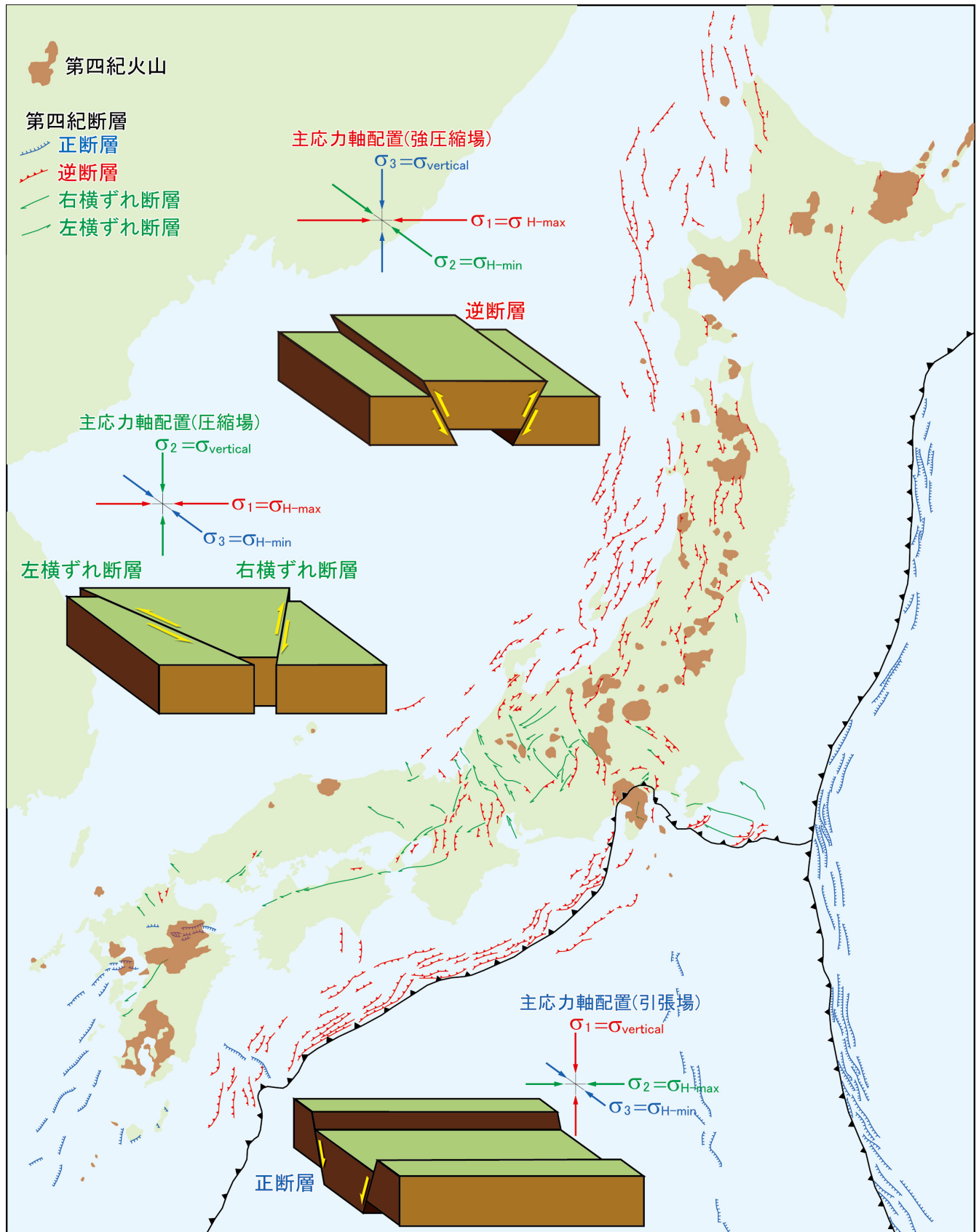
れ断層型, 最大主応力軸 (σ_1) が鉛直なら正断層型となる. 簡単に言えば, 地殻は最大主応力軸 (σ_1) の方向に短縮し, 最小主縮応力軸 (σ_3) の方向に押し出されるように変形する.

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。

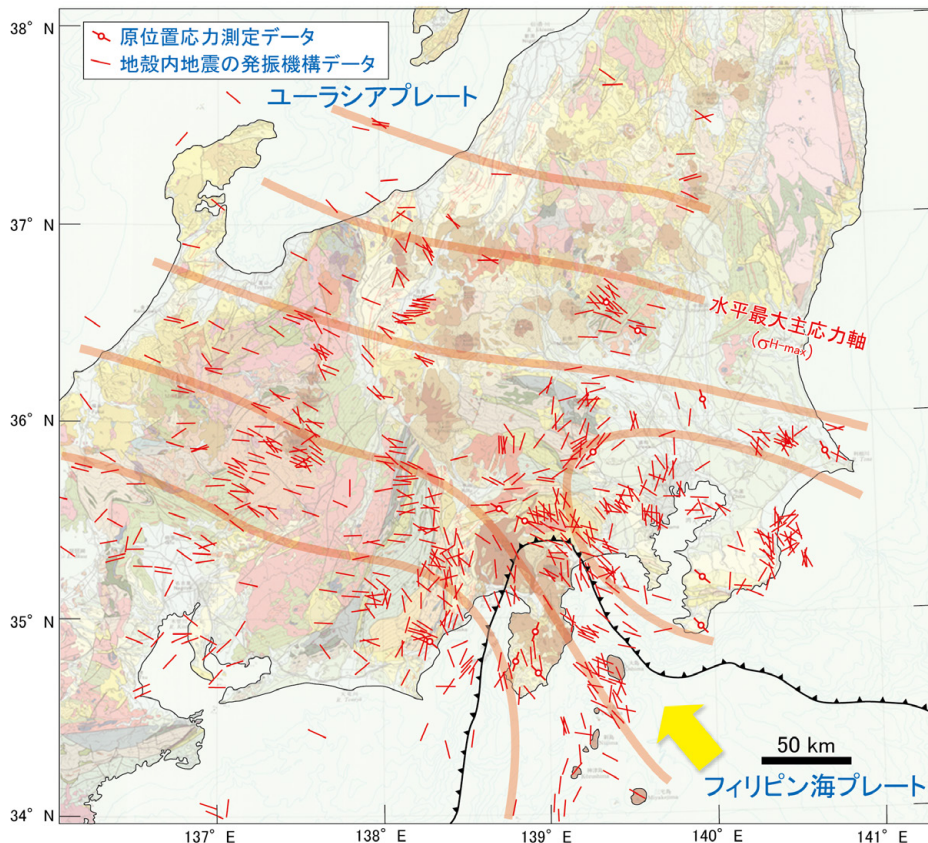
他方、九州から南西諸島にかけては水平面内にある主応力はいずれも鉛直応力より小さいため、地殻は上下に短縮するので正断層、すなわちリフトが形成される。正断層は地殻に働く応力が小さいことを示唆し、逆断層や横ずれ断層に比べて地震活動は活発ではない。

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は分からないが、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。

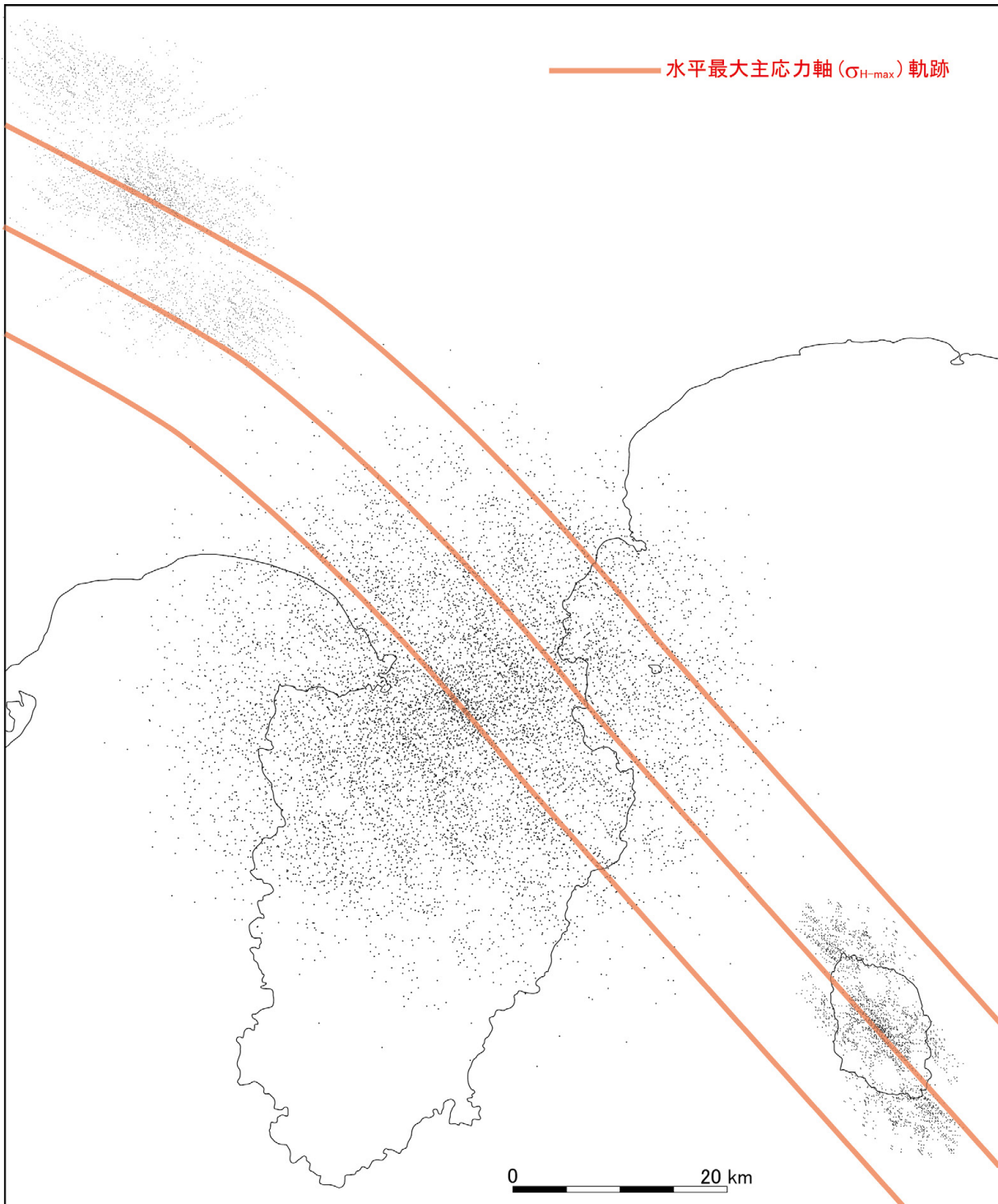
これに対し、伊豆半島から南に続く伊豆火山弧ではリフト帯が形成されていることから、伊豆-小笠原弧は本州とは対照的に伸張変形が進行していることが分かる。したがって、フィリピン海プレートに属する伊豆火山弧の水平最大主応力軸 (σ_{H-max}) は中間主応力軸 (σ_2) であり、ユーラシアプレート側(上盤プレート側)が最大主応力軸 (σ_1) を示しているのと異なる。



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

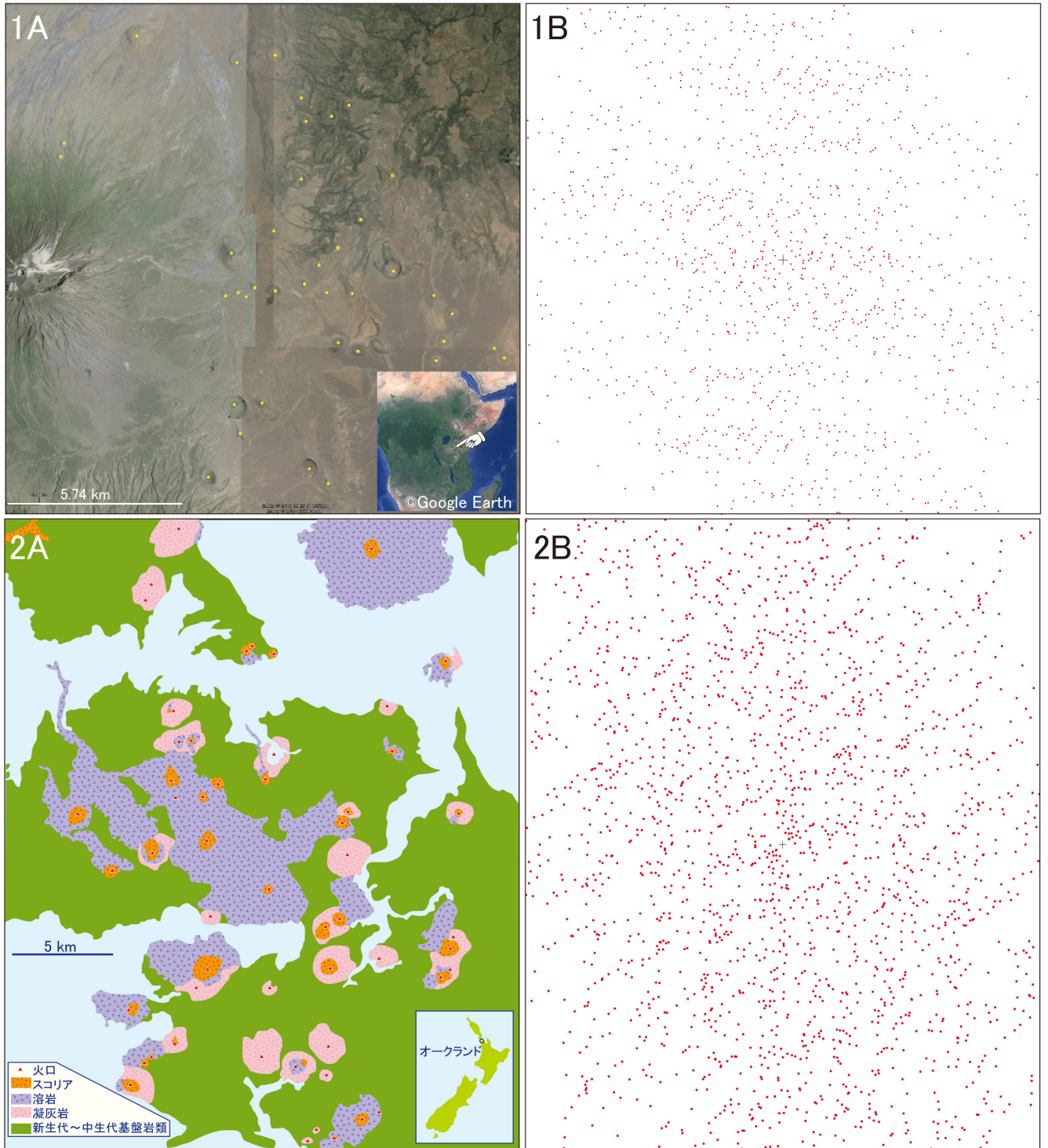
部に働く局所的な応力場を反映している可能性が否定できない。実際、富士山の側火口のフライ法解析結果を見ると北西-南東方向の縞状分布だけでなく、北東-南西方向に続く点の密集帯も認められる。しかしながら、北西-南東方向の点の密集帯が明瞭であることや浅発地震の発生機構(第9図)を考慮すると、この方向は広域応力場(σ_{H-max})を表していると推定される。



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。

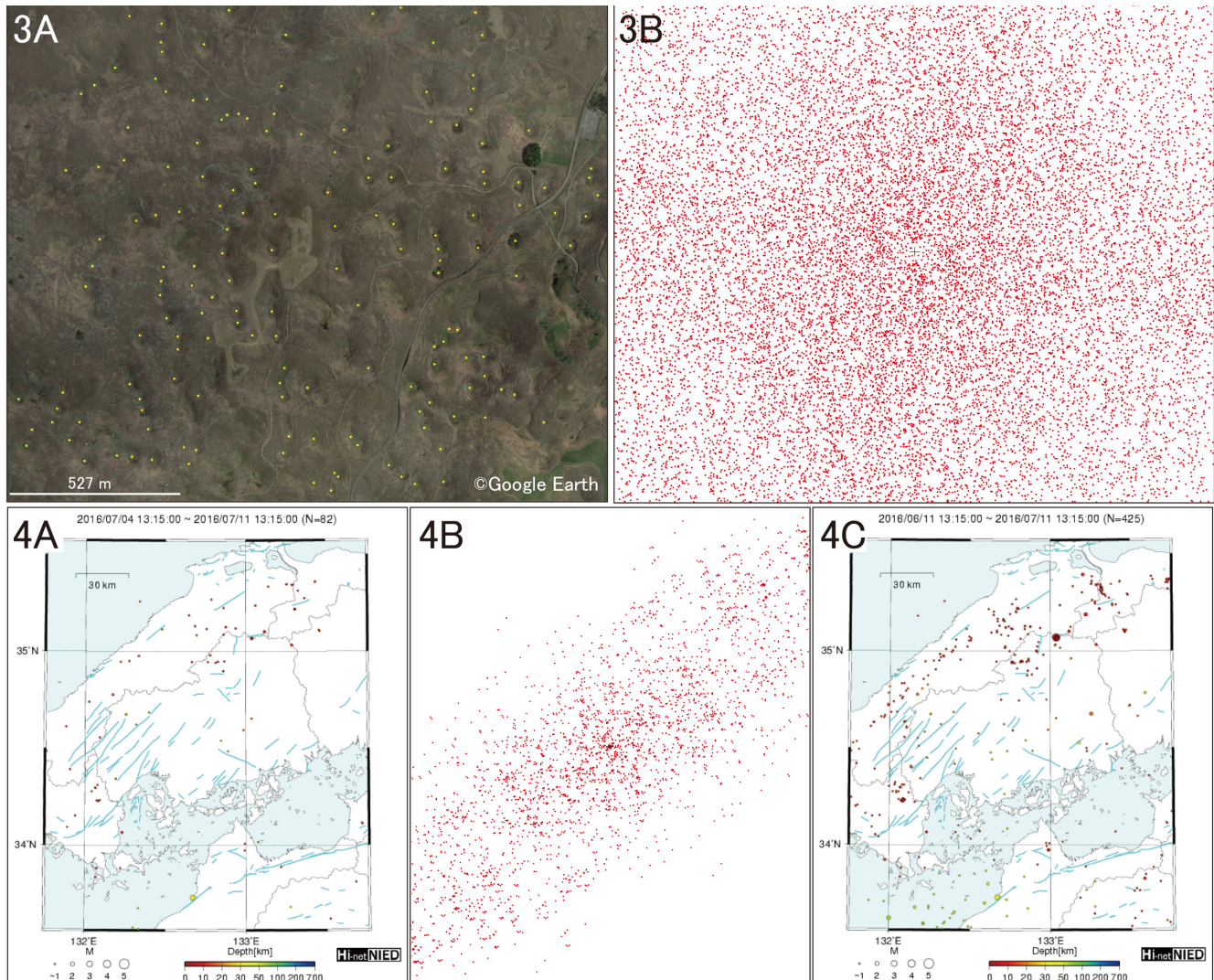
5. おわりに

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)