

11 - 2 九州中部の長期テクトニクス再考

Revisiting the long-term tectonic evolution of central Kyushu

国立研究開発法人産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1. はじめに

九州中部には別府から島原にかけて地溝帯（「別府－島原地溝帯」）が存在することが広く知られているが、本地域の地質時間スケールのテクトニクスは単純ではなく、地殻の伸長によって形成された地溝が九州中部に広域的に存在するという“イメージ”は、本地域の現在のテクトニクスの理解に誤った先入観を与えかねない。本報告では、「別府－島原地溝帯」が分布するとされる九州中部で繰り返されてきた地質学的研究をレビュー・整理した上で、小断層を用いた古応力解析から近年見えてきた本地域（特に「別府－島原地溝帯」の西側）の鮮新世以降のテクトニクスおよび 2016 年熊本地震と長期テクトニクスとの関係性について見解を述べる。

2. 九州中部のテクトニクスに関する既往研究

明治初頭に日本の予察的な地質図を作成したナウマンは、日本列島を花崗岩類からなる内帯と結晶片岩からなる外帯に分け、その境界として東北地方から九州西端まで続く構造線（現在の中央構造線）を定めた¹⁾。一方、リヒトホーフエン²⁾は、本州から四国まで続いてきた内帯と外帯の配置が九州中部で乱れることに注目し、北縁を松山－伊万里線、南縁を松山－八代線で境される領域を「長崎三角地域 (Nagasaki dreiecke)」と呼んだ。これ以降、1970 年代までの長きに渡り、九州中部における地質学的研究は、地帯構造問題（中央構造線の位置や長崎変成岩の帰属）に焦点が当てられてきた³⁾。一方で、九州中部の地溝（陥没構造）に関しては、70 年頃から個別に指摘がなされてきたが、別府から島原地域の広範囲に地溝構造を推定し、「別府－島原地溝」の名を与えたのは松本徭夫⁴⁾である。松本は東から九重－別府地溝、阿蘇－九重地溝、島原－熊本地溝の 3 つに大別した上で、それらを中新世、鮮新世～更新世中期前半、更新世中期後半～現在の 3 つの活動期を有し、火山活動と密接な関係を持つ地溝性陥没構造（火山性リフトを示唆）であるとした。1980 年代以降は、これらの具体的な火山・構造発達史や、駆動力である広域テクトニクスとの関係性が主に論じられるようになる。代表的なものとして、(1) 九州中部の東半分（豊肥（ほうひ）火山地域）をフィリピン海プレートの斜め沈み込みと前弧スリバーの西進（中央構造線の右横ずれ）に伴う火山構造性陥没 (Volcano-tectonic depression) で説明する考え^{5), 6)}、(2) 100 年間の三角測量記録を重視し、九州中部を沖縄トラフの延長としてのリフト帯（南北伸長場）とする考え⁷⁾、(3) 九州中部全体を中央構造線あるいは瀬戸内剪断帯の西方延長とし、右横ずれ断層群と雁行地溝群（構造性地溝）の組み合わせで説明する考え^{8), 9)}、(4) 構造探査に基づき、別府湾地域を中央構造線の終端部におけるプルアパート堆積盆とする考え^{10), 11)}がある。これらを運動方向の観点から整理すると（第 1 図）、松本の考えは陥没と隆起といった上下運動を重視したモデルであり、一方で (2)～(4) のモデルは、南北伸長か右横ずれかの違いはあれど、いずれも水平運動を重視している。(1) のモデルは、前弧スリバーの右横ずれを背景にした火山構造性陥没という意味で、上下運動重視と水平運動重視のハイブリッド型と言える。なお、いずれも「別府－島原地溝帯」のテクトニクスに関するモデルであるが、松本の考えは中新世中期～更新世、(1) のモデルは鮮新世～更新世、(2)～(4) のモデルは更新

世～現在と、それぞれ異なる時代を対象としていることに注意が必要である（ただし、松本の主張する中新世の火成活動は、鮮新世以降の地溝形成を伴うそれとは区別したほうがよい）。また、九州中部における鮮新世以降の大規模な火成活動および前弧スリバー（中央構造線）の右横ずれ運動の開始時期は 6～2 Ma とされているが、その年代論や両者の同期性、さらにフィリピン海プレートの移動方向の変化（西進）時期やフィリピン海プレートの沈み込み・マントル対流と火成活動との関係については、さらなる総合的な研究が求められる。

九州中部の西側に右横ずれ主体の変位を生じさせた 2016 年熊本地震は、本地域のテクトニクスに再考の余地があることを改めて示し、広域地溝概念に疑問を呈した^{12), 13)}。大橋ら¹⁴⁾は、主に熊本地震以降に得られた測地・地震・地質の各データに基づき、九州中部の第四紀～現在のテクトニクスをフィリピン海プレートの西進に伴う横ずれ引張テクトニクス（Transtension tectonics, 第 2 図）で説明し、中新世から鮮新世まで断続的に起こった南北伸長とは区別した。そしてその上で、第四紀の変動場を「中部九州剪断帯」と呼ぶことを提案した。しかし、地質から得られた過去の応力場は時空間的に限定的であり、九州中部（特に西半分）における第四紀の応力・変形史の理解は依然として不十分であった。その理由としては、一部（布田川断層帯、女鞍岳（めくらだけ）断層）を除いて活構造が不明瞭であることと、熊本平野を中心に阿蘇火砕流堆積物などの新期の堆積物に覆われること、の 2 点が挙げられる。

3. 九州中西部における古応力と運動史の解析

一般的に地質学では、大規模な地質構造の幾何学的解析から、応力場を含めた地域の運動史やテクトニクスを論じる。一方で、地質図規模の断層がない場合でも、露頭規模の小断層を用いて、それが過去に動いた時の応力（古応力）を推定することができる。ここでは、九州中西部の筑肥・耳納山地、および大分県日田市に分布する小断層から求めた鮮新世以降の古応力と、日奈久断層の幾何学的特徴から求めたさらに古い時期の運動史について説明する。筑肥・耳納山地では、露頭で得た小断層の走向傾斜、条線の方向、変位のセンスの情報に対して応力多重逆解法¹⁵⁾を適用し、古応力を求めた。対象としたのは、九州中西部に点在する鮮新世～更新世の湖成層¹⁶⁾に発達する小断層群である。なお、筑肥・耳納山地は白亜紀以前の花崗岩類や変成岩類が点在することから「別府－島原地溝帯」の北限より北、さらに豊肥火山地域の西縁を画すとされる日田－白草線より西側に位置するとされ、地殻変動場としてこれまで注目されてこなかった地域である。一方で、豊肥火山地域と同時代の鮮新世火山岩類（鯛生層群、前津江累層、釈迦岳火山岩類）も層厚 1000 m 程度堆積しており、豊肥火山地域と併せて鮮新世の火成活動場と位置付けた方が良いと思われる。解析の結果、筑肥・耳納山地の下部鮮新統（星原層、相良層、下津江累層）からは共通して南北引張の正断層型応力と東西圧縮・南北引張の横ずれ断層型応力が検出され、鮮新世以降、九州中西部に横ずれ応力場が存在することが示された（第 3 図）。一方、大分県日田市の中中部更新統（大山層）からは、中角で ESE 方向に沈下する σ_1 軸、低角で N～NW 方向の σ_3 軸の斜めずれ型応力が検出された。この応力は南北に σ_3 軸を持つ正断層型と、東西に σ_1 軸、南北に σ_3 軸を持つ横ずれ断層型応力の合算で説明可能であり、本地域を含めた九州中部が本質的に横ずれ引張テクトニクスであることを示していると考えられる。

日奈久断層帯は北東－南西方向に約 80 km 延びる右横ずれの活断層帯であり、北東側から順に、高野－白旗、日奈久、八代海の 3 区間に区分される¹⁷⁾。高野－白旗区間の一部や、日奈久区間の主体をなす狭義の日奈久断層¹⁸⁾に沿っては、古第三紀以前の基盤岩類が露出しており、これらの地

質体の変形や破碎帯の観察に基づく過去の運動像の理解に適している。変形構造から明らかとなった日奈久断層および並走する蕨野－出春断層の運動方向はいずれも左横ずれであり、現在の右横ずれとは異なる運動時期があったことを示す¹⁴⁾。また、日奈久断層の走向とは反時計回りに斜交する北北東－南南西走向の断層や、逆傾斜（東南東あるいは南東傾斜）の断層も基盤岩中の変形構造として見出される。この古期の運動が生じた時代は絞りきれていないが、古第三紀の太平洋プレートの北進、前期中新世の日本海の拡大（オイラー軸西側の南北圧縮応力）、中新世末から鮮新世にかけてのフィリピン海プレートの北進のいずれかで説明可能である。

4. 長期テクトニクスと 2016 年熊本地震との関係性

以上述べてきたように、「別府－島原地溝帯」と総称的に呼ばれてきた地域は、先新第三紀から現在にかけて時空間的に変化するテクトニクス場に置かれてきたことがわかる。すなわち、中新世以前の南北圧縮の横ずれ応力場（日奈久断層の左横ずれ）、鮮新世以降の活発な火成活動と地溝形成を伴う横ずれ引張（東西圧縮）、更新世から現在に引き続く横ずれ引張（同）である。更新世以降の活動場は東部では北縁（別府周辺）、西部では南縁（布田川・日奈久断層帯）に集中しており、火成活動の局在化と関連していると思われる。また、布田川断層帯に関しては更新世中期以降の顕著な正断層運動も指摘されており^{14), 19)}、阿蘇の大規模火山活動との関連性が示唆される。

九州中部におけるこのようなテクトニクスとその結果生じた複雑な地質構造は、熊本地震の震源断層の形状や震源過程にどのような影響を与えたのだろうか。余震の震源分布から見られる面状構造や初動解の節面（破壊の開始点）は、単純に日奈久断層帯、布田川断層帯に対応する西北西、北西傾斜の大きな 2 つの断層面ではなく、高角度で南東に傾斜する面も見ることができる²⁰⁾。破壊は、最大前震・本震ともに主断層とは異なる高角南東傾斜の分岐断層から始まり、主断層面へと拡大したと考えられている。また、本震の初期破壊面は北北東－南南西走向であり、布田川断層帯、日奈久断層帯いずれの主断層面とも一致しない。このような大局的な断層帯の走向・傾斜と非調和な初期破壊過程は、主断層と斜交する古期の変形構造（例えば、日奈久断層帯の左横ずれ運動に伴って形成された巨視的なリーデル剪断面）に沿って生じた可能性がある。また、地震に伴って阿蘇カルデラ外輪山北西部に出現した鞍岳断層群²¹⁾は、布田川断層帯の活動に伴って受動的に動いた「お付き合い断層」と表現されることがあるが、広域テクトニクスの観点からは横ずれ引張テクトニクスの構成要素の一つ（鞍岳地溝、第 2 図）であり、「あるべくしてそこにあり、動くべくして動いた」と見ることもできる。

本報告で紹介した既存研究の見直し・調査・説明（再解釈）の大部分は 2016 年熊本地震後に行われたものであるが、地震前に地域の長期テクトニクスと地質構造が十分に解明され、分野を超えた研究者間で共有がなされていれば、定常的な地震活動や大地震時の現象の理解に加え、大地震後の推移予測に一定の貢献がなされていたかもしれない。来るべき内陸大地震に備えるため、事前の調査研究と情報の公開・共有、そして分野を横断した総合的な取り組みの重要性をあらためて指摘して筆を擱くことにする。

（大橋 聖和）

OOHASHI Kiyokazu

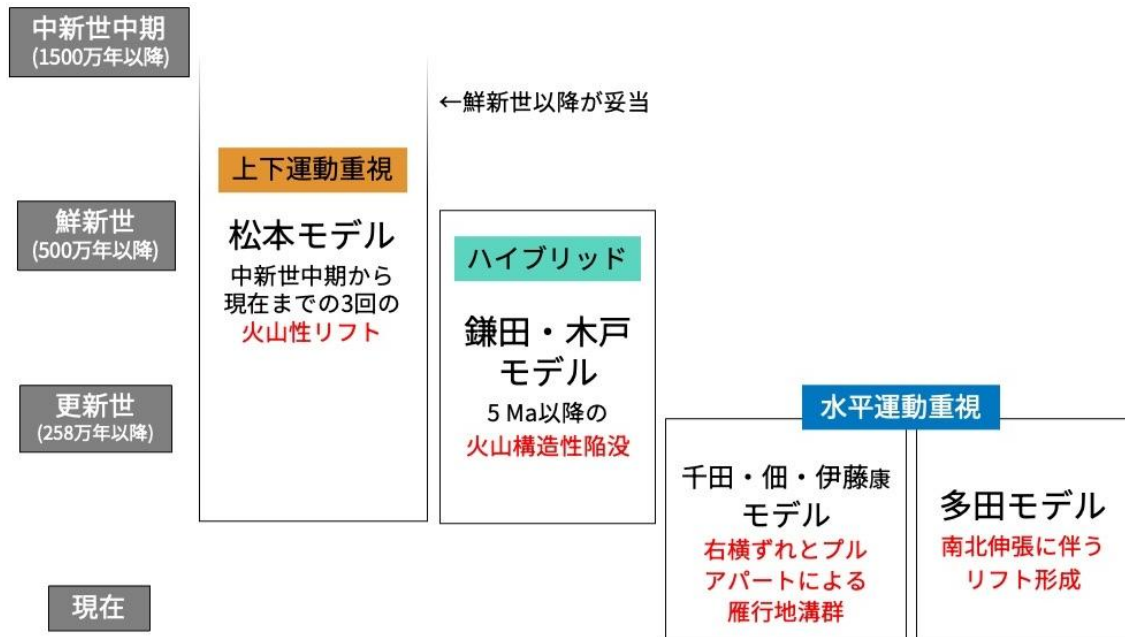
謝辞

本稿では、川口慶悟氏、佐藤友香氏の修士論文および卒業論文で得られたデータを使用した。ここに心より感謝申し上げます。

参考文献

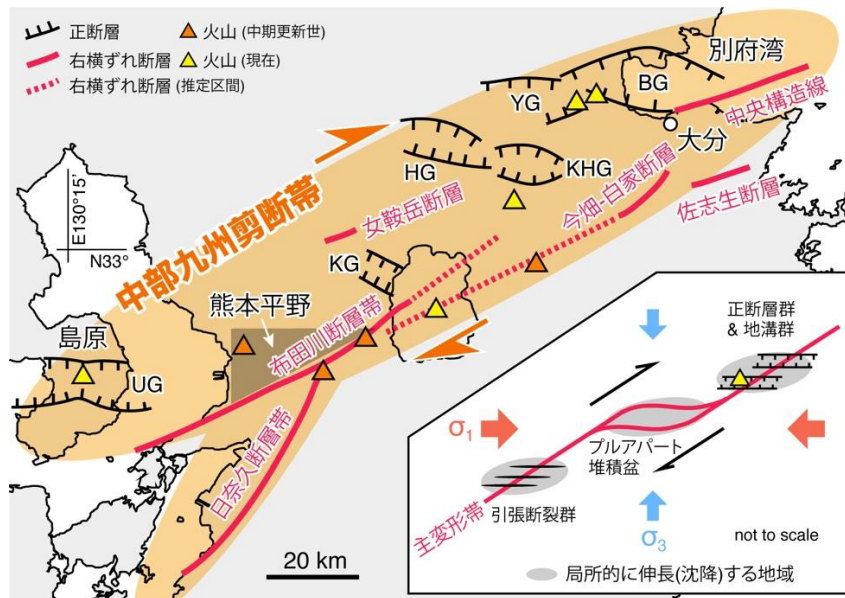
- 1) Nauman (1893), *Ergänzungsheft nr. 108 zu Petermanns mitteilungen*, Justus Perthes, **45p**. Neue Beiträge zur Geologie und Geographie Japans.
- 2) Richthofen (1903), *Preussischen Akademie der Wissenschaften*, **52p**. Geomorphologische Studien aus Ostasien, VI. Über Gebirgskettungen in Ostasien, mit Ausschluss von Japan, V. Gebirgskettungen im japanischen Bogen.
- 3) 広川 (1976), *地質調査所報告*, **256**, 工業技術院地質調査所, 71p. 北部九州の地質構造—長崎三角地域にまつわる問題—.
- 4) 松本 (1979), *地質学論集*, **16**, 127-139. 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題.
- 5) 鎌田 (1992), *地質学論集*, **40**, 53-63. 中央構造線の西方延長としての大分熊本構造線の右横ずれ運動とフィリピン海プレートの右斜め沈み込み.
- 6) 木戸 (1993), *地質学論集*, **41**, 107-127. 「九重別府地溝」北西縁部の地質構造形成史.
- 7) 多田 (1993), *地質学論集*, **41**, 1-12. 九州中部地方の地殻変動とテクトニクス—別府—島原地溝の分裂拡大—.
- 8) 千田 (1992), *地質学論集*, **40**, 39-51. 中部九州の活断層—九州における中央構造線の第四紀活動—.
- 9) 佃 (1993), *地質学論集*, **41**, 149-161. 中部九州は本当に南北に開いているか?
- 10) Takemura et al. (1994), *J. Geod. Soc. Japan, Special Publication*, **401-405**. Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan.
- 11) Itoh et al. (2014), *EPS*, **66**, 74. Evolutionary process of Beppu Bay in central Kyushu, Japan: A quantitative study of the basin-forming process controlled by plate convergence modes.
- 12) 竹村 (2018), <https://www.kugi.kyoto-u.ac.jp/dousoukai/pdf/2018-Takemura.pdf> 「別府湾と九州中部のテクトニクス—京大・地球熱学研究施設の果たした役割」, 2024 年 4 月 7 日参照.
- 13) 竹村 (2019), *第四紀研究*, **58**, 91-99. 九州中部の第四紀テクトニクスからみた熊本地震.
- 14) 大橋ほか (2020), *地学雑誌*, **129**, 565-589. 九州中部の第四紀テクトニクスと 2016 年熊本地震.
- 15) 山路 (1999), *構造地質*, **43**, 79-88. 多重逆解法: 複数の応力を検出する小断層解析の新手法.
- 16) 長谷・岩内 (1993), *地質学論集*, **41**, 53-72. 内陸堆積層の分布高度から求めた中部九州地溝内沈降域の変位.
- 17) 地震調査委員会 (2018), https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/major_active_fault/ 主要活断層帯の長期評価. 2018 年 8 月 18 日参照
- 18) 松本・勘米良 (1964), *地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)*, 地質調査所. 日奈久地域の地質.
- 19) Shibutani et al. (2022), *G-Cubed*, **23**, e2021GC009966. An ancient >200 m cumulative normal faulting displacement along the Futagawa fault dextrally ruptured during the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake identified by a multiborehole drilling program.
- 20) 文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学 (2017), 平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査: 平成 28 年度成果報告書.

- 21) Fujiwara et al. (2016), *EPS*, **68**, 160. Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry.
- 22) Acocella et al. (2008), *Tectonics*, **27**, TC5008. Structural control on late Miocene to Quaternary volcanism in the NE Honshu arc, Japan.



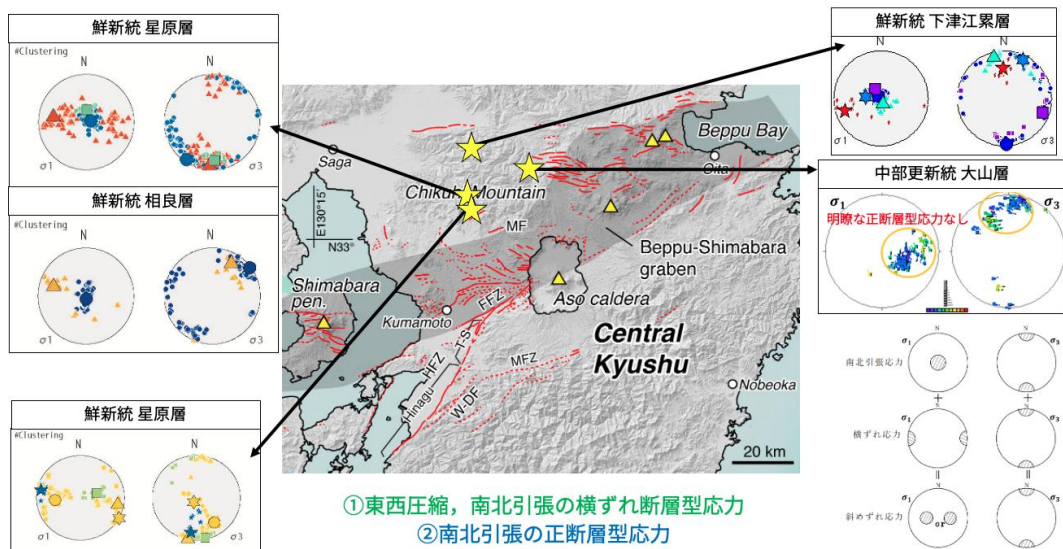
第 1 図 2000 年代までに提案された代表的な九州中部のテクトニック・モデル.

Fig. 1 Representative tectonic models of central Kyushu proposed up to the 2000s.



第 2 図 中部九州剪断帯の分布と構成要素を示した図（文献 14 を一部改変）。橙色の領域は中部九州剪断帯のおおよその範囲を示す。右下の挿図は横ずれ引張テクトニクスを示す模式図（文献 22 に基づく）。UG: 雲仙地溝, KG: 鞍岳地溝, HG: 万年山・亀石山地溝, KHG: 崩平山地溝, YG: 由布院地溝, BG: 別府湾地溝（地溝名は文献 8 に基づく）。

Fig. 2 Distribution and structural elements of Central Kyushu Shear Zone (modified after ref. 14). Orange area denotes approximate area of the zone. Inset diagram is a schematic illustration of transtensional tectonics (based on ref. 24). UG: Unzen graben, KG: Kuradake graben, HG: Haneyama-Kameishiyama graben, KHG: Kuenohirayama graben, YG: Yufuin graben, BG: Beppuwan graben (after ref. 8).



第 3 図 応力多重逆解法によって求めた九州中西部の古応力。最大主応力軸 σ_1 と最小主応力軸 σ_3 のシュミットネット下半球投影図。下半球投影図中の大きいシンボルはクラスタリングによって求めた代表的な応力方位を示す。

Fig. 3 Stereograms (lower-hemisphere and equal-area projections) showing results of stress tensor inversion (σ_1 and σ_3) from minor faults in central western area of Kyushu. The large symbols in the projections indicate the representative stress orientations obtained through clustering.