

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

鎌田浩毅*

Right-lateral movement of the Oita-Kumamoto Tectonic Line
as a western extension of the Median Tectonic Line, originated from rightward, oblique
subduction of the Philippine Sea plate

Hiroki Kamata*

Abstract The Oita-Kumamoto Tectonic Line (OKL) is interpreted in this report as a western extension of the Median Tectonic Line in Kyushu. The OKL delineates the southern margin of the Hohi volcanic zone (HVZ), a volcano-tectonic depression having been formed since about 5 Ma to the present. Along OKL are aligned three right-lateral active faults, such as the Hinagu Fault, the Futagawa Fault, and the Imahata-Shiraie Fault. Gravity data indicate that an ENE-WSW trending steep slope of negative anomaly along the OKL is bent rightwards at two locations; both show the similar structure as rhomboidal tectonic voids. These suggest that the pre-Tertiary basement rocks have been pull-aparted along the OKL by a right-lateral strike-slip movement. Right-lateral movement of the OKL is consistent with occurrence of E-W trending normal faults in the HVZ and northeastward drift of the HVZ. These activities may originate from initiation of rightward, oblique subduction of the Philippine Sea plate along Nankai Trough since about 6 Ma.

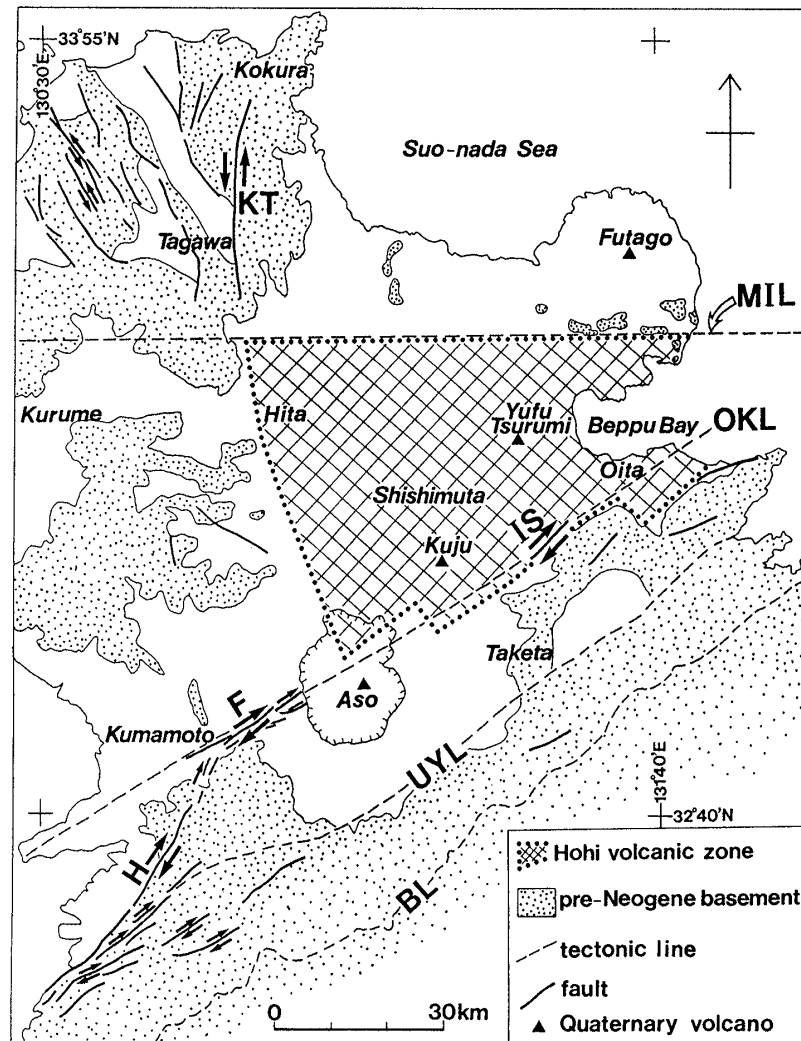
Key words : structural geology, right-lateral fault, active fault, half graben, pull-apart structure, volcanism, Bouguer anomaly, volcano-tectonic depression, Median Tectonic Line, Hohi volcanic zone, Oita-Kumamoto Tectonic Line, Philippine Sea plate, oblique subduction

はじめに

大分-熊本構造線(第1図)は、中部九州の新生代火山岩分布域とその南側の中・古生界分布域の境界付近に位置し、四国以東の中央構造線の西方延長、あるいはその分岐断層のひとつと考えられている(矢部, 1925; 寺岡, 1970; 千田, 1979; など)。しかしながら、大分-熊本構造線、あるいは中部九州における中央構造線の活動史は、同構造線が上記の火山岩に覆われているために、これまでの研究ではあまり明らかにされていなかった。近年、中部九州・豊肥火山地域では火山活動史と構造発達史の研究が進み、大分-熊本構造線の北側で、鮮新世以降に大規模な火山構造性陥没地(豊肥火山地域)が発達し

ていたことが明らかにされてきた(鎌田, 1985a,b; Kamata, 1989b; Nakada and Kamata, 1991; など)。火山構造性陥没地の活動史とその深部構造に関するデータは、中部九州の中央構造線の活動史を知る上で重要な情報を提供している(鎌田, 1991)。よって本報告では、火山構造性陥没地の活動史の概略を記述し、深部地質データ(ブーゲー重力異常、坑井データ等)から推定される豊肥火山地域南縁における大分-熊本構造線の活動史を論ずる。また大分-熊本構造線の活動はフィリピン海プレートの斜め沈み込みと密接に関連すると考えられるので、本報告では併せてフィリピン海プレートの沈み込み運動の変遷と中部九州のテクトニクスとの関係を考察する。

* 地質調査所 近畿・中部地域地質センター。Kinki and Chubu Center, Geological Survey of Japan, 4-1-67, Otetamae, Chuo-ku, Osaka 540, Japan.



第1図.

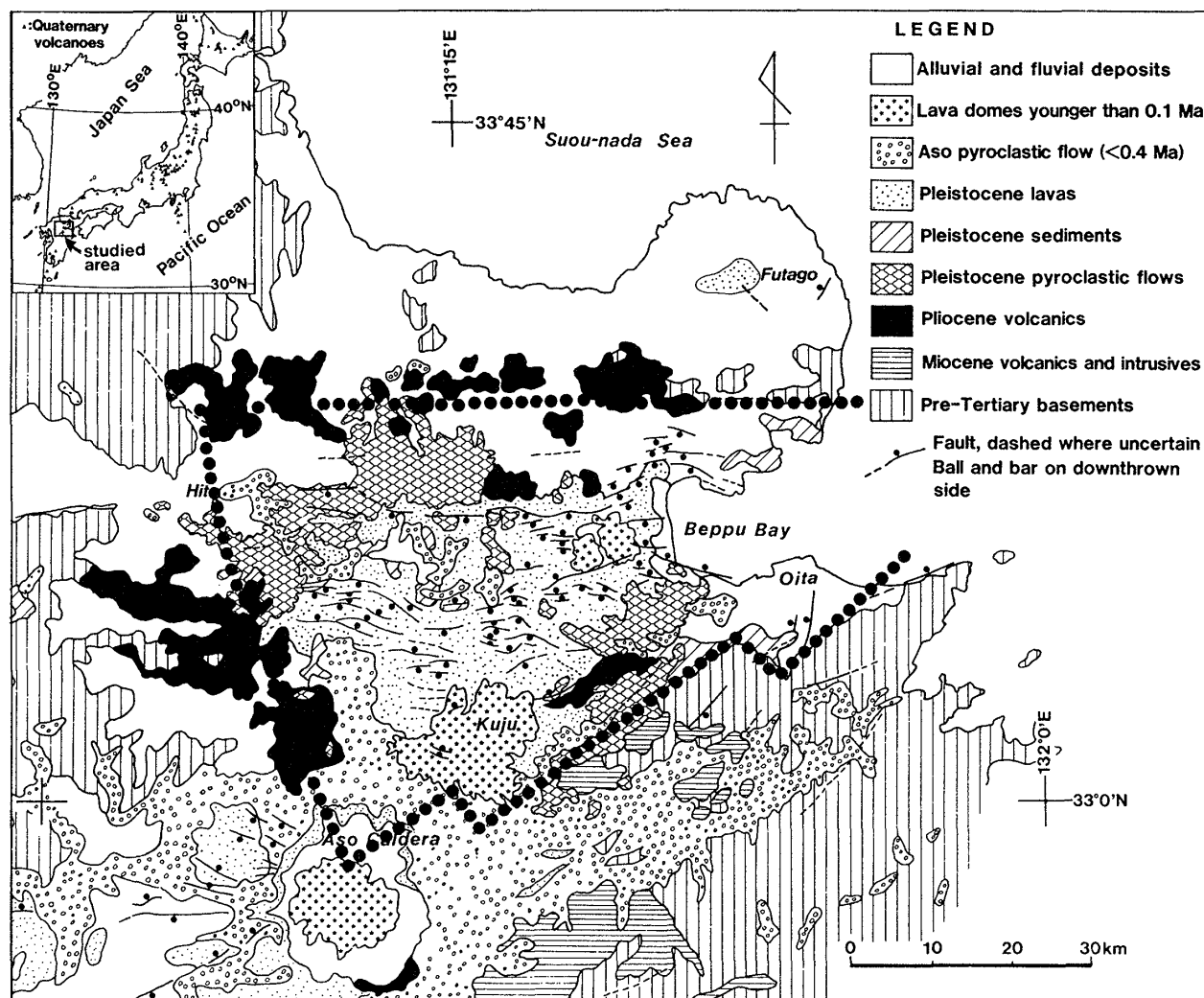
豊肥火山地域とその周辺の構造線と断層。点線で囲ったクロスハッチ部は、先新第三紀基盤岩分布域と鮮新世火山岩分布域の境界、及び鮮-更新世の火山活動域から求めた豊肥火山地域(Kamata, 1989b)の範囲を示す。MIL：松山-伊万里構造線，OKL：大分-熊本構造線，UYL：臼杵-八代構造線，BL：仏像構造線。KT：小倉-田川断層帯，IS：今畑-白家断層，F：布田川断層，H：日奈久断層。

豊肥火山地域に関するこれまでのモデル

中部九州では火山岩が、東西約70km、南北約40kmの範囲に広く分布する(第2図)。この地域の火山岩は、松山-伊万里構造線(第1図のMIL)(矢部, 1925; 千田, 1981), 小倉-田川断層帯(KT)(宮久・毛利, 1959; 酒井・渡辺, 1986; 渡辺, 1989)の南方延長線, 大分-熊本構造線(OKL)の3本の構造線に囲まれた地域に分布する。また火山岩地域には東西方向の正断層群が発達している(池田, 1979; 千田・池田, 1991; など)(第2図)。中部九州の火山活動に関する最初の包括的研究として、松本(1979, 1984)は、久保寺ほか(1976)のまとめた重力異常図を用いて、別府から雲仙まで広範囲にわたる火山

岩の噴出が、東西に伸びたグラーベンの形成と関連したものと解釈し、“別府-島原地溝”を提唱した。また松本(1979, 1984)は、中部九州の火山岩層序に関する一連の研究(松本, 1963など)から、別府-島原地溝の火山活動の形成開始年代を中期中新世(15-12 Ma 付近)とした。

これらの研究に対し、鎌田(1985b)及び鎌田・渡辺(1985)は、地質調査結果・火山岩の放射年代測定結果・坑井データから、(1)中部九州の火山活動は鮮新世初期(約6-5 Ma)に始まり、(2)火山活動は鮮新世から現在に至るまで活動規模を単調に減少し(第3図)、その結果火山岩分布域が中心部(九重火山周辺)に向けて縮小したことを指摘した。またKamata(1989b)は、別府湾から阿



第2図. 豊肥火山地域周辺の地質図(Kamata, 1989b を一部修正). 点線は豊肥火山地域(HVZ)の範囲を示す.

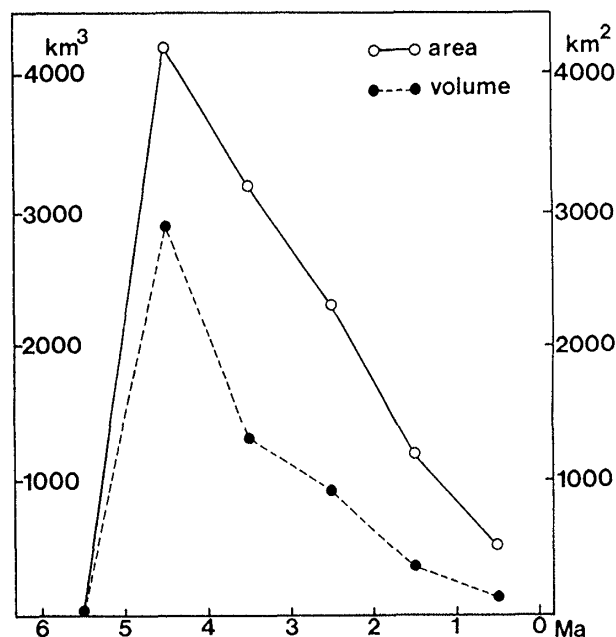
蘇火山までの火山活動は一続きの連続した火山活動史をもち、島原(雲仙)地域の火山活動とは別個の火山活動史と構造発達史をもつものであることを明らかにし、従来別府-島原地溝として一括して議論されていた地溝群のうち、別府湾から阿蘇火山までの火山活動域に対して、“豊肥火山地域”(Hohi volcanic zone)の名称を用いた。豊肥火山地域は鮮新世以降に沈降盆地の発達した地域(木戸, 1991)とほぼ一致する。その後、豊肥火山地域と島原地域の火山岩の化学組成とその時間的変化に関する研究から、両地域の火山岩は、海洋プレートの沈み込みの関与の有無という点で異なる場で発達したことが明らかとなり(中田・鎌田, 1988; Nakada and Kamata, 1991), これらの結果は Kamata(1989b)の主張を支持している。

一方、豊肥火山地域の火山活動は、南北伸張応力場に

おいて東西に延びるグラーベン地域に形成されているため、Eguchi and Uyeda (1983), 木村(1983), 多田(1985)等は、この地域が沖縄トラフの北方延長部に発達したリフト・バレーであるというモデルを提出した。これに対し、Kamata(1989b)及びNakada and Kamata (1991)は、地質構造発達史及び火山岩の化学組成から、上記のモデルの可能性が極めて低いことを指摘し、豊肥火山地域は沖縄トラフとは独立した単独の火山構造的陥没地であると考えた。後者のモデルに従えば、中部九州の中央構造線は火山構造的陥没地を構成するグラーベンとその南方の中・古生界との境界に位置している。

豊肥火山地域の形成発達史

火山岩の放射年代を検討した結果、豊肥火山地域(以下ではHVZと略記)には鮮新世以降の火山岩が卓越し、



第3図. 豊肥火山地域の噴出体積量(破線)と火山活動域の面積(実線)の時間的変化(Kamata, 1989bを一部修正).

先新第三紀基盤岩の分布が殆ど認められないことが判明した(Kamata, 1989b)(第2図). HVZの外枠を構成する松山-伊万里構造線, 小倉-田川断層帯の南方延長線, 大分-熊本構造線の3本の構造線の内側には -30mgal に及ぶ広域の重力負異常がみられ, 重力負異常域の形状は北縁, 西縁, 南縁を直線状に仕切られた箱型を呈する(第4図). 等重力線の密な急傾斜部が, 先新第三紀基盤岩と鮮新世以降の火山岩との境界にはほぼ一致することは, 重力負異常地域内で先新第三紀基盤岩が陥没したことを示す. また, 重力負異常の縁辺部が急傾斜で, 低重力域が全体として東西に延びることは, この陥没帯がその西, 南, および北縁を断層で仕切られ, 東西に伸びたグラーベンをなしていることを示す. HVZ中央部で掘削された坑井コアの観察結果(玉生, 1985; Kamata, 1989b)によると, グラーベン中には厚い堆積岩が存在せず, 陥没部分は比較的短期間のうちに火山岩により埋積されたと考えられる. また, グラーベンは複数回の断層活動により形成され, 火山活動の規模の縮小に伴って, 後期のより小さな陥没帯ほどグラーベン中央部に形成され, これに伴い噴出した火山岩類が陥没部分を補填するように埋積したと考えられる(Kamata, 1989b).

HVZは, 長さ70km, 幅40kmの広大な地域を占める単一のグラーベンであり, その平面形態及び重力異常構造は非対称である. HVZの西縁は, 既述のように北北西-南南東の走向を持つ重力急傾斜部として認識され(第

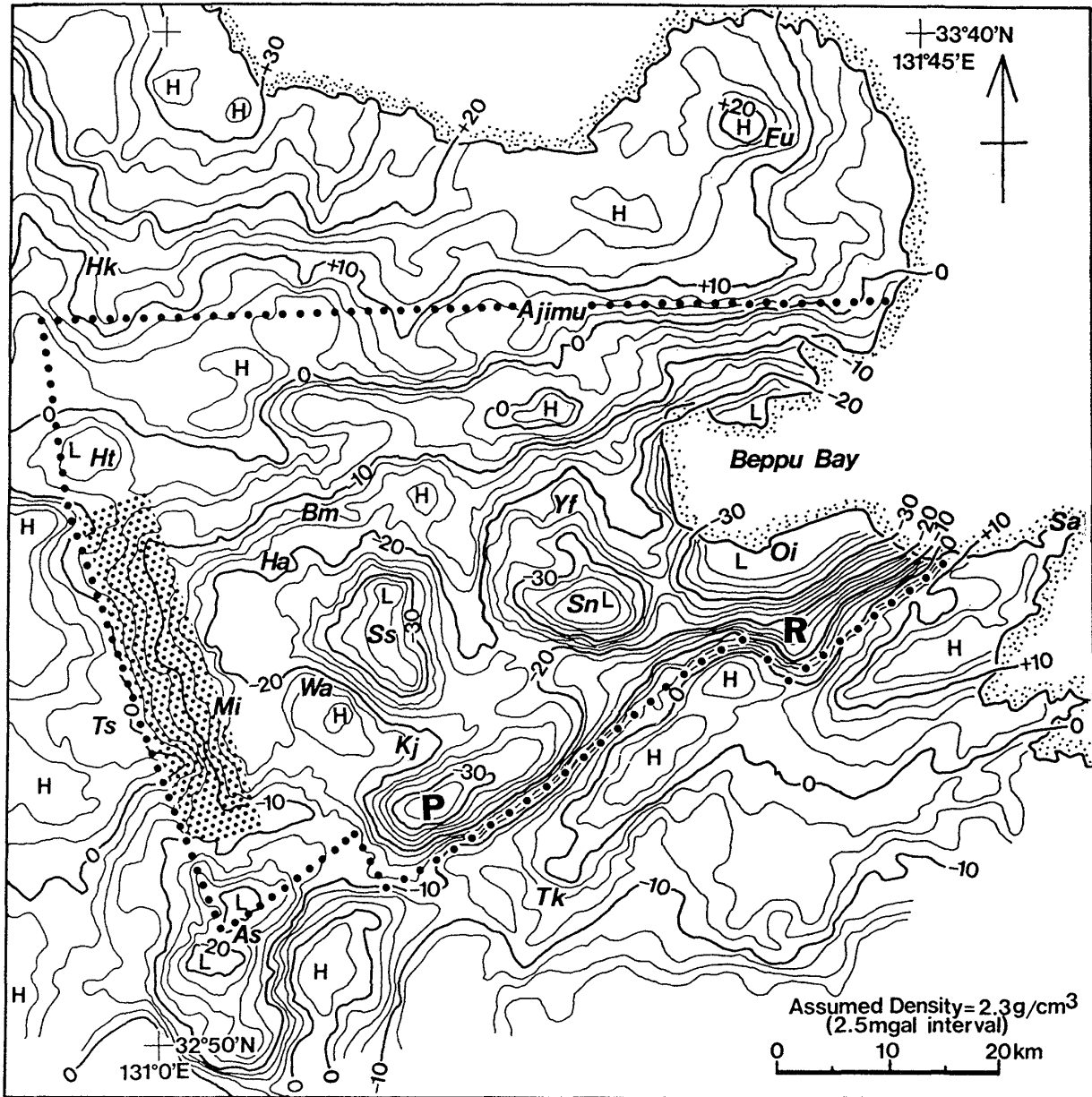
4図の網部), これは小倉-田川断層帯の南方延長部に相当する(第1図のKTの南). HVZはこの西縁部では約60kmの南北幅を有するが, 東に向かってグラーベンの幅が狭くなり別府湾に収束する(第4図). 別府湾の重力負異常値はHVZの中央部と同等の -30mgal 以下を示し, HVZの陥没量の最も大きい部分が東方でそのまま海中に没した様子を呈している(第4図). また, グラーベンの延びの方向と直交する南北断面でも, HVZの底面は南縁部で深く北縁部で浅いという非対称な陥没形態を示している. このことから, HVZは南により深く陥没した半地溝(half graben)状構造を持つと解釈される(笹田, 1984; 鎌田, 1990).

HVZのもつ半地溝構造は, 別府湾内の堆積物中の構造(首藤・日高, 1971)と, 別府湾及びその東方海域で行われた地震探査の結果(由佐ほか, 1989; 竹村ほか, 1990)の両者に明瞭に認められる(鎌田, 1990). また, 大分市南部の東北東-西南西走向で北落ちの重力急傾斜部(第4図のRの東部)の南縁は, 陸上部で確認された中央構造線(三波川変成岩と第四系との境界; 広川ほか, 1976)に一致する. さらに中央構造線の東方延長は, 佐賀関半島北部の海域の反射法断面において, 基盤岩の急上昇部として明瞭に認められる(由佐ほか, 1989; 竹村ほか, 1990). このように中央構造線は, 大分市南部(陸域)から佐賀関半島北部(海域)まで連続して追跡できる(鎌田, 1990).

プル・アパート構造から推定される 大分-熊本構造線の右横ずれ運動

大分市南西方の大分-熊本構造線上には今畑-白家断層(第1図のIS)が存在し, 同断層は右横ずれを示す活断層であることが明らかにされている(千田, 1980; 千田・池田, 1991). また, 大分-熊本構造線の南西部には, 右横ずれを示す布田川-日奈久断層系があり(第1図のFとH), その一部は活断層であることが確認されている(岡田, 1973; 鶴田・渡辺, 1978; 渡辺, 1984; 岡田・千田, 1991; 千田・岡田, 1991). これらの活断層データから, 大分-熊本構造線沿いでは, 少なくとも第四紀に右横ずれ運動が起きていると考えられる.

近畿地方では, 中央構造線が右横ずれ運動を開始した時期は, 大阪平野で外帯からの水系が中央構造線により分断された時期(岡, 1978; 市原ほか, 1986)から, 約2.5Ma以降で, おそらく2Ma頃からと推定されている(寒川, 1980; 佃, 1990). その後中央構造線の活動は第四紀初頭頃から活発化し(岡田・安藤, 1979), 1Ma以降には明らかに右横ずれ運動が卓越している(Sangawa,



第4図.

豊肥火山地域とブーゲー重力異常. 点線は豊肥火山地域の範囲を示す. 網部は豊肥火山地域西縁の重力急傾斜部を示す. ブーゲー重力異常(単位 mgal)は, 駒澤・鎌田(1985)による($\rho=2.3\text{g/cm}^3$). H: 高重力異常部, L: 低重力異常部, P及びR: 重力急傾斜部の屈曲地点(本文参照). Bm: 豊後森, Ha: 万年山, Hk: 英彦山, Ht: 日田, Mi: 宮原, Oi: 大分, Sa: 佐賀関, Sn: 庄内, Ss: 猪牟田, Tk: 竹田, Ts: 津江山, Wa: 湧蓋山, Fu: 両子火山, Yf: 由布鶴見火山, Kj: 九重火山, As: 阿蘇火山.

1986). このような近畿地方の中央構造線に関するデータからも, 中央構造線の九州への延長と考えられる大分-熊本構造線に沿って, 約2 Ma以降右横ずれ運動が起きている可能性が示唆される.

大分-熊本構造線の右横ずれ運動は, HVZ南縁の重力負異常域の配置からも読み取れる. この地域には, 東北東方向の長辺をもつ重力負異常域及び重力急傾斜部の

屈曲部が認められる(第4図のPとR). このうち九重火山南方の重力負異常域Pの周辺には, 阿蘇火砕流・飯田火砕流・今市火砕流・耶馬溪火砕流が分布する. 阿蘇火砕流は阿蘇カルデラ(第4図のAs)から噴出し, 飯田火砕流の噴出源は九重火山溶岩円頂丘群(第4図のKj)に求められている(Kamata and Mimura, 1983). また今市火砕流と耶馬溪火砕流は, 重力負異常域P内で掘削され

た坑井中に確認されている(Kamata, 1989a, b). 従って、長方形の重力負異常域Pの成因は、火砕流の給源カルデラ等の火山性陥没によるものではない。

九重火山南方の重力急傾斜部Pの東北東延長部では、北落ちの重力急傾斜部が鍵型に屈曲する(第4図のR). 重力急傾斜部の屈曲部R付近の碩南層群の構造は、右横ずれ運動に伴って形成された堆積盆の特徴を示している(吉岡, 1992). 屈曲部Rは重力急傾斜部Pの南西端と相似形であり、等重力線の伸びの方向(東北東)及び右屈曲の形状が一致する。よって両者は同一の構造運動により形成されたと考えられる。これらの事実から、大分-熊本構造線沿いのP及びRは、同構造線の右横ずれ運動に起因する基盤岩のプル・アパート構造(例えば、Aydin and Nur, 1982)を反映している可能性が高い。

プル・アパート構造の形成時期

大分-熊本構造線沿いの重力負異常域Pの大きさから、同構造線の右横ずれ運動に伴うプル・アパート構造の形成時期を推定することができる。重力負異常域Pは、幅約7km、長さ約20kmの長方形を呈し(第4図)、大分-熊本構造線の右横ずれ運動によって形成された rhomboidal tectonic voids(例えばGlazner, 1991)の表われと見なすことができる。以下では、重力負異常域Pの長辺が大分-熊本構造線(九州の中央構造線)の右横ずれ運動の累積を示すものと考えて、これまでに知られている中央構造線の第四紀の右横ずれ平均変位速度を外挿し、重力負異常域の形成時期を推定する。

四国中部の阿波池田では、中央構造線がかつての吉野川流域を右横ずれ方向に4km変位させている(Sangawa, 1978). この右横ずれ運動の変位速度は、三波川変成岩礫の内帯への供給が途絶えた時期(2-1Ma)から、4-2m/千年と推定される。また、紀伊半島東部の根来断層では少なくとも1.2kmの右横ずれ変位が確認されており、平均横ずれ変位速度は2.8-0.8m/千年と見積もられている(岡田・寒川, 1978). さらに、HVZの南西に位置する布田川-日奈久断層系の右横ずれ変位速度は、約0.7-0.9m/千年と見積もられている(千田・岡田, 1991; 岡田・千田, 1991). 大分-熊本構造線の右横ずれ変位速度を、四国の中央構造線の最大変位速度(4m/千年)と仮定すると、重力負異常域Pは約5m.y.の間に形成されたことになり、HVZのほぼ全活動期間をかけてプル・アパート構造が形成されたことになる。一方、横ずれ変位速度の最小値(0.8m/千年)を仮定すると、重力負異常域Pは約25m.y.の間に形成されたことになる。HVZの形成開始時期は約6-5Maと考え

られている(鎌田・渡辺, 1985)ので、大分-熊本構造線沿いのプル・アパート構造が、HVZの形成開始時期以前に存在していたのか、あるいはHVZとほぼ同時に形成されたのか、これまで得られた結果からは断定できない。しかし、これらの結果は、プル・アパート構造が少なくとも5m.y.以上の期間をかけて形成されたことを示しており、中央構造線沿いの右横ずれ運動の開始時期が、従来の推定(2Ma頃)よりもはるかに古いことを強く示唆する。

中部九州のテクトニクスとフィリピン海プレートの運動

第四紀(2Ma以降)の西南日本は、東西ないし西北西-東南東方向の最大水平主応力軸をもつ圧縮応力場にある(岡田・安藤, 1979; 安藤, 1979; など). しかしながら、例外的に中部九州では南北伸張応力場が卓越している(山科・村井, 1975; 池田, 1979; 千田, 1979; など). 中部九州の伸張応力地域はHVZの範囲と重なっており、この地域では正断層の形成と火山活動が密接に関連していたことが、重力データ・坑井データ等から推定されている(Kamata, 1989b). 西南日本の中で特異的な中部九州の南北伸張応力場は、鮮新世以降現在まで連続する火山活動と関連して生じたものと考えられている(小林・鎌田, 1985; 鎌田, 1986).

南北伸張応力場を伴うHVZの構造運動は、一般にフィリピン海プレートの斜め沈み込みと関連付けて説明されてきた。貝塚(1972)は、フィリピン海プレートが島弧に斜めに沈み込むことにより島弧軸方向に外弧が内弧を引きずる結果、西南日本弧の大地形が形成されたと考えた。この考えを発展させて、千田(1979)は、大分-熊本構造線が東西圧縮場において右横ずれ運動を行い、それに伴い中部九州に伸張割れ目が雁行しながら発達し、伸張応力場を形成したと考えた。鎌田(1986)は、フィリピン海プレートの北西方向への沈み込み再開が、中部九州における約5Ma以降の大規模な火山活動と南北伸張応力場を形成したと考えた。佃(1988)は、フィリピン海プレートの右斜め沈み込みに伴い、中央構造線沿いに不均質剪断帯(引きずり帯)が生じ、このうち中部九州では火山活動による高間隙水圧のため剪断帯中に引張亀裂が発達し、雁行状の地溝群が形成されたと考えた。またNotsu et al. (1990)は、西南日本弧の火山岩のSr同位体比が島弧に沿って顕著な変化を示すことを明らかにし、西南日本弧は、フィリピン海プレートが定常的に沈み込む前の、いわば沈み込み初期の状態にあることを示唆した。この他に、HVZ形成以後の火山フロントの出現や伸張応力場の変化は、フィリピン海プレートの沈み込み方向の時

間の変化と対応することが指摘されている(鎌田, 1986; 鎌田ほか, 1988).

これらの従来の研究に基づくと, 中部九州の伸張応力場, HVZのグラーベン形成, 中央構造線の右横ずれ運動, の3つの現象は, いずれもフィリピン海プレートの沈み込み運動と関連するものと推定される. よって以下では, 中部九州の主要な地質構造の形成時期と, 中新世以降におけるフィリピン海プレートの沈み込み運動の変遷との対応を検討する.

西南日本では, 15 ± 1 Maに形成された熱い縁海が北向きに沈み込むことにより, 大規模でかつ島弧の火山活動としては特異な火山活動が 13 ± 1 Maに起こり, 東西600kmの長さにわたって瀬戸内火山岩が形成された(高橋, 1986; Tatsumi and Maruyama, 1989). その後, 11-6 Maの間には, 西南日本の背弧側ではアルカリ火山岩の活動が見られるにも拘らず, 中部九州ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う火山活動が認められない(Kamata, 1989b, Nakada and Kamata, 1991). これに対し, 6-5 Maになると中部九州ではHVZの大規模な火山活動が始まり, その活動初期に噴出量及び1 m. y. 当りの噴出率が最大であったことが, 堆積物と噴火様式の変化から推定されている(Kamata, 1989b). HVZの火山活動が始まってから間もない時期(約5 Ma)に最大の火山活動が認められ, それ以後の火山活動が単調減少すること(第3図)は, HVZの活動開始時期付近で, 西南日本弧に対して何らかのテクトニックなイベントがあったことを示唆する. 例えば, フィリピン海プレートの斜め沈み込み運動が, HVZの活動の直前(約6 Ma)に始まったことが考えられる. また, HVZ内の火山岩が, 海洋プレートの沈み込みを伴う島弧に典型的な化学組成を示すこと(Nakada and Kamata, 1991), 及びHVZでは火山活動の立ち上がりから現在に至るまで, 火山活動が連続的に継続していたこと(Kamata, 1989b)の2点は, HVZの活動していた約5-0 Maの期間に, フィリピン海プレートの沈み込みが継続していたことを示唆する. よって, 以下ではフィリピン海プレートの北西方向の沈み込み運動の開始時期を検討する.

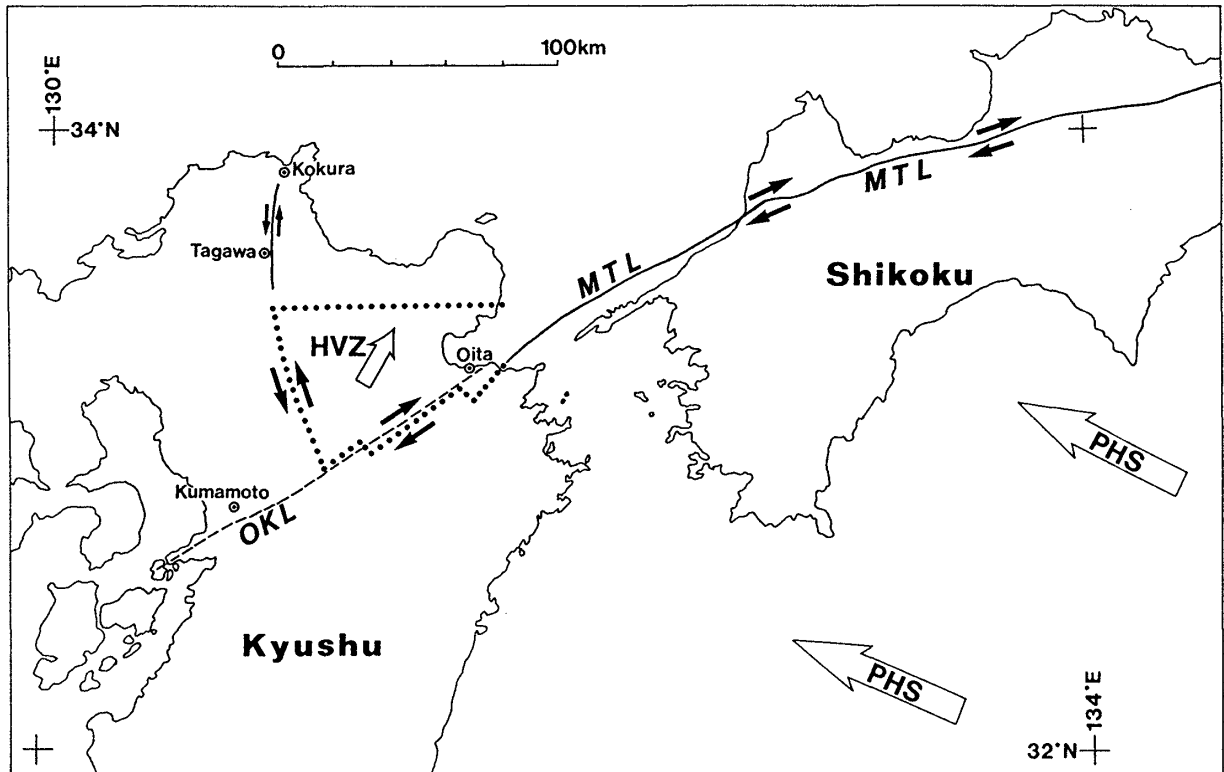
フィリピン海プレートの北西方向への沈み込み開始時期に関しては, 種々の地球科学的データからこれまでに様々な年代が推定されてきた. Kanamori(1972)は, フィリピン海プレートで起こる巨大地震の発生間隔とすべり速度から, 約2 Maに西南日本に対する沈み込みを開始したと考えた. 一方, Kobayashi and Isezaki(1976)は, 沈み込みの平均速度と沈み込んだプレートの長さから, 沈み込みの開始時期を5-3 Maとした. また, 岡田

(1980)は, フィリピン海プレートの沈み込みに関係する事象をまとめ, 4 ± 1 Ma頃に右斜め沈み込みを開始したと結論した. 新妻(1982, 1985)は, 上部中新統-鮮新統と深海海段面下の堆積物の類似性から, フィリピン海プレートが7-6 Maに沈み込みを開始し, 少なくとも3 Maまでその運動方向を変えなかったと推定した. Seno and Maruyama(1984)は, フィリピン海プレートは西南日本弧に対して, 約17Maには北北西方向に6 cm/年の速度で, また約4 Maには西北西方向に4 cm/年の速度で沈み込んでいたことを明らかにし, このような沈み込み運動方向の変化時期について, 北向きの沈み込みにより発生した瀬戸内火山活動の終了時期(高橋, 1981)及び南海トラフ付近で調査されたタービダイトの堆積時期(Ingle and Karig, 1975)とから, 10-5 Maの間と推定した. 杉山(1989, 1991)は, 西南日本外縁隆起-前弧海盆帯の地質構造の形成時期を検討した結果, 南海トラフでは5-4.5Ma頃にフィリピン海プレートの斜め沈み込みが始まり, 中央構造線の右横ずれ運動が開始されたと考えた.

以上に挙げた従来の諸説を総合すると, フィリピン海プレートの北西方向への沈み込みは, 6-4 Ma頃に開始されたと推定される. これらの事実から筆者は, 6 Ma頃の海洋プレートの沈み込み開始が, HVZの大規模な火山活動と構造運動を引き起こしたものと考えられる.

中部九州では, HVZ内の火山活動の様式の変化から, 約5-1.6Maの間には顕著な南北伸張応力場が卓越し, またその後は, 弱い局所的な圧縮応力場が上記の強い南北伸張応力場に加えられたと推定されている(鎌田, 1986; Kamata et al., 1988; Kamata, 1989b). 即ち, 中部九州では約5 Ma以降, 基本的には伸張応力場が卓越していたが, その強度は第四紀に入るとやや弱まったらしい. おそらくフィリピン海プレートの沈み込み開始直後に最も強い伸張応力場が支配し, 東西70kmに及ぶグラーベンを形成したと考えられる. このような応力場の原因は, 中央構造線がフィリピン海プレートの斜め沈み込みにより右横ずれ運動を行い, また小倉-田川断層帯の南方延長線が左横ずれ運動を行うことにより, HVZがその西及び南に分布する先第三紀基盤岩に対して相対的に東北方向へ離れ, それに伴いこの地域に雁行状の伸張割れ目が発達したというモデル(第5図)で最も良く説明される.

前章で述べたように, 大分-熊本構造線沿いのプル・アパート構造からは, 中央構造線がこれまで知られている最大変位速度で横ずれ変位を継続したとすれば, HVZの形成開始時期, 即ちフィリピン海プレートの右



第5図.

大分-熊本構造線と中央構造線の右横ずれ運動, 豊肥火山地域の移動方向, 及びフィリピン海プレートの沈み込みの方向. HVZ: 豊肥火山地域, MTL: 中央構造線, OKL: 大分-熊本構造線. 黒矢印: 断層の横ずれ方向, HVZ内の白矢印: 豊肥火山地域の相対的な移動方向, PHSを付した矢印: 約4 Ma以降におけるフィリピン海プレートの沈み込み方向(Seno and Maruyama, 1984).

斜め沈み込み開始直後の約5 Maに, 大分-熊本構造線の右横ずれ運動が始まったと推定される. この場合は既述のように, 大分-熊本構造線の右横ずれ運動の開始がフィリピン海プレートの右斜め沈み込みの開始と成因的に関連する可能性が考えられる. 一方, 平均横ずれ変位速度が既知の最大値より小さいとすると, 大分-熊本構造線の右横ずれ運動の開始時期は5 Ma以前に遡る可能性が高くなり, フィリピン海プレートの右斜め沈み込みと大分-熊本構造線の右横ずれ運動との関連付けは再検討する必要が生ずる. 今後, 各地域の地球科学的データを総合し, 大分-熊本構造線(あるいは中央構造線)の右横ずれ運動の開始時期を解明することが期待される.

まとめ

(1) 大分-熊本構造線は豊肥火山地域の南縁に位置し, 四国以東の中央構造線の西方延長に当たると考えられる. また大分-熊本構造線に沿って, 右横ずれを示す活断層(今畑-白家断層, 布田川断層, 日奈久断層)が発達する.

(2) 豊肥火山地域は, 南により深く陥没した半地溝状構造をもち, 大分-熊本構造線は, 半地溝の最陥没部と中・古生界との境界に位置する. このことから, 豊肥火山地域は, 大分-熊本構造線(中央構造線)をグラーベン南縁の弱線として半地溝状構造を形成したと考えられる. 半地溝状構造南縁の北落ちの重力急傾斜部は, 九重火山南部から別府湾まで明瞭に追跡でき, 途中2カ所で屈曲する.

(3) 大分-熊本構造線沿いの重力負異常の形状(東北東方向に伸びる長方形の重力負異常域及び重力急傾斜部の屈曲)は, 基盤岩のプル・アパート構造を反映していると考えられ, 大分-熊本構造線に沿って右横ずれ運動が起きていることを強く示唆する.

(4) 大分-熊本構造線の横ずれ変位速度を, 四国における中央構造線の既知の最大変位速度と仮定すると, 重力急傾斜部に表れたプル・アパート構造は, 約5 m. y.の間に形成されたことになる. 一方, 既知の最小変位速度を仮定すると, プル・アパート構造は約25 m. y.の間に形成されたことになる. 豊肥火山地域の形成開始時

期は約6-5 Maと考えられているので、プル・アパート構造が豊肥火山地域の形成開始時期以前に存在していたのか、あるいはほぼ同時に形成されたのか、これまでの結果からは断定できない。しかし、プル・アパート構造は、少なくとも5 m. y. 以上の期間をかけて形成されたと考えられ、中央構造線沿いの右横ずれ運動の始まりが従来の推定よりはるかに古いことを強く示唆する。

(5) 豊肥火山地域内の火山岩は、海洋プレートの沈み込みを伴う島弧に典型的な化学組成を示し、また鮮新世以後現在まで火山活動が連続することから、少なくとも約5-0 Maの間、西南日本弧に対するフィリピン海プレートの北西方向の沈み込みが継続していたと考えられる。従来の諸説を総合すると、フィリピン海プレートの北西方向への沈み込みは、6-4 Ma頃に開始されたと推定される。HVZの火山活動の立ち上がりの時期(約5 Ma)に最大量の火山活動が認められ、またそれ以後に単調減少することは、6 Ma頃のフィリピン海プレートの沈み込み開始に呼応して、HVZの大規模な火山活動と構造運動が始まったことを強く示唆する。

(6) 中部九州の伸張応力場と火山構造的陥没地の形成は、大分-熊本構造線がフィリピン海プレートの斜め沈み込みにより右横ずれ運動を行い、それに伴い、豊肥火山地域がグラーベンを南北に開きながら相対的に北東方向に押し出されて、この地域に東西方向の雁行状伸張割れ目が発達したとするモデルで説明される。

謝 辞

地質調査所の杉山雄一博士は、本稿の議論全般にわたって有益な助言を下さり、また文章表現上の改良をして下さった。地質調査所の寒川旭・大阪工業大学の市川浩一郎の各博士からは、四国と近畿の中央構造線の活動史に関して御教示頂いた。応用地質(株)の小野晃司・大分大学の千田昇の各博士には、中部九州の火山活動史と構造発達史に関して議論をして頂いた。高知大学の小玉一人・地質調査所の佃栄吉の各博士は、テクトニクスに関する議論をして下さった。これらの方々に厚く感謝致します。

文 献

- 安藤雅孝, 1979, 日本列島の最近50万年の応力場. 月刊地球, **1**, 541-546.
- Aydin, A. and Nur, A., 1982, Evolution of pull-apart basins and their scale independence. *Tectonics*, **1**, 91-105.
- 千田 昇, 1979, 中部九州の新时期地殻変動-とくに第四紀火山岩分布域における活断層について-. 岩手大教育研報, **39**, 37-75.
- 千田 昇, 1980, 九州中部地域における新时期地殻変動. 西村嘉助退官記念地理論文集, 89-93.
- 千田 昇, 1981, 中部九州・水縄山地北麓の断層変位地形. 岩手大教育研報, **40**, 67-78.
- 千田 昇・池田安隆, 1991, 陸上活断層図と資料, 101大分. 活断層研究会編「新編日本の活断層」, 東大出版会, 350-357.
- 千田 昇・岡田篤正, 1991, 陸上活断層図と資料, 102熊本. 活断層研究会編「新編日本の活断層」, 東大出版会, 358-363.
- Eguchi, T. and Uyeda, S. 1983, Seismotectonics of the Okinawa Trough and Ryukyu Arc. *Memoir Geol. Soc. China*, **5**, 1-27.
- Glazner, A.F., 1991, Plutonism, oblique subduction, and continental growth: An example from the Mesozoic of California. *Geology*, **19**, 784-786.
- 市原 実・市川浩一郎・山田直利, 1986, 岸和田地域の地質, (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 148p.
- 池田安隆, 1979, 大分県中部火山地域の活断層系. 地理評, **52**, 10-29.
- Ingle, J.C. and Karig, D.E., 1975, Site reports: 8. Site 297. *Initial reports of the Deep Sea Drilling Project*, **31**, 275-316, Washington, D. C., U. S. Govt. Printing Office.
- 広川 治・長浜春夫・小野晃司・山田直利・吉田 尚・遠田朝子, 1976, 50万分の1地質図幅「福岡」, 地質調査所.
- 貝塚爽平, 1972, 島弧系の大地形とプレートテクトニクス. 科学, **42**, 573-581.
- 鎌田浩毅, 1985a, 熊本県宮原西方の火山岩類の層序と噴出年代-九州中北部の火山活動の時代と分布-. 地質雑, **91**, 289-303.
- 鎌田浩毅, 1985b, 九州中北部における火山活動の推移と地質構造. 地調報告, No. 264, 33-64.
- 鎌田浩毅, 1986, 0.7Maを境とする火山岩の変化とテクトニクス-中部九州の火山構造的陥没地における例-. 月刊地球, **8**, 768-771.
- 鎌田浩毅, 1990, 反射法地震探査データから推定される別府湾及びその周辺地域の深部地下構造とその成因(コメント). 地質学会97年会演旨集, 92.
- 鎌田浩毅, 1991, 中部九州・豊肥火山地域の南縁に見られる中央構造線の活動-右横ずれ運動に伴うプル・アパート構造-. 地質学会98年会演旨集, 64-65.
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博, 1988, 中部九州-中国地方西部の火山フロントの形成年代. 月刊地球, **10**, 568-574.
- 鎌田浩毅・渡辺公一郎, 1985, 九州中北部に分布する火山岩のK-Ar年代とフィッシュン・トラック年代の比較検討-火山構造的陥没地の形成開始年代-. 岩鉱, **80**, 263-271.
- Kamata, H., 1989a, Shishimuta caldera, the buried source of the Yabakei pyroclastic flow in the Hohi volcanic zone, Japan. *Bull. Volcanol.*, **51**, 41-50.
- Kamata, H., 1989b, Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, **51**, 315-332.
- Kamata, H. and Mimura, K., 1983, Flow directions inferred from imbrication in the Handa pyroclastic flow deposit in Japan. *Bull. Volcanol.*, **46**, 277-282.
- Kamata, H., Uto, K. and Uchiumi, S., 1988, Geochronology and evolution of the post-Shishimuta caldera activity

- around the Waitosan area in the Hohi volcanic zone, Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan, ser. 2*, **33**, 305-320.
- Kanamori, H., 1972, Tectonic implication of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquakes. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **5**, 129-139.
- 木戸道男, 1991, 「九重一別府地溝」形成史と火山活動. 構造地質, No. 37, 63-74.
- 木村政昭, 1983, 沖縄トラフの陥没構造形成に関する考察. 地質論, No. 22, 141-157.
- 小林洋二・鎌田浩毅, 1985, 火山地域の活断層について. 地震学会1985年 No. 2 予稿集, 37.
- Kobayashi, K. and Isezaki, N., 1976, Magnetic anomalies in the Sea of Japan and the Shikoku Basin: possible tectonic implications. In *The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its Margin, Geophys. Monogr.*, **19**, 235-252, Amer. Geophys. Union, Washington D. C.
- 駒澤正夫・鎌田浩毅, 1985, 豊肥地域の重力基盤構造. 地調報告, No. 264, 305-333.
- 久保寺 章・三浪俊夫・里村幹夫・井上光吉, 1976, 中部九州地区における重力測定値の収集と精密重力異常図の作成自然災害資料解析, **3**, 45-53.
- 松本徳夫, 1963, 北中部九州における後期新生代の火山活動. 九大生産研報, No. **34**, 1-10.
- 松本徳夫, 1979, 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. 地質論, No. **16**, 127-129.
- 松本徳夫, 1984, 北・中部九州における後期新生代火山活動の特性とくに地構性陥没構造との関係一. 地質論, No. **24**, 199-212.
- 宮久三千年・毛利元躬, 1959, 福岡県吉原鉱山の接触交代銅硫化鉄鉱床, とくに本坑鉱床の構造支配について. 鉱山地質, **9**, 276-286.
- 中田節也・鎌田浩毅, 1988, 島原半島南部に分布する玄武岩・安山岩類の成因関係. 火山, 2集, **33**, 273-289.
- Nakada, S. and Kamata, H., 1991, Temporal change in chemistry of magma source under Central Kyushu, Southwest Japan: progressive contamination of mantle wedge. *Bull. Volcanol.*, **53**, 182-194.
- 新妻信明, 1982, プレートテクトニクスの試金石一南部フォッサマグナ. 月刊地球, **4**, 326-333.
- 新妻信明, 1985, 変動している日本列島一新第三紀テクトニクスとプレート沈み込み一. 科学, **55**, 53-61.
- Notsu, K., Arakawa, Y. and Kobayashi, T., 1990, Strontium isotopic characteristics of arc volcanic rocks at the initial stage of subduction in western Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **40**, 181-196.
- 岡 義記, 1978, 和泉山脈の形成と大阪層群. 第四紀研究, **16**, 201-210.
- 岡田篤正, 1973, 中央構造線の第四紀地殻変動について. 杉山隆二編「中央構造線」, 49-86, 東海大学出版会.
- 岡田篤正, 1980, 中央日本南部の第四紀地殻運動一地殻運動の変化と場の移動一. 第四紀研究, **19**, 263-276.
- 岡田篤正・安藤雅孝, 1979, 日本の活断層と地震. 科学, **49**, 158-169.
- 岡田篤正・千田 昇, 1991, 陸上活断層図と資料, 106八代. 活断層研究会編「新編日本の活断層」, 東大出版会, 370-373.
- 岡田篤正・寒川 旭, 1978, 和泉山脈南麓域における中央構造線の断層変位地形と断層運動. 地理評, **51**, 385-405.
- 酒井治孝・渡辺正幸, 1986, 小倉一田川断層の断層露頭とカタクラサイト. 活断層研究, **2**, 77-82.
- 寒川 旭, 1980, 西南日本中央部の第四紀における地殻運動と地形発達. 西村嘉助退官記念地理論文集, 60-65.
- Sangawa, A., 1978, Geomorphic development of the Izumi and Sanuki Ranges and relating crustal movement. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th Ser. (Geogra.)*, **28**, 313-338.
- Sangawa, A., 1986, The history of fault movement since late Pliocene in the central part of Southwest Japan. *Royal Soc. New Zealand Bull.*, **24**, 75-85.
- 笹田政克, 1984, 豊肥地熱地域の基盤地質構造. 地熱, **21**, 1-11.
- Seno, T. and Maruyama, S., 1984, Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, **102**, 53-84.
- 首藤次男・日高 稔, 1971, 大分地方の沖積層, とくに別府湾の起源について. 九大理研報(地質), **11**, 87-104.
- 杉山雄一, 1989, 島弧における帯状構造の屈曲とプレートの斜め沈み込み, 第1部一西南日本外帯沖の屈曲構造とプレート境界地震一; 第2部一西南日本外帯の屈曲構造とプレート間相対運動の変遷一. 地調月報, **40**, 533-564.
- 杉山雄一, 1991, 第二瀬戸内海の右横ずれ沈降盆地一大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデル一. 構造地質, No. 36, 99-108.
- 高橋正樹, 1981, 特異な島弧火山活動帯一中期中新世西南日本外帯・瀬戸内地域のマグマティズム一. 月刊地球, **3**, 382-388.
- 高橋正樹, 1986, 日本海拡大前後の「島弧」マグマ活動. 科学, **56**, 103-111.
- 多田 堯, 1985, 沖縄トラフの拡大と九州地方の地殻変動(2). 地震2, **38**, 1-12.
- 竹村恵二・久保寺 章・堀江正治・由佐悠紀・中川一郎・小林 芳正・北岡豪一・神山孝吉・須藤靖明・井川猛・大西正純・浅田正陽, 1990, 別府湾及びその周辺の深部地下構造. 地質学会97年会演旨集, 90-91.
- 玉生志郎, 1985, 豊肥地熱地域の層序と地質構造一主に坑井データに基づいて一. 地調報告, No. 264, 115-142.
- Tatsumi, Y. and Maruyama, S., 1989, Boninites and high-Mg andesites: Tectonics and petrogenesis. In *Crawford, A.J., ed., 'Boninites'*, Unwin Hyman, London, 50-71.
- 寺岡易司, 1970, 九州大野川盆地の白亜紀層. 地調報告, No. 237, 1-87.
- 佃 栄吉, 1988, 中央構造線の右横ずれテクトニクス. 地質学会95年会演旨集, 459.
- 佃 栄吉, 1990, 中央構造線のアクティブテクトニクス. 地調月報, **41**, 405-406.
- 鶴田孝三・渡辺一徳, 1978, 熊本平野南東部に見られる活断層群. 熊本地学会誌, No. 58, 2-4.
- 矢部長克, 1925, リヒトホーフエン氏の長崎三角地域. 地質雑, **32**, 201-209.
- 山科健一郎・村井 勇, 1975, 1975年大分県中部地震・阿蘇北部地震のメカニズムについて, とくに活断層との関係. 震研彙報, **50**, 295-302.
- 吉岡敏和, 1992, 大分県, 碩南層群分布南縁部における横ずれ地質構造. 地質雑, **98**, 53-55.
- 由佐悠紀・久保寺 章・堀江正治・中川一郎・小林芳正・北岡 豪一・神山孝吉・竹村恵二・須藤靖明・井川猛, 1989, 別府湾地下構造探査. 地熱学会平成元年度演旨集, A32.

渡辺一徳, 1984, 熊本県阿蘇カルデラ西方地域の活断層群とその意義. 熊本大教育紀要, No. 33, 35-47.

渡辺満久, 1989, 九州北部において新たに見いだされた活断層-小倉東断層-. 活断層研究, 7, 93-97.

(要 旨)

鎌田浩毅, 1992, 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. 地質学論集, No. 40, 53-63. (Kamata, H., 1992, Right-lateral movement of the Oita-Kumamoto Tectonic Line as a western extension of the Median Tectonic Line, originated from rightward, oblique subduction of the Philippine Sea plate. *Mem. Geol. Soc. Japan*, No. 40, 53-63.)

大分-熊本構造線は, 四国以東の中央構造線の九州への西方延長と考えられ, 鮮-更新統火山岩と中・古生界との分布境界に位置し, 約5-0 Maの間に活動し半地溝状構造を形成した火山構造性陥没地(豊肥火山地域)の南縁の最陥没部にあたる. 大分-熊本構造線はまた, 東北東-西南西方向に延びる北落ちの重力急傾斜部にあたり, これに沿って3つの右横ずれ断層(今畑-白家断層, 布田川断層, 日奈久断層)が認められる. 重力急傾斜部は2カ所で屈曲し, いずれも長方形の重力負異常域を形成し, 先第三紀基盤岩が右横ずれセンスのブル・アパート運動を受けたことを示唆する. 大分-熊本構造線沿いの右横ずれ運動は, 豊肥火山地域がグラブを南北に開きながら北東方向へ移動し, 東西方向の雁行状伸張割れ目を発達させる動きと調和的であり, これらの運動はいずれも, 約6 Ma以降の南海トラフにおけるフィリピン海プレートの右斜め沈み込みに起源が求められる. 中央構造線沿いの右横ずれ運動の始まりは, 従来の推定より古い, 約5 Ma以前と推定される.