

平成 16 年 3 月

---

総 説

---

## 中部九州の地殻変動

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

竹 村 恵 二

(平成 16 年 2 月 2 日受付, 平成 16 年 2 月 10 日受理)

## Tectonic Movements in the Central Kyushu, Japan

Keiji TAKEMURA

Beppu Geothermal Res. Lab., Kyoto University

### Abstract

The central part of Kyushu, Japan is a locus of active arc-volcanism associated with northwest subduction of the Philippine Sea plate, and there the regional graben-like structure ("Beppu-Shimabara graben") from Beppu Bay to the Shimabara peninsula extends. Subduction of the Philippine Sea plate has played an important role in volcanic, geothermal and tectonic activity in central Kyushu.

There are two main graben-like areas in central Kyushu such as Hohi-volcanic zone in the eastern part and Unzen graben in the west. The tectonic movements in the Hohi-volcanic zone are affected by the activity of Median Tectonic Line and Kokura-Tagawa Line related with the movement of Philippine Sea Plate subduction. Initial northward subduction in late Miocene formed the half graben structure of initial Hohi-volcanic zone. Relative convergence direction of the Philippine Sea plate shifted counter-clockwise at about 1.5 Ma, and the same time west-northwestward subduction enhanced right slip on the Median Tectonic Line. Geologic, gravimetric and seismic data indicate that the Median Tectonic Line has shifted its active trace northward in central Kyushu. As a result, the depocenter adjacent to the transcurrent fault migrated northeastward in the Hohi volcanic zone, from Shonai basin (early Quaternary) to Beppu Bay basin (late Quaternary). The latest depocenter of the Beppu Bay is surrounded by active faults that delineate a rhomboidal basin on the Median Tectonic Line. Eastern Central Kyushu (Hohi-volcanic zone) shows the basin forming history and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system of Median Tectonic Line.

Combining fault motions, which were modeled as dislocation planes embedded in an elastic isotropic half space, restored the subsurface structure in Hohi-volcanic zone.

The tectonic movements in Unzen graben must be related to the activity of back arc spreading of Okinawa Trough or volcanic activity around Northwest Kyushu hot region.

Key words : Central Kyushu, Beppu-Shimabara Graben, Median Tectonic Line, Seismic Reflection Survey, Gravity, Tectonic Development

キーワード : 中部九州, 別府 - 島原地溝, 中央構造線, 反射法地震探査, 重力, 地質構造発達史

## 1. はじめに

中部九州には、重力異常の分布、正断層の卓越などから日本の陸域で唯一に近い引っ張り場のテクトニクスが存在している。これらは、「別府—島原地溝」(松本, 1979)と呼ばれてきた(図1)。近年、火山活動史の研究(Kamata, 1989 など)や別府湾海域の反射法地震探査・重力探査のデータ収集(図1)やそのテクトニクスの解釈(由佐ほか, 1992; 竹村ほか, 1993; Takemura *et al.*, 1994; Itoh *et al.*, 1998; 楠本ほか, 1997; Kusumoto *et al.*, 1999a, b など)の研究が進んだ。この結果、九州中部地域を単一の引っ張りテクトニクスとして考察するのではなく、中央構造線の活動や北西部九州のホットリージョンや沖縄トラフの活動との関連をきちんと考察することが必要であると考えられるようになった(竹村, 2001)。今回は特に、中部九州の東部地域(豊肥火山地帯)に焦点を当て、第四紀地殻変動像を紹介することとする。

## 2. 豊肥火山地帯の第四紀地質学的背景

中部九州の東部に位置する豊肥火山地帯のテクトニクスは、年代・火山活動・盆地形成・断層運動・地殻応力の状態・フィリピン海プレートの運動との関連から表1のようにまとめられる。

中部九州・豊肥火山地帯で後期新生代堆積盆地(過去約600万年間程度)の基盤をなしているのは、白亜紀の花崗岩や堆積岩類、古生代の片岩類である(図1)。この地域では、数多くの地熱井の掘削から、基盤岩深度は地下1,000mを超える値が得られており、火山地帯の外側に露出する花崗岩類、変成岩、堆積岩類との対比がなされている。

豊肥火山地帯では、顕著な負のブーゲー異常が特徴的であり、カルデラや堆積盆地が推定される、いくつかの盆地状構造が並んでいる(図2)。久住盆地状構造(KJ)は、豊肥火山地帯の南西端に東西に伸びて分布している。水分峠の基盤の南北の高まりをはさんで、庄内盆地状構造(SN)と猪牟田カルデラ(SS)が位置している。別府湾盆地状構造(BB)はこの地域でもっとも大きく、東端に位置している。

これらの盆地状構造を埋積している地層群の岩質や年代は、地熱開発井の掘削結果やK-Ar年代測定結果から明らかにされる(表1)。火山活動は、およそ6Maには開始され、豊肥火山地帯の中心に向けて、時間とともに変化し、盆地状構造を埋めていったことが明らかにされた(Kamata, 1989 など)。KJには、少なくとも4Maより古い火山岩類・堆積岩類が保存されている。SNは、第四紀の川西安山岩(1.4-1.6Ma)や敷戸火砕流(1.3-1.5Ma)、耶馬溪火砕流(1Ma)によって埋められ、由布川火砕流(0.6Ma)によっておおわれる。このことからSNがKJと比較して、より若い堆積域であるといえる。BBに関しては、掘削情報が得られていない。

また、多量に分布する火山岩についての地球化学的データ(たとえばK<sub>2</sub>O量の時間的変化)や、火山噴火の形式の変化(割れ目噴火タイプから単成火山・小規模成層火山)、大規模火砕流の存在などの特徴が時代とともに後期新生代の火山活動がまとめられる(表1)。

陸域・海域に分布する活断層や活構造(図3)の特徴は、過去・最近の応力状態を示す指標とし

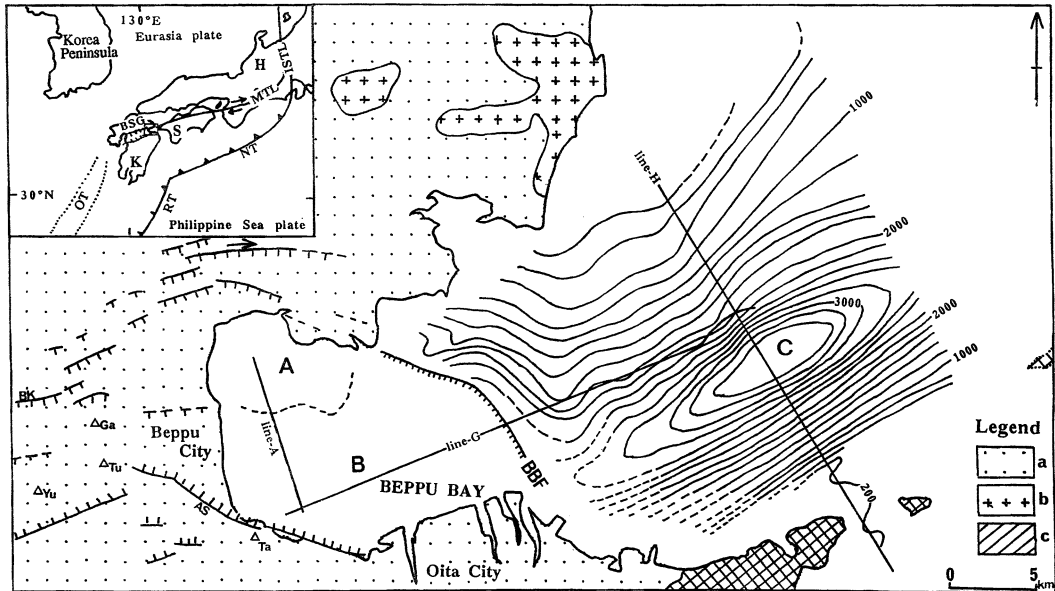


Fig. 1 Distribution of pre-Tertiary basement rocks and active faults around Beppu Bay (Takemura *et al.*, 1994). Information on land is mainly by Hoshizumi *et al.* (1988), and information in Beppu Bay is mainly by Yusa *et al.* (1992). Line A, G, H : multichannel seismic reflection survey line, a : Neogene sediments and volcanics, b : Ryoke Metamorphic rocks and granite, c : Sanbagawa metamorphic rocks, Thick solid and broken lines on land show faults ; ticks point down dip. Open triangles are Quaternary volcanoes. A : Listric fault region, which is developed at the upper part of the anticlinal structure. B : Basin structure region buried by thick sediments. C : Trough-like structure region. Contours in bay area show depth (m) to the pre-Tertiary basements. BBF : Beppu Bay Cross Fault separating Beppu Bay into B and C regions, RS : Margin of Ryoke Belt basement rocks beneath the sediments, AS : Asamigawa fault, BK : Beppu Kita fault, Yu : Yufudake, Tu : Tsurumidake, Ga : Garandake, Ta : Takasakyama  
 Inset : The platetectonic environment of the Beppu Bay region. MTL ; Median Tectonic Line, ISTL : Itoigawa Shizuoka Tectonic Line, OT : Okinawa Trough, RT : Ryukyu Trench, NT : Nankai Trough, K : Kyushu, S : Shikoku, H : Honshu.

図 1 別府湾周辺の基盤岩と陸・海域の活構造の分布 (Takemura *et al.*, 1994)

陸域の情報は星住ほか (1988), 海域の情報は主に由佐ほか (1992) による。a : 後期新生代堆積岩と火山岩, b : 領家花崗岩類変成岩類, c : 三波川変成岩類。陸域の太線 (実線と破線) 断層を示し, 落ち側を表示した。白三角は火山を示す。A : リストリック断層の地域, B : 厚い堆積物で埋められた盆地状構造の地域, C : 溝状構造の地域。海域のコンターは基盤深度 (m) を示す。BBF : 別府湾横断断層, AS : 朝見川断層, BK : 別府北断層, Yu : 由布岳, Tu : 鶴見岳, Ga : 伽藍岳, Ta : 高崎山。  
 挿入図 : 九州中部地域のテクトニクス。BSG : 別府-島原地溝, MTL : 中央構造線, ISTL : 糸魚川-静岡構造線, OT : 沖縄トラフ, RT : 琉球トレンチ, NT : 南海トラフ, K : 九州, S : 四国, H : 本州

て, またテクトニクスの解釈に重要である。海域 (別府湾) では, 反射法地震探査が実施され, 中央構造線の活動と関連する横ずれ断層の活動の証拠 (flower structure) (図 4) や, 横ずれ断層末端で生じる rhomboidal basin の形成に伴う rollover と解釈される構造が認められた (Takemura *et al.*, 1994)。その結果, 陸域の正断層分布から考察されてきたテクトニクスとは異なる横ずれ断層に伴う地質構造形成の可能性が浮かびあがってきた。

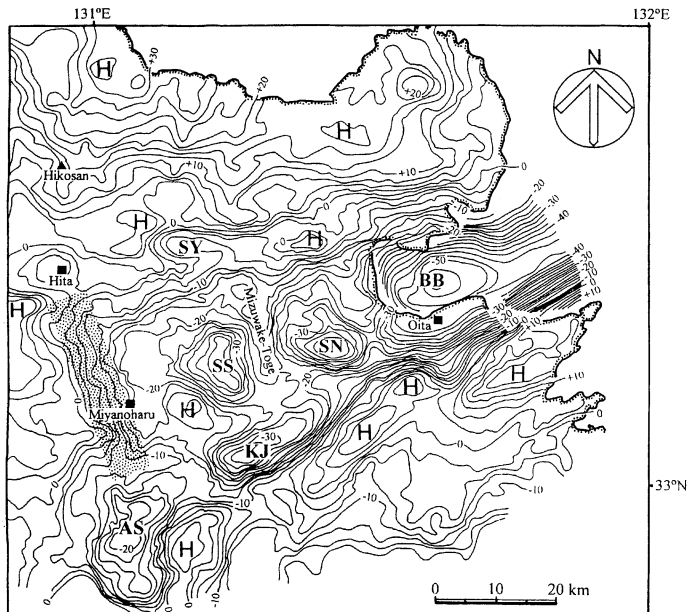


Fig. 2 Bouguer anomaly map and nomenclature of depression (Itoh *et al.*, 1998). The anomaly map is compiled from Komazawa and Kamata (1985) and Takemura *et al.* (1993). The shaded zone is a gravity slope coincident with the western margin of the Hoho Volcanic Zone. BB : Beppu Bay, SN : Shonai, KJ : Kuju, SY : Shin-Yabakei, SS : Shishimuta, AS : Aso.

図 2 豊肥火山地帯の重力異常 (Itoh *et al.*, 1998)

重力異常図は駒沢・鎌田 (1985) と竹村ほか (1993) から編集。影をつけた部分は西側の重力コンターの急斜部を示す。

BB : 別府湾, SN : 庄内, KJ : 久住, SY : 新耶馬溪, SS : 猪牟田, AS : 阿蘇

### 3. 中央構造線の端部における活動場の変遷と豊肥火山地帯の構造性盆地の移動 (図 5 と表 1)

別府湾における反射法地震探査と重力調査結果 (由佐ほか, 1992 ; Takemura *et al.*, 1994) は基盤構造が半地溝状構造をしていることが明らかにされ, その形態は先新第三系の基盤が非対称的に南に傾く陸域の豊肥火山地帯 (Kamata, 1993) と類似している。別府湾は大規模の火砕流を噴出した噴出孔ではないので, すでに紹介した負のブーゲー異常はカルデラのような火山性の陥没構造に起因すると考えにくい。Takemura *et al.* (1994) によって指摘された別府湾内の flower structure は活動的な中央構造線の西端における横ずれ運動と関連した構造であると考えられる。湾内には 2 つの flower structure の発達が見られる。ひとつ (図 4 の FS1) は, 南側に分布し, 第四紀後期と考えられる地層におおわれる。他方 (図 4 の FS2) は沈降部の堆積物を海底面まで変位させていることがあきらかである。南側の構造トレースは大分平野下を通り, 庄内盆地 (SN) の南の時山断層 (図 3) に続く可能性がある。断層トレースそのものは最近の堆積物や土壌でおおわれている。この南側の構造は古い時代の中央構造線のトレースである可能性があり, その役割はその後別府湾南岸に沿って生じた北側の構造 (FS2) にとってかわられたと考えられる。

図 4 では, 層準 A (horizon A) が, 反射法地震探査断面に基づいて, はっきりした反射パターンの境界として認識できる。この層準と FS1 の最上端はほぼ一致すると考えられる。これより上部の

Table 1 A synthesis of evolution of the Hoho volcanic zone (Itoh *et al.*, 1998)

表 1 豊肥火山地帯の 600 万年間の構造発達史 (Itoh *et al.*, 1998).

|  | Geologic period  | PHS subduction | Strain in Hoho volcanic zone                                     | Volcanism in Hoho volcanic zone  | Basin subsidence      | Fault motion         |
|--|--|----------------|--|--|-----------------------|----------------------|
| Stage 2 : Migration  | Middle Pleistocene-Holocene  | WNW            | western part : contraction<br>eastern part : extension           | tholeiitic<br>↑<br>higher K<br>↑<br>less voluminous<br>↑<br>central eruption | BB rhombic            | MTL2++(R)            |
|  | <i>Episode 3 (0.7 Ma) : Shift of active trace of MTL</i>                                     |                |  |  |                       |                      |
| Stage 1 : Extension  | Early Pleistocene  | WNW            | southwestern part : contraction<br>northeastern part : extension |  | SN, BB rhombic        | MTL1++(R)            |
|  | <i>Episode 2 (1.5 Ma) : Counter-clockwise shift of Philippine Sea Plate (PHS) subduction</i> |                |  |  |                       |                      |
| Stage 1 : Extension  | Early Pleistocene  | N-NNW          | NNW-SSE extension (regional regime)                              |  | KJ, SN, BB asymmetric | KTL+(L)<br>MTL0+(R)  |
|  | Late Miocene-Pliocene  | N-NNW          | NNW-SSE extension (regional regime)                              | calc-alkalic<br>↓<br>lower K<br>↓<br>voluminous<br>↓<br>fissure eruption     | KJ, SN, BB asymmetric | KTL++(L)<br>MTL0+(R) |
| <i>Episode 1 (6 Ma) : Initiation of Hoho volcanic zone</i> |  |                |  |  |                       |                      |

See Fig. 2 for abbreviations of basins. ++ : high fault activity, + : low fault activity, (R) : right-lateral motion, (L) : left-lateral motion

盆地状構造の略号は図 2 に同じ. ++ : 高い断層活動, + : 低い断層活動, R : 右横ずれ運動, L : 左横ずれ運動.

ユニットである後期更新世から完新世にかけての堆積盆地の堆積中心はほぼ FS2 に沿っていると考えられ、それは、別府湾南岸の異常な急速な堆積速度の地域と一致している。

それ以前の古い時代（前期更新世まで）の活動に関する情報は、さらに南の地域にあり、後期鮮新世から前期更新世にかけての碩南層群に横ずれ断層活動が指摘され（吉岡, 1992）、この時代の横ずれ運動の活動的トレースが現在より 10 km 程度南にあったことが考えられる。

以上の結果から、6 Ma にわたる九州中部地溝の東部地域（豊肥火山地帯）の地殻変動像を図 5 と表 1 のように整理した。

豊肥火山地帯の形成は、フィリピン海プレートの後期鮮新世（約 6 Ma）における北方への沈み込み開始によって影響を受けたと考えられている（Itoh *et al.*, 1998 など）。その時代に南北方向の小倉-田川構造線が左横ずれ運動として活動を開始した。それはそれ以前の中央構造線上に東西方向の半地溝構造の形成をともなっていた。このことは豊肥火山地帯の形成と関連していたと考えられる（表 1 の stage 1）。小倉-田川構造線の南延長は重力異常から推定される豊肥火山地帯の西端にほぼ一致している。

最南端の中央構造線の右横ずれ運動は少なくとも碩南層群の上部を変形させている（吉岡, 1992）。したがって、MTL の最初の北へのシフト（trace 0 から trace 1）は前期更新世に起こった

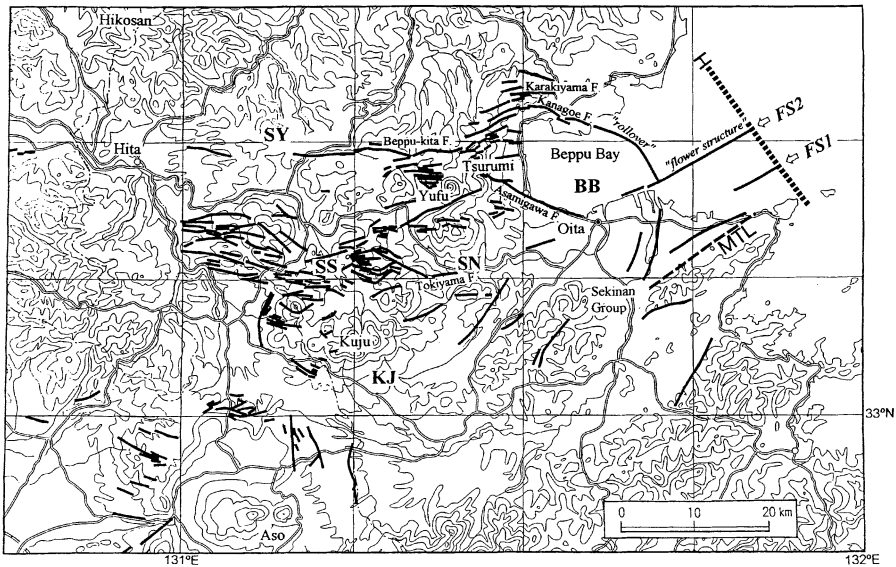


Fig. 3 Active fault distribution around the Hoho volcanic zone (Itoh *et al.*, 1998) after Research Group for Active Tectonics in Kyushu (1989), Research Group for Active Faults (1991) and Takemura *et al.* (1994). The thin broken line and thick dotted line are the oldest trace of the MTL and the reflection seismic line H in Fig. 4 respectively. See Fig. 2 for abbreviations of basins.

図3 豊肥火山地帯の活断層分布と別府湾における推定活構造 (Itoh *et al.*, 1998)

九州活構造研究会 (1989), 活断層研究会 (1991) Takemura *et al.* (1994) より編集。H: 反射法地震探査測線 (由佐ほか, 1992)。破線は最も古いMTLのトレース。

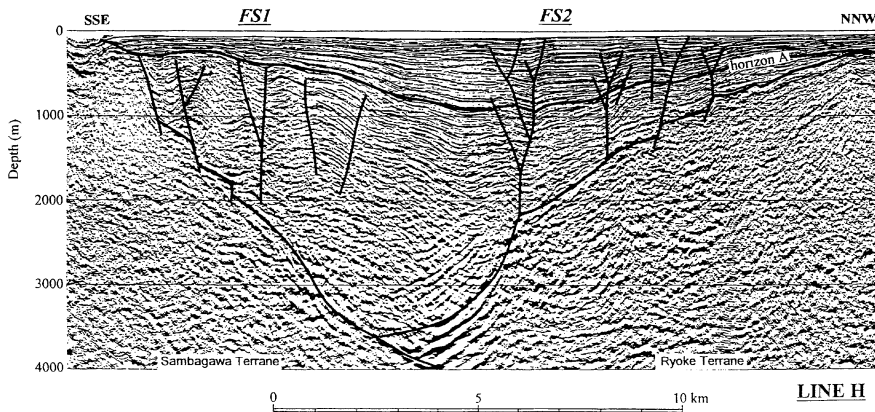


Fig. 4 Reinterpreted seismic profile across the mouth of Beppu Bay (Itoh *et al.*, 1998)

FS1 and FS2 represent locations of conspicuous flower structures. See Fig. 3 for line location.

図4 別府湾の反射法地震探査断面の再解釈結果 (Itoh *et al.*, 1998)

FS1とFS2はフラワー構造を示す。平面的な位置は図3に示す。

(a) Stage 1

(b) Stage 2

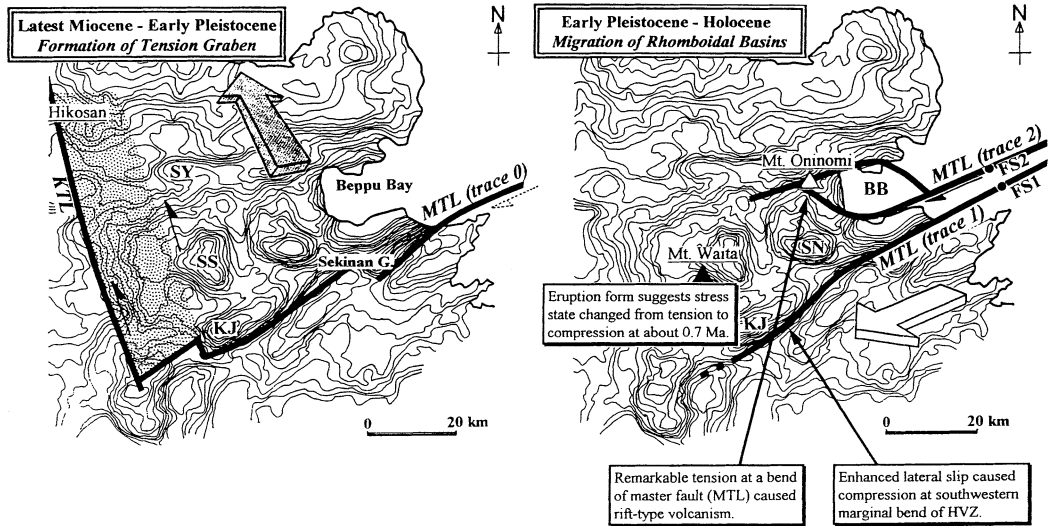


Fig. 5 A tectonic synthesis of the Hoho volcanic zone (Itoh *et al.*, 1998). Bouguer anomaly contour is drawn on base maps.

図 5 豊肥火山地帯の後期新生代のテクトニクス (Itoh *et al.*, 1998)

と考えられる。この後、中央構造線のトレースがまがっている前面の久住盆地 (KJ) は沈降が止まり、庄内盆地 (SN) の活動が活発化した。庄内盆地 (SN) には更新世の大部分層群の火砕岩が埋めている。この北への移動はフィリピン海プレートの沈み込み方向の反時計回り変化と対応しており、そのことが、中央構造線の横ずれ運動を加速したと考えられ、庄内盆地 (SN) がその端部として、rhomboidal basin が形成された。その後の中央構造線の移動 (trace 1 から trace 2) は、豊肥火山地帯の応力変化によってもたらされたと考えられる。この変化で庄内盆地 (SN) は沈降がとまった。すでに述べたように最新の中央構造線の trace は別府湾に活動的な rhomboidal basin を形成している。

#### 4. おわりに

本論では、最近の研究成果にもとづき、中部九州東部の火山・地熱地帯の過去 6 Ma にわたる地殻変動像を紹介した。この地域は、圧縮場が卓越する日本では稀有な伸張場のテクトニクスが発達する地域と従来から考えられてきたが、これらの東西に並ぶ大きな負の重力異常地帯の形成に関して、横ずれ運動の影響を考慮して後期鮮新世からの時代的な変遷の様相が紹介できたと考えている。今後は、特にこの豊肥火山帯形成初期の状況をより明らかにすることがひとつの課題となると考えられる。また、最近の地殻変動についての測地学的資料からの検討との比較も重要な課題として残されている。

なお、本論は、国際温泉科学会第 38 回大会と日本温泉科学会第 56 回大会の合同大会において行った特別講演の内容を取りまとめたものである。講演の機会をいただいた京都大学地球熱学研究施設の由佐悠紀先生をはじめ国際・日本温泉科学会の方々に感謝いたします。

また、本研究のまとめと報告にあたって、21世紀COEプログラム（京都大学：G3：活地球圏の変動解明）の研究費を使用した。

## 文 献

- Itoh, Y., Takemura, K. and Kamata, H. (1998): History of basin formation and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system : deformation mode of central Kyushu, Japan. *Tectonophysics*, **284**, 135-150.
- Kamata, H. (1989) : Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, **51**, 41-50.
- 活断層研究会編 (1991) : 「新編日本の活断層—分布図と資料」. 東京大学出版会, 437 p.
- 駒澤正夫, 鎌田浩毅 (1985) : 豊肥地域の重力基盤構造. *地質調査所報告*, **264**, 305-333.
- Kusumoto, S., Fukuda, Y. and Takemura, K. (1999b) : A distinction technique between volcanic and tectonic depression structures based on the restoration modeling of gravity anomaly : a case study of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Jour. Volcanol. Geothermal Res.*, **90**, 183-189.
- Kusumoto, S., Takemura, K., Fukuda, Y. and Takemoto, S. (1999a) : Restoration of depression structure at the eastern part of central Kyushu, Japan, by means of dislocation modeling. *Tectonophysics*, **302**, 287-296.
- 楠本成寿, 竹村恵二, 福田洋一, 竹本修三 (1997) : 重力異常からみた九州中部地溝の第四紀地殻変動. *地学雑誌*, **106**, 635-643.
- 九州活構造研究会 (1989) : 九州の活構造. 東京大学出版会, 553 p.
- 松本徭夫 (1979) : 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. *地質学論集*, **16**, 127-139.
- Takemura, K., Yusa, Y. and Itoh, Y. (1994) : Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan. *Spec. Pub. Jour. Geod. Soc. Japan (Proc. CRCM '93, Kobe)*, 401-405.
- 竹村恵二 (2001) : 西南日本の第四紀変動論. 深田研ライブラリー, **44**, 54 p.
- 竹村恵二, 由佐悠紀, 北岡豪一 (1993) : 大分平野と別府湾 (深部). *地質学論集*, **41**, 35-42.
- 由佐悠紀, 竹村恵二, 北岡豪一, 神山孝吉, 堀江正治, 中川一郎, 小林芳正, 久保寺章, 須藤靖明, 井川 猛, 浅田正陽 (1992) : 反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造. *地震Ⅱ*, **45**, 199-212.
- 吉岡敏和 (1992) : 大分県, 碩南層群分布地域南縁部における横ずれ地質構造. *地質学雑誌*, **98**, 53-55.