

「九重一別府地溝」形成史と火山活動

Tectonic History and Volcanism of the “Kuju-Beppu Graben”

木戸道男*
Michio Kido

Abstract: Landsat images of northern and central Kyushu, we can see a large scale tectonic depression named “Kuju-Beppu Graben”. Kurume -Hiji line striking E-W is the fault at the northern end, and Oita-Kumamoto line is at the south-east end of the Graben. They are considered to have been mostly active, and are essentially right-lateral strike-slip faults. The horizontal compressive tectonic stress due to the subduction of the Philippine Sea Plate under Southwest Japan along the Nankai Trough has been formed. An acute-angled triangle area sandwiched between two tectonic lines, has been pulled apart north and south, and subsided four times over the last 1 Ma. At each depression, there were pyroclastic-flow-type eruptions, accumulation of lacustrine sediments and lava flows. The pyroclastic-flow-type eruptions and subsidences took place almost contemporaneously. Then lacustrine sediments were accumulated, and lava flows and weak subsidences were emplaced following them.

はじめに

九州中北部のランドサット写真をみると、大分県日田市から、九重、豊後中村、湯布院、別府湾にかけて大規模な構造的凹地が確認される。この凹地を、この報告では「九重一別府地溝」(松本, 1979を拡大解釈)と呼称する。最近、この凹地とその周辺地域の研究がすすみ、きわめて多くのボーリングデータ、放射年代、火山層序、地質構造の研究報告が出されている。ここではこれらの資料をもとに、「九重一別府地溝」の形成過程と火山活動史および形成機構を論ずる。

研究史

九州中部から北部にかけて、著しい重力負異常帯が分布することから、Kubotera, et al. (1969)が地溝状構造の存在を示唆してから多くの議論がおこった。まず首藤(1970)は大分から熊本へ続く第四紀の半地溝状堆積盆地を提案した。その後、Yamasaki(1974)の「阿蘇一別府陥没構造」、松本徃夫(1979)の「別府一鳥原地溝」内の「九重一別府地溝」、玉生(1985)の「別府一九重地溝」、鎌田(1985)の「VTD (Volcano-Tectonic Depression)」、茂野・阿部(1986)の「別府一小浜地溝帯」の提唱へと続いている。

*福岡県立大川高校
Okawa Senior High School, Fukuoka, 831.

この形成機構については、池田(1979)が80~50万年前頃に南北方向の引っ張り張力で形成したとの議論に始まり、Huzita(1980)は「長崎三角地帯」が引っ張り張力で形成したと論じた。他方、笹田(1984)は左横ずれの小倉一田川断層帯およびその南方延長部と、豊肥地域南東縁を限る ENE-WSW 方向の大分一熊本線がつくる L 字形の構造を考え、L 字形の外側が相対的に固定され、内側が北へ移動して半地溝状構造が形成したと考えた。玉生(1985)は、この地域の更新世沈降運動を大分一熊本線の右横ずれ運動とむすびつけて論じている。鎌田(1985)は、この地溝帯形成およびその周辺の火山活動を、フィリピン海プレートの沈み込み方向の変化とむすびつけている。松原ほか(1989)は、鮮新世後期~更新世初期の別府一島原地溝の形成過程を、N-S 方向の水平引っ張り応力場での、東西に伸びる地溝帯を中軸とする曲隆と、それに続くアンチセティックな基盤断層運動および被覆層のとう曲と火山運動によって形成したとしている。千田(1990)は、松山一伊万里線と右横ずれ断層の大分一熊本線の活動によって形成したと、論じている。一方、この地溝帯を沖縄トラフの北東延長部と位置づける考え(Eguchi and Ueda, 1983, 木村, 1983)もある。

しかしこれらは、「九重一別府地溝」内の多彩な構造、地層、火山岩類について、歴史的、総合的なまとめとしては不十分である。

「九重一別府地溝」形成に関わる主な断層

「九重一別府地溝」形成史を通じてきわめて重要な役割を演じている断層系は、北限を画している久留米一日出線と、南限の大分一熊本線である(第1図)。

1. 久留米一日出線

本断層は、従来松山一伊万里線の一部と考えられたが、後述のように本断層の東端が松山市につながらないので、この名称で呼ぶこととする。

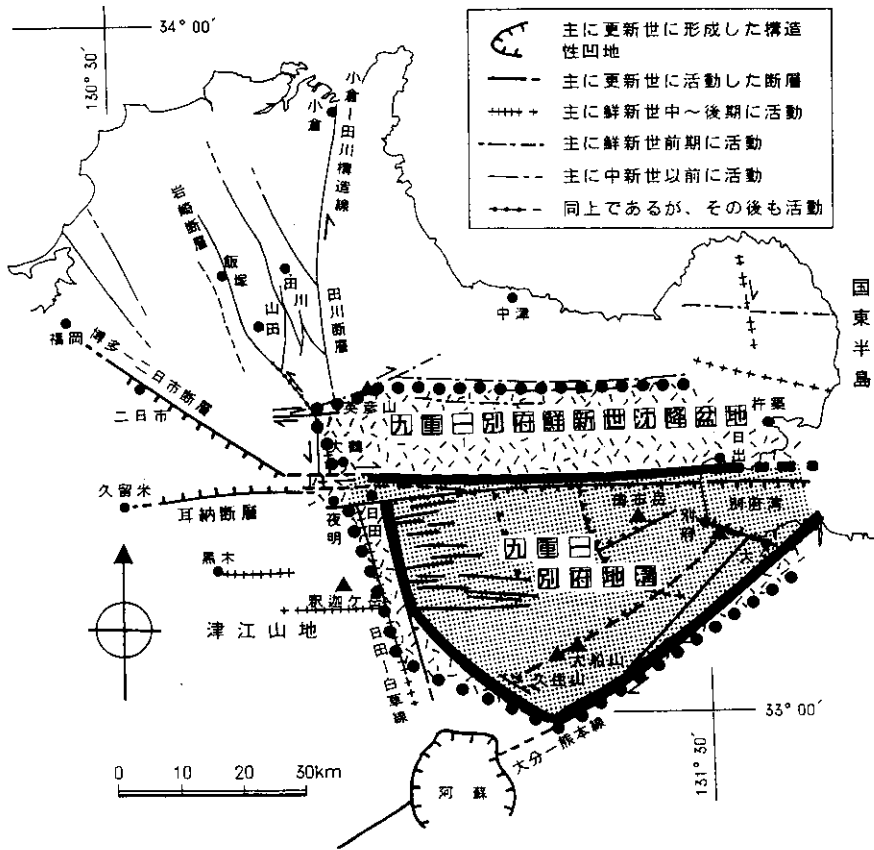
本断層の西部は耳納断層からなり、久留米ま

で追跡でき、中央部は一尺八寸山^{みちやうやま}、黒岳、日出、十文字原の各断層、東部は別府北断層からなり、この東方延長は別府湾の海底に地溝状構造を形成し、四国の佐田岬西方に達している。久留米一日出線は、これらの平行または一部雁行する多くの断層群からなる断層系を形成している。

福岡県杷木町から大分県日田市西部にかけて、この断層系の活動期、変位量、性格が明らかになった(木戸ほか, 1988)。そこでは南北幅約 4 km の地域に、平行する11本の東西走向の断層がみられる。これらの断層は、4.4Ma 前後に活動した大日ヶ岳火山岩類(英彦山団研グループ, 1987)を切っており、南部の 5 本の断層は、大日ヶ岳火山岩類の上位の夜明火山岩類(仮称, 4.6Ma の F. T. 放射年代を得ている)を、また最南から 2 本目の断層は 1.95Ma の火砕流堆積物を、さらに北から 7 と 8 本目の断層は、その東方延長部が 0.9~1.0Ma に堆積した耶馬溪火砕流堆積物を切っている。久留米一日出線の東方延長は、別府湾海底で縄文海進時に堆積した沖積層を切り、その上位の弥生海進以降に堆積した地層を切っていない(木村ほか, 1983)。また本断層系は、地震の震源分布からみると、現在活動を停止している。以上のことから、久留米一日出線の活動期間は 400~500 万年であると考えられる。このことは、耳納断層の活動によって形成したと考えられる北野平野に分布する、久留米層の下部が 4.0~4.5Ma (浦田, 1985)であることと調和的である。

11本の断層のうち北部の 5本からは、花崗岩と変成岩の断層接触面(南北走向でほぼ垂直)を変位基準として、総計で 2000m の右横ずれ走向隔離が測定された。残り 6本では明瞭な変位基準がないので正確ではないが、火山岩類の分布から 1000m をこえる右横ずれ走向隔離がみとめられた。従って 11本で約 3000m 以上の右横ずれ走向隔離となっている。以上のことと久留米一日出線の活動期間から、同線の右横ずれ変位速度は 1 mm / 年のオーダーと考えられる。

また、11本の断層のうち最南のものを除く南部の 4本と最北の 1本の計 5本からは、それぞ



第2図 「九重-別府鮮新世沈降盆地」と「九重-別府地溝」
 松本達郎(1951), 地質調査所(1979, 1985), 九州土木地質図編纂委員会(1986),
 木戸・英彦山研グループ(1987)をもとに作成

鮮新世 KB の沈降量は、その外側と内側の基盤の標高差から、更新世の陥没量を差し引いた量になる。それによると鮮新世 KB の沈降量は西部ほど大きく、東部は小さい。その最大沈降量は1000~1400mと推定される。

更新世の陥没運動

第2図の太い実線に囲まれる南北20~35km, 東西約60kmの地域が更新世に陥没をおこしている。この北限は久留米-日出線, 西限は日田へ北流する筑後川上流部に沿う断層, 南限は大分-熊本線となっている。この時期の陥没域を「九重-別府地溝」(以下, KBと略す)とよぶ。

この時期の層序や火山活動, 地質構造については多くの報告がなされている。それらを整理すると, 更新世には4回の大規模な陥没運動があったことが明らかになった(第1表, 第3図)。この4回の陥没運動に共通していることは, ①火砕流の流出, ②陥没に関わった断層群, ③陥没盆地に堆積した湖沼性堆積物, ④湖沼性堆積物を覆う火山岩類, がセットになっていることである。

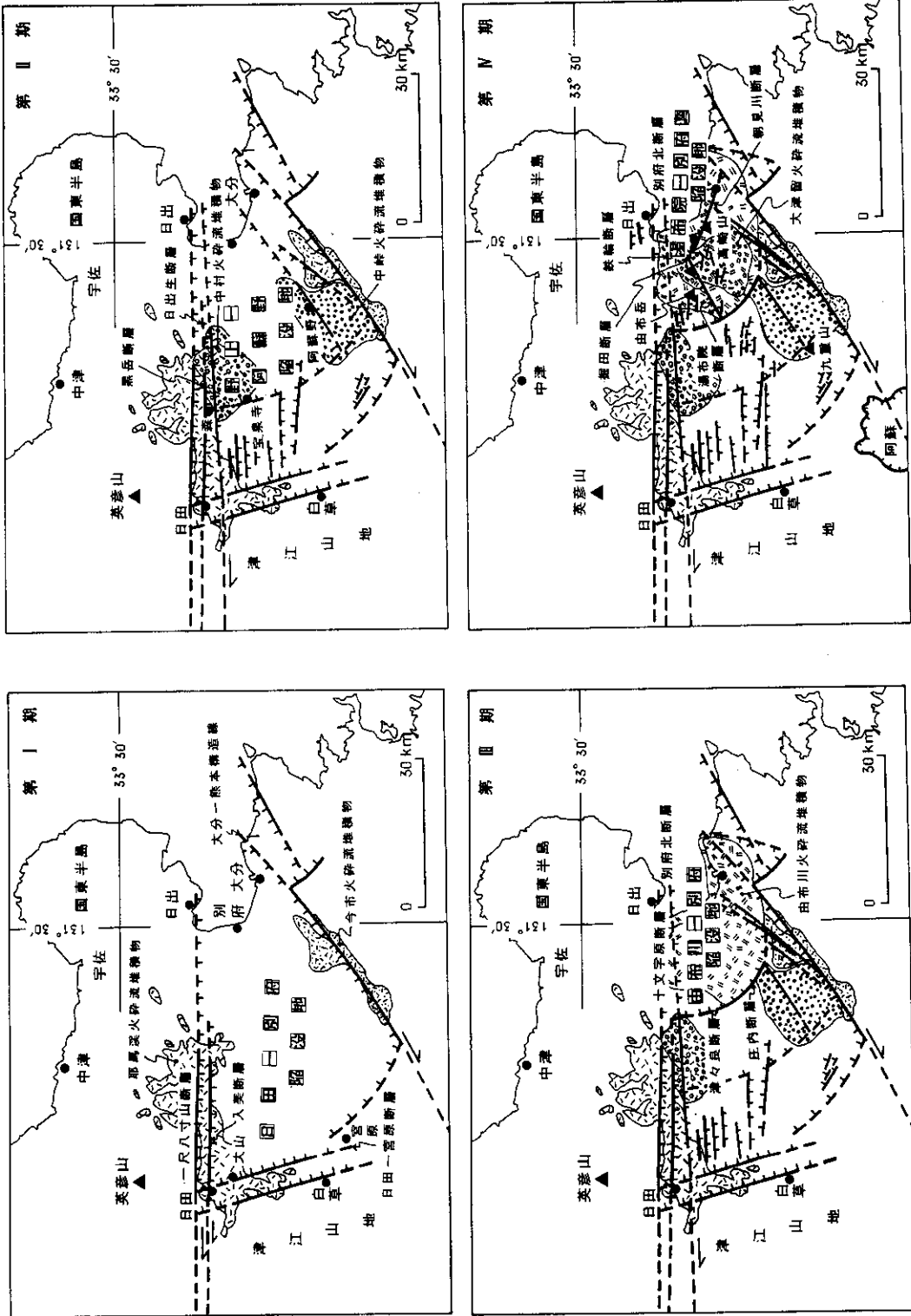
第I期 「日田-別府陥没地」の形成

北限は南落ちの一尺八寸山断層, 西端は東落ちの日田-宮原断層, 南端は大分-熊本線, 東端は別府湾におよぼ東西約60km, 南北最大幅

「九重一別府地溝」形成史と火山活動

第1表 「九重一別府地溝」の形成史

活動期 陥没地の名称 年代 (Ma)	規模 陥没地の面積・陥没 量・陥没部の体積	陥没に関わった断層	陥没に関わると思わ れる火砕流の噴出量 と活動期 (Ma)	陥没に伴って形成し た湖沼の堆積物とそ の上位の火山岩	その他	文献
第Ⅳ期 湯布院一別府 灣陥没地 0.4~現世 (?)	240 km ² 東西 20 km 南北 12 km 300~450 m 72 km ³	北端 { 南落ち重力断層⑤ 別府北断層① 鉄輪断層① } 南端 { 北落ち重力断層① 朝見川断層① 種田断層① } 南端 { 湯布院断層① }	大津留火砕流 0.2 km ² 以下 0.42(?) ^②	由布岳・鶴島岳のド ム。溶岩流③ 0.024 km ² 以下 別府湾海底の湖沼性 堆積物→最終氷期の農 食面は海拔288 m以 下にあった④	別府湾の海底面は西 方へ0.5°傾斜している (阿蘇, 九重火山群) 別府湾内の東西性重 力断層群は現在も活動 中である⑤ 北海から西方にかけ て、東西に伸びる地溝 を形成している⑥	① 夏住ほか, 1988 ② 森山ほか, 1986 ③ 小林, 1984 ④ 野芳, 1987 ⑤ 中田ほか, 1989 ⑥ 池田, 1979 ⑦ 松本・寺井, 1984 ⑧ 夏住・種田, 1987 ⑨ 九州活構造 研究会編, 1989
第Ⅲ期 由布川一別府 陥没地 0.5~0.4	210 km ² 350~450 m 84 km ³	北端 { 南落ち重力断層① 別府北断層① 十文字原断層② } 西端 { 東落ち重力断層⑤ 漢々良断層① 庄内断層① }	由布川火砕流①(羽田 火砕流)② 17 km ² 分布面積 85 km ² 平均層厚 200 m 0.41, 0.46 0.6③	小鹿山火山岩類① 2Px An 0.46② 小野屋層① 層厚 30 m 南へ緩傾斜している	現地形は南~南南東 へ約3°傾斜している ほぼ同方向同角で地 層が傾斜している	① 小野, 1963 ② 松本, 1983 ③ 松本, 1985 ④ 種田, 1985 ⑤ 岩内・森谷, 1987 ⑥ 森谷・岩内, 1985 ⑦ 玉生, 1985 ⑧ 松本, 1983 ⑨ MATSUMOTO, 1963 ⑩ 本論
第Ⅱ期 野上一阿蘇野 陥没地 0.6~0.5 (?)	440 km ² 200 m 88 km ³	北端 { 南落ち重力断層 日出生断層④ 黒岳断層 } 南端 { 北落ち重力断層 阿蘇野川原側 の断層④ }	中村火砕流 10 km ² 最大層厚 100 m 0.5 中峠火砕流① 3 km ² 0.7 >	花牟礼山火山岩類 0.65, 0.55① 鹿伏岳溶岩 0.36② 阿蘇野層 層厚 50~80 m 0.34③ 野上層 層厚 200 m④	坑井のテータ⑤から 野上層は南南西へ約 1.5°傾斜している 中央部から西方にか けて東西に伸びる地溝 を生じている	① 松本・西村 ・田島, 1977 須藤, 1985b 玉生・須谷, 1983 宇都・須藤, 1985 TAMANYU, 1981 ② 須藤, 1985b ③ 村井・金子, 1975 ④ 活断層研究 会, 1980 ⑤ 湯産省, 1984
第Ⅰ期 日田一別府 陥没地 1.0~0.9	1000~1100 km ² 400~600 m 500 km ³	北端 { 南落ち断層⑤ 一八八寸⑤ 入美断層 } 西端 { 東落ち重力断層① 日田一宮原断層① } 南端 { 北落ち断層 大分一熊本線 }	今市火砕流 40 km ² ⑤ (当初, 100 km ² ?) 0.8 耶馬溪火砕流 23 km ² ④ 50 km ² ① (当初, 100 km ² ?) 分布面積 350 km ² 0.3~1.7⑥	河内輝石安山岩 0.81① 0.7② 大山層 南へ10~16°傾斜 杖立層 0.77 宝泉寺層 層厚100 m以上	現地形は約2°北北西 へ傾斜している 川東灰岩は南へ傾 斜している③	



第3図 「九重一別府地溝」の形成史と火山活動

35km, 面積は1000～1100km²を占めている。陥没量は日田－宮原断層をはさんで両側の火山層序の比較から400～600m, また陥没部の体積は約500km³と推定される。この陥没盆地を「日田－別府陥没地」と呼ぶ。

一尺八寸山断層および日田－宮原断層沿いには、約0.9～1.0Maに噴出した耶馬溪火砕流堆積物が、一方、大分－熊本線沿いには、0.8Maに噴出した今市火砕流堆積物が広く分布している。両者の堆積物の量は現存するものでそれぞれ約50km³, 噴出当時はそれぞれ100km³をこえていたものと推定される。耶馬溪火砕流の噴出口は次の理由から、一尺八寸山断層と日田－宮原断層の北部またはその周辺の可能性が大きい。すなわち耶馬溪火砕流の分布は、一尺八寸山断層と日田－宮原断層の北部周辺であり、これらの断層付近の火砕流堆積物の層厚が最も厚い。またこの火砕流堆積物分布域では、基盤の安山岩類の地形は高まった部分が多く、鎌田(1986b)のいう猪牟田カルデラから流下したとの考えは認めがたい。同様のことが今市火砕流にもいえ、この噴出口は大分－熊本線またはそれに付随する断層と考えるのが妥当である。

耶馬溪火砕流堆積物と今市火砕流堆積物の放射年代をそのまま適用すると、まず「日田－別府陥没地」北端と西端とを画する断層が活動を開始し、この地域の北西部が陥没したと思われる。大山地域の耶馬溪火砕流堆積物の最下部数10mが水つきになっていることから、凹地形成後火砕流が溢流し、凹地およびその外側へ流出したと考えられる。次に、大分－熊本線上の断層から今市火砕流が流出し、相前後して大分－熊本線の北側が陥没し、「日田－別府陥没地」が形成されていった。この陥没地内に堆積した湖沼性堆積物(大山層, 川東凝灰岩, 杖立層)は、陥没地北西部に発達し、南～南東方向へ緩く傾斜している。このことは、北西部の陥没後に南部が陥没して「日田－別府陥没地」の形成が進行していったことを示している。

この湖沼性堆積物を覆う流紋岩, デイサイト, 安山岩の溶岩類の放射年代は、0.5～0.8Maを示している。この溶岩類の上面に当たる現在の

地表面は、全般的に北西へ(日田市の方向へ)約2°傾斜している。

第Ⅱ期 「野上－阿蘇野陥没地」の形成

北端は東西方向で南落ちの日出生断層, 黒岳断層, 南端は阿蘇野川沿いの断層が大分市の北の海岸まで続き、西端は豊後森から宝泉寺をとり九重の黒岩山にいたる断層にあたるが、新期溶岩に覆われて露出していない。東端は別府湾に至っている。東西36km, 南北27km, およそ440km²の陥没地で、その輪郭は重力異常図によく現れている(第1図)。陥没量は、地形の標高差およびボーリングデータ(玉生, 1985)から約200mである。この陥没地を代表的な湖成層の発達している地名をとって「野上－阿蘇野陥没地」とよぶ。

この陥没に伴って中村軽石流と中峠火砕流が流出している。中村火砕流の噴出口は、分布からみて「野上－阿蘇野陥没地」の北端の断層, 中峠火砕流のそれは同陥没地西端および南端の断層にあたると思われる。中村軽石流堆積物は0.5～0.7Maの生竜溶岩(鎌田, 1985)を覆っており、野上層に覆われている。ここでは火砕流噴出後、湖沼性堆積物が堆積している。多くの坑井データ(玉生, 1985)から、野上層は南南西へ約1.5°傾斜しているが、新期溶岩に覆われた現地地形面は緩く北傾斜している。阿蘇野地域では鹿倉安山岩を覆って阿蘇野層が重なり、同層は0.63～0.55Maの花牟礼山火山岩類に覆われている(長谷・岩内, 1985)。

「野上－阿蘇野陥没地」南西部からその周辺部にかけて、九重火山群が噴出しており、この山体の多くはこの陥没地の西端と南端の断層上に位置している。九重火山の活動開始は25万年前と考えられている(松本, 1983)。

第Ⅲ期 「由布川－別府陥没地」の形成

北端は東西方向の別府北断層, 十文字原断層, 日出生断層が、西端と南端は津々良断層と庄内断層が画している。北北西－南南東走向で東落ちの津々良断層は弧状に曲がりしだいに東西走向になり、東西走向で北落ちの庄内断層につな

がり、高崎山から南西方向にのびる断層に切られている(第3図)。東西25km、南西辺(弧)20km、南東辺22kmの逆三角形の形をした面積210km²の地域を「由布川-別府陥没地」とよぶ。陥没部には層厚200mをこす由布川火砕流(小野, 1963)堆積物が堆積している。この火砕流の上面が陥没地の外側より約150~250m低いので、「由布川-別府陥没地」は350~450m以上陥没している。

デイサイト~流紋岩質の由布川火砕流堆積物の噴出年代は0.41~0.60Maがえられている(森山ほか, 1986, 星住・鎌田, 1987)。由布川火砕流の噴出口は、由布岳、鶴見岳付近と考えられている(松本・寺井, 1984)が、別府北断層の可能性も十分考えられる。この火砕流堆積物の最下部10~20mは水中堆積で、基盤の礫を多量に含んでいる。由布川火砕流堆積物を湖沼性堆積物の小野屋層が覆い、さらに上位に0.46Maの小鹿山火山岩類(星住・鎌田, 1987)が重なっている。これらの地層は全体的に南~南南東方向へ3°傾斜している。この傾斜角は地表面のそれとほぼ一致している。

これらのことから「由布川-別府陥没地」の形成史は、別府北、十文字原、津々良の各断層内側(「由布川-別府陥没地」の北部)の小規模な陥没で始まり、由布川火砕流の流出と陥没部のさらなる沈降にともない湖沼が生じ、湖沼の消滅後、輝石安山岩が堆積したとまとめられる。その後も高崎山から南西へのびる断層や庄内断層の北側の沈降があり、沈降部全体が南~南南東方向へ傾斜している現在の地質構造が形成されたと考えられる。

第Ⅳ期 「湯布院-別府湾陥没地」の形成

この時期の陥没盆地は、湯布院盆地と別府湾の二地区に分けられる。両地区の北端は東西走向で南落ちの別府北断層と鉄輪断層によって画されている。これらの断層の東方延長は、別府湾海底で縄文海進時に形成した沖積層を切っている。

湯布院盆地は、西端を第Ⅲ期の津々良断層の北部が引き続いて画し、南端を北落ちの湯布院

断層が画している。この地域の陥没量はまわりとの標高差だけでも300mあり、これ以上が見積られる。また別府湾は、南西端を北落ちの堀田断層や朝見川断層が、南東端を大分-熊本線が画している。別府湾の陥没量は、地形の標高差だけで250~300mが見積られ、海底には湖沼性(~海成)堆積物が標高-150mまで確認されている(首藤・日高, 1971)ので、300~450mをこえている。この湯布院盆地と別府湾をあわせて「湯布院-別府湾陥没地」とよぶ。

大津留火砕流が別府の西側一帯に分布しているが、噴出量が少ないうえ、「湯布院-別府湾陥没地」内での層序の位置も定かでない。

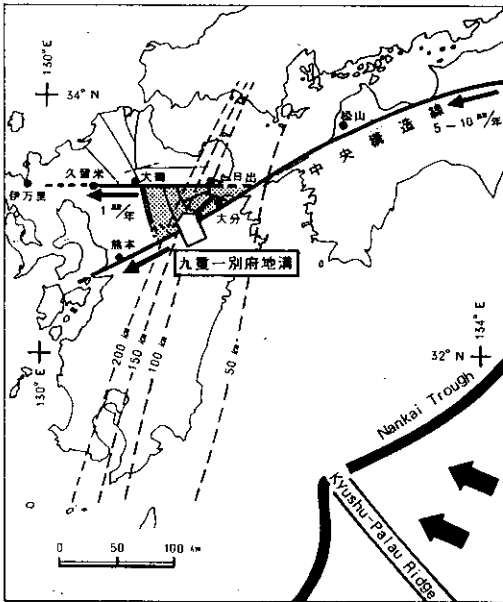
別府湾の海底は南西端(高崎山沖)が最も深く、北および東はしだいに浅くなっている。海底の湖沼性(~海成)堆積物も南へ緩く傾いている。別府湾の南部は、ウルム氷期直後にも断層運動があり、朝見川断層の延長部で北側が80~90m陥没したとされている(首藤・日高, 1971)。

「湯布院-別府湾陥没地」内部の湯布院盆地では由布岳、鶴見岳などのドーム群が、朝見川断層上には高崎山のドームが形成している。これらの火山体の形成開始は35000年前より古い時代にまでさかのぼると考えられている(小林, 1984)。

「湯布院-別府湾陥没地」とは関係ないが、この時期に阿蘇カルデラが、第Ⅰ期に陥没しないままであった「日田-九重陥没地」の南西端部分の大分-熊本線上に形成している。最近の地震の震源分布をみると(九州活構造研究会編, 1989, 46-52p)、この地域で現在最も活発に活動している断層は、大分-熊本線であるといえる。

KBの形成機構

KBの形成史を通じてきわめて重要な役割を演じている久留米-日出線と大分-熊本線は、ともに右横ずれ断層である。2本の横ずれ断層にはさまれた地域にKBの陥没盆地が形成している。またKBは更新世の4回の大規模な陥没運動によって形成した。この陥没運動では、時



第4図 「九重－別府地溝」の形成機構
破線は震源の等深度線を示す(九州活構造研究会, 1989, 図Ⅶ-8より作成)

代とともに陥没地域がしだいに東へ移動し、陥没部の面積が縮小している。またKBの東部は陥没が重複しているため積算陥没量は大きくなっている(第1図)。

この形成機構は、次のように考えられる。すなわち、九州や四国の南部がフィリピン海プレートの沈み込みによって、西北西方向へ押され、久留米－日出線と大分－熊本線が右横ずれをおこし、それぞれの南側ブロックが西方へ押しやられた(第4図)。このため久留米－日出線と大分－熊本線に囲まれた部分(第4図の網目部分)が南北張力場となり、陥没した。同様のことが繰り返されて、陥没部がしだいに東へ移動して現在みる姿となったと考えられる。

これらの特徴は、アメリカのDeath ValleyにおけるPull-apart basin (Burchfiel B. C. and Stewart J. H., 1966)の形態や形成機構にきわめて類似している。しかし、Pull-apart basinと大きく異なる点は、形成期間が短すぎることで、強いマグマ活動がみられることにある。

まとめ

本報告では、KBの形成史と火山活動史を組み立て、その中に九重火山、由布・鶴見火山、阿蘇カルデラ、別府湾などを位置づけた。

KBの形成史を通じてきわめて重要な役割を演じているのは、久留米－日出線と大分－熊本線および火成活動である。

KBは更新世の4回の大規模な陥没運動によって形成した。この陥没運動では時代とともに、陥没の中心がしだいに東へ移動し、陥没部の面積が縮小している。それぞれの陥没では、①火砕流流出、②陥没部での湖沼の形成、③その後の火山活動、がみられる。また、それぞれの陥没盆地が一期に形成したのではなく、まず陥没地北端の東西断層と西端の南北断層に囲まれる逆L字型の部分陥没し、次に南端の断層の北側が陥没して陥没盆地の輪郭が形成した。引き続き断続的な断層運動とマグマの流出で、陥没部がしだいに深化していったと考えられる。

KBの形態や形成史およびそれから帰納されるKBの形成機構は、Pull-apart basinのそれにきわめて類似している。

おわりに

この報文は、あくまでも「九重－別府地溝」形成史および形成機構の一つの仮説である。この報告では、多くの実証されなくてはならない問題を残したまま、推定や独断をおこなっており、また事実と推論とを混在させて記述している。この点お許し願います。

謝辞 この報文作成にあたり、元新潟大(現在、新潟女子短大)の鳥津光夫教授には粗稿の校閲をしていただいた。記してお礼申し上げる。

文献

Burchfiel, B. C. and Stewart, J. H., 1966 : "Pull-apart" origin of the central segment of

- Death Valley, California. Bull. Geol. Soc. Am., v.77, 439-442.
- 千田 昇, 1990:九州の活断層について. 日本応用地質学会九州支部会報, no.12, 43-50.
- Eguchi, T. and Ueda, S., 1983: Seismotectonics of the Okinawa Trough and Ryukyu Arc. Memoirs Geol. Soc., China, v. 5, 189-210.
- 長谷義隆・岩内明子, 1985:中・北部九州新生代の植生と古環境—その1 阿蘇野地域—. 地質雑, v.91, 753-770.
- 英彦山団研グループ, 1987:北部九州英彦山地域の火山活動と構造運動. 地団研専報, no.33, 87-106.
- 豊肥地熱地域地質図編集グループ, 1982:10万分の1豊肥地熱地域地質図説明書. 地質調査所.
- 星住英夫・鎌田浩毅, 1987:由布川火砕流の噴出年代. 火山学会講演予稿集, no. 2, 86.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988:5万分の1地質図幅「別府」.
- Huzita, K., 1980: Role of the Median Tectonic Line in the Quaternary Tectonics of the Japanese Islands. Mem. Geol. Soc. Japan, no. 18, 129-153.
- 池田安隆, 1979:大分県中部火山地域の活断層系. 地理評, v.52, 10-29.
- 岩内明子・長谷義隆, 1987:中・北部九州新生代の植生と古環境—その3 玖珠盆地南部(下部・中部更新統)—. 地質雑, v.93, 469-489.
- 岩内明子・長谷義隆, 1989:中・北部九州新生代の植生と古環境—その4 大山・杖立地域(下部更新統)—. 地質雑, v.95, 63-75.
- 鎌田浩毅, 1985:九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・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—火山構造性陥没地の形成開始年代—. 岩鉱, v.80, 262-271.
- 鎌田浩毅, 1986a: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性陥没地における例—. 月刊地球, v.8, 768-771.
- 鎌田浩毅, 1986b:埋積された耶馬溪火砕流の噴出源とその地下構造. 昭和59, 60年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書, 国土地熱資源評価技術に関する研究. 地質調査所, 143-173.
- 活断層研究会, 1980:日本の活断層—分布図と資料—. 東京大学出版会.
- 木戸道男・英彦山団研グループ, 1987:北中部九州, 英彦山・津江地域の中新世と鮮新世の構造運動および火山活動. 地団研専報, no.33, 107-126.
- 木戸道男・松村秀喜・澤田武美・英彦山団研グループ, 1988:英彦山周辺～津江地域にかけての主要な断層の活動期について. 日本地質学会西日本支部会報, no.89, 10.
- 木村政昭, 1983:沖繩トラフの陥没構造形成に関する考察. 地質学論集, no.22, 141-157.
- 木村政昭・由佐悠紀・森山善蔵・加藤知弘, 1983:別府湾で発見された中央地溝と瓜生島陥没に関する考察. 日本地質学会西日本支部第100回例会記念シンポジウム論文集, 101-108.
- 小林哲雄, 1984:由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. 地質学論集, no.24, 93-108.
- 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.
- Kubotera, A., Tajima, H., Sumitomo, N. and Doi, H., 1969: Gravity surveys in Aso and Kuju volcanic region, Kyushu district, Japan. Bull. Earthq. Res. Inst., v.47, 215-255.
- 九州活構造研究会, 1989:九州の活構造. 東京

- 大学出版会.
- 九州地方土木地質図編纂委員会, 1986: 20万分の1「九州地方土木地質図」および同説明書.
- 松原則昭・矢野孝雄・松本徭夫, 1989: 別府—島原地溝に北接する地域における西衾とう曲の形成過程. 地団研専報, no.36, 175-190.
- 松本幡郎・寺井那久, 1984: 大分県大分郡庄内町・挾間町地域の火山地質. 熊本大教養部紀要, 自然科学編, no.19, 55-71.
- 松本徭夫・西村 進・田島俊彦, 1976: 九州における新生代火山岩類の fission track 年代. 長崎大教養部紀要, 自然科学, no.17, 63-75.
- 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, no.16, 127-139.
- 松本徭夫, 1983: 九重火山群の火山地質学的研究. 山口大理学部地質学鉱物学教室, 91p.
- Matsumoto, T., 1963: Caldera volcanoes and pyroclastic flows of Kyushu. Bull. Volcanologique, v.26, 401-413.
- 松本達郎, 1951: 北九州・西中国の基盤地質構造概説. 九大理研報(地質), no. 3, 37-48.
- 森山善蔵・日高 稔・其田満男・津崎俊幸・津崎美和子, 1986: 由布川火砕流について. 大分大教育学部紀要, 15-24.
- 村井 勇・金子史朗, 1975: 大分県中・西部の構造地形と大分県中部地震. 地震研究所彙報, v.50, 329-342.
- 中田 高・前空英明・島崎邦彦・宮武 隆・千田 登・岡村 真, 1989: 近接活断層の累積変位の特徴—別府湾断層における検討—. 日本地理学会予稿集, no.35, 224-225.
- 野井英明, 1987: 大分市大野川河口付近の地下第四系の層序と花粉分析—特に異常に厚い沖積層の形成について—. 地団研専報, no.33, 161-169.
- 岡田篤正, 1970: 吉野川流域の中央構造線の断層変位地形と断層運動速度. 地理評, v.43, 1-21.
- 小野晃司, 1963: 5万分の1地質図幅「久住」および同説明書, 106p.
- 笹田政勝, 1984: 豊肥地域の基盤地質構造. 地熱, v.21, 1-11.
- 瀬野徹三・関口渉次・吉田明夫, 1988: フィリピン海プレートの運動の4 Maまでの復元—2 Ma頃に運動は変化したか—. 月刊地球, v.10, 646-654.
- 茂野 博・阿部喜久男, 1986: 別府—九重—阿蘇—熊本—雲仙地域の熱水系. 地調月報, v.37, 159-181.
- 首藤次男, 1970: 九州の下部第四系, とくにその造構的背景について. 第四紀研究, v. 9, 153-157.
- 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), no.11, 87-104.
- 須藤 茂, 1985a: 豊肥地熱地域の火山岩のK—Ar年代と古地磁気. 地調月報, v.36, 119-136.
- 須藤 茂, 1985b: 豊肥地熱地域の火山岩のK—Ar年代と古地磁気—その2—. 地調報告, no.264, 87-112.
- Tamanyu, S., 1981: Evaluation of potential for geothermal energy by means of fission track dating method at the Hohi geothermal area, Kyushu, Japan. Nucl. Track Detection, v.5, 215-222.
- 玉生志郎・糟谷正雄, 1983: 豊肥地熱地域のボーリング・コアのフィッション・トラック年代(その1). 地調月報, v.34, 455-469.
- 玉生志郎, 1985: 豊肥地熱地域の層序と地質構造—主に抗井データに基いて—. 地調報告, no.264, 115-142.
- 地質調査所, 1978: 200万分の1地質編集図18「日本活断層図」. および同説明書.
- 地質調査所, 1979: 50万分の1地質図「福岡」.

- 地質調査所, 1985: 50万分の1活構造図「福岡」.
通産省, 1984: 昭和58年度大規模深部地熱発電
所環境保全実証調査報告書. 豊肥地熱
地域地質構造及び火山熱源調査.
- 浦田英夫, 1985: 福岡県久留米—黒木地域新
第三系再論. 九大教養地研報, no.24,
13-30.
- 宇都浩三・須藤 茂, 1985: 豊肥地熱地域の火
山岩のK-Ar年代. 地調報告, no.264,
67-83.
- 渡辺公一郎・林 正雄・英彦山研グループ,
1986: 九州北部, 英彦山地域に分布す
る火山岩類のフィッション・トラック
年代. 地雑, v.92, 219-230.
- Yamasaki, T., 1974: Characteristic geotectonic
Environments of some geothermal
fields related with Quaternary volcanic
zones. Proc. of US-JAPAN Cooperative
Science Seminar on the Utilization of
Volcanic Energy, Hawaii. 44-50.