

九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題

松 本 徃 夫

Some Problems on Volcanic Activities and
Depression Structures in Kyushu, Japan

Yukio MATSUMOTO

Abstract Results of the recent study of the post-Miocene volcanic geology, distribution of pre-Miocene system, bouger anomalies, active faults and recent crustal deformation in Kyushu arrived at the following conclusions.

- 1) In the central Kyushu, there is conjecture to exist a graben structure with a general trend of ENE-WSW from the Beppu City to the Shimabara Peninsula in the post-Miocene age. This graben is named the Beppu-Shimabara graben by author in this paper. The scale of this graben is about 150 km in length and 20—30 km in width.
- 2) The Beppu-Shimabara graben is divided by the discontinuous points into three parts, as the Kujyu-Beppu, Aso-Kujyu and Shimabara-Kumamoto grabens.
- 3) In the Sobosan-Ōkueyama district are found the Setouchi volcanic activities as well as the lower-most green tuff activities in the early Miocene, with three calderas or caldera like depression structure. These are the Ōkueyama caldera of valles type, Sobosan semi-caldera and Katamukiyama caldera.
- 4) In the early Miocene green tuff regions in Kyushu are estimated that exist of some volcanic depression structure in a few areas, which are the Usa, Taio, Hokusatsu and Nansatsu districts.
- 5) The green tuff and Setouchi volcanic activities in the middle Miocene are attended with some volcanic depression structures, which are the Toyo caldera and the Shishiki, Wakamatsu-jima and Osuzuyama districts.
- 6) The depression structures indissolubly connected with the Bungo volcanic activities in the middle Pleistocene are the Kusu and Asono calderas.
- 7) The depression structures closely related with the Sanin volcanic series in the middle ~late Pleistocene, these are the Kujyu caldera, the Unzen graben and the Chijiwa caldera.
- 8) The Ryukyu volcanic zone, there are many gigantic calderas, as the Aso, Aira, Ata and Kikai calderas, and the Kirishima semi-caldera. In the Ata caldera has been acquainted with small calderas of the Ikedako and Yamakawa-wan.

ま え が き

九州における火山性陥没構造として、阿蘇カルデラは古くから世界的に著名である。阿蘇カルデラは長径25kmにおよぶ巨大なカルデラであることは周知の事実であるが、この阿蘇カルデラとほぼ同様な規模のカルデラとして、始良、阿多、鬼界の各カルデラが松本唯一によって

発見され、地形ならびに泥熔岩（熔結凝灰岩）についてくわしく論じられた（MATSUMOTO, T., 1943）。これらは何れも第四紀更新世の（中～）後期に形成されたものである。その後、九州内のカルデラについて、霧島（加久藤）、玖珠（森）などいくつかのカルデラが提唱され、（松本唯一・松本幡郎, 1953; MATSUMOTO, T., 1963ほか; 有田, 1957a, b), 火砕流堆積物とカルデラについても論じられた。

* 長崎大学教養部地学教室。

一方、九州におけるグリーンタフについては、筆者や宮久およびその他によって次第にあきらかにされてきた（宮久・松本，1969；松本，1973ほか；その他）。同時に新生代後半の火成岩に関しての年代測定のデータも集まり（松本ほか，1977），九州地域における後期新生代の火山活動史も，1963年に筆者がまとめた（松本，1963）頃に比して，かなり明らかになってきた（松本，1977）。また，後期新生代の火山岩（ないし火成岩）分布域の地質についても，それぞれの研究者によって各地域が詳細に調査され，祖母山火山岩域のように地質構造が明確にされたところもある（松本・宮久，1973；小野ほか，1977）。

本篇では，九州における後期新生代の火山活動と火山性陥没構造について試論をのべるが，あわせていくつかの問題点——とくに中部九州に推定される地溝性陥没についても言及する。

中部九州の地溝性陥没構造

1. 中部九州における重力異常

中部九州における最近の重力異常についての研究は久保寺ほかによって公表された（久保寺・三浪，1976）。この重力異常図を第1図に示す。この図から次のことが読みとれる。

1) 別府湾から島原半島にかけて，九州を横断するように東北東—西南西方向に，低重力異常の目玉が並び，九重，阿蘇，雲仙の各火山および熊本はこの低重力異常域と重なる。

2) 久留米，佐賀，嬉野^{ヌシノ}，大村湾にかけて，1)と同方向の東北東—西南西方向に低重力異常域の目玉が並列する。

3) 臼杵，竹田，熊本県矢部，同県甲佐にかけて，ほぼ東北東—西南西方向に高重力異常域の尾根が連続する。

4) 3)と連なるかのように，三角半島南方から，天草上島，天草下島南東縁にかけて，東北東—西南西から北東—南西方向の高重力異常域の尾根が存在する。

5) 天草下島西縁に北北東—南南西に連なる高重力異常域の尾根がみられる。

6) 福岡県黒木，大牟田，諫早，東長崎，野母半島にかけて，ほぼ北東—南西方向に高重力異常域の目玉と尾根が並ぶ。

7) 西彼杵半島に，北北西—南南東方向の高重力異常域の尾根が認められる。また，この重力異常域は，6)の高重力異常域の野母半島から分岐するかのようにも見える。

8) 甘木，鳥栖，佐賀北方にかけて，ほぼ東西方向の高重力異常域の尾根が並ぶ。さらにこの高重力異常域は東方に延長されるかのごとく見うけられる。

9) 伊万里および松浦のそれぞれに，北北東—南南西方向の高重力異常域の小さい尾根が認められる。

2. 中部九州における先中新統

第2図には，前節でのべた重力異常の各項目をわかりやすく示してある。また同図には，中部九州を横断するかのように，低重力異常中心域が並ぶ別府—九重—阿蘇—熊本—島原—天草灘周辺の基盤岩（先中新統）分布域を図示してある。

中部九州における先中新統の分布は，おおむね次のように要約される。

1) 国東半島および宇佐付近の領家花崗岩。

2) 佐賀関半島から朝地，三重，竹田にかけての三波川変成岩，領家花崗岩，朝地変成岩および大野川層群。

3) 熊本県北部から福岡県，大分県にかけての筑肥山地に分布する三郡変成岩，変斑岩体，木ノ葉の変成岩および白亜紀花崗岩。

4) 長崎県野母半島の長崎変成岩および古第三紀層。

5) 熊本市南方の，木山の変成岩および御船層群。

6) 三角半島から天草にかけての結晶片岩，片麻岩，白亜系（御所浦層群と姫ノ浦層群）および古第三系（上島層群と坂瀬川層群）。

以上のように先中新世の地質系統は，別府—九重—阿蘇—熊本—島原半島にかけてはほとんど発達しない。もっとも，極めてせまい分布として，南島原の一部や熊本市東方に，古第三系や白亜系が知られている。また，阿蘇カルデラ内においては，ボーリングによって比較的浅所（坑口深度154 m）に花崗岩が確認されている（種子田，1963）。しかしながら大局的には，先中新統の分布しない地域が，別府湾から島原半島に連続する低重力異常域の目玉の並ぶ地域と一致して認められるのである。

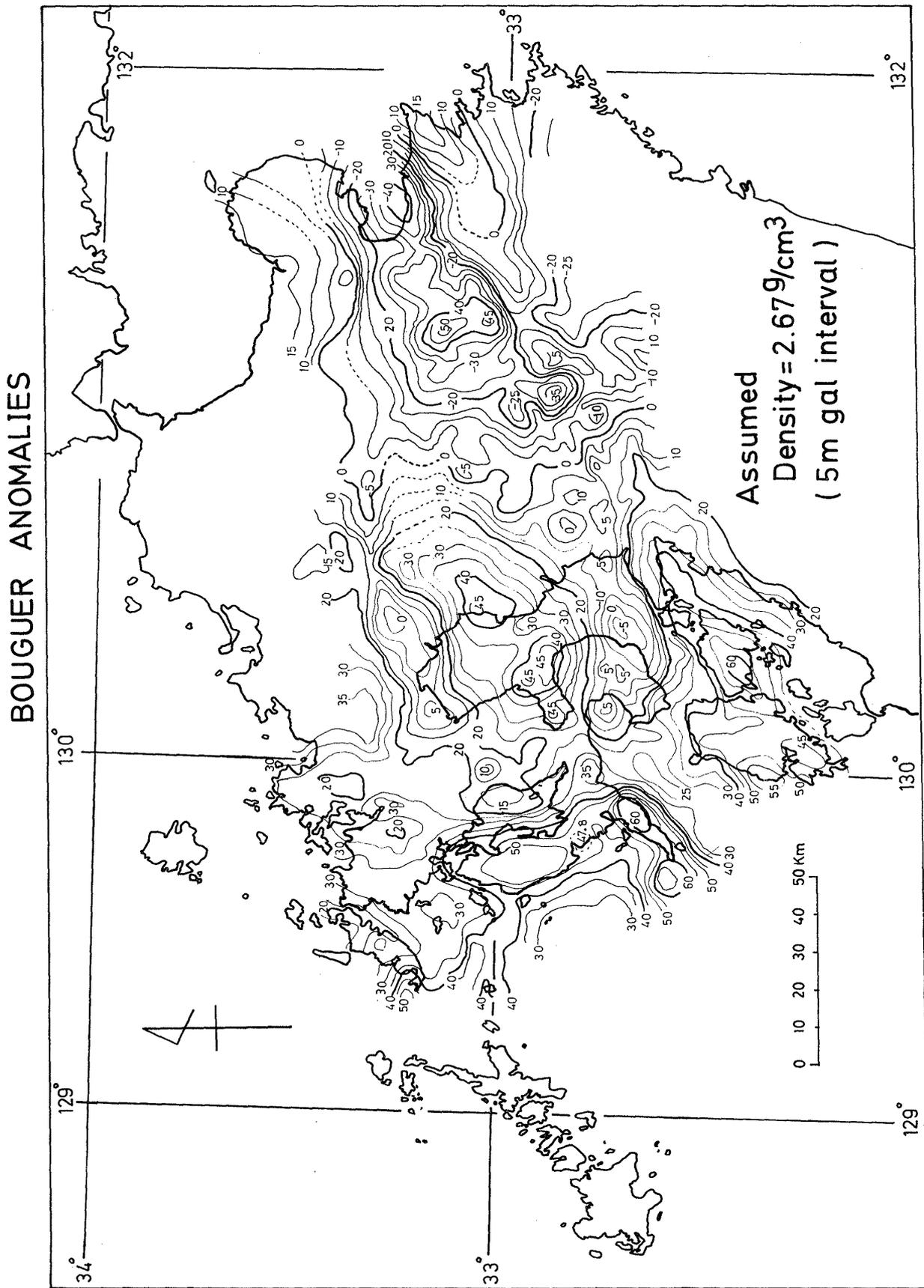
3. 活断層と地殻変形

第2図には，臼杵—八代構造線，佛像構造線，ならびに中部九州の活断層（岡田，1973；松田ほか，1976）を図示してある。この活断層について次の諸点が指摘される。

1) 別府西方から九重北方域にかけて，東西方向の短かい断層が数多くみられる。

2) 九重北西から阿蘇北西の，大分県玖珠町から熊本県菊池町北方にかけて，東西方向の短かい活断層が，雁行状に配列する。

3) 臼杵—八代構造線に沿って，その南側に，これと



第1図 中部九州重力異常図 (久保寺ら, 1976による).

ほぼ平行する東北東—西南西の短い活断層が多数認められ、臼杵—八代線の再動を思わせる。

4) 日奈久断層 (松本・勘米良, 1964) の右ずれ断層は、さらに北東に延長され、阿蘇火山の西斜面におよぶ (岡田, 1973)。また、日奈久断層の東南側において、これと平行する北東—南西方向の短い推定活断層が見られる。

5) 雲仙火山地域においては、千々石断層をはじめ、東西方向の活断層が知られており、雲仙地溝をなしている (千藤ほか, 1967; 太田, 1972, 1973)。

上記のように活断層が密集する場所は、地下での地塊運動が活発であることを予想させる。

地表において上記のような活断層が認められるが、一方海底地形においてはどうかであろうか。茂木 (1977) によれば、島原半島と天草下島との間の早崎瀬戸および天草灘については次のように論じている。すなわち、早崎瀬戸の海域においては、この中央部をほぼ東西に刻む深い溝状の地形がきわめて特異的であって、海釜の部類に入るであろうが、通常の楕円形海釜とは異質である。溝同志が網の目のようにつながり合っており、これを川筋と見るのは不可能であって、西北西—東南東および東西の2方向の断層の組み合わせの結果であろう、と論じている。この西北西—東南東方向は、島原半島南部における南有馬北方の断層 (大塚, 1970) や、飛子断層 (太田, 1973) の方向と平行する。また東西方向は、雲仙火山の千々石断層や仁田峠断層の方向と平行するものである。

天草灘の海底地形について、茂木 (1977) は次のような見解を述べている。すなわち、海底の谷地形として早崎瀬戸の入口から長崎海脚の南側に沿って大陸斜面まで下刻している谷が1条見られる。これを海底釜とすると、早崎海峡以西の谷地形とつながらない。また、この谷が陸棚外縁面で終わらずに、さらにのびて大陸斜面を刻む海底谷まで続くのは異常である、としている。そして、水路部の調査によってここに断層が認められており (永野ら, 1976)、この断層に沿って谷が延長されたと論じている。天草灘に見られるこの谷地形の方向は、ほぼ北北東—南南西方向である。

以上の海底地形論から、早崎海峡における東西方向と西北西—東南東の2方向の断層、および天草灘における北北東—南南西の断層の存在が確認ないしは推定される。

中部九州の現世における地殻変形については鈴木らによってしばしば論じられている。大分から久留米間の一等水準点の測量結果から、鈴木・小玉 (1976) は次のよ

うに述べている。1893—1950年の結果は、大分から2560点 (大分県玖珠町南東方) まで次第に隆起し、ここから2537点 (日田西方) までは直線的に下降しているとみられ、ここから西は久留米まであまり大きな変位は見られない。この時期の地殻は上にとがった山型の変形をしていて、由布・鶴見火山群から九重火山群に続く火山列は、この山型変形の頂部に一致していることがはっきりしている。つぎの1950年から1969—1970年の地殻の変形は、久留米から大分に単調に下降していて、前期のような大きな変形は見られない。しかし、下降の最大値は前述の火山列に一致しており、2554点 (玖珠町) より東方ではやや大きな下降を示し、2540点 (日田) より西方では、若干の隆起を示している。これらのことから、玖珠町付近を境にして、その東側と西側は、現世の地質構造の単元が異なることを暗示させる。

一方、九州における等隆起線図 (鈴木, 1975) では、九州地方の隆起地塊の分布や規模がよくとれる。この図でもっとも顕著な隆起地塊は、九州中央部の九州山地に対応する地塊である。九州山地の隆起地塊は、その中央部で変形勾配が小さく、その周辺部で変形勾配が大きく、一つの地質構造の単元を構成している (鈴木, 1975)。この九州山地の隆起地塊の単元の北縁は、臼杵から阿蘇火山南限をかすめ、熊本市南方から八代にいたる。これはまた、臼杵北方から東北東—西南西に続く、高重力異常の尾根と一致し、また隆起地塊の西縁は日奈久断層と一致する。

4. 推定地溝性陥没構造

前述したように、低重力異常中心域の目玉が連続的に分布する中部九州は、同時に先中新統の基盤地質系統が分布しない地域でもあって、別府から、由布・鶴見火山群、九重火山群、阿蘇火山、熊本、島原半島にかけて、大規模な陥没構造が推定されるのである。さらに、高重力異常域の尾根の連続域、等重力異常線の間隔が密になった急傾斜部分の連続域、先中新統および後中新統の分布域、活断層、海底地形、現世における地殻変形および後期新生代の火山地質 (ボーリングの資料も含めて) などを考慮に入れて、大担に総括すると、次のような地溝性陥没構造が推論されるのである。これらは、第2図および第3図にあわせ示してある。

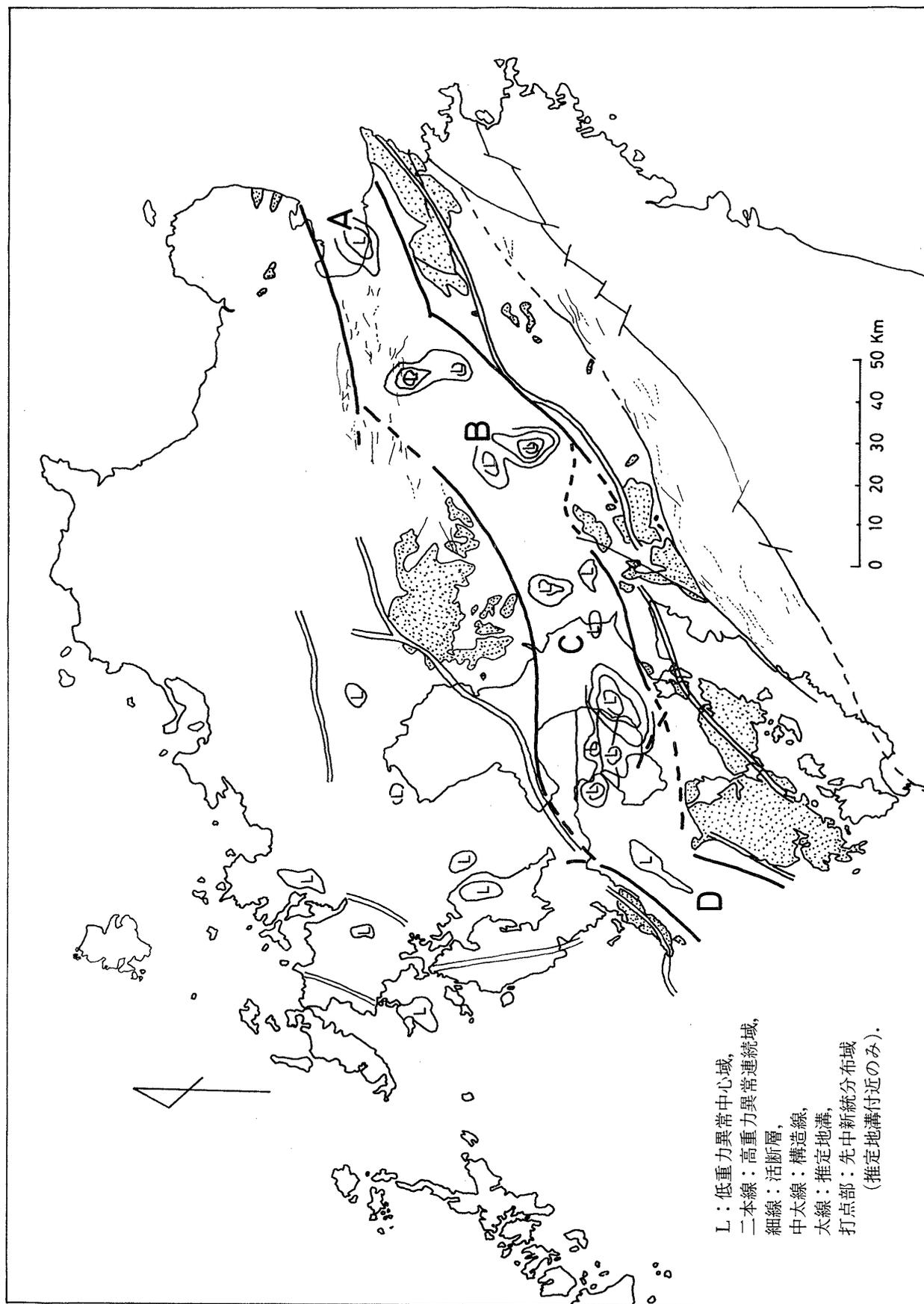
別府—島原地溝 (図中の記号A—B—C)

九重—別府地溝 (A)

阿蘇—九重地溝 (B)

島原—熊本地溝 (C)

天草灘地溝 (D)



第2図 中部九州地質構造図.

L: 低重力異常中心域,
 二本線: 高重力異常連続域,
 細線: 活断層,
 中太線: 構造線,
 太線: 推定地溝,
 打点部: 先中新統分布域
 (推定地溝付近のみ).

上記の陥没構造の一部、もしくはさらに内側の小陥没構造に対して、すでに松本唯一(1970)によって別府地溝、あるいは山崎(1974)によって阿蘇一別府陥没構造とよばれた。山崎は、この大規模な阿蘇一別府陥没構造に対して、九重火山群、別府、由布院を含む由布・鶴見火山群を包括する東西100km以上、幅数10kmの陥没構造であるとした。しかし、くわしく述べてきたように、これは大局的には島原半島から熊本、阿蘇火山、九重火山群、由布・鶴見火山群、別府、別府湾と連なり、東北東一西南西に約150km、幅30~20kmの地溝として推定されるのである。中部九州を横断するこの推定地溝構造に対して、別府一島原地溝と新称する。

別府一島原地溝をさらに細かく検討すると、第2図に示したように森付近、九重東方、熊本市東方の日奈久断層北東延長線付近において不連続点が認められる。この不連続点を境にして、それぞれを、別府地溝、阿蘇一九重地溝、島原一熊本地溝と新称する。もともと、不連続に見受けられるのも曲折しながら連続するのか、あるいは、グリーンタフの陥没盆地について藤田(1972)が説いたように、いくつかの陥没盆地が連なって、大局的に別府一島原地溝のように見受けられるのかもしれない。これらについても今後検討する必要がある。

西南日本における第1級の中央構造線の九州における位置については、諸説があって意見の一致を見ない。これには大きく2つの見解があって、臼杵一八代線、あるいは大分一熊本線の考え方がある。この大分一熊本構造線は、前述の別府一島原地溝の南縁と大局的に一致するであろう。

この別府一島原地溝は、直接火山性地溝とは表現できないであろうが、火山活動と密接な関係を有しており、この地溝内において活発な火山活動が行なわれていることは周知の事実である。

また、この別府一島原地溝は、中新世の第1瀬戸内期直前に形成され始めたと推定され、その後、隆起と陥没を繰り返して現在の構造になっているものと考えられる。すなわち、この別府一島原地溝は古瀬戸内海の古地理とも密接な関係を有しており、かつて阿蘇水道と呼ばれたものとも一致する。

さらに、別府一島原地溝内においては、その後のこれより小規模な区域における火山性地溝や、火山性陥没が認められるが、これについては後述する。

天草灘地溝は、北北東一南南西方向を示し、その北北東延長は別府一島原地溝に連続するかのように見受けられるが、あきらかでない。また、この天草灘地溝の西縁

は、大村湾にぬけて西彼杵半島の西海岸部とほぼ平行するようにも見受けられるがはっきりしない。今後検討されるべき問題であるが、直接火山性陥没と関係しないので、ここではこれ以上言及しない。

九州における後期新生代火山活動

九州における後期新生代の火山(〜火成)活動について、筆者や宮久によってしばしば論じられてきた(松本徧夫, 1963, 1973; 松本・松井, 1971; 宮久, 1960, 1972 a, 1972 b; 宮久・松本, 1969)。また、最近になってフィッシュン・トラックの年代測定のデータもかなり集まり(松本ほか, 1977)、筆者は他の年代測定のデータもあわせて、火山活動を論じた(松本徧夫, 1977)。さらに、西南日本の第三系火山層序についても、共同研究者とともに公表した(藤田ほか, 1978)。

したがって、ここでは筆者が担当した九州〜瀬戸内地方の火山層序表(第1表)を示すにとどめ、くわしい説明は省略する。第1表のなかで、火山性陥没構造が認められる時代は、中新世初期(先台島期)、中新世初期(台島期)、中新世中期、更新世中期、更新世後期、および現世である。

九州における火山性陥没

九州における火山性陥没構造、火山活動と密接な関係をもつ地溝性陥没構造および火山性の地溝性陥没構造は、未確認なものを含めて列記すれば次のとおりであり、これを第3図に示す。

<地溝性陥没構造>

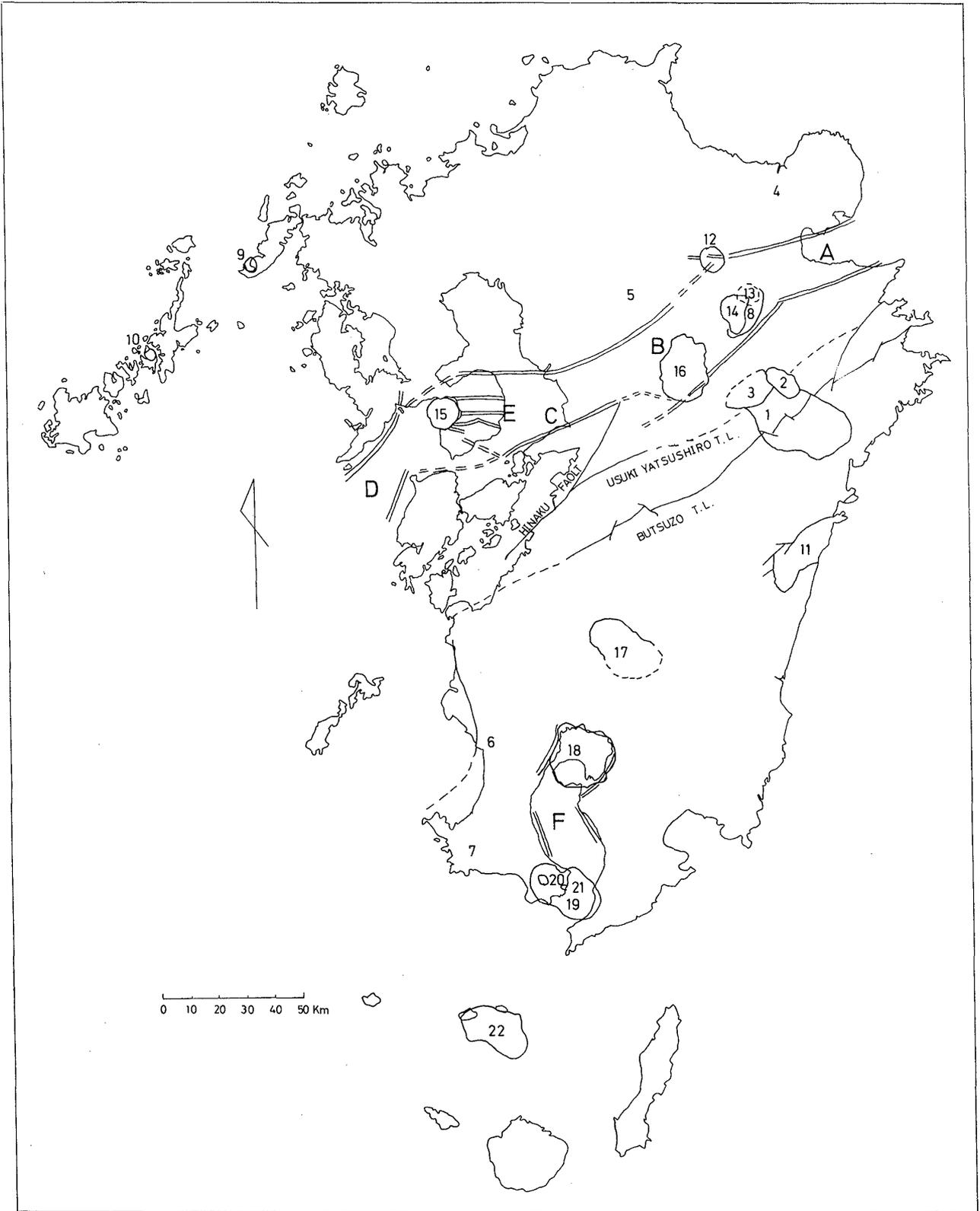
陥没地域名	時代
A. 九重一別府地溝	中新世〜更新世
B. 阿蘇一九重地溝	中新世〜更新世
C. 島原一熊本地溝	中新世〜更新世
D. (天草灘地溝)	中新世〜更新世
E. 雲仙地溝	更新世
F. 鹿児島湾地溝	更新世

<カルデラ性陥没構造>

陥没地域名	時代
1. 大崩山カルデラ?	中新世前期(先台島期)
2. 傾山カルデラ	中新世前期(先台島期)
3. 祖母山カルデラ?	中新世前期(先台島期)
4. 宇佐	中新世前期(台島期)
5. 鯛生(地溝性?)	中新世前期(台島期)
6. 北薩	中新世前期(台島期)
7. 南薩	中新世前期(台島期)

第1表 九州～瀬戸内地域の後期新生代火山活動対比表 (松本, 1977).

時 代		BLOW's Zone	10 ⁶ Y	五 島	杓岐・対馬	西北九州	中部九州	南部九州	伊予・讃岐	近畿・設楽	備考	
第 四 紀	更新世	後中期	N23	大陸系 B	郷浦層群 B	大陸系 B	山陰系 HA	琉球系 PA				
		前期	N22			豊肥PA 久日耶滝大分層群	豊肥PA 久日耶滝大分層群	肥薩PA 永国出水層群	寒霞溪PA 寒高霞浜溪 G	大阪層群	古琵琶湖層群	
	鮮新世		N21	大陸系 B	芭八湯ノ 辺幅本累層群	大陸系 B2.1 加唐島 T2.55 腰岳BiR 2.76 松島TA 3.1				下大阪層群		
			N20	大陸系 B		大陸系 B						
新 第 三 紀	後 中 新 世		N19									
			N18	矢倉岳層		東長崎BiHA 5.7~5.8 山崎山TA 6.3						
			N17									
			N16	五島新期QP		松浦玄武岩類 7.3 山信TA 8.5						
			N15	有川層		物部(初瀬)累層 R(ℓ+ pfd) Aℓ 7.04 B(ℓ+ tb) 10.6						
			N14									
	中 新 世		N13									
			N12	五島旧期QP		岐 對馬Gr 12.0						
			N11									
			N10	五 島		久喜累層 A(ℓ+tb) R(ℓ+ pfd) A(ℓ+tb) B(ℓ+tb) R pfd 杓岐QP 15.0 A tb (R tb)	野島層群 SA B 肥前粗粒玄武岩類					
			N9									
			N8	五 島		若松累層 A(ℓ+ pld) V cg B	佐世保層群					
前 中 新 世		N7										
		N6										
		N5										
		N4										
		N3										
		N2										
第 三 紀	中 新 世		N1									
			N2									
			N3									
			N4									
			N5									
			N6									
	前 中 新 世		N7									
			N8									
			N9									
			N10									
			N11									
			N12									
前 中 新 世		N13										
		N14										
		N15										
		N16										
		N17										
		N18										
前 中 新 世		N19										
		N20										
		N21										
		N22										
		N23										
		N24										



第3図 九州における火山性陥没分布図.

- | | |
|-------------|----------|
| 8. 豊カルデラ? | 中新世中期 |
| 9. 平戸島志々岐 | 中新世中期 |
| 10. 五島列島若松島 | 中新世中期 |
| 11. 尾鈴山 | 中新世中期 |
| 12. 玖珠カルデラ | 更新世中期 |
| 13. 阿蘇野カルデラ | 更新世中期 |
| 14. 九重カルデラ | 更新世中期 |
| 15. 千々石カルデラ | 更新世後期 |
| 16. 阿蘇カルデラ | 更新世後期 |
| 17. 霧島カルデラ | 更新世中期? |
| 18. 姶良カルデラ | 更新世後期 |
| 19. 阿多カルデラ | 更新世後期 |
| 20. 池田湖カルデラ | 更新世後期～現世 |
| 21. 山川港カルデラ | 更新世後期～現世 |
| 22. 鬼界カルデラ | 更新世後期 |

A, B, C, Dの各地溝については既にのべた。雲仙地溝および鹿児島湾地溝については後述することとして、時代順に火山性陥没構造について説明ならびに問題点を指摘する。

1. 中新世前期 (先台島期)

大崩山リングダイクは、小野 (1974) によってバイエス型カルデラの可能性がのべられており、環状岩脈に囲まれた内側の全域全体が大きなカルデラである可能性が指摘されている。カルデラの規模は長径 (北西-南東) 45km, 短径 (北東-南西) 22kmとなり、最大級のカルデラとなる。大崩山リングダイクの年代19m.y., 大崩山花崗岩のそれは20m.y.~21m.y. であり (MILLER et al., 1972; 松本ほか, 1977), 中新世前期を示している。

傾山カルデラは筆者らによって提唱された (松本ほか, 1973; 小野ほか, 1977)。これは祖母山火山岩体にみられるもので、火砕流堆積物 (熔結凝灰岩) を多量に含む前期火山岩類噴出後陥没したもので、その後、後期火山岩類の活動となる。この傾山カルデラは長径 (北西-南東) 12km, 短径 (北東-南西) 6km, ボーリングによって確認された落差は850mを越し、1000mのオーダーの落ちこみである。ここでは、熔結凝灰岩の分布がカルデラの断層によって確実に切られていることから、隆起-火山活動-陥没-火山活動-陥没再動-深成活動のパターンが認められる。

祖母山域についてみれば、祖母山南側の弧状断層である尾平断層によって、祖母山火山岩類を構成する後期火山岩類のV期まで切られている。この弧状断層の内側 (北側)、すなわち火山体側が落ちこんだカルデラ状の火山

性陥没である。この弧状断層の活動時期は祖母山火山岩類後期火山活動後~新时期酸性貫入岩類活動前に限定される。しかしながら、祖母山火山岩類前期活動の直後~同後期活動直前に何らかの構造的ギャップとして、断層もしくは撓曲線を生じていた可能性も考えられる。この弧状断層の落差はボーリングで確認された結果、約1000mであり、傾山カルデラと同じく垂直変移がきわめて大きい。その祖母山火山岩体の陥没の大きさは、長径 (北東-南西) ほぼ17km, 短径 (北西-南東) ほぼ11kmである。また、この尾平弧状断層は、かつて臼杵-八代線そのものと見られたほどにそれらの構造的位置が一致している。これは、基盤地質の既存構造である先中新世の臼杵-八代線に規制された祖母山火山岩体の落ちこみと、中新世初期の臼杵-八代線の再活動とが一致して表現されたと見るべきであろう。

祖母山火山岩類は大崩山花崗岩類によって接触変質を受けていることから、この活動は大崩山花崗岩貫入前であり、中新世初期のうちでも先台島期であろう。これらの火山~深成活動は、グリーンタフ活動の過程のなかで、筆者は、萌芽期の活動としてとらえている (松本, 1977)。同時に中新世のいわゆる瀬戸内火山系列にも属する活動である。

2. 中新世前期 (台島期)

宇佐地域は九州におけるグリーンタフ発達地の代表的地域の1つである (宮久・松本, 1969; 松本, 1973, 1977)。ここでは、台島階基底部に礫岩層の発達がみとめられ、また南西~南側は断層で基盤と接している可能性が強い。藤田 (1973ほか) が説くように、グリーンタフ活動初期の陥没運動という観点からの、この地域の再検討が強く望まれる。

鯛生地域も、宇佐地域と同様に九州のグリーンタフ発達地の代表的地域の1つである。この地域は、吉村ら (1969), 宮久 (1972), 木戸 (1975, および未発表資料) の報告と筆者の未発表資料がある。この地域に発達する鯛生層群は、基底礫岩である石場礫岩層から始まっている。礫種は基盤岩の各種変成岩を主とし、まれに火山岩をとまなう。礫は亜角礫~円礫であり、大きさは数cm~20cm, 最大80cmに達する。基質は結晶片岩に由来する砂と粘土からなる。この石場礫岩層は、大塚山と猿駝山の中間付近を通るN20°E~N30°Eの地溝性断層によって東側が落ち、それによって形成された凹地に堆積したものと考えられ、一部に崖錐性堆積物も含んでいる。あきらかに陥没構造が認められるが、その形態ははっきりしない。

北薩地域も九州におけるグリーンタフ発達地の代表的地域の1つであり、多くの金銀鉱床が胚胎している地域である。ここでは、グリーンタフ基底部の地質が明瞭でないが、下部グリーンタフ層にはプロピライトが発達して、多くの火山碎屑岩層が介在する。荒川鉱山では海棲化石が発見されている (FUKUYAMA, 1954)。九州でグリーンタフ活動初期のグリーンタフから海棲化石が発見されたのは、この荒川鉱山坑内のみである。堆積盆地の形成が撓曲によるのか、あるいはいくつかのブロック化した陥没によるのか明らかではないが、何らかの陥没が推定されるところである。

南薩地域は、これもまた九州におけるグリーンタフ発達地の代表的地域の1つであり、多くの金銀鉱床が開発された。この地域には河野ら (1969) によって南薩層群と呼ばれたグリーンタフの一連の地層が発達する。その基底部には礫岩と凝灰質泥岩の互層が発達し、これは枕崎西方において四万十帯の地層を直接不整合関係で被覆している。ここでの不整合面は北東に 20° ~ 30° で傾斜しており、付近の鉱山坑内図およびボーリングのデータと共に比較・検討すると、南薩地域は全般的に、撓曲的な陥没構造の存在が推定される。

以上、宇佐、鯛生、北薩、南薩の各地域について述べたが、これらの活動はすべてグリーンタフ発生期にかかわるものであって、その時代は、中新世初期 (台島期) の活動と考えている (松本, 1977)。

3. 中新世中期

豊カルデラの名称は、中新世の大野熔結凝灰岩およびその他を含めた (鏝ヶ岳熔岩、三宅山流紋岩質熔結凝灰岩など)、大分県大野郡、直入郡に分布する火砕流堆積物の噴出に関係あるものとして、仮想したカルデラに対して付されたものである (MATSUMOTO, T., 1963)。しかし、これは確証があるわけではない。重力異常図 (第1図) その他から考えれば、現在は大きく別府一島原地溝が推定され、その中に含まれてしまったために、カルデラ構造を明らかにするのが困難なのかもしれない。

平戸島南部の志々岐付近の地質については、筆者が平戸層中の安山岩質熔結凝灰岩を報告 (松本, 1966) した後、辻ら (藤野ほか, 1973; 今増ほか, 1973) の報告および未発表資料がある。ここには志々岐湾を中心とした火山性陥没が推定されており、その規模は直径2~3kmである。

五島列島若松島については、手島・山本 (1973) の注目すべき報告がある。それによると若松層群をおおう神部層 (中通島の有川層基底礫岩に対比される) は、時に

径10数mの巨礫を含む礫岩層で、また径5mを越える礫が含まれるのもまれではなく、巨視的に見ると下位の岩石に接する所では巨礫が多い。礫種は若松層群 (五島層群に対比される) に由来するものを主とし、泥岩の礫には、1~2mの歪曲したレンズ状に挟まれているものもある。この神部層の生成機構として、単なる角礫岩の礫とは考えにくく、水底地上りの産物であって、いわゆる崩壊層 (rubble bed) 形成にともなう含角礫砂岩層 (pebbly sandstone) であろうと論じている。近年、グリーンタフ活動において陥没に伴う崖錐性堆積物が各地に発見されており、今一度崖錐性堆積物の可能性を吟味し、陥没問題を再検討することが望まれる。中通島においても、神部層に対比される有川層の基底礫岩が、石英斑岩をおおって直線的に分布しており、すでに形成された急崖麓に堆積した礫岩であることを示唆させる。

尾鈴山酸性岩分布地域は、地質調査所50万分の1地質図「鹿児島」 (1953) では、その外縁の西側半分はすべて断層で示されており、西側の四万十帯に対して、東側の火山 (~火成) 岩体側が落ちたように表現されている。最近の研究によれば、この西側に推定された断層はなく、不整合線であるとのことである*。しかしながら、ここでは1000mを越す厚い火砕流堆積物が分布していることは確実で、このような厚層の火砕流堆積物の堆積には何らかの噴出機構や構造が考究されねばならない。

以上、豊、平戸島、若松島、尾鈴山についてのべたが、これらの地域の火山岩類の活動は、グリーンタフ変動の発展期前期のものと考えている (松本, 1977)。この中で年代が測定されているものは、大野熔結凝灰岩類の15.5~14m.y. (柴田・小野, 1974)、および尾鈴山酸性岩の15~13m.y. (SHIBATA & NOZAWA, 1967; 松本ほか, 1977) であり、何れも中新世中期の年代を示している。

4. 更新世中期以降

玖珠カルデラは、最初に有田 (1957a) によって森カルデラとして提唱された。さらに、松本唯一によって、耶馬溪熔結凝灰岩の噴出口として森盆地が指適された。しかも、噴出口が4つあって同時に蜂ノ巣のごとく活動を展開して、それらが合体して1つの玖珠カルデラが形成されたものと論じた (MATSUMOTO, T., 1963)。玖珠カルデラは、玖珠盆地そのものであって、そ

* 本論文を投稿してから、中田 (1978) が尾鈴山酸性岩について公表した。それによれば、噴出活動後の陥没を示すような断層は認められず、主岩体は基盤を不整合で覆っていることを報告している。

の規模は長径 (EW) 9 km, 短径 (NS) 7 kmである。この玖珠カルデラは、九重山北西に位置しており、別府地溝と阿蘇—九重地溝の北縁の不連続点付近である。地形的に盆地状を呈しているが、重力異常図では低重力異常の目玉が出ていない。耶馬溪熔結凝灰岩の年代は、0.40 m.y. であって (松本ほか, 1977), 中期更新世を示し、筆者の提唱した豊後火山活動に属する (松本, 1977)。

阿蘇野カルデラは、庄内熔結凝灰岩の噴出に係るものとして、松本唯一によって提唱された (MATSUMOTO, T., 1963)。同時に、小野 (1963) によっても、多角形の火山性陥没構造として公表された。庄内熔結凝灰岩は、いわゆる万年山熔岩と密接な関係を有するものとされている。この年代は、0.50~0.42 m.y. とされており (KANEOKA and SUZUKI, 1970), 耶馬溪熔結凝灰岩と同じく筆者の豊後火山活動に属する (松本, 1977)。一方、松本唯一によれば、由布川軽石流も阿蘇野カルデラから噴出したものとしているが、もしそうであるならば、その時代は更新世前期になる可能性もある。この阿蘇野カルデラは、重力異常図 (第1図) において、九重火山付近に見られる低重力異常域の目玉の直ぐ東側であって、この中心域とは一致しない。阿蘇野カルデラの規模は、長径 (EW) 10 km, 短径 (NS) 7 km程度である。

九重火山は山陰系火山系列に属する。九重におけるカルデラないし陥没構造は、地形的にはあきらかでない。また、巨視的にみれば阿蘇—九重地溝の中におさまってしまう。九重カルデラは、火砕流堆積物の存在から松本唯一によって提唱され (MATSUMOTO, T., 1963), その後久保寺らは、重力異常の研究から (第1図), 九重火山にも阿蘇カルデラと同様な低重力異常型カルデラが存在することを述べた (久保寺ら, 1969)。九重火山では、地熱発電の関係で大岳および八丁原には多くのボーリングのデータがある。ボーリング資料にもとづく筆者らの研究によれば、あきらかな陥没構造が結論される (YAMASAKI et al., 1970; 松本徭夫ら, 1973; ほか)。しかしながら、その陥没構造およびその形態はあきらかでない。九重火山の活動は更新世中期から現世にまたがっており、陥没構造はその活動の初期、すなわち更新世中期に形成されたものであろう。

雲仙火山は九重火山と同じく、山陰系火山系列に属する。本火山の雲仙地溝 (SENDO et al., 1967), および千々石カルデラ (太田, 1973) については、それぞれの研究者によって論じられている。それらの研究によれば雲仙火山および千々石カルデラは更新世中期以降 (~

現世) の火山性陥没である。これら両者の火山性陥没構造は、いずれも前述の別府—島原地溝の中におさまっている。重力異常図 (第1図) を見ると、雲仙火山の中心部、千々石湾および島原半島東部の島原湾に低重力異常域の中心部がそれぞれ認められる。雲仙地溝は、南落ちの千々石断層を北縁とし、北落ちの布津断層および金浜断層を南縁とし、最大巾10 kmの地溝で、最大落差 400 m におよぶ。島原湾にみられる低重力異常中心域の目玉は、この地溝の東延長を直接表現しているのではあるまいか。千々石カルデラの規模は、海岸線の円形地形から直径ほぼ10 kmの大きさであり、これについては太田 (1973) によって論じられた。また重力異常図 (第1図) では、低重力異常域の目玉がこれと一致して、カルデラの存在を肯定させる。しかし、千々石カルデラからの火山噴出物はしられていない。また、カルデラ直上に火山岩体も存在しない。したがって、ふつうの火山性陥没とは異なり、千々石カルデラの存在を認めたとしても、その形成過程を考察しなければならない。これについては、次のような考え方が可能である。

1) 雲仙火山を構成する噴出岩が、千々石カルデラ直下付近のマグマ溜りからより東方に多量に噴出して現在の雲仙火山を形成した。しかる後に、陥没して千々石カルデラを形成した。

2) 千々石カルデラの直径はほぼ10 kmであり、雲仙地溝の巾とほぼ同じである。この付近の低重力異常域の目玉は、千々石湾、雲仙火山中心域、島原湾の3つある。これらの中心域のそれぞれから、あるいはほとんど東西方向に連続した場所からマグマを噴出し、島原半島中央部を中心とした現在の雲仙火山を形成した。次いでそれぞれの低重力異常域の3ヶ所が陥没し、それに引きずりこまれて雲仙地溝が形成された。

3) 雲仙地溝の南縁を示す断層は金浜断層と布津断層である。金浜断層は島原半島西海岸の小浜断層南縁付近から雲仙温泉に向かう北西落ちの断層で、小浜を中心とした弧状断層である。また、布津断層は、島原半島東海岸の島原湾の低重力異常中心域の南側縁から雲仙中心部に向かう北東落ちの断層で、島原を中心とした弧状断層である。マグマを噴出したあと、金浜断層と千々石断層に囲まれた低重力異常中心域と、布津断層と千々石断層に囲まれた島原湾の低重力異常中心域が、それぞれ別個にカルデラ状もしくは地溝状に陥没した。しかる後、金浜断層と千々石断層の内側が、二重に陥没して千々石カルデラを形成した。

4) 上記のある部分の組み合わせ

これらのうちいずれであるのか、あるいはさらに他の形成過程があるのか検討されねばならない。

琉球系火山系列に属する阿蘇、始良、阿多、鬼界の各カルデラ、および鹿児島湾地溝についてはすでにくわしく報告されている (MATSUMOTO, T., 1947ほか)。また、霧島 (加久藤) カルデラおよび阿多カルデラ内の池田湖と山川港の小カルデラについても、それぞれの報告がある (MATSUMOTO, T., 1963, ほか)。カルデラの性質などについては、これらの論文に報告されているので、ここではふれない。これらの火山活動はすべて数万年前～それより新しい火山性カルデラとされていたが、最近の阿蘇熔結凝灰岩の年代測定によると、さらに古い時代 (35万～26万年前) にさかのぼる可能性がある (岡口, 1977)。ここで阿蘇カルデラの内部構部の問題について言及しておきたい。松本幡郎ら (1969) は、一ノ宮町のカルデラ内のボーリング・コアについて報告した。それによると坑口深度320～482mまでの酸性火砕流堆積物は九重火山起源の火砕流堆積物であると結論した。

しかし、筆者の調査によれば、九重火山の火砕流堆積物の分布の南限は、阿蘇カルデラ縁の北方約6km地点である。したがって、このボーリング・コアで得られた火砕流堆積物は九重火山起源のものではない。筆者は、時代的にみて日田層 (更新世前期) または珍珠層群 (中新世中期～後期) に相当する火砕流堆積物であると予想している。これらのことをふまえて、カルデラの構造を再検討してあきらかにせねばならない。

む す び

本篇では、九州における火山性陥没について火山活動とともに述べた。九州にはカルデラとして代表的な阿蘇火山が存在することもあって、第四紀後半のカルデラについては、今までにかなり論じられてきた。ここでは、中新世以降の火山性陥没を中心に述べた。

一方、火山活動と密接な関係をもつと考えられ、中部九州を横断してその存在が推定される別府一島原地溝についてくわしく述べた。さらに雲仙火山にみられる雲仙地溝と千々石カルデラの形成過程についても言及した。

本研究をまとめるにあたっては、愛媛大学・宮久三千年教授に御数示いただいた。ここに同氏の友情に感謝する。また本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費を使用した。記して当局に感謝する。

文 献

- 有田忠雄, 1957a: 加久藤カルデラおよび森カルデラの発見と salic front の提唱 (要旨). 火山, ser. 2, 1, 70.
- , 1970b: 加久藤カルデラの提唱 (要旨). 地質雑, 63, 44.
- 藤野敏雄ほか, 1973: 長崎県平戸島南部に発見せる放射状岩脈について (要旨). 岩鉱, 68, 87.
- 藤田 崇・松本徧夫・島津光夫・引原海清, 1978: 西南日本およびフォッサ・マグナ地域の新第三系火山層序. 日本の新生代地質, 池辺展生教授記念論文集, 121-133.
- 藤田至則, 1972: 日本列島における新生代の変動. 科学, 42, 212-220.
- , 1973: 日本列島の成立. 257p. 築地書館, 東京.
- FUKUYAMA, K., 1954: Geology and ore deposit of the Arakawa mine, Kagoshima Prefecture. *Kumamoto Jour. Sci.*, ser. B, 1, 19-81.
- 今増俊明ほか, 1973: 長崎県平戸島南部の火山地質について (要旨). 岩鉱, 68, 87.
- KANEOKA, I. and SUZUKI, M., 1970: K-Ar and fission track age of some obsidians from Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 76, 309-313.
- 河野義礼ほか, 1969: 金鉱山の基礎的地質調査報告書 (南薩地域). 金属鉱物探鉱促進事業団, 1-18.
- 木戸道男, 1975: 九州中北部, 星野一矢部-前津江-中津江地域のグリーンタフ変動. 日本地質学会第82年学術大会講演要旨集, 229.
- 久保寺章・三波俊夫, 1976: 自然災害研究基礎資料としての中部九州地区の精密重力異常図の作成. 自然災害資料解析, no. 3.
- 松田時彦・岡田篤正・藤田和夫, 1976: 日本の活断層分布図およびカタログ. 地質学論集, no. 12, 185-198.
- 松本幡郎・藤本芳男, 1969: 阿蘇カルデラ内の注目すべきボーリング結果について. 火山, ser. 2, 14, 1-7.
- MATSUMOTO Tadaichi, 1943: The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, 19, special no. 1-57.
- , 1943: Caldera volcanoes and pyroclastic flows of Kyushu. *Bull. Volcanologique*, 26, 401-413.
- 松本唯一・松本幡郎, 1953: 環霧島擬カルデラの地質予報 (要旨). 地質雑, 59, 331.
- 松本達郎・勘米良亀齡, 1962: 5万分の1地質図幅「日奈久」および説明書. 地調, 1-147.
- 松本徧夫, 1963: 北中部九州における後期新生代の火山活動. 九大生産研報告, no. 34, 1-10.
- , 1966: 西日本の日本海域における (後期) 新生代の火成活動史. 日本海地域の地学的諸問題, 地質学会関連4学会, 113-121.
- ・松井和典, 1971: 九州西方の新生代火成活動. 地質学会関連5学会シンポジウム資料集, 11-19.
- ・宮久三千年, 1973: 九州祖母山火山岩体にみ

- られるカルデラ形式の陥没構造. 地質雑, **79**, 99-111.
- 松本徂夫, 1973: 北・中部九州におけるグリーンタフ活動. 地質学論集, no. 9, 183-193.
- ・坂田輝行・松尾孝一・林 正雄・山崎達雄, 1973: 大分県九重火山北麓の火山地質. 九大生産研報告, no. 57, 1-15.
- , 1977: 九州におけるグリーンタフ変動と島弧変動の火山活動. 地団研専報, no. 20, 257-264.
- ・西村 進・田島俊彦, 1977: 九州における新生代火成岩類の fission track 年代. 長崎大学教養部紀要, 自然科学, **17**, 63-75.
- 宮久三千年, 1960: 九州の新生代鉍床生成期試論. 九州鉍山学会誌, **28**, 127-140.
- ・松本徂夫, 1969: 九州地方のプロピライトおよびグリーンタフの諸問題. グリーンタフに関する諸問題, 日本地質学会討論資料集, 249-256.
- , 1972a: 九州東北部のいわゆる瀬戸内系火山岩の分布. 愛媛の地学, 堀越和衛先生還暦記念号, 74-80.
- , 1972b: 大分県の地質. 大分県, 1-140.
- MILLER, J. A., SHIBATA, K. and KAWACHI, Y., 1962: Potassium-Argon ages of granitic rocks from the outer zone of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **13**, 712-714.
- 茂木昭夫, 1977: 日本近海海底地形誌. 東京大学出版会, p. 1-90.
- 永野真雄ほか, 1976: 九州西海沖の海底地質. 海上保安庁水路部海洋研究報告, **11**, 1-38.
- 中田節也, 1978: 尾鈴山酸性岩の地質. 地質雑, **84**, 243-256.
- 岡田篤正, 1977: 中央構造線の第四紀断層運動について. 中央構造線, 東海大学出版会, 49-85.
- 岡口雅子, 1977: 阿蘇火砕流堆積物のフィッション・トラック年代 (要旨). 火山, ser. 2, **22**, 286.
- 大塚裕之, 1970: 北西部九州有明海南部地域の更新-最新統の層序学的, 堆積学的研究. 鹿児島大学理学部紀要, no. 3, 35-65.
- 小野晃司, 1963: 5万分の1地質図幅「久住」および同説明書, 地調, 1-106.
- 小野晃司, 1974: 陥没カルデラについて. 地団研専報, no. 18, 55-61.
- ・松本徂夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和, 1977: 竹田地域の地質. 地域地質研究報告, 5万分の1図幅, 地調, 1-145.
- 太田一也, 1972: 雲仙火山にみられる温泉と地質構造および地震との関係. 地熱, **9**, 76-81.
- , 1973: 島原半島における温泉の地質学的研究. 九大理島原火山温泉研究所報告, no. 8, 1-33.
- SENDO, T., MATSUMOTO, H. and IMAMURA, R., 1967: Geology and petrography of Unzen volcano. *Kumamoto Jour. Sci., ser. B, sec. 1, Geology*, **7**, 31-89.
- SHIBATA, K. and NOZAWA, T., 1967: K-Ar ages of granitic rocks from the outer zone of southwest Japan. *Geochem. Jour.*, **1**, 131-138.
- 柴田 賢・小野晃司, 1974: 九州中部, 大野火山岩類の K-Ar 年代. 地調月報, **25**, 163-166.
- 鈴木尉元, 1975: 日本の地震. 築地書館, 1-157.
- ・小玉喜三郎, 1976: 西日本の地殻変形と地震活動場との関係を示すいくつかの例. 地質学論集, no. 12, 109-116.
- 種子田定勝, 1963: 阿蘇カルデラに関する一知見 (要旨). 火山, ser. 2, **8**, 46.
- 手島昌徳・山本博達, 1973: 五島列島若松島の地質, 特に酸性火成岩類について. 福岡教育大紀要, no. 22, 213-228.
- 地質調査所, 1953: 5万分の1地質図「鹿児島」
- YAMASAKI, T., MATSUMOTO, Y. and HAYASHI, M., 1970: The geology and hydro-thermal alterations of Otake geothermal Area, Kujyu volcano group, Kyushu, Japan. *Geothermics special ISSUE 2*, **2**, 197-207.
- 吉村豊文・山崎達雄・桃井 齊ほか, 1969: 金鉍山の基礎的地質調査報告書 (鯛生地域). 金属鉍物探鉍促進事業団, 1-39.