古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察

村 上 允 英\*

# はじめに

先年筆者は古第三紀火山陥没体が、山陰西部における 多くのグリーンタフ湾入部の最奥部に分布することを推 定し、その地質学的意義を述べた(村上、1969). とこ ろが、その後金属鉱物探鉱促進事業団による広域調査が この地域一帯において行なわれ、調査の一部として空中 磁気探査が実施された.その結果の概要は広域調査報告 書(通産省、1970)および平沢(1971)の論文に示され ているとおりで、上記陥没体の確認にきわめて有力な資 料が得られた.筆者もこの問題に関する見解を予報的に は発表(村上、1970)したが、論議の詳細は未公表のま ま残されている.この論文では上記の磁気探査資料と地 質学的資料とを基にして、もっとも調査の進んでいる田 万川陥没体の形成機構に関する現在までの考察の結果を 発表することとする.

### I. 田万川陥没体の地質

村上・長谷(1967)・村上(1969)に述べられている ように、田万川陥没体は NE~SW 方向に長軸を有する 長径14km,短径7kmの隋円状の輪廓を有している.周 囲の基盤岩類は、古生層および後期中生代火山岩層\*\*よ りなり、これらと陥没体との境には巾数10m~100数10 mの角礫岩類が連続分布している.

角礫岩類は径 1~10cm 大の亜角礫~角礫の不規則集 合体で、時に径1mにおよぶ巨礫を伴うことがある.礫 の構成岩はほとんど後述の第 I 期火山岩類(安山岩類)お よび基盤岩類よりなるが、岩体の内側では安山岩類の量 を増し、外側では基盤岩類の量を増す傾向にある.マト リックスは上記角礫構成岩の細片よりなり、軽石などの 本質物質はまったく認められない.全体として塊状の外 観を有し、淘汰・流動などの形跡も存在しない.このよ うな点から、筆者は角礫岩類を陥没に伴う断層破砕作用 の生成物と考えているが、陥没時に生成された崖錐状堆 積物,あるいは陥没構造形成後の貫入性火山角礫岩とす る考えもまったくは否定できない.角礫岩類と基盤岩類 との接触面は,観察されるほとんどの場所において垂 直,あるいは外側に急傾斜(80~85°)している.

陥没体の構成岩類は火山岩類と深成岩類とに大別され る.

### 1. 火山岩類

村上(1969)に示されているように I — IVの4時期に 細分される.

Ⅰ期火山岩類は大部分塊状の外観を有する安山岩質溶 岩よりなり、一部に流理構造を示すもの、また、西南端 部では自破砕状構造を呈するものを伴う. Ⅱ期の火山岩 類にくらべ一般に新鮮で、毛氈状~ハリ基流晶質組織の 石基中に斜長石 (An30~68)、普通輝石 (2Vz=38~53°、 7=1.713~1.717)、ときに角閃石の斑晶が点在する. 角 閃石は輝石を交代しており、緑閃石質のものと考えられ る. 顕著ではないが、方解石・緑泥石・緑れん石などの 変質鉱物を生じていることがあり、これらの鉱物の細脉 を伴うこともある.また、梅ノ木付近に分布するものは 弱い珪化作用をうけている.

地質図に示すとおり、 I 期火山岩類の分布は陥没体中 央部より南西側のみで北東側には認められない.分布中 もっとも特徴のあるのは南西部で,ここでは内側にむけ て急傾斜する安山岩類が,角礫岩類とⅢ期火山岩類とに 挾まれて,半弧状の露頭を示している.なお,この期の 安山岩類はⅡ期およびⅢ期火山岩類中の岩片として,ま た陥没体周辺の角礫岩類中の礫として多く含まれる.層 厚は推定300m以上に達する.

Ⅱ期火山岩類は火山岩中もっとも広域にわたり分布している.構成岩類はほとんど灰緑色~緑色の凝灰角礫岩で,径数 cm~10数cm の安山岩(I期火山岩類)片を豊富に含むが,基盤岩岩片は比較的少量である.岩片の量は時として60~70%にも達する.緑色の変質軽石質本質物質を多量に含み,ときにその平行配列による弱い溶結構造の認められることがある.マトリックスは微細な岩片および本質物質片の集合体で,淘汰はほとんど行なわれていない.このような性状よりⅡ期火山岩類は大部分乾陸堆積の火砕流噴出物と推定されるが,一部に水中堆積と考えられる成層した凝灰岩の薄層をはさむことがある.

<sup>\*</sup> 山口大学教養部地学教室

<sup>\*\*\*</sup> 後期中生代火山岩層は村上・長谷(1968)による阿武層群福賀累層 に属する酸性火砕堆積物で、一方古生層は砂岩・粘板岩互層で、 陥没体とは東部のみにおいて接する.このほか、第四紀の玄武岩 類が陥没体内および周辺部に点在し、また新第三紀~洪積世の貫 入と推定される輝緑岩脉が、陥没体内および周辺地域において無 数に認められる。

村上允英



1: Quaternary. 2: Quaternary basaltic rocks. 3: Neogene to Quaternary diabase dikes. 4: Granites. 5: Diorites and granodiorites. 6: Volcanic rocks in stage IV. 7: Volcanic rocks in stage II. 8: Volcanic rocks in stage II. 9: Volcanic rocks in stage I. 10: Basement rocks.

# 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察

No.	1	2	3	4	5.	6	7	8
Stage	I		П			III	IV	
Rock type	Andesit	ic lava	Dacitic tuff				Rhyodacitic tuff	Andesitic dike
SiO2	58.30	54.01	64.73	63.11	68.34	66.78	72.72	68.01
$\mathrm{TiO}_{2}$	0. 93	0.84	0.89	0. 68	0.60	0.13	0.08	0.67
$Al_2O_3$	16.75	18.31	16.29	15.25	15.41	15.04	13.54	15.30
$Fe_2O_3$	1.90	3.69	3. 68	2.28	0.85	0.99	0.79	3.00
FeO	4.90	2.81	1.15	2.40	2.45	2.39	1.35	0.24
MnO	0.21	0.09	0.12	0.17	0.14	0. 09	0.05	0. 10
MgO	2.19	4.28	0.95	2.01	1.04	1.68	0.47	0.59
CaO	6.72	7.07	2.21	3. 93	1.57	4.21	2.20	2.23
$Na_2O$	4.14	4.29	5.72	4. 58	5.98	3. 83	3, 86	5. 22
K <sub>2</sub> O	1.36	1.59	1.75	1.97	1.66	1.91	2. 52	1.85
$P_2O_5$	0.26	0.25	0.34	0.13	0.12	0.12	0.06	0.18
$H_2O(+)$	1.39	2.02	1.42	2.69	1.27	2.88	1.72	1.73
$H_2O(-)$	0. 68	0.29	0.05	0. 27	0.17	0.04	0.04	0.20
Т.	99.73	99. 54	99.30	99.47	99.60	100.09	99.40	99. 32

Table 1. Chemical compositions of voclanic rocks

Analyst: N. Murakami

No.	1	2	3	4
Rock type	Gabbro	Quartz diorite	Granodiorite	Granite
Numbers of analysis	2	4	7	12
SiO2	50.79	58.36	65.39	73. 45
$TiO_2$	0.69	0.75	0.51	0.20
$A1_2O_3$	18.06	16.20	15.35	13.42
$Fe_2O_3$	2.13	2.47	1.44	1.13
FeO	6.17	4.08	3.10	0. 81
MnO	0.16	0.12	0.12	0.04
MgO	6. 45	4.03	1.79	0.42
CaO	9.90	6. 56	4.14	1.61
Na <sub>2</sub> O	3.06	4.04	4.26	4.43
K <sub>2</sub> O	0. 53	1.31	2.12	3.18
$P_2O_5$	0.17	0. 20	0.13	0.05
$H_2O(+)$	1.60	1.62	1.37	1.07
$H_2O(-)$	0.11	0.09	0.12	0.20
Т.	99.82	99. 83	99.84	100.01

Table 2. Chemical compositions of plutonic rocks

Analysist: N. Murakami

96

鏡下ではマトリックスも本質物質も共に著しい変質を うけ,残存鉱物はきわめて僅かである.変質作用はソー シュライト化,方解石化,珪化などで,肉眼での灰緑色 の外観もこれらの変質鉱物に原因している.この点II期 の火山岩類は新第三紀のグリーンタフに類似している が,変質作用の詳細については未検討である.残存斜長 石の組成は An18—48で,この点と化学組成(第2表) とより,この期の火山岩類は石英安山岩質と推定され る.

陥没体中央部の原中付近では比較的緩傾斜で I 期安山 岩類をおおうが、南西端部では内側に急傾斜の接触面で これをおおっている。陥没体中央部より北東部にかけて は他期の火山岩層の分布のないため、構造の推定が困難 であるが、溶結構造による堆積面は内部では緩傾斜(10 ~30°)であるのに対し、周辺部では急傾斜(20~70°) で内側に傾いている。層厚は最高 800m 以上と考えられ るが、北東部より南西部にいくにつれ漸次減少する。

Ⅲ期火山岩類は流紋石英安山岩質凝灰角礫岩よりなり、一般に径10cm くらいまでの安山岩片、ときに基盤岩片を豊富に含み、岩片量が60~70%に達することも稀でない.岩片中には花崗岩の含まれることもある.マトリックスは細かい岩片のほかに、石英・斜長石(An 19-44)・緑泥石化黒雲母などの結晶片、軽石片などを含み、稀にアルカリ長石の結晶片を伴う.構成岩は一般に塊状であるが稀にきわめて弱い溶結構造を示す.このことと、ほとんど淘汰の認められないことより、これらの火山岩類はおそらく乾陸上堆積の火砕流堆積物と推定される.しかし、南西端部では安山岩に接する基底部に厚さ0.5~2mの成層の明瞭な凝灰質砂岩・礫岩層を伴う.これはおそらくⅢ期火山岩類堆積初期における湖水化の時期を示しているものと考えられる.

既述のように多くの場所において堆積面の不明瞭のため、構造の把握が困難であるが、分布地域の南西端部では、半弧状の分布を示す I 期安山岩をお おって、30~70°の角度で陥没体の内側に傾斜しており、一方分布の 北東端部では 10~30°の角度で南~南東に傾 斜している、この事実と I 期および II 期火山岩類との地質関係とより、III 期火山岩類は陥没体中央部より南西部にかけ盆 状構造を呈していると推定される.

以上の主岩体のほか,周辺角礫岩を貫く小岩体が北東 部および北西部に,花崗岩類を貫く脉状小岩体が小川地 域において発見される.この事実はⅢ期火山岩類の噴出 が,主陥没構造形成後で,しかも花崗岩類貫入後あるい はその後期であることを物語っている.なお一部におい てはⅡ期火山岩類を脉状に貫く場合も認められる.層厚

村上允英

は約300mと推定される.

Ⅳ期火山岩類は巾数m~数10mの安山岩脉で,岩脉の 走向はNE~SW系のものが多い.全域にわたり普遍的に 分布し,陥没体外にも点在している.構成岩は毛氈状組 織の石基中に斜長石・角閃石・普通輝石の斑晶を含み, しばしば顕著な流理構造を示す.

以上の火山岩類の化学組成を第1表に、MgO- (FeO +Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) — (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 図を第2図に示す. これら の図表より、火山岩類はカルクアルカリ岩系に属してい ると考えられる.



Fig. 2.  $MgO-(FeO+Fe_2O_3)-(Na_2O+K_2O)$  triangular diagram showing the differentiation trends of the Tamagawa volcanic and plutonic rocks.

Open circles: Volcanic rocks. Solid circles: Plutonic rocks.

## 2. 深成岩類

深成岩類は花崗岩類と閃緑岩~花崗閃緑岩類とに大別 される.

花崗岩類は陥没体内の小川地域に広く分布するが,西 方の友信一平山間にも小岩株状岩体として点在する.ま た,陥没体外東方の川登地域にも閃緑岩類を貫く小岩体 が認められる.構成岩石はいずれも顕著な斑状構造を呈 し,肉眼では白色の斜長石斑晶が特徴的に多く認められ る.石基は微粒状~微文象質である.主要な構成鉱物は 角閃石,黒雲母,斜長石(An 16-39),アルカリ長石 (Or 49-60),石英よりなるが,一般に緑泥石化,緑れ ん石化,絹雲母化などの熱水変質を顕著に受けている.

MURAKAMI (1969) により述べられているように、黒 雲母・角閃石は通常の花崗岩類中のものに比べ 著 しく Fe/Mg 値が低い. 岩体中には小さい アプライト脈を伴 うことはあるが、ペグマタイトはまったく伴われない. また、塩基性捕獲岩も少量である. おそらく、これらの 花崗岩類は比較的高温で、しかも揮発性成分に乏しい環 境下で固結したものであろう.

閃緑岩~花崗閃緑岩類は大部分陥没体の周縁部および その外側に分布し、全体として陥没体を大きくとり巻い ている. もっとも大きい岩体は海坂域(閃緑岩~花崗閃 緑岩), 鈴ノ川域(花崗閃緑岩), 馬取域(花崗閃緑岩). 福田~山谷域(閃緑岩),江崎域(閃緑 岩 ~ 花 崗 閃 緑 岩),川登域(閃緑岩~花崗閃緑岩)などに分布し, こ のほか, 柏原, 黒谷などの地域にも小岩体が点在する. 閃緑岩類にはしばしば斑糲岩質部を伴う 主要構成鉱物 は斑糲岩では斜長石 (An 34-87), 紫蘇輝石 (2Vx=52 -58°, β=1.708-1.712), 普通輝石 (2Vz=46-52°, β=1.692-1.695), 角閃石 (2 Vx=70-76°, β=1.642 -1.666), 黒雲母で, 閃緑岩では斜長石 (An 23-68), 普通輝石 (2 Vz=46-52°, β=1.693-1.696), 角閃石  $(2Vx=78-82^\circ, \beta=1.670-1.673)$ , 黒雲母よりなる. また花崗閃緑岩では斜長石 (An 17-54), アルカリ長石 (Or 61-69), 石英, 角閃石 (2Vx=64-74°, β=1.660

一1.673)などの鉱物を主成分として含んでいる.

Микаками, (1969) により述べられているように, 以 上の深成岩類は組成が塩基性から酸性になるにつれて, 形成時の酸素分圧が高くなる傾向を有しており, また酸 性岩ほど低圧部へ移動した形跡を有している (Микаками, 1971). 代表的岩石の化学組成平均値を第2表に 示す.

上述のように深成岩類は明瞭に陥没体周縁の角礫岩類 を貫いているので、その貫入は主陥没構造形成後期~形 成後と推定される.

# Ⅱ.空中磁気探査により推定された 田万川陥没体の構造

田万川陥没体およびその周辺地域における空中磁気図 を第3図に,空中磁気図と地質との関係を第4図に示 す.図上には陥没体の構造との関係の上において,次の ような幾つかの特徴が認められる.

(1) 磁力線は全体として陥没体の輪廓に平行する同 心円状の形を示している. この同心円状のパターンは陥 没体内ばかりでなく,その外側にもかなりの広範囲にわ たって認められる.

(2) 図内にはところどころにかなり顕著な局地的高 異常の部分が認められる.これらのうちもっとも顕著な 地区は南部の鈴ノ川,東部の海坂・黒谷・川登,西部の イラオ山・福田などである.

(3) 上記の高異常区のうち, 鈴ノ川・海坂・黒谷の 異常区に連続するやや非顕著な高異常区がその西側に帯 状に細長く存在している. この高異常帯の中心を線で結 ぶと第5図のとおり, 陥没体のやや内側において輪廓に ほぼ平行な形となる.また,この高異常帯の外側にはか なり顕著な低異常帯があり,その中心を結ぶ線も陥没体 の輪廓にほぼ平行な輪状を示す.したがって,陥没体の 輪廓を中心にして,内側に高異常帯,外側に低異常帯が 同心円状に分布することになる(第5図).

(4) 上記の高異常帯に囲まれた地域はその外側に比べて、全体として高磁性を示す.したがって、陥没体と その外側の地域との間にはかなり明瞭な磁気急変面が存 在することになる.この関係は陥没体内をとおる北西一 南東方向の断面図(第6図)に明瞭に示される.

(5) 陥没体外にも部分的に顕著な高異常帯および, これに伴われる低異常帯が存在する. すなわち,東部の 川登地域にはほぼ南北方向に,南部の馬取地域にはほぼ 東西方向の異常帯が認められる. これらの異常帯はいず れも陥没体の輪廓にほぼ平行であるが,連続性に乏しい.

一般に地表面の帯磁は岩石の自然残留磁気と地球磁場 による誘導とに原因している.したがって,地形との関 係の検討は磁気図の解析上重要であるが,第6図に示す とおり両者の間には顕著な相関関係はまったく存在しな い.すなわち,上述の磁気異常はほとんど地表および地 下に伏在する岩石の磁性の差に原因していると考えざる を得ない.言いかえれば,高異常を示す地域には他地域 より帯磁の強い岩石が地下のかなり深所まで連続分布し ていると推定される.

田万川地域に分布する帯磁の強い岩石としては玄武岩 類, 閃緑岩~花崗閃緑岩類, 安山岩類などがあげられ る. 第4図に示されるとおり, これらのうち, 直接高異 常区との関連が考えられるものは, 次のとおりである.

玄武岩類:イラオ山・福田地域.

閃緑岩類一花崗閃緑岩類:鈴ノ川・馬取・海坂・黒谷

・川登などの地域

これらのうち,馬取・黒谷地域では地表における深成 岩類の露出が僅かであるので,地下に伏在する大きい深 成岩体が予想される.

安山岩類:明らかに安山岩類に関係すると考えられる 高異常帯は存在しない.

以上の考察より,田万川陥没体の構造に関係が深いと 考えられる磁気異常帯の原因を検討すると次のとおりで ある.

1. 陥没体内およびその縁辺部における輪状の異常帯 地球上中緯度地帯の磁力図では、帯磁の強い岩石によ る高異常区は低異常区を伴うので、陥没体内の輪状高異 常帯は、陥没体外の輪状低異常帯と共に同一の帯磁の強 い輪状形態の岩石に原因したものと推定される.既述の 村上允英







NII-Electronic Library Service





Fig. 5. Map illustrating the distribution of aeromagnetic anomaly zones. Solid and dashed lines represent the

axes of the high and low anomaly zones, respectively. Heavy line is the outline of the Tamagawa Cauldron.

ように、鈴ノ川・海坂・黒谷などでは、この異常帯に直 接関係していると考えられる深成岩類が地表に露出して いるので、異常帯が完全に連続していること、異常帯中 ところどころに局所的に顕著な異常部が存在しているこ となどを考慮に入れ、輪状形態の岩石はすべて閃緑岩~ 花崗閃緑岩質の深成岩類と考えるのがもっとも妥当のよ うに思われる.この考察が正しいならば、深成岩体の最 浅部は陥没体外縁にそって輪状につらなっていることに なる.



Fig. 6. Profile showing the variation of the aeromagnetic anomaly along the line A-B in Fig. 4.

第6図に示されているように陥没体外縁では明瞭な磁気の急変が認められる.これは上記の輪状分布の閃緑岩体の外壁がかなり急傾斜であることを物語っているように考えられる.なお,陥没体外の北西部及び西部には小さい岩株状閃緑岩体が点在している.磁力図上には、これらの岩体に直接関係すると考えられる明瞭な異常は認められないが、これらは上記の輪状深成岩体をとり巻く別個の岩体のように考えられる.

### 2. 田万川陥没体内における高磁気異常

第3・4図に示されるように田万川陥没体内では,全体として外側の地域より高磁気異常の傾向が認められ

村上允英

る. この原因は明らかでなく、厚い安山岩体による場合と、地下に伏在する中性~塩基性深成岩体による場合とが考えられる.しかし、筆者は後述のように陥没体形成機構の考察より、高異常の原因は主として陥没により地下に埋没した安山岩体によるものと考えている.

### 3. 陥没体外における異常帯

既述のように東部川登地域,南部馬取地域を中心とし て,前者ではほぼ南北方向,後者ではほぼ東西北向の異 常帯があり,いずれも地表から地下に連続する帯状閃緑 岩体の存在を物語っている.この事実と既述の陥没体外 の西部より北部にかけて点在する閃緑岩体の存在とを併 せ考え,陥没体外にも輪状の裂目の存在していた可能性 が推定される.

#### Ⅲ.田万川陥没体の形成機構に関する一考察

既述のように、田万川陥没体内に分布する火山岩層の 構造は、層面の不明瞭の部分の多いため解析困難であ る.しかし、少数確認された堆積面の走向・傾斜は第7 図のとおりで、周縁部においてはほぼ陥没体の輪廓に平 行の走向で内側に急傾斜し、陥没体の中央部では走向の 規則性にはやや乏しいが、比較的緩傾斜であることが推 定される.この事実と、各期火山岩層の分布状態より、 火山岩層は全体として内側に傾斜する盆状構造を有する が、中央部付近では緩やかなドーム状構造を呈している と考えられる.すなわち、中央部より南西側と、北東側 とにはより小規模な盆状構造が存在し、全体として陥没 体全域にわたる盆状の構造が形成されている.

一方田万川陥没体に伴われる深成岩体の構造は,その 分布,地質関係および空中磁気探査の資料などより次の 様に推定される.

(1) 陥没体内では、地下浅所に原中付近を軸の中心 として、輪状形態を有する花崗岩体が分布する.これは 、小川と西南方の谷迫間のみに小さい岩株状花崗岩体が 点在すること、小川域の花崗岩体が南西より南東の屈曲 する形態を示していること、同花崗岩体の南東端より顕 著なホルンフェルス帯が南方に連続して認められことな どより推定される.なお、花崗岩と火山岩類との接触面 の傾斜、Ⅲ期火山岩中に花崗岩片の含まれること、ホル ンフェルス帯の分布\*などより、岩体の屋根は、その延 長方向においては起伏に乏しく、外側にむけて急傾斜、 内側にむけて緩傾斜していると考えられる.

<sup>\*</sup> 小川南方のホルンフェルスは花崗岩体に近接するところでは、緑 れん石一角閃石一曹長石質斜長石の鉱物組合わせより主としてな るが、西方にゆくにつれて角閃石・緑れん石量を滅じ、緑泥石化 ・珪化などにより特徴付けられるようになる、しかし、さらに西 方の花崗岩分布地域に近づけば変成度は再び上昇する。



Fig. 7. Reconnaissance map of the volcanic rocks. This is suggestive of the basin structure. Quaternary and basaltic rocks are omitted in order to represent the trend of distribution of the plutonic rocks and volcanic rocks in stage III.

I: Granites. 2: Diorites and granodiorites. 3: Volcanic rocks in stage III. 4: Volcanic rocks in stages I and II. 5: Dip and strike of the volcanic rocks.

(2) 陥没体の周縁部では、その輪廓にほぼそって輪 状形態の閃緑岩~花崗閃緑岩体が地下浅所に連続分布す る. この岩体は東~北東部においては陥没体の外縁を切 り、さらに内部にまで入りこんでいるが、他の地域では ほぼ外縁の角礫岩体にそって分布しているようである. 深成岩体の壁は内側・外側共に急傾斜を示していると考 えられる. なお、東部、南部、西~北部にはこの深成岩 体の外側 1~3 km の位置に別の輪状形態を有する閃緑 岩~花崗閃緑岩体が分布する.

以上の考察より地下数 100m 程度のレベルでは陥没体 の中央部より西南部にかけて火山岩層の小分布があり, これを皿状にとり巻いて花崗岩体,その外側に閃緑岩・ 花崗閃緑岩体さらにその外側に別個の閃緑岩~花崗岩体 の輪状分布があると推論される.この推論にもとづいて 模式的に断面図を作成すると第8 図のようになる.

このような陥没体の構造は、陥没体の壁が外側に急傾 斜していること、火山岩層が内側に傾いていることなど の性状と共に JOHNSTONE (1966). BAILEY and MAUFE





I: Volcanic rocks in stage I. II: Volcanic rocks in stage II. III: Volcanic rocks in stage III. Gr: Granites. Di: Diorites and granodiorites. BR: Basement rocks.

(1960)の記載している Scotland の Ben Nevis, Etive, MACGREGOR and ANDERSON (1961)の記載している Scotland の Mull, Ardnamurchan, Skye などの火山陥 没体の構造との類似性を示している. なお, SMITH and BAILEY (1968) が New Mexico の Valles Caldera に おいて強調したような resurgent doming の証拠は第7

101

村上允英

図に示されるとおり、存在しないように思われる.

さて、Scotland のデボン紀 および 第三紀火山陥没体 の形成機構に関して、JOHNSTONE (1966)、MACGREGOR and ANDERSON (1961) などは、従来多くの研究者によ り検討された結果を括めて、次の2つのタイプを区別し た.第1は surface caldera タイプで Glen Coe がその 好例とされている.第2は underground cauldron sudsidence タイプと呼ばれ、Etive、Skye、Ardnamurchan などが例としてあげられている。第1のタイプは地下深 所において発達したマグマ溜り内の圧力軽減により生じ た輪状の裂目にそい、輪状岩脉の貫入と火山物質の噴出 が行なわれ、それよりやや早い時期に裂目にはさまれた 地塊が陥没をおこすものである。第2のタイプは地下深 部において、マグマ溜り中に上部の地塊が壊裂沈降し、

この壊裂により生じた空間をマグマが充すもので,裂目 は地表に達しない.また,充填する火成岩が深成岩質で ある特徴をも有する.タイプ1と2との組み合わせより なると考えられるものも存在し,Ben Nevis はタイプ 2の陥没体形成後,その中央部においてタイプ1の形式 のカルデラが形成されたと考えられている(JOHNSTONE, 1966).

さて、田万川陥没体の形成機構はどのように考えられ るであろうか.輪状の断層角礫岩帯が基盤岩と陥没体と の境に存在しているので、上記のタイプ1に属する陥 没、すなわち、地表部よりの陥没によるカルデラ形成の 行なわれたことは間違いないであろう.陥没体全域にわ たる火山岩層の盆状構造はおそらくこの時期に生じたも ので、また既述のように、閃緑岩~花崗閃緑岩体はほぼ 上述の角礫岩帯にそって分布していると考えられるの で、その貫入もこのカルデラ形成に伴ったものと推定さ れる.しかし、このカルデラ形成に伴ったものと推定さ れる.しかし、このカルデラ形成のみで、現在認められ るすべての地質学的・岩石学的事実を説明するのは困難 である.それは主として次の理由による.

(1) 陥没体中央部より南西部にかけて分布する輪状 花崗岩体は, 陥没体の輪廓に不調和な形態を有している.

(2) この花崗岩体にはさまれた南西部の火山岩類に 独立した盆状構造が認められる.

(3) 花崗岩体は陥没体周縁部に分布する閃緑岩~花 崗閃緑岩体よりも低圧部に貫入したと考えられる特徴を 有している (MURAKAMI, 1971). surface caldera の形 成機構では地下のマグマ溜りは陥没に伴って深処に後退 すると推定されるので,現在のように閃緑岩~花崗閃緑 岩体と地形的に同一レベルまで花崗岩体が上昇するとは 考え難い.

既述のように花崗岩体は陥没体内に分布し、その輪廓 に不調和な形態を有している. このことは花崗岩類の貫 入が surface caldera 形成後,別個の裂目にそって行な われたことを示しているように思われる. 花崗岩体の輪 状形態より, この裂目も陥没作用により生じたと考える べきであろう. このことは surface caldera 形成後, 中 央部より南西部にかけて,再び陥没作用の行なわれたこ とを意味する. この後期の陥没作用としてはタイプ1の surface caldera b,  $\beta \neq \gamma 2 \sigma$  underground cauldron subsidence かがあげられる. 前者の場合には初期のカル デラ内に輪状断層により囲まれたより上位の火山岩層の 分布が予想される.しかし田万川陥没体においては、こ のような輪状断層も断層破砕帯も発見されていない. ま た,南西部の盆状構造内部のⅢ期火山岩体と花崗岩体と の中間には、むしろより下位にあたるⅠ期火山岩類が分 布している.

これらの事実と花崗岩体が皿状形態を呈していると推 定されることから、花崗岩類貫入の通路を形成した作用 としては主としてタイプ2による、地下における地塊の 陥没を考えるのがもっとも適当であるように思われる. おそらく初期のカルデラ形成に伴って陥没した地塊(火 山岩類+基盤岩類)のうち、南西側の部分の下半部は、 上半部より分離して地下深部に沈降し、この作用により 生じた空間は、上昇した花崗岩マグマにより充されたと 推定される.この花崗岩マグマの一部は貫入とほぼ同時 か、あるいはやや遅れて、初期および後期の陥没作用に より生じた裂目にそって地表に噴出し、流紋岩質火砕流 (Ⅲ期火山岩類)を形成したと考えられる.

しかし,このⅢ期火山岩類の分布地が盆状構造地に相 当していることから判断すると,地下陥没作用は単に下 位の岩塊の壊裂・沈降のみでなく,上位の地塊の下方弯 曲にも関係したと推定される.おそらく下位の岩塊の沈 降と流紋岩類の噴出に伴う圧力の軽減により,上位の地 塊はその中央部を中心として,鍋状あるいは皿状に陥没 したものであろう.陥没作用は流紋岩類堆積時まで継続 したと推定される.一方,この盆状地の周縁に下位のI 期火山岩類が分布していることから,この構造が花崗岩 類の貫入に伴う輪状隆起帯の形成に関係して生じたとの 推定も可能であるが,地質図に示すとおり,花崗岩体の 周囲にはこれら下位の火山岩類の分布はほとんど認めら れない.

また,雲城陥没体,益田陥没体(村上,1970)におい ても花崗岩体とドーム構造との関係を示すような証拠は 知られていない.なお,この推定とⅢ期火山岩類が直接 Ⅰ期火山岩類をおおっていることから,Ⅲ期火山岩類噴

NII-Electronic Library Service

102

出時,田万川陥没体の中央部より南西部にかけてはすで に I 期火山岩類が広く露出しており,中央部より北東部 にかけての盆状構造は既に形成されていたと 結 論 され る. 以上の田万川陥没体の形成機構を模式的に図示すると 第9図のようになる.また陥没体の形成史は第3表のよ うに括められる.





Fig. 9. I

Diagrammatic explanation of the mechanism of formation of the Tamagawa Cauldron, in the order from a to c.

In (a), the magmatic chamber develops in depth and ring fault forms in surface rocks after the eruption of volcanic rocks in stages I and II. In (b), the surface rocks founded along the ring fault. The dioritic magma wells up along the fault. In (c), further foundering occurs underground within the cauldron. Differentiated granitic magma intrudes along the newly formed ring fault under the surface. A part of this magma pours out on the surface to form pyroclastic flow deposits in stage III. Following this, the basin structure is constructed owing to the depression of the surface.

I • II: Volcanic rocks in stages I and II. III: Volcanic rocks in stage III. Gr: Granites. Di: Diorites and granodiorites. BR: Basement rocks.

Table 3.	Volcanism,	plutonism and	crustal	l movements	associated	l with	Tamagawa	Cauldron,	West	Chugo	ku
----------	------------	---------------	---------	-------------	------------	--------	----------	-----------	------	-------	----

Stage	Volcanics	Mode of occurrence	Crustal movement and plutonism		
IV	Hornblende-two pyroxene ande- site and hornblende andesite	Dike and sheet	_ Minor faulting (NE-SW) Formation of basin		
III	Rhyodacite (Tuff breccia with inter- calated tuffaceous sedi- ment)	Largely pyroclastic flow (Partly intrusive)	Intrusion of granites Formation of underground cauldron		
Ш	Altered dacite (Tuff breccia and tuff with intercalated tuffaceous sediment)	Largely pyroclastic flow	Intrusion of granodiorites to diorites Formation of surface cal- dera		
I	Augite andesite and hornblende-augite andesiteLava flow (Occasionally auto-brec- ciated)		Faulting (NE-SW and NW-SE)		
Late Cretaceous	Rhyolite to rhyodacite with andesite to dacite (Fukuga formation: tuff and tuff-breccia with intercala- ted tuffaceous sediment)	Largely pyroclastic flow	Plutonism Volcano-tectonic depres- sion Faulting (NE-SW)		

104

# 村上允英

# おわりに

以上のように田万川陥没体の構造は単純な表層部のカ ルデラ形成作用のみでは解決できず、地下の陥没作用を も推定せざるを得ないと考えられる.筆者が前に述べた (MURAKAMI, 1971) ように, 深成岩体がより酸性になる ほど低圧部に移動したことを示す鉱物学的データも、こ の作用により説明しうる.また,深成岩マグマの分化に 伴って酸素分圧の上昇する原因も、このような地下深部 における岩塊の陥没作用と関連している可能性がある. それは Ben Nevis, Skye のように類似の傾向を有する 花崗岩体がいずれも地下陥没に関連して 貫入 した と推 論されており, Finnmarka の深成岩体 (Czamanske, 1965) についても、その分布・構造より類似の貫入機構 が想定されるからである. このような場合, 筆者がかっ て考えた大気中の酸素の導入は Dodge and Ross (1971) の指摘のように, Fe+3 の少ない点から当を得た結論で はなく、TAYLOR and FORESTER (1971) の指摘している ように、地表水の岩漿溜り中への流入とその解離といっ たような作用が重要な役割りを果してい る 可能性があ る. 今後花崗岩体の露出の大きい雲城陥没体の調査より この問題解決への端緒をつかみ度いと考えている.

## 謝 辞

既述のとおり、この研究には1968年度より行なわれた 益田地域広域調査の成果が大きく寄与している.金属鉱 物探鉱促進事業団および、いろいろと御討論をいただい た広域調査班員の方々に謝意を表する.

### 引用文献

- BAILEY, E.B. and MAUFE, H.B. (1960), The geology of Ben Nevis, Glen coe and the surrounding county. Mem. Geol. Surv. Scotland, p. 1–307.
  CZAMANSKE, G.K. (1965), Petrologic aspects of
- the Finnmarka igneous complex, Oslo area, Nor-

way. Jour. Geol., vol. 73, p. 293-322.

- DODGE, F.C.W. and Ross, D.C. (1971), Coexisting hornblendes and biotites from granitic rocks near the San Andreas Fault, California. Jour. Geol., vol. 79, p. 158-172.
- HASLAM, H. W. (1968), The crystallization of intermediate and acid magmas at Ben Nevis, Scotland. Jour., Petr., vol. 9, p. 84-104.
- 平沢 清(1971), 益田地域における空中磁気探査 について,物理探鉱, vol. 24, p. 284–290.
- JOHNSTONE, G.C. (1966), The Grampian Highlands. British regional geology.
- MACGREGOR, A.G. and Anderson, F.W. (1961), Scotland: The Tertiary volcanic districts. British regional geology.
- 村上允英・長谷晃 (1967), 西南日本内帯における 後期中生代火山岩層の層序と対比.地団研専報, No. 13, p. 1-24.
- MURAKAMI, N. (1969), Two contrastive trends of evolution of biotites in granitic rocks. 岩鉱, vol. 62, p. 223-248.
- 村上允英(1968),山陰西部における新第三紀堆積盆 地との関連よりみた後期中生代~古第三紀火山岩 層の構造.地質学会76年総会討論会資料, p. 77-83.
- 村上允英(1970),山陰西部における古第三紀火山 性陥没体の性状について. グリーンタフ, No. 1, p. 5-6.
- MURAKAMI, N. (1971), Compositional variation of alkali feldspar from the Palaeogene Tamagawa plutonic rocks of southwestern Japan. 岩鉱, vol. 65, p.104-118.
- SMITH, R.L. and BAILEY, R.A. (1968), Resurgent cauldrons. Studies in volcanology. Geol. Soc. Am. Mem. vol. 116, p. 613-662.
- TAYLOR, H.P. and FORESTER, R.W. (1971), Low O<sup>18</sup> igneous rocks from the intrusive complexes of Skye, Mull and Ardnamurchan, western Scotland. Jour. Petr., vol. 12, p. 465-497.
- 通産省(1970), 昭和44年度広域調査報告書. 益田 地域.

# 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察

# A consideration on the mechanism of formation of the Palaeogene Tamagawa cauldron, southwest Japan

Nobuhide MURAKAMI

## (Abstract)

The Palaeogene Tamagawa Cauldron occupies an elliptical area of about 70 km<sup>2</sup> in West Sanin and are characterized of the high oxygen partial pressure during the evolution of associated plutonic rocks (MURAKAMI, 1969). It is composed of andesitic to rhyolitic volcanics and plutonics which are divided into following two types; granites and diorites to granodiorites. Granites are exposed inside the cauldron, showing a roughly ring-form distribution. On the other hand, diorites to granodiorites are found along the marginal breccia zone outside cauldron, which is about 10 to 150 m in width. According to the recent aeromagnetic data, the zonal distribution of high magnetic anomaly is evident along the marginal zone, surrounded by the outer concentric anomalies. This seems to suggest that there is an underground ring-form plutonic mass of dioritic to granodioritic composition, though some parts of this mass are now exposed on the surface. Outside this mass, we can recognize some scattered dioritic plutonic masses which also appear to make zonal distribution under the surface. As shown in Fig. 7, volcanics constitute the basin structure as a whole, although there is a small dome-like structure at the central part of the cauldron.

On the basis of the above-described geologic and aeromagnetic data, the Tamagawa Cauldron is considered to have been formed through two stages of depression, surface caldera and underground subsidence. Dioritic to grnodioritic masses might have filled the ring-faults which were formed just after the eruption of andesitic to dacitic volcanics. Further underground subsidence might have occurred within this caldera, and have led to the intrusion of the differentiated granitic magma along the newly formed ring-fault and pouring out of a part of this magma on the surface to form rhyolitic pyroclastics. This underground subsidence is considered to be related with the small-scaled basin structure in the area surrounded by the granitic masses.