

山口県北西部の白亜紀白滝山コールドロン：非対称陥没の例

The Cretaceous Shiratakiyama cauldron in northwest Yamaguchi Prefecture, Japan: an example of asymmetric subsidence

吉田健司 高橋巖己 今岡照喜

Kenji Yoshida, Genki Takahashi and Teruyoshi Imaoka

地質学雑誌 第115巻 第12号 別刷

2009年12月

THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN VOL. 115 NO. 12

December 2009

山口県北西部の白亜紀白滝山コールドロン：非対称陥没の例

The Cretaceous Shiratakiyama cauldron in northwest Yamaguchi Prefecture, Japan: an example of asymmetric subsidence

Abstract

吉田健司* 高橋巖己**
今岡照喜***

Kenji Yoshida, Genki Takahashi** and Teruyoshi Imaoka****

2008年11月12日受付.
2009年3月13日受理.

* 株式会社建設技術研究所大阪本社
CTI Engineering Co., Ltd., 1-6-7 Doshomachi, Chuo-ku, Osaka 541-0045, Japan

** 財団法人地震予知振興会
Association for the Development of Earthquake Prediction, 1-5-18 Sarugaku-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0064, Japan

*** 山口大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Yamaguchi 753-8512, Japan

Corresponding author; T. Imaoka,
imaoka@yamaguchi-u.ac.jp

The Shiratakiyama Formation of the Abu Group, southwest Japan, is part of a dissected caldera within a complex of Cretaceous volcanic and plutonic rocks. The formation contains the products of rhyolitic and andesitic magmas emplaced in a back-arc region. It is important to understand the genetic relationship between the volcanoclastic ejecta and structural constraints on these rocks in order to determine the evolution of caldera volcanism.

The orientations of bedding planes within the Shiratakiyama Formation suggest the occurrence of a buried asymmetric structure within basement rocks. The depth of the basement surface increases toward the center of the caldera in the northern part of the Shiratakiyama Formation, dipping at 40° to 70°, whereas in the southern half of the caldera the surface dips at 20° or less. This asymmetric basement surface is also discordant with the orientation of basement rocks themselves. In addition, the formation is bound by intersecting high-angle normal faults and/or intrusive rocks. These observations suggest the presence of a small (6 × 4 km) cauldron, here named the Shiratakiyama cauldron.

The Shiratakiyama Formation is divided into two members, here named the Futanoigawa rhyolite ash-flow tuff and the overlying Tenjougatake andesite lava. The formation also contains many associated intrusive rocks, such as porphyrites, felsites, granite porphyry, and intrusive breccias. Thick and voluminous ash-flow tuff is the dominant rock within the cauldron interior. The total volume of ash-flow tuff is ≥ 9.6 km³, and it is locally intercalated with lacustrine rocks, andesite lavas, and volcanoclastic rocks, which represent cooling units. Caldera-collapse meso-breccias occur in the lower part of the ash-flow tuff sequence.

These findings suggest that the deeper structure of the Shiratakiyama cauldron was formed by asymmetric piecemeal collapse rather than by coherent trapdoor subsidence.

Keywords: Cretaceous, cauldron, asymmetric collapse, Abu Group, SW Japan

はじめに

火山-深成複合岩体は、Myers (1975) の言葉を借りれば、“the plutons rose into their own ejecta”で、火山とそのマグマ溜りの化石と考えられるプルトンが地表に露出する程度の削剥レベルに達したものであり、「火山の根」あるいは「火山の深部構造」とみることができる。特に地下浅所にマグマ溜りの存在が想定される火山-深成複合岩体は、しばしば典型的なコールドロンを形成する。開析が進み火山岩と深成岩の両者を地表で観察できるコールドロンの地質学的研究からは、陥没運動によるカルデラ底のセグメント化やセグメント化した各ブロックの地すべり、傾動、回転、移動、破壊などカルデラの深部で起きている現象 (Lipman, 1997, 2000) を解明する上で、第四紀のカルデラからは容易に得ら

れない重要な情報を引き出せる可能性が大きい。

このようなコールドロンの内部構造や陥没様式に関しては、侵食されたカルデラの地質学的研究からその特徴がより明確になってきた (例えば、Lipman, 1997, 2000; Cole et al., 2005)。Lipman (1997) はカルデラの陥没構造を平面の形状と陥没床の構造によって、陥没ブロックが破碎されないピストン (piston) またはプレート (plate) 型、様々な断層によって陥没ブロックの断片化が起こるピースミール型 (piece-meal)、非対称な陥没形態を示す蝶番型 (trapdoor)、地表に明瞭な環状断裂を伴わず上部地殻の変形による陥没であるダウンサグ型 (downsag)、および火道の直上に形成されるじょうご型 (funnel-shaped) の5つの端成分に分類し、それらの中間型を含む多様なカルデラ陥没構造があることを提唱した。これら陥没構造の違いは、陥没に要する仕事量の相

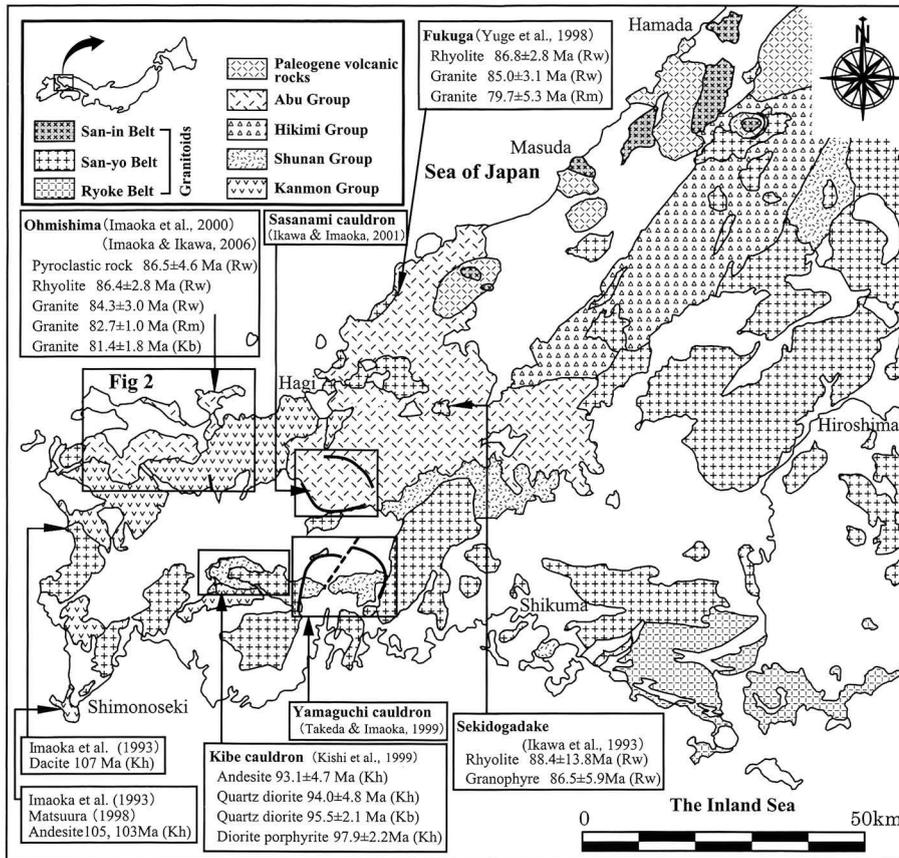


Fig. 1. Distribution of Cretaceous to Paleogene igneous rocks in the western Chugoku district (modified from Imaoka et al., 2000), and K–Ar and Rb–Sr isochron ages of Cretaceous volcanic rocks and related intrusive rocks. Rw: Rb–Sr whole rock isochron age, Rm: Rb–Sr Mineral-whole rock isochron age. Kh: hornblende K–Ar age, Kb: biotite K–Ar age.

違である (三浦・和田, 2007 の議論を参照のこと)。

中国地方西部では白亜紀火山岩層は、下位から関門層群、周南層群、匹見層群および阿武層群に分類され (村上・今岡, 1986), 関門層群については 107–103 Ma, 周南層群については 93 Ma, 阿武層群については 88–86 Ma の年代が得られている (Fig. 1)。匹見層群の火山活動に関係した火山構造性陥没体 (今岡・村上, 1986), 周南層群の活動に伴う吉浦コールドロン (岸ほか, 2007) や新旧の環状岩脈群によって 2 回のピストンシリンダー状の陥没が推定される山口コールドロン (武田・今岡, 1999), 阿武層群の噴出に関連したピースミール型とされる佐々並コールドロン (井川・今岡, 2001) などが知られている。また山陰地域には日本海側に田万川コールドロン (村上, 1973) などの古第三紀コールドロン群が知られている (Imaoka et al., 1988; Komuro et al., 2006)。このように中国地方西部の白亜紀–古第三紀火成活動に伴って形成されたコールドロンはサイズ、形態、構造もさまざまで、多様な形成機構が考えられている。

阿武層群は山口県中央部、北西部および北東部から島根県西部にかけて分布する後期白亜紀の珪長質火山岩類の 1 つで、花崗岩類とともに火山–深成複合岩体をなす (弓削ほか, 1998; 井川ほか, 1999; 今岡ほか, 2000; 井川・今岡, 2001)。山口県北西部に分布する阿武層群は、豊北層、長門層および白滝山層 (新称) に層序区分される (Fig. 2)。このうち豊北層や長門層および関連貫入岩類の層序、構造および岩石記載については今岡・井川 (2006) によって詳述されている。

この度、筆者らは白滝山層の火山層序と構造について詳細な検討を行ったところ、新たに東西約 6 km, 南北約 4 km の小規模で、非対称な陥没を示す多角形のコールドロンが存在することが明らかとなった。そこでこのコールドロンを、白滝山コールドロンと命名することにする。本稿では、白滝山コールドロンを構成する火成岩類の層序、構造、岩石記載について検討し、コールドロンの形成史や形成機構について議論する。なお、コールドロンの用語は削剥されて地形が残っていないカルデラ構造という意味で使用し (Lipman, 1984), カルデラ構造の分類は Lipman (1997) の定義に従う。

地質概要

本研究の調査地域は山口県長門市油谷町–下関市豊田町にかけて東西約 7 km, 南北約 11 km の範囲である (Fig. 2)。本地域の地質は下位から前期白亜紀関門層群、後期白亜紀阿武層群、各種岩脈類、古第三紀日置層群、新第三紀油谷湾層群、第四紀かんらん石玄武岩、洪積層および沖積層に区分される (Fig. 3)。

関門層群は北九州から本州西部にかけて分布する前期白亜紀の地層で、下位の非海成堆積岩を主とする脇野垂層群と上位の火山岩を主とする下関垂層群に区分される (長谷, 1958) が、Fig. 3 では両垂層群を一括表示した。脇野垂層群は主に調査地域中部から北部 (畑–泉川) にかけて分布し、主に赤色頁岩、黒色頁岩、砂岩などの堆積岩類から構成される。下

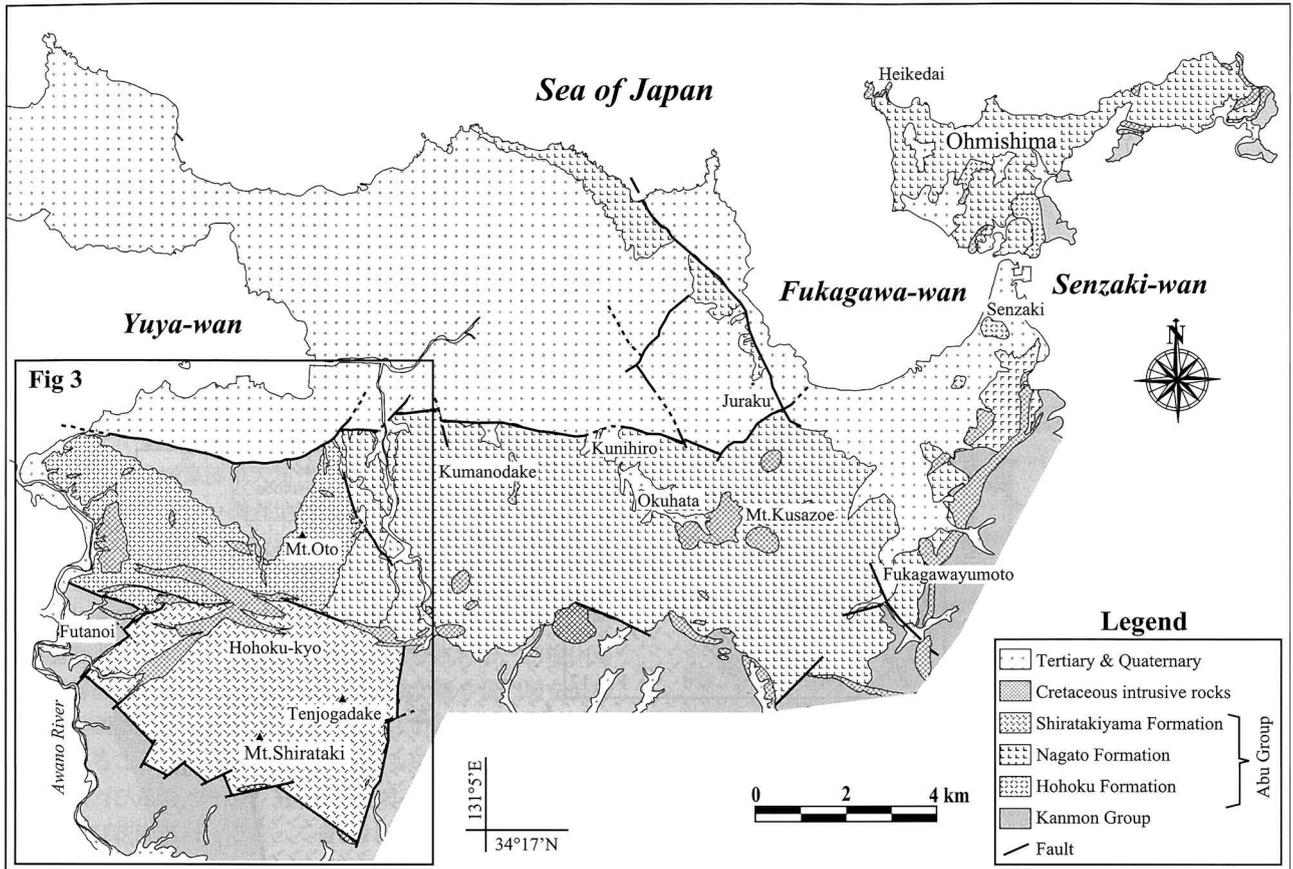


Fig. 2. Simplified geological map of Ohmishima, Nagato city through to Toyota-cho, Shimonoseki city, Yamaguchi Prefecture, compiled from Imaoka and Ikawa (2006) and this study.

Table 1. Volcanostratigraphy of the Cretaceous Abu Group in northwest Yamaguchi Prefecture.

Group	Formation	Member	Thickness (m)	Major rock type	Mode of Occurrence
Abu Group	Shirataki F.	Tenjogatake Andesite M.	>170	andesite lava	massive
		Futanoigawa Rhyolite Tuff M.	1200	rhyolite tuff-welded tuff, andesite lava, siltstone	intercalated with siltstone and subaqueous autobrecciated andesite lava
	Nagato F.	Kumanodake Rhyolite Tuff M.	>420	vitric crystal tuff	crystal-rich, welded
		Daibogawa Rhyolite Tuff M.	250	welded tuff, lapilli tuff	black vitric, densely-welded
	Hohoku F.	Asogawa Shale and Tuff Member	270	black shale, sandstone, tuffaceous sandstone	well-stratified
		Otoyama Tuff Member	530	welded tuff, tuff siltstone	non- to partially welded, abundant lithic fragments
Awano Conglom. and Sandstone M.		350	siltstone, sandstone, conglomerate	well-stratified	
Kanmon Group			andesite lava & pyroclastic rock, red shale, conglomerate, sandstone	wide variety of lithofacies, hydrothermal alteration	

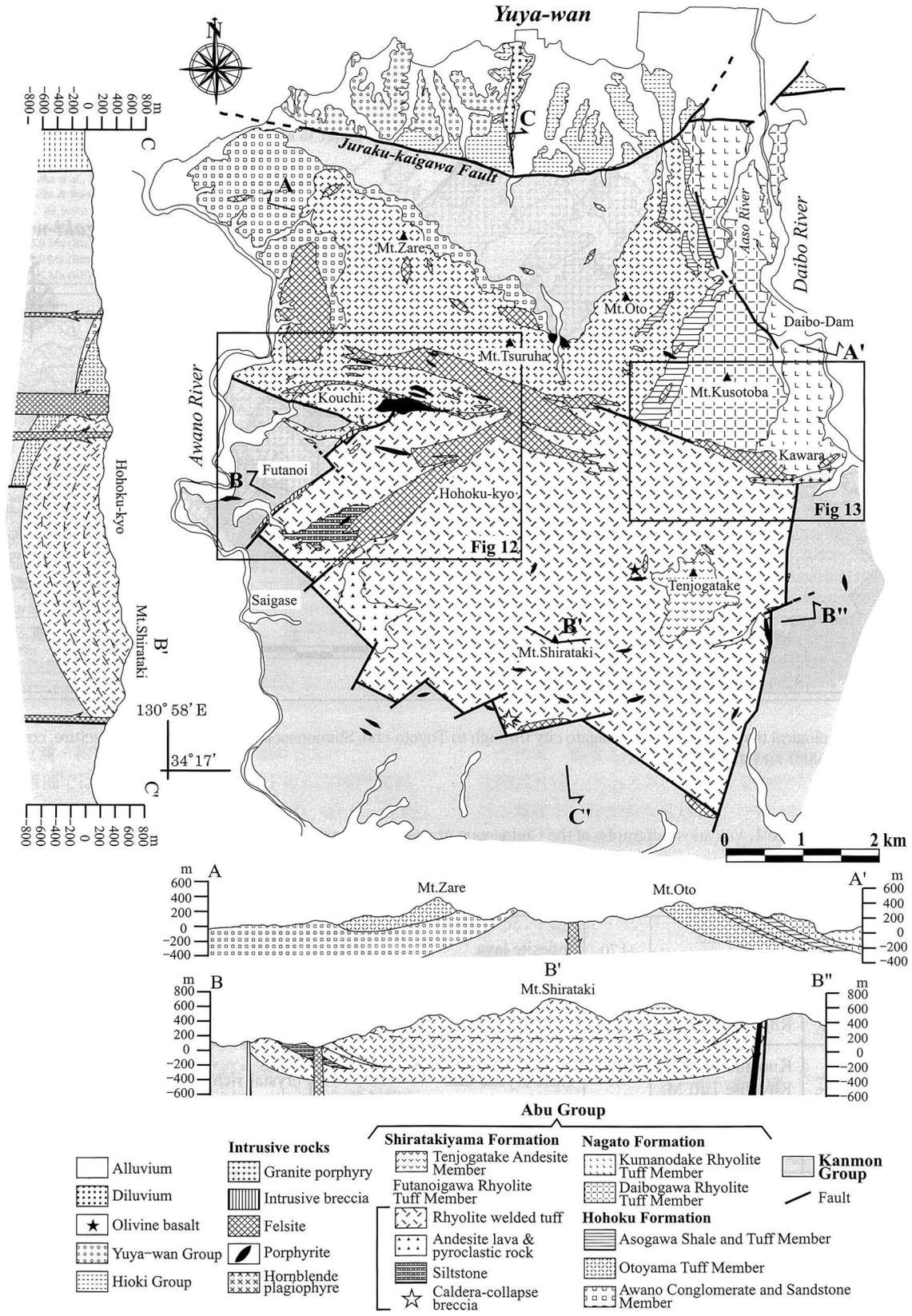


Fig. 3. Geological map of Yuya-cho, Nagato city through to Toyota-cho, Shimonoseki city, Yamaguchi Prefecture, Japan. Broken lines in the legend of rhyolite welded tuff in the Futanogawa Rhyolite Tuff Member (B-B' and C-C' sections) show internal structure.

関門層群は主に調査地域中部から南部（蓋の井—城山—河原）に分布し、主に安山岩溶岩や安山岩質火山礫凝灰岩から構成され、一部に凝灰岩、凝灰角礫岩および頁岩の堆積岩類を伴う。

山口県北西部の長門市から下関市豊北町にかけて分布する阿武層群は、基盤の関門層群の上に不整合で重なり、既述のように下位から豊北層、長門層および白滝山層の3層に層序区分される (Table 1, Fig. 2)。主に流紋岩質の火砕流堆積物から構成され、安山岩溶岩や堆積岩類を伴う。豊北層は調査地域北部のザレ山—大藤山周辺地域に分布し、下位から栗野礫岩砂岩部層、大藤山流紋岩凝灰岩部層および阿惣川頁岩凝灰岩部層の3層に区分される (今岡・井川, 2006)。豊北層は関門層群を不整合に覆うが、一部でそれと断層関係にある。長門層は調査地域東部の大坊川—阿惣川周辺およびさらに東方へ連続的に分布し、調査地域内では下位の大坊川流紋岩凝灰岩部層と上位の熊野岳流紋岩結晶凝灰岩部層に区分される (今岡・井川, 2006; Fig. 3)。白滝山層は調査地域南部の小河内—天井ヶ岳周辺地域に分布し、下位の蓋の井川流紋岩凝灰岩部層と上位の天井ヶ岳安山岩部層に区分される。白滝山層は関門層群と高角の断層関係にある。豊北層や長門層を直接に覆う露頭は見出していないが、それらの構造を切って断層関係にあることから、それより後期のものと判断される。各種岩脈類（ひん岩、安山岩、珪長岩、角閃石斜長斑岩、貫入性角礫岩および花崗斑岩）によって貫かれる。

日置層群は調査地域北部の伊上—大坊地域に、油谷湾層群は伊上—貝川地域に分布し、両者は南縁部にて十楽—貝川断層で関門層群や阿武層群と断層関係にある。かんらん石玄武岩は天井ヶ岳西方に小規模な岩脈として蓋の井川流紋岩凝灰岩部層に貫入する。第四紀の段丘堆積物は調査地域北部に分布する。これら第三系および第四系の地質については、尾崎ほか (2006) に詳述されている。

白滝山層の層序・岩石記載

調査地域に分布する火山岩層のうち関門層群や阿武層群豊北層・長門層の層序・岩石記載については今岡・井川 (2006) に詳述されているので、本章では白滝山層についてだけ記述する。

1. 蓋の井川流紋岩凝灰岩部層 (新称)

<分布>本調査地域南部の白滝山周辺に広く分布する。

<層厚> 1,000–1,200 m.

<岩相>大部分は流紋岩質の溶結凝灰岩、火山礫凝灰岩および凝灰岩からなり、下位層準にはラミナの発達したシルト岩、砂岩および凝灰質砂岩からなる堆積岩類や安山岩溶岩、安山岩質火砕岩からなる火山岩類を、上位層準の一部ではシルト岩を挟在する (Fig. 4)。

流紋岩質溶結凝灰岩および火山礫凝灰岩中にはしばしば異質岩片として珪質岩、泥質岩、砂岩および安山岩の岩片を含む。

下位層準の堆積岩類には成層構造が (Fig. 5)、安山岩溶岩には水冷自破砕構造や流理構造が顕著に見られる。また、最下部の流紋岩質凝灰岩は非溶結であり、成層構造が顕著に見

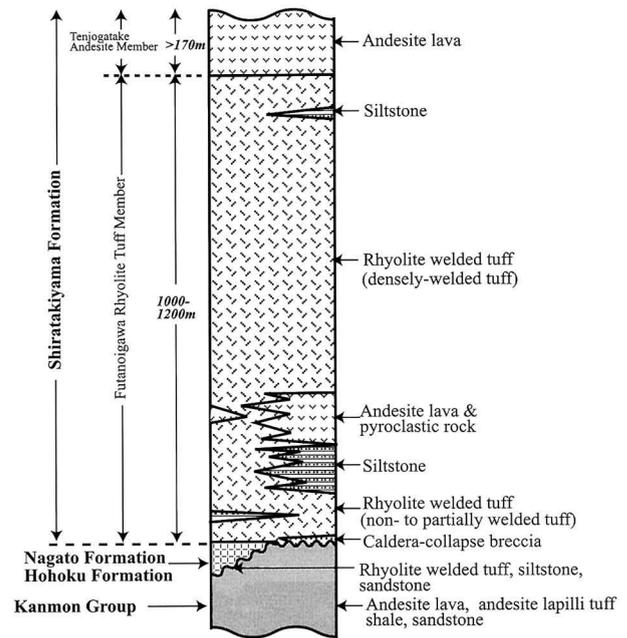


Fig. 4. Generalized stratigraphic columnar section of the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member.



Fig. 5. Field photograph showing well-stratified mudstone in the Futanoigawa Rhyolite Member (scale = 20 cm).

られる。上位層準の一部に挟在する凝灰質砂岩は成層構造を示すが、地層の連続性に乏しい。安山岩溶岩は塊状である。中—上位の流紋岩質溶結凝灰岩は岩相変化に乏しい。

白滝山南方の関門層群との断層接触部付近の露頭 (Fig. 3の☆地点) では、特異な不淘汰礫岩層が見られる (Fig. 6)。その露頭は幅約 50 m に及ぶが、下部に蓋の井川流紋岩凝灰岩部層があり、その上部には不淘汰な礫岩が重なる。層界面は見られない。礫岩は露頭全体では礫径 1–3 cm の亜角礫ないし亜円礫が大部分を占め、その中に礫径数 10 cm 大のものが散在する。中には 1 m を超える礫 (Fig. 6の写真左上) も見られる。礫種は礫径によらず変質の顕著なデイサイト—安山岩溶岩、流紋岩質溶結凝灰岩、珪長岩およびひん岩で、



Fig. 6. Field photograph showing poorly-sorted breccias in the basal part of the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member (hammer shaft = 33 cm). Wtf: welded tuff.



Fig. 7. Photomicrograph of welded tuff in the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member. Qtz: quartz, Pl: plagioclase, Pm: pumice.

変質の顕著なデイサイト—安山岩溶岩は岩相の類似から近傍の基盤をなす関門層群のものと思われる。このような礫岩は Lipman (1984) のメソ角礫岩に比較されるものと考えられる。

<流紋岩質溶結凝灰岩の岩石記載>

野外では青灰色—暗灰色を呈し、長径 1–3 cm 程度、厚さ 0.1–0.5 cm 程度の本質レンズが観察できる (Fig. 7)。

鏡下ではユータキシティック組織を示すガラス質の基質中に斜長石、カリ長石および石英の斑晶状結晶が見られる。副成分鉱物としてジルコン、チタン石、燐灰石および不透明鉱物が、変質鉱物として方解石や褐れん石が見られる。モード組成を見ると、基質は 87.5–93.6 % (平均 90.7 %)、斑晶状結晶は 6.4–12.5 % (平均 9.3 %) で、ガラス質凝灰岩に分類される。斑晶状結晶の内訳は石英が 0–0.4 % (平均 0.1 %)、斜長石が 4.1–8.6 % (平均 6.0 %)、カリ長石が 1.7–4.1 % (平均 2.7 %) である (Fig. 8)。

斜長石 (0.05–5 mm) は破片状、長柱状を呈し、しばしば融食を受けている。粒径の大きなものでは他の微晶結晶をポ

イキリティックに包有する。カリ長石 (0.1–3 mm) は細ひも状のパーサイト構造を示す。石英 (0.05–3 mm) は破片状を呈し、周囲が部分的あるいは全体的に融食されている。ジルコンは基質あるいは斜長石やカリ長石中に産し、顕著な累帯構造が見られる。燐灰石は針状で、しばしば斜長石などに包有される。

白滝山層蓋の井川流紋岩凝灰岩部層分布域の北部に分布する豊北層大藤山凝灰岩部層と比較すると、本質物である軽石のサイズ、偏平度や斑晶モード組成において顕著な相違が認められる (Fig. 8)。したがって両者は異なる層準であり、活動時期が異なると考えられる。

<安山岩溶岩の岩石記載>

本部層に挟在される塊状の安山岩溶岩は斑状組織を示し、斑晶として斜長石、角閃石および不透明鉱物を含む。全体として変質が顕著で、斑晶、石基ともに方解石化が顕著である。斑晶の斜長石 (0.1–3 mm) は自形—半自形で、柱状や卓状を呈す。方解石化、セリサイト化および緑れん石化が顕著に見られる。石基の斜長石は針状や毛織状を呈す。角閃石 (0.1–1.5 mm) は半自形—自形で、オパサイト化や緑泥石化がよく見られる。水冷自破碎構造や流理構造の発達する安山岩においても、鉱物組成は塊状の溶岩と同じである。

<下位層との関係>

本部層は基盤の関門層群とは高角の断層関係、あるいは断層に沿って貫入した岩脈類により隔てられる。

2. 天井ヶ岳安山岩部層 (新称)

<分布>調査地域東部の天井ヶ岳周辺に分布する。

<層厚> 170 m 以上。

<岩相>安山岩溶岩。

<岩石記載>ガラス質の塊状安山岩溶岩により構成される。黒灰色—黒色を呈し、斜長石の自形結晶が見られる。

斑状組織を示し、斑晶として斜長石と単斜輝石を、副成分鉱物として燐灰石、ジルコン、チタン石および不透明鉱物を含む。斑晶の斜長石 (0.1–4 mm) は半自形—自形で、一部融食を受けているものも見られる。累帯構造が顕著に見られ、コア部が激しくセリサイト化したものや、一部緑れん石化したものが見られる。石基の斜長石 (0.01–0.1 mm) は半自形—他形を呈す。単斜輝石 (0.5–3 mm) は半自形—自形で、卓状、短柱状を呈す。著しい変質を受け、緑泥石や緑れん石などに変質している。燐灰石、ジルコンおよびチタン石はしばしば斑晶部の斜長石に包有される。

<下位層との関係>

本部層は、蓋の井川流紋岩凝灰岩部層を整合に覆うと考えられる。

貫入岩類の岩石記載

本章では、野外で白滝山層に密接に伴われる角閃石斜長斑岩、ひん岩、珪長岩、貫入性角礫岩および花崗斑岩について記載する。

1. 角閃石斜長斑岩

<分布・他層との関係>

調査地域中西部の小河内に分布し、関門層群中あるいは関

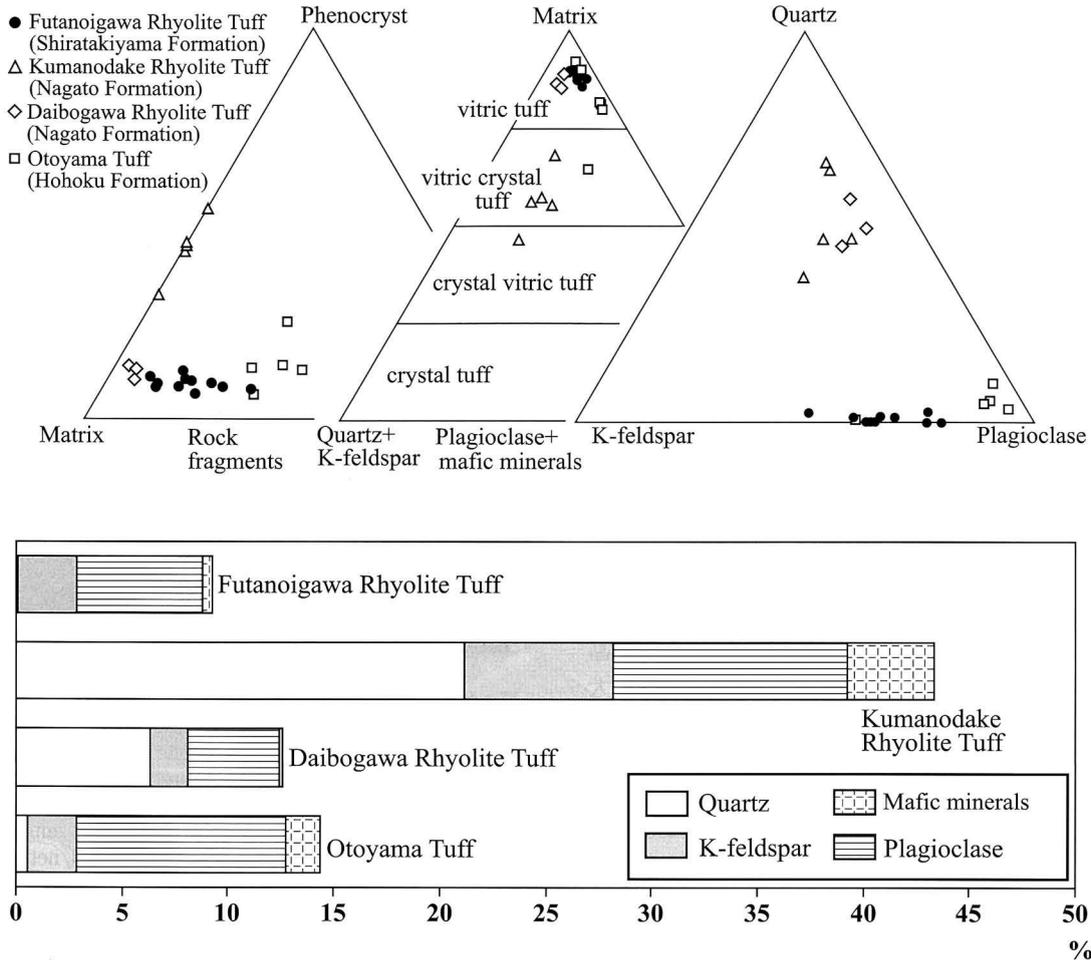


Fig. 8. Triangular diagrams and bar graphs showing modal compositions of the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member and adjacent pyroclastic rocks.

門層群と大藤山凝灰岩部層の境界断層に沿って貫入する。蓋の井川流紋岩凝灰岩部層との前後関係は不明である。

<特徴・岩石記載>

青灰色を呈し、自形性の強い斜長石と角閃石斑晶の目立つ斑状組織の顕著な岩石である。鏡下では石基が微晶質-隠微晶質で、珪長岩組織を示す。主成分鉱物として斜長石、石英、角閃石および黒雲母を、副成分鉱物として燐灰石、ジルコンおよび不透明鉱物を含む。斜長石斑晶 (0.2-5 mm) は自形-半自形で長柱状、卓状を呈すものや弱い融食を受けているものがある。累帯構造を示すものは比較的少ない。石英斑晶 (0.1-3 mm) は自形-半自形で、融食を受けて結晶の縁が丸くなったものや湾入状形態を示すものが多く見られる。波動消光が顕著である。角閃石斑晶 (0.1-4 mm) は自形-半自形を示し、変質によりしばしば緑泥石化や緑れん石化している。黒雲母斑晶 (0.1-0.3 mm) は長柱状を呈し、X=黄色、Z=濃褐色の多色性を示す。

2. ひん岩

<分布・他層との関係>

調査地域全域に渡って、大部分は幅 1 m 前後の薄い岩脈として産するが、白滝山層北西縁部では関門層群との境界断

層に沿って比較的厚い岩脈として貫入している。

<特徴・岩石記載>

青灰-黒灰色を呈し、斑状組織が顕著である。鏡下ではしばしば著しい変質作用が認められる。主成分鉱物として斜長石と石英 (±)、副成分鉱物として燐灰石、チタン石および不透明鉱物を含む。斜長石斑晶 (0.1-5 mm) は半自形-自形で、長柱状、卓状を示す。大部分は著しい変質作用によりセリサイト化や緑れん石化が顕著である。石英斑晶 (1-3 mm) は半自形-他形で、顕著な融食を受けているものと他形で間隙充填的に産すものがある。燐灰石やチタン石はしばしば斜長石に包有されている。

3. 珪長岩

<分布・他層との関係>

栗野川東岸から鶴羽山南方、オヶ瀬にかけて広く分布するほか、小規模な岩脈として調査地域に全域に分布する。

<特徴・岩石記載>

青灰色-灰白色を呈し、塊状なものと顕著な流理構造が見られるものがあり、両者は漸移的に変化していることも多い。流理面と貫入面はしばしば調和的である。まれに長径数 cm 程度の苦鉄質火成包有岩を包有する。

鏡下では塊状なものは、微晶質—隠微晶質な石英と長石の集合体からなる珪長質組織を示す。自形—半自形の斜長石斑晶 (0.1–2 mm) が見られることがあり、それはセリサイト化、方解石化が激しく、一部緑れん石化、緑泥石化しているものも見られる。石基には石英や長石のほかにも他形黒雲母や、副成分鉱物として燐灰石、ジルコンおよびチタン石が見られる。流理構造の見られるものは、塊状なものと同構成鉱物に違いは見られないが、やや緻密なものが多い。

4. 貫入性角礫岩

<分布・他層との関係>

白滝山層北西縁部の関門層群との境界付近 (蓋の井付近) および東縁部の関門層群との境界付近 (天井ヶ岳東方) の一部に岩脈として産し、母岩を高角度でシャープに貫く。そのため蓋の井川流紋岩凝灰岩部層の溶結凝灰岩との貫入接触部では、溶結凝灰岩の葉理面と貫入性角礫岩の貫入面が斜交する (Fig. 9.A)。

<特徴・岩石記載>

本岩は黒灰色—黒色の非常に微細な泥質—砂質基質と、角礫—亜角礫状の各種岩片 (径: 0.5–20 cm 程度) および結晶片からなる。岩片のうち、径 1 cm 以上の比較的サイズの大きいものは大部分が珪長岩、安山岩、流紋岩質溶結凝灰岩および花崗岩の岩片から構成され、サイズの小さいものには関門層群に由来すると考えられる砂岩や泥岩がよく見られる。岩片の大部分は淘汰が悪く、さまざまな形やサイズおよび岩種のもものが混在している。岩片の一部には岩片の長軸方向が母岩との境界に平行に並んでいるもの (Fig. 9.B)、岩片がジグソーパズル状に破碎されているもの (Fig. 9.C)、岩片がネットワーク状に破碎され、その部分に黒色基質が入り込んでいるものが見られる (Figs. 9.D, 10.A)。岩片は塊状のものやレンズ状の形を示すものがあり、レンズ状のものは先端が鋭角になっているのがしばしば観察される (Fig. 9.B)。岩片の周りは、しばしば黒色を呈するが、これは岩片の周りに炭質物が濃集していることによる。泥質基質と角礫—亜角礫状の各種岩片の境界には、細やかな凹凸が見られ、網目状に泥質基質が貫入している部分もあるが、各種岩片が円磨されて滑らかな表面を示す部分もある (Fig. 9.B)。

結晶片の大部分は細粒で (0.3 mm 以下)、破片状の石英、斜長石およびアルカリ長石から構成される。石英片にはカタクラスティックな変形を受けたものが見られる (Fig. 10.B)。また、石英片には *in situ* で破碎されたような産状を示すものもある。斜長石片には方解石化、絹雲母化、緑れん石化を受けたものが観察される。方解石化は岩片や斜長石のみならず、基質にも見られ、破片状に散乱した産状を示すものもある (Fig. 10.C)。アルカリ長石は石英や斜長石に比べて量的に少ない。Fig. 10.D は珪長岩の岩片中にみられる自形黄鉄鉱の産状を示す。

5. 花崗斑岩

<分布・他層との関係>

白滝山層北東縁部の河原付近に、径約 1 × 0.2 km の小さな岩脈として産する (Fig. 3)。白滝山層と関門層群の断層を切って東西方向に伸びた形態を示す。

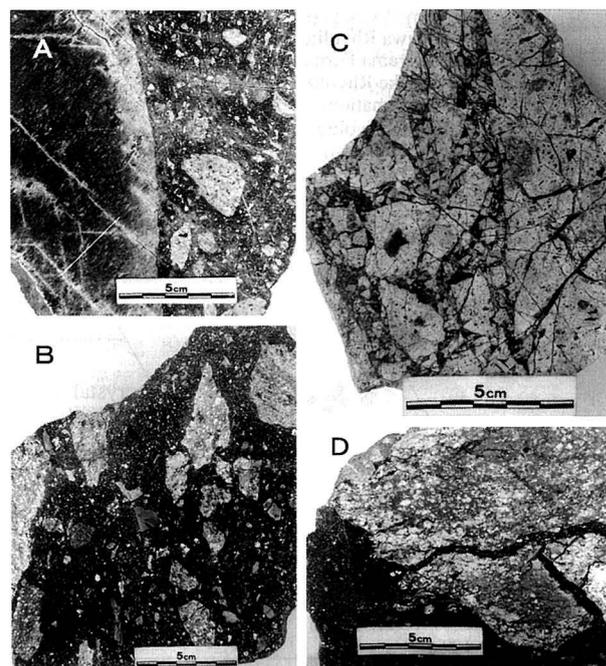


Fig. 9. Photographs of polished slabs of intrusive breccias. A. Intrusive breccia intruding welded tuff in the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member. Foliation of welded tuff (white line) is oblique to the intrusive contact plane of the intrusive breccia. B. Lens-like rock fragments show preferred orientation. The effect of mechanical abrasion on the fragments is striking. C. Brecciated angular clasts of welded tuff in the intrusive breccia. D. Fluidized, net-veined intrusive breccia in the Futanoigawa Rhyolite Tuff Member. Intricate penetration of black muddy matrix clearly indicates the forceful mode of emplacement.

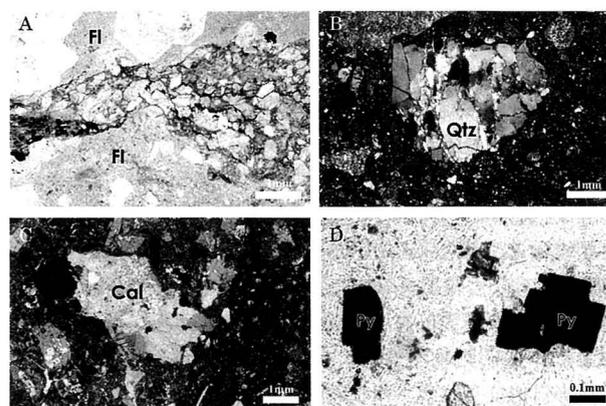


Fig. 10. Photomicrographs of intrusive breccia. A. Intrusive breccias intruding felsites (Fl), B. Cataclastically-deformed quartz (Qtz) grain, C. Fragmental calcite (Cal) in the intrusive breccia, D. Pyrite (py) in the intrusive breccias.

<特徴・岩石記載>

花崗斑岩中には径数 cm 程度の苦鉄質火成包有岩が含まれる。その外縁部には顕著な周縁急冷相が見られるものや境界が不明瞭なものなど多様である。また、トーナル岩、ノーライトおよびかんらん石玄武岩の捕獲岩が見られる。

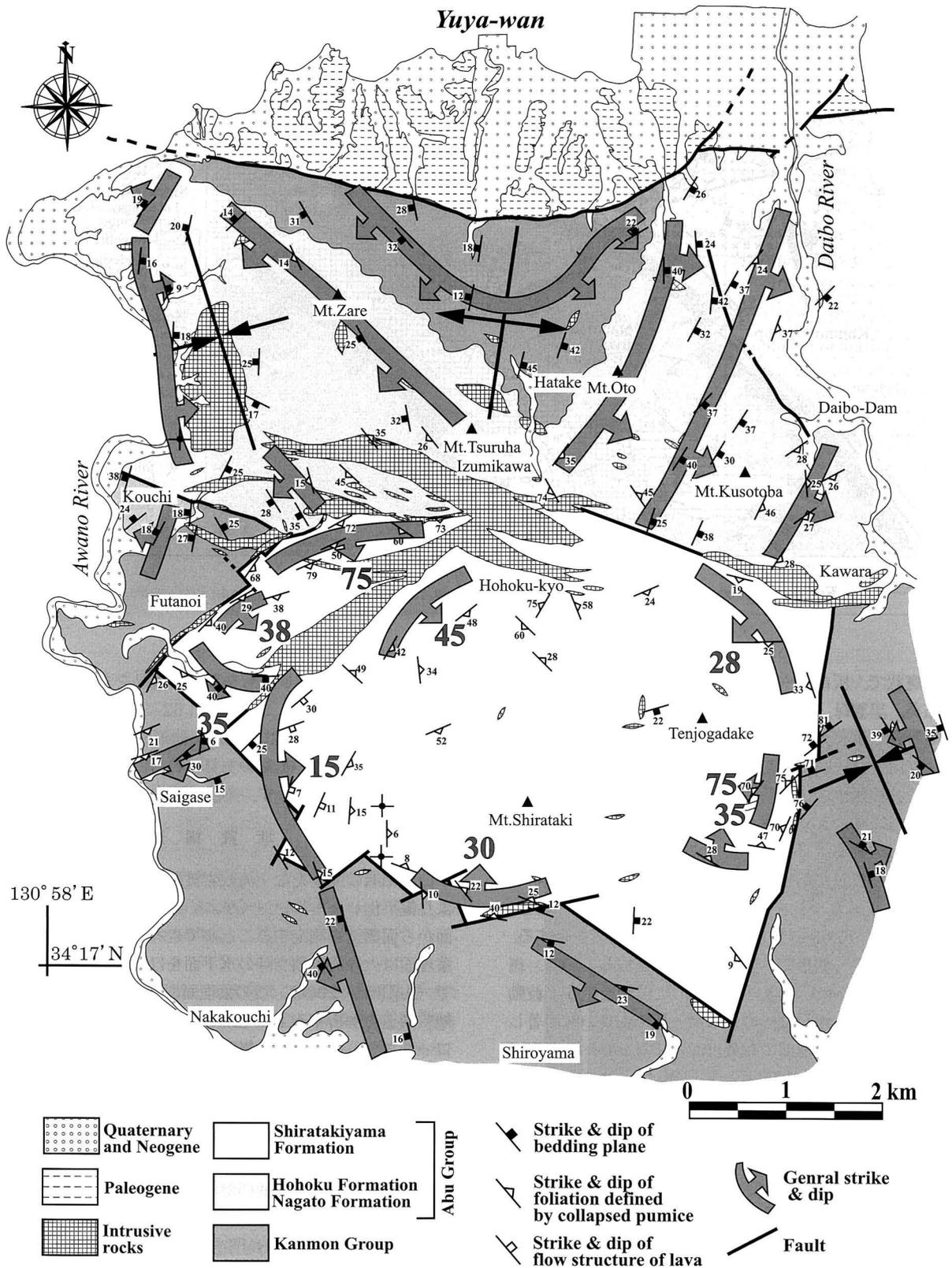


Fig. 11. Structural map of Yuya-cho, Nagato city to Toyota-cho, Shimonoseki city, Yamaguchi Prefecture.

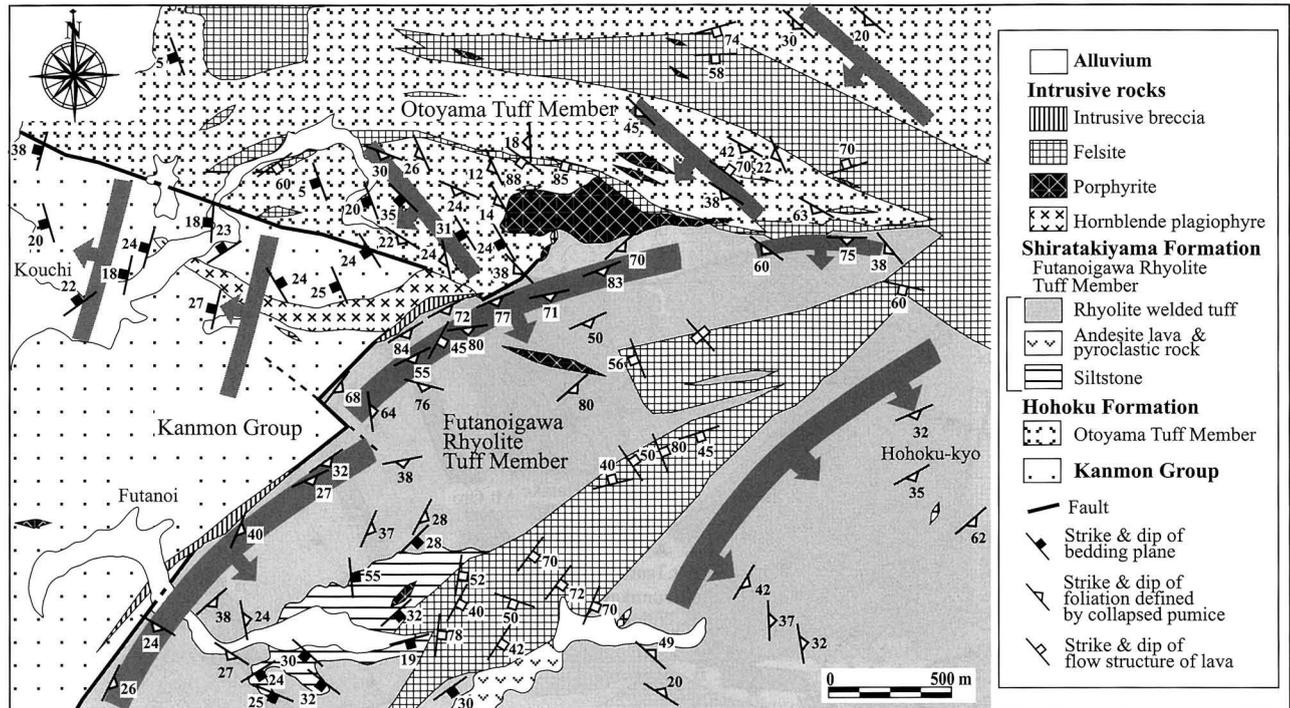


Fig. 12. Geological map of Futanoi to Hohoku-kyo area, Shimonoseki city, Yamaguchi Prefecture.

完晶質斑状で、灰白色—灰色を呈す。主成分鉱物として斜長石、石英、黒雲母、角閃石、斜方輝石(±)、単斜輝石(±)およびカリ長石(±)、副成分鉱物としてジルコン、燐灰石および不透明鉱物を含む。斜長石斑晶(0.3–5 mm)は半自形—自形で長柱状や卓状を呈し、累帯構造が顕著に見られる。斜長石コアは一部にAn 80%を超える部分もあるが、多くはAn 32–48%である。リムはおおよそAn 14–38%である。また、粗粒な斜長石が集斑状に分布するところやカリ長石との接触部にミルメカイトを形成しているところも見られる。石基部の斜長石(0.05–0.2 mm)は半自形—他形を呈する。カリ長石は半自形—他形で、多くが石基を構成している。斑晶の石英(0.5–3 mm)は半自形—自形で粒状を呈す。波動消光が顕著であり、粗粒なものでは湾入状や虫食い状の著しい融食が見られる。石基部の石英(0.05–0.2 mm)は他形で波動消光は弱い。黒雲母は自形—半自形(0.3–1.5 mm)の単独結晶として産するものと、他形(0.05–0.2 mm)で石基部に間隙充填的に分布するものがある。いずれもX=淡褐色、Z=濃褐色の多色性を示し、緑れん石化や緑泥石化しているものも見られる。角閃石(0.3–1.5 mm)は自形—半自形で、長柱状を呈す。明瞭な累帯構造を示すものもある。斜方輝石(1 mm)は自形で短柱状を呈する。ジルコンはしばしば斜長石や石英、黒雲母に包有される。黒雲母との接触部には多色性ハローが顕著である。燐灰石は針状を呈し、石英や斜長石に包有される。

花崗斑岩中の苦鉄質火成包有岩は完晶質斑状—無斑晶組織を示し、主成分鉱物として斜長石、黒雲母および角閃石、副成分鉱物として燐灰石と不透明鉱物を含む。斜長石(0.1–2

mm)は半自形ないし他形を呈し、斑晶をなすものでは累帯構造が顕著に見られ、コアはAn 62–88%、リムはAn 50–62%を示す。黒雲母は半自形—他形を呈し、一部緑れん石化、緑泥石化しているものも見られる。角閃石は長柱状をなす。燐灰石は針状をなす。不透明鉱物は棒状をなす。

地質構造

白滝山層の主体をなす流紋岩質溶結凝灰岩には溶結作用により偏平化した本質レンズがよく見られ(Fig. 7)、その葉理面から面構造を測定することができる。本質レンズがつくる葉理面は火砕流堆積当時の水平面をほぼ示すと考えられるので(山田ほか, 2005)、この葉理面の測定は白滝山層の層序や地質構造を解析する上で重要である。また、安山岩溶岩のフローユニットの境界面や凝灰岩質砂岩やシルト岩など堆積岩類の層理面も白滝山層の層序や地質構造を知る上で重要な指標となる。また、白滝山層に貫入する珪長岩には流理構造が顕著であり、それらは貫入面と良く一致する。Fig. 11にはこれら各種面構造の測定データとそれから得られた一般的地質構造を示す。さらに関門層群と阿武層群、阿武層群豊北層と白滝山層の構造的関係を検討するために豊北町蓋の井—豊北峡地域(Fig. 12)と長門市油谷河原地域(Fig. 13)について詳細な地質調査を行った。

1. 北部地域の構造

調査地域北部に分布する関門層群と阿武層群豊北層・長門層の構造について述べる。この地域では一つの背斜と一つの向斜構造が見られる。この地域に分布する地層は、調査地域北部中央の畑地域において南にプランジした南北方向の背斜

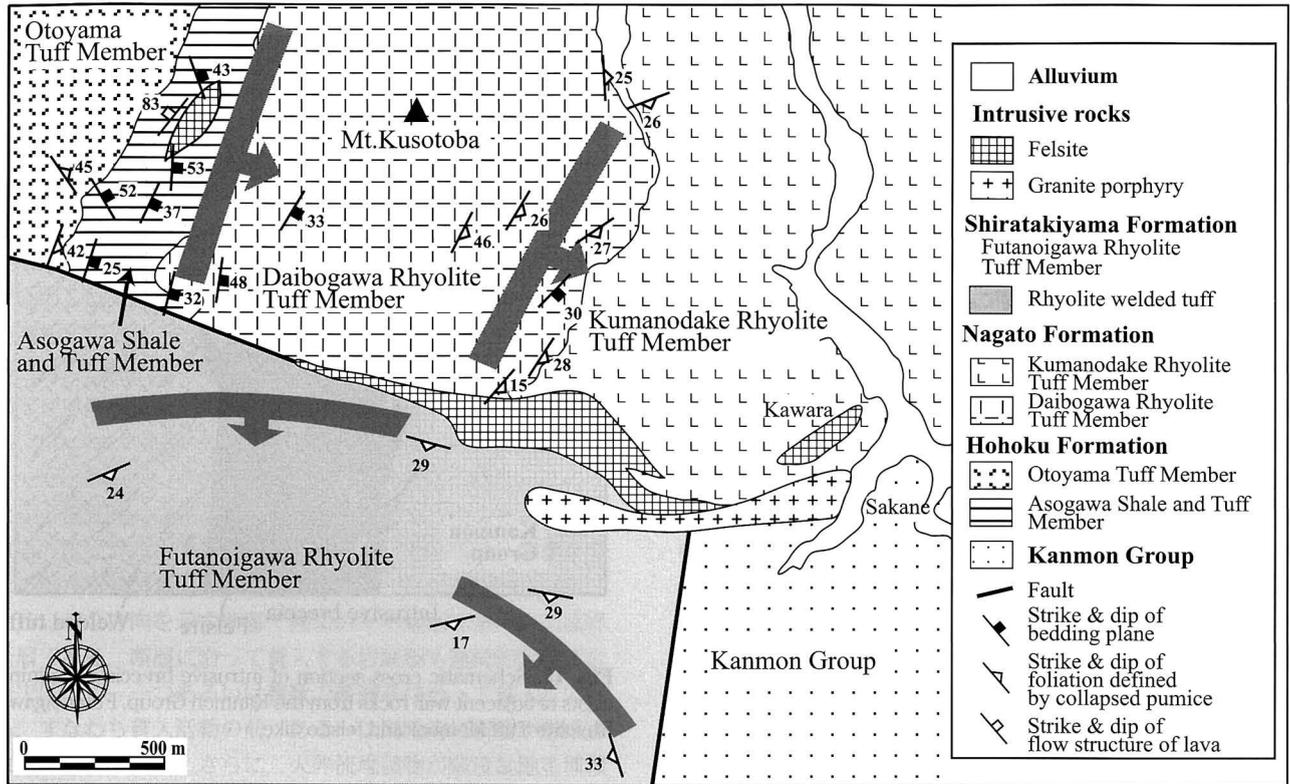


Fig. 13. Geologic map of the Yuya-Kawara area, Nagato city, Yamaguchi Prefecture.

軸が見られる。この背斜の西翼は20-30°西傾斜、東翼は40-45°東傾斜をする。さらにその東方の河原北西地域において長門層は20-30°南東に傾斜し、下位の豊北層の地質構造とはほぼ一致する (Fig. 11)。このことから両者は整合関係であると判断される。北西部の郷西上地域において豊北層には北西-南東方向の向斜軸が見られ、その西翼は20-30°北東に傾斜、東翼は15-25°南西に傾斜する。(Fig. 11)。豊北層全体の傾斜角は概ね20-40°である。

2. 南部地域の構造

調査地域南部の関門層群と阿武層群白滝山層の構造について述べる。白滝山層を取り囲む関門層群の構造について見ると、天井ヶ岳東方においては北北西-南南東の向斜軸をもち、その南西翼は20°北東傾斜、北東翼は20-40°南西傾斜を示す。調査地域南部の城山-中河内地域にかけては20-40°南西傾斜、調査地域西部の蓋の井地域では20-30°北西傾斜を示す (Figs. 11, 12)。本調査地域に分布する関門層群全体の傾斜角は概ね20-30°と緩やかであるが、天井ヶ岳東方地域の断層付近においては一部70-80°と急傾斜を示す。これは白滝山層東縁部にある北北東-南南西方向の断層の影響により基盤が傾動したためと考えられる。

白滝山層は河原地域南西部において20-30°南-南西傾斜を示す。天井ヶ岳東部地域においては70-80°北西傾斜を示す。白滝山南部地域においては30°北東-北傾斜を示す。オヶ瀬川付近においては15°東傾斜を示す。豊北峡地域においては40-50°南東傾斜を示す。蓋の井川付近においては



Fig. 14. Welded tuff in the Futanoigawa Rhyolite Member, showing vertical foliation defined by collapsed pumice.

20–45° 南ないし南東傾斜を示す。小河内東方地域においては70–85° 南東傾斜を示す。特に小河内川上流地域においては本地域を構成する溶結凝灰岩の葉理面がほぼ垂直に傾斜している露頭をよく観察できる (Fig. 14)。

以上のように、白滝山層を構成する火山岩類および堆積岩類の構造は、明らかに関門層群や阿武層群豊北層・長門層の構造とは不連続で、ほぼ岩体の中心に向かって傾斜し、約6×4 km 規模の1つの閉じた盆状構造を示している。しかしながら、その傾斜角は地域により大きく異なり、北西縁部では70–85° の急傾斜あるいはほぼ垂直であるが、南縁部–南西縁部では緩やかな傾斜を示す。

3. 貫入岩類の構造

蓋の井川上流–泉川上流地域では北東–南西方向に珪長岩が連続的に分布し、概ね45–90° 南東傾斜を示す (Fig. 12)。小河内川中流–泉川上流地域では西北西–東南東方向に連続的に分布し、概ね60–90° 南東から南傾斜を示す。なお、貫入岩類分布域の周囲の地層においてドーム構造など急激な地質構造の変化を示す場所は見られないことから、本地域の貫入岩類はその貫入によって既存の地質を持ち上げて貫入したのではなく、断裂系を充填することで形成されたと推定される。

考 察

本章では、まず基盤の関門層群と阿武層群白滝山層との境界部で見出された特異な貫入性角礫岩の成因とその意義について考察する。

1. 貫入性角礫岩の成因とその意義

貫入性角礫岩は白滝山層北西縁部 (蓋の井付近) および東縁部 (天井ヶ岳東方) において関門層群との境界断層に沿って岩脈として産する (Figs. 3, 12)。本岩は安山岩溶岩、砂岩、泥岩、流紋岩凝灰岩および珪長岩の岩片と泥質–砂質の基質からなり、基質にはガラス片や軽石片などの本質物は全く含まれていない。このことは、この岩石がマグマ爆発やマグマ水蒸気爆発による生成物ではないことを示唆している。

貫入性角礫岩の基質に見られる方解石片 (Fig. 10.C) や、絹雲母化・緑れん石化を受けた斜長石片は、母岩中で二次的に形成された熱水鉱物に由来したと考えるのが妥当である。蓋の井川流紋岩凝灰岩やそれに由来すると考えられる流紋岩凝灰岩の岩片には、初生的な溶結構造が良く保存されている (Fig. 9.A)。貫入性角礫岩中には熱水脈も全く観察されず、基質は岩片に比べて熱水変質作用による溶脱・珪化作用はほとんど認められない。したがって、方解石片や斜長石片および黄鉄鉱を生じた主要な熱水活動の後に貫入性角礫岩が形成されたことを示唆している。

一方、貫入性角礫岩中の岩片はジグソーパズル状に破碎され、基質の黒色細脈が網目状に注入している (Fig. 9.C)。一部の石英片も同様で、これらのことは、貫入時の *in situ* での破碎を示唆する。一方で、黒色の基質と接している各種岩片が円磨されて滑らかなこと (Fig. 9.B)、岩片は塊状のものやレンズ状形態を示すこと、岩片の一部には母岩との境界に平行な長軸を有することや、それらが配列している場合

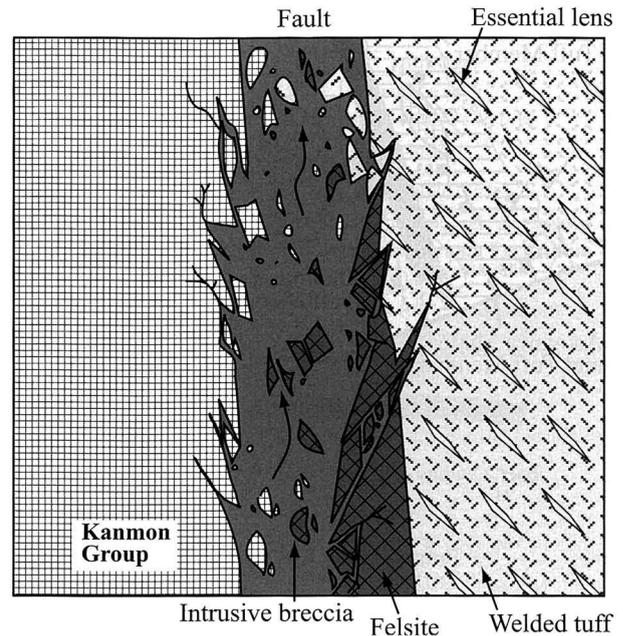


Fig. 15. Schematic cross section of intrusive breccia containing clasts of adjacent wall rocks from the Kanmon Group, Futanoigawa Rhyolite Tuff Member and felsite dike.

(Fig. 9.B) があることから、黒色基質の剪断変形、すなわち、岩片が機械的な摩擦で円磨され、なめらかな表面構造やレンズ状形態が形成されたものと考えられる。さらにこのような剪断変形によってさまざまな形・大きさ・岩種の岩片が運搬過程で攪拌・混合したものと推定される。

本岩の基質部の石英粒子にはカタクラスティックな変形を受けているものがあり (Fig. 10.B)、このことは貫入性角礫岩形成時の断層運動の存在を示唆する。また本岩に含まれる珪長岩の岩片は、珪長岩脈に由来したものと推定される (Fig. 15)。これらのことから、貫入性角礫岩を形成した断層はマグマの貫入場ともなっており、貫入性角礫岩は白滝山層の一連の火成活動と同時に並行的に形成されたものと考えられる。

コールドロン壁に形成された貫入性角礫岩の岩脈は、しばしばコールドロンの環状岩脈の一部として産する。例えば、山口コールドロン (武田・今岡, 1999) において環状岩脈として産する貫入性角礫岩の岩脈があげられる。このようなコールドロンに伴う貫入性角礫岩の岩脈の存在は、それが通路とした断層の起源が後の時代のテクトニックな変動によるものではなく、後期白亜紀阿武層群の噴火に関連した陥没運動によって形成されたことを強く示している。仮に後の時代のテクトニックな変動によるものであれば、数100 mの落差を持つ白滝山層東縁の断層や西縁の断層は白滝山層より古い豊北層や長門層にも及ぶはずであるが、その影響は認められない (Fig. 3)。

2. 白滝山コールドロンの認定

白滝山層の火山層序、構造および周辺より古い地層との関係に基づいて白滝山層と随伴関係を示す貫入岩類がコール

ドロンを構成していることを示し「白滝山コールドロン」を提唱する。

(1) 白滝山層の地質構造と周辺火山岩層との構造的関係 白滝山層を構成する火山岩類は、岩体の中心部に向かい傾斜する盆状構造をなし (Fig. 11), 基盤の関門層群, 豊北層および長門層の構造と不連続である (Figs. 11, 12, 13). 陥没域を埋積する火山岩類が内側へ傾動する地質構造は、カルデラ底の構造に支配されていると考えられ、多くのコールドロンで認められている (Walker, 1984; Branney, 1995 のレビューを参照のこと). 白滝山層と周辺に分布するより古い火山岩層とは、白滝山層西縁部から北東縁部にかけて高角の正断層あるいは断層に沿って貫入した岩脈類によって隔てられている (Fig. 3). 白滝山層南部では関門層群との接触部付近には1ヶ所であるが、不淘汰礫岩 (Fig. 6) が見られた。このことから南部にカルデラ壁の様な急崖が存在したことが推定される。以上から白滝山層を取り囲んでいる断層は、急崖からなる陥没の境界断層の可能性が高い。これは環状ではなく、いろいろな方向を示す断層で囲まれた不規則で多角形の境界断層である。断層に沿って貫入する岩脈類も連続的な環状岩脈ではなく、一つあるいは複数の断層系に沿って貫入している。すなわち貫入活動の前、あるいは同時に断層が形成されたと考えられる。さらに、火砕流堆積物が陥没盆地を埋積し、急崖の崩壊堆積物が火砕流堆積物に挟み込まれている。多角形とはいえ等方的に不安定な断層崖を形成しつつ火砕流を埋積するプロセスが必要と考えられることから、テクトニックな断層活動とは考えにくく、断層の形成時期は火砕流発生時期と大きなギャップがないと考えられる。すなわち、陥没は火砕流の発生やマグマの貫入と同時期であった可能性が高い。

白滝山層は盆状構造を示すが、その傾斜角は地域により異なる。白滝山層の東縁部の一部や北西縁部では75°程度の急傾斜で、部分的には垂直な構造も見られる (Fig. 13)。一方、南縁部一南西縁部や北東部では30°程度の緩やかな傾斜を示す。Fig. 3のB-B'断面図とC-C'断面図には蓋の井川流紋岩凝灰岩部層のうち流紋岩質溶結凝灰岩について上記の地質構造 (傾斜) から推定される内部構造を破線で記入している。Fig. 3のC-C'断面図を見ると、白滝山層の北側 (鶴羽山付近) では本来白滝山層は豊北層や長門層の上位にあったはずであるが、それらと断層で接触し、豊北層や長門層のその場所における層厚から判断して、白滝山層は少なくとも400 mは落ち込んでいる。C-C'断面図からカルデラ床はベースンの中心部より北側でより深いと推定される。このことは白滝山層の陥没量の地域差を示していると考えられ、内部を埋積する火山岩類は著しい傾動を受け、北部は南部に比べ地質構造が高角である。以上のように陥没は南北で非対称であったと考えられ、コールドロンに関連する岩脈類は北部に集中していることから、貫入活動の中心は北部にあったと推定される。

以上のような白滝山層の地質構造と周辺火山岩層との構造的関係、メソ角礫岩の存在、および白滝山層と関門層群の境界に産する貫入性角礫岩の存在は、白滝山層と関連貫入岩類

はコールドロンを構成していると考えられる。

一般的に、侵食の進んだカルデラでは、サブボルカニックな深成岩類が露出することが多い (例えば、大崩山コールドロン; Takahashi, 1986 など)。本コールドロンでも境界断層に沿って花崗斑岩などの岩脈類が部分的に貫入するが、その分布は連続性が悪く、かつ完晶質等粒状の深成岩類が見られないことから削剥レベルは比較的浅いと推測される。

3. 白滝山コールドロンの形成史

最後に白滝山コールドロンの形成史について考察を行う。

(1) 火山噴火と岩脈の貫入 現在地表に露出している白滝山層蓋の井川流紋岩凝灰岩部層の最下部に見られる流紋岩質凝灰岩は、非溶結であり、それには成層構造の顕著な凝灰質砂岩やシルト岩が挟み込まれる。これらは、カルデラ底が直接観察されないことから、カルデラ底を直接覆う噴火初期の堆積物ではないと考えられる。ある程度の削剥レベルにあるもので、火砕流シーケンスの途中が露出しているものであろう。また、非溶結の流紋岩質凝灰岩や凝灰質砂岩やシルト岩に挟み込まれる安山岩溶岩には水冷自破砕構造やフローユニットが顕著なことから、安山岩溶岩や湖成堆積物はカルデラ火山活動の静穏期に小規模陥没による水域 (おそらく湖沼域) に堆積したものと考えられる。蓋の井川流紋岩凝灰岩部層の中一上位層準には岩相変化の乏しい溶結凝灰岩が分布するが、これらは乾陸域に噴出したものと推定される。

カルデラ陥没の時期については、蓋の井川流紋岩凝灰岩部層が関門層群と断層関係にあることや貫入性角礫岩によって貫かれることから、主要なカルデラ陥没が蓋の井川流紋岩凝灰岩部層の噴出後に起こった可能性がある。

白滝山層の下部や上位の天井ヶ岳安山岩部層では安山岩質の火山岩が分布することから、火山活動の初期および末期には小規模な安山岩質火山活動が行われた。流紋岩質マグマと安山岩質マグマの顕著なパイモダルな火成活動は阿武層群の火山活動の特徴と一致する。

火山活動の末期にはひん岩や珪長岩の岩脈類が貫入した。岩脈類の前後関係は野外で確認することはできなかったが、地質学的に大きな時間間隙はなかったと推定される。また、花崗斑岩は、コールドロン縁辺の東西方向の弱線に沿って貫入した最末期の火成活動と考えられる (Figs. 3, 13)。

(2) なぜ非対称陥没か? 白滝山コールドロンに見られる非対称陥没はどのような原因によって引き起こされるのであろうか。非対称陥没のメカニズムを考察するにあたっては、蝶番型カルデラの形成メカニズムに関する議論 (Lipman, 1997; Miura and Wada, 2007 など) が参考になる。蝶番型コールドロンは、①火山噴出物の量が少ない場合、②浅所マグマ溜りの非対称な三次元形態に影響される場合、あるいは、③広域的な構造の影響下で形成される。

本コールドロンの場合、①についてみると、Scandone (1990) による経験式から求めた噴出量は9.6 km³で、火山活動は他地域のコールドロン、例えば、白亜紀の山口コールドロン (武田・今岡, 1999) や佐々並コールドロン (井川・今岡, 2001)、新第三紀の大崩山コールドロン (Takahashi, 1986) と比較して非常に小規模である。実際にこれまでに報

告されている蝶番型コールドロンには比較的小規模なものが多い(例えば, 6×4 km の波佐コールドロン, 村上ほか, 1982; 8×3.5 km の Hannegan カルデラ, Tucker et al., 2007).

一方, 新第三紀熊野カルデラのように25×23 km, 21×15 km の大規模なものもあり (Miura, 1999), それらについては③のような広域的あるいは局所的な応力場の影響が議論されている (Miura and Wada, 2007; 三浦・和田, 2007). しかし本コールドロンの場合, 筆者らはマグマ溜りの三次元形態や白亜紀のカルデラ形成とテクトニクスを議論する素材を持ち合わせていないので, ②・③の可能性の検証は今後の課題としたい。

白滝山コールドロンは上述のように小規模であること, コールドロンの外縁が多数の断層によって取り囲まれた多角形であることも大きな特徴の一つである。このことから, カルデラ底も多数の断層によって破断している可能性が高い。Komuro et al. (1984) や Komuro (1987) によって示された多角形型コールドロン形成の模型実験もそのような形態を示している。これらのことから白滝山コールドロンはピースミール型の特性を兼ね備えた非対称陥没の可能性が高い。

ま と め

山口県長門市西部から下関市北部地域に分布する阿武層群の層序・構造および貫入岩類の活動史について検討した結果, 以下のことが明らかとなった。

- (1) 本地域の地質は下位から前期白亜紀関門層群, 後期白亜紀阿武層群, 各種岩脈類 (ひん岩, 珪長岩, 貫入性角礫岩および花崗斑岩), 古第三紀日置層群, 新第三紀油谷湾層群, 第四紀かんらん石玄武岩および第四系によって構成される。このうち阿武層群白滝山層は下位の蓋の井川流紋岩凝灰岩部層と上位の天井ヶ岳安山岩部層の2層に区分される。白滝山層は岩脈類と密接な随伴関係を示し, 流紋岩と安山岩のバイモダルのマグマによって形成された火山-深成複合岩体をなす。
- (2) 白滝山層は盆状構造をなし, 北半分, とくに北西部では盆地の中心に向かい45-70°の高角な傾斜を持つが, 南半分は内側へ向かい20°以下の低角な傾斜を示す。このことから白滝山層は南北で非対称な盆状構造をなし, 周辺に分布する関門層群, 豊北層および長門層の地質構造と斜交する。
- (3) 白滝山層は基盤岩類 (関門層群, 阿武層群豊北層および長門層) と高角の正断層あるいは各種貫入岩類により隔てられ, 岩脈類とともに6×4 km 規模の多角形コールドロンを形成していると考えられる。そこでこれを新たに白滝山コールドロンと呼称する。白滝山コールドロンは陥没深度が北側で深く, 南側で浅い非対称な陥没形態を有していると考えられる。
- (4) 白滝山コールドロンでは, 貫入活動とカルデラ底の沈降が北部に遍在している。さらに小規模な噴火によって多角形の陥没縁と同時にカルデラ底の破断を引き起こした可能性が考えられ, 本コールドロンは陥没量が北側でよ

り大きなピースミール型の可能性が高いと考えられる。

謝 辞

山口大学の武田賢治氏と君波和雄氏には粗稿を読んでいただき, 有益なコメントをいただいた。(株)八千代エンジニアリングの井川寿之氏には, 野外調査の一部にご協力いただいた。編集幹事の三浦大助氏, 査読者である島根大学の小室裕明氏および匿名査読者の方には, 本稿を改善する上で多くの有益なご指摘をいただいた。島根大学の B. P. Roser 氏には英文要旨の校閲をしていただいた。以上の方々から感謝の意を表します。

文 献

- Branney, M. J., 1995, Downsag and extension at calderas: new perspectives on collapse geometries from ice-melt, mining, and volcanic subsidence. *Bull. Volcanol.*, **57**, 303-318.
- Coe, K., 1966, Intrusive tuff of west Cork, Ireland. *Quatern. Jour. Geol. Soc. London*, **122**, 1-28.
- Cole, J. W., Milner, D. M. and Spinks, K. D., 2005, Calderas and caldera structures: a review. *Earth-Science Rev.*, **69**, 1-26.
- 長谷 晃 (Hase, A.), 1958, 西中国, 北九州の後期中生界の層序と構造について。広島大学学報 (*Geol. Rep. Hiroshima Univ.*), no.6, 1-50.
- 井川寿之・今岡照喜 (Ikawa, T. and Imaoka, T.), 2001, 山口県中央部, 白亜紀阿武層群の火山層序, 構造と佐々並コールドロンの発見。地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **107**, 243-257.
- 井川寿之・鬼村雅和・今岡照喜・加々美寛雄 (Ikawa, T., Onimura, M., Imaoka, T. and Kagami, H.), 1999, 山口県中央部, 白亜紀石洞ヶ岳文象斑岩と随伴流紋岩の岩石記載と Sr, Nd 同位体比。地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 333-348.
- 今岡照喜・井川寿之 (Imaoka, T. and Ikawa, T.), 2006, 仙崎地域の地質, 第4章, 阿武層群。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅) [*Geology of the Senzaki district. Quadrangle Series, scale 1: 50,000*], 産総研地質調査総合センター (Geol. Surv. Japan, AIST), 27-37.
- 今岡照喜・村上允英 (Imaoka, T. and Murakami, N.), 1986, 匹見層群および関連貫入岩類。村上允英・今岡照喜編, 西中国および周辺地域の酸性~中性火成活動。山口大教養部紀要, 村上允英教授記念号 (*Jour. Fac. Liberal Arts, Yamaguchi Univ., Prof. N. Murakami Mem. Vol.*), 84-99.
- Imaoka, T., Murakami, N., Matsumoto, T. and Yamasaki, H., 1988, Paleogene cauldrons in the western San-in district, Southwest Japan. *Jour. Fac. Liberal Arts*, **22**, 41-75.
- 今岡照喜・永松秀崇・井川寿之・秋山美代・加々美寛雄 (Imaoka, T., Nagamatsu, H., Ikawa, T., Akiyama, M. and Kagami, H.), 2000, 火山活動と深成活動-西中国の例-。月刊地球 (号外) (*Chikyū Monthly, Extra edition*), **30**, 127-133.
- Imaoka, T., Nakajima, T. and Itaya, T., 1993, K-Ar ages of hornblendes in andesite and dacite from the Cretaceous Kanmon Group, Southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **88**, 265-271.
- 岸 司・今岡照喜・東風平 宏・西村祐二郎・板谷徹丸 (Kishi, T., Imaoka, T., Kochihira, H., Nishimura, Y. and Itaya, T.), 2007, 山口県における白亜紀吉部コールドロンおよび関連岩類の K-Ar 年代: 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷。地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **113**, 479-491.
- Komuro, H., 1987, Experiments on cauldron formation: a polygonal cauldron and ring fractures. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **31**, 139-149.
- Komuro, H., Aoyama, M. and Arayashiki, T., 2006, Collapse mechanism of the Paleogene Sakuray cauldron, SW Japan. *Bull. Volcanol.*, **68**, 631-640.
- Komuro, H., Fujita, Y. and Kodama, K., 1984, Numerical and experimental models on the formation mechanism of collapse basins during the Green Tuff orogenesis of Japan. *Bull. Volcanol.*, **47**, 649-666.

- Lipman, P. W., 1984, The roots of ash flow calderas in western North America: Windows into the top of granitic batholiths. *Jour. Geophys. Res.*, **89**, 8801-8841.
- Lipman, P. W., 1997, Subsidence of ash-flow calderas: relation to caldera size and magma-chamber geometry. *Bull. Volcanol.*, **59**, 198-218.
- Lipman, P. W., 2000, Calderas. In Sigurdsson, H., ed., *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, 643-662.
- 松浦浩久 (Matsuura, H.), 1998, 下関亜層群と香春花崗閃緑岩 (若松岩体) の K-Ar 年代. 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **93**, 307-312.
- Miura, D., 1999, Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **92**, 271-294.
- Miura, D. and Wada, Y., 2007, Effects of stress in the evolution of large silicic magmatic systems: An example from the Miocene felsic volcanic field at Kii Peninsula, SW Honshu, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **167**, 300-319.
- 三浦大助・和田穰隆 (Miura, D. and Wada, Y.), 2007, 西南日本弧前縁の圧縮テクトニクスと中期中新世カルデラ火山. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **113**, 283-295.
- 村上允英 (Murakami, N.), 1973, 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no.9, 93-105.
- 村上允英・今岡照喜 (Murakami, N. and Imaoka, T.) 編, 1986, 西中国および周辺地域の酸性～中性火成活動. 山口大教養部紀要, 村上允英教授記念号 (*Jour. Fac. Liberal Arts, Yamaguchi Univ., Prof. N. Murakami Mem. Vol.*), 419p.
- 村上允英・今岡照喜・井筒清貴 (Murakami, N., Imaoka, T. and Izutsu, K.), 1982, 古第三紀波佐陥没体の地質と構造. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **88**, 311-319.
- Myers, J. S., 1975, Cauldron subsidence and fluidization: mechanism of intrusion of the Coastal batholiths of Peru into its own volcanic ejecta. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **86**, 1209-1220.
- 尾崎正紀・今岡照喜・井川寿之 (Ozaki, M., Imaoka, T. and Ikawa, T.), 2006, 仙崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅) [*Geology of the Senzaki district. Quadrangle Series, scale 1: 50,000*], 産総研地質調査総合センター (Geol. Surv. Japan, AIST), 127p.
- Scandone, R., 1990, Chaotic collapse of calderas. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **42**, 285-302.
- Takahashi, M., 1986, Anatomy of a middle Miocene Valles-type caldera cluster: Geology of the Okueyama volcano-plutonic complex, southwest Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **29**, 33-70.
- 武田賢治・今岡照喜 (Takeda, K. and Imaoka, T.), 1999, 山口地域の白亜紀環状岩脈とコールドロン. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 199-219.
- Tucker, D., Hildreth, W., Ulrich T. and Friedman, R., 2007, Geology and complex collapse mechanisms of the 3.72 Ma Hanneagan caldera, North Cascades, Washington, USA. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **119**, 329-342.
- 山田直利・河田清雄・小井土由光 (Yamada, N., Kawada, K. and Koido, Y.), 2005, 濃飛流紋岩の研究史. 地団研専報 (*Monograph, Assoc. Geol. Collab. Japan*), no.53, 1-13.
- 弓削智子・今岡照喜・飯泉 滋 (Yuge, T., Imaoka, T. and Iizumi, S.), 1998, 山口県阿武地域における白亜紀流紋岩類と花崗岩類の全岩化学組成および Sr, Nd 同位体比. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **104**, 159-170.
- Walker, G. P. L., 1984, Downsag calderas, ring faults, caldera sizes, and incremental caldera growth. *Jour. Geophys. Res.*, **89**, 8407-8416.

(要 旨)

吉田健司・高橋徹己・今岡照喜, 2009, 山口県北西部の白亜紀白滝山コールドロン：非対称陥没の例. 地質雑, **115**, 643-657. (Yoshida, K., Takahashi, G. and Imaoka, T., 2009, The Cretaceous Shiratakiyama cauldron in northwest Yamaguchi Prefecture, Japan: an example of asymmetric subsidence. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 643-657.)

山口県北西部に分布する後期白亜紀阿武層群白滝山層の層序・構造および貫入岩類の活動史について検討した。白滝山層は下位の蓋の井川流紋岩部層と上位の天井ヶ岳安山岩部層に2分され、これらは各種岩脈とともに流紋岩と安山岩のバイモーダルなマグマからなる火山-深成複合岩体をなす。

白滝山層は盆状構造を示し、北半分は盆地の中央へ向かい約45-70°と高角傾斜を示すが、南半分は中央へ向かい20°以下の低角傾斜を示す。このように白滝山層は南北で非対称な盆状構造をなし、周辺に分布する基盤岩類の地質構造と斜交し、それらと高角の正断層あるいは岩脈などによって囲まれた6×4 kmの小規模なコールドロンを形成していることが明らかになったので、白滝山コールドロンを提唱する。これは陥没深度が北側で深く南側で浅い非対称な陥没形態を有しており、多角形の陥没縁の形成と同時にカルデラ底の破断を伴ったピースミール型コールドロンの可能性が高い。