

地域地質研究報告

5万分の1地質図幅  
福岡(14)第66号

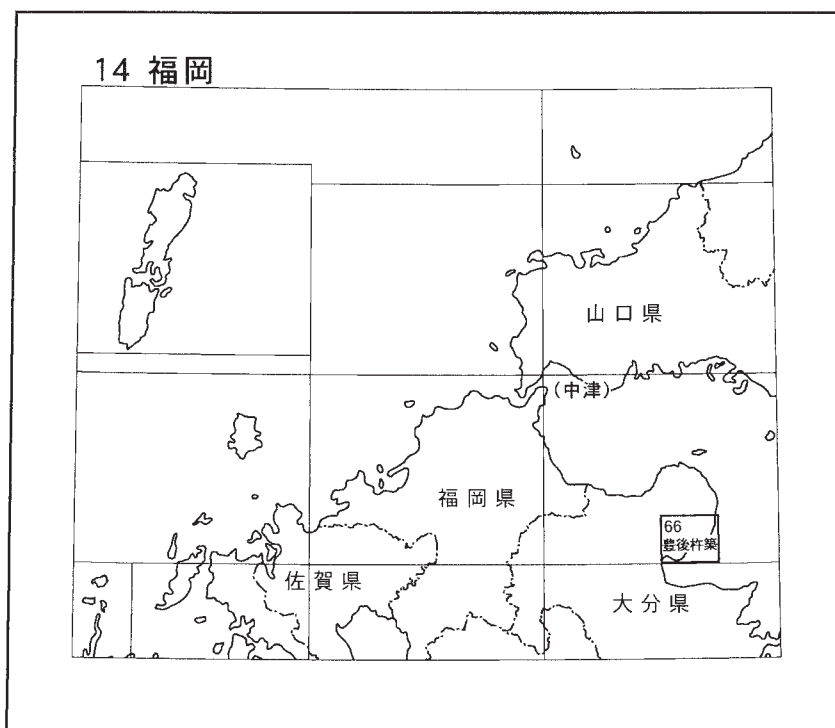
## 豊後杵築地域の地質

石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久・星住英夫

平成17年

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター

位置図



( ) は 1:200,000 図幅名

5 万分の 1 地質図幅索引図  
Index of the Geological Map of Japan 1:50,000

14-55 宇佐 Usa NI-52-4-11 (未刊行, unpublished)	14-56 鶴川 Tsurugawa NI-52-4-7 (未刊行, unpublished)	X
14-65 豊岡 Toyooka NI-52-4-12 (1993)	14-66 豊後杵築 Bungo-Kitsuki NI-52-4-8 (2005)	
14-75 別府 Beppu NI-52-5-9 (1988)	14-76 大分 Ōita NI-52-5-5 (1997)	14-77 佐賀関 Saganoseki NI-52-5-1 (1994)

# 豊後杵築地域の地質

石塚吉浩\*・水野清秀\*\*・松浦浩久\*・星住英夫\*

地質調査総合センター（旧地質調査所）は、1882年の創設以来、国土の地球科学的実態を解明するための調査研究を行い、様々な縮尺の地質図を出版してきた。このうち、5万分の1地質図幅は独自の地質調査に基づく最も詳細な地質図であり、基本的な地質情報を網羅している。

1978年、地震予知連絡会は近い将来地震の起こる可能性が他より高いと考えられる地域として、全国8地域を選定して特定観測地域とし、早急な5万分の1地質図幅の作成を要請した。これを受けて特定地質図幅の研究が1979年に開始され、第5次計画最終年度の2005年をもって完了する。

「豊後杵築」地域の調査研究は、地震予知のための特定観測地域の地質図幅作成計画の一環として、2001年から2004年に行われた。調査・執筆にあたっては、領家変成岩類と白亜紀深成岩類を松浦が、主に新第三紀と第四紀の火山岩類を石塚が、主に第四紀堆積物を水野がそれぞれ担当した。新第三紀と第四紀の火山岩類については星住が調査を補った。全体の調整は石塚が行った。

大分大学教育学部の千田昇教授からは別府湾の海底地形等深線図をご提供していただいた。山口大学理学部の沢井長雄助教授からは年代測定試料の詳しい採取位置を、同大学総合科学実験センターの永尾隆志助教授からは火山岩化学組成に関する資料をお教えいただいた。元京都大学理学部の峯元愛さんには日出丘陵の露頭を案内していただいた。大分県高田土木事務所、豊後高田市農林水産課、日出町下水道課、大田村建設課、(株)なかぞの方々からは、ボーリング資料をご提供をいただいた。日出町及び安岐町観光協会の方々には湧水地点についての資料をご提供いただいた。杵築市教育委員会、杵築市保健衛生課、山香町企画課の方々には、それぞれ八坂川河口部の埋立地、杵築市内の温泉、金鉱床跡地についてご教示いただいた。地質情報研究部門の宇都浩三副部門長からは野外調査の際に多くの助言を受け、巖谷敏光主任研究員からは国東半島の地形陰影図と接峰面図の提供を受けた。元地質調査所の金谷弘博士からは、領家変成岩類と白亜紀深成岩類の物理的性質の検討のために試料の整形と測定をしていただき、特徴について助言をいただいた。現地調査に当たっては岩本春夫氏（山香町在住）、稲倉寛仁氏（元大分市在住）、阿部辰明氏（大田村在住）からご協力をいただいた。

本研究に使用した薄片は、野神貴嗣・大和田朗・福田和幸（広報部地質標本館）、佐藤卓見（北海道地質調査連携研究体）、青山秀喜（関西地質調査連携研究体）の各氏の製作による。

（平成16年度稿）

---

所 属

\* 地質情報研究部門

\*\* 活断層研究センター

Keywords : areal geology, geological map, 1 : 50,000, Bungo-Kitsuki, Ōita Prefecture, Kyushu, Beppu-Shimabara Graben, Hohi volcanic zone, Cretaceous, Miocene, Pliocene, Pleistocene, Ryōke Metamorphic Rocks, Plutonic complex, Usa Volcanic Rocks, Sekinan Group, Futago Volcano Group, Kanagoe Volcano, Ōita Group, Hiji Volcano, Takahirayama Volcano, Aso-4 Pyroclastic Flow Deposits, active fault, Beppu Bay fault system, gold deposits, hot and cold springs

## 目 次

第1章 地 形	1
第2章 地質概説	5
第3章 領家変成岩類	11
3.1 概要と研究史	11
3.2 豊後杵築地域の領家変成岩類	11
第4章 白亜紀深成岩類	14
4.1 概要と研究史	14
4.2 行者岬深成複合岩体	14
4.3 牛屋敷深成複合岩体	17
4.4 伏在先第三紀基盤岩類	18
第5章 新第三紀宇佐火山岩類	19
5.1 研究史	19
5.2 宇佐火山岩類の概説と火山体区分の指針	20
5.2.1 船部安山岩	20
5.2.2 田原山安山岩	23
5.2.3 陽平安山岩	24
5.2.4 甲尾山デイサイト	25
第6章 後期鮮新世-前期更新世碩南層群	26
6.1 概要と研究史	26
6.2 熊野層	26
6.3 俣水層	28
6.4 加貫鼻層	32
6.5 野原層	34
6.6 敷戸火砕流堆積物	34
第7章 前期-中期更新世火山岩類	35
7.1 両子火山群	35
7.1.1 研究史と概要	35
7.1.2 弁分火砕流堆積物	38
7.1.3 石丸岩屑なだれ堆積物	38
7.1.4 両子山麓扇状地堆積物	39
7.2 鹿鳴越火山	39
7.2.1 研究史と概要	39
7.2.2 鹿鳴越溶岩	40
7.2.3 杵築岩屑なだれ堆積物	41
7.2.4 相原山麓扇状地堆積物	44
7.2.5 浄土寺岩屑なだれ堆積物	45
7.2.6 津山山麓扇状地堆積物	45

第 8 章 中期更新世大分層群	46
8. 1 概 要	46
8. 2 照川層	46
8. 3 由布川火砕流堆積物	52
8. 4 秋貞火砕流堆積物	52
8. 5 神宮岩層なだれ堆積物	54
第 9 章 中期更新世火山岩類	55
9. 1 日出火山	55
9. 1. 1 研究史と概要	55
9. 1. 2 日出火砕流堆積物	55
9. 1. 3 小深江溶岩	56
9. 1. 4 日比ノ浦岩層なだれ堆積物	57
9. 2 高平山火山	58
9. 2. 1 高平山溶岩	58
9. 2. 2 暘谷ラハール堆積物	58
第 10 章 上部更新統-完新統	59
10. 1 阿蘇-4 火砕流堆積物	59
10. 2 段丘堆積物	59
10. 3 地すべり堆積物	60
10. 4 扇状地・崖錐堆積物, 砂州・海浜堆積物, 谷底及び後背湿地堆積物	60
10. 5 埋立地	60
第 11 章 活構造・重力	61
11. 1 陸域の活断層	61
11. 2 海域の活断層	63
11. 3 地震活動	65
11. 4 重 力	65
第 12 章 応用地質	66
12. 1 金鉱床	66
12. 2 地下水	66
12. 3 温泉・鉱泉	66
12. 4 碎石・土砂	67
文 献	68
Abstract	80

## 図・表目次

第 1. 1 図 豊後杵築地域周辺の地形陰影図	1
第 1. 2 図 豊後杵築地域周辺の接峰面図と地形区分	2
第 1. 3 図 田原山付近の特徴的な切り立った崖	3
第 1. 4 図 熊野磨崖仏が彫られている凝灰角礫岩の崖	3

第 1. 5 図	別府北山地と南側にみられる断層崖地形	4
第 1. 6 図	海岸侵食の進んでいる糸ヶ浜海岸南部	4
第 1. 7 図	別府湾の海底地形	4
第 2. 1 図	中部九州火山岩地域の地質概略図	5
第 2. 2 図	中部九州火山岩地域東部の火山岩年代値	6
第 2. 3 図	豊後杵築地域の地質概略図	7
第 2. 4 図	豊後杵築地域の層序関係図	8
第 3. 1 図	泥質片麻岩の顕微鏡写真	12
第 3. 2 図	珪質片麻岩の露頭写真	12
第 3. 3 図	角閃岩の顕微鏡写真	13
第 4. 1 図	行者岬深成複合岩体の角閃石斑れい岩の露頭写真	15
第 4. 2 図	行者岬深成複合岩体の $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ 図, $\text{SiO}_2\text{-CaO}$ 図	15
第 5. 1 図	宇佐火山岩類と領家変成岩類の不整合面	20
第 5. 2 図	船部安山岩のラハール堆積物	21
第 5. 3 図	船部安山岩の普通輝石含有紫蘇輝石デイサイト溶岩	21
第 5. 4 図	宇佐火山岩類の偏光顕微鏡写真	22
第 5. 5 図	宇佐火山岩類の岩石の $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 図, $\text{MgO-K}_2\text{O}$ 図	22
第 5. 6 図	田原山安山岩の火山岩塊火山灰流堆積物	23
第 5. 7 図	田原山安山岩のラハール堆積物	24
第 5. 8 図	田原山山頂から望む田原山安山岩と陽平安山岩	25
第 6. 1 図	豊後杵築周辺地域の鮮新-更新統間の対比	27
第 6. 2 図	熊野層の地質柱状図	28
第 6. 3 図	熊野層のシルト層に挟まる軽石層	28
第 6. 4 図	熊野層の砂層主体の部分	29
第 6. 5 図	変形を受けてブロック化した熊野層	29
第 6. 6 図	俣水層の露頭写真	31
第 6. 7 図	野原層及び加貫鼻層の地質柱状図	32
第 6. 8 図	熊野層, 加貫鼻層, 杵築岩層なだれ堆積物の層序関係	33
第 6. 9 図	杵築岩層なだれ堆積物中にブロックとしてとりこまれている加貫鼻層の火山灰質シルト層	33
第 7. 1 図	両子山麓扇状地堆積物, 石丸岩層なだれ堆積物, 弁分火砕流堆積物, 俣水層, 宇佐火山岩類船部 安山岩の地質柱状図	36
第 7. 2 図	弁分火砕流堆積物に含まれる軽石の顕微鏡写真	37
第 7. 3 図	弁分火砕流堆積物の粒径分布	37
第 7. 4 図	両子火山群噴出物の $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ 図, $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 図	37
第 7. 5 図	石丸岩層なだれ堆積物の岩相	38
第 7. 6 図	鹿鳴越溶岩の岩相	40
第 7. 7 図	鹿鳴越火山, 日出火山, 高平山火山群, 由布-鶴見火山群噴出物の $\text{MgO-K}_2\text{O}$ 図, $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 図, $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 図	41
第 7. 8 図	杵築岩層なだれ堆積物の模式露頭	42
第 7. 9 図	杵築岩層なだれ堆積物の岩相	43

第 7. 10 図	杵築岩層なだれ堆積物の基質に含まれる発泡の悪い軽石の顕微鏡写真	44
第 8. 1 図	照川層を中心とした地質柱状図	47
第 8. 2 図	熊野層, 照川層, 誓願寺軽石層の層序関係	49
第 8. 3 図	変形を受けた加貫鼻層を覆う照川層の礫層	49
第 8. 4 図	海成シルト-砂層中にみられるサンドパイプ状の生痕	50
第 8. 5 図	由布川火砕流堆積物の岩相	52
第 8. 6 図	秋貞火砕流堆積物の岩相と本質物の顕微鏡写真	53
第 8. 7 図	由布川火砕流堆積物と神宮岩層なだれ堆積物の層序関係	54
第 9. 1 図	小深江溶岩の岩相	56
第 9. 2 図	小深江溶岩の破碎部の顕微鏡写真	57
第 9. 3 図	日比ノ浦岩層なだれ堆積物の岩相 1	57
第 9. 4 図	日比ノ浦岩層なだれ堆積物の岩相 2	58
第 10. 1 図	中位段丘を構成する海成シルト層とそれを覆う扇状地成礫層	60
第 11. 1 図	別府湾周辺における活断層の分布	62
第 11. 2 図	大重見断層の逆向き低断層崖	63
第 11. 3 図	日出沖断層群にはほぼ直交する南北方向の音波探査記録の例	64
第 11. 4 図	豊後杵築地域及び周辺地域のブーゲー異常	65
第 12. 1 図	日出町和泉の湧水地とそこに祭られた水神	66
第 2. 1 表	豊後杵築地域の地質総括表	9
第 3. 1 表	豊後杵築地域内の領家変成岩類の物性	13
第 4. 1 表	豊後杵築地域内の白亜紀深成岩類の化学組成及びノルム組成	16
第 4. 2 表	豊後杵築地域内の白亜紀深成岩類の物性	17
第 6. 1 表	碩南層群に挟まるテフラの諸分析値	27
第 6. 2 表	熊野層及び野原層の花粉化石産出状況	30
第 8. 1 表	照川層に挟まるテフラの諸分析値	48
第 8. 2 表	照川層の花粉化石産出状況	51
第 12. 1 表	豊後杵築地域における温泉及び鉱泉一覧	67
付 図	本研究で記載した露頭の位置	72
付表 1	豊後杵築地域及び周辺地域に分布する火山岩の K-Ar 年代測定結果	74
付表 2	豊後杵築地域の火山岩のフィッション・トラック年代測定結果	74
付表 3	豊後杵築地域及び周辺地域の火山岩の主成分化学組成値とモード量	75
付表 4	豊後杵築地域および周辺地域の年代測定値一覧	78
Table. 1	Summary of the geology of the Bungo-Kitsuki district	81





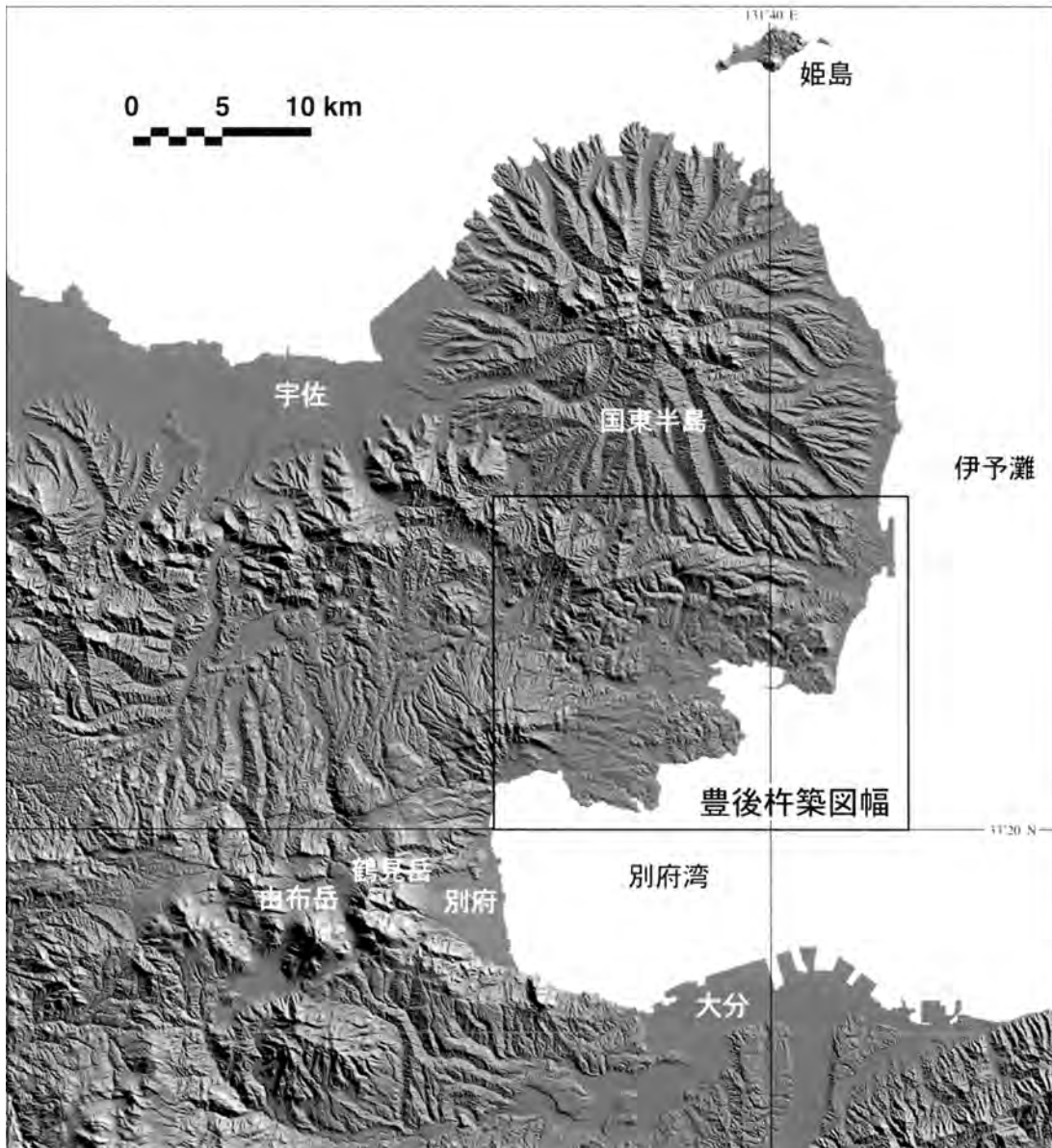
# 第1章 地 形

(水野清秀・石塚吉浩)

豊後杵築地域は、世界測地系において北緯 33 度 20 分 12 秒-30 分 12 秒 (旧日本測地系：北緯 33 度 20 分-30 分)、東経 131 度 29 分 51.3 秒-44 分 51.2 秒 (旧日本測地系：東経 131 度 30 分-45 分) の範囲に位置する。このうち陸域が全体の 7 割、海域が 3 割を占め、陸域は行政区分における、大分県杵築市の全て、速見郡日出町・山香

町、西国東郡大田村、東国東郡安岐町・武蔵町の大部分と、別府市、豊後高田市の一部を含んでいる。

本地域は九州の北東部にあたり、国東半島の南部から別府湾の北部にかけての範囲に位置する (第 1. 1 図)。国東半島は瀬戸内海に突き出た東西約 30 km、南北約 40 km の円形に近い半島である。その主部は両子山を中心



第 1. 1 図 豊後杵築地域周辺の地形陰影図

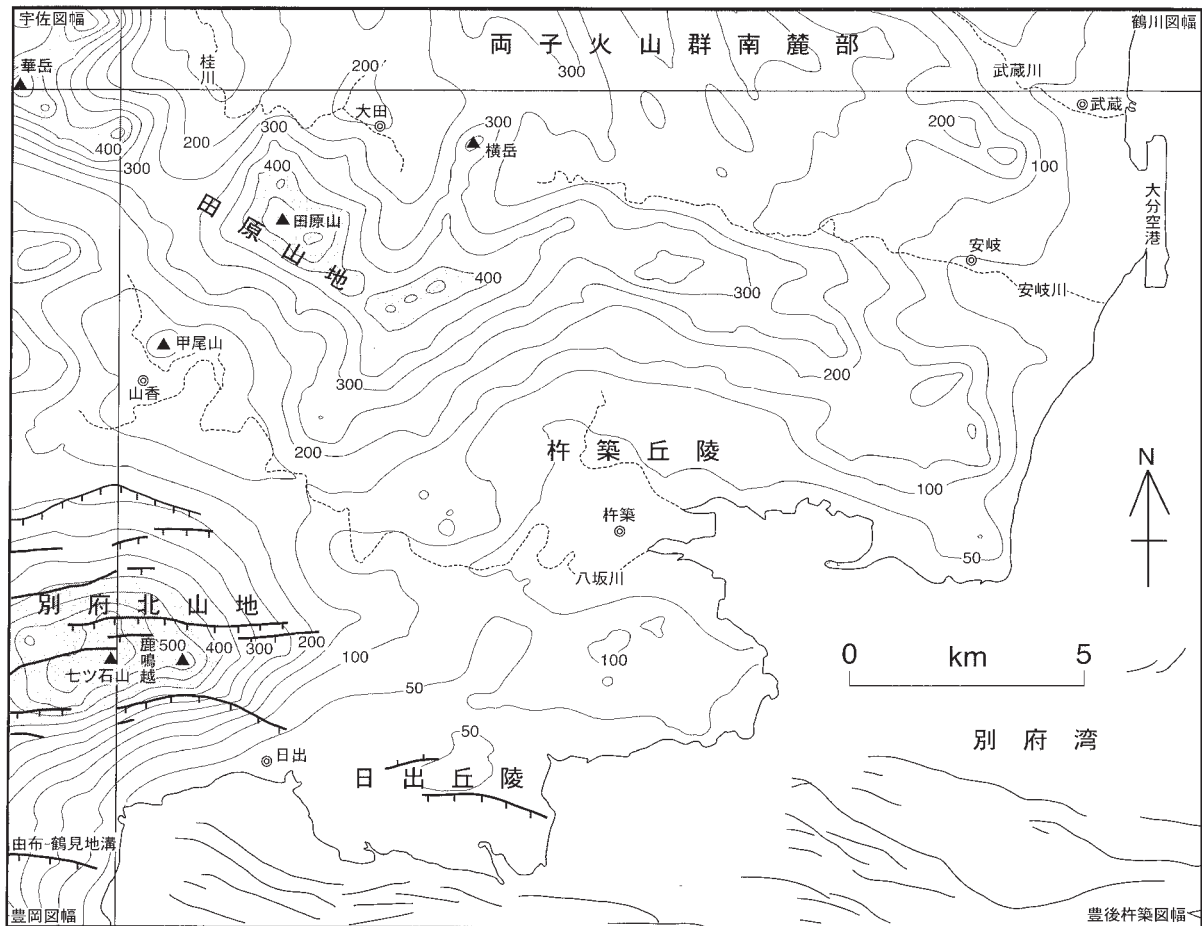
国土地理院数値地図 50 m メッシュ (標高) を用い、北東方向の光源から、太陽高度 40°、標高を 2 倍に拡大して作成 (巖谷敏光氏提供)。図中の緯度経度は旧日本測地系。

とした火山体であり、中心部から山麓にむけて放射状に多数の開析谷が走っているのが著しい特徴となっている。別府湾は南北幅 15 km、東西 20 km 程度の東に開いた伊予灘からの湾入部である。また別府湾海底下や北縁、南縁部には多数の活断層群が通っていて、別府-万年山断層帯（松田，1990）と呼ばれる起震断層領域の第四紀の火山と正断層群からなる変動帯の東端にあたっている。両子火山体と別府湾の間には、安岐川、八坂川などの河川によって隔てられる大きく東西に連なる田原山地と別府北山地（星住・森下，1993）の2つの山列があり、それぞれが形成時期の異なる火山体によって構成されている（第1.2図）。これらの山地の東部にあたる杵築や日山の市街地周辺は比較的なだらかな丘陵-台地となっている。これらの丘陵地を杵築丘陵及び日出丘陵と呼ぶ。このように本地域の地形は主に両子火山群南麓斜面、田原山地、別府北山地、杵築丘陵、日出丘陵、これらの間に見られる小規模の扇状地や谷底平野及び別府湾

海域から構成される。

### 両子火山群南麓部

両子山（標高 720.5 m、北隣鶴川地域）を主峰とする両子火山体は、その周囲に標高を減じてゆき、本地域北部にあたる火山体南麓部では標高が 300 m 以下の低い山地となっている。その南は東西方向に延びる安岐川及び桂川の上流域によって田原山地と隔てられている。山麓部はおよそ 300 m ~ 1 km 程度の間隔で発達する北西-南東から南北方向の多くの河川によって開析されている。これらの河川によって谷幅 300 m 以内の狭い谷底平野が形成されており、また河川に沿って段丘化した小規模な扇状地が点々と分布している。大分空港周辺の海岸地域では段丘面の発達がよく、沖積面との比高 10 ~ 20 m 程度の中位段丘面が広がっている。安岐川及び武蔵川の下流部には、谷幅 1 km 程度の本地域内では比較的広い谷底平野がみられる。



第1.2図 豊後杵築地域周辺の接峰面図と地形区分

中田・出中（2002）で紹介されている手法を用いて接峰面図を作成（巖谷敏光氏提供）。これは幅 500 m 以下の谷を埋積して作成したものに類似する。陸上の断層は推定部分を含め主なものを記し、落下している方向に短い線を付けた。等高線は 50 m 間隔。海底の断層は大分県（2001a, b）による。

## 田原山地

田原山地は、西側の宇佐山地（星住・森下，1993）から続く高まりであり、厳密には八坂川の支流である立石川と寄藻川の支流向野川によって分断されている。標高は田原山周辺で最も高く540～500 m、そのほかでは450～200 m程度で、概して東へ高度を減ずる。河川による開析を受けた比較的なだらかな山地であるが、田原山付近に限っては切り立った崖が連続し、耶馬溪式景観（首藤，1962）と呼ばれているものと同じ特異な地形を呈する（第1.3図）。国の重要文化財に指定されている熊野磨崖仏はこの崖を彫って作られている（第1.4図）。なお、田原山の東方、大田村波多地域には、地すべり地形が多く見られる。田原山地の東岸にあたる杵築市奈多付近では、海岸にそって砂浜が続き、細長く浜堤が形成されている。

## 別府北山地

別府北山地は別府湾からその西の由布-鶴見地溝（星住・森下，1993）の北縁をなす火山山地であり、豊岡地域から連続している。山地の地形は南北で非対称な形をしている。本地域内での最高点は鹿鳴越の西で標高約600 mであり、そこから鹿鳴越を結んだ線より北では、小さな河川で開析された緩やかな火山山麓扇状地状の斜面が北側に低くなりながら続いている。この斜面上にはまた、数本の東西に延びる南落ちの低断層崖が形成されている。一方、鹿鳴越より南側では最大比高400 mにも及ぶ急崖が存在している（第1.5図）。この崖の成因は鹿鳴越断層をはじめとする数本の活断層によって、火山体が階段状に南に落ち込むためと考えられ、崖の南では火



第1.3図 田原山付近の特徴的な切り立った崖  
豊後高田市上野。宇佐火山岩類田原山安山岩のラハール<sup>1)</sup>堆積物などから構成され、耶馬溪式景観を示す。崖の高さは約40 m。

山体の主部が、段丘化した扇状地面下に埋没している。

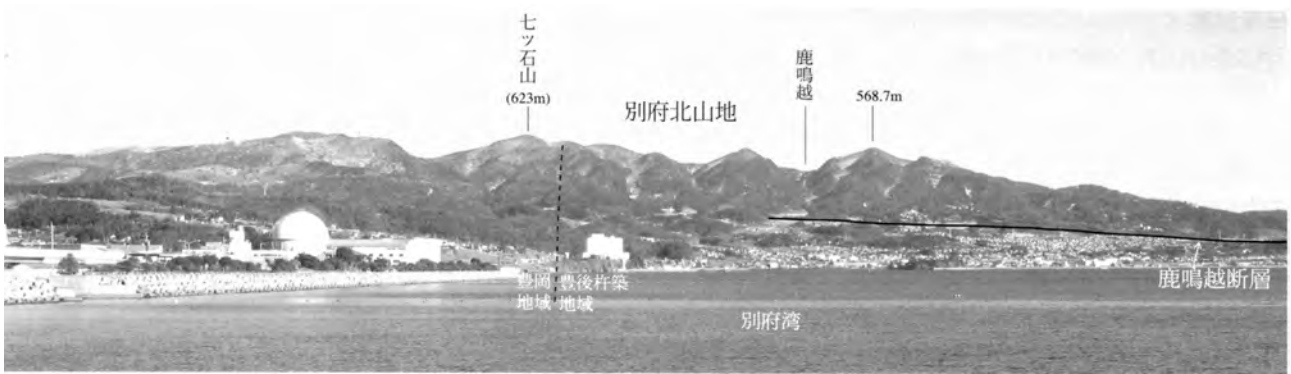
## 杵築丘陵・日出丘陵

杵築市街地の周辺から日出市街地及びその東側の海岸付近にかけての地域には、標高およそ100 m以下の比較的なだらかな丘陵地が広がっている。これらの地形面は主として前-中期更新世の岩屑なだれ堆積物や火砕流堆積物あるいは水成層の堆積面に相当している。細かく見ると丘陵地は河川の浸食によって数百m～1 km程度四方の小丘に分かれている。これらの丘陵地は一般に海岸まで続いていて、八坂川河口部などの一部の地域を除いて海岸では高さ20 m前後の急崖がみられ、海岸侵食も進んでいる（第1.6図）。一方、八坂川河口部や日出丘陵東の糸ヶ浜では干潟が広がっている。八坂川河口部ではかつては塩田が見られたが、現在ではこの河口部付近は広く埋立地になっている。また杵築市守江では河口部を半ばふさぐような形で住吉浜と呼ばれる砂嘴が延びている。



第1.4図 熊野磨崖仏が彫られている凝灰角礫岩の崖  
豊後高田市熊野。宇佐火山岩類田原山安山岩のラハール堆積物から構成される。磨崖仏の高さは8 m。

<sup>1)</sup> 本報告では、水と火山砕屑物が混合して流下した現象をラハールと呼ぶ。ラハールには土石流・泥流・洪水流が含まれる。



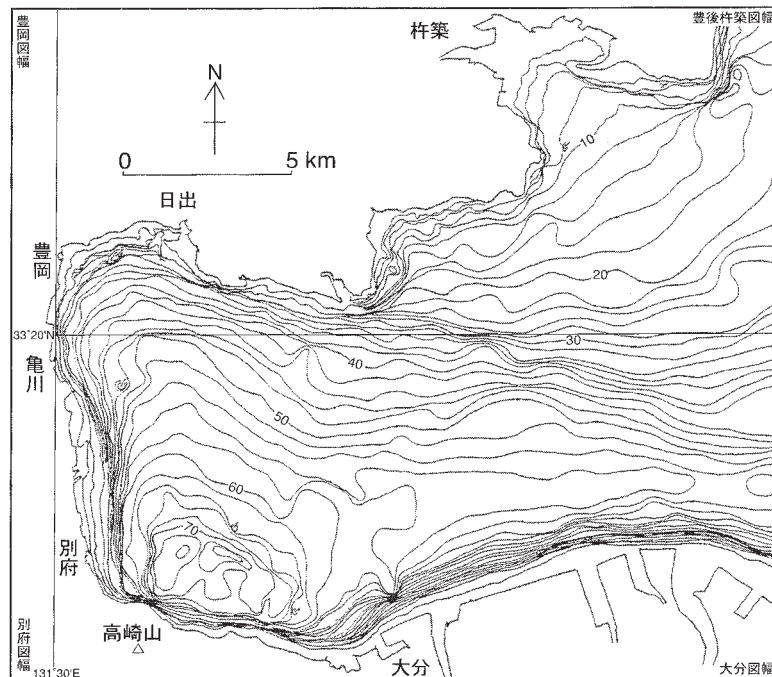
第 1.5 図 別府北山地と南側にみられる断層崖地形  
別府市亀川漁港（別府地域）より撮影。

### 別府湾

別府湾は断層運動によって沈降しているところであると考えられており、岸から離れると急激に深くなっている。さらに南北方向では、概して日出沖から南の大分市沖の方へ深くなる海底地形をしている（第 1.7 図）。日出丘陵南岸のすぐ沖には東西方向に走る南側沈下の海底断層があり（第 11.1 図参照）、その影響が海底地形にも現れている。一方、杵築市南東の八坂川河口沖では、河川から運ばれる堆積物の影響で、緩やかな海底扇状地状の地形を示している。



第 1.6 図 海岸侵食の進んでいる糸ヶ浜海岸南部  
日出町牧ノ内。崖の高さは約 20 m.



第 1.7 図 別府湾の海底地形  
千田・加藤（1994）による。等深線の間隔は 2 m.

## 第2章 地質概説

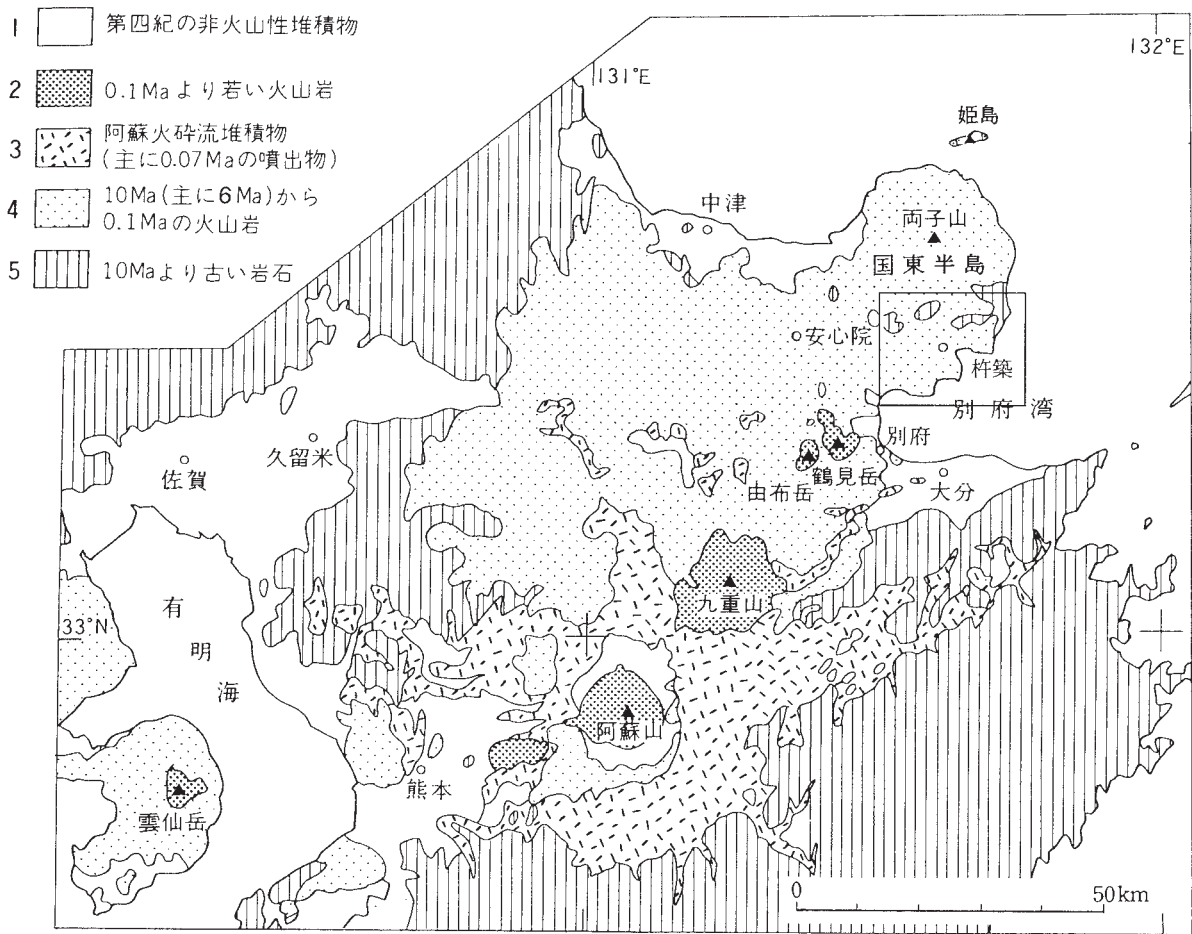
(石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久)

別府湾から島原半島にかけての中部九州には、北東-南西方向に新第三紀以降の火山岩類が広く分布している(第2.1図)。この中部九州火山岩地域は、重力の低異常域と一致し多くの断層が通ることから、別府-島原地溝と呼ばれている(松本, 1979)。別府-島原地溝の東部域、すなわち阿蘇カルデラから別府湾にかけては、火山岩類が若いものほど中心部(九重火山付近)に、古いものほど縁辺部に分布する特徴を示す(第2.2図)。別府-島原地溝の東部域は、この特徴から豊肥火山地域(鎌田, 1985a; Kamata, 1989)と呼ばれている。

豊後杵築地域は別府湾の北方に位置し、豊肥火山地域の北東縁にあたる。本地域では中央部に先第三系と新第三系が東西方向に延びて分布し、その南北を第四系が

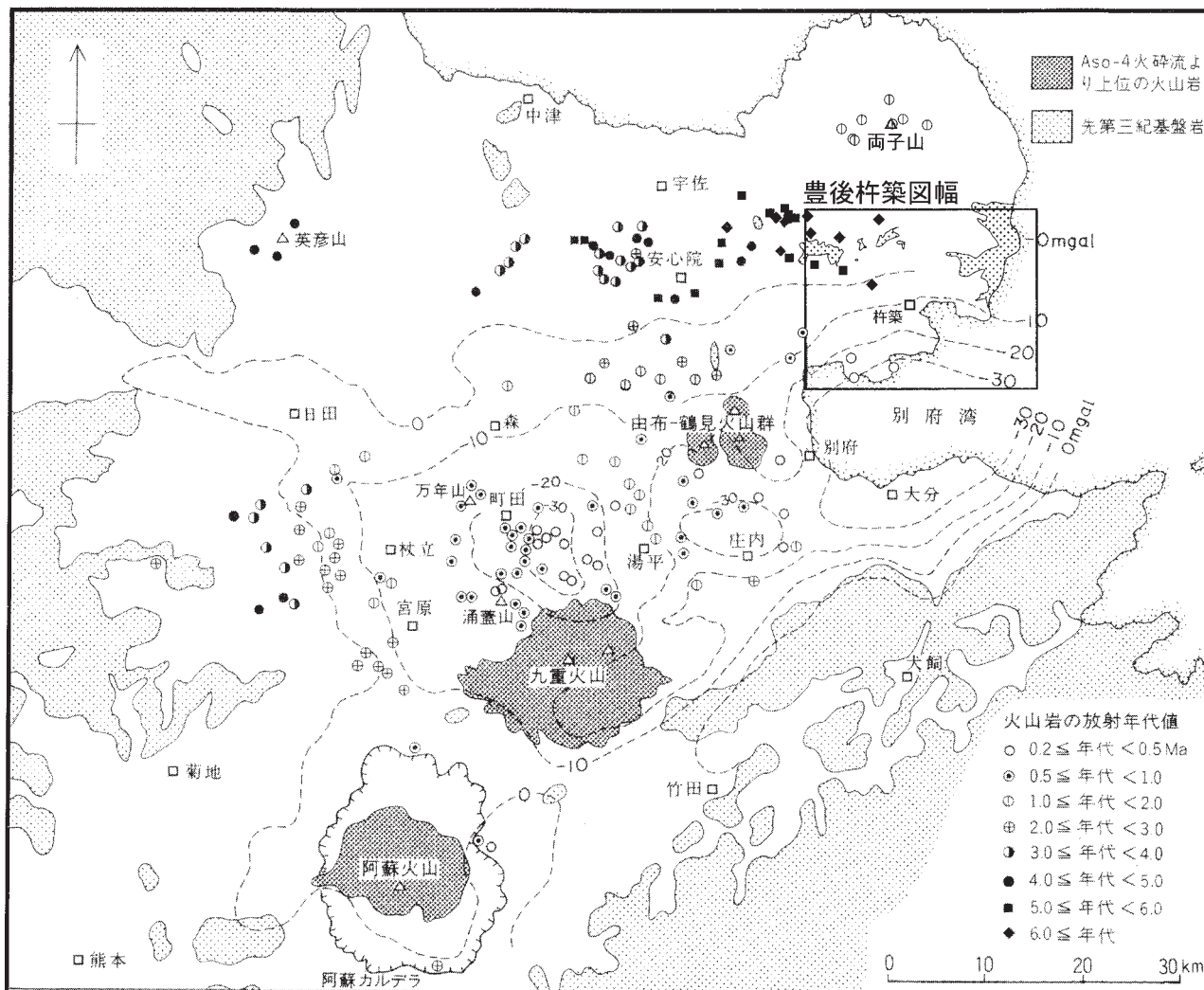
覆っている(第2.3図)。本地域の地質系統は大きく区分して7つの地質系統から構成されている。(1)先新生代の変成・深成岩類、(2)新第三紀宇佐火山岩類、(3)前期更新世(一部は後期鮮新世)碩南層群、(4)前期更新世両子火山群と鹿鳴越火山、(5)中期更新世大分層群、(6)中期更新世日出火山と高平山火山、(7)上部更新統-完新統である。このうち(3)~(6)の前期-中期更新世の堆積岩類と火山岩類は指交関係を示すことが多い。本地域の層序関係は第2.4図のように総括できる。第2.1表に地質総括表を示す。

本地域南部の別府北山地から日出丘陵にかけての地域と別府湾は、別府-万年山断層帯と呼ばれる活断層帯の北東縁に属していて、さらに陸域は別府地溝北縁断層



第2.1図 中部九州火山岩地域の地質概略図

伊藤ほか(1997)を一部改変。図中の四角は豊後杵築地域。



第 2.2 図 中部九州火山岩地域東部の火山岩年代値 (鎌田, 1997 に補筆)

帯、別府湾内は別府湾断層帯と称され、活断層が密集している (大分県, 2001b)。陸域には、唐木山断層、鹿鳴越断層、軒ノ井断層などの東西走向で主として北側が隆起した断層があるが、後期更新世以降の活動度はそれほど高くはない。一方、別府湾内には、日出沖断層群、別府湾中央断層、杵築沖断層群と呼ばれる多数の正断層からなる活断層が分布していて、活動度は北縁部の断層群よりも高く、また主要な断層は西暦 1596 年の慶長豊後地震の時に活動したと推定されている (島崎ほか, 2000 ; 大分県, 2001a, 2002)。

地下資源に関しては、新第三紀の火山活動に伴う金鉱床があるもののすべての鉱山は閉山となっている。地下水に関しては、別府北山地の南部に湧水地点が多くみられ、湧出量も比較的多く、生活用水、農業用水などに利用されている。また別府北山地北部や両子火山群南麓部などにも水量は多くないが湧水地点がいくつか見られ

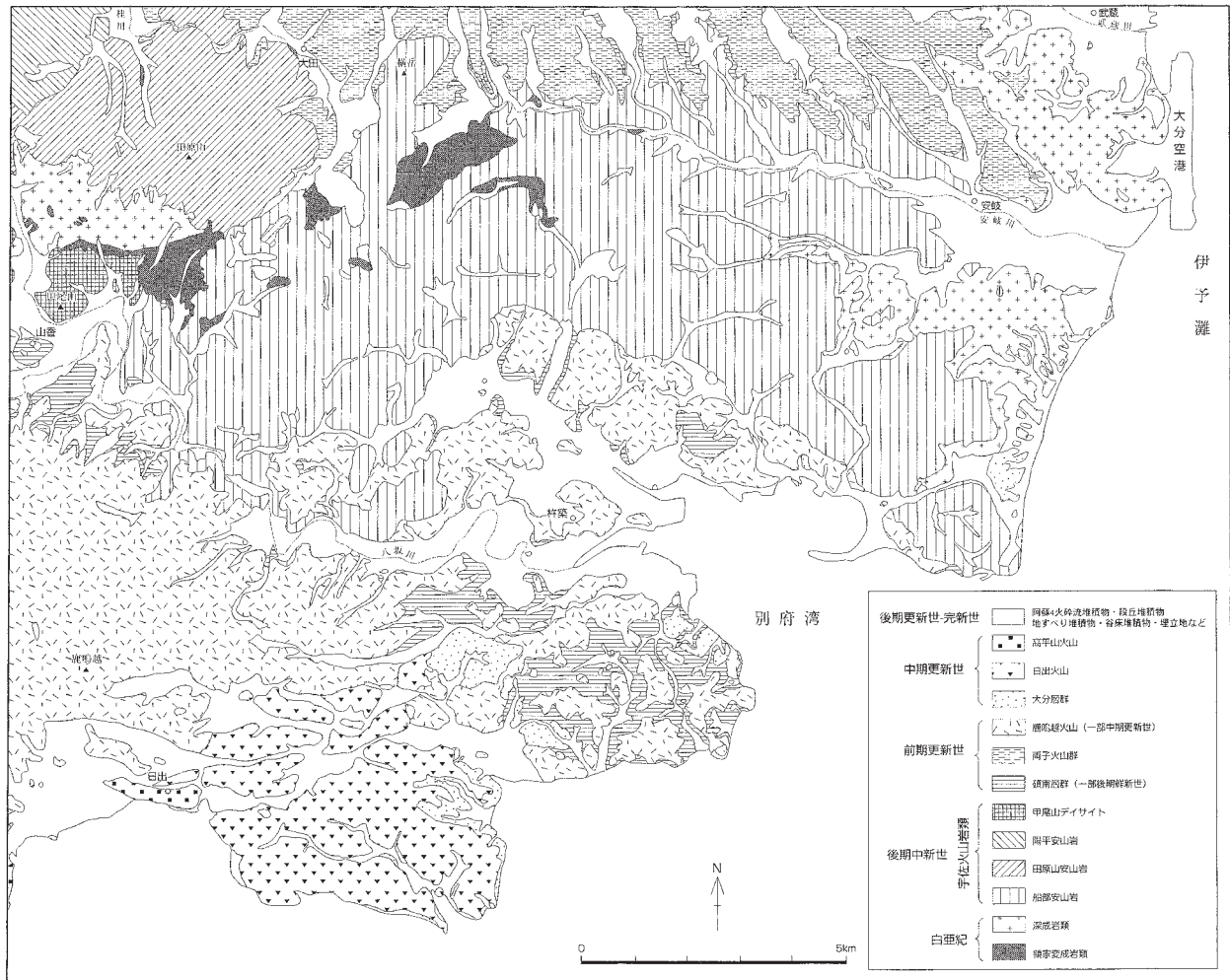
る。温泉は 15 ヶ所が稼働しており、主に 600 ~ 800 m 深度からくみ上げられたアルカリ性単純温泉からなる。

#### 領家変成岩類及び白亜紀深成岩類

本地域では、先第三系として領家変成岩類と白亜紀深成岩類がある。これらは山香町牛屋敷から武蔵町行者岬にかけて、南北幅 3 ~ 7 km で東西方向に分布している。

領家変成岩類は大田村南俣水から山香町小武周辺に点在し、泥質片麻岩、珪質片麻岩、及び角閃岩の各岩相を含む。片麻状構造はほぼ東西走向で、北または南に 30 ~ 80 度傾斜している。泥質片麻岩と珪質片麻岩には珪線石 + カリ長石の組み合わせが見られ、山口県柳井地域の領家変成岩類の最も高温・高圧の部分に相当すると考えられる。

白亜紀深成岩類は本地域北東部の行者岬深成複合岩体



第 2.3 図 豊後杵築地域の地質概略図

と北西部の牛屋敷深成複合岩体の 2 つに区分できる。行者岬深成複合岩体は武蔵町行者岬から杵築市奈多地域に分布し、中粒角閃石斑れい岩-石英閃緑岩、中粒角閃石含有黒雲母トータル岩、中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩-黒雲母花崗岩、及び細粒-中粒白雲母黒雲母花崗岩の 4 つの岩相からなり、ペグマタイトを含むことがある。本複合岩体は東西方向のフォリエイション（片麻状構造）を示すが、場所によって顕著な部分から塊状の部分まで変化する。牛屋敷深成複合岩体は山香町牛屋敷から柚ノ迫地域に分布し、細粒-中粒黒雲母角閃石石英閃緑岩-トータル岩と細粒-中粒黒雲母花崗岩-白雲母黒雲母花崗岩からなる。前者の岩相は岩体の南部に東西方向に細長く分布する。本複合岩体もしばしば東西方向のフォリエイションを示す。

隕家変成岩類と白亜紀深成岩類の放射年代はいずれも K-Ar 年代測定では後期白亜紀の 86 ~ 97 Ma を示すのに対し、Rb-Sr 全岩アイソクロン年代測定では前期白亜紀の 132 ~ 143 Ma が得られている。測年法によって年代値が食い違う理由は明らかにされていない。

### 新第三紀宇佐火山岩類

本地域を含む中部九州北縁には、新第三紀の火山岩類が広く分布している。しかし、互いに類似した岩相変化を繰り返し、鍵層となる火砕流堆積物や広域火山灰層を欠くため、一括して宇佐層（松本ほか，1984 など）や宇佐火山岩類（星住・森下，1993）と呼ばれてきた。本研究では、岩相、噴出物の走向傾斜、放射年代値及び全岩化学組成を再検討し、従来明確ではなかった宇佐火山岩類の活動様式を複数の成層火山形成によるものと考えた。すなわち、本地域の新第三紀火山岩類を 4 つの成層火山に区分し、下位から卓越する岩石をとって船部安山岩、田原山安山岩、陽平安山岩、甲尾山デイサイトと新称した。これらは、新第三系であり明瞭な火山地形を残さないことから安山岩及びデイサイトとしたが、第四紀の火山に照らせばひとつの火山に相当する。そして宇佐火山岩類は宇佐火山群と言い換えることができる。

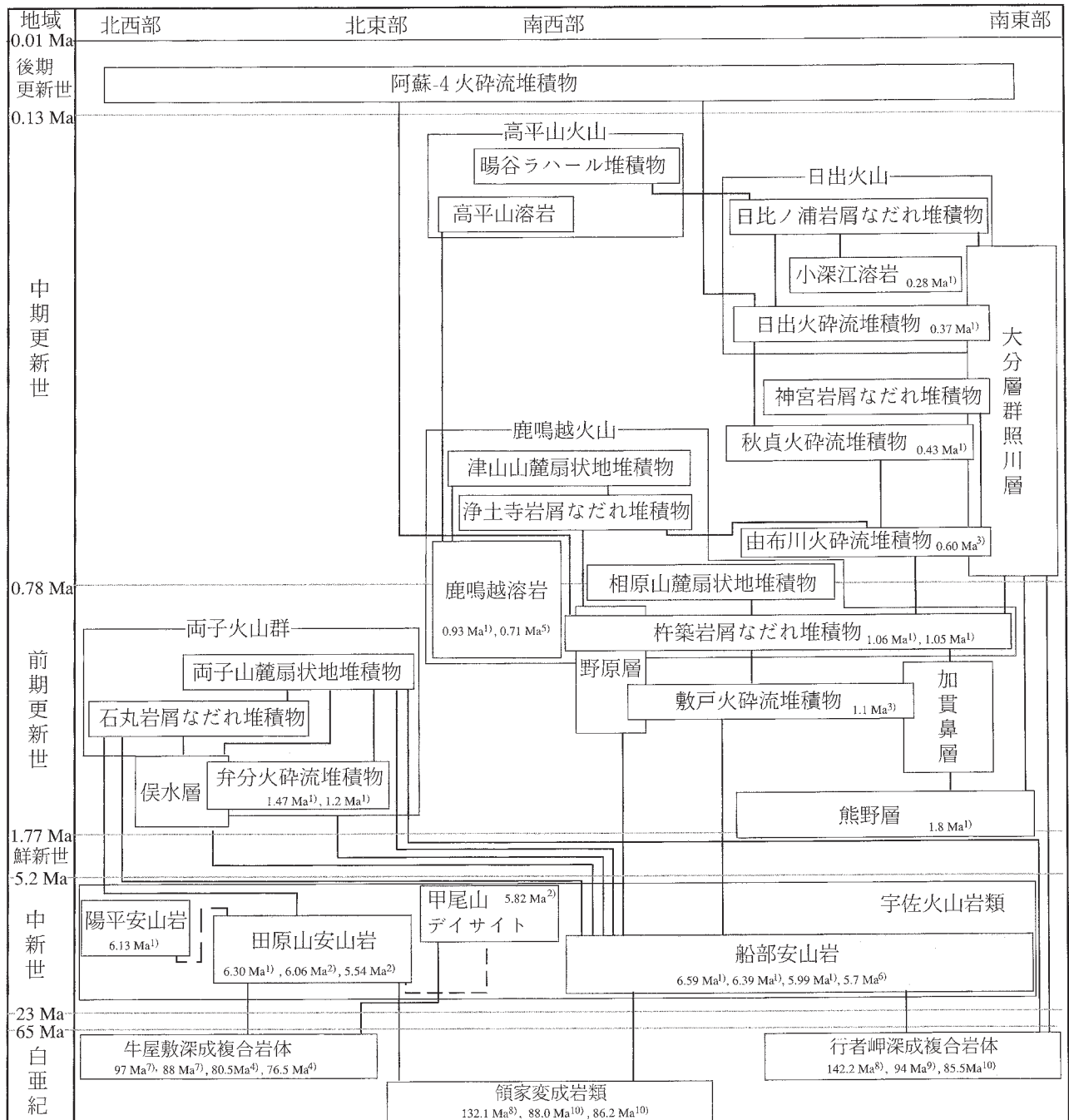
本地域の宇佐火山岩類を構成する個々の火山体は、陸域で活動した普通角閃石輝石安山岩-デイサイトの溶岩、火山碎屑岩からなる。各火山体の中央部は層厚が厚く、

溶岩や火山岩塊火山灰流堆積物などからなり、その周囲は火山体中央部から外側に傾斜したラハール堆積物などが広がっている。侵食・埋積されているが、ひとつの火山体は5～20 km<sup>3</sup>程度だったと推定される。放射年代値からは、大局的に東の船部安山岩から西の甲尾山デイサイトに向かって活動を広げているように見える。これら

の活動は6.6～5.5 Maの後期中新世に行われており、豊肥火山地域の活動最初期に相当する。

#### 後期鮮新世-前期更新世碩南層群

別府湾を挟んで本地域側と大分市側に鮮新-更新世河川成～海成堆積物が分布している。両地域間では挟まれ



———；直接の関係を確認，———；地形・分布等から推定

第2.4図 豊後杵築地域の層序関係図

ハッチで囲まれた範囲はひとつの火山体を示す。1) 本報告, 2) 沢井ほか (2002), 3) 峯元ほか (2000), 4) 星住・森下 (1993), 5) 鎌田 (1986), 6) 鎌田・渡辺 (1985), 7) 松本・成重 (1985), 8) 小山内ほか (1993), 9) 通産省 (1990), 10) 笹田 (1987)。



第 2.1 表 豊後杵築地域の地質総括表

時代	地層・岩体名	主岩相 (岩質)	年代値(Ma)		
第四紀	完新世 後期更新世	谷底・後背湿地堆積物	シルト・砂・礫		
		砂州・海浜堆積物	砂		
		扇状地・崖錐堆積物	礫・砂		
		地すべり堆積物	岩屑・崩積土		
		阿蘇-4火砕流堆積物	N 溶結 - 非溶結軽石火砕流堆積物 (輝石普通角閃石デイサイト)	0.09	
		段丘堆積物	礫・砂・シルト		
	中期更新世	高平山火山	陽谷ラハール堆積物	火山岩塊・火山灰質砂・シルト	
			高平山溶岩	N 溶岩 (輝石普通角閃石デイサイト)	
		日出火山	日比ノ浦岩屑なだれ堆積物	火山岩塊・礫・砂・シルト・軽石・火山灰	
			小深江溶岩	溶岩 (普通角閃石デイサイト)	0.28
			日出火砕流堆積物	N 非溶結火砕流堆積物 (普通角閃石安山岩 - デイサイト)	0.37
		大分層群	神宮岩屑なだれ堆積物	火山岩塊・礫・砂・シルト・軽石・火山灰	
			秋貞火砕流堆積物	非溶結軽石火砕流堆積物 (輝石安山岩)	0.43
			由布川火砕流堆積物	非溶結軽石火砕流堆積物 (普通角閃石黒雲母流紋岩)	0.60
			照川層	礫・砂・シルト・軽石・火山灰	
		前期更新世	鹿鳴越火山	津山山麓扇状地堆積物	礫・砂・火山灰
				浄土寺岩屑なだれ堆積物	火山岩塊・礫・砂・シルト・軽石・火山灰
			両子火山群	相原山麓扇状地堆積物	礫・砂・火山灰
	杵築岩屑なだれ堆積物			火山岩塊・礫・砂・シルト・軽石・火山灰	1.05-1.06
	鹿鳴越溶岩			NR 溶岩・火砕岩 (普通角閃石輝石安山岩 - デイサイト)	0.71-0.93
	両子山麓扇状地堆積物			礫・砂・軽石・火山灰	
	碩南層群	石丸岩屑なだれ堆積物	火山岩塊・礫・砂・シルト・軽石・火山灰		
		弁分火砕流堆積物	非溶結軽石火砕流堆積物 (普通角閃石デイサイト)	1.2-1.47	
		野原層	凝灰質シルト・砂・礫		
敷戸火砕流堆積物		非溶結軽石火砕流堆積物 (普通角閃石黒雲母流紋岩)	1.1		
加貫鼻層		凝灰質シルト・砂・礫			
新第三紀	後期中新世	熊野層	シルト・砂・礫・軽石	1.8	
		宇佐火山岩類	甲尾山デイサイト	火砕岩・溶岩 (普通角閃石黒雲母石英デイサイト)	5.82
陽平安山岩	NR 溶岩・火砕岩 (石英含有輝石普通角閃石安山岩)		6.13		
田原山安山岩	R 火砕岩・溶岩 (石英含有輝石普通角閃石安山岩 - デイサイト)		5.47-6.30		
船部安山岩	NR 溶岩・火砕岩 (輝石普通角閃石安山岩 - デイサイト)		5.7-6.59		
白亜紀	深成岩類	牛屋敷深成複合岩体	花崗岩, 石英閃緑岩, トーナナル岩	88-97	
		行者岬深成複合岩体	花崗岩, 花崗閃緑岩, 石英閃緑岩, トーナナル岩, 斑れい岩	85.5-142.2	
	領家変成岩類	片麻岩, 角閃岩	86.2-132.1		

年代値は中央値の範囲を示した (付表 4 を参照)。N ; 正帯磁, R ; 逆帯磁

る数枚のテフラによって対比が可能であり、両地域で後期鮮新世-前期更新世にかけての堆積物である碩南層群 (首藤, 1953a) と、前期更新世末期-中期更新世前半にかけての堆積物である大分層群 (首藤, 1953a) に区分することができる。本地域の碩南層群は、下位の熊野層と、

上位の<sup>かぬきぼな</sup> 俣水層、<sup>のほる</sup> 加貫鼻層、野原層に細分される (すべて新称または再定義)。熊野層は日出丘陵東部に分布し、淡水成のシルト、砂、中礫層から構成され、中部に挟まる軽石層から 1.8 ± 0.3 Ma のフィッシュン・トラック年代 (本研究) が求められており、またメタセコイア属花粉が

産出している。俣水層は両子火山群南麓部に、加貫鼻層は杵築-日出丘陵に、野原層は別府北山地（鹿鳴越火山）北麓部にそれぞれ分布するほぼ同時期の淡水成の堆積物で、火山灰質のシルト、砂、礫層などから構成され、火砕流堆積物や軽石層などを挟んでいる。俣水層や野原層には珪藻土が挟まれている。加貫鼻層上部や野原層最下部に挟まる敷戸火砕流堆積物（吉岡ほか、1997）は、大分丘陵に追跡され、また大阪地域の鮮新-更新統大阪層群（市原編、1993）下部中の火山灰にも対比される大規模なテフラである。その年代は1.2～1.3 Maと推定される。熊野層や加貫鼻層の一部は上位に重なる岩屑なだれ堆積物などの影響で著しく変形を受けているところがある。

#### 前期-中期更新世火山岩類

本地域に分布する前期-中期更新世の火山に両子火山群（松本・成重、1985など）と鹿鳴越火山（星住・森下、1993）がある。両子火山群は北隣の鶴川地域に噴出中心をもち、本地域には下位から普通角閃石安山岩-デイサイトの軽石火砕流堆積物、岩屑なだれ堆積物、山麓扇状地堆積物が分布している。軽石火砕流の活動は約1.5 Ma以降であり、両子火山群中央部の活動時期（1.5～1.1 Ma；鎌田ほか、1988）と重なる。鹿鳴越火山は、別府湾北側に位置する火山で、普通角閃石輝石安山岩と少量の普通角閃石デイサイトの溶岩からなる主火山体と、周囲に広く分布する岩屑なだれ堆積物及び山麓扇状地堆積物から構成されている。活動時期は、約1.1～0.6 Maである。杵築市一帯を広く覆う杵築岩屑なだれ堆積物（新称）の供給源は鹿鳴越火山と考えられ、その分布面積から、鹿鳴越火山は現在の火山体より南側に噴出中心を持つ標高800～1,500 m程度の火山体を形成していたと推定される。しかしながら現在では、活動的な別府湾内及びその周辺の断層活動により、火山体中央部は別府湾東岸の扇状地面下か海底下に埋没してしまったと推定される。

#### 中期更新世大分層群

大分層群に相当する地層は、主として杵築丘陵、日出丘陵及び伊予灘沿いの東海岸に沿って分布し、照川層と総称される（新称）。碩南層群や鹿鳴越火山起源の古い時期の堆積物を覆い、日出丘陵西部に分布する新しい火山噴出物と一部指交関係にある。下部は淡水成のシルト、

砂礫層が主体であるが上部には2層準で海成砂-シルト層が見られ、貝化石が含まれている。小規模な岩屑なだれ堆積物も見られる。また数枚のテフラが挟まれているが、その中で由布川火砕流堆積物は別府湾周辺に広く分布する約0.6 Maの大規模火砕流堆積物であり（星住ほか、1988）、またその下位の約0.65 Maの誓願寺軽石層（水野ほか、1996）は、関東地方にまで飛んでいる広域テフラである（町田・新井、1992、2003）。

#### 中期更新世火山岩類

本地域に分布する中期更新世の火山は、普通角閃石安山岩-デイサイトからなる日出火山と高平山火山である。このうち日出火山は本報告で新たに定義した。従来、時代未詳の凝灰角礫岩や変質した溶岩が日出丘陵に広く分布することが指摘されてきたが（森山、1965；日高、1978；椎原・長谷、2002）、これらは火砕流堆積物、溶岩、岩屑なだれ堆積物に区別でき、更に地形、分布、K-Ar年代値はこれらが約30～40万年前に別府湾を活動中心とした火山から流下したことを示している。日出火山は現在の別府湾断層群の平均変位速度が一定だったとすると、比高数百m程度の小型の火山体を形成していた可能性がある。高平山火山は、南西隣りの別府地域に噴出中心をもつ30万年前以降の火山（星住ほか、1988など）で、本地域には溶岩流とラハール堆積物がわずかに流れ下っている。

#### 上部更新統-完新統

中期更新世までの深成岩・変成岩類、火山岩類、堆積層を覆って、後期更新世以降の地層が各地に点在して分布している。火山性の堆積物としては阿蘇火山を起源とする阿蘇-4火砕流堆積物が現河川沿いに局所的に分布している。また東海岸や現河川沿いに段丘堆積物や広義の沖積層が堆積している。段丘堆積物は、さらに高位、中位、低位に細分が可能であり、特に東海岸沿いの中位段丘堆積物には海成と思われるものがある。沖積層が広く発達する地域は少なく、現河川に沿った谷底・後背湿地堆積物が細長く分布しているのが目立つ。また河口部や海岸沿いには小規模な砂堤、砂嘴などが形成されているところがある。このほか、地すべり堆積物が本地域北部にいくつか見られる。

## 第3章 領家変成岩類

(松浦浩久)

### 3.1 概要と研究史

大分県国東半島に分布する変成岩類は、泥質岩起源の片麻岩が深成岩類に伴って分布すること、西南日本の地質構造上の位置関係から領家変成岩類に属すると考えられてきた(大分県, 1951; 唐木田ほか, 1969など). 森山ほか(1983)は本地域の変成岩類に泥質岩-珪質岩起源の片麻岩と石灰質な緑色岩起源の透輝石に富む角閃岩が分布すること、本地域中部の大田村南俣水畑のざくろ石黒雲母片麻岩に紅柱石-珪線石が含まれることを初めて記載した. 村上・飯石(1991)と村上(1994)は領家変成帯の範囲を国東半島から福岡県南東部の築城町本庄にかけて点在する変成岩類までを含むとし、北西に向かって変成度が下がると考えた. しかし福岡県南東部の変成岩類は従来周防帯(三郡変成岩類)に属すると考えられているので、両者の境界がどこになるのかという問題が残る.

本地域の変成岩類は新生代の火山岩類に覆われて高変成度部分だけが孤立して分布しており、非変成～低変成度部分が分布しないために原岩の堆積年代は不明である.

### 3.2 豊後杵築地域の領家変成岩類 (Rg, Rc, Ra)

本地域の領家変成岩類は北西部の大田村南俣水周辺と山香町小武周辺では東西約2 km, 南北1～2 kmの広さで分布し、特に大田村南俣水の市場から畑にかけて模式的な岩相が見られる. 小規模な露頭は杵築市岩谷, 同市三尾平, 安岐町山浦, 大田村波多方, 同村石丸, 山香町向野, 豊後高田市大曲などにも点在している. 本地域では変成鉱物が片麻岩と呼ぶ粒度に達しているため、地質図では岩相によって泥質片麻岩(Rg), 珪質片麻岩(Rc)及び角閃岩(Ra)に区分した.

**泥質片麻岩 (Rg)** 泥質岩起源の片麻岩で、本地域の領家変成岩類の主岩相である. 本岩相は黒雲母に富む部分と珪長質鉱物に富む部分が幅0.5～3 mmの縞状になり、片麻状構造を呈する. 構成鉱物は主に径0.1～1 mm程度の黒雲母, 斜長石, カリ長石, ざくろ石, 石英からなり, 石墨, 珪線石(フィブロライト), 白雲母を含むことがある(第3.1図). 森山ほか(1983)は珪線石中の残晶として紅柱石を記載している. 副成分鉱物としてジルコンとモナズ石を含み, 黒雲母に多色性ハロを生じている. 白雲母は黒雲母に富む縞内で黒雲母と珪線石の伸張方向が揃ってできる片麻状構造に斜交して伸張しており, 黒

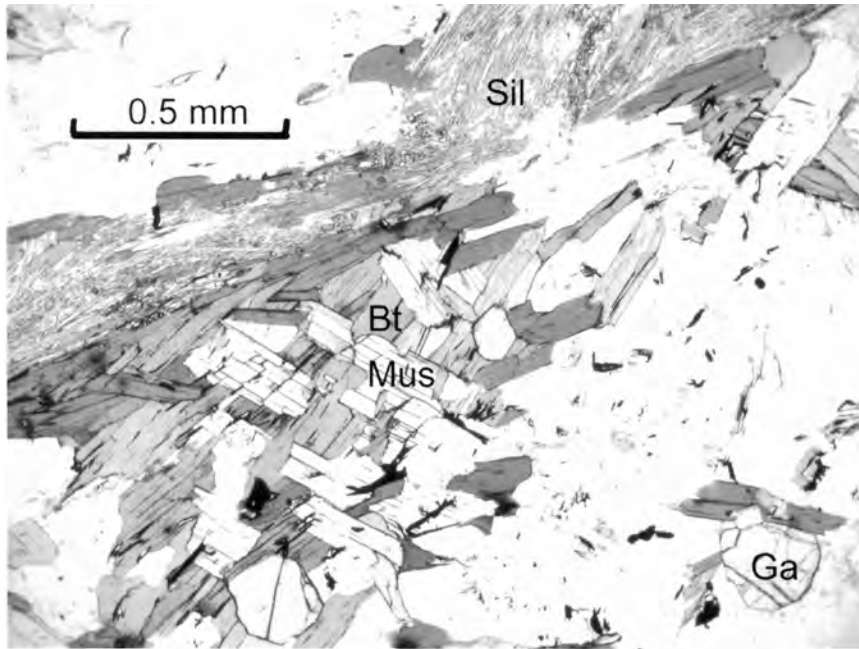
雲母や珪線石よりも後期に生じたと考えられる. 本地域では珪線石+カリ長石の鉱物組み合わせが見られるので, 山口県柳井地域での領家変成岩類の変成分帯(Ikeda, 1993, 2004)の最も高温・高圧の部分に相当するといえる. 泥質片麻岩中には部分的に融解したと思われるミグマタイト様の岩相を含む. 山香町倉成では泥質片麻岩の片麻状構造と平行に幅1～5 cmの薄い花崗岩脈が多数しみ込んだ注入片麻岩が小範囲に分布する. また大田村波多方南部と芋尾南西にも本岩相が小範囲に露出している.

**珪質片麻岩 (Rc)** 泥質片麻岩(Rg)の中にチャートが変成した岩相(Rc)がレンズ状に挟在する. 原岩の層状チャートの珪質部に黒雲母に富む薄い泥質部が挟まった縞状構造がよく保存されている(第3.2図). 大部分が再結晶した石英からなり, 泥質部は黒雲母と斜長石を主とし, カリ長石, ざくろ石, 珪線石, 白雲母を含むことがある.

**角閃岩 (Ra)** 山香町西岳北方, 豊後高田市大曲, 杵築市三尾平などで泥質片麻岩に伴ってごく小規模に苦鉄質火山岩が変成した岩相が分布している. 大部分が径0.05～1 mmの緑褐色普通角閃石と斜長石からなり, 透輝石, 鉄鉱, アパタイトを含む(第3.3図). 部分的に透輝石と方解石に富むことがあり, 原岩の一部に石灰質の部分に伴っていたと考えられる.

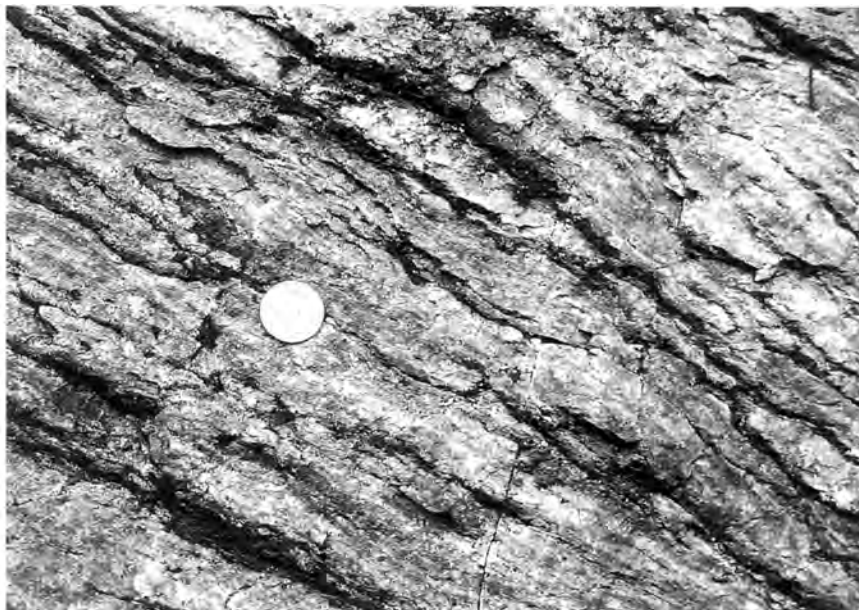
**放射年代** 本地域の領家変成岩類のK-Ar年代値は笹田(1987)によって, 大田村芋尾の白雲母黒雲母片麻岩から $88.0 \pm 4.4$  Ma(黒雲母)と $86.2 \pm 4.3$  Ma(白雲母)の2個の後期白亜紀を示す年代値が報告されている. またRb-Sr全岩アイソクロン年代値は正尾ほか(1990)によって $132.01 \pm 11.89$  Ma (Sr初生値 $0.0709624 \pm 0.000312$ )と, 小山内ほか(1993)によって $132.1 \pm 12.0$  Ma (Sr初生値 $0.70962 \pm 0.00031$ )という前期白亜紀を示す値が報告されている. K-Ar年代値とRb-Sr年代値が大きく異なる理由は明らかではない.

**変成岩類の物理的特徴** 本地域の領家変成岩類の5個について, 手標本から直径25 mm・高さ25 mmの円柱を1試料あたり3個切り出して物理的な性質が金谷弘氏によって測定された(第3.1表, 値は3個の平均). 自然乾燥密度(小数点以下4桁まで測定して四捨五入)は泥質片麻岩では $2.639 \sim 2.768$  g/cm<sup>3</sup>. 角閃岩の自然乾燥密度は $3.102$  g/cm<sup>3</sup>で, 白亜紀深成岩類の斑れい岩よりも重い. 孔隙率を自然乾燥密度と強制湿潤密度の差から計算すると, 注入片麻岩で1.63%とやや高い値を示すもの



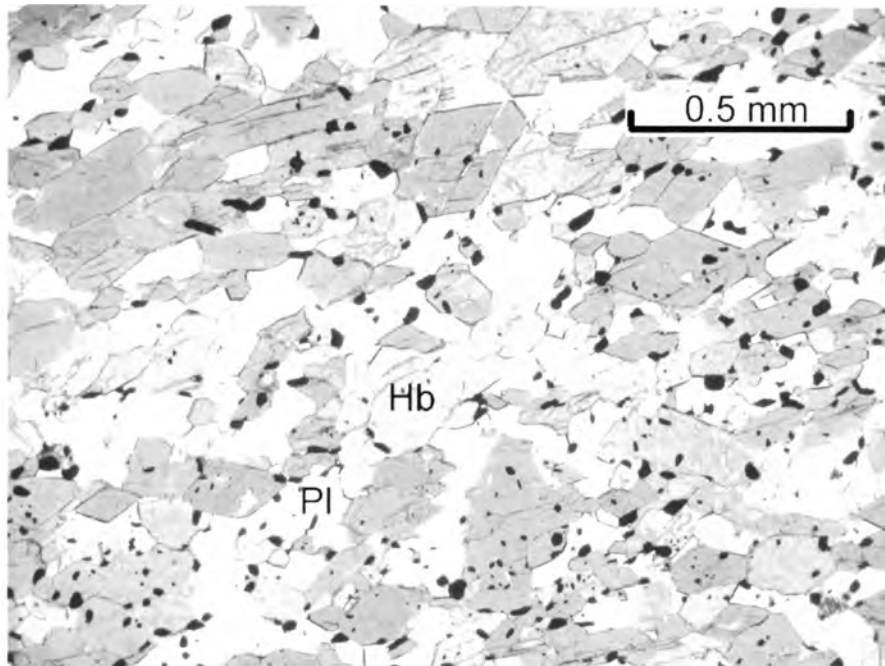
第 3.1 図 泥質片麻岩の顕微鏡写真

大田村俣水安岐川阿床 (GSJ R78628 ; GSJ は地質標本館登録番号を示す. 以下同様).  
 Sil ; 珪線石, Ga ; ざくろ石, Bt ; 黒雲母, Mus ; 白雲母. 単ポーラー.



第 3.2 図 珪質片麻岩の露頭写真

大田村俣水芋尾. 白い部分は主に石英からなる珪質部で,  
 黒く見える細い縞は主に黒雲母からなる泥質部.



第 3.3 図 角閃岩の顕微鏡写真  
山香町小武西岳北方 (GSJ R78644)。Hb；角閃石，Pl；斜長石。単ポーラー。

第 3.1 表 豊後杵築地域内の領家変成岩類の物性

岩体名	試料番号	地質調査総合センター 地質標本館 登録番号	岩石	自然乾燥	強制湿潤	孔隙率	残留磁化	$\kappa_{\text{cgs}}$	$\chi$	Q	$\kappa$ 帯磁率	試料採取位置	
				密度	密度		SI			(bison)		SI	緯度 (北緯)
				g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	A/m	( $\times 10^{-6}$ )	( $\times 10^{-6}$ ) (emu/g)	( $\times 0.5$ )	( $\times 10^{-5}$ )		
領家変成岩類	BGK 23	GSJ R78644	角閃岩	3.102	3.105	0.27	5.36E-02	116	37	0.93	145	33.4619	131.5410
	BGK 10	GSJ R78631	片麻岩	2.708	2.715	0.78	8.83E-02	54	20	3.28	68	33.4739	131.5852
	BGK 16	GSJ R78637	片麻岩	2.768	2.771	0.37	9.16E-04	31	11	0.06	38	33.4643	131.5151
	BGK 8	GSJ R78629	片麻岩	2.740	2.743	0.31	4.60E-02	53	19	1.74	66	33.4781	131.5976
	BGK 21	GSJ R78642	片麻岩	2.639	2.656	1.63	2.14E-04	18	7	0.02	23	33.4556	131.5282

試料採取位置は 10 進法で表記。旧日本測地系。

試料整形・物理量測定；金谷 弘

の、その他は 0.27 ~ 0.78 % である。この値は深成岩類などの完晶質岩石の一般的な孔隙率とほぼ同程度である。帯磁率 (SI) は角閃岩で  $145 \times 10^{-5}$  ( $\chi$  値換算； $37 \times 10^{-6}$  emu/g)，泥質片麻岩で  $23 \sim 68 \times 10^{-5}$  ( $\chi$  値換算； $7 \sim 20$

$\times 10^{-6}$  emu/g) である。領家変成岩類の帯磁率は白亜紀深成岩類 (第 4 章で記述) とともに低い値を示すが、深成岩類と比べても低い方に集中している。

## 第4章 白亜紀深成岩類

(松浦浩久・石塚吉浩)

### 4.1 概要と研究史

本地域北部には先新第三系と宇佐火山岩類の古期岩類が地塁状に東西方向に分布しており、白亜紀深成岩類はその東部(行者岬深成複合岩体)と西部(牛屋敷深成複合岩体)に露出している。いずれも岩体内に苦鉄質から珩長質までの多様な岩相を含み、顕著なフォリエイション(片麻状構造)を示すものからほとんど塊状のものまで変化する。肉眼ではトータル岩-花崗閃緑岩では顕著なフォリエイションを示し、花崗岩やアプライトなど珩長質岩ではフォリエイションが弱いかまたは塊状の印象になる。しかし珩長質岩でも顕微鏡下では顕著なフォリエイションが認められる場合がある。これは肉眼では主に有色鉱物によってフォリエイションを認識しているために、珩長質岩ではフォリエイションが認識し難いことに依ると思われる。本研究では顕微鏡観察によってフォリエイションを記載した。

本地域の深成岩類は分布が狭いことから、詳しい分布や岩相を記載した研究はこれまで行われていないが、広域地質の一部としての記載(大分県, 1951; 宮久, 1972; 森山ほか, 1983)、第四紀火山岩類についての研究で基盤岩に触れたもの(松本・成重, 1985)、主成分・微量元素化学組成、放射年代測定、Sr同位体比などの岩石化学的特徴の研究(笹田, 1987; 正尾ほか, 1990; 小山内ほか, 1993; 村上, 1994)などで部分的な記載が行われてきた。これらの研究で、本地域の深成岩類はSr同位体比初生値が低く(0.704~0.706)、山口県岩国-柳井地域より東方に分布する領家変成帯に貫入する深成岩類のSr同位体比初生値(0.706~0.708)とは明らかに異なっており、むしろ山陰地方や北部九州の深成岩類のSr同位体比初生値に近いことが示された(正尾ほか, 1990; 小山内ほか, 1993)。また大分県国東半島-福岡県南東部の深成岩類は、SiO<sub>2</sub>-Sr図上で井沢ほか(1990)による高Sr花崗岩類の領域にプロットされる点で、低Sr花崗岩類である中国地方の深成岩類とは異なる(村上, 1994)。本地域内の白亜紀深成岩類は領家変成岩類に貫入しているので領家深成岩類と呼んだ研究もあるが、本研究では放射年代値が白亜紀を示すので白亜紀深成岩類として記述する。

### 4.2 行者岬深成複合岩体(Gg1, Gg2, Gg3, Gg4)

本岩体は正尾ほか(1990)によって行者岬トータル岩と呼ばれた。この名称はその後、唐木田・森山(1992)

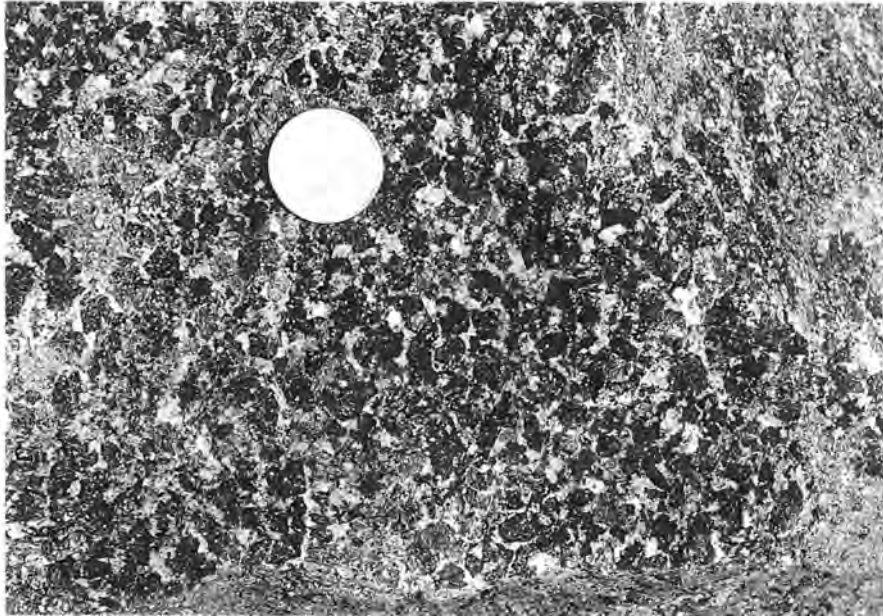
や小山内ほか(1993)でも引用されているが、本岩体には多様な岩相を含んでいるので本研究では行者岬深成複合岩体と呼ぶことにする。行者岬の地名は国土地理院の現在の地形図には示されていないが、古い5万分の1地形図では武蔵港の1 kmほど南に瀬戸内海に鈍角で張り出した岬の地名として示されていた。

本岩体は表面を新第三紀以降の火山岩類と堆積物に覆われているが、武蔵町志和利から杵築市狩宿三塚東の海岸にかけて、南北約10 km、東西約8 kmの範囲に分布している。新第三紀以降の火山岩類・堆積物に囲まれて安岐町小瀬原と杵築市岩谷に孤立している深成岩の小露出については、便宜的に本岩体に対比した。本岩体は肉眼的にも顕微鏡下でも特徴が大きく異なる岩相を含み、地質図では中粒角閃石斑れい岩-石英閃緑岩(Gg1)、中粒角閃石含有黒雲母トータル岩(Gg2)、中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩-黒雲母花崗岩(Gg3)、及び細粒-中粒白雲母黒雲母花崗岩(Gg4)の4つの岩相に区分した。このほか地質図に示せない小規模なペグマタイトとアプライトを含む。以下に地質図に表現した岩相別の分布と岩相の特徴を記載する。

**中粒角閃石斑れい岩-石英閃緑岩(Gg1)** 模式的な岩相は安岐町養辺北方の採石場跡で観察できる。武蔵町小城から安岐町大添にかけて径200~500 mほどの小岩体が中粒角閃石含有黒雲母トータル岩(Gg2)中に捕獲岩体状に点在している。露頭では暗緑色の角閃石と白い斜長石からなる(第4.1図)。主に塊状岩相を示すが、場所によってはフォリエイションが認められる。本岩相は風化しやすく、採石場跡のように露出後数年以内と思われる場所でも軟岩になっている。

顕微鏡下では径5~8 mmの斑状自形斜長石を長径1~7 mmの半自形-自形普通角閃石(Z軸色; 緑色)と径0.1~3 mmの半自形斜長石が取り囲んでいるのが観察される。場所によっては普通角閃石に黒雲母(径0.2~3 mm)を伴うことがある。副成分鉱物として径0.2~1 mmの鉄鉱、アパタイト、緑れん石、緑泥石を含む。

斑れい岩の化学組成(第4.1表)は本岩体の他の岩相に比べるとMgOやCaOに富み、SiO<sub>2</sub>-MgO、CaO図で他の岩相が作るトレンドよりも大きく高MgO、高CaO側にはずれた組成を示す(第4.2図)。またノルム組成の特徴として斑れい岩は透輝石が計算される点で、コランダムが算出される他の岩相とは異なる。またSiO<sub>2</sub>-Sr図上で国東半島の深成岩類は高Sr花崗岩類の領域にプロットされるのに対し、斑れい岩だけは低Sr花崗岩類



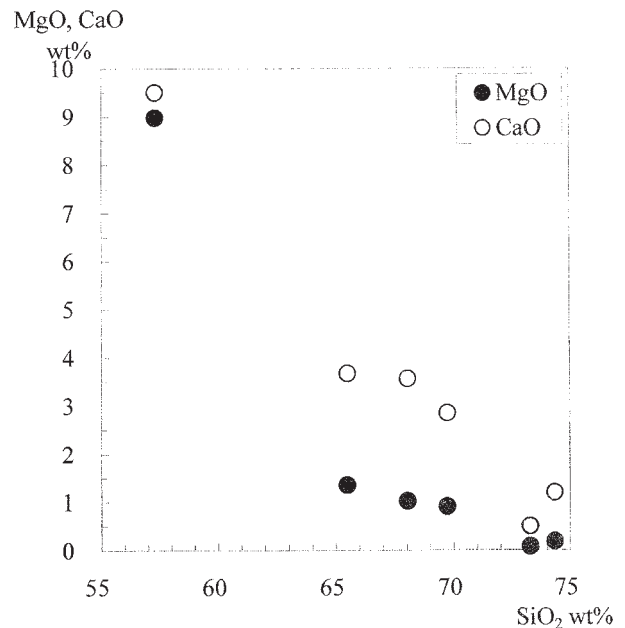
第4.1図 行者岬深成複合岩体の角閃石斑れい岩の露頭写真  
安岐町小城山南西. 黒く見える結晶は自形-半自形の普通角閃石で、  
その周りの白い部分は灰長石成分に富む斜長石.

の領域に落ちる (村上, 1994). 以上の特徴から, 斑れい岩は他の岩相とは起源が異なっている可能性がある.

**中粒角閃石含有黒雲母トータル岩 (Gg2)** 行者岬では中粒角閃石含有黒雲母トータル岩の模式的な岩相が観察されたが, 岬の前面に大分空港の埋立地が造成されて現在では露頭が観察しにくくなっている. 本研究では行者岬北方の標高 14.0 m の三角点の東海岸の崖を模式地とする. また同じ岩相は武蔵町と安岐町の境界の小城山周辺, 安岐町樋村-下山口, 大添北方に本岩体の主岩相である中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩-黒雲母花崗岩 (Gg3) に囲まれて点在している. また安岐町小瀬原と杵築市岩谷にも本岩相が小範囲に分布する. 本岩相は灰白色を呈し, 肉眼で東北東-西南西ないし北東-南西方向の弱いフォリエーションが認められる. 本岩相は径 0.5 ~ 2 m の板状-レンズ状の暗緑色細粒閃緑岩の暗色包有岩を含み, 暗色包有岩の扁平な面は母岩のフォリエーションと斜交している. またペグマタイトやアプライトが脈状に貫入している.

主成分鉱物として径 2 ~ 6 mm の斜長石, 石英, 黒雲母, カリ長石, 普通角閃石, 緑れん石, 及び副成分鉱物として径 0.3 mm 以下の鉄鉱, アパタイト, ジルコン, チタン石を含む. 石英は波動消光を示し, 黒雲母の Y ≒ Z 軸色は暗褐色, 普通角閃石の Z 軸色は緑色である. 普通角閃石は場所によって含まれないことがある. まれに白雲母を含む.

**中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩-黒雲母花崗岩 (Gg3)** 本岩体の分布面積の大部分を占める岩相で, 中粒角閃石含有黒雲母トータル岩に貫入する. 杵築市西本周辺に模式



第4.2図 行者岬深成複合岩体の SiO<sub>2</sub>-MgO 図,  
SiO<sub>2</sub>-CaO 図  
分析値は村上 (1994), 笹田 (1987) による  
(第4.1表).

的な岩相が分布している. 中粒の角閃石黒雲母花崗閃緑岩ないし黒雲母花崗岩からなり, ペグマタイト脈が貫入している. 花崗閃緑岩質の岩相の部分には径 10 ~ 40 cm の暗灰色-暗緑色細粒閃緑岩の包有岩を含む. 塊状から弱いフォリエーションを示すことがある. 本岩相は風化によって全域で真砂化している.

第 4.1 表 豊後杵築地域内の白亜紀深成岩類の化学組成及びノルム組成

岩体名	行者岬深成複合岩体						牛屋敷深成複合岩体	
試料番号	M-05	324-3	328-1	8022908	8261509	8261510	321-5	8261501
岩相	角閃石 斑れい岩 質岩		ざくろ石含 有白雲母 アブライト			黒雲母 トータル岩	白雲母 黒雲母 花崗岩	
文 献	村上(1994)	村上(1994)	村上(1994)	笹田(1987)	笹田(1987)	笹田(1987)	村上(1994)	笹田(1987)
SiO <sub>2</sub>	57.30	69.73	68.05	73.28	65.49	74.34	71.49	71.95
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.32	0.37	0.03	0.50	0.08	0.33	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.34	15.55	16.51	15.64	16.96	14.59	14.91	15.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.12	0.90	1.25	0.54	1.95	1.08	0.29	0.47
FeO	3.99	1.65	2.12	0.32	2.30	0.04	1.51	1.08
MnO	0.14	0.07	0.07	0.04	0.06	0.02	0.02	0.03
MgO	8.98	0.91	1.02	0.08	1.35	0.19	0.36	0.34
CaO	9.51	2.85	3.56	0.50	3.67	1.20	2.94	1.54
Na <sub>2</sub> O	1.82	3.53	3.82	4.03	3.56	3.65	3.81	3.52
K <sub>2</sub> O	1.64	3.36	2.47	5.08	2.68	3.85	3.40	3.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.12	0.12	0.02	0.15	0.04	0.10	0.10
H <sub>2</sub> O(+)				0.14	0.47	0.03		0.95
H <sub>2</sub> O(-)				0.16	0.06	0.32		0.10
Ig. Loss	1.77	0.33	0.21				0.46	
Total	100.10	99.32	99.57	99.86	99.20	99.43	99.62	99.39
V	187	44	55				17	
Zn	57	51	59				83	
Zr	37	119	127				162	
Nb	6	11	15				13	
Ba	380	753	499				715	
La	5	25	34				24	
Ce	5	41	58				53	
Ga	17	16	24				21	
Pb	10	18	16				16	
Rb	49	106	88				97	
Sr	187	335	308				340	
Th	4	9	14				7	
Y	14	9	13				10	
Nd	12	42	44				36	
Q	10.15	28.34	26.48	29.19	24.21	35.63	28.92	34.43
C	0.00	1.21	1.36	2.65	1.89	2.33	0	3.55
or	9.69	19.85	14.59	30.02	15.84	22.75	20.09	20.09
ab	15.40	29.86	32.31	34.10	30.12	30.89	32.23	29.79
an	20.65	13.36	16.88	2.35	17.23	5.69	13.54	6.99
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
wo	10.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00
en	8.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
fs	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
en	14.31	2.27	2.54	0.20	3.36	0.47	0.84	0.85
fs	3.27	1.89	2.38	0.17	1.90	0.00	1.91	1.11
fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
mt	3.07	1.30	1.81	0.78	2.83	0.00	0.42	0.68
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0	0.00
il	0.84	0.61	0.70	0.06	0.95	0.13	0.63	0.63
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0	0.00
ap	0.12	0.28	0.28	0.05	0.35	0.09	0.24	0.23
Total	98.32	98.97	99.33	99.57	98.68	99.07	99.16	98.35
分化指数	35.23	78.05	73.38	93.31	70.17	89.27	81.23	84.31

主成分鉱物として径1～4 mmの斜長石，石英，径0.3～6 mmのカリ長石，径0.1～1.5 mmの黒雲母と場所によっては普通角閃石を含む。石英には波動消光が認められ，カリ長石には微斜長石構造が顕著である。斜長石がカリ長石に接する部分にはミルメカイトを生じていることがある。副成分鉱物として，径0.2 mm以下のチタン石，アパタイト，ジルコン，モナズ石，鉄鉱を含む。

**細粒-中粒白雲母黒雲母花崗岩 (Gg4)** 本岩相は中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩-黒雲母花崗岩 (Gg3) とは漸移関係にある。安岐町三方庚申鼻の海岸に模式的な岩相が露

出するほか，安岐町下山口，安岐町と武蔵町の境界の向陽台周辺などに点在する。塊状ないし弱いフォリエイションを示し，肉眼で白雲母と黒雲母が認められる。

主成分鉱物は径1～5 mmの石英，カリ長石，斜長石，径0.2～1.5 mmの黒雲母及び白雲母からなる。石英には波動消光が認められ，カリ長石には微斜長石構造が顕著である。斜長石とカリ長石が接する部分にはミルメカイトが生じている。副成分鉱物として，アパタイト，ジルコン，モナズ石，鉄鉱が，また黒雲母が変質して緑泥石と緑れん石を生じている。



**放射年代値** 本岩体の K-Ar 年代値は武蔵町行者岬のアップライトの白雲母から 94 Ma (通商産業省, 1980) と, 行者岬の北北西約 1 km の黒雲母トータル岩の黒雲母から 85.5 ± 4.3 Ma (笹田, 1987) の後期白亜紀を示す 2 つの年代値が報告されている。

一方 Rb-Sr 年代は, 正尾ほか (1990) によって本岩体の花崗岩, 閃緑岩, 斑れい岩, アプライトによる全岩アイソクロン年代として 142.85 ± 1.59 Ma (Sr 初生値 0.704414 ± 0.000024), また小山内ほか (1993) によって本岩体と北隣の鶴川地域内黒津崎の試料を含む全岩アイソクロン年代として 142.19 ± 2.1 Ma (Sr 初生値 0.70442 ± 0.00003) のいずれも前期白亜紀を示す 2 つの年代値が報告されている。K-Ar 年代値と Rb-Sr 年代値が大きく異なる理由は明らかではない。

**岩石の物理的特徴** 行者岬深成複合岩体の 5 試料について, 領家変成岩類と同様な方法で物理的な性質が金谷弘氏によって測定された (第 4.2 表)。自然乾燥密度は斑れい岩で 2.908 g/cm<sup>3</sup>, トータル岩-花崗閃緑岩は 2.679 ~ 2.692 g/cm<sup>3</sup>, 花崗閃緑岩-花崗岩は 2.603 ~ 2.667 g/cm<sup>3</sup> で珪長質な岩相ほど密度が小さくなる。孔隙率は 0.83 ~ 2.15% を示す。この値は深成岩類などの完晶質岩石の一般的な孔隙率としてはやや高く本岩体の試料には風化の影響があると見られる。帯磁率 (SI) は 20 ~ 713 × 10<sup>-5</sup> (χ 値; 6 ~ 213 × 10<sup>-6</sup> emu/g) である。本岩体では必ずしも苦鉄質な岩相が珪長質な岩相よりも帯磁率が高いとは言えない。

#### 4.3 牛屋敷深成複合岩体 (Gu1, Gu2)

正尾ほか (1990) の牛屋敷両雲母花崗岩, 星住・森下 (1993) の牛屋敷花崗岩にあたるが, 細粒-中粒黒雲母角閃石石英閃緑岩-トータル岩 (Gu1) と細粒-中粒黒雲母

花崗岩-白雲母黒雲母花崗岩 (Gu2) 2 つの岩相からなる複合岩体を形成するので, 本研究では牛屋敷深成複合岩体と呼ぶ。本岩体は本地域北西部山香町柚ノ迫から豊岡地域の鶴成まで東西約 4.5 km, 南北約 2.5 km の範囲に分布する。また大田村波多方南部と芋尾南西の小岩体も本岩体を含めた。

**細粒-中粒黒雲母角閃石石英閃緑岩-トータル岩 (Gu1)** 本岩相は山香町高平北の高平鉾山跡周辺に模式的な岩相が分布する。分布は山香町柚ノ迫東方から又井北方にかけて東西約 3 km, 南北 0.3 ~ 0.5 km の細長い岩体で, 西部では細粒-中粒黒雲母花崗岩 ~ 白雲母黒雲母花崗岩 (Gu2) の捕獲岩体になっている。暗緑色で顕著な東西ないし北西-南東方向のフォリエイションを示す。場所によって岩相変化があり, 粒度は細粒から中粒まで, 組成は石英閃緑岩からトータル岩まで変動する。暗色包有物として厚さ 5 ~ 10 cm, 径 30 ~ 80 cm のレンズ状の細粒閃緑岩-ドレライトを捕獲していることがある。

主成分鉱物は径 0.3 ~ 5 mm の斜長石, 普通角閃石, 黒雲母, 石英, チタン石からなり, 副成分鉱物としてアパタイト, 鉄鉱, ジルコンを含む。普通角閃石の Z 軸色は褐色がかった緑色を呈し, 黒雲母の Y ≡ Z 軸色は褐色を示す。黒雲母は緑泥石と緑れん石に変質していることがある。石英には波動消光が認められる。

**細粒-中粒黒雲母花崗岩-白雲母黒雲母花崗岩 (Gu2)** 本岩相は山香町牛屋敷から金山にかけて模式的な岩相を観察できる。山香町柚ノ迫から豊岡地域の鶴成まで東西約 4.5 km, 南北約 2 km の範囲に分布する。また大田村波多方南部と芋尾南西に露出する小岩体も本岩相を含めた。西部の牛屋敷から又井北部では領家変成岩類の黒雲母片麻岩 (Rg) と角閃岩 (Ra), 及び本岩体の細粒-中粒黒雲母角閃石石英閃緑岩-トータル岩 (Gu1) を捕獲し, 北側を新第三紀宇佐火山岩類に覆われている。塊状ない

第 4.2 表 豊後杵築地域内の白亜紀深成岩類の物性

岩体名	試料番号	地質調査総合センター 地質標本館 登録番号	岩石	自然乾燥	強制湿润	孔隙率	残留磁化 SI	κ <sub>cgs</sub>	χ	Q (bison)	κ 帯磁率 SI	試料採取位置	
				密度	密度							緯度 (北緯)	経度 (東経)
				g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	A/m	(x10 <sup>-6</sup> )	(x10 <sup>-6</sup> ) (emu/g)	(x0.5)	(x10 <sup>-5</sup> )		
牛屋敷深成 複合岩体	BGK 20	GSJ R78641	石英閃緑岩	2.808	2.814	0.67	6.27E-03	45	16	0.28	56	33.4598	131.5314
	BGK 17	GSJ R78638	トータル岩	2.778	2.782	0.46	4.93E-04	30	11	0.03	38	33.4648	131.5170
	BGK 11	GSJ R78632	花崗岩	2.620	2.625	0.56	2.35E-04	4	2	0.12	5	33.4663	131.5772
	BGK 18	GSJ R78639	花崗岩	2.631	2.640	0.91	3.03E-05	5	2	0.02	6	33.4674	131.5293
行者岬深成 複合岩体	BGK 9	GSJ R78630	斑れい岩	2.908	2.921	1.29	2.57E-02	276	95	0.19	347	33.4844	131.7002
	BGK 1	GSJ R78622	トータル岩 ~ 花崗閃緑岩	2.679	2.696	1.69	3.31E-02	91	34	0.72	115	33.4888	131.7333
	BGK 14	GSJ R78635	トータル岩	2.692	2.700	0.83	1.65E-04	16	6	0.02	20	33.4639	131.6073
	BGK 6	GSJ R78627	花崗岩 ~ 花崗閃緑岩	2.667	2.679	1.14	1.47E-02	568	213	0.05	713	33.4433	131.7199
	BGK 4	GSJ R78625	花崗岩	2.603	2.624	2.15	4.97E-03	100	39	0.1	126	33.4480	131.7244

試料採取位置は 10 進法で表記。旧日本測地系。

試料整形・物理量測定; 金谷 弘

し東北東-西南西方向の弱いフォリエイションを示す。

主成分鉱物として径 0.3～5 mm の石英，カリ長石，斜長石，黒雲母及び白雲母を含む。白雲母は本岩相の北部で含有量が多くなり，黒雲母よりも多い部分もある。副成分鉱物としてジルコンとモナズ石を含む。

**放射年代値** 本岩体の放射年代値は植田良夫氏による K-Ar 測年として，山香町柚ノ迫の黒雲母角閃石花崗閃緑岩から 97 Ma，山香町倉成の白雲母黒雲母花崗岩から 88 Ma の報告がある（松本・成重，1985）。岩石の何を測年試料としたのか，また測定された Ar や K 含有量などの詳細は不明である。また星住・森下（1993）はジルコンのフィッショントラック年代値として  $76.5 \pm 3.8$  Ma と  $80.5 \pm 7.4$  Ma を報告した。

**岩石の物理的特徴** 本岩体の 4 試料の自然乾燥密度は石英閃緑岩で 2.808，トータル岩は  $2.778\text{g/cm}^3$ ，花崗岩は  $2.620 \sim 2.631\text{g/cm}^3$  で珪長質な岩相ほど密度が小さくなる。孔隙率は 0.46～0.91% を示す。帯磁率 (SI) は石英閃

緑岩では  $56 \times 10^{-5}$  ( $\chi$  値換算；  $16 \times 10^6\text{emu/g}$ )，トータル岩は  $38 \times 10^{-5}$  ( $\chi$  値；  $11 \times 10^6\text{emu/g}$ )，花崗岩は  $5 \sim 6 \times 10^{-5}$  ( $\chi$  値換算；  $2 \times 10^6\text{emu/g}$ ) である。本岩体では苦鉄質な岩相は珪長質な岩相よりも帯磁率が高い傾向がある。

#### 4. 4 伏在先第三紀基盤岩類 (Up)

松本・成重（1985）は国東半島のボーリングデータをまとめ，基盤岩類（本研究では領家変成岩類と白亜紀深成岩類を指す）の着岩深度を示した。それによると，基盤岩類は，杵築市草場付近で標高 10 m，杵築丘陵周辺の八坂川河口域（断面図の F）付近で海面下 10 m，住吉浜付近で海面下 20 m と，海水面程度で認められている。本研究では，松本・成重（1985）がボーリングデータで基盤岩類としたものを，伏在先第三紀基盤岩類 (Up) として，断面図に示した。

## 第5章 新第三紀宇佐火山岩類

(石塚吉浩・星住英夫)

### 5.1 研究史

豊後杵築地域を含む大分県北東部から福岡県南東部にかけての中部九州東部の北縁には、新第三紀の火山岩類が広く分布している。これら火山岩類は、類似した岩相変化を繰り返し、鍵層となる火砕流堆積物や広域火山灰層を欠くため、研究者によって時代区分が異なっていた。先駆的な研究である首藤（1953a, b, 1962）は、時代区分を変質度の違いに基づいて行い、変質地域を中新統宇佐層群、未変質地域を鮮新統耶馬溪層と呼んだ。松本（1963）は、宇佐層群を山陰地域のグリーンタフ活動に対比される中新世初期-中期に、耶馬溪層を更新世に対比した。松本（1963, 1979）は、中部九州で前期更新世に大規模な火山活動が起こったことを指摘し、豊肥火山活動と呼んだ。本地域を含む20万分の1大分県地質図（宮久, 1971, 1972）や土地基本分類図（森山ほか, 1976）は、これらの考えに基づき新第三系を区分している。その後松本ほか（1984）、松本・成重（1985）は、集中的に中部九州東部の北縁地域を調査し、宇佐層群と耶馬溪層を一括して宇佐層と呼んだ。すなわち、宇佐層群に認められる変質作用が局所的であること、宇佐層群と耶馬溪層の岩相が類似することから、変質度の違いは時代区分を反映していないことが指摘された。

1980年代以降、大分県から熊本県北部にかけての中部九州の火山岩から、多数の放射年代値が報告されるようになった（渡辺・林, 1983；鎌田, 1985a, b；鎌田・渡辺, 1985；宇都・須藤, 1985；新エネルギー総合開発機構, 1988など）。これらの研究から、中部九州の火山岩類の放射年代値は6 Maより若いことが指摘され、中部九州の火山活動は鮮新世初期に始まったと考えられた（鎌田, 1985a；鎌田・渡辺, 1985）。鎌田（1985a, b）やKamata（1989）は、鮮新世から更新世を示す火山岩類の放射年代値が、重力のブーゲー異常と密接に関連していることを指摘し、中部九州が鮮新統から始まる火山構造性陥没地（volcano-tectonic depression）からなることを提唱し、豊肥火山地域と名付けた。これらの特徴として、火山活動が活動開始から単調に噴出量を減じ、さらにその活動は中部九州の中央部（九重火山周辺）へ、時間と共に収斂していると指摘した。Nakada and Kamata（1991）、Kamata and Kodama（1994, 1999）、Kamata（1998）は、これらの考えを念頭に置いて、豊肥火山地域の火山岩類のマグマ成因論とテクトニックモデルを考察した。

星住・森下（1993）は、本地域西隣の豊岡地域において、新第三紀火山岩類を宇佐火山岩類と再定義した。これは、新第三紀火山岩類の変質度が地層境界と斜交し、更に変質地域と未変質地域から得られた放射年代値が類似することを根拠にした。彼らの宇佐火山岩類は、松本ほか（1984）の宇佐層と鮮新統稲積山安山岩類を一括したものである。この中で、宇佐火山岩類の放射年代値が7.3～2.7 Maの幅広い値を示すことを示し、宇佐火山岩類が後期中新世から後期鮮新世に至る長期間の火山活動の産物であることを明らかにした。

沢井ほか（2002）は、山香町馬山鉦山（豊岡地域）付近を中心とする約10×5 kmの範囲（本地域西部を含む）で、黒色ガラス質石基をもつ安山岩礫を含んだ凝灰角礫岩層を境に、宇佐火山岩類を下部と上部に区分した。そして24個のK-Ar年代値を報告し、下部と上部に区分した火山岩類が6.45～5.17 Maの中新世末に集中すること、熱水変質岩及び鉍脈が火山岩類より若い5.38～3.86 Maの値を示すことを明らかにした。これらから、馬山鉦山付近の宇佐火山岩類は、約130万年間の連続した火山活動で形成され、変質作用はこの火山活動末期に始まったことを指摘した。永尾ほか（2001）は、杵築市北方においてNbに富む特異な安山岩を報告した。

これら新第三紀の火山岩類は、既に述べたように類似した溶岩や火山砕屑岩を一括して扱っているため、その活動様式については考慮されてこなかった。先駆的には首藤（1962）が、耶馬溪層と呼んだものの大部分が火山砕屑性の地層であることを指摘しており、それらを宮久（1972）は「火口より抛出されて堆積した」ものと考えた。その後、松本ほか（1984）、松本・成重（1985）は、広い範囲に分布する新第三紀の溶岩流を一枚毎に対比させたことから、活動様式としては広域に広がる溶岩流の流下を想定している。Kamata（1989）やKamata and Kodama（1999）は、大分県西部に分布する後期鮮新世の溶岩の産状や豊肥火山地域が活動初期（5～2 Ma）に多量の噴出量を示すことから、活動様式を割れ目噴火による平坦面溶岩の流出と考えた。しかしながら、松本ほか（1984）、松本・成重（1985）、星住・森下（1993）が示したように、産状としては溶岩より火山砕屑岩の方が多し。松本ほか（1984）は、溶岩流や溶岩ドーム、火砕岩が卓越する地域とそれらの二次堆積物が卓越する地域があり、局所的に変質作用を被っていると述べたが、これらの産状は今日的には個々の火山体の形成によるものという解釈ができる。

## 5. 2 宇佐火山岩類の概説と火山体区分の指針

本地域の新第三紀火山岩類は、宇佐火山岩類（星住・森下，1993）の東縁にあたる。これら火山岩類から、6.59～5.47 Maの放射年代値が得られており（鎌田・渡辺，1985；沢井ほか，2002；本研究），本地域の火山活動は、豊肥火山地域（Kamata，1989など）の活動最初期に相当する後期中新世に行われたと考えられる。

本研究では、従来明確ではなかった宇佐火山岩類の活動様式を、以下の特徴を持つことから、成層火山を形成する活動と考えた。すなわち、1) 噴出物はある特定の中央部から外側に傾斜する走向傾斜を示すこと、2) これら中央部は火山岩類の層厚が厚いこと、3) 中央部から遠方に向かうほどラハール堆積物などの成層火山遠方相（Cas and Wright，1987）を示す特徴をもつことである。これらの特徴に基づき、本地域の宇佐火山岩類を4つの成層火山に区分した。古い順から卓越する岩石をとって船部安山岩、田原山安山岩、陽平安山岩、甲尾山デイサイトと呼ぶ。これらは新第三系であり明瞭な火山地形を残さないことから安山岩及びデイサイトと呼称したが、ひとつひとつの火山に相当すると考えてよい。すなわち、本地域の宇佐火山岩類とは宇佐火山群を意味している。

個々の火山体の放射年代値は集中し、火山体毎に斑晶組み合わせや全岩化学組成に違いが認められる特徴がある。なお、火道充填堆積物や高密度の岩脈貫入などといった噴出中心を示す産状は確認できていない。

### 5. 2. 1 船部安山岩（Fup, Ful）

**定義・模式地** 杵築市船部付近を活動中央部とする普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩（一部デイサイト）からなる成層火山を船部安山岩と呼ぶ（新称）。模式地は杵築市船部から小武周辺と杵築市鍋倉周辺である。

**分布・層厚** 本地域中央部に広く分布し、分布域は東西16 km以上、南北10 km以上の200 km<sup>2</sup>以上に及ぶ。標高450～150 mの山地を形成する。噴出物の走向傾斜は、火山体中央部から外側を向く。層厚は火山体中央部の杵築市船部で210 m、南縁の杵築市筒木で40 mである（松本・成重，1985，ボーリング資料に基づく）。また東縁の杵築市奈多での層厚は60 mである。体積は15 km<sup>3</sup>以上と見積もられる。

**層序関係** 山香町小武、杵築市尾迫及び大田村天堤で領家変成岩類を不整合に覆う（第5.1図）。杵築市樋村で行者岬深成複合岩体を不整合に覆う。

**岩相** 船部安山岩は、安山岩-デイサイトの凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩と、溶岩からなる。分布域の中央部から西部は主に溶岩から構成される。

凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩（Fup）は、火砕流堆積物、ラハール堆積物及び崖錐堆積物などからな



第5.1図 宇佐火山岩類と領家変成岩類の不整合面  
大田村天堤。矢印が不整合面。下半部が領家変成岩類の黒雲母片麻岩、上半部が宇佐火山岩類船部安山岩の凝灰角礫岩。ハンマーの長さは約30 cm。

る。火砕流堆積物は山香町小武（地点1；露頭位置は付図に示す；以下同様）などで認められ、やや発泡した灰黄色（5Y 8/4；The Rock-color Chart Committee，1980；以下同様）の角礫と同質の基質から構成される。冷却節理が入る発泡の悪い暗灰色（N5）の角礫を伴う。層厚は5 m以上である。ラハール堆積物は本火山体の周縁部に広く分布する。杵築市鍋倉ダム（地点2）では、径60 cm以下の比較的円磨された多色で様々な粒径の礫からなる淘汰の悪い堆積物から構成されている（第5.2図）。これらは、平行層理が発達した粗-細粒砂からなる部分を挟んで、複数枚のフローユニット（流動堆積単位）から構成されている。単層厚は10 cm～2 m以上である。最上部のフローユニットには、顕著なインプリケーションや逆級化構造が認められる。基質には白色から灰黄色（5Y 8/4）の風化した軽石を含むことがある。基質は圧密を受けて良く締まっている。これらラハール堆積物は、火山体の中央部から緩く外側に傾斜した走向をもって広く分布することから、成層火山遠方相に相当する火山麓扇状地堆積物と推定される。

溶岩（Ful）は杵築市波多方峠から山香町舟ヶ尾にかけてと、大田村横岳などに露出する。大田村横岳では緻密な溶岩が厚さ50 mで認められ、北東-南西方向へ長さ900 mに渡って追跡される。これら溶岩は南側で標高340 m以上、北側で標高300 m以上に露出しており、北へ緩く傾斜した分布を示す。溶岩には数～十数 cm間隔の板状節理が発達し（第5.3図）、柱状節理が入る部分もある。板状節理の傾斜方向は溶岩の分布と調和的で、全体的に東西方向に走向し緩く北に傾いている。分布や板状節理の方向、現存する溶岩のアスペクト比（長さ：長さ＝約1：20）から溶岩流と推定される。杵築市波多方峠から山香町舟ヶ尾にかけては、地質図では一枚の溶岩流のように図示されるが、少なくとも2枚の溶岩流か



第 5.2 図 船部安山岩のラハール堆積物

杵築市鍋倉。径 60 cm 以下の比較的円磨された多源の礫からなり、淘汰が悪く逆級化している。上半部は厚さ 2 m 以上のフローユニット（流動堆積単位）からなり、右から左へインプリケーションが発達している。このインプリケーション方向は、推定される成層火山中央部から外側に傾斜する方向をもつ。スケールは 1 m。



第 5.3 図 船部安山岩の普通輝石含有紫蘇輝石デイサイト溶岩 大田村横岳。数 cm ～十数 cm 間隔の板状節理が発達する。板状節理の方向は推定される火山体中央部から外側に傾斜する。スケールは 1 m。

らなる。2 枚の溶岩流は残留磁化方位や斑晶組み合わせが異なっている。これら溶岩流の板状節理の方向は、火山体中央部から外側に傾斜する面に調和的な北西-南東方向の走向を持って南西方向に傾斜した面を持つことが多い。杵築市三光坊から小挾間みこうぼう おほさまに点在する溶岩は、露出が悪いため溶岩流か溶岩ドームかは不明である。山香町山口付近では、熱水変質により全体に白色を帯びている。

船部安山岩の凝灰角礫岩などの火山碎屑岩と溶岩は指交関係にある。すなわち、大田村横岳付近で溶岩は火山碎屑岩を直接覆い、大分県高田土木事務所のボーリング

資料（未公表）によれば、杵築市波多方峠付近で溶岩が火山碎屑岩を覆っている。また山香町瀬口付近では、溶岩が火山碎屑岩に直接覆われる。

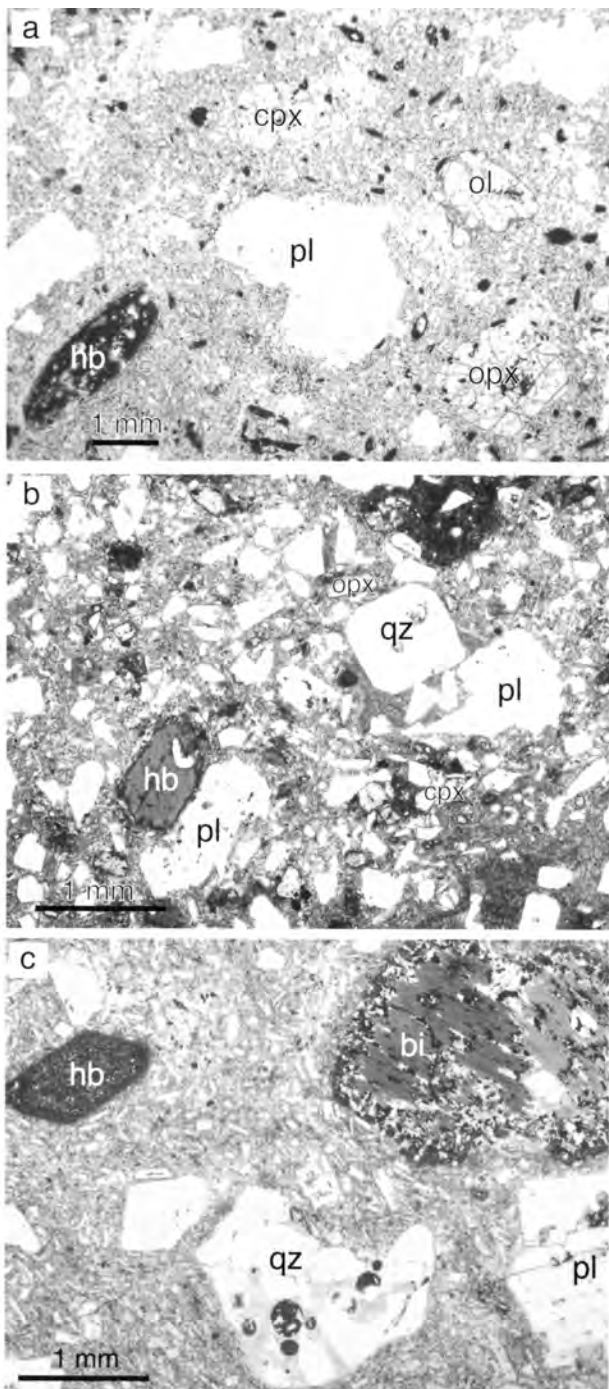
**岩石・化学組成** 船部安山岩の岩石は、普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩を主体とし、単斜輝石斜方輝石デイサイトと普通角閃石かんらん石斜方輝石単斜輝石安山岩を伴う。斑晶として、やや白濁した径 7 mm 以下の斜長石、径 12 mm 以下の普通角閃石、径 4 mm 以下の単斜輝石と斜方輝石を含む。径 2 mm 以下のかんらん石斑晶を含むこともある（第 5.4 図 a）。斑晶量は 13～27vol.% である（付表 3）。SiO<sub>2</sub> 量は 56.7～65.0wt.% の組成幅を持つが、安山岩組成が卓越する（第 5.5 図 a）。またカルクアルカリ系列（Miyashiro, 1974）の分化トレンドを示す。船部安山岩の岩石は、後述する田原山安山岩、陽平安山岩、甲尾山デイサイトの岩石に比べ、同じ MgO 量で比較すると K<sub>2</sub>O 量に富む特徴を持つ（第 5.5 図 b）。

**年代・磁化方位** K-Ar 年代値として、杵築市波多方峠から 6.59 ± 0.11 Ma、同市南平から 6.39 ± 0.11 Ma、大田村横岳から 5.99 ± 0.10 Ma（以上本研究；付表 1）が、山香町今畑の弱変質した溶岩から 5.7 ± 0.3 Ma（鎌田・渡辺, 1985）が得られている（付表 4）。山香町今畑からは、同一試料の FT 年代値として、12.1 ± 0.9 Ma（林ほか, 1983）が得られているが、算出方法に問題があるとされている（鎌田・渡辺, 1985）。携帯型フラックスゲート磁力計（Walker Scientific Inc. FGM-3D2；以下、フラックスゲート磁力計と略）で、9ヶ所から得た自然残留磁化方位は正帯磁と逆帯磁を示した（付表 3）。

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号：GSJ R79416 (WKM42；6.59 ± 0.11Ma)

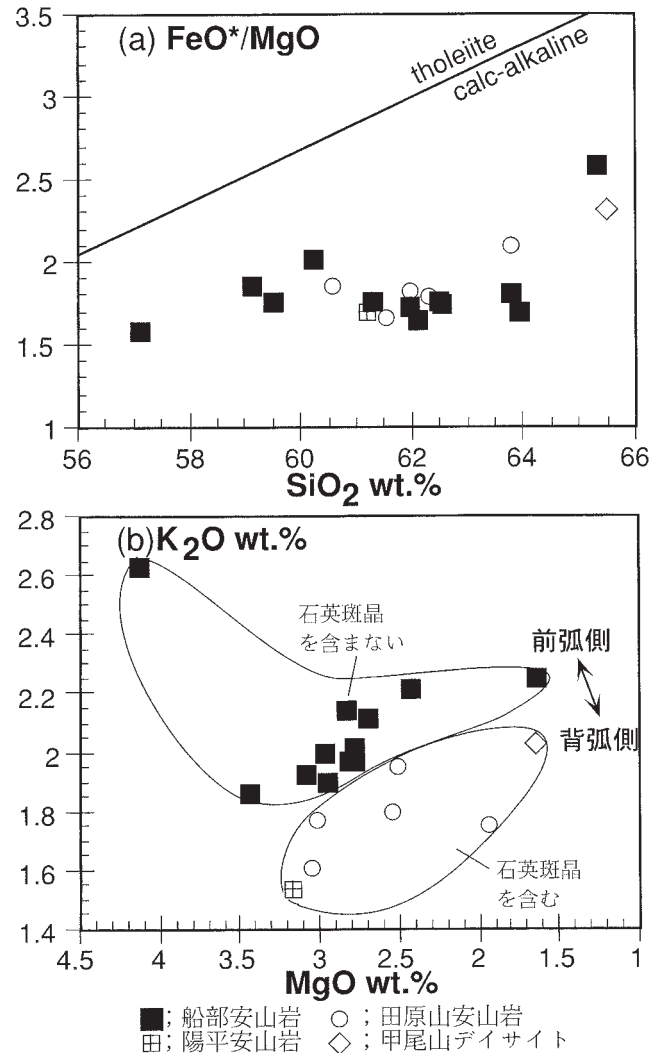
板状節理をもつ層厚 3 m 以上の緻密なデイサイト溶岩 (63.8 SiO<sub>2</sub>wt.%) である。斑晶として斜長石 (22 vol. %；以下同じ)、斜方輝石 (3.7%)、単斜輝石 (1.0%) と 1% 以下の普通角閃石、不透明鉱物を含む。普通角閃石斑晶はオパサイト化し、周辺が微粒の不透明鉱物に置換されている。輝石斑晶の割れ目にはスメクタイトが、斜長石斑晶には少量のスメクタイトと緑れん石が生じている。石基はハイアロピリティック組織を示し、孔隙に少



量のスメクタイトが生じている。

試料番号：GSJ R79421 (WKM80；6.39 ± 0.11 Ma)

層厚 5 m 以上の緻密な安山岩溶岩 (59.5 SiO<sub>2</sub> wt.%) である。斑晶として斜長石 (13%)、単斜輝石 (3.9%)、斜方輝石 (3.3%)、普通角閃石 (2.0%) と 1% 以下のかん



第 5. 5 図 宇佐火山岩類の岩石の SiO<sub>2</sub>-FeO\*/MgO 図 (a), MgO-K<sub>2</sub>O 図 (b) 前弧側に位置する船部安山岩は、背弧側の田原山安山岩、陽平安山岩、甲尾山デイサイトに比べ K<sub>2</sub>O 量に富んでいる。ソレアイト系列とカルクアルカリ系列の境界は Miyashiro (1974) による。分析値は付表 3 に示す。

第 5. 4 図 宇佐火山岩類の偏光顕微鏡写真

(a) 船部安山岩 (試料番号 GSJ R79421), (b) 田原山安山岩 (GSJ R79429), (c) 甲尾山デイサイト (GSJ R79433)。岩石記載は本文参照。試料番号は付表 3 を参照。ol；かんらん石, cpx；単斜輝石, opx；斜方輝石, hb；普通角閃石, bi；黒雲母, pl；斜長石, qz；石英。単ポーラー。

らん石と不透明鉱物を含む。かんらん石斑晶の割れ目に少量のスメクタイトが生じている。普通角閃石斑晶は全体がオパサイト化し、微粒の不透明鉱物に置換されている。石基はインターサータル組織を示し、孔隙に極少量のスメクタイトが生じている程度で非変質に近い。

試料番号. GSJ R79417 (WKM59; 5.99 ± 0.10 Ma)

柱状・板状節理をもつ層厚 50 m 以上の緻密なデイサイト溶岩 (65.3 SiO<sub>2</sub> wt. %) である。斑晶として斜長石 (13%), 斜方輝石 (1.3%), 単斜輝石 (0.9%) を含む。斜長石中心部や輝石の割れ目にスメクタイトが生じていることが多い。石基は斜長石が流理方向に定向配列したハイロピリティック組織を示す。割れ目にしばしばスメクタイトが生じている。

### 5. 2. 2 田原山安山岩 (Tap, Tal)

**定義・模式地** 田原山付近を活動中央部とする石英含有普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩 (一部デイサイト) からなる成層火山を田原山安山岩と呼ぶ (新称)。沢井ほか (2002) の宇佐火山岩類下部と上部の一部に相当する。模式地は田原山山頂部と桂川流域である。

**分布・層厚** 田原山付近に分布し、分布域は 6 × 4 km 以上である。その分布は、西隣の豊岡地域や北隣の鶴川地域へ続くと推定される。層厚は田原山山頂付近で約 400 m と推定される。ボーリング資料では、田原山山頂から 5 km 北の桂川流域付近で 70 m (松本・成重, 1985)、豊後高田市熊野 (地点 3) で 80 m (豊後高田市農林水産課, 未公表資料) が得られている。現存する体積は 4 km<sup>3</sup> 以

上と見積もられる。

**層序関係** 豊後高田市大曲で領家変成岩類を、山香町金山で牛屋敷深成複合岩体を不整合に覆う。大田村乗越<sup>のりこえ</sup>付近の地形判読から、船部安山岩を覆うと推定した。

**岩相** 田原山安山岩は安山岩 (一部デイサイト) の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩に少量の溶岩を伴う。

凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩 (Tap) は、火山岩塊火山灰流堆積物やラハール堆積物などからなる。火山岩塊火山灰流堆積物は、田原山山頂部 (地点 4) などで認められ、発泡の悪い単源の角礫と同質の基質から構成される。角礫には数 cm 間隔の冷却節理が入ることが多い (第 5.6 図)。細粒火山灰を挟んで 2 枚のフローユニットが認められ、単層厚は 5 m 以上である。ラハール堆積物は、豊後高田市上野から大田村杵掛<sup>くづかけ</sup>の桂川流域に良く露出する。比較的円磨された多色で様々な粒径の礫から構成される淘汰の悪い堆積物からなり、正-逆級化構造を示す (第 5.7 図)。平行層理、低角の斜交葉理が発達した極粗粒砂-細粒砂から構成される部分もある。単層は厚さ数 cm から数 m で、15 枚以上認められる。これら桂川流域のラハール堆積物は、東西方向の走向をもち、緩く北に傾斜している (第 1.3 図)。

溶岩 (Tal) は、凝灰角礫岩などの火山碎屑岩に挟まれて山香町六太郎、大田村杵掛や乗越で認められる。大田村杵掛では、厚さ 50 m 以下のブロック溶岩からなり、平滑な破断面に囲まれた多面体の礫からなる破碎部を伴う。

**岩石・化学組成** 田原山安山岩の岩石は、斑晶として径 7 mm 以下のやや白濁した斜長石、径 10 mm 以下の普通



第 5.6 図 田原山安山岩の火山岩塊火山灰流堆積物  
山香町田原山山頂直下。冷却節理の発達した発泡の悪い安山岩の岩塊 (径 10 ~ 40 cm) の間を同質の細粒物からなる基質が埋めている。矢印はフローユニット境界を示す。ハンマーの長さは約 30 cm。



第5.7図 田原山安山岩のラハール堆積物  
豊後高田市上野。赤褐色、灰白色、淡黄色と多色で円磨された礫からなり、正-逆級化構造を示す。厚さ10 cm～2 mで15枚以上のフローユニットが重なる。堆積物は田原山山頂方向に向かい緩く傾斜している。

角閃石、径3 mm以下の斜方輝石と単斜輝石及び径1.0 mm以下の石英を含む(第5.4図b)。斑晶量は24～38 vol.%であり、SiO<sub>2</sub>量は60.2～63.5wt.%の組成を持つ(第5.5図a)。田原山安山岩の岩石は船部安山岩の岩石と同様にカルクアルカリ系列の分化トレンドを示すが、船部安山岩の岩石に比べ同じMgO量で比較するとK<sub>2</sub>O量に乏しい特徴を持つ(第5.5図b)。後述する陽平安山岩、甲尾山デイサイトの岩石の化学組成は田原山安山岩のそれと同じ傾向を示す。

**年代・磁化方位** K-Ar年代値として、田原山山頂の凝灰角礫岩から6.30±0.14 Maが得られた(付表1)。また、山香町六太郎の弱変質した溶岩から6.06±0.47 Ma、5.47±0.14 Ma(沢井ほか, 2002)が得られている(付表4)。山香町六太郎からは、強変質した火砕岩のフィッシュン・トラック年代値として10.0±0.6 Maが得られているが(星住・森下, 1993)、近接した露頭で採取された前述の溶岩のK-Ar年代値(沢井ほか, 2002)と大きく異なっている。フラックスゲート磁力計で2ヶ所から得た自然残留磁化方位は逆帯磁を示した。

K-Ar年代測定試料の岩石記載  
試料番号:GSJ R79426 (WKM9)

冷却節理をもつ直径3.5 mの安山岩角礫(61.6 SiO<sub>2</sub> wt.%)である。斑晶として斜長石(30%)、普通角閃石(2.9%)、単斜輝石(2.7%)、斜方輝石(1.6%)及び少量の石英(0.4%)と不透明鉱物を含む。石基はインターサータル組織を示し、割れ目に極少量のスメクタイトが生じている程度で非変質に近い。

**地質図の境界線** 以上述べたように、田原山安山岩と船部安山岩からなる噴出物は、走向傾斜が異なること、前者が極少量の石英斑晶を含むこと、全岩化学組成に差が認められるといった違いがある。しかしながら、露頭スケールでは類似した岩相、岩質を持つ。このため、二つの安山岩の境界線を引くには露頭毎の鏡下観察と全岩分析が必要であるが、本研究では分布、地形判読、層序関係を総合して、田原山安山岩と船部安山岩の境界線を引いた。これらは、後述する田原山安山岩と陽平安山岩の境界線も同様である。

### 5. 2. 3 陽平安山岩 (Hip, Hil)

**定義・模式地** 豊後高田市陽平付近の石英含有普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩からなる成層火山を陽平安山岩と呼ぶ(新称)。沢井ほか(2002)の宇佐火山岩類上部の一部に相当する。模式地は豊後高田市陽平付近である。

**分布・層厚** 本地域では陽平付近に限って分布するが、豊岡地域、宇佐地域、鶴川地域へ連続すると推定される。最大層厚は本地域内で約350 mと推定される。ボーリング資料では、豊後高田市<sup>うづま</sup>空木(宇佐地域)で、層厚150 mが得られている(豊後高田市農林水産課、未公表資料)。本地域内の体積は、0.4 km<sup>3</sup>程度と見積もられる。

**層序関係** 豊後高田市今下田付近の地形判読から、田原山安山岩を覆うと推定した。

**岩相** 陽平安山岩は安山岩の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩を主体とし溶岩を伴う。凝灰角礫岩などの火山砕屑岩(Hip)は、単源の角礫と同質の火山灰からなる火山岩塊火山灰流堆積物(地点5)や崖錐堆積物などからなる。これらは北西-南東方向から南北方向の走向をもち、北東から北方向へ緩く傾斜している。溶岩(Hil)は、豊後高田市今島田付近と陽平標高400 m付近で連続的に認められる。分布から推定されるアスペクト比から溶岩流と考えられる。火山砕屑岩と溶岩は指交関係にある。

**岩石** 陽平安山岩の岩石は、肉眼で径5 mm以下の斜長石斑晶、径4 mm以下の普通角閃石と単斜輝石、斜方輝石斑晶を含む安山岩である。少量の石英斑晶(径0.5 mm以下)が鏡下で認められる。斑晶量は25～29vol.%である(付表3)。

**年代・磁化方位** K-Ar年代値として、6.13±0.11 Maが得られた(付表1)。フラックスゲート磁力計で2ヶ所から得た自然残留磁化方位は正帯磁と逆帯磁を示した。

K-Ar年代測定試料の岩石記載  
試料番号:GSJ R79431 (WKM2)





第 5.8 図 田原山山頂から望む田原山安山岩と陽平安山岩

田原山山頂から北西方向を撮影。この方向は地質図の断面線 G-G 上にあたる。田原山安山岩の火山碎屑岩の走向傾斜は、田原山山頂の方向を向いて外側に傾斜し（矢印）、その標高は低くなる。鞍部（太線）を挟んで再び標高を増すが、これらは華岳（宇佐地域）を最高点とする陽平安山岩である。

層厚 5 m 以上の緻密な安山岩溶岩（61.2 SiO<sub>2</sub>wt. %）である。斑晶として斜長石（25%）、単斜輝石（2.3%）、斜方輝石（1.5%）及び少量の石英と不透明鉱物を含む。石基はハイアロピリティック組織を示し、極少量のスメクタイトが生じている程度で非変質に近い。

**推定される活動中央部** 噴出物の走向傾斜や層厚から推定すると、陽平安山岩は周辺の最高点である華岳（標高 592.8 m；宇佐地域；第 1.2 図と第 5.8 図）付近を活動の中央部とする可能性がある。しかし、華岳周辺の放射年代値（5.50～5.46 Ma；沢井ほか，2002）とは年代差があり、今後の検討が必要である。

#### 5.2.4 甲尾山デイサイト (Kop, Kol)

**定義・模式地** 甲尾山付近の安山岩-デイサイト質の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩と単斜輝石斜方輝石含有普通角閃石黒雲母石英デイサイト溶岩からなる火山体を甲尾山デイサイトと呼ぶ（新称）。船部、田原山、陽平の各火山体とは異なる黒雲母斑晶と石英斑晶に富む。模式地は甲尾山山頂部付近だが、変質が進んでいる。

**分布・層厚** 甲尾山付近から山香町倉成付近に分布し、豊岡地域へ連続すると推定される。層厚は甲尾山付近で 130 m 以上と推定される。推定した本地域内の体積は 0.1 km<sup>3</sup> 程度である。

**層序関係** 船部、田原山、陽平の各火山体との直接の層序関係は不明である。

**岩相** 凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩及び凝灰岩 (Kop) は、

多くが白色から緑色に変質し、一部は粘土化している。多数の黄鉄鉱が形成されていることもある。このため初生的な堆積構造や噴出物の走向傾斜は不明瞭である。溶岩 (Kol) は凝灰角礫岩を覆って、甲尾山山頂部で認められる。径 2 m 以下の破碎した緑灰色を呈するデイサイト (65.5 SiO<sub>2</sub>wt.%) が、厚さ約 40 m に渡って断片的に露出している。斑晶として、径 8 mm 以下の斜長石（18%）、径 4.5 mm 以下の石英（6.3%）、径 3 mm 以下の黒雲母（1.4%）と径 4 mm 以下の普通角閃石（1.1%）を持ち少量の斜方輝石と単斜輝石を伴う（第 5.4 図 c）。石英斑晶は融食組織を示すことがある。普通角閃石斑晶は全体で、黒雲母斑晶は周縁でオパサイト化している。石基はインターサタル組織を示し、多量のスメクタイトが生じている。石基組織から貫入岩ではなく溶岩流ないし溶岩ドームと考えられるが、現存する溶岩のアスペクト比（厚さ：長さ＝約 1：6）から判断すると (Walker, 1973)、溶岩ドームの可能性が高い。

**年代** 黒雲母斑晶の K-Ar 年代値として、甲尾山山頂部から 5.82 ± 0.15 Ma が得られている (沢井ほか，2002；付表 4)。

**地質図の境界線** 甲尾山デイサイトと船部安山岩の境界部は変質が著しいため層序関係が明らかではない。本研究では、船部安山岩の K-Ar 年代値が甲尾山デイサイトより古い値を示すことが多いため、甲尾山デイサイトを上位と考え、溶岩流の分布や地形などを総合して境界線を引いた。

## 第6章 後期鮮新世-前期更新世<sup>せきなん</sup>碩南層群

(水野清秀・石塚吉浩)

### 6.1 概要と研究史

別府湾の周辺には、水成の鮮新-更新世堆積物が分布している。別府湾の南、大分市周辺に分布する淡水成-海成の鮮新-更新統を首藤（1953a）は、下位の碩南層群と上位の大分層群に区分し、また別府湾北岸に分布する地層を大分層群に対比した（首藤，1953b）。碩南層群と大分層群の層序や年代観は、その後の研究で修正されていき（岡口，1976；吉岡ほか，1997など）、碩南層群は後期鮮新世-前期更新世、大分層群は前期更新世末-中期更新世中頃の堆積物と考えられるようになった。一方、瀬戸内海周辺地域に分布する鮮新-更新統の年代をみると、大分地域の碩南層群と大分層群の区分に代表されるように、主に後期鮮新世-前期更新世の堆積物と、主に中期更新世の堆積物に2分される場合が多いことがわかってきた（水野，2001）。この点は広域テクトニクスを考える場合に重要になってくる。日出丘陵の鮮新-更新統も、大分地域とテフラ等を用いて対比をすることによって、碩南層群に相当する地層群と大分層群に相当する地層群に分けられることが明確になってきた（第6.1図）。そこで本地域の水成堆積物も碩南層群と大分層群に分類する。

日出丘陵の鮮新-更新統は、最初日高（1978）によって詳しく調査され、多くの貝化石が報告されるとともに、全体が大分層群に対比された。その後、椎原・長谷（2002）によって層序の見直しがなされ、より正確な地質図が作成されると共に、挟在するテフラの対比によって大分地域との関係が明確に示された。また峯元ほか（2000）は、挟在するテフラの年代測定を行い、地層の年代観を明確にしている。杵築市と山香町の鮮新-更新統は、松本ほか（1984）や松本・成重（1985）によって詳しい調査がなされている。ただしテフラ等に基づく詳しい対比はなされていない。

本研究では、これら既存の調査結果を基に、火山噴出物との関係を正確に追跡し、詳細に地層対比を行って新しい層序区分を行った。水成堆積物の層序関係及び周辺地域との対比は第6.1図に示すとおりである。碩南層群に相当する地層は熊野層<sup>またみず</sup>、俣水層<sup>かぬきぼな</sup>、野原層<sup>のほる</sup>に区分される。このうち俣水層、加貫鼻層、野原層は分布地域が離れているために用いた名称で、ほぼ同時期の堆積物と考えられる。地質柱状図を第6.2図と第6.7図に示す。この章では、これらの地層間に挟まる火砕流堆積物、軽石層などについても併せて記載する。その特徴は第6.1表にまとめられている。

### 6.2 熊野層 (Ku)

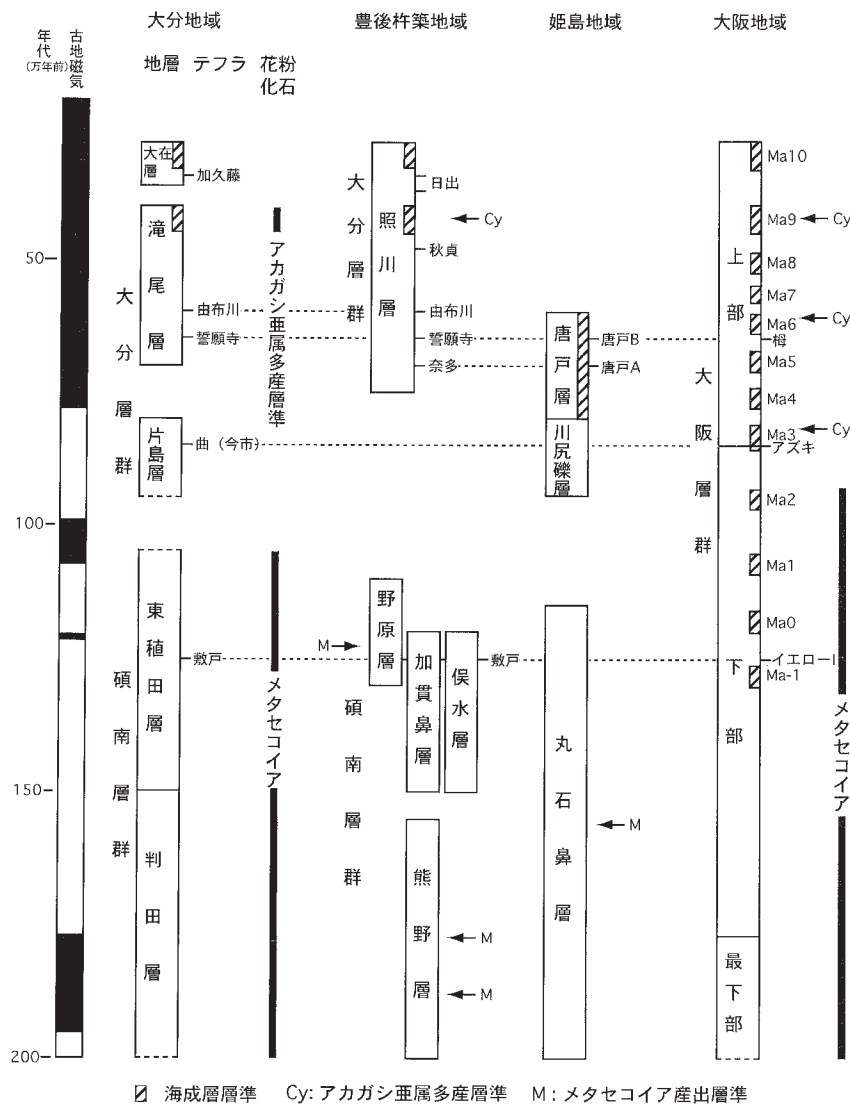
**定義・模式地** 熊野層は、八坂川より南の日出丘陵東部に分布する淡水成の堆積物であり、この地域に露出する地層の中で最下位の層準にあたる。椎原・長谷（2002）の尾本層、加貫層及び年田層を合わせたものにほぼ相当するが、これらの地層は一連整合であり、細分が難しいと判断されるため、その全体を熊野層と呼ぶ。なお椎原ほか（1996）がかつて「熊野層」と呼んだ地層は、尾本層にあたりと推定されるが、ここで再定義する。模式地は杵築市熊野山田から日出町真那井神宮間（地点6，7付近）である。上位の加貫鼻層、杵築岩層なだれ堆積物等に不整合に覆われる。

**分布** 杵築市熊野から日野，中，日出町真那井にかけての丘陵地。

**層相** 淡水成のシルト，砂，中礫層から構成され、薄い軽石層や火山灰層を頻りに挟んでいるが（第6.2図，第6.3図，第6.4図），上位の加貫鼻層のように火砕流堆積物や厚い火山角礫層などは挟まない。下部は厚いシルト層が主体で、厚さ数10 cm前後の細かな軽石層を多数挟んでいる。中・上部は中礫以下の砂礫層，砂層及び火山灰質シルト層の互層からなり、軽石層を数枚挟む。全層厚は100 m以上に及ぶ。軽石層の重鉱物は主に単斜輝石・斜方輝石タイプと普通角閃石・輝石タイプがある。熊野層は広く波状の変形を受けていて、さまざまな方向に20°～40°程度傾斜している。また日野付近の熊野層は、上位に重なる杵築岩層なだれ堆積物の影響を受けて著しく変形し、ブロック化している（第6.5図）。

**化石** 加貫付近の海岸では、炭質砂層中から材などの植物化石が産出する。熊野の2地点（付図及び第6.2表の地点9及び地点10）でのシルト層から得られた花粉化石には、メタセコイア属が高率で含まれていた。またそのうちの地点10の試料からはスギ属花粉も比較的多く産出している（第6.2表）。

**年代・対比** 熊野層中部に挟まる軽石層のフィッシュン・トラック年代が $1.8 \pm 0.3$  Maと求められた（付表2）。またメタセコイア属化石を含むことから、鮮新世末期-前期更新世前半頃の年代と推定される。年代測定値や花粉化石群集の特徴からは、大分地域の碩南層群判田層（岡口，1976；大西，1965）や国東半島の北方海上に位置する姫島の丸石鼻層（伊藤ほか，1997）がこの地層に対比される可能性がある。本地域の北西方に位置する安心院町<sup>あしむ</sup>-院内町<sup>つぶさがわ</sup>には津房川層（松本ほか，1984）と呼ばれ



第 6.1 図 豊後杵築周辺地域の鮮新-更新統間の対比  
 大分地域の層序は吉岡ほか (1997), 姫島地域の層序は伊藤ほか (1997), 大阪地域の層序は市原編 (1993) に基づく. テフラの対比や花粉化石は本文参照. 古地磁気の黒は正帯磁期, 白抜きは逆帯磁期を表す.

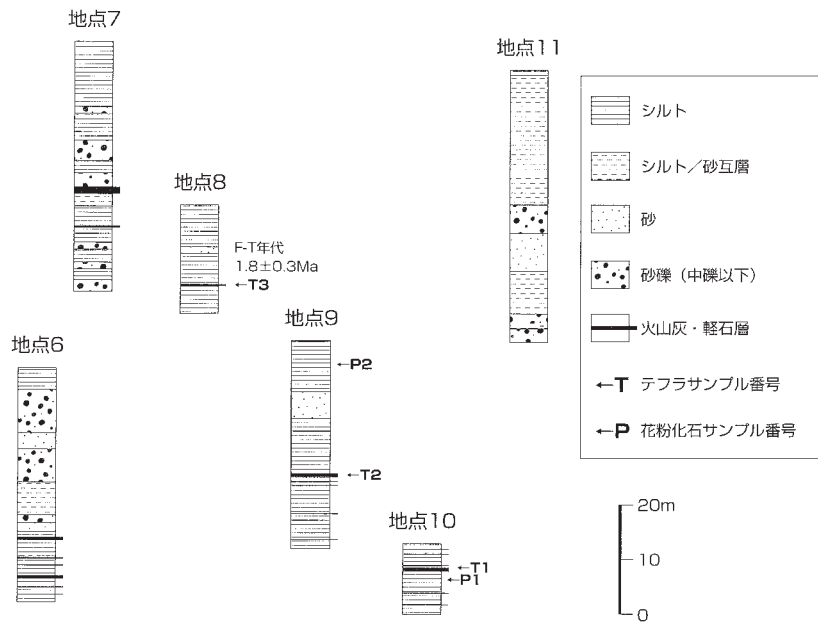
第 6.1 表 碩南層群に挟まるテフラの諸分析値  
 サンプル地点は付図に示す. サンプル層準は第 6.2 図と第 6.7 図を参照.

テフラ名	地点番号 または地域名	厚さ (m)	重鉱物組成	屈折率		ガラスの主成分組成(%)										ガラスの微量成分組成(ppm)				
				ガラス(n)	斜方輝石(τ)	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ba	La	Sc	Sr	V	Y
未命名火山灰層	地点17-T10	2+	普通角閃石	1.503-1.505		0.25	12.48	1.45	0.06	0.24	1.41	3.32	3.32	0.04	501	24	4	128	7	20
敷戸火砕流堆積物	地点15-T9	8+	普通角閃石,カミングトン閃石>斜方輝石,単斜輝石,黒雲母	1.499-1.500		0.14	11.79	0.85	0.07	0.16	1.01	3.53	3.38	0.04	709	17	1	126	3	8
敷戸火砕流堆積物	地点20-T8	15	普通角閃石>カミングトン閃石,斜方輝石,単斜輝石,黒雲母	1.495-1.498		0.19	11.86	0.87	0.06	0.13	0.98	2.95	3.72	0.05	695	19	1	137	9	9
敷戸火砕流堆積物	大分市敷戸	16+	単斜輝石,斜方輝石>カミングトン閃石,普通角閃石,黒雲母	1.498-1.499	1.701-1.711	0.16	12.57	1.04	0.06	0.16	1.08	3.36	3.49	0.05	772	22	2	149	6	10
イエローI火山灰層	環市別所	0.7	普通角閃石>斜方輝石,カミングトン閃石,黒雲母	1.496-1.500	1.701-1.714	0.16	12.11	1.01	0.06	0.14	1.09	3.47	3.10	0.04	711	22	2	148	5	9
未命名火砕流堆積物	地点15-T7	1.2+	普通角閃石	1.501-1.505		0.18	12.76	1.03	0.07	0.21	1.58	3.42	3.03	0.05	739	19	<1	229	6	8
荒平火砕流堆積物	地点16-T6	8+	普通角閃石,カミングトン閃石,ざくろ石,黒雲母	1.499-1.502		0.11	12.97	0.87	0.07	0.29	1.31	2.68	3.32	0.06	756	22	2	243	<1	9
未命名火山灰層	地点18-T5	1.5	普通角閃石	1.500-1.504		0.16	11.07	1.22	0.07	0.15	1.18	3.51	3.04	0.03	442	20	2	91	2	20
未命名火砕流堆積物	地点19-T4	4	斜方輝石>単斜輝石,普通角閃石>黒雲母	1.498-1.501		0.14	12.41	1.06	0.06	0.09	1.01	3.45	4.07	0.03	669	26	<1	117	<1	14
未命名輝石層	地点8-T3	0.6	普通角閃石>斜方輝石,単斜輝石	1.507-1.510																
未命名火山灰層	地点9-T2	1.5	斜方輝石	1.507-1.508																
未命名軽石層	地点10-T1	2	普通角閃石>斜方輝石,単斜輝石	1.507-1.513																

重鉱物組成は軽石及び火山灰基質を含めたものうち粒径 1/4 ~ 1/16mm の粒子の構成比を示す.

屈折率測定は RIMS86 (京都フィッション・トラック社製) による. 測定者: 水野.

火山ガラスの化学分析は ICP 発光分析及び蛍光分析 (吉川ほか, 2000) による. 測定者: 三菱マテリアル資源開発株式会社. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T は総 Fe 量を Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> として計算した値.



第 6. 2 図 熊野層の地質柱状図  
柱状図作成地点は、付図参照



第 6. 3 図 熊野層のシルト層に挟まる軽石層  
杵築市熊野北東海岸（地点 10）。地表面から上位約 2 m（黒色部）が軽石層で第 6. 2 図の T1 テフラ。

る淡水成の地層が分布している。その地層中に挟まれる凝灰岩のフィッション・トラック年代値は、4.9～2.8 Ma と求められていて（長谷ほか，2001；里口，2001），熊野層よりも古い年代を示している。また花粉化石は，メタセコイア属と考えられるスギ科花粉のほかに，アカガシ亜属やフウ属花粉が多産する特徴があり（岩内・長谷，1986），熊野層の花粉群集とは異なる。さらに津房川層からはイヌカラマツやセコイアなどの第三紀型植物化石が産出していることから，熊野層は津房川層より新しい時

代の地層であると考えられる。

### 6. 3 俣水層 (Mt)

**定義・模式地** 松本・成重（1985）は，2枚の普通角閃石デイサイト軽石火砕流堆積物と，淡水成の礫岩，凝灰質砂岩及びシルト岩を一括して俣水層と呼んだ。これは，第7章で述べるように，火砕流堆積物の他に岩層なだれ堆積物からなる火山噴出物を含んでいる。また，俣水層



第 6.4 図 熊野層の砂層主体の部分  
杵築市熊野南海岸（地点 11 付近）。砂層には斜交層理が発達する。



第 6.5 図 変形を受けてブロック化した熊野層  
杵築市日野。熊野層は、火山灰質のシルト-砂層、中礫層の互層からなり、この上位にのる杵築岩層なだれ堆積物の影響で全体が数～10 m オーダーのブロックに破碎されている。

の火砕流堆積物は国東半島全域に分布しているとされたが、明確な対比が行われたとは言えない（伊藤ほか，1997）。このため本研究では、珪藻化石を含むシルト層とその間に挟まれる砂礫層からなる堆積物に限って、俣水層と再定義する。模式地は大田村東俣水から安岐町矢川である。

**分布** 安岐町油留木から大田村西俣水にかけて分布する。

**層相** 淡灰色、淡赤色、淡黄色などの縞状模様がみられる凝灰質なシルト層と、成層構造が発達した砂礫層からなる。安岐町矢川（地点 21）の道路工事切割では、宇佐火山岩類船部安山岩の凝灰角礫岩を不整合に覆って、凝灰質シルト層と砂礫層が、層厚 15 m 以上で認められた（第 6.6 図 a, b）。下半部は、主に 1 mm～1 cm 間隔の縞模様を持つシルト層（第 6.6 図 c）からなり、上半部は平行層理、斜交層理が発達した細粒-中粒砂からなる砂

第 6.2 表 熊野層及び野原層の花粉化石産出状況  
 パリノ・サーヴェイ株式会社の分析による。サンプル層準は第 6.2 図と第 6.7 図を参照。

和名	学名	地点-サンプル番号		
		地点10-P1	地点9-P2	地点13-P3
木本花粉	Arboreal Pollen			
マキ属	<i>Podocarpus</i>	2	-	-
モミ属	<i>Abies</i>	7	2	17
ツガ属	<i>Tsuga</i>	7	-	12
トウヒ属	<i>Picea</i>	30	12	90
トガサワラ属-カラマツ属	<i>Pseudotsuga-Larix</i>	7	5	9
マツ属単維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylo</i>	1	-	1
マツ属複維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylo</i>	2	-	-
マツ属(亜属不明)	<i>Pinus</i> (Unknown)	19	13	63
ギンサン属	<i>Cathaya</i>	1	1	9
コウヤマキ属	<i>Sciadopitys</i>	1	1	-
スギ属	<i>Cryptomeria</i>	26	3	2
メタセコイア属	<i>Metasequoia</i>	35	16.2	2
イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科	Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae	13	18	2
イチョウ属	<i>Ginkgo</i>	-	-	1
マオウ属	<i>Ephedra</i>	-	1	-
ヤナギ属	<i>Salix</i>	-	1	-
サワグルミ属	<i>Pterocarya</i>	3	-	-
クルミ属(オニグルミ属)	<i>Juglans</i>	3	-	1
クマシデ属-アサダ属	<i>Carpinus-Ostrya</i>	8	4	3
カバノキ属	<i>Betula</i>	-	1	-
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	2	-	-
ブナ属	<i>Fagus</i>	9	5	57
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	43	17	24
コナラ属アカシ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>	6	1	4
クリ属-シイノキ属	<i>Castanea-Castanopsis</i>	2	4	-
ハリゲヤキ属	<i>Hemiptelea</i>	8	-	3
ニレ属-ケヤキ属	<i>Ulmus-Zelkova</i>	23	8	16
エノキ属-ムクノキ属	<i>Celtis-Aphananthe</i>	2	4	-
イスノキ属	<i>Distylium</i>	-	1	-
ツゲ属	<i>Buxus</i>	8	-	1
ウルシ属	<i>Rhus</i>	1	-	-
カエデ属	<i>Acer</i>	2	4	-
トチノキ属	<i>Aesculus</i>	-	4	-
ブドウ属	<i>Vitis</i>	-	2	-
ツタ属	<i>Parthenocissus</i>	-	2	1
グミ属	<i>Elaeagnus</i>	1	-	-
ツツジ科	Ericaceae	-	-	1
トネリコ属	<i>Fraxinus</i>	-	1	-
草本花粉	Nonarboreal Pollen			
イネ科	Gramineae	-	1	-
カヤツリグサ科	Cyperaceae	3	3	-
フサモ属	<i>Myriophyllum</i>	1	1	-
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	-	-	1
不明花粉	Unknown Pollen	3	11	9
シダ植物胞子	Pteridophyta Spores	7	4	9
その他の微化石	Other Microfossils	1	-	-
合計	TOTAL			
木本花粉	Arboreal Pollen	272	277	319
草本花粉	Nonarboreal Pollen	4	5	1
不明花粉	Unknown Pollen	3	11	9
シダ植物胞子	Pteridophyta Spores	7	4	9
総花粉・胞子	Total Number of Pollen & Spores	286	297	338

層や礫層が卓越する。シルト層には鏡下で多数の珪藻化石が認められる。砂礫層には、白色から淡黄色の良く円磨された普通角閃石デイサイトの軽石(径3 cm以下)を含むことが多い。特に斜交層理が認められる部分は軽石に富んでいる(第6.6図d)。その上位に層厚50 cmの弁分火砕流堆積物(第7章参照)を挟んで、層厚20 cmの成層した中粒-粗粒の砂層が認められる。

**化石** 松本・成重(1985)は、大田村東俣水のシルト層から淡水成の珪藻化石 *Cyclotella comta* (35.3 vol.%), *Mel-sosira granulata* (21.2%), *Stephanodiscus ostrae* (10.9%), *Cyclotella ocellata* (8.3%), *Fragilialia breristriata* (3.2%)

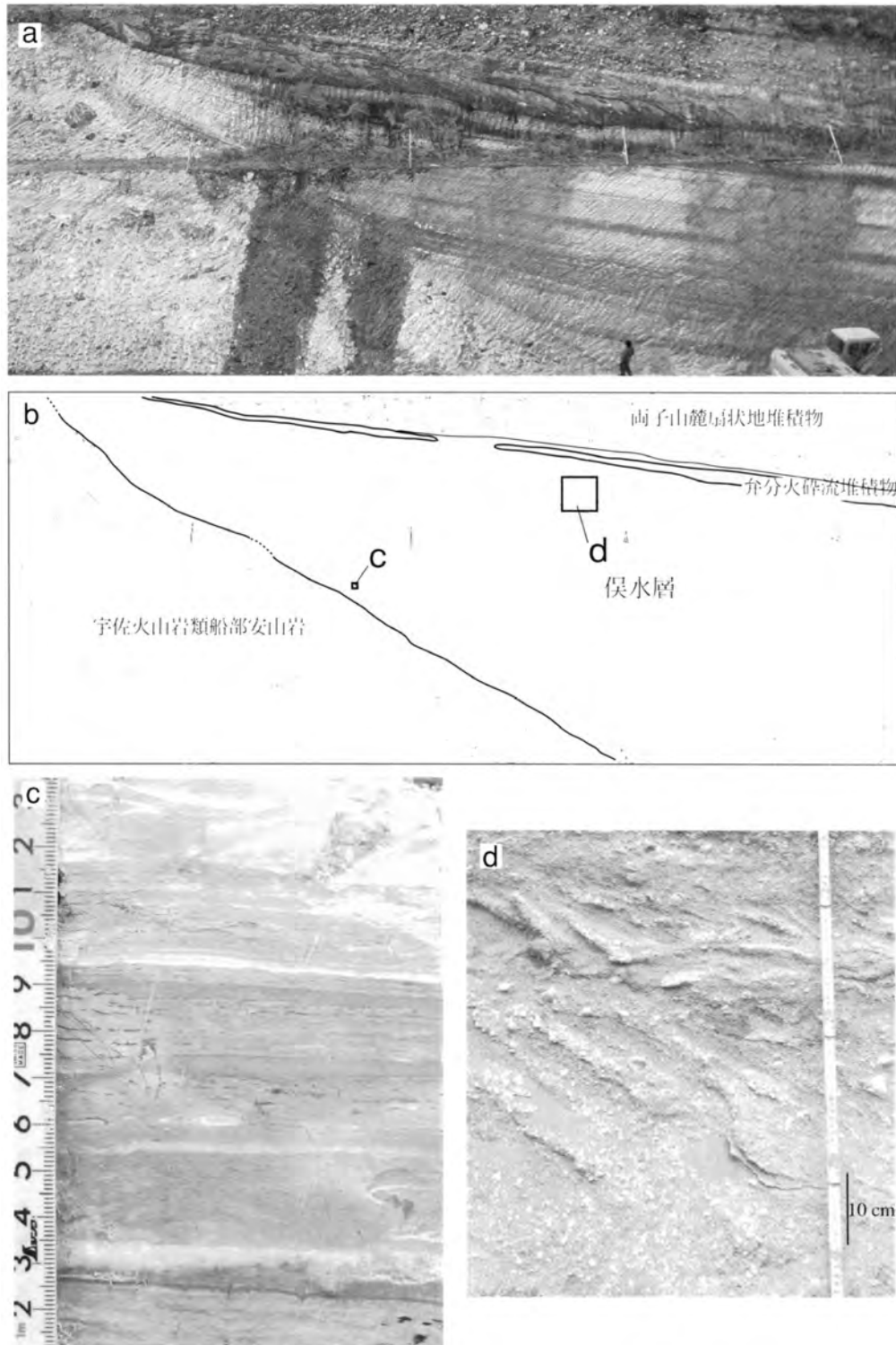
を報告している。これらから、温暖な環境下にあったアルカリ性の湖水に堆積したことを指摘している。

**年代・対比** 俣水層と指交関係にある弁分火砕流堆積物の放射年代値が、1.47 ~ 1.2 Maを示したことから、本層は碩南層群の上部に対比される。

**分布高度から推定される堆積場** 俣水層は、東方の安岐町油留木から矢川では標高130 ~ 160 mに、一方西方の大田村東俣水から西俣水では標高180 ~ 200 mに、どちらもほぼ水平に分布している。標高の低い前者では俣水層の上位に弁分火砕流堆積物が重なり、標高の高い後者では俣水層が弁分火砕流堆積物を覆っている。これは、

火砕流の流下により東方地域に形成されていた湖は埋積されてしまったが、西方地域は東方で堰き止められたかたちとなったため、より高い標高に俣水層の堆積場が形

成されたと考えられる。



第 6.6 図 俣水層の露頭写真

安岐町山浦（地点 21）。この露頭はその後の吹き付けのため現在は観察できない。

(a) 俣水層と宇佐火山岩類船部安山岩、弁分火砕流堆積物、両子山麓扇状地堆積物の層序関係。俣水層は宇佐火山岩類船部安山岩を不整合に覆い、層厚 15 m 以上で認められる。(b) (a) のスケッチ。(c) と (d) の位置も記入。(c) 俣水層の下半部の岩相。平行層理の発達した淡赤色、淡黄色、淡灰色シルト層からなる。(d) 俣水層の上半部の岩相。平行層理、斜交層理が発達し、円磨された軽石に富む。

## 6. 4 加貫鼻層 (Ka)

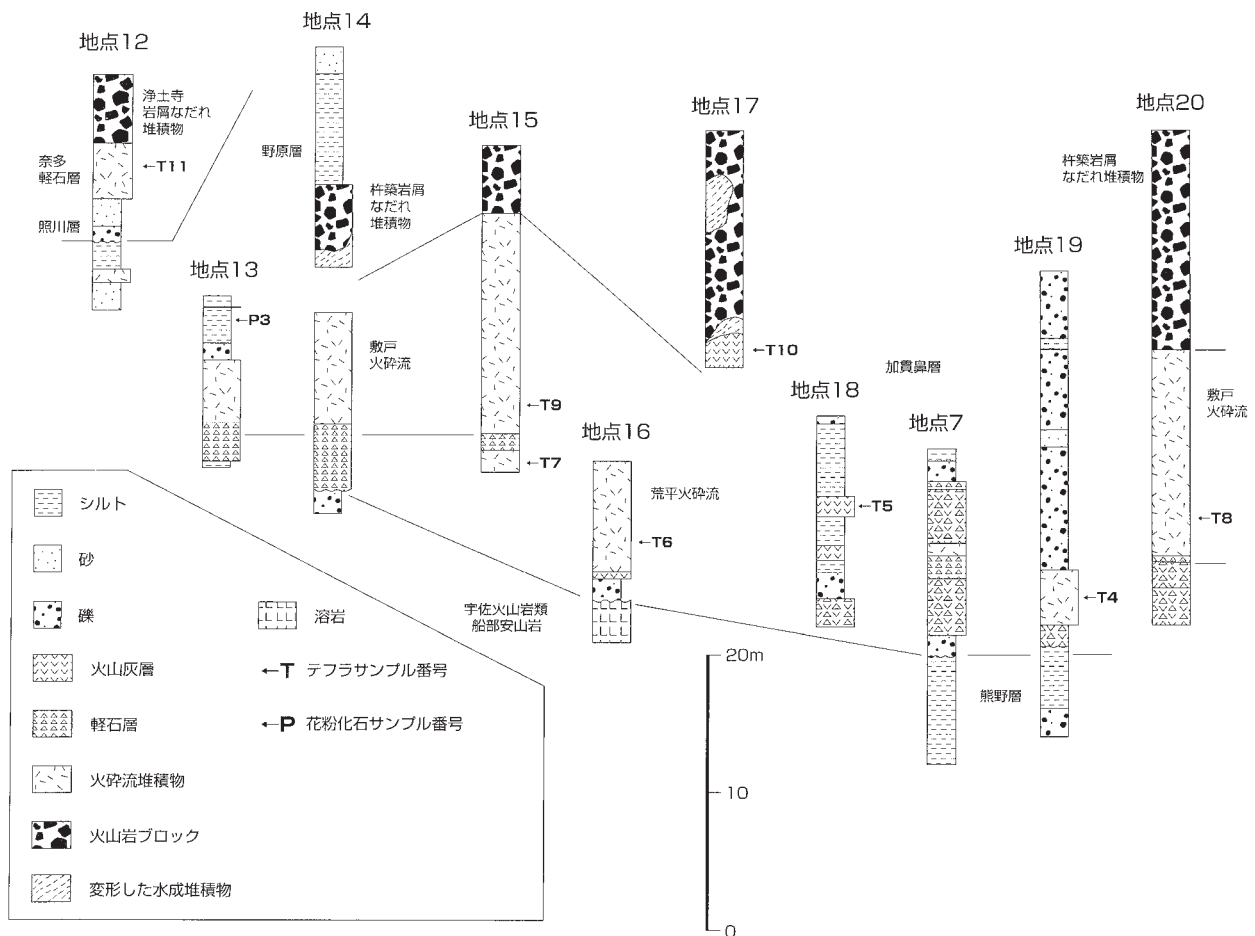
**定義・模式地** 新称。加貫鼻層は、主として杵築・日出両丘陵に分布する淡水成の地層であり、熊野層を覆う地層の中では最も下位に位置する。椎原・長谷（2002）が原南層と呼んでいる地層のうち、杵築市熊野周辺に分布するものは、主に本層と杵築岩屑なだれ堆積物（第7章参照）からなる。ただ日出町照川から糸ヶ浜にかけて分布している原南層は、本研究での照川層（第8章参照）にあたり、全く異なる層準の地層である。したがって原南層という地層名は使わず、新称とした。また松本・成重（1985）が杵築丘陵で馬場尾層と呼んでいる地層は、杵築岩屑なだれ堆積物を主体とし、本層を併せたものである。模式地は、杵築市熊野加貫の加貫鼻の北から西方にかけての南海岸沿いである。

**分布** 杵築市街地の周辺、杵築市鴨川、東大内山、熊野、日野、迎屋敷、日出町真那井などに点々と分布し、また安岐町馬場や武蔵町大上に小規模な分布がある。

**層序関係** 熊野層を不整合に覆い、杵築岩屑なだれ堆積物に覆われる（第6.7図、第6.8図）。

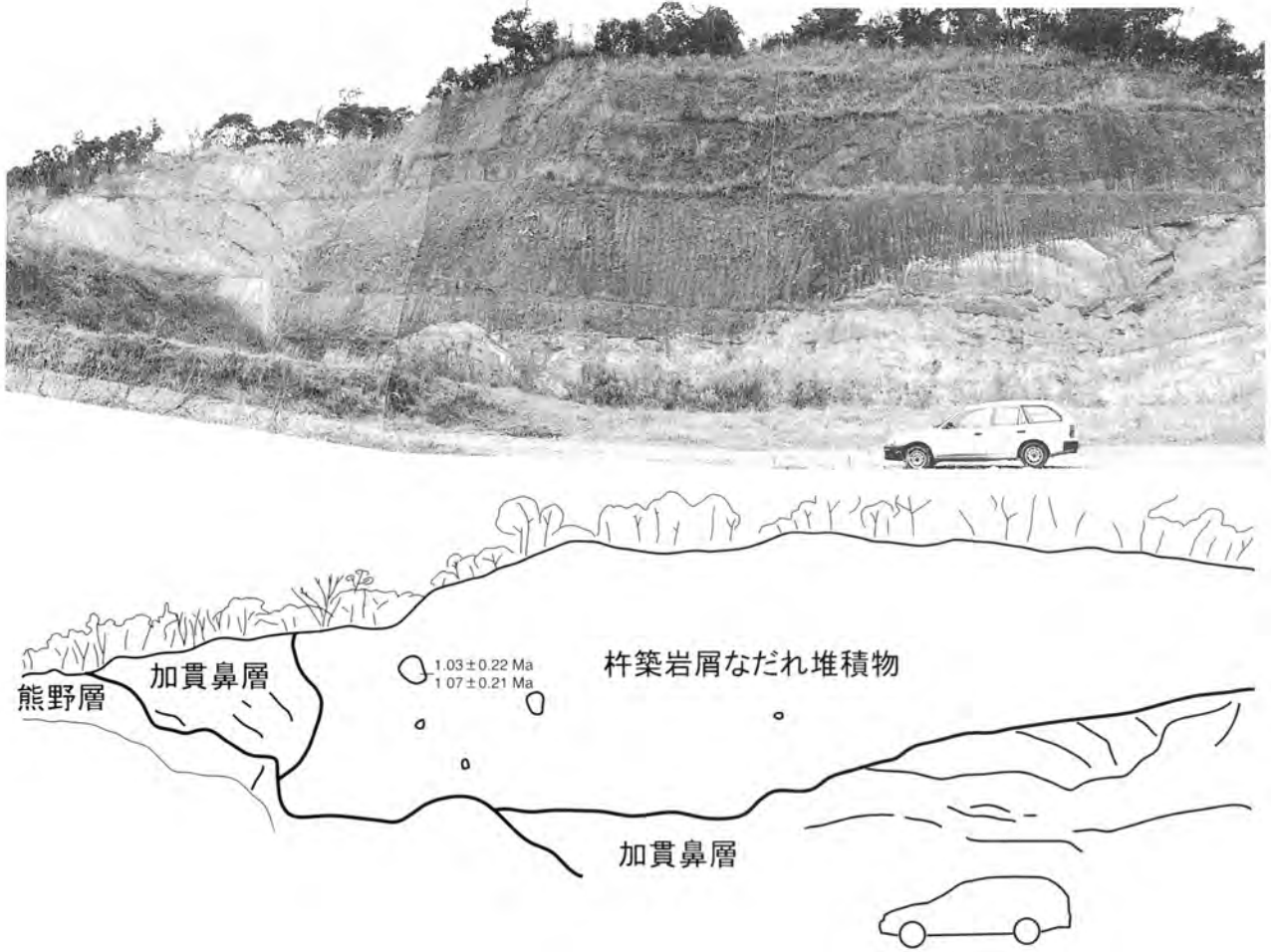
**層相** 全体に火山灰質のシルト層、砂層、中-大礫層からなり、少なくとも5枚の火砕流堆積物と軽石層、火山灰層、火山角礫層などを挟んでいる。全層厚は50mを超えるが、火砕流堆積物を除くと水成層はそれほど厚くはない。上位に重なる杵築岩屑なだれ堆積物の影響で著しく変形していることが多く、また東・西大内山付近では杵築岩屑なだれ堆積物中に大規模なブロックとして取り込まれている（第6.9図）。本層上部には、敷戸火砕流堆積物（吉岡ほか、1997）が挟まれ、重要な鍵層になっている。それ以外にも黒雲母を含む軽石、火山灰を主体とした火砕流堆積物やその二次堆積物が多く挟まれている。

**年代・対比** 大分地域の碩南層群東植田層中に挟まる敷戸火砕流堆積物が、加貫鼻層中に挟まる（峯元ほか、2000；椎原・長谷、2002）ことから、本層は碩南層群の上部に対比される。また後述する野原層最下部にも敷戸火砕流堆積物が挟まることから、加貫鼻層は野原層の下部に相当すると考えられる。従ってその年代は前期更新世である。



第6.7図 野原層及び加貫鼻層の地質柱状図  
柱状図作成地点は付図参照。





第 6.8 図 熊野層，加貫鼻層，杵築岩屑なだれ堆積物の層序関係  
 杵築市熊野（地点 9）．杵築岩屑なだれ堆積物の岩屑なだれ岩塊の岩片から得られた K-Ar 年代値も示す（第 7 章参照）．



第 6.9 図 杵築岩屑なだれ堆積物中にブロックとしてとりこまれている加貫鼻層の  
 火山灰質シルト層  
 杵築市西大内山．

あらひら

**荒平火砕流堆積物** (地質図には示していない) 新称. 本層は, 加貫鼻層に挟まる火砕流堆積物のひとつであり, 杵築市荒平を模式地としてその付近に分布し, 安岐町馬場にも分布している. 厚さは 8 m 以上に及び, 径 3 cm 以下のやや丸みを帯びた軽石を含む灰白色の火山灰を主体とした流紋岩質, 非溶結の火砕流堆積物である. 肉眼的には黒雲母が点在していることが確認され, また火山豆石を含んでいる. 重鉱物では, 普通角閃石のほか, 本質物かどうかは不明であるがざくろ石や白味を帯びたカミングトン閃石を少量含んでいるのが著しい特徴である.

## 6. 5 野原層 (No)

**定義・模式地** 新称. 野原層は, 山香町野原を模式地としてその周辺に分布する淡水成の地層である. 松本ほか (1984) が津房川層に含めている地層に相当するが, 津房川層が鮮新世の地層であるのに対して, 本層は後述するように前期更新世の地層であり, 新称とした.

**分布** 野原から広瀬にかけての別府北山地北麓部.

**層相** 本層の下部には敷戸火砕流堆積物があり, それに重なるように薄く植物化石を含んだやや淘汰の悪いシルト層や砂層がみられ, 数枚の薄い火山灰層, 軽石層を挟んでいる. その上位には杵築岩屑なだれ堆積物が重なり, それによって堰き止められたように, より上位には湖成堆積物を思わせる平行ラミナの発達した珪藻土質のシルト主体層が厚さ 10 m 以上にわたって堆積している.

**化石** 敷戸火砕流堆積物直上の炭質シルトから得た花粉化石は, トウヒ属, ブナ属, コナラ亜属が優先的で, ごくわずかにメタセコイア属が含まれていた (第 6. 2 表の地点 13-P3).

**年代・対比** 敷戸火砕流堆積物を基準にすると, 大分地域の碩南層群<sup>ひがしわかだ</sup>東植田層や加貫鼻層の上部に対比され, その年代は前期更新世である (第 6. 1 図).

## 6. 6 敷戸火砕流堆積物 (Sk)

**定義・模式地** 敷戸火砕流堆積物は, 大分地域で首藤

(1953a) が敷戸部層と呼んだ層を吉岡ほか (1997) が再定義したもので, 碩南層群の東植田層中に挟まれている. この火砕流堆積物が日出丘陵に分布することは椎原・長谷 (2002) や峯元ほか (2000) によって確認されている. 椎原・長谷 (2002) の熊野火砕流堆積物に相当する. 加貫鼻層, 野原層中に挟まれ, 杵築岩屑なだれ堆積物に覆われている. 模式地は, 大分市街地南方丘陵の敷戸団地東 (大分地域) である.

**分布** 日出丘陵の熊野, 杵築丘陵の鴨川, 八坂などや山香町広瀬, 野原などに散在して分布する.

**岩相** 敷戸火砕流堆積物は, 最下部の降下軽石層とその直上に重なる薄い火山灰層及び本体である非溶結の火砕流堆積物からなり, 流紋岩質である. 軽石層は厚さ 50 ~ 80 cm 程度であるが, 野原付近ではその下位にさらに 3 m 以上の火山灰層を挟む軽石層がみられる. 火砕流堆積物は, 径 10 cm 以下の発泡のよい流紋岩質の軽石, 安山岩岩片を含むガラス質の火山灰が主体で, 熊野では岩片の量が比較的多い. また黒雲母が軽石やマトリックス中に点在するのが肉眼で観察できる. 火山灰サイズの鉱物組成をみると, 重鉱物では, 普通角閃石とカミングトン閃石が主体で, ほかに斜方輝石, 単斜輝石, 黒雲母などが含まれている. 特にカミングトン閃石が多く含まれていることが本火砕流堆積物の特徴であり, 対比や他のテフラとの識別に重要である.

**年代・対比** 峯元ほか (2000) は, 熊野の南海岸で採取した敷戸火砕流堆積物のフィッション・トラック年代測定を行い,  $1.1 \pm 0.3$  Ma の値を報告している. 敷戸火砕流堆積物と類似した岩石学的特徴を持つテフラとして, 大阪地域の鮮新 - 更新統大阪層群下部に挟まるイエロー I 火山灰 (Itihara *et al.*, 1975; 吉川, 1976) があげられる (水野, 2001). 鉱物組成, 屈折率, 火山ガラスの化学組成は互いに類似しており (第 6. 1 表), 対比される可能性が高い. イエロー I 火山灰の層準は, Ma 0 と呼ばれる海成粘土層ないしその下位に位置すると推定され (市原編 1993), その降灰年代は 1.3 ~ 1.2 Ma 頃と推定される. したがって敷戸火砕流堆積物の年代も 1.3 ~ 1.2 Ma と考えられる.

## 第7章 前期-中期更新世火山岩類

(石塚吉浩・水野清秀・星住英夫)

### 7.1 両子火山群 (Fp, Fd, Ff)

#### 7.1.1 研究史と概要

両子火山群に関する研究は河野(1937)から始まる。彼は両子火山群を第一期から第四期に区分し、火山体の主体が第二期の両輝石普通角閃石安山岩の火砕岩類からなることを述べた。そして第二期と、火山体中央部の第三期と第四期の溶岩類の主成分化学組成を示した。50万分の1地質図を編纂した地質調査所(1952)は、河野(1937)の考えを踏襲し、本地域北部を含む国東半島の大部分を両子火山群の噴出物からなる更新統の「山陰型溶岩」に区分した。一方、20万分の1大分県地質図(宮久, 1972)は、国東半島に広がる凝灰角礫岩の大部分を、大分県北西部の耶馬溪<sup>やまけい</sup>地方を模式地とする耶馬溪層(首藤, 1962)に対比し、両子火山群噴出物は国東半島中央部のみに分布するとした。森山ほか(1976; 1983)は、宮久(1972)の考えを踏襲した。

その後中村ほか(1976)は、耶馬溪層とされていた大田村俣水周辺に、角閃石デイサイトからなる軽石火砕流堆積物が分布することを報告し、岩質及び化学組成から、軽石火砕流堆積物の供給源が両子火山群であることを明らかにした。また岩相と自然残留磁化方位から、一部は水底に堆積したと考えた。松本・成重(1985)は、国東半島全域の地質をまとめ、中新世の宇佐層、鮮新世の鷲巣岳<sup>たけのす</sup>安山岩を覆い、更新世の両子火山群が活動したと考えた。彼らは、両子火山群を下位から軽石火砕流堆積物、凝灰角礫岩類、溶岩を主体とした複数の火山体及び溶岩ドームに区分した。鎌田ほか(1988)は、両子火山群から、1.5～1.1 MaのK-Ar年代値を報告し、両子火山群が前期更新世に活動したことを明らかにした。伊藤ほか(1997)は、国東半島北部に分布する軽石火砕流堆積物や土石流堆積物<sup>たけだつ</sup>を竹田津凝灰岩、両子山凝灰角礫岩<sup>ふたごさん</sup>と呼び、これらの供給源を両子火山群と推定した。星住ほか(1997)は、竹田津凝灰岩の軽石から1.7 Maのフィッショントラック年代値を得た。

本地域北部には、普通角閃石安山岩-デイサイトからなる軽石火砕流堆積物や、岩屑なだれ堆積物、扇状地堆積物が分布する。これら堆積物は、両子火山群中央部から外側に緩く傾斜して分布している。また、軽石火砕流堆積物から、両子火山群中央部のK-Ar年代値(鎌田ほか, 1988)に類似した1.47～1.2 Maの放射年代値が得られた(本研究)。更に、火砕流堆積物や岩屑なだれ堆積物の軽石や岩片は、両子火山群中央部の溶岩の岩質や化学

組成に類似する。これらのことから、本研究では本地域北部に分布する軽石火砕流堆積物、岩屑なだれ堆積物、扇状地堆積物の供給源を両子火山群と考えた。これは、中村ほか(1976)や松本・成重(1985)の考えを支持している。

なお、両子火山群の名称はこれまでに、両子火山(河野, 1937; 地質調査所, 1981; 鎌田ほか, 1988)、両子火山群(宮久, 1972; 森山, 1983; 松本・成重, 1985)、両子山火山群(中村ほか, 1976; 伊藤ほか, 1997)が使われてきた。本研究では、複数の火山体や溶岩ドームから構成されることを明らかにし、両子火山群を用いた松本・成重(1985)に従う。

#### 7.1.2 弁分火砕流堆積物 (Fp)

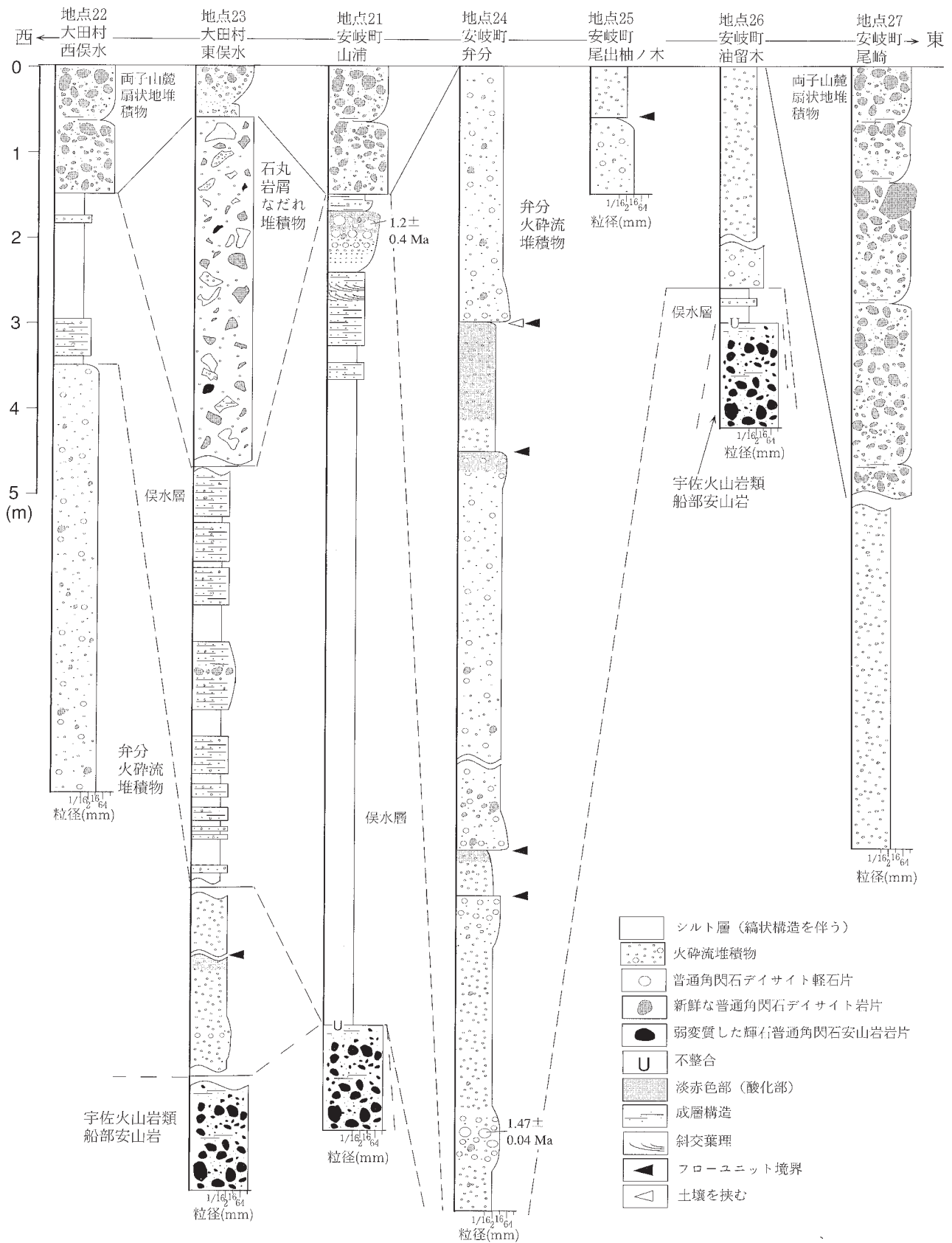
**定義・模式地** 斜方輝石含有普通角閃石デイサイトからなる軽石火砕流堆積物<sup>2)</sup>を弁分火砕流堆積物と呼ぶ(新称)。模式地は安岐町弁分(地点24; 第7.1図)である。松本・成重(1985)は、角閃石デイサイト火砕流堆積物と淡水性の凝灰質砂礫層、シルト層を一括して俣水層と呼んだが、本研究では第6章で述べたように、俣水層を淡水性の凝灰質砂礫層、シルト層に限った。国東半島全域に分布する火砕流堆積物(松本・成重, 1985; 伊藤ほか, 1997)と対比される可能性があるが、現時点では不明である。

**分布・層厚** 本地域北部の大田村俣水から安岐町草場付近に分布し、両子火山群中央部から放射状に発達した河川沿い露出する。北隣鶴川地域へ続く。層厚は1～40 mである。

**層序関係** 俣水層と指交関係にある。すなわち、安岐町矢川(地点21)や油留木(地点26)で俣水層を直接覆い、大田村西俣水(地点22)や東俣水(地点23)で俣水層に覆われる(第7.1図)。

**岩相** 弁分火砕流堆積物は、白色から灰白色(N8)の斜方輝石含有普通角閃石デイサイト軽石と同質の基質から構成され、緻密で灰色(N7～N5)の斜方輝石普通角閃石デイサイト岩片を含む。非溶結である。高温酸化し淡赤色(5R 6/6)を示す部分も認められる。軽石の最大径は55 cm、多くは径2 cm程である。発泡形態は細管状が多い。径5 mm以下の普通角閃石と斜長石を斑晶に持ち、径0.7 mm以下の斜方輝石斑晶を極少量伴うことがある。軽石の見かけ密度は0.64～1.67g/cm<sup>3</sup>、孔隙率は34

<sup>2)</sup> 本研究では、軽石を本質物質として特徴的に含む火砕流を軽石火砕流と呼ぶ。



第7.1図 両子山麓扇状地堆積物，石丸岩屑なだれ堆積物，弁分火砕流堆積物，俣水層，宇佐火山岩類船部安山岩の地質柱状図  
弁分火砕流堆積物の放射年代値（付表1と2）も示す．柱状図作成地点は付図に示した．粒径は平均粒径を表す．

～75%である(中村ほか, 1976). 鏡下では気泡径が0.1 mm程度の楕円からレンズ状が多く, 気泡壁の厚さは0.03 mm程である(第7.2図). 極めて発泡の悪い径35 cm以下の灰色軽石(N7)を伴うことがある. 火砕流堆積物の粒度は, 粒径0～2φに最大モード, -6～-5φにサブモードをもつバイモーダルな分布を示し(第7.3図a), 火砕流堆積物の領域(Walker, 1983)にプロットされる(第7.3図b).

模式地である安岐町弁分(地点24)では, 高温酸化した部分, 粒径の変化および岩片の濃集部から, 少なくとも4枚のフローユニット(Cas and Wright, 1987)に分けられる(第7.1図). 1枚のフローユニットの厚さは, 1.5～4 m以上である. フローユニット間には褐色土壌が挟まれることがあり, 本火砕流堆積物は時間間隙をもつ複数回の噴火によって堆積した可能性が高い.

**化学組成** 弁分火砕流堆積物中の軽石は, 63.1～64.0 SiO<sub>2</sub> wt. % (10 試料測定)のデイサイトであり, その組成幅は狭い(付表3). 軽石の組成は両子火山群中央部の溶岩類がもつ組成範囲内にある(第7.4図).

**年代** 安岐町弁分から1.47 ± 0.04 Ma (K-Ar法; 付表1), 安岐町矢川から1.2 ± 0.4 Ma (フィッション・トラック法; 付表2)が得られた.

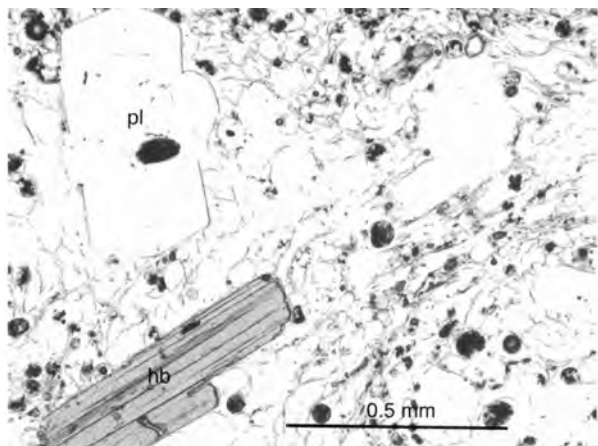
放射年代測定試料の岩石記載

試料番号: GSJ R79443 (SMB323; 1.47 ± 0.04 Ma)

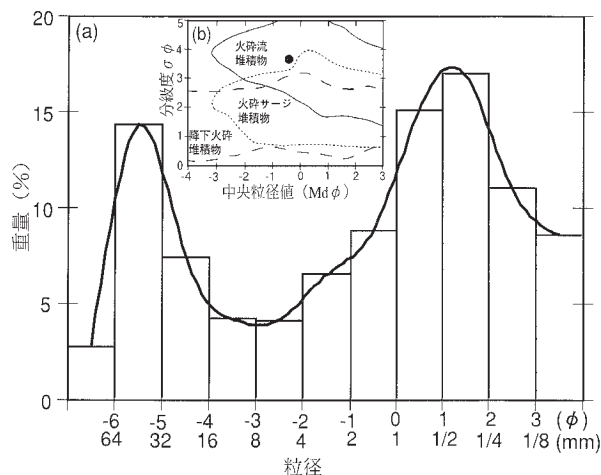
径35 cmの極めて発泡の悪い灰色軽石(63.1 SiO<sub>2</sub> wt. %)である. 斑晶として径3 mm以下の斜長石, 普通角閃石と, 少量の径1.1 mm以下の斜方輝石と不透明鉱物を含む. 石基は透明ガラスに少量の斜長石, 普通角閃石, 斜方輝石, 不透明鉱物を伴う. 石基に微量のスメクタイトが生じている程度で, 非変質に近い.

試料番号: GSJ R79434 (WKM163-1; 1.2 ± 0.4 Ma)

径55 cmの白色軽石(63.2 SiO<sub>2</sub> wt. %)である. 斑晶



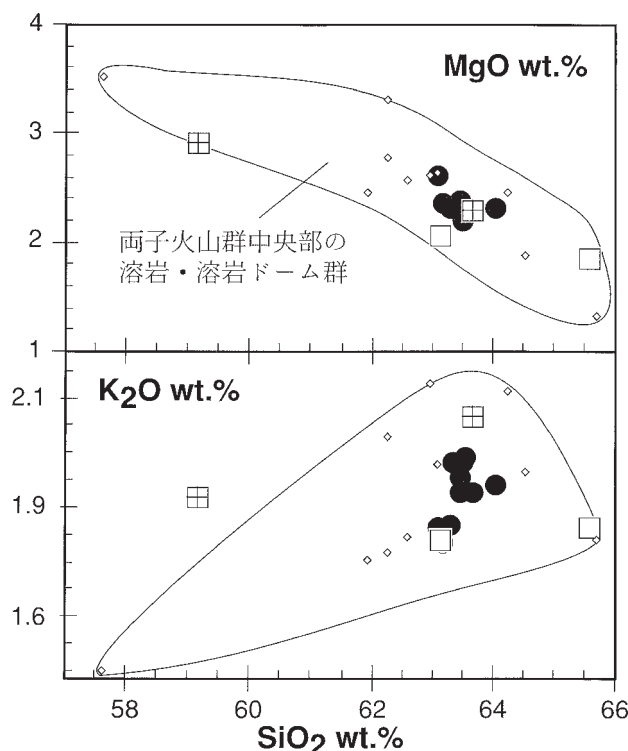
第7.2図 弁分火砕流堆積物に含まれる軽石の顕微鏡写真(安岐町尾崎(GSJ R79435)). 岩石記載は本文参照. hb; 普通角閃石, pl; 斜長石. 単ポーラー.



第7.3図 弁分火砕流堆積物の粒径分布

(a) 粒径分布図. (b) Md φ-σφ図. 中村ほか(1976)のデータに基づく. 火砕流堆積物, 火砕サージ堆積物, 降下火砕堆積物の範囲はWalker(1983)による.

として斜長石, 普通角閃石及び少量の不透明鉱物を含む. 石基はガラス, 斜長石, 普通角閃石, 不透明鉱物からなり, 極微量のジルコンが観察できる.



● 弁分火砕流堆積物の軽石, □ 石丸岩屑なだれ堆積物の岩片, □ 両子火山群中央部の溶岩類(以上, 本報告), ◇ 河野(1937)

第7.4図 両子火山群噴出物のSiO<sub>2</sub>-MgO図, SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図. ハッチで囲まれた範囲は, 両子火山群中央部の溶岩類の組成範囲を示す. 分析値は付表3に示す.



第 7.5 図 石丸岩屑なだれ堆積物の岩相

大田村石丸（地点 28）. (a) 大小様々なブロックとそれらがほぐれた基質から構成されている。中央部の明色のブロックが、部分的に引き延ばされているのが分かる。(b) 俣水層起源のシルト層と極細粒砂層のブロック。淡灰色、淡黄色、淡赤色を呈する縞状構造が、写真では明色と暗色に分かれて見え、それらが塑性変形しているのが分かる。ハンマーの長さは約 30 cm.

### 7. 1. 3 石丸岩屑なだれ堆積物 (Fd)

**定義・模式地** 大田村石丸付近の岩屑なだれ堆積物を石丸岩屑なだれ堆積物と呼ぶ（新称）。模式地は大田村石丸（地点 28）である。松本・成重（1985）の馬場尾層と俣水層の一部に相当する。

**分布・層厚** 本地域北部の豊後高田市真木から大田村東俣水にかけて分布し、北隣鶴川地域へと続く。層厚は 70

m 以下である。本地域内の体積は  $1\text{ km}^3$  程度である。

**層序関係** 大田村東俣水（地点 23）で弁分火砕流堆積物及び俣水層を直接覆い、両子山麓扇状地堆積物に覆われる（第 7.1 図）。

**岩相** 石丸岩屑なだれ堆積物は、大小の様々なブロックと、それらが細かくほぐれた細粒物から構成される。それぞれ、岩屑なだれ岩塊 (debris avalanche block) と

岩屑なだれ基質 (debris avalanche matrix) に相当する (Ui *et al.*, 2000). ブロックは普通角閃石安山岩-デイサイトの火山礫凝灰岩と凝灰角礫岩を主体とし, 砂層, シルト層, 黒雲母流紋岩火山礫凝灰岩を伴っている. ブロックの大きさは, 径数 cm から 5 m に及ぶ (第 7. 5 図). 火山礫凝灰岩のブロックは, 灰白色 (N7) の軽石と同質の基質からなる火砕流堆積物からなり, これら軽石は弁分火砕流堆積物の軽石と似ているが, より発泡度が悪いことが多い. 凝灰角礫岩のブロックは, 暗灰色と少量の赤褐色を呈する径 7 mm 以下の普通角閃石斑晶が目立つ安山岩-デイサイト質の角礫と同質の基質から構成される. 角礫は径数 cm ~ 1 m で冷却節理をもつことがある. 砂層, シルト層のブロックは, 俣水層に類似した淡黄色, 淡灰色, 淡赤色を示す縞模様が発達した細粒砂-シルトの互層や, 成層構造をもつ軽石質の砂などから構成される. 模式地では, 径 3 m 以下のシルト層のブロックが塑性変形しているのが認められ (第 7. 5 図 b), 未固結状態の俣水層を取り込んだことを示唆している. 黒雲母流紋岩からなる火山礫凝灰岩のブロックは, 径 1.5 cm 以下の発泡の悪い白色軽石からなる火砕流堆積物で, 大田村中野 (地点 29) では径 3 m 以上のもも認められる. この火砕流ブロックの火山灰基質は, 重鉱物として黒雲母や普通角閃石の他に, ざくろ石や顕微鏡下では白味を帯びたカミングトン閃石を含んでいて, 荒平火砕流堆積物と非常によく似ている.

ブロックの間を埋める岩屑なだれ基質は, 多くがブロックがほぐれたものから構成されている. その他に, 変質した輝石普通角閃石安山岩や径 30 cm 以下の泥質片麻岩が認められ, それぞれ宇佐火山岩類と領家変成岩類を取り込んだと推定される.

本地域では, 岩屑なだれブロックより岩屑なだれ基質に富むことが多いが, これは給源と推定される両子火山群中央部から離れているためであろう. 流れ山地形は現存していない.

**化学組成** 石丸岩屑なだれ堆積物中の普通角閃石安山岩-デイサイトの軽石は, 59.7 ~ 63.7 SiO<sub>2</sub> wt. % (2 試料測定) の組成を持ち (付表 3), 弁分火砕流堆積物中の軽石や両子火山群中央部の溶岩類の組成と類似する (第 7. 4 図).

#### 7. 1. 4 両子山麓扇状地堆積物 (FF)

**定義・模式地** 本地域北部に分布する両子火山群中央部の普通角閃石安山岩-デイサイト岩片に類似した礫を構成物の主体としたラハール堆積物を両子山麓扇状地堆積物と呼ぶ (新称). 模式地は安岐町弁分 (地点 30) である. 松本・成重 (1985) の俣水層, 両子火山凝灰角礫岩層の一部に相当する.

**分布・層厚** 両子火山群中央部から放射状に発達した尾根に広がる. 層厚は 50 m 以下である.

**層序関係** 安岐町尾崎 (地点 27) などで弁分火砕流堆積物を, 大田村東俣水 (地点 23) で石丸岩屑なだれ堆積物を直接覆う.

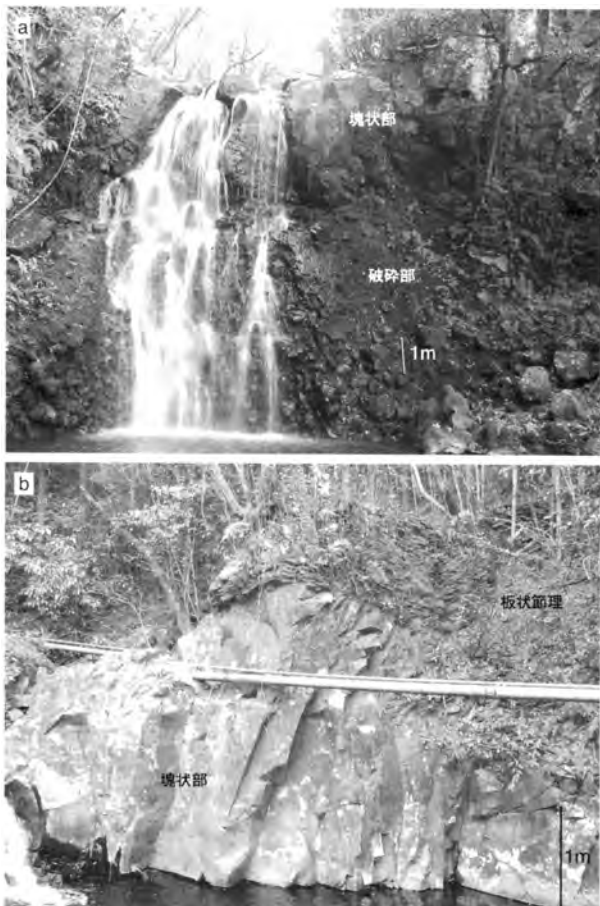
**岩相** 両子山麓扇状地堆積物は, 径 3 m 以下の円礫-垂円礫からなる凝灰角礫岩や成層した火山礫凝灰岩, 凝灰岩からなるラハール堆積物から構成される. 礫の大部分は, 両子火山群中央部の溶岩や火山岩塊火山灰流堆積物に類似した暗灰色から赤褐色の普通角閃石安山岩-デイサイトである. 赤褐色の礫は少ない. また弁分火砕流堆積物に類似した白色軽石を少量伴う. 安岐町弁分 (地点 30) や安岐町尾崎 (地点 27; 第 7. 1 図) では, 上方粗粒化が顕著なフローユニット (流動堆積単位) が複数枚認められる. 両子山麓扇状地堆積物の走向傾斜は, 両子火山群中央部から放射状に発達する尾根と調和的である.

**年代** 本堆積物は, 1.47 ~ 1.2 Ma の弁分火砕流堆積物を覆うことや, 両子火山群中央部の溶岩類に類似した礫を含むことから, 両子火山群中央部の形成時期 (約 1.5 ~ 1.1 Ma; 鎌田ほか, 1988) と同時期ないしその後形成したと考えられる. しかし北隣の鶴川地域 (大田村沓掛から白木原しろぎぼるにかけての尾根上) では, 弁分火砕流堆積物と本堆積物を覆う両子火山群起源と考えられる軽石火砕流堆積物が認められる. すなわち, 本堆積物は両子火山群中央部の形成と同時期に形成された可能性が高い.

## 7. 2 鹿鳴越火山 (Kl, Kd, Af, Jd, Kf)

### 7. 2. 1 研究史と概要

由布-鶴見地溝北縁に位置する鹿鳴越火山は, 比較的早期から研究が行われてきた. 山上 (1896), 松本 (1918), 鈴木 (1937) は, 由布-鶴見地溝の南北両縁に, 地溝中央部の角閃石安山岩火山より古い輝石安山岩の火山が分布することを明らかにした. このうち鈴木 (1937) は, 輝石安山岩の火山が由布-鶴見地溝の南北で対をなして形成する理由を, 断層運動によって地溝中央部が沈降した結果であると考えた. 笠間 (1953) は, 由布-鶴見地溝おじかやまの南北縁に分布する斜方輝石単斜輝石安山岩を小鹿山火山岩類と定義し, 堆積岩類との層序関係から大分層群上部に対比し, 小鹿山火山岩類を前期更新世の活動とした. その後, 松本 (1963), 宮久 (1972) は, 笠間 (1953) の考えを踏襲して火山体の区分を行った. 鎌田 (1986) は, 由布-鶴見地溝北側の小鹿山火山岩類から, 0.71 Ma の中期更新世を示す K-Ar 年代値を報告した. 星住・森下 (1993) は, 小鹿山火山岩類のうち, 由布-鶴見地溝北縁に分布する火山について鹿鳴越火山と定義し, 自然残留磁化方位及び由布川火砕流堆積物を覆うことから, その活動をブリュンヌ正帯磁期中期更新世とした. 更に鹿鳴越火山を, 輝石安山岩溶岩と, これを母材にした岩屑なだれ堆積物, 山麓扇状地堆積物に細分した. また, 鹿鳴越火山の南側が由布-鶴見地溝北縁の断層群によって



第 7.6 図 鹿鳴越溶岩の岩相

山香町小野尾（地点 31）。（a）平滑な破断面に囲まれた多面体岩片からなる破碎部を伴う。（b）そのすぐ上流に板状節理が発達した部分が認められ、溶岩流の一枚の厚さが約 30 m と推定できる。

限られて急傾斜をなし、北側に岩屑なだれ堆積物や山麓扇状地堆積物が緩傾斜で広がることから、鹿鳴越火山が断層群により切断された成層火山であることを指摘した。

本研究では、星住・森下（1993）により中期更新世とされた鹿鳴越火山を、図幅境界の七ツ石山山頂から新たに 0.93 Ma を示す K-Ar 年代値が得られたことから、前期更新世から活動を始めた火山と考えた。すなわち鹿鳴越火山は、本地域の 568.7 m 三角点から鹿鳴越、西隣豊岡地域の七ツ石山（623.4 m）を経て、岳ヶ下山（484.5 m）付近を主火山体とする前期-中期更新世の火山を言う。主火山体の標高は低い、噴出物の分布は豊岡地域を含めて東西方向で約 30 km、南北方向で約 10 km に達している。これは、鹿鳴越火山が 2 回の大きな山体崩壊を経験し、山麓に岩屑なだれ堆積物を供給したためである。鹿鳴越火山は前期更新世に北-東山麓へ杵築岩屑なだれ堆積物を、中期更新世に北-西山麓へ浄土寺岩屑なだれ堆積物をもたらし、それぞれの岩屑なだれ発生直後

から山麓扇状地を形成させた。杵築岩屑なだれ堆積物の上位にある相原山麓扇状地堆積物、浄土寺岩屑なだれ堆積物の上位にある津山山麓扇状地堆積物である。鹿鳴越火山は、由布-鶴見地溝北縁の断層群に限られて急傾斜を示すこと、岩屑なだれ堆積物の分布面積から、標高 800 ~ 1,500 m 程度の火山体を形成していたと推定される。

鹿鳴越火山の噴出物は、本地域で 1.3 ~ 1.2 Ma の敷戸火砕流堆積物を覆い、また豊岡地域で 60 万年前頃の由布川火砕流堆積物を覆う（星住・森下、1993）。自然残留磁化方位は正極性と逆極性であり、K-Ar 年代値として 1.06 ~ 0.71 Ma（鎌田、1986；本研究）が得られている。これらから、鹿鳴越火山は 1.1 ~ 0.6 Ma 頃に活動した火山と考えられる。

### 7. 2. 2 鹿鳴越溶岩 (KI)

**定義** 星住・森下（1993）は鹿鳴越火山の主火山体を構成する輝石安山岩と少量の普通角閃石輝石安山岩からなる溶岩と火砕流堆積物を鹿鳴越溶岩と呼んだ。本研究では普通角閃石デイサイトの溶岩を含めて鹿鳴越溶岩と再定義する。

**分布・層厚** 本地域では鹿鳴越付近に分布し、層厚は 400 m 以上と推定される。

**岩相** 本地域の鹿鳴越溶岩の大部分は、普通角閃石含有単斜輝石斜方輝石安山岩からなる。山香町小野尾（地点 31）では、平らな破断面で囲まれた多面体岩片からなる厚さ 5 m 以上の破碎部を伴い、柱状と板状節理が発達するブロック溶岩が厚さ 30 m で露出する（第 7.6 図）。岩石は青灰色緻密で、径 4 mm 以下の斜長石斑晶と、径 2 mm 以下の単斜輝石と斜方輝石斑晶を含み、少量の普通角閃石斑晶を伴うことが多い。日出町佐尾（地点 32）では、12 mm に達する普通角閃石斑晶を伴う。豊岡地域の七ツ石山では、径 8 mm 以下の普通角閃石をもつからん石普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩の岩脈が、幅 60 cm、ほぼ垂直に N20° W 方向で露出している。この岩脈と同質の溶岩が立岩（豊岡地域）に認められる（星住・森下、1993）。

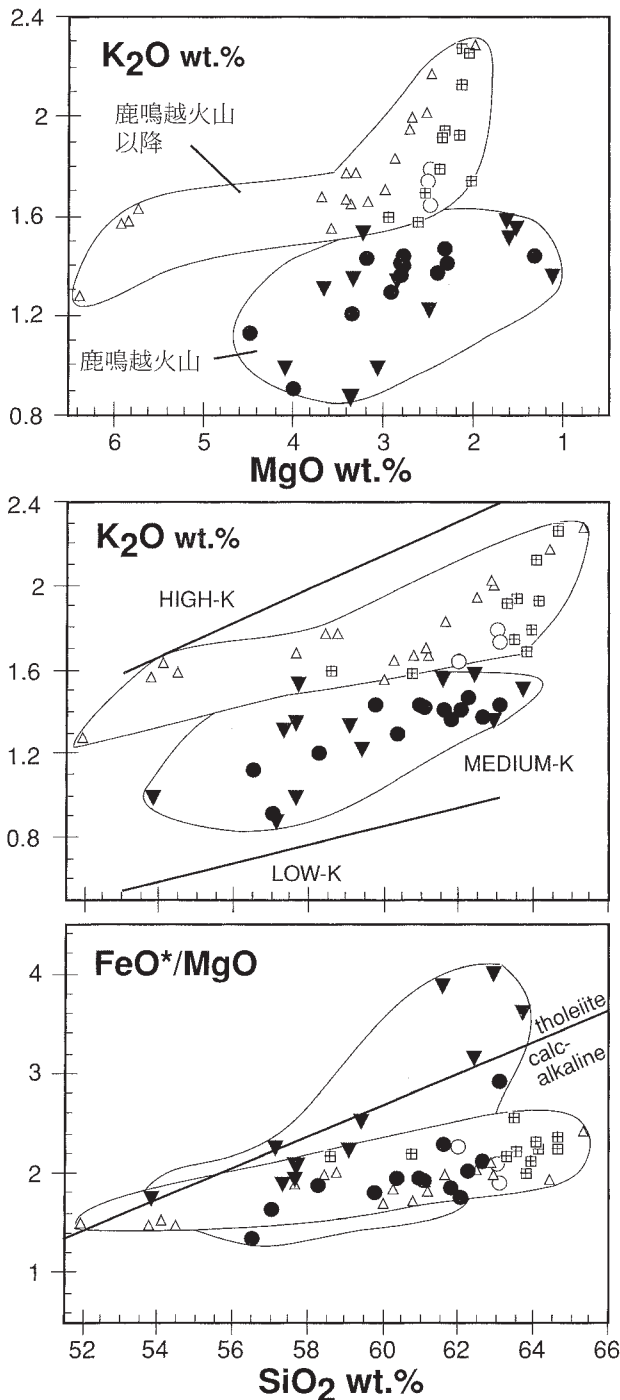
普通角閃石デイサイト溶岩は、鹿鳴越断層周辺にわずかに認められる。日出町豊岡（地点 33 と 34）では、板状節理をもつ灰白色から灰色の溶岩からなり、径 8 mm 以下の普通角閃石と径 6 mm 以下の斜長石に、径 1 mm 以下の斜方輝石を少量伴う。

**化学組成** 57.3 ~ 63.8 SiO<sub>2</sub> wt. % の幅広い組成を持ち、SiO<sub>2</sub> 量が増加すると普通角閃石斑晶量が増加し輝石斑晶量が減る傾向を示す（付表 3）。宇佐火山岩類がカルクアルカリ系列の分化トレンドを示すのに対し、鹿鳴越溶岩はソレアイト系列とカルクアルカリ系列の境界付近の分化トレンドを示す違いをもつ（第 7.7 図）。また鹿鳴越火山以降の火山噴出物に比べ、同じ SiO<sub>2</sub> 量や MgO 量



で比較すると、 $K_2O$  量が低い (第 7. 7 図)。

**年代・磁化方位** K-Ar 年代値として日出町一ノ坂 (豊岡地域) から  $0.71 \pm 0.09$  Ma (鎌田, 1986) が得られている (付表 4)。また七ツ石山山頂 (豊岡地域) から  $0.93 \pm 0.04$  Ma が得られた (付表 1)。フラックスゲート磁力計で得た自然残留磁化方位は、10ヶ所で正帯磁、2ヶ所で逆帯磁を示した。従って、本溶岩の年代は前期-中期更新世である。



▼, 鹿鳴越溶岩; ●, 杵築岩屑なだれ堆積物  
○, 日出火山; ■, 高平山火山群; △, 由布-鶴見火山群

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号: GSJ R79475 (BGTo222)

幅 60 cm の安山岩岩脈 (54.3  $SiO_2$  wt. %) である。斑晶として斜長石 (16%), 単斜輝石 (2.9%), 斜方輝石 (2.3%), 普通角閃石 (1.8%) 及びかんらん石 (1.1%) 及び少量の不透明鉱物を含む。かんらん石の周縁はイデイングス石化している。普通角閃石は周縁がオパサイト化し、不透明鉱物、微粒の輝石と斜長石に置換されている。石基は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物及びガラスからなるインターサタル組織を示す。孔隙に微量のクリストバル石が生じている程度で、非変質に近い。

### 7. 2. 3 杵築岩屑なだれ堆積物 (Kd)

**定義・模式地** 鹿鳴越火山の北麓から東麓に分布する岩屑なだれ堆積物を杵築岩屑なだれ堆積物と呼ぶ (新称)。模式地は杵築市菅尾 (地点 35) である。従来、杵築岩屑なだれ堆積物が分布する日出から杵築丘陵付近では、鹿鳴越火山を構成する溶岩に類似した前期更新世の火山岩類が広く分布していることが指摘されていた (日高, 1978; 松本・成重, 1985; 椎原・長谷, 2002)。杵築岩屑なだれ堆積物は、角閃石安山岩と輝石安山岩からなる凝灰角礫岩と著しい攪乱を受けた非火山性の碎屑物とされた日出層上部、大神層 (日高, 1978) や原南層、猪尾層 (椎原・長谷, 2002) の大部分を含む。また松本・成重 (1985) により角閃石輝石安山岩の礫岩、砂岩、シルト岩、凝灰岩及び黒雲母火砕流堆積物とされた馬場尾層の一部を含む。

**分布・層厚** 山香町野原から杵築市三軒屋にかけて広く分布する。杵築市猪尾から熊野付近では、比高 50 m 程度の流れ山地形が認められる。分布範囲は東西約 17 km、南北約 8 km である。層厚は 100 m 以下である。現存する分布面積は約 120  $km^2$  であり、平均層厚を半分 of 50 m とすると、体積は 6  $km^3$  以上と見積もられる。

**層序関係** 杵築市迫 (地点 15 と 36) で、それぞれ敷戸火砕流堆積物 (第 6. 7 図) と加貫鼻層を削りこんで覆う。山香町広瀬 (地点 14) で野原層と指交する。日出町神宮 (地点 37) で由布川火砕流堆積物に覆われる。また地形判読から、誓願寺軽石層、相原山麓扇状地堆積物に覆わ

第 7. 7 図 鹿鳴越火山, 日出火山, 高平山火山群, 由布-鶴見火山群噴出物の  $MgO-K_2O$  図,  $SiO_2-K_2O$  図,  $SiO_2-FeO^*/MgO$  図

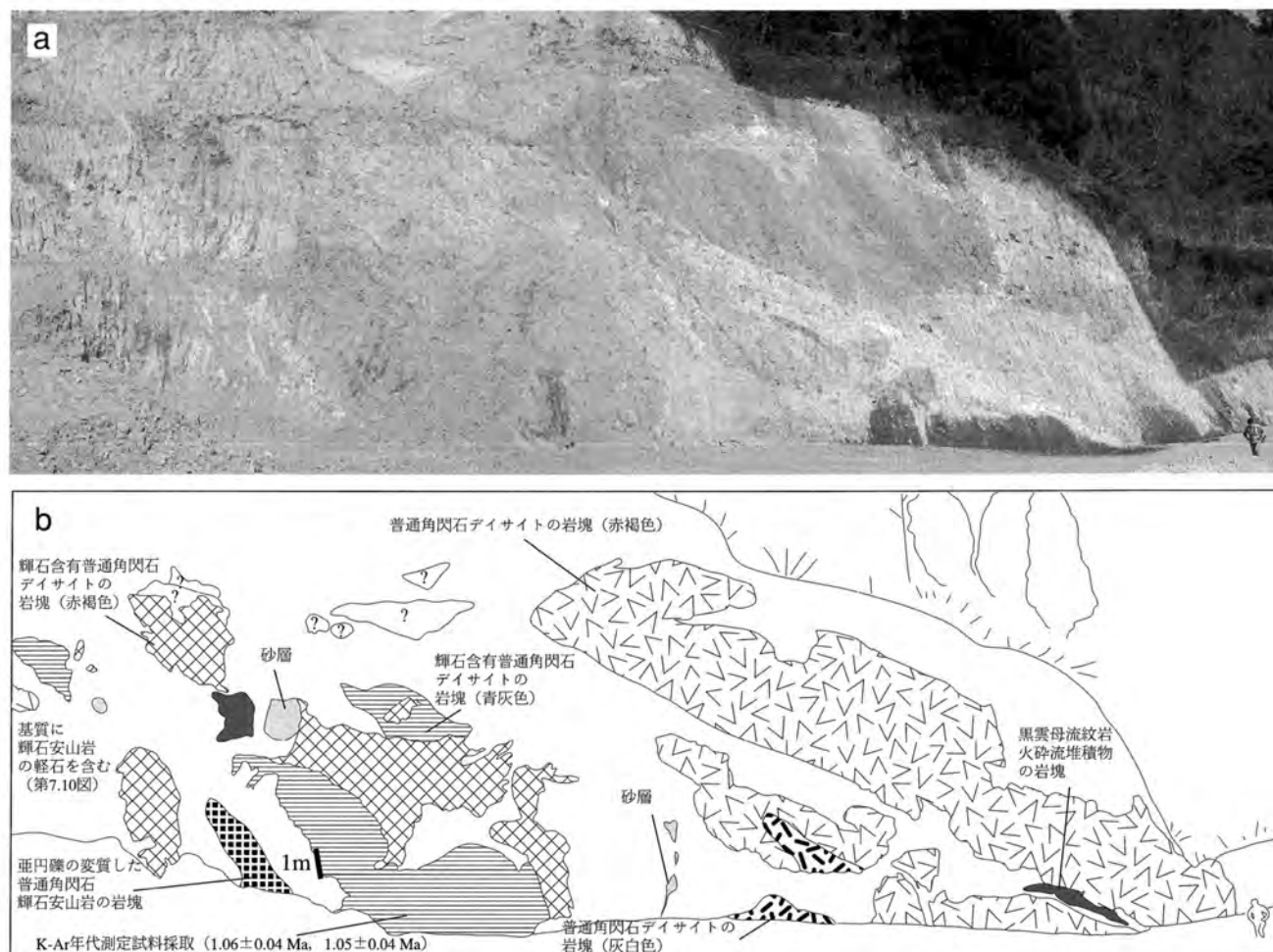
鹿鳴越溶岩と杵築岩屑なだれ堆積物は類似した組成範囲を持つ。鹿鳴越火山はそれ以降の火山に比べ  $K_2O$  量に乏しい。分析値は本研究 (付表 3)、星住ほか (1988)、星住 (未公表)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1990)、 $K_2O$  量の境界線は Gill (1981) による。ソレライト系列とカルクアルカリ系列の境界は Miyashiro (1974) による。

れる鹿鳴越溶岩とは、K-Ar年代値と分布から指交関係にあると考えられる。

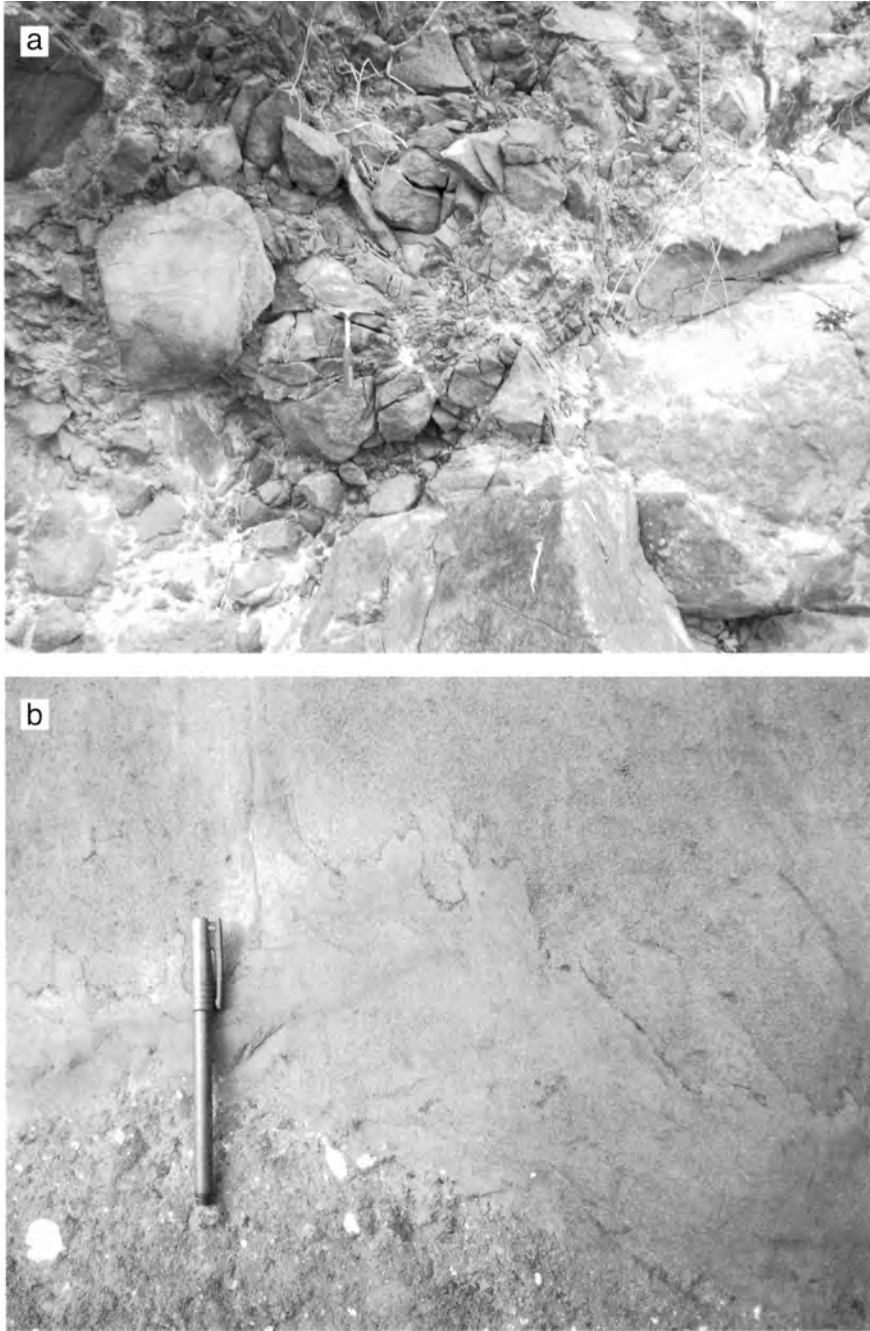
**岩相** 杵築岩屑なだれ堆積物は、大小様々のブロックとそれらが細かくほぐれた細粒物から構成され、無層理・無淘汰である。ブロックは、大部分が鹿鳴越溶岩に類似した斜方輝石単斜輝石安山岩、普通角閃石単斜輝石斜方輝石安山岩、普通角閃石安山岩-デイサイトの溶岩及び凝灰角礫岩であり、これに砂岩、シルト岩と黒雲母流紋岩や普通角閃石デイサイトの軽石火砕流堆積物を伴う。ブロックの大きさは、数cmから10mに及ぶ。溶岩や凝灰角礫岩のブロックは、概して分布域の西側で輝石安山岩が多く、東側に向かうほど普通角閃石安山岩の量比を増す傾向にある。模式地では、径10m以下の赤褐色から青灰色を呈する普通角閃石デイサイトを主体とする溶岩ブロックや、径1m以下の砂層ブロック、径3m以下の黒雲母流紋岩軽石火砕流堆積物ブロック、更に宇佐火山岩類を起源とする弱変質した凝灰角礫岩のブロックが認められる(第7.8図)。杵築城直下や杵築市加貫海岸(地点20)では、径5m以下の普通角閃石輝石安山岩溶

岩ブロックに、ジグソー割れ目が入っている(第7.9図a)。黒雲母流紋岩軽石火砕流堆積物ブロックは多くの場所で認められるが、色調、発泡形態、カミングトン閃石を含む特徴から、多くは敷戸火砕流堆積物を起源とする。杵築市東大内山(地点17)では、加貫鼻層を起源とするシルト-中粒砂のブロックがほぐれかかり、岩屑なだれ基質へ移行する状態が観察できる(第7.9図b)。杵築市原南(地点9)では、径3m以下の単斜輝石斜方輝石普通角閃石安山岩(径60cm以下)からなる火山岩塊火山灰流堆積物のブロックや、発泡した普通角閃石デイサイト軽石(径5cm以下)からなる火砕流堆積物をブロックとして認めることもできる。

ブロック間を埋める岩屑なだれ基質は、主にブロックがほぐれたものから構成されるが、模式地や杵築城直下などでは、ブロックには認められない斜方輝石単斜輝石安山岩の軽石が含まれている。軽石は径4cm以下で淡黄色をなし、径0.2mm以下の細かな気泡を持つが(第7.10図)、発泡度は悪い。斑晶として径1.5mm以下の斜長石と径1mm以下の単斜輝石と斜方輝石を含む。未



第7.8図 杵築岩屑なだれ堆積物の模式露頭  
杵築市菅尾(地点35)。(a)全景写真。(b)(a)のスケッチ。K-Ar年代測定値も示す。



第 7.9 図 杵築岩屑なだれ堆積物の岩相

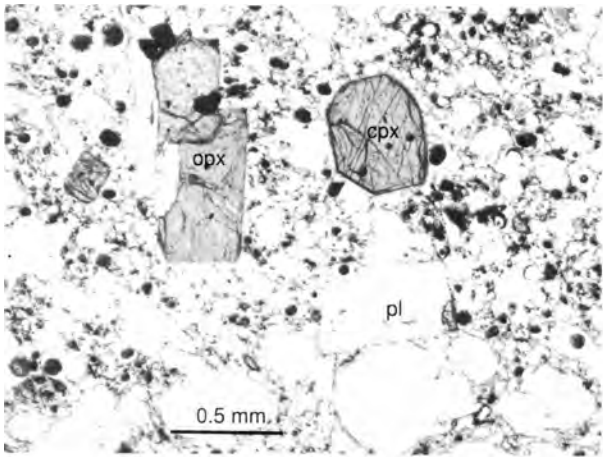
(a) 普通角閃石デイサイトの岩塊に認められるジグソー割れ目。ハンマーの長さは約 30 cm. 杵築市加貫海岸（地点 20）。(b) 加貫鼻層起源の細粒-中粒砂岩がブロックがほぐれかかり、岩屑なだれ基質に移行している。ペンの長さは 13 cm. 杵築市東大内山（地点 17）。

知の噴出物ないし山体崩壊を起こした際に噴出した本質噴出物と考えられるが、どちらかは現時点で判断できない。

**化学組成** 杵築岩屑なだれ堆積物に含まれるブロック中の礫は、56.5～63.1 SiO<sub>2</sub> wt. % の幅広い組成を持ち、SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、MgO 量などは鹿鳴越溶岩に類似する（第 7.7 図、付表 3）。また鹿鳴越溶岩と同様に、杵築岩屑なだれ

堆積物のブロック中の礫は SiO<sub>2</sub> 量の増加に従い普通角閃石斑晶量が増加する一方、輝石斑晶量が減る傾向を持つ（付表 3）。分化トレンドは鹿鳴越溶岩と同様にソレアイト系列とカルクアルカリ系列の境界付近を示すが、FeO\*/MgO 比が鹿鳴越溶岩に比べやや低い（第 7.7 図）。

**年代** K-Ar 年代値として、杵築市菅尾で輝石普通角閃



第7.10図 杵築岩屑なだれ堆積物の基質に含まれる発泡の悪い軽石の顕微鏡写真  
杵築市菅尾（地点35；GSJ R79477）。岩石記載は本文参照。cpx；単斜輝石，opx；斜方輝石，pl；斜長石。単ポーラー。

石安山岩溶岩ブロックから  $1.06 \pm 0.03$  Ma，約5 km 離れた杵築市原南の火山岩塊火山灰流堆積物ブロック中の輝石普通角閃石安山岩片から同様の  $1.05 \pm 0.15$  Ma が得られた（付表1）。これら年代値及び鹿鳴越溶岩の輝石普通角閃石安山岩の年代値（0.93 Ma）から，本堆積物の年代は前期更新世と考えられる。

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号：GSJ R79447（WKM148-1； $1.06 \pm 0.03$  Ma）

径5 m以上の岩屑なだれブロックを構成する青灰色緻密なデイサイト溶岩（63.1 SiO<sub>2</sub> wt.%）である。斑晶として斜長石（15%），普通角閃石（3.5%），斜方輝石（1.0%）及び少量の単斜輝石と不透明鉱物を含む。普通角閃石は周縁あるいは全体がオパサイト化し，不透明鉱物に置換されている。石基はガラス，斜長石，普通角閃石，不透明鉱物，斜方輝石からなるハイアロオフィティック組織を示す。石基ガラスにわずかの褐鉄鉱が生じている程度で，非変質に近い。

試料番号：GSJ R79457（SYH330； $1.05 \pm 0.15$  Ma）

径5 m以上の岩屑なだれブロックを構成する火山岩塊火山灰流堆積物の本質噴出物（62.2 SiO<sub>2</sub> wt.%）である。斑晶として斜長石（23%），普通角閃石（2.3%），斜方輝石（1.6%）及び少量の単斜輝石と不透明鉱物を含む。石基は斜長石，ガラス，普通角閃石，斜方輝石，不透明鉱物からなるハイアロピリティック組織を示す。石基ガラスにわずかのスメクタイトが生じている程度で，非変質に近い。

**推定供給源と火山体の復元** 杵築岩屑なだれ堆積物は，堆積物の上面高度が鹿鳴越火山の方向へ向かって高くなること，鹿鳴越溶岩に近い年代値が得られたこと，更に

岩質及び化学組成が鹿鳴越溶岩と類似することから，供給源は鹿鳴越火山と考えられる。杵築岩屑なだれ堆積物の見積もり体積（6 km<sup>3</sup>）に基づくH/L比（0.06～0.11；吉本ほか，2003）から推定すると，杵築岩屑なだれ堆積物は標高800～1,500 m程度の火山体から流下した可能性が高い。この推定火山体は，現存する鹿鳴越火山の山頂部（標高500～620 m程度）より180～1,000 mも標高が高い。また，鹿鳴越火山には山体崩壊による馬蹄形火口が認められないことや，本岩屑なだれ堆積物を鹿鳴越溶岩が覆うことから，山体崩壊後も鹿鳴越火山は成長を続けていたと考えられる。従って，現存する鹿鳴越火山の山頂部が低い理由を，山体崩壊や浸食によるものだけでは考えにくい。鈴木（1937）や星住・森下（1993）が指摘したように，由布-鶴見地溝の断層活動によって鹿鳴越火山の中央部が沈降したと解釈することが可能である。

#### 7.2.4 相原山麓扇状地堆積物（Af）

**定義・模式地** 鹿鳴越火山東麓の山麓扇状地を形成する堆積物を相原山麓扇状地堆積物と呼ぶ（新称）。模式地は日出町大津（地点38）である。日高（1978）の段丘及び扇状地堆積物と鹿鳴越火山岩類の一部に相当する。

**分布・層厚** 日出町相原周辺に分布し，鹿鳴越火山から北東方向へ5°程度の緩斜面で広がる。層厚は10～50 m程度である。

**層序関係** 地形判読から杵築岩屑なだれ堆積物，加貫鼻層を覆い，鹿鳴越溶岩，照川層，日出火砕流堆積物に覆われると考えられる。分布と地形から鹿鳴越火山東側の古い山麓斜面（杵築岩屑なだれ堆積物の上面）を構成していたと考えられ，津山山麓扇状地堆積物（後述）より古い堆積物と見られる。

**岩相** 相原山麓扇状地堆積物は，暗灰色，青灰色，赤褐色の多色を示す円礫-亜円礫からなる凝灰角礫岩を主体とするラハール堆積物などから構成される。模式地では，径60 cm以下の円磨された斜方輝石単斜輝石普通角閃石安山岩片を含んだ凝灰角礫岩に，細粒から粗粒砂岩の薄層を挟む。岩石は斑晶として長径6 mm以下の普通角閃石，径4 mm以下の斜長石，径2 mm以下の単斜輝石と斜方輝石を含み，杵築岩屑なだれ堆積物中の溶岩ブロックや角礫に類似する。露頭全体が風化し，礫と基質の両方が粘土化していることが多い。日出町片原津から照川南部では，ほぼ水平に成層した砂層や火山灰質シルト層が礫層の間に挟まるところがあり，この付近では河川成の堆積物であると考えられる。

**年代** 本堆積物は分布及び構成物から，杵築岩屑なだれ発生直後から発達した山麓扇状地に由来するものと考えられる。その年代は前期-中期更新世と推定される。

### 7. 2. 5 浄土寺岩屑なだれ堆積物 (Jd)

**定義・模式地** 星住・森下 (1993) は、鹿鳴越火山北麓一帯に分布する岩屑なだれ堆積物を浄土寺岩屑なだれ堆積物と呼んだ。模式地の設定はないが、本地域では山香町野原西方の沢が模式的である。

**分布・層厚** 豊岡地域から本地域へ延び、山香町野原まで達する。

**層序関係** 山香町住吉 (地点 12) で後述する照川層を削りこんで覆う (第 6. 7 図)。豊岡地域で由布川火砕流堆積物に対比される松本火砕流堆積物を覆う (星住・森下, 1993)。層厚は 20 m 以下である。

**岩相** 浄土寺岩屑なだれ堆積物は、溶岩、凝灰角礫岩、砂岩、シルト岩及び黒雲母流紋岩火砕流堆積物などの大小さまざまなブロックを含んでおり、無層理、無淘汰である。溶岩および凝灰角礫岩は普通角閃石斑晶を少量含む輝石安山岩からなり、普通角閃石が卓越した安山岩は認められない。山香町野原の西方 (地点 39) では、野原層を起源とする塑性変形した径数～30 cm のシルト岩から細粒砂岩のブロックを多数含む。黒雲母流紋岩火砕流堆積物ブロックの多くは、敷戸火砕流堆積物を起源とする。

### 7. 2. 6 津山山麓扇状地堆積物 (Tf)

**定義・模式地** 星住・森下 (1993) は、豊岡地域で鹿鳴越火山北側に段丘化した緩斜面を形成する土石流堆積物などを古火山麓扇状地堆積物と呼んだ。この延長部を本研究では、前述の相原山麓扇状地堆積物と識別するため、津山山麓扇状地堆積物と呼ぶ (新称)。本地域内では山香町津山の松尾川が模式的である。

**分布・層厚** 鹿鳴越火山北斜面の標高 150～450 m 付近に 5～12°で広がる。層厚は 40 m 以下である。

**層序関係** 山香町津山 (地点 40) で浄土寺岩屑なだれ堆積物を直接覆う。各地で鹿鳴越溶岩を直接覆うことから相原山麓扇状地堆積物より若いと考えられる。

**岩相** 円磨された普通角閃石斑晶を少量含む斜方輝石単斜輝石安山岩からなる凝灰角礫岩を主体とし、成層した火山礫凝灰岩、凝灰岩を挟む。相原山麓扇状地堆積物と異なり、普通角閃石斑晶が卓越した安山岩礫は認められない。堆積物の走向傾斜は、段丘化した緩斜面の走向傾斜方向と調和的である。

## 第8章 中期更新世大分層群

(水野清秀・石塚吉浩・星住英夫)

### 8.1 概要

大分層群は、第6章の概説で述べたように、碩南層群を不整合に覆う水成（淡水成-海成）堆積物の総称である。これまでの研究では、水成堆積物と火山性堆積物を併せて層序区分を行っていることが多い（日高，1978；椎原・長谷，2002）。ここでは、大規模な火山性堆積物と水成堆積物が指交しているという見方をとり、それぞれを独立した地質体としてとらえることにする。既に述べたように、碩南層群加貫鼻層の上位に重なる、あるいは野原層中に挟まれる杵築岩層なだれ堆積物は鹿鳴越火山の堆積物に含める。また日出市街地東から大神，日比ノ浦にかけての日出丘陵には、火砕流堆積物や火山角礫岩層，溶岩などが分布しているが、これを新たに日出火山噴出物として独立させる。これらの火山性堆積物に挟まれる、あるいは一部は指交関係にある大分層群相当の水成層を、一括して照川層と呼ぶ。なお照川層に挟まれる噴出源不明あるいは遠方からきたと考えられる火砕流堆積物や軽石層などは、本章で述べることにする。これらのテフラは下位より奈多軽石層（新称），誓願寺軽石層（水野ほか，1996），由布川火砕流堆積物（星住ほか，1988），丸尾川軽石層（新称），秋貞火砕流堆積物（新称）及び糸ヶ浜軽石層（新称）である。また小規模な岩層なだれ堆積物も照川層に挟まれる。これを神宮岩層なだれ堆積物（新称）と呼ぶ。

照川層及びそれに挟まるテフラの地質柱状図を第8.1図に、主なテフラの特徴一覧を第8.1表に示す。

### 8.2 照川層 (Tk, Tr)

**定義・模式地** 新称。照川層は、主として日出丘陵と杵築丘陵東岸の奈多付近に分布する淡水成及び海成堆積物と、これらに挟まれる降下軽石層である。軽石層は奈多軽石層，誓願寺軽石層，丸尾川軽石層，糸ヶ浜軽石層からなる。日出丘陵では椎原・長谷（2002）の平原層と原南層及び深江層の一部に相当し，奈多付近では松本・成重（1985）が馬場尾層と呼んでいるものに相当する。これらの地層名は，異なる年代・層準の地層を含んでいるため，新称を用いた。模式地は日出町照川（地点49周辺）である。

地質図では，淡水成の地層と海成主体相を区別して表現した。

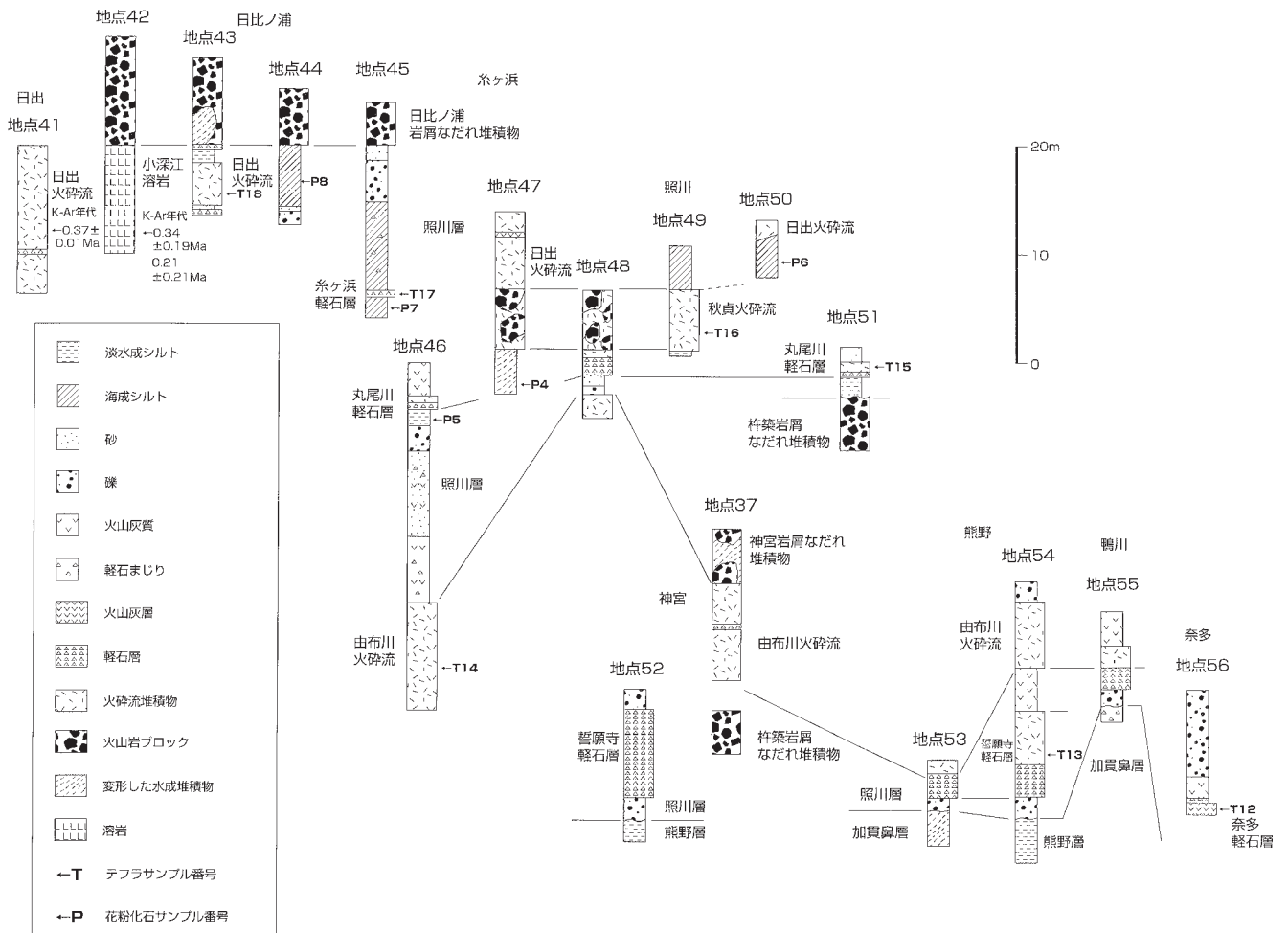
**分布** 日出丘陵熊野の東海岸沿い，真那井，照川，糸ヶ

浜海岸沿いから日比ノ浦海岸，杵築丘陵内の鴨川，守江，狩宿から奈多，塩屋にかけての東海岸沿い，山香町野原などに小規模に分布している。

**層序関係** 碩南層群や杵築岩層なだれ堆積物，相原山麓扇状地堆積物を不整合に覆う。また由布川火砕流堆積物，神宮岩層なだれ堆積物，日出火山噴出物に覆われ，地域によってはそれらとは指交関係にある。

**層相** 熊野東海岸では，熊野層を不整合に覆ってほぼ水平に厚さ3 m程度の中-大礫サイズの河川成の垂円礫層がのる。さらに薄い火山灰質シルトが重なり，その上に誓願寺軽石層と呼ばれる特徴的な軽石層が重なる（第8.2図）。さらに軽石・火山灰を主とした由布川火砕流堆積物が重なっているところもある。熊野原南や真那井北では，礫層の上に由布川火砕流堆積物が直接のるところもある（第8.3図）。照川や糸ヶ浜付近では，露頭の最下部に由布川火砕流堆積物がみられ，その上に火砕流の二次堆積物や砂礫層が重なり，その中に1枚の軽石層-火砕流堆積物（丸尾川軽石層）が挟まれている。さらに秋貞火砕流堆積物（後述）が重なる。糸ヶ浜から西では，これらの地層を日出火砕流堆積物が覆っている（第9章参照）。神宮から照川にかけての地域では，由布川火砕流堆積物及びその二次堆積物の上位に神宮岩層なだれ堆積物（後述）がのる。また照川と真那井の南東では，これらの淡水成の堆積物の上に厚さ4 m以上の海成と考えられるシルト層が重なっていて，硫黄が析出していたり，貝の印象化石が見られるところもある（第8.4図）。片原津でもこの層準に対比される海成粘土層が分布している。なおこれらの地層には小断層やスランピングなどの変形が認められ，日出火砕流堆積物の流下による影響ではないかと思われる。

糸ヶ浜海岸南部の軒ノ井断層（第11章参照）南側から大崎鼻をへて日比ノ浦に至る海岸では，照川層の中でも，より新しい地層が露出する。軽石が散在する海成シルト-砂層，礫混じりシルト層が海岸に連続し，1枚の降下軽石層（糸ヶ浜軽石層）が挟まれている。これらの地層は日高（1978）が日出層下部層と呼んでいる地層にあたり，多くの貝化石が報告されている。この海成層には，日出火砕流堆積物に特徴的な普通角閃石を含む軽石や岩片が点在することから，日出火砕流堆積物より上位にあたり，また照川付近の海成層より上位の別層準と考えられる。この海成層の上位に日比ノ浦岩層なだれ堆積物が重なっていて，その影響でスランピングなどの変形を受けている（第9章参照）。狩宿から奈多にかけての地域で



第 8.1 図 照川層を中心とした地質柱状図  
柱状図作成地点は付図を参照。

は、最下部に軽石、火山灰の二次堆積物（奈多軽石層）がみられ、その上を厚さ 8 m 以上の河川成の砂礫層が覆っている。この礫層の層準は、熊野東海岸付近にみられる礫層に対応していると思われる。山香町野原でも、野原層を覆って小規模に砂礫層が堆積していて、その上に整合的に奈多軽石層に対比される火砕流堆積物が重なり、さらに浄土寺岩層なだれ堆積物が覆っている。

**化石** 日高（1978）は、糸ヶ浜と大崎鼻の海成シルト-砂層から、次のような貝化石を報告している。*Acila divaricata*, *Portlandia lischkei*, *Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis*, *Lucinoma annulata*, *Fulvia mutica*, *Macoma incongrua*, *Myadora ikebei Habe*, *Panope sp.*, *Lunatia pallida*, *Inquisitor pseudoprincipalis*, *Raeta pullchela*. 本研究では、5 層準から花粉化石を得た（第 8.2 表）。丸尾川軽石層付近の層準では、トウヒ属が卓越し、モミ属、ツガ属などが伴われることから寒冷な気候を示す。片原津の海成シルト層はアカガシ亜属が優先的で、クリ属-シノキ属が伴われ、温暖な気候が推定される。また糸ヶ浜-日比ノ浦に分布する海成層は、スギ

属またはコナラ亜属が優先し、比較的温暖な気候が推定されるが、片原津の群集とは大きく異なっている。

**年代・対比** 由布川火砕流堆積物（約 0.6 Ma）やその少し下位の誓願寺軽石層（約 0.65 Ma）が挟まっていることから、照川層の下限は 0.7 Ma 頃と推定される。片原津の海成層のようにメタセコイアが産出せず、アカガシ亜属花粉の優先する層準は大分地域では滝尾層の最上部の海成層層準のみであり（大西，1965；野井，1985）、大阪地域では、深層ボーリングによると Ma3, Ma6, Ma9 と呼ばれる海成粘土層の層準に限定される（関西地盤情報活用協議会，1998）。テフラの年代を考慮すると、片原津の海成層層準は、滝尾層最上部及び大阪地域の Ma9 層準（約 0.4 Ma）に対比される可能性が高い。

#### 奈多軽石層 (Nd)

**定義** 新称。奈多軽石層は、杵築市狩宿から奈多にかけて分布する照川層の下部に挟まる軽石、火山灰の二次堆積層に対して命名する。模式地は奈多（地点 56 付近）である。

第 8.1 表 照川層に挟まるテフラの諸分析値

サンプル地点は付図に示す。サンプル層準は第 8.1 図を参照。

テフラ名	地点番号 または地域名	厚さ (m)	重鉱物組成	屈折率		ガラスの主成分組成(%)								ガラスの微量成分組成(ppm)						
				ガラス(n)	斜方輝石(γ)	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ba	La	Sc	Sr	V	Y
日出火砕流堆積物	地点43-T18	4	普通角閃石	1.502-1.504																
糸ヶ浜軽石層	地点45-T17	0.8	普通角閃石>斜方輝石	1.506-1.519		0.33	13.98	2.09	0.07	0.50	2.66	3.81	2.35	0.09	554	18	2	334	17	10
秋貞火砕流堆積物	地点49-T16	6	単斜輝石,斜方輝石	1.517-1.519																
丸尾川軽石層	地点51-T15	1.5	普通角閃石,斜方輝石,単斜輝石	1.501-1.504		0.20	12.26	1.18	0.06	0.21	1.44	3.71	2.71	0.05	616	21	2	188	5	14
由布川火砕流堆積物	地点46-T14	10+	斜方輝石,単斜輝石,普通角閃石>黒雲母	1.499-1.501	1.701-1.707	0.17	12.67	0.88	0.08	0.12	0.99	3.73	3.90	0.04	660	26	<1	128	2	15
由布川火砕流堆積物	挾間町赤野	5+	斜方輝石,単斜輝石,普通角閃石>黒雲母	1.497-1.499	1.701-1.711	0.19	12.45	0.53	0.08	0.13	0.98	3.62	3.97	0.04	757	30	2	161	3	17
由布川火砕流堆積物	大分市米良	5+	普通角閃石,斜方輝石>単斜輝石,黒雲母	1.500-1.502	1.699-1.711	0.18	13.08	1.11	0.09	0.15	1.02	3.89	3.84	0.04	731	30	2	152	4	17
松本火砕流堆積物	山香町日指	3+	普通角閃石>斜方輝石,単斜輝石>黒雲母	1.498-1.501		0.17	11.94	0.88	0.09	0.16	0.91	3.71	3.70	0.04	726	26	1	140	3	16
誓願寺軽石層	地点54-T13	8	斜方輝石>単斜輝石,普通角閃石>黒雲母	1.497-1.501	1.704-1.707	0.20	12.71	0.96	0.06	0.12	1.04	3.40	4.39	0.05	746	28	1	133	6	17
誓願寺軽石層	大分市丹生	4+	斜方輝石>単斜輝石,普通角閃石>黒雲母	1.499-1.501	1.704-1.706	0.22	13.53	1.18	0.07	0.18	1.14	3.45	3.51	0.06	858	34	2	155	5	22
唐戸B軽石層	姫島村大海	0.9	斜方輝石>普通角閃石	1.498-1.502		0.21	11.28	0.92	0.07	0.10	1.10	3.75	4.07	0.05	741	23	1	159	5	16
鮎川火砕流堆積物	庄内町西	10+	斜方輝石>普通角閃石,黒雲母	1.499-1.500		0.23	13.73	1.03	0.07	0.11	1.12	3.68	4.19	0.05	881	28	1	152	<1	20
桐火山灰層	大阪狭山市今熊	0.2	普通角閃石>斜方輝石	1.501-1.503	1.703-1.708	0.21	12.05	1.21	0.07	0.14	0.97	3.70	3.95	0.04	749	29	2	121	6	18
奈多軽石層	地点56-T12	1+	普通角閃石>黒雲母	1.500-1.501		0.20	12.61	0.87	0.08	0.17	1.05	3.76	3.99	0.03	744	29	2	160	4	16
奈多軽石層	地点12-T11	4	普通角閃石>斜方輝石,単斜輝石,黒雲母	1.497-1.500		0.17	11.59	0.91	0.09	0.16	0.92	3.59	3.82	0.05	626	25	1	124	5	15
唐戸A軽石層	姫島村丸石鼻	2.5	普通角閃石>斜方輝石,単斜輝石,黒雲母	1.497-1.501		0.18	11.80	0.85	0.09	0.12	0.87	3.64	4.07	0.04	715	26	1	126	3	15

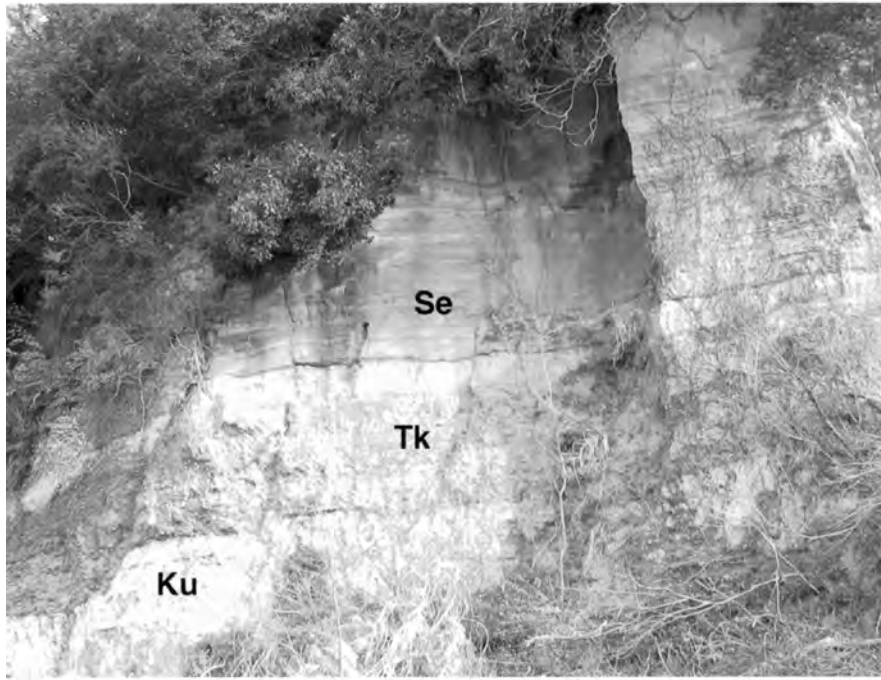
地点番号のないものは、本地域外。

重鉱物組成は軽石及び火山灰基質を含めたもののうち粒径1/4~1/16mmの粒子の構成比を示す。

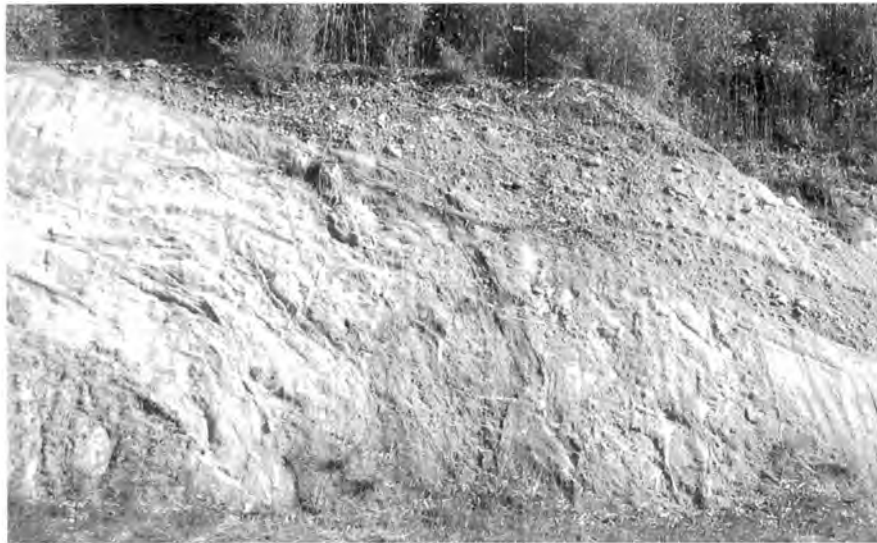
屈折率測定はRIMS86(京都フィクション・トラック社製)による。測定者：水野。

火山ガラスの化学分析方法はICP発光分析及び蛍光分析(吉川ほか,2000)による。測定者：三菱マテリアル資源開発株式会社。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Tは総Fe量をFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として計算した値。





第 8.2 図 熊野層，照川層，誓願寺軽石層の層序関係  
 杵築市熊野東海岸近く．熊野層のシルト層（Ku）を不整合に覆う照川層の礫層（Tk）及びその上位に重なる誓願寺軽石層（Se）．誓願寺軽石層の厚さは約 4 m．



第 8.3 図 変形を受けた加貫鼻層を覆う照川層の礫層  
 杵築市熊野原南．礫層の厚さは約 2 m．側方ではこの礫層の上に由布月火砕流堆積物が重なる．

**特徴** 奈多付近では，発泡のよい軽石とガラス質火山灰の水成堆積物からなり，厚さは 2 m 以上に及ぶ．これは本来火砕流堆積物だったものが，再堆積したものである可能性がある．また 1 露頭では，これらの二次堆積物の上位に厚さ約 80 cm の降下火山灰層が重なっている．両者の岩石学的特徴は類似しており，一連の噴出物とみられる．このテフラは一見由布川火砕流堆積物と類似していて，火山ガラスの屈折率や化学組成も似ているが，顕

微鏡下で重鉍物を見ると普通角閃石が圧倒的に多く，斜方輝石，単斜輝石が多い由布川火砕流堆積物と区別することができる．山香町野原（地点 12）には，野原層を覆う薄い礫層に整合的に重なって，このテフラと全く同じ岩石学的特徴を持つ厚さ 4 m 程度の非溶結の火砕流堆積物があり，対比される．

**対比** 国東半島の北方海上に位置する姫島の唐戸層（伊藤ほか，1997）中には，奈多軽石層と対比できるものが



第 8.4 図 海成シルト-砂層中にみられるサンドパイプ状の生痕  
日出町牧ノ内海岸（地点 45 付近）。ペンの長さは約 15 cm.

ある（水野，未公表）。姫島村丸石鼻の南西海岸の唐戸層に挟まる厚さ 5 m 以上に及ぶ円磨された軽石層は明らかに二次堆積物であるが，その岩石学的な特徴は奈多軽石層と一致している（第 8.1 表参照）。このテフラを唐戸 A 軽石層と仮称する。後述するように唐戸層中には誓願寺軽石層に対比できるテフラもあり，両者の対比は照川層が唐戸層とほぼ同時代の地層であることを示すものである。

#### 誓願寺軽石層（Se）

**定義** 誓願寺軽石層は，大分地域の大部分層群滝尾層に挟まる軽石層，火山灰層，火砕流堆積物からなるテフラで，模式地は大分市丹生である（水野ほか，1996）。日出丘陵東部には，その岩石学的特徴から同じテフラと考えられる軽石層が分布しているため，同じ名称を用いる。このテフラは広域に分布し，大阪層群の榎火山灰（吉川，1976）に対比され，町田・新井（1992，2003）によって誓願寺-榎テフラと呼ばれている。

**分布** 日出丘陵の熊野，真那井にまとまった分布があるほか，狩宿に小分布がある。また野原にも本テフラと思われる層相の軽石層が分布しているが，風化しているために同じテフラかどうか確認できていない。

**岩相** 最も典型的な層相のみられる地域は熊野原北の夫婦池東（地点 54）で，ここでは最下部 60 cm ほどが径 3 cm 以下の降下軽石層からなり，その上に厚さ 2～4 m 程度の細かな軽石層と火山灰層の数 10 枚の繰り返し（降下火砕物）が重なる。この部分の層相が，本テフラを最も特徴づける（水野ほか，1996）。さらに上位には厚さ 2 m ほどの細かな軽石を含む火山灰主体の火砕流堆積

物，厚さ 40 cm ほどの火山灰-軽石層，さらに厚さ 4 m 程度の火山灰を主体とした火砕流堆積物またはその二次堆積物が重なる。これらの上下方向の層相変化は大分市丹生で見られる本テフラと極めて類似している。このほかの地点では，一般に下半部の降下軽石-火山灰層の部分が観察される。顕微鏡下の特徴としては，火山ガラスが褐色を帯びた塊状の形態を示すものが多いことで，これも本テフラを同定するときの基準となる。重鉱物は斜方輝石が多く，普通角閃石，単斜輝石，黒雲母を伴う。

**年代・対比** 日出丘陵の本テフラは，上述したような層相の特徴や岩石学的特徴（第 8.1 表）から模式地の誓願寺軽石層や大阪地域の榎火山灰に確実に対比される。また約 0.6 Ma と推定される由布川火砕流堆積物の下位に位置することから，その年代はおよそ 0.65 Ma と推定される。なお，誓願寺軽石層は大分川上流域（別府地域）に分布する鮎川火砕流堆積物（星住ほか，1988）に対比される可能性が指摘されていて（吉岡ほか，1997），噴出源を推定する上で重要である。姫島の唐戸層中には本テフラに類似する軽石層が挟まれている（水野，未公表）。伊藤ほか（1997）は姫島村大海地区の唐戸層中にコンポルート葉理状の構造がみられると述べているが，この層が軽石層からなっている。唐戸 A 軽石層との直接的な層位関係は不明であるため，仮に唐戸 B 軽石層と呼ぶ。その岩石学的特徴は誓願寺軽石層に類似し（第 8.1 表），対比される。

#### 丸尾川軽石層（地質図には示していない）

新称。照川から糸ヶ浜にかけて分布し，由布川火砕流堆積物と秋貞火砕流堆積物との間の層準に位置する。模

第 8.2 表 照川層の花粉化石産出状況

パリーノ・サーヴェイ株式会社の分析による。サンプル層準は第 8.1 図を参照。

和名	学名	地点及びサンプル番号				
		地点47-P4	地点46-P5	地点50-P6	地点45-P7	地点44-P8
木本花粉	Arboreal Pollen					
マキ属	<i>Podocarpus</i>	-	-	5	1	-
モミ属	<i>Abies</i>	33	11	4	4	-
ツガ属	<i>Tsuga</i>	20	2	3	1	1
トウヒ属	<i>Picea</i>	172	150	-	35	34
マツ属単維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxyton</i>	4	3	54	5	3
マツ属複維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxyton</i>	2	-	17	10	3
マツ属(亜属不明)	<i>Pinus</i> (Unknown)	5	1	41	15	2
コウヤマキ属	<i>Sciadopitys</i>	-	-	6	5	-
スキ属	<i>Cryptomena</i>	-	-	1	222	29
イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科	Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae	1	-	5	12	13
ヤナギ属	<i>Salix</i>	-	-	-	-	3
ヤマモモ属	<i>Myrica</i>	-	-	1	-	-
クルミ属(オニグルミ属)	<i>Juglans</i>	6	2	-	1	26
クマシデ属-アサダ属	<i>Carpinus-Ostrya</i>	3	9	3	4	25
カバノキ属	<i>Betula</i>	5	6	1	-	-
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	37	25	12	3	32
ブナ属	<i>Fagus</i>	14	3	10	27	16
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	2	13	3	2	66
コナラ属アカガシ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>	-	-	160	4	2
クリ属-シノキ属	<i>Castanea-Castanopsis</i>	-	-	27	1	-
ハリゲヤキ属	<i>Hemiptelea</i>	3	6	-	1	15
ニレ属-ゲヤキ属	<i>Ulmus-Zelkova</i>	10	9	-	3	1
エノキ属-ムクノキ属	<i>Celtis-Aphananthe</i>	1	2	1	-	10
イスノキ属	<i>Distylium</i>	-	-	-	-	1
フウ属	<i>Liquidambar</i>	-	-	2	-	-
キハダ属	<i>Phellodendron</i>	3	-	-	1	3
ユズリハ属	<i>Daphniphyllum</i>	-	-	-	-	1
シラキ属	<i>Sapium</i>	-	-	1	-	-
ツゲ属	<i>Buxus</i>	-	-	-	1	7
モチノキ属	<i>Ilex</i>	1	-	1	-	-
カエデ属	<i>Acer</i>	3	-	-	-	6
ツタ属	<i>Parthenocissus</i>	-	-	-	-	1
シナノキ属	<i>Tilia</i>	-	2	-	-	-
グミ属	<i>Elaeagnus</i>	-	-	-	-	1
サルスベリ属	<i>Lagerstroemia</i>	-	-	1	1	-
ウコギ科	Araliaceae	-	-	-	-	1
ツツジ科	Ericaceae	-	-	1	-	-
エゴノキ属	<i>Styrax</i>	-	-	-	1	-
イボタノキ属	<i>Ligustrum</i>	2	1	1	-	1
トネリコ属	<i>Fraxinus</i>	-	-	-	-	9
ガマズミ属	<i>Viburnum</i>	-	-	-	-	1
スイカズラ属	<i>Lonicera</i>	-	1	-	-	-
草本花粉	Nonarboreal Pollen					
ガマ属	<i>Typha</i>	85	79	-	-	-
ミクリ属	<i>Sparganium</i>	4	-	-	-	-
イネ科	Gramineae	55	68	12	1	20
カヤツリグサ科	Cyperaceae	13	39	1	2	12
クワ科	Moraceae	-	-	-	-	2
サナエタデ節-ウナギツカミ節	<i>Polygonum</i> sect. <i>Persicaria-Echinocaulon</i>	-	1	-	-	-
タデ属	<i>Polygonum</i>	-	-	-	-	1
アカザ科	Chenopodiaceae	-	1	-	-	-
キンポウゲ科	Ranunculaceae	1	1	-	-	-
スイレノ属	<i>Nymphaea</i>	1	-	-	-	-
バラ科	Rosaceae	-	-	1	-	-
マメ科	Leguminosae	-	-	-	-	3
ミソハギ属	<i>Lythrum</i>	-	-	1	-	-
セリ科	Umbelliferae	-	3	-	-	-
シソ科	Labiatae	-	1	-	-	-
オミナエシ属	<i>Patrinia</i>	1	-	-	-	-
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	4	6	2	1	16
キク亜科	Carduoideae	2	-	-	1	4
タンポポ亜科	Cichonoideae	-	1	-	-	4
不明花粉	Unknown Pollen	7	2	13	3	10
シダ植物胞子	Pteridophyta Spores	55	26	53	10	13
その他の微化石	Other Microfossils	-	-	-	-	1
合計	TOTAL					
木本花粉	Arboreal Pollen	327	246	361	360	313
草本花粉	Nonarboreal Pollen	166	200	17	5	62
不明花粉	Unknown Pollen	7	2	13	3	10
シダ植物胞子	Pteridophyta Spores	55	26	53	10	13
総花粉・胞子	Total Number of Pollen & Spores	555	474	444	378	398

式地は糸ヶ浜海岸北部（地点 48）からその北西部の丸尾川下流である。下部は厚さ 1～2 m の降下軽石層からなり、軽石の最大径は 4 cm に達する。上部は厚さ 0.5～1.5 m 程度の火砕流堆積物からなり、径 2 cm 以下の軽石を含む火山灰主体層である。重鉱物は普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石が主体で、黒雲母も含む。

#### 糸ヶ浜軽石層（地質図には示していない）

新称。糸ヶ浜から日比ノ浦にかけての海岸の海成シルト層に挟まれる降下軽石層である。模式地は糸ヶ浜南部（付図の地点 45）である。厚さ 70～80 cm で、軽石の最大径は約 5 cm である。重鉱物は普通角閃石が主体で、斜方輝石を少量含んでいる。このテフラが日出火山起源であるかどうかは不明であるが、火山ガラスの屈折率は日出火砕流堆積物のそれよりも高い値を示している（第 8.1 表）。

### 8.3 由布川火砕流堆積物（Yu）

**定義・模式地** 由布川火砕流堆積物は、大分市の西方、挾間町由布川峡谷付近を模式地として分布する大規模な



第 8.5 図 由布川火砕流堆積物の岩相

日出町神宮（地点 37）。火砕流本体には吹き抜けパイプ構造（矢印）が発達し、間に降下火砕堆積物と火砕サージ堆積物を挟む。

火砕流堆積物であり（星住ほか，1988），大分市南部の大分層群滝尾層中にも挟まれている（吉岡ほか，1997）。これと同じ火砕流堆積物が日出丘陵にも分布することが、椎原ほか（1996）、椎原・長谷（2002）や峯元ほか（2000）によって確認されており、ここでは由布川火砕流堆積物という名称を用いる。本テフラは、椎原・長谷（2002）が日出・杵築丘陵で真那井火砕流堆積物と呼んでいるものに相当する。また第 8.1 表に示したように重鉱物組み合わせ、ガラスの屈折率と主成分・微量成分組成から、豊岡地域の安心院町などでは松本火砕流堆積物（星住・森下，1993）と呼ばれているものの大部分が本テフラに相当する。

**分布** 日出丘陵の真那井集落東や北にまとまった分布があるほか、その周辺、糸ヶ浜、照川、熊野、杵築丘陵の鴨川に小規模に分布している。

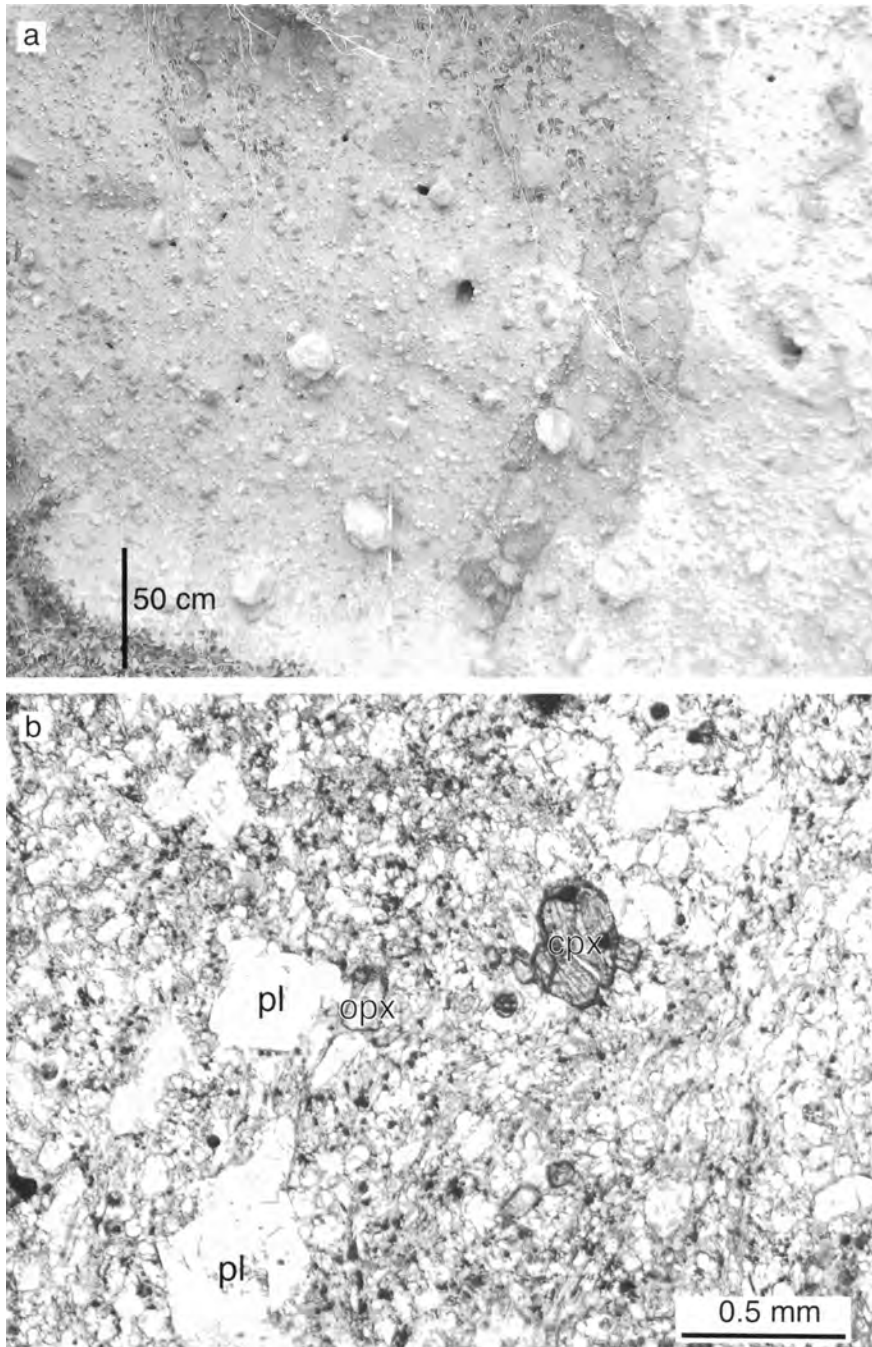
**岩相** 本テフラは、最下部に厚さ 30～40 cm の径 4 cm 以下の軽石からなる降下層を伴い、その上に本体の火砕流堆積物が重なる。火砕流堆積物は非溶結であり、本地域では厚さ最大 10 m に及び、径 3 cm 以下の発泡のよい流紋岩質の軽石を含む同質のガラス質火山灰を主体としていて、肌色がかった灰白色を呈している。黒雲母が点在するのが肉眼で観察できる。神宮では、火砕流堆積物中に直径 10 cm 以下、長さ 3 m 以上の吹き抜けパイプ構造がみられ、吹き抜けパイプ上部には厚さ 9 cm 以下の降下軽石層と、厚さ 30 cm 以下の平行葉理や低角斜交葉理の発達したサージ堆積物が挟まっている（第 8.5 図）。顕微鏡下では、火山灰サイズの重鉱物は斜方輝石、単斜輝石、普通角閃石、黒雲母がほぼ等量ずつ含まれている。

**年代・対比** 峯元ほか（2000）は、日出町糸ヶ浜に露出する本火砕流堆積物のフィッション・トラック年代を測定し、 $0.60 \pm 0.14$  Ma の年代値を報告している。由布川火砕流堆積物の年代は、その上下の火山岩の K-Ar 年代などから約 0.6 Ma と推定されている（星住・鎌田，1991）。また模式地における本火砕流堆積物のフィッション・トラック年代値として  $0.60 \pm 0.10$  Ma（竹村・檀原，1995）、 $0.68 \pm 0.14$  Ma（竹村ほか，1995）という値がある。本テフラに対比される火山灰は、四国南西部の愛媛県御荘町に分布する中部更新統に見出されていて、そのフィッション・トラック年代は  $0.58 \pm 0.11$  Ma と求められている（熊原，2002）。

### 8.4 秋貞火砕流堆積物（As）

**定義・模式地** 新称。日出町秋貞付近の斜方輝石単斜輝石安山岩からなる軽石火砕流堆積物である。模式地は日出町秋貞海岸（地点 48）や秋貞-堤の市道切り割りである。

**分布・層厚** 日出町照川から秋貞海岸にかけて分布する。最大層厚は 10 m 程度である。



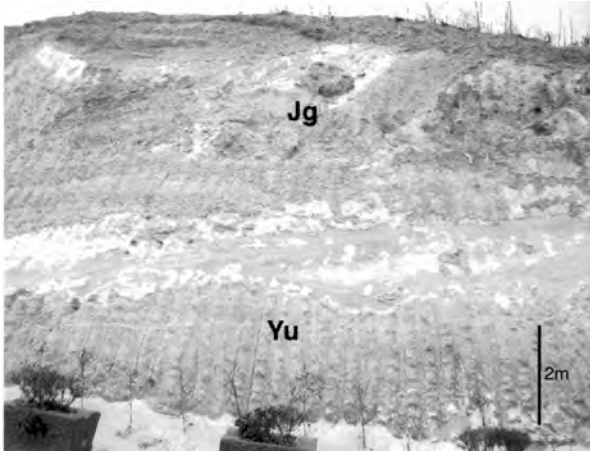
第 8.6 図 秋貞火砕流堆積物の岩相と本質物の顕微鏡写真

(a) 日出町秋貞海岸 (地点 48)。軽石と同質の火山灰基質からなり、輝石安山岩岩片を伴う。径 5 cm 程の明色に見える礫が白色軽石。径 20 cm 程の暗色に見える礫は大部分が輝石安山岩岩片で少量の灰色軽石を含む。(b) 白色軽石の顕微鏡写真 (GSJ R79478)。地点 46 の北 200 m で採取。発泡の悪い単斜輝石斜方輝石安山岩の軽石からなる。cpx；単斜輝石，opx；斜方輝石，pl；斜長石。単ポーラー。

**層序関係** 照川や秋貞付近で照川層を直接覆う。丸尾川軽石層と日出火砕流堆積物の間の層準に挟まれる。

**岩相** 発泡の悪い輝石安山岩軽石と同質の火山灰からなる火砕流堆積物である。照川 (地点 49) や大神，秋貞-堤では、灰-灰白色の径 10 cm 以下の軽石と同質の火山灰

からなり、類質の緻密な安山岩礫を多く含む部分を伴う。秋貞-堤の間の市道切り割りでは、細粒火山灰層を境に 2 枚のフローユニットからなり、上部のユニットには比較的粒径の大きな軽石が揃う部分が認められる。下部のユニットには黒色が混じる縞状の軽石も見られる。こ



第 8.7 図 由布川火砕流堆積物と神宮岩屑なだれ堆積物の層序関係  
日出町神宮（地点 37）. 由布川火砕流堆積物（Yu）とその二次堆積物の上位にのる安山岩角礫及びシルト層等のブロックからなる神宮岩屑なだれ堆積物（Jg）.

れらは側方に約 10 m に渡って追跡できる。秋貞海岸（地点 48）では、径 8 cm 以下の白色軽石と径 28 cm 以下の灰色軽石に（第 8.6 図 a），少量の縞状軽石を伴う。基質の大部分は実体鏡下でこれらの軽石片と鉱物片から構成されている。しかし、径 1 mm 以下の暗灰色岩片を比較的多く含み、黒雲母片が認められることもある。

本火砕流堆積物には、径 4 m 以下の灰色や暗灰色の単斜輝石斜方輝石安山岩からなる凝灰角礫岩や照川層の細粒砂やシルトからなるブロックを多数取り込む。秋貞海岸付近（地点 46 から 48 の間）の複数の箇所では、やや平滑な破断面をもつ径 40 cm 以下の多面体の安山岩角礫と、角礫と同質な細粒-中粒砂の基質をもつ凝灰角礫岩ブロックが、本火砕流堆積物に取り囲まれて認められる。安山岩角礫は礫支持している部分があり、基質に比較的乏しい。ブロックから径 10～15 cm の角礫を 4 試料取り出し、フラックスゲート磁力計で測定したところ特定の方向に磁性が揃った。これらから破碎した溶岩ブロックと推定した。照川層起源の砂やシルトのブロックは、径 30 cm 以下で引き延ばされた形となって認められることが多いが、ブロックの周囲は本火砕流堆積物からなる輝石安山岩軽石と同質の火山灰基質に取り囲まれている。

本火砕流堆積物の軽石は、斑晶として径 1.1 mm 以下の斜長石と、径 0.8 mm 以下の斜方輝石、径 0.6 mm 以下の単斜輝石を持つ。鏡下では、0.05～0.1 mm 程の球状となった細かな気泡に富んでいる（第 8.6 図 b）。

**年代** 日出町糸ヶ浜海岸で、本火砕流堆積物に取り込まれた単斜輝石斜方輝石安山岩の溶岩ブロックから 0.43 ± 0.04 Ma が得られた（付表 1）。これは本火砕流堆積物が

0.43 Ma 以降に定置したことを示唆している。

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号：GSJ R79469（KTK342）

径 40 cm の暗灰色を呈する安山岩角礫（61.5 SiO<sub>2</sub> wt. %）である。斑晶として径 2.8 mm 以下の斜長石（19%）、径 1.8 mm 以下の斜方輝石（2.7%）、径 1.6 mm 以下の単斜輝石（1.6%）と少量の不透明鉱物を含む。石基はガラス、斜長石、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物からなるハイアロピリティック組織を示す。変質鉱物は認められない。

**推定供給源** 本火砕流堆積物の本質物は鹿鳴越火山と同じ輝石安山岩である。しかしながら本火砕流堆積物の噴出時期は、鹿鳴越火山噴出物の既知の K-Ar 年代値（1.06～0.71 Ma）に比べて有意に若い。本火砕流堆積物の分布周辺に供給源を推定できるような地形的特徴は認められない。本火砕流堆積物の供給源については今後の検討課題である。

## 8.5 神宮岩屑なだれ堆積物（Jg）

**定義・模式地** 新称。日出町神宮周辺に分布する岩屑なだれ堆積物である。模式地は日出町神宮である（地点 37）。

**分布** 神宮の、みのり村コロニー周辺から照川に分布するほか、真那井集落の西及び東に小規模に点在する。分布範囲から推定すると、本岩屑なだれ堆積物の規模はそれほど大きくないと考えられる。

**層序関係** 神宮で由布川火砕流堆積物を直接覆う。秋貞火砕流堆積物との直接の層位関係は不明である。

**岩相** 本堆積物は径 5 m 以下の様々なブロックとそれらがほぐれた基質から構成され、無層理、無淘汰である。秋貞火砕流堆積物が輝石安山岩の火山灰基質に取り囲まれてブロックを伴うのに対して、本堆積物はブロックと様々な構成物を含む基質から構成されている違いがある。神宮周辺では、斜方輝石単斜輝石安山岩を主体とし普通角閃石斜方輝石安山岩を含む中-大礫サイズの角礫や、火山灰-軽石質シルト、円礫、由布川火砕流堆積物及びその二次堆積物などのブロックから構成される（第 8.7 図）。また引き延ばされた褐色土壌片が認められる。真那井周辺では、最大径 80 cm 以下の暗灰色を呈し斑晶の少ない安山岩の角礫からなるブロックを主体としていて、基質は径 2 cm 以下の黒雲母流紋岩軽石と暗灰色の岩片などを持つ細粒物から構成されている。杵築岩屑なだれ堆積物に比べて全体的に層厚が薄く、固結度も低い。

**推定供給源** 本堆積物は露出が限られ、かつ分布が断片的で、崩壊地形も認められないことから、供給源については不明である。

## 第9章 中期更新世火山岩類

(石塚吉浩・水野清秀・星住英夫)

### 9.1 日出火山 (Hj, Hl, Hd)

#### 9.1.1 研究史と概要

本地域南部に位置する日出丘陵には、これまで更新世の堆積岩や、角閃石安山岩-デイサイトからなる火山岩が分布していることが指摘されてきた(森山, 1965; 日高, 1978; 椎原・長谷, 2002など)。森山(1965)は日出丘陵の地質を初めて記載し、この地域が輝石角閃石安山岩の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩に降下軽石層を伴うことを述べた。また、日出丘陵南部の海岸付近では、著しい熱水変質を受けていることを報告し、日出丘陵の凝灰角礫岩などは漸新統から下部更新統にわたると考えた。日高(1978)は、日出丘陵南部から産出した貝化石から、日出丘陵が下部更新統以降からなると改めた。そして、日出丘陵の主体を構成する角閃石安山岩の凝灰角礫岩類を日出層と呼び、これらが水平方向の岩相変化に富むことや、凝灰角礫岩にレンズ状の火山灰や軽石を含むことなどを指摘した。その後森山ほか(1983)は日高(1978)の考えに従った。これらの研究に共通したのは、日出丘陵南部に熱水変質が認められることなどから、日出丘陵は南側ほど古い地層からなり、北側へ新しい地層が重なると考えてきたことである。その後、椎原・長谷(2002)は、日出丘陵を構成する輝石角閃石デイサイトの凝灰角礫岩類が、中期更新世の火砕流堆積物の上位にあることを指摘し、これらを深江層と呼んだ。そして、深江層を日出丘陵北側の地層より若いと考えた。

本研究では、日出丘陵の主体を構成する凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩を、岩相の違いから溶岩、火砕流堆積物、岩屑なだれ堆積物に区分した。これらは、1) 斜方輝石普通角閃石安山岩-デイサイトの類似した岩質を持つこと、2) 新たに0.37~0.28 MaのK-Ar年代値が得られ、近接する鹿鳴越火山噴出物の年代値(1.06~0.71 Ma)と有意の差があること、3) 鹿鳴越火山噴出物の岩質及び化学組成と異なることから、鹿鳴越火山とは異なる火山体から供給されたと考えられる。従って本研究では、日出丘陵に分布する溶岩、火砕流堆積物とこれらを主たる母材とする岩屑なだれ堆積物からなる火山を、新たに日出火山と呼ぶことにする。日出火山は、下位から日出火砕流堆積物、小深江溶岩、日比ノ浦岩屑なだれ堆積物に区分される。日出火山は、K-Ar年代値と第8章で述べた大分層群との層序関係から、中期更新世の約40~30万年前に活動したと考えられる。

日出火山は、1) 噴出物が別府湾に突きだした半島状の

地形を形成すること、2) 日出丘陵南側の海岸部にのみ溶岩が認められること、3) その海岸部付近が熱水変質を受けていることから、日出丘陵南側の別府湾付近に噴出源をもつ火山だったと推定される。現在の海底地形からは、別府湾に火山体を認めることはできないが、仮に現在の別府湾日出沖断層群の平均変位速度(0.4~0.5 m/ky; 島崎ほか, 2000; 第11章参照)が、日出火山の形成時期から一定だったとすると、日出火山は比高100~200 m程度の小型の火山体を形成していた可能性がある。

#### 9.1.2 日出火砕流堆積物 (Hj)

**定義・模式地** 斜方輝石含有普通角閃石安山岩-デイサイトの火砕流堆積物とそれに伴う降下軽石層、火砕サージ堆積物を日出火砕流堆積物と呼ぶ(新称)。模式地は日出町辻ノ尾(地点41)である。森山(1965)の大神火山岩類の一部、日高(1978)の日出層中部と上部の一部、椎原・長谷(2002)の深江層の一部に相当する。

**分布・層厚** 日出町榎から軒ノ井付近に分布する。分布域は東西6 km、南北3 kmで、層厚は50 m以下である。現存する分布面積は約20 km<sup>2</sup>であり、層厚を25 mとすると、体積は0.5 km<sup>3</sup>以上と見積もられる。

**層序関係** 日出町秋貞で秋貞火砕流堆積物を直接覆う。日出町照川では、その分布形態から相原山麓扇状地堆積物を覆うと推定される。日出町上深江(地点43)で日比ノ浦岩屑なだれ堆積物に直接覆われる(第8.1図)。

**岩相** 日出火砕流堆積物は2枚以上の非溶結の火砕流堆積物からなり、降下火砕堆積物や火砕サージ堆積物を伴う。これらには土壌や侵食間隙を挟まないことから、一連の噴火堆積物と考えられる。構成物の大部分は、斜方輝石含有普通角閃石安山岩-デイサイトの発泡の悪い本質岩塊と同質の火山灰基質から構成される火砕流堆積物(火山岩塊火山灰流堆積物)である。本質岩塊は灰白色(N7)から灰色(N5)を呈し、直径5 m以下で、放射状の冷却節理を持つことがある。模式地(地点41)では、火砕流堆積物の間に層厚5 cmの普通角閃石安山岩-デイサイトの降下軽石層(径3 cm以下)を挟んで、2枚のフローユニット(流動堆積単位)が認められる。単層厚は2~7 m以上である。日出町大峰(地点57)では、火砕流堆積物の間に層厚20 cm以下の降下軽石層(径3 cm以下)が3枚と、層厚20 cmの斜交葉理が発達した火山豆石をもつ細粒火山灰からなる火砕サージ堆積物を挟む。降下軽石層や火砕サージ堆積物の上部は、赤色酸化していることがある。最上位の火砕流堆積物の本質岩塊

(3 試料) をフラックスゲート磁力計で計測したところ、磁化方位が正帯磁で揃った。日出町上深江 (地点 58) でも、2 枚のフローユニット (流動堆積単位) が認められ、層厚 80 cm の降下火砕堆積物 (軽石最大径 3.5 cm, 岩片最大径 10 cm) を挟む。火砕流堆積物に吹き抜けパイプ構造は確認できなかった。

火砕流堆積物の本質岩塊は、斑晶として長径 9 mm 以下の普通角閃石と径 5 mm 以下の斜長石からなり、径 1 mm 以下の斜方輝石を伴う。日出町原山 (地点 59) では、径 10 cm 以下の斑晶に乏しい同源捕獲岩が多数認められる。**化学組成** 日出火砕流堆積物は、62.0 ~ 63.0 SiO<sub>2</sub> wt. % (2 試料測定) の安山岩-デイサイトである。同じ SiO<sub>2</sub> 量, MgO 量で比べると、K<sub>2</sub>O 量は鹿鳴越火山噴出物より高い特徴を持つ (第 7. 7 図)。

**年代** K-Ar 年代値として、日出町辻ノ尾の火砕流堆積物の本質岩塊の石基から 0.37 ± 0.01 Ma が得られた (付表 1)。

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号: GSJ R79471 (23KK02)

径 20 cm の発泡の悪い灰白色デイサイト (63.0 SiO<sub>2</sub> wt. %) である。斑晶として径 4 mm 以下の斜長石 (19%), 径 2.8 mm 以下の普通角閃石 (3.6%) に、少量の径 1.1 mm 以下の斜方輝石 (0.6%) と不透明鉱物を伴う。石基はガラス, 斜長石, 普通角閃石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物をもつハイアロピリティック組織を示す。石基に微量のスメクタイトが生じている程度で、非変質に近い。

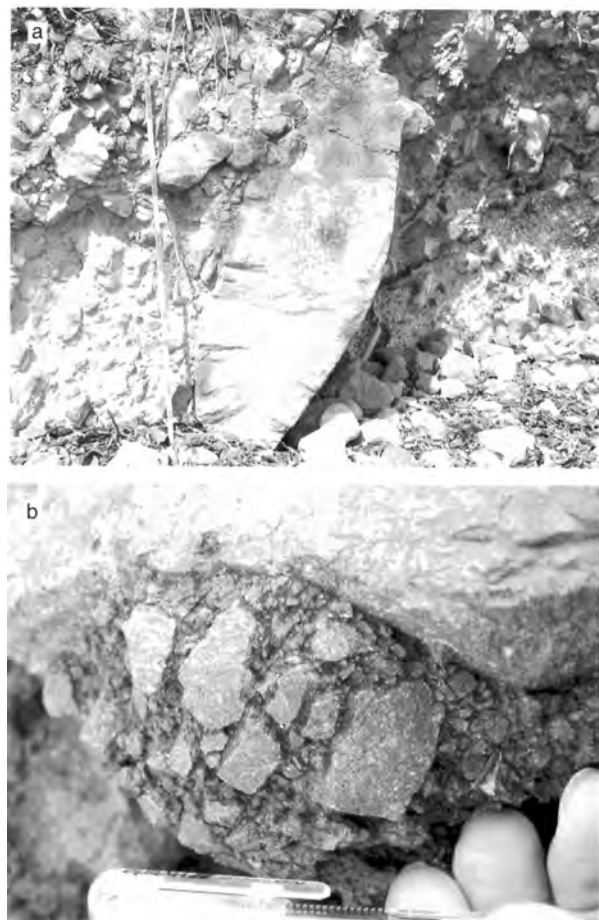
### 9. 1. 3 小深江溶岩 (HI)

**定義・模式地** 西小深江付近に分布する斜方輝石普通角閃石デイサイト溶岩を小深江溶岩と呼ぶ (新称)。模式地は日出町西小深江の海岸 (地点 60) である。森山 (1965) の大神火山岩類の一部、日高 (1978) の日出層中部の一部、椎原・長谷 (2002) の深江層の一部に相当する。

**分布・層厚** 日出町西小深江の海岸部に認められる。層厚は 10 m 以上で、下限が露出していない。

**層序関係** 日出町西小深江海岸で日比ノ浦岩層なだれ堆積物に直接覆われる。照川層との直接の層位関係は不明である。

**岩相** 小深江溶岩は、主に斜方輝石普通角閃石デイサイトの自破碎した溶岩から構成される。模式地で 5 × 3 m の範囲に灰白色塊状のデイサイトが認められる。これとの直接の関係は不明だが、周囲に同質の角礫岩が分布している。この角礫岩は、暗灰色から黒色を帯び同質の基質から構成される。角礫は径 2 m 以下で、冷却節理もつことが多い (第 9. 1 図 a)。また角礫にはジグソー割れ目が認められ、角礫の間を細粒物が充填している (第 9. 1 図 b)。基質は、細粒砂-極粗粒砂サイズ及びそれ以下の角張った粒子が多くを占める (第 9. 2 図 a)。また粒子に



第 9. 1 図 小深江溶岩の岩相

日出町西小深江海岸。(a) 角礫岩の全景。冷却節理が入る。スケールは 1 m。(b) 角礫岩の接写。パズル状に割れた鋭角の角礫の間を同質の細粒物が埋めている。

は、丸みを帯びたものや、外形が直線的でなく波うつようなアメーバー状の形を示すものもある (第 9. 2 図 b)。これら角礫岩は、小深江の海岸沿いに長さ 700 m にわたって認めることができる。産状、分布から水冷破碎溶岩の可能性も考えられるが、スパイラクル構造や、角礫に急冷緑は認められなかった。本溶岩の一部は、熱水変質を受け白色、黄褐色、淡緑色を示し、地点 61 では粘土化しているところもある。森山 (1965) は明礬石化、珪化、緑泥石化の熱水変質作用を受けていることを報告している。

**岩石・化学組成** 肉眼で長径 7mm 以下の普通角閃石と径 3 mm 以下の斜長石がめだつ 63.1 SiO<sub>2</sub> wt. % のデイサイトであり、日出火砕流堆積物に類似した組成を持つ。

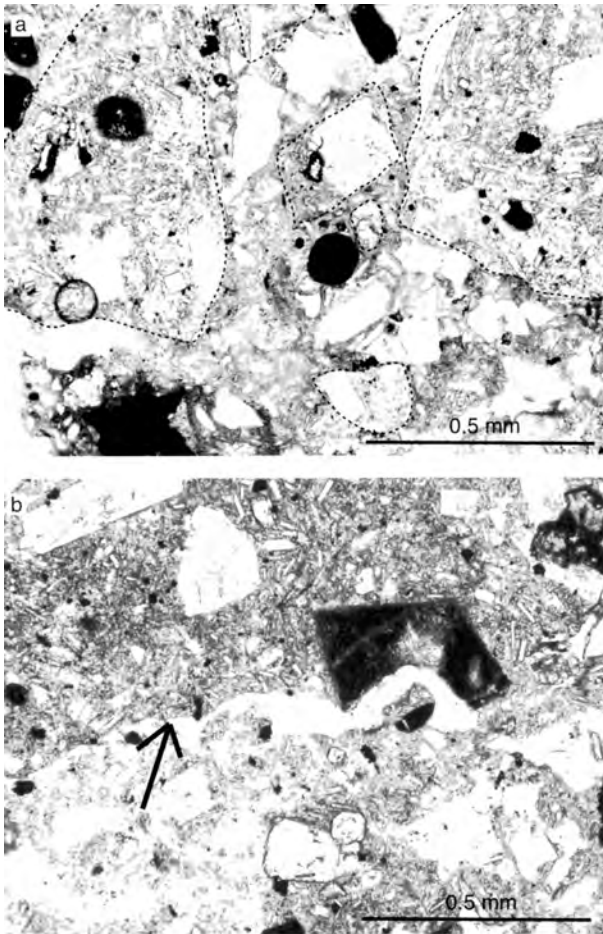
**年代** K-Ar 年代値として、西小深江海岸の破碎された角礫の石基から 0.28 ± 0.14 Ma が得られた (付表 1)。

K-Ar 年代測定試料の岩石記載

試料番号: GSJ R79472 (23KK03)

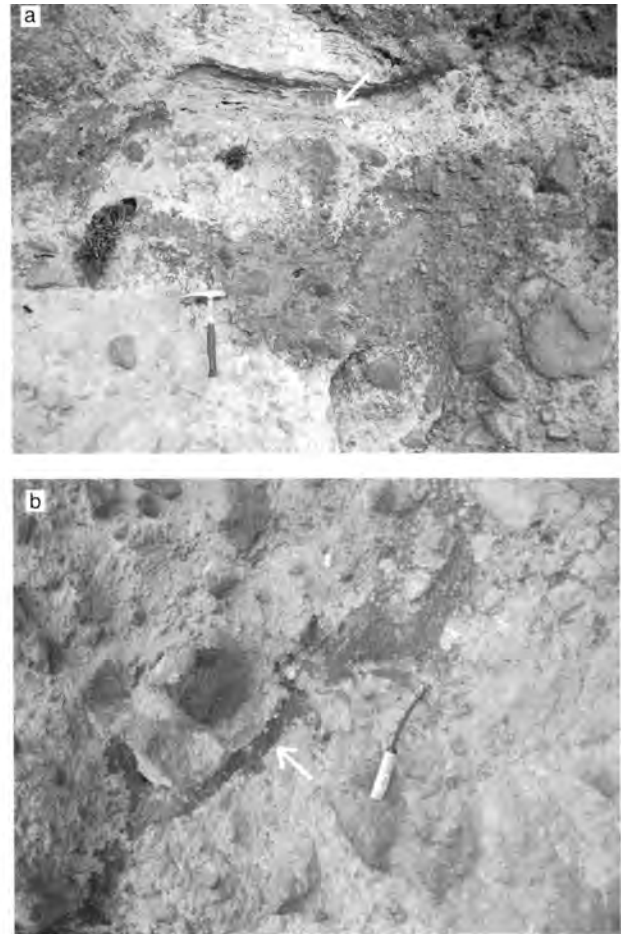
径 50 cm 程の自破碎したデイサイト溶岩で、斑晶とし





第 9.2 図 小深江溶岩の破碎部の顕微鏡写真

日出町西小深江海岸 (GSJ R79479)．単ポーラー．(a) 細粒砂の粒子も多くが角張っている．粒子と基質は同質のハイアロオフィティック組織を示す．点線は粒子と基質の境界を示す．(b) アメーバー状の外形を示す粒子 (矢印)．



第 9.3 図 日比ノ浦岩屑なだれ堆積物の岩相 1

(a) 大小様々なブロックとそれらがほぐれた基質から構成されている．矢印は照川層の海成シルトブロック．ハンマーの長さは約 30 cm．日出町日比ノ浦海岸．(b) 取り込まれた褐色土壌片 (矢印)．鎌の長さは約 25 cm．日出町西小深江海岸

て径 3.5 mm 以下の斜長石 (16%) と径 4 mm 以下の普通角閃石 (6.6%)，径 0.7 mm 以下の斜方輝石 (1.2%) と少量の不透明鉱物を含む．石基はガラス，斜長石，普通角閃石，輝石，不透明鉱物をもち，スフェルライト化している．

#### 9. 1. 4 日比ノ浦岩屑なだれ堆積物 (Hd)

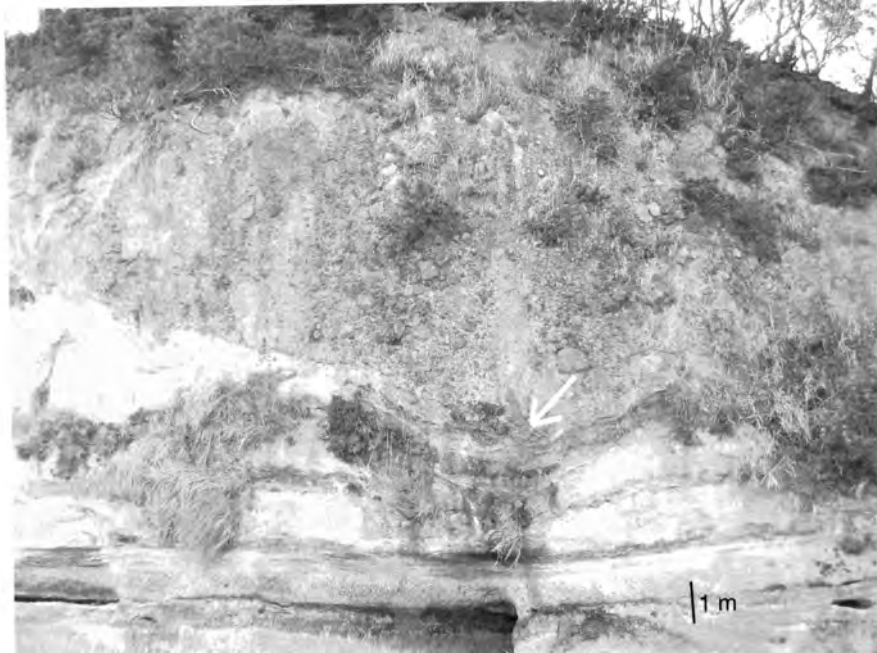
**定義・模式地** 日比ノ浦付近の岩屑なだれ堆積物を日比ノ浦岩屑なだれ堆積物と呼ぶ (新称)．模式地は日出町西小深江から牧ノ内に至る海岸部である．森山 (1965) の成層凝灰岩類と大神火山岩類の一部，日高 (1978) の日出層下部と中部の一部，椎原・長谷 (2002) の深江層の一部に相当する．

**分布・層厚** 日出町日比ノ浦から同町新貝に分布し，分布面積は約 15 km<sup>2</sup> である．層厚は 30 m 以下であり，体積は約 0.2 km<sup>3</sup> と見積もられる．

**層序関係** 日出町西小深江海岸 (地点 42) で小深江溶岩

を直接覆う (第 8. 1 図)．

**岩相** 日比ノ浦岩屑なだれ堆積物は，大小様々なブロックとそれらがほぐれた細粒物から構成され，無層理，無淘汰である (第 9. 3 図 a)．ブロックは多くが斜方輝石普通角閃石安山岩-デイサイトの凝灰角礫岩と火山礫凝灰岩からなり，砂層やシルト層を伴っている．日出町西小深江海岸 (地点 62) などでは，暗灰色，灰色，赤褐色などの多色を示し様々な程度に発泡した径 7 mm 以下の普通角閃石に富む凝灰角礫岩のブロック (径 3 m 以下) や，径 2 m 以下の赤褐色や暗灰色のシルトブロックから構成されている．凝灰角礫岩ブロックは小深江溶岩に類似した熱水変質を受けた角礫からなるものを含む．また引きのばされた褐色土壌片を含むことから (第 9. 3 図 b)，本岩屑なだれ堆積物は陸上を流走したものと考えられる．この付近の基質は粒径が細かく，極細粒-細粒砂サイズの砂を主体とする．日出町新貝 (地点 63) では，日出火砕流堆積物に類似した径 8 m 以上の発泡の悪い単



第9.4図 日比ノ浦岩層なだれ堆積物の岩相2

日出町牧ノ内海岸（地点45）. 径10 m以上の普通角閃石デイサイト岩塊を構成物の主体にする. 矢印で照川層を荷重変形させている.

源の角礫と同質の火山灰からなる火山岩塊火山灰流堆積物のブロックと、照川層に類似した径3 m以上の成層した細粒砂-中粒砂のブロックが認められる。日出町牧ノ内の海岸（地点45）では、径10 m以上の暗灰色を呈する普通角閃石デイサイト凝灰角礫岩のブロックが、下位の照川層を荷重変形させている（第9.4図）。この付近の基質は、径8 cm以下の発泡した淡黄色の軽石と同質の火山灰や、径20 cm以下の暗灰色の礫、砂からなる。軽石は、長径10 mm以下の角閃石と長径5 mm以下の斜長石を持ち、細管状に発泡しており、照川層の降下軽石層（糸ヶ浜軽石層）に含まれる軽石と類似している。

## 9.2 <sup>たかひらやま</sup>高平山火山

高平山火山は、別府地域、由布-鶴見地溝内の高平山(810 m)を中心とする輝石普通角閃石安山岩-デイサイトの火山である（小林, 1984; 星住ほか, 1988; 星住・森下, 1993）。笠間(1953)の高平山火山岩と鹿鳴越火山岩の一部に相当する。高平山火山は、別府地域と豊岡地域で、溶岩と岩屑なだれ堆積物から構成されるが（星住ほか, 1988; 星住・森下, 1993）、本地域には、溶岩とラハール堆積物が分布する。K-Ar年代値として $0.55 \pm 0.04$  Ma（新エネルギー総合開発機構, 1988）が報告されているが、下位の西ノ台流紋岩のK-Ar年代値（ $0.38 \pm 0.04$  Ma; 新エネルギー総合開発機構, 1988）と矛盾しており、高平山火山の形成時期は、30万年前以降と考えられている（星住・森下, 1993）。

### 9.2.1 高平山溶岩

**定義** 星住ほか(1988)命名

**分布・層厚** 本地域では南西部にわずかに露出する。本地域内では厚さ2 m以上で、下限は露出していない。

**層序関係** 別府地域や豊岡地域で鹿鳴越溶岩を覆う（星住ほか, 1988; 星住・森下, 1993）。

**岩相** 本地域の高平山溶岩は、海岸部に断片的に見えているにすぎないが、青灰色の安山岩-デイサイトで、斑晶として径3 mm以下の斜長石と普通角閃石を持ち、少量の斜方輝石と単斜輝石を伴っている。径数cmの苦鉄質包有物を含むことがある。

### 9.2.2 <sup>ようこく</sup>陽谷ラハール堆積物

**定義** 日出市街地がのる台地表層部を構成する土石流堆積物を陽谷ラハール堆積物と呼ぶ（新称）。模式地は、日出市街地南の海岸沿いである。

**分布** JR陽谷駅を中心とした日出町日出とその東方の内野の海岸沿いに分布する。層厚は10 m以下である。

**層序関係** 日出の海岸露頭やボーリング資料によると日出火砕流堆積物を覆っている。

**岩相** 径50 cm以下の安山岩（普通角閃石斑晶目立つものと含まないもの）の淘汰の悪い角-亜円礫層を主体とし、火山灰質のシルトや砂がマトリックスとして埋めている。また成層した薄い砂礫層が挟まることもある。分布の形状から堆積物は西方から供給されたと推定される。

## 第10章 上部更新統-完新統

(水野清秀)

本地域の後期更新世(一部中期更新世)-完新世の堆積物は、阿蘇-4火砕流堆積物、高位・中位・低位の各段丘堆積物、地すべり堆積物、完新統の扇状地・崖錐堆積物、砂州・海浜堆積物、谷底及び後背湿地堆積物からなり、そのほかに埋立地が見られる。

### 10.1 阿蘇-4火砕流堆積物(A<sub>4</sub>, A<sub>4w</sub>)

阿蘇火山の噴出物のうち、4番目の噴火サイクルの大規模な火砕流堆積物が阿蘇-4火砕流堆積物と呼ばれ(小野ほか, 1977)、さらにいくつかのサブユニットに細分されている。このうち、本地域に分布するのは、西隣豊岡地域の分布状況から判断して、阿蘇-4A火砕流堆積物と考えられる(星住・森下, 1993)。この火砕流堆積物は、山香町内河野から倉成にかけての八坂川上流沿い、杵築市街地北の宮司、日出丘陵内の大神から真那井、照川にかけての小河川沿いに小丘状に分布している。層厚は7m以下で、新鮮な露頭では暗灰色を呈し、多くの地点ではさらさらした非溶結のガラス質火山灰を主体としていて、通常径3cm以下(最大10cm)の発泡のよい灰色軽石を含んでいる。また山香町倉成平野では、一部強溶結したところが見られる。大神や照川あたりでは堆積物は風化が進んでいることが多く、黄褐色-肌色を呈した粘土質となり、細かな普通角閃石や斜方輝石の斑晶が点在する。杵築市狩宿の国道に面した露頭では、段丘堆積物と考えられる地層の上に厚さ80cmの阿蘇-4火砕流堆積物と同質の火山灰主体層が重なっていて、最下部には径2cm以下の岩片や軽石が点在していた。この部分は火砕流堆積物の末端部と考えられる。

### 10.2 段丘堆積物

段丘堆積物は、高平山火山噴出物よりも新しいと考えられる河成-海成段丘を構成する堆積物である。段丘面の比高や開析の程度、堆積物の新鮮度などから、古いほうから高位、中位、低位の各段丘堆積物に3区分した。本地域では、千田(1983)や九州活構造研究会編(1989)、小池・町田編(2001)に詳細な段丘面区分や堆積物の記載がある。それらの区分では、中位段丘面が2分されていて、大分空港周辺の東海岸では概ねその下位の面(M<sub>2</sub>)の構成層が本研究での中位段丘堆積物に相当している。また九州活構造研究会編(1989)や小池・町田編(2001)では、日出丘陵や杵築丘陵にも最終間氷期に形成

された中位段丘面が広く分布し、さらに高位段丘面も分布するように書かれているが、実際には日出火山噴出物や大分層群照川層、杵築岩屑なだれ堆積物など少なくとも20万年前よりも古いさまざまな堆積面に相当している。

#### 高位段丘堆積物(th)

高位段丘堆積物は、杵築市街地の台地上部に分布するほか、日出町内野、武蔵町大上などに小規模に分布する。杵築市街地では、杵築岩屑なだれ堆積物を覆って厚さ4m以上の中-大礫サイズの垂円-円礫層が分布し、一部ではさらにその上位に厚さ3m以上の砂質シルト-シルト層が重なっている。この地層は高位段丘堆積物と判断したが、大分層群の照川層に相当する可能性もある。日出町内野では、日出火砕流堆積物からなる台地上に、厚さ5m以上の中-大礫サイズの垂円礫からなる河川成の高位段丘堆積物が見られる。

#### 中位段丘堆積物(tm)

中位段丘堆積物は、大分空港周辺の伊予灘に面した海岸沿いに広く分布するほか、八坂川の流域、杵築市街地北の高山川あるいは船部川沿い、桂川上流域などに点在する。大分空港西側の大海田には、基盤の花崗岩類を覆って薄い淘汰の悪いシルト層がのり、その上位に海成層と考えられる厚さ1m程度の暗灰色のシルト層、厚さ1m程度の砂質シルト層が重なり、最上部には厚さ1m程度の河川成の砂礫層が覆っている。安岐町馬場中村付近でも厚さ3m以上の扇状地成の礫層の下位に2m以上の海成の可能性のあるシルト-砂質シルト層が見られる(第10.1図)。また当時の海浜堆積物と思われる淘汰のよい砂層がその北東域に分布している。武蔵町糸原や安岐町塩屋付近の段丘面を構成する地層は、中-巨礫サイズ(最大径60cm)の河川成の垂円-円礫層で5~7m程度の厚さを有する。それ以外の地域の中位段丘堆積物も河川-扇状地成の礫層を主体とした地層である。

#### 低位段丘堆積物(tl)

低位段丘堆積物は、現河川に沿って小規模に分布するところが多く、安岐川及びその支流、桂川、八坂川、高山川及び溝井川沿いなどに点在し、また日出町豊岡では山麓扇状地状に広がっている。段丘面は現河床とは1mから数mの比高をなし、段丘化した小規模な支流からの扇状地が多い。堆積物は、比較的新鮮で固結度の低い砂礫層が多く、厚さは10m以内である。豊岡の低位



第 10.1 図 中位段丘を構成する海成シルト層とそれを覆う扇状地成礫層  
安岐町馬場。人物の位置がシルト層。

段丘堆積物は、礫径 1 m 以内の安山岩の角-亜角礫からなる礫層が主体であり、礫層を覆う黒色土壌中には厚さ 25 cm 程度の鬼界アカホヤ火山灰（町田・新井，1992）が挟まれている。

### 10.3 地すべり堆積物 (ls)

地すべり堆積物は、空中写真の判読と現地調査により判断した。比較的規模の大きなものが、大田村波多方に見られ、それ以外には山香町下、杵築市船部、安岐町山浦、大田村東俣水などに分布している。大田村波多方の地すべりは大きなものが 2 つあり、どちらも明瞭な滑落崖を伴い、その下に凹地が形成されている。地すべり移動体の大きさは平山地区で幅 600 m、長さ 1,100 m 程度、中畑地区で 600 m 四方程度である。構成物は、宇佐火山岩類の安山岩類の巨礫とその粉碎された細粒部及び土壌が混在したものからなる。また部分的には安山岩体の構造を残したまま、多数のオープンクラックが入ったブロックがみられるところもある。この南の山香町越井では、地すべり堆積物には安山岩ブロックのほかに多数の割れ目が入った片麻岩のブロックがあり、地下水がしみだしているところが見られた。安岐町山浦密乗院の地すべりでは、堆積物は安山岩の中-巨礫サイズの亜角-亜円礫から構成されていた。これらの地すべり地の多くは、泥質片麻岩の上に宇佐火山岩類の角礫凝灰岩がのっているところであり、両地質境界にたまった地下水の影響で、風化しやすい宇佐火山岩類のブロックが崩れたものと考えられる。

大分県（1967）によると、昭和 30 年代から 40 年代初めにかけて地すべり被害のあったところは、「波多方」地すべり地のほか、大田村「石丸」、杵築市「守江」及び

「迫」地すべり地が挙げられていて、被害面積は 7～14 ha に及んでいる。

### 10.4 扇状地・崖錐堆積物、砂州・海浜堆積物、谷底及び後背湿地堆積物

広義の沖積層を構成する地層を、空中写真判読などを基に、扇状地・崖錐堆積物、砂州・海浜堆積物、谷底及び後背湿地堆積物に区分した。

#### 扇状地・崖錐堆積物 (f)

本堆積物は主に山麓部の比較的傾斜のある谷や、岩層が生産されやすい岩体の周りに形成されることが多い。鹿鳴越断層沿いやその北側の日出町覚雲寺付近の古い崩壊地を刻む谷、田原山地東部の安岐川支流の上流部、大分空港西方の武蔵町小城山の山麓部などに小規模に分布していて、主として淘汰の悪い礫層から構成されている。

#### 砂州・海浜堆積物 (s)

本堆積物は、別府湾や伊予灘に面した沿岸部に見られる。武蔵川、安岐川の河口部、杵築市奈多から狩宿にかけての海岸に典型的に発達していて、そのほかにも糸ヶ浜海岸などに小規模に見られる。海岸から幅 200 m 以内の範囲で、砂浜海岸とその内側に小高い浜堤がみられ、砂層によって構成されている。八坂川河口部の片野や日出町真那井では、海岸線よりもやや内側に周囲よりやや高い高まりがあり、その上に集落が発達しているが、これらの高まりも主に砂層で構成されていると思われる。杵築市守江の南には、狩宿から西に砂嘴が延びており、長さは 1.5 km に達している。

#### 谷底及び後背湿地堆積物 (a)

現河川に沿って分布する低地を構成する堆積物であり、固結度の低い礫層、砂層及びシルト層などから構成される。武蔵川、安岐川の河口部や日出市街地東方の金井田川河口部、JR 豊後豊岡駅西の三川河口部などでは、主に砂質シルト層や砂層が堆積していて、貝化石を含んでいるところもみられる。

### 10.5 埋立地 (r)

本地域内の主な埋立地は、安岐町東海岸の大分空港滑走路、八坂川河口部を中心とした杵築市街地のまわり、真那井海岸部、日出市街地東部の金井田川河口部などに広がっている。八坂川や高山川の河口部にあたる、杵築市街地の南側、北側及び東側の低地は、干潟の広がる海であったが、少なくとも江戸時代の初め頃から埋め立てが開始され、水田開発が行われた。またその後塩田の開発も行われたが、現在では塩田の姿はなく、完全に埋立地に変わっている（杵築市，1968）。

## 第 11 章 活構造・重力

(水野清秀・石塚吉浩)

### 11.1 陸域の活断層

別府湾を中心として、その北縁及び南縁を含む地域は、別府-万年山断層帯(松田, 1990)と呼ばれる活断層帯の一部に位置づけられている。さらに別府湾内に存在する活断層群は別府湾断層帯、日出丘陵を含む別府湾北縁部に存在する活断層群は別府地溝北縁断層帯、別府市街地南部から大分市にかけて存在する活断層群は別府地溝南縁断層帯と呼ばれている(大分県, 2001b; 第 11.1 図)。陸域の断層は、池田(1979)、千田(1979, 1998)、活断層研究会編(1980, 1991)、九州活構造研究会編(1989)、千田・加藤(1994)、大分県(1999, 2000)などによって記載されている。豊後杵築地域内の陸域に分布する、すなわち別府地溝北縁断層帯に属する主な活断層には、北から大重見断層、大重見南断層、唐木山断層、相原断層、鹿鳴越断層、平原断層、軒ノ井断層がある。なお、九州活構造研究会編(1989)は、日出町新貝付近で E-W 方向に延びる新貝断層を確実度 II の活断層として引いているが、明瞭なりニアメントとしては認定できなかった。これらの断層の後期更新世以降の活動については、ほとんどわかっておらず、鹿鳴越火山や日出火山噴出物を基準にした長期間における平均変位速度をみると、B 級から C 級となる。別府湾内の活断層に比べると活動度は低い。

#### 大重見断層(千田, 1979)

本断層は、鹿鳴越火山体北斜面の山香町広瀬舟ヶ尾から野原津山の北にかけて WNW-ESE 方向に約 3 km 程度続く。大分県(1999)は、本断層が西隣豊岡地域内にさらに 2 km 延びるとしている。北側が相対的に隆起し、山麓斜面に比高 10~20 m 程度の逆向き低断層崖が形成されている(第 11.2 図)。大分県(1999)は、豊岡地域内で、津山山麓扇状地堆積物を上下方向に 12 m 以上変位させている断層露頭を確認している。

#### 大重見南断層(九州活構造研究会編, 1989)

本断層は大重見断層の南 0.5~1 km の位置にあり、E-W 方向に約 2 km 続く。北側が隆起した逆向き低断層崖を形成していて、その比高はおよそ 5 m であるが、変位地形の明瞭さに欠ける。九州活構造研究会編(1989)は、確実度 III としている。大分県(1999)は、津山山麓扇状地堆積物とその上位の赤色シルトを変位させる断層露頭を記載しており、その上位の黒ボク土は変位を受け

ていない。

#### 唐木山北断層(九州活構造研究会編, 1989)

本断層は、大重見南断層の 0.6 km ほど南に位置し、津山付近を E-W 方向に 0.7 km ほど連続する。西隣豊岡地域にさらに 3 km ほど連続する。北側が 10 m 程度隆起した逆向き低断層崖を形成している。豊岡地域内で鹿鳴越溶岩と火砕流堆積物が接する断層露頭が報告されていて(大分県, 1999)、そこではさらに両者を覆う礫混じり赤色シルト層の落ち込みが見られる。

#### 唐木山断層(千田, 1979)

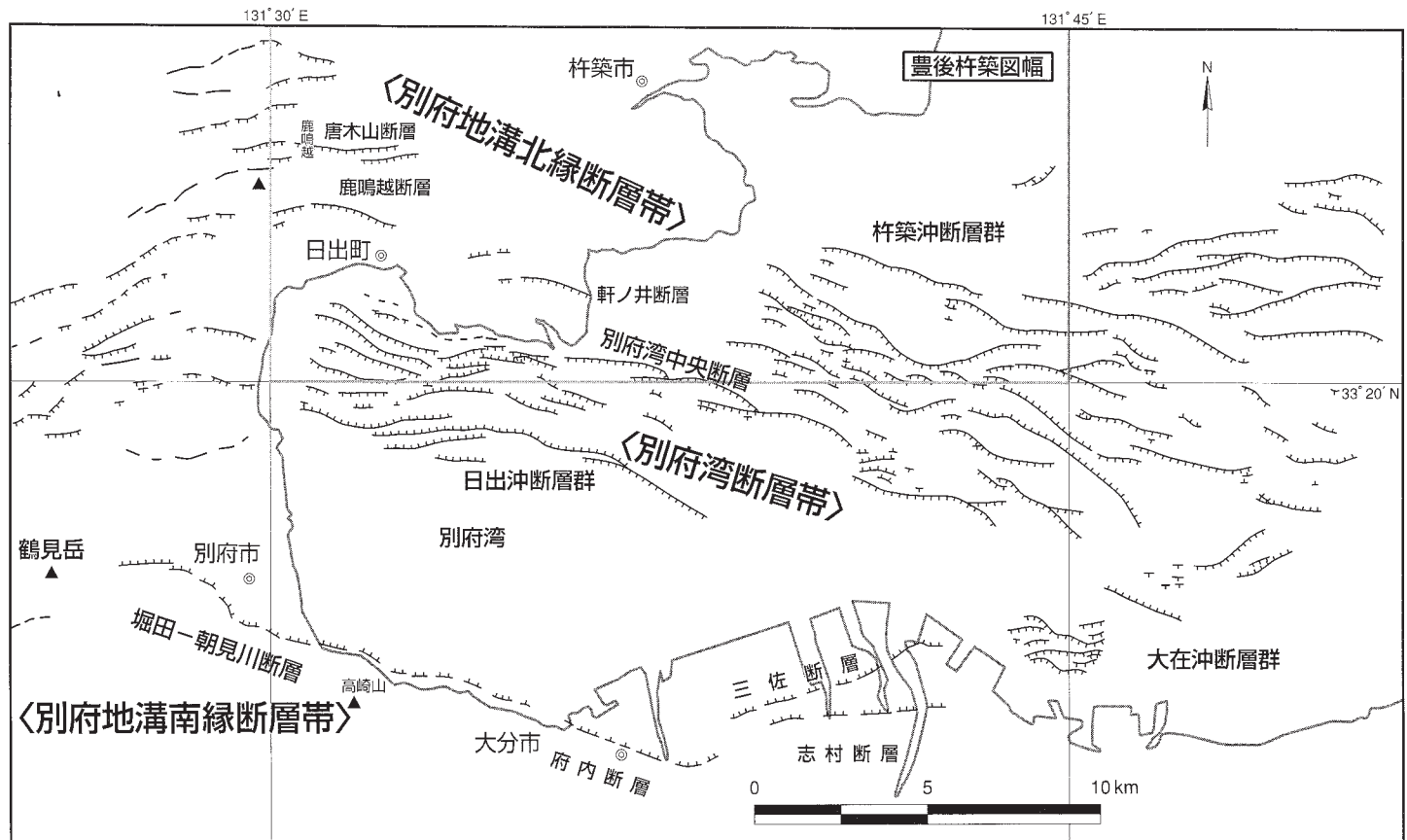
本断層は、鹿鳴越火山山頂に近い西隣豊岡地域の鳥屋岳東から唐木山南の鞍部、豊後杵築地域内の富水池北岸を通り、日出町南河原に至る E-W 方向約 5 km にわたって連続する。北側が隆起した逆向き低断層崖を形成していて、比高は最大 50 m に達する。千田(1979)は、本断層による谷の屈曲量を右ずれ最大 270 m と見積もっている。豊岡地域内での本断層のトレンチ調査結果では、鬼界アカホヤ火山灰(町田・新井, 1992)を切る小断層が確認されたが、断層本体の活動ではなく、唐木山断層の最新活動時期は 3,500 yBP 以前で、6 万年より前に遡る可能性が指摘されている(大分県, 2000)。

#### 唐木山南断層(活断層研究会編, 1980)

本断層は、豊後杵築地域西端部で唐木山断層の 300 m ほど南に位置し、同断層と平行におよそ 1 km にわたって連続する。北側が隆起した逆向き低断層崖を形成していて、その比高は 10 m 程度である。

#### 相原断層(九州活構造研究会編, 1989)

本断層は、唐木山南断層の東への延長上にあり、日出町南河原から赤松峠の南へ、少なくとも 3 km にわたって鹿鳴越溶岩からなる山地内を E-W 方向に連続する。さらに東へ相原までおよそ 2 km にわたり相原山麓扇状地堆積物の作る面上にリニアメントが続くが、この区間は変位地形が明瞭ではないため図示していない。北側が隆起した逆向き低断層崖を形成していて、比高は 20 m 程度である。九州活構造研究会編(1989)は確実度 III としている。大分県(1999)は、相原で新しい扇状地面が北へ逆傾斜しているとして、かなり新しい時代に活動した可能性を指摘している。



第 11.1 図 別府湾周辺における活断層の分布

陸域は、主として九州活構造研究会（1989）、大分県（2001b, 2002）に、海域は島崎ほか（2000）、大分県（2001a, 2001b）に基づき、一部修正。



第 11.2 図 大重見断層の逆向き低断層崖  
山香町広瀬舟ヶ尾西方。北方を望む。

#### 鹿鳴越断層 (千田, 1979)

本断層は、鹿鳴越火山の南部に位置し、城山の南で WNW-ESE 方向に約 2.5 km 連続する。その東への連続性は明瞭ではない。また西へはわずかに南へステップし、長さ 0.8 km 程度の山田断層 (九州活構造研究会編, 1989) につながる。鹿鳴越断層は最大比高約 200 m の北側隆起の断層崖を形成している。また城山の真南では低位段丘堆積物の作る面に比高約 2 m の段差が生じていて、断層運動によって生じた低崖である可能性があるが人工改変によるものかもしれない。

#### 平原断層 (大分県, 1999)

本断層は、日出町平原北から三尺山の北に E-W 方向に続く直線状の谷中に推定される断層であり、長さは 1.5 km 程度である。日出火砕流堆積物からなる台地上面の高度が谷を挟んで南側が最大 20 m 程度高くなっていて、この間に南側隆起の断層が推定される。この谷地形の西側延長部で、大分県 (1999) は、大分層群とそれを覆う粘土層-礫混じり砂・シルト層を 4.5 m 上下方向に変位させている断層露頭を報告している。またここでは低位段丘面に 2.1 m の高度差があり、変位の累積が見られるとしている。

#### 軒ノ井断層 (九州活構造研究会編, 1989)

本断層は、日出丘陵東部の三尺山南から軒ノ井を経て糸ヶ浜海岸南部まで約 2.5 km にわたって E-W ないし WNW-ESE 方向に連続する。台地上に比高 5 ~ 10 m 程度の北側隆起の低断層崖がみられるが、西方で不明瞭になる。糸ヶ浜海岸では、由布川火砕流堆積物と照川層が接する断層露頭が見られる。海岸では断層よりも北側に分布する日出火砕流堆積物が南側に露出しないことから、その累積変位量は 30 m 以上に及ぶと考えられる。さらに日比ノ浦岩屑なだれ堆積物の分布が、軒ノ井断層を越えて北まで広がっているところがみられないことから、日比ノ浦岩屑なだれ堆積物が流下した当时には、既

にある程度の比高を持つ断層崖が存在していたと推定される。軒ノ井での低断層崖基部のトレンチ調査では、大分層群及び古い崖錐性の堆積物を切る正断層が確認されたが、断層活動時期を特定するには至っていない (大分県, 2000)。

## 11.2 海域の活断層

別府湾海底には多数の活断層があり、森山・日高 (1981) が、音波探査によって断層を確認して以来、多くの調査が行われてきた。最新の断層分布は島崎ほか (2000) 及び大分県 (2001a, 2001b) に示されている (第 11.1 図)。これらの活断層の認定は、海底音波探査による明瞭な反射面の変位に基づいている。これらの変位した反射面は海底堆積物の採取から完新統と推定されており、また下位の反射面ほど断層による累積変位が大きく、断層運動の反復性がみられることから、これらの断層が活断層であることはほぼ確実である。断層は別府湾の北半分に集中して分布しており、大きく日出沖断層群、別府湾中央断層、杵築沖断層群に分けられる。これ以外にも大分市東方沖に大在沖断層群がある。これらの断層は長さ 1 km 程度から 5 km 程度までの正断層が平行あるいは雁行状になって断層群を形成している (島崎ほか, 2000)。音波探査による海底地下断面と断層の両サイドでのボーリングあるいはピストンコアリングによる地層採取および採取されたテフラの分析や試料の年代測定結果から、同じ反射面あるいは同時間面を認定し、断層を挟んでその深度の違いや断層活動に対応したプリズム状の堆積物の層位から、断層変位量や断層活動時期などが求められている (島崎ほか, 1986; 岡村ほか, 1992; 中田・島崎, 1993; 大分県, 2000, 2001 a, 2002 など)。その結果、A 級の活動度を持つ断層がいくつか存在し、それ以外でもほとんどが B 級の活動度を持つことが示されている (大分県, 2001b)。また主要な断層はその最新活動時期が西暦 1596 年の慶長豊後地震に対応している可能性が高いことがわかってきた (大分県, 2001 a, 2002)。以下ではこれらの調査結果にしたがってまとめる。

#### 日出沖断層群 (島崎ほか, 2000)

日出沖断層群に属する断層は、北から島ノ山沖断層、小深江沖断層、豊岡沖断層、沖ノ瀬断層、三名沖西断層、三名沖東断層、亀川沖西断層、亀川沖東断層、上人ヶ鼻断層などの WNW-ESE あるいは E-W 方向の断層群からなり (岡村ほか, 1992; 中田・島崎, 1993)、前 5 断層が北側隆起、後 4 断層が南側隆起のセンスを持つ正断層で (第 11.3 図)、幅約 4 km、長さ 12 km 程度の全体として 1 つの地溝帯を形成している (大分県, 2001 b)。豊後杵築地域の範囲には三名沖西断層の北西部から

北の断層が含まれる。

豊岡沖断層は上下方向の平均変位速度が 0.4 ~ 0.5 m/ky, 断層活動時期は 500 ~ 1,300 yBP (暦年較正未補正值, 以下同様) と 2,000 ~ 2,900 yBP, で, 活動間隔は 700 ~ 2400 年程度となる。またそれ以前の活動時期として, 3,400 ~ 4,200 yBP, 5,400 ~ 6,300 yBP が推定されている。1 回の変位量は 1 ~ 1.5 m 程度, 鬼界アカホヤ火山灰層 (町田・新井, 1992) の累積変位量は約 3 m と見積もられている。また亀川沖西断層は上下方向の平均変位速度が 0.3 ~ 0.4 m/ky, 断層活動時期は, 500 ~ 700 yBP, 2,000 ~ 2,500 yBP で, 活動間隔は 1300 ~ 2000 年程度である。またそれ以前の活動時期として, 4,000 ~ 4,300 yBP, 4,900 ~ 5,000 yBP, 5,800 ~ 6,100 yBP が推定されている。鬼界アカホヤ火山灰層の累積変位量は約 4 m である。豊岡沖断層, 亀川沖西断層とも最新活動時期は西暦 1596 年の慶長豊後地震に対応していると考えられている (以上, 岡村ほか, 1992; 中田・島崎, 1993; 島崎ほか, 2000; 大分県, 2000, 2001 a, 2002)。

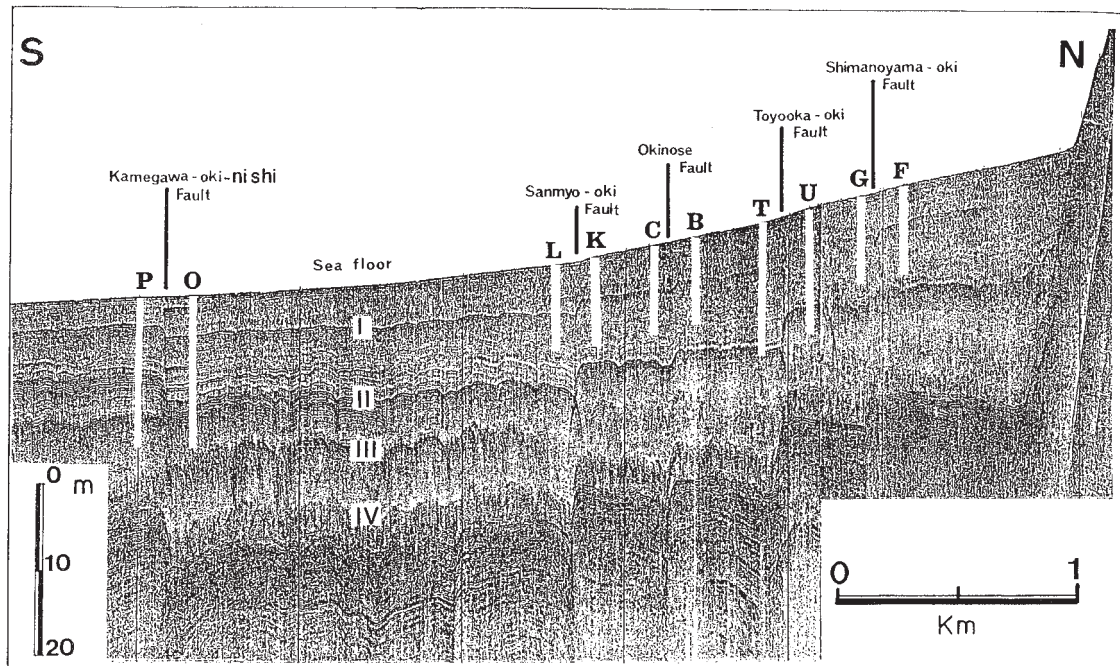
#### 別府湾中央断層 (島崎ほか, 2000)

別府湾中央断層は, 日出丘陵の大崎鼻沖から ESE 方向に少なくとも 13 km にわたって連続し, 4 本以上の断層が雁行配列した北側隆起の断層帯である。東端はどこまで延びるのか不確定である。配列の形態から左横ずれ成分を伴う正断層と推定されている。豊後杵築地域の範囲ではそのうちの西部 4 km 程度の部分が含まれる。本断層による鬼界アカホヤ火山灰層の累積変位量は最大

20 m 以上に達していて, 平均変位速度は最大 3 m/ky 程度に達し, A 級の活動度である。断層活動時期は, 断層の中央部で 500 ~ 900 yBP と 2,100 ~ 2,500 yBP が, また断層東部では, 500 ~ 900 yBP, 2,500 ~ 3,500 yBP が求められていて, 最新活動時期は西暦 1596 年慶長豊後地震に対応すると考えられている。1 回の変位量は東部で 2.0 ~ 3.5 m と推定される (以上, 島崎ほか, 2000; 大分県, 2001 a)。

#### 杵築沖断層群 (島崎ほか, 2000)

杵築沖断層群は, 杵築市熊野加貫鼻の東南東沖から SE 方向ないしは E 方向に延びる長さ 8 km 以下の多数の断層からなり, 全体的には北側隆起のセンスを示すものが多いが, 南側隆起のものもある。幅約 10 km, 長さ 19 km 以上の非常に大きな断層帯を形成している (島崎ほか, 2000)。豊後杵築地域の範囲では, このうちの北西部 4 分の 1 程度が含まれることになる。本断層帯北部の調査結果からは, 鬼界アカホヤ火山灰層の累積変位量は約 11 m で, A 級の活動度を示す。断層活動時期は, 500 ~ 1,300 yBP, 2,100 ~ 2,500 yBP と推定され, 平均活動間隔は 800 ~ 2000 年程度となる。本断層帯南部の調査結果からは, 鬼界アカホヤ火山灰層の累積変位量は約 9 m で, やはり A 級の活動度となる。断層活動時期は 600 ~ 1,100 yBP と 2,000 ~ 3,400 yBP と推定され, 平均的な活動間隔は, 900 ~ 2800 年程度となる。どちらの断層も最新活動は 1596 年の慶長豊後地震に対応すると考えられている (大分県, 2002)。



第 11.3 図 日出沖断層群にはほぼ直交する南北方向の音波探査記録の例  
岡村ほか (1992) による。断層を挟む白いバーは, コアリングサイトとコアの長さを示す。



### 11.3 地震活動

本地域に被害をもたらした主な地震には、1596年慶長豊後地震、1707年宝永地震、1854年安政南海地震、1946年昭和南海地震などがある。

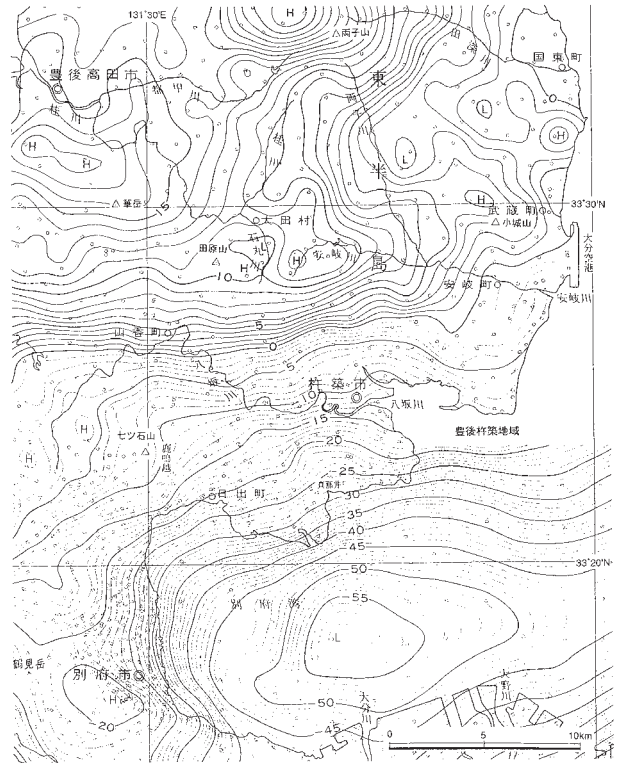
1596年9月1日（慶長元年閏7月9日）に、別府湾海底を震源とし、マグニチュード7.0程度の大地震が発生した。高崎山、日出などでは崖崩れが生じ、民家が埋没している。また大津波が押し寄せて別府湾沿岸は著しい被害を受けた。この津波で杵築市の奈多八幡社が流失し、市杵島もかなり形が変わった。さらに杵築市高須御堂の東一帯にあった松林が海中に没し、守江の砂嘴の先端部が数百m流出した（杵築市、1968）。このとき府内（現大分市）沖の別府湾内にあった「瓜生島」が水没したと伝えられているが、実際には府内から約4km離れてあった「沖ノ浜」が海没したのではないかと推定されている（宇佐美、2003）。活断層の調査結果からは、別府湾海底に存在する日出沖断層群、別府湾中央断層、杵築沖断層群などが活動して、この地震を起こした可能性が高いと考えられている（大分県、2001a, 2001b, 2002）。

1707年10月28日（宝永4年10月4日）に南海トラフ沿いで発生した宝永地震（マグニチュード8.6）では、杵築で屋敷や城などに破損が生じ、また別府湾沿岸に津波が押し寄せ、家屋の流出などが生じている。1854年12月24日（安政元年11月5日）の安政南海地震（マグニチュード8.4）の時には、杵築で多数の家屋が倒壊し、また崖崩れが多数生じた。1946年12月21日の昭和南海地震（マグニチュード8.0）の時には、別府湾沿岸に津波が押し寄せ、被害が出ている。（以上、宇佐美、2003）

### 11.4 重力

本地域は、中部九州の火山岩地域に沿って別府湾から長崎県にまで延びるグラベン構造に対応した低重力域（久保寺ほか、1976；駒澤・鎌田、1985；広島ほか、2002など）の北東端にあたる。地質図上の等重力線は、駒澤正夫氏による1mgalコンターのブーゲー異常であり、第11.4図は大分地域重力図を編集した広島ほか（2001）によるブーゲー異常図を示す。

本地域の重力異常は、北で高く、単調に南へ低くなる傾向を示す。細かく見るといくつかの構造が認められる。本地域北部の大田村天堤付近の高重力異常部（12mgal）は、基盤岩（領家変成岩類）の高まり（標高330m）を反映している。また北東部の小城山から大分空港



第11.4図 豊後杵築地域及び周辺地域のブーゲー異常  
広島ほか（2001）による。仮定密度  $2.3 \text{ g/cm}^3$ 。  
コンター間隔 1 mgal. Hは高重力異常, Lは低  
重力異常を示す。

では、緩傾斜で単調に低重力（約5mgal）になるが、これは基盤岩類（行者岬深成複合岩体）の分布高度（標高200mから海面）と相関している。しかし、山香町倉成付近の基盤岩類（領家変成岩類と牛屋敷深成複合岩体）の高まりは重力異常には見えていない。

重力異常が急傾斜を示すのは、南部の海岸線付近と中央部にみられ、階段状の落ち込みが推定される。中央部では、山香町金山から杵築市筒木にかけての東西方向に急傾斜が認められる。南部の海岸線付近は特に傾斜が急で、北東-南西方向に急傾斜を持って、別府湾の低重力域へ落ち込んでいる。

基盤岩類の着岩深度が示されたボーリングデータは、八坂川河口域や山香町瀬口で海面程度の深度に基盤岩類があり（松本・成重、1985）、それより南の日出町真那井で深度600mに基盤岩類があることを示している（北岡ほか、1990）。すなわち、八坂川河口域や山香町瀬口から日出町真那井の間で、600mの基盤岩類の落ち込みが推定される。これは、ブーゲー異常で、約20mgalの落ち込みとして表されている。

## 第12章 応用地質

(石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久)

### 12.1 金鉱床

大分県国東半島から福岡県星野村にかけては金鉱床地帯として知られ、本地域西部にも浅熱水性鉱脈型金鉱床が多数分布している。本地域内では山香町下から倉成にかけて新馬<sup>ぼじょう</sup>上(国徳)鉱山、狐平<sup>きつねびら</sup>鉱山、及び高平鉱山が明治末から昭和30年代初頭まで稼行していた。金鉱床は西に隣接する豊岡地域内では、白亜紀牛屋敷深成複合岩体と中新世-鮮新世宇佐火山岩類の境界部から深成複合岩体側に胚胎しているが、本地域内の金鉱床は全て白亜紀牛屋敷深成複合岩体から領家変成岩類内に胚胎している。これは、上位の宇佐火山岩類との境界部分が削剥されてしまったためと考えられる。鉱脈は東-西ないし北西-南東方向で北に50-60度傾斜する石英脈で、西隣の豊岡地域から本地域北西部に達する。石英脈は金、銀、アンチモン、砒素、水銀及びこれらの硫化物のほか、黄銅鉱、黄鉄鉱、粘土鉱物などを含む(星住・森下, 1993)。大分県国東地域-福岡県星野地域の金鉱床は、新鮮な母岩の黒雲母、角閃石K-Ar年代と金鉱床変質岩のK-Ar年代測定値から、母岩の宇佐火山岩類の噴出年代(後期中新世-鮮新世初)より遅れて、中新世末から鮮新世の中頃(5.4~2.5 Ma)に形成されたと考えられている(沢井ほか, 2001, 2002)。

### 12.2 地下水

本地域では、鹿鳴越火山体と両子火山体が地下水の主要な涵養域となっており、山麓部などで湧水として流出している。特に鹿鳴越火山南麓部は湧水量が多く、日出町山田や仁王などには湧出量が毎秒5リットル以上に及ぶ湧水地点が併せて4つもあり、飲料水、生活用水、農業用水などに利用されている(第12.1図)。鹿鳴越火山北麓部にも、いくつかの湧水地点があるが、湧出量は南部に比べて少ない。水質は典型的なCa-HCO<sub>3</sub>型であり、電気伝導度は90~130 μS/cmを示す(河野ほか, 1996; 河野, 2002)。日出市街地南の別府湾岸海底には、真水の湧水地点があり、この湧水が地元の名産である城下<sup>しろした</sup>カレイ(マコガレイ)の味を引き立てているといわれている。西小深江西方の海岸でも、日比ノ浦岩屑なだれ堆積物中から少量ではあるが湧水がみられる。海底湧水地点は周囲に比べて海水の温度が高いため、そのことを利用し湯藤ほか(1992)は人工衛星データから海面温度の高い地域を求め、湧水地点を検討した。その結果、日出市街地

南海岸付近のほかに、杵築市熊野の権現鼻南方海岸に海水の温度が高いとみられる領域を見出し、地下水が湧出している可能性があるとしている。両子火山群南麓部には、いくつかの湧水地点があるが、湧出量が毎秒1リットルを超える地点はほとんどない。水質は多くがCa-HCO<sub>3</sub>型で鹿鳴越火山周辺と同様であるが、電気伝導度は90~300 μS/cm程度と幅を持っている(河野ほか, 1996; 河野, 2003)。周辺の河川水の水質にも類似した傾向がみられる(志賀ほか, 1983)。

### 12.3 温泉・鉱泉

本地域内の温泉は、2004年3月時点で15ヶ所が稼働しており、多くは深度600~800mから汲み上げられたものである(第12.1表)。北岡ほか(1990)によれば、本地域内の温泉孔は日出町で6孔、杵築市で38孔、山香町で2孔、大田村で1孔あるとされる。しかし北岡ほか(1990)が示した温泉孔はすべての位置を正確に確認できなかったため、第12.1表には、大分県保健環境部環境保全課(1976~2003)、由佐(1978)、山下(1982)などに記載された源泉所在地を示した。地質図にはこのうち稼働中の温泉のみを記入した。本地域内の温泉の泉質は大部分がアルカリ性単純温泉-単純温泉で、ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉を伴う。pHは6.7~9.5、温度は26.3~48.3℃である。

国東半島の温泉徴候を初めて報告した山下・矢野



第12.1図 日出町和泉の湧水地とそこに祭られた水神

第 12.1 表 豊後杵築地域における温泉及び鉱泉一覧

地点	源泉名	源泉所在地	温度	湧出量 (l/分)	掘削(m)	PH	泉質	分析年	文献	稼働状況
1	別府湾ロイヤルホテル	日出町平道1874-1	26.3	171	動力	1000	7.45	②	1990 大分保健 (1991)	稼働
2	日出温泉プール	日出町大神4668	31.5	-	自噴	300	8.20	④	1999 大分保健 (2000)	稼働
3	-	日出町大神6058付近	47.9	80	動力	700	7.52	-	1989-1990 北岡ほか (1990)	非稼働
4	大分厚生年金休暇センター (日出温泉)	日出町大神7638	42.6	136	動力	700	7.83	①	2000 大分保健 (2001)	稼働
5	真那井の湯	日出町真那井1871	45.0	37	動力	700	7.36	-	1990 北岡ほか (1990)	稼働
6	赤松温泉	日出町藤原6371	48.3	84.5	動力	800	9.16	③	1993 大分保健 (1994)	稼働
7	別府湾杵築リゾート	杵築市熊野859-3	31.8	-	動力	700	6.33	①	1995 大分保健 (1996)	稼働
8	杵築自動車学校 (杵築温泉)	杵築市猪尾12-4	45.0	64	動力	300	7.90	④	1988 大分保健 (1989)	非稼働
9	個人宅	杵築市猪尾63-11	41.9	26	動力	-	8.67	④	1979 大分保健 (1980)	-
10	個人宅	杵築市猪尾671-3	39.8	-	動力	200	7.40	④	1999 大分保健 (2000)	-
11	三川苑	杵築市猪尾745-1	34.9	42.3	動力	170	7.48	④	1990 大分保健 (1991)	稼働
12	杵築市健康福祉センター	杵築市猪尾941	39.3	261	動力	600	7.62	④	1990 大分保健 (1991)	稼働
13	個人宅	杵築市片野371-1	40	-	自噴	-	6.95	④	1975 大分保健 (1976)	-
14	個人宅	杵築市片野763	36.4	-	動力	-	7.48	④	1978 大分保健 (1979)	-
15	-	杵築市南杵築609付近	28	63	自噴	200	-	-	1977 由佐 (1978)	非稼働
16	ロフティ杵築	杵築市杵築665-658	42.6	217	自噴	600	9.53	③	2000 大分保健 (2001)	稼働
17	ビジネスホテル「いな里」	杵築市杵築693-4	40.9	-	動力	475	8.58	③	2001 大分保健 (2002)	稼働
18	北浜温泉	杵築市杵築751-8	43.3	106	動力	480	7.83	④	1998 大分保健 (1999)	稼働
19	住吉浜リゾートパーク	杵築市守江1168-5	27.6	-	動力	640	8.99	③	1997 大分保健 (1998)	稼働
20	初音の里	杵築市溝井1620	30	-	動力	700	-	④	2002 なし	稼働
21	高取温泉	山香町倉成306付近	33.5	-	自噴	-	6.7	①	1978 山下 (1982)	非稼働
22	神塩温泉	山香町野原2021	31.8	35	自噴	-	7.30	②	1980 山下 (1982)	稼働
23	山香温泉風の郷	山香町倉成2874-1	36.8	-	自噴	1500	7.1	①	2002 大分保健 (2003)	稼働
24	大田村温泉利用施設	大田村杵掛2430	32.9	-	自噴	700	8.02	④	1999 大分保健 (2000)	非稼働
25	今畑鉱泉	山香町小武1766付近	18.1	-	自噴	-	6.4	-	1978 山下 (1982)	-

注1) -は記載なし。注2) 泉質の①；ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉，②；ナトリウム-塩化物泉，③；アルカリ性単純温泉，④；単純温泉  
注3) 文献の大分保健は大分県保健環境部環境保全課。注4) 稼働状況は2004年3月現在。注5) 地点20の初音の里は杵築市保健衛生課による。  
注6) 地質図には稼働中の温泉の位置を示した。

(1965)は、日出町秋貞で30°C前後の温泉が自噴していることを述べた。現在では第12.1表に示した地点4の日出温泉として、深度700mからの動力井によって稼働中である。森山ほか(1976)は1957～1975年に掘削された本地域内の5ヶ所の温泉を報告しているが、その後深度を増した温泉孔がそれらの周辺に掘削されて稼働している。杵築市の温泉は由佐(1978)によって報告され、1978年当時は10孔の温泉孔があった。山香町内の温泉(地点21と22)は山下(1982)の報告があり、特に神塩温泉について記載されている。神塩温泉は高いフッ素イオン濃度を持つことから、熱水変質を受けた花崗岩を通して溶出された可能性が指摘されている。

鉱泉は山香町今畑で認められる。山下(1982)によれば、pHは6.4で炭酸カルシウム分にやや富んでいる。

#### 12.4 砕石・土砂

**砕石** 本地域内に、2004年3月時点で稼働している骨材用砕石鉱山はない。砕石場跡は、日出町仁王<sup>におう</sup>、山香町広瀬、杵築市芦刈<sup>おがみ</sup>、杵築市尾上、安岐町西本にある。砕石

場跡から、鹿鳴越溶岩、宇佐火山岩類の溶岩や行者岬深成複合岩体の黒雲母花崗岩を砕石していたと考えられる。このうち杵築市尾上では、1973～1975年当時、宇佐火山岩類の溶岩が28,000～103,000トン/年で生産されていた(森山ほか,1976)。

**土砂** 稼働中の土砂採取は、杵築市大添と山香町松尾で行われている。杵築市大添では、宮迫建設により、真砂となった行者岬深成複合岩体の中粒トータル岩の風化部が採取されている。主な用途は下水道工事の埋積用である。山香町松尾では、豊国珪藻土工事所により、野原層の珪藻土が約1,500トン/年で採取されている。主な用途は建築材である。

かつて土砂が採取されてきた場所として、大田村俣水や山香町住吉などがある(西村,1953,1954;酒井,1966;森山ほか,1976)。採土跡から、珪藻土からなる俣水層や野原層が採掘されていたと考えられる。大田村俣水では1945年以降採掘していない(酒井,1966)。山香町住吉では1973～1975年当時、約4,600～5,100トン/年が採掘されていた(森山ほか,1976)

## 文 献

- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. (1987) Volcanic successions : Modern and Ancient. Chapman & Hall, 528 p.
- 千田 昇 (1979) 中部九州の新时期地殻変動—とくに第四紀火山岩分布地域における活断層について. 岩手大学教育学部研究年報, vol. 39, p. 97-135.
- 千田 昇 (1983) 国東半島の地形. 国東半島—自然・社会・教育—, 大分大学教育学部, p. 17-28.
- 千田 昇 (1998) 別府湾地域の地形と活断層. 別府湾沿岸地域—自然・社会・教育—, 大分大学教育学部, p. 1-12.
- 千田 昇・加藤直美 (1994) 別府地域の地形. 別府の自然, 別府市自然環境学術調査報告書, 別府市, p. 5-32.
- 地質調査所 (1952) 50 万分の 1 地質図「福岡」.
- 地質調査所 (1981) 200 万分の 1「日本の火山第 2 版」.
- Galbraith, R.F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Mathematical Geology*, vol. 13, p. 471-488.
- Gill, J.B. (1981) *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 390 p.
- 長谷義隆・檀原 徹・椎原美紀・北林栄一 (2001) 北部九州安心院地域津房川層の層序とフィッション・トラック年代. 琵琶湖博物館研究調査報告, no. 18, p. 5-15.
- 林 正雄・藤井 誠・渡辺公一郎 (1983) 北部九州のプロピライトのフィッション・トラック年代とアニーリング補正 (演旨). *火山*, vol. 28, p. 201-202.
- 日高 稔 (1978) 大分県日出地域の層群. *第四紀研究*, vol. 17, p. 77-85.
- 広島俊男・森尻理恵・駒澤正夫・牧野雅彦・村田泰章・名和一成 (2001) 大分地域重力図 (ブーゲー異常). no. 17, 地質調査所.
- 広島俊男・森尻理恵・駒澤正夫・牧野雅彦・村田泰章・名和一成 (2002) 大分地域の重力異常について. 地質調査研究報告, vol. 53, p. 11-36.
- 星住英夫・鎌田浩毅 (1991) 由布川火砕流の噴出年代. *火山*, vol. 36, p. 393-401.
- 星住英夫・森下祐一 (1993) 豊岡地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 75 p.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) 別府地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 131 p.
- 星住英夫・伊藤順一・巖谷敏光・土谷信之 (1997) 国東半島及び姫島の火山岩類及び堆積岩類のフィッション・トラック年代 (演旨). 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, p. 670.
- Ikeda, T. (1993) Compositional zoning patterns of garnet during prograde metamorphism from the Yanai district, Ryoke metamorphic belt, southwest Japan. *Lithos*, vol. 30, p. 109-121.
- Ikeda, T. (2004) Pressure-temperature conditions of the Ryoke metamorphic rocks in Yanai district, SW Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 146, p. 577-589.
- 池田安隆 (1979) 大分県中部火山地域の活断層系. *地理学評論*, vol. 52, p. 10-29.
- 市原 実 (編) (1993) 大阪層群. 創元社, 340 p.
- Ithara, M., Yoshikawa, S., Inoue, K., Hayashi, T., Tateishi, M. and Nakajima, K. (1975) Stratigraphy of the Plio-Pleistocene Osaka Group in Sennan-Senpoku area, south of Osaka, Japan — A standard stratigraphy of the Osaka Group —. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, vol. 19, p. 1-29.
- 伊藤順一・星住英夫・巖谷敏光 (1997) 姫島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 74 p.
- 岩内明子・長谷義隆 (1986) 中・北部九州後期新生代の植生と古環境—その 2 安心院—院内地域 (上部鮮新統)—. *地質雑*, vol. 92, p. 591-598.
- 井沢英二・唐木田芳文・島田允亮・高橋正好 (1990) 高ストロンチウム花崗岩類は厚い地殻の指標となるか—北九州花崗岩類を例として—. *月刊地球*, vol. 12, p. 435-439.
- 笠間太郎 (1953) 速見火山区の地質—新生代火山活動史を中心に—. *地質雑*, vol. 59, p. 161-173.
- 鎌田浩毅 (1985a) 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, p. 33-64.
- 鎌田浩毅 (1985b) 熊本県宮原西方の火山岩類の層序と噴出年代—九州中北部の火山活動の時代と分布—. *地質雑*, vol. 91, p. 289-303.
- 鎌田浩毅 (1986) 九州中部地熱地域における火山岩の噴出量と化学組成の時間変化. 昭和 59・60 年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告, 国土地熱資源評価技術に関する研究, 地質調査所, p. 113-124.
- Kamata, H. (1989) Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, vol. 51, p. 315-332.
- 鎌田浩毅 (1997) 宮原地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 127 p.
- Kamata, H. (1998) Quaternary volcanic front at the junction of the South-west Japan Arc and the Ryukyu Arc. *Jour. Asian Earth Sci.*, vol. 16, p. 67-76.
- Kamata, H. and Kodama, K. (1994) Tectonics of an arc-arc junction : an example from Kyushu Island at the junction of the Southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, vol. 233, p. 69-81.
- Kamata, H. and Kodama, K. (1999) Volcanic history and

- tectonics of the Southwest Japan Arc. The Island Arc, vol. 8, p. 393-403.
- 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, vol. 80, p. 263-271.
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988) 中部九州—中国地方の西部の火山フロントの形成年代. 月刊地球, vol. 10, p. 568-574.
- 関西地盤情報活用協議会 (1998) 新関西地盤, 神戸および阪神間. 270 p.
- 唐木田芳文・山本博達・宮地貞憲・大島恒彦・井上保 (1969) 九州の点在変成岩類の特徴と構造地質学的位置. 地質学論集, no. 4, p. 3-21.
- 唐木田芳文・森山善蔵 (1992) 国東半島, 領家帯. 唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆代表編, 日本の地質 9「九州地方」, 共立出版, p. 33-34.
- 活断層研究会編 (1980) 日本の活断層—分布と資料—. 東京大学出版会, 363 p.
- 活断層研究会編 (1991) 新編日本の活断層—分布と資料—. 東京大学出版会, 437 p.
- 杵築市 (1968) 杵築市誌. 941 p.
- 小池一之・町田洋編 (2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 105 p, 付図及び CD-ROM.
- 河野忠 (2002) 大分県中部火山地域における湧水・地下水の水文学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, no. 53, p. 21-28.
- 河野忠 (2003) 大分県北部地域における湧水・地下水の水文学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, no. 54, p. 73-83.
- 河野忠・田川豊治・藤原秀二 (1996) 名水を訪ねて (33), 国東半島と鹿鳴越山群の名水. 地下水学会誌, vol. 38, p. 137-143.
- 河野義禮 (1937) 兩子火山岩の化学的性質. 岩鉱, vol. 18, p. 227-239.
- 北岡豪一・由佐悠紀・川野田実夫 (1990) 国東半島の温泉調査. 大分県温泉調査研究会報告, no. 41, p. 1-6.
- 小林哲夫 (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, p. 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, p. 305-333.
- 久保寺章・三浪俊夫・里村幹夫・井上光吉 (1976) 中部九州地区における重力測定値の収集と精密重力異常図の作成. 自然災害資料解析, vol. 3, p. 45-53.
- 熊原康博 (2002) 四国南西部, 僧都川および松田川流域における中期更新世以降の地形発達と地殻変動. 地理学評論, vol. 75, p. 553-570.
- 九州活構造研究会編 (1989) 九州の活構造. 東京大学出版会, 553 p.
- 町田洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 276 p.
- 町田洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 336 p.
- 正尾敏・山田康裕・加々美寛雄 (1990) 大分県国東半島における花崗岩類・変成岩類. 日本地質学会第 97 年学術大会講演要旨, p. 445.
- 松田時彦 (1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, vol. 65, p.289-319.
- 松本幡郎・成重欽也 (1985) 大分県国東半島の火山地質. 熊本大学教養部紀要 (自然科学), no. 20, p. 61-76.
- 松本幡郎・村田正文・今中啓喜 (1984) 大分県北部の上部新生界の火山層序 I. 宇佐・耶馬溪地域. 熊本大学理学部紀要 (地学), vol. 13, p. 1-24.
- 松本徂夫 (1963) 北中部九州における後期新生代の火山活動. 九州大学生産科学研究所報告, no. 34, p. 1-21.
- 松本徂夫 (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, p. 127-139.
- 松本唯一 (1918) 由布鶴見火山群. 地質雑, vol. 25, p. 487-505.
- 峯元愛・竹村恵二・檀原徹 (2000) 大分県日出地域に露出する敷戸および由布川火砕流堆積物のフィッシュン・トラック年代. 火山, vol. 45, p. 289-293.
- 宮久三千年 (1971) 20 万分の 1 大分県地質図. 大分県.
- 宮久三千年 (1972) 大分県の地質. 新版 20 万分の 1 大分県地質図説明書, 大分県, 140 p.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Amer. Jour. Sci., vol. 274, p. 321-355.
- 水野清秀 (2001) 瀬戸内海周辺地域に分布する下部, 中部更新統と両者間の堆積間隙. 日本第四紀学会講演要旨集, no. 31, p. 58-59.
- 水野清秀・星住英夫・吉岡敏和 (1996) 大分層群上部に挟まれる広域テフラ, 誓願寺軽石層. 第四紀露頭集—日本のテフラ, 日本第四紀学会, p. 84.
- 森山善蔵 (1965) 大分県速見郡日出町温泉地質調査報告. 大分県温泉調査会報告, no. 16, p. 59-63.
- 森山善蔵・日高稔 (1981) 別府湾基礎調査 (I) - (2) ユニブーム地層探査機による別府湾の海底堆積物の構造—. 大分大学教育学部研究紀要 (自然科学), vol. 5, p. 35-53.
- 森山善蔵・桃井斉・横溝宏佳・日高稔 (1976) 表層地質図, 土地分類基本調査, 豊後杵築 (5 万分の 1 表層地質図), 大分県, p.24-33.
- 森山善蔵・日高稔・堀五郎・津崎俊幸 (1983) 国東半島の地質. 国東半島—自然・社会・教育—, 大分大学教育学部, p. 29-62.
- 村上允英 (1994) 福岡県東南部—国東半島に点在する花崗岩類及び関連する片麻状変成岩類. 岩鉱, vol. 89, p. 335-347.
- 村上允英・飯石一明 (1991) 福岡県東南部—国東半島に点在する深成岩・変成岩類. 日本地質学会第 98 年学術大会講演要旨, p. 402.

- 永尾隆志・木戸道男・沢井長雄 (2001) 大分県杵築市地域に分布する Nb に富む安山岩. 山口大学機器分析センター報告, no.9, p.27-32.
- Nakada, S. and Kamata, H. (1991) Temporal change in chemistry of magma source under Central Kyushu, Southwest Japan : Progressive contamination of mantle wedge. Bull. Volcanol., vol. 53, p. 182-194.
- 中村真人・辻 和毅・温湯勝相 (1976) 両子山火山の火砕流様堆積物. 火山, vol. 21, p. 1-10.
- 中山大地・田中 靖 (2002) 数値標高モデル (DEM) 処理技術勉強会テキスト (2002 年版). 日本地形学連合.
- 西村吉男 (1953) 大分県産珪藻土の産地及化学成分並 2~3 の性質. 大分県工業試験場年報, 昭和 27, 28 年度, p. 56-90.
- 西村吉男 (1954) 大分県産珪藻土の産地及 2~3 の性質 (続報). 大分県工業試験場年報, 昭和 29 年度, p. 9-66.
- 野井英明 (1985) 大分市における更新統の花粉層序学的研究. 九州大学理学部研究報告, 地質学, vol. 14, p. 129-142.
- 大分県 (1951) 大分県の地質と地下資源. 114 p.
- 大分県 (1967) おおいたの地すべり. 83 p.
- 大分県 (1999) 平成 10 年度地震関係基礎調査交付金, 別府一万年山断層帯に関する調査, 成果報告書, 61 p.
- 大分県 (2000) 平成 11 年度地震関係基礎調査交付金, 別府一万年山断層帯に関する調査, 成果報告書, 316 p.
- 大分県 (2001a) 平成 12 年度地震関係基礎調査交付金, 別府一万年山断層帯に関する調査, 成果報告書, 231 p.
- 大分県 (2001b) 大分県の活断層, 別府一万年山断層帯 (東部) の調査を終えて (パンフレット).
- 大分県 (2002) 平成 13 年度地震関係基礎調査交付金, 別府一万年山断層帯に関する調査, 成果報告書, 257 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1976) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 27, 61 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1978) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 29, 37 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1979) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 30, 40 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1980) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 31, 76 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1989) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 40, 66 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1991) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 42, 94 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1994) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 45, 67 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1998) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 49, 62 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (1999) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 50, 55 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (2000) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 51, 49 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (2001) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 52, 45 p.
- 大分県保健環境部環境保全課 (2002) 大分県温泉調査報告, 温泉分析書. no. 53, 38 p.
- 岡口雅子 (1976) 大分県鶴崎台地の地質の再検討—火砕流堆積物中のジルコンによるフィッション・トラック年代—. 第四紀研究, vol. 15, p. 97-108.
- 岡村 真・島崎邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・前杢英明・堤 浩之・中村俊夫・山口智香・小川光明 (1992) 別府湾北西部の海底活断層—浅海底活断層調査の手法とその成果—. 地質学論集, no. 40, p. 65-74.
- 大西都夫 (1965) 大分市における碩南・大分層群の花粉分析. 第四紀研究, vol. 4, p. 208-216.
- 小野晃司・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), 地質調査所, 145 p.
- 小山内康人・正尾 敏・加賀美寛雄 (1993) 中部九州内帯花崗岩類の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代. 地質学論集, no. 42, p. 135-150.
- 酒井富蔵 (1966) 大田村誌. 大田村教育委員会, 444 p.
- 笹田政克 (1987) 豊肥地域の先第三紀基盤岩類. 地調月報, vol. 38, p. 385-422.
- 里口保文 (2001) 安心院町森地域の地質層序と火山灰層. 琵琶湖博物館研究調査報告, no. 18, p. 16-24.
- 沢井長雄・景山宗一郎・岡田利典・板谷徹丸 (2001) 別府—島原地溝帯外部に分布する浅熱水性金鉱床の K-Ar 年代. 資源地質, vol. 51, p. 19-27.
- 沢井長雄・河村博之・岡田利典・板谷徹丸 (2002) 九州中部, 馬上金鉱床地域の火山岩類と金鉱床の K-Ar 年代. 資源地質, vol. 52, p. 121-133.
- 志賀史光・川野田実夫・小石哲史 (1983) 国東半島陸水の水質. 国東半島—自然・社会・教育—, 大分大学教育学部, p. 72-84.
- 椎原美紀・長谷義隆 (2002) 大分県別府湾北方杵築地域鮮新—更新統の層序. 熊本大学理学部紀要 (地球科学), vol. 17, p. 73-83.
- 椎原美紀・長谷義隆・村田正文 (1996) 大分県における後期新生代のテフラ層序 (演旨). 大分県地質学会誌, no. 2, p. 34-36.
- 島崎邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・岡村 真・白神宏・前杢英明・松木宏彰・辻井 学・清川昌一・平田和彦 (1986) 海底活断層のボーリング調査による地震発生時長期予測の研究—別府湾海底活断層を事例として— (予報). 活断層研究, vol. 2, p. 83-88.
- 島崎邦彦・松岡裕美・岡村 真・千田 昇・中田 高 (2000) 別府湾の海底活断層分布. 月刊地球号外, no. 28, p. 79-84.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1990) 平成元年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査, 鶴見岳地域, 火山岩分布・年代調査報告書要旨. 164 p.

- 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1988) 昭和 62 年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査, 鶴見岳地域, 火山岩分布・年代調査報告書要旨. 82 p.
- 首藤次男 (1953 a) 豊州累層群の地史學的研究 (I). 地質雜, vol. 59, p. 225-240.
- 首藤次男 (1953b) 豊州累層群の地史學的研究 (II). 地質雜, vol. 59, p. 372-384.
- 首藤次男 (1962) 九州の最新統諸層の吟味—対比の基礎 (九州の最新統の地史學的研究—II). 地質雜, vol. 68, p. 301-312.
- Steiger, R. H. and Jäger, E. (1977) Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constant in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 36, p. 359-362.
- 鈴木成達 (1937) 別府附近の地史と温泉脈. *地球物理*, vol.1, no. 1, p. 6-19.
- 竹村恵二・檀原 徹 (1993) 由布川火砕流のフィッシュン・トラック年代. *火山*, vol. 38, p. 63-66.
- 竹村恵二・由佐悠紀・北岡豪一 (1995) 庄内町大分川河床にみられる火砕流の研究. *大分温泉調査研究会報告*, no. 46, p. 15-18.
- The Rock-color Chart Committee (1980) *Rock-color chart*. The Geological Society of America, Boulder, Colorado. 11 p.
- 通商産業省 (1980) 昭和 54 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 地質構造調査. 62 p.
- Ui, T., Takarada, S. and Yoshimoto, M. (2000) *Debris Avalanche*. *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, p. 617-626.
- 宇佐美龍夫 (2003) 最新版日本被害地震総覧 [416]-2001. 東京大学出版会, 605 p.
- 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, p. 67-83.
- Walker, G.P.L. (1973) Lengths of lava flows. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, vol. 274, p. 107-118.
- Walker, G.P.L. (1988) Ignimbrite types and ignimbrite problems. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 17, p. 65-88.
- 渡辺公一郎・林 正雄 (1983) 中部九州のいわゆる日向神溶岩のフィッシュン・トラック年代. *岩鉱*, vol.78, p.65-69.
- 山上万次郎 (1896) 20 万分の 1 地質図幅「大分」及び同説明書. *地質調査所*, 81 p.
- 山下幸三郎 (1982) 山香町内の鉱泉・湧水の水質. *山香町誌*, 山香町誌編集委員会, p. 163-171.
- 山下幸三郎・矢野行雄 (1965) 大分県日出町温泉探查報告. *大分県温泉調査研究会報告*, no. 16, p. 55-58,
- 吉川周作 (1976) 大阪層群の火山灰層について. *地質雜*, vol. 82, p. 497-515,
- 吉川周作・水野清秀・加藤茂弘・里口保文・宮川ちひろ・衣笠善博・三田村宗樹・中川康一 (2000) 神戸市東灘 1,700 m ボーリングコアの火山灰層序. *第四紀研究*, vol, 39, p. 505-520.
- 吉本充宏・古川竜太・七山 太・西村裕一・仁科健二・内田康人・宝田晋治・高橋 良・木下博久 (2003) 海域に流入した北海道駒ヶ岳火山 1940 年岩屑なだれ堆積物の分布と体積推定. *地質雜*, vol. 109, p. 595-606.
- 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博 (1997) 大分地域の地質. *地域地質研究報告* (5 万分の 1 地質図幅), *地質調査所*, 65 p.
- 由佐悠紀 (1978) 杵築市温泉について. *大分県温泉調査研究会報告*, no. 29, p. 16-20.
- 湯藤義文・後藤恵之輔・草野和郎 (1992) 衛星データを用いた大分県日出町の城下カレイと海岸湧出地下水との関係調査. *写真測量とリモートセンシング*, vol. 31, p. 31-39.



付図 本研究で記載した露頭の位置  
 国土地理院発行の5万分の1地形図「豊後杵築」使用.





別 府 灣

付図 本研究で記載した露頭の位置(続き)  
 国土地理院発行の5万分の1地形図「豊後杵築」使用.

付表1 豊後杵築地域及び周辺地域に分布する火山岩のK-Ar年代測定結果<sup>1)</sup>

地層岩体名	登録番号 GSJ R <sup>2)</sup>	原番号	産地	緯度 <sup>3)</sup> 経度 <sup>3)</sup>	K (wt. %)	rad. 40Ar (10 <sup>8</sup> cc STP/g)	K-Ar age <sup>4)</sup> (Ma)	non-rad. <sup>40</sup> Ar (%)	K-Ar age <sup>5)</sup> (Ma)
小深江溶岩	79472	23KK03	日出町西小深 江海岸	33°21'00.4"N. 131°33'06.9"E.	2.280±0.046	3.0±1.7 1.9±1.8	0.34±0.19 0.21±0.21	97.3 98.4	0.28±0.14
日出火砕流 堆積物	79471	23KK02	日出町辻ノ尾 標高30m	33°22'02.7"N. 131°32'54.2"E.	2.216±0.044	3.17±0.09 3.17±0.10	0.37±0.01 0.37±0.01	50.3 56.7	0.37±0.01
秋貞火砕流 堆積物	79469	KTK342	日出町 秋貞海岸	33°21'35.0"N. 131°35'57.1"E.	1.507±0.030	2.61±0.28 2.36±0.26	0.45±0.05 0.40±0.05	82.8 85.2	0.43±0.04
鹿鳴越溶岩	79475	BGT0222	日出町七ツ石 山山頂	33°23'22.5"N. 131°29'46.4"E.	1.213±0.024	4.42±0.23 4.33±0.23	0.94±0.05 0.92±0.05	70.2 70.7	0.93±0.04
杵築岩屑なだれ 堆積物	79457	SYH330	杵築市原南 標高50m	33°23'20.9"N. 131°37'54.9"E.	1.567±0.031	6.3±1.3 6.5±1.3	1.03±0.22 1.07±0.21	91.2 90.7	1.05±0.15
杵築岩屑なだれ 堆積物	79447	WKM 148-1	杵築市菅尾 標高50m	33°26'09.4"N. 131°36'56.5"E.	1.385±0.028	5.69±0.15 5.62±0.15	1.06±0.04 1.05±0.04	53.9 56.3	1.06±0.03
弁分火砕流 堆積物	79443	SMB323	安岐町弁分 標高160m	33°30'02.6"N. 131°37'27.6"E.	1.956±0.039	11.19±0.37 11.07±0.37	1.47±0.06 1.46±0.06	55.7 56.6	1.47±0.04
陽平安山岩	79431	WKM2	豊後高田市陽 平標高400m	33°29'50.8"N. 131°29'58.1"E.	1.623±0.032	38.45±0.58 38.87±0.60	6.10±0.15 6.16±0.16	20.1 22.4	6.13±0.11
田原山安山岩	79426	WKM9	山香町田原山 山頂	33°28'37.6"N. 131°32'07.5"E.	1.637±0.033	40.3±1.1 39.9±1.0	6.34±0.21 6.27±0.20	50.2 48.2	6.30±0.14
船部安山岩	79417	WKM59	大田村横岳 標高350m	33°29'34.1"N. 131°34'41.2"E.	2.197±0.044	51.38±0.62 50.87±0.60	6.02±0.14 5.96±0.14	16.9 15.7	5.99±0.10
船部安山岩	79421	WKM80	杵築市南平 標高160m	33°26'05.7"N. 131°34'19.8"E.	1.850±0.037	45.72±0.53 46.09±0.52	6.36±0.15 6.41±0.15	14.2 13.4	6.39±0.11
船部安山岩	79416	WKM42	杵築市 波多方峠	33°27'50.8"N. 131°34'33.9"E.	2.182±0.044	56.02±0.67 55.69±0.66	6.61±0.15 6.57±0.15	16.5 16.4	6.59±0.11

<sup>1)</sup> 試料は径 250 ~ 180 μm に揃えた後、石基部分を濃集させて測定した。但し、23KK03、23KK02 は斑晶鉱物を電磁分離器及び重液により除去、他の試料は斜長石のみを電磁分離器により除去した。その後、蒜山地質年代学研究所で測定。

<sup>2)</sup> GSJ R 番号は地質標本館登録番号。

<sup>3)</sup> 緯度・経度の値は世界測地系。

<sup>4)</sup> 壊変定数  $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{year}$ ,  $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10}/\text{year}$ ,  $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$  (Steiger and Jäger, 1977)。誤差は 1σ で表記。

<sup>5)</sup> Taylor の式による 2 回測定の平均年代値及び平均誤差。

付表2 豊後杵築地域の火山岩のフィッシュン・トラック年代測定結果<sup>1)</sup>

地層 岩体名	地質 標本館 登録 番号 GSJ R	原番号	測定 試料	産地	緯度 <sup>2)</sup> 経度 <sup>2)</sup>	測定 鉱物	n	自発核分裂 飛跡		誘発核 分裂飛跡		熱中性子 線量 <sup>3)</sup>		Pr (χ <sup>2</sup> ) %	U ppm	年代値 (Ma) Age±1σ	
								ρ <sub>s</sub> ×10 <sup>5</sup> cm <sup>2</sup>	N <sub>s</sub>	ρ <sub>i</sub> ×10 <sup>6</sup> cm <sup>2</sup>	N <sub>i</sub>	ρ <sub>a</sub> ×10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup>	N <sub>a</sub>				r
熊野層	79476	50KK 14-T1	軽石層 軽石層 全粒子	杵築市熊 野年田標 高20m	33°23'13"N. 131°37'26"E.	ジルコン	29	1.12	28	1.96	489	8.925	4570	0.453	9	180	1.8±0.3
							30	1.21	31	1.94	495	8.925	4570	0.313	1	180	2.0±0.4
弁分火砕 流堆積物	79434	WKM 163-1	軽石	安岐町矢 川標高 200m	33°29'22.7"N. 131°37'15.9"E.	ジルコン	30	1.35	10	3.19	236	8.031	4112	0.553	56	40	1.2±0.4

<sup>1)</sup> (株) 京都フィッシュン・トラックにおいて外部ディテクター法にて測定。

<sup>2)</sup> 世界測地系。

<sup>3)</sup> 日本原子力研究所 JRR-4 号炉気送管にて照射。

n: 結晶数, r: ρ<sub>s</sub> と ρ<sub>i</sub> の相関係数, Pr (χ<sup>2</sup>): χ<sup>2</sup> 値の自由度 (n-1) の χ<sup>2</sup> 分布における上側確率 (Galbraith, 1981)

付表3 豊後杵築地域及び周辺地域の火山岩の主成分化学組成値とモード量

番号 <sup>1)</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
火山(群)	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	宇佐 VR	両子 VG	
岩体地層	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	船部 And	田原山 And	田原山 And	田原山 And	田原山 And	田原山 And	田原山 And	陽平 And	陽平 And	甲尾山 Dac	弁分 PF
GSJ R <sup>2)</sup>	79414	79415	79416	79417	79418	79419	79420	79421	79422	79423	79424	79425		79426	79427	79428	79429	79430	79431	79432	79433	79434	
原番号	WKM34	WKM39	WKM42	WKM59	WKM61	WKM73	WKM76	WKM80	WKM81	WKM82	WKM224	KTK262	FP5K	WKM9	WKM10	WKM30	WKM72	WKM37	WKM2	WKM4	WKM26	WKM163-1	
測定対象	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	角礫	角礫	溶岩	溶岩	角礫	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	
帯磁方向 <sup>3)</sup>	N	R	R	R		R	R	N	N	R				R			R		N	R			
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	61.22	56.86	63.24	64.46	62.00	63.70	61.73	58.99	58.76	62.36	59.90	62.01	61.14	61.91	60.94	63.50	61.41	60.34	60.89		64.97	63.06	
TiO <sub>2</sub>	0.93	1.34	0.81	0.68	0.80	0.76	0.75	1.18	1.18	0.85	1.19	0.90	0.94	0.72	0.81	0.71	0.76	0.80	0.79		0.55	0.61	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.71	15.83	17.13	16.97	17.26	16.79	17.52	17.47	17.02	16.94	16.56	17.39	17.68	18.34	17.81	18.18	17.63	17.80	17.44		17.32	17.13	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.76	7.21	4.81	4.62	5.39	5.03	5.32	5.95	7.05	5.46	6.28	5.44	4.82	5.15	5.52	4.54	4.95	6.27	5.96		4.16	5.29	
MnO	0.09	0.13	0.06	0.11	0.11	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.12	0.08	0.07	0.08	0.09	0.05	0.08	0.10	0.10		0.07	0.11	
MgO	2.94	4.11	2.40	1.61	2.76	2.68	2.78	3.05	3.41	2.81	2.81	2.96	2.19	2.55	2.99	1.94	2.49	3.05	3.16		1.63	2.36	
CaO	5.89	7.02	5.05	4.33	5.47	5.02	5.86	6.56	6.40	5.76	6.43	5.71	5.27	5.98	5.92	5.54	5.78	6.32	6.43		4.85	5.63	
Na <sub>2</sub> O	3.78	4.30	3.75	3.97	3.80	3.77	3.93	4.09	3.89	3.79	4.24	3.73	3.65	3.71	3.54	3.62	3.87	3.72	3.59		3.91	3.62	
K <sub>2</sub> O	1.90	2.62	2.19	2.22	2.00	2.11	1.97	1.91	1.85	1.97	2.13	1.99	1.93	1.79	1.75	1.75	1.93	1.60	1.53		2.01	1.79	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.87	0.20	0.19	0.20	0.19	0.19	0.40	0.38	0.22	0.43	0.22	0.13	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.23		0.16	0.19	
Total	100.46	100.31	99.65	99.15	99.78	100.14	100.13	99.69	100.05	100.24	100.09	100.42	97.82	100.44	99.60	100.03	99.10	100.21	100.12		99.62	99.79	
LOI	1.3	0.7	1.5	1.7	0.9	1.0	0.3	0.8	0.3	0.4	1.0	0.9		1.2	1.3	2.2	1.3	0.7	0.7		1.8	2.8	
SiO <sub>2</sub> *	60.94	56.69	63.46	65.01	62.13	63.61	61.65	59.17	58.73	62.21	59.85	61.75	62.50	61.63	61.19	63.48	61.97	60.21	60.82		65.22	63.19	
石英(vol.%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	0.4	tr.	tr.	tr.	0.3	-	6.3	
かんらん石	-	tr.	-	-	-	-	-	0.4	-	-	tr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
単斜輝石	2.4	2.2	1.0	0.9	1.4	-	-	3.9	-	1.0	1.3	-	-	2.7	-	2.3	5.1	2.3	tr.	tr.	tr.	tr.	
斜方輝石	1.8	1.0	3.7	1.3	1.1	-	-	3.3	-	2.8	2.9	-	-	1.6	-	1.0	2.3	1.5	2.3	0.2	0.2	0.2	
角閃石	1.9	1.8	0.3	-	2.4	-	-	2.0	-	1.7	1.4	-	-	2.9	-	1.6	0.9	-	1.3	1.1	1.1	1.1	
黒雲母	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	
斜長石	21	8	22	13	13	-	-	13	-	22	11	-	-	30	-	19	20	25	21	18	18	18	
不透明鉱物	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	-	-	0.1	-	0.1	0.3	-	-	tr.	-	0.1	0.4	tr.	tr.	-	-	-	
石基	73	87	73	85	82	-	-	77	-	73	83	-	-	62	-	76	72	71	75	73	73	73	

<sup>1)</sup> 番号は地質図の全岩化学組成測定試料採取地点に対応している。13は鎌田・渡辺(1995)、32は中村ほか(1976)を引用。これらはFeOとFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に再計算して表示した。それ以外は石塚吉浩分析。

<sup>2)</sup> CSJ Rは地質標本館の登録番号を示す。

<sup>3)</sup> 帯磁方向はフラックスゲート磁力計。(Walker Scientific Inc. FGM-3D2)で測定した。

分析は地質調査総合センター Philips PW-1404 蛍光 X線分析装置を用い、10倍希釈のガラスビード法で行った。LOIは900℃2時間後の灼熱減量を示す。モード量は1,500ポイント以上を計測して求めた。\*；全鉄量\*\*；100%に再計算した値。tr；0.1vol. %未満。-；岩石に含まれない。VR；火山岩類、VG；火山群、V；火山、G；層群、And；安山岩、Dac；デイサイト、PF；火砕流、DA；岩屑なだれ堆積物、L；溶岩。

付表3 続き

番号 <sup>1)</sup>	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
火山(群)	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	両子 VG	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V
岩体地層	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	弁分 PF	石丸岩屑 DA	石丸岩屑 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA
GSJ R <sup>2)</sup>	79435	79436	79437	79438	79439	79440	79441	79442	79443		79444	79445	79446	79447	79448	79449	79450	79451	79452	79453	79454	79455	
原番号	SMB205	SMB208	SMB212	SMB214-1	SMB214-3	SMB216	SMB218	WKM321	SMB323	軽石	WKM54	WKM250	KTK121	WKM148-1	WKM148-3	KTK263	SYH264-1	WKM269	SYH282	SYH286-2	SYH286-3	WKM290-1	
測定対象	軽石	軽石	軽石	軽石	軽石	軽石	軽石	軽石	灰色軽石	軽石	角礫	軽石	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫	角礫
帯磁方向 <sup>3)</sup>																							
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	62.69	63.37	63.25	63.15	63.86	63.37	63.28	63.55	63.00	62.17	59.23	63.56	58.64	62.49	61.53	59.76	61.18	62.90	62.52	60.48	56.75	61.12	
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.62	0.63	0.60	0.64	0.62	0.62	0.61	0.61	0.54	0.72	0.61	0.95	0.51	0.72	0.82	0.76	0.71	0.70	0.91	0.97	0.76	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.91	16.60	16.80	16.91	16.51	16.80	16.76	16.79	16.81	16.73	17.79	16.73	18.42	18.63	17.55	17.85	17.69	17.19	17.19	17.54	18.76	17.46	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.28	5.43	5.44	5.25	5.49	5.39	5.39	5.31	5.04	4.45	6.26	5.13	7.12	4.32	5.89	6.41	6.05	5.77	5.57	6.40	6.71	6.05	
MnO	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.08	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	
MgO	2.18	2.29	2.30	2.32	2.31	2.36	2.34	2.39	2.62	2.19	2.91	2.30	3.38	1.33	2.30	3.20	2.80	2.43	2.82	2.94	4.49	2.82	
CaO	5.29	5.44	5.33	5.61	5.34	5.50	5.63	5.59	5.71	5.22	6.83	5.55	7.01	6.03	6.22	6.70	6.35	5.56	6.19	6.53	7.90	6.24	
Na <sub>2</sub> O	3.55	3.58	3.56	3.78	3.39	3.57	3.65	3.68	3.89	3.87	4.05	3.60	3.63	4.11	3.95	3.48	3.81	4.16	4.08	3.83	3.45	3.87	
K <sub>2</sub> O	1.94	1.89	1.97	1.82	1.91	1.89	1.96	1.94	1.82	2.09	1.89	2.06	1.21	1.43	1.41	1.43	1.44	1.38	1.42	1.30	1.13	1.42	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.18	0.17	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.21	0.20	0.31	0.19	0.22	0.18	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21	0.16	0.20	
Total	98.73	99.52	99.56	99.74	99.73	99.81	99.93	100.15	99.82	97.56	100.11	99.84	100.70	99.11	99.89	99.96	100.37	100.41	100.79	100.26	100.44	100.05	
LOI	2.6	2.3	2.3	2.3	2.8	2.4	2.2	2.5	1.7		1.2	2.2	0.4	0.8	0.9	1.1	1.0	0.2	0.7	0.7	0.9	0.9	
SiO <sub>2</sub> <sup>4)</sup>	63.50	63.68	63.53	63.31	64.03	63.49	63.33	63.46	63.11	63.73	59.17	63.66	58.23	63.05	61.60	59.78	60.96	62.65	62.03	60.33	56.51	61.09	
石英(vol.%)											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
かんらん石											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
単斜輝石											-	-	0.1	0.2		1.1		0.2		2.4	tr.		
斜方輝石										0.2	1.1	1.0	0.2		1.4		1.5		5.0	2.0			
角閃石										12	6.2	3.5	2.4		0.6		2.8		-	3.2			
黒雲母										-	-	-	-		-		-		-	-	-	-	
斜長石										18	13	15	21		21		21		21	24	22		
不透明鉱物										0.9	0.4	0.2	0.2		0.1		tr.		tr.	tr.	0.5		
石基										69	79	80	74		76		75		69	72			

付表3 続き

番号 <sup>1)</sup>	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
火山(群)	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	鹿鳴越 V	大分 G	日出 V	日出 V	日出 V	両子 VG	両子 VG	鹿鳴越 V
岩体地層	杵築 DA	杵築 DA	杵築 DA	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	鹿鳴越 L	秋貞 PF	日出 PF	日出 PF	小深江 L			鹿鳴越 L
GSJ R <sup>2)</sup>	79456	79457	79458	79459	79460	79461	79462	79463	79464	79465	79466	79467	79468	79469	79470	79471	79472	79473	79474	79475
原番号	WKM290-2	SYH330	WKM357	KTK100	KTK102	KTK107	KTK111	WKM116	KTK256	KTK259	KTK104	KTK109	KTK110	KTK342	KTK122	23KK02	23KK03	FGS124	KKJ125	BGT0222
測定対象	角礫	角礫	角礫	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	溶岩	角礫	本質岩片	本質岩片	溶岩	溶岩 ドーム	溶岩 ドーム	岩脈
帯磁方向 <sup>3)</sup>				N	N	N	N	N		N	N	R	R							
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	57.20	62.31	62.00	59.31	57.73	58.02	57.58	59.26	61.11	58.01	61.33	62.16	61.78	61.84	61.49	63.10	62.76	62.98	65.22	53.75
TiO <sub>2</sub>	0.95	0.65	0.73	0.90	0.97	1.16	0.86	0.97	0.83	1.02	0.71	0.63	0.80	0.77	0.75	0.68	0.69	0.56	0.50	1.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.29	17.65	17.10	18.63	17.64	17.89	19.11	18.24	18.16	17.68	18.30	18.33	17.53	18.10	17.33	16.53	16.97	17.21	16.68	19.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.26	5.28	5.87	7.07	7.75	7.73	6.54	6.99	6.56	7.48	5.59	4.90	6.23	5.48	6.25	5.87	5.29	4.98	3.95	7.90
MnO	0.10	0.10	0.12	0.13	0.14	0.14	0.11	0.10	0.08	0.13	0.13	0.10	0.13	0.10	0.12	0.12	0.10	0.09	0.08	0.16
MgO	4.00	2.34	2.83	2.86	3.68	3.36	3.05	2.49	1.52	3.24	1.60	1.11	1.56	2.21	2.47	2.50	2.50	2.06	1.84	4.08
CaO	7.70	6.23	6.13	6.27	7.51	7.12	7.38	6.23	5.41	7.30	5.31	5.87	3.97	6.61	5.51	5.75	5.66	5.70	4.89	8.84
Na <sub>2</sub> O	3.68	3.96	3.99	3.62	3.75	3.63	4.03	4.02	3.85	3.80	3.60	4.16	3.28	3.97	3.52	3.68	3.62	4.20	4.32	3.55
K <sub>2</sub> O	0.91	1.47	1.37	1.34	1.31	1.35	0.98	1.22	1.54	1.53	1.55	1.34	1.46	1.26	1.63	1.80	1.73	1.79	1.81	0.98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.17	0.20	0.20	0.22	0.25	0.19	0.24	0.18	0.23	0.17	0.16	0.16	0.16	0.11	0.15	0.16	0.18	0.17	0.18
Total	100.26	100.16	100.33	100.33	100.69	100.64	99.81	99.75	99.23	100.42	98.28	98.75	96.90	100.49	99.19	100.16	99.48	99.74	99.45	99.80
LOI	0.4	1.3	0.1	1.6	0.6	0.8	0.6	0.8	1.9	0.3	2.4	1.3	2.9	0.5	2.4	1.4	2.0	0.7	0.5	0.7
SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	57.05	62.21	61.80	59.12	57.33	57.65	57.68	59.41	61.59	57.77	62.40	62.94	63.76	61.54	61.99	63.00	63.09	63.14	65.58	53.86
石英(vol.%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
かんらん石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1
単斜輝石	0.6	-	-	3.1	-	3.8	1.1	2.1	-	-	-	-	-	1.6	-	-	-	-	-	2.9
斜方輝石	1.6	-	-	2.2	-	2.1	1.4	1.4	-	0.1	1.0	0.9	2.7	tr.	0.6	1.2	1.0	-	-	2.3
角閃石	2.3	-	-	-	-	-	0.4	0.4	-	4.4	5.8	5.7	-	4.2	3.6	6.6	3.3	4.5	1.8	
黒雲母	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-
斜長石	23	-	-	19	-	29	11	24	-	18	20	16	19	16	19	16	25	13	16	
不透明鉱物	tr.	-	-	0.1	-	0.3	0.2	0.1	-	0.4	0.1	0.2	0.4	0.5	0.1	0.7	0.1	tr.	0.1	
石基	72	-	-	76	-	65	86	72	-	77	73	78	76	79	77	76	70	82	75	

本地域外の 62, 63, 64 は、それぞれ世界測地系で、33° 35' 5" N., 131° 36' 31" E., 33° 36' 9" N., 131° 35' 40" E., 33° 23' 22.5" N., 131° 29' 46.4" E. で採取。

付表4 豊後杵築地域および周辺地域の年代測定値一覧

No	地層岩体名	年代値(Ma)	帯磁方向	手法	岩石名	測定対象	産地	文献	原著試料番号	原著地層岩体名
<白亜系>										
1	領家変成岩類	88.0±4.4		KA	白雲母黒雲母片岩	bi	大田村芋尾	笹田 (1987)	8261508	
2	"	86.2±4.3		KA	"	mu	" (同一試料)	"	8261508	
3	"	132.1±12.0		RS	黒雲母片麻岩ほか	WR	国東半島	小山内ほか(1993)	試料群 1 <sup>4)</sup>	Kunisaki Gneiss
4	行者岬深成複合岩体	94		KA	アブライト	WR	武蔵町行者岬	通産省 (1990)	8022908	
5	"	85.5±4.3		KA	黒雲母トーナル岩	bi	武蔵町行者岬	笹田 (1987)	8261509	
6	"	142.2±2.1		RS	トーナル岩、暗色包有物、アブライト	WR	武蔵町行者岬、国東町黒津崎	小山内ほか(1993)	試料群 2 <sup>5)</sup>	Kunisaki Tonalite
7	牛屋敷深成複合岩体	97		KA	黒雲母普通角閃石花崗閃緑岩	不明	山香町柚ノ迫	松本・成重 (1985)	不明	領家花崗岩類
8	"	88		KA	白雲母黒雲母花崗岩	不明	山香町倉成	"	不明	"
9	"	80.5±7.4		FT	黒雲母花崗岩	zir	山香町妙善坊	星住・森下 (1993)	BK4190	牛屋敷花崗岩
10	"	76.5±3.8		FT	花崗岩 (強変質)	zir	山香町六太郎	"	BK3952a	"
<新第三系>										
11	宇佐火山岩類 船部安山岩	6.59±0.11	R	KA	普通角閃石含有単斜輝石斜方輝石デイサイト (弱変質)	gm	杵築市波多方	石塚・星住 (本研究)	WKM42	
12	"	6.39±0.11	N	KA	かんらん石含有普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩	gm	杵築市南平	"	WKM80	
13	"	5.99±0.10	R	KA	単斜輝石含有斜方輝石安山岩 (弱変質)	gm	大田村横岳	"	WKM59	
14	"	12.1±0.9		FT	普通輝石含有普通角閃石紫蘇輝石安山岩 (弱変質)	bi	山香町今畑	林ほか (1983)	FP5	耶馬溪層下部波多方層
15	"	5.7±0.3		KA	"	WR	" (同一試料)	鎌田・渡辺 (1985)	FP5K	"
16	宇佐火山岩類 田原山安山岩	6.30±0.14	R	KA	石英含有斜方輝石単斜輝石普通角閃石安山岩	gm	山香町田原山山頂	石塚・星住 (本研究)	WKM9	
17	"	10.0±0.6		FT	デイサイト (強変質)	zir	山香町六太郎	星住・森下 (1993)	BK3952b	宇佐火山岩類
18	"	6.06±0.47		KA	普通輝石普通角閃石紫蘇輝石安山岩 (弱変質)	hb	山香町六太郎	沢井ほか (2002)	40201	宇佐火山岩類下部
19	"	5.47±0.14		KA	"	gm	" (同一試料)	"	"	"
20	宇佐火山岩類 陽平安山岩	6.13±0.11	N	KA	石英含有単斜輝石斜方輝石安山岩	gm	豊後高田市陽平	石塚・星住 (本研究)	WKM2	
21	宇佐火山岩類 甲尾山デイサイト	5.82±0.15		KA	石英単斜輝石斜方輝石含有普通角閃石黒雲母デイサイト (弱変質)	bi	山香町甲尾山	沢井ほか (2002)	60107	"
22	宇佐火山岩類 <sup>1)</sup>	7.6±0.6		FT	凝灰角礫岩の基質 (強変質)	zir	山香町速内「豊岡地域」	星住・森下 (1993)	TY4094	宇佐火山岩類
23	"	7.3±0.6		FT	輝石安山岩 (弱変質)	zir	山香町船「豊岡地域」	"	TY3873	"
24	"	6.25±0.11		KA	"	gm	" (同一試料)	"	"	"
25	"	6.45±0.17		KA	普通輝石紫蘇輝石安山岩 (強変質)	gm	山香町船「豊岡地域」	沢井ほか (2002)	43002	宇佐火山岩類下部
26	"	5.83±0.61		KA	普通角閃石普通輝石紫蘇輝石安山岩凝灰角礫岩 (強変質)	gm	山香町内河野「豊岡地域」	"	60307	宇佐火山岩類上部
27	"	5.77±0.53		KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石安山岩凝灰角礫岩 (強変質)	hb	山香町鍛冶屋「豊岡地域」	"	52301	宇佐火山岩類下部
28	"	5.54±0.14		KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石安山岩 (弱変質)	gm	山香町平原「豊岡地域」	"	40407	岩脈
29	"	5.48±0.37		KA	"	hb	" (同一試料)	"	"	"
30	"	5.50±0.29		KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石安山岩	hb	山香町華岳山頂部「豊岡地域」	"	102705	宇佐火山岩類上部
31	"	5.46±0.13		KA	"	gm	" (同一試料)	"	"	"
32	"	5.44±0.47		KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石安山岩 (弱変質)	gm	山香町竜ヶ尾「豊岡地域」	"	61208	"
33	"	5.37±0.12		KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石ひん岩 (弱変質)	gm	山香町鍛冶屋「豊岡地域」	"	102509	岩脈
34	"	5.34±0.42		KA	"	hb	" (同一試料)	"	"	"

付表4 続き

No	地層岩体名	年代値(Ma)	帯磁方向	手法	岩石名	測定対象	産地	文献	原著試料番号	原著地層岩体名	
	<第四系>										
35	熊野層	1.8±0.3		FT	普通角閃石デイサイト軽石層	zir	杵築市熊野	水野ほか(本研究)	50KK14-T1		
36	竹田津凝灰岩	1.7±0.4		FT	普通角閃石デイサイト(軽石)	zir	国見町竹田津「姫島地域」	星住ほか(1997)			
37	弁分火砕流堆積物	1.47±0.04		KA	斜方輝石含有角閃石デイサイト	gm	安岐町弁分	石塚ほか(本研究)	SMB323		
38	"	1.2±0.4		FT	普通角閃石デイサイト(軽石)	zir	安岐町矢川	"	WKMI63-1		
39	両子火山群溶岩類 <sup>2)</sup>	1.77±0.17 <sup>3)</sup>		KA	不明	WR	真玉町一ノ払「鶴川地域」	鎌田(1986)	71MTK12		
40	"	1.46±0.15	R	KA	輝石角閃石安山岩	WR	国東町大嶽山「鶴川地域」	鎌田ほか(1988)	K2690	大嶽山	
41	"	1.42±0.26		KA	"	WR	豊後高田市行園「鶴川地域」	鎌田(1986), 鎌田ほか(1988)	W54, K2730	天然寺行園	
42	"	1.27±0.09		KA	"	WR	豊後高田市屋山「鶴川地域」	鎌田ほか(1988)	K2702	屋山	
43	"	1.11±0.19	R	KA	"	WR	"	"	K2703	"	
44	"	1.19±0.06	N	KA	黒雲母角閃石デイサイト	WR	国見町畑「鶴川地域」	鎌田(1986), 鎌田ほか(1988)	FUTAGO, K2691	奥台山	
45	"	1.15±0.09		KA	輝石角閃石安山岩	WR	国東町両子山「鶴川地域」	鎌田ほか(1988)	K2697	両子山山頂	
46	"	1.10±0.06	R	KA	"	WR	"	"	K2699b	両子山北東	
47	敷戸火砕流堆積物	1.1±0.3		FT	石英含有普通角閃石黒雲母デイサイト火山礫凝灰岩	zir	杵築市加貫	峯元ほか(2000)	a		
48	杵築岩屑なだれ堆積物	1.06±0.03		KA	単斜輝石斜方輝石含有普通角閃石デイサイト岩塊	gm	杵築市菅尾	石塚ほか(本研究)	WKMI48-1		
49	"	1.05±0.15		KA	単斜輝石斜方輝石普通角閃石安山岩岩塊	gm	杵築市熊野	"	SYH330		
50	鹿鳴越溶岩	0.93±0.04		KA	かんらん石普通角閃石斜方輝石単斜輝石安山岩	gm	日出町七ツ石山山頂「豊岡地域」	"	BGT0222		
51	"	0.71±0.09	N	KA	輝石安山岩	WR	日出町一ノ坂「豊岡地域」	鎌田(1986)	W52		
52	由布川火砕流堆積物	0.60±0.14		FT	石英含有普通角閃石単斜輝石斜方輝石黒雲母デイサイト火山礫凝灰岩	zir	日出町軒ノ井	峯元ほか(2000)	b		
53	高平山溶岩	0.55±0.04	N	KA	普通輝石紫蘇輝石普通角閃石デイサイト	WR	別府市明礬鍋山「別府地域」	NEDO(1990)	D-13		
54	秋貞火砕流堆積物	0.43±0.04		KA	単斜輝石斜方輝石安山岩	gm	日出町糸ヶ浜海岸	水野ほか(本研究)	KTK342		
55	日出火砕流堆積物	0.37±0.01		KA	単斜輝石斜方輝石含有普通角閃石デイサイト	gm	日出町辻ノ尾	"	23KK02		
56	小深江溶岩	0.28±0.14		KA	単斜輝石斜方輝石含有普通角閃石デイサイト	gm	日出町西小深江海岸	"	23KK03		

豊後杵築地域及び周辺の火成岩の年代値をまとめた。「」内は5万分の1図幅名(豊後杵築以外)。

N; 正帯磁, R; 逆帯磁, KA; K-Ar法, FT; フィッション・トラック法, RS; Rb-Sr法, zir; ジルコン, bi; 黒雲母, mu; 白雲母, hb; 普通角閃石, WR; 全岩, gm; 石基

<sup>1)</sup> 豊後杵築地域以外は, 星住・森下(1993)に従い宇佐火山岩類と一括した。

<sup>2)</sup> 原著で両子火山地域の溶岩, 溶岩ドームとされたものを, 一括して両子火山群溶岩類とした。

<sup>3)</sup> 原著では括弧付きの年代値で示されている。理由は不明である。

<sup>4)</sup> 試料群1: 31106, 121706A, 121706B, 31203, 72012, 82704 (Sr初生値: 0.7096)

<sup>5)</sup> 試料群2: 82710A, 82710B, 82710C, 72109Ab, 72109D, 71903A, 72018A (Sr初生値: 0.7044)

## Geology of the Bungo-Kitsuki District

By

Yoshihiro ISHIZUKA\*, Kiyohide MIZUNO\*\*, Hirohisa MATSUURA\* and Hideo HOSHIZUMI\*

(Written in 2004)

### (ABSTRACT)

The Bungo-Kitsuki district, longitude 131°29'51.3"-131°44'51.2"E and latitude 33°20'12"-33°30'12"N referring to the International Terrestrial Reference Frame (longitude 131°30"-131°45"E and latitude 33°20"-33°30" N, referring to the Tokyo Datum), is located on the easternmost part of the central Kyushu volcanic belt, which traverses Kyushu Island and trends ENE-WSW. This belt consists largely of Cenozoic volcanic rocks making a marked contrast with areas of pre-Cenozoic rocks to the north and south of the belt and is called Beppu-Shimabara Graben.

The geology of the Bungo-Kitsuki district is summarized in Table 1. The district includes seven major geologic units : (1) Pre-Cenozoic basement rocks, (2) Neogene volcanic rocks, (3) Late Pliocene to Early Pleistocene sediments, (4) Early Pleistocene volcanic rocks, (5) Middle Pleistocene sediments, (6) Middle Pleistocene volcanic rocks and (7) Late Pleistocene to Holocene pyroclastic flow, fluvial, and colluvial deposits.

### PRE-CENOZOIC BASEMENT ROCKS

The pre-Cenozoic Ryōke Metamorphic Rocks and Cretaceous plutonic rocks are exposed in the east and west parts of the district.

Metamorphic rocks in the district are possibly an extension of the Ryōke Metamorphic Rocks, which distribute north of the Median Tectonic Line, Southwest Japan. The Ryōke Metamorphic Rocks is characterized by andalusite-sillimanite type metamorphism and associating with plutonic rocks. The Ryōke Metamorphic Rocks in the district consists of pelitic gneiss, siliceous gneiss and amphibolite. Pelitic gneiss commonly contains plagioclase, quartz, K-feldspar, biotite, garnet (almandine) and occasionally sillimanite. They were dated at 86.2 and 88.0 Ma by the mineral K-Ar method and 132 Ma by the Rb-Sr whole rock isochron method. But the sedimentation age of protoliths in the district is unknown.

Two Cretaceous plutonic rocks, namely Gyōjamisaki Plutonic Complex and Ushiyashiki Plutonic Complex, are exposed in the northern part of the district. The Gyōjamisaki Plutonic Complex consists of the following four lithofacies, medium-grained hornblende gabbro and quartz diorite (Gg1), medium-grained hornblende-bearing biotite tonalite (Gg2), medium-grained hornblende-biotite granodiorite and biotite granite (Gg3), and fine- to medium-grained muscovite-biotite granite (Gg4). The complex is dated at 85.5 and 94 Ma by the K-Ar mineral method and 142 Ma by the Rb-Sr whole rock isochron method. The Ushiyashiki Plutonic Complex is divided into fine- to medium-grained biotite-hornblende quartz diorite to tonalite (Gul), and fine- to medium-grained biotite granite and muscovite-biotite granite (Gu2). Radiometric ages of the complex were reported as 97 and 88 Ma by the mineral K-Ar method and 76.5 and 80.5 Ma by the zircon fission track method.

### NEOGENE VOLCANIC ROCKS

In this district during the Late Miocene, the Usa Volcanic Rocks comprise four andesite to dacite stratovolcanoes that are divided by strikes and dips of beddings, radiometric ages, phenocryst assemblages, and whole-rock chemistries : the Funabe, Tawarayama, and Hinatabira Andesites, and Kōnoosan Dacite from east to west. Each volcanic body is mainly composed of lava flows, and block and ash flow deposits in the proximal areas, whereas lahar deposits in the distant areas. No evidence for the conduits is found, but the deposits in the proximal areas are thicker relative to those in the distant areas. Each volcanic body could form a small stratovolcano approximately 5~20km<sup>3</sup>. The Funabe, Tawarayama, and Hinatabira Andesites, and Kōnoosan Dacite give K-Ar ages of 5.7 to 6.59 Ma, 5.47 to 6.30 Ma, 6.13 Ma, and 5.82 Ma, respectively.

---

\* Institute of Geoscience and Geoinformation

\*\* Active Fault Research Center



Table. 1 Summary of the geology of the Bungo-Kitsuki district

Geologic Age	Stratigraphy		Main Facies	Dating (Ma)	
Holocene to Late Pleistocene	Valley floor, back marsh deposits		Silt, sand, and gravel		
	Sand bar, beach deposits		Sand		
	Fan, talus deposits		Gravel and sand		
	Landslide deposits		Debris and colluvial soil		
	Aso-4 PFD	N	Welded tuff, and vitric ash and pumice (px-hb dacite)	0.09	
	Terrace deposits		Gravel, sand, and silt		
Middle Pleistocene	Takahirayama Volcano	Yōkoku Lahar Deposits	Volcanic block, sand, and silt		
		Takahirayama Lava	N	Lava (px-hb dacite)	
	Hiji Volcano	Hibinoura DAD		Volcanic block, gravel, sand, silt, pumice, and ash	
		Kobukae Lava		Lava (hb dacite)	0.28
		Hiji PFD	N	Pyroclastic rocks (hb andesite to dacite)	0.37
	Oita Group	Jingū DAD		Volcanic block, gravel, sand, silt, pumice, and ash	
		Akisada PFD		Pumice lapilli tuff (px andesite)	0.43
		Yufugawa PFD		Vitric ash and pumice (hb-bt rhyolite)	0.60
		Terukawa Formation		Gravel, sand, silt, pumice, and ash	
	Early Pleistocene	Kanagoe Volcano	Tsuyama VFD		Gravel, sand, and ash
Jōdoji DAD				Volcanic block, gravel, sand, silt, pumice, and ash	
Aiware VFD				Gravel, sand, and ash	
Kitsuki DAD				Volcanic block, gravel, sand, silt, pumice, and ash	1.05-1.06
Futago Volcano Group		Kanagoe Lava	NR	Lavas with pyroclastic rocks (hb-px andesite to hb dacite)	0.71-0.93
		Futago VFD		Gravel, sand, pumice, and ash	
		Ishimaru DAD		Volcanic block, gravel, sand, silt, pumice, and ash	
Sekinan Group		Benbu PFD		Pumice lapilli tuff (hb dacite)	1.2-1.47
		Noharu Formation		Tuffaceous silt, sand, and gravel	
		Shikido PFD		Vitric ash and pumice (hb-bt rhyolite)	1.1
	Kanukibana Formation		Tuffaceous silt, sand, and gravel		
	Matamizu Formation		Tuffaceous silt, sand, and gravel		
Late Pliocene		Kumano Formation	Silt, sand, and gravel with pumice	1.8	
Late Miocene	Usa Volcanic Rocks	Kōnoosan Dacite		Alternated volcanoclastics with lavas (hb-bt-qz dacite)	5.82
		Hinatabira Andesite	NR	Lavas and pyroclastic rocks (qz-bg, hb-px andesite)	6.13
		Tawarayama Andesite	R	Pyroclastic rocks with lavas (qz-bg, hb-px andesite to dacite)	5.47-6.30
		Funabe Andesite	NR	Lavas and pyroclastic rocks (hb-px andesite to dacite)	5.7-6.59
Cretaceous	Plutonic Rocks	Ushiyashiki Plutonic Complex		Granite, qz diorite, tonalite	88-97
		Gyōjamisaki Plutonic Complex		Granite, granodiorite, qz diorite, tonalite, gabbro	85.5-142.2
		Ryōke Metamorphic Rocks		Gnessis, amphibolite	86.2-132.1

N; Normal polarity, R; Reverse polarity, PFD; Pyroclastic Flow Deposits, DAD; Debris Avalanche Deposits, VFD; Volcanic Fan Deposits, px; pyroxene, hb; hornblende, bt; biotite, qz; quartz.

## LATE PLIOCENE TO EARLY PLEISTOCENE SEDIMENTS (SEKINAN GROUP)

The Plio-Pleistocene sediments around the Beppu Bay are divided into the Sekinan Group and Ōita Group, and the former is limited to the Late Pliocene to Early Pleistocene in age. The Sekinan Group in the mapped district is composed of non-marine sediments and subdivided into the Kumano, Matamizu, Kanukibana and Noharu Formations. The Kumano Formation, distributed east of the Hiji Hills, consists of silt, sand and pebble, and intercalates some pumice layers. *Metasequoia* pollen fossil occurred in this formation, and the fission track dating age from the intercalated pumice layer shows  $1.8 \pm 0.3$  Ma. The Kanukibana Formation unconformably overlies the Kumano Formation and is composed of tuffaceous silt, sand and pebble-cobble. Some pyroclastic flow deposits are intercalated in the formation, especially the Shikido Pyroclastic Flow Deposits. These deposits are traceable to some extent and correlated with the Yellow I volcanic ash layer (1.2–1.3 Ma) in the lower part of the Osaka Group, one of the typical Plio-Pleistocene sediments in Japan. The Matamizu and Noharu Formations are distributed far from the Kanukibana Formation, but have similar sedimentary facies and ages. In some areas, the Kumano and Kanukibana Formations have been deformed by the younger debris avalanche deposits.

## EARLY TO MIDDLE PLEISTOCENE VOLCANIC ROCKS

Early to Middle Pleistocene volcanoes like the Futago Volcano Group and Kanagoe Volcano occupy the north and south part of the district, respectively.

The Futago Volcano Group in the district is composed of pyroclastic flow, debris avalanche and volcanic fan deposits in ascending order. The Benbu Pyroclastic Flow Deposits consist of non-welded hornblende dacite pumice flow deposits. It gives zircon fission track and K-Ar ages of 1.2 Ma and 1.47 Ma, respectively. These ages are consistent with those for lavas from the center part of the Futago Volcano Group. The Ishimaru Debris Avalanche Deposits are mainly composed of hornblende andesite to dacite volcanic block, gravel, pumice and, ash with silt to fine sand. No hummocky topography is present. The Futago Volcanic Fan Deposits are mainly composed of numerous lahar deposits.

The Kanagoe Volcano is a hornblende-pyroxene andesite to hornblende dacite stratovolcano, which is divided into the Kanagoe Lava, Kitsuki Debris Avalanche Deposits, Aiwara Volcanic Fan Deposits, Jōdoji Debris Avalanche Deposits and Tsuyama Volcanic Fan Deposits. It gives K-Ar ages of 0.71 to 1.06 Ma. The thickness of the volcanic products increases south to southwest. The eruption center of the volcano could be south to southwest of the present distribution and lost by active faulting.

## MIDDLE PLEISTOCENE SEDIMENTS (ŌITA GROUP)

The Ōita Group in the mapped district, named the Terukawa Formation, is sporadically distributed in the Hiji and Kitsuki Hills, covers the Early Pleistocene volcanic rocks and sediments, and interfingers with volcanic rocks in west part of the Hiji Hills. The lower part of the Terukawa Formation is composed of non-marine silt, sand and gravels, but in two horizons of the upper part, marine silt and sand layers are intercalated, and shell fossils have been present. Two widespread tephra are also intercalated in the formation, one is the Yufugawa Pyroclastic Flow Deposits that are traceable around the Beppu Bay, and the other is the Seiganji Pumice Bed that is correlated with the Toga volcanic ash layer (0.65 Ma) in the upper part of the Osaka Group. Small-scale debris avalanche deposits are observed in the Hiji Hills.

## MIDDLE PLEISTOCENE VOLCANIC ROCKS

Middle Pleistocene hornblende andesite to dacite volcanoes occupy the southern part of the district.

The Hiji Volcano comprises the Hiji Pyroclastic Flow Deposits, Kobukae Lava, and Hibinoura Debris Avalanche Deposits. It gives K-Ar ages of 0.28 to 0.37 Ma. The distribution and radiometric ages for the deposits as well as the displacement rates for the Beppu Bay active fault systems suggest that the Hiji Volcano could form a small volcano that is several meters high in the Beppu Bay.

The Takahirayama Volcano was active after 0.3 Ma. The Takahirayama Lava and Yōkoku Lahar Deposits narrowly distribute on the southwestern part of the district.

## LATE PLEISTOCENE TO HOLOCENE

The Aso-4 Pyroclastic Flow Deposits (ca.90 ka), mainly composed of volcanic glass shard and pumice, are narrowly distributed along some rivers. The terrace deposits, subdivided into the higher, middle and lower terrace deposits and modern sediments (valley floor, back marsh, fan and talus deposits), are also distributed along rivers. Marine middle terrace deposits are observed along the east coast, and modern beach deposits are also narrowly distributed along the coast. Some landslide

bodies are observed in the north part of the mapped district.

### **ACTIVE TECTONICS**

The southern part of the mapped district is situated in the northeastern part of the Beppu-Haneyama active fault zone. In the Beppu-Kita Mountains and southern part of the Hiji Hills, there are some EW trend normal faults mainly with north side as the footwall, cutting the Middle Pleistocene volcanic bodies or slopes, named the Karakiyama Fault, Kanagoe Fault, Nokinoi Fault and other faults. But activities of those faults are not so high compared with those of submarine faults in the Beppu Bay. Submarine faults are composed of many EW to NW-SE normal faults and grouped into the Hiji-Oki Faults, Beppuwan-Chūō Fault and Kitsuki-Oki Faults. Average vertical slip rates of some faults are more than 1 m/ky. It is considered that some submarine faults were ruptured, by the 1596 AD a Keicho-Bungo Earthquake, which struck the coast area around the Beppu Bay and caused a tsunami.

### **ECONOMIC GEOLOGY**

There are three closed gold mines in the district. They are all epithermal gold-silver-quartz vein in the Shin-Bajo, Kitsunebira, and Takahira Mines that were worked between 1907 and 1950. These ore deposits were generated by the late Miocene to early Pliocene volcanic activity. Several cold springs are gushing out of the southern foot of the Beppu-Kita Mountains. There are 15 spas with boreholes from 200 to 1,500 m in the district.

## 執筆分担

第1章 地形	水野清秀・石塚吉浩
第2章 地質概説	石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久
第3章 領家変成岩類	松浦浩久
第4章 白亜紀深成岩類	松浦浩久・石塚吉浩
第5章 新第三紀宇佐火山岩類	石塚吉浩・星住英夫
第6章 後期鮮新世-前期更新世碩南層群	水野清秀・石塚吉浩
第7章 前期-中期更新世火山岩類	石塚吉浩・水野清秀・星住英夫
第8章 中期更新世大分層群	水野清秀・石塚吉浩・星住英夫
第9章 中期更新世火山岩類	石塚吉浩・水野清秀・星住英夫
第10章 上部更新統-完新統	水野清秀
第11章 活構造・重力	水野清秀・石塚吉浩
第12章 応用地質	石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久

## 文献引用例

石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久・星住英夫（2005）豊後杵築地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター，83 p.

## 章単位での引用例

水野清秀・石塚吉浩（2005）豊後杵築地域の地質，第1章 地形．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター，p. 1-4.

## Bibliographic reference

Ishizuka, Y., Mizuno, K., Matsuura, H. and Hoshizumi, H. (2005) Geology of the Bungo-Kitsuki district. Quadrangle Series, 1 : 50,000, Geological Survey of Japan, AIST, 83 p. (in Japanese with English abstract 4 p.).

## Bibliographic reference of each chapter

Mizuno, K. and Ishizuka, Y. (2005) Geology of the Bungo-Kitsuki district, Chapter 1. Topography. Quadrangle Series, 1 : 50,000, Geological Survey of Japan, AIST, p. 1-4. (in Japanese).

---

---

地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）

豊後杵築の地質

平成17年2月28日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所

**地質調査総合センター**

〒305-8567 茨城県つくば市東1丁目1-1 中央第7

TEL 029-861-3606

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

---

印刷所 アサヒビジネス株式会社

---

© 2005 Geological Survey of Japan, AIST

裏表紙説明: 後期中新世の宇佐火山岩類田原山安山岩のラハール堆積物。崖の中央部から下部にかけて、上方細粒化を示す多色でやや円磨された礫からなるラハール堆積物が認められる。その上位は平行層理や低角斜行層理が発達する薄層を挟み、別のフローユニットのラハール堆積物が認められる。上方細粒化を示すラハール堆積物に国の重要文化財である熊野磨崖仏（平安後期作と推定）が彫られている。崖の高さは約 10 m。

Back Cover Photo: Lahar deposits of the Tawarayama Andesite during the Late Miocene. These deposits are composed of multicolor rounded andesite to dacite tuff breccia and lapilli tuff and carved into the Kumano Stone Buddhas (Kumano Magaibutsu).

