

## トルコ, 中部アナトリアの地熱地域の火山岩の古地磁気調査概要

須藤 茂<sup>1,\*</sup>

Shigeru Suto (2011) Paleomagnetic study of the volcanic rocks from the geothermal area in the Central Anatolia, Turkey. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.62 (11/12), p.389-404, 15 figs, 1 table.

**Abstract:** Paleomagnetic study of the volcanic rocks from the Central Anatolia, Turkey, was carried out as a part of the cooperative research program about the geothermal resources in the area, between the MTA and the GSJ. There are two large stratovolcanoes, Hasan dağı and Erciyes dağı, many monogenetic volcanoes which are composed of lava dome, lava flow, pyroclastic cone, and maar in the studied area of 200km from the east to the west and 150km from the north to the south. Portable fluxgate magnetometer was used in the field and astatic magnetometer was used in the laboratory for magnetic study. The volcanic rock from Hasan dağı and Göldagi shows the normal and reversed magnetic polarities respectively. The result is concordant with the reported radiogenic age data and standard magnetic time scale. And also the magnetic direction of each blocks from the outcrop in some of the unconsolidated pyroclastic deposit on the flank of Hasan dağı tend to be concentrated to the north direction, and were considered to be settled at higher temperature than the Curie point by the field experiment.

**Keywords:** Central Anatolia, Turkey, volcanic rock, paleomagnetic study, Hasan dağı, Erciyes dağı, Göldagi, Acıgöl, Erdaşdağ, MTA

### 要 旨

トルコ中部アナトリアには、大型成層火山、単成火山群、及び大規模火砕流堆積物からなる台地などの火山地形がみられる。それらは過去1千万年程度の間に噴出し、東西約200 km、南北約150 kmの範囲内に複雑に分布している。比較的新しい大型成層火山として、ハッサン火山とエルジエス火山があり、単成火山群は、溶岩円頂丘、溶岩流、火砕丘、マールからなる。トルコの地質調査所に相当する機関、鉱物資源調査局 (MTA) との地熱資源に関わる共同的研究の一環として、それらの火山岩のうち比較的新しい噴出物について古地磁気測定を行った。その結果、地形的にも新しいと判断されるハッサン火山の岩石はブリュンヌ正磁極期に、より古い年代が得られているギョルダの試料は松山逆磁極期に対応するなど、既存の放射年代測定値及び古地磁気年代尺度と整合的な結果が得られた。また、ハッサン火山の山腹に分布する未固結な火砕堆積物については、各岩塊の磁化方位がそろっていることから、現地調査において、堆積時にも高温であったと推定されることなどを確認した。

### 1. はじめに

トルコには温泉や噴気等の地表地熱兆候が多数存在するために、1980年代から、トルコのMTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 英語名: General Directorate of Mineral Research and Exploration, 鉱物資源調査局) と日本の地質調査所 (当時) との間で研究協力が行われた。筆者は、中部アナトリアの地熱地域においてJICAの個別専門家派遣事業、地熱探査に係る技術指導の一環として、1990年に現地調査と火山岩の古地磁気測定を行った。得られた成果については、調査が短期間で、地質の理解が困難であったこと、古地磁気測定結果のばらつきが大きい試料があったこと等のために、調査直後に内部報告が作成されたのみであった。

筆者らの調査後、トルコでは、諸外国との共同研究等も活発に行われ、中部アナトリアの火山岩の層序や年代の情報が飛躍的に増大した。この結果、古地磁気測定結果の多くが層序や年代と大きな矛盾なく説明されることが明らかになったので、ここに報告する。

### 2. 地形と地質の概要

調査地域はアジア部分のトルコの大部分を占めるアナ

<sup>1</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation), 現在: 地質標本館 (Geological Museum)

\* Corresponding author: S. SUTO, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: shigeru.suto@aist.go.jp

トリア高原の中央部に位置する(第1, 2図)。この地域の平坦低地部の標高は約1000 mであり、最高点は調査地域東部のErciyes dağı (エルジエス山)で、海拔3917 mである。調査地域の南には頂部の標高が3000 mを越えるToroslar (Taurus, トロスまたはタウルス山脈)が、北東-南西方向に連なっており、北には標高2000 m以下の山が散在している。西方には閉塞した塩湖Tuz Gölü (ツズ湖, 塩の湖の意)がある。

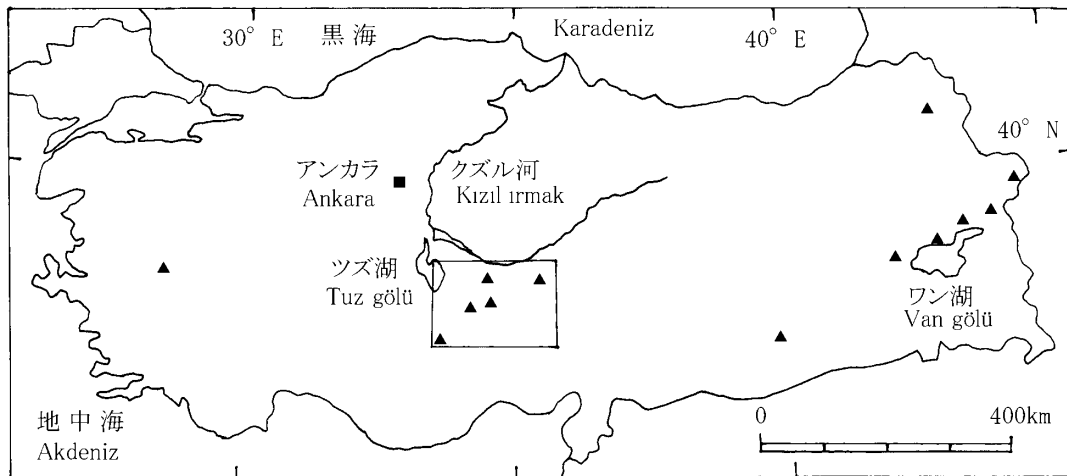
調査地域内には3種の顕著な火山地形が認められる。それらは火砕流台地、大型成層火山及び単成火山群である。火砕流台地は、奇岩の景勝地であるKapadokya (Cappadocia, カップアドキア)の中心部などで認められる中新世-鮮新世の堆積物からなる。完新世まで活動していると推定されている新しい成層火山は、前記のエルジエス山及び、南西部のHasan dağı (ハッサン山, 3268 m)であり、このほかに、より古い、ハッサン山東隣のMelendiz dağları (メレンディス山地)及び中央部のErdas dağı (エルダシュ山, 1982 m)などがある。単成火山には、溶岩円頂丘、円錐火山、溶岩流、及びマールがあり、地域中央部から南西部にかけて多数分布している。また、新しい大型成層火山の周囲には側火山も多く認められる。これらの火山は全体として北東-南西方向に長く伸びて分布している。Toprak (1998)は、本調査地域よりやや広めの地域内の複成火山を19、単成火山を群として5つ以上、824火山以上と数えた。

調査地域内の火山の研究は、層序と年代、岩石学、及び構造・物理探査について行われている。主として火砕流堆積物及びその噴出源については、Pasquare (1968), Innocenti *et al.* (1975), Pasquare *et al.* (1988), Le Pennec *et al.* (1994), Froger *et al.* (1998), 及びToprak (1998)が、成層火山については、ハッサ

ン山についてAydar and Gourgaud (1998), Deniel *et al.* (1998), 及びUmran *et al.* (2008)が、エルジエス山について, Kurkcuoglu *et al.* (1998), Şen *et al.* (2003), 及びGencalioglu-Kuscu *et al.* (2007)が、単成火山については, Keller (1974), Bigazzi *et al.* (1993), 及びDruitt *et al.* (1995)等がそれぞれ報告している。このほか、トルコの火山全体を網羅する調査も行われている(Ota and Dincel, 1975; 宇井, 1989; 松田ほか, 1990; Toprak, 1998)。

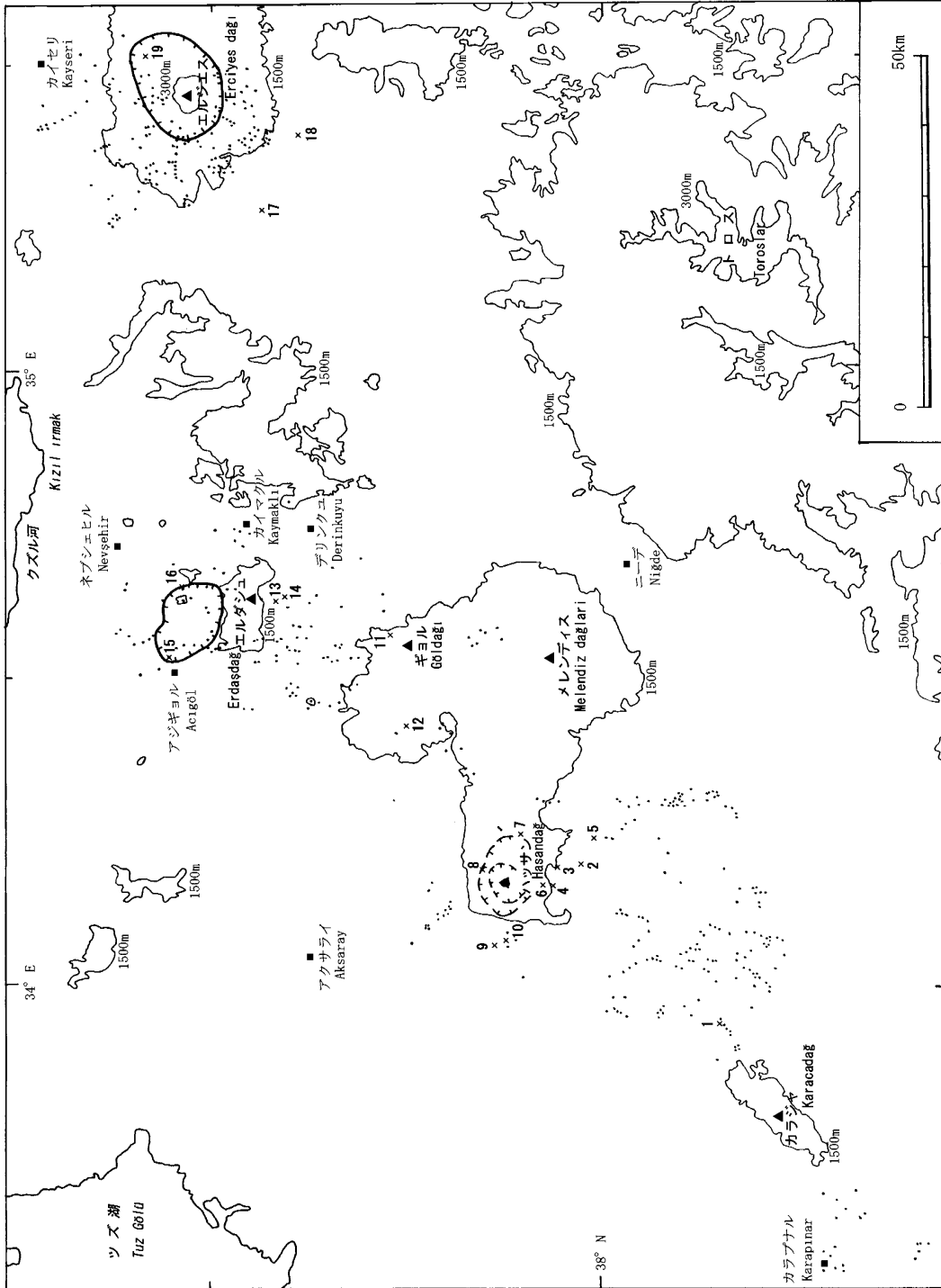
Pasquare *et al.* (1988)は、本地域の火山活動を以下の3期に区分した。第1期は、13.5-8.5 Maの主として安山岩の噴出活動による火山体の生成期、第2期は8.5-9 Maから2.7 Maの複成層火山形成と大規模珪長質火砕流噴出による台地形成期、第3期はエルジエスとハッサンの大型成層火山と多数の単成火山生成期である。

本調査地域の地質図幅は、10万分の1のものが、地域中南部の2図幅Kayseri H19及びI19 (Atabey, 1989a, b), 50万分の1のものが全域をカバーする2図幅Adana及びKayseri (Ternek, 1962及びKetin, 1961), 及び200万分の1のトルコ全図(Bingol, 1989)が調査当時入手可能であり、それぞれ地質を概観することができた。ただし等高線の入った地形図は、筆者調査時には軍が管理していて一般には流通しておらず、MTAの研究者が借り出したものを閲覧することはできたが、使用後は返却され、国外持ち出しは禁止であった。日本のトルコ大使館に問い合わせたところ、2010年時点でもそうであるとのことであった。したがって、本報告以外の地質の論文中的図にも等高線の入った地形図は示されることはほとんどなく、試料採取地点の特定も困難な場合が多い。MTA発行の50万分の1地質図幅には、500m毎の等高線が入っているが、10万分の1地質図幅には



第1図 位置図。図中の四角枠は第2図の位置を示す。黒三角はSimkin and Siebert (1994)から引用した火山の位置。

Fig.1 Location map of the studied area. Quadrangle near the center shows the position of Fig.2. Black triangle shows the volcano which locality was quoted from Simkin and Siebert (1994).



第2図 調査地略図。図中の番号は試料採取地点を示し、第3図及び第1表中の番号と対応する。等高線は Defense Mapping Agency Aerospace Center (1990) の 5,000 ft を 1,500 m、10,000 ft を 3,000 m と換算し転写したもので、正確ではない。黒点は小火山体を示す。ハッサン火山、エルジエス火山及びアジギョルの各カルデラの位置はそれぞれ、Aydar and Gourgaud (1998), Şen *et al.* (2003), 及び Yıldırım (1984) を引用した。

Fig.2 Outline of the studied area. The numbers with symbol x show the locality of the samples for paleomagnetic study, and are correlated with the numbers in Fig.3 and Table 1. The contour lines of 1,500 m and 3,000 m are roughly quoted from the contour lines of 5,000 ft and 10,000 ft in the Tactical Pilotage Chart, TPC G-4A (Defense Mapping Agency Aerospace Center, 1990). Small dot shows the locality of the small volcano. Outline of the calderas on Hasan dağı, Erciyes dağı, and Acıgöl are quoted from Aydar and Gourgaud (1998), Şen *et al.* (2003), and Yıldırım (1984), respectively.

第1表 中部アナトリアの火山岩の残留磁気測定結果

Table 1 Paleomagnetic data of volcanic rocks in the central Anatolia.

No.*	Sample no.	nos. of specimen	Demagne. level(mT)	Declination	Inclination	K	$\alpha_{95}$	Intensity (A/m)	Area	Rock**
1	2432	3	10	173	-40	-	131	9.53	Karapınar	Cpx-ol basalt
2	2452	3	10	20	41	26	24	8.74	Hasan dağı	Cpx-opx-hb-ol andesite
3	2453	3	10	27	27	3	81	$1.45 \times 10^1$	Hasan dağı	Qz-bg cpx-opx-hb andesite
4	2456	3	30	322	44	1	-	2.52	Hasan dağı	Cpx-opx-hb andesite
5	2454	3	20	74	77	15	31	$5.69 \times 10^{-1}$	Hasan dağı	Opx-cpx-hb andesite
6	2455	3	10	345	44	3	82	2.3	Hasan dağı	Cpx-opx-hb andesite
7	2450	3	20	3	9	5	61	$3.09 \times 10^1$	Hasan dağı	Biot-hb-cpx-opx andesite
8	2458	3	10	300	67	39	19	7.53	Hasan dağı	Cpx-opx-bg biot-hb dacite
9	2460	2	10	355	45			8.46	Hasan dağı	Cpx-opx-hb andesite
10	2459	3	10	306	65	16	30	7.38	Hasan dağı	Ol basalt
11	2466	3	10	172	-14	74	14	1.82	Göl dağı	Biot-bg rhyolite
12	2469	3	10	194	-37	18	29	$5.58 \times 10^1$	Göl dağı	Ol-cpx basaltic andesite
13	2464	3	10	146	-66	18	30	4.9	Acigöl-Neveşehir	Cpx-opx andesite
14	2465	3	10	153	21	9	43	2.54	Acigöl-Neveşehir	Cpx-ol andesite
15	2441	2	20	57	24			2.15	Acigöl-Neveşehir	Biot-bg rhyolite
16	2442	2	10	351	-70			1.87	Acigöl-Neveşehir	Obsidian
17	2447	4	10	96	-53	-	114	$2.12 \times 10^2$	Erciyes dağı	Ol andesite
18	2448	3	30	182	-53	8	47	7.78	Erciyes dağı	Cpx-opx andesite
19	2449	3	10	139	16	4	70	$7.49 \times 10^1$	Erciyes dağı	Ol-bg cpx-hb-opx andesite

\* 番号は第2図及び第3図中のものと同じ

\*\* cpx: 単斜輝石, ol: かんらん石, opx: 斜方輝石, hb: 普通角閃石, qz: 石英, bg: 含有, biot: 黒雲母.

\* Numbers are same as those in figs 2. and 3.

\*\* cpx:clinopyroxene, ol:olivine, opx:orthopyroxene, hb:hornblende, qz:quartz, bg:bearing, biot:biotite.

等高線はない。一般に入手可能な等高線の入った地形図としては、Defense Mapping Agency Aerospace Center (1990) の Tactical Pilotage Chart, TPC G-4A (縮尺 50 万分の 1) があったので、図面作成等に使用した。

### 3. 調査の概要

調査地域の地質の資料は、MTA 発行の地質図等を中心に MTA から提供を受けた。また、現地周辺の各種地質及び地熱の調査結果の概要について MTA の研究者より情報提供を受けた。

現地調査は、MTA の研究者とともに、合計 10 日間行った。一部の日程は、地化学調査を行った当所の茂野 博氏 (当時) が同行した。筆者は、地熱地域の火山岩の年代測定のための簡単な補完調査、対比及び火砕堆積物の簡単な温度推定について確認することを目的に岩石試料の古地磁気測定を担当した。

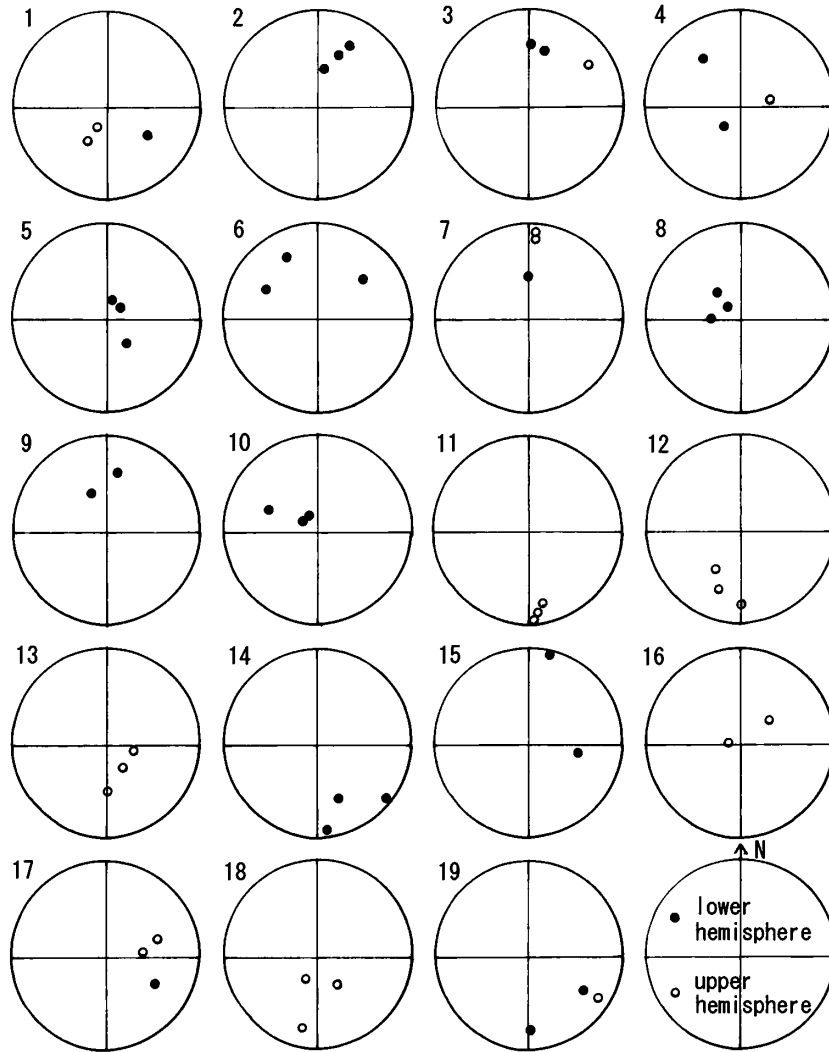
古地磁気測定試料採取位置を第 2 図に示す。試料はハンマーで露頭から定方位で採取した。採取時には、各試料が互いに 1 m 以上離れるよう留意した。すべての試料について、現場で可搬型測定器、FG Electronics 社製の Portable Fluxgate Magnetometer Model BR-2 を用いて磁化方位の正逆の別を測定した。採取試料はすべて室内

で、水平面と、東西南北のいずれかの隣り合う 2 面を切断し、その後、直径・高さとも 2.5 cm の円筒形に整形し、無定位磁力計で測定した。結果を第 1 表、第 3 図に示す。別に、このほかのいくつかの試料については、現場で可搬型測定器を用いて磁化方位の正逆の別のみを測定した。

### 4. 調査地域の地形・地質と火山岩試料の古地磁気測定結果

調査地域は北東-南西に約 200 km の広い範囲にまたがっているので、便宜上 Karapınar, Karacadağ (カラプナル・カラジャ山), ハッサン山, Göldağı (ギョル山) 周辺, Acigöl-Erdaşdağ (アジギョル・エルダシュ山), エルジエス山の 5 地域に分けて地形と地質の概要及び試料採取地点付近の状況及び火山岩試料の古地磁気測定結果を記す。

第 2 図中、カルデラの輪郭は Yıldırım (1984), Aydar and Gourgaud (1998), 及び Şen *et al.* (2003) を引用した。単成火山の位置は Keller (1974), Yıldırım (1984), Ercan *et al.* (1987), Pasquare, *et al.* (1988), Toprak *et al.* (1994), Toprak (1998), Froger *et al.* (1998), Şen *et al.* (2003) などを参考にした。上記の報告類は、多数の文献を引用しているが、特にトルコ語の文献につ



第3図 調査地域内の火山岩の磁化方位。交流磁場消磁後。

Fig.3 Magnetic direction of the volcanic rocks, after demagnetization in the alternating field, in the central Anatoria.

いては、筆者はその多くを入手し直接参照することはできなかった。

#### 4.1 カラプナル・カラジャ山

本地域には標高 1000-1100 m の平地に、最高点 1992 m のカラジャ山の山塊が北東-南西方向に伸びてそびえている。カラジャ山の南西及び北から東にかけては、火砕丘、溶岩流、マールなどからなる単成火山が多数分布している。カラジャ山の南西、カラプナル周辺の単成火山には新鮮な地形を有するものが多く、その一部は最近の 1 万年以内に活動したと推定されている (Ercan *et al.*, 1990) (第 4 図)。それに対し、カラジャ山の北から東にかけての単成火山の一部には地形的に不明瞭な山体も多い。カラジャ山自体は安山岩、粗面岩及びデイサイトからなる (Tokel *et al.*, 1990) 複合火山体であり、カラプナル周辺の単成火山は玄武岩と安山岩からなる

(Keller, 1974)。

Matsuda (1990) は、カラプナルの火山岩の K-Ar 年代値 4 個を報告した。それらは、 $0.363 \pm 0.021$  Ma から  $0.101 \pm 0.009$  Ma の間にある。また、Ercan *et al.* (1990) が引用したカラジャ山の放射年代値は  $3.21 \pm 0.09$  から  $1.13 \pm 0.07$  Ma である。

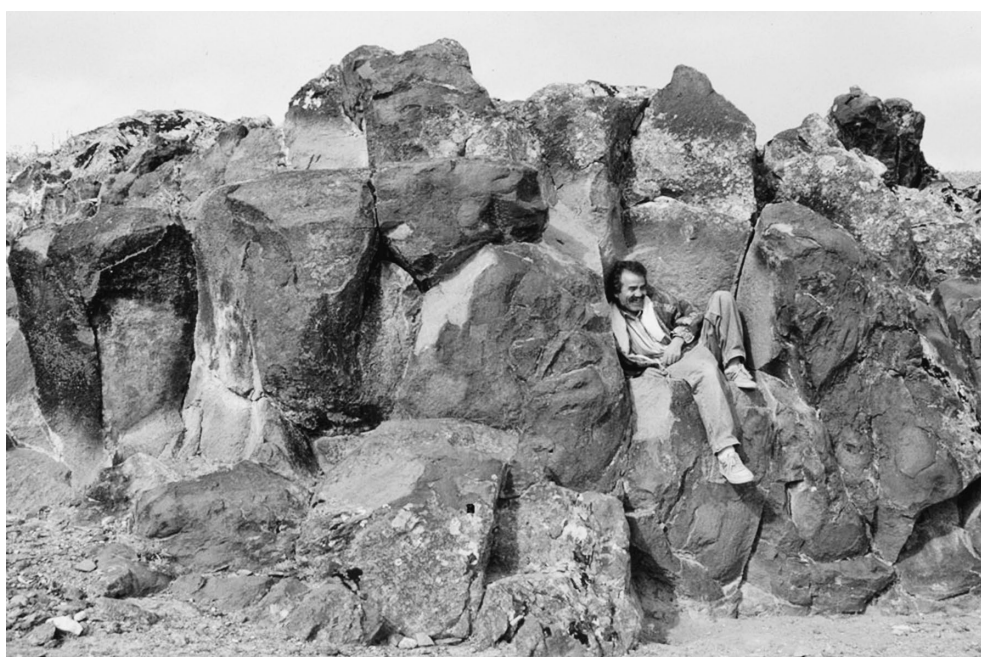
試料番号 1 (第 2 図, 第 3 図, 第 1 表中の番号と同じ。以下同様) は、カラジャ山北東の街 Kutören のすぐ南にある地形が明瞭な Kuruobruk マール西方の灰黒色緻密な玄武岩溶岩流である (第 5 図)。Ercan *et al.* (1990) は、この溶岩の放射年代値  $1.151 \pm 0.076$  Ma を報告した。

測定した試料番号 1 の岩石の磁化方位はそろっていないが、逆帯磁と思われる。上記のカラジャ山の溶岩の放射年代とは整合的である。なお、本論では古地磁気年代尺度として Cande and Kent (1992) を使用し、既存公表年代測定値と共に第 6 図に引用して示した。





第4図 中央に火砕丘が成長したメケ・ギョル・マール。カラプナルの街の東方にある。  
Fig.4 Mekegölü maar with a cinder cone within it, east of Karapınar.

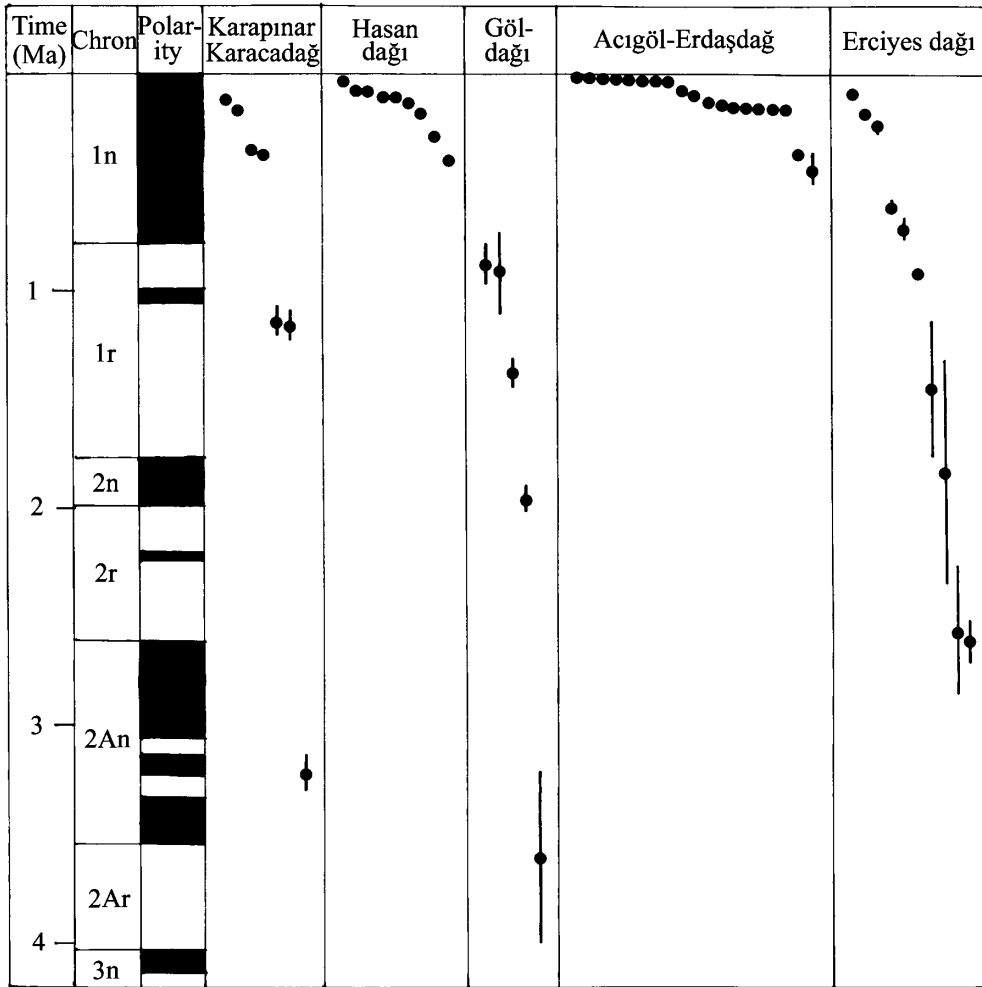


第5図 カラジャ火山の北東端の溶岩流の露頭。  
Fig.5 Outcrop of one of the lava flows on the northeast foot of the Karacadağ.

#### 4.2 ハッサン山

ハッサン山の南、西、北西にかけては標高1000—1100 mの平坦地が、北は標高約1200—1300 mのやや起伏に富む裾野が、東には最高点の標高が2800 mを越えるMelendizの山塊がそれぞれひろがっている。ハッサン山の最高点は標高3268 m (または3253 m) で Büyük

(大) Hasan dağı とも呼ばれている。その東方約4 kmに標高3069 mのピークがあり、Küçük (小) Hasan dağı と呼ばれている。中腹から裾野にかけて溶岩流地形がよく認められるところがあり、特に南と西には新鮮な溶岩堤防などの微地形が明瞭に保存されている (第7図)。側火山は南東と北西に多く、特に北西には山頂から16 km



第6図 古地磁気年代尺度と既存公表年代測定値. 古地磁気年代尺度は Cande and Kent (1992) を、年代測定値は、Batum (1978), Bigazzi *et al.* (1993), Chataigner *et al.* (1998), Ercan *et al.* (1990), Matsuda (1990), 及び Notsu *et al.* (1995) をそれぞれ引用した.

Fig.6 Geomagnetic polarity timescale (quoted from Cande and Kent, 1992) and published age data of the volcanic rock samples from the studied area. Age data are from Batum (1978), Bigazzi *et al.* (1993), Chataigner *et al.* (1998), Ercan *et al.* (1990), Matsuda (1990), and Notsu *et al.* (1995).

地点の平坦地まで火砕丘が分布している。山体の東部には、ツズ湖東岸からアクサライの東を通り南東に伸びる断層があり、これにより山体は変位を受けているが、ハッサン火山の噴出中心はそれより西に離れて位置している。

南西山麓には Keçikalesi という、頂部の標高が約 1700 m の緩やかな山があり、この 13Ma (Besang *et al.*, 1977) の古期火山体も含めてハッサン火山と称することもあり、その場合、分布面積は 760km<sup>2</sup>、体積は 354 km<sup>3</sup> である (Aydar and Gourgaud, 1998)。第四紀の活動は火砕物の噴出によるカルデラ形成を挟んだ中期 (Mesovolcano) と新期 (Neovolcano) のステージに分けられる。両活動ステージとも、溶岩円頂丘、溶岩流及び火砕流が噴出し、また、カルデラも生じた。中期のカルデラは直径 8-12 km、新期のカルデラは直径 4-5km で

ある。新期の活動で Büyük Hasan dağı と Küçük Hasan dağı のピークが形成された。活動が目撃・記録されたもっとも新しい噴火は 8200 年前であるが、北山腹の溶岩の K-Ar 年代として 6000 年前の値が得られている。岩石は玄武岩から流紋岩までであるが、多いのは安山岩である。以上は Aydar and Gourgaud (1998) 及び Deniel *et al.* (1998) の記載による。

また、現地では Hasan dağı Pyroclast と通称される火砕堆積物が観察されたが、これがカルデラ生成に関わるものか、溶岩円頂丘の崩壊によるものかは判断できなかった。

Matsuda (1990) は、ハッサン山の火山岩の K-Ar 年代値 5 個を報告した。それらは、0.120 ± 0.015 Ma から 0.064 ± 0.015 Ma の間にある。Chataigner *et al.* (1998)



第7図 西方から見たハッサン火山.  
Fig.7 Hasan dağı from the west.

は山頂の黒曜石試料の K-Ar 年代 170 ka (Aydar 分析) 及び南麓の火砕堆積物中の黒曜石のフィッション・トラック年代 390 ka (Bigazzi 分析) を引用報告した。Ercan *et al.* (1992) は、0.78–0.277 Ma の K-Ar 年代を示した (Toprak (1998) の引用による)。

試料番号 2–4 は、いずれも中期の安山岩溶岩流である。試料 2 はハッサン山南麓の Karakapı 集落の南東約 4 km の明瞭な地形が残されている安山岩溶岩流から採取した。試料 3 は、同じく Karakapı 集落の東約 3 km の安山岩溶岩流から採取した。試料 4 は同じく Karakapı 集落の北約 1 km の安山岩溶岩流から採取した (第 8 図)。試料 5 は新期の最初のユニットである安山岩の火砕流堆積物であり、南東麓の Akçaoren 東方約 4 km から採取した。試料 6–9 は新期の円頂丘溶岩及び溶岩流である。試料 6 はハッサン山南麓の Karakapı 集落の北約 2 km の安山岩溶岩流から採取した。この溶岩流は試料 4 を採取した溶岩流を直接覆うものである。試料 7 は東中腹の Hacıhasamn seki の安山岩溶岩円頂丘もしくは溶岩流から採取した。試料 8 は北山腹のデイサイト溶岩から採取した (第 9 図)。試料 9 は西麓の Ketil tepe の安山岩溶岩流から採取した。試料 10 は新期の中でも最も新しい玄武岩溶岩流のユニットに属するもので、西麓の Karacaören 集落で採取した。

古地磁気測定結果は、一部地点の岩石試料の伏角に大きいまたは小さい試料はあるが、おおむねすべて正帯磁と判断される。これは既に報告されている放射年代資料と矛盾ない。また、試料 5 採取地点では、ほかの 13 個の岩石試料について現場でフラックスゲート携帯磁力計

を用いて磁化方位の正逆を測定したが、すべて正帯磁と判断された。このほか、試料採取地点 8 の北方において、通称 Hasan dağı Pyroclast (第 10 図) の岩石試料 7 個の磁化方位を同じくフラックスゲート携帯磁力計を用いて現場で測定した結果、すべて正帯磁と判断された。

#### 4.3 ギョル山周辺

ハッサン山の北東、最高点の標高が 3000 m 近いメレンディス山の北方に、頂部の標高が 2000 m 程度の山が連なっている。ここに分布する火山を便宜的にギョル山周辺の火山としてまとめて扱う。最高点は Büyükgöllü tepe (2172 m) である。北方と東方には標高 1300 m 程度の平地が広がっている。北方の平地には多くの小火山体が分布しており、ギョル山の火山との分布は連続的なものかもしれないが、それらは便宜上 4.4 のアジギョル・エルダシュ山のグループとして扱う。Büyükgöllü tepe は、山頂に火口地形を有する。ほかの火山噴出物の地形はさほど明瞭ではない。玄武岩、安山岩及び流紋岩の報告がある (Ercan *et al.*, 1987)。

Kömürcü-Bekarlar (詳細な位置は不明) の黒曜石のフィッション・トラック年代として  $0.9 \pm 0.2$  Ma 及び  $0.86 \pm 0.1$  Ma が得られている (Batum, 1978)。Bigazzi *et al.* (1993) は、ギョル山周辺の 4 地点の黒曜石試料のフィッション・トラック年代として  $1.33-0.98$  Ma の値を報告した。Chataigner *et al.* (1998) の定義では、最高点の標高が 2143 m の山、ギョル山、は直径 10 km の深く浸食された成層火山で、その年代は 1.5 Ma–0.9 Ma である。ギョル山周辺では、より古い  $3.6 \pm 0.4$  Ma 及び 1.9





第8図 ハッサン火山南中腹の溶岩流. 手前の溶岩を左の溶岩が覆う.

Fig.8 One of the lava flows on the south flank of Hasan dağı. The lava flow in the foreground was covered by the lava flow on the left.



第9図 ハッサン火山北中腹の溶岩流の基底付近. 中央左下の走向傾斜が記入された岩塊は磁気測定に使用された.

Fig.9 Basal part of the lava flows on the north flank of Hasan dağı. A block which is marked dip and strike, lower left of the center, was used for the magnetic study.

± 0.1 Ma の Ar-Ar 年代値も得られており, Chataigner *et al.* (1998) は, それらを含めたギョル山系火山活動の年代を 4 Ma 以降とした.

試料 11 は Büyükgöllü tepe 北東の集落 Kömürçü の西はずれの谷に露出する流理構造が顕著な流紋岩溶岩で

ある (第 11 図). この溶岩は, Ercan *et al.* (1990) が示した放射年代  $1.36 \pm 0.07$  Ma の試料と同じユニットに属すると思われる. 試料 12 は Büyükgöllü tepe 西の集落 Sivrihisar の南はずれに露出する玄武岩質安山岩溶岩であり, ギョル山の流紋岩の下位に位置する (Akbasli,





第10図 ハッサン火山北麓の火砕堆積物，通称 Hasan dađı Pyroclast.  
Fig.10 “Hasan dađı Pyroclast” on the north foot of Hasan dađı.



第11図 ギョル火山の流理構造が明瞭な流紋岩溶岩.  
Fig.11 Rhyolite, showing flow structure, on the northeast flank of Göldađı.

口頭).

古地磁気測定結果は，現場でのフラックスゲート携帯磁力計でも，室内での無定位磁力計によっても，試料 11, 12 とも逆帯磁と判断された．試料 11 については，既に報告されている放射年代資料と矛盾ない．

#### 4.4 アジギョル・エルダシュ山

アジギョル（苦い湖の意）という地名は本報告の調査地域内だけでも 3 か所あるので，ここで紹介する地域はネブシェヒル・アジギョルと称されることもある．主要道沿いの街アジギョルは海拔約 1250 m の台地にある．



アジギョル街の東方約 3 km にマール、アジギョル火山がある。アジギョル火山の南東には東西に伸びたエルダシュ山の山塊があり、その最高点は Horç tepe (1982 m) である。アジギョル火山周辺からエルダシュ山の南及び北にかけて小火山体が多く分布している。アジギョル火山周辺には、玄武岩・安山岩及び流紋岩の溶岩流、溶岩円頂丘及びマールが多数認められる。エルダシュ山南には玄武岩及び安山岩の溶岩流、溶岩円頂丘、火砕丘及びマールが多数認められる (Innocenti *et al.*, 1975; Ercan *et al.*, 1987)。エルダシュ山南の火山地形は、きわめて明瞭なものからやや不明瞭なものまで様々であり、全体の活動期間は短くないものと推定される。

エルダシュ山の北及び南は、標高 1300-1400 m の平地であるが、Pasquare (1968), Innocenti *et al.* (1975), Pasquare *et al.* (1988), Le Penne *et al.* (1994), Froger *et al.* (1998), 及び Toprak (1998) らによれば、約 11 Ma から 5 Ma にかけて繰り返し噴出した大規模珪長質火砕物などの複数の噴出源のいくつかはこの周辺にある。現在はそこには地形的なカルデラの落ち込みは見出すことはできない。これらの中では新しい約 5 Ma の大規模珪長質火砕物の噴出源については、Derinkuyu (デリンクユ) 南西 (Le Penne *et al.*, 1994) や Niğde (ニーデ) 北東約 30 km (Schumacher, R. and Mues-Schumacher, 1996) など、ほかの候補地点も推定されている。

上記の新第三紀のカルデラとは別に、アジギョル火山を含む地域にカルデラが存在することについては、既に Pasquare (1968) によって言及されており、その大きさは Yıldırım (1984) によれば長径 13 km, 短径 9 km の楕円形、Ercan *et al.* (1989) によれば、東西約 11 km 南北約 8 km, Bigazzi *et al.* (1993) によれば 7×8 km の丸みを帯びたひし形、Druitt *et al.* (1995) によれば 6

× 5 km である。Druitt *et al.* (1995) には、東と北の縁のみ図示されている。

アジギョル火山南方の Korudağ 及び東方の Kocadağ の黒曜石のフィッション・トラック年代として 0.42 ± 0.08 Ma 及び 0.34 ± 0.03 Ma が (Batum, 1978), アジギョル火山の黒曜石のフィッション・トラック年代として 15500 ± 2500 年の値 (Innocenti *et al.* (1975), 分析は Bigazzi) がそれぞれ報告されている。これらとは別に Bigazzi *et al.* (1993) は、アジギョル火山周辺の 8 地点の黒曜石試料のフィッション・トラック年代を求め、この地域の火山活動を、1) アジギョル・カルデラ形成以前の黒曜石 : 0.18–0.15 Ma, 2) カルデラ内の大きな円頂丘 : 0.08 Ma, 3) アジギョル周縁部の円頂丘 (Kocadağ) : 0.020 Ma と 0.019 Ma の 3 つの活動時期に分けた。Druitt *et al.* (1995) は、上記の 1) を Boğazköy Obsidian と呼び、その前にプリニー式噴火があったこと、0.15–0.07 Ma にもプリニー式噴火があり、そのときにアジギョル・カルデラができたこと、その後の流紋岩の活動で 6 つの円頂丘とマールができたこと、更にカルデラの周囲に玄武岩と安山岩の活動があったことなどを示した。更に別に 15000 年という放射年代値も報告されている (Yıldırım (1984) に記載があるが原典未確認)。Chataigner *et al.* (1998) は、3 つの活動時期を 190–150 ka の先カルデラ期, 70 ka の後カルデラ東アジギョル期, 20 ka の西アジギョル期とに区分した。

試料 13 は、エルダシュ山の南中腹の火砕丘 Çatal tepe (チャタルテペ, 第 12 図) から南に流下した安山岩溶岩流から採取した。チャタルテペの山体は、現在でも山頂に火口を有する円錐形が明瞭に保存されている。山頂部にはきれいな形をした火山弾も多数認められる。火砕丘の南面は南への溶岩流の流下により一部欠損



第 12 図 チャタルテペ火砕丘 (写真中央) とそこから流下した溶岩流。後方はエルダシュ山。

Fig.12 Çatal tepe cone (center) and the lava flow on the south flank of Erdaşdağ (back).

している。溶岩流の先端は火口から約3.5 kmまで達し、平地に扇状に広がり、表面の波状の微地形も明瞭である。試料14は、エルダシュ山の南の平地にあるKabak tepeから流出した玄武岩質安山岩溶岩流から採取した。Kabak tepeも山頂に火口がある円錐形の火砕丘地形が明瞭に残されている。溶岩は東西、南北とも3-4 kmにわたって平地にひろがっている。

試料15は、アジギョルの街の東北東約3 kmにあるKeleci tepe山頂から採取した。Keleci tepeは流紋岩の溶岩円頂丘であるが、それ自体が完全にマールの中にある(第13図)。マールの直径は1 km弱、溶岩円頂丘の比高は100 m程度である。試料16はアジギョルの街の東方11 kmにある集落Boğazköy(ボアズキョイ)の南東約1 kmから採取した黒曜石である(第14図)。この露頭は地形的にカルデラ壁の一部と思われる崖を形成しているが、本試料が溶岩流であるか貫入岩であるかは確認できなかった。黒曜石の一部は脱ハリシ、スフェルライト及びアキシオライトが生成している。

試料13及び14については、現場でのフラックスゲート携帯磁力計を用いた測定では、1試料を除き正帯磁と判断したが、室内での無定位磁力計の測定結果によればこれらは逆帯磁であった。交流磁場消磁の過程で著しく値が変化することもなかった。この測定結果のずれについては未解明である。また、両者の試料が属するユニットが作る地形は現在でも明瞭であるが、Ercan *et al.* (1987) が試料13のユニットを更新世後期としたのみで、参照できる放射年代資料はない。

試料15及び16については、現場でのフラックスゲート携帯磁力計を用いた測定では、すべて正帯磁と判断したが、室内での測定結果によれば試料15は正帯磁と判断されるが、試料16は逆帯磁の可能性はある。これらの試料の交流磁場消磁の過程での磁化方位の変化はほとんどなかった。試料16はガラス質であるが、磁化の強度が著しく弱いわけではなく、変則的な帯磁方向をもった理由については解明できなかった。

#### 4.5 エルジエス山

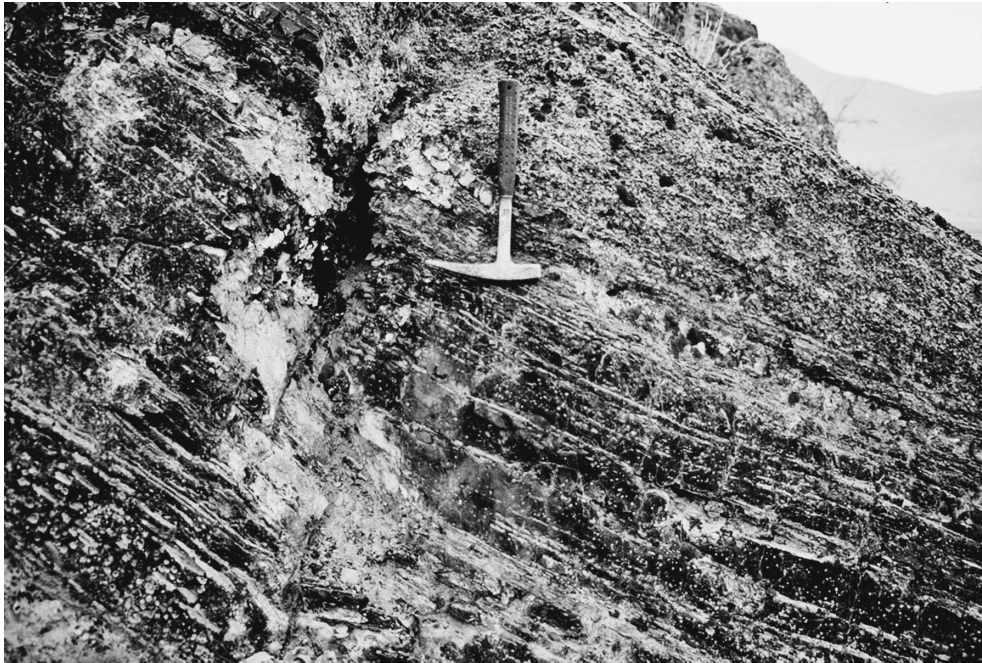
エルジエス山の山頂の標高は、本調査地域内の最高で3917 mである。溶岩流のうち北、西及び南に流下したものは海拔1100 m以下の平地にまで達している。山頂は浸食され鋭い岩峰がそびえている。一方中腹から山麓にかけては多数の側火山が分布し、それぞれ円錐形の山体、マールや溶岩流の地形が明瞭に保存されている(第15図)。

Şen *et al.* (2003) は、既存の報告類(トルコ語の文献については筆者は未読)の成果も踏まえ、エルジエス火山の活動をKoç DağとErciyesの2期に分けた。Koç Dağという山は、現在エルジエス山の東中腹に位置し、その最高峰は標高2628 mであるが、山名は特定のピークを指すのではなく、周辺の山も含めた総称であるらしい。Koç Dağの活動期では玄武岩と安山岩の溶岩噴出の後、火砕流噴出を伴う大規模な噴火により14 km×18 kmの楕円形カルデラができた。この活動の最後に噴出したのが2.8 Maの溶結凝灰岩で、山体の東及び北側の



第13図 南から見たケレジテペ溶岩円頂丘。マールの中にある。  
Fig.13 Keleci tepe lava dome in the maar from the south.





第14図 ボアズキョイの黒曜石. アジギョル・カルデラの東縁  
Fig.14 Obsidian at Boğazköy, east rim of the Acıgöl caldera.



第15図 南方から見たエルジエス火山. 山体の西斜面には多数の溶岩及び火砕噴出物からなる小火山体が認められる.  
Fig.15 Erciyes dağı from the south. Many lava domes and pyroclastic cones are visible on the west slope.

みで分布が認められている。その後の Erciyes 期は、主として玄武岩、安山岩、デイサイトの溶岩噴出で特徴づけられる 2.6–0.17 Ma の第 1 期と、それ以降のデイサイト及び流紋デイサイト噴出活動の第 2 期に区分される。有史の活動もあったという記述もあるが、それらはエルジエス山南麓の湿地帯でのメタン爆発であるとの説もあ

る。

Şen *et al.* (2003) は、エルジエス山を成層火山 (stratovolcano) と呼んでいるが、その山体上に分布する小火山体を側火山とは呼ばず単成火山 (monogenetic volcano) と呼んでいる。その数は、Şen *et al.* (2003) によれば 64 であり、その多くは山体の東以外の斜面に

分布している。それらの中には現在の山頂から放射状に配列しているものも多いが、特にいずれかの方向に多いということはない。

放射年代値は、Innocenti *et al.* (1975), Matsuda (1990), Ercan *et al.* (1994), Notsu *et al.* (1995) が報告している。Koç Dağの活動期については、最後の噴出物である溶結凝灰岩についてのみ $2.7 \pm 0.1$  Maから $3.0 \pm 0.1$  Maの値が得られている。それより下位の、山体を形成した安山岩及び玄武岩の年代値は得られていない。Erciyes期の第1期については、 $2.59 \pm 0.014$  Maから $0.15 \pm 0.07$  Maまでの10個の値が得られている。それらの間には長い活動の休止期があったかもしれない。

試料17は、山体南西麓まで達した安山岩溶岩流である。この試料は苦鉄質斑晶として、かんらん石のみを含み、玄武岩質安山岩と言うべきかもしれない。試料18は、山体南麓に達した安山岩溶岩流である。試料19は、カルデラの内側を埋めるように分布している安山岩溶岩であるが、溶岩流の地形は明瞭ではない。

現場でのフラックスゲート磁力計の測定では、試料17の4個中3個、試料18のすべて、試料19の3個中2個は正帯磁と判断されたが、室内での測定結果はそれらとは大きく異なり、むしろ逆帯磁であるとも判断されるものであった。交流磁場消磁の過程での磁化方位の変化は、試料18でやや大きかったが、ほかの試料ではほとんどなかった。詳細な採取位置の資料はないが、試料17は $1.734 \pm 0.069$  Ma、試料18は $0.9 \pm 0.2$  Ma、試料19は $2.590 \pm 0.104$  Maの放射年代値測定試料採取地点に近い。したがって、これらの試料が共に逆帯磁であれば古地磁気年代尺度上の矛盾はないことになるが、試料採取や測定時に問題がなかったかどうか、なお未解明の部分が残されている。

## 5. 考察

中部アナトリアの本調査地域には多くの火山が分布し、地表地熱兆候も認められることから、火山岩の分布と年代を決定することは地熱資源の評価を行うに際しても重要と思われる。火山岩の放射年代測定は、装置や観測手法の問題から、世界のどこでも簡単に測定できるとは限らない。それに対して古地磁気測定は、特に現場に携帯できる装置もあることから相対的に実施が容易であると考え、今回の調査で採用した。

結果は、新しい年代値が得られているハッサン火山噴出物で正帯磁、より古い1r(松山逆磁極期の一部)の年代が得られているギョル火山噴出物で逆帯磁のデータが得られたことから、この手法が有効であることが確かめられた。しかしながら一方、今回測定した調査地点あたりの試料の数が少なかったこともあり、測定結果の正逆の判断が困難な場合もあった。その原因として、試料数の多寡のほか、試料採取地点周辺の地形の状況から、落

雷の影響が避けられない場合があったことなども考えられるかもしれない。また、試料採取及び調整の過程でミスがあった可能性も否定できない。

また、未固結火砕堆積物の定置温度がキュリー点より高いか低いかを野外調査の現場で測定する試みは、携帯型フラックスゲート磁力計を用いて行われ、この方法が有効であることが確かめられた。

## 6. まとめ

トルコ中部アナトリアには、大型成層火山、単成火山群、及び大規模火砕流堆積物からなる台地などの火山地形がみられる。それらは過去1千万年程度の間に噴出し、東西約200 km、南北約150 kmの範囲内に複雑に分布している。比較的新しい大型成層火山として、ハッサン火山とエルジエス火山があり、単成火山群は、溶岩円頂丘、溶岩流、火砕丘、マールからなる。トルコの地質調査所に相当する機関、鉱物資源調査局(MTA)との地熱資源に関わる共同的研究の一環として、それらの火山岩のうち比較的新しい噴出物について古地磁気測定を行った。その結果、地形的にも新しいと判断されるハッサン火山の岩石は1n(ブリュンヌ正磁極期)に、より古い年代が得られているギョルダールの試料は1r(松山逆磁極期)に対応するなど、既存の放射年代測定値及び古地磁気年代尺度と整合的な結果が得られた。また、ハッサン火山の山腹に分布する未固結な火砕堆積物については、各岩塊の磁化方位がそろっていることから、現地調査において、堆積時にもキュリー点よりも高温であったと推定されることなどを確認した。

謝辞：本調査の全体の計画と運営は、MTAのGünler Ünalán 資源エネルギー部長とAli Koçak 地熱エネルギー課長代理のもとに行われた。現地調査は地熱エネルギー課のAli Koçak, Talat Yıldırım, A.Ihsan Gevrer, Erdoan Ölmez, 及びFuat Saroğluの各氏及びコンヤ支所のAdem Akbaşlı及びLevent Turgutの両氏、当所の茂野 博氏が全部または一部同行して行われた。MTAのTuncay Ercan氏には地質の、Tuğrul Tokgöz氏には物理探査の情報の提供を受けた。MTA滞在中には、同所に勤務中の藤井紀之氏にお世話になった。調査前には宇井忠英氏から有益な現地情報の提供を受けた。調査全般に対し、国際協力事業団の各担当者から指示と支援を受けた。当所の高田 亮氏からは粗稿を改善する適切な査読意見を頂いた。末尾に記し深甚の謝意を表す。

## 文献

- Atabey, E. (1989a) Geologic map of the Kayseri-H19 Quadrangle. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.  
Atabey, E. (1989b) Geologic map of the Kayseri-I19



- Quadrangle. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- Aydar, E. and Gourgaud, A. (1998) The geology of Mount Hasan stratovolcano, central Anatolia, Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 129-152.
- Batum, İ. (1978) Nevşehir Güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl Yöresi volkanitlerinin jeoloji ve petrografisi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Yayın Organı*, **4**, no.1,2, 50-69.
- Besang, C., Eckhardt, F. J., Harre, W., Kreuzer, H. and Müller, P. (1977) Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen eruptivegesteinen der Türkei. *Geol. Jb. B*, **25**, 3-36.
- Bigazzi, G., Yegingil, Z., Ercan, T., Oddone, M. and Ozdogan, M. (1993) Fission track dating obsidians in central and northern Anatolia. *Bull. Volc.*, **55**, 588-595.
- Bingol, E. (1989) Geological map of Turkey, scale 1/2,000,000. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- Cande, S. C. and Kent, D. V. (1992) A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geoph. Res.*, **97**, B10,13917-13951.
- Chataigner, C., Poidevin, J. L. and Arnaud, N. O. (1998) Turkish occurrences of obsidian and use by prehistoric peoples in the Near East from 14,000 to 6000 BP. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 517-537.
- Defense Mapping Agency Aerospace Center (1990) Tactical Pilotage Chart, TPC G-4A. DMAAC, St. Louis, Missouri.
- Deniel, C., Aydar, E. and Gourgaud, A. (1998) The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calc-alkaline to alkaline magmatism in a collision zone. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **87**, 275-302.
- Druitt, T. H., Brenchley, P. J., Gökten, Y. E. and Francaviglia, V. (1995) Late Quaternary rhyolitic eruptions from Acıgöl Complex, central Turkey. *J. Geol. Soc. London*, **152**, 655-667.
- Ercan, T., Yıldırım, T. and Akbaşlı, A. (1987) Gelveri (Niğde) – Kızılcin (Nevşehir) arasındaki volkanizmanın özellikleri. *Jeomorfoloji Dergisi*, **15**, 27-36.
- Ercan, T., Yegingil, Z. and Bigazzi, G. (1989) Obsidiyen, tanımı ve özellikleri, Anadolu'daki dağılımı ve Orta Anadolu obsidiyenlerinin jeokimyasal nitelikleri. *Jeomorfoloji Dergisi*, **17**, 71-83.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J., Tokel, S., Notsu, K., Ui, T., Can B., Selvi, Y., Yıldırım, T., Fişekçi, A., Ölmez, M. and Akbaşlı, A. (1990) Hasandağı – Karacadağ (Orta Anadolu) dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmanın kökeni ve evrini. *Jeomorfoloji Dergisi*, **18**, 39-54.
- Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J., Ui, T., Notsu, K. and Fujitani, T. (1992) New geochemical, isotopic and radiometric data of the Quaternary volcanism of Hasandağı – Karacadağ (Central Anatolia). *TJK Bülteni*, **7**, 8-21.
- Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J., Ui, T., Notsu, K. and Fujitani, T. (1994) Erciyes Dağı (Orta Anadolu) Pliyo-kvaterner volkanizmasına ilişkin yeni jeokimyasal, izotopik, radyometrik veriler ve jeotermal enerji açısından önemi. Türkiye 6. Enerji Kongresi, teknik oturum tebliği, 208-222.
- Froger, J-L., Lenat, J-F., Chorowicz, J., Le Penec, J-L., Bourdier, J-L., Kose, O., Zimitoglu, O., Gundogdu, N M. and Gourgaud, A. (1998) Hidden calderas evidenced by multisource geophysical data; an example of Cappadocian calderas, central Anatolia. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 99-128.
- Gencalioglu-Kuscu, G., Atilla, C., Cas, R. A. F. and Kuscu, I. (2007) Base surge deposits, eruption history, and depositional processes of a wet phreatomagmatic volcano in Central Anatolia (Cora Maar). *J. Volc. Geotherm. Res.*, **159**, 198-209.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F. and Villari, L. (1975) The Neogene calcalkaline volcanism of central Anatolia: geochronological data on the Kayseri-Nigde area. *Geol. Mag.*, **112**, 349-360.
- Keller, J. (1974) Quaternary maar volcanism near Karapinar in Central Anatolia. *Bull. Volcanolo.*, **38**, 378-396.
- Ketin, I. (1961) 1/500,000 Geological Map of Turkey, Kayseri. Institute of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- Kurkuoglu, B., Sen, E., Aydar, E., Gourgaud, A. and Gundogdu, N. (1998) Geochemical approach to magmatic evolution of Mt. Erciyes stratovolcano, central Anatolia, Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 473-49.
- Le Penec, J, -L., Bourdier, J, -L., Froger, J.-L., Temel, A., Camus, G. and Gourgaud, A. (1994) Neogene ignimbrites of Nevşehir Plateau (central Turkey): Stratigraphy, distribution and source constraints. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **63**, 59-87.
- 松田准一 (代表) (1990) トルコにおけるプレート衝突境界の地球化学的研究—日本における沈み込み帯

- との比較. 昭和62・63年度, 平成元年度文部省海外学術研究, 研究課題番号 (62042015, 63041085) 研究成果報告書, 86p.
- Matsuda, J. (1990) K-Ar age. トルコにおけるプレート衝突境界の地球化学的研究—日本における沈み込み帯との比較. 昭和62・63年度, 平成元年度文部省海外学術研究, 研究課題番号 (62042015, 63041085) 研究成果報告書, 63-68.
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J. and Ercan, T. (1995) Geochemical features of collision-related volcanic rocks in Central and Eastern Anatolia, Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **64**, 171-192.
- Ota, R. and Dincel, A. (1975) Volcanic rocks of Turkey. *Bull. Geol. Survey of Japan*, **26**, 393-419.
- Pasquare, G. (1968) Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. *Roma Accad. Nazionale Lincei Mem.*, **9**, 55-204.
- Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. and Zanchi, A. (1988) Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, **146**, 217-230.
- Schumacher, R. and Mues-Schumacher, U. (1996) The Kizilkaya ignimbrite – an unusual low-aspect-ratio ignimbrite from Cappadocia, central Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **70**, 107-121.
- Şen, E., Kürkcüoğlu, B., Aydar, E., Gourgaud, A. and Vincent, P. M. (2003) Volcanological evolution of Mount Erciyes stratovolcano and origin of the Valibaba Tepe ignimbrite (Central Anatolia, Turkey). *J. Volc. Geotherm. Res.*, **125**, 225-246.
- Simkin, T. and Siebert, L. (1994) *Volcanoes of the world*. Geoscience Press, Inc., Tucson, 349p.
- Ternek, Z. (1962) 1/500,000 Geological Map of Turkey, Adana. Institute of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- Tokel, S., Ercan, T., Akbaşlı, A., Yıldırım, T., Fişekçi, A., Selvi, Y., Ölmez, M. and Can, B. (1990) Neogene tholeiitic province of central Anatolia: implication for magma genesis and post-collision lithospheric dynamics. *METU Jour. Pure and Applied Sci.*, **21**, 461-477.
- Toprak, V. (1998) Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 55-67.
- Toprak, V., Keller, J. and Schumacher, R. (1994) Volcano-tectonic features of the Cappadocian volcanic province. Excursion guide, IAVCEI, Ankara, 1994, 58p.
- 宇井忠英 (1989) トルコの火山. 火山, **34**, 87-88.
- Umran, D. A., Dogan, M., Kilinc, A. and Locke, D. (2008) An isobaric-isenthalpic magma mixing model for the Hasan Dagi volcano, Central Anatolia, Turkey. *Bull. Volc.*, **70**, 797-804.
- Yıldırım, T. (1984) Acigol volcanism and hot dry rock possibilities, Nevşehir, Turkey. Report for the Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence.

(受付: 2011年2月17日; 受理: 2011年12月27日)