

## シリア北部における新生代後期アルカリ玄武岩マグマの活動

### Late Cenozoic volcanic activity of alkaline basalt in northern Syria

星野光雄 (HOSHINO Mitsuo)

名古屋大学大学院環境学研究科  
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

#### Abstract

The northeastern part of the Bishri area, Syria consists of Neogene sedimentary rocks, Neogene-Quaternary volcanic rocks and Quaternary sediments of fluvial and aeolian in origin. Volcanic eruptions took place in the area and lava flows and pyroclastic deposits covered the Bishri basement rocks in four places: the Al Treb, Zenobia-Halabiye, Mankhar Gharbi and Mankhar Sharqi volcanoes. The following ages were obtained from K-Ar dating performed on three basaltic lavas:  $2.72 \pm 0.09$  Ma B.P. for Al Treb,  $2.60 \pm 0.08$  Ma B.P. for Zenobia-Halabiye and  $1.38 \pm 0.08$  Ma B.P. for Mankhar Gharbi. Petrographical and petrochemical analyses indicate that the rocks from the older volcanoes are identified as basanite of the per-alkaline variety, whereas those of the younger volcano are identified as foidite of the hyper-alkaline variety. Foidite lava, terrestrially very rare in occurrence, characteristically contains phenocrystic nepheline crystals in which groundmass crystals of clinopyroxene and opaque minerals are embedded poikilitically. Identification of the basaltic rocks is significantly useful for Archaeological investigation, and this study could offer some petrographical and petrochemical parameters for that kind of identification.

#### 1. はじめに

2005年から2009年までの5年間、特定領域研究「セム系部族社会の形成：ユーフラテス河中流域ビシュリ山系の総合研究」がシリア北部を調査地として実施された。このプロジェクトに名古屋大学と名城大学の地球科学・環境科学研究者も加わり、計画研究「環境地質学、環境化学、 $^{14}\text{C}$ 年代測定に基づくユーフラテス河中流域の環境変遷史」を担当し、この間に都合8回の現地調査を行った。当計画研究班（通称：自然科学分析班）は名古屋大学の田中 剛（地球化学）、中村俊夫（年代測定）、吉田英一（環境地質学）、東田和弘（構造地質学）、桂田祐介（リモートセンシング）と筆者（環境地質学）、および名城大学の齊藤 毅（層序・古生物学）の7名で構成され、名古屋大学院生の青木義幸（土壌微生物学）と於保 俊（景観環境学）の2名が随時加わった。

調査地は、シリア北部ユーフラテス河中流域ビシュリ山系である (Figs. 1, 2, Plate 1-a)。この地域は、アッシリアやバビロンなど西アジア古代王国の創建集団といわれるセム系民族の一大原郷と考えられる (大沼, 2005)。考古学グループがターゲットとする発掘遺跡の時代としては、古アッシリア以前の紀元前3千年紀 (紀元前3000–2000年：前期青銅器時代)、日本では縄文時代中期の頃である。自然科学分析班は、環境変遷史の研究を目指しつつも、考古学への寄与を第一義として調査研究を進めてきた (桂田, 2007; 東田ほか, 2008; 田中, 2009; 吉田, 2009; Hoshino *et al.*, 2010)。とりわけ、領域研究全体の中核をなすテル・ガーネム・アルーアリ (Tell Ghanem al-Ali) 発掘遺跡の $^{14}\text{C}$

編年 (中村ほか, 2009; Nakamura, 2010) およびユーフラテス河沿いに発達する河成段丘発達史の考察 (齊藤, 2009) は, 自然科学分析班による重要な研究成果といえる。

アラビア半島には, 紅海リフト-死海トランスフォーム断層-ザグロス縫合帯に近接して, さまざまな規模の火山岩体が存在し (Fig.1), それらの多くは鮮新世から完新世に活動した玄武岩質火山である (Lustrino and Sharkov, 2006; Krienitz *et al.*, 2006, 2007; Lease and Abdel-Rahman, 2008). 調査地のビシュリ地域にも小規模な火山岩体が多くみられ, そのなかには岩石学的記載と年代測定が行われているものとそうでないものがある. 筆者がとくに注目する火山は, Fig.2の範囲内で最も新しいと推定 (Ponikarov, 1963) されるメンハ・ガルビ (Mankhar Gharbi) とメンハ・シャルキ (Mankhar Sharqi) であり, 両火山についての岩石学的記載や年代測定はこれまでに報告されていない。

ところで, 本論文で火山を扱う目的は以下の3つである。(1) 調査地域内に, もし更新

39°00'E

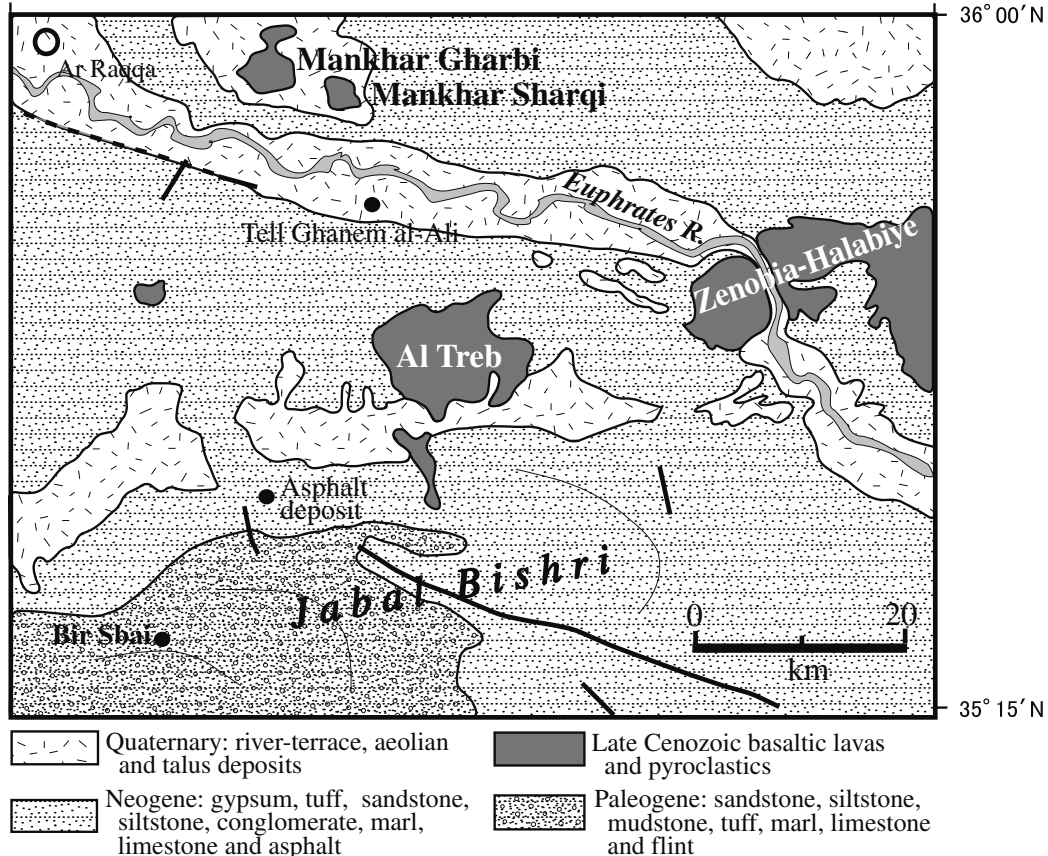


Fig. 2. Simplified geological map of the Bishri area (after Ponikarov, 1963).

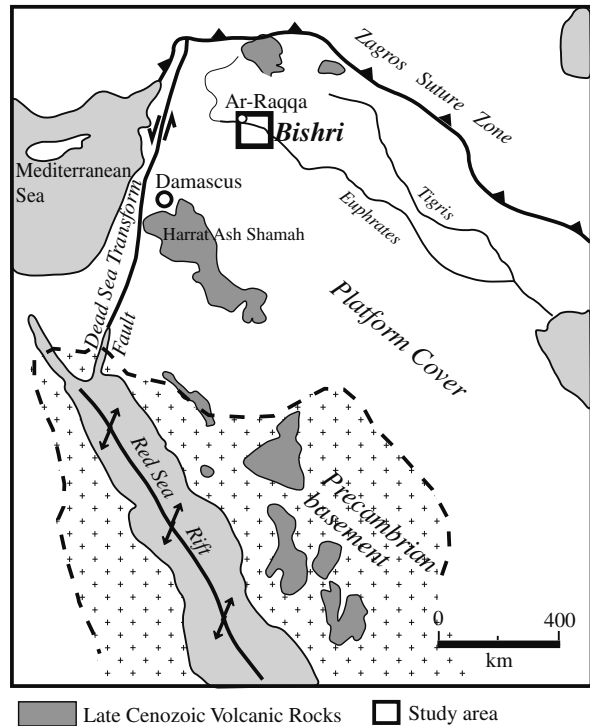


Fig. 1. Geological setting of NW Arabia.

世後期—完新世に噴火した火山が存在するならば、そしてもし噴火当時に調査地域一帯にセム系民族の祖先が住んでいたならば、噴火の目撃談を何らかの記録として残しているかもしれない。可能性は限りなく低い、このことをぜひ追求したい。(2) 発掘遺跡から玄武岩を使った遺物が出土している(長谷川, 2007)。原材料の玄武岩は果して何処の火山から運ばれてきたものであろうか。このことは、当時の人々の交流を知る上でも重要である。現時点では、出土品を日本に運び出して分析に供することは許されていないが、それが可能となった時点で直ちに出土遺物石材の産地が正確に特定できるよう、それぞれの火山の岩石学的特徴をできるだけ詳しく調べ上げておくことが不可欠と考えたからである。(3) 新生代におけるアラビア・プレートとユーラシア・プレートとの相互作用と、これに伴う火成活動に関する研究が、近年盛んである(e.g., Pearce *et al.*, 1990; Sawaf. *et al.*, 1993; Litak *et al.*, 1997; Brew *et al.*, 2001a, 2001b, 2003; Lustrino and Sharkov, 2006; Krienitz *et al.*, 2006, 2007; Lease and Abdel-Rahman, 2008)。岩石学的に記載する以上は、多少なりと岩石成因論にも言及したいという筆者の希望も少しある。

筆者は、上記と同じ動機で、当地の火山岩についてごく簡単に報告した(星野, 2009)。今回は改めて当地の火山岩の岩石学的性質について書き直し、今後の考古遺物の産地同定に耐えうるデータを提供したい。また、玄武岩マグマ成因論に関する若干の考察をつけ加えたい。

## 2. アラビア半島および調査地の地形・地質の概要

紅海とその両岸は、リフトに典型的な隆起断裂帯の地形を示している(Fig. 1)。両岸一帯は、先カンブリア基盤岩類が広く露出した高地をなし、海岸線に沿って標高1000–3000mの山脈がみられる。アラビア半島側では、北東部のチグリス・ユーフラテス両河川(Euphrates graben)とペルシャ湾に向かって地形は徐々に低下する。先カンブリア時代の地層を取り囲むように、カンブリア紀から新生代までの堆積岩類が西から東へほぼ順序よく積み重なる(Platform cover)。紅海リフトに伴うトランスフォーム断層が、アカバ湾から死海を通過してさらに北に延びる(Girdler and Southeren, 1987; Brew *et al.*, 2001b)。ユーフラテス・グラブの北西部を取り囲むような形のザグロス縫合帯は、アラビア・プレートとユーラシア・プレートとの収束境界である(Pearce *et al.*, 1990)。鮮新世—完新世の大規模な玄武岩体を Fig. 1 に示した。これら以外にも小規模な玄武岩体が多数存在し、本論文で扱うものは、ビシュリ地域内に出現する小さな玄武岩体である。

ビシュリ地域の地質を Fig. 2 に示す。この図は、ソヴィエト(現ロシア)によって作成された地質図(Ponikarov, 1963)を簡略化したものである。ユーフラテス河沿いのわずかな帯を除いて植生はほとんどない。そのためもあって、地質図はかなり正確である。東へ貫流するユーフラテス河の両岸、とくに右岸には少なくとも5段の河成段丘が識別される(齊藤, 2009)。ユーフラテス河は歴史的に頻繁に蛇行を繰り返す、6–10km幅の沖積平坦面を形成した(Fig. 2)。この平坦面は、現在の流路、(狭義の)氾濫原、三日月湖(以上3者の標高は228m)および大きな面積を占めて発達する最低位段丘(標高230m)より構成される。発掘遺跡のテル・ガーネム・アルーアリも最低位段丘上に立地している。最低位段丘上では、古来より、ユーフラテス河の豊富な水を利用した灌漑農業が盛んである。沖積平坦面の縁に寄り添うように最高位までの4段の段丘が発達する。最高位段丘の標高はおおよそ250mであり、そこから新第三系石膏層の崖面がおおよそ30mの高さ、最低位段丘面からは50mの高さでそそり立つ(Plate 1-a)。

当地域にかつて存在したテチス海は、古第三紀以降徐々に閉じていく。その過程で生じた新第三紀の浅海には、大量の蒸発岩(調査地域では石膏層が主体)が堆積した(Brew *et al.*, 2001a)。

### 3. 火山岩の産状

Fig. 2 には 5 箇所の火山が示されているが、最も西の小火山は残念ながら発見できなかった。したがってここではそれ以外の 4 箇所の火山について記述する。

#### (1) アル・トゥレブ (Al Treb) 火山

ビシュリ台地の北崖面からおよそ 10km 南に入った標高 400m の地点にあり、小高い丘のように見える (Plate 1-b)。山体には数層の玄武岩溶岩層が観察され、溶岩層上面は多孔質であるが、中部と下部には柱状節理と板状節理がそれぞれ発達し、非多孔質である (東田ほか, 2008)。裾野一帯は厚い風成堆積物に覆われ、火山岩の広がり確認できない。

#### (2) ゼノビア-ハラビア (Zenobia-Halabiye) 火山

台地状の火山体がユーフラテス河の浸食によって 2 つの山体に分断されている。ゼノビア-ハラビア火山台地は標高 230m の最低位段丘面から約 50m の高まりをなし、最上部 20m 厚の玄武岩溶岩が下部の水平な新第三系石膏層を覆っている (Plate 1-c, d)。溶岩層上部は多孔質で、山頂部では岩海 (Block field) 状に産する (Plate 1-e)。

#### (3) メンハ・ガルビ (Mankhar Gharbi) 火山

標高 250m の平原から 100m ほどそびえ立つ火山 (Plate 1-f)。コーン状の外縁をもち、山体中央に火口 (Plate 1-g) をもつ。東田ほか (2008) の観察によれば、構成岩石はアア溶岩、パホエホエ溶岩のほか、アグロメレート、アグルチネートなどの火山碎屑物が多くを占める。火山碎屑物にはチャート礫などの異質岩片が含まれ、山体の外縁に沿って大量に堆積している (Plate 1-h)。また、巨大な石灰岩ブロックを包有している。以上の特徴から、メンハ・ガルビは火砕丘 (Pyroclastic cone) の可能性がある。

#### (4) メンハ・シャルキ (Mankhar Sharqi) 火山

メンハ・ガルビ火山とよく似た山体と岩相を示す (Plate 1-i)。おそらく両火山は相前後して活動したであろう。なお、メンハ・ガルビとメンハ・シャルキ両火山の裾野一帯には、玄武岩溶岩と玄武岩質火山碎屑物が広く分布している。地表部が風成堆積物に薄く覆われていて肉眼では不明瞭であるが、衛星画像解析によってこの様子が鮮明に映し出される (桂田, 2007)。

### 4. 岩石記載

それぞれの火山から数個の玄武岩溶岩を採集し、薄片を作成して偏光顕微鏡観察に供した。それらの中から代表的なビシュリ地域産試料 8 個と、比較検討のためにシリア南部のハラット・アッシュ・シャマー (Harrat Ash Shamah) 産 1 試料について、それらの光学的性質の概要 (Table 1) と偏光顕微鏡写真 (Plate 2) を示す。

ビシュリ地域産玄武岩溶岩 8 試料の光学的性質には以下の共通点がある。すなわち、溶岩は顕著な斑状組織を示し、斑晶鉱物のかんらん石 (Olivine) が卓越する (Plate 2-a, b, c)。単斜輝石 (Clinopyroxene) 斑晶をわずかに伴うものと伴わないものがある。石基は単柱状あるいは粒状の単斜輝石と拍子木状斜長石 (Plagioclase)、かんらん石、不透明鉱物 (Opaque minerals) よりなる。試料 B-9 と B-10 の石基はガラス質である。また、試料 B-7 と B-11 (Plate 2-c) には霞石 (nepheline) が産出する。光学的特徴から以上の 8 試料は広義のアルカリかんらん石玄武岩に属する。なお、Table 1 中の岩石名は後出の化学分析結果も加味して細区分したものである。

分析したハラット・アッシュ・シャマー産玄武岩 B-13 は若干粗粒であり、組織はドレライトに近い (Plate 2-d)。鉱物構成は通常の玄武岩と同じである。

Table 1. Optical properties of late Cenozoic basaltic rocks in Syria.

|   |   |                                  |
|---|---|----------------------------------|
| <b>Sample No.</b> B-2   | <b>Locality:</b> Al Treb, summit          | <b>Rock type:</b> Basanite lava  |
| <b>Texture:</b> Porphyritic   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic minerals:</b> Olivine, Cpx*                         |   | <b>Grain size:</b> ~1.5 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Plag**, Olivine, Opaque***         |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-3   | <b>Locality:</b> Al Treb, summit          | <b>Rock type:</b> Basanite lava  |
| <b>Texture:</b> Porphyritic   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic minerals:</b> Olivine, Cpx                          |   | <b>Grain size:</b> ~2.2 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Plag, Olivine, Opaque              |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-4   | <b>Locality:</b> Zenobia Halabiye, summit | <b>Rock type:</b> Basanite lava  |
| <b>Texture:</b> Vesicular   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic mineral:</b> Olivine                                |   | <b>Grain size:</b> ~2.0 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Plag, Olivine, Opaque              |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-6   | <b>Locality:</b> Zenobia Halabiye, foot   | <b>Rock type:</b> Basanite lava  |
| <b>Texture:</b> Coarse-grained                                      |   |                                  |
| <b>Phenocrystic minerals:</b> Olivine, Cpx                          |   | <b>Grain size:</b> ~2.0 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Plag, Olivine, Opaque              |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-7   | <b>Locality:</b> Mankhar Gharbi, foot     | <b>Rock type:</b> Foidite lava   |
| <b>Texture:</b> Porphyritic   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic minerals:</b> Cpx, Olivine                          |   | <b>Grain size:</b> ~3.5 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Plag, , Nepheline, Olivine, Opaque |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-9   | <b>Locality:</b> Mankhar Gharbi, foot     | <b>Rock type:</b> Foidite scoria |
| <b>Texture:</b> Scoria  |   |                                  |
| <b>Phenocrystic mineral:</b> Olivine                                |   | <b>Grain size:</b> ~1.8 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Glassy                                  |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-10  | <b>Locality:</b> Mankhar Gharbi, base     | <b>Rock type:</b> Basanite lava  |
| <b>Texture:</b> Vesicular   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic minerals:</b> Olivine, Cpx                          |   | <b>Grain size:</b> ~1.3 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Glass, Cpx, Olivine                     |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-11  | <b>Locality:</b> Mankhar Sharqi, foot     | <b>Rock type:</b> Foidite lava   |
| <b>Texture:</b> Vesicular   |   |                                  |
| <b>Phenocrystic mineral:</b> Olivine, Nepheline                     |   | <b>Grain size:</b> ~2.0 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Cpx, Olivine, Nepheline, Opaque         |   |                                  |
| <b>Sample No.</b> B-13  | <b>Locality:</b> Harrat Ash Shamah        | <b>Rock type:</b> Basalt lava    |
| <b>Texture:</b> Coarse-grained                                      |   |                                  |
| <b>Phenocrystic mineral:</b> Plag                                   |   | <b>Grain size:</b> ~4.0 mm       |
| <b>Groundmass minerals:</b> Plag, Cpx, Olivine, Opaque              |   |                                  |

\*Clinopyroxene \*\*Plagioclase \*\*\*Opaque minerals

## 5. 放射年代測定

玄武岩試料 B-2 (アル・トゥレブ火山), B-4 (ゼノビアーハラビア火山), B-7 (メンハ・ガルビ火山) の 3 個について, (株) 蒜山地質年代学研究所に K-Ar 全岩年代測定を依頼した. 結果は Table 2 の下段に示した. アル・トゥレブ火山は 272 万年前, ゼノビアーハラビア火山は 260 万年前, そしてメンハ・ガルビ火山は 138 万年前の年代を示すことがわかった. 前 2 者は鮮新世末期の火山活動であり, 見掛けのうえで一番新しいメンハ・ガルビ火山でさえも更新世の活動である. なお, ゼノビアーハラビア火山の年代測定については先行研究 (Lustrino and Sharkov, 2006) があるが, メンハ・ガルビ火山の年代測定は本論文が最初である.

Table 2. Major and trace elements content, Sr isotopic ratio and K-Ar radiometric age of late Cenozoic basaltic rocks in Syria.

| Sample No.   | B-2                   | B-3                   | B-4                     | B-6                   | B-7                  | B-9            | B-10                    | B-11                   | B-13                |
|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| Rock type  | Massive basanite lava | Massive basanite lava | Vesicular basanite lava | Massive basanite lava | Massive foidite lava | Foidite scoria | Vesicular basanite lava | Vesicular foidite lava | Massive basalt lava |
| Locality   | Al Treb               | Al Treb               | Zenobia-Halabiye        | Zenobia-Halabiye      | Mankhar Gharbi       | Mankhar Gharbi | Mankhar Gharbi          | Mankhar Sharqi         | Harrat Ash Shamah   |
| (wt. %)  |                       |                       |                         |                       |                      |                |                         |                        |                     |
| SiO <sub>2</sub>                                   | 43.32                 | 43.45                 | 42.90                   | 42.62                 | 39.40                | 39.33          | 41.58                   | 39.46                  | 50.15               |
| TiO <sub>2</sub>                                   | 3.12                  | 3.13                  | 3.52                    | 3.18                  | 3.18                 | 3.28           | 2.92                    | 3.53                   | 2.15                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                     | 11.93                 | 12.07                 | 11.79                   | 11.71                 | 9.80                 | 10.13          | 10.93                   | 10.63                  | 16.67               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *                   | 14.34                 | 14.31                 | 14.59                   | 15.11                 | 13.09                | 14.17          | 13.59                   | 15.13                  | 12.33               |
| MnO  | 0.17                  | 0.17                  | 0.18                    | 0.18                  | 0.17                 | 0.19           | 0.18                    | 0.18                   | 0.17                |
| MgO  | 10.86                 | 10.60                 | 10.69                   | 10.05                 | 14.76                | 13.88          | 13.12                   | 11.78                  | 5.12                |
| CaO  | 10.14                 | 10.23                 | 9.77                    | 10.17                 | 10.99                | 11.19          | 10.86                   | 10.90                  | 9.32                |
| Na <sub>2</sub> O                                  | 3.36                  | 3.46                  | 3.17                    | 3.51                  | 4.09                 | 3.93           | 3.82                    | 4.98                   | 3.66                |
| K <sub>2</sub> O                                   | 1.14                  | 1.18                  | 1.30                    | 1.04                  | 1.46                 | 1.77           | 1.45                    | 1.39                   | 1.09                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                      | 0.56                  | 0.58                  | 0.58                    | 0.72                  | 0.99                 | 1.03           | 0.78                    | 1.07                   | 0.31                |
| Total  | 98.94                 | 99.18                 | 98.49                   | 98.29                 | 97.93                | 98.90          | 99.23                   | 99.05                  | 100.98              |
| (ppm)  |                       |                       |                         |                       |                      |                |                         |                        |                     |
| Sc**   | 19.3                  | 20.3                  | 20.2                    | 18.4                  | 20.1                 | 19.8           | 20.6                    | 19.1                   |                     |
| V  | 563                   | 575                   | 654                     | 583                   | 539                  | 584            | 523                     | 644                    | 341                 |
| Cr**   | 806                   | 569                   | 417                     | 347                   | 744                  | 541            | 548                     | 295                    | Cr 181              |
| Co**   | 65.3                  | 65.2                  | 67.6                    | 58.5                  | 75.9                 | 70.1           | 68.2                    | 67.2                   | Co 39               |
| Ni   | 428                   | 416                   | 349                     | 314                   | 375                  | 375            | 365                     | 224                    | 57                  |
| Cu   | 71                    | 56                    | 59                      | 70                    | 25                   | 51             | 53                      | 55                     | 24                  |
| Zn   | 109                   | 110                   | 115                     | 129                   | 113                  | 118            | 111                     | 138                    | 97                  |
| Rb   | 12                    | 12                    | 11                      | 9                     | 11                   | 15             | 13                      | 12                     | 14                  |
| Sr   | 804                   | 806                   | 876                     | 1055                  | 1019                 | 1129           | 895                     | 1078                   | 427                 |
| Y  | 20                    | 21                    | 20                      | 22                    | 24                   | 26             | 24                      | 28                     | 28                  |
| Zr   | 209                   | 212                   | 236                     | 260                   | 282                  | 314            | 243                     | 366                    | 167                 |
| Nb   | 34                    | 37                    | 36                      | 42                    | 60                   | 70             | 58                      | 76                     | 23                  |
| Mo   | 5.1                   | 5.3                   | 4.3                     | 4.8                   | 4.9                  | 5.5            | 5.0                     | 4.1                    |                     |
| Ba   | 245                   | 223                   | 224                     | 247                   | 377                  | 400            | 362                     | 298                    | 261                 |
| La**   | 25.2                  | 28.1                  | 27.3                    | 32.8                  | 53.5                 | 55.1           | 41.5                    | 59.4                   |                     |
| Ce**   | 60.2                  | 60.4                  | 61.8                    | 69.0                  | 110                  | 112            | 83.4                    | 129                    |                     |
| Sm**   | 6.03                  | 6.19                  | 5.84                    | 7.69                  | 10.3                 | 10.1           | 8.04                    | 11.8                   |                     |
| Eu**   | 2.10                  | 2.26                  | 2.32                    | 2.52                  | 3.36                 | 3.50           | 2.76                    | 3.95                   |                     |
| Yb**   | 1.3                   | 1.3                   | 1.2                     | 1.2                   | 1.4                  | 1.4            | 1.4                     | 1.5                    |                     |
| Lu**   | 0.18                  | 0.17                  | 0.17                    | 0.16                  | 0.20                 | 0.20           | 0.17                    | 0.22                   |                     |
| Hf**   | 4.1                   | 4.0                   | 4.7                     | 4.7                   | 5.9                  | 6.2            | 4.8                     | 7.7                    |                     |
| Ta**   | 2.5                   | 2.6                   | 3.0                     | 2.8                   | 4.3                  | 4.7            | 3.8                     | 5.4                    |                     |
| Pb   | 4                     | 5                     | 4                       | 5                     | 4                    | 6              | 5                       | 5                      | 3                   |
| Th**   | 3.1                   | 3.1                   | 2.6                     | 3.1                   | 5.4                  | 5.7            | 4.2                     | 6.4                    | Th 2                |
| U  | 0.3                   | 0.3                   | 0.3                     | 0.3                   | 0.3                  | 0.4            | 0.3                     | 0.3                    |                     |
| K-Ar age (Ma)                                      | 2.72±0.09             |                       | 2.60±0.08               |                       | 1.38±0.08            |                |                         |                        |                     |
| <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr±2σ <sub>m</sub> | 0.70348±2             | 0.70348±2             | 0.70387±2               | 0.70380±3             | 0.70314±2            | 0.70311±2      | 0.70322±2               | 0.70313±2              |                     |
| Mg#  | 0.65                  | 0.65                  | 0.64                    | 0.62                  | 0.74                 | 0.71           | 0.71                    | 0.66                   | 0.51                |

\*Total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Mg# = molar Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) assuming molar Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup>) = 0.8.

\*\*Neutron activation analysis (INAA)

## 6. 化学分析

### (1) 方法

シリア産玄武岩 13 試料について、主成分および微量成分分析、Sr 同位体組成の分析を行った。Table 2 には、Table 1 と同じ 9 試料の化学分析結果を示す。主成分は当プロジェクトで購入したスペクトリス (株) 製 Axios 型蛍光 X 線分析装置による蛍光 X 線 (XRF) 分析、微量成分は XRF 分析と中性子放射化 (INAA) 分析を併用した。XRF 分析では試料：融剤 (四ホウ酸リチウム) = 1 : 2 の濃度でガラスビードを作成、標準試料として一連の GSJ-standard を使った。INAA 分析は柴田ほか (2001) の方法に従い田中が行った。Sr 同位体比は名古屋大学の質量分析計を使って田中が分析した。

## (2) 結果 (Table 2)

B-13 以外は、 $\text{SiO}_2$  含有量が低く  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含有量が高いアルカリ玄武岩であることが明瞭である。玄武岩質岩石分類法のひとつである Le Bas *et al.*, (1986) のダイアグラム (TAS diagram) に  $\text{SiO}_2$  と  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  の含有量をプロットすると (Fig. 3), メンハ・ガルビとメンハ・シャルキ産玄武岩はフォイダイト (Foidite), ゼノビアーハラビア産およびアル・トゥレブ産玄武岩はベイサナイト (Basanite), そして比較の目的で分析したハラット・アッシュ・シャマー産玄武岩は通常の玄武岩 (Basalt) に属することが判明した。この結論は, フォイダイトに区分される玄武岩は霞石あるいは火山ガラスを含んでいるという光学的性質ときわめて調和的である。微量元素組成と Sr 同位体比については考察の中で触れる。

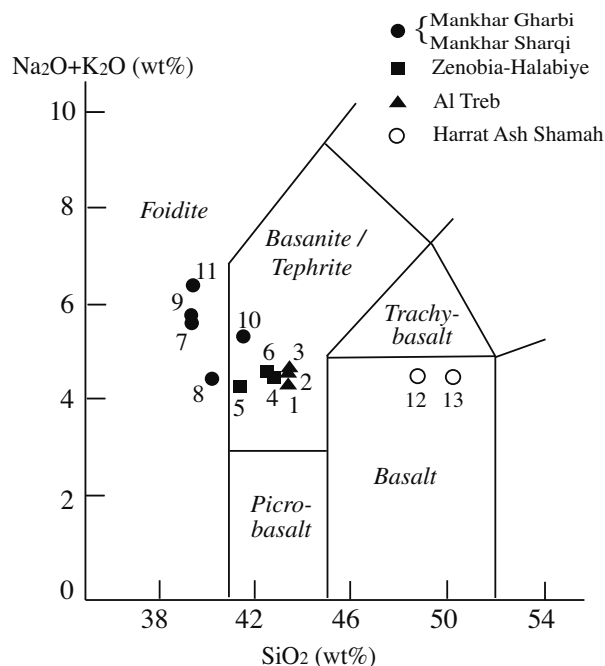


Fig. 3. Classification of late Cenozoic basaltic rocks in Syria, based on total alkali-silica diagram (Le Bas *et al.*, 1986). Optical and chemical properties of the basalt samples No.1, 5, 8 and 12 are not shown in Tables 1 and 2.

## 7. 考 察

### (1) 誰が噴火を目撃したか？

Lustrino and Sharkov (2006) は, シリア国内の火山活動を大きく 3 期に区分している。第 1 期は漸新世後期—中新世中期 (2600—1600 万年前), 第 2 期は中新世中期—更新世 (1400—80 万年前), そして第 3 期は完新世である。もし歴史時代の人々が火山の噴火を目撃したとすれば, それは少なくとも第 3 期の火山である。しかしながら調査地域内には, それに該当する火山は存在しない。一番若いメンハ・ガルビ火山でも今回の年代測定値は 138 万年前である。ただし, 年代測定に供した試料が玄武岩溶岩ひとつだけであること, および山体の様子などから, より若い時代に小規模な噴火活動が起こった可能性も否定できない。

一方, 発掘遺跡の時代は, 出土土器の編年 (木内, 2007) と出土炭化物の  $^{14}\text{C}$  編年 (中村ほか, 2009; Nakamura, 2010) にもとづき, およそ紀元前 3000—2000 年とされた。もしこの頃にメンハ・ガルビ火山が小規模な爆発を起こせば, 前期青銅器時代の人々が確実に目撃したであろう。門脇ほか (2008) によれば, 高位段丘上には後期旧石器—続旧石器時代の人々の存在を示す石器が見つっている。つまり, 数万年前からこのあたりに人が住んでいた可能性がある。調査地域においてさらに古い時代のことはよくわかっていないが, 範囲を東部地中海沿岸諸国に広げると, そこには中期旧石器時代 (~ 30 万年前) の遺跡があり, さらに 150 万年前のアシュールリアン石器も一部の遺跡で発見されており, ホモ・エレクトゥスがいた可能性を示している (Tobias, 1966; 赤澤, 1994)。こうしてみると, 138 万年前のメンハ・ガルビ火山の赤い溶岩流を目撃したのはホモ・エレクトゥスであったのかもしれない。

### (2) 火山岩体間の光学的・化学的性質の違い

光学的性質にもとづく各岩体の識別は, アル・トゥレブとゼノビアーハラビア間ではやや困難, メンハ・ガルビとメンハ・シャルキ間でも困難である。しかし, アル・トゥレブとゼノビアーハラビア

をあわせてAグループ、メンハ・ガルビとメンハ・シャルキをあわせてBグループとしたとき、AとBのグループ間では明確に識別可能である。後者の石基にはガラス質部が多く、ときに霞石を含む点が特徴である。

化学的性質にもとづく岩体の識別方法については、玄武岩の細区分で使ったTAS diagramもそのひとつであるが、ほかにもマグマ成因論でよく使われる数々のダイヤグラムがある。ここでは、以下に述べる代表的な変化図 (variation diagram) を作成、検討した。主成分についてはMgOに対する各成分の変化 (Fig.4) を、微量元素についてはZrに対する各成分の変化 (Fig.5) を示すダイヤグラムであり、直裁的でわかりやすい。ただし、これらの場合もやはり上記と同じA、Bグループ間の識別が有効と思われる。主成分においてはSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaOなどはA、Bグループ間の違いが明瞭である。ほかの主成分では、Mg# (Plate 2の最下段) が、Aグループ0.62-0.65、Bグループ0.66-0.74と、後者が明らかに高い。微量元素ではNb、ThそれにLa、Ce、Sm、EuのLREE元素がA、Bグループ間の違いを明瞭に示している。不適合元素全体については、概してBグループの方がAグループよりも含有量がやや高い。最後に、Sr同位体比は、Aグループ0.70348-0.70387、Bグループ0.70313-0.70322で、Aグループが明らかに高い。

以上の光学的・化学的基準を適用し、さらに詳細な検討を加えることにより、玄武岩を使った出土遺物が調査地域内のいずれかの玄武岩体由来のものであれば、その特定は十分可能である。

### (3) ビシユリ地域の玄武岩質マグマの成因

変化図 (figs. 4, 5) のなかには、ハラット・アッシュ・シャマーの試料を除いて、

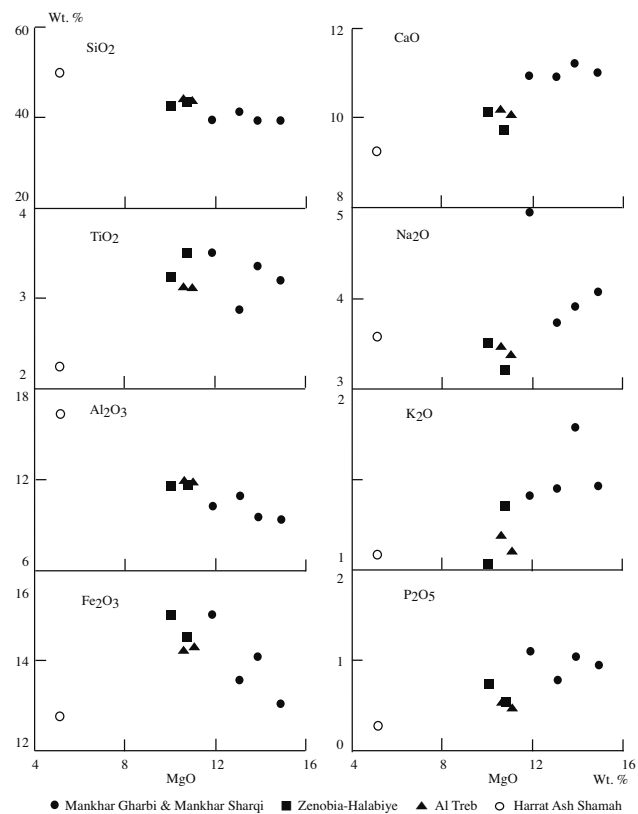


Fig. 4. Variations of selected major elements vs. MgO of late Cenozoic basaltic rocks in Syria.

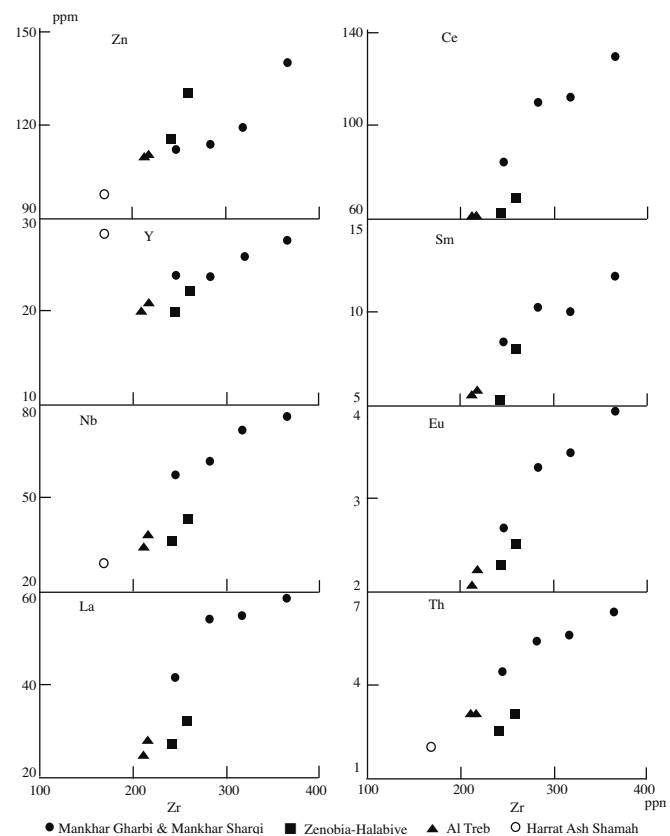


Fig. 5. Variations of selected trace elements vs. Zr of late Cenozoic basaltic rocks in Syria.



主成分ならば MgO 含有量と、微量元素ならば Zr 含有量と明らかな正または負の相関を示す（試料数が余りにも少なすぎるので断言はできないが）ものがいくつかある。このことは、ここで分析した玄武岩が単一のマグマ起源であり、見かけ上の化学組成の違いは、マグマが玄武岩として上昇・固結する過程での諸条件の違いを反映している、と解釈できる。

Lease and Abdel-Rahman (2008) は、ユーフラテス河沿いの玄武岩 17 個の化学分析にもとづいて当地の玄武岩マグマの成因を論じた。そして、マグマの化学的性質は海洋島玄武岩 (Oceanic Island Basalt) のものに近いとした。なお、海洋島玄武岩と同じような玄武岩はアフリカ大地溝帯にも普通に産出する。これを生ぜしめた原因は、ザグロス縫合帯の新第三紀における活動により深部の割れ目が再動、これに沿ってアルカリ玄武岩質のマグマが上昇し、ユーフラテス・グラーベン一帯に噴出した、と考えた。また、Lustrino and Sharkov (2006) は、シリア国内の広域から採集した 25 個の玄武岩の化学分析にもとづいて、それらの成因を論じた。組成的には地中海東部の火成活動に共通のマグマであり、それを生ぜしめた原因は、死海トランスフォーム断層の活動により、直下のアセノスフェアが上昇、さまざまな程度の部分融解、分別結晶作用、地殻物質とのコンタミネーションを経て、見かけ上多様な組成の玄武岩が生じたとした。

当論文の主旨から、これ以上マグマ成因論について検討を加えることはしないが、ここでの研究結果は、上に示した 2 件の研究の結論と矛盾はしていない。

## 謝 辞

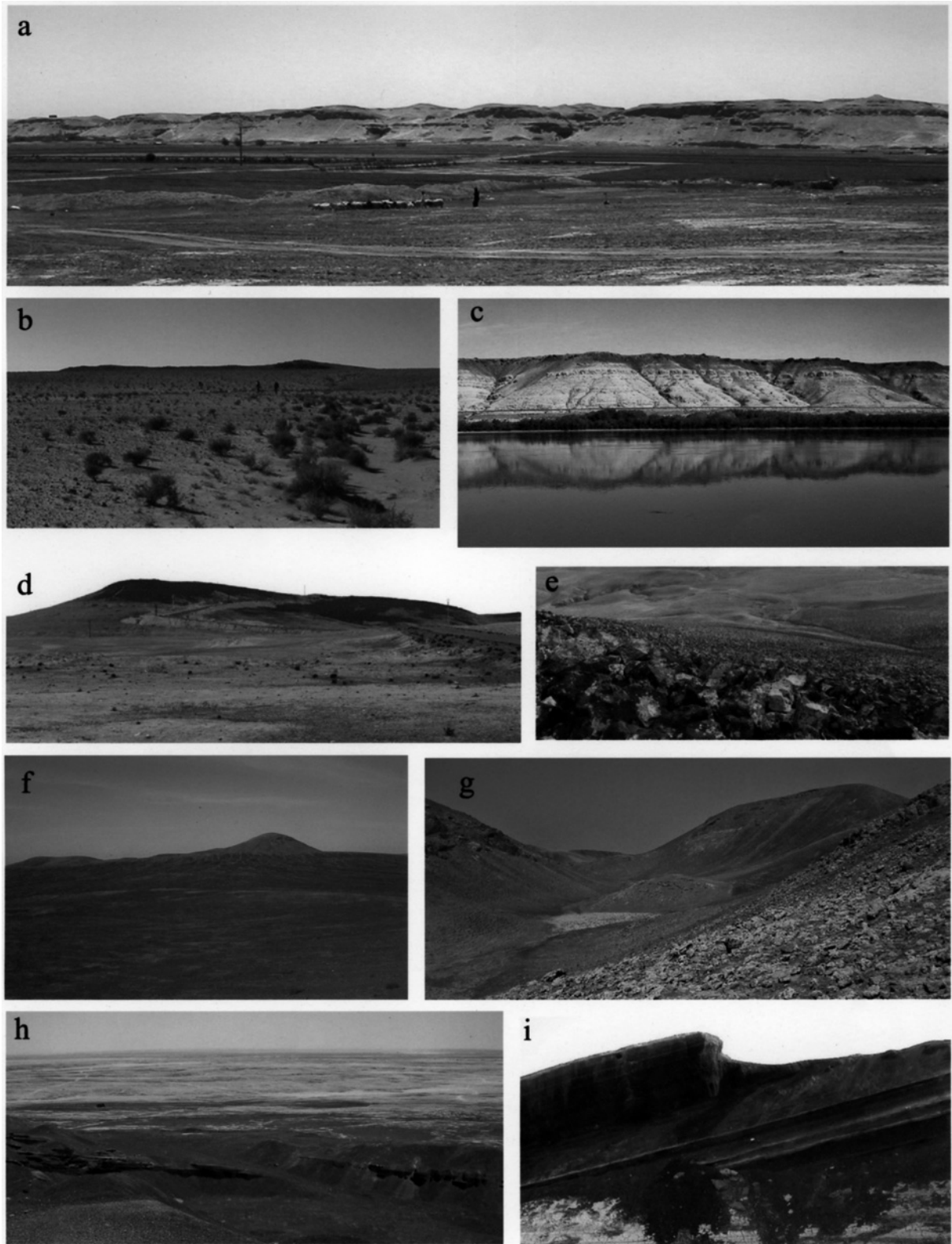
国士館大学の沼克彦教授には、本プロジェクトにお誘いいただき、現地調査でも多方面で大変お世話になった。シリア考古博物館庁長官の Bassam Jamous 博士、Michel Al Maqdissi 博士、Anas Al Khabour 博士、考古博物館庁・ラッカ博物館の Mohamad Sarhan 館長、研究員の Ayham Al Fahry 氏、Ibrahim Khalil 氏、Nawras Mohamad 氏、Ahmed Sultan 氏、ならびに多くのシリア考古博物館庁関係者のご助力で 8 回の現地調査を滞りなく円滑に遂行できた。名古屋大学の技術職員、長岡 勉氏には多数の顕微鏡観察用岩石薄片を作製していただき、同大学院生の上野振一郎氏には岩石の蛍光 X 線分析をお願いした。なお、現地調査は当計画研究班全員が参加して実施されたものである。以上の方々には心より御礼申しあげる。本研究は、文部科学省科学研究費・特定領域研究・計画研究「環境地質学、環境化学、<sup>14</sup>C 年代測定にもとづくユーフラテス河中流域の環境変遷史」(No.17063005, 2005-2009) の経費により遂行された。

## 参考文献

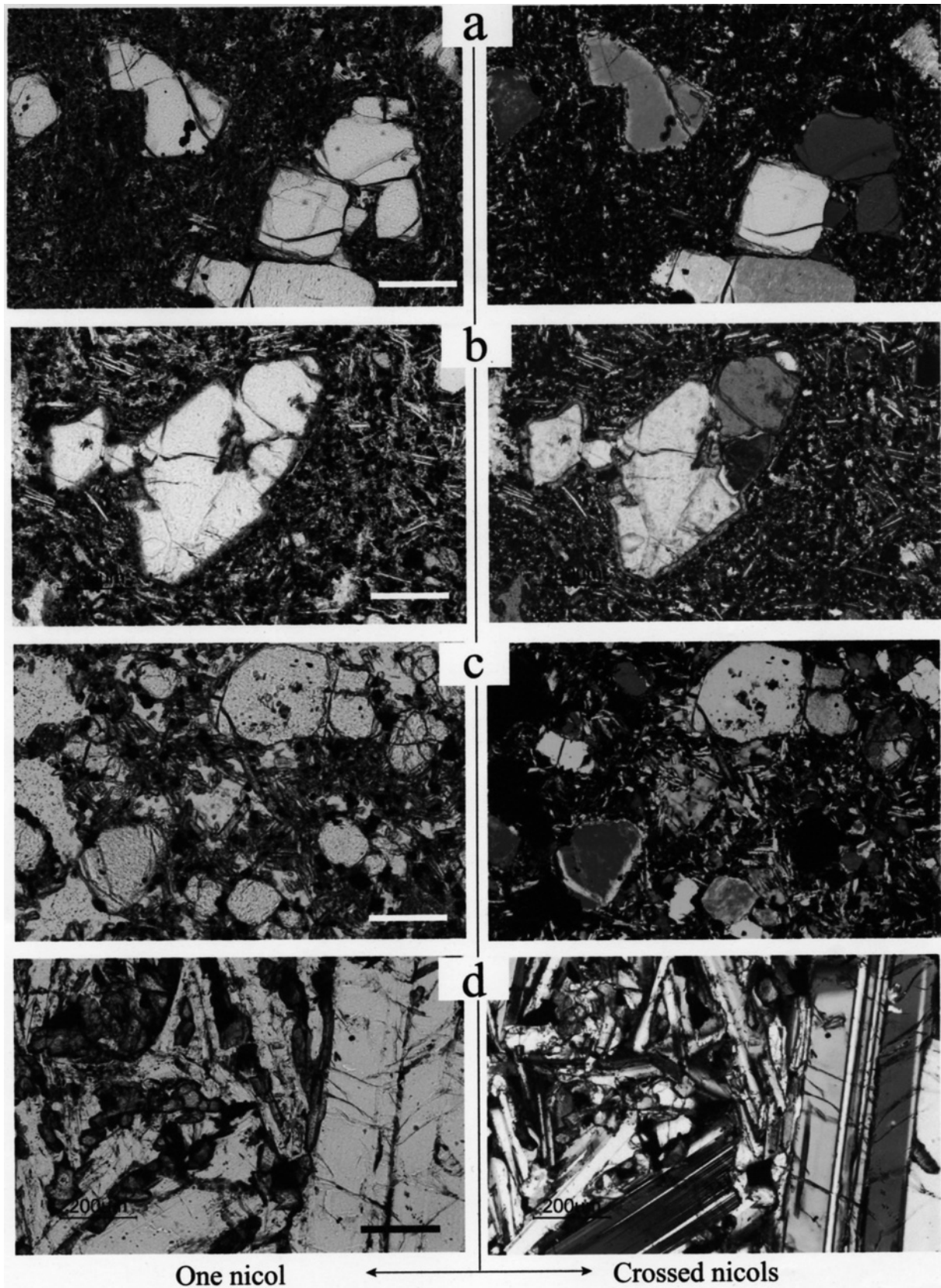
- 赤澤 威 (1994) デデリエ・ネアンデルタール人の子供。東大総合研究博物館ニュース, **30**, 1-3.
- Brew, G., Barazangi, M., Al-Maleh, A.K. and Sawaf, T. (2001a) Tectonic and geologic evolution of Syria. *GeoArabia*, **6**, 573-616.
- Brew, G., Lupa, J., Barazangi, M., Sawaf, T., Al-Imam, A. and Zaza, T. (2001b) Structure and tectonic development of the Ghab basin and the Dead Sea fault system, Syria. *J. Geol. Soc. London*, **158**, 665-674.
- Brew, G., Best, J., Barazangi, M. and Sawaf, T. (2003) Tectonic evolution of the NE Palmyride mountain belt, Syria: the Bishri crustal block. *J. Geol. Soc. London*, **160**, 677-685.
- Girdler, R.W. and Southeren, T.C. (1987) Structure and evolution of the northern Red Sea. *Nature*, **330**, 716-721.
- 長谷川敦章 (2007) ジャバル・ビシュリ周辺における遺跡分布とその立地の歴史的背景 — 第一次調査成果を中心に —。「セム系部族社会の形成」*Newsletter*, No.6, 10-17.
- 星野光雄 (2009) ビシュリ山系の新生代火山活動。「セム系部族社会の形成」*Newsletter*, No.16, 6-9.

- Hoshino, M., Tanaka, T., Nakamura, T., Yoshida, H., Saito, T., Tsukada, K., Katsurada, Y., Aoki, Y. and Oho, S. (2010) Geological and chronological study in the Bishri region. *AL-RĀFIDĀN*, Special Issue 2010, 9-19.
- 門脇誠二・久米正吾・西秋良宏 (2008) ガーネム・アル・アリ遺跡周辺における先史時代遺跡の踏査 —第5次ビシュリ現地調査より—. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.11, 3-6.
- 桂田祐介 (2007) ビシュリ山地北部およびユーフラテス河中流域周辺の地質環境: ASTER 画像による地質判読と2007年度現地調査の速報. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.8, 1-4.
- 木内智康 (2007) 表採遺物から見た各遺跡の時代. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.6, 18-23.
- Krienitz, M.-S., Haase, K.M., Mezger, K., Eckardt, V. and Shaikh-Mashail, M.A. (2006) Magma genesis and crustal contamination of continental intraplate lavas in northwestern Syria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **151**, 698-716.
- Krienitz, M.-S., Haase, K.M., Mezger, K. and Shaikh-Mashail, M.A. (2007) Magma genesis and mantle dynamics at the Harrat Ash Shamah volcanic field (Southern Syria). *J. Petrology*, **48**, 1513-1542.
- Lease, N.A. and Abdel-Rahman, A.-F.M. (2008) The Euphrates volcanic field, northeastern Syria: petrogenesis of Cenozoic basanites and alkali basalts. *Geol. Mag.*, **145**, 685-701.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrology*, **27**, 745-750.
- Litak, R.K., Barazangi, M., Beauchamp, W., Seber, D., Brew, G., Sawaf, T. and Al-Youssef, W. (1997) Mesozoic-Cenozoic evolution of the intraplate Euphrates fault system, Syria: implications for regional tectonics. *J. Geol. Soc. London*, **154**, 653-666.
- Lustrino, M. and Sharkov, E. (2006) Neogene volcanic activity of western Syria and its relationship with Arabian plate kinematics. *J. Geodynamics*, **42**, 115-139.
- Mouty, M., Delaloye, M., Fontignie, D., Piskin, O. and Wagner, J.J. (1992) The volcanic activity in Syria and Lebanon between Jurassic and Actual. *Schweizerische Mineralogische Petrographische Mitteilungen*, **72**, 91-105.
- 中村俊夫・星野光雄・田中 剛・吉田英一・齊藤 毅・東田和弘・桂田祐介・長谷川敦章・太田友子 (2009) シリアのユーフラテス河中流域にある Tell Ghanem al-Ali 遺跡発掘試料の  $^{14}\text{C}$  年代. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.16, 16-21.
- Nakamura, T. (2010) The Early Bronze Age chronology based on  $^{14}\text{C}$  ages of charcoal remains from Tell Ghanem al-Ali. *AL-RĀFIDĀN*, Special Issue 2010, 119-130.
- 大沼克彦 (2005) 総合的研究手法による西アジア考古学. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.1, 1-2.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S. and Mitchell, J.G. (1990) Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *J. Volcano. Geothermal Research*, **44**, 189-229.
- Ponikarov, V. (1963) *Geological Map of Syria I-37-XXII*. Ministry of Industry, S.A.R., 1963.
- 齊藤 毅 (2009) Tell Ghanem al-Ali 周辺に発達する河成段丘. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.16, 10-15.
- Sawaf, T., Al-Saad, D., Gebran, A., Barazangi, M., Best, J.A. and Chaimov, T.A. (1993) Stratigraphy and structure of eastern Syria across the Euphrates depression. *Tectonophysics*, **220**, 267-281.
- 柴田信之介・田中 剛・南 雅代・仙田量子・武邊勝道・加地拓哉・近藤正史・織田周平・林 隆正・西澤邦秀・小島 久 (2001) 名古屋大学アイソトープ総合センターに設置された  $\gamma$  線自動測定・解析システムによる地質試料の中性子放射化分析手順と分析精度. 名古屋大学博物館報告, No.17, 15-32.
- 田中 剛 (2009) テル・ガーネムアリの土はビシュリ台地から運ばれた? —天然放射線を用いた土壌対比の試み—. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.15, 7-9.
- Tobias, P.V. (1966) Fossil Hominid remains from Ubeidiya, Israel. *Nature*, **211**, 130-133.
- 東田和弘・星野光雄・齊藤 毅・桂田祐介・吉田英一・田中 剛・中村俊夫 (2008) テル・ガーネム・アル・アリ遺跡周辺の地質. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.12, 1-6.
- 吉田英一 (2009) シリア段丘の地下水と“ユーフラテス小僧”の形成環境. 「セム系部族社会の形成」 *Newsletter*, No.15, 10-13.

(2010年10月13日受付, 12月23日受理)



**Plate 1.** (a): Unending stretch of cliffs (c. 50m high) of the Bishri Plateau, a distant view. Tell Ghanem al-Ali is near side. (b): Al Treb volcano (c. 30m high), a distant view. (c): Zenobia-Halabiye lava plateau (c. 50m high) and Euphrates River. (d): Zenobia-Halabiye plateau viewed from the west. (e): Basalt block field on the hillside of Zenobia-Halabiye. (f): Mankhar Gharbi volcano (c. 100m high), a distant view. (g): Mankhar Gharbi crater. (h): Mankhar Gharbi volcano is rimmed with vast amount of pyroclastics. (i): Mankhar Sharqi volcano is also rimmed with vast amount of pyroclastics.



**Plate 2.** Photomicrographs of the basaltic rocks. (a): Sample B-2, (b): Sample B-4, (c): Sample B-11, (d): Sample B-13. *Left row: one nicol, right row: crossed nicols.* Scale bar: 0.2mm.

Highly birefringent phenocrystic minerals are olivine in photographs (a), (b) and (c). Nepheline crystal with greyish interference colour is shown at the centre of the photograph (c). Lath-shaped plagioclase crystal predominates as phenocrystic and groundmass minerals in photograph (d).