

〔研究論文〕

## 萩市高山の磁石石に関する考察

北風 嵐<sup>\*1</sup>・山本裕二<sup>\*2</sup>・小松隆一<sup>\*3</sup>・渋谷五郎<sup>\*4</sup>

Some considerations for the “magnetic stone” of the Kouyama gabbroic rock,

Hagi city, Yamaguchi Prefecture, Western Japan

### 1. はじめに

山口県萩市の萩ジオパーク構想の東端に位置する須佐湾に望む高山（古くは神山：こうやま、標高 532.8 m）は第三期中新世のウミガメやスッポンの化石を含む暖流系海成層からなる須佐層群を岩株状に貫き、変成作用を与える斑れい岩体として国内でも異例の産状と構造に関して多くの岩石

学的研究が行われてきている（Tsuboi, 1926; 野島, 1941; 杉・久綱, 1944; Yamazaki, 1967, 久城ら, 1987）。図1に須佐地域の地質図（西村・鈴木, 1979; 西村ら, 2012）を示した。斑れい岩体は高山山頂付近を中心とした直径約3 kmのほぼ円形を呈して分布している。その露頭写真4点を図2に示した。

山頂付近には斑れい岩の巨石が露出しており、

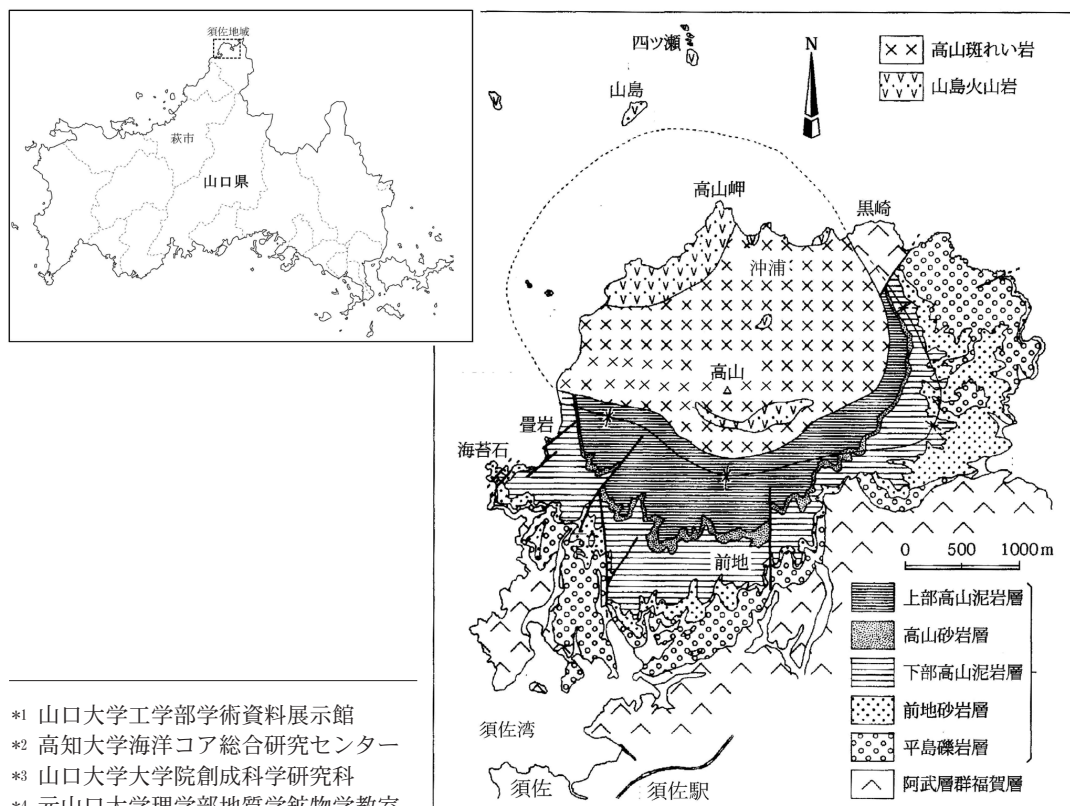


図1. 萩市須佐地域の地質図（西村・鈴木, 1979; 西村他, 2012 を改変）

\*1 山口大学工学部学術資料展示館

\*2 高知大学海洋コア総合研究センター

\*3 山口大学大学院創成科学研究科

\*4 元山口大学理学部地質学鉱物学教室

2016年11月1日受理

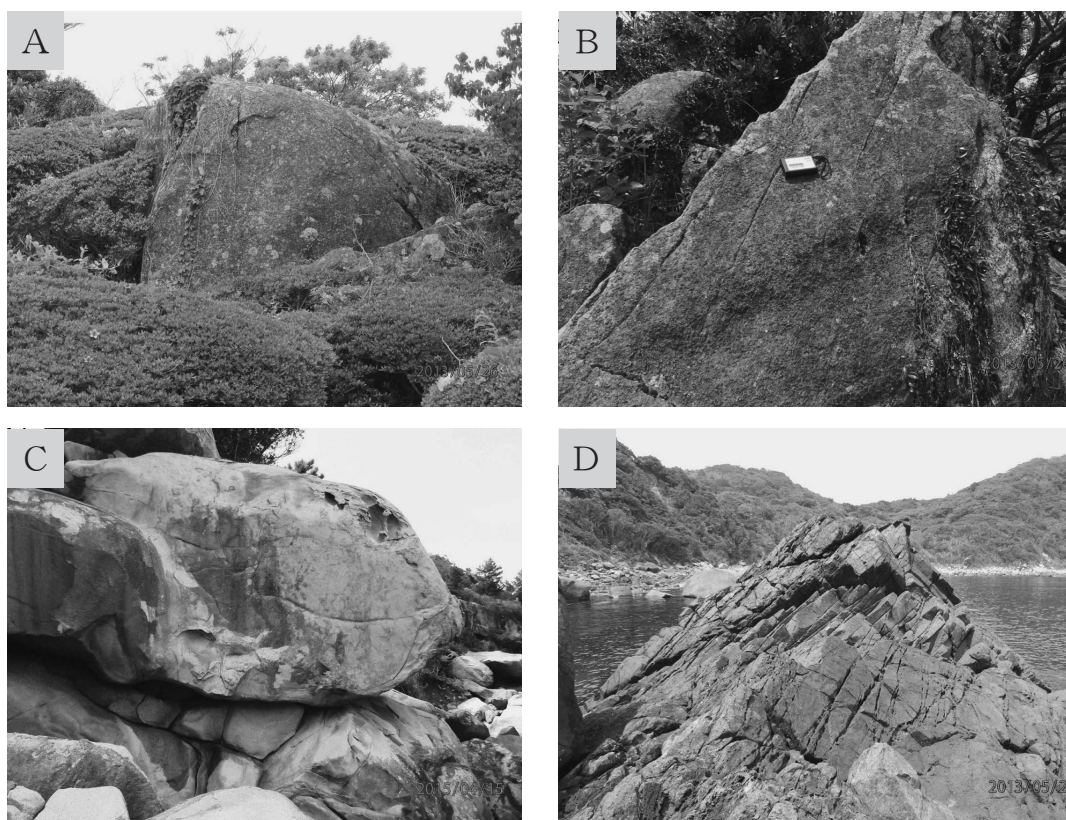


図2. 萩市高山斑れい岩体の露頭写真  
 A, B: 高山山頂付近に露出する山頂閃緑岩（磁石石）  
 C: 高山岬東側に見られる岬閃緑岩の露頭  
 D: 沖浦部落北方の海岸に露出する沖浦斑れい岩

山腹の北斜面では以前黒御影の採石場が稼行していた。この岩石は方位磁石が全く役に立たないほど強い磁気を帯びており、「須佐高山の磁石石」として1936年、国の天然記念物に指定されている。この岩石の磁気が強い原因として、度重なる落雷により磁化したものとか、あるいは磁鉄鉱成分に富むためとか考えられているが、未だ定説を得るには至っていない。

岩石の磁性の主役を担う磁鉄鉱と、それと密接に共生するチタン鉄鉱の詳細なEPMA分析結果は既に報告している（北風・小松，2016）。この分析資料を基に両者の共生関係から求める生成温度および酸素分圧を参考にして高山斑れい岩体の磁性について考察してみたので、その結果について報告する。

## 2. 斑れい岩体について

高山斑れい岩体は須佐層群に貫入し、これに接触変成作用を与えている（15 Ma）。その後には斑れい岩マグマの結晶分化作用が生じ、14 Maには終息したものと考えられている（西村・鈴木，1979；Imaoka & Itaya, 2004; 西村ら，2012）。岩体の大部分は中～粗粒の斑れい岩と閃緑岩を主体とするが、岩相変化に富み、造岩鉱物としての斜長石、正長石、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、黒雲母、くさび石、燐灰石、ジルコン、石英、金紅石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、硫化鉱物などが見られ、その種類や量比から、紫蘇輝石・普通輝石斑れい岩、石英斑れい岩、斜長石斑れい岩、石英閃緑岩などの岩石名が使用されており、それらの岩石が層状構造を呈して露出している場所も認め

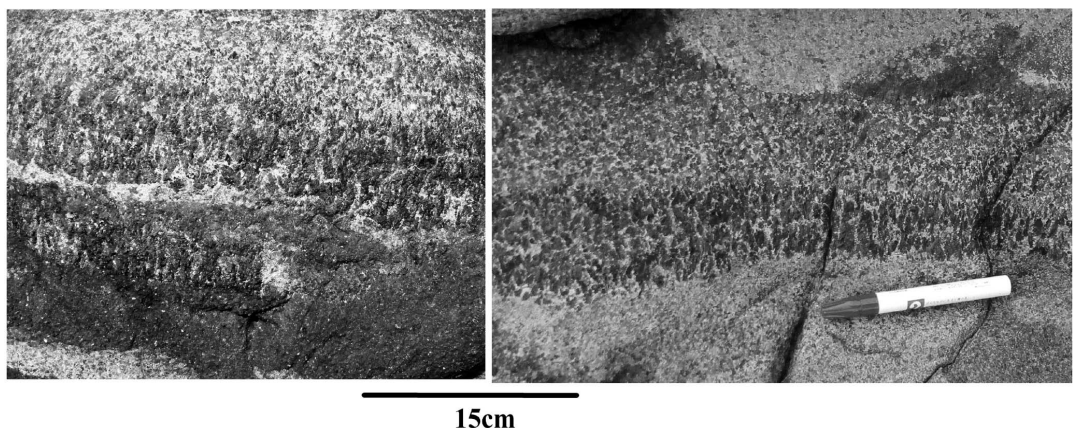


図3. 沖浦斑れい岩に見られる層状構造

A：層状構造を呈する両輝石斑れい岩-斜長石両輝石斑れい岩  
B：層状構造をなす両輝石斑れい岩-斜長石両輝石斑れい岩-斜長石斑れい岩

表1. 萩市高山斑れい岩体の閃緑岩および斑れい岩の主な構成鉱物

| 岩石                | 試料番号       | かんらん石 | 単斜輝石(ピジョン輝石の転移) | 単斜輝石 | 斜方輝石 | 変質単斜輝石 | 黒雲母 | 角閃石 | 斜長石 | 石英 | 正長石 | 燐灰石 | 不透明鉱物 |
|-------------------|------------|-------|-----------------|------|------|--------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-------|
| 山頂閃緑岩(高山山頂付近)     |            |       |                 |      |      |        |     |     |     |    |     |     |       |
|                   | 2013052602 |       |                 | △    | ◎    | ○      |     |     | ◎   | △  | +   |     | +     |
|                   | 2013052603 |       | +               | ◎    | ◎    | ○      |     |     | ◎   | +  | +   |     | +     |
|                   | 2013052606 |       | +               | ○    | ○    | △      | +   |     | ◎   | +  |     |     | +     |
| 岬閃緑岩(高山岬東側)       |            |       |                 |      |      |        |     |     |     |    |     |     |       |
|                   | 2015041516 |       |                 | ◎    | ◎    | +      | +   | △   | ◎   | +  |     |     | +     |
| 沖浦斑れい岩(沖浦部落北部の海岸) |            |       |                 |      |      |        |     |     |     |    |     |     |       |
|                   | 2013052501 |       |                 | ◎    | ◎    | +      |     |     | ◎   |    |     |     | △     |
|                   | 2013052502 | +     |                 | ◎    | ◎    |        | +   | △   | ◎   |    |     |     | △     |
|                   | 2013052504 |       |                 | ◎    | ◎    | +      | +   |     | ◎   |    |     |     | △     |
|                   | 2013052510 |       |                 | ◎    | ◎    | +      | +   |     | ◎   | +  |     |     | △     |
|                   | 2013052512 | +     |                 | ◎    | ◎    |        |     |     | ◎   |    |     |     | △     |
|                   | 2013052513 | +     |                 | ◎    | ◎    | △      | +   | △   | ◎   |    |     | +   | △     |
|                   | 2013052514 |       |                 | ◎    | ◎    | △      | +   |     | ◎   |    |     |     | △     |
|                   | 2015041507 |       |                 | ○    | ○    | +      | △   |     | ◎   | +  |     |     | △     |
|                   | 2015041513 |       |                 | △    | △    |        | +   | +   | ◎   |    |     |     | △     |
| ◎>○>△>+           |            |       |                 |      |      |        |     |     |     |    |     |     |       |

られる(図3, および西村・松里, 1991)。その様な場所では下部より粗粒両輝石斑れい岩-斜長石両輝石斑れい岩-斜長石斑れい岩の縞模様が繰り返して見られる。

高山は全体的に原生林に覆われ, 岩石の露出はあまり良好とは言えない。これらの岩石は主に高山山頂付近, 風穴, 行者様, 高山岬付近および沖浦部落の北方の海岸に露出している(図2)が, 次の3地帯を重点的に調査した。山頂付近の閃緑岩は山頂閃緑岩, 高山岬東側にみられる閃緑岩は岬閃緑岩, また, 沖浦部落北部の海岸に露出する斑れい岩を沖浦斑れい岩と仮称することとした。

なお, 主要な造岩鉱物である斜長石, 両輝石, 角閃石, 不透明鉱物(磁鉄鉱およびチタン鉄鉱)などについての研究報告が知られている(富田・山口, 1970; Yamaguchi *et al.*, 1975; 山口・富田,

1979; 田野崎・三浦, 1984; 山口, 1987)。また, 最近, 北風ら(2013)や北風・小松(2014, 2015, 2016)がこれらの岩石中の磁鉄鉱中に平均2.2 wt%  $V_2O_5$ が含有されていることを発見し, パナジウム資源としてのポテンシャルについて報告している。

山頂閃緑岩と沖浦斑れい岩の主な造岩鉱物は表1のようで, 閃緑岩は石英閃緑岩あるいは石英斑れい岩との記載もあるが, 石英が認められる岩石を閃緑岩とした。閃緑岩と斑れい岩の代表的な薄片写真を図4に掲げた。

山頂閃緑岩(図4 A, B)は比較的粗粒で自形ないし半自形を呈する斜長石, 斜方輝石および単斜輝石が多く, 不透明鉱物(磁鉄鉱およびチタン鉄鉱)は比較的少ない, 少量ながら他形の石英がみられる。一部の岩石中には特徴的にピジョン輝

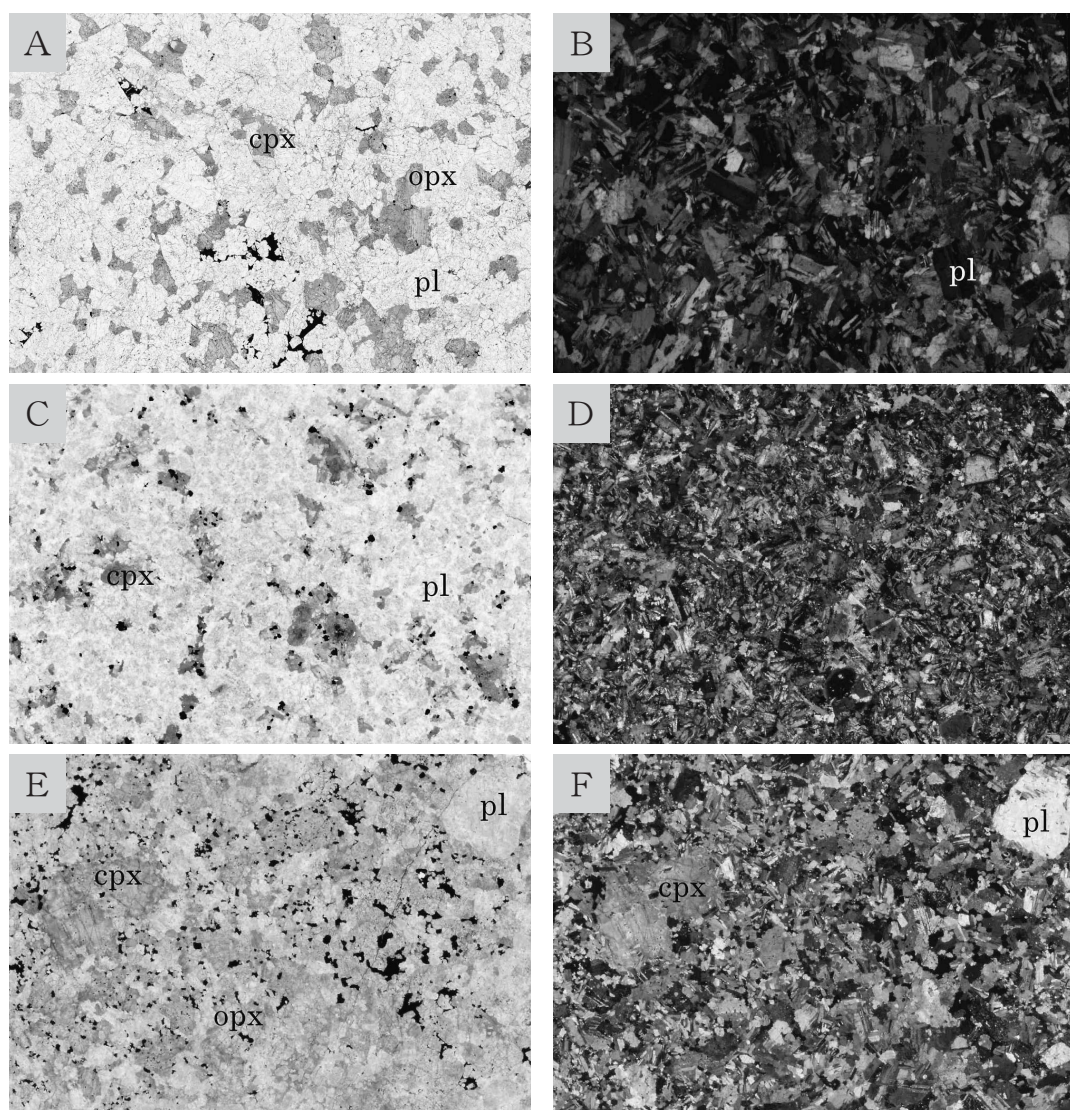


図4. 高山斑れい岩体中の閃緑岩および斑れい岩の薄片写真.

A, B: 山頂閃緑岩 (A: 平行ニコル, B: クロスニコル) (2013052602).

C, D: 岬閃緑岩 (C: 平行ニコル, D: クロスニコル) (2015041514).

E, F: 沖浦斑れい岩 (E: 平行ニコル, F: クロスニコル) (2013052502).

cpx: 単斜輝石, opx: 斜方輝石, pl: 斜長石

石から転移したと思われる単斜輝石が認められた。

岬閃緑岩 (図4 C, D) は主に中粒の斜長石, 斜方輝石および単斜輝石からなり, 少量の他形石英や黒雲母, 普通角閃石を随伴する。

沖浦斑れい岩 (図4 E, F) は縞模様が顕著で

(図3) 斜長石が多い灰色の部分と両輝石を主とする優黒色の部分との切り返しによって構成されている。優黒色の部分は, 主に粗粒～中粒の単斜輝石, 斜方輝石および斜長石から構成され, 閃緑岩に比し不透明鉱物 (磁鉄鉱やチタン鉄鉱) が比

較的多い。従って、これら岩石は磁鉄鉱やチタン鉄鉱の含有量は様で無く、各種岩石での含有量は変化している。この優黒色岩石中には、しばしば斑銅鉱、黄銅鉱や含 Co-Ni 硫化鉱物を随伴する。

### 3. 斑れい岩の磁性

須佐高山地区は空中磁気探査による磁気異常区とされ、環状の等磁力線は NW-SE 方向に伸長した形を取っており (Hirasawa, 1971), 沖行く船の羅針盤を狂わすほどといわれている。

高山斑れい岩体は「磁石」を含め全体的に磁性が強く、岩体近傍でクリノメーターが示す方位はほぼ N 60°E から逆方位の S 60°E まで変化し、測定場所により大きく異なり、規則性は全く認められない。また、沖浦斑れい岩や山頂閃緑岩のハンド・スペシメン (径 10 cm 程度) でクリノメーターが示す方位は僅か数 cm の位置の違いにより、100°以上も変化しており、高山斑れい岩体の磁気方位の乱れは斑れい岩や閃緑岩両者とも強く、山頂閃緑岩「磁石」の持つ残留磁化が特別に強いとは言えない。

これらの岩石の磁性の強さ (帯磁率) を携帯型帯磁率計 (ZH Instrument 製 SM 30) で測定した。また、それらの岩石の研磨薄片から不透明鉱物のモード分析を行った (この時、反射顕微鏡で硫化鉱物であった粒子除外した)、その結果を表 2 に掲げている。両者の関係は図 5 に示すように山頂閃緑岩中の不透明鉱物量はほぼ 4 % 以下で、帯磁率も  $20 \sim 30 \times 10^{-3} \text{ SI}$  の範囲内にある。一方、沖浦斑れい岩のモード値は 2.0 ~ 10.0 % と採取岩石によって大きく変化し、帯磁率も  $25 \sim 55 \times 10^{-3} \text{ SI}$  の広い値を示す。

沖浦斑れい岩の帯磁率は山頂閃緑岩の 2 ~ 2.5 倍も大きく、山頂閃緑岩に関して特別に磁性が強いと言うことは出来ない。当然ながら、帯磁率とモード値とは、ほぼ比例関係にある。

### 4. 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱について

高山斑れい岩体の磁性を担う磁鉄鉱と、それと密接な共生関係にあるチタン鉄鉱は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、角閃石、黒雲母などの珪酸塩鉱物の晶出後に、それらの結晶粒間を充填して認められる。研磨薄片に磁性コロイド (シグマハイケミカル製水性磁性コロイド A-07 を 3 倍に希釈したもの) を塗布して反射顕微鏡で観察した。図 6

に見られるように磁鉄鉱はコロイドを吸着して暗灰色 (実際には暗褐色) を帯び、チタン鉄鉱は変化が無い。

山頂閃緑岩中の磁鉄鉱 (暗灰色) にはチタン鉄鉱 (白色) の、またチタン鉄鉱には磁鉄鉱の非常に微細な離溶ラメラが認められた (図 6 A)。磁鉄鉱には  $1 \mu\text{m}$  以下の磁区構造が斑模様をなして見られる。一方、沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱は閃緑岩中のものと同様な磁区構造が観察できるが、チタン鉄鉱ラメラは含んでいない。また、チタン鉄鉱もほぼ均質で閃緑岩中のものの様なラメラは認められない (図 6 B)。

山頂閃緑岩および沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱およびチタン鉄鉱の EPMA による反射電子線像は図

表 2. 山頂閃緑岩および沖浦斑れい岩の帯磁率と不透明鉱物 (磁鉄鉱+チタン鉄鉱) のモード分析値

| 岩石                                        | サンプル番号     | 帯磁率<br>( $\times 10^{-3} \text{ SI}$ ) | 不透明鉱物<br>(モード値) |
|-------------------------------------------|------------|----------------------------------------|-----------------|
| 山頂閃緑岩 (Near top of the Kouyama Mt.)       |            |                                        |                 |
|                                           | 2013052602 | 24.00                                  | 0.83            |
|                                           | 2013052603 | 27.40                                  | 1.98            |
|                                           | 2013052606 | 22.41                                  | 1.84            |
| 沖浦斑れい岩 (North side of the Okiura village) |            |                                        |                 |
|                                           | 2013052501 | 29.95                                  | 2.10            |
|                                           | 2013052502 | 48.55                                  | 5.84            |
|                                           | 2013052504 | 33.45                                  | 1.85            |
|                                           | 2013052510 | 52.50                                  | 6.74            |
|                                           | 2013052511 | 53.85                                  | 8.53            |
|                                           | 2013052512 | 26.05                                  | 1.70            |
|                                           | 2013052513 | 32.45                                  | 3.43            |
|                                           | 2013052514 | 55.90                                  | 9.72            |
|                                           | 2015041507 | 39.70                                  | 3.45            |
|                                           | 2015041513 | 50.55                                  | 8.51            |

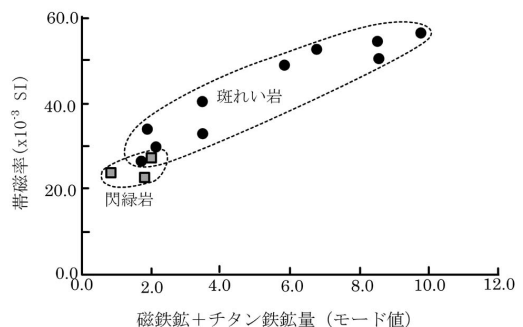


図 5. 高山岩体の閃緑岩および斑れい岩の帯磁率と磁鉄鉱+チタン鉄鉱量 (モード分析値) との関係

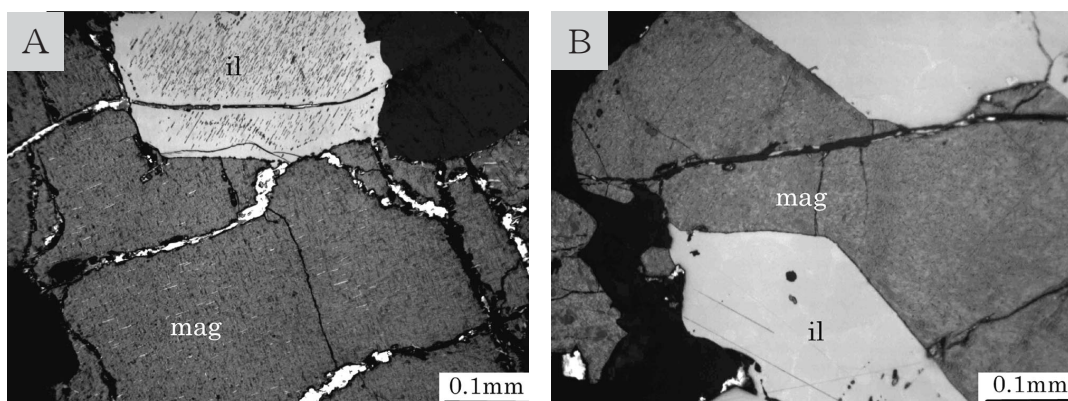


図6. 閃緑岩および斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の反射顕微鏡写真(表面に磁性コロイドを塗布)  
 A: 山頂閃緑岩(2013052602).  
 B: 沖浦斑れい岩(2013052502).  
 両者とも  $1\mu\text{m}$  以下の明るい部分と暗い部分(磁区構造)とが複雑な斑模様を呈している.  
 mag: 磁鉄鉱, il:チタン鉄鉱.

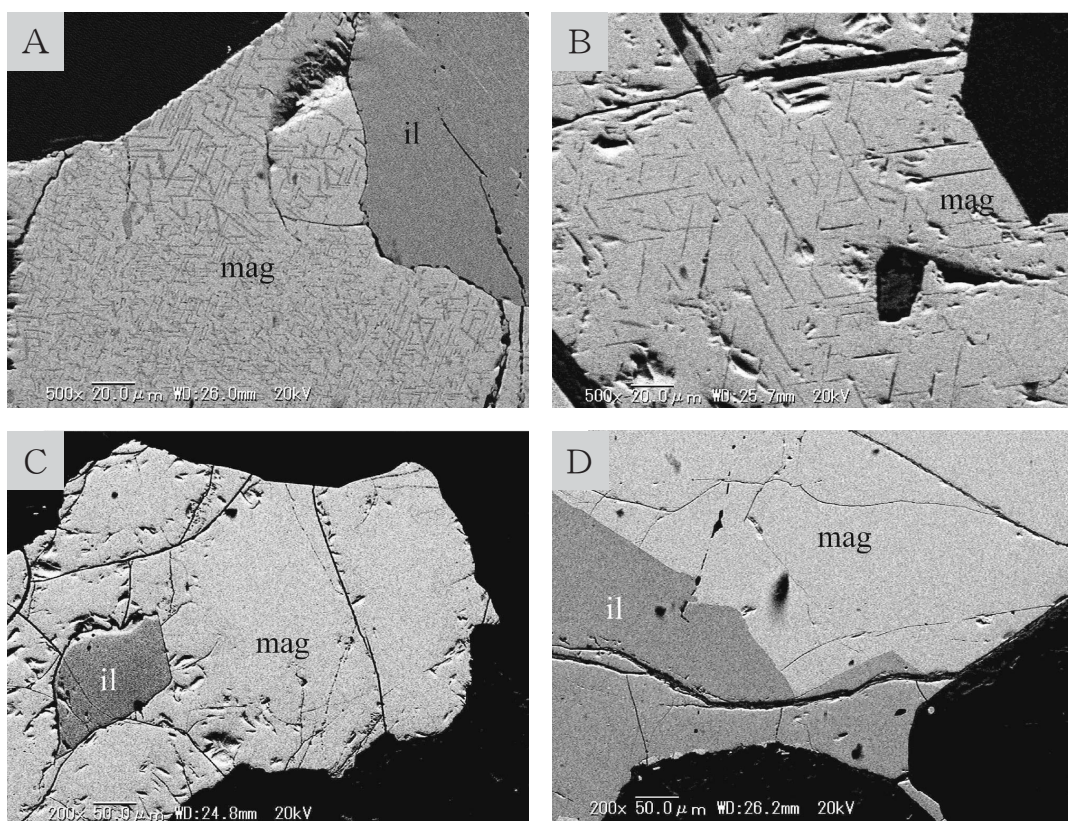


図7. 閃緑岩および斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の反射電子線像  
 A: 山頂閃緑岩中の磁鉄鉱 (mag) とチタン鉄鉱 (il). 磁鉄鉱中にはチタン鉄鉱の格子状ラメラが, チタン鉄鉱中には磁鉄鉱のラメラが認められる(2013052602).  
 B: 岬閃緑岩中のチタン鉄鉱の格子状ラメラを有する磁鉄鉱(2015041516).  
 C, D: 沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱(2013052502).

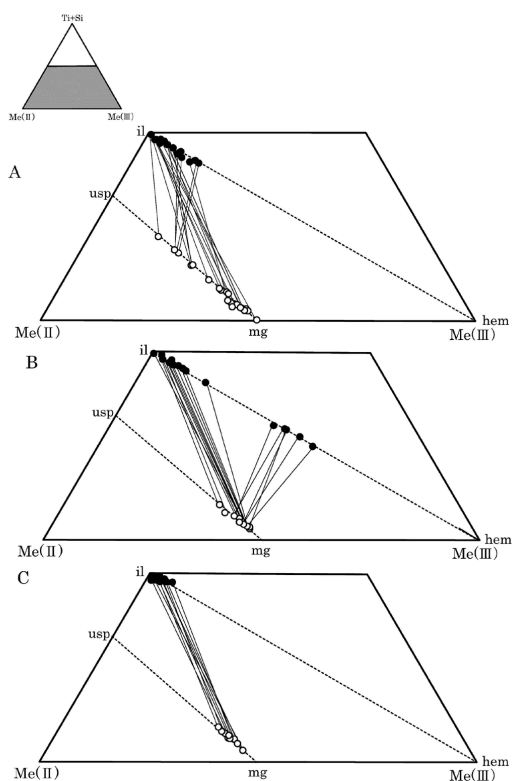


図8. 磁鉄鉱-チタン鉄鉱組合せの組成関係。  
A: 山頂閃緑岩における組成関係。  
B: 岬閃緑岩での組成関係。  
C: 沖浦斑れい岩における組成関係。  
(図が煩雑になるため代表的な値のみ示している)

7 A, B のようで、磁鉄鉱中にはチタン鉄鉱の微細な格子状ラメラが認められ、格子の方向は磁鉄鉱の結晶粒子によって異なっている。また、チタン鉄鉱中には一方向に並んだ微細な磁鉄鉱ラメラが認められた。

一方、沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱およびチタン鉄鉱は均質で、閃緑岩中のものの様なラメラは認められない(図7 C, D)。

両岩石中の磁鉄鉱およびチタン鉄鉱について EPMA で定量分析を行った(北風・小松, 2016)。閃緑岩中の磁鉄鉱は微細なラメラを有するので、高倍率(5,000 倍程度)ではほぼ均質に見える部分を選んで分析を行った。EPMA 分析結果の結果に関しては北風・小松(2016)にその詳細が報告されているので、本報告では省略する。なお、 $\text{Fe}^{+2}$  と  $\text{Fe}^{+3}$  の分配はアメリカ鉱物学会が公開してい

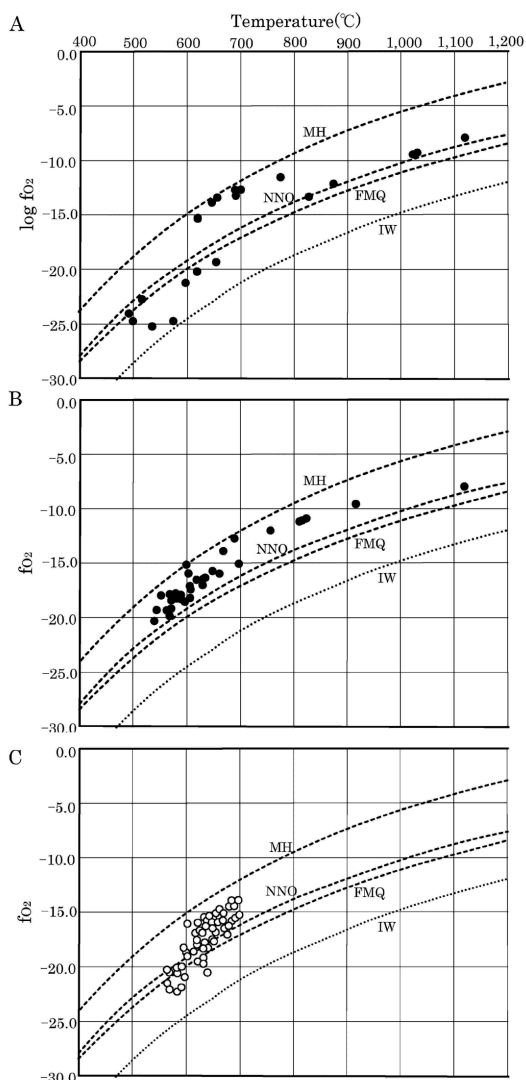


図9. 磁鉄鉱-チタン鉄鉱組合せから求めた温度・酸素分圧

A: 山頂閃緑岩  
B: 岬閃緑岩  
C: 沖浦斑れい岩  
MH; 磁鉄鉱+赤鉄鉱, NNO;  $\text{NiO}+\text{Ni}$ , FMQ; 鉄かんらん石+磁鉄鉱+石英, IW; 鉄+ウスタイトパッファー

るソフト(ILMAT; Lepage, 2003)を用いて行った。

斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の500点と、閃緑岩の220点についての詳細な分析値の報告がなされている(北風・小松, 2016)。その結果によると沖浦斑れい岩中の  $\text{TiO}_2$  は1.00 ~ 12.63 wt%,

閃緑岩では 0.77 ~ 22.82 wt% と、かなりの組成幅を示している。

この EPMA 分析値から、それぞれの (Ti+Si) : (Fe<sup>+2</sup>+Mn+Mg) : (Fe<sup>+3</sup>+V+Al)/2 の比を求め、(Ti+Si) : Me (II) : Me (III) 図にプロットすると図 8 のようである。山頂閃緑岩 (図 8 A) のタイラインはしばしば交差しており、ウルボスピネル成分に富んだ磁鉄鉱が見られる。岬閃緑岩 (図 8 B) 中の両者の組合せにおいてもタイラインが交差しており、しばしば赤鉄鉱成分に富んだチタン鉄鉱が認められた。沖浦斑れい岩 (図 8 C) のタイラインはほぼ並行しており、個々の岩石による差はほとんど認められなかった。

上記磁鉄鉱-チタン鉄鉱組合せの両者の組成から上記ソフト ILMAT を用いて温度・酸素分圧を求めた。

山頂閃緑岩中の両者の組合せの温度・酸素分圧は図 9 A に示すような範囲にプロットされる。そ

の温度は 500 ~ 1,120℃ と異常な値が得られた。また、酸素分圧は -25 ~ -8 (log fO<sub>2</sub>) の広範囲で、IW から MH バッファの値と異常な値を示している。

また、岬閃緑岩中のもの (図 9 B) でも温度は 530 ~ 1,120℃ と異常な値であり、酸素分圧も -20 ~ -8 程度の広範囲の領域にプロットされるが、その値は NNO ~ MH バッファの範囲にある。

沖浦斑れい岩中の両者の組合せの温度は 560 ~ 700℃ で、酸素分圧は -23 ~ -14 の範囲に集中しており、大部分は NNO から MH バッファの間の値である。一部は FMQ バッファに近い値であった (図 9 C)。

## 5. 磁鉄鉱の磁気的性質

閃緑岩および斑れい岩中の磁鉄鉱の磁気的性質を調べるため、岩石を 30 メッシュ以下に粉碎し、弱い磁石で強磁性鉱物を分離した。その磁性鉱物

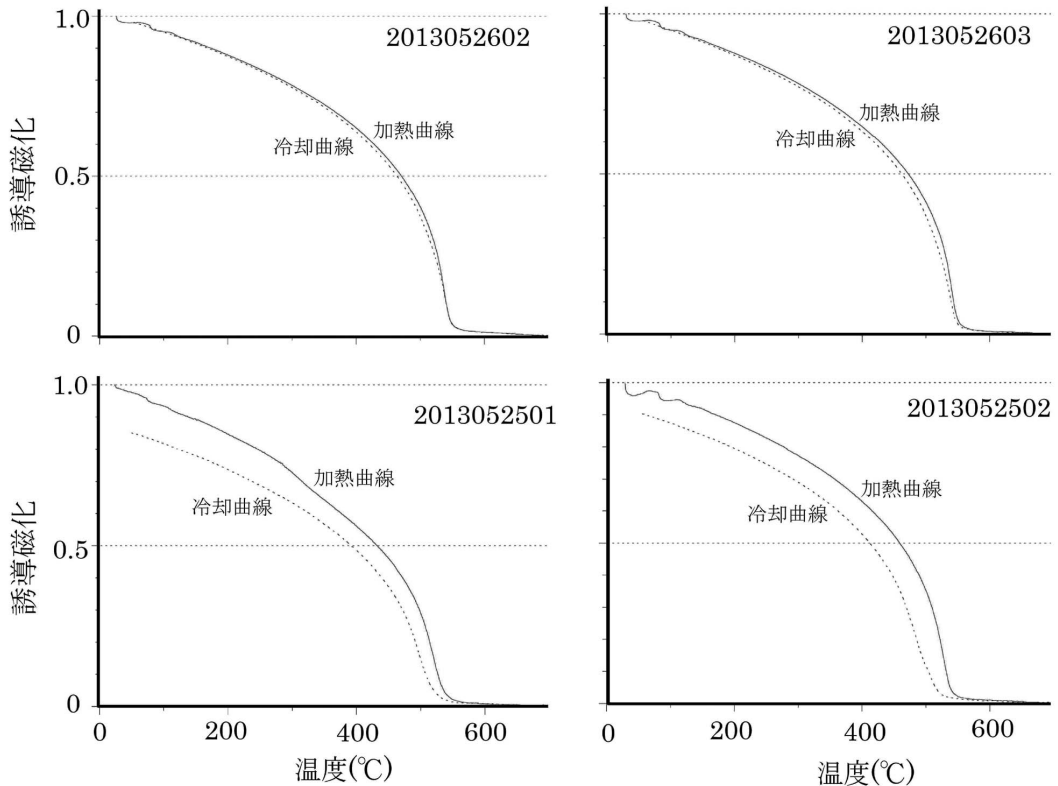


図 10. 強磁性鉱物 (磁鉄鉱) の磁化温度曲線  
2013052602, 2013052603 : 山頂閃緑岩中の強磁性鉱物。  
2013052501, 2013062502 : 沖浦斑れい岩中の強磁性鉱物。

表3. 高山斑れい岩体の閃緑岩および斑れい岩中の強磁性鉱物の磁氣的性質

| サンプル番号                                         | 重量<br>(mg) | 飽和磁化<br>Ms( $10^{-6}$ Am <sup>2</sup> ) | 飽和残留磁化<br>Mrs( $10^{-6}$ Am <sup>2</sup> ) | 保磁力<br>Hc(mt) | 残留磁化保磁力<br>Hcr(mT) | Mrs/Ms | Hcr/Hc |
|------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|--------------------|--------|--------|
| 山頂閃緑岩 (Near top of Kouyama Mt.)                |            |                                         |                                            |               |                    |        |        |
| 2013052602                                     | 23.28      | 1035.0                                  | 69.93                                      | 3.035         | 12.45              | 0.0676 | 4.10   |
| 2013052603                                     | 26.63      | 1379.0                                  | 101.50                                     | 4.383         | 14.11              | 0.0736 | 3.22   |
| 2013052606                                     | 17.71      | 298.3                                   | 17.55                                      | 3.924         | 13.66              | 0.0588 | 3.48   |
| 沖浦斑れい岩 (Nothern coast from the Okiura village) |            |                                         |                                            |               |                    |        |        |
| 2013052501                                     | 22.18      | 814.3                                   | 84.33                                      | 5.941         | 19.95              | 0.1036 | 3.36   |
| 2013052502                                     | 21.68      | 796.8                                   | 86.50                                      | 7.378         | 19.11              | 0.1086 | 2.59   |
| 2013052504                                     | 15.69      | 953.3                                   | 72.21                                      | 4.259         | 13.07              | 0.0757 | 3.07   |
| 2013052510                                     | 19.74      | 1054.0                                  | 139.40                                     | 7.952         | 17.96              | 0.1323 | 2.26   |
| 2013052511                                     | 23.27      | 401.3                                   | 31.42                                      | 5.376         | 16.91              | 0.0783 | 3.15   |
| 2013052512                                     | 25.17      | 230.0                                   | 18.50                                      | 4.511         | 20.48              | 0.0804 | 4.54   |

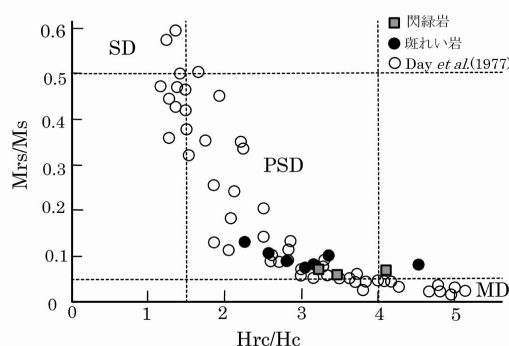


図 11. 高山閃緑岩と斑れい岩中の磁鉄鉱の Day Plot (Day *et al.*, 1977)

について熱磁気天秤（夏原技研製 MB-89）を用い、真空中でキュリー温度の測定を行った。結果を図 10 に示したが、いずれの試料もキュリー温度はほぼ 550℃であった。因みに純粋な磁鉄鉱のキュリー温度は 580℃であり、測定試料には少量ながら TiO<sub>2</sub>成分が含まれており、キュリー温度が少し低温になったものと考えられる。熱磁気曲線から、この強磁性鉱物は磁鉄鉱であり、マグヘマイトは含まれていないと思われる。

熱磁気曲線の測定に用いたと同一試料について、Yamamoto and Tsunakawa (2005) と同様な方法を用いて、振動試料磁力計 (Princeton Meas 製 MicroMag 3900 型) により磁鉄鉱の飽和磁化 (Ms)、飽和残留磁化 (Mrs)、保持力 (Hc) および残留磁化保持力 (Hcr) についても測定した。それらの測定値を表 3 に示している。これらの値から Mrs/Ms 値と Hcr/Hc 値の関係 = Day plot (Day *et al.*, 1977) を図 11 に示している。図から明らかなように、高山岩体の磁鉄鉱の値は擬似単磁区

(PSD) 粒子の領域にはいるが、多磁区 (MD) 粒子に近い値となっており、磁性コロイドでの観察結果とほぼ同じ傾向が得られた。また、閃緑岩中のものと斑れい岩中のものとは大きな差異は認められなかった。

## 6. 岩石の加熱実験

上記した山頂閃緑岩と沖浦斑れい岩の岩石磁気の安定性を調べるため、岩石を 5 × 5 × 2 cm 大に切断し、ヤマト製マッフル型電気炉 (FP 22 型) を用い、試料を現在の磁北の方向に向け、空気中 600、650 および 700℃で加熱実験を行った。600℃、24 時間の加熱実験結果では岩石の表面で測定される磁気方位の乱れには変化が認められなかった。600℃では磁鉄鉱のキュリー温度以上で有り、残留磁化がリセットされ磁北方向に再磁化したと思われるにも関わらず両岩石とも近傍でクリノメーターが示す方位の乱れは保たれたままで、特に変化は認められなかった。しかしながら、650 および 700℃、24 時間の加熱結果では近傍でクリノメーターが示す方位の乱れはほとんど無くなり、ほぼ現在の磁北方位に変化していた。この現象は強磁性を示す磁鉄鉱の高温酸化が進んで一部が赤鉄鉱へと変化し、岩石全体として保持する残留磁化が減少したことが原因かもしれない。

また、650℃での加熱後帯磁率は山頂閃緑岩では 24.1 から 23.9 × 10<sup>-3</sup>SI とほとんど変化は見られなかった。一方、沖浦斑れい岩では 44.5 から 37.8 × 10<sup>-3</sup>SI まで減衰した。

沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱-チタン鉄鉱共生の組成関係は加熱後も変化はほとんど無かった。また、山頂閃緑岩中の両者の共生関係は加熱後もほとんど変化は無く、酸化の影響も認められなかった。

## 7. まとめと考察

萩市須佐高山の斑れい岩体は第三期中新世の生成に生じた火山-深成複合岩体であり、斑れい岩から閃緑岩に至る著しく岩相変化に富んでいる。その強い磁性、いわゆる「須佐高山の磁石石」の磁性に関して考察した。

- 1) 岩石の帯磁率測定より山頂閃緑岩（磁石石）が特別に大きいとは言えず、むしろ沖浦斑れい岩の帯磁率の方が大きく、山頂付近の2～2.5倍の値であった。
- 2) 両岩石に含まれている強磁性鉱物は少量のTiを含む磁鉄鉱であり、それらの磁気的性質はほぼ同じ様な値であり、沖浦斑れい岩と山頂閃緑岩中のものとの違いは認められなかった。また、山頂閃緑岩および沖浦斑れい岩中の磁鉄鉱には微細な磁区構造が認められ、両者には特別な違いは認められなかった。
- 3) 山頂および岬閃緑岩中の磁鉄鉱には普遍的に微細な格子状のチタン鉄鉱が、それと組み合わせるチタン鉄鉱には磁鉄鉱のラメラが認められたが、沖浦斑れい岩中のものにはそれが全く見られず、冷却過程でラメラが離溶生成したとは考え難い。山頂閃緑岩中の磁鉄鉱やチタン鉄鉱は晶出後に、何らかの環境変化が生じ、微細なラメラを離溶したものと考えられる。
- 4) 磁鉄鉱とチタン鉄鉱の共生において、北浦斑れい岩中のものでは両者のタイラインはほぼ並行しており、試料の違いによる差はほとんど認められなかった。一方、山頂付近の磁鉄鉱の組成はTiに富むチタン磁鉄鉱であり、またチタン鉄鉱は赤鉄鉱成分にとみ、両者のタイラインはしばしば交差し、一様な冷却過程では無かったものと推察される。
- 5) 北浦斑れい岩中の両者の共生から求めた温度・酸素分圧は温度：560～700℃、酸素分圧：-23～-14の範囲に集中し、大部分はNNOからMHバッファの間の値であった。一部はFMQバッファに近い値であるが、これはこの岩石中にかんらん石が含まれていることを反映している可能性がある。一方、山頂および岬閃緑岩中の共生から求めた値は大きく変化し、その違いは試料により、また同一試料でも分析

場所により異なり、通常の深成岩では考えられない様な値（800℃以上）を示している。

- 6) 岩石の自然残留磁気の方位は正・逆・中間と変化に富み、磁石石に象徴される無方位残留磁気岩体である。高山斑れい岩体の斑れい岩や閃緑岩近傍における磁気方位の乱れは、何処の岩石でも認められ、規則性は全く認められない。このような現象は見島、隠岐や川尻の火山岩でも知られており（Asami and Ito, 1965; 黒川, 1967; 渋谷・寺山, 1989）、その時代の古磁気永年変化を反映して異なる地磁気方位が岩石の冷却過程に応じて異なる方向の残留磁化として段階的に記録した可能性などが一つの原因と考えられる。
  - 7) さらに、山頂閃緑岩中の磁鉄鉱はウルボスピネル成分に富んだ組成として晶出したものが、チタン鉄鉱ラメラを離溶して、より鉄に富む組成に変化したと考えられる。その原因の一つとして磁鉄鉱の高温酸化が考えられる。一部の岩石中ではチタン鉄鉱が赤鉄鉱とルチルに分解した組織も認められ、高温酸化が生じた可能性が高いことを現わしている。磁鉄鉱およびチタン鉄鉱の高温酸化により、これを反映して両者の組成が変化し、両者の組合せにより求めた温度・酸素分圧が異常な値を示したものと考えられる。
  - 8) 両岩石の加熱実験結果、岩石の残留磁化による磁気方位の乱れは600℃での加熱では消失しないが、650℃での加熱後には磁気方位の乱れが無くなり、ほぼ現在の磁気方位に変化した。また、帯磁率は山頂閃緑岩の加熱前後ではほとんど変化していないが、北浦斑れい岩では加熱後ほぼ80%まで減衰した。このことは斑れい岩中の磁鉄鉱の熱磁気測定での冷却後の誘導磁化が85%まで減衰していることを反映しているものと思われる。これらの現象は岩石磁気の獲得は特別な現象（例えば落雷など）では無く、磁鉄鉱晶出時に獲得した磁気であることを現わしていると推測される。
- 高山山頂付近では広く山頂閃緑岩が露出し、“磁石石”とされてきたが、岩体全体を考えると、岩石磁気の乱れは何処の岩石でも見られる現象で山頂付近の岩石が特別な岩石とは言えない。結論的には高山岩体全てが磁石石と認識した方が良い

と思われる。上記した磁気方位の乱れは岩体生成当時の古磁気永年変化を反映して磁気方位の変化を段階的に記録したことによるか、岩石磁気に最も影響する磁鉄鉱晶出の時間的差やその生成条件の違いによるものと考えられる。さらに岩体周辺部（閃緑岩）では岩石生成後の高温酸化（少なくとも 600℃以下での長時間に亘る加熱）による化学的残留磁気が合わさって磁気方位の乱れが更に加わったものと結論できる。

## 謝 辞

岩石の研磨薄片作製には東北大学理学部伊藤嘉紀および大山次男両氏にご協力頂いた。また、本研究に要した費用の一部は山口大学山科学プロジェクトよった。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- Asami, E. and Ito, H. (1965) Paleomagnetic Researches for the Plio-Pleistocene volcanic rocks in Mishima and Oki Islands. *Bull. Shimane Univ. Nat. Sci.*, 15, 19-25.
- Day, R., Fuller, M. and Schmidt, V. A. (1977) Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 13, 260-267.
- Hirasawa, K. (1971) On the aeromagnetic survey at the Masuda area, the San'in district, Japan. *Geophys. Expl.*, 24, 284-290.
- Imaoka, T. and Itaya, T. (2004) K-Ar geochronology of a middle Miocene submarine volcano-plutonic complex in southwest Japan. *Geol. Mag.*, 141, 1-13.
- 北風 嵐・伊東洋典・小松隆一・渋谷五郎 (2013) 萩市高山斑れい岩中のバナジウムに富む磁鉄鉱について (要旨). 山口地学会誌, 70, 16.
- 北風 嵐・小松隆一 (2014) 山口県萩市高山斑れい岩中の鉱石鉱物の研究 (Ⅱ) とくに含バナジウム磁鉄鉱について (要旨). 日本鉱物科学会 2014 年年会講演要旨集, 212.
- 北風 嵐・小松隆一 (2015) 萩市高山斑れい岩中の含バナジウム磁鉄鉱について, とくにバナジウム資源としてのポテンシャル. 資源地質, 65, 29-32.
- 北風 嵐・小松隆一 (2016) 萩市高山斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の化学組成について. 山口大学工学部研究報告, 66, 53-66.
- 北風 嵐・小松隆一 (2016) 山口県萩市高山斑れい岩からの Ni に富む幌満鉱の新発見. 鉱物科学, 45 (印刷中).
- 久城育夫・荒巻重雄・青木謙一郎 (1987) 日本の火成岩. 116p, 岩波書店.
- 黒川純行 (1967) 見島火山岩類の自然残留磁気について. 萩市博物館研究報告, 1, 17-26.
- 西村裕二郎・松里英夫 (1991) 山口県の岩石図鑑. 山口地学会, 第一学習社 224 p.
- 西村祐二郎・鈴木盛及 (1979) 須佐一高山地域の接触變成岩類. 名勝及び天然記念物「須佐湾」緊急調査報告書. 山口県教育委員会.
- 西村祐二郎・今岡照喜・金折祐司・亀岡敦 (2012) 山口県地質図 第3版 (15 万分 01) および同説明書. 山口地学会, 167 p.
- Lepage, L. D. (2003) ILMAT: An excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. *Comput. Geosci.*, 29, 673-678.
- 野島 稔 (1941) 高山斑れい岩体に伴う変質玄武岩の研究. 九大理研報地質, 1, 14-38.
- 渋谷五郎・寺山 知 (1989) 大津郡向津具半島の中新世玄武岩の磁性. 山口地学会, 23, 1-9.
- 杉 健一・久綱正典 (1944) 山口県高山斑れい岩の岩石学的研究. 九大理研報地質, 1, 59-78.
- 田野崎隆雄・三浦保範 (1984) 山口県須佐高山ハレーンレイ岩体中の斜長石について (演旨). 日本地質学会第 91 年学術大会講演要旨集, 468.
- 富田克敏・山口佳昭 (1970) 高山はんれい岩中の輝石とその離溶現象 (演旨). 日本地質学会第 77 年学術大会講演要旨集, 291.
- Tsuboi, S. (1926) A dispersion method of discrimination rock-constituents and its use in petrogenetic investigation (Kouyama gabbro mass). *Jour. Facul. Sci. Imp. Tokyo. Ser. II*, 1, 167-170.
- Yamamoto, Y. and Tsunakawa, H. (2005) Geomagnetic field intensity during the last 5 Myr: LTD-DHT Shaw palaeointensities from volcanic rocks of the Society Islands, French Polynesia. *Geophys. Jour. Int.*, 162, 79-114.

山口佳昭 (1987) 高山カルクアルカリ貫入岩体の  
石英閃緑岩中の磁鉄鉱—チタン鉄鉱. 島根大  
学地質学研究報告, 6, 171-173.

山口佳昭・富田克敏 (1979) 高山斑れい岩中の角  
閃石 (演旨). 三鉱学会連合学術講演会講演  
要旨集, 96.

Yamazaki, T. (1967) Petrology of the Koyama  
calc-alkaline intrusive complex, Yamaguchi

Prefecture, Japan. Sci. Rept. Tohoku Univ.  
Ser. 3, 10, 99-150.

Yamaguchi, Y., Tomita, K., Sawada, Y.  
(1975) Crystallization Trend of Zoned  
Pyroxenes in Quartz Gabbro from the  
Koyama Intrusive Complex at Mt. Koyama,  
Yamaguchi Prefecture, Japan. Memoirs of the  
Geological Society of Japan. 11, 69-82,