

愛媛県松山付近の高マグネシア安山岩に 包有される超塩基性岩類の変形様式

坂本 尚史・妹尾 護*

岡山理科大学教養部

*英数学館中学校

(昭和63年9月30日 受理)

1. はじめに

西南日本を中心とした第三紀中新世の火山活動の産物である瀬戸内火山岩類には、高マグネシア安山岩と呼ばれる岩石が産する。この安山岩は、マンタルカンラン岩と平衡共存できる鉱物組成、全岩化学組成をもつことが明らかにされている^{1,2)}。さらに、高温高压下での溶融実験も行なわれ、この岩石がマンタルから直接に由来したことが示されている³⁾。

高マグネシア安山岩には、超塩基性包有岩が時々認められ、それらは、主にダナイト、ハルツバージャイト、オルソパイロキシナイトから構成される⁴⁾。これらは、アルカリ玄武岩中の包有岩を特徴づけるダナイト、ウェールライト、クリノパイロキシナイト系列の超塩基性岩類とは、その性格上著しい対照をなす。

近年、上部マンタル物質の流動特性を明らかにするため、カンラン石を用いた多くのクリープ実験が行なわれてきた^{5,6,7)}。その結果、カンラン石の転位密度、亜結晶粒径、再結晶粒径と応力の関係が定量化され、玄武岩に包有される超塩基性岩を用いての上部マンタルの応力分布もしらべられている⁸⁾。また、転位密度、亜結晶粒径、再結晶粒径の応力に対する応答が必ずしも同時進行ではなく、岩石のクリープにおいて、異なった段階に対応したものであることも示摘されている⁹⁾。これは、岩石の変形過程を解析する場合、有用な方法となる。

この小論では、愛媛県松山市道後に産する高マグネシア安山岩中の超塩基性包有岩のカンラン石の格子定向配列、転位構造の性格を明らかにし、超塩基性包有岩の変形様式を論じた。

2. 超塩基性包有岩の産状ならびに記載

愛媛県松山市周辺には、高マグネシア安山岩(MgO含有量7~8 wt%以上)が、岩脈、岩頸として多数認められる¹⁰⁾。この小論で調べられた超塩基性包有岩は、松山市道後からの高マグネシア安山岩に見い出されたものである。母岩の安山岩の産状、岩石記載については、すでに報告されている¹⁾。超塩基性包有岩は、通常1~2 cmのサイズであり、時に10cm

に達する。一般に角礫状～亜角礫状を呈し、層状構造は明瞭ではない。

超塩基性包有岩は、組織、構成鉱物組み合わせ、鉱物の化学組成によって、2つに分類される。ここでは、タイプ1、タイプ2とする。

タイプ1包有岩はハルツバージャイトであり、イクイグラニューラタイプ¹¹⁾の組織を示す。カンラン石は、0.5mm以下の他形モザイク状で、キंकバンド、波動消光は認められない。斜方輝石は、0.5mm以下で他形を示す。カンラン石と同様にキंकバンド等は認められない。また、単斜輝石の離溶組織も皆無である。スピネルは、黄色を呈し、半自形～他形で、しばしば球形を示す。

タイプ2包有岩は、ダナイト、ハルツバージャイトから成る。組織は、一般にプロトグラニューラ、ポーフィロクラステック、イクイグラニューラタイプ¹¹⁾で、岩石によってはそれらの中間的な組織をもつものがある。また、自形～半自形カンラン石の存在で特徴づけられるキュムラス組織をもつ岩石も認められる。カンラン石は5mm以下で、半自形～他形を示す。粒径の大きい結晶では、キंकバンド、波動消光が発達する。しかし、小粒径の結晶はその種の組織はもたない。斜方輝石は5mm以下で、半自形～他形を示し、時々、単斜輝石の離溶ラメラをもつ。スピネルは自形～半自形で、0.4mm以下である。色は赤褐色であり、タイプ1包有岩からのスピネルとは明らかに区別されうる。

3. 鉱物の化学組成

タイプ1包有岩のカンラン石組成は、 $Mg/(Mg+Fe) : 0.91-0.90$ 、 $NiO : 0.44-0.38$ wt%，一方、タイプ2包有岩のカンラン石は組成範囲が広く、 $Mg/(Mg+Fe) : 0.94-0.89$ 、 $NiO : 0.6-0.4$ wt%である。斜方輝石は、タイプ1包有岩で、 $Mg/(Mg+Fe) : 0.92-0.90$ 、タイプ2包有岩で、 $Mg/(Mg+Fe) : 0.94-0.89$ である。スピネルは、タイプ1包有岩で、 $Cr/(Cr+Al) : 0.25-0.20$ 、タイプ2包有岩では $Cr/(Cr+Al) : 0.8-0.6$ で、後者は Cr_2O_3 含有量が60wt%に達するものが存在する。

構成鉱物の化学組成を用いて平衡温度を見積ることができる。カンラン石—スピネル温度計¹²⁾から、タイプ1包有岩では、1000—1050°C、タイプ2包有岩では、900—1000°Cの平衡温度が得られた。

4. カンラン石の格子定向配列

超塩基性包有岩中のカンラン石結晶の光学弾性軸 ($X = [010]$, $Y = [001]$, $Z = [100]$) の方位をU—ステージを用いて測定した。その結果を図1に示す。

タイプ1のハルツバージャイト(1H1)は強いZ軸の集中がみられるが、Y軸の集中は乏しい。X軸はガードル状に比較的高い集中度を示す。タイプ2のダナイト(2D4, 2D5)はX, Y, Z軸の集中の程度が大である。

カンラン石結晶の格子定向配列について、一般的に、X, Y, Z軸に強い集中が認めら

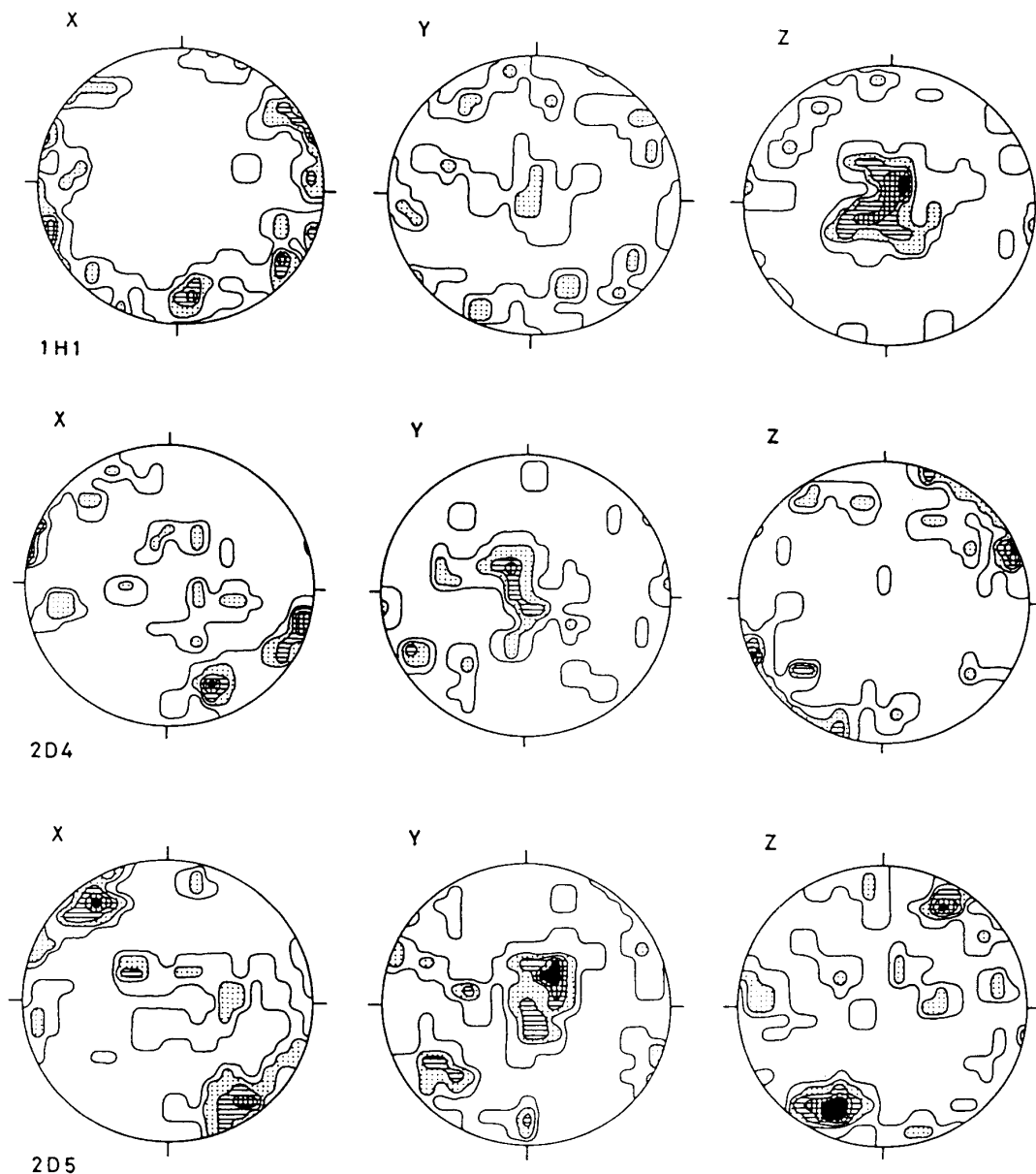


図1 カンラン石結晶の格子配列
(コンター：0-2-4-6-8-10%)

れる例として、玄武岩中のカンラン岩捕獲岩、アルプス型カンラン岩、オフィオライトからのテクトナイトがあげられる^{11,13,14)}。一方、マグマからの沈積岩である層状岩体のカンラン石結晶はX, Y, Z軸の集中は乏しく、もし存在する場合でも、X軸にわずかに集中がみられる程度である(スティルウォーター複合岩体, ラム, スケアガード貫入岩体^{15,16)})。

5. カンラン石の転位構造

カンラン石の転位構造の観察は、酸化デコレーション法¹⁷⁾で処理したサンプルについて、光学顕微鏡下で行なった。主にタイプ2包有岩について観察し、タイプ1包有岩のカンラン石では、一部のサンプルについて亜結晶粒径のみ計測した。

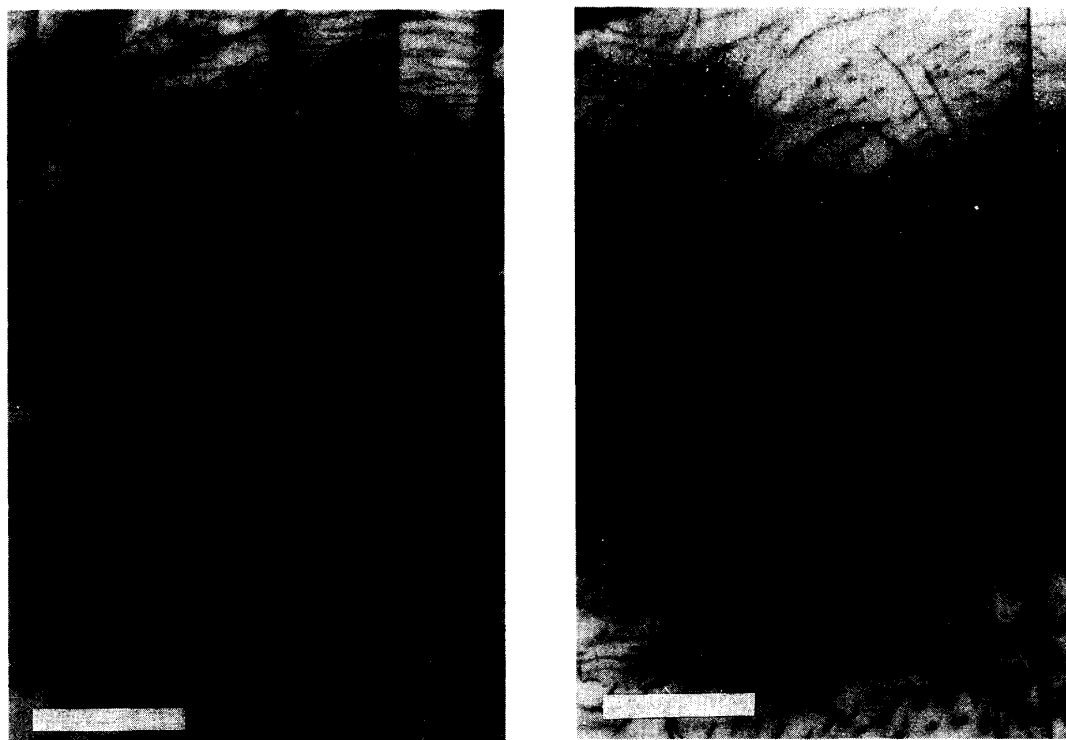


図2 カンラン石の転位構造 (スケールバー: 30 μm)
 左. cellular タイプの転位構造
 右. 観察面に垂直に近い転位線

カンラン石の転位構造には、曲線状を呈し、結晶中に均質に分布する tangled タイプ⁹⁾と、直線状で (100), (010), (001) の特定の面に配列してセル構造を示す cellular タイプ⁹⁾の両者が認められた。しかし、イクイグラニューラータイプの組織をもつカンラン岩では、cellular タイプが卓越する傾向にある。図2にカンラン石の転位構造を示す。

タイプ2 包有岩のカンラン石の転位密度は、 $1 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ で、亜結晶粒径は約20~30 μm である。測定されたサンプルの組織の相違によるそれらの違いは認められない。タイプ1 包有岩からのカンラン石の亜結晶粒径はタイプ2 包有岩のそれと同様な値をとる (約25 μm)。なお、カンラン石の結晶粒径はサンプルによって大きく異なり、タイプ1 包有岩では、0.1~0.4mm、タイプ2 包有岩では、0.2~5.5mmである。

6. 考察と結論

タイプ1 包有岩のスピネル組成は、明らかに高マグネシア安山岩の斑晶カンラン石中のスピネルと異なる (タイプ1 包有岩のスピネル, $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}) : 0.20 \sim 0.25$, 斑晶カンラン石中のスピネル: $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}) : 0.7 \sim 0.8$)。むしろ、アルカリ玄武岩から報告されているカンラン岩捕獲岩中のものに酷似する¹⁸⁾。一方、タイプ2 包有岩のスピネル組成 ($\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}) : 0.6 \sim 0.8$) は、高マグネシア安山岩の斑晶カンラン石中のものとほぼ同一の値をもつ。タイプ2 包有岩は、カンラン石、斜方輝石の組み合わせで特徴づけられ、これは、高マグ

ネシア安山岩類の斑晶組み合わせと同一である。このことは、タイプ2包有岩は高マグネシア安山岩マグマからの沈積岩である可能性を示唆する。一部のサンプルにおいて沈積岩組織が残存することは、これを支持する。

一般的にマグマからの沈積岩では、カンラン石結晶はよく発達した(010)面を横にして沈積するであろう。この場合、カンラン石の格子定向配列は、X軸に集中した傾向を示すものと考えられる。事実、層状岩体では、カンラン石にその傾向が認められる^{15,16)}。しかしながら、Y、Z軸への集中はほとんど報告されていない^{15,16)}。したがって、タイプ1、タイプ2包有岩からのカンラン石の格子定向配列は、変形作用による再配列の結果とみなされる。

鉱物や岩石が変形する場合、変形の初期には、遷移クリープと呼ばれる変形がおこる。これは歪速度が時間に依存する変形である。つづいて、歪速度が一定な定常クリープと呼ばれる変形がおこる。遷移クリープの初期の段階では、すでに結晶中に存在していた転移は増殖し、その密度を増す。これは、ほぼ5%前後の歪量で応力と一対一対応する。一方、転位のすべりと上昇運動で形成される亜結晶粒径や再結晶作用による再結晶粒径は、それぞれ40%歪、50%歪以上で応力と一対一対応しており⁹⁾、再結晶粒径は定常クリープ以後に差応力と一定の関係をもつようになる⁹⁾。

応力と転位密度、亜結晶粒径、再結晶粒径の関係が、多くのクリープ実験によって明らかにされている^{5,6,7,19)}。応力-転位密度、応力-亜結晶粒径の関係式から、応力項を消去した転位密度-亜結晶粒径の関係が、図3に直線で示されている。この直線上では、転位密度と亜結晶粒径が応力に一対一対応している。この図には、タイプ2包有岩のカンラン石のデータがプロットされている。直線上近くに位置することがわかる。このことは、転位密度と亜結晶粒径が応力に対し応答していると考えられる。同様な方法で、亜結晶粒径-

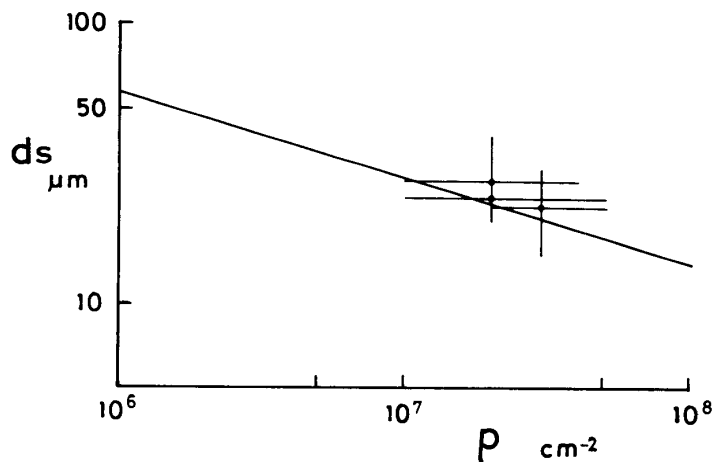


図3 転位密度と亜結晶粒径の関係
 図中の直線はKashimaら⁷⁾のデータから計算した。
 (ρ : 転位密度, ds : 亜結晶粒径)

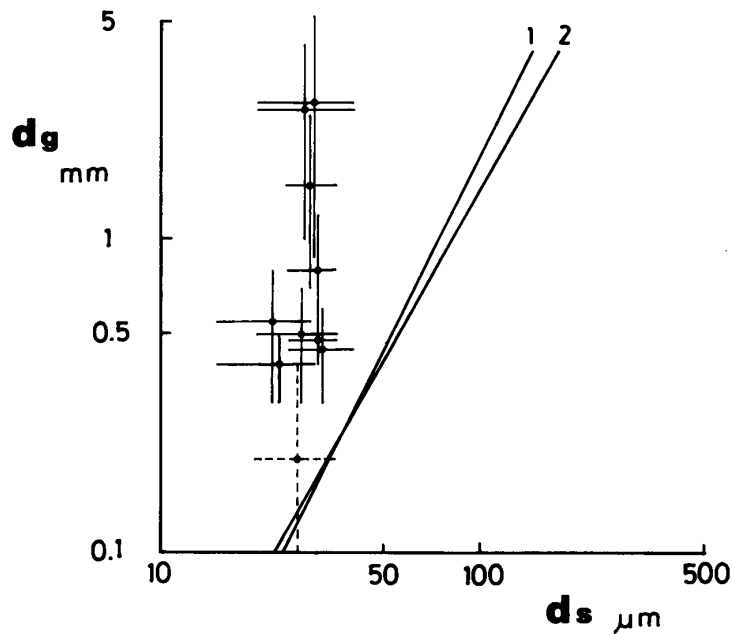


図4 亜結晶粒径と再結晶粒径の関係

図中の直線は次のデータから計算した。

1 : Rossら⁶⁾, 2 : Karatoら¹⁹⁾

点線 : タイプ1 包有岩, 実線 : タイプ2 包有岩

(d_s : 亜結晶粒径, d_g : 再結晶粒径)

結晶粒径の関係を示したものが図4に与えられている。タイプ2包有岩のカンラン石のデータ, また, 一部のタイプ1包有岩のデータも図示されている。亜結晶粒径がほぼ一定の範囲をとりながら, 結晶粒径が変化するようにみえる。これは, 亜結晶粒径は応力に対し応答しているが, 結晶粒径(再結晶粒径)は, タイプ2包有岩では, すべてのサンプルで完全に応答していないことを示す。ただし, タイプ1包有岩のカンラン石は亜結晶粒径, 結晶粒径の両者が, 応力に対し完全応答に近い状態であると思われる。したがって, 愛媛県松山市道後からの超塩基性包有岩では, タイプ1包有岩が定常クリープ変形に近い状態で, タイプ2包有岩が遷移クリープ変形を受けている段階で, 高マグネシア安山岩マグマによって地上にもたらされたものと結論される。

参考文献

- 1) 妹尾護 : 九州大学理学部研究報告, **14**, 13—19 (1981)
- 2) Tatsumi, T. : Earth Planet. Sci. Lett., **54**, 357—365 (1981)
- 3) Tatsumi, T. : Earth Planet. Sci. Lett., **60**, 305—317 (1982)
- 4) 東原龍秀 : 火山, **22**, 99 (1977)
- 5) Durham, W. D., Goetze, C. and Blake, B. : Jour. Geophys. Res., **82**, 5755—5770 (1977)
- 6) Ross, J. V., Ave Lallemand, H. G. and Carter, N. L. : Tectonophysics, **70**, 39—61 (1980)
- 7) Kashima, K., Sunagawa, I. and Sumino, K. : Sci. Rep. Tohoku Univ, Ser III, **12**, 281—407 (1983)

- 8) Toriumi, M. : *Earth Planet. Sci. Lett.*, **48**, 371—378 (1980)
- 9) 鳥海光弘・唐戸俊一郎・藤井敏嗣 : *地球*, **2**, 573—577 (1980)
- 10) 宮久三千年・石橋澄・佐々木基行 : *愛媛大学紀要*, **13**, 9—13 (1977)
- 11) Mercier, J. -C. C. and Nicolas, A. : *Jour. Petrol.*, **16**, 454—487 (1975)
- 12) Fabries, J. : *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**, 329—336 (1979)
- 13) Loney, R. A., Himmerberg, G. R. and Coleman, R. G. : *Jour. Petrol.*, **12**, 245—309 (1971)
- 14) Ross, J. V. : *Tectonophysics*, **100**, 321—357 (1983)
- 15) Jackson, E. D. : *Prob. Pap. U. S. Geol. Surv.*, 358 (1961)
- 16) Brothers, R. N. : *Jour. Petrol.*, **5**, 255—274 (1964)
- 17) Kohlstedt, D. L., Goetze, C., Durham, W. B. and Vander Sande, J. B. : *Science*, **191**, 1045—1046 (1975)
- 18) Arai, S. : *N. Jb. Miner. Monat.*, **8**, 347—354 (1987)
- 19) Karato, S., Toriumi, M. and Fujii, T. : *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 649—652 (1980)

Deformation Process of Ultramafic Inclusions in High Magnesian Andesite from Matsuyama District, Ehime Prefecture, Southwest Japan

Takabumi SAKAMOTO and Mamoru SENOH*

Faculty of Liberal Arts and Science,

Okayama University of Science,

1-1, Ridai-cho, Okayama, Japan

**Eisuu Gakkan Junior High School,*

980-1, Hikino-cho, Fukuyama, Japan

(Received September, 1988)

Ultramafic inclusions were found in high magnesian andesite at Dogo, Matsuyama City, Ehime Prefecture, Southwest Japan. They are classified into two types, from the texture and chemical composition of minerals : type-1 and type-2. Type-1 inclusion is harzburgite, characterized by the presence of Al-rich spinel. Type-2 inclusion is composed of dunite and harzburgite, with Cr-rich spinel.

Olivine fabric patterns of the inclusions exhibit high concentration of X and Z axes, which differ from those of cumulate rocks. It seems that the textural development of the inclusions occurred through deformation process. Petrographical evidence supports this.

Dislocation structure of olivine from the inclusion was examined. The dislocation density of olivines for type-2 inclusion falls into the range of 1×10^7 to 5×10^7 cm^{-2} . The subgrain size of olivines from type-1 and type-2 inclusion has narrow range from 20 to $35 \mu\text{m}$.

Considering the rate of stress-response of dislocation density, subgrain size and grain size, it is concluded that type-1 inclusion deformed in nearly steady-state creep, whereas type-2 inclusion deformed in transient creep.