

グラニュライトを構成するザクロ石結晶中の火山岩様包有物に基づく大陸衝突型造山帯深部構成岩の上昇・冷却過程に対する制約

廣井美邦¹、柳 綾彦¹、加藤睦実¹、小林記之¹、外田智千²、本吉洋一²、白石和行²、
石川正弘³、M. サティッシュクマール⁴、プレーム-バーナード⁵
¹ 千葉大 ² 極地研 ³ 横国大 ⁴ 静岡大 ⁵ スリランカ地質調査所

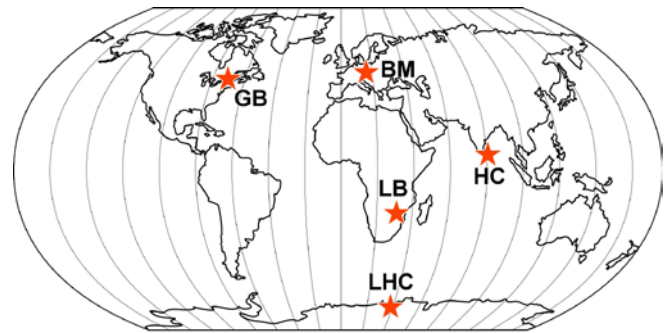
Constraint on exhumation and cooling processes of deep crustal rocks in continental collision zones on the basis of volcanic rock-like inclusions within garnet crystals in granulites

Yoshikuni Hiroi¹, Ayahiko Yanagi¹, Mutsumi Kato¹, Tomoyuki Kobayashi¹, Tomokazu Hokada², Yoichi Motoyoshi²,
Kazuyuki Shiraishi², Masahiro Ishikawa³, M. Satish-Kumar⁴, and Bernard Prame⁵
¹ Chiba Univ. ² NIPR ³ Yokohama Natl. Univ. ⁴ Shizuoka Univ. ⁵ Geol. Surv. Sri Lanka

The occurrence of felsic volcanic rock-like inclusions (FVRLI) within garnet in pelitic, psammitic (quartzo-feldspathic), intermediate, and even basic granulites has been revealed from various continental collision orogenic belts including the Early Proterozoic Limpopo Belt (South Africa), the Mid-Proterozoic Grenville Belt (Canada), the Latest Proterozoic-Early Paleozoic Highland Complex (Sri Lanka) and the Lützow-Holm Complex (East Antarctica), and the Mid-Paleozoic Bohemian Massif (Czech) (Fig. 1). The FVRLI commonly show spherulitic, axiolitic, granophyric, and porphyritic textures in addition to quartz dendrites (Fig. 2). All these features indicate that partial melts formed during high-temperature regional metamorphism and trapped by garnet have undergone nonequilibrium crystallization under specific conditions of continuous rapid cooling. The possible corresponding geotectonic process may be mid-crustal channel flow proposed for the Himalayan-Tibetan orogen.

火山岩中には地殻深部や上部マントル由来の岩石や鉱物がゼノリスおよびゼノクリストとして産出する。それらはいまだに人類の手が直接には届かない地下深部からの物質であり、貴重な情報源となっている。我々はこの度、その逆の、かつて地殻深部に位置していた高温（およそ 800℃以上）の広域変成岩（以下、グラニュライトと呼ぶ）を構成するザクロ石結晶中に、珪長質な火山岩様の包有物（felsic volcanic rock-like inclusions 以下、FVRLI）を見出した。それは従来の地球科学の予想あるいは常識を超えるものであり、地殻深部、特に大陸どうしの衝突型造山帯の深部で岩石が部分融解することを直接的に示すばかりでなく、そのような岩石がこれまでの見積もりをはるかに超える高速度で上昇・冷却していることを示唆している。

我々は、世界各地に産出する原生代初期から顕生代までの大陸衝突型造山帯の深部で形成されたグラニュライトを綿密に再調査した。具体的には、約 20 億年前のリンポポ帯（南アフリカ：LB）、約 11 億年前のグレンビル帯（カナダ：GB）、約 5.5 億年前のハイランド岩体（スリランカ：HC）とリュツォ・ホルム岩体（南極：LHC）、および約 3.4 億年前のボヘミア岩体（チェコ：BM）のグラニュライトで、これらすべての地域のグラニュライトを構成するザクロ石結晶中に FVRLI を確認した（Fig. 1）。いずれのグラニュライトも火成活動には直接関係せず、したがって特にマグマから熱やメルトの供給はなかったと考えられるものである。特に詳細に研究したスリランカのハイランド岩体と南極のリュツォ・ホルム岩体を構成するグラニュライトから見出された FVRLI の特徴は以下の通りであるが、これらは他地域のグラニュライト中の FVRLI にも共通している。



★ Locality of volcanic rock-like inclusions within garnet in high-grade regional metamorphic rocks (granulites)

Fig. 1 Map showing occurrence of felsic volcanic rock-like inclusions (FVRLI) in granulites in the world.

- 1) FVRLI は主に泥質グラニュライトに見出されるが、砂質（石英長石質）、中性、更には塩基性グラニュライトからも見出されることがある。
- 2) FVRLI の外形はザクロ石の負結晶的な多面体である場合が多いが、紡錘形のような不定形の場合もある。
- 3) FVRLI には含水鉱物によって構成された「とげ」あるいは「角」があることが多い。
- 4) FVRLI とホストのザクロ石の割れ目とに明瞭な関連が見られることがある。

- 5) FVRLI は主として石英と長石（カリ長石の場合、斜長石の場合、および両者が混在する場合がある）の微細連晶で構成されており、それは球晶状〜アキシオリティック状〜グラノフィリック状であることが多い。
- 6) FVRLI 中の石英結晶の形態が、球晶状から樹枝状、骸晶状、さらには自形へと連続的に変化する様子が見られることがある (Fig. 2)。
- 7) FVRLI の石英と長石以外の構成物として、もっとも普通に見られるのは黒雲母と磁鉄鉱、ジルコン、燐灰石、モナザイトである。次いで紅柱石と堇青石、斜方輝石もよく見られる。そのほかにコランダム、珪線石、サフィリン、スピネル、ルチル、ホルンブレンド、緑泥石、粘土鉱物、沸石などが見られることもある。
- 8) FVRLI 中で石英と黒雲母は自形〜半自形で相対的に粗粒な結晶としても出現し、斑状組織を形成することが多い。
- 9) FVRLI の周囲のザクロ石は Mg に乏しく、Fe と Mn に富むような累帯構造構造を示すことが多い。
- 10) FVRLI 中の黒雲母は高い Mg/(Mg+Fe) 比と著しく低い Ti, F, Cl 含有量で特徴づけられ、その他の産状の黒雲母とは著しく異なる。

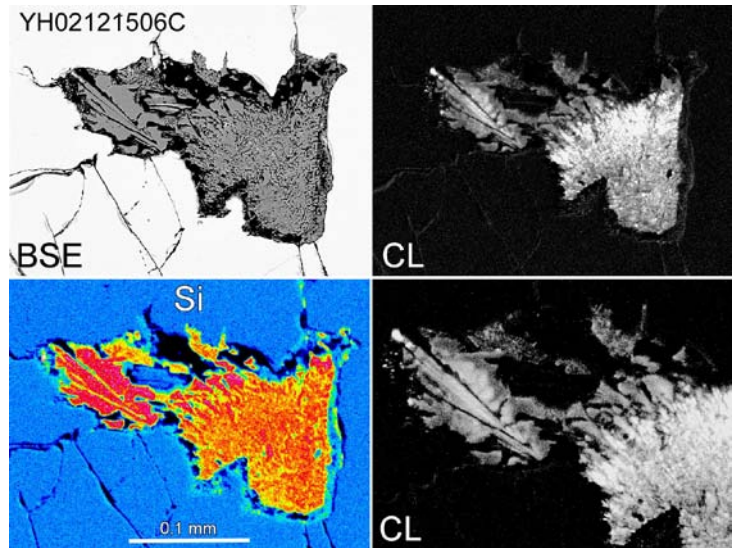


Fig. 2. Felsic volcanic rock-like inclusion within garnet in pelitic granulite from Ginigalpelessa close to the boundary between the Highland Complex and the Vijayan Complex in southern Sri Lanka. Note the textural change of quartz crystals from spherulitic to dendritic even within the same inclusion.

- 11) 少なくともスリランカでは、FVRLI は顕著な変形流動構造を示すグラニュライトの中での特定の“層順”あるいはテクトニック・ポジションにある岩石中に出現する。
- 1) から 10) までの点の多くは Cesare *et al.* (2009) が南インドのグラニュライト中の包有物 (nanogranite と呼ばれ、昨年度の本シンポジウムでは我々も FVRLI をそう呼んだ) として記載報告したものと共通している。ただし、注意すべき点は、Cesare *et al.* (2009) が記載した包有物は微細であり (< 25 μm)、そのためガラスさえも見られることがあるという点である。本研究では、Cesare *et al.* (2009) が研究したものよりもずっと大きな「普通サイズ」の包有物を調べ、それらに火山岩や半深成岩が示すものと同様の岩石組織が普通に見られることを確認し、そのため改めて FVRLI と呼ぶことにしたのである。また本研究の場合には、FVRLI 中に紅柱石や斜方輝石などの固結条件を決定あるいは限定するのに有効な多様な鉱物が産出していることは特筆すべきことである。FVRLI 発見で我々が特に注目したのは次の 2 点である：(1) なぜ火山岩様の非平衡急冷組織が形成されたのか、すなわち過冷却結晶化が起こったのはなぜか、(2) なぜそのような組織がよく保存されているのか。

過冷却結晶化が起こったのは、FVRLI の産状から、トラップされたメルトから H_2O が急激に減少してリキダスとソリダスの温度が急上昇したためと考えられる。それはグラニュライトの上昇冷却時に、変形作用等によって一種の压力容器の働きをしていたザクロ石に割れ目が生じ、 H_2O がトラップされたメルトからドライなマトリックス (融け残り鉱物集合体) の方に拡散移動したためであろう。

一方、火山岩類似の岩石組織がよく保存されていることは、形成後の急速な冷却を意味する。なぜなら、トラップメルトの過冷却結晶化後も高温条件が長く続くと、それは再結晶して、粗粒化等の改変が進むからである。

広域的なグラニュライトの巨大な岩体 (地質体) が急冷するような地質過程は想定困難であるが、現時点でもっとも可能性があるのは現在進行中の大陸衝突型造山帯であるヒマラヤの研究から提唱されている” mid-crustal channel flow” モデル (例えば, Harris, 2007) であろう。なお、Zeng *et al.* (2009) が中国の古生代末の大陸衝突型造山帯に産出する超高压エクロジヤイトから FVRLI に類似したものを報告していることは注目に値する。

References

- Cesare, B., Ferrero, S., Salvioli-Mariani E., Pedron, D. And Cavallo, A., “Nanogranite” and glassy inclusions: The anatatic melt in migmatites and granulites, *Geology*, 37, 2009.
- Harris, N., Channel flow and the Himalayan-Tibetan orogen: a critical review, *Journal of the Geological Society, London*, 164, 511-523, 2007.
- Zeng, L.S., Liang, F.H., Asimow, P., Chen, F.Y. and Chen, J., Partial melting of deeply subducted continental crust and the formation of quartzofeldspathic polyphase inclusions in the Sulu UHP eclogites, *Chinese Science Bulletin*, 54, 2580-2594, 2009.