

火山弧のスラブ由来流体は超臨界状態で、上昇中に水流体と含水メルトに分離する

Slab-derived supercritical fluids beneath subduction zones: separation into aqueous fluid and hydrous melt during ascent

川本 竜彦 [1]; 神崎 正美 [2]; 三部 賢治 [3]; 松影 香子 [4]; 小野 重明 [5]

Tatsuhiko Kawamoto[1]; Masami Kanzaki[2]; Kenji Mibe[3]; Kyoko Matsukage[4]; Shigeaki Ono[5]

[1] 京大・理・地球熱学・別府温泉; [2] 岡大・地物科研セ; [3] 東大地震研; [4] 茨城大理・地球; [5] 海洋研究開発機構

[1] Inst. for Geothermal Sciences, Kyoto Univ.; [2] ISEI, Okayama Univ.; [3] ERI, Univ. Tokyo; [4] Department of Environmental Science, Ibaraki Univ.; [5] IFREE, JAMSTEC

スラブは溶けているのか？

沈み込むスラブの上面が火山弧の下で溶けているのか溶けていないのかは、長い間岩石学の第一級の問題であり続けてきた。スラブの含水鉱物が脱水分解反応を起こして水にとんだ流体をマントルに付加するのか、スラブ自身が含水下で部分融解しているのか？どうやら溶けることもあるようだと言った Defant and Drummond(1990, Nature) の論文は大きな影響を与えた。いわく、若いスラブが沈み込むような暖かい環境ではスラブ上面が溶けうるというのだ。そのような条件での部分熔融実験や、その熔融液とマントル鉱物の間の反応実験などが盛んに行われるようになった。

マグマと水の間の臨界現象

一方、同じ頃、マグマと水の間の区別がなくなる温度や圧力条件を知ろうとする試みも Kennedy, Wasserburg, Heard, Newton 論文 (J Geology 1962) 以来、再び始まった (Paillat 達 1992, Contrib Mineral Petrol)。決定打は Shen and Keppler (1997 Nature) がアルバイトと水の間の完全混和をマントル最上部の温度圧力でおこることを示した仕事である。どうやらマグマと水の区別がつかない状態が天然にありそうだ。私たちが大いに刺激を受けて、さまざまなマグマと水の間の混和現象を実験的に解明し始めた。実験室ではダイヤモンドアンビルセルを使用し光学顕微鏡で観察し、大型放射光施設 SPring-8 ではマルチアンビルプレス中の試料を X 線で観察した。

臨界現象がなくなる条件 (臨界終端点) と上昇過程での分離

私たちは、三部を中心にかんらん岩と水 (Mibe たち, Journal of Geophysical Research 印刷中)、玄武岩と水の系で、また川本を中心に高 Mg 安山岩と水、海洋堆積岩と水の系で、それぞれメルトと水の間の区別がなくなる温度圧力 (臨界終端点) を推定するための高温高压実験を大型放射光実験設備 SPring-8 で行った。その結果、かんらん岩と水、玄武岩と水、高 Mg 安山岩と水、海洋堆積岩と水の系の臨界終端点は、それぞれ 3.8GPa、3GPa、2.9GPa、2.6GPa であることが判明した。それぞれの臨界終端点よりも浅い圧力では、水に飽和したマグマと、マグマ成分を溶かした水にとむ流体はおたがい不混和である。より深い圧力では、超臨界流体としてのみ存在できる。このような超臨界流体の組成は、温度に大きく依存する。つまり、高温ではマグマ的、低温ではフルイド的である。それでは、Defant and Drummond と同じか？そうではない。暖かいスラブから出たマグマ的な超臨界流体は、上昇とともに水にとむ流体相とマグマ成分にとむ流体相に分かれるはずである。

水流体とメルトに分離して、それぞれマグマを作る

アダカイトと非アダカイトや、高 Mg 安山岩と玄武岩が共存している場合がある。スラブ由来の超臨界流体が低圧で分離し、水にとむ流体とメルトが、両マグマの生成に関与していたのではないだろうか？検証するためには、(1) 共存するマグマ系列の化学的特徴の違いと、(2) 高温高压条件での水にとむ流体とメルトの間での元素分配について理解する必要がある。

化学的特徴は？

Defant and Drummond は火山岩の Sr と Y に注目した。Sr は斜長石に多く分配される元素で、Y は重い希土類元素同様ガーネットに多く分配される元素である。斜長石とガーネットはともにアルミナを主成分のひとつとする鉱物であり、高压では斜長石が不安定になりガーネットが安定となる。このため、スラブなど高压条件では、ガーネットが固相に存在するので Sr にくらべ Y が固相に濃集し、マグマの Sr / Y 比は高くなる。私達の内の少なくとも一人 (川本) が妄想する仮説は、超臨界流体がメルトと水に富む流体に分かれる際に、Sr は Y よりもメルト (あるいは水、以下括弧内は、ここで水を選択した場合) に分配されると考える。これによって、水 (あるいはメルト) は Y にとんでいて、メルト (あるいは水) が Sr にとむ。その後、水 (あるいはメルト) がマントルと反応して通常のマグマを生成し、メルト (あるいは水) がマントルと反応してアダカイトとなる。さて、Y と Sr どちらがどちらにより分配されるだろうか。川本 (2004、高压の科学と技術) は、安山岩と水の間の元素分配を、やや間接的な方法で報告している。そこでは、Ca は Al よりもメルトに分配されている。Sr と Y を電荷とイオン半径が似ていることを理由に Ca と Al に置き換えてみると、Sr はよりメルトに分配されそうである。そうであれば、Sr / Y がより高いマグマはメルトが関与して生成されたと考えられるであろう。分配を決定するための高温高压実験は、困難が予想されるが、挑戦してみたい。