

炭素循環解明に向けたCO₂-H₂O-ケイ酸塩の溶融・相平衡のパラメーター化 Parameterization of melting phase relations in CO₂-H₂O-silicate system toward understanding carbon cycle

*大野 正貴¹、岩森 光^{1,2}

*Masaki Ohno¹, Hikaru Iwamori^{1,2}

1. 東京工業大学、2. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Tokyo Institute of Technology, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

現在、大気中のCO₂は地球温暖化という観点で水蒸気に次いで大きな効果を持ち、自然的と人為的な排出CO₂のバランス変化は社会的に重要である。地球史スケールでは、太古代以降CO₂分圧が大きく減少しており、表層と巨大な質量を有する地球深部との関係、特に物質の流入口となる沈み込み帯でのCO₂の振る舞いは重要である。沈み込み帯での物質の挙動には流体やマグマが大きな役割を果たしており、脱水・加水および溶融過程でCO₂がどのように振る舞い、輸送されるかが鍵となる (e.g., Dasgupta & Hirschmann, 2010, EPSL; Kelemen & Manning, 2015, PNAS)。しかし、その定量的な評価は限定的で大きく不足しており、統一的な理解に至っていない。この問題解決には、脱水・加水、溶融現象におけるCO₂の振る舞いの定量評価が不可欠であり、根幹にある溶融・相平衡に携わるパラメーター化は急務であると考え。本研究は、先行研究の実験データを統合し、CO₂-H₂O-ケイ酸塩の広い組成に対応する溶融・相平衡とそのパラメーター化に基づき、上記CO₂問題の根幹に迫ろうとするものである。

沈み込み帯の物質循環における炭素の重要性については、これまで多くの議論が蓄積され、酸化的な雰囲気300 km以浅の沈み込み帯においてはCO₂の挙動や溶融現象への効果が注目されている。また、沈み込む海洋プレート(スラブ)から供給されるH₂Oは、溶融・相平衡に直接作用するために重要視されている。同時に、H₂OはCO₂を輸送する役割も担い、沈み込み帯の流体現象を理解するためには両成分を総合的に取り扱う必要がある。

両成分はペリドタイト系のソリダス温度を大きく下げ、融けやすくする効果がある。H₂Oの効果は流体濃度、圧力、温度について詳細かつ連続的にパラメーター化され、溶融量についても定量化されている (e.g., Iwamori, 1998, EPSL)。さらに、マントル対流モデルの数値シミュレーションに組み込まれ、ダイナミクスを議論できるまでに研究が進んでいる (e.g., Ikemoto & Iwamori, 2014, EPS)。ところが、CO₂の効果については、シミュレーションどころか、沈み込み帯を議論する上で不可欠な相平衡・溶融に関する実験データも「疎」で、数値計算に組み込めるような連続的なパラメーター化すらなされていない。また、H₂OとCO₂を両方含む系についてはさらに複雑であり、実験データはさらに少ない。先行研究の実験結果および熱力学的制約に矛盾しないように、CO₂ (0~5 wt.%)・H₂O (0~1 wt.%)・温度 (0~2000 °C)・圧力 (0~12 GPa)の範囲でパラメーター化を行った。

CO₂単独の効果は2.2 GPa以下の低圧領域ではCO₂がガスとして存在し、融点降下の影響は僅かであるが、2.2 GPaを超えたところではCO₂がmagnesiteなど炭酸塩鉱物に固定され、約200 °C融点温度を下げる。これは、carbonatite meltが岩石に主要なsilicateと親和性が悪く、silicate meltに先行して溶融することに関係する。この非親和性は溶融の様子にも表れ、carbonatite meltは融点温度に到達すると一気に生じ、carbonatite meltに遅れてsilicate meltが生じる。

H₂O・CO₂両流体が共存する場合、相平衡や流体組成は一層複雑である。低圧領域においては、CO₂ガスがH₂Oに取り込まれることでH₂Oの活動度を低下させ、H₂Oの融点温度を下げる効果を阻害する。これにより、2.2 GPa以下においてはH₂Oだけの場合に比べてCO₂が加わることで融点温度は微増する。2.2 GPa以上では、CO₂とH₂Oの効果が相乗的に機能するため融点はさらに低い温度となる。その効果が最大となるのは3 GPaの圧力条件で、ソリダス温度は850 °Cまで低下する。このパラメーター化により、将来的には、CO₂による融点温度降下とメルト生成の条件を、2相対流シミュレーションに組み込み、CO₂-H₂O-ケイ酸塩の広い組成をカバーした沈み込み帯での流体現象・物質循環の検証が可能となる。

キーワード：物質循環、沈み込み帯、脱水・加水、二酸化炭素、地球史、融点

Keywords: material cycling, subduction zone, dehydration-hydration, carbon dioxide, Earth history, solidus