

負の残留圧力を保持するざくろ石中の石英: 石英ラマン圧力計の高温変成岩への適用

Study of negative residual pressure of quartz in garnet: Quartz Raman spectra of high-temperature metamorphic rocks

額 纈 佑 衣^{1*}, 榎 並 正 樹¹, 池 田 剛²

KOUKETSU, Yui^{1*}, ENAMI, Masaki¹, IKEDA, Takeshi²

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Graduated School of Environmental study, Nagoya University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University

変成作用によって成長したざくろ石に取り込まれた石英は、地表に至るまでの温度圧力の変化に伴って体積変化が起きる。取り込まれた石英の体積が、周りのざくろ石の体積よりも大きくなる場合は圧縮応力が、逆に石英の体積の方が小さくなる場合は伸長応力が石英にかかり、残留圧力が保持される。石英のラマンスペクトルのピーク位置は圧縮応力によって高波数側に、伸長応力によって低波数側にシフトする。Enami et al. (2007, AM, 92, 1303-1315) は、いくつかの異なる変成圧力下で形成されたサンプル中のざくろ石に包有されている石英のラマンスペクトルのピークシフト度合(δ)を測定し、残留圧力を推定した。そして、残留圧力と変成圧力の間に正の相関があることを示した。数値計算モデルから、ざくろ石の化学組成や温度の依存性はほとんどないとされ、この手法は圧力計として使えることを提案した(石英ラマン圧力計)。熱力学モデルを用いた圧力計とは独立して圧力を見積もることが可能であるため、最近では、Kouketsu et al. (2010, JMPS, 105, 9-19) や Endo et al. (2012, JMG, in press) によって高压変成岩の圧力見積りの指標の一つとして適用されている。

近年、西山・相川(2011, JGUM, SMP046-05)によって、負の残留圧力を示すざくろ石中の石英包有物が肥後変成岩から報告された。Enami et al. (2007) で用いられている簡単な弾性相互作用モデル(Van der Molen, 1981, Tectonophysics, 73, 323-342)を用いた場合、負の残留圧力を得る温度圧力範囲はほとんどない。そこで彼らは、石英が高温で安定な相の状態ではざくろ石に包有された後、地表に露出する過程で相に相転移したため、石英の体積が急激に減少し、負の残留圧力を獲得したと解釈した。

本研究では、従来の石英ラマン圧力計では評価されていない負の残留圧力を保持する石英包有物についてさらに詳しく調べるため、高T/P条件で形成された柳井領家帯と東南極から採取された岩石について分析した。柳井領家帯変成岩については、Ikeda (2004, CMP, 146, 577-589)において詳細な温度圧力見積りがなされている5つの変成分帯(Chl-Bt, Ms-Crd, Kfs-Crd, Sill-Kfs, Grt-Crd zone)で採取されたサンプルそれぞれについて分析した。Chl-Bt, Ms-Crd, Kfs-Crd帯は - 石英が、Grt-Crd帯は - 石英が安定で、Sill-Kfs帯は - 相転移線の近傍である。東南極のサンプルは超高温変成作用を被っており相安定領域を経験している。

分析の結果、柳井領家帯変成岩のすべてのサンプル中のざくろ石に包有されている石英の残留圧力は同程度の負の残留圧力値($\delta = -4 \sim -6 \text{ cm}^{-1}$)を示した。また、東南極の片麻岩中に含まれるざくろ石斑晶中には、非常に低い残留圧力値($\delta = -12 \text{ cm}^{-1}$)を保持する石英が普遍的に含まれていた。この結果は、石英がざくろ石に取り込まれた状態が相でも相でも、負の残留圧力を保持することを意味する。すなわち、石英の負の残留圧力を相から相への相転移のためとした西山・相川(2011)の解釈では不十分であることを意味する。そこで従来の弾性モデルについて再検討した結果、石英が取り込まれた時の変成圧力と残留圧力の関係式は、Van der Molen (1981)のモデルでは不適切であり、Zhang (1998, EPSL, 157, 209-222)のモデルがより適切であることが明らかとなった。さらに、体積弾性率の圧力依存性と熱膨張係数の温度依存性の変化を考慮してモデルを改良した。

新しいモデルによって、石英が負の残留圧力を持つ条件が定性的にはあるが再現できた。そして、相が安定な条件下でざくろ石に包有された石英であっても負の残留圧力を保持する場合があることが示された。また、東南極の超高温変成岩は柳井領家帯変成岩よりも有意に低い残留圧力値を保持する点も再現できた。

キーワード: 負の残留応力, 石英ラマン圧力計, 高温変成岩, 包有物 - ホスト系, 弾性モデル

Keywords: negative residual pressure, quartz Raman barometer, high temperature metamorphism, inclusion-host system, elastic model