

博士論文審査報告書

論 文 題 目

Paleostress analysis using deformation
microstructures of the Late Cretaceous
granitoids in Chubu region, Southwest Japan

西南日本中部地方に分布する後期白亜紀花崗岩類
に発達する変形微細構造を利用した古応力解析

申 請 者

Takuto	KANAI
金井	拓人

Department of Earth Sciences, Resources and Environmental
Engineering, Research on Structural Petrology

2017年2月

西南日本には後期白亜紀花崗岩類（領家-山陽花崗岩類）が広く帯状に分布する．本研究では中部地方南部に分布する花崗岩類を対象に，花崗岩類に発達する変形微細構造を利用して古応力解析が行われ，プレート収束域における広域応力場との関連性について議論されている．その変形微細構造の中でも特に対象としたのは，石英に発達するヒールドマイクロクラック（HC）である．従来の HC を用いた古応力解析は最小主応力（ σ_3 ）軸方向の推定にとどまっていたが，本研究では新しい解析手法（新岩脈法）を導入することで，中間主応力（ σ_2 ）軸や最大主応力（ σ_1 ）軸の方向，応力比を推定できることが天然の岩石の HC で示された．また，新しい解析手法を HC に適用するために必要となるデータの補正方法が新たに開発された．もう一つの古応力解析は，愛知県豊田市足助町を中心に NE-SW 方向に発達する足助剪断帯に伴うシュードタキライト中の杏仁構造を充填する方解石の変形双晶を用いるものである．さらに足助剪断帯の非対称微細構造に示されている断層運動からも古応力方向が推定された．これらの結果をもとに，白亜紀末から古第三紀初期における東アジア東縁部の広域応力場について議論されている．

本論文は 5 章より構成されている．以下に各章の要点を述べる．

第 1 章では序論として研究目的やその意義について述べられている．

第 2 章では地質概説として，領家-山陽花崗岩類の火成活動および変形作用，また本研究で推定された広域応力場を議論する上で関連する中央構造線（MTL）の活動について先行研究のレビューが行われている．

第 3 章では新岩脈法の原理および HC に適用する場合の解析手順について述べられ，推定された古応力について議論されている．本章ではまず，新岩脈法を HC に適用するために，HC の方向分布を正確に推定する測定方法および補正方法が開発された．次に長野県天竜村から飯田市周辺の MTL 近傍（マイロナイト帯を除く MTL から 5 km 以内の範囲），および愛知県新城市から岐阜県土岐市にわたる MTL から 60 km 以内の広域で採取された花崗岩類を対象に古応力解析が行われた．MTL 近傍の 2 地域で推定された最も集中する σ_3 軸の平均方向はいずれも水平に近く，その方向はそれぞれ 146° （南東）および 308° （北西）を示し，花崗岩体北縁地域（MTL から約 60 km）で推定された σ_3 軸の平均方向は 260° （ほぼ西）を示した．また，MTL から離れるほど σ_3 軸の方向が反時計回りに回転する傾向が示された． σ_2 軸および σ_1 軸の方向は MTL からの距離と相関を示さなかったが，岩体の違いによらず約 10 km の範囲内の試料同士では集中を示すことが明らかにされた．最後に，HC を構成する流体包有物のマイクロサーモメトリー分析結果に基づいて流体の捕獲温度が推定され，K-Ar 年代の黒雲母についての閉鎖温度との近似性から HC は 75-65 Ma の古応力を記録していることが明らかにされた．

第 4 章では足助剪断帯の変形微小構造をもとに，剪断帯活動時の古応力方向，温度，差応力について検討された．本章ではまず，マイロナイトから変

形条件が推定された。マイロナイトの線構造や複合面構造は正断層成分を含む左ずれのセンスを示し、剪断帯の姿勢と線構造の方向から推定される σ_1 軸および σ_3 軸の方向は南に 63° および北西に 14° を示した。マイロナイト化した動的再結晶石英の結晶方位分布から推定される変形温度および変形機構は、約 300°C において転位クリープと粒界すべりの変形機構遷移条件付近で変形が進行したことを示し、平均粒径から推定される差応力は $110\text{--}130\text{ MPa}$ を示すことが明らかにされた。次に、シュードタキライト中の杏仁構造を充填する方解石の変形双晶を利用して変形条件が推定された。双晶面の姿勢と双晶の方向分布から推定される σ_1 軸および σ_3 軸の方向は南西に 55° および北西に 1° を示し、双晶の形態から推定される変形温度および双晶形成率から推定される差応力は $150\text{--}200^\circ\text{C}$ および $40\text{--}80\text{ MPa}$ を示すことが明らかにされた。母岩となる伊奈川花崗閃緑岩の冷却曲線と変形時の温度条件との比較から、石英の塑性変形は約 70 Ma に、方解石の双晶変形は約 50 Ma に生じたと考えられた。剪断帯が破砕-塑性遷移領域で繰り返し変形を被ったことや、方解石の変形双晶から推定された主応力軸の方向が、方解石の変形以前に形成された小剪断帯の姿勢および線構造の方向と調和的であることから、足助剪断帯は $70\text{--}50\text{ Ma}$ の間、南南西方向に高角に沈下する σ_1 軸および北西方向に低角に沈下する σ_3 軸を持つ古応力場で変形したと結論された。

第5章では第3, 4章での議論をもとに、白亜紀末から古第三紀初期における領家-山陽花崗岩中の広域応力場について検討された。HCの形成時期 ($75\text{--}65\text{ Ma}$) と足助剪断帯の活動時期 ($70\text{--}50\text{ Ma}$) は一部で重複しており、足助剪断帯周辺のHCおよび足助剪断帯中の変形微細構造から推定された σ_3 軸が同様の方向を示すことが明らかになった。すなわちHCから推定された σ_3 軸は試料スケールの局所的な古応力を示すものではなく、剪断帯の活動のようなマクロスコピックな変形にまで影響を与えた広域古応力方向を反映している可能性が指摘された。本章では、HCから推定された σ_3 軸の方向が $75\text{--}65\text{ Ma}$ の広域古応力場を記録しているとみなし、その形成要因について考察された。

地殻の広域応力場は第一次オーダーでプレート境界にかかる応力に規定されると考えられている。東アジア東縁の古地理図を復元する研究は数多くなされており、HC形成時期にはMTLに対して反時計回りに $60\text{--}70^\circ$ の方向にイザナギプレートが沈み込む説や、MTLに対して反時計回りに 80° の方向に太平洋プレートが沈み込む説がなど考えられている。花崗岩体北縁地域で推定された σ_1 軸および σ_2 軸はMTLに対して反時計回りに 70° の方向に走向を持つ大円上に分布しており、この大円の走向とプレート収束方向がおおむね一致することから、 σ_1 軸および σ_2 軸の方向がプレート収束に伴う圧縮の影響を受けた可能性が示された。結果として σ_3 軸の方向が大円の極すなわちMTLと平行な方向に集中した。

一方、MTL 近傍で推定された古応力はプレート収束に伴う圧縮では説明できず、MTL の活動史との関連性について検討された。MTL は断層ガウジの年代により示された 63–58 Ma (市之川時階) に正断層運動の活動が知られており、この活動によって領家帯と三波川帯が接合したと考えられている。この正断層をもたらす古応力方向は、MTL 近傍の領家帯中の HC から推定された、MTL と直交方向の σ_3 軸と調和的である。HC の形成時期 (75–65 Ma) は市之川時階よりも古いものの、MTL 近傍では市之川時階の運動の準備段階として MTL に直交する方向に σ_3 軸をもつ伸張応力場が発達していた可能性が今回新たに明らかとなった。本研究の結果は、三波川変成岩の上昇過程と関連して MTL に直交する伸張応力が作用していた可能性を示唆する。

以上より、HC から推定された σ_3 軸の方向は、プレート収束方向の影響による MTL と平行な集中と、MTL の正断層運動に関連する古応力の影響による MTL と直交方向の集中とのせめぎ合いで決まっていると考えられる。後者の影響は MTL からの距離が離れるほど弱くなると考えられ、それを反映して HC から推定された σ_3 軸の方向が MTL からの距離と弱い相関を示したと結論づけられた。

要約すると、本研究では中部地方の後期白亜紀花崗岩類に発達する変形微細構造を利用して古応力解析と変形条件の推定が行われ、白亜紀末から古第三紀初期の広域応力場が推定された。その結果、MTL から離れた地域ではプレート収束の影響を、MTL 近傍の地域では市之川時階の MTL の正断層運動に関連する古応力の影響をより強く受けたと結論づけられた。市之川時階の正断層運動に関する研究は三波川帯の変形解析からの知見が主であったが、本研究によって正断層運動の原因となる古応力が領家花崗岩から直接的に明らかにされたことは、日本列島の構造発達を議論する上で価値のある成果である。以上より本論文は、博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。

2017 年 2 月

主査	早稲田大学教授	理学博士	名古屋大学	高木 秀雄
副査	京都大学教授	理学博士	東北大学	山路 敦
副査	早稲田大学准教授	博士(理学)	早稲田大学	太田 亨