

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	若森 奎
論文題目	Consistency of stress and strain evaluated from mechanical twins in natural calcite aggregates (天然の方解石多結晶体の機械的雙晶から見積もられた応力と歪みの整合性)		
(論文内容の要旨)			
<p>地殻変動の進行にともなってどんな応力が働いていたか、また、その結果どれだけ変形が進行したかということは、テクトニクスを理解するための基本情報である。また、方解石は地殻浅部によく見られる鉱物である。地殻浅部の温度圧力条件下では、おもに機械的雙晶の形成によって方解石の変形が進行する。この雙晶は{011$\bar{2}$}面ができ、形成時に雙晶ラメラ内部では、<i>c</i>軸方向に単純剪断変形がおこる。しかもこの変形は、変形方向の剪断応力成分がある臨界値を超えたときにしかおこらない。</p> <p>これらのことにもとづいて、方解石の機械的雙晶から、雙晶形成時の偏差応力テンソルや歪みテンソルを見積もる方法が提案され、両者の結果が整合的かという検討も行われてきた。しかし、多結晶体内部の応力・歪みは一様とは限らず、また、天然試料の場合、異なる時代に被った変形が重なって記録されていることが普通である。その場合、重なった情報を分離検出する必要がある。この分離が行われてこなかったため、整合性に関するこれまでの検討は信頼性を欠いている。また、応力と歪みの主軸方向の類似性しか注目されてこなかったが、応力楕円体と歪み楕円体の形状に応じて、主軸方向の重要性は異なるため、それらの形状を考慮した整合性の検討が必要である。応力については、最近、混合確率分布をフォワードモデルとする逆問題を構成し、複数の応力を分離検出する方法が、主指導教員によって提案された。</p> <p>そこで本研究では、この応力インバージョンで得られる応力ごと雙晶ラメラごとの負担率(responsibilities)を使って、応力時階ごとの歪みテンソルを分離する方法を案出した。まず、機械的雙晶は顕微鏡下で平行な縞模様をなすのが普通である。それらは、平板状雙晶ラメラが平行に積層している構造である。そこで、多数の方解石粒子で雙晶ラメラの厚さと方向を、ユニバーサルステージを使って測定した。また、粒子の<i>c</i>軸方向も測定し、雙晶形成時の剪断歪みの方向を平行なラメラセットごとに推定した。これらをデータとして、応力インバージョンと歪みの定量化を行う。</p> <p>ラメラの厚さとラメラ形成時の剪断方向の情報から、一組の平行ラメラセットができたときの、結晶粒子が被る剪断歪みを計算することができる。そして複数の平行ラメラセットの剪断歪みを重ね合わせることにより、方解石多結晶体がこうむった歪みを計算することができる。その際、応力インバージョンで分離された各応力が各平行ラメラセットをつくった確率が負担率として得られるので、それを重みとして重ね合わせることで、この多結晶体が被った歪みテンソルを応力時階ごとに分離できる。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

こうした方法を、天然の方解石試料に適用した。千葉県の方解石層中の方解石脈から採られた2試料である。採取層準の堆積年代は900万～1100万年前に堆積した、比較的若い地層であり、堆積以降の応力・歪みを記録していることになる。結果として、二つの試料から合計7つの応力が検出された。それらはNNE-SSW方向に押す逆断層型応力、NW-SE方向に引張る正断層型応力と横ずれ断層型応力であった。正断層型と横ずれ断層型の応力は、これまでに多数の小規模断層から推定されていた応力と一致していた。しかし、大規模な地質構造から推定されていた逆断層型応力のほうは、小規模断層から検出するのが難しかった。方解石の双晶からは、それも容易に検出することができた。つまり、検出された応力は、地質学的に妥当なものであった。

応力インバージョンが算出した負担率を使って、応力ごとに分離した歪みテンソルの大きさは、相当歪みに換算して0.04～0.70%であった。したがって、微小歪みを前提とする応力インバージョンと歪みの見積もりは妥当であったと判断された。またこれは、高温高応力を負荷した変形実験での典型的な歪み量より1桁小さい。これは実験では再現不可能な、低応力での地質学的時間スケールにわたる双晶形成による遅い変形が、世界で初めて分離・定量されたことになる。分離検出された応力・歪みのペアごとにみると、応力楕円体と歪み楕円体の形状と主軸方向はどのペアでも非常によく一致していた。この意味で、応力と歪みはやはり整合的であった。

二つの試料はほぼ同じ地史をたどったはずだが、全歪みには倍以上の違いがあった。この違いは、多結晶体の格子ファブリックの違いによると解釈された。すなわち、負荷された応力の σ_3 軸と鋭角をなす $\{01\bar{1}2\}$ 面が多いと、双晶形成が容易で、多結晶体は大きく変形できるということである。実際、歪みが大きい方の試料では、 $\{01\bar{1}2\}$ 面と低角で交わる c 軸がクラスターをなし、しかも σ_3 軸方向がクラスター内であった。つまり、変形しやすい試料であった。

さて、分離検出された応力と歪みは、主軸方向も楕円体の形状も、ともに整合的であることが見いだされたわけだが、このことは、各応力時階において、歪み増分テンソルが偏差応力テンソルと正比例していたことを意味する。これは機械的雙晶の形成による方解石多結晶体の変形が、塑性論におけるプラントル・ロイスの式に従って進行することを意味する。天然の方解石試料から、双晶形成による塑性方程式にせまることができた研究は、これが初めてである。

以上のことから、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。また、令和3年7月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。