

## 流動変形における粘性コントラストの影響： チャート-泥岩層における解析例

金川久一\* (東京大学理学部)

粘性の異なる物質が流動変形する場合、層状の粘性コントラストと包有物/基質の粘性コントラストの2つの場合が考えられる。前者は褶曲の卓越波長及び褶曲・ブーダンの形態の違い、あるいは歪・劈開の屈折現象として、後者は包有物と基質の歪の違いとして認識されるものである。

岩質の異なる地層間の劈開の屈折は、Sorby (1853)によって初めて記載され歪の屈折現象として認識された。Treagus (1981, 1983, 1988)は、粘性の異なるニュートン流体における歪の屈折理論を展開し、相接する層における層面に平行な剪断歪は粘性に反比例すること、また層によって主軸の方向、歪楕円体の形態、歪量が変わることを予測した。しかしながら、天然の変形岩において歪と劈開の屈折が定量的に解析された例は未だにない。一方粘性の異なる包有物と基質の歪に関して、Gay (1968a, b)は理論的考察に基づき、歪量は粘性に応じて変化するものの、歪の主軸の方向や歪楕円体の形態は基本的に変わらないという結論に達した。しかし、Eshelby (1957)の弾性体に関する理論を粘性流体に発展させたBilby et al. (1975)はGay理論の誤りを指摘し、さらにEshelby理論に基づいたBilby & Kolbuszewski (1977)及びFreeman (1987)による2次元・3次元の数値解析によって、包有物と基質では歪量だけではな

く歪楕円体の形態や主軸の方向も異なることが結論された。しかしこの問題に関しても天然における解析例は極めて希である(例えばLisle et al., 1983; Freeman & Lisle, 1987)。

演者は最近、北上山地川井地域のチャート-泥岩層試料を用いて上記の粘性コントラストを定量的に解析し、Treagusの歪の屈折理論の検証に成功した(Kanagawa, 1993)のでここに紹介したい。試料は、厚さ約1cmのチャート層とこれを挟む泥岩層から成り、チャート層から泥岩層へ岩質は漸移的に変化している。劈開は泥岩層中で良く発達するとともにチャート層中にも弱く発達し、連続的な屈折が観察される。試料中には、劈開形成前に圧密によって層理面に直交する方向に生じたと考えられる、褶曲しかつ劈開と同じセンスで屈折する石英脈が存在する。また試料は、変形時の粘性がチャートに近似できる、歪指示物としての放散虫化石を豊富に含んでいる。

解析にあたり、以下の仮定を行った。①試料は劈開形成前に圧密によって層理面に垂直な方向に短縮し、層理面に直交する石英脈が形成されると同時に、放散虫も長軸が層理面に平行に定向配列するに至った。②測定した劈開の平均方向は、劈開形成時の歪のXY面に平行である。③試料は劈開形成時にニュートン流体として挙動した。④劈開形成時に、チャート層中における放散虫と基質の粘性には差がなく、また放散虫の粘性は試料中で一定である。⑤放散虫の歪

\*現所属：千葉大学理学部地球科学教室。

解析においては、劈開形成時に放散虫は基質と均質様に変形したとみなす。⑥基質の歪解析においては、劈開形成時の変形を2次元解析では純粋剪断、3次元解析では体積一定の共軸変形とみなす。これらの仮定のうち、①～④は妥当と考えられるが、⑤はチャート層でのみ妥当であり、また⑥は必ずしも妥当でない。さらに⑤と⑥は相矛盾する仮定である。

上記の仮定の下に、この試料の層状及び包有物(放散虫)/基質の2種類の粘性コントラストの定量的解析が可能となる。まず試料の2断面における劈開のベクトル平均方向から3次元の劈開の屈折が明らかにされた。劈開形成前に層理面に直交して形成された石英脈の劈開形成後の方向は、劈開形成時の層理面に平行な剪断歪を与え、これからチャート/泥岩層の粘性比が得られ、これはまた放散虫と基質の粘性比として用いられた。また、放散虫の平均形態から、Wheeler (1986)の方法を用いて劈開形成前の平均初期形態と劈開形成時の放散虫歪が算出された。基質の歪はこの放散虫歪と先に得られた放散虫/基質の粘性比から Eshelby 理論の適用によって推定された。

解析の結果、Treagus の歪の屈折理論と調和的な以下の点が明らかになった。①石英脈から得られたチャート/泥岩層の粘性比は2.6～5.7である。②チャート層から離れるに従って粘性は低下し、劈開は層理面との成す角が小さくなるように屈折し強度も増大するが、これと同時に劈開と層理面の交線は反時計回りに回転する。従って劈開にはほぼ平行な歪のXY面も同様に屈折しているはずであり、歪楕円体の3主軸全てが屈折していることになる。③実際、見積もられた放散虫及び基質の歪楕円体の3主軸全てが層の粘性に応じて系統的に屈折していた。また、歪量も粘性に応じて系統的に変化していた。一方、歪楕円体の形態には有意な変化は認められなかった。④基質との粘性比を考慮して放散虫から計算した歪は、石英脈の方向から得られた、層理面に平行な剪断歪から計算した歪とよく一致した。また放散虫の平均初期形態の長軸も、試料を通じて劈開形成前の層理面を示

す方向に良く揃っていた。これらの事実は系統的な歪の屈折とともに、解析そのものには内的矛盾のないことを示している。以上の解析結果は、仮定の一部に妥当でないものがある為信頼性にはやや疑問が残るものの、歪と劈開の屈折の最初の定量的解析として意義あるものと評価されよう。

## 文 献

- Bilby, B.A., Eshelby, J.D. and Kundu, A.K. 1975, The change of shape of a viscous ellipsoidal region embedded in a slowly deforming matrix having a different viscosity. *Tectonophysics*, **28**, 265-274.
- Bilby, B.A. and Kolbuszewski, M.L. 1977, The finite deformation of an inhomogeneity in two-dimensional slow viscous incompressible flow. *Proc. R. Soc. Lond.*, **A355**, 335-353.
- Eshelby, J.D. 1957, The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. *Proc. R. Soc. Lond.*, **A241**, 376-396.
- Freeman, B. 1987, The behaviour of deformable ellipsoidal particles in three-dimensional slow flows: implications for geological strain analysis. *Tectonophysics*, **132**, 297-309.
- Freeman, B. and Lisle, R.J. 1987, The relationship between tectonic strain and the three-dimensional shape fabrics of pebbles in deformed conglomerates. *Jour. Geol. Soc. Lond.*, **144**, 635-639.
- Gay, N.C. 1968a, Pure shear and simple shear deformation of inhomogeneous viscous fluids—I. Theory. *Tectonophysics*, **5**, 211-234.
- Gay, N.C. 1968b, Pure shear and simple shear deformation of inhomogeneous viscous fluids—II. The determination of the total finite strain in a rock from objects

- such as deformed pebbles. *Tectonophysics*, **5**, 292-302.
- Kanagawa, K. 1993, Competence contrasts in ductile deformation as illustrated from naturally deformed chert-mudstone layers. *Jour. Struct. Geol.*, **15**, 865-885.
- Lisle, R.J., Rondeel, H.E., Doorn, D., Brugge, J. and van de Gaag, P. 1983, Estimation of viscosity contrast and finite strain from deformed elliptical inclusions. *Jour. Struct. Geol.*, **5**, 603-609.
- Sorby, H.C. 1853, On the origin of slaty cleavage. *Edinb. New Philos. Jour.*, **55**, 137-148.
- Treagus, S.H. 1981, A theory of stress and strain variations in viscous layers, and its geological implications. *Tectonophysics*, **72**, 75-103.
- Treagus, S.H. 1983, A theory of finite strain variation through contrasting layers, and its bearing on cleavage refraction. *Jour. Struct. Geol.*, **5**, 351-368.
- Treagus, S.H. 1988, Strain refraction in layered systems. *Jour. Struct. Geol.*, **10**, 517-527.
- Wheeler, J. 1986, Strain analysis in rocks with pre-tectonic fabrics. *Jour. Struct. Geol.*, **8**, 887-896.

(1991年冬の例会個人講演)