

理学博士唐戸俊一郎氏の「地球深部構 成鉱物のレオロジーとマントルの流動 に関する研究」に対する授賞審査要旨

プレートテクトニクスは、地震・火山活動・造山運動などの地学現象が地球規模の運動の結果として統一的に説明できることを示した。しかし、この学説は基本的に地球表層の二次元的な運動学であり、プレートはどのようにして作られるのか？、沈み込むプレートの形は何故地域により異なるのか？、プレートは地球核の表面まで沈み込むであろうか？、あるいは、600kmもの深さでどのようなメカニズムで地震が起こるのか？、などの基本的な問題が完全に解決されたわけではない。唐戸俊一郎氏の研究の重要な点は、マントルを構成する岩石の力学的性質とくに塑性変形の性質を明らかにすることにより、マントルのダイナミクスに関わる現象が定性的・定量的に説明できることを示した点にある。

唐戸俊一郎氏は地球深部を構成する鉱物のなかでもとりわけ重要なかんらん石、ざくろ石、けい酸塩変型スピネル、けい酸塩スピネル等の高温・高圧下における塑性変形を温度、圧力（差圧力）、歪速度、試料の粒径等の関数として実験的に考究し、その結果にもと

づきマントル内部の流動現象に理論的解釈を与えた。また、唐戸氏等はマルチアンビル型超高压発生装置の試料部の構成に独創的な工夫をし、マントルの深さ約500kmに相当する温度・圧力条件下での鉱物の変形実験技術の開発に成功した。従来の室内実験の多くは低圧領域でおこなわれ、地球深部の問題に適用するには大幅の外挿が必要であったことを考慮すれば、この新手法の開発は地球深部のレオロジー研究に画期的な貢献である。

唐戸氏は上記地球深部構成鉱物およびその類縁構造物質の変形に関する基礎実験結果に理論的考察を加えて、マントルの流動とくにプレート（リソスフェア）の流動に関して精細な独創的知見を発表している。重要な成果を要約すれば、

(1) かんらん石多結晶体の弾性的性質が、転位クリープでは流れの方向に依存し、拡散クリープでは依存しないことを示した。これと地震波の伝播の異方性の観測から、上部マントルが約200kmの深さで等方的なマントルに変化することを結論した。

(2) かんらん石の転位クリープ、拡散クリープは H_2O が付加することによって変化し、粘性率が低下することを実験的に確かめた。上部マントルを構成するかんらん岩の部分溶解に際して H_2O は融液に大量に溶解することから、リソスフェア（海洋プレート）の形成に關する新しいモデルを提案した。すなわち、部分溶解によってマント

ルから FeO が取り去られた結果マントル物質が固くなりリソスフェア(プレート)が形成され、アセノスフェアは部分溶融がまだ起こっていないマントルであるというモデルである。このモデルにより上部マントルにおける地震波異方性・低速度層の存在等の観測事実を合理的に解釈することができるようになった。

(3) 海溝で沈み込む海洋プレートの構成鉱物は深さ約400kmから700kmの間で順次高压相に相転移する。この相転移にともなう高压相鉱物の粒形変化(細粒化)が詳しく検討され、細粒化の結果生じる強度低下は相転移の起こる温度に極めて敏感であることが示された。さらに、細粒化は転移が比較的低温で起こる場合に顕著であり、高温で起こる場合の影響は僅かであることが示された。この結果は、冷たくて沈み込み速度の速いプレートの方が比較的暖かく遅い速度で沈み込むプレートに比べて柔らかいことを意味し、最近の高分解能地震波トモグラフィの結果と調和的である。すなわち、西太平洋の縁海の下深さ660kmの下部マントルとの境界で、100kmに近い厚みをもつ年代の古い冷たいプレートが何故簡単に折れ曲がるのか?、また、比較的若いプレートが沈み込んでいるアメリカ大陸の下で、プレートは何故大きな変形を起こさずことなく下部マントルに落下するのか?の疑問に明確な解答が与えられた。

(4) 深発地震は「過冷却」されたかんらん石が変型スピネル構造、ス

ピネル構造に転移する深さ500~650km付近に多く発生することから相転移にともなう何らかの塑性不安定が地震発生に関係していると考えられている。唐戸氏は前述の相転移に伴う高压相鉱物の細粒化が深発地震の発生に深く関わっていることを初めて明確に指摘し、まだ相転移の完了していない固いかんらん石の中に蓄えられたエネルギーが柔らかい細粒のスピネル相の変形で一挙に局所的に解放されるのが深発地震であることを示した。

唐戸氏の研究は、地球内部とくにマントル内の流動を理解するために基本的に必要な地球深部構成鉱物のレオロジーを物質科学の基礎にたつて考究し、観測結果を矛盾なく説明する現実的なモデルの提唱を通して、地球表層の現象として確立しているプレートテクトニクスと地球内部の運動との関係を精細に理解する道を開いたものである。超高压高温下の物性研究と地球内部物理学に新たなフロンティアを切り開いた画期的研究といえる。

Main publications (*in Japanese)

Karato, S., Toriumi, M., and Fujii, T., 1980. Dynamic recrystallization of olivine single crystals during high-temperature creep, *Geophys. Res. Lett.*, 7: 649-652.

Karato, S., 1981. Rheology of the lower mantle, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 24:

1-14.

- Karato, S., 1981. Pressure dependence of diffusion in ionic solids, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 25: 38-51.
- *Karato, S., 1982. Rheology of the mantle materials, *Shizen*, 37, 40-47.
- Karato, S., Toriumi, M., and Fujii, T., 1982. Dynamic recrystallization and high-temperature rheology of olivine, *In: High Pressure Research in Geophysics* (ed. S. Akimoto and M. H. Manghnani), Center for Academic Publications Japan, Tokyo, pp. 171-189.
- Karato, S., 1982. Recovery and recrystallization in olivine, *In: Strength of Metals and Alloys* (ed. R. C. Gifkins), Pergamon Press, Oxford and New York, pp. 753-756.
- Karato, S., and Ogawa, M., 1982. High-pressure recovery of olivine: implications for creep mechanisms and creep activation volume, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 28: 102-117.
- Karato, S., and Sato, H., 1982. Effect of oxygen partial pressure on the dislocation recovery in olivine: a new constraint on creep mechanism, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 28: 312-319.
- Karato, S., 1984. Grain-size distribution and rheology of the upper mantle, *Tectonophysics*, 104: 155-176.
- Karato, S., Paterson, M. S., and Filz Gerald, J. D., 1986. Rheology of synthetic olivine aggregates: influence of grain size and water, *J. Geophys. Res.*, 91: 8151-8176.
- Karato, S., 1986. Does partial melting reduce the creep strength of the earth's upper mantle?, *Nature*, 319: 309-310.
- Karato, S., 1987. Seismic anisotropy due to lattice preferred orientation of minerals: kinetic or dynamic?, *In: High Pressure Research in Mineral Physics*. (eds. M. H. Manghnani and Y. Syono), Terra Pub., Tokyo, pp. 317-333.
- Karato, S., 1987. Scanning electron microscope observation of dislocations in olivine, *Phys. Chem. Minerals*, 14: 245-248.
- Karato, S., 1988. The role of recrystallization in preferred orientation of olivine, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 51: 107-122.
- Karato, S., 1989. Grain growth kinetics in olivine aggregates, *Tectonophysics*, 168: 255-273.
- Karato, S., and Toriumi, M. (editors), 1989. *Rheology of Solids and of the Earth*, Oxford University Press, 440 pp.
- Karato, S., 1989. Defects and plastic deformation in olivine, *In: Rheology of Solids and of the Earth* (eds. S. Karato and M. Toriumi), Oxford University Press, pp. 176-208.
- Karato, S., 1989. Seismic anisotropy: mechanisms and tectonic implications, *In: Rheology of Solids and of the Earth* (eds. S. Karato and M. Toriumi), Oxford University Press, pp. 393-422.
- Karato, S., 1989. Plasticity-crystal structure systematics in dense oxides and its implications for the creep strength of the Earth's deep interior: a preliminary result, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 55: 234-240.
- *Karato, S., 1989. Petrophysics and geodynamics, *Butsuri*, 44: 725-732.
- Karato, S., and Spetzler, H. A., 1990. Defect microdynamics in minerals and the mechanisms of seismic wave attenuation and velocity dispersion, *Rev. Geophys.*, 28: 399-421.
- Karato, S., Fujino, K., and Ito, E., 1990. Plasticity of MgSiO₃ perovskite: The results of microhardness tests, *Geophys. Res. Lett.*, 17: 13-16.
- Karato, S., 1990. The role of hydrogen in the electrical conductivity of the upper mantle, *Nature*, 347: 272-273.
- Karato, S., and Ping Li, 1992. Diffusion creep in the perovskite: Implications for the rheology of the lower mantle, *Science*, 255: 1238-1240.
- Karato, S., 1992. On the Lehmann discontinuity, *Geophys. Res. Lett.*, 19: 2255-

2258. Rubie, D.C., Karato, S., Yan, H., and O'Neill, H. St. C., 1993. Low differential stress and controlled chemical environment in multianvil high-pressure experiments, *Phys. Chem. Minerals*, 20: 315-322.
- Karato, S., Rubie, D.C., and Yan, H., 1993. Dislocation recovery in olivine under deep upper mantle conditions: Implications for creep and diffusion, *J. Geophys. Res.* 98: 9761-9768.
- Fisher, G., Wang, Z., and Karato, S., 1993. Elasticity of CaTiO_3 , SrTiO_3 and BaTiO_3 perovskites up to 3.0 GPa: the effect of crystallographic structure, *Phys. Chem. Minerals*, 20: 97-103.
- Karato, S., and Wu, P., 1993. Rheology of upper mantle: A synthesis, *Science*, 260: 771-778.
- *Karato, S., 1994. Dynamics of the deep mantle: Seismic tomography, mineral physics and mantle convection, *Kagaku*, 64: 296-305.
- Karato, S., Wang, Z., and Fujino, K., 1994. High temperature creep in yttriumaluminum garnet, *J. Mater. Sci.*, 29: 6458-6462.
- Karato, S., Wang, Z., Liu, B., and Fujino, K., 1995. Plastic deformation of garnets: systematics and implications for the rheology of the mantle transition zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 130: 13-29.
- Zhang, S., and Karato, S., 1995. Lattice preferred orientation in olivine due to shear deformation, *Nature*, 375: 774-777.
- Karato, S., Zhang, S., and Wenk, H.-R., 1995. Superplasticity in the earth's lower mantle: Evidence from seismic anisotropy and rock physics, *Science*, 270: 481-484.
- Karato, S., 1995. Effects of water on seismic wave velocities in the upper mantle, *Proc. Japan Academy*, 71B: 61-66.
- Karato, S., 1995. Interaction of chemically stratified subducted oceanic lithosphere with the 660 km discontinuity, *Proc. Japan Academy*, 71B: 203-207.
- Wang, Z., Karato, S., and Fujino, K., 1996. High temperature creep in single crystals of gadolinium gallium garnet, *Phys. Chem. Minerals*, 23: 73-80.
- Li, P., Karato, S., and Wang, Z., 1996. High-temperature creep of fine-grained polycrystalline CaTiO_3 , *Phys. Earth Planet. Inter.*, 95: 19-36.
- Riedel, M.R., and Karato, S., 1997. Grain-size evolution in subducted oceanic lithosphere associated with the olivine-spinel transformation and its effects on rheological weakening, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148: 27-44.
- *Karato, S., 1997. Evolution of the oceanic lithosphere, *Kagaku*, 67: 379-389.
- Karato, S., and Rubie, D.C., 1997. Towards an experimental study of deep mantle rheology: a new multi-anvil sample assembly for deformation experiments under high pressures and temperatures, *J. Geophys. Res.*, 102: 20111-20122.
- Karato, S., 1998. Seismic anisotropy in the deep mantle, boundary layers and geometry of mantle convection, *Pure and Applied Geophysics*, 151: 565-587.
- Karato, S., Zhang, S., Zimmerman, M.E., Daines, M. J., and Kohlstedt, D.L., 1998. Shear deformation of mantle materials: towards the structural geology of the mantle, *Pure and Applied Geophysics*, 151: 589-603.
- Karato, S., and Jung, H., 1998. Water, partial melting and the origin of seismic low velocity and high attenuation zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 157: 193-203.
- Karato, S., Dupes-Bruzek, C., and Rubie, D. C., 1998. Plastic deformation of silicate spinel under transition zone conditions of the earth's mantle, *Nature*, 395: 266-269.
- Karato, S., 1998. Some remarks on the origin of seismic anisotropy in the D" layer, *Earth Planets Space*, 50: 1019-1028.
- Karato, S., 1998. Effects of pressure on plastic deformation of polycrystalline solids: some geological application, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 499, pp. 3-14.

工学博士宗宮重行氏の「無機材料の合成におけるハイドロサーマル反応とその応用に関する研究」に対する授賞審査要旨

天然の鉱物を合成しようとする試みは一八五〇年頃よりなされ実験が行われて来た。そのため耐熱鋼、耐熱金属のC-F-Ni鋼、C-F-Ni-W合金、C-F-Co-Mo-Ni合金などの金属の開発、モレーイ型、改良ブリッジマン型、タートル型などの高温に耐える高压容器の研究が行われ、高温高压下の鉱物合成、相平衡の研究、水晶の育成、セメント化合物の水和研究等が実施されたが、無機材料の合成に応用する研究はほとんどなされていなかった。

宗宮重行氏は酸化物による相平衡、高温高压状態の水共存下の無機化学反応、すなわちハイドロサーマル反応に関する基礎研究より出発し、1500°C、一万気圧までの高温高压下の実験を可能にする装置を開発作製して、金属酸化物の新しい焼結方法を発見した。この方法を無機材料の原料として好適な超微粒子の製造方法に発展させ、無機合成化学の新領域を開拓した。