

序 文

地球などの惑星は鉱物のような固体からなっている部分が多いので、鉱物の性質を理解しておくことは地球の構造やダイナミクスを理解するうえでたいへん重要である。とくに地球深部の研究では、鉱物の高温、高压下での性質を知る必要があり、そのために多くの実験的、理論的な研究がなされてきた。このような研究の結果のうち、鉱物の密度（状態方程式）や弾性的性質は地球の構造を調べるときに重要になる。このような性質については、本シリーズの第13巻で解説してある。

本書では、鉱物（岩石）の性質のなかでも、マントル対流などといった地球（や惑星）のダイナミクスに大きな影響を与える塑性変形に焦点を合わせ、読者が塑性変形についてのマイクロな物理と、地球や惑星のダイナミクスというマクロな物理を統一的に理解できるようにと考えて記述した。そこで、地球物質（鉱物およびその集合体としての岩石）の塑性変形（レオロジー的性質）についての基礎事項をマイクロな観点から説明しただけでなく、その結果を応用してマクロな地球のダイナミクスをどう理解するかについても、地質学的方法と地球物理学的方法の両方を含めて解説してある。本書を読めば、「なぜ地球でプレートテクトニクスが起こり、金星などの他の惑星では起こっていないのか？」「地震トモグラフィーなど最新の地球物理学的観測の結果を使ってマントル対流の様子を推定するにはどうしたらよいのか？」「実際の地球で変形した岩石から地球内部の変形の様子をどう推定したらよいのか？」などの疑問への答え、あるいは回答への手がかりが得られるはずである。

読者としては学部の3,4年生以上を想定した。おもな読者は地球科学系の学生であろうが、他の分野（たとえば物理系、物質科学系）の学生にも、物理的思考方が地球や惑星にどう応用されるかを知るうえで興味のある内容であると思う。予備知識としては、学部の1,2年で習うはずの応力や歪みなどの変形に関する基礎知識と熱力学の基礎概念だけで十分であるように記述した。応力と歪みに関しては本シリーズ第10巻に詳しく解説してあるので、そちらを参照し

てほしい。熱力学については本シリーズのいろいろな場所で触れられているので、詳しくはそちらを参照してほしいが、ここでは本書の解説に必要なところだけを簡単に説明した（また、基本的事項ではあるが、本書の解説のテーマとは少しずれる事柄はコラムで説明した）。

鉱物や岩石の塑性変形は、状態方程式、相転移などの静的な性質に比べてかなり複雑である。静的な性質の研究では、地球内部での高い圧力（や温度）のもとでの測定をすると、その結果が直接、地球に応用できる場合が多く、この分野では高圧（かつ高温）での測定さえできればそれで地球科学としての鉱物物理の研究が完成したともいえる。しかし、地球科学としての塑性変形の研究の場合はそうではない。実験室での研究では地球内部で起こっている変形と同じ歪み速度での変形を再現することはできないので、実験結果をそのまま直接に地球に適用するわけにはいかない。また、塑性変形は水などの不純物や、結晶粒径などにも敏感なので、これらの量にも注意を払う必要がある。地質学的方法で変形を研究するときにもいろいろな注意が必要である。われわれが地表で観察できる岩石は複雑な歴史を経て地表に到達しているので、岩石から地球内部での変形の様子を読み取るには、その歴史を注意深く丹念に解きほぐさねばならない。このように塑性変形の研究は複雑であり、状態方程式や弾性的性質の研究と比べてじっくりとした多角的な検討を要求される部分が多い。その分、地球科学としての塑性変形の研究は時間がかかるが、推理小説を読むような謎解きの面白さが多いともいえるだろう。

本書ではこのような分野の勉強をしたい人の助けになるように、地球科学への応用を念頭において、鉱物や岩石の塑性変形についての基礎的な事項を解説した。しかし、上に述べたようなこの分野の複雑性のため、文献にもいろいろと混乱が見られる。研究の最先端では確固とした説がないので、いろいろな、時には矛盾する考えが議論されることがあるが、塑性変形の研究ではとくにこれが多い。このような場合、いろいろな考えを紹介するとともに、筆者の見解も述べておいた。早い段階で研究の最前線に触れておくことは、有益だと考えたからである。このような高度な内容の多い項のタイトルには*印をつけておいた。最初に読むときは飛ばしても良いが、この分野の研究の最先端を知りたい人はぜひ熟読してほしい。

さらに勉強したい人には、固体の塑性変形に関しては Frost and Ashby (1982)

や Poirier (1985) という専門書がある．とくに前者では簡潔な解説とともに豊富なデータがまとめられており，地球科学に応用するために塑性変形について手短かに勉強したい人には便利な教科書である（ただし，絶版になっているので図書館で借りて読むしかない）．また Poirier (2000) は鉱物物理一般へのよい入門書である（ただし，本の題名に反して地球物理の解説はほとんどない）．塑性変形の基礎物理だけでなく地学現象，とくに全地球規模での地球物理への応用をも詳しく解説した本として Karato (2008a) がある．本書から出発してさらに本格的に勉強したい読者は，ぜひこの本にも取り組んでほしい．

本書の執筆は東北大学の 大谷栄治氏のお勧めによる．また，大谷氏からは有益なコメントを多くいただいた．本書の内容は今まで，私がミネソタ大学，イェール大学，東北大学などで行ってきた授業に基づくところが大きい．授業に参加した学生諸君はいろいろと有益な質問をして著者の理解を深めてくれた．また，共立出版の 信沢孝一氏には編集者としていろいろと無理な注文に応じていただいた．ここに記して皆様に感謝したい．

2011 年 7 月 ニューヘブレンにて

唐戸 俊一郎