

地殻・岩石・鉱物

前東京教育大学教授・理学博士

牛 来 正 夫 著



共立出版株式会社

— 著 者 紹 介 —

牛 来 正 夫

昭和 13 年 東京高等師範学校理科 3 部卒業

専 攻 科 目 岩石学, 構造地質学

1978 年まで 東京教育大学教授・理学博士

地球科学講座

第 7 卷

地殻・岩石・鉱物

定 価 2200 円

検印省略

© 1968

昭和 43 年 9 月 15 日 初版 1 刷発行

昭和 54 年 4 月 20 日 初版 11 刷発行

著 者 牛 来 正 夫

発行者 南 條 正 男
東京都文京区小日向 4 丁目 6-19

印刷者 竹 内 勝 之
東京都荒川区東日暮里 6-20-9

東京都文京区小日向 4 丁目 6 番 19

発行所 電 話 東 京 947 局 (代表) 2511 共立出版株式会社

郵便番号 112・振替口座東京 1-57035

印刷・壮光舎

製本・関山

NDC 458

Printed in Japan

社団法人
自然科学書協会
会 員



3344-275074-1371

地球科学講座

刊行のこ と ば

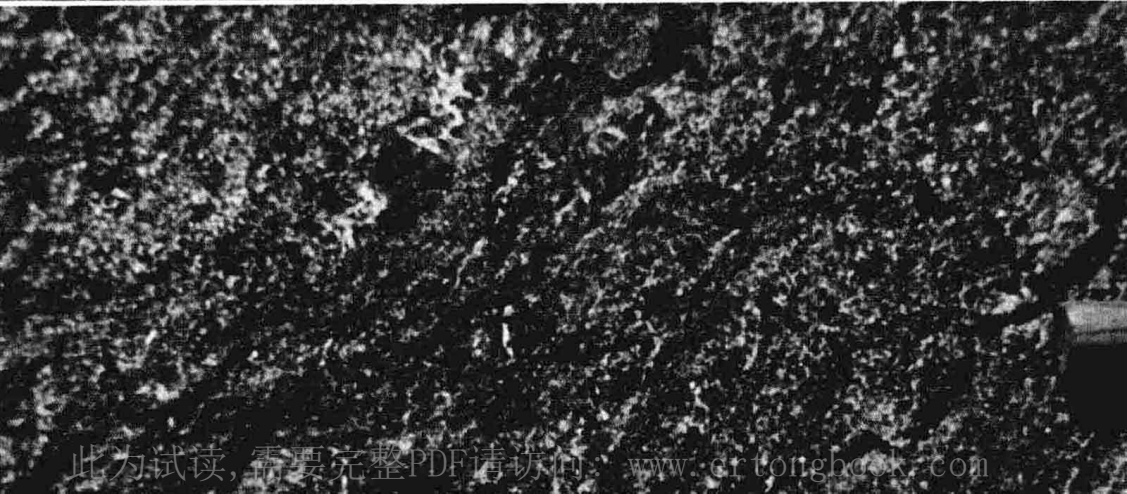
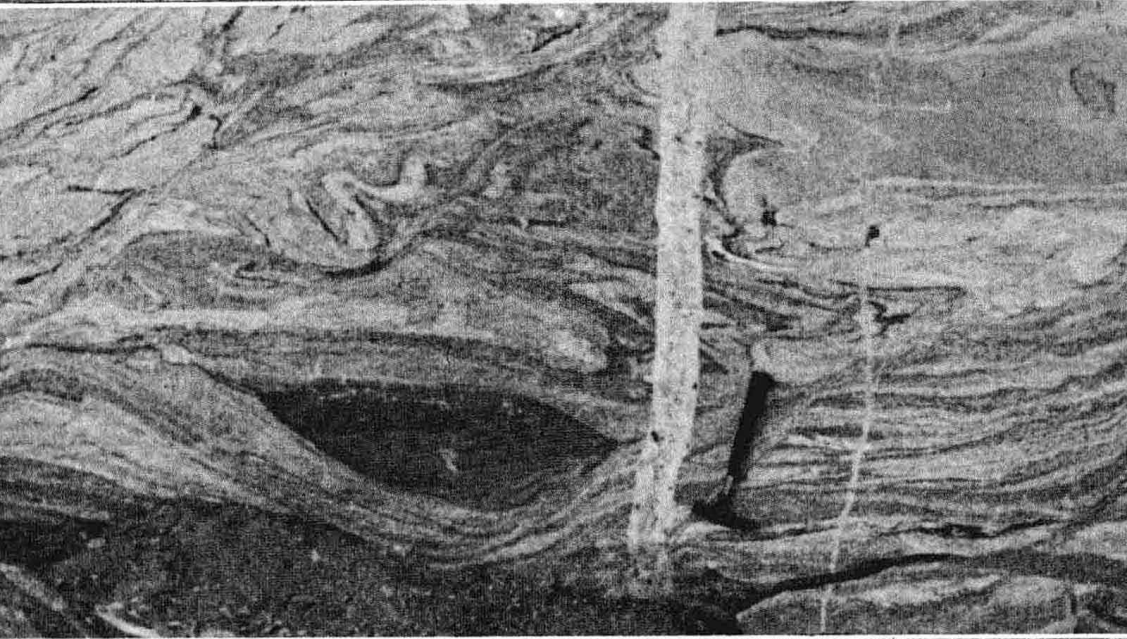
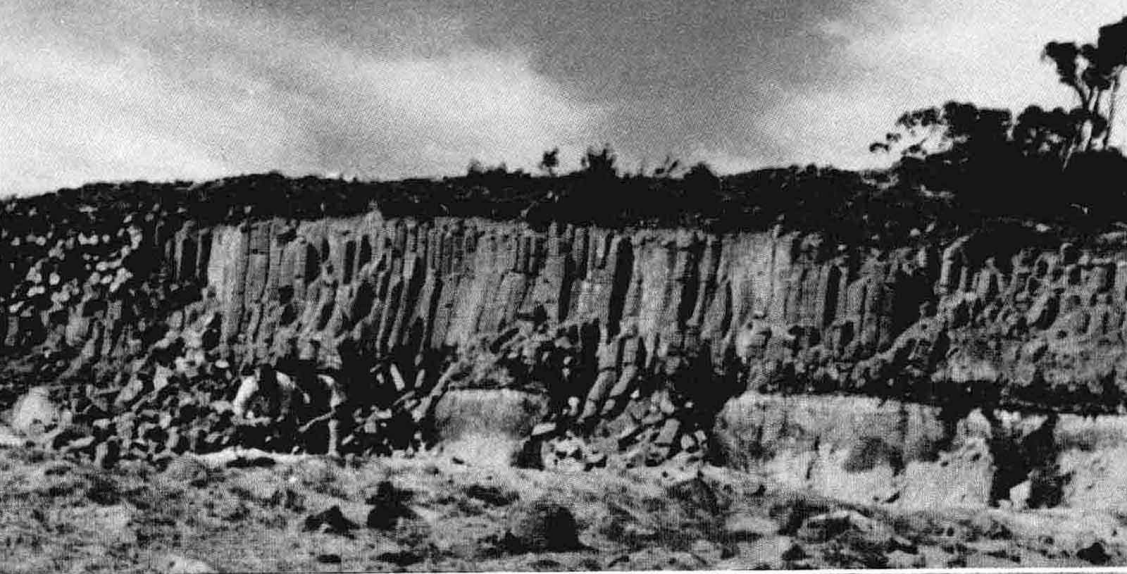
いわゆる“地球科学”とよばれるものは、地球の表面を中心として、地球内部から宇宙の果てまでにおこる無機物・有機物の自然現象を研究し、これらの支配する法則や相互関係、さらに人間生活とのつながりを明らかにすることを目的としている。そのため人間をして地球環境に適応せしめ、自然界の変化を人間の将来の生活と調和させて、積極的に人類の福祉に役立たせていくのは地球科学全般の進歩発展に負うところが大きい。

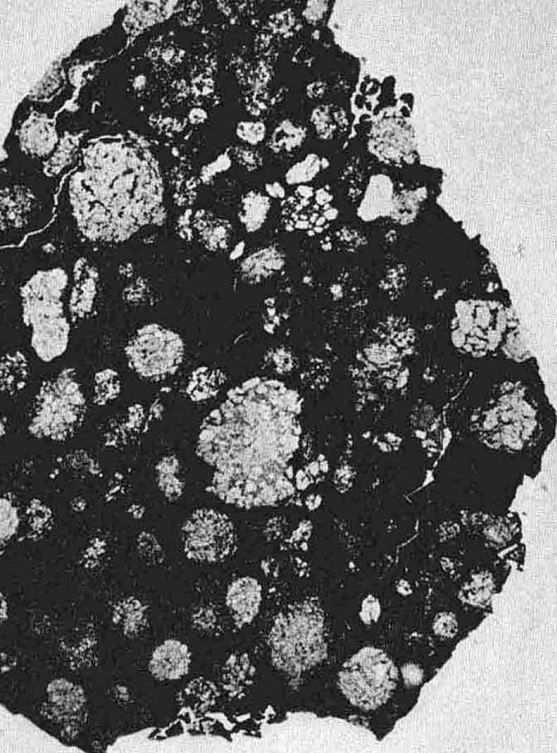
また米国・ソ連をはじめとする宇宙科学の進展は、地球科学の研究分野を広げるとともに、国民一般の関心を集めながら、将来の人類の活躍舞台を地球の外へと拡大する方向にある。そのため地球科学の体系もいちじるしく発展しつつある。

他方、これらの事情に即して、米国におけるE S C P運動のように、地学教育の体系も従来のものから大きく脱皮改善されようとしている。

このような内外の進展の中で、地球と宇宙の姿を正しく理解し、この不思議な自然界の諸現象を学ぶことはまことに重要なことである。われわれはこのような観点にたって、高校・大学の地学のカリキュラムに盛られているよりも深くかつ高級な知識を現在の成果をもとに記述し、具体例・実例を多く掲げることによって理論的な内容を平易に解説するように努めた。また担当の執筆陣には斯学の最高水準をいく権威者に依頼して、地学研究者および地学に関連する諸学科の人々の座右の書として役立つようまとめた次第である。

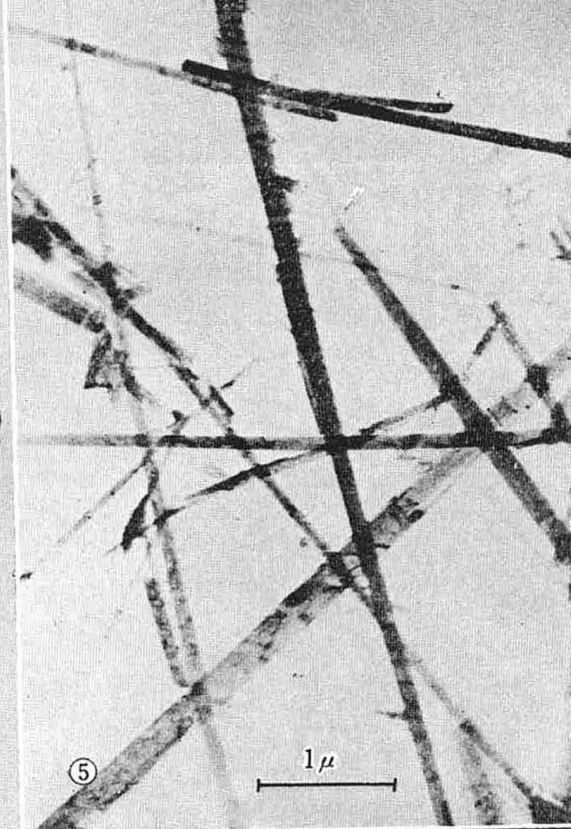
編 集 委 員





④

3 mm



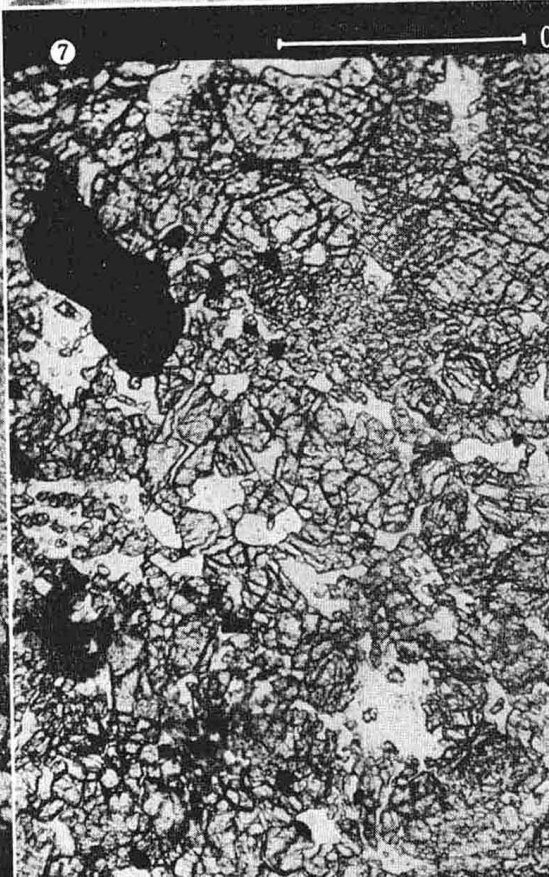
⑤

1 μ



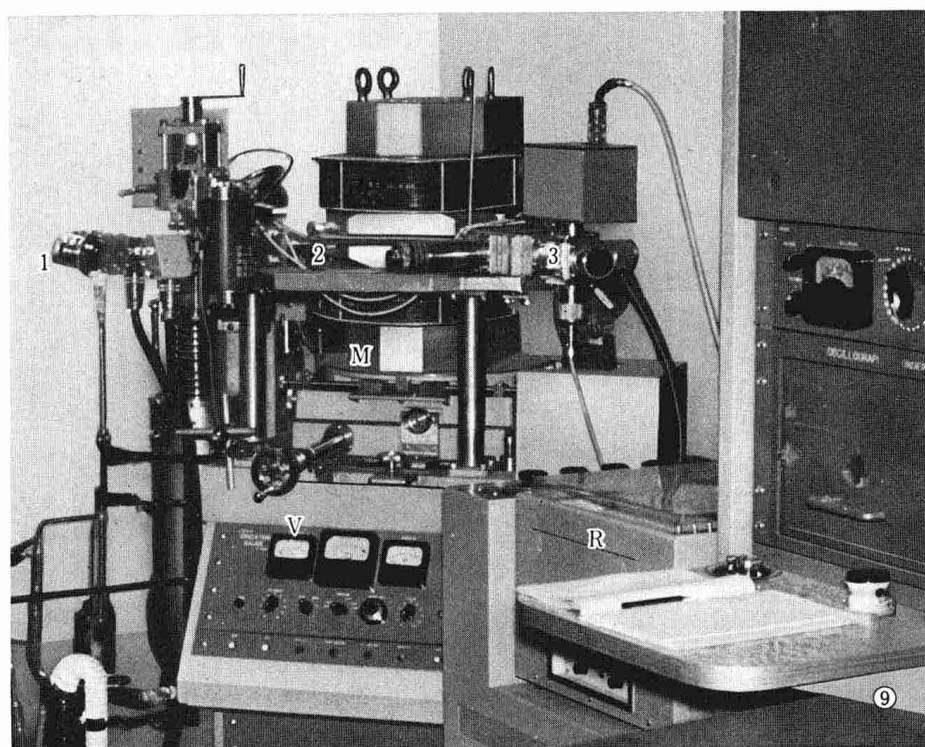
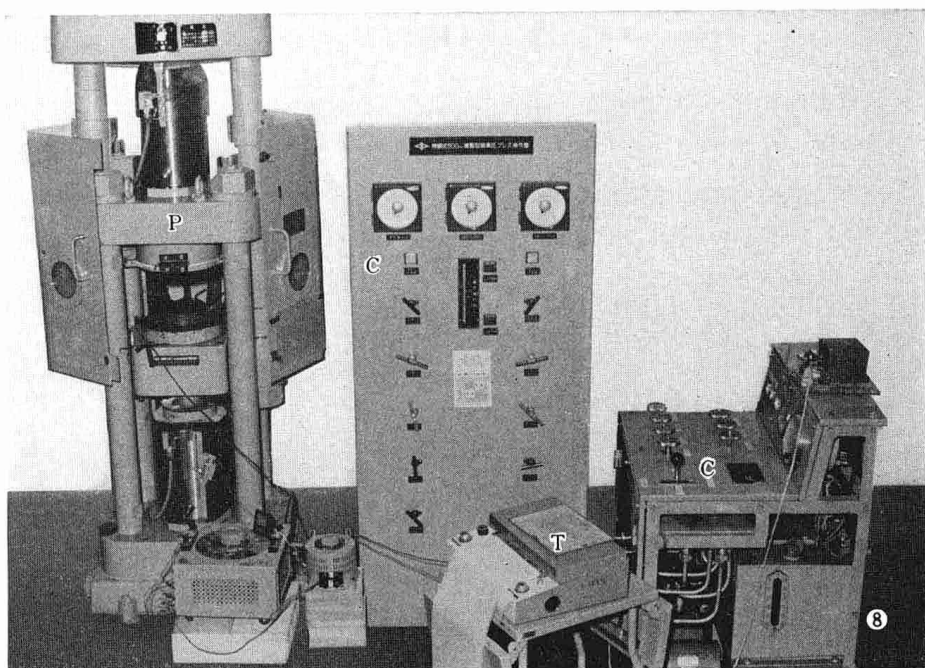
⑥

0.3 mm



⑦

0.3 mm



口 絵 解 説

- ① 玄武岩の溶岩流（第三紀） 柱状節理がよく発達している。溶岩流の下灰色部は凝灰岩層。オーストラリア東南部 Snowy Mountains 地域。
- ② ミグマタイト質の混成型カコウ岩（先カンブリア時代初期） 形成時の流動状態がよく現われている。中央の白色部はペグマタイト脈。インド半島南部 Bangalore 市近郊。
- ③ 塩基性シャーノカイト（先カンブリア時代中期） インド半島南部 Ooty 付近。褐色部…Mg に富むパイロプ質ザクロ石，暗色部…角閃石と輝石，白色部…斜長石。（いずれも，1954 年 12 月著者写す）
- ④ Renazzo イン石（炭素質コンドライト，第Ⅱ型）の顕微鏡写真（平行ニコル）
おもに蛇紋石様鉱物からなる暗色基地中に，カンラン石や輝石からなるコンドルールが点在している（Mason & Wiik, 1962 より）。
- ⑤ Erakot イン石（炭素質コンドライト，第Ⅱ型）の電子顕微鏡写真 クリソタイルと似た蛇紋石様鉱物を示す（Mason & Wiik, 1962 より）。
- ⑥ 気仙イン石（カンラン石-古銅輝石-コンドライト）の顕微鏡写真（平行ニコル）
1850 年 6 月 12 日，岩手県気仙村に落下したわが国最大の石質イン石で，約 135 kg ある（国立科学博物館所有）。カンラン石・輝石（白色部），ニッケル鉄・トロイライト（黒色部）やガラスからなる基地中に，カンラン石（O）や輝石（P）などからなるコンドルールが点在している。基地の部分は，ある種の凝灰岩様の組織を示し，あまり熱変成を受けていない。
- ⑦ 美濃イン石（カンラン石-シソ輝石-コンドライト）の顕微鏡写真（平行ニコル）
1909 年 7 月 24 日，岐阜県武儀郡，山県郡下に，20 数個に分解して落下したもので，総計で約 13.5 kg ある（国立科学博物館その他所有）。カンラン石・輝石（灰色部），ニッケル鉄・トロイライト（黒色部）や斜長石（白色部）からなっている。ホルンフェルスとよく似た組織をもっており，強い熱変成を受けたことを示している。
- ⑧ ピストン・シリンダー型超高压発生装置（大阪大学産業科学研究所所有） P…超高压発生装置の本体。中央部分の暗色の円筒がシリンダーで，これを上方からの荷重で押し，下方からピストンをさしこんで，試料に高压を加える（この部分のくわしい内部構造は，図 3.23 にある）。C…プレス操作盤，T…温度測定用レコーダー。
- ⑨ 質量分析装置（東京教育大学理学部所有） M…質量分析装置の本体。イオンソース（1）でイオン化された試料が，分析管（2）を通過してコレクター（3）に達するまでの間に，電磁場の影響を受けて，質量数（“重さ”）のちがいに応じて，同位体の分離が起こる。R…同位体比記録計，V…真空度調節計。

ま え が き

自然現象と社会現象とを問わず、あらゆる現象は歴史的なものである。地球の現象もその例外ではない。例外でないどころか、個々の現象をとっても、また、全体としてみても、歴史性が強く現われている。

地球は、大きくみて、固体部分、液体部分（水圏）、気体部分（気圏）の3部分から成り、固体部分は、更に地殻、マントル、核に分かれている。これらの各部分は、相隣る部分との間に、いろいろな相互作用を行ないながらも、それぞれを構成している物質の性質に基づいて、それぞれ独自の発展（進化）過程をたどっている。また、もとをただせば、これらの各部分は、地球を形成したそもそもの原始物質の発展過程で生じたものにほかならない。

ところで、他のあらゆる自然現象においてそうであるように、地球の現象にも、大きくみて、力学的、物理的、化学的な過程が内包（内在）されている。内包されているというのは、これらの過程が個々ばらばらに作用しているのではなく、あれこれの法則性に従って有機的に関連しあい、全体として統一された過程として進行しているということである。たとえば、地質現象は、数10億年という地球の歴史を通して、固体地球の比較的表層部（おもに地殻）で進行してきた、上記3過程の統一現象にほかならない。

さて、地球を対象とする研究の歴史をふり返ってみると、今世紀の初期ごろまでは、研究対象の外面的な事象、いかえれば、上記3過程が統一された現象面を記載したり、現象面での法則性を抽出したりする研究（いわゆる博物学的研究）が主であった。しかし研究が進展するにつれて、地球の現象に内包されている上記3過程を抜きだし、物理学や化学の方法を用いて研究するやり方がとられるようになってきた。このようにして、今世紀にはいつてから、地球物理学や地球化学が、しだいに発展してきた。

一方、固体地球の表層部での現象を、おもな研究対象としている地質学は、まだ博物学的（古典的）な面を残しながらも、上のような意味で、しだいに“近代化”しつつある。つまり地質現象に内包されている力学的、物理的、化学的な過程を抜きだし、物理学や化学の方法を用いて研究することが、日増しに盛んになってきているのである。

たとえば岩石学は、地殻における岩石形成過程の化学的側面をおもな研究対象としており、地球化学の1分科の観を呈している。また、構造地質学では、地質現象の力学的側面の解析が盛んに行なわれるようになってきており、最近では、地球の表層部だけでなく、より深部までを含めた場での力学的過程を扱う地球力学が発展してきている。

いずれにしても、具体的な地球の現象は、上述した3つの過程が統一され、しかも歴史的に進行してきているものであるから、健全な地球科学は、上記諸分野の知識が、正しく総合されるところにだけ生まれる。これは今後の地球科学者に課せられている、最大の目標である。

さて、「地殻・岩石・鉱物」と題した本書では、地球の、しかも、おもにその固体部分での物質的（化学的）側面が扱われている。いいかえれば、おもに岩石学や固体地球化学上の問題が述べられている。しかし、著者の能力の限界もあって、地球上層部（地殻）の問題に、多くのページがさかれてしまった。この点、読者諸氏におわびしなければならない。また、できるだけ最近の研究成果をとりいれるなどして、ありきたりの教科書的な平板さを少なくしようと努めたつもりであるが、はたしてどれだけ成功しているか、はなはだ心もとない。大方の御批判をお願いするしだいである。

著者しるす

共立出版“天文・地学関係書”より

- 地学通論 改訂版……………中田正次著／A 5・302頁
- 大学教育 地学教科書……………小島丈児・長谷 晃・多井義郎著／A 5・196頁
- 大学教養 地 学……………野田光雄著／A 5・196頁
- 南 極……………鳥居鉄也他編／A 5・754頁
- 星座写真集—写真による星座の観賞と学習— 藤波重次編著／A 12取・146頁
- 小型カメラによる 天体写真……………藤波重次著／A 5・176頁
- 人工衛星と宇宙飛行 増補版……………原田三夫・新羅一郎著／A 5・200頁
- 宇宙ロケット……………原田三夫・新羅一郎著／A 5・192頁
- 気象ポケットブック……………正野重方他編／B 6・616頁
- 宇宙空間物理……………堀内剛二著／B 6・260頁
- 深海の雪……………佐々木忠義著／B 6・158頁
- 海洋科学—海洋環境の展望— ……P. K. Weyl 著／杉浦吉雄訳／A 5・456頁
- 交代作用の熱力学—地球科学への応用— ……黒田吉益訳／B 6・202頁
- 偏光顕微鏡と岩石鉱物……………黒田吉益著／A 5・210頁
- 岩石学Ⅰ—偏光顕微鏡と造岩鉱物— ……都城秋穂・久城育夫著／B 6・248頁
- 岩石学Ⅱ—岩石の性質と分類— ……都城秋穂・久城育夫著／B 6・202頁
- 岩石磁気学……………小嶋 稔・小嶋美都子著／B 6・238頁
- 火成論—その地球進化論的序説—……………牛来正夫著／A 5・392頁
- 火成作用—その地球史における展開— ……牛来正夫著／A 5・362頁
- 地下水資源学……………水収支研究グループ編／A 5・410頁
- 計量地理学……………石水照雄・奥野隆史編／A 5・276頁
- 河川地形……………高山茂美著／A 5・312頁
- 野尻湖の発掘（1962～1973）……………野尻湖発掘調査団著／A 5・312頁
- 野尻湖の発掘写真集……………野尻湖発掘調査団編著／B 5・148頁
- 古生痕学—古生物の行動をさぐる— ……大森昌衛・歌代 勤著／A 5・280頁
- 地球化学探査法……………島 誠著／A 5・292頁
- 石油資源の科学……………木下浩二著／A 5・188頁
- 実験鉱物学……………日本鉱物学会編／A 5・624頁

目 次

第 1 章 地球の構成

1.1 地球の内部構造	2
1.2 地殻とモホ面	4
A. 大陸地域の地殻	6
B. 海洋地域の地殻	9
C. 大陸と海洋の境界地帯の地殻	11
D. モホ面の意味	13
1.3 マントル	14
A. <i>B</i> , <i>C</i> , <i>D</i> 層の問題	14
B. 上部マントルの構成	16
1.4 核	21
1.5 地球の平均化学組成	21

第 2 章 地殻の物質

2.1 岩石, 鉱物, 原子	24
2.2 鉱 物	26

A. 鉱物の化学組成	26
B. 鉱物の結晶形と結晶構造	30
C. 固溶体, 同形, 多形	37
D. 造岩鉱物	39
2.3 火 成 岩	65
A. 火成岩の産出状態	65
B. 火成岩の組成	84
C. 火成岩の種類	88
2.4 堆 積 岩	99
A. 続成作用	100
B. 堆積岩の種類	101
2.5 変 成 岩	106
A. 造山帯の変成作用	106
B. 非造山帯の変成作用	111
C. 変成相と変成作用の型	111
D. 交代変成作用	114
E. 変成岩の種類	115

第 3 章 マグマと火成作用

3.1 火成作用の起こり方	118
A. 海洋地域の火成作用	119
B. 大陸地域の火成作用	123
C. 造山帯の火成作用	135

3.2 マグマの発生	147
A. マグマ発生の物理的要因	147
B. マグマ発生 of 物理化学的過程	149
C. 玄武岩質マグマの発生	152
D. カコウ岩質マグマの発生	156
3.3 マグマの分化と同化	159
A. 結晶分化作用と同化作用	159
B. 玄武岩質マグマの結晶分化作用	160
C. 玄武岩質マグマの同化作用	163
D. カコウ岩質マグマの分化と同化	165

第 4 章 地球の進化

4.1 最近の太陽系発生論	168
4.2 地球の原始物質とイン石	170
A. イン石	171
B. 地球の原始物質	183
4.3 地球の進化	186
A. 地球の年令	186
B. 地球の熱史	190
C. 気圏, 水圏の発生と進化	193
D. 地殻の発生と進化	195
E. 地球進化史の時代区分	203
F. マグマの進化	204

おもな参考書	209
索 引	211

1.

地球の構成

地球の固体部分をつくっているおもな元素は、O, Si, Mg, Fe の4元素で、全体の90%（重量比）は、これらの元素で占められている。中でも多いのはOで、これは多くの他の元素に比べて、飛び抜けて大きい（イオン半径大）ので、たとえていうと、地球のおもな部分はOのボールがぎっしりとつまり、その間のすき間に、他の金属原子がちょびちょびはいりこんでいるようなものである。

宇宙をつくっているおもな元素はH, Heなどであり、太陽もその例にもれないが、そのまわりにできた1つの惑星である地球が、おもにOでできているのは、おもしろいことである。これは地球の形成機構がどのようなものであったかに関係している。地球の形成に関与した、そもそもの原始物質はどのようなものであったかということ、また、その中のどのような物質が地球物質として固定され、どのような物質が地球圏外へ逃げ去ったかということ、更に、それらを支配した要因は何であったかということによって規定された事がある。

この問題は、太陽系の全体の形成過程からみれば、ほんの局所的事件にすぎないが、地球科学にとっては、その出発点に当たる非常に重要な問題である。地球形成後の数10億年という長い歴史を通して行なわれてきた各種の現象（地学的現象だけでなく、生物の発生や進化の問題も含めて）は、そもそも、地球はどのような物質によって形づくられたかということ、いいかえれば、地球構

成物質がもっていたそれ自身の性質（自己運動）によって、大きく規定されているからである。この問題については、第4章でやや詳しく述べることにして、本章では、現在の地球について、その物質と構造を、地球規模で大観してみよう。

1.1 地球の内部構造

よく知られているように、地球は、中心部から上方に向かって、より密度の大きい物質からより密度の小さい物質へと、幾つかの層が重なりあった、変わ

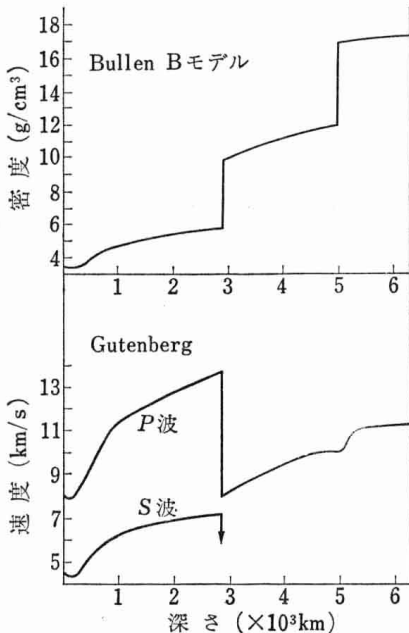


図 1.1 地球内部における地震波速度と密度分布 (Bullen, 1963による)

り玉のような構造をしている。このことは、今では常識になっている。これは、今世紀にはいつてからの（特に戦後における）地震学の進歩に負うところが多い。すなわち、地球内部のいろいろな深さの場所を通過する地震波の性質が詳しく解析されて、それに基づいて、それぞれの深さの場所をつくっている、物質の密度や状態が推定できるようになったのである。その詳細については、本講座の“地震・火山・岩石物性”に述べられているので、ここでは省略して、その研究結果だけについて述べる（図 1.1）。

地球内部における密度分布がわかって、それから一義的に、それぞれの深さの場所をつくっている物質の具体的な性質（化学組成、鉱物組成など）がわかるわけではない。それを推定するためには、地球科学のいろいろな分野での研究結果と、上述の地震学上の研究結果とを総合して、検討しなければならない。その具体的な事柄については、