

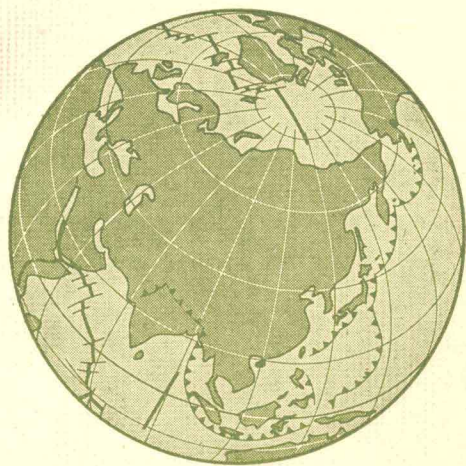
岩波
講座

地球科学 12

変動する地球 Ⅲ

—造山運動—

穂 秋 城 都 編
一 敬 芸 安



岩 波 書 店

岩波講座 地球科学 12

変動する地球 III

—— 造山運動 ——

穂 穂 秋 城 都
一 敬 芸 安 編

岩 波 書 店

© 岩波書店 1979

(全 16 巻 第 8 回配本)

岩波講座 地球科学 12 変動する地球 III

¥ 2900

1979 年 2 月 19 日 第 1 刷発行

発行所: 〒101 東京都千代田区一ツ橋 2-5-5 株式会社 岩波書店 電話 03-265-4111

振替東京 6-26240

印刷: 理想社 製本: 桂川製本

まえがき

Ⅰ テクトニクスの発展と本巻の目的

本巻は造山論の概説書である。造山論は、陸地(大陸や弧状列島)のテクトニクスの中心をなしている。したがって、本巻は陸地のテクトニクスの概説書であるといってもよい。

本講座第11巻は、海洋底のテクトニクスを取り扱っている。したがって、本巻はその第11巻と対をなし、両方合わせて、地球全体のテクトニクスを取り扱うことになっている。海洋底のテクトニクスが具体的に論ぜられうるようになったのは、1950年以後、海洋の調査が進んでからである。それより前には、具体的に論じうるのは陸地だけであり、したがって造山論とテクトニクスとは、ほとんど同義語であった。

テクトニクスは、あらゆる地球科学的データを総合して、地球の構成と発展を明らかにしようとする学問である。地質学の歴史の上で、テクトニクスが学界全体の注目を集め、その中心的問題領域となったことが2回ある。その、いわばテクトニクスの高揚期の第1回目は、19世紀の末ごろ(ほぼ1875～1900年)で、この時期に、地球上の主な山脈は褶曲山脈であることが確立され、ナップの存在や造山帯の進化の基本的特徴がほぼ明らかになった。この時期を代表する人物は、Eduard Suessであった。

第2回目のテクトニクスの高揚期は、1960年代の中ごろプレート・テクトニクスが形成され、それにもとづいて新しい地質学あるいは地球科学の体系をつくる運動が、固体地球科学の全領域をゆるがすようになって現在にいたる期間である。

この2つの時期の中間の期間(つまり、主として20世紀前半)には、テクトニクスはあまり魅力ある領域ではなかった。造山帯の構造の基本的性質は、すでに19世紀の末ごろ明らかにされてしまっていたし、それをもっと一般化し、地球全体の進化に結びつけて総合する理論はまだ生れていなかったのも、ただ空想と思弁をするだけであった。この期間には、テクトニクスに特に興味をもつ人は時代おくれの老人だけだと思われがちであった。若い有能な研究者は、そういう時代

おくれの領域には見向きもしないで、岩石学、層序学、地震学というような、もっと限られた専門分野の個々のなかで、実質的な仕事を積み重ねる方を好むのが普通であった。この20世紀前半の、いわば専門分化の時代を特徴づける標語は、地球の研究(あるいは地質学)への物理学や化学の応用ということであった。これによって、岩石学や鉱物学が面目を一新すると同時に、地球物理学や地球化学が生れた。しかし、個々の研究者は、彼の専門分野のなかで活動するだけで、地球科学全体としての統一はなかった。1960年代の中ごろ、プレート・テクトニクスの基本原理が形成され、これによってはじめて、地球科学全体を統一する理論への道が開けた。そこでテクトニクスの第2回目の高揚期にはいったわけである。

テクトニクスの第1回目と第2回目の高揚期の間に、長い専門分化の時代があったということは、第2回目の高揚期のテクトニクスの性質を、第1回目のそれとは著しく変化させた。専門分化の時代に育てられた物理学的・化学的思考様式が、第2回目の高揚期のテクトニクスには全面的に入りこんだのである。プレート・テクトニクスの形成自体が、そういう思考様式によって、はじめて可能になったといってもよい。

この変化は、テクトニクスをやる人の種類の変化としても現われている。テクトニクスの第1回目の高揚期から20世紀前半の専門分化の時代にかけては、テクトニクスで活躍した人の多くは、層序学者や古生物学者としての基礎的訓練をもつ人であった。ところがプレート・テクトニクスの形成期から、それにもとづく地球科学の体系の建設期には、地球物理学者や岩石学者の傾向の人が多く参加した。ただし、そのなかでも、とくに初期に鋭い先駆的洞察をもって新しい考え方を形成していった人は、たとえば Tuzo Wilson や Warren Hamilton のように、それぞれ当時の地球物理学や岩石学の学界のなかでは例外的な、異端者といってよいくらい専門分化の時代の気風から外れた、いわばしろうとめいた人たちであった。もっと後に、体系が建設される時期になると、十分な技術的訓練をもつ全分野の専門家の役割が重要になってきた。そういう人たちが、新しい考え方に対して証明を与え、それを支持する多くのデータを出しはじめたのであった。

ともかく、本巻の編集委員である都城と安芸がそれぞれ岩石学者と地震学者であるということも、時代のこういう変化の現われの一端と理解していただきたい。またわれわれは層序学的・古生物学的方面の知識を欠き、そのために、その種の

議論を本巻に入れられなかった。このことに対して読者のおゆるしを願いたい。

2 本巻の構成

本巻の第1章‘古典的造山論’では、プレート・テクトニクスが形成されるより前の時代のテクトニクスの歴史が、主な考え方の変遷を主として記述されている。そこでは、古代ギリシアから1950年代の末までが取り扱われているが、話の重点は、19世紀末の第1回目のテクトニクスの高揚期の代表とみられる Suess と、それにつづく20世紀前半を代表する Hans Stille の考え方の解説におかれている。

本章の執筆者 A. M. Celâl Sengör 氏は、イスタンブール生れの若いトルコ人（トルコ国籍）の地質学者である。その名前 Celâl Sengör は、トルコ語では、ジェラル・シェンゲオルと発音される。彼はイスタンブールで高等学校までの教育を受けた。その後、ドイツやアメリカの Houston で学んだが、現在はニューヨーク州立大学 (Albany) の大学院学生として、スイス・アルプスを研究中である。本講座の他の巻には、これほど若い執筆者の寄稿している例はないであろうが、ドイツの古典的造山論についての、彼の広くかつ正確な知識は、この第1章の記述によく現われている。原文は英語で書かれたが、都城がそれをすこし短くして和訳した。

第2章は、プレート・テクトニクスにもとづく造山論の概説で、長さからいって本巻の半分近くを占めている。そこではまず、プレート・テクトニクスの基本原理の解説と、プレート・テクトニクスにもとづく地球科学の理論の性質や構造の分析が試みられている。つぎに、1968～1975年ごろ形成された、プレート・テクトニクスにもとづく新しい造山論の具体的内容がかなり詳しく記述されている。最後に、中生代以降にできた世界の造山帯を取り上げて、それらの形成の歴史が、プレート・テクトニクスの立場からどう説明されたかを、具体的に論じてある。

しかしこの、1968～1975年ごろ形成された、プレート・テクトニクスにもとづく造山論というものは、もちろん完成してしまった理論ではない。それは、多くの疑問や未解決の問題を含んでいる。そういう疑問や未解決の問題があるからこそ、テクトニクスは今後も進歩しうるのである。このことを具体的に示すために、第3章では、岩石学的立場から、造山帯のカコウ岩類と火山弧の成因を例として取り上げて、詳細に論じてある。最後に、オフィオライト問題の簡単な解説をつけてある。

第4章では、地球物理学的立場から、プレート・テクトニクスにもとづいて造山運動を論じてある。まず、地震波の伝播特性や重力や高度分布などのごとき地表で観測されるデータと、実験室で測定される岩石物性ことから、プレートの力学的性質を明らかにする。次に、このプレートを材料にして長い時間かけて島弧や大山脈をつくるためにプレートにはたらいている力の原因、分布、大きさなどについて検討する。最後に、ヒマラヤとアンデスについて、具体的にその造山過程を論じ、単純な剛体プレートにもとづいたプレート・テクトニクスは、いろいろと修正されねばならないということを示してある。

最後の第5章は、先カンブリア時代の造山運動の本質についての近年の研究の進歩の概説である。先カンブリア時代のなかでも、原生代の中期やそれより古い時代の造山運動の本質については、大きな疑問がある。そういう古い地質時代の造山運動に対しても、古生代以後の造山運動に対すると同じようにプレート・テクトニクスが成り立つという意見もある。しかしまた、そういう古い時代の造山運動は、古生代以後の造山運動とは全く違ったものであって、プレート・テクトニクスは成り立たないという意見もある。この章には、そういう議論の内容と根拠を記述してある。

本巻はテクトニクスの一般的理論の概説書であるが、本講座第16巻は世界のテクトニクスの概説書である。両方の巻で、世界の同じ造山帯が取り上げられている。本巻ではそれらを造山論の一般的理論に対する関連の見地から取り上げているが、第16巻ではそれらを地域地質(regional geology)の立場から取り上げている。読者は、その両方をあわせて読んでくださることが望ましい。

1978年12月

都 城 秋 穂
安 芸 敬 一

目 次

まえがき

第1章 古典的造山論 1

§1.1 Eduard Suess より前の時代の造山論 2

a) 19世紀より前の地球科学的観察 b) 19世紀の, Suess
にいたるまでの造山論

§1.2 Eduard Suess と彼の時代 6

a) 地傾斜の概念の始まり b) Suess の *Die Entstehung
der Alpen* の出版 c) Albert Heim の著作 d) Marcel
Bertrand の2つの新解釈 e) Suess の大著 *Das Antlitz
der Erde*

§1.3 Eduard Suess より後の古典的理論 15

a) 2つの学派への分裂 b) Hans Stille の考え方の形成
c) Leopold Kober の世界のテクトニクス d) 造山運動
と造陸運動の違いについての Stille の説 e) Wegener
の大陸移動説の始まり f) 大陸移動説にもとづく Argand
の造山論 g) 大陸移動説にもとづくその他の造山論者
たち h) Stille の世界像 i) Ampferer と Haarmann
の仮説, およびロシア学派 j) 1940年代と1950年代
の状況 k) 結 論

第2章 プレート・テクトニクスに

もとづく造山論 35

§2.1 プレート・テクトニクスとその地質学的解釈の形成 . . . 35

a) まえがき b) プレート・テクトニクスの先駆としての
古い大陸移動説 c) プレート・テクトニクスの基本
原理の成立 d) プレート・テクトニクスの地質学的解
釈の体系の形成——地質学の革命 e) 地球科学の革命
とその性質への反省 f) プレート・テクトニクスの理
論の構造と将来のテクトニクスの進路

x 目 次

§ 2.2 プレート・テクトニクスにもとづく新しい 造山論の具体的内容	59
a) まえがき b) 地向斜の観念の変化 c) 造山サイ クルの否定 d) 造山期 e) 大洋の生涯の Wilson サイ クル f) 大陸の成長と火成活動および変成作用	
g) 造山帯の分類 h) 縁海の起源——普通の弧状列島と コルディレラ型造山帯との関係 i) マイクロプレートの 運動 j) 大洋中央海嶺の海溝への潜没 k) 非震性海 嶺のサブダクション l) 山脈の高さと隆起 m) 造山 運動と世界的海進	

§ 2.3 プレート・テクトニクスにもとづく代表的な 造山帯の歴史の解釈	108
a) プレート・テクトニクスにもとづく解釈という立場か らみた場合の造山帯の3つの時代区分 b) 大西洋の歴 史とアルプス造山運動 c) インドとユーラシア大陸の 衝突、およびそれによるチベットとヒマラヤの造山運動	
d) 太平洋の歴史、および日本とカリフォルニアの中生代 以降の造山運動 e) アンデス造山帯	

第3章 造山帯に関連した岩石学的問題 145

§ 3.1 プレート・テクトニクス、仮説、観察データ	145
----------------------------	-----

§ 3.2 カコウ岩帯の問題	147
----------------	-----

- a) カコウ岩序説 b) 北アメリカ西部のカコウ岩帯
- c) カコウ岩帯の組成上の帯状構造

§ 3.3 カコウ岩帯と火山弧の成因論の現状とその困難	159
-----------------------------	-----

- a) プレート・テクトニクスの確立にともなう新しい説の
登場 b) 新しい説とよく調和しない、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比のデー
タ c) 火山弧とカコウ岩帯のマグマの成因

§ 3.4 オフィオライト問題	167
-----------------	-----

- a) オフィオライトという語と観念の歴史 b) オフィオ
ライト問題の現状

第4章 造山運動のメカニズム 179

§ 4.1 プレートの力学的性質	179
------------------	-----

- a) 地震波速度分布からみたプレートの構造 b) 地震波

減衰の分布からみたプレートの構造 c) 長期間働く応力に対するプレートの性質 d) 実験室で求めた岩石物性に基くプレートの構造

§ 4.2 プレートに働く応力 198

a) エネルギー消費極小の過程 b) 定量的モデル
c) 弱い応力のモデルにまつわる問題

§ 4.3 ヒマラヤとアンデス 206

a) ヒマラヤ造山運動のメカニズム b) アンデス造山運動のメカニズム

第5章 先カンブリア時代の造山運動 217

§ 5.1 先カンブリア年代学と時代区分 217

a) 先カンブリア時代の研究の重要性 b) 先カンブリア時代の性質と年代測定の進歩 c) 近年北アメリカで使われている先カンブリア時代の時代区分 d) 先カンブリア造山運動の大サイクル e) 地殻の進化の3つの段階としての太古代, 原生代および顕生代

§ 5.2 原生代の中期と前期のテクトニクス 228

a) クラトンと造山帯の区別の出現 b) 主に原生代の地
向斜堆積物からできている造山帯の性質 c) 大規模に
再変動された基盤岩を主とする造山帯の性質 d) 顕生
代に成り立つと同じプレート・テクトニクスが原生代にも
成り立つという説 e) 原生代の中期や前期にはプレ
ート・テクトニクスは成り立たないという説 f) 古磁気学
的証拠からみた原生代の造山

§ 5.3 太古代のテクトニクス 242

a) 太古代についてのデータと空想 b) 太古代のクラ
トンの性質 c) グリーンストーン-カコウ岩地域の火山弧説
d) 太古代のテクトニクスについてのその他の説

索引 261

世界の造山帯 (表見返し)

中生代における大陸塊の分裂移動 (裏見返し)

古典的造山論

第1章

テクトニクス(tectonics)は、すべての地質学的研究を総合した結論である。そしてこれまで、造山運動の理論は、いつもテクトニクスの中心課題であり続けた。したがって造山運動の理論の歴史を書くということは、テクトニクスの歴史を書くこととほとんど同じである。本来それは何巻もの本になるべき大きな仕事である。しかし原稿の長さの制約のために、本章では、造山運動の原因についての思想の発展の上での最も重要ないくつかの段階を記述し、それについての重要な文献をあげるにとどめよう。

本章の記述は1945年までの期間を取り扱う。1945年より後は、海洋地質学や地球物理学が大陸移動の証拠を示すようになり、ついに1965年に John Tuzo Wilson がプレート・テクトニクスを樹立するにいたるような学問の流れが始まったので、それより前の時代とは学問的状況がちがってきたからである。1945年より後にも、Kay, Bucher, Kober, Stille らがそれ以前の時代と同じ考えで書きつづけたが、それらは大局的にみると重要ではない。

近年、大陸移動やプレート・テクトニクスに関連したいろいろな考えの先駆者について、多くのことが書かれているが、本章ではそれらをほとんど取り上げないことにした。なぜかというと、それらは発表された時代には世の中の注意をほとんどひかず、当時のテクトニクスの思想の発展にほとんど影響しなかったからである。

本章を書くようにすすめられた都城秋穂教授に感謝する。また私の父 Asim Sengör は、私のこの種の研究を1960年代の中ごろ以来支持され、Leman Boyner 嬢からは、Suess の諸著作を読む便宜を与えられた。

§1.1 Eduard Suess より前の時代の造山論

a) 19世紀より前の地球科学的観察

地質学のなかで、今日テクトニクスとよばれている分野にはじめて名前が与えられたのは19世紀になってからである。すなわち、C. F. Naumannが彼の *Lehrbuch der Geognosie* 第1巻(1850*)のなかで、それを Geotektonik という名前でよんでいる。しかし、テクトニクスの内容にあたるものが始まったのは、それよりはるかに古い。

地球とその表面の性質についての最も古い時代の記述は、一般に宗教的観念と結びついていた、たとえば旧約聖書の創世記に書かれている話のごときである。

もっと非宗教的・客観的に、地球科学的な現象の記述をしたのは、紀元前7世紀から2世紀までにわたるギリシアの思想家たちであった。彼らは、たとえば海陸の分布が昔と今とで違っていることを知っていた。ローマ時代の学者は、ギリシアの思想家よりも思弁性が減少し、経験的な立場からの記述をすることが多くなった。テクトニクスに関連した多くの記述を残している代表的学者は、Strabon (Strabo)である。そのほか、大 Plinius や Seneca も多少の記述を残している。

やがてローマ帝国は崩壊し、キリスト教の時代になり、自然科学はヨーロッパではほとんど消滅した。これからルネッサンスまでの期間は、ギリシアとローマの学問の伝統はアラビア人により、後にはまたトルコ人により、保存されていた。しかし当時、地球科学的分野にはあまり進歩はなかった。

造山論的研究、あるいは本来のテクトニクスとよんでよいものの始まりは、17世紀のデンマークの学者 Niels Stensen (1638-1687)の著作 *De solido intra solidum naturaliter contento* (フィレンツェ, 1669)であった(彼は後年、自分の名前を Nicolaus Steno と書くようになった)。彼は、岩石がその生成後に変形を受けることを明らかにし、さらに北イタリアの Etruria 地方の構造的発達を論じた。彼も地球についての当時一般の誤った考えの影響を受けていた。変形は岩石が地下の空洞に落ちこむか、火山作用で押し上げられたときにおけると考えた。つまり、変形は局地的な現象であって、地球は全体としては静的な物体であると考えていた。

いずれにしても、当時はまだ地質学の1つの独立分野としてのテクトニクスはできていなかった。それができたのは19世紀のはじめ、Leopold von Buch から

である。

b) 19 世紀の, Suess にいたるまでの造山論

i) Werner の水成論

18 世紀の末ごろ地質学が形成された。この形成に最も貢献したのは、ドイツの Abraham Gottlob Werner とスコットランドの James Hutton であった。ことに Werner は、水成論(Neptunism)とよばれる地球の性質についての一般的・体系的な理論をつくり上げていた。Werner の考えによると、地球は死んだ静的物体であった。ギリシアの Empedocles 以来地球の中心の熱火(central fire)ということがいわれていたが、Werner はそれを否定した。彼は、火山は地下の石炭層の燃焼によって生ずるとし、ほとんどすべての岩石は原始大洋の底に堆積した水成岩だとし、岩石の変形は局地的な沈降や迂り下りのごとき現象で生ずるとした。

ii) マグマの押上げによる隆起説

しかし地球の表層の構造は Werner が考えたほど単純でないということは、18 世紀末に何人かの観察者が理解していた。たとえば Horace Benedict de Saussure(1766*)や Sir James Hall(1815*)は、地層の褶曲は地殻の水平方向の短縮によっておこると考えていた。しかし Werner の水成論は、ことにヨーロッパ大陸では 19 世紀の始めになっても学界を支配する学説であった。この状況に決定的変化を与えたのは、かつて Werner の学生であったことのある 2 人の学者 Leopold von Buch(1774-1853)と Alexander von Humboldt(1769-1859)が後に水成論を抛棄したことであった。

von Buch は 1890 年代の始めにフライベルク鉱山学校で Werner に学び、その水成論の熱心な支持者になった。しかし後に、Werner の学説に対する信念を失い、その当否を自分で確かめるために 1802 年フランスの Auvergne の火山地帯へ旅行した。この地方では、フランスの地質学者 Dolomieu が、カコウ岩の基盤の上に火山ができていているという観察を報告していた。しかしこの観察は、Werner の学説と決定的に矛盾していた。Werner の考えによると、カコウ岩は地球の歴史の上の最も古い時代に原始大洋の底に沈澱した岩石であり、石炭はもっと後の時代に堆積したものである。したがって、カコウ岩の下に石炭が存在するはずはなく、カコウ岩地帯に火山ができるはずはなかった。von Buch は、Auvergne で Dolomieu の観察が正しいことを確認しただけでなく、火山活動に強い印象をう

けた。彼は、火山の力がその上層の岩石を押し上げて山をつくりうると考えるようになり、ついに火山の成因についての隆起火口説(theory of elevation craters)を唱えるようになった。さらに進んで、すべての山脈は、火山作用によってひきおこされた垂直上昇運動によって生じたと主張するに至った。

von Buch(1824*)はアルプスの Tirol の Fassa 溪谷を研究し、そこにみられる黒い輝石ボーフィリーがその山脈の隆起の原因だと考えた。すなわち、アルプスの伸びの方向に巨大な断層ができ、それにそって輝石ボーフィリーが貫入してきて、その上層の岩石を押し上げ、地層を擾乱したと考えた。

火成作用による垂直隆起が山岳形成の主な原因であるという考えは、19世紀の前半に広く支持された。それに決定的打撃を与えて亡ぼしたのは、後に述べる Suess の著書 *Die Entstehung der Alpen* (1875*) の出版であった。しかし、この垂直隆起説の考えが始まったのは von Buch より古い。たとえば P. S. Pallas (1777*) はウラル山脈やアルタイ山脈を観察し、それらの山脈の中軸の全長にそってカコウ岩が貫入していることを認め、それが山脈の上昇と変形の原因だったと考えた。Hutton (1795*) の火成論のなかでは、この考えが一般的理論の形に仕上げられていた。すなわちマグマが地殻のなかを上昇し、その上にある地層を押し上げて、ドームや長い山脈をつくるとされていた。

マグマの押し上げによる山脈の形成というこの説を最も勢心に支持した1人は、スイスの Bernhard Studer であった。彼は 1851~53 年、スイス・アルプスの構造を論じ、中軸帯に多くのカコウ岩体が露出しており、その両側(北と南)には堆積岩や変成岩の地帯があるとした。アルプスの隆起は、この中軸帯のカコウ岩の力によると考えた(彼が中軸帯のカコウ岩体としたもののなかには、Aiguilles-Rouges, Aar, Gotthard などの岩体のように、今日ではアルプス造山帯の基盤が押し上げられたものだと考えられているものが含まれているが、そのほかに今日では Pennine ナップや Austro-Alpine ナップの一部とみられている岩体も含まれている)。

iii) 地球収縮説

Studer の考えは、スイスやその他のアルプス諸国では 1870 年代まで強い影響力をもっていた。しかしその当時、世界の他の国では、それとちがった考えが生れはじめていて、この新しい考えは、その後約 100 年間世界の造山論を支配する

に至るべきものであった。それは、地球の収縮(contraction)によって生ずる横圧力で山脈ができるという観念である。

横圧力(lateral pressure)によって山脈ができたという観念は、すでに述べたように de Saussure や Sir James Hall にあった。しかし、こういう推定を地球の冷却による収縮とはじめて結びつけたのは、Léonce Élie de Beaumont (1798-1874) が 1829 年にフランスのアカデミーの *Annales* に出した論文であった。地球の冷却収縮ということは、前から Descartes, Leibniz, Newton らにより漠然といわれていたことであるが、ここで具体的な地質学説になった。

Élie de Beaumont のテクトニクス上の主著は *Notice sur les systemes des montagnes* (1852*) である。そのなかで彼は、地球の冷却によって横圧力が生じ、それによって山脈ができることを論じ、山脈形成の年代は変形をうけている最も若い地層より新しく、それを不整合におおう非変形の地層より古いものとして経験的に決定できるとした。de Beaumont は、山脈の形成は全世界的な規模で同時におこる事件だと考え、そしてそれによって地球の歴史を時代に分けることができると考えた。Charles Lyell は彼の“地質学原理”(Principles of Geology)のすべての版で、造山の世界的同時性という de Beaumont の考えに強く反対した(後のべるように、de Beaumont と同じ意見は 20 世紀になって Stille によって述べられ、それに対して Shepard や Gilluly が反対した)。

前から Cuvier は地球上の生物変化を説明するためにカタストロフ説を唱えていたが、de Beaumont は彼の世界的規模の山脈形成がそのカタストロフにあたりと考えた。さらに彼は、平行な走向をもつ山脈は同一時代にできた山脈であるとした。また子午線を同じ角度で切る山脈は互いに平行な、同一時代の群に属していると考えた。彼は山脈を含む大円の方角を考え、ヨーロッパの山脈の方角を表わす 21 の大円を描き、その相互関係から地球上の山脈の方角についての幾何学的法則を導いた。その後生涯、彼はこういう方角への思弁を続けていった。

そのころ北アメリカでは、横圧力による山脈の形成という考えは、もっと広く受け容れられていた。1843 年 Rogers 兄弟は、アパラチア山脈の Valley and Ridge Province (本講座第 16 巻参照)の規則正しい波形褶曲を水平方向の運動で説明した(もっとも、その水平方向の運動はその地域の東南方でおこった火山爆発によるというような変なことを書いている)。

James Dwight Dana は、テクトニクスだけでなく、鉱物学や動物学でも權威であったが、地球の収縮にもとづく地殻の水平方向の短縮によって山脈ができるという考えの熱心な支持者であった (Dana, 1866*; 1873*).

この時代までのテクトニクスは、わずかの局地的観察と大量の思弁とに基づくものであった。こういう思弁的テクトニクスの時代を終らせて、次の新しい時代を開いたのは、Suess の著作であった。

§1.2 Eduard Suess と彼の時代

a) 地向斜の観念の始まり

Suess の話に入る前に、ちょっとここで地向斜 (geosyncline) の観念の始まりにふれておこう。この観念は、後でのべるように Suess の強い反対にもかかわらず、造山論を 100 年以上も支配したからである。

イギリスの天文学者 John Herschel は Lyell にあてて手紙 (1836 年 2 月 20 日付) を書き、既存の大陸の浸食と新しい大陸の形成により、地球表面の 1 つの部分から他の部分へ圧力が移ることを考えたことはないかと尋ねた。すなわち、図 1.1 で、A はスカンジナビア、B はそれに接する海 (北海) である。C は新しく形成された厚い堆積物で、それはもとの海底の層 D の上に堆積したとする。EEE は半流動体で、D はその上にのっている。D の上に C が新しく堆積すると、その重さで D は押し下げられ、そのために E の物質の一部分は横へ動き、大陸 A の下に入りこみ、この大陸を押し上げる。この Herschel の考えのなかには、後に広くもてはやされるようになった地向斜の観念と、アイソスタシーの観念とが、萌芽的な形で含まれている (Longwell, 1928*).

これとほとんど同じ考えを、もっと経験的につくり上げていったのは、Albany

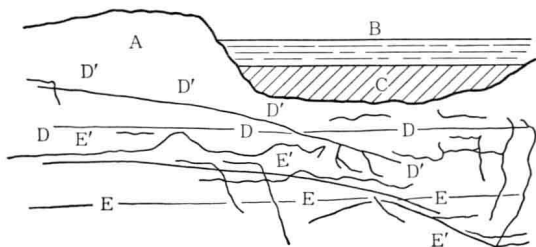


図 1.1 堆積物の重さによる地殻の押下げを示す Herschel の図。Longwell (1928*) による

の James Hall (1811-1898) であった (前に書いた Sir James Hall はイギリス人で Hutton の友人で、実験家であった。こんどでてきた James Hall はそれと違い、アメリカ人で古生物学者であった。Albany のニューヨーク州地質調査所の所長だったので、よく Albany の James Hall とよばれる)。アパラチア山脈の西縁帯には異常に厚い浅海性古生層が堆積しているが、もっと西方のアメリカ大陸上の古生層はずっと薄いことに彼は気がついた。さらにまた、地層の変形は厚い地層の堆積している地帯に限られていることにも気がついた。そこで彼は、沈降と変形との間に因果関係を認めた。沈降の最も大きかった地帯には、地層が最も厚く堆積した。沈降によって地層は下に彎曲し、その上の地表面の幅が減少したので、地層の褶曲がおこったと考えた (Hall, 1859*, p. 70)。その沈降は、堆積した地層の重さのためにおこったと考えた (Herschel は、厚い堆積が始まるためには、まず低い場所がなくてはならないと考えたが、Hall はこのことを理解していなかった)。

Hall の見解を整理してみると、次のようになる。まず狭い地帯に堆積がおこる。堆積がつづく、地殻が押し下げられる。押下げによって変形がおこる。さらに押下げのために地層が高温のところへはいりこむと変成作用がおこる、と Hall はつけ加えている。もっとも、Hall がアパラチア地向斜と考えたものは、アパラチア山脈西縁帯の非変成地帯だけ (しかも主に、すでにできたアパラチア山脈から流出する土砂が西側の山麓に堆積してできたデボン紀のデルタ様堆積物) であった。もっと東方の、アパラチアの中軸の変成地帯の岩石は、当時は先カンブリア岩類だと誤解されていた。

J. D. Dana は Hall の観察を認めたが、もっと違う解釈を提案した。Dana (1866*, 1873*, 1894) は地球収縮説にもとづき、地殻の水平方向の短縮が細長い沈降地帯の形成の原因であると考えた。その沈降地帯は一種の向斜であって、それにとまなう背斜もできると考えた。アパラチアでは、この背斜は向斜の東側にあって、そこから碎屑物が運ばれてきて向斜を満したと考えた。Dana は、これらの巨大な地殻褶曲の形成の後で造山変形の激発がおこるとみた。そして、そういう巨大な向斜と背斜をそれぞれ、geosynclinals および geanticlinals と名づけた (Dana, 1873*)。しかし後に、geosynclines (地向斜) および geanticlines (地背斜) と書くようになった (Dana, 1894)。