

造山运动

〔日〕都城秋穂 著
安芸敬一
〔土〕A.M.C.森格



科学出版社

造 山 运 动

〔日〕 都 城 秋 穂 著
安 芸 敬 一
〔土〕 A. M. C. 森 格

周云生 张儒璠 译 校

科 学 出 版 社

1 9 8 6

内 容 简 介

关于大陆和岛弧形成为中心的造山运动长期以来一直是地质学研究的重要领域。本书介绍了一些造山运动的理论。论述了板块构造说问世以前造山理论的历史发展,讨论了建立在板块构造基础上的新造山理论的发展以及在理论见解上的最新变化;详细而清楚地分析了与造山运动有关的岩石学和地球物理的一些问题。本书观点新颖,内容深入浅出,思想性强,是一本引导研究造山运动的入门书。本书特别适合于构造学、岩石学和地球物理学专业的大学生或研究生阅读,对于从事大地构造、区域岩石学和野外地质工作的研究人员和地质工作者以及有关大专院校教师也有一定参考价值。

Akiho Miyashiro, Keiiti Aki and A. M. Celâl. Şengör

OROGENY

John Wiley & Sons, 1982

造 山 运 动

〔日〕 都 城 秋 穗
安 芸 敬 一 著

〔土〕 A. M. C. 森 格

周云生 张儒暖 译 校

责任编辑 李祺茂

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年8月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1986年8月第一次印刷 印张:9 3/4

印数:0001—2,100 字数:215,000

统一书号:13031·3267

本社书号:5034.13—14

定价:2.30 元

中译本序

因工作的关系，在我与都城秋穗教授的一次联系中，他提出希望我把他和其他两位作者合著的《Orogeny》(John Wiley & Sons Limited, 1982)这本书译成中文，以便介绍给更多的我国读者。由于我无暇顾及，将此事委托给周云生和张儒璠俩同志，他们在科学研究之余，抽空译出了全文，并互相作了精心校对，遂成为这本中译本，以此酬答都城秋穗教授的友谊。

本书由三位作者合撰，主要作者都城秋穗教授是我国地质界熟悉的一位著名岩石学家，现任美国纽约州立大学地质学系教授。他专攻岩石学和海洋学，著述颇多，特别在变质岩、变质作用和火山岩岩石化学的研究方面有较高造诣。在六十年代以来，他把岩石学的研究与构造结合起来，作出了重要贡献。他提出的双变质带的概念已成为板块构造地质理论的一个重要组成部分。安芸敬一是位地震学家，曾任美国地震学会主席，现在是美国马萨诸塞工学院地球和行星科学系教授。他在理论地震学方面造诣较深。A. M. C. 森格是一位较年轻的区域地质学学者，是土耳其人，在构造学史的研究上也颇有见地。

以大陆、山脉和岛弧成因为主题的造山运动理论长期以来一直是地质学研究的重要方面。以往对世界上造山带的成因及其演化曾提出过各种各样的见解，概括起来可以分为固定论者和活动论者两大派。在六十年代以前，前者在地质领域内一直占统治地位。六十年代随着海洋地球物理的调查和

古地磁学的研究，取得了一整套新资料，地球物理学家以此阐述了板块构造基本原理。六十年代晚期和七十年代早期地质学家对其进行了地质学解释。在此过程中对以往固定论的构造思想作了严肃的批判，在地球科学中引起了一场深刻的学术思想革命。在世界上众多的地球科学家的努力下建立了以板块构造为基础的地质学新理论。从而开创了地球科学中各学科深入发展和对地球全面综合研究相结合的生气勃勃的现代地球科学研究的新时代。

本书基于这样一条脉络，介绍了一些造山运动的理论，讨论了建立在板块构造基础上的地质新理论的发展以及随后在理论观点上的最新变化，详细和精辟地分析了有关造山运动的一些岩石学和地球物理学问题。在这些问题上作者也提出了自己的看法。

因此，就内容而言，本书不是论述作者提出的一个造山运动理论体系，而是历史地概括造山运动理论的演变，阐述以板块构造为基础的造山运动理论的发展过程以及这个理论的主要内容，并通过一些实例，论证板块运动所引起的造山作用和主要地质现象，根据地球物理资料阐明板块构造造山作用的机制。正因为这样在本书中没有列举庞杂的实际资料，而着重在对板块构造造山理论的历史发展和逻辑结构的分析上。因此，我认为本书的思想性较强，这是它的一个突出的优点。对于要了解造山运动理论历史发展和现状，要了解板块构造造山理论的主要原理、假说和内容，本书是一本良好的读物，因为它叙述深入浅出，引人入胜。

本书对造山运动中的变形作用缺乏足够篇幅论述，这似乎是本书的缺陷，也许这不是作者们的专攻所引起的。由于本书是三位作者合撰的，对于造山运动的一些重要观点上，如对待地槽概念的态度和板块构造机制的适用性问题上存在

着一定差异，书中保持了各个作者不同的看法，并非叙述上的错误，望读者在阅读时加以悉心体察。

最后，代译者谨向读者表示，由于译者水平所限，译文中难免不当或错误，敬请批评指正。

常子文

一九八五年三月于北京

原 序

本书打算介绍一些造山运动的理论，长期以来这些理论一直是大陆和岛弧构造学说的中心主题。

在第一章（‘经典造山作用理论’）中，Sengör 描述了板块构造学说产生以前的造山运动理论史，集中叙述了一些主要观点的盛衰。虽然涉及的时间从古希腊一直到1945年，但是主要重点放在十九世纪晚期和二十世纪早期经典构造学说全盛时期的最伟大导师 Suess 的工作上，同时也强调了构造学说随后分化的两个学派，即正统新灾变说的 Kober-Stille 学派和非正统均变论的 Wegener-Argand 学派。这两个学派在一定程度上分别相当于固定论者和活动论者。

在第二章（‘基于板块构造的造山运动理论’）中，Miyashiro（都城）一般说明了板块构造学说的出现以及以此为基础的造山运动理论的产生。板块构造学说在地球科学中引起了一场革命，这可以被认为大约发生在1965年到1975年的一个短暂历史事件。根据洋底地磁条带研究所搞清的板块运动，讨论了世界上中生代和新生代的造山运动。

在第三章（‘造山带的岩石学’）中，Miyashiro 描述了研究造山带四个主要岩石学对象：火山弧、花岗岩岩基带、区域变质作用带、蛇绿岩带的历史发展。特别注意了在地质革命完成以来出现的最新进展，同时集中说明了区域变质作用类型的长期缓慢变化，表明构造格局上长期缓慢变化的存在。

在第四章（‘造山运动的机制’）中，Aki（安芸）从

地球物理的立场观点讨论了造山运动。首先，根据在地球表面观察的资料以及根据实验室实验测量的岩石性质考察了板块的力学性质。然后讨论了作用在板块上产生岛弧和巨大山脉的力的起因、分布和强度。以喜马拉雅和安第斯山脉为例讨论了造山运动。

在第五章（‘前寒武纪的造山运动’）中，Miyashiro一般地说明了在研究前寒武纪造山运动的性质方面取得的最新进展。认为板块构造在太古代和早元古代不起作用。

本书每个作者仅对他写的这一章或几章负责。在本书涉及的许多问题上各个作者的意见有相当大的差异。造山运动的研究是一个非常广阔又是极其多样化的科学领域，像本书这样由几位作者写的小部头著作中不能包罗全豹。有些重要问题尚未触及。Miyashiro, Aki和Şengör分别专攻岩石学、地震学和区域构造学，主要熟悉造山运动的这些方面。

本书原来在1979年由东京岩波书店用日文出版。在那时候，作者非常感激岩波书店编辑部的 Yuko Natori 女士和 Nobuyuki Sakai 先生。在本英文版的准备期间，为了使本书现代化，为了使它更适合于国际读者，对各章都作了大量改写。

Şengör 感谢一般对科学的哲学和历史，特别是对于构造学的哲学和历史进行过讨论的朋友和同事，其中最重要的是 Albert Bally, Clark Burchfiel, Kevin Burke, John Dewey, David Gallo, İhsan Ketin, Akiho Miyashiro, Oliver Monod, John Rodgers, Dietrich Roeder 和 Rudolf Trümpy。他的父亲 M. Asim Şengör 对他研究自二十世纪六十年代中期以来的构造学历史提供了资金和道义上的支持。Leman Boyner 小姐盛情地给他提供了 Suess

的一些重要作品。在改写本书第一章时，Şengör 特别感激 Michelle Aparisi小姐，她作为一个模范读者、批评家和朋友的忠诚、见识和多方面的帮助，远远地超越了大多数常人的耐心。最后 Şengör感谢他的亲密朋友和同事——David G. Gallo，在艰难的时刻给予学术上的鼓励。

Akiho Miyashiro

Keiiti Aki

A. M. Celâl Sengör

1981年夏

目 录

中译本序	v
原序	ix
第一章 经典造山作用理论	1
1-1 十九世纪以前的造山作用理论	2
1-2 十九世纪Suess以前的造山作用理论	5
1-3 造山运动研究的经典时期: 1875—1945	12
1-4 结论	54
第二章 基于板块构造的造山运动理论	57
2-1 板块构造的历史、性质及其地质学解释	57
(1) 板块构造前身——古老的大陆漂移假说	57
(2) 板块构造基本原理的出现	58
(3) 关于地幔对流的不同见解	63
(4) 地幔柱或增殖裂隙	64
(5) 1970年前后在板块构造原理基础上对新的地质 理论体系的系统阐述: 地质学的一场革命	71
(6) 按其逻辑结构关系看地质理论的相继改变	73
(7) 哲学问题 1: 板块构造和均变论	75
(8) 哲学问题 2: 地球科学的一统化	76
(9) 哲学问题 3: 作为一种规范的板块构造	78
2-2 建立在板块构造基础上的造山运动理论各个 方面	82
(1) 地槽和增生镶嵌	82
(2) 造山旋回的否定	88
(3) 威尔逊旋回	91
(4) 造山带的板块构造分类	94

(5) 造山期	98
(6) 造山运动中的岩浆作用和区域变质作用	102
(7) 各方面的问题: 微板块, 无震脊, 洋中脊, 全球 性海进以及上升	105
(8) 根据板块构造阐释的观点对造山带的三个时代 划分	117
2-3 中生代和新生代造山带的板块构造解释	120
(1) 阿尔卑斯造山运动和大西洋的历史	120
(2) 印度同欧亚大陆碰撞, 由此在西藏和喜马拉雅山 脉产生的造山运动	124
(3) 太平洋的历史以及加利福尼亚、日本和安第斯山 脉的中生代和新生代造山运动	128
第三章 造山带的岩石学	138
3-1 岩石学和构造之间的关系	138
3-2 岛弧和活动大陆边缘的火山岩	139
(1) 板块构造出现以前关于岛弧的构造研究	139
(2) 板块构造出现以前火山岩系列的概念和岛弧火山 岩的岩石学研究	140
(3) 俯冲作用和弧火山岩的 K_2O 含量	147
(4) 与板块构造有关的火山岩系列	150
3-3 花岗岩带的性质	153
(1) 板块构造出现以前关于花岗岩成因的见解	153
(2) 由板块构造出现而引起的观点改变	156
(3) 北美西部的中生代花岗岩带	157
3-4 火山弧和花岗岩带的岩浆成因与锶同位素的关系	162
(1) 弧火山岩中的锶同位素比值	162
(2) 花岗岩带和伴生火山岩与锶同位素比值有关的带 状构造	164
(3) 关于锶同位素比值带状构造的可能解释	166
3-5 沿着汇聚板块边界的区域变质作用	168

(1) 区域变质作用的岩石-构造学研究史	168
(2) 俯冲带的高压型变质作用	173
(3) 花岗岩带的低压型变质作用	178
(4) 与大陆碰撞有关的变质作用	181
3-6 关于区域变质作用类型和构造类型的长期缓慢变化	183
(1) 前寒武纪地热梯度的长期缓慢降低	183
(2) 欧亚大陆内部区域变质作用强度的长期缓慢降低	186
(3) 关于蓝闪石片岩带的相对年轻时代	187
(4) 欧亚大陆蓝闪石片岩带长期缓慢的向外迁移	188
3-7 蛇绿岩问题	190
(1) 早期作者: Brongniart, Steinmann和 Aubouin	190
(2) 板块构造出现引起蛇绿岩的迅速发展	191
(3) 蛇绿岩问题的现状	194
第四章 造山运动的机制	197
4-1 板块的力学性质	197
(1) 地震波速度分布所揭示的板块结构	197
(2) 地震波衰减的分布所揭示的板块结构	203
(3) 与长期应力有关的板块性质	209
(4) 从实验室研究的岩石性质推导的板块结构	213
4-2 作用在板块中的应力	221
(1) 最小能量消耗过程	221
(2) 定量模式	225
(3) 低应力模式存在的问题	228
4-3 喜马拉雅山脉和安第斯山脉	231
(1) 喜马拉雅造山运动的机制	231
(2) 安第斯造山运动的机制	234
第五章 前寒武纪造山运动	240
5-1 前寒武纪年代学	240

(1) 前寒武纪研究简史	240
(2) 太古代和元古代的概念	242
(3) 北美前寒武纪的时代划分	246
5-2 前寒武纪构造格局的性质	248
(1) 太古代的格局	248
(2) 元古代的格局	250
5-3 太古代地体的构造	251
(1) 太古代克拉通的特征	251
(2) 高级变质地体	252
(3) 绿岩-花岗岩地体	254
(4) 绿岩带的岩石学及其意义	256
5-4 早元古代和中元古代地体的构造	258
(1) 两个明显不同类型的元古代造山区	258
(2) 第一类: 类似显生宙造山带的区域	259
(3) 第二类: 受到广泛重新活动的基底区域	261
(4) 板块构造应用于元古代的尝试	262
(5) 板块构造在元古代不起作用的见解	262
(6) 依古地磁证据看元古代造山运动的性质	266
参考文献	268
索引	290

第一章 经典造山作用理论

要全面地说明曾经提出解释世界造山带成因并阐明其时空演化的所有见解，几乎相当于写一部完整的构造学史。这是一个足足能写上几卷书的课题。构造学按其性质而言是全部地质学呕心沥血研究的综合结论，因而寻求一种令人满意的造山作用理论历来是大多数构造学家的首要目标。在地质学历史上总有极少数构造学家，他们与众不同地论及‘造山外的 (extra-orogenic)’现象。引用Rudolf Trümpy对Hans Cloos的评价，他们的所作所为常常被视为‘异端’！

这里评述的所谓‘经典’造山作用理论涉及到1945年以前的整个时期。在1945年以后，海洋地质学和地球物理学的许多工作以及古地磁方面的研究，为争论很大的大陆漂移假说提供了非常确定的证据，也为J. T. Wilson系统阐述板块构造 (Wilson, 1965) 奠定了基础。况且，1945年后的非大陆漂移见解中，唯一地除了S. Warren Carey的思想 (Carey, 1955, 1958) 外，大多数的见解 (例如, Kay, 1951; Bucher, 1955; Kober, 1955; Stille, 1955; Carey ‘一定程度上’是个漂移论者) 比1945年以前已经表述的理论都没有更深刻和更突出的内容了。为了保持本章合理的篇幅，在这里我将限制自己简短地评述关于造山运动起因方面思想演变的几个最有重要意义的阶段，文后也仅仅列出一些重要的文献。由于最近有关大陆漂移和板块构造其他推论的思想史方面的报道激剧增加，因此我经慎重考虑后省略了这个主题的大量篇幅。在早期关于大陆位移的怪诞思想发

表的时候，只有其中极少数的思想对构造思潮有显著的影响，而本世纪的漂移论倡导者没有一个人受到过这种思想的熏陶（见 Şengör, 1982）。感兴趣的读者能在 Du Toit (1937), Carozzi (1970) 和 Davis 等 (1974) 的著作中方便地找到对这些思想令人满意的评注。最近，关于这个主题的许多‘通俗读物’包含了如此许多第二手的、并且往往不正确的资料，所以最好不要去查阅¹⁾。

§ 1-1 十九世纪以前的造山作用理论

像几乎所有深入探索大自然作用的学科一样，在人类历史上地质学分科很早就开始了，C.F. Naumann 在他的《记录地质学教科书 (Lehrbuch der Geognosie)》第一卷中最早把地质学分科命名为地质构造学 (Geotektonik)。有关地球起源及其地表特征的最早解释与宗教有千丝万缕的联系，在大部分亚洲民族的传说和传奇小说中都有记载。至今为西方世界最熟知的解释是在旧约中记叙的创世纪里的摩西故事。显然这样的经文有点观察基础（例如，参见 Sues^s (1885) 《地球的面目 (Das Antlitz der Erde)》第一卷第二章中关于‘挪亚的洪水’神话可能起源的优秀解说），不过它们的很多方面同精神的概念掺和在一起，没有科学价

1) 但是我想加一段引自 Popper 的文章《Back to the Presocratics (苏格拉底以前的历史背景)》中关于 Thales 的引文：‘无疑 Thales 在提出他的理论之前已经观察过地震和海船行驶。他的理论要点是按照地球漂浮在水上的假说来解释地球的支撑和悬置以及地震。他的这个假说可能一点观察的依据也没有（这个假说在现代大陆漂移理论之前出现，使人不可思议）’ (Popper, 1965, 138页)。

不用说，根据‘现代大陆漂移理论’，Sir Karl 在这里参考了 Wegener 的译文。

值。

批判思想的传统似乎是古希腊的产物（见Popper, 1966, 171—175页）。虽然古希腊人按照思辨的方法讨论过今天我们把它们汇集在‘地球科学’总题之下的普遍关心的问题，但是他们没有为我们的资料库增添许多新的观察资料。他们仍然认识到从前海陆的分布并非和今天是一样的。第一次记载了关于地球中‘中心火圈’的主张，应归功于阿格里琴图(Agrigentum)的Empedocles(公元前492—432年)。伟大不朽的学者Aristotle(亚理士多德)在他的《气象学》中总结了先前希腊著名学者对有关地球问题的贡献。

罗马人抛弃了希腊人寻求知识道路的比较思辨的（‘笛卡儿哲学的’）性质，采取了比较现实主义的世界观，从比较经验的角度接近大自然。从构造学观点看，罗马博物学家中杰出的代表是Strabo，他是十七卷《地理学》的作者，是一位敏锐的观察家和有才能的分析家，他根据对意大利和埃及海岸线和海洋沉积物的对比研究，推断大陆必定相对于海平面正在运动。他对意大利和西土耳其卡塔库考曼(Katakekaumene)火山区的一些令人惊奇的精确观察，也为山脉成因的问题作出了贡献（见 von Zittel, 1901, 8—9页）。其他两位伟大的罗马博物学家是Pliny 元老和尼录帝王的内科医生Seneca，他们曾经做过我们可以叫做‘构造’的观察和推断。

西罗马帝国的衰落和基督教的兴起，使欧洲自然科学的所有学科的发展停止不前，与此同时批判的思想普遍受到压抑。大约从西罗马帝国被雅典的匈奴人和西哥特人最后灭亡的时期到文艺复兴时期，阿拉伯人和君士坦丁堡的学者，以及在1453年君士坦丁堡衰落之后的短时期内，它的新贵族奥托曼土耳其人，是坚持和保护希腊-罗马传统的唯一的人们。

但是在这‘黑暗年代’，地球科学除了描述地理学外，却没有取得任何显著进展。

我们也许应该开始叙述‘造山运动的研究’历史了，在‘造山运动研究’史中值得提到的是丹麦人 Niels Stensen (1638—1687)，或者按他后来的署名叫做 Nicolaus Steno。如果我们可能浏览 Steno 的贡献，就会把他的著作《受固体内自然过程控制的固体 (De Solido intro Solidum Naturaliter Contento Prodrromus Dissertationis)》(Florence, 1966) 的出版日期，标志着狭义构造学史的开端。在这部著作中，他第一次总结性地论证了岩石在其形成之后的变形作用，指出人们如果细致地解剖这种变形作用，就能恢复原来岩石的变形前环境。Steno 把这种历史方法应用于埃特罗里亚 (Etruria) (现在意大利北部的托斯卡纳) 地区，使用了一系列的插图描绘了这个区域的可以称谓构造演化的情况〔在 Steno 著作中涉及埃特罗里亚演化这节的英译本和他的插图，参阅 Mather 和 Mason 的著作 (1939, 43—44 页)〕。尽管 Steno 有巨大的洞察力，但是他的地球的概念反映了关于与他同时代许多人发现的地球性状的全面看法。按照 Steno 的意见，变形作用以两种方式完成，一种是岩层进入下伏洞穴的沉降作用 (他的‘壳内落差’)，另一种是导致局部上升的火山活动。因此他认为岩石变形仅仅是一种局部现象的结果。就整体而言，他仍然把地球看成是一个静态的物体。

直到 Leopold von Buch 为止，构造学还没有发展成为一门地质学的真正独立的学科，其原因是多方面的。但是，衡量包括全部山脉、大陆和海洋盆地在内的构造现象的单纯尺度，像生物地层学这样的必要地质学工具的缺乏，这两方面是构造学发展得晚的主要因素。