



面向 21 世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

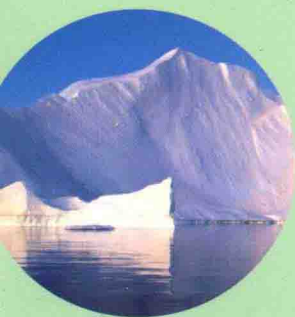
# 全球变化

(第二版)

## Global Change

(Second Edition)

张兰生 方修琦 任国玉 编著



高等教育出版社

21 世纪课程教材

ook Series for 21st Century

# 全 球 变 化

Quanqiu Bianhua

(第二版)

Global Change

(Second Edition)

张兰生 方修琦 任国玉 编著

高等教育出版社·北京

## 内容提要

地球系统科学和全球变化研究是 21 世纪地球科学的前沿。它以地球系统科学为基础,从整体上认识全球变化的过程、驱动力、全球环境特征的时空变化,特别关注人类活动导致的全球变化及人类对全球变化的适应。

全书共 9 章,主要介绍地球系统科学与全球变化研究的起源、基本概念体系和国内外科学研究活动,地球系统与全球变化的关键过程、驱动力以及主要研究途径,过去全球变化和与人类活动相关联的现代及未来全球变化,全球变化影响与人类响应的原理与事实,全球变化在中国的表现。

本书为高等学校地理类及其他相关专业开设的“全球变化”课程而编写,目的在于帮助学生从时间维认识地理科学、建立起地理科学是时空耦合的综合科学的观念。本书也可作为地质、大气、环境、考古等相关专业的教学与研究的参考材料。

## 图书在版编目(CIP)数据

全球变化 / 张兰生, 方修琦, 任国玉编著. — 2版  
— 北京: 高等教育出版社, 2017.1  
ISBN 978-7-04-047032-1

I. ①全… II. ①张… ②方… ③任… III. ①全球环境-研究 IV. ①X21

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第301661号

策划编辑 徐丽萍 杨俊杰 责任编辑 杨俊杰 封面设计 张楠 版式设计 马云  
插图绘制 杜晓丹 责任校对 陈旭颖 责任印制 田甜

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京市联华印刷厂  
开本 850 mm×1168 mm 1/16  
印张 26.25  
字数 600千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 2000年7月第1版  
2017年1月第2版  
印 次 2017年1月第1次印刷  
定 价 49.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 47032-00  
审图号: GS(2016)1899号

## 与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社数字课程网站,请登录网站后开始课程学习。

### 一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1221134>, 点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 课程充值:登录后点击右上方“充值”图标,正确输入教材封底标签上的明码和暗码,点击“确定”完成课程充值。

3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程,点击“进入课程”即可开始课程学习。

账号自充值之日起一年内有效,过期作废。

使用本账号如有任何问题,请发邮件至: [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)



### 二、资源使用

与本书配套的数字课程资源按照章节知识树的形式展开,配有彩色插图等资源。这类资源的特定图标和相关信息如下:

彩色插图:本书针对一些重点内容设置了彩色插图。这些彩色插图的链接地址配置了二维码,读者使用移动通信设备或平板电脑扫描二维码即可观看。同时,读者也可在本数字课程的网站里点击相应图标来浏览图片。





## 第二版前言

自 2000 年《全球变化》作为面向 21 世纪课程教材首次出版以来的十多年中,国际全球变化研究取得了重大进展,获得许多新的科学共识;地球系统科学和全球变化研究作为 21 世纪地球科学学科前沿的地位日趋明确;以全球变暖为标志的全球变化问题已成为事关人类可持续发展的国际热点议题。有越来越多的高等学校和专业把“全球变化”作为本科生或研究生课程。

《全球变化》(第二版)于 2006 年被批准列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,修编工作自此启动。第二版坚持了第一版所确立的教材编写目的,即“揭示地球表层系统在不同时间尺度上的变化规律以及人与环境相互作用的规律,帮助学生从时间维认识地理环境的过程、区域特征的形成以及人地关系等问题,使学生建立起地理科学是时空耦合的综合科学的观念”。继续使用第一版采用的认识全球变化途径组织全书内容,即“主要通过已发生的全球变化事实理解全球变化的过程及地球系统的整体性特征,对全球变化的主要过程只做定性描述”。

第二版最大的变化是,在保持第一版基本框架的同时,根据国内外地球系统科学和全球变化研究的最新进展,对各章节的内容进行了改写,并对章节进行重新编排。在具体内容上的突出变化主要有以下方面:①根据全球变化研究所取得的新共识,强化作为全球变化科学基础的地球系统科学、控制全球变化的关键地球系统过程及人类对全球变化的驱动作用等方面的内容。②按照当前把全球变化研究作为人类可持续发展的科学基础的认识,强化全球变化对人类的影响与人类的适应方面的内容。③强化了过去 2000 年全球变化以及现代和未来全球变化的内容。

全书共 9 章。第 1 章主要介绍地球系统科学与全球变化研究的起源、基本概念体系和国内外科学研究活动。第 2~4 章主要介绍地球系统与全球变化的关键过程、驱动力,以及主要研究途径。第 5 和 6 章分别介绍过去全球变化和与人类活动相关联的现代及未来全球变化。第 7 和 8 章分别介绍全球变化影响与人类响应的原理与事实。第 9 章为全球变化在中国的表现。

第二版的修订工作由张兰生、方修琦和任国玉共同完成,方修琦统稿。教材编写者一贯坚持科学研究与教学相互促进的理念,一直处在全球变化教学与研究的第一线,关注国内外全球变化研究的进展,同时注重将科学研究成果向教学转化。第二版在出版前,在北京师范大学地理学与遥感科学学院的本科生和研究生课程教学中进行了试用。

自 20 世纪 80 年代以来,全球变化研究发展之迅速是惊人的。《全球变化》(第二版)力图尽最大可能完整体现地球系统科学和全球变化研究的内容体系和国内外最新研究

进展,修订工作也因此一再拖延直至今日,但相对于迅速发展着的全球变化科学研究,教材所能体现的新总是相对的,需要教材使用者不断根据学科的进展吸纳更新的内容。同时,受主客观多方面因素的限制,直到书稿完成,其中仍有许多不足与遗憾之处,真诚地请专家、读者多多指正。

本书编写过程中参考引用了大量的文献和图件,其中绝大部分在文中注明,并在书后参考文献中列出,在此向这些文献的作者表示衷心的感谢。高等教育出版社及徐丽萍编审和杨俊杰编辑对本书的编写给予了热情的支持与帮助,北京大学蔡运龙教授审阅了全书并提出了宝贵的意见,修订工作得到北京师范大学地理学与遥感科学学院叶瑜副教授,赵琬一、刘洋、贾丹、马亚玲和张兴等同学的大力帮助和支持,在此一并表示诚挚的谢意。

张兰生

2016年1月于北京师范大学





## 第一版前言

自 19 世纪近代科学体系建立以来,形成了以研究地球某一部分为主的众多学科(如研究地球大气圈的气象学、研究岩石圈的地质学),人们通过对地球各个组成部分长达 100 多年的研究,于近几十年更明确地认识到自然过程不仅仅局限在地球的各个圈层内部,而且也发生在各个圈层之间,从而对地球的各个组成部分之间的关联性有了更为深刻的认识。20 世纪 60 年代以后,海底扩张说兴起,使沉寂多年的大陆漂移学说重新复活并发展成为板块运动理论,与岩石圈演化有关的一系列地质现象从此得到了相互关联、协调一致的解释,第一次成功地回答了“地球是怎样活动的”问题。20 世纪 70 年代提出了气候系统的概念,气候在各个时间尺度上都存在变化的观点得到普遍认同,从天文因素解释第四纪冰期-间冰期旋回变化的米兰科维奇假说因得到深海沉积等地质证据的支持而成为被广泛接受的理论。在此前后,生态系统和生物地球化学循环过程的重要意义也受到高度重视。至 20 世纪 80 年代提出了地球系统的科学思想,地球的整体性和动态变化性成了人们认识地球的新视角,并构成了全球变化研究的出发点。

人类是以主动地开发利用自然资源来创建支撑自身生存的人类生态系统作为其适应环境的手段的。以工具和火的使用、农业的出现、文明社会的出现和工业革命为标志,人类在其发展历史上至少经历了四次飞跃,每次飞跃带来的对自然资源的认识和开发利用能力的提高都把人类的发展推进到新的阶段。工业革命以来,特别是近 50 年来,人类活动对自然环境的强烈影响已经达到足以导致整个自然系统发生变化的程度,成为引起环境变化的一个重要因素;人们已清楚地意识到,人类本身有意和无意的行为已有使地球环境趋向恶性发展以至于达到不可收拾的可能,人类活动所引起的环境变化已不再是局地性问题,人类正在以各种连自己还没能认识得很清楚的方式,根本性地改变使生命得以在地球上存在的各种系统和循环。另一方面,人类生态系统对自然环境的变化高度敏感,环境的任何变化都对人类的生存与发展产生影响甚至构成威胁,人们比以往任何时期都更为迫切地希望了解整个地球环境的行为规律,以及人类行为对全球环境整体行为的影响。对人类赖以生存的环境的关注,成为推动全球变化研究的一个巨大动力。

以系统科学理论、遥感观测技术、地理信息系统和现代化的分析测试手段的进步等为代表的科学技术的发展,增强了人们认识地球系统的能力,为进行全球变化研究提供了强有力的理论和技术上的支撑。

总之,传统地球学科发展产生的由分到合的趋势、对人类活动在全球变化中作用的特别关注以及相关科学技术进步的发展,促成了全球变化研究的兴起。以国际地圈-生物圈计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)

等全球变化研究计划的组织实施为标志,全球变化已成为当前人类对地球知识关注的焦点,并正逐步发展成为一个跨越众多地球分支学科界线的独立学科。

全球变化是一种新的地球观,它以地球系统的概念为基础,从整体上研究地球系统在各个时间尺度上随时间的变化,集中研究那些把系统中所有部分紧密地联系在一起的、并导致系统发生变化的过程和机制。人类活动导致的全球变化及人类对全球变化的适应受到特别的关注,狭义理解的全球变化主要是指人类生存环境的恶化。

全球变化总是由一定的自然或人为的因素驱动,并通过一系列自然过程的变异来实现的,其结果导致地球系统状态随时间发生整体改变或部分调整,并表现为全球环境特征的时空变化。对于人类社会而言,全球变化意味着人类生存条件的变化,势必对人类产生有利或不利的影晌。为适应全球变化,人类必须认识全球变化,并采取相应的对策。上述诸方面及与此相关的数据和信息分析管理技术构成了全球变化研究的主要内容。

本书的目的在于揭示地球表层系统在不同时间尺度上的变化规律,以及人与环境相互作用的规律,帮助学生从时间维认识地理环境的过程、区域特征的形成,以及人地关系等问题,使学生建立起地理科学是时空耦合的综合科学的观念。认识全球变化通常可从两个彼此联系的途径入手,一是从全球变化的过程和驱动力出发,通过对全球变化主要过程的定量描述,建立模式,模拟给定条件下可能发生的全球环境变化,并与实际发生的变化进行对比验证。另一途径是从已发生的全球变化事实出发,通过分析各种全球变化现象之间的关系,推断可能导致变化的过程和驱动力。鉴于许多过程的研究尚在探索阶段,对全球变化的模拟结果与实际变化的解释尚有相当差距,同时考虑到本书的使用者主要是高等学校地理类专业的学生,因此采用后一种途径组织全书的内容,即主要通过已发生的全球变化事实理解全球变化的过程及地球系统的整体性特征,对全球变化的主要过程只做定性描述。这样编排便于理解地球系统各部分在全球变化过程中的彼此联系,有利于从整体上认识全球变化。

全书共 10 章,包括三部分内容。第一部分(第 1~4 章)主要介绍全球变化研究的原理与方法。第二部分(第 5~9 章)分别按过去、近现代和未来的时间顺序对全球变化进行介绍,尽管当前全球变化研究主要关注的是对人类和对生物圈影响最大、对人类活动最为敏感的几十年至几百年时间尺度的全球变化,但为对全球变化有更全面的理解,本书介绍的全球变化史(第 5~7 章)包括了地球诞生以来所有时间尺度上的重要变化过程,本着厚今薄古的原则,着重从第四纪人类出现以来各时间尺度上的变化历史认识全球变化的主要过程、成因机制、人类对全球变化的作用和人类对全球变化的适应等。在近现代全球变化中(第 8 章),主要介绍与人类活动密切相关的气候变化、海平面变化和陆地生态系统变化等内容。未来全球变化(第 9 章)介绍了当前普遍关注的全球变暖问题,包括可能气候情景与相应的海面 and 陆地生态系统的变化、对人类的影响及人类所应采取的对策等。第三部分为全球变化在中国的表现(第 10 章),重点介绍青藏高原隆起对我国环境演变的影响、第四纪冰期-间冰期变化在我国独特表现、人类活动导致的环境变化以及未来全球变化变暖背景下我国的环境变化趋势及影响等。

本书是师生两代人在全球变化研究与教学领域近 20 年积累的结晶,它得以脱稿和交付出版,实际上是两位青年博士方修琦和任国玉努力的结果。在此 20 年中,全球变化研究发展之迅速是惊人的。20 世纪 80 年代初期作者根据当时国际发展动向在北京师范



大学开设“环境演变”课程时,有关全球变化的国际研究尚处开始酝酿阶段,“全球变化”一词尚未成为科学术语,可供教学参照的中外文文献屈指可数。如今,全球变化研究已成为地球科学最热门的研究领域,吸引了地球科学界众多的精英,不仅有关全球变化的文献唾手可得,而且全球变化的新认识、新观念不断产生,学术界对全球变化研究的重心也发生了根本性的转变。全球变化研究的迅速发展无疑将推动 21 世纪地球科学的发展,并促进地理学特别是自然地理学发生革命性的变革,但这同时也增加本书编写的难度。在本书筹划和编写过程中,作者虽数度修改计划和文稿,以求更好地体现全球变化的内容体系和全球变化研究的最新进展,但由于多方面因素的限制,直到书稿完成仍觉有许多不足与遗憾之处,有待日后改进,也真诚地请读者谅解并指正。

本书编写过程中参考引用了大量的文献和图件,其中绝大部分在文中注明,并在书后参考文献中列出,在此向这些文献的作者表示衷心的感谢。本书承蒙教育部列入普通高等教育“九五”国家教委重点教材编写计划并给予资助,高等教育出版社及黎勇奇编审对本书的编写给予了热情的支持与帮助,北京师范大学资环系资料室在文献资料方面提供了诸多方便,李令军同学帮助用计算机清绘了本书的图件,连鹏灵同学帮助进行了文稿校对。在此一并表示诚挚的谢意。

张兰生

1999 年 9 月于北京师范大学



## 目 录

第 1 章 地球系统科学与全球变化研究	1
第 1 节 地球系统科学和全球变化研究的兴起	1
一、全球变化认识的历史渊源	1
二、过去全球环境变化研究的兴起	2
三、新地球观下的地球系统科学和全球变化研究	3
四、全球变化研究的意义	6
第 2 节 全球变化的科学内涵与主要科学问题	7
一、全球变化的科学内涵	7
二、地球系统科学与全球变化研究的主要科学问题	10
第 3 节 有关全球变化的科学活动	14
一、全球变化的国际合作研究计划	15
二、综合全球观测战略 (IGOS)	23
三、IPCC 科学评估	23
四、美国与欧盟的全球变化研究	24
五、国际全球变化研究的主要进展与发展趋势	25
六、中国的全球变化研究	28
第 2 章 地球系统与全球变化的关键过程	31
第 1 节 地球系统	31
一、地球系统的概念	31
二、地球系统的物质循环过程	33
三、地球系统的非线性行为特征	40
第 2 节 大气系统中的主要过程	46
一、温室气体与温室效应	48
二、大气气溶胶过程	48
三、云过程	53
第 3 节 海洋系统及其界面中的主要过程	54
一、海洋对气候系统的平衡功能	54
二、海气相互作用与周期性气候变化	55

三、热盐环流(大洋传送带).....	57
四、大洋碳泵.....	60
五、深海海底生物圈过程.....	64
六、海陆过渡带的主要过程.....	67
第4节 陆地系统及其界面中的主要过程.....	68
一、陆地生态系统碳循环.....	68
二、陆面过程.....	72
三、无机碳收支过程.....	73
第5节 人类生态系统的过程.....	74
一、人类生态系统的形成和演化.....	74
二、人类生态系统的过程及其与自然生态系统过程的差别.....	76
<b>第3章 全球变化的驱动力.....</b>	<b>79</b>
第1节 全球变化驱动力的来源及其特征时间尺度.....	79
第2节 百万年以上尺度全球变化的驱动力.....	81
一、太阳辐射输出的长期演化.....	82
二、地外物的撞击.....	83
三、板块运动导致的海陆分布与地貌格局演化及其环境效应.....	86
第3节 万年至数十万年尺度全球变化的驱动力.....	89
一、地球轨道参数的周期性变化.....	89
二、地球系统内部对轨道参数变化的反馈.....	91
三、构造运动和火山活动的驱动作用.....	94
第4节 年代至千年尺度全球变化的自然驱动力.....	95
一、太阳活动的周期变化.....	96
二、火山喷发及火山活动的阶段性变化.....	98
三、地球系统内部过程.....	101
第5节 作为全球变化驱动力的人类活动.....	103
一、土地利用/覆盖变化.....	104
二、温室气体和人为气溶胶排放.....	106
三、全球水循环过程的人为改变.....	108
四、海岸带系统的人为改变.....	110
五、生物灭绝和生物入侵.....	110
<b>第4章 全球变化研究的主要途径.....</b>	<b>113</b>
第1节 过去全球变化的重建.....	113
一、基本假设.....	114
二、过去全球变化信息的环境属性.....	115
三、过去全球变化信息的空间和时间属性.....	129
四、重建过去全球变化的基本步骤.....	137

第 2 节 全球变化的观测与监测	139
一、空基和地面观测	140
二、对地观测系统与全球变化卫星	142
三、全球观测系统	146
第 3 节 全球变化的模拟	149
一、气候模式和地球系统模式	149
二、区域气候模式	158
第 5 章 过去全球环境变化	159
第 1 节 全球自然环境长期演化的阶段划分	159
一、无机自然地理环境时期	159
二、古海洋自然地理环境时期	161
三、古全球自然地理环境时期	170
四、古自然地理环境向现代自然环境迅速过渡时期	172
五、现代自然地理环境时期的特征	175
第 2 节 第四纪冰期与间冰期环境变化	180
一、第四纪冰期 - 间冰期旋回	180
二、末次冰期最盛期的环境	188
第 3 节 全新世全球环境变化	197
一、全新世的气候变化	197
二、全新世气候变化的环境响应	203
第 4 节 过去 2 000 年全球气候变化	214
一、过去 2 000 年的冷暖变化阶段	214
二、中世纪暖期和小冰期	215
第 6 章 人类活动与现代及未来的全球变化	221
第 1 节 全球尺度人类活动因子的变化	221
一、1 万年以前采集 - 狩猎活动为主时期的环境影响	221
二、公元 1800 年以前农业与早期工业活动的环境影响	227
三、公元 1800—1950 年人类活动对环境的影响	236
四、公元 1950 年以后人类活动加速变化及其环境影响	238
第 2 节 20 世纪全球变暖	242
一、近百年气候变化	242
二、近现代气候变化的原因	250
第 3 节 未来全球气候变化情景	253
一、未来气候预估的基本思路	253
二、多模式模拟的未来全球气候变化情景	256
三、对全球变暖认识的确定性与不确定性	260

第 7 章 全球变化的影响与人类的响应	263
第 1 节 全球变化的影响	263
一、人类系统的脆弱性和弹性	263
二、全球变化导致的资源与灾害变化所产生的影响	268
三、与导致全球变化的责任相关联的影响	272
四、全球变化与国家安全	277
五、气候变化影响评估模型	279
第 2 节 全球变化的减缓与适应行为	282
一、减缓全球变化的行为	283
二、适应全球变化的行为	289
第 3 节 全球变化应对行为决策	294
一、不确定性条件下的有限理性判断和决策	294
二、全球变化应对行为的主要特点	298
第 8 章 全球变化影响与人类响应的历史与未来	303
第 1 节 第四纪全球变化与人类演化	303
一、第四纪之初的干旱化与人类起源	303
二、末次冰期与现代人生存空间的扩展	305
第 2 节 全新世全球变化与古文明兴衰	306
一、人类对从未次冰期到全新世间冰期环境转换的适应	306
二、文明古国兴衰的气候变化背景	312
三、公元前 1200 年前后的干旱与地中海地区文明的衰亡	316
第 3 节 过去 2 000 年全球变化的影响与响应	317
一、过去 2 500 年气候变化与欧洲社会的兴衰	317
二、过去 2 000 年中气候恶化所导致的区域文明衰亡	319
第 4 节 现代及未来全球变暖的影响与响应	324
一、20 世纪全球变暖的影响与响应	324
二、未来的全球气候变化风险	326
三、应对未来气候变化风险	332
四、《巴黎协定》确立的未来全球应对气候变化基本框架	333
第 9 章 全球变化在中国的表现及影响	343
第 1 节 青藏高原隆起、季风气候形成与三大自然区的分异	343
一、青藏高原隆起与现代地貌轮廓的形成	343
二、现代季风气候的形成与演变	347
三、三大自然区分异的形成	348
第 2 节 第四纪冰期 - 间冰期旋回的表现	350
一、中国第四纪冰期 - 间冰期气候变化的主要表现	351

二、末次冰期最盛期的气候与自然景观格局·····	351
三、全新世暖期的气候与自然景观格局·····	356
第3节 人类活动对中国自然环境的影响·····	357
一、原始农业时期人类活动对自然环境的影响·····	358
二、传统农业时期人类活动对自然环境的影响·····	360
三、现代人类活动对自然环境的影响·····	363
第4节 20世纪以来全球变暖对中国的影响·····	366
一、20世纪以来的变暖及其影响·····	366
二、全球变暖背景下我国未来的气候变化及可能影响·····	372
三、20世纪气候变暖与历史时期暖期的对比·····	379
参考文献·····	387





## 1 章 地球系统科学与全球变化研究

### 第 1 节 地球系统科学和全球变化研究的兴起

全球变化(global change)是指由自然和人为因素引起的、影响地球系统功能的全球尺度的变化。所谓地球系统,由位于地球表面的大气、陆地、海洋等子系统组成,发生在它们之间的各种相互作用、相互影响的物理、化学、生物与人类过程实现了物质和能量的转换,因而为地球上的生命提供了条件(Steffen 等,2004)。

全球变化研究涉及对整个地球系统规律的认识,它以地球系统科学理论为指导,以系统深入探索地球系统的运行与变化规律、实现人类对地球系统变化的科学预测、并适应未来地球资源环境的变化为最终目标,采用跨学科、跨部门、跨组织、多国参与方式实施,是迄今为止规模最大的、综合性最强的国际科研合作工程。

全球变化研究兴起于 20 世纪 80 年代,目前已成为地球科学最活跃的研究领域之一,被认为是 21 世纪地球科学的革命性突破点所在,其在 21 世纪地球科学发展中的地位可与 19 世纪的进化论和 20 世纪的板块运动理论相媲美,因此为世界各地的地球科学家所关注。全球变化研究不仅代表了地球科学的发展方向,也寄托着人类社会未来发展的希望。作为当今人类社会可持续发展面临的最突出的全球性问题,全球变化已超越科学领域,突破国家与地域的界限,成为影响当今世界发展的重大政治、经济和外交问题。

#### 一、全球变化认识的历史渊源

人类很早就认识到环境是变化的。这种认识主要来源于两个方面。其中之一是来自有关远古的神话或宗教信仰之中,如中国、印度及《圣经》等关于远古洪水的传说,我国神话麻姑“三见东海为桑田”等均属于此。这些神话传说的真实性难以考证,但至少反映了人类对远古历史所流传下来的朦胧记忆或对环境变化所持的信念。

人类对环境演变的认识更多地是来自于对周围自然环境的观察与总结。公元前 5 世纪古希腊时期的齐诺弗尼斯(Xenophanes)被认为是西方世界最早注意到陆地上存在海洋蚌壳并提出海陆变迁思想的人,亚里士多德(公元前 384—前 322)也认为海陆是按着一定规律周期性变化的。在宗教统治的中世纪时期,西方世界中关于海陆变迁的思想因为与《圣经》中关于创世记的记载相矛盾而被诺亚洪水说所取代。直到文艺复兴时期,海陆变迁的思想才又被达·芬奇(1452—1519)根据意大利北部岩石中所见到的螺蚌重新提出,并引发延续数百年的海陆变迁说和洪水说的辩论。

我国科技的发展没有经历西方中世纪的黑暗时期,在相当于西方古希腊古罗马时期之后就开始了漫长的向近代科学转变的过程,尽管一直没有产生现代概念下的科学,但许多思想在当时都处于世界先进水平。中国古代人地关系思想以追求天人和諧、与自然共生、主动地适应环境为特色,是中国古代地理学思想的精髓。在环境演变方面,我国古代学者做过多方面的观察与研究,许多认识对现今的研究仍具有借鉴意义。例如,在环境变化规律及人与环境的关系方面,中国“气候”的概念是在归纳季节性物候现象的基础上产生的,重点关注气候的季节变化和年际变化,较之源于古希腊的“climate”更接近现代气候的概念;战国末期的《吕氏春秋》中对四季气候异常的特点及对人类的影响有规律性的概括,如:“孟春行夏令,则风雨不时,草木早槁,国乃有恐。行秋令,则民大疫,疾风暴雨数至,藜莠蓬蒿并兴。行冬令,则水潦为败,霜雪大挚,首种不入”;在《史记·货殖列传》中已概括了气候变化影响下“六岁穰,六岁旱,十二岁一大饥”的周期规律。在研究方法上,例如北魏的郦道元在《水经注》中采用史料记载与实地考察相结合的方法,系统地研究了我国河湖水系演变的历史及原因;北宋的沈括通过古地图上的水系与水系现状的对比研究水系变化;元代的于钦利用古河堤推断古河道的位置;明代的杨慎和清代的刘献庭分别从古今物候的差异推断气候变化;清代姚觐元等利用涪陵石鱼题刻资料总结出石鱼“或三、五年或十余年一出”的结论,实质上是关于长江枯水位周期变化规律的探讨。这些工作充分地体现了作为重建环境演变历史基本方法的“将今论古”思想,至今仍有重要的科学价值。

## 二、过去全球环境变化研究的兴起

科学的全球变化研究是从对过去全球变化(past global changes)重建开始的,主要是依据地质时期全球变化所形成的残余信息推断过去全球环境变化的历史,对导致全球变化的具体过程很少涉及,有关成因机制的解释多带有假说的性质,其历史可以追溯到19世纪早期至20世纪初期,与地质学和自然地理学等学科的发展同步。

科学的全球变化研究的开始首先表现在一系列研究原理与方法的建立方面。由莱伊尔(Charles Lyell, 1797—1875)所发展完善的均变论(uniformitarianism, principle of uniformity)为地质学以及过去全球变化研究提供了最基本的原则。这一思想被后人概括为“现在是过去的钥匙(The present is the key to the past)。”Amaz Gressly(1838)的相(facies)概念和Johannes Walther(1893—1894)的相对比定律(Walther law)在环境状态与状态的产物之间建立起联系。古脊椎动物学的奠基人居维叶(Georges C. L. P. Cuvier, 1769—1832)于1812年提出的“部分相关法则”为根据残存的环境信息复原环境提供了理论依据。在环境变化的方式上,以居维叶为代表所主张的突变论与以莱伊尔、达尔文(Charles Darwin, 1809—1882)等所主张的渐变论曾被作为彼此对立的观点,而事实上它们可视为环境演变的两种不同形式。

若干重要发现揭示了过去全球变化的变化特征。如阿伽西(Louis Agassiz, 1804—1873)的大冰期理论(1837)首次把冰川的进退与全球性的气候变化及生物变化有机地联系起来,并说明了地球上气候可能变化的程度;而彭克(Albrecht Penck, 1858—1945)等的四次冰期模式(1909),证明全球性的气候变化曾发生多次。

在环境演变的成因方面,米兰科维奇(Milutin Milankovitch)于1920年从天文因素出

发对冰期的成因予以解释。达尔文于1859年在其著名的《物种起源》中阐述了以均变论为指导思想的生物进化论,揭示了生物演化的规律。魏格纳(Alfred Wegener, 1880—1930)在1912年提出了关于地壳演化规律的大陆漂移说。这些理论或假说对发生在地球上的全球变化的可能原因给予解释,但未能说明全球变化发生的具体过程。

虽然早在古希腊时期,柏拉图就已注意到人类毁坏森林及其所带来的水土流失、泉水枯竭等后果。但在进入近代地理学时期以后人们才真正开始对有关人类活动所导致的环境变化以及环境变化对人类影响的科学研究。近代地理学的奠基人洪堡(Alexander von Humboldt, 1769—1859)、美国的乔治·珀金斯·马什(George Perkins Marsh, 1801—1882)等许多地理学先驱都曾十分注意人类活动导致的水土流失、土地退化等地表景观变化问题;1896年,瑞典化学家阿累尼乌斯(Svante Arrhenius)不仅指出在地质年代中CO<sub>2</sub>对地球气候有调节作用,而且提出煤的燃烧能导致全球变暖,首次论证了人类活动导致全球变化的可能性。从洪堡、拉采尔(Friedrich Ratzel, 1844—1904)开始,许多地理学家就把城镇、村落、田地和作物等人类活动的产物看作一种景观要素(文化景观),德国地理学家施吕特尔(Otto Schlüter, 1872—1952)十分注重研究人类活动引起自然景观被文化景观替代的变化过程,他在20世纪20年代运用地名、史前文物的发现、历史上的著作,研究了公元500年前后中欧原始景观的重建和创立文化景观的殖民化过程,并在一幅地图上用浓淡不同的几种颜色表示森林被清除的历史次序。

在环境变化对人类的影响方面,18世纪末至19世纪初,英国的马尔萨斯(Thomas Robert Malthus, 1760—1834)在著名的《人口论》中指出了以几何级数增长的人口与以算术级数增长的粮食之间的必然矛盾,这实际上阐述了一个在一定的生产技术水平下环境对人类的承载能力问题。20世纪初期俄罗斯的沃耶柯夫关注气候对作物产量的影响问题。以亨廷顿(Ellsworth Huntington, 1876—1947)为代表的地理学者中有许多人讨论了环境变化对人类社会的影响,亨廷顿于1907年在《亚洲的脉动》一书中认为气候干湿变化引起北方民族阶段性的向中原扩张。他们的观点虽存在许多问题,并被认为是地理环境决定论而受到批判,但从科学认识发展的角度看不乏合理的成分。

20世纪30年代以后,大陆漂移说、米兰科维奇假说、地理环境决定论等许多思想因缺乏证据等原因而遭到冷落或批判,长期处于沉寂的状态,过去环境变化研究也陷入停滞。

### 三、新地球观下的地球系统科学和全球变化研究

20世纪60—70年代以来,地球科学研究的重大进步和伴随着世界经济快速发展而出现的严重资源与环境问题,促使人类的地球观发生革命性变革,并对地球科学研究和人类与自然环境关系的行为产生深刻影响,地球系统科学和全球变化研究正是在这样的背景下产生和发展起来的。这种变革主要表现在以下四个方面。

#### (一) 地球是一个有机联系的整体

在19世纪初期以来建立的近代地球科学中,除地理学把地球表面作为整体来研究以外,其他学科是以圈层为研究对象的,如研究大气圈的气象学、研究岩石圈的地质学、研究海洋的海洋学等,人们试图通过逐一解剖地球各圈层的每一细节而认识整个地球。但人们经过长达100多年的研究之后,于近几十年更明确地认识到自然过程不仅仅局限