

国际地圈生物圈计划

科学计划与实施战略



气象出版社

国际地圈生物圈计划

科学计划与实施战略

国际地圈生物圈计划秘书处 编

曲建升 林 海 译

气象出版社

内容简介

本书是国际地圈生物圈计划(IGBP)秘书处组织编写、出版的《International Geosphere-Biosphere Programme Science Plan and Implementation Strategy》一书的中译本。书中主要介绍了 IGBP 第二阶段(IGBP Phase II, 2004—2013)的科学基础、研究挑战、IGBP 计划与研究活动、实施战略、组织与基础等内容。本书对我国全球变化及其相关领域的科研、教育、管理与决策人员和学生了解国际全球变化研究背景、IGBP 的业务架构、IGBP 第一阶段的研究成果以及 IGBP 第二阶段的实施战略具有一定的参考价值。

封面说明

封面照片对地球系统进行了描述,其中强调了系统各个组成的复杂性,及它们之间跨尺度的相互作用。这一说明正好映射了 IGBP 的计划结构,因为 IGBP 计划正是围绕着包括陆地、大气和海洋在内的地球系统,及其界面间的相互作用和系统内的耦合作用而展开的。画面中的地球反映了 IGBP 的研究着重于地球系统,地球上的网格表现了对地球系统模拟的重要性。画面也强调了从分子到全球尺度的各种物理、化学和生物过程的重要性。在地球系统的各个组成中,人类活动的印迹也很明显,这反映出 IGBP 及其研究伙伴对于人与环境耦合系统研究的日益关注。IGBP 希望藉此说明促进 IGBP 各学科间的沟通,并加强 IGBP 研究成果的融合。

图书在版编目(CIP)数据

国际地圈生物圈计划:科学计划与实施战略/曲建升,林海译. —北京:气象出版社,2006. 10
ISBN 7-5029-4210-6

I. 国… II. 曲… III. ①地球科学-科学研究-发展战略-世界-2004—2013 ②生物圈-科学研究-发展战略-世界-2004—2013 IV. ①P-110.2 ②Q14-110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126481 号

出版者:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

邮 编:100081

E-mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

责任编辑:李太宇 黄润恒

终 审:纪乃晋

封面设计:张建永

印刷者:中国电影出版社印刷厂

发行者:气象出版社发行 全国各地新华书店经销

开 本:889×1194 1/16 印 张:5.5 字 数:150 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~1200

定 价:30.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

中译本翻译指导委员会成员

陈泮勤	CNC-IGBP 秘书长, 研究员
葛全胜	CNC-IGBP 副秘书长, CNC-IHDP 秘书长, 研究员
张志强	中国科学院国家科学图书馆兰州分馆 (中国科学院资源环境科学信息中心) 馆长, 研究员
Kevin Noone	IGBP 秘书处执行主任
Will Steffen	IGBP 秘书处前执行主任
Bill Young	IGBP 秘书处前科学编辑
Erik Huss	IGBP 秘书处科学编辑

IGBP 秘书处成员(原著编写组)

Wendy Broadgate
Susannah Elliott
João Morais
Kevin Noone
Will Steffen
Bill Young

历届 IGBP 科学委员会成员

Meinrat Andreae(德国)
Guy Brasseur(美国)
Sandra Lavorel(法国)
Karin Lochte(德国)
Carlos Nobre(巴西)
Berrien Moore III(美国)
Katherine Richardson(丹麦)
Mark Stafford Smith(澳大利亚)
安芷生(中国)

原著注释框资料提供者

Robert Buddemeier(美国)
James Galloway(美国)
Roger Hanson(美国)
Timothy Jickells(英国)
Bernd Kromer(德国)
Steven Smith(美国)
Andrew Watson(英国)

原著版权信息

IGBP 报告 55:IGBP(2006)科学计划与实施战略
IGBP 秘书处
斯德哥尔摩. 76pp.

瑞典斯德哥尔摩 SE-104 05, Box 50005

电 话: +46 8 166448

传 真: +46 8 166405

网 址: www.igbp.kva.se

主 编: Bill Young, Kevin Noone and Will Steffen

丛书编辑: Bill Young

图形设计: Hilarie Cutler

ISSN 284-8105

Copyright © 2006

致 谢

在过去的几年中,许多人对于该科学计划与实施战略所提供的各种各样的贡献、建议和意见,使得该报告的制定倍受裨益。在此,报告的作者和编辑对2003—2005年间的全体 SC-IGBP 成员表示感谢,特别是 IGBP 科学指导委员会(SSC)主席,感谢他们对该报告的指导和贡献,这也包括在 2005 年 SC-IGBP 大会讨论期间所作的贡献。同样,我们也对 2003—2005 年间 IGBP 和 ESSP 的全体执行官员所提供的贡献和建议表示感谢。IGBP 秘书处的 John Bellamy, Sofia Roger 和 Charlotte Wilson-Boss 等为报告的准备提供了帮助,同时也提出了一些建设性的意见(2004 年和 2005 年年底),对他们付出时间和帮助表示谢意。

重要的是,本报告中所提出的科学议程在很大程度上是基于 IGBP 计划的科学议程,因此需要对该计划的科学委员会及组织者表示感谢。这些组织者包括:IHDP, SCOR, WCRP, IOC(UNESCO)和 CACGP (IAMAS)。此外,正如报告所指出的,对于与 IGBP 相关的集成研究与政策上,ESSP 变得越来越重要,因此,IGBP 对 ESSP 伙伴(DIVERSITAS, IHDP 和 WCRP)所提供的支持表示谢意。

最后,如果没有来自超过 40 个国家持续的资助、ICSU 的资助和支持,以及位于斯德哥尔摩瑞典皇家科学院的 IGBP 秘书处的帮助,这项工作当然也不可能完成。

IGBP 秘书处

中译本序言

当回首全球变化研究的历程,我们不得不惊叹科学界对人类认识全球环境变化所做出的卓越贡献,并非常感谢全球变化研究组织和研究者所提出的大量应对全球变化的适应性的、主动的措施和建议。国际全球变化研究最重要的组织之一——国际地圈生物圈计划(IGBP)——自1987年成立以来,就一直作为全球变化研究的先行者和中坚力量,积极参与和引导了过去二十余年的全球变化研究工作。

在完成了第一阶段(IGBP Phase I, 1990—1999)的研究任务后,IGBP在继承以往的研究工作的基础上,在一些领域继续深化和不断发展,面对新的研究挑战,开拓新的研究方向和研究领域,设计新阶段的业务框架和研究目标,并于2004年开始实施第二阶段(IGBP Phase II, 2004—2013)的科学计划。我们也欣喜地看到,在全球变化研究跨学科、跨区域集成研究需求日益增强的情况下,国际四大研究计划——IGBP和世界气候研究计划(WCRP)、国际全球环境变化人文因素研究计划(IHDP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)——联合起来组成地球系统科学联盟(ESSP),以集成的研究思维和手段,重点解决与人类生存和发展息息相关的可持续发展和问题。本译文内容正是在这种新的形势下对IGBP的科学基础、研究活动、组织框架等具体实施战略的介绍。

中国一直是全球变化研究的积极参与者和减缓全球变化的积极倡议者。中国在1988年成为IGBP的国家成员,IGBP中国全国委员会(CNC-IGBP)秘书处设立于中国科学院地理科学与资源研究所,目前设立有十个工作组和一个信息中心。CNC-IGBP及其各工作组/中心在组织我国研究者开展相关科学问题的讨论、引导科学研究方向、密切国内外合作交流等方面做出了突出的贡献。我国在古环境演化、季风亚洲区域集成、土地利用土地覆盖(LUCC)、水资源和水循环、碳循环以及全球气候变化对我国社会经济的影响等方面取得了大量的研究成果,其中CNC-IGBP等中国的全球变化研究组织发挥了不可替代的作用。本书的翻译,也正是CNC-IGBP与IGBP密切合作的结果。我们相信这本译著将对我国目前正在开展的和下一步即将开展的研究工作具有重要的指导意义和参考价值。

值此地球系统科学联盟(ESSP)开放科学大会在北京召开之际,我们将本书作为一份献礼,在传播国际全球变化研究的最新成果的同时,增进我国全球变化研究工作者对IGBP跨学科集成研究思维、手段及其实施战略的了解,把握国外同行研究工作的现状、进展和方向,推动我国相关研究工作的进程。

本译著是在IGBP秘书处、CNC-IGBP秘书处和中国科学院国家科学图书馆兰州分馆(中国科学院资源环境科学信息中心)的组织和指导下开展的。CNC-IGBP秘书处、中国科学院知识创新工程方向项目“生态环境与资源海洋创新基地战略研究与科学评价(KZCX2-YW-501)”和中国科学院西部之光项目提供了经费资助,设立于中国科学院国家科学图书馆兰州分馆的中国全球环境变化研究信息中心承担了具体的联络和翻译工作。陈泮勤、葛全胜、张志强、Kevin Noone、Bill Young、Erik Huss等国内外专家对本译著的翻译出版给予了大量的指导和帮助。曲建升、林海、韩海东、高峰、李太宇等同志在本书的翻译、校对和稿件整理方面做了大量认真细致的工作。译著中仍转引了原著中所引用的部分出版单位和研究人员的图片、资料和数据。在此向以上单位和个人表示衷心的感谢!

由于译校者知识所限,本译著难免有纰漏、不当之处,请广大读者批评指正。

国际地圈生物圈计划中国全国委员会

2006年10月

序 言

本科学计划与实施战略展示了 IGBP 第二阶段工作的研究议程。该阶段的工作比第一阶段更加集成,因而面临巨大的挑战。在过程水平上对于地球系统仍然缺乏了解,我们仍然需要进行集中的、严谨的科学研究。与此同时,必须对那些需要系统性的(不仅仅是系统化的)方法来解决的长远问题进行考虑。此外,对于地球系统各组成部分(大气、陆地和海洋)的研究必须与各组成部分间的界面过程研究相结合,而所有这些研究都必须进行集成以提高对地球系统的诊断和预测能力。

在此,我们阐述了 IGBP 实施战略以在全球变化领域开展高质量的、无偏见的、可信的和最基本的科学研究:该策略以 10 个研究计划为中心,这些研究计划由来自全世界的数千位科学家来实施,他们也属于 IGBP 网络的一部分。同时,阐述了如何将我们的研究成果展示给不同的人,以使其了解我们的设想,那就是“提供更多的科学知识来提高我们这个星球的可持续性。”

该报告不是一成不变的。像 IGBP 本身一样,从最初的草案到现在已经有了很大的变化。对于 IGBP 第二阶段计划来说,该报告既不是固定不变的,也不是独有的计划,而更像是进行持续科学研究的一本指南。我们对 IGBP 多年来的工作情况以及如何进入其第二阶段工作进行了阐述,同时对于研究网络的发展,对如何应对不断变化的研究课题以及研究计划进行了说明。在这本研究指南中,我们试图提出今后八年内 IGBP 需要研究的一些主要科学问题,同时也为有计划地开展进一步的研究创造了条件。希望随着研究的深入和新领域的开拓,这本指南能够不断得以更新。

该报告也是群体智慧的结晶,正因为如此,它也展示了 IGBP 最为强大的一股力量:来自世界各地的许多科学家自愿奉献他们的时间和知识,为开展全球变化研究奠定必需的科学基础而共同努力。我们相信,该报告能够反映我们这个科学团体中具有代表性的各种知识、学科和文化,同时也反映了其阐明当前我们所面临的一些最重要科学问题的责任,那就是:我们这个星球作为一个整体是如何运作的,这其中也包括一些重要的人类活动,同时描绘出人类未来可持续发展的蓝图。

Carlos Nobre, SC-IGBP 主席
Kevin Noone, IGBP 执行主任

Guy Brasseur, SC-IGBP 前主席
Will Steffen, IGBP 执行主任(1998—2004)



目 录

中译本序言

序 言

执行概要	(1)
------------	-----

绪 论	(3)
-----------	-----

科学基础	(6)
------------	-----

系统行为	(6)
------------	-----

自然变率	(7)
------------	-----

生物圈的作用	(8)
--------------	-----

人类影响	(9)
------------	-----

研究挑战	(14)
------------	------

IGBP 计划与研究活动	(17)
--------------------	------

过去全球变化(PAGES)	(18)
---------------------	------

国际全球大气化学(IGAC)	(21)
----------------------	------

陆地生态系统—大气过程集成研究(iLEAPS)	(25)
-------------------------------	------

全球陆地计划(GLP)	(29)
-------------------	------

海岸带陆—海相互作用(LOICZ)	(33)
--------------------------	------

全球海洋生态系统动力学与海洋生物地球化学和海洋生态系统集成研究 (GLOBEC 与 IMBER)	(37)
---	------

上层海洋—低层大气研究(SOLAS)	(43)
--------------------------	------

地球系统分析、集成与模拟(AIMES)	(47)
---------------------------	------

快速启动倡议(FTIs)	(50)
--------------------	------

综合与集成	(50)
-------------	------

实施战略	(54)
------------	------

合作研究的国际框架	(54)
-----------------	------

处理关键科学问题的研究网络	(55)
---------------------	------

地球系统科学的机构网络	(55)
-------------------	------

标准方法	(56)
------------	------

长时间序列观测	(56)
---------------	------

全球数据库与数据共享政策	(57)
--------------------	------

模式间的比较以及与实测数据的比较	(58)
模式开发者与试验人员的交互	(58)
多国野外研究活动与试验	(59)
数据管理	(59)
能力建设	(60)
组织与基础	(62)
科学委员会	(63)
计划的科学指导委员会	(64)
IGBP 秘书处	(64)
国际项目办公室	(64)
IGBP 与全球变化国家委员会	(65)
许可程序	(65)
信息管理	(66)
评估	(66)
财务	(67)
交流与延伸	(68)
参考文献	(71)
附录	(75)
附录 1: 缩略语表	(75)
附录 2: IGBP Phase I 计划集成著作	(78)
附录 3: 联系信息	(79)



执行概要

IGBP 是由 ICSU 于 1987 年发起并组织的研究全球变化现象的国际研究计划,其意图是:为促进地球的可持续发展提供科学知识。

IGBP 主要研究生物、化学与物理过程同人类系统的相互作用,并通过与其它研究计划的合作,来发展和传授应对全球变化所需要的知识。在其发展意图的框架下,IGBP 的研究目标主要是:

- (1) 对控制地球系统动力学的各种相互作用的物理、化学和生物过程进行分析;
- (2) 研究发生在这些动力学中的各种变化;
- (3) 研究人类活动在这些变化中所起的作用。

IGBP 第一阶段(IGBP Phase I)计划已于 2003 年完成,其标志是融合了 IGBP 及其相关计划研究成果的一系列集成文献的出版。而 IGBP 第二阶段(IGBP Phase II, 2004—2013)计划也以科学规划的深入制定拉开了序幕,而这些是建立在第一阶段研究和集成基础之上的。本科学计划与实施战略首先简要说明了第一阶段工作的主要发现,这些研究成果是第二阶段计划得以开展的基石;然后,我们对 Phase II 规划过程中取得的成果进行了阐述。

IGBP 第一阶段工作取得的主要成果包括:

- (1) 增进了对地球系统行为的了解;
- (2) 对不同时间尺度上地球系统变率的范围进行了量化;
- (3) 阐述了生物圈在地球系统运作中的重要作用;
- (4) 对于人类对地球系统影响的变化程度有了更为清楚地认识。

南极冰芯所揭示的强烈的全球环境波动是地球系统行为中最为引人注目的一面,这也为建立过去 740000 年来气候与全球生物地球化学循环之间的关系提供了大量的依据。其它的古记录也显示了地球在千年尺度上的强烈变化,这包括能够反映地球系统复杂行为的一些突然的变化。此前人们简单地认为生物圈只是被动地接受来自地球物理方面的变化,而现在人们认识到,生物过程其实与地球系统动力学中的物理和化学过程紧密相关。尽管对过去的变化研究表明,自然变率中那些由人类活动驱动的变化并不是直接的,但现在已经有充分的证据表明,人类活动能够对地球系统产生重要的影响,例如至少在过去的五百多年中,地球系统的变化已经大大偏离了其正常变率的范围。

在前一阶段的研究基础之上,对第二阶段计划的制定所取得的成果主要包括:

- (1) 定义了一个新的科学结构,从而能够更为清晰和完全地反映地球系统的结构和功能;
- (2) 制定了一个跨学科的综合的地球系统科学议程,该议程的制定对于研究全球变化的各种挑战是必要的。

新的科学结构的制定是基于一套新的和重新得以关注的研究计划,这些计划反映了地球系统的三大组成部分(陆地、海洋和大气),突出了这些组成部分的界面过程,并且反映了不同的时间和空间尺度上它们在系统层面上的耦合。有 9 个独立的 IGBP 研究计划涵盖了系统组

成、界面和系统耦合 3 个方面,它们是:

- 国际全球大气化学(IGAC),该计划从 IGBP Phase I 延续下来,但对其研究议程进行了重新定位;
- 新的全球陆地计划(GLP),该计划是基于 IGBP Phase I 中两个面向陆地的研究计划;
- 全球海洋生态系统动力学(GLOBEC,它开始于 IGBP 第一阶段,计划于 2009 年完成)以及海洋生物地球化学和海洋生态系统集成研究(IMBER)与海洋研究合作;
- 新的上层海洋—低层大气研究(SOLAS);
- 新的陆地生态系统—大气过程集成研究(iLEAPS);
- 海岸带陆—海相互作用(LOICZ)。该计划也从 IGBP Phase I 延续下来,但扩大了其研究范畴;
- 过去全球变化(PAGES),它将继续进行古科学的研究;
- 地球系统分析、集成与模拟(AIMES),该计划是 IGBP 在地球系统层面上进行集成研究的前沿计划。

除了这些长期的研究计划,IGBP 利用快速启动倡议(FTIs)来研究地球系统科学中的一些关键的交叉问题,从而促进研究计划间和学科间的融合。

IGBP 认识到大量研究伙伴间的协作对于地球系统科学的集成研究变得日益重要,特别是自然科学和社会科学研究的合作能够使得对人类—环境耦合系统的分析研究达到平衡。同时,许多合作对 IGBP 第二阶段计划的实施也很重要,例如加入 ICSU 全球变化计划的地球系统科学联盟(ESSP)也日益显得重要,同时与 SCOR 所进行的合作也将继续,从而巩固 IGBP 的海洋研究。

此外,加入 ESSP 也是 IGBP 寻求提供有关的研究成果以指导政策制定的关键一环,特别是涉及可持续发展的方面。在这一点上,IGBP 将在全球可持续性方面继续积极地支持 ESSP 以及已有的和未来的区域集成研究计划,并开展合作研究。

IGBP 将继续利用第一阶段中成功的方法建立处理关键科学问题的研究网络;促进标准化方法;进行长时间序列的观测;建立共同的数据政策,促进数据共享;开展模式间的比较以及与实测数据的比较研究;协调复杂的、多国家的野外观测与实验研究。此外,IGBP 将促进模式开发者和野外试验人员进行综合的互动与沟通,同时也将建立一个进行地球系统科学研究的国际网络。

IGBP 及其全球变化国家委员会对于 IGBP 内的研究规划与实施仍然非常重要,因为它们能够使地区和国际层面上的全球变化研究得以沟通。IGBP 将继续加大对科研能力建设活动的投入(特别是对不发达国家),能力建设将主要通过项目层面上的研究活动来进行,也常会通过 START 或者区域能力建设组织和网络的合作来进行。

作为一个没有政治内容但又与政治相关的组织,IGBP 的工作将促进国际科学团体、决策者和公众之间的沟通。IGBP 也将把自身打造成一个可以信赖的地球系统科学信息源头,从而为决策者和公众提供全球变化方面与政策相关(而不是政策约定)的信息。



在 20 世纪 80 年代,人类对于地球系统的调节作用就变得明显起来,与自然强迫相比,这种作用开始与之相当,甚至超过了自然的影响。受人类活动的作用,地球系统的变化已经大大超出了其正常的波动范围。大气成分、气候、陆地生态系统、海岸生态系统和海洋生态系统等发生的变化都反映出了这一点。我们将这种现象称为“全球变化”,当然也有些人称之为“全球环境变化”。

在上世纪 80 年代末,ICSU 认为有必要进行一项国际合作研究来了解这些全球变化的现象,从而使得国际地圈生物圈计划(IGBP)(图 1)应运而生。在 IGBP 开始实施的前 20 年,全球变化比任何时候更要剧烈。位于北极海岸的许多城镇,因为冻土融化和风暴潮而损失了大量的基础设施;2003 年的高温在法国造成 30000 多人过早地死亡;冰川的退缩使得许多南美国家面临着水资源的减少;而在 2003 到 2005 年发生在澳大利亚东部的严重旱情则可能与海面温度的升高有关。

世界人口仍在不断地增长着(尽管其增长速度比上个十年有所减缓),但其增长并不是均匀一致的,这就造成了穷国与富国间人口增长的不平衡。老年人的数量在不断增加(特别是在发达国家),同时城市人口数量也第一次超过了农村人口。而对于发展中国家来说,尽管水资源不断得以利用,农业产量也都有很大的提高,但水资源不足、水污染和粮食产量不足仍然是造成贫穷的主要原因。

尽管在经济上取得了很大的发展,全球仍有约 15% 的人口每天的收入不足 1 美元。另外,尽管在医学和疫苗接种方面都取得了一定的进展,而传染性疾病和全球性的流行病仍然是个巨大的威胁。随着不可再生资源的不断消耗,近 50 年内,全球能源系统将需要由富碳的矿物燃料能源向低碳能源转变。为从生态系统获取所需的产品和服务(这种获取是不可逆转的),人类活动正以史无前例的速度造成物种的灭绝。

所有这些众多而复杂的问题意味着地球系统科学已经不仅仅产生于人们对知识的渴求,而更多的是受环境问题的驱使。这些问题所产生的科学挑战要求生物物理学家能够与社会科学家进行紧密的合作。由于人们已经认识到环境问题正制约着经济的发展,因此对全球变化是如何影响食物安全、水源供给、能源消耗和人类健康等问题所进行的研究就成为其中心议题。

决策者越来越多地需要关于环境问题方面的建议。在 IGBP 第二阶段的计划中,将继续为人们提供有关生物、物理和化学过程在地球系统中的作用以及与人类系统相互作用的基本知识。此外,作为 ICSU 地球系统科学联盟(ESSP)(DIVERSITAS、IGBP、IHDP 和 WCRP)的伙伴之一,IGBP 将研究地球系统变化对全球可持续性所产生的意义和影响。

面对全球变化所带来的挑战,IGBP 的意图是为促进地球的可持续发展提供科学知识。IGBP 主要研究生物、化学与物理过程同人类系统的相互作用,并通过与其它研究计划的合作,来发展和传授应对全球变化所需要的知识。

在其发展意图的框架下,IGBP 的研究目标主要是:

(1)对控制地球系统动力学的各种相互作用的物理、化学和生物过程进行分析;

- (2)研究发生在这些动力学中的各种变化；
- (3)研究人类活动在这些变化中所起的作用。

为达成这一研究目标,IGBP 将孕育和鼓励生物物理和社会科学工作者之间的合作,同时将为科学家们构建一个广泛的国际团体并提供支持,特别是对发展中国家。

本科学计划与实施战略阐述了 IGBP 第二阶段计划(2004—2013)的科学基础、研究结构和实施战略。第二阶段研究主要是基于第一阶段集成研究(图 2)中所产生的一些长远的问题,并在新的科学结构内进行组织。

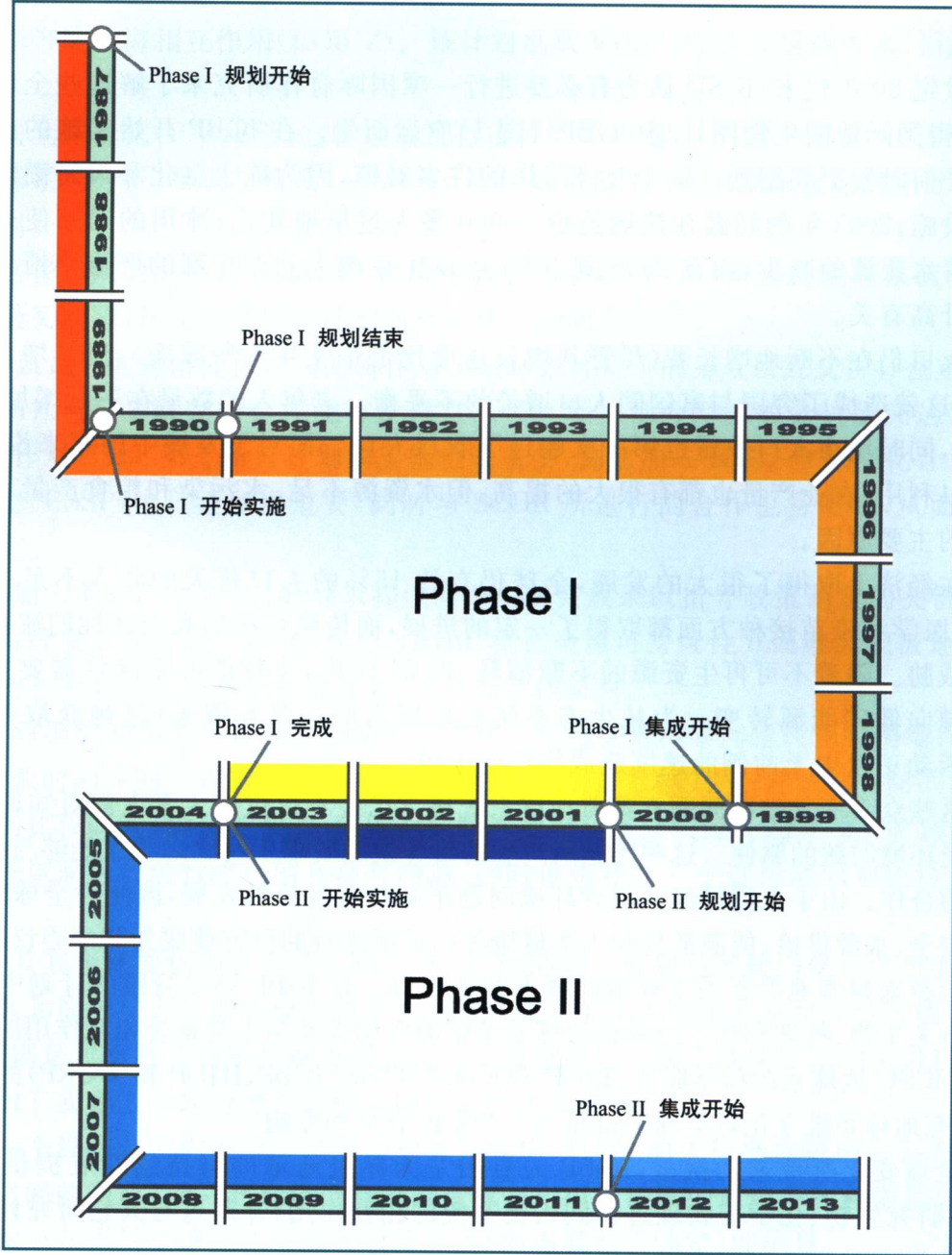


图 1 IGBP 第一阶段和第二阶段计划的时间线,分别标示了其研究规划、计划实施与成果集成的各个阶段

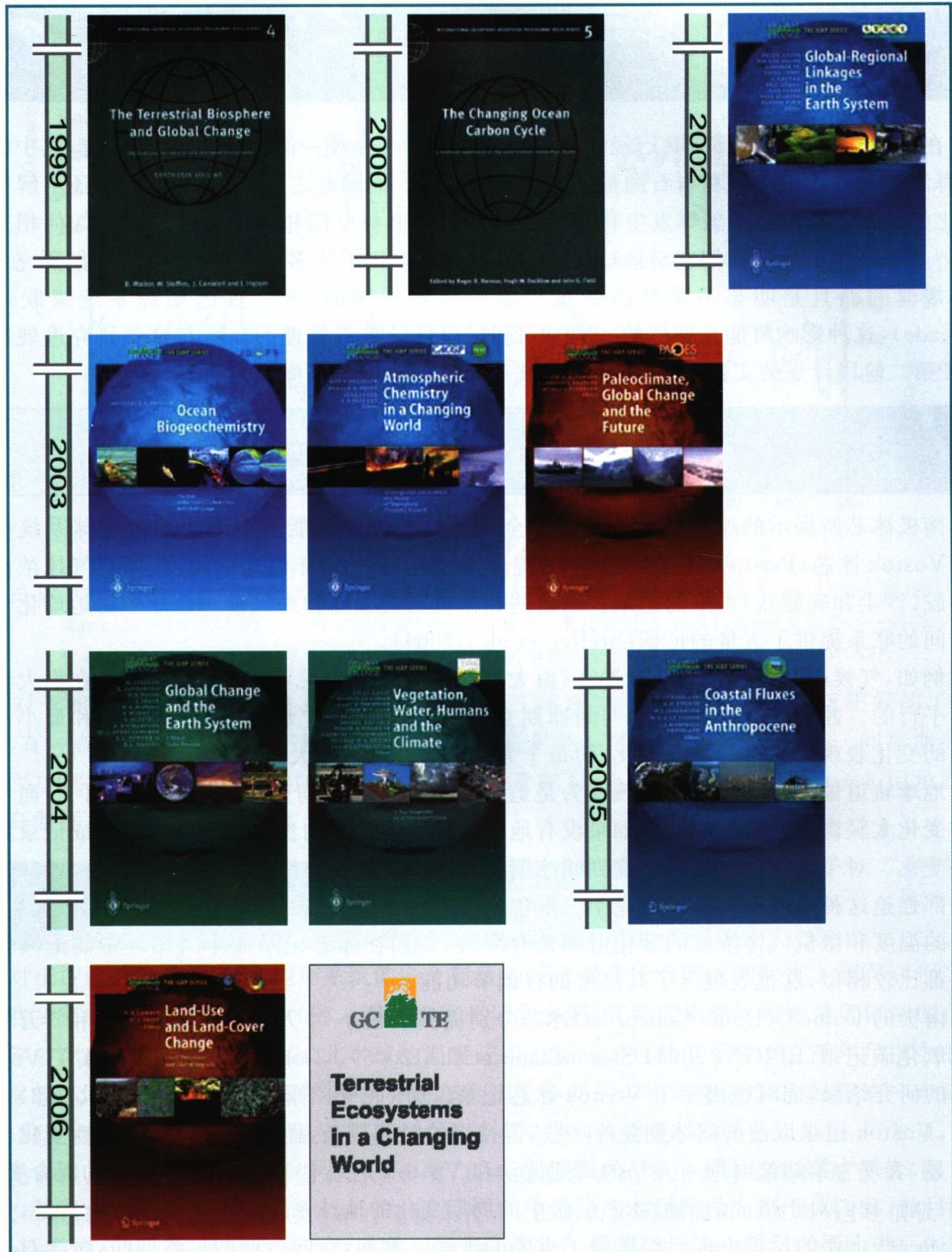
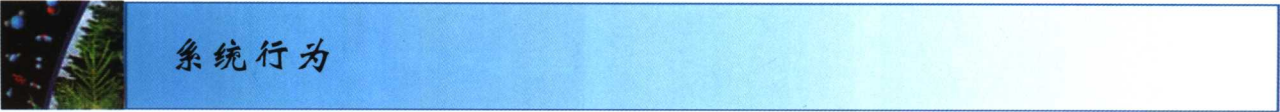


图2 IGBP的集成研究活动产生了11部综合的计划集成著作,并在1999至2006年间得以出版。这些也是IGBP Phase I计划的主要研究成果之一。



科学基础

在计划开始的时候,IGBP 已经意识到地球表现为一个统一的、全球尺度的系统,其中的大气、海洋、生物圈、冰冻圈和岩石圈都是相互联系着的。而除此之外,对其中的细节还了解得较少,比如各个组成部分是怎样发生联系的? 它们的强迫与反馈和地球系统动力学如何相互作用的? IGBP 第一阶段计划在对地球系统的认识方面取得了许多很重要的进展,例如研究展示了小规模而且是明显不重要的变化是如何导致长期的、大尺度的地球系统级联效应(cascade),这种影响可能是突然的、意想不到的、而且是难于管理的。所有这些研究进展都为 IGBP 第二阶段计划的实施奠定了基石,下文就对这些进展进行概述。



系统行为

南极冰芯所揭示的冰期和间冰期之间全球环境的波动最能清楚地表现出地球系统的行为。Vostok 冰芯(Petit et al., 1999)同时提供了过去 420000 年以来的温度、微量气体浓度和气溶胶(沙尘和硫酸盐)水平的记录。而这些数据资料为表明物理气候与全球生物地球化学循环之间的联系提供了大量的证据(Steffen et al., 2004)。

例如,气候(由温度表示)与碳循环(由大气二氧化碳和甲烷浓度表示)的变化在很大程度上是平行的。此外,用于标示冰期与间冰期交替的温度和微量气体浓度的最大值和最小值随时间的变化表现为固定的循环变化,而每个大循环的持续时间大约为 100000 年。

地球轨道偏心率的平滑变化被认为是造成这种主导性周期变化的主要强迫因子,而偏心率的变化太轻微了,也太平滑了,如果没有地球系统内部反馈的参与调制就不会形成记录到的这些变化。对于在每个冰期末转变到间冰期条件下所发生的突然变化就更是如此。地球系统与外部强迫这种高度非线性的反应中一定包含着生物、化学和物理组分的相互作用。最后,所指示的温度和微量气体浓度的变化范围是有限的,它们在冰芯记录 4 个大循环中的最高和最低值都比较相似,这也表现出了其高度的自调节功能。

南极的 Dome C(Dome Concordia)冰芯分别提供了距今 74 万年前的温度记录和 5 万年前的二氧化碳记录(EPICA, 2004; Siegenthaler et al., 2005)。Dome C 冰芯记录证实了 Vostok 冰芯的研究结果,同时也揭示了 Vostok 冰芯记录以前的一些不同的地球系统行为(图 3)。它表明,Vostok 记录以前的间冰期要冷一些,但持续的时间较长,而且占优势的周期性变化也不太明显,表现为第四纪时期 4 万年的周期波动和 Vostok 记录中 10 万年周期波动的混合变化。

目前,我们对于造成的南极冰芯记录中的周期变化的地球系统动力学还不完全清楚,但是在描述一些主要的反馈方面已经取得了重要的进展。例如,在向冰期的过渡期间,海洋对于大气中二氧化碳的吸收在不断增加,因为二氧化碳在冷水中更易于溶解。然后低层大气中的二氧化碳浓度降低就导致了寒冷气候的形成,从而产生了一个正反馈。此外,在向冰期的过渡期间,地球北部的陆地冰盖开始形成和扩张,而北冰洋和南极周边的海冰也是如此。而这些冰体反射了几乎所有的太阳入射辐射,从而使得地球表面进一步变冷。而在由冰期向间冰期的过

渡期间(这种过渡更为迅速),这些反馈的作用又恰恰相反。

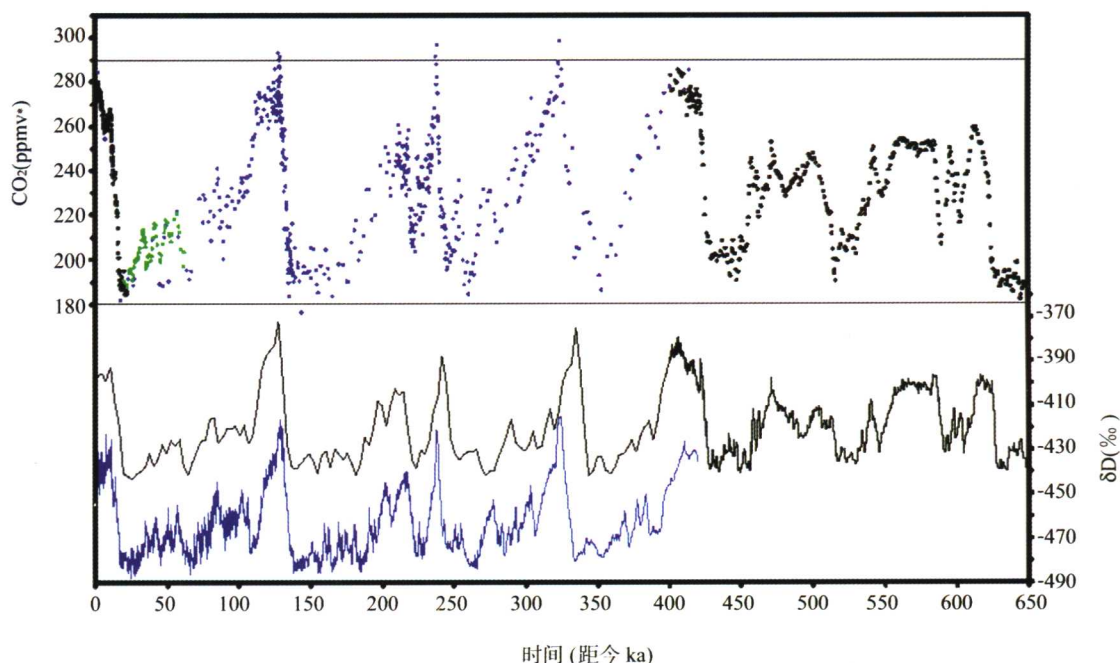


图3 从南极 Dome C 冰芯(黑色,0~2.2 万年前以及 39~65 万年前)、Vostok 冰芯(蓝色,0~42 万年前)和 Taylor Dome 冰芯(绿色,2.0~6.2 万年前)记录中合成的二氧化碳记录,以及从 Dome C 冰芯(0~65 万年前)和 Vostok 冰芯(0~42 万年前)中合成的 δD 记录(引自 Siegenthaler et al., 2005, 感谢 AAAS)。

对于能够减缓这些正反馈和抑制温度与微量气体浓度极值的过程,还缺乏很好的了解。然而,有一点是清楚的,那就是这些限制条件不是简单地与地球轨道改变(冰期—间冰期更替的诱因)所引起的太阳入射辐射的变化相联系。对于在 Dome C 冰芯记录中 Vostok 记录之前的最高温度为什么较低,我们也还不清楚。

自然变率

对于古记录的分析表明,地球系统的一个显著的特征是在所有的时间尺度上都存在相当大的自然变率(Alverson et al., 2003)。南极的冰芯记录表明,气候代用指标和微量气体浓度在数十万年中存在着强烈的波动变化,北半球的温度记录也指示了自然气候变率在千年尺度上的变化。尽管不同的代用指标和不同的分析方法都会产生不同的千年尺度温度记录,但有一点是明显的,即在百年尺度上北半球的表面温度存在约 0.7°C 的自然变化(Mann and Jones, 2003)。

格陵兰冰芯中的全新世同位素记录表明,其中的温度变化要比在冰期期间低很多(图 4)。因而,可以设想在这样一个相对良好的气候条件下,农业和文明都能得以发展,这是很吸引人的。然而,低纬地区的古记录揭示了全新世早期和冰期—间冰期过渡期间具有相似的水文循环变率。其他的证据也表明,这种显著的水文循环变率一直持续到全新世末期,特别是在大多数人居的温带和低纬度地区(Alverson et al., 2003)。这种变率在多数情况下都比较短的仪器记录所反应的变率要大。

* $1 \text{ ppmv} = 10^{-6}$

突变也是地球系统变化的一个显著特征,研究最为深入的例子可能就来自于最近的冰期期间北大西洋地区在冰期向间冰期过渡时所发生的快速的、大幅度的变化(Grootes et al., 1993;图 4)。在这一期间,温度在短短几十年内就增加了6~8°C。

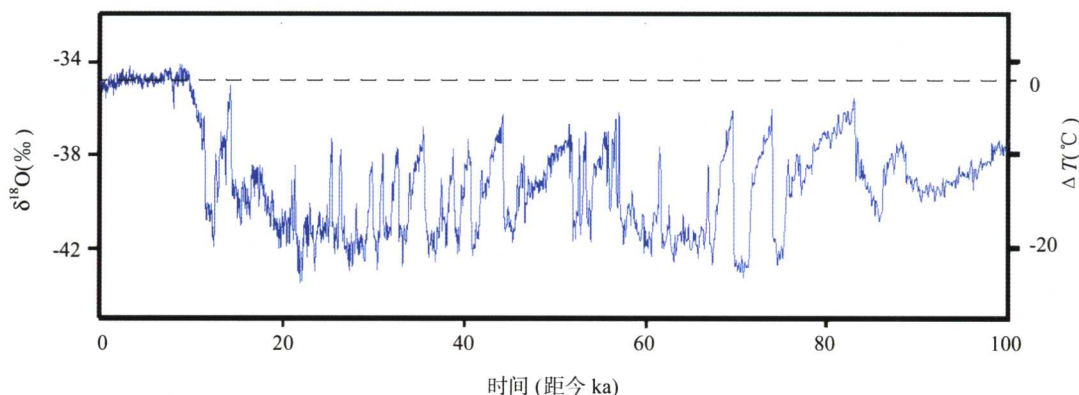


图 4 从格陵兰岛中部 Summit 恢复的冰芯所指示的 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度(引自 Johnsen et al., 1997)

北大西洋地区同时也经历了快速变冷阶段,最近的一次大约发生在 11600 年前向全新世的过渡时期,那时的地区温度在 10 年内就降低了至少 10°C(Alley, 2000)。这种温度的增加和降低可能与北大西洋热盐环流的不稳定有关。

对于过去气候变率的研究分析表明,自然变率中由人类所驱动的明显的变化并不是直接的,而且自然的变率通常要比仪器记录到的变率大很多。



生物圈的作用

现在知道在地球系统动力学中,生物过程是与物理和化学过程紧密耦合的,其证据是生物过程有时候会起着调节和缓冲的作用。而此前,人们通常认为生物圈仅仅是地球物理变化的被动受体。

生物圈通过生物地球物理和生物地球化学过程以及生物多样性来影响着地球系统的行为。生物物理过程的作用主要通过以下几种形式:①吸收和反射太阳入射辐射;②水的蒸发和蒸腾;③气流的动量传输。陆地和海洋生物能够对任何这种过程产生重要的影响。生物过程对于碳、氮、磷、硅和铁的全球尺度生物地球化学循环都是很重要的。尽管我们对生物多样性本身的作用了解还非常有限,但是实验研究表明,生物多样性可以影响生产力和营养循环,因而在生态系统面临突然的非生物变化时,可以起到缓冲的作用。

生物也强烈地影响着大气的组成。数十亿年前大气由还原介质向氧化介质的转变就是由高度不均衡环境下的藻青菌及其种群维持而造成的,目前,大气的氧化状态仍然由生物过程所控制。海洋和陆地生物持续地向大气中排放碳、氮和硫类的化合物,从而影响着大气的组成和大气化学。陆地生物过程也影响着大气中的水汽含量,特别是在局地 and 区域尺度上。

亚马孙流域植被与水文循环的相互作用就是生物过程通过多种方式影响非生物过程的一个例证。在亚马孙流域,降雨中大约有一半的水量都来自于植被本身的蒸腾,而这些水分就在植被与大气之间不断的往复循环着。更为微妙的是,植被能够通过挥发性的有机化合物排放来影响