GLOBAL
IGBP
CHANGE

国际地圈生物圈计划

科学计划与实施战略

气象出版社

GLOBAL
IGBP
CHANGE

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希望籍此说明促进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 Eliott
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　　Guy Brasseur，SC-IGBP 前主席

Kevin Noone，IGBP 执行主任　　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，也常会通过与 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。

绪　论

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。

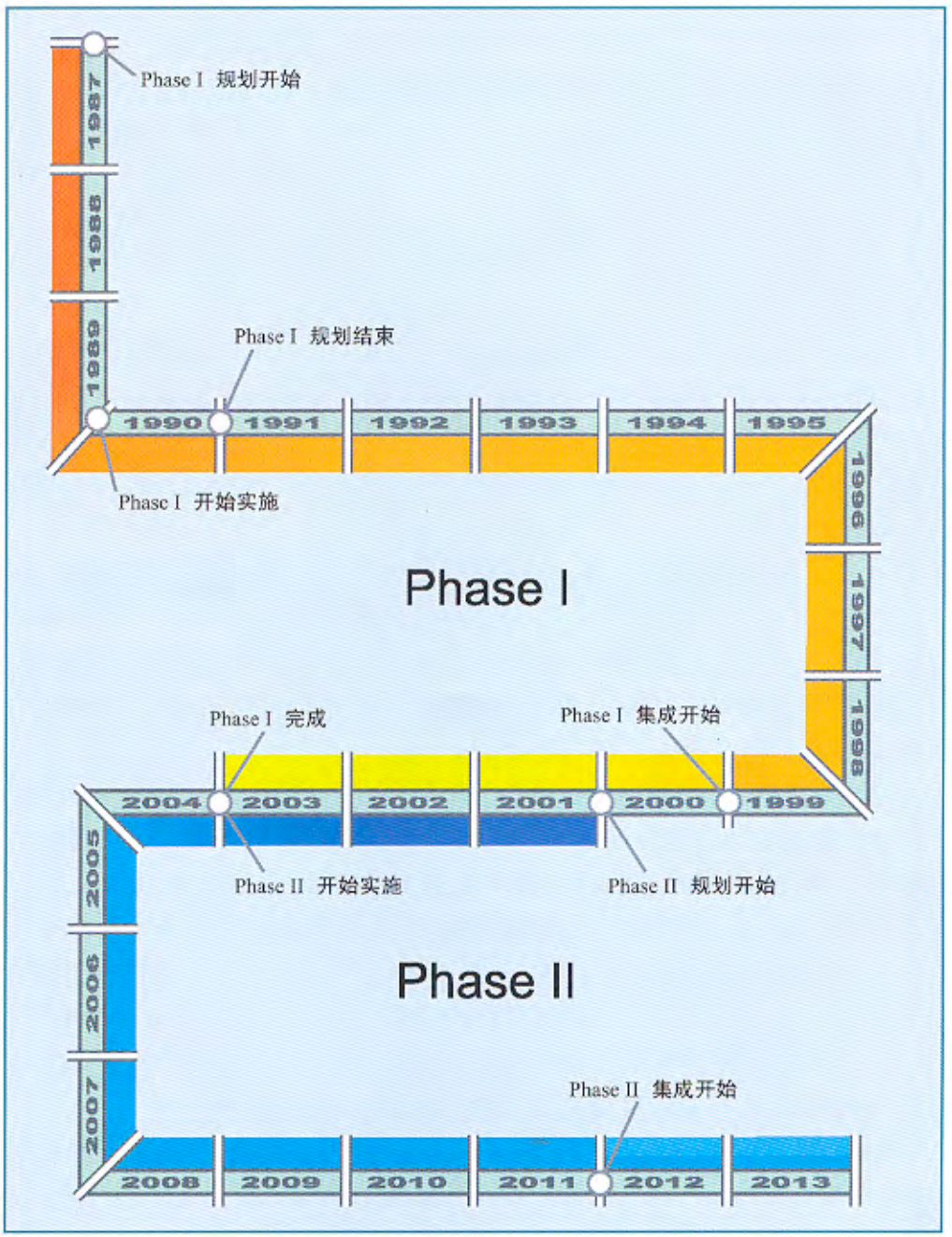


图 1 IGBP 第一阶段和第二阶段计划的时间线，分别标示了其研究规划、计划实施与成果集成的各个阶段

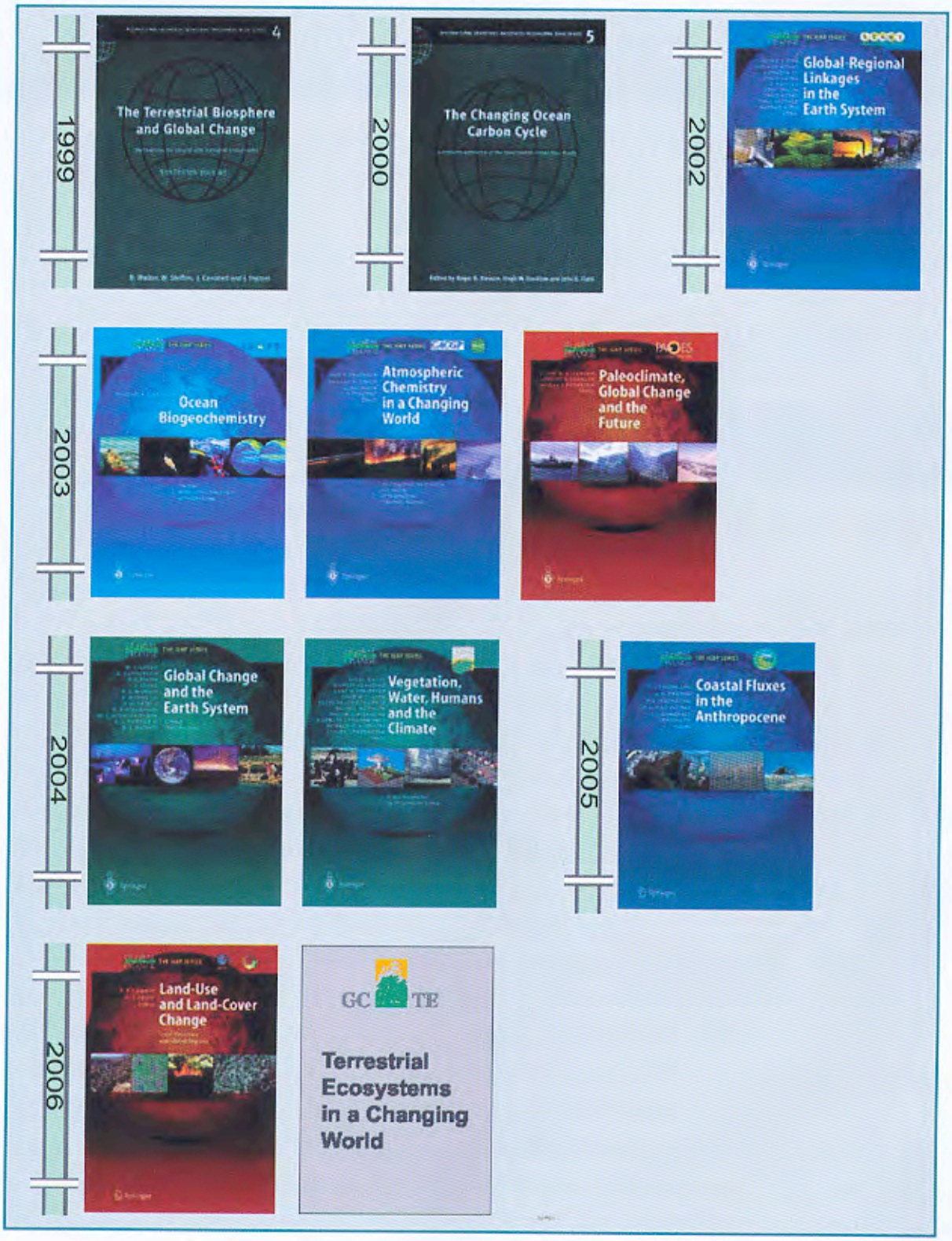


图 2　IGBP 的集成研究活动产生了 11 部综合的计划集成著作，并在 1999 至 2006 年间得以出版。这些也是 IGBP Phase I 计划的主要研究成果之一。

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的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。

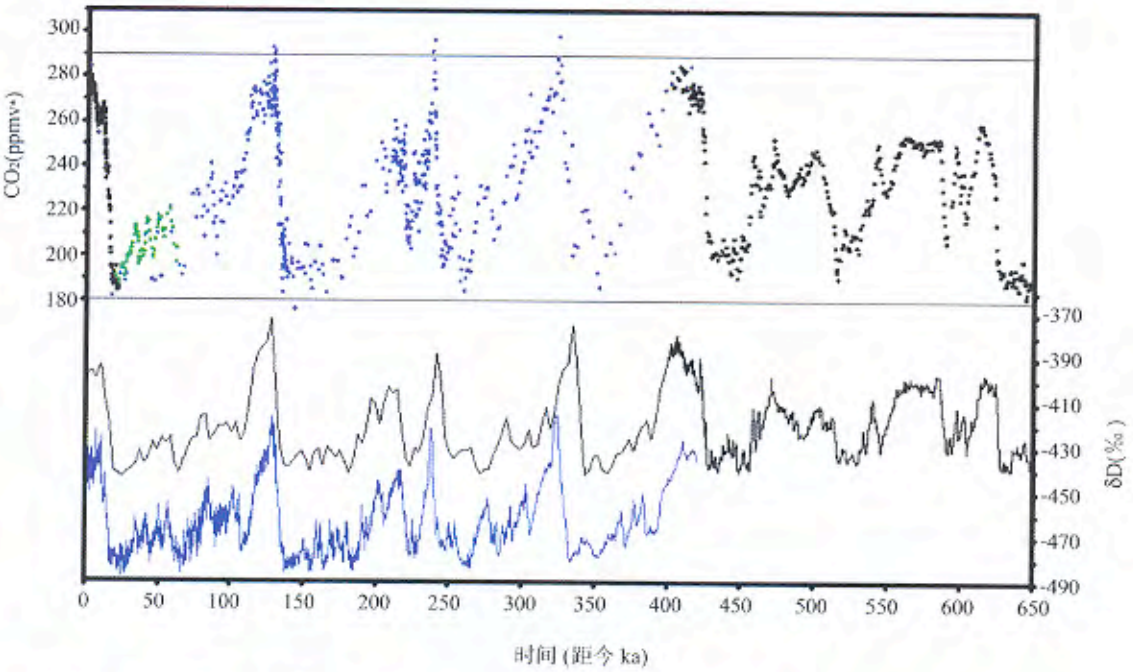


图 3 从南极 Dome C 冰芯(黑色,0～2.2 万年前以及 39～65 万年前)、Vostok 冰芯(蓝色,0～42 万年前)和 Taylor Dome 冰芯(绿色,2.0～6.2 万年前)记录中合成的二氧化碳记录,以及从 Dome C 冰芯(0～65 万年前)和 Vostok 冰芯(0～42 万年前)中合成的 δD 记录(引自 Siegenthaler et al.,2005.感谢 AAAS)。

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℃ 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住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 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。

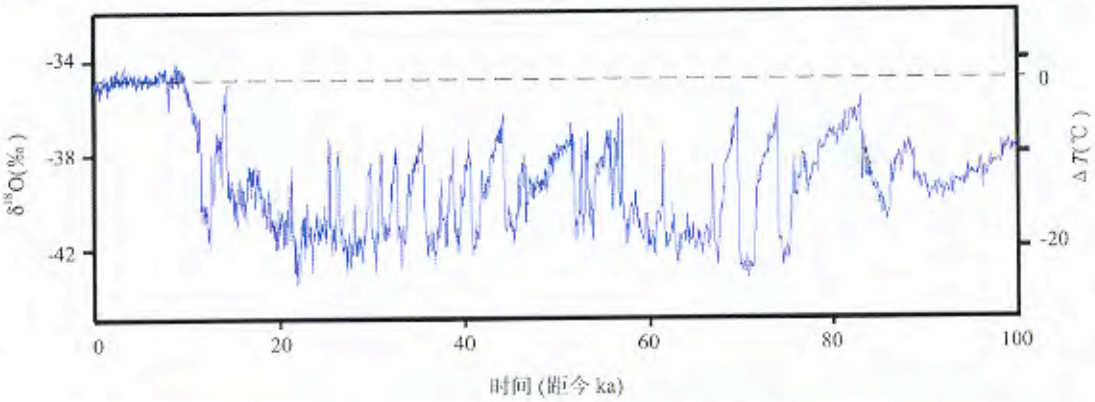


图 4 从格陵兰岛中部 Summit 恢复的冰芯所指示的 $\delta^{18}O$ 与温度(引自 Johnsen et al.，1997)

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，特别是在局地和区域尺度上。

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

水文循环，进而促进了气溶胶粒子的形成，而这些气溶胶粒子提供了云的凝结核并最终促成云中水滴的形成，接着就形成了降雨。人类对于亚马孙河流域土地覆盖的改造对该地区植被与水文循环的相互作用产生了显著的、非线性的影响。如果限制性地而且是分块地将热带雨林改造为农田或者草地，则会因为表面升温引起对流增强，从而造成降雨增加。通常大气中蕴含有足够的水汽来为云和降雨的形成提供水分。然而，当对土地的改造非常广泛时，由蒸散所带来的水汽就会减少到低于临界点，雨水也就急剧减少，从而会导致火灾和旱灾的增加，而这些就会以正反馈的方式进一步加速雨林向草原或草地的转变。土地覆盖改变所引起的植被变化也通过改变植物根系的深度和密度来影响土壤水分，从而也改变了汇入河网的地面径流量。

全球铁循环是另一个能够表现地球系统中生物的中心地位和复杂作用的例子（注释框 1）。尽管我们对生物圈的作用有了更清晰的认识，然而对于许多很基本的问题，目前我们还无法作出回答。

人类影响

人类始终在影响着他们的环境，然而，早期人类对于地球系统行为的影响是局部的、分散的、短暂的、也是不充分的。直到现代科技和发现的到来以及对于矿物燃料的广泛开采才开始改变着人与环境的关系。近几个世纪以来人类文明的急速发展及其在全球范围内对环境及社会经济的影响是全球变化的重要特征（图 5 和图 6）。

虽然在地球系统的所有部分中，人类的影响都是可以辨识的，但对于土地系统和海岸带来说，这种影响最为严重。在没有被冰面覆盖的土地中，大约有一半已经受到了人类的彻底改造或者是发生了重大的改变（Klein Goldewijk and Battjes，1997），而其他剩余的部分也受到了不同程度的影响。

有一半以上的陆地净第一生产力被人类活动直接使用、征用或者转移（Rojstaczer et al.，2001），而除极地以外相对纯净的海岸只剩下澳大利亚和南美洲南部的一些偏远的海岸地区（Crossland et al.，2005）。不断进行的海岸城市化进程将会继续施加对海岸的影响。在上个世纪里，陆地对海岸带输送的氮通量已经增加了一个数量级（Mackenzie et al.，2002），而且全球氮循环的其它许多环节也受到了影响（注释框 2）。相对于自然变化所造成的物种灭绝速度，人类活动所造成的影响要比这大 100 到 1000 倍（MEA，2005）。

大气中温室气体浓度，特别是二氧化碳的增加，已人所共知。但人类活动也通过其它的方式影响着大气的组成和大气化学，包括平流层臭氧的减少和对流层臭氧的增加（Brasseur et al.，2003）。

总之，人类活动所造成的全球影响表明，地球系统目前正处在前所未有的状态之中，而且与过去至少 50 万年内的变化相比，它的变化已经大大超出了其以往变率的范围（Steffen et al.，2004）。

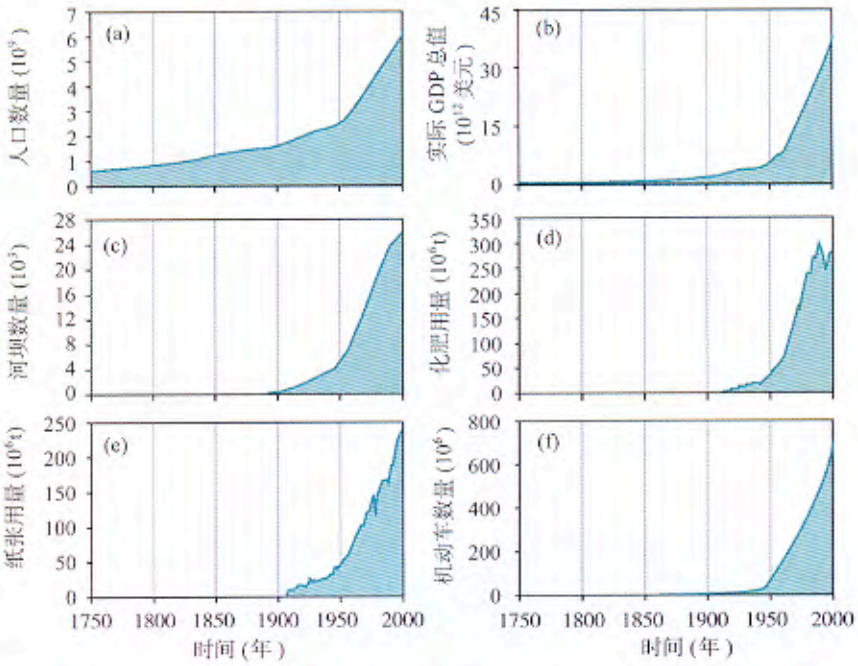


图 5 1750 年至今指示人类活动的一些全球尺度的指标：(a)人口数量(USBC，2000)；(b)实际 GDP 总值(Nordhaus，1997)；(c)河坝数量(WCD，2000)；(d)化肥用量(IFIA，2002)；(e)纸张用量(PPI，1993)；(f)机动车数量(UNEP，2000)。

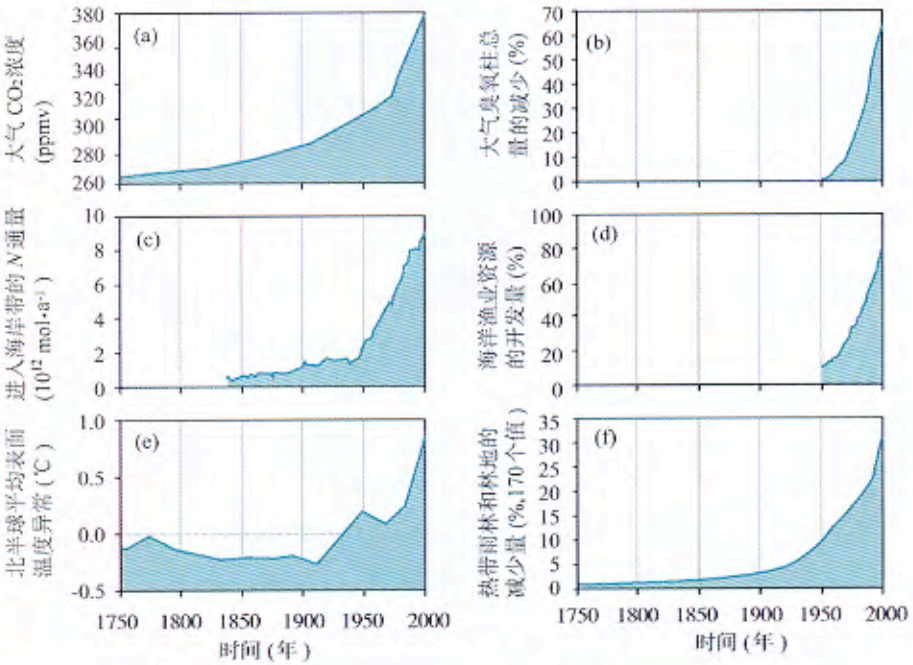


图 6 全球尺度上指示地球系统变化的一些指标(Etheridge et al.，1996)：(a)大气二氧化碳浓度；(b)与年均臭氧柱总量(330)相比的大气臭氧柱总量减少百分比(英国南极调查局 JD Shanklin 许可)；(c)模拟的人类活动对全球海岸带的氮通量(Mackenzie et al.，2002)；(d)海洋渔业资源中充分开发、过度开发或者衰竭资源的百分比(FAOSTAT，2002)；(e)北半球平均表面温度距平(Mann et al.，1999)；(f)估算的非洲、拉丁美洲、南亚和东南亚热带雨林和林地的减少(Richards，1990；WRI，1990)

注释框1 全球铁循环

铁对于所有的有机体都是一种基本的营养物质；对于从水面以下很深的海底富铁沉积物中分离开来的海洋浮游植物来说，它必须能够从海水中汲取铁质。海水中生成的铁通常是很少的，因此对于广大的海洋地区来说，铁的可用性都限制了浮游植物的生长。海水中的铁主要是以河流悬浮质的形式向海洋输送的，然而这些含铁悬浮质大多数都在近海地区沉积了下来，从而使得风尘的输送成为开放大洋上铁的主要补给形式。

陆地植被能够通过其根系活动来稳定土壤，从而影响参与全球循环的铁的数量，因此可以减少那些易受风和水土侵蚀而影响的土壤的数量。从全球方面来讲，大部分沙尘都是由发生在世界上巨大沙漠地区的短期沙尘暴产生的，例如北非就是一个主要的沙尘源区(图7)。

虽然只有一小部分铁是通过海洋表面沙尘的分解来输送的，但对于铁量很少的地区(如高纬度地区)来说，这部分补给对于浮游植物的生长具有很大的促进作用(注释框10)。在营养盐贫乏的热带海域，沙尘可以促进氮的固定，从而增加了营养盐产量。当然，沙尘沉降在不同的地区对于海洋的影响是不同的，这同时还取决于营养盐的可用量。

海洋中浮游生物生长的刺激作用能够通过改变海洋的大气吸收和排放气候活性气体来影响大气，而这些会影响到全球气候，从而又会影响到沙尘的产生，于是就有可能形成大尺度的、多重而又复杂的气候反馈。这些联系和反馈的复杂性意味着对全球铁循环的研究不能孤立进行，而必须考虑到地球系统内全面的生物地球化学过程。

沙尘的产生率与降雨和风有关，而且其随时间的变化也很剧烈，特别是在冰期—间冰期循环这样的时间尺度上。正因为存在这样的联系，从而使得引起全球变化的强迫也有可能会改变沙尘的产生量。

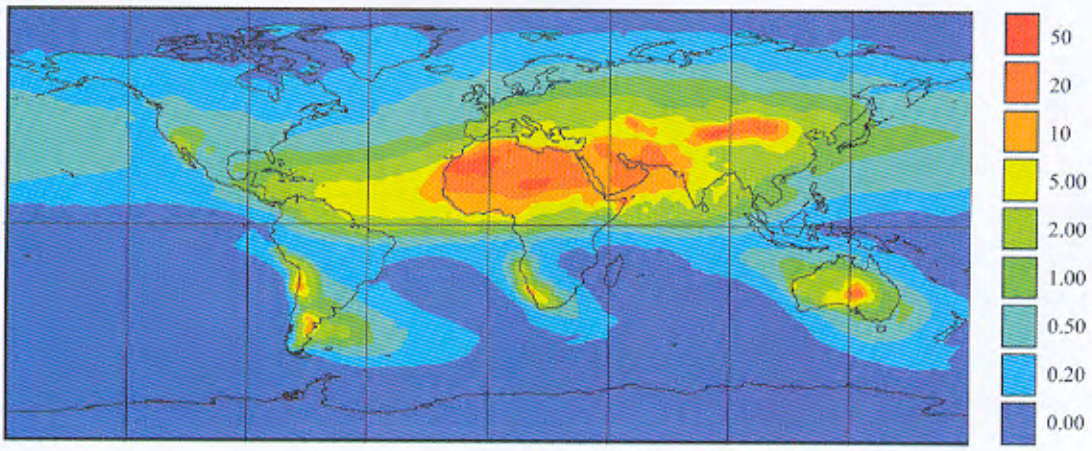


图7 全球沙尘沉降图($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)。该图是通过与卫星光学厚度、现场浓度和沉降观测相吻合的3个模拟研究结果综合绘制的(引自 Jickells et al.,2005,感谢 AAAS)。

注释框 2 全球氮循环

20 世纪末期，在促进非活性氮气向活性氮(Nr)* 的转变中，人类活动的作用已经超过了自然的陆地过程，这对生态系统生产力和环境问题都产生了重大的影响(Galloway et al.，2004)。1860 年的全球人口是 15 亿，那时人为引起的 Nr 生成量约为 15 $Tg \cdot a^{-1}$，这些几乎都是为了进行粮食生产而通过“耕作引起的生物固氮”(CBNF)生成的。同时期通过自然条件下的陆地生物固氮(BNF)所生成的 Nr 约为这个数值的十倍以上，因此那时人类活动对全球 Nr 生成的贡献仅为 10%。

然而到 20 世纪 90 年代早期，人为 Nr 生成量增长了 10 倍，而同时全球人口也增长了 3.5 倍。在所有人为 Nr 生成中，约有 15%与能源的生产有关，其余的部分大多与粮食生产相联系。在粮食生产引起的 Nr 生成中，约四分之一是通过 CBNF，其余四分之三是通过 Haber-Bosch 法进行的化肥生产。而此时由于许多自然状态的草地和森林被转变为农业用途，自然条件下的陆地生物固氮(BNF)所生成的 Nr 减少了约 10%。

人类对于氮循环改变的好处在于增加了粮食产量，从而能够应对人口的日益增长和人均食物消费的增加。然而也出现了一些问题，一方面来自于氮缺乏，而另一方面则来自于氮过剩。世界上的许多地区(如非洲)缺乏足够的氮来满足粮食生产，因此对这些地区的氮供给应予增加；相反在其他一些地区，氮是过剩的，其部分原因是所有的氮都被能源生产所转移，而大多数用于粮食生产的氮都散失于环境中。氮向环境的散失会引起许多问题，所有这些问题都通过“氮的级联(nitrogen cascade)”(图 8)连系着的全球氮循环而相互关联起来。例如，矿物燃料的燃烧向大气中释放了一个氮原子，从而增加了大气臭氧浓度，降低了大气能见度，然后增大了降水的酸性。而在沉降之后，它又会增加土壤的酸性，从而减少了生物多样性，污染了地下水，并导致河流、河口和海岸带的富营养化。最后，一旦它又排放回大气中，又会引起温室效应，并减少平流层的臭氧。由于氮与如此多的全球和地区环境问题相联系，因此氮问题在环境政策中就显得极为重要。

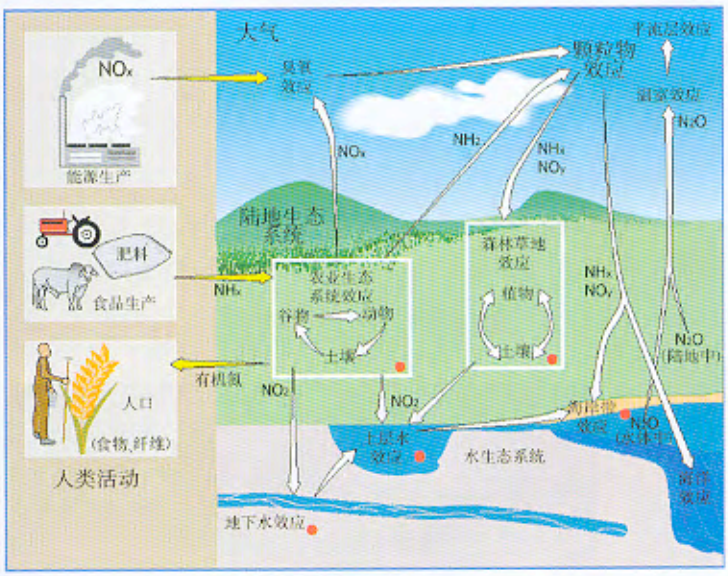


图 8 环境中的氮级联及其环境影响。红点表示反硝化势(引自 UNEP，2003，Galloway et al.，2003. 感谢 UNEP)。

这里的 Nr 是指大气和生物圈中所有的生物活性、光化学活性和辐射活性的氮化合物，包括无机还原态的氮(例如 NH_3 和 NH_4^+)，无机氧化态的氮(例如 NOx，HNO_3，N_2O，和 NO_3^-)和有机化合物(例如尿素、胺和蛋白质)。

随着全球人口的增长，人为氮生成量将会继续增加。即便是在全球人口达到巅峰之后，由于人均食物和能源消费的增加，Nr 生成量还有可能继续增加。Nr 的最大生成率在很大程度上决定于世界如何对用于粮食生产的氮进行管理，以及如何对能源生产中的氮进行控制。如果全球人口达到约 90 亿的峰值，并且如果此时的人均 Nr 生成率达到北美洲 1990 年的水平（约每人每年 100 kg），那么其全球总量将达到约 900 $Tg \cdot a^{-1}$，其中约有一半是在亚洲。这种潜在的 Nr 增加强调，政策有必要关注如何将氮的功效发挥到最大，同时将其对环境和人类健康的影响降到最低。

联合国气候变化框架公约的最终目标是："将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上"(UNFCCC,1992)。千年生态系统评估(EMA)指出，人类活动已经引起了许多生态系统发生严重的退化，生物多样性遭到大规模无可挽回的损失，并且许多可能在未来得以受益的生态系统服务也消失了(MEA,2005)。"危险的人为干扰"的概念可以由此超越了气候系统范畴而扩展到整个地球系统上。社会需要确定什么样的干扰水平是"危险的"，然而这需要具备科学的知识。IGBP 的一个关键作用就是帮助人们对这些必要的科学知识进行规划、协调、融合、集成和沟通。

此外，我们需要利用地球系统科学与全球变化研究来指导可持续发展，同时 IGBP(伙同其研究伙伴，见下文)将为进行全球可持续发展中关键问题的研究进行不懈的努力。联合国已经构建了 8 个千年发展目标(MDG)，其目的是要到 2015 年使全球超过 5 亿人告别贫困，并将可持续发展融入国内和国际议程来挽回环境资源的损失。MDG 的计划雄心勃勃，然而到目前的进展表明，在下一个 10 年它将面临巨大的挑战。该计划的加速进展将要求相关的科学研究和不发达国家的科研能力建设需要有更快的发展。这就要求我们不仅要关注科学研究，还要在及时地促进研究成果与决策者、资源管理者和国际援助机构的沟通方面进行共同的努力。

地球系统科学已经在气候变化与全球变化，以及地球系统的预报、预测与情景研究方面做出了大量的贡献。然而，这些工作还仅限于研究从全球性灾难到可持续性平衡这样的范围内，甚至对于最基本的生物物理变化都难予预测。例如，对于本世纪的全球平均表面温度增加值的预测在 1.4～5.8℃(IPCC,2001)，而即便是这样一个温度范围也过于狭窄(Andreae et al.,2005)。在对地球系统未来预测的这样一个范围内，存在着两个基本问题：一个是人与环境耦合系统的恢复力问题；另一个是人类对于全球变化响应的性质问题。

对这些问题的研究需要将地球概念化为一个复杂的、非线性的系统，该系统的生物物理和社会经济组成具有强烈的相互作用。同时需要建立必要的综合科学研究，以将人与环境耦合系统作为基本的研究单元。这就需要对遥相关的地区—全球联系，以及作为地球系统"开关与瓶颈"的敏感地区进行更多的阈值与突变研究(图 9)。

IGBP 第二阶段计划将更为关注区域在观测研究、过程和实例研究与模拟的集成以及能够充分捕捉过去地球系统行为的模拟工具的发展。IGBP 计划与研究活动对这些方面有详细论述。

此外，IGBP 将在第二阶段计划与其重要的研究伙伴进行更紧密的合作，以进行地球系统的综合研究，并迎接全球变化带来的挑战。为了这个目标，IGBP 的大多数的计划都是共同发起的，而且所有的计划都正在发展和加强同其他相关计划的联系，特别是与其他国际全球环境变化研究计划(IHDP、WCRP 和 DIVERSITAS)进行合作。

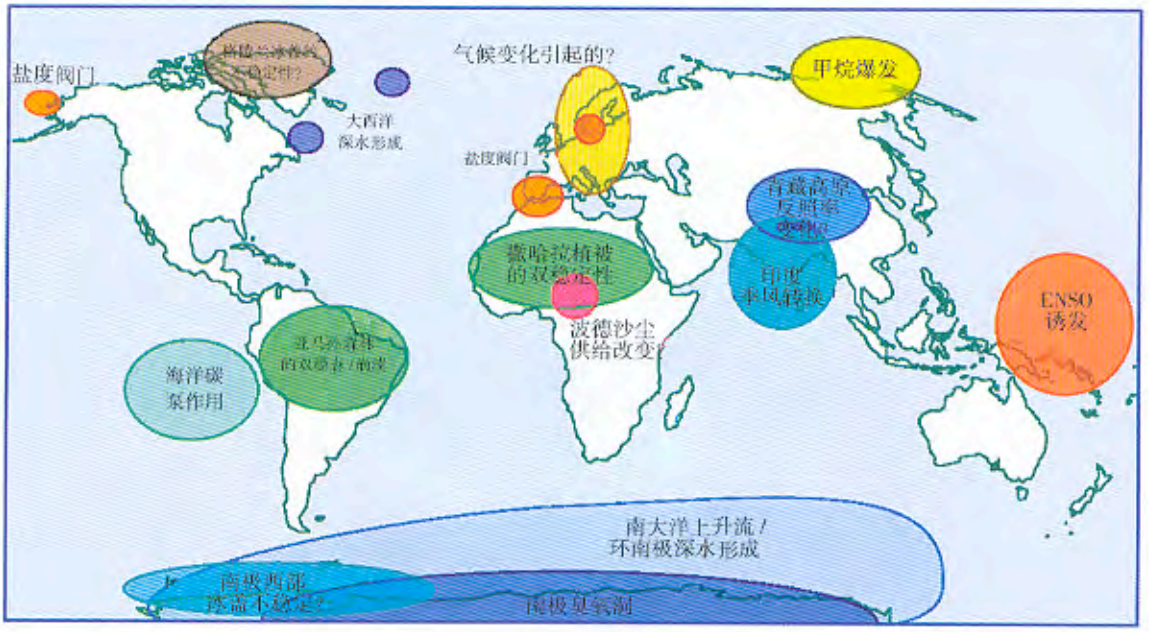


图 9 已知的或期望的对地球系统有强烈影响的地区(HJ Schellnhuber 提供帮助)。

进行 IGBP 第二阶段计划合作的一个关键方面是推动对于过程和系统水平行为的深入理解,特别是强调人与自然系统的耦合。因此,IGBP 与 IHDP 共同发起了两个研究计划。除了与其它全球变化研究计划共同发起项目并不断增进与其各种研究活动的合作以外,有几个计划通过与海洋研究科学委员会(SCOR)、大气化学与全球污染委员会(CACGP)、国际气象学与大气科学协会(IAMAS)和政府间海洋学委员会(IOC)的共同发起而得到了扩展和加强。这些合作都在各计划的分别论述中进行了详细说明。

地球系统科学在提高人们对全球变化的注意力和提供这方面的辩论信息方面做出了很大的贡献,然而在可持续发展的政策制定方面,它的影响却较小,特别是在不发达国家。因此,IGBP 将增加可持续发展政策方面的相关研究,并将努力促进研究成果与有关部门的有效沟通。

ESSP 为合作开展地球系统科学和可持续发展政策指南提供了一个一般性的框架(见注释框 12)。IGBP 将继续全力参与 ESSP 的发展,包括积极提炼和进一步发展 ESSP 的研究计划。同时,IGBP 将尽可能的巩固与 ESSP 伙伴的研究活动,提高研究效率与效果,并加强各计划间结构上的联系。

除了与研究伙伴进行合作外,IGBP 也认识到,地球系统科学的发展正日益需要观测(特别是空间观测)和模拟研究的集成。为此,IGBP 将参加地球观测工作组(GEO),并成为全球综合观测战略伙伴关系(IGOS-P)成员,同时与卫星对地观测委员会(CEOS)保持联系。IGBP 进行这些活动主要有两个目的:第一,便于更多的地球系统科学家参与定义地球观测的需求;第二,促进研究数据的共享。同时,参与这些组织也是 IGBP 数据管理策略的关键一环(见数据管理)。

给定了上述的目标(提供科学知识,为指导社会确定干扰地球系统的危险因素而服务),则有一点非常关键,那就是 IGBP 需要不断与全球环境评估过程和决策者进行衔接和联系。这

样就在全球变化研究、地球观测和全球环境评估与政策方面形成了一个完整的三角联系(图 10)。通过出版与工作组的参与,IGBP 将继续为 IPCC 和 MEA 的评估进行服务,并将不断促进地球系统科学与决策者和资源管理者的沟通(见交流与延伸)。

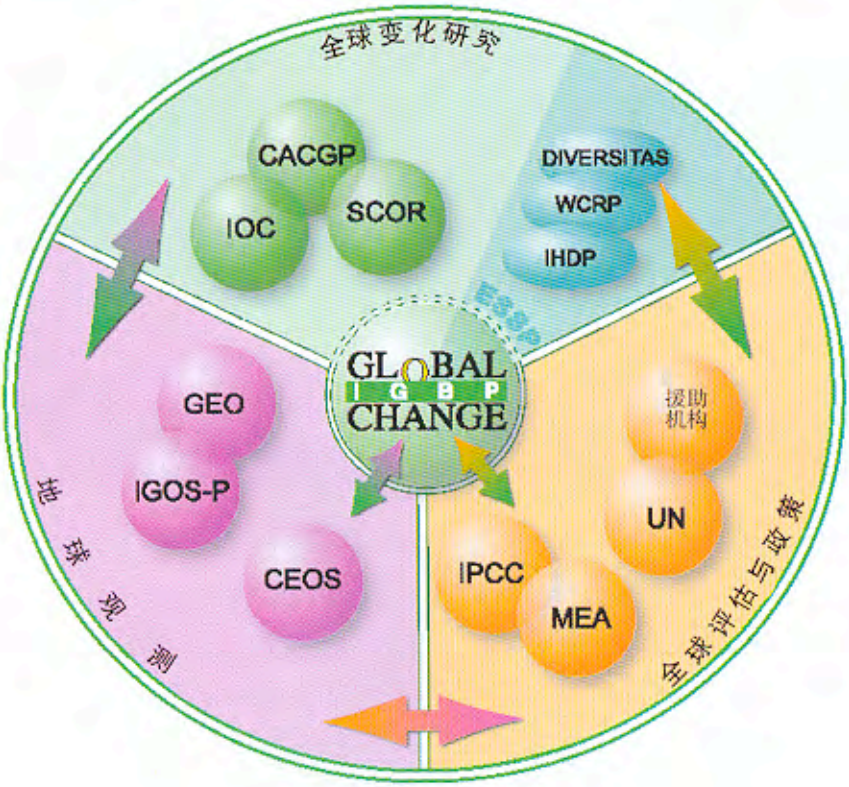


图 10 以 IGBP 为中心的全球变化研究、地球观测和全球环境评估与政策三方面的联系

IGBP 计划与研究活动

IGBP 第二阶段计划是在第一阶段计划研究与综合的基础上进行规划的。IGBP 将继续开展有重点的、多学科的研究来增进对地球系统的认识，研究也将涉及一些需要用系统方法进行研究的长远问题。IGBP 将对地球系统的各个组成部分（大气、陆地和海洋）进行联合研究，包括界面过程的研究以及跨越各个组成及界面的综合研究。这种全面的综合研究将会巩固对于地球系统诊断和预测能力的发展。IGBP 也认识到，研究进展的取得必须得到理论与实验研究、现场观测、模拟与遥感的支持，因此，将从一开始就结合这些方法开展研究计划。

IGBP 提供了一个地球系统科学框架，计划与研究活动都在这一框架下进行规划和集成。该框架允许计划发展自身的科学构架，同时它所做的是促进系统的和综合的地球系统研究。综合与进行系统水平的分析本身就是重要的科学研究活动，它要求具备坚实的学科知识。IGBP研究活动（见下文）的 3 种主要方式是 IGBP 研究计划、快速启动倡议（FTIs）和综合与集成。

IGBP 第二阶段的研究计划体现了地球系统的 3 个主要的组成部分（陆地、海洋与大气）、各部分间的界面及其在系统水平上进行的随时间和空间的集成（图 11）。这样的结构也反映出计划注重于地球系统的功能运作及其组成部分内过程的研究。

对于该结构的执行，我们采用阶段性的方法。有些计划是从 IGBP Phase I 延续过来（但制定了新的议程），也有一些计划是全新的。

单独的大气研究计划——国际全球大气化学计划（IGAC）是从 IGBP 第一阶段计划延续过来的。新的全球陆地计划（GLP）是基于 IGBP 第一阶段的两个已经完成的计划：全球变化与陆地生态系统（GCET）和土地利用与土地覆盖变化计划（LUCC）建立起来的。海洋研究由全球海洋生态系统动力学（GLOBEC）计划和海洋生物地球化学和海洋生态系统集成研究（IMBER）计划进行，GLOBEC 开始于 IGBP 第一阶段计划，而 IMBER 是全球海洋通量联合研究（JGOFS）的延续，但是其关注的问题更加广泛。GLOBEC 将于 2009 年结束，从而剩下一个海洋研究计划。

图 11 IGBP 计划的科学结构

在 IGBP 第二阶段计划中，有两个新的界面研究计划开始实施：上层海

洋—低层大气研究计划(SOLAS)和陆地生态系统—大气过程集成研究计划(iLEAPS)。海岸带陆—气相互作用研究计划(LOICZ)由第一阶段计划延续而来,同时其研究范围围绕着人与环境耦合的海岸系统进行了较大的扩展。

过去全球变化(PAGES)计划将继续其古科学综合研究,从而增进对过去地球系统行为的了解,并指导对未来可持续性的评估。地球系统分析、集成与模拟计划(AIMES)是建立在全球分析、解释和建模(GAIM)计划的工作之上,在地球系统层次上开展模拟及其它 IGBP 综合研究。

过去全球变化(PAGES)

过去全球变化(PAGES)计划是在 IGBP 第一阶段中于 1991 年建立的。其在第二阶段计划中扮演的角色与在第一阶段相同,但其研究方向经过了重新提炼,更加着重于地球系统行为的研究。在写作该文时,PAGES 科学议程的正式文档正在准备中。国际计划办公室(IPO)的总部设在瑞士伯尔尼。

基本理论

古科学研究革新了我们对地球系统的认识,它在生物地球化学循环和与人类社会相关的气候突变以及历史变化幅度的研究方面起着核心作用。其很重要的作用之一是对自然变率的包络线(包括太阳变率,注释框 3)和能够引起人类社会混乱的环境变化速率进行估计。古记录也能进行地球系统模式的测试与提炼。

海洋可以调节气候—环境系统(例如,可以通过隔绝大气二氧化碳来改变热量的经向输送)。通过古记录,我们已经对过去的海洋环流、海洋碳循环、以及其它过程有了很多了解。然而,有很多基本的问题我们还并不清楚,这包括海洋生物与碳酸盐系统在过去变化中所起的作用,以及热带海洋和南大洋等关键地区的古水文与环流状况等。同样,我们对于古温度和碳循环变化(以及两者的耦合)的量化和理解正在不断加深,但是在气候系统的自然(与人为)强迫与响应方面,还需要有更为细致的了解,以便为全球变化研究奠定良好的基础。

水文循环的变化对社会经济有着非常重要的影响。对于全新世水文循环的重建表明了其变化的不稳定,特别是对于低纬度地区,那里的降水受季风系统、热带辐合带的位置或气候的年际振荡所控制。鉴于持续干旱是人类社会所面临的最具破坏力的自然灾害之一,因此人们急迫地需要了解过去的区域气候和水文循环的变化机理。

由于最近几千年来,人类已经成为对地球系统越来越重要的影响因素,因此将过去环境变化同考古学和历史学的证据和文献资料结合起来进行集成研究,能够使我们了解人类在气候和环境变化中的作用。

注释框 3　太阳变率与全新世气候

对于气候的太阳强迫还不清楚。Eddy (1976)首先通过十七世纪太阳黑子的消失(蒙德极小期)而提出广泛的变冷与太阳活动水平降低之间存在着联系。在精确定年的古记录中，宇宙射线同位素(如^{14}C和^{10}Be)是有太阳活动观测以前该方面仅有的代用指标。宇宙射线同位素产生率取决于太阳风和地球磁场的遮蔽。

通过十年际的树木年轮资料和太阳活动的高水平期和低水平期的树轮气候代用指标所得到的大气中^{14}C的波动，了解到了过去12000年以来的太阳活动(Bond et al.，2001)。通过冰积物指标与^{14}C和^{10}Be产生率变化的比较研究为太阳强迫引起的北大西洋降温事件提供了有力的证据，同时全新世的降温事件也与太阳活动处在低水平的时间间隔相一致。

为了验证太阳强迫，假设了一个全新世的太阳辐射时间序列(与^{14}C产生率变化成比例)，并输入到一个中等复杂的气候模式(CLIMBER-2)中。因为模式没有表现出自由的十年际和百年际变化，因此结果清楚地表现了气候系统对于太阳强迫的响应。这也包括了一个线性的北大西洋表面气温正响应(图12a)和一个北大西洋翻转的负响应(图12b)。

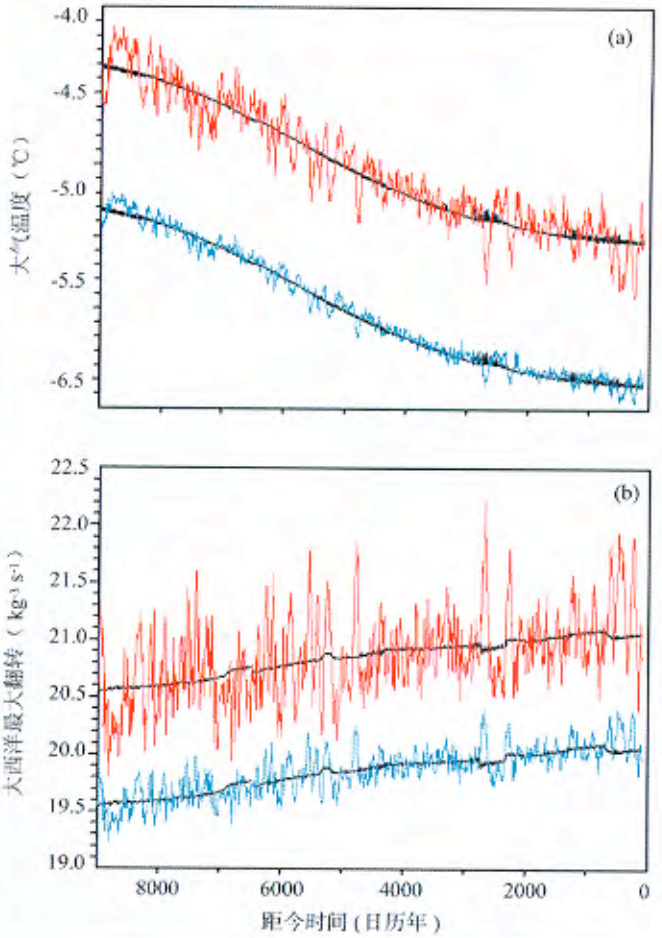


图 12　(a)控制运行(黑线)与运行条件下模拟的北大西洋表面气温的比较，辐射的变化是基于^{14}C产生率变化的计算值。蓝线：蒙德极小期和现在有0.24%的辐射变化；红线(平移了1℃)：蒙德极小期和现在有0.65%的辐射变化。(b)控制运行(黑线)与运行条件下模拟的北大西洋翻转的比较，辐射的变化同上。红线平移了1 $km^3 \cdot s^{-1}$(引自Kromer et al.，2004)。

通过树木年轮研究，对于太阳运动变化强烈期的碳和氧同位素进行了分析(例如，11310～10880BP-德国松树定年，4900～4700 BP和2930～2570 BP-德国橡树定年)。来自于^{13}C和^{18}O的信息非常复杂，因为其中具有与气候强迫并不直接相关的树木生理上的过程而变化强烈。然而早全新世的记录却很显著，因为$\delta^{13}C$发生了剧烈的减少，而后又恢复过来。$\delta^{18}O$也发生了同样的现象，尽管其变化与$\delta^{13}C$的变化并不相关。虽然还有很多问题还没有作出回答，但分析与模拟为从十年际到数百年际全球气候的太阳强迫研究提供了有力的支持。

关键问题

- 气候强迫因子以及气候系统对这些因子敏感性变化的历史是怎样的？
- 自然温室气体和气溶胶变化的原因什么？
- 在强迫、地表气候和生态系统中过去变化的准确的序列是什么？

· 全球气候和地球的自然环境在过去发生了怎样的变化?

· 从轨道到亚十年时间尺度上变率的主要形态是什么? 而且它们之间是如何关联的,又是如何影响气候系统的平均状态的?

· 地球系统的不同部分是如何相互作用而在区域和全球尺度上产生反馈的?

· 准稳定气候与环境状态间(特别是在与人类社会相关的时间尺度上)发生快速转变的原因及其阈值是什么? 这些变化的可逆性如何?

· 人类活动对气候和全球/区域环境的影响到了什么样的程度? 这是从何时开始发生的?

· 怎样将人类引起的变化从自然对于外强迫的响应和内部系统动力学中分离出来?

目标与结构

PAGES 的目标是提供过去地球系统行为的区域和全球信息,从而使人们能够基于过去情景的重建、系统分析和模拟来评估其未来发展的可持续性。其研究范畴包括物理气候系统、生物地球化学循环、环境过程以及人文因素。为实现其研究目标,PAGES 在以下 4 个研究焦点的框架下对其研究活动进行了组织:

焦点 1:过去气候强迫。该项研究的目的提供增强的、扩展的和连续的气候强迫参数(自然的与人为的)时间序列,包括太阳日射与辐射强度(或辐照度)、火山活动、土地利用、温室气体与气溶胶浓度等。

焦点 2:重建和模拟区域气候和变率形态。该项研究将通过重建与模拟的比较研究增进对于过去气候动力学(气候形态,从低到高的纬向和经向联系,以及全球遥相关)的了解。研究活动将致力于利用自然记录与文献资料对过去的气候状态参数(温度、降水和大气压力场)和过去的气候变率形态在全球范围进行高分辨率的准确重建。其研究重点是最近的 2000 年,当然也会对更早的时期进行研究。

焦点 3:陆地—海洋—冰冻圈的动力学与联系。该项研究包括突变的重建与模拟,以及相关阈值的量化。其关键议题包括海洋环流的变化、干旱、冰盖稳定性、陆面响应与过程、季风变化与季风动力学、以及冻土变化。

焦点 4:过去的人类—气候—环境相互作用。该项研究着重于过去气候、其它环境过程和人类活动之间的长期相互作用。它强调进行区域尺度上的环境与气候过程重建(通过自然记录、文献和器测数据)与过去人类活动(通过历史文献与考古记录)的比较研究。研究通过推动动力学模拟来更好的理解气候—人类—环境之间的相互作用过程,对强迫变化中不同的驱动因素进行量化,并为模式的比较和验证研究提供综合数据集。

除了以上的几个研究焦点,PAGES 还建立了 4 个适用于这些焦点研究和一般古科学的交叉主题。以下仅介绍其中的两个,另外两个因与计划的实施有关,故在下一节进行介绍。

主题 1:年代地层学。年代学是大多数古科学的基础,而且它常常可以限制基于古环境重建研究所得结论的效力。该主题鼓励进行改进绝对定年和相对定年方法的研究,也支持参照时间尺度和创新性的新方法。

主题 2:代用指标的发展、验证和校正。该主题支持对古环境代用指标的精度和准确性进行提高,因为它是辅助器测资料和文献资料重建高质量古环境记录的基础。其研究活动包括对代用资料进行解释与发展、分析方法革新、实验室间的比较和校正方法的提炼改进。

研究方法

PAGES 将在全球范围内促进基于高分辨率的时空数据和模式模拟的集成研究，也将促进国际合作与交叉学科发展，特别是国家计划中具有共同研究兴趣的个人之间的合作。PAGES 将与其他 IGBP 计划一起开展古生物地球化学和古水文循环、海—气环流、海平面变化、生物圈在地球系统内的作用、碳循环以及古灾害与重建等方面的研究。PAGES 的在线数据库和其它的网络服务将有助于促进国际古科学研究的合作与协调。

与数据管理和通讯活动有关的 PAGES 第三和第四交叉主题是：

主题 3：数据管理。该主题主要是促进古数据的可用性与易获取性，以及数据的创新利用。该主题在科研团体和国际数据中心（如世界数据中心和 PANGAEA）以及地区、地方和国家数据库中间起着桥梁的作用。

主题 4：宣传与延伸。PAGES 有义务将数据产品及其意义传达给决策者和公众，并将继续在 PAGES 网站上和 PAGES 通讯中报告和促进古研究及其相关的研究活动。PAGES 还将继续组织延伸的研究活动。

国际全球大气化学（IGAC）

国际全球大气化学（IGAC）计划于 20 世纪 80 年代末 IGBP 第一阶段计划中产生，同时是与 IAMAS 的 CACGP 共同发起的。IGAC（2006）对其在 IGBP 第二阶段中的研究议程进行了详细说明。其 IPO 位于坐落在西雅图的美国国家大气海洋局的太平洋海洋环境实验室。

基本理论

大气化学和组成有助于确定生物圈中的条件。例如，大气中的微量气体可以在生物圈和平流层臭氧之间起到隔热作用，从而保护生物免受强紫外辐射的伤害。一系列化学反应（其中许多都与羟基有关）可以净化大气中的污染物，从而避免污染物积聚到一个致命的水平。大气对于海陆间物质和能量的传输也很关键。

大气化学和组成正在发生着快速的变化。除了已经认识到温室气体浓度的不断增加很重要外，对于气溶胶作用的关注也在日益增加（注释框 4）。撒哈拉地区严重的干旱可能与近几十年内北半球产生的气溶胶有关（Rotstyn and Lohmann，2002）。此外 20 世纪 60 至 80 年代，由气溶胶引起的欧洲和北美洲的降温改变了北大西洋地区和热带、亚热带地区之间的纬向温度差。后者的这一变化影响了大气循环，并造成非洲季风位置的移动，从而在撒哈拉地区形成了干旱气候，并对环境和人类产生了严重的后果。

注释框 4 气溶胶对气候的影响

气溶胶可以直接通过散射和吸收入射的太阳辐射或者间接通过影响云的性质而对地球能量平衡产生影响。一般情况下，这些影响与温室气体的影响相反，也就是说，气溶胶通常会降低地球表面的温度。我们对硫酸盐气溶胶的这种影响已经有了较好的认识。而对于其他气溶胶，问题并不这样简单。例如矿物燃料和生物材料的燃烧所产生的含碳粒子能同时吸收太阳辐射和红外辐射，这就可能导致地表变暖，而同样的燃烧过程也会产生有机碳粒子，它又可以降低地球表面温度。

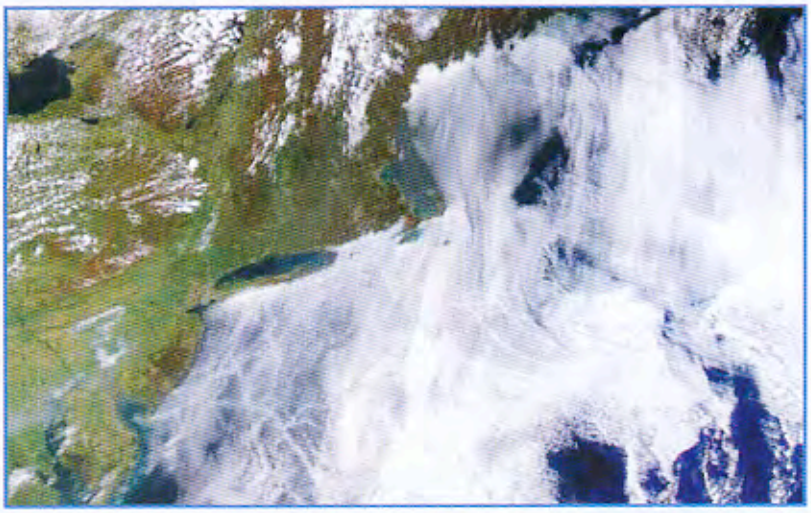


图 13 在远离美国东海岸的大西洋上，船形成的"船舶轨迹"所排放的气溶胶引起云反射率的增加(感谢 NASA)。

有一些可能比直接辐射效应更重要的间接效应非常复杂，对其了解还很少。其中一个间接效应是气溶胶粒子浓度的增加而引起云反射率的增加(特别是在净化条件开始的时候)。这种效应会造成"船舶轨迹"——云会围绕着船排放出的废气——的产生(图 13)，这也是许多大型的野外试验所集中关注的问题之一。

第二个间接的气溶胶效应是对于云和降水形成的影响。气溶胶粒子浓度的增加有时会抑制海洋云中的降水。这会使降水和云的形成产生混乱，正如在亚马孙流域看到的森林大火产生的烟羽对云的压制作用那样(Andreae et al., 2004)。对这些效应的模拟(特别是进行全球模拟)颇具挑战性。云的形成、云的反射性和降水形成都直接或间接地依赖于云滴的数量，而其又取决于气溶胶粒子的浓度和化学组成。全球模式对于这种效应的一些模拟的尝试表明其潜在的影响较大，这既包括其辐射效应(如 Ghan et al., 2001)，也包括对降水的影响(图 14)。

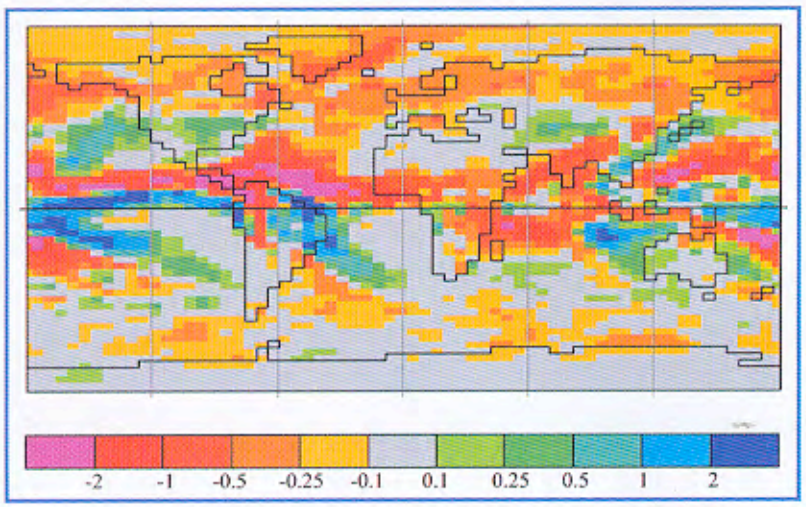


图 14 模拟的工业前与现在条件下气溶胶导致的年平均降水($mm \cdot d^{-1}$)差异(引自 Rotstayn and Lohmann, 2002. 感谢美国气象学会)。

对于活性化合物在气候系统中作用的认识也在不断增长，然而，其相互作用非常复杂，因此对其的认识也很有限。在上世纪中对流层臭氧的很大增加是一个很好的例子。臭氧既是一种温室气体，也因为它是一种强氧化剂，能通过化学反应影响羟基的浓度从而对气候产生影响。接着，羟基可以与甲烷一类的具有气候上重要的气体发生反应。

在世界上的许多地方都观测到了新粒子（次生有机气溶胶）的形成，如在海洋、海岸和森林地区以及自由对流层内（Kulmala et al.，2004）。但仅就海洋环境来说，对于与次生气溶胶的形成有关的化合物和反应体系已经有一个较充分的了解，这可以用来检验其对地球系统产生的影响。新粒子通过各种前体气体和对已有粒子的非均匀相反应而形成和生长，这些粒子通过大气中的羟基、臭氧、硝酸基和氮氧化物等氧化剂而与无数温室气体和粒子相有机化合物的氧化反应相联系。近期对于对流层上部气溶胶粒子的观测（例如，Ström et al.，1999；Lee et al.，2004）又推动了进一步的研究。

除了气候方面的原因，大气组成的改变还对地球系统的运作有其它方面的意义和影响。其中一个是大气自身的净化能力，即将自然和人为排放物通过排放物氧化、在水滴中溶解并通过降水清除的能力。对于羟基浓度进行的十年际估算研究表明其在过去 30～40 年中的变化较小（Prinn et al.，2001），但这是否是由于大气化学系统内在的适应能力较强，或是抵抗人为的效应而造成的，还不得而知。认识这种氧化—净化系统的本质特征，特别是其对于自然和人为驱动因子变化的响应，是很关键的。

大气可以在远距离输送能量、气体和粒子。航空和卫星数据表明，北美洲东部产生的气溶胶能被输送到西欧和北非，而来自欧洲的污染物会在亚洲沉降，并且亚洲干旱地区产生的沙尘暴可以穿越太平洋到达落基山脉地区或者更远。故研究也揭示了气溶胶的大范围输送。因此，地区的空气质量无法仅通过该地区自身的管理而得以彻底改善。

过去 200 年来的人类活动对大气产生了很大的化学负担，即便是在偏远的地区亦是如此。其主要的驱动力是工业化、运输的增长、生物质燃烧和农业的扩大和快速发展（特别是化肥使用）。

关键问题

- 大气化学是如何影响大气辐射平衡和物理气候系统的？
- 气溶胶对气候的直接和间接影响是什么？
- 微量气体和气溶胶的排放、远距离传输和化学转化是如何影响地表空气质量的？
- 在面临直接的人类干扰和气候变化时，大气净化能力的稳定性如何？

目标与结构

IGAC 的目的是了解大气化学在地球系统中的作用，并确定地区排放和沉降、长距离输送与化学转化对空气质量的影响。为达到这个目标，IGAC 提出了一系列有针对性地问题，这些问题都包括在以下两个主要的主题中：

主题 1：大气化学在加强或者抑制气候变化中的作用是什么？ 这又包括 4 个子问题：①平流层与对流层交换、人为与自然前体排放物与现场光化学过程在控制臭氧及其对气候变化的影响方面的相对作用是什么？②气溶胶粒子的源、汇、分布和属性以及气溶胶对气候的直接辐

射效应是什么？③气溶胶粒子对云、降水和地区水文循环会有怎样的影响？④气体与气溶胶粒子的排放与沉降的变化如何影响气候强迫的空间分布。

主题 2：在地球系统内，地区排放与沉降、远距离传输和化学转化的变化对空气质量及行星边界层的化学组成产生怎样的影响？这又包括 3 个子问题：①氧化物、气溶胶粒子及其陆源（如大城市、生物材料燃烧和沙尘）前体物对全球大气输出的通量是多少？②陆地间输送对于地表空气质量产生什么样的影响？③人类活动是如何改变大气净化能力的？

研究方法

为了对这些问题进行研究，大气化学研究人员需要：①准确确定大气中短寿命和长寿命化学物质的全球分布，并记录其浓度随时间的变化；②对于控制大气化学物质分布的过程及其对全球变化和空气质量的影响有一个根本的理解；③综合大气过程对于地球系统的响应和反馈的理解，提高未来几十年内大气化学组成的预测能力。图 15 表示出了 IGAC 涉及到的大气化学过程。

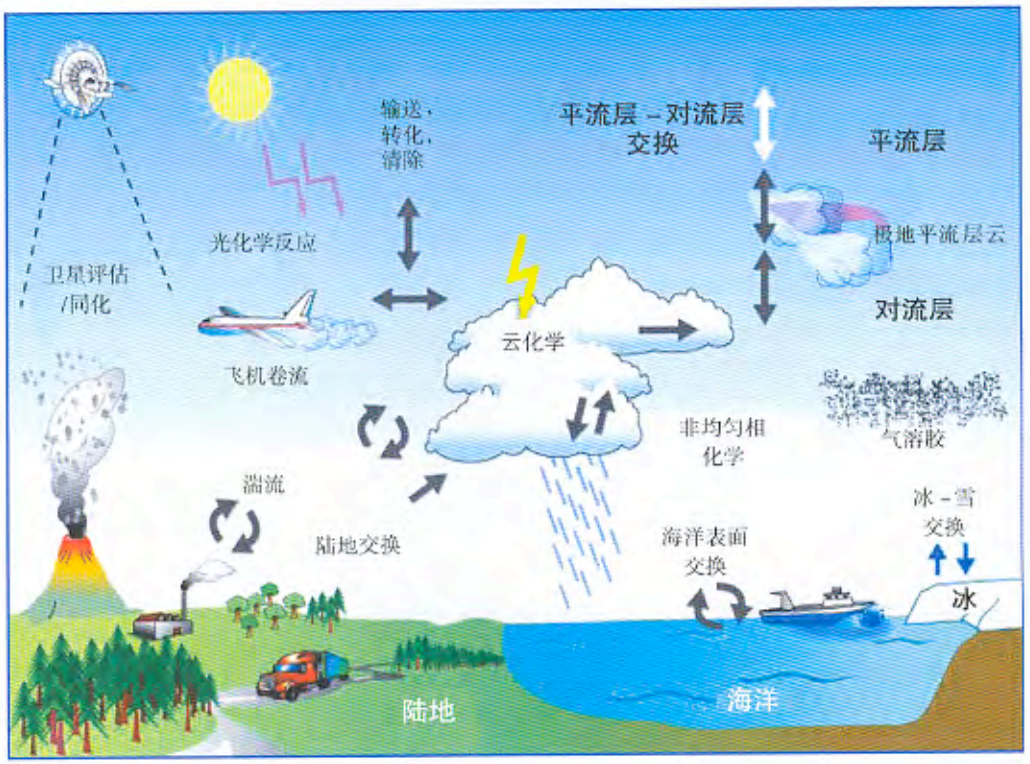


图 15 IGAC 研究的主要大气过程

以上问题中的大多数都需要利用很多常规的研究方法来解决。通过利用地基平台和卫星遥感已经对大气组成进行了长期的观测。卫星遥感的发展很快，并在数据的数量、连续性和覆盖面方面产生了革命。利用飞机、测量船和其他平台进行的密集的和短期的野外观测研究是另外一个重要的手段，它对于在特定地区提供更为详细的空间覆盖度方面具有优势。目前，气候和地球系统模式可以更为全面地同大气化学研究相结合，这可以进一步促进全球大气化学和传输模式的发展。

在全球变化的大气化学研究的广阔领域内，IGAC 的作用是集中于那些需要利用全球策略来解决的问题。在可操作层面上，IGAC 的研究以任务为基础进行组织，直接面向回答 IGAC 整体框架内的更为具体的问题。所进行的各种各样的任务包括：①国际网络（例如，对于热带地区的干湿沉降，因为这里观测的连续性与可比较性、观测质量保障以及中长期的观测记录很重要）；②野外观测活动（例如上世纪 90 年代的气溶胶特性试验，包括了地面与空中的观测）；③开展观测合作，通过搭载适当观测设备的商用飞机对对流层上部进行长期的定期采样；④模式的发展与比较研究；⑤对于某一特定问题得以解决的任务，进行短期的任务集成，并在 2～3 年内出版集成资料。研究任务有 IGAC 科学指导委员会（SSC）批准和定期检查，而且最终要在同行评审刊物上发表其研究成果。

陆地生态系统—大气过程集成研究（iLEAPS）

陆地生态系统—大气过程集成研究（iLEAPS）计划是从 IGBP 第二阶段开始的一个界面过程研究计划。iLEAPS 议程请见 iLEAPS(2005)，其 IPO 位于芬兰赫尔辛基大学的物理科学系。

基本理论

陆地—大气界面间能量与物质的输送与转换对于控制大气的组成起着主要的作用。大气和陆地生态系统过程都在驱动着这种输送与转换，特别是陆地生态系统内生物过程的作用尤为重要。陆地生物圈非但不是大气与气候变化的被动接受者，而且还强烈地影响着大气与气候。生物界与其地球物理和地球化学环境在共同进行着演化，从而产生了许多复杂的反馈。陆地生物圈与大气之间是通过地表各种各样的气体与粒子排放、其向对流层的输送、其后的化学和物理变化以及这些过程对辐射传输和陆地表面的降水、气体和粒子沉降的影响而发生着多种联系。iLEAPS 注重于研究陆—气界面间大量过程的关联、反馈和遥相关。

土地利用和土地覆盖对于气相化合物的排放、原生和次生气溶胶粒子的排放、大气成分与氧化能力以及各种各样的沉降过程起着关键的作用。森林退化和荒漠化增加了沙尘的排放，减少了光合作用固碳量，并且由于蒸发和蒸腾的变化而改变了大气中的水汽含量。林地退化和农业扩展改变了陆地向大气排放物的数量和类型，因而影响到了挥发性有机化合物、氮氧化物和其他化合物的浓度，进而影响了决定大气氧化能力的臭氧、羟基和硝酸基的浓度，其后是反应生成物的数量和生命期，最后就影响到沉降的特性。通过水文循环，森林退化也会影响到低层大气，例如会影响边界层高度和云形成的水汽、能量和动量传输。林火也会产生气溶胶粒子和碳，特别是在北温带森林、草地、热带稀树草原和林地内。大气的辐射性质受地表的气体和粒子排放的影响，进而会对大气过程、相互作用（例如光化学反应）和陆面过程产生反馈。辐射平衡会受到冰川与冰雪覆盖变化引起的反照率变化的影响。

陆地对于大气的大部分影响都是通过向对流层的气溶胶排放而产生的。作为云的凝结核，气溶胶粒子会以复杂的方式对气候产生影响，这取决于其组成和粒径分布（Glantz and

Noone, 2000)。气溶胶的宽谱趋向于产生较宽的云滴大小分布,从而使得降水也有增大的趋势。然而,其他的气溶胶作用有减少降水的趋势,例如,当粒子强烈吸收太阳辐射时会导致大气加热和云的蒸发,或者当粒子数量增加时,水滴的数量会增加,但其半径会减小,同时加入雨滴的水滴会减少。需要优先解决减小围绕这些过程的不确定性问题,因为它们是提高对全球与地区气候变化进行预测的主要障碍。

对于陆地生态系统的反馈主要是通过入射辐射的多少与降水量发生所用的。较大的云量(由于源于植物的气溶胶)会增强漫射辐射,因而会促进光合作用和植物生长。植被也能对降水产生正面的影响,因为它可以通过前体化合物的排放来形成足够多的气溶胶粒子,从而使云凝结核数量保持在一个较高的水平,进而形成足以产生降雨的云。陆地生态系统可能与大气进行协同的发展,此时气溶胶粒子的浓度和分布受排放物的相互作用以及粒子的组成、输送和清除过程的调控(Andreae et al., 2002)。

清除过程对与系统的稳定性是比较重要的,它可以防止气体达到有毒的水平,也可以防止气溶胶对辐射或者降雨发生实质性的减少。清除作用是通过将粒子氧化为水溶性物质,继而通过降水来进行的。然而,这一过程并不是沿单一方向进行的。氧化的羟基浓度依赖于复杂的反应序列,接下来又取决于排放物的特性和数量。因此,清除效率受到陆—气间耦合的强烈反馈的很大影响,这种排放—氧化—沉降的反馈与植被—气溶胶—云—气候反馈有着紧密的联系(注释框 5)。

注释框 5 巨大的热带反应器

因为热带具有高水平的紫外辐射和水汽含量,这里的羟基浓度也最高,而且甲烷、一氧化碳和其他微量气体的大多数氧化反应都发生在"巨大的热带反应器(Great Tropical Reactor)"内,它是指热带对流层中具有高羟基浓度的地区。因此,这些地区不仅对于调节气候很重要,对于维持大气化学组成也很重要。

在原来的条件下,生物圈是中低对流层中碳氢化合物和氮氧化合物的主要的源。那时,其排放的此类化合物数量相对较少,氮氧化物的浓度较低,因而对流层处在一个低臭氧的状态中。在热带雨林地区,这一过程是通过生物、化学和物理过程的紧密相互作用而完成的,这样就允许有充足的氮进行流通,但限制了其向大气的散失。氮氧化物是在土壤有机质分解的时候产生的,有一部分也就逃逸到土壤上面的大气中去。在这里它会与臭氧反应而生成二氧化氮,二氧化氮又在森林冠层的植物表面充分沉降,并用于植物生长。在土壤排放到大气中的氮氧化合物中,只有一小部分参与了臭氧的形成(图 16a)。

雨林向草地和农田的转变及其造成的林冠的消失打破了与氮氧化物紧密的再循环系统。因为从土壤到草地、冠层的距离很短,所以氮氧化物氧化为二氧化氮以及二氧化氮沉降在叶面的机会很少。生物源的碳氢化合物会由树木到草地、农田的变化而减少。然而,生物质燃烧(森林砍伐和土地管理)和矿物燃料使用为发展中的热带地区大气提供了额外的氮氧化物和碳氢化合物。其结果是使得该地区从低臭氧状态的大热带反应器向高臭氧的光化学烟雾转变(图 16b)。

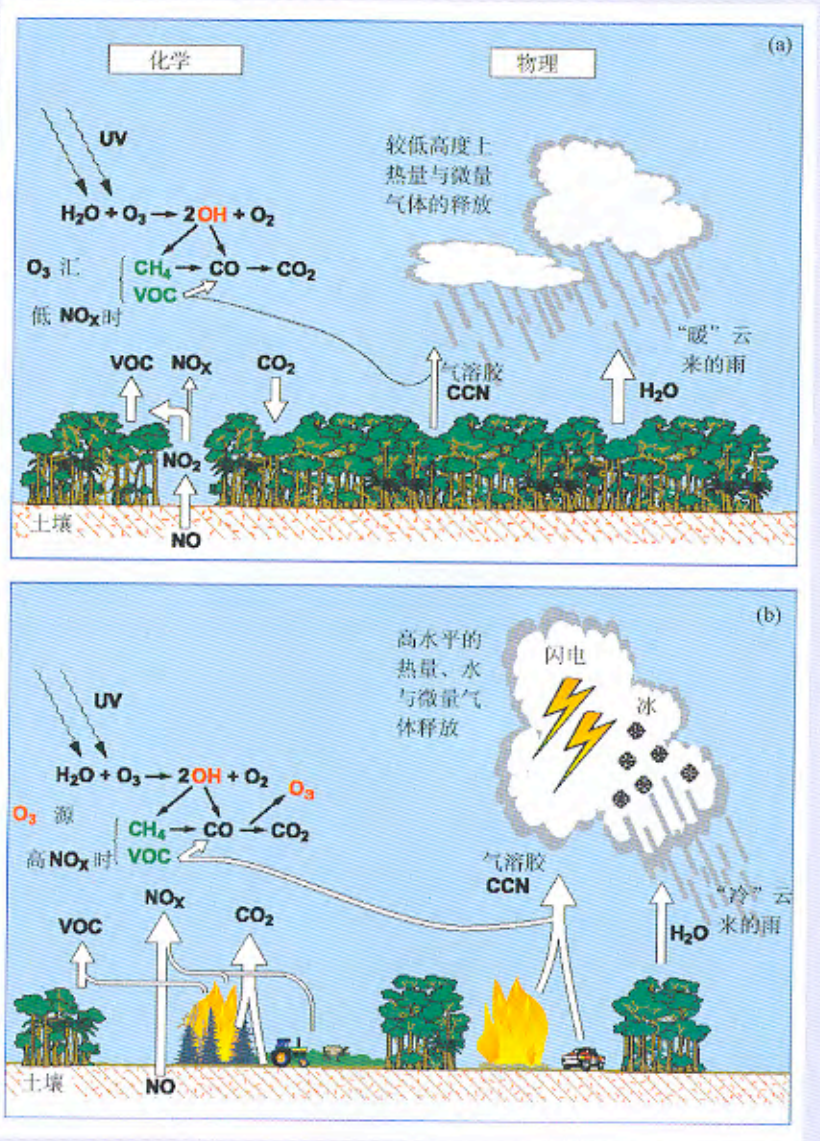


图 16 巨大的热带反应器——热带地区微量气体、气溶胶和云的生物圈—大气圈相互作用

(a)自然条件下；(b)林地砍伐和发展后(感谢 MO Andreae)。

关键问题

- 陆地生态系统与大气之间通过气体和气溶胶的排放、转化和沉降进行着怎样紧密的耦合？
- 植被将其物理和化学环境优化到怎样的程度？
- 陆—气相互作用对地球系统运作具有什么样的意义？
- 人类活动是怎样影响陆地—大气系统的？
- 陆地—大气系统的缓冲能力如何？

目标与结构

iLEAPS 的目的是确定：①物理、化学和生物过程是如何进行相互作用来对陆—气系统间的能量、动量和物质进行输送和转化的？②对于地球系统动力学的意义；③陆—气系统在工业化前和在人类影响条件下的功能；④植被在不同的时间和空间尺度上决定其自身的物理和化学环境的程度。为达成这一研究目标，iLEAPS 的研究活动都将在以下 4 个焦点议题的框架下进行：

焦点 1：活性长寿命化合物的陆—气交换：地球系统中的关键相互作用与反馈。该项研究包括 4 个子焦点：①二氧化碳；②甲烷；③挥发性有机化合物；④氮氧化物。

焦点 2：气候系统中陆地生物区系、气溶胶和大气组成之间的反馈。该项研究包括两个子焦点：①生物圈—气溶胶—云之间的相互作用；②地表—大气交换和大气的自净化机理。

焦点 3：陆面—植被—水—大气系统的反馈与遥相关。该项研究包括 3 个子焦点：①水文—生物地球化学的横向联系；②地区性问题；③全球性问题。

焦点 4：土壤—冠层—边界层系统内的物质与能量传输：观测与模拟。该项研究包括 6 个子焦点：①湍流通量测量传感器的发展；②通量塔斑块尺度；③不守恒标量；④边界层收支方法；⑤通量与大气组成的机载观测；⑥遥感。

这 4 个研究焦点综合了观测与模拟，其范围从分子水平扩展到全球尺度（图 17）。

研究方法

在多数情况下，iLEAPS 都将基于现场观测、过程与实例研究、卫星观测和模拟研究的结合开展研究活动。适合的理论基础和观测方法将是 iLEAPS 的一个重要部分。iLEAPS 研究将遵循以下几个原则：①每一个研究活动都会考虑多种化学组分的相互作用与反馈，包括能量和动量；②研究需要在广泛的尺度上增进对过程的理解，而且需要综合观测与模拟；③从一开始就需要将观测与模拟结合起来；④研究需要针对具有地区或全球意义的问题；⑤研究应该能够跨越传统科学与组织的界限；⑥研究应该是国际性的，根据其科学贡献而对所有国家和组织的参加者开放；⑦所有的研究活动都应该包括能力建设部分。

iLEAPS 正在采纳一种面向任务的方法来界定其研究。任务中已经清楚地定义了其预期目标（例如，同行评审出版物、方法的发展等），任务由个人或者科研团队来提出、发展和实施，并且具有有限的研究周期。任务由 iLEAPS SSC 批准并进行定期检查。任务包括野外观测活动、模拟（工具发展、验证和比较）、长期综合野外研究、大规模国际跨学科活动、集成研究、数据库、特定科学问题的会议和集成会议。某些任务，比如全球网络（如通量观测站）和全球数据库（如地表排放，沉降）的发展和维护将在 iLEAPS 的计划时间内持续进行。在世界范围内定期召开开放的科学大会，以促进科研成果和思想的交流，并为各科研小组间交互进行陆—气问题讨论提供支持。

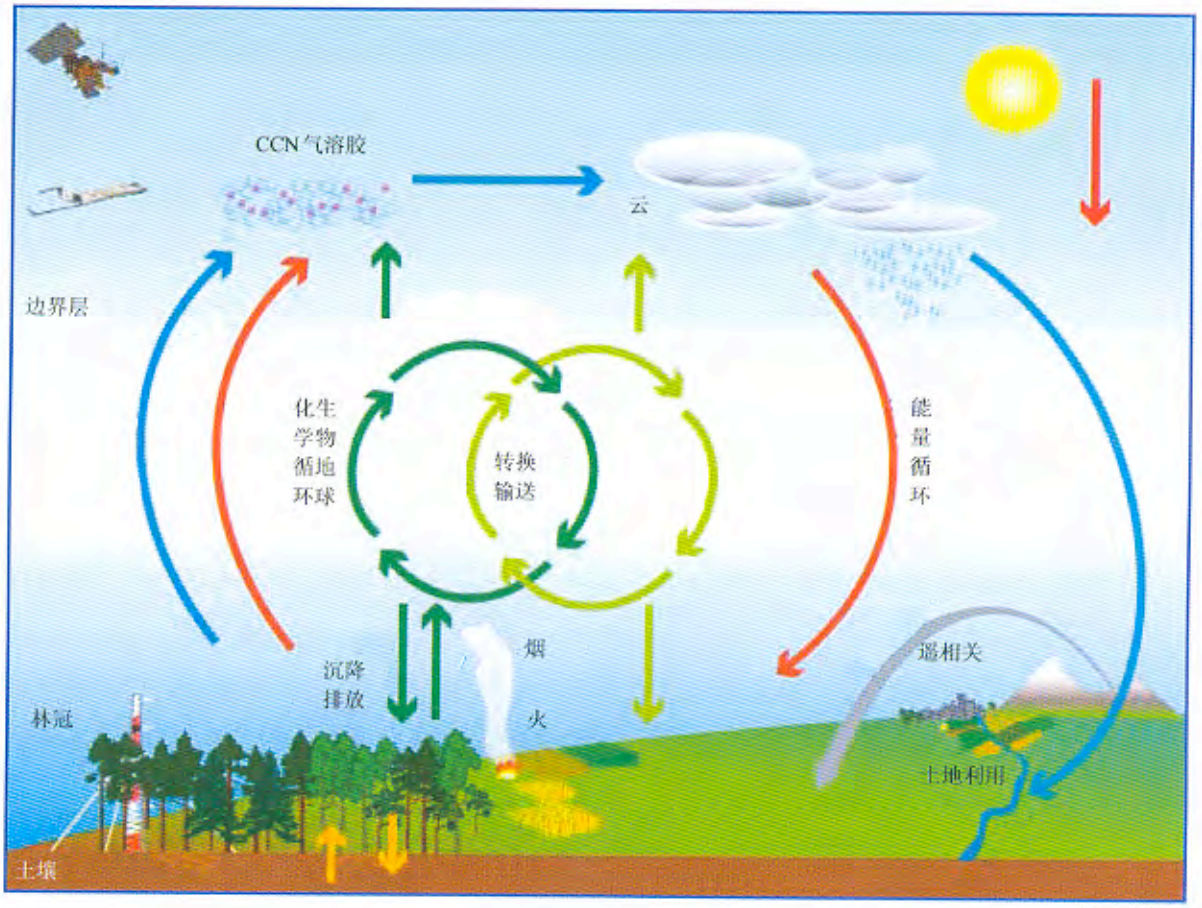


图 17 iLEAPS 计划涵盖从分子水平的观测到全球尺度的模拟

全球陆地计划(GLP)

全球陆地计划(GLP)是 IGBP 第二阶段计划内的项目之一,它是建立在 Phase I 内的两个面向陆地的计划之上:LUCC 和 GCTE。GLP 是与 IHDP 共同发起的,其研究议程访见 GLP(2005)。IPO 设立于丹麦哥本哈根大学地理学系。

基本理论

人类对于陆地系统的影响的加深造成了陆地变化科学的兴起,该学科是通过联系自然、社会和地理信息方面的科学知识来研究陆面变化及其结果的(Gutman et al., 2004)。针对地球系统层面上的陆地研究主要着眼于人类—环境系统(Turner et al., 2004)。并且,在过去的十多年里,对陆地研究的主导模式已经从注重同质性和均衡的方向转变为注重时空异质性的和复杂的系统以及非线性的动态变化。这种新的研究模式将全球变化作为不同尺度下的一些相互作用的强迫(比如,社会与经济崩溃、全球化、短暂的干扰和土地利用变化等)之一,并会在陆地系统中产生一系列叠加的变化,而且常常会产生无法预料的系统后果。陆地变化产生的反馈也

同样复杂，并对生态系统服务、经济产出和地球系统功能有重要影响。这种新的模式也增强了GLP的分析结构(图18)。

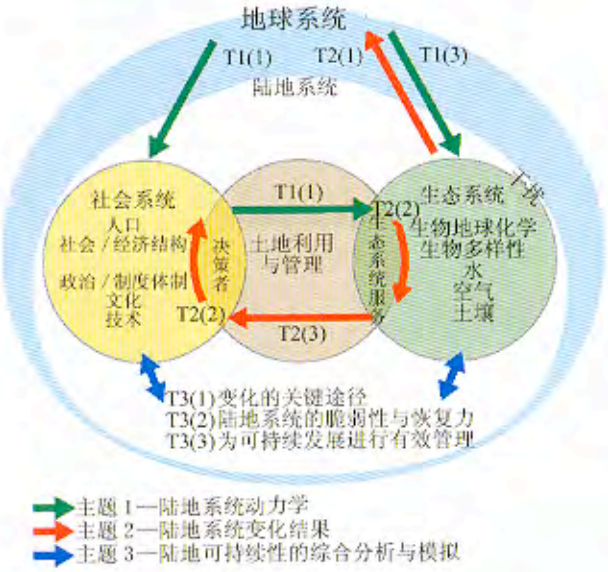


图18 GLP的分析结构。它展示了人与环境子系统之间以及地球系统内跨尺度的联系与反馈

在世界的不同地区，全球环境变化会对人与环境耦合系统产生不同的影响。对于生物物理变化和社会强迫的响应，在南北半球之间，城市与农村之间以及发达与发展中国家之间都有所不同。这些继而会影响地区土地利用的决策和生态系统服务的提供。其所引起的环境变化既会加快环境变化的速率，也会使其有所降低。环境决策、生态系统服务和全球变化之间的联系在人与环境耦合系统中决定了重要的、跨尺度的反馈途径。

目前以及在未来的几十年里，土地利用变化将继续是驱动陆地系统变化的一个重要因子。由于气候变化和水资源缺乏，干旱半干旱地区对于土地利用的变化极为脆弱。并且，该地区的人们高度依赖土地的生产力来饲养家畜并获取农作物。热带的森林采伐是全球变化的一个主要部分，并有可能在可预见的将来一直持续下去。在最近这些年里，对于森林砍伐的速度和方式，及其社会经济的驱动因子和对于人类—环境系统的反馈已经有了大量的认识。可能的原因及其驱动因子的不同组合都在不同的地理条件和历史条件下发生着，而某些地区在诱因—驱动因子模式上表现出了惊人的一致。一个主要的挑战是对结合变化速度和方式的研究来进行诱因和驱动因子的综合研究，以便发展较好的土地利用变化模型来进行解释和预测研究。

陆地系统变化通过在人类环境耦合系统产生复杂的响应而改变生物地球化学循环。例如，现在人类活动直接或间接的固氮比陆地生态系统自然固氮的总和还要多(注释框2)。大多数额外的氮都作为农业合成化肥而施加，然而，其中的大部分又都散失到大气或河流中，或者在土壤中累积而产生全球性的后果。由气候和土地利用变化而造成的荒漠化正改变沙尘气溶胶和关键营养盐的物质交换。高纬地区的陆地系统受气候变化的影响而发生的冻土融化，这会影响到生物地球化学和水分通量。来自于政治、制度、植被动态与输送以及生态系统服务维持方面的证据表明，这些变化不仅影响到了生物地球化学作用，而且还影响到了社会—环境耦合系统。那么对于这些循环的陆地方面及其对人类—环境耦合系统的研究就很有必要。

人与环境耦合系统的变化已经对千年来的陆地生物多样性产生了影响，但是在过去的一个世纪内，其变化程度所引起的物种灭绝可以与地球历史上5个主要的全球灭绝事件相比拟。但这对于生态系统和地球系统功能影响的意义，我们却了解的很少。例如，我们还不清楚生物多样性和生态系统过程及机理之间是否存在一般性的联系。早期的生物多样性—生态系统实验表明，物种数量的增加会引起植物生物量的渐进增加。然而，该研究还在其初级阶段，因此

也不会预知哪些物种对于什么样的生态系统功能是关键，或者哪些物种对于环境变化具有恢复性或抵抗性。一个关键的问题是，为在人类社会可接受的限制条件下维持地球生态系统机能，需要有怎样的和什么类型的生物复杂性？

陆地系统动力学强烈地受到自然和人为干扰两方面的影响，这些干扰可以改变物理环境的结构和有机质的分布。自然干扰（比如火灾，注释框 6）、冻土融化、风暴和昆虫侵袭的量级和频率也由于气候的变化而发生了改变，同时人为的干扰（比如资源耗竭和土地利用改变）也在不断增加。这些干扰的相互作用能够进行相互促进，同时会对生态系统服务（局地和地区）和地球系统功能产生重要的结果。

总之，有必要提高对于人类活动如何影响陆地生物圈的自然过程的认识，而更需要了解的是这些变化对人类产生的后果。这必须包括过程水平上的生物地球化学研究，也要包括范围广大的陆地系统（从准自然状态的保护区到受到管理的生产系统，再到城市生态系统）的研究，以及陆地变化与气候变化间相互作用的研究。

关键问题

- 陆地系统变化的原因是什么？全球变化在其中起着什么样的作用？
- 陆地系统变化会对生态系统服务产生什么样的结果？
- 对于地球系统功能，特别是生物地球化学循环的反馈是什么？
- 陆地系统对全球变化的脆弱性如何？其恢复力是如何得以增强的？
- 陆地系统变化可能表现出的临界状态、突变和显露的性质是什么？

目标与结构

GLP 的目标是：①确定陆地人与环境耦合系统变化的原因、结构和属性特点，并量化其对于耦合系统的影响；②对这些变化如何影响生态系统服务进行评估；③确定脆弱的和可持续发展的人与环境耦合陆地系统对于相互作用的干扰（包括气候变化）表现出的特点和动态变化。

GLP 为达到这些目标，将其研究组织在以下的 3 个研究主题内。联系人与环境的领域、了解决策制定和管理、解决跨尺度问题和寻求症结所在等关键问题作为主线贯穿在这些主题中，其研究主要利用实例比较、过去记录和模式发展等方法。

主题 1：陆地系统动力学。该主题包括 3 个议题：①全球化和人口变化如何影响地区和局地的土地利用和实践？②土地管理决策和实践的变化如何影响生物地球化学、生物多样性、生物物理性质与陆地和淡水水生生态系统分布的变化的？③全球变化的大气、生物地球化学和生物物理方面是如何影响生态系统结构和功能的？

主题 2：陆地系统变化的结果。该主题包括 4 个议题：①生态系统变化对于地球耦合系统的关键反馈是什么？②生态系统结构和运作方式的改变如何影响生态系统服务的传输？③生态系统服务是如何与人类生存进行联系的？④人类对于生态系统服务供给的改变在不同的尺度和不同的环境下是如何响应的？

注释框6 人与环境耦合的干扰之一:火灾

火灾对于地球系统的两个重要的反馈很关键。首先,火灾的波动与大气和气候动力学联系在一起;其次,火灾的变化会影响生态系统服务,继而对人类系统产生影响,人类社会的机构与制度可能会影响对于火自身的反馈。对于火灾的波动对地球系统动力学影响结果的量化需要考虑所有对于土地覆盖的反馈。

目前我们已经了解到火灾是土地覆盖的一个关键的决定因素。而且,古生态证据和对未来的模拟都表明,在气候快速变化的时期,火灾可以加速植被的变化,而且事实上它能够比气候变化对植被的直接影响更快地触发这种变化。

生物燃烧对于温室气体和污染物的排放有着重要的贡献,而且与此相关的碳通量的数量级可以决定一个地区是碳源还是碳汇。比如,计算得到的美国净碳汇的结果可能是受到火灾的影响。火造成的生物源排放和微量气体生成也会更直接地改变大气化学和气候,烟尘气溶胶会影响地区也可能是全球的辐射平衡。从长远来看,或能够通过改变反照率、温度和水文等生态系统性质改变地区气候。

图19 2002年大火灾两年后的俄勒冈东部的松树林。那次火灾之所以非常强烈,一部分原因是由于经过了近100年的火情压制,这反而导致了比在其他情况下发生的森林火灾具有更大的排放和对土地覆盖的影响。火灾导致了木材生产等生态系统服务的损失和管理制度的重新评估,因而完成了几个反馈循环。感谢K Hibbard

火灾的波动也刻画和改变着陆地生态系统的结构和功能,同时也影响着生物多样性、第一生产力、土壤营养盐动力学和流域径流。然后,这些又通过改变食物和纤维生产、碳隔离、土壤肥沃程度的保持、清洁水的供给、大气质量和气候的调节以及生物多样性的美学和精神价值来对经济产生深刻的影响。

最后,作为一种自然干扰,火灾受到人为干扰变化的巨大影响。例如,在清除了原始植被来进行农业生产的地区,自然景观所残留地段的火灾发生频率常常受到抑制,从而使得一些依赖于火的物种因此而遭到损失。相反,邻近城市的森林会为了安全地进行管理而抑制了火灾发生,这样一来,一旦有火灾发生就会造成极具破坏性的影响(图19)。在这些方面,人类的公共机构,比如地区农民组织和森林管理机构,就对于火灾如何作用于生物圈有着密切的影响。

主题3:陆地可持续性的综合分析与模拟。该主题包括3个议题:①陆地系统变化的关键途径是什么?②陆地系统对于灾害和干扰的脆弱性和恢复力是如何随着人类—环境相互作用的变化而变化的?③什么样的制度能够增强陆地系统可持续性的决策制定和管理。

研究方法

GLP 具有坚实的研究实施基础(已有的研究网络和 GCTE 与 LUCC 正在进行的研究)。此外,将于 AIMES、PAGES、iLEAPS、LOICZ、ESSP 计划(GECAFS、GCP 和 GWSP)以及 DIVERSITAS和 IHDP 内的研究进行合作或开展联合研究。

在其科学计划的实施中,GLP 使用了工作组和科研人员网络。其研究的指导原则是:①给予研究地点;②利用交叉学科团队;③需要跨领域、跨学科的研究;④确定研究与更广泛的人与环境耦合框架的关系。

研究活动包括实例研究、实验研究、比较研究、合作进行的地区研究和土地利用综合分析。实验网络与实例研究将贯穿陆地系统梯度,同时也推动长期的观测与综合地区研究。GLP 要发展过程模式(比如植被—生态系统模式、农业—生态系统模式和基于动因的模式)、综合分析工具(包括野外观测技术)和决策模型。此外,需要努力发展多学科数据库和档案系统。

海岸带陆—海相互作用(LOICZ)

海岸带陆—海相互作用(LOICZ)计划开始于1993 年的 IGBP 第一阶段计划中。而在 IGBP 第二阶段的计划中,其研究议程有了较多的扩展,其中包括了人文因素的研究,同时 IHDP 也加入到发起者的行列。计划的研究议程请见 LOICZ(2005)。其 IPO 位于德国吉斯达赫特 GKSS 研究中心的海岸研究所。

基本理论

虽然海岸带(包括南极洲)仅占全球陆地面积的五分之一(Shi and Singh, 2003),但却容纳了全球近一半的人口。实际上,如果没有人类的强烈影响,格陵兰、加拿大北部、西伯利亚、南美洲和澳大利亚偏远地区的海岸也不会扩展变宽。大约有一半的红树林生态系统已经被改作他用,有约 30%的海岸带地区(包括南极洲)被划为改变(altered)和半改变(semi-altered)地区,而剩下的大部分已经受到了人类活动的巨大影响。海洋和陆地生物圈通过河流来进行联系,河水可以为海洋生态系统输送重要的营养物质。海岸带的许多人为影响都源于距离很远的河流上游,因为那里的土地利用和土地覆盖的变化(包括城市化和污水排放)改变了水、沉积物、营养盐和污染物的定时(timing)、通量和分散(dispersal)(图 20)。在许多流域,日益恶化的土壤流失(由农业、森林砍伐和城市发展引起的)增加了沉积物向海岸带的输送,而在其他的一些流域,由于水坝对于沉积物的阻挡,其输送量就减少了。对于溶解化合物的情况就比较简单了,例如,1950 年以来河水中氮的输送急剧增加,据预测,这一情况至少会持续到 2020 年。大气中农业、工业排放的氮氧化物的沉降也会增加营养盐的传输。由于挖掘、围垦、港口设施和其他工程活动所造成的海岸带物理变化会通过水流方式和沉积过程的变化而影响生物地球化学循环。而认识海岸的生物地球化学循环是了解全球生物地球化学循环的关键(注释框 7)。

海岸带和河流流域的人类活动能够影响大陆架海域的生物地球化学。例如,中国的三峡

大坝就可能对中国南海的生产力和碳汇吸收有很大的影响(Chen, 2002)。因为保证南中国海较高生产力的大部分营养物都来自于海岸带的上升流而不是河流的输入,但是三峡会对河水的汇入量产生较大的影响,因而降低浮力效应,从而导致了上升流的减弱。

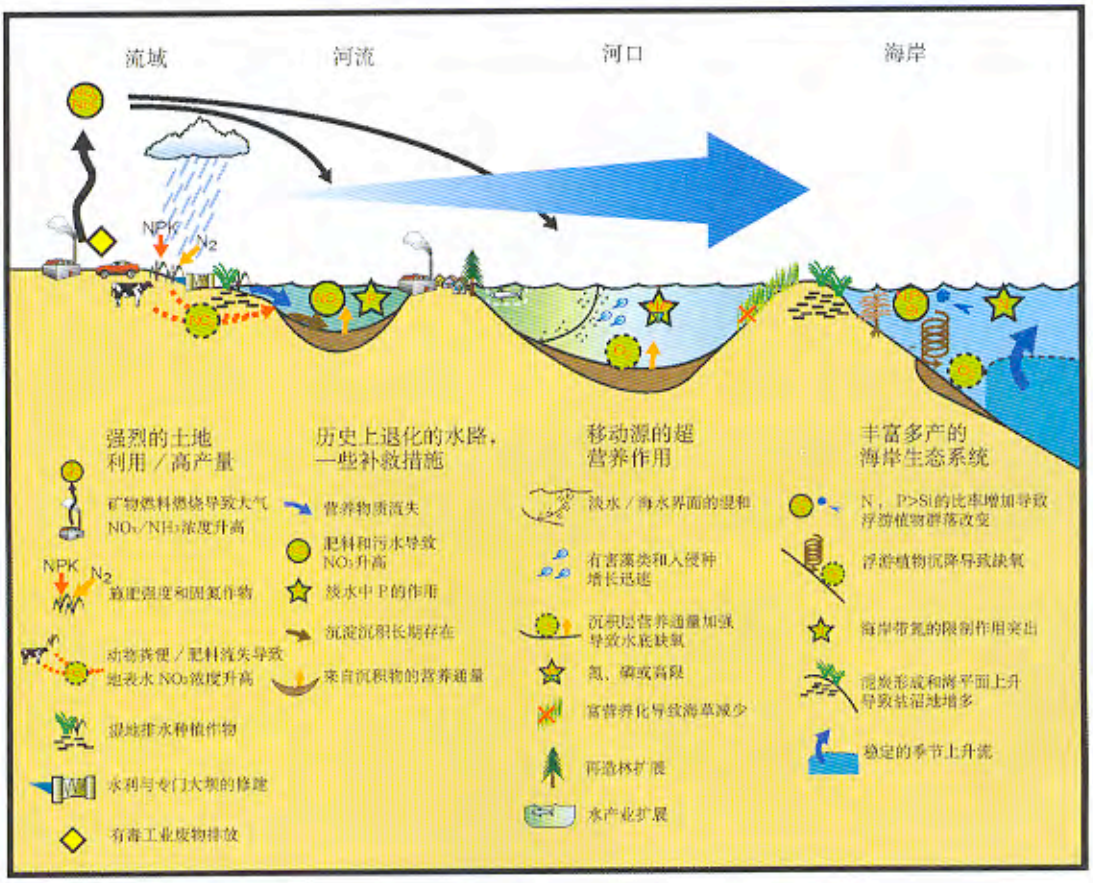


图 20 影响温带海岸环境生物地球化学通量的主要过程和条件(感谢 W Dennison)。

与陆地相同,海岸带也被认为是人与环境的耦合系统,并在日益增长的地区和全球需求下提供着生态产品和服务。全球变化将成为驱动海岸带变化的一个越来越重要的因素,以及在地球系统变化(如气候变化和海平面上升)和改变局地压力的框架内认识海岸带生物地球化学变化对于提高海岸带的综合管理水平是很重要的。

关键问题

- 陆地对于海岸带物质输送的数量是多少?它们如何变化?
- 海岸地区海洋的生物地球化学循环是如何变化的?
- 陆地与大气物质在大陆架海域的结局是怎样的?
- 这些变化对于地球系统功能的影响是什么?
- 如何利用海岸生物地球化学的知识来提高其资源的管理和可持续性?

目标与结构

LOICZ 的目的是为提供必要的知识来对海岸群落的评估、预期和对全球变化与决定海岸

带变化的局地压力之间相互作用的响应等方面进行了解和预测。为达成这些目标，LOICZ 的研究将围绕以下五个主题进行开展：

注释框 7　海岸带的生物地球化学收支

从沿海海洋输入和输出的物质通量大部分都是从陆地的横向输入，然后与大洋交换。从海岸到大陆架外缘 200 m 水深地方的海岸带地区，其平均宽度约为 25 km，沿海岸线的长度约为 106 km(1 km 分辨率)。这些海岸地带的特征在全球海洋数据库中还没有进行较好的说明，因为海洋数据库的典型分辨率为 50 km 网格，甚至更粗。此外，海岸带具有高度的异质性，这主要在于地形、径流和人口密度的不均匀分布。

在海岸带的生物地球化学研究中，我们采用了两种方法。首先，利用一种简单的物质收支方法来进行海湾和河口等特殊海岸带站点的研究。到目前为止，已经对大约 200 个这样的站点进行了评估。其次，在 0.5 度的空间分辨率下建立了海岸的类型。

收支方法是利用水和盐分的收支平衡来描述从陆地以及特定站点与邻近海水之间的交换所输送的淡水，从而利用水分通量来估算物质的通量(特别是分解的无机磷 DIP 和无机氮 DIN)。DIP 和 DIN 通量对于水和盐分交换的偏离要归因于系统内的净吸收或者排放。DIP 收支的不平衡是由净碳的代谢造成的，而 DIN 收支不平衡的原因则与有机碳的代谢以及与氮气的交换作用(固氮与脱氮作用)有关。研究结果表明，交换快速的小型系统通常要比大的陆缘海更易变化，并且更具生物地球化学活性。

收支法仅适合在那些具有适当观测数据的站点进行(图 21)。海岸类型(利用环境数据和地理空间聚类等技术)可以用来对收支法研究结果进行外推。进行收支研究的站点可以作为某一特定海岸带类型的代表，其研究结果可以扩展到其它情况相似但缺乏数据的地区。这种方法已经在海岸带的陆地部分得到了成功的应用，因为陆地地区具有高分辨率的全球数据用来描述系统和关键的强迫。然而，大部分可用的海洋数据集，由于分辨率较低，因此限制了这种方法在沿海海洋的应用。一种比较有前景的方法是发展高分辨率的海岸格网，并结合 GIS 分析和类型比较研究，将获取的数据添加到格网中。

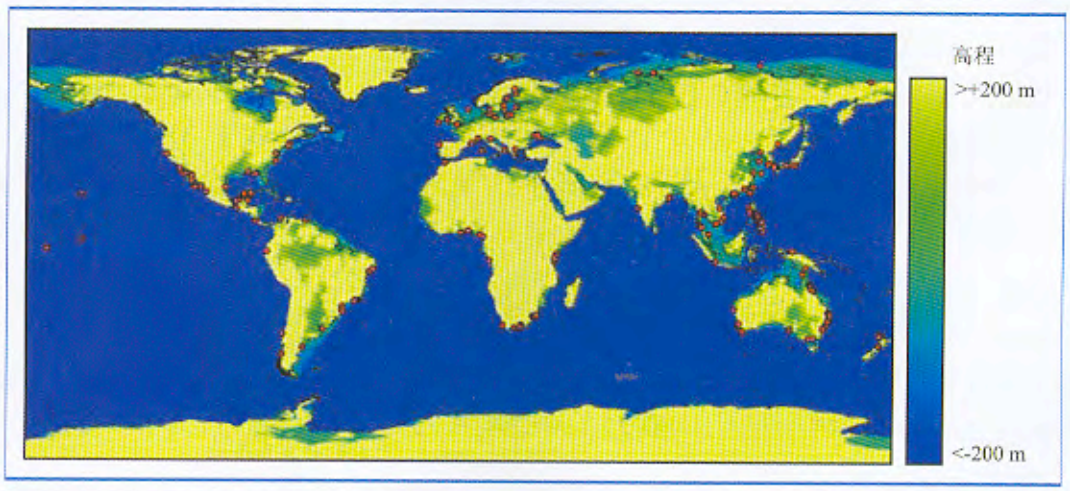


图 21　全球海岸带和 LOICZ 收支站点分布(红点)(感谢 S Smith 和 R Buddemeier)

主题 1:海岸系统的脆弱性和对人类社会的危害。该主题为以下的几个主题进行更广泛的海岸研究提供了舞台。它考虑了由人类—生态系统变化对人类的危害,包含了容纳能力和脆弱性等问题,其中包括海岸产品和服务可持续性不断降低危害。关键问题包括:①海岸社会与生态系统对全球变化危害脆弱性的非线性和不确定性影响;②人类社会对海岸带的需求,包括资源、产品和服务;③人类与海岸脆弱性的外部和内部影响因素。

主题 2:全球变化对海岸生态系统和可持续发展的意义和影响。该主题注重于海岸变化、土地和海洋利用的空间、时间和组织上的问题及其如何对海岸系统施加压力,并如何影响自然资源的可用性和可持续性。关键问题包括:①了解海岸环境和社会系统及其相互作用的特征和位置分布;②评估系统的敏感性和适应性,从而了解引起持久的状态变化的生物地球化学和(或)水文循环的关键阈值;③通过自然科学方法和生态—经济指标量化人类对海岸地区的影响;④通过考虑关键阈值和可持续性的情景方法来确定设计和管理系统适应性的可选方法;⑤评估对于生态系统健康和海岸带产品和服务等输入变化的影响,包括生物机能、地球化学和人类因子之间的联系。

主题 3:人类对于河流流域—海岸带相互作用的影响。该主题考虑了影响和改变海岸带的河流流域因子和强迫。所有的连续水体都被作为一个单个的系统来看待。海洋的物质输入过程和以及专属经济区的人类影响将与主题 2 和 4 结合起来进行考虑。其关键问题包括:①通过众多外部强迫对河流海岸系统的影响结果,解开那些影响和针对海岸和河流流域的人类活动之间的因果关系;②利用驱动因子—强迫—状态—影响—响应评估框架对耦合的人类—生态系统进行模拟,以确定流域中影响海岸生态系统的主要人为和自然强迫之间的联系;③发展因土地利用,气候变化和管理因素等引起的未来海岸变化情景;④评估社会和制度方面的影响和变化,以建立流域—海岸之间的联系。

主题 4:海岸和陆架海的生物地球化学循环。该主题着重于海岸和陆架海的碳、营养盐和沉积物的循环及其与大洋的交换。这将涉及影响大陆架生态系统和全球化学循环的关键的和正在变化的深海过程。其关键问题包括:与量化大陆架内和大陆架与外部的物质输送,水柱和沉积物内的物质转化,海岸带的物质储存以及海—气交换;②评估区域差异,并了解不同陆缘海之间回复力和抵抗力差异的原因;③通过综合沉积物动态和有机物输入等河流流域信息来确定大陆对于营养盐通量的边界条件;④在陆架和海岸地区开展区域收支和通量估算研究,从而了解全球和流域尺度的变化对海洋气候和生物地球化学循环的影响并进行预测。

主题 5:通过陆地—海洋相互作用管理增进海岸系统的可持续性。该主题是其他四个主题的综合,从而能够为进行海岸带的发展和管理提供研究平台,以便促进可持续性的发展。其关键问题包括:①研究包括制度因素在内的各种不同时间和空间尺度对海岸变化的科学和管理方面的影响;②利用类型学方法对海岸系统状态交互中各种驱动和强迫因素以及存在的响应进行分类和比较;③将自然、经济和人文因素考虑到未来情景当中;④通过未来情景来发展响应管理的选择和参与,并联合相关政策、管理和投资机构对其进行发展和评估。

研究方法

LOICZ 通过进行全球变化科学的研究来获取新的知识以增进了解,并使其研究结果能够

被更广泛的研究团体所利用。LOICZ 也致力于其研究成果在政策和管理方面的应用。主要的海岸变化问题在推动着学科的发展，而其成果能够促进陆地—海洋交互的管理，以减少海岸地区人类活动的脆弱性，并为可持续发展提供机会。为了对地球系统的分析和模拟提供更多的科学信息，并为进行更好的管理提供坚实的科学依据，LOICZ 利用了“适应性的”科学方法，这需要一些短期的信息。

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)

IGBP 第二阶段的海洋研究由全球海洋生态系统动力学(GLOBEC)计划和海洋生物地球化学和海洋生态系统集成研究(IMBER)计划联合开展。GLOBEC 将于 2009 年结束，因此从 2010 年以后，将只剩下一个海洋研究计划。GLOBEC 最初于 1991 年由 SCOR 和 UNESCO 的 IOC 共同建立，而 IGBP 在 1995 年也成为其发起者之一。GLOBEC 的研究议程请见 GLOBEC(1997)文件和实施计划(GLOBEC，1999)。这些研究文献将在 IGBP 第二阶段计划继续指导 GLOBEC 的研究工作。GLOBEC 的 IPO 位于英国普利茅斯的普利茅斯海洋实验室。IMBER 是 IGBP 第二阶段中的一个计划，由 IGBP 和 SCOR 共同发起。其研究议程请见 IMBER (2005)。IMBER 的 IPO 位于法国普劳泽内的欧洲海洋研究所。

基本理论

海洋是生物圈中最广阔，也是了解最少的部分，它可以对来自大气和陆地的物理和化学作用进行缓冲或者放大。例如在过去，淡水输入的一个较小的变化就可能中断北大西洋的热盐环流，从而引起气候的突然变化。现在已经知道线性的随机物理变化可以导致非线性的生物响应和特征变移(Hsieh et al.，2005)。海洋存储的热量和气体以及在海洋中和海气间的通量对于气候起着主要的控制作用。古记录表明，海洋过程将大气二氧化碳的动态变化和载铁沙尘的变化联系在一起，这也是一个知之甚少的地球系统反馈之一。

目前，海洋是地球系统中最大的活性碳集中地。海洋中碳的吸收、排放和存储受到相互作用的物理、化学和生物过程的控制。最大的碳汇的产生地同时也是物理、化学和生物过程集中作用协同起作用的场地，诸如北大西洋的地区，比如北大西洋。海洋碳循环的生物过程目前已经进行了大量的研究，例如，对于所谓的生物泵(注释框 8)有了较好的了解，特别是其在表层海洋的作用。然而，对于碳在深层海洋中的情况还需要进行进一步的研究。最近研究的注意力开始放在海洋对大气二氧化碳吸收的增加所引起的表层海洋酸度变化所产生的影响。酸度的增加会通过多种方式影响海洋生态系统，包括降低珊瑚形成碳酸钙外壳的能力等(注释框 9)。

对于其他一些元素的海洋生物化学作用(特别是在较长的时间尺度上)还不够重视，而且对于生物过程如何影响海洋食物链的结构和机能也研究的较少。对生物地球化学和生态系统的动态转变已经进行了一些观测(如图 22；Folke et al.，2004)，但对于原因和结果还了解得很

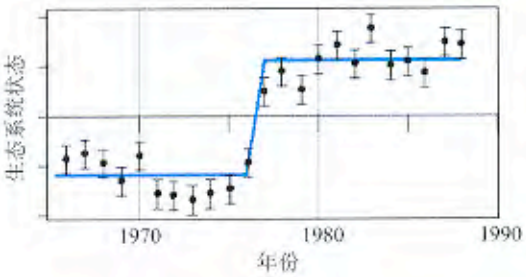


图 22 北大西洋海域"生态系统状态"(一百多种生物和环境变量的综合)的形状和同步变化(引自 Hare and Mantua, 2000,感谢 Elsevier)

少。对这些变化的研究和模拟对于了解海洋在地球系统中的作用非常重要。

在物理—化学海洋耦合模式的研究方面已经取得了巨大的进展,但这些模式目前还不能很好地回答一些关键的生态问题或者物质的源和汇的问题。地球系统组成之间的正反馈与负反馈尤其重要,生态系统动力学中的突变亦是如此。反馈与突变可以反映在古记录中(如 Baumgartner et al., 1992),或者通过模式反映出来,然而通过短期的观测却无法分辨出来。

由于大气强迫和相关的海洋环流变化而使得海洋生态系统的食物网结构和组成发生了非线性的变化(Hare and Mantua, 2000; Beaugrand, 2004)。然而,对这些变化的了解还较少,也还不能进行预测。此外,由于渔业影响、海岸带的物质输送和气候变化等原因,人类活动对海洋生态系统和生物地球化学的影响在日益增加。

海洋渔业为全球提供了约 16%的动物蛋白(FAO, 2004),这相当于海洋第一生产力的 8%,而且侧重在向上涌区和陆架海地区(Ryther, 1969)。主要鱼类资源的 52%已得到了完全开发,有 17%的资源得到了过度的开发,而有 7%已经耗竭了或者正在进行恢复(FAO, 2005)。商业捕鱼也影响了那些不是捕捞鱼类的种群,在作业中丢弃的部分相当于海洋渔业总产量的 8%(重量百分比)(FAO, 2004)。

然而,鱼类的种群变化是渔业影响和与环境条件(特别是气候)相关的长期生产循环进行复杂相互作用的结果(Lehodey 等, 2006)。对于这些相互作用以及海洋食物链对于外部强迫的动态响应的了解还是很少的。目前还不清楚海洋上层营养水平的变化是否能对海洋生物地球化学产生重要的影响。

对于海洋在地球系统中作用的了解,需要在全球变化的背景下,对海洋生态系统及其与生物地球化学循环和物理环境之间的相互作用进行综合的研究。也需要进行相关的古代研究,因为,比如说目前海洋中排放的二氧化碳是在数百年(也可能是一千年)前被海洋所吸收的。古记录的研究能够有助于阐明其总体的变化范围,确定关键的组成,以及揭示非线性的行为。要在系统层次上对古研究、过程研究、观测和模拟进行综合,就需要对海洋在地球系统中的作用有一个综合的了解。

关键问题

- 海洋系统中对于地球系统运作的关键部分是什么?
- 海洋与地球系统其它组成部分之间的主要反馈是什么?人类社会怎样适应海洋系统的变化?
- 全球变化将如何影响海洋生态系统的结构和功能,特别是对在生物地球化学、个体和种群水平上生态系统组成之间相互作用的影响?
- 人类,气候和生物地球化学因子对于首尾相连的食物链的交互影响是什么?
- 海洋对于全球变化如何进行缓冲,它又是如何触动未来变化的?

注释框 8　海洋碳循环

大部分的海洋碳都以分解无机物的形式存在着，其中只有不到1%是二氧化碳，大约90%是重碳酸根离子，其余的是碳酸根离子。这些都存在于一个依赖于pH值的均衡环境中。重碳酸盐对二氧化碳变化的缓冲能力主要受到钙的限制，在某些时候也受到岩石缓慢风化所产生的镁的限制。这也就抑制了海洋在较短的时间尺度上对过量二氧化碳的吸收能力。

海洋的初级产量(约50 $Pg \cdot C \cdot a^{-1}$)是海洋系统中有机碳的主要输入来源，在海洋表面固定的碳被缓慢地输送到大洋深度。大多数的海洋碳都存在于媒介或深水中，并可以这样保持数十年到几百年。深海中无机碳的高浓度与分解泵和生物泵的作用有关(Fasham et al.，2001)，其速率在大洋中随时间和空间的变化产生了相应的源区和汇区。

分解泵是由热盐环流和海洋通风的纬向和季节变化引起的。二氧化碳在温度低、盐度高的水中有较高的溶解度，因而就被禁锢在高纬地区深海所形成的冰冷而浓重的海水中。因此，其最大的汇是在北大西洋，在那里湾流和北大西洋漂流推动着暖流向北流动。生物泵是通过溶解二氧化碳的生物同化作用而发生影响的，这种作用增强了海—气间的气体交换，并通过物理过程来影响纵向的碳交换(图23)。其运作是通过一个由小型浮游生物和大型浮游生物组成的食物链来进行的，小型浮游生物可以使得二氧化碳主要在真光带进行再循环，而大型浮游生物则产生了沉降到深海的大多数微粒和溶解碳。

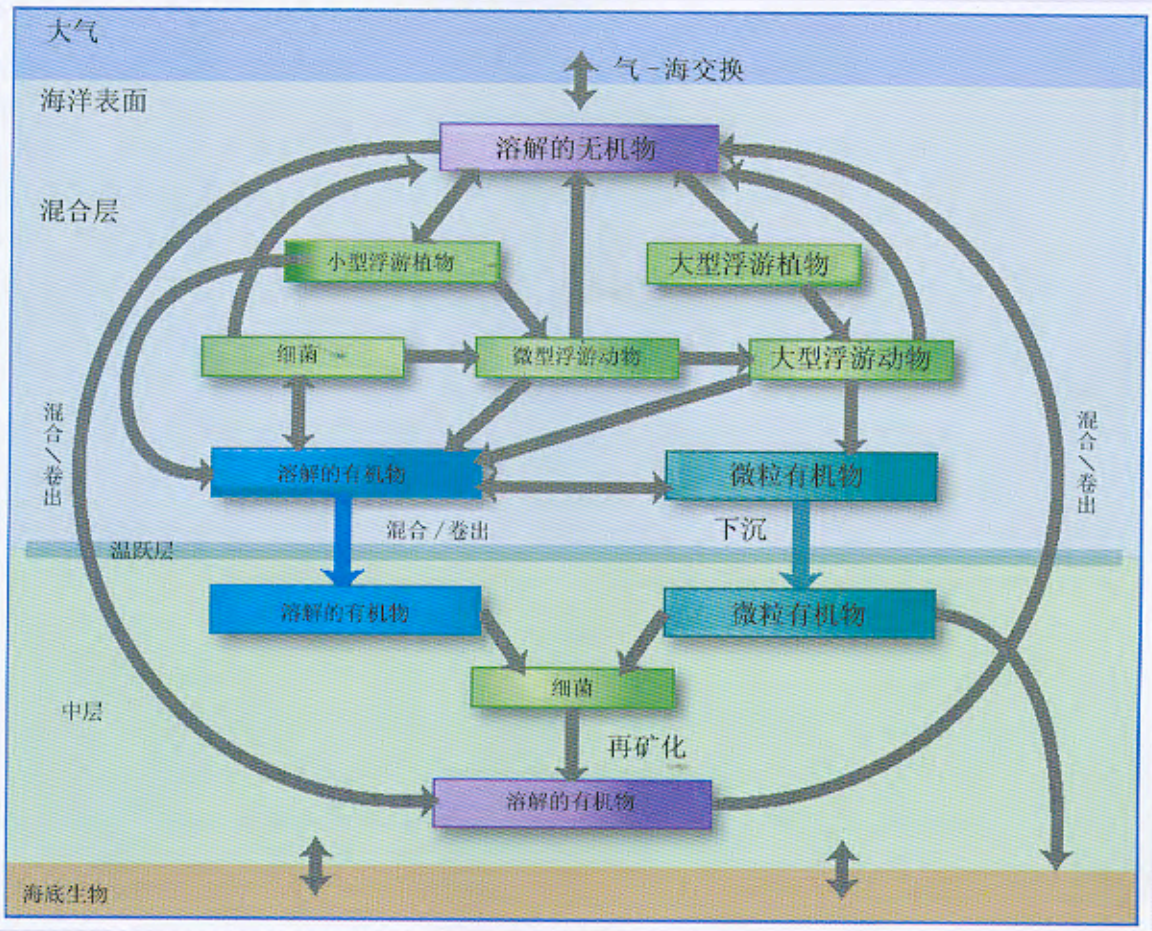


图23　海洋生物碳泵示意图(感谢海洋通量联合研究计划)

在上层海洋被浮游植物固碳中，约有四分之一都沉降到深海(Falkowski et al.，1998)，并在那里通过细菌和其他异养生物氧化和再循环进入分解的无机和有机形态。其中只有约1%～2%可以到达海底。深海生物消耗和再循环了大部分的沉降物，而其余的碳就埋覆在海洋沉积物中。由大型浮游植物和浮游动物主导的食物链会产生最大的向下碳通量(Fasham，2003)，同时全球碳通量估计约在10 Pg·C·a^{-1}左右(Falkowski et al.，2000；Laws et al.，2000；Schlitzer，2002)。

深水中的碳是沿侧向传输的，因此溶解二氧化碳与大气的均衡受到了抑制，直至其重新被传输到海表。沿着赤道方向，激烈的上涌使得深部海水在到达表层时得到了加热，这样就减小了二氧化碳的溶解度，从而将二氧化碳排放到大气中。而沿着许多海洋的边缘地区，强烈的季节性上涌为一个壮大的浮游植物和异养生物食物链提供了支撑和给养，称为大陆碳泵。这些食物链所吸收的上涌物质的量为0.2～1 Pg·C·a^{-1}，这也是全球碳循环的重要组成部分(Fasham，2003)。在许多地区，海洋的东部和西部边界流将碳输送到海岸深处，而在高纬边缘海，冷水会沉降到大洋的中层。从全球来看，海底的侧向和垂向碳通量小于0.2 Pg·C·a^{-1}，这与深海呼吸、沉积阱和第一生产力数据有着较好的一致性(Fasham，2003)。

注释框9 海洋酸化

对于大气二氧化碳升高的常常被忽视了的影响就是海洋对其的吸收，以及所引起的海洋酸化。过去的200年以来，人类活动产生的二氧化碳有一半都被海洋所吸收，从而导致了海表的pH值降低了0.1个单位，相当于氢离子浓度增加了30%(图24)。如果全球二氧化碳排放量继续增加，那么到2100年海洋pH值将降低0.5个单位(增加了相当于工业革命以来氢离子的3倍)。这将会使得海洋的pH值降到数十万年来的最低点，而这一时期pH值的变化速率将可能是任何时期的数百倍。

这些变化对于地球系统的影响目前还很难进行预测。然而，已经知道在低pH值环境下，海洋吸收大气二氧化碳的能力将大大降低，从而对全球变暖产生了影响。海洋酸化也会影响海洋中的钙化作用(珊瑚和浮游植物等有机组织形成壳和盘的能力)。其潜在影响是对珊瑚礁和造钙浮游生物的破坏，从而对旅游、渔业和整个海洋生态系统产生影响。

SCOR-IOC的一个研讨会(Cicerone et al.，2004)和英国皇家学会(2005)所进行的研究都认为，对于海洋中高二氧化碳浓度影响的研究还处在初级阶段，需要得以快速的发展。对于二氧化碳持续排放或者海洋对二氧化碳有意的隔离的结果，目前还无法预测，而这一问题的研究解决主要还需要进行国际合作，包括全球监测以及实验室、中尺度和野外研究。

有几个计划(特别是SOLAS和IMBER)和一个海洋酸化快速启动倡议将对海洋酸化对海洋生态系统和地球系统的影响及后果进行研究。

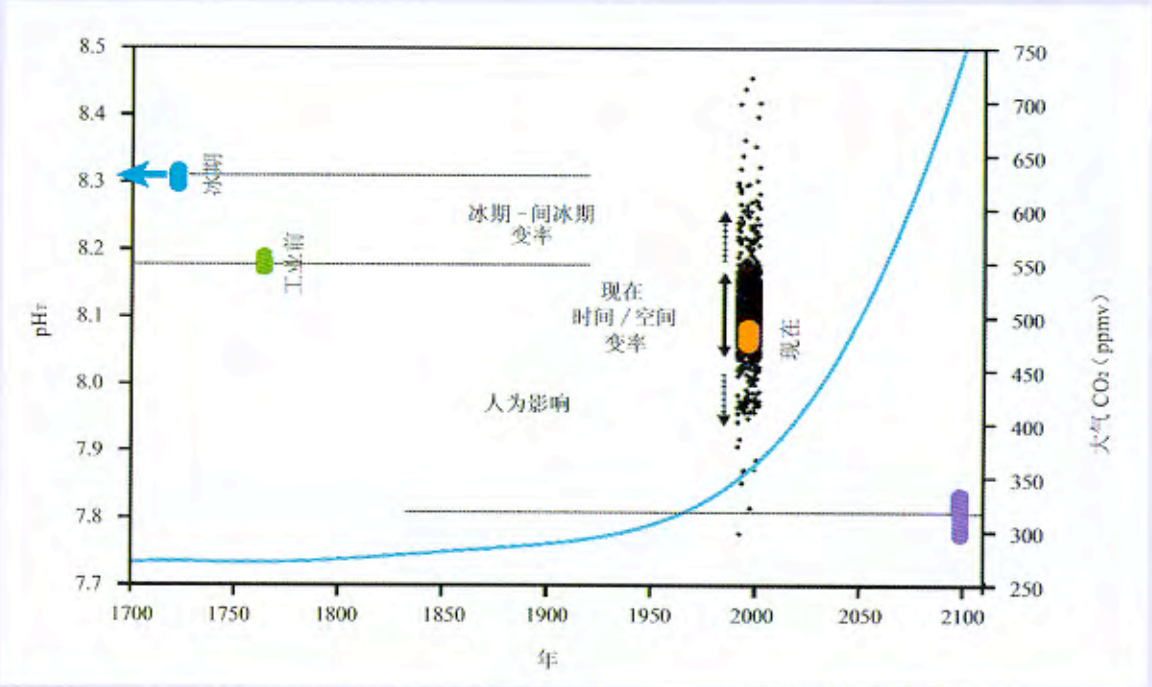


图 24 表层海水 pH 值和大气二氧化碳浓度。pH 值利用的是海洋上层 25 m 内从 1990—2002 年的数据，通过实测的溶解无机碳和碱度计算得到。未来的 pH 值是根据与大气二氧化碳增加的指数关系进行简单计算得到(感谢 A KÖrtzinger;基于 Schlitzer (2000)提供的数据)。

目标与结构

在 IGBP 第二阶段计划中，海洋计划开始是由 GLOBEC 和 IMBER 通过一系列的合作研究活动共同承担的。GLOBEC 将持续到 2009 年，因而在 2010 年以后，只剩下一个海洋计划(图 25)。为了最大限度地开展交互研究，这两个计划的执行委员会将举行背对背会议，并且在 2007 年将成立一个联合过渡小组，来对 IMBER 科学计划进行补遗的工作，以反映其在第二阶段计划中进行的更广泛的研究。

GLOBEC 的目的是增进对于全球海洋生态系统及其主要子系统结构和功能的认识，以及它们对物理强迫的响应，从而增强我们对于海洋生态系统对全球变化响应的预测能力。由该目的就产生了 4 个主要的 GLOBEC 目标：①更好地去认识多尺度的物理环境过程是如何引起海洋生态系统大尺度变化的；②确定代表全球海洋生态系统主要组成的各种海洋系统的结构和动力学之间的关系，强调营养动态途径、变率以及营养物质量在食物链中的作用；③利用物理、生物和化学耦合模式结合适当的观测系统，确定全球变化对于存量动态的影响，提高预测未来影响的能力；④通过反馈的确定和量化，认识海洋生态系统的变化是如何影响地球系统的。为达成这些目标，GLOBEC 开展了相互综合的 6 个地区计划(见研究方法)，国家研究活动，和如下 4 个相互交叉的重点研究活动：

焦点 1：回顾性的分析和时间序列研究。在广泛的时间和空间尺度上确定和了解物理强迫和海洋生态系统的自然模式特征。

图 25 GLOBEC-IMBER 的相互作用和向单一海洋计划的过渡

焦点 2:过程研究。利用实验方法来研究一些联系生态系统响应和环境变率的特定机理。

焦点 3:预测与模拟能力。用于阐明不同时间尺度上的生态系统动态及响应。

焦点 4:海洋生态系统结构的变化对地球系统的反馈。

IMBER 的目的是研究海洋生物地球化学循环和生态系统对全球变化的敏感性,其时间尺度从几年到几十年。为此,IMBER 将其研究分为 4 个主题,每个主题中都包括了几个特定的问题:

主题 1:生物地球化学循环与海洋食物链之间的相互作用。该主题的指导性问题是:受到全球变化的海洋生物地球化学循环、生态系统过程及其相互作用是什么?主要包括 3 个问题:①海域食物链中有机物的转化;②穿越海洋界面的物质传输;③首尾相接食物链中的物质流。

主题 2:对于全球变化的敏感性。其指导性问题是:关键的海洋生物地球化学循环、生态系统及其相互作用如何对全球变化进行响应?主要包括 4 个问题:①气候变化对海洋物理动力学的影响;②二氧化碳水平升高和 pH 值降低的影响;③大型和微型营养物输入变化对海洋的影响;④海洋捕捞的影响。

主题 3:对地球系统的反馈。其指导性问题是:海洋生物地球化学及生态系统在气候调节中的作用是什么?主要包括 3 个问题:①海洋储存人为二氧化碳能力的变化;②对于海洋物理和气候的生态系统反馈;③低氧地带的变化如何影响氮的循环,特别是有关氮氧化物的转化。

主题 4:对人类社会的响应。其指导性问题是:海洋生物地球化学循环、生态系统和人类系统之间的关系是什么?该主题的总体目标是增进对于人类与海洋系统多种反馈的了解,并确定人类设想能够做什么,即或者缓和海洋系统中的人为干扰,或者去适应这种变化。

研究方法

IMBER 与 GLOBEC 正在进行共同努力来对首尾相接的食物链结构和功能进行一个全面

的了解。IMBER 主要从事碳(与 CLIVAR 和 SOLAS 共同进行)与微量元素(与 GEOTRACERS 共同进行)的水文研究,并通过已有的和新建的长期时间序列观测、遥感和野外现场自动仪器,对一些变量进行持续的观测。过程研究与古海洋学研究对于这两个计划都是关键的组成部分,正在进行的模拟和集成研究对于测试假设、数据差值和确定需要由观测和实验来填补的研究空白都是很关键的。生物地球化学循环模式和海洋食物链模型也正被耦合起来以增进对于地球系统中的海洋系统及其相互作用的认识。IMBER 正在进行中尺度的控制实验来对实验研究和中尺度研究进行补充。为与已有的和正在进行的海洋研究与观测计划相适应,一些数据管理研究活动也正在开展中。

GLOBEC 和 IMBER 都是通过国家与地区活动来实施的。GLOBEC 的 6 个地球研究活动是:①小型中上层鱼类和气候变化(SPACC)研究,其目的是对气候引起的海洋鱼类生产变化进行了解和预测;②鳕鱼与气候变化(CCC)研究,其目的是认识气候变率是如何影响鳕鱼的产量和分布的;③气候变化与容纳量(CCCC)研究,其目的是预测气候变率对于亚北极太平洋生态系统的影响结果;④南大洋研究,其目的是研究南极浮游动物的生命循环;⑤亚北极海生态系统研究(ESSAS),其目的是研究全球变化将如何影响亚北极海区及其为人类提供有用资源的能力;⑥气候对海洋高级食肉动物的影响(CLIOTOP)研究,其目的是确定(不同尺度)气候变率及渔业两方面因素对开放大洋上层生态系统的结构和功能及其高级食肉种群的影响。

在 GLOBEC 计划的最后五年中,它在地球系统的框架内进行了广泛的综合与集成研究,着重于区域生态系统动力学的比较研究。从 2010 年开始,单独的海洋计划将包括:①正在进行的 IMBER 研究;②正在进行的 CLIOTOP 和 ESSAS 地区计划;以及③GLOBEC 集成中确定的一些研究问题。

上层海洋—低层大气研究(SOLAS)

上层海洋—低层大气研究(SOLAS)计划是 IGBP 第二阶段的计划之一,是同 SCOR、WCRP 和 CACGP 联合发起的。其研究议程请见 SOLAS (2004),其 IPO 位于英国诺里奇的东英吉利大学。

基本理论

气候变化可以改变许多活性粒子和气体的海—气交换。在冰期—间冰期过渡期间,从大气向海洋直接输送了大量的碳。目前的净碳传输约为 2 Pg · a^{-1},但还不清楚海盆中碳的存放位置,以及有哪些过程导致了碳的沉降。此外,对于其传输如何对气候变化进行响应,也还了解得很少。

海盐粒子和海冰可以释放气体,并为非均匀相化学反应提供界面,同时海洋生物源气体排放的变化可以改变大气的辐射环境、化学循环、酸度和氧化能力。这些气体在大气与开放大洋和海冰之间都有着大量的交换。平流层臭氧耗损和气候驱动的对流层变化所引起的大气光谱质量和辐射强度的变化,可以对光化学大气过程和云覆盖产生重要的影响。这些变化接着可以改变海洋真光带的生理、群落结构和光化学过程。大气中气体和离子的沉降(如载铁矿物尘

埃)会对表面海洋过程产生重要的影响(注释框 1 和注释框 10)。

海洋表层的浮游植物对二甲基硫(DMS)的产生起着重要作用,而 DMS 会在大气中氧化为硫酸盐气溶胶。硫酸盐气溶胶会影响大气的辐射属性和云的反照率,因而会对气候产生影响。气候变化会对浮游植物的分布模式和生产力产生影响,从而在海洋生产与气候之间形成了一个闭合的反馈。对于该反馈所能造成的影响还需要进行研究,但是它暗示着在地球系统的变化方面,海—气界面具有重要的作用。

气候模拟才刚刚开始将海—气对于气候强迫响应的生物和化学反馈耦合进来。目前,气候模拟的不同主要是在于它们耦合了怎样的反馈,以及如何对它们进行模拟的。气候变化很可能引起自然资源发生根本的变化,以及气候活性气体的沉降。二氧化碳是个研究较多的例子,但是对那些研究较少的气体(DMS 和其他气候活性气体)也可能具有重要的影响。

需要在更广泛的尺度上对物质、动量和能量的交换进行更好的认识。也需要发展可靠的物理和生物地球化学理论,来为模型中过程的参数化以及为了解界面及其控制过程特征所进行的定量观测提供支撑。这也需要对海洋—大气界面的物理和生物地球化学进行同步研究。SOLAS 对这些问题的研究将从根本上减小在全球和气候变化的时间和影响预测方面的不确定性(图 26)。

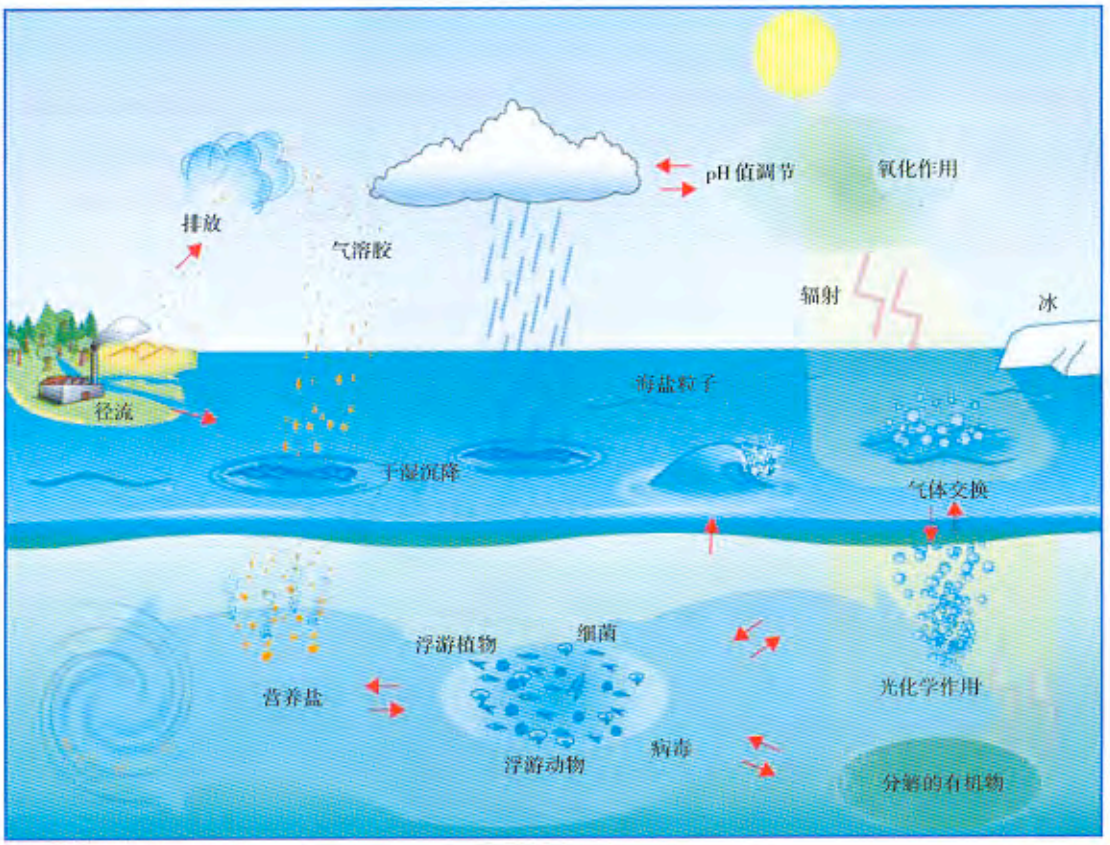


图 26 影响地球系统功能的主要海—气交换过程

关键问题

- 海—气间关键的生物化学相互作用和反馈(特别是在涉及到微量气体时)是什么?
- 控制跨越海—气界面的传输与转换的过程是什么?

- 生物地球化学与物理过程之间的相互作用和反馈是什么？
- 海—气耦合系统与气候间的双向相互作用是什么？

注释框 10　加铁试验

上世纪 80 年代末的实验室研究表明，向浮游植物的培养体中加铁可以比培养体控制更有效地增加其生物生产量(Martin and Fitzwater，1988；Martin et al.，1990)。然而这些试验的意义和推论并不确定，因为培养皿中的条件与海洋中的条件有很大不同。在一些开放大洋地区，铁的浓度很低(数量级为 0.1 nM)，这就有可能通过适量加铁的方式，使其在数百平方公里的试验海区内较为富集。利用六氟化硫作为示踪剂，可以在船上对这样的斑块试验进行为期几个星期的实时监测(Watson et al.，1991)。

在加铁试验中，可以将铁盐溶于船上海水的槽中，准备好示踪剂，当船沿着围绕一个浮标的航线行驶的时候，将两种溶液通过船尾泵出。当排放完成时，船载的分析仪器就可以绘制出试验斑块的形状，接下来就在随后的几个星期里持续进行斑块内的化学和生物测量。在赤道太平洋(Martin et al.，1994；Coale et al.，1996)、南大洋(Boyd et al.，2000；Watson et al.，2000)和太平洋东北部已经进行了这样的试验。这些试验区属于高营养盐、低叶绿素地区，表层海水中富集那些限制浮游植物生长的氮和磷酸盐。在这些试验中，铁的加入导致了以硅藻类繁盛为开端的剧烈的生态系统转变。在适宜的条件下，硅藻能够迅速地达到巨大的生物量，并消耗掉海水中的碳和营养盐，从而导致营养盐的急剧减少，并有可能造成对大气二氧化碳的吸收。这些试验中硅藻类繁盛的命运是有所不同的，在赤道太平洋，硅藻在繁盛了两个星期后衰败，而在南大洋，其延续的时间要长地多(图 27)。

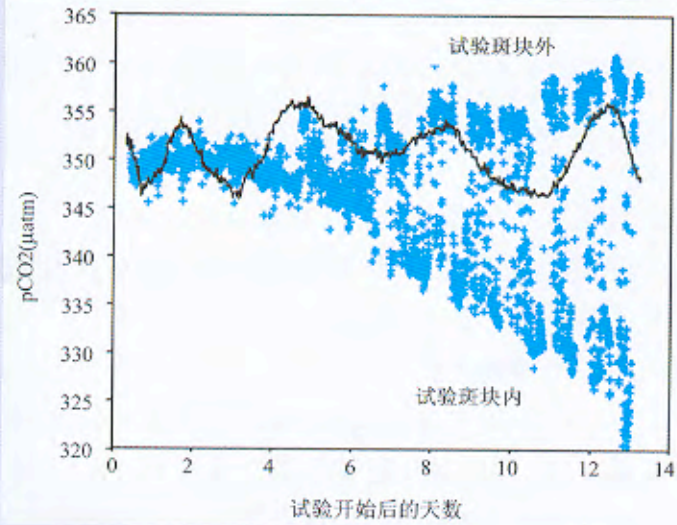


图 27　加铁后南大洋表层的二氧化碳分压(pCO_2)变化。蓝色的十字表示海水表层的 pCO_2；黑线表示上覆空气的 pCO_2(反映出气压的变化)。引自 Abraham et al.(2000)(经麦克米兰出版有限公司许可)

铁的供给可以使海洋生态系统从浮游生物群落能够以相对自我约束的再循环方式，转变为从海洋表面吸收碳和营养盐然后向深部输送的输出方式(Landry et al.，1997)。这会对地球系统产生重要的结果，因为南大洋的生物输出是调节大气中二氧化碳自然浓度的一个关键因素，而且大气尘埃对南大洋铁的补给对于解释冰期到现代工业革命前的这段时间内二氧化碳的变化具有重要的作用(Martin，1990；Watson et al.，2000)。

虽然有意进行的大洋加铁可以用于隔离大气中的二氧化碳，但这种可能的作用却被过分夸大了，因为有一些条件限制着海洋能以多快的速度吸收二氧化碳(Peng and Broecker，1991)。此外，对于大规模海洋加铁的其他一些生物结果，我们还了解得很少。

目标与结构

SOLAS 的目标是定量了解海洋与大气的关键生物地球化学—物理相互作用和反馈、该耦合系统如何影响气候与环境变化，以及如何受其影响。为达成该目标，SOLAS 在以下 3 个焦点研究的框架下开展其研究活动：

焦点 1：海洋与大气之间生物地球化学相互作用及反馈。其目标是定量了解在海—气界面中的生物地球化学耦合反馈机制，包括微量气体和粒子排放、其在大气化学和气候中的重要反应以及控制海洋生物活性与碳吸收的营养盐的沉降。该焦点包括 5 个研究活动：①海盐颗粒的形成与转化；②微量气体排放与光化学反馈；③二甲基硫与气候；④铁与海洋生产力；⑤海洋—大气系统的氮循环。

焦点 2：海—气界面的交换过程与传输及转化在海—气边界层中的作用。其研究目标是增进对影响海—气间质量、动量和能量交换过程的物理、生物和化学过程的定量认识，并在此基础上准确计算区域和全球的气体和气溶胶海—气交换通量。该焦点包括 3 个研究活动：①海—气界面的交换过程；②海洋边界层过程；③大气边界层过程。

焦点 3：二氧化碳及其它长寿命辐射活性气体的海—气通量。其目标是了解二氧化碳及其它长寿命辐射活性气体海—气通量的变化特征，同时认识驱动通量交换的边界层机理，从而评估其对环境强迫的敏感性。该焦点包括 3 个研究活动：①二氧化碳海—气通量的地理分布及亚十年际变化；②海洋表层的碳转化；③氧化亚氮和甲烷的海—气通量。

研究方法

为了开展这些焦点研究，SOLAS 将：①同时进行海洋与大气研究，以确定这两者中的过程与通量（气溶胶与气体）间的联系；②对界面传输机制对边界层的物理、生物和化学因素的依赖关系有一个基础的认识；③建立调节海—气交换的水平与垂向传输与转化过程；④提高对生物地球化学相互作用在地球系统的大气与海洋间所起作用的预测能力。

对于海气界面过程的认识，要求不同地球系统学科间在更高的水平上进行研究规划与实施合作。SOLAS 依赖于科学家之间进行有效的合作来进行各种类型的综合观测与分析。有各种任务正在进行中，这包括：①合作开展的实验室研究与中尺度研究；②野外观测，在很多情况下是利用多种平台的同步观测，例如船、飞机、浮标和卫星等平台；③长时间序列的观测；④升尺度到区域和全球尺度的模式研究，这是地球系统模式中的关键组成部分。

SOLAS 的研究通过国家与国际组织的研究网络和每个焦点研究的辅助组织而得到了补充和加强。SOLAS 有一个模式与数据管理组同其他国际计划进行紧密地合作，并产生一个短期研究工作组。

地球系统分析、集成与模拟(AIMES)

地球系统分析、集成与模拟(AIMES)计划也是IGBP第二阶段的计划之一,它是第一阶段的从全球分析、解释和模拟(GAIM)计划延续过来,并得以拓展的计划。本报告编纂之时,该计划的正式科学计划还在准备中。其IPO位于美国博尔德(Boulder)的国家大气研究中心。

基本理论

人们已经越来越认识到全球变化研究必须以整体的与综合的方式展开,因为现在已经知道地球是一个整体的系统。其中,生物圈是个活跃而关键的组成部分,而人类活动正以复杂、交互而且明显是加速促进的方式影响着地球系统,其意义是普遍而深远的。因此,将人类作为对自然系统的一个外在强迫来考虑已经不再合适,而应该考虑一个交互的人与环境耦合系统。以这种方式来考虑人类活动对地球系统的分析和模拟提出了严峻的挑战。对于碳循环动力学的了解可以为开展全球生物地球化学循环中的人为与自然驱动力的集成研究提供良好的初始条件(注释框 11)。然而,地球系统模拟最终必须与社会经济研究团体展开合作,以对人类活动与地球系统功能之间的所有联系进行综合的评估。复杂系统理论与新的数学和计算机工具的应用,可能会解决一部分问题。有一种可能有用的方法是"基于动因"的模拟,其中的人或者人类组织可以通过特定的规则进行交互。这种虚拟世界中作用物与作用物的交互能够产生出作用物组织的一些新兴的性质,比如经济或者社会系统。网络动态会提供另一个可能的方法,其中,网络拓扑和节点相互作用的规则都很重要,这能够产生复杂的、非线性的动态变化。

目标与结构

AIMES 的总体目标是对于从人类干扰对生物系球化学循环是如何改变物理气候系统的这一问题有一个深入的、量化的理解。特别是,量化研究需要在以下 5 个主题的框架内进行。

主题 1:了解全球生物地球化学循环的运作与相互作用,包括陆地、海洋、大气和岩石圈之间的物质传输,以及与物理气候的联系。

主题 2:了解大气组分通过冰期间—冰期轮回(进而是生物物理耦合系统)变化的原因和结果,从而可以在较长的时间尺度上模拟气候—生物地球化学相互作用。

主题 3:了解历史及史前时期环境变化与人类活动的相互作用,包括物理环境、人类政策制定和人类强迫对物理系统产生的后果之间的相互作用。

主题 4:了解在工业化时期和最近的观测时期,当受到人类干扰和对人类产生影响时,现代地球系统的运作情况。

主题 5:发展 21 世纪的气候、生物地球化学和社会相互作用情景,并了解其对自然资源可持续利用的意义和影响。

注释框 11 C4MIP

20 世纪 90 年代早期，GAIM 和 WCRP 的耦合模拟工作组(WGCM)就合作开展了碳循环—气候模式比较耦合计划(C4MIP)，该计划是在存在外部气候强迫的情况下对碳循环和气候之间的反馈进行比较和分析。该计划综合了已有的海洋—大气全球环流模式中的陆地和海洋碳循环模式，并在有主动反馈和没有主动反馈的情况下对增强的模式进行了运算。最初的协议包括考虑二氧化碳、辐射和生物地球化学强迫，并利用了二氧化碳示踪来进行表面通量诊断。

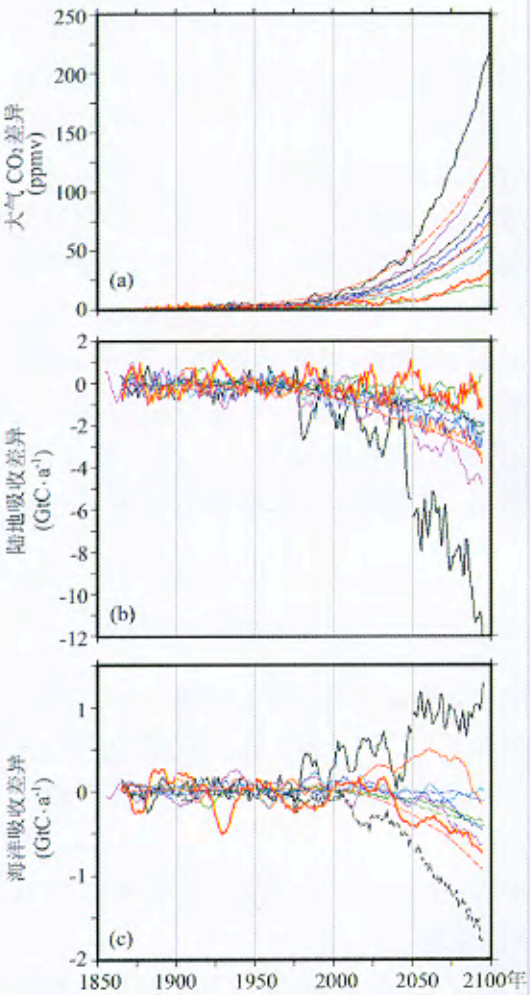


图 28 (a)耦合与没有耦合碳循环的气候模拟得到的大气二氧化碳差异；(b)耦合计算时得到的陆地碳吸收量；(c)耦合计算时得到的海洋碳吸收量(引自 Friendlingstein et al.，2006，感谢美国气象学会)。

C4MIP 的模拟表明，未来气候的变化将降低地球系统对人为碳干扰的吸收效率(图 28a)。人为排放二氧化碳的很大一部分将保留在大气中。所有模式的模拟都表明，陆地和海洋碳循环对未来气候的敏感性将降低(图 28b 和 28c)。然而，对于这些敏感性的量级还存在很大的不确定性。在陆地敏感性对于净第一生产力变化的贡献与对于呼吸变化的贡献这个问题上，仍然存在争论，因为不同的模式还没有获得一致的结果。

AIMES 将继续并扩大模式的相互比较计划，并将甲烷、一氧化二氮、气溶胶、臭氧和其它重要温室气体的变化发展耦合到模式中去。这就需要有关这些物质及其陆地和海洋前体物排放模式的发展，以及大气交互化学模式的发展。气候与火灾动态变化(以及微量气体排放，包括二氧化碳、甲烷和气溶胶)的相互作用也将进行研究，以量化其对于气候系统的反馈。

已有的耦合模式仅仅是对人类如何管理生态系统进行了粗糙的描述。土地覆盖变化(比如森林砍伐)和农业管理(比如灌溉和收割)影响着气候系统，因而需要包括到耦合模式中来。同样，生态系统服务(比如农业与海洋渔业生产)会受到气候变化和生物地球化学变化的影响，也需要包括进来。AIMES 将指导模拟团队在气候—生物地球化学耦合模式中改进人与环境相互作用与生态系统服务的表达。

研究方法

AIMES 与其它计划、IGBP 和 ESSP 的研究活动有着密切的相互作用与合作。在所有情况下，地区与区域研究的信息与数据共享所起到的互惠互利的好处是全球范围为 AIMES 提供的区域过程研究服务。AIMES 采用了四个研究示范来开展交互与合作研究：

示范 1：过程与参数化。地球系统模式需要进行观测与过程研究，以利于模式发展、参数化、验证与评估。对于全球模式的提高和发展的数据和过程知识不一定只是地区的，它们可以包括全球数据网络。该示范通过将地区和区域过程知识向全球模式的加速转化，为改进地球系统模式中过程机制的全球表示提供了机制。

示范 2：区域—全球相互作用。该示范着重于某些地区的影响与反馈，这些地区包括人类活动引发的大气与生物圈快速变化的地区，以及快速的地区与区域变化对全球产生影响的地区。区域到全球的相互作用包括：

(1)在人类系统的快速变化引起的全球响应的地区，这既包括直接的传输影响，也包括间接的气候系统遥相关。为了理解区域研究的重要性，这需要在一个全球的框架下进行。

(2)在全球变化引起区域的快速变化，并产生全球反馈的地区(例如，最近北半球高纬度地区的变化)。这里强调其对人类而非自然的结果。

(3)在需要较高的分辨率来了解全球变化对区域影响的地区。该示范利用了一个地球系统方法进行降尺度分析：如果意识到了全球的变化，该示范将会竭力了解地区的影响以及对人类行为变化的反馈。

示范 3：应用地球系统科学。该示范将特定地区或者特定过程的全球变化响应转换为对评估、减缓和管理的全球认识。综合的模式能够通过综合 IGBP 的力量将信息传送到全球生态系统服务和综合问题的解决。

示范 4：集成的地球系统科学与模拟。耦合模式中焦点问题的增加将会提高对于人类—环境相互作用和对地圈生物圈耦合行为的理解能力。集成模拟将成为所有应用研究活动的一个组成部分。

作为 AIMES 重要补充的早期(和正在进行)的研究活动包括 C5MIP、IHOPE 和 GEIA。C5MIP 是第一阶段计划中 C4MIP(注释框 11)的扩展，它将把更复杂的大气化学和陆地生物圈动力学综合到耦合模式中去。IHOPE 是自然科学家、社会学家、考古学家和历史学家的一个广泛的合作平台，以为人类活动和环境变化建立综合历史。IHOPE 将试图揭示过去文明衰败的复杂原因，并指导未来的可持续发展。GEIA 将继续建设全球网格排放清单数据库，以用于地球系统的模拟与分析。

此外，IGBP 认为有必要建立一个地球系统数字地图，从而为科学家们提供关于重要地球系统变量(包括古环境观测和社会经济变量)的唯一高质量的、经过严格审查的全球数据。这种工具的发展同时也需要 IGBP 内部和外部的合作。AIMES 将努力引导和协调 IGBP 的贡献。AIMES 同时也协调地球系统科学机构的一个网络，这将使得所有的 IGBP 计划都能从中获益，并通过发展年轻的地球系统研究网络来建设其研究能力。

快速启动倡议(FTIs)

快速启动倡议(FTIs)是由 SC-IGBP 于 2003 年建立,用于促进 IGBP 科学计划的综合与集成,并为 SC-IGBP 成员积极参与 IGBP 科学研究活动提供了一种方式。FTIs 有助于在 IGBP 网络内确定一些新的议题。其目的是推进对于地球系统的理解,阐述一些 IGBP 或者 ESSP 计划没有涉及的地球系统科学内的新的、交叉的问题。因而,FTIs 就成为计划内外创新研究活动的"温床"。

FTIs 由 SC-IGBP 首先建立,但通常也涉及到了多个 IGBP 计划(通过多国的参与),以及 IGBP 网络以外的许多科学工作者。FTIs 常常是与成员组织共同发起,而我们推荐在每个 FTI 里包括 IGBP 综合计划(PAGES 和 AIMES)中的其中一个,或者两个都包括,并且需要包括能力建设部分。FTIs 的时间较短(最大工作周期是 3 年),并希望能够获得重要的结果,比如论文、书籍或者主要的数据库。在其完成之后,FTIs 可能会扩展到新的研究活动中,并可能作为 IGBP 或者 ESSP 计划的一个综合部分。

FTIs 的申请书需要提交到 IGBP 秘书处,并在年度 SC-IGBP 会议上进行讨论通过。申请书要概述关键问题和目标、预计成果、达到目标所需的专门科学知识、时间安排、预算、终止/过渡计划、与赞助者的交互以及综合计划等。如果 FTIs 负责人不是 SC-IGBP 成员,那么将有一个 ICSU 任命的 SC-IGBP 成员来进行监督,并向 SC-IGBP 报告 FTIs 的进展情况。IGBP 为 FTIs 提供启动资金,其他的资助通常也是需要的。

FTIs 的初期主要考虑了全球铁循环(2003—2005;与 SCOR 合作;见注释框 1)、全球氮循环(2003—2005;与 SCOPE 合作;见注释框 2)和火灾在地球系统中的作用(2003—2005;见注释框 6)。这些研究产生了一些集成论文、一部著作和一个"氮管理宣言"。"铁-FTIs"将主要同 SOLAS 一起继续进行。"氮-FTIs"将融入一个主要的国际倡议——国际氮倡议,该倡议将在 AIMES 计划的框架内开展其在 IGBP 内的研究活动。

本报告编纂时的其它 FTIs 包括:①海洋酸化随时间的调查(2005—2007;与 SCOR 合作);②地球系统模拟的植物功能分类重定义(2006—2008;与 DIVERSITAS 合作);③2030—2050 年的地球(2006—2008)。

综合与集成

科学综合与集成对于 IGBP 的研究活动具有非常重要的作用,两者都需要仔细地作前期规划,并需要提供适当的资源。这些研究活动的最终目标是为政策制定和资源管理提供有用的全球变化和地球系统信息。其中一个重要的方面就是,或者将是,为 IPCC 和 MEA 等进行全球环境评估服务。然而,过去十年来对于全球变化认识在各种层面(社会、政策和公众)上的进展,以及地球系统科学组织情景的变化,意味着综合与集成的进行需要一些其他的方法。

IGBP 将利用各种研究活动和方法来进行综合研究,即在 IGBP 计划内,也通过与其它计划的合作,特别是 ESSP 的参与。在计划内部,AIMES 和 PAGES 将进行地球系统层次上的研究,并对其它 IGBP 计划的工作进行综合。为促进这一工作,将有一个 AIMES 代表在可能

的情况下参加其它 IGBP 计划的 SSC 会议，特别是在计划实施的开始阶段。

如同在第一阶段计划中那样，IGBP 将每四年组织一次代表大会，IGBP 大会集合了 SC-IGBP、所有计划的 SSCs 和 IGBP 内其他重要的科学家来共享研究进展和成果，共同计划正在进行的和新的实施活动，并促进地球系统科学的集成。IGBP 与全球变化国家委员会(NC)的代表会参加这些大会，以加强国家与国际间的联系，促进研究发现的区域—全球集成。在第二阶段计划中，IGBP 将(在适合、现实与资源允许的情况下)考虑与其重要伙伴计划共同召集代表大会。计划在 2008 年上半年举行第一次代表大会，而第二次会议预计在 2012 或 2013 年召开。

在计划之外，IGBP 将通过与关键伙伴的战略合作鼓励综合研究。第二阶段中最重要的战略合作就是参加 ESSP。ESSP 成立于 2001 年，它为 DIVERSITAS、IGBP、IHDP 和 WCRP 等计划提供了框架，以综合开展地球系统的研究，包括考虑了系统的变化，及其对全球可持续发展的意义和影响。ESSP 主要支持的研究计划包括全球可持续性问题(注释框 12)、全球变化的研究能力建设、区域集成研究(IRS)和开放科学会议。

由于不断认识到区域对于全球变化越来越重要，ESSP 鼓励和促进 IRS 研究。IRS 是建立在这样一个概念之上的，即在地区系统的框架下将区域作为一个整体来研究，并且 IRS 有意提供科学知识来为区域的可持续发展提供支持。IRS 考虑区域内和跨区域的综合与过程，以及一个区域与全球系统的集成。IRS 将为理解认识区域—全球间的联系和这些联系的变化所产生的结果做出贡献。

IRS 是由某些特殊地区的科学家发展和领导的，并且反映了该地区的特点、研究兴趣、科学能力以及优先发展的方面。通过确定相同的总体目标，IRS 有责任进行交叉比较研究和全球集成的建设。除了其科学目标外，IRS 对于能力建设也很重要，因为它们有助于为全球变化研究而发展区域科学基础设施。

IRS 超越了学科的界限，其领域涉及地球系统的海洋、陆地、大气、社会、经济、文化和历史等方面。它们反映了区域特殊的社会—经济和生物物理特征，并且从规划到集成涉及了区域地球系统研究的所有方面。IRS 明确地考虑了地球系统的一些主要特征(比如，亚洲季风系统、亚马孙流域和南极冰冻圈)，也考虑那些可以引起地球系统发生深远变化的小地区。

亚马孙河流域大尺度生物圈大气圈试验(LBA)是在 IGBP 第一阶段计划中期开始实施的，该研究体现了 ESSP 希望 IRS 完成的许多重要的方面。LBA 容纳了 80 多个进行紧密联系和合作的研究队伍，包括了来自世界各地的 600 多位科学家，着重于研究亚马孙流域作为地球系统内的一个区域整体，其功能是如何发挥的以及土地利用和气候的变化是如何影响区域生态系统的生物、物理和化学功能的。

ESSP 批准的第一个 IRS 是季风亚洲区域集成研究计划(MAIRS)。MAIRS 致力于增进理解季风亚洲区域的人类活动是如何与季风系统的大气、陆地和海洋组分的自然变率进行相互作用，即如何改变它们的。为此，MAIRS 将发展对全球—区域联系及其结果变化的预测能力。结合这些研究将为季风亚洲区的可持续发展奠定科学的基础。最初，MAIRS 将着重于有关空气和水的问题，研究地球系统变化是如何影响亚洲季风区的(图 29)。

ESSP 也发起开放科学大会来促进综合研究和地球系统科学的交叉发展。第一次会议(来自变化地球的挑战)已于 2001 年召开，吸引了来自 105 个国家涉及科学、政策和资源管理的 1400 名与会者。第二次会议的主题是：全球环境变化：区域挑战，将于 2006 年年底召开。

注释框 12 全球可持续性方面的 ESSP 计划

全球可持续性方面的 ESSP 计划主要涉及了与人类生活息息相关的大量全球变化方面的问题：碳循环、粮食系统、全球水系统和人类健康。这些计划的研究范围超出了每一个单独的伙伴项目的研究范畴，但是极大地依赖于伙伴计划研究的进行，从而能进行其中有关地球系统功能与人类社会发展问题的集成研究。这些计划通过研究变化的全球环境对人类社会的影响和这些社会系统中人类驱动的变化对地球系统功能的影响，来对全球变化和全球可持续性之间的相互作用进行双向的研究。

全球碳计划(GCP)

GCP 致力于发展对于全球碳循环进行综合的、政策相关的理解，包括其自然和人文因素以及相互作用。GCP 主要围绕 3 个主题开展研究：

- 方式和变率：目前全球碳循环主要汇集地和通量的地理和时间分布状况如何？
- 过程与相互作用：决定碳循环动力学的人为与自然的控制与反馈机理是什么？
- 碳管理：碳—气候—人类系统的未来变化是怎样的？对于该系统的管理存在怎样的干预点与机会？

全球环境变化与食物系统(GECAFS)

GECAFS 确定了全球环境变化对于食物系统影响的研究战略，并在评估适应响应的环境与社会经济后果，旨在提高食物安全。GECAFS 的研究围绕 3 个主要问题展开：

- 全球环境变化将如何影响不同地区的食物系统的脆弱性？
- 食物系统如何进行适应以应对全球环境变化和增强食物安全？
- 各种适应机制如何对环境与社会经济条件进行反馈？

全球水系统计划(GWSP)

GWSP 主要研究人类活动如何改变全球水系统，并考虑水系统的人为变化产生的环境与社会经济反馈。GWSP 同样围绕 3 个主要问题展开其研究：

- 全球水系统的人为与环境变化的量级是多少？引起这些变化的关键机理是什么？
- 全球水系统的变化所引起的地球系统内的主要联系与反馈是什么？
- 全球水系统对于变化的恢复性与适应性如何？进行可持续水管理的策略是什么？

全球环境变化与人类健康(GECHH)

GECHH 将确定哪个全球环境变化对人类健康所造成的危险，并研究减少这些危险的可能途径。GECHH 将于 2006 年年底的 ESSP 第二届开放科学大会上开始。

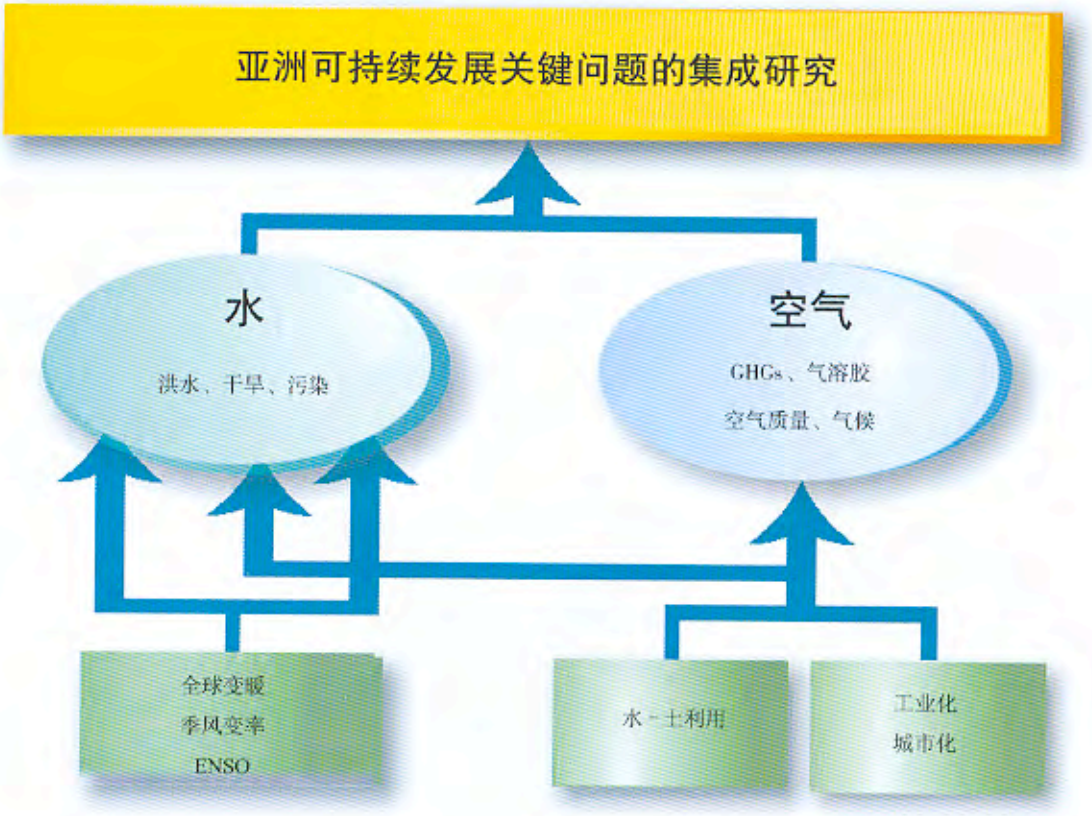


图 29　MAIRS 最初的焦点议题

IGBP 主要的功能之一就是协调与促进全球变化研究和地球系统科学进行定期的集成。在 IGBP 第一阶段计划中，这一点是 1999—2003 年期间的主要任务，并产生了 11 部文献著作(附录 2)。此外，对其中 6 部文献中主要内容的概述也已出版，提供给政策和教育方面的读者。

IGBP 第二阶段计划的集成依然非常重要，它是 2012—2013 年的重点任务(图 1)。该集成阶段成果的具体特点由 SC-IGBP 来决定。鉴于在第二阶段后期也可能出版一些主要的文献书籍，那么由于 IGBP 通讯(见交流与延伸)的重点是在不断变化的，这也就意味着这些集成不可能仅针对某些特定的科学群体。此外，大量的工作将对进行中的活动给予集成，而不是将集成作为最后的一项活动。例如，IGBP 秘书处计划为决策者提供两页的地球系统科学概要(见交流与延伸)。再有，IGBP 的各个计划将开展各种即时的集成研究活动。

实施战略

实施地球系统科学研究的花费通常是非常高昂的，世界范围内的研究预算也在日益增长。而可用于国际活动的研究经费就更为紧张。因此，如何对有限的资金进行充分的利用，就变得非常迫切。IGBP 的重要作用之一就是与国际科学团体共同努力来发展科学有效的，同时使资源可充分利用的实施战略。IGBP 要保证国家资助机构从全球的角度来资助其全球变化研究。

IGBP 科学的实施主要是通过 IGBP 计划的各研究活动来进行的，这些研究活动都已经发展和出版了其相应于各研究计划的科学计划和实施战略。而在 IGBP 的科学结构和目标下，各个研究计划都发展了其自身的方法来实现其科学目标。此外，也有一些实施战略对于 IGBP 第一阶段进行的大多数计划和一些新的计划层面上的战略都是相通的。所有这些就为国际地球系统科学研究的开展提供了一个有力的保障。这些战略包括：

- 在约定议程的基础上为开展合作研究而发展国际框架；
- 建立研究网络来处理关键科学问题；
- 为地球系统科学研究建立一个国家机构网络；
- 促进标准方法的使用；
- 进行长时间序列的观测；
- 引导和促进全球数据库的建立；
- 建立共同的数据政策来促进数据共享；
- 进行模式间的比较以及与观测数据的比较；
- 促进模式人员和试验人员之间进行综合的交互；
- 协调进行复杂的和跨国的研究与试验研究。

国家委员会(NCs)对于 IGBP 的实施非常重要，因为它们在国家与国际水平的全球变化研究之间起到了一个双向的沟通作用。NCs 可以提供建议、研究能力和研究计划，而 IGBP 可以提供一个共同的国际框架来促进各国研究者之间进行国际合作。IGBP 实施战略的一个关键的组成部分将仍然是研究能力的建设，特别是对于不发达国家。

合作研究的国际框架

跨国家的地球系统科学研究要求具备一个约定的研究框架和一些共同的科学问题。通过与科研团体(包括来自各国的数以百计的科学家)进行深入的讨论与协商，IGBP 计划已经建立了起来。这就为发展真正的国际研究框架提供了保障，从而使这一框架有助于国家与地区研究，以促进国际间的合作。它也促进了开展这些研究所需要的国际间与学科间网络的建立。

IGBP 计划的科学计划与实施战略就是 IGBP 国际框架进行合作研究的很好的例证。如 SOLAS 科学计划与实施战略是 SOLAS 团队经过几年的商讨和反复修改的结果，这其中包括 2000 年的开放科学大会和 2002 年的 SOLAS 国家代表大会的讨论。通过开放科学大会的充

分讨论，学者们在 SOLAS 研究中的一些前瞻性问题上达成了共识，由此产生了初步的科学计划，然后依据各研究团体的反馈意见进行了修改。2001 年，SSC 邀请各国代表参加了与 SOLAS 相关的一些进行中的和计划中的国家研究活动，并提出了一个实际的实施战略。其文稿于 2003 年进行了审阅，经最终修订和通过，于 2004 年上半年出版。参加框架商议制定的科学家就形成了最初的 SOLAS 网络，随着研究的开展，该网络也不断壮大。

处理关键科学问题的研究网络

通过国家研究团体的长期合作，许多全球变化问题得到了很好的研究。因此，研究网络着重于一些对于许多 IGBP 计划的实施尤为关键和突出的科学问题。IGBP 网络可以共享试验技术方面的专业知识，并为发展中国家（特别是对于那些科学与政策条件合适的地区）传输这些知识，与相关的模式发展团队进行交互以使得最新的成果得以应用，并定期地对焦点议题进行集成研究。这种方法可以加快科学研究的进展，并使得我们对于全球过程及其地区变化取得更为综合的了解和认识。

涡动相关通量观测的测量陆地生态系统和大气之间能量和物质交换的全球通量塔站网络（FLUXNET）就是这种方法的一个例子，这是一个由 240 个通量塔组成的跨越所有主要生物区系的全球网络，对生物圈和大气圈之间的二氧化碳、水汽和能量交换进行连续的观测。该网络由 BAHC 和 GCTE 发起，现在受到 iLEAPS 的支持。其目标是量化二氧化碳、水汽和能量的时间变化、空间分布特征以及生物和非生物强迫，从而为验证遥感产品提供数据，继而可以利用遥感数据估算二氧化碳通量。

FLUXNET 对于了解控制水、能量和二氧化碳交换的过程发挥着主要的作用。例如，FLUXNET 有助于：①揭示生长期长度变化对于净二氧化碳交换的影响；②量化光利用效率（继而是初级生产总量）随云量的变化；以及③验证碳交换模型中季节强迫的遥感算法的可靠性。在某些地方，成簇分布的观测站点也可以进行植被演替的研究。

地球系统科学的机构网络

有许多紧迫的地球系统科学问题（例如环境可持续性问题）已经超越了任何一个单独的全球变化研究计划或者机构的审议事项。为促进地球系统科学的研究和教育，并推动系统层次的分析与综合，IGBP 将建立一个领导地球系统科学研究机构的全球网络。该机构网络的目标主要是加强已有的国际研究和教育在系统层次方面的工作，这包括：①生物地球化学—气候相互作用（过去、现在和未来）；②社会—生物地球化学相互作用（过去、现在和未来）；③地球系统模拟战略。此外，网络将有助于：①构建未来全球观测系统的战略；②在网络参与者间发展合作开展的国际研究计划；③增加地球系统科学的教育课程；④促进参与者的交互以及不同科学团体间科研成果的交流。

机构网络将在 IGBP 的框架下通过在增强人员流动性及资源共享方面达成的共识来从结构上联系各主要的研究机构。网络会为参与者提供进入 AIMES 博士后网络的机会，并方便

其参与者参与 IGBP 和 ESSP 的研究活动，还通过 IGBP 来提供与全球观测网络的联系。网络将提高对于机构资源的利用，增强地球系统模拟的计算基础设施，并为模式的相互比较提供一个中立的平台。该网络应帮助发达国家和发展中国家之间共享观点和看法，促进发展中国家建立良好的研究中心，并建立长期的论坛，以在主要的全球变化研究机构与资助者之间进行对话。

标准方法

地球系统科学常常需要在世界范围内的不同站点和不同的条件下进行大量的过程和实例研究，以及进行其后的比较和综合。这种方法的一个重要的组成部分就是标准研究方法的发展和使用。开始的阶段是进行方法的发展建立，这通常是基于广泛的商讨，然后进行广泛的沟通（例如，通过指南的在线和印刷出版），并召开地区研讨会来促进方法的使用。

LOICZ 的海岸生物地球化学收支方法就是 IGBP 发展和促进标准方法的例子之一。由于海岸带强烈的异质性，对海岸生物地球化学通量进行一项全球研究是比较困难的，因而通过一个国际研究人员网络来应用一个标准方法是非常有效的。国际 LOICZ 团体发展和应用了一个标准方法，该方法是基于物质平衡来估算海岸生物地球化学通量，特别是在海湾和海岸的河口地区。该方法可以估算出入海岸带的碳、氮和磷通量，也包括向大气的气体排放量。由于海岸水域中的营养盐发生了反应，所以收支状况是比较复杂的，因此，该方法依赖于一种营养物（通常是磷）通量的测量，然后通过比例系数来计算其他营养物的通量。

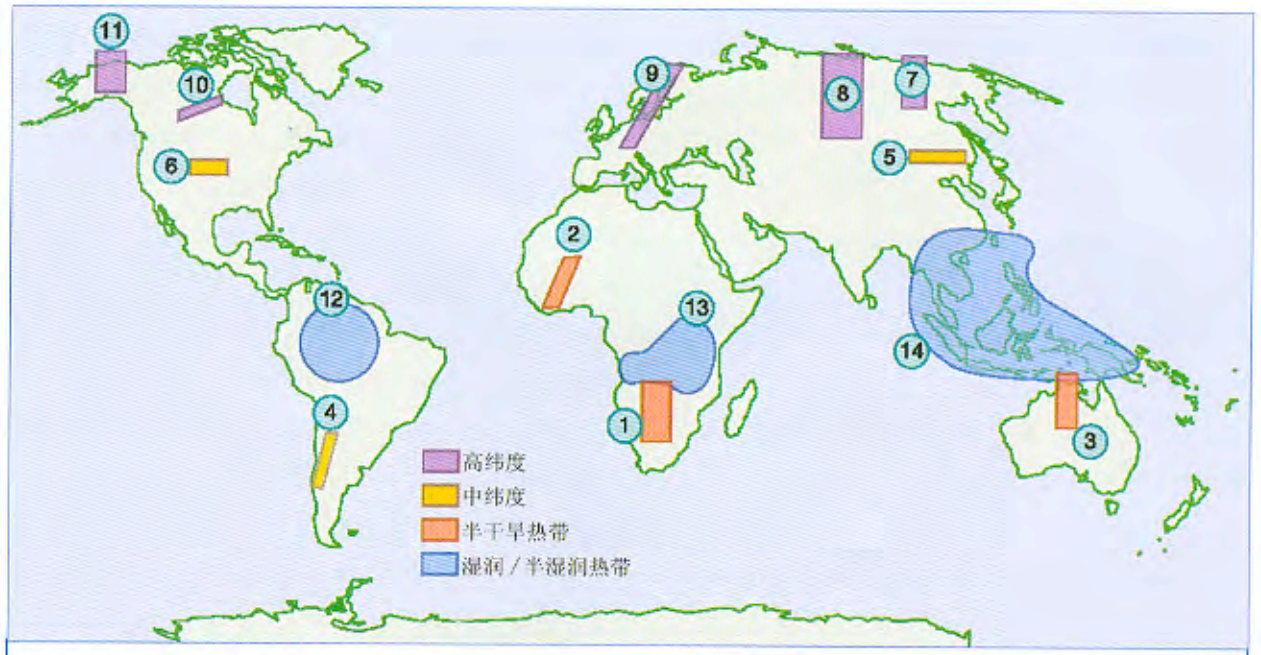
该方法利用少量或适量的已知或易于获取的数据，并广泛适用于站点间的比较。站点间比较可能会跨越各种不同条件的站点，例如从局地泻湖和河口到较大的中国东海、从原始未扰动的站点到有大量人为营养物输入的站点、从浅水到几百米深的深水、以及从热带到北极环境的跨越。已经召开了许多的地区研讨会来对标准方法进行交流和促进，并有一个网站可以提供方法的详情和更新、实施的工具，以及已完成研究所使用的教材和应用结果。通过大约 180 名科学家的努力，已经确定了 200 多个海岸的收支状况（见图 21，注释框 7）。

长时间序列观测

长时间序列的观测站点和网络是对集中野外观测的一个补充，它们对于确定长期的变化趋势非常重要，特别是在那些人为强迫驱动的变化可能会远大于自然变率的地区。它们也为进行集中的野外观测试验和过程研究提供了一个长期的环境基线。长时间序列观测的例子包括通过全球瓶采样网络所进行的大气二氧化碳的监测，IGBP 陆地样带，以及进行海洋过程研究的长时间序列海洋站点。所有这些都需要进行大量的国际合作以进行全球的比较和应用。其中的一个重要的问题是，确定何时和如何将长时间序列观测从研究的领域转换到可操作的观测领域。

IGBP 陆地样带（图 30）是促进长期时间序列观测的一个例子。这些样带建立于上世纪 90 年代中期，目的是为面向陆地的 IGBP 计划提供支持，因此对 GLP 和 iLEAPS 计划非常重要。

它们通常长约 1000 km，宽约 200～300 km，并沿着一些重要的环境梯度进行排列分布。例如，高纬度的南北样带包括了北温带森林和苔原生物区，将其所记录的温度变化作为重要的控制因素。中纬度和半干旱热带地区样带主要基于水分梯度，而其它样带则主要根据土地利用强度梯度。土地利用强度梯度是概念性的，而且比那些基于准线形生物物理梯度的样带更具空间复杂性，但其对于研究热带土地利用变化却是尤为重要的。



1. Kalahari样带（KALA）
2. Savanna长期样带（SALT）
3. 澳大利亚北部热带样带（NATT）
4. 阿根廷样带
5. 中国东北样带（NECT）
6. 北美中纬度样带（NAMER）
7. 西伯利亚远东样带
8. 西伯利亚西部样带
9. 欧洲样带
10. 北温带林样带实例研究（BFTCS）
11. 阿拉斯加纬向梯度（ALG）
12. 亚马孙（LBA）
13. Miombo Woodlands样带
14. 东南亚样带

图 30　IGBP 陆地样带

每个样带都基于长期观测站点，并沿主要的特征梯度进行分布。对于某些样带，每个站点包含一个主要观测站，并结合若干辅助站点以研究次要的梯度以及本地变率。集中的操作试验或者野外观测时常包含在样带内，并将长期观测作为其环境基线。为最大限度地发挥样带的价值，观测数据和试验或者观测活动常常与大尺度陆地系统对全球变化响应的模拟和定期集成结合起来。

全球数据库与数据共享政策

对于地球系统的理解要求具有描述生物地球化学循环关键参数和过程的全球统一的数据。近几十年里，遥感数据的发展革新了我们对于地球系统的了解，并导致了许多全球数据库

的迅速发展。现场的观测系统已经建立起来为遥感数据提供补充。IGBP 计划已经帮助指导和促进了许多相关全球数据库的建立，这包括：①高分辨率土地覆盖数据；②大气中活性微量气体和气溶胶数据；③土壤结构与矿物/化学组成数据；④海洋表层的二氧化碳分压数据。IGBP在大量古环境记录数据库的设计、建设、归档和分发方面扮演着中心的角色，这些数据库为在 IGBP 内外开展全球变化研究发挥着关键的作用。

一个全球数据库来促进数据共享的例子来自于 PAGES 古记录数据库。PAGES 与 ICSU 的世界数据中心网络共同建立了一个长期的古数据的知识库，这对于地球系统研究是非常关键的。PAGES 将继续致力于多种代用指标和交叉学科数据库的发展，并促进空间明晰的和经过良好校正的数据库的建设，以便模拟研究进行利用。PAGES 将特别致力于恢复那些由于全球变化而正在消失的关键古记录，例如冰川、珊瑚礁、热带海岸湿地和北温带泥炭地。

模式间的比较以及与实测数据的比较

地球系统模式是研究全球变化、综合目前的理解、支持假设分析和为未来地球系统演化提供可能情景的重要工具。然而，这些模式必须经过严格的测试，以提高其模拟地球系统功能的可靠性。IGBP 为进行模式间比较以及与实测数据的比较提供了一个国际平台。模式间比较有助于确定不同模拟方法的优势和弱点，分享模拟技术和结构方面的知识，以及加快模式的发展。利用数据进行的模式验证对于模式的模拟表现和不同数据库的一致性和可用性都非常关键。IGBP 的每个计划中都进行了模式间的比较以及与实测数据的比较工作，但在 GAIM 和 AIMES 中特别得以加强，以理解和模拟地球系统的功能量。

一个模式间比较的例子来自于 GAIM 和 WGCM 发起的 C4MIP 计划（注释框 11）。为比较各耦合模式的结果并剖析其偏差原因，建立了一个共同的协议。早期对碳循环与气候间相互作用的研究结果表现为一个正反馈，与非耦合模式相比，所有的模式模拟都表明，到 2100 年随着大气二氧化碳将不断增加，气候将强烈变暖。此外，所有的模式都表明陆地生物响应主导着反馈效应。下一阶段复杂模式的发展（在模式中耦合所有大气化学作用）也将由 AIMES-WGCM 合作开展。

模式开发者与试验人员的交互

IGBP 将积极促进模式开发人员与试验人员的交互，保证这种交互进行精心的计划与实施，以充分发挥其功效。这些活动的规划将寻求一种实验性的设计，使得观测与模式之间形成一个能够保证可比性的最小组合，而不会妨碍观测/试验对于特定问题的研究。这些活动可望将实验室研究、现场观测、遥感以及详细的过程模拟和全球尺度模拟结合起来。

这些活动可望能够增强 IGBP 及其关键伙伴间的交互，例如，IGAC-SPARC 在大气化学与气候方面的合作和 iLEAPS-GEWEX 在陆地—大气界面过程研究方面的合作。其中涉及 IGBP 和 WCRP 的一个主要的活动设想是进行气溶胶—云—气候—健康相互作用的研究。许多大型的野外试验已经在不同的地区对气溶胶和云的相互作用进行了研究，这些区域包括中

纬度海洋层积云地区、赤道对流区、中纬度对流层上部和北极近冰缘层云地区。其中的许多研究既直接进行了模拟研究，也进行了分散的模拟活动。然而，很难对其进行直接的比较以了解不同的过程在不同的地理条件和动力学条件下的相对重要性。此外，这些研究中很少将空气质量和健康问题作为一个整体的部分进行考虑。促进试验者和模拟人员之间的对话和交互将极大地增强这种方法解释问题的能力。

多国野外研究活动与试验

地球系统过程研究以及目标观测通常需要一些受限制的技术、特殊设备或装置。而且，地球系统过程常常超越了国界，因此需要进行多个国家的合作。就此而言，最好的方法是进行集中的、高度合作的野外试验研究，从而能聚合多个国家的资源力量。合作应避免进行不必要的重复工作，最大限度地发挥试验研究的科学价值。IGBP 计划是进行这种多样调查和多国野外研究的理想平台。其例证包括：①利用陆面试验观测不同尺度上的水、能量和微量气体通量；②利用空中观测研究来了解对流层的组成及化学特征；③在偏远地区进行生物物质燃烧试验。这些试验研究的计划与实施正日益同模拟研究结合起来，将模式与试验研究活动更深入地综合起来。

IGAC 的气溶胶特性试验(ACE)研究就是来自于 IGBP 第一阶段计划多国野外研究活动的一个例子。由于认识到对于对流层化学作用的研究进展需要一个更为协作的方法来进行气溶胶的观测，这需要通过各个单独的观测平台的合作来展开。IGAC 协调了来自许多国家的大尺度集中野外研究。ACE 能够通过船舶、飞机和地面站点、卫星、特殊仪器和大量的研究人员了解发生在广泛区域内的大量气溶胶过程。由于气象工作者(为解释观测结果提供必要的传输场描述)和模拟人员能够综合过程水平的认识并基于模式预测来指导观测本身，这种国际方法也促进了主动参与。ACE 促进了研究人员与更广泛的科学团体进行开放的数据共享，极大地增强了数据的有用性及价值。在 IGBP 第二阶段的计划中也设想进行同样的研究活动，以便更好地了解全球海洋—大气交换。

数据管理

IGBP 自 20 世纪 80 年代后期成立以来，极为重视数据问题，数据的管理战略也是 IGBP 各计划需要考虑的重要问题之一。管理战略的任务是为计划建立一个数据管理和档案系统。数据系统应该考虑数据质量、数据集生成、元数据与目录、数据建档、数据标准、数据共享、外部合作，以及数据部门、数据组网与分配和未来设备需求之间的联系。

计划的最初框架活动之一是数据与信息系统(DIS)，其目标是为 IGBP 计划建立、发展和利用全球数据库来辅助其研究而提供支撑。DIS 在联系 IGBP 科学团队与卫星遥感部门方面发挥着重要的作用，以便能够保证卫星遥感数据能够适用于全球变化研究。此外，DIS 可以为 IGBP 科学家利用高分辨率卫星数据提供代理服务，这在 20 世纪 90 年代早期还是花费较多而且困难重重的。对于非遥感数据，DIS 也在两个重要的陆地数据库的建设上扮演者主要的作

用，其中一个是土地覆盖（包括广泛的利用分类方案），另一个是关于土壤特性。

然而到 2001 年，在数据方面发生了巨大的变化，个人对于全球数据库的访问变得更为开放、便宜和方便。在那时，IGBP 完成了 DIS，转而着力于参加综合全球观测战略伙伴关系（IGOS-P）。IGOS-P 促进了有关地球系统的几个主要数据库之间的合作，如海洋、大气化学和碳循环。IGBP 已经领导了碳循环观测方案的开发，并对大气化学、海岸带和陆地生态系统方案的发展做出了很大的贡献。

最近，IGBP 成为地球观测工作组（GEO）的组织成员之一，该组织是 2006 年成立的，由来自 60 个国家和 43 个国际组织组成的国际伙伴关系。GEO 致力于到 2015 年建立一个全球对地观测系统（GEOSS）。GEOSS 将建立在已有的国家、地区和国际观测系统之上，并与之合作，通过遍布世界的数以千计的观测设备来提供综合的、协调的地球观测，并将这些采集到的数据转化为对社会非常重要的信息。作为组织成员之一，IGBP 受命通过 IGBP 研究进行数据和信息的采集来为 GEOSS 服务。随着 GEOSS 的发展，IGBP 以及计划战略将与总体的 GEOSS 方法相适应。

IGBP 还是卫星对地观测委员会（CEOS）的伙伴之一，该委员会是一个国际合作组织，致力于合作进行地球观测和研究等的国际民用航空航天任务。CEOS 有 25 个成员（主要是航天部门）和 20 个伙伴（联合的国内和国际组织），它被认为是合作开展地球观测卫星计划和这些计划与世界范围内的卫星数据使用者进行交互的主要国际论坛。与 CEOS 的合作将有助于 IGBP 研究团队更好地获取卫星数据，并帮助 IGBP 的研究人员与观测人员就数据需求问题进行沟通。

能力建设

IGBP 需要进行能力建设来解决发达国家与发展中国家间科研能力的不平衡问题。关于此问题有如下几个方面：①研究资源水平的差异；②研究基础设施的差异；③参加国家活动机会的差异；④发达国家与发展中国家间不充分的人员与思想交流。IGBP 将利用不同的和补充的方法来解决这些不平衡问题，并帮助增强不发达地区的研究力量。

研究驱动的能力建设已经证明是一个提高不发达国家（LDCs）科研能力的有效手段。IGBP成员中大约有四分之一都来自不发达国家，因而他们也在为 IGBP 研究的规划、合作和评估进行服务。大多数的 IGBP 研究网络成员中都有 LDC 科学家，他们也参与观测和过程研究。SC-IGBP 会议和 IGBP 官方会议常常在发展中国家召开，这也就为 IGBP 高层与当地科学家进行交流沟通提供了机会。

IGBP 计划已经开展了而且将继续进行一些能力建设活动。例如在 IGBP 第一阶段计划中，GAIM 在巴西和肯尼亚召开了地球系统模拟研讨会，GCTE 建立了全球变化影响东南亚研究中心，LOICZ 也举行了许多期生物地球化学收支讲习班。IGBP 第二阶段计划还将进行同样的工作，并对其进行扩展，包括：①由 AIMES 建立一个地球系统科学的国际博士后研究网络；②循环举行 SOLAS 和 iLEAPS 暑期学校；③继续与 LOICZ 共同进行一项水与海岸管理的研究生计划。除此以外，所有的 IGBP 计划将不断进行地区性的研究活动以促进能力建设，并

利用各种教学方法(包括研讨会和网上学习)来建设研究团队内的科研能力,特别是对于不发达国家。

IGBP 第一阶段计划中对于地区性的培训和项目交换、地区交叉学科研究促进和区域模拟与集成研究的需要,使得 START 成为 IGBP 的计划之一。START 最初是由 IHDP 和 WCRP 联合发起的,现在它是 ESSP 的一个计划,其着力于在那些科研基础薄弱而不能参与国际计划的地区进行地区研究、决策者评估和研究驱动的能力建设。许多双边活动是由 START 和 IGBP 计划进行的,而许多通过最初 START 参与国际全球变化研究的 LDC 科学家现在已经成为 IGBP 研究网络和委员会的成员。

全球变化的地区研究与能力建设也通过泛美全球变化研究所(IAI)和亚太全球变化研究网络(APN)等在政府间层面上得到了支持。IGBP 通过与这些组织的相互作用而受益匪浅,同时 IGBP 计划也通过它们在地区性的研究活动中获得了资助。而 IGBP 工作者奉献了时间和知识来发展这些组织的区域研究议程。此外对于 IAI 和 APN,IGBP 将继续(开始于 2005 年)帮助非洲建立一个合作组织,并促进其全球变化的研究。该网络或组织可能会着力于加强非洲与欧洲科学工作者之间的合作,更重要的是,改善非洲科学家开展地球系统科学和全球变化研究的资金来源问题。

IGBP 通过一个简单的管理结构(图 31)来对其科学结构(图 11)进行有效地工作,并促进其内部的交流与综合以及交叉学科的研究活动。IGBP 管理的核心方面在 IGBP 章程中有详细介绍(见 www.igbp.net)。

图 31 IGBP 的管理结构

SC-IGBP 是 IGBP 的中心管理部门。IGBP 的大多数科学研究都以计划的形式组织进行,而很多计划是与其他组织共同发起的,这些计划(SC-IGBP"齿轮"上的"齿牙";图 31)通过其 SSC 主席体现在 SC-IGBP 中。秘书处和 IPOs 通过 IGBP 网络和科学集成与综合来促进信息的交换。秘书处直接支持 SC-IGBP 的各种活动,包括管理与 SC-IGBP 会议与成员关系的记录与信息等。秘书处也支持 IGBP,并向不同的目标人群散发其科研成果。NCs 是参加研究网络的各个国家与地区的联系部门,帮助发起和组织地区和区域水平的研究活动,它们是与更广泛的国际研究团队进行交互的重要窗口。

除了其内部结构,IGBP 为了达成其目标,必须在一个更大的组织间结构(图 32)内开展其工作。这一结构还只是概念性的,而不是正式的,但是由于其影响着 IGBP 的运作方式而且与不同的组织需要保持不同的关系,因而对其的了解也是很重要的。在这一大框架下,IGBP 受到其上级机构(ICSU)和包括全球变化研究资助机构国际组织(IGFA)在内的各种资助机构的影响。IGBP 与一些研究组织存在密切的合作与正式的计划合作发起关系,包括共同构成 ESSP 的其他组织的一些全球变化研究项目,而且在某种程度上,它依赖于有关地球观测的一些

组织(IGOS、GEO、CEOS)。IGBP 将与开展全球变化研究的地区性网络组织(IAI、APN)进行交互,以促进其能力建设。

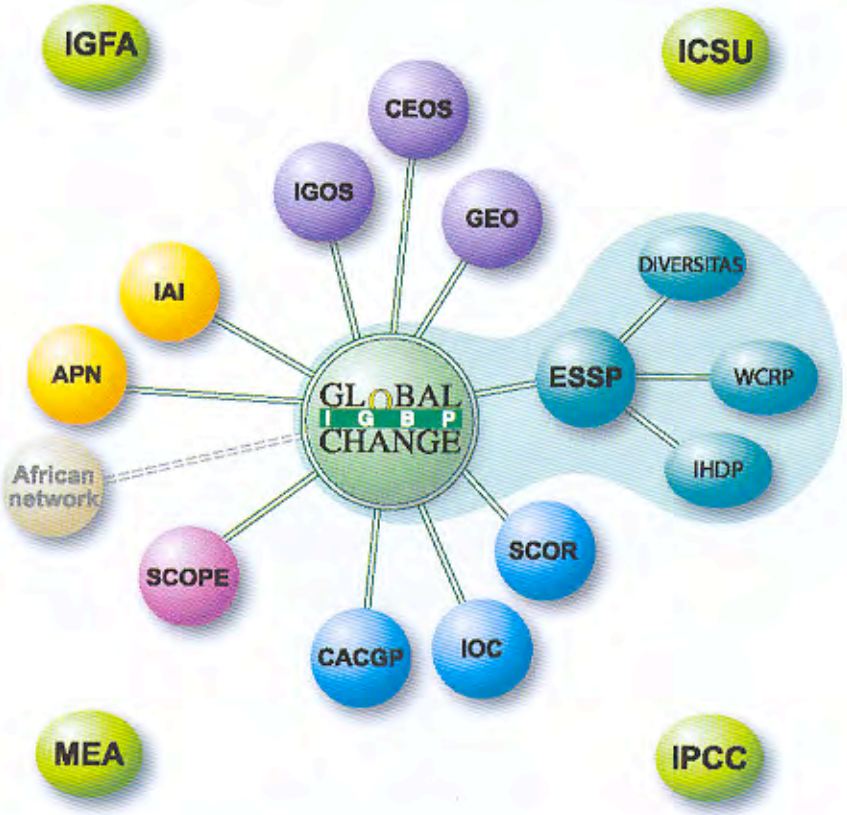


图 32 IGBP 内部的组织间结构

科学委员会

SC-IGBP 对于科学监管和 IGBP 的战略发展负责,并帮助确保 IGBP 研究成果的出版与利用。SC-IGBP 成员应促进和协调网络中的国家、地区和国际活动,并起着与其它国家和国家组织进行联络的作用。SC-IGBP 每一年至少举行一次会议。

除了其管理功能之外,由于 SC-IGBP 中包括了来自许多学科和地区的专家,它就成为进一步发展 IGBP 交叉学科的重要论坛,每个 IGBP 计划都在 SC-IGBP 会议中拥有代表,并向大会进行报告,这为在计划中发起更具学科交叉性的集成研究(如 FTIs)提供了机会。SC-IGBP 大约有 30 位成员,其中 15 位由 ICSU 执行委员会根据其学术成就择优任命,但也考虑到学科、地域与性别的平衡。其他的成员包括各 IGBP 计划的 SSCs(及其他委员会)主席以及 WCRP、IHDP 和 DIVERSITAS 科学指导委员会主席等。成员一般任期为 3 年,可以连任一届。SC-IGBP 年会通常会邀请一些客座出席,包括 IGBP 和 ESSP 计划的执行官员、各 ESSP 计划的 SSCs 主席以及 SCOR 等 IGBP 的重要合作伙伴等。

SC-IGBP 的官员包括主席、三名以内的副主席、财务官和前任主席(Ex officio,通常任期 1

年)等。IGBP 主席由 ICSU 任命,而其他官员主要处理 SC-IGBP 会议间的一些事务。

计划的科学指导委员会

科学指导委员会(SSCs)包括了与计划有关的一些专家,其组成考虑了学科、地域与性别组成。SSCs 主要制定计划的科学议程,直到研究活动的组织实施,并帮助计划的研究活动(包括 IPO)筹集资金。SSC 成员通常包括分析、综合和出版计划成果的相关人员,并在更广泛的框架内组织各种单独的研究计划。

SSCs 一般有 15 名成员,由 IGBP 官员和共同发起人的执行机构指派。许多 SSCs 都有一个执行委员会,主要在计划执行官员和 IPO 的辅助下处理会议之间的 SSC 事务。SSC 成员一般任期 3 年,可连任一届。SSCs 通常每一年举行一次会议。

IGBP 秘书处

IGBP 秘书处由瑞典斯德哥尔摩的瑞典皇家科学院主持,其主要功能是辅助 IGBP 官员确保 SC-IGBP 各项决议的落实。秘书处成员准备、参加和整理 SC-IGBP 和官员会议的成果和决议,也在 IGBP 内外从事交流和沟通事务。

每个 IGBP 计划都在秘书处有一个科学联系方式,这种联络有助于在各个计划(IPOs 和 SSCs)、SC、NCs 和伙伴组织之间进行信息的沟通。秘书处帮助促进 IGBP 工作的开展,确保计划的成果可以向外交流,定期组织 IGBP 科学会议,并辅助 ESSP 组织开放科学大会。SC-IGBP 要求秘书处人员在国际和国内研讨会中代表 IGBP。秘书处同时也为其本身和 SC-IGBP 的活动筹集和管理资金。

秘书处约有 10 名成员,包括科学联络、交流和行政人员,由 ICSU 任命的执行主任领导。执行主任的任期 3 年(可连任),他主要负责管理秘书处,协助 IGBP 的战略发展,准备 SC-IGBP 和官方会议,并准备年度报告。

国际项目办公室

每个 IGBP 计划都有一个国际项目办公室(IPO,由执行官员领导)支持,在某些情况下也可能是地区项目办公室。地区办公室是计划额外的联系点,用于共同承担计划的行政工作,协助计划的助理主席,并筹措资金。IPOs 的主要功能是:

- 在 SSC 的总体指导下,管理计划的日常事务;
- 协调研究工作,包括研究活动与野外计划;
- 促进和支持计划发展,谋求广泛的国际合作;
- 同相关的国际、国家和地区计划保持联系;
- 确保 IGBP 内部进行有效的合作;

- 分发计划的信息和研究成果；
- 监督和评估计划进展和 SSC 活动；
- 保证 IPO 的资金来源。

IPOs 与 IGBP 秘书处在科学综合方面有着密切的联系。执行官员除了在 SC-IGBP 年会上与秘书处进行沟通，通常每年还会进行一次会面。

IGBP 与全球变化国家委员会

国家委员会(NCs)是 IGBP 网络的根基，他们通过参加项目与计划层面上的 IGBP 大会、科学会议和开放科学大会来对研究议程的发展献计献策，并主动地鼓励国家科学委员会参加 IGBP 计划，因而常常有特定的计划代表。

IGBP 研究项目主要通过国家资助的计划来实施。然而 NCs 并不总是参与资助过程，他们通常会关注一些相关的国家研究工作，因而会帮助 IGBP 确定计划过的和正在进行的一些 IGBP优先研究的问题。NCs 会通过保证国家资助和向国家资助机构阐明 IGBP 研究的特征和重要性来帮助 IGBP 筹集资金。NCs 也常常与 START、IAI、APN 和新兴的科学网络伙伴发起地区合作研究。

许可程序

IGBP 鼓励和促进国际的和学科间的合作，因此其外部的计划或者项目(外部计划)经常会向 IGBP 申请官方的许可。许可应该是互惠互利的：外部计划通过参与并得到国际 IGBP 计划网络的支持而受益；而 IGBP 通过参与研究网络外的研究活动来为 IGBP 研究服务。正如在 IGBP及其项目的科学计划与实施战略中叙述的那样，IGBP 的许可要求外部计划与其有着相一致的科学目标、相似的科学范畴和优异标准、本着开放的原则、人员的地域与性别相平衡以及数据的免费交换等。

IGBP 会在计划和项目两个层面上考虑对外部计划的授权许可，因为这是依赖于外部计划的研究范畴和关键议题的较为合适的层次水平。在计划层面上的许可会最为普遍，因为大多数的 IGBP 科研活动都发生在该层面上，同时在该层面进行交互的机会也最多。对多个 IGBP 计划进行许可或许也是适当的。而在项目层面上的许可将仅考虑那些国际性的外部计划，因为其研究可能需要大多数或者全部 IGBP 计划相关的专业知识，或者在总体上，其研究目标与 IGBP 的研究目标非常相近。

当一个外部计划申请(直接或者经 IGBP 秘书处推荐)一个或多个 IGBP 计划的许可时，其许可决定将由计划的 SSC 做出。IPO 将向 IGBP 秘书处呈报许可请求，然后呈报其 SSC 的决定。IGBP 秘书处会将这些信息分发给其他 IPOs、有关的 NCs 和 SC-IGBP。经 IGBP 计划许可后，外部计划需要向计划 SSC 的年度会议提交一份简短的年度报告，并在其计划成果中对该许可表示感谢。

当一个外部计划申请项目层面的许可时，应首先直接或者通过 SC-IGBP 成员间接同IGBP秘书处进行联系。IGBP 秘书处将向所有的 SC-IGBP 成员和 IPOs 呈报许可请求，提请推荐 IGBP 官员进行考虑。项目水平的许可决定由 IGBP 官员做出，并与外部计划、相关的 NCs 和所有的 IPOs 进行联络。得到许可的外部计划需要向 SC-IGBP 年度大会提交简短的年度报告，并在其计划成果中对该许可进行感谢。

有关许可程序的详细描述(包括评估标准)可以从 IGBP 秘书处获取。

信息管理

IGBP 秘书处保存着 IGBP 的"集体信息"，包括章程、参照条款、事务指南(包括对于委员会成员的)、会议记录和决议(特别是 SC-IGBP 会议和 IGBP 官员会议)、官方信件、共识、联系方式和财务记录等。秘书处也管理并存档 IGBP 出版物(印刷版和电子版)的拷贝、通讯录和出版信息、展示和教育材料，以及包括媒体和扩展工作的 IGBP 交流活动记录。此外秘书处还在其服务器上保存有这些信息的电子版。

秘书处将不断地利用互联网来管理信息，以便 IGBP 网络成员和其他人员访问。IGBP 内部可以通过网站访问其出版物和通讯信息，秘书处也将寻求与具有相似数据库的 IPOs 进行数据整合。通讯数据库将进行重新设计，以便其在 IGBP 网络内部更为灵活有用，例如，秘书处可以快速的使记者可以与相关的专家进行联系。秘书处将继续增进和依赖一个 IGBP 外因特网来进行 IGBP 网络内的交流和信息交换。

在可能的情况下，IGBP 出版物和演示材料将放置于网上以便人们免费下载。网站(新网站拟于 2006 年开放)中为科研团体、新闻媒体、教育和决策者提供了"资源空间"。

评 估

IGBP 出版物数据库可以使 IGBP 编纂和报告其科研成果，并将这些成果合适地用于其它计划和研究活动。由于 IGBP 的主要成果输出是科学知识，出版物数据库将为研究进展和成果的评估提供主要的信息。总体的进展由 IGBP 和 ESSP 计划以及 IGBP FTIs 发表在科学期刊上的文献数量、IGBP 相关研究著作和出版物的数量，以及 IGBP 及其计划组织的主要野外研究和模拟活动的数量和类型来进行评估。进展情况将刊登在年度报告中、对主要资助机构的年度进展报告中和呈送 IGFA 的年度站点演示上。评估 IGBP 科学交流进展的方法请见交流与延伸。

除对 IGBP 成果进行评估外，IGBP 将对其国际多样性和延伸度进行评估，这主要是由IGBP网络的国际参与水平、IGBP 委员会成员的多样性以及活跃的 NCs 数量来评估的。对于 IGBP 独立的评估将由 ICSU 进行。第一次这样的评审将在 2007 年年底或 2008 年年初进行，并将指导 IGBP 的实施。第一次评审将考虑科研进展和 IGBP 结构的合理性，以及计划初级阶段实施的完成程度。

财　务

IGBP 秘书处、SC-IGBP 和一些计划活动主要受到 40 多个国家的资助。2001 年以来，这些国家的资助金额平均为每年 150 万美元(图 33)。这部分资金来源随年份的不同而有所变化，这主要是因为对于某年的“年度资助”可能在第二年才收到。国家资助一般占总收入的 0%～70%，其余的部分来源于 IGBP 计划(一些资金仅由秘书处管理的计划)的特殊补贴、研究活动和会议。

一般而言，稳定收入的约三分之一用于发放秘书处人员的薪金(占直接支持科研活动资金的很大一部分)，约有一半用于非薪金支出的科研和交流活动，约 10%用于秘书处的日常事务开销，剩余的约 5%用于 IGBP 出版物和网站建设。科研活动资助包括计划活动、研讨会和会议、资助 ESSP、GEO 和 IGOS 以及其它合作伙伴，以及综合研究工作。

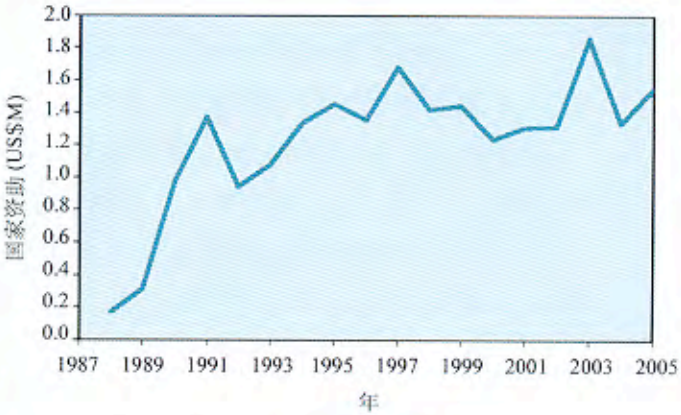


图 33　国家对于 IGBP 资助的历史变化

维持目前的收入水平正日渐困难。IGBP 将与 IGFA 共同发展一个资助战略，从而使 IGBP 能够：①圆满地完成该科学计划；②为 ESSP 的发展做出贡献；③增加对发展中国家的支持；④扩大与资助者的合作。IGBP 也将努力将其资金来源从 IGFA 团体中扩展开来，并逐渐从那些不能提供直接资金援助的发展中国家寻求等价的实物资助。

除了维持财务资助以外，IGBP 还将减少支出，例如，通过利用新的技术(如视频与网络会议)来减少旅行及相关的支出。同样，IGBP 将在可能的情况下合并 IGBP 秘书处和 IPOs 的一些相同的活动，并与 ESSP 伙伴联合举行会议、研讨会和讨论会。对于一次性的会议(如 IGBP 大会)将需要额外的资金，这可以通过特殊津贴来解决。这里，IGBP 没有对完成科学议程可能发生的支出的实质性增长进行预见。

地球系统科学对于应对全球变化和可持续发展的有效政策的制定是非常关键的。作为一个非政治但与政治相关的组织，IGBP 致力于架设国家科研团队、决策者和公众之间的桥梁。因此，地球系统科学的交流就成为 IGBP 的重要活动之一。

交流的战略来源于长期的交流目标，而这又源自于 IGBP 的远见。IGBP 的长期交流目标是：

(1)将 IGBP 建设成为一个可以信赖的地球系统科学源泉；

(2)促进地球系统科学的发展，展示出一个支撑地球系统科学的科学结构；

(3)通过提供全球的情景和为国家和地区研究工作提供一个综合的框架，使 IGBP 成为科研群体内的一个提升国家和国际计划价值的主要组织；

(4)为决策者和公众提供全球变化相关的(而不是政策约定的)信息。

IGBP 的交流活动可以在多种层面上展开。首先，为 IGBP 工作的科学家可以将其研究成果发表在经严格审查的期刊上面，然后可用于 IPCC 和 MEA 的评估过程。在 IGBP 的计划层次上，科研成果也进行了集成，并与广泛的群体进行交流沟通，例如，通过计划的通讯和互联网。IGBP 计划的交流策略在其各自的科学计划与实施策略中都进行了详细地说明。IGBP 秘书处致力于并促进项目层面上的交流活动。这里所说的战略和实施战术集中于项目层面的交流活动，同时强调在项目范围内的科研交互、集成和综合中所发生的地球系统科学交流。此外，IGBP 秘书处将与 IGBP 核心计划进行紧密地合作，以向科研群体和其他群体展示其研究成果，并为项目层面的综合提供支持，特别是通过增强计划间的沟通与交流。

在项目层面上，内部和外部的交流都很重要。内部交流主要面向计划的 SSCs、IPO 人员、参与研究的科学家和资助机构，这主要通过会议和研讨会以及电子通讯和科学文献(通讯、期刊文献和科学计划)。外部的交流主要面向科研群体、决策者(如政客和资源管理者)、资助机构、教育部门和公众。

IGBP 在项目层面的交流有 8 个目的：①增进 IGBP 团体内的沟通；②更新和恢复 IGBP 的交流工具；③建立积极的 IGBP 形象；④促进地球系统科学在更广泛的科研群体内发展；⑤通知决策者一些关键的全球变化问题；⑥对下一代地球系统科学工作者产生影响；⑦在机构、决策者、学校和公众之间对 IGBP 的工作进行延伸；⑧发展新的工具来交流全球变化中的不确定性、风险和脆弱性。

为达成这些目标，我们已经或者将继续在 IGBP 科学家与交流专家“思想库”的指导下，通过为期三年的实施计划来完成这些目标。随着交流的深入与条件的允许，这 8 个目标已经在相继的三年计划内逐步引入。目标①～③已于 2001 年提出，目标④～⑥已于 2004 年提出，目标⑦～⑧将于 2007 年提出。所有目标的工作都正在实施中。以下的论述将着重于 2007—2009 年的交流计划。

正在应用的或者已计划的很多策略都是为了实现上述的交流目标。将通过以下方式来改进内部交流：①对全球变化通讯(Global Change Newsletter)季刊、半月的邮件通报(email bulletin)和年度报告(annual report)的提炼；②提供一个有密码保护的网站；③建立跨计划的通讯与出版信息数据库；④对不同的计划发展相应的交流计划。根据地球系统和计划层面展示的需要更新 IGBP 成果，制作演示/张贴/手册模板来塑造和增强 IGBP 的生动形象。通过 IGBP 特使(注释框 13)并通过主要集成出版物、地区研讨会和主要国际科学/政策会议上的 IGBP 会议时间来促进地球系统科学的发展。通过通俗易懂的简明小册子、传单、简报和政策相关的圆桌会议(注释框 13)来与决策者进行全球变化科学方面的交流与沟通。通过讲座、为学生准备的网上材料和开展夏令营等教育方式，使下一代的地球系统工作者能够对其有所了解。更广泛的延伸工作包括与各个计划和 NCs 在地区活动、媒体简报和出版物翻译方面进行合作。IGBP 将与风险交流机构进行合作，以发展交流风险和不确定性的方式方法，并与ESSP伙伴合作来发展交流脆弱性的方法。IGBP 网站将成为与所有群体和处于所有目的进行交流工作的一个基本组成部分，它对于 IGBP 成果与服务起着轴心的作用。IGBP 网站将越来越关注与核心计划产品和成果的展现。

注释框 13　正在进行的延伸机制

特使网络

由尊敬的 IGBP 科学家进行介绍会对决策者和公众产生强烈的影响。因此，IGBP 将征募一批 IGBP 科学家作为发言人或者“特使”。他们将成为极好的介绍员，对 IGBP 学科有着较好的认识，并准备在其各自的国家或者国际论坛上向政治家、政治顾问和记者介绍 IGBP。

政策相关的圆桌会议

地区性的圆桌会议可以使学者和决策者坐到一起在一个中立的气氛中进行双向的对话，这是沟通 IGBP 科学与决策者的一种协调方式。从一开始就与决策者进行合作是十分关键的。圆桌会议可以仅针对某个地区，并与 IGBP 计划和 NCs 合作举行，这通常是与科学会议与研讨会相结合。圆桌会议将集中于一些与地区相关并与全球变化相联系的关键问题。

媒体战略

媒体战略的目的是在更广泛的科研群体、决策者和公众中间提升对于地球系统科学和全球变化的注意力，并提升 IGBP 的形象。战略包括与大型国际开放科学会议相联系的全球媒体活动，以及针对全球变化影响下的区域问题的地区媒体活动。需要确定关键的信息以对活动进行引导，并产生一个潜在的主题以说明问题的各个方面。每一个媒体活动都应该有目的，而不仅仅是为了最终发一条简单的新闻报道。

IGBP 媒体战术

- 在网站上建立“媒体空间”，提供背景信息、新闻报道和图片；
- 监督媒体以确定其热点话题，在可能的情况下，利用准确的和可获取的信息对媒体迅速作出反应。
- 发展全球媒体联系数据库，与重要的新闻、科学与环境记者建立联系；
- 发展愿意并且能够对媒体要求做出回应的 IGBP 科学家队伍（包括 IGBP 特使）。
- 通过不同的媒体定位特定的听众群体；
- 在主要的国际会议上组织 IGBP 座谈会来吸引媒体记者；
- 与 IGBP 计划和 NCs 合作，以公开全球变化科学中的地区问题，特别是通过地区研讨会和政策相关的圆桌会议；
- 通过提供精心准备而且通俗易懂的新闻报道和简报来增加报道的准确性；
- 为 IGBP 特使提供演示材料媒体教材，组织与记者的会面；
- 与 IGBP 计划合作，以确定科学问题以及后继的媒体活动。

IGBP 的交流将定期进行评估。总体的交流工作将通过网络统计和 SC-IGBP、思想库和 IGBP 科学家的反馈来进行评估。国际交流将通过对 IGBP 秘书处的反馈和 IPO 和 NCs 的秘密电话调查来进行评估。IGBP 的产品将通过调查、期刊杂志文章的评审和主动反馈进行评估。形象提升活动和促进地球系统科学将通过媒体的监督来评估，而对于决策者的延伸则通过主动反馈、索取信息的次数、与政策部门与机构的合作程度、IGBP 网站的点击率和网站资料的下载次数来评估。

交流危机通常来自于一个错误或者媒体的不准确报道。媒体监督可以使 IGBP 秘书处避免掉大部分的危机，但当危机出现时，IGBP 秘书处会在 24 小时内组织一个 IGBP 高层（执行主任、副主任和 SC-IGBP 主席）电话会议。必要时，秘书处会准备并发布一份声明，通过简要的陈述对媒体和政府机构作出回应。秘书处会关注情况的发展，并决定是否采取进一步的措施并提供所要求的信息。

Abraham E, Law CS, Boyd PW, Lavender S, Maldonando, M and Bowie AR (2000). Importance of stirring in the development of an ironfertilised phytoplankton bloom, Nature 407, 727—730

Alley RB (2000) The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. Quaternary Science Review 19, 213—226

Alverson K, Bradley R and Pedersen T (Ed. s) (2003). Paleoclimate, Global Change and the Future. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 220pp

Andreae MO, Artaxo P, Brandâ C, Carswell FE, Ciccioli P, Da Costa AL, Culf AD, Esteves J L, Gash J, Grace J, Kabat P, Lelieveld J, Malhi Y, Manzi AO, Meixner, FX, Nobre AD, Nobre C, Ruivo M, Silva-Dias MA, Stefani P, Valentini R, Von Jouanne J and Waterloo MJ (2002). Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. Journal of Geophysical Research 107(D20), DOI 10.1029/2001JD000524

Andreae MO, Rosenfeld D, Artaxo P, Costa AA, Frank GP, Longo KM and Silva Dias MAF (2004). Smoking rain clouds over the Amazon. Science 303, 1,337—1,342

Andreae MO, Jones CD and Cox PM (2005). Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. Nature 435, 1,187—1,190

Bard E, Raisbeck G, Yiou F and Jouzel J (2000). Solar irradiance during the last 1,200 years based on cosmogenic nuclides. Tellus 52B, 985—992

Baumgartner TR, Soutar A, and Ferreira-Bartrina V (1992). Reconstruction of the history of Pacific sardine and Northern Pacific anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin. CalCOFI Report 33, 24—40

Beaugrand G (2004). The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. Progress in Oceanography 60, 245—262

Bond G, Kromer B, Beer J, Muscheler R, Evans M, Showers W, Hoffmann S, Lotti-Bond R, Hajdas I and Bonani G (2001). Persistent solar influence on North Atlantic surface circulation during the Holocene. Science 294, 2,130—2,136

Boyd PW, Watson A, Law CS, Abraham E, Trull T, Murdoch R, Bakker DCE, Bowie AR, Buesseler K, Chang H, Charette M, Croot P, Downing K, Frew R, Gall M, Hadfield M, Hall J, Harvey M, Jameson G, La Roche J, Liddicoat M, Ling R, Maldonado M, McKay RM, Nodder S, Pickmere S, Pridmore R, Rintoul S, Safi K, Sutton P, Strzepek R, Tanneberger K, Turner S, Waite A and Zeldis J (2000). A mesoscale pytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. Nature 407, 695—702

Brasseur GP, Artaxo P, Barrie LA, Delmas RJ, Galbally I, Hao WM, Harriss RC, Isaksen ISA, Jacob DJ, Kolb CE, Prather M, Rodhe H, Schwela D, Steffen W and Wuebbles DJ (2003). An integrated view of the causes and impacts of atmospheric changes. In: Brasseur GP, Prinn RG and Pszenny AAP (Ed. s) Atmospheric Chemistry in a Changing World: An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. pp207—230

Chen C (2002). The impact of dams on fisheries: case of the Three Gorges Dam. In: Steffen W, Jäer J, Carson D and Bradshaw C (Ed. s), Challenges of a Changing Earth. Springer-Verlag, Berlin, Heidleberg. pp97—100

Cicerone R, Orr J, Brewer P, Haugan P, Merlivat L, Ohsumi T, Pantoja S, Poertner H, Hood M and Urban E (2004). The ocean in a high-CO_2 world. Oceanography 17(3), 72—78

Coale KH, Johnson KS, Fitzwater SE, Gordon RM, Tanner S, Chavez FP, Ferioli L, Sakamoto C, Rogers P, Millero F, Steinberg P, Nightingale P, Cooper D, Cochran WP, Landry MR, Constantinou J, Rollwagen R, Trasvina A and Kudela R (1996). A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. Nature 383, 495—501

Crossland CJ, Kremer HH, Lindeboom HJ, Marshall Crossland JI, and Le Tissier MDA (Ed. s) (2005). Coastal Fluxes in the Anthropocene. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 231pp

Crowley TJ (2000). Causes of climate change over the past 1000 years. Science 289, 270—277

Eddy JA (1976). The Maunder Minimum. Science 192, 1,189—1,201

EPICA (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. Nature 429, 23—28

Etheridge DM, Steele LP, Langenfelds RL, Francey RJ, Barnola J-M and Morgan VI (1996). Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO2 over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. Journal of Geophysical Research

101, 4,115—4,128

Falkowski PG, Barber RT and Smetacek V (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. Science 281, 200—220

Falkowski, PG, Scholes RJ, Boyle E, Canadell J, Canfield D, Elser J, Gruber N, Hibbard K, Hogberg P, Linder S, Mackenzie FT, Moore B, Pedersen T, Rosenthal Y, Seitzinger S, Smetacek V and Steffen W (2000). The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. Science 290, 291—296

FAO (2004). The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome. 153pp

FAO (2005). Review of the state of world marine fishery resources. FAO, Rome. 235pp

FAOSTAT (2002). Statistical Databases, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome. Available at: www. apps. fao. org

Fasham M (Ed.) (2003). Ocean Biogeochemistry: The Role of the Ocean Carbon Cycle in Global Change. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 297pp

Fasham MJR, Balino BM, Bowles MC, Anderson R, Archer D, Bathmann U, Boyd P, Buesseler K, Burkill K, Bychkov A, Carlson C, Chen CTA, Doney S, Ducklow H, Emerson S, Feely R, Feldman G, Garcon V, Hansell D, Hanson R, Harrison P, Honjo S, Jeandel C, Karl D, Le Borgne R, Liu KK, Lochte K, Louanchi F, Lowry R, Michaels A, Monfray P, Murray J, Oschlies A, Platt T, Priddle J, Quinones R, Ruiz-Pino D, Saino T, Sakshaug E, Shimmield G, Smith S, Smith W, Takahashi T, Treguer P, Wallace D, Wanninkhof R, Watson A, Willebrand J and Wong CS (2001). A new vision of ocean biogeochemistry after a decade of the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS), AMBIO 10, 4—31

Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L and Holling CS (2004). Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. Annual Review of Ecology and Systematics 35, 557—581

Friedlingstein P, Cox P, Betts R, Bopp L, von Bloh W, Brovkin W, Doney S, Eby M, Fung I, Govindasamy B, John J, Jones C, Joos F, Kato T, Kawamiya M, Knorr W, Lindsay K, Matthews HD, Raddatz T, Rayner P, Reick C, Roeckner E, Schnitzler K-G, Schnur R, Strassmann K, Weaver AJ, Yoshikawa C and Zeng N (2006). Climatecarbon cycle feedback analysis, results from the C4MIP model intercomparison. Journal of Climate. In press

Galloway JN, Aber JD, Erisman JW Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, and Cosby BJ (2003). The nitrogen cascade. Bioscience 53, 341—356

Galloway JN, Dentener FJ, Capone DG, Boyer EW, Howarth RW, Seitzinger SP, Asner G, Cleveland C, Green P, Holland E, Karl DM, Michaels AF, Porter J, Townsend A and Vörös marty CJ (2004). Global and regional nitrogen cycles: past, present and future. Biogeochemistry 70, 153—22

Ghan SJ, Easter RC, Chapman EG, Hayder A-R, Zhang Y, Leung R, Laulainen NS, Saylor RD and Zaveri RA (2001). A physically based estimate of radiative forcing by anthropogenic sulphate aerosol. Journal of Geophysical Research 10 (D), 5,279—5,293

Glantz P and Noone K (2000). A physically-based mechanism for converting aerosol mass to cloud droplet number. Tellus 52B, 1,21—1,231

GLOBEC (1997). Global Ocean Ecosystem Dynamics (GLOBEC) Science Plan. IGBP Report 40. IGBP Secretariat, Stockholm. 82pp

GLOBEC (1999). Global Ocean Ecosystem Dynamics Implementation Plan. IGBP Report 47. IGBP Secretariat, Stockholm. 207pp

GLP (2005). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 53/IHDP Report 19. IGBP Secretariat, Stockholm. 4pp

Grootes PM, Stuiver M, White JWC, Johnson S, and Jouzel J (1993). Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. Nature 3 , 552—554

Gutman G, Janetos AC, Justice CO, Moran EF, Mustard JF, Rindfuss RR, Skole D, Turner II BL, and Cochrane MA (Eds) (2004). Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface. Series: Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 6. Kluwer Academic Publishers. 4 1pp

Hare SR and Mantua NJ (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. Progress in Oceanography 47,103—145

Hsieh CH, Glaser SM, Lucas AJ and Sugihara G (2005). Distinguishing random environmental fluctuations from ecological catastrophes for the North Pacific Ocean. Nature 435, 336—340

IFIA (2002). Fertilizer Indicators. International Fertilizer Industry Association. Available at: www. fertilizer. org/ifa/statistics/indicators/ind_cn_world. asp

IGAC (2006). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 5 . IGBP Secretariat, Stockholm. In press

iLEAPS (2005). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 54. IGBP Secretariat, Stockholm. 52pp

IMBER (2005). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 52. IGBP Secretariat, Stockholm. 76pp

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Winden PJ, Dai X, Maskell K and Johnson CI (Ed. s), Cambridge University Press, Cambridge. 944pp

Jickells TD, An ZS, Andersen KK, Baker AR, Bergametti G, Brooks N, Cao JJ, Boyd PW, Duce RA, Hunter KA, Kawahata H, Kubilay N, Laroche J, Liss PS, Mahowald N, Prospero JM, Ridgwell AJ, Tegen I and Torres R (2005). Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. Science 308, 67—71

Johnsen SJ, Clausen HB, Dansgaard W, Gundestrup NS, Hammer CU, Andersen U, Andersen KK, Hvidberg CS, Dahl-Jensen D, Steffensen JP, Shoji H, Sveinbjornsdottir AE, White J, Jouzel J and Fisher D (1997). The delta 18O record along the Greenland Ice Core Project deep ice core and the problem of possible Eemian climatic instability. Journal of Geophysical Research 102, 26,397—26,410

Klein Goldewijk CGM and Battjes JJ (1997). A hundred year (1890 1990). database for integrated environmental assessments (HYDE, version 1.1). Report 422514002, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven, The Netherlands

Kromer B, Claussen M, Latuske N, L ken M, Remmele S and Schleser G (2004). Solar variability and Holocene climate: evidence from radiocarbon, tree-ring proxies and climate system modeling. PAGES News 12(2), 13—15

Kulmala M, Vehkamaki H, Petäjä T, Dal Maso M, Lauri A, Kerminen V-M, Birmili W and McMurry PH (2004). Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. Aerosol Science 35, 143—176

Landry MR, Barber RT, Bidigare RR, Chai F, Coale KH, Dam HG, Lewis MR, Lindley ST, McCarthy JJ, Roman MR, Stoecker DK, Verity PG and White JR (1997). Iron and grazing constraints on primary production in the central equatorial Pacific: an EqPac synthesis. Limnology and Oceanography 42, 405—418

Laws EA, Ducklow H and McCarthy JJ (2000). Temperature effects on export production in the open ocean Global Biogechemical Cycles. 14(4), 1,231—1,246

Lee S-H, Wilson JC, Baumgardner D, Herman RL, Weinstock EM, LaFleur BG, Kok G, Anderson B, Lawson P, Baker B, Strawa A, Pittman JV, Reeves JM and Bui TP (2004). New particle formation observed in the tropical/subtropical cirrus clouds. Journal of Geophysical Research 109(D20), DOI: 10.1029/2004JD005033

Lehodey P, Alheit J, Barange M, Baumgartner T, Beaugrand G, Drinkwater K, Fromentin J-M, Hare SR, Ottersen G, Perry RI, Roy C, van der Lingen CD and Werner F (2006). Climate variability, fish and fisheries. Journal of Climate 19. In press

LOICZ (2005). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 51/IHDP Report 18. IGBP Secretariat, Stockholm. 60pp

Mackenzie FT, Ver LM and Lerman A (2002). Century-scale nitrogen and phosphorus controls of the carbon cycle. Chemical Geology 190,13—32

Mann ME, Bradley RS and Hughes MK (1999). Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitations. Geophysical Research Letters 2, 759—762

Mann ME and Jones PD (2003). Global surface temperatures over the past two millennia. Geophysical Research Letters 30 (15), 1820, DOI:10.1029/2003GL017814

Martin JH (1990). Glacial-interglacial CO2 change: the iron hypothesis. Paleoceanography 5, 1—13

Martin JH and Fitzwater SE (1988). Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific sub-Arctic. Nature 331, 341—343

Martin JH, Gordon RM and Fitzwater S (1990). Iron in Antarctic waters. Nature, 345, 156—158

Martin JH, Coale KH, Johnson KS, Fitzwater SE, Gordon RM, Tanner SJ, Hunter CN, Elrod VA, Nowicki JL, Coley TL, Barber RT, Lindley S, Watson AJ, van Scoy K, Law CS, Liddicoat MI, Ling R, Stanton T, Stockel J, Collins C, Anderson A, Bidigare R, Ondrusek M, Latasa M, Millero FJ, Lee K, Yao W, Zhang JZ, Friederich G, Sakamoto C, Chavez F, Buck K, Kolber Z, Greene R, Falkowski P, Chisolm SW, Hoge F, Swift R, Yungel J, Turner S, Nightengale P, Hatton A, Liss P and Tindale NW (1994). Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. Nature 371, 123—129

MEA (2005). Ecosystems and Human Well-Being: General Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press Washington DC. Nordhaus WD (1997). Modelling-induced innovation in climate change policy: theory and estimates in the R&-DICE model. Paper prepared for the Workshop on Induced Technological Change, June 1997, IIASA, Laxenburg,

Austria

Peng TH and Broecker WA (1991). Dynamical limitations on the Antarctic iron fertilization strategy. Nature 349, 227—229

Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola J-M, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davis M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov VY, Lorius C, Pepin L, Ritz C, Saltzman E and Stievenard M (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399, 429—436

Prinn RG, Huang J, Weiss R, Cunnold D, Fraser P, Simmonds P, McCulloch A, Salameh P, ODoherty S, Wang R, Harth C, Porter L and Miller B (2001). Evidence for significant variations in atmospheric hydroxyl radicals over the last two decades. Science 293, 1,048—1,054

PPI (1993). Pulp and Paper International's international fact and price book. In: FAO forest product yearbook 1990—1991. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

Richards J (1990). Land transformation. In: Turner BL II, Clark WC, Kates RW, Richards JF, Mathews JT and Meyer WB (Ed. s), The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years. Cambridge University Press, Cambridge. pp163—178

Rojstaczer S, Sterling SM and Moore NJ (2001). Human appropriation of photosynthesis products. Science 294, 2,549—2,552

Rotstayn LD and Lohmann U (2002). Tropical rainfall trends and the indirect aerosol effect. Journal of Climate 15(15), 2,103—2,11

Ryther JH (1969). Photosynthesis and fish production in the sea. Science 1, 72—76

Schlitzer R (2000). Electronic atlas of WOCE hydrographic and tracer data now available. Eos Transactions of the American Geophysical Union 81(5), 45

Schlitzer R (2002). Applying the adjoint method for global biogeochemical modelling. In: Kasibhatla P, Heimann M, Hartley D, Mahowald N, Prinn R and Rayner P (Ed. s), Inverse Methods in Global Biogeochemical Cycles. Geophysical Monograph Series, Vol. 114. American Geophysical Union, Washington, DC. pp107—124

Shi H and Singh A (2003). Status and inter-connections of selected environmental issues in the global coastal zones. Ambio 32,145—152

Siegenthaler U, Stocker TF, Monnin E, Luthi D, Schwander J, Stauffer B, Raynaud D, Barnola J-M, Fischer H, Masson-Delmotte V and Jouzel J (2005). Stable carbon cycle climate relationship during the late pleistocene. Science 310, 1,313—1,317

SOLAS (2004). Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 50. IGBP Secretariat, Stockholm. 88pp

Steffen W, Sanderson A, Tyson P, J ger J, Matson P, Moore III B, Old-field F, Richardson K, Schellnhuber H-J, Turner II BL and Wasson R (2004). Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 336 pp

Ström J, Fischer H, Lelieveld J and Schr der F (1999). In situ measurements of microphysical properties and trace gases in two cumulonimbus anvils over western Europe. Journal of Geophysical Research 104, 12,221—12,226

Turner SM, Harvey M. J., Law CS, Nightingale PD and Liss PS (2004). Iron-induced changes in oceanic sulphur biogeochemistry. Geophysical Research Letters 31, DOI 10.1029/2004GL02029

The Royal Society (2005). Ocean acidification due to increases in atmospheric carbon dioxide. The Royal Society, London. 60pp

UNEP (2000). Global Environmental Outlook. 2000 Yearbook. Produced by GEO Section, Division of Early Warning and Assessment, United Nations Environment Programme. ISBN Paperback: 92—807—1955—6

UNEP (2003). Global Environmental Outlook. 2003 Yearbook. Produced by GEO Section, Division of Early Warning and Assessment, United Nations Environment Programme. ISBN Paperback: 92—807—2415—0

UNFCCC (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, New York

USBC (2000). US Bureau of the Census. International Database. www.census.gov/ipc/www /worldpop.htm

Watson AJ, Upstill-Goddard RC and Liss PS (1991). Air-sea gas exchange in rough and stormy seas measured by a dual-tracer technique. Nature 349, 145—147

Watson AJ, Bakker DCE, Ridgwell AJ, Boyd PW and Law CS (2000). Effect of iron supply on Southern Ocean CO2 uptake and implications for glacial atmospheric CO2. Nature 407, 730—733

WCD (2000). Dams and Development: A New Framework for Decision-making. The Report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, USA. 404pp

WRI (1990). Forest and rangelands. In: A Guide to the Global Environment. World Resources Institute, Washington. pp 101—120

附录 1：缩略语表

ACE	Aerosol Characterisation Experiment 气溶胶特性试验
AIMES	Analysis, Integration and Modelling of the Earth System 地球系统分析、集成与模拟
AMMA	African Monsoon Multidisciplinary Analysis 非洲季风多学科分析
APNA	Asia-Pacific Network for Global Change Research 亚太全球变化研究网络
BAHC	Biospheric Aspects of the Hydrologic Cycle 水循环的生物学方面
BNF	biological nitrogen fixation 生物固氮
CACGP	Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution 大气化学与全球污染委员会
CBNF	cultivation-induced biological nitrogen fixation 耕作引起的生物固氮作用
CCC	Cod and Climate Change 鳕鱼与气候变化
CCCC	Climate Change and Carrying Capacity 气候变化与容纳量
CEOS	Committee on Earth Observation Satellites 卫星对地观测委员会
CLIOTOP	Climate Impacts on Oceanic Top Predators 气候对海洋高级食肉动物的影响
CLIVAR	Climate Variability and Predictability 气候变率与可预报性
CMIP	Coupled Carbon Cycle - Climate Model Intercomparison Project 碳循环-气候耦合模式比较计划
DIN	dissolved inorganic nitrogen 分解的无机氮
DIP	dissolved inorganic phosphorus 分解的无机磷
DIS	Data and Information Systems 数据与信息系统
DIVERSITAS	an international programme of biodiversity science 国际生物多样性计划
DMS	dimethylsulphide 二甲基硫
ENSO	El Nino Southern Oscillation 厄尔尼诺与南方涛动
ESSAS	Ecosystem Studies of Sub-Arctic Seas 亚北极海区的生态系统研究
ESSP	Earth System Science Partnership 地球系统科学联盟

FLUXNET	global network of tower sites measuring exchanges of energy and materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere 测量陆地生态系统和大气之间能量和物质交换的全球通量塔站网络
FTI	Fast-Track Initiative 快速启动倡议
GAIM	Global Analysis, Integration and Modelling 全球分析、解释和模拟
GCP	Global Carbon Project 全球碳计划
GCTE	Global Change and Terrestrial Ecosystems 全球变化与陆地生态系统
GEIA	Global Emissions Inventory Activity 全球排放清单活动
GECAFS	Global Environmental Change and Food Systems 全球环境变化与食物系统
GECHH	Global Environmental Change and Human Health 全球环境变化与人类健康
GECHS	Global Environmental Change and Human Security 全球环境变化与人类安全
GEO	Group on Earth Observations 地球观测工作组
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems 全球对地观测综合系统
GEOTRACERS	a collaborative multi-national programme investigating marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes 微量元素及其同位素的海洋生物地球化学循环的多国联合研究计划
GEWEX	Global Energy and Water Cycle Experiment 全球能量与水循环试验
GLOBEC	Global Ocean Ecosystem Dynamics 全球海洋生态系统动力学
GLP	Global Land Project 全球陆地计划
GWSP	Global Water System Project 全球水系统计划
IAI	Inter-America Institute for Global Change Research 泛美全球变化研究所
IAMAS	International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences 国际气象学与大气科学协会
ICSU	International Council for Science 国际科学理事会
IDGEC	Institutional Dimensions of Global Environmental Change 全球环境变化的制度因素
IGAC	International Global Atmospheric Chemistry 国际全球大气化学
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme 国际地圈生物圈计划
IGF	International Group of Funding Agencies for Global Change Research 全球变化研究资助机构国际组织
IGOS-P	Integrated Global Observing Strategy Partnership 全球集成观测战略伙伴关系
IHDP	International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change 国际全球环境变化人文因素计划
IHOPE	Integrated History and Future of People on Earth 人类在地球上的集成历史与未来
iLEAPS	Integrated Land Ecosystem—Atmosphere Processes Study 陆地生态系统-大气过程集成研究
IMBER	Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research 海洋生物地球化学和海洋生态系统集成研究

IOC	Inter-governmental Oceanographic Commission 政府间海洋学委员会
IPCC	Inter-governmental Panel on Climate Change 政府间气候变化专门委员会
IPO	International Project Office 国际计划办公室
IRS	Integrated Regional Study 区域集成研究
JGOFS	Joint Global Ocean Flux Study 全球海洋通量联合研究
LBA	Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia 亚马孙流域大尺度生物圈大气圈试验
LDC	less-developed country 欠发达国家
LOICZ	Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone 海岸带陆-海相互作用
LUCC	Land Use and Cover Change 土地利用与土地覆盖变化
MAIRS	Monsoon Asia Integrated Regional Study 季风亚洲区域集成研究
MDG	Millennium Development Goals 千年发展目标
MEA	Millennium Ecosystem Assessment 千年生态系统评估
NASA	US National Aeronautics and Space Administration 美国国家航空航天局
NC	National Committee 国家委员会
PAGES	Past Global Changes 过去全球变化
PANGAEA	Publishing Network for Geoscientific and Environmental Data 地质与环境数据网络
SC-IGBP	Scientific Committee of IGBP IGBP 科学委员会
SCOPE	Scientific Committee on Problems of the Environment 环境问题科学委员会
SCOR	Scientific Committee on Oceanic Research 海洋研究科学委员会
SOLAS	Surface Ocean-Lower Atmosphere Study 上层海洋—低层大气研究
SPACC	Small Pelagic Fishes and Climate Change 小型中上层鱼类和气候变化
SPARC	Stratospheric Processes and Their Role in Climate 平流层过程及其在气候中的作用
SSC	Scientific Steering Committee 科学指导委员会
START	Global Change System for Analysis, Research and Training 全球变化的分析、研究和培训系统
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 联合国教科文组织
WCRP	World Climate Research Programme 世界气候研究计划
WGCM	Working Group on Coupled Modelling 耦合模拟工作组

附录 2:IGBP Phase Ⅰ 计划集成著作

Canadell J, Pataki D and Pitelka L (Ed. s) (2006). Terrestrial Ecosystems in a Changing World. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. In press

Lambin E and Geist H (Ed. s) (2005). Land Use and Land Cover Change: Local Processes, Global Impacts. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. In press

Crossland CJ, Kremer HH, Lindeboom HJ, Marshall Crossland JI, and Le Tissier MDA (Ed. s) (2005). Coastal Fluxes in the Anthropocene. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 231pp

Kabat P, Claussen M, Dirmeyer PA, Gash JHC, Bravo de Guenni L, Meybeck M, Pielke Sr RA, V r smarty CJ, Hutjes RWA and L tkemeier S (Ed. s) (2004). Vegetation, Water, Humans and the Climate: A New Perspective on An Interactive System. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 566 pp

Steffen W, Sanderson A, Tyson P, J ger J, Matson P, Moore III B, Oldfield F, Richardson K, Schellnhuber H-J, Turner II BL and Wasson R (2004). Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 336pp

Fasham M (Ed.) (2003). Ocean Biogeochemistry: The Role of the Ocean Carbon Cycle in Global Change. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 297pp

Brasseur GP, Prinn RG and Pszenny AAP (Ed. s) (2003). Atmospheric Chemistry in a Changing World: An Integration and Synthesis of a Decade of Tropospheric Chemistry Research. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 300pp.

Alverson KD, Bradley RS and Pedersen TF (Ed. s) (2003). Paleoclimate, Global Change and the Future. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 220pp

Tyson P, Fuchs R, Fu C, Lebel L, Mitra AP, Odada E, Perry J, Steffen W and Virji H (Ed. s) (2002). Global-Regional Linkages in the Earth System. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 198pp

Walker B, Steffen W, Canadell J and Ingram J (1999). The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 439pp

附录 3：联系信息

IGBP 秘书处

Royal Swedish Academy of Sciences
Box 50005, Lilla Frescativägen 4
SE-104 05, Stockholm, Sweden
Tel：+46 8 166 448
Fax：+46 8 166 405
Email：charlottew@igbp.kva.se
Website：www.igbp.net

IGBP 计划

AIMES IPO

National Center for Atmospheric Research
PO Box 3000, 1850 Table Mesa Drive
Boulder, CO 80307－3000, United States
Tel：+1 303 497 1706
Fax：+1 303 497 1695
Email：kathyh@ucar.edu
Website：www.aimes.ucar.edu

IGAC IPO

Pacific Marine Environmental Laboratory
National Oceanic and Atmospheric Administration
7 00 Sand Point Way NE
Seattle, WA 98115－ 349, United States
Tel：+1 206 543 6674
Fax：+1 206 543 0308
Email：igac.seattle@noaa.gov
Website：www.igac.noaa.gov

iLEAPS IPO

University of Helsinki, Department of Physical Sciences
Division of Atmospheric Sciences
PO Box 8 (Gustaf H llstr min Katu 2B)
00014 University of Helsinki, Finland
Tel：+358 9 1915 0712
Fax：+358 9 1915 0717
Email：anni.reissell@helsinki.fi
Website：www.atm.helsinki.fi/ILEAPS

IMBER IPO

Institut Universitaire Europ en de la Mer
Technop le Brest-Iroise
Place Nicolas Copernic
29280 Plouzan , France
Tel：+33 2 9849 8672
Fax：+33 2 9849 8705
Email：imber@univ-brest.fr
Website：www.imber.info

GLOBEC IPO

Plymouth Marine Laboratory
Prospect Place
Plymouth PL1 3DH, United Kingdom
Tel.：+44 1752 633 160
Fax：+44 1752 633 101
Email：globec@pml.ac.uk
Website：www.globec.org

GLP

c/o Natural Resource Ecology Laboratory
Colorado State University
Fort Collins, CO 80523－1499, United States
Tel：+1 970 491 1976
Fax：+1 970 491 1965
Email：dennis@nrel.colostate.edu
Website：glp.colostate.edu

LOICZ IPO

GKSS-Forschungszentrum
Institute for Coastal Research
Max-Planck-Straβe 1
D-21502 Geesthacht, Germany
Tel: +49 4152 87 2009
Fax: +49 4152 87 2040
Email: loicz. ipo@loicz. org
Website: www. loicz. org

PAGES IPO

Sulgeneckstrasse 38
3007 Bern, Switzerland
Tel: +41 31 312 3133
Fax: +41 31 312 3168
Email: pages@pages. unibe. ch
Website: www. pages-igbp. org

SOLAS IPO

School of Environmental Sciences
University of East Anglia
Norwich NR4 7TJ, United Kingdom
Tel: +44 1603 593 516
Fax: +44 1603 591 327
Email: solas@uea. ac. uk
Website: www. solas-int. org

ESSP 合作者

c/o DIVERSITAS Secretariat
51 Bd de Montmorency
75016 Paris, France
Tel: +33 1 45 25 67 04
Fax: +33 1 42 88 94 31
Email: mrice@essp. org
Website: www. essp. org

ESSP 计划

GCP IPO

Earth Observation Centre
CSIRO Division of Atmospheric Research
GPO Box 3023
Canberra, ACT 2601, Australia
Tel: + 61 2 6246 5631
Fax: + 61 2 6246 5988
Email: info@globalcarbonproject. org
Website: www. globalcarbonproject. org

GECAFS IPO

Centre for Ecology and Hydrology
National Environment Research Council
Wallingford, OX10 8BB, United Kingdom
Tel: +44 1491 692 464
Fax: +44 1491 692 313
Email info@gecafs. org
Website: www. gecafs. org

GECHH

c/o DIVERSITAS Secretariat
51, bd Montmorency
75016 Paris, France
Tel: +33 1 4525 9525
Fax: +33 1 4288 9431
Email: secretariat@diversitas-international. org

GWSP IPO

Walter-Flex-Straβe 3
53113 Bonn, Germany
Tel: +49 228 73 6188
Fax: +49 228 73 60834
Email: gwsp. ipo@uni-bonn. de
Website: www. gwsp. org

责任编辑：李太宇
黄润恒

ISBN 7-5029-4210-6
9 787502 942106 >

ICSU
International Council for Science

ISBN 7-5029-4210-6/P·1546
定价：30.00元