

责任编辑: 王奉安
张 斌



地球系统科学联盟(ESSP)报告 No.1

全球碳计划(GCP)报告 No.1

全球碳计划

(The Global Carbon Project)
柴育成 周广胜 周 莉 许振柱 译



Josep G. Canadell, Robert Dickinson, Kathy Hibbard, Andrew Townsend & Chen Yuesong 主编

全球碳循环国际协作研究框架

气象出版社

ISBN 7-5029-3872-9



9 787502 938727 >

ISBN 7-5029-3872-9/P.1370
定价: 35.00元

地球系统科学联盟(ESSP)报告 No.1

全球碳计划(GCP)报告 No.1

全球碳计划

气象出版社



Earth System
Science Partnership



GLOBAL
CHANGE



WCP

www.globalcarbonproject.org



全球碳计划(Global Carbon Project)

——科学框架与实施

柴育成 周广胜 周莉 许振柱 译 周广胜 审校

主编:

Josep G. Canadell, Robert Dickinson,
Kathy Hibbard, Michael Raupach & Oran Young

全球碳计划科学指导委员会:

Michael Apps, Alain Chedin, Chen-Tung Arthur Chen, Peter Cox, Robert Dickinson,
Ellen R.M. Druffel, Christopher Field, Patricia Romero Lankao, Louis Lebel, Anand Patwardhan,
Michael Raupach, Monika Rhein, Christopher Sabine, Riccardo Valentini, Yoshiki Yamagata,
Oran Young

文献引用格式:

Global Carbon Project (2003) Science Framework and Implementation. Earth System Science Partnership (IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS) Report No. 1; Global Carbon Project Report No. 1, 69pp, Canberra.

封面图片来源:

林火: Brian Stocks; 烟排放: www.freephoto.com; 海洋: Christopher Sabine

图书在版编目(CIP)数据

全球碳计划/ (美)卡纳戴尔(Canadell,J.G.)等著;
柴育成等译. —北京:气象出版社,2004.11
ISBN 7-5029-3872-9

I.全... II.①卡...②柴... III.碳循环—研究
IV.X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第113366号

全球碳计划

J. G. Canadell, R. Dickinson, K. Hibbard, M. Raupach & O. Young主编

柴育成 周广胜 周 莉 许振柱 译

周广胜审校

责任编辑:王奉安 张 斌

终审:顾仁俭

气象出版社出版发行

(北京市中关村南大街46号 邮编:100081)

中共辽宁省委机关印刷厂

开本:210×297 1/16 印张:4.3 字数:154千字

2004年11月第1版 2004年11月第1次印刷

印数:1~1000 定价:35.00元

ISBN 7-5029-3872-9/P.1370

译 者 的 话

碳循环、水循环以及食物与纤维已成为当今全球变化研究的三大热点。准确地评估陆地生态系统碳循环不仅是准确地估算未来大气CO₂浓度、预测气候变化及其对陆地生态系统影响的关键，也是履行《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》与《京都议定书》及制定应对策略的关键。全球碳循环的正确认识还是理解地球环境演变及预测和管理地球未来的关键，它不可避免地与气候、水分循环、养分循环以及陆地和海洋的光合作用相联系。正是在这一形势下，2001年3个国际全球变化研究计划，即国际地圈—生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人文因素计划(IHDP)及世界气候研究计划(WCRP)共同开始了一个国际协作计划——全球碳计划(GCP: Global Carbon Project)。

中国作为一个地大物博、陆地生态系统种类繁多以及人口众多且经济快速发展的国家，在未来地球大气CO₂浓度的控制中起着极为重要的作用。目前，我国CO₂排放已占全球的11%，成为第二排放大国，在国际环境外交大战的今天，不能不引起高度重视。

我们希望该书的翻译能对中国的碳循环研究起到促进与推动作用，以有效地应对能源系统转换和全球碳循环管理所面临的挑战，服务于我国社会经济的可持续发展。

本书的出版得到了气象出版社的大力支持，在此特表谢意。中国科学院植物研究所的王玉辉研究员、蒋延玲助理研究员、王凤玉博士、翁思生博士、贾丙瑞博士以及中国气象局沈阳大气环境研究所王笑影博士均参与了该书部分内容的翻译，对他们的辛勤劳动致以衷心的感谢。同时，中国气象局沈阳大气环境研究所王奉安编审对该书进行了认真的编校，特此感谢。

本书由全球碳计划(GCP)，中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”课题“草地生态系统碳循环模型研究”(KZCX1-SW-01-12)以及中国气象局的“东北地区干旱化和生态系统相互作用的观测和模拟”项目共同资助出版。

由于译者水平有限，可能有不妥之处，敬请读者指出，以便再版时改正。

译 者
2004年10月

前 言

以“全球碳计划科学框架及其实施战略”为标志的地球系统科学联盟（Earth System Science Partnership, ESSP）系列报告的出版，标志着国际全球变化研究迈入了一个新纪元以及运用不同于传统方法研究碳循环的新阶段。

地球系统科学联盟（ESSP）由4个全球变化研究计划：生物多样性科学计划（DIVERSITAS）、国际地圈—生物圈计划（IGBP）、全球环境变化的人文因素计划（IHDP）和世界气候研究计划（WCRP）组成。这一联盟的建立是为了综合研究地球系统、地球系统正在发生的变化以及这些变化对全球可持续发展的影响。全球碳计划以及其他一些与食物、水资源和人类健康有关的ESSP项目已经考虑将全球变化和地球系统的基础研究与人们所关注的重大问题有机地联系起来。

碳循环研究通常与能量系统研究独立进行，它一般只关注碳源/汇的生物物理格局及其过程。与现有研究相比，全球碳计划的重大进展主要体现在以下5个方面：首先，该计划从一开始就包含了人类和自然两方面的因素，它强调的是碳—气候—人类系统（包括以矿物燃料为基础的能源系统、生物物理碳循环和物理气候系统），而不仅仅只是生物物理碳循环。第二，发展分析和综合模拟碳循环的新方法是该计划的核心。第三，该计划为国家和区域的碳循环研究在世界范围内进行协作与整合提供了一个内在稳固的框架结构。第四，该计划所研究的问题直接与政策相关，如为达到大气CO₂浓度的稳定所需制定的管理策略以及区域可持续发展途径等。最后，全球碳计划超出了以往的全球变化研究计划，它不仅致力于全世界发展中地区的经济发展与资源管理和碳循环关系的研究，也从事工业、能源与碳循环关系的研究。

我们相信该计划将在未来至少10 a内促进和影响全世界的碳循环研究。同时，我们也相信，该计划将为我们提供一个具有坚实理论基础的框架，以有效应对能源系统转换和全球碳循环管理所面临的挑战。

Michel Loreau：DIVERSITAS 主席

Anne Larigauderie：DIVERSITAS 执行理事

Guy Brasseur：IGBP 主席

Will Steffen：IGBP 执行理事

Coleen Vogel：IHDP 主席

Barbara Göbel：IHDP 执行理事

Peter Lemke：WCRP 主席

David Carson：WCRP 理事

内 容 提 要

变化中的碳循环

碳循环是地球系统的核心，它与气候、水循环、养分循环以及陆地和海洋的生物量生产密切相关。正确地理解全球碳循环是了解地球及其居民环境历史的关键，亦是预测和指导二者协调发展的关键。

人类介入全球碳循环已有几千年的历史。可是，人类活动引起的碳通量在数量上与全球碳循环的主要自然碳通量相当则是在最近200 a发生的。而且，直到20世纪末期人类才广泛地认识到这一后果带来的威胁，并开始有所行动。当人类开始应对管理地球环境的挑战时，这一过程对全球碳循环的新的反馈作用将对未来的地球系统产生深远的影响。

全球碳计划

科学家们所面临的挑战是监测(量化)、理解(归因)和预测地球系统碳循环的变化(包括对人类活动的反馈作用)。这就需要跨学科、区域研究的新的研究方法和综合分析手段，并强调碳循环是耦合碳-气候-人类系统的一个不可缺少的组成成分。

全球碳计划(GCP)由3个国际全球变化研究计划共同发起，即国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人文因素计划(IHDP)和世界气候研究计划(WCRP)。此报告概述了这一计划的研究与实施战略框架，适用于自然科学和社会科学领域大型研究组织以及政策制定者。

科学主题

全球碳计划(GCP)的目标是深入全面地理解全球碳循环，包括自然因素、人为因素及二者间的相互作用对碳循环过程的影响，并为碳排放相关政策的制定提供科学依据。为此，本计划将围绕以下3个主题展开研究：

1. 格局与变率：当前全球碳循环过程中主要碳储量和通量的时空分布如何？
2. 过程和相互作用：碳循环动态变化的控制及反馈机制（包括人为因素和自然因素两方面）是什么？
3. 碳管理：未来碳-气候-人类系统将如何变化？人类对这一系统进行管理的干预点和机遇何在？

实施战略

全球碳计划将通过与各国碳项目、国际碳项目和资助机构的协作，领导一个有限数量的高难度、多学科的、3~5 a可行的新的研究计划，以实现全球碳计划的目标。该实施战略围绕该计划的3个科学主题制定。

主题1 格局与变率

通过编制新的局地 and 区域碳收支，发展模型数据融合技术，定量研究当前主要碳储量和通量的时空分布。

(1)主要碳储量和通量：通过签订公约、共享数据、应用新软件和技术进行信息的快速传递以及在交叉项目中资源互补，补充与加强区域和国家碳循环研究间的国际协作。

(2)数据融合：开发与使用能够将大气、海洋和陆地的数据融入碳-气候-人类系统模型的方法，特别要强调将多元限制(通过大气、海洋和陆地数据和模型的同步使用来实现)应用于碳循环格局和变率的研究。

(3)综合的国家、区域和局地碳收支：促进现有的国家、区域和流域尺度碳收支估算方法的统一，确保区域之间的可比性。

主题2 过程和相互作用

促进新的研究与综合，以加深对自然和人类驱动的碳源/汇控制及其空间因果关系的理解，特别强调对耦合碳-气候-人类系统中各组分之间相互作用及反馈机制的理解。

(1)碳储量和通量的控制机制及其反馈：确定碳源/汇机制、相对重要性及其相互影响。探索碳循环过程的各个环节是如何既相互独立又相互联系地运行的。

(2)耦合碳-气候系统的新特性：研究受干扰的碳循环作为一个相互作用成分包含在碳-气候系统中时，系统所表现出的新特性，特别要研究在整个系统耦合过程是否出现阈值、不稳定性和变异。

(3)耦合碳-气候-人类系统的新特性：开展碳循环的物理、生物化学和人类因素模型(定性或定量的)耦合的交叉研究，重点是当这几个子系统耦合时所出现的新特性。鼓励更为详细的预测工具和概念框架的发展。

主题3 碳管理

确定和量化碳循环过程中的干预点和机会窗，控制耦合碳-气候-人类系统的演变与发展。

(1)干预点和减排方案：确定和评估可能影响碳循环过程未来演变的具体干预点，准确评估在考虑可持续发展(即经济、社会和环境3个基本方向的发展)原则时这些减排方案可实现的碳排放减缓潜力。

(2)地球系统的碳管理：建立系统分析框架，评估减排方案的最佳组合，在一些特殊地区要设计动态的碳减排方案，制定适宜的碳管理制度。

(3)区域发展模式对碳源/汇的影响：通过不同区域案例间的比较分析以增进对以下方面的理解：

- 1) 不同的区域发展模式对碳储量和通量的影响；
- 2) 社会发展导致不同碳收支结果的关键过程和相互作用；

3) 碳储量和通量变化与生态系统的其他服务功能(尤其是食物、水、清新的空气以及生物多样性保护)之间的相互联系和相互制约。

综合与交流

GCP将面向研究和评估群体提供高水平的碳循环相关综合信息，为政策制定者、教育工作者及公众提供碳循环相关的书籍和网络资源；根据不同的学科要求，提供碳循环信息产品，以期整个社会达成对碳循环的共识。

能力建设

GCP将开展一些与主要研究主题相关的能力建设活动，在多学科高度交叉的碳-气候-人类系统研究中促进新一代科研工作者的培养。

预期研究成果

通过为期10 a的全球碳循环研究，拟取得如下成果：

- (1)增进对耦合碳-气候-人类系统的认识，提高对之进行定性、定量研究和预测的能力；
- (2)在模型中耦合控制碳循环的生物物理过程和人为干扰；
- (3)加强碳循环研究、监测和评估群体之间的协作，增强碳循环动态迅速评估和反应的能力；
- (4)通过更好的协作和信息交流，增加国内、国际研究和监测计划的成果输出；
- (5)知识的延展与交流：包括相关文章和专著研究的综合，电子资源（如数据、图表和报告材料），网站，教育资源（如海报和传单）以及通过各种研究活动提供高等教育的机会。

项目资助对象

GCP的主要资助对象包括处理如下事务的科学、评估和政策实体：

- (1)局地到全球尺度碳收支的量化和预测；
- (2)减少温室气体净排放的政策制定；
- (3)国际公约的发展和遵守；
- (4)旨在实现环境、经济和社会目标的区域发展。

与国际、国内研究计划的联系：

由于全球碳计划的综合性，有必要以已有的碳项目为基础，并与那些研究领域与GCP有交叉而又不完全重叠的研究实体合作，尤其是：

- (1)通过IGBP, IHDP, WCRP及综合全球观测战略联盟 (IGOS-P) 的其他成员协调的研究实体；
- (2)国家和区域的碳循环研究项目；
- (3)应对碳循环变化的影响和脆弱性结果及其与水资源、食物系统和生物多样性间联系的评估和决策群体。

GCP要求

- (1)充分认识跨学科及多时空尺度研究的需要，发展整合全球碳循环的生物地球化学过程、生物物理过程和人为干扰因素的研究框架；
- (2)为国际、国内碳项目提供全球性的研究平台，以改善观测和研究网络设计、统一数据标准、促进信息传递、提高研究活动和基于过程的实验时间的调配，并发展模型数据融合技术；
- (3)通过更好地协作、目标的明确和概念框架的发展，加强国家、区域及国际组织如IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS和其他观测实体的碳相关研究计划的实施；
- (4)鼓励在缺乏了解，但可能在全球碳循环中发挥重要作用的区域开展碳循环研究；
- (5)在众多的研究和政策实体中进行有关碳—气候—人类系统的最新研究成果的综合与交流。

目 录

译者的话

前言

内容提要

一、引言

1

碳的挑战	1
展望	2
要求和方法	2

二、科学主题

5

主题1 格局与变率	5
研究目的	5
研究基础	5
研究现状	6
不确定性及优先研究领域	12
主题2 过程和相互作用	13
研究目的	13
研究基础	13
研究现状	14
不确定性及优先研究领域	18
主题3 碳管理	19
研究目的	19
研究基础	20
研究现状	20
不确定性及优先研究领域	22

三、实施战略

24

主题1 格局与变率	24
行动计划1.1 加强主要碳储量和通量的观测	24
任务1.1.1 碳储量和通量观测方法的统一和标准化	24
任务1.1.2 碳横向运动的观测	25
任务1.1.3 其他相关碳化合物的观测	26
行动计划1.2 模型发展与模型数据融合	26
任务1.2.1 正演和反演模型的发展	27
任务1.2.2 模型数据融合技术的发展	27
行动计划1.3 综合的国家、区域和局地碳收支	28
任务1.3.1 区域和流域尺度综合碳收支评估标准化方法的发展	28
任务1.3.2 示踪和预测区域及流域尺度碳收支随时间变化方法的发展	28
任务1.3.3 人类活动引起的碳循环变化的地理和分区分析	29
主题2 过程和相互作用	29
行动计划2.1 控制碳储量和通量的机制及其反馈	29

任务2.1.1 海洋碳动态控制机制的集成研究	29
任务2.1.2 陆地碳动态控制机制的集成研究	30
任务2.1.3 人为碳排放的集成研究	30
行动计划2.2 耦合碳-气候系统的新特性	30
行动计划2.3 耦合碳-气候-人类系统的新特性	31
主题3 碳管理	32
行动计划3.1 干预点确定和减排方案评估	32
任务3.1.1 陆海碳交换的干预点	32
任务3.1.2 矿物燃料排放的干预点	32
任务3.1.3 干预点的碳消费模式	33
行动计划3.2 地球系统的碳管理	33
任务3.2.1 综合减排方案框架设计	33
任务3.2.2 减排方案动态组合设计	34
任务3.2.3 碳管理制度制定	34
行动计划3.3 区域发展模式对碳源/汇的影响	35
任务3.3.1 区域发展的驱动力及其对碳源/汇的影响	35
任务3.3.2 碳管理措施和未来情景	35
综合与交流	36
能力建设	36
时间表	37
管理机构与执行	37
四、致谢	39
五、参考文献	41
六、附录	47
七、缩写和缩略词	58

一、引言

全球碳计划(GCP)是由国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人文因素计划(IHDP)和世界气候研究计划(WCRP)三大计划联合发起的,专门致力于全球碳循环的研究。同时,全球碳计划也是地球系统科学联盟(ESSP,由IGBP、IHDP、WCRP和DIVERSITAS共同发起)开展的第一个研究计划。本报告概述了全球碳计划(GCP)的研究框架,主要面向自然科学及社会科学的大型科研和决策实体。

本报告包括3个主要部分。第一部分(引言)是全球碳计划的概述,指出研究的目的、前景,并介绍了主要的基本原理;第二部分(科学主题)概述了GCP的3个科学主题,从而给出全球碳循环的全景及其与气候和人类活动的相互影响,每一主题均从研究目的、研究基础、研究现状、不确定性及优先研究领域4个方面展开;第三部分(实施战略)概述了在未来3~5 a里,通过与其他研究计划合作,GCP将开展的研究以及对整个研究计划的展望(大约10a)。文章末尾部分是与GCP相关的附录,包括各国、国际与碳循环有关的研究项目及研究网络的信息。

碳的挑战

碳循环是地球系统的核心,它与气候、水循环、养分循环以及陆地和海洋的生物量生产密切相关。绿色植物通过光合作用合成的生物量以食物和纤维的形式维持着包括人类在内的整个动物界的生存。因此,正确理解全球碳循环是了解地球及其居民环境历史的关键,亦是预测和指导二者协调发展的关键。

冰芯记录了大气CO₂浓度的自然变化范围及其变化曲线(图1),图1是俄罗斯东方站冰芯的4个冰期循环。从图中可看出近42万 a来大气CO₂和CH₄浓度与气温之间的相关关系。从大约50万 a前到距今约200 a的时期内,气候系统在CO₂浓度、CH₄浓度和温度相对有限的范围内运行。工业革命前,大气CO₂浓度以10万 a为周期在 $180 \times 10^{-6} \sim 280 \times 10^{-6}$ 之间变化。与此同时,CO₂气候系统在冰期和间冰期之间交替。冰芯记录表明,大气组成与气候(尤其是温度)密切相关。

冰芯记录和当前大气CO₂浓度观测值的对比可知,地球系统已经严重偏离了冰期-间冰期这种有规律的循环状态(图2)。目前的大气CO₂浓度比间冰期的CO₂最高浓度要高出几乎 100×10^{-6} ,而其增长速度比过去42万 a中的任何时期都要高出至少10倍,甚至100倍。包括CH₄和N₂O在内的其他温室气体浓度也正在以相似的速率升高,这些气体浓度的升高无疑是由人类活动引起的,并已对气候产生重要的影响。过去千年温度的记录表明,气候系统已对大气中温室气体浓度的变化产生响应。据预测,大气CO₂浓度在未来的几百年将发生更大的变化,预测的置信度随着政府间气候变化专业委员会(IPCC)的第二和第三次的评估报告而稳步提高。以上事实表明,地球系统已经脱离了碳循环在过去50万 a中的运作范围,并且这一变化以空前的速度单向进行。也就是说,人类正在将地球系统推向一个前所未有的领域。

人类对碳循环的影响由来已久,数千年来人类通过农业、林业、商业活动以及工业和运输业中的能源利用深深地影响着全球碳循环。然而,这些活动充分扩展、匹敌于主要的自然力则是在近两三个世纪发生的。而且,人类社会和制度(社会制度、文化制度、政治制度 and 经济制度)在驱动碳循环变化的同时,它们也受碳循环和气候变化的影响,并对此产生响应,而这种响应又对碳循环具有潜在的反馈作用(Young, 2002;图3)。最典型的例子就是试图管理作为全球大气成分的温室气体排放。

确定大气、陆地和海洋间碳交换的位置和数量的研究表明,影响碳循环的自然因素和人为因素间具有复杂的相互作用,要区分二者对碳循环的影响非常困难。当前陆地碳汇(从大气中吸收CO₂的陆地区域)的位置在很大程度上取决于土地利用变化的格局及其对重复干扰生理响应的量级;海洋碳汇格局受从大陆经大气传输来的含Fe沙尘的影响,而沙尘也受土地利用和气候变化的影响。人类可能控制碳循环的领域包括:在陆地生

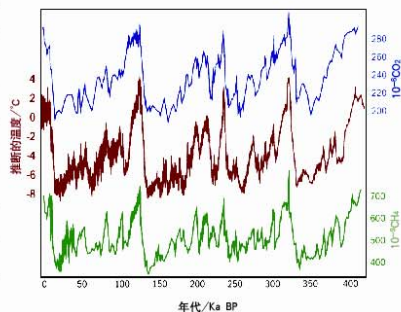


图1 大气CO₂浓度变化以及由俄罗斯东方站冰芯的同位素推测得的42万 a来大气温度和CH₄浓度的变化 (Petit et al., 1999), 图源自IGBP/PAGES

态系统和海洋中加强碳截留，最小化矿物燃料燃烧造成的碳排放。

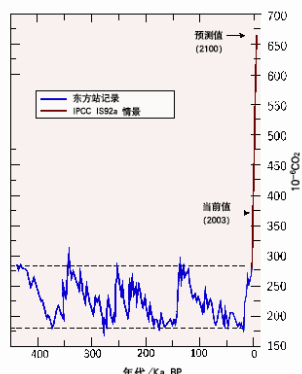


图2 俄罗斯东方站冰芯的大气CO₂浓度变化记录(Petit et al., 1999)和在IPCC第三次评估报告中使用的“正常商业”(business as usual)的预测结果(IPCC, 2001)

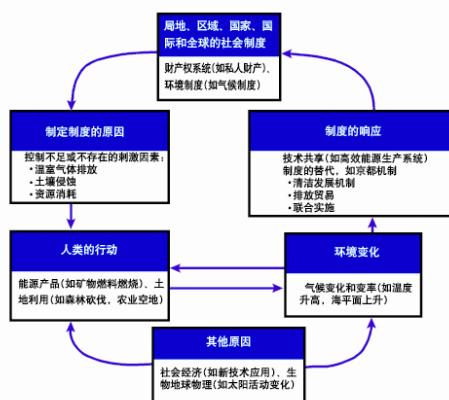


图3 社会制度及其对碳循环的影响(摘自Young, 2002)

全球碳循环的研究集中在监测、理解其格局和过程及它们的环境效应方面。不同的研究群体利用不同的资源和方法，如卫星数据、大气采样网和反演数值方法(自上而下)可以确定全球和洲际尺度碳源/汇的强度和位置，地表监测和过程研究(自下而上)可在区域、生态系统尺度上评估陆—气之间、海—气之间的碳通量，并检查该尺度碳通量的控制机制(图4)。对碳循环自然动态和减缓潜力的理解是通过政策手段和国际政治制度降碳的基础。

展望

GCP核心目标就是增进对全球碳循环，包括碳循环的自然和人为因素以及二者间相互作用的综合的、与政策相关的理解。

实现这一目标需要国际上所有相关学科、地区的科学群体的协作以及可利用资源和技术的应用。目前，还没有一个国际研究计划提供这种框架。GCP的建立填补了这个空白，它提供解决关于碳—气候—人类系统的高度学科交叉和复杂问题的全面协调。

GCP将采用学科交叉的方式来理解自然状况下未受干扰的碳循环过程、受干扰的碳—气候—人类系统以及社会对一些可预见的或确实存在的威胁的响应与系统自然动态之间的反馈(图5)。

通过1999～2003年一系列的专题学术研讨会，科学团体确定了碳循环研究的3个主要科学主题。这些科学主题明确了GCP的科学领域，促成了对碳循环的监测、归因和预测的能力发展。预测部分的内容主要集中在人类在未来如何干预扰动的碳循环动态。每一个主题都可以用一个高度概括的问题来描述：

- 1 格局与变率：当前全球碳循环主要碳储量和通量的时空分布如何？
- 2 过程和相互作用：碳循环动态的控制和反馈机制(包括人为因素和自然因素两方面)是什么？
- 3 碳管理：未来碳—气候—人类系统将如何变化？人类对这一系统进行管理的干预点和机遇何在？

要求和方法

为了实施GCP的目标及其3个科学主题，GCP将遵循以下科学规则：

(1)充分认识跨学科及多时空尺度研究的需要，发展整合全球碳循环的生物地球化学过程、生物物理过程和人为干扰因素的研究框架；

(2)为国际和各国碳计划项目的实施提供全球性的研究平台，以改善观测和研究网络设计、统一数据标准、促进信息传递、提高研究活动和基于变化过程的实验时间的调配，发展模型数据融合技术；

(3)通过更好地协作、目标的明确和概念框架的发展，加强国家、区域及国际组织如IGBP, IHDP, WCRP、

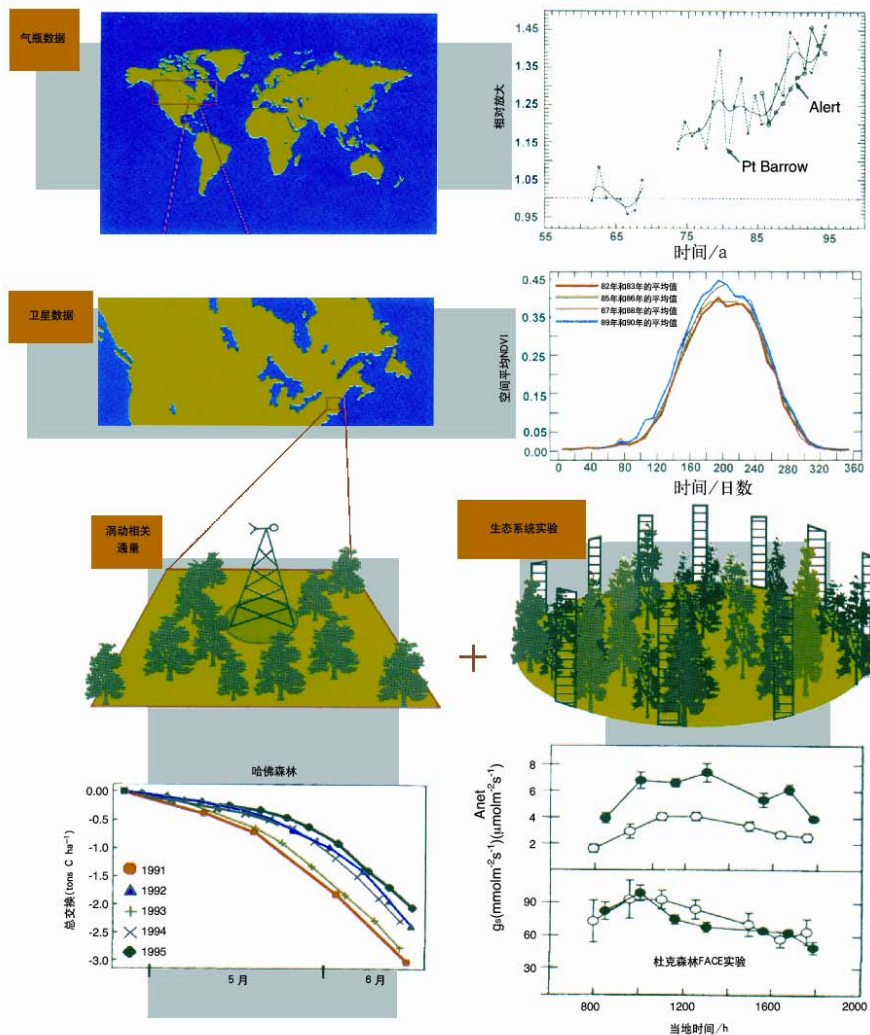


图4 测量陆地生态系统碳代谢过程：技术和结果(Canadell et al., 2000)

DIVERSITAS和其他观测实体的碳相关研究计划的实施；

(4)鼓励在缺乏了解但可能在全球碳循环中发挥重要作用的区域开展碳循环研究；

(5)在众多的研究和政策群体中，进行有关碳—气候—人类系统的最新研究成果的综合与交流。

方法：GCP将通过两条途径实现它的研究计划。其一，以学科为导向的碳循环研究，全球尺度的碳循环研究主要是通过GCP发起并主办的一系列研究计划得以实施（附录A1），全球尺度以下尺度的碳循环研究主要是通过国家或者区域的碳研究项目得以实施（附录A2）。为达到GCP综合研究全球碳循环的要求，GCP通过促进项目间的协作提升和增强这些科学研究的价值。其二，对于碳循环研究中高难度的高度学科交叉问题，GCP将启动并领导一些在3~5 a的研究框架中切实可行的新的研究活动。

科学指导：科学指导委员会(SSC)对GCP的工作进行指导和管理。科学指导委员会主要是由涵盖GCP科学框架的主要学科领域的科学家组成，并且也充分考虑由它发起的研究项目和计划所提出的建议。

管理和时间框架：GCP对它的3个发起组织(IGBP, IHDP, WDRP)的主席和理事组成的委员会负责。GCP从2002年开始，预计研究期限为10 a。3个发起组织将对计划进行中期考核，以评估其近期目标的完成情况、监测其长远目标的进展，并提出提高计划效率的建议。

相关组织：广义而言，碳循环的研究是解决地球系统的环境问题和全球可持续发展的关键。GCP将与一些观测、评估和政治实体建立正式、非正式的伙伴关系，主要包括：

(1)在综合全球观测战略联盟(IGOS-P)的指导下，基于全球观测系统(包括全球海洋观测系统(GOOS)、全球陆地观测系统(GTOS)、全球气

候观测系统(GCOS))和全球碳计划(GCP；附录B)，发展全球碳循环综合观测战略(综合全球碳观测，IGCO)。

(2)全球碳循环对于各国、国际气候变化减缓、可持续发展以及生态系统服务3个方面政策的制定尤为重要。因此，GCP通过适当的评估实体将国际、各国决策实体联系起来是必须的。

(3)按照联合国气候变化框架公约(UNFCCC)下属的科技建议辅助机构(SBSTA)、生态系统千年评估(MA)及其他评估项目的要求，由IPCC负责评估碳循环的研究工作，并向决策实体解释这些研究成果。

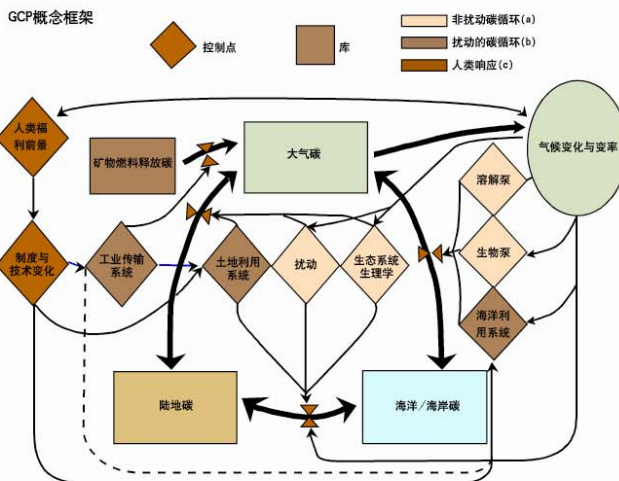


图5 全球碳循环的3个前景

全球碳循环的3个前景：(a)冰期和间冰期期间以及重大人类活动之前，全球碳循环仅是包含陆地、海洋和大气圈碳储存的链接系统。这个系统过去且仍然被气候变异和它自己内在的动态所控制或驱动。例如，海洋碳系统与海-气间气体交换紧密联系在一起，并通过自然的生物泵来传送碳。陆地表面和大气圈的相互作用被陆地和生态系统生理学所驱动。(b)大约在200 a前，由于工业化和土地利用变化的加速，从而向碳循环过程中增加了那部分原先以矿物碳储存的新碳，使得全球碳循环复杂化。人类并没有从一开始就意识到未来的利益会受到威胁。不管社会对向大气圈中增加矿物燃料的投入回应如何，或者目前土地利用方式的剧烈变化后果怎样，全球碳循环已经受到剧烈的影响。(c)在过去的最近几十年内，人类已经开始认识到气候变化和地球系统已经深刻地影响到人类的利益，而这种影响是通过地球碳循环实现的。机构和制度的实施以及对全球碳循环的管理对当代社会将产生一系列新的反馈。

二、科学主题

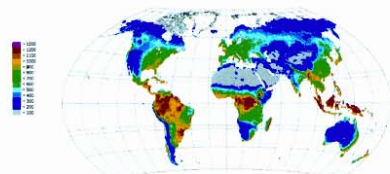
全球碳计划包括3个科学主题：格局与变率、过程和相互作用以及碳管理。每个科学主题从研究目的、研究基础、研究进展、不确定性及优先研究领域4方面展开。需要注意的是，许多研究课题贯穿了这3个科学主题。

主题1 格局与变率

研究目的

碳循环是指碳元素在大气(主要以 CO_2 的形式)、海洋(表层水域、中层水域、深层水域及海洋沉积物)、陆地生态系统(植被、凋落物和土壤)、河流和入海口以及矿物燃料等不同碳库之间的迁移、转化。不同碳库之间碳通量和贮量时空分布格局的变化反映了自然动态和人类活动的影响(图6)。有关碳通量及其贮量时空分布格局与变率的研究对于了解碳循环过程是至关重要的。它有利于探索碳循环的驱动过程、反演历史状况、预测人类强烈干扰情况下的未来趋势。

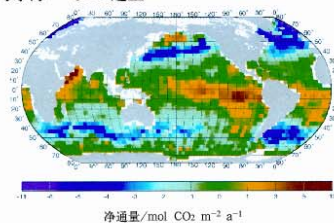
(a)陆地净第一性生产力



(b)1995年由人类活动引起的碳排放



(c)年均净海—气 CO_2 通量



(d)人类活动引起的 CO_2 柱清单

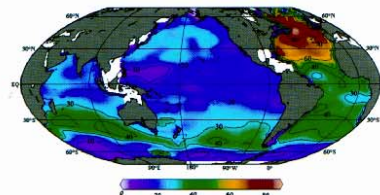


图6 确定碳循环的储量和通量格局与变率的关键空间观测

- (a)全球陆地净第一性生产力 gC m^{-2} ，源自IGBP 波茨坦NPP模型比较结果(Cramer et al., 2001)。
(b)1995年来自矿物燃料燃烧、水泥生产、煤气燃烧释放的 CO_2 量，以1度栅格为基础(Brenkert, 1998；<http://cdiac.esd.ornl.gov/>，美国田纳西州橡树林国家实验室的R.J.Olson提供图)。
(c)1995年年均净海—气 CO_2 通量($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)(Takahashi et al., 2002)。
(d)人类活动引起的 CO_2 柱清单($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$)(Sabine et al., 2003)。

研究基础

目前全球碳通量格局与变率的理解主要来源于：

- (1)大气 CO_2 等气体浓度的全球观测、卫星监测以及在陆地与海洋的定点观测；
- (2)大气与海洋动态以及生物地球化学过程的模拟研究；
- (3)质量守恒定理。

基于上述研究，得到如下结论(IPCC, 2001a; Field and Raupach, 2003; CDIAC, 2003)：

1. 自工业革命以来,全球矿物燃料燃烧引起的碳排放不断增加,从1980年的5.2 PgC上升到2002年的6.3 PgC,并且该增加主要集中在北半球。

2. 自1750年以来,大气中二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)以及氧化亚氮(N_2O)的浓度分别增加了31%、150%和16%。

3. 矿物燃料燃烧排放到大气中的 CO_2 约有50%被陆地和海洋所吸收。

4. 通过大气 CO_2 浓度和 O_2/N_2 比率的观测以及大气模式的反演表明,陆地碳汇主要出现在北半球中纬度地区。

5. 土地利用变化导致热带地区碳排放显著增加,而土地管理方式变化则使北半球中纬度区成为一主要碳汇。

6. 据观测,最近几十年大气 CO_2 浓度的变化十分明显(图7),并且碳在大气中累积速率的年际变化与矿物燃料碳排放量的年均变化十分接近。

7. 陆地生态系统对大气碳交换年际变率的影响比海洋更为明显。

8. 2000年,全球以谷物、木材和纸质产品等形式进行的碳贸易约为0.72 PgC,这对区域碳汇(生产)、碳源(消费)及碳的临时储存(如家具)产生了明显的影响(图8)。

9. 1995年海-气间碳通量约为2.2 PgC($-19\% \sim +22\%$);海洋模式及观测结果显示全球海洋 CO_2 通量的年际变率约为 0.5 PgC a^{-1} ,其中太平洋赤道区是年变率最大的区域。

10. 大气 CO_2 的海洋源/汇的大致分布为:碳源主要出现在热带海域,其中最显著的区域在太平洋赤道区;而碳汇主要在高纬度海区,其中最显著区域在北大西洋。

11. 河流传输对碳源/汇分布格局具有明显的影响,每年由河流输送到海岸带的碳素超过1 PgC。

研究现状

上述研究结果主要是基于观测及模式模拟。本部分将继续描述通过观测及模式方法对碳循环的格局和变率所开展的研究工作,包括对人类活动与碳循环相互作用的观测研究以及模式和观测研究相结合的对策。

全球监测

长期监测是监测、归因和预测全球碳循环时空格局的基本研究手段。长时间序列的观测数据是了解和验证全球碳循环和地球系统科学研究的重要依据(IPCC, 2001a),如来自Mauna Loa, Cape Grim等本底观测站几十年的有关大气成分(尤其是大气 CO_2 浓度)的监测记录(Keeling and Whorf, 2000),以及图1所示的东方站冰芯中42万 a来的记录(Petit et al., 1999)。同时,空间数据对于了解、验证全球碳循环和地球系统科学研究也具有重要的作用,如利用一系列全球生物地球化学模型推导出的陆地净第一性生产力在全球的分布格局(图6a)。

理解地球系统(包括全球碳循环和人类对其的影响)的全球观测工具正被组合成一个全球综合观测战略,即综合全球观测战略联盟(IGOS-P)。IGOS-P的宗旨是发展用于陆地、海洋和大气全球环境观测的主要地基和空基系统的耦合战略。

作为综合全球观测战略联盟(IGOS-P)的一部分,全球碳循环在下一个10 a的观测战略已形成,它将以全球碳的综合观测(IGCO)为主题,并与全球碳计划(GCP)紧密协作(附录B)。其战略目标如下:

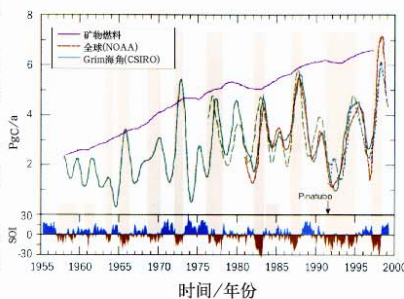


图7 与过去40 a矿物燃料排放量相比的 CO_2 全球增长率(在此表示为自开展 CO_2 监测以来大气碳累积, $10^{15} \text{ gC a}^{-1}$)

平均而言,55%的与人类活动有关的 CO_2 排放被保留在大气中,但具有与南方涛动指数(SOI)相关的较大的年际变率(1991年火山爆发后的较低增长是一个例外)。所有的 CO_2 资料均用650 d滑动平均以消除季节影响。该资料来自SIO/NOAA收集的冒纳罗亚(Mauna Loa)观测资料、NOAA收集的全球50个站点的资料,或CSIRO收集的Cape Grim所有最近轨道的全球增长率(资料来源:R J Francey, EC-IGBP-GTOS陆地碳会议,2000-05-22-26,哥斯达黎加)

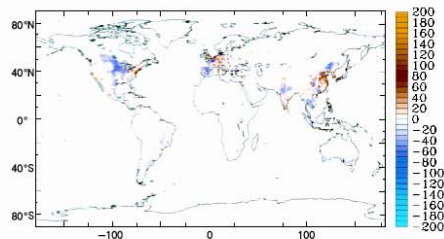


图8 粮食产品生产与新陈代谢引起的碳源汇 ($\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, Ciais et al., 2001)

- (1)整合遥感观测与地面样点观测;
- (2)联合海洋、陆地和大气观测;
- (3)与全球碳循环研究及评估团体紧密协作。

基于上述目的,归属于GTOS计划的陆地碳观测计划(Terrestrial Carbon Observation,TCO)通过与地面及卫星遥感数据的结合来揭示陆地生态系统碳源/汇的时空分布格局。

MODIS和其他卫星的最新遥感数据将提供有关陆地与海洋碳吸收、碳排放的长期动态信息,包括大量全球碳循环组成要素连续的、经过校正的实时信息。如图9所示的全球净第一性生产力(NPP)记录,其空间分辨率为 $1\text{km} \times 1\text{km}$,观测时间间隔为8 d。

大气观测

许多国家都将大气主要痕量气体浓度的监测作为其研究项目的组成部分,取得的数据对气候变化的预警和理解具有重要作用。大气是表层通量时空变化的良好过滤器,它将滤过短期的波动而保留大尺度的信号(Tans et al., 1990)。因而,大气 CO_2 的分布状况及其随时间的演变可用于表层通量的量化研究。

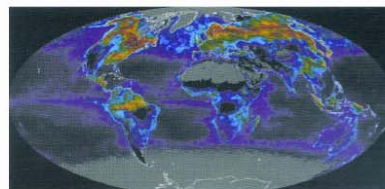
目前区域尺度碳收支的估算,主要是利用站点(约100个) CO_2 的测量结果,结合几个高塔和航空观测的数据,通过大气反演的方法进行的。重要结论之一是发现主要碳汇出现在北半球的陆地和海洋(IPCC, 2001a; Gurney et al., 2002; Rödenbeck et al., 2003)。同时,表层通量的时空分布格局具有高度的不确定性。在不考虑其他限制因素的情况下,即使在取样最为稠密的北半球中纬度地带,要想把经度带或海洋与陆地之间的碳源或汇区分开几乎是不可能的。虽然这些限制因素可通过局地尺度的过程研究而获得(Wofsy et al., 1993),但仍难以以上推到全球尺度。如果没有多尺度多平台的 CO_2 观测,甚至无法确定 CO_2 分布的不确定性是源于传输模式、数据,还是反演过程。

为了解决 CO_2 测定的准确性和一致性的问题,设立了大气数据整合协作计划GLOBALVIEW- CO_2 。目前,它包括了来自大约14个国家的24个组织(图10),并已建立一个一致的连续21 a的全球数据库。除 CO_2 以外,该系统还对观测 CO_2 中的 ^{13}C 和 ^{18}O , CH_4 , CO , O_2/N_2 等指标进行观测。通过 ^{13}C 和 O_2/N_2 比率的测定可以推断分别由矿物燃料释放、陆-气交换以及海-气交换而进入大气的净碳通量。通过 ^{18}O 的测定可以估算植被总第一性生产力,并与净生态系统交换形成对照。根据 CH_4 和 CO 的测定结果可以估算矿物燃料燃烧对碳排放的贡献。另外,GLOBALHUBS已经制定了一个计划以对 CO_2 浓度和同位素含量进行内部校验。

大气观测的3个重要进展如下:

(1)洲际尺度大气组成(包括 CO_2 及上述提及的 CH_4 , CO 等气体)的随机观测是对网络站观测的补充。为了消除局地源汇状况的影响,现有的大气观测网络主要集中于远洋边界层的监测。这些资料不能作为本底资料,有必要加强各大

2002年6月



2002年12月

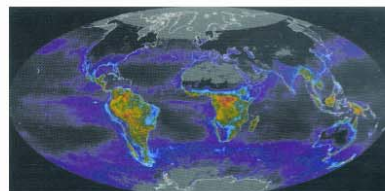


图9 基于MODIS空间观测和NASA地球观测组建立的算法估算的2002年6月和12月的全球净第一性生产力($\text{kgC m}^{-2} \text{a}^{-1}$; 资料来源于NASA Earth Observatory)

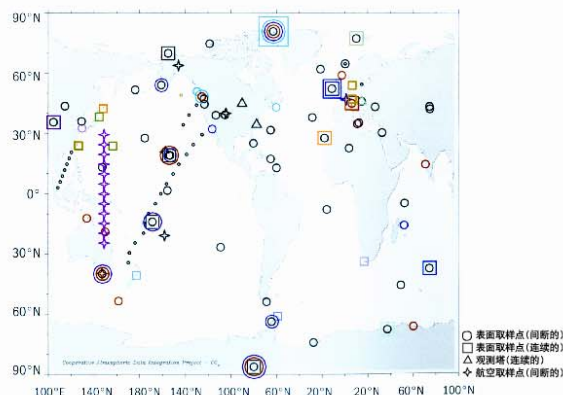


图10 大气 CO_2 浓度气瓶观测点的全球分布(注意南半球以及欧亚大陆、非洲和南美洲的站点稀少)(GLOBALVIEW- CO_2 2002) (<http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/globalview/index.html>)

洲的其他观测。由于大气CO₂混合受地表下垫面异质性及陆-气边界层在对流与稳定状态间的日循环引起的强时空变化影响使得相关的观测变得更加复杂。但取样技术的不断进步可能会逐步克服其困难。目前所进行的观测主要通过气瓶取样、通量网、商业或专门的飞机以及船只来完成。为了开展连续的CO₂观测,便携、低维护的CO₂传感器新近研发成功,其精度可与目前本底观测所用仪器相比。

(2)网络优化方法将改进已经存在的采样网络。作为优化网络设计的基本技术,这些网络优化方法取决于数据融合方法的利用。

(3)目前,大气采样网络在陆地、海洋及大气中采样点分布不均匀(如前所述,它将严重限制大气反演, Rayner and O'Brien, 2001),这可通过CO₂的遥感监测得以弥补。

大气CO₂的遥感观测

利用空间设备对地球表面和大气的遥感监测将促进碳循环的研究。为了从空基进行CO₂探测,专用于气象探测的两个新的红外设备正在研发,即于2002年3月地球观测系统卫星EOS-Aqua(The Earth Observing System, EOS)上发射的大气红外探测仪(Atmospheric Infrared Sounder, AIRS)以及将于2005年从第一代气象专用极地卫星(The first Meteorological Operational Polar Satellite, METOP)上发射的红外大气探测干涉仪(Infrared Atmospheric Sounder Interferometer, IASI)。AIRS和IASI可测定高光谱分辨率下的绝大多数红外波段,如果同时使用一个微波探测器(AMSU)可增进其效能。这主要是因为AMSU仅能探测气温的变化,而AIRS和IASI还对大气CO₂浓度十分敏感。同时,希望CO₂的其他特性也能够从这些传感器上获得(Chedin et al., 2003a)。

基于现有的仪器设备,如自1978年以来美国国家海洋大气局极地气象卫星(NOAA)发射的电视红外观测临近卫星(Television Infrared Observational Satellite-N, TIROS-N)的可控垂直探测器(Operational Vertical Sounder, TOVS)已经获得了概念性研究的证据。尽管这些空间辐射仪的空间分辨率很有限,但从TOVS的观测结果仍然能提取到有关CO₂及其他温室气体季节动态特征和变化趋势,并可解释这些气体浓度的年季变化(Chedin et al., 2002, 2003b)。

2002年从Envisat平台上发射的用于大气制图的扫描影像吸收光谱仪(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography, SCIAMACHY)对于CO₂浓度遥感监测数据的反演也具有重要作用(Bovensmann et al., 1999)。该仪器可提供高分辨率地球长波反射光谱,其中关于通过大气层时被吸收的波段信息可用于温室气体CO₂, CH₄, N₂O, H₂O和CO的反演。对于CO₂, CH₄和H₂O, 总的体积估算精度为1%,而对于CO和N₂O的估算精度为10%(Buchwitz et al., 2000)。SCIAMACHY对于相关气体基准测定的水平分辨率通常为30 km × 120 km(高纬度地区为30 km × 120 km, 30 km × 240 km)。与此类似的被动吸收微分技术最近被用于欧洲空间代理机构的碳循环监测(CARBOSAT)以及具有较高时空分辨率的轨道碳观测(Orbiting Carbon Observatory, OCO)。

这些任务的关键在于CO₂体积浓度的测定精度都要高于1%(<3 × 10⁻⁶)。模拟显示通过卫星遥感观测得到的CO₂通量与地面观测站测定的结果相比,精度大约可以提高10倍。而且,随时空尺度的增加,通过卫星遥感观测进行估算的精度也提高,尽管单点估算的准确性可能低于大气采样网络的测定结果(Rayner and O'Brien, 2001)。

陆地观测

陆地碳观测的初衷是为了进行生物资源的开发,这促使许多国家进行森林资源清样调查(Cannell et al., 1999; Houghton, 2003),并且建立监测网络以支持森林、农田和草原的持续利用。与此同时,各国还在一系列样地展开长期的生理生态观测研究,并加强土地覆盖的遥感观测。

目前,有一系列与陆地碳观测相关的国际协作观测网络(数据提供者),包括全球范围的地面观测和卫星遥感观测(附录C)。其中,地面观测网的通量网计划包含了全球200多个样地。在每一样地,利用涡动相关仪对地-气间的CO₂交换、水汽交换及热量交换等进行连续监测(图11)。在其中的大部分样地,还同时进行着植被、凋落物和土壤库的碳储量和通量及其他生理生态变量的综合测定。通过尺度化,通量塔的观测数据已经成功地用于洲际尺度的通量计算(Papale and Valentini, 2003),并揭示了其季节与年际动态的控制因子。而且,这些通量数据也可对MODIS的数据新产品(如植被净第一性生产力)进行验证。

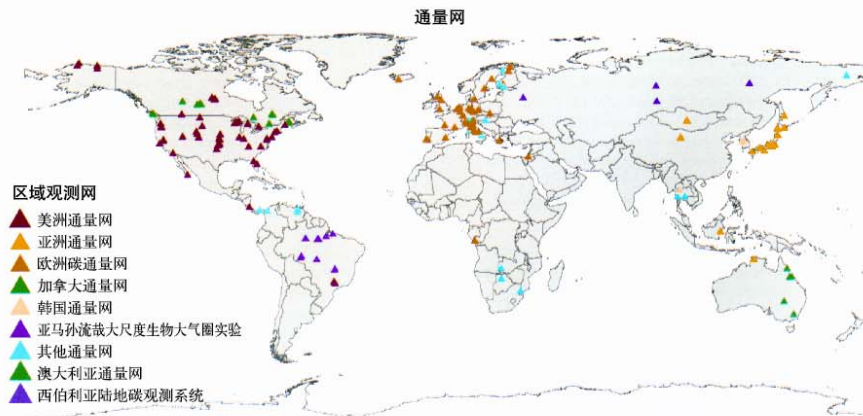


图11 通量观测点的空间分布及其代表性发起国家

这是对生理生态和生态系统观测以及不同观测网间进行标准化的一大进展。通量网是国际协调如何实现国家间和学科间交流和信息一个重要例证。全球碳计划的一个重要目的就是鼓励和促进成功网络的成功发展、协调和拓展，如通量网 (<http://www-eosdis.ornl.gov/FLUXNET>)。

国际长期生态研究网络(International Long-term Ecological Research Network, ILTER)在进行生态变化观测的同时还进行了大量技术含量较低的生理生态观测。作为全球陆地观测网络(GT-Net)(附录C)计划的一部分，区域地面观测协调计划已由GTOS提出。同时，一些研究计划已开始对各国数据进行统一化，如对北美和亚洲各国森林资源清样资料的比较(Goodale et al., 2001)以及对一些国家土壤有机质数据库的比较(Smith et al., 2001)。

陆地碳观测数据的使用者是需要陆地生态系统碳循环信息的机构和研究团体(附录C)。不同尺度(全球尺度、洲际尺度和国家尺度)、不同数据产品类型及不同的使用群体对数据的要求也不同。在某些情况下，国家机构需要的信息可能超出其疆域。

除了上面提到的数据和产品生产计划，为促进全球系统观测能力的发展还有一些计划在进行，如全球森林覆盖观测计划(Global Observations of Forest Cover, GOF-C);提供有关生物量燃烧数据的世界火灾网络;提供用于净第一性生产力估算数据的GTOS净第一性生产力计划;促进生态系统生产力算法改进的IGBP的NPP比较研究计划(Cramer and Field, 1999)。

在今后几年，陆地碳库及通量的观测将加快以下方面的发展：

- (1)多尺度观测，如涡动相关观测，生理生态观测与过程观测研究以及遥感监测(见主题2，研究现状：尺度相互作用)；
- (2)通过反演、数据同化以及多元限制等方法进行陆地模型和观测的整合(见主题1，研究现状：观测与模型的综合)；
- (3)同位素或其他示踪元素的应用(^{13}C , ^{14}C , ^{18}O , ^{15}N , ^2H , ^3H)将使新测定方法成为可能，并成为模型中的限制因素；
- (4)按照《京都议定书》的要求，各国需要分门别类地对碳库及其通量进行估算，这将使陆地观测方法更趋多样化。

海洋观测

传统的海洋调查对于采样必不可少，它提供连续的历史数据，可对整个海水剖面采样进行高精度的室内分析及详细的过程研究。目前，国际海洋碳协作计划(IOCCP)已在全球范围展开海洋的连续勘察，这是一个GCP和关于海洋 CO_2 研究的SCOR-IOC咨询小组共同发起的试验计划。IOCCP还将与CLIVAR合作，进一步开展

关于全球海洋循环实验(World Ocean Circulation Experiment, WOCE)中水文地理的有关研究。

海洋调查所获得的高分辨率空间数据可供定点的表层测量使用,如在海-气通量估算中就需要利用海洋表面CO₂分压(pCO₂)数据。在海洋观测(如最近WOCE联合JGOFS进行的水文地理调查)中,通常会用到船载CO₂分压系统,并且试图与船测(SOOP)资料相结合。未来将进行更多的上述观测。为了优化观测点在区域或全球的分布,需要更好的协作。

因为耗资巨大,利用船只的大尺度海洋调查不能频繁进行。这种限制下的海洋观测只能说明碳在海洋中的大致分布状况,但无法很好地揭示季节、年际及年代际尺度上的海洋碳变率。为了解海洋碳的时间分布格局,定点进行碳及其他生物化学变量的长期连续观测至关重要。目前,海洋长期定位观测最为著名的是在夏威夷(夏威夷海洋时间序列计划, Hawaii Ocean Time-series programme-HOT)和百慕大群岛(百慕大大西洋时间序列研究, Bermuda Atlantic Time-series study-BATS)附近的美国JGOFS站,该站已有十几年历史。HOT计划和BATS研究获得的数据,包括每月的碳酸盐系统参数、生物地球化学参数(如初级生产力、叶绿素、养分和近表面沉积)。通过这些观测已取得了一系列重要的发现:海洋表层水域溶解态无机碳(DIC)的浓度在增加,以及亚热带太平洋海域具有重要的固氮作用。为提高效率,应将这些长期定位观测站点彻底整合到水文及商船调查研究计划中(包括停泊观测和漂流观测),并且使时间序列的观测与空间调查相互补充。

大量的卫星观测数据可直接应用于海洋碳系统(附录C)。最为突出的例子是海水颜色数据,该数据的采集始于海岸带海水颜色扫描资料(CZCS, 1979~1986),并在最近几年得到快速的拓展(资料来自海水颜色和温度扫描器, OCTS, 1996~1997);地球反射的极化与定向(POLDER)以及海洋观测宽视域传感器(SeaWiFS, 1997年底至今)。与此相关的物理数据库包括用于中尺度变率与物理循环的海平面高度(包括TOPEX——美国、法国合作进行的利用雷达高度计/海神式导弹测定海平面高度的研究计划、欧洲遥感计划)、海面温度(甚高分辨率辐射计—AVHRR)以及海面风速(包美国国家航空航天机构散射计—NSCAT; 速测—QuickScat)。新技术的发展将使遥感监测海洋盐分成为可能。

目前海洋观测研究的主要发展方向为:

(1)海洋观测无论在观测的空间密度和时间频度方面,还是在观测的化学和生物学参数方面都持续拓展。关于海面温度(SST)、风、海水颜色的遥感资料将连续提供大尺度海洋上层物理和生物学特性的格局和变率的重要信息。定点海面自动观测和采样技术也在不断的发展以弥补遥感监测的不足。化学采样领域有发展前景的包括新类型自动数据采集传感器(包括CO₂分压(pCO₂)、溶解态无机碳(DIC)、养分、颗粒状无机碳、颗粒状有机碳(POC)以及生物光等参数数据的采集)以及海洋观测平台(如系留, 漂流, 垂直浮动, 滑翔, 水下自动观测车)的研发。

(2)用于海洋观测诠释的放大方法将提供其他有关区域海-气通量年际变率的信息。这样的信息来源于海洋表层水域CO₂分压的重复观测。在进行流域尺度海洋碳收支研究时,必须对海洋碳储量和传输变化进行估算。

(3)综合海洋碳观测系统的开发将通过改善组织和协作而得到更大发展。这将包括:1)确定和支持目前正在开展的海洋观测研究计划的基本组成部分(如海洋时间序列观测站、水文地理观测站及船测)或正在计划阶段的海洋观测研究计划的基本组成成分;2)召集和鼓励专家组国际会议以探讨一个科学的、可操作的海洋观测系统应具备的条件;3)发展与其他物理、化学和生物海洋野外观测的协作关系,特别是与CLIVAR和GOOS计划的协作关系。这些科学计划目前正在北大西洋和北太平洋开展以连续监测来自于船测航线的流域尺度的特性。但是,这些计划都需要长期支持以建立和维持有效的数据库。

(4)海洋碳同化和反演模式正取得快速进展(就大气和陆地观测而言)。大量有关过程水平信息对于揭示海洋碳通量时空分布格局及其控制因子至关重要。随着海洋观测的不断完善它们将会提供丰富的数据,并迅速应用于模型的驱动。而模型的发展又有助于提供时空尺度的数据插值,以估算全球碳通量和储量。

人类与全球碳循环相互作用的观测

全球碳循环的人类成分包括碳的排放、固定、横向运动、农产品生产与消费。这些由人类活动引起的碳通量与其他人类变量相互作用,包括人口、健康、能源系统、技术途径、环境价值及限制因素(Dietz & Rosa, 1997)。这种相互作用通过人为作用导致的碳循环变化的认识以及其他主要因素如经济、社会驱动因素、水和食物供给等实现。

一系列现存系统都提供了与人为作用有关的碳通量数据。这些系统包括国家碳排放、森林及土地利用调查,

国家碳储量估算系统, 区域环境报告以及商品进出口贸易数据。如何整合这些类型不同、来源各异的数据(大多为间接数据)是个严重的挑战。

人类与碳循环相互作用观测领域的主要研究方向包括:

(1)不同国家、区域及局地在碳循环中作用的差异。例如, 绝大多数矿物燃料释放的碳出现在北半球, 而土地利用变化造成的碳排放则主要发生在热带地区。国家间的合作对于收集数据和分析变化趋势具有十分重要的促进作用(Mason, 1997)。

(2)对气候变化和碳循环变化的区域响应和脆弱性的更准确评估。尽管关于这一问题已有不同方法, 但是一个十分重要的挑战就是要探讨不同区域、局地、生态系统及社会实体将如何面对和管理碳循环的变化(O'Brien and Leichenko, 2000)。

观测和模型的综合

上述所提到观测研究只有少数可以提供直接的全球碳循环的通量和储量的信息, 还没有一种观测能直接给出全球碳的时空分布格局。因此, 必须通过推断获得有关结果。尽管现有的推断方法多种多样, 但都基于观测与模型信息的综合, 也称之为“模型-数据融合”。其一般原则就是通过调整模型的一个或多个参数, 使模拟结果与观测值之间达到最佳匹配。这一原则的实现有两个途径: 第一, 改变模型参数。这里的参数包括4种类型: 模型参数(输入模型方程的常数)、空间边界层条件、初始时间条件及模型自身的状态变量。第二, 探讨这些参数适宜值的调查方法, 这依赖于问题的复杂性及其表达公式。一般来说, 一个最适过程应该提供3种输出: 变量的适宜值、值的不确定性以及在给定数据不确定条件下评估这些值是否适合于模型。

已经有几个分析这些可能性的方法:

大气海洋反演方式。全球大气反演应用来自全球流动与本底观测网络的大气组成观测, 结合全球大气传输模式, 以揭示陆面和大气间的空间平均净CO₂通量和其他元素通量的空间分布(Enting, 2002; Gurney et al., 2002)。其原理是探讨指示物, 特别是CO₂的源/汇分布; 与大气传输模式相结合, 提供全球浓度测定的最大一致性。在这样的条件下, 模型被改变的特征是边界条件。“反演”本质上就是反向运行大气传输模式。

大气反演提供了对总碳源/汇的限制, 但是无法提供过程反应。目前, 它们的时空分辨率是十分粗糙的。该模式可以区分在热带、南半球、北半球等极典型区域以及陆地和海洋间的碳交换, 但是无法表明热带的碳平衡并且无法满意地分辨出经度格局(Schimel et al., 2001)。由于数据的短缺, 特别是热带和大陆边缘, 强烈限制了区域问题的解决。目前正在努力使用垂直剖面来填补这一空白。另外, 反演还依赖于大气传输模式的选择, 特别在海盆、大陆或更小的尺度上更是如此。

利用中尺度模式(Gloor et al., 2001)和大气边界层平衡方法(Lloyd et al., 1996), 大气反演方法也被用于区域尺度。通过物种和同位素测定的林火和城市面积研究亦已经被用于获取气体源有用的信息。在植被冠层尺度大气反演方法的应用已经被用于植被和土壤间碳源/汇的分配(Raupach, 2001)。

海洋反演基于相似原理以利用海洋CO₂分压和其他数据来探讨海洋和大气的CO₂交换量。这些数据要求与大气反演的数据要求很相似, 特别是数据测量的准确性和密度是一个主要问题, 而且海洋和大气CO₂的交换量对海洋输送模式十分敏感。

参数估算。在这一情况下, 被改变的模型特性是参数, 这些参数不是基于对过程的理解获取的。对于生物地球化学循环和碳循环模型, 这些参数包括量子产量、光利用效率、温度对呼吸作用的影响或库周转时间(Barret, 2002)。为使模型更好地适用于测试数据, 对参数进行选择是必要的。找到最适参数的方法有许多, 从简单的图形拟合(如线性斜率拟合)到为了同时发现多个参数的先进搜索过程。

在参数估算过程中同时使用多种数据(多元限制)是一个发展方向。许多不同种的数据——大气成分、遥感、库和通量的当地观测是可用的。不同的数据在模型中限制了不同的过程。例如, 大气浓度和涡动相关的测定限制了净CO₂交换量(生态系统净交换)。而遥感通过NDVI等指标可以间接反映总交换量(总第一性生产力)。这样, 不同的模型参数会受到不同种数据的限制, 而同时使用不同种的数据是综合模式所必需的。这种方法已经在一些研究中进行了初步尝试, 包括对洲际尺度的地面数据和大气浓度数据的共同使用(Wang & Barret, 2002), 全球尺度的大气组成、遥感数据和涡动相关数据的联合研究(Kaminski et al., 2002), 利用洲际尺度的生态数据来约束全球碳循环的生态系统模型(Kaminski et al., 2002)以及在冠层尺度的应用(Styles et al., 2002)。

多重限制方法依赖于具有很大空间、时间和过程分辨率差异的强迫数据,从而产生更多限定性的预测。该方法提供了一种手段以区分哪些是重要的或不重要的研究途径,从而提高碳循环模型中过程的代表性,因为应用目前的反演技术带来了估计参数的不确定性。降低这种不确定性的方法之一就是要不断增加模型整体预测的信息含量。为了降低模型参数的不确定性,潜在的数据源应被评估。该方法需要数据的不确定性特征,而不需要准确有效的数据,这样就允许提前验证实验设计。

数据融合方法。数据融合包含未来模型在整合过程中自身状态变量的调试。这也可能通过连续地调整模型的初始条件来实现,如在天气预报过程中四维变量数据的融合方法即将使用。这里全球时间序列的数据被用来强迫动态模型与某一给定时间的数据相符合,直到不同地区的最基本需要在模型中得到体现,如质量守恒(Chen and Lamb, 2000; Park and Zupanski, 2003)。未来这些方法将在碳循环模型中得到应用。

数据和模型综合方面的主要研究方向有:

- (1)为提高对碳循环的理解,需要发展其他被动示踪物值得注意的是目前一些有效的碳循环示踪物仍没有被使用,并且要不断提高对大气CO₂和海洋CO₂分压以及其他指示物的测定密度、校准和解释。
- (2)提高数据覆盖范围,以允许对降尺度的区域估算,尽管区域估算也需要提高全球的背景知识(对任何一点估算能力的提高都意味整体估算能力的提高)。
- (3)3个有助于收集更多与区域反演相关数据的技术:1)连续观测,通过主要变量来反映区域源的变化;2)空间CO₂累积可能的全球覆盖;3)可在恶劣环境下使用的便携式传感器可以填补目前网络观测的空白,同时也需要国际间的数据管理系统努力去处理不断扩大的数据量。
- (4)区域反演及“演习模式”都可以提供过程信息(如来自于火或城市区域的大气扩散研究以及区域海洋传输研究)。
- (5)用多元限制方法模拟生物、物理和生物化学过程的耦合。
- (6)为了在多重限制研究中得到应用,碳循环过程模型的发展集中在适宜参数水平的模拟(注意许多过程模型为了使用多元限制方法过多地参数化了)。
- (7)发展经验性的非线性查询方法。
- (8)通过使用多重数据源的子数据库更好地对模型的不一致性进行验证。
- (9)进一步加强不确定性分析,特别是有关非线性反演的内容。

不确定性及优先研究领域

尽管最近10年间相关研究已经取得了很大的进展,但是仍然有许多的不确定性存在:

- (1)由于观测网络的匮乏,目前的全球模式和观测都不能以可信的精度来揭示区域、洲际或年际时间尺度的碳源/汇状况。如,在北美和欧亚大陆之间的北半球碳汇的划分仍然还不确定。
 - (2)用于确定碳循环主要通量空间分布格局的“从上到下”和“从下到上”的两种方法间还缺乏系统的、令人信服的一致性。区域、洲际或流域尺度的碳收支与全球的分析结果还存在出入,特别是在南部海域和热带陆地等这些关键地区。另外,对一些关键通量,如与土地利用变化相关的通量的估算只采用了“从下到上”的尺度化方法,从全球看还存在很大的不确定性。最近的证据表明,一些横向的碳传输及海岸带对区域碳收支的作用比以前预想得强烈。
 - (3)主要碳通量的时间格局以及碳贮存在超过几年的时间尺度上仍然还不清楚。无论是通过区域分析还是通过生物化学的方法仍然无法判断那些碳贮存对东方站冰芯或短期记录所显示的长期全球大气CO₂浓度升高具有重要作用。
 - (4)目前全球海洋通量格局状况只能通过分析几十年的观测资料来了解。但是这一期间通量的空间格局已经发生了改变,这就使得对某年甚至10年的通量估算存在很大的不确定性。估算的精度取决于对一些空白区域进行时间和空间插值的精度。
 - (5)由人类活动所引起的碳通量的时空分布格局以及人类活动对碳通量的影响过程还不确定,如土地撂荒、人为陆地碳汇、矿物燃料的燃烧等对碳通量的影响等(IPCC, 2000a,b)。
- 综上所述,对科学主题1的优先研究领域为:当前全球碳循环过程中主要碳库及其通量的时空分布如何?
- 1.大尺度(洲际、海洋盆地)的碳通量和贮量的空间分布格局如何?
 - (1)确定热带地区的陆地碳收支,特别是土地利用变化对碳排放的影响。

- (2)确定北美和欧亚大陆间北半球陆地碳汇的经度分布以及欧洲和亚洲间的欧亚碳汇经度分布。
- (3)确定海洋碳源、汇及贮量的大小和空间分布格局，特别在南大洋。
- (4)确定从陆地到内陆湖泊水体再到沿海区域与水流相关的碳通量和贮量以及沿海区域与远洋间的碳交换。
- (5)确定由于水或风的抬升、运移及沉积对全球碳收支的影响。
- (6)确定非CO₂气体（甲烷或挥发性有机化合物）在全球碳收支中的作用。
2. 区域或亚区域碳通量与全球碳循环的相互作用如何？
 - (1)确定海洋生物泵和溶解泵的时空动态以及它们在区域和全球碳平衡中的作用。
 - (2)确定目前关键陆地生物群区（热带、稀树草原、中纬度地区、北方林、苔原）碳收支发展趋势。因为随着耦合碳与气候系统的全球尺度的变化，这些关键生物群区的碳收支亦在发生改变。
 - (3)发展用区域或亚区域碳收支限制全球碳收支的方法，反之亦然。
3. 组成全球或区域尺度碳收支的碳通量或贮量在季节或年代际尺度的变化如何？改变的原因是什么？
 - (1)确定海洋、陆地生物圈和人类碳排放波动对全球碳收支的相对作用。
4. 人类对碳循环，包括矿物燃料燃烧的释放和土地利用排放影响的时空分布格局如何？
 - (1)量化人类影响的核心区域（农村或城市，特别是人口上百万计的大城市）或地区（工业或农业地区）的碳通量和贮量。
 - (2)解决历史上和当前关于土地利用和土地覆盖变化速率与格局测量的不一致。
 - (3)确定人类活动在热带陆地，特别是土地利用变化引起的碳源中的作用。
5. 碳循环变化的社会影响如何？
 - (1)分析碳循环变化的脆弱性、适应性的社会和区域格局。

主题2 过程和相互作用

研究目的

碳循环过程中各碳库间的碳通量和储量受一系列过程支配，包括：

- (1)大气、海洋和河流中的物理过程。
- (2)陆地、海洋的生物和生理生态过程。
- (3)生物地球化学转变。
- (4)自然和人类对陆地生态系统的干扰，如火灾、农业和砍伐。
- (5)人类使用矿物燃料引起的碳排放过程(如能源系统)。

这些过程控制着全球碳循环及其对人类干扰的响应（如陆地碳汇的饱和，热盐循环的稳定性和海洋生物泵的特性）。

深入理解上述过程的基本机制以及在这些过程相互作用时的影响因子是必要的。这对于理解碳循环的现状与未来动态、认识并阐明碳循环的关键过程和机制之间的相互作用与反馈具有重要意义。同时，有关这些过程的理解对于诊断和预测工具的发展(第三部分的行动计划1.2, 2.2 和 2.3)，并最终整合生物物理过程和人类活动过程也是必需的。诊断和预测工具的发展使一些关键系统阈值（如，脆弱性）的确定、减排措施的选择及其减排潜力的评估成为可能(行动计划2.3)。

研究基础

通过田间观测、室内研究、田间模拟实验和过程的模拟研究等途径已经对碳循环的控制过程(尤其是这些过程的机制)有了深入理解(Walker et al., 1999; IPCC, 2001a; Field and Raupach, 2003)，主要包括：

1. 海—气间的净碳交换量主要为一些物理过程控制，包括海水温度突变层和深层水域之间的流动过程(溶解泵)以及碳从海洋表层水域到深层水域再分配的生物学过程(生物泵)。
2. 生物泵控制的一个关键生物学过程是大型浮游植物将颗粒碳从海洋表层向深层的输送(图12)。如果不考虑大尺度洋流变化带来的影响，在未来大气CO₂浓度升高情景下，海洋对大气碳的吸收将增加。
3. 一系列反馈过程控制着陆地表面与大气之间耦合的能量、水分和碳交换，使得这些通量对干扰(如土地覆盖的渐变或转型)的响应应具有显著的尺度依赖性。这些反馈包括植物对大气温度和湿度、土壤温度和湿度的生理响应。

4. 目前北半球的碳汇是多过程共同作用的结果, 包括森林再生、大气CO₂浓度和氮肥施用、气候变化、土壤侵蚀和淡水的累积作用。对这些过程的相对重要性还没有完全了解(图13)。

5. 尽管未来几十年预期的大气组成和气候的变化将导致陆地碳汇的潜力增加, 但该增加不可能一直持续下去, 陆地碳汇的强度将最终稳定, 继而下降。

6. 在高CO₂水平下(>550×10⁻⁶), 由于水和养分不足等环境条件的限制, 陆生植物的光合作用将快速地达到生理饱和状态。

7. 土地利用/覆盖的变化是中期(几十年)气候和碳循环变化的主要驱动因子, 而气候对土地利用/覆盖变化的响应又将对土地的管理措施产生反馈。

8. 在大尺度(从区域到洲际)水平上, 决定陆-气CO₂通量的大小和方向的因素包括:

(1) 极端气候事件(如, 干旱、季节温度的大幅变动、大尺度气溶胶含量扰动像火山喷发等引起的辐射变化);

(2) 火灾、砍伐发生的频率及其他大面积的干扰将导致陆地碳大量而迅速地流失, 其后碳储量的恢复将是一长期而缓慢的过程; 全球陆地植被的净第一性生产力(NPP)大约为57 PgC a⁻¹, 其中5%~10%的碳将通过燃烧(作为燃料或者由于野火等)返回大气中;

(3) 环境压力或土地利用变化导致的植物物种分布和生物区系边界的变化将影响大面积碳库的储量和周转(例如, 常绿林转变为落叶林, 森林转变为草地或草地转变为林地, Archer, 1995; Hibbard et al., 2001)。

(4) 生物多样性消失和外来种入侵可能影响碳、养分(尤其是氮)和水的保持及其利用效率(Schulze et al., 2000)。

9. 非稳定状态和多态平衡状态可能在组成物理气候、水文、碳和氮循环的耦合生物物理和生物地球化学系统中发生。这可能由大气、陆地、海洋和冰川之间的能量和物质交换的非线性变化及其反馈作用引起。如El Niño 南方涛动(ENSO)现象、北大西洋的热盐环流的减缓或停止, 冰川反射的减弱(Ghil, 1994)和荒漠化(Ganopolski et al., 1998)。

10. 气候、大气温室气体浓度和人类对碳循环的干扰之间有强烈的相互作用。这正引导着人类进行全球干预, 如采取组织和制定UNFCCC及《京都议定书》的形式, 二者都是朝着减少温室气体向大气的净排放而制定的政策(图14)。

研究现状

就碳循环中的生物物理过程而言, 观测和模拟实验是阐明和验证有关控制碳(以及水分、养分和能量)在构成循环的各库间的流量及转换机制的重要手段。同时, 这些工作也促进模型的参数化。关于人类活动, 过程研究对描述社会活动、经济活动、组织管理活动的假设和模型的提出及测试具有类比作用。对全球碳循环研究起关键作用的过程实验和过程模型发展取得的进展如下:

陆地生理生态过程

已经有了一系列有关生理过程的研究网络, 包括前面提到的通量网(Fluxnet)和ILTER研究计划。通量网络

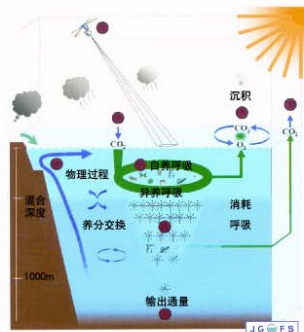


图12 海洋的生物碳泵是浮游植物、生物过程及其反馈途径综合作用的结果, 这个途径在碳从浅层海面(光可穿透的区域)向深海转移过程中起着重要作用

首先, 基于太阳光和溶解的无机营养通过光合作用把大气中的CO₂转变为有机碳, 这是形成海洋食物链的基础。自养和异养的有机体在其生长和死亡时分泌颗粒和溶解物质。这些颗粒携带着碳通过水柱流向海底。因此, 生物泵是调节大气CO₂浓度途径之一, 其他的有物理“溶解泵”。一般地, 通过微生物对CO₂的循环作用使之再返回到大气中去, 产生的颗粒和可溶有机物质的再循环是显而易见的。

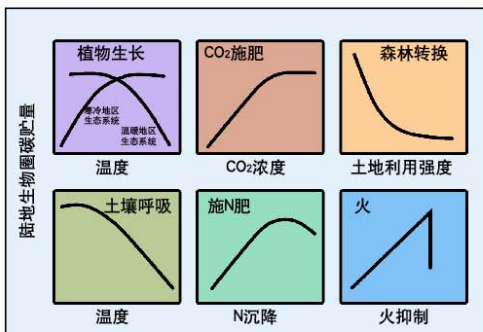


图13 当前陆地碳汇及其在全球变化驱动下的未来动态的多个响应机制(资料来源: Pep Canadell)

的观测研究为揭示碳、水汽和能量通量在日、季和年际等不同时间尺度上的控制因子起到了重要作用。另外, IGBP的核心计划“全球变化和陆地生态系统计划”(GCTE)建立了一系列生理和实验网络, 以研究现在以及未来全球变化情景下碳、水汽和能量通量的控制过程。生物圈—大气圈稳定同位素网络(BASIN)主要研究光合和呼吸过程中同位素的差异, 其目的就是利用大气同位素信号进一步明确全球碳源/汇的评估以及生态系统中各通量分量(如光合作用和呼吸作用)。BASIN的研究表明, 水分的有效性是控制大气CO₂中¹³C的关键因素, 而生态系统呼吸作用产生的δ¹³C值可用于揭示各环境因子对冠层动态和生态系统的综合影响(Pataki et al., 2003)。

模拟实验在发展和验证生理生态和生物地球化学模型中亦起了关键作用。这包括土壤和冠层的增温实验、自由大气二氧化碳富集(FACE)、采用灌溉或遮雨的水分平衡研究以及养分添加实验等(Canadell et al., 2002a; Norby et al., 2001; Rustad et al., 2001)。这些实验的结果对理解未来环境条件下生态系统将发生的变化及其可能的关键驱动因子具有重要的作用。例如, 一些研究表明, CO₂施肥效应将在大气CO₂浓度升高到500 × 10⁻⁶~600 × 10⁻⁶时达到饱和, 这远低于生理饱和点(大约1000 × 10⁻⁶; Mooney et al., 1999)。

这些实验中涉及的另一问题是陆地生态系统的呼吸对诸如温度、水分和养分的有效性等环境因子变化的响应, 尤其是对温度变化的响应不同于以往的研究结果(Valentini et al., 2000)。根据新的研究结果, 过去在全球碳循环模型中对陆地生态系统呼吸速率的估算偏高(Cox et al., 2000)。土壤呼吸和土壤的温湿条件间的交互作用、干旱季节过后降水的影响、积雪覆盖和生长季时间长短的影响等问题也需进一步的阐释, 并加强模拟模型的发展。

需要注意的是, 长期陆—气碳交换的驱动因子不同于短期碳交换。前者包括由于生物群区的再分布引起的生态系统结构的变化以及不同方式的干扰。其关键问题为, 考虑在当前生态系统破碎化条件下气候变化对生物群区变化的瞬时影响以及大尺度生物群区再分布的动态。

干扰、土地利用和管理

干扰和土地利用/覆盖的变化是碳储量的重要控制因素。土地利用/覆盖类型的转变导致了陆地生物圈碳通量大幅度的变化(Houghton, 1999; Pacala et al., 2001), 可导致某一区域由碳汇变为碳源(Kurz and Apps, 1999)。由于保护森林变得愈加重要, 同时发现基于土地的减排措施有助于减缓大气CO₂浓度的升高, 因此现在大量的研究关注于各种土地利用方式对碳汇强度和碳储量的影响(IPCC, 2000b; Canadell et al., 2002b)。土地利用包括造林、再造林、毁林、农业利用和农业弃荒地的演替等。

生物燃烧、野火及其他干扰被认为是温室气体CO₂, CO 和 CH₄的主要来源。干扰导致的CO₂释放在某些时期可与矿物燃料燃烧的碳排放量相当, 目前正进行干扰强度的变化及其对大气温室气体浓度升高贡献的量化研究。像西伯利亚地区木材资源、亚马孙和亚洲热带地区的农田对这些国家的经济发展变得愈加重要; 然而, 这些资源的开发也导致干扰频率的变化以及受干扰的生态系统碳潜力的改变。人类影响、采伐、毁林、野火以及气候变异和变化间的相互作用很复杂, 是各研究领域的关注焦点。例如, 西伯利亚和亚洲热带地区的相关研究、在亚马孙进行的长期大气圈—生物圈实验(LBA)。湿地排水或火烧引起的碳排放应引起更多的重视。

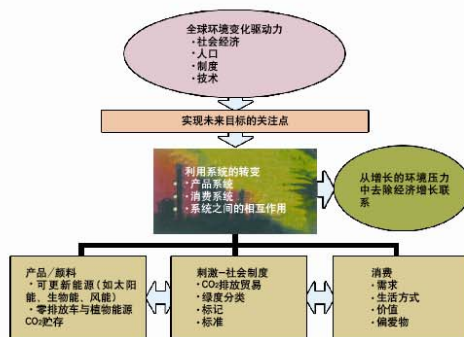


图14 减碳能量系统

由社会经济、人口、制度和技术变化驱动的全球环境变化引起了为满足未来需求的公众的关注。当减小全球环境的影响时, 满足当前和未来的能源需求是一个挑战, 这需要主要能源系统的变革, 其中包括生产、消费及形成相互作用的激励机构。这个变革的可能选择有新能源的替代、CO₂排放贸易的介入和生活方式和价值观的转变等(Courtesy of Vellinga and Wiczorek, 2002)。

海—气通量和海洋上层水域中生物地球化学过程的控制因素

在海洋生态系统中,从年际到年代际的气候波动(北极、北大西洋、北太平洋的南方涛动)以及二者的综合作用已被确定为控制海洋上层水域的生物地球化学过程和海—气碳通量的主要因素(Doney et al.,2000)。研究海—气碳通量的物理和生物学控制机制的方法包括:定期的水文地理调查、时间序列观测台站和其他与碳、水文地理和示踪测量整合计划相结合的海洋观测。南大洋铁释放实验(SOIREE)项目在太平洋赤道海域和南大洋进行的铁元素施肥实验表明,在高养分/低叶绿素区域内铁元素含量高低对碳循环具有重要的影响。这些实验发现,在南大洋表层水域加入铁6周后浮游植物就会有所响应(Boyd et al.,2000)。关于铁元素含量限制作用的研究还有利用SOIREE的研究结果研究气候在冰期和间冰期间的转换(Watson et al.,2000)。未来海洋过程研究将注重阐释海洋的输出通量及其与群落结构(硅藻及其微生物群落环境)的相关性、地理化学功能群(固氮者、钙化者)、物理变异(热带的不稳定波浪、中尺度的旋涡)和微量营养元素示踪等方面。

大气同位素与示踪研究

对同位素信息的解释与综合已经成为理解碳通量过程和诊断大尺度碳通量格局和变异极具价值的工具(在主题1中也进行了适当的讨论)。在这两个领域,同位素的研究将着重以下方面的内容:

(1)通过对大气 CO_2 , ^{13}C , O_2/N_2 的研究,并结合质量守恒的计算以及大气反演,已经对由矿物燃料的燃烧、陆—气交换和海—气交换所形成的进入大气的碳通量进行了量化分析(IPCC,2001a;Schimel et al.,2001)。特别是,大气中 ^{13}C 的观测研究表明大气 CO_2 浓度增长速率的变化主要是由于北半球碳交换的变化而不是南半球碳交换的变化引起,而大气 CO_2 浓度增长速率的年际间变化则是由陆地生态系统而不是海洋生态系统决定。

(2)当前氧收支方面存在较大的不确定性。研究表明,由于 O_2/N_2 测定解释的困难导致了估算海洋中由于温度的增加和洋流模式改变所引起的氧储量长期变化的不确定性。由此可见,目前IPCC(2001a)关于海洋和大气碳汇大小的估算可能是有缺限的。

(3)在几十年时间尺度上对全球及区域范围的海碳储量分布模式的估算受到包括数字模型(经常用 ^{14}C 和其他瞬时示踪剂校准)、DIC的时间演化、海洋 ^{13}C 场以及基于数据集对DIC的人为估算的技术制约(Sabine and Feely,2001)。

(4)陆地生态系统的总第一性生产力(GPP)以及NPP/GPP比率的估算可以从 CO_2 中 ^{18}O 的变化得到(Ciais and Meijer,1998)。

经济技术发展对矿物燃料释放的控制作用

一般认为,矿物燃料燃烧造成的碳排放是碳循环的外部驱动力。因此,对矿物燃料燃烧造成的碳排放进行精确的量化研究非常重要(Marland et al.,2000)。然而,人类已察觉到由于自身无意识地干扰所造成的危险并对此采取行动,全球碳循环未来的发展将由矿物燃料排放和碳—气候—人类系统的相互作用来决定。因此,把矿物燃料的排放整合到碳—气候—人类系统模式中是预测研究面临的一个严峻挑战。

公共制度和碳循环的相互作用

要全面理解土地管理、矿物燃料排放和碳循环之间的反馈作用,需要认识当前人类响应活动中的社会经济驱动因子。关于智利的一个农牧系统研究阐明了土地利用以及气候变化的脆弱性对碳循环中生物物理、社会政治和经济变量的影响方式(McConnell et al.,2001)。一方面,崎岖的地形和发育未成熟的土壤使这些区域具有大量分散的公共土地,这些土地一般用于种植一年生作物。另一方面,个人的私有土地一般分布在相对更富饶、平整的山谷内,种植诸如葡萄等多年生作物,并几乎控制了所有的灌溉水。因此,位置和作物类型是用于鉴别地产价值的两个标准。以上这两种土地利用对气候变化的敏感性和可能的响应肯定是不一样的。

这种对当前和未来碳储量和通量的研究表明我们应根据基于过程水平的理解进行整合。有关个例(如,热带的毁林、集约农业生产等)的比较研究将提供关于土地覆盖变化的人为驱动因素以及地形和历史因素如何影响土地覆盖变化的全面理解和认识。

尺度间的相互作用

过程研究和模型通常涉及到多种时空尺度(如,与陆地生态系统有关的空间尺度有:细胞、叶片、冠层、

斑块、区域和全球等)。无论是时间或空间,不同尺度间的信息转换均是必要的。这些信息可以是模型参数,或是过程模型对过程的描述。我们将从小尺度向大尺度的信息转换称为“尺度上推”或“聚合”,反之称为“尺度下推”或“解析”。

聚合的常规问题包括由植物叶片尺度模型估算冠层净光合作用、基于点模型的国家温室气体清单的陆地碳源汇的预测和在大尺度大气模型中对格点平均通量的标准化。这些问题已经成为一些学科主要评述的内容(Bolle et al.,1993; Michaud and Shuttleworth,1997; 气象学问题; Ehleringer and Field,1993; 植物生理问题; Kalma and Sivapalan,1995; 水文学问题)。

目前正致力于尺度化方法的阐释,并收集数据以对这些方法进行测试:

- (1)几个关于陆地生态系统和大气相互作用的大尺度实验已经积累了多尺度的大量数据(Hutjes et al.,1998)。
- (2)BigFoot计划的研究目标是拟定检验规程和解决尺度化问题,这将促进对卫星遥感资料的理解(Running et al.,1999)。
- (3)陆地生态系统碳通量及相关通量模型的尺度化聚合系统方法正在发展之中(Baldocchi et al.,1996; Raupach et al.,2002)。

碳循环的脆弱性:非线性动态、阈值和机制转换

碳-气候-人类系统的动态可能包含着由非线性反馈及系统的主要组成部分与过程之间的相互作用导致的未知变化和阈值(Charney,1975; Claussen,1998; Falkowski,2000)。碳循环脆弱性研究主要包括:

- (1)洋流的稳定性(如洋流过程中热盐循环的可能减缓或停止)。
- (2)目前已达饱和的陆地生态系统碳汇在未来的碳截留能力(CO_2 施肥,废弃后的森林再生)(Cramer et al.,2001)。
- (3)物候、土壤呼吸、冻融季节动态的变化、永冻层的消融、水位的变化、干旱、雪的丰歉、火和虫灾等导致碳循环控制过程发生变化,从而导致当前陆地碳库持久性的不确定性。
- (4)陆地和海洋系统间的反馈作用,如由于来自陆地沙尘的沉积而导致的海洋NPP的增加。
- (5)社会和政策对碳系统和碳管理的驱动力(这与由于气候变化及应对气候变化所制定的控制大气温室气体累积的政策所带来的危机的理解相关联)。

这些过程大多是由处于变化中的气候、人类系统和全球碳循环之间相互作用所导致的,伴随着加速或减缓大气 CO_2 浓度增加的潜在可能,这些过程的大部分是变化的气候、人类系统和全球碳循环相互作用的结果。这些相互作用表明,为使大气 CO_2 浓度相对稳定,显著减少矿物燃料的排放和增加碳截留是当务之急。

虽然这些相互作用可能发生,但受地球系统复杂组分的限制要定量表述他们是困难的,因为完全耦合的碳-大气-人类模型并不存在(参见下文《综合模型的发展》)。然而,耦合的碳-气候模型可以阐明可能存在的非线性响应类型。这些模型表明,在本世纪中期陆地生态系统碳汇强度将减弱,并在本世纪末期转变为碳源(Cox et al.,2000;图15)。耦合的生物物理和决策模型也得出相同结果(Roughgarden and Schneider,1999)。

综合模型发展

由于我们缺乏对地球系统生物物理组分之间反馈和相互作用的理解,且需要对大尺度人类干扰(如,矿物燃料的燃烧和陆地植被覆盖变化)的重要性进行评估,因此应该通过地球系统的模拟来理解全球碳循环。同时,地球系统的变化和人类对相关问题的理解的反馈也很重要,因为它们可能导致我们管理和使用能源系统的

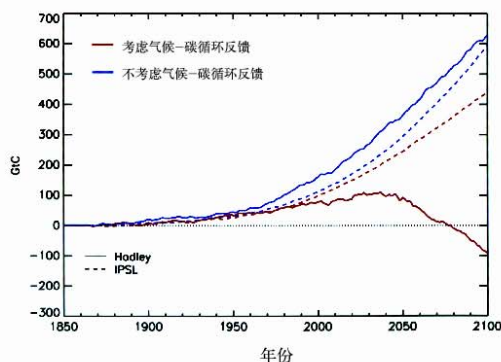


图15 基于两个耦合的气候-碳循环GCMs预测的全球陆地碳(植被和土壤)变化

正值代表陆地碳储量增加,连续线表示Hadley中心研究结果,虚线代表IPSL模型的结果,蓝线代表在没有气候变化情景下得到的结果,红线代表完全耦合模型模拟包括气候碳循环的反馈作用的结果(Cox et al.,2000)。

政策和态度的重大变化。

中尺度地球系统模型(EMICs)能轻松地完成跨越几千年的数据集成,但因为它们比完全基于过程的耦合模型包含着更多的相互作用,因而在对地球系统进行模拟时仍然具有一定的困难。目前,EMICs 主要关注地球系统(包括岩石圈、大气圈和生物圈)的生物物理组分以及诸如有关土地利用和CO₂排放等形式的人为干扰。该领域目前的研究方向之一是如何在模型中更好地描述生命世界(生物圈)和人文因素(人类圈)。这里存在的另一个问题是为充分表现全球尺度的关键过程应该如何选择空间的分辨率。

大气圈、海洋和陆地及低温层的综合三维全球气候模型(GCMs, 同时完全耦合碳循环)现正处于不断的改进中。这些模型能提供大气和海洋传输过程最为真实的模拟,并能把陆地植被过程整合到模型的生物物理参数化过程中。因此,这就能对物理环境因子与生物因子间的相互作用进行模拟。基于上述原因,这些模型可能成为最具前景的预测工具。

所有大型复杂模型面临的一个重要问题就是模型的验证。与其他模型不同的是,预测模型的组分要与气候因素联系在一起。目前,综合模型的验证主要包括4个方面。(1)在模型校正数据的范围内以及超越这个范围的情况下分别测试模型的各个组分(陆地、海洋、大气、经济或社会)。(2)再现历史趋势的能力是验证的关键,或是冰期-间冰期的生物物理组分纪录的再现,或是完全耦合模型的工业时代纪录的再现。(3)通过更替模型的不同模块或子模型可以评估模型的模拟结果对于某一具体模块假设的依赖程度。(4)利用区域尺度生物物理的社会因子变化进行区域模型间的相互比较,从而在亚全球尺度对模型进行验证。

把社会经济因素整合进碳循环模型还包括综合评估模型,如评估温室气体影响的综合模型(IMAGE; Leemans and van den Born, 1994)以及基于对策论的、反映对《京都议定书》社会响应的政治系统模型以及工业/能源系统和工业转型的模型。

不确定性及优先研究领域

对于影响全球碳循环的过程、控制因素及相互作用的理解仍然存在着许多问题,这主要包括:

(1)关键生物物理过程机理的理解仍然缺乏,因此在当前模型中亦没有得到充分表达。这些机制包括:

1)土地利用方式和对陆地碳通量具有控制作用的生态系统生理过程与干扰之间的相互影响以及它们在影响碳源/汇的现状与未来动态时的相对重要性。

2)碳在陆地生态系统各组分中的分配动态及其对环境因子的响应。

3)陆地和海洋系统中异养呼吸作用动态及其对气候变化(尤其是温度)的响应。

4)碳由陆地向海洋的横向传输。

5)在大气CO₂浓度升高条件下,洋流、海冰、化学过程和生态系统动态是如何影响海洋对碳的吸收量和碳汇的格局。

6)海洋生态系统(浮游植物及更高营养级水平的捕食者)的结构和动态。

7)不同海洋区域中养分动态的驱动过程,这些过程随时间而变化,并且在不同的区域具有不同的驱动过程(例如,在北太平洋养分亏缺的海域,可发生与气候变化相联系的生态系统变化的氮和磷限制之间的转换)。

8)与碳在大气-表层水域-深层水域这一连续体中传输有关的生物过程、化学过程和物理过程间的相互作用。

(2)环境变化条件下全球碳循环过程中的一些碳库(如,冻土、湿地和热带森林)存在很大的脆弱性,其排放到大气中的碳亦对气候变化具有正反馈作用。

(3)在探索引起碳循环发生变化的与社会制度、政策有关的驱动因子方面,我们还只是刚刚起步。这些驱动因子包括国际、国家、区域和地方事务的决策过程。深入了解这些驱动因子至关重要,因为人类活动领域不仅存在碳循环研究中最大的不确定性,同时人类对碳循环进行干预的最大机会也存在于该领域。

(4)冰芯纪录显示,在过去50万 a里,大气CO₂浓度一直保持在 $180 \times 10^{-6} \sim 280 \times 10^{-6}$ 的范围内。但是,保持大气CO₂浓度在这样一个范围内波动的机制仍有争议。

(5)更为重要的是,我们对于上述过程如何影响全球碳循环的动态变化以及该影响作用与气候、生物地球化学循环和人类活动等环境因子的关系仍然不明,这就需要碳循环涉及的各个过程间的相互作用与反馈以及由于这些相互作用和反馈赋予全球碳循环的新特性进行综合评估。

基于上述不足提出主题2的优先研究领域:碳循环动态变化的控制及反馈机制(包括人为因素与自然因素)是什么?

1. 控制古生态和工业革命前大气CO₂浓度的机制是什么?
 - (1) 明确控制机制的特征；模拟冰期—间冰期碳—气候系统的时间动态。
2. 当前水体(包括海洋和淡水两个方面)碳汇的各种机制是什么？这些机制的相对贡献及其间的相互作用如何？
 - (1) 量化控制生物泵机制之间的相互作用。这些机制包括营养元素(铁、硅等)含量的增加引起的水体生态系统结构和功能的变化及其对水生生态系统碳汇功能的影响，气候变化和变率对其碳汇功能的影响。
 - (2) 量化控制溶解泵和碳酸盐化学机制之间的相互作用。这些机制包括淡水—海洋表层水域碳通量(冰雪融化、河流输入和降水)变化；碳在表层水域的横向运移和减少；海—气能量、水和CO₂的交换以及气候变异的动态。
 - (3) 确定沉积碳库和淡水水体中的需氧、厌氧在分解途径间的相互作用。
3. 当前陆地碳汇的控制机制、其相对贡献与相互作用是什么？
 - (1) 确定当前陆地碳汇的机制及其相互作用，包括气候变化(如降水、温度、湿度、辐射和气候变异)；大气组成和输入的变化(如大气CO₂浓度升高和氮沉降)；土地利用和管理(如历史的、当前的森林砍伐以及火的管理控制)的变化。
 - (2) 就自然和人类干扰(如火、草食动物的啃食、收获和暴风雨灾害等)对碳吸收、排放的影响进行评估。
4. 大气、海洋和陆地水体中水平碳通量的控制机制是什么？
 - (1) 定量研究全球碳循环变化与海洋、大气碳和能量传输之间的反馈作用。
 - (2) 定量研究陆地—近海—海洋碳交换的关键驱动过程及其间的相互作用。
5. 现存碳汇机制未来的可能动态是什么？陆地生态系统的碳汇将出现饱和抑或出现相反趋势？海洋泵在本世纪将如何演化？
 - (1) 使用多种数据和改进的诊断模型，基于假定的全球碳—气候系统变化情景，建立区域化的未来情景。
 - (2) 对区域预测结果进行综合和验证，进而对全球发展情景实现约束和反馈。
 - (3) 使用长期的海洋观测资料(现存的、未来的水文地理调查、时间序列台站和遥感监测纪录)验证和改善海洋碳预测模型；并用这些模型预测下世纪海洋碳泵的变化。
6. 人为引起的碳通量和储量的控制机制是什么？
 - (1) 阐明各种区域发展途径对碳通量和储量的驱动作用。
 - (2) 阐明生产/消费格局和土地利用变化对温室气体排放的驱动作用。
 - (3) 阐释生产中的能源利用强度和能源生产中碳密度的驱动力。
 - (4) 确定解释电力生产中使用混合燃料的因子。
 - (5) 明确公众和个人活动及二者间的相互作用是如何驱动毁林的速率和影响土地利用实践的。
 - (6) 阐明住宅冷热系统变化的控制因子。
 - (7) 量化并解释运输系统特征的变化。
 - (8) 理解变化的气候循环(例如，ENSO，太平洋年代际涛动和北大西洋涛动)对人为引起的CO₂通量(如，矿物燃料、土地利用、火等)的影响。
7. 自然和人类过程间的反馈是如何加强或削弱人为、非人为引起的碳通量？
 - (1) 发展耦合碳—气候—人类系统的简单(低维的)模型，包括陆地过程中自然和人类的相互作用，海洋生物学、碳酸盐化学和洋流的相互作用以及人类引发的碳循环变化所导致的结果。
 - (2) 建立耦合碳、气候和人类系统的地球系统模型，包括社会经济成分、人类活动和社会制度。
 - (3) 借助模型研究引起气候—碳—人类系统不稳定的可能反馈机制及其阈值，确定产生突变的关键点。

主题3 碳管理

研究目的

碳循环的未来动态是生物圈、地圈的自然动态和人类活动引起的净碳平衡综合作用的结果。受干扰的碳循环的过去、现在和未来动态在主题1和2中已进行了讨论。主题3将重点关注管理气候—人类系统的科学，以此作为人类稳定大气CO₂及相关气候变化的干预点。

另外，产生未来有价值的预期结果或情景的能力对于制订区域、国家和国际层面的政策具有重要意义。直接影响这一能力的因子包括：(1) 人类活动是对全球碳循环干扰的原始驱动力之一，人类如何抉择引发未来发展的不确定性。(2) 人类导致的全球碳循环变化有可能改变全球气候系统，进而影响水和食物资源、环境的恢

复力、生物多样性、健康乃至国际政治稳定。因此，全球碳循环研究不单单是为缓解气候变化的负面影响，而且已经变成一个重要的政治问题，现在正成为关于发展、可持续性和公平原则的一个重要组成部分。构建这种情景成分(如，政策、减排措施的减排能力)和对未来情景有效分析的能力是UNFCCC为实现稳定大气CO₂含量这一目标需要解决的科学和政策之间的关键接口(图16)。

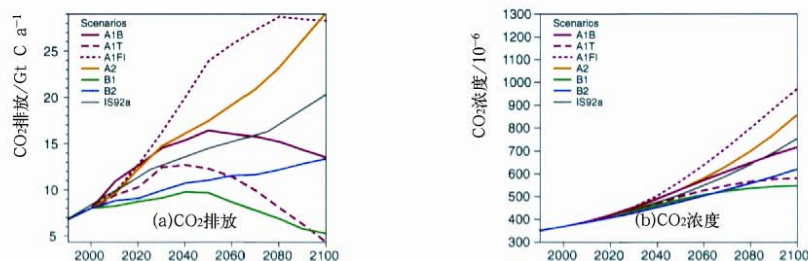


图16 来自于几个大气环流模式的21世纪未来CO₂浓度情景
(a)CO₂排放和(b)CO₂浓度(IPCC,2000a)

研究基础

减排结果的合理接近和能力归因于耦合碳循环模型的综合评估模型的分析、当前趋势的系列分析以及归纳推理。有关这个主题的研究基础包括一系列的“情景组成成分”和对技术发展及创新的评估(IPCC,2000a,b, IPCC,2001a,b,c; Field and Raupach,2003);

1. 尽管实施减排行动，大气CO₂浓度亦将持续增加几十年，甚至随着重大减排措施的实施，CO₂浓度的增加也将达到工业前的2倍时才趋于平缓。
2. 2002年世界原始能源的生产达到380 EJ (10¹⁸ J, 2002年世界能源BP统计评论)。其中,81%来自矿物燃料。
3. 减排途径并非唯一的，每个国家都需要结合其社会经济、政治和环境状况选择适宜的减排途径。
4. 人类对不利气候变化所产生的威胁，大部分可能出现在下一个世纪。
5. 21世纪上半叶能源利用效率的不断提高、造林、低碳能源和天然气的利用将是重要的减排途径。为达到大气CO₂浓度的稳定，还需要创新性的非矿物能源。
6. 据预测，到2050年森林能保持和吸收60~87 PgC，而农田将吸收 44 PgC，与届时矿物燃料释放量的10%~20%相当。
7. 人类对不利气候变化带来的危机将做出反应。1997年《京都议定书》的制定是一个开始(尽管首次委员会期间《京都议定书》对减缓温室气体浓度增加的作用微乎其微)。人类对气候变化威胁的响应在下一个世纪将得到加强，尽管其速度不确定、制度及其可塑性水平亦不确定。

研究现状

减排的多种选择

全球气候问题不可能笼统地通过某一种减排技术或方法得以解决。相反，国家和地区需要根据它们各自的社会文化和环境条件以确定多种减排措施的最佳组合。目前，围绕可利用的减排措施及其减排能力展开了大量研究(Gupta et al.,2001)，其中尤为关注的减排措施有5种(IPCC,2000b; IPCC,2001c; Field and Raupach,2003)。

(1)节约和增效。技术的发展、政策和人类行为方面的变化能减少社会对能量的需求，同时还可以提高经济效益，或是降低生产成本。这方面的例子包括：高效节能设备、交通设施(如，用电力恢复损失机械能的混合的交通工具)，良好的城市规划(如，良好的公共交通)，聚集能量(来自电站的低级热能的恢复和利用)，饮食结构的变化—要求低能食物摄入(如，向蔬菜食品的转换)。这些减排措施的减排潜力是很大的，能达到该部门原来碳排放的10%到百分之几百的效果。

(2)非矿物燃料能源。这些主要包括水力发电、风能、太阳能、地热能、潮汐能和生物燃料(这些作为生物燃料的作物在它的生长过程中吸收的碳至少等于它们燃烧时释放的碳)。到2100年，用于生物质能源作物的土地

可达5亿 hm^2 (约占全球陆地面积的3%), 截留的碳相当于3~5 PgC 。更高级的非碳技术, 诸如, 核裂变或聚变、空间太阳能和地理工程技术也正在研究中。人们期望这些技术在未来的减排中能起到重要作用。

(3) 基于陆地的减排措施(包括减少干扰和增加生物截留)。由于额外的环境和发展方面获益的潜在可能, 如增加土壤肥力和林业活动, 该类型的减排措施吸引着大量的研究者(Yamagata and Alexandrov, 2001)。到2010年, 通过造林、再造林和土地恢复(为《京都议定书》承诺的基于土地的减排措施)形成的碳截留可达1 PgC a^{-1} , 林业管理的改革也能形成0.175 PgC a^{-1} 的截留量。减少毁林也具有较大的减排潜力, 因为毁林导致的碳排放占人为碳排放总量的20%~25%。然而, 虽然停止毁林是一个值得称赞的目标, 但是这对于大多数地区来说, 其实施存在着许多困难或根本不可行。阐明毁林的现实社会经济动机和根本驱动力(如市场、政策)才能以此作为减排的干预点, 这方面的研究正在进行中。此外, 农业部门的减排使人为温室气体的排放减少20%左右, 从全球尺度而言, 这相当于40~90 PgC 。

(4) 海洋生物吸收。对由海洋施肥引起的碳库的效率及其持续时间了解甚少, 研究表明它们强烈地依赖于海洋区域和使用的肥料种类特性(如, 铁、氮和磷)。根据在30°S南部的所有海域连续施铁肥的研究, 估计铁肥的最大固碳潜力为1 PgC a^{-1} (Sarmiento and Orr, 1991)。然而, 潜在存在的不确定性和负面影响是巨大的。在这个选择被政策制定者认真关注之前, 有待于进一步研究。

(5) 陆地和海洋对 CO_2 的工程处置。在深海注入纯液体 CO_2 的研究是一个新生事物, 但当我们致力于构建综合的减排清单时它尤其值得关注。然而对深海注入的生物化学结果和物理特性的理解仍显不足。相反, 在沉积物和岩石中的地质碳库的研究取得了较大进展, 这表明在废弃油气田和盐水层中对 CO_2 处置具有较大的潜力可挖。这是一个防止 CO_2 往外逃逸的相对清洁解决办法。宿主岩石的分解、矿石资源的灭菌或无法预料的对地下水的影响仍值得深入研究。

技术的可行性与减排潜力

一个策略可能达到的最大减排是其技术潜力。对碳量的生物物理估计仅包括可能的吸收和温室气体的免排, 没有关注其他的人为和环境的限制因素。然而, 有效的实际减排潜力要比技术所提供的小(通常非常小), 这是因为由于存在大量的经济、环境和社会多种因素的驱动和约束, 在一定程度上降低了技术的利用率和社会的可接受性(图17)。例如, 对碳吸收和能源作物种植(如, 通过植树以增加生物碳汇)在全球实施的大量限制因素分析表明, 只有2000~5000 MtC a^{-1} 技术潜力的10%~20%在实际中能够达到(Cannell, 2003)。一个高度集成的新的研究领域正在兴起, 以评估可能达到开发实施的大量减排选择、对气候减排的直接效益和可持续发展等。采用恰当的适应气候变化策略也是非常关键的, 政策制定者和社会活动者需要权衡减排和适应的正反两个方面, 其中包括寻求两种政策共赢的情景。

对技术潜力的一些限制作用依赖于价格因素, 表明若有一个较高的碳价将会增加碳管理策略的生存能力。这些限制作用(IPCC, 2001c; Raupach et al., 2003)包括:

经济因素: 经济市场在支配利用资源和政府的利用强度方面扮演了重要角色, 同时它可激发启动低碳能源清单的动机。经济因素包括:

- (1) 市场准入和碳相关产品市场的特点;
- (2) 工业化和城市化途径对现有和新的碳相关经济部门的影响;
- (3) 经济危机因素是否存在;
- (4) 多数国家, 尤其是发展中国家的债务。

对其他资源的环境需求: 提供生活必需品, 诸如食物、纤维和水资源的需求, 能减弱预计的技术潜力。

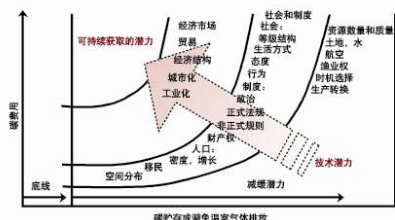


图17 经济、环境和社会制度因素对碳管理策略的减缓潜力的影响

技术能力(上部的水平线, 独立成本)受经济因素(市场、贸易、经济结构、城市化、工业化); 环境因素(对土地的需要、水和其他资源, 废水处理、财产所有权)以及制度和社会因子(等级制度、政治和政策、非正式规则、生活方式、态度、行为)的综合影响。这取决于碳的费用, 即碳减排对于其他目的的量度。政策引起的碳吸收部分是可持续获取的潜力与技术潜力的比率。该图也显示了基本的减排潜力, 反映了碳管理策略在“正常商业”情景下的程度(Raupach et al., 2003)。

环境限制：减排活动可招致环境代价，如废弃物处置和生态影响。

社会因素：国家之间、乡村之间社会因素的差异严重影响减排效果。在个人水平上，阶级结构和生活方式常常与增加消费和作为文化象征的相关碳日用品(如驾车和旅行等)的使用相联系。生活方式也与技术的掌握及应用的多寡相关。在社会水平上，价值观和态度通过教育和社会形象(如当前消费、超前消费和过于保守的消费)决定了对碳管理政策支持的程度。

制度因素：制度决定着管理选择的动机，如在税收、信用、津贴、部门分配、所有制和其他的成分等诸方面。它们也影响在气候或信息政策方面的动机。例如，气候政策包括制度的实行水平、腐败程度和既得利益的范围与特点等。当阐明最后这点时，在公共和私人部门内引起了显著的限制作用，以致影响了技术的开发速度和对系统的选择机会。现有能源技术的所有者可使用他们的经济和技术方面的巨大影响力阻碍可选择系统的开发和应用。同样地，为了达到保护国家利益的目的，政府部门可以使用他们手中拥有的权利去控制在减排技术方面的投资流动或在他们国家的技术应用。

技术转让的制度和时间方面：像淬火系统之类的技术转让体系的一些特点不允许所有的国家和地区去使用最快最适合的技术。这些技术转让的时间是一个有待解决的问题，很多技术专利需要50~70 a的时间才能完全解除限制。

人口统计学：人口的密度、移民类型和分布是另一类限制因素，尤其在严重存在种族隔离的国家。

消费：消费的增长和形式，人口统计学和经济学中不受约束的变化等限制了选择使用技术的机遇。

研究需要超越这些因素的限制，因为社会采取的实际技术有助于改变制度和驱除经济的限制作用。与此同时，对它们的限制或缺乏决定着研究和开发的优先实施问题，因而也决定着技术潜力的知识基础是否与时俱进。这两个关键的反馈作用需要在未来的减排和适应的发展途径中得以考虑以及以上一系列的限制因子也应得到关注。这是因为我们在当前的限制条件下要为未来做出选择，而过去的选择影响着未来选择的种种可能性。因此，所有可能发生的事情对我们来说是不可利用的，未来的途径将会进一步受到限制，不容乐观。

全球碳排放前景

假设未来的发展态势可以进行预测，则今天的政策制定者可以对未来碳排放的情景进行分析。这些分析考虑到与现实趋势的不同及不同社会模型可供选择的规律，同时也将气候减排及其治理的程度考虑进去。这些分析虽然不是预测未来的惟一方式，但它们却探讨了采取相应特殊行动和完善政策与否的长期后果。最近，Nakicenovic et al.(1999)和IPCC关于排放情景的专门报告(IPCC, 2000a)对此进行了分析。

一个重要的研究领域是探讨减排途径与费用的无碳减排水平(或“正常商业”的其他本底情景)与需要稳定一定浓度水平(正如UNFCCC所强调的那样)的差异。即使在“正常商业”情景IS92a——假使到2100年由发电产生的碳排放为75%以及比1990年全球石油和天然气生产提供更多能源的商业生物量——亦不能达到在本世纪稳定CO₂浓度的目标(Edmonds et al., 2003)。因此，本世纪末达到稳定大气CO₂浓度的任何排放情景都将需要在技术和政策方面有新的巨大进展。对基于社会经济与碳耦合模型得到的一些情景进行分析有助于进一步探讨需要改变的程度和代价及制定最佳时间表。

情景是实施大量技术变化的制度(在社会组织的各级水平的制度)需求的工具。因此，情景将有助于确定在设计、协调和执行旨在稳定大气CO₂浓度的高效气候模式中的前景。

不确定性及优先研究领域

在利用多种可选择的途径试图发展能源系统之前，需要认真研究环境、经济和社会的后果。效率、公平和可持续性之间的权衡补偿导致了从一个选择到另一个选择的转变。完善发展综合技术、经济、制度、环境和社会因素的情景是澄清补偿机制的需要，需进一步展开详细的分析研究。

在大多数地方，运输系统依赖于矿物燃料的燃烧。这直接关系到人类的交通需求和碳循环之间的联系。运输排放的CO₂量占整个人类排放总量的25%~30%。此外，还有交通工具的制造、道路建设和水泥生产等方面亦排放了大量的CO₂。有关交通系统设计的问题来自于3个方面：技术、区域尺度和复杂性以及制度。这些问题需从各成分间相互影响的复杂动态关系来考虑。

因此，对未来情景或发展变化规律的研究包括诸如那些早期列出的发展和验证“情景组成成分”以及研究他们之间的相互作用及其反馈(包括特性和不一致性)。为政策制定者提供较好的决策支持工具的可靠评估

是解决这些问题的关键所在。

然而，在给定的大量生物物理和社会经济限制条件下，尽管这些限制因素难以预测，但实施稳定CO₂的途径以达到最终控制目标浓度是非常重要的，而这并不是命令和控制过程的结果(Vellinga and Herb,1999)。因此，发展适应系统以明确并加以利用出现的干预点和机遇，并根据这个系统的现实属性，采取最终稳定CO₂水平的途径，以达到稳定其浓度的目标。

基于这些不确定性，提出主题3的优先研究领域是：未来碳—气候—人类系统将如何变化？人类对这一系统进行管理的干预点和机遇何在？

1.人类何时才能对碳循环变化做出响应？如何响应？

(1)设计减排选择的清单，这些选择在不同地理、环境、社会和经济条件下必须都是切实可行的。

(2)探索减排无意识选择结果的潜力，评估持续可行的曾被认为是负面影响的潜力。

(3)确定减排选择引起的其他间接利益及其与适应对策之间的相互作用(如双赢的减排选择)。

(4)研究分析各种政策选择的相对优势(如排放贸易，碳吸收)。

2.碳循环的自然动态怎样？人类活动反馈如何影响未来大气CO₂浓度？

(1)在给定的自然碳循环进入未来动态情景下，确定稳定CO₂浓度途径的潜力范围。

(2)评估采取减排清单后对碳和气候变化的影响及人类行为变化的反馈作用。

(3)探讨基于未来陆地温室气体净排放的非技术因素的影响。

(4)探讨与减排协议相关的区域和城市发展的可供选择途径。

3.什么行政因素需被克服以鼓励基于经济考虑的矿物燃料的其他选择？

(1)研究慢速和快速利用能源制度的影响及其对能源利用强度的影响。

(2)确定工业和非工业国家、社会、自然、经济和技术条件之间能源利用的差异，这些因素解释了能源强度的差异。

(3)确定和量化指导私有能源部门朝着开发低能技术和市场迈进的技术、经济和社会的驱动力。

(4)在能源和材料使用上确定消费者的需求和表现。

(5)探索如何从对碳循环影响中部分或完全地分离出行政因素的影响？

4.世界上不同国家和地区的机遇和干预点如何？

(1)确定生物(陆地和海洋两个方面)减排选择的时空机遇。

(2)确定基于减排选择的能源系统的时空机遇。

(3)阐明人类选择在未来开发有效选择中的影响。

5.制度在决定自然和人类对碳—气候系统变化响应的作用如何？

(1)确定制度、社会心理和技术管理对显著减轻有害环境影响起作用的交易、投资和生活方式的可能影响。

(2)探讨有效稳定温室气体浓度的制度、监测机制和可塑性机制，它们演变的可预测性？

(3)研究UNFCCC和《京都议定书》所提出的措施的影响和效果。

(4)探讨设计、协调和实行一个更有效的气候制度的前景。

6.在中长期气候变化影响情景下，气候—碳系统的变化对不同社会、区域有什么样的影响？未来的情况又怎样？

(1)研究敏感的社会经济部门和地方将如何应对这种变化？

三、实施战略

实施战略围绕3个科学主题来组织：(1)格局与变率；(2)过程和相互作用；(3)碳管理。每个主题分为3项行动计划。这些行动计划是GCP执行期间的主要研究领域。在每项行动计划内，有一系列研究任务。这些研究任务有的是相对独立的研究单元，有的是逐渐实现总目标的组成部分(图18)。同时，它们的目的是进行全球碳循环或它的组成部分的阶段性综合、发展交流的具体产品以及提出GCP项目相关研究者所能达到的范围。

这一部分描述了GCP项目10 a宏伟研究规划的一套初步行动计划。GCP网站(www.globalcarbonproject.org)将定期提供该实施战略的最新进展和一些行动计划执行情况的相关信息。

3个主题的行动计划将同时展开。这就要求多个部门之间加强多学科的合作以成功推动全球碳-气候-人类系统的集成。尽管一些研究团队在特定行动计划中处于领导地位，但每个行动计划最终目标的实现需要实施战略的其他研究团队的坚实支撑。

该研究早就在一些GCP的倡议计划，如IGBP, IHDP, WCRP的支持下联合进行，它们绝大多数是具有学术意义的碳循环研究。同样，碳循环方面的亚全球研究工作也通过许多国家和区域的碳研究计划得以开展。GCP将通过促进协作以达到更高层次的集成，并提高这些研究的价值，从而使GCP有能力提出更广阔的全局碳循环研究前景。

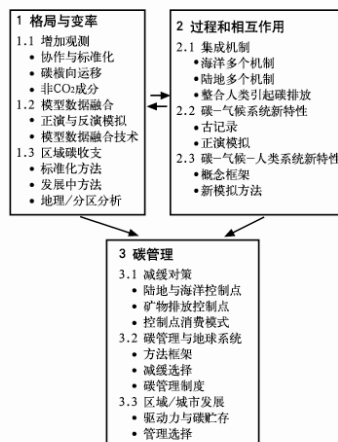


图18 全球碳项目实施战略

主题1 格局与变率

行动计划1.1 加强主要碳储量和通量的观测

许多区域和国家的碳循环研究项目具有通过建立共同的协议、共享数据、提供为新的应用服务信息的快速传递和技术以及在与合作项目中共享资源以达到相互补充和增强的潜力。然而，目前这些研究项目的合作大部分依赖于研究者个人的合作。许多国家正在寻求增强研究的国际合作，但是国家和区域已有研究项目的信息很难获取。并且，没有旨在弥补各方面相互融合、本该可以推荐的全球性战略。在这种情形下，GCP将在国家和区域观测和实验项目的参与下做出以下贡献：

- (1)提供合作研究的机会以增强实验观测的价值；
- (2)促进技术和方法的标准化以提高结果的可比较性；
- (3)鼓励项目内的结果和方法的快速交流；
- (4)除大气CO₂外还包括对非CO₂的碳输送途径；
- (5)通过模型数据融合，提供跨海洋、陆地、大气和人类等方面的碳循环集成研究方法；
- (6)为提高国家和区域的碳项目网络设计和协作水平提供建议。

为了达到这些目标，GCP需要研究区域或单个组分碳循环的多种研究团体参与，这些研究团体可以有不同程度的正式协议。

这个行动计划的一个重要方面在于推动技术和测量方法的标准化，使结果间的相互比较和量化评估成为可能。譬如，许多观测和实验计划基本的标准亦不存在或采用SI单位，尤其是大量的实验数据和方法不能得到高水平的融合。

任务1.1.1 碳储量和通量观测方法的统一和标准化

海洋：GCP和SCOR-IOC顾问委员会在海洋CO₂的协作已经建立起来，即国际海洋碳协作项目(IOC-CCP)。这个项目将鼓励全球尺度海洋碳监测工作的协作，包括CLIVAR计划中WOCE部分的新启动项目以及作为海洋-低层大气研究(SOLAS)一部分的表面CO₂分压及其时间序列的观测。相似的协作也在大气-

海洋CO₂通量和海洋CO₂沉积测量方面进行。IOCCP已经在校准并建立已有的Web信息以发展用于协作工作的模式,包括推动协作的周期性工作组(<http://www.ioccp.org>; 图19)。这将需要提出新的国家和国际项目以及其他项目以更好地合作和利用有限资源。

陆地: GCP将推进陆地观测、校准和大量网络数据处理及各国已有全球数据库的标准化, 如森林清样调查资料、通量塔(Fluxnet)、土地利用变化(FAO、UNFCCC)、生物燃烧(火工作组)以及控制实验。GCP注意到大量工作组已经开始这方面工作(如, GTOS), 并将与他们一起继续推进这一工作。GCP也将尽可能地为陆地观测与大气观测和海洋观测网的协作提供联系。

大气: 几个全球计划正在推进大气观测的标准化, GCP将与它们一起提出质量评估/质量控制可比性方案。这包括GLOBALVIEW计划(该计划在14个国家的100多个站点进行了统一的观测)和大气成分观测的GLOBALHUBS方案, 该方案通过世界气象组织(WMO)和国际原子能机构(IAEA)共同召集的观测专家会议来推进观测方法与标定的标准化。GCP也将与其他相关研究组协作开展如下观测: O₂/N₂测量、大气潜氧(APO)、稳定同位素(GCTE-BASIN)、水分和热量等等。最终, GCP将从空间及其与数据同化方法的联系和验证方案方面推进大气CO₂测量的发展。

人类: 有一些与人类活动密切相关的碳储量和碳通量需要标准化并使之可用于一些主要用户, 如碳收支和大气反演计算。这些观测包括矿物燃料CO₂释放以及树木砍伐、废渣填埋、农业活动等土地利用引起的CO₂排放观测的适宜时空布局。GCP将在特定地区与多个研究团队密切协作以确保国家和区域工作的协调以及在一些关键应用中的沟通。

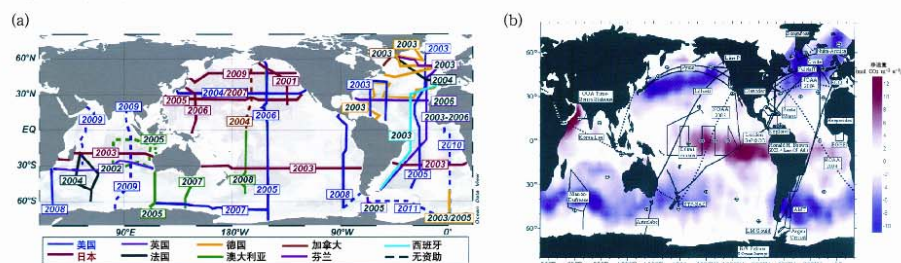


图19 IOCCP(任务1.1.1)的首批结果

(a)与碳系统观测相联系的水文地理剖面全球分布图(实线表示已经资助的观测, 虚线为计划中的观测); (b)已有和已计划中的近表层CO₂分压观测的全球分布图(实线表示已经存在的观测, 虚线表示计划中的观测, 标志表示船名或计划名称, ⊕表明已计划和已存在的时间系列站对表层CO₂观测的初步估计)。背景图显示取自Takahashi et al., 2002; Sabine and Hood, 2003。

任务1.1.2 碳横向运动的观测

河流运输。GCP将优先在2个领域开展工作:

(1)淡水水体的碳汇。不久以前, 人们还认为河流中的碳在运输过程中和海岸区域大部分被氧化了。然而, 现在有确凿的证据表明其中的一些碳在大型水坝中沉积了下来, 形成了临时碳汇。GCP将促进这方面的研究开展, 以提高在区域和全球尺度上对陆地和水坝间碳转换的精确估计以及这些水体碳汇能力的评估。

(2)海岸带是碳源还是碳汇。海岸带是碳源还是碳汇仍然有很大的不确定性。GCP将通过对已有和最新数据的收集与分析, 推进海岸带碳动态的研究, 主要包括: 1)量化不同类型大陆边缘的水平碳通量; 2)评估大陆架碳沉积的重要性; 3)综合与评估大陆边缘及途经大陆边缘的碳通量。

风输送。碳的风输送是全球碳收支的一个小分量。然而, 沙尘暴可以跨区域输送大量的碳以及许多其他重要的养分, 如铁和硫。在碳沉积的区域, 风将影响碳的源和汇。GCP将在侵蚀研究网络的参与下量化易发沙尘暴区的碳移动以及淡水水体及海岸带由于养分输入引起的碳源/汇变化。一些案例研究将获支持。

贸易。许多矿物燃料被开采, 许多生态系统被利用, 在一些情况下, 矿物燃料开采和生态系统利用的强度非常大。以矿物燃料、木材或食物形式的碳通过国内或国际贸易被横向输送。在一些地方, CO₂被释放到大气中(如矿物燃料燃烧或食物)或被积累起来(如家具), 而不是在这些地方被固定的。尽管由于贸易造成的碳源和汇

并没有全球影响,但在区域水平它们影响着碳的源和汇格局和变率。GCP将运用农业和森林统计学方法整理并综合这些数据,以期能够以地理参考数据的形式图示因贸易而导致的碳通量。

任务1.1.3 其他相关碳化合物的观测

GCP将在以下2个领域优先开展工作:

(1)非CO₂气体也贡献于全球增暖。它们较短的大气留存时间和增温潜力使它们成为短期增暖和减缓变暖趋势的研究对象。为了限制这些温室气体特别是甲烷的区域和全球收支, GCP将综合可获取的数据并用于增强观测系统。

(2)黑碳是生物燃烧的主要产品,因其难以分解而成为长期碳汇。GCP将综合这些数据并鼓励新的研究以加深全球大量易发火区域,包括热带稀树草原、温带森林和北方林,黑碳的数量和质量的理。黑碳残留物的全球性评估将会被提出。

行动计划1.1的成果

(1)主要国家、区域和全球的碳计划及项目的信息网站(<http://www.globalcarbonproject.org/carbonportal.htm>)。

(2)提供海洋观测、相关研究组活动及合作研究最新信息的基于网页的信息工具。这个网址将向GCP-CO₂专家委员会的IOCCP提供基本信息(<http://www.ioccp.org>)。

(3)在IGOS-P的IGCO参与下的优化观测资源,确定合作观测计划潜在科学价值的定期建议。

(4)与观测计划和区域/盆地计划一起建立的较好的观测方法和观测一致性要求的指导规则。

(5)标准化用于全球碳收支估算和模型验证的数据库,包括海洋、陆地、大气和与人类活动有关的碳观测以及推进GLOBALHUBS计划开展全球CO₂浓度和同位素的相互校验。

(6)编辑和更新现有数据库,包括溶解无机质和河流系统中的有机碳传输以及水库和大陆架碳沉积的最新估算。

(7)对贸易引起的碳输送强度和时间趋势的最新评估与方法以及农业和林业产品统计资料一致化的新的估算和方法。

(8)现有影响源汇(如CH₄, 黑碳)的人类活动因素数据库的编辑和综合。

(9)对于大量的新的资料的验证产品,如基于MODIS/Aqua的光合作用和表面温度以及空间观测的CO₂浓度的大量验证产品。

与其他项目和行动计划的联系

这项行动计划需要与区域和国家计划相协作,与国际上已经开始运行碳循环研究计划协作。在碳研究方面,GCP需要与IMBER、SOLAS和CLIVAR协作开展研究。在IOCCP行动计划中,IOC/SCOR CO₂专家组通过IOCCP活动参加GCP有关海洋方面的研究。对于碳的横向输送,GCP将与海岸带陆海相互作用(LOICZ)、JGOFS-LOICZ联合大陆边缘任务组(CMTT)和IMBER一起合作。就陆地而言,GCP将与GCTE(如BASIN、侵蚀网络)、土地利用与土地覆盖变化(LUCC)、新的IGBP/IHDP陆地计划、通量网、工业转型(IT)及其他计划一起工作。来自于空间的CO₂研究将与全球能量和水循环实验(GEWEX)一起工作。考虑到协作、标准化和新的操作观测要求,GCP与IGCO的重要联系正在建立,与陆地碳观测对策(GTOS)和GOOS计划的特殊关系亦正在建立。GCP与全球变化的分析、研究与培训系统(START)的共同倡议关系正在建立。南中国海区域碳计划与START东南亚区域委员会的共同倡议关系正在进行之中。与所有国家和区域碳循环研究计划的联系将被建立(如澳大利亚、欧洲碳计划,北美碳计划(NACP),中国、日本、亚马孙大尺度生物圈大气实验(LAB))。

行动计划1.2 模型发展与模型数据融合

模型数据融合正作为综合数据和过程信息的基本工具而出现,以用于预测碳循环的时空格局和变率。模型数据融合技术也为过程研究的综合分析提供了一个有力的工具,特别是那些过程和参数数目巨大的同步研究,也就是我们所理解的多元限制应用。这项行动计划的核心是方法的建立和应用。这些方法可以将大气、海洋和陆地数据融入生物物理和生物地球化学模型中。从大气、海洋和陆地数据和模型的同步应用到关于决定碳

循环格局和变率的问题都特别需要关注多元限制的应用。

任务1.2.1 正演和反演模型的发展

这项任务将产生新一代改进模型。通过模型比较和模型数据比较以及包含人类活动干扰如土地撂荒及其演替、火灾胁迫和施肥等产生新一代改进模型。模型将具有利用合适的观测和实验数据来标定自身的诊断能力。

本项任务基于一系列由IGBP的分析、解释和模型(IGBP-GAIM)任务组启动的研究项目。它们包括：

大气示踪(trace)传输模型比较(TransCom)。TransCom的目的是量化并且诊断全球碳循环反演运算的不确定性。这种不确定性源于模拟大气传输的误差、大气CO₂数据的选择以及反演方法的选择。TransCom3实验对估计的源/汇分布及其对不同传输模型的敏感性进行了严格的评估。TransCom3的近期活动将包括CO₂观测被垂直综合时的输送比较，大气数据直接引入陆面过程模型以及更为先进的表面观测方法的应用，如连续和多物种数据。其他的工作将包括具体化非CO₂测量限制和任务1.2.2中描述的数据同化模型方法的发展。

海洋碳循环模型比较计划(OCMIP)。OCMIP计划的目的是改善全球海洋CO₂通量的评估，理解现有的三维全球海洋碳循环模型的不同之处。OCMIP计划将基于自然和人为CO₂模拟的标准协议继续开展最多12个研究组参与的模型比较。OCMIP-2研究组的一部分将进行新的模拟研究，包括：1)北部海洋碳交换研究(NOCES)；2)基于反演模拟得到的自然和人为CO₂的大气-海洋交换的限制；3)发展海洋模型输出的自动模拟海洋诊断工具(AutoMOD)。

生态系统模型数据比较(EMDI)。EMDI为全球陆地碳循环模型提供了一个与观测的NPP相比较的机会。这个计划表现出来的主要问题是，在假定自养呼吸通量的限制和完善的定量生物物理驱动条件下，以观测的NPP数据测试模拟控制和对水分、碳及其他养分收支的模拟结果。EMDI将利用新的数据集，加全球凋落物数据库、其他的年际NPP观测数据、涡动相关通量比较、栅格数据的年均分析和年际分析以及MODIS的NPP产品组织新的模型-数据比较。

任务1.2.2 模型数据融合技术的发展

模型数据融合可定义为观测资料引入模拟框架以提供：1)改善模型参数或状态变量的估计；2)参数和模型输出的不确定性；3)否定一个模型的能力。该模拟框架中包含了大量方法，包括反演方法(大气的、海洋的、生物地球化学的反演方法)、数据同化、参数估计和多种限制方法。这些方法具有将过程研究、观测和模型联系在一起成为碳循环全球集成的潜力。

该任务主要的重点

- (1)使用合适的参数化过程模型(许多完全的过程模型参数过多)；
- (2)发展尺度推绎方法以在模型数据融合过程中整合小尺度过程信息；
- (3)从复杂数据集中估计参数的方法发展；
- (4)在非线性的反演中不确定性分析的发展；
- (5)基于众多综合碳循环相关观测信息的模型一致性交叉验证；
- (6)使用新的卫星遥感CO₂浓度数据产品的方法发展；
- (7)建立与天气预报在线数据同化的关系，以在这些同化中包含碳循环数据；
- (8)基于观测网络和适宜敏感性分析过程研究的效率改进并发展网络设计方法。

行动计划1.2的成果

- (1)应用新的数学方法和数据流新数据的模型融合方案；
- (2)在正式模型数据融合框架内的当前和计划中的观测体系和分析方法的评估；
- (3)在模型数据融合技术和观测系统方面培训过的许多不同学科的新一代科学工作者。这项工作将由世界上不同机构支持的研究课题资助，每个研究机构将有2~4周时间讨论和事实研究训练，并且将提供全球碳循环的3个分室：大气、海洋和陆地之一的数据同化工具和方法。最终的目的是在地球系统尺度进行数据同化；
- (4)一个基于网页界面的，可用于研究和培训的集成四维数据库；
- (5)训练材料和用于模型数据融合分析的模拟；
- (6)包含数据同化方法、数据有效性和不确定性分析的初步评述以及为地球生物化学研究网络设计的出版物。

与其他项目和行动计划的联系

与大量可操作观测计划的重要伙伴关系将通过与IGOS-P 的IGCO的协作以及与GTOS(和其TOC对策)和GOOS计划的具体联盟关系建立。因为多种数据集参与了数据同化,参与者与许多研究组的伙伴关系将被建立。这些研究组包括:GAIM、GCTE、新的IGBP/IHDP陆地计划、LUCC、SOLAS、LOICZ、JGOFS、IMBER和CLIVAR。作为大气模型的数据融合专家,GCP将与数值工作组(WGNE)的JSC/CAS建立重要联系。与GEWEX的重要伙伴关系将有助于促进对垂直空间和表面计划的全球CO₂观测的理解与发展,如全球陆地/大气系统研究(GLASS)和它的子项目陆面参数化方案(PILPS)以及GEWEX模拟与预测专家委员会(GMPP)。关于全球模拟将通过与GAIM的合作进行。GCP亦将与大量发展模型-数据融合方案的区域碳计划,如欧洲碳计划与NACP建立伙伴关系。全球模拟工作将在与GAIM的密切合作下进行。合作者仍然要从含模型数据融合的区域碳项目参与者中选取,如“欧洲碳计划”(CarboEurope)和NACP。

行动计划1.3 综合的国家、区域和局地碳收支

GCP将促进现有的国家、区域和流域尺度碳收支估算方法的统一,确保其在具有不同社会、经济和环境状况及历史的区域间的可比性。本行动计划将从现有的国家、区域和局地方法出发,提供特定区域碳收支的完整分析。所用方法将依据行动计划1.1(增强观测)和行动计划1.2(模型数据融合)进行修改,使之成熟。本行动计划也将基于驱动碳变化的人类因素及其在关键区域的空间分布记录以及提供碳管理的潜在控制点与行动计划3.3(区域发展)相联系。

行动计划1.3将:(1)比较区域碳收支以获取在全球格局和变率方面的理解;(2)运用区域碳平衡评估以限定全球评估;(3)推进大量空间尺度的可靠碳收支系统的协调发展。

最后一项研究将重点关注与UNFCCC(温室气体清单)和《京都议定书》要求的碳量评估和验证要求相关的多元限制方法(行动计划1.2),以作为新IPCC实践指导报告应用于温室气体清单的制定。本行动计划的最终目的是将前2项行动计划结合在一起,在合适的空间分辨率上给出人类活动引起的碳平衡全球情景。

任务1.3.1 区域和流域尺度综合碳收支评估标准化方法的发展

在过去的10年中,在全球的不同地点,国家、区域或者局地以及部门的碳收支已因不同原因而被建立。对这些结果的比较是十分有限的,因为这些碳收支方案中考虑到的因素和消费构成都不一样。一些陆地碳收支估算考虑了土地利用变化和矿物燃料释放,而一些只考虑了自然生态系统,忽略了直接的人类活动;一些基于基础数据(如,森林清查资料),而另一些依赖于过程尺度的模型模拟。

本项任务目的在于统一不同的分析方法,建立一套通用方法以用于不同尺度的碳储量、碳储量变化和碳通量的综合评估,使之可用于地区间的比较。碳储量和碳通量观测数据的综合方法也将统一起来。许多区域和国家的碳收支,如国家呈交给UNFCCC的报告,源于国家层次的统计数据,而没有确切的地理参考数据。然而土地利用和土地覆盖、气候、生态系统结构、站点的历史和干扰方面的地理参考数据是必需的,它们对直接观测数据运用到新模型以及满足国际社会的核查需要起着重要的作用。

任务1.3.2 示踪和预测区域及流域尺度碳收支随时间变化方法的发展

本项任务的目的在于量化影响碳循环的自然和人类因素的时空格局,并将在碳收支的方法方面拓展与完善任务1.3.1:

(1)增加区域碳收支的时间变化观测;

(2)检测不同形式的人类活动(如,能源、农业、林业、渔业、交通、工业、家政、废水处理)和自然生态系统对区域碳平衡随时间变化的贡献;

(3)量化影响碳循环的人类和自然因素,定量研究全球主要地区人为干扰的空间分布。

社会、经济和环境条件随时间变化的资料将被用于建立历史演变途径。不同的时间尺度(区域碳收支的季节变化、年际变化、年代际变化以及长期变化)将被用于确定不同因素的重要性。对需要降低不确定性的区域、部门和特殊数据的鉴别将与行动计划1.1(增强观测)相联系。

这些数据驱动的区域尺度分析的结果将被用于检验过程尺度模型和行动计划1.2(模型数据融合)发展起来的新的模型数据融合方法,并为大气反演方法提供更多的输入信息。

任务1.3.3 人类活动引起的碳循环变化的地理和分区分析

本行动计划将积极促成一个国际间的初始研究，以比较和分析区域碳收支的变化，全球碳循环的人为因素及其对全球碳循环的贡献。这项研究将从全球关键地区的确定开始，即利用现有的综合评估模型以确定该地区当前的社会、经济和环境条件对近年或将来变化的敏感性。我们鼓励利用多元方法分析这些脆弱区域的碳循环，综合区域评估以实现不同区域间的比较，阐明控制区域碳收支变化的关键人为和自然因素。最初，这些分析将基于现有的区域和部门的碳收支，以后将与行动计划1.2发展起来的模型数据融合和多元限制过程结合起来。

行动计划1.3的成果

- (1)国家、区域和全球水平所有部门的碳收支；
- (2)国家和区域的碳收支以及在全球碳收支中使用由下向上的限制条件的评估；
- (3)关于现有的陆地和海洋碳平衡的国家和区域方法的综述，并为提高这些分析和方法提供建议；
- (4)与不确定性分析和校验技术相联系的改进的碳评估系统；
- (5)作为行动计划3.3中应用的案例研究描述的区域碳平衡及其随时间的变化；
- (6)来自于多个项目和国家计划的数据和结果的完全应用、可获取性和比较将增强国家、区域和全球碳计划的相互关系；
- (7)包括国家和区域碳计划的信息、野外实验和合作与协作的机会、研究议程、亮点和报告等的国际互联网；
- (8)通过合作研究增强对瞬时碳贮量和碳交换时空格局的理解(包括一系列专题讨论和图书)。

与其他项目和行动计划的联系

本行动计划与多个国家和区域的碳研究项目有联系。正在进行的IPCC相关行动计划包括以下已经存在的任务：(1)关于土地利用、土地利用变化和森林的实践指导；(2)对来自直接的人为活动引起的森林及其他植被破坏的清单排放的确定与方法选择；(3)间接的人为活动引起的碳储量和温室气体排放变化的因子区分。与碳源汇相关的SBSTA和UNFCCC活动，如温室气体清单和《京都议定书》报告，GCTE，LUC，新IGBP/IHDP陆地计划，IT，IGCO和GTOS，START，JGOFs，CLIVAR，SOLAS，SCOR-IOC CO₂专业委员会，IMBERT和LOICE以及与国际能源机构(IEA)生物能源任务38关于生物质与生物能源系统的温室气体平衡的联系。

主题2 过程和相互作用

行动计划2.1 控制碳储量和通量的机制及其反馈

本行动计划将促进新的研究和综合，以加深对自然和人类驱动的碳源/汇控制及其空间因果关系的理解。研究重点将放在理解耦合碳-气候-人类系统的各组分之间的相互作用及反馈机制。这种理解是：(1)探求允许人类调整碳循环动态的干预点的基础；(2)研究陆地和海洋碳汇未来动态和稳态性的基础。这二者是稳定大气CO₂浓度的关键。

任务2.1.1 海洋碳动态控制机制的集成研究

这项任务将促进鉴别多种源和汇机理的研究和综合，确定这些机理的相对重要性以及它们之间关乎未来和当前海洋及淡水水体净碳通量的相互作用。也就是说，碳系统的各个过程是怎样工作的？每个过程怎样？综合起来又是怎样？这些过程包括传输和混合、生物碳固定和分解以及它们的相互作用。强调的重点如下：

- (1)海洋生产力和透光层群落结构的决定性因素，如铁的可用性；
- (2)表层海域和淡水水体的矿化过程；
- (3)气候变率和气候变化怎样影响碳在大气-海洋系统中的分配；
- (4)子系统间的相互作用(如，土壤干旱对铁向远洋输送的影响)；
- (5)理解这些机理和相互作用的未来动态，特别是在海洋碳汇可能饱和时它们的表现。

本研究的成果将是碳源和碳汇强度的分布及其驱动机理的评估和二者间的潜在反馈作用。本项任务将使GCP考虑每一个影响源和汇主要机理的数量属性，以建立综合的区域碳平衡。GCP将通过主题1鼓励这些流域和区域综合碳平衡的研究。

任务2.1.2 陆地碳动态控制机制的集成研究

这项任务将促进鉴别多种源和汇机理的研究和综合，确定这些机理的相对重要性以及它们之间关于未来和当前陆地净碳通量的相互作用。特别关注以下方面：

- (1)发展服务于当前陆地碳汇机制的归因、量化及影响因子的方法。强调陆地碳汇的间接人为成分研究，如CO₂和N的施肥效应以及如在Marrakech召开的UNFCCC-COP会议所要求的来自于过去人类干扰的固碳再增加；
- (2)理解因土地利用变化，包括森林、农业用地和牧场的管理所导致的碳源和碳汇的变化；
- (3)理解当前碳汇机制的稳定性以及未来陆地碳汇饱和的可能性；
- (4)在强调量化碳危机、碳库的潜在数量及其对气候和其他驱动力敏感性的同时，研究易受影响的未来碳损失的区域和部门的碳库；
- (5)气候变化对异养呼吸作用(对气候具有重要的反馈作用)的影响。

本任务将生成不同碳汇机制的地点和数量图以及给出影响陆地碳源和碳汇之间反馈作用的空间评估。本项任务将使GCP在考虑每一个影响现在和未来碳源和碳汇的主要机制的定量贡献时，给出综合区域碳平衡。通过主题1，GCP将鼓励这些国家和地区的综合碳平衡研究。

任务2.1.3 人为碳排放的集成研究

本项任务将逐个确定形成生产/消费与土地利用变化格局的驱动因素，这种格局引起了人为温室气体的排放。本项任务还研究不同人类驱动因素和碳排放之间的相互作用、协同作用以及非线性作用。这将需要进行全球范围的典型案例研究，这些案例可被聚合和外推到更大的区域尺度。这些研究将包括具有历史意义的碳变化趋势和最近的碳变化趋势以及与人类活动密切相关的驱动因素和区域间的相互联系(如，一些地区由于牛肉需求增加而导致的森林退化)。

行动计划2.1的成果

- (1)适用于：1)模型应用，2)碳减缓措施和人为干预点确定的机理及其相互作用的更深理解。
- (2)与观测的全球碳通量格式一致的海洋和陆地碳汇机理的空间贡献及其相互作用。
- (3)CO₂与N施肥和森林林龄结构对陆地碳汇影响的综合状况以及一整套服务于陆地碳汇机理解释和SBSTA要求的统一工具。
- (4)易受未来碳损失影响的碳库及其对气候系统(行动计划2.2)的分析。
- (5)增暖对异养呼吸作用影响的综合以及模拟改进的建议。
- (6)增加温室气体排放的人类驱动力的综合(如，生产/消费和土地利用变化的驱动力)。

与其他项目和行动计划的联系

生物物理机制的研究将通过与GCTE,新IGBP/IHDP陆地计划,JGFOS,IMBER,SOLAS和LOICZ的合作得到加强和发展。碳排放人为驱动的研究进程与LUCC,IT,全球环境变化制度因素(IDGEC),IPCC工作组II和III以及气候变化影响和适应的评估(AIACC)密切联系。GCP还将与SBSTA-IPCC建立密切合作关系。

行动计划2.2 耦合碳-气候系统的新特性

新特性是指各子系统之间或组分之间相互作用影响的系统行为。新特性包括多种平衡状态或不稳定状态，如海洋盐环流的盒(box)模型的建立；准周期振荡，如碳-气候系统中冰期-间冰期循环；突发性的非线性变化，如快速气候变化事件以及James Lovelock的Daisyworld模型中的稳态过程。当将人类干扰和响应耦合到模拟方案中并强迫模型运行全球变化引起的未来新情景时，相似的行为可能很明显。

首先，本行动计划将关注增进对碳-气候系统过去变率的理解，特别是冰期-间冰期CO₂的变化。该行动计划中最重要的组织问题是：人类对碳循环的干预能否延缓或加速下一个冰期的到来？尽管已有许多机制被用以解释冰期-间冰期的交替，但是关于地球系统中这种可变性的主要方式仍然没有权威性的解释。在富含信息的冰芯记录给出的大背景中，GCP将考虑碳-气候系统长期变异的现有简单模型。一个重要的目的是确定古气候记录是如何限制内在模型参数，从而设置未来自然碳循环行为的范围。

第二，本行动计划将研究在受干扰的碳循环被作为地球系统内一个交互式成分而出现的其他系统属性，特

别是来自于二者耦合时出现的阈值和不稳定性。直到最近,气候系统的大气环流模式(GCM)还没有考虑气候-碳循环的反馈,而是假设海洋和陆地的碳吸收对气候变化不敏感。包含碳循环作为一个交互式成分的第一个全球气候模式(GCM)试验建议这种反馈可以明显地加快大气CO₂浓度的增加,由此强化了21世纪的气候变化。但是,相关的不确定性非常大。在本行动计划中,碳-气候系统的简化模型(在冰期循环中的内容,如前所述)将被用于阐明一些人类驱动的关键敏感点。并且,这项任务也将专门探究全球变暖背景下海洋和陆地吸收人类释放出的CO₂的可能变化。为此,行动计划2.1提供了机理,行动计划1.2提供了数据融合技术。关于海洋和陆地碳汇的可能饱和应给予特殊关注。

行动计划2.2的成果

- (1)综述耦合碳-气候系统模型的发展,并鼓励气候和碳研究科学家之间的进一步合作;
- (2)模型比较和可获取的器测记录的运用以及用于模型验证和发展的古数据;
- (3)与行动计划1.2相联系,促进适宜的数据同化程序的发展;
- (4)来自于古气候和CO₂记录的气候-碳循环反馈的新的限制;
- (5)基于过程的知识(如,关于未来碳-气候反馈方面的知识,像土壤碳动态、大尺度植被动态以及海洋环流)在模型发展中更有效的应用与表达;
- (6)对人类干扰下可引起碳-气候-人类系统发生可能令人惊奇或突变的深刻理解。

与其他项目和行动计划的联系

本行动计划将与以下计划密切合作:耦合的碳循环气候模型比较计划(GAIM/WCRP-C4MIP), WCRP耦合模拟工作组(WGCM)和古全球变化(PAGES)。加强与行动计划1.2的协作关系,特别是数据同化以及任务2.1关于碳循环变化的影响和机制的联系。

行动计划2.3 耦合碳-气候-人类系统的新特性

碳循环的物理模型、生物化学模型和人类因素模型的耦合正在发展中。这项行动计划将帮助启动这个领域的交叉研究,并关注当所有这些子系统耦合在一起时产生的新特性。它将促进更为详细的预测工具和概念框架的发展,包括从与碳模型耦合的气候系统的大气环流模式(作为行动计划2.2的下一阶段)到基于使然力的模型。该行动计划也将提供一种解释来自这些较为复杂模型的结果的概念框架。

耦合碳-气候-人类模型的构建将从两个方向进行:将物理和生物地球化学反馈引入人类活动影响的基于使然力的模型中以及将人类活动的影响和响应引入气候-碳系统的基于微分方程的模型中。这将是一个很大的挑战,因为不同子系统的模型有着完全不同的基本结构。譬如,物理气候模型和生物地球化学模型通常基于连续的微分方程,而人类系统模型则经常是基于使然力的模型。本行动计划亦将使用其他较简单的模拟工具和概念性的非量化框架以研究大量人类干扰情景下的系统行为。由此建立的模型将提供一些相应的见解以及上述方法之间要求的一致性将对任何一种方法产生额外的限制。

上述潜在方法包括:(1)耦合碳模型的GCM模式;(2)中度复杂的模型;(3)集成评估模型;(4)基于使然力模型;(5)耦合简单气候模型的环境经济学方法;(6)动态系统和对策论方法;(7)最优化/控制论;(8)概念框架;(9)研究系统行为的交互模拟器。

使然力模型是一个研究耦合系统很有前途的领域,因为它们可以更直接地反应系统中使然力的适应和进化行为,无论它们是指单个农民还是国家或全球的制度。

GCP将(1)确定模拟最耦合碳系统的这些人类系统方面的进展,一旦发现何处存在严重的不足,这类模型的进一步发展将得到鼓励;(2)利用这些方法改进模型,并用它们去探究受干扰的气候-碳-人类系统,重点关注可能产生快速和非线性变化的反馈作用。

行动计划2.3的成果

- (1)一本关于耦合气候-碳-人类系统现状与大有可为的新方法的评述著作,包括动态系统、最优化/控制论、对策论、使然力模型等;
- (2)新一代工具(包括新模型)和方法,可用于研究耦合的气候-碳-人类系统,包括对地球系统模型发展的贡献;

- (3)影响气候-碳-人类系统的关键相互作用，特别是与碳循环管理有关的相互作用的确定和特征化；
- (4)在人类干扰的新领域，可能出现的在碳-气候-人类系统中令人惊奇或突变的深刻认识。

与其他项目和行动计划的联系

该行动计划将通过与C4MIP, WGCM, PAGES和使用包括LUCC和IDGEC在内的使然力模型的许多IHDP活动的紧密联系而展开。而且，它也贡献于全球碳计划的主题3。

主题3 碳管理

通过整合碳-气候-人类系统的有效管理和评估的观测知识(主题1)和过程理解(主题2)，主题3将使全球碳计划的总体科学框架得以完善。在这方面，主题3关注的是政策实体和各种国际国内有关气候变化的过程所急需的关于：(1)未来碳循环的进展与动态，(2)干预机会。经历21世纪的地球系统发展是自然过程、人类驱动和人类响应3方面共同作用的结果。

行动计划3.1 干预点确定和减排方案评估

该行动计划的任务包括：(1)确定和评估可能影响碳循环过程未来演变的具体干预点；(2)以可持续发展(即三重底线)为目标，对各种减排方案的减排潜力进行评估。

在政策的制定过程中，减排是指努力调控并最终减少温室气体的排放，同时在碳-气候系统里避免重要的人为改变，由此将消除气候变化作为一个政策问题。换句话说，减排的方法表明了碳循环中的人为干预，由此人类可以影响大气CO₂未来的发展轨迹(任务3.1.1和3.1.2)。其他干预点与消费模式有关，这些消费模式是碳排放的关键驱动因子(任务3.1.3)。干预点是人类直接影响碳循环的控制点。

任务3.1.1 陆海碳交换的干预点

有目的地引导陆地和海洋的长期碳存储为人类减排提供了一个重要的干预点，由此人类可以改变碳循环的动态，在某种程度上影响当前大气CO₂浓度上升的趋势。它包括：

- (1)减少陆地干扰(如避免砍伐森林)引起的碳排放；
- (2)陆地和海洋的生物碳汇的储存；
- (3)在地质和海洋库的CO₂工程处置。

除了缓解温室效应，大规模的碳储存和处置计划在环境、经济和社会文化等方面也各有利弊。一方面，一旦实施的调控与可持续发展的利害关系相冲突时，各种方法技术方面的减排潜力和实际可以达到的减排量之间还有很大的差距。例如，由于大尺度单一林种的种植将减少江河流量及生物多样性，从而限制该人工林在干旱、半干旱地区的种植。另一方面，正面的附带效应将使减排方案在金融的可行性及得到社会更广泛的支持方面成为可能。例如，大规模地造林可以增加土壤的肥力并减少盐渍化，从而为实施这项计划的个人和组织带来额外利益。最后，一项减排方案实施的可行性很可能由其附带的利害关系所决定。

GCP将基于环境、社会和经济标准(即三重基线)对大量的计划和减排措施进行系列分析。这些标准包括：(1)达到减缓气候变化目的的有效性；(2)技术可行性；(3)经济生存能力；(4)社会的可接受性；(5)环境效应而不是气候效应；(6)公平性。对于减缓气候变化上的有效性不仅关注碳截存的量，而且关注该新碳库的稳定性、渗透和核实。对照最近国际评估提供的技术上(或理论上)能达到的减排潜力，进行以上分析可提供更现实可行的减排潜力。

这些分析将从以下方面着手：

- (1)作为案例研究的大规模碳截存计划，该计划的可行性和有效性评估基于三重底线分析；
- (2)一些全球重要的地区(例如，东南亚)；
- (3)全球。

任务3.1.2 矿物燃料排放的干预点

有许多方法可以改变能源生产中碳的强度及经济产品中的能源强度。例如，非矿物燃料能源的生产选择，包括可更新能源、核裂变和聚变以及为增加能源利用效率的选择，在现有能源通过利用废能发电和分配系统

以及在交通部门使用混合或非矿物燃料的车辆以提高能源利用效率。除此之外，也考虑工程学的碳截存，即在矿物燃料燃烧前、中或后从矿物燃料中去除碳。正如任务3.1.1所述，减排方案的评估需要考虑环境、社会和经济3方面的标准(三重底线)。

这些分析将从如下两方面来实现：

- (1)作为案例研究的大范围计划；
- (2)对特定减排方案可能达到的减排潜力的全球分析。

任务3.1.3 干预点的碳消费模式

消费模式是矿物燃料释放和其他环境污染问题的根本驱动力。同时，消费模式应人类需求、需要、价值和喜好这些基本的压力而出现，最终转变为市场活动和生产行为。环境污染已经通过干预生产方面取得了一定的改善；另一方面，由此引起的改变行为和导致社会变革的努力却常常不能取得成功。就矿物燃料释放而言，很可能需要消费模式的基本改变才能产生关键的响应。

GCP将就消费模式和生产—消费系统的演变开展大量的案例研究，以提出考虑到环境和碳的排放的更具可持续性的消费模式；特别是这些消费模式的变化是否以及怎样影响整个生产系统，反之又如何？

行动计划3.1的成果

(1)对于大量减排选择的现实和可持续且可取得成功的碳减排潜力的专业评述论文的分析。这些分析按主要减排选择的类型可归为以下几类：1)陆地生物截存和减少干扰；2)海洋生物截存；3)陆地和海洋的工程CO₂处理；4)非矿物燃料能源资源；5)能源的节约和高效利用。这些分析是针对全球范围的，但是特定的国家和地区按照其地区和全球的重要性将被作为主要目标。

(2)在消费模式水平上，一整套有关潜在干预点的分析和建议。

与其他项目和行动计划的联系

包括国家和国际能源计划；IPCC；IDGEC和IT；GCTE、LUCC、新IGBP/IHDP陆地计划；SOLAS、IMBER，综合评估团体，IEA和全球环境变化与食物系统(GECAPS)。

行动计划3.2 地球系统的碳管理

任何碳减排或组合方案的总体成功取决于许多方面，包括气候变化减缓的有效性，正负附加影响的平衡以及对于合理的生物物理方法实施有利或不利的人类过程。所有方面都有一个很强的时空尺度，这些时空尺度要求给定地区减排方案特定组合的发展以及制度能力的建立，以利用这一机会实现减排。这项行动计划亦将贡献于评估整个地球系统怎样响应于人类活动的必要监测和研究。

这项行动计划将形成一个正式的框架以评估整个系统分析框架中最好的减排方案(任务3.2.1)，为特定地区设计动态的碳减排组合(任务3.2.2)，并为碳管理提供制度以分析、设计和合适的制度评估来提高该碳减排方案组合(任务3.2.3)的有效性。

任务3.2.1 综合减排方案框架设计

这项任务将形成一个正式框架来分析CO₂在碳—气候—人类交互作用过程中的稳定途径，包括在碳减排、适应和其他可持续发展目标之间的正负作用。适应和缓解气候变化的策略需要全面综合考虑，这不仅是因为许多减排策略(如改善农业管理措施、林业管理以及使用清洁能源)对改善气候变化的影响有可能提供有益的帮助，而且还因为适应与发展活动之间的联系。因此，适应与减排方案一起进行联合评估是非常重要的，特别需要关注一些问题，如基于可持续发展观点的有关费用和收益。这样的评估将可权衡利弊，尽可能得出双赢或毫无遗憾的策略。该方法可以检测这些活动对于其他生态系统功能和服务的潜在意义，例如生物多样性的规定与保护、土壤肥力、食物与纤维、非木材的森林产品、气候调控及洪水和风暴的预防。这些服务和功能是关键的，而且与当地社会及可持续的生计问题紧密相联。

利用特殊工具和方法(如计算机模拟工具)且在任务3.2.2设计和评估减排方案的概念框架将被发展，以在总体上直接支持碳管理。这将包括对贸易政策的选择及包括对当前碳源/汇间接影响的整个地球系统响应的评价

和估算。对于投资者介入政策制定、贸易决策及预见政策选择后果和发展途径的方法都需要考虑进去。当快速发展的综合评估作为利用复杂的多学科观点形成相关政策的选择依据就是一个好的例证。这些方法和工具包括：

- (1)综合评估模型和方法，包括模拟工具；
- (2)情景的建立及基于情景的原因；
- (3)转型管理、适应管理及在实践中学习；
- (4)参与方法。

对于这些活跃的研究领域，全球碳计划试图向这些工作提供一个碳前景，如包含碳循环组分的综合评估模型。

任务3.2.2 减排方案动态组合设计

稳定大气温室气体浓度将要求改变能源系统、森林和农业管理及其他人类活动。这并不是单个技术或方法可以达到这个目标。相反，要成功取得更程度的发展、持续和公平的稳定，需要各种减排方案的有机组合。各个国家和地区需要设计各自具体的减排方案组合以与其环境、社会经济和制度相协调。总体而言，尽管相似的模式在两个具有相似情况的国家或地区可能出现，但它们不可能设计相同的组合。实际上，这个组合并不是始终静止的和最好的，而是动态的和不断发展的。

这个行动计划将利用任务3.2.1所形成的框架和工具，并为许多差异巨大和全球性的相关地区设计“最佳”的减排混合方案以最终建立行动计划3.1中所要达到的减排能力。混合方案的设计需要用最小的花费(包括环境)获得最大的利益，同时需要考虑对于减排的促进(和阻碍)作用，并且在它们出现时利用好这一时机。最后，重要的是有长期远见以保证研究结果满足更多的需求(例如，《京都议定书》签约国首先履行义务的阶段)。

以下初步列出了这个分析所选择的地区，包括亚太地区(中国、日本、菲律宾、泰国)、非洲(塞内加尔)、欧洲(德国、西班牙)和美洲(美国、墨西哥、阿根廷)。

任务3.2.3 碳管理制度制定

任何碳管理策略的有效和成功取决于在地区、国家和国际不同水平上的科技、机构和制度因素的综合。通过评估在过去管理环境及相关资源所形成的不同制度结构和设计可以得到更有价值的理解，这需要确定制度、评估工具和评价范例。这些分析可以对什么该做、什么不该做提供更深入的理解，也可采纳边实践边学习的策略。这项任务包括分析制度、机构、科技的选择和策略。在国际层次上，它将包括政权在多大程度上改变政策、调整行为和按照国际协议调整国家政策。在这些分析中，要有一个各种政策选择相对优势的评估(如，排放贸易、碳截留)。

根据进行碳管理所学习到的内容，选择和分析一系列案例研究。这些案例包括成功的蒙特利尔协议、酸雨和有关《京都议定书》到现在为止的进展分析。

行动计划3.2的成果

- (1)评估减排方案组合的正式框架，包括建立计算机模拟工具以测试政策在碳—气候—人类系统中的影响；
- (2)对于被选择的国家和地区的减排方案组合，初步包括亚太地区(中国、日本、菲律宾、泰国)、非洲(塞内加尔)、欧洲(德国、西班牙)和南北美洲(美国、墨西哥、阿根廷)；
- (3)分析各种政策选择的相对优点(例如，排放贸易、碳截留)以及结合减排组合和适应性选择的潜在利益；
- (4)从以往国际环境协议分析获得的对碳管理具有借鉴作用的大量文献；
- (5)有关京都机制—排放贸易、联合实施、清洁发展机制和碳截留选择以及这些机制和减少总的温室气体排放的其他选择方法之间的系统比较的一系列详细研究；
- (6)关于新的制度制订的建议，以最大限度地减少在达到一个假定的稳定情景和基于目前的制度所能达到的减排潜力之间的差距。

与其他项目和行动计划的联系

包括IDGEC, GCTE, LUCC, 新IGBP/IHDP陆地计划和START；SCOR, IOC, CO₂专家组和关于海洋碳截留的IMBER；IPCC第二工作组(影响、适应和脆弱性)和第三工作组(减排)，UNFCCC SBSTA和UNFCCC秘书处；全球变化研究亚太地区网络(APN)，美洲间全球变化研究所(IAI)，全球变化研究欧洲网络(ENRICH)和

GECAFS。

行动计划3.3 区域发展模式对碳源/汇的影响

区域发展途径是社会、经济和政治系统一系列相关变化的结果，它们随着时间和地点的不同而变化，一方面对于碳沉积和流通可能有不同的结果，另一方面反过来对发展过程产生反馈。

城市化和具体规划是整合碳管理到发展中的关键过程。尽管城市及其周边仅占了地球表面的一小部分，但是它们在促使碳循环改变的过程中发挥着巨大的和逐渐增强的作用。未来几十年城市设计和管理的方法将对未来碳循环产生巨大影响。一方面，设计良好的城市可以为减少单位碳排放量提供许多科技机会；另一方面，文化和生活方式随着城市化而转变，将使消费水平、矿物燃料的使用、水资源的利用和垃圾的产生呈上升趋势。

尽管有人认为碳管理正成为发展计划中重要的一部分，很有可能需要考虑的不仅仅是经济和社会发展目标，而且还包括维持其他生态系统物质和服务的能力。各阶层的人们正通过直接的或长期的一系列转化、替代和传输链条而依赖这些物质和服务谋生。因此，我们提议进行一个以碳为重点的研究，以“发展的观点看碳”，同时理解相互作用，特别是生物多样性的保护，纯净水的提供、需求和供应以及农业、水产业和渔业所提供的食物。

团体、政府和个人所采取的许多行动被认为是出于各种理由而非碳管理本身，但是仍就对碳循环产生非常重要的影响。例如，关心城市和工业区空气质量及过度拥挤和延伸的大城市的旅游时间。因此，该计划的关键部分在于研究怎样使地区的、区域的和全球的目标或个人的和公共的目标联系在一起。

全球碳计划将对贡献于区域案例研究的网络进行比较分析。这个区域要足够大，即能包括一系列景观类型(城市、工业、农业、森林)，因此它可以是一个国家以下的地区、一个国家或多个国家(此种情况很少)。其研究重点在于征集案例研究区域，包括城市，这是因为预测城市化对碳排放和截留的重要性。

本项行动计划的重点在于理解区域发展过程中关键的社会、生态和生物物理过程及其相互作用，而理解的最终目的是应用于情景的发展和政策分析。

这项行动计划的关键问题包括：

- (1)不同的区域发展模式对碳储量和通量的影响如何
- (2)社会发展导致不同碳收支结果的关键过程和相互作用是什么？
- (3)碳储量和通量变化与生态系统的其他服务功能(尤其是食物、水、清新的空气以及生物多样性保护)之间最重要的相互联系和相互制约如何？

本行动计划的第一步将是：

- (1)建立一个有关区域研究的国际网络，允许对不同发展途径的碳收支结果进行结构和协同比较。
- (2)确定一系列需要测量和理解的关键变量(或过程和序列群)，通过比较来说明这些研究问题。
- (3)首先开始从世界上征集6~12个区域进行研究，它们统一依靠最小的数据集和共享协议来展开联合分析。这里面需要包括较高比例的城市区域以说明城市化问题。

这些案例研究的分析将包括以下两项任务：

任务3.3.1 区域发展的驱动力及其对碳源/汇的影响

- (1)确定主要的结构和过程，以解释为什么不同区域发展途径对碳沉积和流动有不同的结果。
- (2)在碳沉积和流动的潜力研究案例之间确定主要的不同之处。
- (3)使用各种方法，包括模型和敏感性分析、统计分析和对历史过程的深入总结(如相关的能源使用和政策)来确定不同之处的外在和内在原因。

任务3.3.2 碳管理措施和未来情景

- (1)研究碳管理怎样被整合到发展中去，并提出一些能通过情景和政策分析检验的方法；
- (2)从案例研究的历史经验中确定在碳管理目标和各种服务(特别是对人类重要的服务)之间主要的协调点。

行动计划3.3的成果

- (1)START和GCP将组织许多有关这一主题的研究活动，将于2003年7月在美国科罗拉多博耳德举行的

以“城市化、排放和全球碳循环”为主题的研究活动将是第一个行动计划。

(2)来自世界各地的区域案例研究。许多都包括主要的城市，有着不同的经济和政治背景：1)包括所有的碳收支(尽可能包括各部门和各时间段)；2)分析驱动碳平衡的因子；3)数据的参数化、公式化和测试耦合的碳-气候-人类模型。

(3)记录案例研究的分析与综合的书或专刊。

(4)关于在区域发展中整合碳管理这一主题的指导发展的政策性文件：在哪里，在什么时候它是最值得的？

与其他项目和行动计划的联系

这项行动计划将建立在如下工作的基础上，包括IT过去的工作，CCTE中有关城市生态系统和生物地球化学的新行动计划(和新的IGBP/IHDP陆地计划)，IHDP关于城市化的交叉行动计划以及其他的计划，例如START，IDGEC，IGAC-cities。该行动计划亦将与APN，IAI，ENRICH，ESSP整合区域研究和GECAPS建立区域伙伴关系。行动计划3.3将贡献于行动计划1.3(区域碳预算)和行动计划3.2(碳管理)。

综合与交流

全球碳计划将面向研究和评估实体提供高水平的碳循环相关综合信息，包括格局与变率(主题1)，过程和相互作用(主题2)以及碳管理(主题3)。为政策制定者、教育工作者及公众提供碳循环相关的书籍和网络资源。并根据不同的学科要求，提供碳循环信息产品，以期整个社会达成对碳循环的认识。

高水平综合。主要目的是为了传递碳-气候-人类系统的集成观点和其特殊的组成部分。通过由个人或科学家团体组成综合工作组或委员会，以对研究方向提供快速的反馈，用最快的速度出版。与环境问题科学委员会(SCOPE)的合作综合计划亦将被发展。

碳循环研究结果。这项任务将产生综合的和讨论的文章以处理全球碳循环中未解决的问题，例如生物圈呼吸对于温度升高的响应，或对于研究耦合的碳-气候-人类系统的新工具。其研究结果不仅是对具体问题的最新理解的综合，还包括对新的研究工具和方法的进展和利用提供信息。

交流产品。从来源于这3个主题的实施和综合活动的一些发现的重要性来看，产品发展要适合大众，而不是高度专业的研究实体，例如政策的制定者、政府部门、高等研究机构和普通大众。这样的成果应包括小册子、海报及由通讯专家和科学工作者共同发展的计算机演示系统。两个其他的具体产品将被发展以增进研究结果的交流和传播：(1)网站；(2)国际互联网的碳接口。它将提供许多有关碳循环的研究、政策和教育方面的资源。

成果

(1)综合结果、专刊和书籍。它们是关于碳循环的高水平的热点信息，包括方法学问题等。第一步要做的是2003年碳循环的快速评估计划(SCOPEGCP)，它将对包括碳-气候-人类交互作用的整个碳循环进行综合，每4年1次。沿着陆地碳汇和全球氧化路径亦可以开展类似的工作。

(2)一系列的小册子、海报和网络资源，以向广大读者，包括各种学科的研究群体、政策制定者、评估者、高等教育机构和普通大众提供研究的最新进展。

(3)全球碳计划的网址(<http://www.globalcarbonproject.org>)和国际互联网碳接口(<http://www.globalcarbonproject.org/carbonportal.htm>)，它们包含有多种碳的信息。

能力建设

全球碳计划(GCP)将组织大量与主要研究主题相关的能力建设活动。这些活动将推进新一代年轻的高层次科学家在关于碳-气候-人类系统的高度交叉学科中不断取得进步。一个很好的例子是正在进行的“关于数据分析的夏季短训班”，它将促进在这个新领域的能力建设(见行动计划1.2)。

全球碳计划将与START及该计划的共同倡导者IGBP，IHDP，WCRP和DIVERSITAS紧密合作。计划于2003年建立一个关于“城市化、排放和全球碳循环”的“研究机构”(见行动计划3.3)。同时，全球碳计划将加强与IAI，APN，ENRICH和其他区域计划的联系，在那些目前很少开展碳研究的欠发达地区加强有关碳-气候-人类系统的研究。

时间表

全球碳计划根据最优先和许多正在进行的行动计划初步拟定了一个开展各项行动计划的时间表(图20)。大多数的具体行动计划(如,工作组、能力建设课程、委托综合)体现在策略实施的各个部分,在图20进行了总结。以后的时间表和整个计划将登在全球碳计划网页上,一个主要的中期计划总结将在2005年进行。

管理机构与执行

全球碳计划的工作由全球碳计划框架和实施的主要区域科学家组成的科学指导委员会(SSC)指导。科学指导委员会(SSC)亦将考虑倡导计划和项目的实施行动计划的建议。科学指导委员会(SSC)2年任命1届,最多不得超过6年。主席团的3名科学家由该计划的倡导者(IGBP、IHDP和WCRP)直接任命。执行主席协调全球碳计划的执行政策与实施。以下是2003年科学指导委员会(SSC)的名单。

主席团

Michael Raupach (IGBP), CSIRO Earth Observation Centre, Canberra, AUSTRALIA, Email: Michael.Raupach@csiro.au

Oran Young(IHDP), University of California, Santa Barbara, CA, USA, Email: young@bren.ucsba.edu

Robert Dickinson(WCRP), Georgia Institute of Technology, Atlanta GA, USA, Email: robtd@eas.gatech.edu

科学指导委员会成员

Mike Apps, Canadian Forest Service, Victoria, CANADA, Email: Mapps@nrcan.gc.ca

Alain Chedin, Ecole Polytechnique, FRANCE, Email: chedin@arafl.polytechnique.fr

Chen-Tung Arthur Chen, National Sun Yat-sen University, CHINA, Taipei, Email: ctchen@mail.nsysu.edu.tw

Peter Cox, MetOffice, UNITED KINGDOM, Email: Peter.Cox@metoffice.com

Ellen R.M. Druffel, University of California, Irvine, Irvine, CA, UNITED STATES, Email: edruffel@uci.edu

Christopher Field, Carnegie Institution of Washington, Stanford, CA, UNITED STATES, Email: chris@globalecology.stanford.edu

Patricia Romero Lankao, Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico City, MEXICO, Email: rolp7543@cuayatl.uam.mx

Louis Philip Lebel, Chiang Mai University, Chiang Mai, THAILAND, Email: llebel@loxinfo.co.th

Anand Patwardhan, Indian Institute of Technology, Bombay, INDIA, Email: anand@cc.iitb.ac.in

Monika Rhein, University Bremen, Bremen, GERMANY, Email: mrhein@physik.uni-bremen.de

Christopher Sabine, NOAA, PMEL, Seattle, UNITED STATES, Email: chris.sabine@noaa.gov

初始时间表(2003)

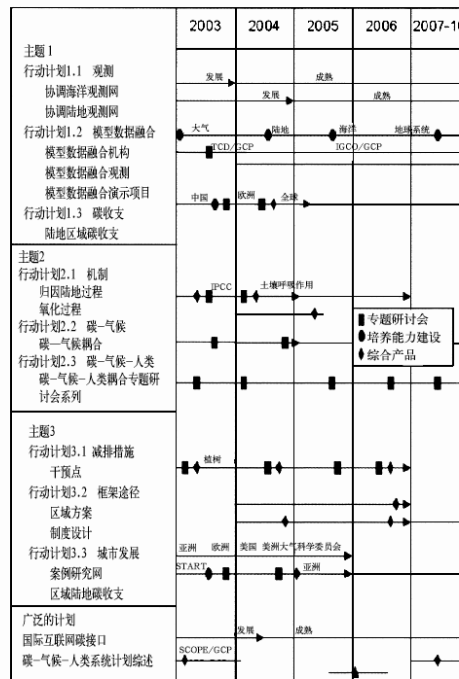


图20 作为全球碳计划10 a实施规划中未来4 a的研讨会。能力建设活动和产品

Riccardo Valentini, University of Tuscia, Viterbo, ITALY, Email: Rik@unitus.it
Yoshiki Yamagata, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, JAPAN, Email: yamagata@nies.go.jp

执行主席

Josep(Pep)Canadell, CSIRO Atmospheric Research, Canberra, AUSTRALIA, Email: pep.canadell@csiro.au

全球碳计划由位于澳大利亚首都堪培拉的国际计划办公室(IPO)支持。一个下一级的IPO将于2003年在日本的筑波组建。全球碳计划还有许多附属的办公室,包括位于法国巴黎的SCOR-IOC海洋CO₂顾问小组和德国耶拿欧洲碳办公室(是位于意大利威特宝(Viterbo)的温室气体协调行动办公室的一部分),其他的附属办公室在美国和中国。另外,全球碳计划将与START地区办公室共同与世界其他地区的研究计划和科学团体保持联络。

全球碳计划国际计划办公室

澳大利亚

Earth Observation Centre, CSIRO Division of Atmospheric Research, GPO Box 3023, Canberra, ACT 2601, Australia, Tel.: 61-26246-5630; Fax: 61-2-6246-5988

Pep Canadell, Executive Director, Email: pep.canadell@csiro.au

Rowena Foster, Administration Manager, Email: rowena.foster@csiro.au

日本

NIES, Tsukuba, Japan

执行主席待定

全球碳计划附属办公室

SCOR-IOC海洋CO₂的顾问小组

Maria Hood, Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 1, rue Miollis, 75732 Paris Cedex 15, FRANCE, Tel: 33-1-4568-4028; Fax: 33-1-4568-5812; Email: m.hood@unesco.org

CarboEurope

Annette Freibauer, Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, PO Box 100164, 07701 Jena, GERMANY, Tel: 49-3641-576164; Fax: 49-3641-577100; Email: afreib@bgc-jena.mpg.de

参与途径

全球碳计划是一个从事环境研究的非政府机构,感谢许许多多科学家自愿时间和精力推动实施策略的执行和发展,是他们使该计划得以运作。

欢迎为策略的实施提供建议和意见,请联系Pep Canadell(pep.canadell@csiro.au)或任何科学指导委员会成员。

四、致谢

非常感谢以下几百位科学家(见贡献者),他们通过参加会议,提供书面帮助,总结已有的成果,站在科学的前沿提出了当前碳循环研究最紧迫的问题,为本文的完成给予了直接或间接的帮助。万事开头难,对Berrien Moore 和 Will Steffen为使全球碳计划变为现实在最初阶段所做的协调工作表示衷心的感谢!

荷兰科学研究协会(NOW)为全球碳计划编制过程的开展与实施提供了最初的资金支持。欧洲议会(DGXII),美国国家航空航天局(NASA),日本国立环境科学研究所(NIES),美国国家自然科学基金会(NSF),环境问题科学协会(SCOPE)和全球碳计划的3个倡导计划:国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)为1999~2003年期间的多个专题研讨会提供了资金。在计划的初始阶段,美国国家自然科学基金会(NSF)通过拨给全球分析、解释和模拟(GAIM)的项目经费资助了Kathy Hibbard的参与。

澳大利亚温室气体办公室(AGO)和澳大利亚科学与商业研究组织共同体(CSIRO)通过支持全球碳计划设在堪培拉的国际计划办公室,促成了Michael Raupach, Rowena Foster 和 Josep Canadell的加盟,正是他们在协调全球碳计划的发展,并编辑了这一实施框架。

贡献者: Francis J Ahern, Canada; Larry Akinson, USA; Georgii Alexandrov, Japan; Arthur Alexiou, France; Keith Alverson, Switzerland; Diogenes Alves, Brazil; Bob Anderson, USA; Mike Apps, Canada; O. Arino, Italy; Paulo Artaxo, Brazil; Beatrice Baliz, Norway; Alan Barr, Canada; Michael Bender, USA; Wu Bingfang, China; Bert Bolin, Sweden; Frank Bradley, Australia; Robert Braswell, USA; Francis Bretherton, USA; Wendy Broadgate, Sweden; Claus Bruening, Belgium; Ken Caldeira, USA; Josep G. Canadell, Australia; Doug Capone, USA; Mary-Elena Carr, USA; David Carson, Switzerland; Howard Cattle, UK; Alain Chedin, France; Arthur Chen, China-Taipei; Jing Chen, Canada; John Church, Australia; Philippe Ciais, France; Josef Cihlar, Canada; Martin Claussen, Germany; Peter Cox, UK; Wolfgang Cramer, Germany; Christopher Crossland, Australia; Qin Dahe, China; Hein de Baar, Netherlands; Gerard Dedieu, France; Ruth Defries, USA; Scott Denning, USA; Ray L. Desjardins, Canada; Chad Dick, Norway; Andrew Dickson, USA; Lisa Dilling, USA; Craig Dobson, USA; Han Dolman, The Netherlands; Ellen RM Druffel, USA; Hugh Ducklow, USA; Syma Ebbin, USA; Jae Edmonds, USA; James Ehrlinger, USA; Ian Enting, Australia; Paul Falkowski, USA; Christopher B. Field, USA; Roger Francey, Australia; Louis Francois, Belgium; Roger Francois, USA; Annette Freibauer, Germany; Pierre Friedlingstein, France; Inez Fung, USA; Anver Gahzi, Belgium; Véronique Garçon, France; Roy Gibson, France; René Gommès, Italy; David Goodrich, USA; James Gosz, USA; Mike Goulden, USA; Tom S Gower, USA; John Grace, UK; Watson Gregg, USA; Nicolas Gruber, USA; Kevin Gurney, USA; Mykola Gusti, Ukraine; Neil Hamilton, Australia; Dennis A Hansell, USA; Roger Hanson, Norway; Martin Heimann, Germany; Barry Heubert; Kathy Hibbard, USA; Nicolas Hoepffner, Italy; Terri Hogue, USA; Tony Hollingsworth, UK; Maria Hood, France; Richard Houghton, USA; George Hurtt, USA; Tamotsu Igarashi, Japan; Gen Inoue, Japan; Robert Jackson, USA; Roger Janson, Norway; Fortunat Joos, Switzerland; Pavel Kabat, Netherlands; Michael Keller, USA; Haroon S Khesghi, USA; Dave Knapp, USA; Christian Koerner, Germany; Swami Krishnaswami, India; Thelma Krug, Germany; MDileep Kumar, India; Gregor Laumann, Germany; Sandra Lavorel, France; Louis Lebel, Thailand; Cindy Lee, USA; Rik Leemans, The Netherlands; Corinne LeQuéré, Germany; Ricardo Letelier, USA; Ingeborg Levin, Germany; Sune Linder, Sweden; Karin Lochte, Germany; Sabine Lutkemeier, Germany; Ernst Maier-Reimer, Germany; Gregg Marland, USA; John Marra, USA; Phillippe Martin, France; David McGuire, USA; Liliane Merlivat, France; Jerry Melillo, USA; Patrick Monfray, France; Berrien Moore III, USA; Daniel Murdiyarso, Indonesia; Ranga Myneni, USA; Nebojsa Nakicenovic, Austria; Pascal Niklaus, Switzerland; Ian Noble, Australia; Carlos Nobre, Brazil; Yukihiro Nojiri, Japan; Rich Norby, USA; Dennis Ojima, USA; Dick Olson, USA; James Orr, France; Steve Pacala, USA; Anand Patwardhan, India; Diane Pataki, USA; Joyce E. Penner, USA; João Santos Pereira, Portugal; Louis Pitelka, USA; Stephen Plummer, UK; Christopher Potter, USA; Michael Prather, USA; Colin Prentice, Germany; Kamal Puri, Australia; Navin Ramankutty, USA; Ichtiague Rasool, France; Michael Raupach, Australia; Dominique Raynaud, France; Peter Rayner, Australia; Monika Rhein, Germany; Donald

Rice, USA; Aida F Rios, Spain; Paul Robbins, USA; Humberto Rocha, Brazil; Patricia Romero-Lanko, Mexico; Eugene A. Rosa, USA; Steve Running, USA; Casey Ryan, UK; Christopher Sabine, USA; Dork Sahagian, USA; Toshiro Saino, Japan; Scott Saleska, USA; Maria José Sanz, Spain; Jayant Sathaye, USA; Bernard Saugier, France; Bernhard Schlamadinger, Austria; John Schellnuber, UK; David Schimel, USA; Reiner Schlitzer, Germany; Robert J Scholes, South Africa; Edetlef Schulze, Germany; Uwe Send, Germany; Emanuel A Serrao, Brazil; Steven Shafer, USA; Anatoly Shvidenko, Austria; Brent Smith, USA; Pete Smith, UK; Steve Smith, USA; Allen M Solomon, USA; Elliott Spiker, USA; Will Steffen, Sweden; Gerard Szejwach, Germany; Arnold H Taylor, UK; Bronte Tilbrook, Australia; Richard Tol, Germany; John Townshend, USA; Neil BA Trivett, Canada; Jeff Tschirley, Italy; Ed Urban, USA; Riccardo Valentini, Italy; Pier Vellinga, The Netherlands; Douglas Wallace, Germany; Virginia M Walsh, USA; Rik Wanninkhof, USA; Andrew Watson, UK; Diane E Wickland, USA; Anna Wieczorek, The Netherlands; Ian Woodward, UK; Jenny Wong, Malaysia; Yoshiki Yamagata, Japan; Yoshifumi Yasuoka, Japan; Oran Young, USA; Guangsheng Zhou, China.

五、参考文献

- Archer S (1995) Tree-grass dynamics in a subtropical savanna: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience* 2:83-99.
- Baldocchi D, Valentini R, Running S, Oechel W, Dahlman R (1996) Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 2:159-168.
- Barrett DJ (2002) Steady state turnover time of carbon in the Australian terrestrial biosphere. *Global Biogeochemical Cycles* 16:art-1108.
- Barrett DJ, Galbally IE, Graetz RD (2001) Quantifying uncertainty in estimates of C emissions from aboveground biomass due to historic land-use change to cropping in Australia. *Global Change Biology* 7:883-902.
- Bolle H-J, Feddes RA, Kalma JD (Eds.) (1993) Exchange Processes at the Land Surface at a Range of Space and Time Scales. IAHS Publication No. 212, IAHS Press, Wallingford.
- Bovensmann H, Burrows JP, Buchwitz M, Frerik J, Noel S, Rozanov UU, Chance KU, and Goede APH (1999) SCIAMACHY - Mission objectives and measurement modes. *Journal of Atmospheric Science* 56: 127-150.
- Boyd PW, Watson AJ, Law CS, Abraham ER, Trull T, Murdoch R, Bakker DCE, Bowie AR, Buesseler KO, Chang H, Charette M, Croot P, Downing K, Frew R, Gall M, Hadfield M, Hall J, Harvey M, Jameson G, LaRoche J, Liddicoat M, Ling R, Maldonado MT, McKay RM, Nodder S, Pickmere S, Pridmore R, Rintoul S, Safi K, Sutton P, Strzepek R, Tanneberger K, Turner S, Waite A, Zeldis J (2000) A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. *Nature* 407:695-702.
- BP (2002) BP Statistical Review of World Energy, UK.
- Braswell BH, Schimel DS, Linder E, Moore B (1997) The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability. *Science* 278:870-872.
- Brenkert AL (1998) Carbon Dioxide Emission Estimates from Fossil-Fuel Burning, Hydraulic Cement Production, and Gas Flaring for 1995 on a One Degree Grid Cell Basis. ORNL/CDIAC-98, NDP-058A (2-1998). Carbon Dioxide Analysis Center, Oak Ridge, Tennessee. (<http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp058a/ndp058a.html>)
- Buchwitz M, Rozanov UU, Burrows JP (2000) A nearinfrared optimized DOAS method for the fast global retrieval of atmospheric CH₄, CO, CO₂, H₂O, and N₂O total column amounts from SCIAMACHY/ENVISAT-1 nadir radiances. *Journal of Geophysical Research* 105:15231-15245.
- Canadell JG, Mooney HA, Baldocchi DD, Berry JA, Ehleringer JR, Field CB, Gower ST, Hollinger DY, Hunt JE, Jackson RB, Running SW, Shaver GR, Steffen W, Trumbore SE, Valentini R, Bond BY (2000) Carbon metabolism of the terrestrial biosphere: A multitechnique approach for improved understanding. *Ecosystems* 3:115-130.
- Canadell JG, Steffen W, White P (2002a) IGBP/GCTE Terrestrial Transects: Dynamics of terrestrial ecosystems under environmental change. *Journal Vegetation Science* 13:298-300.
- Canadell JG, Guangsheng Z, Noble I (2002b) Land use/cover change and the terrestrial carbon cycle in the Asia-Pacific region. *Science in China (Series C)* 45 Supplement:1-141.
- Cannell MGR, Milne R, Hargreaves KJ, Brown TAW, Cruickshank MM, Bradley RI, Spencer T, Hope D, Billett MF, Adger WN, Subak S (1999) National inventories of terrestrial carbon sources and sinks: The UK experience. *Climatic Change* 42:505-530.
- Cannell MGR (2003) Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy* 24:97-116.
- CDIAC (2003) Trends Online: A Compendium of Data on Global Change Carbon Dioxide Information Center. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. (<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/trends.htm>)
- Charney JG (1975) Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 101:193-202.
- Chedin A, Hollingsworth A, Scott NA, Serrar S, Crevoisier C, Armante R (2002) Annual and seasonal variations of atmospheric CO₂, N₂O and CO concentrations retrieved from NOAA/TOVS satellite observations. *Geophysical*

- Research Letters 29:110-114.
- Chedin A, Saunders R, Hollingsworth A, Scott NA, Matricardi M, Clerbaux C, Etcheto J, Armante R, Crevoisier C (2003a) The feasibility of monitoring CO₂ from high resolution infrared sounders. *Journal of Geophysics Research* 108(D2), 4064.
- Chedin A, Serrar S, Scott NA, Crevoisier C, Armante R (2003b) First measurement of mid-tropospheric CO₂ from NOAA polar satellites: The tropical zone. *Journal of Geophysics Research*, in press.
- Chen CR, Lamb PJ (2000) Improved treatment of surface evapotranspiration in a mesoscale numerical model part II: Via the assimilation of satellite measurements. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 11:789-832.
- Ciais P, Meijer HAJ (1998) The ¹⁸O/¹⁶O isotope ratio of atmospheric CO₂ and its role in global carbon cycle research. In: Griffiths H (ed) *Stable Isotopes: Integration of Biological, Ecological and Geochemical Processes*. Bios Scientific Publishers Ltd., Oxford, pp. 409-431.
- Ciais P, Naegler T, Peylin P, Freibauer A, Bousquet P (2001) Horizontal displacement of carbon associated to agriculture and its impact on the atmospheric CO₂ distribution. *Proceedings from the 6th International Carbon Dioxide Conference*. Sendai, Japan, p. 673-75.
- Ciais P, Moore B, Steffen, Hood M, Quegan S, Cihlar J, Raupach M, Rasool I, Doney S, Heinze C, Sabine C, Hibbard K, Schulze D, Heimann H, Chédin A, Monfray P, Watson A, LeQuéré C, Tans P, Dolman H, Valentini R, Arino O, Townshend J, Seufert G, Field F, Chu I, Goodale C, Nobre A, Inoue G, Crisp D, Baldocchi D, Tschirley J, Denning S, Cramer W, Francey R (2003) *Integrated Global Carbon Observing: A Strategy to Build a Coordinated Operational Observing System of the Carbon Cycle and its Future Trends*. IGOS-P.
- Claussen M (1998) On multiple solutions of the atmosphere- vegetation system in present-day climate. *Global Change Biology* 4:549-559.
- Cox PM, Betts RA, Jones CD, Spall SA, Totterdell IJ (2000) Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408:184-187.
- Cramer W, Bondeau A, Woodward FI, Prentice IC, Betts RA, Brovkin V, Cox PM, Fisher V, Foley JA, Friend AD, Kucharik C, Lomas MR, Ramankutty N, Sitch S, Smith B, White A, Young-Molling C (2001) Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7:357-373.
- Cramer W, Field CB (Eds.) (1999) *The Potsdam NPP model intercomparison*. *Global Change Biology* 5:1-76.
- Dietz T, Rosa EA (1997) Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:175-179.
- Doney SC, Wallace DWR, Ducklow HW (2000) The North Atlantic carbon cycle: New perspectives from JGOFS and WOCE. In: Hanson RB, Ducklow HW, Field JG (eds) *The Changing Ocean Carbon Cycle: A Midterm Synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study*. Cambridge University Press, pp 373-391.
- Edmonds J, Joos F, Nakicenovic N, Richels R, Sarmiento J (2003) Scenarios, Targets, Gaps and Costs. In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*, Field C, Raupach M (Eds.). Island Press, Washington D.C., in press.
- Ehleringer JR, Field CB (Eds.) (1993) *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. Academic Press, San Diego, 388 pp.
- Enting IG (2002) *Inverse problems in atmospheric constituent transport*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Falkowski P, 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, Steffen W (2000) The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science* 290:291-296.
- Field CB, Raupach MR (Eds.) (2003) *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*. Island Press, Washington, D.C., in press.
- Ganopolski A, Kubatzki C, Claussen M, Brovkin V, Petoukhov V (1998) The influence of vegetation-atmosphere- ocean interaction on climate during the mid-Holocene. *Science* 280:1916-1919.

- Ghil M (1994) Cryothermodynamics - the chaotic dynamics of paleoclimate. *Physica D* 77:130-159.
- Gloor M, Bakwin P, Hurst D, Lock L, Draxler R, Tans P (2001) What is the concentration footprint of a tall tower? *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 106:17831-17840.
- Goodale CL, Apps M, Birdsey RA, Field CB, Heath LS, Houghton RA, Jenkins JC, Kohlmaier GH, Kurz WA, Liu S, Nabuurs G-J, Nilsson S, Shvidenko AZ (2002) Forest Carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Applications* 12:891-899.
- Hibbard KA, Archer S, Schimel DS, Valentine DW (2001) Biogeochemical changes accompanying woody plant encroachment in a subtropical savanna. *Ecology* 82:1999-2011.
- Gurney KR, Law RM, Denning AS, Rayner PJ, Baker D, Bousquet P, Bruhwiler L, Chen YH, Ciais P, Fan S, Fung IY, Gloor M, Heimann M, Higuchi K, John J, Maki T, Maksyutov S, Masarie K, Peylin P, Prather M, Pak BC, Randerson J, Sarmiento J, Taguchi S, Takahashi T (2002) Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. *Nature* 415:626-630.
- Gupta J, Lebel L, Velling P, Young O, IHDP Secretariat (2001) IHDP Global carbon cycle research. Bonn, IHDP.
- Houghton RA (1999) The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus B* 51:298-313.
- Houghton RA (2003) Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus* 55B: 378-390.
- Hutjes RWA, Kabat P, Running SW, Shuttleworth WJ, Field C, Bass B, Dias MAFD, Avissar R, Becker A, Claussen M, Dolman AJ, Feddes RA, Fosberg M, Fukushima Y, Gash JHC, Guenni L, Hoff H, Jarvis PG, Kayane I, Krenke AN, Liu C, Meybeck M, Nobre CA, Oyebande L, Pitman A, Pielke RA, Raupach M, Saugier B, Schulze ED, Sellers PJ, Tenhunen JD, Valentini R, Victoria RL, Vorosmarty CJ (1998) Biospheric aspects of the hydrological cycle - Preface. *Journal of Hydrology* 213:1-21.
- IPCC (1996) Climate Change 1995: The science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 572 pp.
- IPCC (2000a) Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- IPCC (2000b) Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- IPCC (2001a) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1032 pp.
- IPCC (2001b) Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 752 pp.
- IPCC (2001c) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 881 pp.
- Kalma JD, Sivapalan M (1995) Scale Issues in Hydrological Modelling, Kalma JD, Sivapalan M (Eds.). Wiley, Chichester, 489 pp.
- Kaminski T, Knorr W, Rayner PJ, Heimann M (2002) Assimilating atmospheric data into a terrestrial biosphere model: A case study of the seasonal cycle. *Global Biogeochemical Cycles* 16: art-1006,
- Keeling CD, Whorf TP (2000) Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Kurz WA, Apps MJ (1999) A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications* 9:526-547.
- Leemans R, van den Born GJ (1994) Determining the potential global distribution of natural vegetation, crops and

- agricultural productivity. *Water, Air, and Soil Pollution* 76: 133-161.
- Lloyd J, Kruijt B, Hollinger DY, Grace J, Francey RJ, Wong SC, Kelliher FM, Miranda AC, Farquhar GD, Gash JHC, Vygodskaya NN, Wright IR, Miranda HS, Schulze D-E (1996) Vegetation effects on the isotopic composition of atmospheric CO₂ at local and regional scales: theoretical aspects and a comparison between rain forest in Amazonia and a Boreal Forest in Siberia. *Australian Journal of Plant Physiology* 23:371-399.
- Marland G, Boden TA, Andres RJ (2000) Global, regional, and national CO₂ emissions. Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Mason M (1997) A look behind trend data in industrialization - The role of transnational corporations and environmental impacts. *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions* 7:113-127.
- McConnell WJ, Moran EF, Brondizio E, DeFries R, Laney R, Latham JS, Leon A, Schneider L, Verburg P, Walsh SJ (2001) Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration. LUCC Report Series No. 5, LUCC Focus 1 Office, Indiana University, and LUCC International Project Office, Belgium, 62 pp.
- Michaud JD, Shuttleworth WJ (Eds.) (1997) Aggregate Description of Land-Atmosphere Interactions. *Journal of Hydrology* 190:173-414.
- Mooney H, Canadell J, Chapin FS, Ehleringer J, Kerner Ch, McMurtrie R, Parton W, Pitelka L, Schulze DE (1999) Ecosystem Physiology Responses to Global Change. In: *The Terrestrial Biosphere and Global Change. Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Walker BH, WL Steffen, J Canadell, JSI Ingram (Eds.) Cambridge University Press, London, p. 141-189.
- Nakicenovic N, Victor N, Morita T (1999) Emissions Scenarios Database and Review of Scenarios, RR-99-4, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Reprinted from *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3:1381-2386.
- Norby RJ, Kobayashi K, Kimball BK (2001) Rising CO₂ - future ecosystems - Commentary. *New Phytologist* 150:215-221.
- O'Brien KL, Leichenko RM (2000) Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions* 10:221-232.
- Pacala SW, Hurtt GC, Baker D, Peylin P, Houghton RA, Birdsey RA, Heath L, Sundquist ET, Stallard RF, Ciais P, Moorcroft P, Caspersen JP, Shevliakova E, Moore B, Kohlmaier G, Holland E, Gloor M, Harmon ME, Fan SM, Sarmiento JL, Goodale CL, Schimel D, Field CB (2001) Consistent land- and atmosphere-based US carbon sink estimates. *Science* 292:2316-2320.
- Papale D, Valentini R (2003) A new assessment of European forest carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization. *Global Change Biology* 9:525-535.
- Park SK, Zupanski A (2003) Four-dimensional variational data assimilation for mesoscale and storm-scale applications. *Metereology and Atmospheric Physics* 82:173-208.
- Pataki DE, Ehleringer JR, Flanagan LB, Yakir D, Bowling DR, Still CJ, Buchmann N, Kaplan JO, Berry JA (2003) The application and interpretation of Keeling plots in terrestrial carbon cycle research. *Global Biogeochemical Cycles* 17 (1).
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola JM, 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, Stievenard M (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429-436.
- Raupach MR (2001) Inferring biogeochemical sources and sinks from atmospheric concentrations: general considerations and applications in vegetation canopies. In *Global Biogeochemical Cycles in the Climate System*, pp. 41-60. Schulze E-D, Heimann M, Harrison S, Holland, Lloyd EJ, Prentice IC, Schimel D (Eds.). Academic Press, San Diego.
- Raupach MR, Barrett DJ, Briggs PR, Kirby JM (2002) Terrestrial biosphere models and forest-atmosphere interactions. In: *Forests and Water*, Vertessy R, Elsenbeer H (Eds.). IUFRO.
- Raupach M, Canadell JG, Bakker D, Ciais P, Sanz M-J, Fang JY, Melillo J, Romero-Lankao P, Sathaye J, Schulze D,

- Smith P, Tschirley J (2003) Interactions between CO₂ stabilisation pathways and requirements for a sustainable earth system. In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*, Field C, Raupach M (Eds.). Island Press, Washington D.C., in press.
- Rayner PJ, Knorr W, Scholze M, Giering R, Heimann M, Le Quere C (2001) Inferring terrestrial biosphere carbon fluxes from combined inversions of atmospheric transport and process-based terrestrial ecosystem models. *Extended Abstracts of the 6th International Carbon Dioxide Conference*, Sendai, Japan, October 2001, Oct, 2001, pp 1015-1017.
- Rayner PJ, O'Brien DM (2001) The utility of remotely sensed CO₂ concentration data in surface source inversions. *Geophysical Research Letters* 28:175-178.
- Rödenbeck C, Houweling S, Gloor M, Heimann M (2003) O₂ flux history 1982-2001 inferred from atmospheric data using a global inversion of atmospheric transport. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 3:2575-2659.
- Roughgarden T, Schneider SH (1999) Climate change policy: quantifying uncertainties for damages and optimal carbon taxes. *Energy Policy* 27:415-429
- Running SW, Baldocchi DD, Turner DP, Gower ST, Bakwin PS, Hibbard KA (1999) A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing of Environment* 70:108-127.
- Rustad LE, Campbell JL, Marion GM, Norby RJ, Mitchell MJ, Hartley AE, Cornelissen JHC, Gurevitch J (2001) A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126:543-562.
- Sabine CL, Feely RA (2001) Comparison of recent Indian Ocean anthropogenic CO₂ estimates with a historical approach. *Global Biogeochemical Cycles* 15:31-42.
- Sabine CL, Heimann M, Artaxo P, Bakker D, Arther Chen C-T, Field CB, Gruber N, LeQuereC, Prinn RG, Richey JE, Romero-Lanko, P Sathaye J, Valentini R (2003) Current status and past trends of the global carbon cycle. In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*, Field C, Raupach M, (Eds.). Island Press, Washington, DC, in press.
- Sabine C, Hood M (2003) Ocean carbon scientists organize to achieve better cooperation, coordination. *EOS* 84:18-20.
- Sarmiento JL, Orr JC (1991) Three-dimensional simulations of the impact of Southern Ocean nutrient depletion on atmospheric CO₂ and ocean chemistry. *Limnology and Oceanography* 36:1928-1950.
- Schimel DS, House JI, Hibbard KA, Bousquet P, Ciais P, Peylin P, Braswell BH, Apps MJ, Baker D, Bondeau A, Canadell J, Churkina G, Cramer W, Denning AS, Field CB, Friedlingstein P, Goodale C, Heimann M, Houghton RA, Melillo JM, Moore B, Murdiyarso D, Noble I, Pacala SW, Prentice IC, Raupach MR, Rayner PJ, Scholes RJ, Steffen WL, Wirth C (2001) Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature* 414:169-172.
- Schulze E-D, Höglberg P, van Oene H, Persson T, Harrison AF, Read D, Kjöllér A, Matteucci G (2000) Interactions between the carbon and nitrogen cycle and the role of biodiversity: A synopsis of study along a north-south transect through Europe. *Ecological Studies* 142:468-492.
- Smith P, Faloon P, Smith JU, Powlson DS (2001) Soil organic matter network (SOMNET): 2001 Model and experimental metadata. GCTE Report No. 7 (second edition), Wallingford.
- Styles JM, Raupach MR, Lloyd J, Kolle O, Farquhar GD, Shibistova O, Lawton KA, Schulze E-D (2002) Soil and canopy CO₂, CO₂, H₂O and sensible heat flux partitions in a forest canopy inferred from concentration measurements. *Tellus B* 54:655-676.
- Tans PP, Fung IY, Takahashi T (1990) Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science* 247:1431-1438.
- Takahashi T, Sutherland SC, Sweeney C, Poisson A, Metzl N, Tilbrook B, Bates N, Wanninkhof R, Feely RA, Sabine C, Olafsson J, Nojiri Y (2002) Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects, *Deep-Sea Res. II* 49:1601-1623.

- Valentini R, Matteucci G, Dolman AJ, Schulze ED, Rebmann C, Moors EJ, Granier A, Gross P, Jensen NO, Pilegaard K, Lindroth A, Grelle A, Bernhofer C, Grunwald T, Aubinet M, Ceulemans R, Kowalski AS, Vesala T, Rannik U, Berbigier P, Loustau D, Guomundsson J, Thorgeirsson H, Ibrom A, Morgenstern K, Clement R, Moncrieff J, Montagnani L, Minerbi S, Jarvis PG (2000) Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404:861-865.
- Vellinga P, Herb N, editors (1999) *Industrial Transformation - Science Plan*, Bonn: IHDP
- Walker BH, Steffen WL, Canadell J, Ingram JSI (Eds.) (1999) *The Terrestrial Biosphere and Global Change. Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Cambridge University Press, London.
- Wang YP, Barret DJ (2003) Estimating regional terrestrial carbon fluxes for the Australian continent using a multiple-constraint approach: I. Using remotely sensed data and ecological observations of net primary production. *Tellus* 55B:270-289.
- Watson AJ, Bakker, DCE, Ridgwell AJ, Boyd, PW, Law CS (2000) Effect of iron supply on Southern Ocean CO₂ uptake and implications for glacial atmospheric CO₂. *Nature* 407:730-733.
- Wofsy SC, Goulden ML, Munger JW, Fan SM, Bakwin PS, Daube BC, Bassow SL, Bazzaz FA (1993) Net exchange of CO₂ in a midlatitude forest. *Science* 260:1314-1317.
- Yamagata Y, Alexandrov GA (2001) Would forestation alleviate the burden of emission reduction?: An assessment of the future carbon sink from ARD activities. *Climate Policy* 1:27-40.
- Young OR (1999) *Institutional Dimensions of Global Environmental Change (IDGEC)*. Science Plan, Bonn: IHDP.
- Young OR (2002) *The institutional dimensions of environmental change: Fit, interplay, and scale*. Cambridge, MIT Press.

六、附录

附录A 相关行动和网络的选编

A.1 全球碳计划发起者计划及其碳行动计划

共同发起全球碳计划的3个全球变化科学计划是IGBP、IHDP和WCRP。迄今为止，各全球变化科学计划以独自、二者共享以及3个计划均参与的方式正在进行或建议大量的全球碳循环研究活动。最初由这3个计划倡导的协作为联系国家和区域的活动以及全球碳计划的未来项目提供了强有力的平台。

国际地圈—生物圈计划(IGBP) (<http://www.igbp.kva.se>)

IGBP有一套长期的碳研究行动计划，从海洋的施铁效应，陆地生态系统对CO₂升高和增温的响应研究，海岸地区碳通量的估算方法以及有关碳循环模型的比较。

全球分析、解释与模拟 (GAIM) (<http://gaim.unh.edu>)

- 海洋碳模型的比较(OCMIP)
- 生态系统模型/数据的比较(EMDI)
- 大气示踪传输模型的比较计划(TransCom)
- 全球净第一性生产力模型比较
- 地球系统痕量气体和气溶胶的循环(Traces)
- 中等复杂的地球系统模型(EMICs)
- 耦合的碳循环气候模型比较计划(C4MIP) (与WCRP共同发起)
- 耦合的碳模型联接计划(CCMLP)

全球变化与陆地生态系统(GCTE) (<http://www.gcte.org>)

- CO₂升高对陆地生态系统的影响
- 温度升高对陆地生态系统的影响
- 生物圈—大气圈稳定同位素网络(BASIN)
- 土壤有机质网络(SOMNET)
- 干扰与生物地球化学
- 动态全球植被模型(DGVM)发展
- 通量网

土地利用与土地覆盖变化(LUCC) (与IHDP共同发起) (<http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC>)

- 土地利用和气候变化对碳通量的影响(LUCCI)
- 热带森林固碳和碳汇的清洁发展机制规划:哥斯达黎加土地利用与土地覆盖变化的案例研究

陆地计划 (与IHDP共同发起)

- 陆地耦合的生物地球化学
- 干扰与碳排放
- 耦合的人类—生物地球化学陆地系统

备注: 这是一个GCTE和LUCC相融合的新计划, 准备在2004年开始。

全球海洋生态系统动态(GLOBEC) (与SCOR和IOC共同发起) (<http://www.pml.ac.uk/globec/main.htm>)

- 海洋中的食物网络动态

联合全球海洋通量研究(JGOFS) (<http://ads.smr.uib.no/jgoofs/jgoofs.htm>)

- 全球调查: 大气—海洋CO₂通量
- 大陆边缘区
- 时间序列站点
- 盆地勘察

备注: JGOFS将在2003年年底结束, 新的IGBP/SCOR IMBER计划将在2004年启动。

集成海洋生物地球化学和生态系统研究(IMBER) (与SCOR共同发起)

该计划将于2004年启动。

- 碳在深海的运输与储存

相互作用的陆地生态系统—大气过程(ILEAPS)

这项关于陆地—大气相互作用的新计划主要是研究陆地—大气相互作用的机理。该计划将于2004年启动。

海岸区陆地海洋的相互作用(LOICZ) (<http://www.nioz.nl/loicz/>)

- 外部驱动力或边界条件变化对海岸通量的影响
- 海岸生物地球化学与全球变化；海岸及大陆架水域的碳状况
- 碳通量和温室气体排放：由河流向海岸区的碳传输
- 海岸系统中全球变化的经济和社会影响：海岸系统的可持续发展和资源管理问题

过去全球变化(PAGES) (<http://www.pages.unibe.ch/>)

- PAGES和气候变率与可预报研究(CLIVAR)—通过冰芯和深海沉积物研究碳—气候系统
- 国际海洋过去全球变化研究(IMAGES)
- 过去生态系统过程和人类—环境相互作用

表层海洋—低层大气研究(SOLAS) (与SCOR、大气化学与全球污染委员会(CACGP)及WCRP共同发起)

(<http://www.solas-int.org>)

- 海洋与大气之间生物地球化学的相互作用和反馈
- 海洋—大气界面的交换过程及其在海洋—大气边界层的输送转化作用
- CO₂通量与其他长寿命辐射活性气体的大气—海洋通量

全球环境变化的人文因素计划(IHDP) (<http://www.ihdp.org/>)

通过其4个核心科学主题：IDGEC、IT、LUCC 和全球环境变化与人类安全(GECHS)，IHDP已经开展了大范围的与碳有关的行动计划，其中首要的主题是碳管理的制度因素(调查控制温室气体排放的制度问题)，还包括工业转型能源系统脱碳研究、土地利用系统转型和全球碳循环中陆地成分行为研究(及我们对这些变化的响应)以及碳循环动态变化的人类安全问题。要想得到更多的信息，请查询全球碳计划网站上有关IHDP全球碳研究的材料。

全球环境变化的制度因素(IDGEC) (<http://fiesta.bren.ucsb.edu/~idgrec>)

- 热带与北方林的政治经济 (PEF)
- 碳管理研究活动(CMRA)
- 经济特区运作状况(PEEZ)

工业转型 (IT) (<http://www.vu.nl/ivm/research/ihdp-it/>)

- 能源和物质流通
- 城市/交通
- 治理与转换过程

IT已经编写了一套材料，列出了与全球碳计划相关的具体IT研究的问题，该材料可从全球碳计划网站找到。

土地利用与土地覆盖变化 (与IGBP共同发起) (<http://www.geo.ucl.ac.be/>)

- 土地利用与气候变化对碳通量的影响(LUCCI)
- 热带森林碳库与碳汇的清洁发展机制规则：哥斯达黎加土地利用与土地覆盖变化的案例研究

世界气候研究计划 (WCRP) (<http://www.wmo.ch/web/wcrp/wcrp-home.html>)

WCRP为气候变率及变化提供了模拟工具，以从本质上理解碳循环的年际至百年际变化，碳输送和贮存的海洋和大气环流以及碳水循环的联系。以下简要列出了WCRP主办的有关行动计划。

全球能量与水循环实验 (GEWEX) (<http://www.gewex.org>)

- 全球陆地/大气系统的研究(GLASS)，特别是陆地表面参数化方案的比较计划(PILPS C-1)
- GEWEX模拟与预测专业委员会(GMPP)以发展和改进云与陆地表面参数化方案及其与GCM的整合
- 数据计划
- 空间全球CO₂测量

气候变化与可预报性(CLIVAR) (<http://www.clivar.org/>)

- 海洋物理特性与碳系统变化的10年尺度的重复横跨海洋剖面
- 季节至年际预报工作组(WGSIP)

耦合模拟工作组 (WGCM) (<http://www.wmo.ch/web/wcrp/wgcm.htm>)

- 完全交互式综合地球系统模型发展, 包括碳循环的真实体现

数字实验工作组(WGNE—由WCRP JSC和WMO大气科学委员会(CAS)共同发起)(<http://www.wmo.ch/web/wcrp/wgne.htm>)

- 改善GCM的CO₂过程特征的模型比较
- 数据同化方法

北极气候系统研究与气候和低温层计划 (ACSYS/CLIC) (<http://www.npolar.no/acsys/>)

- 冻土温室气体排放
- 永久冻土带温室气体的排放
- 北冰洋碳汇强度

A.2 国家和区域计划的选编

国家水平的碳研究计划是各科学委员会发展全球策略的基础。通过各种行动计划, 全球碳计划希望能提高这些方法和认知的可比性、资源杠杆作用和快速转移, 进一步促进各个国家和地区计划的能力, 同时将全球碳循环的各部分组合在一起, 使其起到科学领导作用。在这部分, 描述了国家和区域计划的3个例子, 可以在全球碳计划网站上查到其他的国家计划信息。

澳大利亚碳循环计划(<http://www.greenhouse.gov.au/science/index.html>), (<http://www.greenhouse.crc.org.au>)

澳大利亚碳循环计划包括CSIRO (生物圈工作组, BWG)和温室气体估算协作研究中心(CRCGA)的行动计划。具体如下:

- 澳大利亚地区大气圈和生物圈之间的相互作用过程, 特别是生物圈在生物产生的温室气体循环中的作用(CO₂、CH₄、N₂O);
- 澳大利亚地区陆地、海洋和大气系统之间的反馈及其对区域气候变化的影响;
- 确定区域温室气体汇源的多元限制方法及改善耦合的海洋—大气—陆地系统气候模型的发展与应用。

欧洲碳计划 (<http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/>)

欧洲碳计划是由一系列目的在于理解和量化欧洲碳平衡的计划组成。该计划由欧洲委员会DG Research—第五框架计划资助(将在第六框架计划继续执行)。欧洲碳计划的目的是促进对固碳机制的理解和定量描述欧洲陆地生态系统的碳汇源及其怎样受制于气候可变性、养分有效性、氮沉降的变率以及与管理体系的相互作用。西伯利亚和亚马孙森林的碳汇强度研究完善了欧洲生态系统的研究。具体的相关研究包括:

- 提供学科的、完全整体的框架以检验从生态系统到区域及洲际尺度碳源汇的时空变化以及评估其社会经济驱动力及其影响;
- 利用已经掌握的技术进行碳估算和模拟;
- 对不同尺度采用一致的碳评估策略。

中国碳通量计划

国家自然科学基金委(NSFC)、国家科学技术委员会(SSTC)和中国科学院(CAS)已经启动了一些碳项目, 主要集中在以下5方面:

- 中国典型陆地和近海生态系统的碳通量与碳储量, 包括森林、农田、草地、水体和近海生态系统;
- 中国陆地和近海生态系统的碳通量和碳储量的生物地球化学过程及其生物驯化;
- 中国陆地碳循环的历史过程和土地利用变化;
- 陆地和近海生态系统的碳循环模拟;
- 碳收支的综合研究和碳减排/截留。

更多的信息: 周广胜 (zhougs@public2.bta.net.cn)

日本碳管理集成研究

该计划由日本环境部全球环境研究基金倡办, 其目的在于阐明亚洲大气和陆地生态系统之间的碳动态, 以最大程度的减小CO₂浓度增加的速率。该计划包括以下4个主题:

- 基于微气象学和生态学方法采用自下而上的尺度化方法分析陆地生态系统的碳平衡；
- 基于大气监测采用由上而下的尺度化方法分析中尺度陆地碳平衡；
- 陆地生态系统碳平衡动态评估与陆地生态系统碳收支管理方法的评价；
- 促进集成研究和信息共享。

更多的信息：Toshinori Okuda (toecolog@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

亚马孙流域大尺度生物圈大气圈实验(LBA) (<http://lba.cptec.inpe.br/lba/indexi.html>)

作为LBA的一部分，包括巴西、美国和几个欧洲国家共同参与了亚马孙流域的碳循环研究。该实验主要涉及5个领域的研究：

- 亚马孙森林和调控热带森林碳循环的气候驱动力之间的生物地球化学相互作用和反馈；
- 森林砍伐和人类驱动力引起的碳通量；
- 气候变化对热带生态系统的影响；
- 水淹林的CO₂排放；
- 气溶胶对辐射平衡和碳循环的影响。

美国碳循环科学计划 (USGCRP) (<http://www.carboncyclescience.gov>)

美国全球变化研究计划已经建立了一个碳循环科学计划。这个新计划提供了环境中碳状况以及碳循环怎样改变和未来可能变化的重要信息。它提供了管理环境中碳的科学基础。协调并综合各项研究以确定和量化从区域到全球尺度的CO₂和其他温室气体的汇源，理解这些汇源未来怎样运行，为将来地球系统的预测提供必要的信息。

A.3 其他的国际行动计划选编

除国家和区域计划外，几个其他国际项目和计划正尝试着说明一系列有关全球碳循环、气候变化及其变率的问题：

基于商船的碳变率研究(CAVASSO) (<http://lmacweb.env.uea.ac.uk/e072/>)

该计划的目的是为了对北大西洋CO₂的吸收及其季节和年际变化提供可靠的估计。同时，这些研究结果有助于限定使用大气反演模拟方法对欧洲和北美洲陆地(植被)汇的估计。

长寿命痕量气体观测的全球质量控制(GLOBALHUBS)

该计划的目的是改进各实验室之间对长寿命大气痕量气体种类测量的可比性，从而改进来自于不同空间和时间的的大气组成变化的源/汇通量估算。

集成全球观测策略联盟(IGOS-P) (<http://ioc.unesco.org/igospartners/igoshome.htm>)

该联盟将提出由全球观测系统来实施和协调的综合策略：

- 全球海洋观测系统(GOOS) (<http://ioc.unesco.org/goos/>)
- 全球陆地观测系统(GTOS) (<http://www.fao.org/gtos/index.html>)
- 全球气候观测系统(GCOS) (<http://www.wmo.ch/web/gcos/gcoshome.html>)

政府间气候变化专业委员会(IPCC) (<http://www.ipcc.ch/>)

为了认识全球气候变化的潜在问题，世界气象组织(WMO)和联合国环境委员会于1988年建立了政府间气候变化专业委员会(IPCC)。该委员会的作用是评估与理解人类引起的气候变化危险性的科学、技术和社会经济信息。它不进行研究，亦不进行与气候有关的数据或其他相关参数的监测。它的评估主要依靠专业综述和已出版的科学/技术文献。

千年生态系统评估(MA) (<http://www.millenniumassessment.org/en/index.htm>)

千年生态系统评估是一个国际评估行动计划，负责检查地球支撑生命过程，包括草地、森林、河流、湖泊、农田和海洋，以及生态系统为人类发展提供的物质和服务的能力。该4年计划的目标是通过提供决策者(政府和私人部门)以及大众需要的专业综述、与政策相关的生态系统状况、生态系统变化的结果及其响应选择的科学信息，来改进自然和人工生态系统的管理。另外，该计划将为人类发展和制度的制定提供信息。

北欧地球科学联盟倡议(NEESPI) (<http://neespi.gsfc.nasa.gov/>)

该倡议的目的是建立大尺度、多学科计划，在国际科学计划的支撑下，以增进对北欧生态系统、大气和人类动态之间相互作用的理解。该联盟包括NASA和其他美国机构、俄罗斯科学院、俄罗斯和国际研究机构、GOFIC、IGBP及其他国际计划。该联盟的碳研究方法是将该区域的野外实测数据、遥感观测与测量、模型(包括陆地碳、

社会经济、景观和综合模型)结合起来进行分析。有关碳的计划包括:

- 模拟两个森林地区,即美国太平洋西北部和俄罗斯西北部的碳动态及其经济影响;
- 模拟改变经济范式条件下西伯利亚森林土地覆盖变化以及碳循环;
- 确定从北方森林火灾到高纬地区大气CO₂浓度的年际间变动对碳排放的贡献;
- 模拟和监测西伯利亚中部被燃烧过的地方和火灾的严重程度对碳循环、碳排放、森林的健康及其可持续性的影响;
- 西伯利亚景观的联合卫星绘图;
- 最近的干扰和土地利用变化引起的俄罗斯陆地碳储量的变化。

海洋研究科学委员会 (SCOR) (<http://www.jhu.edu/~scor>)

除了共同倡导的JGOFS、SOLAS、IGBP的海洋生物地球化学和生态系统计划以及IOC的海洋CO₂顾问委员会外,海洋研究科学委员会 (SCOR)还有几个有关碳循环研究的工作组:

- 大西洋二氧化碳(CARINA) (<http://www.ioc.unesco.org/iocweb/co2panel/>);
CARINA是与IOC/SCOR专业委员会相联系的一个计划,其目的是给出北大西洋CO₂清单。
- 海水中铁的生物地球化学;
- 全球气候调控中海洋浮游植物的作用;
- 关于以下方面的新方法:
 - 调查浮游生物;
 - 估计从海洋表面向下的碳流通。

海洋研究科学委员会(SCOR) - 政府间海洋学委员会(IOC)海洋CO₂专业委员会(<http://ioc.unesco.org/iocweb/co2panel/>)

海洋研究科学委员会(SCOR)和联合国科教文组织(UNESCO)的政府间海洋学委员会(IOC)于2000年建立了海洋CO₂专业委员会,以促成、协调和交流国际团体有共同兴趣的海洋碳行动计划。该计划目前包括:

- 观测协调(通过IOCCP与GCP协调);
- 标准和参考材料的提倡;
- 信息交换和测量技术;
- 海洋碳截留信息的发展与维持。

附录B 综合全球碳观测战略 (IGCO)

碳循环及其未来趋势协作观测系统的发展战略。

P Ciais, B Moore, W Steffen, M Hood, S Quegan, J Cihlar, M Raupach, I Rasool, S Doney, C Heinze, C Sabine, K Hibbard, D Schulze, M Heimann, A Chédin, P Monfray, A Watson, C LeQuéré, P Tans, H Dolman, R Valentini, O Arino, J Townshend, G Seufert, C Field, I Chu, C Goodale, A Nobre, G Inoue, D Crisp, D Baldocchi, J Tschirley, S Denning, W Cramer, R Francey

内容提要

综合全球碳观测战略的总体目标就是为下个10年全球碳循环的系统观测发展一个灵活、健全的实施方案。这篇报告是在IGCO战略的基础上形成,并提出了可操作的全球碳观测系统。该系统的主要目标如下:

- 为增进对全球碳循环的现状及未来的理解,提供长期观测,尤其是对大气CO₂水平控制因素的观测。
- 监测和评估碳截存和/或减排的效率,包括不同区域、部门碳源/汇的分布。

为达到上述目标,该系统将对地球表面与大气之间的CO₂通量交换的全球分布进行常规的量化和评估,并定期测量关键碳库的变化。这些观测将有助于阐明基本的生物地球化学过程。全球碳观测系统综合了碳循环3个主要区域:海洋,陆地和大气的多个界面方面;其最成功的进展是对不同区域的数据和模型的结合以理解碳源汇。这些不同区域来自于该区域对其他区域的运转有重要限制作用。

实施全球碳观测系统要求:

- 为可操作的碳观测建立数据标准、设计网络配置及发展先进的算法是全球碳观测系统持续运作到2015年的基础;
- 发展值得花费的、低维护的大气CO₂、海洋溶解的CO₂以及陆地生态系统碳通量原位传感器;
- 发展并实施空气CO₂遥感技术;
- 与研究机构合作发展可操作的碳循环模型,并通过严格的测试进行验证,用系统观测数据驱动,这些资料传递着碳循环状态的日常特征。
- 加强数据标准的统一、存档和归类以支持模型的发展和实施。

该报告介绍了全球碳观测系统的目标(将由研究和运作团体共同实现),并为认识该系统提供了线索。该报告确定了一套核心的基于研究的现存观测资料,并以此建立系统。该系统取自陆地碳观测策略和全球海洋观测系统。此外,它还描述了亟待优先开展的研究和将这一核心的研究观测资料转入一个可操作系统的步骤。

全球碳观测系统应当围绕着互补的核心观测组来建设以服务于3个主题:通量、库和过程:

通量。通量是首要的一组观测数据,它能够量化地球表面与大气圈之间CO₂通量的分布与变异规律。它主要包括:

- 至少 1×10^{-6} 精度的全球覆盖(所有纬度和季节)的完整大气CO₂分布卫星观测。
 - 类似这样的观测还没有开展,因此这要作为最优先考虑。
- 一个最优化的可操作的大气观测站网和至少 0.1×10^{-6} 精度的气瓶采样点。
 - 目前,这些观测资料来自于研究观测,由全球分布的100个站组成。这些站点应向水平和垂直方向发展,包括大陆内部及很少采样区。这就要求值得花费的探测器和随机平台的系统应用。
- 一个最优化可操作涡动相关塔网络以连续测量陆地生态系统CO₂通量、能量和水汽通量。
 - 目前这些观测来自于研究观测,由100个塔组成。该网络必须在未来很长一段时间内安全运行,并且扩展到更多的生态系统类型、演替阶段和土地利用强度。
- 一个利用科考船、商船及自由浮标联合组成的全球海洋CO₂观测系统。
 - 目前这方面数据来自约100次科考巡游,发展全球尺度的可操作海洋碳观测网络的最大挑战就是缺乏高精度的、可靠的、值得花费的海洋CO₂自动传感器。
- 在长期连续的传感器支持下的卫星观测联合体,并传输很少直接测量地区估算表层大气CO₂通量的全球观测数据。
 - 这些关键的卫星观测主要有:陆地覆盖状况,扰动范围和强度,与植被活动相关的参数,海洋颜色以及控制通量的辅助大气和海洋变量。

用这些观测量化地表和大气之间CO₂的通量分布和变化的那些观测方法需要自下而上尺度化估计的协调。大气传输模型被用于将大气CO₂测量降尺度至通量。碳循环通量模型要求利用遥感变量将原位观测资料尺度化。

一旦可操作的碳观测系统准备就绪，模型数据融合技术将会每周对上面所列的碳测量数据流进行常规同化以产生周频率的陆地10 km和海洋50 km典型分辨率的全球CO₂通量的一致而精确估算。

库。全球碳观测系统将监测3个关键碳库的变化：

- 森林地上生物量。通过原位清单的方法每5 a测量一次，并由更加频繁的遥感技术来验证；

- 土壤碳含量，主要通过原位清单方法每10 a测量一次。

- 这些观测基于森林商业价值和土壤质量评价的系统基础而分别收集。可是，这些测量需要适应于碳循环研究和作为地理标准基础而延伸到非管理森林。

- 主要海域中可溶性碳清单，每5~10年检测一次，用以评估人类引起的CO₂向水体表面的转移。

- 这些观测通常由一些研究机构进行实施。这些工作需要被系统化，仔细地相互校准，并延伸到极少采样的海洋区，最为重要的是，这些工作必须去做。

过程。该系统的第三组观测是重要碳循环过程的测量。这些工作中的大部分仍在研究之中，以与全球碳计划的框架（图21）相协调。然而，2个与过程相关的观测更适于操作领域，并且将成为该系统的核心部分：

- 火分布（点）和燃烧区域范围，以估算干扰期间，如火，所释放出来的碳通量值，火点每天检测，而对火范围则每月检测一次；

- 陆地覆盖变化，以估算与森林砍伐和农业用地恢复到自然生态系统相关的碳通量，取样间隔时间为5年，空间分辨率是1 km。

观测成果与首尾相连的数据分析系统相结合以传输高质量产品，这些成果直接面对全球科研和政策机构。

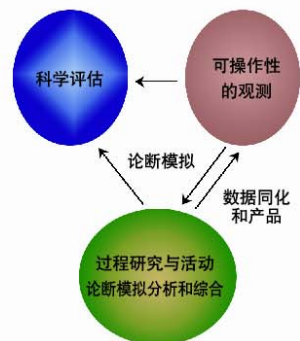


图21 运行的观测系统(综合全球碳观测, IGCO)、研究计划(全球碳计划, GCP)和评估(IPCC)三者之间的关系(Ciaisetal, 2003)

C.1 已有碳观测资料提供者举例

类型 (陆地、卫星)	发起者*	提供的数据与产品	时空覆盖	更多信息
FLUXNET	国家/IGBP/WCRP	生态系统数据和通量；微气象数据	各洲(除南极洲)	http://www-eosdis.ornl.gov/FLUXNET/
ILTER	国家/	生态系统数据	21个国家	http://www.ilternet.edu/
GT-Net	国家/GTOS	生态系统数据	84个国家, 大量网站	http://www.fao.org/gtos/gt-net.html
SOMNET	国家/IGBP	土壤数据	70个站点, 6个洲	http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/somnet/index.htm
GOOS	国家/IOC	见附录B	全球或区域	http://ioc.unesco.org/goos/
CDIAC Oceans	JGOFS, CLIVAR, GLODAP, CARINA	CO ₂ 测量	全球	http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/home.html
PICIS PICNIC	PICIS	CO ₂ 测量	北太平洋	http://picnic.pices.jp
CARINA	CARINA	碳数据	大西洋	http://www.ifm.uni-kiel.de/fb2/research/carina
IOCCP	IOC - WMO - UNEP - ICSU	观测系统信息与协调	全球, 区域, 国家水平	http://www.ioccp.org
CLIVAR	WCRP	碳酸盐系统的重复水文地理考察, 水文地理, 痕量气体, 气象观测, 载有ADCP的考察船	全球, 盆地尺度, 5~10a重复; 沿着具有较密采样点的大陆架的30~50 km分辨率。整个水柱	http://www.sprint.clivar.org/ http://www.ioccp.org
Carbon SOOP	由IOCCP协调	海面CO ₂ 分压, 海洋颜色, 气象变量, 与CO ₂ , ¹³ C, ¹⁴ C, ¹⁸ O 的相关变量	区域(盆地尺度), 沿着轨道的连续观测, 月至季节水平	http://www.ifremer.fr/ird/soopip/instr.html http://www.ioccp.org
全球海洋时间序列观测系统	OOPC - CLIVAR - POGO, 由IOCCP编纂的碳信息	海洋CO ₂ 分压, 碳酸盐系统, 海洋颜色变量, 辅助的物理、气象、化学、生物观测	对研究点的固定系泊处或可重测站点, 高频至年际水平	http://www.oceantimeseries.org

* 包括直接发起者(通常是国家机构)和国际组织。

续表			
类型 (原地, 卫星)	发起者*	提供的数据与产品	时空覆盖 更多信息
海洋			
国际海洋颜色协调工作组	IOCCG, SCOR	盆地尺度表层生物生产力; 浮游植物自然荧光	全球空间覆盖,4-8 km分辨率, 海岸区,0.5-2 km分辨率, 每天到每周
大气			
GLOBALVIEW-CO ₂	国家/WMO	痕量气体浓度	全球; ~每周
多类型			
CO ₂ 信息中心	U.S. DOE	来自全球、区域和国家研究计划的海洋碳数据信息库	http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/globalview/index.html
卫星			
精细分辨率	NASA/CEOS	图像、土地覆盖	http://ivanova.gsfc.nasa.gov/daac/
	CNES/CEOS	图像、土地覆盖	http://www.spot.com/
	NASDA/CEOS	图像	http://www.eoc.nasda.go.jp
	CSA/CEOS	图像	http://www.spot.com/
中到大分辨率	NASA/CEOS	图像、土地覆盖及其变化 LAI; 火, CH ₄	http://ivanova.gsfc.nasa.gov/daac/
		太阳辐射; NPP	http://www.gewex.com/srb.html
	NOAA/CEOS	太阳辐射, 图像	http://www.osdpd.noaa.gov/
	NASDA/CNES/CEOS	OCT, POLDER	http://www.eoc.nasda.go.jp
	ESA/JRC (WFW)/EC	火	http://www.gvm.sai.jrc.it/
	CNES/SNSB/OSTC/SAL/EC	图像、土地覆盖及其变化 火, 生态系统生产力	http://www.vgt.vito.be/

* 包括直接发起者(通常是国家机构)和国际组织。

C.2 碳信息用户举例

计划	发起者*	所用/所需资料	时空覆盖	更多信息
<u>全球/国际计划</u>				
政府间气候变化专业委员会(IPCC)	联合国气候变化框架公约 (UNFCCC)	生态系统生产力	全球; 过去, 现在	http://www.ipcc.ch/
全球环境研究计划 (GERP)	所有国家和地区	所有变量	全球; 过去, 现在	http://www.igbp.kva.se/ http://www.ihdp.org/ http://www.wmo.ch/web/wcrp/wcrp/wcrp-home.html
国际海洋委员会(IOC)	联合国教科文组织(UNESCO)	海洋变量	全球, 区域, 所有时间尺度	http://ioc.unesco.org
国际地圈生物圈计划 (IGBP) (几个核心研究项目)	所有国家和地区	所有变量	全球; 过去, 现在	http://www.igbp.kva.se/
森林资源评估	联合国粮农组织(FAO)	土地覆盖及其变化; 生物量, 野火, 生产力	全球; 每5 a	
全球环境框架	联合国环境规划署(UNEP)	所有变量	全球; 现在; 每2 a	http://www1.unep.org/unep/eia/geo/reports.htm
非政府组织(NGOs)	公众、个人	土地覆盖及其变化; 生物量, 野火, 生产力	全球, 区域; 现在	http://www.wri.org/
生物多样性公约	国家	土地覆盖及其变化; 生物量, 野火, 生产力	国家至全球; 过去, 现在	http://www.wcmc.org.uk/ http://www.biodiv.org/
沙漠化防治公约	国家	所有变量	国家; 现在	http://www.unccd.de/
<u>国家计划</u>				
碳估算	国家, 如澳大利亚、美国、挪威	所有变量	现在; 国家; 基于预测	http://www.greenhouse.gov.au/ncas/ http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrpt/
资源规划(植被, 森林)	国家, 如澳大利亚、非洲、加拿大	所有变量	现在; 国家或次国家尺度	http://www.nlwra.gov.au/ http://melart.fao.org/default.htm
资源管理: 与火有关的管理	国家, 如非洲、印度尼西亚	野火, 土地覆盖及其变化, 生物量	现在; 国家	http://www.iffn.or.id/
资源管理: 作物, 水资源	国家, 如非洲	土地覆盖及其变化; 生物量, 生产力	现在; 国家	http://www.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/

C.3 用于全球碳循环观测的卫星*

机构	卫星***	碳循环传感器	分类**
CAST	SPOT-3, -4	HRV	1
CNES	SPOT-4, SPOT -5	HRG, VEGETATION	
CNES, EU	Radsat -1, -2	SAR	1
CSA	***		
DARA	ENVISAT-1		
ESA	ERS-2	ASAR, MERIS, AATSR, SCIAMACHY	1
ESA, CNES	SMOS ***	ATSR, AMI	1
EUMETSAT	METOP -1, -2, -3	MIRAS	1
EUMETSAT	MSG	AVHRR /3, IASI, ASCAT	1
INPE	MECB SSR-1, -2	SEVI	1
ISRO	IRS -1C, -1D	OBA	计划中
ISRO	IRS- P2, -P5, -P6	LISS-III, PAN, WIFS	
ISRO	IRS- P3, -P4	LISS-II (-IV), WIFS, HR-PAN, AwIFS	
NASA	EOS Aqua	MOS, WIFS, MSMR	
AIRS	1	CERES, MODIS, AMSR-E	
NASA	EOS Aura	HIRLDS, TES	1
NASA	EOS Terra	ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT	1
NASA	ESSP/VCL	MBLA	
NASA	ICESat	GLAS	1
NASA	Sea Winds		
QuikScat		1	1
NASA	SeaStar***	OCO	1
ORBIMAGE(NASA data buy)		SeaWIFS	1
NASA	NMP/EO-1	ALI, Hyperion	1
NASA, NASA	TRMM	CERES, VIRS	4
NASDA	ALOS	ALOS/PRISM, AVNIR-2, PALSAR, PRISM	1
NASDA, CNES	GCOM-B1, -B2 ***	GLI, POLDER, IMG	2
NASDA, CNES, NASA	ADEOS-II	GLI, POLDER-2	1
NASDA, NASA	GCOM - A1, - A2 ***	SAGE-III, ILAS-II??	2
NOAA	LandSat	ETM	1
NOAA	NPOESS	VIIRS, CrIS/ATMS, CMIS, OMPS, CERES	
NOAA	TIROS-N	AVHRR, TOVE	1
NOAA	GOES I,J,K,L,M		1
NOAA	GOES-N,O,P,Q		1
NOAA	GOES SEI		
NOAA, NASA	NPOESS Preparatory Project(NPP)***	VIIRS, CrIS/ATMS	3

* 该表仅包括了直接支持碳观测和产品的卫星，其他卫星也可能提供支撑信息。

** 分类：1=已计划发射卫星的确认与时间安排；2=利用已有技术的候选卫星；3=研究仪器/卫星使用仪器/卫星转向使用仪器/卫星转变；4=新技术、产品或卫星的发展；5=数据和信息系统。

*** 未包含在WMO/CEOS数据库中。

七、缩写和缩略词

ACSYS	北极气候系统研究	GCTE	全球变化和陆地生态系统
AGO	澳大利亚温室气体办公室	GECAFS	全球环境变化和食物系统
AIACC	气候变化的影响和适应评估	GECHS	全球环境变化和人类安全
AIRS	大气红外探测器	GEO	全球欧拉观测
AMSU	微波探测单位 (NOAA-15)	GEWEX	全球能源和水循环实验
APN	全球变化研究的亚太网络	GLASS	全球陆地/大气系统研究
APO	大气潜氧	GLOBEC	全球海洋生态系统动态
AutoMOD	自动模式海洋诊断装置	GLOBALHUBS	长寿命痕量气体测量的全球质量控制
AVHRR	甚高分辨率辐射计	GLODAP	全球海洋数据分析计划
BAHC	水循环的生物圈方面	GMPP	GEWEX 模拟和预测专业委员会
BASIN	生物圈 - 大气圈稳定性同位素网络	GOFc	森林覆盖全球观测
BATS	百慕大大西洋时间序列研究	GOOS	全球海洋观测系统
BWG	生物圈工作组	GPP	总第一性生产力
C4MIP	耦合碳循环气候模型比较计划	GTOS	全球陆地观测系统
CACGP	大气化学和全球污染委员会	HOT	夏威夷海洋时间序列计划
CARBOSAT	碳循环检测的ESA空间任务	IAI	全球变化研究美洲间研究所
CARINA	大西洋二氧化碳	IAEA	国际原子能机构
CAS	大气科学委员会	IASI	红外大气观测探测仪
CAVASSOO	商船碳变率研究	ICSU	国际科学联盟理事会
CCMLP	耦合碳模型联接计划	IDGEC	全球环境变化制度因素
CLIVAR	气候变化和可预报研究	IEA	国际能源机构
CMRA	碳管理研究活动	IGBP	国际地圈—生物圈计划
CMTT	大陆边缘任务组	IGCO	综合全球碳观测
COP	团体会议	IGOS-P	综合全球观测战略联盟
CRCGA	温室气体估算合作研究中心	IHDP	全球环境变化的人文因素计划
CSIRO	澳大利亚联邦科学和工业研究组织	ILEAPS	相互作用的陆地生态系统—大气过程
CZCS	海岸区域颜色扫描数据	IMAGE	评估温室效应的综合模型
DGVM	动态全球植被模型	IMBER	综合海洋生物地理化学和生态系统研究
DIC	溶解无机碳	IOC	政府间海洋学委员会
EMDI	生态系统模型数据比较	IOCCP	国际海洋碳协调计划
EMIC	中等复杂的地球系统模型	IPCC	政府间气候变化专业委员会
ENRICH	全球变化研究的欧洲网络	IT	工业转型
ENSO	厄尔尼诺南方涛动	ILTER	国际长期生态研究
ENVISAT	ESA卫星	JGOFs	联合全球海洋通量研究
EOS	地球观测卫星	JSC	联合科学委员会
ESA	欧洲空间机构	LBA	亚马孙大尺度生物圈大气圈实验
ESSP	地球系统科学联盟	Land project	陆地计划
EU	欧盟	LOICZ	海岸区陆地与海洋相互作用
FACE	自由大气二氧化碳富集	LUCC	土地利用与土地覆盖变化
FAO	联合国粮农组织	LUCCI	土地利用和气候变化对碳通量的影响
GAIM	全球分析、解释和模拟	MA	千年生态系统评估
GCM	全球气候模式	METOP	气象业务极地卫星
GCOS	全球气候观测系统	MODIS	中等分辨率成像分光辐射计
GCP	全球碳计划	NACP	北美碳计划

NASA	国家航天航空局	WMO	世界气象组织
NCAR	大气研究国家中心	WOCE	世界海洋环流实验
NEESPI	北方欧亚地球科学联盟计划		
NOAA	国家海洋和大气管理局		
NOCES	北部海洋碳交换研究		
NPP	净第一性生产力		
NSCAT	国家航空航天局电子散射仪		
OCO	轨道碳观测		
OCMIP	海洋碳循环模型比较计划		
OCTS	海洋颜色和温度扫描		
PAGES	过去全球变化		
PEEZ	经济特区特性		
PEF	热带森林和北方林的政治经济		
PEP	极地赤道极地样带		
PICES	北太平洋海洋科学组织		
PILPS	陆地表面参数化方案比较计划		
POLDER	地球反射的偏振和定向		
POC	颗粒有机碳		
ppm	百万分之一		
ppmv	体积的百万分之一		
SARCS	全球变化的分析、研究和培训系统的 东南亚区域委员会		
SBSTA	科学技术咨询辅助团体		
SCIAMACHY	大气绘图扫描成像吸收分光计		
SCOPE	环境问题科学委员会		
SCOR	海洋研究科学委员会		
SeaWiFs	海洋观测宽视域传感器		
SOIREE	南部海洋铁释放实验		
SOLAS	表层海洋-低层大气研究		
SOMNET	土壤有机质网络		
SOOP	商船		
SSC	科学指导委员会		
SST	海面温度		
START	全球变化的分析、研究和培训系统		
SVAT	土壤植被大气传输方案		
TCO	陆地碳观测		
TIROS-N	电视红外观测卫星 - Next		
TOPEX	雷达高度计海平面示踪美法轨道使命		
TOVS	TIROS 垂直操纵探测仪		
Traces	地球系统痕量气体和气溶胶循环		
TransCom	大气示踪传输模型比较计划		
UNFCCC	联合国气候变化框架公约		
USGCRP	美国碳循环科学计划		
WCRP	世界气候研究计划		
WGCM	耦合模型工作组		
WGSIP	季节至年际预测工作组		