

国际地圈生物圈计划

IGBP 科学丛书之四

GLOBAL
CHANGE



全球变化与地球系统 一颗重负之下的行星

全球环境变化计划

中文版序

自 20 世纪 80 年代开始,国际科学界先后发起并组织实施了以全球环境变化为研究对象,由四大姐妹研究计划组成的全球变化研究计划,即:世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、全球变化人文因素计划(IHDP)、生物多样性计划(DIVERSITAS),并最终导致了一门新兴学科——全球变化科学(Global Change Science)的产生。全球变化科学以“地球系统”为研究对象,将大气圈、水圈(含冰冻圈)、岩石圈和生物圈视为一个整体,探讨由一系列相互作用过程(包括系统各组成成分之间的相互作用,物理、化学和生物3大基本过程的相互作用以及人与地球的相互作用)联系起来的复杂非线性多重耦合系统——地球系统的运行机制。这种地球系统的整体观、对物理、化学、生物3大基本过程相互作用的研究,以及对人类活动影响地球环境的特别关注,使全球变化科学作为一门全新的集成科学出现在当代国际科学的前沿。本册《全球变化与地球系统》是 IGBP 科学丛书之四,它以通俗语言全面而扼要的总结了过去十年来国际全球变化研究的重要认识和主要成果,重点论述了全球变化与地球系统的性质和特点,以及人类活动所产生的影响,并指出了今后十年全球变化研究的发展方向。

过去 10 余年,大批科学家投身于全球变化的研究,取得了一系列重要进展,达成了有关全球变化研究共识,认识到全球变化必需围绕社会可持续发展中重大的环境问题,开展对地球系统的进一步研究。这对减少未来环境预测的不确定性、促进未来社会可持续发展具有不可估量的价值。

在国外全球变化领域兴起和我国环境问题亟待解决与社会可持续发展迫切需要的前提下,我国全球变化研究从 20 世纪 80 年代中叶开始蓬勃开展,经历了三个五年计划,形成了相当规模的研究队伍。特别是过去十余年,在中国科学院、国家自然科学基金委员会、国家科技部等有关部门的资助和组织下,实施了一批全球变化研究项目,取得了大量具有国际影响的研究成果,提高了我国在国际全球变化研究领域的“显示度”,为国际全球变化研究做出了重要贡献,同时,也为我国决策部门制定资源、环境和经济发展战略提供了科学依据。

21 世纪人类正面临着全球环境和全球社会可持续发展的巨大挑战,一方面人类受到来自变化中地球的严峻挑战,另一方面人类活动正以前所未有的幅度和速度影响着地球系统。人类社会如何应对全球环境变化的挑战,如何适应未来可能出现的环境变化以及如何有效地利用这种变化的环境,即人类如何合理的管理“地球生命支撑系统”,以满足人类对可持续发展的追求,是 21 世纪初全球变化研究必须回答的问题。

2003 年,IGBP 将正式进入第 2 个发展阶段。新阶段 IGBP 的成功与否将取决于研究的原创性与质量。在这个阶段,全球变化科学研究在方法上强调综合与集成,在研究内容上强调跨学科以及全球可持续性,在能力建设上强调知识储备、基础建设和公众宣传。本书中文版的发行势必将进一步促进全球变化科学在中国的普及,有助于我国该领域研究的发展。

未来 10 年,我国可持续发展将面临一系列严峻挑战,既要处理好人口、资源、环境等领域长期积累的问题,又要解决在发展过程中出现的新问题。基于国家发展的需求和地球科学研究重大跨越的时代背景,为响应国际全球变化研究科学管理和维护地球生命支撑系统的研究目标,满足人类社会对可持续发展的追求,我国全球变化科学界理当顺应国际全球变化科学和可持续发展科学的最新研究方向,在中国积极开展全球变化和可持续发展研究。

Will Steffen 教授现任 IGBP 秘书处执行主任,他发起了本书在中国的出版,并为中国读者撰写了中文版前言,我们对他的热情支持表示深切的谢意。

国际地圈生物圈计划中国全国委员会主席 陈宜瑜



中文版前言

应中国自然科学基金委员会的邀请，由我来为这部中文版《全球变化与地球系统》专刊撰写前言，我感到很高兴。这部文献总结了十年来“国际地圈生物圈计划”及其姐妹研究计划“全球变化计划”所开展的研究工作，阐述了人类生存，即我们与我们自己的生命支撑系统之间的关系等一系列重大问题。越来越多的证据表明，这种关系正日趋紧张。人类自身的活动正在威胁着我们所赖以生存的环境系统的生命力。这是一个全球性的问题，它超越了国界，超越了语言和文化；而且，这也是一个历史性的问题，虽然它产生于工业革命，但是它真正引起世人的关注才仅仅是最近五十年的事情。

在世界各国，中国对地球系统的未来恐怕会产生独特的影响。这是一片承受着巨大压力，但又拥有无限希望的土地。它人口众多，经济持续快速发展，而这些正是引起全球变化的其中两个因素。这片土地的历史是那么辉煌，文化是那么灿烂，人民又是那么生气勃勃。中国自古以来就被视为一个富于进取心和改革意识的国家，她已经成为亚洲发展的动力源泉，而亚洲地区在确定人类与环境之间关系的问题上，最终很可能要起决定性的作用。

全球变化研究中的一个基本内容是如何建立起坚实的、不断发展的科学知识基础。如同在社会的其他方面一样，中国在这个科学知识基础的建设上发展很快，并且已经做出了卓越贡献。中国有一支强有力的、而且正在变得越来越强大的从事全球变化研究的队伍。因此，这本介绍“国际地圈生物圈计划”研究工作小册的中文版成为其英文版之外所出版的第一个外文版本，也就合情合理了。

全球变化科学研究需要全世界科学家的共同参与。长期以来，国际全球变化研究，譬如“国际地圈生物圈计划”，都是由欧美等发达国家的科学团体主导的。这种状况必须改变，而且必须尽快得到改变。我希望《全球变化与地球系统》中文版的出版将是向着正确方向迈出的第一步。但是，这还仅仅是个开始。加强中国与其亚洲邻国，中国与国际全球变化研究团体和机构的合作必须接踵而来。国际地圈生物圈计划将在它的第二个十年中，致力于全球变化科学研究的全球化工作，我们邀请中国的科学家们与我们一起为实现这个目标而共同努力。

在此我特别感谢国际地圈生物圈计划中国全国委员会和中国国家自然科学基金委员会为中文版《全球变化与地球系统》的制作和出版所提供的专业支持和物质保障。我们期望“国际地圈生物圈计划”与国家自然科学基金委员会和国际地圈生物圈计划中国全国委员会等广大卓越科研团体，进一步展开富有成效的合作与联系。

国际地圈生物圈计划执行主任 Will Steffen





前 言

我们的世界目前正面临着严重的环境问题：洁净淡水短缺，陆地和水生生态系统退化，土壤侵蚀加剧，生物多样性破坏，大气化学性质变化，渔业产量下降，全球气候也有发生较大变化的可能。这些地球环境的变化，已经超出了地球本身自然变动的变化范围，它们与战争、贫困、疾病和营养不良等灾难一样，对人类的生存构成了威胁。

目前正在发生的这些变化，实际上是人与自然之间关系的变化。它们虽然发生的时间不长，但是其影响却很深远。而且，有很多变化正在加速进行中。这些变化对全球环境产生级联效应，它们还难以被认识，并且通常无法预测，而且很多时候会突然发生。由于这些全球环境变化是由人类活动造成的，因此，我们人类社会最起码要有所反应，要有针对性和有创造性地采取响应和适应策略。虽然，目前已经对有些变化采取了应对措施，但是对于绝大部分变化来说还没有这样做。如果这种状况持续下去，我们的地球最终将会变为一个不适合人类和其他生命生存的星球。

随着全球环境变化在人类社会中处于更为核心的地位，人们对全球变化的本质和严重性，以及它们对人类生活方式的影响开始了激烈而且充满分歧的国际性辩论，而科学也随之在这场辩论中被推到了一个陌生、尴尬、但又十分重要的位置上。在这场争论中，各方的利害关系都十分重大，因此，科学便在这场艰难的辩论中被委以重托，人们希望科学研究能够提供必要的知识基础，使人类社会有能力对全球变化的问题进行充分的讨论和思考，并最终拿出解决的办法来。

这本小册子所总结的过去 10 年全球变化领域所取得的研究成果，越来越深刻地揭示了地球系统所具有的复杂性和相互作用的本质，以及人类活动影响该系统的方式。全球变化研究已经开展了大量的令人感到振奋的科学研究工作，并且取得了丰硕成果。其中最为重要的成果之一，就是我们认识到地球系统已经超越了至少过去 50 万年的自然变率范围。目前，全球环境系统正在同时发生的这些变化的本质、变化的幅度和速率，在我们人类的历史上，甚至可能对整个地球的历史来说，都是前所未有的。

此外，我们还不能确定临界阈值在哪里，我们不清楚日益加剧的人类活动将是否、何时和如何推动地球系统走向并跨越临界阈值，进入地球的另一环境状态中。我们也不知道，地球系统应该具有什么样的特征和运行模式才能是一个强健的系统，因为我们希望建立这样一种强健的地球系统，希望当它与人类智慧，包括人类具有创造性的科学技术、政治体系和道德规范的高度发展相结合时，能够使我们安全地实现地球的可持续发展。目前，全球变化领域的科学研究工作已经为我们提高对地球系统的认识做出了大量贡献，但是，仍然还有大量的工作要做。

能否保证我们的未来是可以可持续发展的，这是一个令人望而生畏，却又迫在眉睫的挑战。我们有能力迎接这个挑战，但是，我们必须采取一种新的、更具活力的、综合的地球系统科学研究方法。这本小册子所概括的工作代表着面向未来、面向构建一种综合的地球系统科学、面向应对全球可持续性发展的伟大挑战所迈出的一步，这是很小的、但却是非常重要的一步。

| | |
|-------------------------|-------------------|
| 国际地圈生物圈计划(IGBP)主席 | Berrien Moore III |
| 全球环境变化人文因素计划(IHDP)主席 | Arild Underdal |
| 世界气候研究计划(WCRP)主席 | Peter Lemke |
| 国际生物多样性计划(DIVERSITAS)主席 | Michel Loreau |



- 中文版序
- 中文版前言
- 前言
- 2 ● 科学要点
- 4 ● 综合的地球系统



人与自然的关系
作为一个系统的地球
全球变化

- 7 ● 行星机制
 - 生物圈的作用
 - 时间变率
 - 联结与连通性
 - 突变与临界阈值

11 ● 人类世

全球变化的本质
变化的驱动力
地球系统的观点



15 ● 变化的反响

长期的观点
级联影响
相互作用过程与反馈



19 ● 全球变化下的人类生存

预期结果
多重相互作用的影响
地球系统风险

23 ● 发展地球系统科学

一个新纪元的黎明时分
前沿问题
应对复杂性与无规律性
地球系统工具包



27 ● 面向全球可持续性?

地球系统的合理管理
增强部门的判断力
全球可持续性的全球科学

30 ● 变化中地球的挑战

31 ● 附录：关于全球环境变化计划

- 后记

十余年前，人们认识到：地球是作为一个系统在运行着。在该系统中，海洋、大气和陆地以及其中的生命与非生命部分全都存在着相互联系。尽管这点被许多人所认可，但全球变化研究却很少以这个假说为基础。人们对地球作为一个系统如何运行、该系统的各部分如何链接、甚至于系统各种组成部分的重要性，知之甚少。我们对这个系统的反馈机制理解的不是很清楚，对控制系统的动力亦如此。

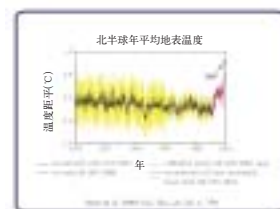
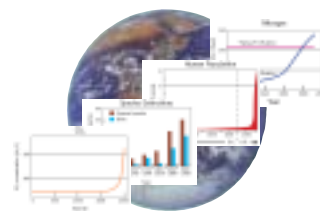
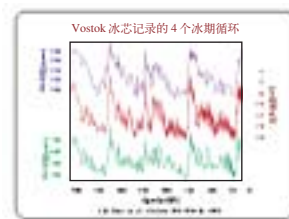
这些年来，人们获得了大量关于地球系统的科学知识。在许多方面，以往关于全球变化的本质和未来走向的不确定性已经减少。另外，有一点已经得到公认，即不确定性是系统内在的一部分。过去10年间，对人类如何引发全球变化的理解有了巨大突破。人们在地球系统变化的许多方面尝试将自然诱因与人类活动诱因分开，并获得了成功。这10年，是科学挑战的10年，是成就的10年，是激动人心的10年。

今天科学的景观与20世纪80年代末大不相同。大致说来，全球变化研究已经证实了许多10年前的假设和大量构想，在各个尺度上增加了很多量化的细节和对过程层次上的理解。由于在阐明过去全球变化方面的能力显著提高，人们对地球系统自然动力的理解已经大大进步了。现在，很显然，全球变化是人类新千年初所面临的一个极为重要的环境问题。

对10年来的全球变化研究进行总结是一项令人望而生畏，但又回报丰厚的任务。详细的结果和单个的案例任务不胜枚举。这些必须从即将由 Springer Verlag出版的IGBP系列丛书中的单个核心计划项目集成以及IGBP范围的集成研究中寻找得到。本摘要仅列出了总的科学要点，即所谓的重大发现。这些发现基于过去10年和更长时间世界范围内众多科学家发表的详细的、量化科学研究。

主要科学发现：

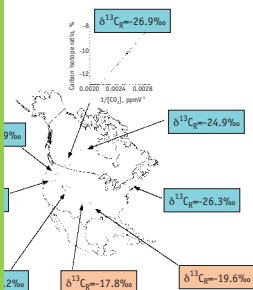
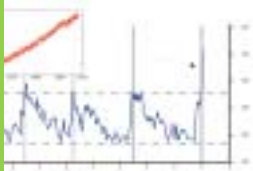
- **地球是一个可由生命自身控制的系统。**生物过程与物理和化学过程的剧烈相互作用形成了地球环境，但在维持地球环境使之适宜生存方面，生物所扮演的角色要比先前认为的重要得多。
- **全球变化不仅仅是气候变化。它真实存在，它正在发生，并且越来越快。**人类活动正以多种方式显著地影响着地球系统的运行；人类造成的变化可以清晰地辨识出来，并超过了自然变率，其范围和影响可与许多大的自然强迫相提并论。



- **人类活动驱动着多重相互作用的影响,这些影响以复杂的方式在地球系统中发生级联反应。**全球变化不能理解为简单的因果关系。人类活动的级联效应彼此影响,而且局地与区域尺度的变化以多维方式相互作用。
- **地球动力学以临界阈值和突变为特征。人类活动无意中触发的一些变化,能够给地球系统带来灾难性后果。**当然,就平流层臭氧损耗而言,这类变化看起来能勉强避免。过去50万年,地球系统是以不同的准稳定状态运行的,而突变包含其间。显然,人类活动有潜力改变地球系统,使其沿着也许不可逆转的替代性模式运行。
- **地球正在以一种前所未有的状态运行。**就关键的环境参数而言,地球系统最近已经完全超越了至少过去50万年自然变率的范围。地球系统正在发生的变化,其性质、幅度和速率,都是前所未有的。

从这些科学结果可以直接得出两个重要的结论,其一:社会反响要求阐明全球环境变化;其二:这种科学需要理解地球系统。

- **迫切需要全球管理的伦理规范和地球系统的管理战略。**实际上,人类在无意中对行星环境进行改造本身,就是一种管理,或者说是一种相当错误的管理方式,是不可持续的。因此,我们不得不尽快以有意识地合理管理战略,取代常规的改造地球的方式。
- **一个新颖的全球环境科学系统正在出现。**各种国际研究计划和众多国家项目的大量独立研究为地球系统科学奠定了基础。地球系统科学则囊括了上述研究发现所提出的认知工作。这门新的科学将应用创新的综合方法论,通过跨国国家的基础构架把自身组织到全球系统中,并在世界范围的资金管理部门中进行持续交流。





综合的地球系统

过去20年，一个新的需求已经开始成为环境关注的焦点。随着人们对地球生命支撑系统本质理解的突飞猛进，人类日益认识到：人类活动对地球系统运行施加的影响越来越快，而后者正是人类社会福利与未来所依赖的。

人与自然的关系

环境变化与人类社会之间的相互关系有一段漫长而复杂的历史，跨越几千年。他们因时因地而发生巨大变化。抛开这些时空差异不管，最近几年，一种全球观点已经开始出现，组成了一个日益扩大的环境科学研究团体框架。渐露端倪的关于地球本质的两个基本认识对该研究观点的出现至关重要。其一：地球本身是一个单独的系统，在该系统中生物圈是一个积极的重要组分。公平的说，生命是一个参与者，而非一个旁观者。其二：现在人类活动如此广泛、影响如此深远，以复杂的、相互作用的、加

速的方式在全球尺度上影响着地球。人类现在有能力改变地球系统，但其方式却会影响人类所赖以生存的生物和非生物过程和组分。

系统思想及其在环境中的应用并非新生事物。然而，直到最近，关于地球如何运行的大多理解仍仅应用于地球的某些方面（组分）。过去10到15年，关于地球系统的理解出现了一个真正新颖的观点，即：把地球系统视为一个整体。下述进展导致了这种理解上的显著变化。



- 从太空飞船上俯瞰地球，一个蓝绿色的球体漂浮在黑暗中，这触发了在一个渺无人烟的空间里的生命家园的强烈情感，触发了更多对物质有限而自我包含实体的解析理解。
- 全球观测系统允许将先前只用于子系统层次，或者区域或局地层次的概念应用到被视为一个整体的地球中。
- 全球数据库允许通过连续获得的数据来阐述全球尺度的现象，而这种数据有潜力在全球尺度上进行协调和对照研究。
- 推测过去地球系统过程特征的能力的显著进展，使得现在的观测能在一个一致的时间连续统一体中进行。
- 增强的计算能力不仅使得关键的数据模拟成为可能，而且日益复杂的模式提高了对功能相互作用和系统敏感性的理解。

在对人与环境关系的理解上，科学已经跨越了一个深刻转变的阈值，通过作为一个整体的人类社会并在作为一个单独系统的地球尺度上运行。

作为一个系统的地球

随着1999年Vostok冰芯42万年记录的发表，地球作为一个单独的、相互链接的自我控制系统的事实，成为瞩目的焦点（图1）。这些数据，被评为20世纪科学研究最为重要的成就之一；这些数据为地球这个综合的行星环境系统提供了强有力的时间背景和形象的可视证据。

Vostok冰芯数据给出了大量关于地球系统的认识。毫无疑问，以下3个显著特征表明地球是一个系统，具有将其视为一个系统整体所特有的属性与行为。

- 正如大气痕量气体CO₂和CH₄浓度所表明的，全球温度与全球碳循环的时间动力学紧密耦合，

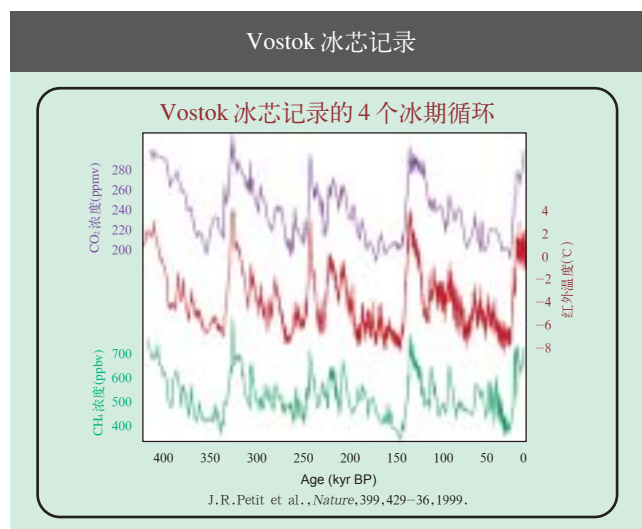


图1 过去42万年Vostok冰芯记录，显示了4个冰期—间冰期循环中，大气CO₂和CH₄浓度的常规格局以及推导出的温度变化。所有3个变量的上界与下界被严格控制。这些是自组织系统的典型特征。

引自: Petit et al. (1999) *Nature* 399, 429–436 by the PAGES (Past Global Changes) International Project Office.

而且二者有十分类似的变化模式。

- 温度与大气痕量气体浓度的主要最大值和最小值随时间呈规则的变化趋势，每个循环跨度大约10万年。
- 温度与痕量气体浓度的变化范围有一个上下限：在过去50万年地球系统的4个循环中，这些数值循环出现。

地球环境的系统行为源于外因——主要是近地球表层太阳辐射水平的变化——以及内因——地球环境自身的一系列巨大而复杂的反馈与强迫——的结合。无疑，是地球系统内在的动力，而不是外在的强迫，维系着地球生命的生存。例如，没有大气上部的臭氧层，更多有害的紫外线辐射将会进入地球表层；没有大气下部吸热的温室气体薄层，地球表层的平均温度将比现在低33℃。





最近人类对碳循环的影响

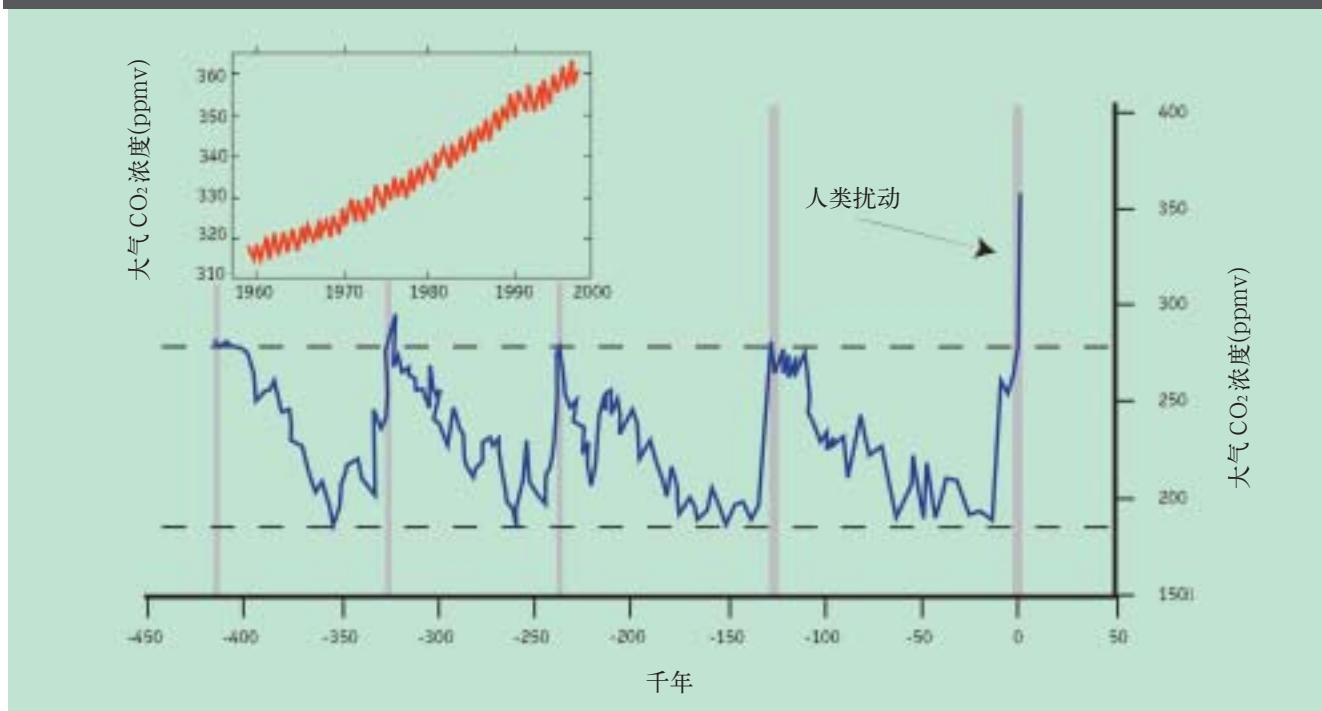


图2 Vostok 冰芯记录的大气 CO₂ 浓度与最近增加的人类干扰。插图显示，夏威夷 Mauna Loa 观象台所观测到的当代大气 CO₂ 浓度上升。

引自: Petit et al. (1999) *Nature* 399, 429–436 and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA

全球变化

在过去的几十年里，有证据显示行星尺度的变化正在迅速发生。这些变化进而改变着反映地球系统内在动力学特征的强迫与反馈格局（图2、3）。关键指示因子，如大气 CO₂ 浓度，正处于显著的变动中。许多情况下，这些变化与人类活动关联密切。有

一点人们认识得越来越清楚，地球系统正承受着源于人类活动的新行星尺度强迫的日渐多样化，包括人为固氮，温室气体的排放，自然植被的变迁与碎片化，生物物种的减少。正是这些以及类似的活动导致了全球变化现象的出现。

1000 年的气候变化

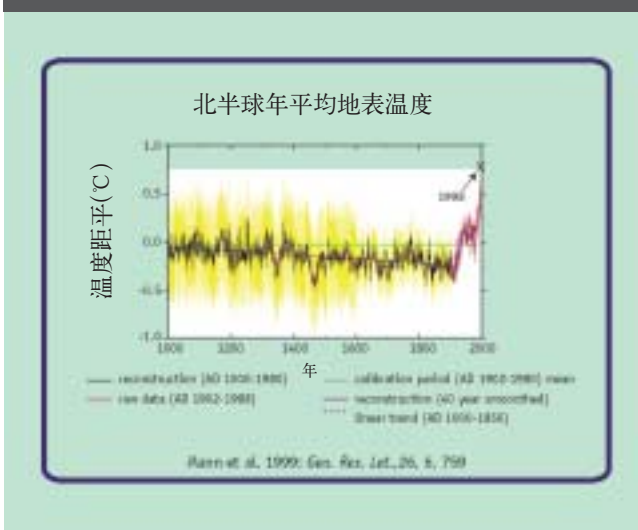


图3 过去 1000 年北半球年平均温度变化

注释 1：全球变化不仅仅是气候变化

术语“地球系统”指的是互相作用、互相影响的物理、化学、生物与人类过程的集合，这些过程实现了物质和能量的传输与转换，因而为行星上的生命提供了条件。气候指的是天气各种要素——例如，降水、温度、云量——的集合，气候系统则包括涉及海洋、陆地与海冰以及大气的过程。地球系统包括气候系统，地球系统运行的许多变化直接涉及气候变化。然而，地球系统还包括对它的运行很重要的其它生物物理与人类活动过程和组分。许多自然或人类驱动的全球系统变化能够在任何气候变化都不参与的情况下产生显著的后果。全球变化不应该与气候变化混淆，它要比气候变化内涵丰富得多。



行星机制

人类活动出现之前地球系统的本质特征成为一个重要的因素，这种认识提供了自然循环以及过程、格局与变率的背景。而人们不得不依赖这个背景对现在与未来人类活动造成的变化进行评估。过去 10 年，研究已经确定了许多地球系统运行方式的关键特征，全球环境正是赖此维持在适于生命生存的界限内。

生物圈的作用

生物学过程和物理化学过程的强烈相互作用创造了维持地球适于生命居住的环境。对地球系统的功能检验得越详细，就越有助于生命自身控制该系统。例如，生物过程对海洋吸收大气 CO_2 的贡献显著，这进而从长时间尺度上控制着大气 CO_2 浓度。浮游植物的光合作用削弱了海洋表层的 CO_2 含量，因此大气中较多的 CO_2 溶解于海洋表层。大约 25% 被上层浮游植物固定的碳沉入海底，这些碳远离大气

储存在这里，一呆就是几百或者几千年。这种生物泵，与制约 CO_2 溶解的物理-化学因子一起，控制着海洋与大气之间的 CO_2 交换方式。令人感到迷惑不解的是，涉及生物泵的浮游植物物种的本性也许是控制 CO_2 储存率与潜力的一把钥匙（图 4）。

在许多方面，陆地生物区同样也是一个地球系统运行的重要组分。例如，陆地表面分布的植被类型会影响通过蒸发回到大气的水量，以及对太阳辐





谁在那儿起作用？

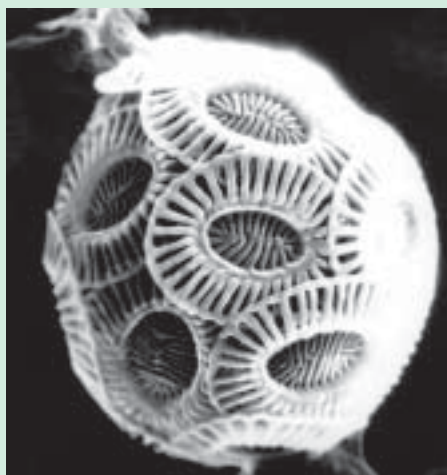


图4 在维持地球系统的化学平衡中，海洋中的生命起着重要的作用。海洋中浮游植物固定的碳恰巧是现存物种分类与规模的函数。例如，除了通过光合作用固定碳外，一种浮游植物球石藻类，像 *Emiliana Huxleyi*：（见上图显示）就会形成碳酸钙碎屑沉积。每层碎屑只有 $2.5\mu\text{m}$ 高，但许多是每年都可生成。据估计，每年旺盛期，*E. huxleyi* 会覆盖 140 万平方公里的海洋。这样，经过地质时期，大量球石藻类固定的碳沉积就积累了下来。例如，多佛的白色悬崖就主要是由球石藻类沉积组成的。

引自：K. Richardson.

射的吸收与反射。植被的根系分布与活动亦是一个重要的控制陆地—大气间碳与水存储与通量的因子。陆地生态系统的生物多样性影响着关键生态系统过程的幅度，如生产力，并且对变化中环境的生态系统运行的长期稳定有所影响。

时间变率

变率与变化是地球系统的事实。静态，即所谓的平衡条件几乎在任何时间尺度都不可能是地球系统的一部分。旧的观点认为，不同寻常的稳定状态主宰了过去几千年的人类文明发展，并代表了正常的状态。这个观点是错误的。记录表明，地球系统的运行在所有的的时间尺度上都在连续变化（图5）。

对过去证据的细致考察表明：

- 变率不仅反映在温度上，还表现在水循环上，这对人口数量往往更加重要，并且在过去所有时间尺度上已经表现得相当极端；
- 没有哪个单个的变量或区域能真正反映全球变率，全球平均条件掩盖了区域响应的巨大差异；
- 全新世晚期的自然强迫和边界条件同当前类似，有充分证据证明全新世晚期的变化范围显著超过了器测记录所捕获的变化。

气候系统变率

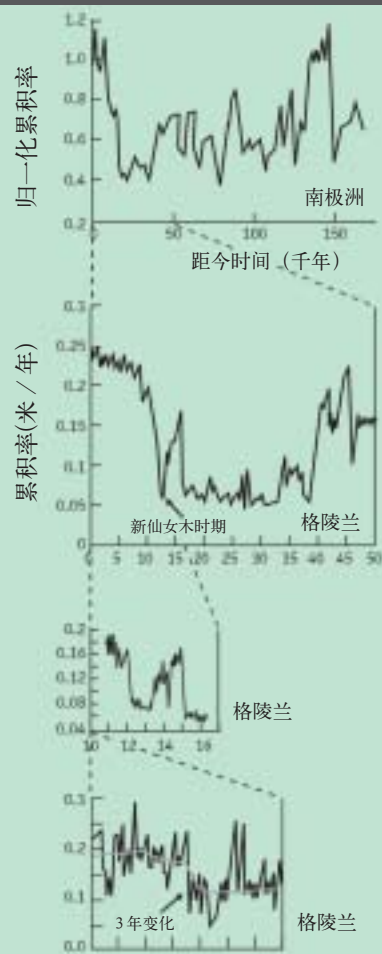


图5 气候系统变率。4个不同时间尺度的冰累积率历史。数据来自南极洲（上图）和格陵兰（下部3个图）。

引自：Jacobson et al. (eds.) (2000) *Earth System Science*, Academic Press, p. 479.



联结与连通性

行星机制最普遍的一个特征是：一个区域到几千公里外其它区域之间存在因果关系的一系列联结。在热量从赤道到极地的传输中，大气和海洋循环起着关键作用。河流中水的水平运移是另外一个重要的传输过程，它耦合了地球上似乎隔绝的部分。

通常我们只在考察大气污染的情况下才考虑的大气物质传输，通过长距离的陆地与海洋作用的联接，在自然的生物地球化学循环中也起着作用。例如，在南非，重复循环的气流携带着干旱地表的尘土以及工业区的烟雾，最终越过南印度洋向澳大利亚传输而去。部分气流沿着海洋的特定区有规律地沉降，在海洋表面堆积了富铁的尘土。这些铁，是浮游植物的微量营养元素，可以断断续续起着肥料的作用，使浮游生物繁殖生长。同时，也能解释为什么碳吸收的“热点”恰好能在南印度洋海域被观测到。

物质的水平传输也通过河流网络发生，这在区域到次大洲景观尺度上提供了联接山地与沿海区域、陆地与水生态系统的通道。河流通量已经成为地质

时间尺度上碳、磷和其它元素循环的一个关键途径。在人类进行明显干扰之前，陆地生态系统的营养循环通常严格限制在生态系本身，伴随着大量再循环；这时，很少有向河流网络的渗漏。只有当陆地营养循环暂时被罕见事件或接踵而来的罕见事件所干扰时，渗漏才会发生。

突变与临界阈值

从地球系统观点看，人类社会的发展与繁荣只是一个相当短暂的时段，而器测和现代科学研究开始的更晚。因此，人们形成了对地球环境的狭隘观点。那种认为单一的稳定平衡是地球环境的自然状态的观点与所观测到的过去全球变化不符。地球系

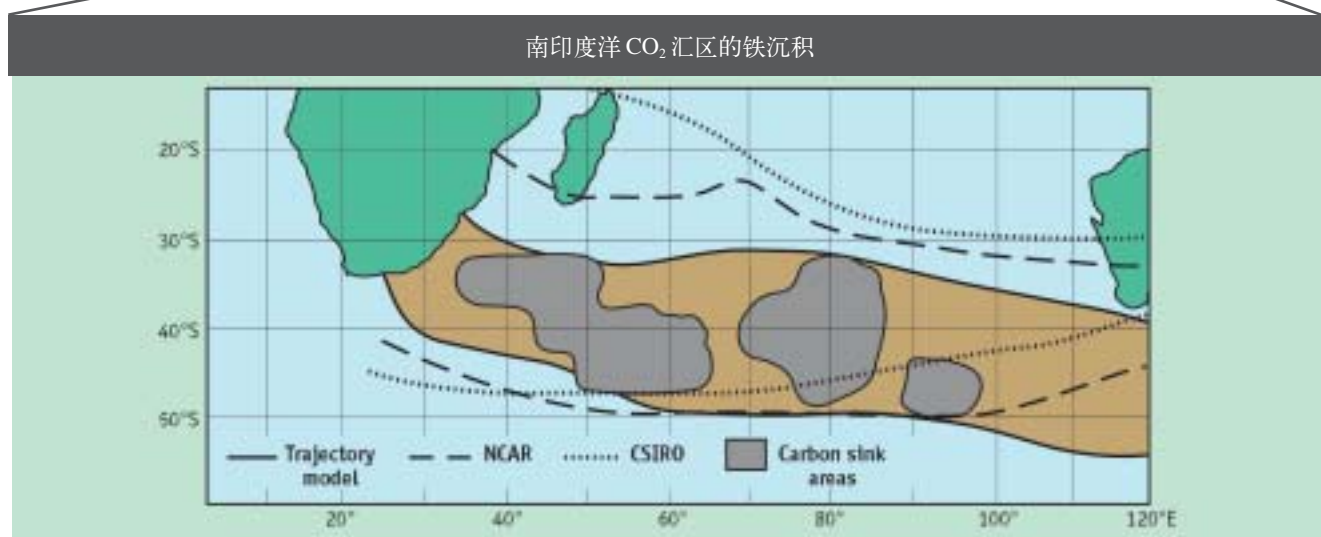
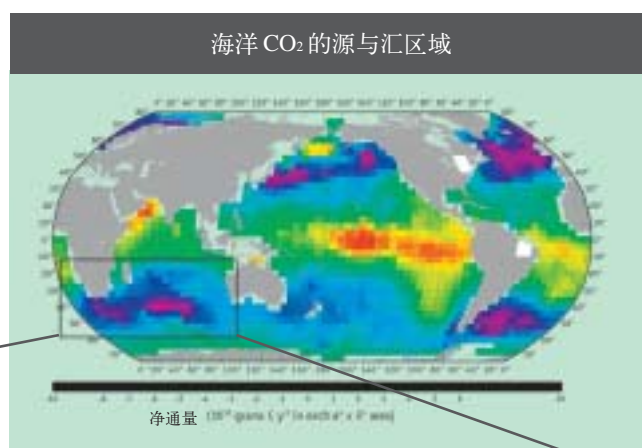


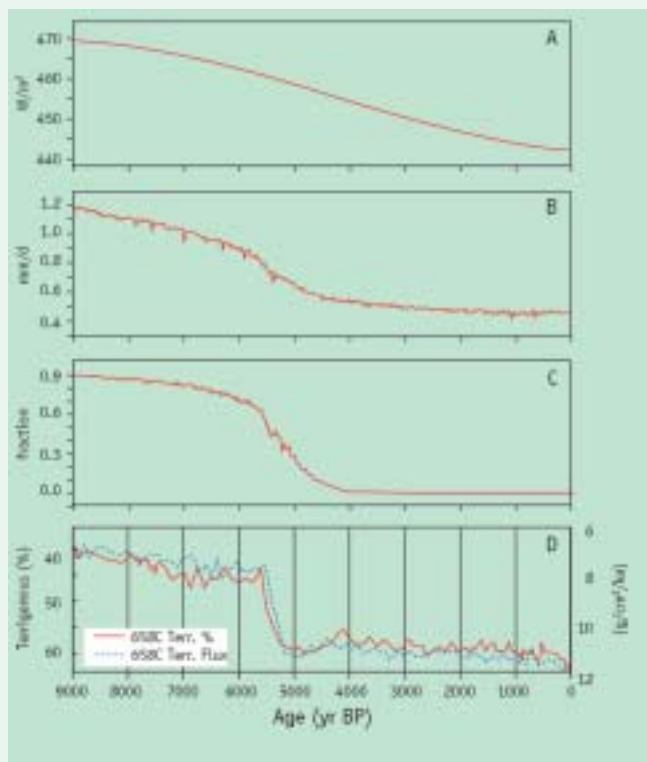
图6 上图：海洋表面的CO₂年平均交换。蓝色与紫色指示海洋吸收了大量CO₂的区域。下图：南非到南印度洋富含铁悬浮微粒的轨迹，及其在观测到的碳吸收区域的沉积。

引自：Takahashi et al. (1999) *Proc. 2nd Intl. Symp. on CO₂ in Oceans*, pp. 9–15. Piketh et al. (2000) *Sth. Afr. J. Sci.* 96, 244–246.





注释 2：绿色的撒哈拉



史前时期撒哈拉地区的严重荒漠化表明地球系统运行的几个重要特征。大约6千年前，撒哈拉—撒哈拉地区的气候要比现在湿润得多，植被覆盖类似于现在的非洲萨瓦纳。大约5500年前，区域气候发生突变，触发了一次快速转变，使撒哈拉地区转变为现在的沙漠环境。

最根本的原因是地球轨道的微小、精细变化，导致了太阳辐射在地球表面分布的细小变化（图A部分）。模拟显示，这个细小变化轻推地球系统使其跨过了阈值，触发了一系列生物物理反馈，进而导致了气候的变干（图B部分）。

植被对降水变化的响应更加显著（图C部分），这个区域

变成了今天的沙漠。模型预测表明：造成的风蚀增强、西非离岸沙子沉积增强，与观测值吻合得相当好（图D部分）。

模型模拟表明，正是由于广泛分离的大气、海洋、植被与海冰变化的相互影响，放大了最初的轨道强迫。北非从萨瓦纳到沙漠的突变说明：（1）当超越阈值时，突变能够发生；（2）生物圈在地球系统运行中起着关键作用；（3）遥相关是行星机制的一个本质特征。

照片：D. Parsons. Figure from Claussen et al. (1999) 24, 2037–2040 and deMenocal et al. (2000) Quat. Sci. Rev. 19, 347–361.

统的行为不是以稳定的均衡为特征，而是以强大的非线性为特征。在这里，相对小的强迫作用变化能够驱动这个系统跨越阈值，导致关键系统功能的突变（注释2）。

更加明确的是，古记录表明：

- 地球系统运行的关键转换发生在比冰期/间冰期循环短得多的时间尺度上；
- 所记录的变化发生得常常很迅速，而且幅度很大。许多情况下，在10年或更短时间内，大区域温度变化高达10℃；
- 尽管主要的反映地球系统重组的那些突变转换，

在绝对寒冷的冰期最为明显，但在过去的1万2千年间，它们并没有消失，特别是在低海拔地区；

- 这些变化表明广泛分布的空间一致性，但并不总是全球同步的；
- 复杂的半球间超前与滞后出现了，这要求反馈机制来增强并传播这些时空变化。

就目前与未来而言，这些观测尤其重要。它们提出了如下可能性：人类活动所导致的全球变化可能会触发气候与地球系统其它组分的突然的巨大转换，这种转换可以与过去已经发生的那些变化相提并论。



人 类 世

人类活动现在显著地影响着行星机制的运转。人类对地球系统的变化是多方面的、复杂的、相互作用的，经常呈指数变化，变化幅度在全球范围内也很显著。如果不加以控制，人类已经成为地球系统运行的一种强有力的强迫因子。

全球变化的本质

直到地球历史的最近，人类及其活动已经成为地球系统动力学的一种显著强迫。今天，就改变生物圈、影响地球系统运行的其它层面而言，人类已经开始赶上甚至超越了自然（图7）。人类诱发的变化，在幅度、空间尺度以及速率上均是前所未有的。在许多生物地球化学循环方面，人类活动现在赶上甚至超越了自然。人类活动影响的空间触角是全球性的，或者通过地球循环的流动，或者通过其状态的累积变化。这些变化的速度为几十到几百年，而不是地球系统自然动力学几百年到几千年的变化速率。

人类活动正影响或者甚至主导着地球环境及其运行的许多方面。其影响程度之大已经导致有人建议命名另外一个地质世，即人类世（Paul Crutzen 与 Eugene Stoermer 已经提出了“人类世”的术语，用来描述现在的时代。在这个时代，人类活动已经成为地球系统的一种显著强迫），已经开始：

- 过去几代，人类正在过度消耗化石燃料储藏，而这些储藏是历经数亿年才形成的；
- 由于直接的人类活动，近50%的陆地表层已经发生转变，并伴随着显著的生物多样性、营养





循环、土壤结构与生物学、气候变化等后果；

- 当前被复合固定并作为肥料用于农业中的氮，要比所有陆地生态系统自然固定的氮还要多；
- 所有可获得的淡水一半以上直接或间接被人类使用，在许多区域地下水资源正在迅速枯竭；
- 除 CO₂、CH₄ 外，几种在气候上有重要意义的大气温室气体的浓度已经显著上升；
- 沿海和海洋栖息地正被大规模改造；50% 的红树林已经被清除，湿地面积萎缩了一半；
- 大约 22% 的人们所知的海洋渔业被过度开发或者已经耗竭，超过 44% 的已经达到了开发的极限；
- 全世界海洋与陆地生态系统的消耗率迅速增长，地球第一次处在由一种单独的生物物种（即，人类）所造成的大耗竭事件中。

变化的驱动力

过去两个世纪，世界人口与经济财富迅速增长。这 2 个因子引起资源消耗显著上升，这在农业与粮食生产、工业发展、国际商业、能源生产、城市化甚至休闲活动方面表现突出。

当今，地球上居住了大约 60 亿人口。所有的居民均享有人类的基本需求，如对水、食物、住所、公共健康和就业的需求。满足这些需求的方式是所有尺度环境变化的关键决定因子（表 1）。在发达世界，富足，以及更为重要的对消费物品、娱乐、机动性、通讯、广泛的物资与服务的需求，对全球资源提出了显著的要求。1970~1999 年，全球能源消费上升了 84%，原料消费也大幅度增长。

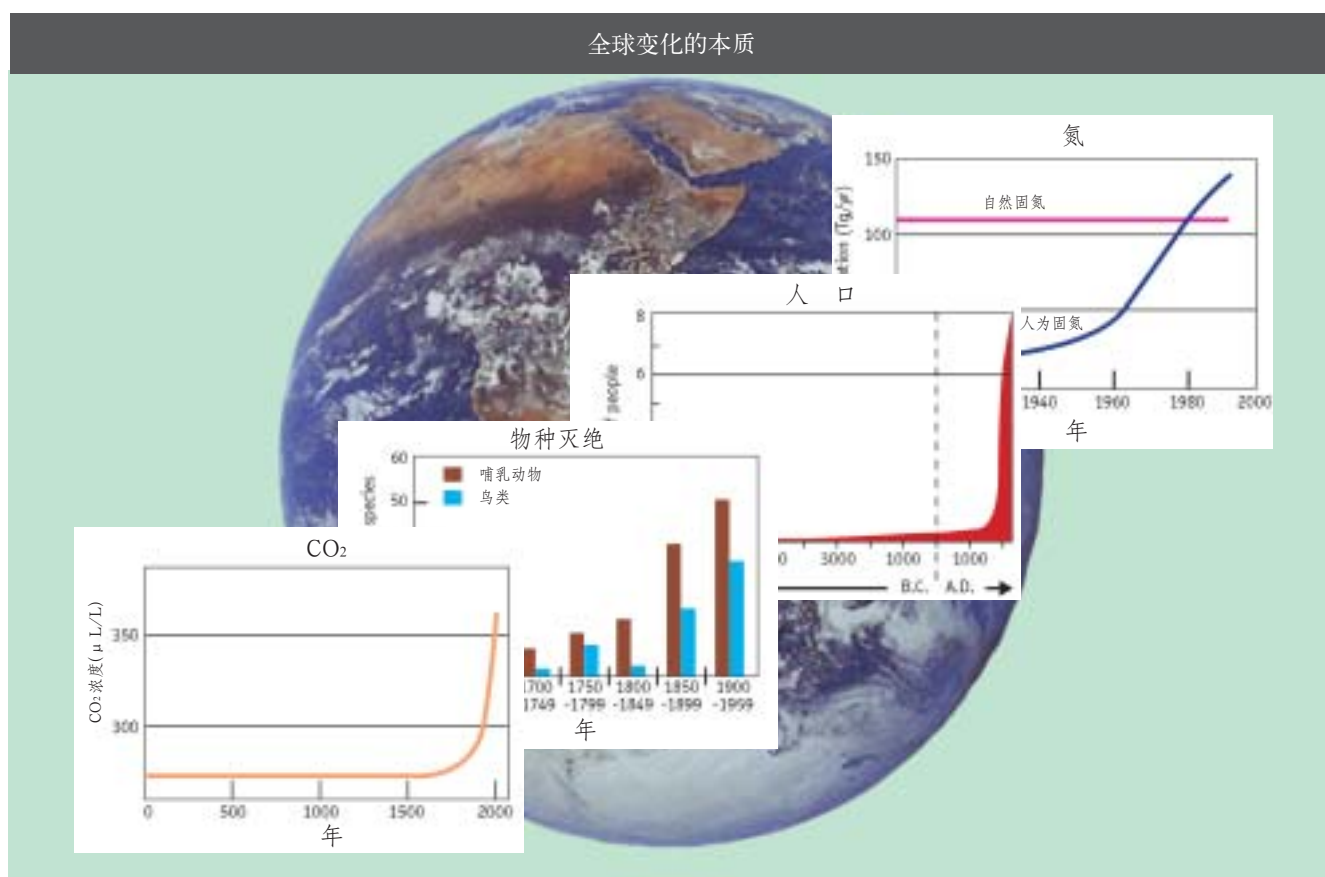


图 7 全球变化不仅仅是气候变化。它是由大范围的人类活动造成的全球环境变化组成的。许多变化正在加速，在局地 and 区域尺度上彼此相互作用，并与其它环境变化相互作用。

引自: Reid and Miller (1989) *The Scientific Basis for Conserving Biodiversity*. World Resources Institute; Vitousek (1994) *Ecology* 75: 1861-1876; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA.



表1 人类改变地球的直接和潜在的驱动因子

| 系统组分 | 直接的驱动因子 | 潜在的驱动因子 | |
|---|---|--|--|
|  | 陆地 空旷地(森林砍伐, 燃烧), 农业实践(如, 耕地, 施肥, 灌溉, 控制虫害, 高产作物, 等), 废弃地 | 食物需求(饮食偏好), 休闲, 其它生态系统物资与服务 | |
| | 大气 化石燃料燃烧, 土地利用变化(如, 农业实践), 生物量燃烧, 工业技术 | 机动性、消费者产品、食物需求 |  |
|  | 水 大坝, 蓄水量, 水网系统, 废弃物处理技术, 管理措施 | 水(直接供人类使用)、食物(灌溉)、消费者产品(工业过程的水利用)需求 | |
| | 沿海/海洋 土地覆盖转换, 地下水运移, 捕鱼强度与技术, 沿海建筑格局, 污水处理技术, 城市化 | 休闲、生活方式、食物、就业需求 |  |
| | 生物多样性 森林/自然生态系统清除, 外来物种的引进 | 食物、安全、舒适、景观舒适性需求 | |
|  | |  | |

表1 人类改变地球的直接和潜在的驱动因子。直接的驱动因子是指引起特定环境变化的直接的人类活动；潜在的驱动因子与个人和团体的基本需求与期望有关。在一个有着大量媒介——市场、公共机构、基础设施、政策、政治系统、文化价值——的连接序列中，直接的和潜在的驱动因子成为这个连接序列的末端。

20 世纪后半叶，随着全球人口增加了一倍有余，谷物生产增至3倍，能源消费增至4倍，经济活动增至5倍。尽管，这些加速的经济活动与能源消费大多发生在发达国家，但发展中世界也正开始在全球经济中起着较大的影响，因而对环境与资源的冲击也在增强。

在所有国家无论是发达国家还是发展中国家，

几乎所有的活动都需要能源。大多能源来自化石燃料的燃烧，这导致了CO₂以及其它痕量气体和气溶胶的排放。工业化已造成与物资的获取、生产、消费、配置相关联的严重的大气污染和水污染。当前，10万多种工业化学品被使用。随着农业、金属、电子、纺织品和粮食工业的发展，这个数字还在迅速上升。其中的许多种化学品能够对地球系统的运行





影响深远。

过去300年，用于农业的土地面积已经增长了5倍。而且，由于土壤侵蚀、化学污染、盐碱化等问题造成了大面积的土地退化。尽管使用化肥、杀虫剂，以及灌溉对人类大有裨益，农业产量已经提高，但这对地球系统的负面影响也是很大的。这包括生态系统运行的关键性转变，对N、P循环的干扰，物种多样性变化，土壤有机物质的丧失与土壤侵蚀。人类活动造成的海洋生态系统变化也很显著。

随着21世纪的来临，人口、发展、富足、技术以种种对地球系统有重要意义的方式相互作用。除非20世纪的一些变化趋势能够显著延缓或逆转，全球环境所承受的压力将进一步加大。我们必须制定有关战略，确保地球系统的可持续性，并与经济社会的发展相协调。

地球系统的观点

当长期以来全球人类引起的无数小规模变化集合在一起时，人类活动对地球系统的作用就比较明显了，作为一种全球尺度的强迫按其自身的发展规律影响着地球系统的运行。这种新压力的一些性质作为改变了的地球系统的重要特征而出现。

正如地球系统生物物理部分的结合与长距离的过程联系起来一样，社会经济和文化结合也与地球上广泛分割的区域的人类活动相联系。例如，市区依赖大的腹地满足其人口对食物、纺织品、水和其它生态系统物资与服务的需求。在大尺度上，全球化现象同样意义深远。一般而言，在增长的全球系统中，投资、工业化、商品化、经济活动正跨越国界和部门迅速发展。例如，欧洲或南美的投资决策会导致亚马逊河森林采伐率的急剧变化，随之而来的是相应的环境后果。总之，至少在未来几十年，城市化和全球化无疑会在全球尺度上深刻地驱动着环境变化。

人类驱动的变化并不是那么容易就能够确定，并归结为一个因果关系的。它们添加到地球系统的自然变率格局之中，并且通常与之相互作用。因此，为了理解地球系统运行变化的驱动因子的相对重要性，从自然变率中分离剖析人类的影响是极为重要的。例如，波动的沙丁鱼群体是由于过度捕捞，还是归因于自然变率呢（图8）？有足够的证据表明：直到最近，沙丁鱼群体与气候变率高度相关。然而，自20世纪中叶起，捕捞开始对鱼类资源施加显著压力。加利福尼亚沙丁鱼一例说明人类压力可以超越自然波动。20世纪40年代，由于气候变率的原因，沙丁鱼群体自然比较低。当时的过度捕捞导致资源衰退，在气候转好时无力复原。这是一个典型的自然变率与人类驱动的变化相互作用的案例。

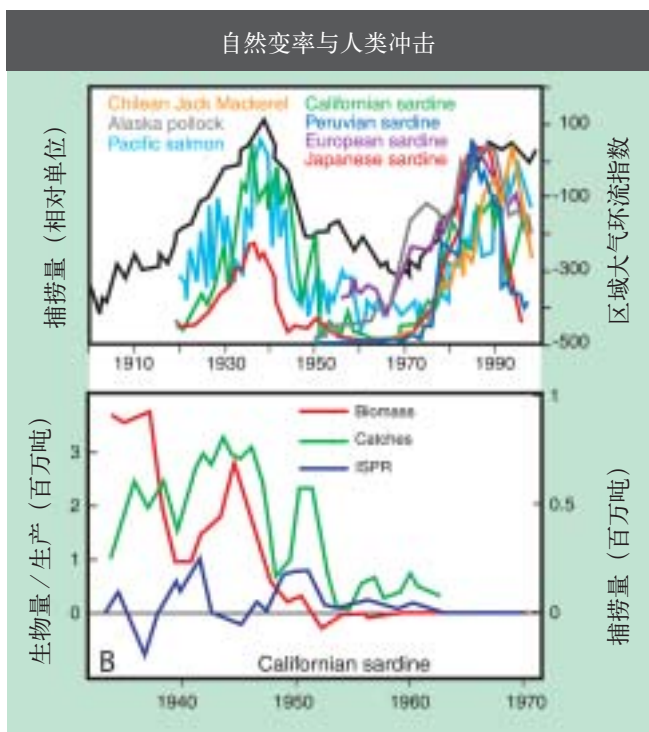


图8 上图：一些主要的商业鱼类捕捞趋势与作为气候变率的一种测度的大气环流指数（ACI）之间的相关。下图：加利福尼亚沙丁鱼群体数量变动，反映出20世纪40年代的过度捕捞造成沙丁鱼群体衰退。

引自：GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) International Project Office.



变化的反响

人类对地球系统的影响不是按照简单的因果关系发生作用的。一种单一的变化可以引发地球系统的一系列响应，进而通过地球系统产生反响或者级联效应，并常常同自然变率相互作用，成为未来变化的反馈。

长期的观点

历史时期人类活动引起的地球系统变化，为即将发生的当前更为显著的一系列人类变化提供了背景。要想深入理解和预测现在和将来要发生的变化，必须理解过去人类影响的长期累积效应，理解特定环境阈值，特别是导致地球系统恢复力减弱的阈值的本质。

人类活动造成的陆地生态系统退化常常同超越系统关键功能（如，生产力）的阈值所造成的转变相联系。例如，在新几内亚高地的部分地区，为了维持生存而过度开垦已经导致基于森林砍伐—存留

的园艺—林木再造循环的高产的森林—园地镶嵌分布，向一个稳定但生产力低下的草地生态系统转化。

由于沿波罗的海海滨的人类活动，波罗的海正经历着类似的变化。在过去的两个世纪，密集的人口大大提高了进入波罗的海的营养供应量，并超过了其能够承受的阈值。因而，富营养化发生，光线可穿透的深度减少，硅藻生产力平衡从深海底栖群落向浮游群落转变。为了理解未来全球变化对当前系统（如，新几内亚高地和波罗的海）的影响，必须研究过去人类驱动变化的级联效应。

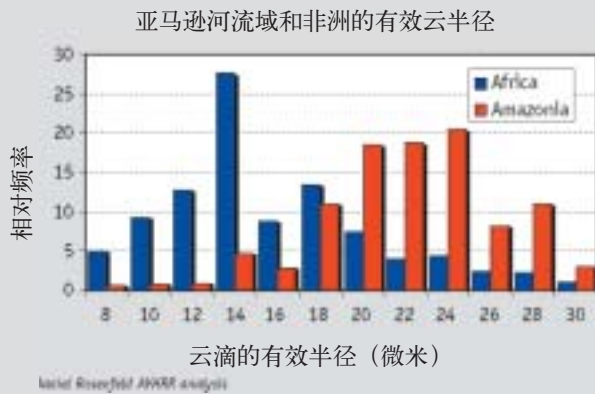


像化石燃料燃烧、土地利用变化影响，是通过地球系统以不同尺度不同方式发生反应的。土地利用变化本身常常是一个复杂的现象。起初，通常是自然生态系统（如，森林）转变为管理的农业系统。紧随而至的影响是明显的，如砍伐迹地燃烧向大气释放了大量的碳。但是，在最初的砍伐事件发生若干年后，其它影响才会通过环境在区域甚至全球尺度上发生级联效应。



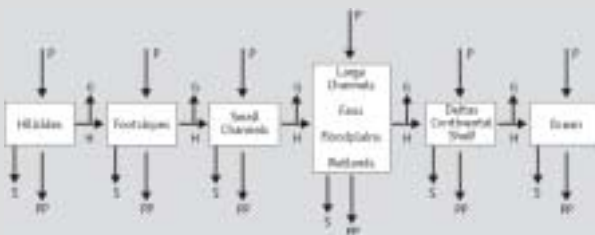
局地

在亚马逊河流域，同森林砍伐相关的生物量燃烧能够影响局地和区域的降水。同化石燃料燃烧一样，生物量燃烧也能产生不同大小的气溶胶。许多较大的粒子扮演着凝聚核的角色，将云滴凝聚而形成雨。较小的粒子则形成小的可抑制降雨的云滴。这种现象就出现在亚马逊河流域。土地利用变化的类似级联影响可能正在改变着其他区域的降雨，特别是在南非。



区域

在区域尺度上，对土地利用变化的反响是普遍存在的。例如，在不同景观生态系统，通过集水盆地径流和河流的搬运，溶解和粒子状态的碳、营养物质和其它物质的搬运级联到沿海地区。这些物质通常沿着长而复杂的路径，经历着形态的转变和沿途的暂时储存。这些物质对沿海地区地表形态和生物地球化学的影响是深远的。



引自：R. Wasson

全球

在全球尺度上通过气候系统的遥相关，土地利用变化可直接作用于地球系统。例如，模式研究显示，如果亚马逊河流域的土地覆盖从以热带森林为主变为以草地或是农作物为主，那么至少西半球的大气环流模式要发生变化。而这必然会从整体上引起全球环流的再调整。



引自：R. Avissar



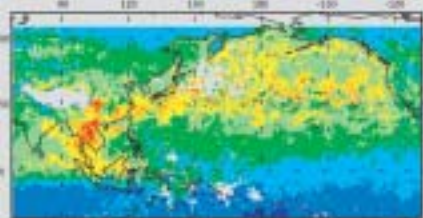
局地

林地变为牧草地或是耕地的直接影响包括：通过侵蚀和河流搬运或氧化造成的土壤有机碳损失及其向大气的释放。林地经过最初的砍伐后，土壤碳的损失要持续许多年，并受到所采取农业耕作类型的影响。累积到一定程度，土壤有机碳损失就在全球尺度上影响碳循环。

区域

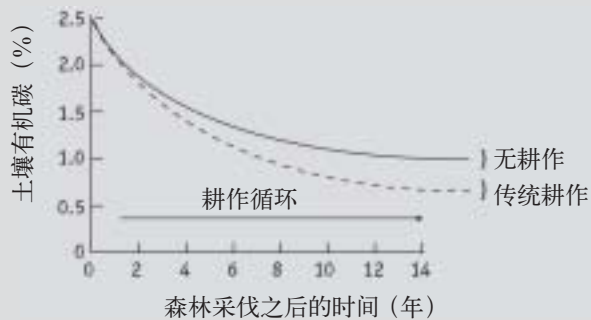
许多非洲大型草食动物依赖迁徙路径，跟踪气候、可饮用水源和草地的季节变化。最近，受全球农产品市场压力的影响，在肯尼亚 Serengeti 地区的许多地方，土地已用于大规模的小麦耕作。这些地区位于角马（注：羚羊的一种）的传统迁徙路径上。土地利用的变化已经严重干扰了角马一年一度的迁徙，使得该地区角马数量急剧下降。Serengeti 地区的坦桑尼亚一侧，由于不同的经济强迫作用，土地利用几乎没有什么改变，角马的迁移模式和种群数则保持不变。

全球



Generated by NCAR/ACD 2001/4/9 Binned 1.0° Lon by 1.0° Lat
引自：J. Gille and L. Emmons, National Center for Atmospheric Research, USA, J. Drummond, University of Toronto, Canada, and the National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA

经过最初的变化后，土地利用沿着不同的轨迹变化。对低强度的农业而言，一般的变化途径是首先增强垦殖，随后几年为了提高产量而加大管理力度，例如，施肥、灌溉和害虫防治。由于粮食需求增加、后备耕地较少，这种途径将变得越来越普遍。耕作强化改变了土地覆盖而发生的级联效应，减弱了某些效应但也增强了其它效应，如复合氮肥的增加与运移及其向大气和河道的排放。



引自：Adapted from K. Paustian et al. (1997) *Soil Use and Management* 13, 230-244.



引自：Remote Sensing and Regional Analysis Laboratory, UCLouvain, Belgium and Suzanne Serneels

在东南亚，与土地砍伐和农业耕作相关的生物燃烧是一个很重要的区域政治问题，但是其环境影响却是全球性的。2001年2月的卫星遥感影像显示，作为正常农业耕作方式一部分的季节性燃烧产生了大量CO集中在泰国上空。CO是一种对地球系统运行有着重要意义的氧化气体。当时，CO形成了跨越太平洋并延伸到美国西海岸的一条长带。



级联影响

地球系统对日益增强的人类强迫响应的本质要比简单的因果关系复杂得多，例如温室气体排放引起的全球变暖。化石燃料燃烧产生了大量具有级联影响的一系列气体。例如 CO₂ 不仅影响到气候，而且直接影响到植被的生长。它也改变了海洋中的碳酸盐化学性质，进而影响到海洋中的有机体。

化石燃料燃烧也产生像 NO 和 SO₂ 等的氧化气体。众所周知，这些气体会导致生态系统的酸化和富营养化。然而，这些气体最终能对地球系统基本功能（比如，大气对污染物的自我净化能力）的变化有所贡献。化石燃料燃烧产生的气溶胶可以促进或者抑制植物的生长，这要视不同的环境情况而定。并且，它可以直接影响到人类的健康，也可以直接或者间接导致大尺度的气候变化。

在局地、区域和全球尺度上，土地利用与土地覆盖变化也触发广泛的级联效应。注释3(16-17页)显示了最初的局地影响经过区域扩展到全球尺度的几条路径。

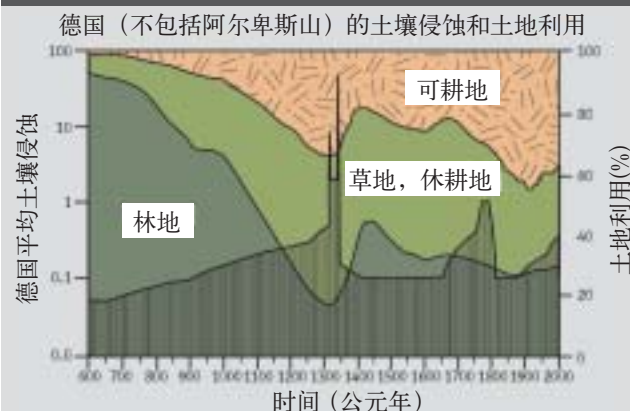
相互作用的过程和反馈

全球变化的发生起因于多种因素和相互作用着的强迫机制。地球系统的响应甚至更为复杂。在多种尺度上，全球变化同几乎令人困惑的大量自然变率方式以及人类引起的变化相互作用（注释4）。那些由相互作用的压力导致超越阈值、不断渐变的案例特别重要。

许多最为显著的相互作用的例子涉及土地利用变化同气候变率之间的相互影响。2001年3、4月份，源于中国北方的巨大沙尘暴，不仅袭击了中国东部的城市，而且一路越过太平洋将一层尘土覆盖在了美国的西北部。沙尘暴的渊源是复杂的，不能归结为一个简单的起因。人们已经观测到中国西北的长期干旱化气候趋势。最近的研究已将这种趋势，至少部分上，同过去东亚农耕土地变化联系起来。当前土地利用变化使这种情形更加恶化，而这种土

地利用变化或许与以下政策有关：中国东部城市化，导致农业用地丧失，于是由西部耕地来补偿。这种新开垦的土地几乎总是分布在半干旱地区，即农牧业交错地带。现在的情况，特别是过去三年发生的严重沙尘暴事件，是由于过去几个世纪相互作用的因子——过去和现在土地利用变化与短期气候变异、长期气候趋势、人类制度和政策变化相耦合的双重打击——级联的结果。

注释4：中世纪德国的气候变异、土地利用变化和土壤侵蚀



14世纪初到中叶，德国大面积的水土流失事件显示了土地利用和气候变异相互作用的强大自然力量。大约公元600年以后的多个世纪里，德国日益增加的人口已经使林地和灌木林稳定地被砍伐、开垦为耕地；到14世纪初期，仅有15%的土地保留为林地。土地覆盖的变化使径流增加了60%。1342年，当千年一遇的大雨袭击中欧的时候，通过德国的河水流速极快，竟然超过了20世纪河水最大流速的50到200倍！这对人类和环境系统的级联影响是深远的，甚至持续了一个多世纪。洪水席卷了庄稼、村庄、桥梁等基础设施，土壤侵蚀更是史无前例，随之而来的是作物产量暴跌和饥饿蔓延。几年之后，黑死病光临德国，造成超过三分之一的体弱者死亡。100多年里，农耕地撂荒，林地和灌木林面积则增加了三倍，这进而改变了蒸腾率、地表径流和水土流失。16世纪末，情况才最终再度稳定下来。

图引自: Bork et al. (1998) *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften*, Gotha (Klett-Perthes) by the PAGES (Past Global Changes) International Project Office.



全球变化下的人类生存

地球系统运行中发生着的变化对人类的福利意义深远。行星生命支撑系统提供的基本物资和服务，像食物的数量与质量、水资源、空气质量和有益于人类健康的环境等，都正受到全球变化的影响。在另一个层面上，全球变化也给地球系统自身的稳定带来了潜在的严重后果。

预期结果

现在有明确的证据说明人类活动正在全球尺度上影响着地球环境。越来越多的确凿的证据显示：地球系统的运行正在做出不同的响应。这些明显正在加速的变化可能如何影响人类的福利？全球变化正同21世纪的粮食和水两大资源问题相互交叉。面对地球系统运行的加速变化，不断增加的人口如何获取足够的水和食物，而避免在这个进程中不再引起地球系统的进一步变化？

过去的研究已经给我们提供了探讨下面一些问

题的线索：地球系统的自然变化是如何影响早期人类文明的？以及给其资源基础所带来怎样的后果？过去文明的成功或失败无疑应归因于这些大量因子，特别是文化和社会组织。然而，在某些情况下，有令人信服的证据表明：在决定一种特定文明的命运方面，气候变异，特别是在水文循环中，是一个重要的甚至也许是个决定因子（图9）。至少，我们知道人类社会，包括今天的社会在内，能够受到像洪水和干旱这样的极端事件的深刻影响，甚至会因这些事件影响而毁灭。



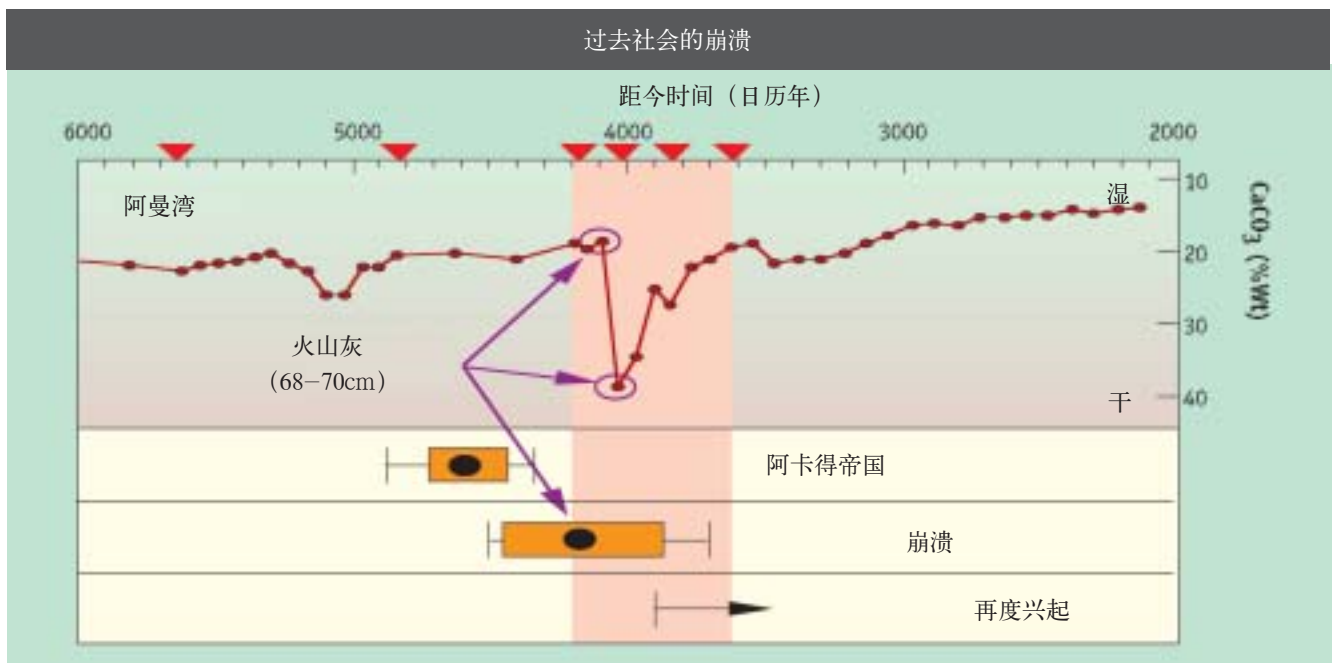


图9 干旱发生同人类文明崩溃的关系案例。虽然环境变化以外的许多因子影响着人类文明的成功或失败，但是大约4000年前，阿卡得帝国疆域内发生的严重干旱很可能是其灭亡的重要因子。

我们如何预测当代全球变化对人类社会的影响？情景驱动影响研究方法是最常用的，并已经取得了巨大成功。这种方法常常用50~100年的气候变化情景去驱动生物物理环境变化模型，如作物产量模型。这些影响可进一步连接一起，用于模拟全球变化的社会经济影响。更复杂的方法，像综合评估技术，不仅允许全球变化众多驱动因子之间相互作用，也容许对变化情景自身影响/结果进行反馈。尽管取得了成功，但是情景驱动研究方法也有许多限制，包括不确定性会通过模型链传播与放大、阈值影响和非线性的确定与模拟问题、解决多重相互作用压力的困难，等等。

经典情景驱动研究方法已经被用于调查单个影响压力（如，气候变化）对特定部门（如，农业）、人类健康和旅游业的影响。有人提议了一种更为实际和有用的替代性研究方法。对一个特定社会团体或生态系统而言，这种方法从考虑所需要或避免的变化结果（例如，食物安全或生物多样性的变化）出发，之后，该方法考察变化发生的临界阈值和最重要的驱动因子。这类逆向敏感性分析允许考虑地球

系统中的多重相互作用的压力，以及营造作为一个整体的系统的丰富而强有力的情景。

多重相互作用的影响

过去十年，尽管同时伴随发生了许多具有全球性影响的环境变化，但全球变化研究领域的主要关注焦点集中在单一变化上，特别是气候变化。在局地 and 区域尺度上，人们通常关注城市大气污染、有毒化学物质、酸雨和其它孤立的问题。在未来，研究重点将不得不放在局地、区域和全球尺度作用力与变化影响的相互作用上。

珊瑚礁是小岛国的一种重要食物来源，也是大多数国家的一种经济资源。珊瑚礁很好地显示出多重相互作用的压力的特性。自然干扰是珊瑚礁动力学的一种重要组分。即使没有任何人类的压力，珊瑚礁也遭受到捕食和撞击、暴风雨和飓风、自然漂白事件、棘冠星鱼爆发和自然流行病等影响。在大多数情况下，珊瑚礁能对付这些扰动，并在结构和功能方面恢复到其原有状态。

在过去几十年或上一个世纪，日益增加的人类



多重相互作用的影响

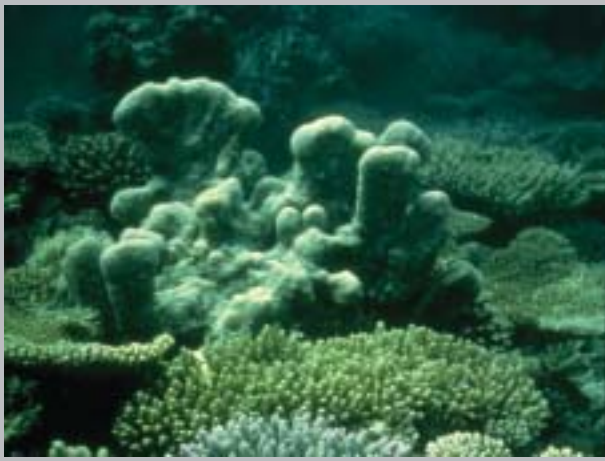


图 10 珊瑚礁是一个承受着多重相互作用因子的生态系统的很好例证。

引自: World Data Center for Paleoclimatology slide set (Jerry Wellington)

压力已经开始同珊瑚礁的自然扰动动力相互作用。这些包括: 来自沿岸农业和工业活动的营养荷载增长, 捕捞和迅速增长的旅游业压力, 特别是在珊瑚礁上建立旅游设施的位置, 所导致的珊瑚礁生态系统结构改变。

全球变化正在对地球系统施加更多的压力。大气 CO₂ 的增加已经引起海洋上层 CO₂ 上升, 改变了碳酸盐化学性质, 进而影响了珊瑚礁有机体生成碳酸钙贝壳的能力。据估计, 大气 CO₂ 倍增可导致珊瑚礁有机体的钙化率降低 30%。海洋上层的变暖, 任何暴风或飓风频率的增长, 也将影响珊瑚礁。

珊瑚礁的命运并不是由全球变化自身简单的因果关系决定的。相反, 同珊瑚礁生态系统的自然动力学、其它人类驱动的压力相互作用着的全球变化, 很可能会驱动珊瑚礁生态系统进入其他状态。

地球系统风险

古纪录表明: 突变和意外事件是地球系统的共性, 器测时期之前记录的环境极端事件频繁发生。平流层臭氧事件(注释5)表明: 地球系统灾难性事件不仅是可能的, 而且最近人类才勉为其难地逃过

一劫。另外, 当作为一个整体的地球系统对日益加速的一系列相互作用的压力进行调整时, 灾难性事件也可能会出现。

地球系统中一个潜在的灾难性扰动的例子是, 陆地和海洋生物圈对大气 CO₂ 增加减缓能力的变化。本世纪晚些时候, 这种能力有可能变弱或失效。平均起来, 当前陆地和海洋汇吸收了超过 1/2 的通过化石燃料燃烧排放到大气中的 CO₂。陆地汇对气候变化高度敏感, 在温暖年份汇的强度减弱。基于控制陆地汇过程的模式表明汇的强度将在本世纪中叶趋于稳定, 随后将降低(图 11)。同时, 除非采取有效的缓解措施, 否则 CO₂ 的增长将必然持续下去。

海洋的 CO₂ 吸收也对温度敏感。当海水温度升高时, 海水的 CO₂ 溶解性削弱。控制海洋 CO₂ 生物吸收的过程模拟表明, 随着预测的气候变化, 海洋的 CO₂ 汇也将减弱。

本世纪, 吸收大气 CO₂ 的主要过程可能变缓, 地球系统对人类引起的大气 CO₂ 增长的抑制可能失败,

陆地碳“汇”的饱和

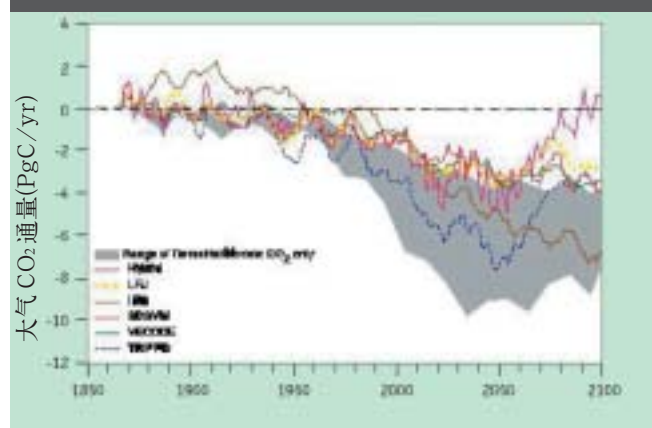


图 11 模式模拟了随着大气 CO₂ 浓度和气候变化, 陆地生物圈吸收大气 CO₂ 的能力。灰色的阴影区域仅代表了 CO₂ 浓度的变化结果。19 世纪末到 2050 年, 陆地表面将扮演一个增加的“汇”的角色。2050 年之后, 模式显示陆地生物圈将失去吸收大气中多余碳的能力, 碳“汇”将趋于饱和。

引自: Cramer et al.(2001) Glob. Ch. Biol. 7, 357-374.





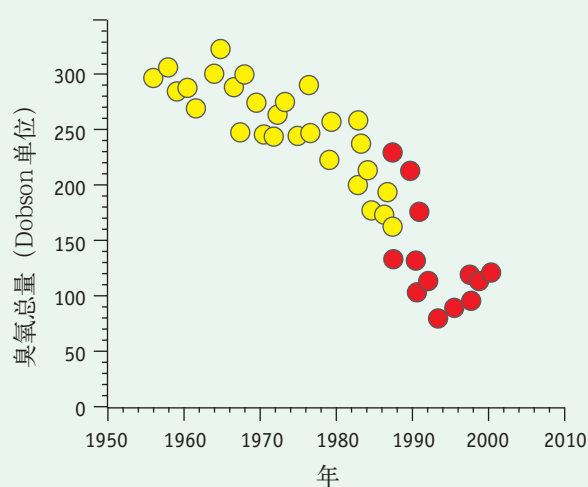
大气 CO₂ 浓度可能显著加剧，这会导致地球系统出现一个正反馈链，从而推动地球系统进入另外一种状态。

地球系统另外一个潜在的灾难性扰动是，正在减慢或停止了北大西洋温盐环流以及相随的墨西哥湾流转变。巨大热量随着海水的运动进行全球性

传输。例如，在这个传输过程中，北大西洋东部区域是热量的吸收区。这使得北纬 60 度的斯堪的纳维亚地区的人类生存比加拿大北部和西伯利亚地区更为舒适。传输到北大西洋的热力环流是由格陵兰和北极海冰的形成驱动的。当冰形成时，盐被强制从冰中释放出来。这样，围绕着冰的海水既冷又咸。海水密度增加促使表层海水下沉。这样，海洋表层的冷水被来自墨西哥湾流和北大西洋环流的温暖海水所取代，从而完成了这个环流循环。随着温暖海水的变冷，它们释放热量到邻近区域。如果这种大洋环流变弱或逆转，其对气候的影响将是非常显著的。大家知道，这种突然转变在过去已经自然发生过。

古纪录显示，过去 1 万 5 千年北半球已经发生了显著的气候突变；越来越多的证据表明，这些变化同北大西洋环流的减缓或重新组织有关。在未来几十年，现在地球系统中各种人类强迫能够触发相似的变化吗？到目前为止，这个问题还无法回答。但是，在将来，如果力图避免的巨大灾难可能存在，这个问题就必须得到解决。

注释 5 平流层臭氧：一种幸运的逃脱



引自：British Antarctic Survey

随着作为气雾罐装品气雾剂、溶剂、制冷剂和发泡剂的氟里昂的广泛使用，臭氧洞的发生和发展是一个无法预料和无意识的结果。如果不注意，用溴氟烃来替代氟里昂，其结果将是灾难性的。就其作为制冷剂或绝缘体的功能而言，溴氟烃同氟里昂的效果是一样的。然而，基于原子对原子的分析，溴原子对臭氧的破坏效果约是氯原子的 100 倍。正如诺贝尔奖获得者 Paul Crutzen 所写，“如果化学工业已经开发出代替氟里昂的有机溴化合物——或者，替代性地，如果氯化学的运行效果同溴化学一样——那么，也许不等大气化学家拥有必备的知识来鉴别该问题、以及拥有必须进行关键测量的合适技术，在 20 世纪 70 年代的各个季节，我们将毫无准备地到处面临灾难性的臭氧洞。这将给人类带来灾难性的噩梦。注意，在 1974 年之前，没有人能够给出解决氯或溴排放所带来的大气后果的任何方法，我也只能推断：人类已经是相当幸运了。”

(引自：P. Crutzen (1995) *My life with O₃, NO_x and other YZO_xs*. Les Prix Nobel (The Nobel Prizes) 1995. Stockholm; Almqvist & Wiksell International. pp. 123–157).



发展地球系统科学

理解变化中地球的挑战不仅需要系统科学，也需要一个新的科学系统。这个新方法必须保留并巩固现存的行星机制研究工具，必须开发新的系统级别的综合方法，建立社会与自然科学进行实质性合作的有效框架。

一个新纪元的黎明时分

迅速变化着的地球面临前所未有的挑战，需要前所未有的战略，以产生新的科学知识来支持社会行动。地球系统的学科研究中涌现出了许多激动人心的新知识、远见卓识和理解。需要的甚至更多。然而，最大的挑战是发展一门实质性的综合科学，以创新的深刻的方式把部门研究结合起来，达到理解整体行星生命支撑系统动力学的目标。

对要求阐述面向未来的地球系统科学研究议事日程的那种研究，必须赋予新的特征：

- 继续在具体事项上支持并推动行星机制的部门

研究，但应该是从系统的角度；

- 把经典分析科学的优点——因果关系的确定——嵌入到复杂系统分析中。后者直接阐述挑战其自身传统研究方法的整合、相互关系与非线性；
- 把自下而上方法应用到显系统层次的研究战略综合开发上，直接阐明复杂系统较大尺度上出现的现象；
- 总之，必须跨越自然与社会科学的学科界限，因为地球系统科学最终关注的是完全超出任何单个研究领域的议题。





前沿问题

分析问题

地球系统的临界阈值、瓶颈、转变是什么？主要动力学格局、遥相关、反馈链？

地球自然变率的特征状态与时间尺度？

在地球系统层次，重要的人为干扰有哪些？它们与突发的极端事件如何相互作用？

对全球变化最为脆弱的区域有哪些？

方法学问题

构建地球系统表象——集合没必要的细节、保留重要的系统层次特征——的原则是什么？需求的复杂性和分辨率水平？

生产、处理、综合与地球系统有关的数据集的最优全球战略是什么？

分析、可能预测无规律事件的最佳技术是什么？

综合自然科学与社会科学范例、研究方法和知识的最为恰当的方法学是什么？

标准问题

区分可持续与不可持续未来的一般标准与原则是什么？在各种假设和评估下，地球的人类承载力是什么？什么样的过程，自然的和人文的，最有可能抑制或危及这些目标？

在可以被人类活动所触发但应该避免的状态下，地球系统潜在变化是什么？

支配全球环境响应战略的公平性原则是什么？

战略问题

响应全球变化的最优适应与减缓措施是什么？

地表自然保护区与人工管理区域的最佳分布是什么？

用于技术修复，如地学工程和遗传改变的知识水平、价值/文化基础、选择和告诫是什么？

一个可以实施的有效的全球环境与开发体制系统的结构是什么？

表2 旨在引导未来地球系统科学的有关研究问题举例

引自：GAIM (Global Analysis, Integration and Modelling) Task Force of the IGBP.

综合地球系统科学已经开始崭露头角。地面观测与空间观测几乎每天都能提供一些新认识，重点研究全球变化的跨学科研究中心正在全世界蓬勃发展，全球环境变化计划正开始构建一个国际科学研究框架。指导这种科学的问题应该是什么？需要什么样的新研究战略来处理地球系统的复杂本质？需要什么样的工具来做这些工作？

前沿问题

过去10年，全球变化研究已经解答了许多重要问题，但这个过程也产生了一些新的问题。更为重要的是，该研究现在已经上升到一个理解高度，允许确定有助于制定地球环境系统层次研究的议事日程，而这是在全球可持续性道路上必须阐明的关键问题。表2给出了这类当前正处于发展中的一些问题的例子，包括从分析、方法学研究问题到依赖于价值判断的标准化、战略问题。

应对复杂性与无规律性

大多数环境系统以大量非线性内在的相互作用与外在的强迫为特征。结果，它们并非经常表现出有规律性、可预测性，而是表现出无序的动力学，或者在适当的强迫下，突然转换为新的运行模式。当人类活动牵涉其间时，这些系统经常变得更为复杂，人类活动引进了更多的不确定性因素。在地球系统层次，所有这类困难都有所反映并被明显放大，因为必须考虑数百万个错综复杂的局地、区域和全球过程中的联系与反馈。

为了应对这些挑战，地球系统科学可利用最近在全球变化研究常规领域之外所取得的重大进展，如非线性动力学、复杂系统分析、统计物理学、科学计算或人工智能研究。例如，通过联合分支理论与随机理论的论据，可在大尺度上解释末次冰期剧烈的温度波动。现在有生物物理学发展来的研究方



法，试图通过逼近的相位转换预警信号的检测，在即将超越临界系统阈值时给出预测。后一种研究方法尤其与地球系统分析有关，它试图确定可能无意中被人活动所激活的行星机制的转换点与临界点。事实上，科学甚至能够从地球系统中存在的强大的非线性中获利，通过设计一种反可持续性战略，计算不惜任何代价所要避免的关键性人类扰动。

也有一些新颖的方法，用来克服不确定性所造成的诸多问题，而这些不确定性来自对地球系统研究有益的数据集、过程描述和模拟技术。尤其是，特定的技术可用于构建类似退化综合症的复杂自然—社会格局的弱预测模型。全球变化问题综合评估的一个全新的方法是把大批真正的和代理决策者结合到适当的模拟过程中去。

地球系统工具包

地球系统科学的产生发展要求一个大而齐全的工具包，它能囊括现存的和发展的技术，譬如充分耦合的三维大气—海洋环流模型，以及上述新颖的研究方法与手段。存在的挑战是：如何配置工具箱？并不是作为一系列孤立地检测行星机制某些部

分的单独的仪器，而是从全盘角度考虑，把它作为相互链接的一套探测器和处理机，来感知、解释地球系统的行为。

古科学 考察时间尺度长于当代器测记录时段的地球系统过程，唯一途径是通过古环境研究。地球系统在各种各样的档案中留下了其行为的踪迹和线索，包括：海洋与湖泊沉积，冰帽，树木年轮，生命力持久的珊瑚，考古遗迹以及其它历史记录。尽管古科学已经在完善当前地球系统动力学理解方面取得了令人瞩目的成功，但在建立更加综合的古观测全球系统、在当前加速变化的关键档案消失前恢复过去的环境变化等方面，仍然面临着巨大挑战。

当代观测与监测 空间观测已经拓展了人类的视野以及对行星的理解，大批复杂遥感传感器的推广提供了海量的有用数据，与地面观测相辅相成（图12）。记录人类在地球系统中作用的创新手段可以阐明行星动力学的人类影响。设计、配置良好的全球监测网络，能够提供强有力的全球环境变化早期预警系统。《地球系统地图集》中涉及的系列观测能有助于全球变化程度和速率的可视化与量化。

基于位置的案例研究 在具备独特系列特征的特定位置，需要特殊的工具，直接阐明多重、相互作用着的压力问题。现存的以及发展中的方法涵盖全球变化的综合区域尺度研究、脆弱性分析、危急热点的确定、环境退化综合症的确定与模拟。区域格局的全球动力学重建更是地球系统工具包的另外一门技术。

以一致的比较的方式在全球实施小尺度或地点明确的测量与过程研究时，行星格局显现得更为清晰。地球系统科学网络所覆盖的部分成为突现研究框架的中枢（图13）。单独研究及其在地球系统问题中的应用之间存在着巨大挑战，包括：位置的的代表性与分层，比例尺放大与归并，插值与解译。

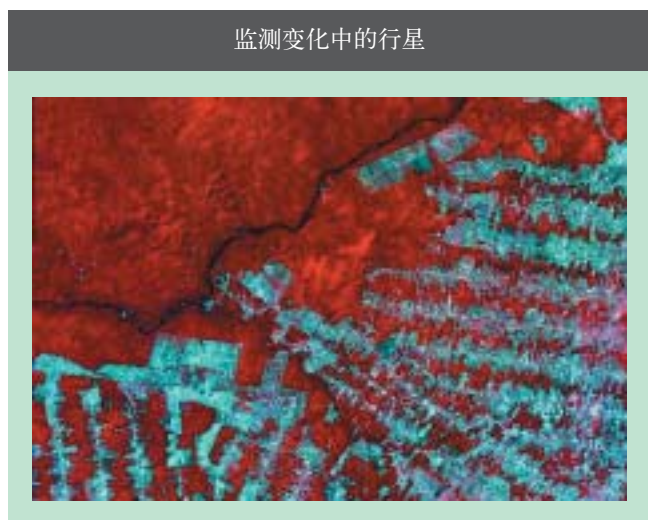


图12 空间观测关键的全球变化现象，譬如土地覆盖变化，是地球系统科学的基础组成部分。此处例证说明巴西亚马逊流域土地覆盖变化。热带森林看起来呈现亮红色，而浅红色和棕色区域代表着空旷地。

引自：National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA.





地球系统动力学模拟

一大批数学模型已被设计出来，用于模拟地球系统或其中的某些部分。简单的、符合特定程式的模型聚焦于对行星机制主要特征的描述和理解，而最复杂的成分模块则被综合的地球系统模拟器组合到一起。其中，适度复杂的地球系统模型，无论是诊断还是预测地球系统行为都已经被证明是有效的工具（图 14）。

地球未来环境条件的实验模拟，为大气与气候新的结合前提下研究生态系统结构与运行提供了手段。物种的增加与减少提供了关于生物系统在其复杂性变化时响应的新的认识。成分流的操作实验，譬如在海洋营养贫乏区域添加铁，模拟了系统对生物地球化学循环变化的响应。

地球新陈代谢的测定

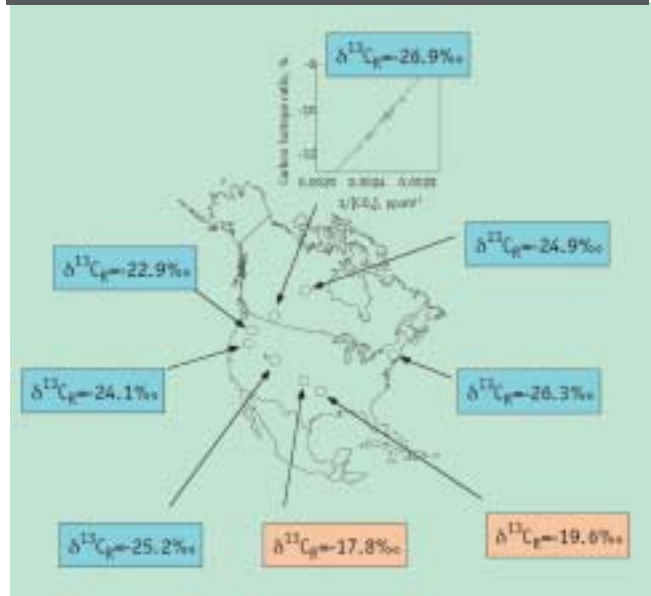


图 13 国际网络是地球系统科学的基本工具。北美是全球研究联盟中的一个组分，这个联盟利用同位素技术来理解基本生态系统过程及其与大气痕量气体交换中的作用。
引自: Diane Pataki and GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) International Project Office.

地球系统模拟

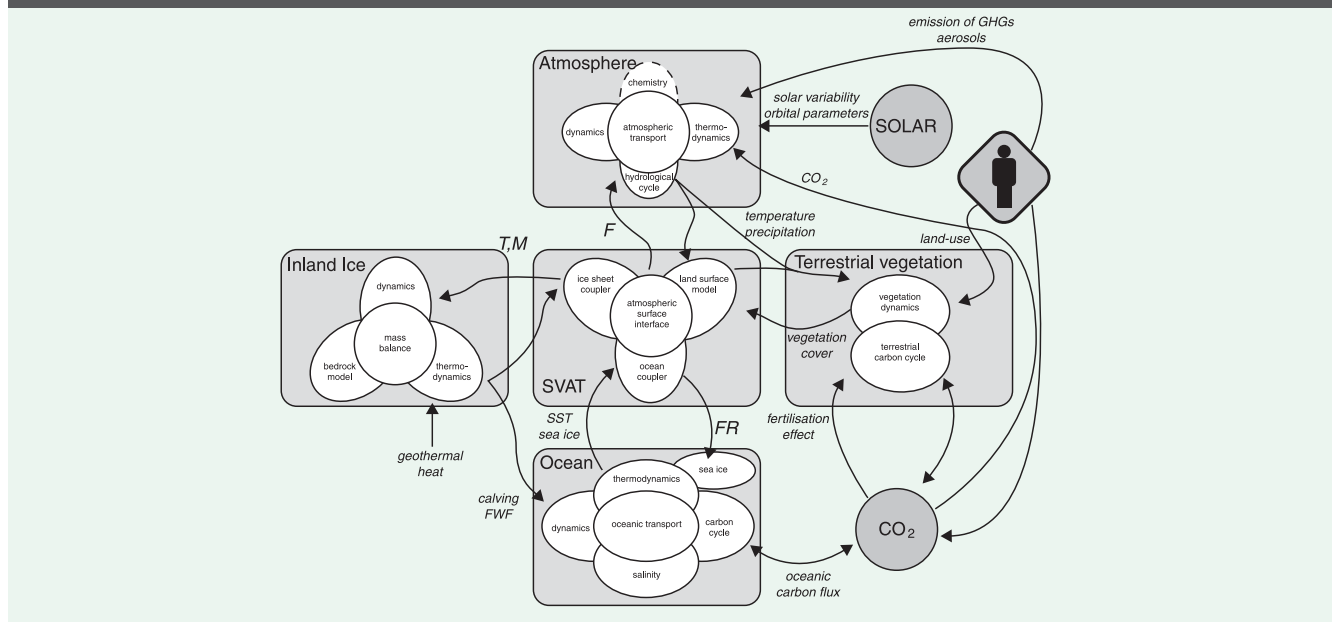


图 14 CLIMBER 模型——一个适度复杂的地球系统模型例子——结构。
引自: Petoukhov et al. (2000) *Clim. Dyn.* 16, 1–17.



面向全球可持续性？

人类引起的变化正推动着地球系统超越其自然运行范围，进入未知的行星领域。全球可持续性管理战略亟待出现。地球系统科学是实现任何合理行星管理的关键，因为当人们提出任何战略时，它能为其可行性、风险、平衡与时机作出鉴定。

地球系统的合理管理

人类已经以一种不相关连的偶然方式管理着行星，这种方式主要由个人和群体的需要与意愿所驱动。无数人类活动干扰并改变着全球环境，造成了地球系统超越其自然运行范围（图15）。随着西方生活消费方式越来越被迅速增长的世界人口所广为采纳，行星未知领域的探索正在加速。实现可持续未来的管理是前所未有的挑战。

由于目前行星管理的形势还要继续下去，它能够触发突变并伴随着潜在的灾难性后果，因而无疑

需要替代性行星管理战略。这些可以涵盖：力图避免已出现的最糟糕环境变化的应对战略；更加成熟的战略，它能界定并实现可被人类绝大多数接受的环境质量与安全目标。

一旦一种管理战略被选择，它将不得不实施。实施它的选择包括：推广转变生活方式的教育活动，鼓励行为转变的经济激励和手段，以及富有争议的高科技地学工程。

地球系统科学是合理地管理行星的关键，因为当人们提出任何战略时，它能为其可行性、风险、平





衡与时机作出鉴定。例如，综合的地球系统模式，允许开发和评估许多不同的相互作用的自然和人类引起的变化情景。通过综合的跨学科研究，此类模式和情景研制必将得到进一步发展，并在各个层面上科学团体与政策决策者之间展开持续对话。

增强部门的判断力

1987年，以布伦特兰夫人为首的世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》一书中详细介绍了特定部门人类活动所引起的环境与可持续性挑战：能源、工业、农业、城市系统、生活资源与人口。布伦特兰报告发布以来，取得了一些实质性进展。但是，这些还远远不够。例如，工业部门在原料的削减与重复使用以及废物减少方面，已经取得了相当大的改进。非物质化的趋势必须以更高的比率普遍推广。能源部门在提高效率、发展化石燃料源替代品方面已逐步取得了一些进展，但化石燃料燃烧所导致的大气污染危机与全球温室气体问题在全球范围内继续增长。为此，需要在能源功效、脱碳、新的可持续能源技术的应用与发展等方面取得长足进展。

在农业部门，由于世界人口持续增长以及饮食偏好的变化，迫切需要继续提高粮食产量，并在粮食的分配与获取方面有所进步。农业生产的增长真实存在，证据充分。这个挑战表明过去10年所取得的成就在下一个10年很难再现。当前，这些以及其它部门挑战与1987年一样意义重大。

尽管单个部门的重要性并未消失，但显然，部门间的相互作用与相互依赖正在增强。其结果是累积的，许多时候是非线性的，也许同突变和临界阈值的超越相关联。由于部门间活动的相互关联，世界多种最为急需的资源——水、空气、生态系统——正处于危机之中。例如，水资源反映了所有部门的活动与需求。水资源管理战略正日益试图采取综合的区域的研究手段。同样，空气质量的管理日益成为多部门与区域的，而非局地的大气质量决定因

素。在维持生态系统的物资与服务方面，相重叠的部门活动是很重要的，因而开展了更为综合的生态系统过程与人类社会经济活动相协调的景观规划。

全球可持续性的全球科学

局地、景观和区域尺度的部门科学为可持续性科学提供了坚实的基础。然而，仅有它自身还是不够的。而且，人类需要一个全球系统科学的全球系统应对变化中地球的紧急挑战。创造一个有效的全球系统，需要最小化的研究设计和基础设施。目前的国际全球环境变化计划标志着人类向上述全球系统迈出了第一步。但是这些计划也受制于不相关和不可靠的资金来源的难以预测的变化，而且它们必须依靠来自科学团体自发的科研贡献。另一方面，所谓大科学的传统分支，像粒子物理学或者空间探测，则通过资助良好的巨型研究计划，如欧洲原子

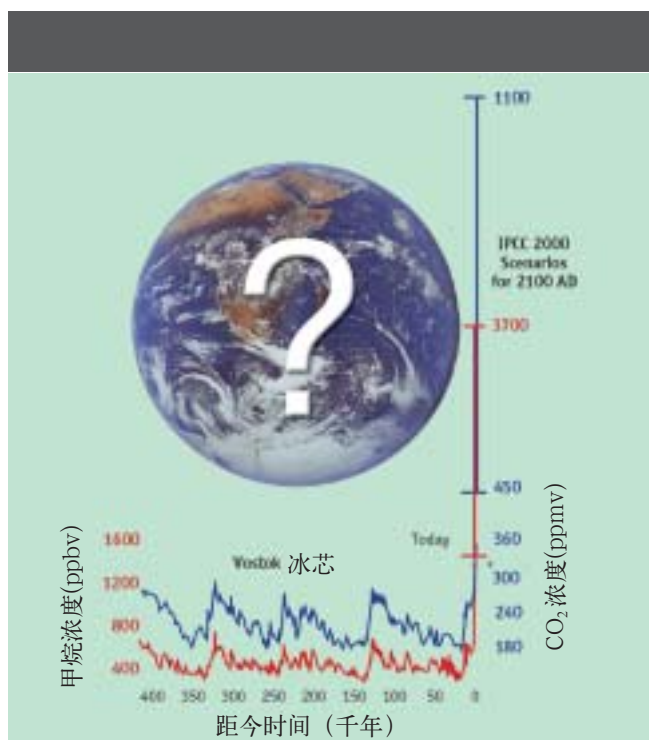
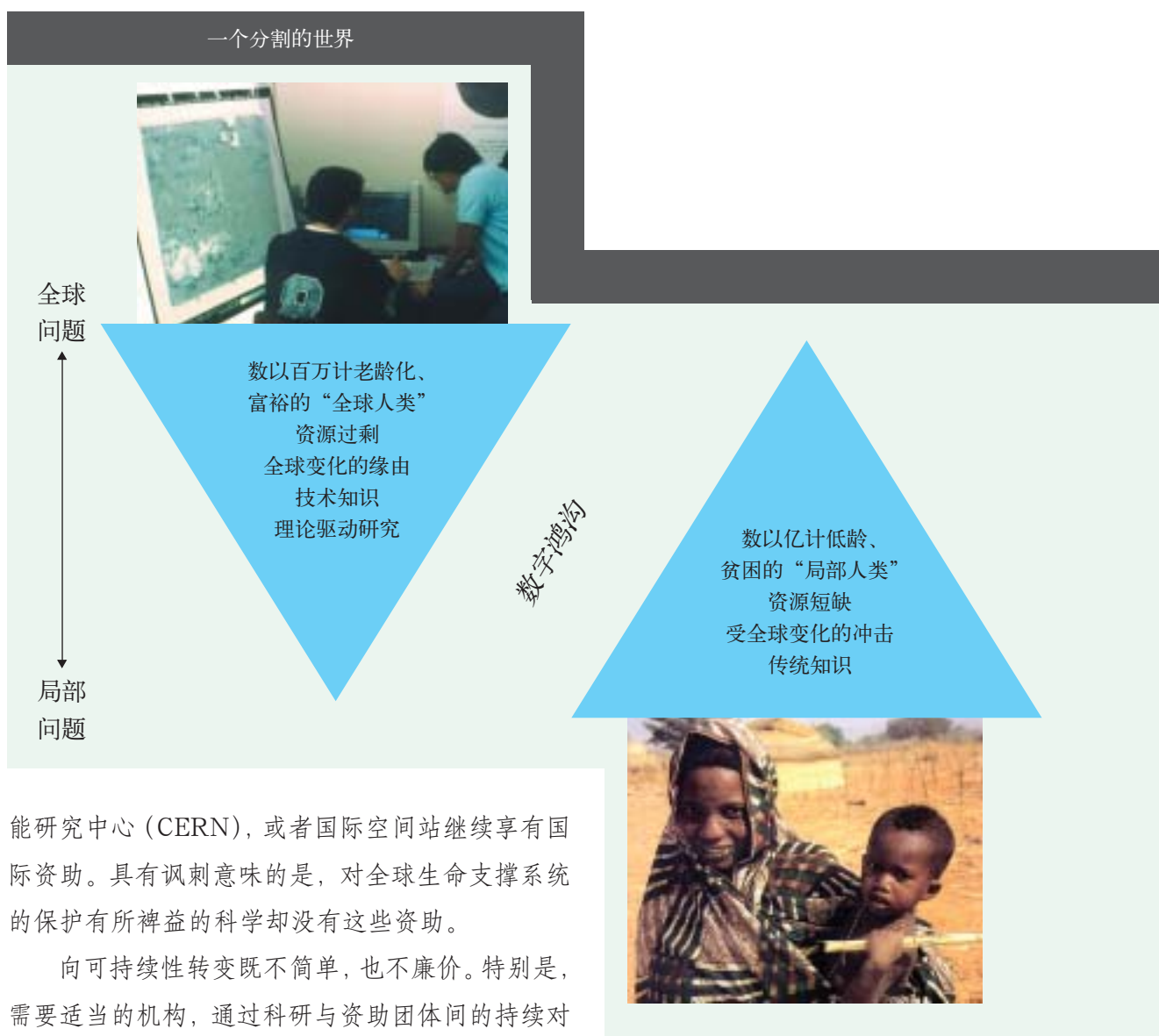


图15 Vostok冰芯所记录的最后4个冰期—间冰期循环中大气温室气体CO₂和CH₄的浓度。当前以及到2100年的估计值也表示出来。

引自：Petit et al. (1999) *Nature* 399, 429–436 and the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) *Third Assessment Report by the PAGES (Past Global Changes) International Project Office*.



能研究中心 (CERN), 或者国际空间站继续享有国际资助。具有讽刺意味的是, 对全球生命支撑系统的保护有所裨益的科学却没有这些资助。

向可持续性转变既不简单, 也不廉价。特别是, 需要适当的机构, 通过科研与资助团体间的持续对话, 来组织与知识有关的国际合作生产。在大范围的不确定下进行决策, 必须给政治家、商人、环境保护工作者以及大众提供一个清晰的、准确的、不偏不倚的科学信息公共知识库, 以确保就问题的本质与潜在的响应选择方案展开有充分科学依据的辩论。上述知识库生产机制的一个很好的例证是, 政府间气候变化研究委员会 (IPCC) 评估计划。在这里, 整个气候变化专家群体与来自世界的政府代表会聚一堂, 把某些科学成就转变为与政策有关的明智的行为。

然而, 如果不能激励并争取发展中世界的积极参与, 任何可持续性科学全球系统都将以失败告终, 特别是在可持续性科学实施能力最为薄弱、而全球变化的冲击将以最为剧烈的方式出现的区域。没有

图 16 在分割的世界背景下寻求可持续未来所面临的挑战。正在加深的数字鸿沟加剧了业已存在的社会经济、环境和知识分裂

引自: Kates et al. (2001) *Science* 292, 641–642.

这种参与, 地球的系统问题就无法解决。构建可持续性科学的真正的全球系统是一个巨大挑战; 人类不得不竭其所能, 而跨越发达与发展中国家之间鸿沟的挑战更是令人望而生畏 (图 16)。必须应对以上两种挑战, 以实现行星地球的可持续未来。

变化中地球的挑战



过去十多年，全球变化科学已经开展了大量激动人心的科学研究，并且取得了丰硕成果。很多问题仍有待继续研究。这个小册子总结了过去 10 年的研究，越来越多地揭示了地球系统的复杂性和相关联的本质，以及人类活动影响地球系统的方式。研究清楚地表明，地球系统的运行已经完全超出了至少过去 50 万年所表现出的自然变率范围。地球环境中现在正同时发生着的变化的本质、变化的幅度与速率，在人类历史、甚至可能在行星历史上也都是前所未有的。

地球正以一种非同寻常的状态在运行。尽管科学已经大大提高了我们对全球变化本质的理解，但洞悉这种变化的含意更加困难。通过地球系统，这些变化以难以理解并且通常无法预料的方式，发生级联效应。惊奇处处皆在。至少，人类驱动的全球环境变化，要求社会提出大量创造性和适应性战略。最坏的情况是，这些变化也许会使地球本身进入一个可能对人类和其他生命形式不太友好的另一种运行状态。

由于全球环境变化在人类事务中已处于一个更加中心的位置，科学责无旁贷，必须担当起开发与推广主要知识库的工作。利用该数据库，社会能够讨论、思考并最终决定如何响应全球变化。最后，对地球生命全球支撑系统的保护也要依赖科学。确保可持续未来的挑战让人望而生畏。只有用一种新的并且更加富有活力的途径来研究、管理这个综合的地球系统，才可以应对这个挑战。



关于全球环境变化计划

目标

国际科学联盟理事会 (ICSU) 是4个国际全球环境变化计划的共同发起者之一。这4个计划是: 国际地圈生物圈计划 (IGBP), 国际全球环境变化人文因素计划 (IHDP), 世界气候研究计划 (WCRP), 以及国际生物多样性计划 (DIVERSITAS)。这些国际科学研究计划的共同使命是传播科学知识, 促进人类社会与地球环境协调发展。

每一项研究计划均从整个使命的某些方面着手, 侧重于更加特定的科学目标:

IGBP: 描述和理解控制整个地球系统相互作用着的物理、化学和生物过程, 为生命所提供的独一无二的环境, 这个系统正在发生着的变化, 以及受人类活动影响的方式。

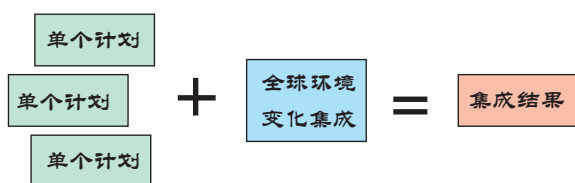
IHDP: 提高和协调研究旨在描述、分析和理解全球环境变化的人文因素, 集中研究人类个体和集体行为的前因与后果。

WCRP: 通过物理气候系统的定量理解, 确定气候可预测的程度, 以及人类对气候影响的程度。

DIVERSITAS: 把生物多样性的各种研究方法, 从生物多样性在生态系统运作中的作用, 到生态系统运行的社会经济方面, 统一到一个连贯的国际框架中。

实施战略

全球环境变化计划建立在跨学科、网络化和综合基础之上。而国际途径是解决这类科学问题的最优或者唯一方式。构筑在研究地球所有大陆和洋盆的成千上万个科学家的自发贡献基础上, 这些计划通过旨在提高科学理解的综合活动, 给大量的研究项目增加了确切涵义。

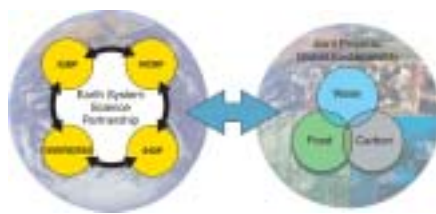


综合活动包括:

- * 基于达成协议的议事日程, 发展进行合作研究的共同国际框架;
- * 建立解决焦点科学问题的研究网络;
- * 完善标准化的方法论;
- * 监督全球数据库建设;
- * 进行模型的相互比较及与数据的比较;
- * 促进有效的资源配置战略。

联合计划

地球系统科学为全球可持续性的建立提供了重要的科学基础。为了更加直接地处理全球可持续性问题, 四大全球环境变化计划——IGBP, IHDP, WCRP 与 DIVERSITAS——正发起几个联合计划研究关键的可持续性问题。



目前, 关于全球碳循环、食物系统、水资源的联合计划正在发展之中。在每一个研究议题中, 多重压力和强迫正影响着我们所研究的系统, 伴随着全球环境变化成为一个日益重要的额外压力。在世界的各个部分, 全球变化如何表现, 影响着个人和社会在这些压力下的弹性与脆弱性。个人和水如何响应这些挑战——增长的食物供应, 提高水资源的可获得性, 碳循环的管理——将对未来地球系统的运行有着深远的意义。

每项联合计划的目标是:

碳循环: 理解控制碳循环的根本机制与反馈, 解释当前的源和汇格局, 发展未来碳循环动力学。

食物系统: 制定解决全球环境变化对食物供应冲击的战略, 分析对变化适应的环境与社会影响。

水资源: 在地球系统大背景下, 理解人类与生物物理系统之间局地到全球尺度上的相互作用与反馈, 因而服务于可持续的水系统管理 (草案)。

计划结构

每一项全球环境变化计划都是围绕着几个研究计划展开的：

IGBP:

BAHC: 水文循环的生物圈方面

DIS: 数据与信息服务 (2001 年年底进行议定)

GAIM: 全球分析、综合与模拟

GCTE: 全球变化与陆地生态系统

GLOBEC: 全球海洋生态系统动力学

IGAC: 国际全球大气化学

JGOFS: 全球海洋通量联合研究

LOICE: 海岸带海陆相互作用

LUCC: 土地利用 / 土地覆盖变化 (与 IHDP 共同发起)

PAGES: 过去全球变化

SOLAS: 浅层海洋与低层大气研究

START: 全球变化的分析、研究与培训系统 (与 IHDP 和 WCRP 联合发起)

IHDP:

GECHS: 全球环境变化与人类安全

IDGEC: 全球环境变化的制度因素

IT: 工业转型

LUCC: 土地利用 / 土地覆盖变化 (与 IGBP 共同发起)

START: 全球变化的分析、研究与培训系统 (与 IGBP 和 WCRP 联合发起)

WCRP:

GLIC: 气候与冰冻圈

CLIVAR: 气候变率与可预测性

GEWEX: 全球能量与水循环试验

SPARC: 平流层过程及其在气候中的作用

START: 全球变化的分析、研究与培训系统 (与 IGBP 和 IHDP 联合发起)

WOCE: 世界大洋环流实验

DIVERSITAS:

核心计划的组成:

* 生物多样性对生态系统功能的影响 (联同 IGBP / GCTE)

* 生物多样性的起源、维持与变化

* 系统学: 生物多样性的清单与分类

* 生物多样性的监测

* 生物多样性的保护、恢复与可持续利用

特别目标研究领域:

* 土壤与沉积生物多样性 (SCOPE)

* 海洋生物多样性

* 微生物生物多样性

* 内陆水体生物多样性 (IUBS)

* 生物多样性的人文因素

* 入侵物种及其对生物多样性的影响 (GISP)

* 全球山地生物多样性评估

* 国际生物多样性观测年

联系

IGBP:

IGBP Secretariat

Royal Swedish Academy of Sciences

Box 50005

S-104 05 Stockholm

SWEDEN

Tel: +46-8-16-64-48

Fax: +46-8-16-64-05

Email: sec@igbp.kva.se

Website: <http://www.igbp.kva.se/>

IHDP:

IHDP Secretariat

Walter-Flex-Str 3

D-53113 Bonn

GERMANY

Tel: +49-228-739-050

Fax: +49-228-739-054

Email: ihdp@uni-bonn.de

Website: <http://www.uni-bonn.de/ihdp>

WCRP:

WCRP Secretariat

World Meteorological Organisation

CP 2300, 41 avenue Giuseppe Motta

CH-1211 Geneva 2

SWITZERLAND

Tel: +41-22-730-8246

Fax: +41-22-730-8036

Email: dwcrp@gateway.wmo.ch

Website: <http://www.wmo.ch/web/wcrp/wcrp-home.html>

DIVERSITAS:

c/o International Council for Science (ICSU)

51, bd Montmorency

75016 Paris

FRANCE

Tel: +33-1-45 25 03 29

Fax: +33-1-42 88 94 31

e-mail: anne@icsu.org

<http://www.icsu.org/diversitas/>



编辑: Will Steffen, Peter Tyson

编写组: Jill Jäger, Pamela Matson, Berrien Moore III, Frank Oldfield, Katherine Richardson, John Schellnhuber, Will Steffen, Bill Turner II, Peter Tyson, Robert Wasson

丛书编辑: Susannah Elliott (IGBP 秘书处)

版面设计: IdéoLuck AB, 斯德哥尔摩

封面: 封面设计和技术支持是 John Bellamy

其他贡献者: 从根本上讲,本概要是与全球环境变化计划相关联的成千上万位科学家的工作。它是真正集体努力的结晶。编写组感谢以下各位科学家的特别贡献和细心评述: Keith Alverson, Manuel Barange, Guy Brasseur, Wendy Broadgate, Pep Canadell, David Carson, Martin Claussen, Chris Crossland, Paul Crutzen, Helmut Geist, John Ingram, Kathy Hibbard, Holger Hoff, Pavel Kabat, Eric Lambin, Louis Lebel, Peter Liss, Sabine Lu..tkemeier, Joa~o Morais, Daniel Murdiyarso, Tom Pedersen, Alex Pszenny, Henning Rodhe, Suzanne Serneels, Steven Shafer, Gerard Szejwach, Tom Tomich, Meine van Noordwijk, Pier Vellinga, Hassan Virji, 以及 IGBP 科学委员会。

财政资助: IGBP 集成计划得到了瑞典千年委员会和瑞典战略环境研究基金 (MISTRA) 的资助, 以及皇家瑞典科学院的物质资助。在自愿基础上, IGBP 中心得到了来自世界大约 50 个国家的资助。就与全球变化研究基金有关的共同感兴趣的问题, IGBP 及其伙伴全球环境变化计划与全球变化研究资助机构国际组织 (IGFA) 进行了密切合作。

图像提供: 砍伐与燃烧替代计划 (Slash and Burn Alternative Programme) (Tom Tomich), CLIVAR 项目办公室, Chris Crossland, 欧洲空间机构 (ESA), 全球变化与陆地生态系统 (GCTE) 国家项目办公室, Pavel Kabat, 亚马逊河大尺度生物圈大气圈试验 (LBA), 美国国家航空与宇航管理局 (NASA), Dirk Parsons, Diane Pataki, 比利时 UCLouvain 遥感与区域分析实验室, Katherine Richardson, Suzanne Serneels, Carrie Steffen, Will Steffen, Brian Stocks, 美国农业部图像实验室, H. Weiss, 世界数据中心古气候幻灯片系列 (Jerry Wellington)。

IGBP 科学丛书: ISSN 1650-7770

版权 IGBP 2001





中文版编译组：

顾 问：

陈泮勤 国际地圈生物圈计划中国全国委员会秘书长

组 长：

林 海 国际地圈生物圈计划中国全国委员会秘书处

副组长：

葛全胜 中国科学院地理科学与资源研究所

成 员：（以姓氏笔划为序）

张凯峰 国家自然科学基金委员会国际交流中心

张雪芹 中国科学院地理科学与资源研究所

金德生 国际地圈生物圈计划中国全国委员会秘书处

高志强 中国科学院地理科学与资源研究所

袁幼新 国家自然科学基金委员会国际交流中心

翻 译：

张雪芹 中国科学院地理科学与资源研究所

审 校：

林 海 国际地圈生物圈计划中国全国委员会秘书处

袁幼新 国家自然科学基金委员会国际交流中心

印 刷：

深圳美光彩色印刷股份有限公司

后 记

2002年7月,国家自然科学基金委员会派出的以胡敦欣院士为顾问,国际交流中心袁幼新主任为团长的代表团访问北欧时,从IGBP总部获悉,要将IGBP科学丛书之四《全球变化与地球系统》原英文版翻译成世界其他文字版本的计划,当即表示这对中国读者是一件很有意义的事。回国后,得到了国际地圈生物圈计划中国全国委员会秘书处和国家自然科学基金委员会地球科学部的积极支持和经费资助,并组织了中文版编译组,开始了翻译和出版工作。在整个编译过程中,得到了各方面的大力支持和赞助,在此我们向他们表示深切的谢意。同时,我们特别要感谢国际地圈生物圈计划中国全国委员会主席陈宜瑜院士和国际地圈生物圈计划秘书处执行主任Will Steffen教授分别为该书专门撰写了中文版序和中文版前言,他们热情洋溢的言词和对全球变化内涵的深刻分析,将给我国读者以很大的启示。

该中文版能成为其英文版之外所出版的第一个外文版本,我们为此感到十分的欣慰,这反映了我国学者一贯对国际全球变化研究的关注。由于原著具有深入浅出,图文并茂的特点,因此很适宜于各方面人士阅读,不仅从事全球变化领域研究的学者从中可以得到很多对地球系统的进一步认识,而且政府各级管理部门和各级教育部门乃至对地球环境感兴趣的各方面人士均能从中受益。由于我们的知识水平和文字能力有限,对原著的理解和表达一定会存在不少偏差和错误,我们恳切的希望读者对这类科学丛书的出版提出宝贵意见,以推动全球变化科学在我国的传播和繁荣发展。



GLOBAL
I G B P
CHANGE

WCRP
Climate



bd



IGBP 科学丛书推出的目的是，把IGBP的研究成果介绍给更大范围，特别是政策和资源管理团体的读者。这些生动形象、通俗易懂的报告介绍了地球系统科学主要研究领域的最新科学认识。

这本小册子是该科学丛书之四，它所总结的过去 10 年的全球变化研究，揭示了越来越多的关于地球系统的复杂性和相互作用的本质，以及关于人类活动影响该系统的方式。全球变化科学已经开展了大量激动人心的科学研究，并且取得了丰硕成果。最为重要的是，我们知道了地球系统已经超越了至少过去 50 万年的自然变率范围。正在同时发生的全球环境变化的本质、变化的幅度与速率，在人类历史上，甚至可能在行星历史上也是前所未有的。地球正以一种非同寻常的状态在运行。

