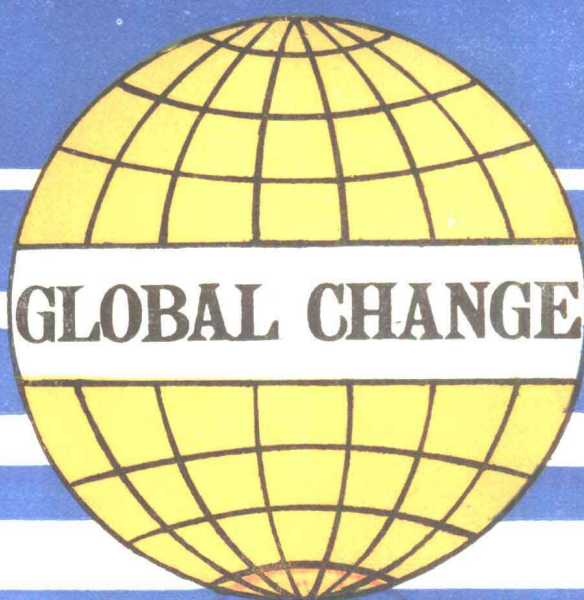


7675

56.53

【美】T.F.马隆, J.G.罗德 尔 主编

全球变化



地震出版社

全 球 变 化

〔美〕T.F.马隆 J.G.罗德爾 主编

曹可珍 耿庆国 宋炳忠 等译

徐 道 一 等校

地 震 出 版 社

1990

内 容 提 要

本书选译了《全球变化》一书中的29篇文章。这些论文与我国即将开展的灾害和减灾科学研究工作有比较密切的关系。

这些论文论述了：全球变化研究以及其他各种国际研究计划的现实意义和简要的历史回顾；太阳、地球各圈层（大气圈、水圈、生物圈、岩石圈）之间的关系及其对全球各种变化的影响；交叉学科的作用和内容及其发展趋势。特别是对一向研究薄弱的大气化学，大气和海洋的相互作用，生态环境局部突变与全球变化的关系以及各种数据的建立作了详细讨论。

本书对天文学、气象学、海洋学、环境科学、自然地理学和地质学等学科的研究工作者、有关科学计划管理工作，以及有关卫星观测、数据库的建立、资料处理等工作人员都有参考价值。参加本书翻译者有曹可珍，耿庆国，宋炳忠，何寿欢，蒋乃芳，李俊，陈焕新，俸苏华，张晓梅，朱向军，李红杰。参加本书校订者有徐道一、徐钦琦、何永年、傅征祥、沈德富以及黄建发。

全 球 变 化

〔美〕 T.F.马隆 J.G.罗德尔 主编

曹可珍 耿庆国 宋炳忠 等译

徐道一 等校

Global Change

Edited by

T.F. Malone and J.G. Roederer

Published on behalf

of the ICSU Press

by Cambridge University

责任编辑：李树菁

责任校对：王花芝

•
地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 14.25印张 364千字

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

印数 0001—1200

ISBN 7-5028-0355-6/P·230

(745)定价：7.50元

引 言

J. Kendrew

(国际科学联合会理事会主席)

作为1984年在渥太华举行的第20届大会的一部分,国际科学联合会理事会(ICSU)安排了这次多学科讨论会。

ICSU是由20个科学联合会组成的,涉及所有学科,包括71个国家科学院及类似机构。它是一个科学家的世界性非政府组织。这些联合会代表着化学、生物、地理、物理等多领域的专业科学界的利益,安排科学大会和讨论会,培训干部,组织科技出版,解决标准化和定名问题。当前该组织的活动越来越多地面向发展中国家,帮助它们掌握所需要的科学知识。除了各个联合会和国家科学机构外,ICSU还设有10个科学委员会,进行许多联合会都感兴趣的跨学科研究。有的规模很大,如25年前举办的“国际地球物理年”和现正进行的“南极海洋系统和堆积的生物学研究”(BIOMASS)。

每两年举行一次的ICSU大会,首先是提供一种场合,让ICSU的成员——国家机构和20个联合会以及跨学科的委员会聚集在一起,共同讨论今后需要优先安排的课题,回顾以往的工作,安排各种行政事务。后者对于涉及领域极为广泛的世界团体是必不可少的。尽管以往召集过的那些大会通常要组织讨论会和一些专题报告会,但这些只是活动的次要方面。

ICSU相信,每次为期一周的,由各个研究领域的著名科学家参加的大会,能为广泛地讨论对当今科学是重要的,并与ICSU活动紧密相关的课题提供理想的机会。我们希望,这样的会议不仅对大会的参加者,而且对东道国的专业科技界,以及其他希望参加的人都是有益的。

我们为加拿大科学界在安排我们首次大型讨论会所给予的热情合作感到高兴。现已选定三个题目:基因工程,因为它具有重大的科学意义,并在工业、医学和农业中有着极大的潜力;全球变化,研究影响我们赖以生存的环境中不可避免和可以避免的过程,还要研究它们对人类未来所产生的后果;最后,传授知识,这不仅是我们这个委员会的当务之急,而且也是各联合会内部许多组织所考虑的重点。我们认为这是提高全人类知识水平的重要手段,在提高发展中国家科技水平方面尤其如此。

我们感谢为这次全球变化讨论会作出贡献的所有成员,包括组织者、发言者、讨论者和听众。这次讨论的结果将由ICSU的出版机构会同剑桥大学出版社发表。

(曹可珍 译)

前言

T. F. Malone

这届讨论会应是国际科学联合会理事会(ICSU)及其组成机构对以下问题进行为期两年的系统研究的开端,即:为弄清在日-地系统中复杂的物理、化学、生物过程(这些过程决定着日-地系统的变化)而执行一项跨学科的国际合作计划的时机是否合适?这些过程不但制约着生物,而且还深受它的,特别是人类活动的影响。随着人类数量的增加和人们对地球环境要求的增加,在现代社会越来越有必要对人类发展所引起的全球变化进行更深入的研究。

为研究这些过程,已经有了精心拟定的计划。这些计划已为地学研究中一个新开端,即生命是一个行星现象,构成一个必要的基础。

这次讨论会不是确定研究地球及其环境这一变化多端的课题的要素。我们面临的一个中心问题是能否通过世界范围的努力去及时地发展这样一种概念。尤其是,我们能否把研究工作和观测工作结合起来,把地球和它的环境看成是一个紧密联系的,从短暂现象到漫长的冰期这样的时间尺度上不断经受变化的系统。学术界对这一研究足够重视,而愿化费足够时间和精力从事这一研究,以使我们看到一个光明的前景。能否充分利用这些机会来推进,更确切地说是加速,目前正在进行的地球科学研究,同时也为今后共同攻克全球变化这一课题奠定基础。

本文集中收入的论文和评论,只是一个开端。

这次讨论会有很深的历史根源。千百年来,人类一直在探索着我们居住的地球的奥秘,以及研究确定某一时期地球状态的那些过程。这一问题早在人们认识到地球是一个行星而我们只是这一星球上的住户之前,就提出来了。

几世纪前亚里斯多德在论科学和自然哲学的文章中,对维持生命的自然系统提出了一定的看法。介于古代柏拉图主义和现代理想主义之间,亚里斯多德主义认为,所有东西都是物质(自然的,超自然的和人类的),而且均以这样那样方式相互联系着。对这次讨论会较有关系的是F.培根在17世纪初提出的建议:为获取有关我们地球性质的资料,最好是协同努力。欧洲国家是这么办了,搞了一个在1751年观测金星穿越情况的合作计划。随后于1769年出现的金星又一次穿越,提供了把美洲观测结果与欧洲观测结果联系起来的机会。在几十年内,从格林兰的哥特哈勃到俄国的彼什米尼什建起了一个气象观测网。在多达39个台站上每天3次的观测结果发表在*Ephemerides Societatis Meteorological Palatinae*上。

在19世纪国际合作进展缓慢,其中大多是由不断出现的国际科学机构发起的。由22个国家的科学家参加的第一次国际极区年计划(1882—1883年),被公认为国际合作的先驱,它为观测了解地球及其环境奠定了基础。一个由14个环极区台组成的网进行为期13个月的对包括地球物理学和生物学在内的多学科内容进行同时观测。50年后第二次国际极区年计划,有40个国家的科学家参加,出版了一批关于气象、辐射、臭氧、高空气象、地磁、地电流、大气电、电离层物理、极光物理、宇宙线、水文、冰川、夜发光云、天文以及生物学某些要素的观测和分析结果。这些科学研究的一个具有当代意义的副产品是增加了对电离层的认识,这就大大加强

了无线电通讯的技术。

在随后的20年间,科学技术进步的速度是如此之快,使得从共同的观点出发对全球进行观测的需要和机会,更为迫切。预测在1957—1958年太阳有一个异常活动期和执行一个地球卫星计划的紧迫性,推动了科学界提出从1957年7月1日到1958年12月31日开展为期18个月的国际地球物理年计划。为保持以第一和第二国际极区年为特征的重视极区的传统,拟有专门计划,在北极和南极地区开展系统的科学研究。

有来自70个国家的几万名科学家参加这一努力。国际地球物理年是如此成功,以至紧接着又开展了国际静日年(IQSY)、上地幔计划(UMP)、国际磁层研究(IMS)、全球大气研究计划(GARP)、国际生物学计划(IBP)、人和生物圈计划(MAB)、国际水文十年(IHD)和国际海洋开发十年(IDOE)。

关于地球、它的环境和生物圈生命的研究工作已发展到这样的程度,现在已可认真考虑用一种富有想像力的整体论的方法,它将加深和强化我们对行星的微妙的,常常是协调的物理、化学和生物过程的理解。这样一种设想,可以把海洋、大气圈、岩石圈、水圈、生物圈和日-地范围作为一个单一系统来研究。

所考虑的这一建议的三个特征是独特的。第一是把生物圈内的生物过程与大气、海洋、岩石圈和日-地空间等更大范畴的地球物理结合起来。第二是更注意化学过程,特别是大小营养物和污染物的生物地球化学循环。第三是有一个整体论的框架,在这一框架内来研究各领域的各个过程,评估它们之间的作用。这三点都是难以对付的任务,不能轻易解决。起决定作用的既不是各种告诫和学者提出什么理论解释,而是积极的研究人员,特别是年轻科学家的判断,这将是决定因素。

建议把地球物理学与生物学联合起来,这是始自1875年奥地利地质学家 E. Suess 把“生物圈”看成原始地球的维持生命的圈层这种思想发展的顶峰。这一概念发展成为现代科学思想,很大程度上是由于俄国矿物学家 V. 维尔纳茨基在本世纪20年代的工作。他把生物圈看成地球的圈层,包括对流层、水层或海洋和地面以下延伸几公里的大陆层。它的独一无二的性质使来的太阳辐射得以产生对形成和维持生命形式极为重要的地球化学变化。他强调生命和它周围的能量、物质结构,通过光合作用、蒸腾和滋养作用,有着不可分隔的联系。

显然,我们正开拓着一个新的思路,依靠它可以确定支配这个系统行为的过程。例如,拉甫洛克曾假设存在一种生命反馈系统,通过这一系统,生物圈作为一个外界刺激变化,调节着自然环境,即盖亚假说。

着手并加强了解滋养地球的空气、水和矿物的巨大连锁系统的时机已经成熟,其理由有四条。第一,从相对独立的研究大气、海洋、地壳动力学、维持生命的生态系统和日-地关系中已越益认识到,生物圈有生命和无生命成分是密不可分的。例如,世界的气候问题现在已正确地理解为既是一个海洋学问题,又是一个气象学问题。而且,国际科学联合会理事会(ICSU)的环境问题委员会对生物地球化学的研究已清楚表明,这些过程对各层次的生态系统(包括海洋的和陆地的)有深远的影响。

更好地认识生命组织初始组分(碳、氮、磷、硫、氢和氧)交换途径和速率,以及它们与地球其他大范畴的关系,是个紧迫问题。早在1981年,西安大略大学地质学教授 W. S. Fyfe 作了一次无可争辩的说明:地球外系统、海洋、大气、生物群、沉积物和岩石的交换过程显然有重

大意义。

建立国际合作的第二个理由，是人类活动的影响已经接近控制全球生命维持系统的自然过程的影响。1982年7月在马萨诸塞州的伍兹霍尔举行的一次科学讨论会上，哈佛大学教授R. Goody及其同事已有力地提出了这一点：

“人类居住在以变化为特征的行星上……这是一个罕见的时间，一个物种，即人类已有能力在最大(全球)的规模上改变其环境，而且可在其单个成员一生时间内办到”。

由人类活动引起的大气中CO₂的增加，酸的沉积，毁坏森林和沙漠化，使气候改变，就是这一现象的例子。

需要研究生物过程和地球物理过程之间的联系第三条理由，是发展中国家急需增加生物类的生产。在未来的年代，人类社会必须对世界人口快速增长所提出的对食物、纤维、能源和住所的紧迫要求作出反应。例如，从1975—2000年第三世界人口估计增加20亿。

最后，迅速发展的技术基础已有能力把理论、观测和资料处理结合为一。这就需要国际合作，使世界科学界充分发挥其创造力。现在有许多观测工具，从可提供全球观测的各种卫星到可测出10⁻¹²物质的化学技术。通讯技术、计算机功能和系统分析方法近年来发展迅速。这类进展为解决地球维持生命的物理、化学和生物过程相互作用的有关问题提供所需的分析技术、资料处理和资料管理技术。

在这种情况下，人们应该考虑有关我们所面临的科学难题和机会的各种倡议。首先，应当清楚地认识到，不存在能包罗现正执行的或正计划的各国的和国际的研究计划的“超级计划”。它们必须作为独立的，但又密切相关的努力，在此基础上不断加强它们之间的联系。这些计划包括：

1. 热带海洋和全球大气计划(TOGA)，它研究热带海洋和全球大气的年间变化。
2. 世界海洋环流试验(WOCE)，其主要目标是：
 - (1) 确定为期几年的三维总海流，其年循环和长期变化；
 - (2) 确定海洋中热和淡水的通量，估算海洋内水转换速率。
3. 世界气候研究计划(WCRP)，其目的是借助能模拟大时空尺度天气变化的物理数学模型，确定气候的可预报性以及人们对气候的影响程度。
4. 国际日-地计划(ISTP)：这是由欧洲太空署、日本太空和宇航科学研究所、美国航空和宇航局共同提出的，其任务是：
 - (1) 研究太阳的内部行为和结构，它的辐射系数和各种谱范围内的变化；
 - (2) 检验能量和太阳风粒子的发射，它们与地球环境的相互作用，以及对后者的影响。
5. 国际岩石圈计划(ILP)：它是以上地幔计划和国际地球动力学计划的科学成果为基础的，是为了阐明岩石圈(特别是大陆及其边缘部分)的性质、动力学、形成和演化。与此密切相关的是国际地质对比计划(IGCP)，它鼓励对寻找和评价天然资源和改善人们的生活环境有关的地质问题开展国际研究。新出现的地震层析照像——一种能绘制地球内部很深的三维结构(温度、组分和对流)——看来能大大推进板块构造的新思路，板块构造自从20多年前被采纳以来已对固体地球物理学产生影响。
6. 人和生物圈计划(MAB)，包括继续研究以下问题：

(1) 在迅速变化、压力不断增加的湿润和半湿润的热带区, 寻找持续的生产系统, 作为一种能源;

(2) 为妥善处理放牧区和贫脊土地探索科学基础, 由于天生虚弱在近期或不太远的将来威胁将增加;

(3) 为保护生态系统提供一个更好的基础, 把保护与开发结合起来, 以适应本世纪末预期的世界人口的增长。

国际大地测量和地球物理联合会前主席 G. Garland 教授 1982 年在英国剑桥举行的 ICSU 大会上所作纪念国际地球物理年 25 周年的讲话, 对这次讨论会是一个主要的推动力。当时他说:

“今天我们对影响地球及其周围区域的各种地球物理过程之间联系有了一个比较全面的了解。现在依然存在的许多奥秘涉及这些物理过程和包括人类本身在内的生物物质之间的相互作用。确实, 要在这些领域的某些方面取得进展需要在 ICSU 有代表的各学科的专门知识, 还需要包括人文和社会科学的一些组织进行更多的接触”。

美国科学院物理、数学和资源委员会主席 H. Friedman 在 1983 年科学院年会上提出了类似的想法, 他主张为了解地球环境及其生命系统的全球性变化, 大胆开展一项跨学科的整体研究工作。

ICSU 总委员会在华沙 1983 年的会议上讨论了这一问题, 并决定:

“……设立一个特别委员会去研究全球变化那些很少涉及的方面, 准备出一份已有的计划及其相互联系的清单, 并向第 20 届全体大会提出多学科研究和今后国际合作计划的建议。”

以 T. F. Malone 和 J. G. Roederer 为共同召集人的一个组织委员会已经成立, 并于 1983 年 11 月在巴黎举行了会议, 为第 20 届大会作准备。这一小组曾指出:

“今后几十年的一项主要的智力挑战是加深和强化我们对地质圈和生物圈各部分之间相互作用的了解。这一认识基础支撑着社会对我们地球生命维持系统的管理, 以增加生物的生产和适应人口增长的需要。

为了弄清支配海洋、大气圈、岩石圈、生物圈和日-地范畴行为的那些过程(重点注视它们的交界面), 需要有更多的国家计划和国际计划。……将需用几年时间进行仔细的规划和形成概念, 以制定一个合适的科学战略。从执行和支持现有计划的需要来看, 90 年代是开展所建议的国际计划的合适时期。”

1984 年在加拿大渥太华举行的 ICSU 大会上, 已经迈出了第一步, 通过 ICSU 20 个学科联合会、跨学科委员会和成员国, 今后 2 年将世界科学界吸引过来。大会一致同意“探索物理世界和生命世界之间的作用”, 有的叫“全球变化”, 有的叫“国际地圈-生物圈计划”。在讨论会的一些论文中建议召开一系列专题会议, 以确定一些兴趣集中的计划, 这预期会导致向 1986 年在瑞士召开的 ICSU 大会提交一个健全的科学战略。从“月危机”方法的大气化学(例如 CO_2 和甲烷的积累、酸的沉积、臭氧的损耗)转变为迅速发展的大气化学, 以建立起一个处理这些危机的全面科学格架的迫切性, 说明有必要弄清楚化学和生物过程的相互作用, 而这些过程受到的重视还不及物理过程。

在今后两年应受特殊重视的合作研究课题包括：

1. 作为集中研究界面的一个例子，要注重维持生物生产的主要(和次要)营养物(如碳、氮、磷、硫和水)的生物地球化学循环；
2. 逐步建立一个世界范围的生物监测系统，它应具有真正的科学价值，并能为开发用遥感方法作全球监测的巨大能力提供必要的地面真情；
3. 发展I. Rasool 所谓的“更具纲领性的方法”，依靠这一方法，国际太空科学界得以与世界上其他科学界进行有效的交流。步骤包括：
 - (1) 各类卫星传感器的标定；
 - (2) 统一校正传感器偏移的方法；
 - (3) 为修正由辐射测量得到的物理参数的统一方法；
 - (4) 卫星间的比较；
 - (5) 统一校正云层和大气的方法；
 - (6) 卫星资料与地面资料的校验。

4. 显然，有必要开展部门间的合作(ISTP建议是一个有意义的开端)：建立一个现代化的数据管理系统，使各地的科学家能及时得到资料。资料管理上的问题，会严重限制利用遥感资料所能进行的研究工作。目前收集有关地球及其环境的资料的能力已超过世界科学界使用这些资料的能力。这就需要精心设计测量计划并在计划中事先考虑到有效地利用强大的通信系统和计算机技术。

各太空机构已经认识到它们在上述各项活动中可起重要作用。在1982年联合国和平利用外层空间的会议上，美国宇航局针对影响地球可居性的自然和人类活动引起的变化，提出了一项国际合作计划。名为“地球可居性”的这一计划试图集中研究构成地球居住的生命维持系统的水、生物地球化学和能量的循环。

今后两年是各种ICSU机构研究全球变化国际计划潜力的极好时期。需要召开专门会议，及时拟订各种计划。关键要及时。如同剑桥大学F.M. Cornford 在本世纪初指出的，想干有一个理由就够了，不想干可以有许多理由。他反对时机不成熟的论调，这种论调鼓励人们在目前不去干，总是认为该干的时候还没有到来。他还说：时间象欧楂，它有一种未成熟之前果实就烂掉的怪癖。

自第一次地极年以来的一百年内，我们对地球及其环境的认识有了明显的增加。在我们前辈的基础上，我们现在正处在人类认识史的一个转折点上。太空技术的优势使我们有可能作出大的跃进。要得到更深入的认识并要利用这种认识来塑造人类今后一千年的命运。人类不论在地球上或是在地球外将会有一个新的更光辉的前景。

(曹可珍 译)

目 录

引言.....	J. Kendrew (I)
前言.....	T. F. Malone (II)
国际地圈-生物圈计划(IGBP): 对学	
科范围和计划设计的某些特殊要求	J. G. Roederer (1)
关于全球变化的科学综述	H. Fridman (11)
地圈-生物圈研究计划	B. Bolin M. B. McElroy (31)
地球物理各学科的联合	A. R. Robinson (39)
大气化学	P. J. Crutzen M. O. Andreae (43)
变化的大气圈	G. S. Golitsyn (62)
大气与海洋的相互作用	R. W. Stewart F. P. Bretherton (68)
全球环境变化与海洋	D. Lal W. Berger (75)
世界气候研究计划	P. Morel (83)
20000年全球气候变化: 古气候研究计划	
.....	T. Webb ■ J. Kutzbach F. A. Street-Perrott (90)
生态系统的弹性: 局部突变与全球变化	C. S. Holling (97)
海洋生物过程的全球远景展望	J. J. McCarthy (118)
海洋系统中的生物地球化学循环	A. Hattori (123)
深海生物与国际地圈-生物圈计划(IGBP)	T. Nemoto D. S. Winbanks (128)
国际生态系统与生物圈计划的二十年:	
成绩、缺点与可能的新远景	F. di Castri (135)
论地球诸子系统之间的联系——问题和建议	O. L. Loucks (146)
岩石圈——全球变化的实验室和图书馆	R. A. Price (149)
地球内部: 向地球科学家提出的新领域和新挑战	D. L. Anderson W. A. Dziewonski (153)
造山作用和高原隆升对环境变化的影响	马杏垣 (158)
固体地球和全球变化——跨学科研究的范例	E. Seibold (159)
全球变化研究中日地关系的某些交叉学科问题	H. Friedman (164)
日地关系	R. M. Bonnet (168)
全球变化的卫星监测	S. I. Rasool (182)
环境科学: 世界数据库	D. P. Bickmore (190)
地球土壤动力学和可载能力	R. Revelle (195)
生物圈能承受的发展: 人类活动和全球变化	C. C. William C. S. Holling (201)
生物圈的人类利用	R. W. Kates (209)
土壤地理信息库的更新	W. G. Sombroek (211)
国际地圈-生物圈计划: 全球变化	W. S. Fyfe (212)

国际地圈-生物圈计划(IGBP):对学科范围 和计划设计的某些特殊要求

J. G. Roederer

(美国阿拉斯加大学地球物理研究所)

一、引言: IGBP的基本构思

“国际地球物理年”(IGY) 是第一次从全球观点研究地球的大规模的国际合作。“全球性”一词仅适用于探测或观察阶段。实际上国际地球物理年计划是分学科进行的。这些学科所涉及的对象是特有的物理现象、地球的某些区域和专门的监测技术,但全然没有研究生物系统与地球的互相作用。

“国际地球物理年”计划的工作时间虽然不长,但却取得了重大的成就,例如利用人造卫星,建立国际资料中心,基本监测仪器的标准化,等等。所有这些都已作为国际地球物理研究中的固定手段被保存下来。在“国际地球物理年”中发展起来的科学合作精神也得到发扬光大。这种精神对搞地球科学来说是必不可少的,因为地球物理分区不是按国界划的。

继“国际地球物理年”之后又开展了许多国际合作项目,它们都保持了高度的合作精神,即使某一国或两国间的项目,也经常以非正式方式与国际科学团体相联系。

随着“太空时代”与“板块构造时代”的推进,地圈的范围向外扩展到空气动力学上可飞行的大气圈之外,向内则延伸到地下极深处。磁层和岩石层对于现代人类活动的发展已成为关系日益密切的区域。看来,板块构造的机制已使地质时间尺度“加速”了几个数量级。人们怀疑由太阳变化控制的磁层进程,可能对其下面的大气层产生微妙的影响。各地科学家逐渐认识,并更加重视这样一个问题,即由于人类的影响,全球环境变化的时间压缩为人的生命时间。

在“国际地球物理年”之后,以下事实变得更为明显:

1. 不能孤立地研究地球的不同组分和它的环境;
2. 在许多组分的演进过程中,生物过程不论过去还是现在,都起着重要的作用。要把生物圈和地圈看作一个不可分割的系统。
3. 为了真正定量了解具有微妙平衡和多元平衡潜力的整个陆地系统,我们必须考虑不同量级的时间尺度和能源。
4. 为了更好地了解地圈-生物圈系统,从而增强预测未来演变及其对人类生活影响的能力,必须协调努力,运用现代技术,集中研究那些把系统中所有互相作用的部分紧密联系起来的过程和机制。

很多学术团体和组织已朝这一方向开始工作,把注意力集中在地圈的某些部分和时段。

已开展了许多国际研究计划,至少在局部对地球进行跨学科研究。例如中层大气计划,世界气候研究计划,国际岩石圈计划,人与生物圈研究,以及生物-地球化学循环及其相互作用的研究等。这些计划和其他类似项目,可看成是为完成一项更综合、时间更长的研究准备基础。这些综合的、长期的研究项目将是现有的和计划中的科学事业的合乎逻辑的发展和补充。

从近期国家一级或国际范围的初步讨论中可以清楚地看出,许多联结太阳、地圈(大气圈、水圈、岩石圈)和生物圈的环节,事实上是可知的,尽管控制质量、动量和能量转化的界面过程,特别在不同时间尺度上的相对强度的定量方面,了解甚少。相互作用系统的某些环节联系很弱,能量和质量的转化在数量上可忽略不计,但在影响动力平衡或触发不稳定性方面,则可能有重要作用,可以引起宏观变化。人类活动的大部分影响都属于这一类。作为跨学科努力而提出的国际地圈-生物圈计划,是要取得对复杂的地球“机器”,它的各部分的功能和相互作用,以及驱动这一“机器”的地球物理和生物地球化学过程的真正全面的定量了解。

这一努力除了有重大的科学意义外,实际研究将大大增加它的价值。

生命维持系统所受的压力日益严重,主要原因是全世界人口增加、工业生产、废料、污染和资源开发;对更美好生活方式的要求和区域气候变化的长期趋势。为了保护 and 扩大这一生命维持系统,并使之在21世纪能够适应这个趋势,各国政府必须制订长期计划,除了要拟定各自国家的具体目标,还必须依靠有关全球环境以及自然和人类活动引起的预期变化的大量科学知识。这类大量而具体的科学知识现在还没有。更具体地说,为了计划并实施使用期达几十年甚至上百年的大型技术项目,例如大型水电工程、大型灌溉工程、土地整治和城市化项目;放射性及化学废料处理系统;大水系的改道;生物技术和基因工程的工业利用;大规模使用化学动力的航天系统;设置载人和无人的长期运转的空间站,等等,都必须有关于地圈、自然的和人类活动引起的灾害的全球变化,以及有关的物理、化学机制方面的详细资料。

因而很有必要通过一组高度集中的对地球持统一认识的,并强调各干扰部分之间联系的研究计划,来建立一个知识库。这些计划最终应能评估趋势,并能预测今后50—100年自然和人类引起的变化。为了达到这一目标,必须注重对所有时间尺度上的包括大气圈、水圈、岩石圈和生物圈在内的主要生物地球化学过程的研究;还必须考虑地球内外的能源和能量转换过程;不但考虑主要的输入,而且要考虑影响人为系统和在引起全球变化中起触发作用的那些次要因素。特别是,对地球气候(这里从广义来讲,起自地圈-生物圈系统所有主要组分之间的动力作用)的研究,将是整个努力的关键。

对全球变化趋势估计的100年时间要比大多数正在执行的计划或拟定的计划所用的时间大一个量级。因此,现有的一些计划必须作相应的补充和扩展。另外,考虑到更长的时间尺度和有必要把全球变化的自然原因和人为原因明确区分开,需要有两种不同的试验研究模式:(1)详细研究过去,包括远期和近期;(2)精确确定关系最密切的地球物理和地球化学量值的当前变化。必须进行全球范围的测量,并制定监测计划,以解决有关生物群、大气参数、水圈中的水体和水流、辐射通量和冰层等的特殊问题。同时,对有关的物理和化学过程以及非线性流体动力学的理论研究,这对建立全球系统行为的定量模型是必要的。这一模型将成为定量评价长期趋势的最终手段。理论工作者、模型设计者、实验研究者之间的合作,要灵活地规划监测台网并能按模型设计者的需要和建议不断进行调整。这种合作对研制、试验和完善为研究

地圈-生物圈的物理、化学和生态行为,以及确定50—100年的变化趋势用的数字模型,是很重要的。

用国际合作的办法计划和协调这种科学项目,其必要性是显而易见的,无需进一步论证。1983年ICSU在华沙举行的会议上倡议建立一个特别小组,负责在1984年9月渥太华ICSU大会期间组织一次IGBP讨论会,这为一项国际科学合作的大项目迈出了第一步。这一项目很难规划,这是由于国际科学界的各学科部分先要学会互相沟通和共同工作,还因为国际政治气候的不利因素和世界经济状况迫使许多国家紧缩科研经费;最后还有一点也很重要,那就是我们考虑的时间尺度远远超出政治家和政府官员所能计划的范围。

国际地圈-生物圈计划的一个重要部分是研究生物圈、大气圈、水圈和岩石圈之间的(能量方面的)强烈作用,正如在主要地球生物化学循环中所显现的。需要特别注意的是,为了对地球系统各部分动力学和它们之间的互相作用有真正全面的定量了解,IGBP计划应研究过去在生物圈内发生的“缓慢”的全球过程,还应研究通过日-地空间联系由太阳活动变化所引起的“弱”作用。本文的主要目的是讨论这一特殊的需要及其含义,并对所提出的国际合作项目及有关的战略设想,发表一些基本看法。本文并不想为IGBP提出一项全面的研究计划,这种全面计划只有在对此感兴趣的国际科学界,通过ICSU的有关机构和它们在各国的分支,对IGBP的设想进行审议,并提出有关的科学建议书之后,才有可能。

二、生物圈的构成和对过去全球变化的研究

按照本文的目的,生物圈可粗略地视为所有有生命的和维持生命的,能够对地球自然环境产生重要和长期影响的系统,还包括对这些系统有直接作用的那一部分自然环境。我们早就认识了生物圈在地球演变中的作用,然而只是在最近才取得足够的资料,使我们得以定量地认识造成生物圈和地圈之间互相作用并接着引起全球变化的主要的生物化学、地球化学和物理过程。

生命系统参与地球外层演变的程度是惊人的。一方面,生命系统通过自我调节过程能提供稳定性;另一方面,它们能导致强烈非线性的行为和惊人的不可逆转的变化。在其它情况下,它们还能造成自然环境大规模的缓慢变化。

例如,有证据表明,在30—40亿年的时间里地球大气层的温度相当稳定,尽管这一时期太阳能输出可能已增加25%,地球表面和大气成分都发生了很大变化。据推测,生命出现之后生物过程通过大气中大量的CO₂的反馈调节,对热量进行控制;而在更早的时候,则是通过大气中悬浮的硫雾来调节。

另一方面,与上述形成对照,由地球自转向量和轨道偏心率的周期性变化(米兰科维奇循环)所引起的半球日照的较小变化,看来会导致可察觉的周期性气候变化。很可能,受日照控制的海洋中磷和氮含量的变化会导致海洋生物生产率的变化,反过来又会引起大气中CO₂含量的变化。以上反映出一种“放大过程”,即太阳能积累的微量变化能使气候发生巨大变化。

最后,地球大气本身在最近20亿年来的逐步演变,是受生物圈控制的。当今大气中的氧气几乎都是由绿色植物的光合作用产生的。

在地球上,只要那里的温度适宜,那里都会存在生命。地球外圈化学元素的1/3以上都参与生物循环。硅、碳、铁、锰、硫的富集都是生物成因的;稀有元素远远高出原有的宇宙丰度,也是生物造成的;每天由植物返回大气中的各种有机挥发物(有的含有金属)有上千吨。在地质历史的最近期内,人类文明已对地球环境留下印痕。它所引起的全球变化,在时间尺度上远远小于地质和生物演化的时间。

生物圈是地球系统的一个密不可分的组成部分。生物系统,从微生物到灵长类,是有机物质的“岛屿”,它们不断降低熵值并向高的种属演化。为了产生高级种属,有机物必须在一定的时间内保持稳定,尽管它与不断变化的地球环境发生着作用。它必须有能力在不可预知的环境变化中保存自己,还必须为了自己的利益去改造环境。这是有生命和无生命系统的一个最重要的区别。部分原因是生命系统与环境之间,各生命系统之间(不论简单还是复杂)的相互作用,都是包含图像识别在内的一些过程为依据的。

在这一阶段,关于是否以某种原始状态或输入刺激方式存在确定的图像的信息,已进入支配所有生命系统相互作用的画面;考虑熵值要优先于能量的考虑。生命系统的相互作用,不管是原始的或是复杂的,都包含信息处理功能,而非生命系统则根本不具备。单有基本的原理作用,但没有信息处理阶段,其输出能确定某一作用是否发生。最后,这是这样一种图像识别或信息处理模式,能使生物系统持续地产生并保持下去,并且把有关的信息传给它的后代。

随着物种的进化,关于环境的信息就逐步注入并储存于有机体的遗传记忆系统内。时间尺度上比物种一代生存时间大许多数量级的极为缓慢的环境变化,通过变异和自然选择的共同作用,才能进入基因的记忆系统。然而,重要的是承认这个过程不是单方向的;即自然环境(地圈)充分支配着生命系统的演化,而生物圈随着自身的演化,反过来还能改变周围的环境。在这个相互联系的生物圈-地圈内,联系有三种可能的模式:逐步变化;通过反馈获得稳定;短期突变,甚至振荡。

区分生命系统的许多其它特征,对了解它们与环境的作用是很重要的:(1)仿制,或者再生及繁衍的能力;(2)物质和能量有目标的转移;(3)有目标的运动。还有有机薄膜,它作为生命系统另一个基本的运转单元,主要功能是自然地把两个空间隔开,并有选择地控制它们的物理化学作用。包含图像识别、能量和物质定向输送及化学环境分隔的相互作用引起的单向流动是生物圈成分中唯一关键特征。这一特征最终要支配它对地圈变化的反应,反过来还能控制生物圈对地圈的影响。

生物圈是一个获取-贮存和输送能量的巨大的新陈代谢装置。在地圈内,我们同样也能看到获取、贮存和释放能量的场所。一个基本区别是:生物圈的储能体总的来说是向更有序的方向演化,即减少混乱,而以周围环境中混乱的加剧来补偿。这显示出生物圈-地圈相互作用最基本的非线性性质,即新陈代谢过程必须适应自己造成的变化。

地球大气层的演化是生物圈-地圈相互作用的重要例子。30亿年前当首批生命形式出现时(从局部高分子集中向个体原核生物细胞过渡),大气是缺氧的,很可能是由二氧化碳、氮、水、一氧化碳、硫化氢、甲烷和其他微量气体组成。在水和 CO_2 的分解过程中形成的游离氧很快被当时火山强烈活动所喷出的气体消耗掉。幸好早期的生命形态对氧的需求是很低的。

在距今20亿和14亿年间,随着产氧的光合作用和真核生物细胞的出现,发生了剧烈的变化。这一转变包含着一些并存的地质和生物事件:(1)某些贮氧地带得到平衡,使氧能积累到目前水平的1%;(2)生物体生产能量的主要机制,已由发酸作用变为呼吸作用,使新陈代谢产生能量过程中所需的氧气增加16倍;(3)适当的细胞防护系统包括细胞核膜是用来防止新的氧化新陈代谢作用的有害副产品。有地质资料(硅质铁沉积夹层)表明,在生物圈-地圈剧变时期,交替出现以亲氧为主的新陈代谢和厌氧为主的新陈代谢。上述第(2)条最终给产生氧的微生物以有利条件,导致大气中氧气持续地增加。

据信,大约在6.7亿年前,当氧的浓度大致达到目前的7%时,首次出现了多细胞生物。在这一阶段板块构造的运动成为影响水圈生物的一个因素,主要是通过气候变化和在大陆架内的变化。紧接着重要的一步是呼吸系统和循环系统(与早期动物的皮肤呼吸不同)的发展以及含磷、钙的外壳的出现。这些外壳在地圈磷钙积累起着重大作用。那时, O_2 的浓度已达目前水平的10%。

在早期陆地菌类植物出现后,距今4.4亿年前又演化出了脉管植物,距今4亿年前出现了第一批陆地动物。随着物种日益复杂和更多的不可预测的地球环境特征成为生物生存的决定因素,生物一生中通过个体发育以适应环境的能力成为生存的基本需要。

当多细胞机体出现移动时,有关的环境变化因素大为增加,变化的时间尺度缩短到几分之一秒。这就有必要通过感觉获取大量的信息。尽管所得到的大部分感观信息是互不相关的,但它不知不觉地带有对生物生存起决定作用的信号和图象。神经系统得到进化,使机体有更强的能力去探测、区分、辨认和储存由感观输入带来的有关信息,经过处理,对环境的迅速变化作出适当反应。在发展过程中,由简单的环境信号转换和传输机构进化成高等脊椎动物的中枢神经系统,具有微妙的输入-分析和反应-计划能力。出现了大脑,它作为中央处理机,执行着显示环境和预测当前环境事件紧迫后果的基本功能。

一个最终的重要发展是人脑的出现。只有人的大脑才能完成的最基本的独特功能,是回忆印象或图象,无需任何同时的外界感观输入即可改变它们,并能贮存经过加工整理的图象。我们把无需新的外界输入而进行图象改变和再贮存这类活动,称为人类的思维过程。这一过程包含新信息的产生。与这一发展相联系的是出现内容丰富的语言。

重新组织和改变图象的能力,使人们有可能进行长期预测并产生了时间观念。有了这种能力,就能推动行为目标或者重新安排重点,身体开始受人脑支配,而不是相反。根据遗传基因提供的指令进行筑巢和觅食,让位于有意识地建造住所和获取食物。人类有计划的开发利用自然环境的活动就开始了。随之就有能力在一个比自然生态调节或地质变化短得多的时间里大大地改变生物圈-地圈。

人类现在正对大气层的化学和陆地资源的分配施加重大影响,对海洋的影响也越来越大。由于人类社会对环境的控制和有意无意的改变,这些变化对社会发展开始施加反馈影响,即另一种非线性相互作用,现在又渗入了生物圈的最新组分,即人类圈。

在这一方面废弃物的作用越来越大。例如,碳就是现代社会的一项最大的废弃物。人类通过燃烧矿物燃料,从工业革命以来以 CO_2 形式已向大气倾注了1000亿吨碳。在同一时期,由于开荒也有同样数量的碳从生物圈进入大气层。高空喷气机把废气直接排入平流层,排放出的用作喷气燃料的经氯化的气体、工业用挥发剂和冷冻系统的液体,以及在全球氮循环内人类

活动的综合性干扰,都能引起臭氧层的变化,从而导致射向地面的紫外线的增加。大规模的河流改道工程项目,它对海洋动力学和气候的影响,如果不是全球性,可能也是洲范围的。

从以上可得出,IGBP研究的一个重要部分应包括对过去的生物圈-地圈相互作用的记录进行详细研究,并把重点放在非线性联系起关键作用的急剧变化时期。对选出的一些突出事件的时间进程有更详细的资料和对大时间尺度上起作用的可靠的生物地球化学和物理机制的确定和定量了解,将能研制出一种更精确的全球环境模型,并更准确地估计它对自然和人类扰动的反应。

三、日-地研究计划的几个有关方面

日-地研究计划的内容包括:太阳的电磁和微粒发射;支配着它们的源和星间传播的物理过程;它们与地球作用的物理化学过程。日-地研究的许多方面已有上百年的研究历史。然而,只有在所研究的物理领域已能靠人或人造仪器进行实地观察和测量时,日-地研究才正式成为一门科学。事实上,正是日-地研究为在国际地球物理年向外层空间发射人造卫星首先提供了科学动力。当然这也受到人类扩大知识领域、扩大其影响和支配能力这一本性的推动。

太阳是推动大气和海洋循环和生物圈中光合作用的主要能源。这是一个变化着的星体,其大小和形式是经常变化的,现在刚开始对它们进行研究。太阳变化对总的能量输出的影响不大,但正如前几节在涉及米兰科维奇循环时所指出的那样,孤立的微小变化能导致大气圈-水圈-生物圈系统内的明显变化。太阳黑子和太阳活动的其它表现,具有明显的11年和22年周期。诸如蒙德低值期(公元1645—1715年期间实际上未出现太阳黑子)这样的间歇性变化是百年或更长时间尺度太阳活动的例子。最近研究表明,太阳总照射随着太阳黑子遮挡作用的变化而变化的。另一方面,太阳耀斑能引起高能粒子的喷发和电磁辐射,从而扰动地球的上层大气。当耀斑很强时,则能穿透到地面。

日-地研究的许多方面涉及到全部或部分电离气体的动力学。现在看来,这是一个由独特的但又密切作用的部分组成的独立系统,它从光球层伸展到太阳系的外沿,囊括行星及太阳系其他的星体,并下沉到地球的大气层。来自太阳粒子辐射尽管只占到达地球上的太阳能总辐射量(10^{11} 兆瓦)的很小一部分(10^6 兆瓦),但能发生很大变化,并对地球外层产生极大影响。太阳的电磁辐射可不受干扰地到达地球,而粒子能量流则经受着许多转化和贮存过程。现在对有关的能量、量质和动量转换过程正大力进行研究。尽管某些统计上明显的相关性已被确认,但它们对平流层、对流层、生物圈及气候的影响,只能作一些推测性的评价。

一直延伸到太阳系外沿的空间称为日光层,那里有磁化的等离子体和太阳风穿越。太阳风由太阳不断发射出,而且其性质是高度变化的。在这个介质中发生的等离子体动力过程支配着它对磁场和太阳风的源,即太阳本身变化的反应。太阳风当它与地球磁场作用的时候在地球周围产生一个充满等离子体的空间,称为磁层,它是地圈的最外层。它向太阳方向延伸达10个地球半径,那里太阳风与地球磁场相交;而背太阳方向它延伸达几百个地球半径,那里等离子体和磁场被太阳风吹成一个长长的彗星状的磁尾。与地球内部场相关的星间磁场

方向的变化,调节着太阳风能量转化为磁层的速率。这一速率可从星间的北向磁场实际上是零到南向磁场的 10^7 兆瓦。这反过来又确定着磁层内干扰电离层和大气层过程的程度。极光是这种相互作用最壮观的表现。

极区的上层大气,远非是一个被动地观看磁层过程的屏幕,它作为磁层能量的聚集地起着重要的作用。它给与之相联的磁层区以重要的反馈,是传向低纬度的重要扰动源。在极区有重要而多变的能源。一种是由电离层中被磁层过程所驱动的电流的散逸引起的焦耳发热。另一种是由极光粒子降落到大气层引起的发热。第三个过程从电离层离子(它们在主要受太阳风与磁层互相作用控制的电场中飘游)向中和气体的动量转换。臭氧分布本身被极光沉降中形成的奇特的氮组分所扰动。所有这些极过程都影响全球热层的循环。极区上层大气的加热,以及这一效应向低纬度的传播会引起近地点卫星摩擦力的增加;重要航天器的走失或其轨道的失稳,是受太阳变化控制的这种难以预料的效应引起的。此外,某些科学家怀疑,由大气层扩张引起的地球惯性张量的极小变化可以对地球自转矢量,从而对日长产生不容忽略的影响。

太阳活动引起范阿伦辐射带能量粒子流的变化,从而控制核粒子辐射的背景值,卫星是暴露在其中的。这对长时间的沿轨道运行是特别重要的(协和式超音速飞机甚至在其工具箱内带有辐射计数器,以监测极区航线上高强度太阳能量粒子的可能射入)。最后,尽管磁层扰动对电离层的深远影响和有关对无线电波传播干扰已研究很长时间,它们至今仍是一个伤脑筋的科学问题,诸如电离层不均匀结构的形成及其对用于卫星通讯和资料传输系统的千兆赫频带的影响。

中间层和上平流层的化学现象受与瞬时太阳事件有关的短波长和微粒辐射的吸附作用的影响。总之,需要彻底了解平流层和中间层的光化学作用。这方面的知识有助于估计诸如一氧化碳(部分由大气电形成)和碳氟化合物等痕量气体,以及太阳输入的变化对中大气层臭氧含量的影响。由于臭氧紫外线屏蔽对生物圈的重要性,这些联系具有深远的意义。

正如上面指出的,中和大气层给磁层以重要的反馈。这是作为磁层粒子的部分源而作用的。这是影响磁层过程的发电机效应的场所,其高纬度上的电导率调节着极光粒子的加速作用(它反过来又影响电导率)。对流层和平流层中产生的重力波传向热电离层。雷暴电场可影响电离层和磁层中的电动力过程。这磁层和大气层之间的后一种联系(受全球电路控制)是地圈了解很差的另一个环节。所有的雷暴一起作用可在高导电的电离层和地面之间产生和保持几十万伏的电位差。在晴朗天气电路中的消耗部分,这一电位差可驱使电离层中的电流直下地面。这一系统,一方面受雷暴系统中电导率很局部增加的调节;另一方面受由太阳活动控制的极区电离层电导率的调节。此外,地面以上几十米高度的晴朗大气的电导率,决定于与太阳活动有关的银河宇宙线流量;近地表处,土壤的天然放射性则是决定因素。在电路的下部,固体地球和海洋中的大地电流的细节是复杂的,有待于全面的实验和理论研究。全球电路大气的“垂直”部分与电离层和大地的“水平”部分之间的偶联程度还不清楚;从闪电和荷电凝结核相应二氧化氮的生成和云层沉淀过程中的重要作用来看,很有必要弄清这种偶联的存在和程度。

最后,地球内部磁场的长期、大规模的变化会引起磁层形状和所有磁层过程的改变。了解地磁场长期变化和倒转的影响,对研究地圈-生物圈系统中过去发生的急剧或灾难性的变