

文章编号 1001-8166(2001)06-0877-08

地球—生命耦合系统:生物圈动力学和全球环境控制 ——德国未来 15 年超大型科学研究计划“地球工程学”研究的重要领域

江 源¹, 赵生才², 孙成权³

(1 北京师范大学资源科学研究所, 自然灾害与环境演变教育部重点实验室 北京 100875;
2 中国科学院综合计划局 北京 100864; 3 中国科学院资源环境科学信息中心, 甘肃 兰州 730000)

关 键 词 地球工程学, 生物圈, 全球环境

中图分类号 P5 文献标识码 A

“地球工程学(Geotechnologie)”是德国联邦政府教育与研究部(BMBF)和德国科学基金会(DFG)共同策划的未来 15 年超大型地学研究计划,于 2000 年 3 月正式公布并开始招标实施,德国政府准备对该计划的实施投入约 5 亿马克的研究经费。

在经济和科学技术全球化进程不断加快的 21 世纪之初,在我国自然科学基础研究已经开始实施“十五”规划,即将开始考虑下一个五年规划的重要时期,了解和掌握世界各国的科学研究动态,对于把握科学前沿问题、跻身世界领先行列、保证我国基础科学研究与世界同步发展及开拓创新性研究领域等方面都具有重要意义。为此,本文将根据 DFG 提供的资料,对德国未来 15 年的超大型科学研究计划“地球工程学”的重要研究领域——地球—生命耦合系统(生物圈动力学和全球环境控制)进行全面介绍,目的在于通过信息交流,促进我国地球科学研究的迅速发展并及早抢占前沿性科学研究领域。

地球工程学将地球视为同环境紧密相联系的、有人类参与的自然变化过程的“测量器”。定量和定性地区分自然和人为驱动的变化过程,这对预测未来变化和进行全球环境控制有重要意义。环境和气候变化具有短期的波动和长期的趋势。而地球历史记载了这些波动过程、变化趋势、速度和结果。发生在地质史上的过程通常能被测出真正的年代,而

发生在地质史上的生物演化能够显示出控制着微生物乃至人类进化的环境变化特征、比例和波动范围,也能够提供有关生物圈对全球环境调控的多种信息。

1 地球—生命耦合系统

生物圈和生命的发展史具有不连续性而生物多样性的变化反映了这种不连续性。地史过程包含着生物进化过程,生物多样性变化总是伴随着新的栖息地的形成和灾难性事件的出现。目前很多研究者都认为,人类正面临着生物多样性危机,这种危机正在接近地史时期中的生命大灾难时期,或者也可能正在跨越生命大灾难时期。地史时期很多大灾难都被认为是生物不再能够适应由地球本身因素和/或地球外部因素导致的环境突变(如气候变化、火山爆发、海陆变化或流星撞击等)的最终结果。

这些认识构成了地球—生命耦合系统概念的基础,同时也衍生出以下相关的科学问题。

1.1 生物多样性

生物多样性可以在分类学、分子生物学、生态学以及种群动力学的水平上进行认识。重新评价古生物学基础数据,并把此基础数据同以以一种明晰的方式考虑环境与演变的方案相联系,以及有针对性地进行的生物多样性预测价值的研究,这是开展现

收稿日期 2001-06-04, 修回日期 2001-08-22.

* 基金项目:国家自然科学基金项目“山地效应温度空间分异及其对植被景观作用机理的研究”(编号:40071002);高等学校骨干教师资助计划项目;国家自然科学基金重大项目“中国东部陆地农业生态系统与全球变化相互作用机理研究”(编号:39899374)资助.

作者简介:江源(1960-)女,陕西西安人,副教授,主要从事植被地理和景观生态学研究. E-mail: jiangy@bnu.edu.cn

代生物多样性研究的前提。将来,生物多样性研究必将成为现有的以及在建的从事生物圈演变研究的各研究机构的未来研究目标。

据报道,当今环境中的生物多样性呈现出快速而明显的变化,目前每年有 1 000 余个物种从地球上消失,而且物种的消失数量好象呈指数增长趋势。对于这一通常由于人类影响叠加而成的现象加以区分评价,只有具备有关生物多样性历史发展模式的知识才有可能。正如地球历史中许多例子表明的那样,生态胁迫有利于物种的消失与形成。较多数量的古生物多样性断面能够提供增强环境监测的标识。同气候变化有着紧密相互作用的地质因素和人类因素,被认为是现代生物多样性危机的重要原因。生物多样性和生态系统在地质时期的发展变化有可能对自然的、非人类的在海洋和陆地上能产生影响的物质流进行严格的评定。对于评价现代生物多样性变化来说,那些局域性的或全球性的陆地和海洋的生物的形态多样性变化,即那些通过海洋环流的转换和由此相连的气候变化被监测出的形态多样性变化,具有特别重要的意义。这类转换的速度和作用可依据古地质环境数据得以重建。

1.2 地球系统的地球生物学控制

地球系统受生物过程和物理化学过程交互的动力学作用的控制。随着 40 亿年前复杂有机分子的出现,这种耦合控制过程就已经开始并一直影响着地圈—生物圈的发展和演化。从那时起,有机体的物质交换过程就控制了地球系统。当时存在的生命空间由于这种生理过程而不断改变着。这一进程决定了进化,并由此控制着生物圈的动力学过程以及生态系统的发展。

厌氧细菌物质交换过程作用下早期富含甲烷的大气圈的变化、光合作用的开始导致氧气含量的变化、有机物—生物矿化作用、海水化学性质的改变(碱性降低、钙去毒化)以及碳酸盐岩的形成(生物礁进化)等都是很好的例证。陆生植物的发展控制着长期的或短期的陆地沉积作用过程,并对陆相沉积物向海洋搬运的强度产生影响。有机体的生理活动决定性地控制着对气候(CO_2 、 C 、 CH_4 等)的影响,而环境退化则为有机矿床(碳氢化合物、天然气水合物、煤等)的形成作出根本性的贡献。

很多有机体形成了矿物的硬体部分,这些硬体部分能表述某些随时间变化的环境条件中的地球化学近似值。作为生物标志物,也即化学化石保存下来的有机分子能够证实关于物质循环、进化和多样

性模式的发展过程。生物的矿化作用能力影响着生物骨骼结构的形成,这些结构能够反映有关环境、功能和构建方式等的相互作用。

进化过程和环境演变在各种时间和空间尺度上进行着,包括了从 Giga 直到 Nano 的所有范围。这些尺度包含有来自天体和太阳的影响状况(如潮汐、太阳黑子、米兰科维奇周期循环等),以及地球动力学控制的过程(如威尔逊循环、沉积盆地的发展、冰室/温室效应的交替、Sandberg 循环,以及海洋参量的长期和短期变化,如海平面变化、厄尔尼诺等环流模式)。目前,为了各种不同尺度的测量需要增加新方法(例如, Sclero 和 Dendro 年代学、高分辨率生物地层学、定量古生态学),正在精细化并日臻完善。

生物圈反过来也以多种方式改变着环境的物理和化学要素。陆生植物对氧循环和碳循环的影响,对土壤形成以及对土壤侵蚀类型和强度的影响等都是生物反馈作用的例证。浮游和底栖生物在矿化作用过程中以及在它们有能力进行的光合作用过程中的交互作用,对维持海洋中 CO_2 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 平衡以及大气圈中 CO_2 的含量都具有决定性的影响。海洋生物,特别是浮游生物的生产力及其分布,持续地控制着海洋盆地中沉积物的形成。

古生物多样性和化石结构变化这样的重大事件留存了地质历史上的生态系统(如生物礁、浮游—底栖生物群落、森林生态系统等),进化的革新进程则记录着古环境演变对构建生物圈的作用。生物产生的沉积物(如现在覆盖于占岩石圈表面 40% 的深海颗石藻软泥或有孔虫软泥)就是通过生物圈进化对地球系统强有力控制的表现。在这方面,海洋底部土壤扮演了一个重要的角色,因为从海底土壤里可以获取大量控制环境的信息。这些古数据里保留的海洋底栖生物的变化可以印证气候、海洋环流模式以及浅海和深海生态系统变化之间的相互作用。

以上概述的地球和生命之间的关系,对于地球工程学计划设置的许多关键课题都具有重要意义。例如,阐明沉积盆地的形成和发展历史要求,特别在碳酸盐岩方面,要有清晰的关于沉积作用的生物学控制的概念。由于生物学所决定的物质循环过程含有长期性的过程,因此迫切需要将现代和近代过程的研究延伸到地质历史时期。范围的延展必须超越全新世和第四纪这些相对较短的时期,以便理解地球—生命系统在地质历史中出现的生物圈—地圈相互作用涉及的范围。这对于资源(碳氢化合物、沉

积矿产、盐类、岩石和泥土等)的开发和利用有实际的作用。在回答自然气候变化类型、幅度和速度等问题时,“回眸”地质历史具有特别的意义。

1.3 地球生物学与古生物学

“地球生物学”是地球化学和地球物理学之外一个新崛起的、并与它们紧密相连的地球科学的核心学科之一。该学科的研究对象和内容来自于与地球历史过程中的有机体和环境交互作用的关系。地球生物学不是古生物学的同义词,在研究目标、研究方法和研究范围方面已经超出了传统的古生物学范畴,其目标方向是认识和理解地球系统中耦合的生物和地质过程的交互作用,研究对象是生物圈与其它子系统在共同地质历史中的相互作用。有关生理过程的演化(如有机质/生物矿化作用)、进化和其它的生物事件(如生物进化、有机体灭绝和形成等),有机体在生物地球化学循环及生物成岩作用中的参与方式,古生态格局与依据地球化学、地质学的近似数据反演得出的环境、生命空间条件之间的关系,以及生态系统对环境演变的响应等方面的研究,具有特别重要的意义。

地球生物学的研究以下述理论为前提:有机体的生理过程控制性地介入了生物地球化学的物质循环并由此强烈地影响着地质过程,而且是不可逆转的。人们可以将这种过程理解为能够审视物质转化的地球生理学过程,这种过程通常在热力学条件下是无法进行的。这一地球生理学过程的产物是大量的硫和多种多样的矿物,这些产物形成岩石或使岩石解体,以及在数量和质量上控制着它们的存在。

有关经过选择的地球历史的时间间隔里发生的有机体更替的背景研究,在地球生物学中处于中心地位。它涉及到生物—地质的相互作用和过程,这些相互作用和过程,作为中心控制因素使生物得以进化,并控制着生物多样性。新的观察研究方式决定了要有一种紧密的古生物学、生物学、地球化学和地球生物化学以及其它的地球科学学科间的跨学科整合研究。因此,地球生物学要求进行学科交叉的研究,这是对传统思维方式的创新和挑战。

现代古生物学是古环境研究。要科学地建立对设想的未来环境变化进行预测的方法,古数据(特别是古海洋和古气候数据)是不可或缺的。

2 古环境研究

2.1 现在与过去

“回眸”地球历史,从各种理由上讲都是必要

的。过去的20万年,只是地球历史的一个片段,这种时间尺度的研究也远不能满足认识未来生态系统的演变要求。气候和环境研究中建立的模型,是使用现代环境概念确定参数并进行校准的,因此也只能用于与现代环境近似条件下的预测。

通过对大量古环境数据的分析才能够将短时间尺度的气候变化、自然过程影响下的长时间尺度的气候波动和气候变化趋势加以区分,通过定年的古生物学数据,才可用于估算环境变化的速度。因此,古海洋及其古环境变化已是全球气候变化研究新的热点。

为了能够基本评估现代可观察到的过程(海平面变化、生物多样性某个区段和生态系统的某个区段)的作用,利用一种历史观察方式是必要的。为了对那些受进化和地球生物学过程控制形成的资源有一个新的理解,历史观察方式同样也是必要的。地史时期形成的含油母岩和硫矿床的不同分布,或者磷酸盐和碳酸盐岩的不同分布和储量等,就是有关的实例。对于地球历史的回溯,能够使人们比较容易地理解现代极端条件下生物群落(Biotope),像它们出现在生物圈的表层和深层那样(如极地海洋、深海中生活在冷泉和热泉处的生命、地壳中的微生物)。现代极端环境中的生物与前寒武纪化石的比较研究,对于研究生命起源和早期地球系统具有根本性意义。

2.2 物质交换过程及其对环境演变的影响

自从生命产生以来,地球系统的发展始终受到物质交换过程的影响。理论上这种生理过程对地球系统的影响可以被分为3种不同类型:

(1)估计自40亿年起,起码自38亿年以来,生理过程已在进行。这些过程是通过有38亿年年龄的格陵兰Isua岩石中特殊的碳同位素信息以及化石遗存被证实的。C交换的开始曾导致一种特殊的与有机体相关的分异。据估计,当时绝大多数生理过程大都是在缺氧、高温的水环境中进行的。看来,现代的深部生物圈似乎代表着这种原始状态。

(2)30多亿年之前,各种不同细菌中光合作用系统(叶绿素II和其它色素和膜系统)的发展导致了氧气的释放,并与此相联系促使地球系统发生了一次深刻的变革。富O₂大气圈的形成持久地改变着表层生物圈(地球表层/土壤、水圈、大气圈等)的生物化学和地球化学过程。胁迫作用导致了在一个细胞内复杂的微细胞器群体的产生(内源共生体理论),并由此形成了真核细胞,进而形成复杂的多

细胞系统。

(3) 前寒武纪向寒武纪的转折时期出现的生物矿化作用(Biomineralisation)过程。当时水环境中过饱和 Ca^{2+} 的存在,可能导致了特殊的能够耦合 Ca^{2+} 的大分子的出现。有机体被迫发展排除 Ca 毒害作用的机制,而这种机制可能控制着真菌的 Ca 交换。这种分子中的一种类型就是母体分子,它们的功能在于吸纳生物矿物质并控制矿物质的生长。只有通过这种过程,才形成了复杂的有机物控制系统,而这一控制系统可能铸就了有机体、有机体群落以及生态系统的差异性。

上述关于地球历史中物质交换过程发展的新的看法,对于将来去预估岩石圈表层进行着的地质过程、地球化学过程和生物化学过程将会有重大的影响。目前,在地球表面以下深达 5 km 处由生物化学和微生物控制的过程已经被证实。因此,“深部生物圈”研究(不仅在大陆深钻中,也在深海海沟以及海洋底部涌现着 CH_4 和 H_2S 的地区)无论对于基础研究还是应用研究(例如硫化矿床的形成)都被视为是一种富有魅力的挑战。

2.3 地球历史时间因素对于认识当代的意义

地质和生物学数据中,储存着现代的和地球历史发展中的关于过程的持续期、速度和时间等信息。为了评价短期、中期和长期的变化(演化、生存空间和条件等),一个尽可能准确的、高分辨率的定年和时代精细划分是不可缺少的。这也适用于对那些在“浅层时间”(shallow time, <200 000 年)中和地球历史的“深层时间”(deep time)中反映的过程进行比较研究。

目前传统的以化石时间序列为基础的生物地层学方法,特别是在微体古生物学领域可以达到很高的分辨率,精度可部分地达到小于 10 万年范围内。这特别适用于古生代地层学研究,也适用于大洋钻探计划中白垩纪和新生代的微古生物研究时段。对于这些时间段,存在着可在全球运用的生物年代序列,这作为一个“共同语言”对校准其它地层学方法来说是极为关键的。生物地层学和生物年代学确实也会如同古生物基础数据一样十分有效。为此,明确地加强生物分类系统学基础研究是非常必要的。

生物地层学与层序地层学和磁性地层学紧密结合,如同在资源勘查地层学领域中的新发展所清楚显示的那样,会有助于地质年代分辨率的精细化和完善。从地球化学、矿物学和古生物学的替代参数(proxy)衍生出的韵律地层学(orbital tuning)允许韵

律为 4 ~4.2 万年的“米兰科维奇周期”分辨率回溯至中新世。10 万年周期的分辨率相对较好地运用于至始新世则是可能的,并可逐步地运用于整个显生宙。硬度(sklero)定年法和树木年轮定年法允许年代分辨率达到年、季节甚至于月份。

2.4 古生物数据对于认识现代和未来的意义

2.4.1 评价物质流、海洋和气候的演变

世界海洋底部及其结构、组成、形成历史,以及对其产生影响的物质流,反映着地球行星受外因和内因驱动着的动力学过程。海洋底部作为最大和最单一的地质区域,在其沉积物中具有极好的“档案库”,记载着全球环境变化的范围和程度。海洋地球科学通过充分利用这些“档案”资料,可为评价地球的现状和进行前瞻性的环境研究作出重要贡献。

在水和沉积物界面,从沉积物中溶解出的物质又重新回到海底的海水中。这种物质流基本上决定着大洋深部水中营养物质和碳系列物的浓度和分布。当然,因人类活动产生的回流入海物质在这个界面上也受到控制。生物和地球化学的物质流可用海底现场方法进行测量,并通过具有预测功能的传输—反应模型进行定量描述。

在全球性的地幔—海洋底部—海水—大气圈的物质循环过程中,化学元素被储存在各种各样的物质库中,因此库与库之间的物质交换得以缓冲。缓冲作用的强度受背景条件和过程的制约,但对于背景条件和过程的反馈作用模式及其变化的认识至今尚处于起步阶段。鉴于一些关键物质的积累与释放需要非常不同的时间尺度,因此要建立物质的收支平衡将是极为困难的。

物质流的地质过程被保存在沉积物中,并可推导出沉积物中化石所记录的各种各样环境参数相应的近似值,这些不同的环境参数是借助于物理—化学的和生物学—古生物学的测量方法获得的。由于这些有规律的信号包含有许多环境参数的共同作用,因此对这些信号进行某种合理的解释,通常只能依据大量的独立的系列替代数据才是可能的。对海洋和陆地替代参数的检验和不断完善是未来环境和古环境研究的主要目标。

海洋生产力受制于气候控制的自然变化。当今在很多海域,由于人类活动使 C、N、P 和 Si 入海量不断增多,海洋生产力和变化模式已提高和改变了。将人类活动决定的变化从自然的、最终只能在地质发现中保存着的变化中分离出来,这对于讨论海洋系统的承载力和可能的风险评估具有根本性的意

义。古生物学数据将来在这方面也将扮演一个十分重要的角色,因为它体现着有机体对自然的环境因子的直接回应。

2.4.2 海洋生物对大气圈、水圈和冰冻圈的作用

海洋生物在维持大气—海洋圈之间的 CO_2 平衡中发挥着重要的作用,因为在海洋覆盖水体中生产力的变化能使数百年内大气圈 CO_2 的含量发生变化。这一变化对气候有着重要影响,其变化的规模和程度主要受两个过程的控制,一个是“生物泵”的作用,另一个是“碱泵”的作用。近海洋表层的生产力通过固定碳元素以及碳元素向深层的转移,导致表层水中 CO_2 的不饱和,并由此导致大气圈中 CO_2 被吸入海洋。这就造成通过有机碳的氧化作用使深水中 CO_2 含量增加的条件。补偿作用则通过生物成因的碳酸盐的溶解导致了海水碱度的提高,同时也导致大气圈 CO_2 含量的进一步减少。在这个过程中,海洋中营养物质供给的波动变化特别影响着海洋生产力的变化,而有机碳和碳酸盐转换至深海状况,则控制着海洋碱度的变化。此外,所有这些过程都受到海平面升降和大洋环流模式变化的影响。

为了区别自然和人为因素对 CO_2 和气候变化的影响,需要进行以下研究:营养物质组合的波动变化;界定生产力水平的营养物质(磷酸盐、硝酸盐、硅酸盐、铁等)的供给量,以及在海洋循环中的变化;碳酸盐产出的变化(珊瑚礁、含碳酸盐壳生物);海平面升降波动、大陆架侵蚀,以及与此相联系的对珊瑚礁发展和营养物质供给的影响;碳/碳酸盐向深海转换的定量研究。

2.4.3 生态系统对环境变化的响应

生态系统在不同尺度上对环境变化作出反应:

快速反应,这种反应与生物的生理变化和形态变化相联系,其变化能够通过化石的研究而被认识和发现(如随 CO_2 含量变化而变化的植物,通过改变气孔密度调节植物体水分衡和有机物质的生产);

中速反应,表现为生态系统结构变化、生物迁移、物质循环和食物链变化,也部分地表现为物种绝灭;

慢速反应,生物界的演化、物种消失与形成。

古生物学的研究将有可能回答以下问题:

(1) 生态系统动力学过程。现代生态系统不是统计学研究范畴,而是被划入动力学发展过程的研究。现代的生态系统的稳定性和脆弱性,可以通过对地球历史中可确定时间的事件研究进行判定。在研究范围不断增大的情况下,时间分辨率已经可能

达到数年甚至是数天的精度。这些事件的研究成果表明,环境变化速度比环境变化类型具有更大的意义。

(2) 特别敏感、因而可利用其作为环境变化监视器的生态系统。现代生物礁体是天然的护岸屏障,保护着上万公里绵延的海岸避免来自沉积物的威胁。生物礁的位置及其结构,像在加勒比或者在澳大利亚大堡礁那儿一样,是与原来更老的生物礁系统所处的地点有关。现代生物礁面临着严重的威胁,这些威胁不仅来自全球环境变化,也来自人类的直接影响。已有的评估表明,大约 40% ~ 60% 的生物礁体的结构已持久地发生了变化,当人们考虑到生物礁体对于渔业生产和旅游业的意义时,那么十分清楚,这些生物礁的死亡必然对数以百万计的人的生计和就业状况带来影响。此外,对造礁生物十分重要的、对抗生素研究及其关键的药物资源也遭到破坏。对自然原因和现代生物礁生长动力学的作用进行判定,需要有关过去时期里作用明显的环境因素的知识。关于厄尔尼诺现象和未来海平面变化的知识,就是依据生物礁化石和准化石中保留的有关当时物理—化学背景条件变化的标志而得到支持的。

(3) 必要的基础研究包含以下方面的问题:适应的必然性是如何打上了可从构造形态学上予以阐释的标志?对于有机体来说,它能够做些什么,不能做什么?单一种群和种群群落是如何对极端生态环境作出反应的?微生物在浅层和深层生物圈以及地球生物过程中的作用是什么?地质史上微生物对沉积矿床和矿物形成的作用是以何种方式变化的?

3 发展需求与展望

德国未来地球生物学和古生物学的基础研究应努力迅速建立古数据库,发展和改进物理—化学研究的方法,包含钻孔研究在内,发展古数据支撑的以预测为方向的生物—地质模型研究,这些模型能以富有创意的方式描述现代和未来地球系统的变化。

3.1 古数据库的管理

依据古生物数据推测关于生命进化以及地球—生命间耦合关系的看法的价值,取决于大量化石的信息力(Informationskraft)。反过来,这些看法通过化石埋藏学标准也会受到否定或者肯定的测评。因此,关于现代生物和古生物之间的种群演化关系、生命空间和古环境控制以及地质时期生态环境更替的种种看法,将来必须以大量的化石发现来判定,这些

发现因其往往非同寻常的获得有可能提供准确的信息,并成为“窥视地球历史的窗口”。

3.2 数据准备和数据库

截止目前,人们只是对一小部分古生物(和现生物)做过描述,但由于过去的 20 年间过程和模式研究处于有利地位,因而以描述性为特色的古生物学明显退居到了次席。究其原因:分类学和系统学研究的不确定性;大量的分类描述综揽的困难性;在古生生物学各个研究领域上,解释性的古生物学取得引人瞩目的成果;地学同行对生物分类系统学研究的必要性缺乏认同感。

对现有分类学数据的重新评价和整理,并以现代生物学研究方案为基础进行新的生物分类系统学研究,确实可形成几乎所有过程研究的一个根本性前提。这特别适用于:理解古生物多样性和由此推导出的地球系统中生物演化与物理—化学条件变化之间的关系;认识古生物地理格局;评判生物系统进化模型;充分利用在一个高分辨率生物地层背景中的古生物学数据。

有关古生物学数据资料的信息广泛分散在发表的著作文献和大博物馆的收藏中,这些信息作为参考系统被视为是不可缺少的第一手资料。这些地球历史的档案的不断发展和实用化是当前的一件中心大事(如森肯伯格/法兰克福)。

电子媒体将有助于收集已经发表的各类信息和数据库的建立与使用。对现有的网站(大洋钻探地层信息网站 ODP—数据库不莱梅/基尔)必须加强和迅速扩充。数据库必须包括分类学数据,而且要包括形态学特征、生态和生物地理分布模式以及生物地层学等领域的信息。这些数据库还必须具有“友好”的存储格式,当然也包括图片资料,以便使用者能够迅速获取数据。古生物学数据库还应该与工业界的数据联网,以便于勘探矿产所需要的生物地层学信息能够提供使用。

可以肯定,尽快建立一个现代化的、具有互联网功能的古生物学数据库,对于地球科学和生物学研究人员充分利用地球历史档案资料研究古环境和古气候具有重要意义。数据库的建设应该有一个适应国际和国家研究方案的针对性计划。

3.3 改进研究手段

采用现代技术将使古生物学研究手段的改善成为可能,这些现代技术包括:分子结构分析、X—射线法、三维数字技术(三维扫描、图像处理)、光谱仪、计算机层析图像处理、基因分析、内部结构研究

和数字化处理(计算机层析图像和核自旋层析图像处理),加强现代古生物学(环境影响生物固体部分的作用)研究,继续发展生物统计学方法以及基于生物学的地球生态系统模型研究等。

3.4 生物—地学模型研究

如果要研究地史时期中与地球系统关联的问题,模型研究具有重要的意义。与模型研究关联的内容必须延展到生物圈动力学中涉及地球生物学和古生物学分析的所有领域。这里最重要的是,提供的替代数据与模拟情况要有一个相近的可重复的结合。

模型研究有可能:将暂时是定性描述的动态过程和过程耦合作用转换为定量分析,并加以检验;

理解那些仅靠替代数据不可能推断出的参数;依据模型化的耦合过程进行预测或者反演。

与此相反,替代数据则可:为定量的模型研究提供基础数据;提供模型得以通过检验和参数化的可能性。

在这方面,原则上只要模型还不能够逼近真实地描绘过去地球历史的状态,那么这个模型就不能够用于对偏离当前情况的未来状态进行预测。不过,以地学数据为基础的关于古环境基本情景的模型研究可为过程模型邻近真实性的情况提供决定性的试验。

在内容方面,模型研究特别是在物质循环、气候以及生态系统和生物系统动力学分析方面,具有特别重要的作用。物质循环模型、气候模型和海洋模型的研究已经达到了很高的科学水平,部分模型还在汉堡的 DKRZ 为演算使用者团体提供过服务。气候—大气圈—海洋循环模型建立为可能的选定时间段内古环境基本情景进行全程演算,并为古数据检验实际的地质遗存提供了一个极大的机会。这一处于优先地位的研究方式将地球视为一个“测量器”,以理解“真实时间”里的地球过程。

一个首要问题是,与生物圈有关的组分在模型中还没有得到令人满意的描述。例如,在所有大型气候模型中,对于与水循环和碳循环极其重要的植被—气候相互作用尚未给予充分考虑。这是由于缺乏定量分析上所需足够的同样要考虑地质时间因素的基础数据。例如在晚侏罗纪研究中,古数据(“硬数据”)和一般环流模型(GCM)预测值(“软数据”)之间的差别就非常明显。

与物质循环模型、气候模型和海洋模型研究相比,生态系统和生物量模型研究还只是刚刚起步。

这与环境紧密相关的生态系统和生物量的变化有关,但就其遇到的长期变化过程来说,在现代环境中几乎不可能得到,而且在地球科学研究中至今极少受到关注。原则上,未来数年要达到以下目标:

(1) 大力运用现有模型,开展古环境情景模拟研究,特别是对模型的预测价值进行验证。

(2) 获取较好的生物圈动力学知识,以发展地圈—大气圈—生物圈耦合作用的新模型。

(3) 犹如孕育未来一样,出现关于通过自然起作用的生物结构的模型研究。这将可能较为容易地将有用的生物学机制转化为直接的应用技术。

4 研究任务与计划

研究任务分为“优先研究主题”和具体的“研究项目建议”。

4.1 优先研究主题

优先研究主题是对地球工程学计划具有特殊意义的研究课题。

(1) 分子古生物学。在化石研究中引入分子生物学和遗传学的研究方法(DNA 分析技术、氨基酸片段、免疫学方法、原子吸收光谱等)具有创新性和重要意义。诸如非海生的腹足纲研究、海生和陆生的真核生物(Eucaryonten)、有孔虫类和植物研究等都是分子古生物学研究的范例。这些手段的应用有助于认识生物之间的亲缘关系,认识生物对地球环境变化的适应过程。

(2) 微生物及其在维持生存环境和沉积物形成中的作用。与真核生物(Eucaryonten)、后生动物(Metazoa 等)相比,细菌基本上具有多种物质交换途径。在正常生境和极端生境和极端生境中,细菌都能够正常生活,并在长期的进化中形成与其它生物的共生关系。其生命活动的痕迹被保留在沉积矿物物质或生物标志物(化学化石)中。目前,人们对微生物在古生物学研究所能提供的信息之丰富性和重要性远远估计不足。因此,应将微生物化石和生物标记物视为地球环境发生重大变化的实证,以及深层和浅层生物圈进化的标示物,放在研究领域的重要地位。

(3) 极端生物气候带类型和极端群落生境。生活在极端生境中的有机体,如适应极端寒冷的极地生境的生物群落、深海环境中的运植物区系、岩石圈表层(地上或地下1~2 km)的细菌区系等,它们提供着有关生物如何进化的信息,同时也说明了生物圈在过去和现代所能够多延伸的范围。

4.2 研究项目

以下三个研究项目表述了未来生物圈发展过程研究的前景。这是目前在德国和世界范围内,古生物学和地质学各研究组中正在激烈争论的热点项目,这些研究项目应该在未来10年的国家和国际的研究计划的框架中给予付诸实施。

(1) 项目1 地球系统中生态系统的地球生物学:浅层和深层生物圈中的地质地球物理过程及其对生命起源、分化和再生的影响。

· 本项目的研究目标是:考虑深海沟钻探和潜水艇海底观测情况下的现代“深部生物圈”研究;选定的“浅层生物圈”中的极端生态环境研究。

· 本项目研究需要引入多种地球生物学方法,并与有创意的关于海洋研究和天然气水合物研究的各种地球科学计划相结合。

· 生物对极端环境条件的适应:通过对地史时期存在时间很长的超保守的化石群落研究进行检验。与此相关的是,古生物学的精细研究是十分必要的。

研究经费 2 百万马克/年

现代和古生时代的极端生境一般都是一些有规律的呈斑状分布的海洋环境或湖泊环境,它们在自身空间环境延展时通常呈地域性发展,但起码还涉及有另一种环境,显示其受到偏离了正常条件的某些参数的控制。这种环境可以区分为浅层生物圈极端生境(超盐环境、富铜 Messin 突发事件、富镁碳酸盐等;苏打湖和苏打海、极地冰冻环境)和深部生物圈极端生境。在这些生命空间环境中,相互耦合的生物过程和地质过程变得特别清楚。

令人感兴趣的是“深部生物圈”,它们从表层以下一直延伸到生物生理活动窗口(VPF)界面。VPF层的底界取决于地球内部的地温梯度。依据现今了解的情况,地面以下至5~6 km 的深度都有活的有机体的分布。列入计划的深部生物圈研究有以下两个研究子课题:

课题1 深部生物圈代表着一个早期寒武纪时期的状态,有可能借助于此观察早期的生物进化。微生物的生理活动会留下痕迹并控制着新的矿物组成、流体和矿床。不同的深部地层中具有不同的微生物群落,它们以不同方式控制着生物圈(数据来自结晶岩地区的深钻探测,如深部天然气计划)。

课题2:在海洋底部某些一定的部位,深部生物圈以“通风阀”排气的形式进入表层。这些排气孔是底栖生物能够定居、生存的根本原因。它们提供

着营养物质、活性有机化合物,以及有机体等。在斯堪的那维亚进行的深部天然气研究计划就是以这一课题为基础的。

“通风阀”通常出现在:深海沟(营养物供给来自 TBSP 的缓慢沉降);冷泉(冷泉可以促进泥丘形成;天然气水合物或者甲烷水合物);富含 H_2S 环境;冷水和热水环境(泥丘形成,“矿礁”);环礁(地热泉)和间歇性喷泉。

(2) 项目 2 新生代控制地球系统的重要因子——古生物研究(物质流和生物多样性)。

关于气候的现代争论使人们认识到了研究过去的必要性。特别是研究那些地球历史上曾多次出现的气候异常期的意义。这不仅仅指最后的冰期和间冰期,而且也包括像始新世那样较早的温暖时期。

这项研究计划的目标是确认,什么样的物质转换和什么样的物质传输过程决定着生物圈的一定的现象形式,以及生物圈以什么样的方式控制着环境。始新世时期大量褐煤的形成是否导致了 CO_2 量的减少,并由此成为已证实的温度在渐新世下降的原因?与现今情况相比较,在具有极端温暖期的始新世存在着十分强烈偏离了的海洋境况。大洋暖流在种种状况下还能起作用吗?这对于浮游生物,特别是对于浮游植物来说意味着什么?

本项目需要在不同领域中进行耗费资金的调查研究。这些领域包括:分子古生物学、生物地层学、海洋古微生物学、古生态学、生物地球化学、古海洋学和沉积学等。

研究经费 2 百万马克/年

(3) 项目 3:自然生态系统动力学过程的原因和模式。

人类活动对生物圈造成的威胁已被人们所公认,但人类活动的具体结果仍然很不清楚。人们关注以下科学问题的答案:在基本稳定的环境条件下,生态系统作出的反应是什么?不同生态系统对环境条件变化是否会作出反应?那些生态系统对于环境变化(以及气候变化)是为敏感,影响其敏感性的原因是什么?等等。一些在上述关系中极为重要的问题最好通过一种地球科学和地球生物学的整合研究

才可能搞清楚,因为这些问题涉及到的过程和过程耦合作用,大多以长时间尺度(大于 10 年)在进行,因此通过某种仅仅与现代有关的协同研究方式是不可能理解这些过程以及过程的耦合作用的。

在一个多学科交叉的整合研究计划中,应该研究陆地和海洋生态系统的下列问题:

(1) 在持续稳定的环境条件下,各种不同的生态系统是如何维持自身状态的?是否实际上存在着一种“顶极群落”?是否自动周期性的变化发生着某种作用?以及哪些因子(多样性、气候地带性)对此是本质性的要素?

(2) 不同生态系统对环境参量变化是怎样及如何快速地作出响应的?极为重要的生态系统响应模式在这里特别涉及到生物量、形态与生理变异(如森林生态系统中叶面积指数或者作为影响水分使用效率替代标志的气孔密度)、有机体的长途迁移运动,以及基因和进化的变化等。除了标准的环境参数之外,不仅要关注气候,而且也还要关注营养物质以及氧气和二氧化碳浓度等环境要素。

(3) 哪些是最为敏感的生态系统针对环境(或者气候)的变化?这一敏感性是由于哪些原因产生的?这里,必须进行热带同极地生态系统,森林同稀树草原生态系统,草原同草地生态系统,潮间带同大陆架生态系统,生物礁同开放海洋生态系统的对比研究。上述这些问题应当在显生宙,特别应优先在中生代和新生代中各个不同的地史时期开展研究。

(4) 本研究需要应用多种不同学科的多种研究方法:有机和无机地球化学、分子生物学、古生物化学、古生物学的各个分支学科、沉积学和生态系统模型学等。

(5) 古生物学数据库的扩展和现代化是保证本项目研究获得成果的重要基础。

(6) 期待获得有关自然生态系统动力学的知识。这些知识首先将可能回答以下问题:人类行为对生态系统中长期影响的估算;气候模型同生态系统—生物量模型的耦合。

研究经费 2 百万马克/年