

文章编号 1001-8166(2004)06-0910-08

NASA 地球科学事业(ESE)计划中的科学问题

冯 筠,高 峰,曲建升

(中国科学院资源环境科学信息中心,甘肃 兰州 730000)

摘 要 作为 NASA 地球科学事业(ESE)分计划之一的 ESE 研究战略,在未来 10 年中,将主要关注以下 5 个科学问题:全球地球系统是怎样变化的?地球系统的主要驱动力是什么?地球系统如何响应自然和人为引起的变化?地球系统的变化对人类文明造成的后果是什么?如何更好地预测地球系统未来的变化?这 5 个问题都是大范围的跨学科问题,涉及到地球系统科学的各个方面。在这 5 个大的科学问题之下,又具体细化为 23 个二级问题,并对这些问题进行了极其详尽的讨论。

关键词 NASA 地球科学事业 地球科学事业研究战略 地球系统科学 全球变化
中图分类号 P 7P79 **文献标识码** A

0 前 言

以拥有众多一流科学家与工程技术人员,并拥有一流科学技术而著称于世的美国国家航空航天局(NASA),在开展空间科学研究和行星探索活动的同时,凭借自己独特的空间优势,从 20 世纪 70 年代初以来,开展了卓有成效的地球科学研究活动。Landsat 作为全球第一颗民用陆地成像卫星,成为研究区域与全球土地覆盖/土地利用变化的基本工具,也被用于监测森林破坏和农作物长势,并进行估产。星载地球辐射等技术实验,构建了第一个地球能量收支模型,高层大气研究卫星(UARS)证实了臭氧耗减的根源,与法国合作研制的 TOPEX/Poseidon 雷达高度计作为遥感技术的新的里程碑,向人类提供了第一张全球大洋环流图,利用 SeaWiFS 数据,完成了对全球生物圈的首次记录,通过观测全球生物圈跨季节和年际间的变化,了解地球系统如何进行碳循环,从而揭开了全球气候变化之谜。

NASA 的空间对地观测活动对全球变化研究和地球系统科学学科的建立与发展起到了至关重要的作用,由于 NASA 的一系列卫星观测结果使人类认识到:认识气候变化必须将其置于陆地表面、大气

层、海洋、冰盖和地球内部相互作用的背景之下,覆盖全球的多源、多时相的地球空间信息大大提高了人类对地球系统的整体性科学认识,也必将大大改进现在和将来人类对气候、天气、自然灾害等地球系统变化的预测和预报。

国际上许多著名研究机构都已制定大型科学战略计划,提出其研究重点和优先领域,推进科学目标的实现。NASA 在 2000 年后陆续推出的地球科学事业(Earth Science Enterprise, ESE)系列计划就是一组跨度 10 年,远景规划到 25 年的大型科学战略计划^[1,4-7]。ESE 计划旨在提高对地球系统的科学认识,确定 NASA 地球科学研究的未来方向。在未来 10 年中, NASA 的地球科学研究将主要关注以下 5 个科学问题:全球地球系统是怎样变化的?地球系统的主要驱动力是什么?地球系统如何响应自然和人为引起的变化?地球系统的变化对人类文明的后果是什么?如何更好地预测地球系统未来的变化?这 5 个问题都是大范围的跨学科问题,涉及到地球系统科学的各个方面,即关于地球系统的变率、驱动力、响应、后果和预测^[1,8]。本文将对 NASA 未来地球科学的上述优先领域的具体研究内容进行介绍分析。

收稿日期:2004-09-03,修回日期:2004-10-08。

作者简介:冯筠(1951-)女,陕西子洲人,副研究员,主要从事科技信息分析与科技期刊编辑工作。E-mail: fengj@ns.lzb.ac.cn

1 通过系统测量确定地球系统的变化及趋势

NASA 在全球变化研究中所强调的长期、连续的地球观测基础上提出了系统测量的概念^[1]。系统测量的观测策略集中在一组有限的独立特征参数上,这些参数将分别刻画出组成地球系统的大气、海洋、陆地和海洋生态系统、大气化学、冰原以及地球表面地形的变化,主要包括大气温度、大气水汽、全球降雨量、土壤水分、海洋表面状况、海面风、海面温度、海冰范围、陆地初级生产力、海洋初级生产力、臭氧总量、臭氧垂直分布、冰的表面状况、重力场、大地参考系、地球内部运动等参数,可用于回答以下有关地球系统的变化及其趋势的6个问题。

1.1 全球降水量、蒸发量以及水循环是怎样变化的?

有关全球降水量、蒸发量以及水循环变化的问题会涉及到大气温度、大气水含量(水汽)、土壤水分等参数。全球温度和湿度测量数据可以通过运行的环境卫星每日获得,但现有的气象业务测量还无法满足气候研究所需要的准确性和连续性,因而 NASA 投资于先进的传感器技术,可以满足其科学需求提供几个可以替代的手段。新的观测任务将逐步覆盖一些观测盲点,如 TRMM(热带降雨测量卫星)覆盖了缺少观测基地的热带海洋区,NASA 也将积极开拓一些涉足较少的领域,例如通过微波遥感仪器可以观测到受土壤水分或土壤湿度变化影响的土壤介电特性,在此基础上,NASA 正在寻求合作,以深入研究土壤水分测量方法及其潜在用途。

1.2 全球大洋环流在年际、10年以及更长时间尺度上是怎样变化的?

海洋对太阳能量的暂时或永久储存的巨大能力是气候稳定的主要因素,海洋循环调节着全球生物地球化学循环(尤其是全球碳循环对地球气候产生着巨大的影响)。海面温度和海冰变化都是全球气候变化的主要指标,这些均可由业务观测系统来确定。过去所获得的关于洋流和海平面的知识来自有限的海洋台站或者航海仪器观测。只有空间观测能提供全球覆盖、空间分辨率和取样频率等获取全球海洋循环的变化数据。对海洋表面高程和由海洋表面风引起的摩擦进行空间测量可以提供第一手的海洋循环信息,高度测量法也揭示了海洋表面下的温度结构和热含量,如1997—1998年初厄尔尼诺到来之前,在热带太平洋开展的观测,可靠地预测了这种气候活动,对地球重力场的瞬时变化和地球表面质

量分布的重力变化进行观测,也将非常有助于对海洋传输状况的监测。

1.3 全球生态系统是怎样变化的?

陆地和海洋生态系统的生产力、组成和健康变化及其趋势是地球系统变化的重要方面。要获得地球生态系统及其空间分布、范围以及时间动态的全球信息,评估初级生产力的变化,卫星观测是唯一的手段。需要全球性地获取中等空间分辨率(几百米到1 km)和高频率(每天或者接近每天)的信息,这些信息可以从分析业务卫星和研究卫星获取的中等分辨率多波段影像数据经分析后获得。为了明确卫星直接测量到的参数(如叶绿素浓度或植被指数)与需要的参数(如初级生产力)之间的关联关系,需要做大量的数据校正工作。

1.4 平流层臭氧正在怎样变化?

平流层中大量的氯元素是臭氧损耗最大的“贡献”者,现在已达到了顶峰,几乎比自然水平高出5倍。尽管《蒙特利尔议定书》取得了一定成效,但由于痕量气体的自然迁移特性,未来氯的下降将很缓慢。另外,平流层气溶胶、太阳活动、气象条件的变化和其他痕量气体也都与臭氧层的破坏有或多或少的联系。

要对平流层臭氧恢复和瞬时变化做出科学和有说服力的诊断,必须准确、连续地长期观测臭氧分布(总量与垂直分布)并得到控制臭氧丰富聚集的关键参数。对记录长期变化的数据来说,非常准确的绝对辐射测量校准仪器和长期稳定的数据维护必不可少。从科学角度来说,极其需要平流层臭氧发展趋势的准确信息,但是当前的全球数据(尤其是卫星数据记录)有限,利用这些数据得出臭氧的变化趋势,局限性很大。随着关于平流层臭氧垂直分布的全球数据越来越多,已开始有可能开展这种趋势研究。

1.5 地球冰盖物质在发生什么样的变化?

地球的冰盖是全球气候系统状态的重要指标,覆盖在格陵兰和南极大陆上的极地冰原组成了地球上最大的淡水水库,大约占全球海水量的2%。这些冰原的物质平衡变化将导致全球海洋水资源和全球海平面的巨大变化。对格陵兰2 000 m高度的冰原进行空中勘测表明,冰原的内部几乎没有上升趋势,但是局部地区有很大的上升变化,海岸带周围冰原变薄尤为突出。评估较大的南极冰原的变化速率是一大挑战,只有对冰表面地形进行精确到几厘米内的连续空间测量才能应对这个挑战。NASA 当前开

发了一个空间激光雷达测高系统,这个系统能对从南极到 86°S 之间的冰原进行测量。每一个较小的冰盖和冰川对全球海平面的上升来说微不足道,但其集体贡献可能占 20 世纪海平面上升的 1/3,并且是区域气候的重要指标。

1.6 地球及其内部是怎样运动的,我们对地球的内部作用过程能得出什么信息?

地球内部的变化导致地球的形状、自转以及摆动运动发生一些小的、但非常明显的变化。认识这些相对较小的变化,对于各种应用(如建立精确测地参照系、GPS 卫星导航和海洋测高学)以及了解地球内部动力学是很有必要的。监测地球内部的运动要依靠各种各样的地面和空间观测,尤其要用到卫星激光雷达跟踪观测、无线电望远镜观测、磁场测量以及精确的地球重力制图。NASA 将通过全球范围的合作获得这些信息。

2 测量地球系统的主要驱动力

已经观测到的地球系统变化和趋势是自然变化和人为强迫变化的综合结果。人类活动所带来的大气成分变化和土地覆盖、土地利用的变化以多种方式对地球系统造成了长远的深刻影响,在此基础上,又添加了太阳辐射输出的变化和地球表层内部的变化,这给全球环境变化的研究带来了很多的不确定性。如果想明确找出全球环境中观测到的变化原因,就必须系统地而准确地测量出所有的驱动因素。

2.1 大气成分和太阳辐射的什么趋势在驱动全球气候?

影响地球的外部驱动力主要是太阳辐射总能量的变化。太阳能量输出的变化对地球气候有重要影响,因此,准确记录太阳总辐射量是地球系统科学研究的必要基础。

另外,平流层及其上层的热传播、平流层气溶胶的时空变化也是影响热辐射的重要因素,需要将先进的空间测量和实地的机载及地面的遥感观测相结合,进行全球范围的持续观测或模拟。

长寿命的痕量气体,如 CO_2 、甲烷、一氧化二氮和含氯氟烃是引起全球变暖的重要因子,可以通过实地测量痕量气体近地表浓度,推算其总浓度。臭氧是对流层中另一个具有重要辐射意义的痕量,时空变化很大,必须了解整个对流层中的浓度。另外,评估这些痕量气体在地表的源和汇要求频繁、密集地观测其浓度的时空变化,同时还要求了解直接引起变化的自然、农业和工业过程。目前已可得到总

的甲烷分布的第一次测量结果。为了增加对碳循环的认识,应当发展新的测量技术,以进行 CO_2 的相应测量。这将为把观测值转化为我们所需的源汇信息模型发挥很重要的作用。

2.2 全球土地覆盖和土地利用正在发生什么变化?其原因是什么?

生物物理现象和人类活动使土地覆盖和土地利用发生变化,这种变化已经成为景观改变的主要因素,影响着生态系统生产力和生物地球化学循环,影响区域气候和水文系统,影响土壤侵蚀和沉积物传输。必须弄清土地利用/覆盖变化所产生的环境影响,记录这些变化并研究其原因。需要在这些扰动或强迫因子的空间尺度上进行观测,通常为数十米。了解这些变化的起源还需要考虑特定区域中详细的社会政治因素。通过一年一次或几次的观测,得到周期性的全球土地覆盖、土地利用的信息。可以通过系统的全球多光谱图像得到数米空间分辨率的土地覆盖信息。米级分辨率(超空间)图像能够更清晰地诊断土地覆盖/利用的变化起因,并可能得出未来变化的趋势,现在正在尝试利用这种制图方法。

2.3 地球表面是如何变形的?如何将这类信息用于预测未来的变化?

目前,我们对地球内部的动力学的认识还远远不够,无法具体而准确地预测地质灾害,如地震和火山喷发。为了评估潜在的自然灾害,现阶段的科学目标就是初步认识景观形成的过程,并借此解释地质系统的历史和发展。最新的地表测地学成果可以测到时间跨度小于地震或火山喷发周期的地壳变形。为了有效评估地质灾害,必须在一个完整周期中(如地震前、地震期间、地震后)描述变形和压力积累现象。这些信息不能直接得到,但可以通过综合它自身周期不同阶段的许多定点观测而得到。在局地尺度,信息主要来源于固定于地面的、密集分布的 GPS 接收机;在区域尺度,主要来自合成孔径雷达 SAR 图像数据的干涉分析。

3 了解地球系统的响应和反馈过程

研究地球系统对自然和人为驱动力的响应,可采用 2 种科学策略。第一种是整体方法,即把地球系统作为一个整体分析观测到的变化,第二种是分析方法,即详尽描述响应机制中的基本过程,用数学模型模拟这些过程之间的相互影响^[1]。实际上,2 种方法的目标是一致的,即识别单个驱动因素的特征和地球系统响应中的自然变化模式。第一种方法

依赖于系统测量和观测记录来说明自然变化和趋势。第二种方法要求有特色的新观测结果,以深入研究运行过程。虽然基本过程的时间尺度通常小于地球系统的时间尺度,但是集中而时间有限的研究(如专门的一次探测任务,面向过程的地面和机载野外研究)可以提供丰富的信息,从而可得到结论性的结果。基于以上的标准,在科学上将优先研究“反馈过程”。

3.1 云和地表水文过程对气候变化产生怎样的影响?

在目前的全球气候变化模拟或预测中,云系统的形成、生命周期和光学特性具有最大不确定性。云可以通过对行星辐射平衡的控制作用直接影响气候,也可通过控制对流层上层湿度和温室效应的水汽的垂直输送和凝结间接影响气候。云的形成、生命周期和辐射特性受周围洁净空气相对湿度的控制。因此,气候、云和地表水的反馈效应很重要,必须要了解清楚。

云过程包括液态和固态粒子,之前已存在着凝结核(气溶胶)的液态动力运动,粒子物理学,光学特性和它们所处的中尺度天气系统的动力学之间复杂的三维相互作用。这种复杂的相互作用产生了各种云系统和云型,每一种都包括不同的控制粒子的物理过程和气象因子。认识这些复杂的现象需要同时观测:分解云系统的三维结构;覆盖所有云型的具有代表性的采样和影响云粒子分布的凝结核和气溶胶粒子的分布;描述产生云的大尺度天气模式或中尺度扰动;把云动力学及光学特性与大尺度气候变量相联系,尤其是对流层热力学结构和大气顶层的辐射通量。目前,着眼于一种或几种云类型的区域野外观测活动仅能部分满足这些观测要求。

地表水文过程控制着河流和可利用的水资源、地表温度日变化以及维持陆地生态系统发展的土壤湿度。迄今为止,主要在相对较小的流域尺度或集水区研究了基本的水文过程。要定量认识相当于气候现象尺度的大范围水文过程,尚需要在大气水文特性观测和物理气候驱动上有所突破。解决这个问题,还应进行包括(除大气性质、降水、表面辐射通量以外)土壤湿度、积雪深度和雪面积以及冻/融转换的试验性观测。

3.2 生态系统如何响应并影响全球环境变化和碳循环?

多种环境压力和干扰以及自然循环都会影响陆地和海洋生态系统,导致初级生产力、大陆和海洋碳

源、碳汇,碳和其他重要营养物的生物地球化学循环,地表能量平衡,地表水文过程的变化。理解生态系统的响应过程需要在基本功能和结构变化层次上进行。生态系统功能性响应包括生理学和生物地球化学循环的变化。生态系统结构响应包括一个景观或海洋中的物种组成、生物量密度、冠层结构、分布模式的变化。反过来,生态系统响应可以通过水、能量、大气中痕量气体的通量变化反馈至气候系统和大气化学。NASA正在探求基于航天飞船来定量研究地面上的生物量,反演大气中 CO_2 体积总量的时空精确观测以定量研究海洋和陆地的区域碳源和碳汇,用合适的时空和光谱分辨率对特定海区进行连续的海色观测以研究海洋尤其是海岸带的海洋生态系统状况等。

3.3 气候变化如何引起全球大洋环流的变化?

除了海洋表面可见的洋流和旋涡外,海洋中也有速度很慢但能量巨大的翻转性环流,这涉及到下沉到中间或海底的“深层水”的形成,以及使表层海水严格隔离深海的大的上涌运动。翻转性环流对于深海多余热量和化学物的长期存储、营养物循环、海洋生产力、碳循环、热量从一个海域到另一个海域的长距离传输都具有深远意义,如大西洋区域深层水对北大西洋气候的影响。深层水形成对表层水的更新很敏感,更新要么通过引入和后来的海冰融化,要么通过气候引起的热带和中纬度海洋淡水平衡的变化。由于高纬度大气温度总是低于海水的冻结温度,因此,表层水的命运及其沉入深海的能力要取决于盐分(盐分和温度是决定海水密度的2个参数)。所以,研究环流区域的潜在过渡首先要观测海表的盐度和海冰。

3.4 平流层痕量气体如何响应气候和大气化学成分的变化?

痕量气体浓度增加引起的气候变化会影响平流层臭氧分布,反之亦然。大气温度与平流层气体成分的相互关系同样可以成立。气候变化会改变对流层影响平流层的方式,还会间接影响平流层臭氧。提高我们对这个高度相互作用的系统的认识,需要对臭氧分布、水汽、气溶胶、温度、相关的痕量气体,特别是氯溴化合物以及氧化氮之间的关系进行详尽的研究。由于这些现象的变化发生在高空,因而需要较高的水平分辨率和垂直分辨率,尤其在对流层顶附近(对流层上部和平流层下部)。

3.5 气候变化对全球海平面产生怎样的影响?

全球气候变化导致海平面上升有2个主要过

程。首先,液态水的热膨胀引起海平面上升,其次,极地冰原融化可能导致地球液态水体积增加。为了认识后一个过程的影响,必须了解冰原对气候变化的响应方式,这要求更详细地认识极地冰原内部的原理。传统观念认为,大陆冰原是地球系统的一个不活跃部分,完全随着冰川的缓慢发展而变化,这一概念已被新的认识所代替。实际上,冰量在几年或几十年的期间内变化很大。南极半岛周围相对不稳定的冰架出现大块扁平冰山动态冰裂就是这些变化的征兆。高分辨率雷达在南极冰原首次测量发现了大块的冰流,巨大的冰流到达陆地内部以及冰原边缘。考虑到海平面加速上升的潜在影响,估计相对较快的冰流在几十年中可能流出大量体积的冰。为了识别主要冰流的动态区域,估计其质量流量,需要观测格陵兰和南极两个主要冰原的速度场。可以从商业上获得相关的数据(合成孔径雷达),或者从专门的国家和国际科学观测任务中得到相关的数据。

3.6 区域性空气污染对全球大气会产生什么影响?

全球化学和气候变化又对区域大气质量产生什么影响?

不断增长的世界人口和工业发展意味着人类对全球大气的影响也在增加。卫星观测可以提供对流层中人为排放气体(如 CO_2 、 N_2O 、 NO 以及碳氢化合物、臭氧前兆物和气溶胶颗粒等)大尺度效应的证据。夏季,在北半球中纬度地区和生物质燃烧影响的热带区域,臭氧浓度最高。航空遥感观测表明,火灾产生的污染可以传输数千公里,到达其他未污染的大气区域(如太平洋上空)。在美国西海岸进行的海表痕量气体测量表明,东亚空气快速直接传输期间,臭氧前兆物增加。

目前,开展对流层臭氧、主要痕量气体以及气溶胶颗粒的全球观测尚不多,也未能提供需要的垂直分辨率。用较高的时空分辨率对对流层主要的气体成分进行全球观测是进一步理解对流层中化学物质大尺度传输、物理清除、化学性质改变的必要条件。在过渡时期,可以由热气球和航空观测(虽然时空覆盖有限)获得所需的高垂直分辨率观测数据,同时也可首次获得低分辨率的空间观测数据。从与地球同步的平台或拉格朗日点平台能够观测臭氧或气溶胶数量的日变化,这将使人们深入认识过程间的平衡,这些过程使污染物发生化学性质改变、物理清除和物理传输。

4 全球变化的后果研究

全球变化的后果影响可能呈现多种形式,从空

气质量到太阳紫外辐射,生物多样性的丧失,生态系统生产力的降低。根据已超出 NASA 地球科学计划范围的局地调查,这些影响的社会重要性相当大。评估环境变化现有的及潜在的影响是 USGCRP 内部几个协作机构共同的责任, NASA 的地球科学研究工作也参与到这一协作中,其独有的遥感技术贡献尤甚。NASA 的地球科学研究特别关注涉及大尺度甚至全球性影响的 3 个区域。

4.1 局地天气、降水量以及水资源的变化与全球气候变化的联系如何?

需要对已观测到的全球大气平均状态的趋势与异常,天气系统的路径、频率及强度之间的关系进行深入研究。新的挑战是, NASA 将重点研究大尺度大气环流与中尺度暴风雪生命周期和剧烈的天气变化之间的关系及其未来趋势,以及从天气预报模型中得到定量的降水预测。针对这些研究对象的具体观测要求,主要是全球降水和洋面风场,后者提供了风暴路径、强度以及海水膨胀周期的直接测量。另一个针对中尺度风暴的生命周期(主要是陆地上的)的潜在的观测数据源,是风暴单元周围大气三维结构上的温度、湿度、风速的测量。其它已开展的观测(如从同步地球卫星平台上进行闪电成像),也可以在研究雷暴、恶劣天气和降雨方面揭示出重要的新信息。

全球气候变化其它的主要影响,包括区域性水文异常、洪灾和干旱,也包括可利用水资源的长期变化、湿地范围的季节变化与分布格局的变化、内陆水体的体积变化(如里海)。在这个领域的主要挑战也是降水的定量预测。另外,土壤湿度、积雪、冻/融转换的研究性观测,将为预测区域气候异常所带来的水文后果提供必要的关键性过程信息。

4.2 土地覆盖/土地利用的变化对生态系统和经济生产的可持续性后果是什么?

要理解土地覆盖/土地利用的变化对生态系统产品和服务稳定性所带来的影响,必须强调驱动和抑制土地覆盖和土地利用变化的生物物理因子和人类活动的作用。自然和人为引起的干扰,如火灾、虫灾以及毁林都可以大面积的改变地球表面状况,导致生境退化和破碎化。外来物种的引入等更微弱的变化,可能引起生态系统功能的减弱、区域内物种的重新分布或生物多样性的丧失。对农业、林业、水资源、生物多样性、碳储存与释放以及人群的地理分布与活动都需要进行量化。利用卫星观测尤其是高分辨率的多光谱图像数据可评估初级生产力、论证

土地覆盖格局、评估生态系统特征的变化,也有助于评估这些后果并识别物种分布最容易变化的区域。可以结合实地研究来证实这些变化并识别受影响的物种。

4.3 气候与海平面的变化以及日益增加的人类活动对沿海区域产生了什么后果?

沿海区域特别易受海平面上升(包括湿地的丧失)、人类活动、近水域的土地覆盖变化的干扰以及潜在的伴随大风暴着陆而来的、浪涌的频率增加与范围扩大的影响。由风浪带来的表面侵蚀、狂风侵袭、洪灾、沉积物堆积和化学污染以及危险的生物现象(如赤潮)是沿海区域观测到的主要的胁迫力与干扰。相反,热带的沿海湿地已经成为较大的破坏臭氧层的卤化物的自然源地。科学家在该领域面临的挑战就是在足够长的时期内对这些变化特征进行量化,以便能理解沿海区域是怎样对这些多重胁迫因子的同时变化做出响应的。根据气象信息和海平面数据,沿海区域主要的观测需求,可以采用可行的最高时空分辨率进行可重复的多光谱观测(它能够提供生物材料的性质和分布信息)。

5 全球变化预测与评估

如何能更好地预测地球系统的未来变化?除了对人们广泛感兴趣的对环境变化的原因和机制的理解外,给出未来环境事件和趋势具体的和有实证的预测将具有更高的实际价值。对于个人、政府和商业决策者,尤其重要的是尽可能地以科学信息为基础来考虑未来的环境变化。这些决策在社会各阶层都可能产生重要的后果。当未来主导因子不确定时,为了确定可能的响应范围,必须进行多种预测。

对决策者而言,大部分环境变化问题的重要性是局地或区域性而不是全球性的,但NASA的地球科学研究却是关于全球环境大尺度地球系统现象的科学问题,似乎无所裨益,而实际上,NASA所做的有关全球的变化和趋势方面的知识也可以应用到特定的区域,其预测和评估并非仅具有统计意义。当然,提供预测服务是其他合作机构的任务。另外,在NASA的具体能力范围内,也支持对具有重大社会意义的预测服务的改进,如各种全球观测设备和预测模型的改进及其兼容能力的发展。很明显,在从地球系统变化及其趋势的基本全球观测到了解地球内部过程和响应并评估其后果的进程中,成功的预测是最终的目的。NASA的ESE研究计划特别涉及到预测与评估未来变化的5种类型。

5.1 如何通过新的空间观测、数据同化与模拟提高天气预报的周期和可靠性?

对于人类生命安全、财产保护而言,准确的天气预报是相当重要的。提高短期预报的准确性,增加长期预报的时效,具有重大的实际意义,而且是一个巨大的科学挑战。尽管天气预报是业务机构例如美国的NOAA的主要任务,在开发更准确的气候或地球系统模型的过程中所取得的科学进展,以及吸收新的观测手段的更有效的方法,也直接应用于预报系统的改进。经验表明,天气预报业务实践与新的观测系统和产品的研制开发的有机结合,是在2个领域取得进展的有效动力。ESE与业务天气服务合作的主要领域是:参与先期应用于各种环境卫星系统的业务系统的研制;开发源于空间观测系统的新数据产品;加强在改进大气环流模型开发与试验以及数据同化方案中的合作。

ESE计划参与未来NPOESS和GOES设备的研制和飞行示范,所研制的创新性遥感系统在未来可能得到实际的应用(如对流层测风仪),ESE还计划与NOAA的环境预测国家中心和大气研究国家中心进行模拟研究和开发方面的合作。

5.2 怎样才能更好地理解和预测短期气候变化?

短期的气候预测(如从一个季节到一年的时段)对商业、资源管理机构和农民,是相当有价值的。在世界上的一些地区,已经证明改进的大气环流模型和耦合的海洋/大气模型具有可以提前几个月预测气候变化的能力。对许多陆地表面和海洋环流参数的数值模拟,已显示出了这些预测的敏感性。这些科学进展的首要基本条件,就是获得相关的地球物理信息,并通过更有效的数据同化方法,吸收这些信息的能力。对ENSO的预测来说,热带海洋参数的初始值是非常重要的,同时,大陆尺度的土壤湿度数据(尚未达到所要求的范围与精度),对大陆内部夏季降水的数值预测有显著的影响。在全球大气/海洋耦合模型(由于短期气候异常主要是风暴的路径、频率以及强度等方面变化的体现,因而该模型一直被人们所期望)中,中尺度天气系统在季节预测上已取得了新的进展。ESE研究计划对推进这个问题的各个方面的进步,从模型的改进、数据同化到全球观测水平的提高都有贡献。

5.3 怎样才能更好地评估与预测长期气候趋势?

全球气候潜在变化的长期预测,是NASA所面临的巨大挑战,因为这一预测关键取决于准确表现大气、海洋、土壤、冰雪、生物圈以及主要作用因素在

未来变化的实际情形中所有的相关反馈过程。其中最关键的问题之一就是理解能量、水分及其它成分在大气中的重新分布过程,潜在的气象状况与云的辐射特征的关系;在蒸发、存储、径流中,雨、雪的分离;土地覆盖/土地利用的变化对后者的影响;在大气与海洋之间,能量、淡水及痕量成分的交换;海冰的形成与演化;物理气候对生物地球化学循环的影响;大气痕量气体的成分及其对大气环流变化的响应。准确预测几十年时间尺度上的气候变化需要另外一种信息,就是对全球深海环流的准确描述。这个任务正在世界大洋环流实验以及随后的全球海洋观测与数据同化计划下进行着。由于流体和气候系统动力学基本的混沌特征,为了定量化和缩小自然变量的范围,任何长期预测的尝试,都应以多个可交替的模型为基础,而不应当以一个模型去进行。这种整体性预测对计算提出了较高要求。如果没有在计算性能上的重大改进,以及计算软件和用在气候模型中算法的提高,这种预测是不可能完成的。

5.4 怎样才能更好地评估大气化学对臭氧层和气候的未来影响?

预测大气痕量成分组成的变化,与发生大气化学和传输过程的气象条件密切相关。最感兴趣的化学成分是臭氧,它既保护着地球生物免遭太阳紫外线的伤害,又是影响动植物生命的、活跃的化学介质。臭氧对来自自然和人为的许多前兆物的浓度都有响应(既有产生又有破坏)。要准确模拟大气成分,要求知道或者预测出这些化学作用未来的演化以及相关气候状况的变化。在大气组分发生足够大的变化的情况下,不能忽视因此发生的大气环流的变化及物理特征之间的相互作用(极地平流层的化学物质是一个典型代表)。在潜在大气化学组分影响的模型评估中,特别重要的过程包括对流层、平流层之间的物质传输;气溶胶与云粒子的形成以及不同气体之间的相互作用;自然和人为引起的生物源和汇的变化;化学物质迁移与对流层长距离传输之间的平衡。

5.5 怎样才能更好地模拟地球系统内的碳循环,对未来大气中二氧化碳和甲烷浓度预测的可信度如何?

要预测未来气候变化和全球生产力格局,有必要开展对大气中诸如二氧化碳和甲烷等含碳气体浓度的真实预测。这些预测要求理解生物圈和自然环境(尤其是陆地生物圈的温度、降水量以及二氧化碳和甲烷的浓度;海洋生物圈的大洋环流,以及二者

营养物质的变化)间的相互作用,以及自然环境、人类管理活动(如土地利用和渔业活动)和生物活动之间的关系。生物圈的全球观测(包括植被覆盖、陆地生物量以及海洋中叶绿素分布)与全球生物圈模型的结合是必要的。

为了预测碳循环未来可能发生的变化,必须将碳循环过程的观测和解释与陆地/海洋生态与生物地球化学模型、土地覆盖变化模型相结合。此外,针对不同景观、区域、海洋和整个地球系统碳排放的计算,有必要引入新的、改进的碳循环模型。根据已观测到的大气分布情况和对碳循环过程的掌握情况,可能用反演模型检验我们对痕量气体排放的理解。这些模型有助于评估我们模拟过去痕量气体浓度的能力,以及建立未来的预测能力。

6 结 语

上述有关地球系统的变率、驱动力、响应、后果、预测的 23 个研究问题表明了全球地球环境的复杂性,地球系统各部分相互作用过程的多样性以及它们之间的跨学科联系。而地球系统科学的概念已经融入到 NASA 的所有地学研究计划中,为此, NASA 提出了有关地球系统科学的 6 个跨学科研究主题:

生态系统的生物学和生物地球化学与全球碳循环; 大气化学、气溶胶和太阳辐射; 全球水和能量循环; 地球系统中的海洋和冰; 固体地球科学; 地球系统模型^[1]。

NASA 的地球科学研究在研究方法上具有如下特点:

(1) 通过大力发展观测平台和技术手段(新型传感器等)进一步提高完善现有的空间对地观测能力,使空间观测范围扩大,测量精度提高,明确要求优先发展关键技术并且加强技术方法和手段的综合集成^[3,4]。

(2) NASA 地球科学研究计划的特点是综合不同类别的观测、基础研究、模拟和数据分析意见以及野外和实验室研究。尤其是进行复杂科学问题的前沿研究时,充分考虑到遥感技术与定位观测互相补充的必要性。ESE 计划确定的 3 种空间卫星(用于系统观测的研究型卫星、业务先驱和技术示范类卫星)已与 NASA 地球观测系统最初的体系结构有明显的区别,将对基本过程长期观测记录的汇集和引入新的观测技术结合起来,加强了对关键环境变量的系统性观测,为实现从观测到预测地球系统的变化,迈出了关键性的一步^[2,3]。

(3) 与美国全球变化研究计划(USGCRP)的研究范围相比较^[8], NASA 地球科学的重点放在测量强迫参数变化和描述地球系统自然变化以及对强迫的响应上, 尤其是通过可以提供全球覆盖、高空间分辨率和/或时间分辨率的空间测量, 得到那些不能通过常规观测网络得到的参数。

(4) 综合不同学科的科研成果来完整描述大气、海洋、冰、陆地和生物圈之间的耦合, 综合观测结果与模型描述, 是 NASA ESE 计划的特点。地球系统耦合模型是预测地球系统未来变化和趋势的工具, 这类模型也可作为对未来潜在变化进行科学评估的手段。地球系统模型研究和数据同化系统的发展是进行地球系统各个组分间相互作用研究并预测耦合系统中的变化及趋势的关键。

参考文献(References):

- [1] NASA .NASA Earth Science Enterprise Research Strategy for 2000 ~2010[R] .http : www .earth .nasa .gov 2000 .
[2] Feng Yun(冯筠), Gao Feng(高峰), Huang Xinyu(黄新宇) .

From observing the Earth to predicting the future change of the Earth I : Review on NASA Earth Science Enterprise Strategy[J] . Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2003, 18(6) : 401-421(in Chinese) .

- [3] Feng Yun(冯筠), Gao Feng(高峰), Huang Xinyu(黄新宇) . From Observing the Earth to Predicting the Future Change of the Earth : A Review on NASA Earth Science Enterprise Strategy [J] . Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用) 2004, 19(2) : 124-132(in Chinese) .
[4] NASA . Earth Science Enterprise Technology Strategy[EB/OL] . http : www .earth .nasa .gov 2002 .
[5] NASA . Exploring Our Home Planet-Earth Science Enterprise Strategic Plan[EB/OL] . http : www .earth .nasa .gov 2001 .
[6] NASA . Earth Science Enterprise Strategy[EB/OL] . http : www .earth .nasa .gov 2003 .
[7] NASA . Earth Science Enterprise Application Strategy for 2002 ~ 2012 [EB/OL] . http : www .earth .nasa .gov 2002 .
[8] Feng Yun(冯筠), Gao Feng(高峰), Sun Chenguan(孙成权) . Application of remote sensing technology in studies of global change [J] . Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用) 2001, 16(4) : 237-241(in Chinese) .

SCIENTIFIC PROBLEMS IN NASA EARTH SCIENCE ENTERPRISE RESEARCH STRATEGY

FENG Yun, GAO Feng, QU Jian-sheng

(The Scientific Information Center for Resources and Environment, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As one of division plan of NASA Earth Science Enterprise (ESE), ESE Research Strategy is focusing on the five fundamental science questions on the Earth system as follows: (1) How is the global Earth system changing? (2) What are the primary forcings of the Earth system? (3) How does the Earth system respond to natural and human-induced changes? (4) What are the consequences of change in the Earth system for human civilization? (5) How well can we predict future changes to the Earth system? The five questions are concerned with each section of the Earth system. Under the five questions, there are 23 sub-tier questions that are discussed in more detail.

Key words: NASA; Earth Science Enterprise (ESE); ESE Research Strategy; Earth system science; Global change.