

大气科学历史进程中多学科的交叉影响

肖子牛^{1, 2} 叶梦姝¹

(1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要: 从科学史与学科分类的视角, 按照历史阶段和融合方式这两个维度, 分析归纳了六组学科领域与大气科学发展的融合与互动: 古代气象学在萌芽阶段曾与天文学和地理学共生; 16—18世纪在因探险活动而兴起的航海学和山地学研究中, 积累了丰富的气象学研究素材; 19—20世纪气象学逐渐吸收了数理科学的成果, 并初步建立了基础理论; 20世纪在计算机技术和遥感技术的推动下, 大气科学在数值预报和气象观测等方面实现了质的飞跃; 20世纪以来, 农业气象、医疗气象等各应用气象领域蓬勃发展, 大气科学得到了更加专业和深入的应用; 21世纪后, 大气科学与政治学、经济学、传播学等社会科学广泛融合, 开启了大气科学崭新的发展阶段。

关键词: 多学科, 大气科学, 科学史, 自然科学, 社会科学

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.06.006

Multi-Disciplinary Integration in the History of Meteorology

Xiao Ziniu^{1,2}, Ye Mengshu²

(1 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: This essay analyzes the interaction and relationship between meteorology and some other disciplines of both natural science and technology in science history and the progress of science classification. The science and technology disciplines were grouped by the way of interaction when it happened in the history. There comes six kinds of multi-disciplinary Integration in the history of meteorology: in ancient times meteorology was born together with astronomy geography; from 16th to 18th century, new observation data concerning atmosphere phenomena were recorded and discovered in maritime navigation and mountain studies; in 19th and 20th centuries meteorology gradually absorbed the theoretical achievements from mathematics and physics, especially calculus and hydromechanics, and built up its own basic theory; after 20th century, with the appearance of computers and remote-sensing technology, numerical weather forecast and modern meteorological observation came to reality; also from the 20th century on, more applications of meteorology in agriculture and medicine brought us new knowledge of agricultural meteorology, and medical meteorology; In 21st century, atmospheric science interacts frequently with social sciences such as politics, economics, sociology, communication, which indicates that a new stage of atmospheric science is coming.

Keywords: multi-disciplinary, atmospheric science, history of science, natural science, social science

1 引言

从科学发展的历史进程来看, 所有学科最初都以混沌不分的形态包含于哲学范畴内, 大气科学也不例外。在几乎所有的古代文明中, 天文和气象都被统称为天象, 用以描述所有天上发生的事情。文艺复兴与启蒙运动之后, 最早是天文学和物理学, 然后是化学和生物学等学科逐渐从自然哲学中独立出来, 并随着人类航海、登山等探险活动的增加, 诞生了航海学、山地学、地质学等新的知识领域^[1]。大气科学这门古

老的学科也逐渐明确了自己的研究对象, 并从这些新的知识领域中积累了更多的研究素材。19世纪之后, 知识的分类同我们熟知的现代学科分类已经十分类似了, 几乎所有学科都从数学、物理等基础学科借鉴研究方法, 大气科学还受益于计算技术、遥感技术的大力推动, 实现了客观数值预报与全球天气监测, 发展到了一个全新的阶段。在大气科学的社会功能上, 其与医学、农学、交通工程、环境工程等领域交叉, 在服务公众与行业中发挥着越来越显著的社会价值。当天气与气候的问题不仅仅是科学问题, 更成为与政治决策、经济发展、公众生活密切相关的议题时, 大气科学和政治学、经济学、传播学等社会科学的融合又成为了21世纪大气科学新的增长点。

收稿日期: 2014年6月11日; 修回日期: 2014年9月25日
第一作者: 肖子牛(1964—), Email: xiaozn@cma.gov.cn
资助信息: 中国气象局气象干部培训学院“气象科技史研究”项目

本文简要梳理了大气科学在不同历史阶段与不同学科的交融关系，如何从最初的共生萌芽到成熟独立，从吸收引进其他学科的成果到需求引领技术革新，逐渐成为了一个与自然科学和社会科学各相关领域交融渗透、广泛联系的学科，通过以点带面的方式为气象科技史的研究提供一条线索。

2 萌芽期与天文学、地理学共生

在古代文明时期，人类将天气现象和天文现象混在一起认知，并认为天气的规律及变化是对星体运动的响应，可以说，气象学和天文学是在共生中萌芽的。古希腊和古巴比伦的学者用恒星或月亮的运行轨迹、明暗圆缺等来预报天气^[2]。古代中国学者也认为，天气气候是对天文现象的配合，例如《周髀算经》根据天文观测将一年划分出了四时、八节、二十四节气，并认为天文变化决定着地球上四时八节的气象变化，决定着二十四节气的变化。这个时期的天象知识是神圣的、神秘的，被星象师、占星师、司天等少数人掌握，研究天象是为统治者了解“天意”以便顺乎“天命”，祭天祈雨、制定历法、指导农时及战事等。

早期古罗马帝国时代之后，随着人类活动范围的扩大和区域间交往的加深，地理学知识逐渐扩展，在气象学中又加入了地理学的传统，人类开始从更大的时空尺度认识天气现象和规律。古罗马地理学家庞波尼乌斯(Pomponius Mela)是地理气象学的代表人物之一，在他的著作《世界概述》中，他通过推理和计算将全球划分为南北对称的六个气候带，并解释了信风是由于不同纬度接受的太阳辐射不同而形成的固定环流，这是古代地理气象学最重要的成果之一。

天文学和地理学分别代表了大气科学的“动力—因果”和“描述—分类”两种研究范式。在中世纪之后，天文学率先从自然哲学中独立出来，并促成了近代物理学诞生，而气象学和地理学的发展在中世纪和文艺复兴时期都是相对落后的，直到近代才又重新发展起来。现代大气科学和气候学仍然关注天文因子对气候的影响，但其前提假设和研究方法与古代的天文气象学已经毫无关联。

3 在航海等探索实践中逐渐积累

中世纪后“气象”从“天象”中独立出来，其研究对象逐渐明晰，并有了自己的观测仪器和观测方法。在对海洋、高山等地区的探索活动中，积累了基础而重要的气象观测数据，成为了早期气象科学发展的重要研究素材。

15世纪末到17世纪，西欧的商人和科学家为探

索新世界，开展了多次大规模的航海探险，打破了气象研究在空间上的限制，为了解大尺度天气现象的认识奠定了基础。经过了两个多世纪的摸索和积累，人们对信风、洋流、风暴等天气现象有了更加全面的观察，对气象学的认识从局地、分散的天气现象扩展到更广泛空间中相互联系的天气气候系统。英国天文学家哈雷(Edmond Halley, 1656—1742年)在远洋航行中，系统研究了信风和季风，认为太阳辐射是大气运动的根本动力，并注意到了气压读数的变化和风场的关系，阐述了环流理论^[3]；德国博物学家洪堡(Alexander Humboldt, 1769—1859年)首创了世界等温线图，研究了气候带分布、温度垂直递减率、大陆性与海洋气候、地形对气候形成的作用等；美国海军军官莫里(Matthew Maury, 1806—1873年)绘制成了《北大西洋风和海流图》，帮助航海家和商人寻找安全的航线；今天气象工作者熟知的蒲福风级、白贝罗风压定律等也是航海气象学的贡献^[4]。

山地气象学重要的代表人物是瑞土地质学家索绪尔(Saussure, 1740—1799年)，他游历了很多名山大川，其中包括欧洲最高峰勃朗峰。索绪尔在勃朗峰上设立了山地气象观测站，并在该处详细观测天文、气象，调查地质和冰河情况。在《阿尔卑斯山行记》一书中，他提出当地每100m的气温平均递减率为 0.64°C ，而且随着高度增加空气湿度减小，他还证明了潜热的存在，形成了对大气垂直结构的基础认识^[5]。

大气科学在需求实践的推动下开始形成独立的知识和技能体系。山地气象学和航海气象学这两个交叉领域成为了气象学知识的先锋，使得气象科学不再是空中楼阁，而发展成为了基于大量观测数据和事实的实证科学。

4 吸收数理科学成果建立基础理论

19世纪中叶时，物理学家和数学家在实验和计算中取得了许多重大的成果，力学、光学、热学中的各种现象都能够用数学方法来解释，很多与气象相关的基础理论也相继被证明出来^[6]。瑞士数学家欧拉(Leonhard Euler, 1707—1783年)于1752年和1755年分别推导出了反映质量守恒的连续性方程和反映动量变化规律的流体动力学方程；1834年法国物理学家克拉珀龙(Benoit Clapeyron, 1799—1864年)创立了理想气体状态方程；1849年英国物理学家焦耳(Joule, 1818—1889年)通过实验证明了能量守恒与转换定律；1862年开尔文(Lord Kelvin, 1824—1907年)在理论论证的基础上定量地推导出了干绝热递减率值与饱

和绝热递减率值。可以说，到19世纪中叶时，表征大气基本运动的几个方程的基础理论已经基本完备^[7]。

然而，当时的大气科学并没有立刻消化和应用这些数理基础理论^[8]。在1860年成立的英国气象办公室中，唯一的气象学家勒弗罗伊并不知道这些理论能应用到天气预报业务中来。直到第一次世界大战期间，挪威气象学家皮叶克尼斯及其带领的挪威学派首次尝试用流体力学、热力学方程来描述大气的运动与变化，并推导出了以可测量气象要素为变量的方程组，大气科学才真正吸取了数理科学发展的成果茁壮成长起来。其后的芝加哥学派更加强调数学公式背后的大气运动的物理意义，并用尺度分析等数学方法来判断最主要的动力机制，而非拘泥于数学推导本身^[9]。挪威学派和芝加哥学派将近代关于天气现象的定性解释和零散的知识更新成为了现代大气科学^[10]。

然而大气科学与数理基础理论的融合并没有完结，20世纪的非线性动力学和耗散结构理论等又为大气科学带来了新的视角。几乎每一次大气科学对基础学科理论进展的吸收都会为大气科学带来重要转折或质的飞跃，而且大气运动的复杂现象也促使了基础学科理论的更新和完善，例如洛伦兹的蝴蝶效应推动了非线性动力学的发展^[11]。

5 技术推动实现质的飞跃

随着20世纪上半叶数值预报理论的逐渐成型，当英国数学家理查森（Richardson，1881—1953年）发现了微分方程的数值化近似解法之后，他聘请了上百人进行手工计算，尝试用数值预报的方法算出某地地面气压在6小时后的变化。数日后他得到了结果，竟然是145hPa正变压。虽然理查森的失败主要并不是计算错误，但他的尝试使气象学家们对数值预报的计算量有了直观的认识，计算速度已经成为了制约数值预报发展的最大瓶颈。二战后期美国气象学家查尼（J G. Charney，1917—1981年）和计算机之父冯·诺依曼（von Neumann，1903—1957年）联手，在世界上第一台计算机ENIAC的项目中专门建立了“气象小组”，于1950年在电子计算机上首次成功对北美地区500hPa高度场做出了24小时的预报。随着数值预报业务与资料同化方法的进步，数值预报对计算速度的需求也与日俱增，形成了世界上最先进的计算设备之一应用于气象部门数值预报的“传统”。可以说，没有计算机科学与技术的发展，就没有今天的大气科学^[12]。

20世纪另外一个改变了大气科学面貌的技术是遥感技术，遥感技术利用大气对电磁波的辐射和反射特

性对远距离的对象进行探测，由此诞生了卫星气象学和雷达气象学，全面升级了气象观测的范围和质量，并使更精确的数值预报初始场成为可能。缩短时间和扩大空间是现代技术的两个基本取向，气象卫星可以提供同一时刻全球范围的大气运动状况，天气雷达可以提供当下时刻观测范围内几乎整层的水汽分布及运动状况，刷新了人类能够认识到的大气的空间尺度和时间尺度，推动大气科学在世界天气监测上实现了质的飞跃。

至此，大气科学终于从局地、分散的认识发展成为全球、集中的认识，从感性、定性认识发展成为理性、定量的认识，从静止的、线性的认识发展成为动态的、非线性的认识。

6 应用气象学科迈入新阶段

现代科学具有强烈的实用主义特征，知识的目的是用以解决实际的需求。人类对气象知识的需求起源于近代的航海贸易和军事战争，虽然当时大气科学的理论远不足够精确和完善，但报头的“每日天气报告”栏目已经进入了公众的视野和百姓的生活。20世纪之后，随着大气科学的不断发展，其能够提供服务的对象和产品种类也更加丰富，大气科学在应用的基础上与其他学科领域交叉融合，派生出了农业气象、医疗气象、交通气象、环境气象、航空气象等许多交叉学科。

农业气象是其中起步最早、发展最为成熟的一个交叉学科。农业气象学几乎和农学的历史一样悠久，几乎所有古代文明都根据本地气候特征总结出了自己的一套农业气象经验，这些知识往往以谚语和历法等文化形式表现出来，虽然不够精确，但具有持久的生命力。1735年法国科学家列奥米尔（Réaumur，1683—1757年）发现，可用积温来衡量植物的生长速度，这一学说至今仍是农业气象学的一个重要基础理论。20世纪30—40年代后，现代大气科学和现代农业的再结合为这个古老的领域带来了新的活力，用现代的农业观测手段研究农业生产与气象条件之间的关系，对灾害性天气进行防范措施、进行农业气候区划以服务农业发展与现代化，农业气象学逐步成为一门完整的独立的学科，在经济社会发展中发挥了独特的作用。

医疗气象是另外一个历史悠久的交叉学科。古代中国基于“天人合一”的世界观，往往认为人体健康状况会受到天气气候条件的决定性影响，阿拉伯帝国的学者们也非常重视气象条件和人体健康的关系，例如伊斯兰医学家阿维森纳（Avicenna，980—1037年）

就提出了一系列根据气象条件判断空气是否有利于人体健康的标准^[12]。20世纪下半叶以来,随着人类对环境污染的重视,医疗气象得到了前所未有的关注。尤其是大气逆温条件下发生的严重的空气污染,如1950年代伦敦雾事件以及近年来我国东部城市高发的雾霾事件,又将医疗气象和环境气象推到了舆论的风口浪尖。目前医疗气象的研究方法多以统计分析为主,气象条件作为致病因素及诱发因素的病理分析将是该领域的发展前沿。

7 与社会科学融合推动未来发展

和自然科学相比,社会科学是到了近代才建立起来的十分“年轻”的知识领域。大约在19世纪初,政治学、经济学、法学、社会学等社会科学才建立了各自的概念体系和基本理论。但在整个20世纪,社会科学以极快的速度发展起来,飞速发展和转型的社会形态为社会科学带来了丰富的研究素材。社会科学的目的是解释社会现象、指导社会运行,大气科学在服务现代社会经济、指导百姓生活扮演着不可或缺的角色,因此如何传播大气科学、帮助政府和公众理解和应用大气科学,不仅是大气科学的发展目标,更是社会科学的研究主题。

因此,大气科学与社会学、经济学、政治学、法学、传播学等社会科学的相互渗透可能成为未来重要的知识增长点。在经济学方面,防灾减灾与公共气象服务的社会与经济效益日益凸显,商业天气保险不断应用推广,要使大气科学更好地降低社会运行风险、保障人民生命财产安全,气象经济学的研究十分必要;在政治学方面,虽然以前也有学者对气候变化和文明兴衰的关系进行初步探索,但现代社会的气候资源利用、气候变化减缓及应对要求的行动方案已经远远超出了科学家的工作范围,而是更多地涉及政府管理、公共政策、国际关系等复杂的影响因素,迫切的需要深入研究气候变化的政治学;在法学方面,因为气象信息的制作应用的整个流程需要受到法律的规范,在保证其正常运行的基础上使其应用范围最大化;在传播学方面,大气科学是公众最容易接触到也最容易误解的一门现代科学,如何科学地传播天气信息、提高公民气象科学素养、让天气信息更好地指导公众防灾减灾和生产生活,是气象传播学的研究重点。

8 结语

莱布尼茨曾说:“各门科学的整体可以看作一个海洋,它到处延伸而没有终止和分界,尽管人们想象其中的各个部分,并按自己的方便给它们以名称。”从20世纪后半叶开始,由于研究一些复杂的问题需要

多个学科的知识,学科发展又出现了融合的趋势,一些交叉学科和多学科的研究领域开始大量出现,学科的发展从“合”到“分”,正走向新一轮的“合”,这种“合”不仅是学科发展的趋势,也是学术研究产生重大创新性成果的方式^[13]。

对于大气科学来说,从最初的共生萌芽到成熟独立,从吸收引进其他学科的成果到需求引领技术革新,如今已经成为了一个交融渗透、广泛联系的学科。近年来,传统气象已经向政治气象、经济气象、公共气象、安全气象、资源气象等多学科角度交叉发展,大气科学的研究成果必将成为未来国家政治、经济、军事决策的核心依据,大气科学和社会科学的进一步融合可能成为未来气象领域最有发展潜力的一个增长点,因此迫切需要自然科学家和社会科学家的合作、复合型人才的培养、新的业务和研究领域的拓展。未来地球计划(Future Earth, 2014—2023年)就是最近发起的一个自然科学和社会科学融合的国际研究计划,其目的是为应对全球环境变化给各区域、国家和社会带来的挑战,加强自然科学与社会科学的沟通与合作,为全球可持续发展提供必要的理论知识、研究手段和方法,增强全球可持续性发展的能力,应对全球环境变化带来的挑战。自然科学和社会科学相互的碰撞,有助于提高人的物质生活和精神境界,也意味着科学发展的新时代即将到来。

参考文献

- [1] 伯纳德·科恩. 科学革命史. 北京: 军事科学出版社, 1985.
- [2] Lüdecke C. Astrometeorological weather prediction at the time of the societates meteorological Palatina. Conference of the International Commission on History of Meteorology (ICHM), Germany, 2004.
- [3] Hardley G. An historical account of the trade-winds and monsoons observable in the seas between and near the tropics with an attempt to assign the physical cause of said winds. *Phil Trans*, 1753, 26: 153-168.
- [4] Persson A O. Hadley's principle: understanding and misunderstanding the trade winds. *History of Meteorology* 3, 2006: 17-42.
- [5] 刘昭民. 西洋气象学史. 台北: 中国文化大学出版社, 1981.
- [6] 哈曼. 龚少明, 译. 19世纪物理学概念的发展. 上海: 复旦大学出版社, 2002.
- [7] Feldman T S. Late Enlightenment Meteorology. In: Frängsmyr T, Heilbron J L, Rider R E. *The Quantifying Spirit in the 18th Century*. Berkeley: University of California Press, 1990.
- [8] Gisela Kutzbach. *The Thermal Theory of Cyclones: A History of Meteorological Thought in The Nineteenth Century*. Amer Meteor Soc, 1979.
- [9] 胡永云. 我所知道的芝加哥学派//北京大学物理学院大气科学系. 江河万古流——谢义炳院士纪念文集. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [10] 丑纪范. 大气科学中的非线性复杂性. 北京: 气象出版社, 2002.
- [11] Harper K C. *Weather by the Numbers: The Genesis of Modern Meteorology*. The MIT Press, Reprint edition, 2012.
- [12] 杨萍, 叶梦姝, 陈正洪. 气象科技的古往今来. 北京: 气象出版社, 2014.
- [13] 江晓原. 简明科学技术史. 上海: 上海交通大学出版社, 2004.