

论大科学与小科学的“耗散结构”

陶迎春

(东南大学人文学院,江苏南京 210096)

摘要:小科学与大科学的关系历程显示:在科学史中,大量随机涨落、具有可选择性的小科学是大科学存在和发展的前提,也是科学新的生长点,为原始创新提供了可能。大科学是科学发展聚焦的目标和发散的平台。小科学与大科学之间的张力为科学的发展和变化轨迹提供了动力。所有的大科学和小科学所产生的合力,又成为或改变世界科学的走向。

关键词:小科学;大科学;耗散结构;涨落;关系

DOI:10.3969/j.issn.1001-7348.2011.22.024

中图分类号:G301

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2011)22-0109-04

0 引言

在人类社会系统发展的过程中,不断“分岔”和变化的小科学提供随机“涨落”的营养,滋养着系统对“涨落”的选择,从而产生和发展出大科学的“支干”(如大科学项目、分布式研究、大科学体制等)。在这个进路中,二者的相互作用作为一个整体(大科学)——科学之树越长越大。

1 小科学到大科学的历史进程

从伽利略、牛顿、爱因斯坦这几位人物及其所处的时代所构划出的科学历史的简略图,我们可以看到科学简略的历史进程,可以看到科学研究活动经历的不同变化。科学研究经过16世纪伽利略时代的个体活动到17世纪牛顿松散组织的皇家学会时代,又到爱迪生的“实验工厂”的集体研究时代,然后是20世纪40年代美国实现曼哈顿计划研制出原子弹的国家规模建制的时代,最后是今天国际合作的跨国建制时代。自二战后科学活动进入国家规模以来,科学发展从小科学时代进入了大科学时代。

在近代科学之前是小科学和大科学没有分化,乃至科学尚未从社会中独立出来的时代。从近代科学的产生到19世纪末是小科学时代,主要是科学家个体自由研究时期,科学活动带有个人爱好和个人奋斗的色彩。伽利略、牛顿、法拉第的研究工作及所代表的时代属于这个阶段。小科学的研究目的不是把科学的知识

应用于生产来改造世界,而是认识自然的奥秘。主要特点是主要依靠自己的资金、技艺和兴趣来选题研究。如波义耳,利用自己简陋的工具和技艺,以及自己的万贯家产来购买和研制仪器,装备了一个私人实验室。在这个实验室里,发现了至今教学上还在讲的波义耳气体定理。又如马德堡市长葛里克先生,从自己薪水中拿出4000英镑,做一个科学表演——马德堡半球表演,为的是证明真空的存在。伽利略自制望远镜为的是用于观察宇宙;牛顿用高价买下了一个棱镜,为的是用它来试验白光可分解为有颜色的光。因此,历史上把这种研究叫做“自由研究”,也就是小科学时代。

从19世纪初到二战之前,是集体组织为主导的时期,典型代表是如爱迪生时代和在某个教授领导下有几十人的卡文迪许实验室、李比希实验室、巴斯德实验室等。这个时期,由于科研难度的增大,需要专门制作科研仪器和要有较多的资金支持,使研究的自由度减小。英国学者威廉·惠威尔提出“科学家”是一个重要的转折点,标志着小科学开始向大科学转化。

二战及二战后,国家组织占主导的时期,如“曼哈顿”工程、阿波罗登月计划,大型高能物理实验室等是这阶段的典型。总的趋势是科学活动对社会的作用越来越大,科学日益与技术 and 经济发展,甚至与军事目标相结合。今天,当科学家要探索大至宇宙小至基本粒子的运动形式和物质构成的规律时,都需要先进的实验观测仪器、设备、实验材料这些费用昂贵的“硬件”;都需要好几个学科甚至几十个学科的密切合作去攻克一些跨学科难题;也需要方便齐全的图书情报网络

收稿日期:2011-02-25

基金项目:东南大学重大科技引导基金项目(3213000101)

作者简介:陶迎春(1977—),男,安徽舒城人,东南大学人文学院博士研究生,研究方向为科技哲学。

系统准确快速地提供有关课题的资料;还需要包括后勤服务、劳动结构、继续教育等在内的管理系统和服务系统。这种社会的科学能力的形成,标志着“小科学”转化到“大科学”^[1]。现代科学不仅硬件如此璀璨,堪与金字塔和欧洲中世纪大教堂相媲美;且用于科学事业国家在人力和物力方面的支出,也骤然使科学成为国民经济的主要环节。普赖斯^[2]指出,现代科学的大规模性,面目一新且强而有力地使人们不得不用‘大科学’这一名词誉之。总之,科学的发展是一个从无到有的过程,也是一个从小科学时代到大科学时代的发展过程。

在这个历史进程中,科研活动从个人到组织,进而到国家乃至多国联合、全球合作进行研究。在这个历史进程中,从文艺复兴以来,几百年来科学进步,都凝聚着小科学的丰功伟绩,如波义耳定律、哥白尼的日心学、开普勒定律、牛顿定律、原子论、电磁感应、热力学、微生物与细菌学、放射性……今日大科学的巨大成就得益于昔日产生和发展出“不断分岔和变化”的小科学的孕育积累,大科学的成功得益于全球范围“不断分岔和变化”的小科学的产生和发展。

2 大科学与小科学的逻辑关系

科学发展的历史表明,大科学是从小科学发展而来。在逻辑上,大科学涵盖小科学。在大科学时代,小科学与大科学关系既有促进关系又有竞争关系。

2.1 小科学与大科学的促进关系

一方面,是小科学对大科学的促进作用。小科学既是提出和实现大科学目标的前提,又是新的生长点,是促进原始创新发生的前提条件。

小科学是提出和实现大科学目标的前提。小科学主要是指以假说为驱动的探索未知的基础科学研究。小科学的探索提供实施大科学所需的基本理论和基本实验依据,如表1。

表1 小科学提供实施大科学项目的主要依据

大科学	小科学提供理论或假说	小科学提供实验证实
曼哈顿工程	爱因斯坦的质能方程	
	迈特纳的铀核裂变假设 费米提出的链式反应的设想	费里希用实验证实 被费米本人以及约里奥·居里和西拉德证实
阿波罗计划	齐奥尔科夫斯基提出火箭速度公式和多级火箭飞行原理	戈达德用实验证实
人类基因组计划(HGP)	沃森和克里克提出DNA双螺旋模型	梅赛尔松等人证实
	伽莫夫提出“三联密码”假说 桑格发明的测定DNA序列的方法(即桑格法)等	尼伦伯格用实验证实

可见,爱因斯坦的质能方程、迈特纳提出并得到证实的铀核裂变假设、费米提出并得到证实的链式反应的设想等是提出和实现“曼哈顿工程”的前提。齐奥尔

科夫斯基提出并得到证实的火箭飞行原理等是提出和实现“阿波罗计划”前提。

HGP得以提出和实现,同样如此。反之,没有小科学提供的基础知识,没有小科学提供大科学所需的理论和实验依据,大科学项目就可能不会成功实现。如20世纪70年代,由于当时生物领域小科学提供的基础知识不足,让美国资助过的15亿的“肿瘤计划”(又名“向癌症宣战计划”)搁浅。

小科学是新的生长点,是促进原始创新发生的前提条件。仅从上面的事例就可看出,小科学不断分岔和变化,产生和发展出“质能方程”、“铀核裂变”、“三联密码”假说……是新的生长点。不断分岔和变化的小科学,是促进“质能方程”、“铀核裂变”、“三联密码”假说……这些原始创新发生的前提条件。

另一方面,大科学对小科学也有促进作用。大科学既是聚焦的目标,又是发散的平台。大科学项目一般是国家规模的、国家立项投资兴建的大型科研项目,有较为明确的预期目的,虽然并不必然能够达到。如上述的“曼哈顿工程”、“阿波罗计划”和“人类基因组计划”3个大科学以及巨型粒子加速器、宇航飞船等,都是为实现特定目标建造的。大科学项目建造的的目的是为探测性科学奠定基础,如“大型强子对撞机(CERN)”主要部分是工程建设,但是建成之后可为基础物理学家做实验,发现新现象,更深层次探索物质的本源问题。大科学项目如大科学装置是大量高新技术的集成,为了实现其原创性的科学技术目标,在装置的建造和利用的过程中,往往需要发展新型技术或把已有技术提高到新的水平。因此,大科学也就成为众多高新技术的源泉和高新技术产业的摇篮。互联网技术的产生和发展以及这一技术对社会产生的革命性的影响可算其中一个最生动的例子。这些都体现出大科学项目不仅支撑新的小科学,而且对小科学有促进作用。

2.2 小科学与大科学的竞争关系

小科学与大科学的竞争关系主要体现在如下3个层面上:

第1个层面,小科学之间的竞争。科学研究有不同的领域,每个领域都存在许多小科学,大科学项目是需要小科学支撑的。小科学是新的生长点,是促进原始创新发生的前提条件。但是究竟哪些小科学能够发挥作用并不确定,这就存在着小科学之间的竞争,这是第一层次的竞争关系。如信息技术领域存在着微波通信、卫星通信、移动通信相互竞争,但最终却是高焜教授研究的光纤通信异军突起,在“信息高速公路计划”中大显身手。

第2个层面,小科学与大科学之间竞争。这一点,特别体现在大科学项目与小科学项目之间竞争。因为资源是有限的,人力、物力、财力是有限的,对一个大科

学投入过多的资源,就影响到小科学的研究。如人类基因组计划在项目提出伊始,有人反对的理由就是对人类基因组计划(HGP)的投资将会影响到生物学领域里的其它小科学项目。许多科学家担心,HGP所需的资金将来自于其它研究领域的费用,而不是从新的资金来源获得,因此将会影响其它研究领域,特别是小科学生物医学研究。

第 3 个层面,大科学与大科学之间的竞争。例如,大型强子对撞机(CERN)、国际热核聚变实验反应堆(ITER)、国际空间站计划、气候变化模拟计划等大科学项目的实施就“遮避”了其它大科学项目,如超级超导对撞机计划(SSC)等。

3 案例分析:人类基因组计划

在大科学时代,上述关系可以从许多的大科学项目中体现出来,下面主要以人类基因组计划为案例说明。

人类基因组计划(HGP)是一项规模宏大的科学计划,是人类为了解自身的奥秘所迈出的重要一步。它是继曼哈顿工程和阿波罗登月计划之后,人类科学史上的又一个伟大的科研项目。HGP旨在为 30 亿个“碱基对”构成的人类基因组准确测序,发现所有人类基因并确定其在染色体上的位置,破译全部遗传信息。其主要任务是完成人类的全部 DNA 测序,最终得到 4 张图谱,包括遗传图谱、物理图谱、序列图谱和基因图谱,为研究其它疾病基因提供科学数据等。

3.1 HGP 小科学阶段

HGP 得以实施的重要前提:一是遗传密码的本质和作用机制,二是解码的技术方法和措施。简单来说遗传密码就是核苷酸序列,就是 ATGC(A 指腺嘌呤,T 指胸腺嘧啶,G 指鸟嘌呤,C 指胞嘧啶)的排列组合所传达的意义。其所表达的意义可以从遗传密码字典中查得;其如何排列组合的,在技术上可采用“分段测序法”或“打机关枪法”测出。

近 100 多年的时间内,在人类对生命奥秘不懈的追求中,直到 20 世纪才揭示出生命遗传的本质,以及遗传的机制和破解遗传密码的方法。可以清楚地看到,这些成果都是从小科学中产生的。“生命科学领域的主要突破,绝大多数是由个别科学家推动的小科学研究所创造的。在生物学领域,像 DNA 双螺旋结构、遗传密码、致癌基因、发育的基因调控、细胞凋亡、学习和记忆的机制等这些重大的科学发现,几乎完全源于小科学研究。在生物技术领域,重组 DNA、单克隆抗体、分子克隆、聚合酶链反应,以及干细胞技术等主要技术的发展也无一例外的是由小科学研究完成的”^[3]。这些成果为将要进行的大科学计划奠定了扎实的基础。

3.2 大科学阶段

3.2.1 “分岔”点

美国病毒学家 R·杜尔贝科 1986 年 3 月 7 日在美

国《科学》杂志上发表了一篇题为《癌症研究的转折点——人类基因组的全序列分析》的文章,他指出:“人类 DNA 序列是人类的真谛,这个世界上发生的一切事情,都与这一序列息息相关”。该文被称为“人类基因组计划”的“标书”,是小科学走向大科学的分岔点。依此“标书”,1990 年 HGP 在美国正式启动。先后有德、日、英、法、中 6 个国家的科学家正式加入,有 16 多个实验室及 1 100 多名生物科学家、计算机专家和技术人员参与,耗资达 30 亿美元,计划 15 年完成。2000 年首次绘成人类基因组“工作框架图”,2003 年提前完成所有基因组测序。

3.2.2 促进关系

在 HGP 实施过程中,发挥着重要作用的测序技术:一个是穆利斯于 1983 年提出的 PCR 法,是一种在短时间内使 DNA 大量扩增的技术,使用一台 PCR 仪可以在几个小时内就完成多轮复制,生成几十亿个 DNA 片段;另一个由美国科学家兼企业家 C·文特尔在 1991 年提出“霰弹法”(也叫“全基因组鸟枪法”或“打机关枪法”)。霰弹法就像拼图游戏,先将拼图打乱,最后再重新组装起来。穆利斯提出的 PCR 技术、桑格提出的分段测序法为 HGP 这样大科学项目能够实现提供了技术保障。而后出现的打机关枪法测序提供较快速测序技术,有力地促进了 HGP 的 DNA 测序任务早日完成。这一方面说明 HGP 这个大科学的立项建立在小科学的基础之上,建立在可实现的科学原理和技术前提之上(这也是 HGP 能够制定完成时间和进展计划的依据);另一方面,也说明在大科学的实施过程中,也能促进技术的进展,如“霰弹法”测序技术的产生等。从上面的分析可见,HGP 立项所依据的可实现的科学原理和技术,都是在小科学中产生的。在大科学项目实施过程中,一些技术的突破,也离不开小科学的支持。可见,小科学与大科学有相互促进的关系;但这种促进关系,从总体来说,是建立在小科学基础之上的。

3.2.3 竞争关系

HGP 的产生与“肿瘤计划”的搁浅是分不开的。美国从上个世纪 70 年代起启动了“肿瘤计划”。但是,不惜血本的投入换来的是令人失望的结果。人们渐渐认识到,包括癌症在内的各种人类疾病都与基因直接或间接相关。测出基因的碱基序列,则是基因研究的基础。这时,科学家们面临两种选择:要么以小科学方式“零敲碎打”地从人类基因组中分离和研究出几个肿瘤基因,要么以大科学方式对人类基因组进行全测序。HGP 立项伊始,以小科学方式还是大科学方式进行争论不已。当时,支持者有之,反对者也有。反对的主要理由有:完全测序人类基因不必要也不可行;对 HGP 的投资将会影响到生物领域里的其它小科学项目;HGP 不是为了解决科学问题,而更多的是追求与公众相关的价值。支持的主要理由有:解决公众需求;弥补生物商业化的局限性;为解决生物学领域的科学难题

奠定科学基础。如沃森^[4]认为,大规模的人类 DNA 测序将有助于生物学领域的其它小规模的研究,大大加速那些疾病基因的寻找,如“亨廷顿”疾病和癌症。

在 HGP 实施过程中,竞争依然存在。特别引人注目是,1998年5月,一批科学家以 C·文特尔为首在美国罗克威尔组建的塞莱拉遗传公司,目标是投入 3 亿美元,到 2001 年绘制出完整的人体基因组图谱,与国际人类基因组计划展开竞争。实际上,这是塞莱拉公司和 C·文特尔本人代表的小科学与国际集团为代表的大科学之间的竞争。尽管他们是“单兵作战”,但研究成果却毫不逊色,制造出当时世界上速度最快的基因测序仪。2000年4月份,更是先声夺人,突然宣布已基本完成人体基因的全部测序工作,并可在 3 至 6 个星期内拼接成人体基因组草图。在这种形势下,国际人类基因组计划不得不在当年(2000年)5月宣布要把完成时间再提前 2 年,但这个时间表仍然落后于塞莱拉公司宣布的进度。美国政府与他们谈判、协商,最终他们同意以共同宣布的方式来公布这一伟大的科学成果。虽然人们普遍对塞莱拉公司当初想把它完成的人类基因组图谱据为己有的行为颇有微词。但实际上,塞莱拉公司和 C·文特尔本人在与国际集团的竞争中,创造出很多先进的实验方法和手段,如“霰弹法”等,促进了 HGP 早日完成,对这一伟大工程的贡献不可抹杀。

3.3 新的起点

HGP 的完成不是科学研究的终点,而是新的起点。大科学 HGP 的阶段性的成功,提升了对生命科学研究的水平,建立了一个新平台,促进了科学研究以此为平台继续深进,为小科学的进一步发挥作用提供了平台或空间。饶子和^[5]指出,大规模人类基因组测序的顺利完成,标志着生命科学开始由“小科学时代”迈入“大科学时代”。更加确切地说,当今是“大科学”与“小科学”结合、互补和并存的时代。

在 HGP 之后,一方面,在顺利实现遗传图和物理图的制作后,结构基因组学正在向完成染色体的完整核酸序列图的目标奋进。另一方面,功能基因组学也被提上议事日程,开始进入由结构基因组学向功能基因组学过渡、转化,进入后基因时代。在这个时代,核心问题有:基因组的表达及其调控、基因组的多样性、模式生物体基因组研究等。这样,HGP 实施和完成又促进新的研究和学科的产生,而且新的增长点已经辐射到生命科学以外的学科,如信息科学和数学等领域。

4 结语

综上所述,从文艺复兴以来,几百年来的科学进步,都凝聚着小科学的丰功伟绩。从“曼哈顿工程”标志人类进入大科学时代以来,大科学项目的实施,依然离不开小科学的重大发现。如 HGP 的成功实施,离不开 DNA 双螺旋结构、遗传密码、中心法则……小科学以其基础性和前沿性的探索而成为大科学的江河之源,今日大科学的巨大成就得益于昔日小科学的孕育积累,未来大科学的发展同样也要依靠今天小科学的成就。

在科学发展史中,小科学与大科学的关系大致表现为:在小科学和大科学不分,乃至科学尚从社会分离出来的时代,先产生出小科学;直到 19 世纪,科学的主要存在形式是小科学;从 19 世纪到“二战”,大科学逐步形成;20 世纪中叶以来,小科学与大科学再次出现融合,日渐融入到更广阔的社会语境之中。

小科学与大科学的关系历程显示:在科学史中,大量随机涨落、具有可选择性的小科学是大科学存在和发展的前提,也是科学新的生长点,为原始创新提供了可能。大科学是科学发展聚焦的目标和发散的平台,大科学的繁荣离不开小科学,大科学与小科学之间的张力为科学的发展和变化轨迹提供动力。这启示着:对现阶段的我国来说,在从传统向现代的赶超中,科学目标相对明确,应发挥“中国特色”,大力发展大科学,发挥其带动、提升全局的功能;与此同时,在赶超途中,尤其在接近科学前沿之时,应着力培育并完善广泛的不同领域不同层次的小科学产生、发展的健康氛围,提升并扩展小科学的基础地位,为我国科学提供“涨落”,以及新的分岔点和增长点。

参考文献:

- [1] 胡光. 自然辩证法教学案例[M]. 北京:中国人民大学出版社,2006:407.
- [2] PRICE D S. Little science big science[M]. 3rd ed. Columbia: Columbia University Press,1971.
- [3] 蒲慕明. 大科学与小科学[J]. 世界科学,2005(1):4-6.
- [4] ANGIER N. Great 15-year project to decipher genes stirs opposition[N]. New York Times. 1990-06-05(7).
- [5] 饶子和. 近期国外重要的生命科学研究计划和资助情况[J]. 中国科学基金,2006,20(5):272-277.

(责任编辑:陈晓峰)