

科学计量学的方法论研究

Kexue Jiliangxue De Fangfalun Yanjiu

方勇 著

西南师范大学出版社

科学计量学的方法论研究

方 勇 著

西南师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学计量学的方法论研究/方勇著. —重庆:西南
师范大学出版社, 2006. 2

ISBN 7-5621-3537-1

I. 科... II. 方... III. 科学计量学—方法论—研
究 IV. G301-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 008936 号

科学计量学的方法论研究

方 勇 著

责任编辑:张浩宇

封面设计:陈 杨

出版发行:西南师范大学出版社

(网址:<http://www.xscbs.com>)

(重庆·北碚 邮编:400715)

印 刷 者:重庆市北碚西师教材印刷厂

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:6

字 数:200 千字

版 次:2006 年 3 月 第 1 版

印 次:2006 年 3 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5621-3537-1/G·2237

定 价:20.00 元

引言

科学是“关于自然、社会和思维的知识体系”^①，它反映“客观世界的本质联系及其运动规律”^②。科学计量学是用数学方法对科学进行定量研究的学科，它是于 19 世纪末、20 世纪初萌发，并在科学的数学化趋势推动下和科学学发展的带动下，而于 20 世纪 60 年代完成奠基的学科。

经过几十年的发展，科学计量学在科学发展定量规律研究、科学管理定量评价等方面取得了一定的成功，并形成了系统的理论和方法。如科学计量指标的指数增长律、逻辑增长律等，这些方法较好地解释了科学的飞速发展和饱和现象，而引文分析的实践又使科学活动的引证行为得到量化反映。

任何一门学科的方法是该学科的灵魂，方法决定了该学科发展的前景。在学科发展的初始阶段，选择好的方法，无疑会为该学科的未来发展打下良好的基础。如果研究方法不对头，就会在科

① 辞海编辑委员会编，辞海，上海：上海辞书出版社，1989，4568

② 自然辩证法百科全书编辑委员会编，自然辩证法百科全书，北京：中国大百科全书出版社，1995，264

学研究中遇到障碍。所以在学科发展的同时,有必要对学科的方法进行研究。对于科学计量学,方法论研究同样有着重要意义。

国外的科学计量学很多是实证性的研究,对方法进行探讨的为数不多。前苏联学者海通(S. D. Haitun)在计量的加和性和非加和性问题上发表过系列研究文章,^①另外一些学者如麦克罗伯特茨(M. H. MacRoberts)等对引文分析方法的科学性和客观性进行过探讨。这些研究总的来说比较零散,它们都不是对科学计量学方法的系统反思。国内科学计量学的研究水平参差不齐,不少人的研究方法谈不上科学,十分原始粗糙。人们对科学计量学研究的难度、复杂程度认识不清,就草率地计量并加以应用。如果以上研究只限于学术问题的探讨,其影响可能还小一些。然而一些不成熟的工作出来以后,反而标榜自己的权威性,有的甚至还拿去为科学决策服务,以致对决策产生误导。在这种情况下,不甚科学的计量工作危害的程度就大了,所以对科学计量学的方法及其科学性进行系统研究,就显得尤为迫切和重要。

科学包括自然科学和社会科学两大门类。自然科学是“研究自然界的物质形态、结构、性质和运动规律的科学”^②,社会科学则是“以社会现象为研究对象的科学”^③。自然科学的大部分领域都已经数学化,社会科学的某些学科也已成功地运用了数学。然而社会现象具有的多层次、多联系、多样性和动态发展、不可逆等特

① Haitun, S. D., Problems of quantitative analysis of scientific activities; the non-additivity of data, Scientometrics, Vol. 10, Nos 1~2 (1986) 3~16; Vol. 10, Nos 3~4 (1986) 133~155

② 辞海编辑委员会编. 辞海. 上海:上海辞书出版社, 1989. 4962

③ 辞海编辑委员会编. 辞海. 上海:上海辞书出版社, 1989. 4140

点,使社会现象的定量研究有不少争议和很多待解问题,人们认为社会现象的定量研究还存在一些根本性的困难。科学不仅是人类的精神创造,还是一种复杂的社会现象,所以科学计量学的研究必然要涉及社会现象的定量研究问题。科学计量学虽然是一门年轻的学科,但它横跨自然科学和社会科学两大门类,它的研究尤其是方法研究可以作为对社会现象定量研究问题的探讨的一个突破口。

科学计量学的发展还使它逐渐赢得了科研决策和管理人员的重视。同行评议曾被认为是组织的用于评价科研工作的有效方法,然而同行评议的主观性、知识规范性、滞后控制性等特点,使同行评议存在固有的局限。当前,视科学计量学方法为对同行评议的有效的补充,或者说,把科学计量学方法和同行评议有机地结合起来进行科研工作水平的评价,已成为科研管理者的一种共识。^①这种共识不仅仅停留在认识上,而且已经被落实到实际应用之中。科学计量学能得到具体的应用是一个可喜的现象,但这里存在应用中实际量化操作的方法如何保证科学性的问题,而应用方法的科学性又是与理论研究方法的科学性紧密联系在一起。

总之,对科学计量学及其方法进行研究是很有意义的,这方面的研究对科学的数学化、社会现象定量研究、科研量化管理等问题深入探讨也有借鉴和启示作用。本书作为科学计量学的方法论研究,首先论述了科学计量学的产生和历史发展,在考察了计量方法发展的基础上,归纳出科学计量学不同时期的 3 种带头方法,即

^① 蒋国华,方勇,孙诚.“科学计量学与同行评议”,中国科技论坛,1998(6),25~

计量指标法、以引文分析为代表的文献计量分析法和数学模型法,并从这3种带头方法入手,探讨了科学计量学方法的特征、应用以及不足和适用范围。接下去讨论了科学计量学研究中具一般性和代表性、同时也是不可避免的几个方法论问题:主体与客体、质与量、定性分析与定量研究、计量的近似与精确等,并在讨论的基础上概括出科学计量学研究的3项基本的方法论原则:理想化原则、定性与定量相结合原则、模型化计量原则。然后讨论了科学计量学从系统科学、人工智能研究、计算科学哲学、结构主义学说等相关方法获得的有益借鉴,认为科学计量学应该善于吸收其他学科优秀方法的长处,以弥补自身的不足。最后进行了代数学方法(格论)在科学计量学研究中的尝试应用,通过对一篇评述文章的参考文献和被引文献的参考文献进行考察,证明了文献引证关系可以满足格的结构,该结构的存在为引文分析研究提供了一个崭新的视角,并使引文分析法拓展为对文献引证作多级分析。进一步提出了可操作的融合引文耦合分析和共引文分析两大技术的引文四元格分析,使对文献的结构分析达到了静态与动态的统一。

目 录

引 言	(1)
第一章 科学计量学的产生和发展	(1)
第一节 科学计量学的产生	(1)
一、科学的数学化趋势	(1)
二、科学计量学的产生	(7)
第二节 科学计量学的历史发展	(10)
一、科学计量学的萌发时期	(10)
二、科学计量学的奠基时期	(14)
三、科学计量学的发展时期	(25)
第三节 科学计量学在中国	(38)
第二章 科学计量学带头方法的探讨	(45)
第一节 计量指标法	(46)
一、计量指标法	(46)
二、指标体系法	(51)
三、计量指标法分析	(56)
第二节 文献计量分析法	(62)
一、引文分析法	(62)
二、其他文献计量分析法	(87)

第三节 数学模型法	(91)
一、数学模型法	(92)
二、数学模型法分析	(101)
第三章 科学计量学的方法论原则	(105)
第一节 科学计量学的若干方法论问题讨论	(105)
一、科学计量学研究的主体与客体问题	(106)
二、科学计量学研究的质与量问题	(113)
三、定性分析与定量研究的关系问题	(117)
四、科学计量的近似与精确问题	(120)
第二节 科学计量学的方法论原则	(123)
一、理想化原则	(123)
二、定性与定量相结合原则	(126)
三、模型化计量原则	(128)
第四章 科学计量学研究方法的新思路	(131)
第一节 其他学科方法的借鉴	(131)
一、系统科学的方法	(131)
二、计算科学哲学的方法	(137)
三、结构主义的启示	(144)
第二节 代数学方法在科学计量学中的尝试	(148)
一、等价关系和偏序关系	(149)
二、引证关系的格结构	(151)
三、引文四元格分析	(155)
结束语	(158)
参考文献	(161)
后记	(179)

第一章 科学计量学的产生和发展

科学计量学是对科学进行定量研究的学科,它起源于19世纪末、20世纪初少数几个自然科学家对科学的零散统计分析。由于科学中数学化趋势的推动和科学发展的带动,使对科学的零散统计研究,迅速发展壮大,于20世纪60年代成为一门学科而被人们接受。

第一节 科学计量学的产生

一、科学的数学化趋势

科学包括自然科学和社会科学两大门类,科学的数学化,不仅指自然科学的数学化,也包括社会科学的数学化。

数学向自然科学渗透,可以说从古代就开始了。古人推算历法、进行各种测量,就用到数学。但自然科学真正的数学化,起始于伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)时代。伽利略认为宇宙这

本书是“用数学语言写出的”^①，他把数学方法和实验方法结合起来研究自然界的现象和规律，使物理学摆脱了经院哲学的束缚而成为一门独立学科，并对后世自然科学的发展方向产生了深远的影响。伽利略以后，物理学的数学化加快了步伐。从牛顿(I. Newton, 1642~1727)的《自然哲学的数学原理》到麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831~1879)的电磁场理论，再到20世纪的相对论和量子力学，物理学的发展越来越离不开数学，而数学也从物理学中汲取了有益的营养。在谈到物理学和数学的关系时，著名美籍华裔物理学家杨振宁说：“可以用两片生长在同一根管茎上的叶子，来形象化地说明数学与物理之间的关系。数学与物理是同命相连的，它们的生命线交接在一起。”^②

化学在近代也开始广泛运用数学方法，拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743~1794)的氧化学说、道尔顿(J. Dalton, 1766~1844)的原子论、阿伏加德罗(A. Avogadro, 1776~1856)的分子说等，都推动了化学向量化、理论化发展。20世纪以来，量子力学开始融入化学，由此产生了量子化学、结构化学、计算化学等新的分支，现代化学已达到高度的数学化。生物学在孟德尔(G. Mendel, 1822~1884)进行生物遗传实验时，数学就已经在生物学中扎下了根。从1901年皮尔逊(K. Pearson, 1857~1936)创办《生物统计学》杂志开始，数学方法向生物学大范围渗透。^③ 随着分子生物学、细胞

① M. 克莱因. 北京大学数学系数学史翻译组译. 古今数学思想(第二册). 上海: 上海科学技术出版社, 1979. 33

② 杨振宁. “爱因斯坦和20世纪后半期的物理学”, 物理教学, 1980(1), 5

③ 关西普, 何钟秀. 科学学纲要——理论科学学基础. 天津: 天津科学技术出版社, 1981. 215

生物学、神经生物学的兴起和发展,生物学已成为高度精确化的科学。地学和天文学在各自发展过程中,也运用数学方法使本学科更加系统化、理论化。如地学中的大陆漂移学说、板块构造理论,天文学中的天体演化理论、宇宙大爆炸学说等。

与自然科学一样,社会科学中也出现了数学化的趋势。经济学在这方面首当其冲。17世纪,“现代政治经济学的创始者”^①配第(W. Petty, 1623~1687)用数字、重量和尺度的语汇来研究经济现象,他的著作《政治算术》(1690)开经济学中运用数学方法之先河。18世纪,意大利人切瓦(G. Ceva, 1647~1734)的关于货币价值的书(1711)和法国人魁奈(F. Quesnay, 1694~1774)的《经济表》(1758)也较早地把数学运用到经济学中。19世纪,法国经济学家古诺(A. A. Cournot, 1801~1877)的《财富理论数学原理的研究》(1838)一书开始用数学来表达某些经济规律。这本书被认为是“数理经济学”(mathematical economics)的开端。^②在这之后,法国经济学家瓦尔拉(L. Walras, 1834~1910)、英国经济学家马歇尔(A. Marshall, 1842~1924)等人的著作,又使数学在经济学的应用得到进一步的发展。1926年,挪威经济学家弗里希(R. Frisch, 1895~1973)受生物计量学(biometrics)名称的启发,提出了经济计量学(econometrics)的名称。1930年国际性组织经济计量学会在美国成立,并从1933年起出版《经济计量学》杂志。1944年,著名数学家冯·诺伊曼(J. von Neumann, 1903~1957)与经济

① 恩格斯.反杜林论.马克思恩格斯选集.(第3卷),271

② 孙世铮.“数理经济学”,中国大百科全书·经济学.中国大百科全书出版社,1988.930

学家合著的《对策论和经济行为》出版,该书把对策论引入到经济学研究中,开辟了新的领域,在经济学界产生了很大影响。1969年,诺贝尔经济学奖开始颁发,第一届奖金就授予了两位经济计量学家。

语言学是研究语言现象及规律的一门社会科学。1847年,俄国人布利亚科夫斯基认为“可以用概率论来进行语法、词源及语言历史比较的研究”。1894年,瑞士语言学家德·索绪尔(F. de Saussure, 1857~1913)认为“可以用数学公式有规律地表达语言中的量和量之间的关系”,他还把“语言学与几何系统和只有复杂项的代数相比”。^① 1935年,美国语言学家齐夫(G. K. Zipf, 1902~1950)指出词汇的词频分布近似满足一次反比律。之后,其他语言学家又进一步将词的分布规律精确化。结构主义语言学派的工作为数理语言学的产生作好了准备。丹麦语言学家叶姆斯列夫(L. Hjelmslev)把语言当作一个纯粹抽象关系的系统,美国语言学家布龙菲尔德(L. Bloomfield)进一步使语言形式化,而美国的哈里斯(Z. Harris)则写了《语言的数学结构》(1968)和《数理语言学》等。总之,随着数学与语言学的日益结合,数理语言学(mathe-matical linguistics)应运而生,它分为统计语言学和代数语言学两类。^② 随着电子计算机的问世,计算语言学(computational linguistics)也产生了,并得到长足的发展。

历史学研究中也开始尝试运用数学方法。20世纪60年代在

① 冯志伟,“数理语言学”,中国大百科全书·语言文字,中国大百科全书出版社,1988.365

② 威雨村,徐振远,“数理语言学浅说”,自然杂志,1983(4),271

美国等国兴起了计量历史学,计量历史学运用数学方法并以计算机为工具,对历史现象进行研究,试图揭示定性分析所不能描述的历史规律。如20世纪60年代末、70年代初,美国的一些计量历史学家收集了大量关于美国南北战争的数据资料,通过计算机处理、计算,他们得出结论:南北战争爆发前南方奴隶主依然从奴隶劳动中获得高额利润,因而不可能自愿解放奴隶。这个结论为南北战争爆发的必然性提供了数学依据,从而推翻了维护奴隶制的史学观点。^①

除了经济学、语言学、历史学外,其他社会科学也不同程度地开始了数学化的过程,产生了诸如定量社会学、文献计量学、情报计量学等学科。美国社会学家丹尼尔·贝尔(Daniel Bell)在研究了第二次世界大战以来的社会科学的发展以后,指出:“随着尖端新技术的急剧进展,特别是在引进计算机以后,(社会科学)理论不再仅仅是一些观念或辞藻,而是一些可以用经验和可检验形式加以阐述的命题。再用专门的术语来说,社会科学正在变成像自然科学一样的‘硬’科学。”^②“从1945年至1970年各门社会科学看来正在提出一整套的各种综合性范型,这些范型不仅将为整理人类各种知识提供连贯的理论格式,它们还将依靠新的研究技术和采用过去大都只应用于自然科学的数学及计量方法,为社会政策和

^① 朱永涛编译,“计量法在美国史学研究中的应用”,世界史研究动态,1984(9),34

^② 丹尼尔·贝尔,范岱年,裘辉,彭家礼,易克信译,当代西方社会科学,社会科学文献出版社,1988,2

计划提供可靠的指导。”^①

美国哈佛大学教授杜奇(Karl W. Deutsch)等人于1971年发表的一项研究^②表明:在1900~1965年全世界62项重大社会科学成就中,有 $\frac{2}{3}$ 是属于定量研究的,而其中1930年以后的29项成就中,定量研究的占了 $\frac{5}{6}$ 。可见,社会科学研究中运用数学方法不仅可能,而且是社会科学发展的必然趋势。

纵观科学中的数学化,我们认为现代科学之所以出现数学化的趋势,一方面是因为客观事物都有质的规定性和量的规定性,是质和量的对立统一,对事物质的认识离不开对量的规定性的把握。另一方面,科学的发展必然经历从收集材料、整理材料的阶段到对材料作出科学解释和科学预见的阶段,定性分析必然要上升到定量研究的阶段,数学自身的发展为这一阶段的过渡提供了方法基础。

美国印第安纳大学教授汤普森(Maynard Thompson)1981年在《科学中的数学化》一文中指出科学的数学化要经历四个阶段,即“第一阶段:数据和资料的收集、分析和解释;第二阶段:科学原理和经验定律的定量表述;第三阶段:数学模型的建立、研究和证实;第四阶段:利用数学模型去获得科学见解。”^③物理学和工程技

① 丹尼尔·贝尔、范岱年、裘辉、彭家礼、易克信译,《当代西方社会科学》,社会科学文献出版社,1988.63

② Deutsch, K. W., Platt, J., Senghaas, D., Conditions Favoring Major Advances in Social Science, Science, Vol. 171 (1971) 450~459.

③ Thompson, M., “科学中的数学化”,自然杂志,1983(6),417

术是属于第三或第四阶段的,而社会科学的大部分工作还处于第一和第二阶段。在我国,自然科学的数学化工作已跟上了世界的发展,然而社会科学的数学化除了个别学科以外,基本上进展缓慢,还有很多工作要做。

二、科学计量学的产生

马克思最早揭示出数学方法在科学研究中的重要作用,他认为,“一种科学只有在成功地运用数学时,才算达到了真正完善的地步。”^①这一光辉论断,已被自然科学和社会科学的发展逐步验证。恩格斯对科学发展的定量规律也早有论述,1844年他在《政治经济学批判大纲》一文中说:“科学发展的速度至少也是和人口增长的速度一样的;人口的增长同前一代人的人数成比例,而科学的发展则同前一代人遗留下的知识量成比例,因此在最普通的情况下,科学也是按几何级数发展的。”^②后来他在《自然辩证法》导言中又进一步指出:“科学的发展从此便大踏步地前进,而且得到了一种力量,这种力量可以说是与从其出发点起的(时间的)距离的平方成正比的。”^③马克思和恩格斯的这些论述,对把科学当作一种社会现象来研究的科学学的发展和数学化有重要的指导意义。

① 保尔·拉法格,“忆马克思”,回忆马克思恩格斯,人民出版社,1973.7. 胡世华教授曾对这句话的译文做了改动,他译为“一门科学只有当它达到了能够运用数学时,才算真正发展了。”见胡世华,“质和量的对立统一与数学”,哲学研究,1979(1),62

② 马克思恩格斯全集.(第1卷),621

③ 马克思恩格斯全集.(第20卷),363

科学学是在现代科学技术革命的背景中诞生和发展的,它的研究起始于20世纪20、30年代,第二次世界大战以后获得迅速发展。科学学的研究对象是科学自身,科学学在发展过程中,也深受科学中数学化趋势的影响。采用定量方法研究科学的发展规律,日益得到人们的重视。科学学的创始人贝尔纳(John D. Bernal, 1901~1971)和默顿(Robert K. Merton, 1910~2003)在他们奠定科学学理论基础的名著《科学的社会功能》^①、《十七世纪英国的科学、技术与社会》^②中,也大量运用统计数据和图表,在数量分析的基础上阐述他们的观点。在科学的数学化趋势的推动下,科学学的研究逐渐走上了量化的道路,这种定量研究融合了早期对科学的零散统计分析,并日益发展壮大,最后形成了科学计量学这门学科。

社会实践的需要首先决定了科学计量学的产生。20世纪,随着科学日益社会化和社会的科学化,科学进入了大科学时代。科学研究的规模越来越大,如美国为制造原子弹所组织的“曼哈顿计划”历时4年,耗费23亿美元,15万人参加;为实现登月而组织的

① Bernal, J. D., *The Social Function of Science*, London: Routledge, 1939. 中译本:陈体芳译,张今校,科学的社会功能.商务印书馆,1982(据1944年版译出)。

② 1938年,默顿的博士论文发表在*Osiris*杂志上,*Studies on the History and Philosophy of Science, and on the History of Learning and Culture*, Bruges, The St. Catherine Press, Ltd., Vol. 4, No. 2, 1938, 360~632. 1970年又以书的形式在纽约出版,即Merton, R. K., *Science, Technology & Society in Seventeenth Century England*, Howard Fertig, New York, 1970. 中译本:范岱年,吴忠,蒋效东译.十七世纪英国的科学、技术与社会.四川人民出版社,1986