

高等学校教材

现代地理学中的数学方法

(第三版)

Mathematical Methods in Contemporary Geography

(Third Edition)

徐建华

By Jianhua xu

高等教育出版社

高等学校教材

现代地理学中的数学方法

Xiandai Dilixue Zhong De Shuxue Fangfa

(第三版)

Mathematical Methods in Contemporary Geography
(Third Edition)

徐建华

By Jianhua Xu



高等教育出版社·北京

内容提要

本书主要介绍和探讨现代地理学中的数学方法,内容包括地理数据的预处理、地理建模概述、经典统计分析方法、非平稳时间序列分析方法、空间统计分析方法、运筹决策分析方法、网络分析方法、控制论与信息反馈方法、灰色系统方法、模糊数学方法、系统动力学方法、分形与自组织临界性理论、小波分析方法、神经网络方法等。

本书自成体系,具有专著与教材相结合的写作风格,既遵从专著的写作规范,又兼顾了教材的系统性、层次性、通俗性等要求,同时还吸收了作者自己及他人的最新科研成果。理论与实践结合、方法与应用结合,以问题为导向、学以致用,既是本书编写的基本原则,也是本书鲜明的特色。书中对于每一种理论和方法的介绍与讨论,基本都以具体实例给以说明与示范。

本书的读者对象,是高校地理类、生态学、环境科学、区域经济学、人口学等专业的高年级本科生、研究生及相关科研人员。对于高校高年级本科生和研究生来说,本书既可以作为教材,也可以作为教学参考书或课外阅读读物使用;对于科研工作者来说,本书既是工具书,又是科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代地理学中的数学方法 /徐建华编著. --3版

. --北京:高等教育出版社,2017.4

ISBN 978-7-04-046632-4

I. ①现… II. ①徐… III. ①地理学-数学方法
IV. ①K90-05

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第254531号

策划编辑 徐丽萍
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 徐丽萍
责任校对 刘娟娟

封面设计 张楠
责任印制 赵义民

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 固安县铭成印刷有限公司
开本 850mm×1168mm 1/16
印张 26.75
字数 700千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 1996年5月第1版
2017年4月第3版
印 次 2017年4月第1次印刷
定 价 65.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 46632-00
审图号 GS(2016)834号

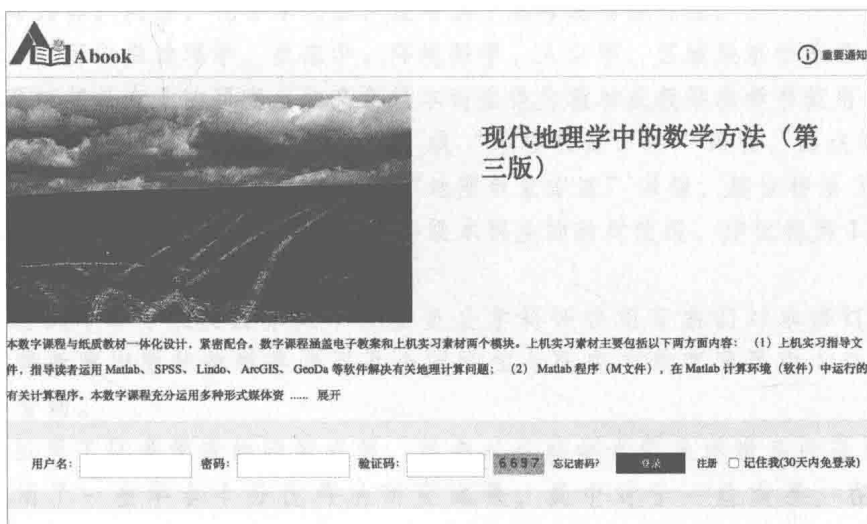
与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

网站登录：

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1221393>，点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。
2. 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，按网站提示输入教材封底防伪标签上的数字，点击“确定”完成课程绑定。
3. 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。



第二版前言

本书第一版于1994年成稿,1996年出版,在我国学术界和教育界得到了广泛的使用,特别是被国内许多科研单位和高校作为研究生和高年级本科生教材使用,取得了良好的社会效果。本书第一版的内容,主要包括相关分析、回归分析、系统聚类分析、主成分分析、马尔可夫过程预测、线性规划、目标规划、随机型决策分析方法、AHP决策分析方法、网络分析方法、控制论方法、模糊数学方法、灰色系统方法、系统动力学方法、投入产出分析方法等。这些方法基本上与20世纪60—80年代的传统计量地理学内容相对应。

然而,到20世纪90年代初,传统意义上的计量地理学开始向地理计算学(Geocomputation)发展,特别是20世纪90年代中期以来,地理计算学在英、美等国发展十分迅猛。现代地理计算,已经不是传统意义上的利用计算机求解地理问题的“计算”了,而是将数学模型、现代计算理论、计算方法及3S技术结合在一起,以并行超级计算机为工具,对“整体”“大容量”资料所表征的地理问题实施高性能计算。鉴于这种形势,从当前国际学科前沿和发展动态来看,本书第一版已经不能完全涵盖现代地理数学方法的主要内容了,亟须对它补充和修订。

当然,要在一本书中比较详细地介绍和讨论现代地理学中的所有数学方法是一件非常困难的事情。这不但涉及作者的知识面与专业水平,而且还要受读者对象和写作篇幅的限制。本修订版,在内容体系的安排和取舍方面,在广泛听取有关专家意见的基础上,继承了第一版的主要内容,新增了地理数据及其采集与处理、时间序列分析、趋势面分析、地统计分析、分形理论、小波分析、人工神经网络等内容;同时,在各章之后,还增加了思考题与练习题。

本修订版,既可以供地理学、生态学、环境科学、人口学、区域经济学等领域的科研工作者参考,也可以供高校相关专业的研究生和高年级本科生作为教材或教学参考书使用。对于研究生,如果在大学本科期间没有学习过“计量地理学”或“地理数量方法”课程,建议学习全部内容;如果在大学本科期间学习过“计量地理学”或“地理数量方法”课程,建议将第3.8节和第10~第16章作为重点学习内容。如果将本书作为高年级本科生的教材使用,建议将第1~第9章作为重点学习内容,将第10~第16章作为参考内容。

感谢各位通讯评审专家及国务院学位委员会学科评议组专家们对本修订版所提出的修改意见;感谢高等教育出版社徐丽萍老师及全国学位与研究生教育发展中心评估所侯富民先生所付出的辛勤劳动。

本修订版引用了许多学者的研究成果,笔者对这些学者们表示崇高的敬意和衷心的感谢。特别是直接引用了一些学者十分优秀的研究成果,其中对于一些成果,在应用之前(定稿前),笔者已经与有关学者取得了联系,并征得了他们的同意;但由于通讯联系方面的困难,笔者至今还未与一些被引用的成果的作者取得联系。对于被直接引用的成果的作者,笔者除了表示感谢以外,还将免费赠送本修订版样书,并十分乐意听取他们对于引用稿酬的支付意见。请有关学者与笔者联系。

本书修订再版工作，得到华东师范大学过仲阳副教授，吴玉鸣、赵晶博士，凌怡莹、卢艳、熊云波、艾彬硕士的友情帮助；得到了华东师范大学主管领导、学位办公室及研究生院的大力支持。谨此，一并致谢。

徐建华

2002年5月于上海

第一版前言

笔者在大学本科学习数学，而到了研究生阶段则改学地理学，毕业后一直在兰州大学地理系从事地理数量方法的教学与科研工作。本书就是笔者结合自己近年来的教学与科研工作，在总结国内外学者有关研究成果的基础上写成的。希望它能对从事地理学、生态学、人口学、经济学、城市科学和农业科学方面的科研人员及高校师生有一点参考价值。

本书初稿完成之后，于1994年7月在呼和浩特市召开的全国高校计量地理学与GIS教学研讨会上，向与会代表作了介绍，得到了大家的肯定和鼓励，并根据代表们提出的意见，作了修改、补充。在本书的写作过程中，得到中国科学院院士、兰州大学地理系主任李吉均教授及笔者的导师艾南山教授的指导和鼓励。本书的出版，得到了兰州大学教务处及高等教育出版社地理编辑们的大力支持，书中插图由高等教育出版社郝林清绘。谨此，一并致谢！

由于笔者水平所限，本书一定存在不少错误与缺点，敬请读者批评指正。

徐建华

1994年10月于兰州大学

目 录

第 1 章 绪论	1	第 2 节 集合经验模态分解方法	138
第 1 节 数学方法在现代地理学中的作用	2	思考题与练习题	147
第 2 节 现代地理数学方法的形成和发展	3	参考文献	147
第 3 节 现代地理数学方法的主要内容	9	第 6 章 空间统计分析方法	149
第 4 节 现代地理数学方法的应用	11	第 1 节 探索性空间统计分析	149
思考题与练习题	14	第 2 节 空间计量模型	159
参考文献	14	第 3 节 地统计分析方法	167
第 2 章 地理数据的预处理	16	思考题与练习题	181
第 1 节 地理数据的类型与特征	16	参考文献	182
第 2 节 地理数据的统计预处理	21	第 7 章 运筹决策分析方法	184
第 3 节 地理数据分布的集中化与 均衡度指数	27	第 1 节 线性规划与目标规划方法	184
第 4 节 地理数据的无量纲化处理	34	第 2 节 投入产出分析	196
思考题与练习题	38	第 3 节 随机型决策分析方法	213
参考文献	39	第 4 节 AHP 决策分析方法	224
第 3 章 地理模型与地理建模概述	41	思考题与练习题	238
第 1 节 地理模型的概念、特点与分类	41	参考文献	241
第 2 节 地理建模的思维导向、原则与步骤	48	第 8 章 网络分析方法	243
第 3 节 地理建模方法概述	53	第 1 节 地理网络的图论描述	243
思考题与练习题	69	第 2 节 最短路径与选址问题	249
参考文献	69	第 3 节 复杂网络分析方法	254
第 4 章 经典统计分析方法	73	思考题与练习题	263
第 1 节 相关分析	73	参考文献	264
第 2 节 回归分析	83	第 9 章 控制论与信息反馈方法	266
第 3 节 聚类分析与判别分析	96	第 1 节 控制论及其基本概念	266
第 4 节 主成分分析与因子分析	106	第 2 节 地理系统动态的控制论描述	270
第 5 节 统计预测方法	113	第 3 节 最大值原理及其应用	276
思考题与练习题	127	第 4 节 大系统理论及其应用	280
参考文献	130	思考题与练习题	287
第 5 章 非平稳时间序列分析方法	133	参考文献	287
第 1 节 Mann-Kendall 检验	133	第 10 章 灰色系统方法	288
		第 1 节 灰色关联分析方法	288

第2节 灰色预测方法	291	第2节 长程相关与长程互相关分析	365
第3节 灰色系统建模方法	297	第3节 自组织临界性理论及其应用	370
第4节 灰色局势决策方法	299	思考题与练习题	376
思考题与练习题	304	参考文献	376
参考文献	305	第14章 小波分析方法	379
第11章 模糊数学方法	306	第1节 小波分析的基本原理	379
第1节 模糊数学的基本概念与运算	306	第2节 小波分析的应用实例	385
第2节 模糊聚类方法	316	思考题与练习题	392
第3节 模糊综合评判方法	323	参考文献	392
思考题与练习题	331	第15章 人工神经网络方法	394
参考文献	332	第1节 人工神经网络简介	394
第12章 系统动力学方法	333	第2节 人工神经网络应用实例	400
第1节 系统动力学的基本原理	333	思考题与练习题	414
第2节 系统动力学应用实例	339	参考文献	414
思考题与练习题	352		
参考文献	353		
第13章 分形与自组织临界性理论	354		
第1节 分形与分维数	354		

第 1 章

绪 论

地理学是一门古老的学科，早在中国战国前后的古希腊、古罗马时代就开始萌芽，至今已有 2000 多年的发展历史。

综观地理学的发展史，可划分为 3 个基本阶段：

(1) 古代地理学，是农业社会的产物，以地理知识的记载为主体；

(2) 近代地理学，是工商业社会的产物，是一种对各种地理现象进行条理化归纳，并对它们之间的关系进行解释性描述的多分支的知识体系；

(3) 现代地理学，是信息社会的产物，它把地理环境及其与人类活动的相互关系看作统一的整体，采用定性与定量相结合的方法，规范研究与实证研究并举，是一门以解释各种地理现象的内在机制并预测其未来演变的科学。

地理学，自其产生之日起，就与数学有着不解之缘。在古代，地理学与数学之源泉科学——几何学，几乎都是研究地表的。正像《辞海》关于几何学的解释那样：“古代埃及为兴建尼罗河水利工程，曾经进行过测地工作，它逐渐发展为几何学。”因此，在来自希腊文的西方文字中，几何学有“测地”之意，如其英文为 Geoeometry，与地理学(Geography)、地貌学(Geomorphology)、地植物学(Geobotany)、地生态学(Geocology)等术语有着一个共同的前缀 geo。在古代地理学时期，人们为了测算河流长度、山体高度，计算土地面积，不得不运用几何学原理和方法。古希腊学者艾拉托塞尼(Eratosthenes)测算地球周边，就运用了几何学原理和方法。在近代地理学时期，区位论研究开了地理学运用分析数学之先河。20 世纪 20—30 年代，地理学研究中的统计方法开始萌芽，并开始进行地理要素的统计概括和相关关系探讨。这些事实说明，数学方法对于地理学家来说，并不陌生。但是，在古代地理学中，数学方法的运用仅仅是为了描写地理事件、地理事实和记载地理知识；在近代地理学中，数学方法的运用，又只是局限于对地理现象的解释性描述。而在现代地理学中，人们运用数学方法，则是为了更进一步深入地进行定量化研究，以揭示地理现象发生、发展的内在机制及运动规律，从而为人地关系的优化调控提供科学依据。

第1节 数学方法在现代地理学中的作用

现代地理学，是一门研究地理环境及其与人类活动之间相互关系的综合性、交叉性学科。它以分布、形态、类型、关系、结构、联系、过程、机制等概念构筑其理论体系，注重的是地理事物的空间格局与地理现象的发生发展及变化规律，追求的目标是人地系统的优化，即人口、资源、环境与社会经济协调发展。所采用的研究方法，是定性与定量相结合、综合归纳与理论演绎并用、规范与实证研究并举。

在现代地理学研究中，数学方法是非常重要的，其意义和作用是不可替代的。

一般而言，数学方法在现代地理学中的作用，是描述地理系统的状态，揭示地理系统的结构与功能，说明地理系统的等级规模，模拟地理过程，认识地理系统之间的相互联系等。然而，从更高层次的意义上讲，数学方法在现代地理学研究中的意义与作用，主要可以概括为如下几个方面。

一、认识问题的桥梁

在一般人的眼里，“地理”等同于地理知识，关于区位、河流、山川、物产、气候、民族文化、风土人情等方面的描述即地理学。但是，由古代地理学，经近代地理学，发展到今天的现代地理学，地理学的内涵已经发生了很大的变化。

因为古代地理学是以地理知识的记载为主体，近代地理学是一种对地理现象进行条理化归纳，并对它们之间的关系进行解释性描述的多分支的知识体系，因而在古代地理学和近代地理学中，数学方法的应用比较鲜见。而现代地理学，则是把地球表层系统(包括人类活动)看作统一的整体，通过规范研究与实证研究并举，以解释各种地理现象、地理过程相互作用的内在机制，并预测其未来演变的科学，其中，数学方法的作用是不可替代的。

数学方法能够帮助地理学家从本质上认识问题、剖析问题，并最终解决地理问题。为了揭示地理系统的内在机制及其演化规律，就需要从错综复杂的地理现象中找出本质的东西，以求得地理系统(地理过程)内在规律的揭示，为此必须建立与应用数学模型。

二、科学发现的工具

传统地理学方法研究问题的程序是：考察、收集资料→根据已有的概念体系条理化→归纳(概括)→建立理论法则→解释地理现象。但是，现代地理学关注的地球表面各圈层构成的地理系统是复杂的巨系统，其各个子系统、要素在空间上的耦合关系及其相互作用、机制与过程非常复杂，许多问题是非结构化的，仅靠传统的地理学方法，很难产生新的认识和新的发现。因此，地理学研究的创新，已成当务之急(蔡运龙,2000)。

那么，究竟如何创新呢？首先是思想上的创新，应该充分认识地理复杂性问题，要充分认识人地关系地域系统(包括各种地理系统和地理过程)的复杂性；其次是方法技术的创新，应该充分利用其他学科的最新研究成果，采用各种现代化技术，创新地理信息获取技术和数据挖掘方法。其中，数学方法的运用，无论在思想创新，还是方法技术创新方面都具有不可替代的作用。数学方法是现代地理学研究中科学发现和创新的的基本工具。事实上，对于一个复杂的地理问题，能不能顺利地进行研究，其关键常常就在于能不能针对所要研究的问题构建出一个科学的数学模型(Wilson,

2000)。

面对地理系统的复杂性(Rand, 1999; Werner, 1999; Claval and Staszak, 2004; Crawford 等, 2005), 传统的地理学方法无能为力。周成虎等(1999)指出, 应该基于现代系统科学的思想, 在复杂性科学的理论框架下, 应用非线性理论和方法来描述、分析、模拟和预测空间系统的复杂动态行为, 并运用数学方法构筑新一代的高级分析模型, 是地理创新研究的又一次革命。马蔼乃(2001)认为地理非线性模型, 是集演绎、归纳与类比为一体的, 确定性与不确定性辩证的, 图像与数据对应的定量数学模型。这种非线性模型是还原论所不及的, 只有运用复杂系统理论才能解决。

三、综合研究的需要

综合性是现代地理学的基本特征之一。其研究对象, 是多个子系统、多要素相互作用的地球表层系统, 这决定了现代地理学研究的综合性特点。现代地理学综合研究, 不仅仅局限于研究其各个要素或各个子系统, 更重要的是把地球表层系统作为统一的整体, 综合地研究其组成要素、各个子系统及它们的空间组合。它着重研究各种要素、各个子系统之间的相互作用、相互关系及其时空变化规律。当然, 由于地球表层系统的复杂性, 可以对某一要素或子系统进行部门的研究, 但这种研究是在地理学综合性的基础上进行的。地理学的部门分支学科之所以成为地理学的一部分, 不仅在于其研究的对象是地球表层系统的一个有机组成部分, 而且在方法论上有着共同的基础, 即综合性。

现代地理学的综合性研究分为不同的层次: 两个要素相互关系(如气候和水文的关系, 或土壤和植物的关系等)的综合研究, 是低层次的综合性研究; 多个要素相互关系(如地貌、水文、气候、植被和土壤的关系)的综合研究, 是中层次的综合性研究; 地球表面全部要素(自然-人文耦合系统)之间相互关系的综合研究, 是高层次的综合性研究。层次不同, 综合的复杂程度也不同, 层次越高复杂程度越大, 综合的难度也越大。高层次的综合性研究是当今地理学最高层次的科学难点问题(樊杰, 2004)。在传统地理学中, 低层次、中层次的综合研究分别形成地理学的一些分支学科(如自然地理学、人文地理学等), 这些综合研究并不是地理学所独有的, 生态学、社会学等学科也进行综合性研究。但是, 高层次的综合研究, 即人地关系地域系统的综合研究, 则是地理学所特有的。

从科学研究的角度来看, 越是综合的问题, 越是需要发挥数学建模的作用, 只有通过建立与使用数学模型, 才能更好地理解、认识和解决综合性的问题。因此, 从理论上来说, 为了完成现代地理学的综合性研究任务, 数学方法的作用不可替代。只有建立并运用数学模型, 才可以更好地发挥地理学研究综合性特点。20世纪90年代后期以来, 随着数学方法、计算方法和计算机技术的发展, 以向量或并行处理器为基础的超级计算机为工具, 对“整体性”和“大容量”数据所表征的复杂地理问题进行综合建模和高性能计算的地理计算模型(geocomputational model)(Fotheringham, 1998; Fotheringham等, 1998), 对于促进地理学高层次综合研究起到了一定的作用。

第2节 现代地理数学方法的形成和发展

现代地理数学方法的产生和形成, 可以追溯到现代地理学发展史上的计量运动。今天的现代地理学方法, 实际上就是在计量运动的基础上不断发展和进一步完善的产物。

一、现代地理学发展史上的计量运动

近代地理学的发展,曾形成了3种主要学派,即:①由赫特纳(Hettner A)首倡,哈特向(Hartshorne R)继承和发展了的区域学派;②由洪堡(von Humboldt A)和李特尔(Karl Ritter)创建,李希霍芬(Richthofen F)继承和发展,拉采尔(Ratzel F)等代表“决定论”,白兰士(de La Blache P V)和白吕纳(Brunhes J)等代表“或然论”的人地关系学派;③由施吕特尔(Schlüter O)提出,帕萨格(Passarge S)、苏尔(Sauer C O)等阐发的景观学派。

到了20世纪40年代,由于老的人地关系学派日趋落后,而景观学派的理论体系又尚未成熟,因而区域学派就成了当时地理学的主流学派。该学派的主要观点是,地理学的研究对象是区域,研究目标是描述和解释地球表面区域的差异性;在地理学中不存在法则,地理学只能以区域为单元进行类型研究;专论地理学是地理学研究的起点,区域地理学是地理学研究的终点;区域地理的样板,包括区域内的地质、地形、气候、水文、动植物与人类各要素及其相互关系。在赫、哈二氏的倡导下,经马东(de Martonne E)、惠特利西(Whittlesey D S)、詹姆斯(James P E)等地理学家的努力,在西方着实出现了一个区域地理发展的黄金时代。区域地理范式也由此而变成了传统地理学的科学范式。

但是,自20世纪50年代以来,区域学派的观点开始受到质疑。一些学者认为,对于区域的描述冗长、乏味、没有生气;对于许多区域的划分,特别是划分大区域,都是很幼稚的、不成熟的、不科学的,区域研究当属于小范围的研究。向区域范式提出最尖锐、最直接批评的是德籍旅美地理学家舍费尔(Schaefer)他在1953年发表了一篇题为《地理学中的例外论》的文章,抨击了哈特向的地域独特主义观点,即“例外主义”观点。他认为,把区域地理作为专论地理成果的综合是妄自尊大、不切合实际的;在区域地理著作中没有引人注目的深刻见解;地理学应该是解释现象,而不应该是罗列现象。解释现象必须有法则,应该把地理现象看成是法则的实例。地理学的目的应该与其他科学有相似之处:都是追求、探索法则的。

舍费尔等人对区域学派的批评与否定,拉开了现代地理学发展史上的计量运动的帷幕。在舍费尔的学术思想的影响下,从20世纪50年代末期开始,首先在美国掀起了建立地理学法则的热潮。然而,怎样建立地理学法则?不同的学者从不同的角度作了探索,但一切都是将数学、物理学、社会学、经济学的理论和方法引入地理学,探索地理事物的空间格局,其共同之处在于都是开展地理学量化研究,建立定量模式。这种量化研究之热潮,就是所谓的计量运动。

计量运动,主要是由美国地理学家发起的,早期主要集中在几所大学。由于各校所持观点不同,研究方向不同,从而形成了各种不同的学派。其中主要有如下3种学派:

(1)艾奥瓦的经济派。该学派的主要代表人物是舍费尔和麦卡尔蒂(McCarty H H)。此学派受经济学影响较深,着重探讨经济区位现象间相互内在联系及其组合类型(McCarty等,1956)。舍氏深受杜能(von Thünen J H)、廖什(Lösch A)、克里斯特勒(Christaller W)及胡佛(Hoover E)等区位论学者和区域经济学家的影响,他花费了大量的精力去翻译和宣传廖什的《区位经济学》,极力倡导建立地理学法则。麦卡尔蒂(McCarty,1954)发表了《对经济地理理论的探讨》一文,认为生产布局理论有两种:其一,为因果解释,但是影响生产布局的变量如此之多,无法处理,所以这种解释是行不通的;其二,为结合联系的解释,从结合的观点出发,只要发现两种现象常常同时出现,就无须探讨其内在因果关系,而只需探讨现象之间分布的结合律。这一学派尤其重视相关分析与回归分析等统计分析方法在人文地理学中的应用。

(2) 威斯康星的统计派。该学派以发展和应用统计分析方法为其主要特征。早在20世纪40年代,威弗尔(Weaver,1943)就发表了《论美国大麦生产与气候的关系》一文,他运用相关分析、多元回归分析等方法去鉴定气候参数对大麦产量的影响,并用计算方法进行作物布局规划。后来罗宾逊(Robinson A H)领导一个研究小组,继续发展统计分析方法。后来,该校的社会学家东坎和仇佐里(Duncan and Cuzzori,1961)完成了巨作《统计地理学》。

(3) 普林斯顿的社会物理学派。该学派的领袖人物是天文学家司徒瓦特(Stewart J Q)。司徒瓦特尝试着把物理学原理应用于社会现象的研究之中,创立了颇具特色的社会物理学派。通过比较研究,司氏发现,在许多社会问题研究中,可以借鉴物理学中已经建立起来的规律、定量模式和研究方法(Stewart,1948)。他成功地借鉴物理学中的万有引力定律研究了人口分布的规律(Stewart and Warntz,1958),发表了题为《与人口和均衡有关的经验数学法则》的论文(Stewart,1947)。司氏认为,社会量纲与自然量纲是极相似的,具有一致性。他还在普林斯顿大学创建了社会物理学实验室。受此学派影响,引力模型、位势模型、空间相互作用模式得到了许多地理学家,特别是理论地理学家的青睐。

无论从美国还是从全世界来看,现代地理学发展史上的计量运动的兴起,首先要归功于加里森(Garrison W L)及其领导的华盛顿小组。加氏是第一个把地理学的理论和方法建立在定量基础上的倡导者和实践者,是第一本《计量地理学》教材的作者。他第一个率先在华盛顿大学举办了地理计量方法研讨班,从推广中心地理论、交通网络论和统计方法等开始,培养了贝里(Berry B J L)、帮吉(Bunge W)、戴西(Dacey M F)、盖提斯(Getis A)、马尔布(Marble D F)、毛里尔(Morril R L)、奈斯丘恩(Nystuen J D)、托布勒(Tobler W R)等现代地理学家。

促进计量运动的还有美国区域科学协会和瑞典地理学定量化研究的影响。美国区域科学协会是由经济、地理、社会、城市与区域规划、建筑及工程等各个学科的学者组成,其发起人为艾萨德(Isard W)。该协会组织了大量的学术活动,编辑出版了《区域科学年鉴》,因此,该协会成为美国计量运动的源地之一。瑞典学者哈格斯特朗(Hägerstrand T)是著名的地理计量学者。早在20世纪30年代,哈氏领导的隆德学派就开始了对空间扩散模式的探讨。20世纪50年代,他曾受加里森之邀到华盛顿大学为地理计量方法研讨班授课。他还组织了美国和瑞典地理学家与克里斯泰勒会面,交流学术思想。哈氏的努力对于促进计量运动的发展及向全世界扩散起到了重要作用。

到了20世纪60年代,计量运动不胫而走,在短短几年时间里几乎传遍了整个世界。世界各国地理学家纷纷响应,涌现出一大批著名的学者和学派。如英国,由于受计量运动的影响,出现了以乔莱(Chorley R J)、哈格特(Haggett P)和哈威(Harvey D)等为代表的剑桥学派,该学派以理论造诣高深而著称。随着计量运动的发展,应运而生了各种组织与学术刊物。1964年,国际地理学联合会(IGU)设立了地理计量学方法委员会(Commission on Quantitative Methods in Geography);1967年,英国地理学会设立了地理教学采用模型和计量技术委员会(Standing Committee on the Role of Models and Quantitative Techniques in Geographical Teaching);1968年,日本成立了计量地理学研究委员会,1973年又改称理论、计量地理学委员会。1963年,英国出版了《地理学计量资料杂志》,1969年,美国出版了《地理分析——国际理论地理学》(Geographic Analysis: An International Journal of Theoretical Geography)杂志。我国,由于历史的原因,未能赶上计量运动的“黄金时代”,地理学的定量化进程是从20世纪70年代末、80年代初才开始的,但是其发展速度和势头却是十分喜人的。

二、现代地理数学方法的发展

现代地理数学方法，作为一门新的方法论学科，其历史并不算长，但是其发展速度是十分惊人的。自20世纪50年代末期开始的计量运动以来，现代地理数学方法的发展已经历了4个阶段。

第一阶段，大致从20世纪50年代末到60年代末期，是现代地理数学方法发展的初期阶段。其主要特点是把统计学方法引入地理学研究领域，构造一系列统计量来定量地描述地理要素的分布特征，比较普遍地应用各种概率分布函数、平均值、方差、标准差、变异系数等统计特征参数以及简单的两要素间的一元线性回归分析方法。从今天的观点来看，这些方法是比较浅易的。但是它却给长期以来只是定性描述的地理学带来了可喜的变化，使许多方法无法准确确定的概念，如分布中心、区域形状、地理要素分布的集中和离散程度等都有了定量指标，许多地理要素间的相关关系，可以定量地表示了。这一时期，出现了许多专门探讨和介绍数学方法（主要是数理统计方法）的地理专著，如东坎和仇佐里合著的《统计地理学》（1961）、加里森和马布里合著的《计量地理学》（1967）、金（King L J）所著的《地理学统计分析》（1969）等。

第二阶段，包括20世纪60年代末期到70年代末期的10年时间，属中期阶段。该阶段的特征是多元统计分析和电子计算机技术在地理学研究中的广泛应用。地理学研究对象的多因素、复杂结构和动态特征都使简单的统计方法无能为力，为此就必须寻找解决复杂地理问题的有效方法。正是在这一时期，电子计算机的生产已经工业化，使用计算机的方法也从一般人很难掌握的机器语言程序发展到高级算法语言程序。随着计算机科学的这种变化，多元统计方法如雨后春笋般地发展起来了，成为数理统计学中特别有生命力的分支之一，过去用手算很难完成的复杂计算问题，运用计算机很快就能得出结果。以电子计算机技术为手段，许多地理学家熟练地掌握了多元统计方法，具备了分析复杂地理问题的能力。在自然地理学和人文地理学中，以电子计算机为工具，运用多元统计分析方法使许多复杂问题得到了相当满意的解决。

第三阶段，从20世纪70年代末期开始到80年代末期，是现代地理数学方法走向更加成熟和更加完善的阶段。现代地理数学方法，不但包括了概率论与数理统计方法，还包括运筹学中的规划方法、决策方法、网络分析方法，以及数学物理方法、模糊数学方法、分形几何学方法、非线性分析方法等，而且也包括计量经济学中的投入产出分析方法等。更值得一提的是，在这一阶段，地理学中的数学方法的发展与现代系统科学紧密地结合起来了，系统理论、系统分析方法、系统优化方法、系统调控方法等被引进了地理学研究领域。系统科学原理和方法的引入，促进了地理学向着更加严密的理论结构和现代化方向发展，从而使以发展地理学方法论为己任的现代地理数学方法更加明显地具有系统科学的性质与理论性的色彩。同时，电子计算机应用技术的发展，特别是地理信息系统（geographical information system，缩写为GIS）技术的成熟，为计量方法在现代地理学中的应用提供了更加先进的技术手段支持，从而使其应用的范围更加广阔。

第四阶段，从20世纪90年代初开始，传统意义上的计量地理学开始向计算地理学发展。国外理论和数量地理学的发展，按照英国著名地理学家、里兹大学奥彭肖（Openshaw, 1998a, 1998b）的定义和划分，大体经历了20世纪60年代的计量革命（统计模型），70年代初期的数学模型革命（数理模型和规划模型等），80年代中期的GIS革命（1983年提出了自动地理学——Automated Geography），80年代末、90年代初进入计算地理（Computational Geography）时代。1994年，在里兹大学正式建立了全球第一个计算地理中心，20世纪90年代中期国外学者正式创立地理计算学一词“Geocomputation”。1996年起，每年一次，先后3次举行了全球地理计算学术年会，出版论文专集。作

为现代地理数学方法的深层次发展，地理计算学的出现与发展，对整个地理学科，尤其是对人文地理学的理论模型和应用研究，已经产生并将继续产生深远的影响。

地理计算学的出现与发展，得益于计算机技术与计算理论和方法的巨大发展。20世纪90年代，并行超级计算机硬件的成功实现，GPS、RS、GIS技术在获取大容量、整体性地理数据信息中的成功应用，以超级计算机为基础的一系列高性能计算方法的实现，使计算与实验、理论共同构成了人类认知客观世界的有效工具。地理计算已不是传统意义上的利用计算机求解地理问题的计算，它以向量或并行处理器为基础的超级计算机为工具，对“整体”“大容量”数据所表征的地理问题实施高性能计算，探索构筑新的地理学理论和应用模型(Openshaw, 1998a)。这些“整体”“大容量”数据所表征的地理问题，在人文、经济、城市地理学的相关研究中，包括：城市中金融、交易所之间以电话为载体的信息流，在城市内核、边缘区通勤职工起讫点之间人流等的预测；跨国大区域人口普查、人口预测、人口规划问题；城市内部作为城市基础的生命单元的家庭和社区的类型、结构、功能、组织等的重构；城市信息产业、信息经济发展机制、革新等的模拟；城市不同时间、空间尺度上的形态演变动力学等。诸如此类问题都是地理计算学研究的课题。高性能计算所依赖的计算方法与理论模型，除继续应用20世纪80年代中叶以来在地理学模型研究中成功引入的突变、自组织、混沌、分支、分形等模型外，在地理计算学中占重要地位的是神经网络(neural network)、遗传算法(genetic programming)、元胞自动机(cellar automata)、模式参数随机取样(random sampling of model parameter)、模糊逻辑(fuzzy logic)、地理加权回归(geographically weighted regression)等。奥彭肖所领导的地理计算中心成功地利用了爱丁堡大学拥有512个处理器的超级并行计算机Cray T3D，利用人工神经网络模型、遗传算法模型和模糊逻辑模型研究空间相互作用这一地理学的固有命题，针对英国达勒姆市通勤职工流动情况，实施了高性能计算模拟(Openshaw, 1998b)；费希尔等(Fischer and Gopal, 1993, 1994)利用神经网络模型对奥地利通信网络的研究；巴蒂(Batty等, 1997)利用元胞自动机理论模型和专用软件对城市和城市系统形态生成、演变的模拟等都是近年来地理计算学理论与应用研究具有开创性意义的成果。可以说，地理计算的发展，已经对现代地理科学理论和方法产生了深远的影响。

三、现代地理数学方法在中国的发展

由于历史的原因，中国未能赶上计量运动的黄金时代，但是“计量运动”对中国地理学的发展也有一定的影响。早在20世纪50年代末期，中国地理学界就有人开始学习数学方法在地理学中的应用，在一些高校地理系开始开设运筹学课程，在《地理学报》等刊物上开始出现运用有关数学方法研究地理问题的论文。但是，由于受左倾路线和“十年动乱”的干扰，该方面研究被迫中断。地理数学方法在中国的正式起步是从20世纪70年代末、80年代初才开始。1980年5月，教育部在杭州召开理科地理教材编审委员会会议，在老一代地理学家的支持下，“计量地理学”被列为全国综合大学地理系和高等师范院校地理系的专业课。随后，南京大学率先举办了“计量地理研讨班”，全国一些著名高校，譬如南京大学、北京大学、兰州大学、华东师范大学、东北师范大学等，率先开设了这门课程。中国地理学会也因势利导，于1983年在南宁召开数量地理研讨会，并决定在学会下设立数量地理专业组，由北京大学杨吾扬教授出任组长。1984年和1985年，由高等教育出版社分别正式出版了两本统编教材，一本为南京大学林炳耀教授编著的《计量地理学概论》，另一本为华东师范大学张超教授和东北师范大学杨秉庚教授合作编著的《计量地理学基础》。

数学方法在中国地理学中的应用虽然起步较晚，但起点高，一开始就进入多元统计分析阶段，

而且线性规划、目标规划、网络分析、随机决策、模糊数学等方法也得到了广泛的应用,这些方法在高校教材、讲义以及研究专著、论文中都屡见不鲜(张超,1984;林炳耀,1985;中国地理学会数量地理专业组,1988)。

到了20世纪80年代后期,我国地理数学方法已经与系统科学、系统分析方法以及GIS技术有机地结合起来了(徐建华,1991,1994,2002,2010;张超和沈建法,1993)。以系统论、控制论、信息论为代表的“老三论”,以突变论、耗散结构、协同学为代表的“新三论”,以灰色系统、系统动力学等方法为代表的系统建模和仿真技术,以及一些非线性分析方法,包括分形理论、小波分析、神经网络方法等都引起了中国地理学家们的高度重视(艾南山,1993),它们被广泛地应用于中国地理学研究的各个领域。在GIS技术支持下,中国地理学家广泛地开展地理模型系统(倪建华等,1991;秦耀辰,1994)与空间决策支持系统(阎守邕等,1996;徐建华,1999a,1999b)研究。20世纪90年代,中国地理学开始朝着地理计算学这一新兴的研究方向发展(刘妙龙,2000)。

20世纪90年代后期以来,元胞自动机、智能计算、基于Agent的建模方法等,被中国地理学家广泛应用(周成虎等,1999;黎夏等,2007,2010)。值得一提的是,中国科学院岳天祥研究员创建的高精度曲面建模方法(HASM),被国际《生态学大百科全书》收录,并被命名为YUE-HASM方法(Yue等,2011)。他提出的多重格网法(HASM-MG)和自适应法(HASM-AM)不但提高了建模计算精度,而且提高了速度和效率(Yue等,2010)。

四、对现代地理数学方法的评价

早在1963年,鲍顿(Burton I)就用“计量革命”一词,对自20世纪50年代末期开始的以数学方法在地理学中的应用为内涵的计量运动作了形容,并认为这以后将不再是革命了,因为数学方法已经成为现代地理学的主要方法之一。不过,这种认识,并未完全统一,因为数学方法的引入,一方面推动了传统地理学研究方法的变革,促进了地理学的科学化、现代化;另一方面,却产生了重数量分析,轻区域、生态、机制分析等问题。由此产生了一场波及整个地理学界的大辩论,以至到了20世纪70年代后期,还有人提出要重新评价计量运动,重新认识地理学中的数学方法。甚至目前,还有人对于地理学中的数学方法持排斥和拒绝态度。

笔者认为,正确认识与客观评价现代地理学中数学方法,不仅对于地理数学方法本身,而且对于整个地理科学的健康发展都有着十分重要的意义。笔者的看法是:

(1) 世界上的大多数事物都可以用数值来度量。在地理学研究中,很多地理要素,例如,区域的规模、城市的位置、道路的长短、气温的高低、雨量的多少、山高水深、人口增减、物产丰歉等,均可用数量来表示。对很多地理要素的分布及其间的相互关系,均可以用数学方法进行定量分析与研究。运用数学方法研究地理现象,可以做出确定性解释和精确预测与判断。在现代地理学研究中运用数学方法,有着传统方法无法比拟的优点。

(2) 在现代地理学中,传统方法与数学方法之间并没有不可逾越的鸿沟,传统方法是数学方法的基础,数学方法是传统方法的重要补充。传统方法与数学方法的区别在于:传统方法研究地理问题的程序为:考察、收集资料→根据已有的概念体系条理化→归纳、概括→建立理论法则;而数学方法研究地理问题的程序为:观察实践→先期模式→提出假设→对资料进行筛选→建立模式→反复检验→建立理论和法则。传统方法所采用的推理方式以综合归纳为主。而数学方法所采用的推理方式以理论演绎为主,传统方法与数学方法的有机结合,是地理学研究必不可少的条件。这两种方法在现代地理学中的作用不可相互替代。