

**研究生教学用书**

教育部研究生工作办公室推荐

# 现代地理学中的数学方法

Mathematical Methods in  
Contemporary Geography

(第二版)

徐建华

高等教育出版社

## 内容提要

本书是国务院学位委员会学科评议组审定通过的研究生教学用书。

本书介绍和讨论现代地理学中的数学方法及其应用问题,主要内容包括绪论、地理数据及其采集与处理、统计分析方法、线性规划方法、多目标规划方法、投入产出分析方法、随机型决策方法、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、分形理论及其应用、小波分析方法、人工神经网络方法等,共 16 章。书中每章后面都附有思考与练习题及参考文献。书中前 9 章也可以作为高年级本科生教材内容。本书对于地理、生态、环境、人口、区域经济等领域的科研工作者也有一定的参考价值。

## 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. —2 版.  
北京:高等教育出版社,2002.9  
地理学专业研究生教材  
ISBN 7-04-011240-X

I. 现... II. 徐... III. 数学方法-应用-地理学  
- 研究生-教材 IV. K90

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 045419 号

现代地理学中的数学方法(第二版)

徐建华

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	010-64014048		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	中国青年出版社印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	1996 年 5 月第 1 版
印 张	29.25		2002 年 10 月第 2 版
字 数	500 000	印 次	2002 年 10 月第 1 次印刷
插 页	1	定 价	40.30 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**

# 前 言

本书第一版于1994年成稿,1996年出版,在我国学术和教育界得到了广泛的应用,特别是,被国内许多科研单位和高等院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计算地理学(Geocomputation)发展,特别是20世纪90年代中期以来,计算地理学在英、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,亟须要对它补充和修订。

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,新增加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,还增补了思考与练习题。

本修订版,既可以供地理学、生态学、环境学、人口学、区域经济学等领域的科研工作者参考,也可以供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§3.8和10~16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1~9章作为重点学习内容,将10~16章作为参考内容。

感谢各位通讯评审专家及国务院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地理室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。

本书也是国家理科基础研究与教学人才培养基地——华东师范大学地理学专业点资助的教材建设成果之一。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,一并致谢。

徐建华

2002年5月于上海

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	(1)
§ 1.1 现代地理学中数学方法的形成和发展 .....	(2)
§ 1.2 现代地理学中数学方法的主要内容 .....	(8)
§ 1.3 对现代地理学中数学方法的评价 .....	(10)
§ 1.4 现代地理学中数学方法的应用 .....	(12)
思考与练习题 .....	(16)
参考文献 .....	(17)
<b>第 2 章 地理数据及其采集与处理</b> .....	(19)
§ 2.1 地理数据的类型 .....	(19)
§ 2.2 地理数据的基本特征 .....	(22)
§ 2.3 地理数据的采集与处理 .....	(25)
§ 2.4 地理数据的统计处理 .....	(27)
思考与练习题 .....	(35)
参考文献 .....	(36)
<b>第 3 章 统计分析方法</b> .....	(37)
§ 3.1 相关分析方法 .....	(37)
§ 3.2 回归分析方法 .....	(47)
§ 3.3 时间序列分析 .....	(60)
§ 3.4 系统聚类分析方法 .....	(69)
§ 3.5 主成分分析方法 .....	(84)
§ 3.6 马尔可夫预测方法 .....	(93)
§ 3.7 趋势面分析方法 .....	(98)
§ 3.8 地统计分析方法 .....	(105)
思考与练习题 .....	(121)
参考文献 .....	(125)
<b>第 4 章 线性规划方法</b> .....	(127)
§ 4.1 线性规划及其单纯形求解方法 .....	(127)
§ 4.2 线性规划的对偶理论 .....	(139)
§ 4.3 运输问题的求解方法:表上作业法 .....	(147)
思考与练习题 .....	(159)
参考文献 .....	(160)
<b>第 5 章 多目标规划方法</b> .....	(161)

	§ 5.1 多目标规划及其求解技术简介 .....	(161)
	§ 5.2 目标规划方法 .....	(164)
	§ 5.3 多目标规划应用实例 .....	(170)
	思考与练习题 .....	(179)
	参考文献 .....	(180)
<b>第 6 章</b>	<b>投入产出分析方法</b> .....	(181)
	§ 6.1 投入产出模型 .....	(181)
	§ 6.2 区域经济活动的投入产出模型 .....	(186)
	§ 6.3 资源利用与环境保护的投入产出分析 .....	(194)
	思考与练习题 .....	(202)
	参考文献 .....	(203)
<b>第 7 章</b>	<b>随机型决策方法</b> .....	(204)
	§ 7.1 随机型决策问题 .....	(204)
	§ 7.2 风险型决策方法 .....	(206)
	§ 7.3 非确定型决策方法 .....	(216)
	思考与练习题 .....	(222)
	参考文献 .....	(223)
<b>第 8 章</b>	<b>AHP 决策分析方法</b> .....	(224)
	§ 8.1 AHP 决策分析方法简介 .....	(224)
	§ 8.2 三个应用研究实例 .....	(230)
	思考与练习题 .....	(249)
	参考文献 .....	(249)
<b>第 9 章</b>	<b>网络分析方法</b> .....	(251)
	§ 9.1 地理网络的图论描述 .....	(251)
	§ 9.2 最短路径与选址问题 .....	(259)
	§ 9.3 最大流与最小费用流 .....	(265)
	思考与练习题 .....	(273)
	参考文献 .....	(274)
<b>第 10 章</b>	<b>控制论方法</b> .....	(275)
	§ 10.1 控制论概述 .....	(275)
	§ 10.2 地理系统动态的控制论描述 .....	(280)
	§ 10.3 最大值原理及其应用 .....	(289)
	§ 10.4 大系统理论及其应用 .....	(294)
	思考与练习题 .....	(303)
	参考文献 .....	(304)
<b>第 11 章</b>	<b>模糊数学方法</b> .....	(305)
	§ 11.1 模糊数学基本知识简介 .....	(305)
	§ 11.2 模糊聚类分析方法 .....	(311)

	§ 11.3 模糊综合评判方法及其应用 .....	(319)
	§ 11.4 农业生态气候适宜度模型 .....	(330)
	思考与练习题 .....	(336)
	参考文献 .....	(336)
<b>第 12 章</b>	<b>灰色系统方法 .....</b>	<b>(338)</b>
	§ 12.1 灰色关联分析方法 .....	(338)
	§ 12.2 灰色预测方法 .....	(342)
	§ 12.3 灰色线性规划方法 .....	(347)
	§ 12.4 灰色局势决策方法 .....	(353)
	§ 12.5 灰色去余控制理论及其应用 .....	(359)
	思考与练习题 .....	(368)
	参考文献 .....	(369)
<b>第 13 章</b>	<b>系统动力学方法 .....</b>	<b>(370)</b>
	§ 13.1 系统动力学基本原理与方法简介 .....	(370)
	§ 13.2 两个应用研究实例 .....	(378)
	思考与练习题 .....	(390)
	参考文献 .....	(390)
<b>第 14 章</b>	<b>分形理论及其应用 .....</b>	<b>(392)</b>
	§ 14.1 分形理论简介 .....	(392)
	§ 14.2 应用实例之一:甘肃城镇体系的分形研究 .....	(401)
	§ 14.3 应用实例之二:沙漠化的分形研究 .....	(408)
	§ 14.4 应用实例之三:R/S分析法在城市气候研究中的应用 ..	(414)
	思考与练习题 .....	(417)
	参考文献 .....	(417)
<b>第 15 章</b>	<b>小波分析方法 .....</b>	<b>(419)</b>
	§ 15.1 小波分析简介 .....	(419)
	§ 15.2 两个应用研究实例 .....	(426)
	思考与练习题 .....	(434)
	参考文献 .....	(435)
<b>第 16 章</b>	<b>人工神经网络方法 .....</b>	<b>(436)</b>
	§ 16.1 人工神经网络简介 .....	(436)
	§ 16.2 应用实例之一:城市水环境调控预测模型 .....	(443)
	§ 16.3 应用实例之二:长江三角洲地区城市体系的职能分类 .....	(448)
	思考与练习题 .....	(456)
	参考文献 .....	(456)

# 第 1 章 绪 论

地理学是一门古老的学科。早在中国战国前后、古希腊、古罗马时代就开始萌芽,至今已有 2 000 多年的发展历史。综观地理学的发展史,可划分为三个基本阶段: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,是现代科学技术社会,即信息社会的产物,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 Geometry,与地理学(Geography)、地貌学(Geomorphology)、地植物学(Geobotany)、地生态学(Geoecology)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,经济学中的区位论被移植到地理学中,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。这些事实充分说明,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,运用数学方法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,运用数学方法,又只是局限于对地理现象的解释性描述。而在现代地理学中运用数学方法,则是为了更进一步深入地进行量化研究,以揭示地理现象发生、发展的内在机制及运动规律,从而为地理系统的预测及优化调控提供科学依据。现代地理学中的数学方法的出现,反映了地理学朝着量化方向发展的新趋势。这种新趋势就是在地理学研究中,以定量的精确判断来补充定性的文字描述的不足;以抽象的、反映本质的数学模型去刻画具体的、庞杂的各种地理现象;以对过程的模拟和预

测来代替对现状的分析和说明;以合理的趋势推导和反馈机制分析代替简单的因果<sup>1)</sup>关系分析;以最新的定量化技术革新地理学的传统研究方法。

作为本书的绪论,本章将结合现代地理学发展史上的计量运动,介绍现代地理学中数学方法的产生、形成,以及国际、国内发展情况,并对它的内容、评价和应用问题做一些讨论。希望通过本章的介绍和讨论,能够使读者对现代地理学中数学方法的来龙去脉、主要内容、发展趋势以及应用有一个概括性的认识。

## § 1.1 现代地理学中数学方法的形成和发展

现代地理学中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。今天所谓的现代地理学中的数学方法,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。

### 1. 现代地理学发展史上的计量运动

近代地理学的发展,曾形成了三种主要学派,即:①由赫特纳(A. Hettner)首倡,哈特向(R. Hartshorne)继承和发展了的区域学派;②由洪堡(Alexander Von Humboldt)和李特尔(Karl Ritter)创建,李希霍芬(F. Richthofen)继承和发展,拉采尔(Friedrich Ratzel)等代表“决定论”,白兰士(Paul Vidal de la Blache)和白吕纳(J. Brunhes)等代表“或然论”的人地关系学派;③由施吕特尔(O. Schluter)提出,帕萨格(S. Passarge)、苏尔(C. O. Sauer)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(E. de Martonne)、惠特利西(D. S. Whittlesey)、詹姆斯(P. E. James)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(F K Schaefer),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定量化研究,建立定量模式。这种定量化研究之热潮,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。其中主要有如下三种学派:

① 衣阿华的经济派。该学派的主要代表人物是舍费尔和麦卡尔蒂(H Mc Carty)。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。舍氏深受杜能(J H von Thunen)、廖什(A Losch)、克里斯塔勒(W Christaller)及胡佛(E Hoover)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。麦卡尔蒂于1954年出版了《对经济地理理论的探讨》一书,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,而只须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。早在1943年,该校地理系研究生威弗尔(J. Weaver)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(A. H Robinson)领导一个研究小组,继续发展统计分析方法。1961年,该校的社会学家东坎(O D. Dun-

can)和仇佐里(R. P. Cuzzori)完成了巨著《统计地理学》。该学派以发展和应用统计分析方法为其主要特征。

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(J. Q. Stewart)。1950年,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。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,发表了题为《与人口和均衡有关的经验数学法则》的论文。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(William L. Garrison)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,从推广中心地方论、交通网络论、统计方法等开始,培养了贝里(B. J. L. Berry)、帮吉(W. Bunge)、戴西(M. F. Dacey)、盖提斯(A. Getis)、马尔布(D. F. Marble)、毛里尔(R. L. Morrill)、奈斯丘恩(J. D. Nystuen)、托布勒(W. R. Tobler)等现代地理学名家。

促进计量运动的还有美国区域科学协会和瑞典地理学量化研究的影响。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(Walter Isard)。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(Torsten Hägerstrand)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塔勒会面,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(R. J. Chorley)、哈格特(P. Haggett)和哈威(D. Harvey)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》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。

## 2. 现代地理学中的数学方法的发展阶段

现代地理学中的数学方法,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,现代地理学中的数学方法已经历了四个发展阶段。

第一阶段,大致从20世纪50年代末到60年代末期,是现代地理学中的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地描述地理学带来了可喜的变化。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(L. J. King)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年代末期的十年时间,属中期阶段。该阶段的特征是多元统计分析方法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、经济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,是现代地理学中的数学方法走向更加成熟和更加完善的阶段,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,而且也包括了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学中的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, GIS)技术的成熟,为数学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,由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S·奥彭肖(S. Openshaw)教授的定义和划分,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、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(Geocomputational Geography)时代。1994年,在里兹大学正式建立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,已先后三次举行了全球地理计算学学术年会,出版了论文专集。作为数量地理学的深层次发展,地理计算学的出现与发展,对整个地理学科,尤其是对人文、经济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新方法的实现,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”资料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(A S Fotheringham,1995)。这些“整体”、“大容量”资料所表征的地理问题,在人文、经济、城市地理学的相关研究中,有诸如城市中金融、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;有如跨国大区域人口普查、人口预测、人口规划问题;有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;有城市信息产业、信息经济发展机制、革新等的模拟;有城市不同时间、空间尺度上的形态演变动力学等。它们都是城市地理研究课题的深入与发展。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)、遗传算法模型(genetic programming)、细胞自动模型(cellar automata)、模式参数随机取样模型(random sampling of model parameter)、模糊逻辑模型(fuzzy logic)、改进了的地理加权回归(geographically weighted regression)等。S·奥彭肖教授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,对英国达勒姆市(Darham)通勤职工流动大容量资料实施高性能运算;IGU 数学模型专业委员会主席 M·费希尔(Fischer)教授利用神经网络模型对奥地利通讯网络的研究;英国 M·巴蒂教授利用细胞自动机理论模型和专用软件对城市与城市系统形态生成、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。可以预期,地理计算学的发展,将对地理科学的理论和模型研究产生深远影响。

今天,Geocomputation 尽管对大部分地理学家来说还颇为陌生,但正如 Geomatics 在经过诸多科学家相当长一段时间的努力后已为大地学工作者所接受那样,地理计算学这一源于数量地理学的新方法和理论,亦必将成为地理科学前沿研究领域的重要组成部分而为地理学家们所认同。

### 3. 现代地理学的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,在一些大学地

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。中国计量地理学的正式起步是从 20 世纪 70 年代末 80 年代初才开始。1980 年 5 月,国家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任组长。1984 年和 1985 年,由高等教育出版社分别出版了两本通编教材,一本为南京大学林炳耀教授编著的《计量地理学概论》,另一本为华东师大张超教授和东北师大杨秉庚教授合编的《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 年代后期以来,中国地理学方法的应用已经与系统科学、系统分析方法以及 GIS 技术有机地结合起来了(徐建华,1991;张超,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应用地理模型系统(孙九林等,1991;秦耀辰,1994)与空间决策支持系统(阎守邕等,1996;徐建华,1999a,b)研究。目前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)。

经过 20 年的发展,地理学方法在中国取得了十分丰富的研究成果,据不完全统计,仅《地理学报》发表的运用有关数学方法研究有关地理问题的论文就多达数百篇(刘昌明等,2000)。

## § 1.2 现代地理学中数学方法的主要内容

经过 40 多年的发展,现代地理学中的数学方法不断完善、不断成熟。

目前,现代地理学中的数学方法的内容,已经涉及到数学及其相关学科各个领域。它不但继承了现代地理学发展史上计量运动的成果,而且还吸收了 40 多年以来数学、系统理论、系统分析方法、计算机科学、现代计算理论及计算方法等领域内的有关成果,其内容是十分丰富而广泛的。

笔者在总结国内外有关研究成果与方法的基础上,并结合自己的研究与理解,给出了现代地理学中的数学方法的内容体系(表 1.2.1)。

表 1.2.1 现代地理学中的数学方法的内容体系

数学方法	用途
概率论	用于地理现象、地理要素的随机分布研究
抽样调查	用于地理数据的采集和整理。
相关分析	分析地理要素之间的相关关系。
回归分析	用于拟合地理要素之间具体的数量关系、预测发展趋势。
方差分析	研究地理数据分布的离散程度。
时间序列分析	用于地理过程时间序列的预测与控制研究
主成分分析	用于地理数据的降维处理及地理要素的因素分析与综合评价研究。
聚类分析	用于各种地理要素分类、各种地理区域划分
判别分析	用于判别地理要素、地理单元的类型归属
趋势面分析	用于拟合地理要素的空间分布形态。
协方差与变异函数	用于研究地理要素的空间相关性及空间分布的数量规律
克立格法	用于地理要素分布的空间局部估计与局部插值。
马尔可夫过程	用于研究随机地理过程、预测随机地理事件。
线性规划	用于研究有关规划与决策问题。
投入产出分析	用于产业部门联系分析、劳动地域构成分析、区域相互作用分析
多目标规划	用于研究有关规划与决策问题。
非线性规划	用于研究有关规划与决策问题。
动态规划	用于有关多阶段地理决策问题的求解。
网络分析	用于交通网络、通讯网络、河流水系等地理网络的研究
层次分析法	用于有关多层次、多要素战略决策问题的分析。
风险型决策分析法	用于各种风险型地理决策问题的分析。
非确定型决策分析法	用于各种非确定型地理决策问题的分析。
模糊数学方法	用于各种模糊地理现象、地理过程、地理决策和系统评价研究
控制论	用于地理过程、地理系统的调控研究。
信息论	用于各种地理信息的分析、处理。
突变论	用于有关突发性地理现象、地理事件的研究
耗散结构理论	用于有关地理系统、地理过程的组织与演化问题研究
协同学	用于有关地理系统、地理过程的自组织问题研究。
灰色系统方法	用于灰色地理系统的分析、建模、控制与决策研究。
系统动力学方法	用于对地理系统的仿真、模拟和预测。
分形理论	用于有关地理实体的形态及要素分布形态的自相似机理研究
小波分析	用于多层次、多尺度、多分辨率的地理时空过程的时频分析。
人工神经网络	用于有关地理模式的识别、地理过程机制的自学习与预测等
遗传算法	用于复杂的非线性地理问题的计算。
细胞自动机	用于有关地理过程的计算机模拟

这里需要说明的是,现代地理学中的数学方法所包含的内容十分广泛,由于笔者知识面的局限,表 1.2.1 所列举的内容还不是很全面,可能挂一漏万,欢迎广大读者批评、指正,并进行补充、完善。另外,由于受篇幅的限制,本书只能对表 1.2.1 中所列举的主要内容做一些概括和引导性的介绍,对于本书未涉及到的其他内容,如果读者有兴趣的话,可以参考和阅读其他有关文献。

### § 1.3 对现代地理学中数学方法的评价

早在 1963 年,鲍顿(I. Burton)就用了“计量革命”这一词语,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加以形容,并认为从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,这在地理学界并未完全达成共识,因为现代地理学中的数学方法的引入,一方面,推动了传统地理学研究方法的变革;另一方面,却产生了重数量分析,轻区域、生态研究等问题。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。有人认为,数学方法只能用来研究地理要素之间的数量关系及地理事物的分布形态,而不能揭示复杂的地理现象形成的机制。又有人认为,地理学的量化,其实质就是地理学的科学化、现代化。

随着计量运动的发展,对于现代地理学中的数学方法,产生了三种观点。第一种是逆计量运动之潮流,反对地理学量化的观点,认为地理现象,尤其是人文、社会经济地理现象十分复杂,不能用简单的数学方法来解释。持这种观点的地理学者,对数学方法采取拒绝和否定态度。如英国地理学家史密斯(David Smith)和奥格登(Philip Ogden),他们曾这样评价计量革命:“这种所谓的革命,实际上是很保守的,因为它把‘空间’作为地理学研究的基础和实质的化身,同时却忽视了一些社会、经济结构的变化,因而成了故弄玄虚,并把现象当作本质”。有人还把计量运动说成是“数学癖的十年”。甚至还有人大声疾呼:地理学有可能陷入“数学决定论”的危险。

第二种是与前一种针锋相对,推崇地理学量化的观点,认为数学方法不仅是一种分析技术,而且能够导出普遍性规律,能够解决地理学传统研究方法所不能解决的理论问题。持这种观点的有德国地理学家克里斯塔勒、美国地理学家帮吉、英国地理学家乔莱、哈格特等。代表性著作有帮吉的《理论地理学》(1962)、哈格特的《人文地理学的区位分析》(1965)、