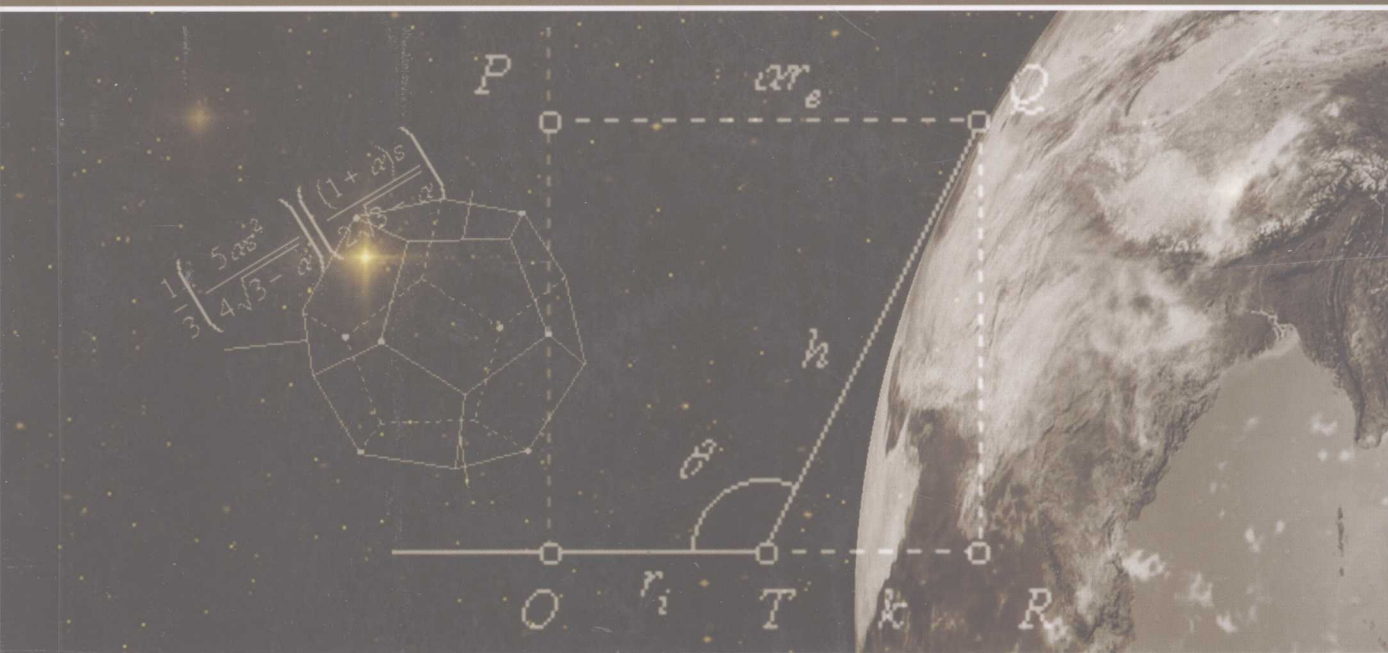


地理学数学方法



刘贤赵 张安定 李嘉竹 主编

Mathematical Methods
in Geography



科学出版社
www.sciencep.com

地理学数学方法

Mathematical Methods in Geography

刘贤赵 张安定 李嘉竹 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书集地理科学理论、数学方法和各种专业软件操作于一体,旨在培养和提高地理及相关专业学生与科研人员的数学应用能力,是一本具有较强可操作性的研究型教材,对丰富和发展数量地理学理论与方法具有较重要的意义。本书共六篇十六章,主要介绍了地理数据与预处理、常用数值计算、方差分析、回归分析、聚类分析、主成分分析、非线性回归模型、地理统计、地理空间信息方法、随机过程、时间序列分析、模糊数学方法、人工神经网络、灰色系统方法和集对分析方法等在地理学研究中常用的数学方法。

本书密切联系地理学实际需要,内容丰富,层次清楚,可作为地理、生态、环境、人口、区域经济、管理等相关学科本科生、研究生的教材,也可供这些专业的科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

地理学数学方法 / 刘贤赵,张安定,李嘉竹主编. —北京: 科学出版社,2009

ISBN 978 - 7 - 03 - 024944 - 9

I. 地… II. ①刘…②张…③李… III. 数理地理学—数学方法—高等学校—教材 IV. P91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 112699 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

上海出版印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2009 年 8 月第一次印刷 印张: 17 1/4

印数: 1—3 300 字数: 392 000

定价: 35.00 元

数学是科学的大门和钥匙。忽视数学必将伤害所有的知识,因为忽视数学的人是无法了解任何其他科学乃至世界上任何其他事物的。更为严重的是,忽视数学的人不能理解他自己这一疏忽,最终将导致无法寻求任何补救的措施。

——培根

数学是我们时代有势力的科学,它不声不响地扩大它所征服的领域;那种不用数学为自己服务的人将会发现数学被别人用来反对他自己。

——赫尔巴特

《地理学数学方法》编写人员

主 编: 刘贤赵 张安定 李嘉竹

副主编: 刘德林 孙海燕 潘英华

前言

进入 21 世纪以来,地理科学的发展面临着新的机遇和挑战,作为地理科学定量研究必备工具之一的地理学数学方法日益受到重视。传统意义上的计量地理学和现有的地理学数学方法已经不适应地理学计算化的世界潮流,主要表现在三个方面:① 从内容的全面性来看,现有的“地理学数学方法”方面的书籍不能完全涵盖现代地理学数学方法的最新内容,传统的数学方法如相关分析、回归分析、系统聚类分析、主成分分析、马尔可夫过程预测、模糊数学方法、灰色系统方法和系统动力学方法等只能与 20 世纪 60~80 年代的地理学内容相适应。② 从使用计算机的水平来看,现有的“地理学数学方法”教材仍停留在用计算机求解地理问题的简单计算,而没有将数学分析、现代计算理论、地理问题和数学模拟以及相关专业软件等结合起来,并且在把计算机作为基本分析工具、对“整体”和“大容量”资料所表征的地理问题实施高性能计算等方面显得无能为力。这与早在 20 世纪 50 年代中期兴起的计算地理学(Geo-computation)和“地理学要科学化就要将计算机作为基本分析工具,发展计算分析方法”的要求相悖。③ 从实用性和可操作性来看,传统的和现有的地理学数学方法过分强调各种数学方法的基础理论,缺乏相关的求解方法,对各种方法的实用性和具体的可操作性重视不够,而作为地理科技工作者或者相关专业的学生,更为关心的是如何以最省力的方法得到结果,以便从结果中发现某种地理规律。鉴于这些背景,本书从当前相关学科的国际研究前沿和发展动态着手,本着全面性、系统性、实用性和可操作性的原则,在吸收前人研究成果的基础上,广泛融合与地理学及其相关学科有关的数学方法的最新成果,并结合教学和科研实践,力求用“从定性到定量的综合集成方法”,从基础理论、应用实例和操作技术三个层次上编写这本书,从而丰富和发展数量地理学的基础理论,帮助读者解决在学习和科研工作中遇到的地理数学问题。

与当前国内出版的同类书籍相比,本书具有三个明显的特点:一是在内容上突出“新”和“全”,除吸收了传统的数学方法以外,本书还融合了近年地理科学及其他相关学科在数学方法方面的最新研究成果,增加了常用数值计算、方差分析、岭回归、主成分回归、偏最小二乘回归、非线性映射分析、数学模型模拟、地理空间信息方法、门限自回归和集对分析方法等数学方法,基本涵盖了现代与地理学相关的主要的数学方法。二是在结构体系上,各篇依照基础知识、地理多元问题、地理数学模型、地理空间问题和地理随机过程与时间序列以及地理模糊问题组织和取舍材料,形成一个较完整体系;各章节按照基础理论、计算方法、应用实例、技术操作组织内容,突出地理理论与方法论研究相结合。三是在写作上,本书理论联系实际,突出实用性和可操作性,书中的每一种数学方法均配有详细的应用实例和具体步骤,可借助专业软件或编写程序实现。

本书是集体劳动成果。在编写过程中参考或引用了许多学者的研究成果,也有相当一部分是作者在长期的教学实践和科学研究过程中积累的经验,笔者对这些学者们表示崇高的敬意和衷心的感谢。全书共分为六篇,主编承担本书编写大纲的拟定、内容体系的构建和最后定稿等工作。各章节具体的编写人员分别是:第一章至第八章、第十章和结语由鲁东大学刘贤赵教授编写,第十二章、第十三章由鲁东大学刘贤赵教授、孙海燕博士和中国科学院水土保持研究所刘德林博士编写,第九章、第十五章、第十六章由鲁东大学李嘉竹硕士编写,第十一章由鲁东大学张安定教授编写,第十四章由鲁东大学潘英华教授编写。书中所有图件均由刘贤赵教授、李嘉竹硕士清绘。

本书得到了鲁东大学自然地理学重点学科建设项目、山东省特色专业——地理科学专业建设项目的联合资助,特此致谢!由于时间仓促以及作者水平有限,书中肯定有许多不足和遗漏之处,敬请各位同仁谅解,并不吝赐教。

编者于鲁东大学

2008年10月

目 录

前 言

第一篇 基础知识篇

第一章 绪论	3
第一节 对地理学数学方法的认识	3
第二节 地理学数学方法的形成与发展	5
第三节 地理学数学方法的内容体系	8
参考文献	8
第二章 地理数据与预处理	10
第一节 地理数据的类型与基本特征	10
第二节 地理数据的来源与统计处理	11
参考文献	13
第三章 常用数值计算	14
第一节 矩阵及其计算	14
第二节 矩阵的逆	17
第三节 矩阵的特征值和特征向量	22
第四节 微积分数值计算	25
参考文献	28

第四章 方差分析	29
第一节 单因素方差分析	29
第二节 双因素方差分析	32
第三节 协方差分析	35
参考文献	39

第二篇 地理多元问题

第五章 回归分析	43
第一节 多元线性回归问题	43
第二节 逐步回归分析	52
第三节 趋势面分析	57
第四节 岭回归分析	61
第五节 主成分回归	65
第六节 偏最小二乘回归	69
参考文献	74
第六章 聚类分析	76
第一节 系统聚类分析	76
第二节 非线性映射分析	82
参考文献	86
第七章 主成分与主成分回归	87
第一节 主成分分析的基本原理	87
第二节 主成分分析的计算过程	88
参考文献	93

第三篇 地理数学模型

第八章 非线性回归模型	97
第一节 典型的非线性模型	97
第二节 非线性回归模型的求解	102
第三节 非线性回归模型研究实例	106

第四节 数学模型模拟	112
参考文献	113
第九章 神经网络模型	114
第一节 BP 神经网络模型	114
第二节 RBF 神经网络模型	121
参考文献	124

第四篇 地理空间问题

第十章 地理统计	127
第一节 空间自相关分析	127
第二节 实验半变异函数	129
第三节 变异函数理论模型	132
第四节 克立格插值与交叉验证	134
参考文献	138
第十一章 地理空间信息方法	139
第一节 空间数据的量算	139
第二节 空间数据的内插	141
第三节 数字高程模型及其应用	145
第四节 三维空间分析	155
参考文献	164

第五篇 地理随机过程与时间序列

第十二章 随机过程	167
第一节 马尔可夫分析	167
第二节 关联维数分析	178
参考文献	185
第十三章 时间序列分析	186
第一节 常用时间序列分析	186

第二节 最优气候均态模型	188
第三节 时间序列的小波分析	190
第四节 时间序列的 ARIMA 模型	202
第五节 多变量时间序列(VARMA)模型	212
第六节 门限自回归模型	215
参考文献	218

第六篇 地理模糊问题

第十四章 模糊数学方法	221
第一节 模糊聚类分析	221
第二节 模糊综合评判方法	228
第三节 模糊模式识别	234
第四节 模糊相似优先比方法	237
参考文献	240
第十五章 集对分析	241
第一节 基础理论	241
第二节 应用实例	247
参考文献	250
第十六章 灰色系统	251
第一节 灰色关联度分析	251
第二节 灰色 GM(1, 1)模型	253
第三节 灰色 GM(2, 1)模型	257
第四节 灰色 GM(1, N)模型	260
参考文献	263
第十七章 结语	264
参考文献	265

第一篇 基础知识篇

第一章

绪论

我国著名科学家钱学森教授提出的建立地理科学体系的号召,得到了全国地理学科科研与教育工作者的积极响应,并在中国地理学会的组织下召开了多次关于建立地理科学体系的研讨会。钱学森教授强调,地理科学是自然科学和社会科学的汇合,地理科学体系的建立和发展一定要从整体上考虑并解决问题,要应用“从定性到定量的综合集成方法”,并按系统论的观点,从基础理论、应用理论和应用技术三个层次上着手进行(钱学森,1989)。可见在地理学研究中,对地理系统进行定量分析是非常重要的,正如钱学森教授所指出的:“为了使地理科学研究定量化,有必要建立数量地理学,就是用数学方法,主要是系统工程、系统科学的方法来解决地理科学中的问题”(钱学森等,1990)。

第一节 对地理学数学方法的认识

一、地理学需要数学方法

古人云:“工欲善其事,必先利其器”,这个“器”就是指方法。研究方法正确与否,直接影响到科学研究的成败和科学技术的发展速度。科学发展史表明,重大自然科学贡献的产生,除了与当时的生产力和科学技术发展水平等条件有关外,也与科学家所运用的正确方法密不可分。譬如,伽利略之所以能发现落体定律和惯性定律,是与他正确地运用实验方法和数学方法密不可分的;爱因斯坦创立相对论,理想实验方法起了重要作用……天文学家拉普拉斯(1749~1827)曾说过:“认识一位天才的研究方法,对于科学的进步……并不比发现本身更少用处。科学研究的方法经常是极富兴趣的部分”。由此可以想到,如果我们用科学的方法(特别是数学方法)进行地理研究不仅可以节约大量的时间、人力和物力,而且还可以使研究结果逼近客观实际,从而有利于提高科学研究水平。从这个意义上讲,毫无疑问,地理学需要数学方法,尽管许多学者包括一些我们所谓的地理大家对此不以为然,但众所周知,一门学科要想从经验科学发展成为理论科学,首先必须成为一门实证科学,而数量化正是实证化的基本前提。放弃数学方法,就意味着放弃一门学科的理论化(Arora et al., 1994)。一门学科没有自己的理论,充其量只能成为一门寄人篱下的学科,其应用功能肯定非常有限。地理学特别是人文地理学的现状就是最好的佐证。

马克思早在一百多年以前就曾说过:“一门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。”“没有数学,我们无法看透哲学的深度;没有哲学,人们也无法看透数学的深度;而若没有两者,人们就什么也看不透。”

1985年,萨尔(G. Thrall)在《科学地理学:关于“科学地理学”会议的报告》中也曾经指出:“如果我们想与自然科学和社会科学领域的其他学科竞争,那么我们的教员和学生数学、统计学和计算机修养方面就必须具备坚实的基础。”这种判断今天看来仍旧具有重要意义。Rao曾强调:“一个国家的科学的进步可以用它消耗的数学来度量。”类似地可以认为:一门学科的发展程度可以用它对数学的应用水平进行度量(Fothering et al., 2000)。从这个意义上讲,地理学是一门典型的欠发达学科,因为我们消耗的数学知识实在有限。

地理学过去的发展之所以停留在经验水平和文字描述阶段,原因就在于地理学中很多要素没有用数值表达,没有形成解决问题的数学模式,因此地理学被讥为“长于事实而短于理论”的跛脚学科。正如一些研究者所指出的,大多数地学工作者潜心于实际事务的资料研究,对根本性原理却缺乏兴趣。这种经验实证主义,致使他们常常只能成为地学思想重大变革的“旁观者”,而不是置身于其中的“弄潮儿”。

随着新技术的逐渐应用、自然科学和社会科学的交叉以及研究领域的扩大,自然地理学从研究一般的空间分布,深入到对结构和机制的研究,并进行系统的地理预报、预测,这就更离不开数学方法。一些地理学家在20世纪50~60年代就应用数理统计方法来分析研究地理环境中的自然现象,通过数学方法探索地域规律,并建立各种模式以表达其理论。现在,各种数理统计方法、模糊数学、分形方法等已逐步应用于地理研究之中,使地理学跨入地理预测的新时代(Voss, 1988)。

二、对地理学中的数学方法的评价

现代地理学是一门研究地理环境及其与人类活动之间的相互关系的综合性、交叉性学科。数学方法不仅是现代地理学研究中理论演绎与逻辑推理的工具,而且也是定量分析、模拟运算、预测的重要手段。

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。观点之一是逆计量运动之潮流,反对地理学定量化研究,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的态度,其代表性的人物是英国地理学家史密斯(David Smith)和奥格登(Philip Ogden)。他们曾经这样评价计量革命:“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,同时却忽略了一些社会、经济结构的变化,因而成了故弄玄虚,并把现象当作本质。”观点之二是推崇地理学定量化,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地理问题。持这种观点的代表性学者是德国地理学家克里斯塔勒(W. Christaller)和美国地理学家邦吉(W. Bunge)等。此外,在芬兰、日本、加拿大、新西兰和前苏联等国家也出现了一批推崇地理学数学方法的地理学专家。第三种观点是一种介于“定量化”和“反定量化”中间的“非定量化”的观点。持该种观点的学者认为,数学方法只是地理学研究方法之

一,它只能用来研究地理要素之间的数量关系及地理事物的空间格局,但不能用来描述和解释地理规律,不能导出地理学理论。不过这种观点具有较大的摇摆性,当地理学定量研究取得较大进展时,它便宣扬数学方法,强调数学方法在地理学研究中的重要性;当地理学定量研究遇到困难、出现问题时,它便否定数学方法、贬低数学方法。持这种观点的学者,中国有,外国也有。

杨吾杨教授等认为,地理学中的数学方法不仅是人们进行数字运算和求解的工具,而且还能以严密的逻辑和简洁的形式描述复杂的问题,表达极为丰富的实质性思想,是与传统方法和现代方法(如被誉为“地理学第三代语言”的现代地理技术——地理信息系统,就是数学方法与计算机技术在现代地理学研究领域内相互结合、相互渗透的产物)的有机结合,是地理学研究现代化的必不可少的条件(杨吾杨,1996)。当然,在地理学研究中,数学方法与其他方法一样也有其局限性。表现在:对于某些地理问题,目前人们还不知道该用什么样的数学方法去处理;另外,人们还不清楚单纯地用数学方法去分析、研究地理问题,究竟可以达到什么样的深度。只有正确认识这些局限性,并不断寻求克服它们的途径与措施,才能使地理学中的数学方法逐渐得到发展和完善。

第二节 地理学数学方法的形成与发展

一、地理学研究中数学方法的形成

在地理学中运用数学方法始于20世纪50年代西方地理学界提出的“数量革命”。早在公元前,被称为西方“地理学之父”的埃拉托塞尼在他的著作《对地球大小的修正》、《地理理论著》中就应用了古代几何学的成就进行了地球周边、大小的推算,并对有人居住的地方做了定量描述,形成了古希腊的数学地理学(Einstain,1976),此后在地理学界逐渐形成了以希帕库斯为代表的数学地理学派。公元2世纪,马林、托勒密等对数学地理学的复兴与发展起到了非常重要的作用,但那时的数学地理学着重于空间确定、测定地点的位置和地图的测绘,同时由于还受数学自身发展水平的影响,因而采用的数学方法常局限于初等几何学、初等代数以及早期的统计学等。后来随着概率论与数理统计学的形成与发展,定量的地理学有了较大的发展,概率论与数理统计学和早期的统计学相比,在对事物本质的认识上已有了较大的飞跃。19世纪末美国的赫斯切尔等就将概率统计学中的频率曲线应用在水文地理学的研究中,20世纪初又形成了以数理统计学方法为主体的新学科——“生物计量学”。1926年挪威经济学家和统计学家弗瑞希仿照生物计量学提出了“经济计量学”,其研究方法仍以数理统计学方法为主体。德国地理学家克里斯塔勒吸取了经济学中古典区位论的成就,在其1933年出版的《德国南部的中心地方》一书中总结出了三角形聚落分布和六边形市场区的经济地域体系,从而创立了中心地点论的演化模式,揭开了人文地理学运用分析数学的序幕,因此近年来出版的书籍和词(辞)典把克里斯塔勒的中心地点论作为计量地理学的起源。

20世纪50年代后,在相邻学科快速发展的影响下,地理学研究中应用数学方法的思

想再次复兴,在西方地理学科中产生了以数理统计学方法为主体的“地理计量学”(Schaefer,1953),主要特点是从假设、统计量构造、检验到解释地理不同要素的分布特性,普遍运用概率分布函数、统计特征参数以及简单线性相关的回归分析,从而产生了地理学研究中的新手段和新思维。随后多元统计分析、电子计算机、现代系统理论等新学科的形成和发展,使许多数学方法和数值分析计算在地理学研究中的大规模应用成为可能,出现了地理研究中的“数量革命”。这种“数量革命”的巨大反响主要表现在人文地理学的研究中,同时由于使用的方法除了数理统计学外,还有许多其他数学方法,如随机模拟技术、拓扑学、运筹学、控制论等,因而出现了“数量地理学”(Spate,1960;Burton,1963)。

20 世纪 60 年代初,开始陆续出版在“数量地理学”方面有较大影响的书籍,1963 年英国发行了《地理学数量资料》杂志,1964 年在国际地理联合会(IGU)中设立了“地理学数量方法委员会”,1967 年英国地理学会设立了“地理教学采用模型和数量技术委员会”,1968 年日本成立了“计量地理学研究委员会”,1969 年美国发行了国际数量地理学刊物《地理分析》。

我国尽管在 20 世纪 50 年代末就开始学习数学方法在地理学中的应用,但正式起步却在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初。我国数量地理学的研究虽然起步较晚,但在最近十几年中的发展速度却非常快。

二、地理学数学方法的新发展

进入 20 世纪 90 年代以来,地理科学研究方法论的一个重要进展是数量地理学迅速向全新的地理计算学(Geocomputation,GC)发展(刘妙龙等,2000)。地理计算学的历史与计算机在科学研究中的引进和应用一样悠久,至少可以追溯到 20 世纪 50 年代末、60 年代初,其含义是综合应用计算方法和技术来“描述空间特征,解释地理现象,以及解决地理问题”。

从“Geocomputation”的构词来看,其由前缀“Geo”和主词“computation”组合而成,前者指地理计算要做什么,后者则指如何去做。但“Geo”是指“地理”、“地质”还是泛指“地学”,甚难作出定论,不过我们可从数量地理学 20 世纪 80 年代以来的几个重要事件中得到一些较为确切的启示。随着地理信息系统技术在地理学中应用的不断扩展,1983 年 Dobson 首次提出了“自动地理学”(Automated Geography),并将其定义为“描述空间性质,解释地理现象,求解地理问题的计算方法和计算技术的合理与成功应用”;90 年代初,在著名理论与数量地理学家威尔森(Wilson)教授领衔的英国里兹大学地理学院成立了全球第一个地理计算中心(The Center of Computational Geography),正式启用了“计算地理学”一词;1994 年,奥本萧(Openshaw)在应用人文地理学(Applied Human Geography)的基础上,提出了“计算人文地理学”(Computational Human Geography)的概念和研究议程;1996 年,里兹大学召开了第一次国际地理计算大会,并正式定名为“Geocomputation 96”,会议组织者将会议的宗旨和新词语应用定义为“利用不断发展中的高性能计算机和计算方法对各种求解地理问题的研究努力进行聚合”;1998 年,在“Geocomputation 98”的会议公告中,则作了进一步定义,“地理计算学代表了计算机科学、地理学、地理信息学

(Geomatics)、信息科学、数学和统计学的聚合和趋同”。由此看来,“Geocomputation”的前缀“Geo”更多的是地理的意义而不一定是泛指意义上的“地学”概念。

在科学意义上讲,“computation”这个词有两层意义。在广义上其泛指利用计算工具,因此任何类型的分析,无论是量化分析还是其他形式的分析,如果以计算机为工具,都可以被描述为“计算的”(computational),地理计算即这种凭借计算机工具对地理学问题进行定量或非定量分析的抽象概括和综合研究;从狭义上讲,计算指的是一组具体有序的“计数”(counting)、“计算”(calculating)、“估算”(reckoning)或“估计”(estimating)等所有产生量化分析结果的操作运算,是一种自建模至获取求解结果这一过程中模型运行的手段。因此,地理计算的内涵可定义为对地理学时间与空间问题所进行的基于计算机的量化分析。

地理计算包含了丰富的模型和方法体系,自 20 世纪 90 年代以来,一些原有的理论与数量地理学中的模型在地理系统研究中继续广为应用并不断被赋予新的内涵的同时,一些新的理论方法与模型,如神经网络模型(Neural Network)、遗传算法模型(Genetic Programming)、细胞自动机模型(Cellular automata)、模式参数随机抽样模型(Random Sampling of Model Parameters)、模糊逻辑模型(Fuzzy Logic)、改进的地理加权回归模型(Geographically Weighted Regression)等不断被引入地理计算并成为其核心(Fischer, 1998; Fortheringham, 1998);而地理研究的实践,更多的是充分利用 GIS、GPS 和 RS 技术,以向量或并行计算器为基础的超级计算机为工具,对“整体性”、“大容量”资料所表征的地理学问题实施高性能计算,探索并构筑新的地理学理论与应用模型。这些“整体性”、“大容量”资料所表征的地理问题,在人文、经济、社会、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问题,在城市内核、边缘区通勤职工起讫点之间人流等的预测,有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、社区的类型、结构、功能、组织等的重构问题,有城市信息产业、信息经济发展规律、机制、扩散等的模拟问题,有城市不同时间、空间尺度上的形态演变动力学等问题,均可概略地纳入“空间互作用”、“人口与人群”、“城市动力学”三大研究主题。

GC 被认为是继 GIS 之后地理学的又一次革命,它不仅取得了快速的发展和重要的成就,而且还诞生了一种新的国际性地理杂志《GeoComputation》。GC 是地理学、数学、计算科学、GIS 等诸多学科与技术交融的产物,其发展源流之一就是计量地理学——尽管一些倡导者对此似有忌讳,但毕竟参与 GC 发展运动的学者包括许多在计量地理学领域十分活跃的人物,如老牌计量地理学家哈格勒(P. Haggett),也包括十分活跃的学术人物,如奥本萧(S. Openshaw)。虽然目前来看 GC 显得很不成熟、也不稳定,但可以肯定这门学科的发展将会为地理学的研究和应用提供更为强大的数理分析工具。

目前,地理学正向整体地理学、元地理学发展,其研究的内容无论是自然地理的或是人文地理的,其研究的方法无论是定性的或是定量的,在高性能计算的时代,都将成为可能。可以肯定,地理计算理论、方法、模型、算法的不断完善,高性能计算和各种专业软件的发展与普及,地理学家们的广泛参与和实践,终将把地理科学推向一个新的水平。