



计算地理学

王铮 吴静 等著



科学出版社



自主创新,方法先行

计算地理学

王 铮 吴 静 等 著

科技部创新方法工作专项(2007FY140800)
国家自然科学基金青年科学基金项目(40901196)

联合资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了计算地理学所涉及的基本思想和计算方法。主要内容由以下四部分构成:第一部分主要针对地理数据的分析处理,介绍了数据挖掘、知识发现的常用方法及其原理;第二部分主要针对计算地理学中的空间运筹问题,介绍了可用于地理网络的空间运筹算法,并对设施区位问题进行了分类和模型算法实现;第三部分主要针对计算地理学中新兴的模拟计算方法,介绍了常用的数值和非数值计算算法、元胞自动机建模以及基于自主体模拟的原理和建模过程;第四部分就几种典型的地理计算平台的开发展开了讨论,并且针对地理计算中的高性能计算,介绍了地理计算中并行计算构架和算法实现以及网格环境下的地理计算模式。

本书既可作为地理学、区域科学等专业高年级本科生、研究生的计算地理学课程教材,也可作为计算地理学领域科研人员的实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算地理学/王铮等著. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-031603-5

I. ①计… II. ①王… III. ①地理学-计算 IV. ①K90

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 115058 号

责任编辑:杨帅英 朱海燕 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 6 月第一次印刷 印张:19

印数:1—3 000 字数:428 000

定价:59.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地理学思想与方法》丛书

总 序

“工欲善其事，必先利其器”。科学思想和方法就是科学研究的“器”，是推动科学技术创新的武器。科学技术发展历程中每一次重大突破，都肇始于新思想、新方法的创新及其应用。科学思想和科学方法上的创新意识和系统研究不足，已经制约着我国科技自主创新能力的提高。加强科学思维、科学方法和科学工具的研究和创新，是建立创新型国家的必然选择。因此，“推进学科体系、学术观点、科研方法创新”写入了党的“十七大”报告。

中华人民共和国科学技术部原拟从编制《科学方法大系》入手来贯彻和推进中央的这个精神，并拟先从《地球科学方法卷》开始，但后来的思路大为扩展。2007年5月29日《科技日报》发表地理学家刘燕华（时任科技部副部长）题为“大力开展创新方法工作，全面提升自主创新能力”的文章。2007年6月8日，我国著名科学家王大珩、叶笃正、刘东生联名向温家宝总理提出“关于加强创新方法工作的建议”。2007年7月3日，温总理就此意见批示：“三位老科学家提出的‘自主创新，方法先行’，创新方法是自主创新的根本之源，这一重要观点应高度重视”。遵照温总理的重要批示精神，中华人民共和国科学技术部、国家发展与改革委员会、教育部、中国科学技术协会于2007年10月向国务院呈报了“关于大力推进创新方法的报告”，中央有关领导人批转了这个报告。2008年4月，中华人民共和国科学技术部联合国家发展与改革委员会、教育部、中国科学技术协会发布了“关于加强创新方法工作的若干意见”（国科发财【2008】197号），明确了创新方法的指导思想、总体目标、工作任务、组织管理机构、保障措施。

“关于加强创新方法工作的若干意见”部署了一系列重点工作，并启动了“创新方法工作专项”。主要工作包括：加强科学思维培养，大力促进素质教育和创新精神培育；加强科学方法的研究、总结和应用；大力推进技术创新方法应用，切实增强企业创新能力；着力推进科学工具的自主创新，逐步摆脱我国科研受制于人的不利局面；推进创新方法宣传普及；积极开展国内外合作交流。其中“加强科学方法的研究、总结和应用”旨在“着力推动科学思维和科学理念的传承，大力开展科学方法的总结和应用，积极推动一批学科科学方法的研究”，这就是《科学方法大系》要做的事。

作为国家“创新方法专项”中首批启动的项目之一，我们承担了“地理学方法研究”重点项目。项目的总目标是“挖掘、梳理、凝练与集成古今中外地理学思想和方法之大成，促进地理学科技成果创新、科技教育创新、科技管理创新”。我们认为这是地理学创新的重要基础工作，也是提高地理学解决实际问题的能力，更好地满足国家需求的必要之举。我们组织了科研和教学第一线的老、中、青地理学者参与该项目研究。经过四年的努力，做了大量工作，取得了丰富的成果，包括发表了一系列研究论文、凝聚了一支研究团队、锻炼了一批人才、举办了多次研讨会和培训班、开发了一批软件、建立了项目网站等；而最主要的成果就是呈现在读者面前的这套《地理学思想与方法》丛书，包括专著、译著和教材三大系列。

《地理学思想与方法》丛书专著系列包括《地理学方法论》、《地理学：科学地位与社会功能》、《理论地理学》、《自然地理学研究方法》、《自然地理学研究范式》、《经济地理学思维》、《城市地理学思想与方法》、《地理信息科学方法论》、《计算地理学》等。

《地理学思想与方法》丛书教材系列包括《地理科学导论》、《普通地理学》、《自然地理学方法》、《经济地理学中的数量方法》、《人文地理学野外方法》、《地理信息科学理论、方法与技术》、《地理建模方法》、《高等人文地理学》等。

《地理学思想与方法》丛书译著系列包括《当代地理学方法》、《地理学生必读》、《分形城市》、《科学、哲学和自然地理学》、《地理学科学研究方法导论》、《自然地理学的当代意义：从现象到原因》、《经济地理学指南》、《当代经济地理学导论》、《经济地理学中的政治与实践》、《理解正在变化的星球——地理科学的战略方向》、《空间行为的地理学》、《人文地理学方法》、《文化地理学手册》、《地球空间科学与技术手册》、《计量地理学》等。

“地理学方法研究”项目的成果还包括一批已出版的著作，当时未来得及列入《地理学思想与方法》丛书，但标注了“科技部创新方法工作资助”。它们有：*Recent Progress of Geography in China: A Perspective in the 21st Century* (The Commercial Press, 2008)、《地理学思想经典解读》(商务印书馆, 2011)、《基于 Excel 的地理数据分析》(科学出版社, 2010)、《基于 Mathcad 的地理数据分析》(科学出版社, 2010)、《地理数学方法：基础和应用》(科学出版社, 2011)、《世界遗产视野中的历史街区——以绍兴古城历史街区为例》(中华书局, 2010)、《地理学评论(第一辑)：第四届人文地理学沙龙纪实》(商务印书馆, 2009)、《地理学评论(第二辑)：第五届人文地理学沙龙纪实》(商务印书馆, 2010)、《地理学评论(第三辑)：空间行为与规划》(商务印书馆, 2011)、《我国低碳经济发展框架与科学基础》(商务印书馆, 2010)等。

科学思想和科学方法的不断总结对于推动地理学发展起到不可小视的作用。所以此类工作在西方地理学中历来颇受重视，每隔一段时期(约 5~10 年)就会有总结思想和方法(或论述学科发展方向和战略)的研究成果问世。最近的一个例子是美国全国研究委员会 2010 年发布的《理解正在变化的星球——地理科学的战略方向》。中国地理学者历来重视引进此类著作，集中体现在商务印书馆出版的《当代地理科学译丛》和以前的一系列译著中(甚至可上溯到上个世纪 30 年代出版格拉夫的《地理哲学》)。但仅引进是不够的，我们需要自己的地理学思想和方法建设。有一批甘坐冷板凳的中国地理学者一直在思索此类问题，这套《地理学思想与方法》丛书实际上就是这批人多年研究成果的积累；不过以前没有条件总结和出版，这次得到“创新方法工作专项”的资助，才在短短四年之内如此喷薄而出。“创新方法工作专项”的设立功莫大焉。

学科思想和方法的建设是一个长期的工作，伴随学科本身自始至终，这套丛书的出版只是一个新起点。“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”。

蔡运龙

2010 年 12 月

自序

本书是科技部创新方法工作专项资助的地理学方法项目的成果,同时受到国家自然科学基金青年科学基金项目(40901196)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-09)的支持。它旨在对计算地理学做一个系统的归纳与探索。

一般来说,地理学有四大学科,自然地理学、人文地理学、地理信息科学和区域地理学。区域地理学属于知识性学科,也是人类最早认识的地理学内容,自然地理学、人文地理学和地理信息科学则是科学学科,都有自己的原理、方法、理论及技术。地理信息科学最早可以追溯到地图学。在传统的地理学中,地图主要作为分析工具。在最近的40年中,地理信息科学全面地继承了地图学,它不仅作为地理学与大众的知识接口,而且还作为地理学的工具改变着地理学。

到目前为止,地理信息科学分为三个分支,地图与地理信息系统、对地观测,另外一个就是计算地理学。计算地理学的意义在于为地理信息科学乃至整个地理学提供分析工具。

计算地理学的发展可以追溯到1960年代。1960年代地理学兴起了计量革命,计量革命为地理学带来了新工具也带来了新思维,但是由于当时数学工具基本上只能依靠数理统计,对地理问题的分析计算因为数据量大而往往陷入困境,计量革命最初的辉煌在1970年代末变得黯然失色。1970年代中期以来,遥感技术和GIS作为地理学的有效工具带来了地理学的大发展,然而分析方法的缺失使得遥感技术与GIS技术的应用越来越困难。在这种情况下,1990年代初,地理学家们提出需要把地理信息系统科学发展为地理信息科学。在这种需求下,1996年英国利兹大学Stan Openshaw等主导召开第一次地理计算学术会议,这次会议宣告了地理计算或计算地理学作为地理信息科学基础学科的诞生。此后的发展,可以说是如雨后春笋,各自方法纷纷涌现,它带来的科学思想,深刻影响地理学及相邻学科。计算地理学是信息时代地理学的标志。

今天计算地理学作为一门学科在中国已经蓬勃发展。在这种情况下出版一本计算地理学的专著显得越来越重要,幸运的是科技部创新方法研究专项把地理学方法创新作为一个重要项目,在刘燕华、蔡运龙二位教授的支持下,计算地理学的理论总结和专著写作被列入了资助范围,于是我得以组织《计算地理学》的写作。

当我们开始写作《计算地理学》时,我立即发现,作为一个正在蓬勃发展的学科,计算地理学体系不明确,国际上关于计算地理学的著作已经出了不少,可是内容也不尽相同,因此,如何组织计算地理学学科体系就成为了撰写本书的第一个关隘。在本书中,我按数据分析、空间运筹、模拟计算和高性能计算4个模块组织了内容。接着第二个关隘又出现,由于计算地理学的迅猛发展,几乎各个模块都可以写一本砖头厚的书。面对这个挑战,我不得不选择最为重要的内容并且以我熟悉的内容为主体,这样做的结果是未能反映许多作者最近的成果,非常遗憾。实际上写书是一项遗憾的工作,当你完成你的著作后,

你会发现你的书充满了各种遗憾。不过,无论如何,最后经过大家的努力,本书终得以完成。

由于计算地理学各分支的发展,本书各章节的内容的探索性是不同的。例如本书第8章数值计算,基本上是成熟的科学知识的介绍。本书初稿曾经有若干数值计算实例,但是考虑到篇幅太长不得不删除。接下来的第9章到第11章,则是新近发展的非数值计算方法,因此探索性内容越来越多。第12章到第14章,基本上是探索性内容,因此希望得到读者更多的关注。同样的结构问题出现在前面的章节中。

本书的各章作者如下:第1章,王铮、蔡砥;第2章,王铮;第3章,王丽娟、王铮;第4章,王铮、汪臻;第5章,韩伟一、王铮;第6章,萧小文、王铮;第7章,丛晓男、朱潜挺;第8章,刘昌新;第9章,吴静;第10章,吴静;第11章,吴静、王铮;第12章,王铮、吴静、刘扬;第13章,蔡砥;第14章,蔡砥、刘扬。王铮、吴静负责全书的统稿。写作中还使用了王铮指导的研究生邓悦、周嵬、陈建国、张颖、吴一平、姚梓璇学位论文中的一些材料,对他们的工作,在此特表谢意。

全书的索引由王铮、吴静、朱潜挺和丛晓男完成。

今天是10月10日,特将本书献给辛亥革命100周年。

王 铮

2010年10月10日星期日于北京中关村

目 录

总序	
自序	
第1章 概论	1
1.1 计算地理学的缘起	1
1.2 计算地理学的主要方法范式	5
1.2.1 地学数据挖掘	5
1.2.2 空间运筹	6
1.2.3 基于自主体的模拟	6
1.2.4 元胞自动机	7
1.2.5 数值模拟	7
1.2.6 本体论	7
1.3 计算地理学的建模原理	8
1.4 地理计算的计算复杂性问题	11
第2章 地理数据挖掘原理	14
2.1 地理学中的数据挖掘	14
2.1.1 数据分析与数据挖掘	14
2.1.2 数据挖掘的流程	15
2.2 数据挖掘方法	16
2.2.1 基本问题范畴	16
2.2.2 预测与逼近	16
2.2.3 知识发现	18
2.3 地理数据分析的特殊性	20
2.3.1 地理数据分析的问题特殊性	20
2.3.2 地理数据分析的数据性质特殊性	21
2.3.3 地理数据分析的数据类型特殊性	21
2.4 误差	22
第3章 常用数据处理方法	23
3.1 序列分析	23
3.1.1 平稳随机过程	24
3.1.2 自回归模型	25
3.1.3 滑动平均模型	26
3.1.4 自回归滑动平均法	27
3.1.5 指数平滑法	27

3.1.6 实例	28
3.2 插值	31
3.2.1 插值	31
3.2.2 拉格朗日插值和分段插值	31
3.2.3 三次样条插值	33
3.2.4 克里金估计	34
3.2.5 二维插值	36
3.3 拟合	37
3.3.1 线性拟合	37
3.3.2 曲线拟合	39
3.3.3 实例	40
3.3.4 曲面拟合	41
3.4 基于神经网络的预测模型	43
3.4.1 基于神经网络的预测模型的构建	43
3.4.2 实例	45
第4章 常用知识发现的方法	46
4.1 频谱分析	47
4.1.1 一维数据(信号)的傅里叶变换理论	47
4.1.2 二维数据的傅里叶变换理论	50
4.1.3 快速傅里叶变换	50
4.1.4 小波变换	53
4.1.5 滤波	54
4.2 空间关联分析	55
4.2.1 空间相邻矩阵	56
4.2.2 全局空间自相关检验	56
4.2.3 局部空间自相关检验	57
4.3 分类分析	60
4.3.1 贝叶斯分类	60
4.3.2 决策树分类	61
4.4 聚类分析	62
4.4.1 聚类分析的基本涵义	62
4.4.2 动态聚类讨论	63
4.4.3 递阶聚类讨论	64
4.4.4 聚类分析在 GIS 中的应用	68
4.5 突变分析	70
4.5.1 概率变点方法	70
4.5.2 Mann-Kendall 方法	73
4.5.3 理解突变	74

第 5 章 空间运筹基础与地理网络	76
5.1 地理网络分析与计算基础	76
5.1.1 网络分析中的基本元素及属性	76
5.1.2 图论中的基本概念	78
5.2 最短路径问题	80
5.2.1 单源点非负权最短路径问题	81
5.2.2 所有点间非负权最短路径问题	82
5.2.3 单源点负权最短路径问题	83
5.3 最小支撑树问题	85
5.4 流分析与计算	89
5.4.1 最大流问题	89
5.4.2 最小费用最大流问题	91
5.5 空间均衡分析: Tinbergen-Bos 系统	92
5.5.1 Tinbergen-Bos 系统的发展历程	92
5.5.2 Tinbergen-Bos 系统	93
5.5.3 Kuiper-Paelinck 模型	94
5.5.4 一般情形的 Kuiper-Paelinck 系统	96
第 6 章 设施区位问题与算法	100
6.1 基础设施区位问题	100
6.2 自由选址问题	101
6.2.1 空间无阻尼	102
6.2.2 空间有阻尼	102
6.2.3 自由选址模型的计算算法	103
6.3 布局问题	105
6.3.1 重心问题	106
6.3.2 中心问题	107
6.3.3 布局模型的算法	109
6.4 Voronoi 图与设施区位问题	112
6.4.1 Voronoi 图的定义	112
6.4.2 Voronoi 图的特性	113
6.4.3 Voronoi 模型与设施区位问题	114
6.4.4 Voronoi 图的生成算法	115
6.5 特殊设施区位问题与算法	115
6.5.1 邻避型设施区位理论	115
6.5.2 邻避型设施区位的实用模型	117
6.5.3 层次型设施区位问题	119
6.6 网络环境设施区位模型	120
6.6.1 网络重心模型的基本结构及计算实现	121

6.6.2	网络中心模型的基本结构及计算实现	123
6.6.3	网络空间的反重心模型	125
6.6.4	网络空间的反中心模型	125
第7章	计算复杂性	127
7.1	计算复杂性问题	127
7.1.1	问题与算法	127
7.1.2	计算模型	128
7.1.3	P 和 NP 问题	130
7.1.4	NP 完全问题	130
7.1.5	NP-Hard 问题	132
7.2	贪心算法	133
7.2.1	贪心算法的含义	133
7.2.2	贪心算法的基本要素	133
7.2.3	贪心算法的特点	134
7.3	回溯法	134
7.3.1	基本概念	134
7.3.2	回溯法的效益	138
7.4	蒙特卡罗算法	139
7.4.1	MC 方法的基本思想	139
7.4.2	MC 方法的应用	142
第8章	数值计算	145
8.1	数值优化	145
8.1.1	一维搜索——黄金比率法	145
8.1.2	梯度法(最速下降法)	147
8.1.3	有约束优化	148
8.2	常微分方程的数值方法	151
8.2.1	改进的欧拉公式	151
8.2.2	龙格-库塔方法(RK 方法)	153
8.3	偏微分方程的一般数值解法	154
8.3.1	差分方法	154
8.3.2	椭圆型方程第一边值问题的差分解法	155
8.3.3	抛物型方程的数值解法	156
8.3.4	双曲线型方程的数值解法	157
8.4	误差及稳定性	159
8.4.1	误差的来源与分类	160
8.4.2	数值计算的原则	160
8.4.3	数值计算中的病态问题与条件数	161
8.4.4	算法的数值稳定性	162

第9章 地理计算中的非数值方法	165
9.1 蚁群算法	165
9.1.1 蚁群算法原理	165
9.1.2 蚁群算法描述	166
9.1.3 蚁群算法实现与特性分析	168
9.2 遗传算法	169
9.2.1 遗传算法原理及基本概念	169
9.2.2 遗传算法描述	171
9.2.3 遗传算法实现与特性分析	172
9.3 模拟退火算法	173
9.3.1 模拟退火算法原理	173
9.3.2 模拟退火算法描述	174
9.3.3 模拟退火算法实现与特性分析	176
9.4 案例分析:在全球升温曲线研究中的应用	177
9.4.1 全球升温模式研究的背景	177
9.4.2 全球升温的驱动力分解	178
9.4.3 基于遗传算法的参数估计	179
第10章 元胞自动机方法	182
10.1 元胞自动机简介	182
10.1.1 元胞自动机的发展	182
10.1.2 元胞自动机的基本理论	184
10.2 元胞自动机的建模解析	185
10.2.1 元胞(Cell)	185
10.2.2 状态(State)	187
10.2.3 邻居(Neighbor)	187
10.2.4 规则(Rule)	189
10.3 地理计算中的元胞自动机建模	189
10.4 元胞自动机的地学案例分析——林火蔓延模拟	191
10.4.1 基于元胞自动机的林火模拟建模	191
10.4.2 系统开发及实现	193
10.5 元胞自动机建模软件简介	195
第11章 基于自主体模拟方法	196
11.1 地理学视角下的基于自主体模拟	196
11.1.1 基于自主体模拟	196
11.1.2 基于自主体模拟与地学复杂性	198
11.1.3 基于自主体模拟与元胞自动机的耦合	199
11.2 地理计算中基于自主体模拟建模解析	199
11.2.1 建模理论构架概述	199

11.2.2 地理环境自动机	200
11.2.3 个体自主体	201
11.2.4 组自主体	203
11.3 基于自主体模拟建模软件——GBASE 设计开发	205
11.3.1 地理环境自动机 Agent 类的设计	205
11.3.2 个体自主体 Agent 类的设计	207
11.3.3 组自主体 Agent 类的设计	210
11.3.4 三个核心类之间的联系	212
11.4 实例:长江三角洲的旅游圈	213
11.4.1 模型的地理假设	213
11.4.2 旅游者自主体的行为设计	214
11.4.3 旅游规则	215
11.4.4 应用	216
11.4.5 讨论	218
第 12 章 地理计算平台开发	220
12.1 平台开发的设计思想	220
12.1.1 平台需求分析	220
12.1.2 平台系统设计	224
12.2 地理规划平台	226
12.2.1 规划平台的需求分析	227
12.2.2 实例:上海滨海旅游业战略规划系统设计	227
12.3 地学模拟平台	232
12.3.1 地学模拟平台概述	232
12.3.2 实例:气候保护政策模拟系统	233
12.4 实验人文地理学平台	238
12.4.1 实验人文地理学的一般原理	238
12.4.2 实验设计与平台的功能需求	243
12.4.3 实验人文地理学平台设计	245
第 13 章 地理问题的高性能计算	251
13.1 并行计算系统的体系结构	252
13.1.1 大规模并行处理(MPP)	252
13.1.2 集群计算系统	254
13.2 并行算法设计	256
13.2.1 并行计算系统的软件环境	256
13.2.2 并行的粒度	256
13.3 高分辨率遥感影像分析	257
13.3.1 城市区域的提取算法	257
13.3.2 高性能计算系统	257

13.4 空间相互作用模型的并行计算·····	259
第14章 计算环境与计算模式 ·····	261
14.1 计算环境·····	261
14.1.1 分布式计算 ·····	262
14.1.2 网格计算 ·····	263
14.2 网格环境下的地理计算模式·····	266
14.2.1 主从计算模式 ·····	266
14.2.2 C/S计算模式 ·····	267
14.2.3 汇聚计算模式 ·····	268
14.2.4 点对点(Peer-to-Peer,P2P)计算模式 ·····	270
14.3 新方向·····	272
14.3.1 PSE ·····	272
14.3.2 网格 GIS、云计算与地理信息服务 ·····	273
参考文献 ·····	275
索引 ·····	286

第 1 章 概 论

计算地理学是地理学的新兴学科,这个学科正在获得越来越多的应用,同时计算地理学的理论问题也受到越来越多的关注。对计算地理学的一般理解是,计算地理学是地理学中应用计算科学解决地理问题的学科。与早年的计量地理学不同,计算地理学除了数据处理,还致力于研究数据建模、计算模拟模型、知识发现、算法和计算平台。就如数学物理方法和计算物理学之于物理学一样,计算地理学作为地理学的工具学科在发展。

1.1 计算地理学的缘起

随着地理学的进步,数学在地理学中的应用不断得到发展。1960 年代末到 1970 年代初,地理界兴起了计量革命(quantitative revolution),以 Haggett 和 Chorley 为代表。地理学家开始用计算机来解决以前无法解决的地理问题,并且力图用统计方法来解决地理问题。然而用统计学方法建立的地理模型仅仅是经验模型,而不是解释模型,不能完全从成因上定量地解释地理现象。

1970 年代,以 Wilson 为代表的地理学家发起了第二次地理计量革命,提倡用数学模型来解释地理现象,而且他给出了一个建模的实例,用热力学系统逼近地理系统得到了严格的空间相互作用模型。Wilson 的成功使系统分析在地理学中迅速发展。1980 年代, Wilson 陆续出版了用系统论方法分析地理问题的著作,例如他的 *Catastrophe theory and bifurcation: applications to urban and regional systems* (Wilson, 1981)。在国内,一本代表性的著作——张超、沈建法、俞立中的《地理系统工程》于 1993 年面世。1983 年起,钱学森先生连续写了多封信给中国地理学会,提倡地理学应用系统方法。然而人们很快就发现,系统论带来的是思想革命而非方法革命,因为地理问题的复杂性,地理学即使建立了模型也难以解析求解。其实这种建模的主流思想于 1970 年代开始兴起后,缓慢地发展着, Scheidegger(1970)的《理论地貌学》,牛文元(1992)《理论地理学》,王铮和丁金宏(1994)《理论地理学概论》表现出对这次以建模为中心的革命的响应。但这种响应仍然不能解决地理学有效利用数学工具的问题。这些著作也基本上变得曲高和寡而被束之高阁。许多学者认为,第二次计量革命失败了。

在第二次计量革命发展的同时,地理信息系统(Geographical Information System, GIS)发展起来。地图作为地理学分析的基本工具已经有数千年的历史,在信息技术发展的现代,地图的延伸成为了地理信息系统。地理信息系统是 1960 年代发展起来的一门计算技术。最初的地理信息系统,其最主要的作用是利用当时的计算机技术,提高空间数据的管理水平和处理水平。进入 1980 年代,由于计算机技术的发展,尤其是 PC 机的出现, GIS 快速发展,在许多领域得到了广泛的应用,诸如地形图制作、专题地图制图导航系统、铁路网络调度、矿产资源评价、环境评价与检测、土地和水资源调查、城市规划和管理。进

入 1990 年代,网络的快速发展又进一步推动了地理信息系统的发展,网络上的数据共享发布技术以及开放式 GIS 成为这一时期研究的热点。地理信息系统的这种应用,立即暴露出它的基本形态——电子地图的不足,GIS 缺少分析功能。虽然 GIS 出现在很大程度上增强了计算机的空间表达能力,但是 GIS 在某种程度上是地理学的一种倒退,因为它所提供的数据模型和分析方法从地理学意义来看并不丰富,不能满足地理分析的要求,“GIS 连那些最早引起计量革命的地理问题也不能解决”(Gahegan, 2002)。1990 年代开始,GIS 有了一定改善,地理信息数据也日趋丰富,要求建立复杂应用程序和模拟系统的需求越来越迫切,气候变化、人口增长和精确市场分析对地理分析的需求也越来越大。在这种情形下,地理信息系统的权威人士 Goodchild 提出了地理信息科学的概念(Goodchild, 1992)。他认为地理信息科学主要研究在应用计算机技术对地理信息进行处理、存储、提取以及管理和分析过程中所提出的一系列基本问题。“分析”一词使得地理信息系统学科的发展需要模型、需要理论。因此从 1980 年代开始,冷寂的以建模为中心的第二次计量革命余烬被发现蕴藏着巨大的热量。把建模方法与计算机技术结合成为了新的潮流。就在 Wilson 任职的英国利兹大学(Leeds University)Openshaw 提出一个新概念:地理计算(geocomputation),并出版了第一本专著 *Geocomputation: A Primer* (Openshaw, 1998)。其后地理计算方法论和思想的涌现使得地理计算被称为计算地理学(computational geography)。Openshaw 和 Abrahart(2000)指出,计算地理学是 GIS 的一种后继发展,当 GIS 的数据库建立起来并不断扩展时,计算地理学就开始起作用了,它是在科学研究范畴内,关于如何利用各种不同的地学数据以及如何开发相关的地学工具的。Longley 等(2005)认为,在许多重要方面,地理计算和地理信息科学是同义词,其他的许多相似词汇,如 Geomatics/Geoinformatics、空间信息科学、地理信息工程等,都意味着采用科学的方法来研究 GIS 和相关技术所带来的基本问题。

1996 年在利兹大学召开了地计算第一届年会,标志着计算地理学作为一个学科的开始。第一届大会的主要论题是:时空动力学、高性能计算机技术在地理学中的应用、互操作性(interoperability)与地理计算、智能自主体(intelligent agents)、神经网络与模糊计算(fuzzy computing)、空间理论与空间逻辑、推断(diagnostics)与模式挖掘(pattern detection)、真实环境与虚拟环境、交互可视化(interactive visualization)以及地理计算的应用。这些讨论定义了地理计算的基本外延。1998 年是计算地理学发展的一个里程碑。Couclelis(1998)根据操作数和运算的类型将计算地理学方法分为四类,即利用非空间运算来解决非空间问题(类型 4);用非空间运算来解决空间问题(类型 2);用空间运算来解决非空间问题(类型 3)和用空间运算来解决空间问题(类型 1)。1960 年代至 1970 年代的计量革命主要用非空间运算来解决空间问题。1980 年代至 1990 年代前期,GIS 技术从地图学中发展成独立分支,但主要还是为地图学应用服务,地图显示、标注属于用空间方法处理非空间数据,而遥感图像的增强、分类以及地图的多媒体显示属于用非空间运算处理空间数据。1990 年代后期兴起的神经网络算法也是非空间运算。目前用空间运算对空间数据进行处理的地计算是研究热点,这一类地理计算主要包括元胞自动机、形状文法、分形等。表 1.1 是略加修改的 Couclelis 分类。这个分类的意义在于,它为一般地理问题的计算方法确定了联系,同时他明确地把地理计算确定在方法学范围内,把地理计算就是

地理学中的计算机科学问题这种宽泛的定义重新作了界定,从而使得它与地理信息系统技术明确地区分开,形成计算地理学核心,共同构成地理信息科学的分支学科。

表 1.1 Couclelis 的地理计算的分类*

问题 \ 算法	空间	非空间
空间	类型 1:元胞自动机、形状文法、分形	类型 2:地图分类、神经网络、多媒体、图像增强
非空间	类型 3:地图标注	类型 4:传统地统计建模

* 根据 Couclelis(1998),有修改

在后来的发展中,Gahegan(2002)认为地计算中仍存在需要解决的问题是:将地理“领域知识”变成工具以提高性能和可信度;设计合适的地理算子(operators)来进行数据挖掘和知识发现;发展能够计算跨越时空尺度的鲁棒的聚类算法(clustering algorithms);针对目前软硬件还无法解决的复杂地理问题,提出可计算方法;将地理现象可视化,提供虚拟现实范式(paradigm)帮助人们探索、理解地理现象,交流地理知识。这就发展“地理计算”为计算地理学。Gahegan 的思想最重要的一点是突破了“空间”的约束,而强调了时空。空间是地理学的一个基本概念,但是这个概念优势却同时成为了学科的束缚。例如中国地理学的一个重要成果——竺可桢的“中国近 5000 年气候演化曲线”,研究的是一个时间过程,采用的是数据挖掘和知识发现的方法,按 Couclelis 的分类,竺可桢的研究永远只能排斥在地理学之外。在地理学中,存在大量的类似中国 5000 年气候变化序列这样的问题,因此针对一个区域的数据序列的分析一直是地理学研究的主题,用非空间算法研究非空间问题的方法,一般针对序列的知识发现方法,扩展了表 1.1 中类型 4 的内容。不仅如此,地理学要表达的不仅是地图,因此一些可视化方法扩展非空间算法表达空间问题的领域,即表 1.1 中类型 2 的内容。在国内,王铮、李山、刘扬(2002)出版了《城市与区域管理中的地计算》,探讨了地理计算的定义,并报道了他们对计算地理学的应用,明确地提出计算地理学是地理信息科学的方法学分支,以区别作为技术分支的地理信息系统。

21 世纪兴起的基于自主体的模拟方法,更深刻地影响了计算地理学。基于自主体模拟(Agent-based Simulation,ABS)被认为是针对复杂系统的科学分析方法,所谓复杂系统就是有多种类型个体,但是这些个体具有一定可识别性和自主行为,个体数量多但是不足以多到在宏观观察具有稳定的统计特征的系统。基于自主体模拟的核心是自主体(Agent)。自主体这个词最初来自于人工智能领域(Wooldridge and Jennings,1995),虽然之后被广泛应用于计算机科学、经济学、社会学、人类学、地理学、生物学等领域,它在性质上类似统计物理学的粒子,与粒子相比它不仅具有原则上可统计的特征而且具有感知和行为能力。基于他们在系统中的角色、技能以及所处的环境,自主体具有自主的能力。Wooldridge 和 Jennings(1995)认为,自主体应该具有以下特性:自主性(autonomy):自主体能够在不受人类或者其他实体的直接干扰的情况下独立操作,并且能够在一定范围内控制自己的行为与内在状态;社交性(social ability):自主体通过自主体交流语言与其他自主体进行交互;适应性(reactivity):自主体能够感知环境,并能够对环境的变化做出相