

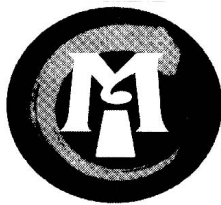
B 徐建华 著
y Jianhua Xu

地理建模方法

Geographical Modelling Methods



科学出版社
www.sciencep.com



科技部创新方法工作资助
Innovation Method Fund of
China (2007FY140800)

地理建模方法

Geographical Modelling Methods

徐建华 著
By Jianhua Xu

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要探讨地理建模的有关理论、方法和技术,全书共9章。本书自成体系,具有专著与教材相结合的写作风格,既遵从研究专著的写作规范,又兼顾教材的系统性、层次性、通俗性等要求,还吸收了作者及他人的最新科研成果。

本书可供地理学、生态学、环境学、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参考阅读。对于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或课外阅读书使用;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

地理建模方法=Geographical Modelling Methods: 英文/徐建华著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-029488-3

I. ①地… II. ①徐… III. ①地理信息系统-系统建模-英文 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 220344 号

责任编辑:许 健 赵 冰/责任校对:李 影

责任印制:刘 学/封面设计:殷 靓

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

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年11月第一次印刷 印张:22 1/2

印数:1—2 500 字数:520 000

定价:45.00 元

前 言

科学方法是推动科学技术创新的武器。在科学思想和科学方法上缺乏创新意识和系统研究,制约着我国科技自主创新能力的提高。地理学思想与方法的挖掘、梳理、凝练和集成,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。为了促进我国地理学科技成果创新、科技教育创新、科技管理创新,“十一五”期间,科学技术部立项启动了科技创新方法工作专项课题“地理学方法研究”(2007FY140800)。本书是该专项课题的子课题之四“地理信息分析与地理计算方法论研究”(2007FY140800-4)的成果之一。

传统地理学方法研究问题的程序是:野外工作(收集资料)→数据处理→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,地球表面各圈层相互作用的人地关系地域系统是一个复杂的巨系统,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。

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,地理模型的建立与运用,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。模型是现代地理科学发现和创新的基本工具。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科学的地理模型。可见,地理建模方法至关重要。

本书首先从理论方面归纳了地理模型的概念、特点功能与分类,地理建模的思维导向与原则;探讨了地理模型建立与应用的若干问题;从数据分析、机理分析、量纲分析、类比分析、仿真模拟等方面,概述地理建模方法。其次,讨论一些具体的地理建模方法,包括非确定型建模方法、运筹决策建模方法、信息反馈与系统仿真方法,以及非线性分析方法等。最后,进一步介绍和探讨地理建模分析中常用的有关软件。

在本书写作大纲拟定过程中,作者充分听取并借鉴了课题总负责人蔡运龙教授、子课题“地理信息分析与地理计算方法论研究”负责人王铮教授、齐清文教授以及其他课题组成员的建设性意见和建议;吴玉鸣教授提供了空间经济分析的有关案例;作者的研究生兼助教张利君同志,帮助整理了有关软件与程序;科学出版社许健同志在书稿的编辑与加工过程中,付出了辛勤的劳动。华东师范大学教务处和研究生院,对于本书的写作与出版也给予了极大的支持。对于所有帮助和关心过本书写作出版工作的领导、专家、同行、朋友们,作者表示由衷的感谢。

本书自成体系,具有专著与教材相结合的写作风格,既遵从研究专著的写作规范,

又兼顾教材的系统性、层次性、通俗性等要求，还吸收了作者及他人的最新科研成果。本书的读者对象包括地理学、生态学、环境学、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书使用；对科研工作者来说，本书既是工具书，又是科研参考书。

徐建华

2010年4月

目 录

前言

第 1 章 地理模型的概念、特点、功能与分类	1
1.1 地理模型的概念	1
1.1.1 模型	1
1.1.2 地理模型	2
1.2 地理模型的特点	2
1.3 地理模型的功能	5
1.3.1 认识地理问题的桥梁	5
1.3.2 地理科学发现的工具	5
1.3.3 综合研究的功能	6
1.4 地理模型的分类	7
思考题	10
参考文献	10
第 2 章 地理建模的思维导向与原则	12
2.1 地理建模的思维导向	12
2.2 地理建模的基本原则	15
思考题	17
参考文献	17
第 3 章 地理模型建立与应用的若干问题	18
3.1 建立地理模型的基本步骤	18
3.2 建立地理模型常用的数学方法	20
3.3 地理模型的应用方面	22
3.4 建立与应用地理模型应该注意的问题	24
思考题	26
参考文献	26
第 4 章 地理建模方法概述	28
4.1 数据分析法	28
4.1.1 探索性数据分析	28
4.1.2 数据分析的地理建模实例	30
4.2 机理分析法	31
4.2.1 结构分析法	31
4.2.2 功能分析法	32

4.2.3	过程分析法	33
4.2.4	实例: 地理过程中的人类活动作用	36
4.3	量纲分析法	38
4.3.1	量纲与基本量纲	38
4.3.2	量纲齐次性原则与相似定律	38
4.3.3	地理相似准则	40
4.4	类比分析法	40
4.4.1	科学发现中的类比分析法	40
4.4.2	类比法的地理建模实例	41
4.5	仿真模拟方法	47
	思考题	48
	参考文献	48
第 5 章	非确定型建模方法	50
5.1	经典统计建模方法	50
5.1.1	统计检验法	50
5.1.2	相关分析法	55
5.1.3	回归分析法	63
5.1.4	主成分分析法	72
5.1.5	聚类分析法	77
5.2	空间统计建模方法	84
5.2.1	空间自相关分析	84
5.2.2	空间计量模型	93
5.3	地统计建模方法	105
5.3.1	地统计方法的基本原理	105
5.3.2	应用实例	119
5.4	模糊数学建模法	121
5.4.1	模糊数学基本知识	122
5.4.2	模糊聚类方法	127
5.4.3	模糊综合评判方法	133
	思考题	139
	参考文献	140
第 6 章	运筹决策建模方法	143
6.1	线性规划方法	143
6.1.1	线性规划的数学模型	143
6.1.2	线性规划的标准形式	145
6.1.3	线性规划的解及其性质	147
6.1.4	线性规划问题的求解方法——单纯形法	149

6.1.5 应用实例：农场种植计划模型	153
6.2 目标规划方法	155
6.2.1 目标规划模型	155
6.2.2 求解目标规则的单纯形方法	158
6.2.3 目标规划模型实例：土地利用规划	161
6.3 网络分析方法	163
6.3.1 地理网络的测度	163
6.3.2 最短路径问题	168
6.3.3 选址问题	170
6.3.4 最大流问题及其求解方法	174
6.3.5 最小费用流及其求解方法	181
6.4 AHP 决策分析方法	183
6.4.1 AHP 决策分析的基本原理与计算方法	183
6.4.2 应用实例：扶贫开发战略决策定量分析	189
思考题	198
参考文献	198
第 7 章 信息反馈与系统仿真方法	200
7.1 控制论与信息反馈方法	200
7.1.1 几个基本概念	200
7.1.2 地理系统动态的控制论描述	203
7.1.3 建模实例：可更新资源的最优利用策略	213
7.2 灰色系统方法	214
7.2.1 灰色关联分析方法	215
7.2.2 灰色预测方法	218
7.2.3 灰色系统建模方法	226
7.3 系统动力学方法	228
7.3.1 系统动力学建模的基本原理	228
7.3.2 系统动力学建模实例：国土资源约束下的区域发展过程模拟	235
思考题	244
参考文献	244
第 8 章 非线性分析方法	246
8.1 分形理论建模方法	246
8.1.1 分形理论简介	246
8.1.2 分形理论的地理建模实例	254
8.2 小波分析建模方法	258
8.2.1 小波分析理论简介	258
8.2.2 小波分析方法的地理建模实例	264

8.3 神经网络建模方法	271
8.3.1 神经网络简介	272
8.3.2 神经网络方法的地理建模实例	278
思考题	288
参考文献	289
第9章 地理建模分析中常用的软件	291
9.1 SPSS 及相关软件在地理建模中的应用	291
9.1.1 回归分析	291
9.1.2 因子分析	299
9.1.3 聚类分析	304
9.1.4 SPSS 的其他分析功能	309
9.1.5 其他相关软件简介	310
9.2 MATLAB 软件在地理建模中的应用	311
9.2.1 MATLAB 主工具箱(MATLAB Main Toolbox)	311
9.2.2 统计工具箱(Statistics Toolbox)	317
9.3 ArcGIS 和 Geoda 软件在地统计建模方面的应用	341
9.3.1 ArcGIS 地统计模块的应用	341
9.3.2 GeoDa 的应用	348
参考文献	351

第1章 地理模型的概念、特点、功能与分类

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，是定性与定量方法相结合、综合归纳与理论演绎方法并用、规范与实证研究方法并举。

在现代地理学中，模型的作用是十分重要的，它是认识地理问题的桥梁，是地理科学发现和创新研究的工具。在地理科学问题研究中，模型的作用是不可替代的。本章作为对地理模型的概述，主要讨论地理模型的概念、特点、功能与分类问题。

1.1 地理模型的概念

1.1.1 模型

通俗地说，模型就是指真实对象的模仿物。

科学模型，则是人们根据科学研究的特定目的，在一定的假设条件下，用物质形式或思维形式再现原型客体的某种本质特征，诸如关于客体的某种结构(整体的或部分的)、功能、属性、关系、过程等。通过对科学模型的研究，来推知客体的某种性质或规律。这种借助模型来获取关于客体的认识的方法，就是模型方法(孙小礼，2007a)。

在科学研究中，为了揭示客观对象的本质，人们常常借助于实物、文字、符号、公式、图表等，对客观事物的特征、内在联系、变化过程进行概括和抽象描述，这种描述即模型。

一个具体的模型，是对实际对象系统或过程的某一个(一些)特性的描述(王庚等，2008)。如果按表述给定问题的真实程度，可以把模型划分为三大类，即比例模型(scale model)、模拟模型(analogue model, simulation model)和符号模型(symbolic model)。

(1) 比例模型。比例模型，是对真实系统的小规模的重现，也叫做图像模型(iconic model)。例如，地理教学中所用的地球仪就是一个比例模型。另外，风沙模拟实验室里的风洞，研究水土流失而设计的人工降水径流试验场、基于遥感影像建立的三维地貌模型等都是比例模型。

(2) 模拟模型。对于那些结构性质基本了解，但又难以直接用物理式数学模型表达的系统，往往采用另一系统去替代原系统，这种替代系统称为模拟模型。例如，在电路模拟模型中，用电压模拟机械运动中的速度、电流模拟力、电容模拟质量；在计算机上，通过软件系统的运行模拟一个实际的对象系统或过程等。

(3) 符号模型。符号模型，是将客观对象系统或过程的特性用数学等专门的符号语言表示的一种模型。模型不一定是用公式表示的，也可以是用符号、逻辑图形(图形、表

格)表示的。

1.1.2 地理模型

对于研究对象(系统、过程)的描述是科学研究的前提和基础,而对于一个真实的复杂系统的描述,往往需要借助于一定的模型来实现。所谓地理模型,就是指真实的地理对象(过程、系统)的模仿物,它可以用实物、逻辑符号、图形、表格、文字、数学公式及计算机软件来表示。

在真实的地理系统中,包含各种不同的地理要素。这些地理要素之间构成了复杂的关系,其中有物理的、化学的、生物的及社会的各种成分和过程,而且各种成分和过程又都随着时间的变化呈现出不同的空间分布。然而,地理模型是对地理系统的抽象描述,这种描述注重地理系统的实质性内容和关键性环节,舍弃了与研究问题无关的次要因素及不必要的环节和过程,从而求得地理系统内在的规律。由此可见,在地理学研究中,特别是在多要素、多层次的复杂地理系统分析中,利用模型和建造模型具有十分重要的意义。

从广义上来说,地理模型包括语言模型(文字模型)、图形模型、模拟模型等多种形式。但是,数学模型是对地理系统(过程)最为基础、最为深刻的描述。地理数学模型能够反映出真实地理系统(过程)中各主要因素之间的逻辑关系和数学关系,从而使模型成为定量分析和模拟计算的工具。某些地理问题,在现实中是难以借助于实验进行模拟和研究各变量之间的数量关系的,但是当建立了有关的地理数学模型后,就可以借助于计算机技术将其转换为计算机程序,从而实现对真实地理系统的模拟、仿真及系统变量之间的数量关系的研究。另外,地理系统的演化是一个漫长的过程(徐建华等, 2001),人们很难在较短的时间内观察出其变化规律,而借助于地理数学模型和计算仿真模型,可以帮助人们认识其动态变化过程,预测其未来变化趋势,从而为地理系统的优化调控提供科学依据。

地理模型是伴随着地理学的发展而发展的(徐建华, 1991)。在地理学“计量运动”的推动下(Burton, 1963), 20 世纪 60 年代以后,地理模型研究方面出现了第一批“里程碑”式的著作,如 Bunge(1962)的《理论地理学》、Haggett(1965)的《人文地理中的区位分析》、Chorley 等(1967)的《地理学中的模型》、Haggett 等(1969)的《地理学中的网络分析》、Harvey(1969)的《地理学中的解释》等。这些著作标志着地理学走向成熟和理论地理学的诞生,使地理学从一种半文学半科学的知识领域真正地走向了科学化(杨吾扬, 1985, 1989)。此后,先后经历了多元化、系统化、理论化和计算化等不同阶段的发展(Wang et al., 2008),地理模型的研究不断得到深化(Peet et al., 1989; Fotheringham, 1998; Clifford, 2008)。

1.2 地理模型的特点

1. 抽象性

一个具体的模型,是为了达到某个特定目的,将实际系统(过程)经过简化、提炼后

保留其本质属性而构造的原型替代物,地理模型也不例外。从本质上来说,地理模型是借助有关手段对地理系统(过程)的抽象描述,它以简洁的形式刻画了客观地理系统(过程)的本质。首先,地理模型是在一定假设条件下对现实地理系统(过程)的简化。其次,地理模型不可能与真实地理系统(过程)完全对应,但是它必须包含真实地理系统(过程)中的主要因素,而且只应当包含那些决定系统(过程)本质性的重要因素。如果将所有因素不分主次,一概计入模型,不仅模型十分庞杂,而且事实上无法求解,反而掩盖了问题的本质。

2. 与原型的相似性

地理模型与地理原型(geographical prototype)之间存在着一定的对应关系。任何一个地理模型,都是基于一定的目的,对一个地理原型的相似性描述。这里,所谓地理原型,就是地理学家所关心和研究的地理现象、地理事件或地理过程。在地理学领域,人们常常把所考察的地理原型用“××系统”或者“××过程”等术语代之,如地貌系统、气候系统、水文系统、土壤系统、生态系统、城市系统、区域经济系统、地貌演化过程、气候变化过程、径流过程、生态演替过程、城市化过程、经济发展过程、污染扩散过程等。

地理模型的作用,就是描述原型系统的要素构成、要素之间的相互关系及其动态演变过程。因此,地理模型与其所描述的原型地理系统(过程),在状态、结构、过程或者功能上,必须具有高度的相似性。

3. 可验证性

模型具有与原型的相似性,但是否为本质上的相似性呢?模型具有简单性,但是否为合理的简单性呢?这些都需要加以验证。如果一个模型不具有可验证性,就不是一个科学模型,是没有方法论意义的(孙小礼,2007b)。

一般说来,地理模型具有一定的目的性和应用性,因此可以用于实际问题的计算、分析、仿真和模拟,并得出具体的结果。这样,我们就可以把模型运行的结果与实际情况进行比较,以此验证模型的有效性。

地理学家,不但要善于建立和运用地理模型,而且更要善于对模型的有效性进行检验。如果通过检验发现了模型的缺陷,就要对模型进行修改,甚至代之以新的模型。即使模型经受了实践检验,也需要进一步从理论上论证其科学性,用实践方法验证其应用性。当我们建立了一个地理模型,就应该从理论和实践应用两个方面,不断地检验、修改、验证、修改,从而使之更加完善。

4. 目的性

地理模型的基本特征是由其目的决定的。

地理学的研究对象,不但包括地貌、气候、土壤、水文、植物等自然地理学,还包括农业、工业、交通、旅游、文化等人文地理学,同时也包含城市、乡村等区域地理学以及综合地理学。不同分支学科的研究目的不同,因而其建立和应用的地理模型自然是不同的。即使在同一个学科中,对应于同一个原型系统,为了达到不同的目的也可以建

立多种不同的模型,各种不同的模型所反映的内容也因其目的的不同而有所不同。例如,为了研究一个地区的气候变化,可以根据不同的目的,建立若干个不同的模型。可以建立反映气温、降水、湿度等变化规律的动态模型,也可以建立反映它们之间相互关系的相关分析或回归分析模型。但是,在服务于不同目的模型中,本质变量的选择是不同的。例如,为了研究降水量的年际变化规律,模型就不必描述各月份降水量的变化,但必须反映各年份降水量的变化。也就是说,各月份降水量的变化,对该模型来说是非本质的。相反,如果研究降水量的季节变化规律,那么,各月份降水量变化,对于该模型来说就是本质的,模型必须对其进行描述。

从目的性来看,地理模型既有分析的模型,又有综合的模型;既有分布的模型,又有过程的模型;既有扩散模型,又有生灭模型;既有相互作用模型,又有相互联系模型;既有仿真模型,又有模拟模型;既有揭示系统结构与过程机制的机理模型,又有反映系统行为的功能模型等。

5. 多时空特征

由于地理学的研究对象具有多种时空尺度,所以描述研究对象的地理模型也具有多种时空尺度的性质。

首先,从空间尺度上来看,地理学的研究对象——地理区域,既可以是全球范围的、洲际范围的、国家范围的,也可以是流域范围的、地区范围的、城市范围的、社区范围的。因此,描述地理区域的各种地理数据,具有多种空间尺度。既有全球尺度的、洲际尺度的、国家尺度的,也有流域尺度的、地区尺度的、城市尺度的、社区尺度的、小区尺度的。在不同的空间尺度上,地理模型的表现形式及其所包含的信息内容是不同的。为了揭示复杂的地理空间结构,就必须从不同的空间尺度上建立地理模型(岳天祥等,2003),从而对不同空间尺度的地理系统进行深入解剖和分析。

其次,从时间尺度上来看,地理学的研究对象——地理过程,既有以地质年代和地质年代衡量的古地理过程,也有以历史年代衡量的历史地理过程,还有以天、月、季度、年等为时间单位衡量的现代地理过程。因此,描述地理过程的各种地理数据也具有多种时间尺度。在不同的时间尺度,地理模型的表现形式及其所包含的信息内容是不相同的。为了揭示复杂的地理过程,就必须从不同的时间尺度上建立地理模型,对各种尺度特征的地理过程进行模拟、仿真和预测。

最后,从一定意义上讲,地理系统(过程)的空间尺度与时间尺度有一定联系,往往较大空间尺度对应较长的时间周期。例如,全球范围内的气候变化周期可能是几十或几百年,而城市地籍可能以年为变化周期。正是因为地理系统(过程)的节律性,决定了地理模型的多时空尺度特征。在实际问题的研究中,仅有单一时间尺度或空间尺度的地理模型是不够的,只有建立多种时空尺度的地理模型系统,才能深入揭示地理系统(过程)的内在规律。因此,地理学家往往以不同的主线特征(如区域、自然要素、社会经济要素或某种应用目的),按照时空关系或逻辑关系建立具有各种时空尺度特征的模型系统,对复杂的地理系统(过程)进行分析、模拟、仿真、预测。

6. 应用性

地理学是研究人类生存的地理环境,以及人类活动与地理环境之间关系的一门综合性学科,其研究内容广泛,应用性和实践性较强。

人类很早就开始运用地理知识解决生产和生活中的实际问题。早在公元前3000年,古埃及人为了预报洪水,就对尼罗河水位做了记载;由于农业生产发展的需求,中国殷代甲骨文中已有连续天气情况的记载。到了近代社会,地理知识的应用又服务于航海事业和工商业的发展。20世纪30年代,地理学主要被应用于流域开发和土地利用方面。1933年美国田纳西河流域管理局成立,地理学家参加了对流域的土壤侵蚀、旱涝灾害、土地利用等多方面的工作。如今地理学的应用范围更加广阔,包括人口、资源、环境与可持续发展的各个领域,涉及人类生活和生产活动的各个方面。

地理学的应用性决定了地理模型的应用性。地理学的应用性决定了刻画人地关系、模拟和仿真地理系统演化过程的地理模型的应用性。

1.3 地理模型的功能

一般而言,地理模型的功能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的表现方式等。然而,从更高层次的意义上讲,地理模型的功能作用主要可以概括为如下几个方面。

1.3.1 认识地理问题的桥梁

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,地理模型建立与应用比较鲜见。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,模型的作用是不可替代的。

地理模型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)的内在规律,为此必须建立与应用地理模型。

1.3.2 地理科学发现的工具

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,地球表面各圈层相互作用的人地关系地域系统是一个复杂的巨系统,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,地理模型的建立与运用,无论在思想创新方面,还是方法技术创新方面都具有不可替代的作用。模型是现代地理科学发现和创新的基本工具。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地理模型。

面对地理系统的复杂性(Rand, 1999; Werner, 1999; Claval et al., 2004; Crawford et al., 2005; 甘国辉等, 2004),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计算模型。这种模型是还原论所不及的,只有运用复杂系统理论才能解决。

1.3.3 综合研究的功能

综合性是地理学的基本特征之一。地理学的研究对象,是多个子系统、多要素相互作用的地球表层系统,这决定了地理学研究的综合性特点。地理学综合研究,不仅仅局限于研究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。地理学的部门学科之所以成为地理学的一部分,不仅在其研究的对象上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——综合性。

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、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,或聚落、城市、交通、政治等关系)的综合研究,是中层次的综合性研究;地球表面全部要素(包括自然、经济、政治、社会文化)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,越是需要发挥模型的作用,只有通过建立与使用模型,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

了完成地理学的综合性研究任务,地理模型的作用不可替代。建立并运用模型可以更好地发挥地理学研究的综合性特点。20世纪90年代后期以来,随着复杂系统理论、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, 1995),对于促进地理学高层次综合研究起到了一定的作用。

1.4 地理模型的分类

从表现形式上来看,地理模型既有实物模型(如城市规划实体模拟模型、作战地形实体模拟模型等)、文字模型(如地理术语、名词、概念等)、图表模型(各种图像、表格、地图等),也有数学模型。

对于地理学家来说,使用最为广泛的地理模型就是各种各样的地图。例如,地貌学家用地形图、地貌图等描述他们所研究的地貌系统的状态、构成等;水文学家用水系分布图及各种水文地质图来描述他们所研究的水文系统;气象学家则用气温、降水、日照、温度等分布图描述他们研究的天气系统的状况……

因此对于地理模型,地理学家们并不感到陌生。但是,自20世纪50年代以来,随着计量地理学的出现,计量革命风靡全球,以研究地理系统构成要素之间的相互联系、地理事物的分布等为内容的数学模型受到了许多地理学家们的重视,所以现在当人们一谈到“模型”两个字时,许多人就将它狭义地理解为数学模型,其实,这纯属一种误解。但是,由于地理学研究长期以来处于一种定性的描述或解释性文字描述的水平,因而数学模型的建立和应用推动了地理学朝着科学化、定量化方向发展。

从广义上讲,任何一种地理学理论都可以看作是一个地理模型。一般而言,一个成熟、完善的模型,不但有文字性的描述,而且有图表的直观及公式、符号的抽象,更有严密的推理与演绎。例如,人文学中的农业区位论、工业区位论、空间相互作用理论、中心地理论、城市地域结构理论等都具有这些特点。

一般而言,系统分类的结果取决于分类方法,而分类方法又取决于分类者的研究目的。对于地理模型而言,分类的方法很多,从不同的角度出发,可以有不同的分类结果。现列举几种常见的分类结果。

1. 静态模型与动态模型

静态模型是对静态系统的描述。静态系统,亦称无记忆系统,即系统在任何一个时刻的输出只与该时刻的输入有关,而与该时刻之前或之后的输入无关。一般地,从较长的时间范围来看,任何地理系统都是动态系统。但是,有时候为了研究上的方便,对于某些地理系统,在较短的时间间隔内,人们常用静态的模型描述代之动态的模型描述,从而使原来的系统简化。在这种情况下,我们也可以将这些地理系统看成是静态系统。

动态模型是对动态系统的描述。动态系统亦称为记忆系统。这类地理系统,在任何一个时刻的输出不仅与该时刻的输入有关,而且也与该时刻以前的输入有关。对于动态

的地理系统, 还可以进一步将其分为定常系统和时变系统两类。如果一个系统无论在何时都由相同的输入得到相同的输出, 则称其为定常系统, 否则就称其为时变系统。

2. 线性模型和非线性模型

线性模型和非线性模型分别是对线性系统和非线性系统的描述。它们是按地理系统内部相互作用的性质所作的地理模型的分类。所谓线性地理系统, 就是指系统内各个因素共同作用的结果等于每一个因素单独作用结果的机械叠加, 用数学语言来说就是满足叠加原理。设 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 为系统内部 n 个不同的作用因素; $c_1, c_2, \dots, c_n$ 为 n 个常数; L 代表作用算子, 则线性地理系统就是满足

$$L(\sum_{i=1}^n c_i u_i) = \sum c_i L(u_i)$$

的一类地理系统。反之, 不满足叠加原理的地理系统就是非线性地理系统。

严格来说, 线性的地理系统(过程)是不存在的, 任何一个地理系统(过程), 一般都含有非线性作用因素。但是因为非线性问题至今仍未找到一个通用的准确解法, 所以, 对于某些在大范围内用非线性模型描述的地理系统(过程)来说, 当其变量保持在一定的阈值范围内时, 人们往往用线性模型去逼近它, 而且这种逼近也常常能够满足人们提出的精度要求。

3. 离散模型与连续模型

离散模型与连续模型, 是按模型所涉及的变量的连续性所做的一种分类。如果某一地理系统(过程)的状态集 X 、输入集 U 及输出集 Y 是 R^K (R 为实数集) 中的连续集合时, 就称之为连续地理系统; 当 X 、 U 及 Y 是离散集合时, 就称之为离散系统。地理过程是地理学重要的研究内容之一, 所以在地理系统研究中, 一个十分重要的问题就是从系统动态过程与时间的关系上考察系统的连续性和离散性。如果用来描述系统的时间函数 $f(t)$ 的定义域是连续的, 即 $t \in (-\infty, +\infty)$ 或 $(t_0, +\infty)$, 则该地理模型就是连续的动态模型; 如果 $f(t)$ 的定义域是离散的, 即 $t \in \{t_1, t_2, \dots, t_n, \dots\}$, 则该地理模型就是离散的动态模型。在连续的时间系统中, 系统的输入、输出和状态变量是时间的连续函数, 连续的动态模型常用微分方程进行描述。但在离散的时间系统中, 系统的输入、输出和状态变量都取各时刻的离散值, 离散的动态模型常用差分方程来描述。

4. 确定性模型和不确定性模型

对于任何一个地理系统, 我们都可以对它作一般性的形式描述

$$S = \{X, U, Y, \delta, \beta\}$$

式中: X 为状态空间; U 为输入空间; Y 为输出空间; δ 为动态(状态)转移函数; β 为输出函数。

据此, 描述地理系统的模型可被分为两类, 即确定性模型和非确定性模型。其中,