

普通高等院校地理信息科学系列教材

# 地理信息科学基础理论

(第二版)

崔铁军 编著



科学出版社

普通高等院校地理信息科学系列教材

# 地理信息科学基础理论

(第二版)

崔铁军 编著

天津市品牌专业经费资助



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

地理信息科学是研究地理信息的本质特征与运动规律的一门学科。地理信息的认知、视觉感受、传输、表达、时空基准、尺度特征、不确定性及重构和应用等理论问题是近年来研究的热点。本书全面介绍了地理信息科学的基础理论研究内容及发展趋势；讨论了认知与认知科学、空间认知与地理空间认知的基本理论；详细介绍了信息和地理信息的概念，地理本体及全息地理等理论；从视觉感受角度阐述了地理信息的符号理论；介绍了地理信息传输理论，地理信息数据表达；重点介绍了地理信息的时空基准、尺度特征和不确定性；最后探讨了地理信息重构和应用。

本书既适合作为地理信息系统专业或相关专业本科生、研究生教材，也可供从事信息化建设、信息系统开发等有关科研、企事业单位的科技工作者阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地理信息科学基础理论/崔铁军编著. —2版. —北京: 科学出版社, 2019.7

普通高等院校地理信息科学系列教材

ISBN 978-7-03-061819-1

I. ①地… II. ①崔… III. ①地理信息学—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 137945 号

责任编辑: 杨 红 程雷星 / 责任校对: 樊雅琼

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

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>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

2012年5月第一版 开本: 787×1092 1/16

2019年7月第二版 印张: 24 1/4

2019年7月第二次印刷 字数: 619 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 第二版前言

第一版出版后，本书作为教材给研究生和本科生上课用，取得了良好效果。近几年，天津师范大学地理信息科学专业进行重大课程改革，把基础理论作为重要组成部分纳入地理信息科学专业教学计划之中。为此，作者对第一版的内容重新梳理，在内容上做了如下修改。

(1) 全书以地理信息的认知、视觉感受、传输、表达、重构和应用等为主线，重新梳理章节内容；

(2) 增加了本体论和地理本体、全息论和全息地理内容，其目的是进一步阐述信息的本质和内涵；

(3) 强调了人类视觉感受在地理信息传输中的作用，增加了心理学和心理物理学内容；

(4) 地理信息科学研究的宗旨是利用信息技术提升人类研究地理问题的能力，为此，增加了地理信息重构和应用章节；探讨了如何应用计算机数字计算方法，基于构建的地理模型，把感知的多源海量地理数据聚合、关联和推理，形成一个有机的信息（知识）重构过程，为地理信息系统智能化提供一个科学的研究思路。

还需要说明的是，本书在编著过程中吸收了大量国内外有关论著的理论和技术成果，书中仅列出了部分参考文献，未公开出版的文献没有列在书后参考文献中，部分资料可能来自于某些网站，但未能够注明其出处，在此向被引用资料的作者表示感谢！

值此成书之际，感谢天津师范大学城市与环境科学学院领导和教师的支持；感谢历届博士生、硕士生在地信息科学研究方面所做出的不懈努力。本书（第二版）撰写得到科学出版社杨红编辑的热情指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

书中内容是作者近几年在教学和科研工作中的体会，仅反映了个人观点，总结不到之处还请各位同仁批评指正。

作者

2018年12月1日于天津

# 第一版序

崔铁军教授从事地图制图学与地理信息工程学科专业学习、教学与科研工作 30 余年，编著的《地理信息科学基础理论》是他长期工作实践的总结，可喜可贺！

地理信息科学（亦称“地理信息学”）是传统地理学、数量（计量）地理学在信息化时代的发展和深化。

地理学与测绘学一直有很紧密的联系。信息化是推动包括地理学与测绘学在内的科学技术革命最主要的因素，给地理学和测绘学带来了深刻的变化。得益于计算机科学技术、空间科学技术和信息科学技术的迅速发展，地理学由传统地理学、数量地理学步入到地理信息学时代，测绘学由传统测绘学、数字化测绘学步入到信息化测绘学时代，而其中最关键的是全球导航卫星系统（global navigation satellite system, GNSS）、遥感（remote sensing, RS）和地理信息系统（geographic information system, GIS）。这三种技术（即通常所说的“3S”）与计算机技术和通信网络技术结合，使得地理信息学的研究定量化、精细化、无边界、动态化、快速化、智能化和网络化，使得信息化测绘学能实现空间信息获取的实时/准实时化和全球化、信息处理的协作（同）化和智能化、信息服务的网格/网络化，以及空间信息获取、处理与服务的一体化。这是从技术的角度讲的。当然，地理学或地理信息学与测绘学或信息化测绘学各自的研究对象和重点研究内容相差很大，开放的程度也很不同，所以要弄清楚两者的分异与聚焦。这里，也可以说地理信息科学是地理学、测绘学和信息学交叉形成的一门交叉科学。

地理信息科学的形成来自两个方面：第一，技术与应用的驱动，这是一条从实践到认识、从感性到理论的思想路线；第二，科学融合与地理综合思潮的逻辑扩充，这是一条理论演绎的思想路线。两者互相促进，共同推进了地理学思想的发展和地理信息学的产生。地理信息学是关于地理信息本质特征、运动规律的科学，研究对象是地理信息，即关于自然、人文现象的空间分布与组合的信息。它表征地理环境的数量、质量、分布特征、内在联系与运动规律及其和人类活动（政治、经济、文化、军事等）的关系。基于此，作者在介绍地理信息科学基本概念的基础上，把地理空间认知、信息与地理信息、地理信息视觉感受、地理信息传输理论、地理本体与全息论、地理信息数据表达、地理信息时空基准、地理信息尺度特征、地理信息不确定性及地理信息重构和应用作为地理信息科学的基础理论是恰当的，反映了《地理信息科学基础理论》这本书的基调。

地理信息科学是一门新的科学，它的理论体系、技术体系和应用服务体系是很复杂的问题，需要许多专家学者从事研究，崔铁军教授编著的《地理信息科学基础理论》的出版是一个好的开头，期盼更多有关地理信息科学领域的著作问世。

中国工程院院士  
中国测绘学会荣誉会员

王家耀

# 第一版前言

弹指间，作者从学习地图制图自动化专业起，在地理信息学科领域从事教研工作已有 30 多年时间，从早期计算机辅助地图制图、各种比例尺地图数据库建设、地理信息系统软件研制，各种应用开发到目前的地理信息服务，见证和经历了地理信息科学产生与发展的整个过程。30 多年来，地理信息科学以应用为目的，以技术为引导，在社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘学和信息学中形成一门边缘交叉学科，学科内容涵盖了基础理论、技术体系、软件系统、工程质量标准和应用领域。

计算机的发展和运用，使社会急剧信息化，在这一过程中人们对地理信息的需求增多，这是地理信息科学产生和发展的强大动力。地理信息科学在发展过程中以测绘为基础，以数据库作为数据储存和使用的数据库，以计算机编程为平台逐步完善了地理信息的获取、处理、存储、管理、提取、可视化和分析等技术体系，使其不仅包含了现代测绘科学的所有内容，而且研究范围较之现代测绘学更加广泛。地理信息科学也如饥似渴地吸收信息科学的精华，与计算机技术结合，形成了网络、嵌入式和组件式等各种各样的地理信息系统，同时推动了计算机信息科学与技术的发展。面对艰巨而复杂的地理信息系统工程任务，地理信息科学应用工程化的方法，逐步完善形成了需求分析、系统设计、实施管理、质量评估和标准体系等地理信息工程技术体系。地理信息应用已经突破传统的地理学界限，人们的生产和生活中 80% 以上的信息与地理空间位置有关，地理信息系统应用到社会各个领域，强大的应用需求使地理信息系统具有独特的空间分析功能，这是与其他信息系统的根本区别。

随着地理学研究信息化的深入，人们开始关注地理信息系统对于地理空间表达（如地理空间理解、地图结构表达和空间语言理解）的合理性、对于地理建模分析（如地理对象建模、空间尺度分析和空间决策过程）的科学性，以及地理信息系统技术（如人机交互界面、地理数据共享和地理信息系统互操作）的智能性。人们为了解决时空分布的地球表层地理现象、社会发展和地球外层空间整个环境及其动态变化的过程在计算机中表示的问题，必定会创造和发展一系列基础理论，并利用这些基础理论去推动地理信息学及相关学科的发展。

地理信息科学理论是什么？李德仁院士叙述了地球空间信息科学的地球空间信息的基准、地球空间信息标准、地球空间信息的时空变化理论、地球空间信息的认知、地球空间信息的不确定性、地球空间信息的解译与反演和地球空间信息的表达与可视化等七大理论问题。目前，国内外学者对地理信息科学的理论问题认识尚未统一，主要有三种主流观点：第一种观点认为，地理信息科学是信息社会的地理学思想。地理计算或地理信息处理强调使用计算机完成地理数值模拟和地学符号推理，辅助人类地理空间决策。地理科学是研究地理信息的出发点，也是地理信息研究的归宿。第二种观点认为，地理信息科学是地理空间数据处理的信息科学分支。从信息科学概念出发，地理信息科学定义为地理信息的收集、加工、存储、通信和利用的科学。第三种观点认为，地理信息科学是人类对地理空间的认知，是人们直接或间接地（借助计算机等）认识地理空间后形成的知识体系。

地理信息科学理论核心是地理信息机理。通过对地理信息传输过程与物理机制的研究，

揭示地球表层自然要素与人文要素的几何形态和空间分布及变化规律。作者试图从地理学、测绘学和信息学等学科中提炼出与地理信息密切相关的时空理论、空间认知理论、地理信息理论、地理信息可视化理论、空间尺度理论、地理信息传输和解译以及不确定性理论等，将它们综合为地理信息科学的基础理论。这些理论问题对地理信息科学的发展非常重要，但又尚未完全解决。编著本书的目的是抛砖引玉，旨在引起国内学者对地理信息科学理论的探讨和思考，关注地理信息科学基础理论研究，推动地理信息科学的发展。但由于本人水平有限，书中难免有疏漏之处，希望相关专家学者及读者给予批评指正。

值此成书之际，作者要感谢恩师刘光运教授、韩丽斌教授、杨启和教授、刘家豪教授、Kurt Brunner 教授和王家耀院士的教育培养；感谢天津师范大学城市与环境科学学院领导和教师的支持；感谢历届博士生、硕士生在地信息科学研究方面所做出的不懈努力。本书的撰写得到科学出版社朱海燕和韩鹏编辑的热情指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

作者

2011年8月6日于北京

# 目 录

第二版前言

第一版序

第一版前言

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 地理与地理学 .....	1
1.2 地理信息科学 .....	5
1.3 基础理论研究内容 .....	15
1.4 地理信息科学发展趋势 .....	22
1.5 与其他学科的关系 .....	23
1.6 本书内容和基础知识 .....	26
第 2 章 地理空间认知 .....	28
2.1 认知与认知科学 .....	28
2.2 空间认知 .....	43
2.3 地理空间认知概念 .....	46
第 3 章 信息与地理信息 .....	63
3.1 信息与信息化 .....	63
3.2 信息科学 .....	72
3.3 地理信息 .....	76
第 4 章 地理信息视觉感受 .....	93
4.1 人的视觉与感受 .....	93
4.2 心理与心理物理学 .....	103
4.3 符号与地图符号 .....	113
4.4 地图符号感受 .....	116
第 5 章 地理信息传输理论 .....	123
5.1 信息传输 .....	123
5.2 地图信息传输 .....	127
5.3 地理信息传输概述 .....	133
5.4 地理信息解译 .....	143
第 6 章 地理本体与全息论 .....	154
6.1 本体论与地理本体 .....	154
6.2 全息论与全息地理 .....	171

---

<b>第 7 章 地理信息数据表达</b> .....	183
7.1 地理现象抽象描述 .....	183
7.2 地理信息地图表达 .....	190
7.3 地理信息数据表达 .....	195
<b>第 8 章 地理信息时空基准</b> .....	225
8.1 地理信息时空特征 .....	225
8.2 时间和空间关系 .....	228
8.3 时间度量基准 .....	231
8.4 地理空间基准 .....	233
<b>第 9 章 地理信息尺度特征</b> .....	254
9.1 尺度与地理信息尺度 .....	254
9.2 地理信息多尺度表达 .....	264
9.3 地理信息尺度变换 .....	278
9.4 地理信息多尺度可视化 .....	290
<b>第 10 章 地理信息不确定性</b> .....	294
10.1 地理信息不确定性概述 .....	294
10.2 地理信息不确定性描述 .....	304
10.3 地理空间数据质量控制 .....	313
<b>第 11 章 地理信息重构和应用</b> .....	327
11.1 地理信息集成与融合 .....	327
11.2 地理信息关联与推理 .....	335
11.3 地理过程模型与模拟 .....	347
11.4 地理信息重构案例 .....	360
<b>主要参考文献</b> .....	373

# 第1章 绪 论

地球是人类的家园，人们一直都十分关心自己赖以生存和发展的地球表面的状况，从而萌生出各种地理概念。随着人类社会的发展，人们地球知识的积累，逐步形成一门研究地球表层自然和人文现象的时空变化规律的科学——地理学（geography）。它是关于人地关系的学问。为了解决地球表层地理现象的时空分布、人类社会经济发展、外层空间环境及动态变化的过程在计算机中的表示、模拟和推演的问题，地理科学如饥似渴地吸收信息科学（information science）的精华，在地理科学与信息科学交叉融合过程中产生了一门从信息流的角度研究地球表层自然要素与人文要素相互作用及其时空变化规律的科学——地理信息科学（geographic information science, GIScience）。与地理信息系统（geographic information system, GIS 或 GISystem）相比，地理信息科学更加侧重将地理信息视作一门科学，而不仅仅是一个技术实现，主要研究在应用计算机技术对地理信息进行存储、处理、提取以及管理和分析过程中出现的一系列基本问题。随着以地理信息系统技术为核心的遥感、全球导航定位系统等技术的发展以及其间的相互渗透，地理信息科学在全球变化和区域可持续发展等主要领域应用过程中形成了独有的理论、方法和技术体系。

## 1.1 地理与地理学

人类发展与地理息息相关，人类离不开地形、气候。地理是研究地球、天空之间问题的学科。其他如历史等学科都以地理为基础发展起来。

### 1.1.1 地理

“地理”一词最早见于中国《易经》。古代的地理学主要探索有关地球形状、大小的测量方法，或对已知的地区和国家进行描述。现代地理是指一定社会所处的地理位置以及与此相联系的各种自然条件和各种人文现象的总和。自然条件包括气候、土地、河流、湖泊、山脉、矿藏以及动植物资源等，人文现象泛指各种社会、政治、经济和文化。一般来讲，地理所涉及的范围包括人类生活的各种环境。自然环境是人文环境的基础，而人文环境又是自然环境的发展。自然环境是环绕生物周围的各种自然因素的总和，如大气、水、其他物种、土壤、岩石矿物、太阳辐射等。这些是生物赖以生存的物质基础。通常把这些因素划分为大气圈、水圈、生物圈、土壤圈、岩石圈等五个自然圈。生物是自然的产物，而生物的活动又影响着自然环境。自然地理是研究自然地理环境的组成、结构、功能、动态及其空间分异规律的学科。除了自然地理，人类具有社会性，所以地理还包括各种人类社会现象与地理环境的关系，如农业的分布、工业的分布、聚落的分布等人文现象，尤其注重人类的经济活动与环境的关系，但是关于这个方面的内容比较多，涉及的范围很广而且和其他的不好区分，姑且称为人文地理（包括经济地理）。人文地理有一个最突出的理念就是要实现人类的各种活动与环境的和谐统一，也就是可持续发展。

上知天文，下知地理。地理知识是人类知识宝库的重要组成部分，旨在“探索自然规律，昭示人文精华”，是关于地球表层自然和人类社会诸事物在空间上相互依存与相互作用机理的知识体系，探讨地球表面众多现象、过程、特征及人类和自然环境的相互关系在空间及时间上的分布，如地表自然的地带性、非地带性规律，生物、气候、地形、水文的区域分布、结构、组织，以及空间演化规律，具有综合性、交叉性和区域性的特点。自然条件是人类赖以生存和发展的生活空间和物质基础，是人类社会存在和发展的必要条件，直接影响着人类的饮食、呼吸、衣着、住行，各种社会、政治、经济和文化现象的地理分布、扩散和变化，以及人类社会活动地域结构的形成和发展规律。

### 1.1.2 地理学

地理学是一门综合性的基础学科。地理学非常特殊，因为既有自然的（自然地理），又有社会的（人文地理），还有工程技术的（地理信息技术），所以地理学是文、理、工兼并的一门大科学，也是与人们日常生活最密切相关的学科。地理学的核心是探索和揭示地理客观实体的空间分布、地理要素的相互联系和地理现象的空间演化过程等规律，从这些规律中获取派生的信息和发现新的知识。

#### 1. 研究各种地理现象的空间分布规律

空间分布存在差异的规律是由自然地理环境进化发展的主要能源决定的。太阳辐射和地球内能是自然地理环境进化发展的最主要、最基本的能源，被称为空间分异因素。在这两个空间分异因素的作用下，出现了地球表面在时间及空间尺度上演变和变化的不同现象，形成地带性与非地带性规律。人们在改造客观世界的过程中，必然要感知到各种物质客体的大小、形状、场所、方向、距离、排列次序等，也感知到各种事件发生的先后、缓急、久暂等，离开空间和时间就不可能感知物质客体及其运动，就无从进行任何有目的的活动。此外，人类改造自然带来空间格局的改变，如填海造地、挖山、沙漠绿洲等，其中有有利的一面，也有不利的一面。

#### 2. 研究各种地理要素的相互联系

美籍瑞士地理学家、制图学家、加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校教授 Waldo Tobler 在 1970 年提出了地理学第一定律：Everything is related to everything else, but near things are more related to each other（任何事物都是与其他事物相关的，只不过相近的事物关联更紧密）。地球表层的各要素和各部分是相互联系、相互制约的，从而形成一个完整的、独立的、内部具有相对一致性、外部具有独特性的整体。

在客观世界中，系统与系统、系统中的要素与要素、要素与系统的相互关系、相互作用、相互影响，除了物质和能量的交换外，主要是彼此间不断地存在着信息传输。没有信息的交换与传输，系统与系统、系统中的要素与要素、要素与系统就会失去联系，系统本身就无法成为一个整体。因此，信息是客观世界物质系统的本质属性，反映了宇宙中一切过程及发生变化的程度，它是客观存在的。值得注意的是，伴随着智慧圈的出现，信息流的方向发生了改变，其强度增大和速度加快。因此，信息（交流）已与物质（迁移）、能量（交换）一道成为地理学研究的主要问题之一。

人类与自然关系（人地关系）是自人类起源以来就存在的，是地理学研究的核心领域之一。人地关系理论、规律是不依人的意志为转移的客观规律。人地关系地域系统是一个自由

然系统、经济系统和社会系统构成的有机体,各个子系统之间通过要素有机地联系在一起。实际上,正是通过要素的流动与组合,各个子系统之间才相互联系、互为制约,并共同与外界环境产生相互作用。可以说,要素是人地关系地域系统内部和系统与外界环境之间联系的纽带和桥梁。因此,要素是对人地关系地域系统进行研究的根本。由于要素在人地关系地域系统内部及系统与外界环境之间流动与组合,要素之间产生了不同的作用方式,即关系。各种不同关系的组合就形成了相应的结构系统。

### 3. 研究地理现象时空过程演变规律

地理时空过程是指地理事物和现象发生发展演变的过程,强调地球表层系统地理事物和现象随时间变化的特征。地理时空过程是地理学研究的主题之一。任何一种地理要素或现象都伴随着复杂的时空过程,如景观空间格局演变、河道洪水、地震、森林生长动态模拟、林火蔓延等都是典型的地表空间过程。人们常常需要在对地理实体及其空间关系的简化和抽象基础上,利用专业模型对地理对象的行为进行模拟,分析其驱动机制,重建其发展过程,并预测其发展变化趋势。

#### 1.1.3 地理问题

人类社会的发展和进步,使地球表面快速变化。地理学面临着影响人类和社会发展的一系列重大问题,如如何利用自然资源;如何控制生态环境恶化,促使人类生态环境优化,提高生存环境质量;如何在保障资源和生态环境建设的同时,促进社会经济的可持续发展等。

地理学研究者从地理学的系统视角运用科学工具,为当今人类发展所面临的重大问题的解决提供科学决策依据,为人类未来生存和社会发展做出了新贡献。从目前的观点可以将地理问题归纳为以下几个重点问题。

##### 1. 全球环境变化及其区域响应研究

全球环境变化在过去、目前和将来,都是地理学的重要研究领域。地球和地表自然界是有机的整体,全球各个圈层之间的相互作用密切。随着人口增长、社会发展和科技进步,人类活动对地理环境的影响越加强烈。人类对某一地区施加的影响会对其他地区产生影响,而今天的措施又将对未来产生影响。当今备受瞩目的全球环境变化与长期以来人类活动影响的缓慢累积过程有着密切的关系。全球环境变化及其区域响应研究涉及古地理环境演变、土地利用和土地覆被变化、减轻自然灾害损失、典型区域环境定位以及全球环境变化的社会经济对策等众多领域。其中,全球环境变化的社会经济对策涉及自然地带推移变化、土地利用与农林牧业的结构与布局、能源结构调整、海岸带的防御措施,以及自然资源合理利用和自然灾害防治等。

##### 2. 陆地表层过程和格局的综合研究

近年来,国内外许多地理学者认识到要推动地理学的发展,必须在格局与过程的相互作用方面加强研究,地理学家必须强调格局和过程及其间的关系。发生在各种类型和各种尺度的区域中的过程必然产生一定的格局,而格局的变化又会影响自然、生态、社会发展的进程,这就产生了不同尺度区域之间的相互依赖性。陆地表层系统包括与人类密切相关的环境、资源和社会经济在时空上的结构、演化、发展及其相互作用,人类用数学模型探索客观事物之间的规律及空间变化。

### 3. 自然资源保障和生态环境建设研究

水资源、土地资源和生物资源是地球人类家园支撑系统的重要组成部分。我国上述自然资源的人均占有量少、空间分布不均衡,经济高速发展对自然资源的压力加大。长期以来掠夺式的开发和不合理的经营管理,导致自然资源枯竭、生态退化和生物多样性丧失等一系列问题,这些问题成为我国社会经济可持续发展的严重障碍。可持续发展要求在不同尺度的区域内,社会经济发展与人口、资源、环境保持协调的关系。应综合研究我国各类自然资源的格局、过程和动态,从整体出发研究各类自然资源之间的相互关系,揭示其组合特征和演变规律。研究自然资源和生态环境之间,不同区域的资源与环境之间,特别是人类活动与资源、环境之间的相互关系,揭示自然资源的时空变化规律并评估自然资源开发利用的环境效应,阐明人类经营活动对自然资源和生态环境的影响,提出其调控机制和对策。土地退化、生态环境恶化具有明显的区域差异,要划分不同的生态类型,对其成因机制、动态过程和发展趋势进行全面系统的研究,提出宏观整治战略及生态环境建设的途径和措施。

### 4. 区域可持续发展及人地系统的机理和调控研究

综合分析区域之间存在的差异性和相似性,不同的地域,其人口、资源、环境和发展的内涵也不同,为此要从空间结构、时间过程、组织序变、整体效应、协同互补等方面去认识和寻求全球的、全国的或区域的人地关系的整体优化、协调发展及系统调控的机理,为区域可持续发展和区域决策与管理提供理论依据。

#### 1.1.4 地理作用

人类生活在环境中,人类离不开环境。宇宙的奥妙、海陆的变迁、气候的变化、资源的开发、工业的合理布局、农业的因地制宜、人口的合理增长、环境的有效保护等,都是地理学研究的内容。地理科学引导人们去认识环境,把身边的世界看得更清楚,教人们怎样去适应环境、改造环境,使人类与环境协调发展,因而也是人们学习生存的学科,是人们生活的工具,是每一个公民必备的素质。

人类社会和自然环境的关系是现代地理学研究的重要课题,也是当今社会发展必须直面和探讨的问题,还是人类认识世界的永恒命题。人类很早就运用地理知识解决生产和生活中的实际问题,从公元前3000年起,古埃及人为了预报洪水,对尼罗河水位做了记载。由于地域农业生产发展的要求,中国殷代甲骨文中已有连续天气情况的记载。地理学家们发挥地理学的综合特点,广泛地参加了区域规划、环境规划和城市规划工作,参与研究解决世界范围内的人口、资源、环境等问题。

地理环境在社会发展中的作用:①地理环境是指人类生存和发展所依赖的各种自然条件的总和,由大气圈、水圈、岩石圈构成,适合生物生存的范围称生物圈。②地理环境是人类物质生活的必要条件之一,制约和影响着社会的发展。第一,地理环境通过对生产的影响加速或延缓社会的发展。它影响劳动生产率的高低和生产部门的分布,在一定程度上决定不同国家经济发展的特点,制约一个国家经济发展的潜力和前景。第二,地理环境还可以通过对军事、政治的影响制约不同国家社会的发展。③地理环境虽对社会发展起制约和影响作用,但对社会发展不起主要的决定作用。这是因为地理环境不能决定社会制度的性质和社会形态的更替,它在社会发展中的作用受社会因素,主要受生产力和生产关系的制约。

人类掌握与应用地理知识的历史,从一个侧面反映了人类社会的发展进程。生活中时时

有地理,处处有地理,地理知识就在人们生活的周围,学习和掌握对生活有用的地理知识,不仅可以拓宽知识面、开阔视野,而且能有效应对生活中的各种困难,解决生活中的实际问题,增强自理能力,最大限度地满足生存的需要,适应复杂多变的环境。

## 1.2 地理信息科学

研究地理信息科学的目的就是利用信息技术提升人类研究地理问题的能力。其核心是以地理学理论为依据,以地理信息为主要研究对象,以地理信息的运动规律和应用方法为主要研究内容,利用现代信息技术,研制各种仪器来感知地理现象的变化,扩展人类的信息器官功能,提高人类对地理信息接收和处理的能力,解决地球表层地理现象时空分布、社会发展、地理环境及动态变化的过程在计算机中的表示、模拟和推演的问题,挖掘各种隐态信息,揭示隐藏的地理知识和求解各种地理问题,为人类可持续发展提供决策支撑。

### 1.2.1 地理信息科学的产生

地理信息科学是以应用为目的,以技术为引导,在社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘科学、遥感科学和信息科学中形成的交叉学科。它有计算机辅助地图(computer assisted cartography, CAC)和地理信息系统(GIS)两种不同的发展思路。GIS与多种信息技术集成构建了地理信息服务(geographic information service, GIService)。随着地理信息应用与服务的广度和深度逐渐加深,人们开始探索地理信息理论问题,从CAC、GISystem到GIService逐步演变为GIScience。

#### 1. 以地图制图为目的催生了数字地图制图

20世纪50年代,计算机控制的行式打印机开始能够输出图形。人们把行式打印机输出图形引入地图制图,产生了计算机辅助地图制图技术,其主要特征为将连续的以模拟方式存在于纸质地图上的地理要素数字化、离散化,以便计算机能够识别、存储和处理。1964年,英国牛津自动制图系统被研制成功。1967年,美国H.T.费希尔领导的实验室研制出组合统计制图软件包。1970年,美国人口统计局设计出具有拓扑编辑功能的双重独立地图编辑技术(dual independent map encoding, DIME),奠定了机助制图数据结构的拓扑学基础。在我国,1972年中国科学院地理研究所开始研制制图自动化系统,刘岳在“制图自动化的进展和实验研究”中,实现了多种曲线光滑,绘制等值线图、统计图和趋势面分析等程序;1977年6月南京大学地理系开设了计算机制图课程;1978年解放军测绘学院刘光运等实现了“地形图图廓整饰自动化”;1981年吴忠性和杨启和完成了“在电子计算机辅助制图情况下地图投影变换的研究”等。20世纪80年代专题地图的计算机制图得到了广泛的应用。1995年开始,计算机制图逐渐进入实用化和规模化阶段。中国地质大学研制出地图编辑出版系统MapCAD,实现了地图制图与地图制印一体化(编印一体化)的突破,通过数字制图技术与桌面出版系统的有机结合,形成了桌面地图出版系统,通过激光照排系统输出把地图编绘的成果输出成高精度的分色胶片,直接制版印刷,从而使地图生产实现批量化和实用化,走上了全数字化生产的发展道路。

计算机制图的诞生不但改变了传统的地图制作技术,引起地图生产方式和地图面貌的变化,也改变了地图使用的实质,促使地图制图理论与方法的研究不断深入。随着科学技术的发展和地图数据应用的深入,特别是计算机技术、数据库技术、网络通信技术和实践

的成功, 地图数据的应用已不再局限于制作地图这一单一用途上, 特别是计算机应用于地学研究, 迫切需要以地图数据为基础, 融合各种地学数据, 包括资源、环境、经济和社会等领域的一切带有地理坐标的数据, 通过属性数据描述地理实体的定性特征, 用数字表示地理实体的数量特征、质量特征和时间特征。初期的地图数据仅仅把各种地理实体简单地抽象成点、线和面, 这远远不能满足实际需要, 必须进一步用计算机表示它们之间的关系(空间关系)。广大科学工作者开始思索如何利用它来反映自然和社会现象的分布、组合、联系及其时空发展和变化, 研究在计算机存储介质上如何科学、真实地描述、表达和模拟现实世界中地理实体或现象相互关系以及分布特征。地图数据与位置相关的社会信息(属性数据)相结合, 形成了各种地理数据。基于计算机技术解决与地理信息有关的数据获取、存储、传输、管理、分析及其在地学领域的应用促进了 GIS 的产生和发展。

## 2. 以应用分析为目的催生了地理信息系统

GIS 概念的提出, 也要追溯到 20 世纪 50 年代。几乎与计算机制图同时, 人们用计算机来收集、存储和处理各种与地理空间分布有关的属性数据, 并希望通过计算机对数据的分析来直接为管理和决策服务。1956 年, 奥地利测绘部门首先利用计算机建立了地籍数据库(digital cadastral database, DCDB), 随后各国的土地测绘和管理部门都逐步发展土地信息系统(land information system, LIS)用于地籍管理。1963 年, 加拿大测量学家 R.F.Tomlinson 首先提出 GIS 这一术语, 并建立了世界上第一个加拿大地理信息系统(Canada GIS, CGIS), 用于自然资源的管理与规划。1981 年美国环境系统研究所公司(Environmental Systems Research Institute, ESRI)发布了 ArcInfo 商业软件。2001 年 ESRI 推出 ArcGIS 8.1, 提供了对地理数据的创建、管理、综合、分析能力。国际商用机器(International Business Machines, IBM)公司和科罗拉多州公共服务公司开始致力于用计算机工具管理公用事业的设施, 即电力线、煤气管道、阀门、仪表、土地等。2000 年我国北京超图软件股份有限公司推出了 SuperMap 软件。这些 GIS 软件为用户提供地理数据的处理和发布服务。研究 GIS 主要是为了解决各种地理问题。地图数据与其他专题地理信息结合, 产生了反映自然和社会现象的分布、组合、联系及其时空发展和变化的地理数据。地理数据利用计算机科学、真实地描述、表达和模拟现实世界中地理实体或现象的相互关系以及分布特征。

在地理信息表示方面, 空间关系是通过一定的数据结构来描述与表达具有一定位置、属性和形态的地理实体之间的相互关系。当用数字形式描述空间物体, 并使系统具有特殊的空间查询、空间分析等功能时, 就必须把空间关系映射成适合计算机处理的数据结构, 这时必须考虑数据的表示方法。

在地理信息组织上, 为了满足地理分析需求, 不受传统图幅划分的限制组织数据, 在人们认识世界和改造世界的一定区域内(即现实世界地理空间), 不管逻辑上还是物理上均组织为连续的整体。

从理论上讲, 地物在地理空间只有唯一的地理数据表示, 空间物体本身没有比例尺的含义, 应尽可能详细、真实地描述物体形状、几何精度和属性。但人们对地理环境的认识往往需要一个从总体到局部, 从局部到总体反复认识的过程。为了满足人们对地理空间这种认识需求, 必须考虑空间物体的多尺度性, 以满足不同的社会部门或学科领域的人群对空间信息选择的需求。

综上所述, 从数据内容、获取手段、表示方法和数据组织上这些数据已经超出了地图数

据表示范畴，为了与地图数据区分，人们称之为地理数据。管理地理数据的系统是地理数据库系统（geographic data base, GDB）。GDB 是在一定的地域内，将地理空间信息和一些与该地域地理信息相关的属性信息结合起来，实现对地理几何特征和属性信息的采集、更新和综合管理。在地理数据库系统基础上，加上地理数据分析应用功能，就形成了 GISystem。

### 3. 以多技术集成构建了地理信息服务

GIService 是为了实时回答“在哪里”和“周围是什么”两个与人类生活息息相关的基本问题，是为了吸引更多潜在的用户，提高地理信息数据与系统的利用率而建立的一种面向服务的商业模式。用户可以通过互联网按需获得和使用地理数据与计算服务，如地图服务、空间数据格式转换等，让任何人在任何时间任何地点获取任何空间信息，即所谓的 4A（anybody、anytime、anywhere、anything）。

自古以来，人类在认识世界和改造世界过程中，所接触到的信息中有 80%以上与空间位置有关。人们在社会活动中必须实时回答“在哪里”和“周围是什么”两个与人类生活息息相关的基本问题。因此，传统 GIService 有两个任务：一是提供地球上任意点的空间定位数据；二是提供区域乃至全球的各种比例尺地图。随着 RS、GIS 和全球导航卫星系统（global navigation satellite system, GNSS）的广泛应用及通信技术迅猛发展，地理信息服务步入了数字化、集成化和网络化的新阶段。在 GNSS、GIS 和 RS 的集成应用中（图 1.1），GNSS 主要用于实时、快捷提供目标的空间位置；RS 用于实时提供目标及其环境的信息、发现地球表面的各种变化，及时对 GIS 进行更新；GIS 则是对多种来源的时空数据进行综合处理、集成管理和动态存取，作为新的集成系统的平台，并为智能化数据采集提供地学知识。

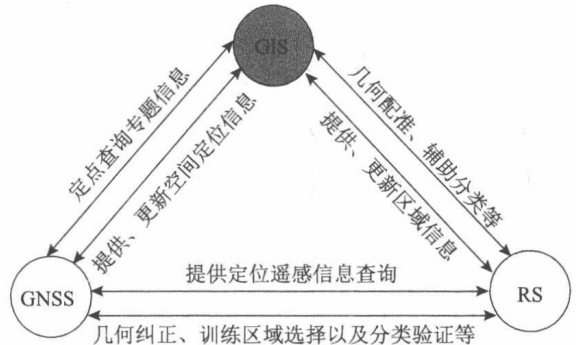


图 1.1 GNSS、GIS 和 RS 集成

三者相互作用形成了“一个大脑，两只眼睛”的框架，即 RS 和 GNSS 向 GIS 提供或更新区域信息及空间定位，GIS 进行相应的空间分析，提取有用的信息，进行综合集成，为决策提供科学的依据。由此看出，GIService 是空间定位技术和地理信息技术的有机结合。没有空间实时定位技术，人们无法及时知道自己的位置，地理信息（地图）就无法发挥它的效益。反之，即使知道自己的空间位置，如果没有 GISystem 的支撑，也无法知道相关位置和周围地理空间环境。只有把实时定位技术所获取的空间位置与 GIS 通过通信技术有机集成，才能构成完整的地理信息服务。

GNSS、GIS 和 RS 集成大大开拓了地理信息的应用空间，从传统军事、国民经济建设应用拓宽到大众公共服务和个人地理信息服务领域。现代地理信息服务的任务除了提供传统的各种比例尺的纸质地图外，还增加了基于存储介质的数字产品（数字地图）服务和基于计算机网络的 GIService 等新的模式。

结合以上分析，GIService 是把实时空间定位技术（惯性导航定位、无线电定位导航、GPS、北斗和移动通信定位）、GIS、移动无线通信技术（无线电专网、蜂窝移动通信和卫星通信）、计算机网络通信技术以及数据库技术等现代高新技术有机地集成在一起，实现地理信息收集、处理、管理、传输和分析应用的网络化，在网络环境下为地理信息用户提供实时、高精度和

区域乃至全球的多尺度地理信息,对移动目标实现实时动态跟踪和导航定位服务的系统。这种建立在计算机技术、网络技术、空间技术、通信技术以及地理信息技术基础上的现代网络地理信息服务改变了早期以地图为载体的地理信息传递模式,大大缩短了地理空间数据生产者与地理信息用户之间的距离,实现了地理信息服务的实时性,随时随地为用户提供连续的、实时的和高精度的自身位置和周围环境信息。

地图数据和地理数据共同支撑了 GIService。地图数据和地理数据是地理空间信息两种不同的表示方法,地图数据强调数据可视化,采用“图形表现属性”的方式,忽略了实体的空间关系,而地理数据主要通过属性数据描述地理实体的数量和质量特征。地图数据和地理数据所具有的共同特征就是地理空间坐标,统称为地理空间数据。地理空间数据代表了现实世界地理实体或现象在信息世界的映射,与其他数据相比,地理空间数据具有特殊的数学基础、非结构化数据结构和动态变化的时间特征,提供人们多尺度地图和各种应用分析。

#### 4. 以多学科融合形成地理信息科学

随着地理信息系统应用的深入,人们开始关注地理信息表达(如地理空间理解、地图结构表达和空间语言理解)的合理性、地理建模分析(如地理对象建模、空间尺度分析和空间决策过程)的科学性以及地理信息系统技术(如人机交互界面、地理数据共享和地理信息系统互操作)的智能性。为了解决地球表层的地理现象和社会发展以及外层空间的环境及其动态变化过程在计算机中的表示,一系列理论成果被创造和发展出来。在地理信息科学发展过程中,以测绘为基础,以数据库储存和检索地理数据,以计算机编程为平台逐步完善了地理信息的获取、处理、存储、管理、提取、可视化和分析等技术体系,使其不仅包含现代测绘科学的所有内容,且研究范围较现代测绘学更加广泛;在吸收信息科学精华的同时,地理信息科学与计算机技术结合,形成了网络、嵌入式和组件式等多种地理信息系统,推动了计算机信息科学与技术的发展。面对艰巨而复杂的地理信息系统工程任务,应用工程化的方法,地理信息科学实现了系统的最优设计、项目建设的最优控制运行和最优管理以及人、财、物资源的合理投入、配置和组织等,逐步形成了需求分析、系统设计、实施管理、质量评估和标准体系等地理信息工程技术体系。地理信息科学以应用为目的,以技术为引导,是在社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘学和信息学中发展形成的一门边缘交叉学科,其内容涵盖了基础理论、技术体系、软件系统、工程质量标准和应用领域。

### 1.2.2 地理信息科学研究特点

地理信息科学是一门从信息流的角度研究地球表层人地关系系统的地理学科,以揭示地理信息发生、采集、传输、表达和应用的机理为研究目的,通过研制开发各种地理信息系统,为人地系统的认知、研究和调控提供科学依据和手段,从而促进人地系统的持续发展。地理信息科学的核心是利用信息技术重构地理过程,探讨发现地理现象的运动规律,实现地理学由定性研究到定量研究,从定性描述到定位、定量分析,从静态到动态,从单要素到综合,从局部到整体的转化,为地理学利用最新科学技术解决重大地理环境难题开辟了一条崭新的道路。地理信息科学研究的基本内容是地理信息采集、分析、存储、显示、管理、传播和应用,即研究地理信息流的产生、传输和转化规律。

作为一个空间的信息系统,以地理学理论为基础,以测绘技术为数据获取工具,以计算机数据库存储管理为核心,以图形可视化为信息传播手段,以数学建模分析计算应用为目的,