

地理信息科学方法论研究进展^{*}

齐清文

(中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)

摘要 地理信息科学是地理学的一个分支,其方法论研究受科学哲学和地理学方法论的影响,同时也从该学科大量的研究成果、工程项目和软硬件产品中提炼的案例中总结和归纳而来。本文在本学科的时代需求和国家前瞻布局的背景下,首先阐述了地理信息科学方法论的哲学观和实用观,提出了研究中应该处理好的六个关系;然后建立了方法论的结构体系,由地理信息本体论、六个科学方法和七个技术方法组成;进而分析和论证了地理信息的本体特征及其与方法论的关系,最后讨论了地理信息科学方法论的创新机制和策略。

关键词 地理信息,地理信息科学,方法论,理论体系

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2011.04.011



齐清文研究员

1 引言

地理信息科学方法论对于总结和归纳地理信息科学的理论、方法和技术,从而推动整个地理学的发展,都有极其重要的意义。但 20 世

纪 90 年代以来,该项研究的步伐出现减缓趋势。究其原因,一方面是由于在以“任务带学科”导向下,科学研究的国家和社会需求驱动力似乎远远大于科学问题自身的内在

逻辑动力,研究工作者沉浸在一个接一个的应用项目中,无暇顾及地图制图、地理信息系统和地理计算等领域的理论和方法创新;另一方面,当地球科学中的各分支学科出现一体化研究趋势时,部分研究者试图用现有的地理信息系统和计量地理的方法来研究地球圈层关系、全球变化、环境变迁等问题时,发现并不能包治百病,特别是在用数学模型来模拟地球客观实体复杂巨系统的时空格局和宏观-微观尺度转换时,显得办法不多,甚至举步维艰。因此,盲目乐观和畏难情绪两个极端的思潮在一定程度上阻碍了地理信息领域的方法创新研究。

作为地理学方法论体系的分支之一,地理信息科学方法论,有着重要的横断型学术地位和广泛的应用需求。我们在该学科自身的时代需求和国家前瞻布局的双重动力和机遇下,开展了地理信息科学方法论的搜

^{*} 本研究得到科技部创新方法工作项目“地理学方法研究”(2007FY140800)资助
收稿日期 2011 年 6 月 21 日

索、挖掘、总结和提炼工作,提出并建立了地理信息科学方法论的系统性理论、方法和工具体系。即将出版的学术专著《地理信息科学方法论》就是这个研究成果的结晶,在此介绍该专著的框架。

2 地理信息科学方法论的哲学观和实用观

学科的方法论从根本上说都受到科学哲学中科学认识论、方法论和工具论的指导。从哲学到一级学科,从一级学科到二级学科,逐级推演;运用演绎式的理论和方法论指导思维,而下一级学科自身的方法论研究成果,又通过归纳和总结,丰富了上一级学科的方法论框架和内容。从科学哲学到地理学再到地理信息科学的方法论演绎式指导和自下而上的归纳式总结模式正是这种模式的体现。在接受科学哲学和地理学方法论指导研究的同时,一方面受到其学科形成和发展的背景与影响因素(分为学科外部因素和学科内在动力)的推动和制约,另一方面也从该领域大量的学术论著、课题和项目成果、工程和技术开发案例中总结、挖掘和凝练方法与技术手段,从而集成各种方法,实现方法和技术的创新。

在研究、思索并形成地理信息科学方法论体系的过程中,作者认为必须协调和处理好以下6个关系:

(1)兼顾方法的前瞻性与成熟性,并以后者为重,因为后者能给读者提供科学性、可靠性强的方法和技术,并以其众多的成功案例让用户信服;同时也注意选择一些前景看好的前瞻性方法和技术,使本文的研究成果在今后相当一段时间内都不会过时,都会给读者和用户提供方法和技术帮助。

(2)兼顾方法的哲学高度与可操作性、实用性,因为太哲学化的方法不具有实用性,但如果方法太具体、过于强调实用性和可操作性,创新性就会打折扣。

(3)既照顾学科的完整性,又注意突出重点,即所建立的方法论体系应该涵盖了地图学、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、决策支持系统(DSS)等诸多与地理信息相关的学科和技术,同时也把能够代表地理信息科学研究特色、区别于地理学其他学科的方法和技术加以着重研究。

(4)既要整理和归纳常规方法,也要注意创新方法。常规方法是基础,是学科的积淀,代表了方法和技术发展的传承性;创新方法则是研究的亮点,有了它们,研究成果才能体现出科学创新方法的强大生命力。

(5)阐述知识与阐述方法相结合,并以后者为重。我们的研究成果是《地理信息科学方法论》专著,应该有别于目前国内外已经出版的以阐述基本知识为主的教材和专著,以讲述方法论为主,大量的已被别的教材阐述过的知识就不包含于本书中。

(6)正确处理不同学科之间的方法、技术边界划分问题。地理信息科学的方法和技术作为地理学(甚至地球科学)各个分支普遍的横断性方法和技术,研究的是带有普遍规律性的方法和技术,在哲学上属于“一般”性的内容,而不是各学科所采用的个性化方法。

3 地理信息科学方法论结构体系的建立

按照科学哲学的理论,任何一门学科的方法都包含3方面的内容:一是该学科研究对象的本体研究,二是如何认识和解决问题的科学方法,三是如何利用和改造客观环境的工具和技术。因此,地理信息科学方法论的核心由3部分组成,即地理信息本体论、地理信息的科学方法和地理信息的技术方法。其中地理信息本体论在总体上继承了科学哲学中的自然观的思路,反映地理信息的特征、本质、信息机理、功能等,同时又在认识论和方法论的指导下阐述了地理信息



中国科学院

的认识论和方法论本质。

科学方法是人类研究和探究地理客体和现象本质规律时采用的理念、方法、途径等,属于将物质世界变为精神世界的内容(即从作用于地理客观实体和现象的方法与途径总结、归纳并升华为理念和知识形式的科学方法)。地理信息科学方法是以系统论、信息化、控制论、耗散结构论、协同论、超循环理论、分形与混沌理论、虚拟现实等信息系统科学理论为指导,在以地理信息为对象的研究活动中总结出来的信息系统整体思维方式。它体现了4个方面的整合:即在研究对象及其联系上,实现了地理单元个体、地理系统连续整体、信息系统整体之间的共生、相互转化、嵌套与整合;在地理本体和媒体中介上,实现了地理对象之间的质量、能量和信息的共生、相互转化和整合;在地理历时性变化上,实现了量变、质变和序变等几种变化态的共生、相互转化和整合;在地理共时联系上,实现单一地理对象和现象、多样化的地理对象和现象、多样统一的地理对象和现象共存、相互转化、嵌套与整合。

根据地理信息科学的发展现状和趋势,本文把地理信息的科学方法分为“图形-图像思维方法”、“数学模型方法”、“地学信息图谱方法”、“智能分析与计算方法”、“模拟和仿真方法”、“综合集成方法”6类。它们分别对应于地理信息科学中的特有的地图、图形图表和遥感图像的识别与思维,结构化问题的数学模型建模与分析方法,中国科学家独创的形-数-理一体化的图谱方法,非结构化问题的知识推理与计算方法,以及数值模拟、虚拟仿真,各种方法的集成等研究方法。上述6大类科学方法又细分为23个子方法。其中:图形-图像思维方法又分为一般图形/图像思维方法、地图思维方法和遥感图像思维方法3个子方法;数学模型方法则分为空间分布与格局、地理空间过程、地理

时空演化、空间优化和决策4个数学模型子方法;地学信息图谱方法包括地理形态和空间格局图谱、地理过程信息图谱、地理行为信息图谱、综合地学信息图谱4个子方法;智能分析与计算方法又分为地理知识推理、地理空间决策、地理知识发现和挖掘、神经网络空间分析4个子方法;模拟和仿真方法则包括地理信息模拟、地理信息仿真和地理信息虚拟现实3个子方法;综合集成方法包括还原与整体集成、定性与定量集成、归纳与演绎集成、逻辑思维与非逻辑思维集成、复杂性科学集成5个子方法。

技术方法是人类利用和改造客观世界和环境的工具、流程和工艺等,属于将精神世界变为物质世界的内容(即由知识性的技术方法物化为实物性的工具、平台、模型等实体)。地理信息的技术方法是以改变地理环境中的物质和能量活动存储场所和形式、满足人类的勘探、调查、研究和改造自然环境的需求为目标,依靠地理环境规律和地理研究对象的物质、能量和信息,来创造、控制、应用和改造人工自然系统的手段和方法,表现为人类利用和改造地理客体和环境的工具、流程、工艺、平台、模型等实物性的实体。它存在于人类作用于地理对象和环境的各种活动与各个环节中,从搜集和采集信息,到管理信息、分析和处理信息,再到表达信息、向用户提供信息服务等整个流程中的各种技术活动。

归纳和整理地理信息技术的各种形式、功能、作用对象以及发展趋势,把地理信息技术方法分为“地理信息采集和监测技术”、“地理信息管理技术”、“地理信息处理、分析和模拟技术”、“地理信息表达技术”、“地理信息服务技术”、“地理信息网格技术”、“地理信息‘5S’集成技术”7类。它们分别对应于地理信息科学领域内的信息获取与动态监测、信息管理、表达、服务、网格计算与服

务、多种技术系统集成等技术方法。其中,地理信息采集和监测技术方法包括基于 GPS 的精确空间定位和信息获取、基于遥感的地理对象动态监测、对地观测、陆地和海洋定点监测、社会经济数据采集和统计 5 种子方法;地理信息管理技术方法分为地理对象时空数据模型、地理对象的数据库管理、海量地理数据的分布式管理 3 种子方法;地理信息处理、分析和模拟技术方法则包括地理信息处理、基于位置的空间定位(LBS)、地理时空分析建模、地理信息智能分析和计算、虚拟地理环境 5 种子方法;地理信息表达技术方法则由地图表达、地图及数据库概括和派生、地理信息多维动态可视化、地理信息研究成果展示 4 种子方法组成;地理信息服务技术方法分为地理数据服务、地理信息和知识服务、地图服务、地理空间辅助决策服务 4 种子方法;地理信息网格技术又分为地理信息网格计算、网格资源定位-绑定和调度、空间信息网格在线分析处理、智能化信息网格共享与服务 4 种子方法;地理信息“5S”集成技术方法包括多源空间数据集成、跨平台的系统集成、应用模型与 GIS 系统的集成、基于分布式计算的集成、GIS-RS-GPS-DSS-MIS 集成 5 种子方法。

作为地理信息科学的方法论体系的实用化成果,作者所在的团队研发了 5 项地理信息技术软件原型,它们分别从自然资源自动监测、调查和可持续发展决策,森林火情自动监控、报警和空间定位,生态环境和生态安全的评价、调控与信息共享,区域疾病防控和应急反应,以及智能化的旅游地理信息系统等多个方面实现了本项研究所归纳、整理和阐述的技术方法。

4 地理信息的科学方法和技术方法范式的形成

作者将地理信息科学的方法研究范式概括为 6 个主体部件和 8 个辅助要素,其中

主体部件是主体、客体、目标、动作、系统和结果,辅助要素则是与动作相联系的流程、工具、途径、状况(由包括时间、地点、程度),以及与系统相关的输入、输出和场合-背景。其中,主体是科学研究的实施者。只要仔细分析、对比、解析这 14 个要素,就会对地理信息的科学方法范式得出清晰的认识。因此,本文又将这 14 个要素与 6 种科学方法组成关系表,详细剖析每种科学方法的研究范式。

地理信息的各种科学方法在目标和结果上差别并不很明显,无非都是以找出地理客观对象和现象的规律(表观的、内在的)与联系为研究目标,服务于地理研究、规划、设计等科学活动,以实现研究过程的阶段性目标和最终目标为结果。其主要差异表现在动作、流程、工具、途径、环境状况(应用场合)等几个方面,例如图形/图像思维方法的动作主要是“观察、阅读、对比、描述;归纳、提炼、抽象和概括;建立概念;编制图件”,与数学模型方法的“抽象、建模、计算和解释”的动作就有很大的差别,两者所采用的工具和研究途径的区别也较明显;地学信息图谱方法则可看作是图形/图像思维方法与数学模型方法两者的结合,因为它既包括形象思维-理性思维等图形思维过程,又需要借助数学模型才能发挥作用;智能分析与计算方法与数学模型方法之间的最大区别在于前者研究的是知识和知识推理,主要针对非结构化和半结构化的研究对象和问题,后者则以高度抽象的理性面貌出现,解决的是结构化的问题,因而其动作及流程、工具、适用场合等均不相同;模拟和仿真方法则是把原本在大自然的实验室搬进了计算机,用计算机方法来模拟和仿真自然现象的结构和过程,挖掘其机理,因而它从本质上讲是一种实验性质的研究方法,从建模到做出规划、设计等,都需要不断地对比、观察、实验,才能得到满



中国科学院

意的结果;综合集成方法则是综合和集成了各种方法的优点,主要解决用某单一方法难以解决的复杂性科学问题或边缘、交叉领域的问题。因此,研究目标和结果的相对一致,与研究过程、工具、途径的较大差别,体现了多种方法之间的“殊途同归”,即科学研究所达到的目标和要得到的结果都是相对一致的,之所以采用不同的方法,是由研究对象和问题的特殊性、研究的场合与背景、研究的程度等的差异性造成的。

地理信息的各种技术方法研究的范式的解析结果与科学方法的范式不同,它分别从地理信息的采集和监测、管理、处理 - 分析 - 计算 - 模拟、表达、服务等地理信息流水线的不同环节上实现其技术方法的,因而相互之间的目标不同,其可比性主要体现在流程和方法上,而不存在对同一内容用不同方法进行比较性研究,因而其结果也各不相同;表现在动作、流程、工具、途径、环境状况(应用场合)等几个方面差异也就相当大。与前5类技术方法有相同或相似点的是后两类方法,即网格技术方法和“5S”集成技术方法。就网格技术方法而言,它本身就同时具备信息采集、管理、分析处理和高性能计算、信息服务与共享等多种功能,只是因该技术的地理信息领域的发展前景和潜在的强大功能上有独特之处,因而对其单章分析。“5S”集成也是在很多方面覆盖了前面几种技术方法的工具、流程、途径、适用场合等,与网格技术方法不同,它在研究领域的理论、方法和应用中都有与前面的单项技术既共存又独立存在的必要性,因为在相当多的交叉领域和边缘学科中,“3S”或“5S”集成技术的应用相当普遍,它起到的作用也是单一技术方法所不及的。所有7种技术方法联合使用,是地理信息科学研究中的最佳选择。

5 地理信息科学方法论的案例分析

在《地理信息科学方法论》中,科学方法

和技术方法的每一章和节都是按照演绎法和例证法相结合的方法来组织和阐述的,即每章先概述该类方法的内涵和外延,进而依次在每节中分述一个子方法;每节也是先规定该子方法的定义和内涵,然后阐述其研究意义,再次刻画其原理、结构和过程,第四给出若干典型案例并加以详细分析说明,最后分析、比较该子方法的优点和不足。

案例分析和研究的目的,是通过对前人与本研究小组大量案例的挖掘、梳理、凝练和集成,采取以点带面的方式阐述其中的几个方法的内涵、过程、特点和结果,达到理论与案例之间互相印证和补充,形成有机的整体。

在案例搜寻和筛选方面,本研究团队可谓是用心良苦。从搜寻范围来看,案例主要来自如下几方面:一是项目组成员曾经承担的科研或工程研发过程的流程、模型和图件;二是现有的教科书、学术专著、学术论文等;三是可借鉴的工具书;四是工程档案和项目成果展示。就案例的区域而言,案例主要来自国内的研究积累;至于国外的案例,可能在案例适应条件上、语言上都有借鉴的难度。关于案例搜寻的时间范围,我们以现代的研究成果为主,对于古代和近代的案例,目前搜寻到的较少。

在获得了大量的、丰富的案例后,我们对案例进行了筛选。遵循的原则,一是典型性和代表性,即案例必须有典型的方法论意义,代表了类似情况下的方法模式和技术路线;二是案例所展示的方法应该具有普适性,要让读者在诸多场合能够重复使用这些方法;三是易于表达,即案例所反映的方法应简单明了,既易于表达,也易于学习。

6 地理信息科学方法论的创新机制

探讨

地理信息科学方法论的创新机制遵循的是一条“地理信息应用和服务→经验总结

和理论升华→地理信息理论和方法的研究与创新→地理信息技术研发和创新→信息产品开发和产业化→地理信息科学发展→新的需求产生→新一轮理论方法创新和知识增长”的模式。其中涉及到地理信息科学的 5 个环节,它们互相联系、相互作用和相互渗透构成了从“地理信息科学方法和技术创新”到“地理信息科学实际应用”再到“地理信息科学方法和技术创新”螺旋式增长和升华过程,也反映了从科学技术与生产力之间的辩证转换过程,即地理信息科学理论、方法和技术创新是地理信息科学的科学价值增值的过程,从它向地理信息应用、服务、产品开发和产业化发展体现了科学技术向生产力的转化;而地理信息科学的实际应用则实现了它的社会功能及其功能增强,从它再向地理信息科学理论、方法和技术创新阶段发展,反映了地理信息实践经验总结向科学理论升华的再次理论提高甚至飞跃。

在地理信息科学方法论创新机制的引导下,我们建立了地理信息科学方法论创新整体方案体系。该方案由 5 个方面的内容组成,即一个核心、四项因子。核心是创新流程和机理;四项因子分别是学科发展目标和内在逻辑方向的引导、社会经济应用需求的拉动、创新机制的保障、技术进步和产业化的推动。创新流程和机理从信息和模型提取开始,通过对地观测和信息采集产生原始地理信息,之后再经过抽象、概括和模型化,产生了直观、再生和全息等不同层次的地理信息,它是地学客体特征的镜像、映射和反映。第二环节是模型和方法的系统化组织管理,形成数据库、模型库、知识库、图谱库、方法库和案例库等。第三个环节是最关键的部分,即理论、方法和技术创新,总结和归纳了 6 个科学方法和 7 个技术方法。第四个环节是信息传播和应用,由此产生了多层次的地理信息应用社会化和大众化趋势。新一轮的

创新又是源自新的需求、新的领域和新的视角。该研究方案涵盖了从基础理论到应用基础,到技术创新,再到产品开发,最后形成产业,这样一个大型的产学研体系。

主要参考文献

- 1 齐清文,姜莉莉,张岸等.地理信息科学方法论的理论体系研究.测绘科学,2010,35(4):5-9.
- 2 齐清文,邹秀萍,徐莉等.地理信息科学方法论案例研究.测绘科学,2010,35(5):11-17.
- 3 Qi Qingwen, Zhang An, Jiang Lili et al. Optimization of mathematical models for thematic maps. Science China: Technological Sciences, 2010, 53 (suppl 1):15-24.
- 4 Jiang Lili, Qi Qingwen, Zhang An et al. Improving the accuracy of image-based forest fire recognition and spatial positioning. Science China: Technological Sciences, 2010, 53 (suppl 1):15-24.
- 5 齐清文,梁雅娟,何晶等.数字地图的理论、方法和技术体系探讨.测绘科学,2005,30(6):15-18.
- 6 齐清文.地学信息图谱的最新进展.测绘科学,2004,29(6):15-23.
- 7 齐清文,池天河,陈华斌等.地学信息产品的理论与技术研究.地理学报,2002,57(增刊).
- 8 齐清文,廖克,刘岳等.知识创新工程中地图学学科规划若干问题.地球信息科学,2001,3(1).
- 9 齐清文,池天河.地学信息图谱的理论与方法研究.地理学报,2001,56(增刊):8-18.
- 10 齐清文,姜莉莉.面向地理特征的地图概括的指标体系和知识法则研究.地理科学进展,2001,20(增刊).
- 11 齐清文.超越界线不断升华的思想螺旋.载(廖克主编)涛声集——陈述彭院士科学思维述评.北京:中国环境科学出版社,2000.
- 12 齐清文.地理科学中地图学的发展与创新.载地理所 50 年发展与创新.北京:科学出版社,1999.
- 13 齐清文.现代地图学的前沿问题.地球信息科学,2000,2(1).
- 14 齐清文,张安定.论地图学知识创新体系的构建.

- 地理科学进展, 1999, 18(1).
- 15 齐清文, 刘岳. GIS 环境下面向地理特征的制图概括的理论和方法. 地理学报, 1998, 53(4): 303-313.
- 16 陈述彭主编. 地球信息科学. 北京: 科学出版社, 2007.
- 17 陈述彭. 地学的探索(第六卷): 地球信息科学. 北京: 科学出版社, 2003.
- 18 牛文元. 理论地理学. 北京: 商务印书馆, 1992.
- 19 贾文毓. 地理学研究方法引论——一般科学方法论层次的衍绎. 北京: 气象出版社, 2008.
- 20 马蔼乃. 理论地理科学与哲学复杂性科学理论. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- 21 杨建军. 科学研究方法概论. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- 22 黄欣荣. 复杂性科学的方法论研究. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
- 23 邬昆, 霍有光, 陈九龙. 自然辩证法新编. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.
- 24 毕润成. 科学研究方法与论文写作. 北京: 科学出版社, 2008.
- 25 W.H. 牛顿 - 史密斯 主编 (成素梅, 殷杰译). 科学哲学指南. 上海: 上海科技教育出版社, 2006.
- 26 熊启才. 数学模型方法及应用. 重庆: 重庆大学出版社, 2005.
- 27 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- 28 王劲峰等. 空间分析. 北京: 科学出版社, 2006.

Progress of Research on Geo-information Science Methodology Research

Qi Qingwen

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS 100101 Beijing)

Abstract Geo-information science is one of the branches of geography. Its methodology research, on one hand, is influenced by both scientific philosophy and methodology of geography, and on the other hand, is the result of summarization and induction from the cases which were extracted from plenty of scientific research achievements, projects, software and hardware products and large quantity of examples of the subject. The research is launched under the background of the need of the times for this discipline and national forward-looking layout. In this paper, the philosophical conception and practical conception of geo-information science methodology are expounded at first, including six points of relationship which should be treated well during the research. Secondly, the methodology structure system is set up, composed of three parts, i.e., geographic information ontology, six scientific methods and seven technological methods. Thirdly, the specific feature of geographic information and its relationship with methodology are analyzed and expounded. Finally, the innovation mechanism and strategy of geo-information science methodology are discussed.

Keywords geographic information, geo-information science, methodology, theoretical system

齐清文 中国科学院地理科学与资源研究所研究员,理学博士,清华大学“3S”中心博士后。国际地图制图协会国家与区域地图集专业委员会委员,中国地理学会地图学与GIS专业委员会常务副主任,中国测绘学会地图学与GIS专业委员会副主任。主要从事地图学与地理信息系统的理论、方法和技术研究。发表论文100余篇,参加10余部专著的编写。E-mail: qiqw@igsnrr.ac.cn