

基于空间与区域视角的生态系统服务地理学框架

李双成, 王 珏, 朱文博, 张 津, 刘 娅, 高 阳, 王 阳, 李 琰

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 生态系统服务研究现已成为国内外的研究热点。回顾生态系统服务研究的历程可以发现, 研究范式正在从自然科学研究范式向自然科学与社会科学综合研究范式转向。生态系统服务研究更加重视时空异质性、更加关注流动性与区域效应, 更加强调生态系统服务对人类福祉的作用。在生态系统结构、过程与功能—服务—人类收益与福祉级联框架中, 地理学的主要分支都可以找到自身的研究议题。在此过程中, 逐渐建构起来的生态系统服务地理学, 不仅可以为生态系统服务研究提供学科支撑, 同时可以丰富和拓展地理学的研究内容。本文在评述生态系统服务研究历程和发展趋势的基础上, 分析了地理学参与生态系统服务研究的逻辑必然性以及面临的机遇与挑战。为了推进生态系统服务研究的“地理化”转向, 我们提议发展生态系统服务地理学, 并初步描绘了生态系统服务地理学的学科框架, 包括定义、研究范畴、研究内容及主要研究议题等。

关键词: 生态系统服务地理学; 空间与区域视角; 研究范式

DOI: 10.11821/dlxb201411004

1 引言

生态系统服务是指生态系统形成和所维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用, 是人类通过生态系统的功能直接或间接得到的产品和服务^[1]。自从20世纪末Daily和Costanza等^[1-2]的研究成果发表后, 国内外出现了生态系统服务研究的热潮, 有大量的文章和研究报告面世(图1)。回顾和总结近20年研究历程可以发现, 以2005年联合国千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, MA)计划的完成为时间分界点, 生态系统服务研究内容发生了重要转变。在2005年以前, 研究重点为生态系统服务价值核算与评估, 评估对象几乎覆盖了全球或地区主要生态系统类型大部分生态系统服务^[2-8]。在这一时段, 为生态系统服务价值评估提供科学支撑的是生态学和经济学。其中, 生态学主要提供对生态系统功能和服务类型的认知, 而经济学则主要提供经济价值评估的理论和方法。随着千年生态系统评估工作在2005年完成, 生态系统服务研究逐渐超越单纯静态价值评估的阶段, 向着更加重视生态系统服务对人类福祉的影响、更加重视生态系统服务的区域差异性和跨越空间尺度的关联、更加重视生态系统服务的动态演化和时间耦合特性等方向演进^[9]。生态系统服务研究成果的应用领域进一步扩大。由以生物多样性保护为主逐步向生物多样性保护、资源与环境管理、区域规划、可持续发展和社会福祉效应等多应用领域发展, 尤其关注全球气候变化和人类活动作用下的生态系统服务变化对区域社会经济发展的影响。在此情形下, 科学家和管理者已经意识到仅仅依靠个别学科进行生态系统服务价值核算已经不能满足于科学发展和社会实践的需求^[4], 特别是认识到生态系统服务具有空间流动和动态变化特征且对人类福祉影响呈现区域差异性后, 对生态系统服务研究的学科

收稿日期: 2014-03-18; 修订日期: 2014-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41130534; 41371096) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41130534; No.41371096]

作者简介: 李双成(1961-), 男, 教授, 博士, 中国地理学会会员(S110006531M)。E-mail: scl@urban.pku.edu.cn

体系有了进一步的认识。“千年生态系统评估以后的生态系统服务研究工作,需要考虑生物物理和社会系统的整体过程与反馈,以更好地理解与管理人类福祉和其所依赖的生态系统之间关系的动态特征。这样,依靠单一学科透析整个社会—生态系统来获取普遍结论是远远不够的^[10]”。

近几年,随着生态系统服务研究的不断深入,生态系统服务的级联框架^[11]被建立起来,并纳入到社会—生态系统中进行分析^[12],多学科甚至跨学科的生态系统服务研究重要性日益凸显^[13]。由于在生态系统结构、过程与功能—服务—人类收益与福祉级联框架中,涉及到自然过程、自然—社会经济过程和社会经济过程递进关系,在社会—生态系统中分析这些过程与关系,则需要自然科学、人文社会科学以及两者结合的学科体系来支撑。因此,生态系统服务研究科学范式与实践应用的转向,要求改变单一学科主导的研究体系,打破学科壁垒,建构起地理学、生态学、环境科学、经济学以及社会学等共同参与的综合性研究体系。在此过程中,兼具自然科学和人文社会科学特性,以系统综合集成分析见长的地理学能够发挥越来越大的作用。例如,生态系统服务付费或生态补偿是生态系统服务研究的重要应用指向之一,在科学研究层面,为生态付费或生态补偿提供依据,除了核算生态系统服务的价值量以外,更重要的是要确定生态系统服务是谁在哪里提供的,供给了多少;是谁在哪里使用的,消费了多少。要科学回答这些问题,需要以空间和区域分析为手段,阐明自然和社会经济要素对生态系统服务时空格局及其流动的影响,而这些正是地理学方法和工具的优势所在。

基于此,本文在分析地理学参与生态系统服务研究的逻辑必然性以及面临的机遇与挑战的基础上,为了推进生态系统服务研究的“地理化”转向,提议发展生态系统服务地理学。并初步描绘了生态系统服务地理学的学科框架,包括定义、研究范畴、研究内容以及主要议题等。

2 生态系统服务地理学出现的科学背景与社会需求

任何一个学科出现都不是偶然的,而是在社会需求驱动下科学发展到一定程度的必然产物。本文从科学背景和社会需求两个层面阐述生态系统服务地理学产生的逻辑必然性。

2.1 科学发展背景

2.1.1 生态系统服务研究的“地理”转向 在千年生态系统评估工作结束前后,生态系统服务研究议题更加重视空间异质性、区域差异和社会经济因素,生态系统服务研究范式呈现出显著的空间转向、区域转向和综合转向(图2)。生态系统服务具有显著的空间异质性和区域差异性已经成为科学界的基本共识。这种空间异质性源于自然地理要素的地域分异,以及由此衍生出的生态系统结构与功能的区域差异性;人类对资源利用方式和强度的

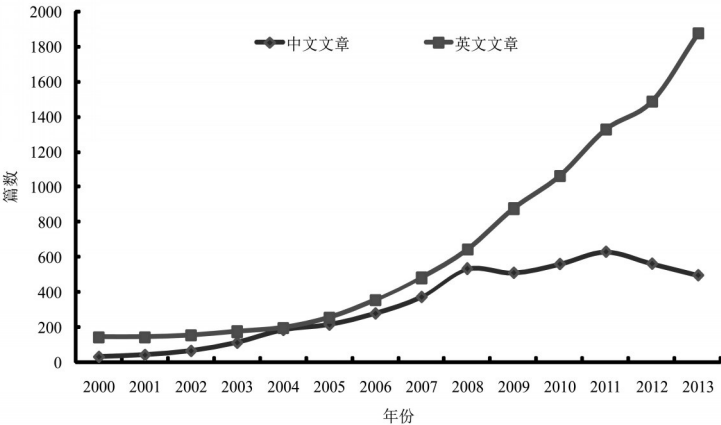


图1 2000-2013年国内外生态系统服务研究变化 (中文文章以“生态系统服务”作为主题词在CNKI检索;英文文章以“ecosystem services”作为主题词在Web of Knowledge上检索;时间段:2000.1.1-2013.12.31)

Fig. 1 The variation of ecosystem service researches at home and abroad from 2000 to 2013

地域差异更加剧了服务的空间不均衡特征。从服务供给角度来说,从服务供给角度来说,生态系统组分和功能具有空间不可替代性。一个生物种群、一片湿地或森林被移动到另一个地理位置,其功能和服务的品质必然发生变化。也就是说,不仅是生态系统服务的数量,其服务品质也具有地理区位依存特性,即只有在特定位置才能发挥其最佳的服务功能。从服务消费角度来说,影响生态系统服务形成的人类消费受到个体或群体的心理、社会、经济和文化等多种因素的影响,而这些因素中同样具有区域差异性。由此可见,与人类使用密切相关的社会经济和文化因素对生态系统服务格局起到了空间再分异作用。另外,由于空间异质性的存在,生态系统服务的供给与消费在空间上常表现为不重合或不一致。例如,在上游形成的保持土壤、调节径流等服务,其消费区往往在距离很远的中下游。在供给与消费分离形成的空间结构中,供给区、消费区和连接区组成了最基本的空间单元,通过流或汇的加以连接^[14]。这种服务供给与消费的空间异质性对于制定合理的生态系统付费政策具有重要意义。千年生态系统评估工作的一个突出贡献就是将生态系统服务与人类福祉联系起来,即将自然科学研究范畴的议题拓展到社会—生态系统框架之内^[10]。目前科学家和管理者已经达成共识,为了使得生态系统服务研究更加深入,应用更加有针对性,迫切需要多学科或跨学科的综合研究^[12-13,15]。从上述这三种转向来看,生态系统服务研究的地理科学倾向抑或说地理特质已经十分明显^[16]。因为空间、区域和综合是地理科学范畴的核心构成要件。“地理学以综合性和空间关联性为主要特色,已成为自然科学、社会科学和人文科学乃至工程。技术之间的桥梁。由此使地理学对人类与环境的相互作用、对复杂世界及不同类型现象间的关联具有独特的洞察力和更深层的了解,并在社会实践中发挥独特的作用”^[17]。地理学具有跨越自然科学和社会科学的性质,向来以综合性和区域性为其特色^[18]。因此,引入地理学的理论、方法和技术,使得生态系统服务研究在时空格局分析与表达、空间流动模拟、尺度效应检视、区域差异分析以及形成过程中自然与人文因素的作用机理等方面将会有巨大进步,有利于建构多学科参与的综合性的生态系统服务科学体系。

2.1.2 当代地理学研究范式的转变与学科特点 科学范式是科学家集团所共同接受的一组假说、理论、准则和方法的总和,其构成科学家共同体的理想和信念,科恩认为,范式是使一门学科成为科学的必要条件或成熟标志^[19]。科学范式不是一成不变的,而是随着社会进步和人类科学认知水平的提高而动态演进,出现范式的演替或更迭,称为范式转型或变迁 (paradigm shift)。具有自然科学与人文社会科学二重属性的地理学,受到了自然科学实证主义方法与人文社会科学“人本主义”倾向的双重制约,研究范式的变迁经历了许多波折^[20]。地理学中的自然地理学一直追求规范性科学的逻辑实证主义范式,强调实证观察

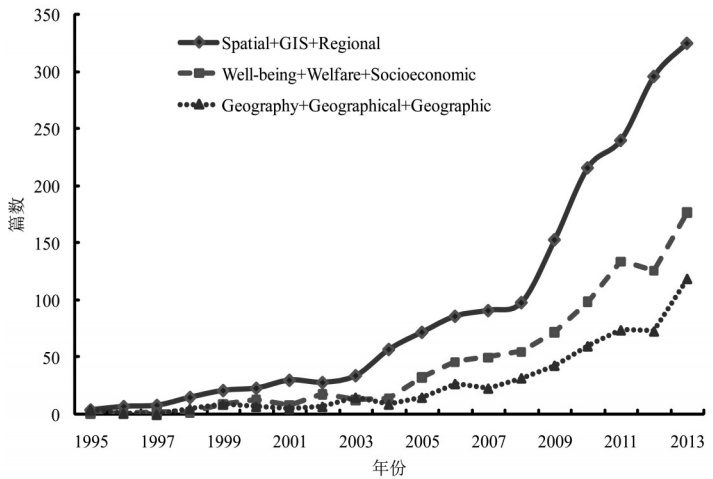


图2 生态系统服务研究范式的转向: 空间转向、区域转向和综合转向表征 (分别以“ecosystem services”和图中三个图例的关键词在 Web of Knowledge 上检索; 时间段: 1995.1.1-2013.12.31)
Fig. 2 The shifts of research paradigm of ecosystem services: spatial shift, regional shift and comprehensive shift

高于理论,没有实证的地理理论常常被视为哲学或形而上学抑或非科学主义的空洞框架^[20]。随着逻辑实证主义的日渐式微,地理学尤其是人文地理学以人文主义、结构主义、行为主义、女性主义、后现代主义研究方法学为代表的学术流派,逐渐兴盛起来,对根深蒂固的实证主义构成了冲击。总体来看,地理学由事实描述的经验归纳主义起步,经历了前实证主义、实证主义和后实证主义等不同的研究范式,从单一范式逐渐走向多元化的研究范式^[21-22]。

地理学中的自然地理学具有规范的实证主义研究传统,不断提出要研究的科学问题,遵循一套从观测、度量、实验、假设、证实(或证伪)到理论概括、逻辑推导和实践检验,并不断反馈、往复的科学方法链。地理学中的人文社会科学部分,关注人类社会和人类活动,力图揭示不断变化着的经济、社会和政治关系,特别注重这些关系的空间组织和空间结构,采用多样的社会科学理论和方法。地理学还充满人文关怀,在历史和现实的背景中,在物质和精神的领域内,关注人对地理环境的感觉、情感、经验、体验、信仰、价值、思想和创造性,以及环境变化与人类福祉的关联。整体来看,地理学是一个由动态观察世界的方法、综合的领域、空间表述组成的三维学科矩阵^[16]。经过范式转型的当代地理学,理论假说与科学实证兼具、定量分析与经验判断结合、自然科学与社会科学融合,具有学科内涵和研究方法上的综合性。当代地理学多样化的研究范式恰恰为生态系统服务研究提供了更加多维的研究视角和更广阔的研究平台。在生态系统结构与功能—服务—人类福祉这个级联框架中,几乎所有地理学的分支学科都可以找到适合自身学科特点的研究议题。例如,具有自然科学性质的地理学分支学科,可以对生态系统结构与功能、生态系统服务的时空特征及空间流动等内容进行研究;具有人文社会科学性质的分支学科,可以将生态系统服务对区域社会经济的影响、人类社会对于生态系统服务消费的时空特征等作为研究议题;而综合地理学则可以将级联框架的中间环节视为研究对象,着重研究生态系统服务的形成机制及其权衡与协同变化。

2.1.3 地理分析工具的发展 当代地理学研究效能的显著提升得益于“3S”技术的出现,尤其是遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的发展与应用。RS为地理研究提供了大范围实时更新的数据源,GIS则为空间分析提供了强有力的分析平台。目前,GIS工具已经广泛应用于生态系统服务研究之中,一些著名的生态系统服务分析模拟软件多是基于GIS平台研发的^[23]。其中,InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)是一套GIS模型工具集,旨在使用生态生产功能方法来估测生态系统服务价值。InVEST通过使用土地利用/土地覆被和相关的生物物理、经济数据来预测生态系统服务的供给及其经济价值。ARIES(Artificial Intelligence for Ecosystem Services)是一种内嵌价值转移方法的GIS开源模型,可对生态系统服务的空间输送和空间流路径与通量模拟计算。

GIS应用于生态系统服务研究主要的领域包括:(1)生态系统服务供给和消费时空格局分析及其空间制图;(2)应用空间分析算法如相关分析,对生态系统服务的空间权衡或

表 1 常用的基于GIS生态系统服务模拟模型及其特征^[23]

Tab. 1 The common GIS-based models for simulating ecosystem services and their features

工具	模型类型	可获得性	适宜的空间尺度	时间尺度	利益相关者的引入
InVEST	生产功能	公开	景观到流域	160-260h	可选
ARIES	价值转移	公开	景观到流域	200-300h	可选
ESValue	人类偏好	私有	站点级到景观	200h	需要
EcoAIM	人类偏好	公开	站点级到景观	每个变量 25h	需要
EcoMetrix	价值转移	私有	站点级	1h/acre	否
NAIS	价值转移	私有	站点级到流域	N/A	可选
SolvES	人类偏好	公开	景观	N/A	需要

协同进行判定；(3) 使用局部统计算法，确定生态系统服务热点和冷点的空间位置；(4) 根据不同时期的生态系统服务物理量或价值量的空间格局，揭示其时空动态；(5) 制定空间明晰化的生态工程实施方案和生态系统服务管理等政策与措施。

2.2 社会需求

社会需求是一个学科形成和发展的外在动力。目前生态系统服务研究具有重要的实践意义。经过三十多年的快速发展，中国经济总量已跃居全球第二位。然而，经济快速发展的资源与环境代价相当巨大，主要表现为对自然资源的耗竭性利用和对环境的严重破坏。以对自然生态系统的影响为例，首先，对生态系统的供给服务过分依赖，尤其是对生态系统物质产品如粮食、纤维、林产品和水产品等过度索取，造成其他生态系统服务削弱或抑制；其次，对自然生态系统类型转换的人为干预明显，人工化的生态系统比例加大，造成系统结构的简单化和功能的下降；最后，通过环境污染或破碎化等形式恶化生境，造成生态系统服务下降，最终危及人类福祉。针对资源环境恶化的严峻形势，中共“十八大”报告提出“把生态文明建设放在突出地位”，“努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展”。生态文明建设和经济建设、政治建设、文化建设、社会建设“五位一体”，要求在发展的同时加强生态保护，必须在发展与保护之间找到平衡点，这客观上要求强化生态系统供给与环境调节、支持和文化服务的权衡分析，以期为各个层次的区域可持续发展与生态文明建设提供决策依据^[24]。从生态系统服务的形成机理、空间流动、区域分异、动态消长和尺度依存特征以及与人类福祉的耦合机制上进行研究，对于遏制区域生态与环境恶化态势，解决区域生态系统服务供给与消费的时空差异引起的社会不公平和生态贫困问题，缓解生态系统服务稀缺对于社会经济发展的限制，保障生态安全和社会经济可持续发展等具有重要作用^[24]。

在社会应用实践中，迫切需要回答以下一些与生态系统服务有关的科学问题，如某一地区生态系统服务供给和消费的空间格局如何，在时间上有什么变化？一个地区如城市中心社会经济发展和居民生计所依存的生态系统服务有哪些，来自什么地方，作用途径是什么？人类生产生活对生态系统服务之间的动态关系有哪些影响？如何因地制宜地实施生态建设工程和生态补偿政策才能使生态系统服务得以持续供给？这些问题本质上是属于地理学研究范畴的。因此，建构中的生态系统服务地理学可以很好地解决上述问题，从而为缓解区域生态危机、建设美丽家园、实现永续发展提供强有力的科学支撑^[24]。

3 生态系统服务地理学的学科界定

我们将生态系统服务地理学定义为：以地理学的原理和方法作为指导，研究生态系统服务形成、传输和使用过程中自然和人文因素相互作用机理，分析生态系统服务的时空特征和区域差异的应用基础性学科^[25]。

3.1 研究对象、范畴、主题域及学科关联

3.1.1 研究对象 概言之，生态系统服务地理学的研究对象是生态系统提供给人类社会的各种服务和集合体(服务簇)。从时空角度，研究对象的内涵可以表征为生态系统服务的时空异质性、供需双方时空格局及地域分异特征；从自然—人文过程角度，研究对象的内涵表现为生态系统服务形成、传输和使用中的社会—生态系统过程及特征^[25]。

3.1.2 研究范畴和主题域 任何一个学科都有其特定的研究范畴，不能过宽或过窄。在生态系统结构、过程与功能—服务—人类收益与福祉级联框架中，生态系统服务地理学以地理学为主要理论支撑，以生态系统服务为核心研究内容，向级联框架的两侧适当延伸，前端与自然科学如生态学等有一定重叠，下游与社会科学如经济学等有一定联系(图3)。表2是在级联框架中不同环节的主题域以及主导该议题研究的优势学科。从中可以看出，

在级联框架中,主导议题的优势学科性质依次为:自然科学、自然和社会交叉科学、社会科学。遥感和GIS作为数据源和分析工具,在每一主题域均能发挥作用。每一环节的研究主题域均与地理学的不同分支学科发生关联。

生态系统服务地理学研究主题域的特点可以归结为:①重视生态系统服务级联过程中多系统多要素的相互作用及非线性特征;②强调生态系统服务供给与消费的时空异质性;③关注生态系统服务供给与消费的多尺度效应;④分析生态系统服务的空间流动路径和通量;⑤区分生态系统服务响应扰动的时间快慢和幅度大小;⑥表征人类选择和自然因素作用导致的生态系统服务权衡与协同^[25]。

3.1.3 学科关联 生态系统服务地理学是一门综合性交叉学科,故其与很多学科具有较为紧密的联系。

①地理学中的自然地理学、人文地理学和遥感与地理信息系统等学科与之关系最为密切。自然地理学的理论和方法可以用来分析生态系统服务形成与流动的地理环境条件。自然地理学家通过建立土地利用/土地覆被变化与生态系统服务的耦合关联,进而将土地科学研究范围拓展到生态系统服务研究领域。应用地域分异理论,可对生态系统服务进行分区研究,为建立生态系统服务保护区提供基础支撑。人文地理学可以在分析社会、经济和文化因素对生态系统服务形成和传输的影响作用时发挥重要作用,尤其是对生态系统服务需求研究的作用更为突出,其成果可以用于指导生态付费或补偿方案的制定与实施;遥感、地理信息系统和全球定位系统等技术的支撑作用则体现在级联框架的每一环节。遥感技术主要用以提供基础数据源,不论是生态系统服务的价值评估,还是物理量的定量模拟,都需基于遥感的实时更新的下垫面覆被信息。地理信息系统的作用主要是为生态系统服务时空格局分析提供支撑平台,具体途径包括空间数据建模分析和空间制图等。②生态学的理论、方法在分析生态系统的结构、过程和功能方面起到主导作用,是生态系统服

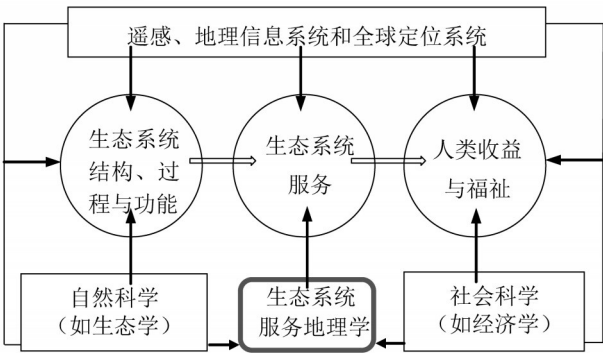


图3 生态系统服务地理学的研究范畴
Fig. 3 The research category of geography of ecosystem services

表2 生态系统服务研究主题域及其与地理学的关联方式^[25]

Tab. 2 The research themes in geography of ecosystem services and linkage with geography		
主题域	主导议题的优势学科	地理学科的作用
生态系统结构与功能	生态学、地理学(自然地理学)、遥感和地理信息系统等自然科学分支	提供分析影响生态系统结构与功能的地理环境的理论、技术 和方法 通过LUCC等研究与生态系统服务时空动态联系起来 通过生态系统功能与服务分区或区域划分参与研究过程 建立具有地理特征的生态系统服务分类方案
生态系统服务	地理学(自然地理学和人文地理学)、生态学、遥感和地理信息系统、经济学等自然-社会科学分支	进行生态系统服务时空动态制图 分析生态系统服务的形成机制及服务之间的相互关系 应用GIS模拟与展示服务供需格局与传输路径 进行生态系统服务区域划分
生态系统服务消费	地理学(人文地理学)、遥感和地理信息系统、经济学、心理学和行为学等社会-自然科学分支	建立生态系统服务与区域人类福祉的耦合关系 明晰消费偏好对生态系统服务的影响程度 剖析影响群体和个体对于生态系统服务感知的因素 分析生态系统服务的区域溢出效应及消费的时空优化
生态付费或生态系统服务管治	经济学、社会学、管理学、地理学(人文地理学)等社会科学分支和遥感及地理信息系统	提出空间或区域差异化的生态付费或补偿方案 根据区域社会、经济和文化因素提出生态系统服务管治的 对策

务地理学的主要组成部分。其中,生态系统生态学中用于指导有关生态系统组成、物质循环、能量和信息流动等结构、过程和功能研究的演替理论、多样性理论、生产力理论、等级与尺度理论等,均可纳入生态系统服务地理学的理论体系之中。^③ 经济学中的一些分支学科可以为建构生态系统服务地理学提供重要支撑。如生态经济学的生态价值理论可以对生态系统服务价值评估与核算起到理论支撑作用,生态与经济协同发展理论可以用于生态系统服务权衡与协同研究;福利经济学能够为分析生态系统服务与人类福祉关系提供理论依据,可以应用边际效用基数论指导生态系统服务消费效率等议题研究;制度经济学可以为生态系统服务管制提供理论基础,并可指导生态系统付费或补偿等政策的制定和实施。

3.2 学科性质

3.2.1 综合性 生态系统服务地理学的综合性特征体现在三个方面:首先,从本体论视角出发,不论是某种服务类型,还是多种服务之间的关系,都是社会—生态系统的组成要素或在其中发挥作用;其次,从认识论角度看,生态系统结构、过程与功能—服务—人类收益与福祉这一链式关系中涉及到自然、社会、经济和文化等因素,需要用系统科学研究范式来加以综合考虑。因此,生态系统服务地理学具备自然和社会科学综合交叉特质。第三,从学科特征分析,综合性是地理学的重要特性之一,综合研究得到地理学家的长期广泛关注和认可,被认为是重要而具挑战性的议题。人地关系是地理学的研究核心,但由于其抽象性和外延性特质,导致多义性的认知和解构,阻碍了研究的深化。从某种意义上说,生态系统服务的级联框架是人地关系的特定表征,将其纳入地理学学科范围内有利于提高地理学的综合研究水平^[9]。以生态系统价值评估为例,不论是基于币值还是基于物理量的量化手段,都是将自然系统和人文系统的单位统一起来,便于两个系统的综合集成分析。

3.2.2 区域性 由于时空异质性广泛存在于生态系统服务的各个方面,并且不同利益相关方对服务的需求与选择也具有群体和层次差异,因而生态系统服务供给与消费双方相互作用及耦合关系在不同时空尺度上有不同的表现形式,呈现出显著的空间异质性和区域分异性,由此衍生出的政策措施也是有一定适用地域和时间范围的。本质上,对于生态系统服务尺度依存和区域分异特征的解构与整合是属于地理学研究范畴的,这也是生态系统服务地理学存在的逻辑前提。地理学方法论的精髓在于把握区域的差异性及区域之间的相互依赖性。秉承地理学对区域特性的认知,通过生态系统服务地理学的研究可以把握生态系统的区域分异特征,明晰生态系统服务的跨区流动及其域外效应,揭示生态系统服务与区域社会经济系统之间的耦合联系。

3.2.3 应用性 生态系统服务的许多议题具有很强的现实针对性和紧迫性,如人类活动对自然生态系统的不适当或过度使用,降低了某些生态系统服务数量和质量,改变了服务的空间分布格局和流动路径,引起了服务之间的关系调整,最终导致了权衡等。应对这种不断恶化的问题并做出科学决策,使得生态系统服务地理学具有使命性、行动性和社会性等特点。目前,生态系统服务研究的应用领域包括生物多样性保护、区域空间规划设计、生态工程导引和区域环境与生态政策制定等。在地理学学科范围内研究生态系统服务,可以明晰其时空格局与动态、把握供需双方的地域特征,进而使得制定的政策和措施更具科学性和针对性。例如,在上述的应用领域中,不论是生物多样性保护、还是生态工程布局与规划设计抑或是区域政策制定,都需要空间明晰化的信息作为支撑,地理学的理论(如地域分异规律)和技术(如GIS)可以发挥主导作用。同时,生态系统服务地理学的建构和不断发展,也会拓展地理学的应用领域和方向,尤其是在建设“生态文明”的背景下,地理学的适度“生态化”发展不仅能够使其进一步满足社会需求,而且有利于拓展地理学的研究领域和范围^[9]。

3.3 优先研究领域与主要研究议题

3.3.1 基于地理学视角的生态系统服务分类体系 目前有多种生态系统服务的分类系统^[2, 4, 26-30]。其中 Costanza 等依据空间联系和排他性/竞争性提出了具有空间特征的分类方案。然而,到目前为止还缺乏具有鲜明地理特色的分类体系,特别是服务于与社会福祉耦合分析的生态系统服务分类框架。因此,从生态系统服务地理学学科建设目标出发,有必要构建基于地理学视角的生态系统服务分类体系。

(1) 理论假设:生态系统功能和人类需求的多样性,导致产生多种类型的生态系统服务。每类生态系统服务均具有自身特定属性和特征,根据不同的分类目的,采用适当的分类依据和指标,所有生态系统服务类型均可归结到特定的生态系统服务分类体系中。

(2) 研究议题:从研究对象的本体论和认识论角度,满足地理学要求的生态系统服务分类体系必须具备空间、区域和综合性特征。分类方案的空间与区域特性客观上要求对空间结构、空间流动以及区域间相互联系等地理学特性的实质性表达;体现综合性特征的分类方案应当在综合考虑生态系统服务供给与需求的基础上抽象得到,并要求在对社会—生态系统深刻分析的基础上,将人类福祉要素融入到分类体系之中。为了与地理学目前的研究议题相衔接,基于地理学视角的生态系统服务分类体系,可以将土地覆被类型及其组合作为基本分类对象,分类依据兼顾功能结构、空间特征及区域分异等^[9],其应用指向为提升人类福祉和实现区域可持续发展。

3.3.2 生态系统服务的形成机制及其相互作用关系

(1) 理论假设:从生态系统功能到生态系统服务是自然和人文要素相互作用的过程,其中自然要素是服务形成的资源基础,人文因素是服务形成的驱动力。生态系统服务形成于人类对自然价值的主观认定和选择使用过程,因而服务的形成既受生态系统功能的影响,也受人类个体和群体心理、行为,经济和文化等因素的作用,是自然价值内化的过程。

(2) 研究议题:在生态系统服务形成机制研究上,以生态系统服务级联关系为研究逻辑框架,着重分析生态系统功能到服务形成过程中自然和人文因素的作用机制。主要研究议题包括:应用系统科学和复杂性科学研究范式,系统分析生态系统功能的类型、分布以及对人类社会作用程度大小和联系紧密程度;揭示人类社会对生态系统功能的选择性利用过程及其时空变化;辨识人类社会的需求动力由生态系统功能到服务的传导路径;明晰生态系统服务与社会经济系统双向耦合关系。

在生态系统服务相互作用关系研究上,通过应用自组织和协同学理论,辨识各种生态系统服务的空间尺度大小,厘清服务之间的快变化和慢变化相互作用关系;揭示生态系统服务之间的动态关系在外界自然因素(如气候变化)和人为因素(如土地利用变化)作用下而出现的外在表现型式如权衡或协同等,并利用GIS和数理统计模型,对权衡或协同的空间结构及影响因素进行分析^[31-32]。土地利用/土地覆被变化是地理学中土地问题研究的核心内容,利用地理学在此研究领域积累的理论、方法、技术和数据等,可以建立起多功能土地利用与生态系统服务形成与维持之间的内在联系,进而可以进行土地利用与生态系统服务权衡与协同作用研究等。通过图形比较、情景模拟以及模型模拟等方式,研究生态系统服务的权衡与协同关系,可以对区域生态补偿等政策的制定起到支撑作用。

权衡与协同研究中需要回答以下科学问题:① 生态系统服务权衡(竞争)与协同的形成机制。哪些因素导致了权衡或协同的出现,主导因子是什么?影响因素导致生态系统服务之间相互关系变动的传导途径有哪些?② 时间和空间上的权衡与协同关系在不同的区域和尺度上有哪些表现形式?例如,在小尺度上某种关系如权衡(如农业灌溉和径流量水质净化)或协同(如土壤保持和水质净化)在中尺度乃至大尺度上有怎样的变化?包括关系性质(权衡或协同抑或无关)是否改变,联系程度是否增强或减弱?③ 如何完善和丰富权

衡与协同的研究途径和表现形式?如何在经济学框架内完善和深化权衡和协同关系的解释?④如何通过权衡与协同关系来调控和优化生态系统服务的时空格局,以更好地管理生态系统服务^[24, 33]?

3.3.3 生态系统服务供给与需求时空特征和区域差异

(1) 理论假设:由于自然地理环境存在着地域差异,加之叠加了人类的价值判断和社会经济因素,生态系统功能被时空异质化。一些功能被放大,一些功能被减小;一些功能时空异质性被增强,一些时空异质性被削弱。最终,导致生态系统服务供给与需求呈现时空异质性和区域差异。

(2) 研究议题:①在生态系统服务供给与需求时空特征上,主要研究议题为:明晰各种生态系统服务的空间范围及传输特征,包括作用范围、流动路径和传输媒介等^[33]。通过专家知识和GIS空间模拟等手段分析每一类生态系统服务的空间结构、热点和冷点等特征,比较不同生态系统服务的空间一致性,判断其空间关联特征;辨识生态系统服务需求的社会经济和文化影响因素,并对区域差异进行分析。通过调查访谈等形式获取需求方对于生态系统服务的感知和选择偏好,利用智能体模型分析不同年龄、职业、收入、教育背景等特征对生态系统服务需求的影响,进而判别不同类型区域生态系统服务重要性和使用优先度以及与生态系统服务相关政策的效能;识别生态系统服务的供给区和受益区及连接路径。依据每种生态系统服务的类型、供需空间分布一致性特征,确定生态系统服务的供给区、受益区及连接区域,并对其进行空间表达;预测各种生态系统服务的供给量及格局的变化趋势。通过专家经验和模型模拟等途径,测度在自然因素(生态系统演替和气候变化)和人类活动(土地利用)影响下生态系统服务供给的动态特征;预估生态系统服务需求的变化态势。通过对区域社会—生态系统的演进态势分析,确定不同消费主体对服务需求偏好的时间变异特征,进而阐明生态系统服务需求的动态变化及其影响因素。②在生态系统服务的区域差异上,主要研究议题为:引起生态系统服务地域差异的自然和社会经济因素有哪些?生态系统功能分区与生态系统服务分区有什么异同?生态系统服务是否存在着区域溢出效应,其效应大小与服务的区域梯度以及流动距离、范围和速率及使用效率有什么样的关系?在此基础上,通过建立分区原则、划分依据和指标等,对生态系统服务进行区域划分。在生态系统服务分区后,评估不同区域发展或生态保护政策效能的时空特征及区域差异,辨识引起服务权衡与协同的关键环节和驱动力,厘清各个区域所承担的社会、经济和生态主体功能,并制定出兼顾三者功能的区域发展战略。

3.3.4 生态系统服务与人类社会福祉耦合关系

(1) 理论假设:①生态系统服务作为人类社会生存与发展不可缺少的自然资本,其空间分布和动态变化必然会影响到区域社会经济系统的状态。随着一些生态系统服务逐渐成为稀缺资源,以及经济体系对其依存度的提高,其对经济系统的冲击作用日趋显著,施加作用后能够引起经济系统的再均衡;②生态系统服务成为人类收益的过程融入了人类劳动因素其中包括生产方式和科技因素等,具有动态演进之特性。生态系统服务对于人类的作用大小,抑或是人类对于生态系统服务的依存程度高低是随着社会的富裕和文明的提升而发生变化的,盖因人类的需求具有不同层次。贫困型社会、温饱型社会、小康型社会以及富裕型社会对于生态系统服务需求的类型不同,对于生态系统服务的扰动程度具有倒U型变动趋势。

(2) 研究议题:生态系统服务如何作用社会经济系统进而影响到人类福祉是生态系统服务地理学的重要研究领域,可从不同尺度研究两者的相互作用与联系^[4]。在地方尺度上,可以建立生态系统服务与低层次人类福祉之间的关系。一方面,通过应用调查访谈和智能体模型等途径,研究不同生计方式下当地居民对主要生态服务的依存度以及选择服务的优先次序;调查不同居民对于生态系统服务的感知和使用行为差异,进而分析其生态系

统服务选择对于其它服务的抑制及其生态与环境效应,尤其是对供给服务的过度依赖给调节、支持和文化服务造成的影响。另一方面,建立起生态系统服务消费和居民收益之间的定量关系,并分析生态系统服务在数量与质量、类型与结构等方面变化下居民生计的变化态势,进而预估居民适应生态系统服务变化的方式或生计转型的可能性,为地方经济发展和减缓贫困提供科学依据。在区域尺度上,将生态系统服务及其币值化结果或内化作为社会经济系统的组成部分,或作为社会经济系统的外部冲击力,应用地理学综合分析途径,定量和定性分析相结合,建立生态系统服务与人类社会福祉的耦合关系,为区域生态系统管理和可持续发展提供科学依据。例如,将生态系统服务价值化并以此作为整个区域经济系统的约束条件,建立社会核算矩阵,构建可计算一般经济均衡模型(Computable General Equilibrium, CGE),定量模拟生态系统服务变化引起的经济结构和系统产出的变动。制定不同的生态系统服务情景,模拟经济系统可能的增益或损耗状况。在全球尺度上,重点研究全球气候变化和贸易体系驱动下的生态系统服务与社会经济系统之间的耦合关系。在多尺度研究的基础上,寻求各个尺度之间生态系统服务与社会经济系统之间的内在联系。

4 结论

目前,生态系统服务研究已经成为自然和社会科学多个学科的研究热点。在此过程中,地理学如何发挥自身的学科优势,深度参与其中,并成为生态系统服务研究科学体系的重要组成部分,应当引起广大地理学工作者的高度关注。生态系统服务研究的空间化、区域化和综合化转型给地理学参与研究提供了难得的机遇。作为一门研究地球表层的学科,地理学深度参与生态系统服务研究甚至在其中占主导地位,并逐渐建构起生态系统服务地理学分支学科具有重要意义。一方面,有利于提高生态系统服务研究的深度和广度。表现在:可以辨析生态系统服务生成与维持的自然背景和人为因素,可以揭示生态系统服务的时空动态和空间流动路径,可以区分生态系统服务供给与消费的区域差异,可以明晰区域可持续发展中自然资本的增益或约束作用。另一方面,生态系统服务的级联框架涉及到自然过程、自然—人文过程和人文过程的递进关系,地理学的主要分支学科都可以在这一链条中找到适合学科特点的研究议题,能够拓展地理学的研究领域。例如,在地理学家为主体的LUCC研究中,已经把基于土地覆被类型的生态系统服务供给作为一项重要研究内容。在全球气候变化和人类活动共同作用下,生态系统功能退化和生态系统服务下降是全球环境变化及其响应方面的重大区域性研究课题,相信越来越多的地理学家将会进入这一研究领域。

由此可见,建构生态系统服务地理学不论对于深化和完善生态系统服务研究学科体系,提升生态系统服务研究水平,抑或是发展和丰富当代地理学,都具有重要意义。

参考文献 (References)

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [3] Balmford A, Bruner A, Cooper P et al. Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 2002, 297: 950- 953.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision-makers. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [5] Alcamo J, van Vuuren D, Ringer C et al. Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services. *Ecology and Society*, 2005, 10(2): 19.
- [6] Fu Bejie, Zhou Guoyi, Bai Yongfei et al. The main terrestrial ecosystem services and ecological security in China. *Advances in Earth Science*, 2009, 4(6): 571-576. [傅伯杰, 周国逸, 白永飞等. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态

- 安全. 地球科学进展, 2009, 4(6): 571-576.]
- [7] Li Wenhua, Zhang Biao, Xie Gaodi. Research on ecosystem services in China: Progress and perspectives. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 1-10. [李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.]
- [8] Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196 [谢高地, 鲁春霞, 冷允法 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.]
- [9] Li Shuangcheng, Liu Jinlong, Zhang Caiyu et al. The research trends of ecosystem services and the paradigm in geography. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1618-1630. [李双成, 刘金龙, 张才玉 等. 2011. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式. 地理学报, 66(12): 1618-1630.]
- [10] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J et al. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, 106(5): 1305-1312.
- [11] Haines-Young R, Potschin M. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being//Raffaelli D, Frid C. *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. BES Ecological Reviews Series, CUP, Cambridge, 2010.
- [12] Keyers B, Biggs R, Cumming G S et al. Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Front. Ecol. Environ.*, 2013, 11(5): 268-273.
- [13] Steffen W. Interdisciplinary research for managing ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2009, 106(5): 1301-1302.
- [14] Syrbe R, Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 80-88.
- [15] Liu S, Costanza R, Farber S, Troy A. Valuing ecosystem services Theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 2010, 1185: 54-78.
- [16] Potschin M, Haines-Young R H. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography*, 2011, 35(5): 575-594.
- [17] Cai Yunlong. On geography in contemporary scientific and social perspectives. *Chinese Journal of Nature*, 2013, 35(1): 30-39. [蔡运龙. 当代科学和社会视角下的地理学. 自然杂志, 2013, 35(1): 30-39.]
- [18] Liu Changming, Zheng Du, Lu Dadao et al. Development orientation for geographical sciences: Written speeches by editors in chief from geographical journals. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 531-545. [刘昌明, 郑度, 陆大道 等. 地理学研究的发展方向-地理学期刊主编笔谈. 地理学报, 2005, 60(4): 531-545.]
- [19] Kuhn T S. *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: The University of Chicago Press, 1962.
- [20] Li Shuangcheng. *The Research Paradigm of Physical Geography*. Beijing: Science Press, 2013. [李双成. 自然地理学研究范式. 北京: 科学出版社, 2013.]
- [21] Tang Maolin. The diversification of research approaches in human geography in Chinese Mainland. *Geographical Research*, 2009, 28(4): 865-882. [汤茂林. 我国人文地理学研究方法多样化问题. 地理研究, 2009, 28(4): 865-882.]
- [22] Ye Chao. The significant turns of thoughts on space in human geography. *Human Geography*, 2012, 27(5): 1-5. [叶超. 人文地理学空间思想的几次重大转折. 人文地理, 2012, 27(5): 1-5.]
- [23] Nemec K T, Raudsepp-Hearne C. The use of geographic information systems to map and assess ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22: 1-15
- [24] Li Shuangcheng, Zhang Caiyu, Liu Jinlong et al. The tradeoffs and synergies of ecosystem services: Research progress, development trend, and themes of geography. *Geographical Research*, 2013, 32(18): 1379-1390. [李双成, 张才玉, 刘金龙 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题. 地理研究, 2013, 32(18): 1379-1390.]
- [25] Li Shuangcheng, Ma Cheng, Wang Yang et al. *The Geography of Ecosystem Services*. Beijing: Science Press, 2014. [李双成, 马程, 王阳等编著. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2013]
- [26] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 235-246.
- [27] Fisher B, Turner R K. Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167-1169.
- [28] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350-352.
- [29] Haines-Young R, Potschin M. Proposal for a Common International Classification of Ecosystem Goods and Services (CICES) for Integrated Environmental and Economic Accounting. 2010. <http://www.nottingham.ac.uk/cem/pdf/UNCEEA-5-7-Bk1.pdf>.
- [30] Zhang Biao, Xie Gaodi, Xiao Yu et al. Classification of ecosystem services based on human demand. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 6(12): 64-67. [张彪, 谢高地, 肖玉 等. 基于人类需求的生态系统服务分类. 中国人

口·资源与环境, 2010, 6(12): 64-67.]

- [31] Rodríguez J P, Beard Jr. T D, Bennett E M et al. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 28.
- [32] Maes J, Paracchini M L, Zulian G et al. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological Conservation*, 2012, 155: 1-12.
- [33] McShane T O, Hirsch P D, Trung T C et al. Hard choices: Making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being. *Biological Conservation*, 2011, 144: 966-972.
- [34] Syrbe Ralf-Uwe, Walz Ulrich. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 80-88.

Research framework of ecosystem services geography from spatial and regional perspectives

LI Shuangcheng, WANG Jue, ZHU Wenbo, ZHANG Jin,
LIU Ya, GAO Yang, WANG Yang, LI Yan

*(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University; Key Laboratory for Earth Surface Processes of
the Ministry of Education, Beijing 100871, China)*

Abstract: The research on ecosystem services has become a hotspot in ecology, geography and other related disciplines at home and abroad. Through reviewing the history of ecosystem service study, it can be found that the research has been gradually transformed from rational paradigm to regional paradigm, and from natural science paradigm to integrated paradigm between natural science and social science. It was characterized by increasing attention to spatiotemporal heterogeneity, spatial flow ability and regional features, and links between ecosystem services and human welfare. Almost all the subdisciplines of geography can find their own research themes in the cascade framework of ecosystem structure and function-service-human benefits and welfare. Due to more participation in the study area of ecosystem services, the geography of ecosystem services which is being constructed as a new branch of geography, not only plays a more important role in the research of ecosystem services, but also can extend the study scope of geography. Based on reviewing the historical process and development trend of the ecosystem service research, the logical necessity, opportunities and challenges of geography in ecosystem services research were analyzed in this paper. To promote the transform of ecosystem service research into geographical context, we proposed that the geography of ecosystem service should be established and well defined as an independent branch of geography. Moreover, a preliminary framework of geography of ecosystem service was described, including the definition, research scope and contents, and the subject position in geography.

Key words: ecosystem services geography; spatial and regional perspective; research paradigm