

地理科学学科的发展历程、突破重点与未来展望

彭书时¹, 陈发虎^{2,3}, 樊杰^{4,5}, 傅伯杰⁶, 龚健雅^{7,8,9}, 朴世龙¹, 熊巨华^{10*}

1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871

2. 中国科学院青藏高原研究所古生态与人类适应团队, 北京 100101

3. 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与资源环境重点实验室, 北京 100101

4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101

5. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

6. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

7. 武汉大学测绘遥感信息工程全国重点实验室, 武汉 430079

8. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079

9. 湖北珞珈实验室, 武汉 430079

10. 国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085

* 联系人, E-mail: xiongjh@nsfc.gov.cn

1 地理科学发展简史

地理科学是研究地球表层中人类生存环境的空间格局、时间演化以及人类与环境相互作用的科学^[1]。地理科学聚焦研究由岩石圈、水圈、大气圈、生物圈、冰冻圈、人类圈相互作用、相互渗透而形成的地球表层系统, 以人类环境、人地关系和空间关联为核心, 阐释地理要素或地理综合体的空间分布规律、时间演变过程和区域特征^[2]。对地观测网络、大数据与人工智能等变革性技术, 与全球变化、流空间等新研究领域, 共同推动了地理科学的创新与发展^[3], 并形成了众多的新学科分支。目前地理科学主要分支学科包括综合地理学、自然地理学、人文地理学和信息地理学^[4-6]。

国际上, 古代至18世纪是地理学的早期探索与描述阶段(图1)。埃拉托色尼科学测算了地球周长, 克劳狄乌斯·托勒密(Claudius Ptolemy)著《地理学指南》(*Geographia*)确立了经纬度坐标体系。文艺复兴、地理大发现促进了地理学唯物论的发展, 推动了地图学的革命, 带来了一系列资料积累与技术革新, 从而奠定了地理唯物论的哲学基础。19~20世纪中叶, 地理学完成了体系化转型, 进入系统化科学阶段。现代地理学以亚历山大·冯·洪堡(Alexander von Humboldt)1807年《植物地理学概论》(*Essay on the Geography of Plants*)的发表为标志。该著作最早提出了垂直地带性(vertical zonality)规律; 亚历山大·冯·洪堡(Alexander von Humboldt)于1845年出版的《宇宙》(*Cosmos: A Sketch of a Physical Description of the Universe*)进一步提出了综合的自然地理学理念^[7], 强调地



熊巨华 研究员, 现任国家自然科学基金委员会地球科学部一处处长兼自然地理学项目主任。1999年获同济大学岩土工程专业博士学位, 历任同济大学土木工程学院讲师、副教授、研究员、博士生导师。主要从事自然科学基金管理工作。

球表面各要素的相互联系。同时, 地理学家开始专门研究人类活动与地理环境的相关关系, 如被誉为人文地理学之父的卡尔·李特尔(Carl Ritter)于1817~1859年出版的19卷《地学通论》(*The Science of the Earth*), 以系统而科学的方式将人地关系确立为地理学的核心研究对象, 强调了地理学的综合性、统一性^[8]。弗里德里希·拉采尔(Friedrich Ratzel)的《人类地理学》(*Anthropogeography*)^[9]探讨了环境对社会的制约。理查德·哈特向(Richard Hartshorne)的《地理学的性质》(*The Nature of Geography*)则界定了区域差异研究范式。随着国际关系的地缘政治学发展及量化革命, 人文地理学在范式转换中实现了飞跃。例如, 阿尔弗雷德·赛耶·马汉(Alfred Thayer Mahan)的《海权对历史的影响1660~1783》(*The Influence of Sea Power Upon History, 1660~1783*)^[10], 哈尔福德·麦金德(Halford John Mackinder)提出的“世界岛”与“心脏地带”概念^[11], 以

引用格式: 彭书时, 陈发虎, 樊杰, 等. 地理科学学科的发展历程、突破重点与未来展望. 科学通报, 2026, 71: 5240–5248

Peng S, Chen F, Fan J, et al. The evolution, key breakthroughs, and future prospects of geographical sciences (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 5240–5248, doi: [10.1360/CSB-2025-5686](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-5686)

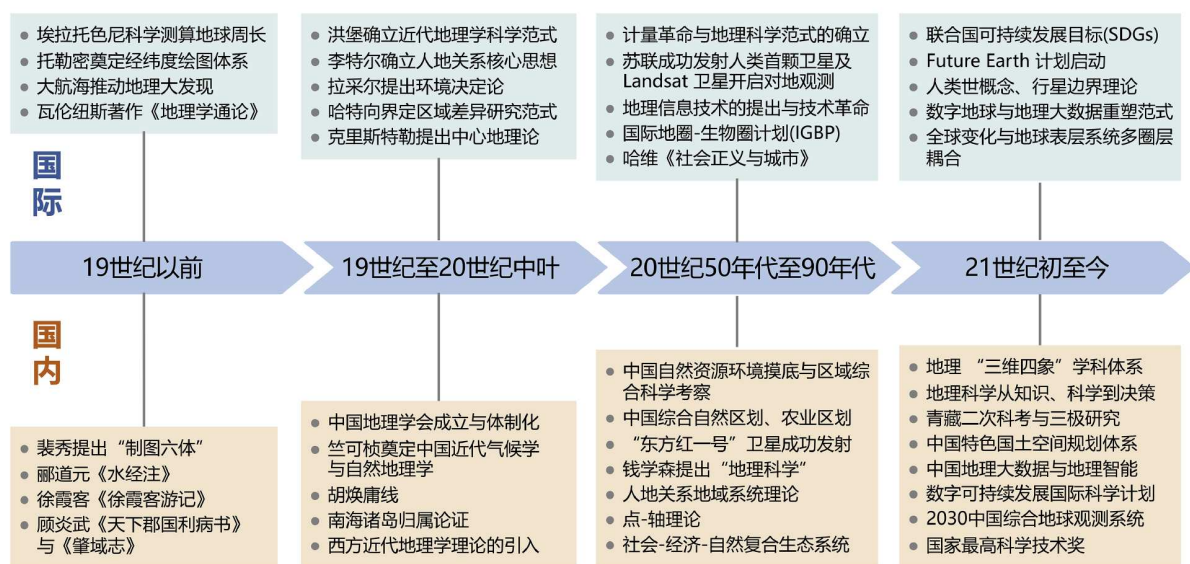


图1 地理科学的国际与国内发展历程

Figure 1 The historical development of geographical sciences: international and national perspectives

及以沃尔特·克里斯特勒(Walter Christaller)提出的中心地理理论^[12]等代表性理论与著作纷纷涌现,推动了相关领域的快速发展。

20世纪50~90年代,地理学研究进入了专业化的现代地理科学阶段(图1)。随着社会发展需求的增长,气候学、地貌学、水文学等部门自然地理学得到快速发展。1957年,苏联成功发射第一颗人造地球卫星,开启了从高空观测地表环境的新纪元;此后,地理信息系统和遥感技术蓬勃发展,推动地理科学研究方法与技术的革新与快速迭代,地理科学由此迈上了新台阶。在此过程中,被誉为“GIS之父”的罗杰·汤姆林森(Roger Tomlinson)开发了世界上第一个真正的地理信息系统,并应用于加拿大土地利用规划^[13];ESRI公司的创立引领了专业化GIS软件系统的发展^[14];大卫·哈维(David Harvey)的《社会正义与城市》(Social Justice and the City)通过对空间正义的探讨,引领了人文地理学的批判性转向。为应对气候变化等一系列全球性问题,国际地圈-生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)等一批重大计划的实施,深刻推动了地理科学研究主题向地球表层系统综合研究的转变。2000年代至今,地理科学迈入了智能与全球治理时代。高空间、高光谱、高时相的对地观测数据掀起了全球观测研究的热潮,人工智能理论与方法的融合促进了地理智能分析的发展。学科发展出星球城镇化、行星边界等新理论,致力于研究人类活动与地球系统交互的作用过程及关键生态环境阈值。为应对全球挑战,“未来地球(Future Earth)”等国际科学计划相继实施。学科研究范式也从格局刻画与过程耦合,演进至对复杂人地系统的模拟与预测。

在国内,中国地理学发展源远流长。古代地理学主要侧重对自然和人文要素的地理分布描述与认识,其代表性成果包括晋代裴秀提出的“制图六体”、北魏郦道元的《水经注》、明代《徐霞客游记》、清代顾炎武的《天下郡国利病书》与《肇域志》以及各类地方志的繁盛(图1)。20世纪,是我国近现代地理学的形成时期(图1)。其标志性事件包括:1909年,我国近代最早的地球科学学术团体“中国地学会”成立;1934年,翁文灏、竺可桢等发起成立新的中国地理学会。这一时期,学界对中国自然科学与人文要素的分异格局取得了奠基性认识,代表作有竺可桢的《中国气候区域论》^[15]、胡焕庸的《中国人口之分布》^[16](其中提出的“胡焕庸线”影响深远)等。同时,学者们亦开始探索地缘政治等新兴领域,如胡焕庸对南海诸岛中国归属的论证,为国家主权维护提供了科学依据。中华人民共和国成立之后,现代地理学进入了系统化、全面快速发展的新阶段。早期工作以摸清自然环境和自然资源本底为目标,地理学界组织开展了大规模区域综合科学考察(如施雅风领导的冰川冻土考察),并围绕人口、农业、土地利用、工业区划和区域发展等重大需求开展研究。黄秉维主编的《中国综合自然区划》^[17,18]以及周立三领导的《中国综合农业区划》^[19,20]等经典成果,为国家与地区的发展和决策提供了坚实的地理科学基础和依据。1970年4月24日,我国第一颗人造地球卫星“东方红一号”发射成功,标志着中国航天遥感时代的开启。信息地理学自20世纪70年代起步,经历了从无到有、从有到好的发展历程,并为地理学各分支学科的深化研究提供了关键的方法与技术支持^[21-23]。20世纪80年代,钱学森先生率先明确提出了“地理科

学”这一现代学科概念,将其定位为开放的复杂巨系统,为中国地理学由传统地理学向现代地理科学的跨越奠定了哲学与理论基础^[24]。改革开放至20世纪末,中国地理科学在全面复兴中不断壮大。学界积极引进并吸收国际前沿思想与理论,同时立足本土实践,形成了鲜明的中国特色与创新。其中,吴传钧提出的“人地关系地域系统”理论^[25]与陆大道发展的点轴理论^[26]等是这一时期具有突出代表性的本土理论贡献。

进入21世纪,中国地理科学深度融入世界前沿,积极参与国际大科学计划(例如IGBP、Future Earth等),在全球变化、可持续发展、人地系统耦合、地理观测与模拟等前沿领域取得了突出成果。同时,学科紧密对接国家战略与地方实践,服务于生态文明建设、新型城镇化与乡村振兴、碳达峰碳中和、美丽中国建设、国土空间治理以及“一带一路”建设等国家重大决策部署。随着科学技术的飞速发展,地理科学内部各分支学科之间,及其与外部相关学科的交叉研究日益深化,形成了“三维四象”的学科体系^[27]。地理科学不断发展和创新技术方法,推动研究向信息化、智能化与综合化方向演进,逐步构建起兼具中国特色与国际影响的学科体系,为国家可持续发展和区域协调发展等重大需求持续提供科学决策和解决方案^[28,29]。

2 学科发展态势及社会需求

纵观地理科学的发展历程,其研究范式经历了从定性描述到定量分析,再到模拟预测的深刻演进。这一转型不仅标志着学科自身的现代化,更凸显了其整体综合、尺度融通、方法交叉、面向应用的核心特质。相应地,研究主题也从“单一”经“多元”而聚焦于“系统”,学科当前以地球表层系统为核心,依托GIS、遥感及大数据、人工智能等前沿技术,致力于揭示复杂的人地耦合关系,为可持续发展提供科学方案。

在此学科演进脉络下,我国地理科学在基础理论与决策应用领域均取得了卓越成就。在理论方法上,于人地系统、地域功能、定量遥感与地理建模等方面取得系列突破;在实践应用上,于自然资源管理、国土空间治理、新型城镇化、乡村振兴及“一带一路”建设等领域,形成了具有中国特色的研究体系与解决方案。

然而,置身于“人类世”与“百年未有之大变局”叠加的宏大时代背景之下,学科发展态势与社会需求对地理科学提出了更高要求。全球变化、可持续发展以及地缘博弈等复杂挑战,要求地理科学必须树立全球视野,直面严峻危机。学科未来的发展亟需沿以下路径深化:一是深化基础理论,发展面向“宜居地球”的新时期人地关系理论,特别关注全球南方的发展公平性;二是驱动方法革新,充分融合技术革命成果,增强对人类活动与区域动态的精准认知与科学评估能力;三是提升决策支撑能力,探索可持续发展与高质量发展的区域模式,构建能够阐释全球战略格局并指导协调发展的系统理论,最终服务于提升人类对地球系统的认知与调控水平。面对这

一态势与需求,地理科学唯有通过持续的理论创新、深刻的方法变革与深入的学科交叉,才能全面提升其国际影响力与解决实际问题的能力,从而为构建人与自然和谐共生的未来,贡献其不可或缺的科学力量。

3 纲领性科学问题

基于上述学科发展态势与国家及全球可持续发展的紧迫需求,地理科学必须首先回应其最根本的导向性问题。因此,我们凝练并提出新时期地理科学的纲领性科学问题如下:认知人类活动及其生存环境的相互作用关系,有效应对全球变化并促进可持续发展。

理解地球表层自然圈和人类圈相互作用需要融合自然、经济、社会、文化等多要素和多过程。因此,地理科学在新时代的发展,亟需推动“科学理念”与“科学方法”的双重变革。在科学理念上,核心的转变在于从相对静态、二元对立的“人地关系”认知,演进为动态、系统、耦合的“人地耦合系统”整体观。这要求将人类活动视为地球系统的一个内在、活跃的组成部分,而非外部扰动因素,从而在“人类世”的框架下,将研究重心从单纯解释地理格局与过程,更多地转向预测与评估未来情景,并探索主动塑造可持续未来的路径。在科学方法上,需建立以遥感、大数据、地理智能为支撑的“人地耦合复杂系统分析模拟模型驱动”的科学研究体系;以大数据挖掘和地理建模模拟为抓手,建立“数据驱动-模型模拟-预测决策”的技术方法体系。旨在准确定量刻画人类活动过程,开展面向宜居地球和美丽中国的地理场景模拟,提升对人地系统演变的预测能力,从而为高质量与可持续发展决策提供坚实的科学支撑。

4 学科重点领域

为系统回应上述纲领性科学问题,并将“科学理念”与“科学方法”的变革落到实处,在“人类世”与全球可持续发展背景下,地理科学亟需围绕观测、模拟、机理与决策等若干关键方向实现体系化突破。为此,基于学科发展趋势与国家战略需求,本研究通过系统梳理与专家研讨,凝练形成如图2所示的六大重点领域。这六个领域在逻辑上呈现为“技术支撑—前沿交叉—战略需求”三层结构,系统对应从数据获取到决策支持的全链条创新需求:以“地球系统智能遥感观测与实时监测”和“地理系统孪生建模与智能决策支持”构成技术支撑层;以“地球表层系统与全球变化”和“人类活动足迹模拟及其资源环境效应”构成前沿交叉层,聚焦核心科学问题;以“人地系统演变与区域可持续发展”和“全球地缘安全评估推演与预警”构成战略需求层,直接回应国家与全球可持续发展中的重大挑战。它们共同构成了新时期地理科学突破的核心方向。

4.1 地球表层系统与全球变化

在全球变化背景下,深入认知人类赖以生存的地球表层

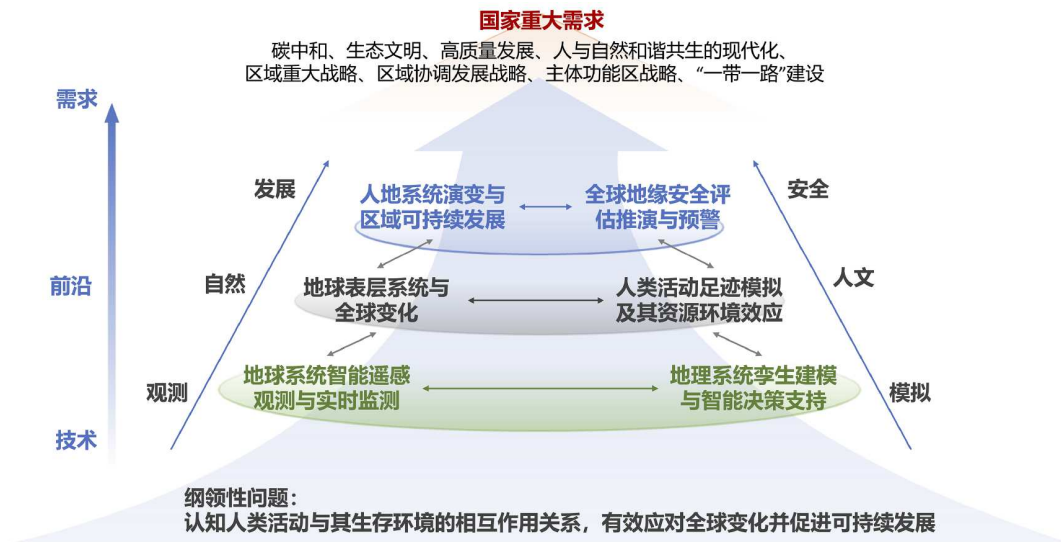


图2 地理科学面向国际科学前沿和国家重大需求的重点领域

Figure 2 Key areas of geographical sciences oriented to the international scientific frontiers and major national needs

系统,是地理科学研究的核心。这包括:理解系统内各圈层(如岩石圈、水圈、生物圈、大气圈、人类圈)的过程机制与运行规律;揭示其间的物质循环、能量流动与信息传递及耦合关系;系统探讨地球表层过程对地球内部活动、气候变化及人类活动的响应与互馈机制。相关研究旨在为预测未来地球表层系统的演变趋势及其气候反馈提供关键科学依据。这一领域具体聚焦以下四个子领域:(1)地球表层系统过程;(2)地球表层系统模式;(3)地表极端事件及其影响与应对;(4)地表系统与全球变化互馈。拟解决的关键科学问题为:揭示全球变化背景下地球表层系统各圈层的演化规律与运行机制,阐明地表系统与气候系统的互馈关系,进而预测其未来变化趋势。

4.2 人类活动足迹模拟及其资源环境效应

人类活动及其资源环境效应是影响人类可持续发展的关键科学问题。在气候变化、技术进步、地缘博弈等新背景下,全球人口、经济、基础设施等人类活动空间不断重塑,大数据、人工智能等新技术的发展为人类活动开辟了新的智能模拟研究范式。在“人类世”背景下,聚焦人口移动、城镇化、产业、交通等人类活动足迹,开展人类活动足迹精细化刻画与数值模拟,解析人类活动对资源利用和生态环境的影响过程及关键阈值,揭示资源环境应对人类活动的脆弱性与恢复力,强化全球-国家-区域尺度人类活动足迹的资源环境效应跨尺度耦合研究,提出人与自然和谐共生的科学方案和治理路径。具体分为四个子领域:(1)人类活动足迹精细化刻画与数值模拟;(2)人类活动对资源环境的影响过程与关键阈值;(3)人类活动与资源利用和生态环境的交互耦合;(4)“流-地方”交互下的区域发展决策支持。拟解决的关键科学问题

为:定量揭示人类活动与资源环境的多尺度交互过程及其耦合机制。

4.3 人地系统演变与区域可持续发展

人地系统是由人类活动和自然系统相互作用形成的复杂开放巨系统,其研究旨在揭示人类与自然系统互馈关系的动态作用机制,是推动人与自然和谐共生,实现可持续发展的重要科学基础。在人类活动强烈影响下,我国资源环境面临前所未有的压力,需要综合分析人地系统各要素,解析人地系统组成、结构、功能与耦合机理,深化对“全程耦合”的研究,揭示人地系统历史演变规律,探索行星边界与安全公正空间,研发人地系统耦合模型,为形成节约资源和保护环境的国土空间格局、城镇与基础设施布局、产业结构、生产生活方式,建设人与自然和谐发展的美丽中国提供重要科学基石。具体分为四个子领域:(1)人地系统格局-结构-功能与动力学机制;(2)人地系统历史演变与文明演进;(3)人地系统耦合与区域可持续发展;(4)人地系统耦合模型与模拟。拟解决的关键科学问题为:探索不同时间和空间尺度经济发展、社会公平与生态环境系统互馈机理,实现人与自然和谐共生的可持续发展。

4.4 全球地缘安全评估推演与预警

世界格局正发生着深刻演变,大国关系亦在深入调整中,全球治理体系呈现新特征,政治、经济、科技与金融成为重塑世界格局的重要因素,需高度关注全球性变局对中国发展的影响及区域地方响应。针对新时期全球地缘环境的不稳定性和中国包容性全球化的国家安全保障,建立全球地缘安全

评估推演的理论与技术方法体系,构建从“大数据综合集成-关键参数获取-智能评估模型研发-风险场景化预警”的全链条科学方案,对全球地缘环境进行实时、动态监测,刻画全球地缘环境的动态变化过程,厘清全球地缘安全的演化机制,对关键领域、关键区域进行场景化推演和风险模拟,为中国的地缘安全、经济安全、海外利益保障和全球治理等提供基础科学支撑.具体分为四个子领域:(1)全球地缘环境动态监测与演化过程;(2)战略资源流动态势与地缘安全风险评估;(3)关键区域的地缘安全模拟与场景推演;(4)关键区域地缘安全综合集成与国家战略决策支撑.拟解决的关键科学问题为:研发全球地缘安全模拟器,识别关键参数,实现情景模拟和预警.

4.5 地球系统智能遥感观测与实时监测

面向全天候、全天时高分辨率遥感对地观测与监测的重大应用需求,针对跨模态、跨区域、跨时相遥感大数据处理的技术瓶颈,基于新型对地观测机制和新一代人工智能技术,研究智能遥感与地球系统观测的基础理论,重点建立“空-天-地-人”地球系统观测传感网络,突破新一代“观测-融合-分析-推测-决策”的智能遥感技术体系,研发面向地理场景的自主可控智能遥感平台,推动遥感学科走向全天候、全天时对地监测与决策,实现“数据-信息-知识”的自动化、实时化、智能化转换.在人工智能时代,应积极推动智能地理学(Intelligent Geography)的发展,利用大模型、地理智能等新技术重塑地理发现的范式,深化对地理现象的智能化分析与模拟推演^[30],服务于数字中国/地球、国家/国土安全等国家重大战略和联合国可持续发展目标建设.具体分为六个子领域:(1)面向地球系统科学的智能观测理论;(2)新体制智能遥感成像与全球监测卫星星座;(3)多模态遥感大数据精处理与智能融合;(4)全球复杂地理场景遥感智能识别与知识理解;(5)全天候全天时地表参量定量反演与智能推测;(6)“空-天-地-人”多域协同智能决策与实时服务.拟解决的关键科学问题为:全天候全天时地球系统遥感智能观测、监测与决策理论.

4.6 地理系统孪生建模与智能决策支持

面向全球变化、人地关系、可持续发展、“双碳”目标等诸多科学议题,地理系统建模与决策支持已成为相关研究开展的重要手段.随着地理系统研究的日渐复杂与交叉,以及开放网络、数字孪生、人工智能等方法技术的发展突破^[31-33],地理系统建模与决策支持亟待向着开放式、智能化的方向发展.该领域将聚焦地理系统综合表达、地理系统智能建模、地理孪生模拟与智算、地理知识共享、服务与决策支持等内容开展相关理论、方法、技术与工具研究,为地理系统时空格局、作用关系、演化机制的综合认知与理解,提供智能化、高效化的建模与决策支持途径.具体分为四个

子领域:(1)自然-人文-信息融合的地理系统综合与场景表达;(2)知识-机理-数据驱动的地理系统智能建模;(3)地理孪生模拟与智算;(4)开放式地理知识共享、服务与群智决策支持.拟解决的关键科学问题为:地理系统的综合抽象表达及地理智能决策支持范式.

5 学科现有人才、团队和平台

过去40年,我国地理科学基础研究和人才培养快速发展.经过几十年的发展,我国已建立了从本科到博士后的完整地理科学人才培养体系.截至2024年,全国开设地理科学类本科专业(至少包括地理科学、自然地理与资源环境、人文地理与城乡规划、地理信息科学中的一个)的高校已超过270所(<https://gaokao.chsi.com.cn/>);在研究生教育层面,全国拥有约120个硕士授权点和55个地理学一级学科博士授权点(<http://www.moe.gov.cn/>),形成了地理科学多层次人才培养梯队.在中华人民共和国科学技术部、中华人民共和国教育部等部门的领导和持续支持下,地理科学人才济济,形成了一支老中青结构合理,基本涵盖综合地理、自然地理、人文地理和信息地理各领域分支学科的人才队伍.总体上,地理科学人才数量和质量快速提升,但仍缺乏在国际舞台上具有重要影响力的顶尖地理科学家和领军人才.建议通过有组织的科研和重要项目培养战略科学家和杰出科学家,鼓励国内具备条件的科学家增强国际影响力.近20年来,地理科学学科队伍的年龄结构持续优化,年轻科研群体的比重持续增加,学科整体活力显著增强.然而,受区域经济发展差异及各分支学科的内在特征影响,不同地区和不同分支学科间的人才队伍布局出现显著差异,尤其是西北地区人才流失,而东部地区人才进一步集聚,造成区域间人才布局不均衡问题日益突显^[28].从学科上来看,由于综合地理学的区域综合复杂性和人文地理学的自然-社会科学的交叉性,在现有“四唯”指标占优势的院士评审、国家高层次人才队伍评审中整体吃亏,造成人才队伍偏弱,成为需要扶持和重点关注的学科.此外,重要项目类型负责人整体呈现“年龄推迟化”趋势,建议持续关注重要项目类型的研究群体,鼓励优秀青年学者挑起学术大梁,加大对青年学者的培养和资助^[34].

目前,地理科学已有国家自然科学基金卓越研究群体(原基础科学中心)、创新群体,省部级创新团队,研究方向覆盖自然地理学、人文地理学和信息地理学.地理科学强调综合性和系统性,现有重点团队偏重各分支学科的国际前沿和国家需求研究,缺少地理科学内部自然、人文和信息分支学科间的交叉重点团队(即综合地理团队),以及地理科学与其他学科的跨学科交叉重点团队.今后需要在面向世界科技前沿和国家重大需求,例如,围绕人地系统耦合、全球变化与地表系统、碳中和、可持续发展、区域国别研究、重大战略区和特殊类型区等领域和区域,建立地理科学综合性和交叉学科的研究团队.现有重点团队(卓越研究群体、创新群体)

主要集中在北京(近50%),缺少具有区域特色的研究团队,尤其是聚焦西南、西北、东北等欠发达地区和边疆地区。建议聚焦区域综合研究,布局重点城市与地方联合研究的重点团队,解决国家重大需求面临的科学问题,有效缓解地理科学人才和重点团队区域分布不均衡的问题。随着中国在全球治理中作用愈发重要,地理科学研究更需要具备全球视野,关注全球和区域国别研究,建议资助面向“一带一路”、全球南方、中国-东南亚、中国-中亚、中国-东北亚、中国-非洲、中国-美洲、中国-欧洲等国际合作重点团队,从而拓展中国地理科学的全球影响力。

国家重点实验室作为我国科技创新平台和人才汇聚平台,其人才队伍一直是基础和应用基础研究领域的主力军。自1984年以来,我国陆续建设了与地理科学研究相关的系列国家重点实验室,涵盖了综合地理学、自然地理学、人文地理学和信息地理学等分支学科。实验室的建设具有不同的特点,可以概括为三方面:(1)以地理要素的科学问题为牵引,如植被与环境变化、荒漠与绿洲生态、湖泊与流域水安全、地表过程与资源生态等;(2)以特定研究区域的地球系统科学问题为牵引,如青藏高原地球系统与资源环境、冰冻圈科学、城市与区域生态等;(3)以信息地理技术方法为牵引,如测绘遥感信息工程、资源与环境信息系统、遥感科学等。为进一步强化国家战略科技力量,2022年国家启动国家重点实验室优化重组,目前已有多个与地理科学相关的国家重点实验室获批建设,如新增了青藏高原地球系统与资源环境、成功重组了地理信息科学与技术、地表过程与水土风沙灾害风险防治、干旱区生态安全与可持续发展、湖泊与流域水安全等国家重点实验室,但从学科全面发展角度来看,仍有待加强体系性的规划与布局,尤其是高校系统与地理科学相关的国家重点实验室偏少。

野外观测台站是依据自然地理分异特征而布局建设的基础支撑和条件保障类国家科技创新基地,能够为地理科学研究提供长期野外定位观测数据和资料,有力保障了原始创新能力的提升。根据观测对象划分,目前我国已建设国家级野外观测台站88个,其中森林类23个、草地类10个、农田类24个、荒漠类6个、城市类3个、海洋类7个、湖泊与湿地类10个、生物多样性类2个、地球关键带与喀斯特类3个,初步形成了涵盖生态系统、物候、陆地生态系统通量、高寒区地表过程与环境等跨站、跨学科、成体系的全国地理观测研究网络。未来建议加强面向地球表层系统观测网络的整体规划设计,注重引入新的观测手段,实施高标准长期持续性监测,助力推动地理科学的创新发展。

遥感是地理观测的重要科学技术,目前我国拥有由密云站、喀什站、三亚站、昆明站、丽江站、北极站构成的陆地观测卫星数据接收站网,支撑包括高分系列、资源系列、环境减灾系列等20余颗国产卫星,遥感手段覆盖全色、多光谱、高光谱、夜光、微波等。航空遥感系统作为国家重大科

技基础设施,拥有两架“奖状”遥感飞机和两架“新舟60”遥感飞机,具有可见光、高光谱、红外、SAR数据的综合采集能力,成为新型航空和航天载荷的实验验证平台、支撑地球系统科学研究的综合平台。国家民用空间基础设施真实性检验场网是遥感科学研究的重要基础设施,通过在各站点部署各类地面试验遥感设施和平台,为遥感模型建立、地空数据反演、遥感有效性检验等科研工作提供基础的实验数据和技术支撑。空基真实性检验场网由48个站点组成,分布在28个省和自治区,包括草地、农田、森林、海洋、城市、湖泊等多种典型地物类型,具备6类24种遥感共性产品地面真值获取能力^[35]。未来需要推动实现通导遥的一体化,进一步加强“天-空-地”立体化协同组网观测的能力,促进遥感数据的开放共享。

上述国家重点实验室、野外观测台站与空天遥感基础设施,共同构成了支撑地理科学前沿探索与重大需求研究的国家战略科技力量体系,直接且深入地支撑着新时期地理科学重点领域的发展。例如,以青藏高原、冰冻圈、湖泊与流域等为代表的国家重点实验室和野外台站,构成了理解地球系统关键过程与响应全球变化的天然实验室。它们提供的长期、连续、多要素观测数据,是揭示地球表层系统圈层耦合机制、量化全球变化区域响应的核心数据。整个“天-空-地”一体化观测网络和国家真实性检验场网,是发展智能遥感反演算法、验证数字孪生模型的基础底座。多平台、多尺度、多谱段的协同观测数据,正是驱动地理系统模拟从“离线”走向“实时”、从“仿真”走向“孪生”的关键燃料。城市与区域生态、资源与环境信息系统、地理信息科学与技术等国家重点实验室,依托全球遥感数据接收站网和综合对地观测能力,结合城市、农田、森林等观测台站网络,以及高光谱、夜光、SAR遥感及航空遥感系统,为大范围、高精度刻画“人类足迹”及其生态环境效应提供了关键技术手段,支撑人地系统耦合模型的构建与模拟,也为地缘安全风险评估提供实时数据基底和空间分析平台。此外,以《地理学报》(中、英文版)、《中国科学:地球科学》、《地理研究》、《地理科学》(中、英文版)、《地理科学进展》、*Geography and Sustainability*等为代表的高水平学术期刊,作为支撑学科发展的核心平台,在成果发布、思想引领及国际学术话语权提升方面发挥了不可替代的作用。

6 未来展望

地理科学在全球变化、地球系统、可持续发展、碳中和、国土空间治理、生态文明、高质量发展等世界科技前沿和国家重大需求等方面发挥着不可替代的作用,建议加强地理科学学科发展需求方向指引,保障重点领域基础研究的人才储备和国家重大需求的攻关力量,提前布局未来潜力学科方向,扶持综合地理和人文地理学方向,促进不同分支学科的均衡发展,缩小人才和团队在不同学科、不同区域之间

的差距。加强地理科学作为应用基础研究的属性,加大对具有应用前景研究方向的投入和地理教育的重视。鼓励地理科学各分支学科之间以及与其他学科的交叉,加大支持大数据和AI等新兴技术手段的应用,资助组建交叉的重点团队。立足中国大规模快速城镇化、国土空间治理、生态文明建设顶层设计、精准扶贫的空间实践与“一带一路”建设等,鼓励地理学者坚定文化自信,致力于建构中国地理学自主知识体系,开展具有中国特色的原创性理论与范式研究,凸显中国地理学的全球理论与实践贡献。探索发展国际合作重点团队,加快对中国与周边国家的综合地理研究,以及世界其他区域的综合地理研究,尤其是区域和国别地理研究。在人才队伍建设方面,建议建立分类评价体系、引入代表作制度、注重社会服务贡献等破“五唯”的措施。鼓励青年学者挑起学术大梁,加大对青年学者的培养和资助。鼓励顶尖科学家领导国际大科学和大工程计划,提高顶尖科学家的国际影响力。

面向未来,中国地理科学在深入服务国家发展的基础上,应致力于将大规模快速城镇化、生态文明建设与精准扶贫等独特实践经验,升华为具有全球意义的理论贡献。例如,发

展阐释高强度人地互馈的“人地系统协同演化”等理论体系,推动此类植根中国、放眼全球的理论创新,积极落实“文化走出去”战略,将显著增强学科的解释力与预见性,有力提升中国地理科学在国际学术舞台上的话语权与影响力。针对学科前沿和国家需求,建议设立“陆地碳水循环与气候变化”“人地关系演变与区域可持续发展”重大研究计划,引领陆地表层系统国际科学前沿研究;设立“地表系统过程与人类经济社会活动耦合模式”“国土安全与地理智能模拟推演”重点研发专项,加强在地表系统模型中耦合人类社会经济活动,未来不同政策情景中地表系统的演变研究;加强涵盖“生态-土地-水资源-能矿资源-国防”的国土新安全格局体系优化、人类活动与陆海国土空间科学治理、边疆地缘环境监测与智能解析、海疆地缘安全模拟与场景推演等方面研究,以服务国家战略需求。培育和领导“光谱星球”“联合国可持续发展目标”国际大科学计划。另外,建议加强与生态环境部、自然资源部、国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部等国家部委的合作研讨,联合设立“基础科学-行业需求”重点研发专项,推动地理科学作为应用基础科学在行业部门的落地应用。

致谢 本文是国家自然科学基金的学科战略研究成果(42342059),众多专家学者参与了讨论。在此特别感谢中国科学院地理科学与资源研究所王姣娥、中国科学院空天信息创新研究院高连如、武汉大学钟燕飞、南京师范大学陈旻、中国科学院生态环境研究中心周伟奇、北京大学赵鹏军和国家自然科学基金委员会地球科学部高阳对论文写作和材料提供帮助;特别感谢东北师范大学白娥、兰州大学耿豪鹏、张东菊,中国科学院空天信息创新研究院黄长平,中山大学黄耿志,中国科学院地理科学与资源研究所黄洁、李广东、戚伟、杨宇,河南大学李二玲,中国科学院青藏高原研究所李新、汪涛、杨一博、郑东海,华南师范大学刘云刚,武汉大学马爱龙、张良培,北京师范大学缪驰远、潘峰华,中国科学院南京地理与湖泊研究所王磊、朱青,宁夏大学文琦,复旦大学叶超,华东师范大学杨毅,中国科学院亚热带农业生态研究所岳跃民,河海大学张中浩,北京大学朱晟君参与讨论。

推荐阅读文献

- Chen F, Fu B, Xia J, et al. Major advances in studies of the physical geography and living environment of China during the past 70 years and future prospects. *Sci China Earth Sci*, 2019, 62: 1665–1701 [陈发虎, 傅伯杰, 夏军, 等. 近70年来中国自然科学地理与生存环境基础研究的重要进展与展望. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49: 1659–1696]
- Fu B J. Geography: from knowledge, science to decision making support (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2017, 72: 1923–1932 [傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策. *地理学报*, 2017, 72: 1923–1932]
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Fostering Transformative Research in the Geographical Sciences*. Washington DC: The National Academies Press, 2019
- Chen F H, Wu S H, Liu H Y, et al. Disciplinary structure and development strategy of physical geography in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2021, 76: 2074–2082 [陈发虎, 吴绍洪, 刘鸿雁, 等. 自然地理学学科体系与发展战略要点. *地理学报*, 2021, 76: 2074–2082]
- Chen F H, Li X, Wu S H, et al. Disciplinary structure of geographic science in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2021, 76: 2069–2073 [陈发虎, 李新, 吴绍洪, 等. 中国地理科学学科体系浅析. *地理学报*, 2021, 76: 2069–2073]
- Xiong J H, Wang J, Shi Y F, et al. Adjustment and optimization of geographical sciences application code of NSFC (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2020, 75: 2283–2297 [熊巨华, 王佳, 史云飞, 等. 国家自然科学基金地理科学申请代码的调整优化. *地理学报*, 2020, 75: 2283–2297]
- Humboldt A. *Cosmos: A Sketch of a Physical Description of the Universe*. London: H.G. Bohn, 1845
- Li C F. Modern geography and its prospects (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1948, 15: 21–30 [李春芬. 现代地理学与其展望. *地理学报*, 1948, 15: 21–30]
- Ratzel F. *Anthropogeographie*. Stuttgart: J. Engelhorn, 1882–1891

- 10 Mahan A T. The Influence of Sea Power Upon History. Boston: Little, Brown and Company, 1890
- 11 Mackinder H J. The geographical pivot of history. *Geographical J*, 1904, 23: 421–473
- 12 Christaller W. Central Places in Southern Germany. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall, 1966
- 13 Tomlinson R F. Current and potential uses of geographical information systems the North American experience. *ISPRS Int J Geoinf*, 1987, 1: 203–218
- 14 Dangermond J, Smith L K. Geographic information systems and the revolution in cartography: the nature of the role played by a commercial organization. *Am Cartogr*, 1988, 15: 301–310
- 15 Zhu K Z. Climatic regions of China (in Chinese). In: Fan H, ed. Essays of Zhu Kezhen. Beijing: Science Press, 1973. 124–132 [竺可桢. 中国气候区域论. 见: 樊洪业, 主编. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1973. 124–132]
- 16 Hu H Y. The distribution of population in China, with statistics and maps (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1935, 2: 33–74 [胡焕庸. 中国人口之分布——附统计表与密度图. 地理学报, 1935, 2: 33–74]
- 17 Huang B W. A preliminary draft of the comprehensive physical regionalization of China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1958, 24: 348–365 [黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案. 地理学报, 1958, 24: 348–365]
- 18 Working Committee on Physio-geographic Regionalization of China from CAS. Physico-Geographic Regionalization of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1958. 348–365 [中国科学院自然区划工作委员会. 中国综合自然区划(初稿). 北京: 科学出版社, 1958. 348–365]
- 19 National Agricultural Regionalization Commission. Comprehensive Agricultural Regionalization of China (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1981 [全国农业区划委员会. 中国综合农业区划. 北京: 农业出版社, 1981]
- 20 Zhou L S. The formation, evolution, internal structure and zoning system of agricultural regions (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1964, 30: 14–24 [周立三. 试论农业区域的形成演变、内部结构及其区划体系. 地理学报, 1964, 30: 14–24]
- 21 Chen S P, Yue T X, Li H G. Studies on geo-informatic Tupu and its application (in Chinese). *Geogr Res*, 2000, 19: 337–343 [陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用. 地理研究, 2000, 19: 337–343]
- 22 Lü G N, Yuan L W, Yu Z Y. Information geography: a new fulcrum for a geographic triad world. *Sci China Earth Sci*, 2022, 65: 383–386 [闰国年, 袁林旺, 俞肇元. 信息地理学: 地理三元世界的新支点. 中国科学: 地球科学, 2022, 52: 374–376]
- 23 Li X, Zheng D, Feng M, et al. Information geography: the information revolution reshapes geography. *Sci China Earth Sci*, 2022, 65: 379–382 [李新, 郑东海, 冯敏, 等. 信息地理学: 信息革命重塑地理学. 中国科学: 地球科学, 2022, 52: 370–373]
- 24 Qian X S. On Geographical Science (in Chinese). Hangzhou: Zhejiang Education Press, 1994 [钱学森. 论地理科学. 杭州: 浙江教育出版社, 1994]
- 25 Wu C J. The core of geography research: regional system of human-land relationship (in Chinese). *Econ Geogr*, 1991, 11: 1–6 [吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统. 经济地理, 1991, 11: 1–6]
- 26 Lu D D. The scientific basis of Chinese industrial layout in 2000 (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 1986, 6: 110–118 [陆大道. 2000年我国工业布局总图的科学基础. 地理科学, 1986, 6: 110–118]
- 27 Xiong J H, Wang J, Zhang Q, et al. The construction of discipline system of science of geography and its significance (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2021, 66: 153–161 [熊巨华, 王佳, 张靖, 等. 地理科学的学科体系构建与内涵. 科学通报, 2021, 66: 153–161]
- 28 Fu B J. Geography: from knowledge, science to decision making support (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2017, 72: 1923–1932 [傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策. 地理学报, 2017, 72: 1923–1932]
- 29 Fu B J, Leng S Y, Song C Q. The characteristics and tasks of geography in the new era (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2015, 35: 939–945 [傅伯杰, 冷疏影, 宋长青. 新时期地理学的特征与任务. 地理科学, 2015, 35: 939–945]
- 30 Su F, Yan F, Wu W, et al. Advancing intelligent geography: current status, innovations, and future prospects. *Geography Sustainability*, 2025, 6: 100375
- 31 Chen M, Voinov A, Ames D P, et al. Position paper: open web-distributed integrated geographic modelling and simulation to enable broader participation and applications. *Earth-Sci Rev*, 2020, 207: 103223
- 32 Chen M, Qian Z, Boers N, et al. Iterative integration of deep learning in hybrid Earth surface system modelling. *Nat Rev Earth Environ*, 2023, 4: 568–581
- 33 Li X, Feng M, Ran Y, et al. Big Data in Earth system science and progress towards a digital twin. *Nat Rev Earth Environ*, 2023, 4: 319–332
- 34 Xiong J H, Gao Y, Cai S, et al. The structure of the fundamental research teams in geographical sciences: a perspective of national natural science foundation of China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2024, 79: 1737–1750 [熊巨华, 高阳, 蔡顺, 等. 从国家自然科学基金视角看地理科学基础研究队伍结构. 地理学报, 2024, 79: 1737–1750]
- 35 Gao H L, Gu X F, Zhou X, et al. Analysis of the development trend of Chinese remote sensing validation sites and infrastructure construction (in Chinese). *J Remote Sens*, 2023, 27: 1088–1098 [高海亮, 顾行发, 周翔, 等. 中国遥感真实性检验基础设施建设发展态势分析. 遥感学报, 2023, 27: 1088–1098]

Summary for “地理科学学科的发展历程、突破重点与未来展望”

The evolution, key breakthroughs, and future prospects of geographical sciences

Shushi Peng¹, Fahu Chen^{2,3}, Jie Fan^{4,5}, Bojie Fu⁶, Jianya Gong^{7,8,9}, Shilong Piao¹ & Juhua Xiong^{10*}

¹ College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

² Group of Alpine Paleoecology and Human Adaptation (ALPHA), Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

³ State Key Laboratory of Tibetan Plateau Earth System, Environment and Resources (TPESER), Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

⁴ Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

⁵ College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

⁶ State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

⁷ State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

⁸ School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

⁹ Hubei Luojia Laboratory, Wuhan 430079, China

¹⁰ Department of Earth Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

* Corresponding author, E-mail: xiongjh@nsfc.gov.cn

Geography is the scientific discipline dedicated to studying the spatial patterns and temporal evolution of the human living environment on the Earth's surface, as well as the complex interactions between humans and their environment. In an era characterized by the “Anthropocene” and profound global shifts, contemporary geography faces the overarching challenge of achieving a systematic understanding of human activity processes, environmental changes, and their dynamic couplings to promote global sustainable development. This aims to make substantive breakthroughs in Earth's surface system research and effectively address challenges posed by global change.

This paper provides a comprehensive review of the disciplinary evolution of geography, summarizes international milestones with China's unique contributions across four distinct historical periods. Internationally, geography transitioned from early exploration and description—marked by Ptolemy's *Geographia*—to modern systematization led by Alexander von Humboldt and Karl Ritter, followed by the “Quantitative Revolution” and the birth of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS). Domestically, China's geographical tradition spans from ancient masterpieces like the “Six Principles of Cartography” by Pei Xiu and Li Daoyuan's “*Shui Jing Zhu*” to modern foundational works such as Zhu Kezhen's climatic regionalization and the “Hu Line” proposed by Hu Huanyong. A critical turning point occurred in the 1980s when Qian Xuesen formally defined “geographical science” as an open, complex giant system, laying the philosophical foundation for the shift from traditional to modern geography in China.

To address major strategic demands and frontier scientific issues, the paper identifies six critical research frontiers where breakthroughs are urgently required in the new era: (1) Earth's surface system and global change; (2) simulation of human activity footprints and their resource-environmental effects; (3) evolution of human-Earth systems and regional sustainable development; (4) global geopolitical security assessment, projection, and early warning; (5) intelligent remote sensing observation and real-time monitoring of the earth system; and (6) digital twin modeling and intelligent decision support for geographic systems. These frontiers represent a “technology support-frontier crossover-strategic demand” chain, aimed at enhancing the accuracy of human-Earth system simulation and strengthening the scientific foundation for sustainable development decision-making. Furthermore, the paper examines the robust development of China's research community and infrastructure. China has established a comprehensive, multi-layered, and well-structured talent cultivation system in geographical sciences, evolving from a major power in geography education to a global leader, thereby providing a solid intellectual foundation and a robust human resource guarantee for continuous disciplinary innovation and the implementation of national strategic goals. Strategic platforms such as National Key Laboratories and field stations provide essential data for revealing Earth surface coupling mechanisms and validating digital twin models. A comprehensive “Air-Space-Ground-Human” observation network has been built. Looking ahead, the discipline must undergo a fundamental renewal in scientific paradigms and methodological approaches. This entails developing complex system analysis and simulation models for coupled human-environment systems, supported by remote sensing, big data, and geographical artificial intelligence. The ultimate goals are to significantly enhance the accuracy of human-Earth system simulation and prediction and to strengthen the scientific foundation for high-quality, sustainable development decision-making, contributing scientific solutions for global sustainable development and the realization of a community with a shared future for mankind.

geographical sciences, physical geography, human geography, information geography, integrated geography, human-natural system coupling

doi: [10.1360/CSB-2025-5686](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-5686)