

刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学 [J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1-14. [Liu Yansui. Modern human-earth relationship and human-earth system science. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8): 1-14.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.08.000

现代人地关系与人地系统科学

刘彦随^{1,2,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 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; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 人地关系地域系统理论系统提出 30 a 来, 对促进地理学综合研究、学科建设和服务国家重大战略决策发挥了重要的科学支撑与导向作用。深入解析了人地关系地域系统理论的科学内涵及时代价值, 诠释了现代人地关系的类型与环境, 提出了“人地圈”与人地系统科学研究的主要内容和前沿领域。初步研究表明: ① 现代人地系统具有复杂性、地域性和动态性特征, 人-地交互作用过程、格局及其综合效应正在发生深刻变化, 地球表层人地系统成为现代地学综合研究的核心内容和重要主题。② 科学认知和有效协调人地关系, 亟需深入探究人地系统耦合格局与机理, 探明人地关系地域系统类型、结构及其动力机制。依据城乡关系将人地关系地域类型划分为城市地域系统、城乡融合系统、乡村地域系统。乡村地域系统可细分为农业系统、村庄系统、乡域系统、城镇系统等子系统, 分别对应于作土关系、人居关系、居业关系、产城关系。③ 现代人类活动强烈地作用于地球表层人地系统, 形成了人地系统耦合与交互作用的地表圈层——“人地圈”, 其实质是现代人类活动与地表环境相互联系、耦合渗透而形成的自然-经济-技术综合体或人地协同体。④ 人地系统科学或人地科学是研究人地系统耦合机理、演变过程及其复杂交互效应的新型交叉学科。它是现代地理科学与地球系统科学的深度交叉和聚焦, 以现代人地圈系统为对象, 致力于探究人类活动改造和影响地表环境系统的状态, 以及人地系统交互作用与耦合规律、人地协同体形成机理与演化过程。人地系统耦合与可持续发展是人地系统科学的研究核心。传承创新人地关系地域系统理论和发展人地系统科学, 更能凸显地球表层人类的主体性、人地协同的过程性和可持续发展的战略性, 为人地系统协调与可持续发展决策提供科学指导。

关键词: 现代人地关系; 人地关系地域系统; 人地系统耦合; 乡村地域系统; 人地系统科学

中图分类号: K901 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)08-0001-14

1 问题的提出

人地关系是人类社会及其活动与自然地理环境之间的交互作用, 是与人类发展演化相伴而生的一对基本关系^[1,2]。人类自诞生以来就以各种方式、不同程度地作用和影响着地球, 尤其是工业革命之后的工业化、城市化进程给地球表层环境带来了前所未有的巨大影响。随着人类活动对自然环境作用的不断增强, 人文过程逐渐成为驱动地表各类生态过程和环境演变的主要力量。ESSC (美国地球系统科学委员会) 提出“人类活动是地

球环境变化的第三大驱动因素”^[3]。进入 21 世纪, 伴随着相对论和量子力学等重大科学理论的突破, 以信息技术革命为核心的当代技术革命蓬勃兴起, 标志着人类正逐步从工业经济向知识经济、从工业社会向信息社会跨越^[4]。2000 年国际地圈生物圈计划(IGBP)提出“人类世”(Anthropocene)的概念^[5], 并从“人类世”的视角全面描述了人类活动对地球系统变化与响应的核心和主导作用。这一变化主要表现在人类长期以来带给地表环境的累积压力, 以及由此导致的人类赖以生存的森林、草原、河流、海洋生态系统的健康程度的持续下降, 区域

收稿日期: 2020-07-13; 修订日期: 2020-08-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41931293)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA23070300)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41931293), Strategic Leading Project of the Chinese Academy of Sciences (XDA23070300).]

作者简介: 刘彦随(1965-), 男, 研究员, 博导, 发展中国家科学院院士, 主要研究方向为农业地理与乡村地理学、人地关系与区域可持续发展。E-mail: liuys@igsnrr.ac.cn

环境退化、污染与重大灾害的多发频发等现实问题,给人类社会进步与可持续发展带来了严峻挑战,其实质是人类活动强烈作用于地球系统,导致人地关系或人地系统耦合失调的结果^[6]。因此,2010年IGBP呼吁进一步加强自然科学、社会科学和政策领域的整合研究^[7]。

人地关系及其变化是现代地理学研究的重要主题,也是当今社会经济发展面临的关键问题。钱学森1987年倡议发展“地理科学”,认为地理科学属于自然科学与社会科学的交叉学科,具有研究解决人地系统格局与过程问题的天然使命和独特优势^[8]。吴传钧1991年提出人地关系地域系统是地理学的研究核心^[1],科学诠释了人地关系这一地理学研究的基本对象和地理综合体的全新思想。黄秉维1996年倡导发展“陆地表层系统科学”,强调地球系统研究是可持续发展战略的科学基础^[9]。陈述彭和曾杉1996年指出“地球系统科学研究要运用空间信息技术工具和手段,以服务区域持续发展为最终目标”,强调地球表层系统自然、人文和技术相结合的系统研究^[10]。史培军1997年提出从人地系统动力学入手,深入研究可持续发展理论与方法,揭示地球系统演变的人类驱动力机制^[11]。陈之荣1998年指出“实施可持续发展战略必须协调人类圈和全球环境的关系”,促进人类发展与环境交叉研究^[12],其核心是深化“人-地系统”的理论研究^[13]。人类对全球环境变化的认识是一个不断提高的过程,促进了地球系统科学的不断深化和发展^[14]。20世纪80年代国际科学界提出了地球系统科学,旨在揭示地球系统各子系统之间相互联系、相互作用的机理,以及地球系统变化的规律和调控机制,为全球环境变化预测建立科学基础^[15]。进入21世纪,全球环境变化和可持续性科学越来越认识到需要解决生物圈结构及其功能发生变化的后果。Turner等2003年提出了人类与环境耦合系统脆弱性评价的框架^[16],重视揭示人地系统自然-经济要素相互作用的动态机制与过程演化趋势,促使理论与方法研究进一步聚焦人地系统脆弱性与弹性^[17]、人与自然系统耦合复杂性^[18]、人地系统耦合模型^[19]、人地系统综合建模^[20]等前沿领域。

人地关系地域系统作为地理学的研究核心,极大地推进了中国人地关系与可持续发展科学研究和理论创新。近30a来,学术研究的重点逐步

从人地关系认知、演进规律,到人地关系复杂性模拟、人地系统可持续性评价与决策支持,人地关系地域系统理论在学科建设和国家重大发展战略制定中发挥了重要的支撑作用,同时其作为地理学研究核心的地位不断强化^[13,21-23]。随着理论研究与实践探索的不断深入,广大学者深刻认识到人地关系地域系统组成要素间,以及要素与系统间存在着复杂的相互作用和反馈关系,区域可持续发展成为人地关系地域系统实证研究的核心和目标^[24],而经济全球化、快速工业化和城镇化发展又不断赋予人地关系新的时代内涵,特别是新技术、新因素的出现不断改变着人地系统互动的方式、广度和深度^[25]。新时期中国生态文明建设、新型城镇化与乡村振兴战略持续推进,人地系统与国土空间治理格局正在经历着历史性变革,人地系统协调与区域发展面临的地理问题愈加复杂^[26],地理学的复杂性特征日渐凸显,地理学进入系统研究时代^[27]。面向2030年全球可持续发展目标(SDGs)、应对全球环境变化和人类可持续发展面临的巨大挑战,地理学者理应不断深化对现代人地关系的科学认知,推进人地关系地域系统理论创新及其实践应用,创建人地系统研究理论体系、决策支撑技术体系,成为新时代地理学研究的重要科学主题和理论问题^[28]。

2 人地关系地域系统理论与发展

2.1 理论提出的背景

1981年,吴传钧先生提出“‘人-经济-自然’系统是一个多学科相互交错的研究领域。地理学家着重研究人地关系的地域系统,这正是地理学的中心研究课题”,并指出研究人地关系地域系统的主要方法包括分类、区划、评价、定量分析与建立模式^[29]。1991年,吴传钧先生进一步阐释了人地关系地域系统理论及其地理学研究的重点领域。他认为“人地关系地域系统是由地理环境和人类活动两个子系统交错构成的复杂的开放的巨系统,是以地球表层一定地域为基础的人地关系系统,也是人与地在特定的地域中相互联系、相互作用而形成的一种动态结构”^[1]。从系统思想、科学理念,到系统理论提出,可谓“十年磨一剑”。1980年吴传钧先生编著出版了《中国农业地理丛书》的主卷《中国农业地理总论》^[30],此后主持开展“全国1:100万土地利用图”研究,历时10a完成了《中

国 1:100 万土地利用图》^[31]。吴传钧先生认为, 农业地理学是典型的交叉科学, 它既是农业科学, 又是地理科学的组成部分, 主要研究对象是农业经济活动的地域系统及其形成过程、结构特征和发展规律^[32]。土地利用是一个自然与人文结合紧密的复杂系统, 是农业地理学的研究核心^[31]。他长期对农业地理学与土地利用的综合研究, 为建立人地关系地域系统理论奠定了重要基础。人地关系地域系统本身是动态的, 会随着人类改造利用自然的种种活动而发展变化, 其内容将变得愈来愈丰富, 从而提交地理工作者的新任务将层出不穷^[29]。

2.2 理论的现代释义

人地关系地域系统的“地域”是地球表层的一部分。在人地关系中, 人具有主观能动性, 可以主动认识、利用并改造地理环境。地是人类赖以生存的物质基础和空间载体, 地理环境制约着人类社会经济活动的深度、广度和速度^[33]。人地关系地域系统研究旨在探求系统内各要素的相互作用及系统的整体行为与调控机理, 这就需要从空间结构、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系统的整体优化、综合平衡及有效调控的机理^[1]。研究的核心范畴是人类活动与自然环境的相互作用关系, 探究人地交互作用的区域分异特征、系统性与可调控性^[22,26]。人地系统是地球上最高的系统^[34], 人地关系协调是实现可持续发展的前提条件^[21]。人地关系地域系统是综合研究地理格局形

成与演变规律的理论基石^[26]。

通过近 20 多年对“人地关系地域系统理论”的学习和领悟, 笔者深刻认识到该理论体系的结构完整性与内在逻辑性, 进一步梳理了人地关系地域系统理论模式(HERRS)(图 1), 该模式包括人地关系认知、人地系统理论、人地系统协调等循序渐进的 3 个有机组成部分。吴传钧先生基于对人地关系思想和相关理论的科学解析, 首先建立了完整的人地关系认知体系, 并将这一体系置于特定的地域系统进行要素分析、机理解析、功能探析, 形成了人地关系地域系统学说, 进而构建了由系统结构、动力机制、时空格局、优化调控等内容组成的理论体系, 通过探究不同层次的人地关系类型、时空分异及其变化规律, 探明人地系统各要素相互影响、系统协调模式及其调控途径, 直接服务于人地系统协调与可持续发展实践。

2.3 理论的创新发展

随着人类经济活动与人地关系的不断变化, 人地关系研究的核心主题也在不断丰富和发展。20 世纪 90 年代中期以来, 人地关系地域系统的理论应用与区域可持续发展的战略研究有机结合, 更加关注地球表层一定地域的人口、资源、环境与发展(PRED)的系统协调模式和途径研究^[35-36], 以及人地关系地域系统的非线性特征、可持续性发展状态和能力评价分析^[37]。进入 21 世纪, 全球环境变化及其区域响应、区域可持续发展和人地关系机理调控, 成为人地系统研究的重要前沿领

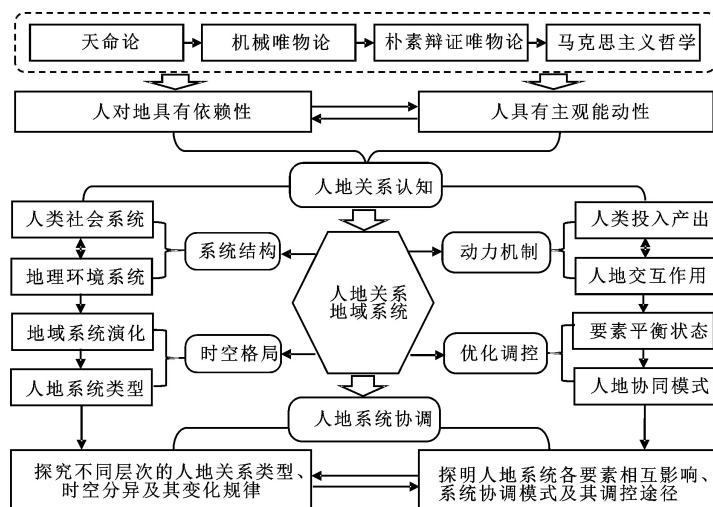


图 1 人地关系地域系统理论模式

Fig.1 Theoretical model of human-earth relationship regional system (HERRS)

域^[25]。人地关系地域系统理论科学解析了自然和人文要素交织作用于地理环境整体的基本属性及其动态规律,进而指导了人地关系复杂性、人地系统可持续性等问题探讨和定量模拟研究^[38,39]。2012年国际科学理事会(ICSU)和国际社会科学理事会(ISSC)发起的“未来地球计划(Future Earth)(2014—2023)”,2015年联合国发布的“2030年全球可持续发展议程”,大大促进了自然科学与社会科学的交叉融合,促使人地系统研究更加聚焦地球表层环境变化、可持续发展目标与人地系统耦合过程及其地域模式^[40]。以此为标志,现代人地关系及其服务支撑国家战略的专业理论研究和科技需求日益旺盛。深入推进理论创新和学科发展,亟需全面审视跨学科交叉研究不够^[13]、基础理论研究薄弱和理论创新性不足^[41,42]等问题,不断推进现代人地系统格局与过程的地理学综合研究,创新发展人地系统科学或现代人地系统学^[28]。

3 现代人地系统与“人地圈”

地球表层是不同地域或景观的空间镶嵌体。地球系统科学的研究对象是由岩石圈、大气圈、水圈、生物圈和人类圈等圈层构成的地球系统^[43],将地球表层的这些圈层作为一个互相联系的系统,重点研究作用于该系统的物理过程、化学过程、生物过程及其效应^[44]。地球系统是一个非线性系统,它的某些参数的微小变化有可能引发整个系统巨大的、不可逆的改变^[45]。近百年来,全球重大自然灾害与疾病的发生频率迅速提升^[46],人类的累积作用使地表环境发生了质的变化,其影响远超过地球系统本身所能承受的极限。“人类世”被认为是人类活动改变地球系统边界、驱动地表环境变化的关键时期,标志着地球已史无前例地进入人文过程与自然过程共同作用的地质新时代^[5]。现代经济全球化、快速工业化与城镇化进程,强烈地作用于地球表层人地系统,致使地表自然、经济、社会、技术等多要素融合,以及物理、化学、生物与人文等多过程作用更加强烈,形成了地球表层以人类经济社会活动为主体、以人类与其依赖的地表环境有机联系为纽带、以人地系统耦合与交互作用为动力的地表圈层——人地圈^[28]。人类的命运因此与人地圈环境紧密地联系在一起,构成了区别于地球其他自然层圈的突出特征。2019年3月联合国环境署发布了“全球环境展望”(GEO6)

指出,“地球已受到极其严重的破坏,如果不采取紧急且更大力度的行动来保护环境,地球的生态系统和人类的可持续发展事业将受到更严重的威胁”。因此,科学认知现代人地系统,亟需形成共识、合作共建、和谐共生、发展共享。创新发展人地关系地域系统理论,探索现代人地系统的类型结构和地域尺度的延展路径,具有特殊重要的理论价值和现实意义。

3.1 现代人地系统类型

随着全球经济的快速发展和现代科学技术不断进步,人类活动作用于地球系统的方式及其影响程度在不断改变和强化,人地关系地域系统的时代内涵、类型结构与地域功能也在不断丰富和发展。因此,深入探究不同层次的人地系统类型、时空分异及其变化规律具有鲜明的时代性、战略性。依据吴传钧先生关于人地关系地域类型及其时空分异的思想,着眼于新时代城乡发展转型、国土空间治理宏观背景,可将人地关系地域系统划分为城市地域系统、城乡融合系统、乡村地域系统。其中,乡村地域系统可细分为农业系统、村庄系统、乡域系统和城镇系统等不同的子系统,形成了层次与逻辑体系清晰的人地系统类型结构(HESTS)(图2)。

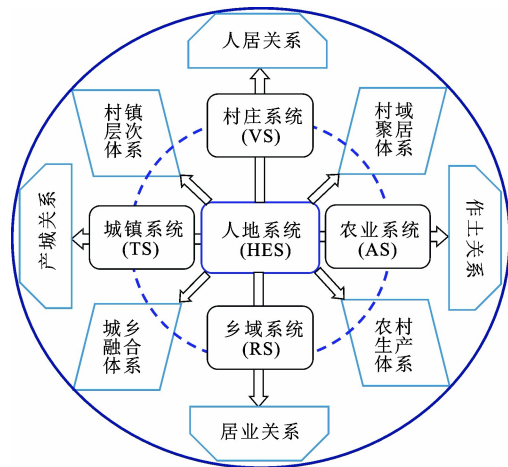


图2 人地系统类型结构模式

Fig.2 The model of human-earth system type structure(HESTS)

这些子系统相互作用、相互依存,分别构成特定的主客体关系或普遍意义的人地关系或生物与环境的关系,即作土关系(作物与土壤)、人居关系(人口与居民点)、居业关系(农民居住与就业)、产城关系(产业化与城镇化)^[47]。农业系统与村庄系

统的核心在于塑造村域聚居体系; 村庄系统与城镇系统的核心在于建构城镇层次体系, 即村镇建设新格局, 强调空间组织和结构优化; 农业系统与乡域系统的核心在于建立农村生产体系, 强调乡村地域系统的可持续性; 城镇系统与乡域系统的核心在于构建城乡融合体系, 最终发展目标是城乡一体乃至城乡等值化。2005 年以来, 中国科学院地理资源所乡村地理研究团队, 围绕以上 4 种系统建成了毛乌素沙地(榆林)、平原农区(禹城)、黄土丘陵沟壑区(延安)、太行山地区(阜平)研究基地^[48], 持续开展不同类型人地系统耦合机理与模式观测和试验研究, 初步建立了从要素诊断、结构优化, 到人地系统协调、地域功能提升的贯通式研究体系^[49]。而深化人地系统类型新认知, 仍需要不断拓展人地系统结构学、类型学研究, 创新发展基于不同形态与地域类型的乡村地域综合体或多体系理论^[23,47]。

3.2 现代人地系统环境

人地融合系统或人地圈(H)在现代地球圈层中处于核心地位, 发挥着多圈层循环与互馈纽带作用。人类生存与发展依靠必需的大气环境(A)、水文环境(W)、土壤环境(S)和生态环境(E), 它们相互之间及其与人地系统之间的交互作用产生了不同的资源环境效应(图 3)。在人类活动产生负向作用、地表环境功能失调的情形下, 将引发自然灾害、环境风险、生态退化、水土污染等资源环境问题^①。保护地球生态环境、实现全球可持续发展, 成为当今全球环境变化、可持续发展与

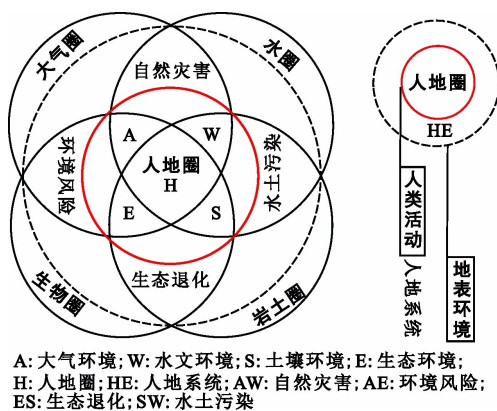


图 3 现代地球圈层关系及其效应

Fig.3 The sphere relationship and its effects in modern earth surface

环境地球科学研究的前沿热点。整体来看, 现代人地系统研究具有三大特征: 1) 全要素, 包括人地圈自然、经济与技术要素的交互影响和耦合作用; 2) 大尺度, 从全球、区域到地方的人地系统, 具有空间层级性、地域差异性; 3) 多目标, 围绕地表环境变化与人类可持续发展面临的重大挑战, 探究人地系统协调共生的地域模式与科学途径。

3.3 “人地圈”系统及其结构

地球层圈主要包括岩土圈、水圈、大气圈和生物圈, 其中岩土圈发挥着载体的功能^[50]。周俊 2004 年提出地球表层“有机圈”(由有机质所组成或参与作用的地表圈层)和“广义生物圈”(生物圈+人类圈)的概念, 认为有机圈在地球表层并没有独自占据完整而连续的物理空间, 而是渗透、交融在大气、水、岩土(岩石+土壤)圈中, 相互融合形成统一整体^[51]。任美镔 2004 年提出“自全新世以来, 把人类作为与地球各自然圈层的总和相对等的一个圈层, 即以人类圈为核心, 整合环境与社会文化两个对等部分, 研究其相互影响和相互作用”^[52]。岩土圈、有机圈、人类圈等概念的兴起和发展, 为科学认知现代人地系统奠定了理论基础。综合已有相关研究, 笔者认为, “人地圈”是地球表层以人类发展为纽带的生物圈、大气圈、水圈、岩土圈通过自然过程、经济过程、技术过程交互作用而成的空间交集, 是地球有机生命赖以生存的“关键地带”(图 4)。人地圈实质是现代人类活动与其赖以生存和发展的地表环境相互联系、交互作用、耦合渗透而形成的自然—经济—技术综合体^[28], 也是现代人类圈与地表圈层高度融合、紧密联系而形成的人地交互作用最为强烈、人类活动影响最为深刻、资源环境响应最为敏感的人地耦合系统。“人地圈”在地球表层呈连续或集中分布, 并与大气圈、

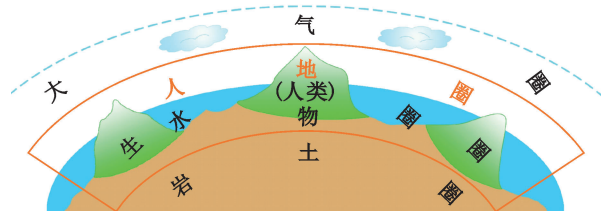


图 4 现代“人地圈”系统与地球圈层关联

Fig.4 The modern human-earth sphere system and the earth spheres

① 刘彦随. 区域环境质量与安全战略研究思考. 国家自然科学基金委环境地球科学学科发展战略专家研讨会报告. 北京, 2019.9.15.

水圈、岩土圈、生物圈之间形成交互作用的人地圈系统。聚焦“人地圈”结构及其科学问题,更能凸显地球表层人类活动的主体性、人地协同的过程性和可持续发展的战略性。在地球表层及其多过程作用中,人类系统与人文过程是当今人类能够充分发挥能动作用和施行科学调控措施的关键环节,因而成为人地系统科学与可持续发展理论研究,以及政策调节、战略合作创新的前沿领域。着眼于现代人地系统耦合与可持续发展战略,将人地关系地域系统的“地域”尺度进一步延展为全球系统、区域系统和地区(段)系统,促使地理科学综合研究的区域性特征向全球性、地方性两端延展和融会贯通,既赋予了全球环境变化、可持续发展的全球性、国际化战略主题,也凸显了未来地球、区域合作与人地系统协调发展的现实命题。

3.4 人地系统耦合机理

人类活动与地球环境的交互作用成为现代地球表层系统演化的主要驱动力。王思敬提出“地圈动力学”,旨在揭示人类工程活动与地圈动力过程的相互作用和耦合机理^[50]。殷鸿福等提出地球生物学,强调研究生物圈与地球其它圈层的相互作用,或生物圈-地圈耦合系统^[53]。Reid 等认为地球系统科学将地球各圈层作为一个系统,研究各圈层之间的相互作用过程,其中物理、化学和生物过程是地球系统的三大基本过程,包括人类在内的生物圈与地球其它圈层的相互作用或生物圈-地圈耦合系统是地球系统的重要组成部分^[54]。全球变化在改变人类赖以生存的自然环境的同时,也对人类经济社会发展产生深刻的影响^[4]。随着现代科技进步和生产力发展,全球人口规模、经济总量持续增长,以及土地利用程度、工程建设强度的不断增大,人类活动对区域资源开发利用、环境质量的影响越来越强烈,带来人类与其赖以生存和发展环境之间的矛盾不断加剧,人地关系地域系统的状态也因特定地域自然、社会、经济条件的差异变化而发生改变,致使人地系统不断处于协调-失衡-再协调的动态演变之中。

人地系统耦合是人类经济社会系统与自然生态系统交互作用、相互渗透,并形成人地耦合系统(“人地圈”)的综合过程(图5),既是人地关系协调的理论基础,也是实施调控措施的主要依据。由于自然生态系统本身具有承载能力的有限性、过程的复杂性与格局的差异性,当人地系统处于适

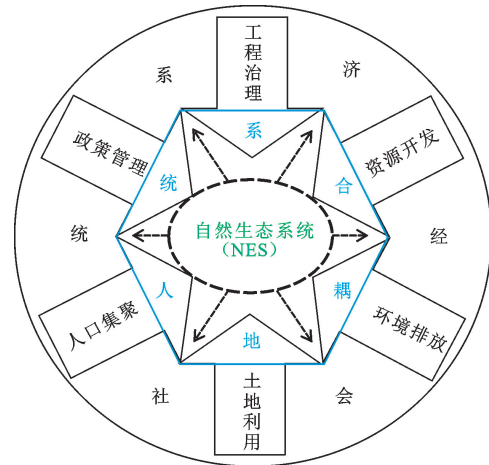


图5 人地系统耦合机理

Fig.5 Human-earth system coupling mechanism (HESCM)

度耦合时,系统会正向演替和协调发展,否则会引发退化或衰落。人地系统耦合是地理学研究的前沿领域^[55],重点着眼于陆地表层系统的自然过程与人文过程的综合研究,其研究范式应从格局与过程耦合,向复杂人地系统模拟和预测转变^[42],为全球可持续发展决策提供科学依据^[40]。

在人地系统耦合过程中,社会经济系统是人类活动的主体和人地系统耦合,并驱动环境变化的主因。水土资源是人类生存和发展的基础^[56],土地利用是区域一切经济社会活动的基本形式和重要载体,土地利用方式与强度客观反映了一定地域人类经济活动的强度及其对自然环境累积作用的程度。不合理的土地利用方式导致区域性土地退化、污染和生产力水平的下降,进一步危及到生态系统健康和粮食安全,亟需推进土地可持续管理、工程化整理和适应性治理;人口流动与空间集聚是工业化、城镇化的主导过程,也是引发土地、产业与资本等要素流动和再配置的主导因素。有序适度的人口集聚有利于提高资源利用效率,促进地域人地协调和人居环境优化,是新型城镇化与城乡融合发展的基本准则;环境排放尤其是碳排放成为工业化进程中人文过程对区域环境质量影响最直接的方式。气候变化和人类活动影响大气循环、水循环与碳循环过程,进而制约着环境排放的方式和强度;资源开发与能源开采对地表环境的影响主要表现为人类行为对原生环境的直接干扰,以及资源废弃物堆放或排放对区域环境的负面影响,尤其是能矿资源的过度开发导致地

面沉降、地下水系破坏,直接危及到人居环境质量与安全;政策管理与环境治理是人类主动调适人与环境关系的重要方式,通过科学管理、工程治理、政策调节来阻控人地矛盾的激化,促进人与自然环境和谐共生。近 20 年来黄土高原地区实现了由黄变绿、由穷变富的根本转型,践行了退耕还林政策驱动下人地系统耦合与协调发展的成功路径,形成了独具特色的“黄土高原科学”。在延安创建了植树造林、治沟造地、平山造城的“三造”协同和“三生”(生态、生产、生活)融合的地域模式。该模式的关键在于正确处理“三大平衡”(水平衡、地平衡、业平衡)关系,促进了人地关系、城乡关系与居业关系的良性发展。

4 人地系统科学研究

从地球早期无生命的地球表层,到有生物的地球表层,到有人类的地球表层,再到人地系统耦合的地球表层,这一过程系统地刻画了地球圈层自然过程、生物过程、人文过程的演化历程及其有机统一,反映了地球表层多尺度、分层次、时代性的特征及其发展规律。从国际上“人类世”的提出,到“未来地球计划”的发起和“2030 年全球可持续发展议程”的发布,国内以 2020 年决战脱贫攻坚、决胜全面建成小康社会为基础,以推进生态文明建设、构建人类命运共同体和 2035 年基本实现社会主义现代化目标为指引,标志着人类应对全球环境变化、谋求可持续发展新时代的到来。加强自然科学、社会科学和工程技术科学的沟通与融合势在必行,新时期面向人类世、立足人地圈,创新发展人地系统科学,将为深度解析现代人文技术作用过程、地表环境演变进程及其地域分异格局奠定科学认知与决策基础。

4.1 科学内涵及研究定位

地球系统科学把人类活动作为引起地球系统变化的第三影响因素,地理科学把人地关系地域系统作为研究核心,突出人地相互作用、相互影响的对立统一关系。人地系统科学或人地科学是研究人地系统耦合机理、演变过程及其复杂交互效应的新型交叉学科。它是现代地理科学与地球系统科学的深度交叉和聚焦,以现代人地圈系统为对象,致力于探究人类活动改造和影响地表环境系统的状态、人地系统交互作用与耦合规律,以及人地协同体形成机理与演变过程。人地系统科学

研究注重将人文过程融入地球圈层系统,以人类世、人地圈为时空坐标,以人地圈系统变化与人地系统耦合为研究重点,探明人地系统相互作用机理、演变过程、分异格局及其复杂交互效应,为推进人地系统协调与可持续发展提供科学依据(图 6)。重视强化现代人类活动在地表系统的核心地位及其变化的主导作用,不仅创新发展了人地关系地域系统理论的地域观、协调观,而且更加突出现代人地系统的全球观、耦合观,着眼全球化和推进构建人类命运共同体。

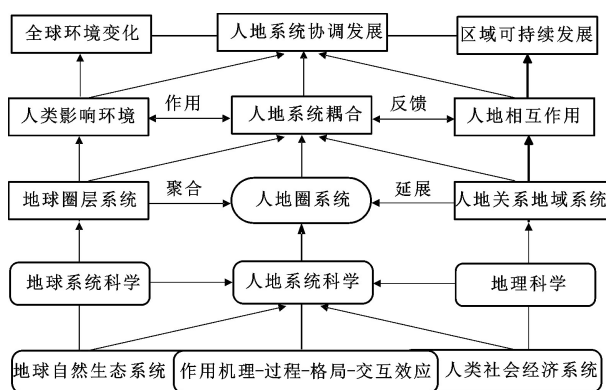


图 6 人地系统科学及其定位

Fig.6 Human-earth system science and its research orientation

创新发展现代人地系统理论,推进建立人地系统科学,使地理科学的综合研究更加精准地聚焦于人地关系地域系统,研究视域从地球表层一定地域的人地系统延展为地球表层广域的人地协同体(人地圈),既保持了研究对象的人地交互性、地域差异性的特点,又凸显了人地协同性、圈层贯通性的特色。这对于推进创建现代人地关系宏观、中观与微观研究的多尺度空间体系,以及面向全球环境变化、区域可持续发展与地区(段)空间治理需求的多目标战略体系,具有重要的理论价值和现实意义。从研究内容与尺度看,人地系统科学研究范畴包含全球人地系统、区域人地系统、地段(地类)人地系统;从研究手段与领域看,人地系统科学包括人地系统学原理、人地系统动力学、人地系统类型学、人地系统协同学、人地系统地理学、人地系统生态学、人地系统环境学、人地系统信息学、人地系统管理学、人地系统工程学等,其中人地系统工程学主要应用领域是地理工程,其实质是应用技术层次的人地系统学。

人类拥有高超智慧、先进技术与创造能力,成为区别于其他生物作用地表环境的决定性因素。人地圈系统的人类与环境相互作用、耦合发展,是人地关系演化和人地系统耦合实体化、空间化的基本方式,人类活动、环境变化与可持续发展构成了人地圈“压力-状态-响应”的基本链式。人地系统科学强调自然科学与社会科学的结合、传统地理学与现代信息技术的融合,重在探究人类活动与地表环境交互作用及其耦合变化规律,推进建立人地协同体(人地圈)、城乡融合体(都市圈)、地域综合体(居业圈)模型及其科学范式。“九五”期间国家空间信息基础设施(NSII)的建设,有力地推动着人地系统科学领域的诞生和发展^[57]。“十三五”期间国土资源科技创新提出了“三深一土”(深地探测、深海探测、深空对地观测、土地科技创新)战略,国家推进生态文明制度体系建设,颁布了环境保护法与国土空间规划法,为新时代深化人地系统科学和可持续发展研究提供了新机遇。2019年国家自然科学基金委启动“地表关键自然要素的协同演变及其与人文过程的耦合”重大项目,促使人地系统耦合研究与科技创新、学科交叉开始进入新阶段。

4.2 研究主题与主要内容

随着人类技术革命、科技进步与社会快速发展,人地圈已经成为地球表层资源保护、生态建设、环境治理、防灾减灾、疫情防控等人类行为的核心阵地。现代人地系统科学的研究主题重在凸显“五观”,即系统科学观、圈层整体观、耦合过程观、协调发展观、国际合作观。系统科学观强调人类系统与地球系统的有机结合、有效融合,按照要素-结构-功能的系统分析范式来理解现代人地系统或人地圈;圈层整体观强调人地圈在地球圈层交互作用的系统性、整体性地位,深度认知人地关系地域系统全球化的时代价值;耦合过程观强调人类活动、人地相互作用及其反馈、效应的时空耦合,包含了系统要素耦合、过程耦合与地域耦合,突出人地系统交互作用、发展演变的动态性与分异性;协调发展观强调人地系统耦合与协调发展目标性,立足于国土空间治理与体制机制创新,促进地域性人地协调与可持续发展;国际合作观致力于应对全球环境变化、实现2030年可持续发展目标,推进全球贸易、减排、减灾与减贫等领域的战略合作。

人地系统科学研究应当主要围绕“五观”主题,聚焦“五性”,即人地圈原理与结构解析奠定理论基础性,人地系统格局与过程研究突出技术性,人地系统耦合模式强化地域性,高强度人类活动效应立足地方性,人地系统协调与可持续发展强调全球战略性(图7)。

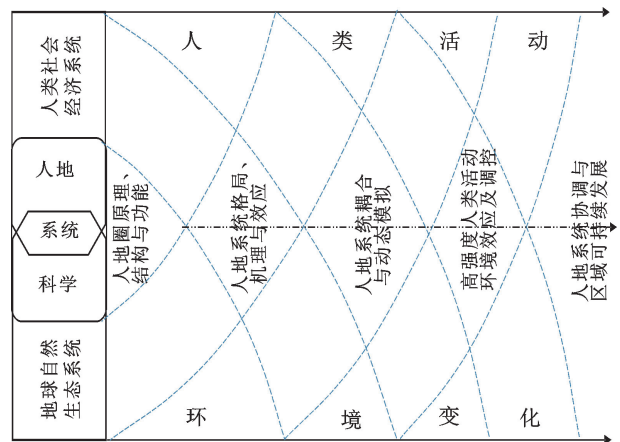


图7 人地系统科学及其研究主题

Fig.7 Human-earth system science and its research themes

1)人地圈原理、结构与功能。人地圈是对“人类世”时代的地表系统新认知,亟需科学界定其范围与地域结构、人地圈系统稳定性与系统弹性,研究人地系统要素流交互作用方式及其质态参数化、人地交互力、系统周期性,揭示人地圈系统“三态”(固态、液态、气态)转化、“三流”(物质流、能量流、信息流)循环、“三生”(生态、生产、生活)融合过程及其原动能、因果链,重视探究新技术、新因素特别是信息化、智能化对人地系统格局与功能变化的影响,深化人地圈系统表达、要素监测、结构仿真、功能评估与预测预警综合研究。

2)人地系统格局、机理与效应。人地系统本质上是人类经济社会系统、地表自然生态系统“双循环”和系统间“互循环”胶结联动的、开放的物质体系。探明人地系统格局、时空过程与动力机制,尤其是典型的地球关键带过程及其影响,亟需探究人地系统的自然、经济与技术要素耦合、动态结构及其子系统交互作用机理,以及不同类型人地系统相互作用的复杂效应。如人口增长、农产品需求是驱动土地系统变化的重要因素,全球变化又塑造土地利用格局和影响粮食消费^[58]。分析评估人类活动与气候变化带给土地系统的巨大压力及其

承载力,亟需明晰其传导机理及路径,深入推进土地系统核心理论体系研制、驱动力作用机理研究和定量评估技术研发。

3)人地系统耦合与动态模拟。围绕复杂人地系统耦合模拟与预测,研究构建人地系统动力学模型,模拟分析不同地域人地系统要素耦合、过程耦合的交互作用过程,揭示人地系统耦合的复杂性与动态性,探明全球化、工业化、城镇化、土地利用变化等人类活动对人地圈系统的作用机制与反馈路径。科学研判人地系统耦合适宜度,界定人地系统耦合与协调发展阈值,建立人地系统生态宜居性、生命健康性、发展持续性监测与模拟技术体系。重点推进黄土高原、农牧交错区、山地丘陵区、沿海地带,以及西部地区、东北地区、中部农区、黄河流域、长江经济带、粤港澳大湾区、长江三角洲、京津冀都市区等典型区域人地系统耦合范式试验、情景与格局模拟研究。

4)高强度人类活动环境效应及调控。针对人类高强度经济开发过程及其营造的高密度城市群、都市区、产业带等复杂人地系统,以及重大工程建设(如退耕还林、土地整治、南水北调工程等)引发的生态驱动过程、各种灾害与风险问题,研究创建高强度人类活动的生态环境效应评估理论框架、指标体系与计量模型,研发区域环境质量与安全动态监测技术、重大灾害和疫情预警与防控支撑技术,探明不同地域问题导向人地系统优化途径及其和谐共生的调控路径。

5)人地系统协调与区域可持续发展。协调是一种社会功能,人类身为“地球村民”,理应遵循自然规律、自觉保护地球家园,而人类主动适应和应对全球变化等问题,亟需探明人地系统冲突与协调机理、动力机制与传导途径。通过可持续发展状态评价、模拟与决策支持研究,系统解析现代人地系统演变规律、情景及人类活动对环境累积影响过程,探究人地系统对全球或区域环境变化响应与适应机理、退化环境系统恢复与重建的关键技术,研究创建促进人地系统协调与可持续发展的人地圈—地域类—要素流模式体系及其典型范式。新时期要重点深化生态脆弱区、深度贫困区、传统农业区、粮食主产区、城市连绵区等特殊区域的人地系统协调与可持续发展研究。

4.3 研究思路与技术方法

人类如何主动适应和科学调控地表环境变化,

进而实现人地和谐共生与可持续发展,是一个亟待系统探究的科学问题。事实上,一定地域的人地系统关系既包括适应、协同关系,也包括竞争甚至对抗、报复等关系。人类遭受重大自然灾害和全球新冠病毒(COVID-19)等疫情灾害,客观上与人类过度干扰和破坏地球环境有着紧密的关系。探索创建人地系统科学前沿理论、技术体系和研究范式,亟需推进多学科理论交叉、多技术方法集成、多源性数据融合,全面建设以国家地球科学工程数据、全国地理国情普查数据、部委行业专项调查数据、地面生态系统联网观测与遥感动态监测数据为主的人地系统大数据体系,为应对全球环境变化和制定可持续发展方略提供科学支撑。

在理论层面,围绕重塑现代人地关系,推进地表人地圈、地域综合体(人地耦合体)、地带循环链系统研究,深入探究带链体、体融圈的“圈—体—链”贯通的人地有机体,尤其要探明地球表层关键带界面性、脆弱性、动态性及其发生机理,重点聚焦陆海交界带、农牧交错带、城乡过渡带、山川孕灾带等关键地带。立足人地系统理论,确立“人地圈”系统思维,将地理学地域尺度的人地关系系统延展到全球圈层尺度的人地耦合系统。从“人地关系”到“人地耦合”不仅仅是视角的转换,更重要的是聚焦人地有机体,并以探测人地有机体的要素相互作用、过程交互效应为研究重点,形成以人地系统耦合机理、循环过程、分异格局、协同模式(MPPM)为主线的人地系统科学研究范式。现代地理信息系统作为一门空间科学,从空间相互联系和相互作用出发,揭示各种事物与现象的空间分布特征和动态变化规律^[59],因而可以在引领现代人地系统格局、过程及耦合、调控的全空间理论创新领域发挥重要的支撑作用。

在技术方法方面,要充分借助地球探测、现代遥感、无人机等技术手段获取大气、生态、土壤、水环境等要素的动态监测数据。运用虚拟现实、深度学习、人工智能、5G网络等现代大数据和信息技术方法,创建大数据时代生态观测研究网络体系,实现在区域、国家及全球尺度上观测地球生命系统变化^[60],深度探测人类适应与利用自然的行为过程及其对人地圈系统影响的程度和效应。运用系统耦合协调模型(CCDM)^[61,62],度量人地圈多个系统(要素)非线性耦合作用关系及其强度,刻画人地系统相互作用中良性耦合程度的强弱、协调

发展的状况;利用远程耦合理论模型,分析揭示人地系统多尺度、跨区域、全要素、流空间下的复杂交互作用机理^[63,64],深度解析现代人地系统耦合机理与传导机制。现代地理工程是促进人地系统有机重构,实现区域可持续发展的重要保障和科学途径,亟需深入开展定位观测、工程试验和典型示范,借助观测监测研究与情景模拟分析,构建区域人地系统耦合大数据系统;加强人地系统耦合过程与格局研究的新理论供给和方法论创新;研发人地系统耦合模型和创新应用土地整治工程、环境治理工程、生态建设工程等现代地理工程技术^[65],为促进人地系统耦合与可持续发展提供决策支持和技术支撑。

5 结论与讨论

人地关系及其变化是现代地理学研究的重要主题,也是当今社会发展面临的关键问题。吴传钧先生基于哲学的辩证思维,着眼于人地系统结构、人地作用动力机制、地域系统时空格局、人地协同优化调控的分类研究,创建了人地关系地域系统理论,促进地理学人地系统研究的理论化、模式化,奠定了现代人地关系的科学认知和地理学综合研究的理论基石,为现代人地系统研究与区域可持续发展决策夯实了科学基础。

1)人地关系地域系统理论模式,主要包括人地关系认知、人地系统理论、人地系统协调等循序渐进的三个有机组成部分。吴传钧先生率先基于对人地关系思想和相关理论的解析,建立了完整的人地关系认知体系,并将这一体系置于特定的地域系统进行要素分析、机理解析、功能探析,形成了人地关系地域系统学说,构建了由系统结构、动力机制、时空格局、优化调控等组成的理论体系。通过深入探究不同层次的人地系统类型、时空分异及其变化规律,探明人地系统各要素相互影响、系统协调模式及其调控途径,可以直接服务于人地系统协调战略与可持续发展实践。

2)人地关系地域系统是地球表层的重要组成部分。随着经济社会快速发展和科学技术的不断进步,人地关系研究的核心主题,以及人地关系地域系统的科学内涵在不断丰富和发展。在新时期城乡发展转型、国土空间治理宏观背景下,将人地关系地域系统划分为城市地域系统、城乡融合系统、乡村地域系统。乡村地域系统又可细分为农业

系统、村庄系统、乡域系统和城镇系统等子系统。不同子系统内部及其相互作用、相互依存,分别构成特定的主客体关系或普遍意义的人地系统类型,成为分类指导、分区调控现代人地系统耦合途径的理论依据。

3)人地系统耦合是人类经济社会系统与自然生态系统交互作用、相互渗透,并形成人地耦合系统的综合过程。人地圈是人类活动与地表环境系统相互联系、耦合渗透而形成的自然—经济—技术综合体或人地协同体。当人地系统处于适度耦合状态时,系统会正向演替和协调发展,否则引发系统退化或衰落。在人地系统耦合过程中,社会经济系统是人类活动的主体和人地系统耦合,并驱动环境变化的主因。土地利用、人口迁移、环境排放、资源开发,以及工程治理、政策调控等方式,是现代人类活动作用于自然生态系统、实施人地系统耦合调控的重要抓手,也是深化人地系统耦合机理研究和支撑人地系统协调发展决策的主要内容。

4)人地系统科学是人地系统耦合与可持续发展的前沿理论,也是现代人地关系创新研究的科学基础。聚焦人地圈结构及其人地系统科学研究,进一步强化了人地系统自然、经济、技术多要素耦合的特色,更能凸显地球表层人类活动的主体性、人地协同的过程性和可持续发展的战略性。建立地表人地圈、地域综合体(人地耦合体)、地带循环链的“圈-体-链”贯通研究体系,揭示人地系统耦合机理、协调途径和可持续发展规律,既赋予了全球环境变化、可持续发展的全球性、国际化战略主题,又对接未来地球、区域合作、不同类型人地系统协调发展、国土空间治理的现实命题。现代人地系统是复杂的自然-经济-技术综合体,必须运用复杂系统思维与方法解析人地关系、研究人地系统、探究人地耦合,将有助于深度透视人地关系演进规律及其动力机制,有利于施行适应性人地系统优化与过程性调控,有益于支撑人地系统协调与可持续发展科学决策。

新时代中国实施生态文明、新型城镇化、精准扶贫与乡村振兴战略,重在调整和优化乡村人地业耦合关系与城乡要素配置格局,增强城乡地域系统功能与弹性,是推进城乡融合与乡村人地系统协调和可持续发展的具体实践。系统思维、空间治理、工程管理、模拟预警、模式示范,成为深化现

代人地系统科学研究的新特征和新命题。当前应着眼于区域、流域与城乡一体化系统, 整体研判现代人地系统耦合与可持续发展进程, 探索创新多区域、多部门、多学科联动作用与协同长效机制, 科学探知人地圈现代人地关系的空间异质性及其不同类型系统的新型人地耦合性, 深入探究不同地域系统的脆弱性与人类经济活动的胁迫性相权衡、相适应的调节机制和调控路径, 科学支撑人地系统协调与高质量发展决策和精准施策。

环境与健康是人类社会永恒的主题, 也是促进人的全面发展的必然要求和经济社会发展的重要标志。当今人类生存与发展正面临前所未有的环境压力。“看得见”的环境问题和“看不见”的重大疫情灾难叠加发生, 敲响了地球环境脆弱性、危机性的世纪警钟。正视地表环境现实、转变人类活动方式、形成各国合作共识, 成为实现人与自然协调发展面临的更大挑战, 彰显了深化“人地圈”研究的紧迫性和特殊重要性。亟需科学探知后疫情时代的新型人地关系, 以及全球、区域人地系统治理新理念、可持续发展新模式, 并纳入 2030 年全球可持续发展议程新目标。从 COVID-19 防控的科技需求看, 学科交叉融合必将成为未来科研范式和学科发展的新常态^[66]。人地关系地域系统是地理学的研究核心。人地系统耦合与可持续发展是人地系统科学的研究核心。传承创新人地关系地域系统理论, 探索发展现代人地系统科学, 成为现代地理学特别是人文与经济地理学创新研究的前沿领域和新型交叉学科的重要方向, 对于科学支撑新时代城乡融合、美丽中国、生态文明建设, 以及全球减贫、减灾与乡村振兴^[67]等重大战略具有重要理论价值和实践意义。

致谢: 谨以此文纪念恩师吴传钧先生系统创建“人地关系地域系统理论”30 周年。感谢团队龙花楼、王黎明、陈玉福、王介勇、李裕瑞、李玉恒、周扬、杨园园、刘正佳、王永生、李琳娜、曹智、郭远智等在野外观测研究、学术研讨和制图方面的参与和帮助。

参考文献(References):

- [1] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统[J]. 经济地理, 1991, 11(3): 1-6. [Wu Chuanjun. The core of study of geography: Man-land relationship areal system. Economic Geography, 1991, 11(3): 1-6.]
- [2] 吴传钧. 人地关系与经济布局[M]. 北京: 学苑出版社, 1998. [Wu Chuanjun. Man-Land relationship and economic layout. Beijing: Academic Press, 1998.]
- [3] Earth System Sciences Committee, NASA Advisory Council. Earth system science—A closer view[R]. Washington DC: NASA, 1988.
- [4] 徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 等. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策[J]. 科学通报, 2013, 58(21): 2100-2106. [Xu Guanhua, Ge Quansheng, Gong Peng et al. Societal response to challenges of global change and human sustainable development. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(21): 2100-2106.]
- [5] Crutzen P, Stoermer E. The ‘Anthropocene’[J]. IGBP Newsletter, 2000, 41: 17-18.
- [6] 毕思文. 地球系统科学综述[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 504-514. [Bi Siwen. Summarization on earth system science. Progress in Geophysics, 2004, 19(3): 504-514.]
- [7] Seitzinger S P, Gaffney O, Brasseur G et al. International geosphere-biosphere programme and earth system science: Three decades of co-evolution[J]. Anthropocene, 2015(12): 3-16.
- [8] 钱学森. 发展地理科学的建议[J]. 大自然探索, 1987, 6(1): 1-5. [Qian Xuesen. Suggestions on the development of Geographical Science. Discovery of Nature, 1987, 6(1): 1-5.]
- [9] 黄秉维. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础[J]. 地理学报, 1996, 51(4): 350-354. [Huang Bingwei. On earth system science and sustainable development strategy. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(4): 350-354.]
- [10] 陈述彭, 曾杉. 地球系统科学与地理信息系统[J]. 地理研究, 1996, 15(2): 1-11. [Chen Shupeng, Zeng Shan. Earth system science and geo-informatics. Geographical Research, 1996, 15(2): 1-11.]
- [11] 史培军. 人地系统动力学研究的现状与展望[J]. 地学前缘, 1997, 4(1-2): 201-204. [Shi Peijun. Today and future of the dynamics of human earth system. Earth Science Frontiers, 1997, 4(1-2): 201-204.]
- [12] 陈之荣. 现代地球系统科学——可持续发展战略的科学基础[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 198-203. [Chen Zhirong. Modern earth system science—Scientific basis for sustainable development strategy. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(2): 198-203.]
- [13] 陆大道. 关于地理学的“人-地系统”理论研究[J]. 地理研究, 2002, 21(2): 135-139. [Lu Dadao. Theoretical studies of man-land system as the core of geographical science. Geographical Research, 2002, 21(2): 135-139.]
- [14] 刘东生. 全球变化和可持续发展[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 1-9. [Liu Dongsheng. Global change and sustainable development. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 1-9.]
- [15] 陈泮勤. 地球系统科学的发展与展望[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 974-979. [Chen Panqin. Earth system science: Progress and prospect. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(6): 974-979.]
- [16] Turner B L I, Kasperson R E, Matson P A et al. A framework

- for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [17] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 293-303.
- [18] Liu J, Dietz T, Carpenter S R et al. Complexity of coupled human and natural systems[J]. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [19] Thornton P E, Calvin K, Jones, A D et al. Biospheric feedback effects in a synchronously coupled model of human and Earth systems[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(7): 496-500.
- [20] Calvin K, Bond-Lamberty B. Integrated human-earth system modeling—State of the science and future directions[J]. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(6): 1-14.
- [21] 陆大道, 樊杰. 区域可持续发展研究的兴起与作用[J]. *中国科学院院刊*, 2012, 27(3): 290-300+319. [Lu Dadao, Fan Jie. The rise and effects of regional sustainable development studies in China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2012, 27(3): 290-300+319.]
- [22] 毛汉英. 人地系统优化调控的理论方法研究[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 608-619. [Mao Hanying. Theories and methods of optimal control of human-earth system. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 608-619.]
- [23] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 637-650. [Liu Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650.]
- [24] 蔡运龙. 人地关系研究范型: 地域系统实证[J]. *人文地理*, 1998, 13(2): 7-13. [Cai Yunlong. A paradigm of the research on man- earth relationship: Positive study of territorial system. *Human Geography*, 1998, 13(2): 7-13.]
- [25] 郑度. 21 世纪人地关系研究前瞻[J]. *地理研究*, 2002, 21(1): 9-13. [Zheng Du. Prospects of studies on man-land relationship in the 21st century. *Geographical Research*, 2002, 21(1): 9-13.]
- [26] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 597-607. [Fan Jie. Territorial System of Human-environment Interaction: Atheoretical cornerstone for comprehensive research on formation and evolution of the geographical pattern. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 597-607.]
- [27] 宋长青, 张国友, 程昌秀, 等. 论地理学的特性与基本问题[J]. *地理科学*, 2020, 40(1): 6-11. [Song Changqing, Zhang Guoyou, Cheng Changxiu et al. Nature and basic issues of geography. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(1): 6-11.]
- [28] 刘彦随, 周扬, 李玉恒. 中国乡村地域系统与乡村振兴战略[J]. *地理学报*, 2019, 74(12): 2511-2528. [Liu Yansui, Zhou Yang, Li Yuheng. Rural regional system and rural revitalization strategy in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2511-2528.]
- [29] 吴传钧. 地理学的特殊研究领域和今后任务[J]. *经济地理*, 1981, 1(1): 5-10. [Wu Chuanjun. Special research fields and future tasks of geography. *Economic Geography*, 1981, 1(1): 5-10.]
- [30] 吴传钧. 中国农业地理总论[M]. 北京: 科学出版社, 1980. [Wu Chuanjun. *Agricultural geography pandect of China*. Beijing: Science Press, 1980.]
- [31] 吴传钧. 中国1:100万土地利用图[M]. 北京: 科学出版社, 1990. [Wu Chuanjun. 1:1 000 000 land use map of China. Beijing: Science Press, 1990.]
- [32] 吴传钧. 农业地理学发展述要[J]. *地理环境研究*, 1989, 1(1): 10-17. [Wu Chuanjun. A review of agricultural geography development. *Geographic Environment Research*, 1989, 1(1): 10-17.]
- [33] 吴传钧. 人地关系地域系统的理论研究及调控[J]. *云南师范大学学报*, 2008, 40(2): 1-3. [Wu Chuanjun. The theoretical research and regulation of the regional system of man land relationship. *Journal of Yunnan Normal University*, 2008, 40(2): 1-3.]
- [34] 马蔼乃. 钱学森论地理科学[J]. *中国工程科学*, 2002, 4(1): 1-8. [Ma Ainai. Qian Xuesen's view on geographical science. *Engineering Science*, 2002, 4(1): 1-8.]
- [35] 刘彦随. 区域可持续发展系统原理与决策[J]. *陕西师范大学学报*, 1996, 24(2): 98-102. [Liu Yansui. Principle and decision-making of regional sustainable development system. *Journal of Shaanxi Normal University*, 1996, 24(2): 98-102.]
- [36] 毛汉英. 山东省跨世纪可持续发展的综合调控研究[J]. *地理学报*, 1998, 53(5): 413-421. [Mao Hanying. Study on comprehensive regulation of sustainable development when Shandong Province steps into next century. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(5): 413-421.]
- [37] 刘继生, 陈彦光. 基于GIS的细胞自动机模型与人地关系的复杂性探讨[J]. *地理研究*, 2002, 21(2): 155-162. [Liu Jisheng, Chen Yanguang. GIS-based cellular automata models and researches on spatial complexity of man-land relationship. *Geographical Research*, 2002, 21(2): 155-162.]
- [38] 王建华, 顾元勋, 孙林岩. 人地关系的系统动力学模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2003, 23(1): 128-131. [Wang Jianhua, Gu Yuanxun, Sun Linyan. Study on dynamic models about Man-Earth Relationships. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2003, 23(1): 128-131.]
- [39] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. *地理学报*, 2016, 71(4): 521-550. [Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 521-550.]
- [40] Fu B J, Wang S, Zhang J Z et al. Unravelling the complexity in achieving the 17 sustainable-development goals[J]. *National Science Review*, 2019, 6(3): 386-388.
- [41] 傅伯杰, 冷疏影, 宋长青. 新时期地理学的特征与任务[J]. *地理科学*, 2015, 35(8): 939-945. [Fu Bojie, Leng Shuying, Song

- Changqing. The characteristics and tasks of geography in the new era. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(8): 939-945.]
- [42] 傅伯杰. 地理学: 从知识, 科学到决策[J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 1923-1932. [Fu Bojie. Geography: From knowledge, science to decision making support. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 1923-1932.]
- [43] 陈之荣. 最新的地球圈层——人类圈[J]. *地理研究*, 1997, 16(3): 95-100. [Chen Zhirong. Enwestgeosphere — Anthropospe. *Geographical Research*, 1997, 16(3): 95-100.]
- [44] 叶笃正, 季劲钧, 严中伟, 等. 简论人类圈(Anthroposphere)在地球系统中的作用[J]. *大气科学*, 2009, 33(3): 409-415. [Ye Duzheng, Ji Jinjun, Yan Zhongwei et al. Anthroposphere—An interactive component in the Earth system. *Journal of Atmospheric Sciences*, 2009, 33(3): 409-415.]
- [45] Lenton T M. Early warning of climate tipping points[J]. *Nature Climate Change*, 2011, 1(4): 201-209.
- [46] 李玉恒, 武文豪, 刘彦随. 近百年全球重大灾害演化及对人类社会弹性能力建设的启示[J]. *中国科学院院刊*, 2020, 36(3): 345-352. [Li Yuheng, Wu Wenhao, Liu Yansui. Evolution of global major disasters during past century and its enlightenments to human resilience building. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2020, 36(3): 345-352.]
- [47] 刘彦随. 中国乡村振兴规划的基础理论与方法论[J]. *地理学报*, 2020, 75(6): 1120-1133. [Liu Yansui. The basic theory and methodology of rural revitalization planning in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(6): 1120-1133.]
- [48] Liu Y S, Long H L, Chen Y F et al. Progress of research on urban-rural transformation and rural development in China in the past decade and future prospects[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(8): 1117-1132.
- [49] Liu Y S, Zheng X Y, Wang Y S et al. Land consolidation engineering and modern agriculture: A case study from soil particles to agricultural systems[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(12): 1896-1906.
- [50] 王思敬. 地圈动力学——地质环境、灾害与工程研究基础[J]. *工程地质学报*, 2003, 12(2): 113-117. [Wang Sijing. Geosphere dynamics—Foundation for study in geoenvironmental, geohazard and geoenvironment. *Journal of Engineering Geology*, 2003, 12(2): 113-117.]
- [51] 周俊. “地球表层”再讨论[J]. *自然灾害学报*, 2004, 13(6): 1-7. [Zhou Jun. The second discussion on the ‘Earth's surface layer’. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(6): 1-7.]
- [52] 任美镔. 地理科学研究的理论和实践——以长江三角洲为例[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(2): 169-172. [Ren Meie. Geographical science system: Theory and application. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(2): 169-172.]
- [53] 殷鸿福, 谢树成, 童金南, 等. 谈地球生物学的重要意义[J]. *古生物学报*, 2009, 48(3): 293-301. [Yin Hongfu, Xie Shucheng, Tong Jinnan et al. On the significance of geobiology. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(3): 293-301.]
- [54] Reid W V, Chen D, Goldfarb L et al. Earth system science for global sustainability: Grand challenges[J]. *Science*, 2010, 330(6006): 916-917.
- [55] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 139-151. [Zhao Wenwu, Liu Yue, Feng Qiang et al. Ecosystem services for coupled human and environment systems. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 139-151.]
- [56] 张甘霖, 朱永官, 邵明安. 地球关键带过程与水土资源可持续利用的机理[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(12): 1945-1947. [Zhang Ganlin, Zhu Yongguan, Shao Ming'an. The process of the earth critical zone and the mechanism of sustainability of soil and water resources. *Science China: Earth Sciences*, 2019, 49(12): 1945-1947.]
- [57] 阎守邕. 人地系统科学及其在NS II 建设中的应用[J]. *遥感学报*, 2003, 7(6): 509-518. [Yan Shouyong. Human-Earth System Science and its applications to development of NS II. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(6): 509-518.]
- [58] Edmonds J A, Link R, Waldhoff S T et al. A global food demand model for the assessment of complex human-earth systems[J]. *Climate Change Economics*, 2017, 8(4): 1-22.
- [59] 周成虎. 全空间地理信息系统展望[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(2): 129-131. [Zhou Chenghu. Prospects on pan-spatial information system. *Progress in Geography*, 2015, 34(2): 129-131.]
- [60] 于贵瑞, 何洪林, 周玉科. 大数据背景下的生态系统观测与研究[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(8): 832-837. [Yu Guirui, He Honglin, Zhou Yuke. Ecosystem observation and research under background of big data. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(8): 832-837.]
- [61] Li Y F, Li Y, Zhou Y et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98: 127-133.
- [62] Fan Y, Fang C, Zhang Q. Coupling coordinated development between social economy and ecological environment in Chinese provincial capital cities—assessment and policy implications[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 229: 289-298.
- [63] 刘建国, Hull V, Batistella M, 等. 远程耦合世界的可持续性框架[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7870-7885. [Liu Jianguo, Hull V, Batistella M et al. Framing sustainability in a telecoupled world. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7870-7885.]
- [64] 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(2): 310-326. [Ma Enpu, Cai Jianming, Han Yan et al. Research progress and prospect of telecoupling of Human-Earth system. *Progress in Geography*, 2020, 39(2): 310-326.]
- [65] Liu Y S, Wang Y S. Rural land engineering and poverty alleviation: Lessons from typical regions in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(5): 643-657.
- [66] 刘羽. 国家自然科学基金环境地球科学学科布局优化战略研究[J]. *科学通报*, 2020, 65(20): 2076-2084. [Liu Yu. Research

on the strategy of optimizing the discipline layout of environmental geosciences under the National Natural Science Foundation of China. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(20): 2076-

2084.]

[67] Liu Y S, Li Y H. Revitalize the world's countryside[J]. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.

Modern Human-Earth Relationship and Human-Earth System Science

Liu Yansui^{1,2,3}

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy Science, Beijing 100101, China;*

2. *Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy Science, Beijing 100101, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: In the past 30 years, the theory of human-earth areal system has played an important support and guidance role in promoting the comprehensive research, disciplinary development and serving national strategic decision of geography. This study analyzes the scientific connotation and era value of human-earth areal system, explores the types and environment of modern human-earth system, and puts forward 'human-earth sphere' and the main contents and frontier fields of human-earth system science. The results show that: 1) The modern human-earth system is characterized by complexity, regionalism and dynamicity. The processes, pattern and comprehensive effect of human-earth interaction are undergoing profound changes, and the human-earth system on the surface of the earth has become the critical content and important theme of modern geosciences. 2) To scientifically understand and effectively coordinate the human-earth relationship, it is urgent to explore the coupling pattern and mechanism of human-earth relationship and to analyze the type, structure and dynamic mechanism of human-earth areal system. Based on the urban-rural relationship, the human-earth areal system can be divided into urban regional system, urban-rural integration system and rural regional system. Furthermore, the rural regional system is subdivided into agricultural system, village system, rural system and township system. 3) Modern human activities strongly affect the human-earth system on the surface of the earth, forming a new surface with the coupling and interaction between human and earth. In essence, it is a natural-economic-technological synthesis or human-earth coordination. They are also the main contents of deepening the researches on the coupling of human-earth system and supporting decision-making for coordinated development of human-earth system. 4) Human-earth system science or human-earth science is a new interdisciplinary subject which studies the coupling mechanism, evolution process and complex interaction effect of man earth system. It is the deep intersection and focus of modern geographic science and earth system science. Taking the modern human-earth sphere system as the research object, it is committed to exploring the state of human activities transforming and affecting the surface environment system, the interaction and coupling law of human-earth system, the formation mechanism and evolution process of human-earth coordination. Human-earth system coupling and sustainable development is the core of human-earth system science. Inheriting and innovating the theory of human-earth areal system and developing the human-earth system science will highlight the subjectivity of human on the earth surface, the process of human-earth coordination and the strategy of sustainable development, thus providing scientific guidance for the coordination of human-earth system and sustainable development decision-making.

Key words: modern human-earth relationship; human-earth areal system; coupling of human-earth system; rural regional system; human-earth system science