

远程耦合视角下的土地利用/覆被变化解释

马恩朴^{1,2}, 蔡建明¹, 林 静¹, 韩 燕^{1,2}, 廖柳文^{1,2}, 韩 炜^{1,2}

(1. 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;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 传统的土地利用覆被/变化驱动力研究在很大程度上并未充分考虑远距离相互作用的影响, 对全球化世界中由远距离相互作用驱动的土地利用/覆被变化日益缺乏解释力。鉴于此, 本文旨在将远程耦合 (Telecoupling) 理论框架引入到土地利用/覆被变化的动力机制研究中来。在概述土地利用/覆被变化驱动力研究的基础上, 从驱动力背景的变化出发, 切入远程耦合框架的介绍, 并基于此给出远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的经验证据; 认为远程连接、全球化和城市化是远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的3种主要形式; 进而提出建立“时—空—事”三位一体的土地利用/覆被变化解析路径、土地利用/覆被变化的近远程驱动力分解和基于网络的跨系统综合研究是土地利用覆被/变化驱动力研究中应用远程耦合框架的重点内容。

关键词: 远程耦合; 远程连接; 全球化; 城市化; 土地利用/覆被变化; 驱动力分解; 跨系统综合
DOI: 10.11821/dlxb201903002

1 引言

土地利用是人类与自然耦合系统的核心环节, 是人类与环境相互作用的主要形式。有研究表明, 土地利用/覆被变化是仅次于温室气体排放的全球变化主要驱动力之一, 也因此成为全球变化与可持续发展的重要研究内容^[1-2]。自“国际地圈与生物圈计划”(IGBP) 和“全球环境变化的人文领域计划”(IHDP) 于1995年联合提出“土地利用/覆被变化”研究计划以来, 国内外学者已从土地利用/覆被变化的动态、驱动力及其作用机制、环境效应、土地利用/覆被变化 (LUCC) 模型与3S技术应用和土地利用调控等方面做了大量研究^[3], 在理论和实证方面均取得重要进展。

理论方面, 李秀彬指出, 土地自身特性的变化、土地使用者个体经济行为分析和社会群体土地管理行为分析是土地利用变化解释的3个维度^[4], 并将地租理论、竞租曲线及其均衡分析等经济学模型引入土地利用变化研究, 进行土地利用的空间均衡与转移边际分析, 认为土地利用空间均衡的打破意味着土地利用变化^[4], 为深入解析土地利用变化的微观机理提供了方法借鉴。蔡运龙指出土地覆被变化具有同类覆被的功能复杂性和不同覆被间的结构复杂性, 土地覆被变化并非简单的连续过程, 在急剧变化时期, 突发事件

收稿日期: 2018-02-08; 修订日期: 2018-12-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71734001) [Foundation: Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.71734001]

作者简介: 马恩朴(1989-), 男, 博士生, 贵州毕节人, 主要从事城市农业、可持续城市化与土地利用/覆被变化的研究。
E-mail: maenpu2015@sina.com

通讯作者: 蔡建明(1961-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事城市可持续性与城市发展战略、都市农业与城乡互动发展和城乡旅游发展等研究。E-mail: caijm@igsnrr.ac.cn

推动的变化常常在系统中引起突变。因此,在研究土地利用/覆被变化时,应充分认识到驱动力及其作用机制的复杂性,为此,需要实现驱动力研究尺度、理论和方法等多方面的综合^[5]。由于地表构成的异质性、地理系统的等级性、地表过程响应与反馈的非线性以及驱动因子的复杂性等多种原因,使得土地变化科学面临着突出的尺度问题。陈睿山等讨论了土地变化科学中尺度的概念及产生尺度问题的根源,提出“尺度选择—尺度分析—尺度综合”是处理尺度问题的一般途径^[6]。值得注意的是,在研究土地利用/覆被变化的驱动力时,应注意区分土地利用与土地覆被的差异^[5],土地利用是指人类根据土地的自然属性,按照特定目的采取一系列生物、工程技术手段对土地进行长期或周期性经营管理和治理改造的活动^[3];而土地覆被则是指地球表层包括冰川、水域、裸地、植被和人工构筑物在内的一切地表覆盖物的总称^[7]。因此,土地利用是一个具备经济、社会意义的概念,而土地覆被则是人类活动与自然环境共同作用的结果,其更加强调地表的物理构成^[3],从这种意义上不难推断土地利用/覆被变化的驱动因子具有自然和人文两大属性。另外,土地利用/覆被变化包含多种类型,李秀彬认为用途转移和集约度变化是土地利用变化的两种基本类型^[4],蔡运龙认为土地覆被变化现象包括土地覆被退化、土地覆被转换和土地覆被改良3种类型^[5]。

实证方面,众多学者从土地利用/覆被变化的内涵出发,将驱动因子划分为环境和社会经济两大类,从两大类因子相互交织作用的角度解释土地利用/覆被变化^[8-11]。其中环境因子包括土地的自身属性、土壤过程、植被演替、气候变化以及自然界发生的周期性干扰(如洪水、林火)等自然过程^[12],主要在区域和全球尺度^[3],以及常以百年计的时间尺度上发挥作用。社会经济因子作用的时间尺度则小得多,主要分为直接和间接因素两类,IGBP和IHDP的研究报告认为社会经济的间接因素包括人口变化、富裕程度、技术进步、经济增长、政治经济结构和价值观念6个方面^[13]。社会经济因子作为快变量,常常通过大量主体(家庭、企业、政府)的土地利用决策和行为,以及大量决策、行为之间相互联系的涌现性形成由地块至区域的土地利用景观和覆被格局,进而产生跨区域的影响。

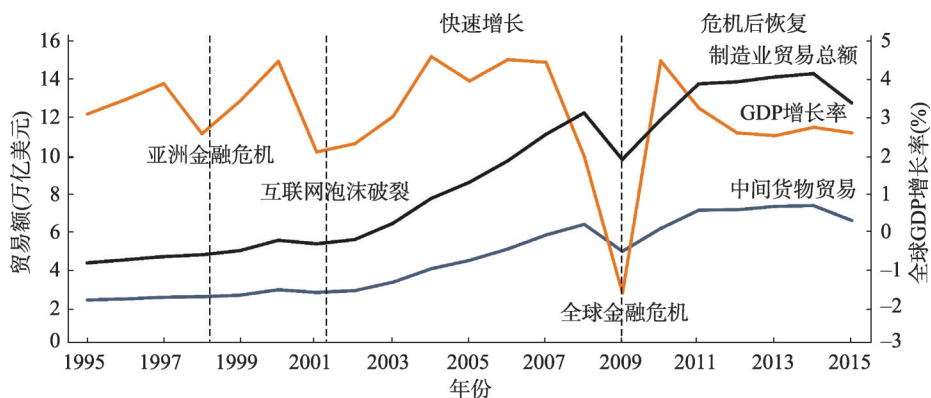
为深刻理解土地利用/覆被动态及其变化的驱动力,大量LUCC模型如森林采伐模型^[14]、基于经济学理论的森林退化模型^[15]、城市综合模型^[16]和多主体模型^[17]等被相继开发出来。朱利凯等根据“土地利用变化及其驱动因素之间相互作用表征方法的差异”,将LUCC模型分为经验—统计模型、概念机理模型和综合模型3类^[18]。其中,常用于土地利用/覆被变化驱动力研究的模型主要有线性回归模型、Logistic回归模型、元胞自动机模型(Cellular Automata Model, CA)、人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)模型、Thünen-Ricardo模型、多主体模型(Multi-agent model)、CLUE模型^[19-20]以及改进的CLUE-S模型^[21]、IMAGE2模型^[22]、IIASA LUC模型^[23]、Patuxent Landscape模型^[24]、ITLUP模型^[25]等。总之,目前有关LUCC的大量研究成果对于理解土地利用/覆被变化的动力机制提供了较好的洞察力,而对于日益紧密联系的全球化世界中远距离相互作用的考虑仍然不足,而这种跨越日常生活圈的远距离相互作用是近几十年来最重要的全球性趋势之一,在多种层面对土地利用/覆被产生了影响。因此,有必要进一步完善土地利用/覆被变化的理论模型,以提高其对土地利用/覆被变化中近远程驱动机制的解释力。

2 LUCC驱动力背景的变化与新视角的涌现

2.1 驱动力背景的变化

由人类活动引起的大规模土地利用/覆被变化是18世纪60年代以来发生的事,以工

业革命为标志, 技术进步不仅提高了人类利用和改造自然的能力, 也显著加强了世界各地之间的联系。尤其20世纪中叶以来, 人类影响和改变生态系统的程度比历史上任何时期都强^[26], 导致生态足迹快速扩张^[27]。有研究指出, 由于人口快速增长以及家庭规模的小型化 (意味着家庭数量增长更快), 近期以来人类对环境变化的驱动力比20世纪后半期更加强烈^[28-29], 以致于有学者提出地球进入了人类时代, 即认为地球进入了由人类统治生物圈的时期^[30]。这其中最重要的变化是人类与自然相互作用的尺度和程度在不断增加^[31]。尽管历史上也曾有过远洋航行、跨越大洲的陆上贸易通道 (如古代丝绸之路) 和远距离的人类移民, 但是历史时期人类活动的绝大部分均只发生在局部尺度^[31]。而自20世纪中叶以来, 发生在区域、洲际和全球尺度上的人类活动越来越频繁, 现在交织成网的远洋航线、国际空运航线、陆桥通道和跨海隧道上繁忙的客货运输景象已成为常态。人类交通运输与信息技术的进步使得远距离相互作用成为一种日益普遍的现象, 尤其突出体现在全球贸易上。来自世界贸易组织 (World Trade Organization, WTO) 的数据表明, 1995年以来, 尽管GDP增长率在区域性和全球性金融危机冲击下波动起伏, 但是制造业贸易总额和中间产品贸易额总体上仍然呈上升趋势 (图1)。

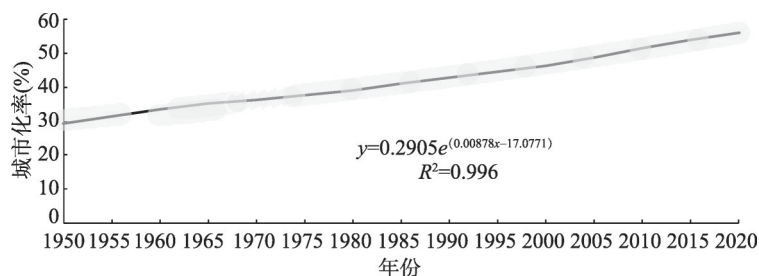


注: 引自《2017年全球价值链发展报告》39页。

图1 1995-2015年全球国内生产总值和制造业贸易的变化趋势

Fig. 1 Trends in global GDP and manufacturing trade from 1995 to 2015

另一个重要趋势是城市化, 来自联合国经济和社会事务部的人口数据表明, 1950-2015年世界城市化率从29.55%增长至54.03% (图2), 目前全球近76亿人口中半数以上已生活在城市中, 1950-2015年全世界由农村转移至城市的人口就高达32.24亿人, 一个名副其实的城市化时代已经到来。在城市容纳近40亿人的同时, 也消耗了人类用水量的



注: 数据来源于联合国经济和社会事务部。

图2 1950-2020年世界城市化率

Fig. 2 Global urbanization rate in 1950-2020

60%，贡献了78%的碳排放量^[32]。由于城市人口快速增加，居民的食物需求很快就超出当地的供给能力，导致食物生态足迹快速增长^[33]，其他方面的需求，包括对制造业产品和能源的需求都需要更遥远的区域来供应。因此，城市化实质上制造了巨大的贸易需求，从而在很大程度上促进了全球化。目前，世界上高城市化率的国家同时也具有较高的外贸依存度，尤其对于资源稀缺的国家、岛国和城市国家（如新加坡）更是如此。全球化和城市化作为20世纪中叶以来两种重要的全球性趋势，其相互作用的结果是在国家之间逐渐形成一个复杂的贸易网络，从而构成远程耦合下土地利用/覆被变化的重要背景。

2.2 正在涌现的新视角：远程耦合

2.2.1 现有研究的不足 一个值得注意的事实是：世界贸易组织成立于1995年，其前身——关贸总协定（General Agreement on Tariffs and Trade, GATT）成立于1947年，类似的政府间国际组织推动了经济全球化的快速发展^[34]，而全球化本身则是一个已经持续了很长时间的进程。早期为贸易目的而建立的口岸城市表明，早在土地利用/覆被变化被大规模研究之前，以贸易为代表的远距离人类系统之间社会经济的相互作用就已经成为土地利用/覆被变化的重要驱动因子。不断深化的全球化进程较土地利用/覆被变化研究的广泛开展要早得多，然而，就土地利用/覆被变化的动力机制而言，过去对远程驱动力的研究并不十分充分。尽管有研究探讨了对外贸易对港口城市土地利用变化的影响^[35]；另有研究关注中老缅边境地区价格波动、“替代种植”政策和地形对橡胶种植的影响^[36-37]；探讨了对外贸易发展对巴西土地利用/覆盖变化的驱动作用^[38]；以及外商直接投资对城市土地利用扩展的影响^[39]。然而，现有研究只是将对外贸易或外商投资作为土地利用/覆被变化的影响因素之一加以讨论，而并未深入揭示各种远程驱动力的作用机理，这使得土地利用/覆被变化与贸易等远程驱动因子之间的双向互动关系仍不明确^[40]。更重要的问题是：在远距离人类活动影响日益频繁，跨越日常生活圈（目前上限常以百公里计）的快速人口、商品和服务流动日益常态化的今天，仅仅从局部区域出发是否实现对土地利用/覆被变化驱动力的充分解释？更进一步讲，着眼于局部区域而将远程因素视为外在变量的传统研究方式是否有利于理解我们今天正在面临的资源环境问题？

2.2.2 远程耦合视角的出现 针对上述问题，一个近期提出并被学者广泛认可的理论框架——远程耦合（Telecoupling）或许能够为土地利用/覆被变化的近远程驱动力解析提供有益的视角。在2011年美国科学进步协会“人与自然系统耦合”专题讨论会上，刘建国等提出了远程耦合（Telecoupling）的综合概念^[41]，并于稍后发表的“远程耦合世界的可持续性框架”一文中详细论述了这一描述人类与自然耦合系统之间社会经济与环境远距离相互作用的理论框架^[42]。该理论框架由人类与自然耦合系统、流、代理、原因和影响5个相互联系的部分组成，明确将远程因素作为系统反馈，注重研究多个地点之间远距离相互作用对可持续性的影响^[42]。远程耦合系统具有嵌套的分层结构，在整体层面上，远程耦合系统由一系列通过流相互作用的人类与自然耦合系统构成；其中每一个人类与自然耦合系统又包含代理、原因和影响3个组成部分^[42]。代理是一系列决策和行为主体，主要包含个人、家庭、组织团体和企业等不同类型的，是决定耦合系统之间是否产生流的直接因素；原因是代理作出决策和行为的动机，受供求关系、要素价格、政治环境、相关政策、社会文化和个人偏好等多种因素的影响，是决定耦合系统之间是否产生流的根本因素；影响则与原因通过反馈环路相连，在耦合系统的不同层面上相互传递。一方面，代理的决策和行为可能同时受到社会经济与环境的影响；另一方面，决策和行为的结果又会在社会经济与环境层面对人类与自然耦合系统产生多方面的影响^[42]，这其中便包含了土地利用/覆被变化。

一个典型的例子是巴西和中国之间的大豆贸易。具体到土地利用/覆被变化上, 大豆贸易的积极影响是提高了巴西土地利用的集约度, 但也迫使当地居民迁移, 使居住用地转变为耕地或其他用地。最重要的影响是巴西中西部地区耕地面积快速增加, 导致巴西高原和圭亚那高原的土地过度开垦以及亚马逊河流域边缘地带林地的急剧减少^[38], 进而降低土地覆被急剧变化区域的生物多样性和生态系统服务^[42]。同时, 巴西和中国之间的大豆贸易也对中国的农业土地利用产生影响, 由于进口大豆的价格较低, 导致许多中国农民将原来用于种植大豆的土地改为种植其他作物, 或退耕还林^[43]。

人类与自然耦合系统之间的诸多远距离相互作用, 如货物和产品贸易(食品、矿产资源、制造业产品)、外商直接投资、跨国土地使用权转让、技术转让、人类迁移、旅游、废物转移、远距离调水和物种扩散等, 常常通过资源开发利用、土地管理、改变资源利用方式、放弃原有资源和占有新资源、以及改变种群构成与密度等种种方式作用于土地, 进而驱动土地利用/覆被的变化^[42]。可见, 远程耦合作为一个着眼于“远距离人类与自然耦合系统之间社会经济与环境相互作用”^[42]的理论框架, 在解释远距离相互作用下的土地利用/覆被变化方面具有显著的优势, 应主动将其引入到土地利用/覆被变化研究中来, 并探讨远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的经验证据和主要形式, 以及在LUCC驱动力研究中应用远程耦合框架的重点内容。

3 LUCC驱动力研究中应用远程耦合框架的理论探讨

3.1 远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的经验证据

驱动土地利用/覆被变化的诸多因子具有发挥远距离作用的特性, 或者会受到远程因素的影响。如促使中国黑龙江省水稻种植界限北移的气候变暖^[44]就是典型的远程驱动力; 赤道太平洋和印度洋之间发生的ENSO事件在一些区域引发极端降水的同时, 却又在另一些区域引起极端干旱, 通过直接影响不同区域的植被动态导致土地利用/覆被变化, 其影响区域由美洲大陆西海岸远至东亚、南亚、澳大利亚北部和非洲, 有研究就论证了ENSO循环是东亚土地覆盖变化的重要驱动力^[45]; 另外, 诸如洪水、林火等显著改变土地覆被的自然扰动也受到大尺度气候事件的影响。社会经济因素方面, 引起农村空心化和农地边际化的人口迁移因素同样具有远程特征; 政治结构和富裕程度表面上看是局部因素, 但实际上它们受到地缘政治和全球化等远程因素的影响; 能够影响土地利用决策的价值观念也会受到全球化因素的冲击等, 不一而足。可见, 远程耦合框架在土地利用/覆被变化研究中的应用不仅具有良好的理论基础, 也具有充分的经验证据。

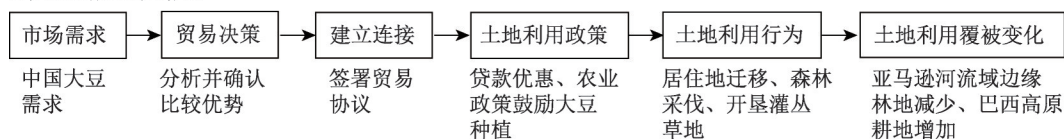
3.2 远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的主要形式

远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的主要形式一般包含三类:

第一类是远程连接, 即远距离自然系统之间的环境相互作用。受太阳辐射、海陆分布和地形等因素影响, 大气环流驱动高低纬度带和海陆之间的热量与水分交换, 形成不同区域气候类型与天气变化的重要基础。因此由大气环流异常和温室气体增加引致的气候变化通过改变气温、降水等气候要素直接影响植被动态, 导致植被的气候耐受范围发生变化, 改变植被地理格局从而促使土地利用/覆被发生变化。

第二类是全球化, 即远距离人类系统之间的社会经济相互作用。与自然系统之间的远程连接不同, 全球化对土地利用/覆被变化的驱动作用往往需要经历信息流和物质流在政治、经济、社会不同层面之间的传递和反馈过程。如巴西和中国之间大豆贸易引起的土地利用/覆被变化, 以及由技术转让驱动的土地利用/覆被变化会经历图3所示的驱动力传递过程(图3)。其他的远程因素, 如知识传播和价值观念转变驱动的土地利用/覆被变

a. 大豆贸易驱动路径



b. 技术转让驱动路径

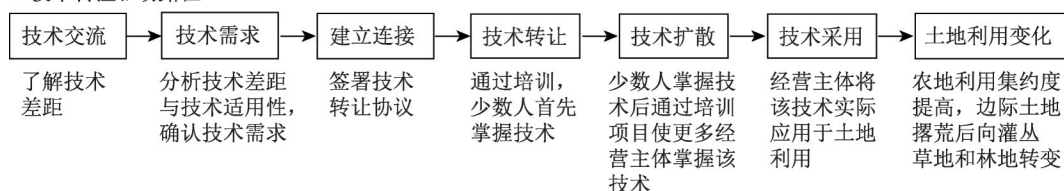


图3 全球化驱动土地利用/覆被变化的典型路径

Fig. 3 The typical paths of land use cover change driven by globalization

化均会经历类似的传递过程。实际上, 只有完整地揭示物质流、能量流和信息流在远距离人类与自然耦合系统中不同层面之间的传递过程, 才可能真正了解远距离相互作用对土地利用/覆被变化的驱动机制。

第三类是城市化。之所以将城市化作为一种独立类型加以讨论, 是因为城市化驱动的土地利用/覆被变化跨越了不同的空间距离, 其作用方式与主要依赖于交通运输与信息技术的全球化存在本质区别。一方面, 在近距离上, 城市化通过空间扩张直接导致土地利用/覆被变化, 如建设用地扩张不断占用城市周边的其他类型土地; 另一方面, 在远距离上, 城市化则通过要素集聚过程, 如乡—城移民、远距离调水、长途运输等种种方式直接或间接地改变遥远区域的土地利用/覆被。自1984年以来, 随着人口流动管制的放松, 以农民工为典型代表的人口迁移通过不同方式推动了中国东西部地区的土地利用/覆被变化: 在东部地区, 大量收入偏低的农民工聚居在有廉价房屋供应的边缘化地区, 形成镶嵌于城市中或城市边缘区的低层高密式居住景观; 而在西部地区, 随着人口流失, 村庄的空废、闲置现象十分普遍, 同时还伴随有农地的边际化甚至撂荒 (图4)。在解释这种大规模人口流动现象时所用的“城市拉力”便是城市化发挥远距离作用的典型例证。可见, 城市化对区域土地利用/覆被变化兼有近远程驱动作用, 通过一定的研究方法可将其远程驱动力分解出来。因此, 城市化也是远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的主要形式之一。

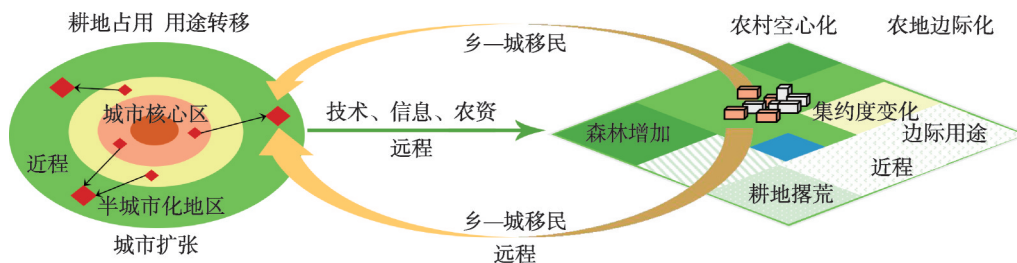


图4 城市化对土地利用/覆被变化的近远程驱动力示意图

Fig. 4 Near-remote driving force of urbanization on land use/cover change

3.3 LUCC 驱动力研究中应用远程耦合框架的重点内容与基本步骤

目前, 远程耦合框架在土地利用/覆被变化研究中已具备较好的理论基础和充分的经

验证据,但是远程耦合框架中关于“系统、流、代理、原因和影响”5个层面的诸多问题仍有待解决^[42]。因此,从循序渐进的思路来看,如何将远程耦合框架应用于土地利用/覆被变化机制的研究需要重点关注3个方面的内容,这3个方面也是逐步实现微观到宏观LUCC近远程驱动力解析的基本步骤。

3.3.1 解析路径建立 土地利用/覆被变化是累积或突发的社会、经济与自然事件作用于陆地表层进而引起陆地表层系统功能、结构与形态变化的过程。对土地利用/覆被变化驱动力的现有研究,尽管在分析影响因素方面颇为有效,但是由于研究方法倾向于综合,且基于行政区的社会经济统计数据相对于土地利用/覆被变化而言过于概化,导致现有研究在LUCC驱动力的内在机理方面缺乏解释力,更勿论进行近远程驱动力解析。鉴于土地利用/覆被变化是由一系列社会、经济与自然事件所驱动的实质,有必要建立“时—空—事”三位一体的土地利用/覆被变化解析路径,以作为土地利用/覆被变化近远程驱动力分解的基础。

“时—空—事”三位一体的土地利用/覆被变化解析采用还原与综合相结合的研究方法,将土地利用/覆被变化的时空动态与驱动变化的事件序列连接起来,寻求使用具体的社会、经济与自然事件来解释土地利用/覆被变化。为增强可操作性,应建立“聚焦主控路径、兼顾次要路径”的解析方法。具体过程如下:① 根据初步解译结果计算单一土地利用变化动态度,并使用单一土地利用变化动态度的绝对值来确定LUCC的主导类型和重点区域;② 将遥感解译的地面验证和社会经济调查相结合,根据LUCC的主导类型和重点区域有针对性地收集土地利用/覆被变化的驱动事件和背景资料;③ 建立土地利用/覆被变化的转移矩阵,并根据转移矩阵中主导类型的转移方向建立主控解析路径;④ 以主控路径为主、次要路径为辅,利用空间点位的事件序列来解析土地利用/覆被变化驱动力的内在机理;⑤ 通过穷举→分类→归纳逐步实现由还原到综合的土地利用/覆被变化驱动力解析。

3.3.2 近远程驱动力分解 驱动土地利用/覆被变化的因素十分复杂,而且众多因素的作用还会跨越不同的空间距离,具有跨尺度特征。这为LUCC驱动力研究中远程耦合框架的应用带来诸多困扰,因为近远程驱动力之间可能难以区分。这就需要进行土地利用/覆被变化的近远程驱动力分解,从驱动土地利用/覆被变化的众多机制中将近、远程机制分离开来,进而全面研究土地利用/覆被变化与近、远程因素的时空耦合响应机理。可以预见,近远程驱动力分解将是LUCC驱动力研究中应用远程耦合框架的一个重要研究方向,也是逐步实现微观到宏观LUCC近远程驱动力解析的重要步骤之一。

如何进行土地利用/覆被变化的近远程驱动力分解?理论上讲,通过研究各种要素流或事件的时空分布特征,从中找出各种要素分布密度或事件发生频率的距离衰变曲线,进而基于距离衰变曲线来界定“近程”和“远程”是科学合理的。但在操作层面上,由于资源环境与社会经济数据的分布式观测和格网化处理尚未完全实现,目前只能进行土地利用/覆被变化的区域内外驱动力分解。具体方法是:以建立“时—空—事”三位一体的土地利用/覆被变化解析路径为基础,从研究区内、外两个方面对空间点位的事件序列进行分类,厘清来自研究区内部和外部的要素流及其影响,进而实现对土地利用/覆被变化近远程驱动力的分解。而如何实现理论设想的近远程驱动力分解,则需要在时空与频率同步的数据观测、资料同化与多源数据集成利用方面开展更多的基础性研究。

3.3.3 基于网络的跨系统综合研究 在区域(全球)尺度上,如何更好地理解远程耦合下土地利用/覆被变化的动力机制需要进行跨系统综合研究,这对研究方法的集成创新又提出了新的要求。远程耦合是两个或两个以上人类与自然耦合系统的远距离相互作用,从

本质上看, 远程耦合系统就是一种复杂的地理网络, 因此社会网络分析的相关理论和方
法有望为跨系统综合研究提供有益的方法借鉴。将社会网络分析法、3S技术和LUCC模
型集成起来研究跨系统多尺度耦合系统中土地利用/覆被变化的动力机制是远程耦合框架
应用于LUCC研究的重点内容, 也是实现由微观案例研究到宏观综合集成的关键步骤。

进行跨系统综合研究的核心任务是厘清多个系统之间要素流互馈及其对土地利用/覆
被变化的影响机制。要素流按作用方式可划分为直接作用于土地的要素流, 如人口迁
移、农产品和矿产资源贸易等; 以及间接作用于土地的要素流, 如信息流、资金流、技
术扩散与观念传播等。在构建要素流网络的基础上, 通过研究要素流在不同层面之间的
传递过程和在多个系统之间的反馈过程, 从社会经济与环境层面连接到案例区的其他多
个地点出发, 来解释案例区的土地利用/覆被变化, 进而又循着反馈回路寻找其他案例区
土地利用/覆被变化的机制。这种方法可望实现对多个系统土地利用/覆被变化的同步解
释, 从而实现对区域(全球)尺度上人类与自然耦合系统的整体性理解。如聚焦于乡-城
移民的跨系统综合研究就可以获得对城市扩张、半城市化地区低层高密式景观的涌现、
村庄空心化和农地边际化的同步解释。

4 结语

有关LUCC驱动力的现有研究成果已从理论解析、驱动因子选取和模型构建等方面
进行了大量探讨, 对于理解土地利用/覆被变化的动力机制提供了有益帮助, 但是对于全
球化世界中由远距离相互作用驱动的土地利用/覆被变化却缺乏解释力。在远距离资源要
素流动日益常态化的今天, 仅仅从局部区域出发、就案例论案例的研究方式已难以充分
解释区域土地利用/覆被的变化。因此, 有必要完善土地利用/覆被变化解释的理论模型,
以弥补过去研究中的不足, 并拓展土地利用/覆被变化的研究领域。

20世纪中叶以来的两种全球性趋势——全球化和城市化通过信息流、资金流、货物
流和人口流等不同形式的“流”将世界不同区域之间日益紧密地联系起来, 所产生的远
距离相互作用已在多个层面直接或间接地影响了土地利用/覆被, LUCC的远程驱动作为
一个常常被传统研究忽略或简化的重要环节, 在新的理论和实证模型中应该予以充分考
虑。据此, 本文建议将远程耦合理论框架引入到土地利用/覆被变化的动力机制研究中
来。在简要介绍远程耦合框架的基础上, 论述了人类与自然耦合系统之间的远程相互作
用驱动土地利用/覆被变化的机理; 给出了远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的经验
证据, 认为远程连接、全球化和城市化是远距离相互作用驱动土地利用/覆被变化的3种
主要形式; 进而提出建立“时—空—事”三位一体的土地利用/覆被变化解析路径、土地
利用/覆被变化的近远程驱动力分解和基于网络的跨系统综合研究是将远程耦合框架应用
于LUCC研究的重点内容。

参考文献(References)

- [1] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [2] Cao Qian, Yu Deyong, Sun Yun, et al. Research progress on the quantitative relationship between land-use/land-cover change and climate change. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 880-890. [曹茜, 于德永, 孙云, 等. 土地利用/覆被变化与气候变化定量关系研究进展. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 880-890.]
- [3] Shi Hongchao. A review of land use and land cover change. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(26): 13107-13110, 13125. [史洪超. 土地利用/覆被变化(LUCC)研究进展综述. *安徽农业科学*, 2012, 40(26): 13107-

- 13110, 13125.]
- [4] Li Xiubin. Explanation of land use changes. *Progress in Geography*, 2002, 21(3): 195-203. [李秀彬. 土地利用变化的解释. *地理科学进展*, 2002, 21(3): 195-203.]
- [5] Cai Yunlong. A study on land use/cover change: The need for a new integrated approach. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 645-652. [蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径. *地理研究*, 2001, 20(6): 645-652.]
- [6] Chen Ruishan, Cai Yunlong. Progress in the study of scale issues in land change science. *Geographical Research*, 2010, 29(7): 1244-1256. [陈睿山, 蔡运龙. 土地变化科学中的尺度问题与解决途径. *地理研究*, 2010, 29(7): 1244-1256.]
- [7] Yun Wenju. *Introduction to Land Consolidation Planning*. Beijing: Geology Publishing House, 2011: 18-19. [阚文聚. 土地整治规划概论. 北京: 地质出版社, 2011: 18-19.]
- [8] Chen Yong. Research status and prospect of land use change mechanism. *Hubei Agricultural Sciences*, 2003(2): 15-17. [陈勇. 土地利用变化机制研究现状与展望. *湖北农业科学*, 2003(2): 15-17.]
- [9] Li Jing, Zhao Gengxing, Tian Sufeng, et al. A study of driving forces of land use and land cover change. *Management Geological Science and Technology*, 2004, 21(1): 22-25. [李静, 赵庚星, 田素锋, 等. 论土地利用/土地覆盖变化驱动力研究. *国土资源科技管理*, 2004, 21(1): 22-25.]
- [10] Shi Peijun, Gong Peng, Li Xiaobing, et al. *Methods and Practice of Research on Land Use/Cover Change*. Beijing: Science Press, 2000. [史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [11] O'Rourke E. Socio-natural interaction and landscape dynamics in the Burren, Ireland. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 70(1/2): 69-83.
- [12] Bai Wanqi, Yan Jianzhong, Zhang Yili. Land use/land cover change and driving forces in the region of upper reaches of the Dadu River. *Progress in Geography*, 2004, 23(1): 71-78. [摆万奇, 阎建忠, 张懿锂. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 71-78.]
- [13] Turner II B L, Moss R H, Skole D L. Relation of Land Use and Global Land Cover Change. IGBP Report, No.24 and IHDP Report, No.5, Stockholm: 1993.
- [14] Lambin E F. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21: 375-393.
- [15] Kaimowitz D, Angelsen A. Economic models of tropical deforestation: A review. *The International Forestry Review*, 1999, 1(1): 56-57.
- [16] Miller E J, Kriger D S. TCRP web document 9: Integrated urban models for simulation of transit and land use policies. Toronto: University of Toronto Joint Program in Transportation and DELCAN Corporation, 1998: 247.
- [17] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of the land use and land cover change: A review. *Annual of Association of American Geographer*, 2003, 93: 314-337.
- [18] Zhu Likai, Meng Jijun. Advance in and tendencies of land use and cover change model. *Progress in Geography*, 2009, 28(5): 782-790. [朱利凯, 蒙吉军. 国际LUCC模型研究进展及趋势. *地理科学进展*, 2009, 28(5): 782-790.]
- [19] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling*, 1996, 85: 253-270.
- [20] Verburg P H, de Koning G H J, Kok K, et al. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, 1999, 116: 45-61.
- [21] Cai Yumei, Liu Yansui, Yu Zhenrong, et al. Progress in spatial simulation of land use change: CLUE-S model and its application. *Progress in Geography*, 2004, 23(4): 63-71. [蔡玉梅, 刘彦随, 宇振荣, 等. 土地利用变化空间模拟的进展: CLUE-S模型及其应用. *地理科学进展*, 2004, 23(4): 63-71.]
- [22] Strengers B, Leemans R, Eickhout B, et al. The land-use projections and resulting emissions in the IPCC SRES scenarios as simulated by the IMAGE2.2 model. *Geo-Journal*, 2004, 61: 381-393.
- [23] Hoshino S. *Statistical Analysis of Land-use Change and Driving Forces in the Kansai District, Japan*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1996: 4-44.
- [24] Geoghegan J, Wainger L A, Bockstael N E. Spatial landscape indices in a hedonic framework: An ecological economic analysis using GIS. *Ecological Economics*, 1997, 23: 251-264.
- [25] Shaw S L, Xin X H. Integrated land use and transportation interaction: A temporal GIS exploratory data analysis approach. *Journal of Transport Geography*, 2003, 11: 103-115.
- [26] Millennium Ecosystem Assessment Panel. *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005: 1-155.
- [27] York R, Rosa E A, Dietz T. Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity. *American*

- Sociological Review, 2003, 68: 279-300.
- [28] Liu Jianguo, Daily G, Ehrlich P, et al. Effects of household dynamics on resource consumption and biodiversity. *Nature*, 2003, 421: 530-533.
- [29] Entwistle B, Stern P. *Population, Land Use and Environment: Research Directions*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005: 344.
- [30] Steffen W, Sanderson A, Jager J, et al. *Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure*. Heidelberg, Germany: Springer Verlag, 2004: 332.
- [31] Liu Jianguo, Dietz T, Carpenter S R, et al. Coupled human and natural systems. *AMBIO*, 2007, 36(8): 593-596.
- [32] Molly O M. *Reinventing Cities for People and the Planet*. New York: World Watch Institute, 1999: 94.
- [33] Guo Hua, Cai Jianming, Yang Zhenshan. Modeling for measuring city food footprint with applied empirical analysis. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(3): 417-425. [郭华, 蔡建明, 杨振山. 城市食物生态足迹的测算模型及实证分析. *自然资源学报*, 2013, 28(3): 417-425.]
- [34] Rao Geping, Huang Yao. On the interaction between globalization and international organizations. *Law Review*, 2002 (2): 3-13. [饶戈平, 黄瑶. 论全球化进程与国际组织的互动关系. *法学评论*, 2002(2): 3-13.]
- [35] Zheng Rongbao, Dong Yuxiang, Chen Songlin. Comparative study on the change of land use between Mainland and Taiwan: A case study of Quanzhou and Gaoxiong City. *World Regional Studies*, 2005, 14(4): 70-77. [郑荣宝, 董玉祥, 陈松林. 典型港口城市泉州市和高雄市土地利用比较研究. *世界地理研究*, 2005, 14(4): 70-77.]
- [36] Feng Zhiming, Liu Xiaona, Jiang Luguang, et al. Spatial-temporal analysis of rubber plantation and its relationship with topographical factors in the border region of China, Laos and Myanmar. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1432-1446. [封志明, 刘晓娜, 姜鲁光, 等. 中老缅交界地区橡胶种植的时空格局及其地形因素分析. *地理学报*, 2013, 68(10): 1432-1446.]
- [37] Liu X, Feng Z, Jiang L, et al. Rubber plantation and its relationship with topographical factors in the border region of China, Laos and Myanmar. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(6): 1019-1040.
- [38] Du Guoming, Kuang Wenhui, Meng Fanhao, et al. Spatiotemporal pattern and driving forces of land use/cover change in Brazil. *Progress in Geography*, 2015, 34(1): 73-82. [杜国明, 匡文慧, 孟凡浩, 等. 巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素. *地理科学进展*, 2015, 34(1): 73-82.]
- [39] Wang Lu, Wu Huayi. Economic globalization and the urban land use growth of Wuhan City: A pilot study. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 2004, 26(1): 71-80. [王璐, 吴华意. 经济全球化与武汉市土地利用扩展的初步研究. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2004, 26(1): 71-80.]
- [40] Li Qiuping, Lu Rucheng, Li Guan, et al. Research progress on regional land-use change along national border and its interactive relationship with frontier trade development. *China Land Sciences*, 2015, 29(8): 16-23. [李秋萍, 陆汝成, 李冠, 等. 边境土地利用变化及其与贸易发展互动关系研究进展. *中国土地科学*, 2015, 29(8): 16-23.]
- [41] Liu Jianguo, McConnell W, Baerwald T, et al. Symposium on "Telecoupling of Human and Natural Systems" at the meeting of the American Association for the Advancement of Science. URL: <http://aaas.confex.com/aaas/2011/webprogram/Session2889.html>, 2011.
- [42] Liu Jianguo, Vanessa Hull, Mateus Batistella, et al. Sustainability framework for a tele-coupled world. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7870-7885. [刘建国, Vanessa Hull, Mateus Batistella, 等. 远程耦合世界的可持续性框架. *生态学报*, 2016, 36(23): 7870-7885.]
- [43] GRAIN. Who will feed China: Agribusiness or its own farmers? Decisions in Beijing echo around the world. GRAIN, Barcelona, Spain, 2012. URL: <https://www.globalpolicy.org/social- and- economic- policy/world- hunger/agribusiness-companies/51826--who-will-feed-china-agribusiness-or-its-own-farmers-decisions-in-beijing-echo-around-the-world.html>.
- [44] Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 2010, 467: 43-51.
- [45] Xiang Bao, Liu Jiyan. Characteristic of East Asia land cover's response to ENSO events. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(4): 316-320, Plate I, Plate II. [香宝, 刘纪远. 东亚土地覆盖对 ENSO 事件的响应特征. *遥感学报*, 2003, 7(4): 316-320, 图版 I, 图版 II.]

Explanation of land use/cover change from the perspective of tele-coupling

MA Enpu^{1,2}, CAI Jianming¹, LIN Jing¹, HAN Yan^{1,2}, LIAO Liuwen^{1,2}, HAN Wei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Analysis and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The existing research on the mechanism of LUCC cannot fully illustrate dynamics of land use/cover driven by long-distance interaction in the global context. To fill this gap, a theoretical framework of tele-coupling interpretation is intentionally introduced in this paper. Starting with a general overview of previous studies on the mechanism of LUCC in perspectives of human society development, and followed by the empirical evidence for these mechanisms, this paper proposes an initial framework of tele-coupling interpretation. It is concluded that remote connection, globalization, and urbanization are the three major forms of tele-coupling that have driven LUCC. Specifically, in terms of environmental interactions between long-distance natural systems, climate change and large-scale climate events have cross-regional impacts. For example, they can directly affect vegetation dynamics by changing climate factors such as temperature and precipitation, resulting in the climatic tolerance range of vegetation, which in turn could change the distribution pattern of vegetation, leading to the land use/cover change. For socio-economic interactions between distant human systems, the globalization process may drive the land use/cover change through transmission and feedback of various flows of information, technologies, capital and goods at different levels of administrative spaces. Regarding to urbanization, it could alter the land use/coverage in remote areas directly or indirectly through the process of production factor aggregation. Based on these elaborations, this paper further puts forward the key contents and basic steps of the application of tele-coupling framework in LUCC research. Firstly, a "time-space-event" trinity analysis path of land use/cover change is established, which links the spatio-temporal dynamics of land use/cover with the sequence of events that drive the change. This kind of analysis seeks to use specific social, economic, and natural events to explore the driving forces to land use/cover change. The operational analytical method with five steps is thus proposed for this purpose. Secondly, the distance decay curve method and the event sequence classification method inside and outside the area should be applied for decomposing driving forces to the near-remote land use/cover change. Finally, a comprehensive network-based inter-system study or cross-system synthesis is badly needed to better understand land use/cover change at the regional (global) scale. Cross-system synthesis is the key step to realize the transformation from micro case studies to a macroscopic comprehensive integration, and its primary mission is to clarify the mutual feedback of factor flows between multiple systems and their impact on land use/cover change. In conclusion, the new method is expected to achieve a synchronous explanation of land use/cover change driven by multiple long-distance systems, in an aim to have a holistic and better understanding of the human-nature coupling system at the regional (global) scale.

Keywords: tele-coupling; tele-connection; globalization; urbanization; land use/cover change; driving force decomposition; cross-system synthesis