

土地利用系统动态变化模拟研究进展

裴 彬¹, 潘 韬²

(1. 平凉师范学校, 甘肃平凉 744000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:土地利用/覆被变化与环境要素的动态作用过程自 LUC 相关研究计划开展以来一直是重点内容,并且愈来愈受到重视。将土地利用主体的决策过程和环境要素变化过程综合起来研究土地利用系统动态变化,是实现土地自然生态系统与社会经济系统耦合研究的途径与方法。本文在对土地利用系统复杂性分析的基础上,提出目前土地利用系统变化模拟需要解决的基本科学问题,主要包括土地自然环境要素对土地利用主体决策的影响、不同空间尺度土地利用主体及主体间相互作用及在此基础上的区域土地利用动态变化模型研究。土地利用模型是分析土地利用系统结构与功能的有力工具,通过分析土地利用系统模拟研究进展发现国内外真正实现了自然生态系统和社会经济系统综合研究的模型尚不多见。基于主体的土地利用模拟方法综合了土地利用变化中空间变化和主体决策过程,适合于分析土地利用系统变化的空间过程、空间相互作用和多尺度现象。本文在对国际上基于多主体模型进行土地利用系统模拟的相关进展、模拟平台等分析评述的基础上,提出未来我国开展基于多主体模型进行土地利用变化研究的建议。

关 键 词:土地利用系统; 复杂性; 动态变化; 多主体模型

20 世纪 90 年代开展的土地利用/覆被变化(LUC)研究计划,其研究目标定位在深入理解不同文化、经济、政治、社会和环境条件下土地利用/覆被的变化过程^[1-2],研究工作集中在监测(Documentation)、解释(Explanation)和效应(Impact) 3 个方面。近 20 多年来,国内外学者在 LUC 的监测和解释两个方面取得较大进展,但这些研究大多以土地利用/覆被格局变化及其解释为主,在 LUC 与环境要素的动态作用过程方面研究不足。继 LUC 研究计划之后,全球土地项目(Global Land Project, GLP)科学计划提出开展土地利用与环境系统研究的计划^[3]。GLP 确定的研究主题突出了土地利用变化与环境要素动态的影响,以及生态系统服务功能及全球环境变化引起的土地系统脆弱性或持续性评价等。正如 Veldkamp 和 Verburg 所言,研究土地利用变化及其环境要素间的动态作用与过程是土地利用研究者面临的最大挑战^[4]。

1 土地利用系统的复杂性

土地利用系统是自然生态系统和社会经济系统共同作用而形成的动态复合系统。土地利用变化

包括自然生态系统变化和社会经济系统变化,真正实现这二者综合研究的并不多见^[5]。土地利用系统中自然环境要素存在明显的空间异质性,这对土地利用及其变化过程必然产生影响。对于土地利用决策主体而言,由于其目标、态度和社会经济条件的差别,对土地利用的决策存在很大差异,社会经济要素同样表现出空间差异性。自然环境和社会经济的空间异质性既相互独立,又相互作用,产生特定条件下的土地利用结果及其变化过程。

土地利用系统的复杂性表现在各子系统相互作用、系统要素的空间异质性和土地利用者与环境之间网状交织的层次性作用^[6]。这种复杂性是由土地利用者的决策行为和自然环境要素的空间特征共同作用引起的。在土地利用变化研究中由于缺乏土地利用研究的途径和社会途径的有效联系,真正实现“空间模拟”和“社会模拟”综合研究的成功案例尚且不多。因此,GLP 建议在未来土地利用动态变化研究中采用变化的边界条件,而非固定的假设。土地利用研究一方面要突出土地利用变化的格局研究,另一方面需要强调土地利用变化实际决策过程,联系土地利用研究中空间途径和社会途径,从而实现土地利用变化的“逼真再现”过程^[3]。

收稿日期:2010-03; 修订日期:2010-06.

基金项目:国家自然科学基金项目(40701009)。

作者简介:裴彬(1967-), 汉族,女,甘肃静宁,从事地理教学与研究。E-mail: daierhui6@163.com.

将土地利用主体的决策过程和自然环境要素变化过程综合起来研究土地利用系统动态变化,是实现土地自然生态系统与社会经济系统耦合研究的途径和方法,研究的基本思想是基于过程的土地利用变化研究方法。基于过程的土地利用变化研究方法,是通过理论分析方法明确土地利用变化过程特征,从而对土地利用变化模型中的过程-格局关系进行分析和探讨。基于过程的土地利用变化模型需要明确土地利用系统不同组成成分之间的相互关系,从土地利用者与环境背景出发,深入研究土地利用变化格局-过程及土地利用变化与其解释因子之间的关系。开展这项研究需要解决的基本科学问题包括:

(1) 自然环境要素对土地利用主体决策的影响:如何在土地利用变化研究中综合考虑区域自然环境条件对土地利用主体决策的影响、土地利用主体行为的适应性和变化性;

(2) 不同土地利用主体相互作用:如何分析在区域经济环境背景下不同土地利用主体决策过程;不同空间尺度的土地利用主体(如各级政府、农户小组、土地承包(租赁)者、土地所有者等)相互影响对土地利用变化的作用;

(3) 区域土地利用变化动态研究模型:在上述研究内容的基础上,采用适宜的方法构建土地自然环境因素对土地利用主体的影响、不同土地利用主体及主体间相互作用、土地利用主体对自然生态要素影响的综合模型,包括规则制定、定性和定量表达、模型构建、模型检验等。

上述问题的解决需要与区域土地利用变化特征、自然环境要素地域分异规律、社会经济要素变化等结合起来,同时考虑决策过程、景观变化、生态过程的空间尺度、及其数据可获得性等方面。在此基础上可为区域土地利用政策制定、土地利用规划及生态建设与环境保护提供科学参考。

2 土地利用系统模拟研究进展

在 LUCC 项目设计中已提出了研究人类活动在 LUCC 中的作用,LUCC 项目和美国国家研究委员会的研究战略报告中,分别提出了培育和促进开展这方面研究的战略规划^[7-8]。这些研究计划都提出了如何考虑各级决策者及其不同层次决策者的相互作用与影响,空间模型和人类行为相联系发展新

的模型与方法。

从土地利用变化研究方法看,有些学者从小尺度的土地利用个体决策过程研究土地利用变化,主要采用数量经济学和社会心理学的定量或半定量研究方法;还有些学者从中尺度的土地利用格局出发,采用遥感数据和 GIS 技术,来分析土地利用变化过程、驱动因素及其效应^[9-10]。土地利用模型是分析土地利用系统结构和功能的有力工具,也为土地利用规划和政策制定提供科学依据。通过模型分析与模拟,可将土地利用系统中复杂的社会经济和自然生态系统及其它它们之间的相互作用分解、剖析和综合,阐明土地利用变化的速度和空间格局,分析变化可能带来影响与效应,根据不同情景假设制定各种土地利用方案^[11-12]。国内外已有大量土地利用模型成果发表,内容涵盖模型特征和分类^[13]、森林退化模拟^[14]、城市土地发展模型^[15]、农业土地集约利用模型^[16]、土地系统动态模拟模型^[17-18]、基于经济理论土地利用模型^[19]等。Agarwal 等的统计表明,就土地利用的时间、空间和人类选择复杂性目前已有 19 个模型公开发表^[20]。根据模型模拟方法,土地利用研究模型可以分为:基于方程的模型^[21]、系统模型^[22]、统计分析模型^[23]、专家模型^[24]、进化模型^[25]、元胞模型^[26-27]、综合模型^[28-31]和主体模型,不同的模型模拟方法具有各自的优缺点。

(1) 基于方程的模型 该模型采用数学方程来模拟土地利用状态或时空均衡问题,如采用人口增长和扩散理论所建立的方程来研究人口变化对土地利用/覆被在时间尺度上的累计影响,土地利用规划中所采用的线形规划模型等。采用该类方法研究土地利用/覆被变化问题的前提是分析基础上的建立数学方程,优点体现在较容易实现定量分析,缺点是往往会限制对研究对象复杂性的模拟。

(2) 系统模型 通过系统(或子系统)的信息、物质、能量的流动结构与功能建立系统方程,时间因素常作为离散或不连续的时间段或时间点来处理。该方法在处理人类与生态系统相互作用的定性分析上具有优势,但同时存在难以定量表达其相互作用的弱点,同时对空间的处理也显得不足。

(3) 统计分析模型 该方法在土地利用/覆被变化研究中广泛应用,如回归分析、空间统计分析等,尤其在采用遥感影像作为数据源的土地利用变化研究中空间统计分析广泛采用。统计分析方法的优点体现在容易实现量化分析,在空间异质性和空

间相互作用的影响上独具特色,但在处理决策过程和一些社会因素方面(如制度因素等)因数据获取和量化的难度而难以采用,同时该方法一般取数据的平均状况来分析,这在一定程度上掩盖了时间和空间尺度的差异性。

(4) 专家模型 专家模型将专家的判读和概率分析方法相结合,如贝叶斯概率判别、人工智能、基于规则的知识系统等。专家模型一般将定性的分析转变为定量的数据,从而采用一些专家判断模型来判断土地利用/覆被在特定环境下的状况及其变化概率。专家模型的优点是体现了土地利用系统的复杂性,但在建模实现上较为困难。

(5) 进化模型 采用达尔文的进化论思想来建立便于计算机实现的进化模型模拟土地利用/覆被变化过程,理论上可实现土地利用系统复杂性的模拟,方法上多采用人工神经网络和进化模型相结合来研究土地利用/覆被变化,但具体建模实现与理论分析仍然存在差距。

(6) 元胞模型 包括元胞自动机(Cellular Automata,CA)和马尔可夫模型。元胞模型的基本分析单位为适宜的空间网格,土地利用/覆被未来的时空变化取决于每个网格和周围网格在时空尺度的转换规则,相同的空间单元在相同的空间网格作用下服从相同的转换规则。元胞模型在模拟土地利用/覆被变化的生态过程方面具有很大优势,但在考虑到人类决策的时候遇到困难,因为元胞模型不能处理不同层次土地利用主体的决策过程在土地利用/覆被变化研究中的作用。

(7) 综合模型 综合上述几类模型而发展起来的复杂模型,如将元胞模型和系统模型相结合形成的土地利用/覆被转换模型;将人为过程和生态过程结合形成的森林退化模拟模型 DELTA;将统计模型、元胞模型和系统模型相结合形成的大尺度模型 GEOMOD2;CLUE 系列模型等。

(8) 主体模型 主体模型综合了土地利用主体决策行为和环境相互作用,越来越多的学者采用这种复杂的研究方法分析土地利用变化过程,预测未来变化动态,及由土地利用变化导致的全球土地覆被变化^[32]。

中国 20 世纪 80 年代以前的土地利用变化研究主要采取调查方法^[33],其后随着国际 LUCC 研究的开展,众多学者对适合中国土地利用变化模拟的理论和方法进行了探讨^[34-42],提出了一些土地利用

变化模型,主要包括:土地系统动态模拟模型^[34]、土地利用系统变化驱动力分析模型^[43-50],基于景观生态学的土地利用变化分析模型^[51-53],土地持续利用规划模型^[54-57],基于遥感和地理信息系统的土地利用变化研究模型^[58-60],土地利用综合研究模型^[61-63]等。较之国际相关研究进展,我国学者开展的工作优势主要体现在富有区域特色的研究^[44-45,58-59,64-72]。

3 基于主体的土地利用变化模拟研究进展

基于主体的土地利用模拟方法综合了土地利用变化中空间变化和土地利用主体决策过程的综合模型,较元胞模型在 LUCC 空间变化过程及其影响方面的优势,主体模型突出了土地利用主体的决策过程及不同主体在时空上的相互作用关系。土地利用主体可定义为具有不同空间尺度的个体或组织,如土地所有者、土地承包(租赁)者、农户小组,或具有土地利用决策功能的各级组织如村庄、村镇、各级政府等。主体模型由自主决策主体、决策环境、决策主体与环境相互作用的规则、决策后果定义的规则组成。具有自主性的决策者具有将内在和外在信息集成为状态、决策或行为的一些规则。这些决策主体存在相互作用,不同空间尺度的决策主体之间也相互影响,同时不同空间尺度决策主体与决策环境之间存在相互影响。因此,采用主体模型方法研究土地利用动态变化更适合于分析变化的空间过程、空间相互作用和多尺度现象^[32]。

采用主体模型模拟土地利用动态变化一般包括环境、目标集、主体集、主体之间的联系、目标之间的联系、主体为实现目标采取的行动、环境对主体行动的响应^[73]。在主体建模中主要要考虑的问题包括:①决策过程:对土地利用主体而言可能的决策过程与决策机制,主体之间在感知、行动等方面的联系;②层级控制:不同层次主体之间层级控制关系,如何实现决策的同步性;③信息传递:不同主体之间如何传递信息,信息传递的基本规律。采用主体模拟的基本思想是将土地利用决策问题分解为信息单元,每一个信息单元对应一个独立主体及其该主体的行为过程^[74]。通过这种思想将复杂的土地利用动态变化问题转化为主体决策过程和主体间相互关系、决策行为与环境相互作用关系描述。

基于主体模拟方法研究土地利用动态变化优

点体现在:基于过程的解释方法;主体行为的空间模拟;联系社会经济与自然环境背景;考虑土地利用主体的多样性;当地条件和人类行为异质性的影响;多时空尺度的综合与反馈;土地利用/覆被变化的“回溯”与预测^[32]。国际上采用主体模型进行土地利用/覆被变化模拟的研究课题有 22 个之多,并已发表多份国际研讨会报告以及相关的研究论文和书籍^[20,32,75]。

目前,国际上采用主体模型进行土地利用/覆被变化研究的模拟软件主要有 SWARM^[76]、RePast^[77]、Ascape^[78]、CORMAS^[79]等,这些软件都采用面向对象的编程语言。对比而言,SWARM 软件具有更为强大的功能和更多的用户,但它在统计和空间分析方面存在一定不足;RePast、Ascape、CORMAS 软件增加了统计分析和 GIS 软件的接口;RePast 在网络动态分析和复杂主体模拟方面具有优点;Ascape 的优点体现在用户界面友好,需要编程技能不高;CORMAS 在解决公共资源利用方面较好。也有采用其他语言编程的研究案例,如美国国家科学基金项目“基于主体模拟的中南印第安纳地区农业土地所有者决策支持(LUCIM)”采用 Matlab 程序包来实现,采用 Matlab 程序进行主体模型编程具有以下优点:①参数估计的优化途径设计;②强大的矩阵计算能力;③具有功能完善的图形软件包;④图形用户界面 (GUI) 开发功能;⑤模型动态连接功能 (SIMULINK);⑥具有 C 语言和 JAVA 语言的连接功能;⑦非线性优化途径能够缩短参数估计运算时间;⑧强大的矩阵计算能力能够存贮和处理大量数据;⑨能够在 UNIX 和 WINDOWS 操作系统上运行;⑩与 C 语言的连接能够缩短模型运行时间。

4 结论与讨论

土地利用系统是自然生态系统和社会经济系统共同作用而形成的动态复合系统,深入理解不同文化、经济、政治、社会 and 自然环境条件下土地利用/覆被变化及其与环境系统相互作用过程、机理及表现特征是LUCC 研究的长期目标,尤其是在全球气候变化研究的背景下,如何深入开展土地利用变化与环境系统动态的相互作用及其效应,是 LUCC 目前研究的核心和重点。

土地利用变化包括自然生态系统变化和社会

经济系统变化,土地利用系统首先表现为自然要素的空间异质性,同时土地利用决策过程及其社会经济环境的空间差异性上加剧了土地利用格局的空间异质性和尺度依赖性。基于自然科学的土地利用变化研究和基于社会科学的土地利用主体行为研究都取得了大量研究成果,但真正实现集自然科学和社会科学于一体的土地利用变化科学研究成果尚不多见。

将土地利用主体的决策过程和环境要素变化过程综合起来研究土地利用系统动态变化,是实现土地自然生态系统与社会经济系统耦合研究的途径和方法,采用基于过程的土地利用变化研究不失为具有潜力的研究方法。当前迫切需要解决的问题有:土地自然环境要素对土地利用主体决策的影响,不同土地利用主体及主体间相互作用,区域土地利用变化动态研究模型构建等。

基于主体的土地利用模拟方法实现了土地利用变化中空间变化和土地利用主体决策过程的综合研究,突出了土地利用主体的决策及不同主体在时空上的相互作用。因此,采用主体模型方法研究土地利用动态变化更适合于分析变化的空间过程、空间相互作用和多尺度现象。

未来土地利用模拟研究应当突出土地利用决策主体与环境的相互作用,分析土地利用决策主体的决策过程与环境要素的相互影响,采用主体模型模拟方法,实现土地利用主体决策过程与环境要素相互作用的规则制定和表达,构建基于主体模拟的土地利用研究中空间变化和主体决策过程的综合模型。诸多研究成果从不同侧面为土地利用系统变化模拟提供了很好的基础和借鉴,同时基于多主体模型的土地利用变化研究方法具有联系土地自然生态系统和社会经济系统的优势,但同时仅用该方法很难准确地实现逼真的土地利用变化系统模拟,如何博采众长,构建更为科学合理的综合模型,将是土地利用变化模拟研究需要深入开展的工作。在此基础上选择我国不同类型案例区,研究区域土地利用动态变化的空间过程和不同层次决策过程,进而在科学层面探讨土地利用变化过程与机理,在实践层面为区域土地持续利用战略制定提供参考。

参考文献

[1] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan. IGBP Report

- No. 35 and IHDP Report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [2] Turner II B L, Ross R H, Skole D L. Relating land use and global land cover change. IGDP Report No. 24 and IHDP Report No. 5. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1993.
- [3] Ojima D S, Moran E. Global land project: Draft plan. IGBP/IHDP, 2004.
- [4] Veldkamp A, Verburg P H. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 2004, 72(1-2): 1-3.
- [5] Irwin E G, Geoghegan J. Theory, data, methods: Developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1-3): 7-24.
- [6] Arthur W B, Durlaf S N, Lane D, et al. *The Economy As an Evolving Complex System II*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1997.
- [7] Lambin E F, Bauleis X, Bockstael N et al. Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implentation Strategy. IGBP Report No. 48 and IHDP Report No. 10. Stockholm: International Geosphere -Biosphere Programme (IGBP); Geneva: the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP), 1999.
- [8] National Research Council (NRC). *Grand Challenges in Environmental Sciences*. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. <http://www.nap.edu/books/03090725-49/html/>.
- [9] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Growth, population and industrialization and urban land expansion of China. *Journal of Urban Economics*, 2008, 63(1): 96-115.
- [10] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China. *Land Use Policy*, 2006, 23(4): 372-384.
- [11] Verburg P H, Schot P P, Dijst M J, et al. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 2004, 61(4): 309-324.
- [12] 邓祥征. 土地用途转换分析. 北京: 中国大地出版社, 2008: 257.
- [13] Lambin E F. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21(3): 375-393.
- [14] Kaimowitz D, Angelsen A. *Economic Models of Tropical Deforestation-A Review*. Cifor, Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 1998.
- [15] Miller E J, Kriger D S, Hunt J D. TCRP Web Document 9: Integrated Urban Models for Simulation of Transit and Land-Use Policies: Final Report. University of Toronto Joint Program in Transportation and DELCAN Corporation, Toronto, 1999.
- [16] Lambin E F, Rounsevell M D A, Geist H J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82(1-3): 321-331.
- [17] Deng X Z, Jiang Q'ou, Zhan J Y, et al. Simulation on the dynamics of forest area changes in Northeast China. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 495-509.
- [18] Deng X Z, Su H B, Zhan J Y. Integration of multiple data sources to simulate the Dynamics of Land Systems. *Sensors*, 2008, 8(2): 620-634.
- [19] Bockstael N E, Irwin E G. *Economics and the Land Use-Environment Link*/Folmer H, Tietenberg T.. *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1999/2000*. Edward Elgar Publishing, 2000.
- [20] Agarwal C, Green G M, Grove J M, et al. *A Review and Assessment of Land-Use Change Models. Dynamics of Space, Time, and Human Choice*. Bloomington and South Burlington, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change, Indiana University and USDA Forest Service. CIPEC Collaborative Report Series 1, 2001.
- [21] Sklar F H, Costanza R. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: A review and prognosis/Tuner M G, Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [22] Gilbert N, Troitzsch K G. *Simulation for the Social Scientist*. London, UK: Open University Press, 1999.
- [23] Mertens B, Lambin E F. Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon. *Applied Geography*, 1997, 17(2): 143-162.
- [24] Eastman R. *Guide to GIS and Image Processing*. Clark University, Worcester, MA, 1999.
- [25] Balling R J, Taber J T, Brown M, et al. Multiobjective urban planning using a genetic algorithm. *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 1999, 125(2): 86-99.
- [26] O'Sullivan D. Graph-cellular automata: A generalised discrete urban and regional model. *Environment and Planning B*, 2001, 28(5): 687-706.
- [27] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999: 26-49.
- [28] Costanza R, Sklar F H, Day J W. Modeling spatial and temporal succession in the Atchafalaya/Terrebonne Marsh/estuarine complex in South Louisiana/Wolfe D A. *Estuarine Variability*. Orlando, FL: Academic Press, 1986.
- [29] Southworth F, Dale V H, O'Neill R V. Contrasting patterns of land use in Rondônia, Brazil: Simulating the effects on carbon release. *International Social Science Journal*, 1991, 130: 681-798.
- [30] Hall C A S, Tian H, Qi Y, et al. Modelling spatial and temporal patterns of tropical land use change. *Journal of*

- Biogeography, 1995, 22(4/5): 753–757.
- [31] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling*, 1996, 85(2/3): 253–270.
- [32] Parker D C, Berger T, Manson S M. LUCC Report Series No. 6, Agent-based models of land use and land cover change. Report and review of an International Workshop, October 4–7, 2001, Irvine, CA, USA. LUCC International Project Office, 2002.
- [33] 吴传钧, 郭焕成. 中国土地利用. 北京: 科学出版社, 1994.
- [34] 邓祥征. 土地系统动态模拟. 北京: 中国大地出版社, 2008: 189.
- [35] 邓祥征, 姜群欧, 林英志, 等. 中国农田土壤有机碳贮量变化预测. *地理研究*, 2010, 29(1): 93–101.
- [36] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆被变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000.
- [37] 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.
- [38] 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 112–118.
- [39] 张凤荣. 持续土地利用管理的理论与实践. 北京: 北京大学出版社, 1996.
- [40] 陈百明, 张凤荣. 中国土地可持续利用指标体系的理论与方法. *自然资源学报*, 2001, 16(3): 197–203.
- [41] 王仰麟, 韩荡. 矿区废弃地复垦的景观生态规划与设计. *生态学报*, 1998, 18(5): 455–462.
- [42] 戴尔阜, 蔡运龙, 傅泽强. 土地持续利用的系统特征与评价. *北京大学学报*, 2002, 38(2): 231–237.
- [43] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1–12.
- [44] 顾朝林. 北京土地利用/覆被变化机制研究. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 307–312.
- [45] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土高原小流域土地利用变化对生态环境的影响. *地理学报*, 1999, 54(3): 241–246.
- [46] 王兴中. 中国内陆大城市土地利用与社会权力因素的关系: 以西安为例. *地理学报*, 1998, 53(增刊): 175–185.
- [47] 张惠远, 赵听奕, 蔡运龙, 等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究. *地理研究*, 1999, 18(2): 136–142.
- [48] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析. *地理研究*, 2000, 20(2): 129–138.
- [49] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究. *自然资源学报*, 2001, 16(2): 121–127.
- [50] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 169–175.
- [51] 邱杨, 傅伯杰. 土地持续利用评价的景观生态学基础. *资源科学*, 2000, 22(6): 1–8.
- [52] 王军, 傅伯杰, 陈利顶. 景观生态规划的原理和方法. *资源科学*, 1999, 21(2): 71–76.
- [53] 张惠远, 王仰麟. 土地资源利用的景观生态优化方法. *地质前缘*, 2000, 7(增刊): 112–120.
- [54] 宇振荣, 邱建军, 王建武. 土地利用系统分析方法及实践. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [55] 谢俊奇. 可持续土地利用系统的指标、评价和规划实践系列研究. 中国农业大学博士学位论文, 1999.
- [56] 张荣群, 林培. 论土地利用规划的研究模式. *中国土地科学*, 2000, 14(2): 22–25.
- [57] 安萍莉, 张凤荣. 土地利用总体规划的理论体系研究. *资源科学*, 2000, 22(3): 29–33.
- [58] 黎夏, 叶嘉安. 基于遥感和 GIS 的辅助规划模型: 以珠江三角洲可持续土地开发为例. *遥感学报*, 1999, 3(3): 215–219.
- [59] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式. *地理学报*, 2000, 55(4): 408–415.
- [60] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 中国土地资源生态环境背景与利用程度的关系. *地理学报*, 1998, 53(增刊): 36–43.
- [61] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 中国土地资源生态环境状况分析. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 93–96.
- [62] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81–87.
- [63] 谢高地, 成升魁, 丁贤忠. 人口胁迫下的全球土地利用变化研究. *自然资源学报*, 1999, 14(3): 193–199.
- [64] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析. *地理学报*, 2001, 56(3): 253–260.
- [65] 陈佑启, 周建明. 城市边缘区土地利用的演变过程与空间布局模式. *国外城市规划*, 1998(1): 10–16.
- [66] 刘彦随. 区域土地利用优化配置. 北京: 学苑出版社, 1999.
- [67] 张镱锂, 李秀彬, 傅小锋, 等. 拉萨城市用地变化分析. *地理学报*, 2000, 55(4): 395–406.
- [68] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用变化时空模拟及其对策. *地理研究*, 2001, 20(6): 660–668.
- [69] 史培军, 苏筠, 周武光. 土地利用变化对农业自然灾害灾情的影响机制(I). *自然灾害学报*, 1999, 8(1): 1–10.
- [70] 摆万奇. 深圳市土地利用动态趋势分析. *自然资源学报*, 1999, 15(2): 112–116.
- [71] 何阳春, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区土地利用变化研究. *地理研究*, 2001, 20(6): 679–687.
- [72] 王思远, 张增祥, 周全斌, 等. 基于遥感和 GIS 技术的土地利用变化时空特征研究. *遥感学报*, 2002, 6(3): 223–228.
- [73] Ferber J. Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley, Reading, MA, 1999.
- [74] Bousque F T, Lepage C. Multi-agent simulations and ecosystem management: A review. *Ecological Modelling*, 2004, 176(3–4): 313–332.

[75] Huigen M G A. Agent based modelling in land use and land cover change studies. IIASA Interim report IR-03-044. Laxenbourg, Austria, 2003. <http://www.iiasa.ac.at/cgi-bin/pubsrch?IR03044/>.

[76] SWARM. Santa Fe Institute/SWARM Development Group. <http://www.swarm.Org/>.

[77] RePast. University of Chicago. <http://repast.sourceforge.net/>.

[78] Ascape. Brookings Institute, Washington D C. <https://www.brook.edu/es/dynamics/models/ascape/>.

[79] CORMAS. CIRAD, Montpellier, France. <http://cormas.cirad.fr/>.

Land Use System Dynamic Modeling:
Literature Review and Future Research Direction in China

PEI Bin¹, PAN Tao²

(1. Pingliang Normal School, Pingliang 744000, Gansu, China;
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101; China)

Abstract: The dynamic inter-relationship of land use/cover change (LUCC) and its environment has been one of the major issues since the LUCC study started in the 1980s. To integrate both processes of land user’s decision making and environmental change to investigate land use system dynamics is one of the feasible approaches to couple physical system and social syetem into a more complicated land use system. Based on the complexity analysis of land use system, this paper summarizes the major research problems in LUCC modeling, including (1) how to analyze the influence of physical characteristics on decision making process, (2) how to quantify the interaction between different user, and (3) how to build regional land use dynamic models. Models are recongnized as one of the powerful methods to study the structure and function of land use system. Till now, few models can truly intergrate the physical subsystem and socio-economic subsystem into more comprehensive models to simulate more realistically the land use change processes. While the agent based modeling (ABM), which considers the spatial dimension and the decision making process of land use change, is more suitable for simulating land use change process on spatial, interactive and multi-scale dimensions. Based on the review of the researches on agent based modeling of land use change, this paper proposes some suggestions for such works in China.

Key words: land use system; complexity; dynamic change; agent based modelling

本文引用格式:
裴彬, 潘韬. 土地利用系统动态变化模拟研究进展. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1060-1066.