

生态脆弱区土地利用变化 与农户响应研究

陈 海 梁小英 郝 静 等著



科学出版社

生态脆弱区土地利用变化 与农户响应研究

陈 海 梁小英 郝 静 等 著

国家自然科学基金项目(40601005)

国家自然科学基金项目(40901093) 资助出版

自然地理学陕西省重点建设学科项目

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书作者在近几年对我国典型生态脆弱区土地利用变化与驱动力分析、退耕还林政策与微观农户土地利用响应的互动机制研究、微观主体——农户及其群体的土地利用行为模拟研究、基于博弈论的不同类型农户间相互作用研究、多尺度 MAS 土地利用模型的构建、农户适应对策及土地利用模式推广研究的基础上撰写而成。本书共分 6 章,从典型区域土地利用变化、农户土地利用行为响应机理及其决策因素分析、农户土地利用行为模型构建及模拟、微观土地利用行为与宏观农业景观格局互动机理等方面进行理论研究和实践分析。

本书可供从事地理学、生态学、资源环境、农学等领域的研究人员及高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

生态脆弱区土地利用变化与农户响应研究 / 陈海, 梁小英, 郝静等著.
—北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-030059-1

I. ①生… II. ①陈…②梁…③郝… III. ①土地利用—研究—中国
IV. ①F321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 010339 号

责任编辑: 彭胜潮 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

陈海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2011 年 1 月第一次印刷 印张: 11 1/4

印数: 1—1 500 字数: 255 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

土地利用变化(LUCC)研究是目前地学界十分关注的热点问题。虽然并不是所有的LUCC都产生消极的影响,但总体而言,地球上大部分LUCC都已经成为环境退化的主要原因。因此,要想减缓土地利用的负面影响,使LUCC更加适应改变的环境,深入理解微观主体土地利用行为变化机制,积极探索微观土地利用行为与宏观土地利用格局间互动机理就成为土地利用变化研究的重点之一。

相对于宏观层面土地利用变化的研究,中国地理学对微观主体的研究相对比较薄弱。这种重宏观尺度研究而轻微观尺度研究的状况,在一定程度上限制了中国地理学者与国外主流地理学家之间的交流与对话,阻碍了宏观管理目标的具体落实,不利于揭示微观土地利用变化的内在机制。因此,借鉴社会学和经济学的研究成果,对微观土地利用主体进行详实的调查和富于逻辑性的说明,并结合地理学的空间视角,对有效了解微观土地利用行为变化机理和宏观土地利用现象大有裨益。

微观主体的土地利用决策是微观土地利用变化的内在驱动力,受不同尺度和组织层次自然、社会、经济等因素的影响。微观主体土地利用决策的驱动机制十分复杂,如何构建微观主体土地利用行为决策模型就成为探索和分析微观土地利用变化的关键所在。尽管在个体土地利用决策框架、定量分析个体间相互作用方面还存在许多问题和困难,但这为分析微观尺度土地利用变化提供了一种新思路。目前在理性经济人决策模型方面有了较大进展,但在有限理性决策模型构建方面还存在很多困难,还不能对微观个体的学习和适应行为进行有效分析,还需要我们不断地探索和实践。

微观主体的土地利用决策是塑造宏观农业景观格局的微观动因。微观主体作为景观的塑造者,其行为变化与景观格局变化密切相关。宏观的土地利用变化与微观土地利用主体——农户的行为之间存在怎样的密切关系?是否农户中优势度高的土地利用策略(或土地利用决策,以下同)就一定会形成该土地利用方式占优势的景观格局?农户整体中优势度高的土地利用策略一定会对次年的宏观农业景观格局造成影响,且会形成该土地利用方式占优势的景观格局?农户土地利用方式的选择与景观要素间存在何种关联?这些问题都与两者间互动机理有密切关系。如何分析微观主体土地利用行为与宏观农业景观格局互动机理则又是一个需要探索和论证的问题。

基于上述问题,笔者在近几年以生态脆弱区作为典型研究区域,从不同尺度对土地利用变化过程与驱动力、微观主体土地利用行为变化的机制、微观土地利用行为与宏观土地利用格局间互动机理等问题,在国家自然科学基金项目“生态脆弱区土地利用变化环境效应和农户响应模拟研究——以陕西省米脂县为例”(项目编号:40601005)、“生态脆弱区农户土地利用行为与农业景观格局的互动机理及模拟研究”(项目编号:

40901093)、自然地理学陕西省重点建设学科项目等的资助下,进行了较为系统的研究和实践。本书是在以上研究的基础上撰写而成,希望本书能够对微观土地利用行为、微观动机的宏观景观现象研究的发展和深化产生一定的推动作用。

全书共分6章。第1章主要介绍了研究背景和MAS在土地利用变化中的研究进展,给出本书的研究目标和整体框架。第2章在介绍研究区及其典型样区基础上,从宏观尺度分析研究区土地利用的变化,试图揭示退耕还林政策对区域土地利用变化的整体影响。第3章从自然驱动机制、社会驱动机制和经济驱动机制等方面阐明农户土地利用行为的响应机理,并通过构建多层次模型,分析政策对农户土地利用决策的影响。第4章试图通过BDI结构、强化学习结构、博弈模型、多尺度MAS模型,对不同组织层次土地利用决策的变化机理、农户间相互作用机理、农户土地利用决策变化机理等方面进行研究。第5章利用“优势度”的概念和多元对应分析方法,深入探索农户类型、土地利用方式、景观要素等因素间的关系,试图在微观土地利用行为与宏观农业景观格局间建立有机联系。第6章是研究的结论与展望。在总结本书主要研究结论基础上,对本书还需要进一步完善的方面进行分析,展望主要集中在有限理性决策、土地集约利用、模拟平台三个方面。

本书由陈海制定编写大纲,分工执笔撰写完成。各章撰写人员如下:前言由陈海撰写;第1章由陈海、梁小英撰写;第2章由郝静、陈海撰写;第3章由郝静、陈海、梁小英撰写;第4章由陈海、梁小英、郝静撰写;第5章由梁小英撰写;第6章由陈海、梁小英撰写。硕士研究生王涛、高海东、杨维鸽、杨明楠等同学也参与部分章节的撰写与书稿的审校工作。由于土地利用科学研究的复杂性,尤其是微观主体土地利用行为的内在变化机理、微观动机和宏观土地利用格局互动机理方面还处在深入研究阶段,加之作者水平有限,书中一定存在不足和错误之处,诚请各位同行和读者批评指正。

西北大学城市与环境学院曹明明教授、李同升教授、刘康教授、白红英教授、马俊杰教授、杨勤科教授、刘科伟教授、李天文教授、段汉明教授、权东计研究员、张阳生教授、王伯铎副教授在本书的写作过程中给予大力支持和协助。尤其是与杨新军教授、王俊副教授、谢元礼副教授、朱志梅副教授、李书恒博士的讨论与交流,使作者受益匪浅。在此,谨对他们表示衷心的感谢!

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及 LUCC 特性	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 LUCC 特性	2
1.2 研究的意义	3
1.3 Multi-Agent System 在 LUCC 中的研究进展	4
1.3.1 研究范式的转化	4
1.3.2 MAS 模型在土地利用变化中的研究进展	5
1.4 研究目标	10
1.5 本书的构架及章节简介	11
参考文献	12
第 2 章 区域土地利用/覆盖变化研究	17
2.1 研究区简介	17
2.1.1 自然生态环境	17
2.1.2 社会经济状况	18
2.1.3 土地利用现状	18
2.1.4 退耕还林概况	19
2.1.5 样本区的选择	19
2.1.6 样本区概况	20
2.2 研究方法	23
2.2.1 区域土地利用/覆盖变化研究方法	23
2.2.2 土地利用/覆盖变化的模拟与检验	25
2.3 区域土地利用/覆盖变化分析	26
2.3.1 LUCC 时间过程分析	26
2.3.2 LUCC 空间格局分析	28
2.4 区域土地利用/覆盖变化的模拟与检验	31
2.4.1 模型的构建	31
2.4.2 模型检验	33
2.5 本章小结	34
参考文献	35

第3章 农户土地利用行为响应机理及其决策因素分析	36
3.1 研究方法	36
3.1.1 基于 Cobb-Douglas 生产函数的经济驱动机制方法	36
3.1.2 农户土地利用决策影响因素分析方法	37
3.2 农户土地利用行为响应机理	40
3.2.1 农户土地利用行为选择的自然驱动机制	40
3.2.2 农户土地利用行为选择的经济驱动机制	42
3.2.3 农户土地利用行为选择的社会驱动机制	43
3.3 农户土地利用行为影响因素分析	47
3.3.1 退耕还林(草)政策对农户土地利用行为的影响	47
3.3.2 退耕还林(草)政策对农户土地利用决策的影响因素	62
3.3.3 基于多层次模型的农户土地利用决策因素分析	63
3.4 本章小结	69
参考文献	70
第4章 农户土地利用行为模型构建及模拟研究	72
4.1 农户类型的划分及其土地利用策略分析	72
4.1.1 农户智能体的类型划分	72
4.1.2 不同类型农户的行为策略分析	74
4.2 农户土地利用决策模型的构建及模拟研究	78
4.2.1 模型构建流程及其概念模型	78
4.2.2 农户个体土地利用决策模型的构建及模拟	80
4.2.3 农户群体土地利用决策模型的构建及模拟	96
4.3 多尺度土地利用主体行为的模拟	114
4.3.1 技术路线与转化机理	115
4.3.2 空间尺度与组织层次的对应	117
4.3.3 多尺度土地利用变化模型的构建	118
4.4 本章小结	121
4.4.1 农户土地利用行为选择的群体一致性、个体差异性特征	121
4.4.2 农户个体及群体土地利用决策模型的构建	121
4.4.3 多尺度土地利用主体行为的模拟	122
参考文献	122
第5章 微观土地利用行为与宏观农业景观格局互动机理	124
5.1 相关的概念及其研究进展	124
5.1.1 涌现的内涵及相关概念	124
5.1.2 群决策	126
5.1.3 优势度	129

5.2 农户土地利用决策对农业景观格局的影响研究	132
5.2.1 数据来源与处理流程	132
5.2.2 模型构建	133
5.2.3 分析与结果	134
5.2.4 结论与展望	136
5.3 农户类型与农业景观变化类型间相互作用研究	137
5.3.1 数据来源与分析方法	137
5.3.2 研究区土地利用类型及景观类型的变化	138
5.3.3 分析结果	139
5.3.4 结论	141
5.4 不同农户类型土地利用变化和景观要素关系的研究	142
5.4.1 数据处理流程与研究方法	142
5.4.2 分析与结果	143
5.4.3 结论与讨论	147
5.5 本章小结	148
参考文献	149
第6章 结论与展望	151
6.1 研究结论	151
6.2 研究展望	153
6.2.1 有限理性决策	153
6.2.2 土地集约利用	157
6.2.3 模拟平台建设	162
参考文献	168

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及 LUCC 特性

1.1.1 研究背景

20 世纪以来,全球环境以前所未有的速度发生变化,随着人口激增、环境污染、能源和资源短缺等诸多全球性重大问题的出现,世界面临非常严峻的环境问题,全球变化科学成为研究的热点(IGBP News Let., 2000)。随着全球变化研究工作的深入,科学家逐步认识到人类对土地利用所引起的土地覆盖的变化也是全球环境变化的主要原因和重要组成部分(Turner et al., 1994)。由于 LUCC 研究涉及自然和人文多方面的问题,在这方面加强自然与人文科学的综合研究已成为两大学科众多学者的共识(黄秉维, 1996)。1995 年,IGBP 和 IHDP 联合正式提出“针对人类活动和全球变化间的人和生物驱动影响土地利用与土地覆盖及其对环境和社会的影响”的“土地利用/土地覆盖变化(Land use and land cover change, LUCC)”研究计划(Turner et al., 1995)。2002 年,LUCC 研究进入 Land Project 阶段。2003 年,IGBP 为 Land Project 制定了研究重点并提出了相关的科学问题(Moran, 2003)。2005 年后,在 LUCC 研究计划进入第二阶段后,IHDP 和 IGBP 研究计划与陆地生态系统(GCTE)研究计划进行整合,提出今后 10 年的全球土地研究计划(global land project, GILP),并推动开展土地变化科学研究(land change science)。土地变化科学以土地和生态系统为着眼点,提出了由土地利用、土地覆盖和生态系统三个基本部分组成的“土地系统”概念,强调在土地系统变化动力学、土地系统变化后果和针对土地可持续性的综合分析模拟三个方面进行综合研究,以合理利用土地,有效应对全球变化(何春阳等, 2008; 路云阁等, 2006)。

土地利用/覆盖变化研究有助于理解与认识不同时间与空间尺度上土地利用与土地覆盖相互作用及其变化,包括土地利用与土地覆盖变化的过程、机理及其对人类社会经济与环境所产生的一系列影响,为全球、国家或区域可持续发展战略提供决策依据。经过近 20 年的发展,LUCC 研究计划已在世界各国得到了广泛的开展和实施。研究内容也从全球气候变化效应的研究扩展到不同空间尺度的土地利用和土地覆盖变化过程、驱动机制,以及资源、生态和环境效应影响的研究等诸多方面(Lambin, 2001)。

虽然并不是所有的 LUCC 都产生消极的影响,例如一些发达地区的 LUCC 使当地粮食产量持续增长或资源利用的效率持续提高,但总体而言,地球上几乎所有的 LUCC 都已经成为环境退化的主要原因。要想在减缓土地利用的负面影响和使 LUCC 更加适应改变的环境上得到有效的决策,理解 LUCC 现象和潜在的过程至关重要。尽管利用对过去现

象的测度来理解 LUCC 变化速率和方式很重要,但它仅仅是对过去土地管理的评估,且是一种针对环境退化的被动管理。因此,变被动管理为主动管理,预估不同措施对于环境的可能影响就显得更加迫切。

通过建模方法来更好地理解 LUCC 过程,预估各种措施的可能影响已经成为目前的主要研究趋势之一。国内外学者(Kaimowitz and Angelsen, 1998; Briassoulis, 2000; Veldkamp and Lambin, 2001; Agarwal et al., 2000)对 LUCC 模型进行了详细论述。LUCC 模型作为一个具有可重复和具有科学性推理工具,它能够支持在 LUCC 中土地利用主体的有限能力,且有利于加强参与者(土地持有者和土地决策者等)在土地利用管理和决策上的交流。构建 LUCC 模型主要的挑战在于土地利用变化本身的复杂性。众多学者在不同场合说明了 LUCC 的复杂性特点(Parker et al., 2003; Verburg et al., 2003; Dolman and Verhagen, 2003),概括起来主要有三个复杂特性:一是系统组分在各个层级相互嵌套性;二是系统组分之间相互耦合性;三是人类活动和他们所处的环境在时空上具有异质性(Parker et al., 2003; Eoyang and Berkas, 1998; Manson, 2001; Kohler, 2000)。

1.1.2 LUCC 特性

1. 嵌套层次性

层次是系统在结构或功能方面的等级秩序,具有多样性。可按物质的质量、能量、运动状态、空间尺度、时间顺序、组织化程度等多种标准划分。不同层次具有不同的性质和特征,既有共同规律,又各有特殊规律。人类-环境复合系统中的 LUCC 现象就具有复杂的嵌套层次结构(Turner et al., 1995; Dumanski and Craswell, 1998; Verburg et al., 2003; Reynolds et al., 2003)。这为我们了解和掌握 LUCC 带来了许多困难。由于各个层次间的相互嵌套,分析某一层次 LUCC 时必须同时分析低于和高于该层次的 LUCC 现象,只有这样才能对该层次的 LUCC 有一个完整的理解。因此,为了更好、更真实地反映 LUCC,通过多学科、多视角、多层次和多尺度分析来解释土地利用变化的复杂性,已经成为国内外学者的共识(Turner II, 2001; 蔡运龙, 2001; 李秀彬, 2002)。

LUCC 现象中的嵌套层次结构具有尺度依赖性,简单的原因叠加并不能对其进行充分的解释(Dumanski and Craswell, 1998; Lambin et al., 2000; Verburg et al., 2003)。但目前 LUCC 模型大多在一个尺度上运行,没有对低于或高于该尺度 LUCC 进行同步研究,是造成模型对 LUCC 现象的解释力不高的主要原因(Verburg et al., 2003)。为此,学者们对其进行深入的研究,比较典型的方法是为每一个尺度和组织等级上的土地利用变化指定因果关系以及尺度间转换信息的规则(何春阳等, 2008; Castella, 2007),这些研究为探索 LUCC 的嵌套层次结构奠定了坚实基础。但由于构建模型所需数据量的巨大及多尺度转化机制的时空动态性,真实有效地反映具有嵌套层次结构的 LUCC 现象还有很长的路要走。

2. LUCC 过程中系统组分的相互依赖性和反馈性

LUCC 是人类与环境系统相互作用、共同演化的结果。在各种驱动力的作用下,人

类-环境复合系统形成一个具有相互依赖的因果关系网,通过反馈回路把物质、能量、信息从一个组分带到另一个组分(Bousquet and Le Page, 2004)。这些不断变化的反馈回路通过保持人类-环境系统组分的同步化和相互作用,形成了系统的相互依赖性,这为系统提供了稳定性和可变性,而且通过为系统提供改变的动力和物质来支持系统的演化(Eoyang and Berkas, 1998; Manson, 2001)。

系统组分的相互依赖性与反馈性对于LUCC模型的构建是一种挑战。由于反馈回路的存在,LUCC现象的因果关系变得不一致或者多向(Eoyang and Berkas, 1998),也就是说一个变量既可以是土地利用变化的外因(引起变化的原因),也可以是它的内因(对变化的响应)。例如,我们可以把道路网的扩展看作是林地迅速减少的原因,但是有时候农业发展或者由于被砍伐的地区发展的需求,可能会导致政府做出扩展这些地区道路网的决策(Lambin et al., 2000)。因此,如何有效地理解LUCC过程中系统组分的相互依赖性 & 反馈性,对于甄别LUCC过程中的各种驱动力及其变化机制十分重要。

3. LUCC过程中人类活动和环境的时空异质性

人类活动和生物物理的异质性是LUCC形成的关键驱动力。土地使用者具有不同的资源、价值观、经验和能力。由于这些因素的差异是土地利用决策的重要输入变量(Parker et al., 2003),这样的社会多样性可能会产生不同的土地利用格局。这些多样性通常由于产量、人口、学习过程的变化而随时间不断变化。从生物物理条件来说,不同的区域可能会有不同的土壤、地形、水源的可得性、植被状况和市场通达性等,这导致了土地具有不同的功能和天然植被生长/恢复的差异(Parker et al., 2003)。

地理学者主要关注生物物理条件的空间异质性,但由于研究主要集中在宏观尺度,难以对微观个体行为异质性给出合理的解释。社会学和经济学的研究多集中在微观尺度,对微观土地利用主体有详实的调查和富于逻辑性的说明,但由于缺乏空间的视角,其研究结果难以应用到区域发展中。因此,如何结合人类活动微观主体与宏观生物物理条件的异质性,对有效了解微观土地利用行为变化机理和宏观土地利用现象大有裨益。

1.2 研究的意义

1. 有利于中国地理学者与国际主流地理学家的对话与交流

相对于宏观层面的研究,中国地理学对微观主体的研究相对比较薄弱。西方地理学者自20世纪以来就形成了微观的研究方向,在小尺度的微观区域分析或点位分析有较大发展。这种重宏观尺度研究而轻微观尺度研究的状况,在一定程度上限制了中国地理学者与国外主流地理学家之间的交流与对话(李小建, 2009)。微观层面研究的相对薄弱,引起国内部分学者的关注,并进行了较为深入的研究,取得了长足进步(李小建, 2009; 黎夏等, 2007; 钟太洋等, 2007),为国内外学者在微观层面的学术交流打下坚实基础。

2. 有利于宏观管理目标的具体落实

1979 年农村经济体制改革以来,作为我国农村社会基本细胞的农户,逐渐成为农村社会经济活动的主体(张小林等, 2002)。随着改革的深入,农户土地利用行为与农村资源的利用与开发、农业景观格局演变、农村可持续发展等方面的联系日益紧密(周心琴等, 2005; 宋长青等, 2005)。但由于宏观尺度——国家或者区域角度的土地利用变化驱动分析往往缺乏过程和人文行为的细致解析,造成宏观管理目标难以具体落到实处。而从微观角度进行土地利用变化驱动分析可以有效避免上述问题,这也是农户层次土地利用变化越来越得到重视的原因之一(钟太洋等, 2007)。

3. 有利于揭示宏观土地利用变化的微观土地利用驱动机制

目前,宏观土地利用变化的研究大都基于遥感手段进行分析。与从微观视角的研究相比,前者在人文经济信息的获取方面、在土地利用分类方面都与后者有明显差距,尤其是对微观主体的忽视,使得研究结果很难具体落实到微观主体上。因此,国内外许多学者试图通过对微观主体土地利用行为变化的研究,并借助于决策的多尺度转化方法,分析宏观土地利用变化的微观驱动机制(Overmars et al., 2006)。尽管在模型的整合上、多尺度转化方法上还存在问题,但为我们揭示两者间的互动机理提供可以借鉴的经验。

1.3 Multi-Agent System 在 LUCC 中的研究进展

1.3.1 研究范式的转化

目前,有两种主要的范式可用于模拟自然系统和人类系统之间的关系,即系统动力学范式和组织范式(Bousquet and Le Page, 2004; Van Dyke Parunak et al., 1998; Vila, 1992)。系统动力学范式最早来自于 20 世纪 50 年代 Jay Forrester 的工作,目前已经作为生态系统研究中还原论方法的替代方法(Bousquet and Le Page, 2004)。尽管系统动力学方法有助于建立人类和环境系统之间的内在联系(Bousquet and Le Page, 2004; Parker et al., 2002),并能获取动态复杂性的部分联系(Vila, 1992),但在研究有着复杂特性的 LUCC 的人类-环境系统中仍有很多局限。第一种局限表现在无法用数学公式来完整地表达复杂人类-环境系统的因果关系。这个棘手的问题会导致大部分系统动力模型很难与空间关系相适应(Sklar and Costanza, 1991)。第二种局限在于表达人类-环境系统的等级结构以及人类与自然环境的异质性方面存在困难,例如,人类-环境系统本身的复杂性并不能由系统动力学模型来详细地描述(Villa, 1992)。第三种局限表现在系统动力学方法在模拟系统组织的变化方面仍差强人意(Villa, 1992),如适应性的分析与描述。

组织范式在 20 世纪 80 年代后期到 90 年代初期出现,主要来自于非线性动力学(即元胞自动机)、分布式人工智能(DAI)、复杂理论及其他方面,在涉及人类-环境相互关系的研究中引起了巨大的改变(Bousquet and Le Page, 2004; Gilbert and Troitzsch, 1999)。根据组织的观点,人类-环境系统被描述为 MAS,它是根据自主的决策实体及智能体进行自组织的(Woodridge, 2002; Bonabeau, 2002; Zambonelli et al., 2003)。每个智能体都有特别的作用,都对实际所代表的实体进行模仿(Zambonelli et al., 2001; Woodridge, 2002)。每个智能体均有设计好的内部结构和机制,用于自主理解分配的任务,因此成为一个单独的控制核心,而没有其他的控制中心(Wollenberg, 2000)。由于各智能体的自治性,智能体间的即时互动不会像系统动力学范式一样被精确追踪(Epstein and Axtell, 1996; Axelrod, 1997)。换句话说,各智能体之间、智能体与环境之间的联系是高度宽松和灵活的,而且是基于涌现的情况下建立起来的,而非像系统动力学模型一样先输入预定义(Van Dyke Parunak et al., 1998)。由于这种极其灵活的互动关系,MAS 不需要由任何闭合形式的平衡方案来解决(Parker et al., 2003)。MAS 模拟模型可以同时运行系统的微观和宏观特性。在模拟期间,智能体的行为结构,甚至是智能体的职能都可以改变,这使得各智能体可以适应一个新环境(Villa, 1992; Epstein and Axtell, 1996)。因此,组织范式可以克服系统动力学方法的局限,较好地描述和解释复杂适应系统(Bousquet and Le Page, 2004)。Quang Bao Le(2005)在其论著中详细地列出两种范式的差异,具体见表 1-1。

表 1-1 复杂系统研究中系统动力学与组织(MAS)范式的不同

项目	系统动力学范式	组织范式
系统概念	观测量(状态变量)	Agent(小尺度上的组织)
具体机制	集中	分布式
适合的隐喻	控制系统	并行计算
分析方法	微分方程	规则设置
关键行为	均衡、动态复杂性	自组织(自发性)、动态和结构复杂性
系统组织	固定的、单一尺度	可变的、多尺度(微观-宏观)
生态意义	自然平衡	自然弹性和进化

目前,MAS 已经被公认为一种通过建立完整的理论框架来处理 Lucc 中复杂问题(van der Veen and Otter, 2001; Bousquet and Le Page, 2004)和支持环境决策的有效工具(Ligtenberg et al., 2004; Barreteau et al., 2001)。

1.3.2 MAS 模型在土地利用变化中的研究进展

1. MAS 模型简介

MAS 模型可以看作是由多个智能体(agents)组成的系统,智能体在相同环境中相互作用,且能够改变自身和周边环境。目前,对智能体技术有两种不同的看法:一是作为最

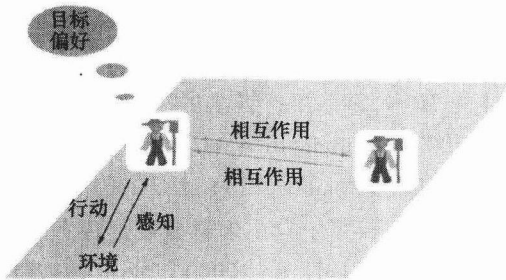


图 1-1 MAS 系统

新一代面向对象的计算机语言；二是作为一种模拟现实的方式。Ferber 给出了较为形象的图示（如图 1-1 所示）（Ferber, 1999）。可以看出，多智能体系统主要由以下几个部分构成：①环境（E），通常指一个空间；②一组对象（O），该组对象在给定的时空条件下，可以与任何对象关联；③一组智能体（A），它们是一组特殊的对象，是 O 的子集，代表系统中具有活力的实体（active entity）；④一组关联和操作规

则，对象通过关联规则相互联系，智能体通过操作规则进行构思、设想、转化等行为（Bousque and Le Page, 2004）。其中，有关“智能体”的定义有很多种，比较有代表性的是 Maes 对“智能体”的定义：指在动态复杂的环境中可以实现一系列目标的系统，它可以通过传感器感知周边环境，可通过反应器作用于环境（Maes, 1994）。尽管对智能体的定义多样，但大多数学者均认为其具有自治性（autonomous）、智能性（intelligent）和主动性（proactive），并且可以代表不同尺度水平的人类组织（Ferber, 1999；Bousquet et al., 2004；Ligtenberg Arend et al., 2001；刘洪, 2004）。

地理学家借鉴计算机科学的 MAS 模型，将其应用到土地利用变化的研究中。相对于其他模型而言，在微观与中宏观尺度上，MAS 模型可以反映景观中具有自动性、异质性和分散性的人类决策，利于阐明智能体对自然与社会经济环境的适应机制，因而在自然资源管理、农业经济和城市模拟等领域得到广泛应用（Parker et al., 2003；Payraudeau et al., 2005）。

2. 国内外 MAS 模型研究进展

目前，利用 MAS 模型模拟智能体的决策过程，探讨人类对自然与社会经济环境变化的适应机制，是土地利用变化和环境效应模拟研究的一个重要趋势（Parker et al., 2003；Veldkamp and Verburg, 2004）。MAS 在土地利用变化中的研究主要集中在智能体决策模拟、智能体之间相互作用、多尺度模型研究以及对模型的检验与验证等方面（葛全胜等, 2004；Parker et al., 2003）。

• 智能体决策框架构建

从事自然科学研究的学者，尤其是地理学家，在发展空间明晰的（spatially explicit）土地利用模型方面走在前列，但对土地利用变化过程中人的因素则关注较少，因而使得模型对于土地利用变化的解释力降低（Irwin and Geoghegan, 2001）。Bockstael、Tom P. Evans、黎夏、刘小平等分别利用经济学理论，发展基于智能体决策效益最大化的模型，通过个体效用最大化来模拟土地利用决策（Bockstael, 1996；Evans et al., 2001；Xia Li, Xiaoping Liu, 2006；刘小平等, 2006）。严格来讲，黎夏和刘小平模型中的智能体与 Bockstael 和 Tom P. Evans 模型中的智能体处在不同尺度上：前者是一类智能体，后者是单

个智能体,但对于智能体决策而言,则均采用的是效用最大化决策。其中,比较有代表性是 Tom P. Evans 构建的单个农户决策框架,如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出,作者将影响农户决策的家庭人口、经济状况及外部的制度因素考虑到决策框架,以此来模拟每年农户土地利用状况。在农户经济状况中构建了家庭的收入与支出函数,并与效益计算模块相联

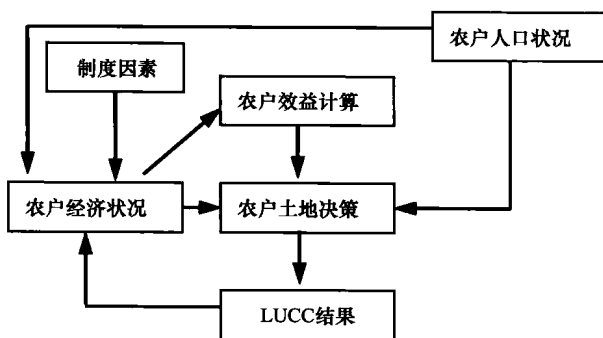


图 1-2 农户个体决策框架 (Evans Tom, 2004)

系,以此来决定农户对于不同土地利用方式的选择。自然与社会经济因素的综合考虑使得土地利用变化的解释力有所提高。但也可以看出,这种模型对时间因素考虑较少,尤其是时间对于农户收入与支出的影响。Irwin 和 Bocktael 在这种思路基础上进一步考虑了时间因素,提出持续时间模型 (a duration model),用于解释智能体在何时转化土地所获取的效益最大,具体公式如下

$$W_{jrT/u} - C_{jrT/u} - \sum_{t=0}^{\infty} A_{juT} \delta^{T+t} > 0 \quad (1.1)$$

$$W_{jrT/u} - C_{jrT/u} - A_{juT} > \delta (W_{jrT+1/u} - C_{jrT+1/u}) \quad (1.2)$$

其中: $W_{jrT/u}$ 为在时间 t 地块 (parcel) j 在状态 r 下未来回报的现值; $C_{jrT/u}$ 为在时间 t 内地块 j 从状态 u 转化到状态 r 的费用; A_{juT} 为土地未被开发利用的回报; δ 为贴现率。

式(1.1)说明了当发展的净回报大于将土地保持在未被开发状态的回报时,智能体将要转化土地。式(1.2)表明智能体在时间 T 下得到的回报大于在 $T+1$ 时段得到的回报,那么智能体将会在时间 T 转化土地。

综合考虑自然和社会经济因素、时间与空间因素等,使得模型在模拟单个农户决策方面进一步完善。另外,也有学者通过其他方法来模拟单个农户的决策,例如 Thomas Berger 利用线性规划方法,综合考虑农户的生产、消费和投资等因素,模拟单个农户决策 (Berger, 2001)。

以上决策框架的构建是建立在智能体具有完备信息,能够在复杂条件下计算出其最大效益的前提基础上的。因此,最优化的决策框架在使用时受到一定限制。针对于此,有学者提出有限理性决策框架 (bounded rationality),旨在找到让不同利益智能群体“满意”而非“最优”的结果。这种方法在模拟智能体间的学习 (learning)、交流 (communication) 和适应 (adaptation) 等相互作用方面有一定优势。

• 智能体相互作用

智能体相互作用的模拟是构建 MAS 模型的关键。智能体的决策除和自身的经历有关外,很大程度上也与其他智能体的相互作用有关。因此,仅仅考虑单个智能体因素,忽视其他智能体对其的影响,对现实决策的解释力会降低。目前,这方面的研究主要集中在两个方面:一是智能体相互作用的理论探讨;二是案例研究。前者侧重于机理探讨,从

理论上给出智能体相互作用的机理模型。例如, A. Ligtenberg 与 G. Marco 进行了理论探讨, 分别给出了智能体之间及其与环境之间相互作用机理模型 (Ligtenberg et al., 2004; Marco and Huigen, 2004); A. Ligtenberg 利用适度优化决策框架, 给出智能体相互作用机理 (如图 1-3 所示)。可以看出, 最终决策集合是多个智能体相互作用的结果, 每个智能体通过对外部世界的观察、构思及不同智能体之间交流, 从而形成单个智能体的设想 (vision)。在此基础上汇集成决策集合。通过投票 (voting) 和规则形成集体的决策。黎夏、刘小平等通过设立准则 (criteria), 设定不同智能体在土地利用中的权限, 给出相互作用的方式, 来定量表达智能体间的相互作用。学者对智能体间相互作用的交流方式的定量表达进行了初步探索, 但对于智能体间如何通过学习和适应来定量地相互作用方面的研究目前还不多见。

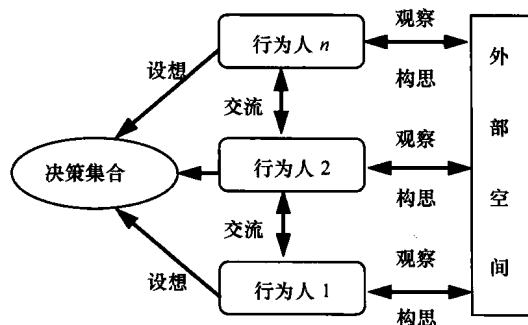


图 1-3 行为人相互作用机理图 (Ligtenberg, 2004)

另外, 在案例研究中, 国外学者同时探讨了距离与相互作用的关系。在案例研究中, 智能体相互作用有一个假设前提: 相互作用随空间距离增大而减少, 即距离近的智能体之间相互作用强, 反之则弱。模仿行为是相互作用研究的重要方面, 尤其是在农业土地利用方式研究中, 距离近的农户采用相同土地利用方式的可能性大于距离远的农户。例如, Irwin 和 Bocktael 探讨了城市建设中不同利益个体之间的排斥效应 (Irwin, Bocktael, 2001); Rouchier 探讨了牧民和农民通过协商在干季找寻适宜牧场问题 (Rouchier et al., 2001); T. Berger 探讨了以新技术作为农户间相互作用的媒介, 分析技术的空间扩散 (Berger, 2001); E. J. Milner-Gulland 和 C. A. Kerven 分析了牧民间相互作用 (Milner Gulland, Kerven, 2006)。对于模仿作用与距离的假设, 有些学者也有不同看法 (Claude Schmit et al., 2006)。

• 模型多尺度研究

在一个尺度上获得的结论不能简单地推演到另一个尺度上, 如何利用模型来探讨不同尺度之间的关系已经成为模型研究的一个重要方面 (Verburg et al., 1999)。MAS 模型在微观尺度上对土地利用变化有较好的解释力, 如何将其扩展到更大尺度已经成为该模型研究的主要方面之一。

目前, 国外学者在模型多尺度研究方面大体有三种途径: 一是从机理上探讨个体决策到群体决策的转化, 从而实现模型的尺度转化。例如, G. Marco 给出了智能体分类的

机理模型,并依据种族与宗教信仰将单个智能体决策转化为群体决策,从而实现模型尺度的转化(Marco et al., 2004);A. Ligtenberg 给出群体决策和目的的概念结构,依据提前设定的规则确定不同利益群体的行为方式,从而实现从个体到群体尺度的变化(Ligtenberg et al., 2004)。二是通过人为改变输入数据的精度,利用 GIS 软件检验模型的尺度相关性。例如 Tom P. Evans 对美国中西部土地利用变化的研究(Evans et al., 2004),作者利用 ArcInfo 8.2 中 Polygrid 命令,采用最大比例法则对景观类型和土地所有者单元进行赋值,从而将 polygons 数据转化为 grids 数据;然后,利用 Aggregate 命令,将数据转化为不同尺度的数据。三是结合其他土地利用模型进行尺度转化。例如, Jacqueline Geoghegan 进行宏观土地利用模型和微观智能体决策模型对比研究(Jacqueline Geoghegan, Sergio Cortina Villar, 2001),利用 GPS 试图在两个尺度上建立联系;A. Ligtenberg、P. M. Torrens 分别结合 CA 模型,利用具有强大的空间运算能力,可以有效地模拟复杂的动态系统的 CA 模型,发展 CA-MAS 模型,探讨模型尺度转化问题(Torrens and D O'Sullivan, 2001; Ligtenberg et al., 2001)。

- 模型的检验与验证(verification and validation)

建立模型后,还需对模型本身进行检验和验证。模型检验是通过改变模型及其所假定的准则,仔细地调试和评价模型所包括的对象及对象之间的关系。目前,很多发布的 MAS 模型是建立在不同的平台上(如 SWARM 是用 C 语言/Java 语言编写的,Repast 是用 Java 语言编写的, CORMAS 是用 Smalltalk 语言编写(张华等, 2005; [http://www.swarm.org/\[EB/OL\]](http://www.swarm.org/[EB/OL]), [http://repast.sourceforge.net/\[EB/OL\]](http://repast.sourceforge.net/[EB/OL]), [http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm/\[EB/OL\]](http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm/[EB/OL])),且没有公布模型的源代码,这为 MAS 模型检验带来不少困难。由来自不同学科的 28 个建模者提出了一个设想的模型原型——ODD(Overview, Design concept, and Details)来试图解决模型标准化问题(Volker et al., 2006)。一旦完成模型的标准化,模型的检验就相对容易,但这还需假以时日。模型的验证主要关注模型的结果与现实系统行为的拟合状况。因此,验证主要涉及模型输出的结果与其他模型的结果,或对该现象有较好解释的理论对比。Manson、Deadman 和 Schager 等学者利用其他模型、理论和观测得来的数据与 MAS 模型的结果进行对比(Manson, 2000; Deadman and Schlager, 2002)。

由于检验与验证与尺度密切相关,所以模型运行的精度、现有数据的精度均会影响对比的效果。在构建 MAS 模型时,学者们都意识到时空尺度对结果的影响,但找到一种解决时空尺度的检验与验证的技术方法还需要很长的一段路要走(Heuvelink, 2002; Pontius and Schneider, 2001)。同时,由于人类行为对模型的初始条件、自组织程度和路径依赖(path-dependency)的敏感性及自身的复杂性,目前还没有找到解决验证和检验复杂的、非线性人类行为的方法(Miller, 1998)。Bousquet 及其同伴提出通过专家和参与者会面来试图验证学习和适应等抽象的人类行为(Bousquet et al., 1998)。

3. 结论及展望

土地利用/覆盖变化模型已在理论与实践方面取得了很大发展,在多学科背景下,学