

土地系统计量模型

Integrated Modelling of Land System

Land System Dynamics

土地系统动态模拟

Simulation of Land System Dynamics

邓祥征 著

LSD



中国大地出版社

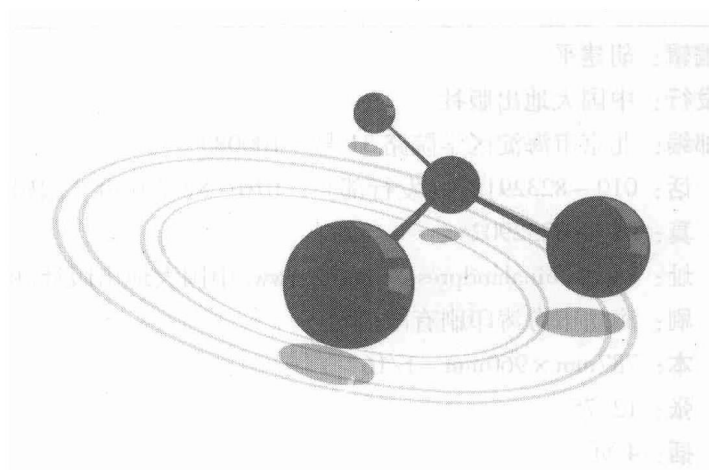
土地系统计量模型

Integrated Modelling of Land System

土地系统动态模拟

Simulation of Land System Dynamics

邓祥征 著



中国大地出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

土地系统动态模拟 / 邓祥征著. —北京: 中国大地出版社, 2008. 11

ISBN 978 - 7 - 80246 - 156 - 7

I. 土… II. 邓… III. 土地管理—动态模型—研究
IV. F301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 184818 号

责任编辑: 胡建平

出版发行: 中国大地出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话: 010 - 82329127 (发行部) 010 - 82329120 (编辑部)

传 真: 010 - 82329024

网 址: www. chinalandpress. com 或 www. 中国大地出版社. 中国

印 刷: 廊坊市海涛印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 12.75

彩 插: 4 页

字 数: 200 千字

版 次: 2008 年 11 月第 1 版

印 次: 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1 - 1300 册

书 号: ISBN 978 - 7 - 80246 - 156 - 7/F · 305

定 价: 32.00 元

版权所有 · 侵权必究

序

继 2005 年国际地圈—生物圈计划 (IGBP) 和全球环境变化人文因素计划 (IHDP) 的核心研究计划“土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 计划”结束后,全球土地计划 (GLP) 成为新一轮 IGBP 与 IHDP 联合推出并关注的核心研究计划。GLP 关注人类与陆地生物圈和自然资源之间的相互作用,强调对陆地系统从局部到区域尺度的人地耦合关系的研究。全球土地计划旨在测量、模拟与理解陆地系统内的人地耦合关系,从而增进人类对地球系统运行状态变化及其产生的社会、经济与政治后果的理解。

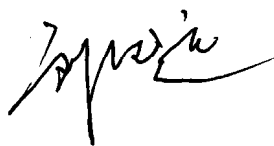
土地系统变化直接影响着人类社会经济的发展。所以,在被当今国际社会广泛认可和倡导的全球可持续发展战略中,土地系统的变化及其影响受到了高度关注。国际全球变化科学界对这一学科领域高度重视。土地系统变化的动力学与土地系统变化的生态系统效应是 GLP 重点关注的研究领域,同样也是当前全球变化研究的核心领域。

作为认识土地系统变化过程和机理的一个重要切入点,土地系统动态模拟工具的研发无疑有利于提高人类对土地系统演化与效应的认识,并增进对陆地系统中人地耦合关系变化规律的理解,同时也为人类分析区域尺度物质和能量流动的过程和机制,研究区域乃至全球经济活动在局地 and 区域尺度对土地系统的影响提供了重要的途径。

本书介绍的土地系统动态模拟系统 (DLS) 是我国科研工作者积极参与全球土地计划并做出有意义探索的一个反映。作为一个不断发展的模型工具,DLS 提供了模拟土地系统格局演替动态和

预测区域土地系统结构变化趋势的成套技术方法,适用于从局域到全球、从均质栅格到复杂景观的多尺度土地系统动态演化的模拟与分析。

诚如本人与 GLP 发起人之一 Denis Ojima 教授在 GLP 科学指导委员会第一次会议上讨论的那样, GLP 在全球启动了一个跨学科、跨专业的研究领域,但土地系统动态模拟涉及的学科广泛,必须考虑自然因素和人文因素对土地系统变化的共同作用与影响,同时必须考虑模拟过程中的时空尺度及其转换问题。土地系统演化的复杂性和土地系统结构变化与格局演替的区域差异性,也会增加模拟结果的不确定性。从这个意义上看,本书介绍的 DLS 在开展土地系统动态模拟中采用的精度验证与灵敏度分析等方法确保模拟结果的准确性与精度,并增强模型结果实用性的一个有价值的探索与尝试。



中国自然资源学会理事长

中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师
全球土地计划 (IGBP/IHDP-GLP) 科学指导委员会委员

前 言

土地系统动态变化作为区域环境变化的直接原因与响应,一直以来都是全球变化研究的核心主题之一。土地系统变化的结果直接影响着人类社会经济的发展。在当今人类社会所倡导的可持续发展战略中,土地系统动态变化作为最重要的研究内容之一受到了国际社会的高度重视。虽然不同学科背景的专家、学者对土地系统动态变化导致全球变化的机理方面的认识依然存在争议,但土地系统动态变化是全球变化研究重要切入点的论断已经成为自然与人文科学领域的共识。

随着土地利用变化、全球土地计划研究的日益深入,人们越来越认识到自然环境演化、陆地生态系统过程、人类生产经营活动与土地系统动态变化之间具有密切联系,要辨识土地系统动态变化的原因与效应需要从系统的视角考察土地系统中诸多因素的相互作用与联系。土地系统动态变化从物质和能量两个方面影响着人类生存与发展的自然载体。气候变暖、土壤侵蚀、植被退化、生物多样性锐减等全球环境问题也与人类不合理的土地利用方式有着直接或间接的联系。土地系统动态变化所带来的这些生态、环境效应又反作用于人类社会经济系统,成为影响与制约区域可持续发展的主要原因之一。例如,土地利用变化导致的耕地退化、草原沙化和森林覆盖率减少等直接威胁到区域粮食、畜产品和木材原料等人类生存和繁衍所必需的生产生活资料的生产和供给。当然,土地系统动态变化也受到自然环境条件和人类活动的双重影响。自然环境条件在相当程度上决定了土地系统动态变化的方向。海拔高度、坡向、坡度、地貌、土壤类型等自然环境因子对土地系统动态变化的方向有着较强的控制作用,而积温、降水、日照等

气候条件也在一定程度上影响着土地系统动态演化的方向与速率。此外,人口增长、经济发展、技术进步、政策变革等社会经济因素也是区域土地系统演化的重要驱动因子。

作为一个跨学科、跨专业的研究领域,土地系统动态模拟涉及范围十分广泛,必须同时考虑模拟过程中的空间尺度和时间尺度问题。本书针对当前土地系统动态模拟模型与方法存在的问题,探讨了区域土地系统动态模拟的原理与方法,介绍了利用土地系统动态模拟系统(DLS)来解决土地系统动态模拟中的关键技术难题的步骤与方法。

在章节安排上,本书首先评述了当前可以用来开展土地系统动态模拟的方法,揭示了当前土地系统动态模拟中存在的不足。进而详细阐述了DLS的原理、模块与功能,重点介绍了区域用地结构变化均衡理论和栅格尺度用地类型分布约束理论,展示了DLS在区域和栅格两个尺度上开展情景分析、预测用地结构变化并模拟土地系统结构变化的技术优势。本书详细介绍了DLS的安装与使用步骤,并选取案例区,模拟与分析案例区用地结构变化和土地系统结构动态变化的时空格局。最后,利用DLS与土地生产力评估系统(ESLP)开展了土地生产力变化情景预测。这些案例研究能够加深读者对DLS原理的认识,增进读者对DLS基本操作与使用步骤的了解。

目前,对土地系统动态模拟探索的研究方兴未艾,其原理、模型与方法也日新月异,并在实践中不断得到检验、补充和完善。鉴于DLS正处在发展阶段以及受作者视野、水平、时间和条件的局限,本书在介绍DLS的系统性、完整性方面尚存很多不尽完善之处。作者在此仅望能抛砖引玉,通过该书的出版,以期与国内外相关领域专家、学者展开广泛研讨与交流,并对本书的缺点与不足提出宝贵的修正意见。

作 者

2008年11月



目 录

1	土地系统动态模拟方法述评	1
1.1	基于经验统计的方法	2
1.1.1	模型框架	3
1.1.2	回归分析	3
1.1.3	转换规则	4
1.1.4	动态模拟	5
1.1.5	模型检验	5
1.2	基于多智能主体分析的方法	6
1.2.1	ABM 概念	7
1.2.2	ABM 适用范围	7
1.2.3	ABM 应用	9
1.2.4	问题与展望	10
1.3	基于栅格邻域关系分析的方法	11
1.3.1	元胞自动机构成	12
1.3.2	元胞自动机模型特点	15
1.3.3	元胞自动机模型应用	15
1.4	土地系统动态模拟方法简评	16
2	土地系统动态模拟系统	19
2.1	DLS 原理	19
2.1.1	基本概念	20
2.1.2	基本原理	20
2.2	DLS 框架	22
2.2.1	DLS 特点	23

2.2.2	DLS 框架	23
2.2.3	DLS 适用范围	24
2.3	DLS 功能模块	25
2.3.1	用地结构变化情景分析	25
2.3.2	用地类型分布驱动分析	26
2.3.3	用地结构变化空间分配	27
3	区域用地结构变化模拟与情景分析	31
3.1	基于 CGE 模型的用地结构变化模拟	31
3.1.1	区域用地结构变化 CGE 模型框架	32
3.1.2	区域用地结构变化 CGE 模型构成	36
3.1.3	区域用地结构变化 CGE 模型模块	39
3.2	基于系统动力学的用地结构变化分析	42
3.2.1	区域用地结构变化 SD 模型原理	43
3.2.2	区域用地结构变化 SD 模型表达	52
3.2.3	区域用地结构变化情景设计	59
4	栅格尺度用地类型分布与供需平衡	61
4.1	栅格尺度用地类型分布约束	61
4.1.1	栅格尺度用地类型分布驱动线性模型	62
4.1.2	栅格尺度用地类型分布驱动非线性模型	65
4.2	栅格尺度土地供需平衡	69
4.2.1	土地供需平衡的概念	70
4.2.2	栅格尺度土地供需平衡	71
4.2.3	土地供需平衡过程	74
4.2.4	结果检验	76
5	DLS 安装与使用	78
5.1	DLS 开发简史	78
5.1.1	缘起	78

5.1.2	发展	80
5.1.3	完善	82
5.1.4	集成	83
5.2	DLS 安装与配置	84
5.2.1	DLS 安装	84
5.2.2	DLS 运行环境	84
5.3	DLS 输入参数制备	86
5.3.1	模拟条件设定	87
5.3.2	空间统计分析	88
5.3.3	驱动因子数据	90
5.3.4	用地需求情景数据	91
5.3.5	限制区域编码	92
5.3.6	用地类型二值型数据	92
5.4	DLS 运行及结果输出	93
5.4.1	DLS 运行	93
5.4.2	结果输出	94
6	太仆寺旗土地系统动态模拟	95
6.1	太仆寺旗土地系统变化背景	95
6.1.1	区位条件	95
6.1.2	气候条件	96
6.1.3	地貌条件	99
6.1.4	土壤条件	100
6.1.5	水文条件	101
6.1.6	植被分布	101
6.1.7	自然灾害	101
6.2	太仆寺旗用地结构变化情景预测	102
6.2.1	基本假设	102
6.2.2	模型设定	102

6.3	太仆寺旗土地系统动态模拟	105
6.3.1	情景设计	105
6.3.2	参数估计	106
6.3.3	模拟结果	108
6.4	太仆寺旗土地系统动态模拟精度验证	109
6.4.1	基于历史数据的检验	110
6.4.2	灵敏度验证	110
6.5	太仆寺旗土地系统格局演替模拟	113
6.5.1	关键技术	113
6.5.2	数据制备	113
6.5.3	驱动机理	122
6.5.4	转换规则	129
6.5.5	模拟结果	129
6.5.6	情景分析	129
7	中国土地生产力动态变化情景预测	132
7.1	土地生产力估算模型	132
7.1.1	基本原理	132
7.1.2	主要参数	134
7.1.3	功能模块	135
7.1.4	操作步骤	140
7.2	全国土地生产力估算及验证	142
7.2.1	数据及处理	142
7.2.2	结果与分析	146
7.3	土地生产力动态变化情景模拟	155
7.3.1	耕地利用变化模拟	156
7.3.2	耕地利用变化对土地生产力的影响预测	156



8 结论与展望.....	162
8.1 主要结论.....	162
8.2 研究展望.....	165
参考文献	167
附 录	177
致 谢	191



土地系统动态模拟方法述评

土地系统动态模拟方法大多包含在土地利用/覆被变化研究的相关模型中。土地系统是一定地域范围内的地形、地貌、土壤、基础地质、水文、气候和植被等所有自然因素及过去和目前人类在这一地域范围内土地利用活动及其影响结果的综合体(Turner 等,1993;刘纪远,1996;蔡运龙,2001;GLP,2005)。需要说明的是,本书土地系统动态模拟与分析仅仅考虑了在区域人口增长、经济发展、社会进步、自然环境条件变化的宏观背景下,用地类型之间在空间上相互竞争形成的土地系统宏观结构(以下称土地系统结构)及其空间上的宏观演替格局(以下称土地系统演替格局),并没有考虑土地质量变化的内容。基于此,土地系统动态模拟旨在回答土地系统结构在何时、何地、为何以及发生怎样的变化与转换,并导致何种突出的环境效应。这些目标的实现,必须运用定量分析的方法,建立土地系统动态模拟模型,阐明土地系统动态变化机制,开展区域用地结构变化情景分析(陈百明,1994;李秀彬,1996;庄大方、刘纪远,1997;摆万奇、赵士洞,1997;刘彦随,1999a)。土地系统动态模拟系统的开发与应用能够加深人们对土地系统动态变化机制的理解,并为预测区域未来土地系统动态变化趋势提供分析工具。

土地系统动态的系统性与时空分异性特征要求土地系统动态模拟既要

从区域水平(或一定级别的行政单元)上对影响用地结构变化的因素进行宏观分析,如建立以系统动力学理论为依据的定量分析模型,将自然因素和人类社会因素综合到一个具有反馈特征的系统中去,充分考虑各种相关因素的影响,也需要在较精细的时空单元栅格上测度各驱动因子的变化,并将其导致的用地结构变化表征到具有一定时空精度的单元栅格上(刘彦随,1999b;陈佑启、Verburg,2000;李秀彬,2002)。本章总结了目前可以用来开展土地系统动态模拟的模型与方法,概括了各种方法的基本原理,述评了各



1.1.1 模型框架

CLUE-S 模型由两个主要模块组成,一个是空间模块,另一个是非空间模块(段增强等,2004)。空间模块又称为统计分析模块,可以用来对研究区的用地需求总量进行空间上的分配。空间模块对用地需求的分配是在对研究区土地利用/覆被的经验分析、空间变异分析和动态模拟的基础上实现的(图 1-1-1)。其中,经验分析和空间变异分析主要揭示不同用地类型的空间分异与各驱动因子及空间制约因素之间的相互关系,生成各种用地类型的概率分布适宜图,衡量不同用地类型在各空间单元(栅格)上的分布适宜程度(唐华俊等,2004)。为了控制研究区域用地转换的难易程度,CLUE-S 模型可以在空间模块中根据实际情况建立恰当的用地转换规则。

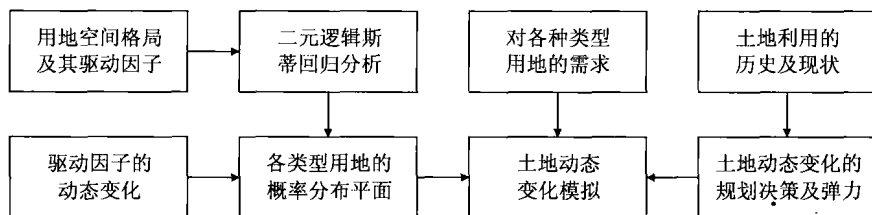


图 1-1-1 CLUE-S 模型的土地利用变化分配流程图

注:据唐华俊等(2004),有删改。

非空间模块通过分析人口、社会、经济以及政策法规等土地利用变化驱动因子,计算研究区域不同类型用地的年际需求变化,并将这一变化分配至基于栅格系统的空间模块的各候选单元,从而实现土地利用的时空动态模拟。非空间模块中的用地需求可以由灰色系统预测、系统动力学和经济学模型等多种方法求得,甚至可以直接参考研究区域的各种土地利用规划、社会经济发展规划成果。为了满足空间模块的输入数据要求,非空间模块的预测结果必须是以年为步长的总需求变化时间序列。

非空间模块主要包括人口模块、用地需求模块与空间布局模块。其中的用地需求变化可以由多种方法求得(邓祥征等,2004a、b)。CLUE-S 模型多用历史趋势外推法对区域土地总量需求变化进行预测(张永民等,2006)。

1.1.2 回归分析

CLUE-S 模型采用逐步逻辑斯蒂回归分析的方法来分析土地利用与驱

动因子之间的关系。逻辑斯蒂逐步回归是土地利用变化研究中常用的一种方法(Menard, 1995; Overmars 等, 2003; Aspinall, 2004; 摆万奇等, 2005), 它可以对每个栅格出现某一用地类型的概率进行诊断, 具体公式为:

$$\ln(P_i/1 - P_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_n X_{ni}$$

其中, P_i 表示每个栅格可能出现某一用地类型的概率; X 表示各备选驱动因子。运用逻辑斯蒂逐步回归方法, 可以筛选出对用地格局有显著影响的因子, 同时剔除无显著影响的因子(高惠璇, 1998; 王济川、郭志刚, 2001)。根据逻辑斯蒂逐步回归的结果

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \beta_2 X_{2i} - \cdots - \beta_n X_{ni})}$$

可以得到各用地类型的空间分布概率适宜图。

1.1.3 转换规则

如前所述, CLUE-S 模型允许使用者根据研究区域不同用地类型的历史趋势以及未来的土地规划设置不同用地类型的稳定程度。CLUE-S 模型中不同用地类型的稳定性可由对土地用途转换规则参数 $ELAS$ 赋以不同的值来表达, 即设计一定的用地转换规则, 主要分为以下 3 种情况:

(1) $ELAS = 1$

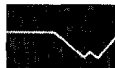
对于一般不会转换为其他用地类型的地类, $ELAS$ 可赋值为 1。例如, 居民点建设用地属于比较稳定的用地类型, 一般情况下不考虑该类土地向其他用地类型的转换。一旦对某用地类型进行了这种设置, 在预测期内将不考虑其增加和减少的可能性。

(2) $ELAS = 0$

对于极易发生用途转换的用地类型, $ELAS$ 可赋值为 0。例如, 比较粗放式经营的耕地, 其发生转换的可能性非常大, 或因荒漠化沦为沙地, 或弃耕后沦为草地, 或被划为居民建设用地。对于类似的用地类型, CLUE-S 模型不对其用途转换作任何限制。

(3) $0 < ELAS < 1$

对于发生用途转换的难易程度介于以上两种极端情况之间的用地类型, $ELAS$ 的赋值介于 0, 1 之间。例如, 园地由于投入较高, 在短期内不易发生转换, 但如果水果价格持续下跌, 使得该用地方式的经济效益持续降低, 而其他用地方式(如商业和工矿城市用地等)却产生较好的经济效益时, 尽



管存在阻力,土地用途还是会在经济利益的驱动下发生转换。

总之,可以通过调整 CLUE-S 模型参数 $ELAS$ 来设置研究区中不同用地类型的稳定程度。参数 $ELAS$ 的值越大,它所对应类型的用地就越稳定,该用地类型土地用途发生转换的概率就越小。另外,参数 $ELAS$ 的设置主要依靠研究者对研究区土地利用变化情况的了解,并可以在模型检验过程中作进一步的调试(Verburg 等,2002;唐华俊等,2004;蔡玉梅等,2004;邓祥征等,2004b)。

1.1.4 动态模拟

动态模拟是在综合分析用地的空间分布概率适宜图、设计用地转移规则和研究初期用地分布现状图的基础上,根据总概率

$$TRPOP_{iu} = P_{iu} + ELAS_u + ITER_u$$

的值,经多次迭代,在整个栅格系统范围内对用地需求进行空间分配的过程。

具体的迭代分配过程如下:①确定栅格系统中被允许参与动态模拟的栅格。保护用地或其他不允许发生土地用途转换的栅格($ELAS = 0$)将不参与下一步的运算。②根据总概率公式计算栅格 i 适合用地类型 u 的总概率。总概率公式中, $ITER_u$ 表示用地类型 u 的迭代变量, $ELAS_u$ 是上一步中设置的土地用途转换规则参数。③对各用地类型赋予相同的迭代变量值,按照每个栅格对不同用地类型分布的总概率从大到小对各栅格的土地利用变化进行初次分配。④比较不同用地类型的初次分配面积和需求面积。若某种用地类型的初次分配面积大于需求面积,就减小其迭代变量 $ITER_u$ 的值;反之,就增大 $ITER_u$ 的值,然后进行土地利用变化的第二次分配。⑤重复第②~④步,直到各土地利用变化的分配面积等于需求面积为止。然后,保存该年的分配图并开始下一年土地利用变化的分配。

1.1.5 模型检验

CLUE-S 模型的检验分为两个部分。首先,根据逻辑斯蒂回归分析的结果,利用 Pontius 等(2001)提出的 ROC 方法可以对驱动因素的解释能力进行检验。若驱动因素对用地分布格局的解释效果较好,则可利用 CLUE-S 模型继续进行空间分配;否则,将无法进行下一步的空间模拟,必须重新选取合理的驱动因素。其次,可以运用 Kappa 指数和至少两期的案例研究地区用