

协同学在可持续土地利用规划中的应用*

程建权 兰运超 Jan Turkstra

(武汉测绘科技大学城市建设学院,武汉市珞喻路129号,430079)

摘要 论述了可持续发展的系统观与协同观、土地利用系统与规划的主要特征及协同学应用于可持续土地利用规划的必要性和可能性,提出了一种面向规划/决策支持的应用框架,分析了GIS与系统分析技术应用于可持续土地利用规划过程的方法与途径,并提出了今后发展的方向。

关键词 协同学;可持续土地利用规划;动态模拟;有序度

分类号 P271; P208

1 可持续发展与协同学

从系统科学角度来看,可持续发展实质上都是系统的协同问题。首先,可持续发展可以看成是一个复杂的大系统,即由发展(人口变化与经济发展)和保护(资源与环境保护)两大子系统组成,前者是目标系统(正系统或阳系统),而后者是约束系统(反系统或阴系统)。由于两子系统间存在着复杂的物质、能量和信息交换(如经济发展必然消耗大量资源,而环境污染反过来又限制发展),从而使可持续发展系统成为一个具有反馈结构的动态系统。在此系统动态发展过程中所表现的各种随机现象、灰色现象、模糊现象、混沌现象等,表明传统的“老三论”(一般系统论、控制论和信息论)已不能完全胜任对此类问题的分析和建模。

作为一种自组织理论(普里高津的耗散结构论、哈肯的协同学和托姆的突变论,统称为自组织理论,又称“新三论”,是研究开放系统从无序到有序,或到更高级有序及其状态稳定性一般规律的学科),协同学更进一步解释和总结了系统从无序到有序的基本原理和机制,它的著名论断“协调导致有序”成功地概括了开放系统中普遍存在的类似现象,即系统在与外界环境有物质、能量和信息交换的开放条件下,通过各子系统之间的非线性相互作用,就能产生各子系统相互合作的协同现象,使系统能够自发地在宏观上产生空间、时间和功能上的有序结构,出现新的稳定状态。这些原理已逐步从自然系统被推广应用到社会经济生态系

统。可持续性即动态有序性,可持续发展实际上就是从时间和空间上协调相互关联又相互冲突的子系统(人口、资源、环境和发展),以达到系统整体动态有序的过程,即有序是目标,协调是手段。

2 土地利用系统与规划

土地利用系统是由一定的土地单元(即土地子系统)和一定的土地利用方式构成的复合系统。其中作为载体的土地子系统本身是一个自然生态系统,但它并不是一个孤立封闭的静态系统。土地子系统必然在时间和空间上和社会经济系统相互作用、相互影响,即存在不可分割的物质、能量和信息交换。尤其是城市土地系统,承受着更为强烈的社会经济活动,由此而产生各种错综复杂的土地利用方式。因此,在土地利用系统中,可看成土地子系统属性的土地利用方式实际上是土地子系统和社会经济环境系统相互作用的产物,土地利用方式是否合理无疑将影响发展的可持续性。

土地利用规划和可持续发展间的相互关系可引用“熵”来定性地描述和解释。在系统科学领域内,熵是指系统无序、混乱的程度。假设用 d_s 表示可持续发展系统的总熵; d_n 为其系统内部产生的熵,即人口、资源、环境和经济发展子系统间非线性相互作用产生的正熵,是致使系统无序、混乱的内部矛盾; d_m 为系统输入的熵,即通过土地管理和土地利用规划及技术进步等产生的熵,可正可负。只有科学合理的土地管理和土地利用规划才能产生负熵; d_b 为系统输出的负熵,如为抵制自

然灾害、环境污染及人类破坏等而消耗的熵。由此则有 $d_s = d_m + d_n + d_i$ 。因此, d_s 完全由 d_m 、 d_n 和 d_i 的相对大小确定。仅当 $d_m < 0$ 且 $d_m + d_n$ 的绝对值大于 d_i 时, $d_s < 0$, 即科学合理的土地利用规划是保证可持续发展系统逐渐走向有序或更高级有序的重要手段。这种以提高可持续发展系统有序度或者说负熵为目标的土地利用规划称之为可持续土地利用规划。

3 协同学应用框架

根据协同学原理, 作为从空间上动态地优化配置各种土地利用活动的手段, 可持续的土地利用规划应寻找一种最优的协调方法, 以达到社会、经济和环境效益的综合平衡。这种协调不仅指系统内部, 更包括系统本身与外部环境在时间和空间上的协调。在时间上的协调是指社会经济发展目标系统对土地利用方式的需求在时间上的最佳匹配, 可持续发展系统的有序性用发展的社会、经济和环境综合效益的大小来衡量。这种协调可用模型 (1) 来表示:

$$\max (D) = \int_{t_1}^{t_2} Z(x_1, x_2, x_3, x_4, R, t) dt \quad (1)$$

满足: $Y_1(x_1, x_2, x_3, x_4, R, t) = 0$
 $Y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, R, t) = 0$

模型 (1) 中, x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示社会、经济、环境和资源各子系统的状态变量; R 为它们间的非线性相互作用; Z 函数表示发展的社会、经济和环境综合效益; Y_1, Y_2 分别为环境和资源承载力约束方程。本模型以追求动态整体效益最优为目标, 即时间上的协调。

可持续土地利用规划的另一重点是对用地结构和布局的调整, 即从空间上协调各种不同的土地利用方式, 从空间上协调土地需求和土地供给。这种协调可用模型 (2) 来表示:

$$\max (D) = \iint_{\Omega} Z(x_1, x_2, \dots, x_n, R, x, y) da \quad (2)$$

满足: $A_1(x_1, x_2, \dots, x_n, R, x, y) = 0$
 $A_2(x_1, x_2, \dots, x_n, R, x, y) = 0$

模型 (2) 中, x_1, x_2, \dots, x_n 分别表示各种不同的土地利用方式; x, y 表示对应的空间位置; D 为研究范围; R 为土地利用方式间的空间关系; Z 函数表示空间布局有序度; A_1, A_2 分别为土地需求和土地供给约束方程。本模型以追求最佳的空间布局为目标, 即空间上的协调。

这样, 可持续土地利用规划的过程就转化为

以上两种时空协调模型的建立与模拟。这也是本文所提出应用框架的主要思路。但由于土地利用系统是一种开放的复杂系统, 常用的系统分析方法如线性规划、投入产出分析、回归分析等并不能满足可持续土地利用规划的要求。一方面, 这些方法主要是静态和线性的; 另一方面, 它们主要侧重于结构化的决策问题, 而土地利用规划涉及的却是半结构化或非结构化的决策问题, 且多于空间相关, 通常只有较满意的解, 而非唯一的最优解。

应用协同学原理所建立的模型可包括非线性项, 且根据伺服原理可消去那些阻尼大、衰减快、对系统演化过程无足轻重的快参量, 得到仅包括对系统演化起决定性作用的序参量 (慢参量) 方程, 从而大大简化模型。对序参量的分析也将有助于进一步量化系统的有序度。基于协同学原理的可持续土地利用规划过程可概括为图 1 所示的框架, 其中社会经济发展与土地利用需求协调分析部分对应模型 (1) 的模拟, 而空间动态模拟和有序度建模部分对应模型 (2) 的求解。

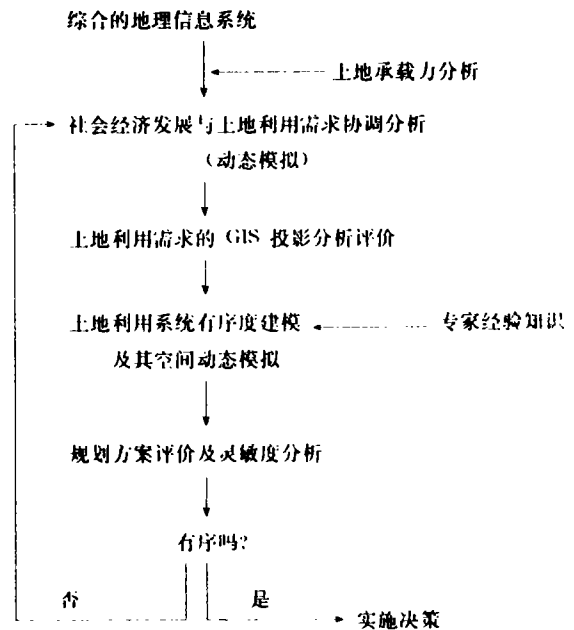


图 1 协同学在可持续土地利用规划中的应用框架
 Fig. 1 Framework on Application of Synergetics to Sustainable Land Use Planning

3.1 综合的地理信息系统

综合的地理信息系统应由多种类型的空间与社会经济时间序列数据构成, 是可持续土地利用规划和模型生成、校正的基础和保障。

非空间数据包括经济数据 (如经济类型、利润、产值、税收、就业、收入等)、社会数据 (如人口与户数、年龄结构、文化程度、公共服务设施等)

和环境生态数据(如水和土壤污染、森林火灾、野生动植物分布等)。

空间数据的数据结构取决于数据收集与精度要求以及研究范围的大小,但栅格数据更利于下列空间分析模型的建立。

3.2 社会经济发展与土地利用需求协调分析

协调分析主要是从时间上动态地协调发展与保护。作为一种政策模拟实验室,系统动力学(system dynamics)可用来动态模拟社会经济发展和对应的土地利用需求,以满足可持续发展的要求。此模型的重点是根据可持续发展的指标体系来设计一个因果关系回路图,以定性表达一定区域内社会经济发展与土地利用需求间复杂的相互影响关系,并转化为下列的微分方程来进行量化:

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_n, z, t)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$\frac{dy_j}{dt} = F_j(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_n, z, t)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

满足: $C_k(X, Y, Z, t) = 0, k = 1, 2, \dots, s$

其中, $x_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 为描述社会发展状态的变量; $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ 表示状态向量; $y_j(t)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) 为描述土地利用需求的状态变量; $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ 表示状态向量; Z 为影响 X 与 Y 状态的控制参数向量,如人口出生率、区域发展政策等; t 为独立的时间变量; 函数 F_i 与 F_j 反映了土地利用系统内部复杂的非线性相互关系,通常为非线性函数。和自然过程如激光系统相比较, F_i 与 F_j 是非确定性的,受多种主客观因素影响,较难确定,一般可由时间序列数据用表函数来推导。函数 C 表示土地承载力约束条件,可由 ECCO 承载力评价得到。以上的动力学方程式主要应用于:

1) 基于 DYNAMO 软件(系统动力学配套软件),模拟计算土地利用需求量即向量 Y ,并满足可持续发展目标,向量 Y 的模型值将作为下一步模型(即 GIS 投影分析)的输入值。

2) 根据协同学建模原理,通过绝热消去法确定最少量的慢序参量,即系统宏观状态有序度的主要参数,这些序参量将支配和影响发展的可持续性,得到的结论将有助于进一步的定性分析。

3.3 土地利用需求的 GIS 投影分析

为从空间上动态地协调这些子系统,以上的土地利用需求模型还必须借助 GIS 技术投影到

土地子系统,即将不同类型的土地需求 y_j 进行空间定位。可由 GIS 适宜性评价来完成,评价所涉及的指标体系不仅包括自然环境属性,也应包括社会经济属性。如针对城市用地需求适宜性评价,可选的指标应包括地质、区位条件、交通和水资源接近性、人口与经济规模、环境影响等。GIS 主要作为确定相互冲突区域的空间分析工具,多指标综合评价技术可作为系统评价的手段。如被广泛应用的模糊综合评价方法、AHP 方法已证明可较好地确定用地需求的等级划分,等级划分标准的确定应满足土地利用的总需求。

3.4 空间动态模拟和布局有序度建模

主要从空间上模拟土地利用结构,最优地将土地利用适宜性与土地利用需求相匹配,以提高土地利用系统宏观状态的有序度。对应不同的用地需求 y_j ,由 GIS 投影分析得到对应的专题图层 $A_j(x, y)$ (表示 (x, y) 处对应的适宜性等级)。所有专题图层的空间叠加即得到新的综合图层,用 $B(x, y, j)$ 表示 (x, y) 处在第 j 类用地需求对应的适宜性等级。则 $B(x, y, j)$ 随 x, y, j 变化所得的空间组合将构成大量的规划待选方案。

空间动态模拟的目的是要确定最优的空间组合,以取得最为满意的系统有序度,并满足用地总量的需求。这里引用文献[5]提出的公式来描述系统的有序度:

$$R = 1 - H/H_m$$

R 为系统的有序度, $0 \leq R \leq 1$; H_m 表示系统的最大熵,是由空间组合产生的待选方案数目确定的常数; H 对应微观状态的不确定性,与微观状态的概率相关,受多种因素综合影响,如自然因素、社会经济因素、空间关系以及政策等主客观因素。显然 H 是确定系统有序度的关键变量。根据协同学原理,土地利用布局规划实质上就是提高系统有序度 R 或者说不断降低参数 H 。空间动态模拟主要是从自然生态和空间关系方面逐步排除 H 的不确定性,降低参数 H 。

目前,正在国外迅速发展的一种 GIS 空间分析技术 cellular automata (CA) 不失为此种有效的空间动态模拟工具。它是基于一定的转换规则(包括局部和全局规则)来确定相互邻近的栅格像元的空间行为,在本文中可用来动态模拟每一种待选方案的空间效果,以达到逐步减小 H 的目的。如在大学校园规划中,提高道路与公共设施接近性便构成了空间模拟的主要目标。但由于 H 的完全量化是一个非常复杂的过程,受主客观因素、空间与非空间因素的综合影响,因此需综合应用

GIS技术、系统分析方法和知识工程原理。GIS侧重于空间关系的量化;专家系统侧重于主观经验的表达;系统分析侧重于社会经济成份的量化。概括起来,“从定性到定量的综合集成方法”是目前辅助有序度建模的理想途径。

3.5 规划方案评价

由空间动态模拟得到的数目较小的空间布局优化/满意方案,其合理性和灵敏性还有待于进一步分析,以达到可持续发展的最终目标。这部分可应用多目标决策技术如层次分析法、Delphi法、模糊神经网络等实现,GIS可作为空间查询和灵敏度检验的可视化工具,其中专家意见的收集与处理至关重要。若评价结果不令人满意,应返回到社会经济发展与土地利用需求协调分析模块,整个规划、决策过程是一个动态反馈回路。

4 结论

本文提出的框架主要侧重于可持续土地利用规划的过程,这个过程可应用协同学原理、系统分析方法和GIS技术来辅助决策。当然,要将此思路付诸于实践,还有待于下列问题的进一步解决与完善:

1) 在系统建模,尤其是在有序度建模方面,协同学本身还需进一步发展,有序度的量化还没有完全解决。“从定性到定量的综合集成方法”是目前唯一可行的方法。系统动态学、多指标评价与

多目标决策以及GIS技术的集成可望支持可持续土地利用规划。

2) 为提高规划过程的科学性和可持续性,基于GIS、模型库与知识库的群组规划/决策支持系统应进一步研究与实践。

3) 可持续发展虽已受到全球的关注,但根据协同学原理,真正的可持续性应取决于不同国家间的完全合作、相关理论与技术的进一步发展、公众参与及经济发展与环境意识等。

参 考 文 献

- 1 Haken H. An Introduction to Synergetics. Springer-Verlag, 1977
- 2 Haken H. Advanced Synergetics. Springer-Verlag, 1983
- 3 袁旭梅. 复合系统的协调与可持续发展. 中国人口资源与环境, 1998, 8(2): 51~55
- 4 任光耀. 可持续发展动态过程中的协同性. 大自然探索, 1997, 16(60): 15~19
- 5 李习彬. 熵——信息理论与系统工程方法的有效性分析. 系统工程理论与实践, 1994(2)
- 6 宇振荣. 土地利用系统规划和设计方法探讨. 自然资源学报, 1994, 9(2): 176~183
- 7 Wu F. Simland and a Prototype to Simulate Land Conversion Through the Integrated GIS and CA with AHP-Derived Transition Rules. Int. J. Geographical Information Science, 1998, 12(1): 63~82

Application of Synergetics to Sustainable Land Use Planning

Cheng Jianquan Lan Yunchao Jan Turkstra

(School of Urban Study, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract In essence, the purpose of sustainable development (SD) is to coordinate the different sub-systems spatially and dynamically. First, the systematic and synergetic viewpoints of sustainable development are introduced. Second, the main features of land use system and planning are explained. Then, the paper argues the possibility of application of synergetics to sustainable land use planning, and presents an applicable framework in support for sustainable land use planning/decision making. And then a feasible method integrating GIS and system analysis techniques in the process of sustainable planning is analyzed in detail. The possible research directions are suggested as well.

Key words synergetics; sustainable land use planning; dynamic simulation; order degree