

中国土地利用程度的区域分异规律模拟研究^{*}

吴承祯 洪 伟

(福建林学院资源与环境学系 福建南平 353001)

提 要 在前人提出的土地利用程度综合指数计算方法和指标体系基础上,应用地统计学方法模拟了我国土地利用程度的区域分异规律。结果表明,我国土地利用程度与经度和海拔之间存在一定的经向区域分异规律,地统计学“Krige”内插技术模拟的回归优度达 99.99%,明显优于二元线性回归模型的模拟效果,能更真实反映我国土地利用程度的区域分异规律,从而为我国土地利用程度时空分布的模拟与预测提供可靠方法。

关键词 土地利用 区域分异 地统计学

分类号 《中图法》F301.2; F301.24 **文献标识码** A

随着全球环境变化研究的深入,土地利用和土地覆盖变化的研究也引起全人类的关注^[1,2],我国土地利用和土地覆盖变化研究也取得了一定成果^[3~5]。随着计算机技术的不断提高,环境土地学学科的不断发展和,区域分异规律分析正在受到越来越高的重视。本文试图将地统计学方法应用于土地覆盖变化研究,以丰富和发展我国土地利用程度模拟与预测的新方法。

中国土地利用程度的变化受自然环境因素主要是水文、温度、地质、地貌、土壤、光照等因子的影响。而所有这些自然环境因素又受到中国独特的地形极地特征的影响,从而决定了中国土地利用程度的总体空间变化格局^[4]。为此,庄大方等^[4]给出“中国土地利用的极地模式”,并建立了中国土地利用程度的经度、高程模型,从而建立起中国土地利用程度的环境因素分异模型,为模拟与预测我国土地利用程度变化提供了理论方法与途径。但是庄大方等^[4]所建立的二元回归区域分异模型模拟效果不理想,有必要寻求新方法以描述我国土地利用程度的区域分异规律,为我国土地持续发展和环境持续发展服务。

本研究以我国土地利用程度为研究对象,探讨地统计学方法在土地利用与土地覆盖变化区域分异规律模拟研究中的应用。

1 地统计学方法

地统计学(Geostatistics,又称为地质统计学)^[6~11]是近 30 年多年来创立起来的一门新兴边缘学科,由南非矿山地质工程师 D. G. Krige 于 1951 年提出,法国著名地质学家 G. Matheron 于 1962 年创立的。地统计学有一套完整的理论体系^[6~11],是在用经典统计学研究地学问题时遇到矛盾的过程中产生与发展起来的。应用经典统计学方法时存在如下缺点^[10]: 1. 不考虑样品的空间分布; 2. 研究的对象必须是纯随机变量; 3. 研究的变量可以无限次重复实验或大量观测; 4. 样品间具有独立性。而地学变量具有空间分布特征,既有随机性又有结构性,取样后不可能再次取到同样的样品,样品间具有空间相关性等。以上 4 点对于地学变量而言均不满足。地统计学在克服以上缺点的同时,还具有如下优点:充分利用各种信息,包括空间位置信息。插值方法是一种无偏的最优估值方法,可以给出插值精度等。

^{*} 基金项目:福建省自然科学基金资助项目(编号:F991)。

收稿日期:1998-12-30; 改回日期:1999-02-03。

1.1 Matheron 区域变量理论

在土地利用程度的区域分异规律研究中,可以把在一定位置 $Z(x)$ 上的土地利用程度指数 Z 设想成是一个点上的土地利用程度指数 Z 。对于任何类似的分析目的而言,那个点的位置误差都是相对比较小的而且是可以忽略不计的。从数学上来说,土地是一个多变量或矢量域。有些变量可以在连续尺度上测定,而另一些变量则可能是离散的。但从原则上来说,确定任何位置上的(或任意区域内的)土地利用程度是可能的。实际的土地利用现状调查,由于工作量和经费关系,都只有在一定量的离散点上观测土地利用程度。因此,在土地利用现状调查基础上,应建立土地利用程度的区域分异规律模型,以估计和判断没有观察和调查到的区域的土地利用程度。

一个区域化变量 $Z(x)$ 是一个随机变量,它是表征某区域内 x 位置上记录的不同的 Z 值,可以把它视为对区域内某一固定位置 x 上的一个随机变量 Z 的特别认识。对一个区域化变量的认识是由系统变异组成部分 $m(x)$ 和随机变异组成部分 $e(x)$ 两个部分组成。可用方程 $Z(x) = m(x) + e(x)$ 表达。如果整个区域上的系统变异组成部分都是相同的话,也就是说,如果随机函数 $Z(x)$ 的期望值在整个区域的所有位置上都是相同的话, $Z(x)$ 就不再随位置 x 而变化了。因此,当 $E[Z(x)] = m$ 和 $E[Z(x) - Z(x+h)] = 0$ 时,可以把它说成是一级稳定。式中 h 为样本的位置间距矢量。二级稳定要求对所有的矢量 h 来说,增量 $Z(x) - Z(x+h)$ 的方差在区域内是有限的,而且与位置无关

$$VAR[Z(x) - Z(x+h)] = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 = 2r(h) \quad (1)$$

式中 方差 $2r(h)$ 的 $1/2$ 叫半方差。 $r(h)$ 只依赖于点与点之间的距离(h)矢量。因此,在稳定条件下,土地利用程度变化的模型为

$$Z(x) = m + e(x) \quad (2)$$

1.2 土地利用的空间依赖性

实际上可以预测在相同部位 x 上的 Z 值总是比偏离距离 h (即 $x+h$) 的那些部位上的 Z 值相似,而且,当 h 增加时,各之间的差异也随之增加。这种现象说明了这些值在距离上或空间上的依赖性。空间依赖性是在存在于地理变化中的一个事实。区域化变量总是呈现出空间上的依赖性。这种空间依赖性可以用半方差与偏离间距相对应的相关曲线图定量化。这种相关曲线图称为半方差图。

1.3 半方差图

空间依赖性的结构分析可以用半方差图定量化。半方差图描述了随机函数 Z 的空间依赖组成部分。将给定偏离间距为 h 的半方差估计为所有由间距 h 隔开的观察值之间的方差平均值

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

式中有 $N(h)$ 对观察值。半方差图是地统计学的基础,它的精确估计是成功的空间内插和栅格地图制作的关键。

1.4 空间内插

在区域化变量理论的基础上,产生了一组求局部位位置移动加权平均值形式的内插法,最终绘制出区域内土地利用程度分布图。其中不同形式的 Kriging 内插法是目前地统计学应用最广泛的内插法。

利用最简单的点 Kriging 内插去估计任意点 X_0 处的土地利用程度指数的算法如下

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

式中 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 为权重,它考虑了半方差图中表示的空间依赖性。 Z 值的估计应该是无偏的,因为 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, 估计偏差是最小的,并可以由下列方程求出

$$\sigma_d^2 = b^T \begin{vmatrix} \lambda \\ \mu \end{vmatrix} \quad (4)$$

式中 b 是被估计点与其它点之间的半方差矩阵, μ 为拉格朗日参数。

2 资料来源

为了便于与前人研究方法 & 结果进行比较, 本文引用文献[4] 的土地利用程度指数、经度和海拔高程数据(表 1)。其中土地利用程度指数按下式计算^[4]

$$La = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i C_i \quad La \in [100, 400] \quad (5)$$

式中 La 为土地利用程度指数; A_i 为第 i 级的土地利用程度分级指数; C_i 为第 i 级土地利用程度分级面积百分比。土地利用程度分级及赋值方法详见文献[4]。

由于数据的非正态分布会使半方差曲线产生比例效应, 比例效应的存在会使实验半方差曲线产生畸变, 增大估计误差, 半方差曲线点的波动增大, 甚至会掩盖其固有的结构, 因此应该消除比例效应^[10]。由于土地利用程度数据基本上服从对数正态分布, 上述数据经对数变换后参加计算, 从而消除比例效应。

3 结果与分析

3.1 半方差图

根据(3)式计算在空间上具有滞后 h 的观测值的样本半方差, 在计算中可取 h 的某一范围内 $r(h)$ 的平均半方差, 然后将 $(h, r(h))$ 点对点在坐标上绘制散点图, 并用方差曲线拟合其关系。

由于半方差图的拟合模型的可靠性直接决定空间内插的精度, 笔者根据实际研究曾提出一个新的拟合模型——多项式拟合模型 $r(h) = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + \dots$, 效果很理想^[12~14]。故本文以多项式模型作为半方差拟合模型, 即

$$\begin{cases} r(h) = 103.7934 - 69.32633h + 11.35444h^2 & (h > 0) \\ r(h) = 0 & (h = 0) \end{cases} \quad (6)$$

3.2 土地利用程度的区域分异规律模拟

利用(9)式计算 20 个样点土地利用程度测定值间对数变换后半方差 $r(h)$ 值, 把 $r(h)$ 值代入(4)式, 求出各样点权重系数 λ_i , 用(3)对 20 个样点土地利用程度指数进行空间内插, 内插值及误差值列于表 2。并以回归离差平方和 U 占总离差平方和 T 的比值 $C = U / T \times 100\%$ 来衡量模拟精度, 称为回归优度^[13]。

$$\begin{aligned} \text{由 } T &= \sum_{i=1}^n (Z_i - Z)^2 = 40536.20 \\ U &= T - Q = 40534.55, \end{aligned}$$

所以回归优度 $C = 99.996\%$, 相关指数为 0.99998。而用二元回归模型研究土地利用程度区域分异规律, 其回归优度仅为 80.39%, 复相关系数为 0.8966^[4]。本文方法回归优度比二元回归模型提高了 19.61 个百分点。从表 2 还可以看出, 本文所提出的方法模拟精度比用二元回归模型明显精度更高, 达 99.37%, 提高了 5.93 个百分点, 说明在模拟分析我国土地利用程度的区域分异规律时, Kriging 方法明显

表 1 样点的土地利用程度指数、经度和海拔高度数据

Table 1 The Longitude, Altitude and indices of land use degree of the sample sites

| 样方号 | 经度 (°) | 海拔 (m) | 土地利用程度指数(La) |
|-----|--------|--------|--------------|
| 1 | 121 | 50 | 328 |
| 2 | 120 | 50 | 312 |
| 3 | 119 | 50 | 320 |
| 4 | 118 | 100 | 278 |
| 5 | 117 | 200 | 284 |
| 6 | 116 | 500 | 270 |
| 7 | 115 | 200 | 278 |
| 8 | 114 | 200 | 277 |
| 9 | 113 | 50 | 312 |
| 10 | 112 | 200 | 307 |
| 11 | 111 | 1500 | 212 |
| 12 | 110 | 1500 | 218 |
| 13 | 109 | 1000 | 228 |
| 14 | 108 | 750 | 279 |
| 15 | 107 | 500 | 304 |
| 16 | 106 | 500 | 282 |
| 17 | 105 | 750 | 251 |
| 18 | 104 | 1000 | 205 |
| 19 | 103 | 2500 | 184 |
| 20 | 102 | 3000 | 177 |

优于二元回归模型,它反映出我国土地利用程度区域分异规律,且 Kriging 方法可以应用于分析我国土地利用程度的区域分异规律,并能实现我国土地利用程度的空间内插,从而绘制出土地利用程度分布图(有关研究将另文报道),为我国土地利用程度变化的模拟与预测提供了新的方法、为我国土地的持续经营与开发利用提供理论基础。

4 讨 论

本文在前人提出的土地利用程度综合指数计算方法和指数体系基础上,以我国 20 个样点的土地利用程度指数为测量值,应用地统计学方法研究模拟了我国土地利用程度的区域分异规律,回归优度达 99.99%,比前人用二元回归模型分析的回归优度提高了 19.6 个百分点^[4]。说明 Kriging 方法能客观反映我国土地利用程度的区域分异规律,能全面反映我国现阶段土地利用程度和主要环境要素之间的相互关系,为驱动我国土地利用程度变化的环境因子的综合模型研究提供了有益借鉴,为研究我国土地利用程度区域分异规律、研究我国土地利用程度预测、模拟与控制提供了新方法和新手段。根据所计算得到的权重系数及半方差图,可以应用该方法实现未知点的土地利用程度空间内插,从而绘制我国土地利用程度分布图,全面展现我国土地利用程度的分布规律,为我国土地综合与持续开发、利用和保护提供理论基础。

本文在研究我国土地利用程度的区域分异规律时,是把经度和海拔高度作为一个二维空间坐标,但由于影响土地利用程度变化的因素包括气候、地质、地貌、水文等多项因子,因此可以采用主成分分析方法把所有这些材料和数据浓缩为一个二维或三维空间坐标,重新研究分析我国土地利用程度的区域分异规律;还可以研究模拟分析土地利用程度的微观分异规律,如城乡土地利用程度的区域分异规律、山地土地利用程度的区域分异规律,从而推动我国土地利用和土地覆盖变化的宏观研究和微观研究的发展。

Kriging 方法具体计算比较复杂,但计算机的应用使得 Kriging 方法操作简单、方便。本文运行软件由笔者自编,主要功能有:半方差图计算、半方差图模型的计算和拟合过程、Kriging 空间内插、空间分布图绘制等。我国土地利用程度分布图绘制将另文报道。

参 考 文 献

- [1] Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report, 1996(35), HDP Report, 1996, (7): 8
- [2] Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report, 1996(35), HDP Report, 1996, (7): 53
- [3] 吴传均,郭焕成主编.中国土地利用.北京:科学出版社,1994:92
- [4] 庄大方,刘纪远.中国土地利用程度的区域分异模型研究.自然资源学报,1997,12(2):105~111
- [5] 高志强,刘纪远,庄大方.我国耕地面积重心及耕地生态背景质量的动态变化.自然资源学报,1998,13(1):92~96
- [6] Clark, I., *Practical Geostatistics*. London: Applied Science publishers, 1979

表 2 土地利用程度区域分异模型比较

Table 2 Comparison about regional differentiation of land use degree

| 样点号 | 土地利用程度 | 本文方法 | | 文献[4]方法 | |
|-----|--------|-------|---------|---------|---------|
| | | 理论值 | 相对误差(%) | 理论值 | 相对误差(%) |
| 1 | 328 | 327.0 | 0.30 | 318.2 | 2.99 |
| 2 | 312 | 310.3 | 0.54 | 320.7 | 2.79 |
| 3 | 320 | 320.3 | 0.09 | 323.2 | 1.00 |
| 5 | 284 | 288.2 | 1.48 | 272.4 | 4.08 |
| 6 | 270 | 267.3 | 1.00 | 237.9 | 11.89 |
| 7 | 278 | 280.1 | 0.76 | 277.3 | 0.25 |
| 8 | 277 | 278.5 | 0.54 | 279.8 | 1.01 |
| 9 | 312 | 311.8 | 0.06 | 338.1 | 8.43 |
| 10 | 307 | 306.9 | 0.03 | 284.8 | 7.23 |
| 11 | 212 | 215.4 | 1.60 | 206.1 | 2.78 |
| 12 | 218 | 221.3 | 1.24 | 208.6 | 4.31 |
| 13 | 228 | 228.3 | 0.13 | 227.4 | 0.26 |
| 14 | 279 | 283.3 | 1.54 | 241.5 | 13.44 |
| 15 | 304 | 307.3 | 1.09 | 260.3 | 14.38 |
| 16 | 282 | 282.5 | 0.18 | 262.8 | 6.81 |
| 17 | 251 | 250.7 | 0.12 | 248.9 | 0.40 |
| 18 | 205 | 203.4 | 0.78 | 239.8 | 16.98 |
| 19 | 184 | 183.5 | 0.27 | 205.4 | 11.63 |
| 20 | 177 | 178.1 | 0.62 | 200.6 | 13.33 |
| 精度 | — | — | 99.37 | — | 93.44 |

- [7] David, M. . *Geostatistics Ore Reserve Estimation*. Amsterdam; Elsevier, 1984
- [8] Isaaks, E.H., Srivastava, R. M. m *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York; Oxford University Press, Inc. 1989
- [9] Journel, A. G., Huijbregts, *Mining Geostatistics*. London; Academic Press, 1978
- [10] 王仁铎, 胡光道. 线性地质统计学. 北京: 地质出版社, 1988
- [11] Matheron, The theory of regionalized variables and its applications. Cahiers du centre de morphologie mathematics Fontainebleau. 1971, 5, France
- [12] 洪伟, 吴承祯. Krigé 方法在我国降雨侵蚀力地理分布规律研究中的应用. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 91~96
- [13] 吴承祯, 洪伟. 杉木种子涩籽空间变异性. 应用与环境生物学报, 1998, 4(1): 15~19
- [14] 洪伟, 吴承祯. 侧柏种源地理变异趋势规律研究. 东北林业大学学报, 1997, 25(1): 1~4
- [15] 王学仁. 地质数据的多变量统计分析. 北京: 科学技术出版社, 1980

第一作者简介 吴承祯: (1970—), 男, 在职博士, 副教授。主要从事数量生态、环境系统工程等领域教学与科研工作, 获省部级科技进步二三等奖 4 项, 在应用与环境生物学报、自然资源学报、土壤侵蚀与水土保持学报、植物生态学报、林业科学、武汉植物学研究等刊物上发表学术论文 70 余篇。通讯地址: 福建南平福建林学院资环系 邮编: 353001, 电话: (0599)8502036。

THE REGIONAL DIFFERENTIATION OF LAND USE IN CHINA

WU Cheng-zhen HONG Wei

(Fujian Forestry College, Nanping 353001)

Abstract The modeling and predicting of land use is an important content of sustainable management of land, so we must strengthen the theoretic study of the law of regional differentiation of land use in China in order to develop a perfected theoretic method and ways for modeling and predicting of land use degree. Based on the method for calculating the comprehensive index of land use degree and index system presented by forefathers, this paper studied the law of regional differentiation of land use degree in China by using geostatistics method. The results show that there was a significant law of regional differentiation between land use degree and longitude and elevation of environmental factors; that the simulating precision of "Krigé" spatial interpolation method was 99.99% which was preferable to the two-variable linear model, the method could reflect the law of regional differentiation of land use degree further; and the method could be a powerful tool for modeling and predicting spatial distribution of land use

Key words land use degree; regional differentiation; geostatistics method