

夜间灯光遥感数据的 GDP 空间化处理方法

韩向娣^{1,2}, 周艺^{1*}, 王世新¹, 刘瑞^{1,2}, 姚尧^{1,2}

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 随着夜间灯光遥感数据的应用日渐成熟和资源环境研究领域, 对空间型社会经济数据的需求增加, 利用相关分析和回归分析的方法, 首次定量探讨夜间灯光数据与统计型的社会经济数据的空间关系。为提高模型精度, 按照我国省级行政边界分区建模, 分析全国县级的地区生产总值、第一产业、第二产业、第三产业分别与夜间灯光指数的空间相关关系, 最终建立全国的 1km GDP 密度图。结果表明, 全国范围的夜间灯光数据与第一产业的相关性不明显, 相关系数 0.554, 模型拟合效果差, R^2 为 0.306; 夜间灯光数据与地区生产总值、第二产业、第三产业均有明显的对数线性关系, 尤其是与第二产业和第三产业之和, 相关系数为 0.824, R^2 为 0.679。利用分区模型估算, 生成的 GDP 密度图能较完整地反映全国社会经济分布详况, 以及宏观分布特征。

关键词: 夜间灯光数据; GDP; 空间模拟; 回归分析

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00128

1 引言

随着全球变化过程研究的深化, 人口、经济等人文数据对于人与环境交互作用研究的重要性被广泛认知^[1]。然而长期以来, 人文数据主要以行政单元为主, 自然地理数据主要以自然单元为主, 空间分析单元不统一使人与环境交互作用分析变得困难^[2], 成为阻碍全球变化研究进展的重要因素之一^[3]。因此, 迫切需要一个高分辨率的基础地理单元, 将人文数据与自然数据转化到一个方便操作、分析的数据平台。人文数据空间化就是最好的解决方法之一, 即将统计型人文数据展布到一定尺寸的地理格网上, 从而构建较高分辨率的人文空间数据库, 便于与生态环境背景数据等自然要素数据联合应用, 为全球变化的区域模型建立和可持续发展研究服务^[4]。因此, 在资源环境领域, 标准化的社会经济空间数据库对于人与环境交互作用及全球变化过程研究具有重要的科学价值。

GDP 是社会经济发展、区域规划和资源环境保护的重要指标之一。与 GDP 统计数据相比, 空间化后的 GDP 密度值具有几点优势: (1) GDP 公里格

网的密度值能够反映统计区域内部的 GDP 差异, 更能反映其区域空间分布特征; (2) 具有空间信息的 GDP 公里格网的密度值利用空间分析功能具有更多的应用价值, 例如, 某地区发生了地震灾害, 要及时地公布受灾地区的社会经济损失评估, 就可以利用空间分析计算出结果; (3) GDP 公里格网的密度值不受行政区域变更的影响, 有利于长期的持续研究。

近年来, 国内外专家对社会经济空间化开展了研究。刘红辉等在我国经济社会的区域差异的综合分析基础上, 通过分产业 GDP 与土地利用类型的空间关联性, 分区建立 1995 年县级 GDP 和土地利用格局的空间关联度模型库, 实现在 1km 格网的社会经济数据的空间定量模拟^[5]。易玲等利用人口密度和单位面积的 GDP 值之间明显的比例关系, 设计出按照人口对 GDP 进行地理分配的空间化模型, 与基于土地利用数据建立的模型进行了综合比较^[6]。另外, 黄莹等根据分县控制、分产业建模的思路, 对第一产业采用面积权重的方法, 第二产业建立基于道路的反距离加权模型, 第三产业建立多中心的距离衰减加幂指数模型, 最后, 综合三

收稿日期: 2011-05-30; **修回日期:** 2011-12-09.

基金项目: 国家科技支撑计划项目——主体功能区动态监测评价系统研究(2008BAH31B03)。

作者简介: 韩向娣(1986-), 女, 中国科学院遥感应用研究所, 硕士研究生。主要研究社会经济数据在遥感中的应用。

E-mail: laohan198631@163.com

*** 通讯作者:** 周艺(1965-), 女, 研究员, 博导。长期从事城市与环境遥感应用研究。E-mail: zhouyi@irsa.ac.cn

个产业对天山北坡和新疆绿洲地区进行了 GDP 的空间化模拟^[7-8]。从国内各类社会经济空间化的研究中可知要将 GDP 分产业分别建模,才能获得高精度的模型,完成区域内社会经济空间化。对某省市等较小尺度的地区,社会经济空间化的影响因子包括人口、道路及地区中心等,研究模型较复杂,精度较高,但一般适用性不强。对全国较大尺度的社会经济空间化的研究数据,一般采用遥感图像提取土地利用数据,该数据需经过遥感影像预处理、人机交互判读、专家经验和实地验证考察等步骤,工作量大,过程繁琐,且获取成本较高,故获取周期较长,实效性不强。

Elvidge 等人^[9]通过对美国、巴西等 21 个国家的数据分析,研究美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)线性扫描业务系统(Operational Linescan System, OLS)获得的夜间灯光面积与 GDP 等之间的关系,建立了它们之间的 log-log 模型, R^2 均达到 0.85 以上,结果证明可以通过夜间灯光数据较好地估算 GDP 等多项社会经济数据。2001 年,Elvidge 等人^[10]进一步收集了占全球人口 99% 的 200 多个经济发展水平各不相同的国家的国家的数据,采用 1994 - 1995 年间 6 个月的 DMSP/OLS 影像,以(灯光面积、GDP)等点对为基础分别绘制散点图,观察散点分布特征,结果显示灯光面积与 GDP 等指标之间密切相关,且存在较强的线性关系。Ghosh 等^[11]通过分析夜间灯光影像数据和美国的纠正后官方经济数据之间的空间关系建立了回归模型,利用该模型成功估计出美国、墨西哥各州的实际经济情况,发现该方法可用于官方发布的经济情况的核对工作。

如今,美国空军和 NOAA 在国家地理数据中心(<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/download.html>)发布了一系列 DMSP 的产品(包括全球 GDP 密度估计,其成果采用 Ghosh. T 等人的研究方法生成^[12])。研究区包括中国、印度和墨西哥的次国家级行政区域,美国和世界其他一些国家的国家级的区域。通过建立回归模型来校正灯光总和与经济活动衡量数据之间的关系,获取回归系数,再利用模型进行估算全球 GDP 密度,结果为具有空间分布信息的 1 km^2 全球经济密度分布图。

上述研究主要以 DMSP/OLS 数据,尤其是其衍生的灯光面积数据,采用相关分析和回归分析的

方法,来初步估计大尺度的社会经济分布状况和特征。结果表明,灯光影像信息与社会经济因子之间显著相关,灯光影像已成为估算社会经济、监测生态环境的良好数据源。此外,目前研究着重于 GDP 产值与灯光面积指数间的关系,如果在估算模型中加入灯光强度因子,将灯光强度与灯光面积指数结合起来,可提高其模型的估计精度。

夜间灯光数据具有空间信息和强度变化信息,较适合于大尺度范围的检测研究,利用灯光数据的灯光面积信息和强度变化信息,可以反映较大范围的 GDP 的密度差异。本研究使用官方网站上免费下载的夜间灯光数据中的稳定灯光值部分,通过构建不同的灯光指数,利用相关分析和回归分析的方法,探索灯光指数与社会经济数据之间的空间相关关系。考虑到中国整个地区的 GDP 分布的复杂性,根据社会经济区域差异进行分区,探索灯光指数与社会经济数据在不同区域下的相关性和回归的拟合度,建立 GDP 密度模型,利用遥感和 GIS 相结合的技术,最终得到全国 GDP 密度分布图。结果能够直观地显示我国社会经济的宏观发展和分布,为将来经济策略和发展路线的绘制提供一定依据。本文的研究重点是探索夜间灯光数据与社会经济数据之间的空间相关关系,从而扩展夜间灯光数据在社会经济空间化方面的应用,同时也拓展了遥感技术在资源环境领域更广泛的应用。

2 研究数据

2.1 DMSP/OLS 数据

夜间灯光信息是 DMSP/OLS 获得的。卫星以一天 14 轨的速度飞行,每一个 OLS 传感器每天都能获取覆盖全球的黑夜和白天的图像。OLS 传感器在夜间工作时,对可见、近红外光高度敏感,其量级是普通传感器的 4 倍^[13],高增益性能使 OLS 传感器能探测城镇灯光、火光、渔船灯光等发出的电磁波,因此,逐渐被应用于检测城市的夜间灯光,对反映夜间人类活动独具特色。

DMSP/OLS 数据来源于 National Geophysical Data center (NGDC) ([http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/download V4composites.html](http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/download/V4composites.html)),2005 年的夜间灯光数据 Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series,包括三种年平均数据:(1) 平均观察值(Average Visible),(2) 稳定灯光值(Stable

Lights), (3)能观察的无云次数(Cloud Free Coverages), 这些数据已经过辐射定标和重采样, 均为无云数据。数据产品的每个栅格表示 30 弧度, 经纬度范围为 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ} \text{E}$, $-65^{\circ} \sim 75^{\circ} \text{N}$ 。由于 GDP 建模需要排除偶然灯光噪声, 因此, 本文中使用的数据为其中的稳定灯光值(Stable Lights)部分。数据原始文件使用 WGS_84 椭球体, 经纬度坐标系。考虑到中国的特点, 为了投影面积变形最小使用, 将经纬度投影转换成 Krasovsky_1940_Albers 投影, 椭球体为 D_Krasovsky_1940。再使用双线性采样方法重采样为 1km 格网栅格大小, 同时以中国地区的矢量文件作为边界裁剪得到中国区夜间灯光数据图。DN 值从 0 - 63, 黑色区域像元 DN 值等于 0, 为背景区域, 表示没有灯光; 白色区域像元 DN 值大于 0, 为灯光区域, 以颜色的深浅表示灯光的强弱, 其中, DN 值等于 63 的像元大部分为饱和像元, 基本上是城市的中心区域。如图 1 所示。

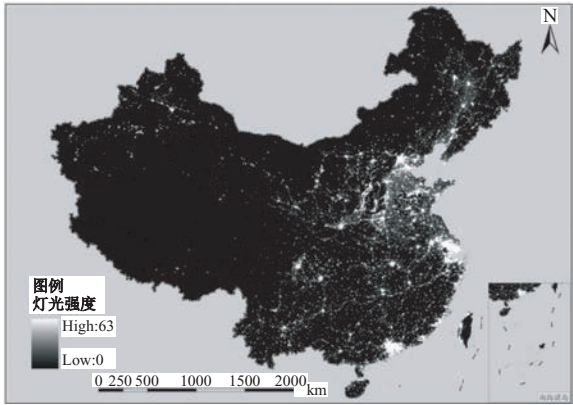


图 1 2005 年中国夜间灯光图

Fig. 1 Night light imagery of China in 2005

2.2 GDP 统计数据

研究中用到 2005 年全国县级的地区生产总值、第一产业、第二产业、第三产业的统计数据来自中国统计出版社出版的《中国区域经济统计年鉴 2006》^[14], 全国城市市辖区的地区生产总值的统计数据来自中国统计出版社出版的《中国城市统计年鉴 2006》^[15]。台湾省、香港特别行政区及澳门特别行政区由于经济统计资料暂缺, 没有纳入本次研究的范围。

3 GDP 空间化的建模处理

3.1 GDP 建模分区方法

由于中国东西发展不平衡, 城乡经济差距较大, 不同区域之间的经济发展的较大的差异引起建模的精度不高。已有的研究中存在的分区方法, 大都是在省级行政边界的基础按各种人文经济地理要素指标划分^[2,5,16], 为提高模型精度和减少分区复杂度, 本研究直接按照我国省级行政区边界划分, 研究区内划分为 31 个区。

3.2 GDP 建模处理流程

3.2.1 夜间灯光参数提取

近年来, 国内外学者先后构建了灯光面积、灯光强度、灯光、非灯光像元个数等多个指数。不同的灯光指数侧重于描述不同的灯光属性, 如灯光面积描述了夜间灯光的空间延展特征, 而灯光强度描述了夜间灯光的空间立体特征。

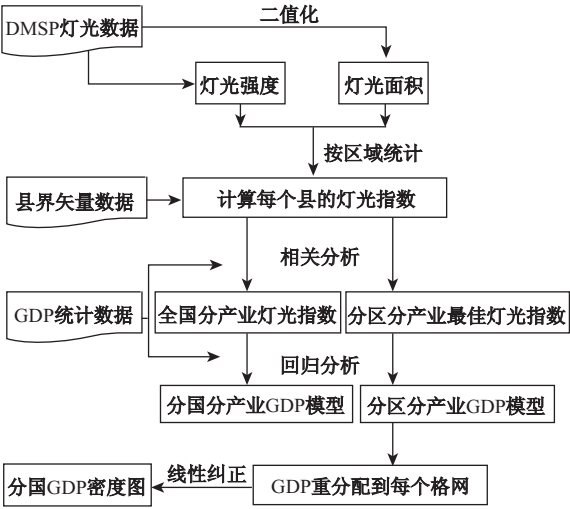


图 2 灯光与 GDP 空间分析流程图

Fig. 2 Flowchart of spatial relationships between DMSP/OLS and GDP

从夜间灯光数据的稳定灯光值(Stable Lights)部分可派生出两种数据: 灯光强度数据和灯光区数据(即灯光强度大于零的区域)。其中灯光强度数据即为稳定灯光强度, 可直接获取。灯光区面积数据需要通过 DMSP 数据的二值化处理, 将灯光强度值大于零的区域定义为灯光面积数据。灯光强度的变化信息可反映城市及城郊的经济差异, 灯光面积则可反映大范围区域的经济分布状况。

3.2.2 县级的灯光指数建立与统计

通过将 2 种灯光参数数据与全国县级边界矢量数据的叠加,以县级代码作为分类项,分别计算灯光强度、灯光区面积和区域总面积在各个县上的值,生成每个县的 2 个参数(I' , S')。其中 I' 代表灯光强度, S' 代表灯光区面积。根据这 2 种参数构建 2 个灯光指数^[17-18]:平均灯光强度(I),灯光面积(S)。

$$I = I' / (Area \times DN_{\max}) \tag{1}$$

$$S = S' / Area \tag{2}$$

式中, DN_{\max} 是稳定灯光数据最大值(此处为 63), $Area$ 为所有像元的面积(区域总面积)。

3.2.3 建立灯光指数与统计数据回归模型

本文通过计算不同的夜间灯光指数与地区生产总值(用 GDP 表示)、第一产业(用 GDP_1 表示)、第二产业(用 GDP_2 表示)、第三产业(用 GDP_3 表示)和第二产业与第三产业之和(用 GDP_{23} 表示)之间的相关关系,确定分区的最佳灯光指数,进行回归分析并建模。由于工业、建筑业和各种服务业仅仅使用灯光数据很难分辨其在城市中的差异,所以,本文将第二产业和第三产业之和也作为一个因变量进行分析。实验证明变量对数的相关性最好,对数线性模型最有效,因此,在各项分析前,对变量先进行对数转换。全国及分区的回归分析建立的模型可表达为式(3):

$$\ln(GDP_i) = P_0 + a \times \ln(b \times I + c \times S) \tag{3}$$

式中, GDP_i 表示 GDP、 GDP_1 、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} , P_0 和 a 为回归模型系数, b 和 c 为相关分析中选取的最佳夜间灯光指数的系数,若最佳灯光指数为 I ,则 b 为 1, c 为 0。

3.2.4 统计 GDP 数据空间化

比较分区模型中 GDP 模型和 GDP_1 、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 模型效果,选取结果较好的一组模型对全国县级 GDP 进行估算,即将县级统计 GDP 数据分配到各县的每个网格。最后,利用县级 GDP 统计数据作线性调整来纠正每个网格的值,生成县级 GDP 零误差的全国 GDP 密度图,具体公式如下:

$$GDP_i = \exp(P_0) \times (b \times I + c \times S)^a \tag{4}$$

$$GDP' = GDP_i \times (GDP^* / GDP_{all}) \tag{5}$$

式 4 由式 3 转化得到。式中, GDP' 为使用统计数据按县纠正后的 GDP 密度; GDP_i 为预测每个格网的 GDP 密度; GDP^* 为该县统计 GDP; GDP_{all} 为该

县预测 GDP。灯光数据与 GDP 空间分析的数据处理流程如图 2。

4 GDP 空间化结果分析

4.1 GDP 分区建模结果分析

通过求对数后进行灯光数据和 GDP 的空间相关分析,解决了数据“抱团”的现象,从而可以分析数据内部的规律。表 1 为两种灯光指数与 GDP、 GDP_1 、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 的 Pearson 相关系数。从表中看出:GDP 与其最佳灯光指数的相关系数为 0.81, GDP_1 为 0.554, GDP_2 为 0.816,GDP 为 0.782, GDP_{23} 为 0.824;灯光指数除了与 GDP_1 的相关性一般外,与其他 GDP 的相关性均较好。 GDP 、 GDP_2 、 GDP_3 和 GDP_{23} 的最佳灯光指数为平均灯光强度(I),这是由于工业、建筑业和各种服务业主要分布在城市,单位产值较大,能够较好反映城市灯光信息的灯光强度与第二产业、第三产业相关性好;而在城市中,GDP 产值主要由第二产业和第三产业组成,第一产业相对较少,产值比例低,故 GDP 能由灯光强度数据反映。 GDP_1 的最佳灯光指数为灯光面积(S)。而大农业的产值分布在城郊和农村,单位产值较小,与夜间灯光数据的相关性一般,主要由具有空间延展信息的灯光面积数据来反映。从表中还可以看出,灯光强度和灯光面积的不同权重组合并没有显示其表达社会经济信息的优势。

表 1 灯光指数与 GDP 的 Pearson 相关系数
Tab. 1 Pearson correlation coefficient between night light indices and GDP

GDP	灯光指数	
	LnI	LnS
LnGDP	0.81	0.742
LnGDP ₁	0.503	0.554
LnGDP ₂	0.816	0.752
LnGDP ₃	0.782	0.704
LnGDP ₂₃	0.824	0.748

图 3 为全国 GDP、 GDP_1 、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 与其最佳灯光指数进行回归建模的结果。从图中可以看出,GDP、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 与其最佳灯光指数的散点图具有明显的对数线性关系,模型的估算效果较好,其中, GDP_{23} 的模型精度最高, R^2 为

0.679;GDP₁ 与其灯光指数的对数线性关系不明显,模型精度最低, R^2 为 0.306。夜间灯光数据主要反映城市的夜间灯光,人类活动和社会经济信息,所以对第二产业第三产业线性关系明显,估算效果较好。中国大部分地区是农村,经济发展水平不高,利用夜间灯光数据很难准确探测,故第一产业值与灯光数据线性关系不明显,估算效果差。而

且不管是从表 1 的相关性还是图 3 的拟合度,GDP₂ 和 GDP₃ 与夜间灯光数据的空间分析结果均不如 GDP₂₃的效果好,由于城市夜间灯光主要来源于工业、建筑业和各种服务业,而夜间灯光很难区分各产业的值,综合夜间灯光的反映因子相对比单独因子的反映和分析结果较好。

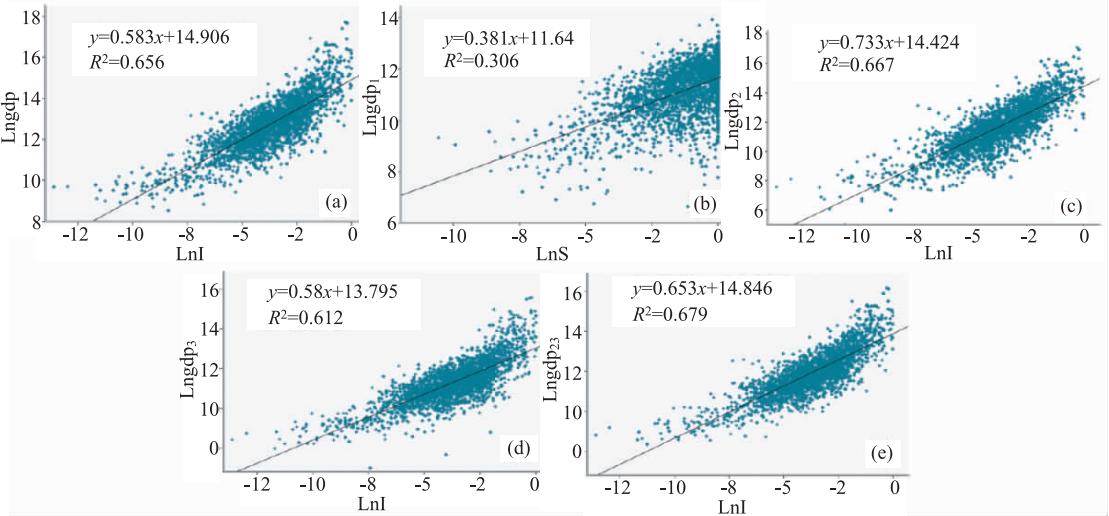


图 3 全国灯光指数与 GDP 回归分析结果

(a) LnGDP 与 LnI 的回归结果;(b) 为 LnGDP₁ 与 LnS 的回归结果;(c) LnGDP₂ 与 LnI 的回归结果;
(d) LnGDP₃ 与 LnI 的回归结果;(e) LnGDP₂₃与 LnI 的回归结果

Fig. 3 The plot model of GDP and night light indices

(a) the plot model of LnGDP and LnI; (b) the plot model of LnGDP₁ and LnS; (c) the plot model of LnGDP₂ and LnI; (d) the plot model of LnGDP₃ and LnI; (e) the plot model of LnGDP₂₃ and LnI

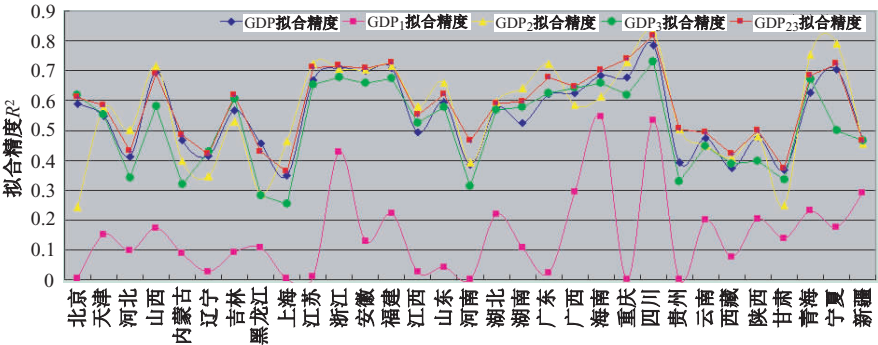


图 4 分区灯光指数与 GDP 的拟合度

Fig. 4 The correlation and coefficient of determination R^2 between night light indices and GDP in 31 subareas

图 4 为按省分区的 GDP、GDP₁、GDP₂、GDP₃、GDP₂₃ 与其对应的最佳灯光指数的对数线性回归模型的拟合度。从图中可以看出: GDP、GDP₂、GDP₃、GDP₂₃ 的拟合精度趋势变化相似,我国华东地区(除上海外)、成渝地区、两广地区、山西、青海、

宁夏等区域精度较高, R^2 约 0.6~0.7;东北三省、华北地区、西北地区(除甘肃外)、长株潭地区精度一般, R^2 约 0.4~0.6。上海市精度偏低,主要是由于样本较少,大城市出现灯光溢出现象造成;河北、河南、甘肃及云贵高原精度较低,初步判断样本

数量太多,区域内经济发展不平衡,而且云贵高原云雾天气据多,遥感数据质量较低,建模效果较差;西藏精度偏低,可能是区域内经济发展水平较低,GDP 分布规律不明显。虽然 GDP_{23} 的模型精度相对 GDP 较好,但 GDP_1 的模型精度很差,所以利用按省分区的总体 GDP 模型估算全国 GDP 分布。

图 5 为利用分区的 GDP 与各区最佳灯光指数估算的 2005 年中国 GDP 密度图。图中反映了 2005 年我国 GDP 密度及空间分布状况:我国广大的西北部 GDP 密度基本上小于 50 万元/ km^2 ,GDP 密度大于 300 万元/ km^2 的区域几乎均分布在东北地区、环渤海地区、中原地区、东南沿海地区、珠三角地区、成渝地区,这些地区是我国经济发展较快地区,呈现集中连片的态势。区别于传统的统计数据或者平均分配到每个行政单元中的值,夜间灯光数据的 GDP 密度分布图可以反映 GDP 在每个像元上的值,消除了平均分配 GDP 所产生的边界不连续,更加真实地反映 GDP 分布特征,更清晰地反映 GDP 分布的规律,对于国家的宏观经济发展规划具有重大意义。灯光信息由于其对交通、经济、住宅区等信息的综合直观反映,而造就了它最大的优点,即对社会经济监测的便捷和直观性,但是也

正因如此,它对研究区域经济分布和经济状况的均匀程度也有一定的要求,估计的精度也就不如选取众多因子,如土地利用、交通通达度、地形地势等综合效果好。因此,通过试验,发现如仅选取灯光一个因子,只可在全国范围内进行社会经济分布的研究,以及对其数量的一个笼统的预估,而不能作为一个精确的定量研究成果。

4.2 与其他 GDP 空间化技术的比较

在建立各种社会经济模型的过程中,GDP 模型是使用不同的变量乘以对应的权重系数或者回归系数,来表达 GDP 在不同的单元格网上的权重,最后以统计数据分配到各像元上。而 GDP 模型涉及的变量在本研究及其相关的文献中,无非是使用土地利用数据或者灯光数据。其他应用较少的如道路路网,人口格网等则在此不详述。

以土地利用数据进行 GDP 空间化的建模方法^[5]:将耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民地的二级土地利用类型,选为 GDP 空间化的主要土地利用类型。具体建模方法如下:

第一产业模型:

$$GL_1 = GL_1 + GL_2 + GL_3 + GL_4 \quad (6)$$

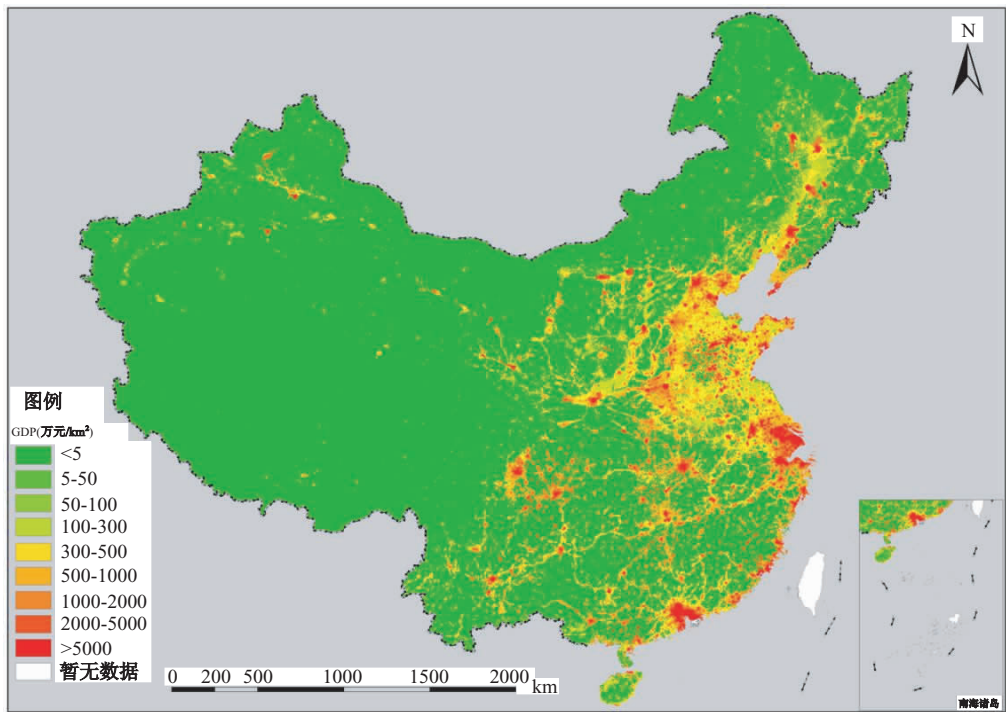


图 5 基于夜间灯光的 2005 年中国 GDP 密度图

Fig. 5 1-km grid GDP map of China in 2005 based on DMSP/OLS

$$GLk_j = \sum_{i=1}^n (A_i \times g_{ij} \times Lk_{ij}) \tag{7}$$

式中, $G1_j$ 为第 j 个县的第一产业; $GLk_j (k=1-4)$ 分别为第一产业中农、林、牧、渔业的产值; g_{ij} 为该县第 i 种土地利用类型内的平均 GDP; $L1_{ij} \sim L4_{ij}$ 分别为该县第 1-4 类土地利用类型(耕地、林地、草地、水域)的第 i 二级类所占的面积;

第二、三产业模型

$$GN_{23} = \sum_{i=1}^3 (A_i \times g_{ij} \times L5_{ij}) \tag{8}$$

式中, GN_{23} 为第 j 个县的第二产业与第三产业之和

($N=23$); $L5_{ij}$ 为该县第 5 类土地利用(城乡工矿居民地)的第 i 二级类所占的面积。

图 6 为中国的东北地区在基于 4 种不同的 GDP 空间化方法得到的 GDP 空间化结果。由于缺乏验证数据,我们对这 4 种方法进行定性比较。以下是 4 种 GDP 空间化方法:(1)美国 NOAA 在国家地理数据中心发布了基于 DMSP 和 Landsat 人口格网的全球 GDP 密度格网产品;(2)简单的 GDP 县级平均方法;(3)本文中用夜间灯光数据的方法;(4)土地利用数据的方法。

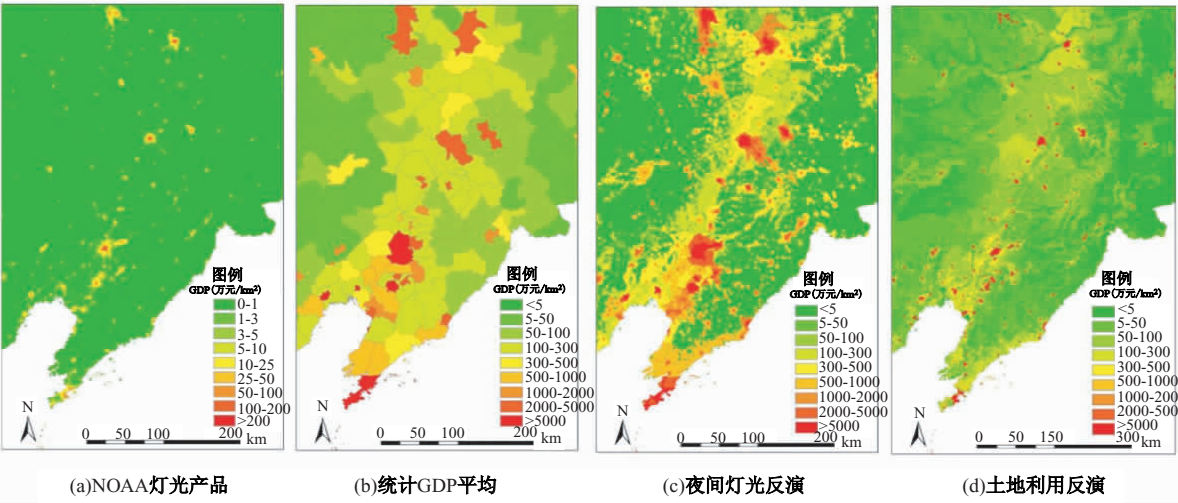


图 6 不同 GDP 空间化方法的结果比较

Fig. 6 Comparison of different spatialization results in parts of Northeast China

(a)NCAA light products;(b)statistical GDP average;(c)night light inversion;(d)land use inversion

从图中我们可以看出,NOAA 灯光产品虽然也是利用夜间灯光数据,结合人口格网建模,但其基于国家级的样本数据建立的模型,可作为全球 GDP 分布估计,而在中国区的结果误差很大。而本文利用的灯光强度和灯光面积估算得到的 GDP 密度图能够较准确地反映地区的 GDP 密度分布趋势和城区的 GDP 密度差异,但对于农村地区,不如土地利用数据估算的结果。土地利用估算的 GDP 密度图可显示广大的农村和地区的 GDP 分布范围和规律,但其对城市及城郊地区没有区分出 GDP 分布的差异和特点。

5 结论及展望

本文探索了夜间灯光数据与全国 GDP 的空间相关关系。通过夜间灯光数据派生的灯光强度数

据和灯光区数据构建了不同的灯光指数,分析全国分区前和分区后不同的灯光指数与地区生产总值、第一产业、第二产业、第三产业及第二产业与第三产业之和的相关关系,选取最佳灯光指数,通过回归分析建模,选取按省分区的方法估算全国 GDP 密度分布。结果表明夜间灯光数据与 GDP、 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 有明显的相关关系,估算得到的 GDP 密度能够完整地反映我国 GDP 宏观分布现状。

(1)目前,真正能够在大范围应用的方法是土地利用的方法和 DMSP-OLS 的两种方法。1:10 万的土地利用数据 GDP 建模精度具有一定的保证,且第一产值与耕地密切相关,故反映广大城市和农村地区经济产值结果较好。但在大城市区域未能区分出 GDP 分布的差异和特点。夜间灯光数据获取便捷,可以在一定程度上反映大范围的经济分布趋势。但灯光数据只是社会经济的一个间接

表征,因此,可能在大城市、第二、三产业关系相对较好,与农业基本关系不大。

(2)虽然 DMSP/OLS 夜间灯光数据对社会经济活动研究很有潜力,但是研究过程中的不确定因素仍然很多,如灯光区域的漂移、灯光像元溢出、向半球空间发散,以及城市中心的饱和现象等,均限制了用灯光数据用于 GDP 研究的精度。而且影响 GDP 分布的因子很多,目前仅使用单一的数据源难以全面准确地表达 GDP 密度分布。

(3)分区后的 GDP_1 与灯光指数拟合精度很低,大农业的产值与夜间灯光相关不大,与耕地、林地、草地等土地利用类型相关较好;分区后 GDP_2 、 GDP_3 、 GDP_{23} 于灯光指数相关性较好,但模型在有些区域精度较高,有些区域精度较低,不同区域的精度不太稳定。后续工作中,我们结合基于遥感的土地利用数据来提高精度。

(4)直接利用回归模型反演得到的结果精度不高,需引入县级统计数据作为线性纠正,这样得到与县级经济统计数据零误差的全国 GDP 密度分布,通过对全国尺度经济发展分布特征的反映,其结果可作为社会经济发展、城市规划的重要参考指标。但考虑其结果的精度,不适合作为乡镇级别区域的唯一定量化指标,而适合作定性化参考指标。

因此,基于夜间灯光数据的 GDP 建模结果可作为宏观分析依据,不适合生产标准的 GDP 空间化数据。要想得到精度高、普适性强的分产业的 GDP 模型,需要引入其他因子如遥感土地利用数据和人口格网数据进行建模估算,将更多统计数据和遥感数据有机统一起来。在中国及至世界范围内,进行社会经济空间化的方法和结果精度都存在很大的提升空间,综合利用遥感和 GIS 的手段将成为社会经济因素空间化的一种趋势。

参考文献:

- [1] Clark J I, Rhind D W. Population data and global environmental change[R]. Paris, IISC/UNESCO, 1992.
- [2] 杨小唤, 江东, 王乃斌, 等. 人口数据空间化的处理方法[J]. 地理学报, 2002, 57(增刊): 70-75.
- [3] Robinson J M. Restoring continuity: Exploration of techniques for reconstructing the spatial distribution underlying polygonized data[J]. Geographical Information Science, 1997(11): 633-648.
- [4] 江东. 人文要素空间化研究进展[J]. 甘肃科学学报,

2007, 19(2): 91-94.

- [5] 刘红辉, 江东, 杨小唤, 等. 基于遥感的全国 GDP 1km 格网的空间化表达[J]. 地球信息科学, 2005, 7(2): 120-123.
- [6] 易玲, 熊利亚, 杨小唤. 基于 GIS 技术的 GDP 空间化处理方法[J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(2): 54-58.
- [7] 黄莺, 包安明, 陈曦, 等. 新疆天山北坡干旱区 GDP 时空模拟[J]. 地理科学进展, 2009, 28(4): 494-502.
- [8] 黄莺, 包安明, 陈曦, 等. 基于绿洲土地利用的区域 GDP 公里格网化研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 158-164.
- [9] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, *et al.* Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [10] Elvidge C D, Imhoff M L, Baugh K E, *et al.* Night-time lights of the world: 1994-1995[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, 56(2): 81-99.
- [11] Ghosh T, Sutton P, Powell R, *et al.* Estimation of Mexico's informal economy and remittances using nighttime lights data[C]. Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint. Shanghai: IEEE, 2009: 1-10: 418-444.
- [12] Ghosh T, Powell R, Elvidge C D, *et al.* Shedding light on the global distribution of economic activity[J]. The Open Geography Journal, 2010(3): 148-161 (In Press).
- [13] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, *et al.* Mapping city lights with nighttime data from the DMSP operational linescan system[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 18(6): 727-734.
- [14] 国家统计局国民经济综合统计司. 中国区域统计年鉴 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [15] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [16] 黄耀欢, 杨小唤, 刘业森. 人口区划及其在人口空间化中的 GIS 分析应用[J]. 地球信息科学, 2007, 9(2): 49-54.
- [17] 陈晋, 卓莉, 史培军, 等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(3): 168-176.
- [18] 卓莉, 史培军, 陈晋, 等. 20 世纪 90 年代中国城市时空变化特征——基于灯光指数 CNLI 方法的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 893-902.

GDP Spatialization in China Based on Nighttime Imagery

HAN Xiangdi^{1,2}, ZHOU Yi¹, WANG Shixin¹, LIU Rui^{1,2} and YAO Yao^{1,2}

(1. *The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Resources and environmental sciences require greatly the spatialized socio-economic data sets which are always obtained from administrative regions at national or provincial level, and accurate estimates of the magnitude and spatial distribution of economic activity have many useful applications. Developing alternative methods for making estimates of gross domestic product (GDP) may prove to be useful when other measures are of suspect accuracy or unavailable. Based on the summary and analysis of existing economic activity spatialization approaches and nighttime imagery applications in economic activity, this research explores the potential for estimating the GDP using relationship between the spatial patterns of nighttime satellite imagery and GDP in China by correlation analysis and regression analysis using concerned data processing software. With the regional differences of China's economic development, logarithmic regression models have been established between different night light indexes and GDP, primary industry, secondary industry, tertiary industry and the sum of secondary industry and tertiary industry at the provincial level. A clear logarithmic linear relationship between nightlight imagery and GDP, especially the correlation coefficient of night light index and the sum of secondary industry and tertiary industry is 0.824 and R^2 of them is 0.679 at national level, suggests that this method is available and feasible to estimate the spatial distribution of economic activity such as GDP. The result, 1-km grid GDP map of China based on nighttime light data, by comparing with the other GDP spatialization approaches, shows the obvious advantage to reflect complete details and characteristics of the national secondary industry and tertiary industry distribution, which is extending the field of nighttime light data research and applications for the socio-economic data in resources and environmental sciences.

Key words: nighttime lights; GDP; spatialization simulation; regression analysis