

基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法

宋正娜^{1,2} 陈 雯¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:空间可达性是评价医疗设施布局合理与否的重要指标,传统的医疗设施空间可达性评价,或者从医疗服务供需状况着手,或者从供需双方之间距离因素着手,均无法全面评价居民实际所能获取的医疗资源。本文采用基于潜能模型的评价方法对江苏省如东县医疗设施空间可达性进行分析研究,该方法综合考虑了医疗设施服务能力、居民点人口数量、医疗设施与居民点之间的出行阻抗。研究表明,通过选取合适的出行摩擦系数,该方法能够较为全面准确地测度较小研究单元的医疗设施空间可达性,辅以 GIS 技术,可以很直观地揭示研究区域内医疗设施空间可达性差异,结合公共卫生管理部门制定的医疗资源配置标准,还可较为准确判定缺医地区,为政府相关部门规划决策提供依据。

关 键 词:潜能模型;医疗设施;空间可达性;出行摩擦系数

1 引言

设施区位是近年来区位研究的重要科学问题之一^[1],对既有设施空间布局进行评价是设施区位研究的一个主要方向,同时也为设施优化配置提供理论依据。医疗设施是关系民生的一种基本公共服务设施,其空间布局合理与否直接关系到公众生存权和健康权能否得到有效保障。

西方国家对医疗设施空间布局的研究历久弥新,我国随着“基本公共服务均等化”理念的提出,对医疗设施空间布局的研究逐渐成为医学地理、地理信息科学、城市规划等领域的研究热点。均等可达性是医疗设施空间布局的首要目标^[2-5],医疗设施空间可达性是公众获取医疗服务的难易程度,它强调可达性的空间属性^[6],由医疗服务的供需状况和供需双方的距离因素共同决定^[4,7]。传统的医疗设施空间可达性评价方法往往只侧重研究其中某一方面,区域可用性方法(千人床位数、千人卫技人员数、卫生资源密度指数^[8]等)考察医疗服务的供需状况,地理可达性方法(最近距离、交通可达时间^[2,9]、Voronoi 服务域^[10]等)考察供需双方的距离因素。

综合考虑供需状况和距离因素才能全面评价医疗设施空间可达性,基于潜能模型(potential model)的评价方法即可综合考虑上述因素。本文首先介

绍了潜能模型及其应用于医疗设施空间可达性评价的探索,其次通过实证探讨了将基于潜能模型的评价方法应用于一定区域内较小研究单元之间医疗设施空间可达性差异评价的可行性。

2 潜能模型

2.1 潜能模型概述

潜能模型是区域经济学、地理学借鉴物理万有引力定律来研究社会、经济空间相互作用的结果^[11],是空间相互作用的经典模型之一。法国学者拉格朗日(Joseph-Louis Lagrange)最早在牛顿的力和能的基础上提出了万有引力潜能(Potential,或译潜力、位势)的概念,后来学者把这一概念引入地理学,并逐步发展了潜能模型^[12]。

潜能表示一物体对另一物体产生的能,如 j 对 i 产生的能 A_{ij} 为 M_j/D_{ij} , 其中 M_j 表示 j 点的活动规模, D_{ij} 表示 i 点和 j 点之间的出行阻抗因子(距离或时间); 一个系统中所有物体对一点所产生的潜能等于每个物体对该点所产生的潜能的总和,如空间上有 n 个离散分布的物体,对于 i 点的潜能总和 A_i

$$\text{为: } A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{D_{ij}} \quad (1)$$

后来学者突破了公式(1)中距离指数因次的约

收稿日期:2009-04; 修订日期:2009-07。

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCY2-YW-339)。

作者简介:宋正娜(1980-), 博士生,主要从事公共设施区位研究。E-mail: songzhengna@163.com

束,引入出行摩擦系数 β ,形成了地理学的潜能模型

$$\text{一般公式: } A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{D_{ij}^\beta} \quad (2)$$

2.2 潜能模型应用于医疗设施空间可达性评价

潜能模型广泛用于比较区域中城镇吸引力的大小或者城市内部的土地使用、交通条件,比较发展的优势、劣势等^[13]。Hansen 在 1959 年提出采用潜能模型作为可达性度量方法^[14],后来学者逐步将其应用于量测城市或农村设施的空间可达性^[3]。

采用潜能模型来量测研究区域内某个居民点 i 至所有医疗设施的空间可达性 A_i 时, M_j 表示医疗设施 j 的服务能力, A_i 实际上是研究区域内各医疗设施对居民点 i 的吸引力的累计值。随出行阻抗 D_{ij} 的增加, A_i 会相应的降低, A_i 值越大, 空间可达性越好。

医疗设施空间可达性由医疗服务的供需状况和供需双方的距离因素共同决定, 潜能模型一般公式考虑了“供”方因素 M_j 、距离因素 D_{ij}^β , 并未考虑“需”方因素。因此造成了如下结果: 若两医疗设施的服务能力 M_j 相等, 即使两者的服务人口数量差异较大, 但在相同的出行阻抗 D_{ij}^β 下, 两者的空间可达性表面上是相同的, 但很明显两医疗设施实际上不具有相同的可达性。为解决该问题, Guagliardo^[3]、Joseph 等^[15]和 Wang Fahui 等^[16]在潜能模型一般公式中增加了人口规模影响因子 V_j , 其公式如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{D_{ij}^\beta V_j}, \text{ 其中: } V_j = \sum_{k=1}^m \frac{P_k}{D_{kj}^\beta} \quad (3)$$

式中: A_i 表示居民点 i 至所有医疗设施的空间可达性; M_j 表示医疗设施 j 的服务能力, 通常采用卫技人员数、床位数来表征; P_k 表示居民点 k 的人口数; V_j 表示人口规模影响因子; D_{ij} 表示居民点 i 与医疗设施 j 之间的出行阻抗(距离或时间); β 表示出行摩擦系数; n 、 m 分别表示医疗设施和居民点的数量。 V_j 考虑到了各医疗设施周围的人口在空间上的分布, 反映了因为不同患者到同一医疗设施就医而形成的对有限的医疗资源的竞争, 以至造成对空间可达性的负面影响, 能够较为全面准确地评价医疗设施空间可达性。我们不难发现, 式(3)是对居民所能获取的各等级规模医疗资源总量的描述, 它综合考

虑了医疗设施服务能力、居民点人口数量、医疗设施与居民点之间的出行阻抗, 其量纲应为每人拥有医疗设施服务能力, 可以是每人床位数、每人卫技人员数等。

2.3 出行摩擦系数 β 的选择

需要注意的是出行摩擦系数 β 的选择, 一方面 β 因不同应用可以选取不同取值, 提高了此类模型评价的准确程度, 扩大了应用范围, 但另一方面 β 的取值也因此成为一个难题。学界认为 β 可以有不同的数学表达式(如线性、指数等形式), β 的大小随服务类型、人群特征等不同而变化。综合国内外学者观点, β 通常采用线性表达式^[17-21]。

有学者就 β 取值做过深入研究, Peeters 等总结了 Love 等、Berens 等和 Brimberg 等的观点, 发现学者对 β 的取值主要集中于 [0.9, 2.29] 之间; 同时 Peeters 等通过研究认为 β 的取值在 [1.5, 2] 之间对研究结果影响不大^[17]。另外 Wang 对芝加哥地区工作—出勤模式的研究中采用基于引力模型的可达性指标, 经过实验比较, β 最佳取值为 1.85^[18]; 陶海燕等采用潜能模型研究广州市海珠区公共医疗卫生服务可达性空间分布时, β 的取值为 1^[19]; 吴建军采用引力指标研究河南省兰考县医疗设施空间可达性时, β 的取值为 2^[20]; 王远飞、张超采用 Huff 模型对上海浦东新区综合医院服务域进行研究时, 分别研究 $\beta=1$ 和 $\beta=2$ 两种情况, 通过比较作者认为 β 选取 2 时研究结果更为合理^[21]。综合上述观点, 实际操作中 β 通常采用线性表达式, 取值多集中于 [1, 2] 之间。

3 实证研究

3.1 研究区域与数据准备

本文将潜能模型式(3)应用于江苏省如东县医院(卫生院)的空间可达性评价。如东县位于江苏省南通市, 辖 15 个镇, 县城位于掘港镇(图 1), 总面积 1872.7km², 人口 1063194 人。区内地势平坦, 路网密布, 地形单一。

为便于研究, 本文选取 20 张床位以上(含 20 张)的医院(卫生院), 截止 2007 年底, 全县共有 42 所医院(卫生院)。本文研究中 M_j 以卫技人员数表示, 42 所医院(卫生院)共计卫技人员数 2236 人, 全县平均每千人拥有卫技人员 2.1031 人^[22]。

本文采用村级居民点作为空间可达性的研究

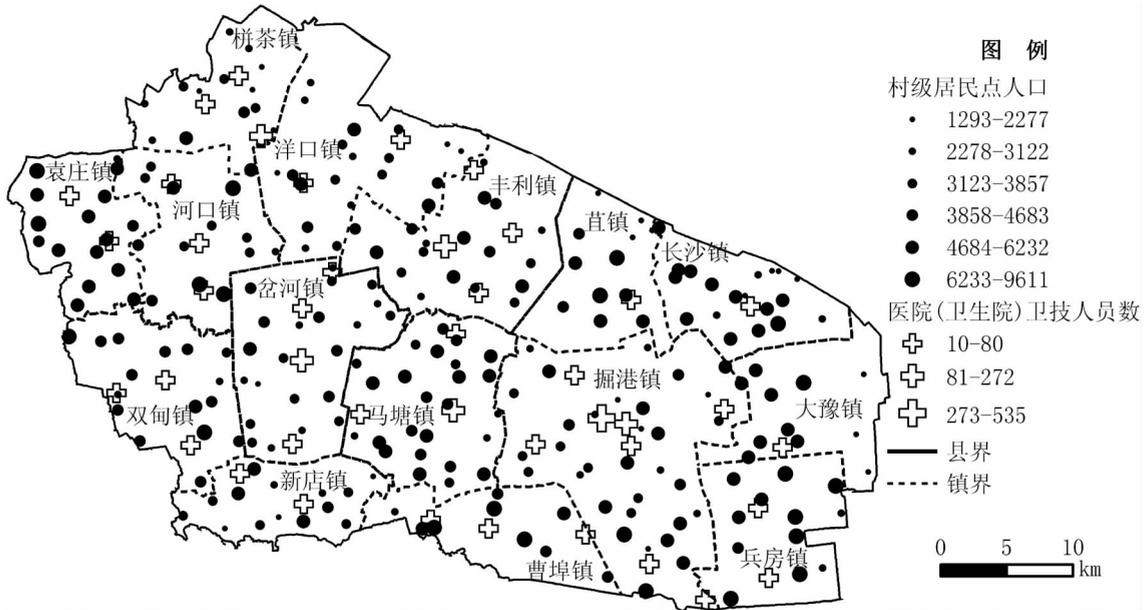


图 1 如东县 2007 年底医院(卫生院)和村级居民点分布图

Fig.1 The distribution of the hospitals and villages of Rudong County by the end of 2007

单元。截至 2007 年底,如东县共有 252 个村级居民点,本文用村级居民点行政中心代替村级居民点人口重心,村级居民点人口来源于如东县发改委提供的 2007 年人口报表。

对就医出行时间的计算,以车行作为就医出行方式,并依据 2004 年《公路工程技术标准》(JTJ B01-2003)确定各级道路行车速度,计算中采用如东县交通局提供的 2007 年底路网图,并使用 500 m×500 m 网格对主要道路网进行加密,网格所代表道路的默认速度为 10 km/h(表 1)。

本文采用矢量数据结构下交通网络最短路径算法,以医院(卫生院)、村级居民点及道路网布局为基础,利用 Arcview 软件中 Network 分析模块及二次开发脚本程序,计算出各村级居民点至各医院(卫生院)的最短通达时间(表 2)。

对于出行摩擦系数 β ,通过调查未能获得合理取值,因此本文试验性地选取 1、2 作为 β 的取值,在比较两者得到的空间可达性计算结果后,再行确定。

3.2 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法在 ArcGIS 中的实现

在 ArcGIS 中,通过“join”、“Summarize”、“Field calculator”等功能可以实现基于潜能模型的空间可达性计算。如出行摩擦系数 β 选取 2,则在 ArcGIS9.2 中的实现过程(图 2)如下:

表 1 如东县各级道路行车速度 (km/h)

Tab.1 Traffic speeds at different levels of roads in Rudong County(km/h)

道路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路	加密网格
速度	100	80	60	40	20	10

表 2 如东县各居民点到达各医院(卫生院)最短车行时间矩阵(min)

Tab.2 The shortest travel time matrix by car between any pair of population location and hospital in Rudong County(min)

	县人民医院	县第二人民医院	.....	沿南医院
玃王	27.95	43.49	.....	63.01
大同	30.09	45.58	.....	65.09
.....
十里墩	10.70	19.02	.....	38.54

(1) 整理村级居民点至医院(卫生院)的通达时间,计算 D_{ij}^2 存储于“Time^2”字段,得到数据表“Time”。分别将村级居民点属性表“Village”通过“VillName”字段、医院(卫生院)属性表“Hospital”通过“HospName”字段,“join”到数据表“Time”中,得到包含村级居民点人口“VillPopu”和卫技人员数“StaffNum”的新“Time”数据表;

(2) 在步骤(1)得到的“Time”数据表中,利用“Field calculator”功能求取 VillPopu /Time^2,再用“Summarize”功能求取各医院(卫生院)的人口规模影响因子“Vj”,得到数据表“Hospital_Vj”;

(3) 将数据表“Hospital_Vj”通过“HospName”字段“join”到步骤(1)中得到的数据表“Time”,得到包

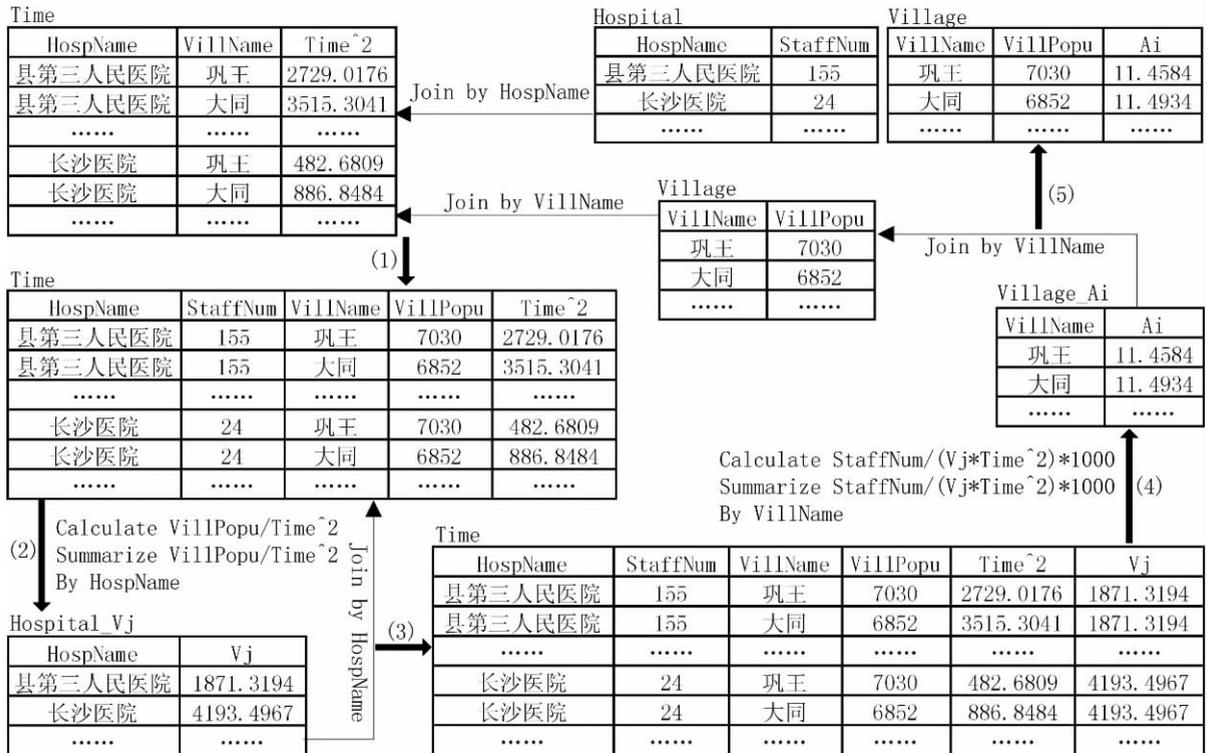


图2 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法在 ArcGIS 中的实现

Fig.2 Flow diagram of the measure of spatial accessibility to health care facilities based on potential model as implemented in ArcGIS

含人口规模影响因子“ V_j ”的“Time”数据表;

(4)在第(3)步中得到的“Time”数据表中,利用“Field calculator”功能计算 $StaffNum/(V_j*Time^2) \times 1000$ 的值(得到千人卫技人员数),再用“Summarize”功能求取各村级居民点的可达性值“ A_i ”,得到“Village_Ai”数据表;

(5)将数据表“Village_Ai”通过“VillName”字段“join”到村级居民点属性表“Village”,得到的新“Village”属性表可用于村级居民点至医疗设施的空间可达性的分析与可视化成图。

3.3 结果与分析

本文采用式(3)分别计算了 $\beta=1$ 、 $\beta=2$ 两种情况下如东县医疗设施空间可达性(表3)。为检验计算过程,本文对两种情况的空间可达性结果采用村级居民点人口数作为权重加权平均,所得数值均与全县千人卫技人员数 2.1031 相等,这验证了计算过程的正确性,同时也从另一个侧面说明本文医疗设施空间可达性评价实则是对居民所能获取的医疗资源的评价,计算出的结果就是每千人所拥有的卫技人员数。

为便于比较,本文通过与全县千人卫技人员数

表3 如东县医疗设施空间可达性结果 A_i Tab.3 Spatial accessibility A_i from any village population location to hospitals in Rudong County

	巩王	大同	.....	加权平均
$\beta=1$	1.6292	1.5110	.....	2.1031
$\beta=2$	1.1458	1.1493	.....	2.1031

表4 如东县医疗设施空间可达性结果标准化值 A_i' 统计分析Tab.4 Statistics analysis for standardized value A_i' of spatial accessibility to hospitals in Rudong County

	最小值	最大值	标准差
$\beta=1$	0.5983	2.5101	0.2410
$\beta=2$	0.3146	8.5445	0.7498

2.1031 相除对医疗设施空间可达性结果进行处理(得到的数值为全县千人卫技人员数的倍数,记作),大于1说明空间可达性高于全县平均水平,反之则说明较全县平均水平为低。

观察2组数据(表4、表5), $\beta=2$ 较 $\beta=1$ 空间可达性数值波动范围更大、离散程度更大; $\beta=1$ 时数值99.2%介于0.5~2之间,数据过于集中,并不能很好地揭示医疗设施空间可达性差异,因此选取 $\beta=2$ 对如东县医疗设施空间可达性计算更为合适。

为判定医疗设施空间可达性分布趋势,在 ArcGIS9.2 中分别对 $\beta=1$ 、 $\beta=2$ 两种情况下医疗设施空间可达性标准化数值按照几何间距(Geometric Interval)分级进行泛克里格(Universal Kriging)插值分析(图 3、4)发现: $\beta=1$ 时,未能准确揭示出部分城镇内部的医疗设施空间可达性差异,较明显的如袁庄镇、洋口镇、丰利镇、马塘镇等镇域内部大片区域可达性趋于一致; $\beta=2$ 时,如东县

医疗设施空间可达性基本形成以掘港、马塘、丰利、栟茶、岔河等城镇(行政中心附近区域)为中心的多

表 5 如东县医疗设施空间可达性结果标准化值 A_i' 分区间统计(%)

Tab.5 Interval statistics for standardized value A_i' of spatial accessibility to hospitals in Rudong County(%)

	$\leq 2/5$	2/5~1/2	1/2~2/3	2/3~1	1~1.5	1.5~2	2~2.5	≥ 2.5
$\beta=1$	0.00	0.00	2.78	55.56	38.10	2.78	0.40	0.40
$\beta=2$	3.96	2.78	18.65	38.89	21.43	8.73	2.38	3.17

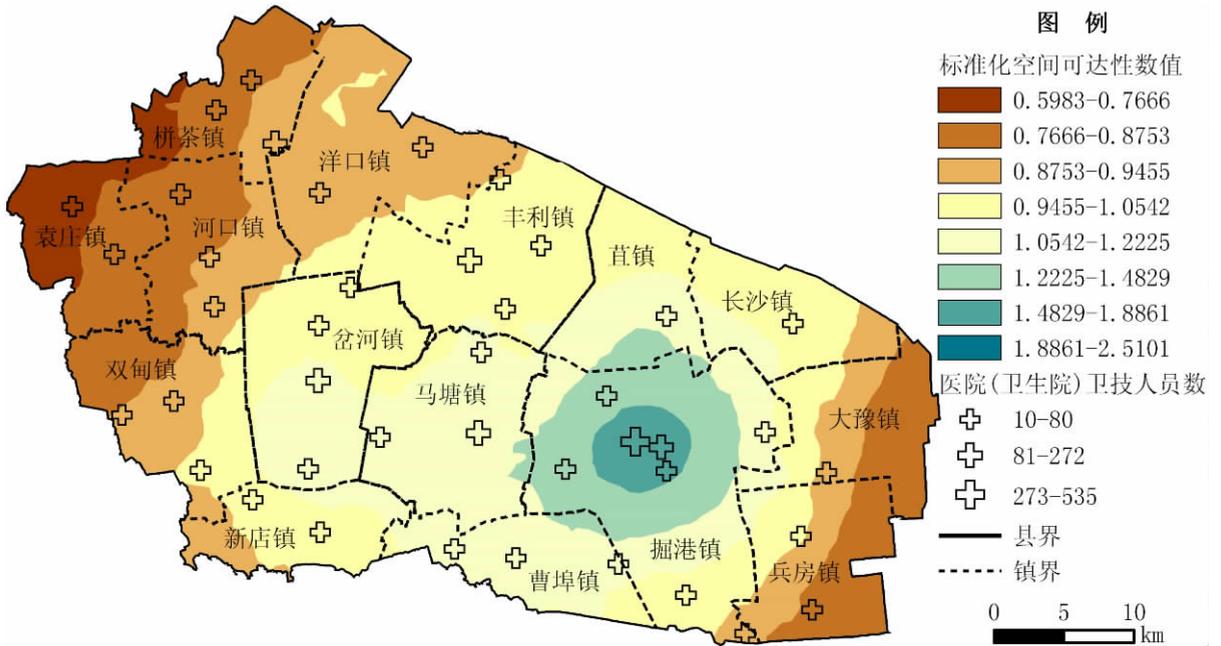


图 3 如东县医疗设施空间可达性 Kriging 插值图, $\beta=1$

Fig.3 Kriging interpolation map of spatial accessibility to hospitals in Rudong County, $\beta=1$

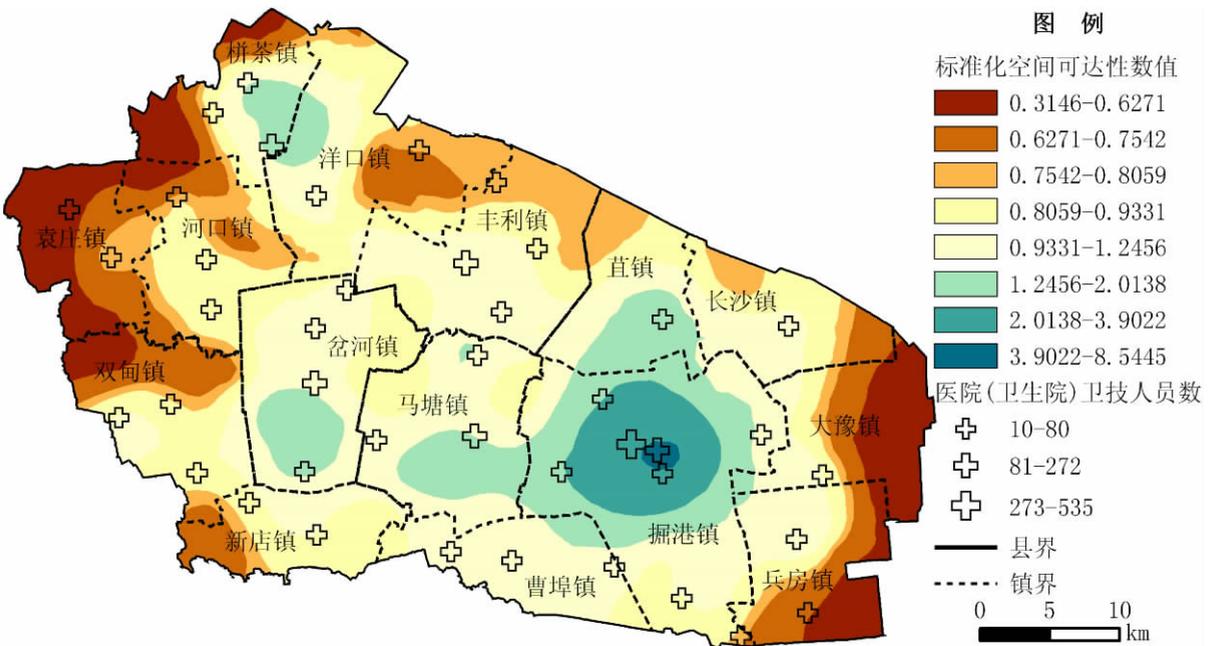


图 4 如东县医疗设施空间可达性 Kriging 插值图, $\beta=2$

Fig.4 Kriging interpolation map of spatial accessibility to hospitals in Rudong County, $\beta=2$

中心、逐步向外围区域递减的趋势,各城镇内部医疗设施空间可达性基本均呈现一定的差异层次。因此 $\beta=2$ 更能准确揭示如东县医疗设施空间可达性差异。经过上述分析,本文 β 选取2更为合适。从图4可知:如东县医疗设施空间可达性总体较为均等,部分区域存在不均现象;县城掘港镇明显高于全县平均水平,而西部地区尤其是袁庄镇和东部地区尤其是大豫镇和兵房镇则明显低于全县平均水平。结合如东县现有居民点人口分布(图1),袁庄镇和兵房镇空间可达性较差区域居民点密集、人口众多,大豫镇空间可达性较差区域居民点分散、人口相对稀少,因此袁庄镇和兵房镇缺医现象最为严重。实际操作中,可结合卫生管理部门制定的医疗资源配置千人指标,用医疗设施空间可达性计算结果与之相比,相差达一定程度即为缺医地区。

4 结语

本文阐述了潜能模型的由来及其在医疗设施空间可达性评价中的探索,并结合实证探讨了基于潜能模型的评价方法应用于医疗设施空间可达性分析的实现过程。基于潜能模型的评价方法综合考虑了医疗服务的供需状况和距离因素,同时通过选择适当的出行摩擦系数 β ,可以较为全面准确地揭示医疗设施空间可达性。该方法主要用于评价较小研究单元的医疗设施空间可达性,辅以GIS技术,可以很直观地揭示研究区域内医疗设施空间可达性差异,结合公共卫生管理部门制定的医疗资源配置标准,还可较为准确地判定缺医地区。

需要注意的是:①研究单元选取不能过大,本方法在讨论中潜在假定研究单元内部可达性相同,如若研究单元过大,则研究结果不具说服力;② β 的选择直接影响可达性计算结果,过小的 β 值很可能产生平滑的可达性量测值,而无法有效揭示区域差异; β 过大则容易夸大可达性量测值的差异。实际操作中,若能根据研究区域实际情况,在比较不同的取值后再行确定,或通过实地调查研究,则相对更为准确。

参考文献

- [1] 王铮,周嵬,蔡砥. 设施区位: 一个重要的科学问题. 中国法学会经济法学研究会 2005 年年会专辑. 南昌, 2005.
- [2] Lovett A, Sunnenberg G, Haynes R. Using GIS to assess

- accessibility to primary healthcare services//Maheswaran R, Craglia M. GIS in Public Health Practice. New York: CRC Press, 2004, 187-204.
- [3] Guagliardo M F. Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges. International Journal of Health Geographics. 2004, 3: 3 [2009-2-20]. <http://www.ij-healthgeographics.com/content/3/1/3>.
- [4] Higgs G. A Literature review of the use of GIS-based measures of access to health care services. Health Services & Outcomes Research Methodology, 2004, 5(2): 119-139.
- [5] Yang D H, Goerge R, Mullner R. Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services. Journal of Medical Systems, 2006, 30(1): 23-32.
- [6] 刘贤腾. 空间可达性研究综述. 城市交通. 2007, 5(6): 36-43.
- [7] 约翰斯顿 R J. 人文地理学词典. 柴彦威, 等译. 北京: 商务印书馆, 2004: 2.
- [8] 郑小华, 王禄生, 马进. 卫生资源密度指数在乡镇卫生院布局及资源配置中的应用研究. 医院领导决策参考, 2004, 15: 2-6.
- [9] Jessop E. GIS in district public health work//Maheswaran R, Craglia M. GIS in Public Health Practice. New York: CRC Press, 2004, 179-185
- [10] 王远飞. GIS 与 Voronoi 多边形在医疗服务设施地理可达性分析中的应用. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 77-80.
- [11] 巴滕·戴维·F, 博伊斯·戴维·E. 空间相互作用、运输和区域间商品流动模型//彼得·尼茨坎普. 区域和城市经济学手册: 第 1 卷 (区域经济学). 安虎森, 等译. 北京: 经济科学出版社, 2001, 329-331.
- [12] 杨吾扬, 梁进社. 高等经济地理学. 北京: 北京大学出版社, 2002, 155-157.
- [13] 叶嘉安, 宋小冬, 钮心毅, 等. 地理信息与规划支持系统. 北京: 科学出版社, 2006, 88-90.
- [14] Hansen W G. How accessibility shapes land use. Journal of the American Planning Association, 1959, 25(2): 73-76
- [15] Joseph A E, Bantock P R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study. Social Science & Medicine, 1982, 16: 85-90.
- [16] Wang F, Luo W. Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: Towards an integrated approach to defining health professional shortage areas. Health & Place, 2005, 11: 131-146.
- [17] Peeters D, Thomas I. Distance Predicting functions and applied location-allocation models. Geographical Systems, 2000, 2: 167-184.
- [18] Wang F. Modeling commuting patterns in Chicago in a GIS environment: A job accessibility perspective. The Professional Geographer, 2000, 52(1): 120-133.
- [19] 陶海燕, 陈晓翔, 黎夏. 公共医疗卫生服务的空间可达

- 性研究: 以广州市海珠区为例. 测绘与空间地理信息, 2007, 30(1): 1-5.
- [20] 吴建军. 基于 GIS 的农村医疗设施空间可达性分析: 以河南省兰考县为例. 河南大学硕士学位论文, 2008.
- [21] 王远飞, 张超. GIS 和引力多边形方法在公共设施服务域研究中的应用: 以上海浦东新区综合医院为例. 经济地理, 2005, 25(6): 800-803.
- [22] 江苏省卫生厅. 全省医疗卫生机构查询.[2009-2-20] <http://www.jsbst.gov.cn:8083/wstcx/ylwsedit.action>.

Measuring Spatial Accessibility to Health Care Facilities Based on Potential Model

SONG Zhengna^{1,2}, CHEN Wen¹

(1. Nanjing Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Access to health service is recognized as an important facilitator of overall population health, and spatial accessibility is one of the vital indexes to assess whether the distribution of health care facilities is balanced or not. Traditional methodology to assess spatial accessibility usually focuses on alternative of the ratio of supply (provider) versus demand (population) in the administrative unit or the travel impedance between population and health service providers. However, both of them can't be comprehensive to reveal the health care resource quantity which any population location can access due to travel impedance. In the paper, we use the measure of spatial accessibility based on potential model to analyze spatial accessibility from village population location to hospitals with Universal Kriging to interpolate the accessibility values in Rudong County of Jiangsu Province, which integrates three main factors including the service capacity of health care facilities, the population demand impact factor and travel impedance between population location and provider location. Through our study, the following conclusions are reached: after selecting the proper travel friction coefficient which is the key factor to affect sensitively the accuracy of spatial accessibility results when using potential model, the measure of spatial accessibility based on potential model can be more comprehensive and accurate to measure spatial accessibility to health care facilities among the small units of the studied area in the spatial interaction between population and service providers, and by GIS, the methodology is able to reveal directly the difference of spatial accessibility to health care facilities in the studied area, furthermore, health professional shortage areas of the studied area can be defined effectively with certain standards developed by public health management sector, which can support the basis for decision-making of health service planning.

Key words: potential model; health care facilities; spatial accessibility; travel friction coefficient