

基于可达性分析的高速公路投资空间溢出效应

蒋海兵¹, 张文忠¹, 祁 毅², 周 亮³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093;
3. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

摘要: 基于可达性分析方法, 探讨新建交通基础设施投资给邻近地区带来的空间溢出效应及其特征。以2005-2009年江苏省各市新建高速公路为例, 通过GIS空间分析模型、经济潜力指数及情景分析法, 得到江苏各市新建高速公路投资建设带来的经济潜力收益值, 并在此基础上应用平均溢出效应模型得到区际可达性溢出矩阵, 结合各地交通投资与溢出效应货币化模型将区际溢出矩阵货币化, 得到区际交通投资矩阵来重新分配各市交通投资成本, 以此表示交通投资空间溢出效应。结果显示: 可达性溢出效应传递基本上随着到新建高速公路距离增加而衰减, 然而各市新建高速公路在邻近地区产生非均衡性的溢出效应, 新建高速公路方向、区位以及高速公路网络体系影响了溢出效应强度分布。中间地区交通建设更有助于推动边缘地区可达性水平提高, 其交通投资溢出效应普遍比边缘地区规模大, 溢出投资占实际投资比重高, 区域边缘地区多数为溢出效应的输入地区。

关键词: 交通基础设施; 可达性; 空间溢出; 交通投资

DOI: 10.11821/dlyj201401007

1 引言

交通投资溢出效应是指某地区交通基础设施投资建设能让其他周边地区获得该地区的交通投资收益^[1], 说明在某地区直接交通投资中有多少投资收益转移到其他地区^[2], 并且解释某地交通投资是否能使其他地区受益, 受益程度的空间差异及其影响因素。交通投资溢出效应研究是经济学的传统研究主题, 经济学者一般采用古典经济增长模型^[3-4]、基本生产模型^[5]、空间计量模型^[6-8]等来评价交通投资的溢出效应。近年来国外地理学者开始尝试应用可达性分析方法研究交通空间溢出效应^[2,9-12], 测度新建交通基础设施带来的空间溢出效应强度。在可达性研究中, 空间溢出效应指某地区交通基础设施投资对其他地区交通可达性影响, 研究均采用可达性指数测度空间溢出效应。Gutiérrez等人基于经济潜力指数提出测度交通基础设施投资的空间溢出效应方法, 解释未来西班牙各地新建高速公路带来的空间溢出效应及其分配问题^[9]。Condeco等学者从可达性、溢出效应与公平性方面研究高速公路收费政策带来的地域空间效应, 分析溢出效应对公平性的影响^[10]。López等人采用

收稿日期: 2012-09-02; 修订日期: 2013-04-06

基金项目: 国家自然科学基金重点基金项目 (41230632); 国家自然科学基金青年项目 (41301108, 41001093); 中国博士后科学基金面上项目 (2011M500374)

作者简介: 蒋海兵 (1978-), 男, 江苏建湖人, 讲师, 博士后, 中国地理学会会员 (S110008070M), 从事城市和区域发展研究。E-mail: jianghb@igsnr.ac.cn

通讯作者: 张文忠 (1966-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 研究员, 博士生导师, 主要从事城市和区域发展研究。
E-mail: zhangwz@igsnr.ac.cn

网络效率指数定量地评价在 2005-2020 年西班牙交通战略规划中, 铁路与公路扩展给周边国家带来的空间溢出效应^[11]。

可达性分析方法刻画交通基础设施投资溢出效应的空间范围与强度^[9], 有助于分析某地交通投资给其他地区带来收益的空间分布特征, 弥补了经济学者对交通溢出效应研究方法的不足, 克服以往研究忽视交通网络空间影响的问题^[12]。在方法上, 它丰富了传统交通溢出效应研究方法, 拓展了可达性研究视角与应用领域。在实践上, 基于可达性分析的交通投资溢出效应研究可以有效地评价各地从国家或区域交通规划与投资建设中的收益情况, 尤其是对于涉及跨行政区的交通投资项目, 为各地区域交通规划布局与决策提供参考。

当前国外区域可达性研究单元趋向于微观尺度, 关注区域内部交通可达性变化细节^[13-17], 甚至深入到交通小区或社区尺度, 以此提高区域可达性计算的精度^[18,19], 因而国外基于可达性分析的交通空间溢出效应研究均选择微观单元^[2,9-12]。与国外相比, 目前国内基于可达性分析的交通空间溢出效应研究尚无人涉足, 并且多数区域可达性研究仍然采用较大空间单元尺度数据, 一般为县级以上空间单元^[19-25]。针对于此, 本文以江苏为案例区, 乡镇与市辖区为研究单元, 基于可达性分析, 通过对江苏各市高速公路投资带来可达性收益空间分布来评价空间溢出效应, 揭示各市交通投资输入与输出的空间溢出效应特征。

2 研究区域与模型

2.1 研究区概况

江苏高速公路是华东地区重要的交通枢纽网络。从 1996-2008 年高速公路累计通车里程不断提高 (图 1), 2010 年江苏高速公路通车总里程达到 4000 km, 居全国各省区之首, 江苏首轮规划的“四纵四横四联”高速公路网络主骨架已全面完成。到 2015 年, 江苏高速公路规划将建成“五纵九横五联”的 19 条主骨架高速路网和 11 条过江通道, 预计高速公路通车里程将达到 5200 km, 各市建设高速公路无疑将会提高全省各市内外交流程度。本文基于可达性分析, 探讨 2005-2009 年江苏各市高速公路短期建设给其他市带来的空间溢出效应。2005-2009 年江苏省除无锡与泰州外, 其他 11 个市高速公路均有投资建设 (表 1)。

2.2 研究模型与方法

采用最短路径算法、经济潜力模型、区域平均溢出效应与溢出效应货币化模型。① 最短距离算法得到经济潜力模型所需要的各地间最短时间距离参数。② 通过各地高速公路通车前后的经济潜力模型对比得到区域平均溢出效应模型所需的经济潜力收益值参数。③ 根据区域平均溢出效应模型得到各地平均溢出效应矩阵, 即交通可达性溢出效应。最

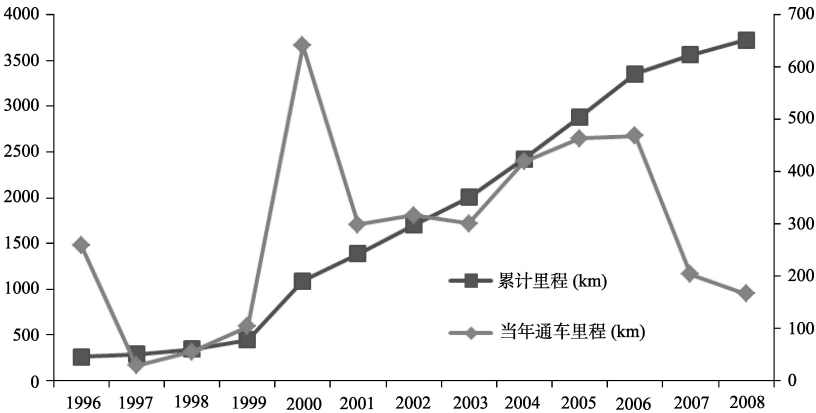


图 1 1996-2008 年江苏省高速公路通车里程变化
Fig. 1 Highway operating mileage change analysis in Jiangsu from 1996 to 2008

后, 根据各地平均溢出效应矩阵与溢出效应货币化模型得到各地交通投资的空间溢出效应。

(1) 最短路径算法。计算某个城市质心到其他城市质心的最短时间距离。最短时间包括城际之间的最短时间与建成区内部最短时间。最短时间距离测算应用成本栅格加权法来计算, 测算栅格成本既考虑了城际之间的公路、高速道路成本, 又考虑了建成区主要道路与行驶成本。公式为:

$$t_{ij} = t_i + tr_{ij} + t_j \tag{1}$$

式中: t_{ij} 为城市 i 质心到城市 j 质心之间总的最短时间, t_i 为城市 i 内部时间, t_j 为城市 j 内部时间, tr_{ij} 为城市 i 到城市 j 之间的最短时间。

经济潜力指数问题在于“自身潜力”问题^[9]。针对该问题, 不仅采用微观单元尺度数据(乡镇或市辖区), 并且设置城市或乡镇建成区内部拥挤时间(惩罚时间), 以此来解决“自身潜力”问题。借用文献[26]中的公式, 得到各建成区内部惩罚时间。拥挤时间与城市内人口数量相关, T 表示建成区内部时间, 公式为:

$$T = 3 \times \log(\text{pop} \times 10) \tag{2}$$

(2) 经济潜力模型。经济潜力模型经常被解释为在特定的时间成本约束下, 某地区可以达到距离范围内所覆盖到的经济活动总量^[27]。该模型在国内外区域可达性研究中得以广泛应用, 通过经济潜力模型得到各地可达性潜力值。潜力模型反映各城市在空间上所受中心城市空间“合力”。分值高低与经济中心的规模成正比, 与评价节点到经济中心的距离、时间或费用成反比, 侧重于节点城市与经济中心城市的相互作用。公式为:

$$p_i = \frac{M_i}{t_{ii}^a} + \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{t_{ij}^a} \tag{3}$$

式中: P_i 表示节点 i 的经济潜力值, 潜力值越高, 区位优势潜力越大; t_{ii} 表示节点 i 的内部时间、费用或距离等; t_{ij} 表示通过某交通设施和网络从节点 i 到经济中心或活动目的地 j 所花费的时间、费用或是途中距离等; a 为距离摩擦系数, 通常取 1^[2]。 M_j 表示节点 GDP 或者人口, $M_i = \text{POPU}_j$ 。在可达性计算中, 一般采用人口规模或 GDP 反映各地综合规模, 本文采用 2009 年江苏省各乡镇(市辖区)与上海市辖区人口规模。

$$S_{kij} = HP_{kij} - NHP_{kij} \tag{4}$$

式中: S_{kij} 在 i 地区的交通投资给 j 地区的 k 乡镇或市辖区带来的经济潜力收益值, 即溢出效应; HP_{kij} 指 i 地区开通新建高速公路后 j 地区的 k 乡镇或市辖区的经济潜力值; NHP_{kij} 指 i 地区未通新建高速后 j 地区的 k 乡镇或市辖区的经济潜力值。

(3) 区域平均溢出效应模型

$$S_{ij} = \sum_k S_{kij} p_{kj} / \sum_k p_{kj} \tag{5}$$

式中: S_{ij} 是在 i 地区的交通投资给 j 地区带来的平均溢出效应。 s_{kij} 在 i 地区的交通投资给 j 地

表1 2005–2009年江苏各市新建高速公路项目里程与投资

Tab. 1 The new mileage and investment of highway project in Jiangsu prefecture-level cities from 2005 to 2009

地区	新建高速公路 (km)	投资概算总额 (亿元)	2009年 人口
常州市	104.322	67.35	5198428
扬州市	23.7	18	4707997
淮安市	226.745	100.02	7157121
连云港市	27.6	15	5003134
镇江市	48.112	53.18	2895742
南京市	99.009	69.61	6909308
南通市	121.22	112.5	8954974
宿迁市	54	18	6614101
苏州市	185.847	151.58	9132937
徐州市	51.08	26.21	9669672
盐城市	291.4	153.2	8765600

资料来源: 江苏交通年鉴(2001-2009)

区的 k 乡镇或市辖区的溢出效应（即：经济潜力收益值）。 p_{ij} 是 j 地区的 k 乡镇或市辖区的人口规模^[2]。

对于 i 地区，保留下来的可达性收益不被看作为溢出效应，仅作为内部可达性收益，而其他地区可达性收益作为纯溢出效应输出给除 i 地区以外的地区，通过该模型得到各市可达性溢出效应矩阵。

(4) 溢出效应货币化模型

$$M_{ij}=I_iS_{ij}P_j/\sum_{j=1}^nS_{ij}P_j$$

(6)

式中： M_{ij} 是 j 地区从 i 地区的直接投资中获得到的投资。直接投资为某地区实际的交通投资。 I_i 是在 i 地区的直接投资； S_{ij} 是在 i 地区的交通投资给 j 地区带来的平均溢出效应； P_j 是 j 地区的总人口，从 i 地区的直接投资中获益。

该模型可以根据区域平均溢出效应矩阵，重新分配各地直接交通投资，得到各地的真实投资。该模型根据潜力可达性收益来测度高速公路投资的空间溢出效应，并通过假设重新分配的各市高速公路投资成本来将空间溢出效应货币化。

2.3 研究单元尺度

按照乡镇与市辖区将案例区分成1026个交通区（13个地级市+上海市辖区），同时选择它们的人口重心区，即：乡镇行政中心或市辖区的建成区质心。该空间单位划分既提高了可达性指数精度，又大大缩小“自身潜力”带来的精度问题。考虑上海市辖区对江苏省经济影响力，将上海市辖区纳入计算范围。

2.4 研究方法与技术路线

(1) 最短旅行时间与可达性计算。① 数据准备。首先把空间距离转化为时间距离,需设定不同类型道路与地物的通行时速。不同地物具有不同的通勤方式和

表 2 空间对象的时间成本值设定

Tab. 2 Set the space objective time cost value

空间对象	陆地	水域	高速	国道	省道	城市主干道	建成区
速度 (km/h)	20	1	100	80	60	40	30
时间成本(分钟)	30	600	5	7.5	10	15	20

时速，将地表类型分为陆地、道路和水域，分别设定时间成本值（表2）。选定栅格大小为0.2 km×0.2 km，每个栅格包含不同的交通方式，对每个栅格设定其时间成本值，为此选定出行10 km所需要的平均时间（以分钟计）为栅格设定时间成本的参考值，计算公式为： $cost$ （时间成本）= $\frac{10}{V} \times 60$ （其中： V 为各类空间对象的设定速度）。根据《中华人民共和国公路工程技术标准》规定的道路设计速度，结合区域实际情况，确定各级道路行车时速。参考文献[22]将无道路通行区域，设置为20 km/h的默认速度，以此反映县乡道路时速。② 计算最短时间成本。采用成本栅格加权法，建立空间分析模型平台，以1026个交通区人口重心为源点与目标点，计算人口重心之间的最短时间路径，并获得时间成本矩阵，涉及到矩阵超过100万个关系的时间距离计算(1026×1026 = 1052676)。③ 经济潜力指数值测算。根据经济潜力模型与最短时间成本测算各种情景下经济潜力值。

(2) 区际可达性溢出效应矩阵运算。① 得到以下两种情景下公路网络经济潜力可值，为了仅得到新建高速公路潜力可达性影响，高速公路通车前后的社会经济数据统一使用2009年数据，人口值均为2009年数据。情景1：2009年江苏省高速公路网格局下的经济潜力值。情景2：假设分析 i 市高速公路投资的空间溢出效应，则除 i 市为2004年高速公路网络，其他市均为2009年江苏省高速公路网，测度该公路网格局下的经济潜力值，该

方法称为区域提取法^[10]。需要强调的是情景分析不是对比江苏省2004年与2009年公路路网下的可达性变化，而是针对单个市在两个时期高速公路变化，其他市仍为2009年公路网络探讨各市高速公路投资建设对周边其他各市溢出效应。② 针对某个市得到两种情景下的经济潜力差异值，该值为经济潜力收益值，使用它表征各市新建高速公路溢出效应的空间分布与强度。重复上述程序计算研究区内11个市的经济潜力差异计算过程包括12种情景（11个市），11种情景是2004年个别市高速公路可达性，其他市为2009年高速公路网（图2），1种情景为2009年全省高速公路可达性，每种情景涉及100万个关系距离计算。③ 然后应用区域平均溢出效应模型与各乡镇或市辖区经济潜力收益值，计算各市平均溢出效应，从而得到跨地区溢出效应矩阵（表3），评价各市保留、溢出与输入的经济潜力收益值。

（3）区际投资溢出矩阵运算。根据各市溢出效应矩阵与高速公路直接投资，应用溢出效应货币化模型，得到区际投资流矩阵，它刻画了各市保留、输入与输出（溢出）的高速

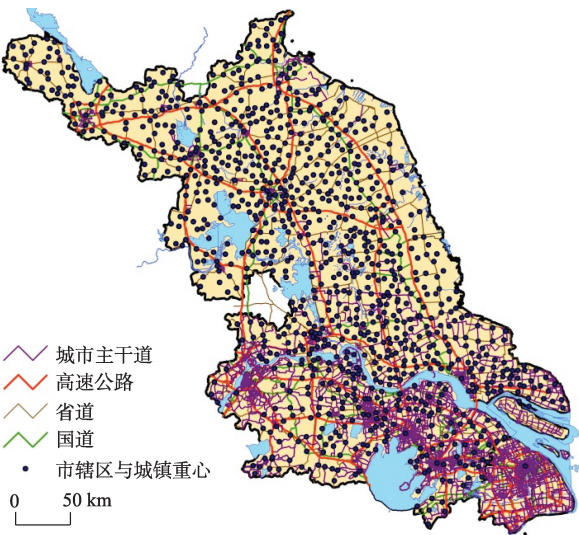


图2 2009年江苏省主要公路网络格局
Fig. 2 Main road network structure in Jiangsu Province in 2009

表3 区际可达性空间溢出效应矩阵（经济潜力指数） Tab. 3 Transport accessibility spillover matrix between regions (economic potential index)														
从 到	常州	扬州	淮安	连云港	镇江	南京	南通	宿迁	苏州	徐州	盐城	合计	输入	
常州	1487.58	4.54	61.91	23.58	103.49	91.25	5.69	63.99	16.44	0.84	37.14	1896.45	408.87	
淮安	19.14	0	1387.26	7.06	19.61	0.58	92.6	420.03	3.13	3.24	362.27	2314.93	927.67	
连云港	11.49	0	41.1	1032.77	9.04	0.33	90.51	5.97	2.21	3.31	427.62	1624.36	591.59	
南京	1390.32	4.11	71.88	0.64	34.96	309.11	2.81	71.91	4.19	0.92	11.28	1902.14	1593.03	
南通	94.5	0.11	221.45	66.32	0.57	16.89	1134.43	65.32	8.01	1.62	295.65	1904.87	770.44	
苏州	297.07	1.14	172.83	22.8	10.84	29.4	30.94	140.76	184.29	2.29	96.94	989.29	805	
泰州	104.69	0.03	227.43	66.59	5.45	5.93	122.54	104.7	26.33	1.39	259.02	924.11	924.11	
无锡	338.17	12.5	332.48	44.69	24.27	28.68	26.53	515.75	25.73	17.97	93.64	1460.4	1460.4	
宿迁	16.79	0	579.99	28.39	15.52	0.51	100.02	334.55	2.98	3.93	207.76	1290.43	955.88	
徐州	21.04	0.04	975.59	55.17	9.96	1.41	54.15	380.93	17.94	107.19	144.21	1767.64	1660.45	
盐城	27.74	0.03	474.78	269.44	4.77	1.22	215.59	140.76	6.83	116.77	998.56	2256.5	1257.94	
扬州	45.08	17.49	193.66	2.6	42.26	3.69	39.29	142.19	6.56	1.5	68.89	563.21	545.72	
镇江	502.32	5.09	119.56	23.58	141.42	111.96	17.21	76.76	30.71	0.96	88.64	1118.2	976.78	
合计	4355.94	45.08	4859.93	1643.64	422.16	600.96	1932.29	2463.62	335.34	261.93	3091.63	20012.53	-	
输出	2868.36	27.59	3472.67	610.87	280.74	291.85	797.86	2129.07	151.05	154.74	2093.07	-	-	
输出比重	65.85%	61.20%	71.46%	37.17%	66.50%	48.56%	41.29%	86.42%	45.04%	59.08%	67.70%	-	-	

公路投资,根据潜力可达性收益来测度高速公路投资的空间溢出效应,并通过假设重新分配的各市高速公路投资,将空间溢出效应货币化,从而反映各市交通投资成本输入与输出。各地真正投资等于直接投资(实际投资)减去输出其他各地投资再加上输入其他各地的投资,并且对比各地直接投资与真实投资总额。

3 结果分析

3.1 各市可达性溢出效应特征分析

(1) 交通可达性溢出效应的空间特征。图3显示江苏各市高速公路投资建设给区域其他地区带来溢出效应的空间分布与强度。首先,从整体上看,可达性溢出效应传递基本上随着到新建高速公路距离增加而衰减。图3显示:各市可达性收益随着到新建公路距离增加而逐渐减小,显示重力模型测度经济潜力可达性收益的特征。其次,各市新建高速公路在邻近地区产生非均衡性的溢出效应:① 新建高速公路方向扭曲了空间距离的影响。若新建项目影响南北走向,那么其溢出效应强度要优于东西向地区。如图3显示:淮安东西向与盐城南北向新建高速公路对两边地区溢出效应显著高于其他方向。② 新建高速公路区位影响溢出效应分布强度。位于区域边缘的南京、徐州及苏州的溢出效应强度与范围明显不及处于中间地区的盐城、宿迁、淮安等地。中间地区是过境地区,各地更容易受其过境地区交通影响。③ 位于新建公路两端邻近市的溢出效应强度不对称,靠近研究区边缘一侧地区强度较高。如宿迁、镇江、常州,新建公路两端溢出效应强度差别显著,因为它提高边缘地区的乡镇到其他乡镇或市区的便捷程度。最后,溢出效应空间分布强度和高速公路网络结构体系特征有关。若某市新建公路与其他市主要高速网络联系,则该市溢出效应能得到较好地扩展与延伸。从空间角度来看,高速公路网络要素完善不仅在新建交通要素上产生积极的网络效应,也会将其效应在其他联接的高速公路网络要素上传递。

(2) 区际可达性空间溢出效应矩阵。各市交通投资带给本市可达性收益不是溢出效应,而仅是内部可达性收益。交通基础设施投资地以外的各市可达性收益则是纯粹溢出效应。表3显示各市内部保留的可达性收益与输出、输入的溢出效应。每个纵列提供各地区内部与输出溢出效应,每个横列提供各地区内部与输入溢出效应。通过对比情景分析,分析区域的可达性收益,辨析哪些收益保留(内部收益)、哪些被输出到其他地区(空间溢出)。① 中间地区城市溢出效应普遍高于边缘地区城市,即纯粹输出收益占总输出比重高(表3)。各地接受溢出效应规模相差较大,基本呈现距离衰减特征。表3显示:溢出效应高的市有淮安、宿迁与盐城。其中,淮安内部收益为1387.26,输出收益为3472.67,占71%。在相邻地区的溢出效应也非常明显,如徐州(975.59),宿迁(579.99),盐城(474.78),距离它较远地区的市,如南京(71.88),苏州(172.83)。宿迁内部收益仅为334.55,输出收益为2129,占86%;溢出效应比重低的市有连云港、南通等地,其中连云港、南通输出收益仅占37%与41%。② 各市新建公路里程差异导致溢出效应分布明显不对称,例如,从盐城到扬州的溢出效应达到68.89,而从扬州到盐城的溢出效应则仅为0.03。③ 各市输入与输出收益不对称。各市在空间溢出的同时,也在输入其他各市的溢出效应。其中,常州、淮安、盐城输出收益远高于输入,南通与连云港则基本平衡,南京、徐州、输入远大于输出。多数中间地区是溢出效应显著地区,而区域边缘城市普遍为收益输入地区,这说明中间地区交通投资建设更有助于提高边缘地区可达性水平。

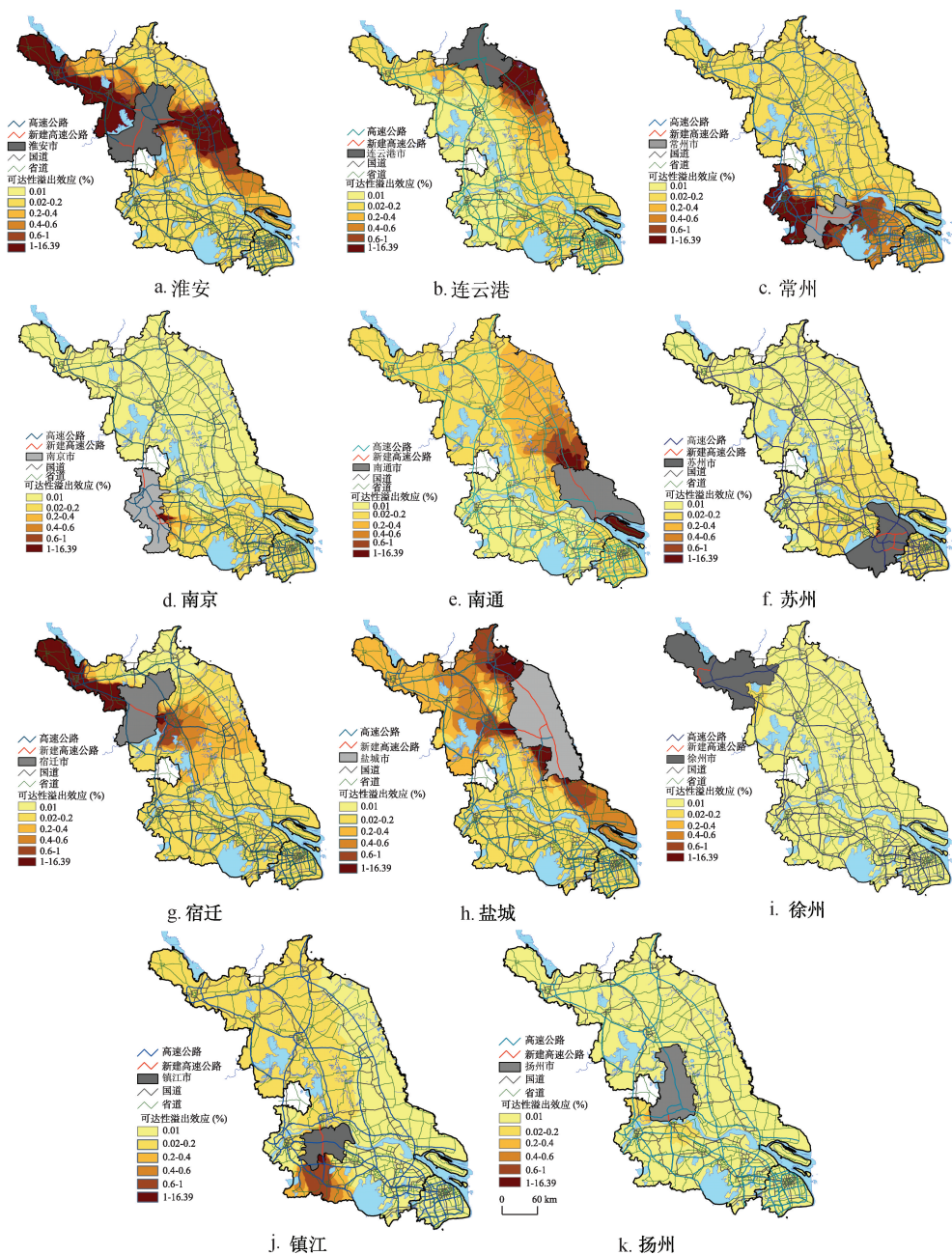


图3 江苏各市可达性溢出效应空间分析

Fig. 3 The analysis on accessibility spillover effects of prefecture-level cities in Jiangsu Province

3.2 交通基础设施投资空间溢出效应分析

根据可达性分析与溢出效应货币化模型，假设重新分配各市高速公路投资，某地区“真正”交通投资等于他的实际投资加上它输入的投资在减去其输出投资，从而得到各市交通投资的货币化矩阵（表4），其包括各市保留、输入与输出的交通投资。根据区域可达性收益获得区际投资矩阵来分配交通基础设施投资成本。每个纵列提供各地区内部与输出投资，每行提供各地区内部与输入投资。该部分根据可达性收益得到区域内部投资矩

表4 高速公路投资空间溢出效应的货币化矩阵 (亿元)

Tab. 4 Monetized spillover matrix of highway investment flows between regions (100 million yuan)

从 到	常州	扬州	淮安	连云港	镇江	南京	南通	宿迁	苏州	徐州	盐城	真正投资	输入
常州	18.41	1.37	0.91	0.18	11.35	8.37	0.20	0.35	3.76	0.05	1.20	46.15	27.74
淮安	0.33	0.00	27.99	0.07	2.96	0.07	4.55	3.14	0.99	0.29	16.18	56.57	28.58
连云港	0.14	0.00	0.58	7.50	0.95	0.03	3.11	0.03	0.49	0.21	13.35	26.38	18.88
南京	22.87	1.65	1.40	0.01	5.09	37.70	0.13	0.52	1.27	0.08	0.49	71.21	33.51
南通	2.01	0.06	5.59	0.86	0.11	2.67	69.67	0.61	3.15	0.18	16.52	101.44	31.77
苏州	9.42	0.88	6.49	0.44	3.04	6.91	2.83	1.96	107.85	0.38	8.06	148.26	40.41
泰州	2.28	0.02	5.86	0.88	1.05	0.96	7.68	1.00	10.57	0.16	14.76	45.20	45.2
无锡	4.13	3.72	4.81	0.33	2.63	2.60	0.93	2.76	5.80	1.16	3.00	31.86	31.86
宿迁	0.22	0.00	8.90	0.22	1.78	0.05	3.73	1.90	0.71	0.27	7.06	24.85	22.95
徐州	0.33	0.02	18.19	0.53	1.39	0.17	2.46	2.63	5.21	8.94	5.95	45.82	36.88
盐城	0.64	0.01	12.94	3.78	0.97	0.21	14.30	1.42	2.90	14.25	60.26	111.68	51.42
扬州	0.94	8.89	4.79	0.03	7.81	0.57	2.36	1.30	2.53	0.17	3.77	33.16	24.27
镇江	5.63	1.39	1.59	0.16	14.04	9.31	0.56	0.38	6.35	0.06	2.60	42.06	28.02
直接投资	67.35	18.00	100.02	15.00	53.18	69.61	112.50	18.00	151.58	26.21	153.20	784.65	-
输出	48.94	9.11	72.03	7.5	39.14	31.91	42.83	16.1	43.73	17.27	92.94	-	-
输出比重	72.67%	50.61%	72.02%	50.00%	73.60%	45.84%	38.07%	89.44%	28.85%	65.89%	60.67%	-	-

阵，分别对2005-2009年各市交通投资重新分配，得到各市获得的真正投资额。

(1) 各地输入与输出投资不对称。南京从常州高速公路投资中输入22.87亿元，然而常州仅从南京投资中输入8.37亿元。纵列投资总和等于各市直接投资，各行投资总和为各市真正投资，真正投资根据溢出效应得到。

(2) 各市溢出与输入投资差异较大，中间地区城市输出投资占实际投资比重普遍高。表5显示各市新建高速公路输出投资额及其占实际交通投资比重，结果表明：各市高速公路输出投资规模差别显著，它们占各市实际交通投资比重从28.8%到89.4%；江苏省各市高速公路的53.7%投资额被输出到其他地区。从各市输出投资额占实际投资额比重看，一般中间地区城市输出投资占实际投资额比重高，包括宿迁、淮安、常州、镇江；边缘城市输出投资比重低，包括苏州、南通。表5显示各市高速公路输入的投资额及其占真正交通投资比重，未投资高速公路建设的泰州与无锡获得全部投资。各市输入投资占真正交通投资比重从27.3%到100%，各市输入投资占直接投资比重差距较大。

(3) 各地实际投资与真正投资均不相同。比较真正投资与实际投资发现，常州、淮安、盐城、镇江与南通等地，真正投资均低于实际投资，本地区交通投资多数转移给其他地区。对比苏中、苏南与苏北地区两类投资得知，苏北投资产生上游影响。苏北实际投资312.43亿元，而真正投资为265.3亿元，而苏中与苏南真正投资均超过实际投资。这说明，苏北中间地区高速公路投资带来的可达性收益将惠及到苏中与苏南地区。

(4) 各市新建高速公路里程数影响本地溢出交通投资额。通过对比各市投资公路里程与输出投资额可知，一般新建高速公路里程越长，输出投资额越高。

3.3 空间溢出效应与交通公平性的关系

交通基础设施被普遍认为是实现区域公平的关键因素之一^[18]。区域均衡发展是制订交

表5 高速公路投资输入与输出投资情况分析

Tab. 5 The analysis on real and direct investment, highway infrastructure investment imported and exported

地区	输入 投资	真正 投资	输入投资占 真正投资比重	真正投资与 直接投资相差	输出 投资	直接投资 (实际投资)	输出投资占 直接投资比重
常州	27.74	46.15	0.60	-21.20	48.94	67.35	0.73
扬州	24.27	33.16	0.73	15.16	9.11	18	0.51
淮安	28.58	56.57	0.51	-43.45	72.03	100.02	0.72
连云港	18.88	26.38	0.72	11.38	7.50	15	0.50
镇江	28.02	42.06	0.67	-11.12	39.14	53.18	0.74
南京	33.51	71.21	0.47	1.60	31.91	69.61	0.46
南通	31.77	101.44	0.31	-11.06	42.83	112.5	0.38
宿迁	22.95	24.85	0.92	6.85	16.10	18	0.89
苏州	40.41	148.26	0.27	-3.32	43.73	151.58	0.29
徐州	36.88	45.82	0.81	19.61	17.27	26.21	0.66
盐城	51.42	111.68	0.46	-41.52	92.94	153.2	0.61
泰州	45.20	45.20	1.00	45.20	0	0	0.00
无锡	31.86	31.86	1.00	31.86	0	0	0.00
合计	421.49	784.65	0.54	-	421.49	-	0.54
苏北	-	265.3	-	-	-	312.43	-
苏中	-	221.86	-	-	-	183.68	-
苏南	-	297.48	-	-	-	288.54	-

通政策的重要目标，缩短各地发展机会的差距，提高外围地区到中心城市可达性是很多国家交通总体规划的目标。区域可达性的均衡度指标经常用来说明交通公平性水平，而本文采用上游与下游影响说明空间溢出效应与公平性相互关系。

在某个地区交通投资不仅影响投资地本身可达性，也影响周边地区。对于低可达性地区交通投资，不能仅考虑投资到该地区的经济成本，也应分析有多少收益转化到其他地区。积极的交通总体规划的公平性影响会因为空间溢出效应而变得模糊。当可达性空间溢出效应被低可达性地区所获取，那么规划将有助于推动公平性；反之，当它被高可达性地区所获取，交通公平性则会受到削弱^[28]。在本文中，下游影响指在可达性地区投资产生的空间溢出被低可达性地区获取；上游影响是指在低可达性地区投资产生的空间溢出被高可达性地区获取。

为了分析空间溢出效应对公平性影响，表6中内部保留值归零，下游影响设置为正值，上游影响设置为负值，根据各地平均潜力值来获得各地可达性收益方向，从而得到表6。表6显示下游影响（53.8%）大于上游影响（46.2%），这表明空间溢出效应整体仍朝着有利于缩小区域可达性差距方向发展。然而各地下游影响比重差距大，从0到89.6%。苏州、常州、淮安、南通等下游影响相对较高，而徐州、南京、连云港、扬州、宿迁下游影响比重相对较低。下游影响与各地区域平均潜力水平、区位分布关系密切。位于边缘地区城市下游影响一般较低，而处于中间地区城市较高。

4 结论与讨论

本文以江苏高速公路为例，借鉴国外交通可达性空间溢出效应模型，采用经济潜力指数、成本栅格技术与微观单元尺度数据，构筑基于可达性分析的交通投资空间溢出效应评

表6 区域交通可达性空间溢出效应产生的上游与下游影响（经济潜力指数）
Tab. 6 Up and downstream effects from accessibility spillover matrix (economic potential index)

到\从	常州	扬州	淮安	连云港	镇江	南京	南通	宿迁	苏州	徐州	盐城	平均 潜力值
徐州	21.04	0.04	975.59	55.17	9.96	1.41	54.15	380.93	17.94	0	144.21	44.72
连云港	11.49	0	41.1	0	9.04	0.33	90.51	5.97	2.21	-3.31	427.62	47.83
宿迁	16.79	0	579.99	-28.39	15.52	0.51	100.02	0	2.98	-3.93	207.76	51.85
南京	1390.32	4.11	71.88	-0.64	34.96	0	2.81	-71.91	4.19	-0.92	11.28	55.05
盐城	27.74	0.03	474.78	-269.44	4.77	-1.22	215.59	-140.76	6.83	-116.77	0	55.80
南通	94.5	0.11	221.45	-66.32	0.57	-16.89	0	-65.32	8.01	-1.62	-295.65	56.53
淮安	19.14	0	0	-7.06	19.61	-0.58	-92.6	-420.03	3.13	-3.24	-362.27	56.68
扬州	45.08	0	-193.66	-2.6	42.26	-3.69	-39.29	-142.19	6.56	-1.5	-68.89	62.64
泰州	104.69	-0.03	-227.43	-66.59	5.45	-5.93	-122.54	-104.7	26.33	-1.39	-259.02	65.66
镇江	502.32	-5.09	-119.56	-23.58	0	-111.96	-17.21	-76.76	30.71	-0.96	-88.64	66.73
无锡	338.17	-12.5	-332.48	-44.69	-24.27	-28.68	-26.53	-515.75	25.73	-17.97	-93.64	72.53
常州	0	-4.54	-61.91	-23.58	-103.49	-91.25	-5.69	-63.99	16.44	-0.84	-37.14	73.64
苏州	-297.07	-1.14	-172.83	-22.8	-10.84	-29.4	-30.94	-140.76	0	-2.29	-96.94	73.79
下游影响比重	89.64%	15.55%	68.10%	9.03%	50.63%	0.77%	58.04%	18.17%	100%	0	37.79%	-

价方法，针对各市可达性，对比两种情景，刻画了各市溢出效应空间特征，并通过各市溢出效应货币化矩阵，评价交通可达性溢出效应，分析溢出效应与公平性之间的关系，研究刻画了交通网络的影响，分析潜在受益者。通过分析发现如下特点：

（1）可达性溢出效应传递基本上随着到新建高速公路距离增加而衰减，但新建高速公路方向与区位影响了溢出效应的分布强度，产生非均衡性的溢出效应格局。此外，多数中间地区是溢出效应显著地区，边缘区域一般为溢出效应的输入地区，中间地区交通建设有助于提高边缘地区可达性水平。

（2）在交通投资溢出效应分析中，全省54%的实际投资输出给其他各市，而且各市溢出与输入投资规模差别大，各地输入与输出投资不对称，中间地区交通投资溢出规模普遍比边缘地区高，各地实际投资与真正投资差距显著，苏北中间地区交通投资收益将惠及苏中与苏南地区。

（3）在溢出效应与交通公平性关系分析中，江苏下游影响大于上游影响，这表明空间溢出效应整体仍朝着有利于缩小区域可达性差距方向发展，而位于边缘地区城市下游影响一般较低，而处于中间地区城市较高。

需要指出的是可达性研究结果受到研究范围的影响。本文仅以省域各城市及上海市为目的，各地在省内区位对可达性结果产生了较大的影响，若研究空间范围变化，结果会有所不同。

参考文献(References)

[1] Pereira M A, Sagalés O R. Spillover effects of public capital formation: Evidence from the Spanish regions. Journal of Urban Economics, 2003, 53(2): 238-256

[2] Gutiérrez J, Condeço-Melhorado A, López E et al. Evaluating the European added value of TEN-T projects: A methodological proposal based on spatial spillovers, accessibility and GIS. Journal of Transport Geography, 2011, 19

- (4): 840-850.
- [3] Aschauer D A. Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*, 1989, 23(2): 177-200.
- [4] Munnell A H. Infrastructure investment and economic growth. *Journal of Economic Perspectives*, 1992, 6(4): 189-198.
- [5] Boarnet M G. Spillovers and the locational effects of public infrastructure. *Journal of Regional Science*, 1998, 38(3): 381-400.
- [6] 刘勇. 交通基础设施投资、区域经济增长及空间溢出作用. *中国工业经济*, 2010, (12): 37-46. [Liu Yong. Transport infrastructure investment, regional economic growth and the spatial spillover effects. *China Industrial Economic*, 2010, 273(12): 37-46.]
- [7] 魏下海. 基础设施、空间溢出与区域经济增长. *经济评论*, 2010, (4): 82-87. [Wei Xiahai. Infrastructure, spatial spillover and regional economic Growth. *Economic Review*, 2010, 4: 82-87.]
- [8] 张志, 周浩. 交通基础设施的溢出效应及其产业差异. *财经研究*, 38(3): 124-133. [Zhang Zhi, Zhou Hao. The spillover effects of transportation infrastructure and industrial differences. *Journal of Finance and Economics*, 2012, 38(3): 124-133.]
- [9] Gutiérrez J, Condeço-Melhorado A, Martín J C. Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(1): 141-152.
- [10] Condeço-Melhorado A, Gutiérrez J, Martín J. Spatial impacts of road pricing: Accessibility, regional spillovers and territorial cohesion. *Transportation Research Part A*, 2011, 45(3): 185-203.
- [11] López S, Monzón A, Ortega E et al. Assessment of cross-border spillover effects of national transport infrastructure plans: An accessibility Approach. *Transport Reviews*. 2009, 29(4): 515-536.
- [12] Laird J, Nellthorp J, Mackie P. Network effects and total economic impact in transport appraisal. *Transport Policy*, 2005, 12(6): 537-544.
- [13] Vickerman R W. The regional impacts of trans-European networks. *Annals of Regional Science*, 1995, 29 (2): 237-254.
- [14] Weisbrod G, Treyz F. Productivity and accessibility: Bridging project specific and macroeconomic analyses of transportation investments. *Journal of Transportation and Statistics*, 1998, 1(3): 65-79.
- [15] Banister D, Berechman J. *Transport Investment and Economic Development*. London: UCL Press, 2000.
- [16] Rienstra S, Rietveld P, Hilferink M, et al. Road infrastructure and corridor development. In: Lundqvist L, Mattson L G, Kim T J (eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment: Advances in Spatial Systems Modelling*. Berlin: Springer Verlag, 1998. 395-414.
- [17] Holl A. Manufacturing location and impacts of road transport infrastructure: Empirical evidence from Spain. *Regional Science and Urban Economics*, 2004, 34(3): 341-363.
- [18] Holl A. Twenty years of accessibility improvements: The case of the Spanish motorway building programme. 2007, 15 (4): 286-297.
- [19] Vandenbulcke G, Steenberghen T, Thomas I. Mapping accessibility in Belgium: A tool for land-use and transport planning? *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(1): 39-53.
- [20] 曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. *地理学报*, 2005, 60(6): 903-910. [Cao Xiaoshu, Xue Desheng, Yan Xiaopei. A study on the urban accessibility of national trunk highway system in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 903-910.]
- [21] 金凤君, 王姣娥. 二十世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. *地理学报*, 2004, 59(2): 293-302. [Jin Fengjun, Wang Jiao'e. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 293-302.]
- [22] 张莉, 陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价. *地理学报*, 2006, 61(12): 1235-1246. [Zhang Li, Lu Yuqi. Assessment on regional accessibility based on land transportation network: A case study of the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1235-1246.]
- [23] 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化. *地理学报*, 2006, 61(10): 1065-1074. [Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong et al. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1065-1074.]
- [24] 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 开放条件下长江三角洲区域的综合交通可达性空间格局. *地理研究*, 2007, 26(2): 391-402. [Wu Wei, CAO Youhui, CAO Wei dong et al. On the patterns of integrated transportation accessibility in the Yangtze River Delta under opening conditions. *Geographical Research*, 2007, 26(2): 391-402.]
- [25] 金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析. *地理学报*, 2008, 63(8): 787-798. [Jin Fengjun, Wang Chengjin, Li Xiuwei. Discrimination Method and Its Application Analysis of Regional Transport Superiority. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 787-798.]
- [26] Hou Q, li S M. Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990-2020. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1350-1360.

- [27] Dundon-Smith D M, Gibb R A. The Channel Tunnel and regional economic development. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(3): 178-189.
- [28] Condeço-Melhorado A, Martín J, Gutiérrez. Regional spillovers of transport infrastructure investment: A territorial cohesion analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2011, 11(4): 389-404.

Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of expressway investment: A case study in Jiangsu Province

JIANG Haibing¹, ZHANG Wenzhong¹, QI Yi², ZHOU Liang³

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Choosing Jiangsu province as the study region, we measure spatial spillovers of 2005-2009 expressway investment based on the key methods including accessibility analysis, extract method, scenario analysis method, region spillover model and inter-regional spillover matrix. Then we monetize spatial spillovers by distributing the costs of the new incremental infrastructures according to the regional distribution of the potential accessibility benefits. Firstly we use network analysis in GIS toolbox to calculate and map economic potential benefit values between the two scenarios based on extract method and then based on these values we can acquire accessibility spillover matrix according to region spillover model. Secondly this matrix is monetized by distributing the costs of the investment in the new incremental infrastructures of the region according to the regional distribution of the economic potential benefits. Thirdly we apply the inter-regional spillover matrix of investments flows to characterize the "inner", "export" and "import" values of each type of the regional expressway investments based on the spatial spillover effects. Furthermore we can estimate the real investment as well as its differences with actual investment. By applying the above methods, we can analyze the potential beneficiaries of the new infrastructure spillovers effects and their spatial distribution.

The result shows that intensity of accessibility spillover effects tends to be weak as the distance to new infrastructure increases on the whole. In addition the new expressway investment gives rise to non-equilibrium effects in the neighbouring regions since the direction and location of the new lines distorts the effect of the distance. Secondly intensity of accessibility spillover effects is more higher in the regions located in the centre than in the periphery of Jiangsu. Besides the periphery is the main region where the spillover effects are imported. Thirdly the transport infrastructure investment in central region can improve the accessibility level of the peripheral region. Furthermore the transport investment of middle region in north Jiangsu can be exported and bring benefits to other regions in Jiangsu by means of spillover effects. At last, as far as the relationship between the spillover and spatial equity is concerned, the downstream effect is greater than upstream effect during Jiangsu expressway building, which explains that spillover effects of all new infrastructure are in favour of narrowing the gap between regional accessibility. The downstream of new infrastructure located in peripheral region is lower, opposite to higher downstream in central region.

Key words: transportation infrastructure; accessibility; spatial spillover; transport investment