

中国省际人口迁移的多边效应机制分析

蒲英霞^{1,2,3}, 韩洪凌⁴, 葛莹⁵, 孔繁花^{2,6}

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023;
3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 4. 临沂大学商学院, 临沂 276000;
5. 河海大学地球科学与工程学院, 南京 210098; 6. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210023)

摘要: 区际人口迁移不仅与迁出地和目的地的要素特征以及距离有关, 而且还受到周边迁移流的影响。基于网络自相关理论, 利用“六普”省际人口迁移数据和相关统计资料, 在重力模型的基础上考虑迁移流之间可能存在的几种空间依赖形式, 构建中国省际迁移流的空间 OD 模型, 初步揭示区域经济社会等因素及其空间溢出效应对省际人口迁移的影响, 并就区域要素变化对整个省际人口迁移系统产生的“连锁反应”进行了模拟。结果表明: ① 中国省际迁移流之间存在显著的网络自相关效应。目的地和迁出地的自相关效应皆为正, 导致迁入和迁出流的空间效仿行为; 迁出地和目的地周边则出现负的自相关效应, 导致迁移流的空间竞争行为; ② 区域经济社会等因素通过网络空间关系对周边地区产生的多边溢出效应导致迁移流在空间上集聚。其中, 距离衰减效应位居各要素之首, 其溢出效应进一步加剧距离的摩擦作用; 对目的地而言, 区域工资水平和迁移存量超过 GDP 的影响并产生正的溢出效应, 促进周边地区吸引更多的外来人口; 对迁出地而言, 人口规模和迁移存量产生正的溢出效应, 推动周边地区人口外迁; ③ 区域要素变化潜在地对整个省际人口迁移系统产生一系列“连锁反应”, 震荡中心及其周边区域的迁移流波动较大。江苏省 GDP 增长 5% 的模拟结果表明, 江苏迁往全国其他省份的人口数量都有不同程度地减少, 而其他省份迁入人口均有所增加。相对而言, 江苏周边省份的迁入或迁出流受到的波动较大, 偏远省份波及较小, 这是传统的重力模型所无法解释的。

关键词: 人口迁移流; 网络自相关; 多边效应; 空间 OD 模型; 空间机制; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201602003

1 引言

随着全球经济一体化和区域城市化进程的不断加快, 不同地域范围之间的人口迁移流动规模日益增长, 对国家或地区人口再分布和经济社会发展产生了深刻影响, 引起世界各国政府、学界和社会的广泛关注^[1]。人口迁移建模因理论视角和研究方法的不同, 通常分为微观和宏观两个学派^[2]。微观建模基于离散选择理论和效用最大化原理, 识别影响潜在迁移主体(个体或家庭)做出迁移决策行为的各种因素, 包括性别、年龄、家庭规模以及目的地就业、工资或房价等^[3-4]; 宏观建模基于古典经济学和统计均衡方法, 将人口迁移置于国家或地区劳动力市场背景下, 研究宏观社会经济结构对迁移主体群体行为的影响, 识别人口在不同区域之间迁移流动的“推力”和“拉力”因素^[5-9]。由于很难获

收稿日期: 2015-05-14; 修订日期: 2015-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271388); 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心资助项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271388; Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD); Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application]

作者简介: 蒲英霞(1972-), 女, 博士, 副教授, 主要从事 GIS 与空间数据分析集成研究。E-mail: yingxiapu@nju.edu.cn

得关于个体或家庭迁移决策方面的微观调查数据,人口迁移和影响因素之间的宏观关系研究更为常见^[10]。

从系统的角度来看,不同区域之间的人口迁移流构成一个复杂的网络系统。其中,区域可看作迁移网络的节点,既是迁出地(Origin, O),又是迁入地或目的地(Destination, D),节点之间的OD迁移流不仅与迁出地和目的地有关,而且还受到周边迁移流的多边溢出效应。然而,传统的宏观人口迁移建模多以重力模型(或空间相互作用模型)为主,建立在迁移流之间相互独立的假设基础上,即迁移流的大小主要取决于迁出地和目的地的“推拉”因素(如人口、工资水平或就业率等)以及距离衰减效应,而与其他迁移流不相关。这意味着当区域某要素发生变化时,仅影响与此区域直接相关的那些迁移流,而其他不以该区域作为迁出地或目的地的迁移流将不会发生任何变化。传统的重力模型本质上是关于迁出地和目的地的“双边效应”分析,难以解释人口在迁移过程中还受到其他周边区域影响的“多边效应”机制,以及区域要素变化如何潜在地对整个迁移系统产生一系列“连锁反应”的过程^[11]。

“多边效应”是区域人口迁移系统中各个迁出地、目的地或迁移流之间的相互依赖、相互制约。20世纪70年代以来,研究人员开始对重力模型的独立性假设进行检验、修正,为人口迁移宏观建模的“多边效应”正式表达奠定了基础。Curry最早发现距离变量并不能避免重力模型残差中的空间依赖^[12];Griffith等进一步提出以因变量的空间滞后或误差项的空间自回归形式捕捉此依赖关系的设想^[13];Goodchild将基于二维平面的空间自相关概念拓展到网络背景下,指出当连接网络系统各节点的弧段在属性上具有相似性时,弧段之间可能存在自相关特征^[14];Black以1965-1970年美国9大统计区之间的人口迁移数据为例,利用全局自相关Moran's I统计量,进一步证实了迁移流之间存在相互依赖关系,并将其定义为网络自相关^[15]。直到最近,基于空间自回归形式的重力模型才得以估计和解释。LeSage等将网络系统中节点与弧段的依赖关系进一步区分为迁出地(O)、目的地(D)和OD流3种依赖形式,在重力模型的基础上形成几种不同约束条件的空间OD模型,并运用极大似然原理对系数进行估计,解决了此类模型长期以来所面临的复杂计算问题^[16]。Chun利用特征向量空间过滤方法对迁移流之间的网络自相关进行了处理,显著提高了模型的拟合性能^[17]。空间过滤方法能够有效降低参数估计的偏差,但同时也过滤掉了一些有意义的空间信息,如溢出效应^[18]。LeSage等提出了基于偏导数的总体效应的概念,对空间OD模型的系数估计进行了重新解释,这使得其与重力模型的估计结果之间具有了可比性,为定量分析区域人口迁移过程中的“多边效应”机制提供了有效的分析手段^[19]。

目前国内人口迁移建模研究大多采用重力模型,运用最小二乘法估计和识别影响区域人口迁移的“推拉”因素。杨云彦等利用“四普”1%迁移样本数据,通过多区域重力模型的估计,发现距离是最重要的省际迁移影响变量,距离每增加10%,迁移量将减少15%~20%,目的地经济变量的作用大于迁出地相关变量,表现出不对称关系^[20];蔡昉等利用“五普”数据,就省际迁移和人均消费水平、失业率、外商直接投资、迁移存量和距离等要素之间的关系进行了回归分析,发现人均消费水平和外商直接投资高、迁移存量以及失业率低的区域能吸引较多外来人口^[21];王桂新等比较了“五普”和“六普”期间省际人口迁移的影响因素,发现城镇人均可支配收入对外来人口具有吸引力,迁出地和目的地相邻更容易发生迁移,目的地拉力是决定中国省际人口迁移分布模式的主要动力^[22]。这种基于“双边效应”框架的定量分析,能够在很大程度上反映影响中国省际人口迁移的主要“推力”和“拉力”因素,但忽视了迁移流之间的依赖关系,无法揭示

人口迁移过程中的多边溢出效应机制。于文丽等分析了“五普”期间省际人口迁移流之间的依赖关系，初步探索了其对参数估计的影响^[23]。然而，该模型给出的空间依赖程度过高，对系数的解释也值得进一步关注。

本文利用“六普”期间中国省际人口迁移数据和相关经济社会统计资料，以网络自相关为基础，围绕迁出地、目的地和迁移流之间的空间依赖关系，通过几种不同形式的网络权重矩阵，在传统重力模型的基础上构建表征“多边效应”的省际人口迁移空间OD模型，并通过对江苏省GDP增长5%的模拟，进一步考察区域要素变化对整个迁移系统产生的“连锁反应”，以期对日益活跃的中国省际人口迁移的空间机制做出较为合理的解释。

2 数据来源、变量选择与处理

2.1 数据来源

省际人口迁移数据来自《中国2010年第六次全国人口普查资料》（“六普”），根据统计表“全国按现住地、性别分的户口登记地在外省的人口”汇总而成^[24]。在中国现行户籍体制下，若按照户口是否发生改变的判断标准，“人口迁移”和“人口流动”是两个不同的概念，但国际上并没有“人口流动”，而只有“人口迁移”^[25]。最近，在《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》中，将居住在本乡镇街道，且离开户口登记地所在的乡镇街道半年以上的人口纳入常住人口统计范畴^[26]，标志着一部分“流动人口”具有了“迁移人口”的性质。据此，本文将离开户口登记地半年以上并跨越省界范围的外来人口界定为省际迁移人口，全国31个省（自治区、直辖市）之间共有930条省际迁移流（不包括港澳台地区和省内迁移流）。

2.2 变量选择与处理

人口规模作为迁出地和目的地的区域质量特征，最早由Zipf引入万有引力公式，为定量研究人口迁移奠定了基础^[27]。自Lee将人口迁移概念系统化并形成“推拉”学说之后，人口迁移研究进入活跃期，新古典主义经济学、二元劳动力市场、循环累积因果等进一步补充和完善了人口迁移理论，地区经济发展水平、就业率、个人收入和发展机会等成为影响区域人口迁移的“推拉”因素，在不同时空范围尺度的人口迁移模型中得以比较和检验^[5-8, 28-31]。本文选择人口规模、地区国内生产总值（GDP）、失业率、工资水平、高等学校在校大学生比例、迁移存量和距离等变量，综合考察区域宏观经济社会发展状况对省际人口迁移的多边效应机制（表1）。同一个区域作为迁出地或目的地时均选用相同的解释变量，并在变量名称前添加“O_”或“D_”以区分上述两种角色（如O_GDP，D_GDP）。若迁出地和目的地选用不同的解释变量，则意味着预先对区域施加了不同的约束条件，可能会造成由于变量缺失或遗漏而导致估计结果有偏^[32]。在

表1 主要解释变量的描述与预期效应
Tab. 1 Descriptions and expected effects of major explanatory variables

变量名称	变量描述	变量预期效应	
		迁出地变量	目的地变量
pop	2010年中国各省总人口(人)	+	-
GDP	2010年中国各省地区国内生产总值(亿元)	-	+
uemp	2010年中国各省城镇登记失业率(%)	+	-
wage	2010年中国各省城镇实际工资率(%)	-	+
stu	2010年中国各省高等院校在校大学生比例(%)	-	+
flows	1995-2000年间中国省际迁移人口存量(人)	+	+
Dist	目的地和迁出地省会城市之间铁路里程(km)	-	

地GDP、工资水平、高校在校生和迁移存量以及迁出地人口、失业率和迁移存量等变量的总体效应为正,促进省际人口迁移,其余变量的总体效应为负,对省际迁移具有阻碍作用。

本文将2005-2010年间省际人口迁移数据作为模型的因变量,其他变量作为解释变量。其中,各省总人口、经济和社会变量数据来自《中国统计年鉴》(2011)^[33],迁移存量来自《中国2000年第五次人口普查资料》(“五普”)^[34]。根据模型估计要求,对所有变量(常数项除外)进行了对数化处理。

3 研究方法

3.1 重力模型

人口迁移建模大部分采用重力模型(包括各种约束模型),即利用迁出地和目的地的要素特征表达人口迁移过程中的“推力”和“拉力”,并以距离变量解释迁移流在地域空间上的衰减效应。该模型的对数表达形式如下^[16]:

$$y = \alpha l_N + X_d \beta_d + X_o \beta_o + \gamma g + \varepsilon \quad (1)$$

式中: y 为省际人口迁移流的列向量; l_N 为所有元素均为1的列向量; X_d 和 X_o 分别对应目的地和迁出地的解释变量矩阵; g 为目的地与迁出地之间的距离向量; α 为常向量 l_N 的系数; β_d 、 β_o 为参数向量; γ 为距离向量 g 的系数; ε 为服从标准正态分布的误差项向量。

经对数变换后,重力模型可采用普通最小二乘法(OLS)估计,此时各变量的系数可看作弹性系数,即在其他条件不变的情况下,解释变量每增加(或减小)1%,因变量发生相应大小的变化。其中,若目的地某变量 r 的系数(β'_d)为正,表明该变量增加会吸引更多的迁入流;迁出地某变量 r 的系数(β'_o)为正,表明该变量增加会产生更多的迁出流。此时,迁出地和目的地相关要素分别对应“推力”和“拉力”因素。LeSage等进一步指出,重力模型的系数估计与双边效应估计(由自变量 X 变化引起因变量 y 变化的偏导数形式)相一致,因此,可直接利用系数估计结果来判断区域要素变化对迁移流的影响^[19]。

3.2 空间OD模型

事实上,区域人口迁移不仅受到迁出地和目的地“双边”要素特征的影响,而且也依赖于“第三方”区域要素变化和周边人口迁移的大环境。LeSage等具体定义了3种空间依赖形式:当从某迁出地(甲)到某目的地(乙)的迁移流较大时,①若从迁出地甲的周边地区(丙)到目的地乙的迁移流也较大,则迁出地之间存在空间依赖;②若从迁出地甲到目的地乙的周边地区(丁)之间的迁移流也较大,则目的地之间存在空间依赖;③若从迁出地甲的周边地区(丙)到目的地乙的周边地区(丁)也伴随着较大的迁移流,则迁出地和目的地同时存在空间依赖,简称流的空间依赖。在此基础上,分别采用3种网络权重矩阵(W_o 、 W_d 、 W_w)表示迁出地、目的地和流之间的空间关系,构建因变量的相应空间滞后形式($W_o y$ 、 $W_d y$ 、 $W_w y$),形成重力模型的空间自回归形式,即空间OD模型^[16]。Chun将“中介机会”和“目的地竞争”概念与迁出地网络权重矩阵(W_o)和目的地网络权重矩阵(W_d)相关联,初步建立了权重矩阵的社会行为理论基础^[17]。该模型有几种不同的约束形式,这里给出最为一般的表达式^[16, 19]:

$$y = \rho_o W_o y + \rho_d W_d y + \rho_w W_w y + \alpha l_N + X_d \beta_d + X_o \beta_o + \gamma g + \varepsilon \quad (2)$$

式中: $W_o y$ 是基于迁出地的因变量空间滞后,表征迁出地周边邻居的加权平均迁移流; $W_d y$ 是基于目的地的因变量空间滞后,表征目的地周边邻居的加权平均迁移流; $W_w y$ 是基

于流依赖的因变量空间滞后，表征迁出地邻居和目的地邻居之间的加权平均迁移流； ρ_o 、 ρ_d 和 ρ_w 分别表示迁出地、目的地和流的网络自相关效应强度。

参考LeSage等对空间回归模型的解释，将式（2）中的3个因变量空间滞后项移至等式左边，经矩阵逆运算后得到式（3）所示的数据生成过程^[1]。

$$y = (I - \rho_o W_o - \rho_d W_d - \rho_w W_w)^{-1} (\alpha_N + X_d \beta_d + X_o \beta_o + \gamma g + \varepsilon) \quad (3)$$

为了更直观地了解区域人口迁移过程中“多边效应”的来源以及作用机制，可以对式（3）中的逆矩阵作适当变换。在满足空间平稳性约束条件（ $\rho_d + \rho_o + \rho_w < 1$ ），且3种网络权重矩阵（ W_o 、 W_d 、 W_w ）均为行标准化时，利用泰勒级数方法将上述逆矩阵分解为：

$$(I - \rho_o W_o - \rho_d W_d - \rho_w W_w)^{-1} = I + \rho_o W_o + \rho_d W_d + \rho_w W_w + (\rho_o W_o + \rho_d W_d + \rho_w W_w)^2 + (\rho_o W_o + \rho_d W_d + \rho_w W_w)^3 + \dots \quad (4)$$

单位矩阵 I 意味着区域要素变化仅影响与该区域有关的迁移流， $\rho_o W_o + \rho_d W_d + \rho_w W_w$ 表示区域要素变化可通过网络邻接关系（权重矩阵）对迁出地和目的地邻居产生溢出、扩散等影响，其二次幂 $(\rho_o W_o + \rho_d W_d + \rho_w W_w)^2$ 则反映区域要素变化对迁出地或目的地邻居的邻居（二阶邻居）产生影响，以此类推，最终对整个迁移系统产生一系列的“连锁反应”。

传统的重力模型假定以上几种网络自相关效应不存在（ $\rho_o = \rho_d = \rho_w = 0$ ），此时式（4）简化为单位阵，非对角线上的元素为0，表明区域要素变化不会引起其他迁移流的变化。更为一般地，几种网络自相关效应（ ρ_o 、 ρ_d 、 ρ_w ）不全为0，式（4）不再是一个简单的单位阵，非对角线上的元素可以不为0，当区域 i 的第 r 个要素发生变化时，不仅影响与该区域直接相关的迁移流，还将通过迁出地或目的地邻居，将区域要素变化向周边扩散、传递，间接对其他区域的迁入或迁出流产生多边溢出效应。该效应的偏导数形式为^[19]：

$$TE = \begin{pmatrix} \partial y_1 / \partial x_1^r \\ \partial y_2 / \partial x_2^r \\ \dots \\ \partial y_n / \partial x_n^r \end{pmatrix} = (I - \rho_o W_o - \rho_d W_d - \rho_w W_w)^{-1} \begin{pmatrix} Jd_1 \beta_d^r + Jo_1 \beta_o^r \\ Jd_2 \beta_d^r + Jo_2 \beta_o^r \\ \dots \\ Jd_n \beta_d^r + Jo_n \beta_o^r \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中： Jd_i 是一个 $n \times n$ 的0矩阵，其中第 i 行元素值为1； Jo_i 是一个 $n \times n$ 的0矩阵，其中第 i 列元素值为1。 TE 是一个 $n^2 \times n$ 的偏导数矩阵，表示所有区域第 r 个要素变化对迁移流产生的总体效应；偏导数 $\partial y_i / \partial x_i^r$ 表示区域 i 第 r 个要素变化对所有迁移流的总体效应。

4 中国省际人口迁移的多边效应分析

中国省际人口迁移的空间模式具有一定的稳定性，主要表现为中西部地区人口向东部沿海经济发达地区迁移^[35-39]。根据人口迁移过程中迁出地、目的地以及迁移流之间可能存在的几种空间依赖关系，本文定义3种网络权重矩阵（ W_o 、 W_d 、 W_w ）。具体地， $W_o = W \otimes I_n$ ， $W_d = I_n \otimes W$ ， $W_w = W \otimes W$ ，其中 W 为空间权重矩阵， \otimes 为克罗内克积运算符。 W 的构建采用单元之间是否具有公共边界的原则（考虑到海南省曾归广东省管辖，定义海南和广东相邻）。由于省内人口迁移流在数量上远大于省际迁移流，本文暂不考虑内部流。结合前面选择的具体变量，考虑3种网络自相关效应的中国省际人口迁移空间OD模型的表达式为：

$$\begin{aligned} y = & \rho_o W_o y + \rho_d W_d y + \rho_w W_w y + \alpha_N + a_1 D_pop + a_2 D_GDP + \\ & a_3 D_wage + a_4 D_uemp + a_5 D_stu + a_6 D_flows + b_1 O_pop + \\ & b_2 O_GDP + b_3 O_wage + b_4 O_uemp + b_5 O_stu + b_6 O_flows + \gamma Dist \end{aligned} \quad (6)$$

式中： y 表示2005-2010年中国省际人口迁移流； $W_o y$ 、 $W_d y$ 、 $W_w y$ 是因变量空间滞后项；其余变量解释详见表1。与式（2）相比，这里 $\beta_d = [a_1, a_2, \dots, a_6]$ ， $\beta_o = [b_1, b_2, \dots, b_6]$ 。

首先对重力模型与空间OD模型的系数进行了估计和检验。为了使得两种模型的估计结果之间具有可比性，同时给出了空间OD模型各变量的多边效应估计，并采用Monte Carlo方法进行显著性检验。在MATLAB环境下编程实现模型的估计和检验。通过对两种模型估计结果的比较（表2），可以发现以下几点：

（1）中国省际人口迁移流之间存在显著的空间依赖关系。3种网络自相关效应（ ρ_o 、 ρ_d 、 ρ_w ）均显著不为0，这意味着重力模型中关于迁移流之间相互独立的假设（ $\rho_o = \rho_d = \rho_w = 0$ ）并不成立。其中，迁出地和目的地网络自相关效应（ ρ_o 、 ρ_d ）显著为正，表明迁出地和目的地之间均存在正的多边溢出效应，即从同一迁出地出发的迁移流，在某目的地及其周边集聚，而抵达同一目的地的迁移流，也会在某迁出地及其周边集聚。例如，“六普”期间，抵达上海的省际迁入流中，来自安徽、江苏和河南的外来人口高达488万，超过该市总迁入流的一半（54%）；从山东出发的迁移流中，流向京津地区109万，流向长三角（苏、沪、浙）98万，接近该省总迁出的70%。从人口迁移的选择性角度来看，迁出地和目的地的网络自相关效应可以理解为一种空间效仿行为，即相邻地区的人口总是倾向于迁入相同的地方，从相同地方迁出的人口也倾向于集中在相邻的目的地。

基于流的网络自相关效应（ ρ_w ）显著为负，这意味着从某一迁出地到某一目的地的人口迁移，会在一定程度上抑制该迁出地周边到该目的地周边之间的人口迁移。这主要在于迁出地和目的地网络自相关效应的存在，使得外来人口倾向于来自相邻的迁出地或是迁入相邻的目的地，最终造成迁出地周边与目的地周边的迁移流相对减少。例如，“六普”期间，安徽流向江苏的人口为257万人，上海260万人，浙江229万人；由河南流向

表2 2005-2010年中国省际人口迁移重力模型和空间OD模型的估计结果
Tab. 2 Estimates for gravity and spatial OD model of interprovincial migration flows in China, 2005-2010

变量	重力模型		空间OD模型			
	系数	t值	系数	t值	多边效应	t值
const	-1.0026	-0.5529	-2.6240*	-1.6877	-3.2204	-1.4902
D_pop	-0.2527	-1.7736	-0.0142	-0.1232	-0.0314	-0.7387
D_GDP	0.5587***	3.9851	0.2076*	1.8285	0.4579***	5.2578
D_wage	1.0361***	4.7452	0.5564***	3.1511	1.2269***	6.7115
D_uemp	-0.5202***	-3.3278	-0.3058**	-2.4435	-0.6744***	-3.8168
D_stu	-0.4109***	-3.2120	-0.3004***	-2.9186	-0.6626***	-6.5182
D_flows	0.5262***	9.0630	0.3834***	7.8925	0.8454***	12.2943
O_pop	0.9158***	6.3453	0.4422***	3.5926	0.9751***	13.0867
O_GDP	-0.3522***	-3.0305	-0.0813	-0.8283	-0.1792**	-2.2690
O_wage	-0.5262**	-2.2819	-0.5571***	-2.9173	-1.2285***	-6.8218
O_uemp	0.1458	0.9810	-0.1164	-0.9590	-0.2567	-1.4547
O_stu	-0.0478	-0.3876	-0.1515	-1.5279	-0.3340***	-3.4703
O_flows	0.3550***	7.3797	0.1823***	4.5848	0.4020***	9.8791
Distance	-1.1374***	-23.3270	-0.6375**	-13.4866	-1.4058***	-19.9182
ρ_o			0.3796***	14.4158		
ρ_d			0.3705***	14.2417		
ρ_w			-0.2030***	-5.9458		
Log-LIK	-822.86		652.70			
AIC	1673.72		1339.40			

注：*、**和***分别表示在10%、5%与1%的显著性水平上显著。

江苏的人口为101万人,上海仅为78万人。类似地,基于流的网络自相关效应可以理解作为一种空间竞争行为,即从某迁出地到某目的地的人口迁移,会降低该迁出地周边向该目的地周边迁移的可能性。

(2)区域经济社会等因素的多边溢出效应导致省际迁移人口在迁出地和目的地呈现空间集聚。当在模型中显式表达几种空间依赖关系时,包括距离在内的大部分变量的总体效应估计(绝对值)有所增加,进一步强化了经济、社会等因素对省际人口迁移的影响,某些区域在输送或吸引外来人口方面更具优势,迁移流呈现“强者恒强,强者更强”的集聚特征。

迁出地人口规模(O_pop)对省际人口迁移的影响符合预期。平均地,若区域人口规模增长1%,其迁往外省的人口将显著增长0.98%,高于重力模型0.06个百分点。这意味着区域作为迁出地时,其人口增长将对周边地区产生正的溢出效应,带动周边人口外迁。目的地人口规模(D_pop)效应为负且不显著,表明在省级空间尺度上人口规模对外来人口没有产生吸引作用。这与现有研究结果之间存在一定的差异,可能与模型选择和变量选取有关。

地区国内生产总值(GDP)对省际人口迁移的影响符合预期。平均地,若区域GDP增长1%,省际迁入流将增加0.46%,迁出流将下降0.18%,在数值上均低于重力模型估计结果。目的地GDP(D_GDP)的溢出效应为正,迁出地(O_GDP)为负,表明区域GDP增长将促进周边地区吸引更多外来人口,同时也会抑制周边地区人口外迁,表现出不对称性。

工资水平对省际人口迁移的影响符合预期。平均地,若区域城镇实际工资率增长1%,省际迁入流将增长1.23%,迁出流下降1.23%。该变量在区域作为迁出地和目的地时表现出良好的对称性,不同于重力模型估计结果以及其他变量的不对称性特征。目的地工资水平(D_wage)的溢出效应为正,迁出地(O_wage)为负,表明区域工资水平增长将显著提升周边地区吸引外来人口和维持本地人口的能力,其影响程度明显超过GDP变量。

迁出地失业率(O_uemp)对省际人口迁移的影响不符合预期。平均地,若区域失业率提高1%,省际迁入流将显著下降0.67%,迁出流反而下降0.26%,不同于预期和重力模型估计结果。该变量的溢出效应均为负,表明区域失业率增长一方面将显著降低周边地区对外来人口的吸引力,另一方面也会降低周边地区人口跨省迁移的能力。

目的地高校在校大学生比例(D_stu)对省际人口迁移的影响不符合预期。平均地,区域高校在校生比例提高1%,省际迁入流将下降0.66%,迁出流减少0.33%。区域作为目的地时,高校在校生比例的增长将提高省际人口迁移的门槛,影响程度接近于区域失业率;区域作为迁出地时,有助于减少人口跨省外迁。该变量的溢出效应皆为负,表明高校在校生比例提高会显著降低周边地区对外来人口的吸引,却有利于周边地区维持本地人口的能力。

迁移存量对省际人口迁移的影响符合预期。平均地,若区域迁移存量增长1%,省际迁入流将增加0.85%,省际迁出流增加0.40%。该变量的溢出效应显著为正,表明社会网络关系能够促进人口的双向流动,既能提升周边地区的吸引力,也能推动周边人口外迁。目的地迁移存量(D_flows)的总体效应是GDP变量的1.8倍,对省际迁移的影响超过经济变量。

距离变量对省际人口迁移的影响符合预期。平均地,若两地之间的距离增加1%,省际迁移流将下降1.41%。与重力模型相比,距离衰减效应有所加强,对省际迁移的影响位居其他区域经济社会变量之首。在当前经济社会发展阶段,空间距离仍是中国省际人

口迁移过程中不容忽视的制约因素。现有研究结果认为，在控制空间依赖关系之后，距离对人口迁移的影响将下降^[40]。单纯从系数估计结果来看似乎合理，但其对迁移流影响的解释并不正确。

(3) 区域要素变化潜在地对中国省际人口迁移系统产生一系列“连锁反应”，但影响主要集中在与该区域及其周边地区相关的迁移流。区域要素变化不仅影响与该区域直接相关的迁移流，还通过不同形式的网络邻接关系，向周边地区扩散、外溢，最终对整个人口迁移系统产生“连锁反应”。随着矩阵阶数的增长，区域变化产生的溢出效应将呈几何衰减趋势，使得影响主要局限在震荡区域及其周边。以江苏省GDP增长5%为例，模拟了区域要素变化对迁移流的影响（表3，限于篇幅，仅列出变化较为明显的迁出地和目的地）。

表3 江苏省GDP增长5%对主要迁出地和目的地迁移流变化的模拟
Tab. 3 Simulation of the changes in migration flows from and to major regions by from and to major regions by 5% GDP increase in Jiangsu

省份	迁出地						目的地					
	江苏	上海	浙江	安徽	山东	河南	江苏	上海	浙江	安徽	福建	山东
北京	-1261	-17	-54	-142	-285	-20	236	55	9	4	0	15
天津	-468	-5	-19	-46	-240	-7	147	31	6	2	0	15
河北	-241	-2	-12	-18	-65	4	1409	161	45	18	1	250
山西	-227	-1	-11	-15	-22	-8	851	108	27	7	1	63
内蒙古	-215	-1	-10	-13	-33	-4	346	57	16	4	1	94
辽宁	-285	-3	-13	-25	-57	-4	611	151	31	6	1	93
吉林	-92	-2	-6	-7	-21	-1	671	141	35	6	1	222
黑龙江	-123	-2	-5	-8	-30	-1	1156	237	60	8	2	487
上海	-11365	0	2258	5464	703	1845	1431	0	-47	-1	-4	2
江苏	0	1431	4706	44101	7010	17109	0	-11365	-2505	-799	-272	-972
浙江	-2505	-47	0	2176	114	1295	4706	2258	0	32	-41	51
安徽	-799	-1	32	0	12	106	44101	5464	2176	0	-50	164
福建	-272	-4	-41	-50	-15	20	2328	646	234	23	0	42
江西	-169	-7	-26	-19	-7	3	4455	1200	2215	43	167	36
山东	-972	2	51	164	0	501	7010	703	114	12	-15	0
河南	-209	-3	-11	-22	-33	0	17109	1845	1295	106	20	501
湖北	-247	-5	-21	-27	-13	4	6711	967	957	53	31	93
湖南	-117	-3	-14	-9	-8	-1	3391	547	806	28	24	39
广东	-818	-13	-68	-147	-72	-47	745	189	50	11	9	19
广西	-92	-2	-16	-10	-7	-2	761	118	151	7	7	10
海南	-62	-1	-5	-7	-4	-1	98	23	6	2	1	4
重庆	-104	-3	-11	-5	-7	-1	2986	546	642	14	43	29
四川	-199	-6	-21	-10	-15	-2	10866	1499	1350	38	88	103
贵州	-100	-2	-14	-7	-6	-1	4602	355	1630	28	50	29
云南	-103	-3	-20	-8	-7	-2	2357	168	448	25	11	53
西藏	-9	0	-1	-1	-1	-0	31	3	1	1	0	1
陕西	-217	-3	-15	-14	-20	-8	3456	302	182	14	6	58
甘肃	-121	-2	-10	-5	-7	-2	1699	228	68	6	2	50
青海	-84	0	-4	-4	-5	-2	231	27	9	2	0	15
宁夏	-61	0	-4	-6	-7	-2	117	24	6	1	0	9
新疆	-335	-5	-13	-28	-27	-16	358	69	16	3	1	28
合计	-21873	1290	6600	51250	6824	20757	124975	6756	10033	-296	87	1603

注：“+”表示迁移流增加；“-”表示迁移流减少；“0”表示没有变化或内部流；“省份”栏或表示31个目的地（对应左边“迁出地”栏）；或表示31个迁出地（对应右边“目的地”栏）。

受江苏省GDP增长的影响,该省迁往其他省份的人口都有不同程度地下降,其中上海受到的影响最大,净减少11365人,占总量的一半以上,而偏远的西藏自治区波动最小。同时,上海、浙江、安徽、山东、河南等江苏周边省份的人口迁出结构也相应发生了变化,除迁往长三角及周边有所增加外,这些省份迁往全国其他地区的人口数量都有不同程度地下降。从空间分布来看,变化较为明显的区域主要集中在江苏及其周边地区。

若江苏省GDP增长5%,由全国其他省份迁入江苏的外来人口数量均有不同程度地增加,变化总量(124975人)是该省人口迁出变化的5倍以上。其中,来自安徽的外来人口增长最快,数量超过总数的1/3,其次为河南和四川,西藏自治区变化最小。与此同时,全国其他省份迁往上海、浙江、安徽、福建和山东等地的人口也有不同程度地增长,其中增幅较大的迁移流主要集中在浙江和上海,山东和福建有小幅增长,迁往安徽的人口增长尚不能抵消该省迁出人口的数量。从溢出效应来看,周边区域(安徽除外)均受到江苏GDP增长的正效应,增强了这些省份对外来人口的吸引力,但距离较远的省份受到的波动较小。

5 结论与讨论

重力模型的发展对于地理学研究具有重要的象征意义^[41]。以“六普”期间的中国省际人口迁移流为具体研究对象,通过几种不同网络空间依赖关系的表达,在传统重力模型的基础上构建了省际迁移流的空间OD模型,将单纯基于迁出地和目的地的“双边效应”分析拓展到“多边效应”机制分析,揭示了中国省际迁移流之间的网络自相关效应,并就区域要素变化对整个人口迁移系统的潜在影响进行了模拟分析。初步得到以下结论:

(1) 中国省际人口迁移流之间存在显著的空间依赖关系。目的地和迁出地之间均存在正的溢出效应,即从同一迁出地出发的迁移流,倾向于在某个目的地及周边集聚;抵达同一目的地的迁移流,倾向于在某个迁出地及周边集聚。由于这两种效应的存在,迁出地邻居与目的地邻居之间有可能出现负的溢出效应,即从迁出地(甲)到目的地(乙)的人口迁移,会在一定程度上抑制甲的周边邻居(丙)到乙的周边邻居(丁)之间的人口迁移。

(2) 区域经济社会等因素的多边溢出效应导致省际迁移流呈现空间集聚特征。与重力模型相比,当在模型中显式表达几种空间依赖关系时,包括距离在内的大部分变量的总体效应估计(绝对值)有所增加,进一步强化了区域经济社会等因素对省际人口迁移的影响。其中,距离要素居省际迁移诸影响因素之首;城镇实际工资率在迁出地和目的地表现出良好的对称性;人口规模主要体现在区域作为迁出地时的“蓄水池”作用;目的地迁移存量的影响超过GDP变量;区域失业率下降会增加省际迁移,表明活跃的劳动力市场将促进人口迁移;GDP的影响主要表现在区域作为目的地时对外来人口的吸引作用;高校在校大学生比例的增加会显著提高外来人口的迁移门槛,从而降低迁移机会,这值得进一步关注。

(3) 区域要素变化潜在地对整个迁移系统产生由此及彼、由近及远的一系列“连锁反应”,但主要集中在区域震荡中心及周边相关的迁移流。以江苏省GDP增长5%模拟区域要素变化的结果来看,江苏迁往全国其他省份的人口数量都有不同程度地减少,而全国其他省份迁入江苏的人口均有所增加,其中对上海和安徽的迁移流影响最大,而偏远的西藏自治区受到的波动最小。同时,上海、浙江、安徽、山东、河南等江苏周边省市的迁出和迁入人口结构和数量均发生明显变化。模拟结果进一步证实了全国大部分迁移

流受到区域变动产生的溢出效应,离开震荡中心的距离越远,迁移流受到的影响越小。

本文主要对“六普”期间省际人口迁移的空间溢出机制加以讨论和分析,在模型构建过程中并没有考虑省内迁移流。由于省际和省内迁移流之间存在着密切的联系,今后尚需采用其他方法加以处理,如选用不同的自变量单独解释内部流或采用哑变量的方法区分省内流和省际迁移流等^[16, 29],不同解决方案对效应估计产生的影响值得进一步研究。此外,本文构建的空间OD模型同时考虑了迁出地依赖、目的地依赖和流的依赖3种形式。在实际应用中,还可以针对某个目的地或迁出地区域,单独考虑这几种依赖形式或两两组合,使得省际迁移流的影响因素与机制分析更具有鲜明的区域特色,为区域人口迁移政策和人口再分布调控措施的制定提供更为科学的决策参考。

参考文献(References)

- [1] International Organization for Migration. World Migration Report 2008. Geneva: IOM, 2008.
- [2] Stillwell J C H, Congdon P. Migration Models: Macro and Micro Approaches, London: Belhaven Press, 1991.
- [3] Smith T E. A choice theory of spatial interaction. *Regional Science and Urban Economics*, 1975, 5(2): 137-176.
- [4] Sen A, Smith T E. Gravity Models of Spatial Interaction Behavior. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.
- [5] Lee E S. A theory of migration. *Demography*, 1966, 3(1): 47-57.
- [6] Wilson A G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1967, 1(3): 253-269.
- [7] Harris J R, Todaro M P. Migration, unemployment and development: A two-sector analysis. *American Economic Review*, 1970, 60(1): 126-141.
- [8] Massey D S. Social structure, household strategies, and the cumulative causation of migration. *Population Index*, 1990, 56(1): 3-26.
- [9] Roy J R, Thill J. Spatial interaction modeling. *Papers in Regional Science*, 2004, 83(1): 339-361.
- [10] Stillwell J. Inter-regional migration modeling: A review and assessment. Paper prepared for the 45th Congress of the European Regional Science Association, The Netherlands, 23-27 August, 2005.
- [11] LeSage J P, Pace R K. Introduction to Spatial Econometric. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
- [12] Curry L. A spatial analysis of gravity flows. *Regional Studies*, 1972, 6(2): 131-147.
- [13] Griffith D A, Jones K. Explorations into the relationships between spatial structure and spatial interaction. *Environment and Planning A*, 1980(12): 187-201.
- [14] Goodchild M F. Spatial Autocorrelation: Concepts and Techniques in Modern Geography. Norwich: Geo-Books, 1987.
- [15] Black W R. Network autocorrelation in transport network and flow systems. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3): 207-222.
- [16] LeSage J P, Pace R K. Spatial econometric modeling of origin-destination flows. *Journal of Regional Science*, 2008, 48(5): 941-967.
- [17] Chun Y. Modeling network autocorrelation within migration flows by eigenvector spatial filtering. *Journal of Geographical Systems*, 2008, 10(4): 317-344.
- [18] Pace R K, LeSage J P, Zhu S. Interpretation and computation of estimates from regression models using spatial filtering. *Spatial Economic Analysis*, 2013, 8(3): 352-369.
- [19] LeSage J P, Thomas-Agnan C. Interpreting spatial econometric origin-destination flow models. *Journal of Regional Science*, 2015, 55(2): 188-208.
- [20] Yang Yunyan, Chan Kam Wing, Liu Ta. Population migration in China: Multi-region model and empirical analysis. *Chinese Journal of Population Science*, 1999(4): 20-26. [杨云彦, 陈金永, 刘塔. 中国人口迁移: 多区域模型及实证分析. *中国人口科学*, 1999(4): 20-26.]
- [21] Cai Fang, Wang Dewen. Population migration and mobility as marketization: Based on the fifth national census data analysis. *Chinese Journal of Population Science*, 2003(5): 15-23. [蔡昉, 王德文. 作为市场化的人口流动: 第五次全国人口普查数据分析. *中国人口科学*, 2003(5): 15-23.]
- [22] Wang Guixin, Pan Zehan, Lu Yanqiu. China's inter-provincial migration patterns and influential factors: Evidence from year 2000 and 2010. *Chinese Journal of Population Science*, 2012(5): 2-13. [王桂新, 潘泽瀚, 陆燕秋. 中国省际人口迁移区域模式变化及其影响因素: 基于2000和2010年人口普查资料的分析. *中国人口科学*, 2012(5): 2-13.]
- [23] Yu Wenli, Pu Yingxia, Chen Gang, et al. Spatial analysis of the patterns and mechanism of inter-provincial migration flows in China. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(2): 44-49. [于文丽, 蒲英霞, 陈刚, 等. 基于空间自

- 相关的中国省际人口迁移模式与机制分析. 地理与地理信息科学, 2012, 28(2): 44-49.]
- [24] Population Census Office under the State Council, Department of Population and Employment Statistics under the National Bureau of Statistics (NBS). Tabulation on the 2010 Population Census of the People's Republic of China (Book I). Beijing: China Statistics Press, 2012. [国务院人口普查办公室, 国家统计局人口和就业统计司. 中国2010年人口普查资料(上). 北京: 中国统计出版社, 2012.]
- [25] Duan Chengrong, Sun Yujing. The historical development of statistical criteria for population migration in China. Population Research, 2006, 30(4): 70-76. [段成荣, 孙玉晶. 我国流动人口统计口径的历史变动. 人口研究, 2006, 30(4): 70-76.]
- [26] The State Council, People's Republic of China. China to apply new city classification standards. http://english.gov.cn/policies/latest_releases/2014/11/25/content_281475015213546.htm, 2014/11/20. [国务院. 国务院关于调整城市规模划分标准的通知. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/20/content_9225.htm#. 2014/11/20.]
- [27] Zipf G K. The P_1P_2/D hypothesis: On the intercity movement of persons. American Sociological Review, 1946, 11(6): 677-686.
- [28] Greenwood M J. An analysis of the determinants of geographic labor mobility in the United States. The Review of Economics and Statistics, 1969, 51(2): 189-194.
- [29] Cai F. Spatial patterns of migration under China's reform period. Asian and Pacific Migration Journal, 1999, 8(3): 313-327.
- [30] Fan C C. Modeling interprovincial migration in China, 1985-2000. Eurasian Geography and Economics, 2005, 46(3): 165-184.
- [31] Shen J F. Changing patterns and determinants of interprovincial migration in China 1985-2000. Population, Space and Place, 2012, 18(3): 384-402.
- [32] Thomas- Agnan C, LeSage J P. Spatial econometric OD- flow models//Handbook of Regional Science. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2014: 1653-1673.
- [33] National Bureau of Statistics (NBS). China Statistical Yearbook (2011). Beijing: China Statistics Press, 2011. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2011/indexce.htm>. [国家统计局. 中国统计年鉴(2011). 北京: 中国统计出版社, 2011. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2011/indexce.htm>.]
- [34] Population Census Office under the State Council, Department of Population, Social, Science, and Technology Statistics under the National Bureau of Statistics (NBS). Tabulation on the 2000 population census of the People's Republic of China (Book I). Beijing: China Statistics Press, 2002. [国务院人口普查办公室, 国家统计局人口和社会科技统计司. 中国2000年人口普查资料(上). 北京: 中国统计出版社, 2002.]
- [35] Zhang Shanyu. Population Geography in China. Beijing: Science Press, 2003. [张善余. 中国人口地理. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [36] Ding Jinhong, Liu Zhenyu, Cheng Danming, et al. Areal differentiation of inter-provincial migration in China and characteristics of the flow field. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 106-114. [丁金宏, 刘振宇, 程丹明, 等. 中国人口迁移的区域差异与流场特征. 地理学报, 2005, 60(1): 106-114.]
- [37] Zeng Mingxing, Wu Ruijun, Zhang Shanyu. Research on new situation of Chinese population redistribution and its socio-economic effects: Based on the analysis of Chinese sixth census data. Population Journal, 2013, 35(5): 15-25. [曾明星, 吴瑞君, 张善余. 中国人口再分布新形势及其社会经济效应研究: 基于“六普”数据的分析. 人口学刊, 2013, 35(5): 15-25.]
- [38] Deng Yu, Liu Shenghe, Cai Jianming, et al. Spatial pattern and its evolution of Chinese provincial population and empirical study. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(10): 1473-1486. [邓羽, 刘盛和, 蔡建明, 等. 中国省际人口空间格局演化的分析方法与实证. 地理学报, 2014, 69(10): 1473-1486.]
- [39] Li Yang, Liu Hui, Tang Qing. Spatial- temporal patterns of China's interprovincial migration during 1985- 2010. Geographical Research, 2015, 34(6): 1135-1148. [李扬, 刘慧, 汤青. 1985-2010年中国省际人口迁移时空格局特征. 地理研究, 2015, 34(6): 1135-1148.]
- [40] Cai Guowei, Qian Jinbao. The origin of spatial correlation: A theoretical model and empirical evidence. China Economic Quarterly, 2013, 12(3): 869-893. [才国伟, 钱金保. 解析空间相关的来源: 理论模型与经验证据. 经济学(季刊), 2013, 12(3): 869-893.]
- [41] O'Kelly M E. Isard's contributions to spatial interaction modeling. Journal of Geographical Systems, 2004, 6(1): 43-54.

Multilateral mechanism analysis of interprovincial migration flows in China

PU Yingxia^{1,2,3}, HAN Hongling⁴, GE Ying⁵, KONG Fanhua^{2,6}

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development

and Application, Nanjing 210023, China; 4. College of Business, Linyi University, Linyi 276000, Shandong,

China; 5. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210097, China;

6. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Population migration flows between different regions are related to not only the origin- and destination- specific characteristics, but also to the migration flows to and from neighborhoods. Intuitively, changes in the characteristics of a single region will impact both inflows and outflows to and from other regions. In order to explore the spatial interaction mechanism driving the increasing population migration in China, this paper builds the spatial OD model of interprovincial migration flows based on the sixth national population census data and related social- economic data. The findings are as follows: (1) Migration flows show significant autocorrelation effects among origin and destination regions, which means that the migration behavior of migrants in some region is influenced by that of migrants in other places. The positive effects indicate the outflows from an origin or the inflows to a destination tend to cluster in a similar way. Simultaneously, the negative effects suggest the flows from the neighborhood of an origin to the neighborhood of a destination tend to disperse in a dissimilar way. (2) Multilateral effects of the regional economic and social factors through the spatial network system lead to the clustering migration flows across interrelated regions. Distance decay effect plays the most influential force in shaping the patterns of migration flows among all the factors and the negative spillover effect further aggravates the friction of distance. As for destinations, the influence of wage level and migration stocks is beyond that of GDP and the positive spillover effects of these factors enhance the attraction of neighborhood regions. The spillover effects of unemployment rate and college enrollment of higher education are significantly negative while the effect of population in a destination is not significant. As for origins, population and migration stocks lead to positive spillover effects on the neighborhoods while the effects of other factors are negative. (3) Changes in the regional characteristics will potentially lead to a series of events to the whole migration system, and the flows to and from the center of oscillation and its neighborhoods vibrate greatly compared with other regions. The simulation results of 5% GDP increase in Jiangsu province indicate that the outflows to other regions decrease while the inflows from all others increase to some different extent. Comparatively, the influence on the flows to and from the regions neighboring Jiangsu is significant while that of remote regions is much less, which cannot be explained by the traditional gravity model.

Keywords: population migration flows; network autocorrelation; multilateral effects; spatial OD model; spatial mechanism analysis; China