

人口流迁

人口迁移重力模型的修正及其应用*

米红 周伟 史文钊

【内容摘要】引入地理信息系统中的人口分布重心和经济重心的概念,对传统的人口迁移重力模型进行了修正,并将其应用在农村人口向城市的迁移中。在此基础上,以系统动力学为主要方法,结合人口分要素预测与迁移模型,对未来我国人口的迁移规模和城市化率进行了预测。

关键词:人口迁移;重力模型;系统动力学;城市化

【作者简介】米红,浙江大学非传统安全与和平发展研究中心教授,博士生导师;周伟,厦门大学人口资源环境与地理信息系统研究中心博士生;史文钊,中国人口宏观管理与决策信息化平台项目总监。

1 引言

由于人口迁移本身的复杂性以及详细准确的迁移数据较为缺乏,使得人口迁移模型与生育、死亡模型相比显得不够成熟。但从研究社会经济现象的客观需要出发,必须有一些方法来对人口迁移现象进行估计。重力模型是最早提出的迁移的模型,其出发点是认为大多数迁移所越过的距离很短;当迁入地距离迁出地越远时,由于迁移中存在种种障碍,迁移人数迅速下降;每个迁移流都将产生一个反向迁移流。重力模型公式为:

$$M_{ij} = K \frac{P_i P_j}{D_{ij}} \quad (1)$$

式中 K 为系数,为 M_{ij} 为 i 地到 j 地的迁移人数, P_i 、 P_j 分别为 i 地和 j 地的人口数, D_{ij} 为 i 地到 j 地的距离。该模型的形式与物理学中的重力公式相似,因此被称为重力模型。但需要注意的是,这只是一个经验模型,没有任何确切的理论支持其正确性。在应用重力模型进行的研究表明,该模型只能解释国际人口迁移中 58% 的差别。

学者对人口迁移模型的研究成果较少。刘振亚(1990)利用托达罗模型分析了人口迁移与城市劳动力供给的动态均衡。王桂新(1993)应用重力模型研究省际迁移,指出距离是影响我国省际人口迁移的一个基本地理要素,但其影响的大小却存在明显的省际差异。具体表现在距离对有些省的人口迁移影响比较大,而对另一些省的人口迁移影响比较小,甚至基本没有影响。省际距离对人口迁出数量与迁入数量的影响也不相同。卢向虎,林丽(2006)利用城乡人口的自然增长的差别,估计了历年由农村迁入城市的常住人口的规模。人口迁移涉及到人口与空间地域的关系,但目前以空间分析方法和空间相互作用来分析人口迁移的研究显得不足。

除了理论模型上的不足之外,在我国,省级行政区之间的人口迁移尚没有连续的数据,这就为研究人口迁移形成又一障碍。基于此,本文另辟蹊径,对重力模型进行修正并用以研究农村人口向城市的迁移。在应用重力模型的同时,结合地理信息系统理论,考虑人口空间分布与经济活动的空间分布,将人口重心与经济中心的距离作为影响人口迁移的重要变量。

2 模型设计

农村人口向城市的迁移可能发生在省与省之间,也可能是同一省内的不同县市之间,也可能是一

* 本文获得教育部人文社科重大课题“非传统安全威胁的能力建设”(08JZD0021-D)的资助。

一个县市内从农村到城市的迁移,因此迁入地与迁出地的距离影响就极为复杂。要研究全国范围内农村人口向城市的迁移,不可能将全国各地的农村与城市的距离一一对应地描述。本文引入人口重心与经济中心的距离作为影响人口迁移的一个重要因素。在物理学上,一个物体的各部分都要受到重力的作用,从效果上看,可以认为各部分受到的重力最终要集中作用于一点,这一点就是物体的重心。类似地,所谓经济重心就是指在区域经济空间中存在的某一点,在该点各个方向上的经济力量能够维持平衡;人口重心就是一定区域内某个时期人口分布在空间平面上力矩达到平衡的点。人口迁移的一个重要动力来自于收入差距,收入差距与区域经济发展水平密切相关,而经济重心与人口分布重心的距离可以在一定程度上体现出经济发展的不平衡性。

需要注意的是,人口重心与经济重心之间的距离是从宏观上抽象出来的,用以表明人口分布与经济发展水平的偏离程度,这一距离与人口的迁移距离显然不是一个概念。在研究城市化时,由于全国各地都存在农村人口向城市的迁移行为,既可能发生城郊向城区的迁移,也可能发生省际之间的迁移,其迁移距离从几十公里到几千公里不等。如前所述,王桂新的研究表明,距离是影响我国省际人口迁移的一个基本地理要素,但其影响的大小却存在明显的省际差异。省际距离对人口迁出数量与迁入数量的影响也不相同。现实中,进城务工行为主要受区域经济发展水平、预期收入、就业机会等因素的影响,其流出地与流入地的距离并不对迁移形成重要阻碍。而人口重心与经济重心之间的距离则将全国作为一个整体,判断人口分布与经济活动的不平衡程度。这一距离越大,说明人口与经济的空间分布差异越大,客观上促使人口迁移的规模加大。如果这一距离为零,则说明人口与经济的空间分布在整体上重合(局部仍可能不重合),人口与经济活动的分布较为均衡,人口迁移的动力减小。

从农村迁入城市的主要是农村的剩余劳动力。显然,剩余劳动力越多,迁入城市的人口越多。随着城市化的持续进行,农村人口所占比重将逐步降低,城市人口比重逐渐升高。当城市人口比重超过农村人口比重时,城市化速度会逐步降低,最终使城市化率接近于稳定的高水平。因此可以近似认为,人口迁移规模与农村人口数成正比,与城市人口数成反比。

大多数迁移行为是经济因素驱动的,因此迁入地与迁出地的收入差距是必须考虑的因素。在最初的重力模型的基础上,可根据经济活动数据将其修正为:

$$M_{ij} = K \frac{P_i W_j D}{P_j W_i} \quad (2)$$

式中 K 为系数, M_{ij} 为从农村迁移到城市的人口数, W_i 为我国农村居民人均纯收入, W_j 为城市居民人均可支配收入, P_i 为农村人口总数, P_j 为城市人口总数, D 为全国人口重心与经济重心的空间距离。这一模型是否符合客观事实,以下将进行验证。

2.1 人口重心与经济重心的空间距离

重心是力矩最小的点。总力矩为 $S = \sum_{i=1}^n M_i \cdot R_i$, 要使总力矩最小, 则应满足: $\partial S / \partial x_i = 0$, $\partial S / \partial y_i = 0$, 此式无解析解, 需用以下叠代公式求解:

$$x^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{m_i x_i}{\sqrt{(x_i - x^k)^2 + (y_i - y^k)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\sqrt{(x_i - x^k)^2 + (y_i - y^k)^2}}} \quad (3)$$

$$y^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{m_i y_i}{\sqrt{(x_i - x^k)^2 + (y_i - y^k)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\sqrt{(x_i - x^k)^2 + (y_i - y^k)^2}}}$$

在区域经济研究中,假设某一个区域由 n 个次一级区域 i 构成,那么该区域某种属性的“重心”通

常采用如下的计算方法来表示:

$$\begin{aligned} X &= (M_i \cdot X_i / M_i) \\ Y &= (M_i \cdot Y_i / M_i) \end{aligned} \quad (4)$$

其中 X 、 Y 分别表示某一区域某种属性的“重心”所在地理位置的经度和纬度; X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个次一级区域中心的经度和纬度; M_i 表示第 i 个次一级区域的某种属性的量值。实际问题的分析中, X_i 、 Y_i 一般选用次一级行政首府或中心城镇的地理坐标。本文也采用了这种方法来获得 X_i 、 Y_i 的量值,即采用各省省会城市所在的地理坐标作为次一级区域中心的经度值和纬度值。由于省以下的经济数据不易取得,且就大多数情况而言,省级重心都靠近省会城市,因而这种代替是可行的。在度量“经济重心”时,采用 GDP 作为某一区域的经济量值;在度量“人口重心”时,采用年末人口总数作为某一区域的人口分布量值。

应用上述方法得到全国人口重心与经济重心之后,再采用以下公式计算两者之间的距离:

$$D = N \cdot [(C_s - P_s)^2 + (C_k - P_k)^2]^{1/2} \quad (5)$$

其中 D 表示人口重心与经济重心之间的距离; P_s 、 P_k 表示人口重心的经度和纬度值, C_s 、 C_k 表示经济重心的经度和纬度值; N 为常数,是把地理坐标(以度为单位)转换为平面距离对应的值,此处 N 值取 111.111 千米¹。根据《中国统计年鉴》中历年我国各省区的人口数及各地生产总值,计算结果如下表:

表 1 我国历年人口重心与经济重心的距离

年度	人口重心		经济重心		距离 (千米)
	经度	纬度	经度	纬度	
1996	113.40	32.62	115.05	32.73	183.65
1997	113.45	32.59	115.10	32.71	183.70
1998	113.44	32.58	115.14	32.73	188.79
1999	113.43	32.57	115.18	32.73	194.61
2000	113.46	32.52	115.21	32.76	195.86
2001	113.42	32.54	115.22	32.77	201.17
2002	113.41	32.54	115.19	32.72	198.51
2003	113.41	32.53	115.20	32.71	199.77
2004	113.41	32.50	115.17	32.72	197.12
2005	113.47	32.50	115.17	32.76	190.64
2006	113.48	32.50	115.15	32.76	188.65
2007	113.48	32.50	115.14	32.75	187.22

2.2 参数的确定

为求公式(2)中的系数 K ,将公式变形可得

$$K = \frac{M_{ij} P_i W_j}{P_i W_j D} \quad (6)$$

其中 W_i 、 W_j 、 P_i 、 P_j 可由统计年鉴获得, D 的值由表 1 获得。迁移人数 M_{ij} 的计算采用如下方法:如果考虑城市人口的净迁入,设 t 年城市人口数为 P_t ,该年人口的自然增长率为 r ,如果没有农村人口的迁入, $t+1$ 年的城市人口为 $P_t(1+r)$,由于存在迁移人口,则净迁移人数为 $P_{t+1} - P_t(1+r)$ 。同理如果考虑农村人口的迁出,也可以获得净迁移数据,两个净迁移数据取平均值。数据取 1996~2007 年,系数 K 的计算结果见表 2。

最后一列为历年的 K 值,可见该值在 1.47~1.97 之间波动,出现频率最高的在 1.82~1.88 之间,可认为是一常数。这说明,对重力模型的修正公式(2)是符合客观事实的。对历年 K 值取平均得

K = 1.832 万人/千米,因而公式(2)变为

$$M_{ij} = 1.832 \frac{P_i W_j D_{ij}}{P_j W_i} \quad (7)$$

表2 系数 K 的计算

年度	城市人口 (万人)	农村人口 (万人)	迁移人口 (万人)	城市居民可 支配收入(元)	农村居民 纯收入(元)	人口 - 经济 重心距离	系数 K (万人/千米)
1996	37304	85085	1758.91	4838.9	1926.1	183.65	1.671
1997	39449	84177	1756.29	5160.3	2090.1	183.70	1.815
1998	41608	83153	1762.14	5425.1	2162.0	188.79	1.861
1999	43748	82038	1759.70	5854.0	2210.3	194.61	1.821
2000	45906	80837	1800.14	6280.0	2253.4	195.86	1.873
2001	48064	79563	1810.03	6859.6	2366.4	201.17	1.875
2002	50212	78241	1813.96	7702.8	2475.6	198.51	1.885
2003	52376	76851	1840.13	8472.2	2622.2	199.77	1.943
2004	54283	75705	1592.22	9421.6	2936.4	197.12	1.805
2005	56212	74544	1610.35	10493.0	3254.9	190.64	1.976
2006	57706	73742	1162.91	11759.5	3587.0	188.65	1.471
2007	59379	72750	1357	13785.8	4140.4	187.22	1.777

数据来源:《中国统计年鉴》1996~2007年

3 应用重力模型对未来城市化水平的预测

农村人口向城市的迁移形成了中国的城市化。近年来的城市化水平每年大约提高 0.8 个百分点。但关于城市化率的预测,目前还比较粗略,本文结合人口迁移的重力模型对城市化过程做定量分析。以人口分要素预测方法为基础,分别对城市和农村人口进行预测。在预测时,考虑人口的出生、死亡与迁移。由于人口从农村到城市的迁移会影响到城乡人口总量,而迁移数量又受到城乡人口规模的影响,这是一个含有反馈的过程。由于模型存在反馈回路,适宜用系统动力学研究。

系统动力学是研究信息反馈系统动态行为的计算机仿真方法。它有效地把信息反馈的控制原理与因果关系的逻辑分析结合起来,面对复杂的实际问题,从研究系统的内部结构入手,建立系统的仿真模型。该方法擅长处理多维、非线性、高阶、时变的系统问题。社会、经济等系统一般来说是非常复杂的,描述它们的方程往往是多维、非线性、高阶、时变的。对于这样复杂的数学模型,通常是采取降阶、线性近似等方法进行求解,这些方法由于忽略了许多重要的信息,得到的结果不可靠。而系统动力学是建立在数学模拟技术基础上,对这类复杂系统的处理比较有效。

根据系统动力学原理,我们确立了如图 1 所示的系统流程图。

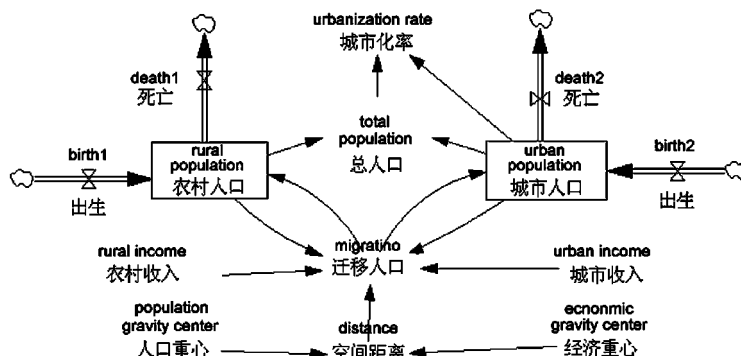


图 1 应用重力模型预测未来城市化水平的系统动力学模型

根据系统流图,主要变量的函数关系为:

$$\text{rural population}(t+1) = \text{rural population}(t) + \text{birth1}(t) - \text{death1}(t) - \text{migration}(t)$$

$$\text{urban population}(t+1) = \text{urban population}(t) + \text{birth2}(t) - \text{death2}(t) + \text{migration}(t)$$

$$\text{total population}(t) = \text{rural population}(t) + \text{urban population}(t)$$

$$\text{urbanization rate}(t) = \text{urban population}(t) / \text{total population}(t)$$

$$\text{migration}(t) = 1.832 \cdot \text{rural population}(t) \cdot \text{urban income} \cdot \text{distance} / (\text{urban population} \cdot \text{rural income})$$

其中, t 为时间变量。历年城乡出生与死亡人口由分要素预测方法得到。人口重心与经济重心之间的距离变化,由已有数据的趋势外推得到。随着城市化水平的提高,这一距离是不断缩小的。城市居民可支配收入与农村居民纯收入的比值,近年来在 2.46 ~ 3.27 之间波动,且呈现逐年扩大的趋势。其原因在于,城市居民可支配收入增长较快,而农民收入增长放缓。如果这一趋势持续下去,城乡收入差距进一步扩大,将不利于经济的健康发展和社会的稳定,国家一直在采取多种措施促进农民收入的提高。因此,本文选择近十年来城市居民可支配收入与农村居民纯收入比值的平均值 2.883,并假定保持不变。

通过对上述系统动力学模型,我们采用 Vensim 软件运行仿真,结果见 3。

表 3 对未来我国城市化水平的预测

年度	城市 化率	农村人 口(万)	城市人 口(万)	迁移人 数(万)	年度	城市 化率	农村人 口(万)	城市人 口(万)	迁移人 数(万)
2010	0.479	70399	64839	1032	2031	0.588	60182	85864	507.16
2011	0.487	69804	66274	988.42	2032	0.591	59728	86447	493.48
2012	0.494	69248	67673	947.88	2033	0.595	59271	86993	480.35
2013	0.501	68721	69032	910.23	2034	0.598	58810	87502	467.72
2014	0.508	68206	70340	875.17	2035	0.601	58344	87973	455.57
2015	0.514	67700	71596	842.41	2036	0.604	57873	88404	443.88
2016	0.520	67203	72804	811.74	2037	0.607	57397	88799	432.61
2017	0.526	66718	73969	782.93	2038	0.610	56911	89149	421.74
2018	0.531	66241	75091	755.83	2039	0.613	56412	89451	411.26
2019	0.537	65765	76164	730.27	2040	0.616	55905	89710	401.13
2020	0.542	65293	77194	706.12	2041	0.619	55382	89915	391.35
2021	0.547	64820	78176	683.26	2042	0.622	54865	90102	381.9
2022	0.551	64352	79118	661.59	2043	0.624	54333	90238	372.75
2023	0.556	63884	80018	641.01	2044	0.627	53794	90334	363.89
2024	0.561	63413	80872	621.43	2045	0.629	53246	90389	355.32
2025	0.565	62943	81687	602.79	2046	0.632	52694	90411	347.01
2026	0.569	62476	82466	585.01	2047	0.634	52158	90433	338.96
2027	0.573	62013	83212	568.03	2048	0.637	51620	90427	331.15
2028	0.577	61553	83925	551.81	2049	0.639	51075	90384	323.58
2029	0.581	61094	84604	536.28	2050	0.641	50559	90367	316.23
2030	0.584	60639	85252	521.42					

历史数据显示,1978 ~ 2007 年,我国的城市化水平从 17.92 % 提高到 44.94 %, 年均增长 0.93 个百分点。1995 年,我国农村人口达到峰值 8.59 亿人,此后逐渐下降;城市人口则呈持续上升态势。由表 3 可以看出,未来我国农村人口将持续减少,城市人口将持续增长,2013 年城市人口超过农村人口,城市化水平将不断提高,按照现有模式发展,2050 年估计能达到 64.1 %。随着农村与城市人口的此

消彼长,每年迁移到城市的人口将逐渐减少,从2010年的一千多万降低到2050年的三百多万;城市化速度也由每年提高0.8个百分点降低到每年0.2个百分点。

4 对仿真模型的进一步讨论

4.1 政策因素

本模型是从人口学理论出发,结合发展经济学理论来研究城市化问题,在模型设计时没有考虑政策变量。现实中,我国农村人口向城市的迁移明显受到政策因素的影响。从1980年代中期,国家放宽农村人口进城务工的限制,城市化进程明显加速。目前户籍制度仍然存在,城乡之间的基础设施、教育机会、社会保障等存在很大差距,这些差距在未来相当长的时间内仍会继续下去。如果未来国家在宏观层面放宽对农村人口迁入城市的政策限制,提高进城务工人员的福利待遇,增加对农村的公共服务,人口的迁移行为会发生何种变化,需要进一步研究。

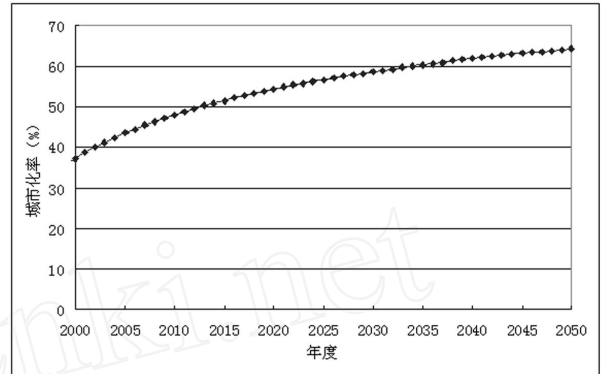


图2 对未来城市化率的仿真结果

4.2 城乡收入变化因素

城乡收入差距是促进农村人口向城市迁移的重要推动力。未来城乡收入差距会持续存在,这种差距的扩大不利于扩大内需市场,也不利于城乡协调发展和社会的稳定。增加农民收入是政府的工作重点和难点之一。如何保持农民收入的增长,缩小城乡收入差距仍面临着不确定性。根据本文提出的迁移模型,农村居民人均纯收入是影响迁移规模的重要变量,这一变量使得未来人口迁移和城市化水平也存在一定的不确定性。

4.3 城市环境容量的限制

从纯粹的经济角度,城市化有利于提高农民收入,有利于社会的公平与协调发展,有利于土地资源的集约利用。然而,目前我国的公共服务部门的服务职能尚未完善,公共服务有较大的不足。同时,城市的水资源、土地资源已经严重短缺,能源消耗高速增长,交通拥挤、水污染、空气污染、垃圾处理等问题困扰着国内绝大多数城市。目前,北京市一年增加的人口相当于一座中等城市的规模。日益庞大的城市规模给生态环境带来沉重压力。虽然城市化是社会经济发展的必然规律,但我国作为世界第一人口大国,在城市化过程中要面临比其他国家更为复杂的生态环境问题。从可持续发展的角度看,城市吸纳外来人口的规模是有限的,要根据自然环境条件、经济发展水平、公共服务水平等因素确定城市的人口规模。

参考文献:

- 1 王放. 中国城市规模结构的省际差异及未来的发展. 人口研究, 2002;3
- 2 张羚广, 蒋正华, 林宝. 人口信息分析技术. 中国社会科学出版社, 2006
- 3 刘振亚. 发展中国家的人口迁移问题. 农村经济与社会, 1990;4
- 4 王桂新. 我国省际人口迁移与距离关系之探讨. 人口与经济, 1993;2
- 5 卢向虎, 林丽. 一种测算“乡—城”人口迁移规模的方法. 统计与决策, 2006;1
- 6 徐建华, 岳文泽. 近20年来中国人口重心与经济重心的演变及其对比分析. 地理科学, 2001;21
- 7 宋健. 信息时代的人口动力学. 人口研究, 2007;1
- 8 廉晓梅. 我国人口重心、就业重心与经济重心空间演变轨迹分析. 人口学刊, 2007;3

(责任编辑:沈 铭 收稿时间:2009-02)