

人口迁移的空间过程及其迁移场研究

刘启明

本文以人口为基本出发点,从控制论角度提出人口迁移空间过程的一般数学表达,根据空间相互作用理论,物理场论及最大熵原理,初步提出迁移场理论的概念体系和分析方法。

一、人口迁移空间过程的一般数学表达

人口迁移过程首先是由区域外部的动因作用于区域内部,然后再由区域内部向区域外部扩散的过程,即人口迁移的空间过程是由内部演化空间过程和外部扩散空间过程构成的空间内两组独立运动部分的向量和,即 $R(t) = G(t) + D(t)$ 。笔者试图给出这种空间过程的一般数学表达。

(一) 人口迁移过程的结构向量、状态向量及状态空间

地域结构即指区域在发展过程中各要素之间的比例及有机联系。地域结构是一种随着时间而变化的动态结构,其向量组成是由一个二元组构成的。

定义迁移过程中迁移地域内与该过程有关的各要素 e_i 的集合为 ME :

$$ME = \{e_1, e_2, \dots, e_n\},$$

则该过程中,迁移地域内各要素的所有联系表示为集合 R 。迁移过程的结构向量是其元素间的有机联系的总和,我们可以用一个二元组表示为:

$$S = \{ME, R\}.$$

为了便于计算,可以用联系矩阵表示人口迁移过程各要素的内部联系,定义联系矩阵为 $(r_{ij})_{n \times n}$,其中当 $i \neq j$ 时

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{表示 } e_i \text{ 与 } e_j \text{ 有联系}), \\ 0 & (\text{表示 } e_i \text{ 与 } e_j \text{ 无联系}); \end{cases}$$

当 $i = j$ 时,一般定义 $r_{ij} = 0, i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

在研究人口迁移的空间过程中,引入状态变量可以研究人口迁移空间的运动或演化。

设一个地域系统有 n 个反映人口迁移水平的状态变量 $X_1(t), \dots, X_n(t)$ (这 n 个状态变量可以是迁移年龄、性别、受教育程度、职业、经济收入、价值规范……等等)。用这 n 个状态变量作为分量构成的向量 $X(t) = [X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)]$ 即是反映人口迁移过程的状态向量。在给定时刻 t , $X(t)$ 取决于两个方面的因素: $X(t)$ 以前的状态 $X(\tau)$ ($\tau < t$) 及在时期 $[\tau, t]$ 内的区域输入向量 I 。人口迁移过程状态向量的所有可能值的集合称为状态空间。或者说由 X_1, \dots, X_n 为实数轴组成 n 维空间,其中人口迁移状态向量的可能值区域称为人口迁移过程的状态空间。状态空间本身乃是一般地描述系统运动的数学工具。只要对物理空间中的“运动”含义稍加拓广,就不难理解状态空间的系统运动。在力学中,“运动”这一概念是用来表示实际空间中物体随时间推移而发生的位置移动(或变化)的。在人口迁移过程中,“运动”这一概念则具有更普遍的涵义,它包含了一个迁移过程随时间推移而发生的任何变化,如迁移前后,收入、地位、心理……等因素的变化。

(二) 人口迁移过程的内部演变及外部扩散

1. 人口迁移空间过程的内部演变。

人口迁移空间过程的内部演变可以认为是该系统的状态向量在外部区域输入量的作用下发生变化的过程。

设 U 是人口迁移过程中整个地域空间系统 ME 的输入向量空间,它是外部区域劳力、物资、能源、信息和资金等流量的集合; $r(\tau, t)$ 是时期 $[\tau, t)$ 内的输入向量流,即输入向量 I 的总和; T 是时间集合,在任意时间内输入流 $r(\tau, t)$ 的集合表示为 A ,则人口迁移的内部演化过程的表示具有如下向量函数形式:

$$\varphi: A \rightarrow X,$$

其中 X 是迁移状态变量集合, φ 表示从集合 A 到集合 X 的映射。

因此,此时人口迁移空间系统的状态变量由以下函数式确定:

$$X(t) = \varphi(t, \tau, X(\tau), r(\tau, t)).$$

这样人口迁移空间过程的内部演变行为可表示为三元组 (U, X, φ) ,即输入的变化与内部状态变化的对应方式。

2. 人口迁移空间过程的外部扩散。以 B 表示人口迁移空间过程的输出向量集合,空间过程的外部扩散可以由向量函数, $\xi: A \rightarrow B$ 来描述。 ξ 表示从集合 A 向集合 B 的映射。因此,输出状态变量也由以下函数式确定:

$y(t) = \xi(t, \tau, X(\tau), r(\tau, t))$ 它表示人口迁移空间过程在时期 $[\tau, t)$ 内与某个区域输入流 $r(\tau, t)$ 相对应的人口迁移空间输出流的强度。

从该定义出发,这种空间扩散行为可表示为三元组 (U, B, ξ) 。简言之,人口迁移空间过程的外部扩散,并不强调区域系统内部性质及其在区域外部输入的影响下的变化(内部演化),而是着重于系统在区域外部输入的影响下,人口迁移过程对区域的扩散以及区域要素的输入与区域内部反应的对应、协同关系。根据人口迁移空间过程的外部扩散特征,可以把这种扩散分为两种典型类型:其一是人口的跃迁扩散。这种扩散多

产生于人口迁移过程的早期阶段,该阶段地域空间组织是一种首位分布型,人口规模最大的城市占绝对优势,中、小城市不发达,这时的扩散跳跃性很强,往往表现为点与点的扩散,其扩散途径是以首位城市为中心,呈放射式伸展腹地,进行垂直联系,各中心优势传播往往跳过近邻的小中心,在距离较远的、但属同级规模的中心首先扩散传播,然后向次一级中心扩散。其二是人口的近邻扩散,这种扩散多产生于人口迁移的后期,地域空间组织是一种规则分布型,大、中、小城市发育齐全。这种扩散一般通过中心优势逐渐向外传播,由于距离的摩擦阻尼效应,这种扩散随着距离的增加逐渐消弱。

综上所述,人口迁移的空间过程是由内部演变及外部扩散两种过程交替演化的结果,这个结果可以由向量函数对 $\{\varphi(t), \xi(t)\}$ 与集合 U, X, B 来表示。因此,人口迁移的空间过程取决于五元组 (U, X, B, φ, ξ) ,其结构为二元组 $\{ME, R\}$ 。

二、迁移场理论及其模型体系

(一) 人口迁移场的概念

人口迁移是社会发展的因素之一,它与人口的自然变动,人口的社会变动并列为人口的三大变动。人口迁移具有的属性主要有三,时间、空间和目的。迁移的空间属性,即距离、流向和数量,该属性决定了迁移具有场效应。如把发生迁移的地区(迁入或迁出)称为迁移源点,记为 D_0 ,一定区域 Ω 内,按照某种有序规则(如按迁移流的大小排列)连结若干个规模不等的迁移源点的迁移运动,就构成一个迁移场。如同物理场是传递物质相互作用的基本形式一样,迁移场是区域间人口交换的一种基本形式。迁移场不象物理学中的“场”那样各向均衡,有必要引入域元^①(Field Pixel)的概念。域元的意义是指将给定的地域细划为许多小单元,当这种细化达到这样一个尺度 h 时,地

^① 见参考文献4。

域面积小于 h^2 (阶)的地域元是这种地理过程有意义的最小单元,我们就称与 h^2 同阶的地域元为域元。即域元是迁移过程中最小的功能单元。由于迁移不可能独立发生在一个域元,因此一个域元不能构成迁移场。根据不同的方式,可以划分出不同类型的迁移场或分量场。

由于迁移存在方向,所以迁移量规定为矢量。其方向由两源点之间所发生的迁移量大小决定,其方向指向净流出方向。迁移源点 D_0 的物流方向参见图1,其中 D_0 在 D_2, D_4 方向上有净迁出,在 D_1, D_4 方向上有净迁入,在 D_3 方向上迁入,迁出平衡。

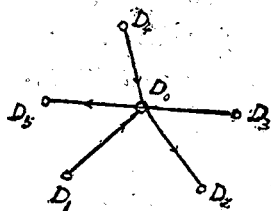


图1 迁移源 D_0 与周围源点的迁移方向

(二) 迁移场模型体系

关于人口迁移流(flow)的研究最早可以追溯到拉文斯坦(E. Ravenstien)于1885年发表的《迁移规律》一文。拉氏试图从英国的人口普查资料的分析中得到迁移流的趋向性,迁移量随迁移距离而递减,以及迁移者不同于非迁移者的某些特征等方面的带有规律性的结论。继拉文斯坦之后,研究迁移问题的学者日多,吉夫(G.K. Zipf)把对迁移人口与距离相互关系的定性描述进行量化,提出了迁移引力模型(Gravity Model)。该模型假设两地之间的人口迁移总规模与两地人口数量之积成正比,与迁移距离成反比。斯托佛(S. Stouffer)在迁移量与距离的关系中考虑了就业机会这一重要因素,提出了从一地迁往另一地的人数与就业机会的多少成正比,与那段距离内中间介入的机会成反比的假设。之后,又有人提出迁移目的地的信息对迁移行为发生的重要意义的见解。

通过50和60年代的探索,70年代初,英国地理学者威尔逊(A.G. Wilson)作了大量基本理论工作,形成了放大的引力模式或称之为一般空间相互作用模式。并提出了四种基本模式,(1)无约束型(Unconstrained case)(2)起点约束型(Production-constrained case),(3)终点约束型(Attraction-constrained case),(4)双重约束型(Double-constrained case)。四种模式均出于同一结构,相互作用量=因子×质量×质量×距离衰减函数。威尔逊模型的创建已较好地解决了人口空间运动的一般规律。但上述模型基本上属于单体模型,没有形成体系,笔者在研究上述思路的基础上,初步提出了研究人口迁移流的迁移场理论,并试图从单体模型发展到模型体系。

1. 迁移场相互作用强度。英国地理学家威尔逊的一般空间相互作用模式的表达式为:

$$T_{ij} = K \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(d_{ij})$$

其中, T_{ij} 为起点 i 对终点 j 的作用量(人流、物流、信息流); O_i 为起点 i 流出的总量; D_j 为终点 j 得到的总量; d_{ij} 为起点到终点的距离(旅行时间或花费可以代替距离); $f(d_{ij})$ 为距离反函数; K 为常数。

根据上述模式,本文定义两地区之间的迁移场相互作用强度 MF_{ij} 如下:

$$MF_{ij} = K \cdot P_i^{\alpha_1} \cdot V_i^{\alpha_2} \cdot P_j^{\beta_1} \cdot V_j^{\beta_2} / d_{ij}^r \quad (1)$$

其中, MF_{ij} 为两地区迁移场相互作用强度; P_i 为 i 地区总人口; V_i 为 i 地区国民生产总值; P_j 为 j 地区总人口; V_j 为 j 地区国民生产总值; d_{ij} 为两地区空间距离; K 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 r 均为待定参数。

对(1)式中两边取对数得:

$$\lg MF_{ij} = \lg K + \alpha_1 \lg P_i + \alpha_2 \lg V_i + \beta_1 \lg P_j + \beta_2 \lg V_j - r \lg d_{ij}$$

如果 MF_{ij} 用实际迁移量模拟,就可以利用多元线性回归求得 K 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、

β_2, r 。

作为一般分析, 可以取经验参数 $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 1/2, r=2, K=1$, 则 (1) 式可以写成:

$$MF_{ij} = \frac{\sqrt{P_i V_i P_j V_j}}{d_{ij}^2} \quad (2)$$

根据式 (1) 或 (2) 可以算出任何两个区域之间的迁移作用强度。迁移场相互作用强度并不是一个抽象的概念, 而是有其充实的内涵, 它一方面可以反映中心城市在迁移中的作用, 另一方面也可以反映任意两地区的相互作用。迁移场相互作用强度越大, 说明两地区的迁移流量越大。

2. 迁移场位势。迁移流在源点间的双向运动, 客观上呈现出一定的数量, 其大小反映了源点间的地位或势力的大小。由此可以规定迁移场位势的概念。拉格朗日 (Lagrange) 在牛顿的力和能的概念上引入了位势 (Potential) 的概念, i 物体对 j 物体产生的位势为:

$PV_{i \rightarrow j} = K \frac{Q_i}{D_{ij}}$ 。式中 $PV_{i \rightarrow j}$ 表示 i 物体对 j 物体产生的位势, Q_i 为 i 物体质量, D_{ij} 为 i 物体距 j 物体距离, k 为常数。据此定义人口迁移场位势的一般模型为:

$$\overrightarrow{MP_{i \rightarrow j}} = K \frac{P_i^\alpha V_i^\beta}{D_{ij}^r} \quad (3)$$

同样, K, α, β, r 可由回归模型求得, 对应于 (2) 式的人口迁移场位势的简单形式

$$\text{可表达为 } \overrightarrow{MP_{i \rightarrow j}} = \frac{\sqrt{P_i V_i}}{D_{ij}^2} \quad (4)$$

$\overrightarrow{MP_{i \rightarrow j}}$ 反映了 i 地区对 j 地区的吸引力, 其大小取决于 i 地区的整体实力和 i 地区至 j 地区的距离。同样可以算出 j 地区对 i 地区的吸引能力 $\overrightarrow{MP_{j \rightarrow i}}$ 。公式 (3) 给出了两区域的位势模型, 实际研究中我们最关心的是一个地域系统内所有区域对某一区域所产生出

的位势, 它等于每个区域所产生的位势之和。其公式定义为:

$$MP_i = \sum_{j=1}^n \frac{\sqrt{P_j V_j}}{D_{ij}^2} \quad (5)$$

空间相互作用强度是分析和预测空间迁移流的指标, 而迁移场位势模型则主要不是解决相互作用量本身, 而是不同区域之间相互作用的机遇或概率。因此与其它地区发生相互作用机会较多的地方 MP_i 值就高, 相反与其它地区交往机会少的地方, MP_i 值就低, 各个区域 MP_i 的大小是因其所具有的规模和所处的区位产生的。1988 年度诺贝尔经济学奖获得者 $G. Debreu$ 在其代表作《价值论》(Theory of value an axiomatic analysis of economic equilibrium), 以角谷不动点理论证明了经济学中的一般经济均衡的存在。近年来, 不同形式的空间竞争, 不确定信息条件下的资源配置理论越来越引起研究者的兴趣。

地域经济差异是引起人口迁移的基本动因。根据经济学观点, 两地的地域经济差异就表现为两地之间同种商品或资源的价格差, 工资差和娱乐文化差。如果地域空间组织结构合理, 迁移流将可能达到地域空间的经济均衡。此时应满足的条件是

$$\frac{\overrightarrow{MP_{i \rightarrow j}}}{\overrightarrow{MP_{j \rightarrow i}}} = \frac{C_{j \rightarrow i}}{C_{i \rightarrow j}} \dots \dots \quad (6)$$

式中 $C_{i \rightarrow j}$ 表示从 i 区域到 j 区域的迁移成本, $C_{j \rightarrow i}$ 表示从 j 区域到 i 区域的迁移成本。当 (6) 式成立时, 即两地区引力之比等于其迁移成本之比时, 我们称其为人口迁移空间的一般均衡。

3. 等位势曲线。

等位势曲线是利用空间趋势面分析的方法, 将迁移场位势相近的区域进行等值线处理从而研究人口迁移空间运动的特征。等位势曲线可以和其它经济指标的等值线图对比

研究,从而可以从新的角度深层次地研究人口迁移与社会经济诸因素的关系。基本方法如下,先将所研究区域划分为 $M \times N$ 个网络,对于每个网络结点 $\lambda(a, b)$,都应有一个人口迁移位势 MP_i ,因为任何函数在一个适当的范围内都可以用一个多项式来逼近,通过调整多项式的次数,可以使得所求得的回归方程适合问题的需要。如设其为:

$$f(a, b) = C_0 + C_1 \cdot a + C_2 \cdot b + C_3 \cdot a^2 + C_4 \cdot ab + C_5 \cdot b^2$$

利用各已知点值,求系数 C_i ,使

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{[f(a, b) - MP_i]^2}{(X_i - a)^2 + (Y_i - b)^2}$$

达到最小,从而得到结点。 a 处的人口迁移位势值 $f(a, b)$ 拟合曲面确定后,用平面 $Z(x, y) = Z_0$ 与之相截,将此截线投影于 xy 平面上,即得人口迁移位势为 Z_0 的等值线。

4. 迁移场流向指数。由于人口迁移具有方向,所以迁移场为矢量,其方向为净迁移人口(迁入—迁出)的方向。因此迁移场的流向指数,可以定义为

$$\vec{F}_{i \rightarrow j} = \frac{M_{ij} - M_{ji}}{P_i + P_j}$$

M_{ij} 为从 i 迁入 j 区的人口数, M_{ji} 为 j 区迁入 i 区的人口数, P_i 和 P_j 分别为 i 区和 j 区的人口数, $F_{i \rightarrow j} > 0$ 为正流向,反之为负流向,其绝对值表示其强度大小。

5. 迁移场密度。对于区域 i, j ,设 M_{ij} 为从 i 区迁入 j 区的人口数, D_{ij} 为自 i 区到 j 区的迁移距离,则定义 $M_{ij} \times D_{ij}$ 为从 i 区到 j 区的迁移功。单位面积上的迁移功即为迁移场密度,其数学表达式为:

$$R_j = \frac{M_{ij} \times D_{ij}}{S_j} \quad (8)$$

其中, R_j 为 j 区迁移场密度, S_j 为 j 区面积。

迁移场密度反映不同地区迁入地,不同地区人口迁移量的空间分布强度。

6. 迁移场均质度。不同地区间迁移场作用的总和称为迁移场总强度,它可以使我们从总体上把握一个大区域内,各子区域内迁移流相互作用的大小,我们把区域迁移场总强度 WM 定义为:

$$WM = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n MF_{ij} \quad (9)$$

这一指标亦可用于不同区域间的相互对比。但 WM 指标有其明显的缺点:它反映不出区域迁移场总强度的构成,即反映不出相互作用的区域之间的数目及规模等级差别的大小。为此,我们引进迁移场均质度这一指标。其公式为: $D = \lambda(1 - H)$,其中: D 为均质度, λ 为参数, H 为熵,单位为(bit)。熵可以理解为一个系统混乱程度的标志。在任何一个系统中,它总是由许多微观状态组成,这种微观的组成可能有不同的形式。当其组成越单调,即越趋于某个固定的方式时,这时的熵值较小。当系统的表现方式越复杂,混乱程度越高时,这时的熵值就较大。其计算公式定义为:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n G_i \log_2 G_i \quad (10)$$

$H(x)$ 表示随机变量 X 的熵, G_i 为 X 取 X_i 时的概率。由此,我们把不同区域之间,迁移场的熵定义为:

$$HM = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{MF_{ij}}{WM} \cdot \log_2 \frac{MF_{ij}}{WM} \quad (11)$$

从而迁移场均质度表达式为:

$$DM = \lambda(1 - HM) \quad (12)$$

DM 为迁移场均质度, DM 越大说明该地域的迁移越活跃,它用于比较多区域之间的迁移场。 WM 和 DM 结合使用可以反映多区域之间,迁移场的总量及其差异。

本文所提出的模型体系适当简化,均具有可操作性,作者已在另文应用此模型体系

中国人口老龄化主要影响因素的量化分析

杜 鹏

本文主要应用比较人口预测方法对生育率、死亡率和人口年龄结构在中国人口老龄化过程中各自所起的作用进行量化分析。

一、人口老龄化的主要影响因素

人口老龄化实际上是人口年龄结构变化使老年人口在总人口中所占比重不断上升的结果。因此,导致人口老龄化的因素也就是引起各年龄人口比例变动的因素,这些因素就是出生、死亡和人口迁移。

对人口年龄结构影响因素的研究起源于欧洲。对生育率、死亡率和迁移对年龄结构影响的早期研究证明,生育率下降对人口年龄结构的影响远远大于死亡率下降对人口老龄化的作用,生育率的下降是人口老龄化的基本原因(UN, 1956)。

近40年来,中国的生育水平和死亡水平都有了显著的下降,人口的年龄构成既受到了生育水平下降的影响,也受到了死亡率下降的影响,而这两种影响的作用方向并不总是一致的。欧洲学者(UN, 1956)的研究揭示出,生育率下降总是使年龄结构老龄化;而死亡率下降初期时会使人年轻。但当

死亡率降低到较低水平时,进一步的下降将主要对人口老龄化产生作用。

就中国人口年龄构成变化而言,由于人口的国际迁移极少,可以忽略不计;尽管近几年来各地区人口流动日益增加,其中涉及常住人口的迁移流动仍占很小比例。因此,在下面的分析中将不考虑迁移对中国人口年龄构成变化的影响。

本文将以1990年为中点,结合中国近40年来人口的动态变化和今后40年人口的发展趋势,对生育率和死亡率如何影响中国人口年龄结构的变化进行量化分析。1950~1990年人口年龄结构的变化以过去40年生育率和死亡率的实际变动为分析基础;1990~2030年人口年龄结构的变化以根据1990年人口普查作出的人口预测为基础。

二、量化研究方法

本文所用的分析方法是比较人口预测法。即用同样的期初人口按照不同的生育率

对中国情况作出实证研究,并取得较理想的效果。

(本文责任编辑:郭汉英), (作者工作单位:中国社会科学院人口研究所)

主要参考文献

- (1) Schmidt, R. M, Incorporating Demography into General Equilibrium Modelling, Modelling Growing Economics in Equilibrium and Disequilibrium, Drake Press Policy Studies, US, (1983)

- (2) Wedlich, W, G, Haag, A Dynamic Phase Transaction Model for Spatial Agglomeration Process, J. Regional Science, 1987, 27, 529~569
- (3) Evans S. D, A Relationship Between the Gravity Model for Trip Distribution and the Transportation Problem in Linear Programming, Transportation Research, 7, 1973
- (4) 王铮、邓峰:《人口扩散》与空间相对作用的联系,《地理研究》, 1991, 3, 48~55.
- (5) 王雨田主编:《控制论、信息论、系统科学与哲学》, 中国人民大学出版社, 1986年5月。