

■ 岭南实证与计量经济学研究丛书

面板空间相关模型研究 ——理论和经验应用

钱金保◎著



科学出版社

岭南实证与计量经济学研究丛书

面板空间相关模型研究

——理论和经验应用

钱金保 著

广东省社会科学院出版基金

广东省自然科学基金项目(10151027501000103) 资助出版

广东省软科学项目(2011B070300042)



科学出版社

北京

内 容 简 介

首先,本书对空间面板计量经济学过去二十年的进展进行了较为详尽的回顾;然后从两个方面对空间面板研究进行了扩展,即把共同因子和时变个体效应两种设定分别引进空间计量模型,考虑这两类模型的参数估计和推断;在此基础上,将上述两类方法论应用于国际贸易问题的经验研究,包括国际商业周期对中国出口的影响、共同冲击对广东省出口的效应分析、国际贸易效率三个主题。对于书中重要定理,在附录中给出详细的推导和证明。

本书可以作为有志于空间计量研究的学者和研究生的阅读资料,经验研究部分适合经济管理者和政策制定者参阅。

图书在版编目(CIP)数据

面板空间相关模型研究:理论和经验应用/钱金保著. —北京:科学出版社, 2013

(岭南实证与计量经济学研究丛书)

ISBN 978-7-03-038236-8

I. ①面… II. ①钱… III. ①经济计量分析-面板-数据模型-研究

IV. ① F224.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 177095 号

责任编辑:魏如萍 / 责任校对:宣 慧
责任印制:阎 磊 / 封面设计:无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 8 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

2013 年 8 月第一次印刷 印张: 9 3/4

字数: 195 000

定价: 56.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

岭南实证与计量经济学研究丛书编委会

主 编 王美今 徐现祥

编 委 （按姓氏笔画排序）

王美今（中山大学岭南学院）

龙志和（华南理工大学经济与贸易学院）

周先波（中山大学岭南学院）

易行键（广东外语外贸大学国际经济贸易学院）

徐现祥（中山大学岭南学院）

舒 元（中山大学岭南学院）

程振源（华南师范大学经济与管理学院）

雷钦礼（暨南大学经济学院）

总 序

中国改革开放 30 多年来沧桑巨变,对经济学科最大的影响之一是计量经济学的引入以及与此相对应的经济学研究范式的极大变化。1980 年夏天,克莱因等国际知名计量经济学家举办了颐和园讲习班,这是我国学者系统性学习和应用计量经济学的开端。从无到有,从弱到强,经过 30 余年的发展,颐和园讲习班播下的计量经济学种子长成了学科之林;《计量经济学》已被教育部确定为高等学校经济学门类各专业的共同核心课程,其相关模型方法更是成为经济学经验研究的主流工具,这是我国经济学教学和科研走向现代化和科学化的重要标志。

中山大学岭南(大学)学院自 1988 年成立至今,一直努力尝试在教学上与国外著名大学实质性接轨,加强现代经济学的训练,作育英才、服务社会。从本世纪初开始,计量经济学进行了本科、硕士研究生以及博士研究生的分层次课程体系建设,从课程设置、教材选择以及教学实践活动等方面全面提升学生对计量经济学学科前沿知识的认识和了解,学生从更高的层面切入计量经济学的应用与研究。同时,成立岭南实证与计量经济研究中心,聘请岭南学院 1993 届毕业生、斯坦福大学洪瀚教授担任中心主任。洪瀚教授不遗余力,参与岭南学院计量经济学学科发展和研究生培养计划的制订,还多次亲临学院上课、开讲座。在洪瀚教授的指导下,岭南实证与计量经济研究中心建设了能够远程操作、24 小时不间断运行的以 AFS 分布式文件系统为核心的计算机集群平台,为计量经济学的教学和研究提供了良好的条件。此外,得益于毗邻香港的方便,岭南学院能够从香港高校获得计量经济学的师资培养,并展开密切的学术交流与合作研究。所有这些,都直接推动和促进岭南学院在计量经济学的理论研究和应用研究领域长足发展,相关成果发表于 *Journal of Econometrics*、《经济研究》、《经济学》(季刊)、《数量经济技术经济研究》、《统计研究》和《管理世界》等国内外权威期刊。

这套《岭南实证与计量经济学研究丛书》是过去 10 多年间,岭南学院在计量经济学的理论研究和应用研究领域所取得的阶段性成果。丛书选题涵盖理论与应用计量,学术特色主要有两个:一是理论创新明显。理论研究反映了计量经济学某一方面的最新发展状况,形成多个具有学术价值和应用前景的创新点,比如 Tobit 模型的非参数与半参数估计、动态博弈模型估计、面板单位根与协整检验统计量构造,空间相关模型的有效估计等理论计量前沿性问题;另一个是实证研究视角独特。实证研究密切围绕中国社会经济发展转型中的重要问题,努力提炼出具有学术性的一般问题,综合运用前沿实证分析方法与工具进行规范的实证研究,致力于科

研成果国际化。

当前,中国计量经济学已迈入“国际化”的新阶段,需要越来越多的年轻学者致力于理论计量的基础性创新研究,以使得中国在国际计量经济学界占有一席之地;需要越来越多的新模型、新方法应用到中国的经济学实证研究,从而将中国经济故事以科学的经济学语言呈现出来;需要越来越多地关注实证应用研究的规范化问题,全面吸收和借鉴国际计量经济学界对于可信性问题的成果,改进现行的研究模式和教学模式。本丛书的出版,表明一批掌握了现代经济学的研究方法和计量经济学分析工具的青年学者在成长;他们知识结构新,学术素养好,已成为高等院校和研究机构教学、科研的生力军。

我们希望本丛书的出版,能够为对相关领域感兴趣的博士研究生以及研究人员提供一些有用的思考或参照,为有关经济政策的制定提供依据,为中国计量经济学的学科建设添砖加瓦。作为探索性研究的成果,书中肯定有很多需要改进的地方,希望读者批评指正。

王美今 徐现祥

2013年5月

目 录

总序

第 1 章	绪论	1
第 2 章	理论概述	7
2.1	空间相关	7
2.2	截面强相关	11
2.3	重力方程	15
2.4	本章小结	18
第 3 章	空间相关的经济学解释	20
3.1	理论模型	21
3.2	对空间相关的讨论	27
3.3	本章小结	28
第 4 章	含有共同因子的空间相关模型	30
4.1	模型的理论基础与现实依据	30
4.2	模型设定	31
4.3	第一阶段估计	33
4.4	第二阶段估计	34
4.5	空间相关系数估计	37
4.6	数值模拟	38
4.7	本章小结	47
第 5 章	基于时变个体效应的空间相关模型	48
5.1	模型理论基础与现实依据	48
5.2	模型设定和估计	49
5.3	空间相关系数的一致估计	53
5.4	数值模拟	55
5.5	固定效应空间相关模型：一个特例	60
5.6	本章小结	67
第 6 章	共同冲击对中国出口的影响	69
6.1	共同冲击的作用机制	69
6.2	中国出口的典型事实	71
6.3	分析框架和估计结果	74

6.4	出口的空间相关分析	79
6.5	实证方程的再估计	80
6.6	共同冲击和空间相关对出口的影响	82
6.7	本章小结	86
第 7 章	共同冲击对广东省出口的效应分析	88
7.1	共同冲击对广东省出口的影响: 现象和规律	88
7.2	实证分析框架	90
7.3	估计结果与分析	92
7.4	共同冲击的影响	96
7.5	出口预测与比较	101
7.6	本章小结	102
第 8 章	贸易效率及其空间竞争	103
8.1	贸易政策及其空间相关特征	103
8.2	实证分析框架	104
8.3	估计结果与分析	106
8.4	贸易效率的测算	107
8.5	贸易效率的空间竞争	112
8.6	本章小结	113
参考文献		115
附录		125
附录 I	第 3 章式 (3.11) 和式 (3.22) 的推导	125
附录 II	第 4 章定理证明	125
附录 III	式 (4.26) 三个矩条件的推导	136
附录 IV	第 5 章定理证明	137
附录 V	式 (5.18) 三个矩条件的推导	143
附录 VI	第 5 章式 (5.46) 矩条件的推导	144
附录 VII	第 6 章样本中涉及的国家和地区	144
后记		145

第1章 绪 论

Paelinck 和 Klaassen(1979) 首次提出空间计量经济学 (spatial econometrics) 概念, 在随后三十余年时间里, 空间计量经济学逐渐进入计量经济学的主流; 空间计量经济学早期的定义是“针对区域科学模型进行空间统计分析的技术集”(Anselin, 1988), 目前则变为“分析截面或面板数据空间问题的计量经济学分支”(Anselin et al., 2008), 其角色和地位的变化可见一斑。

Anselin(2010) 将过去三十年空间计量经济学的发展历程划分为酝酿、起步、成熟三个阶段, 在第三个阶段里面板空间计量无论在理论还是应用方面都是研究重点和热点。众所周知, 使用面板数据的一个优点是能够考虑不可观测因素的影响。在传统面板数据模型中, 常用固定效应和随机效应两种方法处理个体异质性; 考虑空间相关后, 它们演化为空间固定效应和空间随机效应。在空间随机效应方面, Anselin(1988)、Baltagi 等 (2003, 2006)、Kapoor(2003)、Kapoor 等 (2007) 从估计方法、参数检验、模型设定形式等不同角度对空间随机效应模型进行了详尽分析; 在空间固定效应方面, Elhorst(2003)、Lee 和 Yu(2007, 2008) 先后提出使用最大似然估计 (maximum likelihood estimation, MLE) 方法估计模型。总体上, 当前空间相关研究已经将面板模型中一些成熟设定与空间效应结合起来。

在面板空间计量发展的同时, 过去十年面板模型领域针对共同因子结构的研究也取得许多进展, 根据研究背景可以分为两个方向: 共同因子及其相关研究 (Coakley et al., 2002; Bai and Ng, 2002; Bai, 2003; Pesaran, 2006a) 和时变个体效应研究 (Ahn et al., 2001)。这些进展目前还没有引起空间相关研究的足够重视, 主要表现在两个方面: 一方面, 在大 N 和固定 T 条件下, 目前的空间相关研究没有考虑存在时变个体效应情形; 另一方面, 在大 N 和大 T 条件下, 空间相关研究没有考虑共同因子的情形。无论是时变个体效应还是共同因子设定, 其出现都有深刻的现实背景: 对于时变个体效应, 一些研究者认为, 不随时间变化的个体效应设定与一些现实不符, 如在工资模型中, 常用个体效应反映个人能力等不可观测因素对生产率的影响, 但生产率随着商业周期而变化, 因此个体效应是时变的 (Holtz-Eakin et al., 1988); 对于共同因子设定, 它在资产定价、商业周期等研究领域有着广泛的应用 (Bai, 2003)。

当前的空间计量文献中, 通常用显性的空间加权矩阵反映截面相关, 不妨称为显性相关; 而时变个体效应或共同因子研究认为不可观测的“共同冲击”或随时间

变化的个体异质性引起截面相关,不妨称为隐性相关。实际情况可能是显性和隐性相关同时存在:一方面,对于文化相似性等因素引起的空间相关,空间加权矩阵可能不是合适的度量工具(Conley and Dopor, 2003),因此需要借助共同因子或时变个体效应设定;另一方面,忽略显性的空间相关,仅设定隐性的空间相关(共同因子或时变个体效应),则不能完全反映空间相关信息(Holly et al., 2010)。基于上述原因,有必要将显性相关(空间计量设定)与隐性相关(共同因子或时变个体效应)结合起来,考虑两者同时存在的情形。

在全球化背景下,不同地区的经济活动已经超出地理意义上的边界范畴,国家与地区之间的相互联系和影响日益加深,“一损俱损,一荣俱荣”正在逐渐变为现实,最近几次全球性的经济危机都是生动的例证。日益加深的联系和影响在国际贸易领域体现得尤为明显,归纳起来包括两个方面:一方面,技术、供给(如石油供给)、某一主要国家发生经济衰退(如美国在2007年经济危机中扮演的角色)等原因形成的共同冲击,影响全球所有国家的贸易;另一方面,地理、历史等因素的差异导致国家和地区之间贸易的相互影响程度不同。上述两类经济现象在文献中有着不同的表现形式:对于共同冲击,一些文献使用共同因子(或时变个体效应)进行刻画(Alejandro, 2003);对于后一种影响,众多的重力模型文献从不同的角度进行了详尽的阐述(Anderson, 1979; Deardorff, 1998; Anderson and van Wincoop, 2003)。

一般情形下,共同因子是截面强相关,而空间相关是弱相关(Pesaran and Tosetti, 2011; Sarafidis and Wansbeek, 2010^①)。两种设定出发点不同,各有优劣:前者的优点是能够识别出导致波动的共同因子(或时变个体效应),但不能直接获悉其背后的经济含义,也不能从中知道波动的传递途径;后者的优点是经济含义明确,但空间相关只能是一种随“距离”而衰减的相关,它不能反映共同冲击的影响。

基于上述考虑,本书的研究内容从两个方面展开:其一,关于空间相关的理论建模研究还相对缺乏,现有研究大都从直觉或数据特征出发设定空间相关,而不是从经济学模型中推导出空间相关的存在,因此不能对空间相关的存在做出严格的经济学解释;其二,共同因子(或时变个体效应)和空间效应是截面相关的两种最常见表现形式(Baltagi and Pesaran, 2007),但二者的交叉研究还比较罕见。具体来说,Holly等(2010)等考虑了同时存在共同因子和空间相关的模型,但在估计时没有考虑空间相关的影响;根据检索结果,目前还没有文献同时考虑时变个体效应和空间相关。

首先需要考虑对空间相关的理论建模,其目的是通过理论建模说明空间相关来源,给空间相关一个相对正式的经济学解释。本书对于从标准经济学假设得到的

^①Pesaran 和 Tosetti(2011)、Sarafidis 和 Wansbeek(2010)的空间相关指空间误差相关。

均衡结果,使用线性近似方法得到空间相关项,从而在经济学理论和空间计量模型之间建立联系。

为了同时考虑不同类型的截面相关,本书将共同因子和时变个体效应分别引进空间相关模型,得到两个比现有研究更为一般的空间相关模型。

第一个模型是同时含有共同因子和空间相关的模型。结合 Bai(2003) 和 Pesaran(2006a) 的研究,考虑设定 $\varepsilon_{it} = f_t\mu_i + u_{it}$, $u_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij}u_{jt} + v_{it}$ 。当共同因子和空间相关同时存在时, Holly 等 (2010) 提出先使用 Pesaran(2006a) 方法得到部分参数的一致估计,再使用 Bai 和 Ng(2002)、Bai(2003) 方法识别出共同因子及其加载系数,最后估计空间相关系数。在 Holly 等 (2010) 基础上,利用空间相关估计结果进行可行的广义最小二乘法 (feasible generalized least squares, FGLS) 估计,从而更加充分地利用空间相关信息。

第二个模型是同时含有时变个体效应和空间相关的模型。Ahn 等 (2001) 使用广义矩方法 (generalized method of moments, GMM) 估计时变个体效应模型, Kapoor 等 (2007) 提出随机效应下空间误差成分模型的估计方法。本书把 Ahn 等 (2001) 的时变个体效应设定引入 Kapoor 等 (2007) 模型,设定 $\varepsilon_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij}\varepsilon_{jt} + f_t\mu_i + v_{it}$, 当 $f_t = 1$ 时,这里的设定与 Kapoor 等 (2007) 的相同,因此更为一般。

不同的模型设定要求不同的估计方法。对于共同因子情形,主要通过选择合适的代理变量 (Pesaran, 2006a) 反映共同因子的影响;对于时变个体效应情形,主要通过准差分方法剔除个体效应的影响 (Ahn et al., 2001)。虽然方法不同,但两个研究方向的基本思路一致,都是利用 GMM 估计出空间相关系数,然后进行 FGLS 估计。由此得到的估计,既考虑到共同因子 (时变个体效应) 的影响,又充分利用了空间相关信息。

为了检验理论,采取的做法包括数值仿真模拟和把提出的两种模型估计方法分别应用于实证研究。

本书共包括 8 章,基本结构如图 1.1 所示。

第 1 章为绪论,介绍全书的研究动机、思路、章节安排等内容。

第 2 章为理论概述。主要内容是空间面板、共同因子、时变个体效应、重力方程等领域的研究成果,重点介绍与本书有关的方法和最新发展,并对已有研究进行相关评述。

第 3 章尝试给空间相关提供一种经济学解释,即对空间相关进行经济建模。空间交互作用是引起空间相关的重要原因之一,为了给空间相关模型提供一种经济学解释,第 3 章尝试对空间交互作用过程进行建模。通过从供给和需求两个角度研究经济要素的空间流动,分别反映了供给和需求两个方面的交互作用;然后通过线性展开方法将要素流动方程转化为易于估计的空间相关模型。

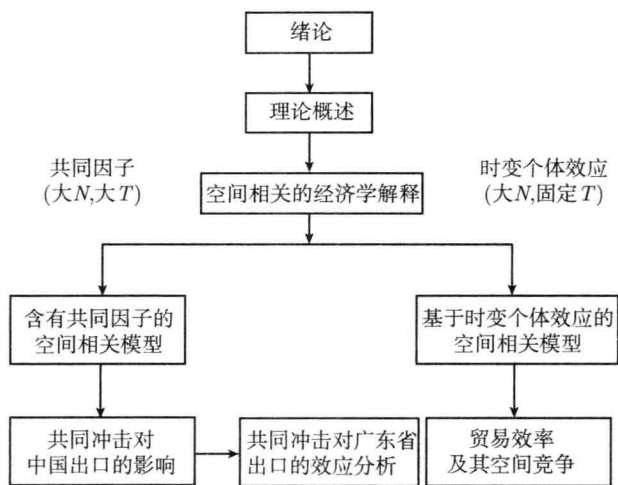


图 1.1 全书结构框架

截面相关是当前面板数据模型研究的重点, 因子结构和空间相关是其中的两个重要研究方向。因子结构的相关研究认为不可观测的共同冲击或个体效应导致截面相关, 主要包括共同因子和时变个体效应两种情形; 空间相关强调空间内的个体由于经济联系和距离差异产生不同程度的相互影响, 这种影响通过空间滞后项予以反映。基于上述考虑, 本书在面板数据模型中, 把共同因子和时变个体效应两种设定分别与空间相关结合起来, 形成第 4 章和第 5 章。

第 4 章考虑同时存在共同因子和空间相关的面板数据模型。在 Pesaran(2006a)一致估计基础上, 第 4 章提出一种因利用空间相关信息而更有效的估计, 并且给出渐近分布和数值模拟结果。

第 5 章考虑同时存在时变个体效应和空间相关的面板模型, 在一个模型中同时考虑空间相关和时序个体效应。针对该模型提出对应的估计量, 推导了其渐近分布, 并且通过 Monte Carlo 模拟考察了工具变量 (instrumental variable, IV) 估计和 FGLS 的小样本表现。

在理论模型基础上, 把上述两种方法分别应用于中国和广东省的实证研究, 从而形成本书的第 6 章 ~ 第 8 章。

第 6 章把共同因子和空间相关引入重力方程, 用于探讨中国出口的影响因素。在模型设定方面, 共同因子用于反映石油价格变动、经济危机等冲击对中国出口的影响, 空间误差相关 (spatial error correlation) 用于反映由地理距离引起的截面相关; 在数据方面, 本书使用 1984~2008 年中国对 58 个主要贸易伙伴的出口数据进行实证分析。

第 7 章使用与第 6 章类似的研究框架分析共同冲击对广东省出口的影响, 在

重力方程中引入共同因子设定,用于反映共同冲击对广东省向不同地区出口的异质性影响。

第8章把时变个体效应空间相关模型应用于贸易效率测算问题。为了反映贸易波动的周期性变化和空间相关特征,模型考虑了时变个体效应和空间相关的联合设定,时变个体效应和空间相关分别用于反映随时间变化的个体异质性和由距离引起的空间相关,并且使用1995~2006年全球主要贸易体的数据进行实证分析。

空间相关、异质性面板、共同因子和时变个体效应是本书的几个基础概念,在此先对它们进行初步界定和说明。

空间相关:理论上空间相关可能存在于模型的任何位置(自变量、因变量和扰动项),在空间相关文献中,常见的是设定因变量或扰动项存在空间相关(Kapoor, 2003),分别对应空间滞后模型(spatial lag model)和空间误差模型(spatial error model)^①。不同章节的侧重点有所不同,其中,第3章考虑一般形式的空间相关,包括空间滞后相关和空间误差相关两种情形;第4章至第8章的空间相关主要指空间误差相关。

异质性面板:对于线性面板而言,异质性通常包括两种情形,分别是截距异质性和斜率异质性,指截距和斜率随截面内个体而变化。本书的异质性主要指前者,即截距异质性,具体而言,本书的异质性设定系指共同因子和时变个体效应两种情况。

共同因子和时变个体效应:本质上共同因子和时变个体效应具有相同的经济含义,在模型中用于反映不可观测因素引起的截面相关,它们具有相似的结构^②。本书遵循当前相关研究的惯例(Ahn et al., 2001; Bai and Ng, 2002; Bai, 2003),从以下三方面进行区分:①数据维度的区别。共同因子模型一般设定大 N 和大 T ,而时变个体效应设定大 N 和固定 T 。②经济含义的区别。共同因子设定的出发点是经济变量的共同波动,异质性个体效应被解释为因子的加载系数;时变个体效应设定的出发点是个体异质性,时间变量作为个体效应的时变系数出现。③估计结果的区别。共同因子模型基于大 N 和大 T 的设定,在一定的条件下可以同时估计共同因子及其加载系数(Bai, 2003);而时变个体效应模型基于大 N 和固定 T 的设定,一般只能在消除个体效应基础上得到模型参数的一致估计。

对书中使用的符号作如下说明:大写字母 K 表示正的有限常数; $\otimes$ 表示Kronecker积, tr 表示矩阵的求迹运算符, $\|A\| = [\text{tr}(AA^T)]^{1/2}$ 表示矩阵 A 的欧几里得范式; $a_n = O(b_n)$ 表示序列 $\{a_n\}$ 最多与 b_n 同阶, $x_n = O_p(y_n)$ 表示随机序列 $\{x_n\}$ 依

^①还有一种设定是两类空间相关同时存在,被称为扰动项带有空间自相关的空间自回归模型(spatial autoregressive model with spatial autoregressive disturbances, SARAR)(Anselin, 1988)。

^②即 $\gamma_i' f_t$,在共同因子模型中称为因子(f_t)和加载系数(γ_i);在时变个体效应模型中称为个体效应(γ_i)及其时变系数(f_t)。

概率最多与 y_n 同阶; $\xrightarrow{q.m.}$ 表示依均方收敛, $\xrightarrow{p}$ 表示依概率收敛, $\xrightarrow{d}$ 表示依分布收敛; $(N, T) \xrightarrow{j} \infty$ 表示 N 和 T 的联合收敛。对于 $N \times N$ 矩阵 A , 如果 $|A_{ij}| < \infty$, $1 \leq i, j \leq N$, 那么称矩阵 A 的元素绝对一致有界 (bounded uniformly in absolute value)。

为了行文紧凑, 各章的数学推导和证明放入书后附录。

第2章 理论概述

空间相关和截面强相关是计量经济学最近十年迅速发展的两个研究领域。掌握现有研究成果的设计思路、基本假设、技术路线、经济含义,归纳和总结其优点和不足,才能站在学术前沿,做出针对性的扩展和补充,进而提出新的估计方法和进行更贴近现实的实证分析。

根据全书的内容安排,本章将依次给出空间相关、截面强相关(共同因子和时变个体效应)、重力方程(经典重力方程和空间交互作用)等三部分文献综述。

2.1 空间相关

作为截面相关的一种形式,空间相关的主要特征是针对相关结构的外生设定,通常要求相关结构(即空间加权矩阵)由距离等地理变量或经济变量决定。外生特征保证了在截面数据下也可以考虑空间相关,早期的空间相关研究主要集中于截面数据情形;近年来,随着空间相关和面板数据的结合,研究者可以在更一般和更现实的设定下考虑空间相关,空间相关研究获得新的发展契机,空间面板迅速成为空间相关研究的重心。在面板数据下,可以使用个体效应反映不可观测的异质性。目前空间面板研究已经能在固定效应或随机效应设定下分析空间相关,包括空间面板相关模型的估计(Anselin, 1988; Kapoor, 2003; Elhorst, 2003; Kapoor et al., 2007; Yu and Lee, 2006; Lee and Yu, 2007, 2008)或空间相关检验(Anselin, 1988; Baltagi et al., 2003, 2006, 2007)。但目前的空间相关研究还较少考虑到截面强相关(包括共同因子或时变个体效应)的研究成果。

与共同因子或时变个体效应相比,空间相关设定通常具有明确的经济含义^①,在引起空间相关的原因中,空间交互作用(spatial interaction)是最常见的一种形式(Anselin, 1988; Anselin et al., 2008)。一些研究通过对空间交互作用建模,在均衡水平上推导出空间相关模型(Pinkse et al., 2002; Kapoor, 2003; Behrens et al., 2007)。

传统计量经济学通常假定截面内个体相互独立,与之不同的是,空间计量经济学认为截面个体会相互影响和作用,即存在所谓的空间效应。根据空间效应的表现形式,空间计量模型可以分为空间异质模型和空间相关模型。

在截面数据下,空间异质模型的基本形式为

^①共同因子或时变个体效应通常用于反映不可观测因素;对于空间相关设定而言,空间加权矩阵的构造方式隐含了其背后的经济含义。

$$y_i = \beta_i^T x_i + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

式 (2.1) 中系数 β_i 的异质性由位置、距离等一些空间变量决定。空间异质模型研究的代表性成果是 Casetti(1997) 提出的空间扩展 (spatial expansion) 设定, 但目前还没有研究将空间异质设定应用到面板数据 (Anselin et al., 2008)。

本书主要考虑另外一种空间计量模型, 即空间相关模型, 一般认为最早正式提出空间相关模型的是 Cliff 和 Ord(1973, 1981)。理论上空间相关可以出现在回归方程的任何位置 (因变量、自变量和扰动项), 因为自变量空间相关不会导致新的估计问题, 所以理论研究集中于因变量和扰动项的空间相关, 对应的模型分别称为空间滞后模型和空间误差模型。

近年来, 空间相关研究的重心逐渐从截面数据转移到面板数据。在面板数据下, 空间滞后模型的一般形式为

$$y_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} y_{jt} + X_{it} \beta + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} = \mu_i + u_{it} \quad (2.2)$$

其中, W_{ij} 为空间加权矩阵 W 的第 i 行、第 j 列元素; ρ 为空间相关系数; μ_i 为个体效应; u_{it} 为随机扰动项。在式 (2.2) 所定义的空间滞后模型中, 由于因变量的空间滞后项出现在方程右边, 内生性问题将会导致最小二乘法 (ordinary least squares, OLS) 估计不一致。文献中讨论较多的是最大似然估计方法, MLE 估计原理是根据随机扰动项的分布 (一般设定为正态) 建立似然函数; 当扰动项不服从正态分布时, MLE 被称为准似然估计 (quasi-maximum likelihood estimation, QMLE)(Lee, 2004)。根据 μ_i 的设定不同, 具体估计程序有所区别, Anselin(1988) 将 μ_i 设定为随机效应, 利用 MLE 方法得到 β 的估计, 并推导了渐近分布; Elhorst(2003) 把 μ_i 设定为固定效应, 利用去均值方法去掉 μ_i 影响, 然后建立似然函数进行估计。另一种可用的方法是工具变量, 该方法用 WX , W^2X 等作为 WY 的工具变量 (Kelejian and Prucha, 1999) 或据此建立矩条件进行估计。两阶段最小二乘法 (two stage least squares, 2SLS) 估计存在几个问题: 首先, 相对于 MLE 估计, 它们大多不是有效估计; 其次, 当 $\beta = 0$ 时, 因为 WX 不是合适的工具变量, 这种估计不再具有一致性 (Kelejian and Prucha, 1998); 最后, 2SLS 方法下较难考虑 μ_i 的影响。

第二种常见的空间计量模型是空间误差相关, 空间误差相关有几种设定形式, 最为常见的是误差自回归模型^①, 在面板数据下, 它的一般表达形式为

$$y_{it} = \beta^T x_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} \varepsilon_{jt} + u_{it} \quad (2.3)$$

^①空间误差模型还包括直接表示、空间移动平均、空间误差成分等三种形式 (Anselin et al., 2008)。直接表示多见于空间统计文献; 空间移动平均模型的估计与式 (2.3) 类似; 而空间误差成分模型是空间移动平均的一种特殊形式 (Anselin et al., 2008)。

其中, λ 为空间相关系数, 其他变量含义与式 (2.2) 相同。

式 (2.3) 是空间面板文献中常见的一种设定, 针对式 (2.3) 的估计方法主要是 MLE 和 GMM。Anselin(1988) 把式 (2.3) 中的 μ_i 设定为随机效应, 并提出使用最大似然方法估计, Anselin(1988) 根据似然函数推导了一阶和二阶条件, 并通过计算得到相关参数的检验统计量。Anselin 的拉格朗日乘子 (lagrange multiplier, LM) 统计量没有考虑随机效应和空间相关的相互影响 (Baltagi et al., 2003), 为了解决这个问题, Baltagi 等 (2003) 扩展了 Anselin(1988) 的 LM 检验, 考虑空间相关和随机效应之间的相互影响, 把 Anselin(1988) 检验称为边际检验 (marginal test), 将考虑相互影响的检验称为条件检验 (conditional test) 和双维检验 (two-dimensional test), 模拟表明改进后的检验具有更好的检验功效; Baltagi 等 (2007) 进一步将上述检验扩展至包括序列相关的情形, 他们推导了对序列相关、空间相关和随机效应三者进行检验的边际和条件 LM 统计量。Kapoor(2003)、Kapoor 等 (2007) 考虑了一种与 Anselin(1988)、Baltagi 等 (2003, 2007) 不同的设定^①, Baltagi 等 (2006) 综合两种设定于同一个模型, 并且给出相关的估计和检验方法。

此外, 还有一些研究把式 (2.3) 中的 μ_i 设定为固定效应。经典固定效应模型通过虚拟变量反映不可观测的个体效应 (Greene, 2003), 在估计时, 通常先对变量去组内均值, 再进行回归。Elhorst(2003) 提出, 对于空间固定效应模型也可以采用类似的处理方法, 去均值后进行最大似然估计。但 Anselin 等 (2008) 指出, 去均值会导致随机扰动项方差矩阵奇异, 从而质疑 Elhorst(2003) 方法的合理性; Lee 和 Yu(2008) 进一步指出, 与经典固定效应模型一样, 在 T 固定时, 直接似然方法 (direct MLE) 不能得到随机扰动项方差的一致估计, 显然 Elhorst(2003) 估计也属于这个范畴。Lee 和 Yu(2008) 提出使用转换方法避免方差矩阵的奇异问题, 考虑了不同的 N 和 T 组合^②, 并且推导了相应的渐近分布。在大 N 和大 T 情形下, Yu 和 Lee(2006)、Lee 和 Yu(2007) 考虑了动态空间固定效应模型估计问题, 在不同的 N 和 T 设定下, 考察和分析 MLE 估计的渐近性质, 并且针对可能出现的偏差给出修正方法。Yu 和 Lee(2006)、Lee 和 Yu(2007, 2008) 的工作与其他研究的区别主要表现在两个方面: 第一, 对于 MLE 估计结果, 他们推导了相应的渐近分布, 其他使用 MLE 方法的研究一般没有给出; 第二, 他们考虑了 N 和 T 的不同设定, 其他研究一般只考虑大 N 和固定 T 情形。

作为空间模型的一种主要估计方法, MLE 方法最主要的不足在于计算量大和精度得不到保证^③(Pace and Barry, 1997; Kelejian and Prucha, 1999), 主要原因是

①Kapoor(2003)、Kapoor 等 (2007) 考虑的模型为 $y_{it} = \beta^T x_{it} + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} \varepsilon_{jt} + \mu_i + u_{it}$, 变量含义与式 (2.3) 相同。

②包括三种情形: 大 N 和固定 T , 大 T 和固定 N , 以及大 N 和大 T 。

③一些文献中提到 MLE 估计的另外一个不足, 即要求随机扰动项服从正态分布。值得注意的是, 对于准似然估计而言, MLE 估计仅要求独立同分布。