



空间经济计量： 理论与实证

SPATIAL ECONOMETRICS

林光平 龙志和/著

“经学术界近三十年探索，空间经济计量经历了从萌芽、积累到迅速发展并逐步成熟的发展历程。从应用于区域科学领域的研究方法，已发展成为系统的、广泛应用于不同领域的主流经济计量研究方法。”



科学出版社

空间经济计量：理论与实证

林光平 龙志和 著

国家自然科学基金（71071060）资助

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍空间经济计量分析方法，以及笔者在其理论和应用方面的研究成果。全书分两部分：第一部分为截面数据空间经济计量分析，包括第1章空间经济计量学导论，以及第2~3章空间经济理论截面数据模型理论研究及应用成果；第二部分为面板数据空间经济计量分析，包括第4章空间面板数据经济计量分析导论，以及第5~8章空间经济理论面板数据模型理论研究及中国经济运行空间经济计量分析研究成果。

本书可供高等院校和科研机构的研究人员，尤其是从事经济计量实证的研究人员参考。



图书在版编目(CIP)数据

空间经济计量：理论与实证 / 林光平，龙志和著. —北京：科学出版社，2014

ISBN 978-7-03-039299-2

I. ①空… II. ①林… ②龙… III. ①计量经济学 IV. ①F224.0

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第297717号

责任编辑：马 跃 / 责任校对：宋 艳
责任印制：阎 磊 / 封面设计：蓝正设计

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>

北京彩虹伟业印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年1月第一版 开本：720×1000 B5

2014年1月第一次印刷 印张：16

字数：323 000

定价：76.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

记得 2003 年初春，在华南理工大学讲授空间经济计量，不少人还是第一次听到“空间经济计量学”术语。转眼十年时间过去了，国际上空间经济计量分析已成为标准经济计量“工具箱”中的组件，国内越来越多的人在使用空间经济计量方法从事经济研究，空间经济计量业已成为经济计量热点研究领域之一。

自 2003 年始，我们的学术研究团队开始从事空间经济计量理论研究以及中国经济运行空间经济计量实证分析，本书系近十年重要研究成果结晶^①。

全书分两部分。第一部分，截面数据空间经济计量分析，包括第 1~3 章。

第 1 章空间经济计量学导论，概述截面数据空间经济计量分析基础知识：空间效应及度量、存在空间效应的经济计量模型设定、估计与检验，以及空间经济计量模型的应用。

第 2 章应用空间截面数据分析方法，对我国 31 个省区的 σ 收敛、绝对 β 收敛和条件 β 收敛进行实证分析。研究分析表明，空间效应的引入对我国省区经济收敛特征有显著影响，考虑到省区间相关性后，省区间的 σ 趋异性显著下降，省区经济间绝对 β 收敛速度提高，表明区域间的空间联系对缩小地区经济之间的差异起着重要作用。

第 3 章介绍可同时处理空间异质性与空间相关性的地理加权空间经济计量模型 (spatial geographical weighted regression model, SGWR)，并采用广义矩估计方法 (generalized method of moments, GMM) 分别对地理加权空间滞后 (geographical weighted regression spatial lag, GWR-SL) 模型和地理加权空间误差 (geographical weighted regression spatial error, GWR-SE) 模型进行估计与推断研究。相对于极大似然 (maximum likelihood, ML) 估计，广义矩估计方法能够有效减少计算量，保证结果的有效性和一致性，且放松了 SGWR 模型在误差分布未知时的估计约束，拓展了 SGWR 模型估计技术。进而，将 SGWR 模型的广义矩估计方法，应用于空间异质性与空间相关性并存的浙江省区域金融发展收敛

^① 本团队另一研究成果《应用 Bootstrap 方法的空间相关性检验：数理证明与模拟分析》[国家自然科学基金项目(70871041)]，龙志和、欧变玲、林光平著，已于 2011 年由科学出版社出版。

性的实证研究，所得结论对研究我国区域金融收敛性具有参考价值。

第二部分，面板数据空间经济计量分析，包括第4~8章。

第4章在普通面板数据模型的理论基础上，从空间面板数据模型的特点出发，介绍常用的空间面板数据，包括空间混合模型(pooled model)、空间固定效应模型和空间随机效应模型等；进而，概述这些常用空间面板数据模型的检验及估计方法，是读者进一步了解及进行空间面板数据模型的理论 and 实证研究的基础。

第5章以我国县(县级市)作为分析单元，考虑研究对象间的空间相关性，构建空间面板数据经济计量模型，对2000年以来我国1793个县域经济的绝对 β 收敛和条件 β 收敛进行实证分析。分析表明，考虑空间相关性后，我国县域经济的绝对 β 收敛速度显著提高，但条件 β 收敛速度没有明显变化。由此推断，县域经济间空间联系的存在，可以缩小其相互间的经济差距，并不能缩小其与自身经济稳态的距离。

第6章提出三维面板数据的空间似不相关回归模型(seemingly unrelated regressions mode, SUR)空间经济计量模型概念及结构，以及相应估算技术。在此基础上，使用历年广东工业统计数据，采用三维面板数据SUR空间经济计量模型，对广东全省、珠三角地区，以及非珠三角区域工业产业中知识溢出效应进行实证研究，揭示随经济发展，广东工业产业中知识溢出效应作用的变动规律。

在现实经济管理活动中，影响区域经济运行的因素异常复杂。除空间效应外，还可能存在非空间溢出的影响。例如，一个区域人口受教育程度，仅以非空间溢出方式对该区域产生影响。第7、8章对考虑空间溢出和非空间溢出的空间误差分量(spatial error components, SEC)模型进行研究。第7章将文献中已有的截面数据空间误差分量模型扩展至面板数据，推导检验面板数据空间误差分量模型的空间相关性统计量；并采用Monte Carlo模拟实验，验证检验统计量的水平扭曲和检验功效。第8章研究面板数据空间误差分量模型的参数估计方法，通过数理证明与Monte Carlo模拟实验，证明所提出的基于广义矩估计的可行广义最小二乘法(feasible generalized least squares based on GMM, GMM-FGLS)估计量的有效性；进而，为区别固定效应与随机效应，构造空间Hausman检验辅助回归模型，并通过模拟实验证明面板数据空间误差分量模型个体效应判定的空间Hausman检验的有效性；最后，将所做的面板数据空间误差分量模型研究，应用于我国区域CO₂排放的影响因素实证研究，得到更为贴近现实经济运行的结论。

本书由林光平、龙志和与所指导的博士生们合作完成。这是一群朝气蓬勃、思维敏捷、勤奋好学的年轻人。对本书写作做出贡献的有：陈青青(第4、7、8章)、吴梅(第6章)、陈芳(第1、2、5章)、林志鹏(第1、3、4章)、任通先(第

1、4章)、黄砚玲(第3章)。全书在撰写大纲基础上,分头写出初稿,反复多次修改,完成定稿。

本书编辑过程承蒙科学出版社马跃编辑等鼎力帮助,在此深表谢意。

本书是我们对空间经济计量“问题”的思考与探索,我们试图回答一些“问题”,但结果却是面临更多的“问题”。面对生机勃勃、充满矛盾的经济运行,总有解不完的难题,这也许正是从事科学研究的魅力所在。

此书献给有幸从事中国经济研究的年轻人。

林光平 龙志和

2013年5月于羊城

目 录

前言

第 1 章 空间经济计量学导论	1
1.1 空间经济计量学的产生和发展	1
1.2 空间效应：概念与度量	8
1.3 空间效应设置.....	11
1.4 空间效应检验.....	16
1.5 存在空间效应的经济计量模型估计.....	25
1.6 有限样本情况下空间经济计量模型的检验与估计.....	35
参考文献	38
第 2 章 中国省区经济收敛空间经济计量实证分析	50
2.1 经济收敛理论与实证研究文献综述.....	50
2.2 空间经济计量实证分析方法回顾.....	60
2.3 中国省区经济 σ 收敛空间经济计量实证分析.....	64
2.4 中国省区经济绝对 β 收敛空间经济计量实证分析.....	71
2.5 中国省区经济条件 β 收敛空间经济计量实证分析.....	74
2.6 中国省区经济收敛研究主要结论.....	77
参考文献	78
第 3 章 地理加权空间经济计量模型：浙江省区域金融发展收敛性研究	82
3.1 地理加权空间经济计量模型.....	82
3.2 浙江省区域金融发展收敛性实证分析.....	88
参考文献.....	104
第 4 章 空间面板数据经济计量分析导论	107
4.1 空间面板数据模型概述	107
4.2 空间面板数据模型的检验	116
4.3 空间面板数据模型的估计	121
参考文献.....	126

第 5 章 中国县域经济收敛空间经济计量实证分析	129
5.1 区域经济收敛研究文献综述	129
5.2 中国县域经济收敛研究数据说明	135
5.3 经济增长 β 收敛的空间经济计量模型	137
5.4 中国县域经济 β 收敛的空间面板实证分析	139
5.5 中国县域经济收敛研究主要结论	149
参考文献.....	149
第 6 章 三维面板数据 SUR 空间经济计量分析：广东工业产业知识溢出 ...	153
6.1 知识溢出研究文献综述	153
6.2 三维面板数据空间经济计量模型	158
6.3 实证研究：广东工业产业整体知识溢出效应	167
6.4 广东工业产业知识溢出效应研究主要结论	186
参考文献.....	186
第 7 章 面板数据空间误差分量模型及其空间相关性检验	192
7.1 面板数据空间误差分量模型	193
7.2 随机效应空间误差分量模型检验	196
7.3 固定效应空间误差分量模型检验	201
7.4 面板数据空间误差分量模型检验统计量模拟实验	202
参考文献.....	211
本章附录.....	213
第 8 章 面板数据空间误差分量模型参数估计及其应用	215
8.1 面板数据空间误差分量模型的参数估计	215
8.2 面板数据空间误差分量模型的空间 Hausman 检验	224
8.3 基于面板数据空间误差分量模型的碳排放影响因素实证研究	233
参考文献.....	241
本章附录.....	245

第 1 章

空间经济计量学导论

1.1 空间经济计量学的产生和发展

1.1.1 空间经济计量学发展概述

经典经济计量模型，基于 Gauss-Markov 假设，假定变量相互独立，这一假定与社会经济事物间存在着广泛、普遍联系的现实并不吻合。近 30 年来，随着计算机技术的发展，引入空间效应(spatial effect)的空间经济计量分析已经成为经济计量领域的一个重要分支和研究热点之一(Anselin, 2006; Anselin and Florax, 2000)。简单地说，空间效应的存在是空间经济计量学作为一门独立学科产生的社会经济现实基础，在经济计量分析中引入空间效应是空间经济计量模型与经典经济计量模型的根本区别。

空间经济计量领域的著名学者 Anselin(2010)将空间经济计量学的发展划分为三个时期：萌芽期(preconditions for growth)、发展期(take-off)和成熟期(maturity)。

1. 萌芽期：20 世纪 70 年代中期至 80 年代末

1974 年 5 月，在蒂尔堡举行的荷兰统计协会年会上，Paelinck 首次将空间经济计量学作为一个新的研究领域在大会上提出。在此之后，部分欧洲学者开始将空间经济计量方法应用于区域经济研究(Hordijk and Paelinck, 1976)。这些可以看做空间经济计量分析的开端。

1979 年，第一本介绍空间经济计量学的著作——《空间经济计量学》(*Spatial Econometrics*)问世。在该书中，Paelinck 和 Klaassen 对空间经济计量的特征及相应的研究方法做出了系统性描述。此外，当年亦有多篇空间经济计量

经典论文和著作问世。例如，Bartels 和 Ketellapper(1979)的著作《空间数据的探索性和解释性分析》(*Exploratory and Explanatory Analysis of Spatial Data*)、Bennett(1979)的著作《空间时间序列》(*Spatial Time Series*)，以及 Hordijk(1979)的论文《空间计量经济关系估计中的几个问题》(*Problems in estimating econometric relations in space*)等。因此，Anselin(2010)认为，可以将1979年作为空间经济计量研究确立的标志性起点。

萌芽期的空间经济计量研究，主要集中于以 Moran's *I* 检验方法为主的空间相关性检验、空间经济计量模型的设定、基础空间经济计量模型的估计、空间经济计量模型的识别，以及对空间经济计量模型设定的检验(specification test)等方面。

在空间相关性检验方面，这一时期具有代表性的研究包括：Cliff 和 Ord(1972)提出的采用 Moran's *I* 指数对模型的普通最小二乘法(ordinary least squares, OLS)残差进行空间相关性检验的检验方法；Hordijk 等对 Moran's *I* 统计量性质和功效的研究，并将该统计量用于检验各种模型形式的估计残差(Hordijk, 1974; Bartels and Hordijk, 1977)；Burridge(1980)和 Anselin(1988c)提出的用极大似然方法构造检验统计量，如似然比(likelihood ratio, LR)和拉格朗日系数(Lagrange multiplier, LM)统计量，进行空间相关性检验的方法。

在空间经济计量模型设定方面，最初的研究主要集中于空间滞后模型^①(spatial lag model, SLM)和空间误差模型(spatial error, SE)两类基础模型。其后的研究对这两类基础模型进行了扩展。这些扩展模型包括 Brandsma 和 Ketellapper(1979)提出的双重参数模型(biparametric model)，Burridge(1980)提出的空间杜宾模型(spatial Durbin model, SDM，也称为共同因素模型)，以及 Haining(1978)提出的空间移动平均模型(spatial moving average model)等。此外，空间异质性问题在这个时期也开始进入研究者的视野。例如，Casetti(1972, 1986)提出了将空间异质性引入模型的思路；Foster 和 Gorr(1986)提出了一种采用适应性过滤方法对模型中的空间异质性进行处理的技术。

在空间经济计量模型的估计方法方面，这一时期的研究中占主导地位的是极大似然估计方法。将空间效应引入模型后，传统的最小二乘法估计无效，需要寻找新的方法进行空间经济计量模型估计。Ord(1975)最早将极大似然法用于空间经济计量模型的估计，其后有学者对该方法在空间经济计量模型中的应用进行了扩展。例如，有的文献考察了极大似然估计量在统计规范和实证方面的性质

^① 空间滞后模型又被称为“空间自相关模型”(spatial autoregressive model, SAR)或“空间自回归模型”。本书统一用“空间滞后模型”。

(Hepple, 1976; Anselin, 1980, 1988c); 有的文献对误差的空间自相关形式进行了进一步设定, 如假定误差的空间自相关性随地理距离的延长而减小 (Boddson and Peeters, 1975; Cook and Pocock, 1983), 并针对该误差形式推导出新的极大似然估计量。此外, 在大部分空间经济计量模型采用极大似然方法估计的同时, 其他的估计方法也逐步被采用, 如工具变量法 (instrumental variables, IV) (Anselin, 1980)、贝叶斯方法 (Bayesian methods) (Hepple, 1979; Anselin, 1980, 1982) 等。

这一时期还出现了对空间经济计量时空模型 (space-time model) 的初步研究。其中, 最主要的内容是关于时空模型设定方面的研究。此外, 值得一提的是空间似无关回归模型 (spatial seemingly unrelated regression model, SSUR) 方面的研究 (Hordijk and Nijkamp, 1977, 1978; Hordijk, 1979; Anselin, 1988a)。

2. 发展期: 20世纪90年代

20世纪90年代是空间经济计量学的快速发展期。空间经济计量分析在这个时期的进展主要包括:

第一, 空间经济计量研究范式逐渐正规化, 尤其体现在对模型估计量渐近性质的证明方面。例如, Kelejian 和 Prucha (1998, 1999)、Conley (1999) 对广义矩估计法, 以及一般矩估计法 (method of moments, MOM) 的严格数理推导与证明。

第二, 各种检验和估计方法对有限样本性质研究的深入。随着计算机技术的发展, 广泛应用的模拟实验方法为有限样本性质的研究提供了有效的工具。这一时期, 用于有限样本性质研究的计算机模拟实验的设计越来越精细。例如, 增大模拟重复次数以改进模拟结果; 依据现实数据特征设置模拟实验条件, 使模拟实验更符合现实情况等方面的研究及模拟实验设计 (Anselin and Rey, 1991; Anselin and Florax, 1995b; Kelejian and Robinson, 1998)。

第三, 空间经济计量模型设定、估计和检验研究的新进展。在模型设定方面, 这一时期出现了新的模型设定形式, 如空间误差分量模型 (Anselin and Rey, 1991; Anselin and Florax, 1995a; Kelejian and Robinson, 1998) 等。在空间模型估计方面的研究进展, 一方面表现为极大似然估计方法在计算速度上的技术改进, 如似然函数中的稀疏矩阵处理, 以及对似然函数进行各种近似处理 (Martin, 1993; Pace and Barry, 1997, 1998); 另一方面体现在其他估计方法的应用, 如贝叶斯方法在空间经济计量中的应用 (LeSage, 1999)。在空间效应检验方法的研究方面, 新的进展包括: 考虑空间相关性与异方差同时存在情况下的空间相关性检验 (Anselin and Rey, 1991; Anselin and Florax, 1995b; Kelejian and Robinson, 1998); 在备则假设可能错误情况下, 稳健形式的 LM 检验统计量 (robust lagrange multiplier test) 等; 针对不同模型的 Moran's I 统计检验方法扩展, 如两阶段最小二乘 (two-stage least squares, 2SLS) 估计残差的 Moran's I

检验(Anselin and Kelejian, 1997)等。

第四, 将空间效应与非线性回归模型相结合, 用于研究现实经济中经常遇到的非线性问题。例如, 将空间效应引入受限因变量(limited dependent variables)模型, 其中代表性的研究包括: 空间概率模型(spatial probit model)方面的研究(Case, 1992; McMillen, 1992, 1995; Brock and Durlauf, 1995; Pinkse and Slade, 1998), 以及空间单位根问题的研究(Fingleton, 1999)等。

第五, 空间异质性研究的新突破。在这一时期, 空间异质性研究最重要的进展是地理加权回归方法(geographically weighted regression, GWR)的研究和应用。该技术通过随空间位置而变化的模型参数, 反映和处理模型中的空间异质性(Brunsdon et al., 1998a, 1998b)。此外, 采用空间过滤(spatial filtering)的方法, 对空间异质性进行处理也是这个时期另一重要进展。

第六, 空间经济计量与统计软件的发展。随着空间经济计量学广泛用于实证研究, 相关经济计量和统计软件的需求也越来越强烈, 各种统计、计量软件应时而生。例如, 美国国家地理信息与分析中心(National Center for Geographic Information and Analysis in the United States, NCGIA)1992年发布的“空间统计”(space stat), LeSage(1997, 1999)开发和扩展的 Matlab 工具箱(LeSage, 1999; Pace and Barry, 1998)等软件平台。这些软件的开发为空间经济计量实证研究提供了丰富的分析工具, 促进了空间经济计量学的快速发展。

总体而言, 这一时期空间经济计量学发展迅速, 在应用经济计量领域的地位得到了普遍认可。大量空间经济计量学研究成果在《经济计量学》(*Journal of Econometrics*)等顶尖学术期刊上发表。主流经济计量学教材, 如 Greene 主编的 2011 年版《经济计量分析》, Baltagi 主编的 2008 年版《面板数据经济计量分析》等, 也开始对空间经济计量学进行专门的介绍。

3. 成熟期: 21 世纪以后

进入 21 世纪后, 空间经济计量学发展步入成熟阶段, 空间经济计量学作为一种主流的经济计量研究方法被广泛认可和接受。2006 年, 空间经济计量学协会(Spatial Econometrics Association, SEA)正式成立。同年创办的空间经济学专业期刊——《空间经济分析》(*Spatial Economic Analysis*), 成为空间经济学理论和方法研究的重要园地。2007 年 7 月, 第一届国际空间经济计量年会在英国剑桥大学召开。此后, 空间经济计量学年会一年一度举行, 成为空间经济计量步入成熟时期的重要标志。

这一阶段空间经济计量研究的重要进展包括:

第一, 大量空间经济计量专著出版, 代表性的著作包括《空间经济计量学: 区域收敛的统计学基础与应用》(*Spatial Econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Convergence*)(Arbia, 2006)、《空间经济计量学导

论》(*Introduction to Spatial Econometrics*)(LeSage and Pace, 2009)、《空间经济计量学前沿》(*Advances in Spatial Econometrics*)(Anselin and Florax, 2000)、《空间经济计量学与空间统计学》(*Spatial Econometrics and Spatial Statistics*)(Getis et al., 2004)、《经济计量学前沿: 空间和时空经济计量学》(*Advances in Econometrics: Spatial and Spatio-temporal Econometrics*)(LeSage and Pace, 2004)、《空间经济计量学: 方法与应用》(*Spatial Econometrics: Methods and Applications*)(Arbia and Baltagi, 2009), 等等。这些专著从不同角度介绍了空间经济计量学的新进展。

第二, 空间经济计量学研究方法广泛应用于多领域经济实证研究。21 世纪以来, 大量的空间经济计量学实证研究成果涌现。空间经济计量分析不仅应用于城市经济学、区域经济学、房地产经济学、经济地理学等领域, 而且被应用到如公共经济学、劳动经济学、农业和环境经济学、产业组织, 以及国际经济学等传统经济学领域(Anselin and Bera, 1998; Anselin, 2001a; Anselin and Florax, 2000; Anselin, 2010)。此外, 新近的空间经济计量学在社会网络研究中的应用(Lee et al., 2010)也备受关注。

第三, 空间经济计量估计方法研究的深入。在空间经济计量模型的估计方面, 21 世纪以来重点是对已有主流方法的扩展性研究。例如, 对空间经济计量回归模型估计方法渐近性质的研究, 以及对各种估计方法的比较研究(Kelejian and Prucha, 2002, 2004, 2007b; Andrews, 2005; Lee, 2002, 2003, 2004); 同时考虑空间相关性和异质性空间的广义矩估计研究(Kelejian and Prucha, 2010b; Arraiz et al., 2010); 基于核估计的异方差自相关一致性(heteroscedasticity and autocorrelation consistent, HAC)估计方法研究(Kelejian and Prucha, 2007a)等。此外, Robinson(2008)提出了一套检验时间序列相关性、空间数据相关性、时空(spatio-temporal)数据相关性以及截面数据相关性的一般方法。

第四, 空间经济计量模型设定研究的进展。在模型设定方面, 最受关注的进展主要表现在对三类模型, 即空间面板数据模型、空间潜变量模型(model for spatial latent variables)和流量模型(model for flows)的研究。

与普通面板数据模型和空间截面数据模型相比, 空间面板数据模型既能控制个体的异质性特征, 又考虑了个体间的空间相关性, 具有更优的估计性质和更好的应用前景。目前, 对空间面板数据模型的研究主要集中于理论和方法方面。例如, 空间面板数据模型设定和估计方法(Elhorst, 2001, 2003; Elhorst and Zeilstra, 2007; Kapoor et al., 2007; Fingleton, 2008b; Lee and Yu, 2010), 空间面板数据模型设定的检验方法研究(Baltagi et al., 2003, 2007; Kapetanios and Pesaran, 2007; Pesaran et al., 2008)。

随着软件工具的不断更新, 空间面板数据模型的应用也越来越多, 早期的研

究主要是空间静态面板数据模型(spatial static panel data model)的应用,如该模型在农业经济学领域、交通运输领域、公共经济学领域、商品需求领域(Baltagi and Li, 2006)等的应用研究。近期,空间动态面板数据模型(spatial dynamic panel data model)的实证研究备受瞩目。例如,将空间动态面板模型应用于区域经济收敛研究(Baltagi et al., 2007)、区域市场、劳动经济、公共经济等领域的实证研究。

空间潜变量模型是空间回归模型之外另一种处理空间效应的方法。空间潜变量模型避开严格假定的空间权重矩阵(W 矩阵)的设置,从结构方程模型(structural equation model)的角度处理空间效应。结构方程模型一般由两部分构成,一部分是反映不可观测的潜变量之间关系的结构模型(structural model),另一部分是反映潜变量与可观测的显变量(observed variables)之间关系的测量模型(measurement model)。目前空间潜变量模型的研究成果不仅限于模型设定和检验方法方面的理论研究(LeSage, 2000; Kelejian and Prucha, 2001; Beron et al., 2003; Fleming, 2004; Smith and LeSage, 2004),还包括不少实证研究(Holloway et al., 2002; Murdoch et al., 2003; Chakir and Parent, 2009; Wang and Kockelman, 2009)。

流量模型通常被称为空间交互模型(spatial interaction model)或重力模型(gravity model)。该模型用于对地区之间的各种交通流量(commuting flows),如移民流量、贸易流量等进行估计和预测,其核心假定是:地区间的交通流量随地理距离的延长而减少。流量模型代表性成果包括 LeSage and Pace(2008)、Chun(2008)、Fisher and Griffith(2008)、LeSage and Polasek(2008)、Griffith(2009)等研究。

第五,空间经济计量模型检验方面的进展。21世纪以来,空间经济计量模型检验方法的理论研究步入成熟期,其标志是为检验和诊断空间经济计量模型的各种误设情况而进行的LM检验扩展研究方面有了突出进展。例如,确定模型函数形式的LM检验方法(Baltagi and Li, 2001b; Mur and Angulo, 2006, 2009)、确定空间误差自相关形式的LM检验方法(Anselin, 2001a; Anselin and Moreno, 2003)、非嵌套假设的LM检验方法(Kelejian, 2008)等。Baltagi和Li(2001a)还提出基于倍长回归(double length regressions, DLR)的两个LM检验统计量,用于检验空间滞后自相关和空间误差自相关。由于倍长回归方法只用到受约束模型的最小二乘估计残差,因而其LM检验统计量比其他检验方法更易于计算。

第六,空间经济预测研究的进展。空间经济预测研究一直是空间经济计量研究较弱的领域,21世纪以来取得了较大进展,代表性的研究是基于面板数据模型的空间预测研究(Baltagi and Li, 2006; Kelejian and Prucha, 2007b;

Fingleton, 2009)。

第七, 空间过滤方法的应用。空间过滤方法最早由 Griffith(1996, 2000)提出, 该方法首先通过地理权重矩阵(geographic weights matrix)构造空间过滤算子(spatial filters), 其次采用空间过滤算子将模型中存在空间相关性的变量分解为空间相关和非空间相关的两个成分, 最后对空间过滤后的模型进行估计。空间过滤后的模型中不存在由空间相关性引起的异方差和自相关, 可以采用 OLS 方法进行估计。21 世纪后, 有不少的研究采用空间过滤方法对模型中变量的空间相关性进行过滤处理(Getis and Griffith, 2002; Griffith, 2003; Griffith and Peres-Neto, 2006; Tiefelsdorf and Griffith, 2007)。

概而言之, 经过学术界多年的努力探索, 空间经济计量经历了从萌芽、积累到迅速发展并逐步成熟的发展历程; 从应用于区域科学领域的研究方法, 已发展成为系统的、广泛应用于不同领域的主流经济计量研究方法。

1.1.2 空间经济计量学展望

Anselin(2010)认为, 空间经济计量学的未来研究有两大发展方向。其一, 继续围绕空间经济计量学四个传统研究领域展开理论和实证研究。其二, 在传统研究领域以外, 发展出一些新的研究领域。

以下四个主题的深入研究仍然是空间经济计量学今后的主流研究方向: ①空间经济计量模型的设定(specification); ②空间经济计量模型的估计(estimation); ③空间效应检验(tests)和诊断(diagnostics); ④空间预测(prediction)。

在理论研究方面, 空间经济计量模型设定、模型估计、模型设定检验及预测研究中仍然有许多问题尚待解决。例如, 空间经济计量模型的识别不足问题、多重均衡问题、缺失变量问题和内生性问题、估计参数的部分识别问题, 以及模型设定应随研究对象和研究问题不断地进行修正, 等等。对现有的研究方法进行修正和拓展将是未来理论研究的重要方向。

在实证研究方面, 经济社会现象中复杂的空间关系和时空关系远远没有被现有的研究所揭示, 不断改进的空间经济计量方法用于经济社会实际问题研究的进程将不断加快, 会继续成为未来空间经济计量研究的主流方向。

在空间经济计量传统研究领域之外, 有可能发展出一些新的研究领域。目前, 被认为较重要的几个领域包括: 其一, 探索和解释在模型中引入的空间关系和时空关系两者背后经济作用机制的研究。其二, 解决由于数据量太大导致经济计量学中一些传统概念失效问题的研究。例如, 在大样本数据研究中, 经济计量参数估计结果的“显著性”往往被过度接受, 即“显著性”概念在大样本数据研究中可能失效, 解决这一问题有可能形成新的理论及分析技术。其三, 新的计算技术的发展。空间经济计量分析的计算量庞大, 需要进一步改进计算技术, 处理因数

据量过大而引起的复杂计算问题。

随着研究方法的逐渐成熟，空间经济计量分析势必会在社会各个领域得到越来越广泛的应用，应用和推广过程中产生的新问题将驱动空间经济计量理论新突破并进而带动应用研究不断向前发展。

1.2 空间效应：概念与度量

1.2.1 空间效应定义及表现形式

1. 空间数据形式

经济计量学研究的数据形式通常分为三类：截面数据(cross section data)、时间序列数据(time series data)和面板数据(panel data)。截面数据和面板数据是空间经济计量研究常用的两种数据形式。截面数据是变量在截面维度上的数据，即不同样本在同一时间点或同一时间段的数据，属于一维数据；面板数据也称时间序列截面数据(time series and cross section data)，是同时在时间和截面维度上取得的二维数据。在空间经济计量研究中，截面维度一般表现为空间维度，即样本的截面属性表现为地理位置属性。

2. 空间效应的表现形式

空间效应有两种不同的表现形式：空间依赖性(spatial dependence)和空间异质性(spatial heterogeneity)(Anselin, 1988c)。

空间依赖性是指由主体行为间的空间交互作用(spatial interaction effects)而产生的一种截面依赖性。在空间经济计量模型研究中，空间依赖性也通常称做空间自相关性(spatial autocorrelation)或空间相关性(spatial correlation)。虽然三种称法通常可以替代，然而，从更严格意义上来讲，空间相关性的含义比空间自相关性更广。在具体的空间经济计量分析中，空间相关性泛指模型变量间存在空间关系，而空间自相关性特指模型的估计残差间存在空间上的自相关关系(need clarification)。在本书各章节中，为便于叙述，对“空间依赖性”统一采用“空间相关性”这一称法。

空间相关性主要表现为服从特定空间位置分布的随机变量之间的相关程度，可以用简单的矩条件表达式对空间相关性进行描述(Anselin, 2006)：

$$\text{Cov}[y_i, y_j] = E[y_i y_j] - E[y_j] \cdot E[y_i] \neq 0, \quad \text{当 } i \neq j \quad (1-1)$$

其中， i, j 是处于不同位置的个体观测点； y_i 和 y_j 分别是相应观测点的变量观测值。

空间相关性在模型中的设定形式一般为变量的空间自相关形式,即采用变量的空间滞后因子将空间相关性引入经典经济计量模型。空间经济计量研究中常用的空间滞后因子有因变量的空间自相关、自变量的空间自相关,以及模型误差的空间自相关。

空间异质性是指空间结构的非均衡性(structural instability),表现为主体行为之间存在明显的空间结构性差异。空间异质性的设定形式主要有以下两种:

其一,方差的空間異質性,即模型誤差的空間異方差性(heteroskedasticity)。假设总体 S 中包含 N 个具有地理属性的个体观测点 $i=1, 2, \dots, N$, 可将 N 个观测点分为 R 个群组 $S_r (r=1, 2, \dots, R)$, 对任意两个群组 S_r 和 S_s , 若 $S_r \cap_{r \neq s} S_s = \phi$, $\bigcup_{r=1, \dots, R} S_r = S$, 则方差的空間異質性可表达为

$$\text{Var}[\varepsilon_i] = \sigma_r^2, \quad i \in S_r \quad (1-2)$$

其二,模型系数的空間異質性。这种空間異質性通常表现为空間變系数(variable coefficients)或空間結構(spatial regime)。空間變系数可表达为

$$\beta_i = \beta_r, \quad i \in S_r \quad (1-3)$$

其中, β_i 是观测点 i 的模型系数。空間結構表现为模型的离散性(discrete nature), 其函数形式随观测点地理属性的不同而发生离散性变化(Anselin, 1988c, 1990)。

1.2.2 空间效应的度量

在空間經濟計量研究中,空間效应的度量一般遵循一条基本原则——距离衰减原则(distance decay),即两个观测点的空間距离越近,其空間关系越密切(Anselin and Getis, 1992)。

基于距离衰减原则构造空間权重矩阵,是度量空間效应的一般途径。空間权重矩阵的构造方法可分为两类:基于空間邻接关系的空間邻接矩阵(spatial contiguity matrix)和基于地理距离的空間核函数权重矩阵(spatial kernel weights matrix)。

1. 空間邻接矩阵

空間邻接矩阵是根据观测点在地理空間上的相邻关系来构造的空間权重矩阵。这是最常用的空間邻接矩阵,其数学表达式为

$$w_{ij} = w_{ji} = \begin{cases} 1, & i \in \{j\} \\ 0, & i \notin \{j\} \end{cases} \quad (1-4)$$

其中, $i, j (i, j=1, 2, \dots, N)$ 是处于不同位置的个体观测点; $\{j\}$ 是观测点 i 邻近观测点的集合。每个观测点 i 都有与其对应的邻近观测点集合 $\{j\}$, 当属于集合 $\{j\}$ 时, 则 j 可视为 i 的邻居, 对应的空間权重矩阵 \mathbf{W} 中的元素 w_{ij} 被赋值为