

博雅

21世纪经济与管理规划教材

经济学系列

# 空间计量经济学

——基于MATLAB的应用分析

Spatial  
Econometrics

Based on Empirical Analysis with MATLAB

肖光恩 刘锦学 谭赛月明 编著

大学出版社  
UNIVERSITY PRESS

博  
来

# 空间计量经济学

——基于MATLAB的应用分析

Spatial  
Econometrics  
Based on Empirical Analysis with MATLAB

肖光恩 刘锦学 谭赛月 明 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

空间计量经济学:基于 MATLAB 的应用分析/肖光恩,刘锦学,谭赛月明编著. —北京:北京大学出版社,2018.9

(21 世纪经济与管理规划教材·经济学系列)

ISBN 978-7-301-29869-5

I. ①空… II. ①肖… ②刘… ③谭… III. ①Matlab 软件—应用—区位经济学—计量经济学—高等学校—教材 IV. ①F224.0-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203729 号

- 书 名** 空间计量经济学:基于 MATLAB 的应用分析  
KONGJIAN JILIANG JINGJIXUE: JIYU MATLAB DE YINGYONG FENXI
- 著作责任者** 肖光恩 刘锦学 谭赛月明 编著
- 责任编辑** 杨潇宇 郝小楠
- 标准书号** ISBN 978-7-301-29869-5
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn>
- 电子信箱** em@pup.cn QQ:552063295
- 新浪微博** @北京大学出版社 @北京大学出版社经管图书
- 电 话** 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62752926
- 印刷者** 三河市北燕印装有限公司
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 203 千字  
2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
- 印 数** 0001—4000 册
- 定 价** 32.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

**版权所有,侵权必究**

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

## 丛书出版前言

作为一家综合性的大学出版社,北京大学出版社始终坚持为教学科研服务,为人才培养服务。呈现在您面前的这套“21世纪经济与管理规划教材”是由我国经济与管理领域颇具影响力和潜力的专家学者编写而成,力求结合中国实际,反映当前学科发展的前沿水平。

“21世纪经济与管理规划教材”面向各高等院校经济与管理专业的本科生,不仅涵盖了经济与管理类传统课程的教材,还包括根据学科发展不断开发的新兴课程教材;在注重系统性和综合性的同时,注重与研究生教育接轨、与国际接轨,培养学生的综合素质,帮助学生打下扎实的专业基础和掌握最新的学科前沿知识,以满足高等院校培养精英人才的需要。

针对目前国内本科层次教材质量参差不齐、国外教材适用性不强的问题,本系列教材在保持相对一致的风格和体例的基础上,力求吸收国内外同类教材的优点,增加支持先进教学手段和多元化教学方法的内容,如增加课堂讨论素材以适应启发式教学,增加本土化案例及相关知识链接,在增强教材可读性的同时给学生进一步学习提供指引。

为帮助教师取得更好的教学效果,本系列教材以精品课程建设标准严格要求各教材的编写,努力配备丰富、多元的教辅材料,如电子课件、习题答案、案例分析要点等。

为了使本系列教材具有持续的生命力,我们将积极与作者沟通,争取三年左右对教材不断进行修订。无论您是教师还是学生,您在使用本系列教材的过程中,如果发现任何问题或者有任何意见或者建议,欢迎及时与我们联系(发送邮件



至 em@pup.cn)。我们会将您的宝贵意见或者建议及时反馈给作者,以便修订再版时进一步完善教材内容,更好地满足教师教学和学生学习的需要。

最后,感谢所有参与编写和为我们出谋划策提供帮助的专家学者,以及广大使用本系列教材的师生,希望本系列教材能够为我国高等院校经管专业教育贡献绵薄之力。

北京大学出版社

经济与管理图书事业部



## 前 言

编写一本通俗易懂的空间计量经济学教材,一直是我学习和组织翻译系列空间计量经济学经典著作以来的一个愿望。

2006年,当我第一次在英国雷丁大学商学院做访问学者时,我的指导老师,世界著名国际商务经济学家马克·卡森(Mark Casson)教授就非常重视地理区位对企业家在做国际商务决策中的重要影响,并强调要对国际商务决策的地区溢出效应进行识别和测度,让我开始关注空间计量分析方法在国际商务决策空间溢出效应分析中的应用。于是我复印了卢克·安索林(Luc Anselin)的经典著作《空间计量经济学:方法与模型》(*Spatial Econometrics: Methods and Models*),开始了对空间计量经济学的初步自学。2012年11月,当我在浙江大学经济学院参加“第二届空间经济学国际研讨会”时,受武汉大学经济与管理学院的委托,接手组织承办2013年“第三届中国空间经济学国际研讨会”,梁琦教授让我更多地邀请空间计量经济学专家参加本次年会。2013年6月,在武汉大学经济与管理学院承办的“第三届中国空间经济学国际研讨会”上,我邀请了我们组织翻译的国内第一本空间计量经济学专著《空间计量经济学导论》(*Introduction to Spatial Econometrics*)的作者——美国德克萨斯州立大学的詹姆斯·勒沙杰(James LeSage)教授。会议上,他对空间计量经济学经典方法做了全面的解释,为空间计量经济学在中国学术界的传播起到重要的推动作用。2014年3月我再次邀请了詹姆斯·勒沙杰教授到武汉大学经济与管

理学院进行为期一周的空间计量经济学的开放讲座,对空间计量经济学在武汉高校中的普及起到了重要的作用。随后我又开始组织翻译荷兰格罗宁根大学世界著名空间计量经济学专家保罗·埃尔霍斯特(Paul Elhorst)教授的著作《空间计量经济学:从横截面数据到空间面板》(*Spatial Econometrics: From Cross-sectional Data to Spatial Panels*),美国伊利诺伊大学的丹尔尼·麦克米伦(Daniel Mcmillan)的《空间计量经济学:空间数据的分储回归》<sup>①</sup>(*Quantile Regression for Spatial Data*),朱塞佩·阿尔比亚(Giuseppe Arbia)的《空间计量经济学入门:在 R 中的应用》(*A Primer for Spatial Econometrics: With Application in R*)以及曼弗雷德·M. 费希尔(Manfred M. Fischer)等的《空间数据分析:模型、方法与技术》(*Spatial Data Analysis: Models, Methods and Techniques*)。在学习空间计量经济学和组织翻译系列空间计量经济学著作的过程中,我发现现有空间计量经济学的专著理论内容虽然丰富,但有关空间计量经济学模型的软件实现内容却十分缺乏,而且对空间计量经济学模型实现的软件代码并没有进行很好的理论解释,于是产生了要撰写一本结合空间计量经济学理论模型和软件代码解释的通俗空间计量经济学教材的想法。

2014年当我邀请《空间计量经济学导论》的另一作者美国路易斯安那州立大学的凯利·佩斯(Kelley Pace)教授参加当年的“中国空间经济学国际研讨会”时,我与他讨论了关于撰写空间计量经济学教材的想法,凯利·佩斯对此非常赞成,并在2014年10月到武汉大学经济与管理学院进行了空间计量经济学的专题讲座。2015年当我在美国路易斯安那州立大学做访问学者时,我参加了2015年10月9日至11日在路易斯安那州立大学举行的“空间计量经济学国际会议”,与参会的詹姆斯·勒沙杰、保罗·埃尔霍斯特和凯利·佩斯三位教授再次讨论了撰写空间计量经济学教材一事,非常感谢他们同意在撰写中文空间计量经济学教材时使用他们编写的MATLAB程序代码。于是在美国路易斯安那州立大学E. J. Ourso商学院,我正式开始组织撰写本书。

编写一本通俗易懂的空间计量经济学教材是一个很大的挑战。

首先,对空间计量经济学基本内容的选择是困难的。空间计量经济学虽然发展较晚,但发展速度却很快,新内容层出不穷。从空间数据上看,空间计量分析由横截面数据

<sup>①</sup> 根据出版社的要求,对书的译名作了修改。

到空间面板数据,由连续空间数据到离散空间数据;从空间分析模型上看,由经典的空间自回归模型、空间误差模型和空间杜宾模型到空间面板模型、空间-时间模型、空间联立方程组模型和空间向量自回归模型以及空间地理变系数模型。因此,如何界定空间计量经济学的基本内容,是编写本书的第一个难题。为了降低初学者对空间计量经济学的学习难度,本书只选择了横截面数据和空间面板数据分析的基本空间计量模型进行介绍。

其次,对空间计量经济学分析软件的选择也是困难的。当前分析空间计量经济学的软件处在激烈的争论中。目前,空间计量经济学模型分析的软件主要有两大类。一类是封装的分析软件,如由著名空间计量经济学家卢克·安索林研究团队开发的系列空间分析软件 GeoDa、GeoDaSpace 和 PySAL,由斯图尔特·福斯林翰姆(Stewart Fotheringham)和泰勒·欧珊(Taylor Oshan)发展和开发的 GWR4 分析软件,以及在空间地理测绘中广泛使用的 ArcGIS 等分析软件。这类软件的突出特征是可视化性能特别强,操作简单,学习上手的速度快。另一类则是由不同学者开发的基于特定分析软件的工具箱,如由詹姆斯·勒沙杰、保罗·埃尔霍斯特和凯利·佩斯等教授编写的基于 MATLAB 的程序代码,也有学者开发了基于 R 语言的程序代码 Spdep 和 Splm,另外还有学者编写了基于 Stata、Gauss、SAS 和 Python 等的空间计量分析代码。因此,在编写教材时选择空间计量分析软件十分困难。为了与我组织翻译的《空间计量经济学导论》(北京大学出版社 2014 年版)和《空间计量经济学:从横截面数据到空间面板》(中国人民大学出版社 2015 年版)相配套,本书选择了 MATLAB 作为分析软件。

此外,对本书计量结果的呈现方式的选择也具有一定的难度。经过与出版社多次沟通,才确定以图片的形式,来对本书代码所执行的估算结果进行更为直观的展示。

本书的编写是由我带领的研究团队共同完成的一项成果。本书内容体系由肖光恩设定,北京大学出版社杨潇宇编辑对本书框架提出了修改意见。本书第 1 章和第 3 章由肖光恩完成,第 2 章由肖光恩和谭赛月明共同完成,第 4 章由肖光恩和刘锦学共同完成,第 5 章和第 6 章由刘锦学和肖光恩共同完成。本书的程序代码、计量结果呈现、习题以及参考文献由刘锦学完成。刘锦学和吕佳琦参与了全书的校对。全书的最终审定由肖光恩完成。

本书的完成参考了詹姆斯·勒沙杰、保罗·埃尔霍斯特和凯利·佩斯三位教授编写的 MATLAB 程序以及相关文献,特别是本书的第 6 章最后一节参考了保罗·埃尔霍斯特教



授的文献。

空间计量经济学的应用十分广泛,它不仅仅应用于经济学和管理学领域,也适用于其他社会科学,如公共卫生管理、社会心理学,更适用环境科学和测绘科学等自然科学领域。本书难度远远小于纯粹的空间计量经济学理论著作,其主要定位于空间计量经济学基础知识的介绍和基本空间计量经济学模型实证方法的演示。本书这种以空间计量经济学模型实证方法演示和基础知识介绍的定位,主要源于作者组织翻译六本空间计量经济学系列著作之后读者的普遍反映。广大的读者认为,目前国内与空间计量经济学相关的著作主要侧重于对空间计量方法的理论解释,而缺乏一本针对空间计量经济学基础知识介绍和空间计量经济学基本模型实证方法操作的著作,本书正好弥补了这方面的缺憾。本书主要适用于有一定统计学和计量经济学基础知识的本科生、研究生、高校教师和对空间分析感兴趣的社会学者。

最后,非常感谢北京大学出版社的马霄、杨潇宇、李娟和刘京编辑,她们对本书的出版提出了很多修改意见,同时对本书的推迟出版给予了理解,使得本书的完善有了更多的时间。本书也得到了武汉大学研究生院国际商务专业硕士精品课程“国际商务”建设经费、武汉大学首批来华留学英语授课品牌课程“国际商务”项目以及武汉大学马克思主义团队建设项目经费的资助。

由于水平有限,错误与疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时修正。联系方式为:xiaoguangen@whu.edu.cn。

肖光恩

武汉大学经济与管理学院

2018年5月



# 目 录

<b>第 1 章 空间计量经济学导论</b> .....	(1)
1.1 空间计量经济学的起源 .....	(3)
1.2 空间计量经济学的发展 .....	(4)
1.3 空间计量经济学的应用 .....	(6)
1.4 空间计量经济学分析的主要软件 .....	(7)
<b>第 2 章 MATLAB 与空间计量分析</b> .....	(13)
2.1 数据的基本操作 .....	(15)
2.2 数据的可视化操作 .....	(34)
2.3 数据分布形态的描述性统计 .....	(47)
2.4 MATLAB 结构体与空间计量分析 .....	(62)
<b>第 3 章 空间相关的度量与空间权重矩阵</b> .....	(73)
3.1 空间相关及其决定因素 .....	(75)
3.2 数据空间相关的度量方法 .....	(80)
3.3 空间权重矩阵的基本操作 .....	(84)
<b>第 4 章 空间计量分析基本模型</b> .....	(99)
4.1 空间计量分析的基本模型 .....	(101)
4.2 空间计量模型的估计方法 .....	(105)
4.3 空间计量模型的比较与选择 .....	(106)



4.4	空间计量模型中空间权重矩阵的选择 .....	(107)
4.5	空间计量分析中的直接效应和间接效应 .....	(108)
<b>第5章</b>	<b>截面数据的空间计量分析 .....</b>	<b>(115)</b>
5.1	空间相关检验 .....	(117)
5.2	空间自回归模型 .....	(117)
5.3	空间误差模型 .....	(133)
5.4	空间杜宾模型 .....	(148)
5.5	一般空间模型 .....	(152)
5.6	基本结论 .....	(156)
<b>第6章</b>	<b>面板数据的空间计量分析 .....</b>	<b>(159)</b>
6.1	空间面板模型的基本设定 .....	(161)
6.2	空间面板模型的检验与选择 .....	(162)
6.3	空间面板模型的估算 .....	(168)
6.4	估算偏误校正 .....	(172)
6.5	直接效应和间接效应 .....	(175)
6.6	实证分析应用 .....	(177)

21世纪经济与管理规划教材

经济学系列



## 第 1 章

# 空间计量经济学导论

### 学习目标

1. 掌握空间计量经济学的基本概念及内涵。
2. 了解空间计量经济学的起源和发展脉络。
3. 了解空间计量经济学分析的主要应用领域。
4. 了解当前空间计量经济学的主流分析软件及各自特点。



空间计量经济学是计量经济学空间化或者地理统计学量化的结果,它融合了地理统计学、计量经济学、空间经济学、计算机程序编程和计量软件开发等多个学科的最新发展成果。

空间计量经济学的出现,不仅彻底改变了传统经济学忽视经济活动对地理区位或者空间因素依赖的现状,而且全面颠覆了传统计量经济学中观测个体相互独立的经典假设。空间计量经济学快速发展的重要意义在于,其不仅重塑了传统计量经济学的分析框架和基本思路,而且把观测个体(或单位)在空间和时间上的溢出效应作为统计度和计量识别分析的重要领域,重点对经济活动在一些地理区位上的空间依赖或空间溢出关系进行量化研究,从而推动了计量经济学的全新发展。

## 1.1 空间计量经济学的起源

空间计量经济学最初起源于对空间数据的统计分析。空间统计学与计量经济学的融合发展,不仅改变了对传统计量经济学的经典假设,而且促进了空间计量经济学日益成为一门独立的学科,并广泛地应用于自然科学和社会科学的众多领域。空间计量经济学的出现,不仅改变了人们认识世界的方法与思路,也丰富了人们对世界自然现象和社会现象的表达方式。

关于空间计量经济学的起源,仍有不同的争论。Paelinck and Klaassen(1979)认为,Paelinck(1967)的专著(*L'efficacité des mesures de Politique économique régionale*)可能是有关空间计量经济学领域的第一本著作。而在1974年5月举办的荷兰统计协会的年会上,空间计量经济学被正式确定为一个新兴研究领域,这也为区域经济学和城市经济学的计量建模分析提供了方法论基础,同时也标志着空间计量经济学已经成为计量经济学的重要分支。Anselin(2010)则认为,Paelinck and Klaassen(1979)共同出版的《空间

计量经济学》(*Spatial Econometrics*)一书,应该是第一本得到认可的有关空间计量经济学的综合性著作;同年还有其他几本有着重要影响的空间分析专著出版,如 Bartels and Ketellapper(1979)的《空间数据的探索性分析》(*Exploratory and Explanatory Statistical Analysis of Spatial Data*)和 Bennett(1979)的《空间时间序列》(*Spatial Time Series*)等,这些文献详细地阐述了对空间数据或时空数据分析的重要性和方法论。因此,也有学者们认为 1979 年应该是空间计量经济学正式诞生的元年。

空间统计与计量分析最初主要应用于地理学科和流行病学,到了 20 世纪 70 年代,社会科学研究开始重视地理区位的重要作用,经济学家和计量学者才把空间因素纳入经济学的分析之中。从经济分析的角度看,空间计量经济学的发展源于区位理论、区域经济学和城市经济学的量化分析。Anselin(2010)认为,空间计量经济学有两个重要的经济学来源。一个重要的来源可以追溯到地理学中的“定量革命”,主要的代表者有 Berry and Marble(1968)、Curry(1970)、Gould(1970)以及 Tobler(1970)等。他们都致力于空间分析模型的设定、估计和评价等相关问题的研究。另一个重要的来源是区域科学和城市经济学的研究,他们试图把空间效应纳入经济计量分析模型之中,突出的代表是 Cliff and Ord(1973,1975)等。

总之,经过 40 多年的发展,空间计量经济学已经从应用计量经济学和社会科学的边缘学科走入主流学科之中。

## 1.2 空间计量经济学的发展

目前空间计量经济学已经得到了很大发展,学术界使用空间方法进行分析的文献呈几何式增长,国际组织也开始采用该方法来撰写报告,特别是 2008 年美国学者保罗·克鲁格曼获得诺贝尔经济学奖,说明空间经济学和新经济地理学的研究已经获得了主流经济学的认可,空间计量经济学在应用分析中的地位不断提高。

最初的空间计量模型都是对横截面数据进行建模,而且空间计量经济学建模主要来源于对空间效应的识别、度量和估计。

一般认为,传统的经济学分析或计量模型的设定通常忽略了空间效应的两个重要来源:空间依赖性和空间异质性。空间依赖性是指空间效应的第一个来源,主要指空间观测

单位之间的地理依赖或空间相关。Cliff and Ord(1973)认为,当误差项存在空间相关时,可设定空间误差模型进行分析;而 Anselin(1988)认为,当被解释变量之间存在空间相关或区位依赖时,则可设定空间滞后模型。空间异质性是空间效应的第二个来源,指地理空间上的区域缺乏均质性,存在发达地区和落后地区、中心(核心)和外围(边缘)地区等经济地理结构,从而导致经济社会发展和创新行为存在较大的空间差异性。它反映了经济实践中的空间观测单元之间经济行为(如增长或创新)关系普遍存在的一种不稳定性。

空间计量模型的发展是一个由简单到复杂的过程。从20世纪70年代末到80年代,空间计量模型开始向时空模型和混合模型发展。Bennett(1979)开始对时空模型进行建模,一些学者则开始研究空间似不相关模型(Hordijk, 1979; Anselin, 1988)。还有学者的建模研究方向则聚焦于混合空间回归模型,其中空间杜宾模型就是当时流行的一种空间分析模型(Burridge, 1981)。

20世纪90年代,空间计量建模向多方向发展。主要表现为有学者开始关注离散型空间计量分析模型(也叫受限因变量空间模型),如空间概率单位模型(McMillen, 1995; Pinkse and Slade, 1998);也有学者研究时间空间计量模型,如 Fingleton(1999)研究时间序列的空间单位根等问题;还有学者开始研究空间变系数回归模型(Fotheringham *et al.*, 1998; Fotheringham and Brunsdon, 1999),如典型的地理加权回归模型(GWR)。与此同时,对面板数据的空间计量分析也不断丰富起来,特别是对空间异质性识别与估计的方法不断成熟,还出现了对来源地和目的地流量分析和空间网络分析等方法。

自进入21世纪以来,空间计量模型已经形成了比较完善的体系,各种模型及其估计方法不断完善,各种估计软件和程序不断出现。新出现的模型包括联立系统方程和与空间分析结合的模型(Kelejian and Prucha, 2004)以及在空间面板分析中时间序列的空间协整问题等。当前已有的和正在发展的空间面板数据模型主要包括空间固定效应模型、空间随机效应模型、空间时间双向效应模型、空间联立方程模型和空间动态模型,还有一些新的模型也在进一步完善中。在以上这些模型中,有三种模型受到较多的关注,它们分别是空间面板模型、空间潜变量模型和空间来源地和目的地流动模型。

在空间计量经济学模型的估计方法中,极大似然法的使用占有统治地位,它首先由 Ord(1975)引入空间计量模型估计;此后,工具变量法(Anselin, 1980)、贝叶斯方法(Hepple, 1979; Anselin, 1980, 1982)和广义矩估计方法(GMM)(Anselin, 1980; Kelejian and



Prucha, 1998, 1999)也不断被用于空间计量分析中去。其中,贝叶斯方法在处理相同数据结构中的空间依赖性和空间异质性时有其独特的优势(LeSage and Pace, 2009),如马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)和吉布斯抽样(Gibbs sampling)已经成为处理空间异质性模型的标准方法之一;Lee(2003, 2007)也提出了最优 GMM 估计量用于对包含空间依赖性和空间异质性的模型进行估计。

在空间效应的识别与检验方面,Cliff and Ord(1972)首先提出经典的 Moran's I 统计量对空间相关效应进行识别和检验,主要是对线性回归模型中的空间相关性进行检验,后又推广到包含非线性模型的空间相关检验之中,例如受限因变量模型(Kelejian and Prucha, 2001);在 20 世纪 80 年代以后,对空间模型的模型设定检验的关注超过了对于空间自相关的检验,因此,许多学者提出了很多空间计量模型选择的检验方法,如拉格朗日乘数检验统计(Anselin *et al.*, 1996; Baltagi and Li, 2001; Kelejian, 2008),它可以用来处理一系列简单或复杂的空间模型的选择问题,包括不同类型的空间相关效应以及不同的空间模型选择策略。

在空间预测方面,由以前关注的被解释变量对解释变量的边际效应估计逐渐转移到重视对解释变量变动的空间效应,特别是对直接效应和间接效应的估计与测算。

关于空间计量经济学未来的发展,有学者(Anselin, 2010)认为应该关注空间计量经济学发展的所有可能性问题,特别是空间计量经济学的估计方法、模型设定与检验以及预测方法论的拓展与改进。然而,目前空间计量经济学面临的挑战主要包括:一是对空间计量模型中空间与时间效应的内涵及其生成机制的理解与模型设定;二是随着空间大数据的出现,在空间分析过程中对空间关系的识别与设置仍面临困难;三是需要新计算技术来处理大数据中的空间交互效应,提高空间计量模型估计的效率。

总之,目前空间计量经济学的发展速度很快,可以相信它一定会有一个丰硕而又光明的未来。

### 1.3 空间计量经济学的应用

空间计量经济学的应用范围很广泛,而且空间计量分析模型的功能也在不断地扩展。