

欧阳志刚 著

非线性阈值协整 理论及其在中国 的应用研究

中国社会科学出版社

非线性阈值协整 理论及其在中国 的应用研究

中國社會科學出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

非线性阈值协整理论及其在中国的应用研究/欧阳志刚著.
—北京: 中国社会科学出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-5004-9161-3

I. ①非… II. ①欧… III. ①计量经济学 IV. ①F224.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 195235 号

责任编辑 周晓慧
责任校对 修广平
封面设计 毛国宣
技术编辑 李 建

出版发行 中国社会科学出版社

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号 邮 编 100720

电 话 010—84029450 (邮购)

网 址 <http://www.csspw.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京君升印刷有限公司 装 订 广增装订厂

版 次 2010 年 11 月第 1 版 印 次 2010 年 11 月第 1 次印刷

开 本 880 × 1230 1/32

印 张 9.75 插 页 2

字 数 250 千字

定 价 26.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换
版权所有 侵权必究

关于协整和阈值协整的札记

(代为序)

也许我们对协整的概念都比较熟悉,所谓协整 (co-integration), 我们可以沿着两个思路理解这个概念: 第一个思路就是回归模型: 简单的理解就是单位根变量之间的回归关系, 英文的 co-integration 包含两层意思, 其一就是指模型中所有变量的数据是由单位根过程所生成的数据。由于标准单位根过程 (随机游走) 的当期值是白噪音 (随机扰动) 的部分和, 也就是随机趋势, 因此, co-integration 的主要含义就是所有的变量都有随机趋势, 还可能包含不同的时间趋势。其二就是变量之间的关系自身是平稳的。这就是说, 回归退化了数据中的随机趋势, 使得残差具有平稳性。正因为如此, 这种回归关系就称为协整关系, 模型中的回归系数就称为协整向量。变量的非平稳性和残差的平稳性使协整关系又可以称为均衡关系, 于是, 残差就可以理解为对均衡的偏离。由于“和”在数学中是可以通过积分表示的, 因此协整又可以译为协积。第二个思路就是 VAR 模型。按照 VAR 建立模型的理念, 任何时间序列模型, 都可以表述为 VAR 模型, 因此, 我们前面所说的变量为单位根的回归模型, 都可以表述为 VAR 模型, 只是变量服从单位根过程的 VAR 模型。既然协整可以理解为均衡, 如果协整关系存在, 那么协整关系对变量的短期变化就将产生调节作

用。格兰杰的表述定理，就是将单位根变量的 VAR 模型表述为协整对变量短期变化产生调节作用的误差修正模型，即 ECM。这样，对协整的检验和协整向量的估计，都可以通过 ECM 模型展开。我们也许都有这样的体会，理解协整的方法论还是有些困难，难就难在对协整的检验，正是数据的非平稳性，导致原有的假设检验，尽管统计量的形式没有变化，但是，其统计量的分布也许发生了实质性变化。如果我们不能发现这样的变化，不能给出统计量新的分布，直接的后果是，所有的检验结论，几乎全部都是错误的结论。显然，我们这里所说的错误结论，与统计量分布的水平扭曲、检验势或者样本大小不同所导致的错误结论，具有实质性的差别。

自然地，如何扩展上述标准的协整理论，也就成为理论计量经济学家所面临的挑战。欧阳志刚博士的学术专著《非线性阈值协整理论及其在中国的应用研究》，正是集中研究阈值协整的学术著作。之所以专，是这本著作专门研究阈值协整，之所以称为著，一方面，欧阳博士不仅透彻地理解了阈值协整，而且将其辨析、梳理，融会于这本专著之中。我们知道，英文版的学术专著，如我们所熟悉的计量经济学手册，大多出自于某一领域的“一流”学者之手，而对于阈值协整而言，我本人还没有看到这一领域的英文专著，由此可见这本专著的学术高度。这是著的第一层含义。另一方面，基于现有的结果，对阈值协整的若干方向进行扩展和创新，这就是著的第二层含义。不仅如此，这些扩展和创新，又体现了相应的学术深度。

如何理解阈值协整？沿着标准协整的发展思路，首先是将协整关系看做是回归关系，于是，结构变化的问题随之而来。在经典计量经济模型中，通常是使用虚拟变量揭示结构变化。

将虚拟变量扩展为含有阈值变量的示性函数，将其引入到协整模型之中，标准协整就扩展为阈值协整。进一步，示性函数仍然是刻画结构的突变，而变量之间如果存在协整关系，数据在短期内可能偏离均衡，甚至朝着偏离均衡的方向调整，但是经过若干期的调整，又会回到均衡或者向均衡调整。这就是说，如果协整关系发生结构变化，其特征可能由指数函数或者逻辑函数所刻画，这就要求示性函数应进一步扩展为含有阈值变量的指数函数或者逻辑函数。其次，从扩展 ECM 的角度理解阈值协整。标准的 ECM，揭示了估计的协整关系（等价的是残差）对变量短期变化的调节，但无论短期变化的大小，调节效应是相同的，或者说调节参数是常数。从 ECM 研究阈值协整，就是扩展标准的线性 ECM，如针对变量短期变化的大小，或者是偏离均衡的大小，均衡对其调节效应是不一致的。这就是阈值协整对应的 ECM 的动态调整特征。我们已经知道，基于 ECM 检验和估计协整，显然是非常困难的，由此可以设想，检验和估计阈值协整，也就成为非常困难也是时间序列模型最前沿的研究领域。

在这本学术著作出版之际，应约为之作序。至于如何具体理解阈值协整，如何检验阈值协整，如何应用阈值协整研究经济问题，在这本著作中都有清晰的论述，我只是将我对阈值协整的理解汇成上述文字，但愿能增强读者对阈值协整的兴趣。

王少平

2010 年 10 月于华中科技大学

目 录

关于协整和阈值协整的札记 (代为序)	王少平 (1)
第一章 引言	(1)
第一节 问题的提出	(1)
第二节 阈值协整的定义	(4)
第二章 现有阈值协整研究文献综述	(9)
第一节 基于残差单位根检验的阈值协整研究	(9)
第二节 基于 VECM 的阈值协整估计与检验方法 ...	(15)
第三节 基于非线性协整关系的阈值协整检验 综述	(22)
第三章 STR-ECM 模型的检验与估计方法	(28)
第一节 协整向量已知的 STR-ECM 模型的检验与 估计方法	(32)
第二节 协整向量未知的 STR-ECM 模型的估计与 检验方法	(46)
第三节 案例研究——中国利率的非线性动态调节及其 货币政策效果	(55)
第四节 研究小结	(72)

第四章 协整向量机制转移的阈值协整检验与估计

方法	(74)
第一节 协整平滑转移回归模型中的线性 检验	(76)
第二节 平滑转移回归模型中的协整检验与估计 方法	(88)
第三节 案例研究——中国经济周期中菲利普斯 曲线机制转移的阈值协整研究	(115)
第四节 研究小结	(127)

第五章 协整向量机制转移的面板阈值协整的估计与

检验方法	(129)
第一节 不含阈值效应的面板协整检验	(131)
第二节 阈值面板协整检验	(137)
第三节 阈值面板协整检验统计量的有限 样本性质	(149)
第四节 案例研究——农民医疗卫生支出影响 因素的面板协整分析	(155)
第五节 研究小结	(171)

第六章 中国城乡收入差距对经济增长的效应

第一节 引言	(172)
第二节 收入差距与经济增长关系的文献综述	(173)
第三节 中国城乡收入差距的度量	(177)
第四节 中国城乡收入差距对经济增长的效应	(190)
第五节 研究小结	(221)

第七章 总结与说明	(223)
附录 主要仿真、估计和检验程序	(231)
参考文献	(291)

第一章

引言

第一节 问题的提出

著名的卢卡斯批判指出，利用统计方法，对结构方程进行估计而达到对经济理论或现象进行结构分析或预测可能会犯错误。具体而言，在利用结构方程进行经济预测的分析中，若经济结构发生变化，如宏观经济政策发生变化（包括财政政策、货币政策的变化），经济变量之间的结构关系也可能发生变化，而基于结构不变模型估计的系数所诠释的经济含义就很可能扭曲的，甚至错误的。基于此，传统线性时间序列计量经济学越来越多地受到来自非线性时间序列计量经济学的挑战，正如法玛（Fama, 1965）所指出的，线性估计与推断不是最有效的，非线性时间序列模型是一个很好的方向。对于中国而言，在改革开放后，不同时期的社会主义市场经济体制的具体政策和经济发展状况有很大不同，因此，中国不同时期经济变量之间的关系很可能产生显著的变化，如果忽视结构变化，使用以结构不变为前提的线性模型实证分析中国的经济关系，其所揭示的经济意义就很可能是错误的。因此，扩展和改进现有线性模型，使用非线性模型研究中国的实际经济问题，具有重

要的理论与现实意义。

从现有的多数研究看,宏观经济时间序列数据中,绝大部分数据是单位根过程,因此,恩格尔、格兰杰(Engle, Granger, 1987)提出的协整理论就成为现代宏观经济时间序列数据研究的标准方法。该方法是指对于 $I(1)$ 的单位根变量 X_t, Y_t , 如果用 Y_t 对 X_t 作回归, 即:

$$Y_t = \beta' X_t + \varepsilon_t \quad (1-1)$$

若残差 (ε_t) 为 $I(0)$, 则式 (1-1) 为变量 Y_t, X_t 之间的协整关系, 参数 β 称为协整向量。显然, 协整的本质含义在于褪去单位根变量所含有的确定性趋势和随机趋势, 使其线性组合 ($Y_t - \beta' X_t$) 变为平稳变量 ε_t 。由此, 协整在经济应用中的含义就是: 协整向量 β 揭示了经济变量 X_t, Y_t 之间的长期均衡关系。进一步讲, 由格兰杰表述定理, 记 $Z_t = (Y_t, X_t')'$, 则有向量误差校正模型 (VECM):

$$\Delta Z_t = c + \alpha \varepsilon_{t-1} (= Y_{t-1} - \beta' X_{t-1}) + \sum_{i=1}^p \Gamma_i \Delta Z_{t-i} + u_t \quad (1-2)$$

式 (1-2) 的重要意义在于, 若单位根变量存在协整关系, 则前一期的协整残差 ε_{t-1} 将迫使变量的短期变化向长期均衡调节, 向量 α 度量了这种调节的速度。 α 在经济中的意义就是刻画协整系统中各变量的短期动态变化特征。由此可见, 协整向量 β 和向量误差校正模型中的 α 相辅相成, 其经济意义互为补充, 联合分析了系统中变量的长期关系和短期动态变化, 因而得到广泛应用。恩格尔、格兰杰 (1987) 正是对于这一理论所作出的原创性贡献而获得 2003 年诺贝尔经济学奖, 恩格尔、格兰杰 (1987) [连同 Johansen (1991 和 1995) 相关理论] 的协整定义、表述、检验与估计等称为标准协整理论。

不难看出, 式 (1—1) 假定长期内, X_t, Y_t 的关系是线性的和协整向量 (β) 是不变的, 即单位根变量 X_t, Y_t 的长期均衡关系是线性的; 式 (1—2) 的最基本特征是关于 α 的线性性和调节的对称性, 即无论 ε_{t-1} 的大小和符号, 它对变量短期变化的调节是相同的, 其经济含义就是, 无论经济中的变量短期内如何偏离长期均衡位置, 其向均衡的回复速度都是相同的。也就是说, 基于式 (1—1) 和式 (1—2) 表述的标准协整理论至少包含三个严格的假定: 第一, 长期均衡是线性的; 第二, 向长期均衡的调节是对称的; 第三, 向长期均衡调节的速度是不变的。然而, 大量的经济理论和经济实践都表明上述假定过于严格, 例如, 克姆、奥斯本、森瑟尔 (Kim, Osborn, Sensier, 2002) 对美国的研究发现, 紧缩性货币政策与扩张性货币政策在抑制经济过热和治理经济衰退的效果方面存在明显的差异, 即货币政策具有显著的非线性特征; 又如, 当经济增长发生波动而偏离长期增长路径时, 央行为稳定经济增长而对利率的调节是非对称的; 再如, 现有理论研究表明, 收入差距对经济增长的效应显著依赖已有的经济状态和收入差距的大小而具有非线性机制转移特征等。很显然, 标准的协整框架无法精确分析上述非线性、非对称的实际经济问题。因此, 基于非平稳 (单位根) 数据, 放松上述三个假定, 研究变量之间的非线性长期均衡关系以及短期动态向长期均衡的非对称 (非线性) 调节, 已成为时间序列计量经济方法前沿发展方向之一。由此引出了非线性阈值协整 (Nonlinear Threshold Cointegration) 的研究和应用。这一开创性工作由贝尔克、富姆贝 (Balke, Fomby, 1997) 提出, 他们把标准协整框架下向长期均衡的对称调节扩展为非对称调节。此后, 非线性阈值协整在西方国家得到广泛的研究和应用, 并正在逐步成为现代计量经济学研究的

前沿热点领域之一。但是,从方法论的应用角度看,贝尔克、富姆贝的阈值协整方法虽经恩德斯、恩科罗斯 (Enders, Siklos, 2001), 汉森、瑟欧 (Hansen, Seo, 2002) 等人的发展,但在实际应用中仍有许多不完善之处。例如,现有许多学者 (Balke, Fomby, 1997; Enders, Siklos, 2001) 提出的阈值协整方法都是假定阈值协整向量已知,而实际应用中阈值协整向量已知的条件往往不成立。因此,当阈值协整向量未知时,我们应该如何对阈值协整进行估计与检验?又如,在现有文献中,许多方法 (Hansen, Seo, 2002; Kapetanios, Shin, 2004) 的非对称调节都是急剧变化 (非连续) 的,而经济系统对偏离均衡的调节多数是连续的,因此,如何将不连续的调节过程扩展至连续的调节过程?这样扩展后,如何构造统计量进行估计与检验?其有限样本性质如何?再如,当单位根变量之间长期均衡关系为非线性时,我们应该如何设定模型去刻画长期均衡的非线性关系,如何进行有效的估计与检验等?本书正是针对上述问题而扩展和改进现有的非线性阈值协整方法,使之能够更好地应用于实际经济问题的分析。同时,本书还将使用非线性阈值协整方法对中国的实际经济问题进行应用研究。

第二节 阈值协整的定义

阈值协整的定义是基于标准协整定义的扩展,因此,本书首先介绍标准协整的定义,再由此而扩展至阈值协整。

协整概念是针对变量的单位根特征而提出的。由于变量的单位根过程累计了随机趋势 (和确定性趋势) 而使得变量没有长期均值,也不会向长期均值回复,它的未来值 (或当期

值) 取决于它的历史性, 因而对它的任何冲击都会产生持久影响。因此, 单位根过程本身不能描述长期的稳定关系。然而, 由若干个服从单位根过程的变量组成的系统, 若这个系统是稳定的, 称这一稳定的线性组合为协整关系。一般地, 只要若干个服从单位根 $I(d)$ 变量的某一线性组合能使 d 减小, 则称这一组合为协整关系。^①

定义 1: 对于向量 $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt})'$, $x_t \sim I(d)$, 若存在不为零的向量 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)'$, 使得 $\beta'x_t \sim I(d-b)$, $d \geq b \geq 1$, 则向量 β 称为协整向量, 而 $\beta'x_t$ 就称为变量 $x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt}$ 之间的协整关系。由于实际经济中的单位根变量多数为 $I(1)$, 因此, 协整理论分析和应用主要集中于 $d = b = 1$ 。

不难看出, 协整的本质含义是线性组合 $\beta'x_t$ 褪化了 x_t 中的随机趋势和确定趋势。进一步讲, 根据格兰杰表述定理, 可引出误差校正模型:

$$\Delta x_t = \alpha \beta' x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Delta x_{t-i} + u_t \quad (1-3)$$

其中, α 为调节参数, p 为 x_t 的向量自回归系统滞后阶数。上述分析表明, α, β 都是线性的, 隐含着经济系统的长期均衡和短期调节都是线性的。但正如前文所述, 现实经济系统中变量之间的关系可能是非线性的。因此, 将上述协整定义和误差校正模型扩展为非线性即为现代计量经济学的前沿发展方向之一。非线性阈值协整即是使用非线性机制转移函数描述协整系统中的协整向量和调节参数的非线性, 从而将标准协整系统中的协整向量和调节参数扩展为非线性。这一扩展可由下述阈值

^① 王少平:《宏观计量的若干前沿理论与应用》, 南开大学出版社 2003 年版, 第 168—178 页。

协整定义加以概述^①:

定义2: 对于 k 维向量 $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt})'$, $x_t \sim I(d)$, 若存在不为零的常数向量 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)'$, $\varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_k)'$, 使得 $\beta'x_t + \varphi'f(X_{st}, c)x_t \sim I(d-b)$, $d \geq b \geq 1$ 成立, 则称 $\beta'x_t + \varphi'f(X_{st}, c)x_t$ 为系统 x_t 的阈值协整关系, $\beta' + \varphi'f(X_{st}, c)$ 为阈值协整向量。其中, X_{st} 为阈值变量, 它可能是 x_t 中的一个分量, c 为阈值。 $f(\cdot)$ 为描述协整向量机制转移的非线性函数, 其取值依赖于 X_{st} 对 c 的相对大小, $f(\cdot)$ 可能是关于 X_{st} 的连续函数也可能是示性函数。

上述阈值协整是针对长期均衡关系而定义的。此外, 阈值协整也可基于残差的平稳性检验和误差校正模型而定义:

定义3: 如果 x_t 为 k 维 $I(1)$ 向量, y_t 为 $I(1)$ 标量, 且 $y_t + \beta'x_t = \varepsilon_t \sim I(0)$, 若有:

$$\Delta \varepsilon_t = f(\varepsilon_{t-d}, c)\varepsilon_{t-1} + \sum_{i=1}^p \Delta \varepsilon_{t-i} + u_t \quad (1-4)$$

其中, ε_{t-d} 为阈值变量, c 为阈值参数, d 为描述机制转移的位置参数, $f(\cdot)$ 为依赖于 ε_{t-d} 相对 c 的大小而发生机制转移的非线性函数, 它可能是连续的机制转移函数, 也可能是示性函数, 因此, 随着 ε_{t-d} 相对 c 的取值不同, $f(\cdot)$ 的取值亦不同 (称为不同机制), $\Delta \varepsilon_t$ 和 ε_{t-1} 的关系也随之不同, 从而残差的平稳性也不同。特别是, 若 $f(\cdot) < 0$ 或在一些机制中 $f(\cdot) < 0$, 则称 y_t, x_t 存在阈值协整关系, $(1, \beta')'$ 为阈值协整向量。

从定义3可以看出, 阈值协整的定义是基于标准协整的基

① 现有的理论文献还没有对阈值协整作出较完善定义, 在这里本书综合考虑了现有有关阈值协整的研究文献后给出其定义。

本思想, 针对残差的平稳性而定义阈值协整, 它实际上就是标准 ADF 的扩展。若 $f(\cdot)$ 为常数, 式 (1—4) 就退化为 ADF 检验。若在某一机制中, $f(\cdot) < 0$ 则残差平稳, y_t, x_t 的长期均衡关系存在。这就意味着, 即使系统中的变量偏离长期均衡, 协整关系也会迫使其向长期均衡调节, 也就是调节效应显著。并且, 显著的调节效应印证了协整关系的存在。若在某一机制中, $f(\cdot) = 0$ 则残差不平稳, y_t, x_t 的长期均衡关系不存在, 调节效应也不显著。

定义 4: 如果 x_t 为 k 维 $I(1)$ 向量, y_t 为 $I(1)$ 标量, 且 $y_t + \beta'x_t = \varepsilon_t \sim I(0)$, 并记 $w_t = (y_t, x_t')'$, 则有误差校正模型:

$$\Delta w_t = \alpha_1 \varepsilon_{t-1} + \alpha_2 f(\varepsilon_{t-d}, c) \varepsilon_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Delta w_{t-i} + u_t \quad (1-5)$$

其中, d 为描述机制转移的位置参数, $f(\cdot)$ 为依赖阈值变量 ε_{t-d} 和阈值参数 c 相对大小的变化而发生机制转移的非线性函数, 因此, 随着 ε_{t-d} 相对 c 的取值不同 (在不同机制中), $f(\cdot)$ 的取值不同, ε_{t-1} 对 Δw_t 的调节效应随之不同。进一步讲, 若 $\alpha_1 + \alpha_2 f(\cdot) < 0$, 则印证协整关系存在, 满足式 (1—5) 的 y_t, x_t 称为存在阈值协整关系, $(1, \beta')'$ 为阈值协整向量。

定义 4 中的阈值协整是针对误差校正模型中的调节参数而定义的, 协整关系存在则意味着调节参数显著为负。也就是, 若协整关系存在, 则协整残差平稳, 协整系统对变量的短期变化具有显著的调节效应, 因此, 定义 3 和定义 4 对阈值协整的基本思想是一致的, 但所揭示的经济意义略有不同。定义 3 只能说明阈值协整是否存在或是否具有非对称的调节效应, 而定义 4 不仅能说明阈值协整是否存在, 而且能刻画非对称调节效应的具体形式。从这一点看, 基于误差校正模型而定义的阈值协整具有更好的应用价值, 但估计和检验相

对困难。

现有阈值协整文献基本上是按照上述对阈值协整的定义而展开的，本书阈值协整的文献综述将依据这一思路展开评述。