

动态计量经济模型的系统理论评论

R. E. Kalman

〔摘要〕 在本世纪二十年代计量经济学诞生之际，提出了二步方案，以便使计量经济学变成一门定量的科学。这二步是：

(1) 将所有的经济法则以及相互之间的一些关系写成动态的数学模型（方程）。

(2) 用统计的方法与真实的数据进行比较，从而确定这些模型的一些未知系数。

这些假设从来也未受到基本的科学论证，因为这些假设进行评论需要严格的系统理论，而在本世纪二十年代，系统理论尚未问世。

如今（1980年）系统理论已发展到一个相当高的水平，因而就有了可能着手研究计量经济学的基础了。当采用系统理论对计量经济的假设进行研究时，我们很明显地发现，上面所说的朴素的方案是有严重的及固有的缺点的。在本文中，我们提出关于这一结论的某些概念性的理由及数学事实，所以本文是一个纯粹的书面讨论。

1. 背景

计量经济学诞生于本世纪二十年代，抱着经济学能变成一门定量科学的希望，它想仿效具有高度成就的物理学，对于了解客观世界可以提供一张灵验的药方，所以人们就设想出一个二步的过程：

(1) 将经济法则及一些相互关系写成一些动态方程（象牛顿定律那样）。

(2) 用统计的方法从真实的数据中抽取有关的信息，从而定量地确定这些方程的一些系数。

在过去的将近六十年中，至少与17世纪末及18世纪初牛顿之后的物理学的进展相比较，在计量经济学中用科学的方法来透彻地理解经济现象，这一进展实在小得可怜，即使我们自己容忍这样的错觉，那就是现在事物的进展要比二百五十年前来得慢。

本文的论点几乎不涉及到在“硬”科学之中的辩论，那就是经济学不完全象物理学那样，

因而不能将物理学上成功的方法用于经济学。经济法则远远不同于那些绝对的、普遍的及不变的“定律”，经济知识不同于物理科学，它是很强烈地依赖于系统的，当经济的“见解”是从当前世界的、政治的、社会的或地理的范畴以外取得时，则它们就成为一般的报导了，其信息内容是相当小的。例如当今有关“凯恩思主义”及“全球货币主义”的辩论与经济问题结局关系不大，但这种辩论必须看成是（相当愚蠢）要把握当今经济生活的真实系统某些方面的企图。（见Whiteman〔1975〕。）

因为经济“法则”不具备物理定律的一些属性，如果仿效物理学的方法写出方程，将经济报导翻译成一些方程并不是一个有成效的方案。必须指出，即使增加变量的数目，这个缺点也并不会有所改善，可能是适得其反。系统理论提供了一个简单的然而却是苛刻的建议：不要列写那些表示假设性的关系的方程；从真实数据来推演你的方程。事实上，数据→模型，是现代系统理论的重要问题之一，同时对这个

• R. E. Kalman 教授曾于1981年8月下旬应中国科学院系统科学研究所邀请来我国讲学，本文是他在上海交通大学做学术报告时的主要内容。

问题的研究已经得出了相当有用的结果。换句话说,由于在经济学中不再会出现牛顿,因而所用的方法必须是不同于物理学的。

关于计量经济过程的第二步,情况就更糟糕了。只有当一个参数与两个具体的并且可以明显测量得到的量发生关系时,这个“参数”才有绝对的意义。因此,在欧姆定律中,电阻的确就是这种参数,因为当今对电压和电流的真实性和定量本质是无须辩论的。经济学家们经常在梦想如何来模仿用欧姆定律所表征的简单情形,从而希望求得一个最佳的方法;例如,假设在“通货膨胀”及“失业”之间存在着一个“定律”(Philips曲线)。但是在任何的定量意义上来说,“失业”和“通货膨胀”是模糊的,并且用(无意义的)数来代替复杂的情况也是属于政治上的偏见企图,因此如果想用一个“系数”将这两件事情联系起来,这简直是一种无知的想法。系统理论提供了一种严格的分析体系,它可以解释其所以然。(任何经济学家如果对以下论断的理由或经验的正确性有所怀疑的话,可以参考在应用物理、技术及生物学中的无数例子。有关 Philips 曲线的证据,可参阅 Fellner[1976.p.48]。)

关于这些严肃的论点的更为详尽的发展——这当然是需要的并且必须有更全面的分析——读者可参阅 Kalman [1974 a, 1980]。这里我们只打算说明,在建模及决定模型的参数时数学的不可避免性;但它们在具体的计量经济问题中的明显关系,将在 Kalman [1981] 的另一篇文章中来处理。

2. 在系统理论中“模型”的定义

毫不夸张地说,自从本世纪六十年代初以来,系统理论的发展是直接接受“系统”这个定义有关的,“系统”的定义是严格的,在数学上是有精确的定义的(或者特别是对于从事应用领域的人们来说,他们叫它为“模型”)。如果对定义没有共同的语言,那么对建模也就不可能作出深入的评论。本文不准备讨论模型

是否“适合”现实这个问题,可是我们想强调一下,以下所提出的关于系统的概念已经经历了一个很长的演化过程,它发源于牛顿的力学;今天其关系已被各个领域中的无数应用方面的成果所证实。

在定义一个模型的时候,我们不能过于一般化,因为这样会使一些想法不能集中;我们也不能定义得太专门化,这样会使原理和实践的关系很快地趋于消失。因此,一类模型的定义必须采用某种简单的、同时经验上可证实的“组织原则”。

系统理论在表面上看来是完全能接受的一个组织原则,就是线性这个概念。(物理学家粗心地而且不正确地叫它为“叠加原理”。)据我所知,在经济学中没有一个与它可比拟的而完成同样之目的的原理。“最优性”曾被提出为这种原理,但是在日常的“经济”活动中要完成最优化是一件过于复杂的任务。在时间序列分析中,对计量经济方案的第(2)步来说是重要的,内含的假设几乎总是线性的;但是这一事实的逻辑结论却很少被计量经济学家或者甚至时间序列理论家来实现(参见 Kalman[1981])。

第二个次重要的组织原则是有限维数,对于纯粹的实际原因它是不可避免的。现今在处理真实情况时可以用包含数字计算机的数据一消化系统而获得进展,但数字机系统只能对有限数量的数据进行操作,抽象地说,总是一个有限维的装置。

现在我必须要说明一下什么是有限维的线性系统。在现代的表示法中,它是用以下的离散时间方程给出的:

$$x_{t+1} = Fx_t + Gu_t \quad (1)$$

$$y_t = Hx_t$$

$$t = \dots, 0, 1, 2, \dots$$

其中 u_t (输入), x_t (状态) 以及 y_t (输出) 都是有限维的矢量,而 F, G, H 是相应的矩阵。因此,系统 Σ 给出了定义该系统所需的真实数据,即系统是由矩阵——三元 $\Sigma = (F, G,$

H) 所确定。(我将略去有关 F, G, H 可能与时间有依赖性质的讨论, 即它们是非常数的情形, 因为这个具体问题和以下的理论讨论无关。)

一旦系统的精确定义已经给出, 所有关于系统问题的概念上的或直观上的问题就可以进行精确地研究, 只要将这些问题翻译成有关矩阵——三元 (F, G, H) 的数学问题。

我们一般谈到的(线性)系统或模型, 总是指可写成方程(1)这种模型。

3. 模型的一些性质

现在让我们来列出这类典型的问题, 并对相应的数学结论给予非技术性的讨论。

(A) 如果二个模型是通过不同的矩阵——三元 $\Sigma = (F, G, H)$ 及 $\hat{\Sigma} = (\hat{F}, \hat{G}, \hat{H})$ 给出, 那么在什么时候二个模型在效果上是相同的呢? 我们一般这样说, 如果 $\Sigma \cong \hat{\Sigma}$, 就意味着 Σ 和 $\hat{\Sigma}$ 是等价的。

因此答案是: x 和 \hat{x} 必须由一个非奇异的线性变换联系着, 即 $\hat{x} = Tx$, 其中 T 是某个(任意的)非奇异矩阵。因此, Σ 和 $\hat{\Sigma}$ 必定受到以下关系的约束:

$$\begin{cases} \hat{F}T = TF, \\ \hat{G} = TG, \\ \hat{H}T = H. \end{cases} \quad (2)$$

这些关系是相当复杂的, 除了一般性的情形之外, 是不能用直观的办法来决定的。

显然, 我们不能对由状态矢量 x 代表的各个基本解释性变量赋以一个绝对的意义; x 的分量究竟是什么, 这要取决于所选择的座标系统, 即取决于变换 T 。这一点很不同于物理学, 因为 x 的每个分量具有一个确定的以及独立于系统的可测量的意义; 例如, $x_1 =$ 位置, $x_2 =$ 动量, $x_3 =$ 角度, 等等。经济的(或生物学的)变量不能象这样绝对确定性地测量。这一点对应于这样的系统理论的观点: 我们只能假定我们的模型中的 x , 同时必须允许它们的多义性, 即事实上在等价模型中可以出

现不同的 x 。

更为讨厌的是: 在 (F, G, H) 中没有一组参数(数)具有绝对的意义; 如果这组数的集合满足式(2), 新的一组数, 即矩阵 $(\hat{F}, \hat{G}, \hat{H})$ 仍然有效地定义同样的模型。只是模型本身而不是定义它的一些数具有内在的意义。

(B) 模型的哪一部分可以从经验给出的输入/输出数据来推出, 即从 u_0, u_1, \dots 及 y_0, y_1, \dots 推出? (实际上这是时间序列分析的问题: 构造一个模型使它具有与这些数据同样的性质。)

可以在补充的意义上较好地回答这个问题。

在模型中不可达或不可观的那部分, 是不能从输入/输出数据推出的。

对模型的可达部分, 其内部状态变量 \bar{x} , 要受到合适选择的输入 u 的影响(任意的影响)。对模型的可观部分, 其内部状态变量 \tilde{x} , 可以由观测量 y 而明确地决定。模型的可达部分和可观部分的交组成了一个模型(系统); 并称为这模型的标准型, 记为 $\Sigma^{c \cdot o}$ 。

用一个叫做“简化”的过程, 每个模型可以用一个内含在该模型中的标准型子系统来代替。因此, 如果开始我们有一个模型 Σ , 它并不具有同时可达+可观的性质(即 Σ 不是标准型的), 我们总可以从这个模型得到一个比较好又是比较小的模型 $\Sigma^{c \cdot o}$, 而 $\Sigma^{c \cdot o}$ 确实具有这些性质。

简化过程的困难是它需要某些数学及计算, 它不是很直观的, 即不是很容易地看出来的。

因为简化不是一般的过程, 说得保守点, 在实践中采用的绝大多数模型(我的猜测是90%), 特别是在计量经济学中的许多模型, 并不是标准型的。因此它们不能代表原来的输入/输出数据(这句话是具有很高的概率的), 因为我们可以证明, 每一个非标准型的模型, 除了阐明其本身的输入/输出特性之外(采用计算式(1)时所有可能用到的序列 u_i 及 y_i), 还

包含一些其它的元素,而这些元素是不依赖于输入/输出数据的,它们只反映了模型建立者的一些偏见。

并非所有的偏见都是错误的,例如,牛顿的“守恒动力学”的假设就给出了一个模型,其中动量是守恒的,即这个模型是不可达的,因而它是非标准型的。我不打算反对动量的守恒;但是我不知道在经济学中是否有这种情况,即非标准型的模型可以用牛顿力学那样的方法来得到证实,而且绝大多数的建模者都不是牛顿。

我很有兴趣对经济学的所有理论模型(从十九世纪开始)采用以前的分析,来检查一下哪些“理论”等价于标准型的模型,再来看看偏见究竟在什么地方。这一过程只是刚刚开始**。(参阅 Livesey [1976] 有关 Leontief 型投入/产出模型(或输入/输出模型)可观性的饶有兴趣的处理。)

上面所说的关于系统等价性及标准型的一些论点,具有一种普遍的和不可磨灭的正确性,它类似于牛顿定律,但当然是在上述系统等价性及标准型的那些十分抽象的意义上来说的。有两个反对上述结论的正统意见是会产生和提出的,但它们可以马上被推翻。

(a) 人们不能反对“输入/输出”观点,因为牛顿定律及欧姆定律也涉及到这类事情。事实上,系统理论是在某种意义上把这些定律一般化,即只在输入及输出之间的关系是直接可测的而不是假设的条件下一般化;系统理论是研究确定一个系统更为一般的问题,而不是研究确定单个参数;诸如电阻那种问题。

(b) 人们也不能反对采用“线性”或“有限维”的组织原则。事实上, Sontag 及 Rouchaleau [1979] 已经证明了以上的所有论点是正确的;对于所谓多项式系统也是这样,其中“多项式”可以看作是“有限地非线性”的精确概念。请参阅 Sontag [1979] 的

文章。遗憾的是,“多项式”并不象“线性”组织原则那样有用,因为“多项式”已经是太广义了。Yamamoto [1980] 已证明:“有限维”对以前的论点并不是一个限制性的假设;如果对无限维的线性系统的一个子类也定义了一个组织原则,那么这一点就可以做到了。

可是有一个问题确实需要详细讨论的,那就是,是否非标准型的系统不能由输入/输出数据来确定?或者问:输入/输出数据能确定一个标准型的系统吗?这个问题是相当直观的,叫做实现问题,我们现在就来讨论这个问题。

4. 实现理论的一些结果

这是系统理论的主要成果。首先我们给出本定理的非正式的表达,然后讨论它对建模的含义,最后讨论该定理对计量经济学的含义。

定理:

(I) 任何(有限地产生的)输入/输出数据 S 具有一个标准型实现 Σ_s , 即系统 Σ_s 将会完全再现同样的数据 S 。

(II) 实际上只有一个标准型实现: 在关系式(2)的意义上,任何二个标准型实现都是等价的。

(III) 标准型实现总是最简单的实现;如果要在再现数据方面不失去某些解释功能,那么标准型实现是不可能再进一步被简化的。

(IV) 通过可达性和可观性的各种简单的测算,就能检验出这实现是否是标准型的实现。

(V) 标准型实现可以从输入/输出数据很方便地算出。

(VI) 可以用有限数量的数据来获得标准型实现,事实上,根据实现的唯一性就可检验数据是否已经完备;只在不完备数据的情形下才会引起非唯一的实现。

关于经典(“完备”)实现问题的更为专门的讨论,读者可参看 Kalman [1976] 的文

**译者按:在张钟俊及张启人的“线性计量经济系统的状态空间现实”一文中(《信息与控制》1981年第4期),已作了大量的工作。

章。关于较新的部分（“不完备”）实现问题，读者应参阅 Sontag [1979] 的文章。

让我们较为详细地讨论一下上列数学成果的概念上的意义。（对于多项式系统它们也是正确的，可参阅 Kalman [1979] 的文章。）

论点(I)指出：任何（有限的产生的）数据具有一个标准型实现，意味着建模过程可以简化成一个机械化的过程。（说得更明确些：不再需要牛顿们了！）当然，由于模型是有限维的，一个类似的限制条件必须加在数据上，但是这并不是一个严格的实际限制，因为“真实数据”就意味着“有限的”。

论点(I)也意味着数据的收集和净化要比建模过程更为基本。只有个别的从事实际工作的经济学家会对这一点有争执。

论点(II)具有一个严峻的含义。它意味着如果二组建模者采用相同的数据，则就会得出相同的（或等价的）模型。这就是说，如果采用相同的数据，就不需要有 100 个世界模型了（只有一个世界模型）。论点(II)保护建模者不受偏见的谴责，因为模型是从数据得来的，建模者只要按一下计算机的按钮，计算机就会算出实现（见论点(V)）。

监督建模过程是容易的，因为按照论点(IV)，检查是否是标准型，是建模过程最简单的计算之一。（这对勾划出模型、建模者及建模体制的轮廓，提供了一个非常必须的“管理工具”。）

说明的简单性（在建模中有时称作“过度节俭”）是与一个严格的评价有关的：论点(III)说明一个模型可以简化到怎样的程度而仍旧保持其所需的解释功能。（正如爱因斯坦曾经说过，在科学中的每一个解释必须尽可能简单，而不是比较简单一些。现在我们完全知道他所说的“尽可能”是什么意思了。）

最重要的问题或许是论点(VI)，它可以让我们来处理数据不充分时的情况。模型的某些性质总能够从数据作出推断。我并不同情经济学家和计量经济学家发出的抱怨，诸如“关

于缺少数据，实验的可能性不够”，等等。这当然不是主要问题，在很久以前就有这种主张了，例如在 Von Neumann [1956] 的文章中已讲到过这个问题。从上述的定理，可以通过严密的数学推理得出类似的结论。当然，系统理论更多的完善也不能解救经济学家的忧虑，那就是他们总是担心哪些数据是适切的。事实上实现理论的主要有待解决的问题，是带有噪音（等于不精确的）数据的处理。

5. 第一步的结论

在应用系统理论研究计量经济学建模问题时，下述第一步的结论是清楚的。

在处理复杂系统的问题时，例如处理经济系统时，必须从数据导出方程而不能根据事前的“理论”来作假设。实现理论指出：根据事前的“理论”作出假设（通常）仅仅能够得出带有偏见的模型，因而是无效的。此外，原则上至少有二种很完善的方法来获得没有偏见的模型。其一是先取一个给定的模型，将它简化成一个标准型，这样就将偏见排除掉了。其二是直接从数据导出模型。按照上述论点，所得结果总是相同的。

我们要着重讨论的主要问题并不是列写方程而是要获得一个标准型的模型。这种问题要比一大堆数据（由于式(2)）更为敏锐，后者是计量经济学的主要问题，将在第二步中进行讨论。

这些问题是：作为抽象对象的一个系统，怎样用一些数据将它“参数化”？所求得的那些参数的意义又是什么？是否象在欧姆定律中的电阻值那样具有直接的经济意义？

6. 第二步：参数化

这种情况是更为困难的而且还很少有所揭示。

可是有一件事是清楚的：一个系统，甚至是一个线性系统，往往是一个非线性的对象。参数化一般是在预先假设一个线性的情况下进

行的。事实上，牛顿定律和欧姆定律都具有线性的关系。当一个问题从确定单一的参数（例如电阻）转到确定一个系统时，因为要直接测量系统的个别元件是不可能的，于是问题就从线性变到非线性。这是不必大惊小怪的；甚至一个电器装置，例如一只晶体管，在其微观结构中服从欧姆定律，而在其常规的应用中，对于用户来说，它就表现为一个系统，因而线性描述的简单性就减少了。（晶体管的一个好的模型是一个很复杂的非线性问题！）

系统(1)是哪一种理论的研究对象呢？在 Kalman [1974b] 的文章中首先阐明了它是一个特种的代数理论(拟映射)，因而除了只有一个输入、一个输出的简单线性系统之外（如电阻），一般地讲，对任何线性系统是不可能进行总体参数化的。对这些问题的现代数学处理方法可参阅 Tennenbaum [1981] 的文章。

关于计量经济策略参数化的含义，目前正在衰退，因为我们的问题是要测辨一个系统，而这一系统通常不能用总体上可定义的参数来描述，因此参数的完整的概念就失去了其意义。对经济学应用定量方法并不就是确定一些数的事情。例如，如果我们认为地球是一个“系统”，很清楚，如果只给出两个数是不能确定一个地理位置的，还必须任意地商定一个座标体系，包括将一个轴通过二个特定点（地球的南、北极）并将 0° 放在英国的格林威治。（用强权政治来解决数学问题，在经济学中，不是没有例子的！）当然，这是计量经济学问题采用一个过于简化的类比方法的结果，但它明确地说明了：采用只有局部定义的参数来给出这些参数的绝对直觉意义，是不可能的。

就经济问题而论，系统理论指出，例如，你就根本不用去考虑用某个具有经济意义的“参数”去寻求关于失业和通货膨胀的关系。为了得到这种情形的模型，还必须考虑其它许多有关的因素；如果建模是成功的话，当然我们就能制订出关于失业和通货膨胀的规划，并得到著名的 Philips 曲线。但正是因为在我们的

模型中，我们只计算一个特定的关系，如果要象在欧姆定律的情形中电流和电压之间确实存在着一定的关系那样，想得出一个失业和通货膨胀之间的关系，那么这种想法看来是极度愚蠢的。如果进一步把这种“映射”结果看成是深奥的和本质上的发现，则更是概念上的荒唐，这里不免要牵涉到 Philips 的名字。

如果我们假设存在着这样的直接关系，我们必然会在建模过程中渗入这个偏见，从而没有传递任何科学上有用的信息。事实上，正如在计量经济的标准计算过程中（参阅 Koopmans [1950]），渗入了同样类型的偏见，因为在某些矩阵中，假定了许多 0 和 1 或某些不确定的参数。根据式 (2)，这种假设是不能成立的；这种假设在计量经济学中的使用，只是在系统这个概念尚未问世之前，而从现在所讨论的意义上来说，应该说这已是陈旧的遗迹了。

7. 结 论

计量经济学家希望通过由经济理论提供的动态方程，从真实的数据来确定经济上有直觉意义的一些参数。这种想法完全是一种幻想。因为建模所用的理论本身是有偏见的，所以这种动态模型的参数是不能采用简单的参数化方法来决定，除非这些参数可以直接测得（在这种情形下就根本不存在参数化问题）。因此，计量经济学的“幻想”并不会提供什么新的见解。

系统理论的评论最终将迫使修正计量经济学，成为一个大有研究工作可做的领域，这并不是迄今在经济学中所积累的见解、理论或经验的质量问题，而只是有关建模的逻辑问题。它也不是统计学的问题，因为只有当在符合逻辑的（等于没有噪声）情况已经得到解决时，统计学才能有意义地应用。

张乃光 译自 "NEW QUANTITATIVE TECHNIQUES FOR ECONOMIC ANALYSIS" Academic Press, 1980.

本书中 R.E. KALMAN 的上述评论

张钟俊 校