

胡玉奎 高小蒙 译

系统动力学模型集



北京现代管理学院

C93
893
222

系统动力学模型集

小玉阳一 等著

胡 玉 奎 译

高 小 蒙

北京现代管理学院

一九八五年八月

052534

前 言

由美国麻省理工学院史隆管理学院Forrester教授研究开发的系统动力学方法是研究社会大系统动态行为的计算机仿真方法，是用模型实验技术研究战略和策略的所谓“社会实验室”。

传统的管理可以说是一种通过历史经验来处理社会系统问题的过程。人们通过对周围环境的观察，以及设法获得关于个人及集团受到某种压力时的响应，形成某种概念，从这种概念出发产生决策及行动，这种基于对周围事物观察而做出判断的传统管理程序具有许多长处，以致于从古到今，管理个人事务、社会事务乃至国家事务，一直沿用这种程序。然而随着被管理对象的巨大化、复杂化以及环境复杂而多变，使得我们需要“观察”的东西太多，传统管理不能告诉我们收集和处理信息的一般规律，例如把收集到的信息加以怎样的处理才能获得代表真实系统的构造，关于这一点传统管理没有明确地解释，因此，不同的决策者，面对相同的信息可能得出不同的甚至是完全相反的结论。

系统动力学是为了设法弥补这个不足而创立的一整套概念及方法，它以传统的管理程序为背景，引进信息反馈理论及系统力学理论，把社会问题流体化，从而获得描述社会系统构造的一般方法，并且通过计算机仿真运行获得对真实系统的跟踪。

已经取得的成果表明，社会系统的构造与它的行为之间的关系正在逐步弄清，这是很重要的事。应该特别指出的是，我们所生活的社会系统，从本质上说是缺乏数据的系统，因此，关于系统行为的数据无论如何收集，都是不完整的，如果仅依据这些数据来构造模型，其有效性是很有限的。系统动力学则是根据观察所获得的信息（其中包括管理者、战略家的经验、知识和敏锐的洞察力），建立系统构造。构造产生行为是系统动力学模型的特点之一。

关于系统动力学原理，笔者已经在“系统动力学”（1984）一书中较为全面地做了阐述，该书出版以后，笔者曾收到许多读者的来信，热情鼓励笔者的工作，也对书中不足提出宝贵建议。其中，希望增加应用实例的建议较多，笔者本人也觉得“系统动力学”一书，重点在理论描述，限于篇幅，所举实例仅为了说明基本概念，对于要求掌握模型设计方法的读者来说，除去应掌握系统动力学理论而外，还应研究若干实例，为此，笔者组织翻译了这本“系统动力学模型集”做为“系统动力学”一书的补充。

这本集子如能为系统动力学初学者掌握设计方法提供方便，将是笔者最大的欣慰。

译文中如有不妥处，敬请指正。

胡玉奎

1985年5月于北京

目 录

东久留米市模型.....	(1)
产业构造模型.....	(7)
日本经济模型.....	(29)
模型有效性的验证.....	(46)
区域产业结构模型.....	(48)
日本能源模型总论.....	(77)
土地模型.....	(94)
价格模型.....	(98)
石油部分——模型 I	(102)
石油部分——模型 II	(126)
煤、铀、天然气模型.....	(131)
技术进步模型.....	(140)

东久留米市模型

伊阪哲雄 福井 诚

福田俊介 松森正史

一、前 言

我国战后经济得到惊人的发展，然而最近对于增长代价的许多问题感到烦恼。在这些问题上，公害问题以及城市问题正在受到极大的重视。仅就城市而言，它的对象也是广泛的，有人口集中、交通、住宅、土地等问题。对于这些问题曾进行过各种各样的试验。但对于现实城市所具有的问题来说，单就土地问题或住宅问题各自分别研究的话，城市问题的解决是不可能的。因为城市问题是种种问题复杂地纠合在一起，所以，对城市问题必须树立综合的观点进行剖析。建立这种观点时必需用系统分析和运筹学来研究。

对于城市问题的研究有各种各样方法。去年，M. I. T的J·W·Forrester教授发表了所谓“城市动力学”方法。由于以前的工业动力学的考虑方法对于城市是适用的，所以，可以用来模拟城市的功能。

下面以东京都东久留米市为对象，应用城市动力学方法，加以研究。

二、关于东久留米市

东久留米市位于市中心西北约二十公里，分二十三条街，总面积是十二点九八平方公里。东久留米市从1970年10月1日实行市建制，以前叫北多摩郡久留米镇。农业人口占全镇的人口的大半，是具有代表性的所谓近郊农村集镇。但是，在这十五至十六年间人口急增了约八倍，从昭和四十五年底（1970年）到现在是八万四千人左右，仅西武池袋线这一条交通线上，东久留米站每日乘客就超过三万人。造成其人口急增的原因是从昭和34年（1959年）开始的城郊住宅区化建设。东久留米市有三个住宅区，另外还有很多国营和私营的住宅，现在正在建设之中。昭和35年（1960年）只占该市面积的约9%的宅地，到昭和45年（1970年）约增加到24%，农地与此成反比例地减少，在东久留米市有四条大路，此外还保留着过去农道痕迹的细窄道路，东久留米市存在着城市近郊区所具有的那种城郊住宅区不规则扩大现象、人口急增、无计划的宅地化等典型的问题。

三、分析对象及目的

抓住构成工业动力学中积累这个模型的要素，选择以下积累为对象

- 人口
- 公共用地
- 农地
- 道路
- 市财政
- 宅地
- 绿地
- 空宅地

问题是以上的积累变量在模型中表示怎样的意义，本模型根据模拟研究昭和六十年（即1985年，该市的绿地、公共用地、道路所表示的积累，并以这些积累与东久留米市的实际计划

作比较。

四、模拟模型的构成

本模型是由上述的八个标准构成的，分别有相对应的分系统，这些分系统的组合形成了整个模型。八个积累互相有关系，形成了图1所表示的四个反馈环，这些反馈环形成了像图2那样的全模型。所谓反馈环中的环境是由农地、宅地、市总面积、绿地、公共用地以及人

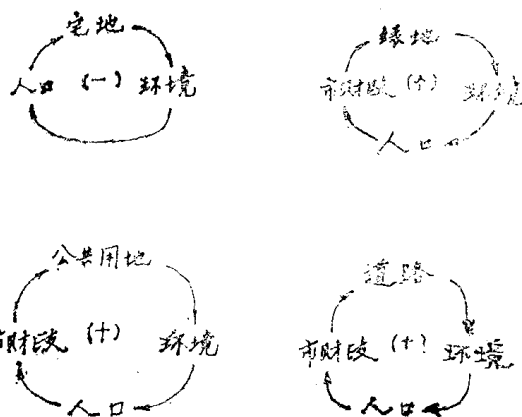


图 1

其中：

(+) 表示正反馈环

(-) 表示负反馈环

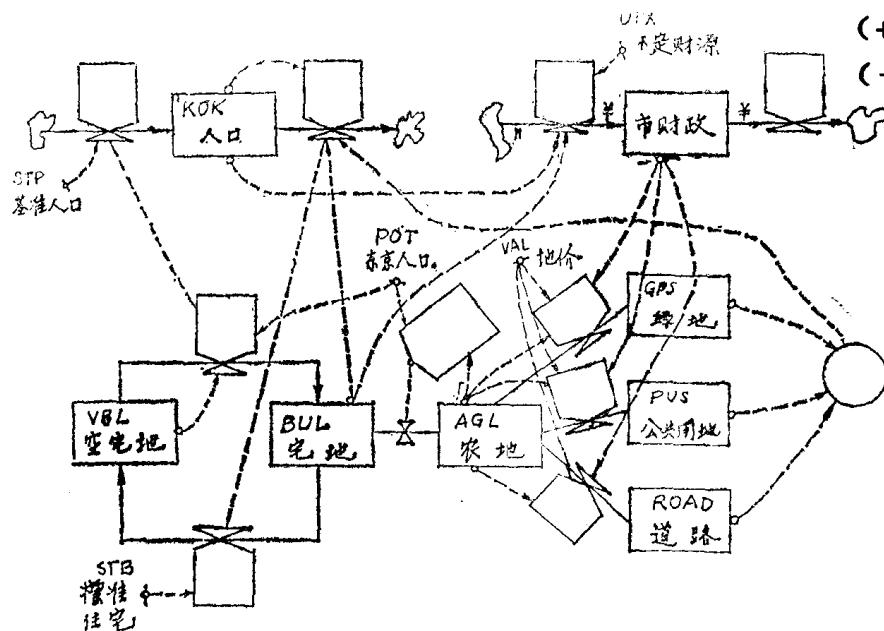


图 2

口等等组成的特别的函数关系来表示的。这个模拟模型因为是着眼于绿地、公共用地以及道路的模式，因而以宅地、绿地以及公共用地为中心来决定环境，由环境决定人口，若决定人口则根据这些决定宅地需要以及市财政收入，决定财政收入的结果就确定了对于绿地、公共用地以及道路的市财政支出，其结果，若环境变化反馈环就变了。因为这个模型是以东久留米市作为考虑对象，在模型中决定的内生变量以外的因素有地价和流入人口，当然这些外部变数不是由模型内部的反馈环构造所决定的变量，所以作为外部提供的外生变量来处理。

下面试述一下分系统。

绿地、公共用地及道路在市预算中各自支出额每年度决定一次，在模型中决定支出额的政策变量分别在绿地、公共用地、道路上。这些数字是按过去数年的实际成绩做它的平均值，编入模型内并考虑了增长率。图3的例子是绿地的情况，但是公共用地、道路也有同样的流。

宅地根据东久留米市的人口发展情况来决定，由于人口流出，使现有宅地中流出人口部分成为空宅地，另一方面对于流入人口以某种形式提供宅地是理所当然的，而在模型中按如下情况处理。首先宅地需求要分对空宅地的需要与对于农地的需要。下一步，在农地不足时，从农地征求宅地的办法再分为两类。即分为到其它地区征求宅地速度和尽量用空宅地的速度。现在东久留米市没有充分推行城市规划，而由于预想不久的将来以迁出作为前提的城市计划，所以空宅地在现在模型中没有特别的意义，但在这里还是作为积累采纳的。

人口是由流入人口以及流出人口来决定的。流入人口，实际上理应由东久留米市的环境、交通等的内在因素与城市的人口、收入等外来因素所决定的。可是实际上，地价的上升，环境的恶化对于流入人口产生的影响是不小的，必须予以注意。分析过去数年连续数据的结果，因为看不出流入人口与地价以及环境等等之间的明显的因果关系，所以在模型中，流入东久留米市的人口与地价及环境等的变化没有关系，而按某一常量流入处理。可是对于流

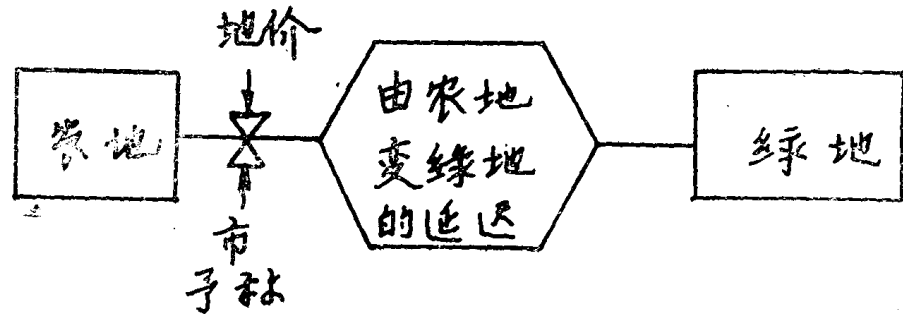


图 3

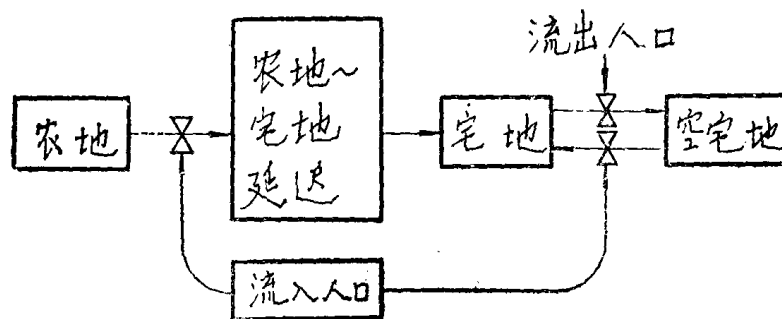


图 4

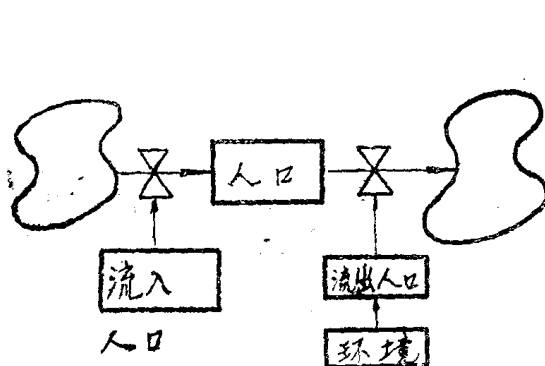


图 5

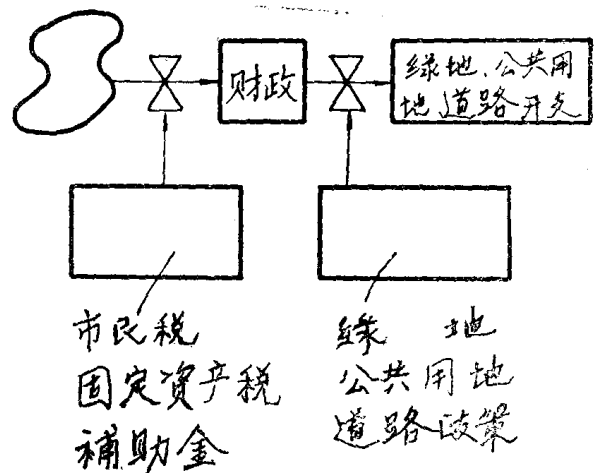


图 6

出入口进行同样分析的结果，表明与地价及环境等有影响。流出入口随市人口及宅地量的增加而增加，另一方面随农地、绿地及公共用地的增加而减少。因此流出入口与宅地量和人口成正比，而与农地、绿地及公共用地成反比。一般地说，工业动力学方法使系统构造全部模型化是不可能的，需要部分的按黑箱处理，提供适当的常数，给予方程式关系，由此建立模型。流出入口与环境为式（1）所给的关系：

$$\text{流出入口} = \{E_1 + E_2[f(\text{市总面积、绿地、农地、公共用地、宅地})]\} \cdot (\text{市人口}) \dots\dots (1)$$

式（1）中的 E_1 是与调换工作环境无关系的流出入口系数， E_2 是与环境有关系的流出入口系数。

这样根据几次模拟结果确定适当的初始值：

市财政年收入可以分为三大部分。第一是市民税，因为它是市人口的函数，所以它是用人口乘每人的税额来求出。在模型中，一人的税额，考虑到平均收入的增加，按某增长率变化。第二是固定资产税，因为对于宅地和农地的税率有所不同，所以固定资产税就是宅地面积与单位宅地面积应当的税额的乘积加上农地面积与单位农地面积应当的税额的乘积之和，因为不久可以产生市街化区域的规定，农地税额会逐渐上涨而与宅地达到相同程度，但现阶段还不清楚，故取现在一定的比率。宅地税额，因为它包括土地和房屋，所以比农地高得多，因此固定资产税大多是来自宅地的收入。最后是从国家和东京市的补助财源，这个数量由于景气或其它的理由常常是不定的和变化频繁。所以是把最近几年间的平均值与平均增长率编入到模型的。

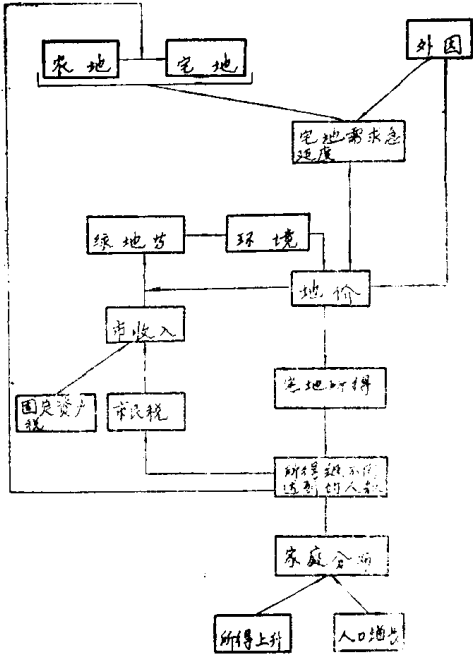


图 7

五、仿真结果

(参看表1，表2)

A 农地	P 公共用地	C 地价
B 宅地	R 道路	
V 空地	K 市人口	
G 绿地	T 市年收入	

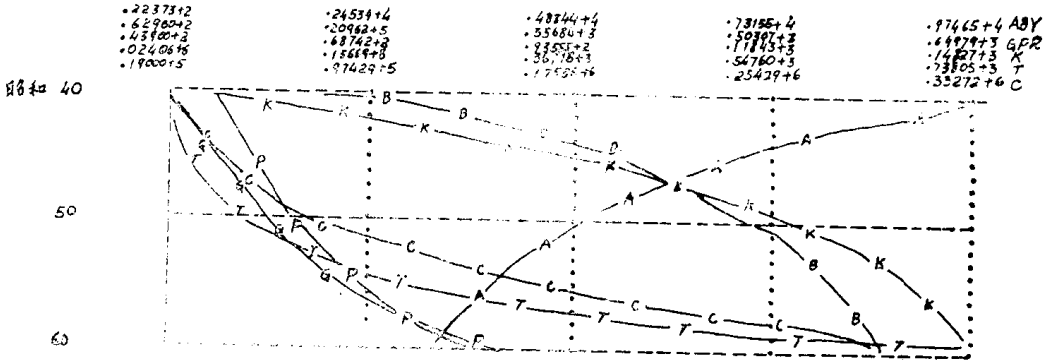


表1 仿真结果 (略图)

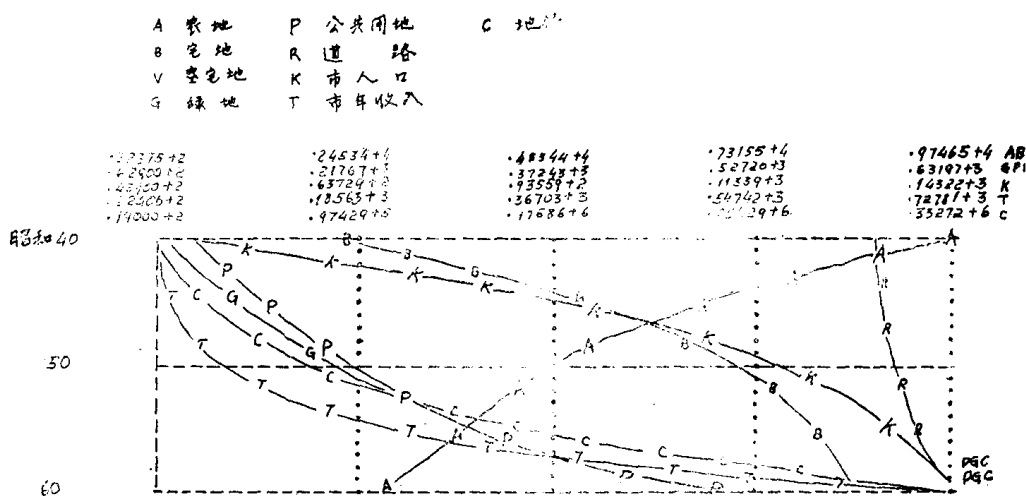


表 2 仿真结果 (略图)

在进行仿真的时候, 首先必须给模型确定输入初值。我们确定模型模拟的时间是从昭和四十年 (1965年) 到昭和六十年 (1985年), 因此, 初期值全部输入昭和四十年一月一日时的数据。其次模型的验证是大问题。本模型是根据昭和四十年到昭和四十五年的实际数据与由模型的输出作比较, 进行模型合理性的核对。

根据模型模拟得到的预测, 在昭和六十年, 东久留米市的人口为十四万三千多人, 宅地占总面积的65%, 特别值得注意的是绿地、公共用地及道路, 在昭和四十年分别是0.4%、0.6%、4.7%, 而在昭和六十年分别是2.1%、2.1%、4.9%。表示增长不大, 对于输入到模型中的绿地、公共用地、道路的政策变数是市的年总支出额的10%、8.8%、1.5%。这些数字像前述那样是基于过去的实际数字。因此, 通过改变这些政策变量试看一下绿地、公共用地、道路成了什么样的比率, 用占年总支出额比例的20%、17%、3%来计算。为了投入约年总支出额的一半, 试行改变政策变量, 其结果绿地变为3.8%, 公共用地变为3.6%, 道路为5.2%。比变化前增加了一些。但是, 东久留米市在昭和六十年的目标, 绿地是10%, 公共用地是15%, 道路是20%。这些数字相差是相当遥远的, 东久留米市即使花费近半的市政财源, 用现在预测的地价本钱来确保非常充分的绿地、公共用地及道路可以说是不可能的。对此, 作为市采用一些别的手段作必要的研究是紧迫的。作为对策的市税, 即使每年多追加十亿日元, 东京市支出及市债等等不定财富都考虑进去的话, 也不现实。作为市的保留手段, 为确保土地又不借用资金, 必须用一些其他处理方法。另外, 所谓昭和六十年的人口十四万三千人, 也许认为少, 但这是按都市厅的都市人口来预测而产生的增长率数字。

六、仿真模型的评价及改进方案

第一, 数据为评价的对象, 本市过去的数据是来自东久留米市政机关发行的《东久留米市的现状与变迁》, 财政来自市的决算书。地价及它的增长率是由市的地价公布制度的价格和市的都市计划科得到的增长率。上述的数据的可靠性, 没有经过充分的核对。在现在的模型中仅以这些数据为前提进行仿真。

人们常说的“城市问题就是土地问题”, 这个土地问题是考虑城市问题时的重要一环。特别是这个模型中的地价, 对整个模型都给予非常大的影响, 关于地价, 作为外部因素提

供，考虑地价的反馈环很有必要，因此第二个评价条件是考虑模型具有的构造。由于有模型内部决定的因素与由外部因素决定的要素这两种，本模型始终以东久留米市作为对象，所以在模型的描述上，例如对于由整个东京都或者由日本经济等等决定的要素，由这个模型内的反馈环决定是非常困难的。现在的模型，正如前边叙述的，地价的决定是根据东久留米市税务所推算的从昭和四十五年至昭和五十五年的该市的平均地价的上升率来假定将来也是这样地上升。因此正如在表1中所表示的那样，地价出现异常的上升率。由于地价是由日本经济、城市规模的变化大致决定的相对因素，所以在这个模型中充分考虑这些是不可能的。可是关于地价的分析，由于按东久留米市的内部要素可以解析的部分也不少，充分考虑外部因素，把地价决定的机制编入模型也是可能的。对地价的问题相联系考虑的方面是对于东久留米市的居民及流入人口的所有阶层的解析。到目前为止，流入东久留米市人口的决定性要素因为还不能很明确地解析，所以在现在的模型中还没有充分地考虑。由于由所得分布而产生的解析对市财政收入给予影响，所以与地价有关的流入人口的所有分布的解析是必要的。注意到以上情况，图7那样的模型正在研究中。

七、后记

做为城市问题研究的一种方法，用系统分析对东久留米市进行尝试研究，首先，对于那些把城市完全作为黑箱对象的分析仍然感到很困难，其次把东久留米市作为对象，有市内及市外的各种因素，怎样把这些因素编入模型也是非常困难的。在这次经验基础上，正在考虑改进现在的模型，以便今后作出更好的解析。

产业构造模型

小玉阳一

前言

节省资源、节省能源产业政策和产业构造论；产业构造论的定义；多种考虑方法及其长处与短处；高度抽象的语言的意义。

最近的能源危机对我国的冲击很大。随之而来，作为一种抑制能源需要的战略，又再次开始议论产业构造的变化。一涉及到能源问题和能源模型，一般说来肯定会碰到“产业构造”这个词，但是，这个词的内在含意到底有哪些组成因素，对于这一点十人就有十种看法。当然也有许多论述产业构造的文献，其中最新的就是通产省出的“产业构造的长期设想”。读了这些文章后总觉得对产业构造的具体图象还不清楚。经常谈及的雷昂切夫的产业

关表啦、以罗斯特的起飞理论为背景的第一、第二、第三产业这样的词已有陈旧之感。另外，如一方面强调个人和消费者的需要，另一方面就要高谈海外立地（在海外选定工业地区）论，于是，宏观的概念和微观的概念就会混为一谈，很不协调。

鉴于这种现状，笔者早就想用系统动力学来着手解决关于社会系统相关的具体问题。从多次构筑模拟模型的经验 and 在这些过程中产生的必要性来看，我觉得说不定会给产业构造论提供新的概念。这是因为，我以前虽然不是经济学家，但却感到在目前这种社会科学交叉的状态下，原来的考虑方法中不太采用的“外行”的见解，反而会发挥作用。

构筑产业构造模型时，从旧的到新的都要对其基本概念进行各种试验。按照罗斯特理论产生的一次、二次、三次产业的考虑方法已在多个模型中试用过。在宏观上获得成功的例子可举出以测定对印度尼西亚援助为目的开发的“两国间援助效果鉴定模型”。

因石油危机导致的经济上的、社会上的混乱，教给了我们社会科

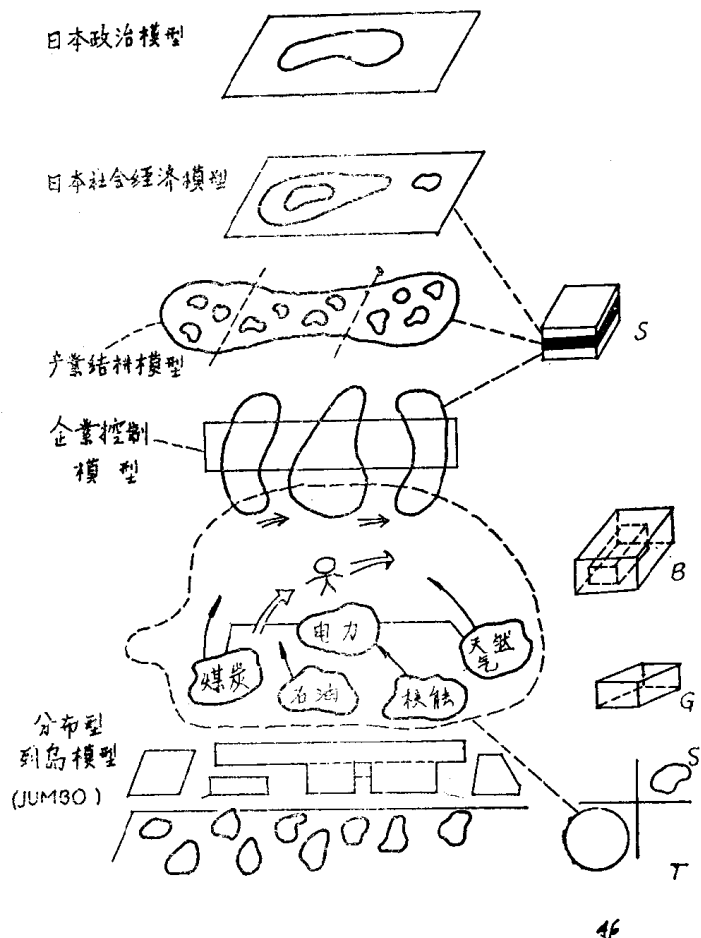


图1 全日本模型分层结构

学必须发展成为能够在解决最具体的问题时发挥威力这样一个道理。产业构造的进步也是其中的一点。但是，原来的产业论有来自宏观部分和微观部分不能很好地衔接这一缺点。为了适应上述这种现实性的或学术性的要求，也可以尝试系统动力学方面的应用。

产业构造模型的位置

产业论的缺点；按原来的考虑方法的模型及其应用。

现在，我想指出的是如图1所示的分层结构的全日本模型的结构，它只是适用于系统动力学的社会系统相关的诸问题的一环。这个分层结构是从下面开始按JUMBO模型、日本能源模型、企业控制论模型、产业构造模型、日本社会经济模型及日本政治模型的顺序组成的。其中，产业构造模型是与JUMBO模型、日本全能源模型、日本社会经济模型有着密切关系的中心概念。

以往的产业论位于来自经济学家的宏观经济模型与来自经营学家的微观企业模型的深谷之间，并没有从综合视野的角度来看待它们。因而也许是这些原因，我总觉得即使是近年来盛行的产业构造论也好像在什么地方有点道理不通。

我认为其原因似乎在于对来自“企业”的主要因素的分析不够充分。因为企业在产业构造论展开时是产业构造的主要组成因素。因此，我在构筑产业构造模型时，引用了企业控制论的考虑方法。最初的模型是以原来的罗斯特的起飞理论为基础的。由于近年来不断强调个人需要、价值感的变化这种微观原因的重要性，因而有必要展开新的产业构造理论。在我国经常使用雷昂切夫的产业相关表，但它仍然不是来自宏观方面的概念。

考虑到这些方面，我引用了“环境财富”、“能源财富”这样的新概念，并从以个人为中心的观点出发把握它们的方法，展开产业构造模型。

新观点的必要性

环境财富和能源财富的考虑方法。

这样一来，无论在能源模型还是在经济模型中，为了更有效地处理产业构造，都需要从新的观点来把握它。

在本模型中，先考虑“环境财富”、“能源财富”这样的子区域，并对它们分别引入以“人”为“基点”考虑时的“直接”及“间接”的概念，然后再区分为各个“全体”和“部分”。因此，对图2(a)及(b)所示的8个范畴，定义了与各自对应的积累变量。以图3为例来说明这样的积累变量与哪个产业相对应。

产业构造模型的系统结构和系统行动

根据罗斯特离地理论建立的产业构造模型叫做I型，它的模型概念如图4所示。

根据这种概念的产业构造变化用企业数量、市场占据率及转移积极性三个组成因素表示，用I型处理的、图5所示的产业构造变化可认为是微观原因产生的内部压力导致的。但是还必须要考虑宏观原因产生的外部压力的影响。

引用了环境财富及能源财富概念之后的产业构造模型称作II型。在II型中用了8个产业范畴，并具有能详细地表现出需求变化的宏观原因产生的外部压力影响的系统结构。所以，预计将来的构造将是I型与II型相结合的III型。对于系统动力学来说，从实例系统的观察，通过系统观测提炼出构造，由构造决定系统行为直到对系统行为的解析等都是一环扣一环地进行，不能中断。因此，必须收集、分析有关产业构造的所有情报。

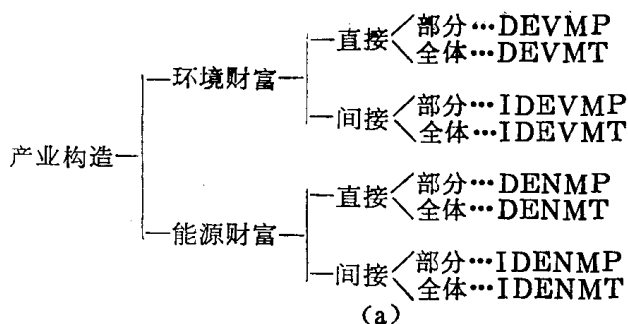


图 2

其一：流图

使用系统力学的新产业构造模型的流程图如图 6 所示。

其二：流图说明；因果关系环

流图大致由环境财富部分和能源财富部分组成。环境财富部分由DEVMP、DEVMT、IDEVMP及IDEVMT4个积累变量构成；能源财富部分由DENMP、DENMT、IDENMP、IDENMT这4个积累变量构成。这两个

子模型通过DEVPM及IDITM合起来。在各子模型中DEVMP和IDEVMP、PEVMT和IDEVMT、DENMP和IDENMP、DENMT和IDENMT分别都是卖出(trade off)关系。DEVMP到DEVMT、IDEVMP到IDEVMT、DENMP到DENMT、IDENMP到IDENMT的各自的流程都假定是不可逆的。这样，它们的诸关系在系统边界内，就形成了多重反馈环。作为跨连两个子系统的因果关系环，可以提出如图7所示的环路。

其三：表函数的定义

A DEVPM, K=TABLE (DEVPMT, DENMIR, K, 0, 5, 1)

T DEVPMT=0/1/1.2/1.4/1.5/1.6

DEVPM 直接能源财富全体比——直接环境财富部分增加速度乘数〔无量纲〕

DEVPMT 直接能源财富全体比——直接环境财富部分增加速度乘数表

DEVMIR 直接能源财富全体比〔无量纲〕

A DEIDM, K=TABLE (DEIDT, DEVMTR, K, 0, 5, 1)

T DEIDT=0/1/1.2/1.4/1.5/1.6

DEIDM 直接环境财富全体比——间接环境财富部分增加速度乘数〔无量纲〕

DEIDT 直接环境财富全体比——间接环境财富部分增加速度表

DEVMTR 直接环境财富全体比〔无量纲〕

A IDITM, K=TABLE (IDITT, IDEVMR, K, 0, 5, 1)

T IDITT=0/1/1.2//1.4/1.5/1.6

IIDTM 间接环境财富全体比——由间接能源财富部分向间接能源财富全体的转移速度乘数〔无量纲〕

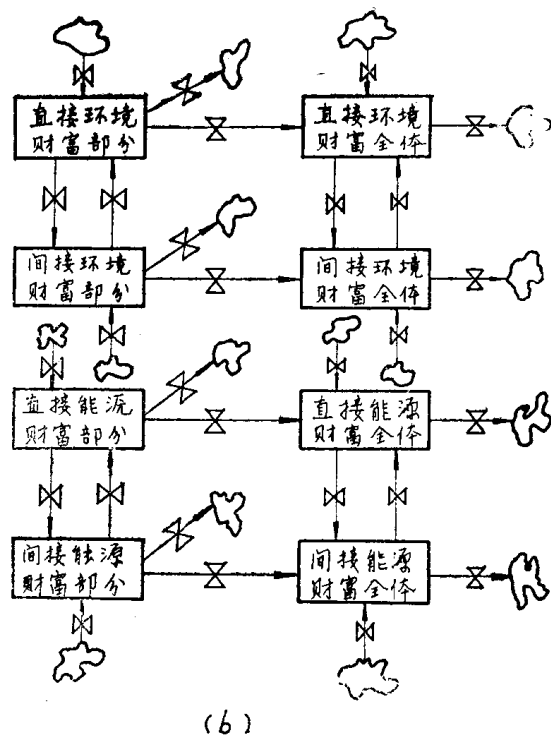


图2 环境财富与能源财富

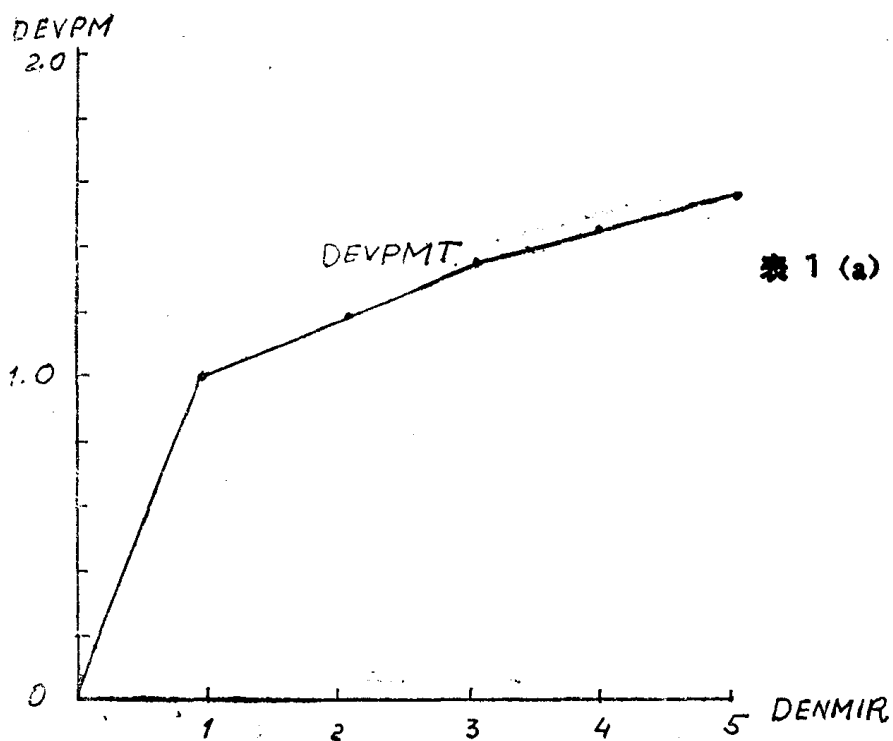


表 1 (a)

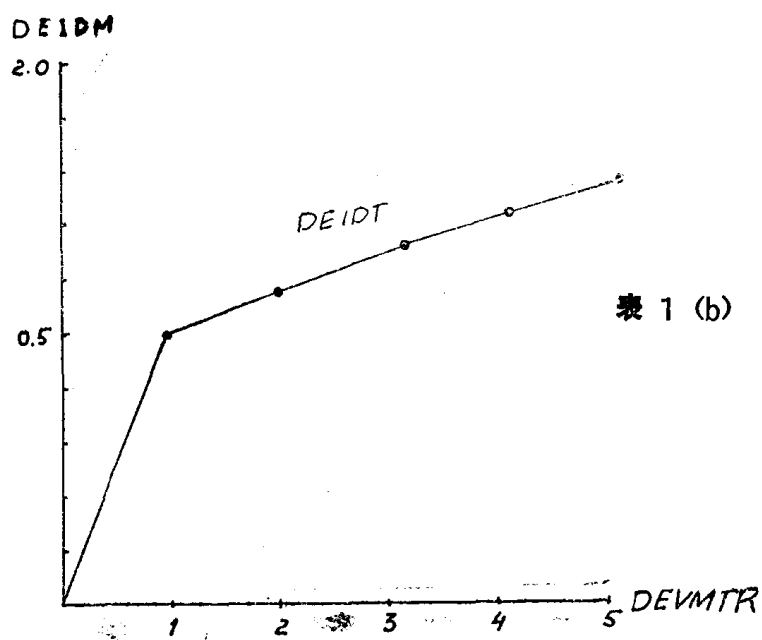


表 1 (b)

IDITT 间接环境财富全体比一由间接能源财富部分向间接能源财富全体的转移速度
乘数表

IDEVMR 间接环境财富全体比〔无量纲〕

其四：参数的意思

DEVMPI 1〔加权〕1965年的初始值

DEVMPIF0.035〔1/年〕每年增加DEVMPI的3.5%

DIVT1F 0.03〔1/年〕每年过渡IDEVMP的3%

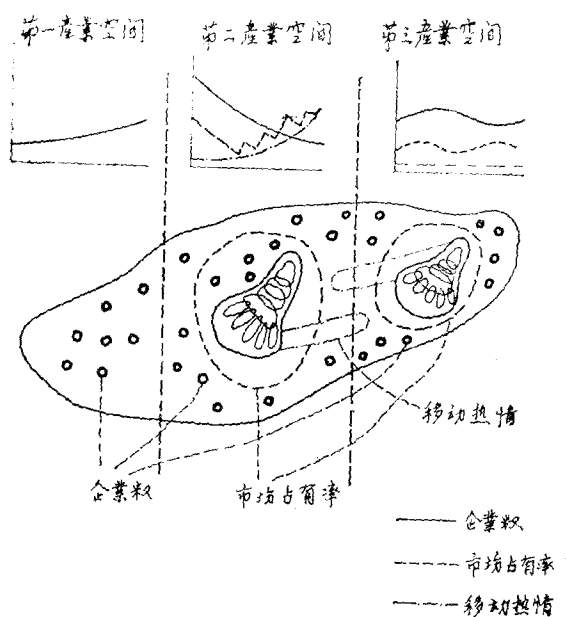
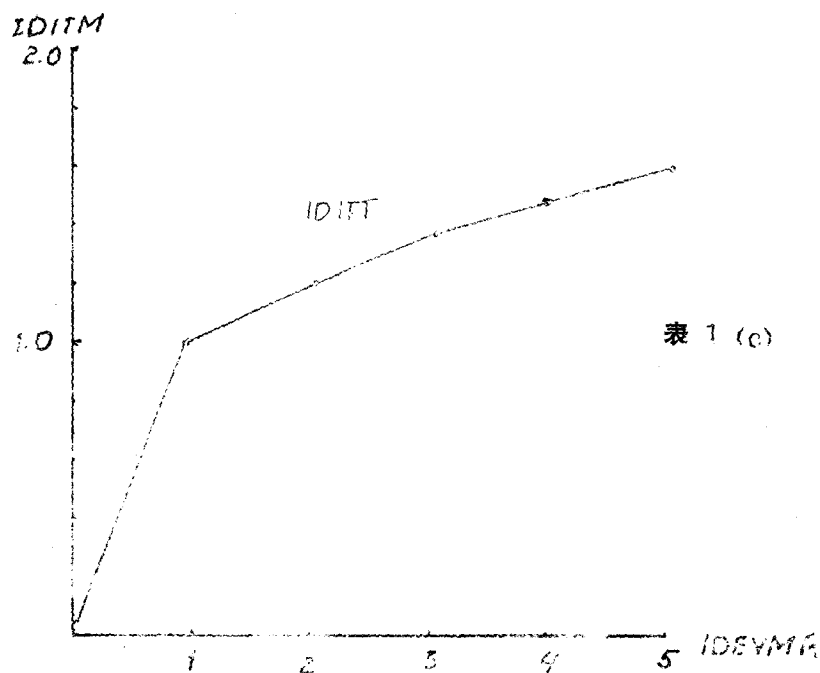


图5 由微观原因产生的产业构造变化行为

DEVMPDF.....0.004 [1/年]每年DEVMP以0.4%减少
 DEVPTF 0.03 [1/年]每年DEVMP以3%转移
 DIVT2F 0.02 [1/年]每年DEVMP以2%转移

DEVMTI 0.5 [加权] 1965年的初始值
 DEVMTDF 0.05 [1/年] 每年DEVMT减少5%
 DIMIT1F 0.01 [1/年] 每年DEVMT转移1%
 DIMIT2F 0.025 [1/年] 每年DEVMT转移2.5%
 IDEVMPI 0.25 [加权] 1965年的初始值
 IDEVPIF 0.08 [1/年] 每年IDEVMP增加8%
 DEVMTS 0.55 [加权] DEVMT标准值IDEVMP转移
 IDVPTF 0.05 [1/年] 每年IDEVMP5%
 IDEVMPF 0.005 [1/年] 每年IDEVMP减少0.5%

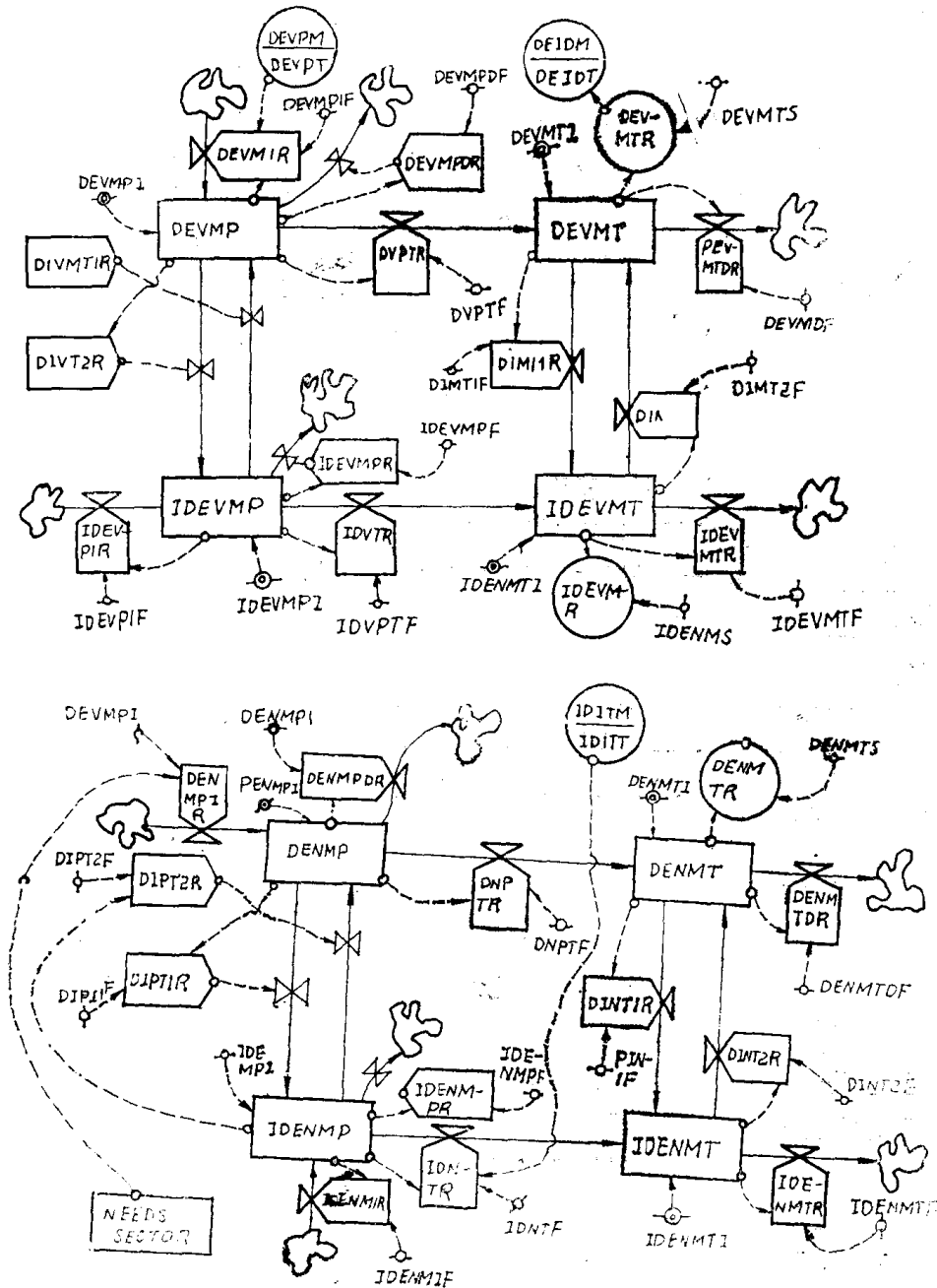


图6 产业构造型 I 流图