

模糊系统理论及应用

〔日〕寺野寿郎

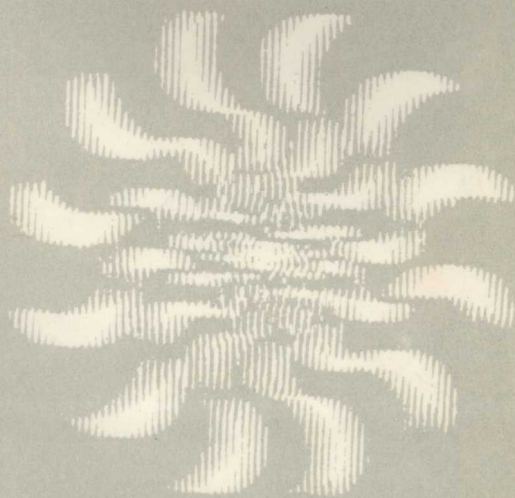
浅居喜代治

菅野道夫

合编

刘维仲 徐 萍 姜延宏 译 张润生 刘维仲

审校



天津大学出版社

48095

模糊系统理论及应用

〔日〕寺野寿郎 浅居喜代治 菅野道夫 合编

刘维仲 徐萍 姜延宏 译

张润生 刘维仲 审校



200480951



天津大学出版社

作者名单及编著章节

作者 (以50音为序)	执笔章节
浅居喜代治 (大阪工业大学工学部教授・工学博士)	1章1.3节
石塚満 (东京大学生产技术研究所助教授・工学博士)	16章
岩井壮介 (京都大学工学部教授・工学博士)	15章
马野元秀 (大阪大学大型计算机讲师・工学博士)	14章
奥田彻示 (大阪工业大学工学部助教授・工学博士)	5章
菅野道夫 (东京工业大学大学院总合理工学研究科教授・工学博士)	1章1.2节, 2章, 8章, 10章
田中英夫 (大阪府立大学工学部教授・工学博士)	4章, 7章
塚本弥八郎 (名城大学短期大学部教授・工学博士)	9章
寺野寿郎 (法政大学工学部教授・工学博士)	1章1.1节, 11章, 11.1节, 11.3节
广田薰 (法政大学工学部助教授・工学博士)	11章11.2节, 12章12.1节, 12.2节, 13章
增井重弘 (法政大学工学部讲师)	12章12.3节
水本雅晴 (大阪电气通信大学工学部教授・工学博士)	3章
和多田淳三 (龙谷大学经营学部助教授・工学博士)	6章

模糊系统理论及应用

〔日〕寺野寿郎 浅居喜代治 菅野道夫 合编
刘维仲 徐萍 姜延宏 译
张润生 刘维仲 审校

天津大学出版社出版
(天津大学内)
河北邮电印刷厂印刷
新华书店天津发行所发行

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 8 5/8 字数: 224千字
1991年6月第一版 1991年6月第一次印刷

印数: 1—4500

ISBN 7-5618-0228-5

O·25

定价: 5.25元

译 序

模糊集理论，我国一般称为模糊数学，是专门用来分析处理在自然界与人类社会广泛存在的模糊现象与模糊信息的一种新的数学工具。

自1965年美国自动控制学家查德首创模糊集理论以来，模糊数学在世界范围蓬勃发展，几乎在自然科学与社会科学的各大领域都掀起了应用模糊集理论与方法的热潮。有关模糊集理论与应用的论文和著作如雨后春笋，不断涌现在我们的面前，至今方兴未艾。广大科研、生产与社会等应用部门都高举双手迎接模糊数学。出现这种局面的主要原因是，模糊数学的确能在这些领域解决一系列实际应用问题，或者说，有相当好的实际应用效果。当然，应该承认，模糊数学发展至今仍显得不够完善，不够成熟，需要进一步研究与进一步开拓应用。

在国际模糊集理论、方法与应用研究的长河中，日本学者的工作有着重要的地位，其特点是紧密联系科研、生产与社会实际应用。近年来笔者曾与日本学者有过多次合作，并在日本作过短期研究工作，我们体会最深的一点就是他们特别注意实际应用。一有新思路、新方法、新技术，他们就立即引用、试用、完善与发展。这也许是该国科技与经济得以快速发展的一个重要原因。

近十年来，日本学者在模糊集理论与应用方面发表的论文和著作甚多。已译成中文正式出版的专著如：

浅居喜代治等著，赵汝怀译，模糊系统理论入门，北京师范大学出版社，1982；

水本雅晴著，刘凤璞、王铭文、解思泽编译，模糊数学及其应

用，科学出版社，1986。这两本专著的主要内容是介绍模糊数学的基础知识与应用概况，对模糊数学的普及与推广起到了一定的作用。

这里要向读者推荐的是由寺野寿郎、浅居喜代治、菅野道夫等十三位日本模糊数学研究名家共同执笔撰写的一本最新的模糊数学应用专著。本书内容丰富而新颖，论述深入，应用性很强，除第一至三章概述基础知识之外，其他十三章都介绍应用方法与应用成果，并给出应用实例，阅后令人耳目一新。本书既是这些专家们近年来完成的科研成果的结晶，也总结了国际范围内的一系列模糊数学应用成果。刘维仲等同志把这本难得的好书及时翻译成中文，天津大学出版社支持本书出版，这是一件值得庆幸的事。我们相信，本书的出版将对我国模糊集合与模糊系统理论和应用研究，特别是应用研究，起到一定的参考作用和促进作用。作为本书中文译稿的第一批读者，觉得受益非浅。但愿这本重要的译著能受到我国模糊数学研究部门与应用部门的广大读者的热诚欢迎。

冯德益

1989年10月于天津

序 言

模糊集合理论自从Zadeh (扎德) 教授倡导以来, 已经过去20多年了。在最初的10年中, 除了极少数专家外, 几乎没有引起人们的注意。最近, 研究人员和论文迅速增多, 已经成立了国际性学会 (ISFA—国际模糊系统协会)。

一般情况下, 一门新学科的发展必须具备三个条件: 一是社会需要; 二是新的方法论; 三是对研究者的吸引力。下面用这三个条件试分析一下模糊集合理论。

第一, 是社会的需要。这一点从“技术与人的关系”这个角度来看很清楚。尖端技术与人的生活有很密切的关系, 人工智能与人本能的“思考”尤其有着密不可分的联系。为了使普通人都能应用人工智能, 就必须让计算机懂得人的语言。但是, 人们日常使用的语言含义许多是非常模糊的, 传统的理论不能合乎逻辑地表达和处理它们。要表达模糊性, 必须有新的工具。在这一点上, 模糊集合理论是适宜的。进一步考虑, 技术与人的协调问题是非常复杂的, 由于以前自然科学、人文科学、社会科学各自发展, 研究者们没有合作研究, 迄今没能深入地解决这个问题, 科学的逻辑性、人类社会的复杂性, 都表现了出来。作为沟通的媒介物, 模糊集合论诞生了。从这些方面考虑, 我认为社会对模糊集合论的需要今后会日益增强。

第二是新的方法论。最初, 模糊集合论只被看成是用数学形式表现语言模糊性的手段, 而现在模糊集合论包括数学概率在内作为广义模糊现象的表征已经确立, 进而正在建立模糊性的理论体系。换句话说, 作为方法论的模糊集合论, 其一点点的“模糊”正在消

失。假如应用模糊理论对相对立的概念，例如主观与客观、模糊与清晰、宏观与微观、情绪与论理等含有不确定性的概念的理论研究，已经成为可能，可以说，作为方法论，模糊理论有其独到之处。

第三，研究领域的吸引力。包括理论与应用两个方面，模糊集合理论扩充了数学体系自古以来的结构。因为要构筑一个包含全新概念的“世界”，模糊系统理论很早就引起研究人员的兴趣。在应用方面，虽然还难以找到成熟的实例，但是已开始应用于自动控制、人工智能等方面，并且逐步走上了深入开展的轨道。

上述三个条件在一定程度上存在着相辅相成的互补关系。如果新的方法论能得到发展，那么利用它去解决实际问题的欲望就会产生。应用实例一增多，会引起社会的关注，社会的需要也就会扩大。并且，由于社会需要的刺激，方法论就会向前再推进一步。这样，模糊集合论就会进入迅速发展的时期。

有关模糊集合理论的书籍，迄今为止，发行过数次。但多是以理论说明为中心的，对以应用为目的而学习模糊集合的人们来说是不很合适的。对于想把模糊集合当作工具利用的人们来说，比起严密的理论，他们更关心的是它的特征、问题、与别的方法论的比较、运算规则、等等。本书考虑到这些需要，立意写成一本以应用为目的的参考书。在应用研究过程中，虽然没有与理论不同的体系，但由于模糊理论的应用遍及广泛的领域，所以，分析问题，解决问题，直至运用理论分析解决问题的过程，每个具体问题都是不同的。可以说，一个一个问题都是创造性的实例。因此，本书以近乎例题集的形式编纂，理论是为了让读者理解问题，因而停留在必要的程度上。

对于读者来说，可以通过这些实例了解研究者的意图、问题所在、模糊集合论的特征等，在理解的基础上再把它应用到各自的领域中去。

很荣幸，日本在模糊集合理论的应用领域走在了世界的前列，虽

然实例仍嫌不足。今年7月国际模糊系统协会（IFSA）的国际会议将在东京召开，届时将有新的研究成果发表。在此时机，以此书为契机激发社会对模糊理论的需要，并希望模糊集合理论的研究进一步扩大，一直深入下去。

编者代表 寺野寿郎

1987年3月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 为什么模糊化, 什么是模糊化, 怎样模糊化	(1)
1.2 模糊化理论的思想	(7)
1.3 应用现状与未来	(9)
参考文献	(14)
第二章 模糊理论的基础	(16)
2.1 模糊性的量化	(16)
2.2 模糊集合	(18)
2.3 清晰集合	(21)
2.4 模糊集合的运算	(24)
2.5 α -截集和扩张原理	(26)
2.6 模糊数的运算	(32)
2.7 模糊命题	(35)
参考文献	(37)
第三章 模糊关系	(38)
3.1 模糊关系	(38)
3.2 模糊关系的运算	(41)
3.3 模糊关系的基本性质	(43)
3.4 模糊关系和模糊推理	(44)
3.5 模糊关系方程	(52)
3.6 各种模糊关系	(55)
3.7 类似关系和模糊顺序关系	(58)

参考文献	(66)
第四章 模糊回归模型	(68)
4.1 可能性线性系统	(68)
4.2 可能性线性回归模型	(71)
4.3 应用实例	(76)
4.4 补注	(82)
参考文献	(82)
第五章 模糊统计判决	(85)
5.1 模糊概率和模糊熵	(85)
5.2 模糊贝叶斯判决法	(88)
5.3 模糊状态识别法	(95)
参考文献	(100)
第六章 模糊数量化理论	(102)
6.1 模糊数量化理论的特征	(102)
6.2 I 型模糊数量化理论	(106)
6.3 II 型模糊数量化理论	(110)
6.4 III 型模糊数量化理论	(115)
6.5 IV 型模糊数量化理论	(120)
6.6 应用	(122)
引用文献	(123)
参考文献	(125)
第七章 模糊数学规划	(126)
7.1 基本概念和公式化	(126)
7.2 模糊线性规划	(129)
7.3 补注	(135)
参考文献	(136)
第八章 评价	(138)

8.1 模糊测度	(138)
8.2 模糊积分	(140)
参考文献	(145)
第九章 诊断	(146)
9.1 诊断中的模糊性	(146)
9.2 模糊关系式诊断	(147)
9.3 症状类型适合度诊断	(150)
9.4 知识工程在诊断中的应用	(152)
参考文献	(154)
第十章 控制	(156)
10.1 模糊控制规则的形式和推理方法	(156)
10.2 模糊控制器的设计	(162)
10.3 模糊控制分类	(165)
参考文献	(165)
第十一章 人类行为	(166)
11.1 人类的可靠性模型	(166)
11.2 数据输入方式	(172)
11.3 使用模糊动态规划的多级意向判决	(175)
参考文献	(183)
第十二章 机器人	(185)
12.1 判断路径的机器人	(185)
12.2 把握物体的机器人	(188)
12.3 判断物体位置的机器人	(194)
参考文献	(199)
第十三章 图像识别	(200)
13.1 用CCD摄像机识别形状、提取距离 方向情报	(200)
13.2 航测图象的结构分析	(206)

参考文献	(212)
第十四章 数据库	(213)
14.1 普通数据库	(213)
14.2 模糊数据库	(215)
14.3 小结	(224)
参考文献	(225)
第十五章 情报检索	(229)
15.1 类推过程的模型化和情报检索	(229)
15.2 文献检索系统示例	(237)
15.3 要求概念的特性与识别效率	(239)
15.4 感知接口和先验知识的作用	(242)
参考文献	(243)
第十六章 审定损害的专家系统	(245)
16.1 专家系统和模糊知识	(245)
16.2 不确定性问题的表示	(249)
16.3 Dempster—Shafer理论及其向模糊集合的 扩张	(251)
16.4 SPERIL系统	(256)
参考文献	(261)

第一章 概 论

1.1 为什么模糊化, 什么是模糊化, 怎样模糊化

模糊集合是美国查德 (L.A.Zadeh) 教授1965年倡导的概念, 其背景似乎是隐藏一种愿望, 即想把人类和计算机的关系提到更高的高度。机械逻辑的计算机和具有感情意念的人类思维之间, 既有类似点也有不同点。如果能巧妙地把两者结合起来, 就可能产生优异的系统。模糊集合能否承担起这个任务? 那就要看它的应用程度如何了。

从纯理论的意义来看, 先不谈研究模糊集合的其它方面, 单从应用考虑也需要与其它的方法论进行比较。也就是说, 即使取得了别的方法所不能取得的结果, 但取得这个结果的过程, 如果没有明显的优越性, 新的方法论也很难生存下去。模糊集合的特征不论怎么说, 它都能比较合理地表达人类的思考方法和主观上的模糊量 (包含自然语言), 从而在应用领域里, 能更多地表示有关人类意愿的问题。关于这个问题, 下面从机械系统、人类系统、人一机系统三个方面来分析。

机械系统

当今, 使机械高度智能化的问题明显地突出了。不用说机械人、人工智能、自动化机械, 甚至一般的机器也要求其能高超地判断状况和进行复杂的自动操作。这无非是把人类的知识和思考方法移植到机械中去。现在, 知识工程学中用命题的形式来表示知识, 并且正在进行根据谓词逻辑对认识、判断、评价、推理等的模拟工

作。但是，人类的思考中包含着直观的和闪念等不合逻辑的成份，只用二值逻辑，无论如何也表达不清楚。这就要对通常所说的膨胀的知识和检索它们的中介知识完好地进行组配。此工作在机械内进行是理想的。

人类系统

与机械系统相反，人类系统是想把科学的方法论导入人类和社会等复杂的模糊问题中去。换言之，是想建立人类的模型。近来随着技术的急速发展，社会习惯和秩序跟不上这种形势，存在着一些弊端。特别是情报技术关系到人类的精神活动，影响非常大。为此对于人类自身的研究是很重要的，但是过去建立的模型或者是靠文章抽象地描述，或者是进行不合实际地舍取而套用数学模型。如果能用模糊的形式把人类的问题模型化，那就会加快这个领域的研究工作。

人一机系统

单只人类或者机械，都不能把两者协调起来工作，而人一机系统则能完成这个协调任务。知识工程学、CAD(计算机辅助设计)、CG(计算机绘图)、办公室自动化等是这方面的典型实例。在这样的系统里，人类和机械的耦合是非常重要的，如果耦合有毛病，那么无论如何好的机械也不会起作用。在这种情况下，首先要解决的问题就是如何简单地把人类的信息输入给机械。过去人类虽然做了一些符合机械水平的工作，但是在高水平的人—机系统中，必须较容易地获得符合机械水平的信息，也就是要做到能够理解自然语言和图象情报。再一个问题，是机械给人类的信息，希望提供能激发人类创造力和提高综合判断能力那样的情报，而这样的信息是非常模糊的。

以上问题的具体实例如表1.1所示。这是IFSA(国际模糊系统学会)日本分部在1985年作的调查，它表示当前会员们正在进行研究的或者想要进行研究的课题。

上述的问题，如果使用历来的理工学方法，其弊端在哪里呢？

表 1.1

从调查结果看模糊集合的应用研究

机 械 系 统	人 类 系 统	人 — 机 系 统
识别图象·音响 识别汉字 理解自然语言 智能机械人 识别农产品 程序控制 生产管理 驾驶汽车、火车 安全、保安系统 故障诊断 电力系统运行 模糊控制 家用电器控制 自动操作	人类可靠性模型 认知心理学 思考、行为模型 检查器官功能 分析群众的意向 风险评定 环境评定 人类关系结构 需求动向模型 能源分析 市场选择模型 范畴分析 社会心理学	医疗诊断 处理检查数据 护理咨询 专家系统 CAI CAD 最优计划 人事管理 开发计划 设备诊断 质量评价 保健系统 计算机—人类联系装置 经营意向判决支援 多目标意向判决支援 知识库 数据库

从建立模型这个方面来考虑，理工学中使用的模型有各种各样，不过最明快的还是根据物理法则建立的数学模型。在数学模型建立的过程中，物理法则是否成立要进行严格的检验，建立后它的物理意义应是明确的。而且一旦建成模型，利用它能容易地得到定量的解。但是，当把人类和社会作为对象时，就不存在象物理学那样明晰的法则了，必须作各种各样的假设来导出简单的法则。复杂的问题必须有非常多的假设，而模糊的问题却不知如何假设为好。如果假设不合适，模型就会脱离实际。模型过分精密或过分粗糙同样也是不好的。

建立数学模型有时不使用物理法则，而是收集实际现象的数据，然后进行统计处理使其模型化。这是建立人类和社会模型的一种极为普通的方法。但是这里也存在一些问题。首先，用这种方法建立的模型，它的物理解释未必容易，而且不能保证其正确性。从

而，这种模型与其被看作是表示定量的，莫如理解成定性的为好。再有，建立统计模型，必须取得大量有代表性的数据。对于复杂、模糊的对象，代表性这个词语的内容也不能明确地定义，况且收集大量数据也非易事。譬如说，在收集的数据中表示对象本质的数据较少，那么在统计处理中就会被大量无价值的的数据所埋没，而且因为不清楚它们的本质，也无法抽取那些数据。学术领域中是不能用多数来决定真伪的。

在此介绍一下与数学模型不同的模型，即最近已经使用的逻辑型模型。其中一种是结构模型。这种模型首先需要找出构成对象问题的主要因素，其次要调查主要因素之间有无相关性，然后用坐标来表示。这是一种定性的模型，对于复杂模糊的问题，它可以有效地引起人们的注意，使其理解结构特征。还有，无论是模型的建立或是解释，都需要人们的直观意识和洞察力，在这点上与文章的记述是相近的。但是，与文章相比，为了用图表示需进一步扩大对其解释的自由度。并且，因为结构本身是客观的东西，所以它同时具有主观性和客观性的特点。结构模型的缺点是因素间“关系”这个词的意义不明确，它只能从“有无”的二值上取点。

逻辑模型的又一个形态是前面所说的谓语句逻辑模型。它不仅在人工智能中使用，而且在认知心理学等方面也使用着，它是知识工程学的基础。即无论主观、客观，凡是人类具有的知识都可用称之为“命题”的短句来表示，再用谓语句逻辑进行处理。因为命题是一种文章模型，所以它也可以用在模糊对象上。但是，为了能用谓语句逻辑处理命题，必须严密地确定出它的定义和意义。命题中的语言多是集合。这里的问题，仍然是需要前提的严密和用二值逻辑来处理。这与其说是模型，莫如看作是现实。再有，命题之间的整体相关性及推理的方法等也需要进行检查推敲。

归根结底，可以这样说，以前使用过的建模方法，对处理复杂、模糊的问题都不太适用。这里需要有一种能满足逻辑与非逻辑、主观与客观、宏观与微观、定性与定量、模糊与严密等矛盾要

求的模型。如果能用人类的思考方法处理这些矛盾，并把它们表示出来，那就理想了。

模糊集合论在一定程度上能适应这种要求。特别在表示具有自然语言意义的模糊性上，它能缓和谓词逻辑中不太合乎逻辑性的矛盾。但是，正如最初论述的那样，在利用模糊集合论时，如果不能充分理解作为对象的问题，那就收不到应有的效果。模糊模型和其它的模型一样有其优点也有缺点。如果分不清其优缺点，没有采用更合适的模型就去进行麻烦的计算，那就不能对建立的模型作出正确的解释，最终的效果也不会最佳。

我们在运用模糊集合论时，必须弄清以下两点：

(1) 作为对象的问题的哪一部分、为什么要模糊化？

(2) 使用什么样的模糊模型？

为了弄清这些，有必要理解作为模糊模型基础的模糊集合的特征。这从“集合模型”和“模糊性”两方面来分析就容易弄明白。首先，分析一下使用普通集合的模型化问题，把作为对象的系统的常数、变量、函数等分成组，就构成了集合，与不分组的模型的宏观表示相比较，变得模糊了。例如，可以认为表示数值的存在范围，比表示一个数值，其表示是松散的。如果用普通集合表示系统的状态、约束或者转入输出、评价等，则它本身就是一种模糊化。这时，系统具有的各种“规则”（输入输出关系及约束条件等）变成了表示集合间关系的“写象”。作为写象使用的函数，近似于数学模型，多使用在逻辑运算的情况下，这时它便成为逻辑型模型。不必说谓词逻辑，就是其它的集合模型，一般人也并不熟悉，所以必须充分理解它的特征、意义、性质等。譬如，必须明确构成集合的元素是什么？它的定义域在哪里为止？集合间的关系使用什么表示？它们的意义是什么？等等。

即使是谓词逻辑模型，如果最初的定义和解释是模糊的，而用文章生硬地表示的话，恐怕也会得出谬误的结论。

其次是模糊化的问题，这就是把用普通集合建立的系统模型的