

“我们永远无法确定数学是艺术还是科学，是我们发明了它还是发现了它，它是人造的玩意还是独立于宇宙之外的普遍真理。”

——埃里克·克里斯托弗·塞曼

杰出的几何拓扑学家——塞曼

陈关荣

(香港城市大学)

故事要从2025年11月9日我在《集智俱乐部》公众号上刊登的一篇短文“复杂性科学中的突变理论”[1]说起。文中，我提到：

“突变理论”或者称为“灾变理论”这个名词是英国几何拓扑学家克里斯托弗·塞曼爵士（Sir Erik Christopher Zeeman, 1925年–2016年）在推广法国拓扑学家雷内·托姆（Rene Thom, 1923年–2002年）建立的相关数学理论时建议的。他于1976年在《科学美国人》杂志上以“灾变理论”（Catastrophe Theory）为题写了一篇内容丰富详尽的科普作品。其中，他用一条狗的情绪突变的条件和过程作为例子来通俗地解释灾变理论，还介绍了自己设计的一个“灾变机器”，演示一个简单的机械结构会在平静运动过程中突然发生剧烈振动。

最近，我偶然翻出一位多有邮件交流但素未谋面的数学家朋友伊恩·斯图尔特（Ian N. Stewart, 1945–）教授为纪念克里斯托弗·塞曼爵士写的讣告[2]。阅后，我不禁寻踪觅迹、追本溯源[3]，梳理了这位杰出几何拓扑学家塞曼教授（图1）的生平和贡献。



图1 克里斯托弗·塞曼爵士（2007年照片）

【一】生平简介

克里斯托弗·塞曼于 1925 年 2 月 4 日出生在日本横滨 (Yokohama)，父亲克里斯蒂安 (Christian Zeeman) 是丹麦人，一位从事西伯利亚-日本鲑鱼贸易的企业家；母亲克里斯蒂娜 (Christine Bushell) 是英国人，平常以家庭教师为业。源自荷兰姓氏 Zeeman 的丹麦语发音接近 se-men，因而通常翻译为“塞曼”。1926 年，母亲携带着婴儿塞曼移居英国。母亲在伦敦经营一家民宿，而父亲则经常往返于日本和英国之间。三年后的一天，父亲在回家途经夏威夷时突然失踪，留下一个未解悬案。塞曼七岁时，母亲开始启发他思考有趣的数学问题。例如：给定一个 3×4 的矩形，求完全位于该矩形内部、面积为原矩形一半、与原矩形四条边都有相等距离的小矩形的边长。母亲向他讲解如何通过设定大小矩形边距为未知数 x 来求解该问题，得到 $x = 0.5$ ，从而问题的答案是 2×3 的小矩形。母亲的启蒙教育让他对数学产生了浓厚兴趣。塞曼后来回忆说，当年的情景“至今记忆犹新”。

在英格兰，少年塞曼最初就读位于 Horsham 地区的一所基督医院寄宿学校。但他对那里的教学毫无兴趣，觉得“像是坐牢”。于是他离开了该校，进入英国皇家空军学校。1943–1947 年间，他曾中断学业，到皇家空军服役，先后担任轰炸机导航员和导航教官。广岛和长崎原子弹爆炸后，他的飞行职业结束，返回剑桥。1948 年，他在剑桥大学基督学院以最高成绩获得高级学士学位，1950 年获得文学硕士学位，并于 1951 年通过了剑桥大学三一学院的第三部分考试。之后，他留在剑桥，师从拓扑学家肖恩·怀利 (Shaun Wylie, 1913–2009) 攻读博士学位。怀利教授一般都让学生自己去寻找和选择研究题目，但会自始至终和他们一起去解决各种疑难问题。1953 年，塞曼通过了题为“双同调”的代数拓扑学领域论文答辩，1954 年正式获得博士学位。其时，他已被选为剑桥 Gonville and Caius 学院的 Fellow。同年，他获得学院的奖学金到芝加哥大学和普林斯顿大学访问，翌年回到剑桥大学担任讲师。

在那段时间里，塞曼试图解决三维庞加莱 (Henri Poincaré, 1854–1912) 猜想，但没有进展。不过他认为：“一位优秀的数学家可能要经历 25 次失败才能取得一次成功。重要的是，新的想法要不断涌现。”

1962–1963 年间，塞曼成为剑桥高等科学研究院成员。1963 年，位于 Coventry 市的华威大学 (University of Warwick) 首任校长杰克·巴特沃斯 (Jack Butterworth, 1918–2003) 邀请他出任该校数学系的创系教授。1964 年，塞曼做出了人生中最重要决定：前往华威大学任教。他后来回忆说：“起初我拒绝了。但经过一夜未眠辗转之后，我改变了主意……我一直认为剑桥是数学的中心，但我在华威大学成长为一名优秀的数学家。”

从 1964 年起，塞曼在华威大学领导创建了数学系和数学研究中心。他一上场就聘请了六位拓扑学家，随后又聘请了六位代数学家。1965 年 10 月，华威大学招收了第一批本科生。到 1967 年，华威大学才拥有大约 600 名本科生，但它的数学已经开始享有国际声誉，这在很大程度上归功于塞曼的卓越领导。

从 1964 年到 1988 年这二十多年间，塞曼一直在华威大学任教。塞曼在华威大学的领导风格非常宽松，营造了一种有利于数学研究蓬勃发展的氛围。从一开始，塞曼就组织了一个每周一次的学术讨论会系列。他还组织了一系列的年度研讨会，针对每一个热门专题进行为期一年的学术交流和研讨活动。他的研讨会系列吸引了数百名世界级顶尖数学家，包括斯蒂芬·斯梅尔 (Stephen Smale, 1930–)、约翰·米尔诺 (John W. Milnor, 1931–)、威廉·瑟斯顿 (William Thurston, 1946–2012)、约翰·汤普森

(John G. Thompson, 1932–)、迈克尔·阿廷 (Michael Artin, 1934–)、理查德·布劳尔 (Richard D. Brauer, 1901–1977)、弗拉基米尔·阿诺德 (Vladimir I. Arnold, 1937–2010) 等等，一时间到访的专家学者络绎不绝。

1966–1967 年，塞曼到加州大学伯克利分校进行学术访问。

众所周知的法国巴黎高等科学研究院 (IHÉS) 是由法国实业家和数学家莱昂·莫查内 (Léon Motchane, 1900-1990) 于 1958 年创立的，当年他希望创建一个以普林斯顿高等研究院为蓝本的欧洲研究中心。莫查内曾试图说服塞曼接任他研究院院长一职，但塞曼婉拒了其邀请，原因是他不愿离开华威大学，而且也不想放弃教学。不过，塞曼在 IHÉS 度过了一段学术休假，开始接触并潜心研究突变理论，正如他后来解释的那样：

1968–1969 年间，我在华威大学举办的动力系统研讨会上介绍了相关知识，当时包括斯蒂芬·斯梅尔和雷内·托姆在内的许多世界级专家都在华威大学访问。第二年，我与托姆一起在巴黎高等科学研究院度过了学术休假。在那里，我学习了所有关于突变理论的知识。因此我非常幸运，能够参与到这个精彩新领域的早期研究。

1976–1981 年，塞曼在英国科学与工程研究理事会 (SERC, 现为工程与物理科学研究理事会, EPSRC) 任高级研究员，在 1982–1985 年任 SERC 数学委员会委员。

1985–1986 年，塞曼在牛津大学当访问教授。1988 年，塞曼带着华威大学荣誉教授称号离开了该校，成为牛津大学 Hertford 学院院长和 Gresham 学院几何学教授，主要原因是当时华威大学的强制退休年龄为 67 岁，而牛津大学则为 70 岁。

1990 年，塞曼担任剑桥大学艾萨克·牛顿研究所筹建委员会主席，其后一直担任指导委员会委员。1994 年，他从牛津大学退休并于 1995 年辞去院长职位。

2016 年 2 月 13 日，塞曼在家中平静去世，享年 91 岁。

【二】学术成就

塞曼的研究领域包括拓扑学、动力系统以及数学在生物学和社会科学中的应用。在拓扑学方面，他开始时主要研究代数拓扑学的一个分支，该分支将某些抽象的代数结构与拓扑空间联系起来，通过同构映射把拓扑学问题简化为更易处理的代数学问题。他后来的主要贡献是构建了几何拓扑多维纽结理论并彻底革新了分段线性拓扑学，以及发展了动力系统特别是突变理论及其在生物数学领域的应用。

当年，塞曼的博士论文基于庞加莱的开创性工作，结合了同调与上同调这两种不变量，发展了“双同调”理论。他引入了一个重要的技术工具，可以从这个理论中提取出多种拓扑信息。他的工作启发了美国数学家罗伯特·麦克弗森 (Robert D. MacPherson, 1944–) 及其博士生、加拿大数学家马克·戈雷斯基 (R. Mark Goresky, 1950–) 引进交集同调的基本概念；这些想法反过来又证明了一些重要的猜想，包括群表示论中的卡日丹–卢斯蒂格 (Kazhdan–Lusztig) 猜想和复微分方程中相应的黎曼–希尔伯特 (Riemann–Hilbert) 版本。

在几何拓扑学领域，塞曼的主要贡献包括球面解结定理（unknotting of spheres），那是高维结理论的核心支柱，以及一个至今尚未解决的著名“塞曼崩塌（collapse）猜想”，它是连接两个更著名猜想的“桥梁”——庞加莱猜想和安德鲁斯-柯蒂斯猜想（Andrews-Curtis conjecture）。在 20 世纪 60 年代的高维拓扑学发展黄金时期，塞曼是攻克“广义庞加莱猜想”的核心推动者之一。庞加莱猜想最初由庞加莱于 1904 年提出，由美国数学家斯梅尔于 1961 年证明了所有维数大于等于 5 的情形（他因之而获得 1966 年菲尔兹奖）、美国数学家迈克尔·弗里德曼（Michael Freedman, 1951-）于 1982 年证明了维数等于 4 的情形（他因之而获得 1986 年菲尔兹奖），最后于 2003 年由俄罗斯数学家格里戈里·佩雷尔曼（Grigori Y. Perelman, 1966-）证明了最困难的 3 维情形（他因之而获得 2006 年菲尔兹奖，但却拒绝接受）。作为一个注记，上述经典的庞加莱猜想是在光滑流形上定义的。当年，独立于斯梅尔的工作，美国数学家约翰·斯托林斯（John R. Stallings, 1935-2008）在 1960 年和塞曼在 1962 年分别使用完全不同的方法，利用包容理论（engulfing theory）证明了分段线性流形上的类似定理。

塞曼或许更广为人知的贡献是在拓扑学之外其他领域的一些工作。其中最著名的是“突变理论”，尽管该理论最初由托姆提出，像本文一开始回顾的那样，但事实上是塞曼将其普及到科学界和大众视野之中。他被认为是纯数学基础上开创了突变理论在生物学、行为科学以及物理科学领域多种应用先驱之一。1976 年，塞曼在《科学美国人》杂志上以“灾变理论”为题写了一篇内容丰富详尽的科普作品。文章对尖点和分叉进行了细致讨论，并阐述了基本突变的分类定理。1981 年，塞曼又在《当代数学》杂志上发表了综述文章“分岔与突变理论”，对突变理论作了更为简明通俗的介绍和评论。

塞曼对数学生物学特别感兴趣，而这门学科在 20 世纪 60 年代并不存在。那时大多数生物学家对数学基本上持敌对态度——不过他们已经开始使用统计学方法去计算实验数据的 p 值和应用 X 射线衍射中的 Bragg 衍射定律以及描述神经脉冲及传导的 Hodgekin-Huxley 方程。如今，这种状态已经消失，而塞曼正是促成这一转变的先驱者之一。

从 20 世纪 80 年代初开始，人口动态一直是塞曼研究的一个主题。他推导出演化博弈论中存在多个吸引子的条件，阐明了当收益改变时，只会发生有限类型的分岔，并证明了三策略结构稳定博弈是由其不动点决定的。他和他的数学家女儿 Mary Lou 合作发表了一篇相关论文，指出不存在非平凡递归的优雅几何、代数和计算条件，并在一定条件下刻画了全局动力学。他随后证明，对于一类开稠密的 Lotka-Volterra 系统，承载单纯形（carrying simplex）的边完全确定了该单纯形及其相图。他还研究了达尔文进化论，把间断平衡即快速进化变异的爆发作为动力系统分岔现象加以分析，进而阐明了间断平衡与多分支物种形成之间的联系。

塞曼在经济学领域的研究包括股票市场、通货膨胀和凯恩斯均衡（Keynesian equilibrium）、需求和寡头垄断均衡以及决策过程。他对决策制定（decision making）特别感兴趣。他研究了预期损失存在多个最小值时的贝叶斯决策（Bayesian decision making），发现存在多个决策时它们之间会出现不连续的跳跃。他还关注以优化收益或最小化风险为目标的决策制定和盈利分析。塞曼将生物和社会进化带来的变异与理性决策进行对比，并运用突变理论提供各种有趣例子，说明这些过程有何不同以及它们如何产生一些反直觉的结果。

塞曼从小就对大脑的运作方式着迷，并在他的整个职业生涯中一直尝试运用数学思想去理解这个神奇的机制。他探讨了“大脑拓扑”及非线性振子分岔分析方法对感觉输入、联想、回忆、情绪、行为和躁郁症的启示。

有一次，当被问及他自己认为是一个数学家还是一个科学家时，塞曼回答说：“我……介于数学和科学之间。我渴望亲力亲为，做出预测，并让实验人员去验证它们。我知道，一个理论除非能够通过实验验证，否则科学界永远不会认真去对待它。”

在 2000 年葡萄牙国际数学中心（Centro Internacional de Matemática）对他的一次访谈中[4]，当塞曼被问及研究成果的亮点时，他解释道：

我想我特别喜欢在五维空间中找到无结球体，在四维空间中构建出优美的纽结模型，在五维空间中证明庞加莱猜想，证明狭义相对论可以完全基于因果关系的概念，以及利用福克-普朗克（Fokker-Planck）方程对动力系统进行分类。在突变理论的众多应用中，我尤其喜欢屈曲、倾覆、胚胎学、进化论、心理学、厌食症、动物行为学、意识形态、委员会行为学、经济学和戏剧。

【三】荣誉奖励

塞曼毕生热心于公益活动，非常积极参与从小学教学到英国皇家学会讲座等各种层次的科普与学术活动。他是一位出色的公众演讲者，经常去学校演讲、做公众报告、上电台广播节目。1978 年，他应邀在 BBC 电视台作皇家学会圣诞节科学讲座。该系列讲座由迈克尔·法拉第（Michael Faraday, 1791–1867）于 1825 年创立，旨在激发青少年对科学的兴趣。塞曼是首位在该系列讲座做演讲的数学家。他的讲座主题涵盖有趣的陀螺仪和回旋镖、艺术中的透视绘画以及数学中的突变理论等。这些讲座内容都与他先后出版的学术著作相关，包括《突变理论》（1977）、《几何与透视》（1987）和《陀螺仪与回旋镖》（1989）。塞曼的圣诞讲座引发了学生、家长和老师们极大的兴趣和更多的渴求。皇家学会于是赞助了后来由塞曼主持的“数学大师班”系列讲座，目的是启发和鼓励孩子们更好地学习和更多地应用数学。首届大师班于 1981 年在伦敦举行，广受欢迎，随即迅速扩展到英国其他地区并延续至今。1988–1994 年，塞曼担任牛津大学 Gresham 学院几何学教授期间，每年都举办十二场免费公开科普讲座。他还出版了“从数学到图画”系列丛书。

塞曼一生获得很多学术荣誉和奖励。

1975 年，他当选为成立于 1660 年的英国皇家学会院士。

1982 年，他荣获伦敦数学学会高级怀特海奖（Senior Whitehead Prize）。

1986–1988 年，他担任伦敦数学学会第 63 任主席，并于 1988 年 11 月 18 日向学会发表了题为“动力系统分类”的主席致辞。1988 年，他荣获英国皇家学会颁发的法拉第奖章（Faraday Medal），表彰其在促进公众理解科学方面做出杰出贡献。

1991 年，塞曼被英国国王册封为爵士，嘉奖他“卓越的数学成就和对英国数学及数学教育的贡献”。

2003–2004 年，他担任成立于 1871 年的英格兰数学协会主席。

2006 年，他荣获伦敦数学学会及数学与应用学会克莱顿奖章（David Crighton Medal）。

此外，塞曼还被多所大学授予荣誉学位，包括 Strasbourg 大学（1974 年）、Hill 大学（1984 年）、Warwick 大学（1988 年）、Yorke 大学（1988 年）、Leeds 大学（1990 年）、Durham 大学（1990 年）和 Hartford 大学（1992 年）。

2008 年，国际数学及应用协会（IMA）和伦敦数学学会联合设立了“克里斯托弗·塞曼数学传播奖章”（Christopher Zeeman Medal for Communication of Mathematics），以表彰“在推广数学和与公众互动方面表现出色”的个人。当年，塞曼亲手将奖章授予首位得奖者、华威大学数学教授、英国皇家学会院士伊恩·斯图尔特，也就是本文开始时我提到的那位素未谋面的学术界朋友（图 2）。



图 2 塞曼将《塞曼奖章》授予首位得奖者伊恩·斯图尔特院士（2008 年照片）

塞曼身后留下了与早年去世的第一任妻子伊丽莎白·琼斯（Elizabeth Jones, 1925–1980）所生女儿 Nicolette，以及第二任妻子罗斯玛丽·格莱德希尔（Rosemary Gledhill, 1932–2019）、他们的三个儿子 Tristan、Crispin、Samual 和两个女儿 Mary Lou、Francesca。

为了纪念塞曼，华威大学于 2004 年在校园内建筑了一栋“塞曼大楼”（图 3）。



图 3 华威大学校园内的“塞曼大楼”（2004 年照片）

参考文献

- [1] 陈关荣：“复杂性科学中的突变理论”《集智俱乐部》公众号，2025年11月9日。
- [2] Ian Stewart：“讣告：英国皇家学会院士埃里克·克里斯托弗·齐曼爵士（1925–2016）”《数学公报》第100卷，第548期，307-313页，2016年7月。
- [3] David A. Rand, *Memoirs, Biogr. Mem. Fell. R. Soc.* 73, 521–547, 10 Aug 2022.
- [4] F. J. Craveiro de Carvalho, *An Interview with E. C. Zeeman*, *CIM Bulletin*, Number 9, December 2000.