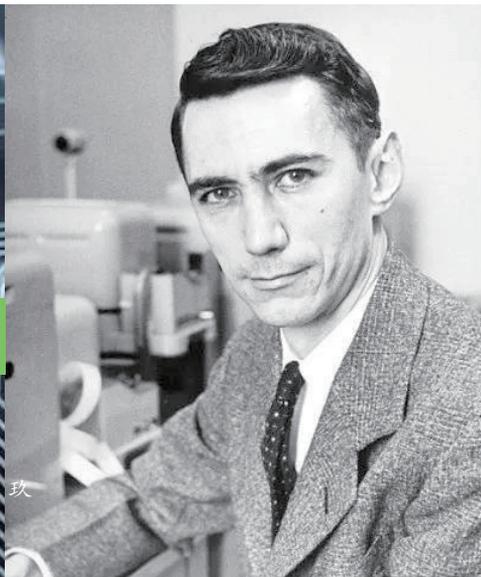
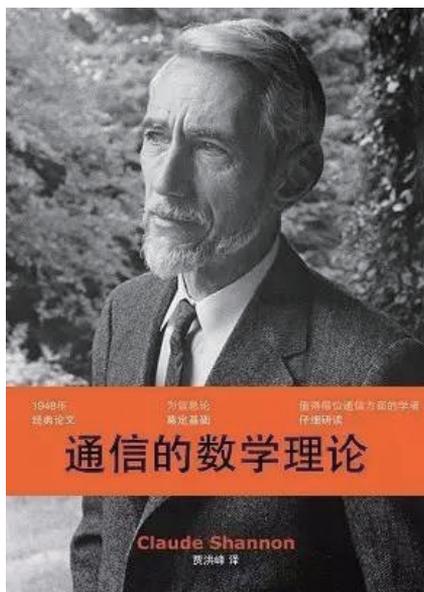


数学与理工

纪念信息论之父香农诞辰一百周年



丁玖



一百年前，中美两国各自诞生了一位科学名人，他们是分别出生于4月30日和7月7日的信息论之父香农（Claude Elwood Shannon, 1916-2001）和应用数学翘楚林家翘（1916-2013）。他们都是数学奇才，又同在麻省理工学院执教多年，一个在电子工程系，一个在数学系，都被教务长任命为校级应用数学委员会的首批委员。上个月我写了一篇长文，纪念流体力学“稳定性先生”林家翘的百岁诞辰¹，这次禁不住再次挥笔，庆祝信息天使香农的灿烂人生。

香农的一生，可以说是数学与理工这对恋人的最佳组合，也可成为诠释林家翘应用数学理念的极好例证。他的一生杰作无数，许多学术成果都是数学思想的直接产物，甚至有些文章的题目都有模式：某某论题的数学理论；例如1941年发表的《微分分析机的数学理论》（*Mathematical Theory of the Differential Analyzer*）及1945年提交给雇主贝尔实验室的报告《密码术的数学理论》（*A Mathematical Theory of Cryptography*），从标题上看好像是数学家为工程师们写文章。

香农最伟大的论文《通信的数学理论》（*A Mathematical Theory of Communication*），发表于1948年，题目格式也跟上述如出一辙。该文宣告了“信息论”作为一门学科的诞生。他几乎同样伟大的创造是21岁时于麻省理工学院完成的硕士论文《中继及开关电路的符号分析》（*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*）。其中他运用在密歇根大学读本科时学到的“布尔代数”，论证了数字计算机及数字线路逻辑设计之可能性。写过获奖图书《计算机：从帕斯卡到冯·诺依曼》（*The Computer from Pascal to von Neumann*）、第一台现代电子数字计算机ENIAC研制者之一的数学家兼计算机科学家戈德斯坦（Herman H. Goldstine, 1913-2004）称它为“有史以来最重要的一篇硕士论文”。

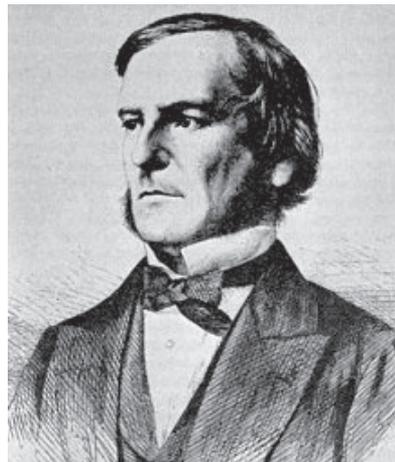
¹ 参见《数学文化》2016/第7卷第4期。

1940年，香农以《理论遗传学的代数》(*An Algebra for Theoretical Genetics*)的学位论文获得麻省理工学院的数学博士文凭，之后在普林斯顿高等研究院呆了一年，与爱因斯坦、外尔、冯·诺依曼等数理大家时有接触，翌年去了贝尔实验室工作。经过七年的不懈努力，他提炼出信息熵这一重大概念，证明了一系列关于熵的数学定理。然而，熵这个信息论专业词汇，最终却是冯·诺依曼替他起的。在建立这个有关信息传输不确定性的量化过程中，开始他想用“信息”(information)这个词表示“不确定程度”，但这个已被老百姓用滥了的普通名词根本没有数量化的资本。后来他又想用“不确定性”(uncertainty)来表达“不确定度”，但这个抽象名词无法胜任它应肩负的量化职责。某天他碰到知识丰富的大数学家冯·诺依曼，便向他求教。后者建议他就用“熵”这个词，理由有二：一是它来自热力学与统计物理，已有不确定性的含义，二是没人真懂熵为何物，容易避免争论。

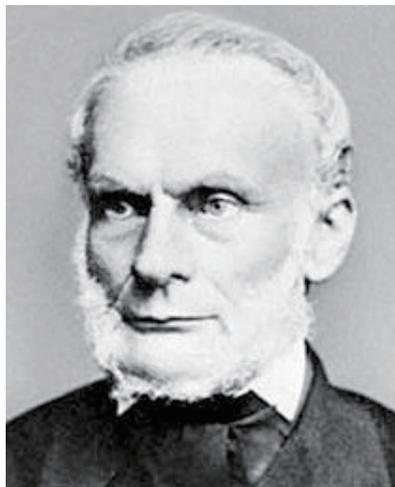
熵的英文原名及其汉译也颇有意思。德国数学物理学家克劳修斯(Rudolf Clausius, 1822-1888)于1865年首次使用entropy这个源自希腊文的英文单词来表达热力学中的热量转换，并用大写的“S”代表之，以纪念法国的热力学先驱卡诺(Sadi Carnot, 1796-1832)。1923年，当他的一位后辈热力学专家来中国讲学时，他提到的entropy表达为两数之商的形式，因而在旁翻译的胡刚复博士(1892-1966)灵机一动，将它翻译成“熵”，既有数学的“商”又有热力学的“火”。真是妙译！

香农1948年提出的信息熵不仅成了他开创的信息论基本概念，而且帮助了苏联大数学家柯尔莫哥洛夫在1957年建立保测变换动力系统的测度熵概念以及1965年其他三位数学家发展连续变换拓扑动力系统的拓扑熵概念。1957年去世的冯·诺依曼大概没想到熵在动力系统中会扮演系统内部混乱程度测量器的角色。从谷歌学术(Scholar.google.com)网页上可知，香农这篇文章的被引用次数已超过87400。我孤陋寡闻，至今未知哪一篇学术论文的被引用次数比它还高。

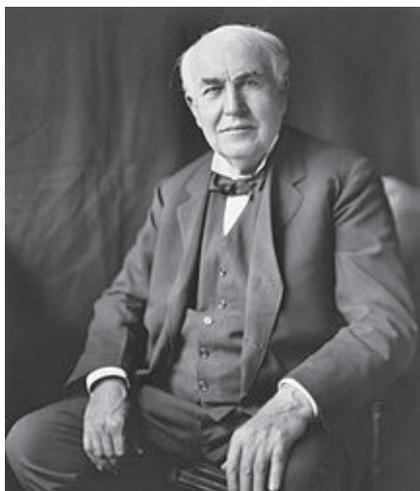
香农出生在美国密歇根州一个名叫Petoskey的湖边小城，这个湖就是五大湖之一的密歇根湖。美国历史上家喻户晓、在中国也赫赫有名的大发明家爱迪生(Thomas Alva Edison, 1847-1931)是他家的远房亲戚，也是他从小无比崇拜的英雄。不知他身上流淌的血液与爱迪生有多少交集，他和这个伟大的前辈一样从小到老喜欢动手，热衷实验。



布尔



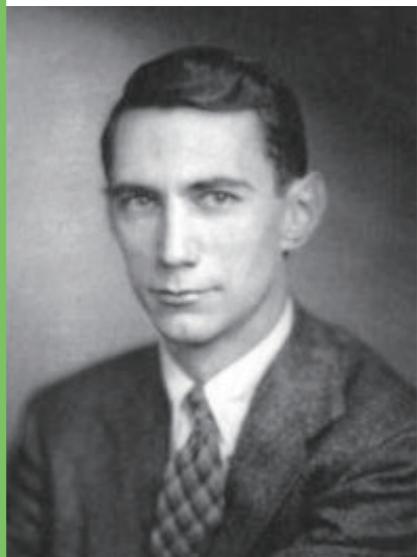
克劳修斯



爱迪生



卡诺



香农

不过他比爱迪生更进一步的是，他更喜欢数学，因而二十岁于密歇根大学本科毕业时，拿回家的双学士证书是电子工程和数学，而后者赐予他的严格逻辑思维训练让他一辈子受益无穷。比如，正是他在密歇根大学修课时接触到英国数学家布尔（George Boole, 1815-1864）的最伟大发明布尔代数，成就了他那篇麻省理工学院历史上的最优秀硕士论文。他的求学经历对中国的工科大学生和研究生很有启发：如果你想成长为杰出的工程师，年轻时多学点数学思想，多读些数学书籍，而不要急于沉湎于琐碎的工程细节。

香农的一生学术，闪耀着应用数学的光彩，与林家翘的人生轨迹不谋而合。两个同龄人，都不是象牙塔里埋头推导的理论数学家，而是向自然进军对症下药的应用数学家，一个在流体力学和天体力学竖立了两座高峰，一个开创了整个的数字线路信息通讯时代，让亿万民众充分享受现代文明的乐趣。他们是追随英国人牛顿的数学家，不甚欣赏另一个英国人哈代对纯数学的“孤芳自赏”。自然科学和工程技术是他们玩耍数学十八般武艺的疆场，因为正如伽利略早就宣称的，“自然之书是用数学符号写的！”

数学，几百年来多少人为你唱赞美歌。八百年前的罗吉尔·培根（Roger Bacon, 1212-1294）就预见到“所有科学都需要数学”，怀特海（Alfred Whitehead, 1861-1947）更把纯数学视为“人类灵性最富于创造性的产物”，爱因斯坦也把它誉作“逻辑思想的诗歌”，而狄拉克则感叹“上帝用美丽数学创造了世界”。我在罗素自传中读到，年轻时代的他曾想自杀，但未践行，因为“我希望知道更多的数学”。

在学术界，纯粹数学家们常有“高傲公主”的自我陶醉，而应用数学家们时常做的又是林家翘所不屑一顾的“实用数学”，沦为“科学的仆人”。怎样才让应用数学家也成为“科学的主人”呢？套用莎士比亚的名言：“这是个问题。”纵观香农的科学人生，我们似乎能窥见部分的解答。

根据一名伟人的定义，数学研究现实世界数量关系和空间形式。科学探索自然界的基本规律，包括物理科学与生命科学，而工程则将自然科学的规律造福于人类。科学导致工程，工程推动科学；科学认识自然，工程改造自然。而数学作为科学之皇后，在科学技术的进步中往往起着不可思议的关键作用。工程的第一原理源自科学发现，科学的分析工具落脚数学推理。工程研究的突破口往往在于数学的奇思妙想，抽象思维的引入使得工程科学如虎添翼。

历史上，最有用的数学微积分的创立来