

童与心 发与现

混沌与均衡纵横谈

梁美灵 王则柯

童·心·与·发·现

……混沌与均衡纵横谈

梁美灵 王则柯

生活·读书·新知三联书店

图书在版编目(CIP)数据

童心与发现：混沌与均衡纵横谈/梁美灵，王则柯编著.
2版. —北京：生活·读书·新知三联书店，1996.3

ISBN7-108-00846-7

I. 童… II. ①梁… ②王… III. 混沌学—平衡论—普及读物 IV. ①G303-49 ②F019.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 14499 号

责任编辑	耿 捷
封面设计	张 红
出版发行	生活·读书·新知三联书店 北京朝阳门内大街 166 号
邮 编	100706
经 销	新华书店
排 版	北京新知电脑印刷事务所
印 刷	北京通县觅子店印刷厂
版 次	1996 年 3 月北京第 2 版 1996 年 3 月北京第 2 次印刷
开 本	850×1168 毫米 1/32 印张 7.25
字 数	160 千字
印 数	0,001—7,000 册
定 价	13.20 元

前言

一九八五年夏天,美国密执安州立大学数学系李天岩教授应邀访问了中山大学,航天部,吉林大学,北京大学,科学院理论物理研究所,西安交通大学,杭州大学,福州大学,在混沌理论和同伦方法方面做了一系列讲座。根据这些演讲以及讲座外的谈话,我以青年学生和青年学者可以从这些很有启发性的新发展中学习科学研究的方法为宗旨,写了一些短文发表在《自然杂志》和《大学物理》等杂志上,受到读者欢迎。

我原来是学电气工程的,曾长期在科研单位工作,现在任职中山大学图书馆参考咨询部。对于生物学、经济学、数学和理论物理学我是外行,但我对于新学科、新方向的发展比较注意,对边缘科学的生长优势尤感兴趣。我觉得,收集和筛选这样的材料、故事,从科学研究方法论的角度组织起来,不但对于非专门家了解科学的这些新发展有好处,而且对于关心科学发展和立志科学事业的青少年读者会有很大的帮助。这一想法,得到生活·读书·新知三联书店特别是沈昌文先生的宝贵支持。因为先前已收集和积累了比较丰富的资料,许多故事和许多人物早已零散地在我头脑里活现,所以倾注全力工作了半年,在王则柯先生的指导之下,终于写成了这本小书。

一九八六年六月,在中山大学研究生院成立大会上,中山大

学名誉教授杨振宁博士专门就学习方法和科研方法问题作了一次精彩的讲演。杨教授提倡青年学生兴趣面要宽,知识面要广,指出二十世纪科学的许多新发展都是学科交叉渗透的结果。杨教授讲话的思想力量深深地打动了,何况演讲中还特别谈到了混沌理论的故事和意义。应该说,杨振宁教授的演讲,对这本小书的完成起了很大的促进作用。

本书主要介绍生物学、物理学方面混沌理论的诞生和经济学方面一般经济均衡理论及其计算方法的发展。除了生物学家、物理学家、经济学家以外,数学家的积极创造对上述发展的贡献很大。在执笔的时候,我觉得单纯讲一些故事或花絮,是不能满足读者的要求的。如果完全不介绍这些理论的本身,故事就难免浅薄。对于混沌理论和均衡理论,我既是专家意义下的外行,又是情报文献方面的有心人。用我能够理解的语言向读者介绍这些理论的某些最有趣、最具普遍性意义的内容,也许正是读者所需要的。所以,本书有一些章节段落会深入这些理论的本身,但是用到的预备知识不超过中学的水平。青少年读者费点力气把这些章节段落读懂,是完全值得的。但是,如果头一次阅读时对故事以先睹为快,不想马上费脑筋,也可以跳过这些章节段落先看下去,待以后有兴趣时再回头细细琢磨。物理学和经济学的这些新进展,具有深刻的哲学内涵。所以,介绍这些新进展的普及性读物,还会受到社会科学工作者的欢迎。

除了杨振宁教授的演讲和李天岩教授的讲学和谈话以外,本书还参考了许多文献。中文文献中特别要提到的是史树中教授、张景中教授、朱照宣教授、郝柏林教授等人的论著。美国普林斯顿大学生物系教授罗伯特·梅,专门为本书的写作寄来丰富的文字资料。对以上提到的各位,谨表示衷心的感谢。My

special thanks go to Professor Robert May for kindly sending me a rich collection of his writings.

这毕竟是一次尝试。成功与否,有待读者的批评。至于局部的缺点或失误,更是在所难免,诚恳地希望专家和读者指正。

科学研究怎样才能成功?关于这个题材,许多大学问家写过许多好书。在混沌理论和经济均衡方面的进展表明,不放过“浅显”的、貌似幼稚的问题,并且追索到底,务必弄个水落石出,是许多重要发现的契机。可见,保持“不避浅陋刨根问底”的求知“童心”,也是最终做出伟大发现的重要因素。在科学研究的队伍里,研究生资历虽浅,但是没有包袱,最具创新意识,有可能做出重要贡献。经济均衡和混沌理论的发展,提供了富有教育意义的故事。

梁美灵 谨识

一九八八年九月

目 录

J11/63/18

前言	1
引子	1
——杨振宁教授谈学问之道	
一 数学：周期三则乱七八糟	5
1 人类对宇宙的认识面临挑战	5
2 博士生李天岩的小题目	7
3 什么叫周期点	13
4 沙可夫斯基走在前面	19
5 周期三的麻烦	26
6 混沌的深刻含义	33
二 生物：生物科学和医学中的混沌理论	45
1 物理学家梅教授“自我消失”	45
2 以归纳为基础的生态学讨论	49
3 生态学研究的动力系统方法	55
4 生物数学万花筒	68
5 生物工程进展	77
6 作为科普作家的罗伯特·梅	87

三	物理：菲根鲍姆常数	95
1	优秀而没有成果的学生	95
2	在“科学地狱”的门口	100
3	周期倍增分叉现象	105
4	菲根鲍姆普适常数	115
5	不稳定性与伪随机过程	123
6	物理学的新篇章	131
四	经济：一般经济均衡理论	139
1	纯交换经济一般均衡模型	139
2	瓦尔拉斯法则与帕累托最优解	145
3	两位经济学诺贝尔奖获得者	153
4	不动点定理	162
	——绝大部分数学家知其然不知其所以然	
5	斯卡夫开创不动点算法	172
6	高度非线性问题的数值解法	182
五	数学：应用的广阔天地	186
1	站在巨人的肩上	186
2	凯洛格、李天岩和约克的贡献	191
3	可能性为零不等于不可能	196
4	富有色彩的斯梅尔教授	204
5	经济学与计算方法	209
6	经济效益最大的数学方法	214
六	结语	219

引 子

——杨振宁教授谈学问之道

一九八六年六月二十七日，中山大学研究生院举行成立大会。中山大学名誉教授、著名物理学家杨振宁博士向到会的二千多名师生作了专题演讲。

杨振宁教授特别谈到了如何做学问的问题。他说：

“一个研究生，在他研究生生活的几年期间，对他自己最大的责任，就是把自己引导到一个有发展的研究方向去。”

杨教授指出一种现象：到一所好的大学里去跟研究生接触，发现他们都很聪明，都很好学，因为一所好的大学通常是不会接受一个素质太差的研究生的。可是过了二十年，就发现这些人后来的研究成绩悬殊很大，有些人非常成功，有些人却颇令人失望。这是什么道理呢？杨教授说：

“最重要的道理，就是那些成功的人找到了一个研究方向，这个研究方向在他们研究生这个生活阶段以后的五年到十年之内大有发展。这样，他随着这个研究领域的发展而发展的可能性就变得很大了。这常常是相辅相成的：他贡献给这个研究领域，而这个领域的发展又使得他自己前进的道路更宽广。就是这样，许多人做出了许多创造性的工作。

“相反，有许多研究生，能力本来是很强的，可是在做研究生

时,自己走进了死胡同。这个胡同当时看起来还很好,但这个研究生不知道表面上还很兴旺的一个领域,事实上已经是强弩之末了。这样,等他取得博士学位以后,这个领域里最重要的东西别人已经做过了。遇到这种情形,又不善于改变自己的方向,那么费了很大力气,却没有得到很大成功。所以,一个研究生最重要的事情,就是选择一个有发展有希望的领域。”

这样,许多人不免要问:那末,哪个领域才是最重要?哪种选择最正确呢?杨教授说,这是没有现成答案的,最重要的是每个研究生应该自己去寻找,凭着自己的判断,寻找以后容易发展的方向。这就要求每个学生尽量使得自己的兴趣面广泛些,尽量使得自己的知识面广泛些,而不能念死书。

杨教授分析了中国的一句古训:知之为知之,不知为不知,是知也。他说,这句古训是有很深的哲理的,因为如果一个人弄不清楚什么东西是他懂的,什么东西是他不懂的,就难免发生混淆。但是,如果对这句古训信仰得太厉害,就会走到另一个方面,那就是不愿意接触那些他一时还不懂的东西,认为要知道别的东西,就要像听一门课那样学,否则就不应该去接触这些东西。

杨教授说,美国的学生却正好相反,常常在乱七八糟之中,就把东西都给学进去了。他们知识面广,同时漏洞也多。但这不是什么了不起的事情。例如氢弹之父泰勒教授,他的主意非常之多,每天恐怕有十个不同的主意,其中可能有九个都是错的。但他不怕讲出来,不怕出错。等到他的错误见解被别人或被自己纠正过来时,他就又前进了一步。所以,杨教授建议美国学生学一点中国传统,中国学生学一点美国传统。怕出错,不敢接触新东西,不敢提出自己的见解,是没有出息的。把自己训练

成有独立思考能力的研究工作者,特别重要。

为了做一个成功的研究工作者,杨振宁教授特别提倡跨学科的兴趣,跨学科的研究。他指出:

“二十世纪科学技术发展飞快。在这飞快的发展中,出现许多新的研究领域。一个人如果对好几个领域都有所了解的话,常常可以做出非常重要的贡献。”

杨教授在演讲中举了两个例子。一个是 CT 断层扫描。这是最近十几年来通过技术和医学两个方面的发展而产生的新的医学技术,对人类医学无疑是一个大的贡献。CT 扫描的观念最早就是美国一个物理学教授提出来的。他因为懂 X 光衍射,对于医学也有兴趣,对于计算机软件知识也很熟悉,这三方面的优势加在一起,就发展成 CT 扫描的理论。另一个是最近八九年在物理学和数学方面的新的研究领域,叫做 chaos,即混沌现象。对于混沌学的发展,一位叫做菲根鲍姆的年轻人起了很大作用。他是物理学博士,但对计算机有很大兴趣,所以整天摆弄计算机。他把数学、物理学和计算机的知识联系在一起,最后就创立了混沌学这个新的研究领域。

杨教授最后指出:

“毫无疑问,在今后的二三十年之间,这种汲取了各个不同学科的营养的真正创造性的工作,会层出不穷。希望大家尽量使得自己的知识和兴趣广泛一些。多知道各学科的知识以后,就会产生这种跨学科的创见。”

杨教授在这里谈的,是科学研究的方法。青年学生和青年学者要了解科学的发展,必要时要敢于和善于改变方向。青年人不要以为自己的知识越专越窄越好,这样会把自己的路堵死。他们有责任多了解周围的发展,使自己的道路变得宽广。人们

常说机遇，机遇要靠自己去寻找。这些道理，对于正在探索现代化之路的中国广大青年，不论是做工务农还是治学经商，同样是非常重要的。

杨教授特别谈到了混沌理论。本书将以混沌理论和经济均衡理论的发展为中心，介绍几位卓有成就的学者在科学研究的前沿所经历的曲折动人的成功的探索。作者深信，他们的成功之路，就是杨振宁教授提倡的道路。愿他们的故事，启迪我们的读者进行有益的思考。

一 数学：周期三则

乱七八糟

1 人类对宇宙的认识面临挑战

七十年代，人类对自然和社会的认识面临挑战。

马克思曾经说过，一门学科，只有当它能够成功地运用数学方法时，才能真正称得上是一门科学。的确，每一门学科都把成功地运用数学作为自身成熟的标志。数学总是以其简洁性、明确性，把科学问题的实质展现在人们面前。

然而，世界并不像以往的数学那么单纯。今天并不能完全预知明天。如果你总是想用一加一等于二的模式去理解世界，就注定要碰钉子。试看，股票市场的行情仿佛按照价值规律在准确地运行，某种股票要的人多了，价格就上升，某种股票信用下降被人冷淡了，价格就下跌，一切似乎都很有规律。不料一夜之间，会发生价格的全面暴跌，许多股票市场的老手也应付不了这种突变，纷纷跳楼自杀。这不是什么虚构的电影分镜头剧本，而是一九三〇年美国纽约市的真实情景。再看，烟头上一缕袅袅上升的青烟，会突然变成层层烟圈，四处飘散。为什么即使是在无风的条件下，也不能一缕青烟一直飘到底？闷热无风、空气似

乎僵凝住了的天气,突然爆发出风暴;缓慢的地质运动和突然而至的葬送成千上万人的生命的地震;还有心肌梗阻、生物的种群繁衍振荡,这些自然界的突发的灾变现象到处可见,真是层出不穷。即使在风洞的实验室条件下,按理说气流是很规矩很理想的,但一面比较长的旗帜也总是要呼啦啦地飘忽不定,并不会像一块玻璃平板那样平坦地展开。种种现象似乎都有趋向于紊乱结局的倾向。所有这一切都使人觉得,自在的宇宙和理性的数学各唱各的调,常常走不到一起。

数学本身就那么听话吗?也不。以最简单的叠代公式

$$y = 15x(1 - x)/4$$

为例,应该说是够简单够明确的了,不料却会导致意想不到的紊乱结局(后面几节和第二章第三章会逐步介绍紊乱或混乱的确切的含义),出现古怪的行为。这样一个把 x 的具体数目代进去就能准确地把 y 算出来的简单方程也会给人们带来许多麻烦,对于许多数学家来说,也是意外的事。如果这个方程代表的是某种生物物种的繁衍规律,从这一代的物种密度 x 就可以算出下一代的物种密度 y ,那么,紊乱的结局就预示着这个物种将来的危险。

数学家对于上面所说的那么简单的叠代公式,少说也已经研究过几百年了。直到二十世纪的七十年代,人们才明确地发现简单的方程也会出现古怪的行为,带来紊乱的结局。这个问题真是使人感到头痛。但是,当一个问题一次又一次地在科学研究中被遇到的时候,不管它是多么困难,不管它是多么令人感到头痛,它的反复出现就是一个迹象:科学的发展已经面临解决这个问题的时刻,不应当也不能够再回避这个问题。许多人在科学研究中差不多同时遇到一个(本质上)同样的问题,这个事实

通常有两方面的背景。一是现在需要解决这个问题了,二是解决这个问题的条件也大体具备了。谁对这种形势看得准,采取的方法对,谁就有可能领先于其他学者做出科学发展主流上的创造性贡献。时势造英雄,一点也不假。

几百年来,数学家对上面所说的简单叠代公式进行了许多讨论。现在,也只是现在,是到了从简单叠代所造成的混乱现象中把“混乱的规律”找出来的时候了。

这一次,谁能捷足先登呢?

2 博士生李天岩的小题目

一九七三年四月的一天,在美国马里兰大学数学系,一个名叫李天岩(T.Y.Li)的研究生百无聊赖地走进他的导师约克(J.Yorke)教授的办公室,问:

“老板,有什么小题目做吗?”

李天岩祖籍湖南,前几年从台湾到美国攻读博士学位。按照美国的教育制度,研究生的学习经费和生活费用,一般是由研究生的导师向有关方面申请得来的。在这个意义上,导师就是研究生的老板,研究生是导师的雇员或小工。在经费上,导师和研究生有这种关系;从科学研究本身看,这种关系也是合理的。博士研究生导师,一般都是学术上造诣较深、成就较大的教授,他们对学术上的问题往往有很好的见解,很好的主意,或者说很好的设想。但他们自己未必有足够的时间和足够的精力去实现这些设想。从这方面来说,研究生就是他们最好的科研助手。从研究生方面讲,他们在导师的指导之下集中精力攻克一个科

学问题,其意义不仅是解决了一个具体问题,更重要的是从导师的指导和自己的实践中学会了从事较高水平的科学研究的方法,培养了从事较高水平的科学研究的能力。

研究生和导师从理性上说是这种老板和小工的关系,但从人际关系上说,又是一种人格平等的关系。研究生见导师,很少严肃地称呼某某教授,通常只是喊一声“Hi!”打个招呼就代替了正式称呼,接着就开始正式的话题。研究生对别人谈及自己的导师时,一般就称为“老板”,我老板如何如何,老板要我如何如何。大体上说,研究生和导师在一起的时候,看起来就像两位平起平坐的先生在聊天,极少出现一方趾高气扬,一方毕恭毕敬的局面。事实上,研究生常常成为导师的很好的合作者,这种合作关系有时还会延续好多年。李天岩走进约克教授的办公室时,“Hi”这么打个招呼问声好就进入了话题,不过用中文念起来,“意译”成“老板,有什么小题目做吗?”比较上口。

博士研究生的期限一般是四年,少数是五年,个别的更长。当然也有一些是不足四年就取得博士学位的。

四年的时间里,头两年选读一定数量的课程,通过考试,即博士研究生资格考试,便取得硕士学位,开始做博士学位论文。在中国,硕士研究生阶段和博士研究生阶段是分离的,总的期限拖得比较长,取得硕士学位之前一定要完成硕士学位论文并答辩通过。在美国,大学毕业生就可以申请当博士研究生。当了博士研究生以后,只要通过研究生资格考试(Qualifying examination,也有些大学叫 General examination,可译为研究生大考或总考),就自动取得硕士学位,开始专心做博士学位论文。所以,对于博士研究生来说,取得硕士学位只是攻读博士学位过

程中的一个副产品,一个阶段性标志。

博士学位论文所研究的问题(中国一般喜欢说课题)应当是某一学术领域中比较大的和比较重要的问题。但是,博士研究生常常还考虑和研究一些别的问题。这一方面是因为兴趣广泛、学业上也有余力,另一方面,考虑一下别的问题,脑筋上也可以调剂休息一下,到头来对解决学位论文主攻的问题也是有好处的。这种学位论文课题以外的问题,有的是研究生自己发现自己找来做的,有的是研究生向导师讨来的。这类问题的意义有大有小,大的会是一项开创性的工作,小的只相当于做一次练习题。现在李天岩走到导师约克教授的办公室讨“小题目”做,这“小”字只是一种习惯性的泛指。

约克教授望着学生,沉默一阵,说:

“好的。我有一个很好的想法给你!”

“您的想法是否好得足以在《美国数学月刊》上发表?”李故意问。

大家知道,美国在数学方面的专业性学术组织主要有两个,一个是美国数学会,一个是美国数学协会。相对来说,美国数学会更加强调学术研究,而美国数学协会则比较注意数学的普及工作。美国数学协会主办了一份学术刊物,叫做《美国数学月刊》。这是一本面向大学生和高中数学爱好者的数学杂志,主要介绍数学进展,兼有书评、问题征解等栏目。由于《美国数学月刊》把普及介绍纳入办刊宗旨之中,并且以数学爱好者为重要读者对象,就不像其它数学刊物那样高深,那样权威。所以,数学家如果取得什么重大的研究成果的话,是不大会考虑送到《美国数学月刊》这样带普及性的刊物去发表的。李天岩故意问约克教授他的好想法(如果成功的话)是否好得足以在《美国数学月