

在清华

听讲座 (之二)

科技人文普及读本

曹南燕 主编

培根说：科技的力量取决于大众对它的了解
本书将带你走进清华课堂，聆听来自科技前沿的报告



清华大学出版社

在清华

听讲座 (之二)

科技人文普及读本

曹南燕 主编

清华大学出版社
北京

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目 (CIP) 数据

在清华听讲座. 2: 科技人文普及读本/曹南燕主编. —北京: 清华大学出版社, 2005. 8
ISBN 7-302-11440-4

I. 在… II. 曹… III. ①自然科学—中国—文集 ②人文科学—中国—文集 IV. Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 083364 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 周 菁

文稿编辑: 王巧珍

印 装 者: 北京牛山世兴印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 153 × 223 印张: 13.25 插页: 1 字数: 161 千字

版 次: 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11440-4/G · 633

印 数: 1 ~ 4000

定 价: 22.00 元

序

在现代科技革命的推动下,以工业为主导的高技术的发展,扩大了人类改造自然的领域,提高了人类向自然作斗争的能力,从而把人类物质文明和精神文明推到一个前所未有的高度。世纪之交,世界各国为适应经济全球化大潮,纷纷调整科技战略和政策,积极发展高技术及其产业,大力加强科技创新。这一切不仅大大推动经济、社会发展,增强综合国力,也改变着人们的思维方式、生产方式和生活方式。

然而,现代科技革命带来了新成就,也引发了新问题和新危机。科学技术的这些发展并没有消除世界上的贫困和不平等,文盲和科盲仍充斥社会,环境污染、人口爆炸、失业、饥饿、恐怖活动和冷战思维仍然困扰着世界。在中国,如何使科技成果真正成为提高生产力的动力,如何让科学技术真正为社会、为公众谋福利这样一些问题也没有很好解决。这要求人们全面地思考科学技术与社会、经济、政治、文化、伦理等的各种关系。

大学阶段在人的一生中非常重要。在这个阶段,学生不仅要学习最新的科学技术知识,而且还应该在德智体各个方面得到全面发展。因此对大学生进行现代科学技术教育是提高其综合素质的一个重要环节。

考虑到清华大学大学生的特点,现代科技发展综合交叉的趋势,以及经济建设实际课题的综合性,我们邀请校内外的两院院

士、著名学者、学科领域的学术带头人和有关机关团体的负责人讲授自己最有研究的专题。

这些报告立足当代科技前沿、科学哲学、科技与社会的相互作用以及适应社会主义市场经济新体制、深化改革的重大政策等领域,为人们提供大量新信息、新概念和新方法。报告的内容结合当年形势和需要有所变动,其主题涉及科学技术前沿的若干理论问题、科学技术哲学问题、科学技术与国内外经济社会发展以及我国有关科技发展的重大战略问题,大体可以概括为四方面:(1)科技前沿:信息科学技术、生物科学技术,激光、核能、材料等其他技术,复杂性科学及其他新兴交叉学科;(2)科教兴国战略篇:马克思主义科技观,科教兴国战略,国内外科技政策,高技术产业和技术创新,科技革命与社会发展;(3)可持续发展篇:科学发展观,人与环境的协调发展,可持续发展战略;(4)人文科学精神与人文精神,知识结构与全面素质,创新能力培养,科学技术与伦理学,科学技术与艺术等。

为了使更多的人能从这些报告里受到教育和启发,我们曾整理了其中一些重要报告,于1996年出版了《来自科学技术前沿的报告》(刘元亮教授主编)。本书汇集了近几年来在清华大学全校博士生学位课程上专题讲座的一些报告文稿。还有许多精彩的报告因种种原因暂未收录,我们将陆续整理出版,以飨读者。

本书的出版首先要感谢多年来讲课的所有报告人,也感谢清华大学研究生院对本课程始终如一的关心和支持,感谢清华大学出版社的支持和鼓励,感谢参与整理录音文稿的所有师生的辛勤工作。

编 者

2005年4月

目 录

> > > > >

序 / (I)

生命、智能与信息科学 / (1)
——兼谈BCI对人工智能的挑战

演讲者：李衍达
(中国科学院院士，信号处理、智能控制专家)

用高新技术促进传统产业的技术进步 / (30)

演讲者：柳百成
(中国工程院院士，机械工程专家)

生命伦理学与人的克隆问题 / (42)

演讲者：邱仁宗
(中国社会科学院研究员，北京大学医学教授，医学伦理专家)

环境保护与可持续发展 / (64)

演讲者：钱易
(中国工程院院士，环境工程专家)

> > > > >

> > > > >

超越简单与还原 / (85)
——复杂性范式的兴起

演讲者：吴彤

(清华大学教授，科技哲学专家)

科学思想的三大转向 / (104)

演讲者：董光壁

(中国科学院研究员，自然科学史专家)

现代化百年回顾与展望 / (122)

演讲者：何传启

(中国科学院研究员，科技政策、现代管理专家)

在李约瑟之后 / (155)

——关于中国科学技术史研究的若干编史学问题

演讲者：刘兵

(清华大学教授，科学史专家，著名科普作家)

气功、伪气功与特异功能 / (172)

——揭示法轮功、伪气功和特异功能的诡秘

演讲者：张洪林

(中国中医研究院研究员，气功研究专家)

> > > > >

生命、智能与信息科学

——兼谈BCI对人工智能的挑战

演讲者：李衍达

演讲时间：2003年10月29日

一、信息与生命

导出今天讲的这个问题是人类基因组计划的进展。人类基因组计划初步完成的结果就是测出人类的基因组碱基的排列，这就提供了大量关于人类基因组的数据。完成这项工作以后，怎么解释这些数据就成为对分子生物学的一个挑战，解开这些数据之谜显然会使我们对生命的机理、生命的本质有更好的理解。解开基因组数据或生命之谜的一种可能方法就是将分子生物学和信息科学结合起来进行研究。

信息科学和分子生物学的结合是不是能够为我们理解生命之谜找到一把钥匙呢？我要讲的内容首先是分子生物学给我们提出了什么样的挑战性问题？然后再从四个方面来说明一下信息科学可能给我们解开基因密码之谜提供什么样的可能性？

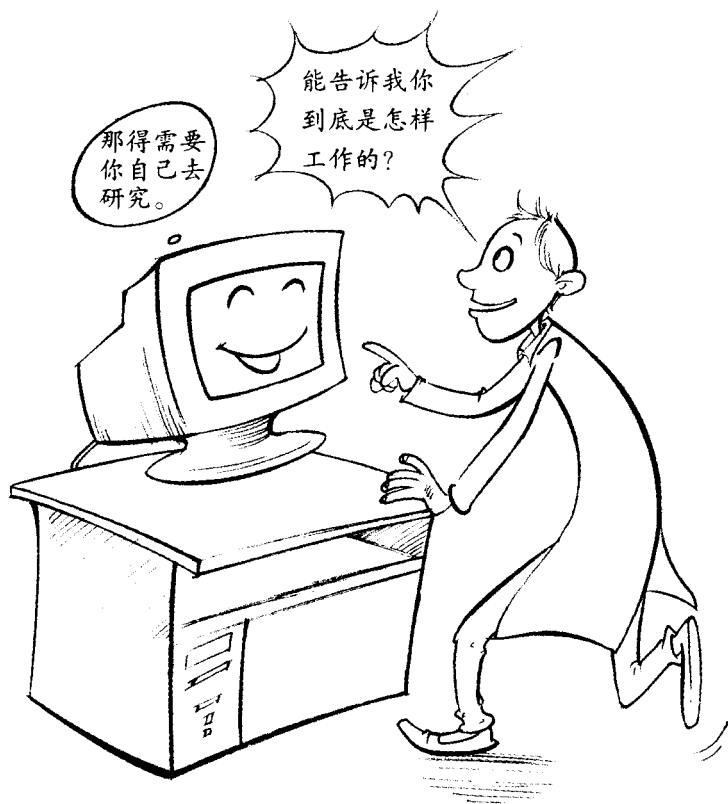
首先讲分子生物学研究面临的一些新的挑战。人类基因组计

划实际上是给人们提供了大量的关于基因的数据。基因组数据量以指数形式增长,所以人们现在面临着大量的基因数据。但是,对这些数据怎么来理解,特别是关于基因组的表达、它的调控过程、蛋白质的结构和蛋白质的功能,这些问题的研究随着人类基因组计划的完成,将成为大家所关心的问题。

事实上,去理解一个生物系统,如果仅了解它的各个部分,比如说了解它的分子、了解它的基因还是不够的。同样重要的还要理解这些生物分子是怎么样相互作用的。对这个相互作用的理解和对于基因本身的理解具有同等的重要性。例如,我们仅仅知道基因组碱基的序列,对于理解生物怎样发育的、怎样发挥它的功能是远远不够的。我们还必须知道这个基因是怎样表达出来的、怎样调控的、怎样确定这个细胞何时可以分裂、而不同基因之间又是怎样协调工作以便完成很复杂的任务的。

虽然科学家对于复杂的生物系统进行了很多基本成分的研究,比如说把它分解成分子,最后分解成基因。对基因我们也进行了很多的研究。但是,即使是我们知道了全部的生物分子的情况,我们还是不能理解生物系统的功能。因为生物分子间有很复杂的网络般的联络,其间很可能还有很复杂的正反馈和负反馈的作用。所以只知道生物分子内部的性质还是不能够理解生物是如何工作的。举个例子来说,即便你知道了硅的物理性质,你也知道了晶体管,甚至了解每一个电阻、电容的性质,你还是不知道计算机怎么工作,你还是不会理解计算机怎么能具有很复杂的功能的。所以你要理解计算机,光理解元件是不够的,还要理解计算机是怎么编程的,它怎么样能够利用程序把所有这些元件的功能联合起来、集成起来。

有些科学家正确地指出,我们已经知道了细胞内部的大量情况,现在需要知道的是它们是怎样集成的。生物学家虽然花了几



十年，企图像物理学家一样以理解最基本粒子的方式去理解生物系统。但是，当基因组解出来以后，现在就是应当以系统的、综合的观点去理解生物系统的时候了。以系统的、综合的观点去理解生物可以说是现在分子生物学研究提出来的新的挑战性的问题，而这一步也是我们理解生物的最关键的一步。这个挑战不仅是我们进一步理解生物，而且也可以说是理解生命本质的重大的一步。生命的本质不能够仅仅用它的各个的分子去理解，还应该用系统的、综合的观点去理解，才能够真正理解生命的本质。

按照这种看法,可以看得出来,生物学研究有它的新的趋势,而这种新的趋势也有新的意义。第一个新的趋势是,生物学正在从一个描述性为主的科学向着定量性、可以预测性的方向发展。大家知道,很多生物学研究都是以实验为主的,而生物学家往往是描述实验的结果。但是现在只有这种描述就不够了,这种定性的描述已经不能满足人们的需要了。人们还希望向定量的方向发展,向着可以预测、可以了解、可以分析它的功能的方面发展,这是一个发展趋势。

第二个发展趋势是生物学,尤其是分子生物学,正在从以分析为主走向将分析和综合相结合的过程。由于生物体从微观一直到宏观都表现出一种复杂系统的性质,因而对生物体的综合就要用多种手段、综合多种信息进行描述。这个任务是极其艰难的。根据这种趋势就要将物理学、数学、信息科学和生物学相结合,发挥出交叉学科的优势。如果这个结合搞好了,生物学在新世纪将会产生突破性的进展,也将成为我们理解生命本质的重要的一步。

用系统的、综合的观点去理解生物对我们来说有什么意义呢?

第一,这样的理解对人类的健康和医药的发展是非常重要的。很多人体的疾病是产生在基因表达的过程,也就是产生在基因之间调控的过程。如果我们理解了生物分子之间是怎样相互作用的,那么我们就能够理解这些疾病产生的原因,从而可以用新的医药去治疗这些疾病。如果我们了解了病毒是怎样决定它什么时候复制、什么时候休眠,如果我们理解了病毒传染的机理,我们就可能生产新的控制病毒的药物。所以了解生物的调控机理对于发明新的药物是非常重要的。

第二,我们可以说,用系统的、综合的观点和分析的观点相结合去理解分子生物学、去理解生物系统非常有助于我们对中医理论的理解以及对中药作用的分析。大家知道,中医很早就从系统

的观点、从辩证的观点来看待人体。中医很讲究人体的营养平衡,讲究总体的调节。正是在系统和综合的观点上,生命科学现在的发展是和中医理论很符合的。因此如果我们能从分子网络、从分子生物学的观点再加上系统的调控观点去理解人体,那么我们很可能使我国的中医理论和中药的发展有一个现代化的基础。

另外,对于生物调控机理的理解也可以使我们更深刻地理解生物是怎样发育的,怎样进化的,从而使我们对生态系统的了解,对生态环境的了解达到一个新的高度。这很有利于我们保护生物的多样性,保护生态环境,营造一个更有利于人类发展的环境条件。对生物的更深刻的理解还可以反过来影响其他学科的发展,尤其是信息科学的发展。大家知道,信息科学有很多方法都是从生物的机理中借用过来的。比如说,人工神经网络的研究就是对人的神经元的一种简化后提出的模型,叫人工神经网络。再比如说,信息科学里经常采用的遗传算法、进化算法,这都是借用了基因的遗传和进化的机理从而产生出来的。举一个近期的例子。我们进行人工生命的研究,实质上就是对生命特征的一种模拟,比如说,可以自繁衍、可以变异、可以进化、可以对环境进行自适应,还可以有死亡,等等。通过对这些具有生命特征事物的研究,从而提出一个可以实现这些机理的信息系统。所以我们可以预期,对于生物的调控机理和特性的分析,将会对控制论,对系统的优化理论,对复杂系统理论,对智能技术等产生深刻的影响。反过来,对其他学科也会有很大的好处。

目前,由于看到这些前景,一些发达国家,特别是美国,已经陆续采取一系列的新措施来迎接这个新的挑战。主要的措施就是建立起新的交叉学科中心,将物理学、信息科学和生物学方面的专家结合起来,并投入大量的资金,从不同的途径,使用不同的方法,去探索复杂的生命系统。举个例子,比如说普林斯顿大学,他们这个

方面的研究中心着重于探索基因和蛋白质网络怎样相互作用的。斯坦福大学也正在筹建新的多学科研究中心,开展这方面的研究。据我们了解,他们研究的重点正是以系统的、综合的观点去研究生物系统。侧重于发展所谓系统生物学,也就是综合各种信息来了解复杂的生命过程。比如说细胞之间、基因之间是如何相互作用的,这些都成为他们研究中心的主要研究课题。这个动向就是响应这种挑战而提出来的措施,是值得我们充分重视的。

下面我从四个方面来谈谈信息科学给理解生物的机理提出什么样的可能性。

第一个问题,谈谈生物的调控机理和控制论。在生物学中,我们现在研究的是生物体内部怎样调控的机理。大家知道,控制论是研究系统内部调控规律的。所以谈到生物的调控机理,我们就很容易想到生物的调控机理和控制论是不是有共同的地方。我们知道,事实上控制论的创始人维纳在研究控制论的初始阶段就认为,动物和机器是遵循相同的控制和通讯规律的。所以他写的著名的著作《控制论》的副标题就是“关于在动物和机器中控制和通讯的科学”。也就是说,在维纳看来,生物和机器的调控是服从相同的规律的,而且他开始研究控制论时是和一部分医学家一起去研究人的调控机理。他本人又是研究雷达控制、机器控制的,他把生物和机器的作用机理进行对比而总结出控制论。

就维纳的这个观点,以前曾经遭到我们的批判。至少我在1958年的时候就批判过维纳,当时就认为人是万物之灵,怎么能和机器等同起来呢?所以就认为这是违背常识的。机器就是机器,人就是人,二者是不相等的。很长时间以后,现在的研究又说说明维纳这个论点是有道理的。维纳研究的控制论在最早还是研究生物的控制,进而和机器的控制结合起来。

所谓控制论,就是用系统的观点来分析系统内部的各个部分

之间怎样相互作用,以及这些相互作用所产生的系统整体的特性是什么样的。这是控制论的本质问题。所以可以说,控制论是从一个更概括的理论高度来综合一切控制系统所共有的特性。当然,在维纳当时所处的 20 世纪 40 年代,分子生物学还没有像今天这样发展起来,维纳所研究的动物机体的控制机制主要是从宏观的角度来研究的。比如说,他研究有些病人由于神经传导出了毛病,结果就影响了他的整体行为而发生错误。再比如说,他在书里



写了一个例子,一个染了梅毒的病人因为使他的脊椎神经受到损害,所以他的本体感觉就传不上来。什么是本体感觉呢?一个人要走路,他的脚着地就要有感觉,身体移动得有感觉,这个感觉通过神经系统传到脑里,它就知道人是处于什么姿态,人和环境是什么关系。它通过本体,就是通过人的脚和人的动作等把这个信息传过来。所以你闭上眼睛也可以走路,因为你有本体的感觉,一旦这个本体感觉的神经被切断了以后,脚的姿态就传不到脑袋里了。怎么办呢?人要走就得靠眼睛,用眼睛去判断脚和地面的距离,只有这样一个通道去理解,那么这个时候人的走路就变得很可笑。他走路眼睛看着脚,看着地,脚要抬得高高的,迈出去远远的。所以走起路来就是非常可笑的样子,而且往往不稳。假如眼睛闭上的话,他就会摔倒,站不住。大家可以实验一下,你闭上眼睛可以直立,甚至单脚都可以直立。什么原因呢?因为你有本体感觉。本体感觉一切断,这个人就不行了。而这种机理、这种现象根据反馈原理是可以机器模仿出来的。另外他还发现一种病:小脑出了毛病就使得综合信息处理器出问题。虽然他的眼睛和手是没有问题的,但这些信息无法综合。当小脑出了毛病时,这个人的动作就很可笑了。坐在那里是没有事的,你给他一杯水,他就有问题了,他的手总是在杯子边绕来绕去,就是拿不着杯子。即使你把杯子放在他的手里他也喝不上,一到嘴边杯子就来回晃,这是一种振荡现象。这种振荡现象在自动控制系统里也有。如果你的自动控制系统设计得不好,它就会振荡。这种机理是可以通过自动控制的机器来实现的。通过这些比较,他发现,原来人的控制和机器的控制原理是一样的,这就是当时维纳做的工作。所以,他得出了一个结论:不论是机器还是人,都是符合控制论原理的。这是宏观的情况。

到了微观,到了最近分子生物学的发展,到达分子水平,微观

水平是不是符合控制论的原理呢？这又是另外一个问题。可能宏观是符合控制论的，而微观不符合。很多生物学家做了与这有关的工作。大家知道，在分子生物学里有一个模型叫做乳糖操纵子模型。就是假设有一种分解乳糖的功能，使乳糖进入身体可以被分解掉，使身体内部的乳糖能够维持一定的水平。到底怎样才能使乳糖维持一定的水平呢？这个机制是怎么进行的呢？有一些科学家进行了分析，提出了一个模型，就叫乳糖操纵子模型。这个模型与实验相符合，所以大家认为这是很成功的一个模型。但是当你把模型中乳糖等的名字去掉以后再看这个框图，就是一个典型的反馈控制系统。从这个角度我们就知道了，生物在微观的层次、分子的层次，它也是按控制论原理来调控的。

既然生物从宏观到微观都是符合控制论原理的。我们就可以说，如果要研究生物的调控机理的话，恐怕要用控制论的原理去分析它。其实想想也不奇怪。如果人体的宏观是一种控制原理，而微观是另一种控制原理，这是不合理的。因此，我们可以说，理解生物分子之间、生物组织之间以及生物整体之间的互相作用的工具中，可能其中的要素之一就是控制论。所以一个看法就是生物的调控机理可以用控制论加以描述。

第二方面工作，生物的控制机理和信息模型。控制论除了把动物和机器的共同特性抽取出来以外，其实还有一个非常重要的思想，这个思想可能许多学控制论的人都没有注意到。它就是认识到控制里面最关键的一个问题，是反馈，这是控制论的一个最基本的概念。而反馈是指信息的反馈，任何一个控制系统都包含了一个信息的接收、存储和加工的过程。或者说，决定控制系统性质的是控制系统内部的信息系统。大家知道，控制系统有它的物料系统、能量系统和信息系统。决定控制系统的关键是它的信息系统。因为反馈是信息的反馈，所以根据这个观点，我们要研究生物

系统的调控过程；关键一点是要研究生物分子里面信息的接收和处理的过程，而不是研究生物分子的物料系统和能量系统。

20 世纪 60 年代以来，细胞内外的信息传递问题已经为生物学家所发现，而且越来越多地受到分子生物学家的重视。现在生物学家已经发现了大量的载有生物信息的活性物质，比如说，激素、神经递质、细胞因子，等等，它们之间可以进行信息交换，不同的因子可以作用于同一细胞，而且一种因子也可以作用于多种不同的细胞。也就是说，大量的活动的小生物分子，它载有信息，在细胞内外进行信号的传导，进行信息的交换。据最近统计，分子生物学的文章里第一位的、最多的文章就是信号传导的文章。就是说，哪些蛋白质，或是 RNA（核糖核酸）传递信号，这种信号是怎么传递的，怎么结束的，成为大家注目的焦点。这其实正好说明了一个问题：这种信号的传导对生物的调控起着关键的作用。这正好也说明了调控系统内部最关键的系统是信息系统。

最近科学家发现了新的信息载体——传递信息的物质，比如一氧化氮——更加深了我们对细胞内部信息传递的认识。生物的信号在不同的时间、不同的空间，按指定的程序对生物体的各个部分，根据环境的情况进行严格的、符合统计学条件的调节和控制，这就是生物的内部调控机理。所以要了解它的调控过程，就要了解事物内部的信息模型是什么，它的信号是怎么产生的，怎么传递的，怎么处理的。根据这些，我们就发现生物的内部信息传递是非常复杂的。有人画了一个图，仅仅画了一部分，就发现它像蜘蛛网一样，像迷宫一样，是非常复杂的一个图。

由此我们就联想起了其实人类也遇到了这样复杂的图。比方说，现在的互联网正是这样复杂的图，它们互相之间的联系非常复杂。简单点说，比如通讯网，也很复杂。千家万户都打电话，它们之间是怎样调控的呢？为了使通讯网能够很有序地工作，人们发