

书名：像外行一样思考，像专家一样实践——科研成功之道

[日]金出武雄 著

马金成、王国强 译

第一章 像外行一样思考，像专家一样实践

第一节 海空天空的构思

美国人常说：“金出教授的头脑很活跃啊。”大概是因为我经常大声说笑的缘故。我常常认为，不能把研究工作当做一件很严肃的事情，应该把它当做一件有趣的事情去做。我这里说的有趣，是指精神上的放松，但内心仍然要认真对待。——那种感觉就像和很在意的人见面时候的感觉一样。

美国的研究现场充满海阔天空的思维方式

我从小就十分乐观，自从到美国生活后，更加磨炼了我这方面的性格。在美国的这二十多年来，我在美国的研究现场有很深的体会，与日本相比，研究过程更加自由，更加豁达，思路更加开阔。

在美国，研究者是通过竞争为自己争取研究经费的。负责分发经费的组织给出研究资金募集的条款，我们则根据这些条款提出研究的方案和完成所需要的金额，并进行申报。如果被采用了，便会获得研究经费。

在这些提供经费的组织当中，首当其冲的则数国防部的 **DARPA** 组织，它为用于技术开发的大学和企业提供的资金是最多的。**DARPA** 组织几年前曾经提出过一个奇怪的招募事项——“征集只有用现在不知道的方法才能解决的项目提案”。

对于这样的提案，首先是要论证用现在已经知道的方法不能解决，要是自己有什么新的想法，则要写上“可能解决”等这样的字眼。

曾经有人问：用数学方法解决的问题算不算呢？得到的答案是：数学是一种现在已经知晓的方法，所以不能接受该提案。这样的征集简直就像是在骗人。

国防总部都是这样的。但是他们提供的资金却相当可观。一个项目的经费是以几亿日元为单位的。

不仅国防总部，就连我的大学，卡耐基 梅隆大学也是这样，每年也都要进行像“**Wild Idea Fund**”这样的项目征集。所谓“**Wild Idea**”，就是不寻常的，甚至可以说是一些听起来很荒谬的想法。学校将向这一类的想法提供研究资金。

然而在美国社会，对这些荒谬、可笑，甚至荒诞无稽的想法，如果仔细考虑的话，会发现其中有值得认真去做的地方。

三维国家全景图、灰尘传感器、苍耳子

在美国，一年中收视率最高的节目应该是一月份播出的，在超级碗举行的职业美式足球冠军

争夺战。我在 2001 年 1 月开发了一套用于球赛转播的三维影像系统。这套系统是利用放置在球场四周的机器人摄像机，形成可以在观众周围环绕显示的影像。那种效果，就像是电影《骇客帝国》中高潮的那一幕。

2001 年“9 11”事件以后，全美国对保安和监视系统的兴趣越来越浓。

正是由于我发明了这套系统，所以就不断地有人问我能不能将系统扩充，制作出国家的三维全景图。“如果要是阿富汗境内放飞数万个带有超小型摄像机的气球，使之覆盖全境，从而形成山地的三维影像，不就能轻松找到拉登的藏身之处吗？”

还有人说：要是能散播几十万、几百万像灰尘一样大小的麦克风，不就能监听人们的脚步声或是汽车的噪音等等各种各样的声音了吗？甚至还给出了如何收集监听信息和防止麦克风被吸尘器吸走的方法。他们还说：在灰尘上装上小镜子，飞机飞行时从空中向地面发射激光，灰尘就会被带动、调整镜子的方向，像西部剧中印第安人采用的通信方式一样，通过闪光以 1、0 传递信息。这个被他们称为灰尘传感器。

进一步想，在识别人的时候仅用监视器的话，如果巧妙化装一下就很难辨认了。要是可以散播像苍耳子一样的小机器人，就可以通过被粘着人的血液识别其 DNA 来进行辨认，诸如此类还有很多奇特的想法。

然而在美国，真的有人为这种想法提供研究资金。

好的构想正是来自于荒唐无稽的想法

如果你认为上述的那些事情无聊、太傻，那么你一定是个认真的人。认真的人做事情的时候，一定会尽力避免失败，一步一个台阶迈向成功。但是，为了产生出好的构想，发明出独创的技术，极端一些，可以说是荒唐无稽，通常我们称之为思想的飞跃。这一点，对于研究者是必不可少的。

而从现状出发，进行逻辑推理，最终得出结论。像这样的思考方法就很难实现飞跃。要想成功的话就直接从结论起步去做，也就是要从希望的结果开始做下去。这就是一种外行人的思考方法。

外行人也能做出“结果可能是这样”诸如此类的假设。但是，除非是经过训练的专家，否则要想证明“一定就是这个结果”，则是非常困难的。

人工智能研究的始祖之一、图灵奖和总统奖章的得主、受人尊敬的卡耐基 梅隆大学的大师级人物—— A 纽维尔教授经常会满含热情地对学生讲：“世界上有这么多‘为什么呢？’‘要是能解决那些问题该有多好啊……’像这样的问题。每一个问题都仿佛在呼唤着：‘解决我吧！弄清我吧！’像等待着恋人那样在等着我们这些研究者去解决它们。”

我们应该怎么回答那些问题呢？研究就是要针对那些问题，与自然、与天意进行交涉。

“我要这么解决。”

“原来如此，这样就行了。”

“不行，会很麻烦，不要这样啊。”

在这样的交涉过程中，总结出结果，研究也就可能成功了。

第二节 有点幼稚、天真、牵强的想法

有些经过不断尝试终于成功解决的问题，后来发现解决过程完全没有按部就班进行，包括我在内，想必大家都有过类似的经历吧。而在我们尝试过程中所产生的想法，甚至在本书中要列举的重大成就，其最初阶段的想法实际上都是有点幼稚、天真、甚至是牵强的，可以说是外行人的想法。但想要产生伟大的成果，没有知识和技术是远远不行的。

大陆漂移学说

20 世纪初期，德国气象学家 A 韦格纳有一次在远处看世界地图的时候突然发现，相隔大西洋的南美洲大陆东侧海岸线与非洲大陆西侧海岸线的形状极其相似。如果剪开地图把大西洋拿走，并将两块大陆拼接起来，很不可思议地，对接得非常整齐。之后他就在想，是不是大陆原本就是连在一起的，而后分开，像冰山一样浮在海上移动形成了现在这个样子呢？这个就是著名的《大陆漂移学说》。当时，大多数人都认为《大陆漂移学说》是异想天开，不可信，他的学说也逐渐被忘记了。到了 20 世纪后半期，《地球板块移动学说》（地球表面是以几个板块为单位水平移动的）的出现和发展，才使得《大陆漂移学说》有了定论。

这真是富有戏剧性。韦格纳的《大陆漂移学说》并不只是以地图剪下来能整齐拼接为依据的。他是一个科学研究者，当然会进行一番研究，并且发现两块大陆上都栖息着同种蜗牛等生物，还有很多岩石种类、冰河遗迹等证据。但是，大陆漂移在海洋之上这种外行人的想法，还是因为无法简单进行说明而没有得到人们的相信。

事实上，数年以后出现的《地球板块移动学说》，不能简单地说是《大陆漂移学说》的补充，它还揭示了海洋底部是以海洋中的海岭为轴线向两侧不断扩大，不断生成。它是地球物理学中的一个崭新理论，当然，这个理论也是在正确观察的基础上而得出的。

从刚开始的构想到最终的实践，我们能从这个例子中获取很多有用的启示。其实，很多人都会发现两块大陆的海岸线形状非常相似，特别是一些非科学研究者和小孩子。而把这种看似幼稚的观察结果与古生物学和地质学的知识结合起来，从而创立《大陆漂移学说》，就算是气象学家的韦格纳，也给人一种“外行人想法”的感觉。与此同时，《地球板块移动学说》则是从实践出发而上升到一个新的理论高度，靠的是地球物理学中缜密、专业的观察与理论。

海岸线长度不一致

通过互联网我们可以查出，日本海岸线的总长度是 34 000 km。但这个数字准确吗？是怎么测量出来的呢？取出一份日本地图，用细线沿着海岸线描，绕一圈所需要的细线的长度再乘以地图的比例尺就能够得到海岸线的实际距离。这种做法想必大家都知道，但是大都没有自己尝试过这样做吧。

但有人却这么做过，他就是 IBM 沃森研究所的研究员，B 曼得勃罗博士。但奇怪的是，即

使是同一个出版社的地图，测量出的结果也不一样。比例尺越大（更详细的、放大更多的）的地图得到的长度越长。到底什么样的结果是正确的呢？

这个时候，如果谁一副万事通的样子解释说：“比例尺小的地图会省略细小的海岸线凸凹，所以得出的长度当然短啦！”然后，自己也恍然大悟“原来是这样啊”，如果大家都接受这样解释的话，那就没有曼得勃罗博士的发明了。

曼得勃罗博士将一定比例尺的海岸线凸凹放大，发现它是由相同形状但比例缩小的凸凹反复重叠而成的。打个比方说吧，将东京湾的海岸线放大，发现它是由各个形状类似于东京湾的横滨港、东京港、千叶港、木更津港等的海岸线组成的。而横滨港也是一样，由更小的相似图形反复重叠组成的。像这种性质叫做自我相似（物体是由本身自我相似的几何物所构成的）。而自我相似图形是没有特定长度的。

曼得勃罗博士把具有自我相似性质的图形（原本是数学研究的对象）命名为分形，从而创建一个精妙的数学理论。现在，分形在以计算机图形学为首的各种领域里得到广泛应用，是一种非常重要的理论。

分形的发明，有赖于曼得勃罗博士对自己的实验充满坚定的自信。但最后的实现并不能靠单纯的观察，而是靠更高级的专业知识。

在研究的过程中如果没有数学这个专业工具是绝对不可能成功的。

内容宽泛的理论

麻省理工学院（MIT）的 M 明斯基教授是 MIT 人工智能研究所的创始人，并且长期担任所长一职，是人工智能研究的象征性人物。明斯基教授博学多才，学数学出身却在神经生理学、计算理论学、心理学、物理学、电气工程学、机器人等众多领域有着很深造诣。他不仅在人工智能方面，而且在计算机的大部分领域都有着极大的影响。当然也曾获得过图灵奖。他最著名的成就是 20 世纪 70 年代初期发表的，有关于智能的一般说明性的框架理论。

在这里没有必要赘述该理论的详细内容。但我想要说明的是，这个理论不仅应用在人工智能方面的研究，而且对于对象语言、代理等当今各种计算机的新技术及其发展，都产生了重大的影响。

明斯基教授在人的心理现象、神经回路构造、计算理论方面都有很深的造诣，所以他利用广博的知识，列举了很多例子与事实来说明其框架理论的正确性，的确具有很强的说服力。但是，仅就研究的问题来讲，这个理论与前面所述的分形不同，不是由严谨的数学理论所构成的，不能否认它多少有点含糊的成分。

那是 20 世纪 80 年代的事情，有一次我参加一个会议的时候，与明斯基教授和一个卡耐基 梅隆大学的研究生共进早餐。美国的研究学者有一个特征，就是在饭桌上也不会停止讨论研究课题。那次也不例外。

席间，明斯基教授说：“有人说框架理论含糊，可自从我发表了这个理论以来，在自然语言解析领域里已经产生了 200 多篇使用框架的研究方法得出的博士论文，这些成果怎么没有人

说呢。”而后，那个研究生就问：“明斯基教授，可不可能以后发现了某种新的现象会证明您的框架理论不正确啊？”像明斯基教授这样的大师与一个研究生边吃早餐、边面对面讨论问题的情景，也就是在美国才很容易碰到。明斯基教授兴奋地回答：“绝不可能！为什么这么说呢，因为框架理论中包含了神经生理学、计算理论学、数学、心理学等等目前所知道的理论。并且，这个理论足够含糊，无论是什么新的现象都可以包括进来的。”

我当然没有见过韦格纳，但曼得勃罗博士和明斯基教授的话都是直接听他们本人说的。想必以后在说明这些理论的时候，为了使其精髓简单易懂，这些话会演变成例子或逸事。当然这其中可能会有编造和夸张的部分了。

但是，我们可以清楚地看到，这些科学家在思考问题的时候是多么单纯与天真啊！

第三节 跳出现有的成功

作为一个研究人员，我的座右铭是“像外行一样思考，像专家一样实践”。为此还拜托一位书法家挥毫泼墨写了这几个字并挂在屋子里做装饰。我认为研究与开发的有效方式就是要像一个没有专业背景的外行人一样去发挥自己的思考方式，想出点子、创意，然后像专家一样缜密地将其实现。

但作为一个专家，要想他跳出自己的知识领域和以往成功的经验往往是非常困难的。

身为专家要有舍弃固有思想、大胆创新的魄力与勇气

对于外行人来说，因为没有相关的知识和经验，所以不会束缚于固有的观念，可以大胆想像。他们一切构想的根源都是“我想要这样”，而并不是“能不能实现呢”。他们都抱着一种“能实现”的积极的态度。

而称为专家的人早就形成了一种“像这种场合，应该这么做”的固定思考模式。就算没形成，也很容易被困在通常的做法中，很难产生飞跃式的想法。因此，某些已经存在的、成功了的方法、经验和知识是导致想像力匮乏、缺少创意的主要因素。

发明现代计算机原型（可编程的计算机）的天才冯·诺依曼，在别人为其展示编译语言 **FORTRAN** 的构想时候，他还说：“除了利用机器语言编程之外，为什么还需要别的语言呢”。有的学生编写了将汇编语言转化为机器语言的程序，并使其在诺依曼的计算机上运行。诺依曼便对他们发火道：“在计算机上运行这种连平常办公人员都能做的东西，这根本就是徒劳嘛！”由此看来，专家的思维方式似乎有些可怕。

在此我不希望给大家造成一种误解，以为一定要由非专业人士和专家两类人组成的团队去解决一件事情。虽说现实中也可能有人用这种方式来组建团队，但我要说的是，无论是个人还是团队，思考的时候要像外行人一样无所顾忌地思考，而实践的时候要像专家一样缜密地实践。在推动研究前进的时候，自己要同时肩负起“想”和“做”的两种职能，不分开进行是行不通的。

所以，有时候为达到某种目标，就不得不放弃已经构建起来的体系。而作为一个专业人士，是否能达到目标，是否能实现构想，这其中的关键就是舍弃固有思想，具备大胆创新的魄力与勇气。

无论是谁都会很容易想到：“从成功中学习”，“从失败中学习”。而实际上“跳出现有的成功”往往是最难做到的。

要勇于反对别人的意见

前文中曾经提到过麻省理工学院的明斯基教授经常给人感觉是与众不同的，其实他是一个说话很直白的人。

有一次，我跟他一起做采访，我问道：“明斯基教授，您总是能在各种领域中想出很多引人入胜且能够引导新方向的构思。请问您的诀窍是什么呢？”他回答说：“这个很简单，只要反对大家所说的就可以了。大家都认同的好想法基本上都不太令人满意。”

这话听起来的确是一针见血的见解，其实也正是如此。

哥伦布在大家都向东航行到达印度的时候，反而选择向西航行，最终抵达并发现了美洲大陆。在大家都降低二极管中的不纯物浓度，以制造出更好的二极管的时候，江崎玲於奈博士却增加不纯物的浓度，从而最终发明了隧道二极管。

我虽然没有像他们这样了不起的发现和发明，但也有与此类似的经验。以前，用于各种产业的机器人的胳膊都是通过齿轮与发动机相连而获得动力的。其中的齿轮，是一个很麻烦的部件。因为有摩擦，所以会有喀哒喀哒的噪音（称做齿隙游移），而且其中的润滑油还会随温度变化而发生性质的改变，因此想要做出既快速又能够进行准确预测的模型的确非常困难。机械技术专家们都在研究怎样制造出更好的齿轮。

20 世纪 80 年代的初期，在卡耐基 梅隆大学，我与当时京都大学的助教、现任麻省理工学院的教授浅田春比古博士一起，突然想到一个观点——与其这样，那就试试把齿轮全部都卸掉吧。于是将齿轮全部拆掉，终于制造出将发动机直接植入关节内的机器人。这就是世界上最早的直接驱动型机械手。

由于除去了复杂的齿轮装置，因此可以按照牛顿公式记录机器人的运动情况。使用这个简单模型制造出的机器人，其运动速度比以往的机器人快十倍以上。于是我每次都对别人都说：“机械手是按牛顿先生的预测来工作的机器人。”

本书后面所讲述的“虚拟现实”技术和有关使用多个照相机的立体声理论，是我与当时佳能公司派来的研修生、现在东京工业大学的教授奥富正敏一起思考得出的。大家都知道所谓的立体声精度，是基线（两个照相机之间的距离）越长精度越高，我们说的与这个常识相反，使用多个短基线的立体声会得到更好的效果。

在日常生活中，与炒股的人聊天，他会告诉你买跌不买涨才是炒股的正确办法。

这样看来，明斯基教授的“反对大家的想法”，的确是正中要点啊！

没有抓住未来

给大家讲一个绝好的例子，这个例子说得是由于对目前的成功深信不疑，反而没有抓住成功。

据说发明“一人拥有一台个人电脑”这个概念并将其实现的是位于加利福尼亚州的施乐公司。帕罗尔多施乐公司的帕罗尔多研究所，于 1973 年开始设计开发，在 20 世纪 70 年代后半期就已经成功完成了名叫 Alto 的个人电脑。之后，出现并创造 PC 时代的 Macintosh（苹果公司于 1984 年推出的一种系列 PC）的功能及图标等概念，则完全包含了 Alto，已经可以说是一个更加高级的电脑系统的雏形了（还有的历史学家说 Macintosh 就是仿造 Alto）。

然而，在计算机产业的大名中，我们听到过 IBM、苹果、微软、索尼、东芝，但从没见过施乐的名字。这是为什么呢？与其说施乐公司错过了 Alto 的发明，还不如说是其根本没有重视 Alto 的发明。

施乐公司通过复印机租赁业务（每拷贝一张复印件收取一定的手续费）取得了商业上的巨大成功，获得了高额利润。它并不愿在意味着 PC 时代的 Alto 上冒新的商业风险。

施乐公司复印机业务的商业模式是这样的，如果用户拷贝得越快、拷贝数量越大，则它们所获得的收入就越多。所以它们就十分重视大型的高速复印机，正是这样，忽视了所有办公室的潜在需求，也就是“少量、便携、现场就可以复印”。结果呢，市场被理光、佳能这些企业的小型复印机所迅速取代，施乐公司慢慢失去了市场。即使是采用了严格管理的商业模式运作，取得了巨大成功的施乐公司，也许正是因为成就太大，也不能让他跳出现有的成功，的确是难上加难啊。

施乐公司在技术上做到了“像外行一样思考，像专家一样实践”，但在其商业运作上却没有能够抛弃专家的思维方式，于是错过了在微型计算机方面唾手可得的 success，不能不说是种遗憾。

在 D 斯密斯与 R 亚历山大所著的《Fumbling The Future（探索未来）》中，对这其间的经过有详细的分析，里面记载着一则 1979 年施乐公司的电视广告。

这个电视广告的情节大概是这样的，一个名叫比尔的主人公早上起床后，对着 PC 说：“早上好，今天会有什么邮件呢？”。这可能就是历史的讽刺吧！“比尔”正是施乐公司错过的，而后在 PC 时代称雄的微软公司总裁、世界首富盖茨的名字。

第四节 创新从省略开始

记得我有一次在与象棋名将羽生善治交谈的时候，他说：“创造就是省略。”“一个棋局大概会有 100 种可能的下法，而棋手都是根据感觉选择了两三种下法。其余的下法 90% 以上都是没有想就舍弃了。这就是省略了思考。然后可以选择的下法就开始多了。如果针对三种下法，每种有三手可以应付，其结果就是九种，这样不断分支下去，就可能需要考虑三四百手的下法。要决定使用其中哪一个分支来下，以人的能力是没有办法预料的，所以只有在一定程度上省略思考，决定这一步怎么下。”（《简单的、单纯的思考》PHP 研究所）

如果数量达到“阿佛加德罗数”，则计算机也不能全部检查

有人在计算机上运行象棋等棋类游戏。可能有人会想，现在的计算机运行速度这么快，把所有可能的下法一个不漏地检索一遍多好啊。我在这里要顺便说一下，在象棋 9' 9 的棋盘上，

可能的下法会有多少种呢？据查会有 10 的 30 次方种（1 后面有 30 个 0 这样的数字）。

在学校，我们曾学过“阿佛加德罗数”，其解释是说在零摄氏度、一个标准大气压的条件下，22.4 立方米气体（如果是水的话，则在相同条件下是 18 立方厘米）当中，含有的分子个数为 6×10^{23} 次方。这样的话，10 的 30 次方就是这个数字的 200 万倍，刚好是 3 万立方米的水中含有的分子个数。

无论计算机运行速度有多快，如果可能性总数达到“阿佛加德罗数”级，对于这样需要计算的问题，无论从计算量讲，还是从内存容量讲，要进行全部的运算是不可可能的。

那么羽生先生怎么样决定这一步棋该怎么下呢？根据他说的，面对一个棋局的时候，估计“大概就是这步棋，这么下吧”。似乎从全局来看就可以知道“这局面漂亮”或者“这局面有点糟糕”。不知为什么，人类就非常擅长发现这种模式。

简单、省略、抽象化——“理所当然”的悬崖与审美感
实际上我们研究者所做的研究也是从省略开始的。

在我们进行研究的时候，如果直接从复杂的现实开始思考，是无法顺利进展的。如果将发生的事情简单、省略、抽象化后再看，就会清晰很多，这是科学与工学的基本要求。

问题简单化的程度不够就会因为太难而不容易形成理论。一般来说，越简单化、抽象化就会产生越绝妙、越鲜明的理论。但是，这个简单化应该恰好与目的是相一致的、适当程度的简单。只有这样对形成理论才会有帮助。我们以前在物理课上学到的镜片弯曲度与力的关系等等，像这些简单的绝妙的理论，是思考现实中不存在的、理想化而得出的理论。

实际上，除了工学设计理论之外，就连物理学的法则，与其说是发现，还不如说是发明。对于牛顿定律，有人也这么说：“神也是遵循着牛顿定律让世间万物运动的”。而我觉得，它恰好解释了我们日常所见的各种运动现象。为什么说是“日常”，因为有证据表明，在量子力学的世界里，牛顿定律不一定能够成立。能否将想到的问题简单化，是成功与失败的差别所在。成功的人会向简单的方向迈进，而失败的人只会担心“变得这么简单了能行吗”，却不肯迈进一步。

理论越是适用于简单、抽象的问题，越具有价值。但是如果一味地向简单的方向前进，就会遇到“理所当然”的悬崖。也就是说，到了一种状态：如果再向前一步，就落入“理所当然”的悬崖，这时候，事情的状况明显就应该是那样的，是理所当然的，但不能形成理论。这表明了以最简单易懂的状态完成的理论，会是最优秀的理论。

省略思考过程，将问题简单到最合适的程度，这些是需要有预见能力的。拥有了这种预见能力什么事情都会一目了然。一般人们都会认为数学是由严密的理论所构成的学科，但获得过有数学界的诺贝尔奖之称的 Fields 数学奖的小平邦彦教授却说，数学是一门高度感性的学科，这种感觉叫做“数感”。举个简单的例子，中学时候学几何，有关于图形的问题，要是不在头脑中画出辅助线就很难解答。这靠的就是预见能力。

我觉得羽生先生所说的下棋时候的“漂亮的棋局”的感觉，正是这种预见的能力。我认为科

学和工学都是门艺术。平日，我经常对学生讲：“磨炼你们对事情的审美感。”人们经常以为现实世界的现象和事实没有什么构造可言。但是，在别人都认为没有的地方看到构造，这就是创意。

省略到什么程度是关键

我们在研究开发新系统的过程中，可以想到的解决方法有很多种。比如，在开发机器人自动运输系统的时候，“使用普通的摄像机吗？使用几个？”“激光、立体声、微波感应器怎么办？”“怎样区分人与车？”“避开障碍物的行走路线的方法是什么？”有很多这种问题。在此之中还有相当多的选择，“首先试试这个吧。”“就用那个吧！”“使用这个装置吧”“不行，相比较而言，还是用这个更便宜”，等等。

所有这些并不是要同时去做，需要决定在这些问题当中，应该从哪个开始。就像下象棋一样，要决定这一步怎么下。这就要像羽生先生说的，首先，应从省略开始。

从省略开始，也正是要决定省略到什么程度才能得到成果。提供资金研究的赞助商在意的是“无论怎么说，成果是最重要的。”可以说，研究就是与自然之间智慧的较量，无论怎么样说，只有胜出的一方才是好样的。所以在通往目标的道路上，胜利的关键就是决定省略到什么程度，从而能够很好地进行下去，是攻还是守，首先应采取什么行动是最重要的。

而项目领导的主要工作，就是给出行动方针。如果遵照项目领导的行动方针就能提高成功率的话，则更说明了那个人能够很好地理解领导给出的行动方针。

当我接受研究请求的时候，决定“是否能做到”，“需要多长时间多少费用能完成”等这些事情，只有凭自己的直觉。虽然也有不清楚的时候，但也要给别人回复。于是我只能先简略地回答“嗯，这个应该能行吧”，“那个可能有点困难”，“大概，这个程度的话需要五年时间，有这些费用也就差不多能完成了”。我还算是估计得差不多，基本上都对了。

如果仅仅拘泥于细小的部分，就不可能做出省略，结果就是没办法向前迈出一大步，什么时候都得不到理想的结果。

第五节 用情景推动研究发展

有一件令我感到非常自豪的事情，那是 2001 年 1 月 28 日，电视台在转播超级碗（职业美式橄榄球联赛冠军争夺战）比赛时使用了一个新的现场直播的系统。当时，世界上约有五亿人在电视机前收看了那场比赛。在那个系统使用了一个名叫“eye vision（幻影）”的机器人摄像的技术，它是受在世界上拥有广泛电视网络的 CBS 公司的委托，由我和我的团队开发的。

在超级碗的转播中露面的惟一一个大学教授

我还记得关于那次超级碗的转播，当天，比赛前，我得到了 25 秒的时间对“eye vision”的新技术进行解释。以后，我就带上了“在超级碗的电视转播中出场的惟一一个大学教授”的帽子。令人感到有趣的是，在美国这样重承诺的国家，我在超级碗转播上露面 25 秒的事情，竟然成了 CBS 和卡耐基 梅隆大学开发合同中的一项内容。

下面说明一下“eye vision”的构造，是和电影《骇客帝国》中有同样效果的系统。电影中，

在演员真实的表演周围放置一百台左右的摄像机，然后等到合适的瞬间同时按下快门，制作成照片，然后把那些照片按照顺序制作成影像。对于看电影的人来说，就好像时间停止了一样，就像电影中的那样，在人的周围同时飞起来。我们的目的就是在球场上做出同样的效果。

但是，运动场场地宽广，我们不太清楚在哪拍摄效果会比较好，也不能确定安放摄像机的地方，所以，我们在球场上方设置了 30 台机器摄像机来覆盖整个球场，并由场外的 CBS 转播车进行自动控制。

转播车中设有带有监视画面的类似移动摄像机的装置，并与场内的 30 台机器人摄像机全部连接。当该装置做出移动镜头或者变焦的操作时，计算机同时进行运算，输出相应的拍摄画面。所以，转播车中的摄影师根据拍摄的位置，对运动场内的摄像机可以自由地选择，从而得到最理想的拍摄位置。那种感觉，简直就像操纵着摄像机在球场中追着选手和橄榄球。计算机快速自动计算，控制那些其余的机器人摄像机，完全和手动摄像一样对选手或球进行跟踪拍摄。30 台摄像机把拍摄的全部照片以数字信号传送到转播车中，然后对每个摄像机拍摄的画面进行编辑，可以 360° 全方位地再现选手和球的移动状况。

如果使用“eye vision”，在拍摄的过程中，有些引人注目的瞬间镜头就好像电影《骇客帝国》中的效果一样被重现。例如，在四分位投球的那个瞬间，不仅是横向的拍摄角度，而且摄像机旋转，面对出手投球人的方向也进行拍摄。对于是否触底得分的微妙情况，我们可以停止时间，自由地将视点变换 360°，可以一目了然并做出裁决。

那次“eye vision”在超级碗中所体现出的效果得到了大家很高的评价。这项技术现在也应用在体育转播中，有投资公司想把这项技术投放市场，结果它的股价在两周内翻了六倍。以后的事情我就知道了……

虚拟现实——其实，很久以前就在做相关的研究

在我看来，像电影和电视等现在的视觉媒体，都有着共通的一面。当需要把现实中的景色拍成影像呈现出来的时候，决定如何呈现这个画面的人只有一个，就是导演。而观众是当然不可能选择观看角度的。

但通过结合三维画像处理技术与计算机图像技术，则完全可以取消这种限制。实际上，早在这个被叫做“虚拟现实”的“eye version”之前，我就开始研究使用多个摄像机的新技术了。

卡耐基 梅隆大学已经有了虚拟工作室，在像教室那么大的房间内，在四周的墙壁和天花板上安装了 50 台摄像机，将房间的中央环绕起来。每一个摄像机和相邻连接的摄像机组成立体的结构，然后这些立体摄像机就可以对所要拍摄的情景进行拍摄了。

如果在房间里开一个舞会的话，我们可以从 50 个角度拍摄，计算机会对各个拍摄瞬间的三维数据进行处理，然后，将屋子内发生的动作都作为数据流传入计算机。我们把它称为对它进行四维的数字化、虚拟化。就是我们经常说的虚拟现实，这样看来其实虚拟现实本身还是现实的，只不过是现实中的事情虚拟化了的而已。

如果我们可以对现实世界虚拟化，那么我们便可以做很多的事情了。例如，对于视听者来说，如果可以安装能够指定虚拟摄像机位置的软件，就可以自由地在虚拟世界里移动，甚至可以

合成、观察从平时很难拍摄到的位置和角度拍摄出的图像。

在虚拟工作室曾经记录了有名的外科医生所进行外科手术的过程,学生可以从任意角度进行观察和学习。不仅如此,还可以应用于自然动物园及自然环境的污染,等等。Eye vision 只是其中一个极其简单的例子而已。

做有意义的研究

经常有学生对我说:“我要做能让人感到震惊、有所触动的研究。因为这才是有意义的研究。”

相反的,有些人说:“虽然我不知道研究的到底是什么,但我终究解决了个难题。”这样可能很酷,但却对人没有什么参考价值,那就没有意义了。

虚拟化现实可能会催生一种全新的娱乐媒体。这样那些 NBA 和百老汇的狂热爱好者,就可以选择自己喜欢的座位欣赏了。要是能实时进行虚拟化处理的话,甚至可以随着选手和演员的移动而变换座位,或者将整个场景放在大衣中,或者从篮球的视角观看比赛,这些都不是不可能的。

我的这个构想,以“多摄像机系统”为亮点,引领了世界上很多类似的项目。它能供别人参考,这让我十分自豪。

我们研究某一课题的时候经常会想一句口号,这句口号不仅要能表达研究的主要目的,还要是推动研究向前发展的动力。我的虚拟化现实项目的口号就是:“Let's watch the NBA on the court”(在现场观看 NBA 吧)。

第六节 情景的关键,是对人类和社会有何作用

说起研究的关键,是要使研究成果对社会有意义。“我的想法是这样的,发展出这样的产品,可以对社会起到这样的作用”,把这一点表现出来是非常重要的。

做得很好的人和做不好的人的区别

做得很好的人和做不好的人到底有什么不同呢?

我总认为,做得很好的人,应该在开始研究之前,就做好了充足的准备和计划,而且目的明确,清楚完成研究可以对社会做出什么样的贡献。在对别人讲解之前,就应该想好这些问题,理清研究脉络。“请看这个,它产生了这样的结果。”这样组织语言和段落,才能让人感到舒心。要像推理小说一样设置各个步骤,以做到完备。

首先让人了解其难度:“要实现这样的事很难吧?”

然后继续解说“你注意到这个了吧,实际上这与刚才的困难是有关系的,采用这个办法就能解决了。那样每天可以省很多工夫。”

听见的人则会露出赞赏的表情“是嘛!这样啊!”如果跟先前预料的一样的话,研究就差不多成功了。

情景要通过提前构思进行描述

在我经常使用的语句中，有一个是“研究与应用的情景”，是我从切身体会中得到的经验。

为了制作电影和戏剧的情节，先要构思好场景的顺序，简单地描述，登场人物的台词还有动作等，公演的时候必须给观众留下不错的印象。而对于我们研究开发，也要事先考虑一下是否能够实现，当然也有很难实现的地方。如果用新的想法和工具的话，以现在的经验看可以实现吗？像这样，要对研究提前描绘一个蓝图。蓝图及其条理逻辑的描述，就是研究开发情节的一部分。

我前面提过开始思考关于虚拟现实是在 1992 年。1993 年，开始研究的时候，先是使用 6 台摄像机做立体系统，到 1994 年得使用 50 台摄像机才能做出直径为 3m 的三维穹顶画面系统。虽然摄像机价格已经有所下降，但是这个系统造价还是太贵了，以致受到批判：“使用这么多的摄像机不现实啊。只有像金出（本书的作者）这样可以使用很多研究资金的人才能有这种做法。”

但我想，摄像机很快就会变得更小更便宜，花很少的钱就可以使用了。

那个时候，向计算机输入数字画面，不管是容量，速度都不可能像现在这样简单、便宜。说起 50 台确实是很多，但没有办法只好买了 50 台 VTR，先录制模拟画面，然后再一个一个地数字化。演讲的时候，在说到“买了 50 台 VTR”的时候，会场的人们都笑了起来。

要是到了现在，像使用很多摄像机这种事情算不了什么。摄像机已经格外便宜。使用很多摄像机的这种应用越来越普及。现在，斯坦福大学正在研究开发可以使用 200 台摄像机的系统。

此刻，我对自己推动了这一系统的研究感到非常自豪。

不要认为没有用的研究才算高级

在我看来，对情节描述的基本能力是对未来的预见能力。

在美国，不仅仅是研究者，很多人都有一种观点——“想做得有意义”。当对别人说起自己的研究的时候，先会这样问“这个能用在什么地方呢？”“用什么样的结构呢？”，等等，然而如果对这样的问题没有明确的答案，听众渐渐失去兴趣，最后可能没有人会做你的听众了。

我对于有意义还要强调一点，有人会说：“您的意思是要我们做应用性的研究？”也有人会说“我是搞基础研究的，有没有意义我不清楚”。不仅是美国，日本这样的人也很多。说这样话的人，不能描述情节，因此可能更不会区分其目的和手段了。

如果说我做的都是有意义的研究，那不意味着只停留在应用研究层次很没水平吗？如果说越是没有用处的研究就越高级，那的确是科学性的错误。

本来，基础研究是用处最大的研究，因为它的应用范围太广了。例如，工程学上的结合了控制、信号处理、准确率估算等技术的卡尔曼滤波器可以说是基础中的基础。它就是以制造出稳定运动控制系统为具体的目标，现在已广泛用于飞机、船舶的位置测定、图像识别、自律

机器人的控制等各种领域。

与此相对，应用研究范围就比较狭窄，所以是相比较直接有用的研究。基础研究是长时间持续的研究，应用更加广泛。就像在果树受粉之后，为某个果子涂上能变甜的营养液，与在果树根部加上腐叶土之间的区别。虽然前者只能得到一个甘甜的果实，效果却是显著的。但是，如果是后者的情况，给树施肥，根系会更加发达，可以从土中汲取更多的营养，因而最后应该能得到又大又甜的果实，而这一结果影响了整棵树。

所以，虽说是基础研究，不，正因为是基础研究，才更要像个样子。当然，谁也不能完全预测未来的事情。所以有不确定性也很好，这样可以在中途根据需要随时进行变更

但是，如果抱有“虽然不了解原理，但结果一定很好，所以才进行这项研究”的含糊想法就很让人为难。特别是在大学里，我们拿着国民的税金进行研究，即使有不确定的因素，也有责任清楚地提出研究的前景。

所以说，不确定与含糊的概念是不同的。

第七节 所谓构想力是限定问题的能力

所谓构想力也是智慧的一种能力。举个形象的例子，研究问题，就像在沙滩上用沙子堆城堡，想堆成什么形状需要用多少沙子是非常难掌握的。用手捧起沙子，就像捧起问题。沙子捧得太多，城堡就会承受不了压力而崩塌；捧得太少，又没有什么价值。拥有“智慧体力”（长时间的集中精力）的人会维持在城堡临近崩塌前的状态，而不高明的人在捧在手里的时候沙子就一点点往下漏，最终反而失去了目标。

畅销小说的构思都很优秀

我十分喜欢松本清张的小说，大体上所有的作品都拜读过，像成名作《小仓日记传》和著名的《点与线》等等。清张的推理小说和其他的作家相比，在构想力方面，要比他们的强很多。他塑造出的主人公的性格、职业、杀人的方法都很有讲究，并且杀人的时候，换句话说，就是像那种找寻目标时候的状态，描写的一步一步都和杀人动机联系起来，从开始贯穿到结束。

“原来如此，犯人的性格癖好在这里体现出来了。”

“原来如此啊，犯人果然和这里有紧密联系。”

每当我读到描写犯人的犯罪动机，被害者被杀的方式，以及被发现现场状况的部分时，常常会发出这样的感叹。前后的描写之间没有任何矛盾，每一个字都发挥着相应的作用。

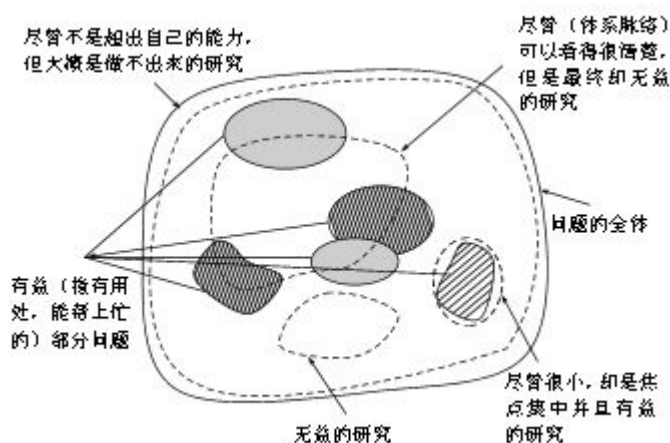
像有些不太好的小说，因为作者的构想力有欠缺，忘了最初写的情节，写到一半就常常与前边造成冲突。“这个出场人物的性格不是这样的类型吗？他绝对不应该做出这种事情啊。”像这样的人物，却行凶杀人。碰到像这样的故事情节，就会脱口而出：“这也太巧了吧？一开始就应该对此给出一二暗示啊。”

不可能为世界上所有问题找到共同的答案

构想力的重要性在研究者看来是一样的，世界上的大部分问题都很难，用一般的形式去解决是不可能的。

特别是工科上的问题，因为自己要解决自己创建的问题，所以构想力就显得越发重要。我们要抽取出想实现的目标和想阐明的现象。一般的抽取方法标准是：① 范围不能太宽广，也不能太狭窄；② 要使用的假设和假想条件不能太少，也不能太多。这样的标准对最后的结局和结果都是非常重要的。

例如：要做一个能够识别出人的面貌的系统，“不管照明条件，不管是哪个侧面拍摄的照片，数据库是如何庞大，都能在瞬间识别身份而不会认错人的程序”等等，虽然并非遥不可及，但是无法解决，至少现在还无法解决——以人类的力量，目前还做不到。



但是，如上图所示，“面貌识别”的问题四周，存在一些可能解决的非常有用的子问题。例如：“可以识别正面面貌”，“可以通过数据库中每个人从右向左每隔 10° 照的照片识别”，“不仅需要照片，同样也需要摄像的数据进行识别”。

从图中我们可以看出，如果只是茫然地针对一般问题进行研究，成功了当然很好，但基本上是做不到的。如果是针对一些非常有用的子问题的研究，就应该可以成功。那些看上去比较宽广，而不针对一个或几个子问题，不能确定问题的焦点，那么结果也是毫无意义的研究。还有与任何子问题都没有交迭的研究也是毫无意义的研究。

构想力是一种智慧的能力

这种准确把握问题关键的做法，就是研究的构想力，是一种智慧的能力。

如果在解决问题时，能准确地限定问题关键点，将会非常有效，那种感觉就像是读到设定与构思自然发展的优秀推理小说时一样的爽快。善于研究的人总是可以做到这一点。

相反，低劣的论文和研究中，情况就不同了。“像这样有难度的问题，应该怎么解决呢？”一边这样想，一边继续读下去。“哇，这种事我做得到吗？这种方程式我能解得出来吗？”然而无论怎样想，心里已经决定：“在这次研究中，假设 $A=0$ 。”“不过这样一来就是很无聊

的问题了嘛。为什么不在一开始就对我讲清楚，害我期待太多。”

事情转变得太快，当然会感到无聊。而这正是构想力的差别。

“如果能给问题下个定义，就已经解决了 60%。”

这是我在京都大学研究生时期的指导教师坂井利之教授的话。对于博士论文，决定问题的构思范围之后，就只剩下实行的工作了。这一点，之后我在自己的体验中不断得到证实。

美国研究生博士的课程中，一个重要的环节，就是在论文提出会中发表自己的论点。我写了一篇名为“这样的问题，用这样的方法研究，就会得出这样的结果”的文章，在指导老师、论文评委和一般听众面前发表并得到了认可。此外还有规定，如果经过了对问题限定并给出定义的练习，最后能够顺利通过的话就可以授予博士称号。

构想力的确是研究开发的关键。就好像堆城堡时，沙子不能太多，也不能太少，怎样捧起来，不但是一种艺术，也是科学家的审美观。这不是用语言可以描述的，主要在一位优秀的老师身边观察的过程中学到。

第八节 KISS 方法 单纯的、简单的

KISS 这四个字母是由“Keep It Simple, Stupid.”这句话中每个单词的首字母构成的。它是美国的一句俗语，据说是从军队用语中演变而来的。大概是当部下做得不好的时候，长官就会大声训斥：“简单点！笨蛋！”

KISS 正是工程学的基本思考方法。

我的研究方法——能真正接受这些的，就是像你这样的人
无论做什么事情，在计划开始实行之前或者是实行到一半的时候，一定会有消极的人这样说：

“这个太困难了，一定做不好。”

“这么做真的能行吗？能有效果吗？”

“应该有更好的办法吧。”

其实，英语中有个词叫“Naysayer”。Nay 就是 No，这个词的意思就是“说不的人”。

我是个做事坚持到底的人，所以要是学生跟我哭诉说不行啊、做不下去什么的，我一定会告诉他：“有时间翻来覆去想一些做不下去的理由，你还不如快点做。要是到最后还不行，那时候说做不下去还差不多。”

记得高中的时候，我的古文学得不是很好。有一次在书店里，看见一本书，书名叫做《古文强化法》，大约 200 多页的样子。封面上写着“坚持到底”四个字，顿时引起了我的兴趣。

书里写着：“学习古文要反复阅读五遍。第一遍三天，第二遍一周，第三遍两周，第四遍三周，第五遍一个月”，“如果五遍都读完了，那么学习高中的古文就简单了”。

“真的吗？”我当时抱着怀疑的态度买了这本书，之后便按照书上的方法学习古文。果然，五遍读完之后再也不觉得古文难了。我把这事跟朋友说，却遭到他们的讽刺：“也只有你才会把这种事情当真。”

坚持到了最后，就会明白失败的原因

我们在做事的时候，经常是还没完成就想“这个也做不到，那个也有问题”。而想的这些就成了前进路上最大的绊脚石。其实做事只要坚持到最后，就算不成功也会学到很多。

有些学生做事情的时候总爱犹豫不决，总是认为这也不行，那也做不到。于是我就跟他们说：“如果要是现成的解决方法，你肯定会去做。但是，解决方法你不知道，我也不知道。所以，即使是觉得不可能的方法也得试一试，这才是明智之举啊。只要你坚持到了最后，就算没能成功，那你也会明白为什么失败。”

如果我们发现一个方法行不通，就要弄清楚为什么行不通。如果都弄清楚了，虽然还是解决不了问题，但也能多多少少了解到问题的本质。一直这么做下来的话，迟早会发现“啊！原来如此！原来这个地方是问题的关键啊！”于是我们就能找到正面解决问题的方法。

其实在解决问题的过程中，最重要的就是弄清楚问题的疑难点在哪里。任何问题都是有难度的，但是我们开始研究的时候并不知道它难在哪里，疑难点在什么地方，所以对“难”的认识是肤浅的。只有先尝试去做，才会明白：“原来如此，这个是真难啊！”“这个地方是关键啊！这个地方解决不了，整个问题就很难解决了。”当研究进行到这种程度，就清楚问题的疑难点在哪里了，就为进一步解决问题做好了铺垫。所以说，弄清楚问题的疑难点是解决问题、进行研究的前提。

还有另一种情况。我们在研究的过程中遇到了很大的困难，但这个困难并不是核心的难点。怎么会有这种情况发生呢？因为研究的方向与问题本质相脱节，所以做着做着，就撞到问题本质派生出来的难点，而研究者自己还没有发现，自然会想方设法去解决，因此逐渐陷于这些非本质的问题中，无法自拔。遇到这样的情况一定是很苦恼的，但只是反复苦恼于眼前的难点是没有用的，不如换个角度去看看问题，实际去尝试一下别的研究方向，才能突破困难，解决问题。

别想乱七八糟的方法

当今时代，计算机飞速发展，运算速度和存储容量都比以前有了很大的提高。KISS 这种思考方法在计算机广为应用的今天，更有其深远意义。

以前，计算机性能不高，人们为了运算某个问题，不得不设计一些“巧妙”的方法，把问题变形、简化，以控制在计算机的运算范围之内。本来应该直接输入计算机加以解决的，可就因为性能不高，实现起来非常困难。还有的时候即便是把问题变形了、简化了，可还是超出计算范围，结果产生了运行错误。

但是现在情况已经变了。现今的计算机功能强大，性能高超，把问题直接输入计算机进行运

算是最好的解决方法。这种解决问题的方法简单、易于操作，实现起来也非常容易。所以我对学生说：“别想乱七八糟的方法，以 **KISS** 为原则来做。”也就是说，别再像以前那样设计什么“巧妙”的方法，直接去解决问题才是最好的方法。

比如关于计算机图像处理的研究，很早以前人们的思想仅局限在光的反射原理，使其真实再现是那个时候研究的主流。但现在，发展成直接为物体表面或表层的光学物理现象建模进行计算。这种方法可以充分发挥计算机的性能，只要方法正确便自然而然地得出结果。

根据计算机的发展现状，人们甚至可以重新考虑一下被称之为 4 维全光函数——从某一角度采集图像、高效存储，并可以快速读取的方法——这种以前都不可想像的方法（4 维全光函数算法需 4 维采样，对数据量的需求特别巨大，数据采集十分困难，所需时间相当可观，所以对于真实环境来说，建立一个这样的模型非常困难，甚至是不可能实现的）。

不要束缚于固有观念，单纯、简单地思考、勇往直前。只有这样，成功的可能性才会增大。

第九节 智慧体力——所谓集中力，就是让自己成为问题本身

在研究界活跃的研究者都有一个共同点，就是拥有智慧体力。

智慧体力是我造的词，指的是长时间连续思考同一个问题，或是从各个方面来思考同一个问题而怎么都不厌烦的能力。

无论何时，都可能突然碰壁

研究，是一种难以预料结果的工作。研究者在开始一项构思优秀的研究之前，都会假设这样的场景：“做了这个就会得出这样的结果，产生这样的作用”，进而预计最终会取得什么样的成果。做了一段时间后发现很顺利，自然而然就确信一定会达到预期的目标，但实际中，很可能会做着做着就进行不下去了。这时，研究者就会怀疑是否能达到预期的目标，甚至有的时候都怀疑自己研究的问题是否有价值。而后就越发不安，越发进行不下去了。研究与做练习题不同。教科书上每章章末的习题，不论多么困难，但只要应用这章所学的定理和思考方法就一定能解答。研究却与其有着本质的区别。

没有智慧体力的人会想：“这个问题就算研究下去，前面也会遇到巨大的障碍。这样的话根本不会成功啊！”

那个障碍可能在前方 10cm 处，再需要 10 天就能跨越它。但那个障碍也许在前面几 km 的地方，这一切都是未知的。

所以说，没有那种可以打败对未知的不安、为得出研究结果而持之以恒的智慧体力，是很难研究出什么成果的。

我曾经连续 74 小时集中精力思考问题

智慧体力首先要有体力的支持，所以强壮的身体是必不可少的。但只有体力是不够的。如果一个强壮的人声称：“我对自己的体力有自信”，但他在书桌前坐上一个小时就犯困，那也是一事无成。智慧体力才是最重要的。

研究与瘦身运动不同，研究不是一天十分钟、每天坚持做就可以得到好结果的。它需要智慧体力，需要长时间、专注的思考。这个“专注”是一件非常艰苦的事情。“专注”并不是指一动不动，而是指头脑中无时无刻不在思考：“不是这样，也不是那样，为什么不行呢？那么是这样吧？不对，这个也不对。那个呢？那个也不行……”有时候还需要边动手边做实验边进行思考。不管是吃饭还是睡觉，头脑都在满负荷地运转。

我年轻时候睡眠比较少。有时候一周内，一天睡两三个小时，不间断思考也不算什么。读研究生的时候，有一次 74 个小时连续不断地思考问题。

据说职业棋手米长邦雄，在下棋中持续集中精力思考，以致在棋局结束后头皮都变红了。我猜，可能是由于他长时间集中精力，血液大量涌入脑内，血压上升，头皮变热，发生了物理变化的缘故吧。

智慧体力不强的人，精力不集中，很容易产生厌倦的心理。研究了一会儿就会想：“刚才这个问题想过了吧，稍微休息一下吧。”总是很容易感到疲倦。所以我把智慧体力定义为“不知疲倦的力量”。

那么，要想保持这种不知疲倦的力量应该怎么办呢？

让自己成为问题本身

我经常跟学生们说：“所谓集中精力，就是把自己变成所思考的问题。”然后，会向他们介绍一套解决问题的方法。

当我们要解决问题的时候，通常会有三个阶段。

① 在头脑中描绘问题——这个阶段，要仔细、反复地思考问题是怎么产生的，从什么地方入手最容易得出答案。也要想到那些有可能产生但与本质无关可以暂且搁置的问题，甚至跟本质并不十分相关的问题也要想到。这样做的目的就是要广泛收集材料，打好解决问题的基础。

② 培养解决问题的基本能力——这个阶段做例题是很关键的。最初可以从一眼就能看出答案的尽可能简单的例题开始。然后要多想一些解法，并思考例题的题点与答案之间的关系。比如说，“假如物体的重量翻倍，该道题的答案结果应该翻倍”等等这样的假设。

接着做一些稍微复杂的例题，或者把原来的例题复杂化。比如：“到目前为止，假设物体都是只有一个的情况，如果要是有两个，应该如何解答。”只将例题解决了还不够，还要思考是如何变得这么复杂的，为什么原有的解法就不能解答问题了。

③ 增强解决问题的能力——这个阶段要多尝试，多找些问题来试，逐渐提高解决问题的能力。要像缠绕细铜丝一样，一圈一圈慢慢缠绕，才能形成铜线圈。提高能力的过程，是不能中断的，一旦停止，已经积累起来的能力就会土崩瓦解。建造高楼的时候，高度越高根基也越深，正是这个道理。

这些阶段都经历了，就会有解决问题的自信了，就来尝试一下研究吧。在研究的过程中，还要思考“我能不能证明这个解法是正确的啊？”问题解决之后还要反过来想“我能不能做出一个该解法解不出来的例题呢？”这种逆向思维对于深刻了解问题和培养思维能力是十分有效的。

反复这个过程一直做下去，直到有一天，感觉到自己就变成了问题本身。那种感觉好像在思考某个问题时，如果力不从心的话，就能感到身体的某个部位疼痛。一直到产生这种感觉，就是达到最终目的地了，以后无论再思考什么样的问题都能做到深入、彻底。

职业棋手下棋的时候，如果对手下了一记狠招，经常会说“疼啊”这样的话，可能他已经把自己变成棋局本身了。

第十节 越能干的人，越会迷茫

无论做哪种研究，不管是难还是简单，在开始之前都是充满希望的。多数情况不会一开始就走到了尽头。经历了千辛万苦取得成功之后，可能又会觉得不敢相信：“真的这样就解决了吗？”

研究的过程中经常有两种感觉：“能不能行呢？”这种不安感，以及“啊！成功了！”这种成就感。研究者亲身体会这两种感觉将成为智慧体力强有力的基石。

我的研究生时代——要尽量提早拿出漂亮的成果

说实话，看我现在好像在说一些很了不起的话，可我在读研究生的时候，也有过迷茫、烦恼的时候。

我从小到大一直很优秀，别人也都这么评价我。从小学到高中，到大学，我一直都成绩优异。这都要归功于我的记忆力。我的记忆力非常出色，基本不需要随身携带记事本。像电话号码、跟别人约会的时间地点什么的，我很轻松地就能记住。所以，我应付那种背诵的考试游刃有余。那时候考试无论哪门学科我都预计能拿 100 分，感觉就像是游戏一样，高高兴兴地去考。长期如此，使我潜意识中存在着“无论什么事，别人都认为我会做得很好”的怪异的心理状态。

开始博士研究生的课程之后，这种怪异的心理就变成了“不尽早拿出漂亮的成果是不行的”。它给我造成了一股很大的压力，所以我常常急于寻找能够快速拿出成果的研究课题。在我看来，数学是那种读读高深课题的论文就能了解个大概的学科，马上可以取得成果，于是就着手研究它了。

本书前面也提到过了，研究与考试是不同的。做研究的时候，并不知道解决的问题有没有价值，也不知道问题的本身有没有答案。正因为如此，研究是不可能简简单单就成功的。果然，我就发现这个进行不下去。于是就开始下一个课题，再进行不下去，然后再一个。这样，我研究了很多课题，倒是读了不少领域的论文，知道不少事情，除此之外一事无成。转眼间三年的课程已经过去了两年。于是我开始担心，如果再这样下去，我的博士课程就要这样一事无成地结束啦。

就在那个时候，当时的助教、现在京都大学的校长，长尾真老师对我说：“金出，你就试试

研究一些稍微具体点的事情吧！”然后就告诉我有电子图像数据库，里面储存着很多人的头像。他对我说：“如果你能开发出一个程序，可以处理数据库中的电子头像得出相关数据，又能根据得出的数据对人进行识别，只做到这一点就是一件很了不起的事情啦！”这个数据库是 1970 年大阪世界万国博览会的时候长尾真老师收集的，一共有 1 000 人的电子头像，这在当时是一件很了不起的事情。

其实我当时更倾向于做一些偏理论性的东西，但是也遵从长尾真老师的劝说，开始着手这个课题了。当然做这个也不是一帆风顺的，我也陷入过困境。但因为有一个实际的具体的目标，使我坚信终会成功，历经艰辛努力了一年，最后终于成功了。

最后这个课题成了我的博士论文：从头像的输入，到提取特征，到辨别，由计算机自动进行着一连串的处理，进而得出充足的数据，并以这个数据来识别别人的面孔，作为世界领先的研究成果（经美国国家科学委员会报告验证）而为人所知。

具体目标与高层研究

这次经验在我以后的研究生涯中有着非常重要的作用，它使我明白了：做研究和搞开发没有具体的目标是绝对不行的。

总是有很多人说要研究高端的东西，要深入研究数学，要研究本质的基础的东西，并以此为目标。其实这些都不算是目标，都是对研究的性质或者是结果的一种希望，希望通过某个具体研究项目而能够研究到本质。如果真的是以研究本质为目标的话，研究肯定会是行不通的，就会考虑：“这样一直研究下去就会得到好结果吗？现在是不是在解决本质的问题呢？”这时，已经不是在思考问题本身了，而是在顾虑这样做下去的意义与成果，失去了研究的心态，陷于无尽的烦恼当中。

在我看来，所研究的并不是课题中要解决的问题，而是这个研究本身的意义与前途，我把这种研究命名为高层研究（Meta 研究）。Meta 在逻辑学中是“关于那个的，更高层次的”的意思。比如说语言学是一种学问，研究语言学的意义与发展的就可以叫做高层语言学。显而易见，高层语言学对于语言学本身是必要的，但这个高层研究，对于推进研究向前却是没有必要的，是毫无意义的。

但是，一旦有了具体的目标就不同了。有了具体目标之后，就算研究进行不下去了，也有那个具体的目标作为前进路上的指针，指示着要走向哪里。有时候目标也会变化，或者更高，或者有所降低，如果目标更高了，当然相应最终的结果也会更好。

不安感与成就感是智慧体力的基石

实际上，每个研究者都体验过研究遇阻碍时强烈的不安与迷惑。就算那些已经有所成就的人，也时常有这种感觉。

研究的过程中经常有两种感觉：“能不能行呢？”的不安感和“啊！成功了！”的成就感。体验这两种感觉将成为智慧体力强有力的基石。

就算是卡耐基 梅隆大学的计算机科学系和机器人研究所的博士研究生，这样世界范围内精选出来的人，也避免不了这种感觉。不，应该说正因为他们是挑选出来的精英，所以才更容

易陷入困惑。

总有些学生因为研究设定的目标太大太空泛，而产生不安和迷惑。我就对他们说：“你们真像我年轻的时候一样啊”。然后建议他们选择有具体目标的课题，告诉他们不用担心，只要尽全力坚持做下去就一定有好的结果。并加上一句忠告：

要想成功，必定迷茫！

第十一节 从“做不到”重新开始

“不可能理论”的典型例子是被称为“永动机”的能量守恒定律。根据能量守恒定律它是不可能实现的。证实了这个以后，人们停止了尝试制造永动机。虽然人们不能制造这种不用外部供给能量，自身可以永远运转的机器，但是根据制造永动机的经验，人们发现了热效率并为今后制造更好的机器提供了宝贵的经验。消极的结果却带来了积极的效应。

科学的进步就是不断追求更高的极限

有人说：“科学时代已经结束了，再也不会有什么更新奇的发明了。”科学工作者之中，虽然也有人发表论文说“现已证明，今后再也不会有什么新发明了”，但大多数人还是反对这种说法。

其实现实并不是那样的。比如计算机的发展就是日新月异。20 世纪 60 年代，计算机像竞赛一样成倍发展，但到了 20 世纪 80 年代，发展速度缓慢，甚至有人说不会再进步了，还举了很多例子：硅晶体上不能画再细的线了，不能制造出更小的晶体管了，磁盘的容量不能再增大了，等等。根据这些说法他们得出的结论是：发展速度下降是必然的。但是，事实是那样吗？

直到现在，计算机的发展还遵循着摩尔定律。但我并不是说会永远这样发展下去的，照现在的情形计算机发展早晚会达到物理的界限。这是事物发展的规律，是不可阻挡的。但是，像这样，不断地向前，突破极限，就很可能诞生出一种新的发展方式。比如说，利用量子力学理论研制量子计算机。

科学工作者说不可能的时候，他很可能错了

《2001 年宇宙之旅》的原作者亚瑟 C 克拉克曾写过三条很有趣的技术法则。

第一条：科学工作者声明某件事情是可行的时候，基本上他不会错。但当他说不可能的时候，他很可能错了。

第二条：发现极限在哪里的惟一方法就是超越极限，尝试向稍微超越这个极限的领域迈进、冒险。

第三条：无论是哪种技术，只要它是非常先进的，那看起来都跟魔术没什么区别。

虽说普遍认为克拉克只是个普通的科幻小说作家，但他早在成功发送史泼尼克号卫星（第二

次世界大战之后苏联发射的首颗人造卫星)之前就提出了利用卫星进行通信、气象观察等具体方案。这件事在日本虽然并非众所周知，但确实是很值得注目的。

实际上，我们研究者也写一些证明“什么什么不可能”的论文，但在大多数情况下，论证不可能不是真正目的。所说的“不可能”指的是“以现有的条件不可能”。而且论文中还会指出需要什么样的新方法才能突破现状得以解决。我也曾认为一件事情不可能的，后来证实我的确想错了。下面就说说那个我认为不可能的事情。

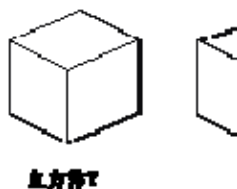
1977 年，我作为客座研究员在卡耐基 梅隆大学逗留了一年半。那是我研究生涯的转折点。当时我从事的研究叫做“折纸世界理论”，主要内容是根据二维图像重现三维立体物体。

说一下“折纸世界理论”吧。人们是可以通过在纸上用线描绘出的图形来想像出其立体图形来。比方说，把从方糖斜上方看到的图像画在纸上，人们就可以认出是一个立方体。但是这幅图仅仅是由平面上画着的九根直线组成的，人们为什么就能认出是个有纵深的三维物体呢？如果解释成“因为见过，所以知道”或者是“因为学过，所以并不奇怪”，那么这项研究就不用进行了，也就到此为止了。

我想：“是否能从数学理论的角度进一步解释其中的道理呢？”其实有一个很简单的方法，将纸板上的图画，也就是平面图像，沿直线剪裁、折叠、粘贴，仅用这三步操作，就复原出了三维物体。我受这个启发，把这项研究命名为“折纸世界理论”。折纸世界是很简单的，比我们所居住的世界小很多。比如真实世界有圆柱体，折纸世界里也可以做到，需要将平面弯曲，简单通过“折”是做不到的。还有球体，用平面无论如何也不能做出来。但普通的屋子的形状或者是桌子箱子等的形状(近似的)都可以看成是立方体的形状，这些都包含在“折纸世界”之中。

这项研究主要就是要寻找出合适的数学理论，通过它用给定的二维图像，反过来计算出“折纸世界”中三维物体。

我曾经认为将平面上所画的图形转换成三维的并导出，导出的当然是一个物体，并且人们从方糖的图形只能认识到它是个立方体也说明了这一点。但是，我开发了一个计算机程序用以实现“折纸世界理论”，大功告成之后我开始试着运行，结果给定一个二维图像居然得出多个三维物体。我百思不得其解。最初我以为是我的算法错了，



又重新写了一遍程序，但还是得出多个三维物体。仅仅是以一个看起来是个箱子的图像进行复原，得出的三维物体就有 7 种之多。之后我决定动手实验。我将这些还原出的物体都按照计算机显示的样子做出来，然后给它们一个一个拍照片。最后看这些照片真的跟原始的二维图像一样，看起来都像个箱子的图像。这是理所当然的。只要我的理论没错，应该会得出这样的计算结果。

消极的结果也有积极意义

我困惑了，认为是有一个答案的问题却得出了多个答案。我思索着是不是哪个地方我的思考从本质上就错了呢。最后我终于明白了，原来我计算得出的结果是所有可能的图形，应该会有多个结果，因为可能的图形绝不仅仅是一个。我们常人看到箱子的图像时，只是根据经验判断它是立方体，并想像成应该是箱子的形状，根本不会考虑到还会有别的可能。而计算机会毫无差错地给出全部答案，显示多个物体。

看来我把“可能是 (Possible)”与“应该是 (Probable)”这两个词弄混了。我所想到的是“应该是”的物体，计算机给出的结果是“可能是”的物体。

实际上，在“折纸世界”以前的其他理论，正是没有弄清楚“应该是一个物体”与“可能是多个”的区别而进行不下去的。我没有为确定是哪一个物体而继续研究“折纸世界理论”。因为要想确定到底应该是哪个物体，只需要引进一个现成的添加其他要素进行分析的理论就能做到，所以我把“折纸世界理论”做成了一个具有一般性的理论。这也是继我的博士论文之后，又一个可以说成是闻名于世的成果。

说句多余的。英语中 Possible 和 Probable 这两个词意思很相近，查字典都是“可能是、应该是、大概”的意思，其中的微妙差别根本体现不出来。夏目漱石在任英语教师的时候，就有学生问他这两个词的差别。他解释道：“我现在作为一个老师，在讲台上倒是 Possible，但却不是 Probable。”精辟的解释啊！我在图形还原这个问题上能想到其中的奥妙，也是受到了夏目漱石的这段小故事的启发。

再看一看为什么人们只能想到一种图像呢。其实也好理解，如果人们能像计算机一样，拥有看到一个平面图像眼前可以浮现出多个可能物体的能力，那可就乱套了。要想用二维图像表现出立体物体，只会引起混乱，根本无法传达本意。当看图画、照片、电影的时候，每个人所想到的物体都是不一样的，那就不能正确地传达作者要传达的信息了。举个例子，为了表达不同的意思而使用十几个单词，因此才有了所谓的交流。但还好，至今我还没遇到谁可以由一幅箱子的图像想到箱子以外其他的东西，不用担心产生歧义了。

“答案并不是特定的某一个”是“折纸世界”研究的转折点。我对这个理论的思考经历了这样一个过程：“不能确定一个物体”à“为什么不能”à“不能是正确的”à“那样的话应该思考些什么”。可以看出我并没有停止在“不能确定一个物体”这个行不通的问题上，而是换了种想法从别的角度考虑，最终得出“不能确定一个物体是正确的”的结论。

很多人在研究遇到阻碍的时候，并不知道束缚自己的是一个“不可能”的问题，不但无法产生更好的想法，甚至会陷入这个问题中，难以自拔。可这时没有人会告诉你说：“你这个问题本来就是不可能的，还是停止研究吧。”我们只有靠自己的力量尽力避免那些根本行不通的问题，或者说要是行不通的话就稍微改变一下策略，从反面思考一下，是否有解答。这种思考方法才是最重要的啊！

第十二节 在与其他人的交流中完善自己的构想

与别人交流自己的构想，并不一定是要征求对方的回答，或听取对方的意见。即便那个人是这方面的专家也没关系。把自己的构想跟他人交流，是要锤炼自己的想法，发现不完备之处，

触发新的灵感，并且练习如何提取概要以便让他人了解自己的意思。英语中，要跟别人交流自己的构想时，会说“Would you please be my sounding board?（能否请你听听我的想法？）”就是这个意思。

“日本人缺乏创新思想”这种说法是不正确的

如果问起日本的研究生“你最近在研究些什么啊？”，有的人会回答：“有些不成熟的想法，还不值得跟老师探讨！”还有人回答：“有些好的构想，但还没有完成，所以就不说啦！”他们这么说可能都认为只干不说是一种美德吧，但我觉得，这两种回答只会让人觉得他是有很大的问题解决不了才不说出来。依我的经验来看，到最后这种人的构想很少有开花结果、取得成就的。

有一句话曾经十分盛行，就是现在也偶尔听到有些所谓的知识分子说：“日本人缺乏创新思想。”这个说法是不正确的，有很多日本人都拥有绝佳的观点与想像力。不用说日本人曾多次获得诺贝尔奖了，就说我们身边的各种工业产品：i-MODE 手机、游戏软件、漫画动画，等等，无一不体现出日本人的创新思想。但很遗憾的是，一般日本人都缺乏一种能力：锤炼自己的想法，使之升华，将其变为容易接受的形式向人们传达，得到认同，并把大家都变成这种想法的信奉者。

一个所谓的构想，如果不能正确地传达给别人，那它就不能称之为构想。

要升华自己的构想，具体应该怎么做呢？

无论什么构想，最初大都只是个偶然的想法。锤炼构想的方法就是跟他人交流，在交谈中验证是不是一个有价值的想法，获取相关知识，修正不完备的地方。升华构想的关键是“交流”，因为他人有很多自己角度的认识、想法，借鉴过来才能完善自己的构想。

跟他人交流自己的构想时，突然发现没有想到的地方

只在自己的头脑中思考构想，是暗地里的思考，那样就会总觉得自己的想法是完全正确的，无法发现其中的纰漏。而跟他人交流时，要想得到对方的理解，就要清清楚楚、明明白白地讲出来。比如，讲解的时候说“这个想法可是很好的啊！”对方一定会问：“你说好，那理由是什么呢？”这个时候我们就得给予明确的解释了，进而就可以发现自己的构想哪个地方还有漏洞。

比如，交流的时候我们跟对方说“假定为 A”，如果对方的反应是“这个假定挺正确的”那还好办，但如果反应是“这个假定是不是有点极端啊”，这时候就得想了：

① “确实有点极端，现在马上就把这个假定去掉。”

② “可能是有点极端，但刚开始尝试研究这个问题，假定极端一点，会让问题简单一点，这样会更好吧。”

③ “不，这个假定很重要，就算是极端也必须要用，强化一下放置这个假定的理由吧。”

经过一番思考之后，决定“那么先以②进行下去吧”，再接着解说，进而得到对方和自己心

里（这个才是更重要的吧）的认同，完善构想，向前发展。

跟他人交流的时候，总有要回答问题的时候。也许就在阐述和解释问题的时候，头脑中一下子闪现出尚未想到的地方，意识到“呀！把这个地方补充进来这个理论才算是完成啊！”

其实前面提到的“折纸世界理论”就是这样完成的。在研究的开始阶段，我把这个现在看起来还是觉得完全没有意义的理论，对 A 纽维尔教授说，他问我：“武雄，你所做的这些，与针对类似问题的某某所做的研究有什么不同呢？”在我要说：“这个……”的时候，头脑中啪地一声浮现出了问题的关键所在。

几年之后，我跟纽维尔教授说：“多亏您当初问的那个问题啊，我才得出的这个成果。”而他却不记得了，说：“我提过这样的问题吗？”

美国的大学里无论是学生还是教授，都喜欢把自己的想法跟他人交流。所以研究所的走廊里到处都是黑板和椅子，还经常会看到高谈阔论的身影。我觉得日本也应该大力推广这种习惯。

把自己的构想跟他人交流，不会被他人盗用吗

经常有研究者、企业的研究项目负责人和学生问我：像你这样，把自己的构想跟他人交流，恐怕会被他人盗用吧。我的回答是让他们分三种情况考虑：

① 对方已经知道的情况下——对方原本知道的话就没什么损失了，顶多也就是引起了对方的注意罢了。

② 对方还不知道，但对那个构想根本没有兴趣，把跟他说的话都给忘了——这种情况也没有什么损失。

③ 对方还不知道，而且根据所听到的会领先一步取得成果。

出问题的就是③这种情况了，是听过你的想法之后开始动手去做的，却先一步取得了成果。这意味着什么呢？证明对方的头脑聪明、手段高明。也就是说，对方先取得成果的概率原本就是很高的。所以，无论你是否把构想说给对方听，都会败给对方的。这样的话还是不必担心吧！

第十三节 加上一点我的亲身经历

研究者必须知道以下三件事情：① 能得出好结果的方法，其中必有诀窍；② 结果不会像魔术一样自己跑出来；③ 识别结果的能力是很重要的。

我总爱说自己小时候贫穷的经历，还把这个引以为豪。下面，我就拿自己的真实的亲身经历为例，证明这三件事情的重要性。

小时候我什么东西都自己动手做

我出生于兵库县冰上郡，是五个兄弟姐妹中最小的。

也可能是当时家里穷的缘故吧，我从小好奇心就很强，有想要的东西都不会去买，而是试着

自己做。但可惜的是，我的思考总是缺那么一点。记得曾经有过这么一回事。

上小学之前，有一次我想要在附近的河里钓鱼，由于不能跟家里说要买渔具，所以只有自己做。我暗自观察垂钓的人，发现他们使用的渔具就是一段细绳，并且前面系着一个 J 字型的金属钩。于是我用钳子把针弯成 J 字型，再系在一段白色的木棉线上，挂上蚯蚓，心想着“好！有了这个就成了”，就在桥上钓起鱼来。但是，试了几回也钓不到鱼。鱼都是把蚯蚓吃了就跑了。我想可能是白线不好，就换了黑线，但换了黑线也还是不行。

从那以后，我就没喜欢上过钓鱼。

当然钓不上来啊。我并没有注意到鱼钩上有个“回钩”的装置，它能使鱼一咬饵就跑不掉。

每当我看到带鱼钩上的回钩就钦佩不已：“发明回钩的人真了不起！他一定是不甘于每次鱼都逃走，而最终想到的。”

能变出钱的瓶盖

小学一年级，我家搬到了神户。

二年级的时候，放学后学校的后门那地方总有很多商贩卖小孩喜欢的东西。

有一天，我看到有人在卖一件了不得的东西。那是一个像瓶盖似的东西，只要念着“一、二、三……”将它晃一晃，里面就会出现好几个 10 日元的硬币。看到后我心想：“就是这个了！只要有了这个，我们家就再也不会受穷了。”一问，要 10 日元。我跟卖东西的人说：“叔叔，等等我，我去取钱马上回来。”随后便飞奔回家。

“我看到个了不得的东西，给我 10 日元就能买回来。”

我气喘吁吁地跟妈妈说了整个原委。

妈妈说：“那是魔术，不可能变出钱的啊！”

而我还强辩：“不！不对！绝对能变出钱来！”

母亲从不允许我乱花钱，但那天不知道为什么却给了我 10 日元。我紧握着钱，目不斜视地跑了回去。一想到“要是叔叔已经回去了可怎么办啊！”而不由得忐忑不安。最后，终于把那个东西买了回去。

我跑回家，径直冲进卫生间。为什么冲进卫生间我现在也说不清楚。我数着：“一，二，三……”晃了晃瓶盖——什么都没有。全身一下子热了起来。我调匀气息，再一次数着“一，二，三……”可还是什么都没有。这样试了好几次，终于明白根本不会出来钱。

我心想：“这下可糟了！”不由得眼泪上涌，抽抽嗒嗒地哭了起来。当时的情景现在依然历历在目。

这次简直失败极了，是我犯过的极其严重的错误之一。直到现在，当时心里对母亲的歉疚感、二年级了还能这样被骗的悔恨感、生气自己如此愚蠢的感觉现在还能浮现出来。虽然犯了错误，但是我认为这种经验是教不来学不到的。我一直坚信，那次的经历成了我之后人生道路上前进的原动力之一。

铜的气味

昭和 20 年代末到 30 年代初，我在神户渡过了小学时代。那个时候谁家都是把锅或是门把手等没有用的金属连同从道路上捡来的金属卖给收废品的，以弥补生活费的不足。

我对这件事情比别人更热心。还是小学三四年级的时候，金属我只要看一眼就能分辨出它是铁、马口铁、锡、黄铜还是铝什么的。而现在我拿根黄铜棒给在上初中的孩子看，问他是什么，他还回答说不知道呢。“这可不行啊！你爸爸我小学三年级的时候……”没等我说完，孩子就还嘴：“时代不同了！”

卖废品铜是价钱最高的。而我自己鉴别铜的能力很有自信。有一次，我在路上走着，看到了一个被人们踩着、满是尘土的、直径一厘米长约五十厘米的绳子一样的东西。我的心开始怦怦地跳，看到它的那一瞬间我就知道它是铜，捡起来一看，果然没错就是铜。之后我把它卖给废品收购站，卖了 150 日元（相当于现在 1 000 日元）。真是个很大的收获啊！

那之后三十年后的某一天，我在匹兹堡的家里植树。正用铁锹在院子里挖土呢，突然感觉铁锹碰到了什么东西。跟三十年前一样，我的心开始怦怦地跳起来。正在惊讶的时候，发现下面埋着一根长长的铜管。看来我对铜的味道的嗅觉真是一点也没有衰退啊。

时代不同了，没办法拿去卖，我又重新把铜管埋回原处。

第十四节 “向专家一样思考，向外行一样实践”就糟糕了

如果说“像外行一样思考，像专家一样实践”是一种恰当的方式，那么与之相反“像专家一样思考，像外行一样实践”的话，就糟糕了。我跟很多人都说过这种想法，大家都不由得会心一笑。看来世上还是有相当多的人与我的想法差不多。

我的艰辛历程——过去的计算机

实际上，我总结出“外行一样思考，专家一样实践”，还是在 20 世纪 70 年代、在京都大学的时候。那个时候我们有一套系统，这套系统的制造者的思考方式倒像个“专家”一样，可真正实践制造却像个“外行”。

为了让大家更好地理解我的辛苦历程其中有趣的地方，下面我说明一下现今仅在计算机博物馆能找到的一种工具。

这个工具的正式名称叫 Herman Hollerith 卡，通称叫 IBM 卡，大约在 25 年前，要是向计算机中输入程序或数据时，会需要使用它。

虽然叫做 IBM 卡但并不是现在所使用的 PC 卡，而是个像支票一样大小、长方形的纸板。纸板可以容纳横 12 行，竖 80 列的圆孔。而在每一列中，用圆孔的有无及排列方式表示数字或字母，每行可以表示 80 个字。给纸板打孔的机器叫做卡片穿孔机，是一个桌子一般大、

笨重的机器。打孔的时候，在键盘上打字，卡片就会一点一点地推进，打孔那部分会咔嚓咔嚓地打孔。拷贝或修改的时候，在读卡器那端放入卡片，机器会从卡片读入数据，而在打孔器那端便会拷贝，并在适当的地方跳过或是插入新字。

使用这种方式输入程序，一千行的程序就要用一千张纸板，所以当时计算机技术人员的典型标志就是得意洋洋地提个装满纸板的闪闪发光的硬铝箱。

发明文字处理机的初衷是什么

20 世纪 70 年代中期，那时的我还在京都大学做助教，后来我去了美国，在美国的时候，使用过一个叫做 EMACS 的文字处理机。这种文字处理机用起来很方便，使用的时候，跟现在的文本编辑器，通过移动屏幕上的光标，可以对文字、单词、文章进行操作，并可以保存或编辑文件。现在看起来当然会觉得文字处理机就应该是这个样子，可那时，这么便于操作的机器可是不多见的。这个东西可以说是现代屏幕文字处理机的原型。它可以同时操作多个窗口，已经不单单是个文字处理机了，也是个集成了操作系统、可以运行程序的简单的计算机。但移动光标用的不是鼠标，而是用按键进行操作的。

EMACS 对按键的定义非常直观而且易懂，一旦知道了其中一个的操作方法，很容易就能类推其他的操作方法。所以，我仅是学了点基本操作便能上手使用了。而且不久就越用越熟，完全脱离操作手册也可以熟练地使用它。

当时我就感慨：“这个太好用了，谁发明的真是太好了。”现在二手电脑商店里依然有很多人不愿用鼠标而喜欢用按键的。这种按键的发明在计算机软件发展史上也是个不朽的业绩啊。

而后，我回到日本，那时京都大学的计算机中心引进了一些机器，是由两家能够代表日本计算机发展水平的公司生产的。但学生的编程课还是使用卡片输入程序。虽然有使用屏幕的编辑器，但也就是简单的、用命令一行一行地操作的行编辑器。我觉得这太落后了，就想引进 EMACS 那样的文字处理机，便问 H 公司的系统工程师：“你们公司有没有学生用的使用显示屏的文字处理机啊？”他回答说：“当然有了。”于是我满怀期待地引进了一部以为有着 EMACS 一样功能的机器。

意想不到的事情发生了。这个机器非但没有窗口这种概念，而且它仅是以文字为单位进行处理的，像是移动单词、移动前后章节或者定义一块文字的开头结尾再进行移动这样的块操作一概不能实现，只能是一个字一个字地向前向后移动。更可气的是，一行只有 80 个字，不能增多也不能减少。我怎么试也不能把一行拆成两行。

我去问那个工程师，他却对我说：“教授先生，卡片是每行处理 80 个字啊。您见过把一张卡片撕成两张用的吗？”

“这算什么文字处理机呀！”这个文字处理机分明是把 IBM 卡片穿孔机的功能丝毫不差地搬到屏幕上来了！而这个计算机公司的专家对“文本文件的生成与编辑”功能的理解，除了认为跟卡片穿孔机相同之外，其他的什么都没想到。也就是说，他们是“专家一样思考”。

他们就算问一个经常有处理机处理信的秘书，问问她在给上司写报告的时候浮现的想法，也会受到不少启发，开发出功能大不一样的产品。

在我们身边的日常生活中，也有这样的例子。像是录像机遥控器，过于复杂，谁也不用。这些都是把“专家一样思考”发挥得相当好，实际效果却相当坏的例子。

每个程序不同的数字输入法

如果应该像专家一样实践的事情相反的像外行一样实践的话会怎样呢？结果一定不会让人满意。

20 世纪 70 年代初期是微型计算机（简称 PC）的时代。最初的 PC 是没有操作系统的，即使有也是相当简陋的，根本不像今天这样强大，而它最大的长处就是轻便。PC 的内存仅有 32KB，这在今天简直无法想像。更无法想像的是像分配内存这种工作需要用户自己来完成，也就是设定控制地址（Control Address）。

在那个时代并没有像今天的 USB 这种即插即用、使用方便的总线接口。要想连接外部设备就要给设备在内存中分配一个的特定的地址（就叫做控制地址）。

控制地址是 PC 所有者自己设定的，所以不同的机器是不一样的。当启动应用程序的时候，程序会询问必要设备的控制地址，所以每次要使用程序时，需要做一回应该询问一系列麻烦的操作。

大部分的 PC 都是用四位数字表示控制地址，并且控制地址大多数都是 0003、0025 这样的小数字，虽然被称为四位数字，但在日常生活中通常会省略前面的 0 变成 3、25。

比如说现在要使用多个应用程序，都是 F 公司开发的。设定控制地址的时候，有时把 0 省略掉，用 3 代替 0003 也能够正常运行，操作十分人性化。可是有的程序这么设定却得到错误信息：“错误，不正确的地址。”只有把 0003 四位数字全部输入进去，程序才会处理。我不由得生气：“究竟要输入几位数字啊！”

看了这么长一段话，读者可能会说：“喂，这点小事用不着生气吧？0003 这种格式什么时候都可以处理，都这么设定不就行了。可以使用 3 的地方就当是捡到便宜了！”这种说法当然正确，但我想说的是，两种方式都可以处理的软件与只可以处理一种方式的软件混杂在一起，这就是个大问题！

这种现象说明，这家公司各个软件对用户输入数字的处理方法是由不同的人开发的。这就是外行的做法，外行的实践。一个公司所有软件的这个功能，应该是由同一个人或者是遵守同样的规则开发。谁都知道，程序专家一定会把它统一的。无论从统一性、品质管理、将来便于修改的哪一个角度来考虑都应该这么做。

开发系统的人头脑中一定要有“用户是在与系统进行对话”这种概念。事实上用户不是通过一点点阅读操作手册记住系统的使用方法的，而是通过使用，在头脑中形成印象，系统对每一项操作的反应是什么。

系统的反应不一致，只会使用户混乱，产生不信赖感。系统与用户的关系，就像老师与学生的关系，老师的举止行为前后不相同，就根本不能博得学生的信任。

这里所举的例子不能说明日本的信息产业在当时不够发达，至少说明当时严重落后于美国，我觉得现在应该不会有这种事情发生了。

但是，无论是以用户的需要和感受为出发点、做出的软件功能强、技术高、自成体系的 EMACS，还是与之相反的、自称专家，却随便加入与用户无关的功能，制作也相当业余的失败软件的例子，这些都令我们深思，给我们以启示。

第十五节 关于独创和创造的三种违反常识的说法

这章我们来谈谈“思考新问题、取得新成果”这个话题。一提起创造，就容易想到在特殊的环境下、采用特殊的做法成功发明了什么。可我认为不是这样的。下面就说几个关于独创、创造的学说，它们恰好与常规的思维不同。

独创不是灵光闪现

人们经常说独创的构想是忽然闪现出来的。这么说的话，大概包括我在内、大部分普通人都没有这种构想忽然闪现的经历，那就都得否认自己的能力了。我认为很大一部分的构想都不是忽然闪现出来的，应该是经过长时间的思考最终得出的结果。

以证明质数分布定理而知名的著名数学家哈达马，曾写过一本叫做《数学发明之心理学》的书。书中记载，19 世纪后半期的法国大数学家庞加莱有一天要上马车，就在他的脚踏上台阶的一瞬间，想到了一个重大问题的解法。

为什么会忽然闪现出问题的解法呢？哈达马解释道：庞加莱平日里就在不停地思考这个问题，时间久了，就像煮沸的咖啡漫过过滤网一样，他的想法一点点沸腾一点点接近答案，最后一击即中了，想出了问题的解法。忽然闪现也就应该解释成，在那个瞬间量变转化成了质变，答案之门敞开了，解法一下子就飞了出来。很多其他的法国数学家听了庞加莱的故事后，也效仿踏上马车的台阶，可是无论试几次都没有闪现出好的想法。

还有人说，日本的数学大家——冈洁老师也是，经常在奈良的一条小路上散步的时候想出好的想法。要是这样散步真的有效的话，岂不是无论哪个地方的学者都会去效仿，在那条路上就能经常看到散步的日本数学家了。

以我自身的一点经验来看，结果好的构想，都经历了这样一个过程：总在兜圈子无法前进；想要暂时建立起一些学说，却遇到困难；自己也生气烦躁这个问题怎么这么费事、厌烦，正是这时候，却又不知道为什么情绪高涨，而发现了其中的奥秘。

即将得到答案的时候我自己是有感觉的，那个时候总会心情激动，心也怦怦地跳。

这时我会想像一下把这个构想讲给同事或者赞助人听的场面。如果脑海中能清晰地浮现出来大家都一幅“了不起的构想啊！”的面孔，就说明这是个好的构想。而如果首先想到的是“不会怎么说明也有人不理解呢”，那么这个构想就不会太好。

构想，并不是以前从来没有想过而突然一瞬间在头脑中闪现出来的。它是绞尽脑汁思考、实

验，不停地做了很多事情之后，突然“啊！就是这个！”发现的。

有创造能力的人在学校里成绩也好

可能很多人都认为这是个常识。但是请有着这样想法的人看到最后，那时你心里就会很明白了。

在报纸上刊登那些像是得了诺贝尔奖的人的介绍中，总会写一些什么、这个人在学校的时候成绩不好、有的时候就是个问题生，诸如此类的逸事。像什么，爱因斯坦在上学的时候因为厌学而被劝退；最近又有说 2002 年诺贝尔物理学奖的得奖者小柴昌俊教授在高中时物理成绩很差，连老师都告诉他放弃，等等这样的事。

我觉得那些报道最少有一半的成分是为了使文章有趣而编造、夸张出来的。

就算这些都是真的也不要忘了，无论爱因斯坦还是小柴昌俊教授都不是因为上学时候成绩不好而完成了他们的独创事业。取得成就跟成绩不好没有任何关系。

据我所知道的，但凡从事伟大事业的人都有一些共同的特征。首先，他们都很博学。不仅局限于自身研究的领域，也涉猎其他的领域。其次，他们头脑反应都很快。他们不仅能在交谈的时候迅速反应出对方说的与自己要说的有什么共同点与矛盾的地方，其间有什么理论联系，并能一下子引证与之相关的事实。所以听他讲东西很有趣，很带劲。这些人都很会开玩笑。他们开玩笑，会把生活中的琐事与自己所研究的领域结合起来，把其间的共同点与矛盾的地方夸大，让人很明显地感觉到其中奇怪的地方，说得就像是真事一样。

达到这种程度的人，要说在学校的成绩不好这种小问题（这么说可能有些失礼），那真是让人不敢相信。这些有创造能力的人成绩可能是不好，但不是学不好，而一定是有什么理由不愿去做好而已。所以，用爱因斯坦或是小柴昌俊教授的逸事作为有趣的话题来激励学习不太好的学生还可以。要是老师拿这个对学生说：“所以，你们就不用学习了”，那么这个老师就有问题了。

成绩不是决定一切的因素。

创造的基础是模仿

说起独创、创造，人们就容易想到那是某个人首先想到的、谁也没想出来的绝佳的构想。但事实上，这种情况少之又少。现实生活中，对于别人成功实现了的构想，总有人说：“我很早以前就想到过。”其实那未必是吹嘘，而很可能是种不服气的说法。

对照自身的经验，也有人说我研究成功的理论：“说来说去，这与标准的最小平方平均应用法本质上没有什么区别。”也有的时候别人得出极好的成果时，我会感叹：“啊！这个我以前也做过的。”

事实确是如此。纵观科学史和技术史，哪项成就不是以前就有人想到过的。只不过是当时那个人或是没有实现它的能力；或是没有坚持到最后，在研究的道路上半途而废而已；或是这些努力都做到了，但由于当时能够使用的技术和工作不足而未成功。这样的事情一定有很多。

细心地调查一下过去的专利申请，特别是那些最终没有被批准的专利申请，就会发现这是个创新的宝库啊！那些没有被批准的专利申请的想法是先行一步的，但之所以没有通过审批，或者是因为现实情况不允许，或者是因为当时没有这种要求。实际上也有人说因为爱因斯坦曾经在专利局工作，才会有如此成就。

风险企业（日本的造词，是指规模小、从事的行业是新兴的、风险大的，因此不容易成功的企业，故被称为风险企业）成功的条件，不是做到了谁也没想到的事情，而是把大家都想到了但没做到的事情变成了现实。这些企业就是成功地实现了大家都想到了、但是没做到、认为做不到的事情。要是急急忙忙的、把谁都没有想到的东西变成商品，那样整个社会也会因为准备不足，而不会发现其中的价值。

在没有任何基础的情况下凭空创造，一般是不可能的。思考同样事情的人一定有很多。自己认为好的构想，很多时候别人也会想到，或者说是一定有人在思考着相似的事情。任何人都没有想到的构想一般来说都不是什么正常的想法。

大家想的都一样，这样还能发明创造吗？最初的想法的确是相同的，但在此基础之上添加东西、使之升华的水平高低才是决定胜负的关键。

据此，大部分的创造都是在模仿的基础之上增加其附加价值的东西。

独创、创造，不是无中生有的魔术。

第二章 计算机向人类发出的挑战——解决问题的能力与教育

第一节 计算机向人类发出挑战

“计算机会像人一样思考吗？”

最近，经常会听到有人拿计算机和人类作比较并提出这样的问题。随着计算机和机器人技术的进步，它们渐渐成为我们生活中必不可少的东西，而且在将来，它们和人类的关系将会更加紧密。

但是，有人觉得：“计算机、机器人和人的概念是不同的。它们毕竟是机器……”这一部分人是在内心深处不希望人类的优越性受到威胁的。

四分卫拥有只有中心视野范围的视网膜
毫无疑问，在我们看来，人的眼睛是最好的传感器。

我们看书的时候，目光着眼于字上，这之外的部分我们无法清楚地看到。其实，眼睛的视网膜有一部分叫做中心视野，成像度比较高。我们在看书的时候，中心视野能清楚详细地看到视线焦点的文字，但覆盖的范围却是非常有限的。中心视野周边的部分叫做周边视野。周边视野的成像度比较低，但范围广阔，可以对视线范围内的动静做出反应。周边视野对于我们来说也是不可或缺的，其作用是对视线中突然发生的状况在一瞬间内做出反应。而中心视野

的作用是在我们转动头和眼睛的时候，捕捉受观察物体的特殊点。这两种视野的特征互补，共同处理我们的视觉信息。因此，如果我们不转动头和眼睛的话，整个视野内的信息都无法得到处理。

作为电视播放技术先驱的 David Sarnoff 研究所，曾经开发出一种可以高效处理图像信息的特殊芯片。纽约时报的记者要报道这件事，给我打电话希望得到我的评论。我回复说：“这是一项了不起的研究成果，作为工业制品投产的话肯定会很有前途。”记者又接着问：“开发者认为‘这种芯片只将图像的一部分以高成像度处理，而人的眼睛就是只有中心视野成像度高，所以这种芯片和眼睛一样能力很强’，您怎样认为呢？”我回答说：“跟眼睛相比的话，不仅要考虑图像的处理方式，也要考虑到图像的实际效果。”

这个记者可能很认同我的回答，在《纽约时报》的报道中，除了我对这种芯片的褒奖之外，还对关于这种芯片是否与人的眼睛相似做了如下报道。

“‘但是’，金出武雄（本书作者）说到，‘如果橄榄球赛场四分卫上有两名球员，一个人眼睛所只能看到中心视野，另外一个中心视野很狭窄，其余的视野是周边视野，那么，我打赌一定是前者赢’。”（意思就是，前者不用东张西望，就能看到哪个接球队员没有对方阻拦，并把球成功地传出去。）

媒体有一种叫做原声摘要播出（sound bite）的方式。做这种播出最重要的就是摘出能够表达全文意思的章节和语句。《纽约时报》的那段话，是至今为止对我所说的话做的最好的原声摘要。

其实以上我所说的这些，可以算是我对“某种东西与人的构造相似所以性能优越”这种武断理论的批判。

人是性能最优越的机器吗

在我看来，人是非常了不起的“机器”，人的组织结构完美得让人吃惊。眼睛、耳朵等器官传感性能优越；肌肉虽然非常柔软，却能产生高效的能量，而且人对肌肉的控制也是十分的精细。在信息的处理能力上，更是没有任何一种机器或是生物能与人相媲美。所以，这些优越性很容易让我们形成这样一个误区：

“人是存在于这个世界上性能最优越的、拥有最高智慧的机器。”

但是，实际上在那些模仿人的构造制造机器人的研究者中，也有人认为：

“人类是经过长期的进化才具有这种构造的，是自然优胜劣汰的结果。所以，当然这种构造是最优越的。”

但是，我们所称做的人类的构造，就是人类真正的构造吗？除此之外，“人是拥有最优构造的机器”这句话本身也值得怀疑。

人类还是需要进一步进化的。吃、生殖、排泄，这些生理构造跟人的基本功能并没有什么直接关系，应该脱离人的身体。对于操控物体的能力，全部由“手”这个一般装置处理吧。如

果还需要什么工具的话就全从体外获取。我们的眼睛现在只能看见一般的可视光线，还没有无限回转和变焦的功能。DNA 保存着关于人的身体和功能的信息，暂时不能改变。由于性状遗传原理，我们的进化速度还是非常缓慢。事实上，进化仍然是我们肩负着重任。

虽然至今为止，我们还没有发现和人类一样、或是比人类更优秀的智慧生命体存在，但如果就此断定“人的构造是最优秀的”，未免有点太过轻率了。

无论是从上文中提到的视网膜结构，还是从人类大脑缓慢的时钟频率，都能看出人的构造的不足。但要是让我说，值得我们骄傲的正是：虽然人类构造并不完善，但却迸发出高超的智慧。我们应该受到这种能力的鼓舞，从中得到启发。但是相反只是直接模仿人类的构造制造机械就不妥了。

人解决问题的能力

之所以说这个，是有理由的。

在现实生活中，马和汽车比人跑得快；大猩猩和大型发动机比人的力量大；蝙蝠和红外线照相机可以看清黑暗的地方；鸟和飞机可以在空中飞翔。人们并不否认这些方面的不足，可能是人们认为无论何种生物或机器，向人类发起挑战都是不可想像的，所以没有必要不承认这些不足。但是，汽车、摩托车、飞机却是使用了跟生物体完全不同的构造而实现了生物体的功能。

但是，在我们的常识中，智慧、感情、直觉、爱情这些情感却是人类所独有的。人类以外的生物即使经过了长时间的进化也没有产生跟人一样或比人还高等的情感活动。然而，如今计算机正凭借着与人类完全不同的构造，向我们的常识发起挑战。

早在计算机的摇篮期，为人工智能打下“计算”理论基础的 Alan Mathison Turing（1912.6.23—1954.6.7 英国数学家）和打下信息理论基础的 Claude Elwood Shannon（美国数学家）就认定这样的结论，那就是“计算机应该可以拥有和人类同样的智慧”。

人工智能的研究是以 1965 年的 Dartmouth 会议为契机正式开始的。虽然现在已经取得了很大的进步，但实现人工智能的目标还是遥遥无期。尽管计算机的性能也在突飞猛进，但就其计算能力而言，和人类相比还是有不小的距离。

不过，这个距离正在不断地缩小，这是我们无法回避的事实。计算机已经开始进入几个曾为人们认为是人类专有的领域。

很久以前，下棋、计算不定积分、对事物做出判断等被作为智慧象征的，然而现今在这些领域中，计算机正在逐渐超越人类。我们已经无法再坚持智慧只属于人类的观点，继续浑浑噩噩下去了。

如果人类做什么都比不上计算机，那么人类将会失去其存在的价值。但是，人类什么地方做得比计算机好呢？我想是“解决问题的能力”。我所说的解决问题不是简简单单按照操作手册或者公式算出给出问题的答案。而是要从现状出发，确定解决的目标是什么，再设定一个有解决价值的课题，然后付诸实际，这才叫解决问题。这个道理在研究领域、企业、家庭

都是一样的。

为了解决这些各种各样的问题，我们就需要一个完善的教育系统，培养出有解决问题能力的人。

前面说到过《纽约时报》的报道。报道发表之后，一次我跟 David Sarnoff 研究所的开发工程师谈话，我说：“那个评论很好吧。”对方说到：“我们研究所现在流行一个笑话，说‘武雄喜欢的四分卫球员一定是头大得抬不起来，根本传不出去球’。”（意思是说拥有如此广阔视野的人，一定得有个很大的头才行。）

我的论辩对手也很厉害啊！要是这么激烈地论战下去，那么视野的问题很快就能解决了。

第二节有点天真、幼稚、牵强的想法

计算是作为一种“能计算的机器”而诞生的。计算机的初期应用突出了其高速运算的能力，常常被用于计算大炮的弹道轨迹以及破解敌人的密码。但是，我们要注意这里所说的“计算”，是包括数值计算、逻辑计算、条件判断，以及记忆和外界感知等所有的信息处理。

计算机使用硅和铜计算

计算机和人是使用不同的硬件结构来进行计算的。现在我们使用的计算机，其电路板主要用硅和铜线来制作，存储设备是磁性介质。计算机使用大量的电气元件，每个元件都可以表示“0”或者“1”，并且可以根据外部的输入，在“0”和“1”之间进行转换。

因此，计算机在每个瞬间都是由成千上万的“0”和“1”组成特定的组合来表示某种状态。同时，通过天文数字的大量组合状态之间不断转换来进行计算。计算机是人设计制造出的工具，虽说相当复杂，但其中的状态转换可以通过程序进行记录，因此是可以控制的。

但是，所谓“完全控制”并不是要控制每个电子的运动，而是控制其中通过“0”和“1”表现出来的运动。

相比之下，人是通过由细胞构成的叫做神经网的硬件来进行计算的。

人用大脑计算

虽然现在我们还没有完全了解人的大脑和神经系统的作用，但是我们已经发现了有大量的电荷在比现在的电脑带宽还高的神经之间穿梭，进行着计算，传递着不同的信息。

在人的大脑中，聚集着大概一千亿左右的神经原（以下同）（神经的单位），计算的时候这些神经细胞不是一个一个单独进行的，而是通过神经腱把神经细胞相连，组成网状结构进行思考。

如果说一个神经细胞和周围的一千个神经细胞相连，那么这个网状结构的节点数目就是 1000×1000 ，也就是 10^4 的 14 次方这么多。在这个神经网络里，电荷你来我往，进行着各种各样信息的处理，也就是我们所说的计算。

如果把人的信息处理能力水平像计算机一样数值化,也就是以计算一秒钟为传递信息进行了连接次数为标准。假设 1 毫秒(1000 分之 1 秒)一次信息传递的话,1 秒钟就进行了 500 次到 1000 次的信息传递,那么,把刚才说的人的大脑有 10 的 14 次方个节点,再乘以每秒的 500 次到 1000 次的信息传递次数,我们可以推算出人的大脑是一个约有 10 的 16 次方到 17 次方计算能力的机器。

当然这只是推算的结果,并不是绝对的。如果再考虑到人的大脑和身体的体积,可能这个数字还会扩大几倍。

顺便说一下,现代计算的计算能力大概是每秒 10 的 12 次方到 13 次方左右。

“绳子”也会计算

两个输电铁塔之间的电线呈现出平滑美丽的曲线。这个曲线是一个叫做悬链线的函数的图形。如果我们左右手各执绳的一端,也会呈现同种曲线。当我们手执绳子的时候,要想知道绳子呈现出什么形状,需要解一个微分方程。但是这种情况不需要计算,只要把绳子垂下来我们就可以知道它的形状。那么也可以说“绳子是解微分方程计算出悬链线得出的”。

这并不是强辩。实际上在现在的数字计算机被开发出来之前,就曾使用过模拟计算这种思考方法。举例解释一下什么是模拟计算方法。当电流通过由电阻、电容器和线圈组成的电路时,它的时间变化可以写出一个微分方程。那么要想解一个微分方程的话,只需要做成一个电路,使这个电路电流变化的微分表达式和要解的微分表达式相同。这样只需要测量电流的变化就可以解出微分方程了。这就叫做模拟计算方法。实际的模拟计算机要更聪明一些,比如说要解流体力学的方程式,它会换成电流变化来求解。

所以,模拟计算的意思也就是,正像英语单词 Analogous 的意思一样,将要研究的现象(比如流体力学现象)换成与之相似的现象(比如电流现象)进而解决问题。

但是,模拟计算机的值是使用电流这种连续数值表示的,而之后的数字计算机的值是使用 bit 集合这种离散的形式表示的。由此,之后“analog(模拟)”也被用于表示“连续”的意思。所以,也出现了“analog 手表”“analog 人类”等的概念。

令人感到有趣的是,最近“analog”的本意有发生了变化。现在有一种材料,可以根据表面放置的物品而适当的改变形状或表面的摩擦系数。这种材料叫做 Smart Material(智能材料)。材料也会计算。

由此可见,进行“计算”的时候应该从“内容本身”、“怎样表达”、“使用什么工具实行”三个方面思考。无论是硅制成的数字计算机,细胞构成的人类大脑,还是一片绳子,或是使用电路的模拟计算机,虽然使用的是不同的硬件,表达方式也不尽相同,但都可以用悬链线这个方法计算。

当然从编程的角度讲还是有很大不同的。绳子只能计算出悬链线。模拟计算机虽然多种多样,但也只能通过某种微分方程计算。数字计算机可以进行编程语言写出的任何一种计算。人的神经网络可以进行通过学习掌握的或植入 DNA 中的任何一种计算。

第三节人类和计算机不同吗

人们有时闯红灯，这是一种计算

人和计算机虽然使用的是不同的“硬件”，而且内部的结构也完全不同，但它们都是用于计算的机器。

我比较同意这种观点：“计算机可以做和人一样的事情”。

当然，也有人会说：“人和计算机根本不同”，他们的理由大概有两个：第一个是“计算机只不过是按照程序工作的”。

例如，机器人过十字路口的时候，如果是程序规定了当红色信号灯亮的时候，不能过马路，那么机器人肯定就会遵守这条规定。而人有时即使是红色信号灯亮的时候，也会过马路。由此看来，人的行动和计算机是不一样的，不会受提前定好的规则的制约，也就是说，不是由程序来控制的。

要我来说，这简直就是骗人的理论。因为人也是根据某种规则决定好应该过马路还是不应该过，然后采取行动的。人们判断是否过马路遵循的规则不仅是信号灯，还有其他因素，比如当时汽车的速度，其他行人是否过马路等等。把人和只用信号灯作判断依据的程序相比，实在有失公平。如果人在过马路的时候也只以信号灯为判断依据呢？

也会有人说：“我有时也会改变规则。”但是什么情况下改变和改变方法又是什么呢？说到底还是有规则在制约着人的。就像俄式轮盘赌一样，不必遵循什么规则可以产生任意结果，那样写一个产生随机结果的程序就能实现了。

人们只是不知道自己所使用的程序而已。

NP 完全问题

持有“人和计算机根本完全不一样”这种观点的人还有第二个理由，更逻辑化。下面的例子是比较有代表性的。

这个例子是关于商贩的例子。“在地图上有几个城市，商贩需要从一个城市出发走遍所有城市，并且每个城市只能去一次，那么，哪条路径最短呢？”

很明显，我们所能考虑到的路线的数目是有限的，所以看起来很简单。城市数目比较少的话，可以先找出所有的可能路径，然后再找到最短的路径。但是，当城市的数目慢慢增加的时候，可能路径的数目会急速增加。如果要求五十个城市之间的最短路径，那无论使用多快的计算机，其计算的时间也将会是一个天文数字。这个问题有一个特性，就是开始的微小变化，到后来会急速放大成巨大的变化。拥有这种性质的问题就叫做 NP 完全问题。

还有一个故事，说的是印度国王想要奖赏有功劳的仆人，仆人就提出这样的条件：“在国际象棋棋盘的第一个格子中放 1 粒米，第二个格子放第一个的 2 倍，也就是 2 粒米，第三个格

子放第二个的 2 倍，也就是 4 粒米，这样每次都翻倍，直到每个格子都放上为止。”国王稀里糊涂就答应了，但真正一算这个数目其实是个天文数字。这个故事的道理也是一样的，也是一个 NP 完全问题。

实际上，如果把制作铁路列车的时刻表、式样校验、下棋时每一步的最优算法等等这些日常生活问题归类的话，那么大部分问题都可以归类于商贩城市路径问题。即是，虽然可能性的数目是有限的，但无论多快的计算机也不可能在有限的时间内计算出最佳答案。

有人提出：“看吧！人类的专家和棋类高手不用花多大的精力就可以做得很好。所以说，计算机就是比人类差很多。”但是这种观点有一个很大的漏洞，不要忘了，NP 完全问题不仅计算机是难以解决的，而且人类也束手无策。就是说，人类并没有办法判断自己认为的优秀答案是否就是那个最佳答案。

围棋的例子最能说明问题。比如两个围棋高手对局，如果棋手所走的步骤真是最佳的话，那么棋局就应该是这样：决定了先手（开局时先下棋的人）和后手（开局时后下棋的人）之后，先手一直思考，然后就说“我赢了”，后手说“我输了”（或者是反过来的），棋局就结束了。也就是说，最佳步骤意味着最终胜利，如果棋手所走的步骤是最佳的话，那么棋局开始也就意味着结束，根本没有下棋的必要。所以之所以两个人下棋，就是因为棋手本身并不知道所走的步骤是不是最佳的，最终是否能够取得胜利。

但是高手走的棋的确是好棋，这是事实。现如今无论是人还是计算机都能计算出优秀答案（不是最佳答案），这也是事实。

有趣的是，如果要求变成“在有限的时间内，求出优秀率为某一概率以上的答案”，那么即使是 NP 完全问题也是有算法能够解出来的。

人类的思考就是一种物理现象

有人为了说明计算和人的感情是不同的，从而举出左脑和右脑的不同作为证据。“左脑掌管逻辑思考，右脑掌管人的感性。所以人的感性与计算是完全不同的。”这是一种典型的将尚未完全弄明白事情用于说明的论证方法之一。

要我说来，左脑右脑只不过是能力的局部所在地，或者说只是能力的一种分类。从信息处理的角度讲，比如说暖色和冷色，它们都是一样的没有任何差别。

人的大脑就是个处理信息的机器。神经腱相互连接，接受信号，传递信号。一个一个的神经腱就是计算用的工具、要素。从这个角度看，左脑和右脑是没有差别的。

我在上学的时候有一种议论：人处理的是模拟的，也就是连续的信息；计算机处理的是数字的，也就是分散的信息。两者有着根本的差别。现在没有人有这种想法了。

最终这个议论也归结于以下理由。

假如这里有一个人，然后把这个人用玻璃瓶子完全密封起来。那么瓶子中，特别是人脑中所发生的现象不是普通所说的物理现象，而是非常不可思议的现象，这种说法想必是行不通的。

吧。或者说同样是物理现象，但是跟瓶子之外的原理完全不同，比如电子与电子之间不再相排斥而互相吸引。这种说法也是行不通的吧。

要是这样的话，与其说是科学研究的领域了不如说是哲学或者宗教的领域了。就我个人而言我始终相信，无论瓶子里面还是外面，物理原理都是相同的。

那么放置于瓶子之外的计算机，虽然使用不同的硬件，但计算着跟人一样的或者比人更高等的“内容”就没有什么不可思议的了。的确瓶子外面会有人与里面的人同样聪明，甚至超越他，计算机自身的能力也是在向着那个方向发展的。

第四节计算机将变得比人类更加聪明

说起智能机器人，以前只是在科幻小说中才出现的，不知道是什么时候它变成了现实，活跃在社会的各个领域。现今时代，人类已经觉得机器人的存在是必然的。本田还有索尼公司已经开发出了类人机器人，他们已经实实在在地存在于我们的身边了。在 21 世纪，随着计算机技术的不断进步，机器人技术会得到前所未有的发展。

我感受到新的智慧

“感受到了一种全新的智能体”，这是世界国际象棋冠军卡斯帕罗夫输给超级计算机深蓝后所发出的感想。

1997 年，IBM 研制出的超级计算机深蓝向世界国际象棋冠军卡斯帕罗夫发起挑战，最终以两胜一负三平的成绩取得了胜利。那次比赛后我有很多感想。国际象棋是世界上最流行的被视为高度智能领域的游戏。而计算机却在国际象棋上战胜了世界冠军，这引发了人们不小的争论。

实际上，超级计算机“深蓝”的研究团队的核心就是卡耐基 梅隆大学计算机科学系的博士生。研究也是从卡耐基 梅隆大学开始的。

研究战略主要有以下三点：

- ① 能够记住所有的已走完的棋局；
- ② 能够根据过去的棋局计算棋子车（国际象棋中很重要的一个棋子，相当于中国象棋的车）的重要度和评价局面的好坏；
- ③ 开发出高速计算机进行提前运算。

深蓝每秒钟可以计算两亿种下法，对于每个局面平均能检索十四种变化方式，进而决定这一步怎么下。

也有人说：“深蓝的下棋方法只不过是全力将局面检索出来，并不是像人类一样的思考。”这种说法只不过是嘴硬不服输而已。如果是人类之间的竞赛，输的一方就不可能说赢的一方棋艺拙劣等等。这是因为其实人类自身也并不清楚是怎么思考下棋的，更不用提向对手说明下一步该怎么走了。而清楚这些程序的计算机，就不得不说有缺陷了。

卡斯帕罗夫并不能完全预料到深蓝的走法。当深蓝走出一步让人无法预料的棋时，人们就会认为计算机还是挺傻的。但是卡斯帕罗夫却认为这是一步好棋，而最后败北的又的确是自己。所以他会说：“感受到了一种全新的智能体。”

卡斯帕罗夫的话表明，他已经把计算机比做人了，已经把计算机和人当成同一水平进行评论了。卡斯帕罗夫在输的时候表现出的失望的神情就足以证明了这一点。如果一个大力士和大型电子机械扳手腕输了，他要是把电子机械当成异类的话，不可能会有不高兴的感觉。

可预知的不可预知性

“深蓝”的能力，用我的话说就是，已经超越了“可以预测的不可预测性”这个壁垒。

我所说的“可以预测的不可预测性”是指，一个人评判他人或计算机“是否有感情”、“是否有个性”的判断基准。

以“有感情”为例，现在已经有程序可以在计算机屏幕上显示笑、哭、愤怒等表情，但是谁也不会因为这个原因就认为计算机有感情了。

再者，假设人向计算机中输入文章，计算机可以据此产生反应，做出表情。如果这个时候，输入者预计输入什么文字计算机应该做出什么样的反应，而计算机的反应又跟人所预料的完全相同，那么人们会觉得“计算机的反应是事先设置好的”，而不会认为这是计算机自己的感情。

并不是说计算机的反应需要出乎人们的意料。如果程序只是随机给出反应的话，人们只会想：“计算机给出的表情和我的输入完全没有关系。”仍然不会认为计算机有感情。也就是说，计算机的反应必须是在一定的可预测范围内给出的不可预测的结果。

人类之间也是如此。如果一个人的言谈举止都跟别人一样，那么大家会认为他没有个性。但是如果跟别人完全不同、太过怪异，以致超出容许范围的话，大家就会认为他性格异常了。当然，这个容许范围是随着时代而改变的。

是不是在可以预测的范围内做出不可预测的事情，这是判断是否与人类一样的关键所在。

超越人的机器人漫步于城市的时代

对于“计算机能不能和人一样甚至超越人类比人还聪明”的这个问题，我是持肯定态度的。

但是在现阶段，我们就拿计算机和人的能力直接做比较的话，我觉得是不当的。打个比方，现在的计算机，其能力好像处于脚的高度，而就人类来说，已经到达天花板的高度了。先不用说智力水平，连基本的计算能力就已经相差了一万倍到一百万倍。话虽这么说，但是直接比较的话，还是非常烦琐的。

于是，人们总是将关于现在无法实现的事与将来是否能实现的事混为一谈。在“无法实现”的观点中，总是掺杂着“不想实现”或者“不应该实现”的想法。

无论现在还是将来,计算机或机器人和人类相比始终处于劣势的是确定工作内容和繁衍的能力。

现在来看,如果能清楚地确定工作内容的话,机器所做的工作的确很优秀。例如:在医疗领域里,有种钻孔机器人,如果命令“按照这种形状开一个洞”,那它肯定会比人完成的准确。但是,应该在足骨上开洞的机器人,把它放到头部打开开关,它也会毫不犹豫地给头部开个洞。要是人类的话,即使不是医生也会觉得在头部使用电钻荒谬至极。

这是封闭系统与开放系统的差别。目前的计算机和机器人系统都被人为加上了“足部医疗机器人不可用于头部”这种限制。

实际上这一点对解决问题有重要的意义。

以前有一个“传教士和狮子”的智力题。说的是有三个传教士和三头狮子来到河边想要渡河,但仅有一艘能承载两人的小船。而且如果传教士的数目少于狮子的数目的话,传教士就会被吃掉。怎样才能让全体安全渡河呢?

对于这个问题,看起来好像觉得挺难的,大家也费了好大力气想答案。但是却绝不会有这种答案:大家顺流而下,发现下游有座桥,就一起过去了。为什么这个答案不可以呢。这叫做“范围设定问题”,研究怎样限定问题答案范围。现在也是个很难解决的问题。

也有研究者想要制造可以自己再生的机器人。最初的做法是,给机器人准备三个左右的手腕,如果机器人手腕坏了,会自行到工具箱中取出备用手腕替换掉损坏的手腕,也就是做到替换自身部件的程度。

要想实现这种功能,就必须准备充足的部件。研究者想实现的是让机器人收集材料制造各个部件,然后制成跟自身相似的机器人。但是,从部件的角度讲,材料是有限的,如果材料用完了,机器人也就无计可施了。

而人类作为生物,拥有再生能力。比如如果受了点小伤,只要多加休息补充营养就可以治愈了。父母通过吃饭,就可以养活孩子。当然,我指的是地球范围内是这样的。

但是,计算机也在飞速地发展。十年间,比起以前已经取得了 100 倍左右的进步。如果按照现在的速度发展下去,二十年到三十年后人与计算机的基本计算能力就会出现交差点。

并且,人们已经开始慢慢了解像创造能力、个性、感情这些元素,这些一直以来被认为只有人类才独有的能力。虽然现在还没有完全了解,但在不久的将来,它们就会被探究明白的。机器人赶上,乃至超越人类、在街上行走的那一天,不久就会到来。

有人担心,如果这一天到来,机器人可能会反过来控制人类。我却不这样认为。这些人的思考方法有一个问题点,就是将人类和机器人对立起来看待。其实,到那个时候,社会是人类和机器人共有的社会。人是聪明的。在将来人与机器人的共同世界中,人的存在将会变得比现在更有意义。

为了我们早日到达那个时代，现在最应该做和最重要的就是解决问题。决定应该解决的问题，设定一个高的但是可以实现的目标，为了那个时代而动脑动手。而计算机和机器人也会在其中发挥重大的力量。

第五节 通过解决问题来提高思考力和判断力

最近，经常听到日本的大学老师这样评价学生：“现在的学生，能够解决给出的问题，但是却不能自己去发现问题。”这也许就是因为到高中为止的对错、偏差值教育的弊端吧。我看这不完全是学生的错。

我在大学时，讨厌做实验

说实话，当我还是在学生的时候，非常讨厌当时的实验课。

实验是研究的基础。科学是以假说为出发点开始研究的。假说就是为了解释某种现象而设定的假想的理论，那么假说是否符合事实，就需要通过实验从各个方面加以证明。随着实验的深入，假说的真实性也随之提高。

“地球是圆的”曾经就是个假说，哥伦布想，“如果地球是圆的，从欧洲出发向西航行就应该也能到达印度”，而后出海实践，这就是实验。要想说明某个假说是错误的，只需要举出个反例即可。而要想说明某个假说的正确性，即使举出再多的符合假说的例子也是不充分的，应该证明没有反例存在才能够说明其正确。无论是多好的假说，要像得到自己和他人的认同，就必须给出实验得出的证据。

现在我明白了，我在大学的时候讨厌上试验课，并不是因为我懒，而是因为当时大学的试验课都是一些基础理论的试验，大都被证明过了。而且就试验本身来说，都是些按照操作手册就可以完成的试验，丝毫没有挑战性。

例如，《实验手册》中有这样一个实验：“旋转第三个和第二个旋钮，根据计量器的结果画出第四个和第五个的值之间的关系图。”而学生根本不了解为什么这么操作，只是一味地旋转旋钮，记录数值。然后确认画出来的图形是否符合理论图形。要是不符合的话，就会像“技术人员”一样认为这是个误差，可以接受。这样的实验怎么能引起学生的兴趣。

美国的大学重视学习解决问题的能力

和日本相比，美国的大学又是怎样做的呢？一般来说，学生在收到教授给的课题后，就开始自己思考、调研、解决。总之，在美国的大学培养学生解决问题的能力是最基本的。

现在的商学院的教材都是采用企业的实例来编写，其目的都是为了培养学生处理实际问题的能力。老师经常是这样提问学生：“读了这个案例，要是你是那个公司的经理，你会怎么做？”这种授课方式不仅限于大学，从小学开始就一直采用这种方式来教学。

我孩子就读的康奈尔大学经常会出一些“请做出什么……”，例如此类的作业，其目的就是让学生自己思考研究。其中还有些很著名的研究课题。

有一个课题是关于一次性相机的。一次性相机（胶卷上附带个镜头）是相机和胶卷合在一起

出售的，但是售价却仅是胶卷的价钱。问题是：一次性相机为什么比普通相机卖得便宜。

那么授课是怎么进行的呢？

首先，老师出钱让学生买回来一次性相机，然后将一次性相机分解，研究它的各个部件。学生自然产生疑问，一次性相机跟普通的单镜反光式相机有什么不同。接着分解一台普通相机。普通相机价钱昂贵，所以只能大家用一个。研究发现，一次性相机和普通相机虽然都有镜头，但是一次性相机使用的是塑料的小的镜片，普通相机使用的是玻璃的大的镜片。镜头就有很大的差别。然后大家再研究为什么塑料镜片比玻璃镜片便宜，使用玻璃镜片哪里好。

还有一点不同就是，普通相机有调节焦距的装置，而一次性相机没有，只有一个小孔作取景器。学生就产生了疑问，一次性相机是怎样成像的。大家实际使用一次性相机照相，发现虽然它不能调焦，但是被照的对象无论位置在哪，照片照出来都不模糊。学生们就会思考为什么，最后就会得出焦点深度这个概念。

美国的课堂就是这样，通过各种各样的实验研究，让学生从实际问题出发，自己思考、研究，最终得出结果。他们就是注重培养学生独立思考问题、下功夫求解、寻找答案的能力。

其中有个学生要使用电子显微镜研究相机的部件然后写报告，但是电子显微镜不是随便可以让学生使用的，这个学生就找管理员老师交涉。怎样说服老师同意使用电子显微镜，这也是一种学习吧。

练习跟人打交道在研究中也都有其意义。技术工作者并不需要什么工具都准备好。有时候也应该去寻找有合适的工具的地方，或者将现有的工具改良以供实验，或者有什么高价的工具买不起就找有这个工具的人借。这都需要跟人打交道。这种能力对于顺利进行研究也是非常重要的。

日本的学生，解决问题的能力明显要差得多

我认为无论是什么学科，培养解决问题能力都是最重要的事情。

以我的体验看，日本的学生和美国的学生相比，日本学生解决问题的能力比美国的学生要低。

从书中找出答案这不叫解决问题。所谓解决问题应该是思考像一次性照相机问题那样的、现实生活中的问题，然后产生各种各样的疑问，进而再去解决。这就是在学习解决问题。如果不训练学生思考现实生活中的问题，那么就算有再多的专业知识，也培养不出思考能力、判断能力和挑战问题的欲望。

那么日本的教育方式有什么失误呢。日本的教育体系以教科书的编写方式为首，就有方向性的错误。日本的学校教育将知识整理成定理教给学生，让学生做的练习只能让学生明白定理与问题是怎样对照起来的，实验也就是教学生怎样复现已经证明是正确的知识。这样的教育根本不能培养出解决问题的能力。

章末习题经常这样出题：证明以下事实，然后给出问题，并在后面打上括号，注明帕斯卡定理（就是要求在证明中使用帕斯卡定理）。虽然不靠提示有时也能证明成功，但没有人会认

为做出这道习题自己就跟帕斯卡一样的聪明。其实只要使用这章学习的内容就应该能证明出来，那个定理就是给学生最大的提示。而帕斯卡是在没有提示，并且不知道这个定理是否正确的前提下将其证明出来，这之间是有天壤之别的。就好像做出了许多围棋死活题之后，实战中仍然无法顺利吃掉敌人的棋子一样。

最近入学考试有自由作文这一考题，用以测试学生的创造能力。要我说，真正的能力通过抽象的作文是测试不出来的。自己随便想随便写任何人都能做到。真正的能力是解决现实生活中具体问题的能力。

第六节

在日常生活中，我们经常使用一种方法，就是通过观察各个不同的事例，由它们共同的性质和关系推导出普遍适用的命题或者法则。这种方法称为归纳。虽说有的时候归纳的结果也会引导我们得出错误的结论，但归纳可以加深我们对问题的感性认识，从这个角度来说，归纳也不失为一种解决问题的好方法。何况我们还能从很多例子中看到归纳法的益处。（引用自 G 波里亚著，柴垣和三雄译《归纳与类比》的一节，多少有点变动。）

您怎么算得这么快啊

冯 诺依曼可以说是 20 世纪的科学巨人、数学家、物理学家。他首先提出了“可以运行程序的计算机”（也就是现代计算机）的概念。正因为如此，有时候现代计算机也被叫做冯 诺依曼型计算机。

戈尔斯坦曾作为军方科学家与冯 诺依曼合作，参加了 ENIAC（世界上最早的电子计算机）的研发项目。他是个军人，同时也是个优秀的数学家，曾多次获奖，后来更是成了 IBM 的特别研究员。我下面要讲的就是这两位历史人物在京都大学做特别演讲时，我所听到的一个小故事。

冯 诺依曼的确是个非常聪明的人，有人说：“关于数学方面的问题，最好的解决方法就是去问冯 诺依曼。”开发 ENIAC 的时候也是如此，想求助于冯 诺依曼的研究者络绎不绝。

有时学生来向冯 诺依曼请教问题，诺依曼不在，戈尔斯坦接待了他。当然戈尔斯坦也是个一流的学者。他听了问题之后，就建议说：“这个问题确实很难啊。像这种情况，最好首先做三个例题，然后再试着解决问题。”

第二天早上，那个学生又来了。他按照戈尔斯坦的方法，解例题解了一晚上，双眼满是血丝（当时既没有计算机也没有电子计算器）。这时诺依曼也在场，学生对他说：“为了找出解題的一般方法，我首先从解例题入手。”诺依曼回答说：“这的确是个不错的想法。”学生又接着说“可是最初的例题就这么……”

这时，只见诺依曼“嗯……”了一下，抬头想了片刻，便对那个学生说：“那个例题的答案是 xxx 吧。”

有些天才数学家很小的时候就显出超强的运算能力，很多位数的计算题，只要看看就能算出答案。一般来说这种特殊能力在成年之后就会渐渐消失，而诺依曼却没有。学生花费了一晚上的时间解出的三道例题，他仅仅在“嗯……”的一阵工夫就算出了其中之一。

学生惊呆了，接着说第二道例题。诺依曼还是“嗯……”了一下，又马上说出了答案。

学生又说：“第三道例题是……”，诺依曼又是“嗯……”，“答案是 YYY。”学生对诺依曼佩服极了，说道：“您怎么算得那么快啊！”

我讲这个小故事的目的不只是为了告诉大家诺依曼有多聪明，而且还要告诉大家一个道理：思考某个问题的时候，从例题入手再分析解决问题是个不错的方法。权威人士冯·诺依曼也是这么做的。

欧拉公式

数学里有很多叫做欧拉法则、欧拉公式这样带有欧拉前缀的定理。像复数、级数、微分方面就有很多这样的定理。当然叫欧拉的人可能会有很多，但我要说的是 L 欧拉，他是 18 世纪的数学巨人，特别擅长推导公式。他的做法就是先研究例题，然后根据例题的关联性写出差不多能成立的公式，之后再证明这个公式正确与否，如果正确就得到一个公式。

例如，我们都很熟知的四面体、立方体、五棱柱（底面为五角形的柱体）等这些多面体，关于面、顶点、边之间数目的关系，有个很重要的法则叫做欧拉公式。

我们先看看图示中的四面体、三棱柱（底面为三角形的柱体）、立方体，你会发现图表中第一行数字（面的个数= F ）加上第二行数字（顶点的个数= V ）再减去第三行数字（边的个数= E ）都等于 2。于是欧拉马上建立起 $F+V-E=2$ 这样一个公式，接下来的事情就是证明这个公式了。

| | 四面体 | 三棱柱 | 立方体 |
|-------------|-----|-----|-----|
| 面数 (F) | 4 | 5 | 6 |
| 顶点数 (V) | 4 | 6 | 8 |
| 边数 (E) | 6 | 9 | 12 |

说起证明公式好像很难，其实这种情况下可以采用归纳法，我们只要在研究例题时多加注意，就可以很简单地证明出来了。实际上关于这个公式还有更深的内涵，在这里就不再赘述了。

据说跟欧拉有关的公式定理，大部分都是用这种方法得出的。

研究例题入手，从而得出事物之间的关系，再建立有普遍意义的法则或解法，这种方法可以说是开展研究的强有力的手段之一。

逻辑学家、数学家、物理学家、工程学家

什么是归纳呢？抽出各个不同的事例之间共同的性质和关系，推导出普遍适用的命题或者法

则的方法就叫做归纳。欧拉采用了三个事例就推导出了一个公式，但一般来说，想要得出一个正确的结论或假说就一定要让它符合尽可能多的事例。

当然并不是说举出的符合事例越多就越好，而是要通过对事例的思考，得出其间有什么联系，可以建立起什么样的法则，这才是最重要的事情。

如果我们不这样的话，可能会得出奇怪的结论。数学家 G 波里亚写的书《归纳与类比》中讲了一个“逻辑学家、数学家、物理学家、工程学家”的故事，内容如下。

逻辑学家是最注重严密的人，所以他们很难容忍数学家在严密性上的麻痹大意。逻辑学家责备数学家说：“数学家在研究 0 到 100 之间的整数的时候发现，每找到一个整数就比 100 小。于是就枉下结论说所有的整数都比 100 小，还跃跃欲试要证明这个傻瓜定理。”

数学家说：“可能吧，但物理学家更过分。他坚信 60 能被所有的数整除。他的理论是，自然数的开始几个 1、2、3、4、5、6 都能整除 60，然后用他的话说就是‘任取一些数字’10、12、15、20、30 都能整除 60。所以实验证据充足，60 可以被所有的数整除。”

物理学家又说话了：“嗯，但是请大家看看工程学家。他说所有的奇数都是素数。第一个奇数 1 是质数，这倒无可非议，接下来 3、5、7 也没错都是质数。接着到 9 了，嗯，这个 9 啊，怎么看都不是质数，但工程学家说‘暂且搁置下来’继续实验。11、13 也都是素数，那 9 ‘一定是测算时的误差’。便下结论说所有的奇数都是素数。”

我对想出这个笑话的人十分佩服。这个笑话把不同职业人的癖性都表露得一览无余，这种幽默与智慧很让我钦佩。但是请记住，他的意思并不是要我们抛弃事例，而是更好地发挥事例的作用。

第七节培养思考力的编写教科书方法

美国的教书生活使我明白了一个道理，教科书的编写方法是教育的基础问题，它跟培养解决问题的能力有很大的关系。

首先通览公式

我们看看教科书便不难发现，日本编写教科书的方法是，首先给出公式和理解公式的一般性例题，然后让学生做一些适用这个公式的简单练习。这就是所谓就是先公式后练习的方法。

而美国恰恰正好相反。美国的教科书一般都非常厚，老师和学生可以慢慢、从容地进行课堂内容。他们是通过大量的例题一点点引到公式上面来的。

我们先来看看美国编写教科书的方法：

① 首先，老师让大家思考一些简单的问题：“有这样一些问题，大家看应该怎么解呢。”

② 之后，“发现了吧，这样就可以解出来。那么我们再看看下面这些相似的问题”，老师给出一些要点相同的问题，让学生自己一个一个地解决。随着问题难度的加深，学生对问题的理解一点点加深了，就会发现“啊！原来每个问题都必须考虑到这个地方啊。”

③ 最后，理解这些问题的共同点，得出公式。

这就是美国编写教科书的方法。

例如，假设要讲解 N 维空间的公式或定理。老师首先会拿出一维的例题让学生思考，然后证明一维的情况下定理成立。接着便会加深问题难度。学生在解题的过程中会发现“这些问题都符合一个一般性的定理啊”。定理是在最后给出的，大都是在练习题中提出来的，“这章的定理实际上是一个适用于 N 维空间的定理。形式就像这样，大家证明一下吧”。

日本的教科书则刚好相反。首先证明 N 维空间下定理成立。证明的过程需要对公式进行复杂的变形，这样一来就很难理解定理的来龙去脉了，也很难有人对 N 维空间产生感性的认识。接着是练习题，都是一些套用刚刚学的定理就能解出来的习题。最终，产生在学生身上的效果就是，“啊！原来如此。套用这个定理的话， N 是 3， a 是 5， b 是 0，正好符合定理”。

“实质到形式”还是“形式到实质”

日本的授课方式就是这样，老师先把很难的公式给出来，然后再让学生尝试理解公式的实质。对学生来说，如果开始没有跨过这道门槛，没懂得公式的话，后面的课就无聊之极。就算是有的学生明白了，也只是明白了公式的使用方法，其中的结构、意义未必都明白。就是到了最后也始终不能明白公式是怎么样得来的。

发现定理的学者都是从实际的事例出发的，思考着“其中是不是有这样的联系啊”，从而得出定理的。牛顿发现的万有引力定律可以解释苹果落下这个自然现象。如果广泛流传的关于牛顿的轶事是真的，那牛顿就是通过苹果落下发现万有引力定律的，也就是说，他是通过自然事例得出了一般定理的。

日本的课堂只是教了公式的使用方法，对公式的由来并不重视，教授得也不充分。时间长了，学生就会认为数学和理科都是背诵的学科。要是学生忘了公式，那就什么都不能解决了。

三十多年前我在京都大学读书的时候，曾听过当时电子试验所的菊池诚博士做的一次特别演讲。菊池诚博士是日本半导体技术的开拓者。他提到一个在美国教书时候的事情，我至今还记得十分清楚。

“如果想开发一种新的电子元件，最重要的是建立起一个元件内部电子运动的模型。要是告诉美国的研究生‘做一下这个元件的模型’，他会用大学初级电子物理课上所学到的知识，‘首先假设元件内部电场是统一的……’，之后得出‘元件的厚度与电压、电流之间有这样的关系’。而同样的事情让日本的研究生做的话，他会回答‘元件的边缘电场是混乱的，所以要先设定极限条件。这是相当难的，让我回去想一晚上吧’。第二天再问，他会说‘那个太过复杂，我没解决出来’。一目了然的模型可以为整个设计指明方向，哪怕只是个相当简

单的模型。日本的研究生跟美国的研究生相比理论水平要高一些，但他们无法把这些知识用到实处。”

这段话的寓意非常深刻。

这种现象不仅发生在理科和数学上，也发生在体育运动方面。记得跟日本橄榄球队前教练平尾诚二先生谈话的时候，他曾说过：“日本的橄榄球运动员做了很多传接球的练习。他们知道很多种方式，练习的时候也表现得很好。但只要是一比赛，就会变得一团糟。”

单纯练习公式的使用方法是无助于培养思考能力的。不思考只是一味地使用公式，把知识当成一个一个的模块毫无意识地使用，只有对所从事的职业习以为常、对公式非常熟悉的专家才有必要这么做。对大部分人来讲，还是自己思考为好。自己的思考和通过思考认识到的事物内部联系，对以后产生构想，对开发产品是有很大作用的。

想写一本好的教科书

斯坦福大学计算机科学系的主任 N 尼尔逊教授非常善于编写教科书。读他编写的教科书就好像读故事书一样引人入胜。解着他出的练习题，便会自然而然地得出定理。有时候一些例题的思考方法跟直觉是有点微妙差别的，这就故意将按照直觉解题的学生导入了歧途。这时候给学生讲解会让他们感觉情况发生了翻天覆地的变化，被神奇地引回到正确途径上来。思考方法也就在学生的头脑中留下了深刻印象。

日本也有这样的教科书。我当时并没有学习物理专业，但我读过朝永振一郎博士写的一本名为《量子力学》的书，就是这样的。据说这本书被翻译成了英语，国外也在使用。

我真想在日本编写这样的教科书，更希望在日本更多地看到像这样的教科书。

第八节 创造力、规划能力的基础是记忆力

有的人总抱怨：“我的记忆力实在是很差啊……”，这么说的人大概内心都很自负，认为“我的思考能力是不可能输给其他人的”。但是，真是这样吗？实际上，记忆力和思考能力并不是一对对立的观念，它们的关系也并不是此消彼长的。

知觉、思考、行动都源于记忆

日常生活中，对于人的知觉、思考、行动等等，如果我们要追溯它们的本源的话，最终会落到记忆上来。如果头脑中没有知识和信息作为工具、材料，想单凭规划能力与创造能力做出点什么，也是不可能的。构思就是通过重组脑海中的记忆而产生的。如果没有良好的广博的记忆内容作基础，是根本产生不了什么构思的。

因此，最有效的学习方法就是记忆。如果我们把他人长时间研究得出的成果总结记忆下来，不仅高效便捷，也能为自身的思考打下坚实的基础。当然，这里所谓的记忆，是指“经过理解的记忆”，这一点无需多言。

放眼整个社会，科学发展日新月异，人类所积累下来的成就也正是通过书、论文和互联网这些工具向人们传播。到现在为止，就我所遇到的人中，可以说有所成就的，无一例外都是些

记忆力超群的人。

随着现代科学技术的迅猛发展，无论在什么领域，没有专业知识和背景的人都很难研究出什么成果。的确，外行人经常也会有所发现，但这只是一种直觉，要想真地实践或者证明出来的话，没有专业知识是不行的。

所以，我想世间无论什么想法终究会有一两个人想到的，能不能实现就看个人实际能力的差别了。

人类通过遗传留给下一代的记忆量只有 0.0000...%

卡耐基 梅隆大学的 R 拉迪教授是在我之前的机器人研究所的第一任所长，他在 20 年前就预测到“互联网在不久就会出现”以及预测了现在的互联网社会。现在他正致力于将世界上的所有知识都输入到计算机当中，做成一个通用文库。

虽说计算机不是绝对不会丢失保存的资料，但是它可以瞬间将资料传送给其他的计算机，这一点是计算机跟人类的根本性区别。

对于人而言，虽然他通过学习掌握了很多知识，但是他一旦死亡，他所拥有的知识、思考方法、能力都会跟着一起丧失。人要是上了年纪，其能力也会慢慢衰退。而作为计算机，想要它“忘掉”的话它也能“忘掉”，不想让它“忘掉”则会永远保存下去的。

人类通过遗传基因的变化可能让下一代变得更聪明一点，但一次世代的更替则需要 30 年之久。所以现在为了继承先人的知识和思想，也只能是通过读书和学习的方式传承下来。

最终，人类通过遗传留给下一代的记忆量只有 0.0000...%。

计算机的一个好处就是可以百分之百地把信息都传递下去。从这种意义上说，衡量计算机进化速度的标准跟衡量人类的标准是完全不一样的。如果我这样写的话，一定就会有人说：“人类的记忆力根本赶不上计算机。记忆的任务就交给计算机吧，人类只要磨炼自己的思考能力就行了。这才是最有效率的方法。”其实，说这种话的人就大错特错了。

储存能力与应用能力

我们常常会碰到这样的事情吧，自己怎么也没解决的问题被别人先一步解决了，之后说起解决问题的方法：“实际上 xxx 与 yyy 是有关系的，我就是想到了这个才研究出来的”，这时候自己一定很懊悔，“我经验也丰富，知识也完备，本来我也能解决出来的……”构思也是如此，很多时候人们会觉得：“这样的构思我想出来也不足为奇啊！”

实际上，记忆力可以分成储存能力和应用能力两部分。无论储存了多少，没办法应用出来的话其实是毫无作用的。但要是什么都没储存的话也是谈不到应用的。也就是说，只有锻炼两方面的能力才能活用记忆力。

一环扣一环地推断“什么地方有什么关系”是最重要的一种能力。这种能力就是要善用头脑中的知识，能够迅速找出来什么与什么是有联系的，在看似无关的地方一眼发现其中的内在联系。

计算机可以记忆一个人的大脑完全无法记下的庞大数据,其中许多资料我们平时根本不会见到。计算机记忆之后,我们就可以通过搜索引擎进行检索。人们在解决问题的时候则需要把检索出的知识与大脑中已有的知识结合起来形成记忆,否则对研究是没有作用的。

计算机即使储存再丰富的资料,人们如果不将检索出的资料记住,与现有知识关联起来,并且再次应用于实践中,那么再珍贵的资料也会白白浪费掉。但是,怎样才能把自己记忆的东西迅速地应用呢?现在也有很多书写怎么加强记忆力,但我要很遗憾地告诉大家,加强记忆力是没有捷径的。

还有一点很重要,记忆的时候要尽可能做到理解记忆。理解基础上记忆的东西才能正确使用。比如研究问题的时候发现,“啊!这个问题跟我去年解决的问题很像”,于是很顺利地就解决了。但是去年的问题没有理解好的话,头脑就不会反映出它们有联系。模糊的记忆会让人觉得似像非像,没有办法活用于实际中。

接下来是联想记忆。联想记忆就是无论看到什么、听到什么都能跟自己知道的、经历的事情联系起来。看到一个东西就要问自己,“如果这样的话……”,然后展开丰富的想像力,将新知识与自己的旧知识或者经历联系起来,从而记忆成为自己的东西。用这种方法的话,很容易提高我们对知识的感知性。

所以,要想在构思、创造和解决问题的时候游刃有余地使用自己的知识,在记忆的时候就要问自己“明白了吗”、“如果这样的话……”,尽可能地去采用理解记忆和联想记忆这两种方法。

第九节 思考力和记忆力是靠不断实践培养起来的

我记得曾经与象棋名将羽生善治交谈的时候,他这样说过:“下象棋要用直觉。”作为我们平常人,在下棋的时候都是想着“这么下结果会怎么样”,一步一步地“计算”着下棋。而职业棋手则是看一眼棋局,头脑中就会闪现出下一步的走法,这就是所谓的直觉吧。而我这种比业余还业余的选手,连象棋的规则还搞不明白呢,就是想下棋的话,也得先找个人教我下棋的规则。

直觉也是一种计算

在很多人的眼里,拿直觉跟逻辑思考相对比,似乎是一种其他的能力。羽生先生说的话也给人这种感觉。但我认为直觉实际上与逻辑思考没什么区别。因为我觉得直觉就是计算机科学中所说的“计算”——其实也就是信息处理。

我这里所说的计算并不是普通意义上的计算,你要是把它理解成加法乘法就错了。计算不仅包括四则运算,也包括循环、逻辑判断、分支、选择、输入输出等,凡是计算机程序能够执行的都叫做计算。也就是我所说的信息处理。

比如在看到某个人的长相时感觉很漂亮,这种感觉我们把它叫做感性认识。实际上这也是一种计算。的确,现阶段计算机的能力还不能胜任“感性认识”,但真正的原因是人类还不能

明确解释“感性认识”的原理，没有制作出相应的计算机程序。

颇具讽刺意味的是，我们人类其实就是把自己解释不了的计算方法都说成是“直觉”或是“感性认识”。

曾经有人这样说：我们人类通过直觉所能做到的东西计算机绝对做不到，但实际上，在各种各样领域里，计算机已经能够和人类做的一样好，甚至有时候比人类做得更好。

德雷福斯曾说：“国际象棋计算机绝对赢不了人类的世界冠军。因为人类是用直觉在下棋的。要是输给了计算机，那简直就是弱智。”但 20 世纪 80 年代计算机就很轻松地击败过人类，20 世纪 90 年代后半期，人类的冠军又输给了计算机。

有时候，人类真是善于为自己辩解，那之后又有人说：“国际象棋这种简单的游戏根本不能真正地衡量智力水平，象棋和围棋计算机就赢不了吧。”就像日美贸易纠纷时，找了“仿造”“廉价劳动力”“结构壁垒”一个个的借口。现如今象棋和围棋计算机确实赢不了人类。但我看早晚会反过来的。

在我看来，职业棋手用直觉下棋其实就是在计算。只不过他已经将计算方法变成了自己功能，计算速度很快，能够做到无自身意识的计算罢了。

不用万有引力定律人们也知道物体是往下落的

据说羽生先生六岁就开始下象棋。刚开始学下棋的时候想必也一定要记“这么下会这样……”，而之后习惯了，不用这样计算也能很轻松地预见结果了。

大脑中的神经细胞神经原中的一些组合，每次都是按照同样的方式对一种刺激做出反应，所以就会将刺激与反应结合起来，如果再遇到这种刺激就会做出相应的反应。我们把这种情况称之为条件反射。

用我们的话说就是每次都执行一个特定的功能，这就像硬件中使用固件（firmware）来控制其每次都执行同样的功能一样。其实，这也是一种学习，不反复应用公式推导结果，而是将计算方法模式化迅速得出结果。例如，物体应该如何下落呢？本来我们可以用万有引力定律推导出结论物体是往下落的，但每次推导的结果都是如此，时间长了不使用基本的定律我们也能预见结果了。

计算机本身也是这样的简单例子。以前的计算机遇到难的函数（比如三角函数）都是一次一次地计算的。渐渐计算机内存价格降低了，容量也就增大了，再计算某种函数的时候就不用再实际运算，而是把结果储存起来，计算时就直接提取出来，这样运算速度就快多了。

我从小时候起，就非常喜欢记一些东西

我小时候所受的教育基本可以概括为“读 写 算”。“读 写 算”可以说是所有学科，或者更进一步说，是培养思考能力与记忆能力的基础中的基础。既然是基础，就需要反复地循环应用才能掌握，这其中是没有捷径的。只有在头脑中形成了一定的知识模式，才能进而更好地应用。这就需要无数次的反复刺激大脑神经原从而形成条件反射。

小学的时候，我就非常喜欢背诵，也非常擅长。我在神户上小学一年级的時候，班主任觉得背诵课本是个非常好的方法，于是就让我们反复读，并背诵下来。背下来之后，我们就在大家的面前背诵，然后在教室的后面贴出来每个人背诵的进度。我第二学期九月份从丹波的农村转学到那所学校，到十月份背诵就已经领先于同班同学了。

上小学的时候家里非常穷，买不起词典。于是，四年级的时候，我借了一年级到六年级的所有的小学国语教科书，把各章节的“汉字一览表”和使用方法都按发音顺序抄写在干净的纸上。然后用线装订起来，做成自己的词典。由于是自己制作的所以非常爱惜，总是随身带着反复看，反复写，最后我就把全部的内容都背下来了。

上初中和高中时，为了背英语单词，把纸对折，一半写上英语，另一半写上日语。背的时候看一面“book”反应出是“书”，从另一面背也是，看到“黄色”反应出是“yellow”。一时反应不出来的单词就做个标记。即使是有一个箭头也要把所有的单词都重新过一遍。反复练习到标记没有了才结束。

虽说填鸭式死记硬背教育不好，但如果我们头脑中什么都没有，就没有思考的材料，更谈不上思考了。“填”不见得就是一种不好的方法。关键是怎样“填”。如果“填”的结果能使学生像羽生先生那样的名人一样，能够迅速反应出相关知识，那么“填”就是好方法了。

第十节 和不同领域专家的智慧对决

跟某一研究领域的专家争论问题的人，也一定有自己的专业知识和背景。要想得到不同专业知识的人的认同真是很费劲。只有拥有专业这个武器、在争论的过程中，才会或感到吃惊、或有所同感，才会从别的视角看问题，得到自己从未想过的意见。这些新的发现就会突破原有的思维模式，产生新的想法与构思。

对未知事物与更优秀的人的感受性

曾经听某个公司高层说过这样的话：我把其他公司发明的新技术拿给自己公司的技术人员看，问他：“我们采用这种技术怎么样？”技术人员也没有做什么研究，就反对说：“这个不是我自己的研究成果，作为技术人员，我的自尊心是不允许采用别人开发的东西。”“技术人员头脑固执，视野狭窄。因为只做专业的知识，所以视野狭窄，社会意识薄弱。被嘲笑为专业傻瓜”。

专家对于自己的研究领域，其实比一个外行人学习的还要勤奋，他们经验丰富。从经验的角度来说，专家所能思考的范围比外行人要广泛得多、正确得多。所以，自尊心强也是很正常的。但是随着经验的积累，有时也会使人束缚于固有观念中，害怕新鲜事物。这样的话，经验反而会成为一个消极因素。

所以对我们来说，从长时间养成的思维模式中跳跃出来是很难的。

从事计算机技术行业的人，通常会发现自己随着年龄的增长很难再有进步。其原因不仅是吸

收新技术的能力减弱了,更主要的原因是其自身的固有思维方式阻碍了吸收不同领域的新的思考方式和知识。

为了防止这种情况产生,最好的方法就是经常接触未知事物。接触未知事物的最好方法就是听其他领域的专家的讲话,跟他们交谈。之后就会惊奇地发现,世界上了解自己不知道的事情的人、比自己优秀的人、想到自己根本没想过的东西的人有这么多啊。

抓住要点,在讲话和做研究上都是一样的

我在日本的时候,“要是名字在论文或者报纸上出现过的人来,我一定要见面谈一下”,一年最多就两三回。

我工作的卡耐基 梅隆大学,在计算机学科内是最强的三所大学之一,所以经常有全世界知名的研究员、技术员、企业家来访。而且其中不乏计算机之外的多种领域的人士,总能给我带来新知识的刺激。跟他们见面交往就足以度过每一天了。

为了研究,读论文是必不可少的。但是,跟这些知名人士面对面的交谈也是一种很好的启发和学习。

你会发现,交谈争论中他们说的话经常能触发自己的思维,原来头脑中很模糊的东西一下子就浮现出大致的轮廓,理出解决问题的头绪。

我的“折纸世界理论”就是在跟 A 纽维尔教授的交谈中得到启示的。他真的是一位很优秀的科学家,虽然与我专业不同,而且我当时还是个毛头小伙子,他仍然认真地听我陈述理论,还同我一起思考,给了我很多中肯的建议,这些我都十分感激。

在与纽维尔教授一小时的会面中,他是绝不跟其他人说话的,屋子里没装电话也没有谁打扰。纽维尔教授无论听谁讲话都是全身心的投入,从不打瞌睡或做别的事情。即使演讲的内容很无聊也绝对不会在散场之前起身离去,而解释说:“是我自己决定失误要来听演讲的,所以一定要听完。”

纽维尔教授不但人很亲切,还有很强的洞察力。跟他讲什么东西的时候,只要加以适当的说明,他就能问出很深入的问题。他还很严格,绝不允许“可能就是这个原因”这种模糊的回答。跟他这样的专家交谈就是接受最高等的教育。我从他的抓住要点提问题的方法和探究问题时严格的作风中受益匪浅。

现在我跟年轻人谈话的时候,也努力地学习纽维尔教授,就像他当初对我那样对待年轻人。“严格”这个方针执行得倒还挺好,其他方面还是有待提高。

以专业知识为武器,跟不同研究领域的人进行对决

最近不仅是学术界,企业界的人士之间也开始积极倡导不同研究领域专家之间进行会面。与活跃在自己从未涉足的领域的专家交谈,意义深远而且还很刺激。这可以说是智慧的对决吧。

“啊!这样啊!那个地方是必须要做的啊!”

“居然会有人这样想啊!”

“哎呀! 原来应该那么想啊!”

在这样的过程中, 有所感触, 受到启发。很多时候会听到自己想都没有想过的事情, 真可谓是大开眼界了。

无论在什么领域里有所建树的人, 都有能力把自己专业的问题抽象化, 再进行思考。即使是不同的领域, 抽象化后的思考方法也是相同的。用这种方法, 不同领域的人之间就可以了解更多。

我这里所说的抽象化并不是指说话抽象, 而是说可以通过特定的事例、事情抽象出共同的概念, 也就是抓住要点的能力。无论什么领域、什么研究、什么说话方式、什么教育背景, 抓住要点的方法都是相同的。

既然交谈的对象有能力抓住说话的要点, 那么仅是泛泛的发言就没有任何意义了。要像主场作战一样, 把实践经验、优势运用出来是最重要的。就好像, 足球现在都是分主客场进行比赛决定胜负的。球迷们那么狂热, 所以主场作战的话会得到巨大的声援, 比起赛来也很轻松。但客场就是孤军奋战了, 想要赢也难了。客场作战赢了才是真正实力的体现。

第十一节辩证的考察素质教育和填鸭式教育

教育, 是要使学生学习知识、尊重知识, 使之日后产生好的想法、新的构思。教育不但要培养学生主动思考的习惯, 提高学生的思考能力, 还要让学生掌握怎样运用所学知识。教育最宝贵的资源就是学生的时间与注意力。怎样有效地利用时间、集中学生的注意力是教育方法中必须研讨的问题。

能够自己学习的机器人可以使自己变聪明吗

最近, 机器人专家制造了很多能够自己学习的机器人。比如, 他们先向机器人里输入一些可以实现基本功能的程序, 例如, “前进”, “向右转”, “向前方发送声波, 检查是否立刻反射回来”, “前进不了时后退”。接着输入“将多种基本功能随机组合, 执行”这样的程序。

而且在此之上再给机器人输入“在各种组合中, 更多倾向于执行最后能够运行成功的组合”这样的程序。这就叫强化学习法。比如给机器人设定“尽早到达目的地”的学习目标, 然后放手执行。

刚开始机器人会总撞到东西, 向这边移动一下、向那边移动一下。一段时间过后, 机器人就可以顺利地移动, 而不撞到东西了。可以说, 机器人明白了“不要撞到东西”的某种条件。

但也有人会说: “其实, 这根本就不是机器人变聪明了, 是人类事先写好学习程序, 告诉机器人最终要怎样怎样, 然后机器人学习的结果。”这种说法就好像是: 有人说, “我的孩子变

聪明了”，而别人说“不是你孩子变聪明了，而是你教导孩子‘你得变聪明呀’，他才聪明的”。

总之，人类社会和机器人不同，人类的行为不仅是从无数次尝试中总结出来的，还是通过社会的教导学习来的。相比之下，人类社会有着机器人没有的教育系统。

圆周率等于 3

最近，在日本有一个关于教育的争论：素质教育和填鸭式教育。

举个例子吧，随着学习指导纲要的修改，有人提出议案：把一直以来教授给学生的圆周率“3.14……”改为“3”。这种做法马上就引起了不小的争论。如果说这个议案是基于“避免背诵繁杂的知识，削减教育内容”这一政策基础上，那它跟“培养解决问题的综合能力”这个方针就相悖了。把圆周率改为 3，倒是可以节省计算时间、只让学生了解大概的结果，但对于提高计算技能却是一点帮助都没有。

以前，为了应付考试采用填鸭式教育方式，这使得孩子们缺乏思考能力。所以现在采用重视体验、培养思考能力的素质教育方式。可又出现新问题：学生们连基本的计算都不会，能力低下。于是又督促学生反复学习，结果又遭到非难，说是填鸭式教育的复活。

就这样，形成了“填鸭式教育=坏=记忆和反复学习”，“素质教育=好=重视思考”的图示，关于这两种教育的争论引起了教育界很大的混乱。

我们通过报纸等媒体会发现，相关人士的言论都徘徊在“列举填鸭式教育的弊端，强调不能回归于这种教育方式”和“素质教育会导致学生能力低下”之间，暂时似乎还不会有什么好的解决方法。

“记忆、反复学习”和“重视思考能力”并不是相反的概念

“我们发现，我们要将圆的周长与直径作比，其比值是 π ，这个 π 真是个不可思议的数字，它既不是有理数也不是整数。”讲课就应该像这样调动起学生的思维，要让学生对各种各样不可思议的自然现象产生兴趣。这样就会培养学生的兴趣，使他们乐于思考，进而提高解决问题的能力。这就是解决问题的学习。

而从实用的角度讲，我们只要记住圆周率的值是“3.1415”，这样的精确度也就足够用了。在日常生活中，为了快速估算圆的周长或面积的大概值，我们使用 3 计算也未尝不可。这也是一种计算技巧。

在我看来，从上面两个方面来培养学生都是必要的、重要的。

培养思考能力是养成“像外行一样思考”的必经之路，记忆与反复学习是“像专家一样实践”的力量源泉。素质教育与填鸭式教育的理念争论似乎是场对立的战争，而从辩证的角度讲，它们根本不是对立的观念。一个行之有效的解决方法就是推行“像外行一样思考，像专家一样实践”的理念。那么对于我们，应该做些什么呢？

对于圆周率这样的重要概念，我们教育工作者应该——也有义务——发明一种更有效的方法教学生这种概念是从何而来的。要是没有这种方法，就没办法培养学生思考问题、解决问题

的能力，就没有办法实现素质教育。

每年有成百上千所学校或者大学在教授学生同样的基本概念。其中一定有很多成功的方法和失败的经验。教育界就应该组织活动推进经验交流、改良教育方法。政府也应该出资鼓励这样的活动。对于好的方法，政府可以出资，使其商品化，进而普及开来。

另一方面，是否采用“记忆、反复学习”的方法要视各个学生的熟练程度而定。根据学生对知识的掌握程度加以适当的练习。为了更高效地实行“记忆、反复学习”的方法，应该积极地利用计算机等新技术。

比如我工作的卡耐基 梅隆大学，计算机科学系就开发了一套叫做“LISTEN（听）”的系统供教师使用。还有一套叫做“代数个人教师”的代数教学系统。这些系统并不像原始的“CAI（计算机辅助教育）”程序那样只是简单地提出问题、计算分数，而是包含了人工智能领域的声音识别系统与语言处理系统、以人的认知思考模型为基础开发出来的，是真正可以根据各个学生的知识水平进行教学的个人教师。

现在，匹兹堡近郊的 300 多所学校都采用了这些系统。其效果可以说是非常惊人，从测试成绩上看，成绩的提高幅度达到 15%到 25%，有时甚至达到 50%甚至 100%。研究并启用这种新方法应该是教育界的责任，而拿出资金进行援助就是国家或地方自治体的责任了。