

• 科学技术与社会 •

日本“神冈探测实验”的历史经验及其科学文化反思

Historical Insights from Japan's Kamioka NDE Experiment: Examining Its Scientific-Cultural Impact

曹琪 / CAO Qi¹ 邢云 / Xing Yun²

(1. 北京大学前沿交叉学科研究院科学技术与医学史系, 北京, 100871; 2. 复旦大学文史研究院, 上海, 200433)

(1. Department of History of Science, Technology, and Medicine, Academy of Advanced Interdisciplinary Studies, Peking University, Beijing, 100871; 2. National Institute for Advanced Humanistic Studies, Fudan University, Shanghai, 200433)

摘要:“神冈实验”(カミオカンデ実験, Kamioka NDE)是日本“诺奖井喷”现象中的典型案例。通过基于“行动者网络”视角的微观剖析,可以识别出其中的核心行动者为依托国际学术参与、“产、学、研”合作所构筑的多元合作网络。而在对该网络的建构机制进行实证考察的基础上,本研究认为:以责任意识为核心的科技创新精神、对于基础科学的纯粹追求等科学文化要素在其中发挥了重要的“粘合剂”效应。本文扩展了关于科学文化要素在高水平科技创新行动者网络中作用机制的认知,或为我国培育有益于科技创新的科学文化提供经验借鉴。

关键词: 日本神冈探测实验 原始创新 科学文化 行动者网络

Abstract: “Kamioka Experiment” (Kamioka NDE) represents a quintessential case study within the phenomenon of Japan’s “Nobel Prize Surge.” Through a micro-analysis from the perspective of Actor-Network Theory, it identifies the core actors as part of a diverse collaborative network built upon international academic participation and the integration of industry, academia, and research. Based on an empirical investigation into the construction mechanism of this network, this study posits that elements of scientific culture, such as a spirit of innovation grounded in a sense of responsibility and a pure pursuit of fundamental science, play a crucial “glue-like” role. This article broadens understanding of the operational mechanisms of scientific cultural elements within high-level technological innovation networks and may offer experiential insights for cultivating a scientific culture conducive to technological innovation in China.

Key Words: Kamioka NDE; Original innovation; Scientific culture; Actor-Network

中图分类号: F530.4; N09 DOI: 10.15994/j.1000-0763.2025.12.009 CSTR: 32281.14.jdn.2025.12.009

日本“诺奖井喷”现象已成为学界探究高水平科技创新生成机制的重要样本,研究者多聚焦于提取获奖者的群体特征,以归纳出科技政策、社会经济、科学教育等环境要素的系统

性规律。如周程系统分析了新世纪日本19名诺奖得主的学术成长路径,认为改良科技创新的“土壤”比定向培养更有效,^[1]秦皖梅从宏观、中观、微观三个维度剖析了“诺奖井喷”现象

基金项目: 中国科学院科技战略咨询研究院2020重大咨询专项“支撑基础科学原始创新的科学文化研究”。

收稿日期: 2024年8月25日

作者简介: 曹琪(1990-)女,河南洛阳人,北京大学前沿交叉学科研究院科学技术与医学史系讲师,研究方向为现当代科学教育史、科学传播史。Email: caoqi@pku.edu.cn

邢云(1989-)男,河南洛阳人,复旦大学文史研究院副研究员。研究方向为近代地理学史。Email: xing_yun@fudan.edu.cn

的成因,^[2]李文、康乐部分揭示了科学文化在其中的驱动作用。^[3]前行研究已经初步呈现出了日本科技创新生态建设的一般性经验,然而如果希望更为细致地剖析“创新风土”如何促生高水平科技创新的微观机制,则有待基于典型案例的实证研究。

本文将聚焦上述研究都曾关注的有“日本诺奖制造机”之誉的“神冈探测实验”(カミオカンデ実験 Kamioka Neutrino Detection Experiment, Kamioka NDE)。该项目发起于20世纪70年代末,被日本学者誉为“中微子物理学的大跃进”,^[4]项目主要负责人小柴昌俊和梶田隆章师徒先后于2002年及2015年获诺贝尔物理学奖,有人称“从日本中部地区岐阜县的深山里,诞生了两个半诺贝尔奖”^①,揭示出该案例的典型性。另一方面,神冈实验倡议之初曾发生过中日两国合作的尝试,中国物理学家唐孝威为之进行了大量筹备工作,最终却由于种种原因未能推进,被舆论界视为中国科学界“与诺奖失之交臂”的经典事例,^{[5], [6]}两国略显戏剧性的迥异结局更为本案例赋予了比较研究的空间。

施郁在“诺奖得主小柴昌俊的多维世界”一文中已经对神冈项目的实验史进行了初步梳理,^[7]但未对项目的运行机制进行深入考察,遗留了诸多值得深思的问题。在神冈探测器建造的1980年代,地下探测实验前景并不明朗,而日本作为一个地震多发、缺少高地的岛国,地理条件并不适宜,为何能在多国竞争中脱颖而出,屡次造就创新成果?本文将结合项目报告、时人回忆、访谈等材料,系统还原神冈项目设施建设及实验开展的历史现场;进而以“行动者网络”(ANT)的视角对该项目取得高水平科技创新的历史经验进行解析,尤其关注科学文化作为“非人要素”在其中的作用机制,力求为我国改善基础科学研究体制、培育有益

于科技创新的科学文化提供学理参照。

一、神冈中微子探测实验的历史回顾与经验剖析

1. 对“冗余性能”的追求:从率先布局到后来居上

1978年,基于SU(5)GUT理论揭示的使用实验探测质子衰变的可能性,来自美国和日本的多所研究机构发起了一场基于水切伦科夫探测方法进行质子衰变探测(Water Cherenkov Proton-Decay Detector)的竞赛,参与其中的三个主要实验项目分别是由美国团队领导的尔湾-密歇根-布鲁克黑文质子衰变实验(Irvine-Michigan-Brookhaven Proton Decay Experiment, IMB)^②和哈佛-普渡-威斯康星水切伦科夫质子衰变探测器实验(The Harvard-Purdue-Wisconsin Water Cherenkov Proton-Decay Detector, HPW)^③,以及东京大学及筑波高能研究所(高エネルギー加速器研究機構, High Energy Accelerator Research Organization, KEK)联合牵头的神冈探测实验。虽然三个项目中都有核心人员曾参与1976年在美国夏威夷举办的深海探测项目DUMAND讲习班(DUMAND Summer Workshop),或在实验理念上受其启发,^[8]但在项目方案设计和运作上,则分别独立进行而各具独创性。那么在预算和人员规模都不占优势的情况下,神冈探测实验是如何取得先机最终脱颖而出的?

事实上,神冈探测实验的发起是日本理论物理学界与实验物理学界联合倡议的结果。其最初构想始于1978年秋,时任KEK理论主任菅原宽孝力主为质子衰变寻找实验证据,于是邀请时任东京大学理学部教授、知名实验物理学家小柴昌俊及其助理渡边靖志参加于1979年3月间召开的KEK-Workshop(主题为The

①另外的半次指同为小柴昌俊学生的东京大学教授户塚洋二,后者也参与领导了神冈探测器的建设与中微子振荡现象研究的主要工作,做出了受到小柴昌俊赞赏的诺奖级的成果而成为候选人,但因为直肠癌于2008年去世而与诺奖失之交臂。

②即由加利福尼亚大学尔湾分校、密歇根大学、布鲁克海文国家实验室联合发起的IMB质子衰变实验,克利夫兰州立大学、夏威夷大学、伦敦大学学院和华沙大学的团队也参与其中。

③即由哈佛大学、普渡大学、威斯康星大学联合发起的HPW水质子衰变探测项目。

Unified Theory and the Baryon Number in the Universe)。^[9]

正是在这次会议上,小柴昌俊团队首次报告了以水为观测介质、利用光电倍增管俘获切伦科夫辐射,从而观测核子衰变的实验方案。对于该方案的原创性,据小柴昌俊回忆,1960年代他在芝加哥从事国际合作研究时,就曾与意大利科学家奥凯里尼(Beppo Occhialini)讨论过借助盐矿坑保存核乳胶板的方案,当时已经有了使用水为介质的初步想法,但限于光电倍增管造价高昂、探测分辨率不高而无法实践。^[10]至1978年末,小柴昌俊重拾此设想,经向其他从事水切伦科夫实验的团队求证,确认了方案的可行性,^[11]后在渡边靖志、须田英博等人的协助下,完成了探测器的最终设计。(见图1)^[12]

Fig.3. The detector considered

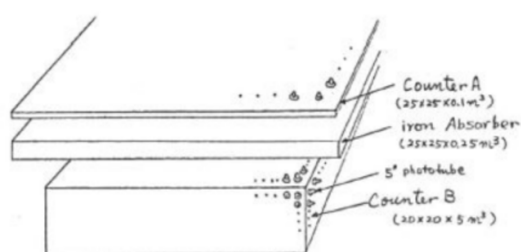


Fig.4 $p \rightarrow \mu^+ \gamma$ decay in the detector B.

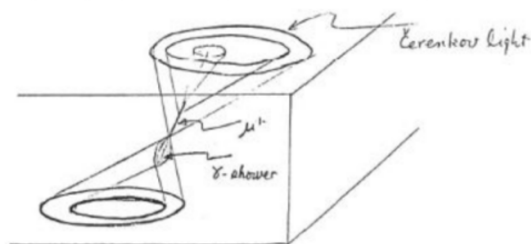


图1 该报告中小柴昌俊团队绘制的探测器原理草图

小柴团队本认为该方案具有领先国际同行的高度原创性,但也是在这次会议上,他们从日本东北大学教授吉村太彦处获知可能面临来自美国同行的竞争。^[11]事实上,几乎与小柴团队同时,在1978年12月于美国威斯康星大学举行的一次研讨会(Madison Seminar on Proton Stability)上,已有团队提出了类似设想,

^[13]并于1979年率先具体化为IMB项目,其所设计的实验装置为7000吨水级别,使用直径13英寸的光电倍增管共计2048个。^[14]而此时神冈探测器的预算充其量只能达到3000吨水规模,光电倍增管仅有1000个,数据精度自然无法与IMB相较。这意味着小柴团队原本领先的实验方案将沦为“后进”,一度令其大感困扰。^[15]

为避免神冈探测器成为二流水平的实验装置,无法与美国同行展开竞争,小柴提出了一个富有挑战性的方案:在因成本限制而无法改变光电倍增管总数的情况下,通过增大其直径提升灵敏度,以更好地捕捉切伦科夫辐射。为了在技术上实现该目标,小柴联合此前曾有过合作的浜松电视公司(现浜松ホトニクスという会社)发起了“高性能大口径倍增管”研发项目,最终突破技术瓶颈,研制出了当时世界上直径最大的20英寸光电倍增管。这一重要突破使得神冈探测器在建设费用不到IMB一半的情况下,灵敏度却比后者高16倍,能够探测出一些“副产品”,从而为日后研究方向的转变奠定了基石。神冈项目的二代负责人户塚洋二将这种对于实验仪器性能的苛刻追求称为“过度规格”(オーバースペック, Redundancy),^[16]正是神冈探测装置的性能余量使其不同于当时专注于质子衰变探测的装置而具备更广阔的延展性。([17], p.107)

2. 及时转向:从“核子衰变实验”到“中微子探测实验”

神冈实验的英文简称为Kamioka NDE,在实验设施正式启动之后,NDE对应的学理内涵经历了由“核子衰变实验”(nucleon decay experiment)到“中微子探测实验”(neutrino detection experiment)的重大转向。小柴昌俊不惜克服多重困难而做出这一决策,充分体现了其对于研究方向的洞察力、判断力和执行力。在神冈项目建设之初,小柴昌俊团队仍然在广泛参与多项国际共同研究计划^①,神冈实验尚且不是其中的重点项目。但在1982年因人

①小柴昌俊从1972年起参与与德国国家电子同步加速器研究所(DESY)的共同研究;1974年起担任东京大学理学院附属高能物理学实验设施首任设施长,相继发起DASP、PETRA、JADE等研究计划。

力不足为由被拒绝加入由KEK主导的Tristan研究计划之后,小柴团队决定将注意力转向以日本为探测据点的神冈实验,^[11]最终在1983年4月完成了探测器的建设。

在实验开始仅仅两个月后,实验人员一度观测到了疑似质子衰变现象而异常兴奋,^[18]但事后证实可能仅仅是一次扰动,之后的一年内都未曾再次出现类似的发现。于是团队迅速做出了“质子衰变并不以大统一理论所预言的频率发生”([17], p.81)的判断,果断终结了一个前景暂时不明朗的研究方向。与此同时,从1983年开始,小柴昌俊便开始将注意力转向中微子探测,^[19]神冈探测器光电倍增管的性能“过剩”正为研究方向转换提供了可能。

而在中微子探测领域,神冈团队同样面临严峻的竞争。2002年与小柴共享诺贝尔物理学奖的戴维斯(R. Davis)早在1967年即探测到来自太阳的中微子,1983年起,他与美国IMB项目组及意大利、前苏联研究组借助于液体闪烁探测器(Liquid Scintillator Detector, LSD)在白朗峰山区进行试验。([20], p.8)由于戴维斯在中微子探测领域的长期积累,本来可能会对其他研究者造成威慑,但此时日本学界对于戴维斯实验存在一些质疑,无疑给小柴勇于挑战这一课题创造了空间。([17], p.46)

1984年初,为了消除环境中的 γ 射线以达到观测中微子的基本条件,神冈团队决定对装置进行大幅改造,加装外部水槽使之成为双层装置。然而依照日本当时的项目管理政策,一旦项目立项并获得设备和研究经费,因调整方向而追加预算的申请很难获批。^[21]事实上,团队中包括梶田隆章在内的很多人都对这个做法感到不解,因为装置不过刚刚投用一年,方才达到能够分析数据的稳定状态;此时竟然要对仪器进行大幅改造,实在是冒险行为。但后来梶田感叹,幸好小柴及时决策,否则将错过1987年超新星中微子的发现契机。^[22]

3. 国际合作支持下的规模扩大化:从“神冈”到“超级神冈”

神冈实验规模的不断扩大化是其能够长期居于国际领先的基础,而在此过程中,国际合

作为资源获取和学术认可度提升起到了关键性的助推作用。

1984年1月,为了克服神冈设施改造所面临的经费与技术障碍,小柴利用参加在美国犹他州举办的“重粒子不守恒国际学会”(ICOBAN)的机会,向参会学者报告了神冈探测器在质子衰变领域的实验结果,并特别强调了其在中微子探测方面可能存在的潜力,希望借此引发日美学者的共同关注,改进现有设备。^[23]这一呼吁得到了宾夕法尼亚大学迈恩(A. K. Mann)教授的支持,后者带领多名成员作为项目合作者参与其中,并为关键性技术部件——光电倍增管分析器(Time Digitizing Converter, TDC)的安装提供了经费和技术支持。是为该项目建立国际合作的开始,改进之后的神冈探测器被称为“二代神冈”(カミオカン-II)。

为了实现真正意义上宇宙范围内的中微子捕获,小柴昌俊等人早在1983年就曾提出过日美联合建设大型探测器(Japan-American Collaboration at Kamioka, JACK)的构想,^[24]1984年初步修订为“超级神冈”(スーパーカミオカンデ)的前身——五万吨水级别探测器,但当时未能获得响应。^[25]1987年前后,经由俘获超新星中微子的契机,他们正式提出了建造以“太阳中微子问题的解决、超新星中微子的观测、大气中微子异常的解决、质子衰变的发现”^[23]等多重职能于一身的超级神冈探测器计划,因耗资百亿日元之巨而难以获得资助方认同。为此,小柴从1990年开始向一些国际同僚、诺奖得主以及日本有名望的政、学界人士求援,最终获得了由新潟大学、东海大学、神户大学、大阪大学、岐阜大学等多所科研机构组成的联合小组的支持。^[26]

另一方面,由于1991年3月IMB实验在仪器漏水、彻底无法修补的情况下宣告中止,团队中的部分成员加入超级神冈探测器项目,共同组成了一个日方25人、美方26人的合作团队。其中包括中微子的发现者莱因斯(F. Reines)、在中微子特性研究中取得重大成果的戈德哈伯(M. Goldhaber),宣告开启“中微子研究奠基者们参与日本研究”^[26]的时代,在一定程度上

认定了日本在该领域的领军地位。

以学术资源的多方整合为基础,1995年12月,“超级神冈”设施建设完成。在“二代掌门人”户塚洋二、梶田隆章的努力之下于1998年观测到大气中微子,帮助梶田隆章于2015年获得诺贝尔奖,标志着神冈探测项目在基础研究领域的又一次突破性贡献。

4. 多元创新主体的互动交联:神冈实验行动者网络剖析

表面而视,神冈实验的成功经验蕴于多重细节,如日本学界高度强调小柴昌俊个人作为“学界家长”^[11]在项目布局和领导方面的优良品质;同时亦不可忽视其中存在的偶然性因素,例如1987年“神冈二代”建设完成之时,适逢大麦哲伦星云出现超新星的绝佳契机,即使小柴自己都将这种巧合归结为“概率与中彩票相差无几”^[10]的幸运。

然而,正如论者所指出的,从组织行为的角度,大科学项目的实施本质上是“政府、科研院所、高校和企业共同协作的过程,实现多方合作共赢是项目成功的必要条件”,^[27]正是经由“行动者网络”的集聚效应,个体性、偶然性因素才得以有效转化,下文将重点剖析这一过程发生的机制。

首先,区别于既有研究对于政策环境的强调,在本例中政府与政策要素的参与并不显著。神冈探测实验的基础工程完成于日本1995年“科技创新立国”政策实施之前,即学者所称的“技术立国”阶段。目前的研究倾向于认为,该阶段日本科技政策以技术模仿为主,相对忽视基础创新。^[28]这一观察可在本例中得到部分印证,虽然神冈实验也曾长期受到日本研究部省KAKENHI经费计划的支持^[29]——该计划被研究者视为孕育诺奖成果的重要经济基础,但所获支持并不足以支撑关键性技术攻关。事实上,即使是在日本战后大量投入的高能物理领域,神冈实验这样有可能确立领先优势的项目也曾一度面临“质子衰变并非必要研究”的质疑。^[30]

多元创新主体的复合交联在项目的多个关键性环节都发挥了不可或缺的作用。例如项目的发起和组织是日本理论物理学与实验物理

学,东京大学、KEK及其他科研组织共同联合的结果;在日本科学界联合体之外,美日研究者的合作亦提供了关键性的支持。除了易见的技术与资源交换,多元合作网络构筑的信息交换渠道进一步放大了偶然性因素的俘获几率。例如,小柴昌俊团队之所以能够及时获知超新星爆炸的消息,得益于美国科学家希德·布卢德曼(S. A. Bludman)告知该团队在宾夕法尼亚大学的共同研究者贝尔(E. Beier)。([17], p.86)

而神冈实验能够在有限的经费支持下取得成功,神冈矿业、滨松光电公司等企业的参与与支持是一个不容忽视的关键要素。正如日本学者熊谷玲美所言,神冈探测器通常被视为基础研究的典范,其实它还同时体现了优异的技术开发能力;^[31]户塚洋二亦将从器件研制阶段即完全独创的实验装置视为神冈实验成功的必备要素,^[32]揭示出该案例在技术企业与科研机构深度合作方面的典型性。

虽然日本政府自上世纪五、六十年代就开始积极推动官、产、学、研合作创新,建立了独树一帜的成功范式,但基础研究较低的投入产出率与企业的逐利属性之间存在根本性的矛盾。面临基础研究先天伴生的巨额经费需求、投入回报率较低等问题,如何在自由探索、经费消耗、收益产出三者之间寻求平衡?异质性创新主体之间如何协调利益关系、产生协同效应?下文将从合作网络的行为机制与更为深层的科学文化两个方面,进一步揭示神冈项目行动者网络的“转译”(translation)过程。

二、对称主体合作网络的构建: 神冈项目“产学研”机制剖析

既有研究认为,高水平科技创新网络经常由科研机构所主导,企业则居于边缘位置,^[27]无疑在很大程度上制约了企业创新动能的激发。而在神冈项目中则可观察到一种科研机构与企业互相成就、互相信任的二元主体合作模型,那么这种模式确立的机制是什么?

1. 技术积累与长期参与互益的良性循环

企业长期参与产学研合作所习得的惯性无疑是深度合作的基础。在本例中,神冈矿业从1960年代末期即开始接纳小柴团队在当地从事研究,并深以对基础科学的支持为荣;而滨松电视公司则从小柴昌俊1970年代中期领导JADE项目时期即参与其中。企业对于基础科学的参与意愿,在很大程度上得益于日本自战后所确立的激励式的产学研合作政策,^[33]使得日本企业普遍认识到了产学研合作的价值和作用,甚至延伸到基础科学领域,正如中山茂的观察,20世纪80年代,日本企业对于大学中基础科学研究的资助甚至更甚于美国企业。^[34]

另一方面,不同于美国由政府出资、资源汇聚于少数科技巨头的产学研合作模式,日本的研究经费分散于大量规模不大的研究实体,^[35]整体格局呈现出去中心化、广泛参与的倾向,部分中小型企业也能在垂直领域占据突出的技术优势。以滨松公司为例,虽然并非大型企业,但该公司在光电技术领域拥有长期技术积累。企业创始人被誉为日本“电视业鼻祖”的高柳健次郎的门生——堀内平八郎,在创业之初即将主要业务方向定位于“探索光电技术及其应用”。^[36]该公司从1967年起就曾接受东京大学宇宙航空研究所委托,参与高水平基础科研,在进一步扩大技术优势的同时,也成为了被科学界信赖的高水平创新企业。小柴昌俊曾在诺奖获奖词中盛赞“拥有滨松公司的技术就不会失败”(「浜ホトの技術があるので負けません」),^[10]除神冈项目以外,2002年岛津制作所田中耕一获得诺贝尔化学奖的成果也使用了滨松公司的部件。而来自学界的肯定和信任进一步强化了企业参与产学研合作的动能,构成良性循环。

2. 互信与互助合作关系的建构

虽然日本具备坚实的产学研合作土壤,但面对神冈实验较高的技术难度和技术风险,科研机构与企业之间将通过何种机制来有效协调利益冲突?

首先,神冈团队非常珍视同企业的合作,在争取合作的过程中表现出了强烈的要约意识。滨松电视公司社长昼马辉夫曾因攻关难度

过大而拒绝接受委托,小柴昌俊进行了长达三小时的游说才促成合作。^[37]同样的情形亦发生在争取神冈矿业的过程中,据时任矿长小松弘回忆,正是须田英博、高桥嘉右等人“跪地相求”的拼命说服,让他不得不为之所动。^[38]从中可以看出神冈团队给予企业方的高度尊重和积极争取,正如铃木厚人所言,如果没有小柴通过“热情”换取的支持,该项目的建成是无法想象的。^[39]

而在建立合作的过程中,神冈团队善于为企业建构“回报预期”,并在利润之外尽可能予以额外的回馈。尽管经历了艰苦的筹款过程,神冈项目仍然无力支付滨松公司所开出的每个光电倍增管30万日元的采购费用,于是小柴昌俊以“研究人员也参加了仪器研发”“项目可以为企业做广告”等说辞,将价格砍到了13万日元,曾一度让滨松公司蒙受了3亿日元的巨额损失。([20], p.37)然而随着神冈实验的成功,该公司将以光电倍增效应为基础的hotomal技术运用于多个领域,获得了丰厚回报;此外,在项目获奖后的公开致辞中,项目成员都会特别感谢滨松公司、神冈矿业做出的巨大贡献,充分践行了前期“技术推广”的承诺。

尤其值得关注的是,本例充分显示出了具有日本特色的“共同研究”^[40]模式如何促进创新主体的互助。以光电倍增管的研发为例,神冈团队负责提供主要研发经费,并派出两名科研人员铃木厚人、高桥嘉右,连同数名研究生与滨松公司共同研发,^[39]最终的技术成果为双方共同享有。这种模式大大区别于产品或技术采购的单向模式,更加激发了企业对于基础研究的参与动能。

三、科学文化要素在行动者网络转译中的作用

转译是指核心行动者协调各个行动者的利益冲突,共同形成利益联盟网络的动态过程。^[41]相比于对社会与境和实践机制的充分聚焦,既有研究较少关注科学文化在转译过程中的作用。事实上,参与神冈项目的核心人员对于科

学文化有着深刻的反思,通过他们的认识对这些要素进行提炼和抽象,将有益于进一步诠释行动者网络中的多元主体如何建立深层共识。

1. 现代科研伦理观念下的责任意识

神冈探测器在建设启动之初约花费3.5亿日元,这一数额较诸一些大型设施并不算靡费,但小柴昌俊仍然非常担忧,“把3.5亿日元纳税人的钱用在质子衰变这种概率与中彩票相差无几的研究课题上是否合适”。([20], p.17)本着“我们的梦想建筑在纳税人的血汗钱基础之上”^[18]的理念,神冈团队将经费的有效利用视为至高原则,不惜应对更为苛刻的技术挑战。例如,为了最大限度节省材料消耗量,小柴昌俊让须田英博以10年服役期为条件,基于水槽外表面锈蚀的发生速度计算水槽必要的壁厚,连铃木厚人都惊叹如此力求精准的手法,实在近乎严苛。^[41]从某种程度上,恰恰是不容许失败的高度责任意识驱使小柴昌俊在项目规划之初就已经为中微子的探测留有余地:

我想,对于计划中的实验,不应当抱有太大的侥幸心理,想着“如果碰上就了不得了”是不行的,而必须有一个明确的预期……对神冈探测器来说,质子衰变就是“买彩票”。银河系内如果有超新星爆发,神冈探测器就可能观测到那时发射出的中微子,这种设想还是比较稳妥的。在起草向国家申请神冈探测器预算报告的时候,的确,我自己认为这样的事是完全可能实现的。([20], p.17)

在日本学界广为流传着小柴昌俊的一句名言,从事研究的时候,要怀抱三四个看似不切实际的“研究种子”(“研究の卵”),^[42]精准地概括了小柴昌俊的“科研哲学”:始终为多种可能性多方布局,也因此放大了偶然性因素向可能性因素转变的几率。

随着神冈项目的成功,小柴昌俊的科研理念被日本科学界所共享,成为一种共识基础。该理念深刻揭示了现代科研伦理环境之下科学家责任意识与创新精神的辩证统一。^[43]提倡“负责任的科研”并非不能容许失败,正如日本物理学界把神冈实验的方向转换称为“没找到的功劳”(「見つけられなかった」という貢献),

^[44]小柴昌俊的成功恰恰是在承认科学“可错性”和“未知性”的基础上,对多种结果进行前瞻性预判,这种服务于有效布局的责任意识应该构成科学创新精神的重要内涵。

2. “神冈学术谱系”的学术传承与团队协作

尽管神冈探测项目规模庞大,最初的研究团队却只有12名成员:小柴昌俊的学生及助手户塚洋二、铃木厚人等人在项目的指挥与执行中发挥了重要作用;^[22]还包括为实验方案做出了原创贡献、被视为得力干将的须田英博,及被称为“长子”的折户周治。([20], p.36)尤其值得一提的是,团队中多名研究生有坂胜史、梶田隆章、真下哲郎、中畑雅行、瀧田正人等人,都在项目参与中成长为优秀的科研人员。正是这支以小柴昌俊为核心的各有专长、分工明确的实验团队,为项目的开展节约了大量人力,体现出了高度的协同精神,成为大科学项目科研与育人有机统一的经典范例。

小柴昌俊的学术谱系得以不断壮大并爆发出强大的创新力,首先得益于他本人对于学生培养的严格要求,“每周有一个向研究室同学们介绍最新论文的会议,被称为‘期刊会’,在会上,老师会冷酷无情地抛出一个接一个的质问”,([17], p.63)学生甚至将能够轻松回答他的问题视为最大目标;另一方面,小柴因为自身受教于朝永振一郎的经历,对待学生有“不问出身”的开明态度,真诚地奖掖和提携后进,不惜让渡个人荣誉来成就学生。1987年2月,在收到超新星爆炸的消息时,小柴并没有因此取消度假计划,而是在做完了工作部署之后即把数据分析和论文发表的重要任务交给了弟子户塚等人,其目的就是为弟子们创造重要科学发现的机会,“在培养年轻研究者时,让他们产生想实际做做看的想法,对进入实验有所准备并付诸实施,是最重要的”。([20], p.17)

3. 追求真理的探索精神与共识建构

对于基础科学的信仰是充满高度不确定性的神冈项目得以持续开展的基础。在小柴昌俊获得诺贝尔奖的记者招待会上,曾被日本舆论界质询该成果对于社会的实用价值,小柴坦然回答“没什么用”。^[40]他的弟子户塚洋二

也曾有些自嘲地描述过日本社会对于基础研究的误解:

日本官方把类似我们这样的基础科学研究称作“学术”。似乎他们认为所谓科学,是能够实际发挥作用的技术性的东西,而学术则是和魔术类似的水月镜花的把戏,和艺术一样起不了实际作用。这一评价从某方面来说是正确的。我在向一般大众做讲座的时候,总会有人客气地称:“您满含理想的研究”。总之,这是对不为金钱而奔忙,却靠做莫名其妙的事情为生者的一种恭维说法。恰如其言,在他人看来,我们的研究的确是如同魔术一般的神秘吧。([17], p.106)

但从事基础研究实际并非如艺术般“高雅”,而要对抗来自环境与自身的严酷考验:

神冈所在的地方,通常研究人员或者研究生都是孤零零的一个人,不是在监视装置的运行状态,就是在吃着带来的盒饭。而且,这也仅限于早上九点半到下午三点之间,晚上则是人影全无的……由于处于奥飞驒这样偏远而很难获取最新信息的地方,加之位于地下,就算是做着再有意思的研究,也没有几个研究员会心甘情愿在神冈待上好几天的。([17], pp.2-4)

铃木厚人也曾回忆说,在神冈-II改造的过程中,他们过着“荒唐”的生活,经常每天只能睡一两个小时就又要下洞工作。^[40]

正是以探索和发现为最高追求的精神力量,驱使团队人员经受身心双重考验,“宇宙仍旧是一个充满了想象力的神秘所在。基础科学通过发现并破解其秘密,终有一天会造福于人类。对于从事基础科学的研究者而言,若能有如此恢宏壮大的使命目标,岂不美哉!”([17], p.127) 户塚洋二还将这种探索精神类比为体育运动中的竞争精神,“当在研究中发现有趣的现象的时候,就必须不失时机地对这一现象进行彻底探究。超级神冈的建设,就是这种一鼓作气精神的胜利,是带给研究者极大满足感的工作”。([17], p.106)

这种对于真理的执着也为企业方所共享。滨松公司将探寻光电领域的“绝对真理”^[46]视

为企业文化,在光电管研发之初,其交出的产品屡次未能达到使用标准,项目组已经开始考虑购买飞利浦公司的成品。但滨松公司执着地进行改良,最终竟然交付了性能超越进口产品、良品率优良的制品。户塚洋二由此感慨,这项实验的成功同样应归功于“正处于上升期的日本企业那令人敬畏的潜力”。([17], p.75)

结 语

本案例运用“行动者网络”视角对神冈探测实验的成功经验进行了剖析,揭示了基础科学项目中创新主体建立合作的有效机制,尤其是科学文化在共识建构中发挥的基础效用。那么什么样的科学文化有益于创新网络的构筑? 尽管既有研究多视日本为优质科学文化的典范,但日本科学界对于本国乃至亚洲地区论资排辈、官僚本位的科学文化却抱以批判态度,而表现出对“美式科学文化”的歆羡。日本科学家的观察视角或许能使我们更为辩证地审视这一问题。

“这个实验是我之所愿”(「この実験は俺がやりたくてやるんだ」)^[10]的自由探索精神被小柴昌俊视为创新的核心,但户塚洋二等人却将这种精神归结为“美式科学文化”特质,而否认它原生于日本科学文化体系,“在日本社会里,再优秀的研究人员在上了年纪之后,本着民主平等的原则,都或多或少地要分担一部分的管理业务。于是研究的第六感随之逐渐钝化,自身也在不知不觉间开始衰老。单就对于研究的热情能够持续几十年这一点上来说,我们还有很多要向美国人学习的地方”。([17], p.61)

梶田隆章亦曾在一篇题为“在我们那个时候,没有人着急,因为研究的进度可以很缓慢”的访谈中谈到了日本当代科学体制日益催生的“功利主义”:

如今年轻的研究人员和受雇于有限任期的人无法像我那样在很长一段时间内从事一个大主题的研究。我们现在生活在一个被告知“你必须每年发表一篇论文”的时代,或者为了评估,我们被迫尽可能多地发表任何

东西。过去,没有人要求年轻的研究人员这样做。我们每两年左右写一篇论文。也就是说,在我那个时代,没有人会因为研究进展缓慢而感到匆忙。我认为,我们被允许学习和研究我们关心的课题,对继续这些长期研究项目至关重要。^[45]

基于与欧美角力的视角,小柴昌俊对亚洲科学文化的发展不平衡表现出了忧思。他认为,尽管日本屡获诺奖,但人口十倍于日本的中国和印度却并不乐观。如何通过建设科学文化使亚洲年轻一代引领科学复兴?小柴昌俊建议,应参照欧洲的成功经验,通过大型基础科学研究设施来激发年轻人的激情,这势必耗资不菲,但真正有担当的科学家不该畏缩不前。^[46]作为实践,2003年,小柴以诺奖奖金为原始资金创立了“平成基础科学基金会”(平成基礎科学財団),^[47]致力于推动亚洲大型基础科学装置的建设计划。

以此为基础,我们将对神冈探测实验中日合作失败一事进行重新反思。20世纪70年代末,中国著名物理学家唐孝威与小柴昌俊在德国汉堡 DESY 工作期间,因为对质子衰变实验的共同兴趣,商定回国后各自建议本国政府联合建造大型水切伦科夫探测装置。^[5]据与唐孝威相识多年的杨炳忻回忆,这一计划的倡议者是唐孝威,在获得高能物理所的高度支持之后,他随即带领两个年轻人前往中国西南地区寻找候选地点。^[6]

然而当他返京后,却被告知该计划未获支持而告中辍,成为唐孝威学术生涯中的重大遗憾。多年以后,当小柴团队取得卓越成果并斩获诺贝尔奖时,唐孝威的助手何景棠颇为感慨,“中国人有好的物理思想、好的实验方案、好的高山深洞地理条件,但由于得不到相应的领导支持,从而失去了一次获得诺贝尔奖的机会。机会已失,时不再来了”。^[5]

该事例所体现的“行政挂帅”科研体制之弊已为既有研究指出,事实上,考虑到1970年代特殊的国际、国内形势,开展大规模跨国科学合作确实为时尚早;加之小柴昌俊的父亲曾作为侵华战犯入狱,小柴本人也发表过不友

好言论,^[7]类此政治因素可能加剧了合作的复杂性。然而毋庸置疑的是,我国当下的科学文化环境仍然存在诸多限制自由探索的因素,我国科学界应在对比与反思的基础上进行积极建构,以期不再重蹈历史覆辙。

[参考文献]

- [1] 周程. 社会环境对日本新世纪诺贝尔科学奖“井喷”的贡献[J]. 科学与社会, 2019, 9(4): 16-28.
- [2] 秦皖梅. 21世纪初日本诺贝尔奖的井喷现象考察[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版), 2016, 40(4): 29-37.
- [3] 李文、康乐. 21世纪日本诺贝尔奖得主科研过程的特征分析[J]. 中国高校科技, 2021, (6): 65-69.
- [4] 中畑雅行. 神岡でのニュートリノ物理の大躍進[J]. 日本物理学会誌, 2019, (6): 354-355.
- [5] 何景棠. 2002年诺贝尔物理学奖与中国人擦肩而过[A], 应和平、张剑波、陈飞燕: 走近唐孝威[C], 杭州: 浙江科学技术出版社, 2011, 381-384.
- [6] 李虎军、赵彦. 谁与诺贝尔奖擦肩而过? [A], 应和平、张剑波、陈飞燕: 走近唐孝威[C], 杭州: 浙江科学技术出版社, 2011, 385-387.
- [7] 施郁. 诺奖得主小柴昌俊的多维世界[J]. 科学文化评论, 2021, 18(1): 85-98.
- [8] Wilkes, R. J., Learned, J. G., Gorham, P. W. 'Deep Ocean Neutrino Detector Development: Contributions by the DUMAND Project' [EB/OL]. <https://www.phys.hawaii.edu/~dumand/dumacomp.html>. 2024-01-31.
- [9] 小柴昌俊. 若き日の研究を振り返って: Kamiokandeを始める迄 [A], 福来正孝: 回顧我國戦後の素粒子・宇宙線研究 [C], 東京: 東京大学宇宙線研究所, 2012, 315-325.
- [10] 小柴昌俊さんノーベル賞フォーラムの全記録 [EB/OL]. <https://www.yomiuri.co.jp/choken/ckforum/nobelforum/20201113-OYT8T50101/>. 2024-01-31.
- [11] 渡邊靖志. カミオカンデとスーパーカミオカンデ《その誕生のころから現在まで》 [EB/OL]. [http://www.npointelligence.com/Techno-Intelligence/Theme-A/Theme22\(Kamio\)/kamio.html](http://www.npointelligence.com/Techno-Intelligence/Theme-A/Theme22(Kamio)/kamio.html). 2024-01-31.
- [12] Yoshimura, M. 'Unified Theories and Baryon Number in Universe' [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1979, (42): 746-770.
- [13] Goldhaber, M., Kropp, W., Learned, J., et al. 'A Nucleon Decay Search: Design of a New Experiment Sensitive to a Lifetime of 1033-years' [J]. *NEUTRINO*, 1979, (2): 121.
- [14] Bratton, C., Gajewska, W., Kropp, W., et al. *The Irvine-Michigan-Brookhaven Deep Underground Detector. A Progress Report* [M]. United States: Plenum Publishing

- Corp, 1981, 1-5.
- [15] 小柴昌俊.「これなら,俺は,やりたい」と思えるようなものをつかまえさせるのが教師の役目 [EB/OL]. <https://www.adcom-media.co.jp/remark/2014/07/25/18947/>. 2014-07-25.
- [16] 戸塚洋二. 祝小柴先生ノーベル物理学賞 [J]. 日本物理学会誌, 2002, (12): 911.
- [17] 戸塚洋二、梶田隆章. 从地底发现宇宙 [M]. 施佳贤 译, 上海: 上海交通大学出版社, 2017.
- [18] 荒船次郎. カミオカンデが始まった頃 [J]. 日本物理学会誌, 2003, (2): 124-125.
- [19] 中畑雅行. Kamiokandeの頃(1) [A], 福来正孝: 回顧我國戦後の素粒子・宇宙線研究 [C], 東京: 東京大学宇宙線研究所, 2012, 339-347.
- [20] 小柴昌俊. 16万光年之外的礼物: 我的中微子发现之旅 [M]. 梁波、尹凤芝、于放 译, 北京: 科学出版社, 2012.
- [21] 小柴昌俊. 幽灵粒子 [M]. 逸宁 译, 北京: 人民邮电出版社, 2019, 35.
- [22] 梶田隆章. 小柴先生とカミオカンデ [J]. 学術の動向, 2003, (2): 58-59.
- [23] 戸塚洋二. 非加速器素粒子実験——神岡陽子崩壊実験を中心として [J]. 日本物理学会誌, 1987, (5): 442-453.
- [24] 梶田隆章. Kamiokandeの頃(2) [A], 福来正孝: 回顧我國戦後の素粒子・宇宙線研究 [C], 東京: 東京大学宇宙線研究所, 2012, 347-357.
- [25] 小柴昌俊. ニュートリノの物理小柴昌俊氏のノーベル物理学賞受賞を記念してはじめに [J]. 日本物理学会誌, 2003, (2): 313.
- [26] 中村健蔵. カミオカンデからスーパーカミオカンデへ: 歴史的経緯と研究成果の概要 [J]. 日本物理学会誌, 2016, (4): 214-127.
- [27] 杜鹏辉. 大科学项目中政产学研如何合作? ——基于行动者网络的视角 [J]. 科学学研究, 2024, 42 (7): 1439-1448.
- [28] 徐爽、闫亭豫、吴金希. 日本科技基本法设立以后科技政策的演变研究 [J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43 (2): 19-31.
- [29] 陈瑞飞、韩霞、韩学影 等. 政府资助科技人才成长路径研究基于21世纪日本诺贝尔科学奖获得者的特征分析 [J]. 科学管理研究, 2023, 41 (3): 151-160.
- [30] 荒船次郎. 宇宙線研究所とKamiokande [A], 福来正孝: 回顧我國戦後の素粒子・宇宙線研究 [C], 東京: 東京大学宇宙線研究所, 2012, 325-339.
- [31] 熊谷玲美. ノーベル物理学賞受賞小柴昌俊氏の業績 [J]. 管理(特報版), 2002, 45 (8): 1-5.
- [32] 戸塚洋二. カミオカンデの建設 [J]. 日本物理学会誌, 2003, (2): 125-127.
- [33] Szucs, F. 'Research Subsidies, Industry-university Cooperation and Innovation' [J]. *Research Policy*, 2018, 47(7): 1256-1266.
- [34] 中山茂. 科学技術の戦後史 [M]. 東京: 岩波书店, 1995, 52.
- [35] 苔莎・莫里斯-铃木 (Tessa Morris-Suzuki). 日本式技術变革从十七世纪到二十一世纪 [M]. 马春文 译, 北京: 中国经济出版社, 2002, 23.
- [36] 宇宙用の光センサは常に新規開発のものです [EB/OL]. <https://aerospacebiz.jaxa.jp/partner/company/07/>. 2024-01-31.
- [37] 高橋嘉右. カミオカンデの立ち上げまで [J]. 日本物理学会誌, 2003, (2): 120-123.
- [38] 「使者は突然やってきた」～元・三井金属鉱業(現・神岡鉱業) 茂住鉱長小松弘さん [EB/OL]. https://umdb.um.u-tokyo.ac.jp/DPastExh/Museum/ouroboros/07_04/kamiokande.html. 2024-01-31.
- [39] 鈴木厚人. カミオカンデの建設 [J]. 日本物理学会誌, 2003, (2): 125-127.
- [40] 李晓慧、贺德方、彭洁. 美、日、德产学研合作模式及启示 [J]. 科技导报, 2017, 35 (19): 81-84.
- [41] Callon, M. 'Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St Brieuc Bay' [J]. *The Sociological Review*, 1984, 32(S1): 196-233.
- [42] 小柴昌俊、奥村直樹. 考え抜き、いつかは実現したい小さな夢の卵」を育む [J]. *NIPPON STEEL MONTHLY*, 2007, 1 (2): 4-5.
- [43] 贾向桐. 创新与责任: 新时代科学家精神的建构要素 [J]. 人民论坛, 2023, (24): 66-69.
- [44] 陽子の崩壊を探し求めて [EB/OL]. <https://www2.kek.jp/ja/newskek/2007/marapr/kamiokande.html>. 2007-03-22.
- [45] 科思日本代表汤浅诚协同科思营销助理副总裁加纳爱与梶田博士的谈话 [EB/OL]. <https://www.editage.cn/insights/nuo-bei-er-jiang-de-zhu-wei-tian-long-zhang-zai-wo-men-na-ge-shi-hou-mei-you-ren-jue-de-zhao-ji-yin-wei-yan-ji-2831>. 2014-07-25.
- [46] 馬場鍊、川島佐. 世の中の役に立たない業績でノーベル賞ノ科学的発見実験ノートに閃きの軌跡 [J]. 日本科学技術ジャーナリスト会議会報, 2021, (98): 9.
- [47] 小柴昌俊. 祝辞 [J]. *Gakujutsu no Doukou*, 2009, 14 (6): 29.