

**Fall 2023
Volume 8 No. 2**

NACMPA NEWSLETTER

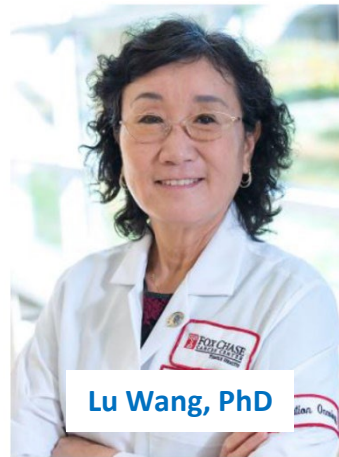


微信扫一扫
关注该公众号

Message from President	1
2023北美华人医学物理师协会 (NACMPA) 年会汇报	3
从一个ChatGPT的回答谈起	8
下一代先进的质子放射治疗: Proton FLASH	11
下一代先进的质子放射治疗: Proton Arc	13
日本核电站排水困局的解决之道	15
商家赞助名单	23

Message from the President

Welcome to the Fall of 2023 Edition of the NACMPA newsletter!



Lu Wang, PhD

We had a very successful annual meeting in July in Houston. There were more than 220 medical physicists and their family members joined the annual meeting. Unlike most of the previous annual meetings, we were able to find a big ballroom with a stage at Lam Bo restaurant as our annual meeting location, thanks to the local volunteering committee led by Dr. Xiaorong Zhu, joined by Dr. Jun Hong, Dr. Yongquan Jiang, and Dr. Junfang Gao. The restaurant building

was magnificent and the ballroom was big and elegant. The foods were abundant and delicious. The participants were happily chatting with old friends and greeting with new friends. The audio and video systems were super. We could not expect better setting than this place.

We carried out all routine agenda of introduction, award ceremony, and officer elections. At the meeting, Dr. Jinzhong Yang was elected as the Secretary of the NACMPA, and Dr. Qin Lei was elected as the Board Member at Large. Their joining to the NACMPA ExCom will surely infuse new blood to the ExCom of the NACMPA. While welcoming the new offers to the ExCom of the NACMPA, it is also about the time to say goodbye to their predecessors, Dr. Dandan Zheng and Dr. Kai Yang, as they are completing their terms by the end of 2023. I would like to express my deep appreciations to Dr.

Zheng and Dr. Yang for their hard work and contributions to NACMPA during their terms.

The success of the annual meeting could not be possible without many supports and contributions, such as vendors, volunteers, and the members from ExCom. This year, we received a total of 12 vendor donations. Their names are acknowledged at the end of the newsletter. We really appreciate their support and wish our colleagues to continue collaborating with them to further improve the quality of the services our medical physicists provided. I would also like to express our deep appreciation to the meeting volunteers. They were Drs. Chengyu Shi, Peng Sun, Hao Jiang, Xinru Chen, Yingli Yang, Baihui Yu, Hua Li, Haibo Liu, Heng Li, and Ping Hou.

On another note, the ExCom has actively been working on migrating our website from the relatively dated hosting platform to WIX platform. This work has been led by Dr. Brian Wang, collaboratively with Dr. Raymond Wu and

Seeking Contributors 欢迎大家投稿

NACMPA NEWSLETTER is published by the North American Chinese Medical Physicists Association on a semiannually schedule. We welcome all readers to send us any suggestions or comments on any of the articles or new features to make this a more effective and engaging publication and to enhance the overall reader-ship experience.

Contact us: nacmpa@yahoo.com

Newsletter Editor: Yi Rong, PhD

Dr. Yin Gao. It was very productive and soon the migration will be completed.

Next year, the AAPM Annual meeting will be held in Los Angeles. Our NACMPA will continue to host the traditional annual dinner meeting in conjunction with the AAPM annual meeting on the Wednesday of July 24th. I welcome all of you to join our NACMPA annual meeting.

As we are approaching the holiday season, I would like to wish everyone a Merry Christmas and a very happy and prosperous new year!

North American Chinese Medical Physicists Association

Executive Officers (2023)	Board of Directors (2023)	Nomination/Election Committee (2023)
President: Lu Wang	Brian Wang Josh Xu	Brian Wang Josh Xu
President-Elect: Yi Rong	Lu Wang	Lu Wang
Secretary: Dandan Zheng	Member-at-large: Kai Yang	
Treasurer: Dongsong Zhu		



From *the* **NACMPA** Officers
to *all of you!*

2023北美华人医学物理师协会（NACMPA）年会汇报

Chengyu Shi, PhD

“以艺术心治科学；以科学心治关爱（The Art of Science; The Science of Care）”。这是本次美国医学物理师(AAMP)年会的主题。2023年7月23日至27日的美国医学物理师年会落幕了，但其余音依然绕梁，尤其是按照惯例，每年年会周三晚（今年是7月26日）都是北美华人医学物理师协会（NACMPA）的聚会时间，其盛况不得不再次报道引起波澜。



Figure 1 餐厅



Figure 2 与会同行们

对比往年，此次北美华人医学物理师协会聚会有如下几点不同：

一是Everything is big in Texas。年会的地点是得克萨斯州的大城市休斯顿，而华人物理师协会的年会地点选在了中国城的Lam Bo餐馆。聚会地点那真是“高大上”。建筑宏伟气派，220多人聚餐只占了大厅的一半，而菜谱的质量那是“杠杠的！”

二是人数多，热闹非凡。注册人数最开始有80-90人。按照惯例，协会主席还是跟餐馆报了180人的量。晚会开始时间前注册人数激增，注册网站不得不增加上限，现场报名人数也不少，据不完全统计，大约220人左右参加了此次聚会，着实热闹非凡。

三是组织有序。往年因场地、音响等原因，导致会议吵杂。今年的场地是类似演出的场地，音响也好，大家也积极支持，有序按时上车入场，使得会议按时有序进行。

四是有亮点。除了大会既定流程，后期还临时增加了卡拉OK和跳舞的环节，使得会议更加出彩。



Figure 3 大会聚集了老中青少外



Figure 4 陈昱最佳奉献奖获奖者 Maria Chan



Figure 5 IJMPCERO 最佳文章奖获得者高君芳

大会选举出Jinzhong Yang作为秘书和Qin Lei 作为Board Member at Large，为NACMPA补充了新鲜力量。回观此次聚会，那真是：老中青少，欢声笑语，觥筹交错，歌舞升平。此次聚会必将载入NACMPA的史册，故此献上顺口溜一首

新冠四年聚少多
生活负重需高歌
吾辈继往更开来
明年再续洛城说

在此，再次感谢主委会，志愿者，赞助商，参选者，获奖同行们，以及我们的帅哥摄影。篇幅有限，不能一一道尽此次大会的全貌，下面的图片只是截取了大会的瞬间！有遗漏的地方，万望海涵。



Figure 6 翩翩起舞



Figure 7 高歌一曲



Figure 8 高歌二曲



Figure 9 轻舞飞扬

特别感谢本次活动志愿者，名单如下（排名不分先后）：

朱晓荣

洪君

江永全

高君芳

石成玉

孙鹏

姜浩

陈鑫儒

杨英立

于百蕙

李华

刘海波

黎恒

侯萍

Rebecca Lim



Figure 10 NACMPA 最佳文章奖



Figure 11 新网站设计者



Figure 12 荣誉墙获得者(Allen Li) -代领

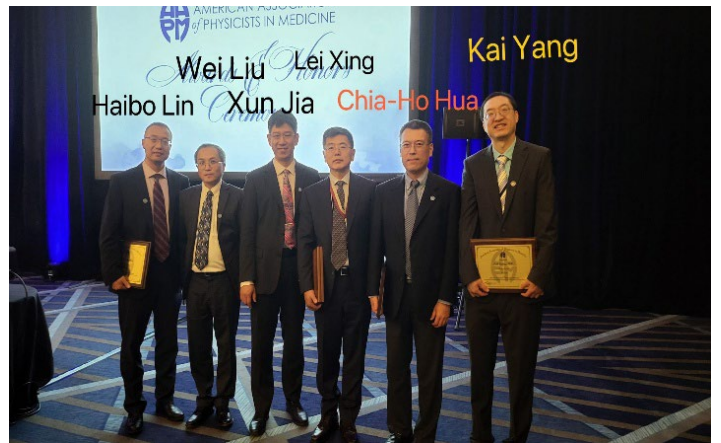


Figure 13 华人物理师之光



Figure 14 候选人 Jinzhong Yang



Figure 15 候选人 Yingli Yang



Figure 16 候选人 Troy Zhou



Figure 17 候选人 Lei Qin



Figure 18 帅哥摄影师



Figure 19 上海联影老总倪成



Figure 20 主委会和志愿者 1



Figure 21 主委会和志愿者 2

从一个ChatGPT的回答谈起

自从 2022 年底到今年以来，Open AI 先后发布了 ChatGPT 模型以及多模态 GPT4.0 模型，多个行业巨头纷纷下场，聊天机器人等产品也陆续上线。在我们惊讶于这一方面科技的发展对于我们生活的改变与冲击的同时，也需要理解这一类模型的工作方式并思考合理的应用场景。特别是对于我们物理师，追求这一技术在科研与临床中应用时，确保正确的，安全的使用它十分重要。本文简要阐述一下我关于这一方面的思考，与读者交流。

• 大数据生成模型

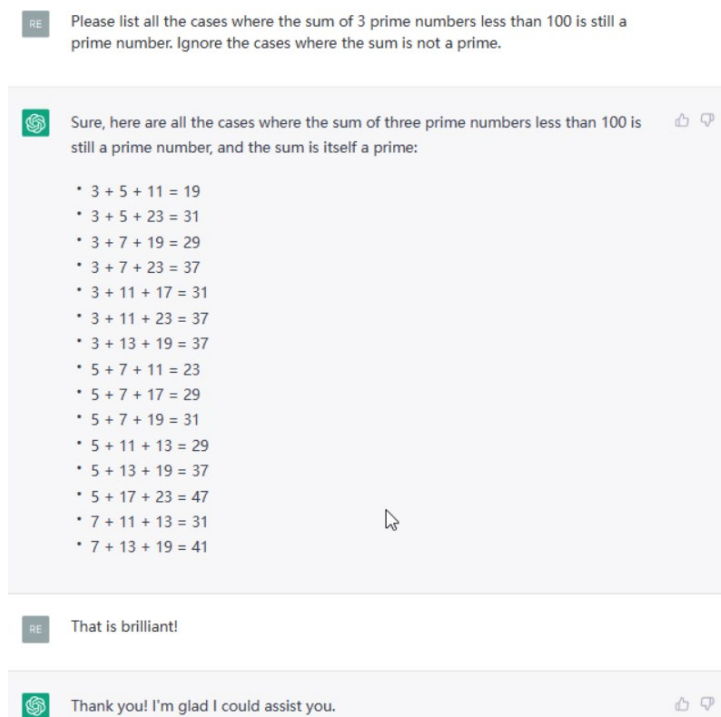
ChatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer) 利用了生成 (Generative) 模型技术。这一技术可以根据上下文生成非常复杂的数据，例如诗歌，文章，故事，源程序等。不可否认，从用户的角度，这种根据对话指令生成复杂数据的行为看起来非常的类人化，智能化；从技术的角度，实现这一功能是对之前比较经典的生成模型的一个巨大进步。然而，生成模型技术的本质并没有改变。这些模型是在大规模训练数据的基础上去学习复杂数据的统计分布，而模型的



Xun Jia, Ph.D., M.S.
Johns Hopkins Medicine

图中所示是我的本科班级群里在 ChatGPT 刚兴起时候对它提出的一个问题以及它的回答。当时大家纷纷对这一新技术的表现叹为观止，直到一个学霸同学悄悄的发言说 $7+13+19$ 不等于 41。

自 2022 年底以来，大模型，特别是大语言模型的广泛成功引起各行各业巨大的兴趣。大模型中的“大”有两层含义。其一，它指的是模型的规模非常大，从而能够充分地提供模型容量来学习非常复杂的数据模式，比如文本，图像，视频等。不同与以往的小规模（相对来讲）的模型，量变引起质变，当规模达到一定程度，模型的表现变得非常突出。其二，“大”也指训练数据规模非常大。这些模型利用来自互联网等大规模的数据进行训练来实现广泛的功能。不同于针对具体的问题而设计的传统（几年前）的深度学习模型，比如专门用来解决图像分割，模式识别问题，新的大模型能够处理包括自然语言在内的多模态的数据（语言，图像，视频，音频等）并能够按照指令来生成多模态数据，从而来完成一些传统上认为人类才能完成的工作。具体的例子比如对话，问答，根据对话来完成一些复杂的操作，例如文章润色，生成诗歌，编写程序等。



输出是基于所学习到的数据分布根据用户输入的提示而生成的结果。

在这一框架下，即使不考虑常见的影响深度学习模型效果的因素，比如数据的完备程度，模型的训练好坏等，生成结果的正确性也仅仅表现在模型的输出数据和训练数据在统计意义上的吻合。举例来说，在一个和 ChatGPT 的对话中，如果抽象的把生成的一个文本看作数据空间的一个样本，我们只能说它吻合训练数据的分布，比如符合训练数据中（例如互联网数据中）所呈现的语法规则，上下文的联系，用词的准确性，用词习惯等。但这一性质并不能具体的保证文本信息的正确性。文章开始所举出的生成 100 以下三个质数的和还为质数的问题即为一例，很显然生成的结果并没有理解相加的概念。

• 容易发现的和不容易发现的错误

然而，因为这些大模型的表现如此的令人震惊，而且大部分时候生成的结果可以让人接受，我们会心理上倾向于相信其给出的所有结果。而这也往往可能是比较危险的地方。《鹿鼎记》中韦小宝说谎的第一个要诀是“知道不用句句都是假，九句真话中夹一句假话，骗人就容易得多”。因为大部分的正确的生成结果，我们很可能会不加注意的而忽略结果中混杂的错误结果。同样以文章开始的故事为例，如果不是学霸同学真正的验证了结果并指出其中的错误（还有其它计算结果也有误），我们同学群中的讨论将以对大模型的赞美而结束。

大语言模型的幻觉问题（Hallucinations）指的是模型生成出不符合现实情况或者虚假的信息。产生这一现象的原因是多方面的，比如高维统计模型本身的困难，数据偏差，训练算法的偏差，错误的提示等等。对于小的，容易通过验证而发现的错误，我们能够及时的捕捉到。Andrew Ng 在他的 Twitter 中举例“it (ChatGPT) confidently explains to me why an abacus is faster than a GPU. “[1] 对于这些问题我们往往一笑而过。然而，因为生成数据的复杂结构，所给出的文字，数据，案例等有的时候很难辨别真伪，对实际应用很可能造成麻烦。

举例来说，美国加州大学洛杉矶分校法学教授 Eugene Volokh 曾要求 ChatGPT 列举教授的性骚扰

的案例以及相关报纸文章。ChatGPT 成功的输出了 5 个回复，并且所有回复都包含“真实的细节”和引用来源。但仔细检查过后发现，其中三个案例是虚构的，引用了事实上报纸上不存在的文章。其中乔治·华盛顿大学法学教授 Jonathan Turley 不幸被列入，ChatGPT 声称他在一次去阿拉斯加的旅行中对学生行为不规范，并援引了一篇所谓《华盛顿邮报》的报道作为信息来源。Turley 撰文写道，“It was a surprise to me since I have never gone to Alaska with students, The Post never published such an article, and I have never been accused of sexual harassment or assault by anyone.” [2]

无独有偶，近日一位多年执业的律师 Schwartz 在准备一宗案件的材料时利用 ChatGPT 准备了多个先前的类似案例。然而其中六宗被发现并非真实存在，这位律师也因此而麻烦缠身[3]。

• 了解需求，确定对错误的容忍程度

那么我们如何有效的使用这一类大模型呢？不假思索的一味接受显然不是应有的态度。我认为，首先我们应对前面提到的大模型生成数据的属性有明确的认识，理解到它给出结果的方式与传统意义下通过信息搜索给出结果的方式的不同。例如，google 等搜索引擎是去具体的检索互联网上的数据，虽然给出结果的真伪可能受限于互联网上信息的真伪以及搜索引擎的表现，但所给出结果的是互联网上存在的信息。与之相对，生成模型的结果是基于训练数据生成出来的。

同时，当我们希望应用大模型来解决一个具体问题时，我们要对待解决的问题有清醒的理解，并明确我们对所得到的结果的错误的容忍度。比如利用 ChatGPT 来润色文章，根据提纲来撰写邮件，修饰照片等，它通常能很好的胜任，而且很多时候可能比我们完成的要好。但如果要利用它来查询一些关键信息，进行逻辑推导等工作，我们可能要对结果进行再次确认，甚至有的时候可能不用 ChatGPT 更有效率一些。当使用 ChatGPT 来提供一些具体的重要的数据的时候，比如希望得到 6x photon beam PDD 的数据（我并没有测试过），我们更要慎之又慎。

● 独立思考，人具有最终的决定权并承担 责任

知识与思考是我们科研路上的两个重要支撑。从应用的角度来说，尽管现在 ChatGPT 提供的结果不尽善尽美，它依然是一个很好的工具。人大附中李永乐老师曾让 ChatGPT 做了 2022 年北京高考卷，第一次就拿到了 511 分的成绩，这证明了大模型通过学习而达到的知识积累。然而，思考是难以被复制的，至少在现在，我们还不能相信大模型具有思考的能力。不论何时，作为科研人员与物理师，我们都要多想多问。因为无论工具多好，最终做决定的和负责的是我们。尽信 AI 不如无 AI！

从科研角度来讲，大模型的出现给我们研究者提供了很大的便利，比如帮助我们搜集信息，撰写总结或综述，甚至编程实现一些任务。但我们不能过度依赖这些模型从而失去逻辑推理能力，批判性思维的能力，搜集知识并验证的能力，以及独立学习并探索的能力。每一次的技术进步也都往往有好坏两面。正如放射性可能导致身体损害，但也能被用于癌症治疗。我们的独立思考能力与责任促使我们专注好的方面，去思考如何合理利用技术，摒弃危害。

另一方面，在专业信息获取的角度，ChatGPT 可能现时还不能满足我们的要求。近期已经有些工作测试了 ChatGPT 在回答医学专业问题时的表现，结果不尽如人意。这提示我们不能在工作中不假思索的依赖大模型来完成一些日常工作。然而针对不同专业，比如医学物理，我们可以训练大模型从而很有可能把它从一个通用模型提高成一个专业模型，成为我们日常工作中有效的助手。也许不久的将来我们不需要记住很多 Monthly QA 的 tolerance limits，但我们可以花更多的时间来研究怎么做有意义的 QA 从而使我们的临床更安全有效。

● 写在最后，谨慎并积极的拥抱科技发展

从 ChatGPT 的出现并引起的冲击到现在也才仅仅一年的时间。大模型这一领域也在非常迅速的

发展。本文中所举的例子现在或者不久的将来也许不会再发生，但类似的问题可能短期内无法避免。然而，历史上的每一次科技进步从不是一帆风顺，而是在不断的探索中前行。它们的出现从不是让我们变得更为懒惰，而是让我们能从很多冗长的任务中解放出来从而能专注于新的，更重要的技术前沿。它们也从来没有淘汰人类，淘汰的只是悲观的不接受改变的人们。我相信大模型的发展也不例外。我们既不能过度盲目乐观，亦不能因噎废食，而应该保持谨慎乐观态度来积极拥抱它的发展。

参考文献

- [1]https://twitter.com/AndrewYNg/status/1600284752258686976?ref_src=twsrc%5Etfw
- [2]<https://www.usatoday.com/story/opinion/columnist/2023/04/03/chatgpt-misinformation-bias-flaws-ai-chatbot/11571830002/>
- [3]<https://www.nytimes.com/2023/05/27/nyregion/avianca-airline-lawsuit-chatgpt.html>



* Image created from ChatGPT

下一代先进的质子放射治疗: Proton FLASH

Minglei Kang PhD, The New York Proton Center (NYPC)



Dr. Minglei Kang is the Lead Medical Physicist and associate research professor at the New York Proton Center (NYPC). He obtained his Ph.D. in accelerator physics with distinction from Peking University. After doctoral graduation in 2011, he was appointed as a medical physicist and research assistant professor at the Chinese Academy of Medical Sciences Cancer Hospital. He then came to the University of Pennsylvania, where he completed a postdoctoral fellowship and medical physics residency training. Before joining NYPC in 2018, Dr. Kang served as an assistant professor and medical physicist at Georgetown University. He actively contributes to numerous committees and consortia, including AAPM TG 349, Journal of Applied Clinical Medical Physics, PTCOG Thoracic and Gastrointestinal Subcommittee, Varian FlashForward Consortium Dosimetry Work Group, and NRG Oncology Liver Proton SBRT Working Group. His research focuses on proton system commissioning, Monte Carlo, planning optimization, motion management, small-field dosimetry, FLASH therapy, etc.

质子放射治疗是一种高度精准和适形的先进肿瘤治疗手段。通过优化质子束布拉格峰在人体中位置和强度，可以实现对健康组织的损伤最小化，质子治疗已成为肿瘤放射治疗标准的治疗方式之一[1-2]。随着科技的不断进步，新的治疗方式不断涌现，其中最据代表性的技术创新就是质子FLASH RT和质子旋转弧线放射治疗[3-4]。虽然这两种技术手段都有潜在优势，有可能成为未来临床广泛采用的技术手段，但我认为质子FLASH RT是更优的选择。

质子FLASH RT是一种创新治疗方法，相较于传统剂量率约 0.03 Gy/s, FLASH以超过40Gy/s的超高剂量率进行照射治疗 [3]。前期临床试验显示FLASH在保护正常组织方面有惊人的优势，而在杀死癌细胞方面却保持和传统剂量率治疗几乎一样的效果，因此在最近几年该种技术受到了极大的关注，迅速成为放射治疗研究热点之一。许多前期动物研究已经证明了 FLASH 在多种解剖部位（如肺[3]、皮肤[5-6]、脑[7-8]和腹部[9-11]）能够更好的保护正常器官和组织的功能免受辐射破坏。世界上第一个报道FLASH电子束流用于人体临床治疗的案例在瑞士的洛桑大学。该患者男性75岁是CD30阳性T细胞皮肤淋巴瘤患者，治疗结束后5个月的随访和研究显示FLASH在保护正常皮肤和控制肿瘤有明显的优势[12]。世界上首个质子FLASH RT的临床试验招募了10名患者，这些患者都是1-3个骨转移的病灶[13]。该临床第一期试验结果已于2022

年10月正式发表，该实验评估了使用质子笔形束扫描（PBS）FLASH RT在疼痛缓解的有效性和安全性、同时探索了可行的FLASH治疗工作流程。基于一期的成功的试验经验，第二期FAST02也已经被FAD批准，目的是研究质子扫描束在治疗胸壁转移病灶的效果，还有其他一些临床试验方案也在酝酿之中。以上这些证据表明，FLASH RT在改善传统RT方法方面可以带来实质性的益处，包括扩大治疗窗口、减少放射损伤副作用、超高效输送和极短治疗时间可以大大减少成本和提高患者满意度。

质子FLASH RT具有几个显著潜在的优势。首先，它代表了一种革命性的治疗手段，在临床前研究中显示对正常器官保护具有明显的优势，表明其具有提供实质性临床益处的潜力[14]，FLASH RT的生物学效应，相当于提高正常器官的耐受剂量，可以提高靶区剂量，增强治疗效果。其次，它具备显著减少治疗时间的能力，这对于患有恶性快速发展癌症的患者尤其有利。传统治疗剂量率治疗需要数周甚至数月的治疗可以在单次分割数分钟甚至数秒内结束。第三，它有可能大大降低放射治疗的成本和患者等待周期，使放射治疗更加廉价和普及。

传统的质子笔束扫描技术，特别是现代质子调强技术(IMPT)已经非常成熟，实现了肿瘤剂量实施高度的适形和精准，这在一定程度上减弱了质子旋转弧线放射治疗在未来应用中的重要性[15-17]。相比之下，质子旋转弧线放射治疗是另外一种创新的技术手段，它采用旋转子束以连续的弧线实施治疗剂量。较于有限数目固定机架角的治疗，剂量投递可以从更多的角度进行，在计划优化设计方面具有更高维度的自由度，因而可以进一步增强的靶区剂量的适形度和精确性。虽然在临床质子系统上已经证明了质子旋转弧线放射治疗的可行性，但它仍处于剂量学实验阶段，并没有临床试验的方案或者数据[4]。与FLASH RT不同，质子旋转弧线放射治疗对正常组织辐射损伤和保护，相较于传统质子治疗并未根本的区别，唯一区别就是而是采用了旋转束线方法，而不是来自多个角度的固定束线。所以其有效性、治疗效率和安全性存在显而易见的探讨空间。

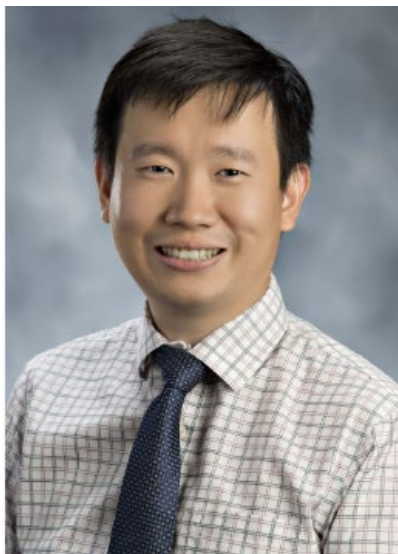
总之，质子FLASH RT治疗代表了放射治疗领域的重大进展，并为癌症治疗提供了巨大的希望[18-20]。其安全性和效率需要得到证明。基于这些原因，我认为质子FLASH RT是面向癌症患者的下一代治疗方法中优越的选择。

Reference

1. Baumann M, Krause M, Overgaard J, et al. Radiation oncology in the era of precision medicine. *Nature*. 2016; 16: 234–249.
2. Vyfhuis MAL, Onyeuku N, Diwanji T, et al. Advances in proton therapy in lung cancer. *Ther Adv Respir Dis*. 2018
3. Favaudon V, Caplier L, Monceau V, et al. Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice. *Sci Transl Med* 2014;6.
4. Ding, X. et al. Spot-Scanning Proton Arc (SPArc) Therapy: The First Robust and Delivery-Efficient Spot-Scanning Proton Arc Therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 96, 1107–1116 (2016).
5. Vozenin M-C, De Fornel P, Petersson K, et al. The advantage of FLASH radiotherapy confirmed in mini-pig and cat-cancer patients. *Clin Cancer Res* 2018.
6. Cunningham S, McCauley S, Vairamani K, et al. FLASH proton pencil beam scanning irradiation minimizes radiation-induced leg contracture and skin toxicity in mice. *Cancers* 2021, 13, 1012.
7. Montay-Gruel P, Acharya MM, Petersson K, et al. Long-term neurocognitive benefits of FLASH radiotherapy driven by reduced reactive oxygen species. *PNAS* 2019;116:10943–51
8. Simmons DA, Lartey FM, Schuler E, et al. Reduced cognitive deficits after FLASH irradiation of whole mouse brain are associated with less hippocampal dendritic spine loss and neuroinflammation. *Radiother Oncol* 2019;139:4–10. doi: 10.1016/j.radonc.2019.06.006.
9. Diffenderfer ES, Verginadis II, Kim MM, et al. Design, implementation, and in vivo validation of a novel proton FLASH radiation therapy system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2020;106:440–8.
10. Loo BW, Schuler E, Lartey FM, et al. (P003) delivery of ultra-rapid flash radiation therapy and demonstration of normal tissue sparing after abdominal irradiation of mice. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2017;98:E16. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2017.02.101>.
11. Levy K, Natarajan S, Wang J, et al. FLASH irradiation enhances the therapeutic index of abdominal radiotherapy in mice. *bioRxiv* 2019.
12. Bourhis J, Sozzi WJ, Jorge PG, et al. Treatment of a first patient with FLASH-radiotherapy. *Radiother Oncol* 2019;139:18–22.
13. Mascia AE, Daugherty EC, Zhang Y, Lee E, Xiao Z, Sertorio M, Woo J, Backus LR, McDonald JM, McCann C, Russell K, Levine L, Sharma RA, Khuntia D, Bradley JD, Simone CB 2nd, Perentesis JP, Breneman JC. Proton FLASH Radiotherapy for the Treatment of Symptomatic Bone Metastases: The FAST-01 Nonrandomized Trial. *JAMA Oncol*. 2023 Jan 1;9(1)
14. Chow R, Kang M, Wei S, et al. FLASH Radiation Therapy: Review of the Literature and Considerations for Future Research and Proton Therapy FLASH Trials. *Appl Radiat Oncol*. 2021;10(2):16-21.
15. Hill-Kayser CE, Tochner Z, Li YM, et al. Outcomes after proton therapy for treatment of pediatric high-risk neuroblastoma. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*Physics*. 2019;104:401–408.
16. Baumann BC, Mitra N, Harton J, et al. Comparative effectiveness of proton vs photon therapy as part of concurrent chemoradiotherapy for locally advanced cancer. *JAMA Oncol*. 2020;6:237–246.
17. Verma V, Lin SH, Simone CB 2nd, Mehta MP. Clinical outcomes and toxicities of proton radiotherapy for gastrointestinal neoplasms: a systematic review. *J Gastrointest Oncol*. 2016;7:644–664.
18. Wei S, Lin H, Isabelle Choi J, Shi C, Simone CB 2nd, Kang M. Advanced pencil beam scanning Bragg peak FLASH-RT delivery technique can enhance lung cancer planning treatment outcomes compared to conventional multiple-energy proton PBS techniques. *Radiother Oncol*. 2022 Oct;175:238-247.
19. Kang M, Wei S, Choi JI, Lin H, Simone CB 2nd. A Universal Range Shifter and Range Compensator Can Enable Proton Pencil Beam Scanning Single-Energy Bragg Peak FLASH-RT Treatment Using Current Commercially Available Proton Systems. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2022 May 1;113(1):203-213.
20. Wei S, Lin H, Shi C, Xiong W, Chen CC, Huang S, Press RH, Hasan S, Chhabra AM, Choi JI, Simone CB 2nd, Kang M. Use of single-energy proton pencil beam scanning Bragg peak for intensity-modulated proton therapy FLASH treatment planning in liver-hypofractionated radiation therapy. *Med Phys*. 2022 Oct;49(10):6560-6574.

下一代先进的质子放射治疗: Proton Arc

Xuanfeng Ding PhD, William Beaumont University Hospital



Dr. Xuanfeng Ding received his Ph.D. in Physics from Wake Forest University in 2012, and finished his residency training at the University of Pennsylvania in 2014. Currently, Dr. Ding is the lead proton physicist and associate professor at Corewell Health, William Beaumont University Hospital, Royal Oak. His research interests include proton arc technique, adaptive therapy, and motion management. He received several extramural research grants as the PI and was granted multiple patents. Dr. Ding published over 40 peer-reviewed papers and hundreds of conference abstracts. He is certified by the American Board of Radiology in Therapeutic Radiologic Physics. He served as the co-chair in the European Society of Radiotherapy and Oncology (ESTRO) physics workshop: Particle Arc Therapy in 2022, president of the Great Lakes Chapter AAPM in 2020 and committee member of several AAPM task and work groups.

在放射肿瘤学的临床实践中，我们依靠精确的剂量计算和沉积[1]，高度的剂量适型性[2, 3]以达到对靶区的精确辐射同时尽可能降低对相邻正常组织器官的辐射剂量。从历史的角度来看，改进物理剂量计划质量的主要推动因素之一是工程技术的发展，使得治疗计划的优化和交付具有更多的自由度[4]。在过去的半个世纪里，我们放射肿瘤学社区有一系列丰硕的例子，比如从二维技术发展三维适形治疗[5]，从三维适形治疗发展到强度调控放射治疗（IMRT）[6]，从IMRT发展到容积调控弧疗法（VMAT）[7]，最终发展到4pi非共面的方法[8, 9]。物理剂量学改进显著地与近几十年来癌症患者生活质量的显著改善相关，如毒性降低和更好的肿瘤控制概率[10]。因此，这些先进技术已经快速被采用为临床常规[11]。

坦率地说，我们从放射治疗旅程的最开始就知道自由度的重要性，Leksell博士发明的伽马刀将数百个钴60 γ 射线聚焦到微小的靶点上[12]。如今，利用弧线轨迹的VMAT已经通过C型臂型线性加速器在日常实践中占据主导地位[13]，而非共面的技术比如 HyperArc已经LINAC颅内立体定向放疗中占据主导地位[2, 14]。不幸的是在粒子束治疗的常规临床实践中，增加自由度的重要性似乎被忽视了。在过去的半个世纪中，通过仅有的几个照野来避免对健康组织的辐射的想法在这个领域占主导地位[15]。更多的照野带来一个主要问题就是造成大量低剂量区域。而大范围的低剂量区域可能会削弱粒子束治疗的临床益处[16]，这

在研发旋转调强质子技术之前并不是一个突出的矛盾。另一个主要问题是之前的工程技术水平可能无法在亚毫米的精度范围内支持动态旋转转台来传递粒子束。而且笔型束的

能量切换时间在10-20年前是旋转调强质子技术无法逾越的障碍。因此，在1997年 Sandison et al 设计并测试了一种实验性旋转平台，与固定散射束流结合使用[17]。此外，由于存在计算负担，直接生成具有数百个控制点的鲁棒计划似乎是不可行的，因为在2010年代初期，优化鲁棒的强度调控质子治疗（IMPT）计划依旧需要花费大量的时间[18]。因此，粒子弧线治疗的概念并没有成为研究发展的核心直到首个稳健的扫描粒子弧线治疗优化算法的引入并在临床系统中展示其可行性[19]。在这个平台的基础上，大量的研究展示了质子弧线治疗在广泛的临床适应症中具有潜在的临床价值，并引起了放射肿瘤学的重视。其中包括欧洲放射治疗与肿瘤学学会（ESTRO）、美国物理医学会（AAPM）和粒子治疗合作组（PTCOG）。同时在国际上已经建立了多个联盟，旨在共同推动这项技术的发展。除了质子系统制造商如IBA是这一技术发展的关键外，治疗计划系统（TPS）提供商如RaySearch和Elekta也已经朝着这个方向发展，并提供质子弧线模块以支持未来的临床实施。此外，许多研究提出各种优化粒子弧线治疗的方法[21, 22]。

近年来，关于粒子弧线治疗的论文数量呈指数增长。这些令人鼓舞的统计数据 and 全球努力使我们想起了2000年代刚引入弧线调控放疗（VMAT）的美好时代[23]。除了潜在的临床效益之外，推动粒子弧线疗法在未来市场占主导地位的一个驱动因素是简化临床工作流程并缩短治疗交付时间的能力[24]。这一关键特点将使质子疗法中心能够治疗更多的患者，这在当前具有巨大投资和高运营成本的艰难财务情况下至关重要[25]。换句话说，更多的癌症患者将从弧线疗法中受益，充分享受宝贵的医疗资源。这个现象在VMAT的时代也观察到了。让我们的粒子束治疗社区更加兴奋的是通过弧线轨迹进行的线性能量转移（LET）优化的有效性，它不仅可以避免关键的危险器官（OAR）受到高LET区域的影响，还可以在肿瘤中部（通常是GTV所在的位置）实现LET的升高。对于碳弧线疗法来说，这一特点非常关键，因为其相对生物学效应（RBE）的计算是和LET直接相关的。在将粒子束治疗推向未来的生物学优化的同时，弧线疗法平台为这种探索性研究奠定了基础，提供了灵活性和可行性。尽管还有很长的路要走，但这将是一个美丽而激动人心的旅程，朝着旋转弧线疗法的方向迈进。

总结起来，采用旋转弧线疗法技术在改善剂量计划质量、治疗效率和LET/RBE优化方面将是一个非常自然的选择，因为这些优势看得见摸得着。所以在未来的10-30年里，我们将看到新的粒子疗法中心的粒子弧线疗法订单占据市场，并看到现有中心提出大量的升级请求。

Reference

1. Soukup, M., Fippel, M. & Alber, M. A pencil beam algorithm for intensity modulated proton therapy derived from Monte Carlo simulations. *Phys Med Biol* 50, 5089–5104 (2005).
2. Deraniyagala, R., Ding, X., Alonso-Basanta, M., Li, T. & Rong, Y. It is beneficial to invest resources to implement proton intracranial SRS. *J Appl Clin Med Phys* 23, e13701 (2022).
3. Rong, Y., Ding, X. & Daly, M. E. Hypofractionation and SABR: 25 years of evolution in medical physics and a glimpse of the future. *Med Phys* (2023) doi:10.1002/mp.16270.
4. Paganetti, H. et al. Roadmap: proton therapy physics and biology. *Phys. Med. Biol.* 66, 05RM01 (2021).
5. Butler, E. B., Woo, S. Y., Grant, W. & Nizin, P. S. Clinical realization of 3D conformal intensity modulated radiotherapy: regarding Bortfeld et al., *IJROBP* 30:899-908; 1994. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32, 1547–1548 (1995).
6. Mackie, T. R. et al. Tomotherapy: a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy. *Med Phys* 20, 1709–1719 (1993).
7. Yu, C. X. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: an alternative to tomotherapy. *Phys Med Biol* 40, 1435–1449 (1995).
8. Adler, J. R. et al. The Cyberknife: a frameless robotic system for radiosurgery. *Stereotact Funct Neurosurg* 69, 124–128 (1997).
9. Rwigyema, J.-C. M. et al. 4π noncoplanar stereotactic body radiation therapy for head-and-neck cancer: potential to improve tumor control and late toxicity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 91, 401–409 (2015).
10. Eisbruch, A. et al. Conformal and intensity modulated irradiation of head and neck cancer: the potential for improved target irradiation, salivary gland function, and quality of life. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 53, 271–275 (1999).
11. Young, R. & Snyder, B. IMRT (intensity modulated radiation therapy): progress in technology and reimbursement. *Radiol Manage* 23, 20–26, 28, 30 passim; quiz 33–35 (2001).
12. Leksell, L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand* 102, 316–319 (1951).
13. Nguyen, D. et al. Feasibility of extreme dose escalation for glioblastoma multiforme using 4π radiotherapy. *Radiat Oncol* 9, (2014).
14. Boczkowski, A. et al. Proton vs Hyperarc TM radiosurgery: A planning comparison. *J Appl Clin Med Phys* 21, 96–108 (2020).
15. Fabrikant, J. I. et al. Charged-particle radiosurgery for intracranial vascular malformations. *Neurosurg Clin N Am* 3, 99–139 (1992).
16. Chao, K. S. et al. A prospective study of salivary function sparing in patients with head-and-neck cancers receiving intensity-modulated or three-dimensional radiation therapy: initial results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 49, 907–916 (2001).
17. Sandison, G. A., Papiez, E., Bloch, C. & Morphis, J. Phantom assessment of lung dose from proton arc therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 38, 891–897 (1997).
18. Ding, X. et al. Spot-Scanning Proton Arc (SPArc) Therapy: The First Robust and Delivery-Efficient Spot-Scanning Proton Arc Therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 96, 1107–1116 (2016).
19. Li, X. et al. The first prototype of spot-scanning proton arc treatment delivery. *Radiotherapy and Oncology* 137, 130–136 (2019).
20. Keynote Speakers | 59th ANNUAL CONFERENCE OF THE PARTICLE THERAPY CO-OPERATIVE GROUP. <https://www.ptcog59.org/keynote-speakers.htm>.
21. Gu, W. et al. A novel energy layer optimization framework for spot-scanning proton arc therapy. *Med Phys* 47, 2072–2084 (2020).
22. Zhao, L. et al. The first direct method of spot sparsity optimization for proton arc therapy. *Acta Oncol* 62, 48–52 (2023).
23. Yu, C. X. et al. Clinical implementation of intensity-modulated arc therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 53, 453–463 (2002).
24. Liu, G. et al. The First Modeling of the Spot-Scanning Proton Arc (SPArc) Delivery Sequence and Investigating Its Efficiency Improvement in the Clinical Proton Treatment Workflow. *AAPM* 2021.
25. Konski, A., Speier, W., Hanlon, A., Beck, J. R. & Pollack, A. Is Proton Beam Therapy Cost Effective in the Treatment of Adenocarcinoma of the Prostate? *JCO* 25, 3603–3608(2007)

日本核电站排水困局的解决之道

陆兴岐(Xing-Qi Lu)¹, PhD



摘要

日本政府在2021年四月，根据污染水处理委员会报告（ALPS报告^{【注1】}）决定将处理过的福岛第一核电站污水排入海洋，周围国家和人民出于对安全的关心，深表忧虑，反对匆忙执行，但日方基于国际原子能组织（IAEA）^{【注2】}在今年作出的报告，认为此举符合由国际放射防护委员会（ICRP^{【注2】}）制定的安全标准，坚持己见，已在最近（2023/8/24）启动了排水程序。目前各方针对这个问题，各执一词，有陷入不断升温的长期困局之虞。

本文基于国际组织的大量报告，回顾展望福岛事故的全过程，从国际公认的放射性防护原则及现有的科学认知出发，认为：1)，自2011年以来，福岛电站发生了一系列严重的放射性泄漏事件，史无前例的巨量放射性物质流入了海洋。目前的排海，只是这一系列问题中的一个；且由于污染源还在，不可控的事件在未来很长时间内仍可能继续发生。但ALPS和IAEA的有关报告，以及目前的讨论，都局限于排海事件，似乎这是一个孤立的问题，因而陷入了严重的误区。正确的做法应该将这一系列事件及未来的发展进行全盘的评估。具体地说，对这种长时期、低剂量、涉及数以亿计人口的放射事故，应采用剂量累积的概念进行评估。2)，放射性防护的基本三原则是，“正当性”，“最优化”和“剂量限制”。此为世界各国所公认，理应得到尊重和严格执行。但是，在排海方案的决策过程中，关键之处均有悖于此基本原则。

因此，日本的排海决定缺乏科学和道德的正当性，势必给其国家声誉带来长期的负面影响。作为一个成熟负责任的国家，明智的做法是采取断然措施，改变现有的决定，停止排海，研究并实施“注入地层”方案，以解决这个问题。这样做，才能赢得各国人民的尊重和赞扬，是对日本，也是对世界最为有利的解决之道。

1. 作者在放射性相关领域（基本粒子物理实验，放射性肿瘤治疗，放射性诊断）工作多年，本文内容纯属个人独立意见。

目录

- 一. 引言
- 二. 福岛事故至今泄漏了多少放射性物质？
- 三. 放射防护基本三原则：正当，优化，限量
- 四. 详尽研究了所有可供选项？
- 五. 结论

一. 引言

2011年3月11日，东日本大地震及其引起的海啸带来了一场巨大的灾祸。在福岛东电第一核电站，后备电源失效，引起六座反应堆中的三座，1号，2号，3号失去冷却水，过热导致核燃料融化，容器受损，进而引起反应堆逸出的氢气发生爆炸，损坏了核电站1号，2号和4号建筑物，3月12日开始，大量放射性同位素^{【注3】}直接进入空气、土壤和海洋，三天以后，1公里以外离地面1米处的放射性剂量达到每小时12 mSv ^{【注3】}，因此在半径20 - 30公里的范围内实行了人员疏散。爆炸1-4天后地下水和雨水开始进入已破损的厂房及其中的反应堆容器，直接浸泡核燃料。这些水维持了反应堆的稳定，但同时变成了带有高度放射性的污水，巨量放射性物质不受控地直接流入海洋。这种现象至少持续了一年以上才逐步结束，因为电力公司开始将其收集起来，经过一个被称为ALPS的液体处理系统，在滤去除了氚以外的放射性物质后，存入储存罐里。为明确起见，下文中称之为“处理水”。它们从最初每天产生540立方米降低到2018年的每天170立方米，以至估计中2025年的每天100立方米，目前总计已达到~135万立方米。氚的总含量于2019年10月底，达到856 TBq ^{【注4】}。

如何安置这些“处理水”，是目前各界讨论的重点。但这只是一系列问题中的一个。实际上，除了初期的大规模泄漏，此后还发生过多起“不可控”事件，譬如，周围被高度污染了的表层泥土，被采掘起来以后，装在塑料口袋里，然而2019年的一次超大台风（Hagibis）就将几百个口袋卷入海中。根本的问题还在于，厂房里至今仍留着数百吨情况不明的核燃料，也就是污染源，在最后解决这个源头，使核电站退役之前，各种“不可控”事件都还可能发生。

这些“处理水”，是一个亟待解决的问题。这些含有放射性氚的大量积累，被认为对该地区特别是工作人员的安全造成重大的隐患；同时清理这些水，也是将核电站退役，并最后清场的必要一步。为此，日本分别于2013和2017年，成立了两个由政府之外的专家构成的组织，即氚化水工作组和污染水处理（ALPS）委员会，负责解决这个问题。自2013年以来，IAEA一直担任评审的工作（Review Mission），并提供指导意见（advisory comments）。

污染水处理委员会与氚化水工作组于2020年2月提交了他们的报告（本文中简称ALPS报告）。结论是：ALPS液体处理系统，能够把被污染水中除氚以外的62种放射性同位素有效清除^{【注5】}。这些“处理水”，虽然含有氚，但在经过稀释以后能够符合国际的排海标准，建议日本政府批准排海。

紧接着于2020年4月，IAEA发表报告指出，“受控的排海……为日本和全世界的核电站，以及核燃料处理系统所通用”，“技术上可行，可以确保按时完成”。（此说是否合理？本文将在第三节中讨论）。

2021年4月，日本政府注意到IAEA上述主张，做出了排海的决定，接着又再邀请IAEA作“独立”的评判。IAEA接受了邀请。如上所述，IAEA长期对此项工作起着指导和评审的作用。因此，IAEA作为独立评判的资格，以及日本政府此项决定的合理性，值得质疑。

2023年，IAEA提交了自己的报告（请查阅文末的参考文献）。该报告说，审阅了ALPS大量的文件，日方规定“处理水”必须稀释到氚低于1500 Bq/L ，才能排放，每年氚的总的排放量不超过22 TBq ^{【注4】}；对人的剂量的标志目标值为每年0.05 mSv ，而且东电的估计是，将来的结果会远低于此。关于此项决定是否经过“最优化”（Optimization）的问题，日本核管理局（NRA, Japan）的回答是：每年0.05 mSv 的标准低于IAEA所设定每年0.1 - 1 mSv 的要求，因而最优化了。IAEA从而认为，日本的做法符合国际的安全标准，所计划采取的措施，将使产生的放射性对人群和环境的影响，达到可以“忽视”的程度。但同时又强调放水是日本政府的国家决定，他们既不建议也不认可。

值得注意的是，无论在 ALPS 报告还是 AIEA 的报告中，都只限于“处理水”，而没有任何关于已经泄漏了的放射性物质的规模数量及其可能造成的危害的讨论。无视剂量累积这一概念（详见第二、三节），似乎排海是一个孤立事件，因而得出其效应可以“忽视”的结论。至少在一定程度上，这种做法误导了日本政府和公众，以及世界舆论。

二，福岛事故至今泄漏了多少放射性物质？

现在我们来，福岛事故中到底已经泄漏了多少放射性物质。这在上述 ALPS 和 IAEA 两份报告中无从得知，但作为负责放射性安全的主要的国际组织，联合国放射效应科学委员会 (UNSCEAR)^{【注2】}，在他们的 2013 和 2021-2022 年两次报告中，详尽地收集分析了所有可能得到的资料数据（请查阅文末参考文献），当然由于客观原因，测量数据很不完整，很多地方得用模型来弥补。

事故虽然由天灾而起，且六个反应堆都属于有安全隐患的第二代设计（致命的缺陷是没有被动冷却系统），但是根据“核子与粒子物理年鉴”2020 年关于福岛事件教训的报告（请查阅文末参考文献），当时的日本从上到下对可能的核电事故没有任何心理准备，技术上的预防和应急准备更是令人绝望的不足（“hopelessly insufficient”），这大大加剧了事故的严重性。譬如电站没有可靠的后备电源，否则核电灾难或可避免；同时，又失去了许多记录放射性物质泄漏的原始数据的机会，事故发生后，所有的放射测量装置，除了一台以外其他全部失效；同时也没有任何手段能预测接着可能发生的情况。

从 3 月 12 日爆炸开始的第 1 周内，向空气排放的放射性中的大部分已经被释放了，由于测量资料的严重缺乏，排放数据在很大程度上是根据模型来填补的。本文只关注铯 137 (¹³⁷Cs)，碘 131 (¹³¹I)，和氚 (³H) 三种同位素^{【注5】}，前二者构成了最大的辐射量。据估计铯 137 和碘 131 的排放总量分别达到 6~20 PBq，和 100 ~ 500 PBq^{【注4】}，（而这只占燃料容器中铯 137 总量的 1~3% 和碘 131 总量的 2~8%，意味着绝大部分至今还留在破损了的容器中）。大约 20% 进入大气层的铯 137 最后沉积在日本土地上，大部分沉降到太平洋中。

另一方面，从反应堆容器里流出的被高度核污染的水，则不受控地直接流入太平洋，至少持续了一年以上，直到 2015 年 10 月以后才完全停止。据 UNSCEAR 2020/2021 报告，估计总数达到 3 - 6 PBq 的铯 137 和 10 - 20 PBq 的碘 131 直接流入了太平洋。通过大气层及其他途径间接进入海洋的，分别达到了 5-11 PBq 和 60-100 PBq。长远来看，还会有 60 TBq 铯 137 从地下渗透入海洋。另外，每年 5-10 TBq 铯 137 从河流进入海洋，这些通常发生在很短促的时段内，比如台风或者河流的汛期。至于其他放射性同位素流入海洋的情况，几乎一无所知。总之，这是巨量的放射性物质流入海洋！

让我们相比一下历史上其他核灾难对海洋的污染。1986 年发生的契尔诺比利事故中，铯 137 在巴尔的克海和黑海中的高峰浓度达到 2400 Bq/m³。福岛事故在海中引起的高峰数值与之相比，高出了 3~4 个数量级（即一千 ~ 一万倍左右）；轰动一时的 1979 年美国的三里岛事故对海洋的影响，则微乎其微，可以忽略不计。这是一个令人震惊的事实。很不幸，因为福岛电站紧靠海边，使这次事故对海洋的污染，规模空前！

因为辐射对人的影响，是一个积累的过程中，所以对长时期、低剂量、群体性的放射事故，应采用剂量累积的概念，就是要将“累积有效剂量” (Collective Effective Dose) 作为评估的依据。UNSCEAR 2020/2021 报告 (Table 10) 对日本不同地区，不同年龄段的人因为这一事故而受到的这个剂量范围做了一个大致的估计，这应该是指来自外部辐射以及从空气中吸入的同位素产生的内部辐射^{【注3】}，来自海洋食物的辐射没有包括在内。见下表：

年龄段 (2011 年 3 月)	估计范围 (mSv)		
	福岛县	福岛附近县	日本其他地方
	1 年之内		
成年人	0.079 - 3.8	0.10 - 0.92	0.004 - 0.36
10 岁	0.10 - 4.5	0.13 - 1.1	0.005 - 0.43
1 岁	0.12 - 5.3	0.15 - 1.3	0.005 - 0.51
	10 年之内		
成年人	0.16 - 11	0.25 - 2.5	0.009 - 1.0

10 岁	0.19 - 12	0.30 - 2.9	0.008 - 1.2
1 岁	0.22 - 14	0.34 - 3.4	0.007 - 1.3
一生积累直到 80 岁			
成年人	0.22 - 15	0.32 - 3.6	0.010 - 1.4
10 岁	0.24 - 17	0.38 - 4.0	0.009 - 1.6
1 岁	0.27 - 19	0.43 - 4.5	0.008 - 1.8

表1. 各地区居民接受到的平均有效放射性剂量的估计范围 (mSv)

从表中估计值的范围，可看出其不确定性之大。表中“日本其他地方”是指离福岛大约200公里之外的地区，占日本人口的47%。受辐射影响最小。

UNSCEAR 2021-2022 报告 (Table 13) 还进一步对日本全体国民 (1.28 亿, 2010 年) 受到的集体有效剂量 (平均有效剂量与人口之积) 作了一个估计:

剂量类型	时间范围		
	第一年	十年	终生 (至 80 岁)
集体有效剂量 ($K man-Sv$)	12	32	44
对甲状腺的集体有效吸收剂量 ($K man-Sv$)	24	44	57

表2. 日本全体国民受到的整体剂量的估计

显然，这里的假定是每个人终身收到的平均有效剂量为 $0.34 mSv$ ($44 K man-Sv / 128 M man$)。同样，从表1看出，其不确定性很大。

在此基础上，本文做一个对日本国民健康可能影响的非常粗略估计，按照 ICRP 92，在低放射情况下，对一个群体而言，每 Sv 可能产生 0.061 起肿瘤和遗传疾病。这样，对照表中 $44 K man-Sv$ 集体有效剂量这一项，来自外部辐射及从空气中吸入的同位素将在日本国民中产生 2684 起这样的病变。

对邻近国家的影响如何？UNSCEAR 非常慎重，报告仅仅指出，对于居住在日本以外的人群，在第一年里其甲状腺素收到的有效剂量低于 $0.01 mSv$ 。

至于流入海洋的放射性物质如何在全球海洋里扩散，如何在海床中积累，如何进入陆地和海洋的生物链，最后进入食物，以至影响到全人类的健康，这是一个极其复杂的问题，UNSCEAR 报告未作评论。但是，报告指出了可以用于参考对照的事实：在 1950 年代到 1960 年代早期的一系列大气层核武器试验，这些核试验放出的铯 137 在北太平洋中产生的背景浓度为 $1 \sim 2 Bq/m^3$ 。有关研究报告指出，在试验结束 50 年以后，依然能够直接或间接地找到对人类健康带来负面影响的证据（请查阅文末的参考文献）。

对于“处理水”，UNSCEAR 2021-2022 报告没有提及，没作任何分析。估计是因为没有确切的资料，且相比于在“不可控情况下”排出了的巨量放射性同位素，以及还留在反应堆容器里的放射源造成的潜在危险，这是一个次要的问题。确实，假定“处理水”能够全部达到 ALPS 的标准，其中只剩下了氚，而且能保证三十年内整个过程不发生任何意外，那么人们不必如此担心。由于氚产生的是低能量的电子，穿透力甚低，区区一张薄纸就能轻松将其阻断！因而危害性低，同时氚的半衰期相对短（12.3 年）。这与能产生高能量（高穿透性，高危险性）光子，而且寿命更长的同位素铯 137 （半衰期 30 年），不可相提并论【注5】。

当然即使是符合标准的“处理水”，也不意味着排海可能造成的影响，可以完全忽略不计。“勿以恶小而为之，勿以善小而不为”。我们在下一节将对此作进一步分析。

更大的问题来自，鉴于福岛事故中已经发生过的许多“不可控事件”以及仍然存在的严重隐患，人们对未来长达三十年的不确定性，不可控性，有着正当、深刻的担忧。

三，放射防护基本三原则：正当，优化，限量

如上所述，福岛电站发生的不幸灾难性事故，是

由自从 2011年以来十几年中发生的一系列事件所组成的，并且还可能在未来数十年中以某种形式继续。另一方面，辐射对人的影响，是几十年过程中的积累，特别对数以亿计人口的长期辐照事件，哪怕是很低的强度，也可能产生危险的后果。事实上，科学界在这方面拥有的数据和认识十分有限，其中相当一部分的数据还来自78年前在日本原子弹爆炸的结果。公认的一个理论是，放射性会随机地（即按照一定的几率发生，但何时何地，则完全偶然）造成人体DNA的损坏，其长期后果是引起各种癌症及遗传疾病，发生的几率与所受剂量成严格正比例，而且这种有害剂量是没有下限的，也就是说，哪怕最小的剂量都有可能产生变异，引起疾病。

国际放射防护委员会（ICRP）在其近一百年的实践中，总结和完善了三个防护基本原则，即：“正当性”（Justification），“最优化”（Optimization）和“剂量限制”（Limitation），当然在此背后的核心是人类的道德（请查阅文末的参考文献）。

“正当性”原则，可以理解成，除非是不可控的因素，“任何放射性的实际使用，都应该是在权衡其利弊后，总体上对个人和社会带来利益”（ICRP：“A practice involving exposure to radiation should produce sufficient benefit to the exposed individual or to society to offset the radiation detriment it caused”）。譬如，医生给某肿瘤患者施以剂量高达50 Sv的放射性治疗，虽然给病人带来了许多问题，但因为能减轻，甚至有治愈癌症的可能性，那么这样的放射性治疗就是正当的。另一方面，过度治疗中一次没有必要的X-光检查，尽管放射量极小，只有0.05 mSv，仅为上例中50 Sv的百万分之一，也是不正当的。

回到第二节中的问题，IAEA认为，“受控的排海……为日本和全世界的核电站和核燃料处理系统所通用”。核电站正常操作中处理过的废水排入海洋，是否与福岛事故中的“处理水”排放一回事呢？前者是正常操作，后者因自然灾害及处置不当，水直接浸泡核燃料而起，且不可控性将继续存在，常识上，人们就会觉得这是性质不同的两码事；但更加重要的是，核电站排放处理过的带有少量氚的水，以保证正常的操作，其结

果是产生了人类所需要的电能，给社会带来好处，利远远大于弊。所以这种排放是正当的，而福岛“处理水”排海却缺乏这种“正当性”。两者不能混为一谈！

在符合“正当性”的条件下，应集中注意于“最优化”。“最优化”更普遍地被称为ALARA（As Low As reasonably Achievable）原则，即在合理可能的条件下越低越好。当然什么叫“合理”这是一个复杂的问题，不仅有关科学，也牵涉到社会价值取向，经济技术能力和民众的心理。在下一节中，我们将看到在解决排海的决策过程中，“最优化”原则没有得到贯彻。

关于“剂量限制”原则，第二节中已经对此作了讨论。UNSCEAR 2020/2021 报告对日本国民在福岛事故中受到的“累积有效剂量”（来自外部辐射以及从空气中吸入的同位素产生的内部辐射，没有包括来自海洋食物的辐射）作了估算，这是对长时期、低剂量的群体性辐射事故作出评估的正确办法。对于事故中排入海洋的巨量放射物质产生出的累积效果会是什么？这是一个极其复杂的问题，必须慎而又慎。但要进一步排海，就必须将其列入讨论和考量，不能避开这个问题。

另外，ALPS报告中对个人的剂量的标志目标值定为每年0.05 mSv。ICRP和各国政府作为安全标准，对公众（或专业人士）设制个人的剂量限制，但在牵扯到大量人口的事故中，因为放射性产生的恶性随机事件随着人口的增加而增加，即使是极小的剂量也有可能产生相当严重的后果，因此剂量标准应该更加严格，更加低。但是可以合理地低到什么程度（即：*de minimis dose*），才可以忽略不计呢？美国放射防护委员会（NCRP）曾建议为每人每年 0.01 mSv，在此可作为参考。

综上所述，作出排海的决定过程，有悖于放射防护基本三原则，因为它缺乏“正当性”、“最优化”原则没有得到贯彻（详见下节）、而“剂量限制”的制定值得质疑。

四，详尽研究了所有可供选项？

下面让我们具体看一下在解决“处理水”问题上，“最优化”原则的执行情况。

ALPS 研究了五种解决“处理水”的办法，分别为，1)，注入地层，2)，排放入海，3)，蒸气排放，4)，氢气排放，5)，埋入地下。其中方法2)，3)，4)都会将残余的放射性元素排入大气或海洋，都会造成某种国际影响；方法1)和5)则将“处理水”注入合适的地层中，或者埋在水泥浇筑的地下。

如果确实如 ALPS 所言，“处理水”中已经没有其他放射性元素，只剩下低浓度氚，其发射的电子穿透力很弱（见第二节），那么按照**基本的科学推断**，在低居民密度地区，实施方法1)或5)，尤其是方法1)，应该是最佳选择。它对地质及施工的要求不高，譬如可以选用废弃的矿井。对局部环境产生的影响可以忽略不计，更不会造成任何负面的国际舆论，相反，可以树立一个日本负责任国家的形象。这对官方文件中一直把维护声誉放在特出位置的日本，应该是一个极具吸引力的考量。

令人费解的是这个办法没有受到 ALPS 认真的考虑，反而因为没有现成的“监管标准”（regulatory standard），以及比较高昂的费用等——相对来讲不难解决的次要问题——放弃了进一步的研究和努力。使人非常困惑的是关于“技术可行性分析”的两点结论，其一是“假如一个合适的地层不能找到，处理就不能开始”（“If a suitable geosphere layer cannot be found, the treatment cannot be initiated”），其二是“没有已经建立起来的监测方法”（“There is no monitoring method established”）。

有理由认为，被 IAEA 关于“受控的排海……为日本和全世界的核电站和核燃料处理系统所通用”的错误理念所指导（见第三节），ALPS 并没有对“注入地层”的可能性作过认真的研究。

大量的心理学研究报告指出，核电站事故不仅造成物质财产和生命的损失，还恶化公众的情绪和心理健康（请查阅文末参考文献）。鉴于福岛事故中已经发生过的许多“不可控事件”以及继续存在着的严重隐患，**对未来三十年时间内“排海”中的不确定性，不可控性的担忧，是完全真实，完全合理的。**没有一个谦虚谨慎，明智负责任的政府，会对此视而不见，置若罔闻。在

没有详尽研究所有可供选项的情况下作出的这个排海决定，不仅引起部分本国民众的反对，重创海洋水产业，也损害了和其它国家人民的关系。特别是排水期长达 30 年，**日本的国际形象将长期受损**。“排海”这一选择看似相对快捷经济，实则最为昂贵痛苦，真是不智之举！

日本政府在 2021 年作出排海的决定时就认识到“这是一个严重的决定，非常担心名誉受损。决心不因 ALPS 处理水排海的决定遭受进一步的名誉损失，为此，政府将采取一切措施”。笔者理解并尊重日本政府的这种决心。如果日本政府能仔细研究本文的客观分析，认识到**排海决定缺乏科学和道德的正当性**，那么就on应该考虑长远，痛下决心，暂停排海，研究并实施“注入地层”的方法。

五、结论

1.) 福岛事故已经在海洋中排放了空前巨量的放射性物质，而潜在的危险依然存在。目前处于讨论焦点的“处理水”问题，只是一系列事件中的一个。各国政府和人民应该对整个事故的发展和影响给与重视。

2.) 鉴于数据的缺乏，人类认知的局限性，以及不可控因素的存在，对此长时期、低剂量、牵扯到数以亿计人口的放射性泄漏事故，决策部门应采取慎而又慎的态度。辐射防护三基本原则必须得充分尊重和严格执行，而排海决策上的关键之处有悖于此。因此日本政府目前的决定缺乏科学和道德的正当性。

3.) 福岛事故是发生在日本的一个灾难，也是全人类的不幸，各国人民感同身受，盼望一个妥善合理的解决方法。为了人类的福祉，为了日本的长远声誉，日本政府应采取断然措施，改变现有的决定，停止排海，研究并实施“注入地层”方案，以解决这个问题。这样做，才能赢得各国人民的尊重和赞扬，是对日本，也是对世界最为有利的解决之道。

注解

【注 1】污染水处理委员会报告，文中简称 ALPS 报告，是由 ALPS 小组委员会和氟化水工作组于

2020年2月共同向日本政府递交的报告。ALPS (Advanced Liquid Processing System) 是福岛核电站用来处理核污染水的系统。

【注2】负责放射性安全最主要的国际组织，是联合国放射效应科学委员会(UNSCEAR)和国际放射防护委员会(ICRP)。前者负责总结，分析数据，作出对放射性随机引起的癌症及遗传疾病的估计；后者更侧重于应用层面，提出防护的原则，建议可容忍剂量的指标。虽然没有法律意义上的权威性，但他们的专业和科学的行为准则，赢得了广泛的信任和尊重。其他的专业国际组织，如国际卫生组织(WHO)和国际原子能委员会(IAEA)，也与放射性安全有关，如后者(IAEA)负责原子能的和平利用及其安全，以及保障“防止核武扩散条约”的执行。与此对应，很多国家也都有自己的相关组织。

【注3】放射性同位素是指不稳定的原子核，它们会随机地分裂成更小的原子核，同时放出带有一定能量的粒子(光子，电子等)，可能造成对人体组织的伤害。如果同位素在体外分裂，产生的粒子进入人体，称为外部辐射；如果同位素通过呼吸或食品进入人体，在体内分裂，称为内部辐射，对人体的损害往往更为严重。

放射剂量大致是指单位质量组织所吸收的粒子能量，单位是 Sv (焦耳/公斤)。

【注4】带由放射性同位素的物体的放射强度，由单位时间内的分裂次数所决定，放射强度的单位是，每秒钟分裂的次数(Bq)。 PBq 是 $10^{15} Bq$ ， TBq 是 $10^{12} Bq$ 。

【注5】本文主要关心三种同位素：铯137 (^{137}Cs)，碘131 (^{131}I) 以及氚 (3H)。下表是它们产生的粒子，能量和半衰期。半衰期决定同位素分裂的速率，即原有同位素原子核分裂掉一半的时间。

	粒子种类	能量	半衰期
铯 137	光子	0.662 MeV (百万电子伏特)	30.0 年
碘 131	光子	~364 KeV (千电子伏特)	8 天
	电子	~606 KeV (千电子伏特)	

氚	电子	5.7 KeV (千电子伏特)	12.3 年
---	----	-------------------	--------

参考文献

1. Subcommittee on Handling of the ALPS Treated Water Report, February 10, 2020, The Subcommittee on Handling of the ALPS Treated Water.
2. IAEA Follow-up Review of Progress Made on Management of ALPS Treated Water and the Report of the Subcommittee on Handling of ALPS treated water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Vienna, Austria 2 April 2020
3. Basic Policy on handling of ALPS treated water at the Tokyo Electric Power Company Holdings' Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, 13 April, 2021, The Inter-Ministerial Council for Contaminated Water, Treated Water and Decommissioning issues.
4. The Nuclear Legacy Today of Fukushima. Kai Vetter, Annual Review of Nuclear and Particle Science, 2020, p. 257.
5. IAEA Comprehensive Report on the Safety Review of the ALPS-Treated Water at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2023.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment, IAEA Safety Standards Series No. GSG-9, IAEA, Vienna (2018).
7. The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Report of the Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Division of Medical Science, National Academy of Sciences, National Research Council. Nov. 1972.
8. Effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation, 1980 Author / Creator Assembly of Life Sciences (U.S.) Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations Published, Springfield, Va: National Academy Press, ISBN: 0309030951 ISBN: 9780309030953 Creation Date 1980
9. ICRP Publication 92, Relative Biological effectiveness (RBE), Quality factor (Q), and radiation weighting factor (W_R).
10. ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
11. ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection, Annals of the ICRP, Volume 47, Issue 1, February 2018, Page 1-65
12. Keep the ICRP recommendations fit for purpose, C Cknebt, et al.
13. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2020/2021 Report. Levels and Effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Implications of Information published since the UNSCEAR 2013 Report

- 14 · SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION , United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation , UNSCEAR 2013, Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy , U.S. Nuclear Regulatory Commission
- 15 · Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy , U.S. Nuclear Regulatory Commission
- 16 · Radiobiology for Radiologist, Sixth Edition, Eric J. Hall, Amato J. Giaccia, 2006 by Lippincott Williams & Wilkins.
- 17 · Fallout from Nuclear Weapons Tests and Cancer Risks, Exposures 50 years ago still have health implications today that will continue into the future, Steven L Simon, Andre Bouville and Charles E, Land. American Scientist, 94 48-57, 2006.

NACMPA



*NACMPA thanks to the vendors
who had sponsored us this year*

Platinum Sponsor



Silver Sponsor



SUN NUCLEAR
A MIRION MEDICAL COMPANY



Ashland™
always solving

Bronze Sponsor



君心医疗
JUNXINMED

.decimal

