

臺灣商務印書館

Radiation and Reason

正確的輻射觀
請聽專家解析輻射恐慌

頁里森 Wade Allison——著
林基興——譯



為何寫這本書呢？他志在澄清輻射與核子科技的安全性：

「我沒有私心、和核子工業無關聯，只是要澄清真理，因為許多人受到誤導太久了。」



Radiation and Reason

正確的輻射觀 請聽專家解析輻射恐慌

頁里森 Wade Allison——著
林基興——譯

Radiation and Reason

正確的輻射觀

——請聽專家解析輻射恐慌

作 者 頁里森 Wade Allison

譯 者 林基興

發行人 施嘉明

總編輯 方鵬程

主 編 葉韞英

責任編輯 徐平

美術設計 吳郁婷

出版發行 臺灣商務印書館股份有限公司

台北市重慶南路一段三十七號

電話：(02)2371-3712

讀者服務專線：0800056196

郵撥：0000165-1

網路書店：www.cptw.com.tw

E-mail：ecptw@cptw.com.tw

局版北市業字第993號

Radiation and Reason by Wade Allison

Copyright © 2009, 2011 by Wade Allison

This edition arranged with Wade Allison Publishing

Complex Chinese edition copyright © 2012

The Commercial Press, Ltd.

All rights reserved

初版一刷 2013年1月

定 價 新台幣 300 元

ISBN 978-957-05-2796-4



版權所有・翻印必究

題獻給

歐菲（Alfie）、愛麗絲（Alice）、賈斯（Joss）、
蜜妮（Minnie）、愛德華（Edward）、喬治（George）

和後來者

願他們有一天會瞭解

中文版序

本書終於出現中文版，書末多加了日本福島核子事故，其他大致和英文版一致。就如之前的核子事故導致反應器受傷，福島的也是，但其排出的輻射劑量，對民眾的影響呢？許多報導實在太誇張，弄得民眾惶恐不已，而社會一片虛驚。全世界各國對該事件的初步反應，各有不同，部分的原因是各國的歷史經驗。核子科技可大大幫助我們，而我們的評述應根據科學，這是每個國家要做的事。政治的與地質的不穩定影響國家的許多層面，核子事故問題亦然。

發生事故時，人們自然會質問：「誰的過錯？」但即使許多人已經為求解而付出代價，也不一定會有答案。希望本書提供的科學論述，幫助讀者瞭解許多關鍵的問題，也為將來的發展提供相互的信任與樂觀。

本書和英日文版電子書（2011 年版 Kindle）的第七章「環境中的劑量」一節，均已特加解釋澄清。

頁里森

2012 年 3 月於英國牛津

英文首版序

當前人類處境為難：一方面擔心經濟不穩定，另一方面又害怕氣候變遷。若處理不善，兩者均可導致廣泛的社會困擾與政治紊亂。尤其是，若要經濟繁榮而無碳足跡，即表示能源政策需要大改革；幸運的話，這一改變在短中期仍可導致經濟繁榮。減少碳足跡的作法是不少，包括使用風能、潮汐能、太陽能、改進現有設備的效率，但是最有力與可靠的能源為核能。然而，許多人認為核能有安全顧慮，是嗎？對此簡潔問題的簡潔答案應為「否」；本書志在以易解方式解釋與探討此問答。

幾年來，我教學與研究物理的多項領域，包括核子物理與醫學物理，但是我和核能業界沒有什麼關聯。我知道輻射安全事宜容易遭受危言聳聽和偏頗論斷；雖然多年前，人們似乎有理由偏好石化燃料當初級能源，我就不便澄清民眾對輻射的認知；但今天的環境局勢很不一樣，需要細解此議題。

但要用什麼語氣？如何說明？使用一般讀者通用的字眼，則科學界會不當一回事。但是科學術語對於許多讀者實在難以理解，因此沒人要聽。可行的方式為有時用科學解釋（但容易理解的），有時用圖解和例子（和普通常識相關）；總之，需要變化語調。但是，我大概會多少到處

惹惱讀者，實在對不起。雖然我找到避免使用方程式（除了一些註腳）的方法，但科學上有些很大的數與很小的數，還是使用科學記數法¹。若你認為有些敘述不重要或難懂，那就跳過去，以後要看再看。描述最近的科學研究時，會標示參考順序，而在書末列出文獻。大部分的參考文獻可在網路上找到，但本書解釋清楚，不必看文獻也可以。書末又附上「進一步讀物」。

我的解說要從物理開始，幾十年來，科學界已經相當清楚大氣、原子核、輻射。接著是輻射的生物效應，這在三十年前並不那麼清楚。通常，科學普及讀物是為了讓人覺得驚豔和受到鼓舞，這很重要。但現在我們的目標更樸素與務實：讓讀者確實瞭解核子威脅（以正確的科學說明）、到底要怎麼做才能改善我們的環境（這可是關係著我們的存亡）。核心的問題是：輻射與核子科技導致的健康風險程度如何？在第六和七章，討論目前的證據與現代生物學的相關事宜。並非所有的問題均已獲得完整的解答，但仍可解答得相當妥當。本書的結論也許和目前的世界輻射規範不同，而讓你大吃一驚，但是，科學文獻上有相當多的近代輻射生物學研究結果，均迥異於目前的世界輻射安全法規，可惜，有興趣的大眾可能不知情。核子科技的成本很高，部份原因在於輻射安全的法規過於嚴苛。若能大幅度放寬，則將助益於建設更多的核能發電廠。

1. 例如， 10^6 表示一百萬、 10^{-6} 表示百萬分之一。

近來的這些科學發現和氣候變遷無關，雖然氣候變遷使得現在的能源問題更顯重要。但是為何民眾認為輻射與核子科技非常危險？本書會詳細解釋，也描述現在核子科技提供大量無碳的電力，又幫助提供食物與乾淨用水等。

這是我的呼籲：

本書提出好消息，但世人已經準備好，以當前輻射科學研究的成果，重新檢視過去的安全假設嗎？這是要緊的，因為如果沒有核能，人類的未來看起來黯淡。

英國文學家福斯特（Edward Forster）寫道：

我認為影響我們的書，是我們已經準備好接納，而又比我們所知稍多的。

希望本書對一些讀者而言是來得剛好。

為了討論幾個重點，本書省略了許多重要議題或只是略為帶過，尤其是「**微劑量**」，輕描淡寫而已，但該觀念有助於後續的討論。無疑地，本書尚有該給而未給的誌謝等各式缺失，這些都是我的過錯。

寫作本書時，我從與同僚的談話中學到許多。通常申請研究經費相當折騰，幸運地，我可以安靜地思考與研究。若非許多人之助，本書恐難完工；以前的學生和家屬、我家人等，費時幫忙閱讀本書初稿，改善可讀性，在此特別感謝 Martin Lyons, Mark Germain, James Hollow, Geoff Hollow, Paul Neate, Rachel Allen, John Mulvey, John Priestland,

Chris Gibson, Jack Simmons, Elizabeth Jackson. 感謝內人 Kate 和其他家人，在最近三年我專注於寫書時，他們愛護我和忍受我。

最後，我要感謝 LynkIT 的 Paul Simpson 和 YPS 的 Cathi Poole，對印行本書與推廣本書的熱心與幹勁。

頁里森

2009 年 9 月於牛津

譯 序

化作春泥更護花

1865 年，英國立法規定機動車輛（火車和汽車），在城鎮區的速限為「最高每小時 3 公里」，而且其前頭 55 公尺處，要有人先行拿紅旗警示民眾。

當我們不瞭解科技時，就會害怕與要求嚴管。今天，誰會要求台灣高鐵的時速 3 公里呢？因為我們的科技知識進步很多，也不會遐想災害。

不幸的是，最近日本仍發生嚴管而衍生悲劇：2011 年 3 月福島核能事故後，在 7 月，政府設限「食物輻射劑量每公斤 500 貝克」，這可推算，即使每天約吃十公斤那種食物，經過四個月內，而其輻射風險，仍少於一次電腦斷層掃描的劑量。2012 年 4 月，日本更嚴縮管制為每公斤 100 貝克。結果，導致許多食物浪費與銷毀、物價上揚、外地居民歧視等社會災難。另外，因管制環境輻射劑量超嚴，政府疏散居民，導致社會破散與民眾流離，而產生自殺、酗酒、絕望、憂鬱、身心交感疾病等，一年來約有六百人死亡（但輻射沒讓一人致死）。

今年初，譯者寫書《為何害怕核能與輻射》，書中提到頁里森教授這本書，就請他惠賜書封（當拙著的插圖），頁里森熱心惠賜之餘，又問可有人要翻譯本書為中文，譯

者就自告奮勇承接。

頁里森為物理教授，跨足高能物理與醫療物理，2006年出書《探測與造影的基礎物理》後，關切民眾對輻射的錯誤認知，而在2009年出版本書，又到處演說講解核能與輻射的安全事宜。2011年3月，日本核能事故後，7月本書的日文版印行；10月，他到福島參訪，深覺「恐慌與不信任」、「嚴管食物劑量、疏散居民」對日本傷害甚巨；他受邀到東京的外國記者俱樂部，演講「輻射與理智——福島與之後」（Radiation and Reason—Fukushima and After）。2012年6月，他發表文章〈誤解的悲劇——福島無嚴重的輻射災害〉；7月，他在德國發表文章〈德國應該重新思考其核能政策〉（主因是德國宣佈要廢核）。2012年7月，日本議會公佈《福島核子事故獨立調查委員會的官方報告》，他為文〈福島事故與國家事故獨立調查委員會報告〉，指出該報告沒區分兩件事（核電廠發生事故、釋放的輻射傷及人與環境的程度），也錯誤地認為該事故為「日本製」（made in Japan），結果，日本太自我批判地找「代罪羔羊」；固然日本政治有其問題，但電廠員工已盡力搶救。其實，最要檢討的是日本嚴管的源頭，亦即，國際放射防護委員會的輻射安全規範（因為太嚴格了，如本書詳述）。例如，在疏散區的劑量，只是每年兩次斷層掃描（20毫西弗）。然而，根據廣島長崎紀錄、世界各地居民環境（平均每年2.4毫西弗而有些地區高達70毫西弗卻無致癌風險）、近年輻射生物學等研究，輻射劑

量應放寬為每年一百毫西弗（本書詳述）。則那六百位日本人應該不會無辜地死亡。

人類對輻射為何有超嚴的風險觀呢？科學家與政府探究「風險認知與溝通」，但績效不彰，因為很難（今天的美國仍有組織堅持地球是平的呢）。試觀最近，英國有份普查反映民眾「常態分佈」的認知（從正確到錯誤的各式認知）：2011年11月，英國下議院的科技委員會公開徵求國民對「風險認知、能源基礎建設（包括核能等）」的意見，今年7月公佈結果。皇家化學學會的意見是，影響民眾風險認知的主因為恐懼；反對者經常簡化而慫動有力地訴說科技風險、「專家名嘴」常在媒體誤導民眾；在缺乏足夠資訊（尤其發生科技事故的早期）時，民眾傾向於相信「最糟的可能性」；近代科技知識不易解釋，也難讓民眾理解；民眾不解「風險與危險的差別」。至於核電廠附近的家長呢？自認其健康已經受到輻射損害；綠色和平組織則說政府聯合核子產業一起淡化核能輻射風險，又操縱媒體，而民眾的認知不是非理性的。

專家力陳，溝通的「內容」不及溝通的「方式」或甚「溝通者」來得重要（此即為何「代言人」常為影歌星），但是科學家往往木訥無趣。反核者卻讓民眾覺得「親民與環保」，他們話的正確部份不多，但已足以取信民眾。民眾往往沒耐心或興趣聽科學說明（通常無趣）。

因為日本核電廠事故，我國一片恐慌，文藝界紛紛要求廢核，但其發言多科學誤謬（但民眾不知）；又舉德國

廢核為榜樣，但不說法國人繼續支持核電（民眾誤以為廢核為全球趨勢）。結果，馬總統宣佈相當不利核電的決定。反核者不解核能與輻射科技，讓人虛驚也浪費資源，又傷害國家甚巨。

宏觀而言，譯者對核能電廠附近居民與其他反核者提出呼籲：

1. 核能電廠在日常運作時，並不傷人；其排放輻射在安全規範之內。
2. 全國民眾不要浪費心力與資源去抗議核能電廠，而是監督其員工正常地操作。核能電廠就是大家的，供應電力給家用冰箱與冷氣、醫院救人、市場保鮮食物等。
3. 萬一核能電廠發生事故（很不可能），釋放的輻射量低，請遵照救護規定做（疏散或關門窗、服用碘片等）；這些都是預防傷害的措施，並不比其他天災人禍更嚴重，例如，台北汐止的土石流、南投的地震、台中 KTV 的火災、北海岸公路的車禍、每年的颱風等，往往死傷慘重。
4. 人生充滿風險，未誕生前需篩檢看是否罹患唐氏症，小孩容易遭受腸病毒和食物噎到，年輕人叛逆和吸毒等。在家有風險而外出也有風險、工作有風險而失業也有風險。2010 年我國人的死因以「肥胖」為首號殺手。國人約四分之一會罹患癌症，不要隨便怪罪輻射。國人致癌因子主要為抽菸、飲食

不當、肥胖、缺運動、酗酒等。在高速公路上，駕駛一個不小心可能導致嚴重傷亡，但是路上滿是車與人，有人抗議與禁車嗎？我國交通事故每年幾十萬件與死亡幾千人，但是我國核能電廠運作三十四年來，無一人因輻射死亡。

5. 諸如燃煤等其他發電方式，大致上均比核能發電的風險高很多。一般人不易理解風險的估算（統計學），容易被誤導，例如，有人宣稱「機率再小也不能接受」，則他不能吃東西，因為會噎死；他不能過馬路，因為會被撞死；可知反核者只是情緒地無理性。
6. 每個國家均需要淨水廠、發電廠、農機廠等，可能發生風險事故（但是自家內也釀災啊）；也會有國家公園、親水堤岸等，讓人心曠神怡。不管「表面上」好壞，總有人住在附近，難道我國民素質差到只會自私地享受而不知分擔社會的義務嗎？但是人生際遇難說，附近設施的影響多大？因現代人移動率高。如衛生署所示，個人生活方式其實更具影響力。
7. 半世紀以來，全球三十二國 432 個核反應器，至今，只有三個重大事件，美國三哩島沒傷人、蘇聯車諾比軍民通用釀禍、日本福島核電廠在附近煉油廠等各建物全毀後仍屹立不搖。五十多年來，全球西方美式核電廠並沒致一人於死地。日本地震與海嘯讓兩萬人死亡失蹤，核能電廠事故無人因輻射死亡，

但後者廣為媒體聳動報導，而前者相對地幾無報導。其他能源災禍，包括燃煤電廠導致全球每年傷亡甚多、全球暖化迫在眉睫、每年石化事故死傷慘重（煤礦災害致死、每年漏油十四億公升）等，幾乎得不到媒體與民眾的關注。

8. 總之，可說輻射沒傷人，倒是民眾的錯誤認知傷害自己與社會。

但願翻譯與推介本書給國人後，增進大家正確地瞭解核能與輻射；更期望核能電廠附近的民眾能安心地生活。至於反核者，請勿再推銷錯誤的科學知識，饒了地球（氣候變遷）一條生路。

林基興

2012 年 8 月



目 錄

中文版序 i

英文首版序 ii

譯序 vi

第一章 認知 1

錯誤 1

個人的風險與知識 3

各自與集體的意見 5

信心與決定 7

科學與安全 8

第二章 大氣環境 11

大氣的範圍與組成 11

大氣變化 12

能量與農業 15

第三章 原子核 17

強力的與有益的 17

大小尺度 18

原子與電子 20

核原子 23

靜態的核 26

提供給太陽的能量 30

第四章 游離輻射 33

輻射頻譜	33
輻射導致的損傷	37
核穩定	39
量測輻射	42
自然環境	47

第五章 安全與傷害 52

成比例的效果	52
權衡風險	55
保護人類	58
損傷與壓力	60
修補的時間到了	63
整體劑量	64
安全餘量	67
多重原因	68
有益的與適應的效應	69
被車諾比嚇到	72

第六章 單一輻射劑量 75

對分子的作用	75
細胞會怎樣？	77
高劑量時的證據	78
修補的機制	80
低度與中度劑量	83
廣島與長崎的倖存者	85