



財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 174 期

出刊日期 112 年 4 月 15 日

本期內容

CONTENT

放射性藥物治療原理介紹與輻射防護

1

放射藥物治療除了對付原發病灶外，亦可治療轉移的病灶，因其可如同化學(標靶)治療般系統性地分佈至全身，但與化學(標靶)治療不同的是，具理想標靶效果的放射藥物能於產生療效的同時，不致造成嚴重的副作用，且短期即可看到明顯療效。

輻射事故犯罪現場處理流程

4

輻射事故現場或犯罪現場的放射性物質，應由受過輻射防護訓練的鑑識人員或現場勘察人員，進行現場封鎖、勘察、記錄和採證等作為，若沒受過此類的訓練就前往執行任務，會令人感覺有不安之處。

訓練班課程

8

公告本會各項訓練班開課時間

輻協新聞廣場

9

各項證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞

飛航中人員宇宙射線輻射防護的背景介紹

13

宇宙射線進入地球大氣層後，會生成質子、電子、X射線和伽馬射線等，使飛航中的飛機內空勤人員與乘客均受到輻射劑量。

宇宙射線對飛航人員輻防系統的看法

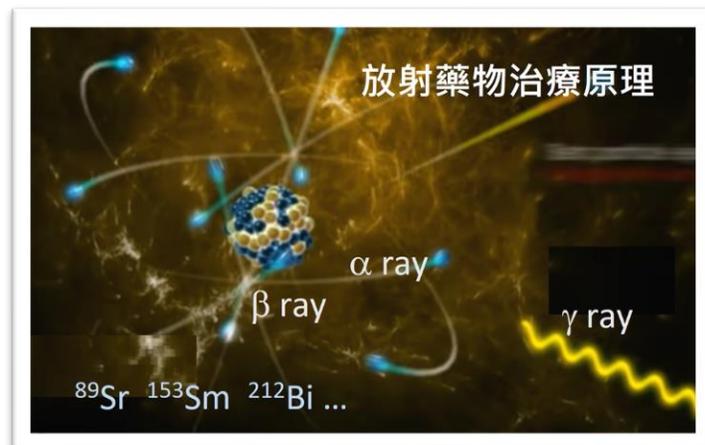
16

ICRP 建議管制機關與航空公司應加強宣導，建立利益相關人對宇宙射線與相關資訊之了解，並培養職業工作人員之輻射防護文化。

放射性藥物治療原理介紹與輻射防護

作者 俞長青

高雄榮民總醫院核子醫學科組長



放射藥物治療 (radiopharmaceutical therapy, RPT) 的作用機制是利用藥物本身的生理特性將具殺傷力的放射核種攜至腫瘤處，來造成細胞死亡，相對於傳統放射治療 (radiotherapy)，放射藥物治療除了對付原發病灶外，亦可治療轉移的病灶，因其可如同化學 (標靶) 治療般系統性地分佈至全身，但與化學 (標靶) 治療不同的是，具理想標靶效果的放射藥物能於產生療效的同時，不致造成嚴重的副作用，且短期即可看到明顯療效。

放射治療核種仍需要「載體」將其送至病灶，載體類型包含小分子藥物、胜肽、抗體甚至是奈米粒子。不同載體構成的放射藥物在體內的藥物動力學 (吸收、分佈、代謝、排除) 可能有大差異。小分子藥物和胜肽具有快速靶向和清除的優勢，但通常在腫瘤停留的時間較短；抗體在血液中的循環時間長，有助於提高腫瘤攝取量，但正常器官積聚可能也同時增加，造成不良反應；在奈米載體方面，使用微脂體遞送放射治療核種尚在臨床前研究階段，還未進入大規模臨床試驗；玻璃和樹脂微球攜載放射核種

構成的放射藥物，如釷-90 (Y-90) 標誌微球，用於肝腫瘤患者的肝動脈栓塞放射治療，對無法進行手術的患者，或能延長存活時間，透過肝動脈給藥，可用於臨床治療肝細胞癌或大腸癌的肝轉移。除進入腫瘤組織外，若放射藥物還可以進一步被腫瘤細胞內噬作用 (internalization) 進入細胞質，並停留一段時間，而正常組織仍如常清除，則可提高腫瘤與正常組織的攝取比值，並讓殺傷效果局限於腫瘤處。

惡性腫瘤是具有高度異質性的多基因疾病，仍成為現今威脅人類健康的最主要疾病。核醫學分子影像和腫瘤臨床診療的理念創新與技術上突破，賦予個體化的精準診療提供了有效的技術手段。放射免疫療法、基因組學、蛋白組學、代謝組學等大數據時代的來臨也為精準醫療奠定了堅實根基。

免疫療法實際上早在 19 世紀就出現了。臨床醫生威廉·柯立 (William Coley) 觀察到，某些引起患者發燒的感染實際上可以幫助治療癌症。針對癌症相關抗原 (例如前列腺特異性膜抗原) 的放射免

疫療法已被廣泛用於臨床應用，以純α發射體為主之標記核素有鐳 (Ra-223) 和釷 (Sm-153)、鐳 (Sr-89)、釷 (Y-90) 等β射源，與β/γ(α)發射體的核素分別為、鐳 (Lu-177)、碘 (I-131)、鉍 (Bi-212)、鉛 (Pb-212) 等 (如表一)。最適合腫瘤治療的是那些能夠發射具有較弱組織穿透力的游離輻射的放射性同位素，如α或β發射體，可在其目標附近釋放能量。



圖引用自IAEA(Wikimedia)

圖一 放射性核種包裝例(⁸⁹Sr)
(引用自 IAEA)

放射免疫療法用於那些能對放射性有反應的腫瘤，但是它同時借用了抗體驚人的特異性：它不再讓患者全身都接受放射線照射，而是把放射性分子結合到針對癌細胞的抗體上，對於抗體與癌細胞結合之後，癌細胞就可以接受更多輻射，而身體其餘部分受到的影響較小。免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG) 是抗體分子中的一類，則常應用於免疫治療。IgG 在人體血循環中有較長生理半衰期，平均約為 2~5 天(取決於不同 IgG 的結構差異)，由富含網狀內皮系統 (reticuloendothelial system) 的器官如肝臟或脾臟進行代謝。

利用單株抗體(monoclonal antibody) 生產技術可產生對特定抗原具專一性結合能力及生物特性 (biological characteristics) 的抗體作為攜載放射性核種的載體，並應用於腫瘤治療。抗體放射免疫療法最主要用於血液及淋巴等惡性腫瘤。目前有許多針對淋巴癌細胞表面抗原(例如 CD33、CD20、CD45 和 CD37 等)的抗體經標記放射核種後，

應用於臨床研究。早期常使用碘-131 進行抗體標記，再利用碘-131 標記抗體進行其藥物動力學探討，在活體的生物分布及單光子電腦斷層造影(single photon emission computed tomography, SPECT)，並進行腫瘤治療評估。患者進行骨髓移植前，常需進行全身輻射照射壓抑免疫反應，已有一些臨床試驗，例如以銲-211 替代碘-131 標記於 anti-CD45 抗體 (NCT02665065)，評估以放射核種標記抗體替代全身輻射照射應用於骨髓移植前的放射性骨髓消融術 (bone marrow ablation) 的可行性。

用於癌症治療中病理組織的放射性藥物靶向技術的醫療用途已在全球範圍內擴大。而放射治療藥物應用於癌症治療需要許多不同領域專家共同合作，包括放射化學、放射生物、放射物理、腫瘤學、藥理學、劑量學及分子影像學等。雖然，成功發展一個新穎有效的放射治療藥物所面臨之挑戰，可能不比發展傳統化學

藥物來的小，放射藥物治療有別於傳統化學藥物治療，且有其優越性，值得國內整合各領域的專家傾力發展，為腫瘤治療開創新局。而放射性藥物治療中的輻射防護上須有多方面獨特的考量，主要是因為非密封的放射性同位素比起核醫診斷學中常用的活度往往大得很多，需要控制得宜。這些攸關治療計劃的實行---計劃需要包含(1)符合用來治療病房裡病患及人員的設備，(2)設計專門並配備了特殊的屏蔽材質和輻射偵測污染之監控裝置，(3)對於治療隔離病房患者之出院標準，也需符合法規最低限度之釋放規定，或(4)治療的標準-必須考量根據可能對家人和朋友所造成的潛在劑量來訂定規劃，並以門診方式給予患者輻防衛教諮詢與協助，提供患者進行適當有效且合理的治療範圍之劑量。未來開展精準診療後，醫生將清楚地了解，哪些藥物對一部分患者有效，對另一部分患者無效。

表一 常用放射性治療核種特性比較

放射核種	釋放輻射	組織穿透深度 (mm)*	半衰期
鐳-223	α	0.05-0.08	11.43 天
釷-153	β^-	4	1.9 天
銩-89	β^-	7	50.5 天
釷-90	β^-	5	2.6 天
鉛-212	β^-/α	<0.1	10.6 小時
鉍-212	β^-/α	0.05	1.0 小時
鐳-177	β^-/γ	0.62	6.6 天
碘-131	β^-/γ	1	8.06 天

精準診療的目的是為了進行適合的治療，為了更加精準地用藥。這樣做，一方面可以減少藥物對患者的副作用，另外也可以降低醫療成本，減少患者的負擔。

1. 對患者的風險

此外，與以診斷為目的接受放射性藥物治療的患者相比，接受放射性藥物治療的患者成為輻射源，其劑量更大，持續時間更長。在與他人接觸時必須採取特殊保護措施，尤其是兒童和孕婦。如果這些患者須進出海關 X 光機或經過輻射監測器，則可能會發出警報聲響，因此患者應攜帶出示醫院所提供之受檢資料或同位素治療的相關證明文件。女性患者於治療期間必須停止哺乳，並在治療後半年內避免懷孕。輻射特殊防護的考量也是必要的，尤其是針對需要做血液透析(洗腎)之放射性患者。

2. 工作人員的輻射劑量

除了一般常規性放射同仁外，醫院處理放射性藥物治療的工作人員，也需要在安全措施方面進行人員每年輻射安全防護教育訓練和經驗分享，以減少非密封輻射源之污染。輻射工作人員也需要知道如何在污染的情況下進行除污，隨時提高警覺，注意管制區與非管制區域內的環境污染。

3. 建議

回顧這幾十年來，ICRP 制定了劑量係數和其他接受開刀手術後放射性藥物的患者，相關計算治療劑量的參考依據。在第 128 號出版物 (ICRP, 2015a) 中所提出優化的關鍵是希望能夠量化治療腫瘤和正常組織的輻射劑量。日前的 ICRP 出版物中，針對放射性藥物治療相關的患者、工作人員和公眾的輻射防護也提出一些建議。對於從事放射性藥物治療的核醫科醫師、開處方籤的醫生

和其他相關的醫院工作人員，都需要熟悉對患者和工作人員的輻射防護注意事項。並謹遵守輻射防護「三原則」(輻射實踐正當性、輻射防護最優化、個人劑量限值)，從體外照射防護和體內照射防護上，落實各項技術措施、管理措施。

4. ICRP-140 出版物建議施行要點

(1) 放射性藥物治療需要有正當性、合理化投予治療劑量，並達到最適化治療過程。治療計劃應進行個別吸收劑量評估，並於腫瘤劑量和正常組織的給藥後劑量驗證。

(2) 對於孕婦和兒童應特別注意於游離輻射曝露。放射性藥物治療的禁忌症是禁止懷孕及接受放射性藥物治療的患者應停止哺乳。

(3) 放射性藥物治療中使用的輻射源--可能導致醫護人員和其他可能在房間內或附近的人員，接受到非密封射源曝露。有效的減少輻射劑量、和避免輻射污染控制，可以透過使用適當的管理程序、設施和房間設計，包括適當的屏蔽，以及人員教育訓練和專業培訓，以提高對輻射防護的認知和參與。預防意外發生和審查放射性藥物治療的安全應變措施，內容也是須包含管理程序、設施和設備防護設計。

(4) 醫師應符合合理和優化的輻射防護原則。手術或治療過程中之醫護人員以搶救生命為第一考量，醫療程序中之輻射防護措施不應停止或延誤搶救生命。並應立即通知曾接受專業訓練且合格輻射工作人員，協助請求支援。

(5) 住院治療或治療後可否出院的決定，應遵照現有的指導方針與輻射防護法規，以及視患者個別的情況，應考量患者的出院(返家)後活動、患者的意願、和家



圖二 適當的輻射防護減低工作人員劑量

庭成員 (特別是有嬰幼兒或懷孕家人) 等因素。護理人員應主動向患者或其家屬提供治療後輻射衛教諮詢與患者及陪伴者之間居家(返家後)輻射防護的相關信息。

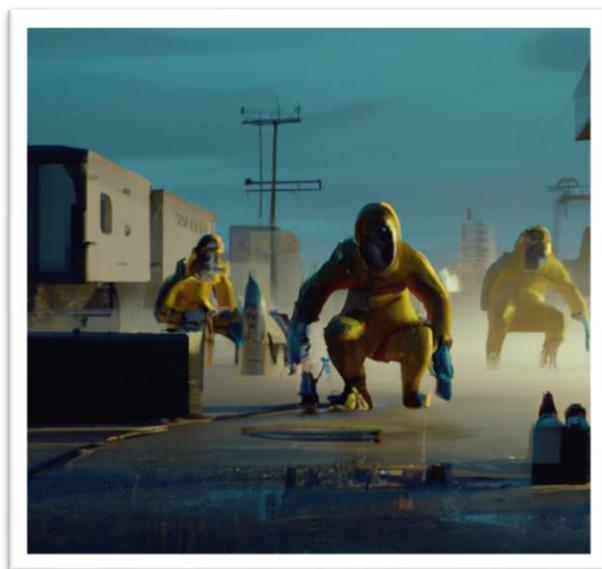
參考資料:

1. ICRP Publication 140: Radiological Protection in Therapy with Radiopharmaceutical. Ann ICRP 2019 Sep;48(1):5-95.
2. Lutetium 177 PSMA radionuclide therapy for men with prostate cancer: a review of the current literature and discussion of practical aspects of therapy. J Med Radiat Sci. 2017 Mar;64(1):52-60.
3. Endocyte, Wedbush Analyst Upgrade, and the PSMA-617 Licensing Deal. traders news source. <https://tradersnewssource.com/endocyte/>
4. 光明日報 <http://www.guangming.com.my/node/397668>

輻射事故犯罪現場處理流程

作者 李承龍

臺灣警察專科學校/國立清華大學 副教授



輻射事故發生或犯罪現場發現有放射性物質時，依照輻射事故現場標準作業程序的作法，是最迫切的，也是犯罪調查工作的重點。參考傳統輻射事故現場的標準作業程序，通常係由原子能委員會通知重大輻射災害後，地方政府應根據不同類型的災害啟動相關的防災救援標準作業程序，但實務上，發生犯罪或意外事故時，民眾在第一時間不是打 110 報警，就是打 119 急救，所以第一抵達現場是應該是警察、消防或急救人員，倘若有輻射事故或發現放射性物質時，也應該是抵達現場的人偵測發現後，才會再通報原子能委員會展開傳統輻射事故現場的標準作業程序。另根據通報的輻射事故類型，將由原子能委員會相關業務部門（如核技處、輻防處等）帶頭組成輻射技術專家小組，再由其他應急處置單位派員協助，此技術小組主要是負責處理輻射災害現場的緊急應變。面對可能的輻射事故，平時相關人員應熟悉操作的標準作業程序，也要確保相關輻射應急設備齊全，才能讓輻射應急小組成員到達事故現場後，藉由便利的攜帶型設備，檢測污染源，能快

速識別放射性同位素。當處理輻射事故遭受威脅時，應遵循災害防救法以及原子能委員會的輻射災害防救業務計畫等作業程序，在事故現場周圍建立明確的保護區的圍欄，控制人員和車輛的流動。建議主要步驟如下。

一、初報

輻射事故及犯罪現場的放射性物質，均屬無色、無味、不亦察覺的特徵，一般民眾發現任何犯罪或事故，都會打 110 報警，110 勤務指揮中心的員警應遵循警政署頒佈的標準處理流程，以確保盡可能地獲取最多的報案訊息，同時以最快的速度，通報各相關緊急應變處理人員。倘若無法做到緊急應變，則可能導致輻射事故的擴散等危害，即第一位到達現場，面對未知危害的執法人員，因無知或不清楚危害的種類，可能盲目地進入危險區域，而受到該輻射的危害，除了警察單位外，消防機關及緊急醫療服務（EMS）單位，應注意有無此類危害，並且做好充分的準備，以適當地處理此類危機狀況。

面對可能的輻射事故及犯罪現場放射性物質的危害，無論資訊的真假，負責民眾安危和肩負偵查犯罪的警政機關，受理報案後，必須先作出適當的反應，而此種正確的即時反應，則必須靠平時訓練有素和裝備精良的應變人員（包含輻射技術人員、執法人員、緊急醫療人員，及與負責現場勘察工作的鑑識人員）彼此間的密切合作，並使用所有可用的資源。輻射事故現場、犯罪現場放射性物質或其他可疑的地點，都必須先由經過輻射防護訓練的鑑識人員或現場勘察人員，來進行完整的現場封鎖、勘察、記錄、保全和採證等作為，但目前決大部分員警和勘察人員均未聽聞，也沒受過此類的相關訓練，卻貿然奉命前往執行輻射事故及犯罪現場放射性物質的勘察和採證任務，其嚴重後果，不禁令人心驚膽戰。

現行核子事故緊急應變法（簡稱《核應急法》）規定，由原子能委員會成立核子事故輻射監測中心，負責環境偵測、劑量評估等任務，於核子事故發生時，即需適時趕赴現場執行任務。

因此，輻射事故現場及犯罪現場放射性物質處理的第一線工作人員，應由原子能委員會所屬機關及台電公司等人員組成，均具備必要的核能專業知識。至於警察、消防、醫護及國軍等負責緊急應變或救難的人員屬非核能專業人士，依照規定，應該在位於緊急應變計畫區外的收容站執行任務，但有時因為現場緊急應變的需求，必須進入緊急應變計畫區內執行任務時，依照規定，仍須在具輻射專業人員指導陪情形下，方可執行任務。除根據《核應急法》第8條的規定外，應急小組的任務還包括

1. 指揮、監督、協調和處理各種救災措施。
2. 及時了解和掌握各種災情，及時報告。核能運營單位必須按照《防災救災法》、《核應急法》、《核反應堆設施管理法》的規定，落實核災害預防和公眾防災、溝通措施。在發生核事故時，必須進行輻射檢測和評估等措施。

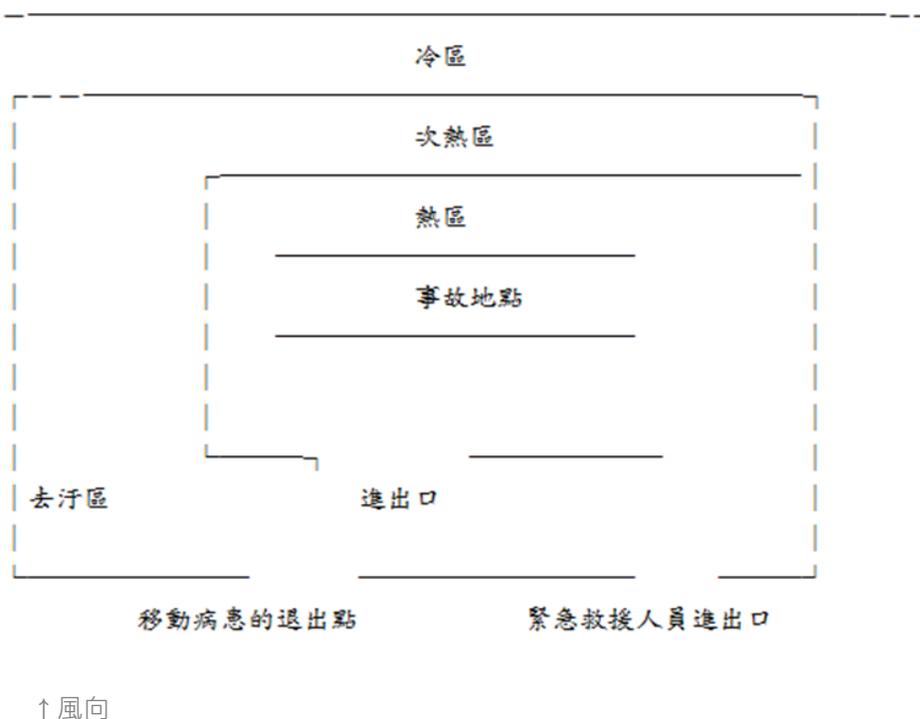
所以上述各應變單位，均應定期舉辦各項輻射防護的專業講習訓練，訓練對象包括各單位的編組人員及決策主管，以加強參與緊急應變組織人員的輻射防護知識與應變能力，這也是目前警察、消防現場處理人員最欠缺的輻射防護和核能安全訓練的部分。

二、反應措施

(一) 建立明確的保護區

面對輻射事故，應視輻射現場現況，建立明確各層保護區，並將現場分為「熱區」、「次熱區」和「冷區」，以下說明各區域的功能，以及所需要的保護等級高低（見下圖一）。

1. 「冷區」是一個可取得保護設備，或可能需要保護設備的地區，此層的現場管理人員的功能，在於協助進入「熱區」或「次熱區」的人員，提供支援，



圖一、依據現場狀況，確認建立大小適當的區域和進入/退出的位置。

以確保現場安全，及協助警察、消防和緊急救護人員。

2. 「次熱區」即消毒區或去汙區，這個區域的功能如同執法人員的檢查哨。另為達到消毒的功能，曾經暴露的受害者，必須在此區除去可能含有輻射物質的個人物品，執法人員應與消防和緊急救護人員共同合作，將潛在的輻射有害物質，予以區分、登記、辨識、保全及包裝。

3. 「熱區」可能包含實際的輻射事故地點，可能是一輛公車、一架飛機、一列火車、一棟住宅、郵政設施、辦公大樓，或是一個人。只要你想像可以放置放射性物質的，都有可能成為所謂的『熱區』，為了增進處理人員和公眾的安全，所有的緊急應變單位，應具備因應各種輻射危害的能力，再次強調說明，適當的訓練及演練，是面對輻射防護不可或缺的。

(二) 建立保護區內的標準流程

建立保護區內的工作標準流程方法，並要在事件發生前就開始實行；例如對受傷或病患的照護，必須要有統一的方法，又不會損害到可能存在的犯罪證據。所以訓練有素的現場處理人員，建議是「次熱區」的團隊之一，是負責消毒的人員責任，可以稍微減輕，同時確保犯罪現場物證的完整性。

(三) 訂定保護區內的專屬規則

針對保護區內之相關規定，應制定相對應的專屬處理規則如下：

1. 允許自行保管小體積的個人物品，如錢包、皮夾、手機和鑰匙。
2. 將衣物和個人物品作適當的區別標籤。
3. 所有物品在檢查或消毒前都應置於「次熱區」。
4. 不要攜帶靈敏的執法設備，請專人保管，然後再進入「次熱區」。

5. 安排足夠的人力和乾淨物品，直到任務完成。

6. 保全次要設備以及傳送系統的物品。

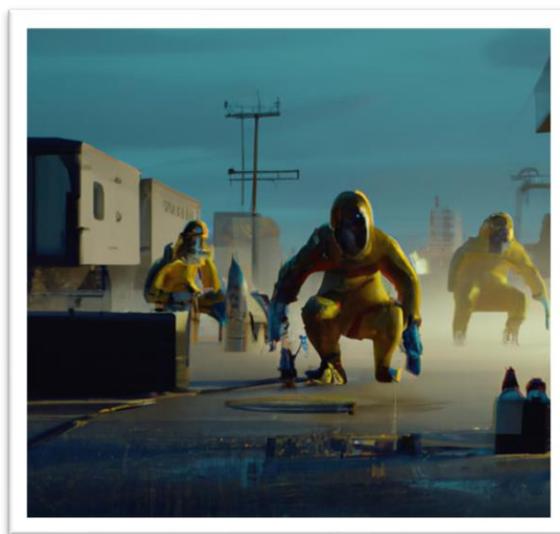
7. 現場的處理人員應採輪班制，以避免體力過度消耗，同時應穿著個人防護裝備（如下圖二、輻射事故現場採證模擬圖）。

8. 律定向檢察官聲請搜索和逮捕令的時機。

三、犯罪現場放射線物質之處理

犯罪現場包含各種不同的區域、個人、物品和地點，尤其面對輻射事故或犯罪現場的放射線物質，存在許多的挑戰均必須設法處理完成採證任務，才能有足夠證據來起訴嫌犯。其中在熱區中要如何處理各種採證的工作，就是一項挑戰，因為只有經過輻射防護和核能專業培訓，專責處理危險品或爆炸物的專家團隊，才被允許進入到「熱區」。這些專家團隊包括輻射技術人員和犯罪現場勘察鑑識人員，均應透過適當的輻射安全講習和訓練，來熟悉輻射工作規則及責任，尤其輻射現場採證過程是犯罪偵查成敗的關鍵步驟，採證完善，將對刑事調查的結果，產生相當大的影響。

處理放射性物質，將會要求採取初始樣本，對部分的可疑材料，進行初步篩選，以美國為例，國民警衛隊支援服務隊或聯邦調查局（FBI），美國菸酒槍炮及爆裂物管理局（ATF），和其他受過專門訓練的應變小組成員，均可投入協助此工作，面對輻射事故或含放射線物質的犯罪現場，其後續的現場勘察，則必須由訓練有素的犯罪現場執法人員、核鑑識實驗室，或核實驗室人員指揮控管。採證人員必須謹慎小心，以確保能符合既定的犯罪現場調查程序，這些程序包括以下內容：



圖二、輻射事故現場採證模擬圖（利用電腦繪圖自行繪製）



圖三 處理人員的防護裝備（本圖摘自日本茨城縣那珂郡東海村，東海發電廠事故現場，<https://www.gushiciku.cn/dl/1gb6Q/zh-hk>）

（一）使用適當的個人防護裝備（如圖三、處理人員的防護裝備）。

（二）指示危險品處置團隊，只需收集足夠初始篩查的數量。

（三）使用全球定位系統（GPS）設備來標記證據的地點，達成圖示化的目的。

（四）使用可避免污染的攝影器材，如市售的水底設備或即可拍相機。

（五）所有樣品和證據，皆應遵守證物監督鏈的保管程序。

（六）確保包裝內的不明材料，在移動到實驗室的過程中，不被污染。

綜合上述輻射事故的特性和犯罪現場處理標準，面對輻射事故現場的重點作為可概括以下幾點：

一、現場評估：評估現場的輻射狀況，包括輻射源的種類、放射性物質的種類和濃度、輻射場的強度和範圍等，確定應急措施的範圍和類型。

二、保護人員和公眾安全：確保現場人員和公眾的安全，避免暴露於輻射場中。必要時，可以進行疏散、遷移或隔離措施。

三、控制輻射源：確認輻射源後，應控制輻射源的擴散和釋放，防止輻射物質進一步釋放到環境中，可以運用掩護、封閉、減壓、降溫等方法來控制輻射源。

四、監測輻射狀況：對現場進行輻射監測，及時掌握輻射狀況的變化，確保應急措施的有效性和現場人員和公眾的安全。

五、除污清理和緊急處理：對現場進行除污清理和緊急處理，可減少輻射污染的影響和擴散，通常運用物理、化學或生物方法進行。

六、評估後果：對輻射事故造成的影響進行評估，確定對人類健康、環境和經濟的損害程度，以便制定後續的應對和管理措施。

實際處理輻射事故過程中，應根據實際情況制定具體的應急措施和操作流程，並在確保人員和公眾安全的前提下，盡

可能地減少輻射污染的影響和擴散。建議應擬定從接到通報，趕赴現場乃至蒐集、送驗及保全、鑑定證物的完整的標準作業流程，更重要的事所有輻射技術人員、執法人員、消防人員及緊急應變人員，都應該接受輻射防護訓練，並且熟悉分配工作的所有流程。檢視所有成功的應變管理調查工作，都需要整合中央各部會和地方政府的資源，另結合各領域人才的互助合作、發揮團隊合作及讓現場調查方法的系統化和專業化，對所有的參與調查的單位來說，都至關重要，本短文期待拋磚引玉，引發政府及民眾更關注輻射事故現場處理之安全議題，共同制訂更完善之規範。



訓練班課程(112 年度)

放射性物質或可發生游離
輻射設備操作人員研習班

A 組 36 小時-許可類

A3 新竹 帝國經貿大樓

7 月 18 日~7 月 25 日

A4 高雄 文化大學推廣部

7 月 26 日~8 月 2 日

B 組 18 小時-登記類

B6 台中 文化大學推廣部

4 月 12 日~4 月 14 日

B7 台北 進出口同業公會

4 月 19 日~4 月 21 日

B8 新竹 帝國經貿大樓

4 月 25 日~4 月 27 日

B9 高雄 文化大學推廣部

5 月 16 日~5 月 18 日

B10 台北 進出口同業公會

5 月 23 日~5 月 25 日

B11 新竹 帝國經貿大樓

6 月 07 日~6 月 09 日

B12 台中 文化大學推廣部

6 月 14 日~6 月 16 日

輻射防護專業人員訓練班：
輻防員(108 小時) / 輻防師
(144 小時)

員 41 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

112 年 7 月 3 日~7 日

第二階段

112 年 7 月 10 日~14 日

第三階段

112 年 7 月 26 日~28 日

第四階段

112 年 7 月 31 日~8 月 04 日

輻射防護繼續教育訓練班
(3/6 小時)

台北 進出口同業公會

5 月 3 日(上午&下午)

高雄 科學工藝博物館南館

5 月 11 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

5 月 19 日(上午&下午)

台中 文化大學推廣部

5 月 30 日(上午&下午)

鋼鐵建材輻射偵檢人員
訓練班

鋼 1 新竹 帝國經貿大樓

5 月 04~5 月 05 日

鋼 2 高雄 文化大學推廣部

5 月 09~5 月 10 日

上課地點

台北

進出口同業公會：台北市中山區松江路 350 號

新竹

帝國經貿大樓：新竹市光復路二段 295 號 20 樓

經濟部專研中心：新竹市光復路二段 3 號

台中

文化大學推廣部：台中市西屯區台灣大道三段 658 號

高雄

國立科學工藝博物館-南館：高雄市三民區九如一路 797 號

文化大學推廣部高雄教育中心：高雄市前金區中正四路 215 號 3 樓

課程安排問題，請聯絡本會，電話 (03) 572-2224
分機 313 李貞君 (繼續教育)；
315 邱靜宜 (鋼鐵建材、放射物質與游離輻射設備)
傳真 (03) 572-2521315



輻防新聞廣場

最新證照考試日期與榜單

- ➔ 行政院原子能委員會 112 年第 1 次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」公告及簡章。[訊息連結](#)

112 年第 1 次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」，訂於 112 年 5 月 6 日舉行，報名日期為 112 年 2 月 13 日至 3 月 3 日，採網路報名，相關事項請點選下方→(相關連結)詳閱簡章。

相關連結：[輻防及輻安測驗](#)
(發布日期 112 年 1 月 31 日)

國內新聞

- ➔ 自由時報報導「北韓核試驗場汙染地下水 輻射物質影響逾百萬人」。[訊息連結](#)

總部位於南韓首都首爾的人權組織今(21日)在報告中指出，數萬北韓人甚至南韓、日本和中國人民，都可能因為地下水傳播，接觸到北韓地下核試驗場的輻射物質。

據《路透》報導，南韓「轉型正義工作組(Transitional Justice Working Group)」今發表的報告指出，輻射物質可能已擴散到鄰近核試驗場附近的 8 個北韓縣市，共計逾 100 萬北韓人受影響，地下水在當地被廣泛用於日常生活。

報告進一步表示，由於北韓走私出口的農漁產品猖獗，鄰國南韓、中國和日本也正面臨風險。美國和南韓政府的資料顯示，2006 至 2017 年期間，北韓政府在咸鏡北道(North Hamgyong)豐溪里(Punggye-ri)的核試驗場，秘密進行了 6 次核試爆。

「轉型正義工作組」創辦人李永煥(Hubert Younghwan Lee)說：「這篇報告具重要意義，證實北韓的核試可能威脅人民健康、甚至是生命權，受波及的不僅只有北韓人民，更包括南韓與其他鄰近國家的人民。」

2015 年南韓食品醫藥品安全處曾表示，檢驗到放射性物質「銻同位素」含量超標 9 倍的進口羊蹄菇，其號稱產地在中國，但實際上是源自北韓的走私農產品。北韓上次進行核試後，中國與日本紛紛加強輻射監控，並對可能接觸到輻射表示擔憂，但兩國皆沒有公開食品受污染的資訊。(發布日期 112 年 2 月 21 日)

- ➔ 聯合新聞網報導「福島核廢水 1 年流到台灣 原能會：屆時已無輻射安全影響」。[訊息連結](#)

日本政府預計於今年春夏季，將福島第一核電廠含氚廢水排放入海，原能會表示，福島核廢水入海後，過程恐受向南渦流影響，不排除最快 1 年流到台灣海域，但屆時放射性物質活度濃度，已對台灣無影響；另核食進口部分，未來將逐步提升量能，讓每年檢測量能達近 7 萬件。

原能會說明，在日本福島核災後，原能會即逐步建立我國對境外核災與後續影響的應對能量，自 2011 年起協助衛福部食藥署與農委會等單會，對其抽驗的日本進口食品、我國海產品進行輻射檢測，每年檢測量約 1 萬 3000 至 1 萬 8000 件，迄今已執行 20 萬餘件日本進口食品輻射檢測，均未超過衛福部食品標準。

原能會表示，未來將積極逐步提升量能，邀集國內 7 家食品輻射檢測實驗室成立檢測國家隊，讓每年食品輻射檢測量能可達近 7 萬件，確保食品輻射檢測量能充足無虞。

針對海域輻射監測部分，原能會表示，自 2017 年起開始執行海域輻射監測計畫，進行台灣海域輻射背景調查與監測；2019 年獲知日本有可能以海洋排放方式處理福島第一核電廠含氚廢水時，即密切關注日本相關處置動態。

原能會表示，2021 年也因應日本政府決定採用海洋排放福島含氚廢水，擴大進行台灣海域輻射監測、建立海域氚輻射背景資料庫。自 2017 年至迄今，已完成 3500 件次海水、海生物、岸沙等樣品的採樣及放射性分析檢測，所得分析結果均無輻射異常狀況。

為了解未來日本排放作業對台灣海域的可能影響，原能會核研所也與氣象局合作，在 2021 年 7 月至 2022 年 12 月期間，執行「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」，運用計畫開發的放射性物質海域擴散分析技術，以過去 10 年洋流歷史資料庫進行案例分析，模擬探討日本排放作業對台灣海域的影響時間及濃度。

分析結果顯示，福島排放的放射性物質主要沿黑潮延伸流向東傳輸至太平洋東岸，但因傳輸過程中可能受向南渦流的影響，不排除最快 1 年流到台灣海域，但到達台灣海域的放射性物質活度濃度，已低於儀器偵測極限，對台灣並無輻射安全影響。

原能會表示，因應日本排放規畫，原能會已經擴大跨部會合作，成立 2023 年至 2026 年「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫」。

原能會指出，目前已與各相關部會共同執行包含海水、漁獲物、進口水產食品、海域環境生物樣本等全方位海域輻射監測，以及進行海域輻射擴散預報系統優化作業，並於日本排放時提供擴散預報分析，模擬放射性物質海洋傳輸路徑、預測可能影響範圍，確保我國海域環境與國人海產食品輻射安全。（發布日期 112 年 3 月 13 日）

➡ 自由時報報導「核廢乾貯卡關 核電廠除役 繼續燒錢」。 [訊息連結](#)

台灣即將僅剩核三廠運作，但核廢料問題已談論多年，不僅選址作業停擺，連過渡性暫時存放用過燃料棒的乾貯設施在興建、啟用上都持續被新北市政府卡關。除役的第一步始終無法踏出，每年更需編列上億元經費維護已不發電的核電廠。每年需編列上億經費維護

核電廠要實質除役，就要把用過的核燃料棒從爐心內移出，進行輻射調查、除污等一連串作業等，整個時程長達二十五年。核一廠一號機已於二〇一八年底除役，四年多過去，蓋好的室外乾貯無法使用，核燃料棒還擺在反應爐、燃料池，除役核心工作無法展開，即將除役的核二也將重蹈覆轍。

新北市政府以核安為由不給室外乾貯啟用，台電改推動室內型乾貯；核後端基金上次重估大增原因之一就是乾貯設施由「室外轉為室內」，經費要多出二八二億元，但興建室內乾貯過程也沒有比較順利。

新北市政府因水保、逕流廢水污染等為由拒發照給台電，雙方走上訴訟。根據台電規劃，核一、核二室內乾貯都應盡速招標，理想是在二〇二八、二〇二九年啟用。台電內部指出，招標程序上雖無關新北市政府，但一到動工階段，仍需其同意。

因為用過核燃料棒迄今未能挪出，台電依規定須比照運轉中的電廠，用高規格方式維護，保警等人力都沒辦法撤出，加上燃料池要有冷卻系統等，為維護已停止發電的電廠，每年需上億元相關經費。經濟部強調，最高原則即安全不能打折，期盼乾貯設施盡速啟用。

台電曾評估，核一若不要超出原訂二〇四四年完全除役，最晚要在二〇二〇年三月要移出，但迄今已超過三年；台電主管坦言，務實解決還是要燃料棒取出，擺放至乾貯設施為第一優先順序，第二要能選出集中式暫存、終期貯存，國內對此要有共識，訂定選址辦法，台電才能依法執行。（發布日期 112 年 3 月 13 日）

➡ 聯合新聞網報導「醫用輻射低於吸菸 放射師：高階儀器可再降劑量」。訊息連結

不少民眾赴醫院接受 X 光或核子醫學檢查時，內心不免擔憂醫材輻射量，對人體是否有害？高雄醫學大學附設高醫岡山醫院籌設營運處醫療團隊放射副主任洪少筠表示，醫學影像檢查的輻射劑量很低，對人體的影響，甚至比吸菸或二手菸還小，千萬不能因害怕輻射而不敢做檢查，耽誤了疾病診斷。

「照那麼多張 X 光，到底對身體有害嗎？」洪少筠指出，常有患者在放射科接受 X 光檢查時詢問，實際上，醫學影像檢查輻射劑量很低，對人體的影響微乎其微，倒是吸菸及二手菸對人體的傷害遠大於醫用輻射線。洪少筠進一步分析，以重度吸菸者為例，一天若抽 30 支菸，一年輻射劑量高達 13 毫西弗，等同於吸入輻射量是照 X 光 650 次，超過一般民眾天然背景輻射年劑量的 13 倍。

洪少筠表示，香菸對人體健康的危險度遠高於醫用放射線，是因菸內具放射性「鈾」和「鉛」，當香菸一點燃，內部的鈾與鉛隨之蒸發，吸入積存肺中，對健康造成危害。

平日一般人接受來自太空、空氣、土壤、食物等天然背景輻射，洪少筠說，以台灣來說，年平均劑量約為 1.6 毫西弗，至於，在醫療上最常接觸的 X 光攝影，如牙科根尖片劑量，僅僅 0.005 毫西弗；如胸部 X 光劑量，僅 0.02 毫西弗；如腰椎側面也就是人體最厚位置需較大輻射劑量檢視，為 1.2 毫西弗，都低於每人平常接收的天然背景值。

若以其他常見的輻射檢查來看，洪少筠指出，乳房攝影每次劑量 0.4 毫西弗、腦部電腦斷層每次劑量 2 毫西弗，而癌症放射治療為了殺死癌細胞，使用劑量相對較高，但因為放射治療是經由醫師及醫學物理師制定精準的治療計畫，分次照射在腫瘤部位，可大幅降低對於正常組織的傷害。

科技日益進步，醫療技術與儀器也隨之日新月異，為減輕民眾的疑慮，高醫岡山醫院即將在今年下半年興建完工，高醫指出，日後將引進業界最新的高科技儀器，發展智能醫療照護，升級北高雄地區民眾的健康照護。

以一般 X 光檢查為例，新型 X 光機具 AI 影像優化降低劑量功能-自動曝露控制（AEC），機器根據每人體厚不同，自動偵測所需要 X 光劑量，當偵測板接受足



夠成像 X 光量後，即自動停止輸出，加上 AI 最新大數據整合，將結果影像優化，平均需用到 X 光輻射劑量，可大幅降低到以往的三分之一到二分之一。

此外，高醫岡山醫院說，將引進新型雙光能 768 切高階電腦斷層，照射速度更快，代表患者曝露於輻射下時間縮短，承受輻射量更低。以目前最夯的低劑量肺部電腦斷層為例，一個正常體型的成年人，可低至 0.16 毫西弗，代表用大約胸部 X 光 8 張劑量，就可以達到整個肺部約 150 張細切影像，在智能 AI 功能加乘下，影像品質將整體提升。

副主任洪少筠表示，為達到檢查或治療的目的，並提供醫師診斷或治療必要的資訊，醫師會以輻射的最適化與正當性原則來實行檢查或治療，檢查與治療過程也會將非重點部位遮蔽，患者所獲利益遠超過輻射的風險。如有疑慮，可與醫師多做溝通後再檢查與治療。(發布日期 112 年 3 月 27 日)

➔ Yahoo!新聞網報導「能源轉型 德僅存 3 座核電廠將停運」。 [訊息連結](#)

德國僅存最後 3 座核電廠將於本月中旬停止運轉，核電等於在德國劃下句點，副總理兼聯邦經濟事務和氣候行動部部長哈柏克 (Robert Habeck) 表示，德國的能源供應安全無虞，只是由於近期受俄烏戰爭持續影響，能源價格尚未明顯回落，因此德國民眾對於全面淘汰核電一事出現看法分歧。

根據德國知名媒體《明鏡》(Der Spiegel) 報導，德國最後 3 座核電廠將在 4 月 15 日關閉後進行拆除，原本去年年底就應該關閉，但因俄烏戰爭爆發並引發全球能源危機而暫緩，當時德國執政聯盟決定讓 3 廠暫時維持運作，以度過漫漫長冬，在 1 年多後的現在，德國的核發電將迎來盡頭。

身為德國環境保護政黨「綠黨」(GRÜNE) 的重要人物，哈貝克認為，儘管有反對聲音出現，但德國逐步淘汰核能的計劃已是不可逆轉，而且從法國、英國、芬蘭的經驗來看，興建新核電廠已不划算，德國的營建商對此也不感興趣。

然而，最近一項民調顯示，32%的德國受訪者同意，核電站應在有限時間內繼續運作；33%的受訪者則認為核電站應該無限期繼續下去；另有 26%的受訪者贊成現在就停用核電。依政黨傾向來看，只有綠黨的支持者大多贊成立即終止核電。

德國自由民主黨 (FDP) 表示，既然要放棄燃煤發電，那核電站就應該繼續運作，因為無法預測俄烏戰爭還會造成哪些緊急情況，呼籲保持開放的心態，討論是否有辦法讓核技術的運用更加安全。

對此，哈貝克回應，德國有充裕的天然氣儲備、新建的液化天然氣接收站，以及日益增加的再生能源，即使沒有核能，能源供應也安全無虞；綠黨委託進行的一項研究結論也顯示，風力和太陽能等「可再生能源」，都比核能便宜許多，柏林工業大學和德國經濟研究所的報告指出，要求德國繼續營運核電站，甚至比建設新核電站的要求，還要缺乏經濟上的基礎。(發布日期 112 年 4 月 11 日)

飛航中人員宇宙射線輻射防護的背景介紹

作者 尹學禮

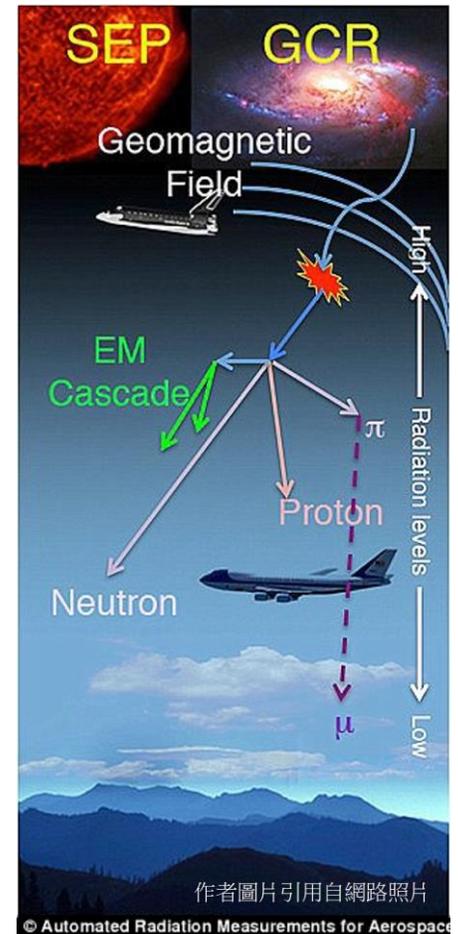
輻射防護協會顧問

地殼與大氣中的天然放射性物質，以及由高空中傳到地表的宇宙射線，都會釋放出游離輻射，這些均屬於背景輻射的範圍。由於這些游離輻射是大自然所賦予的而無法用人為的方式去阻斷，所以我國之游離輻射防護法，特別於第 4 條中說明規範天然放射性物質、背景輻射及其所造成的曝露不適用本法之規定。另外，於人造輻射的應用發展則日益蓬勃，透過設計、施工、量測與管制措施的持續精進，不僅使游離輻射相關的安全應用造福了社會經濟與民生發展，同時輻射作業對工作人員與一般民眾造成之劑量影響能夠更合理抑低，讓民眾更放心的使用輻射的好處。

經由長期的觀察與研究分析，宇宙射線雖是背景輻射，惟對人員劑量確實有一定程度的影響，而且其影響會隨著離地表高度的增加而增加。隨著今日飛航旅行頻次的增加，特別是長程飛行的高度更高，空勤人員在高空所接受宇宙射線的劑量也隨著加大，顯示出與輻射工作人員所接受到的輻射劑量不相上下，甚至可能有更高的情形。因此確有需要針對此情形再做探討與思考，並考量是否作適當之管理以更確保民眾的輻射安全。

歐盟聯盟委員會(EC)於 2009 年出版了 EURP-156 號報告，是一本針對機組人員執行輻射防護措施之評估報告，目的在提供宇宙射線物理特性、其對空勤人員的曝露情形，並說明宇宙射線的量測及空勤人員相關曝露模式，以及有關法規背景事宜。報告中特別針對 33 國的民航主管機關，77 家航空公司，以及 31 國的輻射防護主管機構作了詳細的問卷調查，並彙總歐洲各國對空勤人員不同之劑量範圍提出不同的分級管理方式，大致結論為每年 6 毫西弗是登錄的門檻。報告中並指出，各相關航空公司有進行一些評估，但由於航空公司是一個開放的市場，員工可為全球的航空業者所雇用，故只在歐盟中推動亦屬不易。最後報告也提到，不能因此而限制個人換工作的權益與自由。此報告內容相當詳盡也提出了深入的論點，特別是有針對各國現有的做法提出了完整的調查與分析評估，對推行及精進飛航中宇宙射線輻射防護更有效的管理，是一份很有基礎參考價值的報告。

國際放射防護委員會於 2016 年出版了 ICRP-132 號報告，係針對飛行中會受到宇宙射線曝露之乘客與機組人員，提

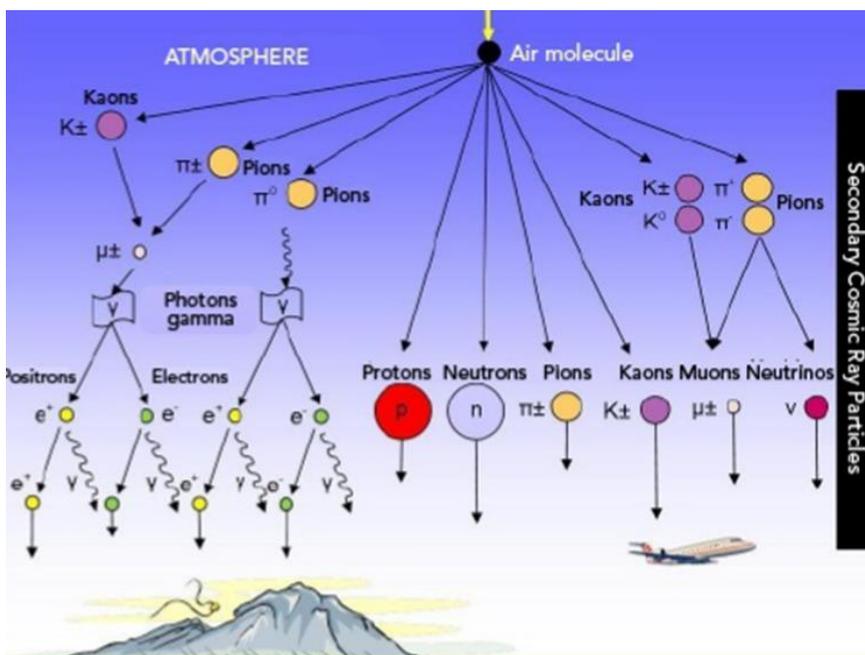


出了經典之輻射防護相關建議。由於 ICRP-103 號建議報告將輻射曝露分為既存曝露、計畫曝露、與緊急曝露三種情境，我國的游離輻射防護法與游離輻射防護安全標準目前亦正積極規劃配合修正中。宇宙射線對飛行中乘客與機組人員之影響，也是一項需要討論的課題。ICRP-132 號報告之內容包括前言，飛行中接受宇宙射線曝露之特性，針對乘客與機組人員之防護系統，執行相關之防護措施，以及結論等章節。

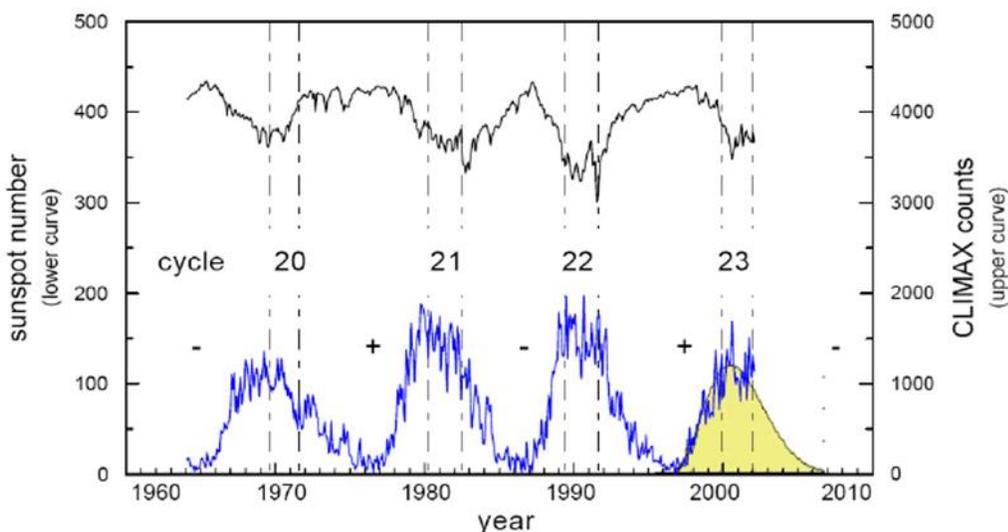
ICRP-132 報告指出包括飛行高度大於 10,000 米時，宇宙射線造成的劑量率達 $7 \mu\text{Sv/h}$ 為海平面處之 150 倍。ICRP 以往著重於機組人員(特別是懷孕的機組人員)之防護，而此報告並將考量搭乘旅客之防護。

ICRP-9 號報告中首次討論有關在飛行中之輻射劑量，在 ICRP-39 號報告中，提出飛行是既存曝露的概念，而在 ICRP-60 號報告中建議飛機駕駛人員應以職業曝露方式來管理，但不需作個人之劑量監測記錄，在 ICRP-75 號報告中提出經常搭乘的旅客，其接受之劑量約在 1 mSv/y 範圍，只有機組人員會經由宇宙射線接受到較高之輻射劑量。ICRP 與 ICRU 合作出版之 ICRU-84 號報告中，說明飛行高度與宇宙射線之分佈情形，並驗證人員受到之劑量，有助於全球各國管制單位與航空公司統一對機組人員之劑量評估。ICRP-132 號報告係補充 ICRP-123 號報告中有關控制宇宙射線造成人員劑量的相關事項，並考量 ICRP-103 號報告之精神，提出對機組人員、偶爾搭乘之乘客、經常搭乘之乘客以及懷孕婦女之輻射防護相關建議。

有關飛行中宇宙射線之相關特性，如圖一。V. Hess 於 1912 年乘氣球達距地表 5,300 米高度時，發現其劑量率是平地者的 4 倍，(註: Hess 先生經持續之研究而獲得 1936 年之諾貝爾物理獎)，並說明於協和號上機組人員佩戴劑量計之量測，以及俄國 Tupolev-144 超音速客機上量測之劑量會高達 300 μ Sv/h。地球持續受到高能粒子之曝露，包括來自銀河之宇宙射線(GCR)與太陽之宇宙射線(SCR)，並偶爾受到太陽高能粒子爆炸之曝露(SPE)，圖二。GCR 與 SCR 合稱為一次宇宙射線，其主要成分均為質子，前者之質子能量，高達 10^{20} 電子伏特而後者則通常小於 10^6 電子伏特，高能的質子與大氣中物質作用，產生了多種粒子與加馬射線，稱為二次宇宙射線，是構成人們受到輻射曝露的主要來源。太陽風產生的磁場會使低能 GCR 產生偏轉而不進入地球



圖一 宇宙射線與空氣中分子作用 (摘自網路照片)



圖二 太陽黑子數(下)及中子平均數(上)(摘自 Radiation Protection 156 報告)

軌道，因此太陽活動力比較強時，GCR 會比較低。另外，宇宙射線之粒子會受到地球磁場的影響而偏轉，靠近赤道附近，磁場與地面平行，因此較少粒子會進入大氣低層，而在接近地磁兩極處，磁場幾乎與地表垂直，有較多之一次宇宙射線會進入大氣層，並產生二次宇宙射線。針對飛行高度 12,000 米，於赤

道附近之劑量主要來自中子、電子與質子，而在兩極處，劑量之主要貢獻來自中子。此外，在飛行中遇到暴風雨時產生的加馬射線閃耀，則是由電子經閃電加速而產生者，與宇宙射線並無關係。評估飛行時受到宇宙射線劑量時，使用之電腦程式是先將大氣空間分割成許多立方體區域，預為評估每一立方體中之

宇宙射線劑量率，再考量飛行經過之立方體與時間，可得到整個飛行會受到宇宙射線的劑量，相關結果並可用機上人員量測的資料做驗證。歐盟於 2004 年出版飛行中周圍等效劑量率之量測與計算彙編資料，可用以檢視機組人員劑量評估的一致性。

2008 年 UNSCEAR 評估機組人員之年有效劑量平均為 1.2~5 mSv，而最大者為 6~7 mSv。美國機組人員之年有效劑量平均為 3.1 mSv，日本機組人員之年有效劑量平均為 1.7 mSv，而駕駛員則會高至 3.8 mSv。有關機組人員之流行病學研究，過去 25 年之研究顯示癌症致死率會偏低，這可能與健康工作效

應有關，黑色素瘤與腦癌比率偏高，白內障風險較高，心血管死亡率較低。另外黑色素瘤與皮膚癌風險偏高，則可能與日光浴或淺色皮膚會有其相關性，亦有發現男性前列腺癌會有增加之情形。惟相關研究並未有游離輻射對機組人員健康影響之確切結論。ICRP 建議應持續研究，包括針對日夜節律的差別與曝露於飛機油氣對機組人員健康可能的影響。

匯整本篇的重點與個人心得與讀者分享：

1. 宇宙射線包含由太空及太陽而來之高能粒子，隨著緯度與距地表高度之增加而增加。

2. 考量飛航旅行人數、飛行高度與飛行時間之日益增加，宇宙射線對乘客與機組人員之輻射劑量亦隨之增加，需發展相關之防護策略。

3. ICRP 認為受宇宙射線之曝露，為既存之曝露情境。

4. 大部分情況下，使用經過驗證之電腦程式以評估機組人員與乘客之劑量是合宜且足夠的。

5. ICRP 於 2016 年出版的 ICRP-132 號報告，針對宇宙射線對飛航旅客與機組人員之劑量影響，建議採取分級式的防護策略，甚具參考價值。

宇宙射線對飛航人員輻防系統的看法

作者 尹學禮

輻射防護協會顧問



針對乘客與機組人員在飛航中受宇宙射線曝露之輻射防護系統，依 ICRP-103 號報告，其防護系統是針對所有之輻射曝露，而不論其大小與來源，並說明了既存、計畫與緊急三種曝露情境，而宇宙射線對飛行之影響是屬於既存曝露情境。輻射之曝露可以分為職業曝露、公眾曝露與醫療曝露三種類別，其中職業曝露是指在工作中所受到之曝露，傳統上 ICRP 限制職業曝露係指能合理認定管理階層應負責之曝露。ICRP 認為偶爾與經常搭乘者所受宇宙射線之曝露為公眾曝露，而機組人員所受之曝露為職業曝露，並針對此三群人分別擬訂防護之方式。

首先要針對飛航需求是否具有正當性做探討，是否是利大於弊，以決定是否針對宇宙射線之輻射曝露擬定防護策略，通常由政府權責單位判定其利弊得失，以權衡其是否具有正當性。雖然對空勤人員與搭乘飛行的旅客，能採行的防護控制方式非常有限，惟 ICRP 認為執行防護是具有正當性的，特別是考慮到機組人員所受到個人劑量與集體劑量之情況。接下來就是依最適化的原則來推導

出最有效的防護行動，即是考量社會與經濟因素，使個人接受的劑量，受曝露民眾的數量，依合理抑低產生曝露的原則，使個人劑量低於某限定值的程序，ICRP 建議於最適化過程應採用個人劑量的標準。

於既存曝露之情境下，大於參考基準之劑量時，被認為是不可以規劃進行的，而必須規劃適當之防護行動。ICRP-103 號報告中建議於既存曝露情境之參考基準應在 1~20 mSv/y 範圍，旅客選擇飛行可獲得快速舒適而安全之旅行，而機組人員之直接受益為受雇。為防護飛行中之宇宙射線，ICRP 建議其參考基準值為 5~10 mSv/y。參考基準並非劑量限度，而是指要維持劑量小於此值並採取合理抑低措施，至於劑量限度則只適用於計畫之曝露情境，惟有些管制單位為強化其限制效果，決定針對機組人員採用職業曝露的限度。針對既存曝露情境其最佳化的程序包括：(1) 評估曝露之情況，(2) 指出可能之防護方案，以促使合理抑低，(3) 依現況選擇並執行最合宜之防護方案，(4) 定期審查曝露之情況，並評估是否需要再改善或是

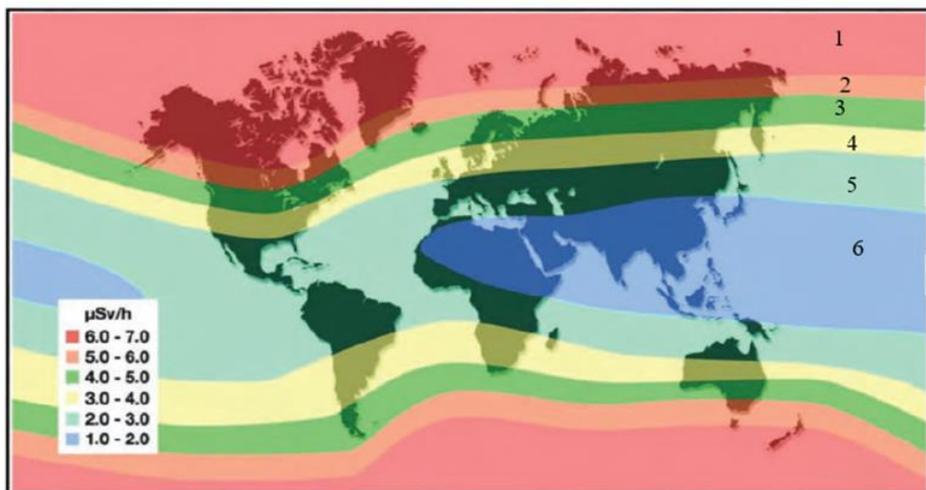
否有新的改善方案。ICRP 並建議於最佳化時要考量利益相關者之觀點與其關切之處。

接下來的課題是有關執行 ICRP 之防護系統。考量宇宙射線對飛航輻射劑量的防護措施，似乎只有針對飛行時間與路線的選擇。惟減少飛行時間會使更多人受到曝露，在飛航高度與緯度做調整時，雖然降低高度會使輻射劑量減少，但事故機率會增加，而且費油且相關成本會增加約 5%。若是在低緯度飛航也會增加飛行的距離、時間與成本。故針對飛航時宇宙射線之影響，ICRP 建議依個人受輻射劑量之程度，採分級方式的防護原則。

考量宇宙射線造成飛航人員之劑量，圖一，需區分搭乘者是因為個人之原因亦或是依其雇主之要求。偶爾搭乘之旅客其所受之劑量很低，而經常搭乘之旅客，其劑量會較高，應提供評估的方法以了解其受曝露之情形，至於機組人員所受之劑量通常較高，則需要做適當之輻射防護管理，包括定期之個人監測或航班之調整等措施，使符合參考基準之劑量值。

對偶爾搭乘之旅客，雖然其所受之劑量很低不需要任何特殊之防護，惟為確保旅客有知的權利，可主動提供宇宙射線的相關資訊，達到資訊透明化的目的，應鼓勵管制單位、航空公司、消費者聯盟及旅行社多加宣導，例如在網頁上提供資訊及免費之劑量計算方式等。針對因個人或職業之關係經常搭乘飛行之旅客，仍較機組人員所受宇宙射線之劑量為少，航空公司對此類旅客需提供宇宙射線之相關資訊，鼓勵自行評估個人所受之曝露劑量，若係為公務搭乘之旅客，有些人(例如飛行安全官或信差等，搭乘時數達 500 小時/年)與機組人員所受之劑量相當，建議需與空勤人員做相同等級之管理。針對機組人員之防護管理，可透過教育與訓練告知機組人員有關之資訊，定期以相關的電腦程式評估機組人員所受之劑量。此外，也應定期用儀器實測相關之飛行劑量作確認。ICRP 認為機組人員有定期之健康檢查，並不需要因宇宙射線之輻射劑量而做特定額外之醫學檢查。為遵守參考基準之劑量值，於合宜情況下可調整相關個人之航班名冊(包括頻次、目的地等)。

ICRP-82 報告說明於既存曝露情境下，針對飛航乘客中之懷孕婦女不需任何防護措施，並認為應提供已懷孕或期望懷孕婦女有關飛行中宇宙射線曝露之資訊，供其瞭解並可視需要調整其行程。針對為職業曝露之機組人員，ICRP-103 報告建議需保護懷孕機組人員之胚胎或胎兒，確保其剩餘之妊娠期間，胚胎或胎兒所受之劑量小於 1 mSv。由於懷孕是以自行告知為準，為避免於告知時胚胎或胎兒可能已接受超過 1 mSv 之劑量，ICRP 建議應針對女性機組人員及經常搭乘之旅客，預為告知宇宙射線對胚胎或胎兒可能之風險。



圖一 地磁對宇宙射線之影響(各區域劑量率 (μSv/h)):區域 1: 6-7，區域 2: 5-6，區域 3: 4-5，區域 4: 3-4，區域 5: 2-3，區域 6: 1-2。(摘自 ICRP-132 報告)

大部分民眾每天都會受到宇宙射線的照射，或不清楚飛航旅行的時候宇宙射線會造成較高的輻射劑量。近年來由於相關知識的廣泛傳播，使大家更為關心飛行中宇宙射線劑量的問題。ICRP 建議應該將宇宙射線與其他風險共同看待，讓個人可以更全面瞭解，以幫助做必要的選擇與決定。

ICRP-132 號報告於結論中，說明宇宙射線一直存在於我們生活的環境，也影響着飛航旅行的乘客與相關的機組人員，對偶爾搭乘飛行的旅客，因劑量甚低無需做特別之防護，但建議可提供相關宇宙射線與劑量影響的資訊。對經常搭乘的旅客，除提供相關資訊外，亦應免費提供可評估所接受劑量的方式或電腦程式，對經常因工作搭乘而其所接受之劑量與機組人員相當者，應與其雇主討論工作內容，使與空服人員有相同層級的管理方式。而對機組人員，ICRP 建議之參考基準為 5~10 mSv/y，當評估之劑量接近參考基準時，最有效的方法是調整飛航的名冊。ICRP 並建議要採合理抑低的措施，並提供有關飛行中宇宙射線之充分資訊，使民眾、經常搭

乘者與機組人員瞭解由飛行會接受之宇宙射線劑量，以及經由飛行所獲得的相關利益。

匯總本篇的重點，包括：

1. ICRP 認為受宇宙射線之曝露，對偶爾與經常搭乘飛行之旅客屬於公眾曝露，而對機組人員係為職業曝露。
2. ICRP 建議維持曝露合理抑低，選擇之劑量參考基準在 5~10 毫西弗範圍內。
3. ICRP 建議依個人搭乘之頻次，採分級防護措施之策略。針對偶爾搭乘之旅客，僅需提供有關宇宙射線之相關資訊，並不需採任何之防護措施。針對經常搭乘之旅客，鼓勵可視需要自行評估所受到之劑量，並據以考量是否調整其飛行頻次。針對經常搭乘且所受劑量與機組人員相當者之旅客，ICRP 建議由個人與公司針對其個案情況，以協調決定其需求。針對機組人員，ICRP 建議其服務之公司應告知機組人員相關資訊，評估其所受之劑量且完整記錄，並應考量參考基準之規範，適時合宜的調整飛行航班名冊。

4. 經常搭乘之婦女旅客，於懷孕時可自行考量調整其飛行頻次，以減少對胚胎或胎兒之劑量影響。針對懷孕之機組工作人員，公司應當調整其工作安排，使胚胎或胎兒在剩餘之妊娠期間所受之劑量，符合一般人之劑量標準限度。

5. ICRP 建議管制單位與航空公司應加強宣導，建立相關利益相關人對宇宙

射線與相關資訊之了解，並培養職業工作人員之輻射防護文化。

最後，簡單說明幾點心得與建議：

1. 我國之游離輻射防護法與游離輻射防護安全標準，刻正參考 ICRP-103 號報告積極修訂中，有關飛航乘客與機組人員之防護方式，建議可考量於適當時機納入管理規範。

2. 若將機組人員納為工作人員加以劑量管理，其涉及之相關單位與機構甚多。因此於擬定管理規範草案時，應與飛航管制單位，各航空公司及其他利益關心者，多做充分之溝通，使能順利推行。

發行人
張似璵

執行編輯
林珏汶

編輯委員
尹學禮
江祥輝
劉代欽
蔡惠予
魯經邦



出版單位

財團法人中華民國輻射防護協會

行政院新聞局 出版事業登記證
局版北市誌字 第柒伍零號

地址

30017 新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1

03-5722224 電話 | 03-5722521 傳真

01486683 統編

rpa.newsletter@gmail.com 電郵 | www.rpa.org.tw 網站