

日本水產品輻射風險評估

(本報告為 105 年「輸入農畜水產品食品安全風險預評」計畫之
一部分，執行單位為暉凱國際檢驗科技股份有限公司)

中華民國 105 年 12 月 31 日

摘要

2011年3月11日，日本宮城縣仙台市外海發生芮氏規模9.0的強震，造成福島第一核電廠反應爐故障與輻射洩漏，為避免遭受輻射汙染，我國禁止福島縣、茨城縣、櫛木縣、群馬縣，及千葉縣等五個地區之食品輸入台灣。本研究針對日本輸台水產品在邊境之輻射平均檢出(銫-134 和銫-137)，以及日本政府公布之水產品平均檢出輻射值，以最保守攝食模式進行攝食日本水產品之輻射致癌風險評估。分析結果顯示，以日本農林水產省水產廳公布之2016、2015及2014年之水產品平均輻射檢出值進行計算，攝食日本水產品之每年約定有效劑量(committed effective dose)為0.00003、0.00003和0.00003毫西弗。若以日本輸入水產在我國邊境之平均檢出值為基礎，2014年到2016年間進口日本水產之每年約定有效劑量介於0.0443和1.05196E-5毫西弗。皆遠低於ICRP有關一般人接受輻射劑量每年1毫西弗之建議。本研究依日本政府2014至2016年水產品輻射檢驗結果計算所得之額外增加終身致癌風險分別為實體癌平均每10萬人0.0122人(即為1.22E-07)、甲狀腺癌平均每10萬人0.0003人(即為3E-09)以及白血病平均每10萬人0.0015人(1.5E-08)，低於國民健康署之可接受致癌風險萬分之一至百萬分之一範圍內。

關鍵字：輻射、放射性、風險評估、承受有效劑量、額外增加之終身

致癌風險

Key Words: Radiation, radioactivity, risk assessment, committed effective dose, excess lifetime cancer risk (ELCR)

前言

2011 年 03 月 11 日於日本宮城縣首府仙台市以東的太平洋海域發生芮氏規模 9.0 強震與海嘯，引發東京電力株式會社旗下的福島第一核電廠反應爐故障與輻射洩漏，災害發生 24 小時內日本政府撤離了核電廠半徑 10 公里內約 20 萬居民。該意外除大量輻射物質釋放到外界，核電廠也排出輻射廢水到海中，使福島近海的輻射測值上升，引發全球各國消費者注意及擔心。

輻射劑量、放射性核種、輻射種類及其衰退期

輻射劑量的種類依原子能委員會所公布的可分為以下幾項，吸收劑量、等效劑量、個人等效劑量、器官劑量、等價劑量、約定等價劑量、有效劑量(effective dose)、承受有效劑量(committed effective dose)等，各劑量單位及涵義可見表一[1]。以上單位都是代表著生物體能夠承受的照射量。評估食品輻射安全值的單位是貝克(Bq)，其代表的則是放射性活度，1 貝克的意義是每秒有多少個原子衰變，食品的規範標準有 Bq/Kg、Bq/L，來規範每公斤食物的貝克值。每單位質量的物質(公斤)，平均吸收的輻射能量(焦耳)，稱為吸收劑量。吸收劑量單位是戈雷(Gy)，它的定義為 1 戈雷(Gy)=1 焦耳/公斤。另一個評估的單位為等效劑量，不同種類的輻射(α 、 β 、 γ 、n)照射人體的組織或器官，雖使人體組織有相同的吸收劑量，但

卻會造成不同程度的傷害現象。為此，針對不同種類的輻射訂出射質因數，代表不同輻射對人體組織造成不同程度的生物傷害，表二為不同種類的輻射訂出射質因數(輻射權重因子)。等效劑量即為人體組織的吸收劑量和射質因數的乘積，它已含有輻射對組織器官傷害的意義了。它的單位是「西弗」，簡寫成 Sv，定義為：西弗=戈雷×Q 千分之一西弗為毫西弗 (mSv)。我們拍一張胸部 X 光片，胸部組織大約接收 0.1 毫西弗劑量。

表一、行政院原子能委員會公布各輻射劑量單位及其含義

劑量種類	單位	意義
吸收劑量	戈雷(Gy)	指單位質量物質吸收輻射之平均能量
等效劑量	西弗(Sv)	指人體組織或器官之吸收劑量與射質因數之乘積
個人等效劑量	西弗(Sv)	指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量
器官劑量	戈雷(Gy)	指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量
等價劑量	西弗(Sv)	指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和
約定等價劑量	西弗(Sv)	指組織或器官攝入放射性核種後，經過一段時間所累積之等價劑量
有效劑量 (effective dose)	西弗(Sv)	指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和
承受有效劑量 (committed effective dose)	西弗(Sv)	指各組織或器官之約定等價劑量與組織加權因數乘積之和

表二、不同輻射種類的射質因數(輻射權重因子)

輻射種類	平均射質因數(Q)
X射線、Y射線、電子、β射線、γ射線	1
中子、質子和靜止質量大於1個原子質量單位的單電荷粒子	10
α射線及多電荷粒子	20

資料來源：ICRP-26 (1977)

輻射(Radiation)包含了電離輻射以及非電離輻射的紫外線、光、紅外線、微波和無線電波。對生物體會造成傷害為電離輻射，主要為α、β、γ、X射線及中子射線等。不同的放射性核種會釋出不同的輻射種類，如鐳的同位素鐳-226釋出α射線，而銫-137則只會釋出β、γ射線。不同的輻射線對於人體的傷害也不同，其中以α射線對人體

影響最強烈(ICRP, 2007) [2]。當輻射線進入人體，會直接傷害 DNA，或引發組織中的原子離子化，造成人體重要化學鍵的斷裂。傷害的程度取決於所接受的輻射劑量、輻射種類、累積到該輻射量所經過的時間[3]。

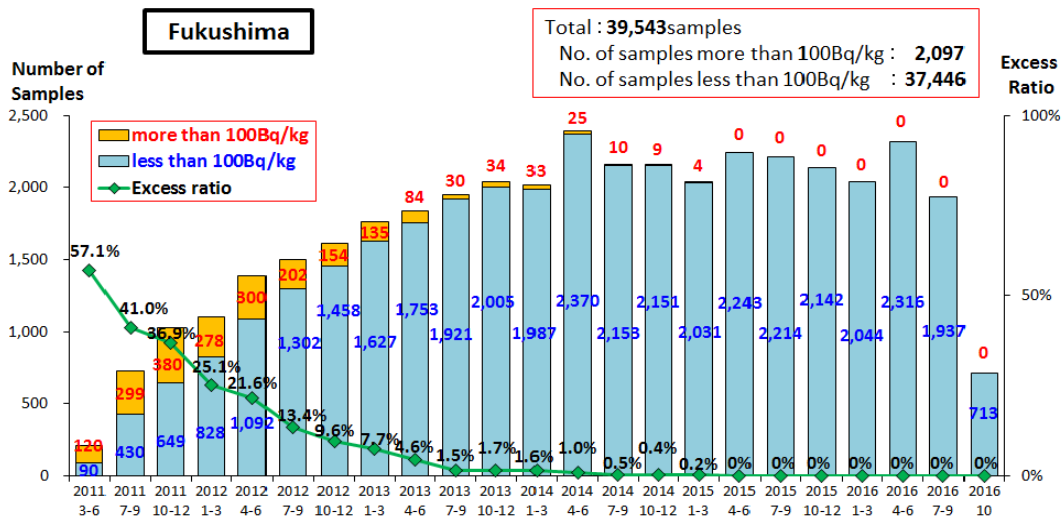
游離輻射對人體健康的傷害分為機率效應與確定效應。確定效應指接受過量輻射照射，造成有害的組織反應，若接受的劑量增加，造成的傷害就會更嚴重。當人體接受輻射劑量高於某個程度，例如 1000 毫西弗以上時，許多細胞會死亡或無法正常修復，進而產生疲倦、噁心、嘔吐、皮膚紅斑、脫髮、血液淋巴球驟減等現象；劑量更高時，甚至會死亡，這種稱為「確定效應」。確定效應必須超過低限劑量才會產生。人體各器官對於輻射的敏感度有高有低，因此在輻射下，身體不同的暴露部位，會引發確定效應之低限劑量值各有不同，例如，會對胚胎與胎兒造成畸形的急性(一次)曝露的輻射低限劑量值是 100 毫西弗；會造成骨骼發育不全的急性(一次)曝露的輻射低限劑量值是 1500 毫西弗。根據國際輻射防護委員會之 ICRP 103 號報告，100 毫西弗以下的劑量(包括一次或多次)不會造成臨床上的功能損害。國際輻射防護委員會和美國游離輻射生物效應委員會(BEIR)報告亦指出，急性全身曝露的確定效應中，一次劑量在 250 毫西弗以下，沒有可察覺的症狀發生[4]。

另一輻射效應為機率性效應，可能會誘發細胞的突變導致癌症的發生，因為癌症的發生是機率性的，所以這種效應稱為機率效應。癌症發生的機率與劑量有關，機率隨劑量的增加而提高，例如，受到高劑量輻射可能會引起白血症、肺癌、肝癌、卵巢癌與直腸癌等等。另一個機率較低的效應是遺傳方面的效應，如果輻射曝露損傷發生在生殖細胞上，則輻射的效應將發生在受曝露人員的後代，也就是遺傳的效應。國際輻射防護委員會 ICRP 103 號報告建議，整體的致命風險機率為每西弗(1000 毫西弗)百分之五。輻射造成的癌症，可能與人體自然發生或因其他化學致癌物(如吸菸、飲酒及飲食等)引起的癌症無法清楚的分辨。此外，由於細胞具有自我修復的功能，根據研究顯示，低劑量輻射(小於 100 毫西弗)發生癌症的機率微乎其微 [4]。

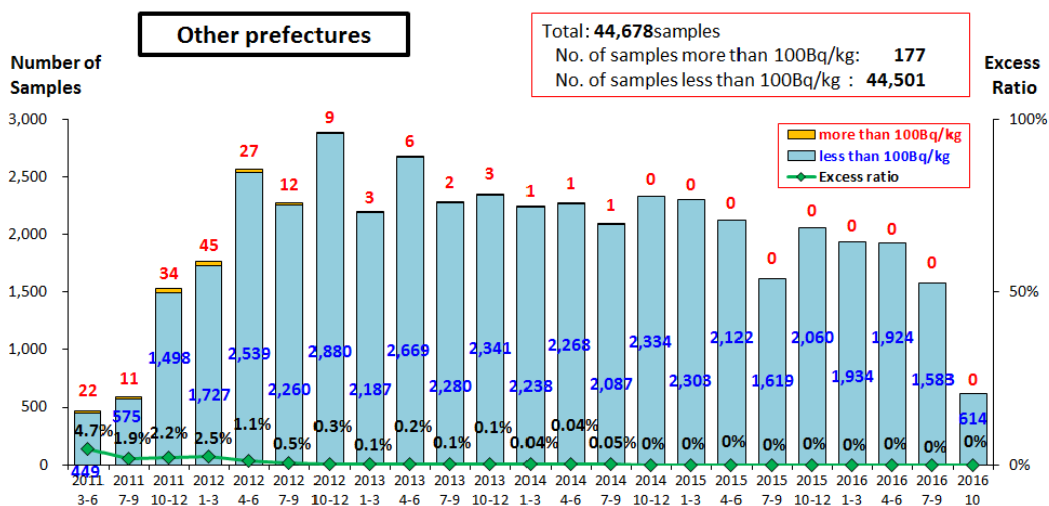
一般評估食品中之輻射含量，大多探討銫-134、銫-137 與碘-131(單位為貝克/公斤)；歐盟 2012 年 3 月所公布之法規 (COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 284/2012) 中特別指出：依日本電廠事故狀況，銥(銥-90)、銻(銻-239)及錒(錒-241)釋出到環境的量非常有限，故對於日本食品不需對銥、銻及錒等核種特別管制或實施檢測，僅規定檢測加馬(γ)核種，如銫-134、銫-137 等 [4]。衛生福利部即以銫-134、銫-137 與碘-131 評估日本輸入食品的風險。

日本水產品輻射監視計畫

自意外發生以來，福島縣暫停所有沿海及拖網漁業作業(27 種試驗性質捕撈作業除外)。北魷、長槍烏賊、劍尖槍烏賊、北海道毛蟹、鮫鱈等 27 種放射性銫濃度已顯著降低之水產品，於福島電廠半徑 20 公里外之沿海海域，進行以實驗為目的的捕撈作業，且每次卸魚皆經輻射檢測才進行販售[5]。在 2011 年 4 至 6 月間輻射污染超過日本政府所訂標準之比例達 57.7%，但在 2012 年 1 至 3 月間，輻射污染超標之比例已下降至一半。2012 年 4 月後，日本政府將調查重點放在意外發生後檢測出 50 貝克/公斤以上的魚種，2015 年 4 月以後至 2016 年 10 月止，超標比例皆為 0%。至於福島縣以外地區，超過輻射標準值的魚種，也因應國家之出貨限制指示，採取防止流入市場之相關措施，2014 年 10 月以後至 2016 年 10 月止，超標比例亦已皆為 0%。目前日本包含福島縣等地區，幾乎所有的主要水產品(如表層魚類、洄游魚類、烏賊、章魚、甲殼類、貝類及海藻等)之輻射污染濃度皆在標準內[6]。



圖一、福島縣水產品輻射污染調查



圖二、福島縣以外地區水產品輻射污染調查

到底有多少福島核災食品流進台灣，引起民眾擔心。2015年3月26日新聞報導，294項來自核災縣食品「違規進口」，以「東京製」假標來隱瞞「福島製」。新聞內容指出，日本福島核災以來，國內公告福島、群馬、櫛木、茨城及千葉等5縣的所有食品暫停受理輸入報驗，但卻傳出廠商魚目混珠，改標後輸入台灣[7]。自由時報今年5

月的一篇文章報導中指出，日本厚生勞動省在 2016 年公布的輻射食品檢測結果，也還有許多食品超標，令人不安。其他海洋魚貝類，更令人擔心，尤其福島核一廠這 5 年來，每天都不斷大量排出輻射污染水到太平洋岸，中日新聞及東京新聞集團連續追蹤調查，2016 年發現茨城、千葉兩縣的沼澤水鄉地帶等，放射性銫的濃度居高不下，如千葉縣上游泥巴還高達 5867 貝克/公斤，附近土地也高達 9069 貝克/公斤，空間劑量也達 0.7 微西弗/小時[8]。

各國對日本出口食品的採行措施仍有大幅差距，以及國內外持續對日本輻射擔憂的聲音，本研究將針對日本政府及我國衛生福利部公布的檢出值進行風險評估。

輻射風險評估介紹

風險分析(Risk analysis)步驟包含風險評估(Risk assessment)、風險管理(Risk management)以及風險溝通(Risk communication)。風險評估係依據科學證據預測不良事件發生的機率。風險管理則需考量可接受之風險等級，或是大眾健康防護之合理範圍。健康風險評估(Health risk assessment)過程一般包含四個基本步驟：危害確認(hazard identification)、劑量效應評估(Dose Response Assessment)、暴露量評估(exposure assessment)和風險特徵描述(risk characterization)。危害確認係針對危害性物質之有害性進行確認，並了解暴露此物質可能導致

之健康問題。劑量效應評估為診察暴露於危害性物質與所引起之任何人體不良健康效應間之關係。暴露量評估則為量測或估計暴露於危害性物質之期間、頻率及強度的過程，或是估計某一危害性物質進入環境中而可能增加之假設暴露量。風險特徵描述為針對前三個步驟(危害確認、劑量效應評估及暴露量評估)所得之結果，加以綜合計算，以估計各種暴露狀況下對人體健康可能產生之危害性，並提出預測數值。輻射風險評估各步驟之執行方法詳述如下：

(一)危害確認(hazard identification)

健康風險評估第一步即是對暴露物質有所瞭解，因此需先進行危害確認(hazard identification)，即針對危害性化學物質之固有毒性進行確認，並了解暴露此物質可能導致之健康問題，如癌症、呼吸系統、神經系統、心臟血管、肺部、腸胃肝膽、腎臟皮膚、生殖缺陷等相關疾患[9]。針對輻射風險評估，危害確認步驟為識別特定輻射來源(亦即放射性核種)及可能引起之傷害類型[10]。有許多放射性核種被認為可能與輻射塵沉降之放射性同位素組成有關，福島第一核電廠意外事故之輻射暴露主要來自意外發生早期的碘-131 以及後續的銫-134 和銫-137。碘-131 因其短暫之半衰期(僅 8 天)，為核子意外事故最初幾週之最主要輻射暴露來源。碘-131 可經由輻射雲及沉降至地面等途徑造成體外輻射暴露，或是經由呼吸道吸入和攝食等途徑進入體內。亦

可主動為甲狀腺所吸收。銫-134 和銫-137 之半衰期分別為 2.1 年和 30 年，亦與核子意外發生後最初幾週之放射性危害相關。銫一旦進入血液，即可經由血管和肌肉組織均勻分布，因此產生之輻射暴露可擴及全身[10]。

日本厚生勞働省(Ministry of Health, Labour, and Welfare, MHLW)於 2012 年 4 月修訂食品管制標準之簡報資料中提及，就福島電廠影響及調查分析結果，半衰期超過 1 年之放射性核種(如：銫-134、銫-137、銥-90、鈳-106、銻-239 等)始列入考慮，且由於銫以外核種所造成之劑量僅約占總劑量之 12%，故日本以銫為食品管制標準之主要代表性核種[4]。歐盟 2012 年 3 月所公布之法規(COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 284/2012)中特別指出：依日本電廠事故狀況，銥(銥-90)、銻(銻-239)及錒(錒-241)釋出到環境的量非常有限，故對於日本食品不需對銥、銻及錒等核種特別管制或實施檢測，僅規定檢測加馬(γ)核種，如銫-134、銫-137 等。

游離輻射對組織或器官所造成之損害已被證實與輻射類型、不同組織和器官對輻射之感受性以及輻射劑量和劑量率等因素有關。游離輻射可藉由殺死細胞及改變 DNA 分子等兩種不同機制，對健康造成不良影響，如果受影響的細胞數目夠多，前者可能造成功能損傷，而後者則可能延長輻射暴露後疾病風險增加之時間。第一種類型之不良

影響係為細胞死亡所導致，長久以來被認為完全由組織和器官之初始輻射交互作用所決定，正式名稱為「確定性效應(deterministic effects)」，主要發生於中、高劑量之輻射暴露。第二種類型之不良影響為遺傳物質改變所引發，係為隨機發生，並非全由照射時間所決定，稱之為機率性效應(stochastic effects)，包含癌症及遺傳影響。低劑量輻射風險主要屬於機率性效應(特別是癌症)，而非高劑量暴露特有之確定性效應[10]。國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)將游離輻射所造成之癌症進行分類，包含白血病、甲狀腺癌、乳癌和其他實體癌，其中白血病、甲狀腺癌和乳癌等三種癌症發生部位受初期輻射暴露年紀影響最大，亦為對輻射感受性最靈敏之部位。其他非癌症之健康影響則如甲狀腺疾病(如結節或功能障礙)、視力障礙(如水晶體混濁或白內障)、循環系統疾病、生殖障礙、畸形以及遺傳影響等[10]。

(二)劑量效應評估(Dose Response Assessment)

健康風險評估的第二步驟為診察暴露於一特定物質與所引起之任何人體不良健康效應間的關係[10]，亦即劑量效應之評估(Dose Response Assessment)，其定義為「一種物質給予或接受的劑量與暴露族群中某種健康效應發生率二者間關係之特性描述，並且以人類暴露於此物質的函數來估計此效應發生率之過程」[9]。輻射風險評估之

劑量效應關係為將輻射暴露轉化為相對應健康風險的定量方法，亦稱作風險模式。輻射效應與輻射劑量間具有高相關性。依據國際輻射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)第 99 號報告之定義，高於 100 毫西弗之暴露劑量為中/高劑量輻射，低於 100 毫西弗之暴露劑量為低劑量輻射。基於輻射防護之目的，假設低劑量輻射之罹癌風險與輻射劑量間為比例關係，其基本計量效應關係為「線性無低限(Linear-non-threshold, LNT)」模式，亦即輻射暴露必然產生某種程度之風險(即使低劑量輻射所產生之風險非常小)，並假設數個低暴露劑量加總之輻射影響，與同級別之單一較大暴露劑量影響相同。線性無低限(LNT)模式根本上係基於以下假設：生物損害如未被正確修復可能導致癌症，而在相關劑量(dose)與劑量率(dose rate)之範圍內，致癌風險和劑量成正比[10]。

流行病學研究裡兩個普遍使用於描述輻射對健康影響的風險模式為「相乘模型(Multiplicative model)」與「可加式模型(additive risk model)」。輻射風險的相乘模型可用「相對危險度(relative risk, RR)」或「額外之相對危險度(excess relative risk, ERR)」來表示，相對危險度為輻射暴露族群與可比較之未暴露族群，兩者間疾病發生率的比例。此模式本質上係假設因輻射所增加的發生率與族群基線率(baseline rate)呈正比。額外之相對危險度的值為相對危險度的值減去

$1(\text{ERR} = \text{RR} - 1)$ ，且與基線風險(baseline risk)呈等比例增加。另一種普遍使用之輻射風險模式為「絕對危險度(absolute risk, AR)」，此模式係假設不論基線風險為何，每單位輻射劑量所恆定絕對增加之風險。「額外之絕對風險度(excess absolute risk, EAR)」為輻射暴露族群與可比較之未暴露族群疾病發生率的差異。如與輻射相關之絕對風險和其他可能影響基線癌變率之風險因子間為相互獨立，則額外之絕對風險度可簡單地與其他絕對風險因子相加，且輻射與其他風險間之交互作用為「可加式」[10]。

國際輻射防護委員會第 103 號報告建議中提出幾種可用於計算因暴露所導致特定疾病發生或死亡風險之終身危險度(Lifetime risk)評估類型，包括「額外終身危險度(the excess lifetime risk, ELR)」、「暴露誘發死亡之危險度(risk of exposure-induced death, REID)」、「預期壽命損失(loss of life expectancy, LLE)」以及「可歸因之終身危險度(lifetime attributable risk, LAR)」[11]。其中可歸因之終身危險度係為某一代表性族群因輻射暴露導致癌症比預期早發生之機率。針對一給定之劑量，可歸因之終身危險為直到 89 歲之特定癌症發生的額外累積機率，其相關之不確定性可藉由計算生命分段之累積風險來降低[10]。而「標稱危險度係數(nominal risk coefficient)」為一代表性族群之性別平均和暴露年紀平均之終身危險度評估。「危害校正風險

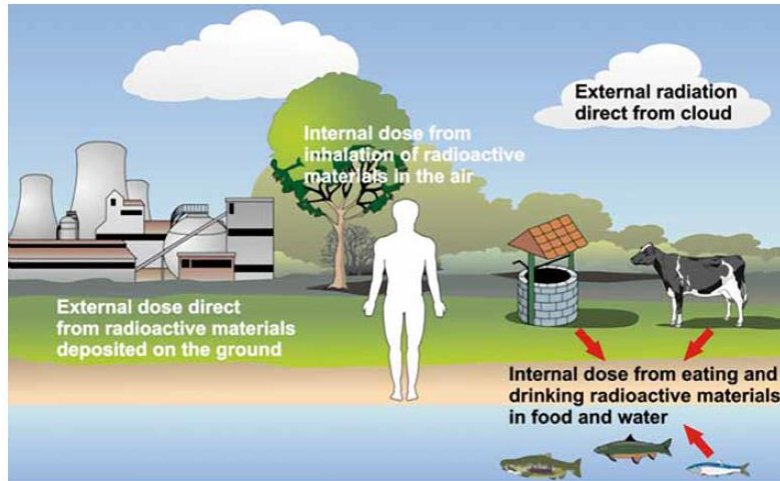
(detriment-adjusted risk)」係為表現結果之嚴重程度，考慮危害不同組成進行修正後之機率性效應(stochastic effect)發生的可能性[11]。

(三)暴露量評估(exposure assessment)

所謂暴露量評估(exposure assessment)是指量測或估計人類暴露在某一存在於環境中危害性化學物質之期間、頻率及強度之過程，或是指估計某一危害性化學物質進入環境中而可能增加之假設(hypothetical)暴露量[9]。此步驟應蒐集之資訊包含有多少不同族群已暴露於特定危害物質之中、暴露如何發生(亦即經由那些暴露途徑)以及暴露發生歷時多久[10]。

人體暴露游離輻射之途徑包括體內暴露及體外暴露。體內暴露包括吸入或攝取，或因傷口或皮膚吸收進入血液後而產生。放射性核種一旦進入體內，體內輻射暴露將會持續至放射性因衰退而消失或是放射性核種經排泄而消除。體外暴露可能來自位於身體表面某距離處沉降於地面或懸浮於空氣中之輻射源。體外輻射可通過屏蔽或移除輻射源，或將人移動至輻射場外而減少至停止。福島第一核電廠意外事故發生後，民眾可能經由以下四種主要暴露途徑接觸輻射物質(圖三)：

第一、來自沉降至地上之放射性核種的體外暴露。第二、來自輻射雲裡之放射性核種的體外暴露。第三、吸入來自輻射雲裡之放射性核種的體內暴露。第四、攝取食物或水源裡之放射性核種的體內暴露[10]。



Source: IAEA report on Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience (2006) p. 100 (reproduced with permission).

圖三、人體暴露環境輻射物質之途徑[10]

人體輻射暴露評估之定量方式為劑量學的量化數值。吸收劑量 (absorbed dose) 為組織或器官輻射劑量的基本度量單位，計算方式為組織或器官吸收之能量值除以其重量，國際單位為戈雷(Gy)。不同組織或器官對不同種類輻射的反應各異，組織或器官的等效劑量 (equivalent dose) 與產生的輻射密度有關，計算方式為吸收劑量乘以不同輻射種類的影響因子(輻射權重因子)，國際單位為西弗(Sv)。不同組織或器官對輻射感受性也不相同，有效劑量即為另一個常用的輻射劑量度量單位，計算方式為每個組織或器官的等效劑量乘以不同組織或器官的影響因子(組織權重因子)，加總求得數值，國際單位同樣為西弗(Sv)。吸收劑量適用於確定性效應之閾值劑量量值，而等效劑量和有效劑量為輻射防護量值，僅用於機率性效應之評估[10]。

(四)風險特徵描述(risk characterization)

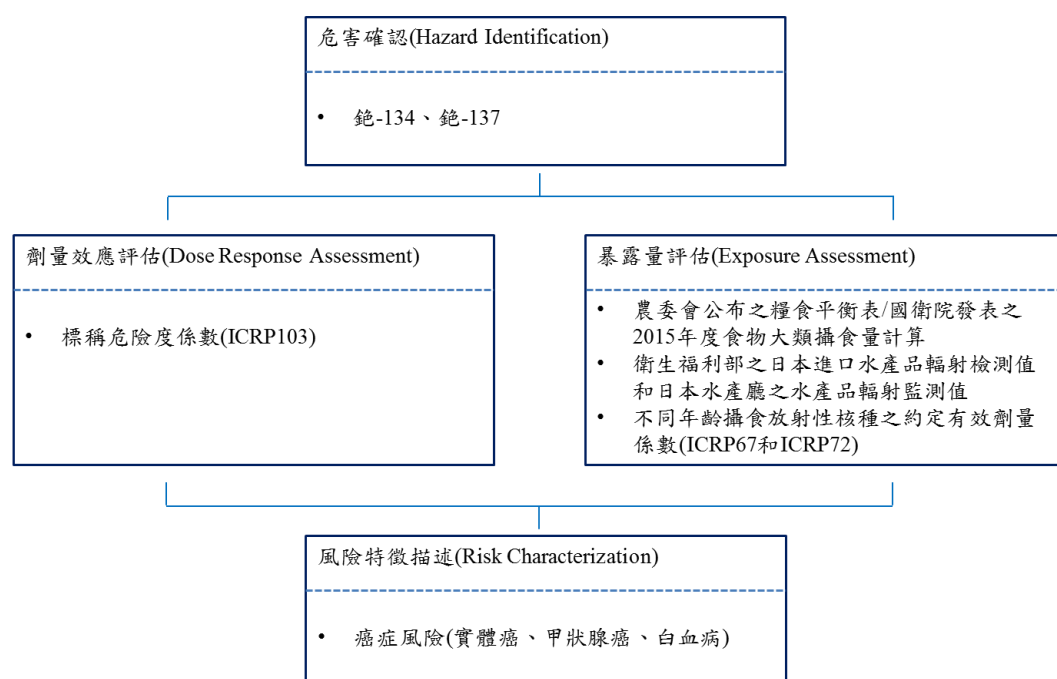
所謂風險特徵描述(risk characterization)係針對危害確認、劑量效應評估及暴露量評估所得之結果，加以綜合計算，以估計各種暴露狀況下對人體健康可能產生之危害性，並提出預測數值[9]。有關輻射風險評估，本步驟通常為一有關風險程度與種類的量化聲明，此風險來自計算與輻射暴露相關之額外增加終身致癌風險(excess lifetime cancer risk)。輻射風險特徵描述考慮之癌症部位為白血病、甲狀腺癌、女性乳癌以及所有實體癌，其風險可以某一代表性族群因暴露所導致原發癌比預期早發生之機率表示，如可歸因之終身危險度[10]。

攝食日本水產品輻射風險評估方法

(一)研究設計

本研究依據WHO於2013年發表之有關2011年東日本大地震和海嘯引發之核子事故健康風險評估步驟[10]，並參考Moon等人於2016年所發表關於食物攝取與輻射劑量和致癌風險評估之研究方法[12]，進行國人攝取日本輸台水產品之體內輻射暴露健康風險評估。首先進行危害確認，本研究以銫-134和銫-137等放射性核種為可能之危害性化學物質，並針對白血病、甲狀腺癌和實體癌進行攝食日本水產品之輻射風險評估分析。第二步進行暴露量評估，本研究採用農委會及國衛院統計之臺灣地區平均每人每年可供消費之水產類、日本農林水產省水產廳公布之水產品輻射物質調查結果和食藥署針對日本

進口水產品之輻射檢驗結果，以及國際輻射防護委員會(ICRP)第60號報告之承受有效劑量係數，計算國人每年攝食日本水產品輻射暴露之承受有效劑量。第三步進行劑量效應關係評估，本研究使用危害校正標稱危險度係數將輻射劑量轉化為相對應之健康效應(額外增加癌症風險)。最後為風險特徵描述，本研究以實體癌、甲狀腺癌和白血病之額外增加終身致癌風險作評估攝食日本水產品可能造成之輻射風險。本研究之架構詳如圖四。



圖四、國人攝取日本輸台水產品之風險評估架構

(二) 暴露量評估

本研究以每年「承受有效劑量(committed effective dose, CED)」評估攝食放射性核種之體內輻射暴露劑量，計算公式如下：

$$CED = \sum \{M(A) \times C_j \times e_{j,ing}(A)\}$$

M(A)為每個年齡層對於不同食物類別之每年消費量(公斤/年)；

C_j為各食物類別之放射性核種j之輻射劑量(貝克/公斤)；

e_{j,ing}(A)為不同年齡層攝食放射性核種j之承受有效劑量係數(毫西弗/貝克)；

每人每年水產攝取量係取自財團法人國家衛生研究院發表之2015年度-食物大類-攝食量計算結果[13]，將每人每天攝食之魚-水產類平均值克數乘以365天，計算不同年齡層每人每年水產類的攝取量(表三)。此外亦參考農委會公布之糧食平衡表，2014年臺灣地區平均每人可供消費之水產類為每年35.7公斤[14]。因我國無實際每人每年攝食日本進口水產之統計數據，本研究係採最保守(the worst case)模式估算國人攝食日本進口水產品之總量，假設所攝取之水產類皆來自日本進口水產品(約占我國水產品總進口量之2.3%至2.6%)。

表三、不同年齡層每人每年水產的攝取量

年齡層(歲)	公斤/每人每年
0-3	6.1
3-6	13.4
6-12	12.6
12-16	16.2
16-18	11.7
19-65	21.6

放射性核種鈉-134和鈉-137之輻射劑量係參考日本農林水產省水產廳公布之水產品輻射物質調查結果[15]以及食藥署針對日本進口水產品之輻射檢驗數據[16]。日本水產品輻射值為計算日本水產廳公布之水產品輻射監測數據平均值，分不同年份、棲息地/水產品和地區，其中低於偵測極限之樣本以極限值計算，如檢驗數值為<2.4 貝克/公斤，即以2.4 貝克/公斤作計算。此外總鈉大於100貝克/公斤之樣本依法禁止於市面流通，其輻射檢驗數據亦不納入本風險評估分析。進口日本水產品輻射值則是依據食藥署公布之邊境抽查檢驗值計算平均，「未檢出」之樣本輻射值以零計算，「所有水產品」之輻射值則為總抽驗樣本數之輻射平均值(即輻射檢出值之總和除以總抽檢樣本數)。

不同年齡層攝食放射性核種之承受有效劑量係數參考ICRP67和ICRP72之建議，彙整如表四。

表四、不同年齡層之銫-134和銫-137承受有效劑量係數一覽表

年齡層(歲)	銫-134 (毫西弗/貝克)	銫-137 (毫西弗/貝克)
0-3	1.6×10^{-8}	1.2×10^{-8}
3-6	1.3×10^{-8}	9.6×10^{-9}
6-12	1.4×10^{-8}	1.0×10^{-8}
12-16	1.9×10^{-8}	1.3×10^{-8}
16-18	1.9×10^{-8}	1.3×10^{-8}
19-65	1.9×10^{-8}	1.3×10^{-8}

(三)劑量效應評估

本研究以實體癌、甲狀腺癌和白血病等三種癌症/分類評估攝食低輻射污染日本水產品之額外增加終身致癌風險。終身承受有效劑量係指終身接受之輻射有效劑量，估計方式為由成年18歲接觸到輻射開始，一直計算到89歲。89歲較我國內政部104年發布之103年國人平均壽命79.84為長[17]。以18歲以上之成人為例，終身承受有效劑量計算方式為每年承受有效劑量乘以72。額外增加之終身致癌風險(Excess lifetime cancer risk)計算方式為終身承受有效劑量乘以危害校正標稱危險度係數，根據ICRP103，實體癌症之係數為4.871%/Sv；甲狀腺癌為0.127%/Sv；白血病為0.615%/Sv[11]。

(四)不確定性分析

本研究以蒙地卡羅方法進行風險評估的不確定性分析，針對輻射檢出值進行@Risk軟體蒙地卡羅模擬分析100,000次。

結果與討論

(一) 水產品輻射監測結果探討

衛生福利部於 2011 年至 2016 年 6 月 7 日期間，抽檢日本輸入水產品共計 26,003 件，檢出微量輻射之樣本有 43 件，不同種類樣本之檢驗件數及檢出微量輻射水產品之銫-134 及銫-137 輻射平均值彙整如表五。其中以 2011 年進口之油漬沙丁魚總銫為 80.1000 貝克/公斤最高，2015 年進口之冷凍馬加鯊總銫為 0.0227 貝克/公斤最低。上述檢出值皆符合檢驗當時我國及其他國家或 CODEX 之衛生標準，2012 年之後檢出值並無較高。

表五、檢出微量輻射之日本輸入水產品輻射平均值彙整表

年度 ¹	樣本種類	檢驗件數	總銫 (貝克/公斤)	銫-134 (貝克/公斤)	銫-137 (貝克/公斤)
2011	白甘魚	95	0.4516	0.2011	0.2505
2011	冷凍沙丁魚	8	4.6250	2.0625	2.5625
2011	冷藏巴鯉魚	140	0.3150	0.1379	0.1771
2011	冷藏比目魚	63	0.2286	0.0984	0.1302
2011	冷藏正鯉	59	0.4000	0.1763	0.2237
2011	冷藏黃鯽魚	78	0.4218	0.1974	0.2244
2011	冷藏黃獅魚片	88	0.1682	0.0648	0.1034
2011	冷藏鯽魚	12	27.1833	12.4167	14.7667
2011	冷藏鯖魚	67	0.1388	0.0373	0.1015
2011	冷藏鯽魚魚片	68	0.3735	0.1632	0.2103
2011	油漬沙丁魚	1	80.1000	33.4000	46.7000

年度 ¹	樣本種類	檢驗件數	總銫 (貝克/公斤)	銫-134 (貝克/公斤)	銫-137 (貝克/公斤)
2011	油漬秋刀魚	1	72.8000	32.6000	40.2000
2011	青甘魚片	112	0.2946	0.1277	0.1670
2011	青花魚	12	0.5667	0.2250	0.3417
2011	紅魷	1	10.5000	4.4000	6.1000
2011	紅鮭魚鬆	1	77.2000	39.7000	37.5000
2011	凍鱈魚	1	4.0000	1.6000	2.4000
2011	鮭魚薄片	8	18.2625	8.0750	10.1875
2012	蒲燒沙丁魚罐	2	3.8500	1.5000	2.3500
2012	鮭魚薄片	7	5.7143	2.4000	3.3143
2012	鮭魚鬆	9	5.8889	2.3222	3.5667
2013	冷凍鯖魚	10	0.6000	0.1600	0.4400
2015	冷凍馬加鯊	15	0.0227	0.0000	0.0227

1. 衛生福利部100年3月15日至102年12月30日於邊境抽驗13,221件水產品、103年於邊境抽驗4,712件水產品、104年於邊境抽驗5,616件水產品、105年1月至6月7日於邊境抽驗2,454件水產品。

日本於2012年4月起實施新標準，食品銫-134和銫-137總量標準為100貝克/公斤，飲用水為10貝克/公斤、嬰幼兒食品及牛乳為50貝克/公斤，國際食品法典訂定一般食品之碘-131不可超過100貝克/公斤，銫-134和銫-137總量應小於1000貝克/公斤，中國訂定一般食品之碘-131不可超過470貝克/公斤，銫-134和銫-137總量應小於800貝克/公斤，我國一般食品之碘-131不可大於100貝克/公斤，銫-134和銫-137總量應小於100貝克/公斤[18]。

分析日本水產廳公布之水產品輻射監測數據，2014年總檢驗件數為20,810件，2015年為18,782件，2016年至6月7日止檢驗3,355件，不同地區或不同棲息地水產品之檢驗件數及銫-134和銫-137之

輻射平均值彙整如表六。

2014 至 2016 年福島縣總銻、銻-134 及銻-137 輻射檢出值為 2014 年 18.0654、8.4683 及 9.5972 貝克/公斤；2015 年 16.7690、8.3006 及 8.4683 貝克/公斤；以及 2016 年之 16.5297、8.1000 及 8.4593 貝克/公斤，福島縣水產品輻射值有逐年下降趨勢。同樣的趨勢也在茨城、櫛木、群馬及千葉縣看到，該區 2014 至 2016 年總銻、銻-134 及銻-137 輻射檢出值為 2014 年 11.1070、4.2673 及 6.8307 貝克/公斤；2015 年 9.9434、3.9420 及 6.0013 貝克/公斤；以及 2016 年 9.9508、4.0992 及 5.8516 貝克/公斤。上述五縣外地區水產品 2014 至 2016 年總銻、銻-134 及銻-137 輻射檢出值為 2014 年 9.4593、4.4000 及 5.0727 貝克/公斤；2015 年 9.0019、4.2000 及 4.8248 貝克/公斤；以及 2016 年 8.7799、4.2116 及 4.5683 貝克/公斤。

若依水產品種類或其棲息地分類，樣品總銻含量平均值大於 10 貝克/公斤之水產品包含海藻、淡水魚、海水極表層、海水底層和無脊椎，每年排名互有不同，總體而言仍以海藻和淡水魚之總銻含量最高，其中海藻 2016 年之總銻平均為 19.3117 貝克/公斤、2015 年為 18.1924 貝克/公斤、2014 年為 18.0327 貝克/公斤，有逐年升高趨勢。進一步分析淡水魚採樣地區(表七)，福島地區淡水魚總銻含量最高，2016 年之總銻平均為 25.9449 貝克/公斤、2015 年為 23.9665 貝克/公

斤、2014 年為 24.6304 貝克/公斤。如依地區分類，雖然以福島為高，但上述檢出值皆符合檢驗當時我國及其他國家或 CODEX 之衛生標準。

表六、日本水產品之平均輻射劑量

年度	品項		樣本數	樣品之總銻 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137 含量平均值 (貝克/公斤)	
2016	以棲 息地/ 水產 品種 類區 分	海水極表層	89	11.1875	5.8408	5.3467	
		海水表層	39	5.4792	2.7275	2.7517	
		海水中層	154	8.9351	4.1747	4.7604	
		海水底層	1,922	12.4184	6.3058	6.1126	
		淡水	428	18.0482	6.1171	11.9311	
		無脊椎	423	12.8366	6.6781	6.1585	
		哺乳類	4	0.9300	0.4548	0.4753	
		海藻	296	19.3117	9.6565	9.6552	
	以地 區分 類	福島縣	1,655	16.5297	8.1000	8.4593	
		茨城、櫛木、群馬及千葉縣	581	9.9508	4.0992	5.8516	
		上述五縣外地區水產品	713	8.7799	4.2116	4.5683	
		其他地區水產品 ¹	396	14.5568	7.2479	7.3090	
	2016 年所有水產品			3,355	13.5106	6.4656	7.0450
	2015	以棲 息地/ 水產 品種 類區 分	海水極表層	401	13.0121	6.8505	6.1616
			海水表層	281	6.9196	3.5474	3.3723
			海水中層	1,483	8.3228	3.9852	4.3376
海水底層			10,592	12.8427	6.3913	6.4515	
淡水			2,405	17.0897	5.9702	11.1157	
無脊椎			2,936	12.5390	6.4996	6.0436	
哺乳類			28	0.9197	0.4145	0.5052	
海藻			656	18.1924	9.0752	9.1173	
以地 區分 類		福島縣	9,207	16.7690	8.3006	8.4683	
		茨城、櫛木、群馬及千葉縣	3,378	9.9434	3.9420	6.0013	
		上述五縣外地區水產品	5,036	9.0019	4.2000	4.8248	
		其他地區水產品 ¹	1,161	10.4190	5.1492	5.2698	
2015 年所有水產品			18,782	13.0663	6.2164	6.8501	

年度	品項		樣本數	樣品之總銻 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137 含量平均值 (貝克/公斤)	
2014	以棲 息地/ 水產 品種 分類	海水極表層	401	12.6159	6.6372	5.9787	
		海水表層	382	5.2170	2.6410	2.5760	
		海水中層	1,748	8.6759	3.7981	4.8778	
		海水底層	11,649	13.5892	6.3844	7.2048	
		淡水	3,117	18.4569	6.7249	11.7320	
		無脊椎	2,804	13.0865	6.7252	6.3614	
		哺乳類	26	1.0160	0.4350	0.5810	
		海藻	683	18.0327	9.0323	9.0004	
	以地 區分 類	福島縣	9,603	18.0654	8.4683	9.5972	
		茨城、櫛木、群馬及千葉縣	4,247	11.1070	4.2763	6.8307	
		上述五縣外地區水產品	5,696	9.4593	4.4000	5.0727	
		其他地區水產品 ¹	1,264	9.9298	4.9143	5.0155	
	2014年所有水產品			20,810	13.7955	6.2797	7.5158

1. 「其他地區水產品」係指來自相關漁業協會於太平洋海域採樣之檢驗數據。

表七、不同地區淡水魚之平均輻射劑量

年度	地區	樣本數	樣品之總銻 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137 含量平均值 (貝克/公斤)
2016	福島縣	158	25.9449	8.5084	17.4366
	茨城、櫛木、群馬及 千葉縣	167	15.0952	4.7628	10.3325
	福島、茨城、櫛木、 群馬及千葉縣	325	20.3698	6.5837	13.7862
	上述五縣外地區	103	10.7226	4.6450	6.0776
	所有淡水魚	428	18.0482	6.1171	11.9311
2015	福島縣	627	23.9665	8.8574	15.1091
	茨城、櫛木、群馬及 千葉縣	1007	15.7699	4.9773	10.7926
	福島、茨城、櫛木、 群馬及千葉縣	1634	18.9151	6.4662	12.4489
	上述五縣外地區	771	13.2210	4.9176	8.2904
	所有淡水魚	2405	17.0897	5.9702	11.1157

2014	福島縣	905	24.6304	9.3546	15.2758
	茨城、櫛木、群馬及千葉縣	1168	18.6339	6.0923	12.5416
	福島、茨城、櫛木、群馬及千葉縣	2073	21.2517	7.5165	13.7352
	上述五縣外地區	1044	12.9073	5.1530	7.7544
	所有淡水魚	3117	18.4569	6.7249	11.7320

Chen(2013)研究報告指出，東京電力公司在福島第一核電站的核電站(FDNPS)20 公里半徑範圍內的海洋領域進行例行放射性測量(鈉-134 和鈉-137)各種海洋魚類和貝類，2013 年 8 月 16 日在 FDNPS 近海和港口外區域採集 100 條魚，其中有 64 個樣品之鈉-134 檢測濃度為 3.5 至 130 貝克/公斤，有 79 個樣品之鈉-137 檢測濃度為 3.6 至 260 貝克/公斤，鈉-134 平均濃度為 12 貝克/公斤，鈉-137 平均濃度則為 26 貝克/公斤(Chen，2013)。日本水產廳(JFA)在 2013 年檢測福島第一核電站釋放的輻射物質，分析 1952 個水產品，其中有 485 個(25%)樣品之鈉-134 檢測濃度為 0.1 至 338 貝克/公斤，平均濃度為 11 貝克/公斤；有 776(40%)個樣品之鈉-137 檢測濃度為 0.1 至 699 貝克/公斤，平均濃度為 18 貝克/公斤。而其中鈉-134 之最高檢出量為 338 貝克/公斤，鈉-137 為 699 貝克/公斤，樣本為該年 7 月 11 日於 Hitachi city 海邊捕獲之鱸魚。日本沿海或近海水產品之平均鈉-134 濃度為 3 貝克/公斤和鈉-137 濃度為 7 貝克/公斤，每年魚類消費 8.8 公斤，成人體內累積輻射鈉劑量 1.3 微西弗和兒童 0.9 微西弗。2013 年 7 月報導水

產品最高銫劑量大約 1000 貝克/公斤，如果食用 150g 的魚肉，成人體內累積輻射銫劑量 2.3 微西弗和兒童 1.7 微西弗[20]。

(二) 水產品輻射風險評估結果探討

以我國輸入水產品為基礎，分析 2011 至 2015 年間進口之日本水產品輻射檢驗結果，計算每年承受有效劑量、終身承受有效劑量及額外增加之終身致癌風險如表八。終身承受有效劑量最低為 2015 年進口之冷凍馬加鯊為 0.0008 毫西弗，最高為 2011 年進口之紅鮭魚鬆為 3.1919 毫西弗。以最保守模式評估攝取 100 年紅鮭魚鬆造成實體癌、甲狀腺癌及白血病之額外增加終身致癌風險分別為每 10 萬人 15.5479 人、0.4054 人及 1.9630 人。攝取 104 年冷凍馬加鯊之實體癌、甲狀腺癌及白血病之額外增加終身致癌風險分別為每 10 萬人 0.0037 人、0.0001 人及 0.0005 人。

表八、日本輸入水產品之每年承受有效劑量、終身承受有效劑量及額外增加之終身致癌風險

年度	樣品種類	檢驗 樣本數	總銫 (貝克/ 公斤)	銫-134 (貝克/ 公斤)	銫-137 (貝克/ 公斤)	每年承受有效劑量 (毫西弗/年)	終身承受有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)		
								實體癌	甲狀腺癌	白血病
	水產品平均¹	26,003	0.0432	0.0192	0.0240	2.4130x10E-5	0.0017	0.0085	0.0002	0.0011
100	白甘魚	95	0.4516	0.2011	0.2505	0.0003	0.0182	0.0886	0.0023	0.0112
100	冷凍沙丁魚	8	4.6250	2.0625	2.5625	0.0026	0.1864	0.9077	0.0237	0.1146
100	冷藏巴鯉魚	140	0.3150	0.1379	0.1771	0.0002	0.0127	0.0616	0.0016	0.0078
100	冷藏比目魚	63	0.2286	0.0984	0.1302	0.0001	0.0092	0.0446	0.0012	0.0056
100	冷藏正鯉	59	0.4000	0.1763	0.2237	0.0002	0.0161	0.0783	0.0020	0.0099
100	冷藏黃鯉魚	78	0.4218	0.1974	0.2244	0.0002	0.0171	0.0835	0.0022	0.0105
100	冷藏黃獅魚片	88	0.1682	0.0648	0.1034	0.0001	0.0066	0.0322	0.0008	0.0041
100	冷藏鯽魚	12	27.1833	12.4167	14.7667	0.0153	1.0998	5.3573	0.1397	0.6764
100	冷藏鯖魚	67	0.1388	0.0373	0.1015	0.0001	0.0052	0.0254	0.0007	0.0032
100	冷藏鯉魚魚片	68	0.3735	0.1632	0.2103	0.0002	0.0150	0.0731	0.0019	0.0092
100	油漬沙丁魚	1	80.1000	33.4000	46.7000	0.0443	3.1917	15.5466	0.4053	1.9629
100	油漬秋刀魚	1	72.8000	32.6000	40.2000	0.0408	2.9354	14.2983	0.3728	1.8053
100	青甘魚片	112	0.2946	0.1277	0.1670	0.0002	0.0118	0.0575	0.0015	0.0073
100	青花魚	12	0.5667	0.2250	0.3417	0.0003	0.0224	0.1091	0.0028	0.0138

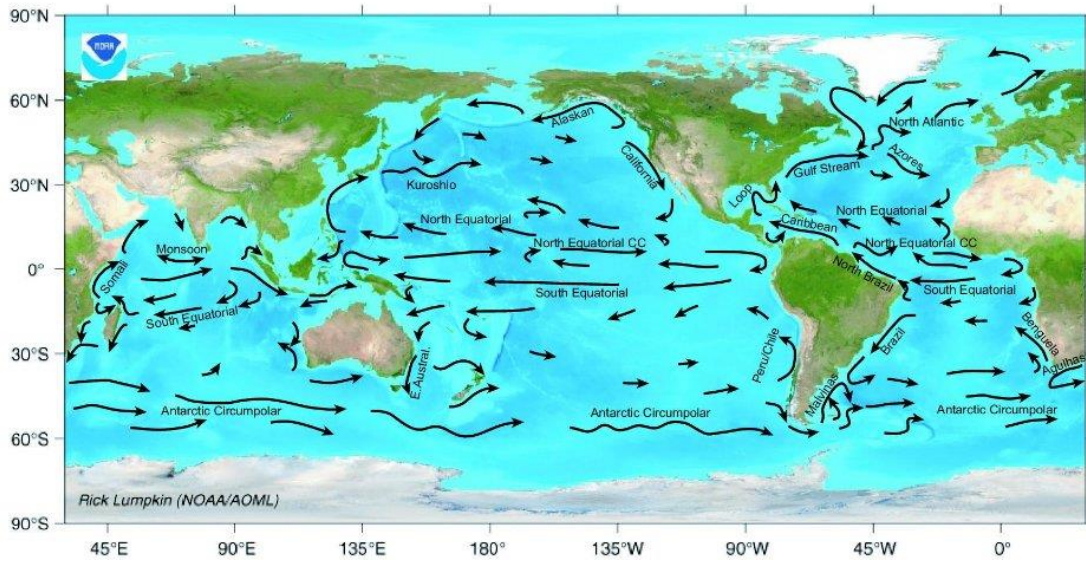
年度	樣品種類	檢驗 樣本數	總銫 (貝克/ 公斤)	銫-134 (貝克/ 公斤)	銫-137 (貝克/ 公斤)	每年承受有效劑量 (毫西弗/年)	終身承受有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)		
								實體癌	甲狀腺癌	白血病
100	紅魷	1	10.5000	4.4000	6.1000	0.0058	0.4187	2.0396	0.0532	0.2575
100	紅鮭魚鬆	1	77.2000	39.7000	37.5000	0.0443	3.1919	15.5479	0.4054	1.9630
100	凍鱈魚	1	4.0000	1.6000	2.4000	0.0022	0.1583	0.7713	0.0201	0.0974
100	鮭魚薄片	8	18.2625	8.0750	10.1875	0.0102	0.7348	3.5791	0.0933	0.4519
101	蒲燒沙丁魚罐	2	3.8500	1.5000	2.3500	0.0021	0.1518	0.7393	0.0193	0.0933
101	鮭魚薄片	7	5.7143	2.4000	3.3143	0.0032	0.2280	1.1104	0.0290	0.1402
101	鮭魚鬆	9	5.8889	2.3222	3.5667	0.0032	0.2326	1.1330	0.0295	0.1430
102	冷凍鯖魚	10	0.6000	0.1600	0.4400	0.0003	0.0225	0.1097	0.0029	0.0138
104	冷凍馬加鯊	15	0.0227	0.0000	0.0227	1.05196x10E-5	0.0008	0.0037	0.0001	0.0005

1. 水產品平均(從 100 年 3 月 15 日至 105 年 6 月 7 日，共 26,003 件)

根據 Povinec 與 Hirose(2015)有關 2011 年至 2014 年受福島核災所影響之銻-90、銫-134 及銫-137 劑量的研究中指出，在福島沿岸所捕獲之魚貝類及海草之總承受有效劑量估計為 0.6 ± 0.4 毫西弗/年；於太平洋所捕獲之受輻射污染魚類個別承受有效劑量估計為 0.07 ± 0.05 毫西弗/年。這些劑量約小於等於攝食魚貝類所獲得之天然輻射劑量(鈷-210)，該劑量估計為 0.07 毫西弗/年[21]。發生事故的地區為福島的第一核電廠，位於日本東岸，瀕臨北太平洋，其位置如圖五中之左圖標誌，核污水經由核電廠的排水孔排放至北太平洋，其排水孔位置如圖五中之右圖所示標誌。掉落在陸上的輻射物質，可能隨著河川逐漸流入海中，再度造成污染。而第一核電廠廢水排出之水流方向，係經由江戶川及荒川水流系統流入東京灣[22]。由世界海流圖(圖六)得知，洋流自菲律賓開始，穿過台灣東部海域，沿著日本往東北向流，在與親潮相遇後匯入東向的北太平洋洋流，排放輻射隨著洋流而被稀釋。此解釋了在福島沿岸所捕獲之魚貝類及海草之總承受有效劑量較太平洋所捕獲之受輻射污染魚類個別承受有效劑量較高的可能原因。



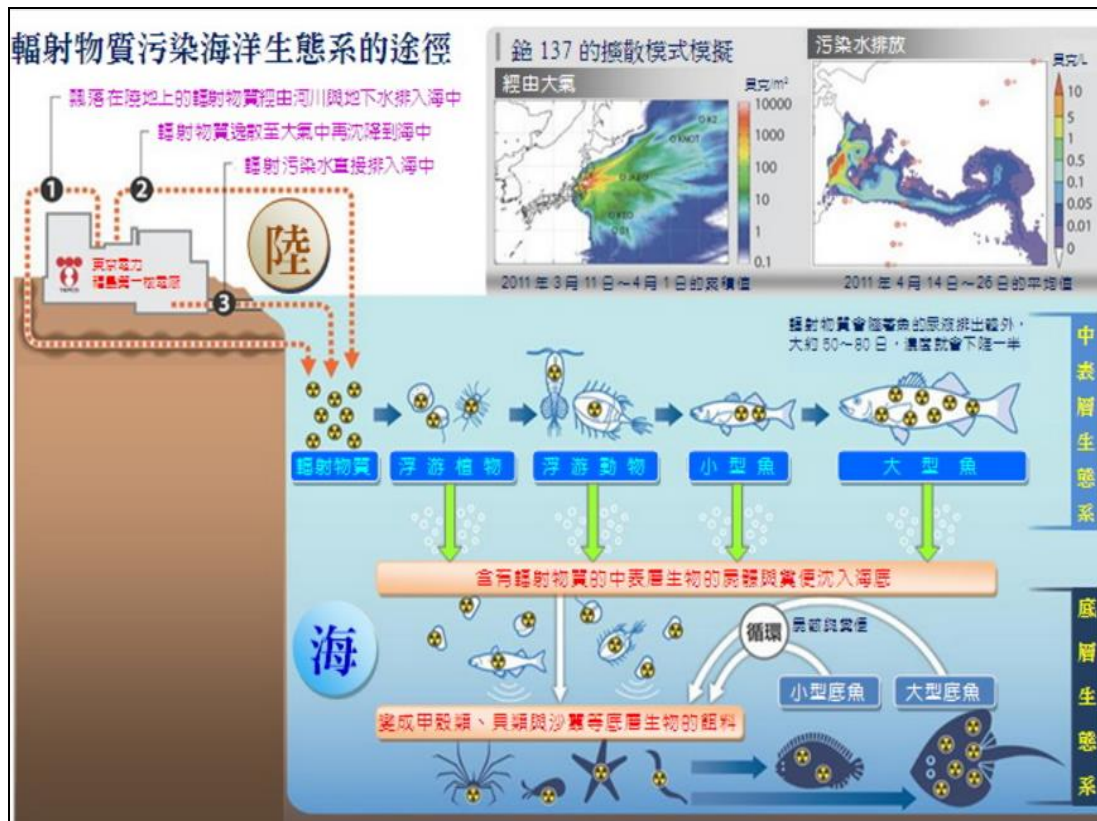
圖五、福島第一核電廠位置圖[23]



圖六、世界海流圖[24]

海洋魚類輻射污染機制

輻射污染物被浮游植物吸收，浮游動物攝食被污染的浮游植物，鯷類等小型魚類攝食浮游動物，鱸魚等大型魚類又捕食小魚。海洋中表層海水魚攝取的輻射物質會經由尿液排出，經 50~80 天後，輻射物質的含量會減少一半，污染的情況不會持續很久，但當含有輻射物質的中表層生物的屍體與糞便沉到海底後，被螃蟹等甲殼類與貝類、沙蠶等攝食，再經由食物鏈，進入鰈魚等小型底棲魚類，以及鱈魚與魷魚等大型魚類的體內。當底棲魚類死亡後，屍骸及其他魚類的糞便會堆積在海底，再度成為螃蟹等甲殼類、貝類及沙蠶等的餌料(圖七)[22]。此解釋底層生物的濃度高出許多，因此可能導致輻射物質在海洋底層生態系中循環，拉長污染的時間。



圖七、輻射物質污染海洋生態系之途徑示意圖[22]。

本研究另依據日本水產廳公布之水產品輻射檢驗結果，同樣以最保守模式進行評估，計算攝食日本水產品所得之終每年承受有效劑量、終身承受有效劑量及額外增加之終身致癌風險如表九。2016、2015 及 2014 年之終身承受有效劑量分別為 0.0026、0.0023 及 0.0027 毫西弗，實體癌、甲狀腺癌及白血病之額外增加終身致癌風險分別為 2016 年為每 10 萬人 0.0126 人、0.0003 人及 0.0016 人、2015 年為每 10 萬人 0.0110 人、0.0003 人及 0.0014 人，以及 2014 年為每 10 萬人 0.0131 人、0.0003 人及 0.0017 人。針對水產品種類或其棲息地進一步分析顯示，以攝食海藻之輻射風險最高，終身約定有效劑量分別為 2014 年 0.0036 毫西弗、2015 年 0.0032 毫西弗和 2016 年 0.0037 毫西弗，

實體癌、甲狀腺癌和白血病之額外增加終身致癌風險分別為 2014 年為每 10 萬人 0.0174 人、0.0005 人和 0.0022 人，2015 年為每 10 萬人 0.0154 人、0.0004 人和 0.0019 人，以及 2016 年為每 10 萬人 0.0182 人、0.0005 人和 0.0023 人。淡水魚僅次於海藻，為攝食輻射風險第二高之水產品種類，其實體癌、甲狀腺癌和白血病之額外增加終身致癌風險分別為 2014 年為每 10 萬人 0.0171 人、0.0004 人和 0.0022 人，2015 年為每 10 萬人 0.0138 人、0.0004 人和 0.0017 人，以及 2016 年為每 10 萬人 0.0162 人、0.0004 人和 0.0020 人。

表九、日本水產品樣品之承受有效劑量、終身劑量及額外增加之終身致癌風險

年度	品項	樣本數	樣品之總鈾 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-134 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-137 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	每年約定 有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定 有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)			
								實體癌	甲狀腺癌	白血病	
2016	以棲息地/水產品分類	海水極表層	89	11.1875	5.8408	5.3467	0.00002	0.0022	0.0106	0.0003	0.0013
		海水表層	39	5.4792	2.7275	2.7517	0.00001	0.0011	0.0052	0.0001	0.0007
		海水中層	154	8.9351	4.1747	4.7604	0.00002	0.0017	0.0083	0.0002	0.0011
		海水底層	1,922	12.4184	6.3058	6.1126	0.00003	0.0024	0.0117	0.0003	0.0015
		淡水	428	18.0482	6.1171	11.9311	0.00004	0.0033	0.0162	0.0004	0.0020
		無脊椎	423	12.8366	6.6781	6.1585	0.00003	0.0025	0.0122	0.0003	0.0015
		哺乳類	4	0.9300	0.4548	0.4753	0.00000	0.0002	0.0009	0.0000	0.0001
		海藻	296	19.3117	9.6565	9.6552	0.00004	0.0037	0.0182	0.0005	0.0023
	以地區分類	福島縣	1,655	1,655	8.1000	8.4593	0.00004	0.0032	0.0155	0.0004	0.0020
		茨城、櫛木、群馬及千葉縣	581	581	4.0992	5.8516	0.00002	0.0019	0.0091	0.0002	0.0012
		上述五縣外地區水產品	713	713	4.2116	4.5683	0.00002	0.0017	0.0082	0.0002	0.0010
		其他地區水產品	396	396	7.2479	7.3090	0.00003	0.0028	0.0137	0.0004	0.0017
		2016 年所有水產品	3,355	13.5106	6.4656	7.0450	0.00003	0.0026	0.0126	0.0003	0.0016
	2015	以	海水極表層	401	13.0121	6.8505	6.1616	0.00003	0.0023	0.0111	0.0003

年度	品項	樣本數	樣品之總鈾 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-134 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-137 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	每年約定 有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定 有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)			
								實體癌	甲狀腺癌	白血病	
	棲息地/ 水產品分類	海水表層	281	6.9196	3.5474	3.3723	0.00001	0.0012	0.0059	0.0002	0.0007
		海水中層	1,483	8.3228	3.9852	4.3376	0.00002	0.0014	0.0070	0.0002	0.0009
		海水底層	10,592	12.8427	6.3913	6.4515	0.00003	0.0022	0.0109	0.0003	0.0014
		淡水	2,405	17.0897	5.9702	11.1157	0.00003	0.0028	0.0138	0.0004	0.0017
		無脊椎	2,936	12.5390	6.4996	6.0436	0.00002	0.0022	0.0107	0.0003	0.0013
		哺乳類	28	0.9197	0.4145	0.5052	0.00000	0.0002	0.0008	0.0000	0.0001
		海藻	656	18.1924	9.0752	9.1173	0.00004	0.0032	0.0154	0.0004	0.0019
	以地區分類	福島縣	9,215	16.8666	8.3172	8.5494	0.0096	0.6919	3.3701	0.0879	0.4255
		茨城、櫛木、群馬及千葉縣	3,381	10.2005	3.9867	6.2138	0.0056	0.4023	1.9598	0.0511	0.2474
		上述五縣外地區水產品	5,036	9.0019	4.2000	4.8248	0.00002	0.0016	0.0076	0.0002	0.0010
		其他地區水產品	1,161	10.4190	5.1492	5.2698	0.00002	0.0018	0.0088	0.0002	0.0011
	2015 年所有水產品		18,782	13.0663	6.2164	6.8501	0.00003	0.0023	0.0110	0.0003	0.0014
	2014	以棲息地/ 水	海水極表層	401	12.6159	6.6372	5.9787	0.00003	0.0025	0.0122	0.0003
海水表層			382	5.2170	2.6410	2.5760	0.00001	0.0010	0.0050	0.0001	0.0006
海水中層			1,748	8.6759	3.7981	4.8778	0.00002	0.0017	0.0082	0.0002	0.0010
海水底層			11,649	13.5892	6.3844	7.2048	0.00003	0.0027	0.0130	0.0003	0.0016

年度	品項	樣本數	樣品之總鈾 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-134 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	樣品之鈾-137 含量平均值 (±標準偏差) (貝克/公斤)	每年約定 有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定 有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)		
								實體癌	甲狀腺癌	白血病
產品分類	淡水	3,117	18.4569	6.7249	11.7320	0.00004	0.0035	0.0171	0.0004	0.0022
	無脊椎	2,804	13.0865	6.7252	6.3614	0.00003	0.0026	0.0126	0.0003	0.0016
	哺乳類	26	1.0160	0.4350	0.5810	0.00000	0.0002	0.0010	0.0000	0.0001
	海藻	683	18.0327	9.0323	9.0004	0.00004	0.0036	0.0174	0.0005	0.0022
以地區分類	福島縣	9,603	18.0654	8.4683	9.5972	0.00004	0.0035	0.0172	0.0004	0.0022
	茨城、櫛木、群馬及千葉縣	4,247	11.1070	4.2763	6.8307	0.00002	0.0021	0.0103	0.0003	0.0013
	上述五縣外地區水產品	5,696	9.4593	4.4000	5.0727	0.00002	0.0019	0.0090	0.0002	0.0011
	其他地區水產品	1,264	9.9298	4.9143	5.0155	0.00002	0.0020	0.0095	0.0002	0.0012
2014 年所有水產品		20,810	13.7955	6.2797	7.5158	0.00003	0.0027	0.0131	0.0003	0.0017

1 「其他地區水產品」係指來自相關漁業協會於太平洋海域採樣之檢驗數據。

日本漁業署 2015 年之水產品輻射監視報告中指出，無脊椎動物體內大多數的鹽液體和海水間自可以自由地流動，因為無脊椎動物的身體內滲透壓等同於海水。如果周圍的海水放射性銫濃度降低時，在無脊椎動物體內的放射性銫濃度下降速度比海魚迅速。所以海洋產品內放射性銫的濃度不像汞或有機氯化物，會經由食物鏈方式積聚在魚體內。因此，海洋產品被認為放射性銫濃度會隨著時間的推移下降。另外，淡水魚體內會保留放射性銫等物質，因為淡水魚身體內的滲透壓比環境水的高，需要比海魚更多的時間來排出放射性銫[25]。

(三)風險評估不確定分析

日本輸入水產品風險評估不確定分析

本研究以我國輸入水產品為基礎，以 2011 年至 2015 年間進口之日本水產品輻射抽驗結果平均值進行風險評估，然受制於邊境抽驗樣本數有限，所得評估結果存在較高之不確定性，故以蒙地卡羅方法針對輻射值進行模擬抽樣 100,000 次，並分不同年齡層進行評估以降低不確定性[10]。不同年齡攝食日本輸入水產品其實體癌、甲狀腺癌和白血病之可能致癌風險的中數值(第 50 百分位)和上限值(第 95 百分位)彙整如表十。結果顯示 18 至 65 歲年齡層之額外增加終身致癌風險最高，實體癌之可能致癌風險的中數值和上限值為每 10 萬人 8.27E-04

人和 $9.43\text{E-}04$ 人；甲狀腺癌之可能致癌風險的中數值和上限值為每
10 萬人 $2.16\text{E-}05$ 人和 $2.46\text{E-}05$ 人；白血病之可能致癌風險的中數值
和上限值為每 10 萬人 $1.04\text{E-}04$ 人和 $1.19\text{E-}04$ 人。

表十、不同年齡攝食日本輸入水產品之風險評估分析結果

年齡群	樣品之總鉍 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之鉍-134 含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之鉍-137 含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定 有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定 有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)					
						實體癌		甲狀腺癌		白血病	
						第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位
0-3	0.0432	0.0192	0.0240	0.000000092	0.000008208	4.43E-05	4.92E-05	1.15E-06	1.28E-06	5.59E-06	6.21E-06
3-6	0.0432	0.0192	0.0240	0.000000927	0.000078829	4.23E-04	4.82E-04	1.10E-05	1.26E-05	5.34E-05	6.09E-05
6-12	0.0432	0.0192	0.0240	0.000000937	0.000074921	4.02E-04	4.58E-04	1.05E-05	1.19E-05	5.08E-05	5.78E-05
12-16	0.0432	0.0192	0.0240	0.000001628	0.000122135	6.55E-04	7.47E-04	1.71E-05	1.95E-05	8.28E-05	9.43E-05
16-18	0.0432	0.0192	0.0240	0.000001176	0.000088208	4.73E-04	5.39E-04	1.23E-05	1.41E-05	5.98E-05	6.81E-05
19-65	0.0432	0.0192	0.0240	0.000002171	0.000154161	8.27E-04	9.43E-04	2.16E-05	2.46E-05	1.04E-04	1.19E-04

日本水產品之風險評估不確定分析

本研究另以日本水產廳公布之 2014 年至 2016 年水產品輻射監測數據進行攝食致癌風險評估分析，同樣以蒙地卡羅方法針對輻射值進行模擬分析抽樣 100,000 次，並將福島、茨城、櫛木、群馬和千葉等五縣與五縣以外地區分開進行比較，2014 至 2016 年不同縣市和所有水產品其實體癌、甲狀腺癌和白血病之可能致癌風險的中數值(第 50 百分位)和上限值(第 95 百分位)彙整如表十一。分析結果顯示，18 至 65 歲年齡層攝食福島水產品之致癌風險最高，實體癌之可能致癌風險的中數值和上限值為每 10 萬人 $3.45E-01$ 人和 $3.94E-01$ 人；甲狀腺癌之可能致癌風險的中數值和上限值為每 10 萬人 $9.00E-03$ 人和 $1.03E-02$ 人；白血病之可能致癌風險的中數值和上限值為每 10 萬人 $4.36E-02$ 人和 $4.97E-02$ 人。

表十一、2014 至 2016 年日本不同地區水產品實體癌額外增加終身致癌風險分析比較

年度	分類方法	樣品種類	年齡群	樣品之總鉍含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之鉍-134含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之鉍-137含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)					
									實體癌		甲狀腺癌		白血病	
									第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位
以地區分類	福島縣之水產品	0-3	16.5297	8.1000	8.4593	0.00004	0.0032	1.72E-02	1.91E-02	4.49E-04	4.99E-04	2.17E-03	2.42E-03	
		3-6	16.5297	8.1000	8.4593	0.00039	0.0329	1.76E-01	2.01E-01	4.60E-03	5.25E-03	2.23E-02	2.54E-02	
		6-12	16.5297	8.1000	8.4593	0.00039	0.0312	1.68E-01	1.91E-01	4.37E-03	4.99E-03	2.12E-02	2.42E-02	
		12-16	16.5297	8.1000	8.4593	0.00068	0.0510	2.73E-01	3.12E-01	7.13E-03	8.14E-03	3.45E-02	3.94E-02	
		16-18	16.5297	8.1000	8.4593	0.00049	0.0368	1.97E-01	2.25E-01	5.15E-03	5.88E-03	2.49E-02	2.85E-02	
		19-65	16.5297	8.1000	8.4593	0.00091	0.0643	3.45E-01	3.94E-01	9.00E-03	1.03E-02	4.36E-02	4.97E-02	
	茨城、櫛木、群馬及千葉縣之水產品	0-3	9.9508	4.0992	5.8516	0.00002	0.0019	9.64E-03	1.07E-02	2.51E-04	2.79E-04	1.22E-03	1.35E-03	
		3-6	9.9508	4.0992	5.8516	0.00020	0.0171	8.41E-02	9.64E-02	2.19E-03	2.51E-03	1.06E-02	1.22E-02	
		6-12	9.9508	4.0992	5.8516	0.00020	0.0162	7.98E-02	9.16E-02	2.08E-03	2.39E-03	1.01E-02	1.16E-02	
		12-16	9.9508	4.0992	5.8516	0.00035	0.0264	1.30E-01	1.49E-01	3.39E-03	3.89E-03	1.64E-02	1.88E-02	
		16-18	9.9508	4.0992	5.8516	0.00025	0.0191	9.39E-02	1.08E-01	2.45E-03	2.81E-03	1.19E-02	1.36E-02	
		19-65	9.9508	4.0992	5.8516	0.00047	0.0333	1.64E-01	1.88E-01	4.28E-03	4.91E-03	2.07E-02	2.38E-02	
	福島、茨城、櫛木、群馬及千葉縣之水產品	0-3	14.8279	7.0431	7.7847	0.00003	0.0028	1.43E-02	1.57E-02	3.72E-04	4.10E-04	1.80E-03	1.98E-03	
		3-6	14.8279	7.0431	7.7847	0.00034	0.0287	1.36E-01	1.55E-01	3.55E-03	4.05E-03	1.72E-02	1.96E-02	
		6-12	14.8279	7.0431	7.7847	0.00034	0.0273	1.30E-01	1.48E-01	3.38E-03	3.85E-03	1.64E-02	1.86E-02	
		12-16	14.8279	7.0431	7.7847	0.00059	0.0445	2.11E-01	2.41E-01	5.50E-03	6.27E-03	2.67E-02	3.04E-02	
		16-18	14.8279	7.0431	7.7847	0.00043	0.0321	1.52E-01	1.74E-01	3.98E-03	4.53E-03	1.93E-02	2.20E-02	
		19-65	14.8279	7.0431	7.7847	0.00079	0.0561	2.67E-01	3.04E-01	6.95E-03	7.92E-03	3.36E-02	3.84E-02	
	上述五縣外地區水產品	0-3	8.7799	4.2116	4.5683	0.00002	0.0017	8.87E-03	1.00E-02	2.31E-04	2.62E-04	1.12E-03	1.27E-03	
		3-6	8.7799	4.2116	4.5683	0.00020	0.0171	8.47E-02	9.17E-02	2.21E-03	2.39E-03	1.07E-02	1.16E-02	
		6-12	8.7799	4.2116	4.5683	0.00020	0.0163	8.05E-02	8.71E-02	2.10E-03	2.27E-03	1.02E-02	1.10E-02	
		12-16	8.7799	4.2116	4.5683	0.00035	0.0266	1.31E-01	1.42E-01	3.42E-03	3.70E-03	1.66E-02	1.79E-02	
		16-18	8.7799	4.2116	4.5683	0.00026	0.0192	9.48E-02	1.03E-01	2.47E-03	2.68E-03	1.20E-02	1.30E-02	

年度	分類方法	樣品種類	年齡群	樣品之總銻含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)						
									實體癌		甲狀腺癌		白血病		
									第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	
			19-65	8.7799	4.2116	4.5683	0.00047	0.0335	1.66E-01	1.79E-01	4.32E-03	4.67E-03	2.09E-02	2.26E-02	
		其他地區水產品	0-3	14.5568	7.2479	7.3090	0.00003	0.0028	1.37E-02	1.44E-02	3.57E-04	3.74E-04	1.73E-03	1.81E-03	
			3-6	14.5568	7.2479	7.3090	0.00035	0.0293	1.43E-01	1.52E-01	3.72E-03	3.96E-03	1.80E-02	1.92E-02	
			6-12	14.5568	7.2479	7.3090	0.00035	0.0279	1.36E-01	1.45E-01	3.54E-03	3.77E-03	1.72E-02	1.82E-02	
			12-16	14.5568	7.2479	7.3090	0.00061	0.0455	2.22E-01	2.36E-01	5.78E-03	6.15E-03	2.80E-02	2.98E-02	
			16-18	14.5568	7.2479	7.3090	0.00044	0.0329	1.60E-01	1.70E-01	4.17E-03	4.44E-03	2.02E-02	2.15E-02	
			19-65	14.5568	7.2479	7.3090	0.00081	0.0574	2.80E-01	2.98E-01	7.29E-03	7.76E-03	3.53E-02	3.76E-02	
		2016 年所有水產品	0-3	13.5106	6.4656	7.0450	0.00003	0.0026	1.30E-02	1.43E-02	3.39E-04	3.74E-04	1.64E-03	1.81E-03	
			3-6	13.5106	6.4656	7.0450	0.00031	0.0263	1.25E-01	1.42E-01	3.26E-03	3.71E-03	1.58E-02	1.80E-02	
			6-12	13.5106	6.4656	7.0450	0.00031	0.0250	1.19E-01	1.35E-01	3.10E-03	3.53E-03	1.50E-02	1.71E-02	
			12-16	13.5106	6.4656	7.0450	0.00054	0.0408	1.94E-01	2.21E-01	5.05E-03	5.76E-03	2.44E-02	2.79E-02	
			16-18	13.5106	6.4656	7.0450	0.00039	0.0295	1.40E-01	1.59E-01	3.64E-03	4.16E-03	1.77E-02	2.01E-02	
			19-65	13.5106	6.4656	7.0450	0.00073	0.0515	2.44E-01	2.79E-01	6.37E-03	7.26E-03	3.09E-02	3.52E-02	
	以地區分類	福島縣之水產品	0-3	16.7690	8.3006	8.4683	0.00003	0.0029	1.57E-02	1.74E-02	4.08E-04	4.54E-04	1.98E-03	2.20E-03	
				3-6	16.7690	8.3006	8.4683	0.00036	0.0302	1.62E-01	1.85E-01	4.22E-03	4.82E-03	2.04E-02	2.33E-02
				6-12	16.7690	8.3006	8.4683	0.00036	0.0287	1.54E-01	1.76E-01	4.01E-03	4.58E-03	1.94E-02	2.22E-02
				12-16	16.7690	8.3006	8.4683	0.00062	0.0468	2.51E-01	2.87E-01	6.55E-03	7.48E-03	3.17E-02	3.62E-02
				16-18	16.7690	8.3006	8.4683	0.00045	0.0338	1.81E-01	2.07E-01	4.73E-03	5.40E-03	2.29E-02	2.62E-02
				19-65	16.7690	8.3006	8.4683	0.00083	0.0591	3.17E-01	3.62E-01	8.27E-03	9.44E-03	4.00E-02	4.57E-02
			茨城、樫木、群馬及千葉之水產品縣	0-3	9.9434	3.9420	6.0013	0.00002	0.0017	8.62E-03	9.58E-03	2.25E-04	2.50E-04	1.09E-03	1.21E-03
				3-6	9.9434	3.9420	6.0013	0.00017	0.0148	7.31E-02	8.38E-02	1.91E-03	2.18E-03	9.23E-03	1.06E-02
				6-12	9.9434	3.9420	6.0013	0.00018	0.0141	6.94E-02	7.96E-02	1.81E-03	2.07E-03	8.76E-03	1.00E-02
				12-16	9.9434	3.9420	6.0013	0.00031	0.0229	1.13E-01	1.30E-01	2.95E-03	3.38E-03	1.43E-02	1.64E-02
		16-18		9.9434	3.9420	6.0013	0.00022	0.0166	8.16E-02	9.36E-02	2.13E-03	2.44E-03	1.03E-02	1.18E-02	

年度	分類方法	樣品種類	年齡群	樣品之總銻含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)					
									實體癌		甲狀腺癌		白血病	
									第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位
			19-65	9.9434	3.9420	6.0013	0.00041	0.0290	1.43E-01	1.64E-01	3.72E-03	4.26E-03	1.80E-02	2.06E-02
		福島、茨城、櫛木、群馬及千葉縣之水產品	0-3	14.9369	7.1307	7.8061	0.00003	0.0026	1.32E-02	1.46E-02	3.43E-04	3.82E-04	1.66E-03	1.85E-03
			3-6	14.9369	7.1307	7.8061	0.00031	0.0261	1.28E-01	1.47E-01	3.34E-03	3.84E-03	1.62E-02	1.86E-02
			6-12	14.9369	7.1307	7.8061	0.00031	0.0248	1.22E-01	1.40E-01	3.17E-03	3.65E-03	1.54E-02	1.77E-02
			12-16	14.9369	7.1307	7.8061	0.00054	0.0404	1.98E-01	2.28E-01	5.17E-03	5.95E-03	2.51E-02	2.88E-02
			16-18	14.9369	7.1307	7.8061	0.00039	0.0292	1.43E-01	1.65E-01	3.74E-03	4.30E-03	1.81E-02	2.08E-02
			19-65	14.9369	7.1307	7.8061	0.00072	0.0510	2.50E-01	2.88E-01	6.53E-03	7.51E-03	3.16E-02	3.64E-02
		上述五縣外地區水產品	0-3	9.0019	4.2000	4.8248	0.00002	0.0016	8.19E-03	9.27E-03	2.13E-04	2.42E-04	1.03E-03	1.17E-03
			3-6	9.0019	4.2000	4.8248	0.00018	0.0154	7.68E-02	8.16E-02	2.00E-03	2.13E-03	9.69E-03	1.03E-02
			6-12	9.0019	4.2000	4.8248	0.00018	0.0146	7.29E-02	7.76E-02	1.90E-03	2.02E-03	9.21E-03	9.80E-03
			12-16	9.0019	4.2000	4.8248	0.00032	0.0239	1.19E-01	1.26E-01	3.10E-03	3.30E-03	1.50E-02	1.60E-02
			16-18	9.0019	4.2000	4.8248	0.00023	0.0172	8.59E-02	9.13E-02	2.24E-03	2.38E-03	1.08E-02	1.15E-02
			19-65	9.0019	4.2000	4.8248	0.00042	0.0301	1.50E-01	1.60E-01	3.91E-03	4.16E-03	1.89E-02	2.02E-02
		其他地區水產品	0-3	10.4190	5.1492	5.2698	0.00002	0.0018	8.79E-03	9.40E-03	2.29E-04	2.45E-04	1.11E-03	1.19E-03
			3-6	10.4190	5.1492	5.2698	0.00022	0.0187	9.12E-02	9.89E-02	2.38E-03	2.58E-03	1.15E-02	1.25E-02
			6-12	10.4190	5.1492	5.2698	0.00022	0.0178	8.67E-02	9.40E-02	2.26E-03	2.45E-03	1.10E-02	1.19E-02
			12-16	10.4190	5.1492	5.2698	0.00039	0.0290	1.41E-01	1.53E-01	3.69E-03	4.00E-03	1.79E-02	1.94E-02
			16-18	10.4190	5.1492	5.2698	0.00028	0.0210	1.02E-01	1.11E-01	2.66E-03	2.89E-03	1.29E-02	1.40E-02
			19-65	10.4190	5.1492	5.2698	0.00052	0.0367	1.79E-01	1.94E-01	4.66E-03	5.05E-03	2.25E-02	2.44E-02
	2015 年所有水產品		0-3	13.0663	6.2164	6.8501	0.00003	0.0023	1.20E-02	1.30E-02	3.13E-04	3.38E-04	1.52E-03	1.64E-03
			3-6	13.0663	6.2164	6.8501	0.00027	0.0227	1.20E-01	1.30E-01	3.14E-03	3.38E-03	1.52E-02	1.64E-02
			6-12	13.0663	6.2164	6.8501	0.00027	0.0216	1.14E-01	1.23E-01	2.98E-03	3.21E-03	1.44E-02	1.55E-02
			12-16	13.0663	6.2164	6.8501	0.00047	0.0352	1.86E-01	2.01E-01	4.86E-03	5.24E-03	2.35E-02	2.54E-02
			16-18	13.0663	6.2164	6.8501	0.00034	0.0255	1.35E-01	1.45E-01	3.51E-03	3.78E-03	1.70E-02	1.83E-02

年度	分類方法	樣品種類	年齡群	樣品之總銻含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)					
									實體癌		甲狀腺癌		白血病	
									第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位
			19-65	13.0663	6.2164	6.8501	0.00063	0.0445	2.35E-01	2.53E-01	6.13E-03	6.61E-03	2.97E-02	3.20E-02
以地區分類	福島縣之水產品	0-3	18.0654	8.4683	9.5972	0.00004	0.0035	1.91E-02	2.12E-02	4.97E-04	5.52E-04	2.41E-03	2.67E-03	
		3-6	18.0654	8.4683	9.5972	0.00042	0.0353	1.89E-01	2.16E-01	4.94E-03	5.63E-03	2.39E-02	2.73E-02	
		6-12	18.0654	8.4683	9.5972	0.00042	0.0336	1.80E-01	2.05E-01	4.70E-03	5.36E-03	2.27E-02	2.59E-02	
		12-16	18.0654	8.4683	9.5972	0.00073	0.0547	2.94E-01	3.35E-01	7.66E-03	8.74E-03	3.71E-02	4.23E-02	
		16-18	18.0654	8.4683	9.5972	0.00053	0.0395	2.12E-01	2.42E-01	5.53E-03	6.31E-03	2.68E-02	3.06E-02	
		19-65	18.0654	8.4683	9.5972	0.00097	0.0691	3.71E-01	4.23E-01	9.66E-03	1.10E-02	4.68E-02	5.34E-02	
	茨城、櫛木、群馬及千葉縣	0-3	11.1070	4.2763	6.8307	0.00002	0.0021	1.10E-02	1.19E-02	2.86E-04	3.11E-04	1.38E-03	1.50E-03	
		3-6	11.1070	4.2763	6.8307	0.00022	0.0184	9.14E-02	9.70E-02	2.38E-03	2.53E-03	1.15E-02	1.22E-02	
		6-12	11.1070	4.2763	6.8307	0.00022	0.0175	8.68E-02	9.21E-02	2.26E-03	2.40E-03	1.10E-02	1.16E-02	
		12-16	11.1070	4.2763	6.8307	0.00038	0.0285	1.41E-01	1.50E-01	3.68E-03	3.91E-03	1.78E-02	1.89E-02	
		16-18	11.1070	4.2763	6.8307	0.00027	0.0205	1.02E-01	1.08E-01	2.66E-03	2.82E-03	1.29E-02	1.37E-02	
		19-65	11.1070	4.2763	6.8307	0.00051	0.0359	1.78E-01	1.89E-01	4.65E-03	4.93E-03	2.25E-02	2.39E-02	
	福島、茨城、櫛木、群馬及千葉縣之水產品	0-3	15.9317	7.1829	8.7488	0.00003	0.0031	1.59E-02	1.77E-02	4.15E-04	4.61E-04	2.01E-03	2.23E-03	
		3-6	15.9317	7.1829	8.7488	0.00035	0.0301	1.48E-01	1.70E-01	3.86E-03	4.44E-03	1.87E-02	2.15E-02	
		6-12	15.9317	7.1829	8.7488	0.00036	0.0286	1.41E-01	1.62E-01	3.67E-03	4.22E-03	1.78E-02	2.04E-02	
		12-16	15.9317	7.1829	8.7488	0.00062	0.0467	2.29E-01	2.64E-01	5.98E-03	6.87E-03	2.90E-02	3.33E-02	
		16-18	15.9317	7.1829	8.7488	0.00045	0.0337	1.66E-01	1.90E-01	4.32E-03	4.97E-03	2.09E-02	2.41E-02	
		19-65	15.9317	7.1829	8.7488	0.00083	0.0589	2.90E-01	3.33E-01	7.55E-03	8.68E-03	3.66E-02	4.20E-02	
	上述五縣外地區水產品	0-3	9.4593	4.4000	5.0727	0.00002	0.0019	9.42E-03	9.91E-03	2.46E-04	2.58E-04	1.19E-03	1.25E-03	
		3-6	9.4593	4.4000	5.0727	0.00022	0.0184	9.08E-02	9.64E-02	2.37E-03	2.51E-03	1.15E-02	1.22E-02	
		6-12	9.4593	4.4000	5.0727	0.00022	0.0175	8.63E-02	9.16E-02	2.25E-03	2.39E-03	1.09E-02	1.16E-02	
		12-16	9.4593	4.4000	5.0727	0.00038	0.0285	1.41E-01	1.49E-01	3.67E-03	3.90E-03	1.78E-02	1.89E-02	
		16-18	9.4593	4.4000	5.0727	0.00027	0.0206	1.02E-01	1.08E-01	2.65E-03	2.81E-03	1.28E-02	1.36E-02	

年度	分類方法	樣品種類	年齡群	樣品之總銻含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-134含量平均值 (貝克/公斤)	樣品之銻-137含量平均值 (貝克/公斤)	每年約定有效劑量 (毫西弗/年)	終身約定有效劑量 (毫西弗)	額外增加之終身致癌風險 (每 10 萬人之案例)					
									實體癌		甲狀腺癌		白血病	
									第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位	第 50 百分位	第 95 百分位
			19-65	9.4593	4.4000	5.0727	0.00051	0.0359	1.78E-01	1.89E-01	4.63E-03	4.92E-03	2.24E-02	2.38E-02
		其他地區水產品	0-3	9.9298	4.9143	5.0155	0.00002	0.0020	9.54E-03	1.02E-02	2.49E-04	2.66E-04	1.20E-03	1.29E-03
			3-6	9.9298	4.9143	5.0155	0.00024	0.0203	9.90E-02	1.07E-01	2.58E-03	2.80E-03	1.25E-02	1.35E-02
			6-12	9.9298	4.9143	5.0155	0.00024	0.0193	9.42E-02	1.02E-01	2.46E-03	2.66E-03	1.19E-02	1.29E-02
			12-16	9.9298	4.9143	5.0155	0.00042	0.0315	1.54E-01	1.67E-01	4.00E-03	4.34E-03	1.94E-02	2.10E-02
			16-18	9.9298	4.9143	5.0155	0.00030	0.0228	1.11E-01	1.20E-01	2.89E-03	3.14E-03	1.40E-02	1.52E-02
			19-65	9.9298	4.9143	5.0155	0.00056	0.0398	1.94E-01	2.10E-01	5.05E-03	5.48E-03	2.45E-02	2.65E-02
	2014 年所有水產品		0-3	13.7955	6.2797	7.5158	0.00003	0.0027	1.38E-02	1.61E-02	3.60E-04	4.20E-04	1.74E-03	2.03E-03
			3-6	13.7955	6.2797	7.5158	0.00031	0.0263	1.29E-01	1.64E-01	3.37E-03	4.28E-03	1.63E-02	2.07E-02
			6-12	13.7955	6.2797	7.5158	0.00031	0.0250	1.23E-01	1.56E-01	3.20E-03	4.07E-03	1.55E-02	1.97E-02
			12-16	13.7955	6.2797	7.5158	0.00054	0.0408	2.00E-01	2.54E-01	5.22E-03	6.63E-03	2.53E-02	3.21E-02
			16-18	13.7955	6.2797	7.5158	0.00039	0.0294	1.45E-01	1.84E-01	3.77E-03	4.79E-03	1.83E-02	2.32E-02
			19-65	13.7955	6.2797	7.5158	0.00072	0.0514	2.53E-01	3.21E-01	6.59E-03	8.37E-03	3.19E-02	4.05E-02

(四) 討論與建議

本研究以最保守模式進行攝食日本水產品之輻射風險評估，以日本水產廳公布之水產品輻射監測數據計算所得之承受有效劑量(2014至2016年總水產品分別為每年0.00003、0.00003和0.00003毫西弗)或是終身承受有效劑量(2014至2016年總水產品分別為0.0027、0.0023和0.0026毫西弗)，皆遠低於ICRP有關一般人接受輻射劑量每年1毫西弗之建議[26]。國際輻射防護委員會於1991年公布的第60號報告中指出，一般人自出生之日起終身曝露在每年1毫西弗的劑量之下，每年因輻射致癌死亡的機率（以女性為例），在四十、六十和八十歲時分別為一百萬分之11、54和151[27]。行政院環保署公告之健康風險評估技術規範中定義，可接受致癌風險一般為 10^{-6} ~ 10^{-4} 。依前衛生署國民健康局健康風險評估指引，一般致癌風險介於 10^{-6} ~ 10^{-4} 尚屬可接受的範圍[28]。Fisher等人於2013年報告指出，2011年8月在美國加州捕獲之太平洋洄游黑鮪檢出輻射值，該值遠低於環境生態之自然輻射劑量 $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，以此值計算美國人因食用受污染太平洋洄游黑鮪而得自福島核種之輻射承受有效劑量，普通消費者和漁民分別為0.9與4.7微西弗，此劑量可與人們慣常自許多食品、醫療、空中旅行或其它背景來源中天然存在之放射性核種所獲得的輻射劑量相比或更低。文章亦指出，依漁民所獲得之承

受有效劑量 4.7 微西弗，推估額外增加之相對致死癌風險為每千萬人 2 人[29] 本研究依日本政府 2014 至 2016 年水產品輻射檢驗結果計算所得之額外增加終身致癌風險分別為實體癌平均每 10 萬人 0.0122 人(即為 $1.22E-07$)、甲狀腺癌平均每 10 萬人 0.0003 人(即為 $3E-09$)以及白血病平均每 10 萬人 0.0015 人($1.5E-08$)，低於與國民健康署之可接受致癌風險百萬分之一百至百萬分之一範圍內。

參考文獻

1. 行政院原子能委員會，2005。「游離輻射防護安全標準」
2. 新聞小辭典／核輻射單位比一比：微西弗跟毫西弗是什麼？
<http://www.nownews.com/n/2011/03/15/548242>
3. <http://www.unscear.org/docs/reports/gareport.pdf>
4. http://www.aec.gov.tw/htmlprint/%E7%84%A6%E9%BB%9E%E5%B0%88%E5%8D%80/%E5%BE%8C%E7%A6%8F%E5%B3%B6%E4%BA%8B%E6%95%85%E5%B0%88%E5%8D%80/%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E5%95%8F%E9%A1%8C--218_226_1021_1061.html
5. <http://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/>
6. http://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/pdf/1401_chinese_1.pdf
7. <http://www.ettoday.net/news/20150326/484034.htm>
8. <http://news.ltn.com.tw/news/supplement/paper/993009>
9. 行政院環境保護署，2011。中華民國 100 年 7 月 20 日行政院環境保護署環署綜字第 1000060206 號令修正「健康風險評估技術規範」。
10. World Health Organization. (2013). Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. World Health Organization.
11. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP 2007:37(2-4).
12. Moon, E. K., Ha, W. H., Seo, S., Jin, Y. W., Jeong, K. H., Yoon, H. J., & Lee, W. J. (2016). Estimates of Radiation Doses and Cancer Risk from Food Intake in Korea. Journal of Korean medical science, 31(1), 9-12.
13. 財團法人國家衛生研究院。<http://intakes.nhri.org.tw/food-intake-data/>
14. 農業委員會，2014。糧食平衡表。
15. 日本農林水產省。<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>
16. 衛生福利部食品藥物管理署，
<http://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?sid=2356>
17. 內政部，2015。
18. <http://pansci.asia/archives/77819>
19. http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2015/1259822_6844.html

20. Chen, J. (2013). Evaluation of radioactivity concentrations from the Fukushima nuclear accident in fish products and associated risk to fish consumers. *Radiation protection dosimetry*, nct239.
21. Povinec, P. P., & Hirose, K. (2015). Fukushima radionuclides in the NW Pacific, and assessment of doses for Japanese and world population from ingestion of seafood. *Scientific reports*, 5.
22. <http://www.tfrin.gov.tw/friweb/frienews/enews0073/p2.html>
23. <https://www.google.com.tw/maps/place/Fukushima+Daiichi+Nuclear+Power+Station/@37.4210924,141.0306091,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x6020dd48057a6a21:0x5c6983a9a9082bf8>
24. http://www.adp.noaa.gov/currents_map.html
25. Fisheries Agency of Japan. (2015) Report on the Monitoring of Radionuclides in Fishery Products.
26. http://www.icrp.org/consultation_viewitem.asp?guid=%7B07A7B32B-137B-4009-8F24-45A21B36B98B%7D
27. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
28. 衛生福利部。 <http://www.mohw.gov.tw/news/452742387>
29. Fisher NS, Beaugelin-Seiller K, Hinton TG, Baumann Z, Madigan DJ, Garnier-Laplace J., 2013. Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013 Jun 25;110(26):10670-5.]