

SCHISM程式及A2CDOSE海氣耦合分析於核電廠事故之應用



國家原子能科技研究院
黃培傑, 蔣宇, 楊子毅

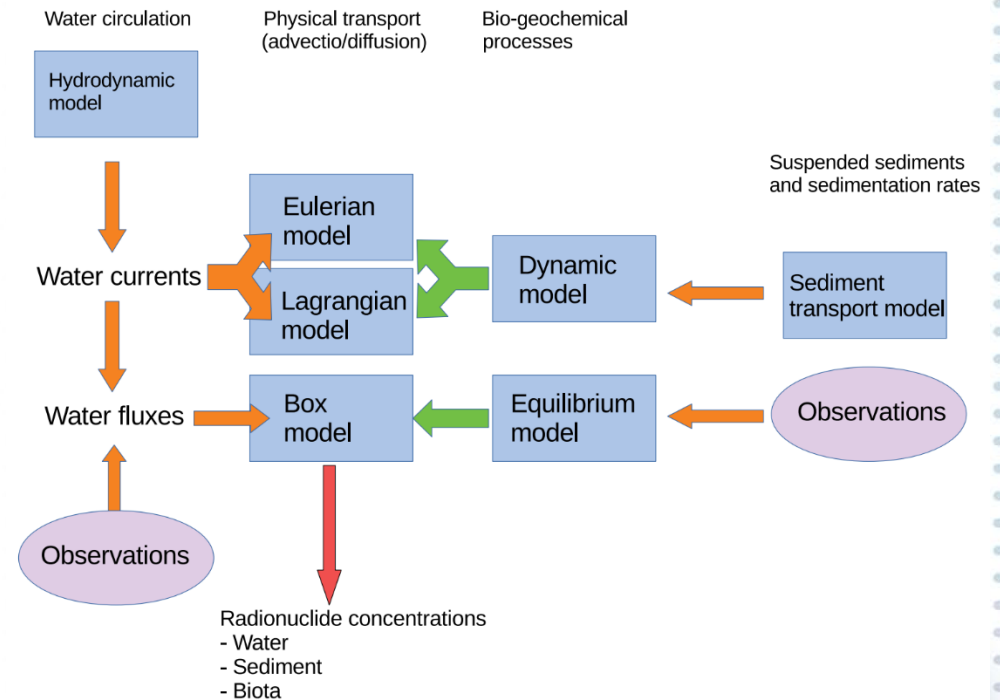
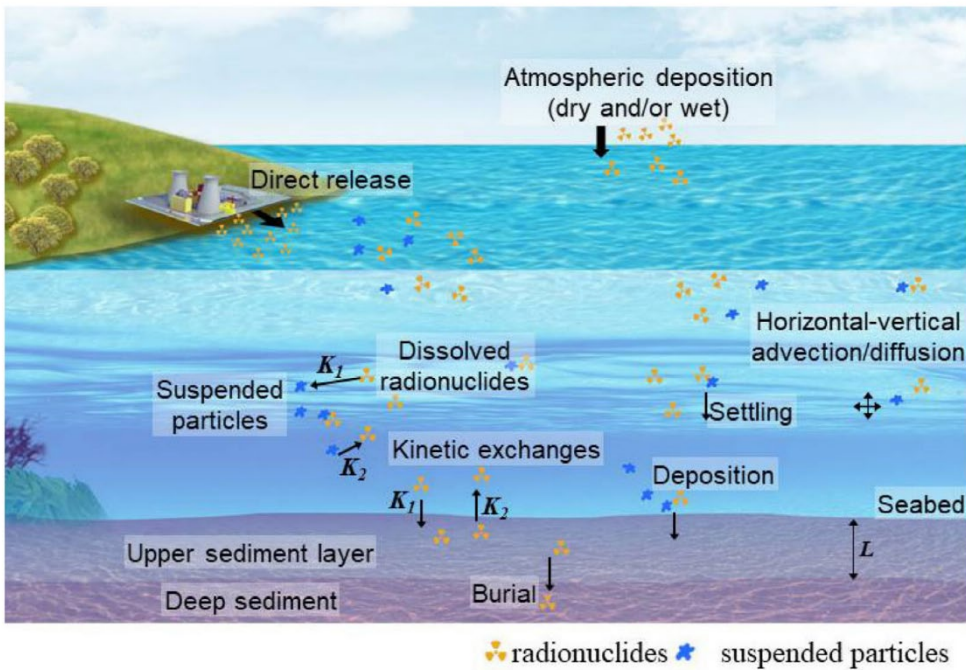
- 2011年3月11日發生福島核災，大量放射性物質透過**大氣**或**海洋排放**等途徑外釋到環境，嚴重影響福島第一核電廠周圍與太平洋海域安全，而台灣位於太平洋且鄰近區域設有數十座核電廠，對於潛在輻射外釋風險仍需建立先進之評估模式予以超前部署，防範未然。
- 目前核子事故常見之輻射擴散評估程式，多僅針對大氣亦或是海洋排放等**單一外釋來源**進行計算，尚無能同時模擬上述兩外釋來源之整合性程式，難以準確評估放射性物質實際透過水循環對於大氣及海洋造成之影響。

團隊技術發展之進程



1. Yu Chiang et al., Assessment of the Fukutoku-Okanoba pumice rafts dispersion model using the daily collection data from nuclear power plants seawater intake system, Nucl. Eng. Des. (2024) (已刊登)
2. Zi Yi Yang et al., A quick parameter configuration tool for SCHISM 's ocean transport simulation of radioactive materials. KERNTECHNIK (2024) (已接受)

- 輻射擴散評估程式主要由水文動力模式、**放射性物質傳輸模式**、生物攝食模式與沉積物傳輸模式等四個部分組成。
- 放射性物質外釋的來源主要分成兩種，一種為**直接排放到海洋中**，另一種為**擴散到大氣後，再沉降至海面**。

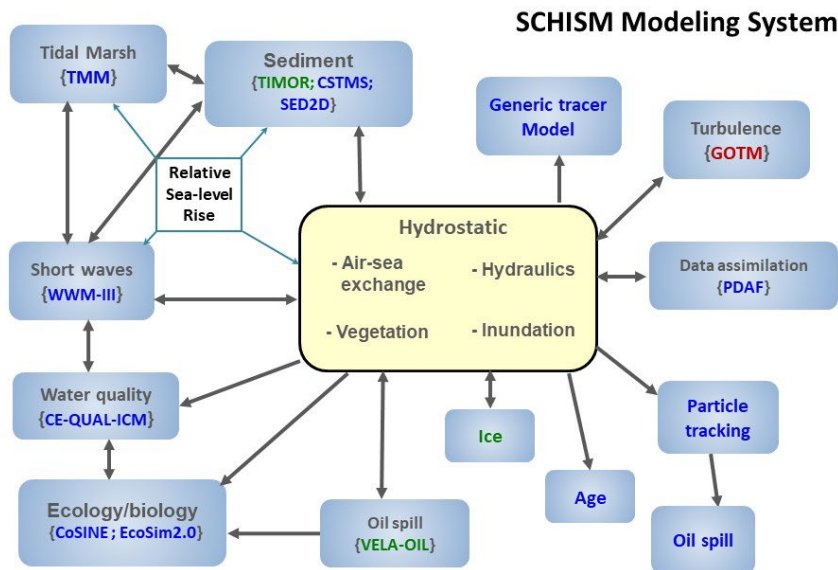


- 水文動力模式提供輻射擴散評估程式的**水循環參數**，其中水位、流速、溫度等參數都會影響到放射性物質的傳輸行為，尤其是**流速**影響最為顯著。
- 通常提供水循環參數的模式主要分為全球模式與區域模式，而兩種模式差異如下表所示。

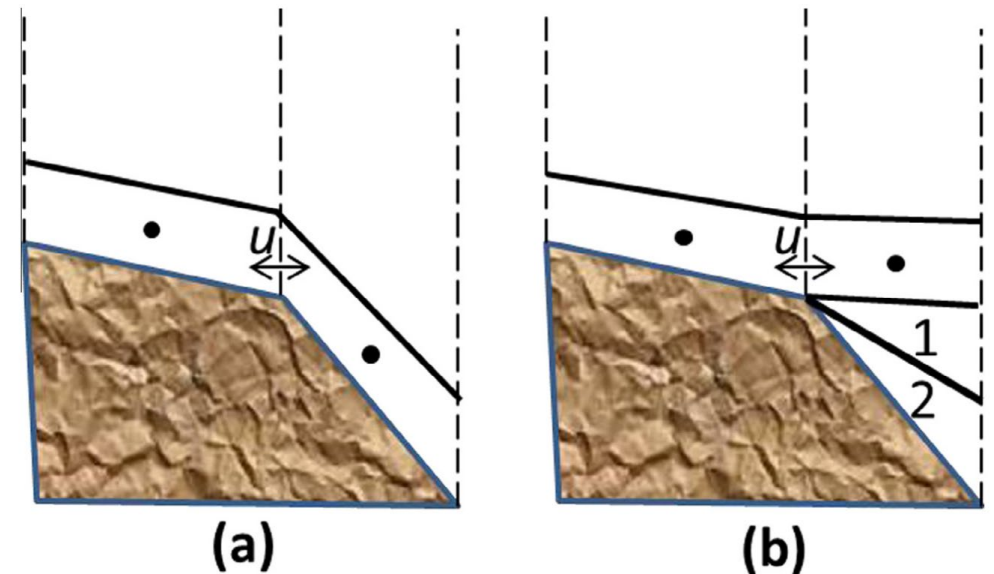
	計算方式	常見的模式
全球模式	由超級電腦運算的預報系統，每天或每三小時提供水位、流速、溫度等資料	HYCOM、NEMO、OFES
區域模式	利用三維納維-斯托克斯方程式進行數值計算，求解水位、流速、溫度等資料	ROMS、POM、 SCHISM



- SCHISM由美國威廉瑪麗學院Dr. Joseph Zhang團隊所開發，源自於美國奧勒岡健康與科學大學所開發SELFE模式之主要分支。
- 使用**非結構性**水平網格，可加密沿近岸網格或放疏海洋邊界網格，並使用半隱式數值方法讓時間步長放大至100至400秒間，能模擬長達數個月或數年間之案例。
- 垂直網格除了SZ網格，也加入**LSC²網格**設定，各節點可依照海底地形深度變化得到不同的垂直分層數，節省運算資源並加快運算時間。



Status of models: **Open-released** / **In-development** / **Free-from-web**
 {model name} / : Dynamic Core

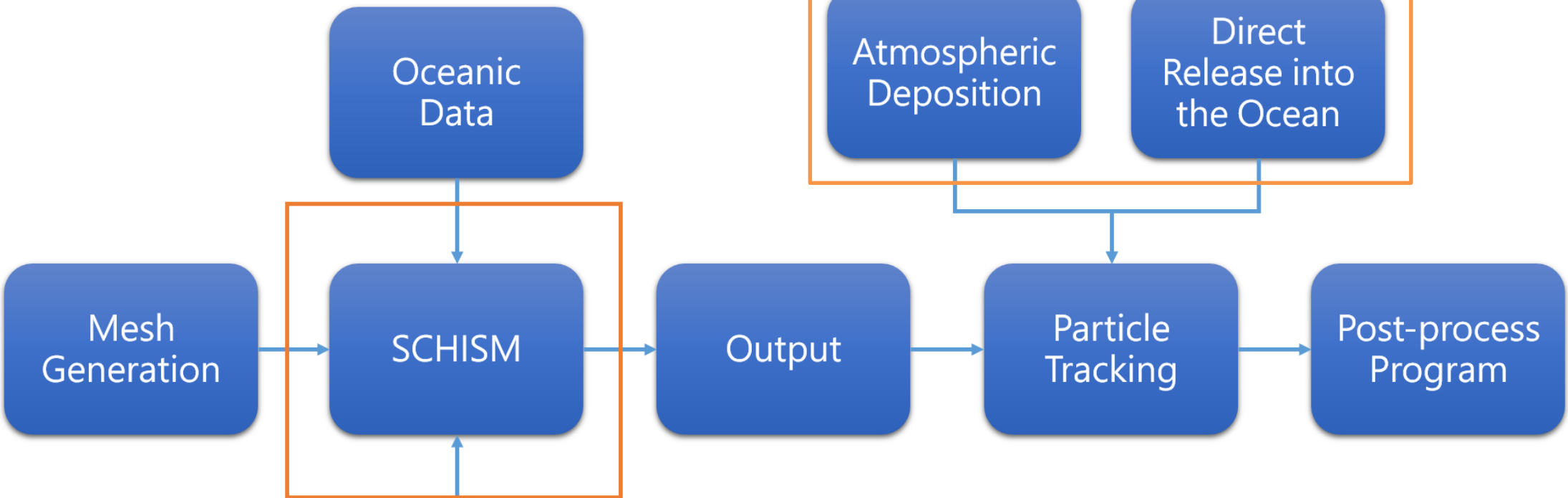


參考資料：Yinglong J. Zhang et al., A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model, Ocean Model. (2015)



海氣耦合方法架構

同時提供兩種射源項



	Database	Detail
Oceanic data	FES 2014 HYCOM	global tide water velocity, elevation, water temp., water salinity
Atmospheric data	CAMS/CFSR	wind speed, humidity, air pressure, air temp.

大氣沉降資料處理方法

- 選擇**A2CDOSE**大氣擴散評估程式作為放射性物質藉由大氣沉降至海洋表面之輻射劑量貢獻來源，取得不同時序下放射性物質大氣沉降之濃度分布。
- 藉由開發大氣沉降資料處理方法將**濃度分布**轉換成**顆粒投放**。

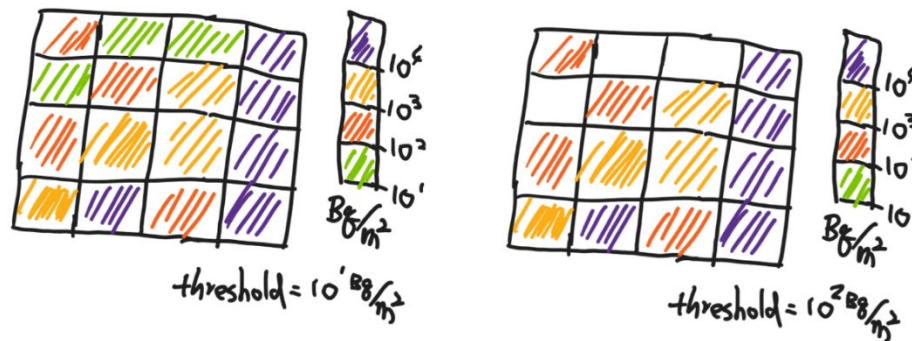
讀取A2CDOSE之放射性物質大氣沉降濃度分布

利用面積轉換為每個網格點之輻射劑量

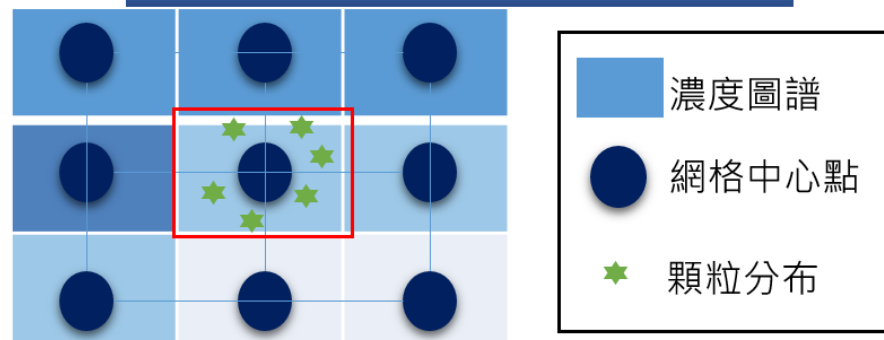
設定顆粒輻射劑量之閾值並搭配隨機亂數分布，確定顆粒投放位置

產生SHCISM顆粒追蹤模式之射源項檔案

閾值對濃度影響示意圖



顆粒隨機亂數分布於網格內

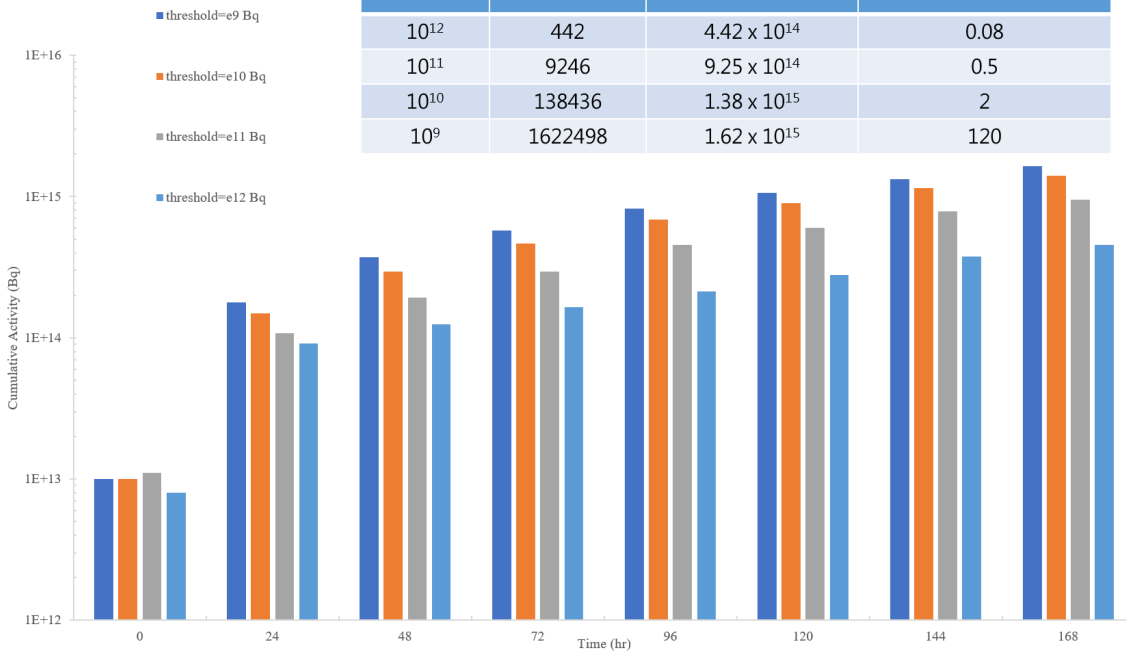


顆粒閾值測試

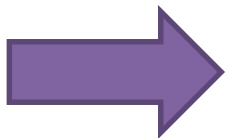
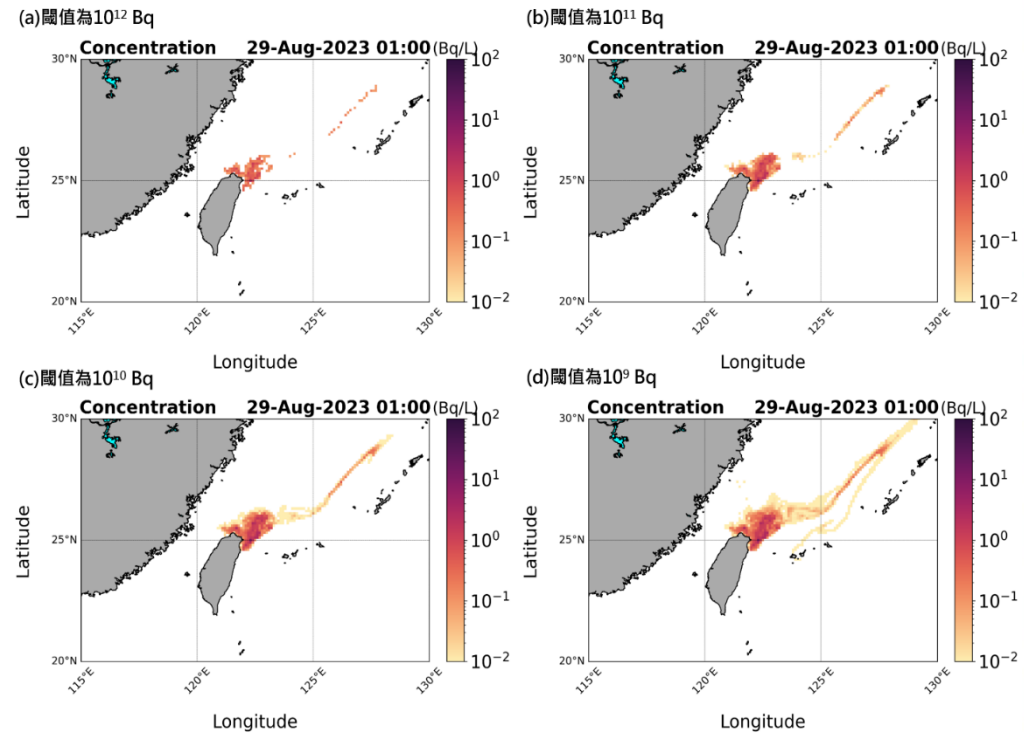
➤ 考量投放顆粒數量對於模擬放射性物質藉由大氣沉降所貢獻之輻射劑量準確性與最佳化之運算效率，給予設定投放**顆粒輻射劑量之閾值**來調整投放顆粒數量，以下為顆粒閾值靈敏度分析結果。

閾值與運算時間測試

閾值(Bq)	顆粒總數量(顆)	沉降總輻射量(Bq)	初始射源項產出與定網格繪圖所需時間(小時)
10^{12}	442	4.42×10^{14}	0.08
10^{11}	9246	9.25×10^{14}	0.5
10^{10}	138436	1.38×10^{15}	2
10^9	1622498	1.62×10^{15}	120



定網格繪圖測試(0.1度)

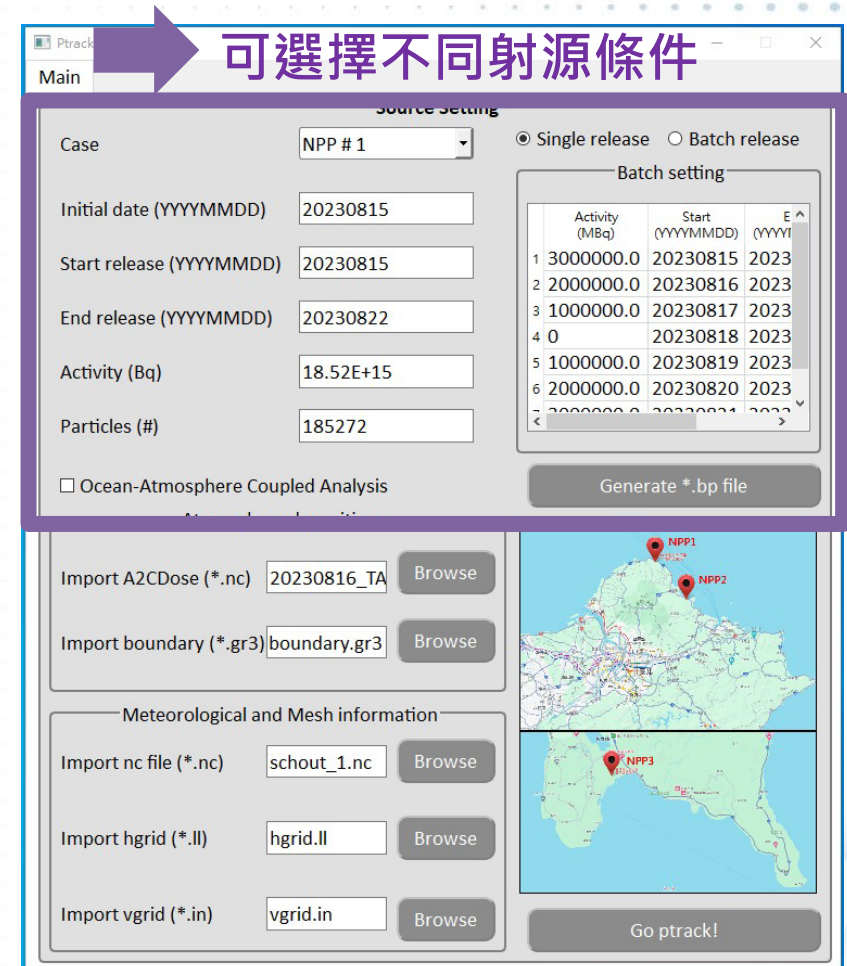
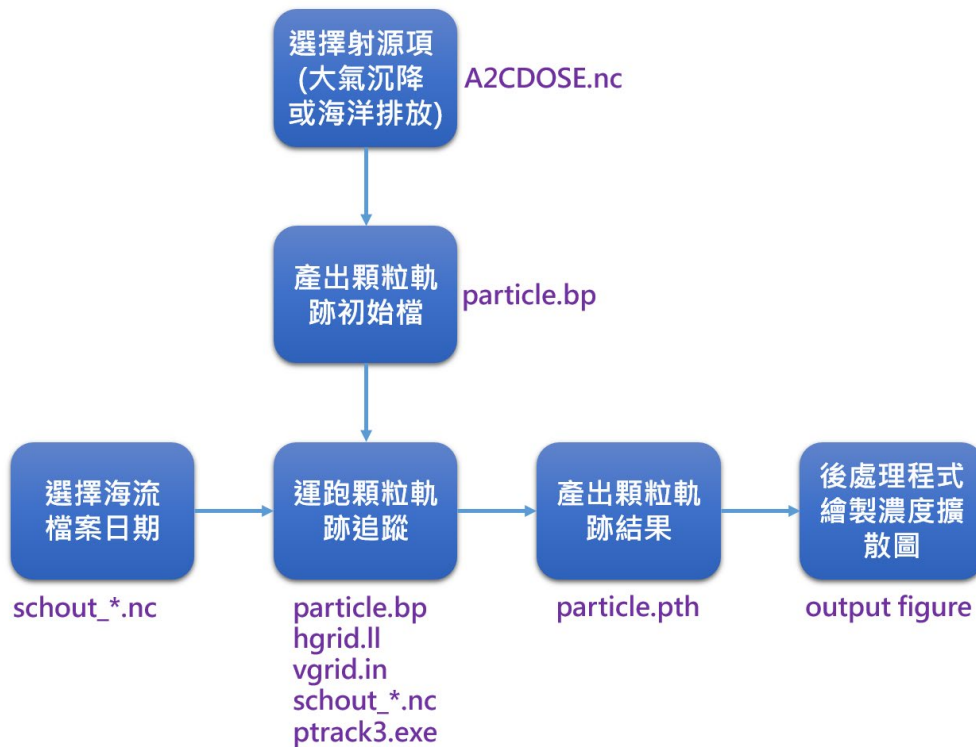


顆粒閾值為 10^{10} Bq，顆粒數量約20萬顆



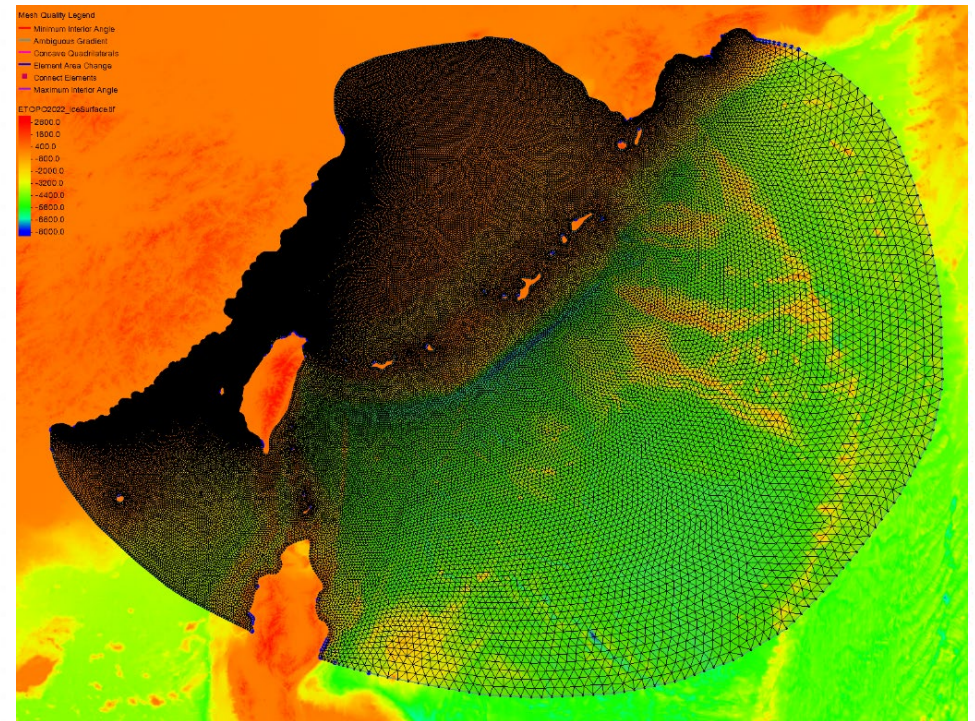
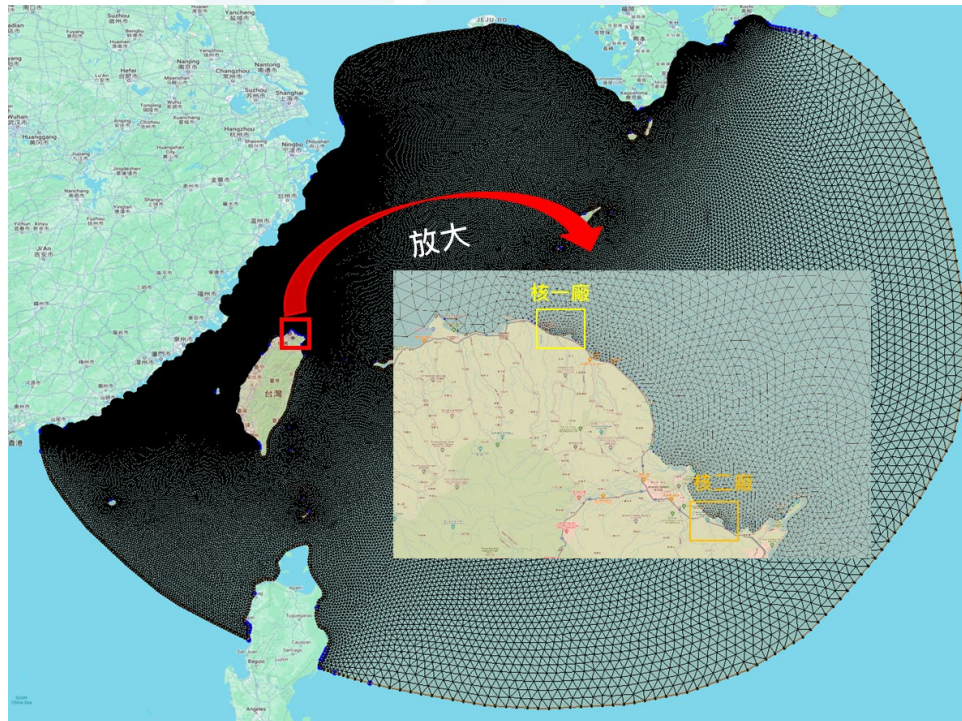
- 將大氣沉降資料處理方法與海洋批次排放串接，開發可提供**多時序**、**多批次**等不同射源條件之**放射性物質海氣耦合方法**，並將相關操作流程整合為視窗介面程式於**Windows**平台上運行。

使用流程



核一廠假想案例-網格

- 假設核一廠於2024年8月16日發生了放射性物質銫-137外釋事件，大量銫-137藉由大氣或海洋排放到台灣周圍海域，探討銫-137由核一廠外釋後對於台灣周圍海域之濃度擴散情形。



網格範圍涵蓋東經114.5至139.5度及北緯15至33.5度，海洋邊界網格解析度為20公里，台灣沿岸網格解析度為3公里，並加密核一廠與核二廠周圍網格，解析度為200公尺，此水平網格共有101,804個節點與200,975個元素。



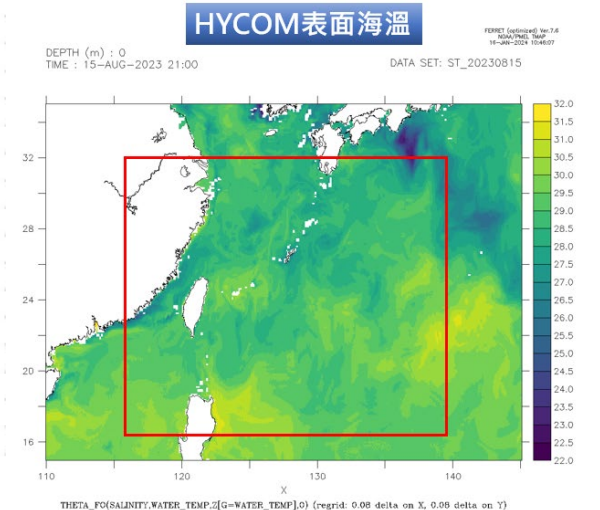
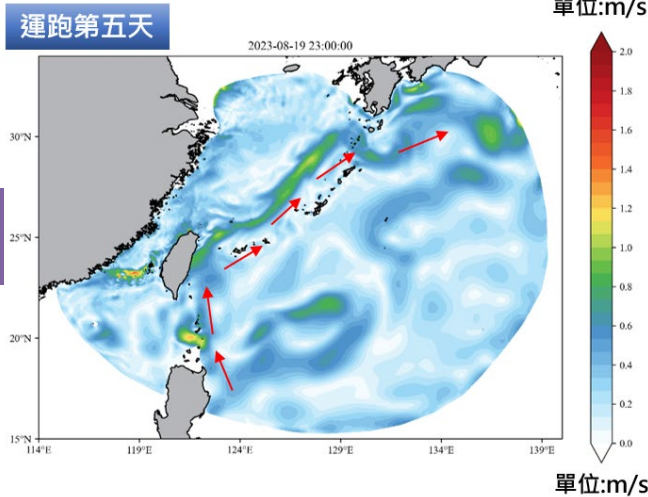
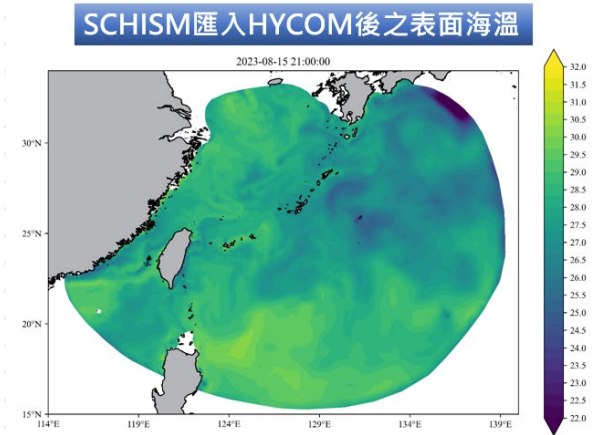
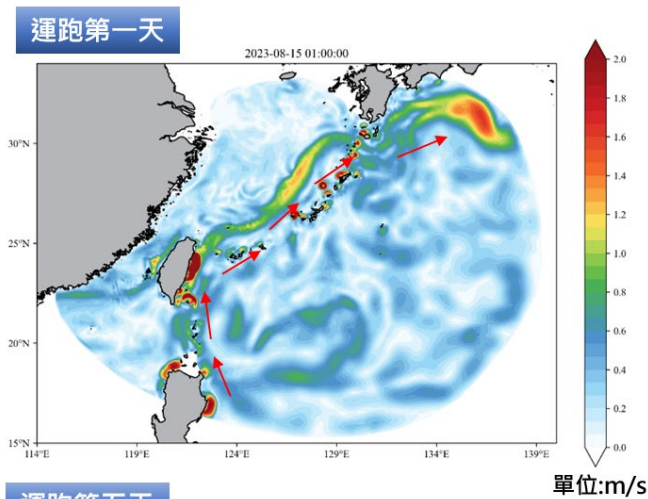
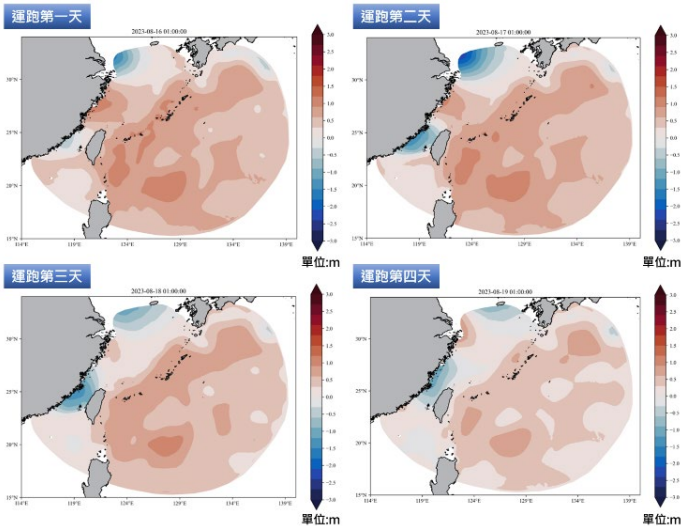
核一廠假想案例-水循環運跑結果

- 由於無法取得未來(2024年8月)的海氣象資料，利用2023年同時期的海氣象資料做為近似，運跑SCHISM計算自2023年8月15日至9月15日共1個月，輸出表面海高、流速、海溫來確認水循環參數之正確性。

表面海高

表面海流

表面海溫



確認海流模式之正確性



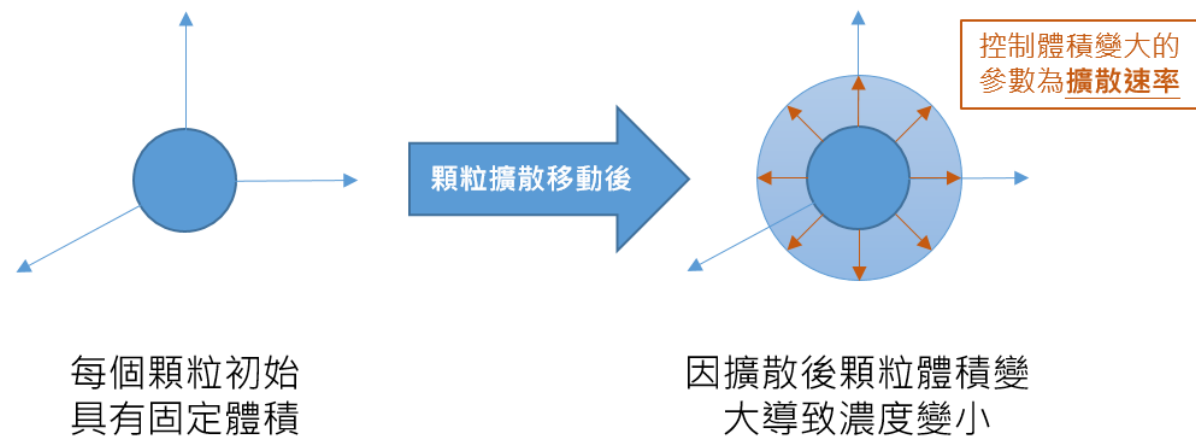
核一廠假想案例-情境假設

- 考量最佳運算效率之前提，將投放顆粒數量設定在15萬到25顆間，並設定以下5種排放情境，測試不同排放條件對於台灣周圍海域濃度擴散的影響。

情境	排放條件		顆粒總數量	顆粒閾值
	大氣沉降	海洋排放		
1	無	單批次排放 10^{15} Bq	100,000	10^{10} Bq
2	無	多批次排放 10^{15} Bq (連續4天)	100,000	
3	連續7天共排放 1.38×10^{15} Bq	無	138,436	
4	連續7天共排放 1.38×10^{15} Bq	單批次排放 10^{15} Bq	238,436	
5	連續7天共排放 1.38×10^{15} Bq	多批次排放 10^{15} Bq (連續4天)	238,436	

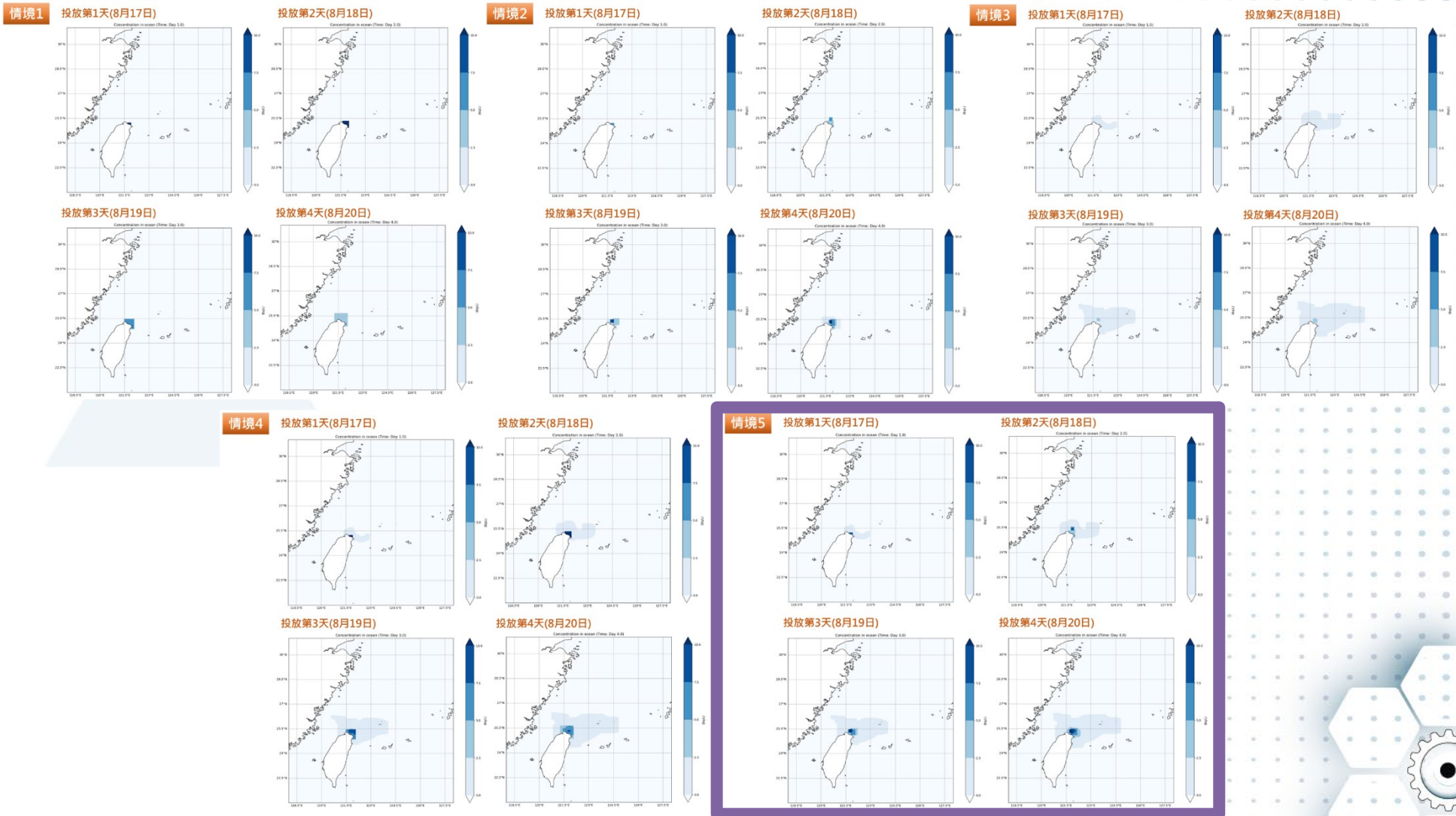


- 定網格繪圖所得到的濃度擴散趨勢圖雖可呈現濃度擴散的趨勢，但統計固定區域之顆粒數量再除上體積轉換成濃度的概念，因**顆粒不會消失**，若**顆粒不在統計區域內無法有濃度貢獻**，與水團濃度加總的概念差異大且無法呈現水團隨時間擴散後濃度下降的效果，**不符合實際的濃度擴散情形**。
- 因此將顆粒引入類似高斯煙陣的概念來修正濃度擴散如下圖所示，顆粒視為擴散中心並佔據固定的體積，當顆粒開始擴散時其**體積會隨著時間向外擴大**，而擴大的體積是由顆粒的擴散速度來控制，達到水團濃度會隨著時間擴散後下降的效果。

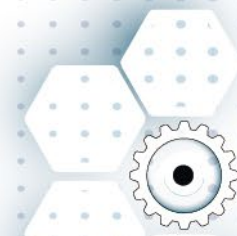


核一廠假想案例-濃度擴散結果

- 設定每個顆粒閾值為 10^{10} Bq，初始濃度為0.001 Bq/L，每天顆粒體積半徑增加10公里進行測試，討論事故發生後前4天(8/17-8/20)的濃度擴散情形。



- 為了在進行模擬放射性物質外釋，能夠更貼近實際的排放情形，藉由結合輻防所與中央氣象署合作開發之A2CDOSE大氣擴散評估程式既有技術，利用自主開發之大氣沉降資料處理方法結合SCHISM三維海流計算模式，可整合(1)放射性物質排放至**大氣後再沉降至海面上**，以及(2)**直接排放入海洋**等途徑，建立**多時序、多批次之放射性物質海氣耦合方法**。
- 利用**核一廠假想案例**進行放射性物質海氣耦合方法之可行性測試，同時也利用類似高斯煙陣的概念將**顆粒轉換成水團擴散**，透過5個假設情境來探討核一廠銻-137外釋後對於台灣周圍海域的濃度影響。
- 為了增加使用者體驗並簡化操作流程，將放射性物質海氣耦合方法、SCHISM顆粒擴散模式整合於**單一程式在Windows平台上運行**，完成放射性物質海洋擴散評估之海氣耦合程式之建置。



The background features a complex, layered design. On the left side, there is a vertical arrangement of white-outlined hexagons. Some of these hexagons contain blue gears of various sizes. The gears are rendered with a 3D effect, showing teeth and a central hub. The overall color palette is light blue and white, with a subtle grid pattern in the background. The right side of the slide is mostly blank white space, with the main text centered in the middle.

謝謝您的聆聽