

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ▶ 海廢的偵測與溯源－整合海洋廢棄物監測系統提案

Detection and Traceability of Marine Debris-Proposal for an Integrated Marine Debris Observing System

doi:10.29677/MR.202012\_(0).0004

Marine Research, 試刊號, 2020

海洋探索, 試刊號, 2020

作者/Author：廖建明(Jian-Ming Liao);顏寧(Ning Yen);翁健二(Chien-Erh Weng);李筱霞(Hsiao-Hsia Li);楊文榮(Wen-Rong Yang);卓訓杰(Chung-Che Cho);賴堅戊(Jian-Wu Lai);邱永芳(Yung-Fang Chiu)

頁數/Page：35-46

出版日期/Publication Date：2020/12

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.29677/MR.202012\\_\(0\).0004](http://dx.doi.org/10.29677/MR.202012_(0).0004)



*DOI Enhanced*

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



# Detection and Traceability of Marine Debris - Proposal for an Integrated Marine Debris Observing System

Jian-Ming Liao<sup>1</sup> Ning Yen<sup>2</sup> Chien-Erh Weng<sup>3</sup> Hsiao-Hsia Li<sup>4</sup>  
Wen-Rong Yang<sup>5</sup> Chung-Che Cho<sup>6</sup> Jian-Wu Lai<sup>7\*</sup> Yung-Fang Chiu<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Director, Marine Industry and Engineering Research Center, NAMR, Taiwan

<sup>2</sup> CEO, IndigoWaters Institute, Taiwan

<sup>3</sup> Professor, Department of Telecommuting Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology, Taiwan

<sup>4</sup> Senior Specialist, Ocean Conservation Administration, Ocean Affairs Council, Taiwan

<sup>5</sup> Assistant Research Fellow, Marine Industry and Engineering Research Center, NAMR, Taiwan

<sup>6</sup> Associate Research Fellow, Marine Science and Information Research Center, NAMR, Taiwan

<sup>7</sup> Research Fellow, Marine Industry and Engineering Research Center, NAMR, Taiwan

<sup>8</sup> President, National Academy of Marine Research (NAMR), Taiwan

## ABSTRACT

The risks and impacts of marine debris on the marine ecological, the marine environment, the safety of marine navigation and the marine resource development have become increasingly serious in recent years. In view of the fact that marine debris is affected by rainfall, river runoff, ocean and atmospheric dynamics and enters and drifts through the marine system. As a result, the problem of marine debris often cannot be successfully managed by a single administrative region or even a single country, because the work of tracking and tracing back or cleaning up the waste is more complicated and difficult than the problems on land.

In this study, we proposed an integrated marine debris observing system and described the current status of its key technology development. We hope that this system can be used to identify the types and coordinates of marine debris in a faster and more efficient way, and to improve the traceability of marine debris which drift by ocean currents and leeway. Eventually, a dynamic map of marine debris will be built to provide the development of marine debris management plans based on the spatial, temporal, and typological understanding of marine debris.

**Keywords:** Marine Debris, met-ocean environment monitoring, microplastic, object detection and image classification, dynamic marine debris map.

---

\* Corresponding author, E mail: laijw@naor.oac.gov.tw

## 海廢的偵測與溯源—整合海洋廢棄物監測系統提案

廖建明<sup>1</sup> 顏寧<sup>2</sup> 翁健二<sup>3</sup> 李筱霞<sup>4</sup>  
 楊文榮<sup>5</sup> 卓訓杰<sup>6</sup> 賴堅戎<sup>7\*</sup> 邱永芳<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 國家海洋研究院海洋產業與工程研究中心研究員兼代理主任

<sup>2</sup> 澄洋環境顧問執行長

<sup>3</sup> 國立高雄科技大學電訊工程系副教授兼副研發長

<sup>4</sup> 海洋委員會海洋保育署專門委員

<sup>5</sup> 國家海洋研究院海洋產業與工程研究中心助理研究員

<sup>6</sup> 國家海洋研究院海洋科學與資訊研究中心副研究員

<sup>7</sup> 國家海洋研究院產業與工程研究中心研究員

<sup>8</sup> 國家海洋研究院院長

## 摘要

海洋廢棄物對海洋生態環境、海域航行安全及海洋資源開發等造成的風險與衝擊日益嚴重，近年國際組織積極倡議世界各國應啟動新的政策來管理廢棄物，共同解決海洋垃圾所造成的問題。有鑒於海洋廢棄物受降雨、河川逕流、海洋及大氣動力作用影響，而進入海洋系統並進而漂移，使得海洋廢棄物的問題往往不是單一行政區域甚至單一國家能成功治理，因為不論是追蹤與溯源或廢棄物清理的工作，都較陸上的問題更為複雜、困難。

本研究提出一個整合海洋廢棄物監測系統的構想並報導其關鍵技術開發現況，期望透過更快更有效的方式標定海面或海灘上的廢棄物類別、坐標，以及提升海面漂流物在海流及風壓作用下的漂流軌跡追蹤與溯源技術。最終將建置海廢動態地圖，提供國內甚至跨國合作在研擬海廢治理方案時，能在基於對海洋廢棄的空間、時間及類型的掌握下對症下藥。

**關鍵詞：**海洋廢棄物、海氣環境監測、塑膠微粒、物件偵測與影像分類、動態海廢地圖

\* 通訊作者 E mail: laijw@naor.oac.gov.tw

## 一、前言

根據聯合國環境規劃署(UNEP)定義海洋廢棄物係指海洋中丟棄、處置或遺棄的任何持久性、製造或加工的固體材料。它主要是來自人造或生活日常的物品，被故意丟棄或不慎丟失到海裡或河流或海灘上，隨著河流、污水、暴雨或大氣動力間接流入大海。海洋廢棄物會產生各種負面的環境、經濟、安全、健康和文化等方面的影響，大多數海洋垃圾的分解率很低(如占比最多的塑膠)，導致在沿海和海洋環境中逐漸積累而達到引發全球關注的熱議。近年，許多調查報告指出，包括魚類、鯨豚類、海龜及海鳥等海域生物攝入塑膠製品的情況；此外，漁具纏繞也成了海洋哺乳動物、底棲生物群等另一項威脅；海洋廢棄物更成了海洋環境中化學污染物的主要來源。海洋廢棄物對經濟影響是明顯的。在海灘上，特別是海岸遊憩區之海洋廢棄物導致遊客觀光意願下降，使得政府部門不得不支付大量的清理費用。在海上，漂浮的海洋廢棄物可能會危及海上航行安全，而漁網捕獲的垃圾也造成了漁民們的困擾。

海洋廢棄物的生命週期，從產生的垃圾在一段時間內漂浮或被沖到海床上，並進一步碎片化。因此，近年國際組織積極倡議世界各國應啟動新的政策來管理廢棄物，以解決海洋垃圾問題。有鑒於海洋廢棄物受降雨、地表逕流、海洋及大氣動力作用影響，進入海洋系統並進而漂移，使得海洋廢棄物的問題往往不是單一行政區能成功治理，不論是追源或廢棄物清理的工作，都較陸上的問題更為複雜、困難。爰此，本研究研擬可朝向作業化運作之整合海洋漂流廢棄物監測系統(Integrated Marine Debris Observing System, IMDOS)，該系統將包含海洋廢棄物的偵測識別及漂流追跡模擬兩大功能，期望後續推動西太平洋各國在海洋廢棄物監測之能量建構(Capacity Building)，並建立以臺灣為區域中心之海洋廢棄物監測與追蹤的技術支援及資訊匯集平臺。

## 二、文獻回顧

### 2.1 海洋廢棄物的實況

Walther et al.(2018)分析臺灣「荒野保護協會」在 2004 年 10 月至 2016 年 12 月間，共計 541 次海灘廢棄物清理活動中收集到的 19 類廢棄物的數據。記錄中有五類垃圾最為顯著，分別是塑膠購物袋、塑膠瓶蓋、免洗餐具、漁具和塑膠吸管等。他們估計在 12 年內，約有 370 萬至 790 萬件，總重量為 560 至 1110 公噸的塑膠垃圾污染了臺灣海岸。作者們並對於改善數據收集的品質提出建議，並報告了海洋廢棄物數據庫對於我國海廢治理政策的影響。另一方面，Yen(2019)與我國 EPA (2020)於臺灣本島與離島進行海岸廢棄物快篩，分析海洋廢棄物之空間分佈與主要垃圾種類，如圖 1 所示。根據其數據統計顯示，保麗龍發泡之浮球、碰墊、魚箱以及硬質塑膠之漁業浮球、

漁網繩索等漁業相關用具分別占了 40.1% 和 31.3%，而塑膠瓶罐則占了 20.5%，為我國海灘之主要廢棄物種類。值得一提的是，發泡材質具有顯著的區域特性，特別集中於離島與臺灣本島的北海岸與西南海岸。在塑膠微粒的調查方面，新興科技媒體中心(2020 年)發表去年九月間我國學者在東部海域調查的結果，分析結果顯示每 1000 公噸的黑潮海水含有約 50 片 1 至 5 毫米大小的塑膠微粒，且隨著黑潮從臺東流至蘇澳外海，塑膠微粒含量更增加 5 倍。

二十世紀中葉，塑膠的商業化大規模生產的出現，以及隨後的消耗量呈指數級增長，到 2015 年估計達到 4.07 億公噸(Geyer et al., 2017)，這也導致 2010 年有 480 萬至 1270 萬公噸的塑膠垃圾從陸地進入海洋，累計估計有 1.2 億噸(Jambeck et al., 2015)。塑膠占海洋廢棄物的大部分，是海洋廢棄物中最持久的部分，如 Cózar et al. (2015) 分析的海廢樣本中 88% 由塑膠組成。在沒有全面規範海洋污染的國際法的情況下，1988 年國際海事組織(International Maritime Organization)發佈了《防止船舶污染國際公約》(MARPOL Annex V2)，以防止船舶垃圾污染海洋。但是其防治範圍僅限來自船舶的污染，未能對陸源污染源進行管制。

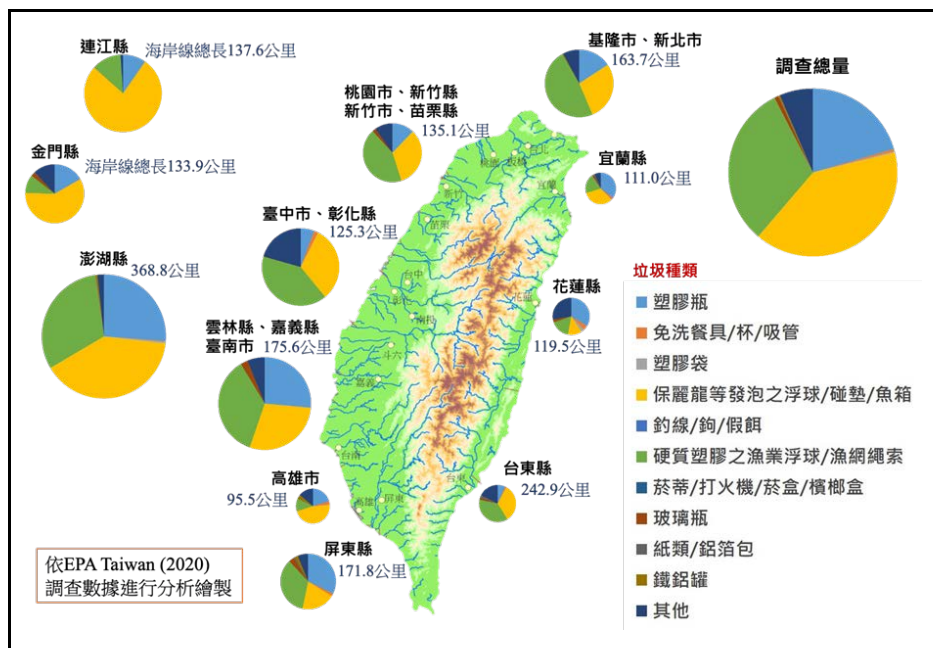


圖 1 臺灣周遭海岸廢棄物快篩之分區海廢種類統計圖

## 2.2 海洋廢棄物的追蹤

漂浮的海洋廢棄物是當今公認污染影響海洋環境最普遍的問題之一，而這類污染物對生態系統造成的危害日益嚴重(Gregory, 2009)。值得注意的是大多數研究都是針對小顆粒粒子進行漂流模擬，然而不同形狀的海洋廢棄物在風和洋流的作用下於海洋



漂流聚集過程中，其漂流路徑卻不一定相同，這些不確定性增添了對海廢漂流追蹤的困難度。大部分海洋廢棄物漂流在上層海洋及其混合層，而此區之水動力機制非常複雜。雖然早在 15 到 17 世紀大航海時代就已發展出基於船舶所測得的漂移數據集而繪製海面洋流圖，然而洋流在各種尺度上非常複雜，因此海面洋流圖的準確性也未能滿足對漂流追蹤的需求。Wakata 和 Sugimori (1990)利用 Meehl (1982)所提出 5 度網格之四季流場圖，模擬了粒子的漂流軌跡，並推算出粒子在不同季節的聚集區域。他們發現海域上存在著粒子聚集區，而這樣的聚集區可以達到數百公里。但是由於當時的觀測時空解析度較

(Geostrophic Current)、艾克曼流(Ekman Current )和斯托克斯流(Stokes Current)結合，對北太平洋的海洋廢棄物漂流進行了模擬推估，在他的研究中，漂流物最後聚集在夏威夷群島北側海域。後來，Kubota et al. (2005)利用衛星地轉流和海面風數據，對模擬進行了改進，其結果顯示海洋廢棄物最終的聚集區進一步向東移到了夏威夷東北部，更接近著名的太平洋垃圾場(Great Pacific Garbage Patch)的位置。這些研究為海洋廢棄物源與匯(Source and Sink)的追蹤提供了重要的研究成果，然而由於模式中造成海面匯流所利用的艾克曼流多是相對簡單的黏性恆定模型估計，與現地觀測及混合層模型存在著矛盾，而影響其精確度。

因此，為瞭解海洋廢棄物的動態、監測其分佈變化以及減緩其影響，一個可提供大範圍覆蓋面和具準確性的海洋廢棄物觀測系統是必要的。如整合海洋廢棄物觀測系統(IMDOS)即是參考 MSFD (2013)及 GESAMP (2019)為基礎，以各種海洋廢棄物及其在海洋環境中的整個生命週期，優化和擴大既有的觀測網路。根據不同類型的海洋廢棄物的特性和影響，以及正在使用或未來可能使用的觀測技術，從中找到如何將直接觀測、遙感探測和數值建模結合起來，組成跨國甚至全球的觀測系統構想。

### 三、整合海洋廢棄物監測系統提案

#### 3.1 整合海洋廢棄物監測系統的目標與架構

由於觀測儀器或數值模式等海洋監測技術多存在著限制，因此 IMDOS 應利用各種技術整合組成，收集現場觀測和遙感環境資料，並透過數值模式和理論分析進行互補(Maximenko et al., 2019)。變數清單至少需包括海洋廢棄物的濃度、成分、來源和途徑等，以凸顯海洋廢棄物的分佈型態、確定堆積區，並監測其在時間域上的變化和趨勢。IMDOS 將有助於確定主要來源，並量化廢棄物進入海洋系統的路徑與量體，估計不同範圍(如上層海洋、水團、海床、海岸線等)的總數量(Hardesty et al., 2017; GESAMP, 2019)，改善對海洋廢棄物總量推估的差距，並描述不同區域之間的連通與關聯。因為

不同類型的廢棄物可能來自不同的來源，沿著不同的路徑運輸，對環境和人類活動產生不同的影響(Pieper et al., 2019)。因此 IMDOS 的儀器系統的選擇，應根據區域海洋廢棄物組成的數據，為特定區域進行優化。

IMDOS 的關鍵目標是監測和評估海洋廢棄物所帶來的風險，包括廢棄物在海洋系統中的濃度以及海洋廢棄物造成海洋環境系統的危害。然而，人類至今對這兩個風險變數仍存在很大的知識差距，例如科學界仍不清楚如何精確地測量一個區域的廢棄物數量，因此如何推算區域廢棄物通量(Flux)，仍需更進一步的科學研究。此外，透過國際合作將包含生態系統、生物多樣性、氣候和海洋活動和海域安全等監測系統之數據結合，將有助於對極端情況進行診斷，減緩和應對這些風險，並評估應處措施的有效性。參考 Maximenko et al.(2019)對 IMDOS 的構想，系統主要由現場觀測、遙感探測及數值模式等三種方法組成。首先，對海洋廢棄物的直接觀測將提供「地真(Ground-truth)」資訊，是 IMDOS 最關鍵的部分，同時透過多種儀器來測量不同的變數和廢棄物類型，這包括在公海、沿海沿岸地區、河川溪流和地表集水區、水體和海底層，也包括對廢棄物的豐度進行監測，以瞭解監測海洋廢棄物密度、空間形態和組成的變化。再者，遙感探測如衛星或雷達等，提供了長時、近乎均勻和大尺度覆蓋的觀測特性，填補稀疏的現地觀測空白。整合觀測系統將解決包括控制廢棄物動態的物理過程的尺度，以及海洋廢棄物的重要來源和堆積區及其變異性的尺度等時空問題。整合海洋廢棄物監測更將發展透過與現場觀測網或數值模式的數據比較，對遙測進行校準驗證。另一方面，數值模式和科學分析將在 IMDOS 設計、實施和數據分析的各個階段發揮重要作用。數值模式的優勢是可以為極度稀疏的觀測數據提供全域動態資訊，填充觀測數據之間的盲區(Hardesty et al., 2017)。此外，動態數值模式可以提供海洋廢棄物的漂移、散佈和聚集過程的資訊，讓我們更瞭解海洋廢棄物的宿命(Fates)。數值模式還支撐觀測系統模擬實驗(Observing System Simulation Experiments, OSSE)，使得 IMDOS 觀測網的結構設計，得以在數值模擬的輔助下進行調整及最佳化。

IMDOS 的發展重點是海洋表面或上層的廢棄物漂移，這將推進監測洋流、海浪和海面風及其對廢棄物運動影響之相關技術提升(如 Fraser et al., 2018; Putman et al., 2018)。有關 IMDOS 的建置，我國可先以各涉海單位既有之作業化海洋調查能量為基礎，進行資料整合，並依 OSSE 之分析結果進行中長期規劃，逐步強化完善監測網。此外，我們仍需投入更多針對海洋廢棄物追蹤的研究，以瞭解造成廢棄物特性變化的原因，及其對生態系統、經濟和其他因素的相互作用等過程，以改善 IMDOS 產出之數據與資訊產品，並滿足終端使用者需求。

## 3.2 整合海洋廢棄物監測系統的關鍵技術

根據前述海廢監測技術盤點，IMDOS 仍有許多待突破的技術缺口，本節就國海院近期發展之技術構想與初步成果分述如下，包括加速偵測、分類和量化在河口、海岸與海域空間中海洋廢棄物的技術，以及海洋廢棄物的漂流追蹤與溯源技術。

### 3.2.1 海洋廢棄物的偵測技術

#### (1) 塑膠微粒快速偵測

現行科研船對海洋塑膠微粒的調查方式，通常是從實海採樣並送回實驗室處理及分析，所有樣本必須先將有機物去除及分離雜質的前處理、再利用儀器進行分析與人工標記，每個樣本通常需要經過長時間的採樣分析過程，耗費人工且量化方式不一。具體而言，根據文獻指出目前主要有三種方法，一為親脂性螢光染劑的尼羅紅染色法 (fluorescent dye)、二為光學分析法，如傅里葉轉換紅外光譜法 (FTIR) 或拉曼光譜法 (Raman)，三則是使用顯微鏡進行辨識。雖然使用尼羅紅染色法仍有其侷限，對於疏水性較低之聚合物其螢光訊號顯現較弱，但仍是較為快速簡單的檢測方法，而且該方法已被證明在定量分析小型聚乙烯，聚丙烯，聚苯乙烯，和尼龍 6 號顆粒較為有效 (Gabriel Erni-Cassola, 2017)，因此廣泛地被應用在海洋塑膠微粒的調查作業中。

為了能得到即時的海域塑膠微粒分佈情形，以及擴大順路觀測船參與調查的可能，我們著手研發一套可以隨船採樣並分析的海洋塑膠微粒自動化偵測系統，實現塑膠微粒快篩，近即時地瞭解海洋中塑膠微粒的分佈情形。本次研究設定針對體積尺寸小於 5 毫米之海洋塑膠微粒做為系統開發之主要偵測物件，從抽水採樣、前處理到分析等進行自動化流程的設計，其中的關鍵技術及實驗室模擬染色及辨識流程及初步成果如圖 2 所示，未來將再進行實海測試持續改善。

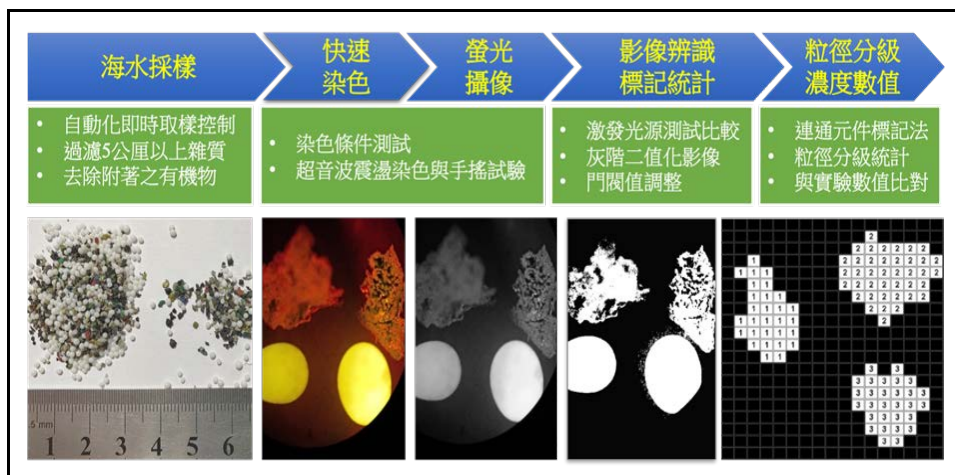


圖 2 塑膠微粒快篩作業流程及初步成果



## (2) 海洋廢棄物影像分類與定位

在 2010 年所舉辦的視覺辨識競賽(ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition, ILSVRC)，ImageNet 提供數百萬張已被手動注釋的圖像資料庫，帶起了深度學習(Deep Learning)的熱潮，在這樣的架構下，各種不同的卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)分類器相繼誕生(如 Alexnet、GoogLenet、VGG 和 ResNet 等)，在 2015 年 ResNet 的圖像分類能力更已超越了人類判斷的精準度。近年來，基於 CNN 之物體偵測演算法不斷進化，使得物件位置偵測和物件辨識一步到位，實現即時地、同時地偵測影像中多類別物體。

為了實現對廣闊的海面或海岸帶上漂流、堆積的海洋廢棄物在時間和空間分佈的地真狀況掌握，我們提出一套可以利用河道、海岸等處監視器及空拍影像進行海洋廢棄物的物件位置偵測和物件識別技術，如圖 3 之作業流程和初步成果。後續還將陸續以荒野保護協會所提出之 19 項海洋廢棄物分類法，進行訓練學習建立模型，透過機器學習技術計算各類別廢棄物之個數及位置座標，輔助加速海面及海灘之海洋廢棄物快篩及定位。

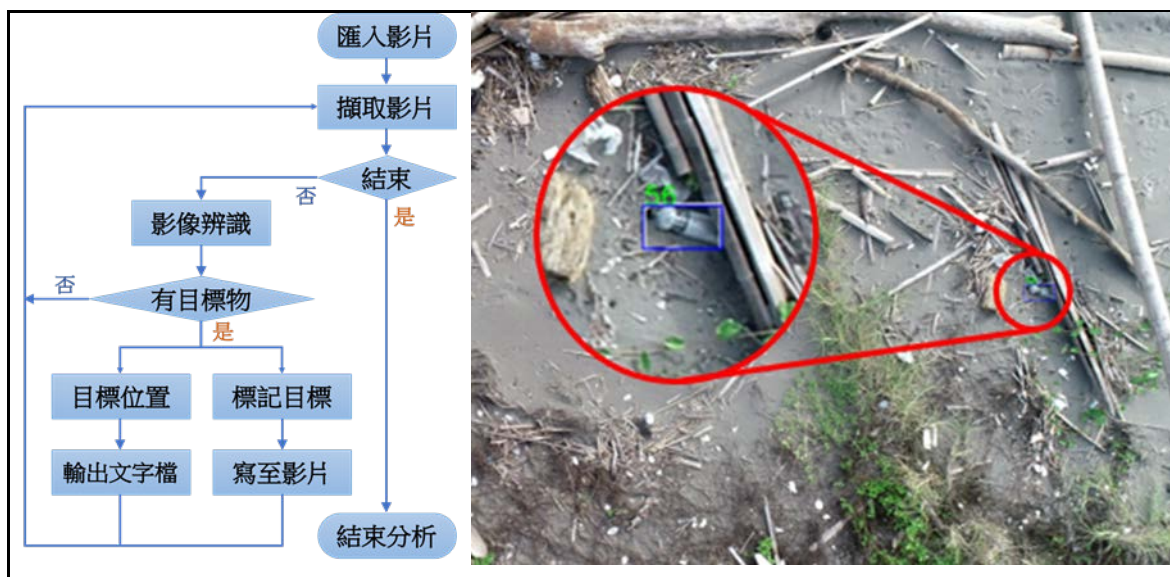


圖 3 人工智慧應用在海洋廢棄物分類與定位(左：作業流程；右：偵測範例)

### 3.2.2 海洋廢棄物的追蹤與溯源技術

海面之海洋廢棄物漂流主要受到風及表面海流的推移，因此精準掌握海面風場與海流流場的特性是漂流模擬追蹤與溯源成功的重要關鍵。然而，漂流物的幾何形狀、在海表面載浮載沈的樣態都使得其漂流過程中充滿了不確定性，因此針對不同類型廢棄物的風壓差(Leeway)係數測定是首要之務。為了掌握海洋廢棄物漂流可能的方向與

速度機率，我們嘗試透過蒙地卡羅法(Monte Carlo method)進行質點追蹤，輸入海面之流場與風場資料，配合不同類型海廢之風壓差特性，實現動態海廢追蹤預測。此一技術除了可以應用在長期分析統計，推估海廢熱點，亦可用以預測異常污染事件之海廢動向追蹤或逆推其來源，建構動態海洋廢棄物地圖。相關應用如圖 4 中分析了季節性海岸帶的海廢熱點以及暴雨事件後河口排出之廢棄物追蹤等二案例所示。

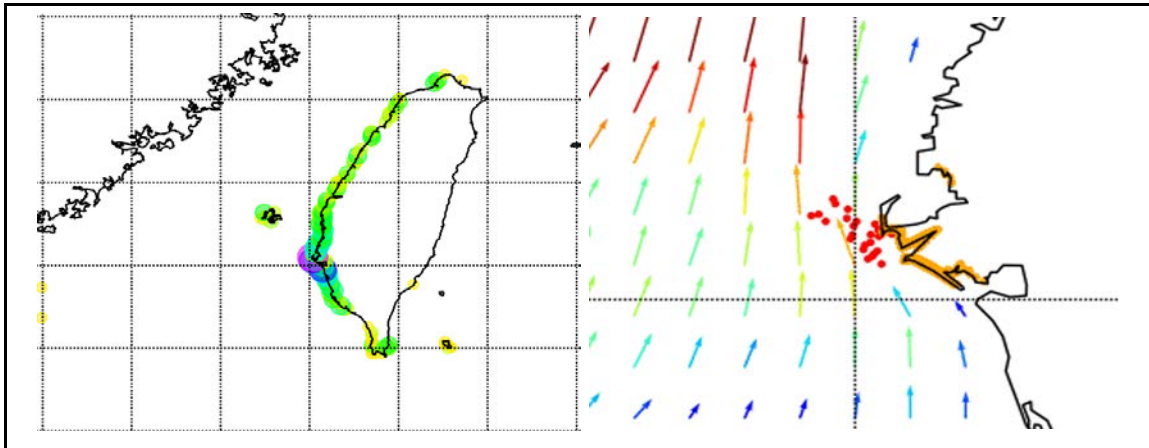


圖 4 海廢漂流追蹤與溯源技術之應用實例(左：熱點分析；右：漂流動態追蹤)

### 3.2.3 海洋廢棄物資料整合系統架構

為了使 IMDOS 對海洋廢棄物監測及追蹤與溯源所產出之資料對海廢治理發揮實際的應用效益，一個以國家海洋資料庫為基礎，整合中央與地方、公部門與民間團體、社會大眾與學校教育可資運用的整合式資料庫及資訊平臺，其架構如圖 5 所示，將可做為海廢實況的掌握與應處、海廢治理政策制定等參考，達成消滅海廢的理想。

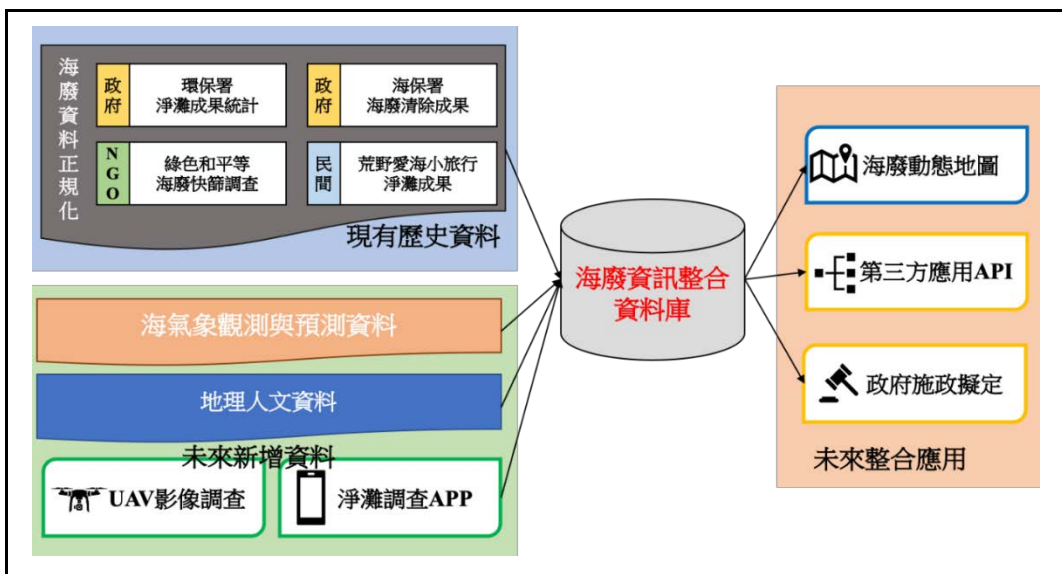


圖 5 海洋廢棄物資料整合系統架構

## 四、結論

聯合國宣佈的「海洋科學促進永續發展十年」(2021-2030 年)做為永續發展目標 14.1 的一部分，其具體目標是到 2025 年防止並大幅減少各種海洋污染，包括海洋廢棄物。近年各種跨政府、公民積極推動海洋廢棄物議題的宣傳及治理行動，期望能透過這些活動，讓政府、公眾、和民間社團參與打擊海洋廢棄物的工作中，來改變習慣、做法、標準和政策。

為克服至今對於海洋廢棄物特性的知識差距，本文介紹了近年世界各地倡議發展海洋廢棄物監測系統的相關提案，並就海洋廢棄物監測發展趨勢之技術缺口，簡述了幾項國家海洋研究院之技術發展構想與目前的成果，期望透過觀測、模擬與學理兼具的整合系統，未來能建置適合我國運行的整合海洋廢棄物監測系統，實現海洋廢棄物的追蹤與溯源，為海洋廢棄物治理提供充足的資訊，做為治理方案決策之依據。

## 謝 誌

感謝 2019 年總統盃黑客松海波浪團隊成員馬拉松式的腦力激盪和比賽期間大會安排的講師與評審給予的指導，以及 2020 年 APEC 第一次資深官員會議(SOM 1)海洋及漁業工作小組(OFWG)各經濟體代表對提案的反饋意見，使這個整合海洋廢棄物追蹤與溯源的構想與實作，得以逐步完善。本研究之成果主要來自國家海洋研究院 109 年度「海廢流場預測模式建立」計畫，計畫編號 MM10903-0659，計畫執行及撰文期間，感謝國海院吳朝榮前副院長指導。

## 參考文獻

- [1] Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, I., Ubeda, B., Gálvez, J.Á., Irigoien, X., Duarte, C.M. (2015), Plastic accumulation in the Mediterranean Sea, PLOS One 10 (4), e0121762.
- [2] Environmental Protection Agency Taiwan (2020), The initial analysis of the first-round rapid assessment data, Internal report (Department of Environmental Sanitation & Toxic Substance Management). Unpublished. (in Chinese)
- [3] Fraser, C. I., Morrison, A. K., Hogg, A., Mc, C., Macaya, E. C., Van Sebille, E., et al. (2018), Antarctica's ecological isolation will be broken by storm-driven dispersal and warming, Nat. Clim. Change 8, pp. 704–708.
- [4] Gabriel Erni-Cassola, Matthew I. Gibson, Richard C. Thompson, and Joseph A.

Christie-Oleza (2017), Lost, but found with Nile red; a novel method to detect and quantify small microplastics (20  $\mu\text{m}$ –1 mm) in environmental samples, *Environmental Science & Technology*. 51. 10.1021/acs.est.7b04512.

- [5] GESAMP (2019), Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean, (eds Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F.), London, UK, GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, pp. 130 (GESAMP Reports and Studies, No. 99).
- [6] Geyer, R., Jambeck, J. R., and Law, K. L. (2017), Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci. Adv.* 3: e1700782.
- [7] Gregory MR. (2009), Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions, *Philos Transac R Soc Lond B: Biol Sci* 2009;364:2013–25.
- [8] Hardesty, B. D., Harari, J., Isobe, A., Lebreton, L., Maximenko, N., Potemra, J. (2017), Using numerical model simulations to improve the understanding of microplastic distribution and pathways in the marine environment, *Front. Mar. Sci.* 30, pp. 1-9.
- [9] Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. (2015), Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science* 347, pp. 768–771.
- [10] Kubota, M. (1994), A mechanism for the accumulation of floating marine debris north of Hawaii, *J. Phys. Oceanogr.* 24, pp. 1059–1064.
- [11] Kubota Masahisa, Katsumi Takayama and Noriyuki Horii (2005), Movement and accumulation of floating marine debris simulated by surface currents derived from satellite data, Abstracts of First International Workshop on Marine Litter in the Northwest Pacific Region, pp. 57-60.
- [12] Maximenko N., Corradi P, Law K. L. , Van Sebille E., Garaba S. P., Lampitt R. S., Galgani F., Martinez-Vicente V., Goddijn-Murphy L., Veiga J. M., Thompson R. C., Maes C., Moller D., Löscher C. R., Addamo A. M., Lamson M. R., Centurioni L. R., Posth N. R., Lumpkin R., Vinci M., Martins A. M., Pieper C. D., Isobe A., Hanke G., Edwards M., Chubarenko I. P., Rodriguez E., Aliani S., Arias M., Asner G. P., Brosich A., Carlton J. T., Chao Y., Cook A. M., Cundy A. B., Galloway T. S., Giorgetti A., Goni G. J., Guichoux Y., Haram L. E., Hardesty B. D., Holdsworth N., Lebreton L., Leslie H.



- A., Macadam-Somer I., Mace T., Manuel M., Marsh R., Martinez E., Mayor D. J., Le Moigne M., Molina Jack M. E., Mowlem M. C., Obbard R. W., Pabortsava K., Robberson B., Rotaru A. E., Ruiz G. M., Spedicato M. T., Thiel M., Turra A. and Wilcox C. (2019), Toward the Integrated Marine Debris Observing System, *Front. Mar. Sci.* 6:447.
- [13] Meehl, G. A. (1982), Characteristics of Surface Current Flow Inferred from a Global Ocean Current Data Set, *J. Phys. Oceanogr.*, 12, pp. 538–555.
- [14] MSFD (2013), Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas, Marine Strategy Framework Directive GES Technical Group on Marine Litter, Luxembourg. Available online at: <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/201702074014.pdf>
- [15] Pieper, C., Amaral-Zettler, L., Law, K. L., Loureiro, C. M., and Martins, A. (2019), Application of matrix scoring techniques to evaluate marine debris sources in the remote islands of the azores archipelago, *Environ. Poll.* 249, 666–675. doi: 10.1016/j.envpol.2019.03.084
- [16] Putman, N. F., Goni, G. J., Gramer, L. J., Hu, C., Johns, E. M., Trinanes, J., Wang M. (2018), Simulating transport pathways of pelagic sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea, *Progr. Oceanogr.* 165, pp. 205–214. doi:10.1016/j.pocean.2018.06.009
- [17] Science Media Center Taiwan (2020) Press Release of Press Conference on Marine Plastic Waste Biosphere <https://smctw.tw/6833/> (2020.07.16) (In Chinese)
- [18] UNEP (2009), *Marine Litter: A Global Challenge*, Nairobi: UNEP, pp. 232.
- [19] Wakata, Y., & Sugimori, Y. (1990), Lagrangian Motions and Global Density Distributions of Floating Matter in the Ocean Simulated Using Shipdrift Data, *Journal of Physical Oceanography*, 20(1), pp. 125-138.
- [20] Walther B. A., Kunz A., Hu C.-S. (2018), Type and quantity of coastal debris pollution in Taiwan: A 12-year nationwide assessment using citizen science data, *Mar Pollut Bull* 2018; 135: pp. 862–872.
- [21] Yen, N. (2019), *The Report of rapid assessment of Taiwan’s coastal debris*, Greenpeace East Asia Taiwan Office. (in Chinese)