

# 台灣北部塑料垃圾 從河川到近岸海洋的輸送觀測

錢樟<sup>1</sup>、鐘耀照<sup>2\*</sup>、鄭皓元<sup>2</sup>、張煥盟<sup>3</sup>

## 摘要

台灣海岸面對與日俱增的海漂塑料垃圾威脅，對於海岸環境與生態造成極大衝擊。這些塑料垃圾部分來自於周邊國家，但也有相當部分源於台灣本身。淡水河為世界前 16 大輸出塑料垃圾進入海洋的河川，為了瞭解塑料垃圾從淡水河輸送到台灣海峽的源匯動態，本研究研製 GPS 定位漂流浮球，大批量佈放用以實際觀測塑料垃圾於淡水河與河口海域的輸送途徑，定量評估淡水河河道中垃圾進入海洋的比例，並針對海灘上的塑膠垃圾之攔淺或是被沖刷進入海洋的輸送行為，探討近岸水動力特性所扮演的角色與影響。

透過多次在雨季淡水河河道漂流浮球觀測實驗，本研究統計得出淡水河的向海洋排放垃圾的比例係數 F 約為 20%。鑑於傳統上對碎波帶內的海漂垃圾運輸行為觀測有困難性，本研究基於物聯網技術開發了漂流浮球，成功應用於淡水河河道及近岸塑料垃圾的觀測中，揭示了該項技術在定量掌握海洋垃圾之源與匯的應用潛力。

## 壹、前 言

據 OceanUS 統計，全球海洋中的塑料垃圾總量達 2 億公噸之巨，並且每一年還持續以 8 百萬公噸速度增加，這些塑膠垃圾主要由河川運輸能力將集水區中未妥善處置的垃圾輸送至海洋，其中大部分會在大洋中環流中流速較弱區域累積，形成海上垃圾濃湯或是垃圾大陸(Law, 2010; Cozar, 2014)，這些垃圾繼續受風趨流及主要是波浪 Stoke's Drift 的影響，進入極地海洋(Onink et al. 2019)。全球海洋中最大的垃圾聚集區當屬太平洋垃圾大陸(Goldstein, 2012; Eriksen, 2013)，這個垃圾組成的大陸局部垃圾碎塊密度超過每平方公里 77 萬塊。由於塑料無法被生物降解，只能進行緩慢的光降解，而光降解後脆弱的碎塊因為波浪力的衝擊與攪拌產生尺寸更小的塑料微粒污染，微塑料的大小約為 0.06-0.5 mm 之間(Gregory and Andrade, 2003)。這些微塑料表面粗糙，對有持久性的有機污染物，特別是有機氯化物，像是多氯聯苯、戴奧辛或 DDT 等以及病原微生物具有較強的吸附作用，因此生物對於塑料微粒的誤食不僅威脅海洋生物

的健康與生命，如海鳥(Mallory, 2008; Cadee, 2002)、海龜(Bugoni and Krause, 2001; Tomas and Guitart, 2002; Mascarenhas et al., 2004)、蝦(Bordar, 2018)等的誤食，更重要的是可能透過食物鏈之富集效應對人類的健康產生威脅。

Lebreton et al., (2017)的研究指出，每年進入海洋的塑料垃圾，其中超過 67%的排放發生亞洲。Jambeck (2015)指出，世界上海洋塑膠垃圾生產的大國前八名排名依序是中國大陸、印尼、菲律賓、越南、斯里蘭卡、泰國、埃及與馬來西亞。這些國家產出的垃圾主要進入了東海與南海，而台灣海峽是南海與東海交接的最重要孔道，受大陸沿岸流與台灣暖流在冬夏的影響，台灣直接面臨如此大量的塑料垃圾威脅。如臺灣澎湖島的垃圾總產量約為每年 18000 公噸，其中 54% 產生於澎湖本島，46% 則由海洋洋流傳遞至澎湖本島。此外，台灣自身也是海洋塑料垃圾來源地，台灣的塑料垃圾入海的渠道可概括為三種，(1)河川：淡水河是名列世界前 16 大塑料垃圾輸出的河川(表 1，Lebreton et al., 2017)；(2)濱海垃圾掩埋場：台灣沿岸 1 公里及河岸 500 公尺範圍內分佈了 102 座垃圾掩埋場，其中海岸邊有 5 座掩埋場已經受到海岸線侵蝕退化的影響，垃圾經常性被波浪掏刷進入海域；(3)濱

1 國立中央大學水文與海洋科學研究所 副教授

2 國立中央大學水文與海洋科學研究所 博士後研究員

3 國立中央大學水文與海洋科學研究所 研究助理

\* yaozhaozhong@gmail.com

海及近岸養殖：牡蠣養殖使用了大量塑料浮標或浮筒。美國海洋保育協會統計了國際淨灘 25 年來，全球平均結果顯示前十名數量最多的海漂垃圾依序是菸蒂(32%)、食品包裝/容器(9%)、瓶蓋(8%)、杯/盤/刀/叉/湯匙(6%)、塑膠飲料瓶(6%)、塑膠袋(5%)、玻璃飲料瓶(4%)、金屬飲料罐(4%)、吸管/攪拌棒(4%)以及繩子(2%)，這十項即佔垃圾總量的 80%。而台灣海洋淨灘聯盟在 2011 年調查的結果顯示，漁業用的浮標/浮筒垃圾排名台灣數量最多的海漂垃圾第三位。

在 Jambeck (2015) 提出海洋塑料垃圾輸出量的評估公式中，由 5 個參數的乘積計算得到：沿海居民總人數 (CP)，每人年均垃圾產生率 (WGR)，塑膠垃圾佔比 (PWS%)，未適當處置垃圾比例與廢棄垃圾比例的和 (LW%+IMW%)，進入海洋的垃圾的比例 (F)，其中 F 的給值是其中不確定性最大的，粗估可能介於 15%~40% 間，但是缺乏實際調查的數據，因此據此進行評估的結果將存在較大誤差。

本研究之目的在於，自主研製海表 GPS 追蹤漂流浮球，應用於塑料垃圾河川與海漂軌跡的分析，藉此了解海漂塑料垃圾的源、匯以及傳輸路徑。以台灣北部地區為例，瞭解從淡水河河道到河口再到近岸海域等一系列空間區域中海漂垃圾的源匯動態，釐清垃圾進入海洋的機率 F 的量值及變動範圍，以期為控制海漂垃圾總量以及海岸環境管理提供有利資訊。

## 貳、漂流浮球的研製

海漂垃圾在碎波帶內的輸運受到近岸複雜水動力條件影響，諸如表面風、波浪、波浪引致的 Stokes 漂流、近岸流、潮流、表面風驅流與海底地形等，若在考慮垃圾碎片的漂流是一種 Lagrangian 運動，傳統海洋觀測上有困難性。本研究採用自主研製之 GPS 定位的海表漂流浮球來觀測塑料垃圾碎片在海上的漂流軌跡。由於塑料碎片密度、形狀、大小等因素都會影響其受水動力作用產生的軌跡，為了準確反映塑膠垃圾在海上的運動行為，Hinata et al (2017) 提出了向上終端速度 (Upward Terminal Velocity, UTV) 概念，這一參數同時考慮了與垃圾密度、尺寸與形狀，作為單一的型狀參數。本研究在漂流浮標的設計上，透過

改變外殼大小設計了兩種 PET 塑膠罐常見的 UTV，以期能更真實模擬海上塑料垃圾的運動。

漂流浮標系統的架構如圖 1 所示：整個系統由三部分組成：浮球本體、岸上接收站及即時資料展示與管理系統（便於現場浮球施放與回收作業）。海表漂流浮球為球形，採用可生物降解的聚己內酯外殼，直徑有 12 公分與 15 公分兩種規格模擬不同的 UTV，質量均為 900 公克，比重分別為 0.86 與 0.45，前者在水上施放時頂部天線約 1/3 露出水面上，後者約一半浮出一半潛沒於水體。

浮球的下半部放置電池組及單晶片微控制系統，上半部為 GPS\GLONASS 定位系統天線，整體上的浮心處於重心的上方，球體在水中易於保持平衡穩定狀態。通訊採用 RF 或是衛星通訊，可每 10 秒回傳一筆資料進入雲端資料庫，並透過網頁展示即時資料，電池可連續觀測 96 小時以上（表 2）。在 RF 通訊上，每一顆漂流浮球還可以主動與其他周邊任意浮球串連通訊，當通訊鏈路建立起來，可以更提高資料回傳成功率。

本研究為降低大量施放的成本，採用廉價的消費用定位晶片，為了檢定漂流浮球定位與流速量測之精準度，評估其隨流性表現，本研究於成功大學水工試驗所中型斷面水槽進行了漂流浮球觀測品質測試實驗。水槽長 200 公尺，寬、深均為 2 公尺，實驗期間的水位約為 1 公尺，採用馬達變頻控制流速，頻率範圍為 30 Hz 至 55 Hz，分九組不同頻率，對應不同的流速，最低為 0.12 m/s，最高為 0.30 m/s。圖 2a 為其中一組漂流浮球在水槽中的原始漂流軌跡及速度，圖中紅色米字號表示施放起點，紅色虛線是水槽中線位置，軌跡上的顏色代表流速大小。為方便呈現，該圖依據漂流浮球施放順序在橫軸方向進行了位置平移。可以看到漂流浮球軌跡出現軌跡中斷的現象，這是由於定位晶片廠商為了減低導航過程中定位之隨機誤差所進行的內部的濾波，因此當海流速度較低時，有時會發生定位點先不動然後突然跳躍的問題。為了避免該特性對觀測結果產生影響，特別是低流速下漂流浮球定位發生跳躍的問題，本研究針對性地構建資料處理與品管方法。

本研究採用 ARIMA 模式 (Auto Regressive Integrated Moving Average model) 來偵測由於定位點跳躍導致的異常速度跳躍。該方法最早由 Box and Jenkins (1976) 提出，作為一個統計科學方法在經濟、工程、自然與社會科學等領域均有廣泛應用。將 ARIMA 偵測到的異常速度點的速度平攤給其他定位點 (Velocity Share)，再根據平攤後的速度時間序列重新調整定位點，形成新的漂流軌跡與速度。圖 2b 為資料品管後的漂流浮球軌跡，與資料品管前的圖 2a 相比，平均速度基本一致 (分別為 0.17 m/s 及 0.16 m/s)，但品管後的速度標準差僅為 0.04 m/s，遠小於品管前的 1.13 m/s。從漂流浮球軌跡的對比來看，異常速度點剔除的同時亦修正了軌跡，如圖中橢圓處。圖 2c 為檢校實驗中所有九組不同流速下的品管後漂流浮球速度與 ADV 量測速度之比對結果。每組漂流浮球的速度以盒須圖表示，紅色橫線為中位流速，藍色矩形表示上下四分位的範圍，矩形上下的虛線末端代表 1.5 倍的四分位距或最大最小值，若最大或最小值超出 1.5 倍四分位距範圍，則以紅色十字表示，判別為異常值；若最大或最小值在 1.5 倍四分位距範圍內，則虛線末端為最大或最小值。圖中黑色×為 ADV 量測流速之中位值。二者流速之相關係數為 0.89，各點相對於 1:1 直線的 RMSE 約為 0.02 m/s，各組流速的相對誤差平均約為 10%，滿足科學研究之流速量測精準度要求。

## 參、結 果

### 3.1 淡水河的塑料垃圾輸運

Jambeck (2015) 提出的海洋塑料垃圾輸出量評估公式中的垃圾入海比例 F 有較大的不確定性，為 15%-40% 之間。淡水河又是世界前 16 大的塑料垃圾輸出河川 (Lebreton et al., 2017)。為量測 F 值變動範圍及影響因素，本研究使用自主研製的漂流浮球在淡水河河道不同位置中模擬塑料碎片的漂流軌跡。各次漂流浮球觀測實驗之漂流軌跡如圖 3 所示，實驗時間及施放位置分別為 2015 年 6 月 30 日關渡橋、2016 年 7 月 22 日重陽橋及關渡橋、2016 年 8 月 3 日重陽橋、2016 年 9 月 14 日龜山橋及 2016 年 9 月 27 日重陽橋。

圖中紅色星號為漂流浮球初始施放位置，黑色實線為漂流軌跡，軌跡上的顏色代表流速大小。可見絕大部分漂流浮球都發生了岸邊擋淺現象，在感潮河段的軌跡還呈現出沿河道上下游、左右岸來回擺動的情況。

本研究以在河川入海口處獲得的浮球數量與投放浮球總量的比值作為垃圾入海比例 F。綜合多次實驗的結果，F 值約為 20%，即 80% 的浮球停留在河道中並未入海。如圖 4 所示，河道兩岸的紅樹林攔截了約 24% 的漂流浮球，其次為河道匯流處的複雜地形，由於二次流的作用可以攔截了約 18% 的漂流浮球，河岸沙洲亦是浮球常發生擋淺的位置。漂流浮球在河道中的停留時間和位置可以作為經河道垃圾清理作業的參考，還可以用來評估河道的水體停留時間 (resident time)，瞭解河流水動力特徵。

### 3.2 源於台灣北部沿岸的塑料垃圾

圖 5 為自淡水河口施放之漂流浮球入海後的漂流軌跡，圖中紅色星號為漂流浮球初始施放位置，黑色實線為漂流軌跡，軌跡上的顏色代表流速大小，右下角處的小圖中藍色線為中央氣象局預報潮位，紅色線為觀測期間所處潮位。太平洋潮波傳播到東海陸棚後南下進入台灣海峽，由於台灣海峽南側地形陡變的反射效應使半日分潮在台灣海峽產生共振，以大甲溪為分界，漲潮時海水自台灣海峽南北兩端湧入，退潮時又向海峽南北兩端流出，以至於淡水河口周邊海域的漲潮流向西南，退潮流向西北。從圖 5 漂流浮球軌跡可以看到，漂流浮球入海時恰處於退潮階段，所有浮球沿岸向東北漂流，隨後又漲潮的作用下回到河口外，在高潮階段緩慢向離岸處漂流，最後再一次由退潮流帶向東北方向。可知，海漂垃圾在近岸海域的輸運由潮汐主導，其輸運方向以沿岸往復為主、向離岸為輔。

限於無線電通訊的距離最大約為離岸 3 公里左右，圖 5 無法呈現離岸後的塑料垃圾碎片之漂流軌跡。本研究採用具鋐衛星通訊的漂流浮球進行了更大範圍的漂流觀測實驗 (圖 6)。實驗中於淡水河口南側離岸約 5 公里處施放了共 15 顆浮球，在潮汐、海面風驅流、波浪等的作用下，以螺旋狀軌跡向西北及北方向漂流，約於台灣海峽北部入口中部開始陸續轉向

西漂流，約於浙閩交界處轉向西南沿岸漂流。在海上漂流約 8-10 天後，浮球陸續在在福建平潭島及其周邊小島擋淺上岸，共 10 顆。其餘 5 顆浮球持續沿福建海岸向西南漂流，經一個月最終在珠江口附近因電量耗盡而失去回報資料。由本次實驗可知，源自台灣西北部海岸的塑料碎片，在台灣海峽中受大陸沿岸流與台灣暖流影響，可跨海峽橫向輸送，漂向對岸中國沿岸，其中約 66.7% 在平潭島附近擋淺，約 33.3% 沿廣東海岸進入南海。

藉助台灣海洋科技中心的長期高頻雷達流場資料庫，本研究透過漂流軌跡逆推算發現台灣新竹海岸的塑料碎片有相當高的幾率也會抵達澎湖島北側（圖 7）。圖中的背景為高頻雷達觀測並採用克里金插值後的流場，藍色點為源，紅色點為匯，品紅色實線為基於高頻雷達流場推算的塑料垃圾碎片漂流軌跡。以 2016 年 11 月 21 日至 30 日期間為例，當時抵達澎湖群島北側海岸的海漂垃圾可能受東北季風影響源自新竹新豐海岸。澎湖島的垃圾總產量平均每年約為 18000 公噸，其中 46% 由海洋洋流帶來的，其中東北季風下也包含來自台灣西北海岸的貢獻，值得注意的是：新豐垃圾掩埋場因為有 2200 公噸的有害事業廢棄物，被視為全台灣「最毒海岸線」，其中甚至包含大量的醫療廢棄物，近年因海岸侵蝕、暴露而被掏刷出海。這與澎湖歷年淨灘活動中頻繁重複大量出現的針頭、針筒、藥劑罐等醫療廢棄物不謀而合。

針對上述應用海岸高頻雷達觀測資料逆推模擬路徑結果方面，此處要提醒的是上述傳輸途徑模擬結果還尚未被實際的漂流浮球實驗證實，僅是遙測資料推演應用之展現，這樣的結果存在不確定性。首先，單一質點受質點傳輸過程中的海洋擴散等隨機因素影響，路徑疊代之誤差累積使傳輸模擬結果存在較大不確定性。此外，海洋垃圾的輸運受風應力或是 Langmuir 環流等更小尺度的海洋現象影響，雷達遙測資料的空間解析度為 10 公里，時間解析度為 1 小時，需用插值技術保證模擬繼續，較粗的時空解析度及插值均可能帶來模式無法重現海表細節流況進而引入誤差的情況發生。在不同海域不同天氣狀況下，主導因素不一。故傳輸方向及速度存在較大不確定性。系

集模擬是常用的減小模擬過程隨機誤差的方法之一，未來也可以應用到未來的塑料垃圾碎片漂流軌跡推算中。

### 3.3 匯至台灣北部沿岸的塑料垃圾

為探究海漂垃圾在何種水動力條件下易被沖上海灘，本研究分別於 2016 年 11 月 7 日及 2017 年 5 月 10 日在台灣西北部桃園觀音海岸進行了漂流浮球陣列觀測實驗（圖 8）。圖中座標進行了順時針旋轉約 30 度，使得沿岸方向為橫軸；白色圓點為漂流浮球施放的初始位置，與其連接的黑色實線為漂流軌跡。由圖可見，再漲潮流的帶動下，漂流浮球向左漂流，甚至會自動繞開海岸結構物持續沿岸漂流，幾無觸岸擋淺的情況發生。退潮期間的漂流軌跡則顯著不同，除了退潮流帶動漂流浮球向右漂流外，還有一向岸流動的海流將浮球推向海灘，最終呈現出的軌跡與海岸呈斜交狀。隨著波浪不斷向岸邊傳播、破碎，水面下會產生逆流（undertow）向離岸方向流去，被波浪帶向岸邊的漂流塑料碎片很容易在水下逆流起始處發生擋淺。

## 肆、結論

為了瞭解台灣北部塑料垃圾從河川到近岸海洋的源匯動態，本研究採用了自製漂流浮球及高頻雷達流場資料，觀測及模擬塑料垃圾碎片的在淡水河河道、河口及近岸海域的漂流軌跡，結果發現：

- (1) 國際學者文獻中的河川垃圾入海比例係數 F 存在較大不確定性，直接應用到評估中可能發生高估的問題。透過多次淡水河河道漂流浮球觀測實驗，統計得出淡水河的 F 係數約為 20%。
- (2) 台灣島四面環海，直面大量的海漂塑料垃圾威脅，同時自身也是重要的塑料垃圾來源地。本研究揭示出高頻雷達流場資料庫在推算海洋垃圾之源與匯中的應用潛力。
- (3) 海漂垃圾在碎波帶內的輸運受到波浪、潮汐、風驅流等影響，傳統觀測上有困難性。本研究基於物聯網技術開發了漂流浮球陣列，並成功應用到淡水河河道及碎波帶塑料垃圾碎片的觀測中，為瞭解垃圾碎片受水動力的影響提供了

有力工具。

(4) 海岸侵蝕的趨勢嚴重，已有五座濱海垃圾掩埋場在有較大風浪時會受到波浪掏刷，大量被卷帶入海，此垃圾入海來源仍處於目前政府監管的範圍以外。

目前研究結果僅為理論推算，仍尚需採用觀測結果進一步驗證，如在新竹新豐沿海垃圾場實地投放浮球，或採用數值模擬進行驗證。垃圾由海浪直接從垃圾掩埋場卷帶入海的總量，佔由陸地輸送入海垃圾總量的比例，這些垃圾的輸送途徑，以及對海洋及海岸環境的影響目前尚不清晰，需要進一步評估與調查。

本研究提出建議，在海漂垃圾入海總量的源頭控制方面，建議投入額外力量整治早年建立的垃圾掩埋場，以實現本島輸入海洋垃圾總量減量，以及提升台灣離島海岸環境質量雙目標。

為實現海岸環境管理，採用低成本觀測設備，對海岸帶實行動態高頻觀測，以了解何種海浪侵蝕會使沿岸掩埋場垃圾被沖走；當垃圾被帶入海中時，了解其傳輸途徑，是否可架設攔污索在傳輸途徑中干預減排。

## 伍、參考資料

1. Bordbar et al.(2018) First evidence of ingested plastics by a high commercial shrimp species (*Plesionika narval*) in the eastern Mediterraneans, *Mar. Pollut.Bull.*, x, Vol.136, Pages 472-476
2. Bugoni, L., Krause, L., & Petry, M. V. (2001). Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. *Marine pollution bulletin*, 42(12), 1330-1334.
3. Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976). *Time Series Analysis Forecasting and Control*, San Francisco: Holden-Day.
4. Cadée, G. C. (2002). Seabirds and floating plastic debris. *Marine Pollution Bulletin*, 44(11), 1294-1295.
5. Cózar, et al, (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 111, 10239–10244 (2014). doi:10.1073/pnas.1314705111
6. Eriksen M, et al. (2013) Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Mar Pollut Bull* 68(1–2):71–76.
7. Goldstein MC, Rosenberg M, Cheng L (2012) Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biol Lett* 8(5):817–820
8. Gregory, M. R., & Andrade, A. L. (2003). Plastics in the marine environment. *Plastics and the Environment*, 379, 389-90.
9. Hinata, H., Mori, K., Ohno, K., Miyao, Y., & Kataoka, T. (2017). An estimation of the average residence times and onshore-offshore diffusivities of beached microplastics based on the population decay of tagged meso-and macrolitter. *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 17-26.
10. Hodgins, D. O. (1991, June). New capabilities in real-time oil spill and fate prediction using HF radar remote sensing. In *Proceedings of the 14th AMOP Technical Seminar*, Canada.
11. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrade, A.; ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
12. Law KL, et al. (2010) Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science* 329(5996):1185–1188.
13. Lebreton, L. C., Van der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrade, A., & Reisser, J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8, 15611.
14. Mascarenhas, R., Santos, R., & Zeppelini, D. (2004). Plastic debris ingestion by sea turtle in Paraíba, Brazil. *Marine pollution bulletin*, 49(4), 354-355.
15. Onink, V., Wichmann, D., Delandmeter, P., & van Sebille, E. (2019). The role of Ekman currents, geostrophy, and stokes drift in the accumulation of floating microplastic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 1474– 1490.
16. O'Donnell, J., Ullman, D., Spaulding, M. L., Howlett, E., Fack, T., Hall, P., ... & McClay, T. (2005). Integration of coastal ocean dynamics application Radar (CODAR) and short-term predictive system (STPS): Surface current estimates into the search and rescue optimal planning system (SAROPS) (No. CG-D-01-2006). *Coast Guard Research And Development Center Groton Ct.*
17. Tomás, J., Guitart, R., Mateo, R., & Raga, J. A. (2002). Marine debris ingestion in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, from the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 44(3), 211-216.
18. O'Ullman, D., O'Donnell, J., Edwards, C., Fack, T., &

Morschauser, D. (2003). Use of coastal ocean dynamics application radar (CODAR) technology in US coast guard search and rescue planning (No.

CG-D-09-03). Coast Guard Research And Development Center Groton Ct.

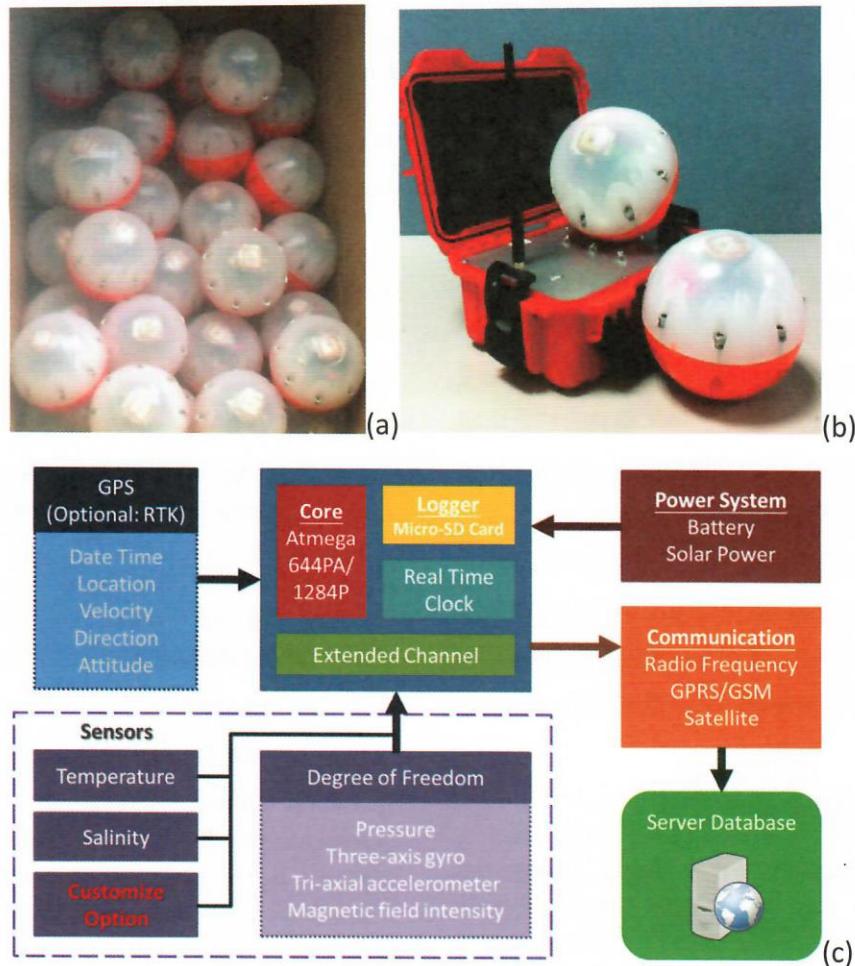


Fig.1：自主研製之海表漂流浮球(a)、資料接收設備(b)及其系統架構(c)

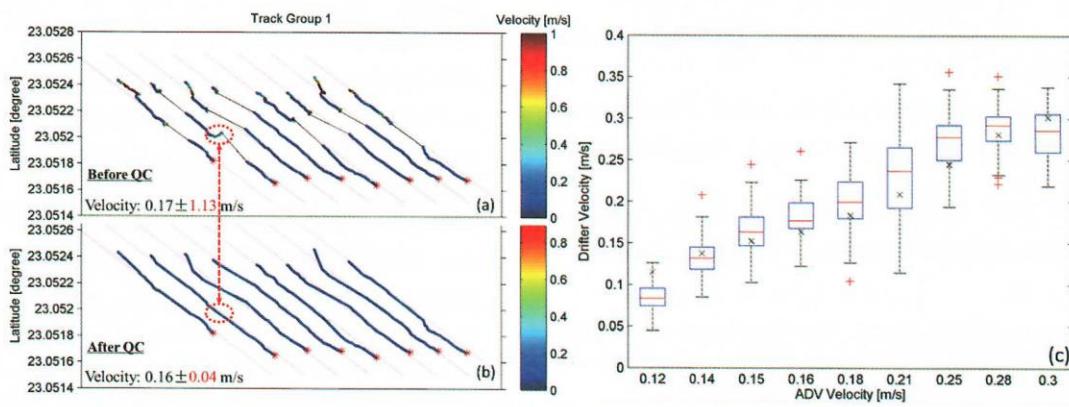


Fig.2：漂流浮球資料品管前的軌跡(a)、品管後的軌跡(b)及品管後流速與ADV流速對比(c)

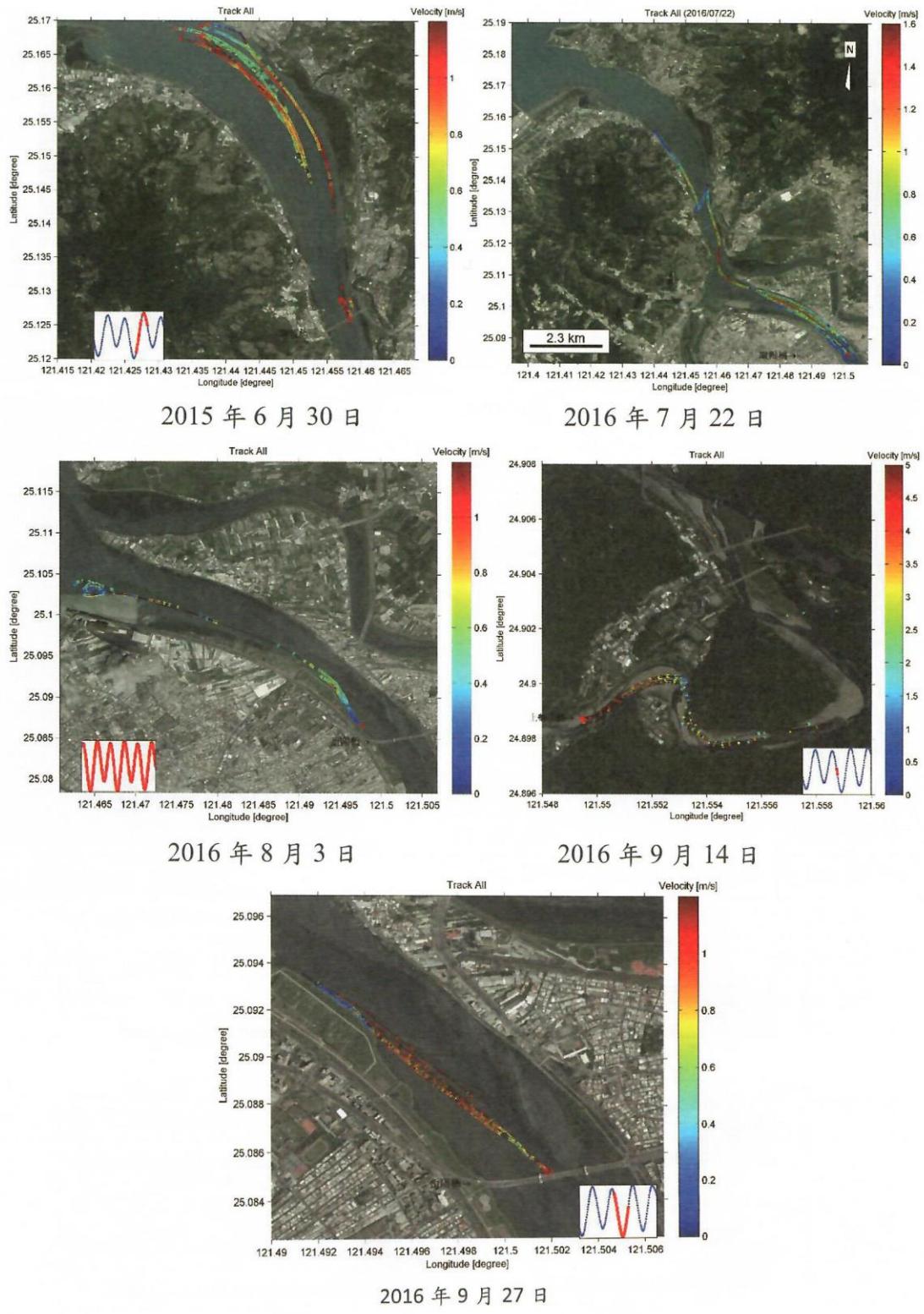


Fig.3：淡水河塑料碎片漂流軌跡觀測實驗



Fig.4 : 淡水河河道漂流塑料垃圾擋淺位置及所佔比例

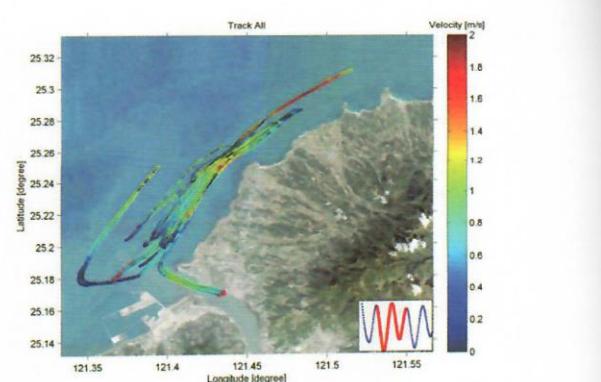


Fig.5：淡水河口及周邊海域海漂垃圾漂流軌跡觀測

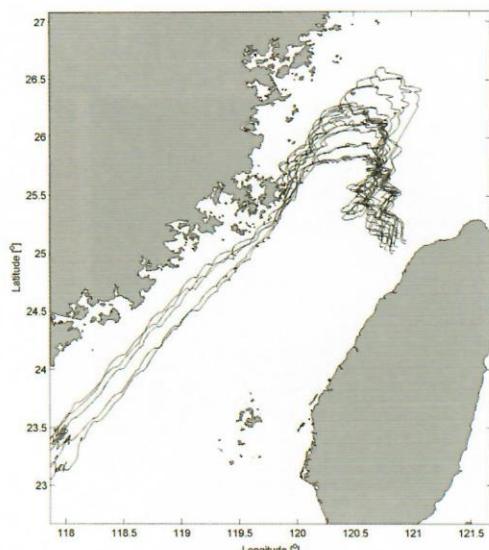
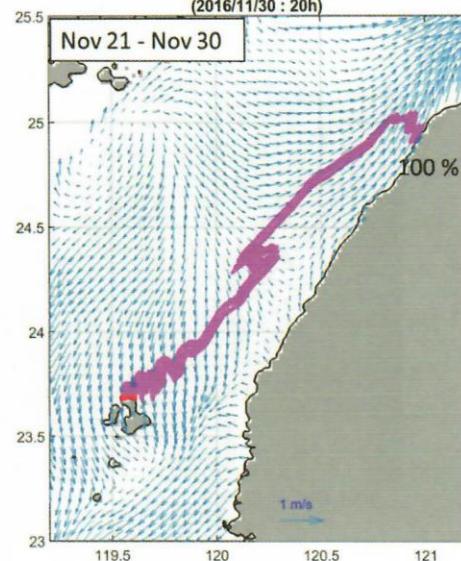


Fig.6：台灣西北海岸入海之塑料垃圾碎片漂流軌跡觀測實驗



**Fig.7**：塑料垃圾碎片漂流軌跡推算（以台灣西北部海岸的新竹新豐為源）

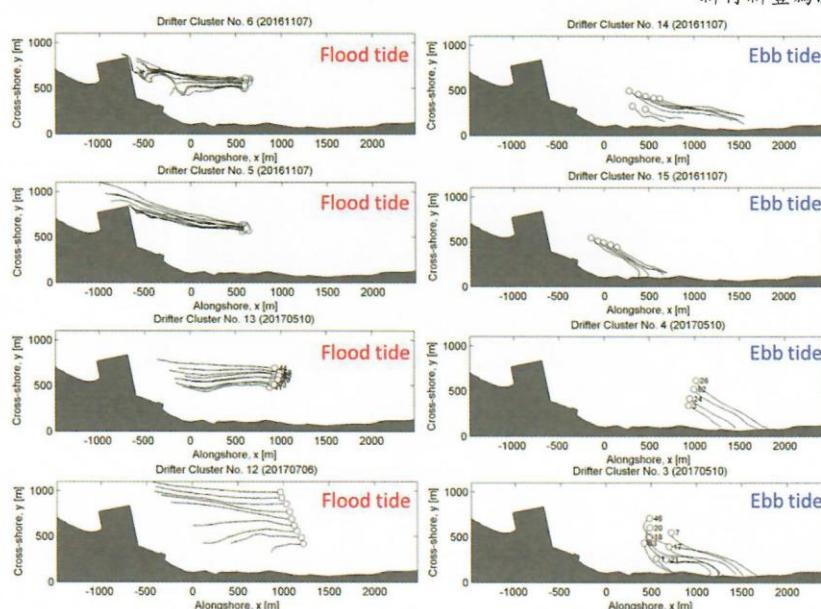


Fig.8：台灣西北部桃園觀音海岸之漂流浮球觀測實驗

Table.1：世界塑料垃圾輸出量前 20 大河川列表(整理自 Lebreton et al., 2017)

序號	河川	國家或地區	中值輸出垃圾量 (公噸/年)	流域總面積 (平方公里)	年平均徑流量 (cms)
1	Yangtze	China	$3.33 \times 10^5$	$1.91 \times 10^6$	$1.58 \times 10^4$
2	Ganges	India, Bangladesh	$1.15 \times 10^5$	$1.57 \times 10^6$	$2.08 \times 10^4$
3	Xi	China	$7.39 \times 10^4$	$3.89 \times 10^5$	$5.53 \times 10^3$
4	Huangpu	China	$4.08 \times 10^4$	$2.62 \times 10^4$	$4.04 \times 10^2$
5	Cross	Nigeria, Cameroon	$4.03 \times 10^4$	$2.38 \times 10^3$	$2.40 \times 10^2$
6	Brantas	Indonesia	$3.89 \times 10^4$	$1.11 \times 10^4$	$8.18 \times 10^2$
7	Amazon	Brazil, Peru, Columbia, Ecuador	$3.89 \times 10^4$	$5.91 \times 10^6$	$1.40 \times 10^5$
8	Pasig	Philippines	$3.88 \times 10^4$	$4.07 \times 10^3$	$2.07 \times 10^2$
9	Irrawaddy	Myanmar	$3.53 \times 10^4$	$3.77 \times 10^5$	$5.49 \times 10^3$
10	Solo	Indonesia	$3.25 \times 10^4$	$1.58 \times 10^4$	$7.46 \times 10^2$
11	Mekong	Thailand, Cambodia, Laos, China, Myanmar, Vietnam	$2.28 \times 10^4$	$7.74 \times 10^5$	$6.01 \times 10^3$
12	Imo	Nigeria	$2.15 \times 10^4$	$7.92 \times 10^3$	$2.79 \times 10^2$
13	Dong	China	$1.91 \times 10^4$	$3.33 \times 10^4$	$8.54 \times 10^2$
14	Serayu	Indonesia	$1.71 \times 10^4$	$3.71 \times 10^3$	$3.70 \times 10^2$
15	Magdalena	Colombia	$1.67 \times 10^4$	$2.61 \times 10^5$	$5.93 \times 10^3$
16	Tamsui	Taiwan	$1.47 \times 10^4$	$2.68 \times 10^3$	$1.08 \times 10^2$
17	Zhujiang	China	$1.36 \times 10^4$	$4.01 \times 10^3$	$1.33 \times 10^2$
18	Hanjiang	China	$1.29 \times 10^4$	$2.95 \times 10^4$	$7.35 \times 10^2$
19	Progo	Indonesia	$1.28 \times 10^4$	$2.24 \times 10^3$	$2.79 \times 10^2$
20	Kwa Ibo	Nigeria	$1.19 \times 10^4$	$3.63 \times 10^3$	$1.92 \times 10^2$

Table.2：海表漂流浮球規格表

直徑 Diameter	12 cm
質量 Weight	600 g
供電方式 Power	鹼性電池 Alkaline battery
持續時間 Lifetime	$\geq 96$ hours
定位系統 Positioning systems	GPS \ GLONASS
定位準度 Positioning accuracy	2.5 m CEP
定位精度 Positioning precision	0.167 m
採樣頻率 Sampling frequency	1 - 10 Hz
資料傳輸頻率 Transmitting frequency	0.1 - 1 Hz
通訊系統 Communication systems	RF \ Satellite

## 英文摘要

### The transportation of plastic litter in Damshuei river and Estuary

Hwa Chien<sup>1</sup>, Yaozhao Zhong<sup>1\*</sup>, Hao-Yuan Cheng<sup>1</sup>,  
Huan-Meng Chang<sup>1</sup>

1 Graduate Institute of Hydrological & Oceanic Sciences,  
National Central University  
\* yaozhaozhong@gmail.com

#### Abstract

Taiwan is facing the threat of increasing marine plastic debris along its coastline. Damshuei river, the watershed of which covers the major metropolitan of Taiwan, was ranked as the top 16 worldwide that provides the most marine plastic debris into the sea in recent studies. In order to understand the transportation of plastic litters in the channel of Danshuei river, estuary and the vicinity waters in the Taiwan Strait, this study applied self-developed GPS-tracking drifters to simulate the trajectories of plastic debris transport. The drifters were deployed in large amount in Danshuei river during summer seasons in 2017-2018. According to the trajectories of the drifters, the ratio of riverine garbage discharged into the sea was quantitatively evaluated. Moreover, the hydrodynamic conditions for the strandation and scourage of marine plastic debris on the beach was explored. Statistics show that 20% of the riverine plastic debris in Danshuei river can be transported into Taiwan Strait, while 80% were stranded on river banks, mangrove forests by secondary flow in the channel. In view of the traditional difficulties in observing marine debris in the surf-zone, using the rapid progress of Internet of Things technology, present study reveals the potential of such drifters databases in estimating the sources and sinks of marine debris.



鐘耀照，現任國立中央大學水文與海洋科學研究所博士後研究員。獲國立中央大學博士。專長為近岸水動力與海洋擴散。



鄭皓元，現任國立中央大學水文與海洋科學研究所博士後研究員。獲國立中央大學博士。專長為近岸水文探測、微波測海雷達訊號分析、波浪數值模式、非線性訊號分析。



張煥盟，現任國立中央大學水文與海洋科學研究所研究助理。獲國立成功大學碩士，海軍士官督導長退役。專長為海洋監測儀器系統開發、感測元件整合。

## 作者簡介



錢樺，現任國立中央大學水文與海洋科學研究所所長。獲國立成功大學博士。專長為上層海洋動力之衛星遙測與岸基雷達遙測技術研發、海岸環境監測、海岸帶過程。