

財團法人黑潮海洋文教基金會

黑潮二十·島航計畫

臺灣沿海海水表層塑膠微粒

初步調查報告

## 前言

2003 年黑潮海文教基金會在海洋作家廖鴻基的召集之下，從花蓮港出海，展開長達一個月的「福爾摩沙巡禮」，走訪臺灣一周 13 個港口，串聯在地海洋文史工作室、NGO 組織等，留下大量文字及影像紀錄，為當時臺灣社會開啟了豁然開朗的海洋視野，是為當年引發熱議，眾人記憶猶新的海洋壯遊行動。

2018 年，在「福爾摩沙巡禮」15 年後，面對全球氣候變遷及海洋環境惡化，越來越多關於海洋環境的保育議題被提出，然而我們對於環繞臺灣海域的了解似乎並未增加多少。因此黑潮團隊策畫「福爾摩沙巡禮 2.0」，以黑潮長期關注的海洋生態環境的指標性物種「鯨豚」為主體，透過開船繞行臺灣海域一周，包含澎湖、小琉球、蘭嶼等離島，進行「海洋廢棄物及塑膠微粒」、「水下聲音及噪音」、「海水溶氧量」三項研究，本報告即為此次繞島採取海水表面塑膠微粒所得到的塑膠微粒分佈結果。

所謂塑膠微粒 ( Microplastic ) 在國際學術界的定義為直徑小於 5mm 的塑膠碎片。海域上塑膠微粒形成有許多原因，主要是各種人造塑膠用品如保麗龍、塑膠袋、寶特瓶、塑膠包裝紙、瓶蓋、吸管、塑膠飲料杯及各種人造纖維產品，經過光照導致脆化或是外力造成斷裂，進而不斷破碎形成<sup>(1)(2)</sup>；各式塑膠製品及塑膠原料、衣物纖維等，也可能經由都會區地下水道、農業灌溉渠道、河川逕流等途徑流入海洋。

由於塑膠微粒漂浮在海水表層，越來越多觀察研究顯示海洋生物包括哺乳類、鳥類、海龜及無脊椎等生物都有可能在進食過程中攝食塑膠微粒，而塑膠微粒由於其大小及粗糙表面，極易吸附環境中毒素及生物賀爾蒙等化學物質；另外塑膠在製造過程中會添加塑化劑、抗菌劑、阻燃劑等已知的致癌物質，這些物質在動物攝食後再經由食物鏈造成的生物放大效應，會快速累積於大型海洋生物體內，更進一步會對人體產生怎樣的危害，也是近幾年來國內外學術開始積極進行探討的課題<sup>(3)(4)(5)</sup>。

然而臺灣目前塑膠微粒的分佈研究大多還在陸域的階段，此次結果是臺灣第一筆塑膠微粒在海域分佈的觀察資料，期盼透過這次民間自發性的檢測行動，能夠提供未來各學術及政府相關單位在海洋汙染研究、海洋保育及環境教育工作等的參考與延續。

## 1. 研究方法

### 1-1 塑膠微粒樣品採集

採樣地點涵蓋臺灣本島各縣市沿海並包含澎湖、小琉球、蘭嶼三個離島；選定重要河川出海口、觀光遊憩活動或漁業活動頻繁以及相對乾淨的海域共 51 個測點進行採樣，總共航行超過 650 海哩，航程共 16 天。

採樣器材參考美國五大環流基金會(5 Gyres Institute, <https://www.5gyres.org/>)使用的網具和方法，由於網具形狀近似鬼蝠魞，所以稱為 Manta Trawl。使用 Hydro-Bios 流速計固定於 Manta Trawl 網口，用以計算拖行距離。船抵達測點後，紀錄流速計起始數值、GPS 座標、拖網起始時間、測點經緯度等採樣數值，及天氣、水溫、鹽度、水深等環境數值。同時將 Manta 網放下至沒入水中後，以平均船速約 2 節向前拖行 15 分鐘進行採樣。(一節(Knot)=1.86 km/h)

拖行結束後拉起 Manta Trawl，將網內樣品全數沖洗至樣品瓶中，加入 70%酒精，標示測點名稱後保存。



圖 1. 使用 MantaTrawl 採集海水表層塑膠微粒



圖 2. 採得樣品裝入玻璃瓶中，並以 70%酒精保存

## 1-2 塑膠微粒樣品處理及計數

樣品倒出濾去保存用的酒精，其中會包含生物體、非生物體及大小不一塑膠碎片，將塑膠碎片從樣品中挑出置於燒杯，為去除碎片上所附著的生物體及其他雜質，採用美國 NOAA ( National Oceanic and Atmospheric Administration ) 公佈標準方法，加入 30 % 雙氧水及硫酸亞鐵溶液作為催化劑將生物體氧化 ( 圖 3 )，以利挑出塑膠碎片；挑出後先依大小區分，凡是直徑小於 5mm 的塑膠碎片統稱為塑膠微粒。先在培養皿上放置 5mm 方格區分的紙片，將挑出的塑膠微粒置於培養皿 ( 圖 4 ) 上，接著置於解剖顯微鏡下進行計數及分類，依其材質分成五大類 ( 圖 5 )：硬塑膠 ( Fragments，大型塑膠製品的碎片，如寶特瓶、包裝盒、玩具..... )，軟塑膠 ( Films，如塑膠袋、包裝紙 )，發泡塑膠 ( Foams，如保麗龍 )，塑膠纖維 ( Lines/Fibers，如釣魚線、漁網或人造纖維產品 )，圓形塑膠粒 ( Pellets，塑膠原料 )。

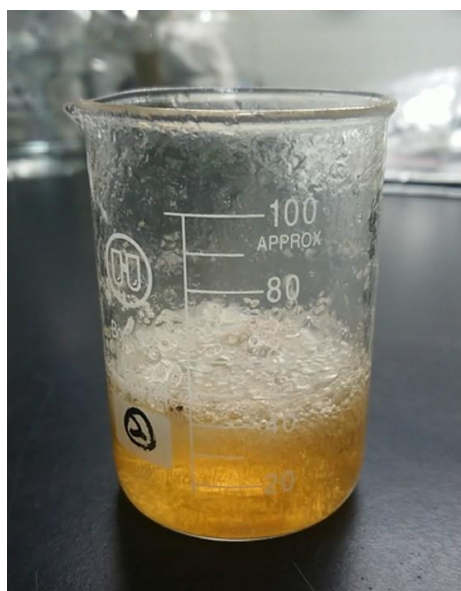


圖 3. 樣品進行氧化反應



圖 4. 利用 5mm 方格紙進行塑膠微粒計數及分類



硬塑膠

圓形塑膠粒

塑膠纖維

軟塑膠

發泡塑膠

圖 5. 五種塑膠類型

## 2. 研究結果分析

### 2-1 塑膠微粒在臺灣沿岸數量分佈狀況

依據測點經緯度並參考遠洋漁業氣象海域將這次採樣分為五大區域 (圖 6)，每個區域包含離島選定 5 至 17 個測點：臺灣北部海域 7 個測點、臺灣西部海域 (包含澎湖) 17 個測點、臺灣西南部海域 (包含小琉球) 13 個測點、臺灣東北部海域 5 個測點及臺灣東南部海域 (包含蘭嶼) 9 個測點，共 51 個測點 (表 1) (測點座標及塑膠微粒數量見附錄一)。

此次採樣在每個測點都有發現塑膠微粒，每立方公尺海水中含有 0.016 到 64.12 個不等塑膠微粒 (圖 6)。可以想像一下：若將水體換算成國際標準游泳池大小 (長 25m × 寬 21m × 深度 2m)，等於大約有 30-13.5 萬個塑膠微粒漂浮在游泳池中。此次遶島行動發現：塑膠微粒數量最多的測點為西部海域的八掌溪出海口，每立方公尺有 64.12 個塑膠微粒，相當於國際標準游泳池中有 13.5 萬個塑膠微粒；其次為西南部海域的後勁溪出海口與北部海域的和平島，每立方公尺海水中分別有 4.90 與 3.10 個塑膠微粒，等於泳池中約有 1 萬個的塑膠微粒漂浮其中。

表 1. 採樣測點海域及名稱

臺灣北部海域 7 個測點	龍洞、深澳、潮境、和平島、富貴角、淡水河出海口、觀音藻礁。
臺灣西部海域 (包含澎湖) 17 個測點	頭前溪出海口、後龍溪出海口、苑裡、高美濕地、王功外海、濁水溪出海口、北港溪出海口、八掌溪出海口。澎湖--鳥嶼、馬公內港、海墘嶼、鋤頭嶼北面、東吉嶼碼頭、東吉嶼薰衣草森林、西吉嶼舊碼頭、西吉嶼藍洞、台南外海。
臺灣西南部海域 (包含小琉球) 13 個測點	曾文溪出海口、安平新港外、二仁溪出海口、後勁溪出海口、高屏溪出海口、楓港溪出海口、四重溪出海口、墾丁大街外、鵝鑾鼻燈塔、小琉球---花瓶岩、杉福漁港、厚石裙礁、龍蝦洞。
臺灣東北部海域 5 個測點	頭城、內埤海灣、奇萊鼻、花蓮溪出海口、秀姑巒溪出海口
臺灣東南部海域 (包含蘭嶼) 9 個測點	黑潮流域、台東外海、杉原、基翬、蘭嶼---朗島、東清灣、野銀、八代灣、椰油。



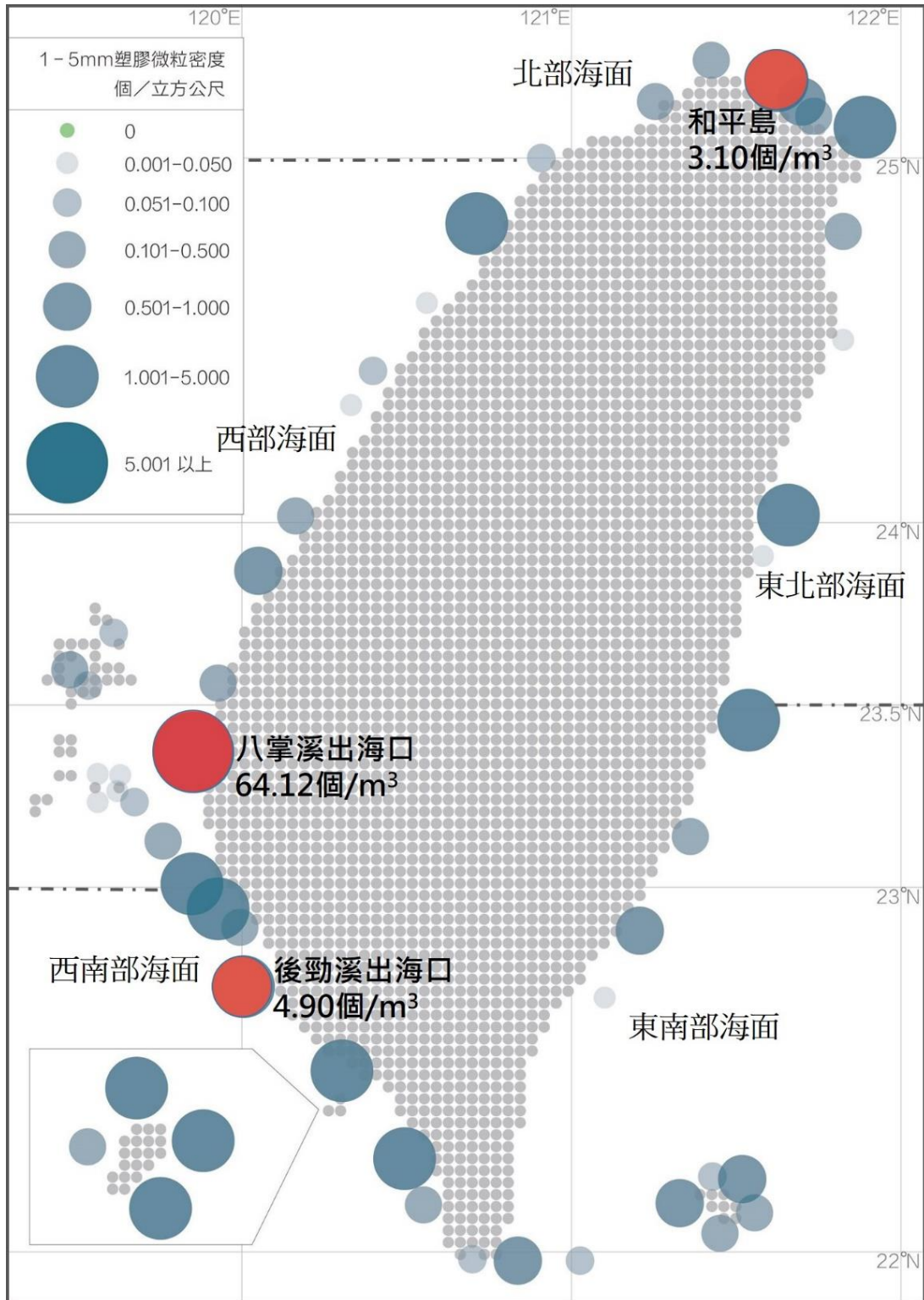


圖 6. 全臺沿岸 51 個測點及塑膠微粒密度分佈狀況，密度最高前三名依序為八掌溪出海口、後勁溪出海口、和平島

## 2-2 塑膠微粒在不同海域數量分佈狀況

表 2 為計算各海域平均塑膠微粒個數及五種塑膠類型所佔比例。平均數量最多的海域為西部海域，每立方公尺水體中平均有  $4.00 \pm 3.64$  個塑膠微粒，其次為西南部海域平均每立方公尺有  $1.53 \pm 0.37$  個、北部海域每立方公尺有  $0.92 \pm 0.38$  個、東北部海域每立方公尺有  $0.78 \pm 0.39$  個，東南部海域塑膠微粒量最少，平均每立方公尺為  $0.35 \pm 0.12$  (圖 7)。而五種類型塑膠，在每個海域都呈現同樣的趨勢，以硬塑膠比例為最高 (圖 8)。

表 2. 臺灣各海域測點數量及五種類型塑膠所佔比例

	北部海域	西部海域	西南部海域	東北部海域	東南部海域
測點數量	7	17	13	5	9
塑膠微粒平均數量 (個/立方公尺)	$0.92 \pm 0.38$	$4.00 \pm 3.64$	$1.53 \pm 0.37$	$0.78 \pm 0.39$	$0.35 \pm 0.12$
五種類型塑膠佔比(%)					
硬塑膠	84.1	81.6	72.1	58.2	47.8
軟塑膠	2.4	1.1	9.7	35.1	13.9
圓形塑膠粒	0.4	6.9	0.0	0.0	0.4
發泡塑膠	6.4	6.0	6.9	4.4	15.3
塑膠纖維	10.8	4.3	11.3	2.2	22.6

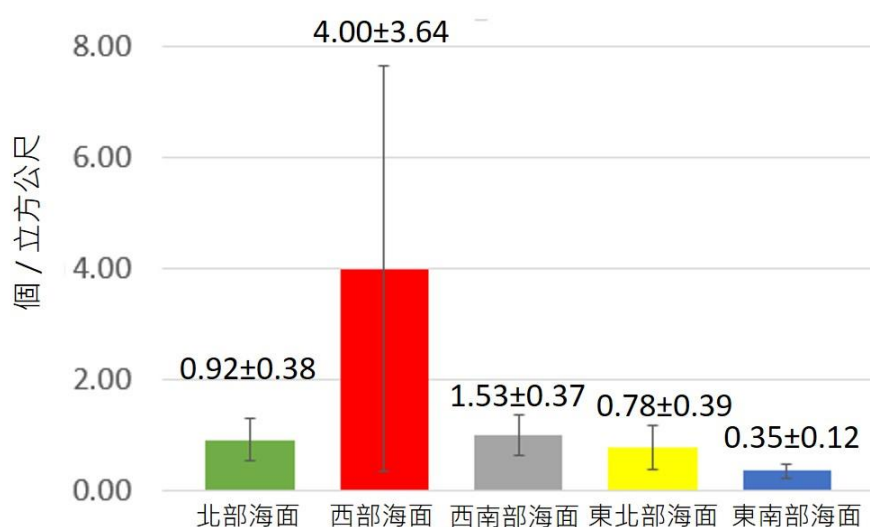


圖 7. 各海域每立方公尺水體中塑膠微粒平均數量

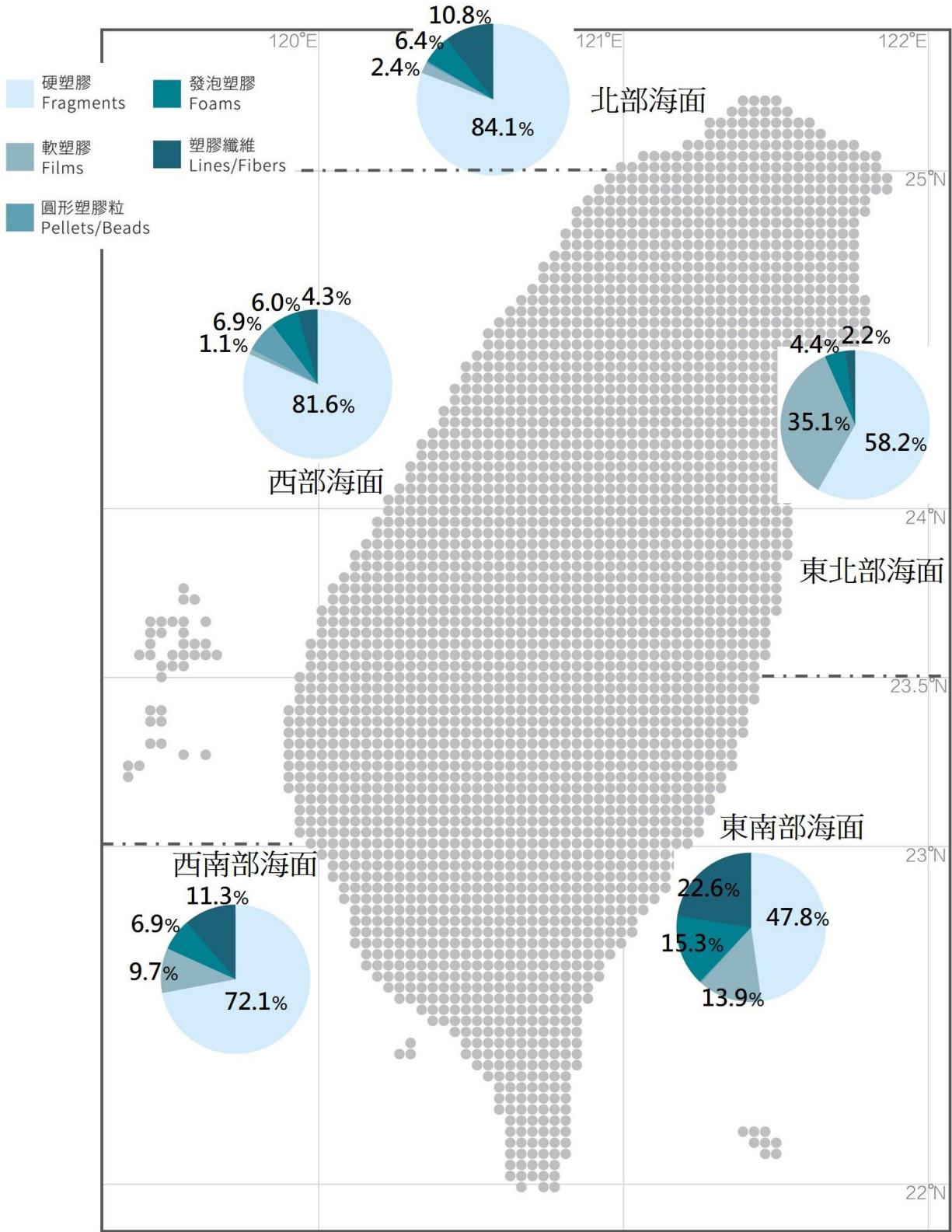


圖 8. 臺灣各海域不同塑膠類型組成比例



## 2-3 塑膠微粒海域分區概況

以下將針對塑膠微粒分佈數量與類型進行海域分區說明：

### 1. 臺灣北部海域

共計 7 個測點，分別為：龍洞、深澳、潮境、和平島、富貴角、淡水河出海口、觀音藻礁。塑膠微粒數量較多的地點為和平島及龍洞附近海域；主要組成以硬塑膠為主，佔了 80% 以上，也是五個海域中硬塑膠比例最高的海域。

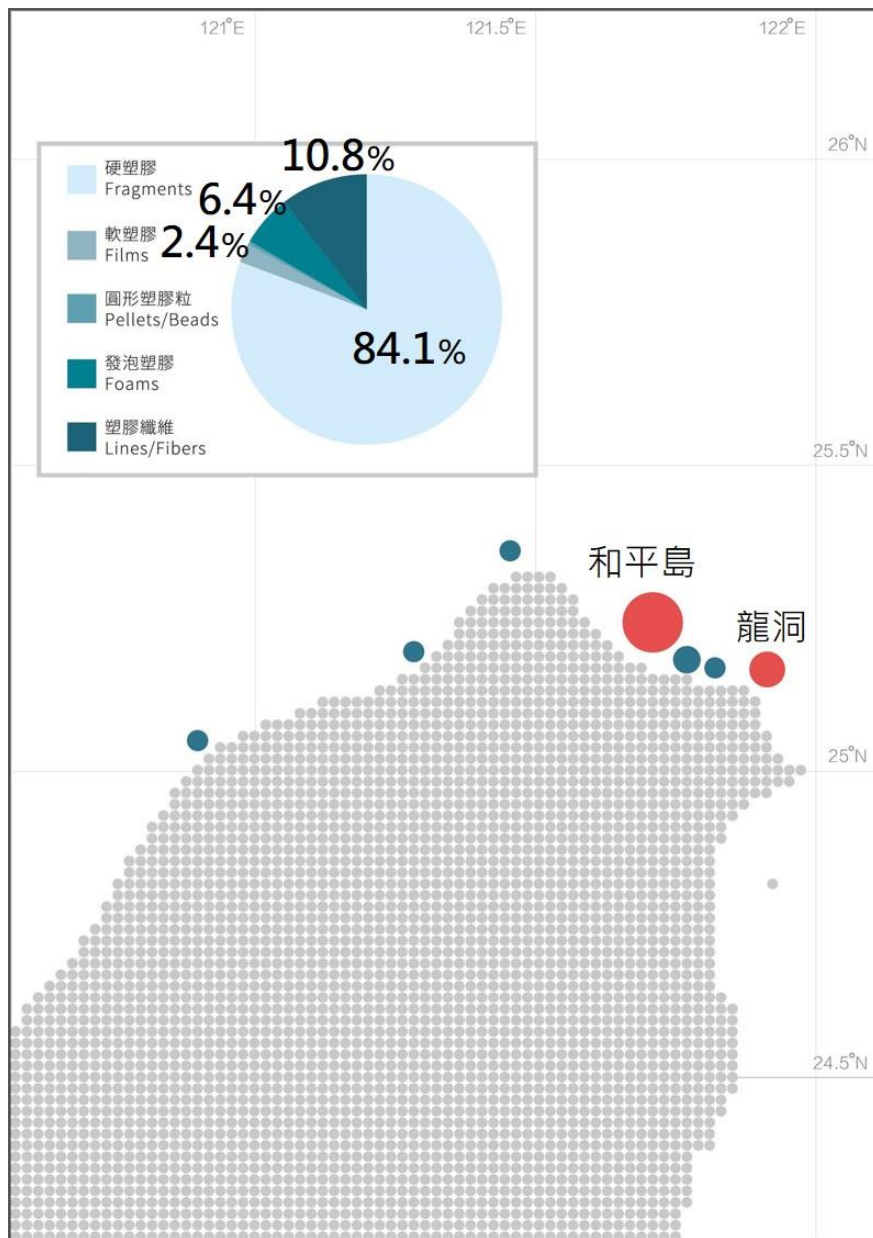


圖 9. 臺灣北部海域塑膠微粒類型佔比

## 2. 臺灣西部海域

共計 17 個測點，分別為：頭前溪出海口、後龍溪出海口、苑裡、高美濕地、王功外海、濁水溪出海口、北港溪出海口、八掌溪出海口。澎湖---烏嶼、馬公內港、海墘嶼、鋤頭嶼北面、東吉嶼碼頭、東吉嶼薰衣草森林、西吉嶼舊碼頭、西吉嶼藍洞、台南外海。

其中以八掌溪出海口、頭前溪出海口及濁水溪出海口塑膠微粒數量較多，八掌溪出海口不僅是全臺最高，在這個測點也計數到最多圓形塑膠粒，佔此地區總量的 6.9%，遠高於其他海域。圓形塑膠粒來源大多為塑料加工原料，推測與上游或鄰近縣市的工廠活動有關。而離島澎湖相對於臺灣沿海乾淨許多，但實際上澎湖各島海岸線上皆有許多大型垃圾堆積，而非漂流於海中，是否主要受洋流及季風影響，未來可納入洋流流向及風向等因素進行相關分析。

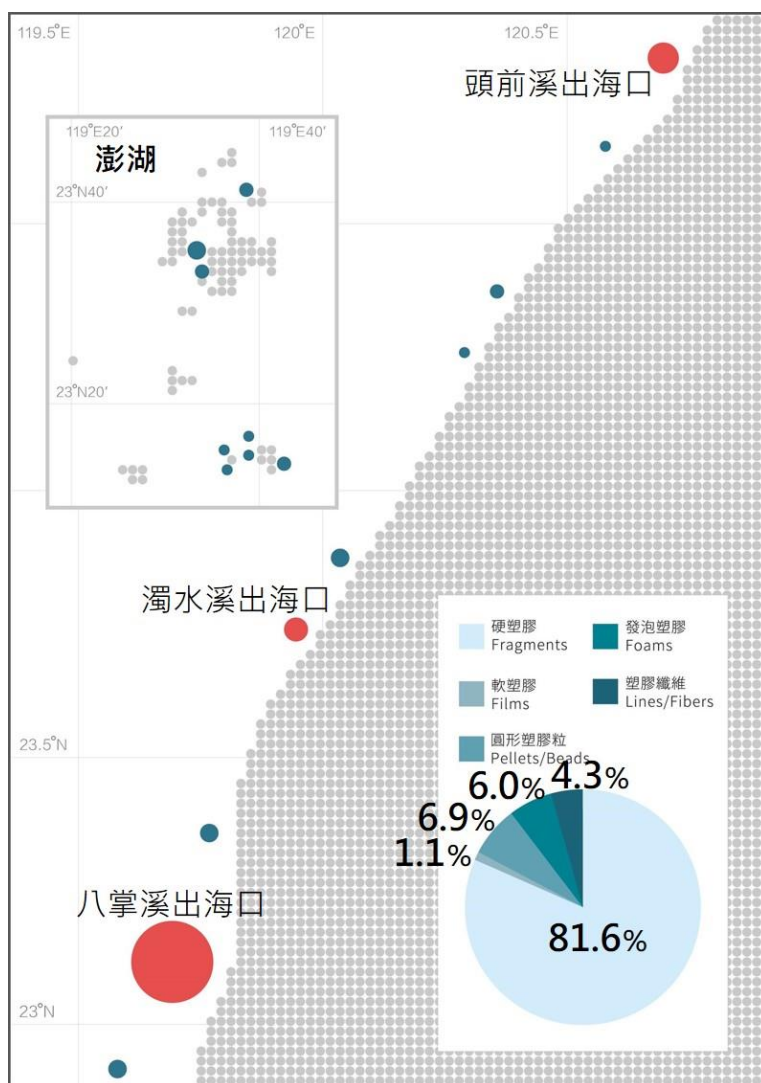


圖 10. 臺灣西部海域塑膠微粒類型佔比

### 3. 臺灣西南部海域

共計 13 個測點，分別為：曾文溪出海口、安平新港外、二仁溪出海口、後勁溪出海口、高屏溪出海口、楓港溪出海口、四重溪出海口、墾丁大街外、鵝鑾鼻燈塔、小琉球---花瓶岩、杉福漁港、厚石裙礁、龍蝦洞。

本區是各項人為活動最頻繁的區域，其中曾文溪出海口、安平新港外、後勁溪出海口、高屏溪出海口、楓港溪出海口以及小琉球的花瓶岩、龍蝦洞、厚石裙礁等 8 個測點塑膠微粒數量皆相對偏高，同時也撈到較多海漂垃圾。此區域硬塑膠比例最高，但可能來自塑膠袋、食品包裝的軟塑膠佔 9.7%；漁業活動如支撐蚵棚架的發泡塑膠佔 6.9%。

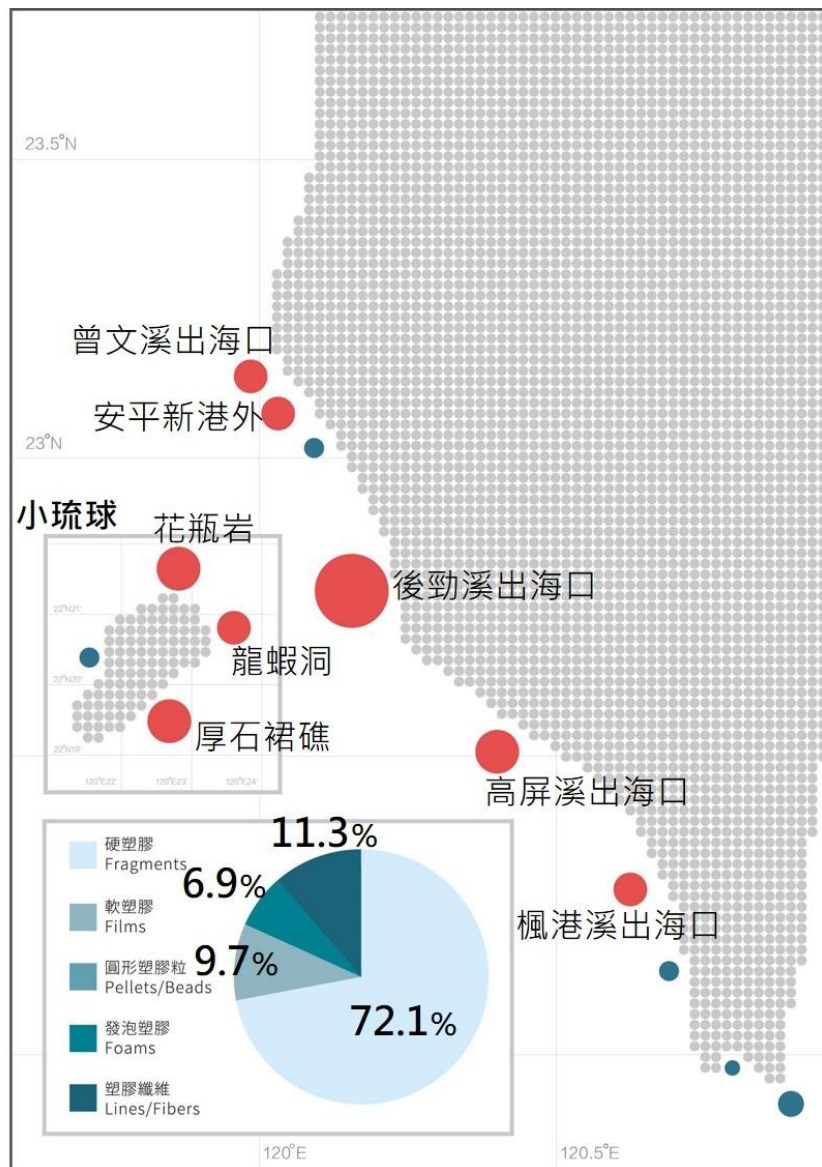


圖 11. 臺灣西南部海域塑膠微粒類型佔比

#### 4. 臺灣東北部海域

共計 5 個測點，分別為：頭城、內埤海灣、奇萊鼻、花蓮溪出海口、秀姑巒溪出海口。

其中以奇萊鼻及秀姑巒溪出海口塑膠微粒數量較高。在種類組成上，較特別的是軟塑膠比例明顯高於其他海域，佔 35.1%，推測與海岸邊的花蓮環保公園有關。原本是垃圾掩埋場的環保公園由於風浪長期侵蝕，其實已有一大部份垃圾露出，現場可見許多原本埋在裏面的塑膠袋及瓶罐等各式垃圾裸露在外，長期以來可能是這附近海域海漂垃圾的主要來源之一。

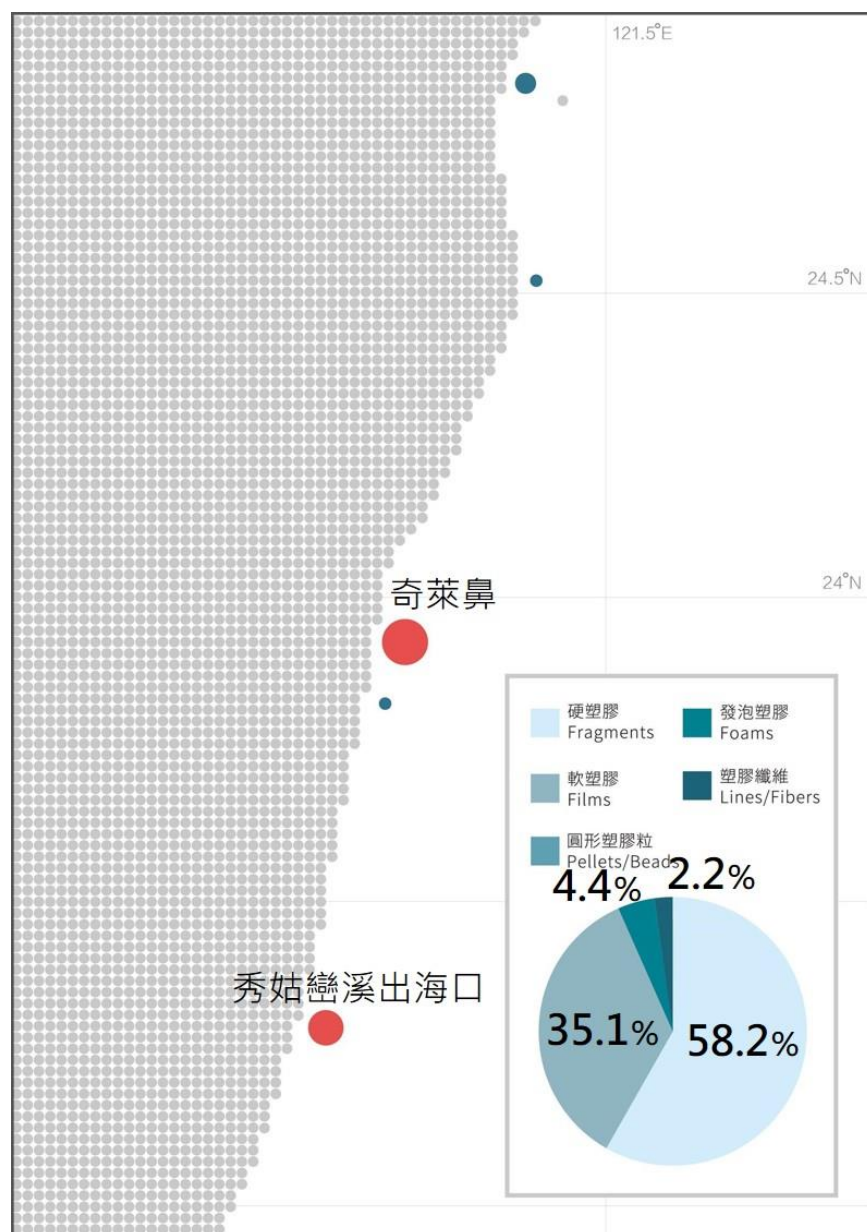


圖 12. 臺灣東北部海域塑膠微粒類型佔比



## 5. 臺灣東南部海域

共計 9 個測點，分別為：黑潮流域、台東外海、杉原、基翬、蘭嶼---朗島、東清灣、野銀、八代灣、椰油。

整體而言，本區塑膠微粒平均數量遠低於其他海域，其中數量最多的測點為臺東杉原與蘭嶼的椰油。九個測點中塑膠微粒數量最多出現在杉原近海，且各種類分佈平均。另想像中應該相對乾淨的蘭嶼，撈取到的塑膠微粒數量卻高於臺灣本島，主要組成為硬塑膠及發泡塑膠，集中在靠近開元港附近的椰油，由於位處交通密集區域，未來可再進一步探討是否與當地觀光活動頻繁有關。

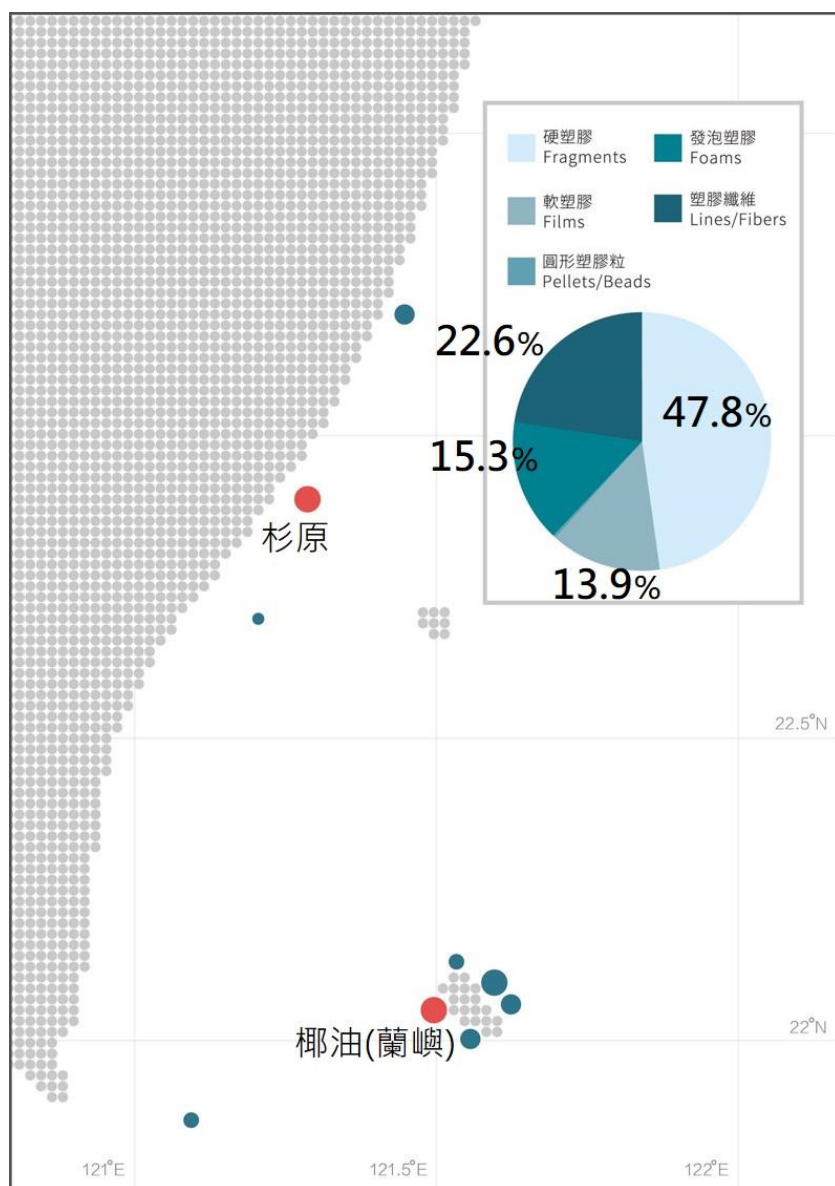


圖 13. 臺灣東南部海域塑膠微粒類型佔比



### 3. 小結與討論

#### 3-1 不同塑膠類型

硬塑膠、圓形塑膠粒及發泡塑膠在西部海域平均數量皆最高（圖 14），顯示塑膠微粒數量可能與陸域密集人為活動有關，其中圓形塑膠粒數量又明顯高於其他海域，主要來源為八掌溪出海口，根據經濟部水利署八掌溪河川情勢調查報告<sup>(6)</sup>，八掌溪流域工業以木業、電纜、塑膠、水電加工等中小型工廠為主，推測樣品中圓形塑膠粒主要來自流域範圍內塑膠加工廠。建議相關縣市政府、環保單位可沿八掌溪往上游進行採樣，以確定圓形塑膠粒來源是否與沿岸塑膠工廠有關，進一步訂定塑膠工廠管理規則。

軟塑膠在東北部海域數量最高，且採得樣品多已破碎，主要來源為花蓮奇萊鼻測點；破碎軟塑膠主要由塑膠袋、食品包裝紙等受外界應力裂解造成，推測由於花蓮環保公園長期受風浪侵蝕，導致掩埋其中的塑膠袋及各式垃圾慢慢暴露出來，尤其可能在颱風過後或東北風季節，裸露在外的垃圾不斷進入海中，造成附近海面上可見許多海漂垃圾。黑潮海洋文教基金會在 2019 年的塑膠微粒四季調查計畫，也將奇萊鼻測點劃入，期能藉由長期監測，了解環保公園對花蓮海域影響。

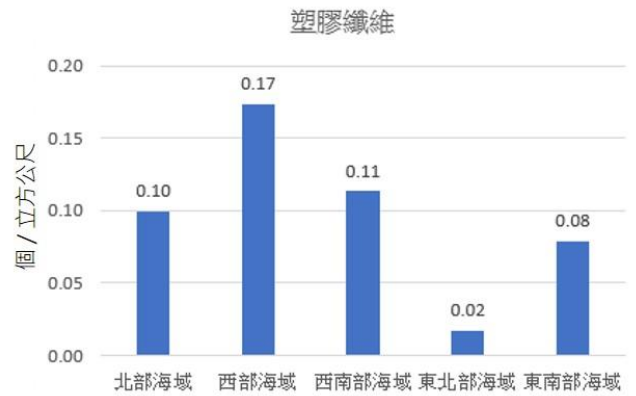
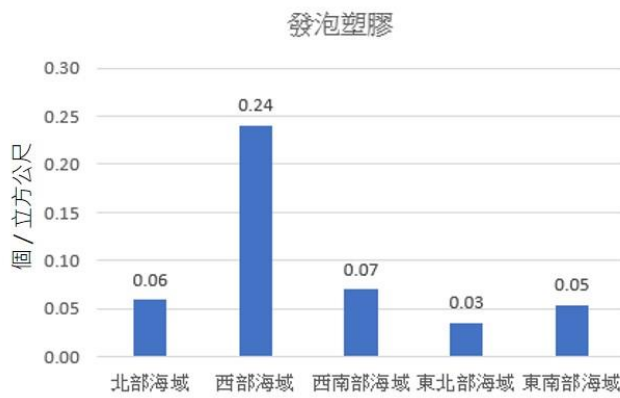
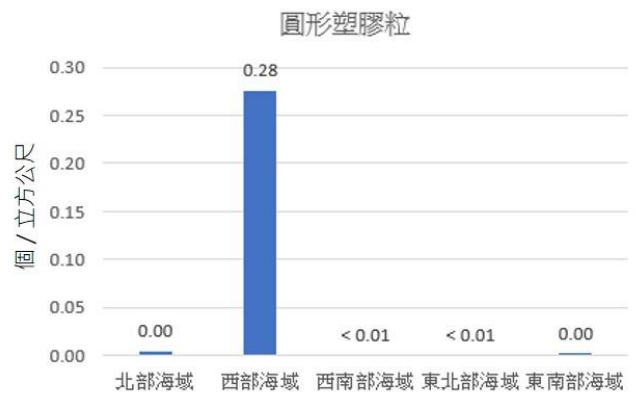
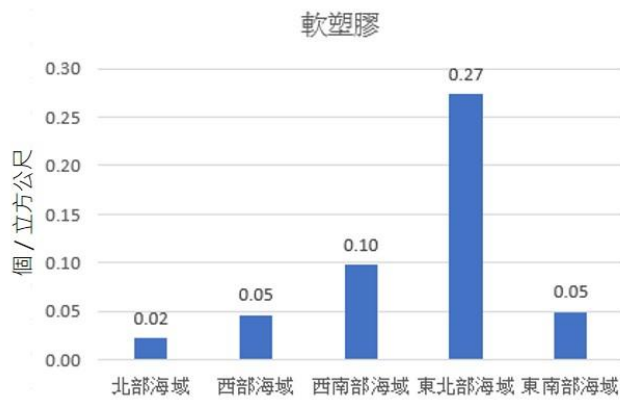
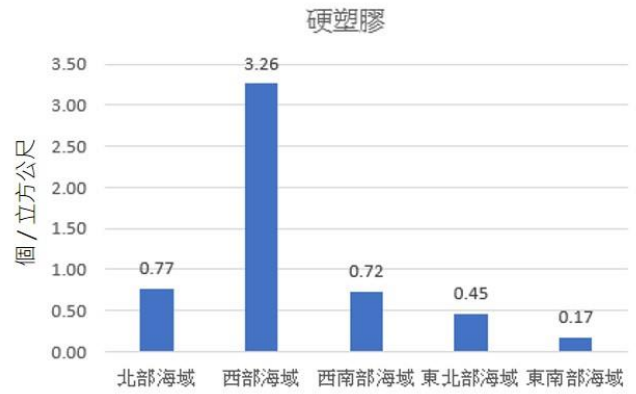
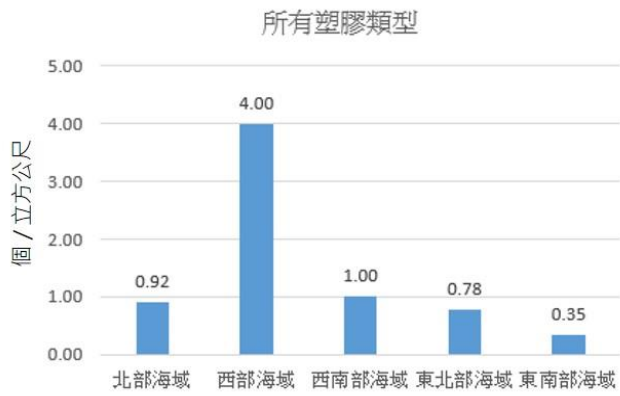


圖 14. 各類型塑膠在不同海域平均數量比較

### 3-2 與其他研究比較

塑膠微粒現已是海洋面臨最大課題之一，不只是漂浮於海水表層的單純現象，事實上也因影響海洋生物的生活進而與人類息息相關，表 3 列出數個調查地點研究結果，由數量來看，臺灣沿海塑膠微粒數量與其他海域相比似乎未明顯偏高，但數量絕不是判斷塑膠微粒對海洋影響程度的主要依據，而是幫助我們了解海洋現況的重要基礎。從表 3 也看到各海域包含內陸湖泊等水域皆有塑膠微粒，各國政府及研究單位也已積極投入相關調查以了解現況。黑潮這次的調查只是開端，後續如塑膠微粒吸附環境中有毒化學物質能力、洋流如何影響其分佈狀況、對海洋生物及人類健康的影響為何.....，都是需要政府相關單位擬定研究方向及方法，長期執行，才能全面了解並提出最適當的政策因應。

表 3. 黑潮島航結果與其他相關研究比較

	調查年度	調查地點	平均塑膠微粒數量 (個/立方公尺)	採樣網具
美國	2012	北太平洋	0.12	
義大利	2014	地中海中西部	0.15	Manta Trawl
日本	2014	全日本沿海 56 測點	0.3-100	浮游生物網
美國	2014-2015	五大湖區 內陸湖泊 29 測點	0.05-32	Manta Trawl
臺灣 (黑潮島航)	2018	全臺沿海 51 測點	0.35-4.00	Manta Trawl

### 3-3. 後續研究方向

2018 年 6 月，黑潮海洋文教基金會在完成遶島行動，實際見證海洋環境的汙染情形之後，確切感受到建立塑膠微粒分佈的長期資料庫是刻不容緩且須持續進行的任務。在有限的資源條件下，2019 年，黑潮團隊在能力所及的範圍內，將持續監測北部至東北部海域塑膠微粒分佈狀況。調查期程目前規劃以季為單位進行，將分四次進行；採樣地點以東部海域為主，暫定 8 個測點，最北為潮境，最南至秀姑巒溪口。未來在呈現上也考慮納入洋流的走勢，讓整體調查結果更趨於完整。然而海洋的事務龐雜，未來也期待更多專業夥伴的加入，給予協助及意見，一同為台灣的海洋環境努力。

#### 4. 參考文獻

- (1) Browne, M. A.; Galloway, T.; Thompson, R. Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? *Integr. Environ. Assess. Manage.* 2007, 3 (4), 559–561.
- (2) Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 2011, 62 (12), 2588–2597.
- (3) Tourinho, P. S.; Ivar do Sul, J. A.; Fillmann, G. Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil? *Mar. Pollut. Bull.* 2010, 60 (3), 396–401.
- (4) Lavers, J. L.; Bond, A. L.; Hutton, I. Plastic ingestion by fleshfooted shearwaters (*Puffinus carneipes*): Implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic-derived chemicals. *Environ. Pollut.* 2014, 187, 124–129.
- (5) Seta“la”, O.; Fleming-Lehtinen, V.; Lehtiniemi, M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ. Pollut.* 2014, 185, 77–83.
- (6) 經濟部水利署第五河川局，八掌溪河系河川情勢調查報告總計畫，2006，563頁

附錄一

海域	測點	測點經緯度		塑膠微粒數量 (個/立方公尺)
臺灣北部海域 (共 7 個測點)	龍洞	25.11245	121.92807	1.680
	深澳	25.13394	121.83172	0.322
	潮境	25.14619	121.81039	0.570
	和平島	25.16343	121.77042	3.098
	富貴角	25.31656	121.53625	0.154
	淡水河出海口	25.19655	121.36940	0.413
	觀音藻礁	25.03552	121.02539	0.169
臺灣西部海域 (共 17 個測點)	頭前溪出海口	24.87335	120.88445	1.370
	後龍溪出海口	24.62829	120.70850	0.043
	苑裡	24.43155	120.54588	0.099
	高美濕地	24.34334	120.47573	0.016
	王功外海	23.97778	120.29239	0.241
	濁水溪出海口	23.82398	120.12828	0.941
	北港溪出海口	23.52118	120.05104	0.194
	八掌溪出海口	23.38259	120.07850	64.122
	烏嶼(澎湖)	23.67065	119.65202	0.097
	馬公內港(澎湖)	23.55917	119.56576	0.051
	海墘嶼(澎湖)	23.58164	119.53757	0.141
	鋤頭嶼北面(澎湖)	23.26580	119.65990	0.021
	東吉嶼碼頭(澎湖)	23.25431	119.66447	0.031
	東吉嶼薰衣草森林 (澎湖)	23.25064	119.67435	0.073
	西吉嶼舊碼頭 (澎湖)	23.24558	119.61087	0.018
	西吉嶼藍洞(澎湖)	23.25243	119.60899	0.032
	台南外海	23.11391	119.85534	0.466



附錄一(續)

海域	測點	測點經緯度		塑膠微粒數量 (個/立方公尺)
		經度	緯度	
臺灣西南部海域 (共 13 個測點)	曾文溪出海口	23.01844	120.03456	1.078
	安平新港外	22.95365	120.15369	1.279
	二仁溪出海口	22.90938	120.16262	0.145
	後勁溪出海口 (援中港)	22.71158	120.23609	4.908
	高屏溪出海口	22.43832	120.40225	2.666
	楓港溪出海口	22.19217	120.67056	1.857
	四重溪出海口	22.06309	120.69807	0.182
	墾丁大街外	21.93858	120.79231	0.064
	鵝鑾鼻燈塔	21.89443	120.85866	0.856
	花瓶岩(小琉球)	22.35532	120.38244	2.600
	杉福漁港(小琉球)	22.33944	120.36027	0.190
	厚石裙礁(小琉球)	22.32450	120.36707	2.420
	龍蝦洞(小琉球)	22.34623	120.39036	1.619
臺灣東北部海域 (共 5 個測點)	頭城	24.84126	121.86241	0.185
	內埤海灣	24.57616	121.87453	0.022
	奇萊鼻	24.01526	121.65023	2.107
	花蓮溪出海口	23.94153	121.62461	0.031
	秀姑巒溪出海口	23.46338	121.51780	1.549

附錄一(續)

海域	測點	測點經緯度		塑膠微粒數量 (個/立方公尺)
臺灣東南部海域 (共 9 個測點)	黑潮流域	21.87618	121.08227	0.062
	台東外海	22.64437	121.18470	0.034
	杉原	22.83291	121.19267	0.986
	基翬	23.10910	121.40227	0.188
	朗島(蘭嶼)	22.08746	121.52810	0.052
	東清灣(蘭嶼)	22.05372	121.57107	0.563
	野銀(蘭嶼)	22.04328	121.57389	0.175
	八代灣(蘭嶼)	22.02191	121.55156	0.147
	椰油(蘭嶼)	22.05044	121.50702	0.929