

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

(鄉土)教材獎

052604

基隆外木山沙灘塑膠微粒汙染探討與研究

學校名稱：基隆市立安樂高級中學

作者： 高二 游景欽 高二 陳德謙	指導老師： 劉育祈 劉慈先
-------------------------	---------------------

關鍵詞：塑膠微粒、外木山沙灘

摘要

本研究透過多點、減量、加深的取樣模式觀察基隆外木山沙灘所受的塑膠微粒污染，發現外木山沙灘塑膠微粒污染主要是因為外來填沙所造成的污染。也發現潮汐與離岸流會造成潮間帶顆粒大小不同的塑膠微粒分布的差異。潮間帶的微塑膠粒數量比非潮間帶少很多，可見少掉的塑膠微粒很可能經由洋流帶入海洋。因此沙灘的塑膠微粒污染，帶給海洋生物生態的影響是無法避免的。而非潮間帶的塑膠微粒顆粒的大小，也會有不同的分布。我們建議應該對外木山沙灘塑膠微粒污染做長期監測，以瞭解被塑膠微粒污染的沙灘，其塑膠微粒如何進入海洋，為海洋生態保育盡一份心力。

壹、 研究動機

我們曾經在一篇報紙看到一位德國地質學者孔燕祥（Alexander Kunz），在台灣做博士後研究過程中，投入北部沙灘塑膠微粒的研究。其研究的北海岸四處沙灘包含石門白沙灣、淡水沙崙海灘、貢寮福隆海灘以及基隆外木山沙灘，其中基隆外木山沙灘所受塑膠微粒污染的程度為其他海灘的 20~50 倍。這樣的訊息第一個使我們震撼的是一「孔燕祥博士是德國人，居然是第一個研究台灣沙灘微塑膠粒污染的學者。」第二個使我們震撼的是一「我們的家鄉基隆為什麼成為污染最嚴重的地方？從小玩沙的地方怎麼會這麼髒？」

基於對自己家鄉土地的關懷，我們開始了「外木山沙灘塑膠微粒污染」的研究，希望透過我們的研究可以幫助我們所住的環境更加美好。

課程相關性：全球環境變遷

貳、 研究目的

- 一、以新的取樣方式瞭解基隆外木山沙灘塑膠微粒的分布。
- 二、研究基隆外木山沙灘塑膠微粒可能的來源。
- 三、提供沙灘塑膠微粒長期監測的可行性方法。

參、 研究設備及器材

- 一、內徑 6 公分，高 5 公分的空心不鏽鋼管，10 個。
- 二、過濾篩網 4 個，塞篩尺寸大小:1mm、0.5mm、0.105mm、0.037mm。
- 三、裝沙玻璃瓶 36 個，容積約 700 ml。
- 四、錐形瓶容積 500ml，5 個。
- 五、培養皿 100 個。
- 六、蒸餾水。
- 七、光學顯微鏡。
- 八、其他：鏟子、刮刀、洗滌瓶、鑷子、酒精燈。

		
空心不鏽鋼管	過濾篩網	玻璃瓶
		
培養皿	錐形瓶	蒸餾水

肆、 研究過程或方法

一、取沙

1. 取沙面積大小

有關沙灘塑膠微粒的研究，在過去國外的經驗多以 50cm*50cm 的面積往下取沙 5cm 或 10cm。由於外木山的沙灘為基隆市政府向大陸購沙填入，因此我們希望能探討較深位置沙粒所受塑膠微粒汙染的情形。經過討論我們以小面積多點取樣深度 20cm 的方式進行本次的研究。

2. 取沙位置

圖（一）為本研究第一次（2018 年 2 月 17 日）取沙位置的衛星定位圖，表一所列為各位置的經緯度。A 前、B 前、C 前為潮間帶，A 中、B 中、C 中為潮間帶與沙灘靠馬路位置的中間位置，此區定義為玩沙人潮較多位置。A 後、B 後、C 後為靠近馬路沙灘，此區定義為人潮較少到達位置。



圖（一）外木山沙灘取沙位置手機衛星定位圖

表一：取沙位置經緯度

位置	經度	緯度
A 前	121.70684° E	25.16558° N
A 中	121.70677° E	25.16580° N
A 後	121.70664° E	25.16580° N
B 前	121.70706° E	25.16558° N
B 中	121.70690° E	25.16550° N
B 後	121.70675° E	25.16518° N
C 前	121.70718° E	25.16479° N
C 中	121.70718° E	25.16486° N
C 後	121.70694° E	25.16474° N

3. 取沙方法

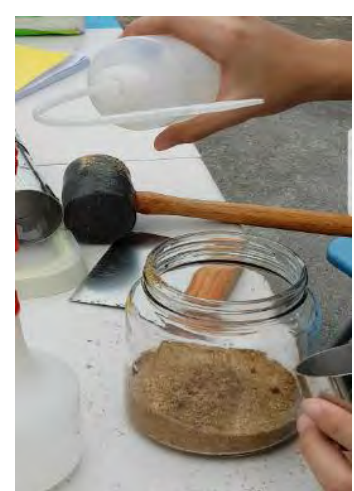
以內徑 6 公分、高 5 公分不鏽鋼管 4 個相接如圖 (二) (a)，將其錘入取沙點 20 公分，將周圍沙挖除以刮刀插入底部完成取沙。然後把不鏽鋼管依序拆除如圖 (二) (b)，再將其裝入透明玻璃罐內如圖 (二) (c)，後以蒸餾水沖不銹鋼管壁，把餘沙也沖進玻璃罐中，清洗完所有的器材進行下一個樣品的分裝。



(a)



(b)



(c)

圖 (二) 取沙及分裝流程圖

二、塑膠微粒過濾

首先使用飽和食鹽水將樣品沖入錐形瓶中，經劇烈搖晃後靜置 3 分鐘，再將上半層的溶液倒入過濾篩網中。篩網共 4 層，篩網孔目大小由上到下依序為 1.0 mm (Mesh No. 18)、0.5 mm (Mesh No. 35)、0.105 mm (Mesh No. 140)、0.037mm (Mesh No. 400)，以此作為微塑膠顆粒大小分類之標準。將重覆上述步驟 5 次，以確認塑膠完全提取，並降低誤差。為確保過程中無夾帶沙粒，所以將先前過濾出的樣品倒入飽和食鹽水中，再經搖晃後靜置 3 分鐘，進行第二次的過濾，將二次過濾後的樣品以大量蒸餾水沖釋洗淨。最後將樣品從篩網中沖入培養皿中，將培養皿放入蒸箱中以 50°C 溫度將水分蒸乾。

三、塑膠微粒統計計算

(一) 1.0 mm 篩網、0.5 mm 篩網過濾塑膠微粒

取金屬鑷子經酒精燈加溫數秒後，碰觸蒸乾後的樣品微粒，若是塑膠則會熔化變形，部分樣品會直接因高溫而蒸發。熔化變形樣品置入藥品盒中保存，沒有變形之樣品微粒，則放回培養皿中保存。

(二) 0.105 mm 篩網過濾塑膠微粒

用光學顯微鏡觀察，由左至右由上至下計算顆粒。此部分微粒因無法使用鑷子夾取，甚至大部分都是肉眼無法觀察，僅能在顯微鏡下看到的微粒。因此以顯微鏡所觀察到的數目作為統計。

我們以加溫後的鑷子測試此網目顆粒，所測試的 2 顆微粒樣品，在鑷子碰觸後即瞬間蒸發不見。在比較處理 1 mm 篩網以及 0.5 mm 篩網的樣品中，加溫後的鑷子碰觸不產生變形的顆粒不超過 20%。因此我們推論 0.105 mm 篩網，以顯微鏡觀察統計的塑膠微粒數目誤差應不超過 20%。

(三) 0.037 mm 篩網過濾塑膠微粒

0.037 mm 篩網內的顆粒，於顯微鏡下觀察無法看到物體的型態，僅能觀察到絲狀或顆粒狀，因此此大小的樣品予以保存，不統計其顆粒。

伍、 研究結果

本研究主要分析 2018 年 2 月 17 日共九個位置採樣樣品分析，如圖（一）所示 A 前、B 前、C 前、A 中、B 中、C、A 後、B 後、C 後，各位置之經緯度如表一所示。A 前、B 前、C 前為沙灘潮間帶的沙子，於接近乾潮時間取最接近海浪，不被海浪覆蓋的沙子。A 中、B 中、C 中為潮間帶至靠馬路沙灘中央處，為玩沙人潮較密集處。A 後、B 後、C 後為靠近馬路之沙灘位置，即玩沙人潮較少處。取沙的容器為內徑 6 公分、高度 5 公分的空心的不鏽鋼管，每段採砂樣品體積為 141 立方公分。表二為 2 月 17 日的取沙採樣樣品分析，取沙深度 0~20 公分，每 5 公分取一個樣品，所算出的每個樣品微塑膠粒數量統計。圖（三）為外木山沙灘離岸流示意圖，表二乃配合圖（三）所示位置，將 C、B、A 由表左至表右，後、中、前由表上至表下依序列表。其中表二下方 C 前、B 前、A 前表內淡藍色箭頭，則為離岸流的示意圖。



圖（三）外木山沙灘離岸流示意圖

附錄一為各位置、深度 ≥ 1.0 mm 以及 ≥ 0.5 mm 塑膠微粒實際照片。

表二：微塑膠顆粒統計總表（2月17日採樣）

取沙位置		C 後		B 後		A 後	
取砂深度	塑膠微粒大小	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數
0 ~ 5 cm	≥1mm	3	37	1	18	0	36
	≥0.5mm	2	1	4	6	18	2
	≥0.105mm	0	58	0	37	0	76
	顆粒總數		101		66		132
5 ~ 10 cm	≥1mm	1	23	2	12	0	44
	≥0.5mm	21	4	2	8	5	9
	≥0.105mm	0	45	0	33	0	59
	顆粒總數		94		57		117
10 ~ 15 cm	≥1mm	13	93	4	11	0	36
	≥0.5mm	12	5	3	1	8	5
	≥0.105mm	0	50	0	12	0	28
	顆粒總數		173		31		77
16 ~ 20 cm	≥1mm	2	67	1	10	0	40
	≥0.5mm	18	9	0	0	0	7
	≥0.105mm	0	76	0	54	0	48
	顆粒總數		172		65		95
取沙位置		C 中		B 中		A 中	
取砂深度	塑膠微粒大小	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數
0 ~ 5 cm	≥1mm	0	4	2	19	0	18
	≥0.5mm	3	3	1	3	1	5
	≥0.105mm	0	69	0	59	0	17
	顆粒總數		79		84		41
5 ~ 10 cm	≥1mm	1	9	1	5	0	80
	≥0.5mm	0	4	0	3	0	16
	≥0.105mm	0	56	0	29	0	44
	顆粒總數		70		38		140
10 ~ 15 cm	≥1mm	1	7	3	9	1	138
	≥0.5mm	0	0	1	2	1	16
	≥0.105mm	0	43	0	26	0	65
	顆粒總數		51		41		221
16 ~ 20 cm	≥1mm	0	32	1	10	1	6
	≥0.5mm	3	15	0	0	0	0
	≥0.105mm	0	28	0	76	0	19
	顆粒總數		78		87		26
取沙位置		C 前		B 前		A 前	
取砂深度	塑膠微粒大小	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數	蒸發數	保存數
0 ~ 5 cm	≥1mm	0	0	0	0	0	0
	≥0.5mm	0	0	2	2	1	0
	≥0.105mm	0	15	0	17	0	34
	顆粒總數		15		21		35
5 ~ 10 cm	≥1mm	0	0	0	0	0	0
	≥0.5mm	0	0	0	3	0	0
	≥0.105mm	0	19	0	12	0	19
	顆粒總數		19		15		19
10 ~ 15 cm	≥1mm	0	0	0	0	0	0
	≥0.5mm	0	0	0	12	0	0
	≥0.105mm	0	21	0	12	0	23
	顆粒總數		21		24		23
16 ~ 20 cm	≥1mm	0	0	0	0	0	0
	≥0.5mm	0	0	0	0	0	0
	≥0.105mm	0	18	0	20	0	36
	顆粒總數		18		20		36

陸、 討論

一、比較本研究結果與孔燕祥博士 2016 論文的差異

表三為孔燕祥博士 2016 論文沙灘塑膠微粒的顆粒統計表。可看到外木山沙灘塑膠微粒總數約為砂崙沙灘的 25 倍、白沙灣的 50 倍、福隆沙灘的 55 倍。由孔博士論文中所說，此結果可能是因為外木山沙灘是唯一在颱風後取樣的原因。

表三：孔燕祥博士 2016 論文簡要統計

深度	顆粒大小	沙崙	白沙灣	外木山	福隆
0 ~ 5 cm	≥ 1mm	6	1	93	10
	≥ 0.5mm	3	0	222	3
	≥ 0.25mm	12	7	169	3
	顆粒總數	21	8	484	16
5 ~ 10 cm	≥ 1mm	2	2	129	1
	≥ 0.5mm	9	4	274	1
	≥ 0.25mm	9	6	129	2
	顆粒總數	20	12	532	4
※ 孔博士 2016 所做研究取砂樣品為 12500 立方公分。					

本研究所使用取樣容器為內徑 6cm、高 5cm 的不鏽鋼圓管，取樣容積為 141 立方公分。對照孔博士的研究樣本，我們將表二樣本顆粒數乘以 88.4 以對照到孔博士的研究數數。表四為本研究與孔博士於 ≥ 1.0mm 以及 ≥ 0.5mm 的塑膠微粒總數比較表。由表中的數據顯示，本次所做研究在非潮間帶（C 後、B 後、A 後、C 中、B 中、A 中），外木山沙灘塑膠微粒無論是 0~5 公分、5~10 公分深度的沙或 ≥ 1mm、≥ 0.5mm 的塑膠微粒，汙染程度皆比 2016 年嚴重數倍，部分採樣汙染程度甚至將近 40 倍。整體而言，大於 1.0 mm 的塑膠顆粒汙染惡化程度，明顯高於大於 0.5 mm 的塑膠微粒。

潮間帶三個位置（C 前、B 前、A 前）、四種深度共 12 個採樣，並沒有發現 ≥ 1.0 mm 的塑膠微粒，也僅四個樣品有發現到有 ≥ 0.5mm 的塑膠微粒。推測此結果應該是孔博士採樣位置位於非潮間帶有關。

表四：本次研究樣品與孔燕祥博士 2016 論文比較

深度	顆粒大小	孔博士 2016 論文	本次研究取樣數據											
			C 後	B 後	A 後	後區 平均	C 中	B 中	A 中	中區 平均	C 前	B 前	A 前	前區 平均
0~5 cm	≥1mm	93	3536	1679	3182	2799	354	1857	1591	1267	0	0	0	0
	≥0.5mm	222	265	884	1768	972	530	353	530	471	0	354	88	147
5~10 cm	≥1mm	129	2121	1238	3890	2416	884	530	7072	2829	0	0	0	0
	≥0.5mm	274	2210	884	1238	1444	354	265	1414	678	0	265	0	88
10~15 cm	≥1mm		9370	1326	3182	4626	707	1061	12287	4685	0	0	0	0
	≥0.5mm		1503	353	1149	1002	0	265	1502	589	0	1061	0	354
15~20 cm	≥1mm		6080	972	3536	3529	2829	972	618	1473	0	0	0	0
	≥0.5mm		2387	0	619	1002	1591	0	0	530	0	0	0	0

※ 表二中 1.0 mm 以及 0.5 mm 塑膠微粒數據*88.4 所得。

二、潮間帶塑膠微粒

表五為潮間帶塑膠微粒統計與數量排序總表，主要有三點發現：

表五：潮間帶塑膠微粒統計與數量排序總表

≥1.0 mm	C 前		B 前		A 前	
深度 (cm)	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
0~5	0		0		0	
5~10	0		0		0	
10~15	0		0		0	
15~20	0		0		0	
≥0.5 mm	C 前		B 前		A 前	
0~5	0		4	14	1	16
5~10	0		3	15	0	
10~15	0		12	11	0	
15~20	0		0		0	
≥0.105 mm	C 前		B 前		A 前	
0~5	15	10	17	9	34	2
5~10	19	6	12	11	19	6
10~15	21	4	12	11	23	3
15~20	18	8	20	5	36	1
	微粒數量排序 1~3		微粒數量排序 4~10		微粒數量排序 11~20	

(一) ≥ 1.0 mm 的塑膠微粒：表中可清楚看到在 A 前、B 前、C 前位置，採砂樣品深度 0 ~ 20 cm， ≥ 1 mm 的塑膠微粒並沒有任何的發現。

此結果可能是較大顆粒的塑膠因為浮力較大，不容易留置於潮間帶，因此隨著潮汐作用與離岸流而離開。

(二) ≥ 0.5 mm 的塑膠微粒：少量出現在 B 前位置、C 前位置沒有發現、A 前僅在 0 ~ 5cm 深度發現一顆。

此部分的塑膠微粒因為體積小，浮力作用相對也較小，因此留置在潮間帶的機會也會增加。而在 B 前位置所發現的微粒數，很明顯的多於 C 前、A 前位置，此結果可能與離岸流的作用有關。C 前為離岸流進入沙灘的位置，B 前為離岸流在潮間帶橫向流動的位置，A 前為離岸流離開沙灘的位置大小。離岸流進入與離開沙灘時具有較大的搬運動能，因此塑膠顆粒不夠小（浮力大）時較容易被搬離潮間帶，B 前位置離岸流橫向流動動能較小，因此介於 0.5 mm ~ 1.0 mm 的塑膠微粒較有可能被留置在潮間帶。

(三) ≥ 0.105 mm 的塑膠微粒：無論 C 前、B 前、A 前位置，深度 0 ~ 20 公分各四個採樣樣品，皆有相對大量的微粒數出現。三個位置四個不同深度採樣，A 前平均微粒數 28 顆、C 前平均微粒數 18 顆、B 前平均微粒數 15 顆。

此部分的塑膠微粒因為極小，浮力作用相對不明顯，因此留置在潮間帶的機會大大增加。其中 A 前塑膠微粒的數目顯著比 C 前、B 前多，有可能是因為離岸流的作用所帶來的結果。

潮汐作用與離岸流對塑膠微粒的搬運作用，對潮間帶塑膠微粒污染的分布，扮演著非常重要的角色，也影響不同大小塑膠微粒的污染分布。因此潮汐與離岸流對塑膠微粒的動力研究，將有助於瞭解潮間帶塑膠微粒污染的分布。此外，由表二統計結果所示，外木山潮間帶塑膠微粒數量比非潮間帶少很多，可見少掉的塑膠微粒很可能經由洋流帶入海洋。因此沙灘的塑膠微粒污染，帶給海洋生物生態的影響是無法避免的。

三、非潮間帶塑膠微粒

表六為大於 1.0 mm 塑膠微粒統計表，表七為大於 0.5 mm 塑膠微粒統計表，表八為 1.0

mm + 0.5 mm 塑膠微粒統計表，表九為大於 0.105 mm 塑膠微粒統計表。由表六、表七以及表九，可發現在非潮間帶較大顆粒（表六 ≥ 1.0 mm 以及表七 ≥ 0.5 mm）與較小顆粒（表九 ≥ 0.105 mm）的塑膠微粒分布有明顯的差異。討論如下：

（一） ≥ 1.0 mm 的塑膠微粒：由表六可發現在非潮間帶，靠近馬路的沙灘（C 後、B 後、A 後）比戲砂區（C 中、B 中、A 中）沙灘受塑膠微粒污染嚴重。A 區與 C 區受塑膠微粒的污染又明顯比中區嚴重。結果顯示越是人潮容易到達位置，大於 1.0 mm 的塑膠微粒有越少的趨勢。

（二） ≥ 0.5 mm 的塑膠微粒：由表七可發現，大於 0.5 mm 的塑膠微粒在沙灘上的分布趨勢與大於 1.0 mm（表六）的塑膠微粒有一致的分布趨勢。表八為將表六（ ≥ 1.0 mm 塑膠微粒統計表）、表七（ ≥ 0.5 mm 塑膠微粒統計表）加總計算，其塑膠微粒分布趨勢與表六、表七個別分析也有一致性。

而表六與表七 C 中位置的塑膠微粒數量，明顯較非潮間帶其他位置的塑膠微粒數量少。經過潮汐的觀察發現，C 中位置在大潮時也會被海水淹蓋，因此大顆粒的塑膠微粒容易被帶離，此趨勢與潮間帶的分析一致。

表六： ≥ 1.0 mm 塑膠微粒統計表

位置 深度 (cm)	C 後		B 後		A 後	
	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
0 ~ 5	40	6	19	13	36	8
5 ~ 10	24	11	14	16	44	5
10 ~ 15	106	2	15	15	36	8
15 ~ 20	68	4	11	18	40	6
位置	C 中		B 中		A 中	
0 ~ 5	4		21	12	18	14
5 ~ 10	10	20	6		80	3
10 ~ 15	8		12	17	139	1
15 ~ 20	32	10	11	18	7	
位置	C 前		B 前		A 前	
0 ~ 5	0		0		0	
5 ~ 10	0		0		0	
10 ~ 15	0		0		0	
15 ~ 20	0		0		0	
	微粒數量排序 1~3		微粒數量排序 4~10		微粒數量排序 11~20	

表七：≥ 0.5 mm 塑膠微粒統計表

位置	C 後		B 後		A 後		
58 (cm)	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	
0 ~ 5	3	20	10	11	20	3	
5 ~ 10	25	2	10	11	14	8	
10 ~ 15	17	5	4	16	13	9	
15 ~ 20	27	1	0		7	13	
位置	C 中		B 中		A 中		
0 ~ 5	6	14	4	16	6	14	
5 ~ 10	4	16	3	20	16	7	
10 ~ 15	0		3	20	17	5	
15 ~ 20	18	4	0		0		
位置	C 前		B 前		A 前		
0 ~ 5	0		4	16	1		
5 ~ 10	0		3	20	0		
10 ~ 15	0		12	10	0		
15 ~ 20	0		0		0		
		微粒數量排序 1~3		微粒數量排序 4~10		微粒數量排序 11~20	

表八：1.0 mm + 0.5mm 塑膠微粒統計表

位置	C 後		B 後		A 後		
深度 (cm)	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	
0 ~ 5	43	11	29	12	56	6	
5 ~ 10	49	8	24	14	58	5	
10 ~ 15	123	2	19	16	49	8	
15 ~ 20	95	4	11	20	47	10	
位置	C 中		B 中		A 中		
0 ~ 5	10		25	13	24	14	
5 ~ 10	14	18	9		96	3	
10 ~ 15	8		15	17	156	1	
15 ~ 20	50	7	11		7		
位置	C 前		B 前		A 前		
0 ~ 5	0		4		1		
5 ~ 10	0		3		0		
10 ~ 15	0		12	19	0		
15 ~ 20	0		0		0		
		微粒數量排序 1~3		微粒數量排序 4~10		微粒數量排序 11~20	

(三) ≥ 0.105 mm 的塑膠微粒：由表九可發現大於 0.105 mm 的塑膠微粒在沙灘上非潮間帶的分布，無論是位置或深度都沒有顯著的差異。但是在數量上會比較大尺寸塑膠微粒多好幾倍至十數倍（36 個採樣樣品僅 8 個未符合）。此情形也在潮間帶出現，因此我們猜測可能當塑膠微粒 < 0.5 mm 時，不易被潮汐或洋流帶離海岸，也不易在人為的影響（例如淨灘）下離開沙灘。因此我們認為以 0.5mm ~ 0.1mm 塑膠微粒的數量，作為沙灘污染的指標，具有科學上的意義。

表九： ≥ 0.105 mm 塑膠微粒統計表

位置	C 後		B 後		A 後	
深度 (cm)	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
0 ~ 5	58	8	37	16	76	1
5 ~ 10	45	13	33	19	59	6
10 ~ 15	50	11	12		28	
15 ~ 20	76	1	54	10	48	12
位置	C 中		B 中		A 中	
0 ~ 5	69	4	59	6	17	
5 ~ 10	56	9	29	20	44	14
10 ~ 15	43	15	26		65	5
15 ~ 20	28		76	1	19	
位置	C 前		B 前		A 前	
0 ~ 5	15		17		34	18
5 ~ 10	19		12		19	
10 ~ 15	21		12		23	
15 ~ 20	18		20		36	17
	微粒數量排序 1~3		微粒數量排序 4~10		微粒數量排序 11~20	

四、外木山沙灘塑膠微粒可能來源

本研究以多點、減量、加深取樣分析外木山沙灘塑膠微粒的污染，結果發現較孔博士 2016 發表的論文污染更為嚴重。大於 1.0 mm 的塑膠微粒平均增加 20 倍，大於 0.5 mm 的塑膠微粒增加 6 ~ 7 倍。短短不到三年時間，如何造成如此嚴重的污染？經過須多資料收集後發現：

(一) 基隆外木山為外來填沙：基隆沿海幾乎都是沿岸，外木山原本就不是會有砂礫堆積的海岸線，基隆市政府為提供市民一處可以親水的休閒場所，多次向外購沙，填出目前的外木山沙灘。因此塑膠微粒可能為外來填沙本身帶來的

汙染。由於多次的填沙，沙源汙染程度不一，也造成不同深度的沙灘汙染程度不同。(市政府為防止沙灘流失，也於外木山外海底構築定沙堤，使流失的沙會再被潮汐、洋流帶上岸來。)

- (二) 2017年6月暴雨沖刷：去年6月初基隆連日豪雨，外木山沙灘被雨水沖刷出深度超過一公尺的深溝，圖(四)為經暴雨沖刷後的外木山沙灘新聞畫面。經由至基隆市政府交通旅遊局的探訪，得知在暴雨後由環保局將外木山沙岸整平。因此我們此次的採樣(2018年2月)的沙與孔博士採樣(2015年8月)的沙，在深度上實際應該差異很大。



圖(四) 2017年6月經暴雨沖刷後的外木山沙灘

- (三) 2015年8月至2018年2月，外木山沙灘的塑膠微粒汙染居然可以數倍、數十倍的成長。我們認為2015年8月，孔博士的沙灘採樣表層，原本就是相對乾淨的沙(後期填入)。而當時較底層的沙，原本就是塑膠微粒汙染嚴重的沙(早期填入)。經過2017年6月的暴雨將底層的沙帶出表面，因此本研究於2018年2月的採樣才會造成塑膠微粒汙染數倍、數十倍的成長。

五、外木山沙灘塑膠微粒汙染監測

由於海洋塑膠垃圾已經對海洋生態造成極大的衝擊，近年來海洋塑膠微粒汙染的相關研究也越來越受重視。對於沙灘塑膠微粒的汙染也在各國展開，德國地質學者孔燕翔博士，更是第一個開啟台灣相關議題研究的學者。本研究希望能對基隆外木山沙灘塑膠微粒汙染監測提供一個開端。說明如下：

- (一) 本研究利用多點、減量、加深取樣模式對沙灘塑膠微粒作分析研究。取樣方

法快速簡單，並可提供更多元的分析資訊。

- (二) 本研究發現基隆外木山沙灘的塑膠微粒汙染，是因為外來填沙本身的塑膠微粒所造成。長期的監測將可反向提供「沙灘塑膠微粒如何進入海洋？」的相關研究。

柒、 結論






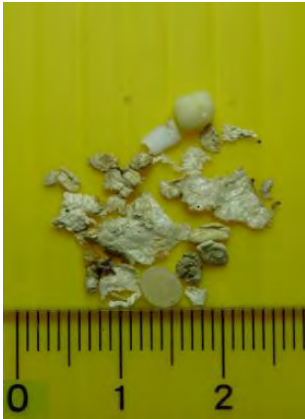
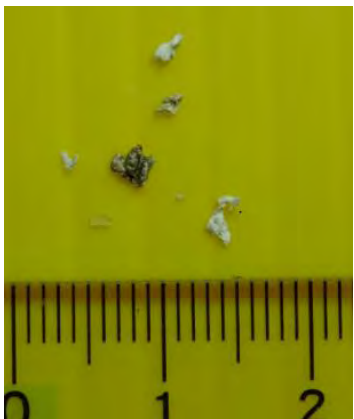
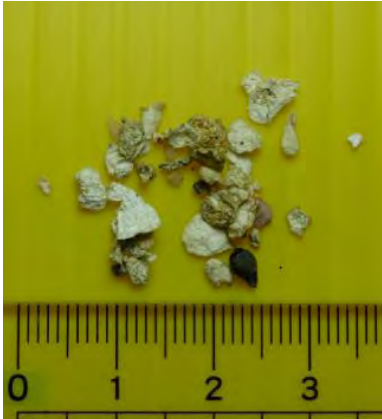
- 一、本研究採取多點、減量、加深的模式採樣，比傳統採樣 50cm*50cm、深度 5cm 的方式，除了採樣方式更簡單外，更能準確分析沙灘塑膠微粒的分布。於潮間帶可分析探討離岸流與潮汐對不同顆粒大小的塑膠的搬運作用。
- 二、比較孔燕翔博士 2016 發表的論文與本次的研究分析，發現基隆外木山沙灘塑膠微粒的污染源，主要來自外來填沙本身的污染。
- 三、透過潮間帶沙灘塑膠微粒污染的分析，發現潮汐與離岸流對顆粒大小不同的塑膠微粒搬運能力也不同。塑膠微粒顆粒較大的（浮力作用大）容易被帶離沙灘，相對顆粒較小的（浮力作用相對較小）則容易留在潮間帶。
- 四、外木山非潮間帶大於 1.0 mm 與大於 0.5 mm 的塑膠微粒分布：兩者具有高度的一致性，後區位置較中區位置污染嚴重，A、C 區位置較 B 區位置嚴重，但與深度無顯著相關。
- 五、外木山非潮間帶 0.105 mm ~ 0.5 mm 的塑膠微粒分布：與位置、深度皆無顯著相關，但是在數量上會比較大尺寸塑膠微粒多，作為沙灘污染的指標具有科學上的意義。
- 六、無論在潮間帶或非潮間帶，大於 1.0 mm 與大於 0.5 mm 的塑膠微粒分布具有高度的一致性，而與大於 0.105 mm 的塑膠微粒分布有顯著差異。顯示出自然界的搬運作用或人為的搬運作用，對大小不同的塑膠微粒有明顯的差異，而 0.5 mm 的顆粒大小可做為研究的分界。
- 七、對於小於 0.1 mm 的塑膠微粒分析與觀察非常不容易進行，但其對海洋生物生態的危害或許是更大的（因為更容易吃進去）。【小於 0.1 mm (100 μm) 的塑膠微粒分析需要更精密的儀器設備，若要進行長期採樣分析監測，建議不需處理小於 0.1 mm 的塑膠微粒。】
- 八、對基隆外木山沙灘塑膠微粒污染做長期監測，以本研究多點、減量、加深的模式採樣，具有方法簡單、分析多元深入等優勢。且因為木山沙灘是因為外來填沙所造成的塑膠微粒污染，相較一般沙灘更有長期監測的研究價值。

捌、 參考資料及其他

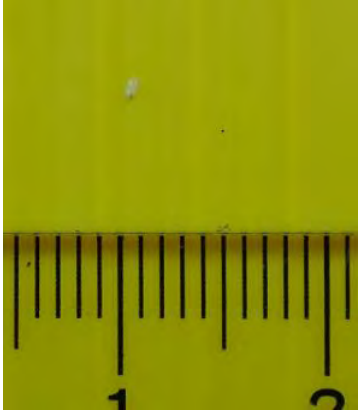
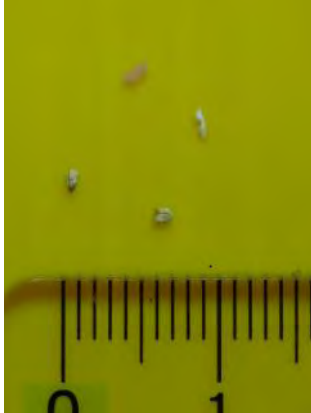
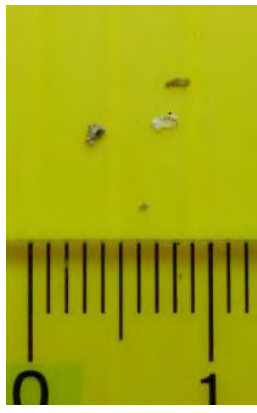

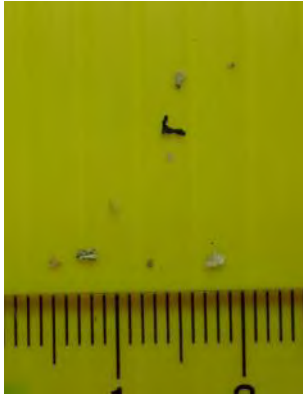

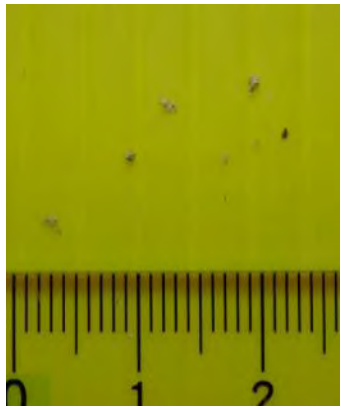

1. Alexander Kunz ,, Bruno A. Walther , Ludvig Löwemark , Yao-Chang Lee. (2016).Distribution and quantity of microplastic on sandy beaches along the northern coast of Taiwan. Marine Pollution Bulletin 111 , 126–135
2. Manca Kovač Viršek , Andreja Palatinus , Špela Koren , Monika Peterlin , Petra Horvat , Andrej Kržan.(12/16/2016) Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis
3. 文化部(2010 年 8 月 19 日) · 臺灣大百科全書:劉自仁 · 取自
<http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=24128>
4. 胡介申(2014) · 環太平洋的 11 國海廢工作坊~2014 AMETEC Training Workshop 參與記錄下 · 荒野快報 270 期第 4~5 頁 · 取自
<https://www.sow.org.tw/blog/88/20141103/3197>

玖、 附錄

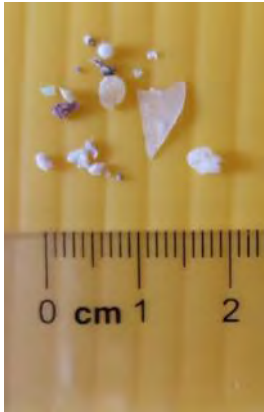

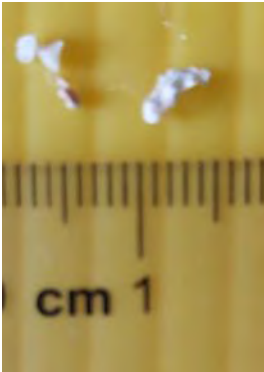

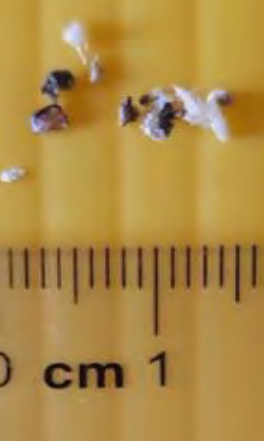
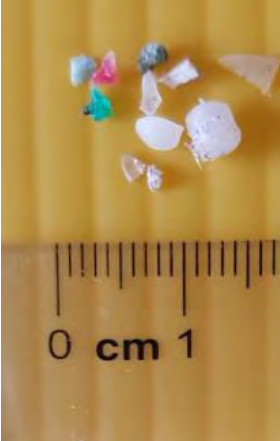
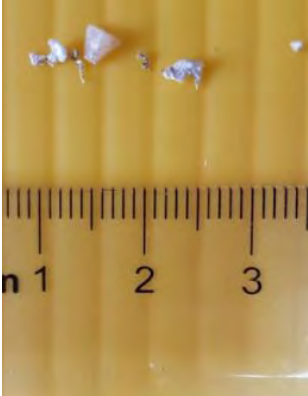
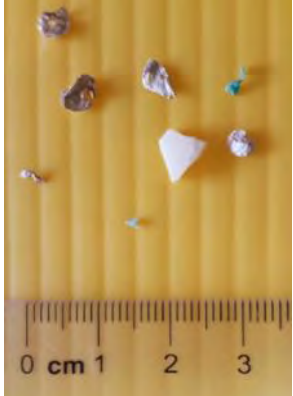
表十：A 區 $\geq 1\text{mm}$ 塑膠微粒實際照片

取沙深度	A 前	A 中	A 後
0~5 cm	無		
5~10 cm	無		
10~15 cm	無		
15~20 cm	無		



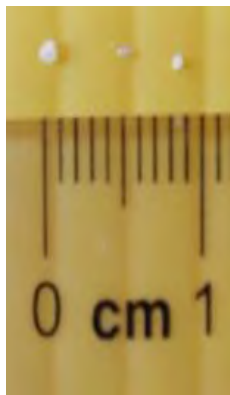
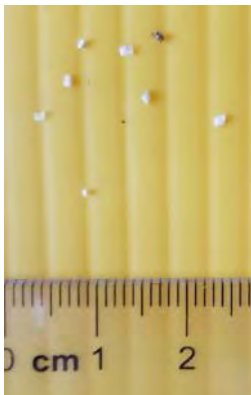
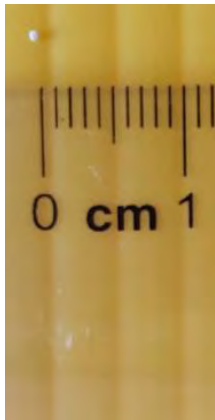
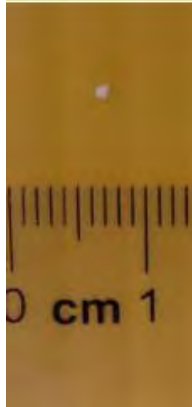
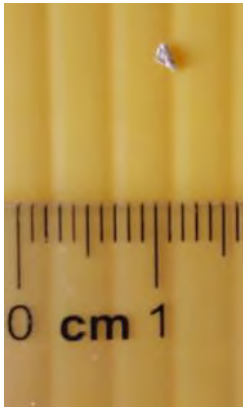
表十一：A 區 $\geq 0.5\text{mm}$ 塑膠微粒實際照片

取沙深度	A 前	A 中	A 後
0~5 cm			
5~10 cm	無		
10~15 cm	無		
15~20 cm	無	無	

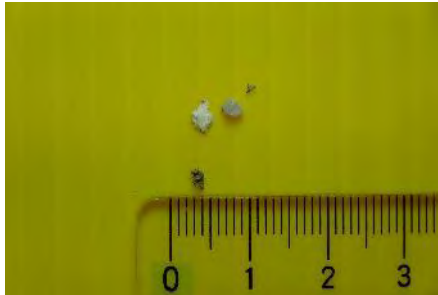


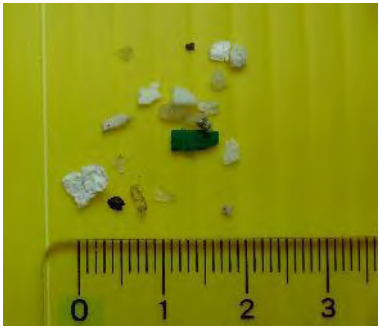




表十二：B 區 $\geq 1\text{mm}$ 塑膠微粒實際照片

取沙深度	B 前	B 中	B 後
0~5 cm	無		
5~10 cm	無		
10~15 cm	無		
15~20 cm	無		


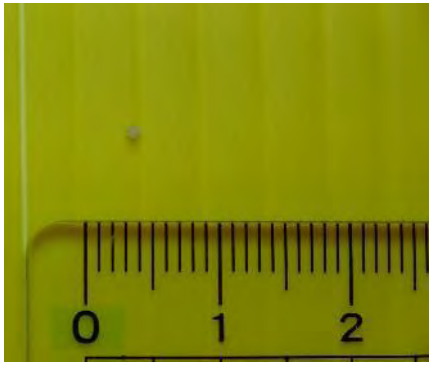

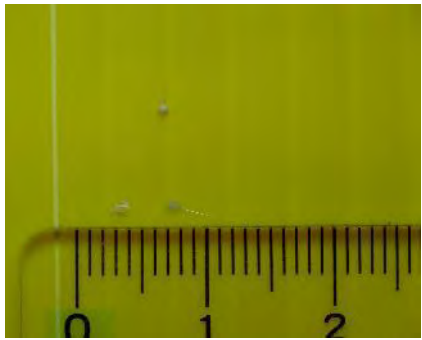


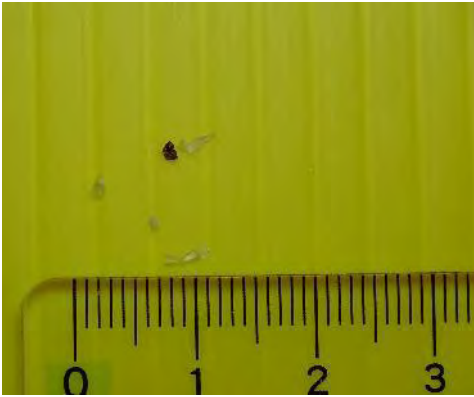

表十三：B 區 $\geq 0.5\text{mm}$ 塑膠微粒實際照片

取沙深度	B 前	B 中	B 後
0~5 cm		無	
5~10 cm		無	
10~15 cm		無	
15~20 cm	無	無	

表十四：C 區 $\geq 1\text{mm}$ 塑膠微粒實際照片

取砂深度	C 前	C 中	C 後
0~5 cm	無		
5~10 cm	無		
10~15 cm	無		
15~20 cm	無		

表十五：C 區 ≥ 0.5 mm 塑膠微粒實際照片

取砂深度	C 前	C 中	C 後
0~5 cm	無		
5~10 cm	無		
10~15 cm	無		
15~20 cm	無		

【評語】 052604

1. 本作品透過多點、減量、加深的取樣模式觀察基隆外木山沙灘的塑膠微粒汙染，發現主要是因為外來填砂所造成。作者選擇減量取樣(直徑 6 公分)，而文獻(50 x 50 公分)為大面積取樣，進行塑膠微粒汙染量比較時，逕以取樣面積比例放大倍數所得汙染量，認定在 1-2 年間塑膠微粒汙染嚴重數倍，建議宜在同區增加取樣數再統計分析以降低實驗取樣誤差。
2. 本研究透過現場採樣發現現外木山沙灘塑膠微粒汙染隨深度變化特性，也提及離岸流與潮汐的可能影響，但僅有定性式的討論與推論，欠缺定量分析佐證潮汐與離岸流對塑膠微粒的空間分布影響。建議收集相關近岸水文資料，佐證不同位置隨季節與海洋水文條件變化特徵，以較多樣本分析不同位置深度的污染變遷。
3. 分析結果僅以表格呈現，建議可繪圖比較與前人成果差異。此件取樣至 20 公分深度，比前研究 10 公分還深值得鼓勵。但對於取樣面積與佈點數重新檢討，可提供更多的研究討論。整體研究發現明確可更深入分析及後續研究建議補充說明。

摘要

本研究透過多點、減量、加深的取樣模式探查基隆外木山沙灘所受塑膠微粒污染的情形，發現外木山沙灘塑膠微粒污染最可能的污染來源，是因為外來填沙所造成。也發現潮汐與離岸流會造成位於潮間帶顆粒大小不同的塑膠微粒分布的差異。潮間帶的微塑膠粒數量比非潮間帶少很多，固本研究推測塑膠微粒極可能經海水沖刷被二次帶入海洋中。不論是沙灘或是海洋，對生物的影響都無可避免。而非潮間帶的塑膠微粒顆粒的大小，也會有不同的分布。我們建議應該對外木山沙灘塑膠微粒污染做長期監測，以瞭解受塑膠微粒高度污染的沙灘，其塑膠微粒是如何進入海洋，為海洋生態保育盡一份心力。

研究動機

我們曾經在一篇報紙看到一位德國地質學者孔燕祥 (Alexander Kunz)，在台灣做博士後研究過程中，投入北部沙灘塑膠微粒的研究。其研究的北海岸四處沙灘包含石門白沙灣、淡水沙崙海灘、貢寮福隆海灘以及基隆外木山沙灘，其中基隆外木山沙灘所受塑膠微粒污染的程度為其他海灘的20~50倍。這樣的訊息使我們非常的震撼，首先是 - 「孔燕祥博士是德國人，居然是第一個研究台灣沙灘微塑膠粒污染的學者。」再者是 - 「我們的家鄉基隆為什麼成為污染最嚴重的地方？從小玩沙的地方怎麼會這麼髒？」

基於對自己家鄉土地的關懷，我們開始了「外木山沙灘塑膠微粒污染」的研究，希望透過我們的研究可以幫助我們所住的環境更加美好。

研究目的

- 一. 以新的取樣方式瞭解基隆外木山沙灘塑膠微粒的分布。
- 二. 研究基隆外木山沙灘塑膠微粒可能的來源。
- 三. 提供沙灘塑膠微粒長期監測的可行性方法。

研究設備及器材



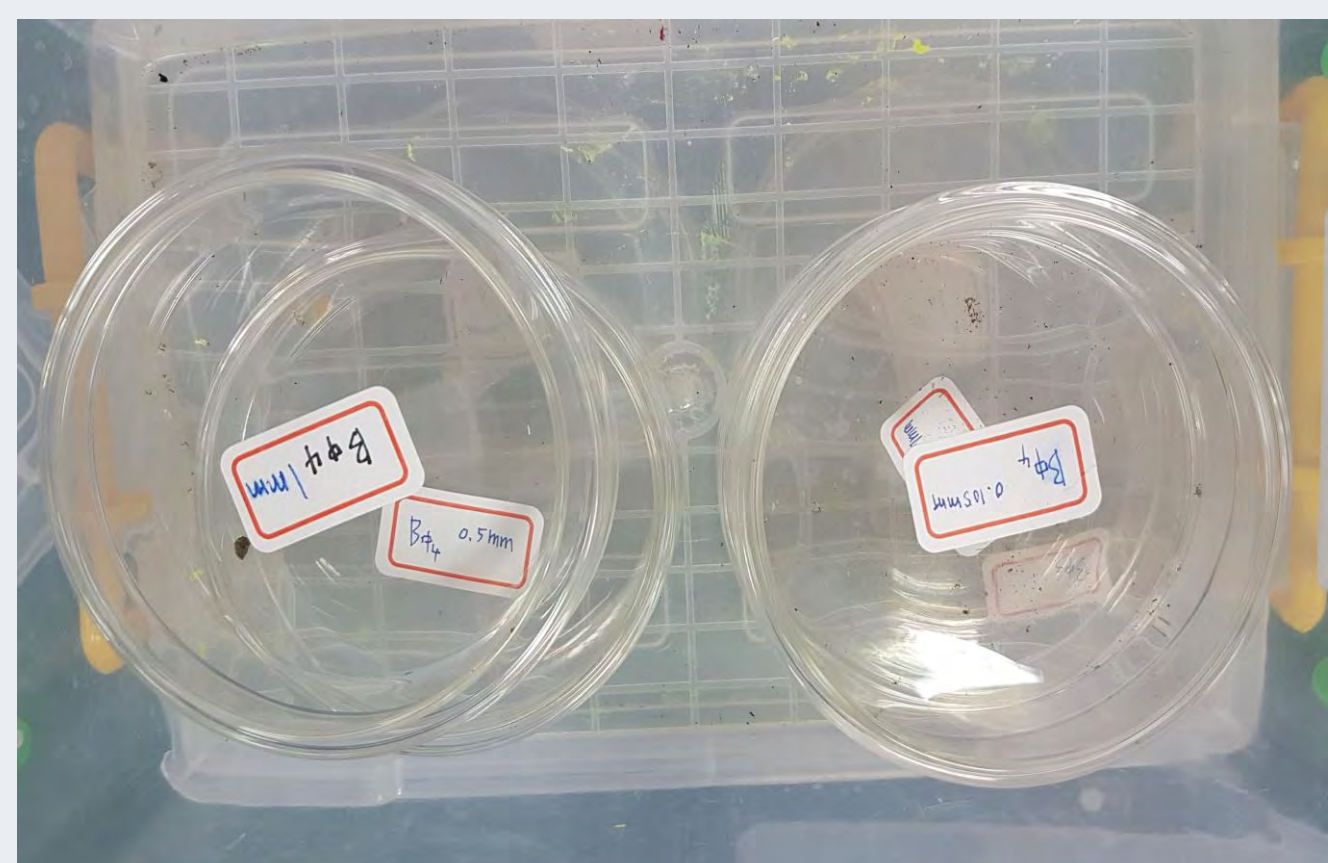
空心不鏽鋼管



過濾篩網



裝沙玻璃瓶



培養皿



錐形瓶



蒸餾水

研究過程或方法

一、取沙



圖 (一) 外木山沙灘取沙採樣位置手機衛星定位圖

位置	經度	緯度
A前	121.70717° E	25.16574° N
A中	121.70699° E	25.16577° N
A後	121.70664° E	25.16577° N
B前	121.70718° E	25.16546° N
B中	121.70698° E	25.16547° N
B後	121.70676° E	25.16551° N
C前	121.70734° E	25.16486° N
C中	121.70720° E	25.16486° N
C後	121.70716° E	25.16477° N

研究過程與方法



圖 (二) 取沙及分裝流程圖

- 二. 塑膠微粒過濾
- 三. 塑膠微粒統計計算

研究結果與討論



(a) 第一型離岸流示意圖 (主要)



(b) 第二型離岸流示意圖 (次要)

圖 (三) 外木山沙灘離岸流示意圖 (橘色箭頭)

一. 比較本研究結果與孔燕祥博士2016論文的差異

表三：孔燕祥博士2016論文簡要統計

深度	顆粒大小	沙崙	白沙灣	外木山	福隆
0 ~ 5 cm	≥ 1.0 mm	6	1	93	10
	≥ 0.5 mm	3	0	222	3
	≥ 0.25 mm	12	7	169	3
	顆粒總數	21	8	484	16
5 ~ 10 cm	≥ 1.0 mm	2	2	129	1
	≥ 0.5 mm	9	4	274	1
	≥ 0.25 mm	9	6	129	2
	顆粒總數	20	12	532	4

※ 孔博士2016所做研究取砂樣品為12500立方公分。

表四：本次研究樣品與孔燕祥博士2016論文比較

深度	顆粒大小	孔博士 2016論 文	本次研究取樣數據											
			C後	B後	A後	後區 平均	C中	B中	A中	中區 平均	C前	B前	A前	前區 平均
0 ~ 5 cm	≥ 1.0 mm	93	3536	1679	3182	2799	354	1857	1591	1267	0	0	0	0
	≥ 0.5 mm	222	265	884	1768	972	530	353	530	471	0	354	88	147
5 ~ 10 cm	≥ 1.0 mm	129	2121	1238	3890	2416	884	530	7072	2829	0	0	0	0
	≥ 0.5 mm	274	2210	884	1238	1444	354	265	1414	678	0	265	0	88
10 ~ 15 cm	≥ 1.0 mm		9370	1326	3182	4626	707	1061	12287	4685	0	0	0	0
	≥ 0.5 mm		1503	353	1149	1002	0	265	1502	589	0	1061	0	354
15 ~ 20 cm	≥ 1.0 mm		6080	972	3536	3529	2829	972	618	1473	0	0	0	0
	≥ 0.5 mm		2387	0	619	1002	1591	0	0	530	0	0	0	0

※ 表二中1.0 mm以及0.5 mm塑膠微粒數據*88.4所得。

二. 潮間帶塑膠微粒

表五：潮間帶塑膠微粒統計與數量排序總表

≥ 1.0 mm	C前		B前		A前	
深度 (cm)	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
0 ~ 5	0		0		0	
5 ~ 10	0		0		0	
10 ~ 15	0		0		0	
15 ~ 20	0		0		0	
1.0 ~ 0.5 mm	C前		B前		A前	
0 ~ 5	0		4	14	1	16
5 ~ 10	0		3	15	0	
10 ~ 15	0		12	11	0	
15 ~ 20	0		0		0	
0.5 ~ 0.1 mm	C前		B前		A前	
0 ~ 5	15	10	17	9	34	2
5 ~ 10	19	6	12	11	19	6
10 ~ 15	21	4	12	11	23	3
15 ~ 20	18	8	20	5	36	1
	微粒數量排序1~3		微粒數量排序4~10		微粒數量排序11~16	

三. 非潮間帶塑膠微粒

表六：≥ 1.0 mm 塑膠微粒統計表

位置	C後		B後		A後	
	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
深度 (cm)						
0~5	40	6	19	13	36	8
5~10	24	11	14	16	44	5
10~15	106	2	15	15	36	8
15~20	68	4	11	18	40	6
位置	C中		B中		A中	
0~5	4		21	12	18	14
5~10	10	20	6		80	3
10~15	8		12	17	139	1
15~20	32	10	11	18	7	
位置	C前		B前		A前	
0~5	0		0		0	
5~10	0		0		0	
10~15	0		0		0	
15~20	0		0		0	
	微粒數量排序1~3		微粒數量排序4~10		微粒數量排序11~20	

表七：1.0 ~ 0.5 mm 塑膠微粒統計表

位置	C後		B後		A後	
	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
深度 (cm)						
0~5	3	20	10	11	20	3
5~10	25	2	10	11	14	8
10~15	17	5	4	16	13	9
15~20	27	1	0		7	13
位置	C中		B中		A中	
0~5	6	14	4	16	6	14
5~10	4	16	3	20	16	7
10~15	0		3	20	17	5
15~20	18	4	0		0	
位置	C前		B前		A前	
0~5	0		4	16	1	
5~10	0		3	20	0	
10~15	0		12	10	0	
15~20	0		0		0	
	微粒數量排序1~3		微粒數量排序4~10		微粒數量排序11~20	

表八：1.0 mm + 0.5 mm 塑膠微粒統計表

位置	C後		B後		A後	
	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
深度 (cm)						
0~5	43	11	29	12	56	6
5~10	49	8	24	14	58	5
10~15	123	2	19	16	49	8
15~20	95	4	11	20	47	10
位置	C中		B中		A中	
0~5	10		25	13	24	14
5~10	14	18	9		96	3
10~15	8		15	17	156	1
15~20	50	7	11		7	
位置	C前		B前		A前	
0~5	0		4		1	
5~10	0		3		0	
10~15	0		12	19	0	
15~20	0		0		0	
	微粒數量排序1~3		微粒數量排序4~10		微粒數量排序11~20	

表九：0.5 ~ 0.1 mm 塑膠微粒統計表

位置	C後		B後		A後	
	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序	微粒數量	數量排序
深度 (cm)						
0~5	58	8	37	16	76	1
5~10	45	13	33	19	59	6
10~15	50	11	12		28	
15~20	76	1	54	10	48	12
位置	C中		B中		A中	
0~5	69	4	59	6	17	
5~10	56	9	29	20	44	14
10~15	43	15	26		65	5
15~20	28		76	1	19	
位置	C前		B前		A前	
0~5	15		17		34	18
5~10	19		12		19	
10~15	21		12		23	
15~20	18		20		36	17
	微粒數量排序1~3		微粒數量排序4~10		微粒數量排序11~20	

四. 外木山沙灘塑膠微粒可能來源

本研究以多點、減量、加深取樣分析外木山沙灘塑膠微粒的汙染，結果發現較孔博士2016發表的論文汙染更為嚴重。大於1.0 mm的塑膠微粒平均增加20倍，1.0 mm~0.5 mm的塑膠微粒增加6~7倍。短短不到三年時間，外木山沙灘的塑膠微粒汙染居然可以數倍、數十倍的成長。



我們認為2015年8月，孔博士的沙灘採樣表層，原本就是相對乾淨的沙（後期填入）。而當時較底層的沙，原本就是塑膠微粒汙染嚴重的沙（早期填入）。經過2017年6月的暴雨將底層的沙帶出表面，因此本研究於2018年2月的採樣才會造成塑膠微粒汙染數倍、數十倍的成長。

五. 外木山沙灘塑膠微粒汙染監測

1. 本研究利用多點、減量、加深取樣模式對沙灘塑膠微粒作分析研究。取樣方法快速簡單，並可提供更多元的分析資訊。
2. 本研究發現造成基隆外木山沙灘的塑膠微粒高度的汙染，最有可能的來源是因為外來填沙本身的塑膠微粒所造成。
3. 由於外木山沙灘是一處屬於塑膠微粒高汙染的沙灘，因此對於塑膠微粒如何由海岸帶入海洋中的研究具有非常高的價值。對於外木山沙灘塑膠微粒汙染，建議以每月或每季採砂分析的方式進行研究。
4. 建議採取更深（至少超過1公尺）的沙粒採樣，對照過去填沙的紀錄，以了解塑膠微粒確實的來源。
5. 建議進行海水動力分析實驗，模擬外木山海岸地形、潮汐與離岸流對不同大小塑膠顆粒的搬運作用，以瞭解外木山的塑膠微粒如何被帶入海洋。
6. 希望本研究能喚起基隆市民對自己生活周遭環境的關心，也能提供基隆學子一個關心海洋環境並願意研究海洋的機會。

結論

1. 本研究採取多點、減量、加深的模式採樣，比傳統採樣50 cm*50 cm、深度5 cm的方式，除了採樣方式更簡單外，更能準確分析沙灘塑膠微粒的分布。於潮間帶可分析探討離岸流與潮汐對不同顆粒大小的塑膠的搬運作用。
2. 比較孔燕翔博士2016發表的論文與本次的研究分析，發現基隆外木山沙灘塑膠微粒的汙染源，主要來自外來填沙本身的汙染。
3. 透過潮間帶沙灘塑膠微粒汙染的分析，發現洋流對顆粒大小不同的塑膠微粒搬運能力也不同。塑膠微粒顆粒較大的（浮力作用大）容易被帶離沙灘，相對顆粒較小的（浮力作用相對較小）則容易留在潮間帶。
4. 外木山非潮間帶大於1.0 mm與1.0 ~ 0.5 mm的塑膠微粒分布：兩者具有高度的一致性，後區位置較中區位置汙染嚴重，A、C區位置較B區位置嚴重，但與深度無顯著相關。
5. 外木山非潮間帶0.5 mm ~ 0.1 mm的塑膠微粒分布與位置、深度皆無顯著相關，但是在數量上會比較大尺寸塑膠微粒多，作為沙灘汙染的指標具有科學上的意義。
6. 無論在潮間帶或非潮間帶，大於1.0 mm與1.0 ~ 0.5 mm的塑膠微粒分布具有高度的一致性，而與0.5 ~ 0.1 mm的塑膠微粒分布有顯著差異。顯示出自然界的搬運作用或人為的搬運作用，對大小不同的塑膠微粒有明顯的差異，而0.5 mm的顆粒大小可做為研究的分界。
7. 對於小於0.1 mm的塑膠微粒分析與觀察非常不容易進行，但其對海洋生物生態的危害或許是更大的（因為更容易吃進去）。【小於0.1 mm (100 μm) 的塑膠微粒分析需要更精密的儀器設備，若要進行長期採樣分析監測，建議不需處理小於0.1 mm的塑膠微粒。】
8. 對基隆外木山沙灘塑膠微粒汙染做長期監測，以本研究多點、減量、加深的模式採樣，具有方法簡單、分析多元深入等優勢。且因為木山沙灘是因為外來填沙所造成的塑膠微粒汙染，相較一般沙灘更有長期監測的研究價值。

參考資料及其他

1. Alexander Kunz, Bruno A. Walther, Ludvig Löwemark, Yao-Chang Lee. (2016). Distribution and quantity of microplastic on sandy beaches along the northern coast of Taiwan. Marine Pollution Bulletin 111, 126-135
2. Manca Kovač Viršek, Andreja Palatinus, Špela Koren, Monika Peterlin, Petra Horvat, Andrej Kržan. (12/16/2016) Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis
3. 張正杰(2017年1月23日)·離岸流-夏季海濱殺手·聯合報·取自<http://tmec.ntou.edu.tw/ezfiles/31/1031/img/724/736636502.pdf>
4. 文化部(2010年8月19日)·臺灣大百科全書:劉自仁·取自<http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=24128>
5. 胡介申(2014)·環太平洋的11國海廢工作坊~2014 AMETEC Training Workshop參與記錄下·荒野快報270期第4~5頁·取自<https://www.sow.org.tw/blog/88/20141103/3197>