



台灣中油股份有限公司

海域生態系模式建構與分析報告書 (初稿)

(工作案號：LEB1000007)



泰興工程顧問股份有限公司

中華民國一一〇年十一月

目 錄

	頁次
一、前言.....	1
二、研究方法.....	2
1.資料來源.....	2
2.分析原理.....	2
3.分析流程.....	3
4.環評的量化驗證與量化預測.....	4
三、結果與討論.....	6
1. 觀塘亞潮帶海域生態結構數理分析	6
(1)海域水質資料主成份分析.....	6
(2)底層生物資料變異數分析.....	8
(3)底層生態系模式建構.....	8
(4)表層生物資料變異數分析.....	10
(5)表棲生態系模式建構.....	10
(6)強制納入工業港工程阻隔效應之生態系模式建構.....	12
(7)小結	13
2. 觀塘潮間帶海域藻礁生態結構數理分析	14
(1)藻礁水質及底泥資料主成份分析.....	14
(2)藻礁棲地類型主成分分析及泥沙淤積變異數分析.....	16
(3)藻礁生物資料變異數分析.....	17
(4)藻礁生態系模式建構.....	18
(5)小結	20
3.三接施工對海域生態影響評估之實際觀測結果(量化驗證)....	21
(1)亞潮帶海域生態影響評估之量化驗證.....	22

(2)潮間帶海域生態影響評估之量化驗證.....	24
(3)小結	25
4.三接外推工程對海域生態影響之量化預測	25
(1)亞潮帶海域生態影響評估之量化預測.....	25
(2) 潮間帶生態影響說明	27
(3)小結	27
文獻整理.....	28

圖 目 錄

	頁次
圖 1 海域生態結構數理分析流程圖	31
圖 2 亞潮帶海域生態測站位置圖	32
圖 3 觀塘亞潮帶海域以結構方程模式建構之底棲生態系模式圖 (RMSEA=0.079).....	33
圖 4 觀塘亞潮帶海域以結構方程模式建構之表層生態系模式圖 (RMSEA=0.059).....	34
圖 5 觀塘亞潮帶海域以結構方程模式強制納入工程影響所建構底棲 生態系模式圖(RMSEA=0.076).....	35
圖 6 觀塘亞潮帶海域以結構方程模式強制納入工程影響所建構表層 生態系模式圖(RMSEA=0.056).....	36
圖 7 潮間帶海域大型藻類與殼狀珊瑚藻調查之穿越線預定位置 .	37
圖 8 潮間帶海域底棲動物與環境因子調查之採樣站位置	38
圖 9 潮間帶海域魚類調查測站位製圖	39
圖 10 潮間帶海域鳥類調查觀察點位置	40
圖 11 觀塘潮間帶海域以結構方程模式建構之藻礁生態系模式圖 (RMSEA=0.076).....	41
圖 12 觀塘潮間帶及亞潮帶海域魚類群聚聚類分析圖	42
圖 13 觀塘潮間帶及亞潮帶海域十足目群聚聚類分析圖	43
圖 14 觀塘潮間帶及亞潮帶海域軟體動物群聚聚類分析圖	44

表 目 錄

頁次

表 1	觀塘亞潮帶海域表中底層水質資料主成分分析	45
表 2	觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之變異數 分析(N=405)	46
表 3	觀塘亞潮帶海域各類群底棲生物個體數量之變異數分析	51
表 4	觀塘亞潮帶海域各類群浮游生物個體數量(細胞數)之變異數分 析	54
表 5	觀塘潮間帶海域水質主成分分析	58
表 6	觀塘潮間帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之變異數 分析(N=515)	59
表 7	觀塘潮間帶海域底泥主成分分析	60
表 8	觀塘潮間帶海域底泥主成分分析成分分數時間及空間之變異數 分析(N=210)	61
表 9	觀塘潮間帶海域棲地類型參數主成分分析	62
表 10	觀塘潮間帶海域棲地類型參數主成分分析成分分數及積沙時間 及空間之變異數分析	63
表 11	觀塘潮間帶海域各類群生物個體數量(覆蓋率)時間及空間之變 異數分析	64
表 12	觀塘亞潮帶海域底棲生態系量化影響摘要表	67
表 13	觀塘亞潮帶海域表層生態系量化影響摘要表	68
表 14	觀塘潮間帶海域藻礁生態系量化影響摘要表	69
表 15	符合環保署「海洋生態評估技術規範」格式之中油三接外推亞 潮帶海域底棲生態系影響預測摘要說明表	70
表 16	符合環保署「海洋生態評估技術規範」格式之中油三接外推亞 潮帶海域表層生態系影響預測摘要說明表	71

第三座液化天然氣接收站外推工程環境差異分析

-海域生態調查大數據分析

方力行

一、前言

「中油第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程」之工業港外推 455 公尺方案，經由取消原有浚挖工程，不破壞水下礁體，以及更遠離潮間帶藻礁區域，希望減低對海域生態的影響，惟以往的海域生態環境評估多著重在工程對個體物種、數量、群聚指標的闡述，較少整合性生態系統結構的分析。本研究之目的即為探討工業港外推後，對海域生態的整體影響。然而，鑒於本海域環境變動甚大，鄰近有觀音溪、新屋溪、小飯壠溪等河川帶來流域中的家庭及工業廢水，最近檢警所查獲的砂石場長期偷排重金屬汙泥事件，台電大潭電廠溫排水與工程的干擾，未來永安漁港增設圍堤工程與離岸風力發電的興建，以及自然環境原本存在的海流、溫度、風向與乾濕季變化等，整體生態系的變動極其複雜。

在此種眾多自然及人為干擾的共同影響下，要評估工業港外推對海域生態的影響實不容易。所幸，本海域早期(90~96 年)有東鼎液化瓦斯興業股份有限公司執行之「桃園縣觀塘工業區開發計劃施工階段環境監測報告書」的長期生物及環境的背景資料，以及本案 107 年之施工前，與 108 年至今持續進行的施工期間環境監測，已經累積大量的數據。之前周及方(2021)也已針對上述資料進行了本計劃第一年施工期間亞潮帶海域的環評量化監測與檢核驗證。周及方(2015)還曾針對本海域大潭電廠的長期資料進行了的溫排水對海域生態影響的探討。此外，方(2020)在「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次

環境影響差異分析報告（新增造地料源）」的環差案中嘗試運用「海洋生態評估技術規範」中「數學模式(定量式)預測」以大數據分析進行了環評的量化預測，獲取不錯的成果與經驗。故基於上述累積大量資料以及相關的研究經驗，本計劃將再納入 109 年最新的數據，並首度結合藻礁的資料進行深入的環境生態結構數例分析，以「定量式數學模示」的方式進行中油三接外推案的環評量化預測。

二、研究方法

1. 資料來源

本研究收集本案 107 年 11 月「觀塘工業區施工前環境監測報告」以及 108~109 年「觀塘工業區施工期間環境監測報告」亞潮帶海域以及 108 年~109 年「觀塘藻礁區域生態調查及監測」潮間帶海域的環境及生物資料進行分析。

2. 分析原理

海洋生態系是由環境及生物所共同組成，除了環境會影響生物外，生物和生物間的互相影響也甚為巨大，其間關係，錯綜複雜。而觀塘沿岸海域環境變動的因子尤其眾多，且人為干擾及自然環境因子的強度隨著時間而改變，使其影響大小及範圍持續變動，單純的變項分析難以反應出眾多生物類群和環境間的複雜互動，因此本研究結合了下述的分析方法，連結環境資料與生物數據，並量化各種環境因素對生物的相對影響程度，以釐清開發行為是否對海域生態產生顯著影響。

主成分分析(Principal component analysis)是一種歷史相當悠久的統計方法，適用於水質、底泥、空氣等環境資料的分析。其特性為可分離出環境系統變動中各個互相獨立的成分，並經由相關環境、生態學理與知識判斷其所代表的意義，藉分離出環境中自然及人為的影響

因素。而主成分分析中各觀測值在不同成分的成分分數，則可用來估計該成分軸所代表環境影響因素的強度，再以此與生物參數進行相關分析或多元回歸分析，即可了解環境中自然變動及人為干擾對生物產生的影響，以客觀的科學方法，連結了環境對生物的影響關係及大小。

主成分分析是連結生物與環境資料的有利工具，不過其連結的方式僅為許多線狀的連結，即為環境影響因素與單一生物參數的關係。無法顯現出各環境影響因素與生物參數間的整體結構，以及相互影響的關係及方向。而結構方程模式(Structural Equation Modeling, SEM)則可提供此一功能。結構方程模式分析需要大量的樣本，是一種結合因素分析及路徑分析的高階統計方法，主要作為理論驗證之工具，普遍使用於社會科學及行為科學領域的研究，在水域生態方面也有使用的例子 (Malaeb et al., 2000 ; Arhonditsis et al., 2006 ; Arhonditsis et al., 2007; Liu et al., 2010) ，因為環境評估本身即為一種需要預測並驗證的過程，就像理論需要驗證一樣，故在輔以其他數理分析後，即可成為一有效而且可以量化的環評工具。

3. 分析流程

本計畫之分析流程設計，大致可分為「釐清環境變動因素」及「環境與生物之連結」等兩大部分(圖 1)(周 2012)。前者以 PCA 為主，首先將全部的環境實測變項(例如海水之溶氧、pH、鹽度、氨氮、硝酸鹽、銅)投入首次之 PCA 分析，以所得 KMO 值(Kaiser 1974)及球形檢定(sphericity test) (Bartlett 1951)將可判定整體資料是否適合進行主成分分析，而分析的共同性(Communality)結果，則可反應後續主成分分析應該刪除的變項(王，2004)。由以上整體資料及個別變項之判定標準，可初步得知該次 PCA 之結果是否良好。此外，以各變項於主成分之負荷量表現，可對各主成分(即所謂之潛在變項(latent

variable))進行命名的工作，並判斷其屬於自然變動或人為干擾。至於選取主成分的數目則參考陡坡考驗(scree test) (Cattell, 1966)及 Kaiser 準則(Kaiser, 1959)。而經迴歸法輸出之成分分數，則以變異數分析進行時間及空間之比較，必要時可與河川流量、雨量等外部資料進行相關的數據分析，以判斷主成分(即潛在變項)的來源，以及輔助檢視主成分(即潛在變項)命名的正確性。若 PCA 的結果不佳(例如無法命名或解釋環境的變動)，則重組變項再次進行 PCA。

圖 1 的第二部份(環境與生物之連結)則以 SEM 分析為主，首先依據生態學基本學理，以 PCA 環境變動潛在變項，及生物實測變項(例如生物物種數、個體數、歧異度、矽藻數量、甲藻數量....藍綠藻數量)擬定生態系變動之概念模式。若需評估特殊目標，則可加入可能發生之環境潛在變項，例如在電廠溫排水對海域生態影響的案例中，可將溫排水效應主動納入概念模式中(周及方，2015)。接著再以 LISREL8 程式進行模式驗證的計算(Howell, 1996)。若模式之各項適配指標未達標準，則針對概念模式進行修正，重新再進行模式驗證，如適配良好，則完成模式建構，並以模式進行生態系變動架構的解析。

4.環評的量化驗證與量化預測

野外環境變動複雜，除非人為干擾影響程度甚巨，否則在未能整體掌握生態系的變動下，要釐清特定人為干擾對生態的影響程度並不容易。而結構方程模式建構的生態系模式，可以解析環境系統中主要環境因子與生物間的關係，在有效掌握生態系整體變動架構的情形下，再將量化估計的特定人為干擾因子強制納入原有模式中，透過其對生物參數是否呈現統計檢定上的顯著影響，以及路徑系數的大小 (Malaeb et al., 2000)，即能解析出各種因素(包含特定人為干擾)對生物的相對影響程度，以達到環評驗證的目的。

由於結構方程模式的分析流程(圖 1)，需事先擬定概念模式再以實測數據進行模式驗證，此一特性正好可用於環評的量化預測，即在經過真實數據分析充分瞭解現況後，擬定出未來施工期間(或營運時期)生態系變動的概念模式(包含特定人為干擾)，做為環評預測的依據。此一預測，主要是建立在環境與生物間的路徑系數(類似相關係數 correlation coefficient 範圍在-1~1 的特性)是否存在經統計檢定為顯著影響(相關)的基礎上，特別是檢驗特定人為干擾與生物的關係。此一預測，進一步可將概念模式中的路徑系數轉換為符合環保署「海洋生態評估技術規範」中簡明易懂之”海洋生態影響預測摘要說明表”的格式，並且為日後可量化驗證的預測。之後在施工或營運期間取得的具體數據，則可成為驗證的基礎。

三、結果與討論

1. 觀塘亞潮帶海域生態結構數理分析

本部分是以 107 年 11 月「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程施工前環境監測」，以及 108 年~109 年八季「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程施工期間環境監測」共九次調查，15 個測站（圖 2），135 筆相互配對的水質、底泥、浮游植物、浮游動物、仔稚魚、底棲生物的數據進行長期大資料的分析。其中水質參數包括透明度、水溫、鹽度、pH 值、溶氧、油脂、正磷酸鹽、硝酸鹽、酚類、矽酸鹽、葉綠素 a、鋅、銅、鉛、鎘、汞、鎳、六價鉻、鐵、懸浮固體、生化需氧量共 21 項，底泥則有鉛、鎘、鉻、銅、鋅、鎳、砷、汞等 8 個參數。

(1) 海域水質資料主成份分析

經由 107 年 11 月~109 年 10 月 9 次調查表、中、底層共 405 筆水質資料主成份分析(最大變異法進行轉軸)的結果顯示，第一(PC1)至第四成份軸(PC4)可解釋整體水質變異的 59.8%，第一成份軸(PC1)可解釋 16.9%的水質變異，以水溫、溶氧、油脂及硝酸鹽的負荷量較高，其中水溫為負值，硝酸鹽及溶氧為正值(表 1)，代表低溫時的硝酸鹽及溶氧濃度較高，前者推測為冬季底質攪動效應大，原本沉積於底層的營養鹽重新溶入水中，後者則與低溫海水飽和溶氧較高的物理現象有關。表 2 的變異數分析顯示年及季節均有顯著差異，四季的比較呈現冬季>春季>秋季>夏季的現象，顯示本成份軸呈現季節間的顯著差異；在時間(9 次調查)及等深線間的 2 因子變異數分析顯現時間及等深線均有顯著差異，近岸的等深線 A 顯著最大，遠岸的等深線 C 最小；在時間及測線間的 2 因子變異數分析顯現時間及測線有顯著的交互作用($F=3.64$, $p<0.001$)，代表各次調查 5 條測線間的差異情形並

不相同，不過整體而言有測線 4 及測線 5 成份分數顯著較小的情形。上述結果可歸納出夏季，遠岸，南邊測線的成份分數較小，可能與夏季風浪較小，離岸遠水深處受風浪影小，底質攪動效應較低，以及南邊的測線 4 及測線 5 在沿岸地形的轉折處，受到地形屏障，底質攪動的效應同樣較低。綜合以上論述故命名本成份軸為「季節性底質攪動」，即成份分數越大，底質攪動的效應越強。

第二成份軸(PC2) 可解釋 15.8%的水質變異，以鹽度及酸鹼值的負荷量較大，主要反映河川淡水注入時，海域水體鹽度降低的現象，故將此成分軸命名為「河川淡水注入」(表 1)。表 2 的 2 因子變異數分析在時間方面顯示秋季>冬季>春季及夏季的現象，此可能與秋冬季節台灣北部有東北季風帶來的雨量，以及適逢 108~109 年間夏季缺乏颱風侵襲所帶來降雨有關；在空間方面呈現測線及時間有顯著的交互作用($F=2.283, p<0.001$)，代表各次調查測線間的差異不盡相同的情形，不過整體而言仍以南邊的測線 5 及測線 4 的效應較大，此應與該區域受到社子溪較大流量的影響。

第三成份軸(PC3) 可解釋 14.9%的水質變異，以鋅、銅、鎳及鐵的負荷量較大，且均為正值，故將此成分軸命名為「重金屬」(表 1)。

第四成份軸(PC4) 可解釋 12.1%的水質變異，以懸浮固體及矽酸鹽的負荷量較大，且均為正值，故將此成分軸命名為「懸浮物與矽酸鹽」(表 1)。而由表 2 的變異數分析顯示，等深線及時間有顯著的交互作用($F=2.402, p=0.002$)，代表歷次調查懸浮物在測線間的差異情形並不相同，不過整體而言仍顯現近岸等深線 A 最大，其次為等深線 B，離岸最遠的等深線 C 最小的趨勢；而在非東北季風期間的 108 年 3 月、109 年 5 月、108 年 8 月、109 年 8 月、108 年 5 月等時期，以及南邊受地形屏障的測線 5 顯著最低，代表懸浮物及矽酸鹽濃度越近

岸越大，以及受地形屏障的海域及非東北季風季節則較小，隱含著本成份軸可能也與東北季風造成的底質攪動效應有關；至於本案於 108~109 年期間執行的 LNG 儲槽區工程、棧橋工程及沉箱安置工程的影響，考量 108 年 3、5、8 月及 109 年 5、8 月的成分分數均顯著低於施工前的 107 年 11 月，而惟一顯著大於 107 年 11 月的 108 年 10 月，則以非工程進行區域的測線 1 及測線 2 的成分分數顯著最大。故本成分軸「懸浮物與矽酸鹽」產生懸浮物變動的效應，與 108~109 年的相關工程關聯性甚低。

經由主成分分析的結果，顯示影響本海域底層環境變動的因素有四(即水質環境變動之潛在變向)，依序為「季節性之底質攪動」、「河川淡水注入」、「重金屬」及「懸浮物與矽酸鹽」。至於本案 108~109 年期間進行的 LNG 儲槽區工程、棧橋工程及沉箱安置工程，並未偵測到其對水體環境有顯著影響。

(2) 底層生物資料變異數分析

表 3 為亞潮帶底棲各類群生物數量於時間及空間的變異數分析結果，其中刺細胞動物及棘皮動物於測線 4 的數量有顯著較高，測線 5、2、1 較低的情形，軟體動物則相反，以測線測線 5、2、1 較多，測線 4 較少，可能反映不同測線的底質棲所不同，適合不同類型的生物生存；魚類、蟹類、寄居蟹及蝦類則有顯著的季節變化，其中以夏季的數量明顯較大，此應與夏季高溫時節為各類群生物繁衍的時期有關；星蟲則以離岸較遠的測線 C 數量顯著較多。

(3) 底層生態系模式建構

圖 3 為結合 107 年至 109 年 135 筆相互配對的底層水質、底泥及底棲生物(含魚類)資料所建構的底棲生態系模式，模式中「河川淡水注入(-)」、「季節性底質攪動(-)」、「海水重金屬」及「懸浮物與矽

酸鹽」等潛在變項源自於水質主成分分析，其中「河川淡水注入(-)」、「季節性底質攪動(-)」的”(-)”分別代表該潛在變項數值越大時，底質攪動及河川的效應越低；生物方面則以實測變項「軟體動物個體數」、「棘皮動物個體數」、「刺細胞動物個體數」、「魚類個體數」及「環節動物個體數」分別依序估計潛在變項「軟體動物豐度」、「棘皮動物豐度」、「刺細胞動物豐度」、「魚類豐度」及「環節動物豐度」，至於潛在變項「十足目豐度」則由「蟹類個體數」、「寄居蟹個體數」及「蝦類個體數」所共同估計。用於模式建構各類群生物的數量總合為 17214 隻，占有採集到底棲生物數量 81.7%(因採樣方式，部分樣本不全)，故本模式對底棲生態系具備一定的代表性。

模式的各項適配指標依序為 $\chi^2=156.80$, $df=85$, $p\text{-value}=0.00$; $RMSEA=0.079$; $GFI=0.87$; $AGFI=0.80$; $PGFI = 0.55$; $PNFI = 0.54$; $CFI=0.86$; $IFI=0.87$; $CN= 92.28$ 。模式中的 $RMSEA$ 指數為 0.079 處於「不錯的適配」，至於其他指標大都符合或接近標準，代表本模式具備一定之解釋能力。

圖 3 的模式中，潛在變項「海水重金屬」及「河川淡水注入(-)」、「季節性底質攪動(-)」是影響本海域各類群底層生物變動的關鍵因素，其中潛在變項「季節性底質攪動(-)」對「十足目豐度」及「魚類豐度」分別有 0.29 及 0.30 的顯著正向影響，代表冬季底質攪動效應大時，蝦蟹類及魚類的數量較少，以及夏季高溫底質攪動效應低，且適逢底層生物繁殖大量出現的季節，故魚蝦蟹類數量較多，此可由表 3 魚蝦蟹的變異數分析均顯示夏季數量顯著較多得到驗證。模式中有關生物間彼此的關係方面，「環節動物豐度」對「十足目豐度」以及「十足目豐度」對「魚類豐度」分別有 0.67 及 0.53 的正向影響，均反應生物間的食物鏈關係，後者則顯現出蝦蟹為食的魚類，在食物充

足的夏節有較多的數量(表 3)；「十足目動物豐度」對「軟體動物豐度」以及「刺細胞動物豐度」對「棘皮動物豐度」分別有 0.79 及 0.50 的顯著正向影響，前者可能隱含生物間的共域生存，後者則呈現若干棘皮生物喜好生活在刺細胞生物繁生的棲地上，此可由棘皮生物及刺細胞生物均在測線 4 分布較多得到支持(表 3)；在「棘皮動物豐度」及「軟體動物豐度」之間發現前者對後者有-0.77 的顯著負向影響，而後者對前者則有 0.79 的顯著正向影響，彰顯出做為食物的軟體動物數量多時可支持較多的棘皮動物生存，而當棘皮動物多時，大量捕食軟體動物則造成其數量減少。

(4)表層生物資料變異數分析

在各類群浮游植物細胞數時間及空間的二因子變異數分析方面，矽藻及甲藻在夏春季較多，藍綠藻則以夏冬季數量較大，綠藻的季節性變化則不明顯，空間上的差異則顯現不同季節 5 條測線間的變動趨勢不盡相同(表 4)，此可能和浮游植物具漂流特性有關。

在哲水蚤及劍水蚤等優勢類群的浮游動物方面，前者以夏季明顯較多，後者則以春季的數量最大，而兩者均呈現 107 年顯著大於 109 及 108 年的情形(表 4)。

在與經濟性漁獲有關的蝦類幼生及仔稚魚方面，兩者的數量均有顯著的季節變動，前者以冬季數量最少，後者則以冬季最多，此外仔稚魚以距離岸邊較遠的測線 C 豐度最高，蝦類幼生則在秋季測線 B 明顯最大(表 4)

(5)表層生態系模式建構

圖 4 為結合 107 年至 109 年 135 筆相互配對的表層水質及生物資料(含浮游植物、浮游動物及仔稚魚)所建構的生態系模式，模式中「季節性底質攪動(-)」、「懸浮物與矽酸鹽」、「海水重金屬」及「河川

淡水注入(-)」等潛在變項源自於水質主成分分析；生物方面則以實測變項「甲藻細胞數」、「綠藻細胞數」、「藍綠藻細胞數」、「矽藻細胞數」、「蝦幼生個體數」及「仔稚魚個體數」分別依序估計潛在變項「甲藻豐度」、「綠藻豐度」、「藍綠藻豐度」、「矽藻豐度」、「蝦苗豐度」及「仔稚魚豐度」，至於潛在變項「橈腳類豐度」則由「哲水蚤個體數」、及「劍水蚤個體數」所共同估計。另外有關用於建構模式的各類群生物的估計數量，各類群藻類、橈腳類及仔稚魚依序為 48877600 個細胞、10739046 隻、18992 隻，分別佔所有浮游植物、浮游動物、仔稚魚總數 48922800 個細胞、15007458 隻、18992 隻的 99.9%、71.6%及 100%，因此本模式對表層生態系具備一定的代表性。

模式的各項適配指標依序為 $\chi^2=134.62$, $df=92$, $p\text{-value}=0.0025$; $RMSEA=0.059$; $GFI=0.89$; $AGFI=0.84$; $PGFI = 0.60$; $PNFI = 0.60$; $CFI=0.91$; $IFI=0.91$; $CN= 117.72$ 。模式中的 $RMSEA$ 指數為 0.059 處於「不錯的適配」，至於其他指標大都符合或接近標準，代表本模式具備一定之解釋能力。

圖 4 的模式中，潛在變項「季節性底質攪動(-)」、「懸浮物與矽酸鹽」、「海水重金屬」及「河川淡水注入(-)」是影響海域表層生物變動的 4 項關鍵因素。其中「季節性底質攪動(-)」對「矽藻豐度」及「蝦苗豐度」分別有 0.52 及 0.43 的顯著正向影響，可能反映秋冬東北強勁時底質攪動劇烈不適合矽藻及蝦苗的生存，或夏季高溫時陽光充足，有利上述兩種生物類群的繁衍，此與表(4)矽藻於夏季細胞數較多，蝦幼生個體數於冬季顯著較少的結果相符合；「河川淡水注入(-)」對「橈腳類豐度」、「仔稚魚豐度」、「甲藻豐度」、「綠藻豐度」、及「矽藻豐度」依序有 0.18、0.34、-0.45、-0.26 及-0.29 的顯

著影響，前二者可能代表淡水的注入不利海洋性浮游動物及仔稚魚的生存有關，以及此與淡水注入效應較大的秋季(表 2)，浮游動物及仔稚魚的數量較少相契合(表 4)，至於後三者則與伴隨河川而來的磷酸鹽有利各類型藻類的繁殖有關；「懸浮物與矽酸鹽」對「矽藻豐度」0.37 的顯著正向影響，可能反應矽酸鹽為矽藻成長的所需的營養鹽；「海水重金屬」對「甲藻豐度」0.44 的顯著正向影響，隱含甲藻較能忍受汙染的環境；有關潛在變項「矽藻豐度」對「橈腳類豐度」及「藍綠藻豐度」分別有 0.85 及 0.24 的顯著正向影響，前者則可能顯露出矽藻為浮游動物的食物，食物充足時，可支持較大量的橈腳類生存，此可由矽藻及橈腳類呈現春夏季數量多，秋冬季數量少獲得印證(表 4)，後者則與環境適合時，兩種藻類數量同步增加的現象有關。

(6) 強制納入工業港工程阻隔效應之生態系模式建構

依據「109 年觀塘工業區工業專用港施工期間環境監測年度報告」，”經由 109 年 5 月及 11 月相同潮時之流場圖發現，11 月份漲潮時，建物下游近岸處的流速較 5 月份為低，呈現出工業港工程建物(棧橋、海堤、沉箱等)有影響流場的現象”。鑒於上述海流之監測每兩季監測一次(無 109 年 8 月的調查結果)，故依據棧橋工程的完工比例(109 年 8 月: 36.76%，109 年 12 月:54.03%)，假設受影響時間及範圍的測站 109 年 10 月 3A、109 年 10 月 3B、站 109 年 8 月 3A、109 年 8 月 3B，受工業港工程建物影響的程度依序為 4 分、3 分、2 分及 1 分(分數越大，影響程度越高)，至於其他時間及測站認為不受影響的 0 分，以此設定進行潛在變項「工業港工程阻隔效應」的估計，並強制納入圖 3 及圖 4 的模式中，重新建構之新模式如圖 5 及圖 6。

在強制納入工業港棧橋、海堤、沉箱等設施影響的底棲生態系模式中，潛在變項「工業港工程阻隔效應」對「軟體動物豐度」、「棘

皮動物豐度」、「魚類豐度」及「環節動物豐度」均無顯著影響，僅對「刺細胞動物豐度」有 0.20 的顯著正向影響(圖 5)，推測與相關工程的屏障減緩海流及海浪的效應，有利刺細胞生物的生存有關。至於在圖 6 之表層生態系則顯示「工業港工程阻隔效應」對「蝦苗豐度」、「仔稚魚豐度」、「甲藻豐度」及「綠藻豐度」均無顯著影響，僅對「橈腳類豐度」、「矽藻豐度」、「藍綠藻豐度」依序產生-0.27、-0.67、0.39 的顯著影響，推測與棧橋造成的海流減緩效應，降低了大潭電廠溫排水的擴散，其中測站 3A 及 3B 侷限範圍內的橈腳類及矽藻數量因溫排水減少，具有高溫耐受性的藍綠藻數量則反而增加。

(7)小結

107~109 年資料分析顯示，本海域環境主要受到季節性的底質攪動、河川注入、重金屬、懸浮物及矽酸鹽等因素的影響。其中底質攪動的強度與季節有關，受東北季風的影響，以冬季、近岸及受風面之北邊測線效應較大。浮游植物、浮游動物及仔稚魚等表層生物群集結構主要隨季節而改變，仔稚魚的分布還受到測線及離岸距離的影響。而底棲生物中的魚、蝦、蟹、寄居蟹同樣有著夏季明顯較多的季節變化趨勢；刺細胞動物及棘皮動物則均有在測線 4 較多測線 1、2、5 較少的類似空間分布情形，軟體動物則與之相反。在探討生物變動的原因方面，由生態系模式的結果顯示，浮游性生物受到季節性底質攪動、河川注入、懸浮物、重金屬與食物鏈關係的影響，底棲生物則主要受到季節性底質攪動、河川注入及重金屬的掌控。有關 108~109 年間的 LNG 儲槽區工程、棧橋工程及沉箱安置工程，所可能導致的大海水濁度升高的效應並不明顯，也未對海域生物產生顯著的影響，至於工程所造成海流減緩，則造成局部海域矽藻與橈腳類豐度減少，藍綠藻增加的效應，有關棧橋工程所營造部份海域的屏障效果，則有利

刺細胞生物豐度的增加。不過上述影響的範圍有限，且豐度降低均屬海洋中數量佔優勢且隨海流來去的浮游性矽藻與橈腳類，不影響廣大海域的生態系運作，整個觀塘海域亞潮帶生態系的架構主要仍由自然因素所控制。

2. 觀塘潮間帶海域藻礁生態結構數理分析

本部分是以 108 年~109 年「觀塘藻礁區域生態調查及監測」共七次調查，選取 10 條測線(圖 7~圖 10)，相互配對的水質、底質、泥沙淤積程度、棲地類型、大型藻類、底棲動物、魚類及鳥類的數據進行整合性的分析。其中水質參數包括水溫、鹽度、溶氧、濁度、酸鹼值、氨氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮及磷酸鹽共 9 項，底泥則有鉛、鎘、鉻、銅、鋅、鎳、砷、汞等 8 個參數。棲地類型則區分為礁體、沙地、礫石及水。

(1)藻礁水質及底泥資料主成分分析

a. 水質主成分分析

經由 108 年 3 月~109 年 12 月 16 次調查共 515 筆水質資料主成份分析(最大變異法進行轉軸)的結果顯示，第一(PC1)至第三成份軸(PC3)可解釋整體水質變異的 70.2%，第一成分軸(PC1) 可解釋 27.97%的水質變異，以鹽度、亞硝酸鹽、氨氮及硝酸鹽的負荷量較高，其中鹽度為負值，後三者為正值(表 5)，代表當河川淡水入侵時，鹽度下降，而伴隨河水而來的營養鹽濃度上升的現象，故命名此軸為「河川營養鹽」。表 6 為本成分軸成分分析的變異數分析，結果顯示 BY(白玉區)及 KS(觀新區)顯著大於 G1 及 G2(大潭區)，顯示以北邊及南邊的藻礁區受到河川的影響較高，中間的大潭藻礁區較低，此可能與北邊大崛溪及南邊社子溪的河川流量較大有關。

第二成份軸(PC2) 可解釋 24.76%的水質變異，以水溫、酸鹼值、

濁度及正磷酸鹽的負荷量較大(表 5)，配合表 6 本軸成分分數以 2 月、12 月等冬季時較大，7 月、8 月等夏季較低，以及低潮帶影響大於高潮帶，可推測此為，低溫時東北季風強勁造成底質擾動所產生濁度增高、正磷酸鹽濃度增高的效應，故將此成分軸命名為「季節性底質攪動」。

第三成份軸(PC3) 可解釋 17.52%的水質變異，水溫及溶氧的負荷量較大，前者為負後者為正，顯現出海水在低溫時飽和溶氧較高的物理特性，故將此成分軸命名為「季節性飽和溶氧變化」(表 5)。

經由主成分分析的結果，顯示影響本海域潮間帶環境變動的因素有三(即水質環境變動之潛在變向)，依序為「河川營養鹽」、「季節性底質攪動」及「季節性飽和溶氧變化」。至於工程所引起的懸浮物增高效應，則可能因為影響程度較低且不持久，且遠低於自然界因東北季風導致的底質攪動，因而未能在主成分分析中被分離出，故可判定對環境的影響輕微。

b. 底質主成分分析

經由 108 年 5 月~109 年 12 月 7 次調查共 210 筆底質資料主成份分析(最大變異法進行轉軸)的結果顯示，第一(PC1)至第二成份軸(PC2)可解釋整體底質變異的 84.65%，第一成分軸(PC1) 可解釋 51.63%的水質變異，以重金屬鎘、鎳、鉛及鋅的負荷量較高，且均為正值(表 7)，代表此 4 個重金屬有同步變動的情形，故命名此軸為「重金屬鎘鎳鉛鋅」。以本成分軸成分分析的變異數分析結果顯示，BY(白玉區)明顯最高，其次為 G1 與 KS(觀新區)，至於 G2 則顯著最低，此外 109 年顯著大於 108 年，代表整體藻礁的重金屬污染仍未有效控制 (表 8)，而 110 年 6 月初檢警查獲的新品及上福砂石場長期偷排重金屬污

泥至觀音草漯沙丘出海口，其位置正好在白玉藻礁北測，可能即與 BY(白玉區) 的「重金屬鎘鎳鉛鋅」顯著較高有關。

第二成份軸(PC2) 可解釋 33.02%的底質變異，以重金屬銅及砷的負荷量較大(表 7)，呈現此兩種重金屬同步變動的趨勢，因此可命名為「重金屬銅砷」。由表 8 變異數分析的結果顯示，以 G2 區顯著最高，G1 區最低，而 BY(白玉區)與 KS(觀新區)則在上述二者之間，此與第一成份軸「重金屬鎘鎳鉛鋅」在空間上的差異不同，代表各區藻礁區可能分別有不同來源的重金屬污染；有關 109 年顯著大於 108 年的結果與第一成份軸相同，均透露桃園沿岸海域仍持續有重金屬的排放污染，而且除了被查獲的新品及上福砂石場的偷排案例，可能仍有潛在未被發現的污染源。

(2)藻礁棲地類型主成分分析及泥沙淤積變異數分析

選取 108 年 5 月~109 年 12 月 7 次調查共 210 筆棲地類型參數(泥沙、礫石、礁體和水)，進行主成份分析(最大變異法進行轉軸)的結果顯示，第一(PC1)及第二成份軸(PC2)可解釋整體棲地類型參數的變異的 72.20%，第一成分軸(PC1) 可解釋 43.10%的變異，以泥沙及礁體的負荷量較高，前者為負後者為正(表 9)，顯現泥沙和礁體間有反項的關係，即棲地中若礁體佔的比例高，則沙地的比例就低，若礁體的面積少，沙地的面積則多，反映出藻礁礁體和沙地棲地的變動，故命名此軸為「沙地礁體比例」。以本成分軸成分分析的變異數分析結果顯示，各區域間(BY(白玉區)、G1、G2 與 KS(觀新區)間沙地礁體比例並無顯著差異，低潮帶的成分分數顯著大於高潮帶，呈現前者礁體多，後者沙地大的現象，此符合一般礁岩海岸的情形，此外 108 年顯著大於 109 年，代表兩年的比較礁體有減少的情形，有關月分間的比

較結果為上半年的礁體 2 月及 5 月較高，下半年的 8 月及 12 月沙地面地則有增加的現象，此是否為規律性的季節變化尚有待日後的觀察(表 10)。

第二成份軸(PC2) 可解釋 29.10% 的變異，以礫石及水的負荷量較大，前者為負後者為正(表 9)，顯現礫石與水棲地的比例有負相關的現象，故命名此軸為「水礫石比例」。以本成分軸成分分析的變異數分析結果顯示，大潭區的 G1、G2 的成分分數顯著大於 BY(白玉區)與 KS(觀新區)，呈現後兩區的礫石較 G1、G2 多，此外 108 年顯著大於 109 年，代表 109 年的礫石棲地的比例有增加的現象(表 10)。

有關各測站泥沙淤積深度的比較，表 10 的變異數分析結果顯示高潮帶及中潮帶顯著高於低潮帶，G1 及 BY(白玉區)顯著大於南邊的 KS(觀新區)，至於時間上的比較，無論年或季節均無明顯差異。

由表 3 及表 4 亞潮帶海域水質資料主成分分析得知，本海域冬季受到東北季風的吹拂，導致底質攪動影響甚大，特別是在受風面的沒有地形屏障的北邊測線的情形最為明顯，此種因季節變動導致海底泥沙再懸浮的效應，也影響到岸邊的潮間帶海域，致使藻礁區的泥沙淤積時而高時而低，呈現出棲地極度不穩定的現象。為瞭解此現象對藻礁生態系的影響，分別對 BY(白玉區)、G1、G2、KS(觀新區)各區所有測站 108 年 5 月至 109 年 12 月七次調查的泥沙淤積數據，計算出各區的標準差，依數質大小排序為 G1(11.44)、BY(4.87)、G2(1.53)、KS(1.38)，以當作四個區域環境變異的參考。

(3)藻礁生物資料變異數分析

有關藻礁各類群生物數量(或覆蓋面積)時間及空間的二因子變異數分析，在附著藻類方面，非造礁大型藻類的覆蓋率以 G1 區顯著小

於其他三區塊，12 及 2 月分冬季期間也有較低的情形，至於不同潮位間(高潮、中潮、低潮)，則無顯著差異；殼狀珊瑚藻則以低潮位的覆蓋率最高，其次為中潮位，高潮位顯著最低，此外，區塊間的比較普遍以 BY(白玉)及 G1 區顯著較多，明顯大於 G2 及 KS(觀新)(表 11)。

在底表之底棲動物部份，表 11 的變異數分析顯示，各區塊底表軟體動物的數量 $BY > KS > G1 > G2$ ，高潮區大於中潮位及低潮位；底表節肢動物則呈現 G1 顯著較大，其次依序為 KS、BY 及 G2，時間的比較則顯示 108 年顯著大於 109 年，2 月顯著較大，12 月較小。

在底內底棲動物部份，底內多毛類、底內軟體動物、底內星蟲及底內節肢動物大致呈現 KS(觀新)、G2 數量明顯多於 BY(白玉)、G1，且前三者的低潮位的數量顯著大於中潮位及高潮位(表 11)。

在魚類方面，以 KS(觀新)數量顯著大於其他三區塊，且於夏季的 8 月分明顯最多，而鳥類數量則以，G2 區最多，其次為 KS 及 BY，G1 最少，季節則以冬季的 2 月最多，可能與冬候鳥的出現有關(表 11)。

(4)藻礁生態系模式建構

圖 11 為結合 108 年至 109 年潮間帶環境及生物配對資料所建構的生態系模式，模式中「河川營養鹽(-)」、「季節性底質攪動」等潛在變項源自於水質主成分分析，「沙地礁體比例」與「水礫石比例」源自於棲地類型主成分分析；潛在變項「淤積程度」則由每個測站的平均淤積深度所估計；潛在變項「底泥重金屬」則由底泥中的鉛所估計，從表 7 主成分分析可得知本海域重金屬鎘、鎳、鉛、鋅具有同步變動的趨勢；潛在變項「淤積變異程度」則分別以 4 個區塊內(BY、G1、G2、KS)的測站，7 次調查之所有平均泥沙淤積的樣本所計算出之標準差即「各區歷次調查淤積標準差」，代表各區塊淤積的變動情形。

生物方面則以直接使用單一實測變項「非造礁藻類覆蓋率」、「殼狀珊瑚藻覆蓋率」、「魚類個體數」、「鳥類個體數」、「底表節肢動物個體數」、「底表軟體動物個體數」、「底內節肢動物個體數」、「底內軟體動物個體數」、「底內星蟲個體數」及「底內多毛類個體數」進行模式建構分析。有關模式中生物實測變項所使用的生物數量站總數的比例，底表動物為 99.96%，底內動物為 97.46%，魚類及鳥類則為 100%，因此模式可解釋九成以上調查到的潮間帶生物變動，對藻礁生態系具備代表性。

圖 11 模式的各項適配指標依序為 $\chi^2=306.09$, $df=139$, $p\text{-value}=0.00$; $RMSEA=0.076$; $GFI=0.87$; $AGFI=0.81$; $PGFI = 0.58$; $PNFI = 0.57$; $CFI=0.85$; $IFI=0.85$; $CN= 107.35$ 。模式中的 $RMSEA$ 指數為 0.076 處於「不錯的適配」，至於其他指標大都符合或接近標準，代表本模式具備一定之解釋能力。

圖 11 的模式中，潛在變項「淤積變異程度」是藻礁生態系中影響層面最廣的環境因子，分別對「底內節肢動物個體數」(-0.28)、「底內星蟲個體數」(-0.36)、「底內多毛類個體數」(-0.29)、「非造礁藻類覆蓋率」(-0.27)、「魚類個體數」(-0.21)、「鳥類個體數」(-0.59)等 6 類群生物均有顯著的負向影響，反映棲地的不穩定對大多數類群藻礁生物的生存不利，這即可能就是實測變項「各區歷次調查淤積深度標準差」明顯較大的 G1 與 BY 區內(G1:11.44、BY:4.87、G2:1.53、KS:1.38)，上述 6 大類生物的數量較少的主要原因(表 11)，至於「淤積變異程度」對「殼狀珊瑚藻覆蓋率」及「底表節肢動物個體數」則有正向的影響，則彰顯此二類群生物對積沙變異大之環境的適應性，並反映在 G1 覆蓋率(及數量)顯著較大的結果(表 11)，後者還與佔有底表節肢動物總數量 66%的優勢生物庫氏寄居蟹(*Pagurus kulkarnii*)

喜好海水含沙量高，礁體間的潮池底部經常積沙的大潭藻礁環境有關(劉及何，2020)。

棲地型式則是影響藻礁生態系的另一個重要關鍵，其中潛在變項「沙地礁體比例」對「殼狀珊瑚藻覆蓋率」(-0.32)、「底表節肢動物個體數」(-0.20)、「底表軟體動物個體數」(-0.27)及「底內多毛類個體數」(-0.68)均有負向影響，顯示上述生物均好生長於礁岩棲地；而潛在變項「水礫石比例」對「底表軟體動物個體數」(-0.27)的負向影響則顯現礫石提供石蟹及螺等腹足類物的棲所，此與 KS 及 BY 有較多礫石的區塊(表 10)，底表軟體動物數量顯著多的結果(表 11)相契合。

有關圖 11 模式中生物與生物間的關係方面，「非造礁藻類覆蓋率」對「殼狀珊瑚藻覆蓋率」(-0.19)的顯著負向影響，透露出前者競爭力較強，有抑制後者生存的現象，此也反映在 KS、G2 等非造礁藻類密度較高區塊，殼狀珊瑚藻覆蓋率明顯較低(表 11)；「殼狀珊瑚藻覆蓋率」對「魚類個體數」(0.31)顯著正向影響則顯露出殼狀珊瑚藻附生的棲地可能適合特定(小型底棲或孔隙)魚種的生存；「底內多毛類個體數」分別對「底內節肢動物個體數」(0.30)、「底內軟體動物個體數」(0.41)、「底內星蟲個體數」(0.39)，以及「底內星蟲個體數」對「底內軟體動物個體數」(0.30)均呈現顯著正向影響，可以解釋為上述生物喜好相同棲所之共域生存的現象。

(5)小結

108~109 年藻礁資料分析顯示，本海域白玉、大潭及觀新藻礁四個藻礁區塊(BY、G1、G2、KS)的環境特性各有不同，其中 BY、KS 受到的淡水影響較大；BY 底泥的鎘、鎳、鉛、鋅等重金屬濃度較高，G2 的銅、砷重金屬污染較嚴重；KS 及 BY 的礫石比例較高；G1、BY 的泥沙淤積較深；G1 的泥沙淤積變異最大。而四個藻礁區塊的生

物數量(附蓋率)也不同，包括 G1 的非造礁大型藻附蓋率最低；BY、G1 的殼狀珊瑚藻附蓋率最高；G2、KS 的底內多毛類、底內節肢動物、底內軟體動物及底內星蟲動物的數量最多；G1 的底表節肢動物數量較大；BY 的底表軟體動物豐度最高；KS 的魚類及 G2 的鳥類最多。

至於藻礁生態系生物變動的原因，首推泥沙淤積的變異程度，其次包括棲地型式、河川淡水、重金屬汙染及泥沙淤積深度等環境因子也是影響生物數量變動的因素，至於生物間食物鍊以及相互競爭的關係，也影響著藻礁生物的分布。有關藻礁區獨特的生物群集，包括殼狀珊瑚藻得以在特定區塊有較大覆蓋率的原因，可能反而是該區環境變異大，較不適合其他生物的生存，因而讓競爭力較弱的殼狀珊瑚藻得以生存，以及喜好高海水含沙量，潮池經常積沙環境的庫氏寄居蟹成為優勢種的原因。

3.三接施工對海域生態影響評估之實際觀測結果(量化驗證)

「中油第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程計畫」相關工程包括港區航道浚挖抽沙作業、沉箱安置、棧橋興建、築堤、填地及建港，可能產生水體懸浮固體增加，岸邊泥沙淤積，以及半封閉水域導致大潭電廠溫排水擴散不易等效應。而「1060886A) 桃園市觀塘工業區開發計畫環境影響評估報告書藻礁生態系因應對策暨環境影響差異分析報告」及「(1060335A) 桃園市觀塘工業區工業專用港環境影響說明書環境現況差異分析及對策檢討暨環境影響差異分析報」的環評預測則指出”工程導致懸浮物質的局部增高會短暫影響浮游植物的密度及組成，進而影響到此覓食的魚、蝦、蟹類，但是會採先圍堤後浚挖之程序，並設置污染防止膜等措施減低其影響；

港區採開放式鏤空配置，以及平行海岸線之防波堤，沿岸海水可以自然流動，浮游植物、浮游動物、魚卵、仔稚魚及底棲動物等幼生物種活動將不受影響，營養鹽供輸不置於阻斷；經模式模擬台電溫排水增溫效應後，判斷對藻礁生態影響輕微”。此外，兩份環評書件也提到”G1區及台電進水口北測之 G3 北測長期將有淤積情形，完成抽沙後可恢復藻礁生態；港區範圍礁體隨水深增加而減少，浚挖區及欲覆蓋區生物多樣性不豐富”等訊息。本研究以 107 年至 109 年「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程施工前環境監測」、「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程施工期間環境監測」以及 108 年~109 年「觀塘藻礁區域生態調查及監測」大量實測數據的數理分析結果，正可做為 106 年觀塘工業區及觀塘工業港兩份書件環評預測之施工期間的實測量化驗證。

(1) 亞潮帶海域生態影響評估之量化驗證

在上述章節強制納入「工業港阻隔效應」重新建構的生態系模式(圖 5、圖 6)，為經由考量所有監測之環境及生物參數，去除不重要的雜訊後，最後得到可解釋生態系之重要精簡結果。可清楚解析 107~109 年調查期間，包含工業港施工產生的干擾及其它自然因素在內的生態系變動架構。由於結構方程模式中的路徑係數可做為潛在變項間影響程度的依據，並可計算出直接影響、間接影響及合併以上兩者之總影響，可藉由數值的絕對值大小，判斷變項間的相對影響程度(Malaeb,et al., 2000)。表(12、13)即為以兩個納入「工業港工程阻隔效應」之生態系模式(圖 5、圖 6)，計算出各潛在變項間之總影響的摘要表，可藉由表中數字的絕對值大小，判斷變項間的相對影響程度。

以表 12 的「棘皮動物豐度」為例，與其數量變動有關的變項多達 8 項，包括 4 項生物因素，3 項環境因素及 1 項本案之人為干擾，

影響較大的均屬於生物因素，依影響程度依序為「軟體動物豐度」的 0.80，「十足目動物豐度」的 0.59、「刺細胞動物豐度」的 0.49 及「環節動物豐度」的 0.38，至於環境因素則包括「河川淡水注入(-)」的 0.27、「季節性底質攪動(-)」的 0.18 與「海水重金屬」的 0.08，關於最令人關注的「工業港工程阻隔效應」則僅有 0.098 的微弱影響。在上述 8 項影響因素中，「海水重金屬」會造成棘皮動物數量的減少，其他 7 項因素則會導致其數量增加。特別說明的是「工業港工程阻隔效應」對「棘皮動物豐度」並不會產生直接影響，而是透過「刺細胞動物豐度」的間接效應，其 0.098 的微弱影響為 0.20×0.49 所得到，此種間接效應的情形也存在「環節動物豐度」、「十足目動物豐度」、「河川淡水注入(-)」、「季節性底質攪動(-)」、「海水重金屬」與「棘皮動物豐度」的關係上。

表 12 中有關「工業港工程阻隔效應」對亞潮帶各類生物的影響，在底棲生態系方面，經過統計檢定，對於「環節動物豐度」、「十足目動物豐度」及「魚類豐度」均為不顯著影響；對於「軟體動物豐度」(-0.077)及「棘皮動物豐度」(0.098)僅有微弱的間接影響相對係數小於 0.1 視為輕微影響；對於「刺細胞動物豐度」(0.20)的正向影響，則是惟一受到工程影響的底棲生物類群。在表層生態系部份，表 13 中「工業港工程阻隔效應」對於「綠藻豐度」、「甲藻豐度」、「蝦苗豐度」及「仔稚魚豐度」均為不顯著影響；對於「藍綠藻豐度」合併直接影響及間接效應後，為甚低的 0.03 的總影響；對於「矽藻豐度」(-0.67)及「橈腳類豐度」(-0.27)的負向影響，則是明顯受到工程影響的浮游生物類群。

檢視 106 年觀塘工業區及工業港的環評預測，”工程導致懸浮物質的局部增高會短暫影響海域生態”，而本研究水質主成分分析的結

果則顯示，觀塘海域水體中懸浮物質主要受到東北季風導致的底質攪動所掌控，工程引起的效應並不明顯，生物變動主要仍受季節性底質攪動、河川淡水注入、海水重金屬、懸浮物與矽酸鹽(表 12、表 13)等非工程因素所影響，與當初環評預測相符；有關”港區採開放式鏤空配置，生物活動將不受影響，以及台電溫排水增溫效應對海域生態系影響輕微”，而本研究表 12 及表 13 中「工業港工程阻隔效應」顯示有促使刺細胞生物數量增加，矽藻及橈腳類豐度減少的情形，不過因為影響範圍侷限在棧橋下流處海域，且數量減少的矽藻及橈腳類為海域中數量優勢的類群，以及屬於浮游性質，對整體生態系的影響有限，大致仍符合當初的環評預測。

(2) 潮間帶海域生態影響評估之量化驗證

表(14)為依據藻礁之生態系模式(圖 11)所計算出各潛在變項間之總影響的摘要表，由於模式過於複雜，將小於 0.1 的間接效應捨去不計，僅顯示直接影響及間接影響較大者。摘要表中環境因素的「底泥重金屬」、「河川營養鹽(-)」、「淤積程度」及「淤積變異程度」，前兩者可能受到陸源污染的背景人為干擾影響，後兩者除了原本自然界原有的泥沙淤積現象，還可能受到本案工程的加成影響。有關 106 年環差報告預測的”工程導致懸浮物質的局部增高效應，並僅對生物產生短暫影響，以及 G1 區及 G3 長期將有淤積情形”，前者如同前章節亞潮帶海域的論述，在藻礁主水質主成分分析同樣已經排除其對環境產生明顯的影響(表 5、表 6)，自然也無法解析出對生物的顯著干擾。後者在表 14 中顯示「淤積程度」對「底內星蟲個體數」有微弱負向影響(-0.17)，對其於它類群生物則無顯著影響；而本海域對藻礁生態系產生影響的真正原因，則是泥沙忽侵忽淤導致棲地不穩定的效應，此對藻礁的 9 大類生物產生了-0.59~0.21 的影響，進一步探討各

分區的情形，則顯示出 G1 區的「歷次調查淤積深度標準差」最大 (G1:11.44、BY:4.87、G2:1.53、KS:1.38)，呈現出潛在變項「淤積變異程度」對「底內節肢動物個體數」(-0.28)、「底內軟體動物個體數」(-0.23)、「底內星蟲個體數」(-0.47)、「底內多毛類個體數」(-0.29)、「非造礁藻類覆蓋率」(-0.27)、「魚類個體數」(-0.21)、「鳥類個體數」(-0.59)等負向影響的生物類群造成幅度較大的數量減少，而對「殼狀珊瑚藻類覆蓋率」(0.16)及「底表節肢動物個體數」(0.21)則導致其數量增加效應較大，此種影響趨勢在「歷次調查淤積深度標準差」最低的觀新藻礁(KS 區)有著相對較小的影響程度，即呈現於表 11「殼狀珊瑚藻類覆蓋率」及「底表節肢動物個體數」在 KS 區數量較少，其他生物類群的數量較多的結果。

(3)小結

本案目前已進行包括沉箱安置及棧橋施做等海事工程，經嚴謹之數理分析驗證了 106 年的環評預測大致無誤。針對未來工業港外推案，依據現有隨工程進行的滾動式分析成果，並配合相關「離岸式 LNG 港(三接外推方案)興建對大潭電廠溫排水影響之模擬分析」、「離岸式 LNG 港(三接外推方案)興建對地形變遷趨勢影響之模擬分析」等相關模擬，應可提出更為可信的海域生態影響預測。

4.三接外推工程對海域生態影響評估之量化預測

(1)亞潮帶海域生態影響評估之量化預測

有關未來中油三接工業港外推工程對亞潮帶海域生態的影響，鑒於工程外推後水深增加，原有的浚挖工程取消，以及港區仍採開放式鏤空配置，亞潮帶海域的環境變動因子與目前狀況類似，並無額外

增加人為干擾的項目，而且依據「離岸式 LNG 港(三接外推方案)興建對大潭電廠溫排水影響之模擬分析」外推後隔離水道寬度增加，更有利於溫排水的擴散，因此預測未來外推案將依循現有的生態系架構，故可將表 12 及表 13 的現況量化影響摘要表，依據環保署公告之「海洋生態評估技術規範」中「海域生態影響預測摘要說明表」的格式，將其中的關係值，以範圍的方式呈現，並加上影響期間(長期/短期)、可回復性程度及影響範圍的說明，預測特定人為干擾(工業港工程阻隔效應)對整體生態系的影響程度如表 15 及表 16。

表 15 的底棲生態系影響預測，說明「工業港工程導致海水濁度增加效應」在原方案及外推案所造成鄰近棧橋、堤防、沉箱施作附近局部海域短暫的海水濁度增高效應，對「環節動物豐度」、「刺細胞動物豐度」、「軟體動物豐度」、「十足目動物豐度」、「棘皮動物豐度」及「魚類豐度」均將為不顯著影響；「工業港工程阻隔效應」考量未來工業港完工後對海流所產生的屏障更明顯，預測對刺細胞動物與棘皮動物變動的相關性更高，故將原先表 12「刺細胞動物豐度」及「棘皮動物豐度」的係數在轉換時分別上調至 0.3~0.6 以及 0.1~0.3 的顯著正向影響，鑒於此為永久設施，故為長時期可回復程度低的影響，至於影響範圍則均為棧橋、堤防內範圍，惟外推案棧橋加長，影響的範圍將比原方案更大些，此外，對於其他「環節動物豐度」、「軟體動物豐度」、「十足目動物豐度」及「魚類豐度」，兩方案則均判斷為不顯著影響。

在表層生態的預測方面，表 16 說明原方案及工業港外推後「工業港工程導致海水濁度增加效應」對「綠藻豐度」、「甲藻豐度」、「藍綠藻豐度」、「矽藻豐度」、「橈腳類豐度」、「蝦苗豐度」及「仔稚魚豐度」均將為不顯著影響；兩方案之「工業港工程阻隔效應」對「矽藻

豐度」及「橈腳類豐度」則將分別有-0.6~-1 及-0.1~-0.3 的顯著負向影響，鑒於工業港及電廠溫排水均為永久設施，故為長時期影響，不過若電廠除役，則對浮游生物的影響則消除，故屬於可回復程度高的影響，至於影響範圍則均為大潭電廠溫排水排放口附近及其兩側沿岸方向的狹長水域，因外推案溫排水擴散程度較佳，推測影響的範圍將比原方案略小些，對於「藍綠藻豐度」經合併直接及透過「矽藻豐度」的間接影響後，亦將視為影響降低，至於「綠藻豐度」、「甲藻豐度」、「蝦苗豐度」及「仔稚魚豐度」則也將為不顯著影響。

(2) 潮間帶生態影響說明

在工業港外推後對潮間帶藻礁生態系的影響方面，由於三接工程的施工及營運海域和藻礁所處的區位分屬亞潮帶和潮間帶兩種不同的生態系(見結果與討論第 1 及 2 節)，兩者間主要生物群聚的種類組成(圖 12、圖 13、圖 14)幾乎沒有重疊，生態系內種群間的運作關係也不同，而且在環境潛在變項(主成分)分析中，惟一在兩個生態體系裡都出現的“季節性底質攪動”變項，在藻礁生態系結構中，其實對生物並無任何的影響，另經由亞潮帶(圖 3、圖 4)及潮間帶(圖 11)生態系模式建構結果，兩者間的變動架構也完全不同。

此外，在新建工程中原有的浚挖工程取消，沉箱放置及築堤工程距離藻礁更遠，外推後隔離水道寬度增加，皆有利於潮間帶自然生態系的運作，基於以上科學及工程的實質條件評估，預期工程會對藻礁造成影響將甚為有限，故暫不進行相關的數理預測運算。

(3) 小結

本研究使用施工前及施工期間的資料，透過高階系統的數理分析，針對已存在若干工程影響情況下的海洋生態系進行了實質的解

析，並依此對本海域亞潮帶海域及藻礁，分別進行了原方案之工業港興建及工業港外推案影響的量化預測。結果顯現在現行生態系的架構下，未來的各項衝擊應屬輕微(皆已量化)，且可在未來施工及營運時，利用海域監測的資料予以驗證或提供減輕衝擊工程修正的方向。

文獻整理

Arhonditsis, G.B., Paerl, H.W., Valdes-Weaver, L.M., Stow, C.A., Steinberg, L.J., Reckhow, K.H., 2007. Application of Bayesian structural equation modeling for examining phytoplankton dynamics in the Neuse River Estuary (North Carolina, USA). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72, 63-80.

Arhonditsis, G.B., Stow, C.A., Steinberg, L.J., Kenney, M.A. Lathrop, R.C., McBride, S.J., Reckhow, K.H., 2006. Exploring ecological patterns with structural equation modeling and Bayesian analysis. *Ecological Modelling* 192, 385–409.

Bartlett, M.S., 1951. The goodness of fit of a single hypothetical discriminant function in the case of several groups. *Annals of Eugenics* 16, 199-241.

Cattell, R.B., 1966. *Handbook of multivariate experimental psychology*. Rand McNally, Chicago.

Howell, R. D., 1996. LISREL 8 with PRELIS2 for Windows. *Journal of Marketing Research* 33, 377-381.

Kaiser, H.F., 1959. The application of electronic computers to factor analysis. *Symposium on the Application of Computers to Psychological Problems*, APA.

Kaiser, H.F., 1974. Little Jiffy, Mark IV. Educational and Psychological Measurement 34, 111-117.

Liu, Y., Guo, H. C., Yang, P. J., 2010. Exploring the influence of lake water chemistry on chlorophyll *a*: A multivariate statistical model analysis. Ecological Modelling 221, 681–688.

Malaeb, Z.A., Summers, J.K., Pugsek, B.H., 2000. Using structural equation modeling to investigate relationships among ecological variables. Environmental and Ecological Statistics 7, 93-111. (p6-101~116)，環境影響評估報告書(編號:1090133A)，台北市：行政院環境保護署。

方力行，2020。第六章 6.4.2 海域生態-環境影響差異分析，載於台灣世曦工程顧問股份有限公司，臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告（新增造地料源）(p6-101~116)，環境影響評估報告書(編號:1090133A)，台北市：行政院環境保護署。

王保進，2004，多變量分析：套裝程式與資料分析。高等教育文化，台北市。

周偉融，2012。以結構方程模式解析海域生態之變動架構。博士論文。海洋生物科技暨資源學系研究所。國立中山大學。149 頁。

周偉融、方力行。2015。以大數據分析檢驗大潭火力發電廠海洋生態環評的預測。第 37 屆海洋工程研討會，台中，台灣，p587-592。

周偉融、方力行。2021。以大數據分析進行生態系建構並量化驗證「中油第三座液化天然氣接收站興建工程」海洋生態的環評。「2021 系統動力學研討會」，高雄，台灣。

黃芳銘。2004。社會科學統計方法學-結構方程模式。五南圖書出版公司，台北。

劉靜榆、何平合。2020。台灣北部及東南部硬底質海岸潮間帶寄居蟹群集分析。台灣生物多樣性研究(TW J. of Biodivers.) 22(2): 115-136.

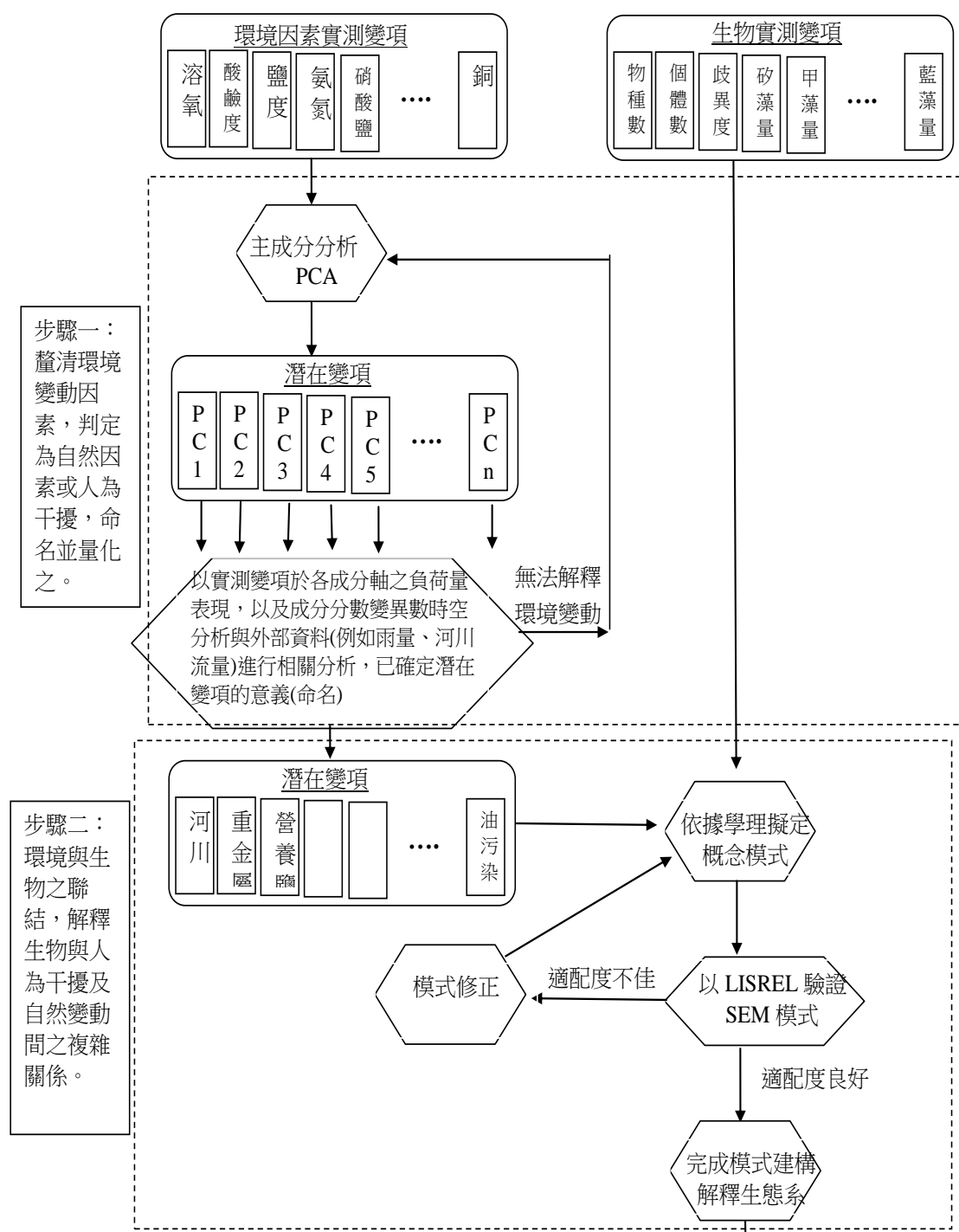


圖 1、海域生態結構數理分析流程圖

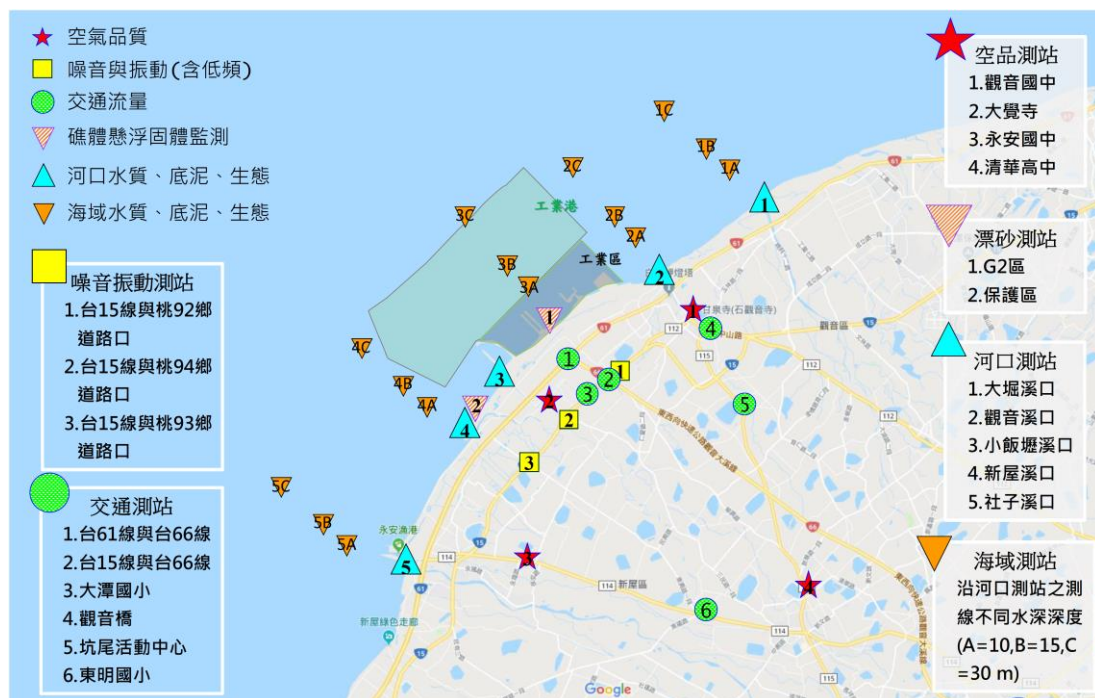


圖 2、亞潮帶海域生態測站位置圖

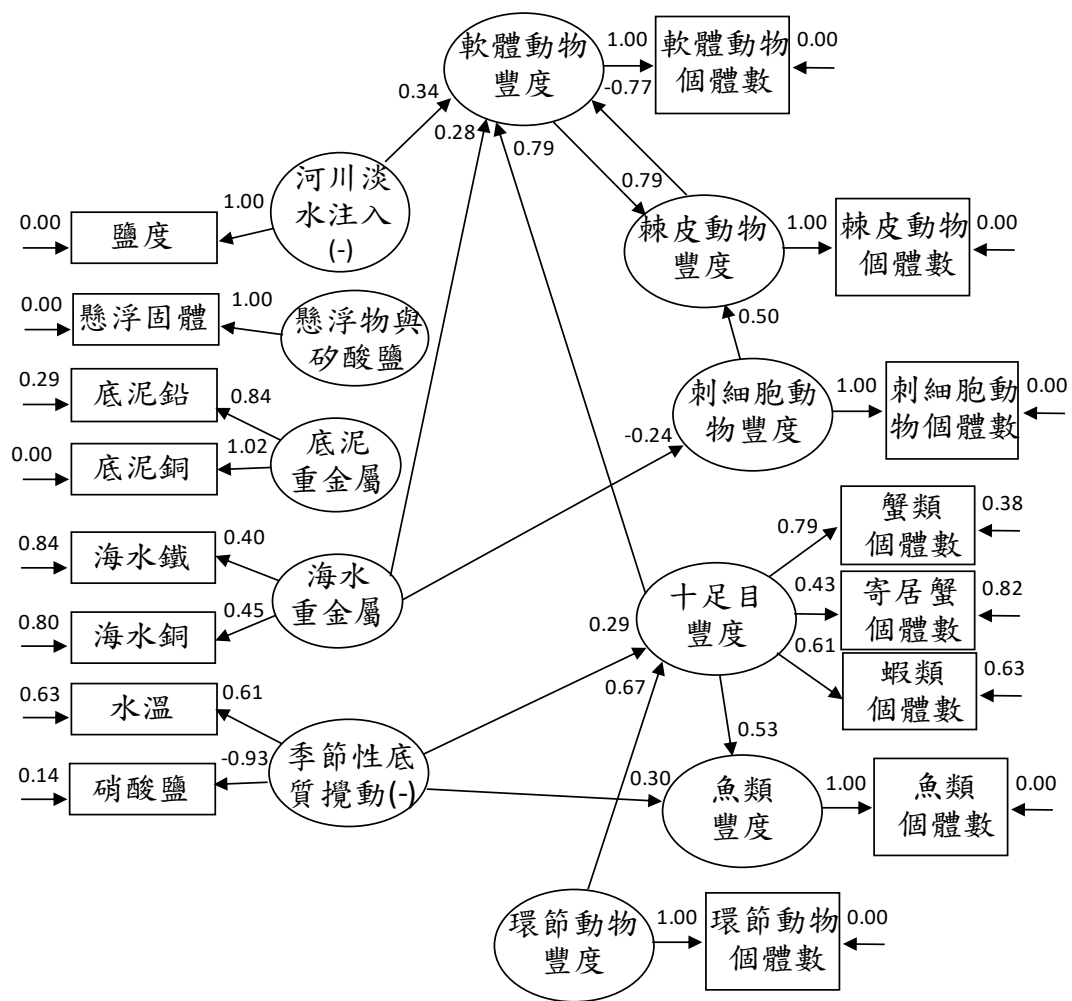


圖 3、觀塘亞潮帶海域以結構方程模式建構之底棲生態系模式圖
(RMSEA=0.079)

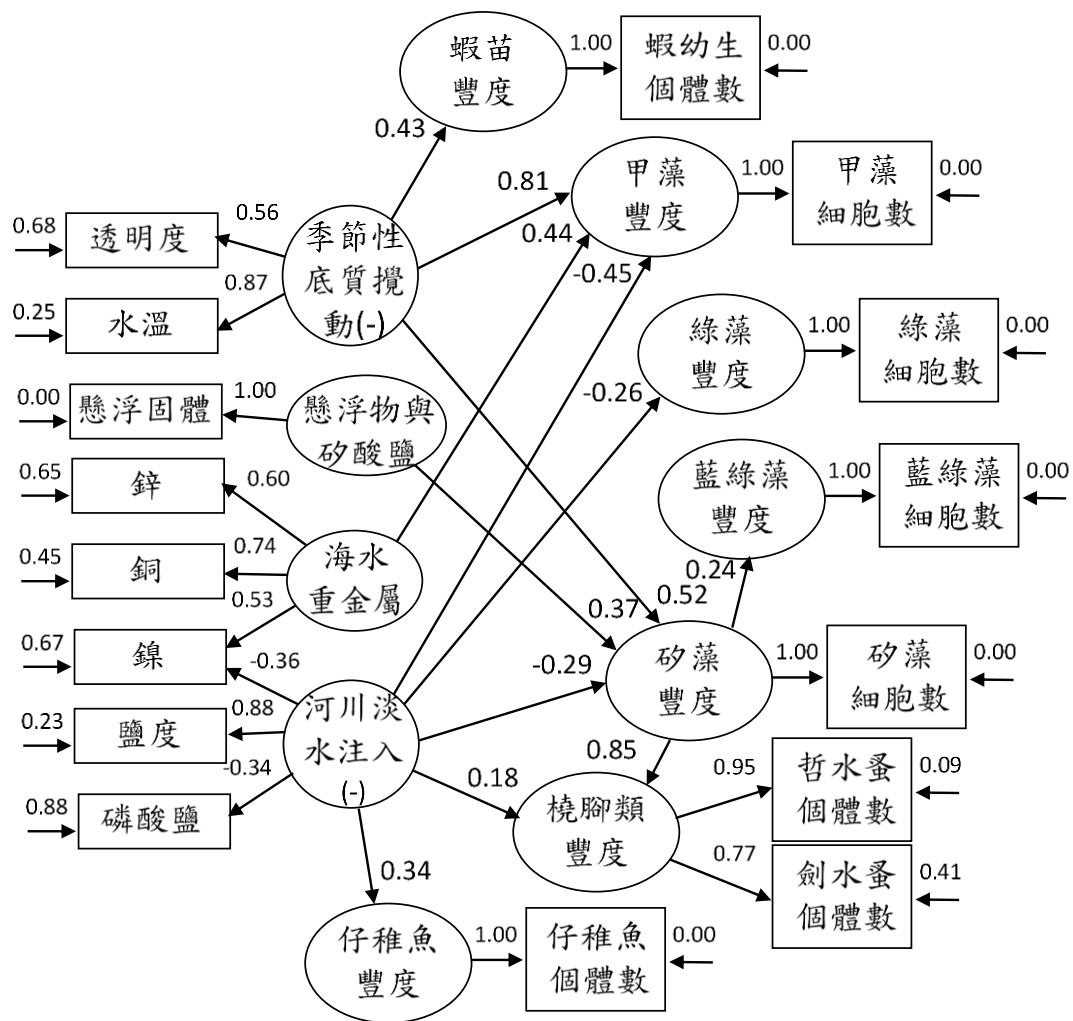


圖 4、觀塘亞潮帶海域以結構方程模式建構之表層生態系模式圖

(RMSEA=0.059)

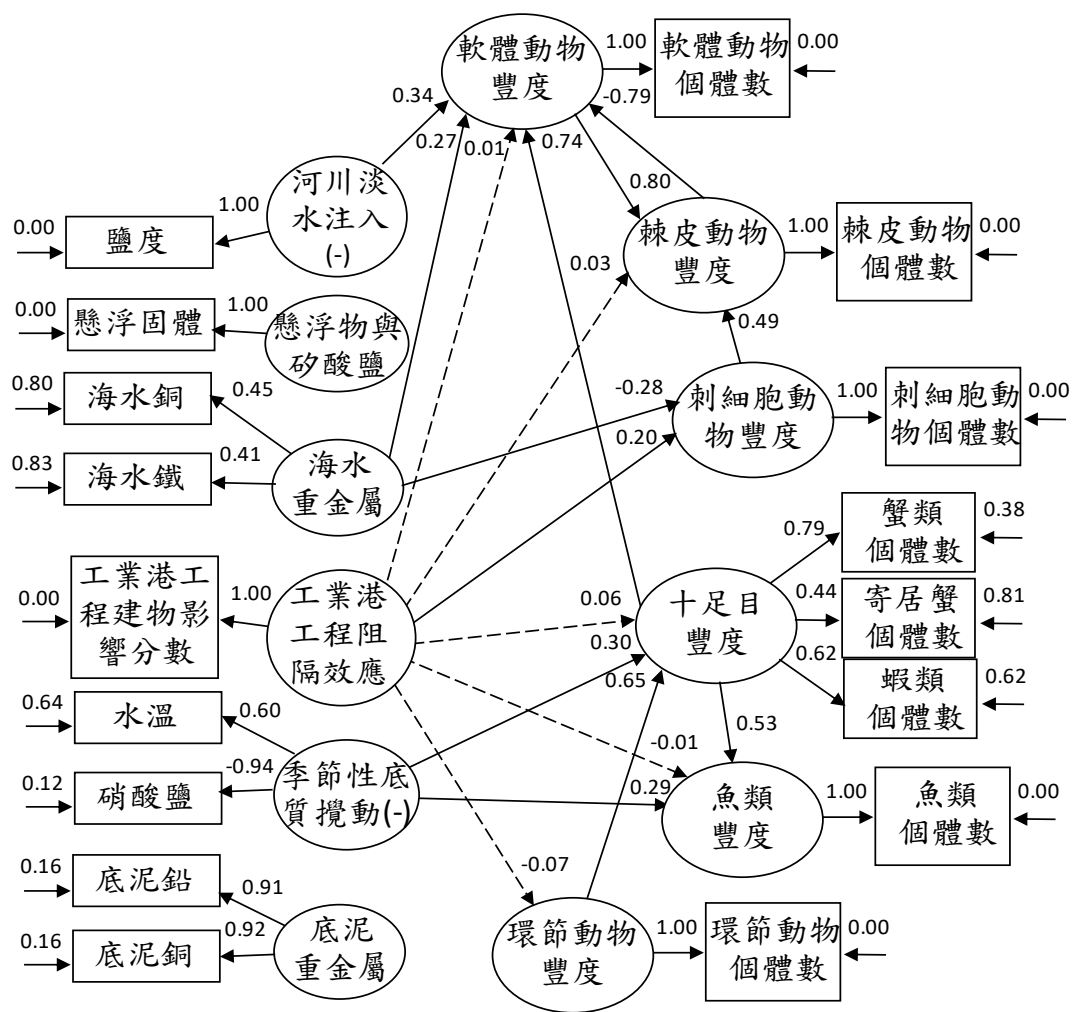


圖 5、觀塘亞潮帶海域以結構方程模式強制納入工程影響所建構底棲生態系模式圖(RMSEA=0.076)

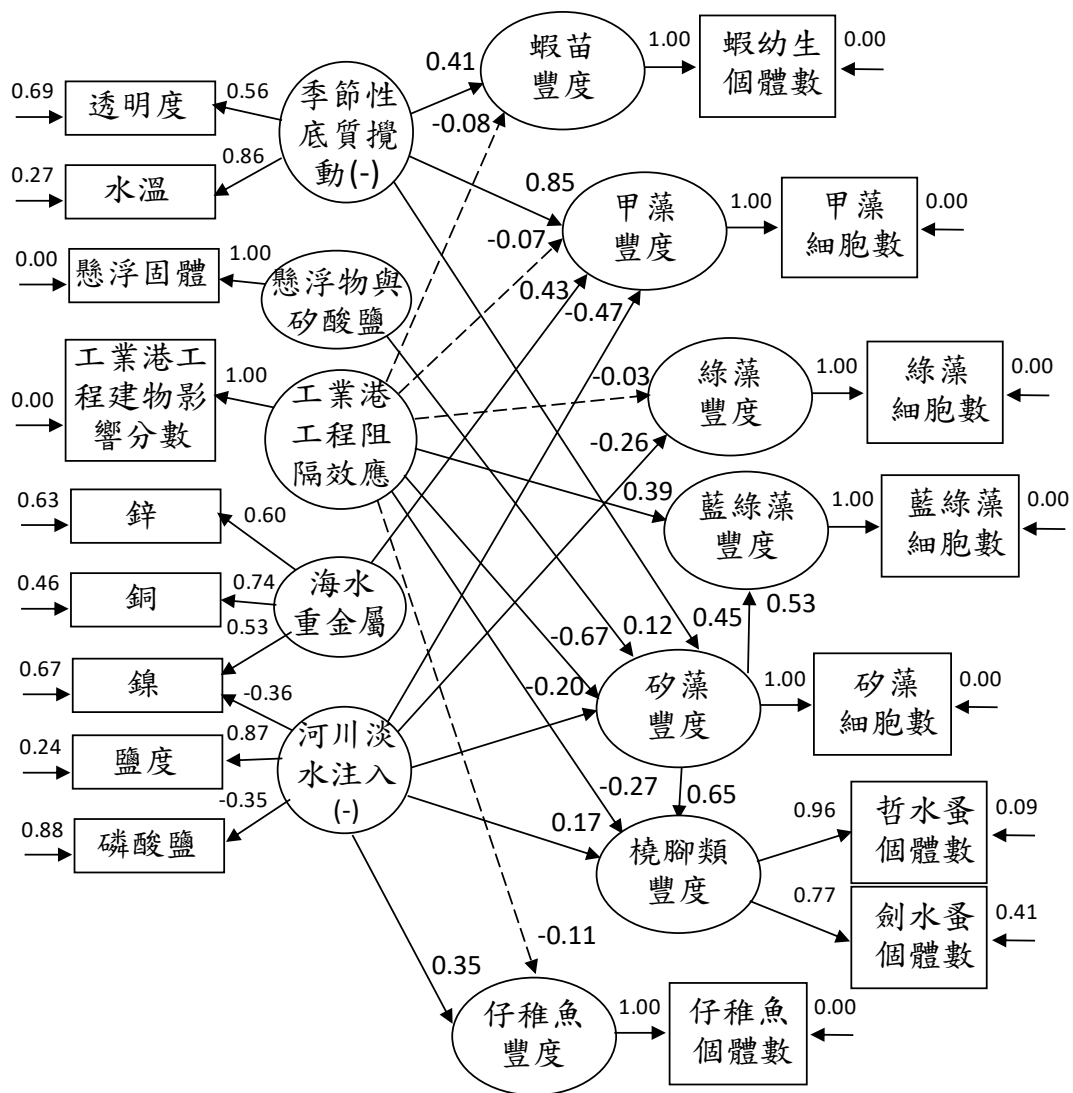


圖 6、觀塘亞潮帶海域以結構方程模式強制納入工程影響所建構表層生態系模式圖(RMSEA=0.056)



圖 7 潮間帶海域大型藻類與殼狀珊瑚藻調查之穿越線預定位置

資料來源：「觀塘藻礁區域生態調查及監測」工作第一年成果報告書



圖 8 潮間帶海域底棲動物與環境因子調查之採樣站位置

資料來源：「觀塘藻礁區域生態調查及監測」工作第一年成果報告書

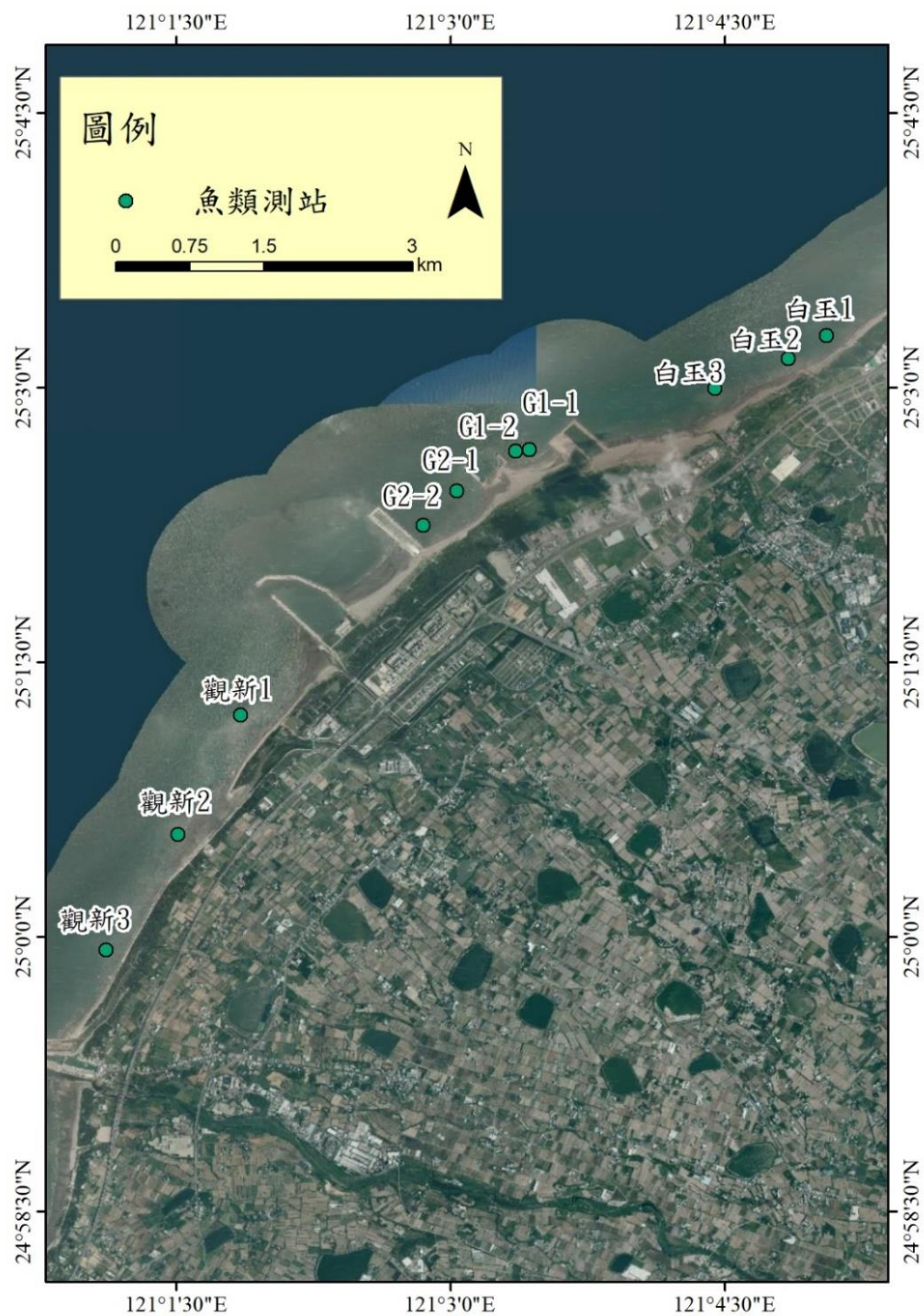


圖 9 潮間帶海域魚類調查測站位製圖

資料來源：「觀塘藻礁區域生態調查及監測」工作第一年成果報告書

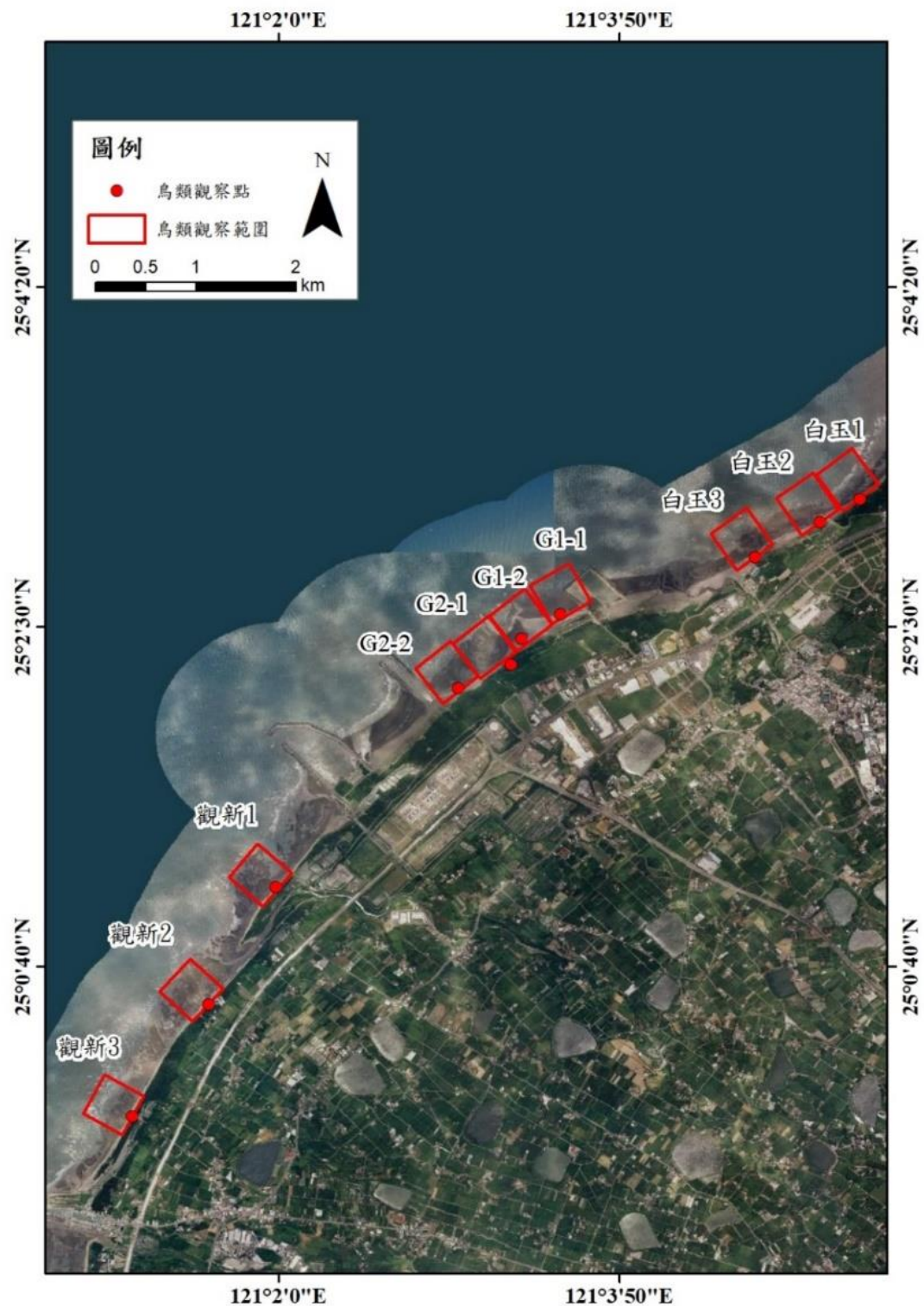


圖 10 潮間帶海域鳥類調查觀察點位置

資料來源：「觀塘藻礁區域生態調查及監測」工作第一年成果報告書

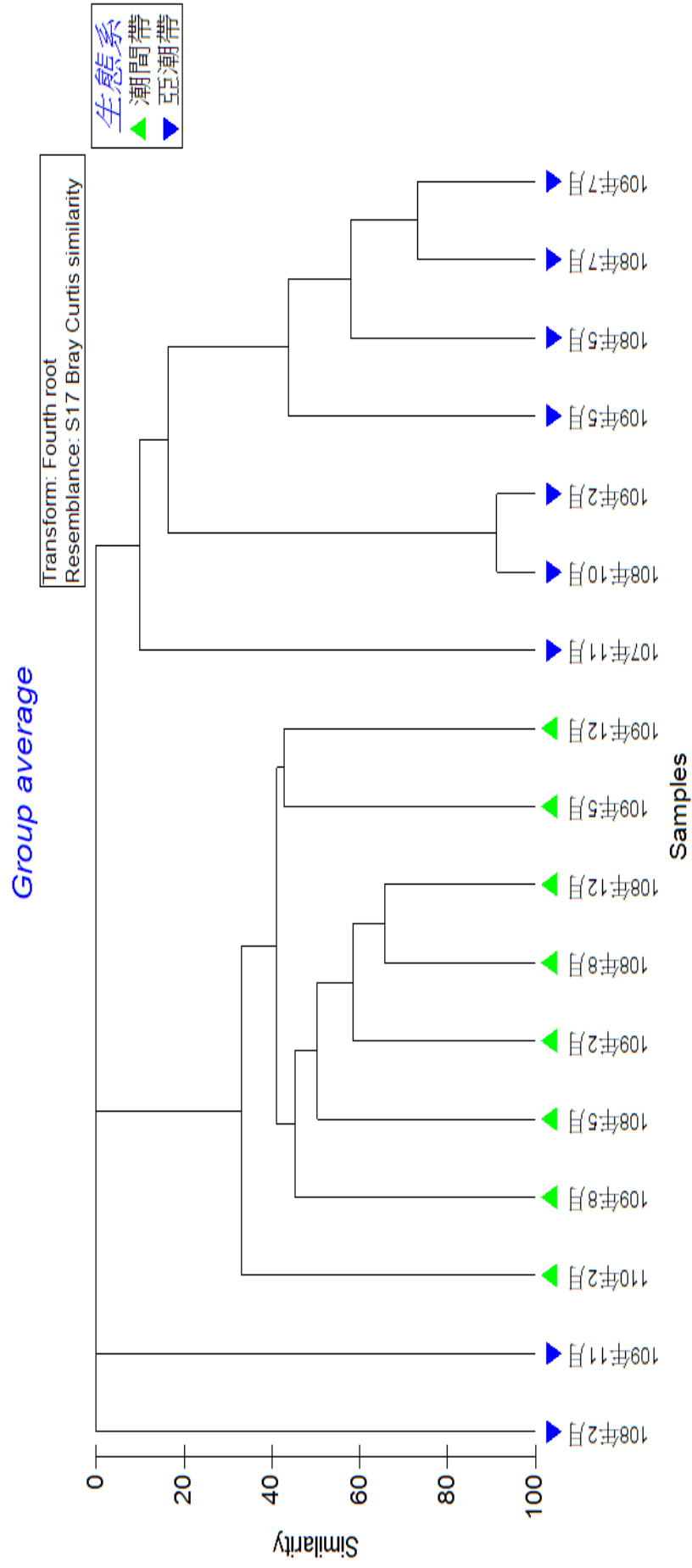


圖 12、觀塘潮間帶及亞潮帶海域魚類群聚聚類分析圖

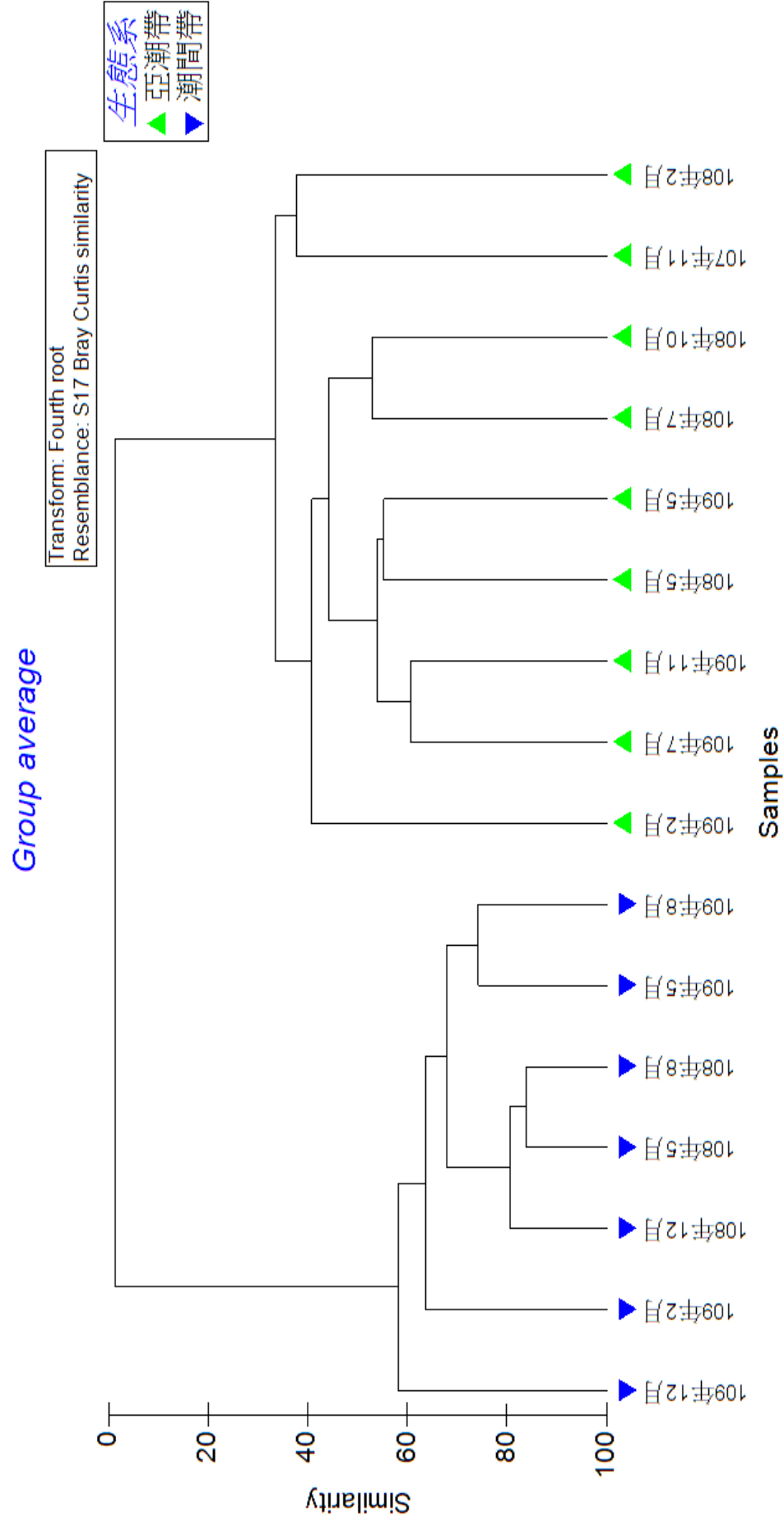


圖 13、觀塘潮間帶及亞潮帶海域十足目群聚聚類分析圖

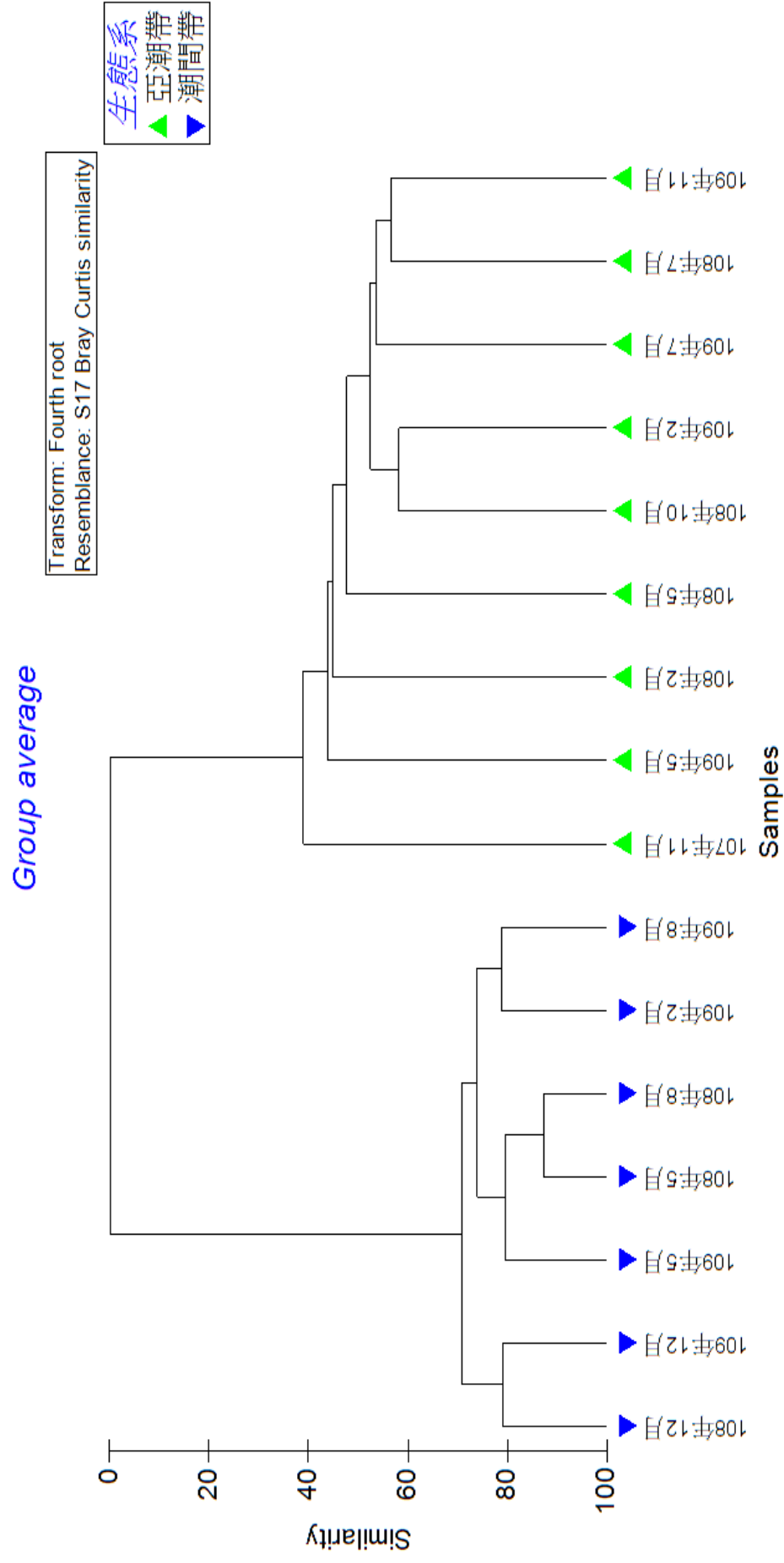


圖 14、觀塘潮間帶及亞潮帶海域軟體動物群聚聚類分析

表 1、觀塘亞潮帶海域表中底層水質資料主成分分析

	Factor loading (N=405)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
	季節性 底質攪動	河川淡水 注入	重金屬	懸浮物與 矽酸鹽
水溫	-0.768	-0.240	-0.154	-0.198
鹽度	0.047	-0.834	0.063	-0.044
酸鹼值	-0.144	0.803	-0.062	-0.179
溶氧	0.692	-0.154	-0.047	0.213
油脂	-0.642	0.265	0.029	0.230
磷酸鹽	0.374	0.442	-0.008	0.056
硝酸鹽	0.607	0.181	0.323	0.500
矽酸鹽	0.145	0.118	0.097	0.796
鋅	0.330	-0.388	0.578	0.114
銅	0.412	-0.039	0.710	0.044
鉛	-0.143	-0.212	0.469	-0.250
鎳	0.102	0.445	0.650	0.107
鐵	-0.167	-0.020	0.676	0.244
懸浮固體	0.039	-0.289	0.040	0.697
Eigenvalues	2.372	2.213	2.088	1.693
Variance(%)	16.94	15.809	14.911	12.094
Total variance(%)	16.94	32.749	47.66	59.754

表 2、觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之變異數
分析(N=405)

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)								
		F	P									
PC1 季節 性底 質攪 動	年	128.21	<0.001	107	108	109						
	季節	273.23	<0.001	winter	spring	autumn	summer					
	時間	180.59	<0.001	109.2	108.3	107.11	108.5	109.10	108.10	108.8	109.5	109.8
	測線	6.613	<0.001	1	2	3	5	4				
	時間 X測線	3.64	<0.001	Comparisons for factor: transect within 107.11								
				3	1	2	4	5				
				Comparisons for factor: transect within 108.3								
				1	3	5	2	4				
				Comparisons for factor: transect within 108.5								
				1	2	5	4	3				
				Comparisons for factor: transect within 108.8								
				1	5	3	4	2				
				Comparisons for factor: transect within 108.10								
				3	2	5	1	4				
				Comparisons for factor: transect within 109.2								
				5	3	4	2	1				
				Comparisons for factor: transect within 109.5								
				1	2	3	4	5				
				Comparisons for factor: transect within 109.8								
				1	2	3	5	4				
				Comparisons for factor: transect within 109.10								
				4	3	2	5	1				
時間	144.73	<0.001	109.2	108.3	107.11	108.5	109.10	108.10	108.8	109.5	109.8	
等深線	3.115	0.046	A	B	C							
時間*等深線	1.176	0.284										

表 2(續 1)、觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之
變異數分析(N=405)

PC2 河川 淡水 注入	年	214.1	<0.001	109	108	107							
	季節	44.532	<0.001	autumn	winter	spring	summer						
	時間	271.62	<0.001	109.5	108.10	109.2	109.10	108.3	108.8	109.8	108.5	107.11	
	測線	6.348	<0.001	5	4	1	2	3					
	時間 X 測線	2.283	<0.001	Comparisons for factor: transect within 107.11									
				4	5	2	1	3					
				Comparisons for factor: transect within 108.3									
				5	2	1	3	4					
				Comparisons for factor: transect within 108.5									
				4	1	3	5	2					
				Comparisons for factor: transect within 108.8									
				5	4	1	2	3					
				Comparisons for factor: transect within 108.10									
				4	5	3	2	1					
				Comparisons for factor: transect within 109.2									
				4	5	1	2	3					
				Comparisons for factor: transect within 109.5									
				2	1	3	4	5					
				Comparisons for factor: transect within 109.8									
				5	1	4	2	3					
				Comparisons for factor: transect within 109.10									
				1	4	2	3	5					

表 2(續 2)、觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之
變異數分析(N=405)

年	27.572	<0.001	107	109	108								
季節	9.331	<0.001	spring	autumn	summer	winter							
時間	36.349	<0.001	108.3	107.11	109.8	109.10	108.5	109.2	108.10	108.5	108.8		
測線	3.709	0.006	1	2	5	3	4						
時間 X 測線	2.795	<0.001	Comparisons for factor: transect within 107.11										
			2	3	1	4	5						
			Comparisons for factor: transect within 108.3										
			1	2	3	5	4						
			Comparisons for factor: transect within 108.5										
			4	1	2	5	3						
			Comparisons for factor: transect within 108.8										
			5	4	1	3	2						
			Comparisons for factor: transect within 108.10										
			2	1	3	4	5						
			Comparisons for factor: transect within 109.2										
			5	1	3	2	4						
			Comparisons for factor: transect within 109.5										
			1	2	5	3	4						
			Comparisons for factor: transect within 109.8										
			2	4	1	3	5						
			Comparisons for factor: transect within 109.10										
			1	5	3	4	2						

PC3
重金
屬

表 2(續 3)、觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之
變異數分析(N=405)

年	5.646	0.004	109	108	107							
季節	33.076	<0.001	autumn	winter	spring	summer						
時間	26.204	<0.001	108.10	109.2	107.11	109.10	108.5	109.8	108.8	109.5	108.3	
測線	4.343	0.002	3	4	1	2	5					
時間 X 測線	4.523	<0.001	Comparisons for factor: transect within 107.11									
			1	4	3	2	5					
			Comparisons for factor: transect within 108.3									
			3	2	1	4	5					
			Comparisons for factor: transect within 108.5									
			3	5	2	4	1					
			Comparisons for factor: transect within 108.8									
			3	2	4	5	1					
			Comparisons for factor: transect within 108.10									
			1	2	3	4	5					
			Comparisons for factor: transect within 109.2									
			4	3	1	2	5					
			Comparisons for factor: transect within 109.5									
			3	4	2	5	1					
			Comparisons for factor: transect within 109.8									
			4	5	2	3	1					
			Comparisons for factor: transect within 109.10									
			5	4	3	1	2					

PC4
懸浮
物與
矽酸
鹽

表 2(續 4)、觀塘亞潮帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之
變異數分析(N=405)

時間	24.104	<0.001	108.10	109.2	107.11	109.10	108.5	109.8	108.8	109.5	108.3
等深線	31.908	<0.001	A	B	C						
時間 X 等深線	2.402	0.002	Comparisons for factor: isobath within 107.11								
PC4 懸浮 物與 矽酸 鹽			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 108.3								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 108.5								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 108.8								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 108.10								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 109.2								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 109.5								
			A	B	C						
			Comparisons for factor: isobath within 109.8								
			C	B	A						
			Comparisons for factor: isobath within 109.10								
			A	B	C						

表 3、觀塘亞潮帶海域各類群底棲生物個體數量之變異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)				
		F	P					
環節動物	年	0.893	0.412					
	季節	1.63	0.186					
	季節	1.748	0.161					
	測線	0.914	0.458					
	季節 x 測線	0.676	0.771					
	季節	1.798	0.151					
	等深線	1.821	0.166					
	季節 X等深線	0.602	0.728					
刺細胞動物	年	0.0663	0.936					
	季節	1.085	0.358					
	季節	1.148	0.333					
	測線	3.123	0.018	4	3	1	2	5
	季節 x 測線	0.793	0.657					
	季節	1.023	0.385					
	等深線	0.174	0.84					
	季節 X等深線	0.766	0.598					
棘皮動物	年	1.744	0.179					
	季節	1.061	0.368					
	季節	1.253	0.294					
	測線	2.656	0.036	4	3	1	2	5
	季節 x 測線	0.629	0.814					
	季節	1.196	0.314					
	等深線	1.386	0.254					
	季節 X等深線	0.557	0.764					
星蟲動物	年	1	0.371					
	季節	0.376	0.771					
	季節	0.507	0.678					
	測線	0.616	0.652					
	季節 x 測線	0.802	0.648					
	季節	0.567	0.638					
	等深線	5.162	0.007	C	B	A		
	季節 X等深線	0.965	0.452					

表 3(續 1)、觀塘亞潮帶海域各類群底棲生物個體數量之變異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)				
		F	P					
軟體動物	年	0.253	0.777					
	季節	1.357	0.259					
	季節	1.451	0.232					
	測線	3.102	0.018	5	1	2	3	4
	季節 x 測線	0.528	0.893					
	季節	1.395	0.247					
	等深線	0.891	0.413					
	季節 X 等深線	0.918	0.484					
魚類	年	0.00421	0.996					
	季節	6.306	<0.001	夏	春	秋	冬	
	季節	6.749	<0.001	夏	春	秋	冬	
	測線	0.321	0.863					
	季節 x 測線	0.336	0.981					
	季節	6.995	<0.001	夏	春	秋	冬	
	等深線	0.0996	0.905					
	季節 X 等深線	0.346	0.911					
蟹類	年	0.384	0.682					
	季節	7.823	<0.001	夏	春	秋	冬	
	季節	8.821	<0.001	夏	春	秋	冬	
	測線	1.104	0.358					
	季節 x 測線	1.186	0.302					
	季節	8.633	<0.001	夏	春	秋	冬	
	等深線	1.352	0.263					
	季節 X 等深線	1.164	0.33					
寄居蟹	年	1.796	0.17					
	季節	3.261	0.024	夏	春	秋	冬	
	季節	2.84	0.041	夏	秋	春	冬	
	測線	2.33	0.06					
	季節 x 測線	1.421	0.166					
	季節	2.651	0.052					
	等深線	1.743	0.179					
	季節 X 等深線	1.158	0.333					

表 3(續 2)、觀塘亞潮帶海域各類群底棲生物個體數量之變異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
蝦類	年	0.645	0.526				
	季節	6.181	<0.001	夏	冬	春	秋
	季節	6.302	<0.001	夏	春	秋	冬
	測線	1.465	0.217				
	季節 x 測線	0.856	0.593				
	季節	6.442	<0.001	夏	春	秋	冬
	等深線	3.47	0.034	B	A	C	
	季節 X 等深線	0.999	0.429				

表 4、觀塘亞潮帶海域各類群浮游生物個體數量(細胞數)之變異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)				
		F	P					
矽藻	年	2.699	0.071					
	季節	26.212	<0.001	夏	春	冬	秋	
	季節	33.452	<0.001	夏	春	冬	秋	
	測線	4.745	0.001	5	4	2	1	3
	季節 x 測線	1.887	0.043	Comparisons for factor: transect within autumn				
				4	1	3	2	5
				Comparisons for factor: transect within winter				
				2	5	3	4	1
				Comparisons for factor: transect within summer				
				5	4	2	1	3
				Comparisons for factor: season within 1				
				夏	春	秋	冬	
				Comparisons for factor: season within 2				
				夏	春	冬	秋	
				Comparisons for factor: season within 3				
				夏	春	冬	秋	
				Comparisons for factor: season within 4				
				夏	春	秋	冬	
				Comparisons for factor: season within 5				
				夏	春	冬	秋	
	季節	28.669	<0.001	夏	春	冬	秋	
	等深線	2.648	0.075					
	季節 X 等深線	0.531	0.784					

表 4(續 1)、觀塘亞潮帶海域各類群浮游生物個體數量(細胞數)之變異

數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
藍綠藻	年	1.753	0.177				
	季節	6.862	<0.001	夏	冬	秋	春
	季節	8.157	<0.001	夏	冬	秋	春
	測線	1.633	0.171				
	季節 x 測線	1.236	0.268				
	季節	8.069	<0.001	夏	冬	秋	春
	等深線	2.435	0.092				
	季節 X 等深線	1.151	0.337				
	年	14.125	<0.001	107	109	108	
	季節	13.305	<0.001	夏	春	秋	冬
甲藻	季節	14.668	<0.001	1	5	4	3
	測線	2.167	0.077				
	季節 x 測線	2.645	0.004	Comparisons for factor: transect within winter			
				1	4	2	3
				Comparisons for factor: transect within spring			
				1	2	3	5
				Comparisons for factor: transect within summer			
				4	5	1	3
				Comparisons for factor: season within 1			
				春	夏	秋	冬
				Comparisons for factor: season within 2			
				春	夏	秋	冬
				Comparisons for factor: season within 3			
				春	夏	秋	冬
				Comparisons for factor: season within 4			
				夏	春	秋	冬
				Comparisons for factor: season within 5			
				夏	春	秋	冬
	季節	11.884	<0.001	夏	春	秋	冬
	等深線	0.217	0.805				
	季節 X 等深線	0.276	0.947				

表 4(續 2)、觀塘亞潮帶海域各類群浮游生物個體數量(細胞數)之變異
數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
綠藻	年	0.493	0.612				
	季節	1.026	0.384				
	季節	1.381	0.252				
	測線	0.565	0.689				
	季節 x 測線	1.163	0.318				
	季節	1.4	0.246				
	等深線	1.443	0.24				
	季節 X等深線	1.155	0.335				
哲水蚤	年	22.726	<0.001	107	109	108	
	季節	11.276	<0.001	夏	春	冬	秋
	季節	8.798	<0.001	夏	春	秋	冬
	測線	0.142	0.966				
	季節 x 測線	1.521	0.126				
	季節	4.799	0.003	夏	春	秋	冬
	等深線	0.0317	0.969				
	季節 X等深線	1.47	0.194				
劍水蚤	年	4.997	0.008	107	109	108	
	季節	11.555	<0.001	春	夏	冬	秋
	季節	8.821	<0.001	春	夏	冬	秋
	測線	0.142	0.966				
	季節 x 測線	1.521	0.126				
	季節	8.444	<0.001	春	夏	冬	秋
	等深線	0.244	0.784				
	季節 X等深線	0.852	0.533				

表 4(續 3)、觀塘亞潮帶海域各類群浮游生物個體數量(細胞數)之變異

數分析

蝦類幼生	年	1.756	0.177				
	季節	5.868	<0.001	春	秋	夏	冬
	季節	7.244	<0.001	春	秋	夏	冬
	測線	1.686	0.158				
	季節 x 測線	1.006	0.448				
	季節	8.27	<0.001				
	等深線	1.559	0.215				
	季節 X 等深線	3.915	0.001	Comparisons for factor: isobath within autumn			
				B	C	A	
				Comparisons for factor: isobath within winter			
				B	C	A	
				Comparisons for factor: isobath within spring			
				C	A	B	
				Comparisons for factor: isobath within summer			
				C	A	B	
仔稚魚(不含魚卵)	年	2.02	0.137				
	季節	3.189	0.026	冬	春	夏	秋
	季節	2.646	0.052				
	測線	5.257	<0.001	5	4	2	3
	季節 x 測線	0.997	0.456				
	季節	2.692	0.049	冬	春	夏	秋
	等深線	9.021	<0.001	C	A	B	
	季節 X 等深線	1.573	0.161				
				Comparisons for factor: season within A			
				春	夏	秋	冬
				Comparisons for factor: season within B			
				秋	春	夏	冬
				Comparisons for factor: season within C			
				春	夏	秋	冬

表5、觀塘潮間帶海域水質主成分分析

	Factor loading (N=515)		
	PC1	PC2	PC3
	河川營養鹽	季節性 底質攪動	季節性飽和 溶氧變化
水溫	-0.259	-0.576	-0.618
鹽度	-0.806	0.009	-0.017
酸鹼值	-0.069	-0.791	0.186
溶氧	0.008	-0.198	0.911
濁度	0.152	0.771	0.037
亞硝酸鹽氮	0.747	0.334	0.248
硝酸鹽氮	0.677	0.405	0.499
氨氮	0.806	0.236	-0.046
正磷酸鹽	0.325	0.552	0.123
Eigenvalues	2.517	2.228	1.577
Variance(%)	27.965	24.761	17.518
Total variance(%)	27.965	52.726	70.244

表 6、觀塘潮間帶海域水質主成分分析成分分數時間及空間之變異數
分析(N=515)

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)									
		F	P										
PC1 河川 營養 鹽	年	3.236	0.073										
	月份	7.257	<0.001	4	10	1	3	12	5	7	8	2	9
	區塊	26.572	<0.001	BY	KS	G3	G1	G2					
	潮位	27.825	<0.001										
PC2 季節 性底 質攪 動	年	1.487	0.223										
	月份	0.0217	0.996	2	12	3	9	4	1	10	5	7	8
	區塊	8.705	<0.001	G3	G1	BY	G2	KS					
	潮位	22.108	<0.001	滿	L	M	H						
PC3 季節 性飽 和溶 氧變 化	年	3.33	0.069										
	月份	49.105	<0.001	1	4	3	2	12	10	9	5	8	7
	區塊	3.977	0.003	KS	G2	G3	BY	G1					
	潮位	11.711	<0.001	H	M	L	滿						

表7、觀塘潮間帶海域底泥主成分分析

	Factor loading (N=210)	
	PC1	PC2
	重金屬	重金屬
	鎘鎳鉛鋅	銅砷
鎘	0.935	0.137
銅	0.320	0.831
鎳	0.939	0.139
鉛	0.724	0.538
鋅	0.840	0.376
砷	0.102	0.907
Eigenvalues	3.098	1.981
Variance(%)	51.630	33.020
Total variance(%)	51.630	84.650

表 8、觀塘潮間帶海域底泥主成分分析成分分數時間及空間之變異數
分析(N=210)

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
PC1 重金屬 鎘鎳鉛鋅	年	9.555	0.002	109	108		
	月份	1.696	0.169				
	區塊	10.688	<0.001	BY	G1	KS	G2
	潮位	0.0297	0.971				
	區塊 x 潮位	0.0182	1				
PC2 重金屬 銅砷	年	1.09E+02	<0.001	109	108		
	月份	0.616	0.606				
	區塊	26.233	<0.001	G2	BY	KS	G1
	潮位	0.00196	0.998				
	區塊 x 潮位	0.0012	1				

表9、觀塘潮間帶海域棲地類型參數主成分分析

Factor loading (N=210)		
	PC1	PC2
	沙地礁體比例	水礫石比例
泥沙	-0.887	0.113
礫石	0.169	-0.789
礁體	0.901	0.217
水	0.310	0.694
Eigenvalues	1.724	1.164
Variance(%)	43.096	29.104
Total variance(%)	43.096	72.200

表 10、觀塘潮間帶海域棲地類型參數主成分分析成分分數及積沙時間及空間之變異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
pc1礁體沙地比例	年	8.042	0.005	108	109		
	月份	5.184	0.002	2	5	12	8
	區塊	1.507	0.214				
	潮位	3.412	0.035	L	M	H	
	區塊 x 潮位	0.25	0.959				
PC2礫石及水比例	年	4.548	0.034	108	109		
	月份	0.801	0.494				
	區塊	56.391	<0.001	G2	G1	KS	BY
	潮位	1.936	0.147				
	區塊 x 潮位	1.684	0.127				
泥沙淤積深度	年	0.634	0.427				
	月份	1.354	0.258				
	區塊	3.671	0.013	G1	BY	G2	KS
	潮位	6.552	0.002	H	M	L	
	區塊 x 潮位	0.855	0.529				

表 11、觀塘潮間帶海域各類群生物個體數量(覆蓋率)時間及空間之變

異數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
非造礁大型藻類	年	2.095	0.149				
	月份	5.684	<0.001	5	8	2	12
	區塊	8.396	<0.001	KS	G2	BY	G1
	潮位	0.433	0.649				
	區塊 x 潮位	1.542	0.166				
殼狀珊瑚藻	年	0.000972	0.975				
	月份	1.731	0.162				
	區塊	15.162	<0.001				
	潮位	39.036	<0.001				
	區塊 x 潮位	2.53	0.022	tide level within BY			
				L	M	H	
				tide level within G1			
				L	M	H	
				tide level within G2			
				L	M	H	
				tide level within KS			
				L	M	H	
底表軟體動物	年	0.00000549	0.998				
	月份	1.24	0.296				
	區塊	30.67	<0.001	BY	KS	G1	G2
	潮位	9.515	<0.001	H	M	L	
	區塊 x 潮位	0.928	0.476				
				site within H			
				BY	G1	KS	G2
				site within M			
				BY	G1	G2	KS
				site within L			
				BY	G1	G2	KS

表 11(續 1)、觀塘潮間帶海域各類群生物個體數量時間及空間之變異

數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
底表節肢動物	年	8.077	0.005	108	109		
	月份	2.962	0.033	2	5	8	12
	區塊	10.101	<0.001	G1	KS	BY	G2
	潮位	2.66	0.072				
	區塊 x 潮位	0.829	0.548				
底內多毛類	年	16.043	<0.001	108	109		
	月份	1.949	0.123				
	區塊	3.373	0.02	KS	G2	BY	G1
	潮位	9.375	<0.001	L	M	H	
	區塊 x 潮位	0.476	0.825				
底內節肢動物	年	0.459	0.499				
	月份	2.881	0.037	5	2	8	12
	區塊	12.91	<0.001	G2	KS	G1	BY
	潮位	1.019	0.363				
	區塊 x 潮位	1.051	0.393				
底內軟體動物	年	0.223	0.637				
	月份	1.713	0.165				
	區塊	14.454	<0.001	KS	G2	BY	G1
	潮位	6.617	0.002	L	M	H	
	區塊 x 潮位	0.617	0.716				
底內星蟲動物	年	0.0692	0.793				
	月份	0.293	0.831				
	區塊	22.733	<0.001	KS	G2	BY	G1
	潮位	7.12	0.001	L	M	H	
	group x 潮位	1.632	0.14				

表 11(續 2)、觀塘潮間帶海域各類群生物個體數量時間及空間之變異

數分析

		ANOVA test		All Pairwise Multiple Comparison(Duncan's)			
		F	P				
魚類	年	0.302	0.585				
	月份	5.085	0.003	8	2	5	12
	月份	6.299	0.001	8	2	5	12
	區塊	5.55	0.002	KS	BY	G2	G1
	月份 x 區塊	1.709	0.112				
	年	0.187	0.667				
	月份	5.064	0.003	2	8	12	5
	月份	9.194	<0.001	2	12	8	5
	區塊	9.999	<0.001	G2	KS	BY	G1
	月份 x 區塊	2.554	0.016	Comparisons for factor: site within 5			
鳥類				G2	BY	G1	KS
				Comparisons for factor: site within 8			
				KS	G2	BY	G1
				Comparisons for factor: site within 12			
				G2	KS	BY	G1
				Comparisons for factor: site within 2			
				G2	KS	BY	G1
				Comparisons for factor: month within KS			
				2	8	12	5
				Comparisons for factor: month within G2			
				2	12	8	5
				Comparisons for factor: month within G1			
				5	12	2	8
				Comparisons for factor: month within BY			
				2	8	12	5

表 12、觀塘亞潮帶海域底棲生態系量化影響摘要表

	生物因素					環境因素(含背景人為干擾)					本案干擾
	環節動物豐度	刺細胞動物豐度	軟體動物豐度	十足目動物豐度	棘皮動物豐度	水質環境				底泥環境	工業港工程阻隔效應
						季節性底質攪動(-)	河川淡水注入(-)	海水重金屬	懸浮物與矽酸鹽	底泥重金屬	
環節動物豐度											ns
刺細胞動物豐度								-0.28			0.20
軟體動物豐度	0.48 (註1)	-0.39 (註4)		0.74	-0.79	0.22 (註6)	0.34	0.38 (註10)			-0.077 (註12)
十足目動物豐度	0.65					0.30					ns
棘皮動物豐度	0.38 (註2)	0.49	0.80	0.59 (註5)		0.18 (註7)	0.27 (註9)	0.08 (註11)			0.098 (註13)
魚類豐度	0.34 (註3)			0.53		0.45 (註8)					ns
註 ns: not significant; "+"代表正向影響, "-"代表負向影響 註1:由圖5之模式計算 $0.65 \times 0.74 = 0.48$ 註2:由圖5之模式計算 $0.65 \times 0.74 \times 0.80 = 0.38$ 註3:由圖5之模式計算 $0.65 \times 0.53 = 0.34$ 註4:由圖5之模式計算 $0.49 \times (-0.79) = -0.39$ 註5:由圖5之模式計算 $0.74 \times 0.80 = 0.59$ 註6:由圖5之模式計算 $0.30 \times 0.74 = 0.22$ 註7:由圖5之模式計算 $0.30 \times 0.74 \times 0.80 = 0.18$ 註8:由圖5之模式計算 $0.29 + 0.30 \times 0.53 = 0.45$ 註9:由圖5之模式計算 $0.34 \times 0.80 = 0.27$ 註10:由圖5之模式計算 $0.27 - 0.28 \times 0.49 \times (-0.79) = 0.38$ 註11:由圖5之模式計算 $-0.28 \times 0.49 + 0.27 \times 0.8 = 0.08$ 註12:由圖5之模式計算 $0.20 \times 0.49 \times (-0.79) = -0.077$ 註13:由圖5之模式計算 $0.20 \times 0.49 = 0.098$											

表 13、觀塘亞潮帶海域表層生態系量化影響摘要表

	生物因素	環境因素(含背景人為干擾)				本案干擾
	矽藻豐度	季節性底質攪動(-)	河川淡水注入(-)	海水重金屬	懸浮物與矽酸鹽	工業港工程阻隔效應
綠藻豐度			-0.26			ns
甲藻豐度		0.85	-0.47	0.43		ns
藍綠藻豐度	0.53	0.24(註1)	-0.11(註3)		0.06(註5)	0.03(註7)
矽藻豐度		0.45	-0.20		0.12	-0.67
橈腳類豐度	0.65	0.29(註2)	0.04(註4)		0.08(註6)	-0.27
蝦苗豐度		0.41				ns
仔稚魚豐度			0.35			ns
註 ns: not significant;"+"代表正向影響，"-" "代表負向影響 註1:由圖6之模式計算 $0.45 \times 0.53 = 0.24$ 註2:由圖6之模式計算 $0.45 \times 0.65 = 0.29$ 註3:由圖6之模式計算 $-0.20 \times 0.53 = -0.11$ 註4:由圖6之模式計算 $-0.20 \times 0.65 + 0.17 = 0.04$ 註5:由圖6之模式計算 $0.12 \times 0.53 = 0.06$ 註6:由圖6之模式計算 $0.12 \times 0.65 = 0.08$ 註7:由圖6之模式計算 $0.39 - 0.67 \times 0.53 = 0.03$						

表 14、觀塘潮間帶海域藻礁生態系量化影響摘要表

	生物因素						環境因素(含背景人為干擾)					
	非造礁 藻類附 蓋率	殼狀珊 瑚藻附 蓋率	底表珊 肢動物 個體數	底內多 毛類個 體數	底內星 蟲個體 數	季節性 底質攪 動	河川營 養鹽(-)	沙地礁 體比例	水礫石 比例	底泥重 金屬	本案干擾	
											淤積程度	淤積變異程 度
底內多毛類個體數								-0.68	0.17	-0.15	ns	-0.29
底內星蟲個體數				0.39				-0.27 (註1)			-0.17	-0.47(註4)
底內軟體動物個體數			-0.11	0.41	0.30			-0.28 (註2)			ns	-0.23(註5)
底內節肢動物個體數				0.30				-0.20 (註3)			ns	-0.28
非造礁藻類附蓋率							0.20				ns	-0.27
殼狀珊瑚藻附蓋率	-0.19							-0.32		0.16	ns	0.16
底表軟體動物個體數								-0.27	-0.27		ns	ns
底表節肢動物個體數								-0.20			ns	0.21
魚類個體數		0.31									ns	-0.21
鳥類個體數											ns	-0.59
註:間接效應小於絕對值0.1者不計; ns: not significant; "+"代表正向影響, "-"代表負向影響 註1:由圖 11之模式計算 -0.68*0.39=-0.27 註2:由圖 11之模式計算 -0.68*0.41=-0.28 註3:由圖 11之模式計算 -0.68*0.30=-0.20 註4:由圖 11之模式計算 -0.36-0.29*0.36=-0.47 註5:由圖 11之模式計算 -0.29*0.41-0.36*0.30=-0.23												

表 15、符合環保署「海洋生態評估技術規範」格式之中油三接外推亞潮帶海域底棲生態系影響預測摘要說明表

	生物因素					環境因素(含背景人為干擾)				本案干擾			
	環節動物豐度	刺細胞動物豐度	軟體動物豐度	十足動物豐度	棘皮動物豐度	水質環境				原方案		工業港外推案	
						季節性底質攪動(-)	河川淡水注入(-)	海水重金屬	懸浮物與矽酸鹽	底泥重金屬	工業港工程導致海水濁度增加效應	工業港工程阻隔效應	工業港工程阻隔效應
長期/短期影響											短期	長期	長期
可回復性程度											高	低	低
影響範圍											鄰近棧橋、堤防、沉箱施作附近海域	棧橋堤防內範圍	棧橋堤防內範圍(較原方案為大)
環節動物豐度											ns	ns	ns
刺細胞動物豐度								-0.1~-0.3			ns	0.3~0.6	0.3~0.6
軟體動物豐度	0.3~0.6	-0.3~-0.6		0.6~1	-0.6~-1	0.1~0.3	0.3~0.6	0.1~0.3			ns	ns	ns
十足目動物豐度	0.6~1					0.3~0.6					ns	ns	ns
棘皮動物豐度	0.3~0.6	0.3~0.6	0.6~1	0.3~0.6		0.1~0.3	0.1~0.3	-0.1~-0.3			ns	0.1~0.3	0.1~0.3
魚類豐度	0.3~0.6			0.3~0.6		0.3~0.6					ns	ns	ns

註:表格內的數字為變項對各類群生物之影響預測(以模式之路徑係數表示, $0.1 \leq +(-) < 0.3$; $0.3 \leq ++(--) \leq 0.6$; $+++(->0.6)$; ns: not significant)

表 16、符合環保署「海洋生態評估技術規範」格式之中油三接外推亞潮帶海域表層生態系影響預測摘要說明表

	生物因素	環境因素(含背景人為干擾)				本案干擾			
		季節性底質攪動(-)	河川淡水注入(-)	海水重金屬	懸浮物與矽酸鹽	原方案		工業港外推案	
						工業港工程導致海水濁度增加效應	工業港工程阻隔效應(溫排水增溫影響)	工業港工程導致海水濁度增加效應	工業港工程阻隔效應(溫排水增溫影響)
長期/短期影響						短期	長期	短期	長期
可回復性程度						高	高	高	高
影響範圍						鄰近棧橋、堤防、沉箱施作附近海域	溫排水排放口附近及其兩側沿岸方向的狹長水域	鄰近棧橋、堤防、沉箱施作附近海域	溫排水排放口附近及其兩側沿岸方向的狹長水域
	綠藻豐度		-0.1~-0.3			ns	ns	ns	ns
	甲藻豐度	0.6~1	-0.3~-0.6	0.3~0.6		ns	ns	ns	ns
	藍綠藻豐度	0.1~0.3	-0.1~-0.3		ns	ns	ns	ns	ns
	矽藻豐度	0.3~0.6	-0.1~-0.3		0.1~0.3	ns	-0.6~-1	ns	-0.6~-1
	橈腳類豐度	0.1~0.3	ns		ns	ns	-0.1~-0.3	ns	-0.1~-0.3
	蝦苗豐度	0.3~0.6				ns	ns	ns	ns
	仔稚魚豐度		0.3~0.6			ns	ns	ns	ns

註：表格內的數字為變項對各類群生物之影響預測(以模式之路徑係數表示， $0.1 \leq +(-) : < 0.3$ ； $0.3 \leq ++(--) \leq 0.6$ ； $++(---) > 0.6$)；ns: not significant