

# 海域生物多樣性與環境監測系統

戴昌鳳

台灣大學海洋研究所

## 一、前言

海域生態監測與陸域有很大的差別，而且有許多限制；主要差別在於海水的分隔，由於人是生活在陸地上的動物，要對海洋生態進行監測，不僅受到很多限制，而且困難重重。海水的分隔使我們看不清海底世界，即使潛入海中觀察，能見度也極為有限，清澈海水的能見度也不過十至二十公尺，與陸地上可瞭望數公里之遙的能見度實在無法比擬，而且人在海中活動的時間有限，每天頂多三至四小時，這些都是海洋生態監測的困難之處。

另一方面，海洋是很重要的生態系，它擁有豐富的資源，也是受到人類活動影響很大的生態系，尤其在四面環海的台灣，海洋是我們非常重要的資源，我們亟需瞭解它的狀態，也需要監測它的變遷。概括而言，海域生態監測的目的包括：(1) 瞭解資源分布和現況，(2) 瞭解資源變遷趨勢，(3) 瞭解天然災害（如颱風）或人為干擾（如油污染）對海域生態的影響，(4) 瞭解海域遊憩活動或漁業行為的衝擊，(5) 資源管理方式的評估和檢討，(6) 與區域性或全球性的海洋生態監測資訊系統聯結，瞭解整體海洋的變遷。

## 二、海域生態監測的基本考量

監測系統的建立必須考慮許多因子，包括：

1. 欲蒐集何種資訊？屬於一般性或特定的資訊？如果是一般性的生態資訊就要涵蓋較廣的層面，如果是特定的資訊，也就是針對某一資源或因子的監測，則需針對此特定資源或因子設計合適的監測系統。
2. 監測的對象為何？也就是要監測那些環境因子和生物因子？以生物因子為例，是否需要監測所有的生物？針對所有大型生物進行監測？或是只針對大型底棲生物進行監測？是否針對某種生物的族群或是整個群聚？
3. 監測的空間尺度為何？也就是監測的範圍有多大？通常可分為大、中、小

等三類尺度，不同空間尺度的監測往往也有不同考量。

4. 監測的變因為何？以環境因子為例，要測量那些因子？如：水溫、光度、混濁度（或透光度）、沉積率、溶氧量、營養鹽（硝酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽...）初級生產力...等，或僅針對其中某些因子。以生物因子為例，包括個體數、體型大小、生物量、生殖力、相對豐度、生長率等，或其中某些因子。
5. 監測類型為何？屬於生物多樣性監測、生態監測、環境監測或衝擊評估？
6. 可用經費和人力有多少？監測項目愈多，分工愈精細，所需經費就愈多，所需人力也愈多。而且，能辨認或鑑定生物的人力也是主要限制，許多海洋生物往往無人能鑑定，在台灣並無相關分類專家，因此即使要監測也很難辦到。

### 三、監測計畫的擬定

首先要考慮監測計畫所需蒐集資料的空間尺度和資料的精緻程度。大範圍的監測，所蒐集的資料必須能呈現該範圍內的生物多樣性和環境特徵；相對而言，監測範圍較小，就可以做更精密的定量測量，提供精細的資料。

其次就是監測地點的選擇，必須考慮棲地類型和可及性（accessibility），對於監測區域內的棲地類型，可先經由概況調查加以瞭解，監測計畫必須儘可能涵括所有棲地類型。監測地點的可及性，也就是容易到達的程度，也是監測計畫地點選擇時應考慮的因素，若一地點可及性低，將會造成往後監測的執行困難。另外，也要考慮監測地點的重複性，以符合統計分析需求。

監測方法的選擇是必須審慎考慮的問題，監測方法往往依目標和監測對象而異，然而即使是針對相同的對象和目標，也可能有不同方法可供選擇，在監測計畫進行之前，就應考慮各項因子，選擇一種最合適的方法，並採用一致的方法進行往後的監測工作。

在一地點進行監測時，究竟採用何種方式蒐集資料，也是需考慮的問題，包括採用完全隨機取樣、分層隨機取樣（stratified random sampling）或固定區域調查。若採用取樣調查，則應符合樣本間的隨機性和獨立性的要求，而且還要考慮樣本間變異的問題；若採用固定樣區監測調查，則需對該區域做永久標示。對於呈現生物群聚的變動趨勢而言，固定樣區通常被認為是較合適的方式，因為採用統計上的固定模式，可減少環境變異及取樣誤差的影響。

## 四、海洋生態監測方法

海域生態監測的型式非常多樣，基本上可依據監測的空間尺度劃分為三大類型：大尺度的監測是指概況式的監測，通常涵蓋較大的地理範圍，主要蒐集定性或定量估計的資料，而且生物通常只區分大類，並不鑑定至較低位階（屬或種）。中尺度的監測通常只在一定範圍內進行，利用取樣調查方式，蒐集該區域的生態資料，生物通常鑑定至種或屬，提供較精確的定量資料。小尺度的監測通常只在固定樣區內進行，生物須鑑定至種或屬，而且計量生物族群或個體的變動，包括生長、死亡、新添量(recruitment)...等(Hill and Wilkinson, 2004)。

### (一) 大尺度監測法

#### 1. 拖曳調查法 (manta tow)

本方法適用於大範圍的概況調查或監測，其做法是利用船隻以慢速拖行調查人員（圖一），調查人員在水面上透過面鏡觀察海底生物及底質狀態，並記錄下來。為了增進觀測資料的準確性，可將生物的豐度劃分為數個等級，並設立判斷標準，置於記錄板上當做參考(圖二)。本調查法的優點是：可做大範圍的調查，缺點則是：資料的準確度或解析度較差，而且受到海水能見度的影響，只適用於水深 5 ~ 10 公尺以內的淺海。

#### 2. 定距或定時巡游(timed swim)

通常在能見度較差或較深的海域適用，調查者沿著一定方向，以一定速度巡游，記錄觀察到的生物分布狀態，估計其豐富度，也可以使用水下推進器的輔助進行概況調查。

#### 3. 遙感影像法 (remote sensing)

衛星影像或航照影像也適用於大尺度的環境監測，例如表層海水溫度及基礎生產力的分布、污染物質（如：沉積物、油污、垃圾）的散布、大型生物活動及生物聚集出現等，都可從衛星遙測影像分析獲得線索。近年來，遙測影像也應用於珊瑚礁生物分布、底質分布及珊瑚白化的監測上(Kutser et al. 2003; Mumby et al. 2004; Riegl, 2004)，但是其解析度僅限於淺海（水深 5 ~ 10 m以淺），對於較深海域或水質較混濁海域則無法運用。本法的優點是大幅減少野外監測、人力和物力，而且比較不受海況限制，缺點則是僅能提供大尺度的概況資料，難以做高解析度的數量分析。

### (二) 中尺度監測法

#### 1. 截線法 (transects)

截線調查法通常適合中尺度的監測，其做法是在調查區設立一定長度的

調查線，然後沿著線觀測記錄線上或線兩側一定範圍內的生物種類與數量(圖三)。截線可以使用有刻度的尺，繩索或鐵鏈等，以提供測距離和量化的指標。截線同時需兼顧穩定的要求，避免因晃動而干擾觀測。截線的長度需符合取樣調查要求，也就是應能提供足夠代表該樣區的資訊，此點可經由累計截線上生物資訊隨著長度增加而增加的趨勢來判定，合適取樣長度與樣區內生物的豐度及空間分布狀態有關，較常使用的長度為 10 m, 20 m, 30 m 和 50 m。截線的設置也需配合地形，通常沿著等深線而設置，蒐集同一棲地型態內的生物資料；如果要蒐集生物在不同棲地和不同深度之間的資料時，截線也可以垂直於海岸線或等深線而配置。計量單位則有長度、計點、帶狀面積及鐵鏈環數等。本方法的優點是操作容易，缺點則是不適用於生物棲地或空間分布異質性很高的環境。

## 2. 方格樣區法 (quadrats)

方格樣區是指利用方形或矩形的取樣單位，計量該方格面積內的生物，方格面積的大小依生物體型及空間分布型態而定。常用的大小有：(1) 0.5~1 平方公尺的方格，適用較大型底棲生物；(2) 25 公分×25 公分的方格，適用於計量小型生物或底棲生物幼苗附著量。

方格樣區的計量方法大致有三種：(1)目視估計法；(2)小格計數或計點法，也就是將大方格分為許多小方格，計數小方格內的出現率或面積(圖四)；(3)方格影像分析法，也就是使用海底照相裝備，以方格為樣區，照取方格內的生物影像(圖五)，再於實驗室中分析各類生物的面積或個體數。

方格樣區的設立可分為永久樣區和逢機樣區等二類，永久的方格樣區通常利用打樁的標記方式，標示樣區邊界，以供後續監測之用。逢機樣區則是逢機選取數個方格樣區，分別計數其內的生物，此方法包含樣區之間的變異，因此較不適用於空間異質性高的環境。

方格樣區的優點是能提供較精確的定量資料，永久方格樣區則能偵測較細微的變遷。其缺點是操作較困難，計量較費時，若配合海底照相與影像分析，則可大幅改善此限制。

## 3. 海底照相或錄影法(underwater photography or videography)

數位照相或錄影在海洋生態監測上的應用日益普遍，由於此法可大幅減少野外調查的時間和經費，並且可提供精細的定量資料，影像資料也提供直接證據以顯示海洋生態的變遷。在操作時，海底照相和錄影通常配合截線或方格樣區而執行，拍攝樣區內的固定畫面影像(圖五)，或連續影像，再擷取畫面，做定量分析。分析時可計算每一生物的面積以代表其生物量，或於一定面積的畫面採用計點法，例如逢機計數 100 點，據此估算各種生物所占的比例，以代表其相對豐度。本法的優點是可節省海底工作時間，且可提供具體的影像資料，其缺點則是平面式的影像資料，往往會錯估海洋底棲生物各種不同生長形態的生物量，其中

尤以立體生長形態的生物在壓縮成平面影像時，最易被低估。

### (三) 小尺度監測法

#### 1. 固定橫截線(fixed transects)或帶狀橫截線(belt transects)

通常以打樁方式標示橫截線，定期計量橫截線上各種生物的生長、死亡及變動情形。

#### 2. 固定方格樣區(fixed quadrats)

於監測區域設立數個固定的方格樣區，通常利用打樁的標記方式，標示樣區邊界，定期前往調查，計數其內的生物種類、數量及新添量，所得資料可用於群聚變動的各項參數。

#### 3. 標誌放流法(tagging)

標誌放流是研究魚類洄游、估計資源量和追蹤族群變動的重要方法，標誌的方法有很多種，主要方法為：(1)切斷標誌法，如切斷魚的部分鰭條當做標誌；(2)體外標誌法：將標示牌、標籤或訊號發射器附掛在動物身體表面，以追蹤生物活動的方式；(3)體內標誌法：將標示牌、標籤或記錄器植入生物體內；(4)化學標誌法：使用同位素或染劑標誌生物，再於重捕時使用示踪探測器檢出標誌生物。近年來，電子式標籤被廣泛應用於大型動物(如鯨鯊、鮪魚、海龜、鯨豚等)，可追蹤牠們在大海中的活動軌跡，包括平面和垂直方向的移動，有助於瞭解這些生物的生態習性及評估其族群量。

#### 4. 附著板調查法

在海底設置附著板，提供海洋生物幼苗附著或定棲的人造基質(圖六)，定期蒐集資料，以監測海洋生物新添量的變動、幼苗生長率及死亡率。附著板的材質有很多種，可經過試驗瞭解底棲生物幼苗的偏好，據以選擇適當的底質。

## 五、海洋生物監測類別

海洋生物依其生態習性，可區分為：浮游生物、游泳生物及底棲生物等三大類，此三類生物的調查和監測方法有很大差異，以下針對此三類生物的監測加以概述。

#### 1. 浮游生物監測

浮游生物是指隨波逐流的生物，牠們沒有足夠的游泳能力，依其生態活性，又可分為浮游植物和浮游動物。浮游植物是海洋的主要基礎生產者，它們也是支

撐海洋食物網的重要成員，浮游動物則是異營性的，牠們在能量傳遞上也占有重要地位。浮游生物的體型通常較小，自小型浮游生物（體長 20–200  $\mu\text{m}$ ）至大型浮游生物（體長 2–20 cm）的成員，一般使用不同網目的網具採集，而體型小於 20  $\mu\text{m}$  的微型或超微浮游生物則需採取海水，然後以濾紙或濾膜過濾方式採集。

## 2. 底棲生物監測

底棲生物包括固著性和定棲性生物，牠們與底質有密切關係，不具移動能力或移動力低，而且容易受環境變遷或干擾的影響，因此通常是海洋生態監測計畫的重點。底棲生物監測依據棲地的不同可分為硬底質及軟底質等二類。

硬底質的底棲生物監測通常以居住於底質表面的生物為主。以珊瑚礁為例，監測目標大多集中在造礁珊瑚上，至於其他成員，如軟珊瑚、海綿、海藻及其他無脊椎動物，也是監測目標。監測項目包括：珊瑚礁物種多樣性、珊瑚覆蓋率、珊瑚白化比例或健康狀態、珊瑚礁結構複雜度、珊瑚礁變遷、珊瑚幼生新添量等。大尺度的監測，包括：底棲生物分布、珊瑚覆蓋率估計、珊瑚健康狀態等，可採用拖曳法、定距或定時潛游觀察法及一般觀測法。中尺度的監測，包括：物種多樣性、珊瑚覆蓋率、珊瑚白化率或健康狀態、礁區結構複雜度等，可使用？截線、帶狀？截線、方格樣區、或？截線錄影（video transect）的調查方法。至於小尺度的監測，包括：珊瑚覆蓋率變動、物種多樣性變動、珊瑚生長率或新添量變動等，可採用固定？截線、固定方格樣區、標示法或放置附著板等方法蒐集資料。

軟底質底棲生物的監測，通常以取樣工具採集生物，常用工具包括：橈式拖網(sledges)、採泥器(grabs)、挖泥器(dredges)和底拖網(bottom trals)等四類。一般的取樣方法，包括下列幾個步驟：(1)先以橈式拖網或挖泥器做大範圍取樣，對研究區域的底質分域狀況有一初步了解；(2)設定橫截線，並標定取樣點，進行取樣；(3)選擇適當工具採取標本，所採標本經過一系列不同網目的篩選，分別將各次篩選出的生物種類、數目及底質成份做詳細記錄。

## 3. 游泳生物調查及監測

海洋游泳生物包括魚類、頭足類、爬行類及哺乳類等，其中以魚類種數最多、分布也最廣。海洋游泳生物的調查方法可分為兩大類：非目視法與目視法(Kimmel, 1985; Bortone et al. 1986, 1989; 邵等, 1993)。

非目視法是指不經由直接觀察，而是透過標本採集得到資料的方法。此類方法需要採集標本，或可能破壞生物棲地，對生物體的生活習性無法觀測，但是對於漁業資源評估，或在水能見度低、天候或海況不佳、深度太深等海域，仍為適用方法。依其使用的採樣工具可分為：(1)手釣、竿釣、延繩釣、或撒網：適用於岩礁區或泥沙底質，且不會破壞棲地；(2)刺網、雙重刺網：適用於水層中活動的魚類，但網目大小對魚類有選擇性；(3)魚籠或陷阱：可獲取活魚，供標

誌放流，但對魚種具有高選擇性；(4)標誌放流：適用於體型較大之種類，可追蹤生物迴游路徑，並獲得年齡成長資料，但可能影響標誌生物的活動力或存活率；(5)聲納或魚探：適用於較大尺度探測，可估算魚群量，但難以辨識魚種。

目視法是指經由現場直接觀察，記錄物種的數量和其他生態資料，適用於能見度較佳海域，在淺水域可直接在岸邊觀察或浮潛計數魚類；較深海域則利用水肺潛水，直接觀察記錄(圖七)；更深海域則可使用水下遙控潛航器 (remote operating vehicle)或載人潛航器進行觀察，但需複雜的技術與龐大的後勤支援。目視法不需採集標本，但需具有一定程度的專業分類知識與經驗，其優點為：對魚類干擾小、可重複量測、適用於不同底質或地形、可提供定性與定量資料。其缺點為：受海水能見度影響、受水深與潛水安全時間的限制、受海況影響大、易低估實際魚群量、有人為干擾的偏差。而且，採用目視法時，必須注意觀察範圍與觀察時間，資料必須經過標準化之後才能比較。目視法所得之資料可利用手寫、錄音、錄影、照相等記錄。

目視調查法往往配合取樣調查而進行，包括：(1)橫截線法：在事前選定之地點，朝一定方向、固定時間內移動一定距離，觀察記錄一側或兩側某距離寬度(1-2 m)及一定垂直深度內所有出現的魚種及其數量。橫截線之長度視調查目的或底質狀態而定，通常環境異質性高的區域採用20-50 m長度，以避免涵蓋不同的棲所環境；在均質環境中則可長達300 m以上。此法通常會低估豐富及隱蔽種的數量。(2)定點計數 (point count)或樣區觀測法(quadrat)：指在測站定點或一定面積區域內觀察記錄該區所有魚種及豐度；通常適用於潛水者移動較困難，或獨立礁等複雜地形；其面積大小與位置之選定，可用逢機方式或是依研究性質而定。定區觀察時可用中心點為基準，每隔數分鐘變換觀察角度之方式來計數。(3)原地觀測法 (stationary sampling method)：其方法為在海圖上逢機選定調查點，直接由潛水人員在水下沿一定方向游去，至一定點後，觀測一定半徑圓柱形範圍內出現之所有魚種及數量，每一定點觀測約5分鐘。此法適用於調查大範圍海域內之魚類群聚，但不適用於環境污染固定測站之長期監測。

## 六、海洋環境監測

海洋環境監測主要包括下列數項：(1) 水溫，(2) 鹽度，(3) 海流速度與方向，(4) 水質（營養鹽濃度、混濁度、沉積率等）(English et al. 1997)。

- (1) 水溫：現場水溫監測可使用水銀溫度計，長期水溫監測可使用水下溫度記錄器，大尺度的水溫資料可以由遙測影像分析獲得。
- (2) 鹽度：使用鹽度計測量，長期鹽度監測也可使用水下鹽度記錄器量測，並於間隔一段時間後收回，讀取資料。

- (3) 海流：使用海流儀測量流速及流向，可置放於特定地點，經一段時間之後，取回儀器讀取資料。
- (4) 水質：海水混濁度（或透光度）可用賽氏盤（Secchi disc）測量其透光深度或濁度計直接測量。沉積率則需於海底放置沉積物採集器（sediment trap），經一段時間後收回，測其內沉積物含量（圖八）。定點的水質測量，需在現場以採水瓶於不同深度採集海水，水樣採取後，立即進行溶氧、PH 值、鹽度等分析，營養鹽分析則需將水樣依不同方式保存後，進行化學分析。重要的是，採樣程序及分析過程皆應經由嚴密的品保 / 品管（QA/QC）流程，包括重複分析、添加回收率、檢測線製作方法偵測極限之建立、空白實驗、查核樣品分析等步驟，並利用控制圖控管分析數據之品質。上述水質分析方法，應依據環保署公告之方法進行。基本上，海洋環境監測包括許多項目，各項目都需要有專業技術人員來負責執行。

## 七、資料儲存、處理與分析

海域生物監測所得資料，應依一定格式輸入、建檔儲存，資料格式必要的欄位包括：調查時間、地點、調查點經緯度、生物資訊（科名、學名、個體數或密度、體長範圍、生物量）、調查採集者、調查方法、鑑定者等。

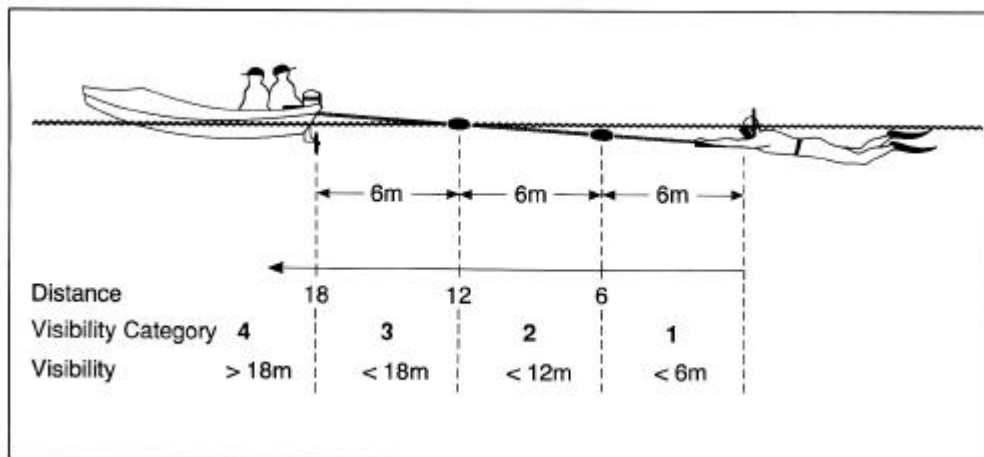
取樣所得資料的處理，可分為定性和定量分析兩類：(1)定性分析：對於取樣地點的海洋環境、底質環境及取樣生物的種類、數量、棲所或特殊行為，做詳細而完整的描述。(2)定量分析：由固定取樣方式和特定區域所取得的資料，可進一步做定量分析，估算各樣區的覆蓋率、豐富度、族群密度、歧異度等參數，並進行比較。也可配合生物統計方法，進一步對各種環境因子與生物分布狀況進行分析和檢驗。以影像分析方格取樣的結果，同時能夠提供時間序列上生物群聚變動的資料，對於區域間環境變化的差異，能夠提供有力的訊息。

## 八、結語

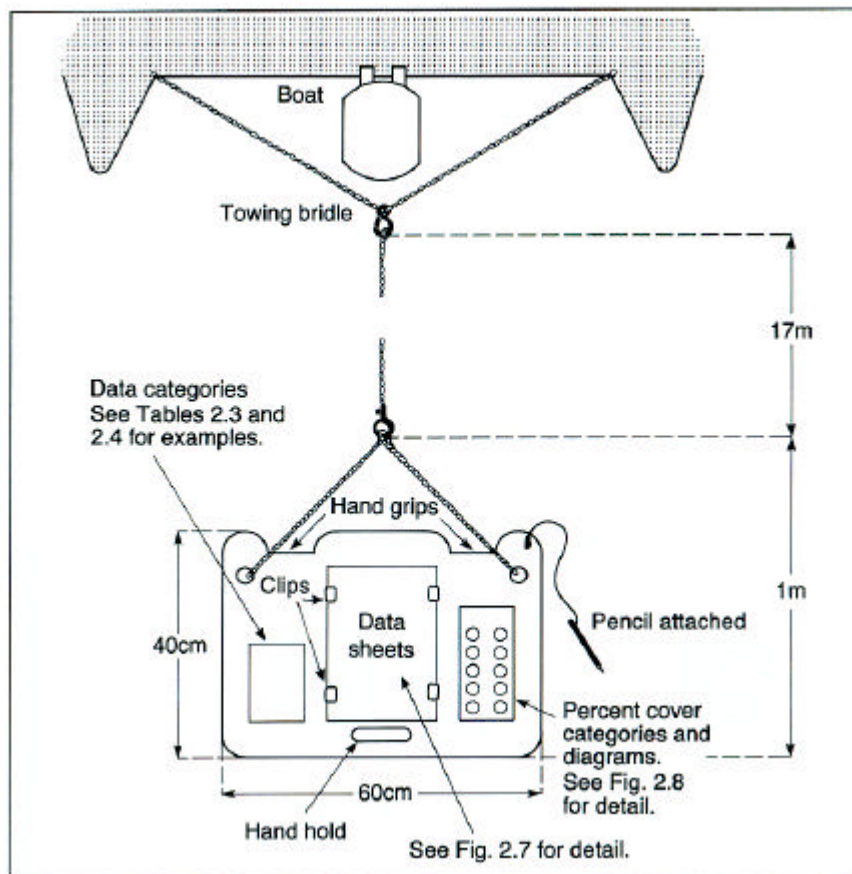
由上述概略介紹，可知海域生物多樣性與環境監測的型式非常多樣，而且往往因時因地而制宜，幾乎？有一個監測系統能兼顧所有的議題。重要的原則是根據現有的經費和人力，針對特定議題，擬定具體可行的監測計畫，並貫徹執行，而非一網打盡、漫無目標的去做監測。

## 九、參考文獻

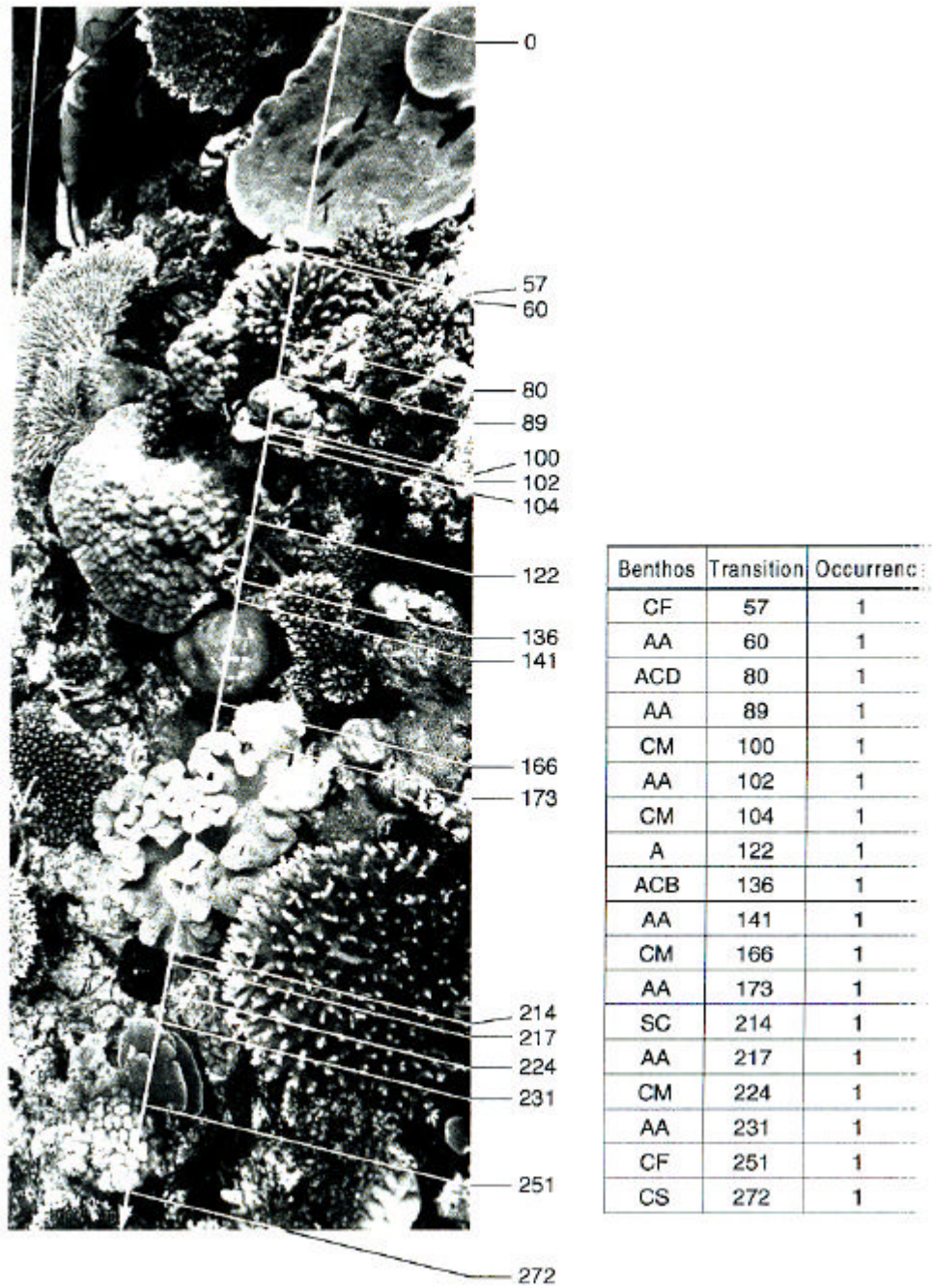
- Bortone, S. A., R. W. Hastings, and J. L., Qglesby. 1986. Quantification of reef fish assemblages: A Comparison of several in situ methods. *Northeast Gulf Sci.* 8: 1-22.
- Bortone, S. A., J. J. Kimmel and C. M. Bundrick. 1989. A comparison of three methods for visually assessing reef fish communities: Time and area compensated. *Northeast Gulf Scie.* 10: 85-96.
- English, S., C. Wilkinson and V. Baker. 1997. Survey manual for tropical marine resources, 2<sup>nd</sup> edition, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia, 390 p.
- Hill, J. and C. Wilkinson. 2004. Methods for ecological monitoring of coral reefs. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Qld, Australia, 117 p.
- Kimmel J. J. (1985) A new species-time method for visual assessment of fishes and its comparison with established methods. *Env. Biol. Fish.* 112: 23-32.
- Kutser T, Dekker AG, Skirving W (2003) Modeling spectral discrimination of Great Barrier Reef benthic communities by remote sensing instruments. *Limnology and Oceanography* 48: 497-510.
- Mumby PJ, Skirving W, Strong AE, Hardy JT, LeDrew EF, Hochberg EJ, Stumpf RP, David LT (2004) Remote sensing of coral reefs and their physical environment. *Marine Pollution Bulletin* 48: 219-228.
- Riegl B (2004) Remote sensing: a key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs* 23: 1-4.
- 邵廣昭、何林泰、林介屏 (1993) 魚類群聚生態調查監測與分析方法. *生物科學* 36(2): 41-56.



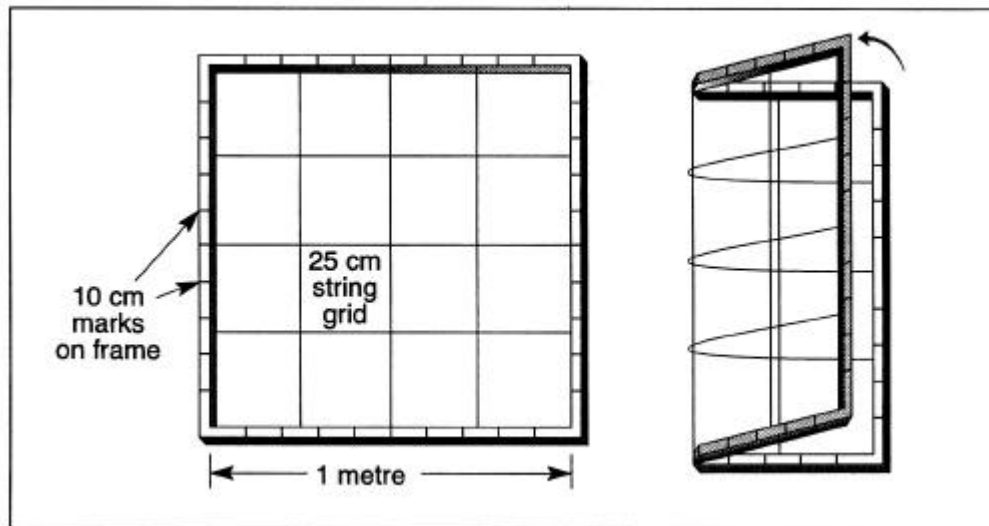
圖一、拖曳調查法操作情形 (取自 English et al. 1997)



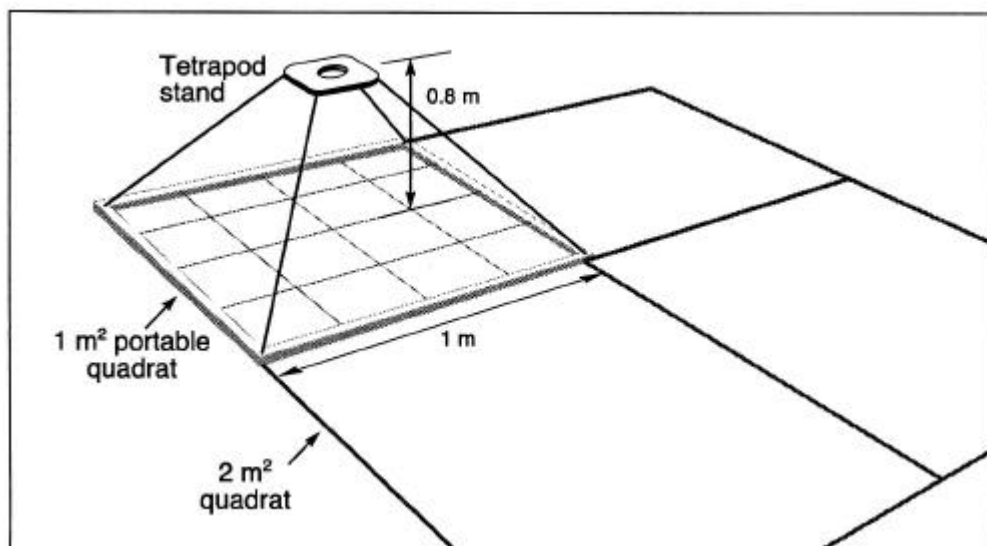
圖二、拖曳調查法記錄板 (取自 English et al. 1997)



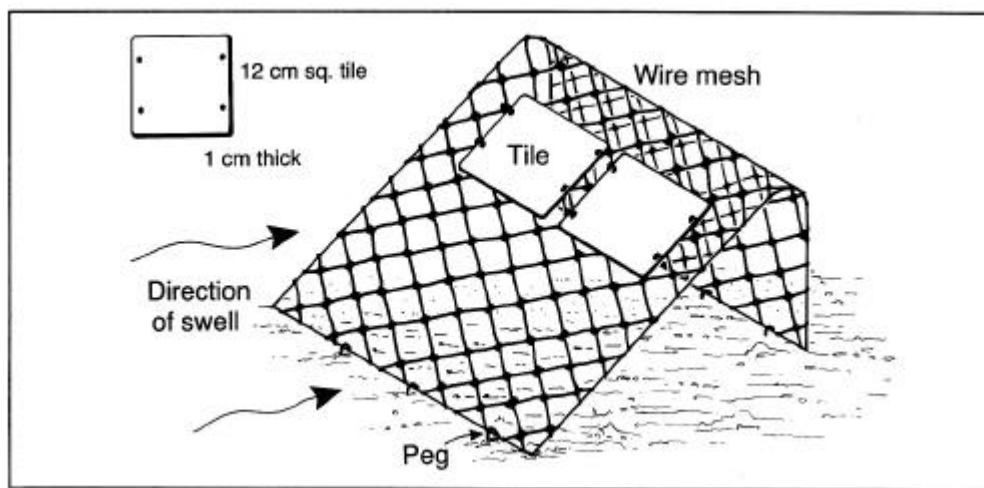
圖三、橫截線取樣法應用於珊瑚礁上的調查和記錄方式(取自 English et al. 1997)。



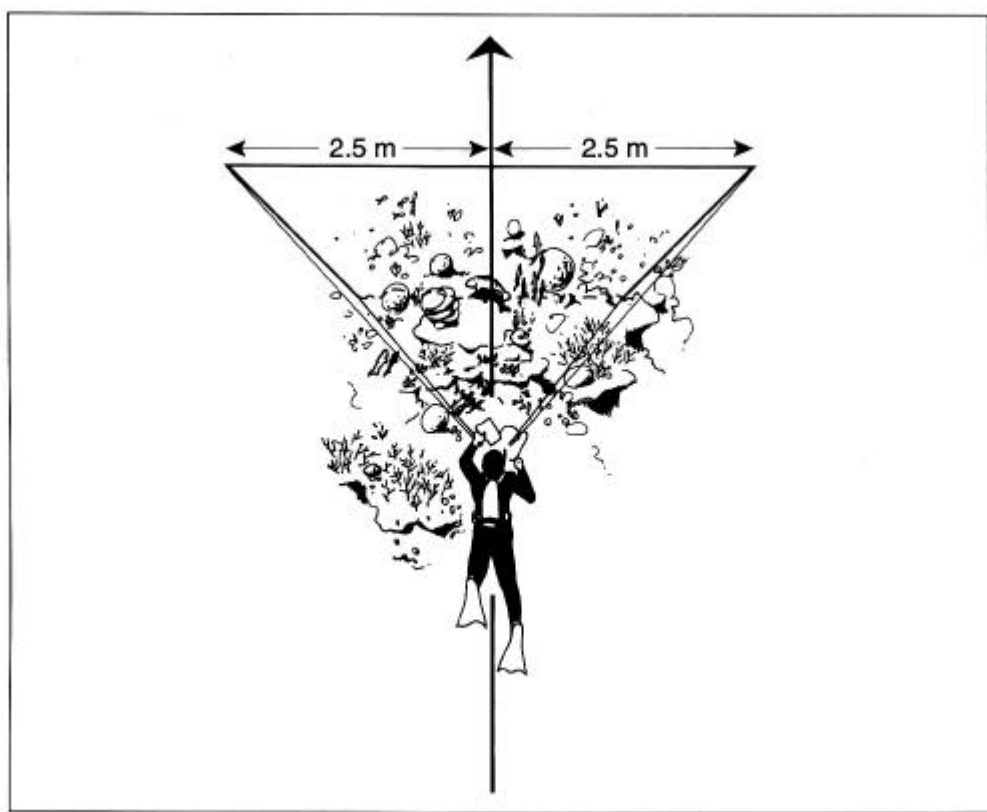
圖四、方格調查法可區分為小方格而做觀察(取自 English et al. 1997)。



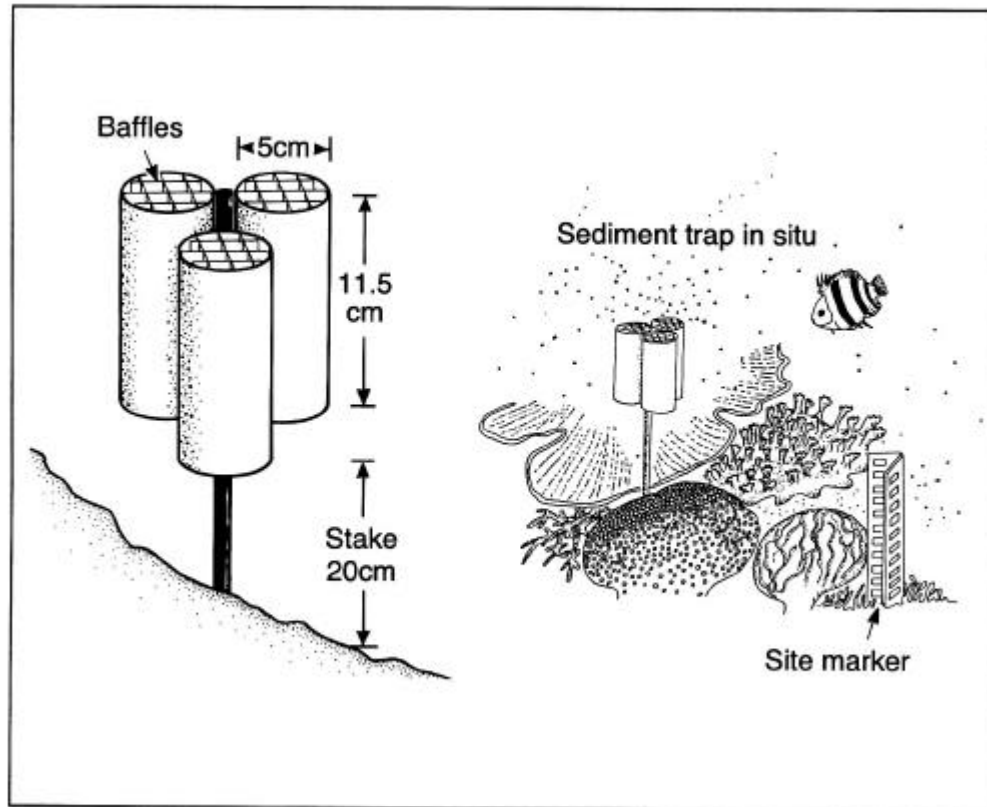
圖五 固定監測方格樣區的照相監測,水底照相機置於角架頂端即可拍照(取自 English et al. 1997)



圖六、放置附著板以調查海洋固著性底棲生物的新添量(取自 English et al. 1997)



圖七、海洋游動性生物的目視調查法(取自 English et al. 1997)



圖八、海洋環境調查之沉積物收集器(取自 English et al. 1997)。