



## 「資源狀況如何？」 認識漁業資源動態和評估方法的發展

文/張水鍇、陳奕臻

(國立中山大學海洋事務研究所教授、研究生)

臺灣環伺生產力豐沛的東海、南海和西太平洋，又處在氣候合適、洋流交會、地形多元的外在環境，因此海洋生物資源相當豐富且多樣，孕育了臺灣艱辛又驕傲的漁業發展，從沿近海到國際盛名的遠洋漁業，從傳統到高科技、高效率的多樣漁法。但近幾世紀，這些漁業都因海洋資源的衰退，而逐漸凋零，有的已經不復存在，有的規模已經大不如前。努力「打魚」的同時，漁民和管理者口中便多了「資源狀況如何」的話題。這篇文章想要用不完全科學的簡單語言，向讀者介紹有關漁業資源變動的概念，以及瞭解資源狀況的方法架構。

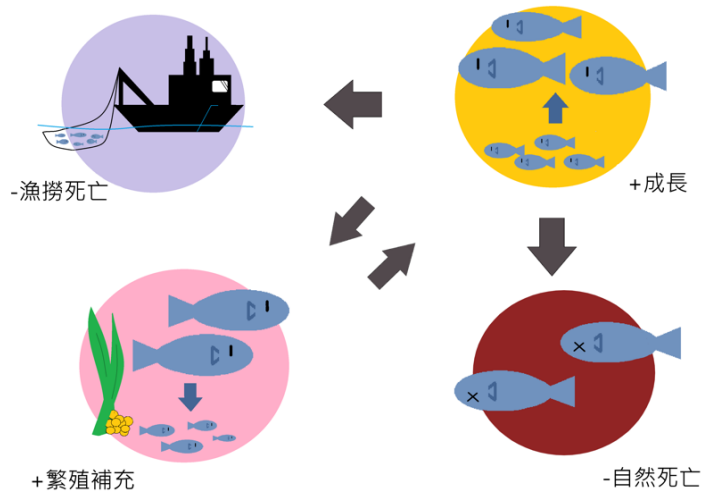
另外，傳統的評估方法大都要倚靠漁民提供的捕撈資料，這種資料的真實性很容易受到商業操作或漁民心態所影響。澳洲聯邦科學與工業研究組織CSIRO 科學家發展出兩種不需要由漁民提供資料的研究方法，一種是透過分析魚的親緣關係，另一種是利用魚的基因來進行標誌放流，再把結果透過統計模式來估計不受漁民資料影響的資源狀況。這兩種方法都已經應用在我國也有捕撈的南方黑魷的資源研究上。本篇文章同時也介紹這兩種相當創新的資源評估方法。

### 一、資源變動的概念

長久以來，漁業資源遵循大自然的生息法則，為延續下一代而「繁殖」，下一代也會逐漸「成長」，個體變長、變重，再成為有繁殖能力的個體，繼續孕育下一代；而這些個體也會因年老、生病而「自然死亡」，或被人類捕撈而「漁撈死亡」（圖一）。魚類的繁殖和成長使資源量增加，而自然死亡和漁業死亡則控制族群不會過大，造成下一代沒有空間和食物可以生存。

繁殖、成長、自然死亡、漁業死亡這四項就組成了漁業資源變動的四大因素；其中，「繁殖+成長-自然死亡」（繁殖加上成長所增加的量，再扣掉自然死亡的量），我們稱為「自然增加量」。「永續」利用的意思，就是漁業捕撈量能和自然增加量取得平衡，這樣資源就能維持「生生不息」；而這時與自然增加量相當的漁獲量，就稱為「可持續生產量」。

一個漁業資源的自然增加量並非一成不變，而是會隨環境及原本資源量的大小而改變。在許多不同水準的持續生產量中，與「最大」自然增加量相當的，就是漁業管理上常聽到的「最大可持續生產量」(MSY)。



圖一、漁業資源變動四大因素。漁業資源受到族群的繁殖、成長、自然死亡、漁業死亡影響，漁業管理的目的便是要取得「漁業造成的死亡=繁殖+成長-自然死亡」的平衡。(作者自製)

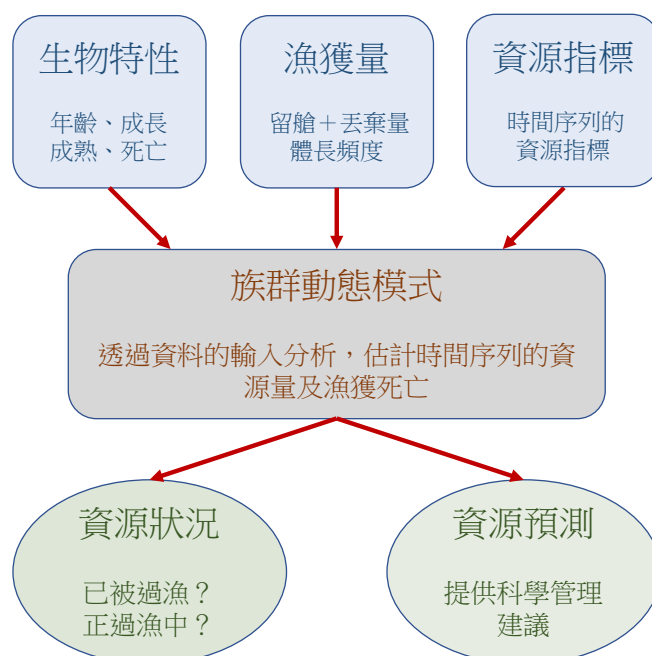
## 二、傳統評估資源量的架構

過去捕撈技術還不是很發達時，我們不用擔心資源會被用完，但當商業捕撈盛行之後，「漁業死亡」這個人為因素就逐漸放大，甚至造成可以繁殖的大魚被捕光、或魚還沒長大就被捕掉（捕到的魚逐漸變小），因而造成整體繁殖量降低（漁獲量也明顯下降）。這些就是一個漁業資源被「過漁」的兩個明顯特徵。

因此，當人類開始意識到海裡的魚並不是無窮無盡的，為了讓漁業永續發展，就出現漁業生物學的研究，想要瞭解魚長到多大開始繁殖、成長速度如何、以及海裡還有多少魚等等，而其中一門科學稱作漁業資源評估，是為估計魚類數量上的變化（一般稱為魚類族群量變動或資源量變動）。

一個完整的資源評估（圖二），傳統上需要三項資料：（一）代表一個魚群在自然狀態下數量的變動過程，科學家利用魚類天生具有的生物特性，如成長速度、繁殖率、自然死亡率等的一些資訊（或科學家所稱的「參數」），來模擬這個動態過程；（二）代表漁業壓力的漁獲量資料（包括體長資料，以知道漁業是在捕幾歲的魚）；以及（三）代表資源趨勢的相對資源變動指標，這個指標可以來自試驗船的調查，或是從漁業資料計算得來，一般是用單位努力漁獲量（CPUE）來代表，就是漁民投入某一單位的「努力」能得到的漁獲量（ $= \text{漁獲量} / \text{努力量}$ ），簡單的例子就是：漁民出去捕魚一天所得的漁獲量。這個努力量可以是延繩釣的鈎數、拖網的作業小時數、流刺網的網片數等等。

有了魚群本身自然的變動模式、過去漁業的捕撈量、過去資源量的變動指標，科學家就透過一個能代表那個魚群資源變動的族群動態模式（一個模擬魚群自然狀態下變動的模型），來得到幾個重要的結果，包括過去某幾年有多少魚出生並且回補到人類可以利用的漁業資源中（科學家稱之為「補充量」），同樣那幾年各個年齡的魚數量有多少，特別是已經成熟可以繁殖的魚的數量（科學家稱作「親魚量」）；另一面也包括那幾年造成漁業死亡的壓力有多大（科學上稱作漁業死亡率，與漁業捕撈量或努力量有關）。



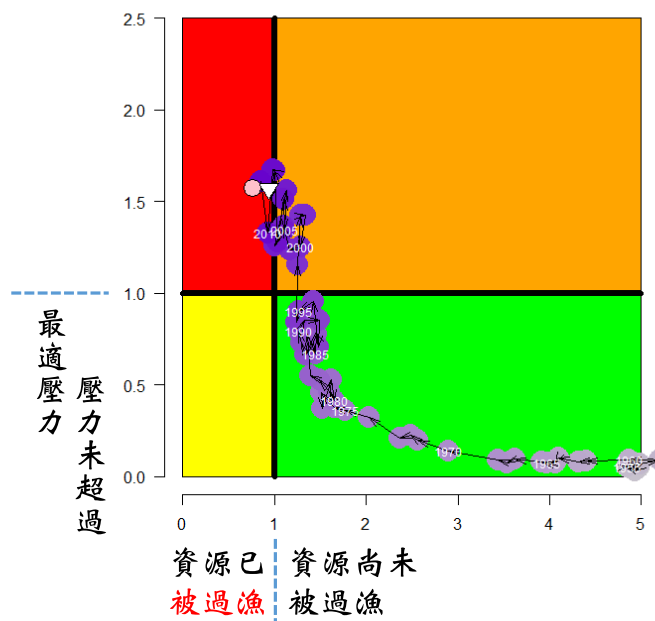
圖二、傳統漁業資源評估資料及步驟，將魚種生物特性、漁獲量和資源指標等資料或參數，應用在族群動態模式中，評估該魚群資源狀況及預測未來資源走向，以提供漁業管理的科學建議。（張水鍇、羅佩純，2017）

依據這些結果，我們就可以推測資源狀況。資源狀況的表示方法很多，但科學家為了讓管理者和一般民眾容易理解鮪魚的資源狀況，在日本神戶（Kobe）提出一種稱作柯比圖（Kobe plot）的簡易檢視圖（圖三）。用示意方

式來說，假如我們管理漁業資源的目標是希望維持這個資源在某一個能提供前面所說的「最大可持續生產量」（MSY，許多國家或國際組織都是以這個為目標）的「水準」，我們暫時簡稱產生 MSY 的漁業壓力為「最適漁業壓力」；而能提供 MSY 的那個資源水準，或說長期在最適漁業壓力下預期的資源水準，我們也暫時簡稱為「最適資源水準」。（稱「最適」資源水準的意義是，資源量越高固然越好，但很多會自然死亡，形成一種浪費；而相反地，資源量太低，低於它自然恢復所需的數量，它就會一直衰退）。

在這個設計下，如果現在的漁業壓力超過最適的壓力（就是柯比圖的縱軸超過 1 的區塊），就代表現在的漁業壓力過高，正在對資源「過漁中」（overfishing）；另一方面，若現在的資源量（通常會用成熟親魚的資源量）低於最適資源量（就是柯比圖的橫軸小於 1 的區塊），就代表現在的資源狀況已經「被過漁」了（overfished）。

除了上述的方式外，在描述資源狀況時也會提供一些近一年（或近幾年平均）的「相對」資源量，但無法提供真正的資源量，這是因為利用上面提到的資料，科學家只能估計出大海中資源量的「相對趨勢」。除非能知道某年漁獲量是大海中真正資源量的比例，否則無法計算出絕對數量。還好就管理需求上，管理者其實比較關心的是「現在資源量比起以前如何」，或是資源的變動「趨勢」。因此，資源評估的結果通常會是一個相對值，例如東港捕撈的黑鮪資源量在近一世紀都不好，科學家在 2016 年評估出兩年前（2014 年）當年的黑



圖三、漁業資源狀況柯比圖範例。縱軸為漁業捕撈壓力除以最適捕撈壓力，當數值大於 1 代表漁業壓力大於最適壓力，即為過漁中；X 軸通常為親魚資源量除以最適親魚資源量，數值小於 1 代表當時資源量小於最適資源量，即為被過漁。（張水錯，2014）

鮪親魚量，是還沒有漁業捕撈黑鮪時代（1950 年以前）的親魚量的 2.6%；意思是假設在還沒有漁業捕撈黑鮪的年代，大海裡穩定有 100 萬噸成熟的黑鮪，則到 2014 年時只剩 2.6 萬噸。

資源評估的結果除了提供資源狀況之外，另外也可以用來預測未來的資源變動。例如，如果容許未來漁獲量維持在去年的水準或者再削減 10%，預測未來幾年後的資源狀況會是如何（長壽命魚種，如鮪魚，都會預測 10 年後的狀況），是會變更糟、或會逐漸恢復？科學家就依據這些預測結果來建議一個或一組最好的管理措施，供管理者參考。例如，針對已經被嚴重過漁的黑鮪資源，管理者後來訂定一個階段性重建目標，要在西元 2024 年使黑鮪親魚資源量至少恢復到還沒有漁業時的 6.7%（至少要有六成的把握），並在 2034 年要恢復到 20%。為了達到這些目標，科學家作了許多預測模擬，最後認為只有幼魚的漁獲限額刪減一半才有可能達到重建目標。管理組織大會後來採納科學家的建議，並在隔年實施，至今已慢慢看到黑鮪資源的恢復。

### 三、資源評估新科技

以上所介紹是目前一般常用評估資源狀況的架構。在這個架構中，從漁業蒐集來的資料（稱作漁業倚賴資料，fishery-dependent data）的品質就很關鍵：資料內容若不夠詳細，評估的模式就只能選簡單的，評估結果代表性通常就會降低；而若資料正確性不高（部分資料被隱瞞或因商業行為而錯誤），評估結果也就會誤導。雖然利用研究船直接海上調查可以得到可靠性高的資料，但這種資料成本高、且在時間和空間上的範圍都有限，通常只能當作驗證用途。

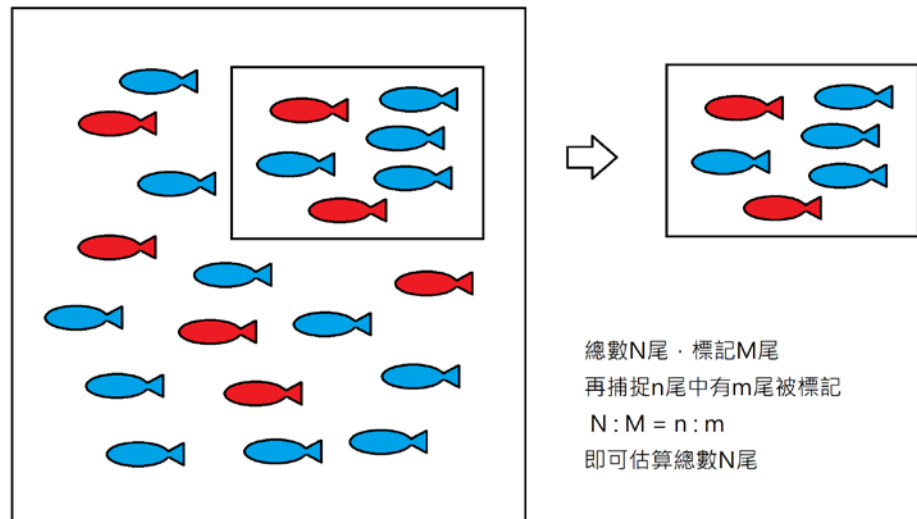
為此，科學家一直在發展不需完全倚賴從漁業蒐集來的資料，特別是針對比較重要或經濟價值較高的魚種資源，例如高價位、又已被過度利用的南方黑鮪，過去兩年也在討論是否要應用在太平洋黑鮪上。以下介紹兩種利用基因科技的新方法，不需要漁業倚賴資料，且已被證實有很高的可信度、成本又比海上調查低很多。這兩種方法的基礎是傳統標誌再捕法，或是俗稱的標誌放流法，科學家利用標誌再捕法並配合遺傳學相關技術，發展了一種稱為基因標誌再捕法（Genetic Mark-Recapture）、另一種稱為親緣關係標誌再捕法（Close-Kin Mark-Recapture, CKMR）。以下先簡單介紹傳統標誌再捕法，再說明新方

法的概念。

### (一) 傳統標誌再捕法

標誌再捕法是常見的野生動物數量評估方式，可估計難以直接計數或流動性大的物種。以海水魚類來說，主要概念是出海捕撈要研究的魚，在許多魚身上作標記、或置入傳統或電子式的標籤，之後再釋放回海中，一段時間後，再從漁民捕撈到魚中，計算捕回有標記或標籤魚的數量，依據這個來推算魚在大海中的總數量。這方法也可配合其他資料推估成長率等參數。我們以較單純的封閉群體（族群）為例（圖四），這種群體假設在研究期間都沒有出生、死亡、遷入、遷出的個體，因此估算比較簡單，也就是我們是在總尾數是  $N$  的群體中，取  $M$  尾魚作

標誌並放流，之後捕到的  $n$  尾魚中發現有  $m$  尾魚有標記，這時可以假設  $N$  和  $M$  的比，會等於  $n$  和  $m$  的比。因為我們知道標誌了幾尾 ( $M$ )，也知道捕到多少魚 ( $n$ ) 和其中有幾尾魚有標誌 ( $m$ )，因此就可以估出總尾數  $N$ 。



圖四、傳統標誌再捕法用來計算資源總尾數的概念。左方框為全部族群 ( $N$ )，紅色代表標記個體 ( $M$ )，右方框為再捕捉獲得個體 ( $n$ )，其中再捕有標記個體數 ( $m$ )，假設兩邊的比例相同就可推算全部族群的數量。(作者自製)

這種方法有幾項很難克服的缺點，包括標誌魚放回大海後的再捕通報率通常很低，因此常需要標誌龐大數量的魚，如果要用可以即時追縱的衛星型標籤，價格又太高，只能用在幾尾魚上；另外，標籤也會脫落、標誌過程也會傷害魚體造成死亡等，都會造成一些誤差。

## (二) 基因標誌再捕法 (Preece and Bradford, 2018)

這種方法類似傳統標識再捕法概念，但是是在海上捕到魚後，採魚體上的基因作為「標籤」（只需一小塊肌肉）（圖五），而不是把實體的標籤放在魚體上；採完肌肉後把魚放流回去，等這些魚充分與大海的魚混合後（通常一年後），再從捕撈回的魚中，計算具有相同基因標記的魚數量，進而估算不同年齡（配上體長資料）和同時出生那群魚的絕對豐度。與傳統標誌法相比，這個方法沒有標籤回報率和脫落遺失的問題，所以也不需要像傳統方法需要提供回報獎金，而且標籤看不見卻又永遠存在，採樣組織獲得基因過程造成的傷害也較傳統作法小很多。



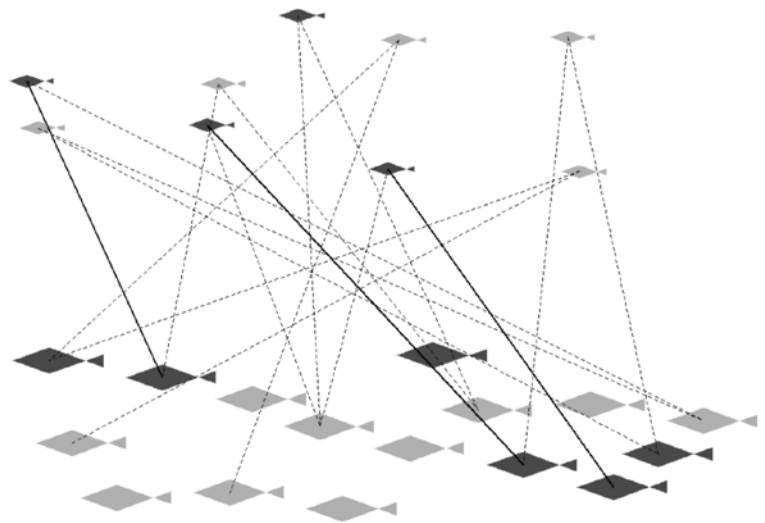
圖五、澳洲 CSIRO 發明基因標誌再捕法，用來估計南方黑鮪幼魚的資源量，圖為採樣過程。（CSIRO, 2018；感謝 CSIRO 提供圖片）

針對南方黑鮪，澳洲 CSIRO 科學家已建立高效基因抽取和分析方法，魚捕起來只要 20 秒就可標誌完一尾、也比較不具侵入性危險，只要不到一粒米大小的樣本就可分析出結果，一年可以處理 2 萬個以上的樣本。目前這種方法已被應用來估計南方黑鮪幼魚的資源量，可以取代來自漁業數據的資源指標，也取代以往用飛機從空中數算幼魚尾數的高成本作法。再配合體長頻率分析即可獲得更多不同年齡的絕對資源量，透過實驗設計也可評估族群死亡率。

## (三) 親緣關係標誌再捕法 CKMR (Bravington et al., 2016)

這個方法雖然稱作「標誌再捕法」，但其實它並沒有實質人為的「標誌」。它的概念是每一尾魚本身在基因上就是一個標籤，這個標籤包含了那尾魚的親戚（父母、或甚至兄弟姐妹）的標記，當牠的父母也被捕了，就是一種「再捕」，所以只要在卸魚港口蒐集足夠的漁獲物樣本就可以，不需要出海去「標誌」，也不需要漁民在捕魚過程記錄再捕到的資料。

這個方法是透過兩個簡單的遺傳學原則將親緣關係納入標誌再捕法中，首先，現在遺傳學技術已可以得知每條魚之間有無親緣關係，類似於鄉土劇中常見的驗血親過程；其次，每條魚只會有一對父母，也就是只會和兩條魚有父母間的親緣關係(Parent-offspring)。同樣假設在一個比較簡單的封閉群體中（圖六），我們把親緣關係視為一個標記，大海中所有成熟魚（尾數是  $N$ ）中的每一尾魚，成為一尾幼魚的父母的機率是  $2/N$ ，而我們採樣的魚中有  $J$  尾是幼魚、 $A$  尾是成魚，而所有成魚和幼魚的配對檢查 ( $J \times A$ ) 結果找到  $H$  件有親子間關係，這時就可估算出所有成熟魚的數量  $N$  是  $2 \times (J \times A) / H$ 。一個理論上的簡單概念是，在一定樣本中，找到配對的數量越少，代表大海裡的魚很多，而相反地，配對數量越多，代表大海裡的魚很少，所以才會這麼容易同時捕到父母子女。



圖六、親緣關係標誌再捕法的簡單概念。小魚圖代表幼魚，大魚圖為成熟魚；黑色實線代表有親子關係的魚有被採樣到，虛線代表有親子關係的魚沒有被採樣到。  
(Bravington et al., 2016)

CKMR 適用於大多數商業捕撈魚種上，且樣本來源並不一定要活體，所以用漁市場的採樣就可以，且能以較少成本獲得大量資料，相較於先前的漁業資源評估獲得相對資料來推測資源情形，此結果可反應成魚的絕對資源量，與其他資料整合後亦可得知魚體特定年齡/體長的繁殖力和成魚死亡率等資訊，對長時間的漁業資源管理相當有幫助。

雖然這方法的概念相當簡單，適用於大多數漁業生物，但親緣關係限制使其無法用於一年生生物上，如魷魚，以及僅捕撈成魚的漁業；除此之外，這方法無法直接獲得幼魚數量，較難用於評估目標魚種為幼魚漁業，而對於價格過低之魚種，如鯷魚，現行可能還不適合以此法進行評估。因此，南方黑鮪漁業



是用基因標誌再捕法來估幼魚的資源量，因親緣關係標誌再捕法估成魚的資源量。

這個方法主要分為五步驟：設計，採樣，基因分型，親緣關係遺傳鑑定和 CKMR 的建模。為達到好的評估結果，每項步驟均相當重要。澳洲 CSIRO 科學家們對採樣之外的其他步驟都已建立相當好的研究基礎，因此南方黑鮪保育委員會 CCSBT 在這方面的研究都是由澳洲主導。近幾年，太平洋黑鮪也開始研究應用這個技術，主要捕撈國日本已投入相當大的經費和人力，正在建立他們自己的研究技術。採樣部分，針對高度洄游魚種的南方黑鮪和黑鮪，都是由各捕撈國分擔負責，以能採到足夠包含幼魚和成魚的樣本。

以往科學家都必須倚靠來自漁業的資料，才能評估資源狀況，因此也就受到這些資料品質的限制，有時漁民不相信資源評估，因為他們心知提供之資料的不正確性。而拜科技發達之賜，越來越多不用倚靠漁業資料的方法被發明出來，例如監控漁船的 VMS 或是 AIS 船位資料，現在都已大量被使用來估計漁業的努力量，而不用完全倚靠業者填的報表。以上介紹的兩種方法也都不需倚賴漁業提供的資料，而遺傳學及基因型鑑定技術使科學家能以較少成本獲得更多資訊。在分子生物學的持續發展下，這兩種方法未來可作為漁業資源評估中有力的新工具。

註：有關「資源評估新科技」這一節的內容，主要來自澳洲聯邦科學與工業研究組織（CSIRO）海洋及大氣研究中心（Marine and Atmospheric Research）的 Drs. Ann Preece、Mark Bravington 及 Campbell Davies，在此一併致謝。