探討如何建立物種保育優先順序系統

How to construct a species conservation prioritizing system (改標題?)

< 前言 >

毫無疑問的，第六次大滅絕正在發生中。證據顯示(Pimm 1995、Waters 2016)，人類世(Anthropocene)的到來，嚴重影響所有的物種，現今物種的滅絕速率甚至高於前五次大滅絕的滅絕速率10至100倍。與此同時，威脅生物多樣性的因子，如:棲地破壞、外來種入侵、過度捕獵、及環境污染等，隨著全球人口的指數成長也逐日增強。另一方面，儘管現今的科技日新月異，人類依然是無法不依賴其他物種獨立地存在於這個星球上。從食衣住行育樂各層面來看，生物資源依舊是不可或缺的。因此，在這物種大滅絕的時代，維持住這些寶貴的生物資源，已然成為一項重要的課題。

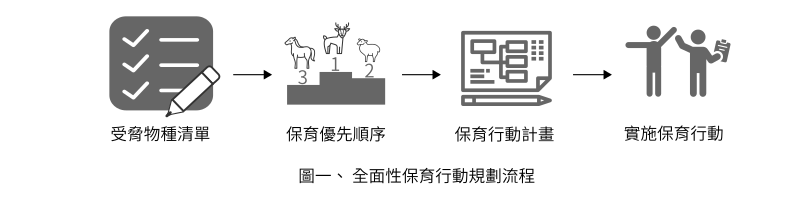
如同聖經中的寓言故事，諾亞在大洪水侵襲時建立了方舟，保護住世上的所有物種，如今也該是我們試圖建立這艘名為「保育」的方舟，以維護這些寶貴的生物。然而，神話終究只是神話，一艘能夠乘載現今所有的受脅物種的方舟是不可能被建造出來的。現實層面上來看，只有辦法投注一小部分的資源在保育上面，只能針對少數的物種或地區施行保育措施，並且期望達到最大的成效。因此，必須選擇。然而該如何選擇哪些物種或地區要施行保育行動，而哪些物種則是必須忍痛放棄，是個難以回答的「大哉問」。

從受脅物種中，決定哪些該優先進行保育。此類問題，長久以來被西方保育學家稱為「痛苦的選擇」(the agony of choice, Vane-Wright 1991)，又或者為「諾亞的方舟問題」(Noah’s Ark problem, Weitzman 1998)。儘管一直有許多保育學家提出保育優先順序排序系統，但是這些系統具有兩大類的缺陷，一為資料需求簡單可但是卻過於主觀、另一為客觀但是所需資料難以獲得，卻缺少一套資料需求簡易、又具有充足的客觀性，可以直接遵循的實行骨架，協助相關人員按照步驟建立起一套保育優先順序排序系統。

本文試圖為方舟問題提出一套可實行的骨架，讓相關保育從事人員可以參考使用，並根據這套骨架建構出簡單、客觀、能符合需求的保育優先順序排序系統，以便於有效地規劃更進一步的相關保育行動，合理地應用寶貴的資源。

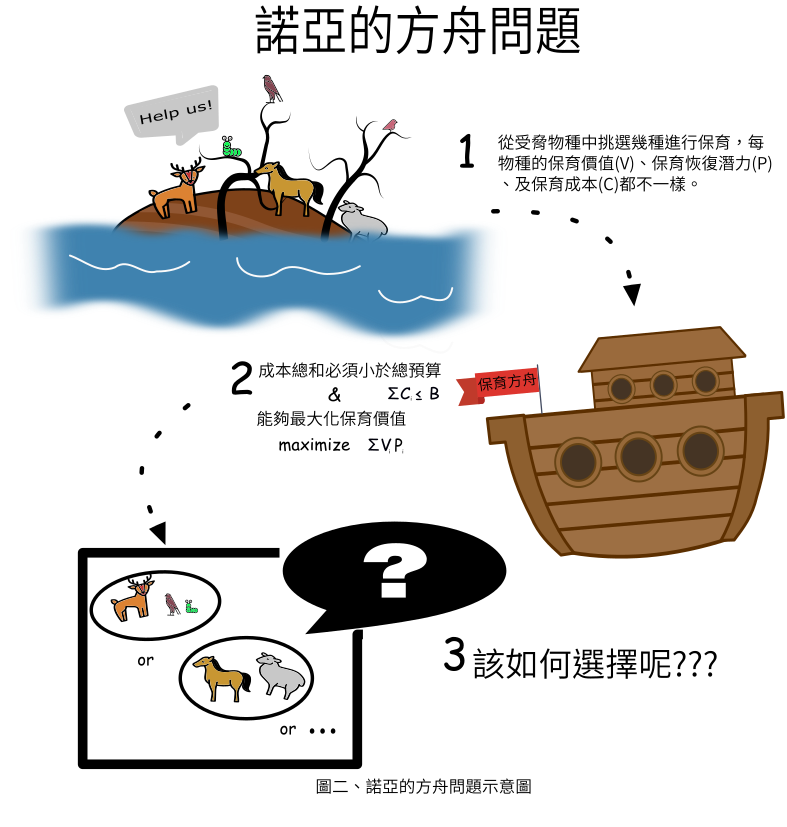
<建構保育優先順序排序系統>

當一保育單位要進行一地區內全面性的物種保育行動規劃時，其大致的流程如下圖(一)所示，先進行全面性的物種評估，建立受脅物種清單，並給予受脅等級(如國際自然保育聯盟IUCN的紅皮書等級)，接著考量各層面的因素，如受脅程度、保育成本、生物特性、棲地環境特徵、社會大眾關注度、生態系重要性、復原潛力、物種利用價值等等，建立受脅物種的保育優先順序，接著針對優先順位最高的數個物種，規劃詳細的保育行動計畫，最後實行保育行動，並且定期監測，確認成效。此流程實際上就是一套篩選機制，從數量較龐大的受脅物種清單逐次篩選至最後實際執行保育行動的數個物種。



其中，建構物種保育優先順序是規劃保育行動計劃的先行評估，必須先決定哪些物種、地區、或事項是必須優先執行，而那些則是晚點執行或者不需要執行，才能合理、有效地應用有限的經費與資源，達到保育的目的。

物種保育優先順序(諾亞的方舟問題)的概念如下圖(二):從具有N個物種的受脅物種清單中，估算出每個物種i的保育價值Vi (Value)，從中挑出K個我們能夠對其施行保育行動的物種，每挑出一物種i時，必須支付相對應的成本Ci (Cost)，並且成本的總和必須小於總預算B (ΣCiB)，與此同時，我們希望這些保護起來的這K個物種的價值乘上保育恢復潛力Pi (Potential)的總和是最大的(ΣViPi)。



這樣的問題歸屬於決策科學(decision science)的範疇，如同上述的內容，在受限於ΣCiB且想要最大化ΣViPi的情況下，該從何從N中挑出這K個物種?這個問題已經由多位學者，以不同的數學方法推導出尋求最佳解的方法(Weitzman 1998、Wilson 2009、Perry 2010等)。只須依循公式(一)，計算出各物種i的保育優先順序Ri，再由Ri最大的物種開始依序投注經費實施保育行動，直到預算上限。如此即可最大化ΣViPi。

公式(一)

然而，如同這幾位學者在他們的文獻中所陳述，這一套方法僅只適用於從不同的保育計畫中決定要先執行哪一份計畫，稱之為”Project Prioritization Protocol” (PPP，Joseph 2009)。由於其中的參數(V、P、C)，需要非常詳細的評估才得以推估，只適用於已有提出相關保育行動計畫的物種。因此，若要按照其流程，提出完善的物種保育優先順序，則須為所有的受脅物種各自編撰一份保育行動計畫，再按照PPP來推估出要以哪一物種優先施行保育行動(如Joseph 2009的評估是由超過100位的物種專家協力針對32種瀕危物種各自編撰保育計畫才得以完成)。然而，大部分的受脅物種都還沒有相對應的保育行動計畫被提出，這樣的流程太過遲緩，且極為耗費成本。

同時，以另一方面來思考，在這個階段或許量化實際的V、P、C再來計算R還不是必要的。根據筆者進行模擬的結果顯示(Appendix 1)，即使完全以定性的方式得到V、P、C的數值(意即只靠V、P、C的排序)來計算R進行排序，前五名的排序也能維持大約80%的準確性。因此依賴定性的方式推估V、P、C的數值是可行的，例如:使用產卵次數多寡、產卵數量大小、以及是否已具人工繁殖技術等，描述性地推估不同的魚種的恢復潛力。如此，我們只要針對V、P、C各自去收集數個有助於描述其差異的指標，即可得到V、P、C的相對大小，套入公式(一)推估出哪些物種具有較需要優先採取保育行動。

儘管簡化V、P、C數值的推估，所需的資料量可能依舊很大。因此，還需要以其他的方式簡化。事實上，並非所有在受脅清單內的物種，都有必要經過這三個階段(V、P、C)的評估。如同公司招募新進員工一樣，並不會針對全部投履歷的人員都進行筆試、面試，而是逐層篩選掉不符合的人員。只有履歷通過的進行筆試，筆試通過的進行面試，最後再從中選出少數適合的人員。應該將同樣的機制套用在保育排序系統上面，只有物種保育價值(V)夠高的物種，再進入恢復潛力評估(P)，而其中只有恢復潛力夠高的物種，才進入保育成本評估(C)。最後算出R值，進行排序。如此，在省去評估工作的同時，針對保育優先度較高的物種依舊保留著嚴謹的評估過程。(模擬的結果顯示，加入分層篩選會產生完全不一樣的排序結果，事實上篩選的過程間接的給予V、P不同的加權，因此會得到完全不同的結果。)

保育排序系統經常被批評的理由之一為隨意性(arbitrariness)(Game 2013)，而若是依照具有數學合理性的公式(一)去建構此系統，即可避免此問題。外加使用定性的指標來評估V、P、C，以及分層篩選的機制，即可設計出具合理、客觀、又具實用性的保育優先順序排序系統。

以下將針對實作流程、物種保育價值評估、恢復潛力評估、及保育成本評估分別介紹。

<實行流程>

保育優先順序排序系統是一套篩選系統，從眾多受脅物種清單一步一步篩選到最後針對數個物種編撰保育行動計畫的過程。從保育價值、恢復潛力、保育成本三個層面逐步篩選，而針對最後剩下的物種再來規劃保育計畫、實施行動，流程如下。

步驟一: 定義目標

「保育受脅物種」不再是空泛的名詞，而是能夠讓該保育團隊更進一步的釐清各受脅物種的(一)保育優先順序、(二)保育重要性、(三)族群恢復可能性、(四)保育成本。這些資訊可以提供保育單位提出更具體、有效的保育資源分配方案，以進行下一步的規劃，最後實際地採取有效的保育行動。

步驟二: 獲得受脅物種評估清單

從已完成的受脅物種評估名錄中，挑選受脅程度較高的物種(如:臺灣淡水魚類紅皮書 ≧ VU)，以獲得名單。這份名單已初步排除低度保育價值的物種。

步驟三: 建立評估方法

根據該類群物種特性尋求適當的變數建立評估表。這些變數需符合以下特質: (一)該變數的資料來源盡可能是充足、可靠的 (二)變數之間的相關性要低 (三)變數之間必須是獨立的，不會互相影響(Game 2012)。如有需要，建構完評估表後，可請幾位相關學者檢視此評估表的合理性，並加以修正。

步驟四: 收集資料評估、排序、篩選

以工作坊的形式邀集相關物種專家進行評估，一方面能夠彙整到資料，也更能提高資料的準確度、可信度。完成評估及排序後，現場與物種專家討論決定要篩選掉哪些物種。

步驟五: 重複步驟三、四，依序完成保育價值評估、恢復潛力評估、保育成本評估

步驟六: 完成最終排序，呈現結果。

將三個步驟的結果呈現出來，並且針對最終進入成本評估的物種計算保育優先順序(公式一)。將全部的評估過程、結果，呈現在報告書中，如XX類群保育行動規畫大綱、OO地區瀕危物種保育優先順序評估等，並公開這份文獻讓大眾檢視，提供相關保育單位部門參考使用。如有需要，可以額外召開論壇報告評估的過程以及結果。

<評估各物種的保育價值>

偏好控制了決策，決定了我們的選擇。偏好是進行任何決策的核心(Fishburn 1970)。因此，要設立保育優先順序的排名前，勢必要先定義清楚偏好，意即保育是想要達到什麼?並由此決定這份排序系統是針對什麼樣的保育目標而設定的，並依此定義各物種的保育價值。例如:將保育價值(V)拆解成三項保育目標:永續利用(V1)、維持生物多樣性(V2)、減緩物種滅絕速度(V3)。

同一物種，在針對不同的保育目標而設立的排序系統內的物種保育價值會有所不同。假設我們最主要的保育目標是永續利用時，極危但是僅具有極低經濟價值的物種，其保育價值會比易危但具有極高經濟價值的物種還低；但若是在以減緩物種滅絕速度為優先的排序系統時，後者會具有較低的保育價值。如同此例子所示，必須要明確地定義好保育目標，才足以說服他人，以避免隨興、主觀地給定保育價值。而當具有多重的保育目標時，則須明確的定義出各目標地相對權重，再來呈現物種價值，以彰顯出主、次要目標的差異。

定義完各保育目標後，需再規劃相對應的指標以評估各物種保育價值的差異。常見的指標包含:經濟價值、生態重要性、瀕危等級、特有性、親緣獨特性等(表一)，將需要用的指標建立評分表(表二)，並附上說明。接著進行評分，將各項目得分標準化(除以該項目可能的最大得分)，套入公式(二)，即得保育價值。

假設有n項保育目標vn,及相對應的加權wn，則物種i的保育價值Vi為:

公式(二)

表一、常見物種保育價值參考指標(以台灣魚類為例)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指標 | 評估方法 | 說明 | 參考資料 |
| 經濟價值 | a. 可使用各資料庫內對各物種的敘述給予分數，如具有藥用加2分、有水族價值加1分等  b. 條件評估法(contingent valuation)估算WTP (willingness to pay) | a. 僅管可以從資料庫(ex:台灣魚類資料庫)取得相關資訊，但經常缺乏稀有種的描述，因此難以區別稀有種的經濟價值差異  b.經濟學上以問卷方式為non-market resource估價的方法。然而，應用在物種保育上時，WTP會受到該物種的大眾觀眾度影響，使得低關注物種的大部分意見為「普通」或「不知道」。(Vincenot 2015) | a. 台灣魚類資料庫  b.Carson 2000、  Vincenot 2015 |
| 生態重要性 | a. 使用食物網模式計算(如link density 、interaction strength等)  b.進行文獻回顧，根據各物種不同的生態區位、食性位階等，給予不同的分數 | a. 雖然現今已能計算物種的生態系重要(也有方法能計算不同生態系的物種生態重要性)，但是爭議依然很多，如Jordan 2008的研究顯示，各估算方法得到的結果差異很大，相關性都很低。  b. 會遇到文獻缺乏的問題 | Jordan 2008, DFO 2006 |
| 瀕危等級  **Vulnerability** | 可以直接使用IUCN Red List的等第給予分數。 | 影響保育必要性最直接的指標，若是滅絕可能性非常低的物種，則沒有必要去保育。 | IUCN Redlist ver 3.1 |
| 特有性 (Endemism)  **Irreplaceability** | 該物種的原始分布是否只侷限在某地區內。(與親緣獨特性不同) | 須考慮地區特有性(ex: 臺灣特有種、臺灣東部特有種、東南亞特有種等)，分類階層的特有性(特有種、特有屬等)。 |  |
| 親緣獨特性(Phylogeny Distinctiveness)  **Irreplaceability** | 建構演化親緣樹或直接使用分類地位即可計算，有許多不同的計算方法。(Arponen 2012) | 若要最大化某一區域內的全部基因庫，親緣上(分類地位上)越獨特的物種越具有保育價值。不同的計算方法結果可能差異很大，如重視化石物種或是重視最複雜的物種。此外，親緣樹的大小以及分類地位的改變也會嚴重影響結果。 | Arponen 2012 |

表二、物種保育價值評估(參考範例)

|  |  |
| --- | --- |
| 指標 | 分數 |
| **經濟價值** |  |
| 食用價值 = 1、高度食用價值 = 2 | 1~2 |
| 觀賞價值 = 1、高度觀賞價值 = 2 | 1~2 |
| **生態重要性** |  |
| 文獻記載為keystone species | 1 |
| **紅皮書瀕危等級** |  |
| VU = 1、EN = 2、CR = 3 | 1~3 |
| **不可替代性** |  |
| 為臺灣特有種 | 1 |

\*若不符合敘述則為0分

<評估保育恢復潛力 >

要使一族群恢復，首先需要將受脅因子移除，接著則仰賴該物種自身的生殖潛力，因此各物種的保育恢復潛力可從兩個方面來推估，一為其主要受脅因子是否容易消除，另一為該物種自身的生殖潛力。其中前者應為主要的關鍵，若是受脅因子無法消除，生殖潛力再怎麼高的物種都沒辦法恢復。

主要受脅因子消除可行性評估

將物種i的所有主要威脅的解決方案s列出，並評估其可行性Fis(0~100%)，可依靠文獻回顧或進行先期試驗判斷該方案的成功可行性，如表(三)，計算可行性的乘積及得到受脅因子消除可行性(公式三)。

表三、 受脅因子消除可行性判斷準則(參考範例)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **可行性類別** | **可行性%** | **判斷準則** |
| 極低 | 0 | 此威脅無任何有效的解決方式 |
| 低 | 30 | 相關例子顯示成功率偏低 |
| 普通 | 60 | 相關例子顯示成功率普通 |
| 高 | 80 | 相關例子顯示成功率很高 |
| 極高 | 100 | 已實際進行過前期試驗，效果明顯 |

對物種i:

公式(三)

例如，假設A物種的主要受脅原因為棲地破碎化、及外來種入侵，而專家提出的最佳方案(1)建立生態廊道、(2)阻隔外來種入侵途徑，以確保未被入侵的棲地免於威脅、(3)降低入侵種的影響，各別的可行性為100%、80%、60%。物種A的受脅因子消除可行性即為100%×80%×60% = 48%。

生殖潛力評估

一般而言，在受脅因子都已排除的情況下，世代長度較短、繁殖量較大的物種，族群較容易恢復。而對於已建立人工繁殖技術的物種，也比較容易藉由野放人工繁殖個體加快族群恢復。因此可利用這些特性建立表四，進行生殖潛力評估。

表四、生殖潛力評估(參考範例)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指標\* | 說明 | 分數 |
| 育種技術 | 已建立人工繁殖技術 | 1 |
|  | 尚未建立人工繁殖技術 | 0 |
| 生殖頻度 | 高 | 1 |
|  | 低 | 0 |
| 世代長度 | 短 | 1 |
|  | 長 | 0 |
| 單次繁殖數量 | 多 | 1 |
|  | 少 | 0 |

\*需定義何謂生殖頻度高、世代長度短、單次繁殖數量高

完成以上兩個層面的評估之後，需要將這兩個評估結果合併，以完成該物種的恢復潛力評估。在此建議不要建立一套算式來整合生殖潛力及受脅因子消除可行性的評估結果，而是建立如表五的評估基準，完成保育恢復潛力評估。(Game 2013)

表五、保育恢復潛力

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 受脅因子消除可行性\* | | |
| 生殖潛力 | 高 | 中 | 低 |
| 高 | 極高 | 高 | 低 |
| 中 | 高 | 中 | 低 |
| 低 | 高 | 中 | 極低 |

\*需額外定義生殖潛力及受脅因子消除可行性的高、中、低是如何判定

<保育行動成本評估>

要進行保育行動成本評估，必須要了解所有要實行的保育行動。主要包含以下幾個大類: (1)調查(Investigation):針對生活史、環境需求、受脅機制等尚未明瞭的地方進行補充調查；(2)干預(Intervention):執行排除威脅的實際行動；(3)監測(Monitoring):辨別核心族群並進行定期監測，以檢驗保育成效；(4)大眾關注(Public awareness):增加社會關注。其中，調查是接下來實施干預行動的基準，因此被視為最必須優先執行的項目；干預行動是確實能讓物種現況改變的步驟，若是無法及時地實施正確的干預行動，該物種的現況很容易繼續加劇；監測行動是用來確認保育成效，若是成效遠低於預先評估的狀況，則必須重新檢視全部的保育行動措施，做出適當的修正；提高大眾關注度能使得更多人重視此瀕危物種，

因此，若要估計保育成本，則可以從這四大項目去思考列出保育某物種所有須採取的保育行動，接著評估各行動的成本。建議在此將成本分成數個等級來進行評估(如表六)，而不需要直接評估出費用。接著將各物種所須採取的行動成本列出來(如: 3項低成本、5項中成本、1項極高成本)，加權計算比較之後即可估計出哪個物種的保育成本較高或較低。

表六、保育行動成本等級定義(參考範例)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 評估方式\* | | | | |
| 成本等級 | 工作天×頻度×年\*\* | 執行  單位數 | 工程數 | 政策影響人數 | … |
| 低 | <50 | 1 | 0 |  | … |
| 中 | 50~124 | 2~3 | 0 | 少 | … |
| 高 | 125~200 | 4~7 | 0 | 中 | … |
| 極高 | ≧200 | ≧8 | ≧1 | 多 | … |

\*依據該保育行動內容使用適合的評估方式判別成本等級

\*\*單次保育行動的工作天數(如實施一次外來種移除)×每年執行幾次×持續幾年

例如，假設A物種的主要受脅原因為棲地破壞、及外來種入侵，而專家提出需要採取的保育行動及預估成本如下:

調查: 核心族群調查(低)、外來種威脅機制調查(低)、生活史調查(低)、歷史分布及棲地劣化狀況調查(中)

干預: 阻隔外來種入侵剩餘棲地(高)、阻隔棲地劣化的因子(高)、將劣化棲地復育(極高)、成立保護區(高)、圈養個體並定期野放(低)

監測: 棲地環境監測(中)、核心族群量監測(中)、大眾關注度監測(低)

大眾關注度: 提高民眾重視這個物種的比例(中)、促進該物種成為生態保育的標誌(中)

總計需採取的保育行動有14項，其中保育成本極高1項、高3項、中5項、低5項。假設設定的加權為10:5:3:1，則該物種的保育成本數值為10×1+5×3+3×5+1×5 = 45。

<討論>

本篇文章提出了一套建構保育優先順序排序系統基本的骨架，包含建議用來評估的三個大面相:物種保育價值、物種恢復潛力、保育成本，以及如何將這三個面向整合在一起(公式一)，同時針對各項介紹相對的定性評估方法，再加上使用分層篩選的機制，即可建構出客觀、實用的系統。然而實際要使用時，不可避免地需要根據特定的類群去修改。例如，在淡水魚類中適合的指標，在兩棲類中不見得會適合。因此若是需要使用這套排序系統骨架的話，務必要根據各自的需求修正所需要的參數類別、加權、篩選基準，如此才有辦法建立出適合該類群所使用的保育優先順序排序系統。

然而目前為止所有的論述也只是紙上談兵，當我們真的要試圖去建構時，會遇到許多的癥結點，最主要在於沒有足夠的資料進行評估，以及如何做出讓人信服的主觀推斷，以下就這兩個問題分別討論。

[一、資料的缺乏與不確定]

資料永遠是缺乏的，而保育學家依然要想辦法做出判斷、進行保育規劃、下決策。綜觀相關文獻，採取的方法可歸納成以下幾種: (一)在規劃使用哪些指標時，選擇較有機會獲得客觀資料的指標。(二)合理地使用替代物種(surrogate species)的資料，例如:當缺乏某一物種的環境需求資料時，或許可以使用與其生活在相同棲地環境的指標物種(indicator species)的資料暫時使用(Rorigues 2007, Wiens 2008)。(三)放寬使用的資料來源，如使用灰色文件(gray-literatur無正式公開發表，深藏於政府部門、NGO、學術機構、私人公司的內部文獻)、專家意見等(如Wallace 2011部分採用此類型的資料，進行全球海龜保育優先順序評估)。(四)放寬資料來源的精確度，接受不確定性，如使用類別型資料(如:生殖頻度設為低或高，而非每年頻度)、採用interval data(如生殖頻度:每年1~3次)、pie chart data(如生殖頻度: 75%的生殖族群每年繁殖2次，25%每年繁殖3次)等(Knapp 2003)。其中，放寬資料精準度的處理方式，儘管可以有效地將更多資訊轉變成可以使用的資料，但事實上並不會額外增加更多的資訊(如:因為沒有A物種的生殖頻度相關資料，所以將此數值設為A物種相近類群生殖頻度的最小值到最大值之間，每年0.5~5次，然而這樣的資訊依然無法提供學者做決策)，因此不被認為是一項好方法(Knapp 2003)。

整合以上的處理方式，當實際要建立評估指標並彙整資料進行評估時，可由圖三的方式依序往下進行。首先選擇使用某指標時就先思考，該指標是否資料充足，接著從正式出版文獻中去尋找，若是沒有則從灰色文獻中去尋找資料，若是依然缺乏資料，則往兩個方向去考慮，一為直接詢問多位物種專家提供資訊(避免只徵詢一位)；另一為使用替代物種資料，選擇恰當的指標物種資料來補足缺乏的資訊。



[二、從主觀的價值判斷到客觀的共識]

所有試圖提出排序系統的學者，都希望能夠設計出一套客觀的系統，然而在生態保育的議題上，要達到客觀是不可能的。例如:物種的保育價值應該由哪些保育目標構成，各自的權重為多少，這完全是主觀判斷的議題。在此情況下，只根據單一評估者的價值判斷決定接下來的保育行動規劃走向是非常不恰當的。不被廣泛認同的行動規劃，由於無法長久持續，很容易導致行動失敗。在保育上經常遇到一個窘況之一，由於規劃與執行並不是來自同一團隊，導致執行團隊不了解、不認同為何要實行該項保育行動，因此意願持續下降，使得最後該項保育行動無疾而終(Game 2013)。為避免如此，在這些沒有客觀解答的議題前面，最客觀的方式只有靠集結多個主觀看法形成共識，再進行決議。必須讓從開始規劃到最後實際執行期間所有可能會影響、或被影響的組織團體，包含物種專家、保育從事人員、政府部門、NGO、社區居民代表、地主等，都儘可能的參與討論，集結成共識。(IUCN SCS v1.0, Multi stakeholder approach)

<總結>

保育優先順序，一直以來都是規劃保育行動時必須釐清，但是難以決定的事項。要客觀地說服他人應該優先保育某種鳥，而不是某種青蛙，或某種樹，是極為困難的。建構一套完善的排序方法，可以協助我們說服自己、大眾，將有限的經費聚焦在最重要，且最有機會挽救回來的瀕危物種。再按照保育優先順序的結果，進行下一步的行動規劃。最後實際採取行動。

若要成功的保育起受脅物種，仔細的規劃是重要的，但真正能夠造成改變的只有行動。而決定一項行動成功的關鍵，完全都在行動前的準備，一旦開始行動了，通常就大事底定了。