探討如何建立物種保育優先順序系統

How to construct a species conservation prioritizing system

< 前言 >

毫無疑問的，第六次大滅絕正在發生中。證據顯示(Pimm et. al 1995、Waters et. al 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而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，只有辦法或者僅願意投注一小部分的資源在保育上面，並且期望達到最大的成效。我們只能針對少數的物種或地區施行保育措施，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，而那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以直接採用但是卻過於主觀(重視實務基礎)、另一為雖然很客觀但是所需資料難以獲得(重視理論基礎)，卻一直缺少一套可較簡單獲得資料、又具有客觀性，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，是非常基本的保育行動規劃，必須先規劃好哪些物種、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。

建構物種保育優先順序的實行概念如圖(一):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(或地區)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 et. al 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值，再由Ri值最大的物種開始依序投注經費實施保育行動，直到到達預算上限。如此即可最大化ΣViPi。

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)。由於這一套方法中的參數(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少數物種。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。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，量化實際的V、P、C再來計算R還不是必要的。我們只需要獲得相對的數值或大小，只需知道受脅物種清單內哪個物種的保育成本較低、保育成功的可能性較高、保育的價值較高等，即可合理的辨別出哪些物種的保育順序優先於其他物種。因此，可以利用定性的指標來定義出V、P、C的相對大小，例如:產卵次數多、產卵數量較大的魚類會有較高的恢復潛力，因此在恢復潛力(P)上可能會高於其他魚類。按照此概念，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。

儘管以定性的方法推得V、P、C的數值，其資料需求量依舊很大。因此，還需要以其他的方式簡化流程。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。

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(如圖二)，流程如下。

步驟一: 定義目標

排序系統的目標在於讓受脅物種的「保育行動」不再是空泛的名詞，而是能夠讓研究人員更進一步的釐清以下資訊:(1)哪些受脅物種應該先進行保育行動? (2)哪些受脅物種是具有較高的保育重要性?(3)哪些受脅物種有較高的機會恢復其族群?(4)那些受脅物種的保育成本較低?這些資訊可以更提供保育單位更具體、有效的保育資源分配方案，以方便進行下一步的規劃。

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名錄(如:臺灣淡水魚類紅皮書≧VU)，以獲得名單。這份名單已經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)。

建構完評估表後，(請他人review此評估表?)

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。

論壇呈現結果嗎?

<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。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。例如:將保育價值(V)拆解成三項保育目標:永續利用(物種經濟利用價值V1)、維持生物多樣性(物種獨特性V2) 、減緩物種滅絕速度(物種現今受脅等級V3)，再給予各自的權重(w1、w2、w3)(公式(二))。

假設有n項保育目標，則物種i的保育價值Vi為:

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可能會有所不同。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，以彰顯出主要和次要目標的差異。

定義完各保育目標後，需再規劃相對應的保育價值指標以呈現各物種的差異。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)，並附上詳細的說明。接著，進行評分，將各項數分數標準化(除以該項目可能的最大得分)，套入公式(二)，即得保育價值。

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…等等，若都沒有，則為0分  **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 | 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。 | Jordan 2008, DFO 2006 |
| 瀕危等級 \*  **Vulnerability** | 可以直接使用IUCN的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，則根本沒有必要去保育 | IUCN ver3.1 |
| 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** | 只要建構出親緣樹即可獲得。可直接使用Isaac(2006)的方法計算。 | 若要最大化某一區域內的全部基因庫，親緣上越獨特的物種越具有保育價值。須考慮地區性及全球性的親緣獨特性，如櫻花鉤吻鮭的地區性親緣獨特性很高(台灣唯一的原生鮭科物種)，但若是以全球來看並不高。 | Isaac 2006 |

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 |  |
| 是否為臺灣特有種 | 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，受脅因子是否容易消除應為主要的關鍵，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的所有主要威脅列出，將相對應的解決方案s列出，並評估其可行性Fis(0~100%)，計算可行性的乘積及得到受脅因子消除可行性(公式K)。

對物種i:

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將來依然能免於外來種威脅、(3)降低入侵種的影響，各別的可行性為100%、80%、50%。物種A的受脅因子消除可行性即為100%×80%×50% = 40%。

生殖潛力評估

一般而言，在受脅因子都已經移除的情況下，世代長度較短、繁殖數量較大的物種，族群比較容易恢復。而對於已建立人工繁殖技術的物種，也可藉由野放個體加快族群恢復。因此可利用這些項目建立表三，進行生殖潛力評估。

表三、生殖潛力評估(參考範例)

|  |  |
| --- | --- |
| 指標 | 分數 |
| 育種技術 |  |
| 已建立人工繁殖技術 | 1 |
| 生殖頻度 |  |
| 高 = 1 | 1 |
| 世代長度 |  |
| 短 = 1 | 1 |
| 卵粒數 |  |
| 高 = 1 | 1 |

若不符合敘述則為0分

完成以上兩個層面的評估之後，在建立如表四的評估基準，即可完成恢復潛力評估。針對其中較高潛力的物種進行下一步的保育成本評估。

表四、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 |

<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(如表五)，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)，比較之後即可估計出哪個物種的保育成本較高或較低(成本評估範例詳見box?)。

建一個box?

表五、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)

<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。在魚類適合的指標，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去客製化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。

(加一段連接帶出下面的段落)

[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、進行決策。在筆者的這套排序系統內可以採取以下這幾種辦法避免: (一)在規劃使用那些指標時，選擇較有機會獲得客觀資料的指標。(二)合理的使用代理人資料，例如當缺乏A物種的某一生活史資料時，或許可以使用與其非常相似的B物種的生活史資料暫時使用。(三)放寬使用單一數值point estimate的資料形式(如生殖頻度: 中)，接納使用symbolic data(REF)，包含interval(如生殖頻度:中~高)、pie chart data(如生殖頻度: 中(75%)高(25%))等(Knapp 2003)。(四)放寬使用的資料來源，如使用灰色文件(gray-literature)、專家意見、訪談資料等。

(加一大段評論)

[從主觀到客觀到共識]

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，要達到客觀是非常困難或甚至不可能。例如物種的保育價值應該由那些保育目標構成，各自的權重為多少，這完全是一個主觀判斷的議題。在這些絕對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。

能客觀就客觀、不能客觀就尋求專家意見(背書?)的共識

**將主觀的意見變成客觀的共識，再依照共識去執行。**

(正向共識決(全部的人都同意)VS**反向共識決(沒有人不同意))(找人背書??)**

[讓過程被大眾檢視]

[完成之後呢?]

針對高等級的物種，根據IUCN的strategic planning for species conservation編撰action plan

<總結>

[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，而一旦開始行動了，通常就大事底定了]

**Add level of uncertainty on parameters to produce confidence interval for criteria!**

**反面思考:哪些物種如果不採取保育行動時，對我們的影響會是最小的?**

參考資料:

Jordan F., et al. 2008, Identifying important species: Linking structure and function in ecological networks. Ecological Modelling

Perry N. 2010, The ecological importance of species and the Noah’s Ark problem. Ecological Economics

Pierre C., et al. 2014 Conservation priorities when species interact: the Noah’s Ark metaphor revisited. PLOS ONE

Weitzman M. L. 1998, The Noah’s Ark problem. Econometrica

Issac N. J. B., et al. 2007, Mammals on the EDGE: conservation priorities based on threat and phylogeny. PLOS ONE

Pimm et. al 1995, The future of biodiversity. Science

Waters et. al 2016, The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. Science

Game 2013

Wright 1991

Wilson et. al 2009

Joseph 2009

IUCN redlisting

臺灣淡水魚紅皮書

Vincenot E. T., et al 2015, Public awareness and perceptual factors in the conservation of elusive species: The case of the endangered Ryukyu flying fox. Global Ecology and Conservation

Shannon M. Knapp et al 2003 Setting priorities for conservation: the influence of uncertainty on species rankings of Indiana mammals