

從自由軟體到生物多樣性指標 開放數據助力全球保育

文、圖／林政道（國立臺灣大學森林環境暨資源學系副教授）

從自由軟體到開放資料

1960 年代末至 1970 年代初期，美國電話電報公司（AT&T）貝爾實驗室將其開發的 UNIX 作業系統和許多學術機構共享合作，一開始程式編譯前的源碼（又稱原始碼）是開放的，因此可讓電腦科學家與一般大眾共同參與程式開發。但後來隨著作業系統與軟體的複雜程度增加，眾多商業公司投入資源開發，也開始針對軟體收取授權費用，也僅提供機器能執行的二進位碼（binary code）而非人類可容易閱讀修改的源碼。因此 1980 年代理查·史托曼（Richard M. Stallman）尋求替代的方案並開始建立 GNU^{註 1}。

1985 年史托曼成立自由軟體基金會（Free Software Foundation, FSF），也發布 GNU 宣言，強調「自由軟體（free software）」有 4 個賦予使用者的自由：

- 自由之零：使用者可不論目的，自由地使用該軟體。

- 自由之壹：使用者具有研究該軟體的自由，並能夠修改軟體來符合其需求。
- 自由之貳：使用者具備重新散布該軟體的自由，因此可和親朋好友甚至大眾共享。
- 自由之參：有改進並再利用該軟體的自由，而且修改過的版本也能夠和大眾分享，前述開放源碼也是其必要條件之一。

史托曼為了要捍衛軟體的自由，讓自由軟體的源碼不被別有私心者拿去後閉源，因此擬定了 GNU 通用公共授權（GNU General Public License, GPL），以確保軟體能夠保持自由，也能讓使用者持續自由使用之。

1990 年代開始後，自由軟體運動的影響超越了軟體本身，進而對開放源碼、開放資料、甚至開放政府等更廣泛的運動產生深遠的影響。史托曼提出自由軟體的概念可能是邁向烏托邦式的理想，但實際 GPL 對於某些商業公司有部分限制，因此一些開發者強調「開放源碼」，這也是史托曼在自由軟體精神中的必要元素。開放源碼（open source）運動中的協作開發與保持透明

註 1：GNU is Not Unix，取其字首遞迴縮寫，在當時是很流行的專案命名方式。

度的精神讓更多的駭客^{註2}投入，使得更多企業與開發者逐漸接受，直接促進開放源碼軟體（open source software）的普及。這樣的開放理念也引領新的開放資料（open data）運動興起，開放資料是倡議資料本身的自由，仿效自由軟體的精神，所有人都能夠使用、重新利用、再製或散布等。這對於科學研究有十分重大的意義，這突破了傳統學術界對數據的封閉限制，也透過開放透明度、可重現性進一步促進合作與大尺度科學研究的進展。

自由、透明和協作奠定重要研究基礎

自由軟體、資料開放和生物多樣性保育有什麼關聯？其實，今日使用手機拍照上傳生物多樣性公民科學平臺可能也對研究論文有貢獻。

在學界中，尤其是生物多樣性與生態研究領域，記錄自然與生物都仰賴長期的監測，無法靠單一團隊短時間達成重要進展，而自由軟體運動理念中的資料共享、協作研究和跨學科合作的發展奠定許多先進研究基礎。以全球生物多樣性資訊機構（Global Biodiversity Information Facility, GBIF）來探討，GBIF 資料庫是全世界最大型的生物多樣性開放資料之一，大眾皆可免費而自由地下載使用。GBIF 平臺

上目前有超過 30 億筆生物多樣性出現資料（occurrence records）、11 萬筆資料集，使用 GBIF 資料發表的同儕審查論文也超過 12,000 多篇。其中最重要的資料來源是來自於公民科學平臺「eBird」和「愛自然（iNaturalist）」，這些都是自由軟體精神的回饋，史托曼多次在演講和文章中強調「自由」和「合作/協作」的重要性，認為透過讓使用者自由使用、分享及改良軟體，可以促進人類互助精神，改善社會整體福祉。從這類的平臺使用軟體中，大多數伺服器使用的網頁伺服器、資料庫或是前端的手機作業系統，絕大多數不是自由軟體就是開源軟體。

在自由軟體運動與開放資料的發展中，我們看到一種共同的價值觀，那就是協作、透明度和共享。這些價值觀不僅在軟體開發領域發揮了重要作用，也迅速滲透到了其他領域，特別是科學研究和生物多樣性保護中。透過開放資料，科學家、政策制定者以及公民科學家能夠共同合作，分享資料並進行全球性監測。這種跨界合作的精神與自由軟體運動相似，兩者都強調開放性和合作的重要性，並強調資料共享對於全球問題解決的關鍵作用。在這樣的背景下，生物多樣性指標便應運而生。這些指標不僅幫助我們衡量和追蹤生物多樣性的變化，還為全球生物多樣性保護提供標準化的框架，讓各國可以依此來制定有效的保護策略。

註 2：hacker，對電腦技術十分純熟者，此處具正面意義。



自由軟體與開放資料的精神持續加深生物多樣性領域的研究（豐年社提供）

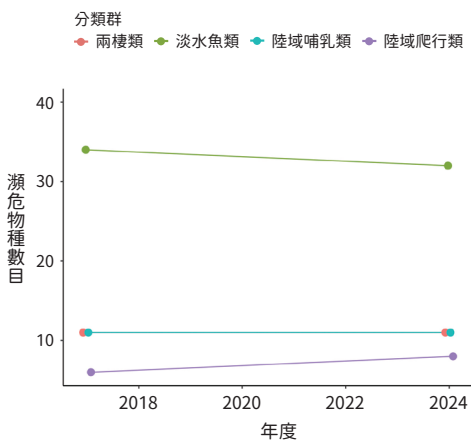
生物多樣性指標

有鑑於全球生物多樣性受到近年來人類活動大幅度的影響，聯合國為整合全球生物多樣性保育的工作，1993年於巴西里約熱內盧通過《生物多樣性公約》（Convention on Biological Diversity, CBD），並於2001年在全球生物多樣性展望（Global Biodiversity

Outlook 2）中評估生物多樣性的現狀、趨勢與導致生物多樣性流失的驅動力，並且訂定相關目標促使全世界重視並嘗試減緩對於生物多樣性的破壞與影響。2010年CBD再次檢討目標成效，於日本名古屋辦理CBD第10次締約國大會（CBD COP10）中更新目標並訂定《愛知生物多樣性目標》，作為2010-2020年全球生物多樣性推動的依據。然而在2020年後，CBD針對《愛知生物多樣性目標》進行總盤點與檢討發現成效不如預期，相關生物多樣性的推動工作仍有很大改善空間。但因全球新冠肺炎疫情（COVID-19）疫情的影響，CBD大會拖延至2022年方才確立了新的生物多樣性目標，即《昆明-蒙特婁全球生物多樣性框架（Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, KM-GBF）》，確立了四大長期目標和23



《昆明-蒙特婁全球生物多樣性框架》確立四大長期目標和23項行動目標



■ 臺灣目前可計算紅皮書名錄指數的趨勢

項行動目標，並運用生物多樣性指標 (biodiversity indicators) 來推動全球生物多樣性保育工作，尺度上則是包含國家、區域及全球層級。

對大眾而言，「生物多樣性」的概念並未如環境保護、保育瀕危的臺灣黑熊或石虎般具體且實際。生物多樣性是站在一個宏觀且較抽象的尺度來看，因此在盤點生物多樣性保育目標與建立行動計畫時，透過具體的「生物多樣性指標」來實踐。例如國際自然保育聯盟 (IUCN) 的瀕危物種紅色名錄 (The IUCN Red List of Threatened Species，稱為紅皮書) 是針對瀕危物種評估，瞭解各物種族群減少、受到環境壓力或人類干擾下的瀕危狀態。但要瞭解整體生物多樣性可能損失的變化趨勢，就可將紅皮書名錄中瀕危的物種合併成高階層的分類群以計算紅色名錄指數，例如維管束植物、兩棲類、哺乳類動物等。而

物種瀕危程度牽涉到族群的變動，短期看不出趨勢，所以紅皮書大多是 5 年評估一次，長期累積才能看出生物多樣性的變化，以臺灣為例，從 2016 年後才開始有正式的紅皮書出版，2024 開始才有部分的分類群進行第二次評估，大抵上瀕危物種數據變化不大，但因為投入研究資源、技術增加與公民科學協助下，逐步增進對於部分缺乏資料 (Data Deficient, DD) 物種之評估。

但要找到相對應可反映生物多樣性的指標不是很容易，因此 KM-GBF 為了防止生物多樣性逐漸喪失，且長久之計是希望能促進全球的生態系統恢復。所以需要有更好的國際合作與建構，足以反映生物多樣性狀態與壓力，因此生物多樣性指標的設計需要能夠精確反映不同分類群、生態系或目標成效等。

臺灣生物多樣性資料庫

臺灣自 2001 年起積極推動生物多樣性監測工作，並透過政府主導的《生物多樣性永續發展行動計畫》，將相關指標納入評估。近年來，臺灣各項生物多樣性資料庫如 TaiBIF、TaiCOL 及 TaiEOL 等，已在國際上建立起相關的生物多樣性資料整合系統，並推動監測及指標系統建設。我們也在 2016 年啟動臺灣生物多樣性觀測網 (Taiwan Biodiversity Observation Network，簡稱 TaiBON)，對應到國

際上的 GeoBON 系統。目前 TaiBON 有 64 個生物多樣性指標，其中 50 個已具有相關資料，而 40 個是有累積超過 5 年以上的資料，14 個尚待研擬資料收集的機制和方法學。

以臺灣本土的角度來看，TaiBON 將國內生物多樣性議題分為八大類，包含漁業資源、海洋保護區、海洋污染、選定物種豐度變化趨勢、陸域保護區、選定生物族群數量、外來入侵種與生態敏感地等。

這些議題中含有多項可對應到 KM-GBF 中的相關目標，涵蓋 2030 年全球行動目標中的多項指標，特別是國土綠網計畫中能對應至綜合空間規劃、生態復育與連結、保護區與有效保育地（即 30x30，至少在 2030 年之前保護 30% 的全球陸域與海域面積）、受脅物種管理行動、生物多樣性主流化、原住民與在地社區參與決策等多項行動目標。

即便國際受到政治上的打壓，臺灣近年來對於生物多樣性保育的努力十分積極，在生物多樣性開放資料的筆數也名列世界前茅。上述這些努力有助於與國際生物多樣性目標與標準接軌，進而提升臺灣在全球生物多樣性保育中的影響力。

BIAB 平臺的角色與技術特色

2024 年 CBD 的第 16 次締約方大會（CBD COP16）中，針對 4 個主軸

來強化生物多樣性監測指標與框架，包含透過特別技術小組來制定關鍵領域生物多樣性指標與研發方法學、確保資料能應用在國家與區域層級、整合生物多樣性指標產製報告的機制以反映 KM-GBF 目標，及支援開發中國家對於執行生物多樣性監測與撰寫報告的技術能力等。但生物多樣性指標複雜度很高，依據不同目的有多樣化的資料來源。

為解決各國資料有效建立監測與報告機制、規劃相關生物多樣性指標、評估保育成效等目標，BON in a Box (BIAB^{註3}) 在微軟、加拿大 McGill 大學、哥倫比亞洪堡研究所 (Humboldt Institute)、GBIF 等學術機構、商業公司與 NGOs 的合作下，這套可跨平臺、整合多樣技術工具的平臺因應而生。

BIAB 本身是一個以開放資源為基礎的生物多樣性監測資訊處理工具，其核心為整合來自不同資料來源的資訊，可進行跨國的生物多樣性指標計算與報告。

平臺上整合了關鍵生物多樣性變數 (Essential Biodiversity Variables, EBV) 資料、全球生物多樣性資訊平臺 (Global Biodiversity Information Facility, GBIF)、全球海洋生物資訊系統 (Ocean Biodiversity Information

註 3：直譯為盒中的生物多樣性觀測網，指生物多樣性觀測網的技術工具箱。



BIAB 官方網站

System, OBIS) 等多元資料來源，不僅可涵蓋地球觀測數據，也囊括了基因多樣性相關資訊。透過這種跨平臺、跨領域的資料整合，BON in a Box 能夠為各國提供一套標準化的監測流程和資料處理與「分析管線流程 (pipeline)」，以便在相同標準下來持續追蹤生物多樣性的變化。

BIAB 平臺以 docker^{註 4} 技術，並搭配自由和開放源碼的前端 Javascript 工具庫 ReactJS 為前端介面，讓使用者能夠在統一環境下進行操作。這樣的設計不僅確保了系統上計算生物多樣性指標的重現性，也使各國在面臨人員更替或技術水準有所差異時，依然能夠維持資料來源與報告的一致性。此外，BIAB 的模組化架構允許使用者

根據自身需求進行客製化配置，無論是在數據收集、處理還是視覺化報告方面，都能夠滿足不同地區和生態系統的特定要求。

CBD COP16 會議中，BIAB 平臺是 GeoBON 相關邊會的重要議題之一，GeoBON 展示其在全球生物多樣性監測和報告中的實際應用。與會專家也分享多個來自不同國家的經驗案例，例如哥倫比亞利用 BIAB 架構來計算關鍵生物多樣性變數，及幾內亞在國家保護區中推動長期監測的實踐。這些案例充分實作 BIAB 平臺在跨國資訊整合、資料標準化以及監測報告生成方面的重要貢獻。生物多樣性指標不僅可對瀕危物種狀態做簡單的描述，更是反映生態系健康與穩定性的重要依據。以前述提及 IUCN 紅皮書為例，各分類群（如兩棲類、哺乳類、維管束植物等）的資料累積，能

註 4：一種開放源碼的應用程式層虛擬化技術



BIAB 分析管線流程概念，照片中介紹者為 BIAB 要開發者 Jean-Michel Lord。

使我們從長期趨勢中發現保育工作中的成效與不足。而紅皮書指數也是本次 CBD COP16 會議中 BIAB 重要的展示工具，透過可標準化的分析管線流程，即可自動化計算並重現。BIAB 也可整合資金與技術支援的合作模式，以非洲南部近年的合作案例來看，南非國立生物多樣性研究所（South African National Biodiversity Institute, SANBI）編譯製作的生物多樣性監測指南提供給納米比亞使用，結合資源共享與 BIAB，即可建立一貫化的作業流程，從生物多樣性監測的資料收集、分析到產製國家生物多樣性報告都能有效實踐。

BIAB 的應用與挑戰

儘管 BIAB 提供了統一且透明的監測工具，但在實際應用中仍面臨不少挑戰。首先，各國在收集方法、技術設備與資源投入上的差異，可能導致資料的完整性與一致性不足。為解決這一問題，BIAB 平臺除了強調可重現性的計算功能，還需針對不同地區的特性進行客製化調整，提供操作指南、技術培訓與專家支援，尤其是在資源有限的發展中國家中更顯重要。最後，資料透明與開放也是 BIAB 平臺的一大特色。平臺不僅促進了跨國資料共享，更鼓勵科學家、政府部門

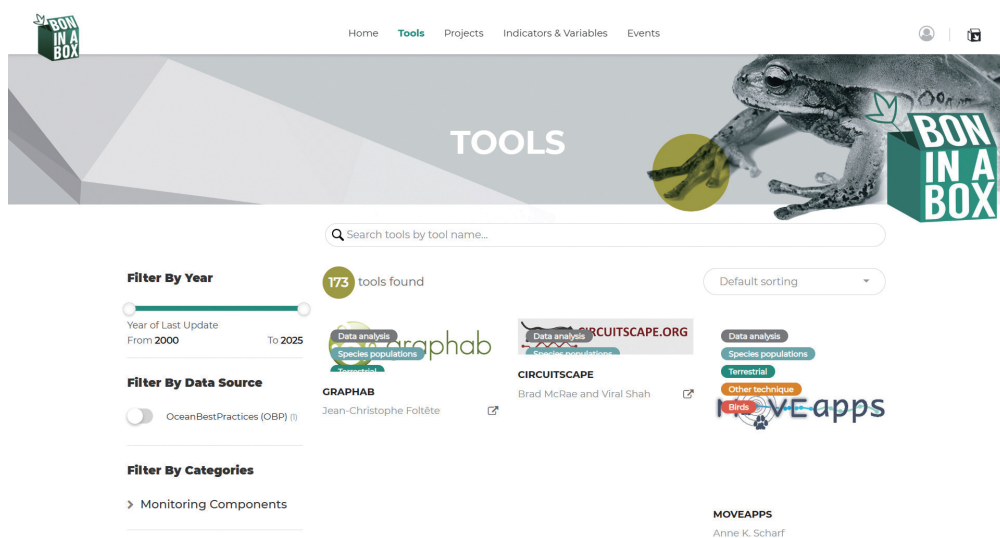
與公民科學家參與其中，共同建立一個持續更新且具代表性的生物多樣性監測系統。透過這種多元參與的方式，BIAB 平臺有望以國際的角度來推動生物多樣性監測與報告的標準化，進而促使各國能夠更有效地落實 KM-GBF 的各項目標。

隨著各國對生物多樣性保育重視度的提升，BIAB 將扮演日益關鍵的角色。未來的平臺發展，不僅需要在技術上不斷創新與改進，更應進一步加強使用者導向的設計，讓操作介面與流程更友善與簡便。

雖然 BIAB 以應用程式端虛擬化加上跨平臺介面，但背後若要發展新的計算公式，仍需要科學家與技術人員合作撰寫分析管線流程，不管是 python 或 R 語言都有一定門檻，

且 docker 平臺與容器安裝、部署與除錯都需熟悉技術的人員來協助。然後我們可透過持續的國際合作與資料共享，透過 BIAB 平臺來協助各國在統一標準下來追蹤生物多樣性保育成效，逐步實現 KM-GBF 的目標。

2025 年 TaiBON 團隊也將開始把可對應的臺灣生物多樣性指標嘗試用 BIAB 計算，也規劃撰寫新的本土 BIAB 分析管線工具，透過在地化的實踐來接軌國際生物多樣性目標。我們希望未來臺灣也能秉持自由軟體與開放資料的精神：「自由」、「透明」和「協作」，持續加深生物多樣性領域的研究、貢獻技術與公民科學長期監測紀錄資料至國際社群，共同解決生物多樣性所面臨的危機，以達到永續發展的目標。



BIAB 提供統一且透明的監測工具，促進跨國資料共享，更鼓勵科學家、政府部門與公民科學家參與其中。