

赴日研習生物體內穩定同位素測量技術心得

葉信明

水產試驗所沿海資源研究中心

前言

穩定同位素為存在於自然界中質子數相同、中子數不同的非放射性元素。穩定同位素不像放射性同位素會衰變為另一元素而穩定存在於自然界。一般來說，同一元素中較重的穩定同位素只微量存在。以碳的穩定同位素國際標準物質 VPDB 為例， $^{12}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 為 1.1056‰。氮的穩定同位素國際標準物質空氣氮中，僅 0.36630‰ 為 ^{15}N 。由於穩定同位素元素比例懸殊，國際上，樣本中穩定同位素比值，通常以下列方程式表示（氮為例）：

$$\delta_{15\text{N}} = \{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}\} / R_{\text{standard}} \times 10^3$$

其中， $R_{\text{standard}} = (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{standard}}$ 為國際標準物質空氣中的氮穩定同位素比值。故樣本比國際標準物質有較多 ^{15}N 時， $\delta > 1$ 。樣本比國際標準物質較少 ^{15}N 時， $\delta < 1$ 。

同位素因質量不同，產生的物理化學性質差異（同位素效應），使自然物質在形成時，依不同物理及化學條件產生相異同位素比值的物質。故自然物質的穩定同位素比值會隨物質的種類、狀態出現微量的變化。穩定同位素測量技術即利用此差異追蹤物質起源或瞭解其形成機制。以生物起源的 $\delta^{13}\text{C}$ （有機碳）為例，直接以卡爾文循環固定二氧化碳，以產生三碳的 3-磷酸甘油酸（3-Phosphoglycerate）中間產物之 C3 植物

（如稻、小麥），與先固定二氧化碳成四碳的草醯乙酸（oxaloacetic acid），再將草醯乙酸轉換成另一個四碳化合物的蘋果酸（malic acid），再以蘋果酸作為提供卡爾文循環所需的二氧化碳來源的 C4 植物（如玉米）。C3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要介於 -30—-25‰ 間，而 C4 植物為 -15—-10‰。同時利用上述光合作用迴路的 CAM 植物（如鳳梨、仙人掌）之 $\delta^{13}\text{C}$ 值介於兩者間。海洋生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值除光合作用機制外，也受無機碳的來源背景值（陸水或海水）、底棲或浮遊生態系、增殖速度、緯度及組成身體組織的有機物種類等有密切的關係。

穩定同位素技術過去廣泛應用在地球化學研究上，但應用此技術於食物網研究上始於 1980 年前後生物體內碳、氮穩定同位素經捕食-被捕食後的同位素效應相關研究報告陸續發表後，在生態學上的應用才漸有多樣化及深度化趨勢。通常生物體內 $\delta^{13}\text{C}$ 與食物的來源大致相同，食物鏈傳遞中不會有太大的變化。生物體內 $\delta^{15}\text{N}$ 隨食物網位階每上升 1 個位層，即增加 3.4‰。傳統食物網以各物種的食性研究逐步建構，但只用食性資料通常難以定位食物網的位階且多數胃內容物已成肉糜狀，難以鑑定。近年來生物體內穩定同位素測量相關技術被廣泛應用於食物網、生態系的建構及污染源的追蹤等研究。

近年來國際漁業組織呼籲生態系管理的永續漁業模式。生態系漁業模式須建構食物網或瞭解生態系才能提供良好的漁業管理及監測建議。目前國內尚缺乏海洋食物網或生態系的建構資料，以提供漁業、環境污染及氣候變遷等對漁業資源及生態系利用的影響評估。筆者在 2010 年 8 月 31 日至 10 月 1 日間，前往日本研習生物體內穩定同位素測量相關的基礎及生態環境應用研究，未來將利用習得技術逐步結合群聚生態、傳統食性及食物網等研究，建立台灣西南海域生態系管理漁業模式。

過程

2010 年 8 月 31 日至 10 月 1 日間，前往日本京都大學生態學研究中心研習。該中心為日本穩定同位素相關研究儀器共同利用設施 (圖 1、2)。9 月 4—10 日參加該中心舉辦之「2010 穩定同位素生態學講座」，該講座開放給日本國內外穩定同位素學者、專家或未來可能利用穩定同位素的研究人員及學生參加 (圖 3)，除實地操作碳、氮穩定同位素測量儀器 DELTA S 及 DELTA V Plus，並由 A 組學員提供研究用樣本，實際測量及分組討論分析結果。9 月 13—30 日間，參訪東北大學水圈資源生態學研究室、東京大學大氣海洋研究所、海洋開發研究機構、京都大學瀨戶臨海研究所及熊本大學等穩定同位素相關研究室，瞭解此技術在不同領域的應用。研習期間完成 50 筆西南海域底棲魚類及中層魚類碳、氮穩定同位素樣本的分析，初步建構西南海域底棲生物食物網與櫻蝦漁場食物

網的魚類食物網位階 (圖 4)。研習期間的成果，以「Food web analysis of *Sergia lucens* (Hansen, 1922) fishing ground」為題，於 11 月 2—4 日假京都舉行的「International Symposium on Isotope Ecology 2010 in Kyoto」上分別以口頭及壁報展示的方式發表。

心得

生物體內碳、氮穩定同位素研究隨 1980 年前後的捕食—被捕食關係的同位素效應相關研究報告發表後，在生態學上的應用迅速發展。近年日本海洋研究開發機構確立優於傳統利用混合模式估算的食物網位階定位方法，不需測量初級生產者穩定同位素即可直接定位食物位階的穩定同位素技術。由今年

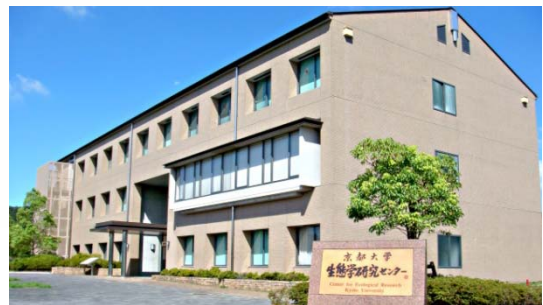


圖 1 京都大學生態學研究中心



圖 2 儀器消耗品—還元管製作教學



圖 3 參與「穩定同位素生態學講座 2010」教師及學員紀念照

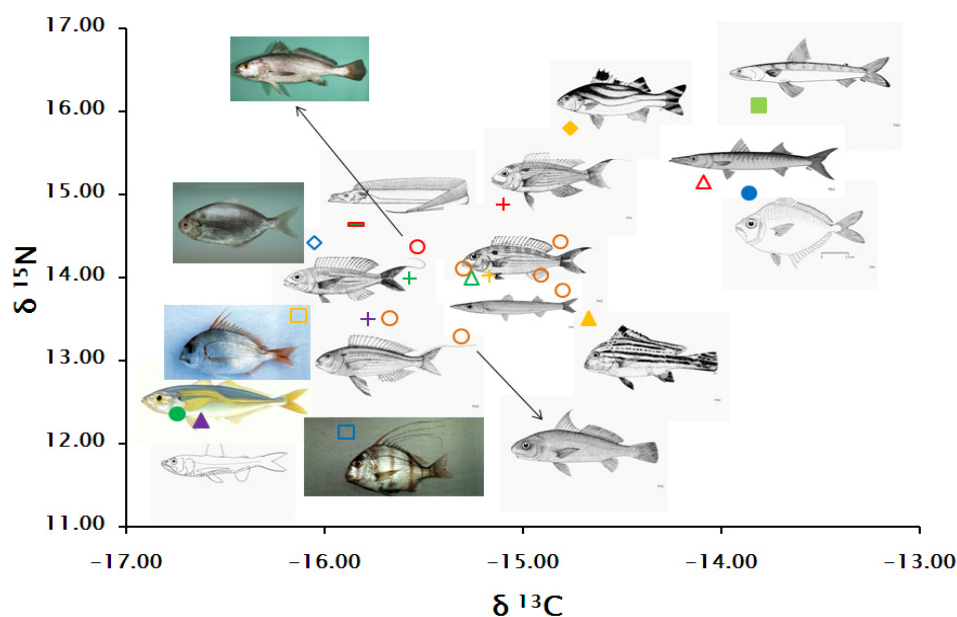


圖 4 台灣西南海域 23 種底棲魚類的碳、氮穩定同位素比值 (符號為各種魚類的碳穩定同位素比值)

(2011) 日本文部科學省補助學校及研究機構購買 30 台穩定同位素測量儀器可知此技術受到重視的程度。穩定同位素技術可應用在建立食物網位階及追蹤生態系的有機碳流向，並協助建構基於生態系管理的永續漁業

模式。建議積極導入相關技術於國內海洋漁業研究上。日本已應用穩定同位素技術於各領域，建議增加與日本學術研究機構之交流，學習此技術的應用經驗，供國內發展應用的參考。