



# 氣候變遷 對生態的衝擊

■ 李培芬

氣候暖化對生態系的衝擊，  
會藉由各層級間錯綜複雜的  
交互作用造成影響。

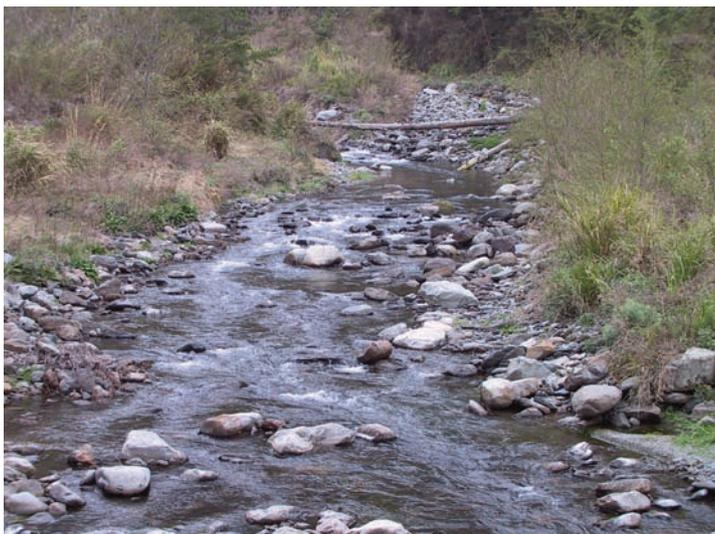
最後，這些生態系統的改變也會反向回饋，  
影響大氣的組成與氣候的狀況。

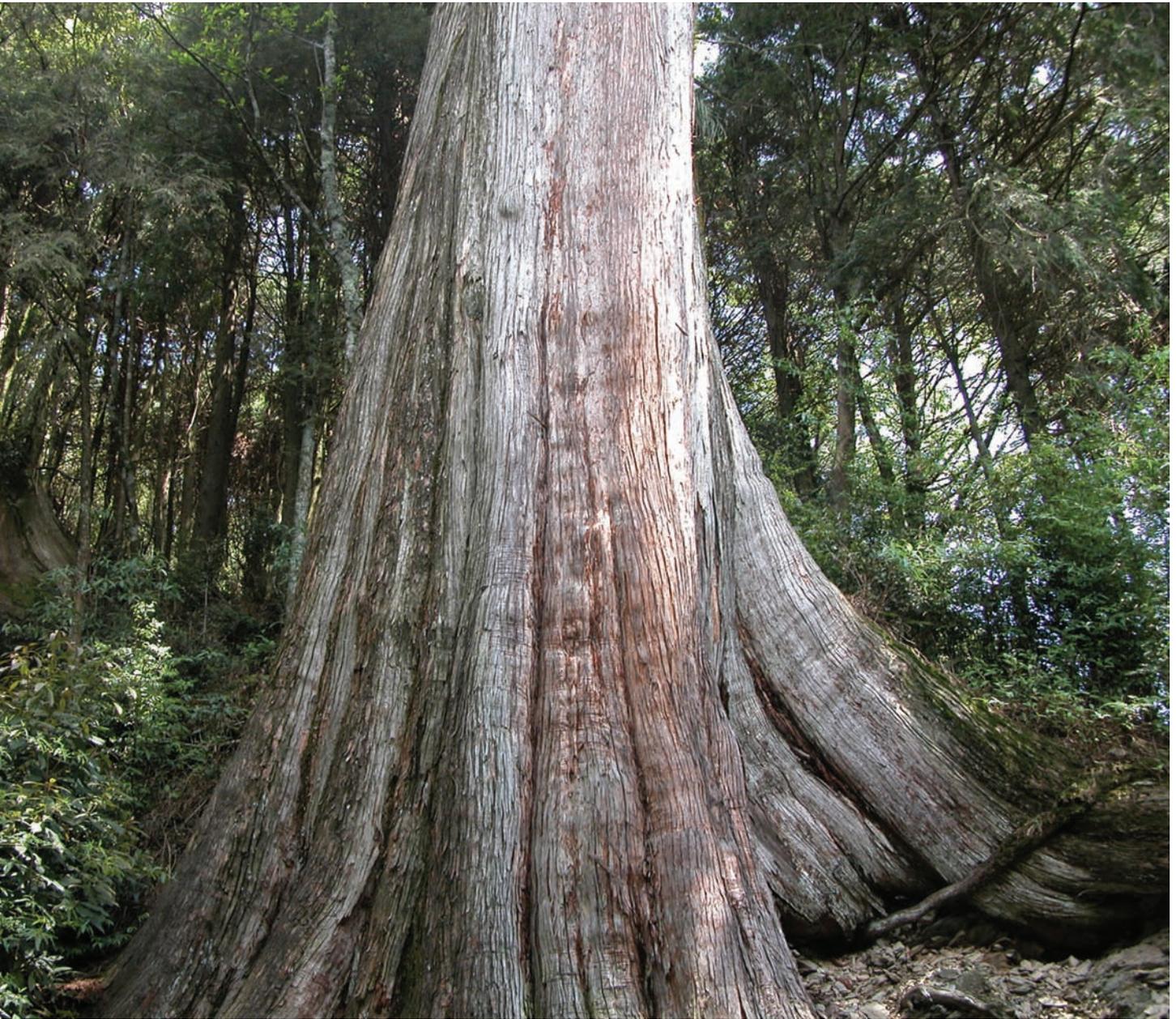
工業革命以來，人類的活動大量增加了溫室氣體的排放，土地利用型態改變，大氣組成明顯變化，使溫室效應逐漸嚴重，全球暖化日益明顯。而氣溫升高，降雨模式產生變化，水災、乾旱、風災等異常氣候發生的強度與頻率改變，海平面的上升，湧昇流與洋流模式的改變等氣候變遷現象，化已直接或間接地影響到自然生態系統。

生態系是一個具有階層性的複雜系統，各個層級內、層級與層級之間都具有錯綜複雜的交互作用關係。這種開放性的系統，會與外在環境和氣候連結，並互相影響。因此，氣候暖化對生態系的衝擊，會藉由這些交互作用造成影響。最後，這些生態系統的改變也會反向回饋，影響大氣的組成與氣候的狀況。

生態系提供許多資源與服務，如食物、纖維、燃料、清潔的水與空氣等資源，以及水土保

七家灣溪是櫻花鉤吻鮭僅存的棲息地





持、防洪、維持生物多樣性、休閒娛樂等服務。這些資源與服務都是人類生存發展所必需，也難以用其他人工方法或系統取代。在氣候變遷的衝擊下，生態系功能的喪失、資源與服務的減少，都會直接影響到人類的永續發展。

台灣是個小島，生態上極為脆弱，容易受到擾動，在國土維護或復育上，比大陸型的相似區域困難許多。而且許多生態環境、生物多樣性與自然資源，一旦遭受破壞，就很難復原。在氣候變遷的壓力下，島嶼生態系受到的衝擊將更為顯著，能採取的因應對策，也因為腹地受限，將更危險、更困難。

雖然台灣面積小，但地形變化複雜，高山林立，生態系多樣性高，動、植物種類繁多，特有種生物也多。由於氣候上包含熱、暖、溫、寒，研究者認為台灣擁有的生態環境正是北半球生態系的縮影。在整個地球上，台灣是一個很值得保育的區域。

### 已發現的改變

氣候變遷已對氣候與環境因子產生影響，這些變化有逐漸加速與漸趨嚴重的態勢。在20世紀，全球平均氣溫上升攝氏 $0.6 \pm 0.2$ 度，地表受冰、雪覆



櫻花鉤吻鮭的人工繁殖

蓋的區域減少，1960年代後期以來，全球受覆蓋的面積減少了約10%。在降雨方面，20世紀中，北半球中高緯度和赤道地區，分別以每10年0.5~1%和0.2~0.3%的速率增加，但在亞熱帶地區則普遍減少，速率約每10年減少0.3%。在溫度與降雨的作用下，海平面上升成為嚴重的威脅，在過去的百年裡，全球平均海平面升高0.1到0.25公尺。

氣候變遷造成生態系統改變的環境因子，主要是來自溫度上升、降雨型態與分布的改變、海平面上升、紫外線增加、二氧化碳濃度增加、水質改變、極端氣候頻率與嚴重性的增加等。環境因子的改變，更造成生態系統的變遷，國外的統計顯示，超過80%的物種，從軟體動物到哺乳動物、禾草到樹木，都有一些明顯的改變，顯示氣候變遷對生態系統產生影響，且範圍廣大。

以下從陸域、淡水和沿岸生態系，說明已觀察到的變化。

**陸域生態系** 陸域生態系包含豐富多樣的類型，在氣候變遷下，生物可能因而消失或改變其分

布，在族群數量上也會有明顯的改變。這種改變直接造成生物群聚內物種組成的改變，或者造成生態系中成員間相互關係的調整，進而造成生態系統的功能與類型上的改變，甚至造成整個系統的瓦解。這種衝擊對於稀有性生物的影響會更顯著，因為這些生物的生理適應範圍較狹窄，一旦環境有所變動，勢必影響有限棲地的品質，進而影響整體族群

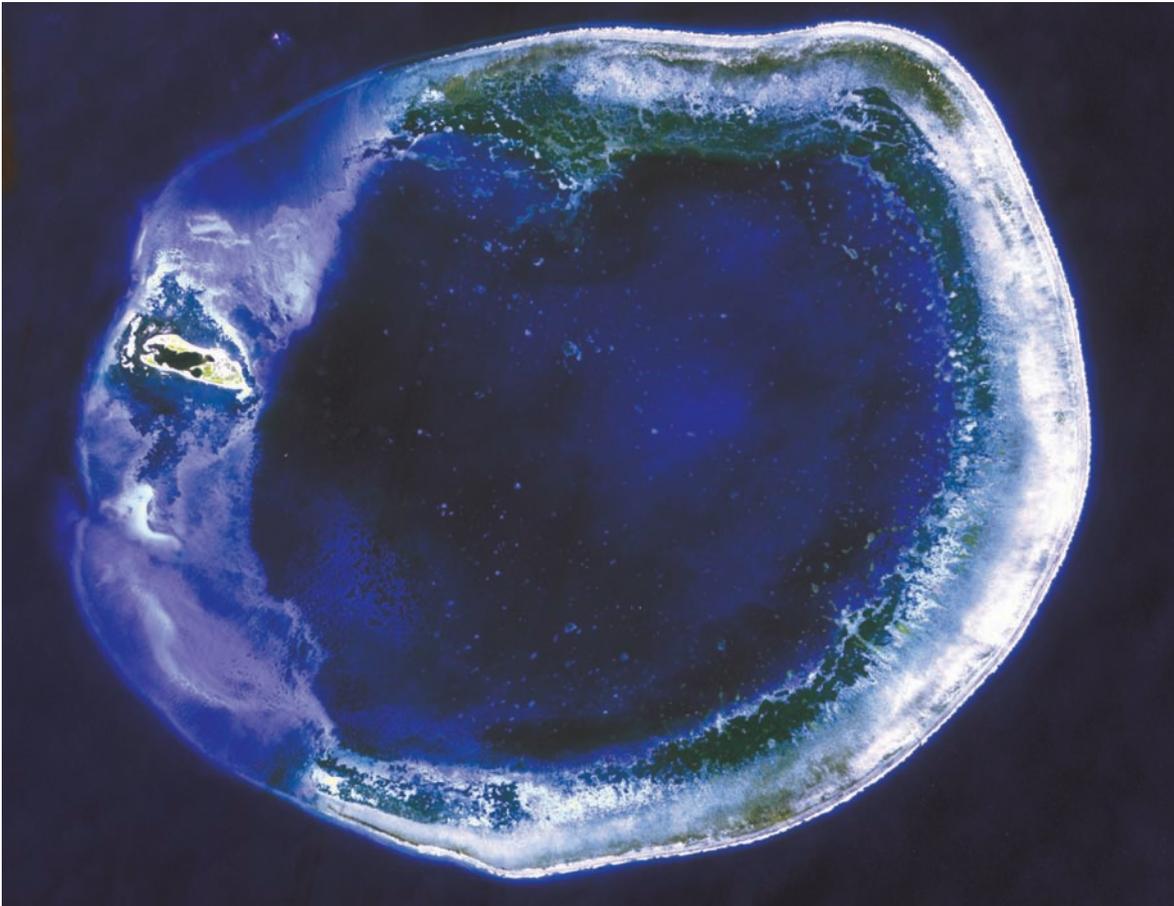
的存活。

在影響植物開花時序的「物候」改變方面，在過去的50年內，已發現694種物種的物候方面有提早的現象。以植物而言，溫度的上升，伴隨著生殖季的延長、開花期的提前等現象。英國的長期研究發現，全球溫度升高攝氏1度，導致許多種類的樹木提早5到7天發葉芽。

在動物方面也有類似的情形，氣候變遷會造成動物孵化或產卵的時間提早。有研究發現青蛙的產卵時間提早2到3周，針對海龜的研究也發現，產卵的時間提早約10天，某些鳥類的生殖季也有提早的情形。生殖季時間的改變，對於生殖成功率造成影響，也會影響到整個生態系中的其他物種。

有關氣候變遷對生物分布的影響，研究資料相當多，整體的結論是物種分布會向南、北極或高海拔的地區移動，同時也會促使許多地區外來種的突然增加，造成物種間相互關係的改變，生態系內食物網的結構也會因而調整。在北半球高緯度地區森林界線的研究，已發現有向極區移動的情形，高山

生態系提供許多資源與服務，都是人類生存發展所必需的，也難以用其他人工方法或系統取代。在氣候變遷的衝擊下，生態系功能的喪失、資源與服務的減少，都會直接影響到人類的永續發展。



圖上來源：國家海洋中心



自不同角度拍攝的東沙環礁國家公園景觀，這是我國新近成立的海洋國家公園，位於南海北端。東沙島是這個國家公園唯一的陸地，全區地勢低平，海拔最高處僅7公尺，未來氣候變遷造成海平面上升，將對東沙島造成很大的影響。

草原的分布也有往高海拔地區移動的現象。動物方面也有類似的現象，在歐洲與北美已經發現，在溫度上升的影響下，蝴蝶的分布範圍有向兩極和高海拔移動的情形。在鳥類的分布研究上，也發現相同的情景。

上述物種分布的改變，是一種自發性的調適，

可以減輕氣候變遷對物種生存的衝擊，但在某些受限的狀況下，或是氣候改變的程度過大、速率過快時，這種自發性的調適最終將造成族群的滅絕。例如某些原本僅生存在高山的物種，因為已無退路，將有滅絕的可能。

當生物物種的物候、族群與分布因氣候變遷而

沿岸環境分隔陸地與海洋，是地球上最具動態的交界帶，雖然面積不大，總生產量卻相當於所有陸地與大洋的總和。沿岸生態系同時受到來自陸地與海洋的影響，又因人口聚集，人為破壞嚴重，受到氣候變遷的衝擊程度更加劇烈。



圖文來源：謝宗宇

玉山蔭蝶

改變時，由於各物種對氣候變遷的反應程度有差異，會造成群聚組成的改變，並影響群聚內物種間的相互關係。研究顯示在美國阿拉斯加的保護區中，近30年內植物群聚的組成已發生改變。另有研究也發現寄主植物與昆蟲間關係的改變。

許多物種的生理狀況與溫度有明顯的相關性，例如有一種海龜在較暖年生長得較大，較早達到性成熟。這種情形對於那些行為或生理受溫度調控的物種來說，影響尤為嚴重，例如由溫度決定性別的爬蟲類動物，在未孵化前，生理受到溫度的影響而改變，最後會造成族群性別比的改變。埃及蛙生殖期的鳴叫比例與溫度有相關性，溫度上升後，將對繁殖造成影響。

有些蚜蟲在二氧化碳濃度較高的環境中，對於捕

食者的逃脫能力會下降，未來這種捕食者與被捕食者之間的平衡關係將會改變，也影響到食物網的狀況。動物的遷移時間也會受到影響，某些區域候鳥的遷移時間，在春天會提前到達，秋天則會延後起飛。

**淡水生態系** 在氣候變遷對淡水生態系造成影響的研究中，已發現溪流與湖泊會提早融冰和延後凍結。在整個北半球，內陸溪流、湖泊冰封的時間已有縮短的趨勢，100年來，結冰的時間平均延後8.7天，融化的時間卻提早9.8天。這樣的改變也直接影響到生物的分布與物種組成，同時造成淡水魚分布的邊界向極地方向推進，喜好冷水域的魚類數量減少，喜好溫暖水域的魚類數量則會增加。

氣候變遷也會造成水質的改變，間接影響到水域環境中的物種。在美國威斯康辛州，因為過多的

當人類的各種行為大量改變自然環境時，生態上有了明顯的變化。過去1百多年來的變遷，終於在21世紀的初期吸引了大眾的關注，影片《不願面對的真相》的成功，代表人類終於願意面對這個課題。



圖片來源：周大慶

白眉林鳴（雄鳥）



圖片來源：周大慶

灰鸞

降雨導致多量的營養鹽流入湖中，造成較高的浮游植物族群量，減少了水的清澈度。在東非的塔甘伊卡湖，由於氣溫上升，造成湖水水溫與湖水密度垂直梯度的增加，改變了湖水垂直混合的能力、氧氣的穿透深度、營養鹽的混合程度，因而降低了浮游植物的數量，造成生物量和生產力的下降。

**沿岸生態系** 沿岸環境分隔陸地與海洋，是地球上最具動態的交界帶，雖然面積不大，總生產量卻相當於所有陸地與大洋的總和。沿岸生態系同時受到來自陸地與海洋的影響，又因人口聚集，人為破壞嚴重，受到氣候變遷的衝擊程度更加劇烈。全球約有23%的人口生活在鄰近沿岸的地區，人口密度是全球平均的3倍，人口增加速率遠比其他地區快。因此，沿岸生態系的改變，對於人類的生存與生活都會有重大的影響。

過去100年來，海平面以平均每年1到2公釐的速率上升，未來有逐漸增快的趨勢。全球大約70%的沙岸已經發生退縮的現象，20到30%的沙岸維持

穩定，只有不到10%有擴增的情形。如今更發現快速的海岸退縮、波浪高度增加、海水入侵等現象，這些環境的改變也造成沿岸生態系的變化，例如泰國在過去的35年內，已有50%的紅樹林消失。在過去數十年間，全球的沿岸濕地面積，平均每年減少0.5至1.5%。

珊瑚白化也是一個課題，許多學者認為珊瑚白化的增加可能是全球暖化的結果。過去珊瑚礁遭遇的威脅，主要來自工業發展與污染、旅遊活動與都市化、農業活動、污水污染、沉積物增加、過度漁撈、珊瑚開採、土地再造、捕食與疾病、暴風等地區性的因素。但目前已證實水溫的升高與珊瑚白化現象有關，當海水表面溫度上升超過季節最高溫攝氏1度以上時，會造成珊瑚白化現象，偶發的水溫升高也會促成某些珊瑚種類白化。

珊瑚的白化會減少活珊瑚覆蓋的面積，導致生物多樣性下降，對傳染疾病等其他威脅將更為敏感，也使礁區的生物群聚回復到演替早期的情況，



圖片來源：周大慶

火冠戴菊鳥

最終可能造成整個生態系的崩解。

台灣 相較於國外的研究，台灣缺少長期的監測與資料整合，僅有一些國科會零星的研究。

關於蝴蝶分布的研究顯示，原屬於菲律賓與東南亞地區的熱帶蝴蝶，在台灣有增加的趨勢，而且這些蝶種在台灣定居的案例也逐漸增加。相對地，台灣本土的蝶類分布有向北部和中、高海拔擴散的現象。

比較 1992 年與 2006 年在玉山國家公園內 3,100 公尺以上山區的鳥類監測調查，海拔 3,500 公尺以上的鳥類，增加了 2~3 種。在這些鳥類中，有 6 種的海拔分布向更高海拔延伸，這 6 種鳥分別是白眉林鴉、灰鸞、煤山雀、火冠戴菊鳥、深山鶯和褐頭花翼畫眉，顯示台灣鳥類的海拔分布上限朝更高海拔移動的現象。

在台南四草的鳥類監測中，黑腹濱鵲是本區的優勢鳥類。黑腹濱鵲的度冬族群主要於每年 10 至 11 月間到達，並在翌年 2 至 3 月離開。2000 年至 2005

年間，其中在 2000 年與 2003 年時，黑腹濱鵲主群於 10 月到達，其餘年分最慢至 11 月抵達，但到了 2006 年，主群卻在 12 月以後才出現，推測 2006 年的暖秋是造成這種現象的主因。

## 未來的衝擊

除了前述已觀察到的改變持續惡化外，也可能產生更多新的問題。有關氣候變遷在未來可能造成的生態衝擊研究方面，大多採用模式分析的方式，並以對未來環境的預測情境為基礎，再利用生態系統各層面與環境間的關係，預測未來的可能改變趨勢和結果。

這些預測模式的分析，多半顯示未來人類面臨問題的嚴重性。根據預估，現存 25% 的哺乳動物（約 1,125 種）與 12% 的鳥類（約 1,150 種），面臨嚴重的滅絕危機。自 1994 年以來，約 4 百種鳥類被認為有滅絕的危機，預估另有 6 百到 9 百種會被列入瀕危物種的名單。



圖片來源：周大慶

高海拔的鳥類－深山鶯。



圖片來源：周大慶

台灣畫眉正面臨大陸畫眉入侵的危機

以下以3種研究結果，說明氣候變遷對台灣未來生態的可能衝擊。

利用台灣150種繁殖鳥類與20種兩生類的 $2 \times 2$ 公里網格系統分布資料，配合環境因子資料，運用生物分布預測模式建立各物種的分布現況，並計算全台物種多樣性的分布情形。再用模擬氣候的因子，分析未來二氧化碳濃度倍增後，種類多樣性的預測分布變化。

模擬的結果顯示，繁殖鳥類多樣性分布熱點完全消失。物種最多的網格由現今的80種，下降為50種，平均各網格減少15種。檢視各鳥種的分布，減少的趨勢是往高海拔遷徙，上升海拔超過2,000公尺，現今中海拔以上的鳥類將大量消失。而兩生類的多樣性平均每個網格減少9種，種類多樣性的空間分布呈現原地退縮，部分熱點地區被分割碎化。

在台灣的天然保護區系統上，國家公園因為面積較大，所以雨量和溫度改變都在整體平均之中，小型的保護區受到的影響則較大。例如無尾港野生

動物保護區以水鳥為保護對象，溫度升高的影響可能無法直接看出，但海平面上升的衝擊就變得相對重要。台灣一葉蘭自然保留區是小型的保護區，受到高溫和多雨的影響，一葉蘭棲地會有明顯的改變。

綜合而言，面積小、沿海與高海拔的保護區受到的衝擊最大，例如黑面琵鷺出現在台南縣七股，該區也是全世界目前已知最多黑面琵鷺聚集的區域，未來氣候變遷後將對黑面琵鷺造成負面的影響。

在沿岸生態系上，利用數位高程(digital elevation model)模擬長期海平面上升的情境，整體而言，以西南沿海、北部淡水河口和東部蘭陽溪口附近的淹沒面積較多。主要受到衝擊的重要濕地，包括台北附近的挖子尾、淡水河紅樹林與關渡自然保留區、野雁保護區、彰化大城濕地、嘉義布袋與鰲鼓濕地、台南北門、青鯤身、七股與四草、宜蘭竹安、蘭陽溪口和利澤簡，隨著海平面高度的增加，



圖片來源：周大觀

黑面琵鷺

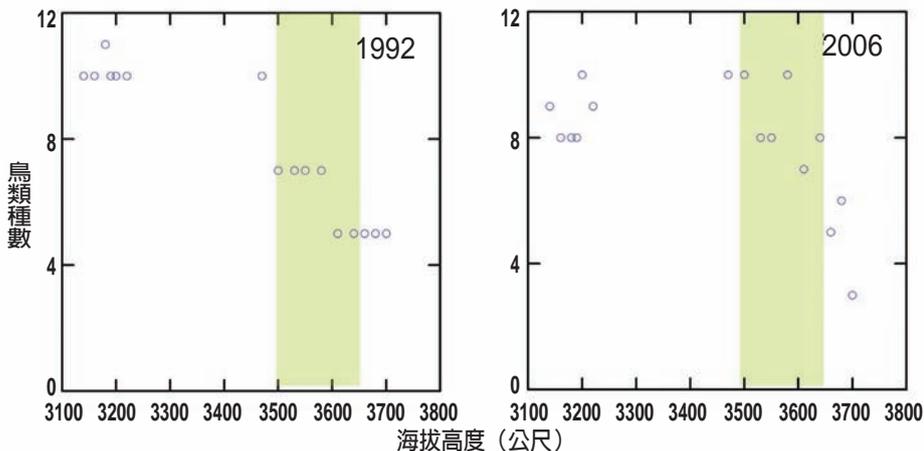
被淹沒的面積勢將更多。一旦這些地區減少或消失，將造成生物族群數量、養殖漁業與人們生活空間的改變。

當然，前述的3種預測也可以在全世界的研究中找到類似的案例。目前公認的生態衝擊預測包括：物種的滅絕，生物多樣性下降；稀有性、局部分布物種受到比較大的衝擊；外來種的問題更加

嚴重；水質的維持不易與污染更加嚴重；對養殖漁業造成額外的經濟負擔，增加疾病的發生機率。

此外，海水溫度的上升，以及波浪、風暴、潮汐的型態改變，造成低地淹沒、濕地喪失；海岸線的侵蝕，洪水更嚴重，鹹水入侵河口與淡水的地下蓄水層；河流與海灣潮差的改變，沉積型態的改變；透入海水底層的光線減少，使得初級生產過程受到

抑制；珊瑚礁的破壞與生產力的下降；海洋酸化，漁業產量減少，也會對鳥類與海洋哺乳類造成影響。這些衝擊的層面深遠，最終將不利人類社會的發展。

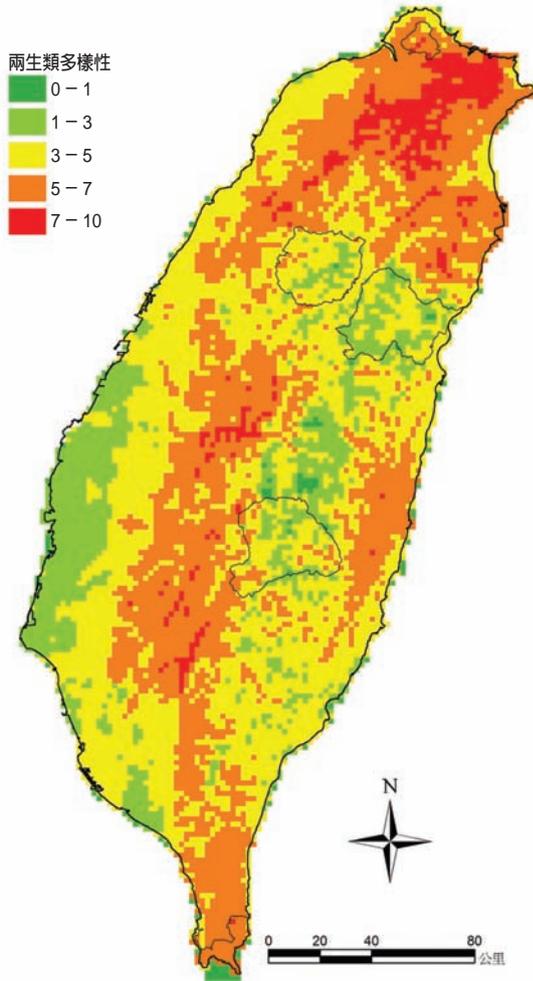


比較2006年與1992年在玉山國家公園內3,100公尺以上的山區所做的鳥類分布監測，海拔3,500公尺以上的鳥類增加了2~3種。在這些鳥類中，有6種鳥類的海拔分布上升約100公尺，這種情形與一般預測氣候變遷下鳥類會往高緯度地區移動的說法一致。

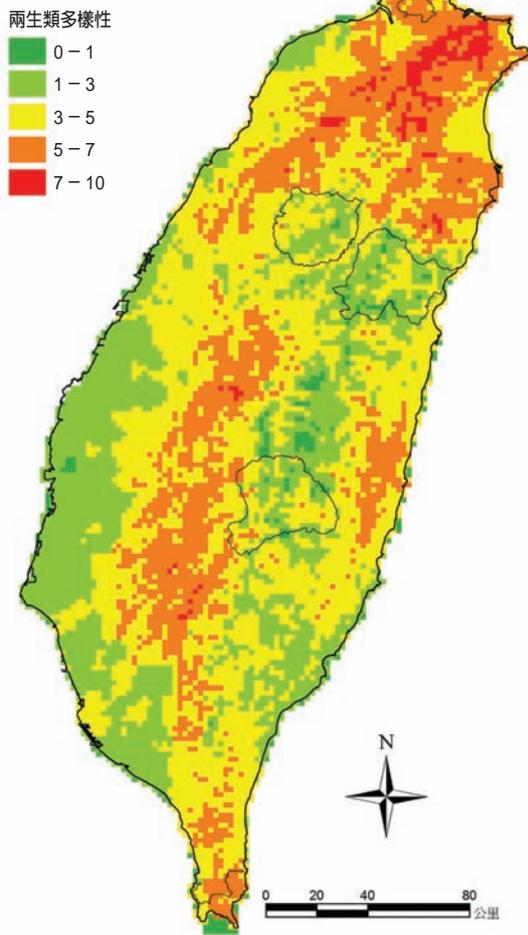
### 結論

「變」是生

## 台灣兩生類分布情況



## 二氧化碳濃度倍增後台灣兩生類分布預測



利用預測模式估計氣候變遷對台灣兩生類的影響，以比較目前與未來二氧化碳濃度倍增後（約2100年時）兩生類多樣性的差異。

態中的常態，過去人類的影響力小，這種「變」可說是處在近似於平衡的狀態。但是當人類的各種行為大量改變自然環境時，生態上有了明顯的變化。

過去一百多年來的變遷，終於在21世紀的初期吸引了大眾的關注，影片《不願面對的真相》的成功，代表人類終於願意面對這個課題。

現在想要停止地球暖化，為時已晚，僅能採行一些策略來減輕可能的衝擊。不過，目前能做的各項措施，都需長期持之以恆，絕不是幾年內可以完成的。在台灣，條件更為嚴苛，所需的努力也更多。這些減輕措施分散在政府、企業、個人等層面，尤其是在個人的部分，更需身體力行。雖然個人的力量有限，但是因為人數眾多，如果每一個人能夠力行各種減輕措施，對大自然的影響絕對是正面的！ □

李培芬

台灣大學生態學與演化生物學研究所



圖片來源：池文傑

出現於高海拔的兩生類－楚南氏山椒魚。