全球暖化對國家安全與社會安定的衝擊

■ 國立清華大學榮譽退休教授　鍾 堅

繼「聯合國氣候變化綱要公約」（UNFCCC）於 2016 年 11 月第 22 屆峰會（COP22）後，聯合國立即宣告啟動《巴黎協定》（Paris Agreement）減碳行動，於本世紀內的全球均溫不得較工業革命前超過幅度 2℃（最好能控制在增溫 1.5℃以下的高標）。扣除目前因工業化排碳造成的全球暖化，較工業革命前的年均溫早已超過 1.25℃，距危險的天花板只剩 0.25℃可揮霍。然而，美國總統川普於 2017 年 3 月 28 日簽署行政命令，全面推翻前總統歐巴馬任內樹立的多項減碳抗暖化之環保節能政策，鬆綁煤礦業並放寬對製造業的排碳管制。目前人類要達成制裁力薄弱的《巴黎協定》預想目標，在美國抵制下幾乎是「不可能的任務」，人類只能面對工業排碳帶來自食惡果的全球暖化，對各國國家安全與社會安定的衝擊堪稱為浩劫！

全球不斷增溫

針對全球年復一年不斷地升溫，聯合國自 1988 年起，陸續網羅全球八百餘個研究群，三千餘位專家學者（我國有派觀察員），在「聯合國氣候變化綱要公約」下，組成「跨政府氣候變遷研究團隊 」（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），整理氣候變遷數據，追根究柢全球天氣變化根源，並預判未來趨勢。

圖 1 顯示 IPCC 綜整 1901 ～ 2012 年觀測到的全球地表溫度。圖中可發現百餘年來全球地表增溫以北美最猛，多達 2.5℃，臺灣不遑多讓也有 1.56℃。據此，UNFCCC 依據氣候變遷數值分析推定：工業革命以來全球暖化確已增溫 1.25±0.29℃，且元凶幾可確定（99.9% 信度）是工業化人為排放的溫室氣體（greenhouse gas）如二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）及氧化亞氮（N_2O）等。

既期待又怕被傷害的溫室氣體

工業革命以來，人類大量燃耗能源以活絡經濟，釋出二氧化碳及與之同源的工業污染物如氟氯碳化物 CFC，它們都是溫室氣體，半衰期上看百年，長期累積在大氣層內不會分解。大氣層的溫室氣體增加，氣溫上升；溫室氣體具保溫作用，即溫室效應（greenhouse effect），可使晝夜溫差很少超過 15℃；若無溫室氣體，夜間因輻射冷卻效應溫度將陡降至 -18℃以下，一如極地表面。

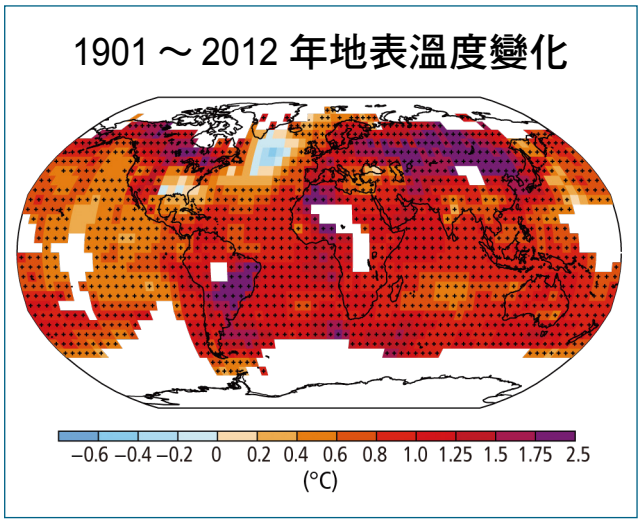


圖 1　工業革命後的過往百餘年來全球地表增溫幅度。（資料來源：聯合國跨政府氣候變遷研究團隊工作一組 2014 年 11 月第五份報告，https://www.ipcc.ch/report/ar5/）

既然溫室氣體年年累增，全球均溫當然也亦步亦趨升溫，如圖 2 所顯示。從圖中可看出迄第一次世界大戰結束後（1880～1920 年間 ）工業革命尚未遍地開花，此期間全球均溫無明顯變化；第二次世界大戰結束前（1920 ～ 1945 年間）各國因大量製造軍火快速工業化，釋出溫室氣體致使全球均溫節節上升。二戰後（1945 年迄今）全球忙著拼經濟，工業界燃耗巨量高碳能源所釋出的溫室氣體，使全球升溫竄高，形同噴出！

否定暖化的科學家

對暖化的誤導資訊仍然在全球四處流傳。英籍的羅斯（David Rose）於 2015 年 11 月在《星期天郵報，The Mail on Sunday》寫了一篇時評，聲稱當時創紀錄的增溫是聖嬰（El Niño）現象造成的結果，而不是全球暖化。這篇文章的論述，實在錯得離譜。聖嬰現象會暫時增溫，而反聖嬰（La Niña）現象則會暫時降溫；地球由聖嬰與反聖嬰現象反覆循環發生，的確會引起氣溫交替高低振盪。將這些反覆循環與工業排碳造成的全球暖化趨勢相結合時，會得到一個上下跳動型的溫度曲線，所以會極短

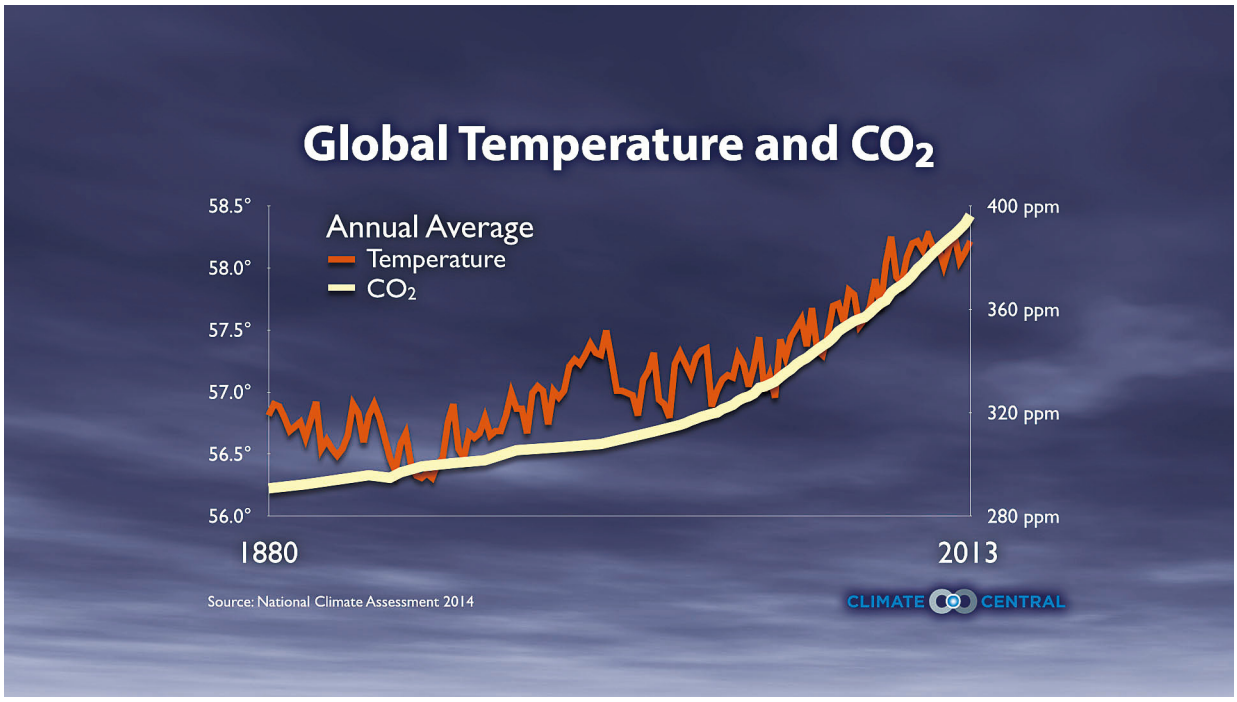


圖 2　工業革命後的過往百餘年來全球量測地表溫度與大氣二氧化碳濃度。（資料來源：美國氣候研究及報導中心 Climate Central, www.climatecentral.org/gallery/graphics/co2- and-rising-global-temperatures）

暫地出現氣溫持平甚至降低的情況。羅斯先生忽略了 8 個氣候紀錄中的 7 個，只斷章取義專注於聖嬰增溫一個數值，而排除了大部分的氣候暖化數據，他只挑選對他有利的數據以符合他要的結論。但是，當他的時評文章刊登在報紙上，卻被石化能源財團視為公信力的表徵。

有樣學樣的聖嬰增溫論述還不只這一樁。據瞭解，虛擬的「科學記者」近日寫了關於 2016 年 8 ～ 10 月間氣溫下降的假新聞：「自 2016 年起沒有全球暖化，這是因為在 2016 年底，有一個強烈的反聖嬰現象降溫，和 1998 年底的狀況非常類似。1998 年以來的過往 18 年地球沒有顯著變暖，2017 年之後的未來 18 年也不會變熱」。

另外，川普總統執政後美國眾議院科學委員會在推特上推翻「全球暖化警示者」的說法，認為在衛星數據中，2016 年的溫度沒有比 1998 年高多少。但 1998 ～ 2016 年間，地球表面溫度明顯增溫約 0.25℃。

如果川普總統當真令美國退出《巴黎協定》，並鬆綁美國過往抑減排放溫室氣體的政策，將對氣候造成毀滅性的影響。川普總統的能源政策強促石化能源財團加大燃耗高碳能源力道，全世界都繃緊神經等著瞧。

全球暖化衝擊國家安全與社會安定

就算全球暖化增溫個攝氏幾度又怎樣？「暖化否定者」通常會指陳晝夜溫差本來就有攝氏好幾度，高山與海邊的溫差甚至達攝氏幾十度，全球暖化見怪不怪、委實不用怕。「暖化否定者」刻意忽略全球暖化會造成 (1) 極端天氣、(2) 冰山融解、(3) 海洋上升、(4) 農糧欠收、(5) 經濟衰退、(6) 難民災民四竄、(7) 動盪連年；這七項暖化災難都相互影響、交疊發生，衝擊國家安全與社會安定。

全球暖化將會造成海洋上升。大氣層每增溫 1℃，海洋熱化讓洋面另加碼上昇 20 公分；大氣層若增溫 5℃，海洋熱化讓洋面加碼再上昇 100 公分！不論人類抗暖化是否落實，到了 2100 年海洋將較工業革命前上升 60 ～ 300 公分，一層樓以下的沿海低地與港口都將變為海底城。

人類燃耗巨量石化能源所釋出的溫室氣體 CO_2 除造成暖化增溫，也會溶入海洋使海水酸化；若暖化增溫 2℃，三成以上海洋物種因變酸的海水將滅絕，暖化若增溫 6℃，七成以上海洋物種因更酸的海水也滅絕。這使得海洋生態食物鏈斷鏈，漁撈業不只欠收，恐將結束。加諸旱澇交替導致水資源短缺，供水既患寡也不均。依模式運算顯示：全球抗暖化失敗最壞的假設，是本世紀末的糧食產量僅剩當下的 83%，屆時全球會有 6 億人缺糧、32 億人缺水！

全球暖化將會造成難民與災民四竄。洋面上升會淹沒岸際低地與平原，這也是人類聚居之所在；居民勢將被迫提早放棄家園，遷徙至高處避禍，他們都歸類成全球暖化的新名詞：「環境難民」。按照中央研究院以臺澎為例的推算：若暖化增溫洋面上升達 131 公分，臺澎地區海岸遭淹沒的土地相當於 400 平方公里，環境難民 40 萬人！同時受波及的新潮線直後的「新岸際」土地，相當於 5,000 平方公里，受牽連的「環境災民」則多達 700 萬人。依模式運算顯示：若抗暖化失敗，本世紀末全球將會有 30 億災民因躲避天災、搶糧、水求存而四處游竄，災民體內的病毒、細菌與寄生蟲，使疫情也跟著四處蔓延！

全球暖化將會造成動盪連年。窮國的環境難民與環境災民將往富國遷徙流竄，

富國將乘人之危鯨吞窮國的天然礦藏；截堵非法跨境與對抗資源掠奪勢將動用國家武力，戰禍無從避免。另一方面，境內天災頻仍、缺糧又缺水，環境難民與環境災民勢將造成國內治安挑戰、社會動亂、人心不安。溫室氣體一旦釋出造成暖化增溫，千百年內溫室氣體不會分解消失讓大氣降溫；因此，全球暖化造成的社會動盪，不是一、兩年就自然復原，而是綿延千百年的浩劫！

全球如何有效抗暖化

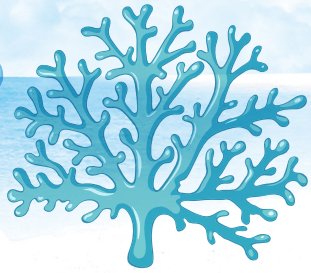
人類要如何加強減碳認知？這得從公民教育植根，認識氣候變遷、了解暖化威脅。在職場要節能減碳、強制實施並養成習慣。在生活中要落實衣、食、住、行、育、樂全面低碳化。產業界須減少燃耗高碳能源、耗能結構加快轉型，千萬別將「高耗能、高污染」的雙高廠房外移，減少境內排碳卻依然在境外污染全球。政府執政須輔導耗能產業升級，透過示範獎勵、汰舊換新、徵收碳稅、制定排碳管制法規、減碳融資與降低成本，使無碳綠能技術快速產業化，全面提高能源使用效率。在國家層級須大力推動氫能、風能、太陽能、海洋能、水力發電等無碳能源建設、抑減燃耗高碳能源，並兼顧國際減碳承諾，向國際公約提交的減碳規劃需確實可行。

抗暖化搶救地球免於浩劫，全球現在一齊動起來，也許還有希望。

珊瑚海域年度盛事
——珊瑚產卵

■ 國立海洋生物博物館生物馴養員　郭富雯

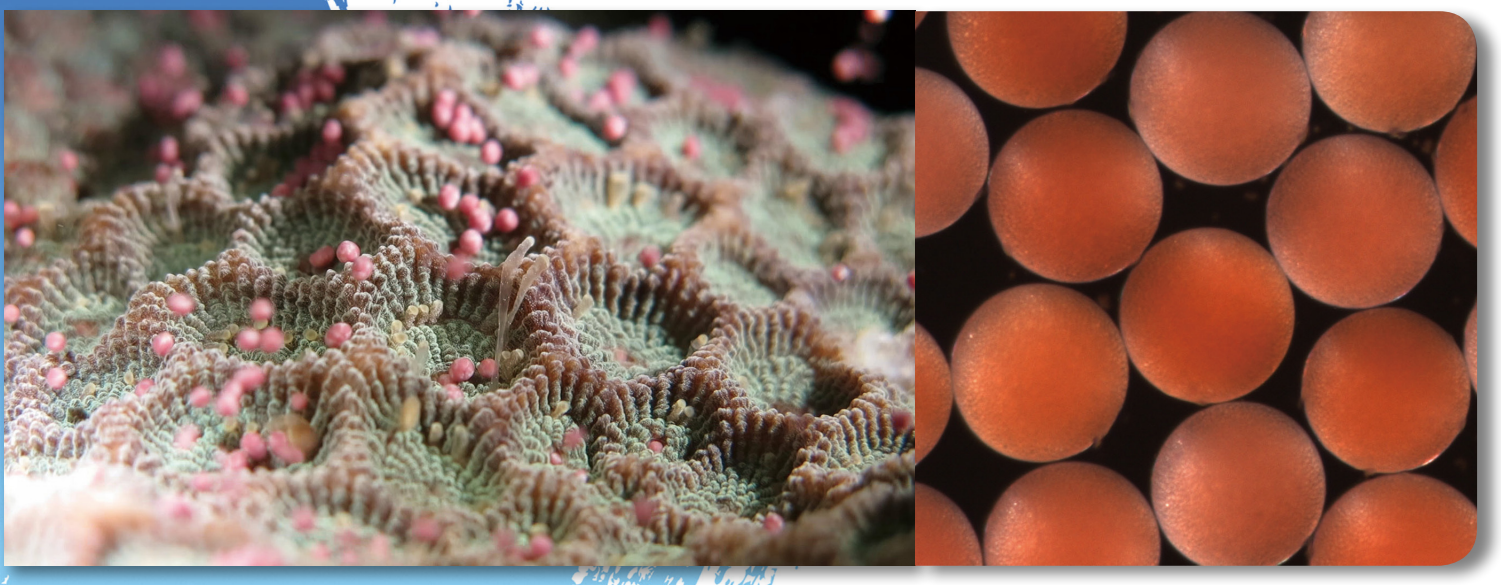
珊瑚產卵是珊瑚群體最重要的繁殖方式之一，然而多數造礁珊瑚以雌雄同體居多，在產卵的同時也排出精束，耳熟能詳的珊瑚產卵這個字眼似乎只說對了一半。有關這場熱鬧的海底晚宴，到底有何神秘之處？會如此吸引眾人，是否真能不用下水就能共同參與珊瑚產卵的年度盛事？



以卵海戰術進行子代繁衍的珊瑚

繁盛多樣的珊瑚群落，是孕育無數海洋生物子代的搖籃，也是海域水質潔淨水溫適宜的指標。然而在全球氣候快速變遷的環境下，珊瑚礁正面臨海水暖化、酸化，以及各式各樣人為活動的衝擊。除此之外，珊瑚在水下還會遭遇到棘冠海星，或是以珊瑚為主食的螺貝類啃食，及不同珊瑚物種為爭取生長空間，彼此相互競爭，因此在海底所見到的每棵珊瑚，皆是經過無數次的挑戰努力存活下來的。

珊瑚的成長史從成熟珊瑚群體產卵開始，就多數雌雄同體的珊瑚而言，「產卵」指的是排放精卵束（又稱為配子"gametes"），少部分雌雄異體的珊瑚才會



東沙珊瑚的產卵季節，大大小小的珊瑚受精卵，將隨著洋流旅行至各處，開始另一個生命旅程。（圖片來源：作者提供）

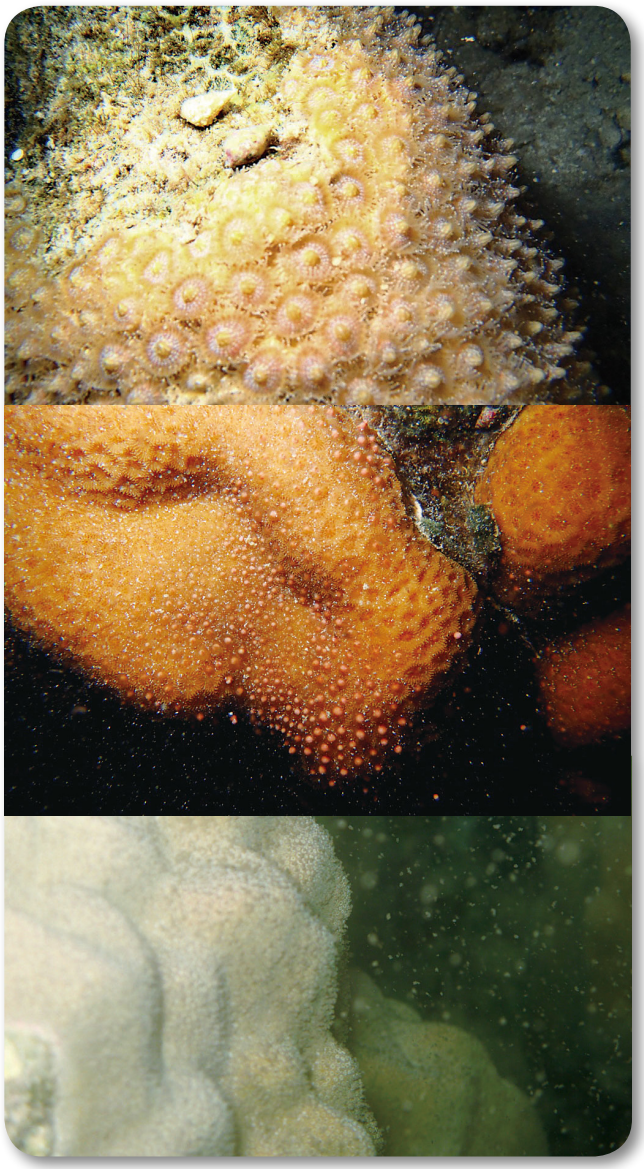
各別排精及排卵。當排出的精卵相遇授精後便開始分裂，形成游動性的浮囊幼體，在找到適合的地點附著後，經過變態過程成為一株珊瑚蟲，經過幾年長成至珊瑚群體，在生殖腺成熟後便可準備孕育珊瑚子代，這個過程稱為 “Life cycle of coral”，也就是珊瑚的生命週期。當成千上萬的精卵被釋放到水中時，會經歷一場慘烈的天擇，珊瑚卵不是被其他海洋生物吃掉，就是沒有授精成功，有些雖然幸運成為浮囊幼蟲，若遇上離岸海流被沖到外海，也無法附著基質成為珊瑚，因此，能順利長成至珊瑚群體的機率不到萬分之一。而當外在因素複雜且干擾甚多的情況下，珊瑚唯有演化變得可以釋放更多的配子，才能增加子代存活的機率。另外，珊瑚產卵當下的夜空是沒有任何月色的，因為月光的出現會使珊瑚卵更容易被其他生物補食。多年來的潛水觀察，珊瑚產卵時不僅有各種的珊瑚在排放配子，也可以觀察到許多海洋裡的多毛類、蠕蟲等，也在暗夜裡一同使出卵海戰術來延續各自的族群。

珊瑚產卵記錄觀察

全球各地的珊瑚礁區有著不同的珊瑚產卵時間，由過去累積的紀錄得知，墾丁珊瑚最大規模的珊瑚產卵時間點落在農曆3月23日前後，這幾天日落後的1至3小時，穿戴潛水裝備、背上高壓氣瓶，下潛至珊瑚生長區域便有機會目睹產卵盛況。臺灣的珊瑚種類約有四百種，資深潛水教練蔡永春表示，二十多年前在墾丁海域一次下水最多可觀察到三十多種的珊瑚在產卵，近年來的狀況似乎有變差，每次下海可觀察到的物種數落在5至10種，長期的記錄資料顯示可被觀察到的產卵珊瑚種數正在減少。筆者近十年的觀察發現，珊瑚產卵

的時間點依舊相當準確，就算過去發生如2016 年的霸王級寒流冰凍全臺，2009 年的八八風災、1998 年的墾丁珊瑚白化事件等，雖使墾丁珊瑚礁生態系受到一定程度的傷害，似乎也未改變珊瑚的產卵時間。

珊瑚為何如此聰明？可以精準預測哪一天要開始集體產卵，目前的研究結果仍沒有一致的定論。有些學者指出是受月亮特殊光譜波段驅使，也有研究團隊指出是珊瑚分泌的荷爾蒙，引發同步排放精卵的訊號。珊瑚產卵現象仍有許多未解的疑問值得探究，而臺灣正好是珊瑚產卵研究的極佳地點，包含墾丁的國立海洋生物博物館、離島的澎湖科技大學、綠島中央研究院的海洋研究站，東沙更設立了海洋國家管理處，這讓從事海洋生物相關研究的學者佔盡地利之便。另外，近年來網路的普及與潛水人口增加，珊瑚產卵的物種、時間、地點，甚至連水溫及深度資訊，也都一一被公開在社群網站，記錄的廣度及層面已從二十多年前，由攝影愛好者及學界人士專屬，轉型至大眾皆可參與。

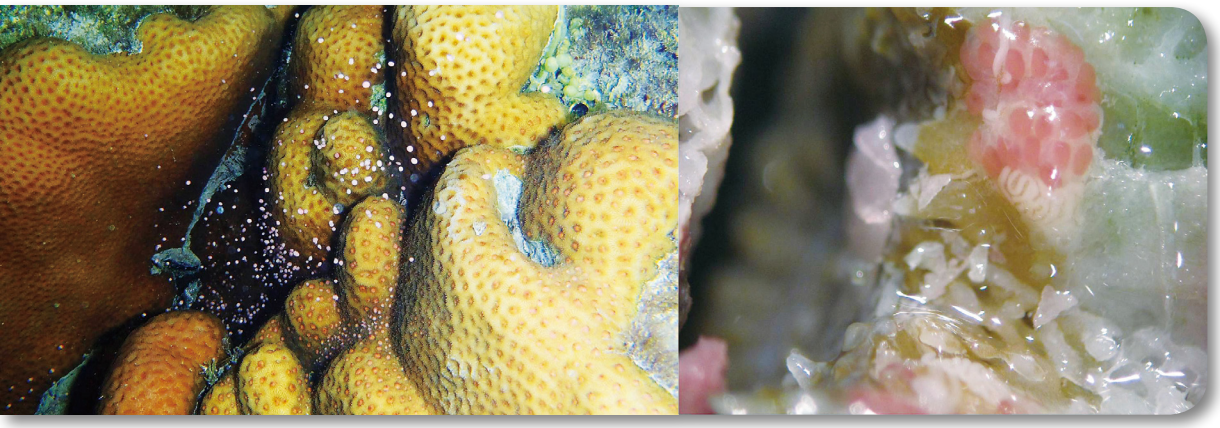


準備排卵中的菊珊瑚（上），排放粉紅色精卵團的角菊珊瑚（中），微孔珊瑚產卵的情形（下）。（圖片來源：海洋國家公園管理處）

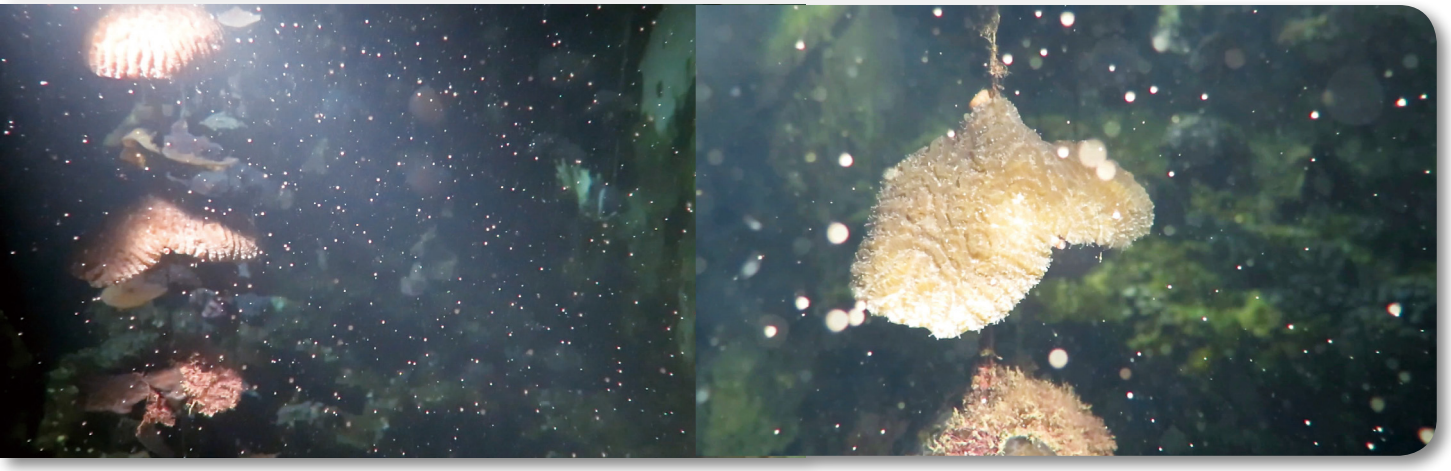
不必下水就能看見的珊瑚產卵現況

珊瑚產卵現場十分壯觀、產卵結束後周邊水體變得猶如繁星點點美不勝收。為了讓更多人不必潛水也能目睹水下產卵盛況，2015 年起國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心與墾丁國家公園管理處共同在核三廠出水口一帶架設水下攝影機組，開始了水下珊瑚產卵的實況直播。然而，第一年在攝影機組架設完成後，紅霞颱風就直逼墾丁而來，水下直播只記錄到零星的產卵畫面。2016 年海科中心改以更高解析度、360 度旋轉找尋目標、對焦的機組，配合可自動調整亮度的探照光源來進行轉播，各項技術皆已大幅提升。

2016 年初強烈寒流冰凍全臺，然而在 4 月 29 日（農曆 3 月 23 日）的夜



排卵中的菊珊瑚（左），採樣後可以看見紅白色的精卵團（右）。（圖片來源：海洋國家公園管理處）



2015 年海生館人工養殖的珊瑚產卵。（圖片來源：國立海洋生物博物館）

晚 8 點，研究人員再次發現池區內滿佈數以萬計的珊瑚卵，這一年在產出的卵量與前兩年所記錄的盛況相似，且放卵日期也不受先前強烈冷氣團的影響，與野外珊瑚再次無誤點地完全同步。一顆顆卵徑大小約四百微米的珊瑚卵已透過特殊的方式採集，並與在野外型珊瑚卵一起進行冷凍保存，嘗試利用低溫冷凍保存技術，進行珊瑚卵細胞保種的科學研究。養殖的珊瑚具有展示及研究用途，定期的辦理科學教育解說活動也是極為重要。現在掌握了準時產卵珊瑚的素材，未來會將嘗試辦理一些與珊瑚生殖觀察相關的展示教育活動。

結語

珊瑚產卵是所有珊瑚礁海域每年一度的盛事，數量繁盛的珊瑚卵除了可維繫族群子代，也可以吸引魚、蝦及浮游生物來享受這頓美味盛宴。另外，產卵現象透過媒體及研究報導，親臨養殖缸觀察、或觀看越來越普及的網路視頻直播，精彩絕妙的水下珊瑚世界已有更多元的呈現方式。期盼藍色海域下繽紛多彩的珊瑚礁生態能喚起每位民眾一起保護海洋的決心。

墾管處主辦「2017 珊瑚礁生態保育週系列活動」，即日起至 6/15 舉辦系列推廣活動，詳情請見官網 http://www.ktnp.gov.tw。