

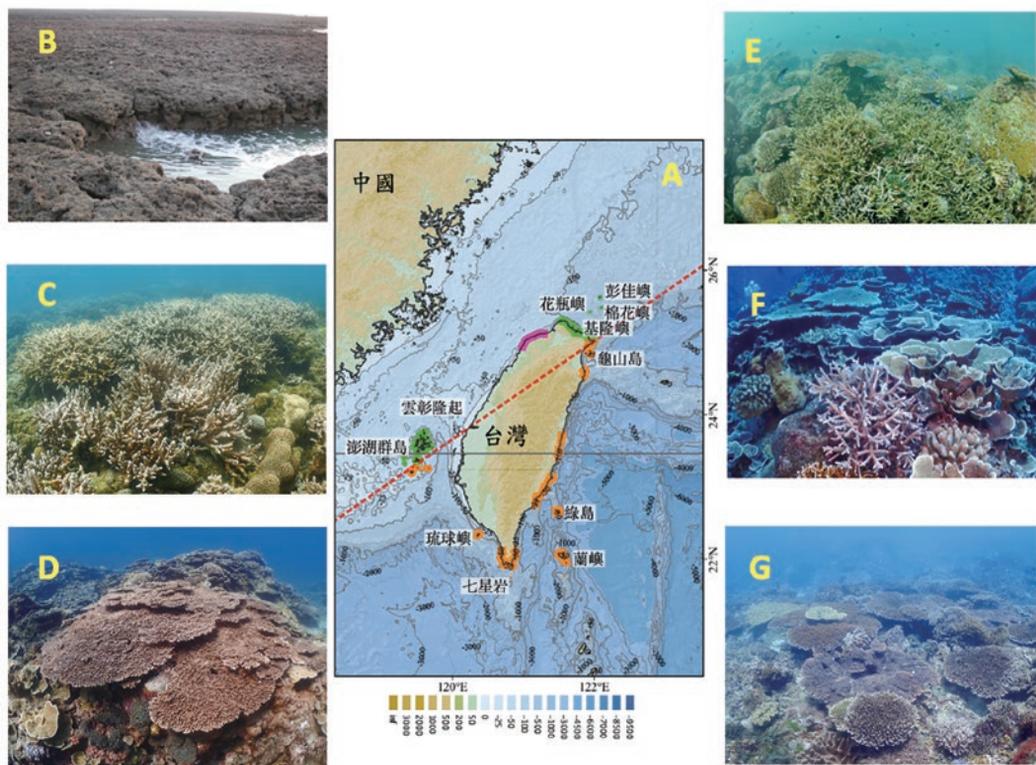
台灣海洋生物分佈的界線

陳昭倫

台灣海洋環境與過渡型珊瑚生態系

台灣島位於亞洲大陸的邊緣，南北長約377公里，東西寬約142公里，海岸線全長約1,200公里，是西太平洋島弧中最大的島嶼。島嶼西岸為平均深度約50公尺的台灣海峽，東岸則是離海岸不遠就超過1000公尺水深的太平洋。海洋深度的差異創造出不同海底底質形式：西岸主要以沙泥岸為主；北部與東北角以礁岩岸、南部與東南部則以典型珊瑚礁岩為主。這些多樣的底質特性，提供涵養多樣豐富的海洋生態系統，在短短1200公里的海岸線創造出包括沙灘、泥灘、河口、紅樹林、珊瑚礁、深海熱泉以及在桃園海岸沙灘發育出全世界獨特的淺海藻礁生態系（圖一）。

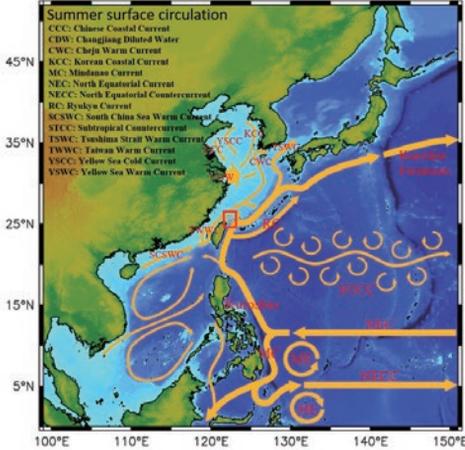
除了底質與地形上的特徵之外，台灣島所處地理位置、周邊海域複雜洋流系統與季節性交互作用等環境因素，都是成就台灣豐富海洋生態系與生物多樣性的諸多因素。北緯23.5度的北回歸線通澎湖群島與台灣島，使台灣的生態系在不到400公里空間尺度擁有由熱帶轉換至溫帶的過渡型亞熱帶生態系（subtropical transitional ecosystem）。



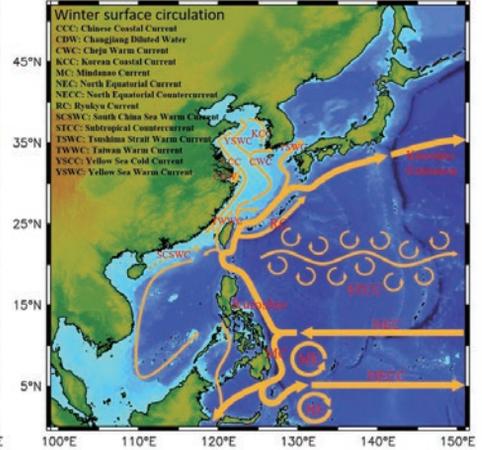
圖一、台灣地理位置與周圍海底地形圖 (A) 及藻礁、熱帶珊瑚礁群聚與亞熱帶非礁型群聚示意圖，包括 (B) 桃園藻礁、(C) 澎湖青灣內灣、(D) 澎湖東吉島、(E) 基隆外木山、(F) 綠島大白沙以及 (G) 墾丁眺石。圖 (A) 中橘色、綠色與粉紫色海岸線分別代表熱帶珊瑚礁、非礁型珊瑚群聚與藻礁的分佈範圍。黑色水平虛線與紅色斜虛線分別代表北迴歸線與生物地理分佈的陳氏線 (Chen's Line)。

而在過渡生態系的台灣，冬季盛行低溫東北季風與夏季高溫西南季風，也影響著流經台灣周邊洋流的季節性變化。這些洋流主要包括了黑潮、南中國海暖流、台灣暖流以及中國沿岸冷流 (圖二)。

A 夏季表層洋流



B 冬季表層洋流



圖二、台灣島周圍 (A) 夏季與 (B) 冬季的洋流圖。冷丘位於圖A的紅框處。CCC：中國沿岸流；CDW：長江沖淡水；CWC：濟州暖流；KCC：韓國沿岸流；MC：民答那峨海流；NEC：北赤道洋流；NECC：北赤道反流；RC：琉球海流；SCSWC：南中國海暖流；STCC：亞熱帶反流；TSWC：對馬海峽暖流；TWWC：台灣暖流；YSCC：黃海冷流；YSWC：黃海暖流。

黑潮主流經過台灣東部海域，不僅是影響台灣海洋環境最主要的洋流，同時也深深的影響著全球的氣候與熱平衡。黑潮源自北赤道洋流撞擊到菲律賓呂宋島東北角，主流轉向東北，流經蘭嶼與綠島後，沿著台灣東岸北行，為台灣東部帶來溫暖高鹽的海水。除了主流外，黑潮的兩股支流因為受到海底地形的引導，分別影響台灣島西南與東北海域的生態、漁業以及人文的發展。其中一股支流為黑潮流經巴士海峽後進入南中國海北部，這條支流通過台灣淺灘沿著澎湖水道北上，繞過雲彰隆起後往北。但是，受到夏季西南季風驅動的南中國海暖流入侵台灣海峽南部、冬季中國沿岸冷流則入侵雲彰隆起北部、以及台灣海峽複

雜海底地形的交互作用，這股黑潮支流對於台灣海峽水團的生物、地質與化學特性亦產生季節上的變化。此一支流與南中海流在台灣海峽南部因為台灣淺灘與澎湖水道地形的影響，將水深100-200公尺低溫高營養鹽海水帶到水表，形成台灣淺灘湧升流與北澎湖水道湧升流。這也提供澎湖群島附近形成豐富漁場的重要條件（圖一A、圖二）。

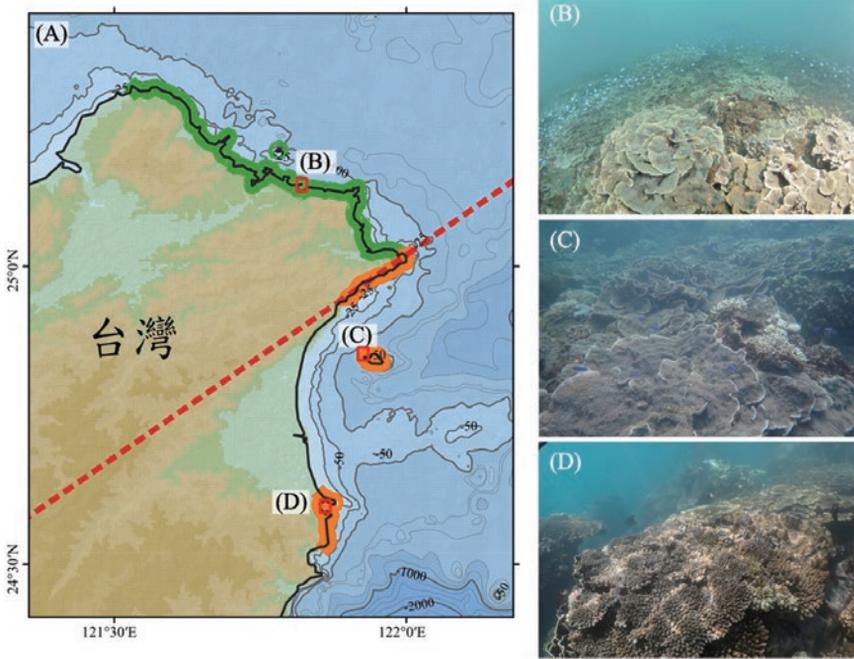
另一股因海底地形陡升，由黑潮引起更強、更富營養鹽的湧升流則出現在台灣的東北角海域。當黑潮主流流經蘭嶼與綠島之後，沿著台灣東岸水道北上，越過與那國凹陷，進入沖繩海槽；之後，沿著東海陸棚轉東北往日本時，一股由較深黑潮水引發的湧升流往北躍升進入台灣東北角的東海陸棚，在北方三島（彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼）附近的棉花峽谷形成一個直徑約100公里的「冷丘」（圖二）。這個位於北緯25.625，東經122.125度的冷丘常年水溫低於攝氏21度與鹽度高於千分之34.5的水團，這樣特殊的冷水團亦是台灣北部與東北角形成豐富漁場的重要條件之一。

雖然大型湧升流帶來低溫高營養鹽的水團，形成優良的漁場並造就台灣沿岸豐富的漁業發展。然而，這樣的海洋環境條件卻也使得北澎湖、台灣北部與東北角海域冬季水溫低於攝氏18度。雖然這兩區域仍有為數不少且能夠適應低溫、高營養鹽環境的造礁珊瑚，但不利於霰石化（aragonite）的珊瑚「礁」地質結構的形成。因此，有別於台灣島東南海域的綠島、蘭嶼、花蓮、台東海岸，以

及南部墾丁與小琉球等典型的珊瑚礁地質所形成的熱帶珊瑚礁群聚 (tropical coral reef community)。北澎湖、台灣北部與東北角海域的造礁珊瑚僅生長在如火山岩或是沈積岩上，在群聚生態學上特稱為亞熱帶「非礁型的珊瑚群聚」 (subtropical non-reefal coral community) (圖一、圖二)。台灣本島與其周邊120座小島在400公里不到的直線距離內，能擁有兩種特殊的珊瑚群聚是極為難得的生態系統。

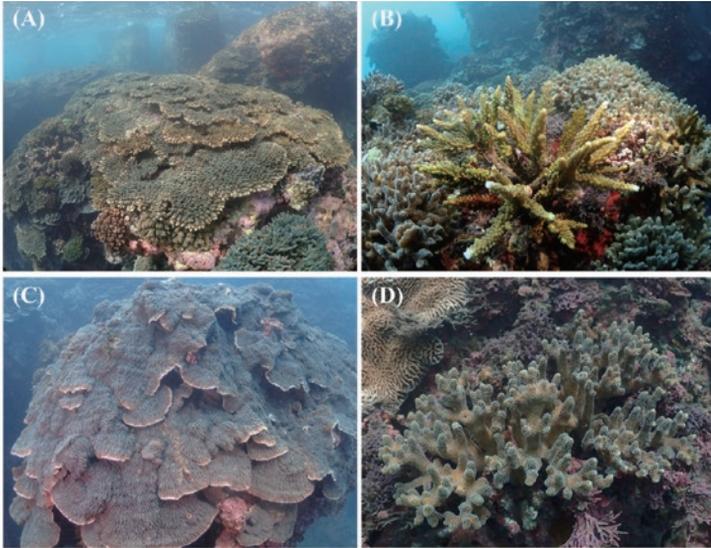
那一條隱形的珊瑚群聚地理分界線

除了上述海洋環境與地質結構的差異之外，造礁珊瑚多樣性與組成上的差異則是判斷珊瑚礁與非礁型群聚的重要特徵。在生物地理分佈上，造礁珊瑚可分成廣布種、熱帶種與高緯度非礁型種三大類群。我們以這三種地理分佈特徵並利用過去20年所累積的造礁珊瑚物種分佈與出現的頻度資料，檢驗西起新北市淡水區三塊厝漁港，東至蘇澳鎮內埤海灘南方岬角的豆腐岬，全長約170公里的北海岸與東北角海岸淺海區珊瑚的組成。這條海岸帶是台灣珊瑚生態系從典型熱帶珊瑚礁生態系轉換成亞熱帶非礁型珊瑚生態系重要的「過渡帶」(圖一)。以宜蘭海岸而言，在南方澳豆腐岬的珊瑚多生長在消波塊上，在10米水深以上的物種多為廣布種，例如桌形軸孔珊瑚 (*Acropora hyacinthus*)、美麗軸孔珊瑚 (*A. muricata*)、片形繩



圖三、台灣島的 (A) 東北角暨宜蘭海岸珊瑚群聚分佈圖與 (B) 深澳灣玫瑰花園、(C) 龜山島龜尾玫瑰花園，(D) 和 (D) 豆腐岬珊瑚群聚照。橘色與綠色海岸線分別代表熱帶珊瑚礁和非礁型珊瑚群聚的分佈範圍。紅色斜虛線代表生物地理分佈的陳氏線 (Chen's Line)。

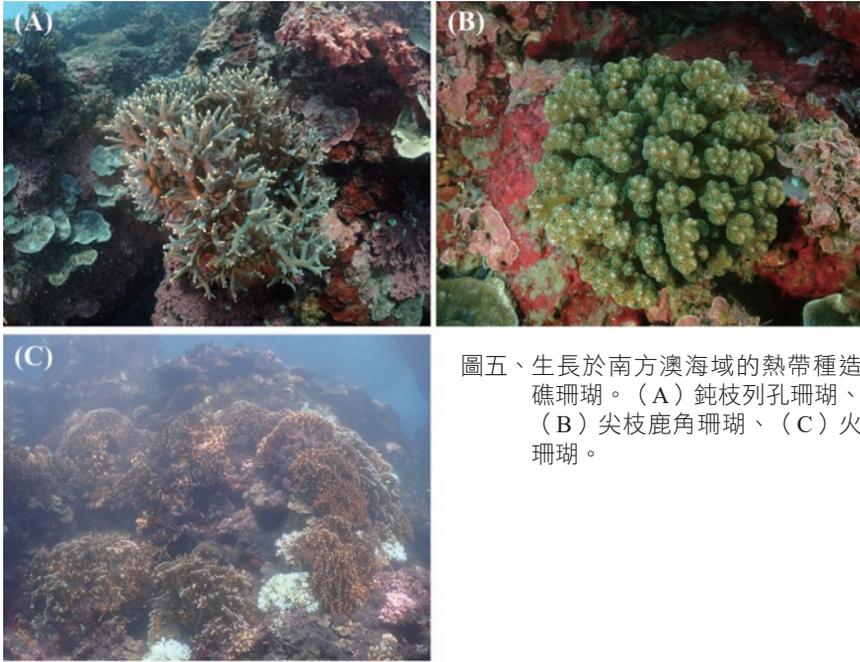
紋珊瑚 (*Merulina ampliata*)、萼形柱珊瑚 (*Stylophora pistillata*) (圖四A-D) 等。同時一些只有侷限於熱帶溫暖海域的種類，例如鈍枝列孔珊瑚 (*Seriatopora caliandrum*)、尖枝鹿角珊瑚 (*Pocillopora acuta*)、火珊瑚 (*Millepora sp.*) (水螅珊瑚綱) 等，在宜蘭海岸大面積的分佈只侷限在南方澳海域，因此豆腐岬的珊瑚群聚就是典型的熱帶珊瑚礁群聚 (圖五A-C)。而由豆腐岬往北，位於頭城外海10公里的龜山島，在水深5米大岩石上發育大



圖四、生長於豆腐岬的廣布種造礁珊瑚。包括 (A) 桌形軸孔珊瑚、(B) 美麗軸孔珊瑚、(C) 繩紋珊瑚、(D) 萼柱珊瑚。*照片出處列於附錄一。

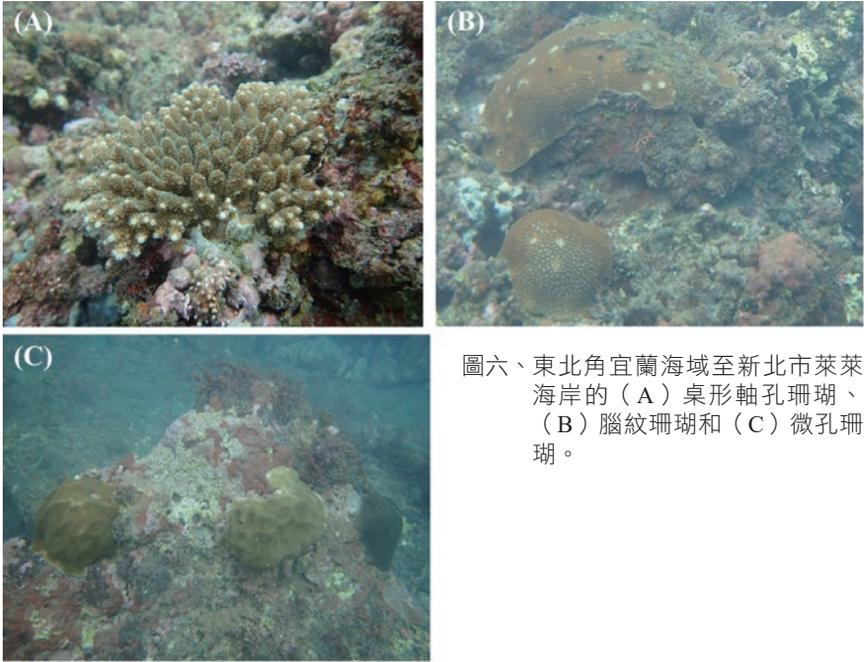
面積的片形棘孔珊瑚 (*Echinopora lamellosa*) (圖三C)，與東北角深澳港外位於水深5-8米的「玫瑰花園」(圖三B)屬於同一種珊瑚，是在東北角宜蘭海域內背風面或是靜水域由單一物種形成的非礁型珊瑚群聚。而由大里、桶盤窟海岸往北到與新北市交界大窟、萊萊海岸，由於長年暴露於大浪的作用，珊瑚群聚發育情況不佳，但一些廣布種珊瑚如桌形軸孔珊瑚、腦紋珊瑚 (*Platygyra* sp.)、微孔珊瑚 (*Porites* sp.) 常零星長在佈滿大型藻的礁岩上 (圖六A-C)。

沿著海岸線由新北市萊萊鼻轉進三貂角的馬崗海岸，可以說是台灣過渡型珊瑚生態系由熱帶珊瑚群聚轉換成非礁型珊瑚群聚的「界線」(圖三)。馬崗水下3米



圖五、生長於南方澳海域的熱帶種造礁珊瑚。(A) 鈍枝列孔珊瑚、(B) 尖枝鹿角珊瑚、(C) 火珊瑚。

的珊瑚生態很明顯混生著熱帶種的火珊瑚、細枝軸孔珊瑚 (*A. nana*) (圖七的A、B)，高緯度非礁型群聚才有的單獨軸孔珊瑚 (*A. solitarynesis*)、霜華軸孔珊瑚 (*A. efflorescens*)、細枝鹿角珊瑚 (*P. damicornis*) (圖七C-E) 以及廣布種的美麗軸孔珊瑚、桌形軸孔珊瑚 (圖七F、G) 和萼柱珊瑚 (圖四D)。馬崗以西至新北淡水三塊厝的海底則是典型的高緯度非礁型群聚 (圖八A-D)。除了物種群聚分析之外，我們最近也進行珊瑚近緣種的分子地理分析：包括細枝鹿角珊瑚 (*P. damicornis*) 與尖枝鹿角珊瑚 (*P. acuta*) 以及單獨軸孔珊瑚 (*A. solitarynesis*) 與兩叉軸孔珊瑚 (*A. divaricata*)，更支持北部與東北角暨宜蘭

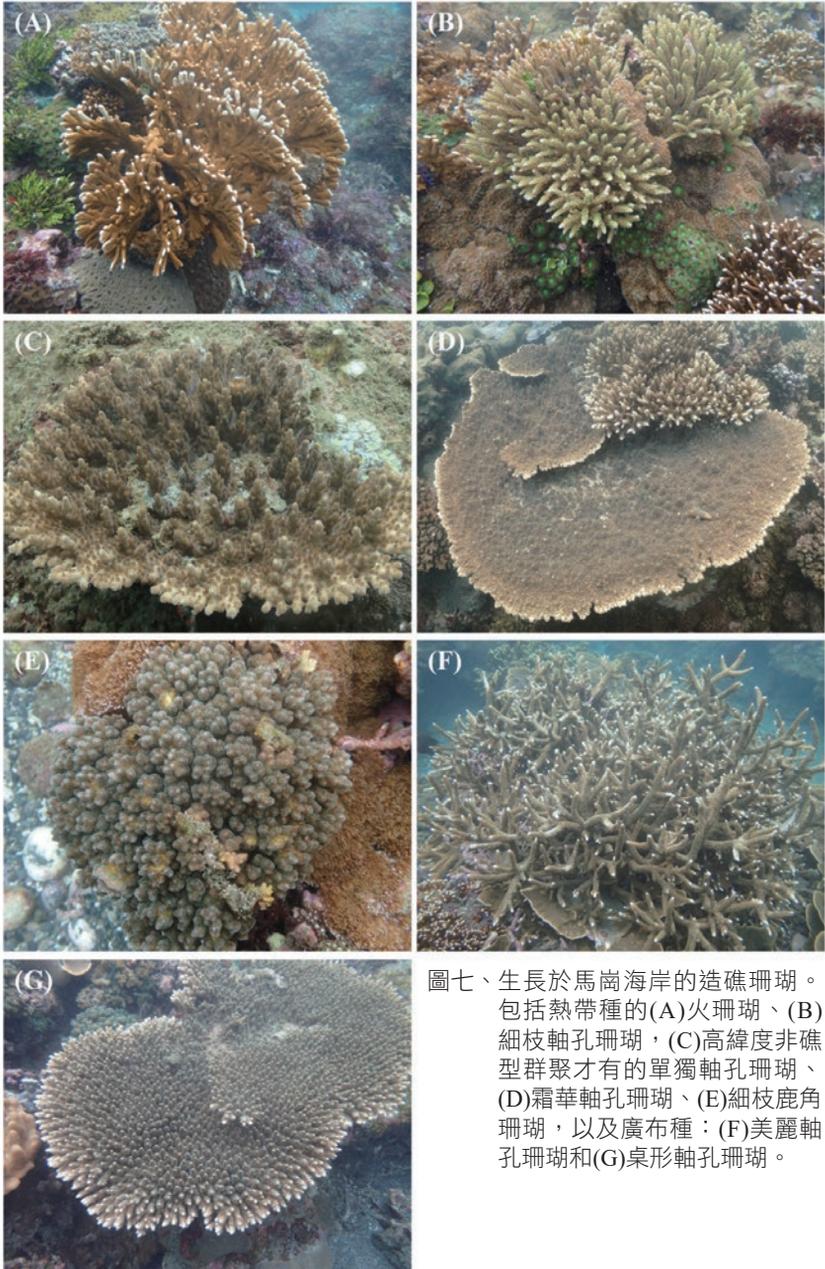


圖六、東北角宜蘭海域至新北市萊萊海岸的 (A) 桌形軸孔珊瑚、(B) 腦紋珊瑚和 (C) 微孔珊瑚。

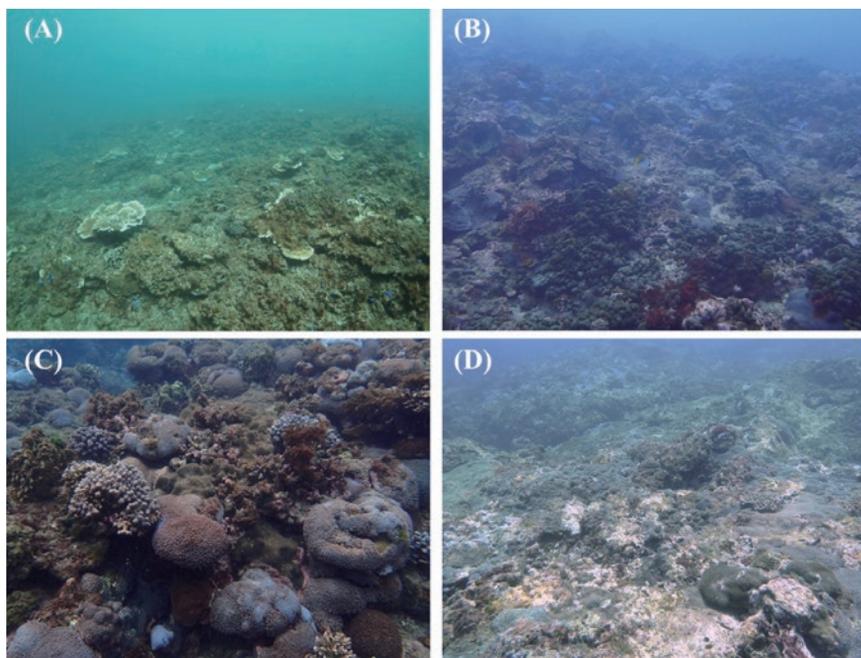
這個海域是台灣海洋生物分部重要的過渡帶。以珊瑚物種與群聚組成為基礎，我提出一個台灣珊瑚礁生物的地理分界線假說：以三貂角（馬崗）為起點連結澎湖望安、將軍嶼以及南方四島的東西嶼坪、東西吉島之間，可以畫出一條以亞熱帶非礁型珊瑚群聚和熱帶珊瑚礁群聚的分界線，稱之為「陳氏線」（圖一）。這條隱形分隔線不僅反應造礁珊瑚物種與生物多樣性的分佈邊界，也劃定出許多與珊瑚或是岩礁岸共棲的海洋生物在台灣海域的生物地理界線。

氣候變遷衝擊下的陳氏線：北遷？還是原地不動？

台灣本島剛好位在整體造礁珊瑚地理分佈的北界，這些位於陳氏線北面（從澎湖北部到台灣島北部的東北角）的非礁型珊瑚群聚，就成為所謂的邊緣棲地（marginal habitat）。其物種或是族群應該是從上次冰期末期（18,000年前）從更高緯度海域（例如，日本）就孑遺在台灣北部的，而在冰河結束後，因全球暖化、海平面快速上升海水入侵台灣海峽，將這些孑遺種傳播至澎湖北部海域。因此，台灣的非礁型群聚即成為這些孑遺種的「避難所」（refugia）。面對近百年因為人類活動所引起的氣候變遷及海水升溫的威脅，這些孑遺在避難所的珊瑚是否能夠繼續生存，將會是一大挑戰。相對的，台灣非礁型珊瑚生態系也因海水升溫，或許將來成為如墾丁、綠島、蘭嶼等熱帶珊瑚北遷，以躲避高溫威脅的暫時性「庇護所」（refuge）。假若北遷的熱帶珊瑚能夠到達台灣北部與東北角，是否會與那些孑遺在台灣北部的珊瑚產生競爭，而加速孑遺珊瑚的消失呢？除了溫度之外，影響造礁珊瑚分佈的其他因子，包括營養鹽、光照、各種礦物質元素以及海流強度與方向等環境因子，是否會因為氣候變遷而移動陳氏線呢？這包括造礁珊瑚、與珊瑚共棲的生物多樣性、生物地理以及台灣過渡型珊瑚生態系，在氣候變遷衝擊下所面臨的危機，以及可能的反應機制（涵蓋：向高緯度或是



圖七、生長於馬崗海岸的造礁珊瑚。包括熱帶種的(A)火珊瑚、(B)細枝軸孔珊瑚，(C)高緯度非礁型群聚才有的單獨軸孔珊瑚、(D)霜華軸孔珊瑚、(E)細枝鹿角珊瑚，以及廣布種：(F)美麗軸孔珊瑚和(G)桌形軸孔珊瑚。



圖八、馬崗至瑞芳南雅里的高緯度非礁型群聚。包括(A)卯澳灣、(B)龍洞灣、(C)鼻頭角、與(D)南雅奇岩

深水域較冷區遷徙與擴張等課題），都是台灣珊瑚生態系可以深入研究與探討的課題。

後記

1. 本文主要依據Kuo et al. (2023) Transitional coral ecosystem of Taiwan in the era of changing climate撰寫。本文為作者25年於台灣海域進行珊瑚分類、親緣演化與族群遺傳研究之總論。受邀撰寫並發表於2023年Springer-Nature group發行的《Coral Reefs of Eastern Asia under Anthropogenic Impacts》專書（由Ichiro Takeuchi and Hideyuki Yamashiro編撰）。DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-27560-9>
2. 「陳氏線」（Chen's Line）主要是依台灣魚類分類專家陳正平博士（已退休）於1998年首次向本文作者分享他從台灣珊瑚礁魚類分類以及生物地理分佈的研究結果。命名為陳氏線主要是向陳博士致敬，彰顯他在台灣海洋生物分類與地理分佈研究上的貢獻。

作者簡介



陳昭倫

陳昭倫，1964年生。澳洲詹姆士科克大學海洋生物學博士。1997年聘任於中央研究院動物研究所（現為細胞與個體生物研究所），2004年起改聘於生物多樣性研究中心至今。長期研究主軸以造礁珊瑚多樣性、共生生物學以及珊瑚礁生態系為中心，利用演化、生態、生理與族群遺傳研究方法探討氣候變遷對這個第一個可能消失於海洋的生態系衝擊與反應。近期研究逐漸轉向以解決人為問題的跨領域整合社會生態系與治理轉型研究。

主要興趣：潛水、攝影、健身、寫作、靈學探討與卡拉OK歡唱。