



高中海洋教育新知 NEWS/014

海洋篇章

氣候變遷下台灣島上的過渡型珊瑚生態系

國立海洋科技博物館 產學交流組 聘用專案助理/郭兆揚

當在多年後回想那個西元2023年的夏天，“熱浪”、“極端溫度（包括高溫與低溫）”、“野火”、“颱風（typhoon）[或稱為颶風（hurricane）或氣旋（cyclone）]”、“兩極融冰”、“乾旱”、“洪水”等與環境有關的關鍵字在傳播媒體平台上屢見不鮮。中央氣象局屢次發布高溫警示、雙北、花東等縣市更有機會出現38°C的極端高溫，台灣已從冰心地瓜變成了剛從烤爐中拿出來、紅通通的烤蕃薯。聯合國（United Nations, UN）祕書長古特瑞斯（António Guterres）也於7/27日警告，地球已脫離全球暖化時代，進入「全球沸騰的年代」（the era of global boiling）（United Nations 2023）。

身為人類的我們可以開電風扇、開冷氣幫助我們降溫以度過酷暑。在戶外時也可躲在大樹下乘涼，這時看看四周，其他如貓、狗等可以自由移動的生物，也會藉由躲在陰影處避開炙熱的陽光。但抬頭看看那些不會移動的植物，他們無法像動物一樣可以自由的遷移，只好杵在原地承受越來越艱困的環境。

陸地上的生物如此，海洋中的生物亦然。由於海水比熱比陸地高、面積也較大，地球大氣層溫室氣體排放的多餘熱能有高達90%被海水吸收(Abram et al. 2019)。從1970年開始，海洋的平均溫度以每十年0.11（0.09-0.13）°C的速度逐漸上升(Abram et al. 2019)。面對日漸升高的溫度，熱帶或淺水域的魚類等可移動的生物可藉由往高緯度或者深水域等水溫相對較低的環境遷徙；但珊瑚、海葵、海綿等固著性無法移動的底棲生物，只能杵在原地忍耐日漸嚴峻的生存環境。

海洋中的生物中很重要的一類生物為屬於刺胞動物門（Cnidaria）、花蟲亞門（Anthozoa）、六放珊瑚綱（Hexacorallina）、石珊瑚（Scleractinia）目的珊瑚。珊瑚的構造簡單，僅有內、外胚層兩層皮，因此珊瑚本身是透明的。雖然珊瑚是構造簡單的動物，但與其他動物不一樣的是體內住有屬於渦鞭毛藻類（dinoflagellates）的共生藻（zooxanthellae，蟲黃藻）(LaJeunesse et al. 2018)。這些居住在珊瑚體內的單細胞藻類只有約10微米（μm）

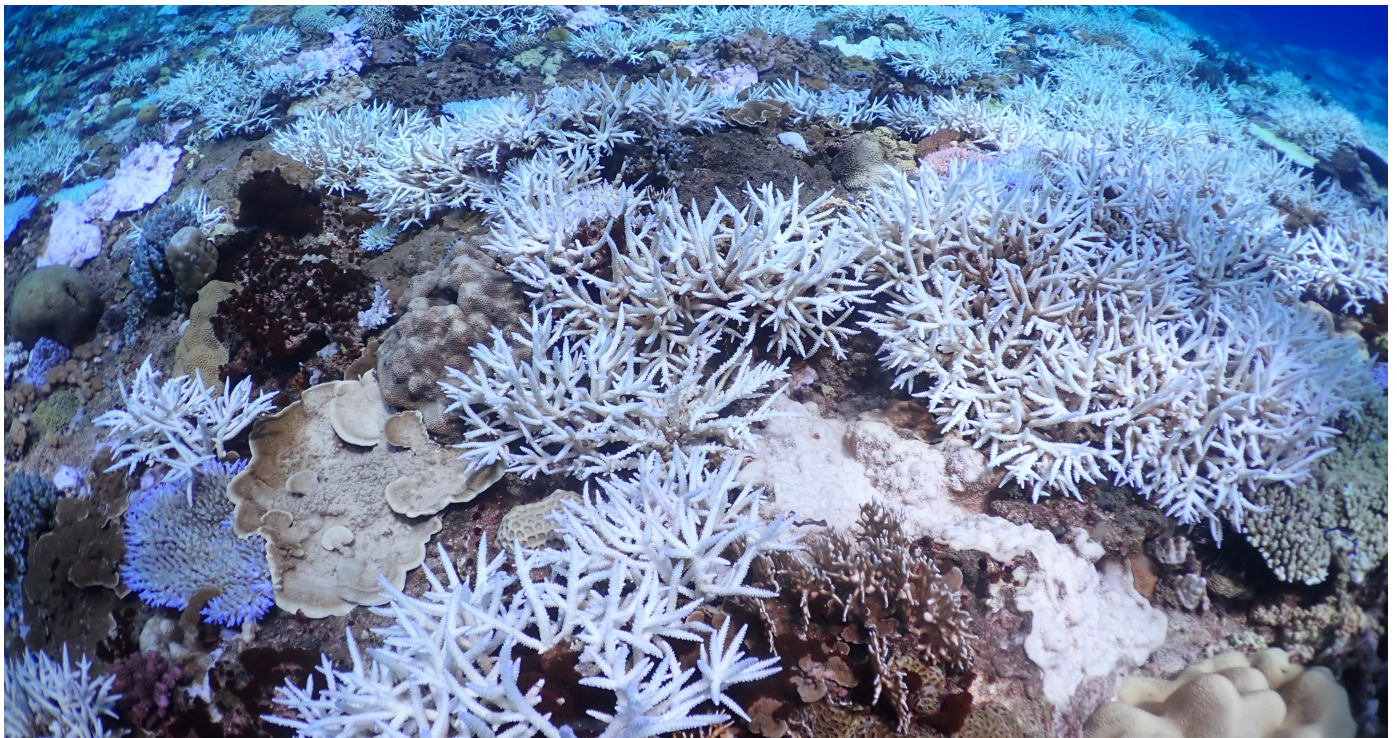
大(Baker 2011)，但羸在數量很多。珊瑚體內每平方公分的空間會有五萬至五十萬顆共生藻居住(Drew 1972; Porter et al. 1984; Hoegh-Guldberg and Smith 1989)。共生藻行光合作用的產物可促進珊瑚生長與進行鈣化作用，可提供珊瑚50~95%的能量來源(Baker 2011)。簡單來說，珊瑚自帶太陽能發電板，只要曬太陽就會得到源源不絕的能量。也因如此，大部分的造礁珊瑚生活在溫暖、清澈、陽光充足的環境。在這些熱帶淺水域中，以造礁珊瑚累積的碳酸鈣骨骼為骨架，殼狀珊瑚藻和大型有孔蟲等生物填充珊瑚骨架中間的空隙，經年累月後就形成我們在海邊看到的珊瑚礁，因此這類珊瑚又被稱為造礁珊瑚 (hermatypic coral, reef-building coral)。

台灣位於西北太平洋，除了被印度-馬來群島 (Indo-Malay Archipelago) 和菲律賓-沖繩群島 (Philippine-Ryukyus Archipelago) 環繞，更與亞洲大陸隔著台灣海峽遙遙相望，是東亞地區最大的大陸島嶼。由於北迴歸線橫貫台灣中部，台灣及其鄰近島嶼的珊瑚生態系統具有過渡生態系統的典型特徵，例如同時具有熱帶與溫帶物種、熱帶珊瑚礁與較不適合熱帶珊瑚生長的邊緣型珊瑚礁。此外也是東亞的珊瑚向高緯度的極地遷徙和遷移路徑上潛在的中繼站 (stepping stone) (Chen and Keshavmurthy 2009; Keshavmurthy et al. 2019; Kuo et al. 2023)。

由於多樣的海洋環境，因此雖然台灣島周圍的硬底質都有造礁珊瑚 (scleractinian) 分布，但台灣的珊瑚生態系可分為熱帶的珊瑚礁 (tropical coral reefs) 和亞熱帶的非礁型珊瑚群聚 (non-reefal coral communities)。這兩個珊瑚群聚以台灣東北角的三貂角至南澎湖為相連而成的陳氏線 (Chen' s Line) 為界(Kuo et al. 2023)。此線以南的海域有超過300種造礁珊瑚存在，並因水溫較高，可進行「霰石化作用 (aragonitigation) 」形成珊瑚礁的礁體；此線以北的造礁珊瑚物種數較低，僅約140種，且因冬季水溫較低、珊瑚成長較慢，再加上冬天東北季風的侵蝕作用等環境效應的綜合影響，雖然有造礁珊瑚長在堅硬的底質上形成珊瑚群聚，但無霰石化礁體(Kleypas et al. 1999; Dai 2018; Kuo et al. 2023)。

不論是低緯度的熱帶珊瑚礁或較高緯度的非礁型珊瑚群聚，台灣島上的過度型珊瑚生態系與世界上的珊瑚礁生態系一樣皆面臨著過漁 (overfishing)、棲地破壞 (habitat destruction)、污染 (pollution) 與氣候變遷 (climate change) 等四大威脅(整理於Kuo et al. 2023)。其中最重要、需要長時間才會看到成效但需要立即面對的即為氣候變遷造成的全球尺度威脅。一般而言，每年約有3至4個颱風會登陸台灣並造成不同尺度的影響(Wu and Kuo 1999; Hung et al. 2020)。颱風對於沿海珊瑚生態系的影響是優劣參半。壞處是颱風帶來的強烈擾動會導致珊瑚覆蓋率嚴重降低，例如2009年莫拉克颱風後墾丁國家公園的香蕉灣海域，水下七米深的珊瑚覆蓋率降低了三分之一(Kuo et al. 2011; Keshavmurthy et al. 2019)。2016年九月的莫蘭蒂颱風不僅導致座落於綠島石朗海域20公尺深的沙地上，有12公尺高、圓周長達31公尺、預估已有千歲、俗稱『大香菇』的團塊微孔珊瑚 (Porites lobata) 傾倒(Soong et al. 1999; Kuo et al. 2023)。

颱風帶來的好處則是會降低海水的溫度。七至九月不僅僅是颱風季、夏季逐漸升高的水溫也對珊瑚與共生藻產生威脅，導致兩者分道揚鑣不再攜手合作，珊瑚失去共生藻後顏色會逐漸變淡，最後僅剩兩層薄薄的胚層。因此光線穿透珊瑚組織後反射出碳酸鈣骨頭的白色，稱之為『珊瑚白化』。颱風帶來的湧浪（swell）會將深水域較冷的海水與淺水域、已經被加熱的海相互混合，此時表層海水溫度會稍微降低，淺水域的珊瑚有機會喘口氣，避免產生白化的現象。由於台灣的地理位置也是全球颱風發生次數最多的地方，因此除了在1998年的第一次全球珊瑚大白化事件中於綠島、蘭嶼、墾丁以及澎湖也發生了大規模的白化現象之外(Lee 1998; Wilkinson 1998; Keshavmurthy et al. 2019; Kuo et al. 2021)，之後的第二次（2010年）和第三次（2015-2017年）的全球珊瑚大白化事件中，台灣的珊瑚僅發生零星、小規模的白化現象(Dai et al. 1998, 1999; Kuo et al. 2018, 2022)。可說直到2020年前，台灣並沒有發生過全台灣島尺度的珊瑚大白化事件(Kuo et al. 2022, 2023)。



圖一：2020年8月18日 綠島 龜灣 10米 白化的軸孔珊瑚群聚_郭兆揚

2020至2022年間的反聖嬰年（La Niña），連續三年沒有颱風登陸。夏日的高溫導致台灣島上的過渡型珊瑚生態系分別於2020年和2022年發生了嚴重的珊瑚白化現象。在2020年，全台灣約有三成的造礁珊瑚因白化事件而死亡，最嚴重的地區是屬於熱帶珊瑚礁的小琉球，淺水域約有50%的珊瑚會死亡，澎湖北海與台灣島的東北角等非礁型珊瑚群聚的白化現象較輕微，僅有約兩成的珊瑚產生嚴重白化的現象。2022年的白化現象較輕微，但值得關注的是在2022年的白化現象中，非礁型珊瑚群聚的白化現象較熱帶珊瑚礁區嚴重。分析美國的國家與海洋大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA）的長期水溫資料也顯示台灣周圍過渡型珊瑚

生態系中，屬於非礁型珊瑚群聚的海域的水溫上升速度較快，尤其是冬天水溫的下限明顯升高。過往冬天時月平均水溫會降至 16°C 之下，但自從1980年代末期至今的30年間，冬天的月平均水溫幾乎不曾低於此下限(Kuo et al. 2023)。這樣的溫度變化對非礁型珊瑚群聚的珊瑚造成生存的威脅？抑或是讓非礁型珊瑚群聚的環境越來越適合造礁珊瑚生長而變成未來珊瑚面對氣候變遷的庇護所？是值得持續關注的議題。

圖二：2020年8月26日 東北角鼻頭角公園 2米 白化的非礁型珊瑚群聚_郭兆揚



氣候變遷不單純導致海水溫度逐漸上升，更會產生許多的連鎖效應，例如侵襲台灣的颱風數量會降低、但颱風強度會增加(IPCC 2021; TCCIP 2021)。大氣中的二氧化碳濃度增加，融入海洋的二氧化碳也會增加並導致海水變酸，此現象稱之為海洋酸化 (Ocean acidification) (Hoegh-Guldberg et al. 2007, 2017)。在較酸的海水中珊瑚幼苗的存活率和新陳代謝表現會降低(Cumbo et al. 2013; Edmunds et al. 2013)、造礁珊瑚累積碳酸鈣骨骼能力也會下降(Mollica et al. 2018)。珊瑚礁的基質也會因較酸的海水而變軟，進而促進生物侵蝕 (bioerosion) 的效應(Schönberg et al. 2017)。

過渡型珊瑚生態系的特為為同時具有多分布於熱帶、亞熱帶、抑或是廣泛分佈的種類存在，是熱帶的珊瑚礁生物往兩極遷徙的中繼站。然而與相對穩定的熱帶珊瑚礁相比，這些地區的環境條件也較為嚴苛，為了生存，此生態系中的生物對於溫度變動的適應力較高，有助於生物在未來氣候變遷的嚴苛環境中生存。因此過渡型珊瑚生態系可能扮演氣候變遷下珊瑚的避難所。而具備此條件的台灣就有機會在東亞地區扮演此關鍵角色，急需我們多方的守護以助其面對氣候變遷下的未來。

參考文獻：

- Abram N, Gattuso J-P, Prakash A, Cheng L, Chidichimo MP, Crata S, Enomoto H, Garschagen M, Gruber N, Harper S, Holland E, Kudela RM, Rice J, Steffen K, von Schuckmann K (2019) Framing and context of the report. In: Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegria A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. (eds) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp 73–129
- Baker AC (2011) Zooxanthellae. In: Hopley D. (eds) Encyclopedia of modern coral reefs: structure, form and process. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 1189–1192
- Chen CA, Keshavmurthy S (2009) Taiwan as a connective stepping-stone in the Kuroshio Triangle and the conservation of coral ecosystems under the Impacts of climate change. *Kuroshio Sci* 3:15–22
- Cumbo VR, Fan T-Y, Edmunds PJ (2013) Effects of exposure duration on the response of *Pocillopora damicornis* larvae to elevated temperature and high $p\text{CO}_2$. *J Exp Mar Biol Ecol* 439:100–107. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.10.019>
- Dai C-F (2018) Chapter 7. Coastal and shallower water ecosystem. In: Jan S. (eds) Regional Oceanography of Taiwan Version II. National Taiwan University Press, Taipei, Taiwan, pp 263–299
- Dai C-F, Chen Y-T, Kuo K-M, Chuang C-H (1998) Changes of coral communities in Nanwan Bay, Kenting National Park: 1987-1997. *J Natl Park* 8:79-99 (in Mandarin with English abstract)
- Dai C-F, Kuo K-M, Chen Y-T, Chuang C-H (1999) Changes of coral communities on the east and west coast of the Kenting National Park. *J Natl Park* 9:112-130 (in Mandarin with English abstract)
- Drew EA (1972) The biology and physiology of alga-invertebrates symbioses. II. The density of symbiotic algal cells in a number of hermatypic hard corals and alcyonarians from various depths. *J Exp Mar Biol Ecol* 9:71–75. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(72\)90008-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(72)90008-1)
- Edmunds PJ, Cumbo VR, Fan T-Y (2013) Metabolic costs of larval settlement and metamorphosis in the coral *Seriatopora caliendrum* under ambient and elevated $p\text{CO}_2$. *J Exp Mar Biol Ecol* 443:33–38. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.02.032>
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R, Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A, Hatzioles ME (2007) Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318:1737–1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Hoegh-Guldberg O, Poloczanska ES, Skirving W, Dove S (2017) Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Front Mar Sci* 4:158. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>
- Hoegh-Guldberg O, Smith G (1989) Influence of the population density of zooxanthellae and supply of ammonium on the biomass and metabolic characteristics of the reef corals *Seriatopora hystrix* and *Stylophora pistillata*. *Mar Ecol Prog Ser* 57:173–186. <https://doi.org/10.3354/meps057173>

- Hung C-W, Shih M-F, Lin T-Y (2020) The climatological analysis of typhoon tracks, steering flow, and the pacific subtropical high in the vicinity of Taiwan and the western North Pacific. *Atmosphere* 11:543. <https://doi.org/10.3390/atmos11050543>
- IPCC (2021) Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Keshavmurthy S, Kuo C-Y, Huang Y-Y, Carballo-Bolaños R, Meng P-J, Wang J-T, Chen CA (2019) Coral reef resilience in Taiwan: lessons from long-term ecological research on the coral reefs of Kenting National Park (Taiwan). *J Mar Sci Eng* 7:388. <https://doi.org/10.3390/jmse7110388>
- Kleypas JA, McManus JW, Menzies LAB (1999) Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line? *Amer Zool* 39:146–159. <https://doi.org/10.1093/icb/39.1.146>
- Kuo C-Y, Ho M-J, Chen C-H, Hsieh HJ, Jeng M-S, Fan T-Y, Dai C-F, Soong K, Hwang J-S, Chen CA (2022) Taiwan. In: Kimura T., Chou L.M., Huang D., Tun K., Goh E. (eds) Status and trends of East Asian coral reefs: 1983–2019. Global Coral Reef Monitoring Network, East Asia Region, pp 82–95
- Kuo C-Y, Ho M-J, Chen Y-C, Yang S-Y, Huang Y-Y, Hsieh HJ, Jeng M-S, Chen CA (2018) Summary of coral bleaching from 2014 to 2017 in Taiwan. In: Kimura T., Tun K., Chou L.M. (eds) Status of Coral Reefs in East Asian Seas Region: 2018. Ministry of the Environment of Japan and Japan Wildlife Research Center, Tokyo, Japan, pp 33–40
- Kuo C-Y, Huang Y-Y, Hsiao A-T, Ho M-J, Jeng M-S, Chung A-C, Wei C, Chen T-R, Chen C-W, Hsieh HJ, Chen CA (2021) The collapse of the transition coral ecosystem in the Northwest Pacific. The annual symposium of Taiwanese coral reef society
- Kuo C-Y, Keshavmurthy S, Huang Y-Y, Ho M-J, Hsieh HJ, Hsiao A-T, Lo W-C, Hsin Y-C, Chen CA (2023) Transitional coral ecosystem of Taiwan in the era of changing climate. In: Takeuchi I., Yamashiro H. (eds) Coral Reefs of the Eastern Asia under Anthropogenic Impacts. Springer, Cham, pp 7–35
- Kuo C-Y, Meng P-J, Ho P-H, Wang J-T, Chen J-P, Chiu Y-W, Lin H-J, Chang Y-C, Fan T-Y, Chen CA (2011) Damage to the reefs of Siangjiao Bay marine protected area of Kenting National Park, Southern Taiwan during typhoon Morakot. *Zool Stud* 50:85
- LaJeunesse TC, Parkinson JE, Gabrielson PW, Jeong HJ, Reimer JD, Voolstra CR, Santos SR (2018) Systematic revision of Symbiodiniaceae highlights the antiquity and diversity of coral endosymbionts. *Curr Biol* 28:2570–2580.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.07.008>
- Lee Y (1998) The 1998 Reef Check in Taiwan: the witness of a catastrophe of corals in Taiwan. *The Earth Geographic Monthly* 129:34–63
- Mollica NR, Guo W, Cohen AL, Huang K-F, Foster GL, Donald HK, Solow AR (2018) Ocean acidification affects coral growth by reducing skeletal density. *Proc Natl Acad Sci USA* 115:1754–1759. <https://doi.org/10.1073/pnas.1712806115>
- Porter JW, Muscatine L, Dubinsky Z, Falkowski PG (1984) Primary production and photoadaptation in light- and shade-adapted colonies of the symbiotic coral, *Stylophora pistillata*. *Proc R Soc Lond B* 222:161–180. <https://doi.org/10.1098/rspb.1984.0057>
- Schönberg CHL, Fang JKH, Carreiro-Silva M, Tribollet A, Wisshak M (2017) Bioerosion: the other ocean acidification problem. *ICES J Mar Sci* 74:895–925. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw254>
- Soong K, Chen CA, Chang J-C (1999) A very large poritid colony at Green Island, Taiwan. *Coral Reefs* 18:42. <https://doi.org/10.1007/s003380050151>
- TCCIP (2021) Taiwan climate change projection information and adaptation knowledge platform. https://tccip.ndr.nat.gov.tw/index_eng.aspx
- United Nations (2023) Hottest July ever signals 'era of global boiling has arrived' says UN chief. <https://news.un.org/en/story/2023/07/1139162>
- Wilkinson C (1998) Status of coral reefs of the world: 1998. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia
- Wu C-C, Kuo Y-H (1999) Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull Am Meteorol Soc* 80:67–80. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0067:TATCUA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0067:TATCUA>2.0.CO;2)



研習活動

教育部高中海外進修札記

國立竹東高中/葉鈞喬老師

本文與大家分享雙語教學海外短期進修所見，本次的進修源自教育部推動「2030雙語政策」，教育部於暑假選送高級中等學校100名英語教師、200名學科教師海外短期進修，以提升雙語教學的現場教師專業能力。以下就進修期間文化體驗、皇家墨爾本理工大學(RMIT)培訓課程，以及海洋體驗三點來呈現。

墨爾本的文化體驗

墨爾本位於澳洲東岸，是澳洲的最大城市，也是維多利亞州的首府。被譽為「澳洲的文化首都」，文化、商業、教育、服飾、藝術、音樂等潮流文化領域引領澳洲，該地也是澳洲多民族文化的中心。縱使墨爾本是個世界都市，在當地仍可看到許多與環境融合的特色，例如市政廳與車站附近早期建築選擇就地取材的玄武岩作為地磚與牆面的建材，RMIT Building 20外牆則是從亞拉河區域取得的沉積岩可以看到有孔蟲的化石呢！

有一天下午五點來到亞拉河岸，氣溫攝氏12度，眼前的景象是中學女孩的划船隊，赤腳踏水準備收船，全部自己來。彷彿說著大自然不會因為你是女孩而特別恩待你，在寒冷的冬天，你必須學習保護自己，學習變得更強壯，更勇敢...如何在市鎮融入環境，並與環境對話，讓我想到了SDG11促使城市與人類居住具包容、安全、韌性及永續性，讓大都會維持環境永續的特色。



圖1：RMIT Building20外牆的有孔蟲！



圖2：亞拉河岸中學女孩的划船隊

進修培訓課程

培訓課程共分為三個部份：教育與語言、機構參訪、入班觀課。

有別於台灣國民教育較著重在透過自行努力學習，在升學制度獲得更好的成績，澳洲國民教育則是看重學生如何實踐自己的理想。學生在10年級完成基本課程學習後，11-12年級是學生的職業探索，進入普通大學或科技大學後，學生便能朝著目標努力。另外在教育制度設計中也將家長納入幫助學生達到學習目標的一環，以引導下一個世代思考未來面臨的問題，促進學生討論解決問題，如何創新。

語言課程印象最深的是整合自然科學的學科內容與語言學習，藉以同時達成學科和語言發展的雙重目標。語言與科學引導是相輔相成，設定問題、提出假設、設計實驗、分析與表達是需要靠科學語言來呈現的。雙語教師可以參考常用的提問用句引導學生從互動的過程中，熟悉科學家的思維過程，進而釐清每個步驟的流程。透過減少資訊落差和語言表達能力不足的困境以提升雙語課程質量，再加上3-5年的反覆操作與練習達到熟悉語言使用的目標。

參訪地點第一個是國家同步輻射中心，該研究中心是結合澳洲跟紐西蘭眾多大學資源所設立的研究設備，其中看到在澳洲深植於人心的是合作比競爭更重要，眾多研究單位一起分享資源、討論問題，才能在研究上更為創新。另一則是維多利亞省所設立的教學科技實驗室，耗資一億六千萬台幣打造未來教室，以STEM為主題所開發的生物、VR、Maker、化學、地質、物理的創新教學方式，提供中小學以及技職學校的學生了解最新科技如何被應用與創新。看到澳洲政府將資源用在教育上面真的是很正確的投資，引發學生興趣才能讓學生願意挑戰問題，改變現狀。

最後是到AITKEN中小學參觀實際上課情形，澳洲教育現今以杜威提倡的做中學為主要的教學方法，帶領學生從生活經驗中學習學科的內容，因此教師要在課堂中提供多元的互動式活動，讓學生深入探索個人、職業、社會之間的關係。澳洲政府給學校的資源真的很充足，教材都在雲端，學校現代化的配套措施也提供學生每人一台電腦。另外為了發展STEM課程，專科教室、設備器材很齊全，而且連資深老師都會操作3D列印機！

庫克角的海洋體驗

利用週末的空閒時間，幾位老師一起到了墨爾本西南方的庫克角，從高地可眺望在菲利普港灣另一端的墨爾本市區。相較於菲利普港灣東岸為高度開發的市區，西海岸則是選擇低度開發與保留許多溼地，並作為海洋保護區。該區域制定了長期的海岸與海洋管理計畫，著重下面四個策略：1.保護和認同Wyndham海岸的獨特棲息地、農業、歷史、海洋保護區、原住民和火山景觀價值。2.制定和聯邦政府合作的規劃框架與夥伴關係，以促進未來土地利用的永續發展目標。3.在Wyndham社區不斷增長的同時，改善民眾與海岸使用權，讓民眾能夠接觸自然，讓孩子們以自在地玩樂，讓所有人都能享受海洋休閒活動。4.確保開發時能對海岸和海洋環境所造成的影響，應對預期的海平面上升，並促進Wyndham海岸社區和旅遊活動。



圖3：菲利普港灣西岸溼地

兩週海外短期進修時間很快就過去了，身體在水土不服的情況下都還能撐得下去，但因為真的開了眼界而讓心靈卻很滿足。學習在這個城市像是藝術品一樣的等級，以學習者為主體的教育規劃，讓每個想認真學習的國民都能有受教育的場域。來到這裏也發現自己只有學科英文是可以的，到了餐廳，市場，商店，車站，對於長句子大概聽力大概只有剩下三成而已，真的需要每天沈浸式的語言環境，才會有快速理解跟清楚的表達。最後感謝RMIT教授們的教學、澳洲駐墨爾本台北經濟文化辦事處的接待、臺師大英語系的進修規劃、臺灣海洋教育中心的邀稿，期待受訓後能有更多的啟發，可以發展出更具有創意的雙語教學，帶學生一起開啟世界之窗！



台灣東北角海岸考察行旅-地質篇

國立臺灣師範大學/葉庭光教授

板塊的作用讓小小的台灣土地有著多元的自然景觀，包括深邃壯闊的海洋、高聳的巔峰峻嶺、一望無際稻田的嘉南平原，以及綿延數百公里的花東縱谷。也因著這些地質與地形，造就出特殊的生物相以及特別的社會文化。我們將引領各位探尋這個因自然景觀享譽國際的島嶼。

當我們從基隆沿著台2線濱海公路往宜蘭方向前進時，沿途除了湛藍海景之外、最能吸引我們目光的，或許水金九的基隆火山群、沿路的單面山、海蝕平台、南雅的奇岩、水湳洞的化石群等各種怪石嶙峋的奇景。如果我們想探究這些地景與特色，知道台灣島的構造機制將是需要具備的推理基礎。地質學者大致將台灣島的構造，由西向東區分為數個區域：西部海岸平原、西部麓山帶、中央山脈(區分為雪山山脈與脊梁山脈)、海岸山脈、以及北部張裂帶。這幾個構造帶在許多型態與特徵上，具有顯著差異。台灣島附近的板塊運動，是造成這幾個構造帶在形態上具有顯著差異的主要原因。由於板塊的擠壓，台灣島西側所受到的應力較低，東側較高。譬如，西部麓山帶以西因為所受到的應力較低，主要屬於沉積環境，而中央山脈則因為應力較高，主要屬於變質環境。

從基隆前往宜蘭的路途中，將可以觀察到沉積岩、火成岩、與變質岩三種地球上的主要岩石。基隆市至鼻頭，屬於西部麓山帶的沉積岩相。在基隆市至八斗子的岩層中，經常可以觀察到貝殼、沙棒等化石，地質學家將這個海相沉積區域稱之為大寮層，約生成於2000萬年前。有趣的是，潮境公園至八斗子車站前的沉積岩層就不容易觀察到海相的貝類化石，相對的，這個區域的岩層縫中，偶可見黑色的煤炭。煤炭的存在提供了一個清楚的證據--此處早期屬於濱海相的沉積環境。科學家將此處的地層歸類為石底層，約形成於1800萬年前。八斗子車站到水湳洞屬於海相沉積的南港層，約生成於1500萬年前。在這個區域的岩塊上經常可以觀察到各種雙枚貝類以及直徑近10公分的海膽化石。水湳洞以西至南雅這個區域中，則又屬於可以觀察到煤層的濱海相沉積環境，稱之為南庄層，約生成於1000萬年前。



圖一、水湳洞的海膽化石

為什麼我們在這一段路上，會反覆地觀察到海相與濱海相的沉積地層？除此之外，為什麼由西向東的地層，其生成年代有年輕化的趨勢呢？我們可以想一想，在沒有外力作用之下，不同時期的沉積地層應該是上下堆疊，且相互平行的。越古老的地層應該會位於下方，這個現象又稱之為疊置定律。地質學家認為，這一帶的地層，早期確實應該是水平疊置。然而，板塊的推擠促使地層西側抬昇，而東側發生傾沒。經過了長期的風化之後，導致我們今日可以觀察到，較東側(南雅一代)的南庄層、南港層是較年輕的，而較西側(基隆)的大寮層是較古老的。

在台灣島受到板塊構造作用而形成的過程中，由於地球自轉軸的傾角以及繞日軌道的改變，導致地球歷經了多次交替出現的冰河期(冷期)與間冰期(暖期)。當地球處於冰河期時，原本處在海水面下的區域可能因海平面下降而露出水面，此時，便逐漸有濱海的陸生植物與動物在這個區域進行繁衍。在適當的沉積環境中，這些陸生動、植物往往能以煤或化石的形式保存下來。換句話說，當我們在某一個地層中發現古老的濱海生物化石或煤炭，經常會推論當初的沉積環境是處於濱海的陸域環境。相對的，當地球處於間冰期(暖期時)，海冰融解與海水膨脹的效應導致海水面上升。原本處於陸域濱海相的沉積環境沒入海中，逐漸附著了貝類、生物礁等海洋生物。數千萬年之後的我們，在地層中發現這些海洋生物的化石，透過定年方式就可以推測出此地層在何時可能是處於海下的環境。

車行經水湳洞時，映入眼簾的是臺灣金屬礦業股份有限公司水湳洞選煉廠十三層遺址。遺址旁可看到一座錐狀火山，是基隆火山群中的基隆山。在東北角沿線中，有幾個可以接觸、或觀察到的火成岩區，除了基隆火山群之外，還包括位於從萊萊延伸至外澳海岸的火成岩脈、以及基隆嶼與龜山島。此區域的濱海可以觀察到火成的石英安山岩以及火山角礫岩。伴隨著板塊碰撞與張裂所產生火成作用，熱水將豐富的礦物帶進這一帶的岩隙之中，孕育出水湳洞、金瓜石、九份豐富繽紛的礦物世界。這裡多元的礦物種類相當值得細細觀察與品味。其中，最知名的礦物就是牽引九份、金瓜石山城風華的黃金。如果有些閒情逸致，淘選山溝間的洪氾沉積區域，或許還可以有幸觀察到身形多變的自然金。

從龍洞往東的海岸邊，我們會發現頁岩層開始呈現出鉛筆狀的破裂構造，顯示出頁岩開始受到較強的應力作用，產生輕度變質的現象而發展成硬頁岩。從龍洞至宜蘭的海岸線的岩層，多可以反應出這個輕度變質的現象。直至蘇澳鎮的北方澳與南方澳附近，可以觀察到類似平板狀結構的板岩露頭，板岩的出現正式宣告我們進入變質岩區域。蘇澳鎮一帶在地質上屬於廬山層，多由板岩、千枚岩組成。如果想觀察到更多的變質岩，在豆腐岬海灘上，可以撿拾到石墨片岩(黑色片岩)、角閃岩、石英雲母片岩和綠泥石片岩(綠色片岩)等。若細細觀察，這裡也經常可以撿拾到蛇紋岩、以及台灣玉。在野外考察時，不仿在此試試手氣。



圖二、豆腐岬的千枚岩

差異侵蝕的影響，形塑了台灣北部與東北部許多特殊的海岸地形。從尺度較大的灣澳地形、從鼻頭至頭城的單面山、以及尺度較小的南雅奇岩、蕈狀石等等。以常見的單面山為例，單面山的發生通常始於砂岩和頁岩相間的沉積岩層，受板塊構造運動的推擠而隆起傾斜。這個傾斜的岩層面對強風、雨、海浪時，水經常沿著較脆弱的頁岩層侵蝕進去，進一步可能導致頁岩層與砂岩層的交界面產生剝離。剝離面上方的岩層可能因為重力作用而整片滑落，形成我們看到矗立在東北角海岸的單面山。烏石港的蘭陽博物館，當初就是以單面山的形象來設計，讓博物館與當地的地景相互映和，具有相當特別的巧思與創意。



圖三、蜜月灣附近的單面山



圖四、八斗子的灣澳地形，中間內凹為灣澳，兩側有岬

上述提及的三大岩類、礦物、構造等地質與地形景觀，非常值得老師或家長引導學生進行觀察與探究。除此之外，台灣的東北角沿海還有許多相當有趣的海洋特色，包括隨季節擺盪的黑潮、影響水域活動的強勁潮流、蜜月灣的離岸流、以及各式的漁具漁法等，我們將在下一次的行旅中，跟大家分享。