



■ 曾筱君

# 人為活動如何 影響海洋與氣候變遷

氣候變遷造成的糧食短缺、漁獲量下降、天然災害增加和氣候難民的遷徙，都可能影響南中國海周邊國家的穩定，其影響可能是國內的政局變動，也可能是國與國間的國際紛爭。



現今大氣中的甲烷濃度是工業革命前的 2.5 倍，  
而這些增加的甲烷氣體主要是受人為活動影響而產生。

## 全球氣候變遷 甲烷算老幾

近幾年「氣候變遷」這個名詞成了媒體的新寵兒，倒也不是媒體忽然對氣候變遷產生了興趣，而是氣候變遷在世界各地造成了許多嚴重的影響。從加州、澳洲的森林大火，到西班牙、義大利的洪水，還有太平洋、大西洋上接連形成前所未有的超強颱風，都危及了人民生命和財產的安全，也衍生出許多國際問題。

說到氣候變遷、全球暖化和溫室效應氣體，大家都會想到二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ），畢竟二氧化碳主導了全球 56% 人為溫室效應的影響力。但是引起筆者興趣的不是二氧化碳，而是甲烷（ $\text{CH}_4$ ）。甲烷是一種無色、無味的氣體，也是大家所熟悉的天然氣，在溫室效應氣體的行列中，排名第二，目前對全球人為溫室效應有 32% 的影響力。雖然在大氣中的濃度較二氧化碳低，但是每單位甲烷對溫室效應的影響力，若以 20 年的時間尺度來看則是二氧化碳的 86 倍。

政府間氣候變遷小組（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）在 2013 年的

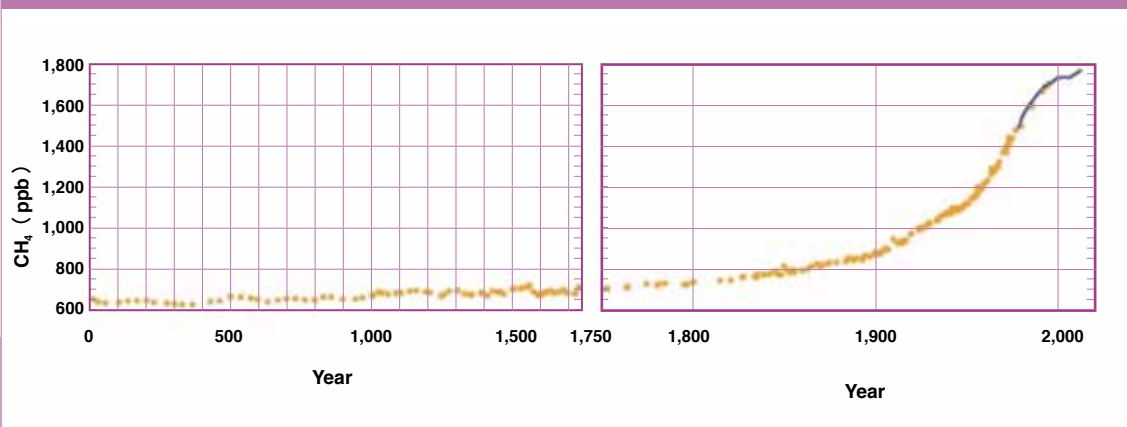
報告中指出，工業革命之後，大氣中的甲烷濃度急速增加，從 1750 年的 722 ppb 到 2011 年的 1,803 ppb。現今大氣中的甲烷濃度是工業革命前的 2.5 倍，而這些增加的甲烷氣體主要是受人為活動影響而產生。

甲烷的主要來源是有機質在缺氧環境中分解而產生（例如溼地、稻田、廢水、垃圾掩埋場等），天然氣田、煤礦區、油田還有畜牧業等都是甲烷氣的主要來源。根據筆者團隊的研究結果，在一些特定區域，例如南中國海，所釋放的甲烷氣對溫室效應的影響力和二氧化碳相當。由於甲烷的平均壽命只有 12 年，若致力於甲烷減量，則可以在短時間內看到減排的成果。

## 人為活動對海洋甲烷的影響

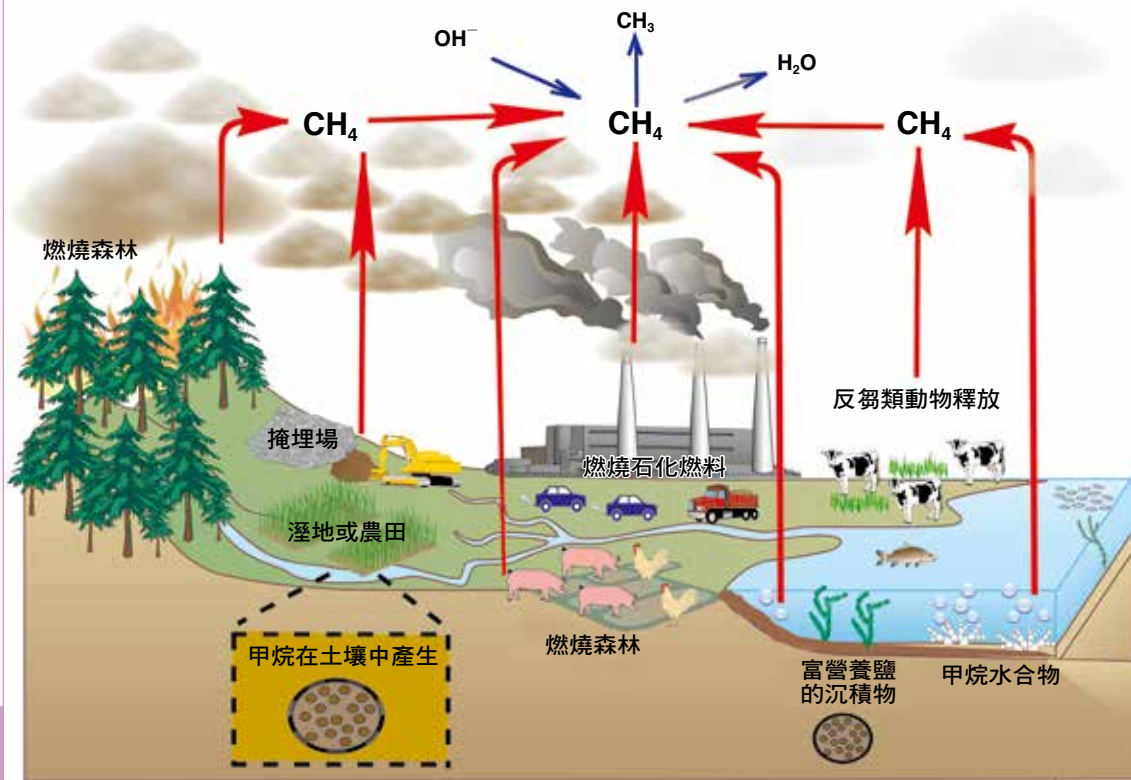
筆者的研究團隊分別於南中國海和西菲律賓海，利用 8 次的研究航次進行甲烷釋放量的研究，結果顯示南中國海的甲烷濃度大致比西菲律賓海高。若把每 100 公尺的甲烷濃度平均，可以得知南中國海的平均甲烷濃度不論在表層、中層或深層都比西菲律賓海高。

大氣中甲烷濃度的歷史變化圖



資料來源：IPCC, 2013

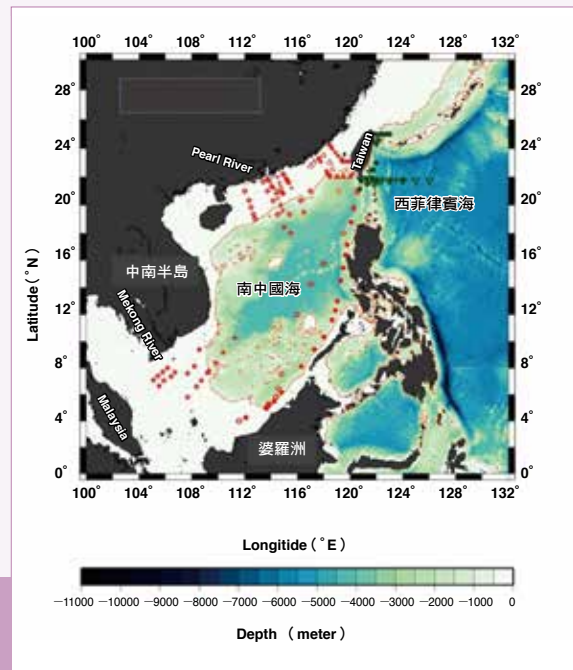
甲烷產生途徑的示意圖



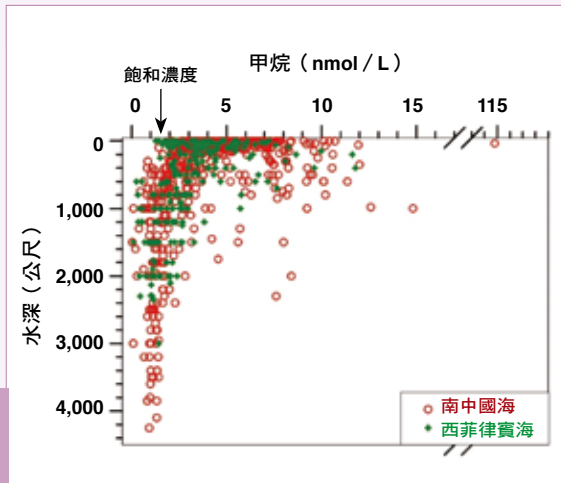
圖片來源：修改自 Tseng et al., 2018

南中國海在溼季時（5～10月）的甲烷釋放量約為  $8.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ，由於每單位甲烷對溫室效應的影響力是二氧化碳的 86 倍，則南中國海釋放的甲烷對溫室效應的影響力相當於  $740 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  的二氧化碳釋放量。根據前人的研究，南中國海在溼季時二氧化碳的釋放量約為  $630 \sim 730 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ，由此可知南中國海所釋放的甲烷對溫室效應的影響力和二氧化碳相當。

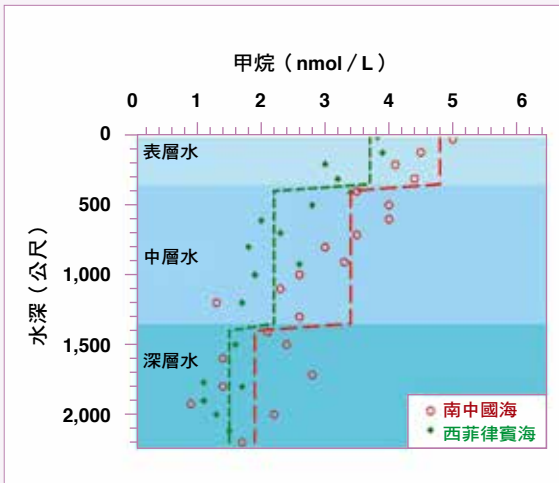
南中國海沿岸居住約 2.7 億人口（全球人口的 5%），接收了許多河川和沿岸帶來的營養鹽、有機質和汙染物。且南中國海周邊國家近幾年工業化的腳步加快，經濟逐漸起飛，海上貿易驅使了沿海城鎮的都市化，也讓更多人由內陸往沿岸移動，以尋求較多的工作機會，更多人為汙染物和廢水因而排放至河川和沿岸。



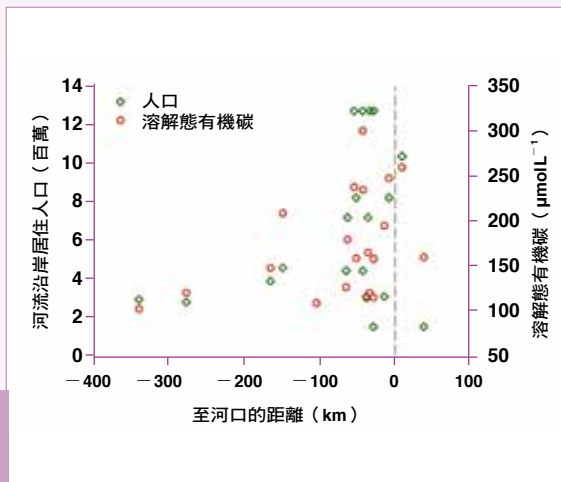
研究區域與採樣位置（符號標示處是採樣站位）。（圖片來源：修改自 Tseng et al., 2018）



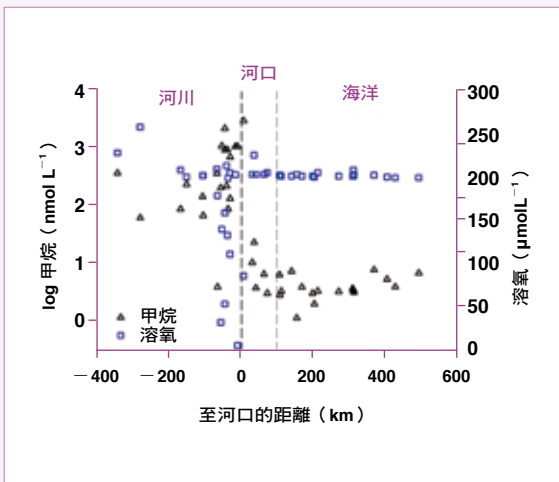
南海與西菲律賓海甲烷濃度隨深度的變化圖（圖片來源：修改自 Tseng et al., 2017）



南海與西菲律賓海每 100 公尺平均甲烷濃度隨深度的變化圖（圖片來源：修改自 Tseng et al., 2018）



珠江沿岸居住人口與河川內溶解態有機碳濃度隨河口距離的分布圖（圖片來源：修改自 Tseng et al., 2018）



珠江甲烷和溶氧濃度隨河口距離的分布圖（圖片來源：修改自 Tseng et al., 2018）

以珠江三角洲為例，面積是台灣的 1.5 倍，1990 年居住人口約 2 千 1 百萬人，由於工業化和都市化，2007 年人口增加一倍，達到 4 千 7 百萬人，而至 2013 年已增加到 5 千 7 百萬人。珠江三角洲從 1990 至 2013 年，二十多年間人口密度增加了約 2.7 倍，然而都市規畫和汙水處理廠的建立並沒有跟上人口增長的腳步，使得沿海環境承受了更多的汙染。

珠江沿岸居住人口增加，河川內溶解態有機碳濃度也隨之增加，甲烷濃度也會增加，溶氧（溶解態氧氣）濃度下降。當珠江注入南中國海後，因為混合了大量海水，造成水體內甲烷濃度下降，而溶氧濃度升高。

此外，隨著經濟成長，人民的生活型態也跟著改變，飲食從高碳水化合物轉而增加更多肉類攝取，從 1980 到 2003 年，



## 經濟發展帶來的環境和氣候問題將影響人類健康和生命安全，並可能造成其他經濟和民生問題，而引發政治和國際衝突。

中國的肉品需求量增加了約 3.7 倍。南中國海周邊國家的經濟成長帶動了其對肉品需求量的增加，畜牧和水產養殖業的規模也逐漸擴大。由於大部分國家的污水處理率很低，畜牧和水產養殖業所產生富含高營養鹽和有機質的廢水，因而隨著河流排放至河口和沿岸地區。

當過多的營養鹽和有機質排放到水體時，藻類會利用這些營養鹽生長，製造更多的藻類。而這些藻類生命周期通常只有幾天左右，藻類死亡後沉降並在底水或沉積物中分解，分解過程會利用水體中的氧氣，便形成表水有著過多的藻類，而底水逐漸變成低氧或缺氧的狀態，有利於甲烷的生成。這可能使得河口地區排放甲烷至大氣中，而南中國海甲烷的釋放量也可能隨之增加。

### 氣候變遷對未來人類的影響

經濟發展和人為活動造成了環境壓力，使得環境和氣候狀態改變，而這些改變又會對未來南中國海周邊國家的人們造成什麼樣的影響呢？

根據 IPCC (2013) 對未來氣候的預測，海洋表水溫度會升高，使得全球的魚類分布改變，魚群們將往更適合生存的水溫區域移動。一般而言是往緯度較高的區域遷徙，而這個改變對熱帶和半封閉性海域影響最大。南中國海是位於熱帶的半封閉海域，因此未來南中國海商業捕撈的漁獲量可能會受氣候變遷的影響而減少。

另外，依照氣候模式預測未來的氣候變遷狀態，21 世紀東南亞區域乾旱的頻率將增加且時間拉長，同時伴隨了急降雨和更強烈的颱風。除了沿岸的建築可能受強勁颱風影響而遭破壞外，交錯的乾旱和強烈降雨會影響農作和收成，可能造成糧食

短缺的狀況。由於海表升溫，使得兩極冰川溶解，造成海平面上升，可能影響沿海居民生命和財產的安全，低窪地域的居民未來可能需要因此遷移。海平面上升而造成的土壤鹽化，也會影響該區域的農作物。

氣候變遷造成的糧食短缺、漁獲量下降、天然災害增加和氣候難民的遷徙，都可能影響南中國海周邊國家的穩定，其影響可能是國內的政局變動，也可能是國與國間的國際紛爭。此外，南中國海是目前世界上爭議性最高的海域之一，由於有著豐富的礦產和漁場，從歷史記載至今一直存在著許多爭議性的島嶼和海域。未來若受氣候變遷影響使資源量下降，則南中國海周邊國家的衝突可能升高。因此氣候變遷不僅僅是氣候問題和科學議題，也可能引發經濟和民生問題，更可能變成政治和國際問題。

### 減緩和適應氣候變遷的影響

南中國海周邊國家經濟正快速起飛，卻同時面臨許多嚴峻的環境問題，但該區域海洋及河川的研究和觀測非常少，且大部分國家對環境汙染和廢水處理的規範或法律約束不夠嚴格，執法也不確實，更遑論制定減少溫室效應氣體排放的政策。經濟發展帶來的環境和氣候問題將影響人類健康和生命安全，並可能造成其他經濟和民生問題，而引發政治和國際衝突。這如同蝴蝶效應般，牽一髮而動全身的氣候變遷問題有沒有解決或減緩的方法呢？怎樣的因應之道才是最佳解方？

首先可以經由教育提升人民環保意識，IPCC 在 2014 年的報告中指出「人為溫室效應氣體的排放主要受人口數、經濟活動、生活方式、能源使用、土地利用、科技和氣候政策的影響」。唯有改變人類的

行為和生活方式，才能有效減緩氣候變遷。我們每天都面臨不一樣的選擇，人們選擇了他們的經濟活動、生活模式、能源使用、土地利用方式，而這些選擇影響了我們的環境和氣候。教育不僅能提升人民的環保意識，更能幫助人民做出對自己和環境更好的選擇和決定。

循環經濟是一個資源可恢復且可再生的經濟和產業系統，相較於工業革命後的線性生產消費模式，循環經濟在生產時就想到廢棄物的處理方式，進而改善生產模式或重新設計材料、產品、製程或商業模式，使資源能以循環再生、永續的方式被利用。除了減少廢棄物外，也設法以更少的資源創造更多的價值。舉例來說，若把畜牧業排放的高有機質汗水收集，經密閉處理其產生的甲烷氣，則可轉換成生質能源。若把台灣所有養豬業的排泄物及汗水集中處理，每年約可產生 5 億台幣的產值。

而除了提升人民的環保意識，增加回收比率和廢棄物分類外，也必須有相關的公共建設進行廢棄物處理，提升汗水接管率和建立汗水處理廠，才能減少民生、商業、工業等廢水影響我們的環境。此外，積極發展環境科技和增加再生能源的利用比率，以科技的方式維護自然環境，並降低人類活動對其帶來的負面影響，使用可

再生利用的新能源，減少溫室效應氣體排放，以達到永續發展的目標。

由政府機關統籌管理，在政府與政策面進行改革與推動，可以提供不一樣的解決辦法。例如制定法律，以法律限制溫室效應氣體排放量，或增收環保稅，除了以經濟手段驅使廠商使用較環境友善的生產方式外，也可把增加的稅收轉用在環境保護上。另外，由政府間制訂的國際合約也可相互合作、互相約束，共同保護環境與減緩氣候變遷，例如巴黎協定。

科學數據和研究證明了大氣中溫室效應氣體濃度的上升，主要來自於工業革命後人為活動的影響。當面對如何降低溫室效應氣體的排放，減少和適應氣候變遷可能帶來的影響時，要思考的不僅僅是科學問題，還有社會、科技、人文、經濟、法律、政府等面向。氣候變遷是本世紀全人類面臨的最大問題，需要有更多不同領域的人們加入、共同討論、一起合作，相信偕所有人之力有機會改變人為所造成的氣候變遷。

---

曾筱君

臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所

---

