

氣候變遷與水質 「五大湖區氣候變遷及水質：風險、機會及反應」研討會

(國立臺灣大學公共衛生學系教授 兼 全球變遷研究中心大氣化學組組長 王根樹)

背景

在公元 2000 年，由美國與加拿大雙方聯合設立之國際聯合委員會 (International Joint Commission, IJC)⁽¹⁾ 確認氣候變遷和氣候改變對五大湖區影響的重要性。因此，IJC 要求其五大湖區水質委員會提供關於氣候變遷的影響的訊息，並且提供關於針對其影響可採取的處理方案的詳細資訊。為了收集這些訊息，委員會完成一份「五大湖區氣候變遷及水質：風險、機會及反應 (Climate Change and Water Quality in the Great Lakes Region: Risks, Opportunities, and Responses)」^(2,3) 的白皮書，這份白皮書在 2003 年 4 月以初稿形式發布。2003 年 5 月 28-29 日，美國環保署、國際聯合委員會 (International Joint Commission, IJC) 和加拿大環境署 (Environment Canada) 聯合在底特律舉辦一場氣候變遷研討會。研討會的目的在討論由 IJC 的五大湖水質委員會所提出的白皮書。透過專題討論，出席人被要求針對白皮書內容提出回饋與建議⁽⁴⁾。白皮書定稿後將提交五大湖區水質委員會處理氣候變化問題的建議。

研討會討論之主題包括下列事項：

- (1) 氣候變遷對於人類健康、農業、遊憩、旅遊、運輸、生態系統和經濟的影響；
- (2) 對於氣候變遷對五大湖區有利使用的影響的相關研究；
- (3) 提供決策者關於處理氣候變遷的問題的適當決定的工具；以及
- (4) 減少氣候變遷的有害效應或者利用其

正面影響的策略。

該研討會與會者明確表示氣候變遷目前正在發生，且其影響已經相當明顯。即使現在即採取積極的措施，亦以無法有效預防氣候變遷繼續在將來繼續造成問題。以下提供有關水質部分之討論供讀者參考，詳細資料請參閱美國環保署之網頁（網址請參閱參考文獻部分）。

氣候變遷與五大湖區之水質

白皮書內容是以整個生態系的觀點加以討論，而不僅僅集中於水質。白皮書內容探討氣候變遷對生態系的影響，並且探討其影響如何包含多個不同的系統，包括水資源、人體健康、農業、娛樂和經濟。讀者應該思考 3 個問題：哪些影響是我和各利害關係人 (stakeholders) 最關心的？哪些因應措施必需被執行？我們怎樣能適應這些改變？

模式模擬及不同研究均指出氣候變遷會影響集氣區 (airshed)、岸邊 (nearshore)、湖區 (inlake) 及流域。當氣溫提升時，下列現象可能發生：

- (1) 風暴的頻率和強度將改變，
- (2) 更多的年降雨量但雨量在作物生長季節期間將下降，
- (3) 高強度的降雨事件將更為頻繁，
- (4) 蒸發和蒸發散 (evapotranspiration) 比率將增加，
- (5) 將有較少冰在湖上覆蓋，並且

(6) 在冬季將有較少的降雪和較多的降雨。

這些影響將對生態系統、生物多樣性、娛樂和旅遊、農業、流量、湖水位、地下水和人體健康有顯著的效應。

生態系統和生物多樣性

因為氣候變遷所導致的熱環境狀況 (thermal condition) 和降雨類型將會界定適合此環境的野生動物和植物的類型。隨著環境的變化，某些類型的棲息地將消失，某些類型的棲息地將擴大，並且現有的社區架構和彼此交互作用將可能被改變。當某些動植物發現氣候變化為他們帶來新機會時，其他生物體的生存環境可能被影響。例如溫水魚的種類可能取代冷水魚的種類。樹種分佈可能受到氣候變遷的影響也很大，並且可能影響森林的「健康」狀態，促進有害的植物疾病和害蟲的活性，引起森林火災的增加，並且引起水源和水質的變化。稀有和瀕臨絕種的物種受到棲息地改變的壓力更大。此外，非原生物種能因氣候變遷而得到利益。

遊憩和旅遊

氣候變遷也可能引起遊憩和旅遊業方面的巨大變化。例如氣候變遷可能導致較長的夏天和較短的冬天，因而季節性的夏季活動（例如露營、划船、健行）時間將變長，但是冬季運動的季節將被縮短。較短的冬季將損害滑雪工業，滑雪場地將有一個更短的可靠雪季，並且必須倚賴昂貴的造雪設備來延長活動時間。即使管理夏季活動的人也可能面臨一些管理問題。例如，如果徒步旅行的季節更長，自然資源管理者將必須限制步道的使用以保護其免受濫用並且損壞？此外，如果氣候變遷引起一些負面效應，例如較差的水質，較低的水位，物種消失或者美觀問題，這時打獵、賞鳥、

捕魚、游泳、或者划船運動是否還是人們想要的活動？

農業

當確認氣候變遷可能導致一個較長的生長季節時，一個較溫暖的氣候可以引起一些農業上的不良效果。例如灌溉需求在關鍵季節期間（例如夏天及秋天）因為降雨隨著氣候變遷的減少而增加。此外，一些預測說明較溫暖的溫度將導致更多的害蟲和雜草的生長。如果這是真實的，以後將需要更多的殺蟲劑和除草劑來處理這些問題，這將增加農民的成本並引起環境問題。另外，高強度的降雨將增加土壤腐蝕的問題；此外，冬天的雨量預計將會增加，而降雪降低，也減少降雪所提供土壤腐蝕的屏障。因此將使水質受到影響。此外，氣候變遷可能影響農作物種類和耕種習慣的變化。

河川流量

研究顯示氣候變遷也將導致河川流量在時間和流量上的變化。當冬季預期有更多的水流流過地表及河川時，夏季和秋季的低流量現象很可能會增加。這些變化不僅將影響水質，也可能增加不同用水的衝突，例如用於維持河川生態的需要和用於經濟用途的水量需求。模式模擬顯示在特倫特河 (Trent River) 進行的結果，夏天流量在 2030 年可能降低達 22%，2050 年達 37%，在 2090 年達 55%。

湖泊水位

多數氣候變遷情境模擬顯示五大湖區的水位將會降低。一些模式預測大約降低 22 厘米，其它模式預期可能有 2.5 米的水位下降。較低的湖泊水未可能對運輸、旅遊、遊憩、漁業、工業、都市、農業和人體健康產生負面影

響(細節請參閱白皮書)。水位改變也對濕地和居住在此種環境的植物和動物產生巨大的影響。

地下水

一些研究認為氣候變遷可能引起地下水補注、地下水位、以及基礎流量(base flow)的減少。在此種情形下,將影響地下水基礎流量以及其流到溪、湖和濕地的水量。研究也提出一些季節性的影響。在某些關鍵的季節(例如春天和初夏)預期將有較少的流量,而在冬天則預期有較多的流量。在河川流量方面,來自地下水的比例也將改變。

水質

氣候變遷可能對水質有巨大的影響。水溫的增加會影響水體的物理、化學、和生物作用。一些研究認為此將延長的水體的熱分層並導致較少的混合,提升無脊椎動物和微生物的代謝比率,增加厭氧分解的潛能。所有這些因素都能影響水質。非點源污染也被認為會隨著氣候變遷而成為一個更顯著的問題。「土壤和水保護協會(Soil and Water Conservation Society)」最近發布的報告就說明降水強度的增加能導致較大的腐蝕和底泥、營養物、和殺蟲劑的擾動。點源污染也可能隨著氣候變遷而成為一個更嚴重的問題,因為流量的降低將導致河川涵容能力的減少,使得點源污染更難達到現有的水質標準。

人體健康

氣候變遷也可能將影響人體健康。人可能受到影響的因素包括:(1)極端天氣事件的增加,例如洪水和冰風暴的增加;(2)熱浪事件的增加及寒流事件減少;(3)蟲媒疾病和嚙齒

動物導致疾病的增加;以及(4)較差的空氣品質。當溫度上升時,地面臭氧濃度的上升也引起不良的健康影響,也導致一個更大的問題。最易受傷害的人主要是孩子和老年人,以及低收入和免疫能力受損害的人。氣候變遷也可能導致合流式下水道的溢流而引起水質問題。美國和加拿大有許多合流式下水道系統,所貢獻的污染物(包括細菌)在高降雨量期間影響水體水質。隨著氣候變遷和高強度降雨事件的頻率增加,可預期將有更多合流式下水道溢出污染物的事件。

針對白皮書初稿所提出的建議

研討會參與者建議藉下列兩項重點加強白皮書的內容:(1)在氣候變化和溫室氣體間的關聯性;和(2)加強為緩和氣候變遷所進行的努力。除了說明溫度上升之趨勢外,也應究溫度何以上升之原因加以說明,以增進一般人員之了解。與會者也認為相關部門已確認氣候變遷為全球變遷之因素之一,相關部門應針對目前已進行的溫室氣體減量工作加以說明,例如對於促進能量效率的努力;這個策略不僅降低溫室氣體的釋放,並且對降低生產成本及降低空氣污染物有所助益。

透過分組報告及公開討論,與會者對於前述白皮書提出一些具體建議以強化其內容,主要包括下列幾個重點:

- (1) 增加關於在溫室氣體和氣候變遷之間關聯性的資訊,
- (2) 增加導因於氣候變遷而產生的正面效應的例子,
- (3) 提供決策者關於各項資訊的不確定性的資料,
- (4) 強化關於氣候變遷預測的討論和有關其影響的討論之間連結,



- (5) 為充分瞭解其風險，應提出最壞情況和最佳結果的情境 (scenario) 以供決策者參考，
- (6) 提供更多關於氣候變遷之基本效應和累積效應的資訊，
- (7) 提供更多關於氣候變遷對於農業的影響，
- (8) 包含更多由不同經濟角度探討氣候變遷的訊息，
- (9) 提供可採取的最可能成功策略的訊息，
- (10) 提供管理者和使用人所需的訊息，
- (11) 討論生態系統變化的可能性，
- (12) 提供關於氣候變化對食品衛生影響的

訊息，以及

- (13) 增加更多可用來使腐蝕減到最小的可用方案的訊息。

資料來源：

http://www.jic.org/en/home/main_accueil.htm

<http://www.jic.org/php/publications/html/climate/index.html>

<http://www.fes.uwaterloo.ca/research/airg/wetlands/index.htm>

http://oaspub.epa.gov/eims/eimsapi_dispdetail?deid=66554