國際民航組織在淨零碳排的努力

ICAO’s effort to Net Zero

楊憶婷[1]

航空業二氧化碳排放

航空業對於二氧化碳排放貢獻，可以從疫情期間觀察及驗證。Le Quéré et al.(2020)以 2020 年 COVID-19 發生後及 2019 年發生前的每日全球碳排放資料進行比較。其中以電力(Power)、工業(Industry)、地面運輸(Surface transport)、公共建築及商業(在圖中以 public 代表)、住宅(Residential)及航空業(Aviation)六種不同的人類活動造成二氧化碳排放量分類比較，結果如圖 1。除了住宅以外，其餘的分類都在 COVID-19 發生後，二氧化碳排放量下降，在地面及空中運輸部分，因疫情大流行影響運輸業，進一步明顯的影響二氧化碳排放量。如以 2020 年 4 月 7 日為例，航空在全球在二氧化碳排放量下降了 60%，不確定範圍在-1.7 至-2.2 MtCO2d-1。可見空中運輸的二氧化碳排放貢獻。

[1]國立科學工藝博物館副研究員

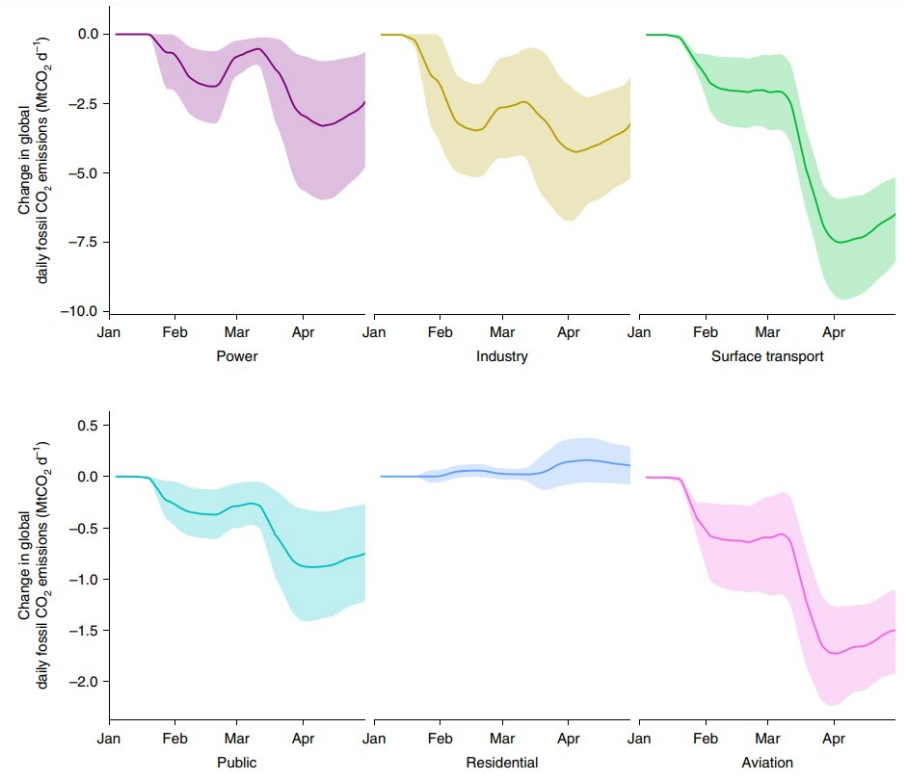

圖 1：2020 年全球每日 CO2 排放量(MtCO2d-1)相較 2019 年的平均日排放量差異。曲線經過平 7 天滑動平均。顏色的範圍量是當日的不確定範圍。(Le Quéré et al. 2020)

國際政策的努力

國際間對人為排放的溫室氣體減量，已有許多政策上的努力，例如：聯合國為達到溫室氣體減量目標，希望制定具有國際約束力的議定書，故於 1997 年通過了「京都議定書」，希望將大氣中的溫室氣體穩定在一個適當的水準，並在 2005 年生效。其中京都議定書第 2 條第 2 項指出，締約國應分別透過國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO) 及國際海事組織(International Marine Organization)，限制或減少航空與航海燃料所產出的溫室氣體排放。直到 2015 年聯合國氣候峰會中通過「巴黎協定」，希望能將全球平均氣溫升幅控制在與工業時代相比最多攝

氏 2 度內，但航空業卻沒有出現在約束產業中，而航空業跨越各國領空，排放溫室氣體多發生在國境外，很難歸屬排放責任。2016 年 ICAO 第 39 屆會員大會，同意每年將航空燃油效率提高 2%，從 2020 年起達成民航零碳成長目標(carbon-neutral growth)，亦通過「國際航空業碳抵消與減排計畫」(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for Inrternational Aviation, CORSIA)。

從抵銷減排到淨零排放

2019 年第 40 屆會議中，會員國要求 ICAO 理事會須研究及評估國際航空的全球長期理想目標(Long-Term Aspirational Goal, LTAG)可行性、可實現性及影響，例如：航空相關技術和燃料對二氧化碳排放的影響、成本及投資的影響、對發展中國家的響等，並將於 ICAO 的 41 屆大會中討論。在 ICAO 的第 41 屆大會中，各國政府、企業和民間代表共同參與，並通過了 2050 年的淨零排放的長期理想目標(ICAO, 2022b)，各國政府及企業均承諾在 2050 年實現淨零碳排目標，並實施有利的政策，例如：鼓勵可持續航空燃料(sustainable aviation fuels, SAF)產能。該協議類似國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)2018 年對溫室氣體排放的策略，而後 IMO 的策略催生了低排放和零排放船舶的政策和投資(Rutherford and Comer, 2018)。ICAO 的長期理想目標也可能成為航空業改革的催化劑，與 2016 年的 CORSIA 相似，但長期理想目標更強化企業和政府對航空業脫碳的承諾，鼓勵各國制定行動計劃(State Action Plans, SAP)，並推廣替代燃料和開發替代技術以實現長期理想目標。從 CORSIA 到 LTAG 的制定，表示 ICAO 對溫室氣體政策從「抵消排放」轉為「採取措施大幅減少飛機和燃料產生的二氧化碳」。但 LTAG 是不具約束力的協議，因此需要進一步轉化

為具有約束力的國家政策或國際政策。

ICAO 通過的長期理想目標確立了 2050 年淨零排放願景，並描述各國用於實施該協議的流程。淨零意味著大幅削減飛機及其燃料的排放，該協議不再採用抵消排放的措施，而是採取直接減少航空二氧化碳排放的措施。會員國應採取具體措施減少排放，並輔助及引導民間企業和投資單位開發新技術(ICAO, 2022a)。ICAO 致力於協調和整理國家最佳做法，並在較貧窮的國家開發航空技術和替代航空燃料。

LTAG 發布賦予會員國實現淨零排放的責任，並 ICAO 理事會扮演協調角色，並具有以下任務(ICAO, 2022a)：

1. 為會員國制定及更新政策和措施的應用指南，並監測各國 SAP 的進展。
2. 建立融資機制以支持發展中國家的脫碳。
3. 開發可量化航空業排放溫室氣體的工具。
4. 確認氣候變遷對國際航空和相關基礎設施的潛在影響，並決定適當的因應措施。

會員國需在製訂國家的航空排放控制措施發揮核心作用，並在 2024 年 6 月前向 ICAO 提交一份 SAP，詳細說明如何控制航空業溫室氣體排放，並每三年更新一次 SAP。請各國針對可再生燃料訂定措施，特別是可持續航空燃料的政策，並鼓勵各國引進更新及更省油的航空飛行器。另外，敦促會員國加快對淨零排放飛行器開發的投資，並與企業合作實施空域及地面營運的環境高效利用，進而減少碳排放。也希望各國將航空因應措施納入國家的氣候風險評估和

重要政策(ICAO, 2022a)。

LTAG 的發布也代表 ICAO 因應氣候變遷政策的重大改變，分析如下：

1. 支持採取行動直接減少飛行器和其燃料產生的溫室氣體，而不再通過購買排放信用額度或從其他部門抵消來減少排放。
2. 已設想到 2050 年將航空業二氧化碳排放量大幅削減至接近零的目標。
3. 請會員國自行監管航空業排放，而不是靠 ICAO 製訂規範，讓所有國家都要達到最低全球標準，將付諸行動的責任從 ICAO 轉移到各會員國。

但 ICAO 的長期理想目標仍缺少重要面向。例如：它沒有為各國分配單獨目標，因此國家和航空公司都沒有直接減排義務；它沒有設定中期目標確保航空公司不會過快消耗全球碳預算中的額度；最後，在筆者 2020 年曾經在飛航天氣發表「航空與氣候變遷」的文章提及(楊，2020)，因航空業排放所造成的有效輻射驅動力，還包含氮氧化物、水蒸氣和凝結尾等(Lee et al., 2021)，這些因航空業產生的排放也影響到氣候變化，尚未包含在 LTAG 中。

低碳航空飛行器及燃油效率

實現 2050 年淨零碳排目標需要迅速採取行動。圖 1 顯示了 ICAO 推測未來的可能溫度，假設從 2022 年開始線性減少，2050 年約下降攝氏 1.6 度，如圖 1 的綠色虛線；假設現在到 2049 年持續增長，2050 年突然下降，曲線如紅色虛線，上升幅度到攝氏 2.3 度。圖 2 彩色細線表示許多單位預計的淨零路徑軌跡，並以 2019 年的排放進行標準化，可以從圖中注意到，大多數淨零路徑軌跡圖設定到 2025 年航空業二氧化碳排放達到峰值，隨後將低於 2019 年的排放量(Air Transport Action Group, 2021; Airlines for Europe, 2021; Graver et al.,

2022; Federal Aviation Administration, 2021; Mission possible partnership, 2022)。航空業實現 2050 目標尚需要積極的政策來推動對低碳航空飛行器和其燃料的投資(Graver et al., 2022)。

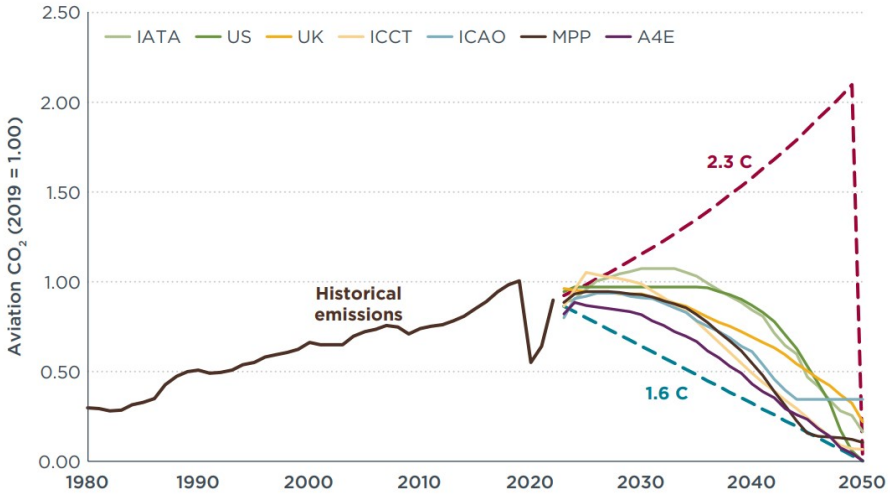

圖 2：1980 年至 2050 年航空業二氧化碳排放量，其中 1980 年至 2022 年為歷史資料，2023 年後為推測路徑軌跡。圖中 IATA 為 International Air Transport Association 國際航空運輸協會、ICCT 為 International Council on Clean Transportation 國際潔淨運輸理事會、MPP 為：Mission possible partnership 可能任務夥伴關係、A4E 為 Airlines for Europe 歐洲航空公司協會。

英國十點計畫

英國是首先制定氣候變遷法的國家，透過有約束力的法律以減少溫室氣體排放，英國在 2021 年 11 月因主辦第 26 屆聯合國氣候變遷大會，希望奠定綠色工業領先全球的基礎，並以身作則領導各會員國儘速採取氣候行動，2020 年 11 月首相 Boris Johnson 在 COP26 前夕發布英國邁向 2050 年的綠色工業革命「十點計畫(10-point plan)」(BEIS, 2020)，希望英國成為全世界潔淨能源技術的先鋒，並於同年 12 月宣布英國將在 2030 年較 1990 年排放減 68%的目標。英國展現對淨零排放的高度企圖心，勢必在航空業碳排放上有所作為，因此在文章的這個段落中，特別介紹英國淨零排放的作為。

在十點計畫中的第 6 點「航空業零排放及綠色船舶」，便是針對航空及海運的淨零排放。英國希望要在未來這一場綠色革命中，讓英國成為空運及海運

技術先鋒且占有領導國際的地位。在航空業的淨零排碳方面主要執行措施包含(Department of Transport, 2022)：

1. 成立 Jet Zero 理事會：Jet Zero 理事會可作為航空業所有相關產業的合作夥伴關係，以加速新航空業淨零排放技術開發和應用，及協助政府制定航空業的淨零策略。

2. 零排放的航空器：包含以下兩項主要的政策方向

(1) 淨零排放航空研發：投入 1,500 萬英鎊於研究，透過航空技術研究院(Aerospace Technology Institute, ATI)進行研究設計與開發零排放飛機相關策略、技術與商業議題，預計淨零排放飛機於 2030 年開始服務。

(2)永續航空燃料：投入 1,500 萬英鎊支持英國生產永續航空燃料；設立 SAF 資訊交流所，使英國能認證新燃料，加速推動 SAF 領域創新，此做法為歐洲首例；在 2025 年前針對 SAF 的規範進行專家諮詢。

(3)支持零排放航空器市場：英國機場的基礎設施升級，以符合淨零排放飛機轉型所需。

英國預估航空及航海業的淨零排放技術可達 120 億英鎊價值，這些措施將使英國能夠生產可持續的航空燃料，鞏固英國航空領域作為世界領導者地位。

結論

在全球國家達成 2050 淨零排放的目標的方向前進時，還是有些問題浮現，例如：發展中國家需要繼續擴大其航空業，而這些國家能獲得低碳技術的機會較少，甚至希望為實現淨零排放預留更多時間，並且認為已開發國家應該首先脫碳，因為它們對歷史上的二氧化碳排放負有更大的責任。另外，ICAO 將輔助發展中國家脫碳的資金，並鼓勵已開發國家和發展中國家合作促進技術和資源的轉讓，而融資來源可能將來自於飛航徵稅(Zheng and Rutherford,

2022)。

ICAO 的提出長期理想目標對航空業來說是一個重大轉變，不過要達成這樣的目標，但仍然需要各國做出承諾，且投資低碳航空器及其燃料技術，刺激航空業解決碳排放量持續增長的問題，而在英國的例子上，可以知道這些措施已經開始發揮作用，並提出實際方法朝向目標前進。

參考資料

楊憶婷，2020，航空與氣候變遷，*飛航天氣*，**34**，1-15。

Airlines for Europe. 2021: Destination 2050: A Route to Net Zero European Aviation. https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/03/Destination2050_Report.pdf

Air Transport Action Group. 2021: Waypoint 2050, https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf.

BEIS. 2020: The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution-Building Back Better, Supporting Green Jobs, and Accelerating Our Path to Net Zero.

Department for Transport, UK. 2022: Jet Zero Strategy: Delivering Net Zero Aviation by 2050, https://www.gov.uk/government/publications/jet-zero-strategy-delivering-net-zero-aviation-by-2050

Federal Aviation Administration, USA. 2021: Aviation Climate Action Plan, https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf

Graver B., X. S. Zheng, D. Rutherford, Mukhopadhaya Jayant, and Pronk Erik. 2022: Vision 2050- Aligning aviation with the Paris agreement. The International Council on clean transportation, Washington, DC. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/06/Aviation-2050-Report-A4-v6.pdf

ICAO Assembly. 2022a: Consolidated Statement of Continuing ICAO Policies and Practices Related to Environmental Protection-Climate Change. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A41-21_Climate_change.pdf

ICAO Assembly. 2022b: Consolidated Statement of Continuing ICAO Policies and Practices Related to Environmental Protection-Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/Resolution_A41-22_CORSIA.pdf.

Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. et al. (2020) Temporary reduction in daily global CO_2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang.* **10**, 647–653. https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x

Lee, D.S., D. W. Fahey, A. Skowron, M.R. Allen, U. Burkhardt, Q. Chen, S.J. Doherty, S. Freeman, P.M. Forster, J. Fuglestvedt, A. Gettelman, R.R. De León, L.L. Lim, M.T. Lund, R.J. Millar, B. Owen, J.E. Penner, G. Pitari, M.J. Prather, R. Sausen, L.J. Wilcox. 2021: The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, **244**, 117834. https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1352231020305689?token=7688AF011EB68F718CBF265C969C4EC3A081EE08A92DF5D90A1224F9F731FB400ABE4104C10AAA583110F92D22C9F610&originRegion=us-east-1&originCreation=20221028200027.

Mission Possible Partnership. 2022: Making Net-Zero Aviation Possible: An Industry Backed, 1.5C-Aligned Transition Strategy, https://missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2022/07/Making-Net-Zero-Aviation-possible.pdf.

Rutherford D. and B. Comer. 2018: The International Maritime Organization’s Initial Greenhouse Gas Strategy. https://theicct.org/publication/the-international-maritime-organizations-initialgreenhouse-gas-strategy/ .

Zheng, S. X. and D. Rutherford. 2022: Aviation Climate Financing Using a Global Frequent Flyer Levy. The International Council on clean transportation, Washington, DC. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/09/global-aviationfrequent-flying-levy-sep22.pdf.