

出國報告(出國類別：其他)

參加「亞洲大洋洲地球科學學會(AOGS)
第 18 屆國際學術研討會」
視訊報告

服務機關：交通部民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：楊川德 臺長、藍嘉偉 主任氣象員
許秀妮 預報員、繆炯恩 預報員

派赴國家：臺灣，中華民國

出國期間：民國 110 年 8 月 2 日至 8 月 6 日

報告日期：民國 110 年 9 月 10 日

摘要

亞洲大洋洲地球科學學會(Asia Oceania Geosciences Society, AOGS)第十八屆年度會議，因應新冠肺炎 (COVID-19) 疫情影響，本(110)年度主辦國新加坡改採視訊方式舉辦為期五天(8 月 2 日至 6 日)之學術研究討論會議。民用航空局飛航服務總臺奉准以民航事業作業基金執行「110 年國際氣象年度研討會」出國計畫，加入 AOGS 會員及參與國際學術研究討論會議。本計畫透過參與大氣科學領域之「航空氣象」、「劇烈/極端天氣」、「極端氣候」及「颱風預報」等專題共 45 場報告，吸取國際氣象專業新知，將相關研究技術應用於實際觀測與預報作業上，並供後續相關專案規畫參考，以提升本總臺航空氣象服務之層級。

目次

壹、	目的	1
貳、	過程	3
參、	會議內容重點摘要	4
肆、	心得及建議	29
伍、	附錄	31
	一、大氣科學領域之各專題演講.....	31
	二、會議議程表	32

壹、目的

亞洲大洋洲為特別容易受到自然災害影響之地區，幾乎佔全球 80%的人喪生於自然災害相關事件中。故亞洲大洋洲地球科學學會(Asia Oceania Geosciences Society, AOGS)於 2003 年成立，旨在促進地球科學研究發展，透過科學教育、學術研究發展和社會倡導等渠道，探討自然災害相關議題及提出緩解方案，增進人類對災害事件之理解，降低人員傷亡及經濟損失。另 AOGS 致力與其他國際地球科學學會和工會保持良好的合作，例如歐洲地球科學聯盟(EGU)、美國地球物理聯盟(AGU)、國際大地測量學和地球物理學聯合會(IUGG)、日本地球科學聯盟(JpGU)、澳大利亞氣象和海洋學會(AMOS)和亞洲科學理事會(SCA)等，定期舉辦專業領域之研討會，及編製學術刊物(Geoscience Letters)與時事通訊(Newsletters)等。本(110)年度 AOGS 舉辦第十八屆國際學術研討會視訊會議(圖 1)，會中集結各國地球科學專業人士，包括美國、日本、韓國、新加坡、香港、英國、加拿大、印度、俄羅斯、中國大陸及本國之學術界和研究機構，就大氣科學(AS)、生物地球科學(BG)、水文科學(HS)、跨領域地球科學(IG)、海洋科學(OS)、行星科學(PS)、太陽和地球科學(ST)及固體地球科學(SE)等領域研討(圖 2)，當中以大氣科學討論報告篇數最多(佔 39%)，且涵蓋共 34 個專題(附錄一)。此會議有效增進各國研究人員交換研究心得與交流，促進合作發展之契機。

為連結交通部民用航空局於民國 110 至 113 年推動之航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(AOAWS-RU)並引進最新航空氣象預報技術，本計畫透過參與 AOGS 第十八屆國際學術研討會會議，瞭解國際氣象新知與技術發展趨勢，以增進本飛航服務總臺航空氣象作業與技術研發能力。本次出國計劃派員共 4 名，以視訊方式參與大氣科學類別下與「航空氣象」、「劇烈/極端天氣」、「極端氣候」及「颱風預報」相關之 7 大專題共 45 場報告。本計畫目標為增進航空氣象技術現況發展與未來展望專業知識，持續拓展航空氣象觀測與預報前瞻技術，以因應氣候變遷下航空氣象顯著危害天氣加劇之情境。另將連結國際實施全球空中航行計畫(GANP)，提供航空氣象資訊滿足各飛航領域之需求，以提升飛航安全與運作效率，並擴展未來與鄰區(日本、香港、韓國與新加

坡等)先進氣象科研單位交流與合作。



圖 1 2021 年亞洲大洋洲地球科學學會第 18 屆年度會議之宣傳資料。

Distribution	
Oral Presentations	1048
Atmospheric Sciences (AS)	409
Biogeosciences (BG)	33
Hydrological Sciences (HS)	143
Interdisciplinary Geoscience (IG)	92
Ocean Sciences (OS)	98
Planetary Sciences (PS)	29
Solar & Terrestrial Sciences (ST)	168
Solid Earth Sciences (SE)	68
Special Sessions (SS)	8

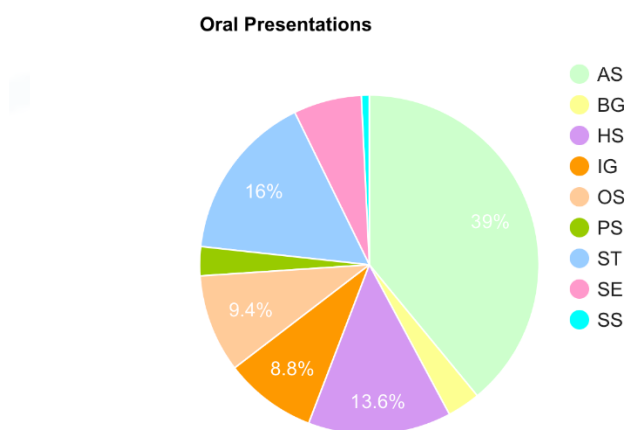


圖 2 統計各專業領域之會議簡報發表數。

貳、過程

日期	會議起迄(臺灣時間)	活動記要
8月2日 (星期一)	08:30-10:30	「航空氣象」專題海報發表
	11:00-13:00	「航空氣象」專題簡報發表
	13:30-15:30	
8月3日 (星期二)	08:30-10:30	「劇烈/極端天氣」專題簡報發表
	11:00-13:00	
	16:00-18:30	「航空氣象」專題海報發表
8月4日 (星期三)	08:30-10:30	「極端氣候」專題簡報發表
	11:00-13:00	
	15:15-18:00	「極端氣候」教學
8月5日 (星期四)	08:30-10:30	「颱風預報」專題簡報發表
	11:00-13:00	
	13:30-15:30	
8月6日 (星期五)	08:30-10:30	「劇烈天氣」專題簡報發表
	11:00-13:00	

詳細會議議程如附錄二。

參、 會議內容重點摘要

本計畫依會議議程(附錄二)參與各場次之發表視訊會議，當中「航空氣象」專題與本總臺業務直接相關，爰就「航空氣象」專題共 18 場之報告重點說明如下。

一、 Retrieval of Eddy Dissipation Rate (EDR) Estimates using the 1-Hz In Situ Aircraft Quick Access Recorder (QAR) data

使用 1-Hz 航機(QAR)資料反演渦流消散率(EDR)

報告利用 2012 年南韓航空器(B737 及 B777)上的 Quick Access Recorder(飛行紀錄器)資料，分析其風場後可計算出 EDR(Eddy Dissipation Rate)。因為 EDR 為 ICAO(International Civil Aviation Organization)使用之亂流強弱數據參考值，相較於以往傳統儀器固定於一點(例如光達等)，只能分析單點上空大氣的亂流情形。藉由分析航空器內飛行紀錄器資料，可以讓我們對大氣內亂流的分布及強弱有更好的認知。本研究分析了三個案例：CIT(雲內亂流)、CAT(晴空亂流)、MWT(山岳波亂流)，三個案例在 EDR 強度及亂流分布上皆有很好的相關性(圖 3)。

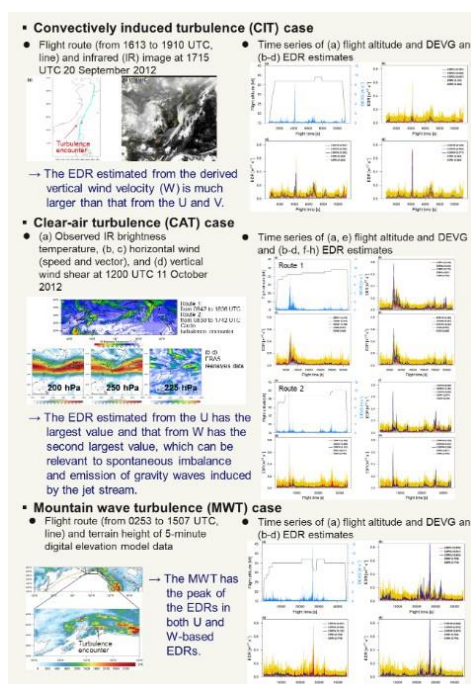


圖 3 作者針對 CIT(雲內亂流)、CAT(晴空亂流)、MWT(山岳波亂流)的案例分析。

二、A Study on the Characteristics of Low-level Turbulence Using the Ground-based Observation Networks for Urban Air Mobility

利用地面觀測探討低層亂流對城市空中移動之影響

目前南韓交通狀況日益惡化，為紓解此情形，UAM(Urban Air Mobility)的發展勢在必行。UAM 的飛行高度大致在離地 50 公尺至 1 公里之間，因此在此空域間的顯著危害天氣(例如風切跟亂流)的觀測及預測將會日益重要。作者分析 2017 至 2019 年間分布在首爾市郊間六個地點中的光達及風向風速計資料來檢視亂流分布，得到以下結論(圖 4)：相較於農業地區，在商業區及住宅區有較強的亂流；在夜間的時候，對比於農業地區大氣底層較穩定，商業區及住宅區大氣底層仍有因都市化導致的熱源存在，仍會發生較多亂流。

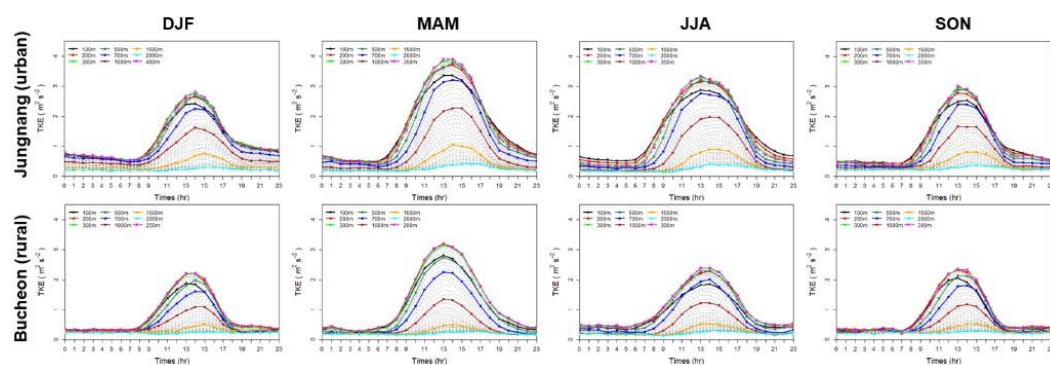


圖 4 作者分析 Jungnang 及 Bucheon 之間的亂流動能(TKE)分布。

三、Aviation Turbulence Forecasting: Review and Suggestions for Future Research Needs

航空亂流預測：回顧及未來研究需求之建議

演講將航空氣象亂流做綜觀整理，並提出航空氣象目前遇到最大的挑戰及亂流即時監測的工具。目前亂流演算還是以 NCAR(The National Center for Atmospheric Research)所發展的 GTG(Graphical Turbulence Guidance)為主，各研究團隊針對不同目的進行強化改善，此演算法主要依賴模式的預報，將模式解析度降尺度至亂流尺度，但因此模式上的誤差便會引入亂流的預報誤差，故與實際 EDR 資料的校驗是非常重要的環。學者提出未來挑戰有幾個：1. 高層的晴空亂流對民航機

的影響。2.較輕小的飛機易受到亂流影響，如無人操控的飛機，且近地面亂流對於低層飛行的影響。3.在市區環境造成的都市低層亂流(圖 5)。學者也提出近期研究需要，如配合衛星遙測、閃電、地面觀測等觀測資料來判斷亂流及增加 EDR、ADS-B、AMDAR 的觀測。至於長期研究需要：1.物理機制理解，如 wave turbulence interaction、wave source and mechanism、wave climatology。2.模式方法，如參數化改進、解析度改進、與 EDR 個案的分析、初始敏感度的研究。亂流研究對於航空安全不可獲缺，其中存在大量的數學及物理機制，許多研究議題尚未被瞭解透徹，且加上模式的不確定及不準確性，造成亂流預報上更加困難。藉由 EDR 資料提供大量的觀測數據與預報的結果相較校正，能改進演算法及模式預報上的誤差。

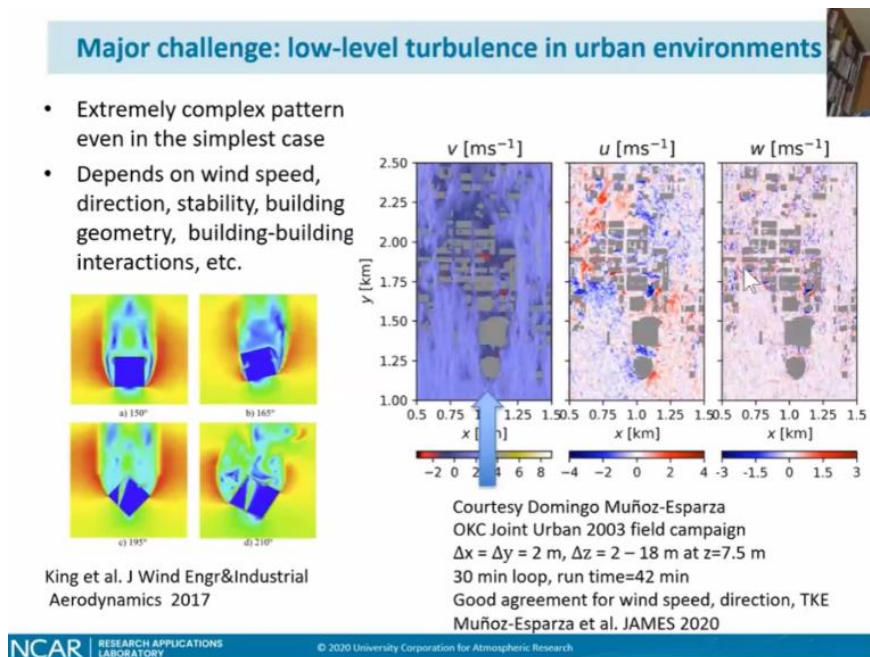


圖 5 城市環境造成的小尺度亂流模擬結果。

四、Probabilistic Forecasting of Upper Level Aviation Turbulence Using Multi-parameter and Time-lagged Ensembles

利用多種參數和時滯系集探討高層航空亂流機率性預報

本研究利用系集模式並且搭配 GTG 預報的亂流來進行亂流的機率預報(圖 6)，其中使用 21 個成員的 GEFS(Global Ensemble Forecast System)並利用 WRF(Weather Research and Forecasting Model)進行降尺度至 13.545 公里解析度，結果顯示

此降尺度是可以分辨出較多的預報細節(圖 7)。作者利用不同產生系集成員的方法進行亂流預報並與 EDR 比較，發現 Multi-Diagnostic Method 會有比較發散的機率統計，也就是比較適用於亂流的 Ensemble 使用(圖 8)。系集為氣象模擬上使用的方法，可以提供預報機率予預報員，將其使用於 GTG 亂流演算法進而提供機率概念的亂流預報，進而增進航機飛行的安全。

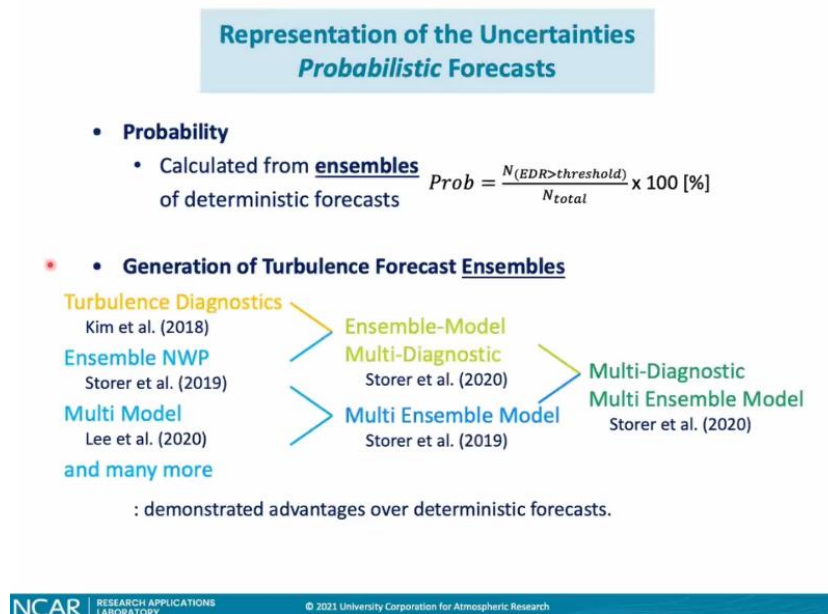


圖 6 亂流機率預報流程圖。

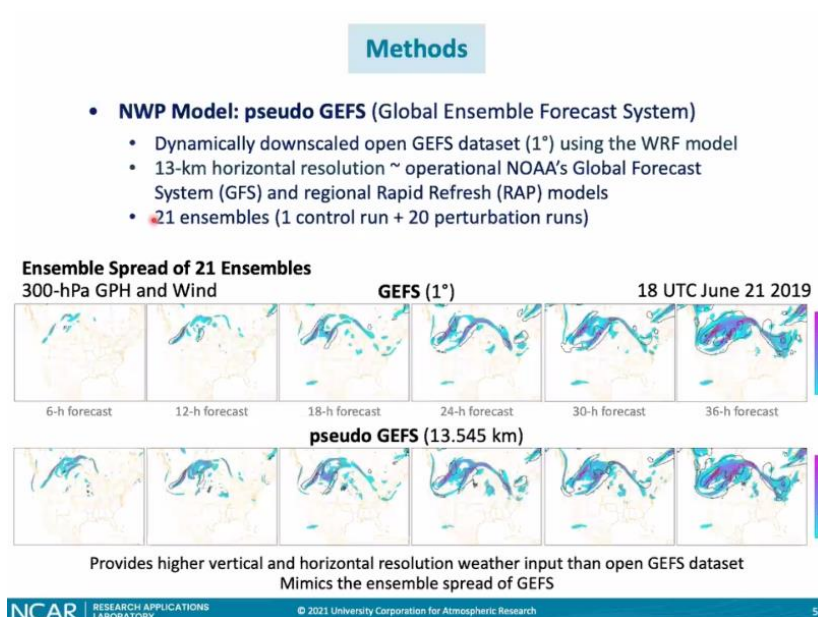


圖 7 降尺度前後個案比對。

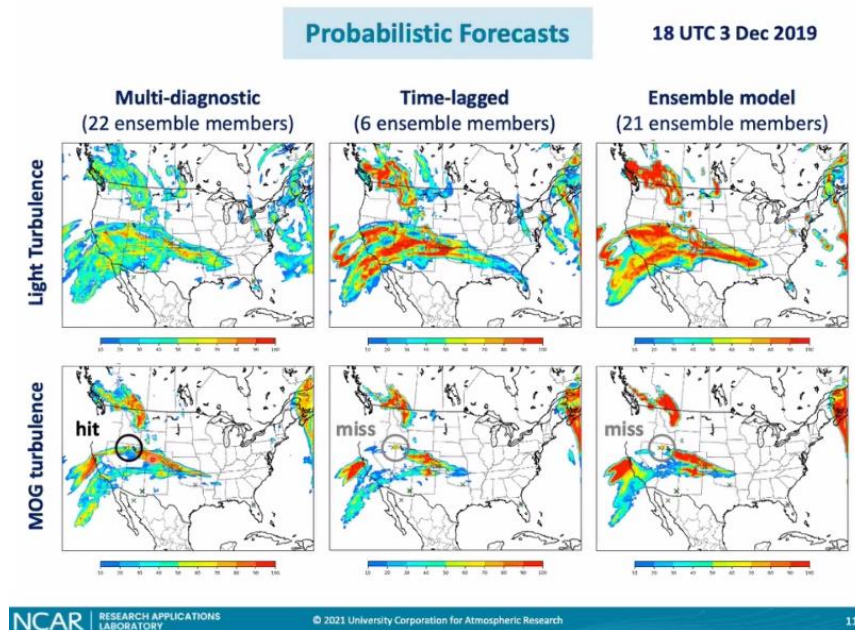


圖 8 不同 Ensemble 方法的亂流機率預報結果。

五、Development of the Global Korean Aviation Turbulence Guidance (G-KTG) System Based on the KMA' s Operational Unified Model and Its Evaluation Using the Global Turbulence Observation

利用 KMA 作業整合模式發展全球航空亂流指引(G-KTG)系統及亂流預報場與觀測場之校驗

本研究主要在呈現韓國發展的 G-KTG 亂流演算法，其使用韓國自行研發的模式，而解析度已經更新至 10KM，最後並與全球 EDR 資料相互比對。G-KTG 演算法包含三種亂流：1.CAT。2.Mountain Wave Turbulence。3.Near-Cloud Turbulence(NCT)。結果針對 2018.09-2019.08 一整年的資料進行驗證比對，並與現行的 GTG-3 進行比對，發現大部分情況 G-KTG 都比 GTG-3 來的表現好一些，如圖 9 所示，尤其是 NCT 的部分，有更明顯的改善，但在夏天時 G-KTG 則整體表現較差，會後詢問其原因為何，他們提出的解釋主要為因為冬天有明顯的噴流主導中高層亂流，但在夏天時則無明顯系統主導，導致判別時容易誤判，或是更微小的系統無法被偵測出來。

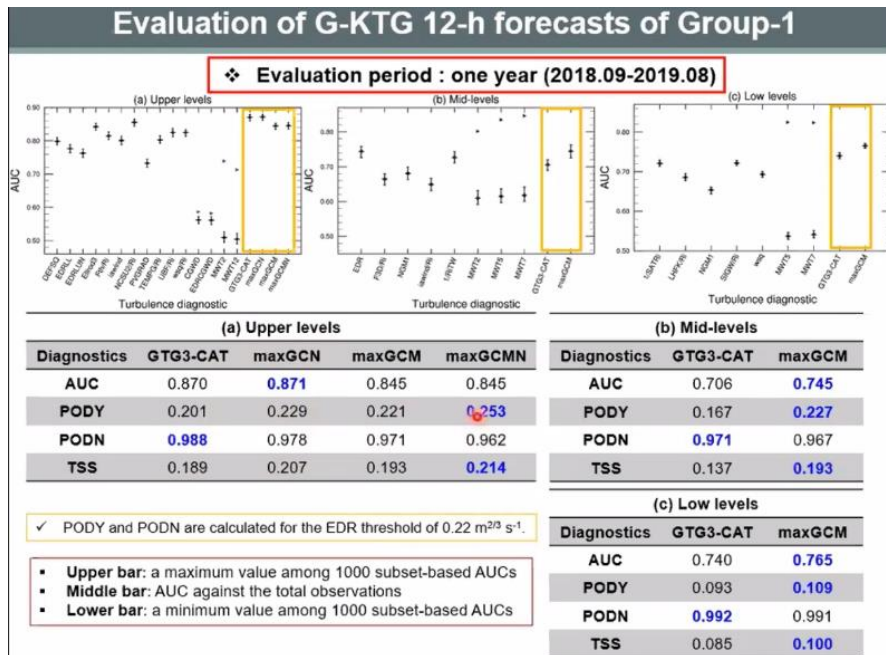


圖 9 G-KTG 與 GTG3 比對。

六、A Case Study for Convectively Induced Turbulence Using In Situ Aircraft, Radar Spectral Width Data, and WRF Simulation

利用航機實測、雷達光譜寬及 WRF 模式資料分析對流誘發亂流之個案

在 2018 年十月一道鋒面侵襲韓國時，利用飛機觀測並配合地面雷達觀測，進行亂流的個案分析討論，其飛行路徑如圖 10 所示，且與 ERA5 再分析資料比對及實驗室使用的 WRF3 公里解析度進行模擬。結論顯示在這個案，EDR 0.33-0.37 屬於中至強烈亂流，而且 WRF3 公里的解析度已經足夠解析出雲對流且用於亂流的演算上，其結果也可呈現很好的雷達回波。



CIT case with aircraft data

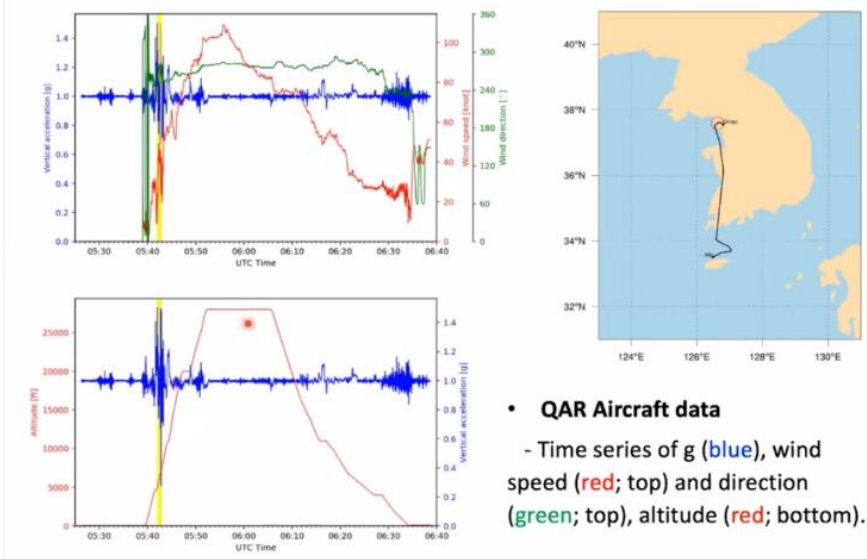


圖 10 個案分析飛行路線與航機偵測 EDR 數值。

七、 Aviation Meteorology in a Changing Climate

氣候變遷下之航空氣象

作者先介紹了氣候變遷如何影響到航空氣象(圖 11)，使用 CMIP5(The WCRP Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5)的模式輸出資料，發現在高排放情境(2070-2099)的冬季 200hPa 的風速氣候場相較於歷史值有明顯增強，尤其在太平洋及大西洋部分，這也造成未來從紐約到倫敦的飛行時間明顯縮短，但相對的回程則是明顯增加(圖 12)。另外，他們也利用數種再分析資料計算 CAT 在北大西洋發生的頻率在過去四十年來的情況，也呈現明顯的增加趨勢(圖 13)，同時利用 CMIP6(The WCRP Coupled Model Intercomparison Project - Phase 6)資料預測未來的 CAT 情況，在低排放情境下未來 85 年內增加 17%，高排放情境則增加 29%。總歸來說，在未來全球暖化下，非但高空的晴空亂流發生頻率會明顯增加，加上近地的極端天氣也會造成低空亂流未來變的更為顯著，甚至溫暖的空氣也增加的飛機起飛時的限制。

Climate change impacts on aviation

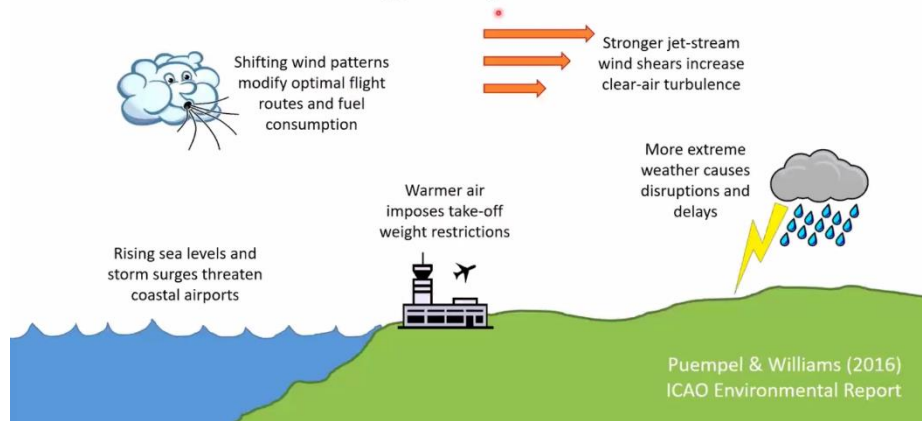
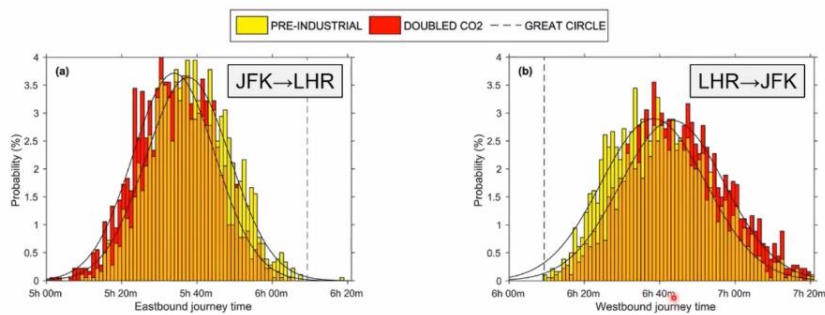


圖 11 氣候變遷影響航空氣象概念圖。

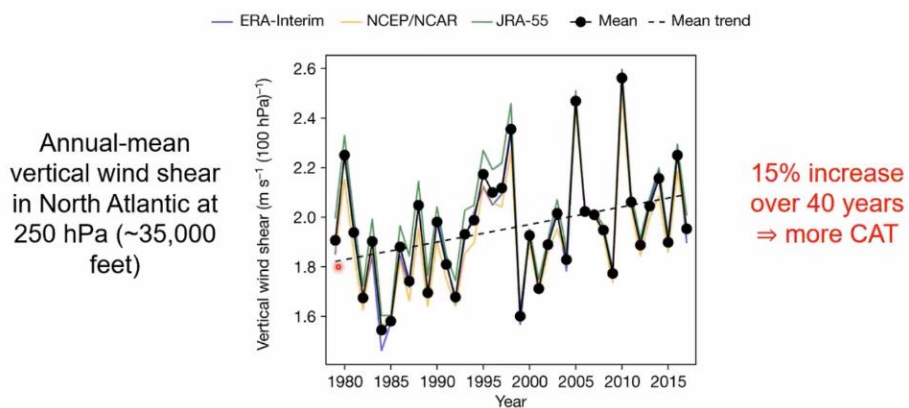
Flight times



Williams (2016)

圖 12 各情境下紐約到倫敦飛行時間機率分佈圖。

Clear-air turbulence



Lee, Williams, and Frame (2019)

圖 13 過去 40 年各種再分析資料垂直風切強度時序。

八、Global Response of Near Cloud Aviation Turbulence to Climate Change

氣候變遷下近雲亂流之情況

本研究主要探討在未來亂流增加或減少，作者使用 CMIP6 的挪威氣候模式輸出資料進行 Historical (1970-2014) 與 SSP5-8.5 (2056-2100) 差異比較，在研究開始先進行亂流的演算並進行比對 CAT、MWT、NCT 結果，且結果符合一致。研究顯示在 200-250hPa 的 CAT 的機率分佈圖呈現出全球的區域裡面有 70% 左右都是在未來全球暖化下強亂流的發生機會有明顯的增加(圖 14)，在溫帶地區則更可以高達 91%。其實這樣的結果並不意外，在全球暖化下溫帶增溫較為明顯的，從溫度梯度或是水氣平流部分甚至到對流系統極強降水發生部分，溫帶的變化比例都比熱帶來得劇烈許多，而高層亂流部分則受到噴流軸影響，其又受到溫度梯度影響，所以噴流軸的偏移增強及轉折都會造成亂流發生機率的增加，其中轉折部分也同時會受到極區震盪的影響。

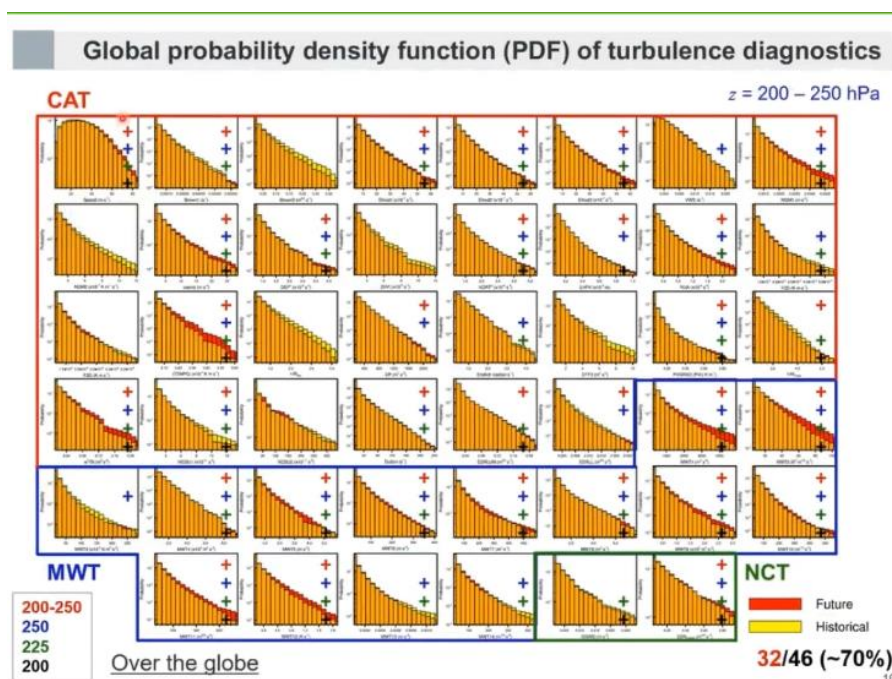


圖 14 全球各區域在暖化及歷史情境下亂流機率分佈圖。

九、Weather Challenges for Urban Air Mobility

城市空中移動所遭遇之天氣挑戰

報告就目前城市飛航活動發展趨勢探討四大面向，分別為基礎設施(圖 15)、飛行

操作(圖 16)、市區航行環境(圖 17)及飛航服務提供單位(圖 18)。因天氣因素對 UAM 影響極大，結論指出需要建置更密集之觀測系統、提升數值模式對小尺度短時預報能力、發展低空飛航天氣預報資訊及相關通訊定位、導引與航行管理作業之輔助。



圖 15 基礎設施面包括航空器及飛航規則。

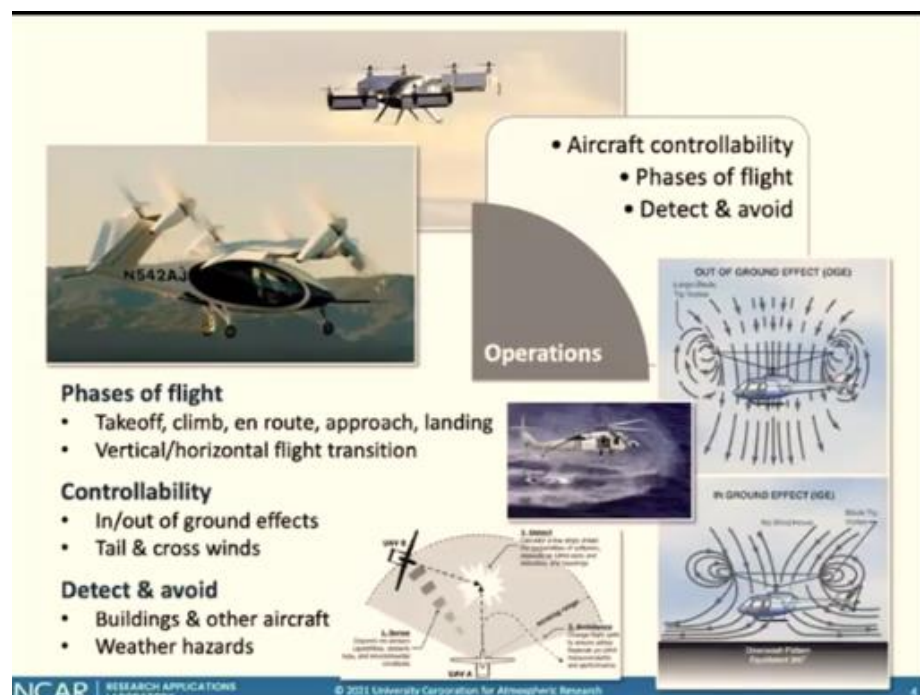


圖 16 飛行操作面包括航空器操控、航行作業及注意事項。

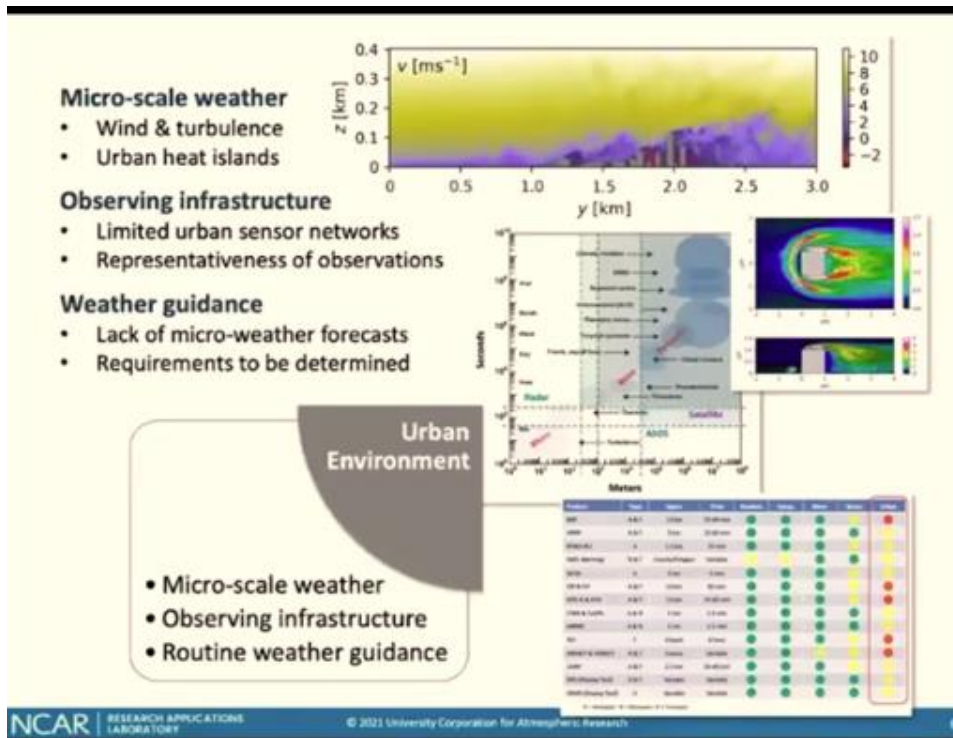


圖 17 環境因素包括小尺度天氣現象、觀測建置及航路天氣資訊。

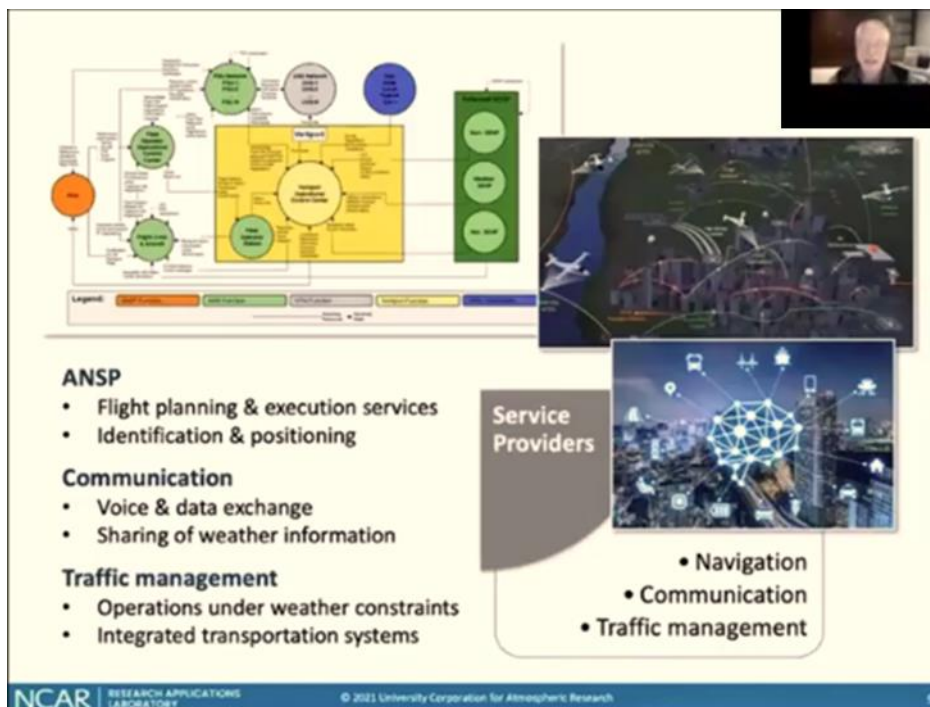


圖 18 飛航服務提供單位面包括導航、通訊及航行管理。

十、 Super High (40 M) Resolution Simulation of a Severe Case of Low-level Windshear at the Hong Kong International Airport

香港國際機場強烈低空風切變個案之高解析度(40公尺)模擬

報告介紹目前香港國際機場偵測低空風切之各種儀器分布(圖 19)，如 LIDAR 及剖風儀等。另在 200 公尺高解析度數值模式背景下，套入 40 公尺區域渦流模式，以預測航機離到場階段沿航線上遭遇低空亂流與風切變之機率及跑道風場。比對分析激光風切變預警(LIWAS)系統觀測資料，模擬結果能準確掌握跑道上頂風/側風之變化趨勢及數值(圖 20)，可見已有相當定性及定量預報能力，相關技術將精進下一代風切變預警系統。

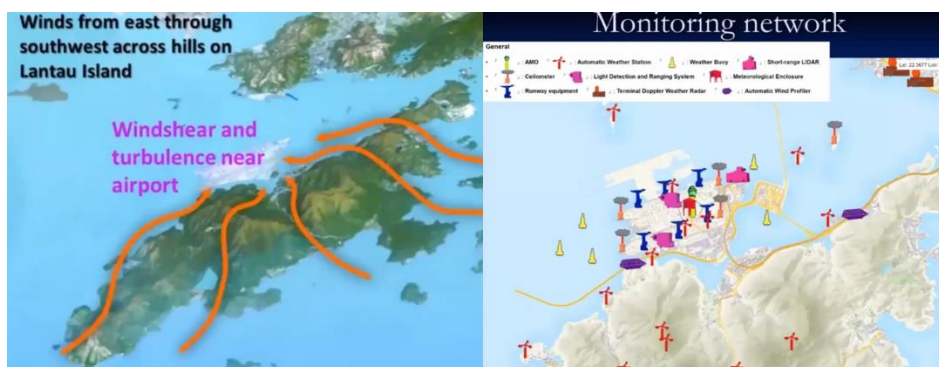


圖 19 香港國際機場低空風切變成因及機場周邊架設之氣象觀測系統分布位置。

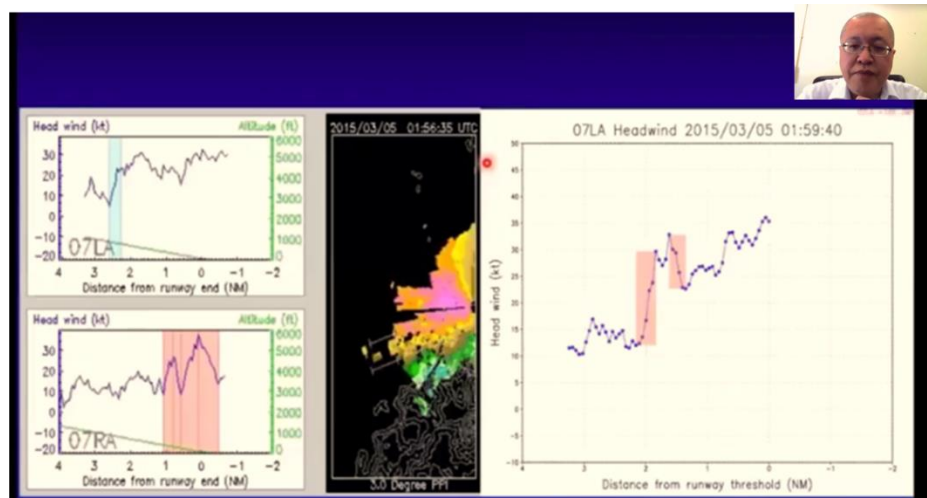


圖 20 沿跑道上頂風變化之模擬結果與觀測資料比對。

十一、 Development of Low-level Turbulence Forecast System Based on the Statistically Downscaled Numerical Model Outputs

利用降尺度統計數值模式輸出討論低層亂流預報系統之發展

由 1.5 公里解析度之數值模擬結果，經統計模式降尺度至 100 公尺之資料，推算

亂流相關氣象參數如垂直風切、水平輻散、相對渦度及渦流指數等(圖 21)，及將模式結果與測風塔觀測資料演算之 EDR 結果比較，顯示本研究發展之 EDR 演算法較前 2017 年學者提出之計算較為準確，其絕對誤差值較小(圖 22)。後續將與航機 EDR 偵測數值校驗，以調整亂流演算法。

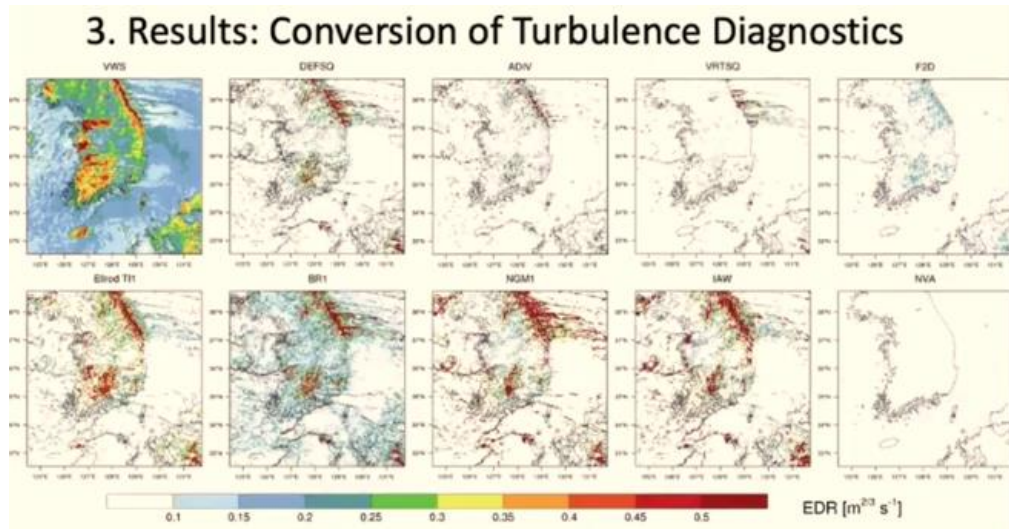


圖 21 降尺度統計數值模式輸出之相關亂流分析場。

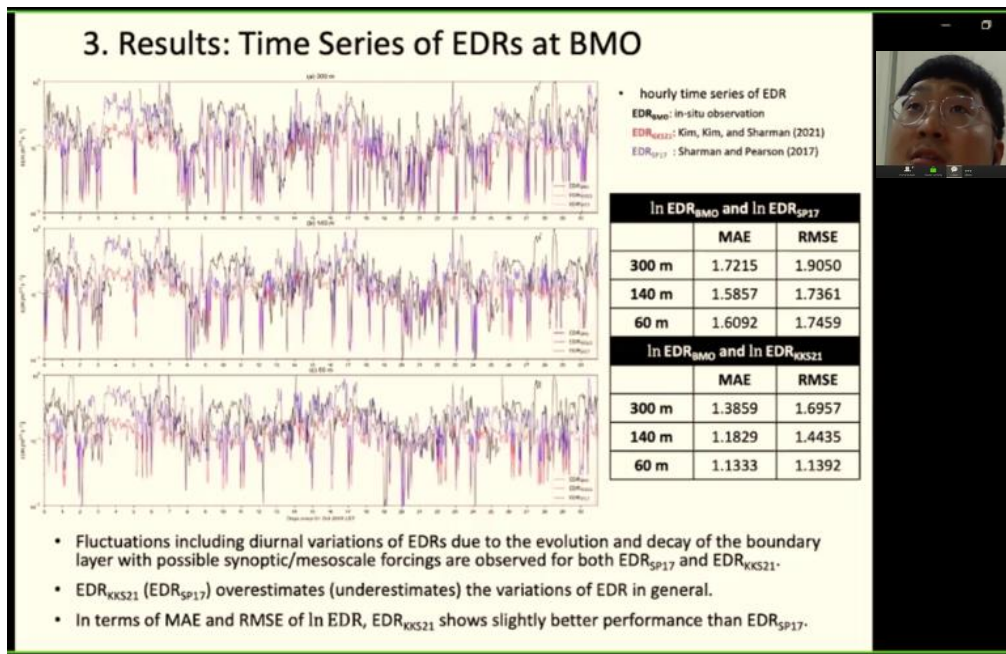


圖 22 BMO 測風塔觀測及模式資料演算之 EDR 比較。

十二、 Atmospheric Turbulence Estimated Using Thorpe Method and Operational Radiosonde Data in USA and Its Potential Sources

利用 Thorpe 方法估計大氣亂流及無線電探空觀測之應用

報告利用美國地區 68 個無線電探空站，時間長達 6 年之觀測資料，推算三維空間亂流分布，以討論亂流季節性及長期之變化，並歸納有利亂流發生之因子為(圖 23)：大氣靜力穩定度較低與垂直風切、地形重力波拖曳、降水較大。

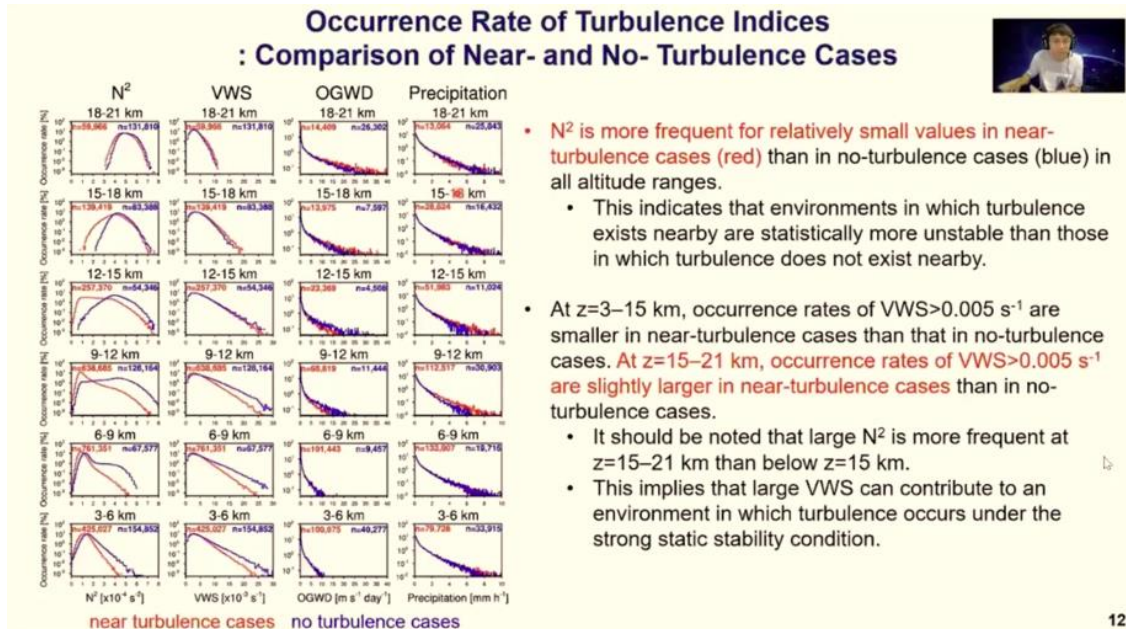


圖 23 4 個氣象場於有亂流與無亂流發生時之差異。

十三、 Eddy Dissipation Rate-Visibility Parameterization For Coastal Fog Environments Using C-FOG Observations

使利用 C-FOG 觀測進行對海霧環境下之渦耗散率-能見度參數化

霧之發展及形成過程皆與近地層動力與熱力過程相關。報告嘗試結合各傳統觀測儀器(圖 24)、衛星及遙測等反演之大氣低層輻射、渦流及各水氣場(圖 25)，藉由觀測資料改善目前模式對邊界層動力及微(雲)物理參數化，以準確模擬低能見度(霧)時之形成、發展及消散過程。



圖 24 地面霧-降水之觀測儀器。

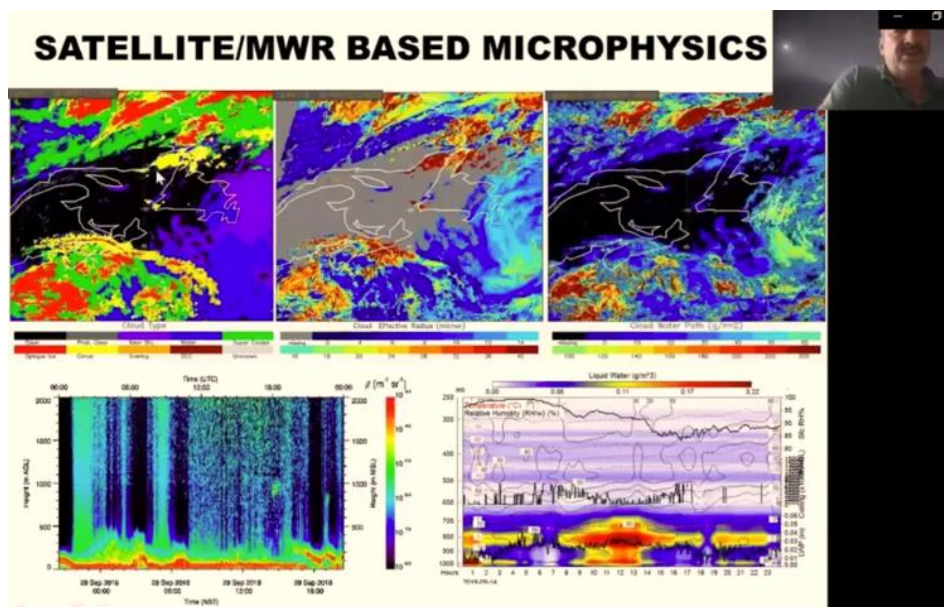


圖 25 由衛星及微波遙測資料反演相關微物理變數。

十四、 A Numerical Study on Advection Fog with Sea Surface Warming Over the Eastern Yellow Sea on 15-16 April 2012

2012 年 4 月 15-16 日黃海暖平流霧之數值模擬分析

報告中藉由與衛星資料比較下，在一場海霧天氣個案之合理模擬結果(圖 26)，討論個案中存在兩種不同形成海霧之物理機制。區域 A 成霧發生於前日深夜至當日清晨，因長波輻射冷卻及可感熱由負轉為正值，加上潛熱通量增加水氣及不穩定度，其霧區為自地面向上發展之邊界層頂(圖 27)。區域 B 成霧發生於當日傍晚至晚間時段，由蒸發之雲液態水平流過程及邊界層渦流混合與逸出垂直擴散現象，

使霧區自邊界層向下至地面延伸發展(圖 28)。

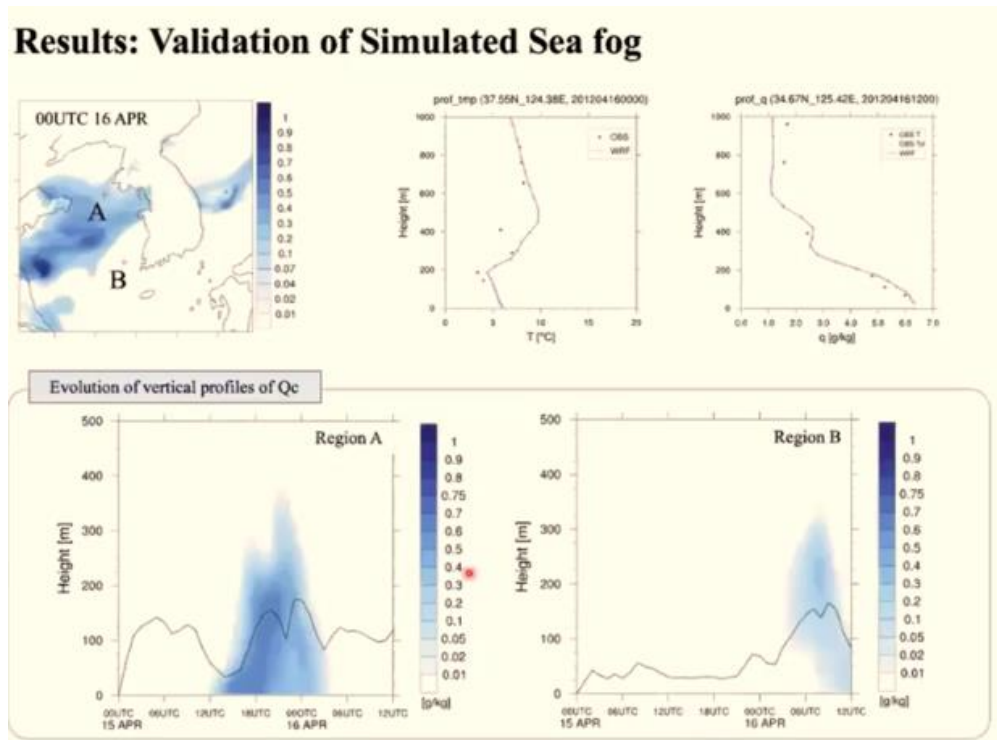


圖 26 海霧個案之模擬結果。

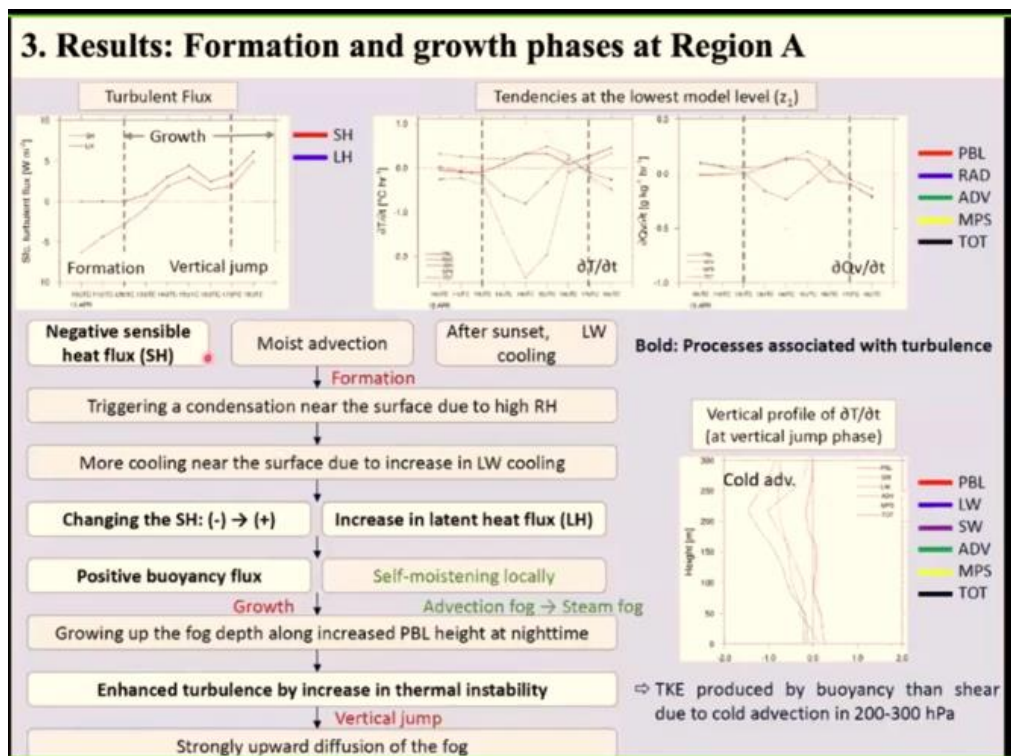


圖 27 分析區域 A 成霧及發展過程。

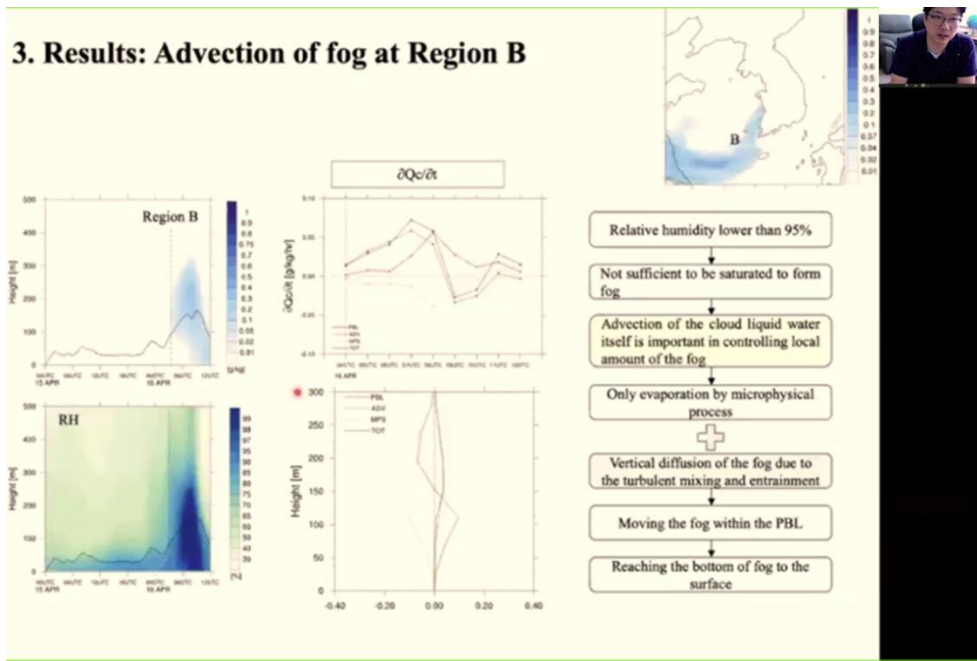


圖 28 分析區域 B 成霧及發展過程。

十五、 Forecasting of Possible Aircraft Icing Based on Output of the WRF-ARW Model

利用 WRF-ARW 模擬分析航機積冰預報

報告分析觀測資料顯示，佔 86%之積冰發生於大氣溫度介於 0 至負 20°C 且相對濕度達 80%(圖 29)，且常發生於航機通過 0°C 等溫線冷氣團時。因模式溫度及濕度場預報皆存在一定之誤差，在此加乘情況下進而影響積冰強度預報之準確率。本研究發展一積冰指數，並套用於觀測及模式資料上，結果顯示此積冰指數有效掌握積冰發生之情形(圖 30)，且分析自 2020 年 8 月至 2021 年 1 月期間共 26 次積冰個案，此積冰指數可降低模式過度預報之情形(圖 31)。

Table 2. Distribution of observed icing (%) for intervals of T and RH.

T (°C) \ RH (%)	< -20	-20 - 0	0 - 4	> 4
0 - 30	0	0	0	0
30 - 60	1.0	1.2	0	0
60 - 80	1.0	4.4	0.2	0
80 - 90	2.3	16.0	0.1	0.1
90 - 100	2.6	69.9	1.0	0.3

圖 29 積冰觀測個案之溫度和濕度觀測值分布。

Table 4. Frequency distribution of model and sounding derived I_{ice} (surface – 500 hPa).

N=13194 Intervals of I_{ice} based on observations	Intervals of I_{ice} based on model output			
	$I_{ice} < 0$	$0 \leq I_{ice} < q_1$	$q_1 \leq I_{ice} < q_2$	$I_{ice} > q_2$
$I_{ice} < 0$	92 (92)	6	1	1
$0 \leq I_{ice} < q_1$	21	62 (27)	16	1
$q_1 \leq I_{ice} < q_2$	13	26	50 (27)	11
$I_{ice} > q_2$	12	6	19	63 (56)

圖 30 模比較式結果及觀測資料計算積冰指數(無、輕度、中度與強烈積冰)。

**Preliminary evaluation of the proposed method
for Eastern Siberia and Russian Far East**
(based on the output of WRF-ARW model, grid spacing of 5 km, 46 vertical levels)

Table 5 is a contingency table for 26 cases for the period of time from 12 Aug 2020 to 31 Jan 2021. All observations are classified into two groups due to the low number of cases:

- 1) no icing and light icing ("No" group);
- 2) moderate and severe icing ("Yes" group).

forecast observation	Yes	No	Total
Yes	$n_{11} = 15$	$n_{12} = 3$	$n_{10} = 18$
No	$n_{21} = 0$	$n_{22} = 8$	$n_{20} = 8$
Total	$n_{01} = 15$	$n_{02} = 11$	$n_{00} = 26$

Probability of detection POD = 83 %; Peirce Skill Score is 0.83.
Probability of false detection POFD = 100 %; Heidke Skill Score is 0.79.
Frequency of hits FOH = 100 %;
Frequency of correct null forecasts FOCN = 73 %;
Probability of correct forecast $U = (n_{11} + n_{22}) / n_{00} = 88 \%$.

圖 31 模式積冰指數準確率分析。

十六、 Spatial and Temporal Distributions of Clear Air Turbulence Using the ERA5 Data

使用 ERA5 資料探討晴空亂流時空分布

作者利用歐洲中長期天氣預報中心(European Centre for Medium-range Weather Forecast; ECMWF) 30 年以上的再分析資料 ERA5，去探討北半球晴空亂流發生的時空分布。ERA5 資料的時間為每天的 00、06、12 和 18 UTC，水平網格大小為 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (圖 32)。高空鋒面及噴流系統附近的風切不穩定和慣性重力波常造成晴空亂流。作者使用 Turbulence Index version 1 and 2 (TI1 and T2)、垂直風切、變形場和輻散場來診斷晴空亂流(圖 33)。在北半球的夏季和冬季，位於噴流北側的中度以上的晴空亂流，上述指標數值皆偏高(圖 34)。在東亞的冬季，噴流

入區常伴隨強烈的垂直風切；強高空鋒面則常伴隨較大的 TI1 值(圖 35)。在東北太平洋、美國東北和北大西洋接近噴流出區處，常出現強變形場和輻散場，且伴隨較大的 TI2 值。在夏季，由於中緯度噴流減弱且往北移，因此中度以上晴空亂流的出現頻率減少。最後，作者指出部分區域的晴空亂流出現頻率的年際變化有增加的趨勢，這可能與氣候變遷有關。

ERA5	
Time resolution	· 6 hourly (00, 06, 12, 18 UTC) · From January 1979 to December 2019 (41 years)
Horizontal resolution	· 0.25° x 0.25° grid spacing
Vertical resolution	· 12 levels (100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 hPa)

圖 32 ERA5 再分析資料的說明。

Turbulence Indices

- To presents 41 years of CAT occurrence, we used the Turbulence Index version 1,2,3 (TI1, TI2, TI3) and their components [vertical wind shear (VWS), deformation (DEF), convergence (CONV), divergence trend (DVT)] for CAT indices.
- TI1, TI2, and TI3 are widely used for predicting the CAT caused by shear instability and emission of inertia gravity waves near upper-level front and jet system.
- Richardson numbers (Ri), squared Brunt-Väisälä (N^2), and Potential Vorticity (PV) were also used to consider Kelvin-Helmholtz instability (KHI), hydrostatic instability and symmetric instability, which can lead to CAT (Jaeger and Sprenger 2007).
- Each turbulence index is calculated by following formulations.

$$TI1 = VWS \times DEF = \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right)^{1/2} \times \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$TI2 = VWS \times (DEF - DIV) = \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right)^{1/2} \times \left[\left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right)^{1/2} - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right]$$

$$TI3 = TI1 + DVT, \quad DVT = C1 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^{r1}$$

圖 33 各項亂流指標的定義和說明。

Horizontal Distribution

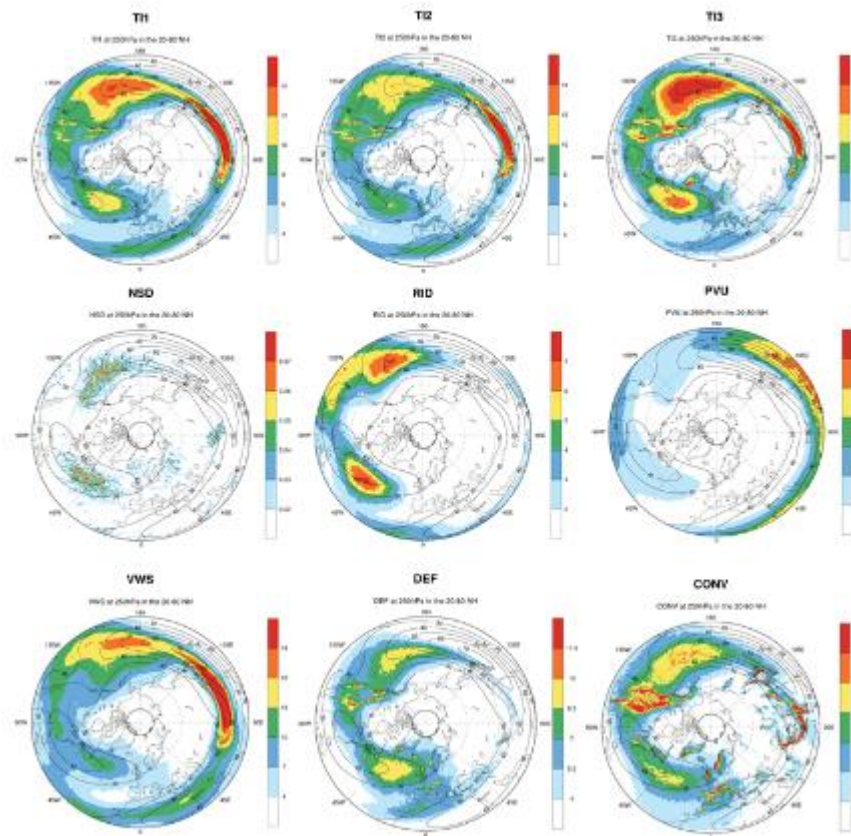


圖 34 北半球冬季晴空亂流(CAT)指數的水平分布。

Vertical Distribution

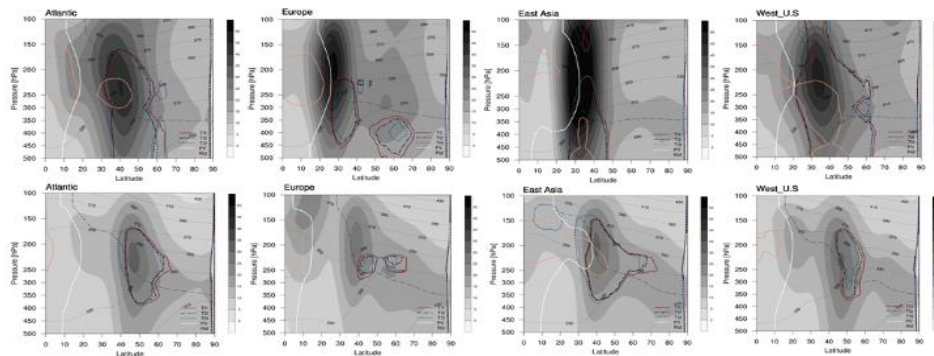


圖 35 北半球冬季晴空亂流(CAT)指數的垂直分布。

十七、 Characteristics of Low-level Turbulence Obtained from the Multi-year High-frequency Sonic Anemometer Observations

利用多年高頻超音波風向風速計觀測資料探討低層亂流

作者先說明 eddy dissipation rate (EDR)的定義是 Turbulence dissipation

rate (TDR)的函數(圖 36)。TDR 的物理意義為亂流動能由大渦流消散至小渦流的速率,而EDR 被 ICAO 訂為衡量亂流強度的指標。作者利用 Boseong Meteorological Observatory (BMO)的觀測資料去討論低空亂流(low-level turbulence)的特徵。BMO 架有 4 台高頻三維超音波風向風速計(high-frequency 3D sonic anemometers),以 20Hz 的頻率量測風向風速(圖 37)。他們使用 2015-2019 年的風速觀測資料去計算 EDR,並且排除發生降水時的資料。EDR 的時間序列顯示明顯的日夜變化,對應 BMO 邊界層的日夜變化。此外,他們發現相較於其他季節,夏季時 EDR 的日夜變化較顯著,這是由於夏季有較強的太陽輻射。EDR 的月平均資料顯示,EDR 最大值發生在冬季,最小值則發生在夏季(圖 38)。夏季 EDR 的機率分布函數(Probability distribution function; PDF)在白天為 log-Weibull 分布,夜晚轉為對數常態分布。另一方面,冬季 EDR 則無此變化。相較於夏季,冬季 EDR 的 PDF 較為右偏,這可能與東亞冬季季風有關(圖 39)。

- **Eddy Dissipation Rate (EDR)**
 - The rate at which turbulent kinetic energy (TKE) cascades down from larger to smaller scales is turbulence dissipation rate (ε).
 - Eddy dissipation rate, or EDR, is the cube root of turbulence dissipation rate.
$$\text{EDR} = \varepsilon^{1/3}$$
 - EDR is the standard metric of aviation turbulence intensity by the International Civil Aviation Organization (ICAO), and is an aircraft-independent metric of turbulence intensity.

圖 36 EDR 的定義。

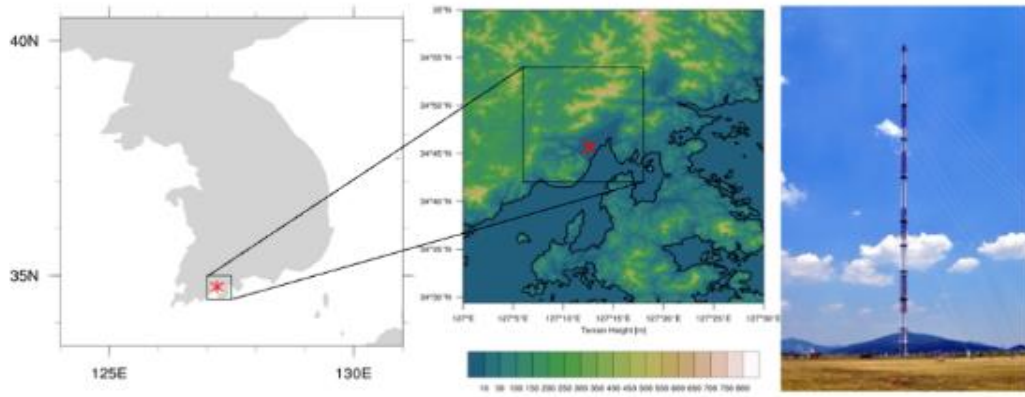


Figure 1. Location of BMO (marked by asterisk symbol) on (left) the Korean Peninsula and (center) the local map around BMO. (right) The 307 m meteorological tower installed at BMO (figure source: [https://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/795560.html]).

圖 37 BMO 的地理位置和測風塔。

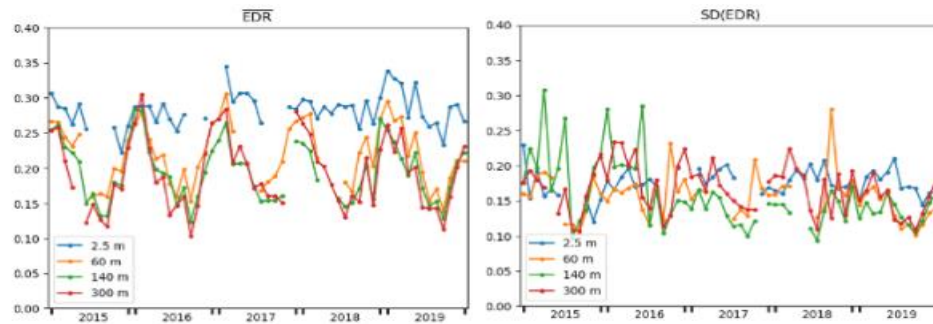


Figure 4. Time series of (left) monthly mean of EDR1 and (right) monthly standard deviation of EDR1 for each level from 2015 to 2019. Each point indicates the value for the given month. Months with missing values greater than 50% are displayed with empty point.

圖 38 EDR 的月平均和標準差的時間序列。

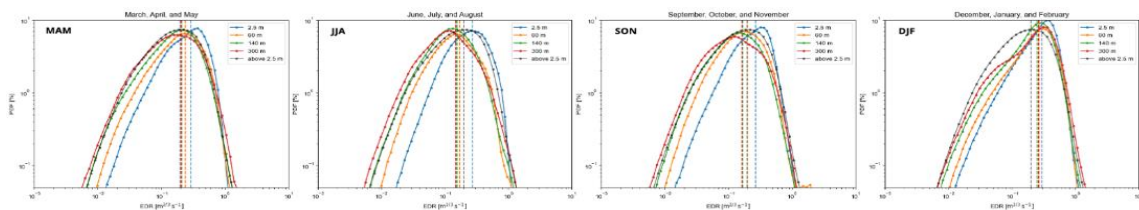


Figure 5. PDFs of EDR1 for each season, namely from left to right (MAM) March, April, and May (JJA) June, July, and August, (SON) September, October, and November, and (DJF) December, January, and February at each level, namely 2.5 m, 60 m, 140 m, 300 m, and above 2.5 m. Vertical line indicates mean of EDR1 for the given case.

圖 39 各季節 EDR 的 PDF。

十八、 Development of Simplified Forecast for Icing Potential for the Global Unified Model of the Korea Meteorological Administration
韓國氣象局之全球整合模式於積冰潛勢預報發展

作者使用韓國氣象廳的全球數值天氣預報模式去測試航路積冰演算法，稱為 Simplified Forecast for Icing Potential (SFIP) 演算法。SFIP 演算法利用模糊邏輯(fuzzy logic)診斷積冰，其隸屬函數(membership function)包含溫度、相對濕度、垂直速度和雲水含量(圖 40)。作者測試 5 種版本的 SFIP，各版本對於隸屬函數有不同的權重。此外，他們使用大量的飛機報告資料(National Oceanic and Atmospheric Administration/Aviation Weather Center 提供)來校驗。由於東亞的飛機報告資料偏少，本研究主要使用美國的飛機報告。作者對 2018 年 4 月 19 日美國個案進行測試，當日有芝加哥附近接獲超過 20 個中度以上積冰的報告。測試結果顯示使用 ERA5 再分析資料計算的 SFIP 對於積冰的發生位置和頻率有不錯的掌握，而使用韓國氣象廳的全球模式(UM GDAPS)的預報場計算的 SFIP 則明顯低估(圖 41)。為了解 UM GDAPS 低估 SFIP 的原因，作者對模式偏差進行分析。分析結果顯示 UM GDAPS 預報的溫度和垂直速度和 ERA5 分析場相近，然而 UM GDAPS 的相對濕度和雲水含量預報場明顯低估(圖 42)。為了改進 SFIP 演算法，作者也對於積冰的氣候統計進行探討，其方法是建構模式變數(溫度、相對濕度、垂直速度及雲水含量)的機率分布函數，對應積冰的飛機報告。研究結果顯示新版的 SFIP 有最佳的預報表現。

The SFIP Index

- The SFIP index and the weights (a, b, c) for each version described in Belo-Pereira (2015) are shown.

$$SFIP = M_T(aM_{RH} + bM_W + cM_{CLWC})$$

Version	a	b	c
SFIP ₀	0.35	0.2	0.45
SFIP ₁	0.0	0.0	1.0
SFIP ₂	1.0	0.0	0.0
SFIP ₃	0.6	0.4	0.0
SFIP ₄	0.55	0.0	0.55

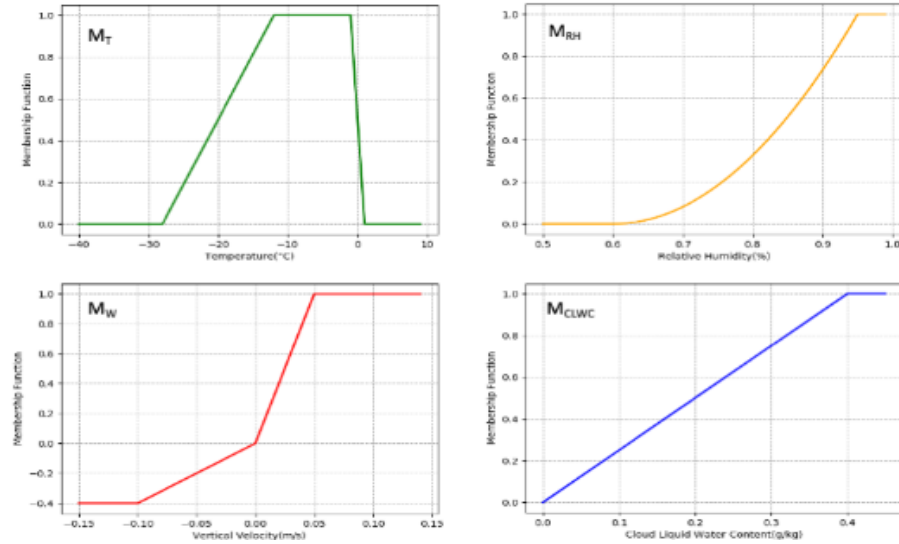


圖 40 SFIP 指標的定義。

Case Study

- On April 19th, 2018, more than 20 MOG icing were reported near Chicago, around 00 UTC.

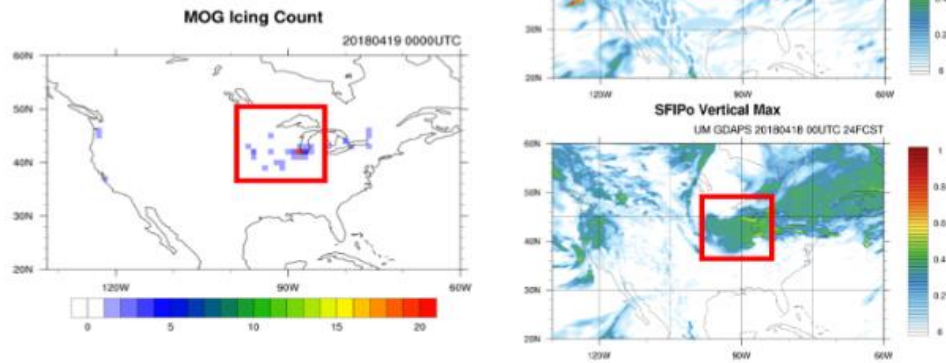


圖 41 中度以上積冰的飛機報告次數和使用模式資料計算的 SFIP 的水平分布。

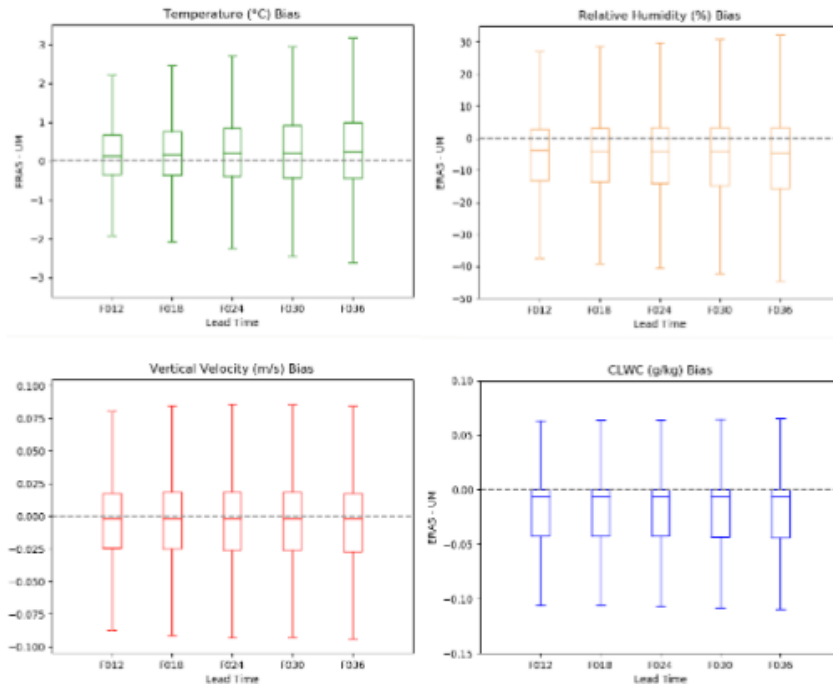


圖 42 模式偏差分析。

肆、心得及建議

一、持續參加國際性學術研討會，鼓勵同仁增進預報技術能力。

因應 COVID-19 疫情衝擊，去年 AOGS 年學術研討會議取消辦理。於今年疫情持續影響環境下，大會改採應變措施以視訊方式進行為期 5 日研討會議及相關推廣活動，提供一平臺供各國研究人員討論交流。雖只能透過影音及文字方式傳遞，但會議中可見各國研究人員就專業知識分享及積極討論過程，這一切實在不容易。本計畫透過參與國際研討會吸收航空氣象新知及認識國際間知名航空氣象學者，有助本總臺瞭解目前國際上航空氣象發展現況，建議本總臺可持續規畫參加相關性質之研討會，以利未來航空氣象技術之發展。

二、持續瞭解國際間航空氣象相關亂流之最新觀測及預報技術發展，提升預報技術作業效能。

此次會議集中就航空氣象相關亂流之研究技術進行討論，透過多篇觀測分析及模式演算法之報告，增進同仁對亂流研究技術之瞭解，建議持續瞭解國際間最新亂流偵測及演算法技術發展，並將相關研究應用於實際航空氣象觀測與預報作業上。

三、關注低空航行航空氣象服務產品

此次會議中針對 UAM(Urban Air Mobility)開始有相關研究，因為 UAM 較小較輕且大多數在鄰近市區低空運行，相較於傳統航空氣象中為較大尺度的危害天氣，影響 UAM 的天氣以時空尺度較小，較需要局部低空層區域短期天氣變化資訊。建議本總臺持續關注低空航行活動如超輕型載具、滑翔傘與熱氣球等飛航作業所需之航空氣象服務產品，以因應未來相關飛航活動之發展趨勢。

四、瞭解氣候變遷對航空顯著危害天氣影響之重要性

近年航空顯著危害天氣與全球氣候變遷相關性的研究成果已發表於 Nature Climate Change 及 Nature 等國際性學術期刊中，此議題亦引起會議中各國研究人員

熱烈之討論，可見氣候變遷如何影響到航空氣象為未來重要性之課題。建議本總臺持續瞭解氣候變遷對航空顯著危害天氣之影響，俾提供相關資訊予飛航作業決策者參考，提升飛航安全。

五、增加航空氣象研究資源之投入，積極培養科研人才。

在此次會議中觀察到南韓首爾大學發表多篇報告，其背後得到國家的支持及資助。建議本總臺持續推動航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(AOAWS-RU)，透過與中央氣象局、美國大氣科學研究中心(NCAR)、委外資訊廠商及學校科研團隊合作，提升整體航空氣象之服務效能並適時將研究計畫研發成果發表於相關研討會上，以增進本總臺航空氣象發展之能見度及研發成果之成熟度。

伍、 附錄

一、 大氣科學領域之各專題演講

AS01	Climate Change and Tropical Climatic Hazards in Asia Oceania
AS03	Passive and Active Sensing of the Chemistry and Dynamics of the Middle and Upper Atmosphere
AS05	Regional Climate Downscaling and CORDEX: Challenges and Prospects
AS06	Advances in Understanding Moist Processes in Atmospheric Circulation and Climate
AS07	The Science and Prediction of Tropical Cyclones (熱帶氣旋科學與預報)
AS08	Modeling Across Scales from Global to Convection-permitting: Weather, Climate, and Air Quality
AS09	Observations, Remote Sensing, and Modeling of Asian Tropospheric Composition and Air Quality
AS10	Middle Atmosphere Sciences
AS11	14th Sasaki Symposium on Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic, and Hydrologic Applications
AS12	Machine Learning in Weather, Climatological and Hydrological Analysis, Predictions and Applications
AS13	Weather Extremes in Past, Present, and Future Climates (極端天氣之過去、現在和未來氣候)
AS14	Severe Weather and Associated Multiscale Interactions (劇烈天氣與相關的多尺度交互作用)
AS15	The Asian Monsoon in a Warming Environment
AS17	Extreme Events: Observations and Modeling (極端事件：觀測與模擬)
AS18	Thunderstorms, Lightning and Their Effects on Human Society (雷暴、閃電及其對人類社會的影響)
AS20	Mesoscale Meteorology and High-impact Weather
AS21	Extreme Weather Resiliency: Prediction and Response Strategies (極端天氣應對：預測和緩解策略)
AS22	Multiscale Aspects of Mesoscale and Microscale Flows
AS23	Process-level Understanding of Cloud-Aerosol-Precipitation Interactions and Their Parameterizations in Weather and Climate Models
AS24	Impacts and Opportunities in Subseasonal, Seasonal and Interannual

	Climate Predictions
AS25	Future of Cities within the Context of Climate Change Systems
AS26	Mesoscale and Orographic Effects on Airflow, Precipitation and Weather
AS28	Asian Precipitation Experiment: Process and Predictability of Asian Hydroclimate System
AS29	Atmospheric Dynamics and Processes Over the Maritime Continent
AS30	Subseasonal to Seasonal Forecasts and Applications
AS31	Maritime Continent-Southeast Asia Weather and Climate: Processes, Predictions, Projections
AS32	Carbon Cycle and Greenhouse Gas Monitoring: Observation, Modeling and Application
AS34	Application of Cloud-resolving Model Simulations for Studying Cloud-related Processes in Climate
AS35	Extreme Weather and Climate Events in the Asian Monsoon Region- Predictions, Attributions and Future Projections
AS36	Application of Satellite Data to Weather and Climate Study
AS37	Anthropogenic and Aeolian Aerosol
AS40	Atmospheric Chemistry in Highly Polluted Environments: Emissions, Fate, and Impacts
AS41	General Session for Atmospheric Sciences
AS43	Aviation Meteorology (航空氣象)

二、會議議程表

日期：8月2日(星期一)

議程(一)：Aviation Meteorology - Poster		
時間	題目	主發表單位及國家
08:30-10:30L	1.Retrieval of Eddy Dissipation Rate (EDR) Estimates using the 1-Hz In Situ Aircraft Quick Access Recorder (QAR) data	<i>Seoul National University, Korea</i>
	2.A Study on the Characteristics of Low-level Turbulence Using the Ground-based Observation Networks for Urban Air Mobility	<i>Seoul National University, Korea</i>
議程(二)：Aviation Meteorology - Oral		

時間	題目	主發表單位及國家
11:00-13:00L	3.Aviation Turbulence Forecasting: Review and Suggestions for Future Research Needs	<i>National Center for Atmospheric Research, United States</i>
	4.Probabilistic Forecasting of Upper Level Aviation Turbulence Using Multi-parameter and Time-lagged Ensembles	<i>National Center for Atmospheric Research, United States</i>
	5.Development of the Global Korean Aviation Turbulence Guidance (G-KTG) System Based on the KMA' s Operational Unified Model and Its Evaluation Using the Global Turbulence Observation	<i>Yonsei University, Seoul National</i>
	6.A Case Study for Convectively Induced Turbulence Using In Situ Aircraft, Radar Spectral Width Data, and WRF Simulation	<i>Seoul National University, Korea, South</i>
	7.Aviation Meteorology in a Changing Climate	<i>University of Reading, United Kingdom</i>
	8.Global Response of Near Cloud Aviation Turbulence to Climate Change	<i>Seoul National University, Korea, South</i>
議程(三)： Aviation Meteorology - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
13:30-15:00L	9.Weather Challenges for Urban Air Mobility	<i>National Center for Atmospheric Research, United States</i>
	10.Super High (40 M) Resolution Simulation of a Severe Case of Low-level Windshear at the Hong Kong International Airport	<i>Hong Kong Observatory, Hong Kong SAR</i>
	11.Development of Low-level Turbulence Forecast System Based on the Statistically Downscaled Numerical Model Outputs	<i>Seoul National University, Korea, South</i>
	12.Atmospheric Turbulence Estimated	<i>Yonsei University,</i>

	Using Thorpe Method and Operational Radiosonde Data in USA and Its Potential Sources	<i>Korea, South</i>
	13.Eddy Dissipation Rate-Visibility Parameterization For Coastal Fog Environments Using C-FOG Observations	<i>Ontario Technical University, Canada</i>
	14.A Numerical Study on Advection Fog with Sea Surface Warming Over the Eastern Yellow Sea on 15-16 April 2012	<i>Seoul National University, Korea</i>
	15.Forecasting of Possible Aircraft Icing Based on Output of the WRF-ARW Model	<i>Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute, Russian</i>

日期：8月3日(星期二)

議程(一)：Thunderstorms, Lightning and Their Effects on Human Society - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
08:30-10:30L	Lightning Characteristics Of Different Thunderstorm Types During The RELAMPAGO Field Campaign	<i>University of Colorado Boulder, United States</i>
	Evaluation of Atmospheric Instability Indices for Thunderstorm Development Over Bangladesh Using WRF Model	<i>University of Dhaka, India</i>
議程(二)：Extreme Events: Observations and Modeling - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
11:00-13:00L	Performance of a Small Doppler Sensor Towards Vehicle-based Precipitation Observation	<i>Tokyo University of Science, Japan</i>
	Organization and Internal Structure of Typhoon Induced Precipitation Over Japan	<i>Kyoto University, Japan</i>
議程(三)：Aviation Meteorology - Poster		
時間	題目	主發表單位及國家
16:00-18:30L	16.Spatial and Temporal Distributions of Clear Air Turbulence Using the ERA5 Data	<i>Seoul National University, Korea</i>

	17.Characteristics of Low-level Turbulence Obtained from the Multi-year High-frequency Sonic Anemometer Observations	<i>Seoul National University, Korea, South</i>
	18.Development of Simplified Forecast for Icing Potential for the Global Unified Model of the Korea Meteorological Administration	<i>Seoul National University, Korea</i>

日期：8月4日(星期三)

議程(一)：Weather Extremes in Past, Present, and Future Climates - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
08:30-10:30L	Convection Initiation and Growth at the Coast of South China: Effects of the Marine Boundary Layer Jet, Coastal Terrain, and Cold Pools	<i>Sun Yat-sen University, China</i>
	How Do Weak Tropical Cyclones Produce Heavy Rainfall When Making Landfall Over China	<i>Zhejiang University, China</i>
	Analysis of a Record-breaking Rainfall Event Associated with a Monsoon Coastal Megacity of South China Using Multi-source Data	<i>Chinese Academy of Meteorological Sciences, China</i>
議程(二)：Weather Extremes in Past, Present, and Future Climates - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
11:00-13:00L	Predictability of the Rapid Intensification of Typhoon Lekima (2019) through Ensemble Simulations	<i>Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, China</i>
	Spatiotemporal Characteristics and Associated Synoptic Patterns of Extremely Persistent Heavy Rainfall in Southern China	<i>National University of Defense Technology, China</i>
	Contribution of Urbanization to Rainfall Associated with Tropical Cyclones	<i>City University of Hong Kong, Hong Kong SAR</i>

議程(三) : Lecture		
時間	題目	主發表單位及國家
15:15-18:00L	Mechanisms of Regional Climate Change: Demonstrating a Strong Control of Future Equatorial Warming by Off-equatorial Forcing	<i>University of Hawaii</i>

日期：8月5日(星期四)

議程(一) : The Science and Prediction of Tropical Cyclones - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
08:30-10:30L	Improvement of Tropical Cyclone Track Simulation Over the Western North Pacific Using Machine Learning Method	<i>Ulsan National Institute of Science and Technology, Korea</i>
	Assimilating Doppler Radial Velocity and Dual-doppler Synthetic Winds on Landfalling Tropical Cyclone Nesat (2017) in Taiwan	<i>Central Weather Bureau, Taiwan</i>
	Advanced Global Model Ensemble Forecasts of Tropical Cyclone Formation, and Intensity Predictions along Medium-Range Tracks	<i>University of Colorado, Colorado Springs, United States</i>
議程(二) : The Science and Prediction of Tropical Cyclones - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
11:00-13:00L	Dynamical Downscaling for Assessing the Intense Tropical Cyclone in Western North Pacific under Global Warming	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>
	Typhoon Activity in a Continued Warming Climate - Track Cluster Analysis of HiRAM Projections	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>
	Estimation of the Tangential Winds in Typhoon Inner-core Region Using Himawari-8 Infrared Images	<i>Hokkaido University, Japan</i>
議程(三) : The Science and Prediction of Tropical Cyclones - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家

13:30-15:30L	Examining Secondary Circulations and Warm Cores of Typhoon Fanapi (2010) and Lekima (2019) Using an Axisymmetric Tropical Cyclone Model	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>
	On the Rapid Weakening of Typhoon Trami (2018): Strong SST Cooling Associated with Slow Translation Speed	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>
	Environmental Forcing of Upper-tropospheric Cold Low (UTCL) to Tropical Cyclone Intensity and Structural Change	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>

日期：8月6日(星期五)

議程(一)：Severe Weather and Associated Multiscale Interactions - Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
08:30-10:30L	Seven-year Climatology of the Initiation and Organization of Severe Convective Storms During the Warm Season Over North China	<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>
	Improving Lower Tropospheric Analyses of a Tropical Squall Using All-sky Upper Tropospheric Geostationary Satellite Infrared Observations	<i>The Pennsylvania State University, United State</i>
	Observed Vertical Structure of Rainfall in Tropical Cyclones Making Landfall Over China	<i>Zhejiang University, China</i>
議程(二)：Extreme Weather Resiliency: Prediction and Response Strategies -Oral		
時間	題目	主發表單位及國家
11:00-13:00L	Forecast Evaluation and Economic Value Analysis of the Probabilistic Forecasts of 100-meter Wind Speed from WRF Ensemble Prediction System over Taiwan Area	<i>Central Weather Bureau, Taiwan</i>
	Axisymmetric Structures of a Squall-line MCS Over Taiwan with Significant Hydraulic Jumps	<i>National Taiwan University, Taiwan</i>

	Statistical Analysis of Storm Cells and the Improvement of Storm Tracking Over Taiwan Area	<i>National Central University, Taiwan</i>
	Statistical Post-processing of 1-14 day Precipitation Forecasts for Taiwan	<i>Central Weather Bureau, Taiwan</i>