

出國報告(出國類別：會議)

赴英國參加「使用 TIGGE 與 S2S 系
集預報在可預報度、動力及應用研
究」研討會

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：陳建河 簡任技正

張庭槐 科長

曾建翰 技正

派赴國家/地區：英國/里丁

出國期間：108 年 4 月 1 至 4 月 5 日

報告日期：108 年 6 月 17 日

摘 要

次季節至季節(S2S)的預報，是目前氣象預報是否能達到無縫隙(seamless)預報的關鍵，全世界均積極地投入資源進行研究。

歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)與世界氣象組織(WMO)舉辦的「使用 TIGGE 和 S2S 系集產品在可預測性、動力學和應用研究研討會」具有相當的權威性，研討會聚焦在 S2S 預測的可預報度、物理過程及系集應用發展的科學進展，與會者均為各國在氣象研究領域上的一時之選，是學習與了解各國數值模式及其應用發展的好機會。

此外，此行亦拜會 ECMWF 數值模式動力核心發展組副組長 Dr. Nils Wedi 和系集預報組組長 Dr. Martin Leutbecher，討論該中心的模式發展及資料使用策略；並在會前與美國國家環境預測數值預報中心(NCEP/EMC)系集預報組組長 Yuejian Zhu 商談往後與中央氣象局的合作策略。

目 次

壹、目的	3
貳、過程	5
參、心得與建議	13
肆、附錄	15
一、 研討會議程表及海報清單	15
二、 投稿海報摘要	23
三、 訪問 ECMWF 及研討會交流照片	24

壹、目的

數值天氣預報系統研發是中央氣象局(以下簡稱氣象局)的重要發展工作項目之一，本次參與「使用 TIGGE 與 S2S 系集預報在可預報度、動力及應用研究研討會」的報告人陳員等 3 人為氣象局全球數值模式預報小組成員，此行最主要的目的是在該研討會上發表論文「The 45 days CWBGFS ensemble prediction system based on Singular Vectors」，此為氣象局全球數值模式預報小組在系集預報系統上，致力於次季節到季節(Sub-seasonal to Seasonal, S2S)預報多年的研究成果，不僅切合研討會的主題，亦可藉此宣傳氣象局在數值天氣預報發展之相關技術，並在世界舞台上與他國學者交流，了解國際間方興未艾的新思維，進一步學習各國在數值天氣預報上的新觀念及技術，提供未來氣象局全球數值預報模式發展之方針，提升全球天氣與氣候在數值預報上的研發能量。

TIGGE 資料集是觀測系統研究與可預測性實驗下的國際全球系集預報資料集(THORPEX¹ Interactive Grand Global Ensemble, 簡稱 TIGGE)，是世界氣象組織(Weather Meteorology Organization, WMO²)支持的世界天氣研究計畫(World Weather Research Programme, WWRP)於 2006 年建立，資料源來自世界 10 個全球天氣預報作業中心，資料至展期(16~30 天)天氣預報的時間尺度，而在 WMO 支持的世界氣候研究計畫(World Climate Research Programme, WCRP)執行下，將資料集的預報長度由以往的展期天氣預報的時間尺度，延伸到季節(60 天)的範圍預報，提供補足了次季節到季節的範圍預報，故稱其為 S2S 資料集。

TIGGE 和 S2S 資料集儲存於歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF³)和中國氣象局(China Meteorological Administration, CMA)，已被廣泛應用於研究及預報，事實證明上述資料對於

¹ 觀測系統研究與可預測性實驗下的國際全球系集：THORPEX (The Observing system Research and Predictability Experiment) Interactive Grand Global Ensemble, TIGGE。

² 世界氣象組織：Weather Meteorology Organization, WMO。

³ 歐洲中期天氣預報中心：European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF。

預測產品具有無可估量的價值，例如預測熱帶颱風路徑、強降雨事件、結合水文模式系集預測。最顯著的發展是 TIGGE 資料集增加了我們對於熱帶氣旋路徑動力過程的瞭解，而 S2S 資料集延展預測時間的長度，對於瞭解季節內的預報提供了單一模式預報以外的新研究路徑。

ECMWF 由歐洲地區 18 個國家的數值天氣預報中心所組成的國際聯合組織，是國際上頂尖的氣象研究機構，其與 WMO 所共同舉辦的「使用 TIGGE 和 S2S 系集產品在可預測性、動力學和應用研究研討會」具有相當的權威性，本次研討會聚焦在次季節至季節時間尺度預報的可預測度、物理參數化過程研究，以及系集預報應用相關主題的科學探討與回顧，與會的學者專家均為各國在氣象研究領域上的一時之選，為報告人及氣象局人員學習及了解各國數值模式和其應用發展的好機會。

ECMWF 具有數值天氣預報模式發展執牛耳的地位，藉此難得的參訪機會，報告人於會前即積極與其發展團隊聯繫，商量參訪拜會細節，進而定於會議前拜會其模式動力核心組副組長 Dr. Nils Wedi 與系集預報組組長 Dr. Martin Leutbecher，請教 ECMWF 模式的動力核心發展策略和系集預報在資料使用上的思考原則。

另外，美國國家環境預測數值預報中心 (National Centers for Environmental Prediction / Environmental Modeling Center, NCEP/EMC⁴) 系集預報組組長 Dr. Yuejian Zhu 也參與此盛會，因此也利用此機會與其討論有關於 NCEP 新一代全球預報系統相關的規劃及技術，並進一步商談往後 NCEP 就此部分與氣象局的合作策略。

⁴ 美國國家環境預測數值預報中心，National Centers for Environmental Prediction / Environmental Modeling Center, NCEP/EMC。

貳、過程

本次研討會會議時間自 4 月 2 日開始，報告人等 3 人於臺灣時間 3 月 29 日(五)出發，當地時間 4 月 1 日與 NCEP/EMC Dr.Zhu 討論氣象局與其單位的合作議題、4 月 2 日上午參訪 ECMWF，拜會動力核心組 Dr. Nils Wed 及系集預報組 Dr.Martin Leutbecher、4 月 2 日下午至 5 日參與研討會會議，4 月 8 日離英返臺，4 月 9 日抵達臺灣。

4 月 1 日，會議前一天和 NCEP/EMC Dr.Zhu 交流，氣象局全球預報模式的發展與 NCEP/EMC 關係緊密，討論著重在美國新一代全球天氣預報系統的發展策略，討論過程中 Dr.Zhu 提供多項建議並告知 NCEP 將在 6 月開始提供新一代全球天氣預報系統的預報資料(目前氣象局已接獲 NCEP 的正式通知，將自 6 月 20 日開始提供預報資料)。

其中討論如何使用作業時間執行再預報(reforecast)時，Dr. Zhu 提及可採用逐年執行的 under-fly 方式進行，不需要一次執行完所有再預報作業，方法說明如下：假如選用 20 年的再預報作業，可以先選用 5 年為間隔，滾動式進行 4 次的預報，如此，1 年作業之後，就會擁有 4 個完整年份的再預報，5 年過後就有 20 年完整的再預報，過程中假如有進行模式修改，則可以更加彈性的進行再預報作業，且不會占用目前作業過多資源。就現在計算機資源吃緊的氣象局而言，顯然是相當值得參採的建議。

4 月 2 日，研討會當日下午才開始進行，當天報告人等 3 人極早便進入 ECMWF，遵循事前的約定，於會前和 ECMWF 數值模式動力核心組組長 Dr. Nils Wedi 會面討論，請教 ECMWF 模式的發展策略和思考原則，並就目前氣象局模式探討未來可以的發展方向，以下是我們獲得在全球模式發展上值得深思的建議：

- 一、就模式動力架構而言，ECMWF 現今的作業版本(空間解析度約 9 公里)仍是維持靜力(hydrostatic)假設，ECMWF 團隊曾經進行過非靜力

(nonhydrostatic)假設的模式發展及測試，但是未達付出的成本(維運人力及快速電腦的運算資源)的預期效果。

二、ECMWF 現今的作業版本在預報方程以風場取代傳統波譜模式採用的流函數(stream function)及速度位(velocity potential)，氣象局目前發展的半拉格朗日(Semi-Lagrangian)積分方法，使用方式和 ECMWF 在內部所使用的方式相近，而 ECMWF 是採用分步計算的方式，在每個時步上將波譜風場轉換到格點上進行計算，更節省計算資源。

三、ECMWF 新一代模式的網格配置為八面體減少高斯網格(octahedral reduced gaussian grid) 的設計，Dr. Wedi 分享了對於此網格配置的概念，主要是因若要解析同一個大氣現象，高緯度其單一緯度圈的波數並不需要使用到和低緯度同樣格點數來解析，而且其還具有原始物理空間的特性，所以在進行內部物理計算的時候，可以很快的讓物理模組人員直觀的思考其特性，而不需要進行轉換。

由於和Dr. Wedi討論得太過熱烈，壓縮了和數值模式系集預報組組長Dr. Martin Leutbecher 的討論時間。Dr. Leutbecher 說明了ECMWF現行發展的系集預報架構，就初始場擾動產生策略而言，仍鍾愛奇異向量(Singular Vectors，SV)法，目前ECMWF使用的系集內含有系集資料同化(Ensemble Data Assimilation，EDA)、奇異向量(Singular Vectors，SV)和隨機擾動參數化趨勢(Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies，SPPT)，而且每次進行資料同化時都加入此3種預報做為初始猜測場，視為每次循環同化預報的基礎，經過研究測試，如此3者合用才能得到最大的綜效。

於正式會議之後，各國學者抵達會議室，而整間會議室座無虛席，以下節錄各演講者結論摘要。

第一會議單元:預測和動力過程

首先由 ECMWF 代表介紹 TIGGE 資料庫在 ECMWF 的使用者使用量及目前為止的增長量，以及介紹目前所產出的應用產品及模式校驗。

接續Mio Matsueda (來自日本筑波大學計算科學中心) 介紹其建置的TIGGE MUSEUM/S2S MUSEUM, 並針對 TIGGE 資料集於歐洲冬季進行群集(cluster)分析及診斷分析各模式的表現。

Andrew Charlton-Perez (來自英國雷丁大學), 利用 S2S 資料庫進行平流層和對流層交互影響的預報分析, 檢驗其可預報度, 並進行診斷和校驗, 指出目前多數的模式預報能力可達 10 天左右, 部分模式可以在某些個案得到不錯的結果。

Dominik Büele (來自德國卡爾斯魯爾理工學院), 介紹次季節預報在與能源相關的參數之診斷指出, 數值模式與統計模式相較, 在空間上預報有很大的變異性, 而在強烈的平流層極渦下具有較好的預報能力。

Shuyi Chen (來自美國華盛頓大學) 介紹使用 ECMWF S2S 再預報 (reforecast)資料在 Madden-Julian Oscillation (MJO)預報上的可預報度, 先設定 MJO 的事件物件且使用物件導向(object-oriented)定義 MJO 的範圍, 經由分析可分成有無 MJO 以及有大範圍降雨事件和連續事件的分析, 得到 ECMWF 模式在 MJO 移動較觀測資料慢且過於東邊的結論。

Harry Hendon (來自澳洲氣象局) 探討 MJO 影響澳洲的春天極端溫度事件分析, 因為 MJO 活動受到平均環流影響, 針對澳洲南部的高溫具有可預報度, 澳洲氣象局(BOM)的預報在兩周內可以擁有一定的可預報度, 但三、四周因受到平均環流的誤差影響而使得可預報度降低。

Chaim Garfinkel (來自以色列耶路撒冷希伯來大學) 介紹 S2S 的預報在準兩年周期振盪(Quasi-Biennial Oscillation, QBO)和 MJO 的表現。在 QBO 方面, 若模式在平流層有較好的預報, 則可以有較好的表現但強度低於觀測強度, 而目前還是只能在機率預報上有可預報度; 在 MJO 第 6 及第 7 相位時, 影響平流層突然暖化(Stratospheric sudden warmings, SSW)比較顯著, 而在較強的 MJO 事件時影響 SSW 的可預測度可以達到 20 天。

Cristiana Stan (來自美國喬治梅森大學) 使用多頻道奇異譜分析(Multi-channel singular spectrum analysis, MSSA)分析北半球副熱帶區域震盪, 發

現有 3 種週期震盪(120 天、45 天、28 天)，經由此進行 S2S 資料庫模式校驗，發現模式的預報較易向西傳播，不易向北傳播，而 120 天的可預報度較高，而冬天的異常相關係數(Anomaly Correlation coefficient, ACC)比夏天好。

Hai Lin (來自加拿大環境部) 介紹在 S2S 資料集中 3 個模式在北半球的兩米溫度預報表現狀況，和中緯度比，極地地區表現較差，而在 S2S 模式中具有較好的 MJO 表現，往往會有較好的極區兩米溫的遙相關，顯示 MJO 的確可以影響北極地區的溫度表顯。

第二會議單元:資料庫技術開發

Manuel Fuentes (來自 ECMWF) 介紹 ECMWF 中 TIGGE 和 S2S 計畫目前的運作與未來規劃。

FeiFei Yang 和 Xing Hu (來自中國氣象局) 介紹目前中國氣象局的資料集架構和發展現況。

Andrew Robertson (來自美國哥倫比亞大學國際氣候與社會研究院) 介紹國際氣候與社會研究院(International Research Institute for Climate and Society, IRI)資料庫的架構以及使用應用程式介面(Application Programming Interface, API)的方式溝通和未來的發展。

Martin Leutbecher (來自 ECMWF) 介紹了目前 ECMWF 系集預報使用的系集方法及後續會針對隨機擾動物理趨勢(Stochastically Perturbed Parameterization Tendencies, SPPT)及動力核心模式進行更新，另外也闡述使用多模式系集(Multi-Model Ensemble)的構思。

Michael Denhard (來自德國氣象局) 介紹德國氣象局(DWD)所發展的模式(ICON-EPS)，以及比較 ECMWF、NCEP 模式，使用極端天氣指數(Extreme Weather Index, EWI)預報的初步結果。

Yuejian Zhu (來自美國國家環境預測數值預報中心)介紹目前 NCEP 全球系集模式(GEFS)的 S2S 預報表現以及未來模式會升級到新一代模式，而且新一代模式比起現行的作業版本模式有更好的結果。

Matthew Janiga (來自美國海軍研究實驗室) 介紹美國海軍數值模式在 MJO

相較於 ECMWF、NCEP 氣候模式第 2 版(CFSv2)的差異性表現。

第三會議單元:預測和校驗

Tilmann Gneiting (來自德國海德堡理論研究所) 介紹 ROC(Receiver Operating Characteristic)曲線相關的應用及後處理模式的檢驗，此方法可以很方便的驗證其產品的優劣性。

Caio Coelho (來自巴西天氣預報和氣候研究中心) 介紹以南美洲為驗證區域進行 S2S 預報的作業化研究，先著重過去的天氣事件預報進行校驗，接著步驟是進行整個季節的預報校驗，最後再到即時的預報校驗。

Tom Hamill (來自美國地球系統實驗室物理科學部) 指出，在 S2S 資料庫內對於 2 米溫度的預報有很大的差異性，而其差異也具有代表性偏差，任何方法可以進行偏差修正或是使用資料同化方法降低偏差都是可行的建議。

Helen Titley (來自英國氣象局) 介紹過去到現在 TIGGE 中熱帶氣旋 (Tropical Cyclone, TC)資料使用率及其應用面，包含路徑預報(Track)、命中機率預報(Strike Probability)，而其結果也顯示，TIGGE 所有成員系集預報較單一系集預報有更好的離散度及準確度。

Paul Dirmeyer (來自美國喬治梅森大學) 介紹如何診斷從每日到每月的無縫隙預報的校驗，過程引入了 2 個變數的希爾方程(Hill equation)，透過選用的主要預報天數及指定預報範圍的平均權重兩個指數，調整後可以得到一個很好的無縫式校驗。

Mingyue Chen (來自美國國家環境預報氣候預測中心) 經由多模式比較之後，指出 CFSv2 在美西的誤差並非模式本身的誤差，而各模式皆有其偏差存在，在不同的分析指出此區域有很低的雜訊比，而在較低的雜訊比中很難找到和 ENSO 有很大影響的訊號。

Kathleen Pegion (來自美國喬治梅森大學) 使用 ECMWF 再預報資料來審視北美的環流結構及其極端天氣現象的可預報度分析，此用 K 平均(k-means)的分群方法可以得到太平洋/北美遙相關模式(The Pacific/ North American teleconnection pattern, PNA)的環流型態和極端天氣有明顯的關係。

Christian M. Grams (來自德國卡爾斯魯爾理工學院) 介紹新型時序預報產品，將 ECMWF 的系集預報，依天氣類型可以得到時序天氣類型機率預報。

Lorenzo Zampieri (來自德國阿爾弗雷德·魏格納研究所) 使用 S2S 資料集 6 個國家的預報結果進行北海極冰的表現分析，使用空間機率得分(Spatial Probability Score, SPS)結果表示各個中心的結果有很多差異，北極海冰具有約 1 個半月的可預報度，而有海冰模式會有比較好的預報結果。

Amulya Chevuturi (來自英國國家大氣科學中心, NCAS) 診斷和了解巴西副熱帶和熱帶的降水以及季內現象，使用 S2S 資料集內英國、美國、ECMWF 的季預報產品，模式可以擁有很大的降水偏差，6 到 8 月有最差的預報結果，第 1 周的預報結果最好，大部分第 2 周就幾乎沒有預報能力。

Alexey Karpechko (來自芬蘭氣象研究所) 分析 2018 年的平流層急遽增暖現象，從 S2S 資料集顯示部分模式具有 12-13 天的可預報度。

Samson Hagos (來自美國西北太平洋國家實驗室) 指出 MJO 對強降雨事件有很大的影響性，而 MJO 的可預報度和水氣的輻合輻散有明顯的影響。

第四會議單元: 預測和校驗，多模式系集方法預報

James Goerss (來自美國海軍研究實驗室) 介紹在大西洋 2017 年颱風各模式預報結果，ECMWF 的單一系集預報結果最好。

Daniel Collins (來自美國國家環境預報氣候預測中心) 介紹美國氣候預報中心(CPC)所使用的多模式系集產品(SubX)和其偏差修正方法，而結論顯示經由偏差修正過後的多模式方法可以獲得更好的結果，而較好的模式預報偏差修正過後結果也比較好。

Johanna Ziegel (來自瑞士伯恩大學) 介紹使用等滲分佈回歸(Isotonic Distributional Regression, IDR)法進行資料偏差修正，但是其校驗結果比起貝氏模型平均(Bayesian Model Averaging, BMA) 或是系集模型輸出統計(Ensemble Model Output Statistics, EMOS)並無絕對的優勢，建議此方法在調整參數上必須更加小心。

Clair Barnes (來自倫敦大學學院, 統計科學系) 介紹如何使用貝氏模型

平均方法進行多模式融合預報。

Damien Specq (來自法國氣象局) 分析多模式系集統計預報與單模式系集預報的比較，並指出多模式系集統計預報較優，而統計動力的預報可以增加 MJO 在 3、4 週的預報準確度。

Ole Wulff (來自瑞士蘇黎世聯邦理工學院) 使用 ECMWF S2S 再預報資料分析歐洲的分區極端氣溫，校驗結果顯示各分區的表现並不一致，僅於部分的區域具有較好的表現性。

Michael DeFlorio (來自美國西部極端天氣和水文中心) 使用 S2S 資料庫分析大氣長河(Atmospheric River)的預報，目前正在進行中僅進行初步實驗設計報告。

第五會議單元:應用研究

Jaclyn Brown(來自澳洲聯邦科學與工業組織、農業和食物部) 介紹使用資訊平台將季節性氣候融入農業的解決方案，並展示系統應用在澳洲區域進行農作物預報的成效。

Jonas Bhend (來自瑞士氣象局) 指出使用集成蒸汽輸送(Integrated vapour transport, IVT)在歐洲區域比直接預報降水來得準確，目前已在今(2019)年 4 月於瑞士氣象局進行作業性預報。

Ángel G. Muñoz (來自美國哥倫比亞大學氣候預測研究院) 介紹 IRI 資料提供氣候分析工具 pyCPT、pyWR，且公開提供原始程式給大家應用及使用。

Andrea Manrique-Suñén (來自西班牙巴塞隆納超級計算電腦中心) 介紹應用於清潔能源的氣候服務計畫(S2S4E)，強調此計畫是第 1 次將次季節到季節的氣候預測結合起來著重於能源上的估算。

Yuhei Takaya (來自日本氣象廳氣象研究所) 介紹乾旱監測指數和其驗證，而其指數在聖嬰(El Nino Southern Oscillation, ENSO)現象和印度洋偶極(Indian Ocean Dipole, IOD) 震盪期間會有比較顯著的影響。

Thea Turkington (來自新加坡氣象局) 探討在南亞洲進行的 S2S 季節預測分析，但僅限於個案。

David Brayshaw (來自英國雷丁大學) 介紹若誤用風險預報指標可能引發的錯誤預報的概念。

此次報告人等 3 人投稿的張貼文章，著重於氣象局全球預報模式預報及後處理發展現況，與會的國外學者有相當的興趣與第一作者曾建翰技正們進行討論和心得交流，讓與會 3 人收穫良多。

第 3 天下午為團體討論，分成 6 組進行討論，1. 面向使用者的變數開發和溝通、2. S2S 和 TIGGE 資料庫技術討論、3. 模式預測和流程、4. 模式動力和診斷過程、5. 校驗和修正討論、6. 多模式的潛在發展價值。參與研討會的成員均可參加任一組的討論，進行意見的交流及溝通。

在閉幕式中揭曉團體討論的結論，顯示近來國際專注的重要議題包含了 S2S (尤其是 3、4 周)的預報技術發展、高影響的天氣現象(High Impact Weather)以及極區的影響(Polar Region Effect)，在討論過程中，報告人陳建河簡任技正表示氣象局的全球預報模式是作業化模式，具備了加入到 ECMWF S2S 資料庫的條件，亦獲得 ECMWF 正面回應。

參、心得與建議

雖然，數值天氣預報是最客觀的預報技術，但是從描述天氣現象的方程組與實際天氣現象的差異、到將連續的運動方程轉換為離散的插分方程、再透由無法解析實數所有小數位數的高速運算電腦計算，得出的預報結果會隨預報時間的拉長而使誤差加大，讓預報天氣的技術始終無法跨越 2 周的極限，S2S 技術的精進即在設法解決上述的問題。

出席本次會議除了了解到 S2S 目前國際上所發展的國際趨勢，也和 ECMWF、NCEP 人員詳細討論到各模式所發展的歷程和關鍵技術交流，對於氣象局全球預報模式的未來發展具有高度的參考性及明確的指標。會議期間，令人感動的是全世界優秀的氣象學者可以為解決同一個問題共同努力，S2S 預報技術的精進顯然已成為世界級的任務，氣象局在此潮流中也絕對是責無旁貸，不可缺席。

30 年前，ECMWF 的數值天氣預報技術遠遠落後美國，現在卻是全世界執牛耳的數值預報作業中心，在和 ECMWF 預報模式發展者詳談後，深深感覺因為堅持所以如此。學術研究及技術開發本是長長的路，需要堅持，若只是著重任務的交差，相信 ECMWF 就不可能達到現在的樣貌。

面對世界所有的菁英在共同解決同一個問題的時候，其實也是競爭最激烈的時候，就如何精進氣象局本身的研發能量與技術創新，建議加強人才的培育工作及新技術的引進，具體的策略包含：

- 一、參加國際活動，透過國際會議或是參訪，不僅可以接觸新觀念，也能增長新知識及建立人脈，利於後續加強交流。如此，除了能拓展個人視野之外，更可以進行國際推廣達到行銷臺灣的目的。
- 二、引進國際尖端技術，可以透過技術人員交流互訪達到目的，而且不侷限在特定的國家。以現在地球村的現象，拜網路之賜，城市與鄉村、國與國之間的差異程度已越來越小，只要是值得學習的技術，均是值得交流的對象。

三、積極辦理國際活動，例如舉辦研討會或是論壇。不同於出國參加國際活動，在國內辦理國際活動，可以聚積更多的能量交流，及更強的國際行銷臺灣力道。

肆、附錄

一、研討會議程表及海報清單：會議議程表

Workshop on Predictability, dynamics and applications research using the TIGGE and S2S ensembles



#TIGGEandS2S

2 - 5 April 2019

WATCH THE TALKS LIVE: <https://ecmwf.adobeconnect.com/ecmwfevents/>

All times are BST

Programme

Tuesday, 2 April 2019		
13:15-13:45	Registration	Weather Room
13:45-14:15	Introduction	Florian Pappenberger (ECMWF)
Session 1	Predictability and dynamics	Chair - John Methven (University of Reading)
14:15-14:45	Flow-dependent predictability of wintertime Euro-Atlantic weather regimes in medium-range forecasts	Mio Matsueda (Center for Computational Sciences, University of Tsukuba)
14:45-15:15	The role of stratosphere-troposphere coupling in sub-seasonal to seasonal prediction using the S2S database	Andrew Charlton-Perez (University of Reading)
15:15-15:30	Stratospheric influences on subseasonal predictability of European energy-industry-relevant parameters	Dominik Büeler (Karlsruhe Institute of Technology)
15:30-16:00	Coffee break	Weather Room
Session 1 continued	Predictability and dynamics	Chair - Frederic Vitart (ECMWF)
16:00-16:15	Understanding predictability of the MJO in S2S ensemble	Shuyi Chen (University of Washington)
16:15-16:30	MJO Impact on Temperature Extremes over Australia during Austral Spring	Harry Hendon (Bureau of Meteorology)

ECMWF, Shinfield Park, Reading, Berkshire, RG2 9AX, UK

Workshop programme - continued

16:30-16:45	Extratropical predictability from the Quasi-Biennial Oscillation and the MJO in S2S models	Chaim Garfinkel (Hebrew University)
16:45-17:00	Intra-seasonal and Seasonal Variability of the Northern Hemisphere Extra-tropics	Cristiana Stan (GMU)
17:00-17:15	Subseasonal Forecast Skill over the Northern Polar Region in Three Operational S2S Systems	Hai Lin (Environment and Climate Change Canada)
17:15-19:15	<i>Posters and drinks reception</i>	Lobby/Weather Room
Wednesday, 3 April 2019		
Session 2	Database Technical Development	Chair - Richard Mladek (ECMWF)
09:00-09:25	The technical development of the TIGGE and S2S databases	Manuel Fuentes (ECMWF)
09:25-09:45	TIGGE and S2S status and developments at CMA	Xing Hu and FeiFei Yang (China Meteorological Administration)
09:45-10:15	The S2S Data Base in IRI Data Library: Maprooms and online analysis tools	Andrew Robertson (International Research Institute for Climate and Society)
10:15-10:30	Ensemble forecasting at ECMWF	Martin Leutbecher (ECMWF)
10:30-10:45	The global ICON-EPS: a contribution to TIGGE?	Michael Denhard (Deutscher Wetterdienst)
10:45-11:45	<i>Coffee break</i>	Weather Room
Session 2 continued	Database Technical Development	Chair - Manuel Fuentes (ECMWF)
11:45-12:00	An Assessment of Predictability and Prediction of NCEP GEFS for Subseasonal Forecast	Yuejian Zhu (EMC/NCEP/NWS/NOAA)
12:00-12:15	Using the S2S Database to Evaluate the Performance of the Navy Earth System Prediction Capability (ESPC) Ensemble	Matthew Janiga (Naval Research Laboratory)
Session 3	Prediction and verification	Chair - Manuel Fuentes (ECMWF)
12:15-12:45	Receiver Operating Characteristic (ROC) curves	Tilmann Gneiting (Heidelberg Institute for Theoretical Studies)
12:45-13:00	A verification framework for South American sub-seasonal precipitation predictions	Caio Coelho (CPTEC/INPE)
13:00-14:00	<i>Lunch break</i>	

Workshop programme - continued

Session 3 continued	Prediction and verification	Chair - Laura Ferranti (ECMWF)
14:00-14:15	Spread of global 2-meter temperature analyses: disentangling forecast systematic errors from mis-estimation of ensemble spread	Tom Hamill (NOAA ESRL PSD)
14:15-14:30	Use of TIGGE/Global Ensembles in Tropical Cyclone Research and Operational Forecasts	Helen Titley (Met Office)
14:30-14:45	Achieving seamless verification across sub-seasonal time scales from weather to climate	Paul Dirmeyer (George Mason University)
14:45-15:00	Uncertainties in Extended-Range Precipitation Forecasts: Model Biases or Predictability Limits	Mingyue Chen (Climate Prediction Center/NCEP/NWS/NOAA)
15:00-15:15	Ensemble Prediction and Predictability of Extreme Weather via Circulation Regimes	Kathleen Pegion (George Mason University)
15:15-15:45	<i>Coffee break</i>	Weather Room
Session 3 continued	Prediction and verification	Chair - David Richardson (ECMWF)
15:45-16:00	Ensemble forecasts for the midlatitudes on sub-seasonal time scales (10-60 days): exploring new products for predicting Atlantic-European weather regimes	Christian M. Grams (IMK-TRO, Karlsruhe Institute of Technology (KIT))
16:00-16:15	Prospects for subseasonal sea ice prediction at both poles	Lorenzo Zampieri (Alfred Wegener Institute)
16:15-16:30	Assessment of prediction skill for sub-seasonal rainfall variability over Brazil in ensemble-based prediction systems	Amulya Chevuturi (NCAS)
16:30-16:45	Predicting Sudden Stratospheric Warming 2018 and its Climate Impacts with a Multi-Model Ensemble	Alexey Karpechko (Finnish Meteorological Institute)
16:45-17:00	A zonal component of monsoons and the variability in the strength of the Madden-Julian Oscillation events	Samson Hagos (Pacific Northwest National Laboratory)
17:00-19:00	Poster session	
19:00-21:00	<i>Workshop dinner</i>	ECMWF Restaurant

Workshop programme - continued

Thursday, 4 April 2019		
Session 4	Prediction and Verification Multi-model approaches to prediction	Chair - Craig Bishop (NRL)
09:00-09:30	Ensemble Tropical Cyclone Forecast Performance and Prediction of Ensemble Forecast Error	James Goerss (SAIC, NRL Monterey)
09:30-10:00	Multi-model Prediction on Subseasonal Timescales at the US NOAA Climate Prediction Center: Approaches to Calibration and the Identification of Forecasts of Opportunity	Daniel Collins (NOAA Climate Prediction Center)
10:00-10:15	Isotonic Distributional Regression (IDR): A powerful nonparametric calibration technique	Johanna Ziegel (University of Bern)
10:15-10:30	A Bayesian framework for postprocessing multi-ensemble weather forecasts	Clair Barnes (Department of Statistical Science, University College London)
10:30-10:45	Benefits of a multimodel approach for forecasting precipitation over New Caledonia (SW Pacific) at S2S timescales	Damien Specq (Météo-France)
10:45-11:15	<i>Coffee break</i>	Weather Room
Session 4 continued	Prediction and Verification Multi-model approaches to prediction	Chair - Mark Rodwell (ECMWF)
11:15-11:30	Subseasonal Prediction of European Summer Heat Waves in the S2S Hindcast Ensembles	Ole Wulff (ETH Zurich)
11:30-11:45	Experimental subseasonal forecasting of atmospheric river variations for western N. America during Winters 2017-2018 and 2018-2019	Michael DeFlorio (Center for Western Weather and Water Extremes)
Session 5	Application studies	Chair - Mark Rodwell (ECMWF)
12:00-12:30	Quantifying and attributing predictable signals on sub-seasonal timescales	Dan Rowlands (Citadel)
12:30-12:45	Digiscape: A one-platform solution for seasonal climate integration into Agriculture.	Jaclyn Brown (CSIRO Agriculture and Food)
12:45-13:00	A flood alert system for Switzerland based on integrated water vapor fluxes	Jonas Bhend (MeteoSwiss)
13:00-14:00	<i>Lunch break</i>	
14:00-14:15	Description of working groups	Lecture Theatre
14:15-15:30	Working groups	

Workshop programme - continued

15:30-16:30	<i>Posters and coffee break</i>	Lobby/Weather Room
16:30-18:00	Working groups	
Friday, 5 April 2019		
Session 5 continued	Application studies	Chair - Andrew Robertson (IRI)
09:00-09:30	Transmuting S2S forecasts into applications	Ángel G. Muñoz (IRI - Columbia University)
09:30-09:45	The S2S4E project, sub-seasonal to seasonal climate predictions for energy	Andrea Manrique-Suñén (Barcelona Supercomputing Center)
09:45-10:00	Drought Monitoring and Prediction Using Sub-Seasonal Predictions	Yuhei Takaya (MRI/JMA)
10:00-10:15	Developing capacity of Southeast Asian countries to apply subseasonal-to-seasonal forecasts in impact forecasting tools	Thea Turkington (Meteorological Service Singapore)
10:15-10:30	Subseasonal forecasting for the telecommunication network	David Brayshaw (University of Reading)
10:30-11:00	<i>Coffee break</i>	Weather Room
11:00-12:00	Working groups	
12:00-13:00	Plenary session	Lecture Theatre

一、 研討會議程表及海報清單：海報



Workshop on predictability, dynamics and applications research using the TIGGE and S2S ensembles



2 - 5 April 2019

Poster presentation schedule

Tuesday 2 April	
17:15-19:15: Session 1	
The ECMWF land surface scheme and its initialisation in S2S reforecast applications	Gianpaolo Balsamo ECMWF
Comparison of mean data assimilation increments from different centers using TIGGE	Craig Bishop Naval Research Laboratory
GMAO Seasonal Forecast Ensemble Exploration	Anna Borovikov NASA/GMAO/SSAI
Understanding skill in probabilistic predictions of system-wide wind power generation in Great Britain	David Brayshaw University of Reading
Influences of teleconnection patterns on South America in subseasonal to seasonal models hindcasts	Iracema Cavalcanti National Institute for Space Research
An Evaluation of Forecast Performance for North Atlantic Oscillation Onsets	Guokun Dai Fudan University
Predicting summer rainfall in coastal northeast Australia for improved farming practices in sugar cane	Kavina Dayal CSIRO
Predictions of high impact weather events	Laura Ferranti ECMWF
Performance of the Brazilian Atmospheric Model for Sub-Seasonal Predictions	Bruno Guimarães Centre for Weather Forecasting and Climate Studies and University of Reading
Calibrating ensemble forecasts of quantitative precipitation: An empirical comparison	Alexander Henzi University of Bern, Institute of Mathematical Statistics and Actuarial Science
Extratropical prediction skills of the subseasonal-to-seasonal (S2S) prediction models	Sangwook Kim Seoul National University
Performance evaluation of an S2S model in predicting rainfall onset over West Africa	Naomi Kumi Dept. Environmental and Geographical Science, University of Cape Town

ECMWF, Shinfield Park, Reading, Berkshire, RG2 9AX, UK

Performance of the Sub-seasonal Forecasting of the Asian Summer Monsoon by BCC-CSM1.2	Qiaoping Li Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (CMA)
Global precipitation hindcast quality assessment of the Subseasonal to Seasonal (S2S) prediction project models	Felipe Marques de Andrade University of Reading
Early warning products for severe weather events derived from operational medium-range ensemble forecasts	Mio Matsueda Center for Computational Sciences, University of Tsukuba
Performance of Global Ensemble Prediction System for extremely warm days over Asia in spring 2018	Kenta Ochi Japan Meteorological Agency
Understanding the influence of global climate drivers on monsoon onset variability in Nigeria using S2S models	Eniola Olaniyan Nigerian Meteorological Agency
The TIGGE Tropical Cyclone Track Dataset Archive at NCAR	Douglas Schuster National Center for Atmospheric Research
Optimising the use of ensemble information in forecasts of wind power generation	Jeremy Stanger University of Oxford - Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics
An assessment of the skill, sources of predictability and the climatological biases within sub-seasonal precipitation hindcasts over Africa	Elisabeth Thompson University of Reading
The 45 Days CWBGFs Ensemble Prediction System Based on Singular Vectors	John Chien-Han Tseng Central Weather Bureau, Taiwan
S2S prediction at ECMWF	Frederic Vitart ECMWF
Operational forecast products for studying large-scale flow variability in the Atlantic-European region	Jan Wandel IMK-TRO, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Wednesday 3 April	
17:00-19:00: Session 2	
On the predictive skill of climate indices in seasonal forecasts	Jonas Bhend Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss
Accounting for multi-model ensemble dependence and the Ensemble Dependence Transformation: an application to climate projection	Craig Bishop Naval Research Laboratory
S2S forecasting for the European energy system	David Brayshaw University of Reading
AgScore - a skill test of climate models for agriculture	Jaclyn Brown CSIRO Agriculture and Food
Intraseasonal variability over South America using reforecasting models at sub-seasonal to seasonal timescale	Iracema Cavalcanti National Institute for Space Research
On the Dynamical Downscaling of Multi-model Ensemble Forecasts for Sub-seasonal Predictions of Extreme Weather Events	Manpreet Kaur Indian Institute of Tropical Meteorology Pune
Weakening of the teleconnection of El Niño-Southern Oscillation to the Arctic stratosphere over the past few decades: What can be learned from subseasonal forecast models	Chaim Garfinkel Hebrew University of Jerusalem
Sensitivity evaluation based on initial condition and search for optimal ensemble technique	Hyunjun Ham NIMS
Optimal ensemble size for subseasonal-to-seasonal (S2S) prediction system	Sangwook Kim Seoul National University

ECMWF, Shinfield Park, Reading, Berkshire, RG2 9AX, UK

Improving predictability of monthly mean temperature forecasts in Northern Europe during boreal winter by the QBO	Natalia Korhonen Finnish Meteorological Institute
The Use of Multi-Model Ensemble Clustering in The Weather Prediction Center's Extended Range Forecast Experiment	Bill Lamberson NOAA/IMSG
Predictability of Wet and Dry spells in West Africa	Christophe Lavaysse Institut de Rechercher pour le Developpement
Predicting 2-m temperature with the CNR-ISAC subseasonal forecasting system	Daniele Mastrangelo CNR-ISAC
The TIGGE and S2S Museums - websites of ensemble forecast products -	Mio Matsueda Center for Computational Sciences, University of Tsukuba
Model climatology of the intraseasonal oscillations in S2S models	Masuo Nakano Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)
Predicting heat stress: using S2S models for a heat warning system	Jan Rajczak MeteoSwiss
Short to medium range forecasting skills of the GFS model	Priyanshi Singhai Indian Institute of Science, Bangalore, India
Evaluation of Sub-Seasonal Forecasts of Weekly Number of Dry Days with ECMWF Extended Range Forecast	Wee Leng Tan Meteorological Service Singapore
Preliminary Evaluations of the Extended-Range Tropical Cyclone (TC) Forecasts in the Western North Pacific and Taiwan Area by using the ECMWF S2S Forecasts	Hsiao-Chung Tsai Central Weather Bureau, Taiwan
Sub-seasonal predictability of extreme European weather events.	Chiem van Straaten KNMI
Representation of synoptic-scale Rossby wave packets and blocking in the S2S prediction project database	Frederic Vitart ECMWF
The utility of sub-seasonal to seasonal forecast information for agricultural risk assessments	Matthew Young National Centre for Atmospheric Science and University of Reading

Thursday 4 April

15:30-16:30: Session 3

This session is unallocated

二、 投稿海報摘要



The 45 Days CWBGFS Ensemble Prediction System Based on Singular Vectors

John Chien-Han Tseng, Jen-Her Chen, Ting-Huai Chang, Chong-Wei Allen Huang, Young-Sin Lai, Chi-Cha Wang
Central Weather Bureau, Taiwan

1. The ensemble prediction system

The Taiwan Central Weather Bureau global forecast system (CWBGFS) has been providing 45 days 20 ensemble member prediction once per day on resolution T319L60 model since 1 July 2017. The ensemble perturbations are given by singular vectors (Buizza *et al.*, 1993) which are calculated from northern/southern hemisphere (0° - 360° , 20° N/S- 80° N/S) and three tropical areas (around 45° E- 165° E, 20° S- 20° N) dry total energy norm separately. Then, the 20 ensemble perturbations are composed by these five domains singular vector linear combination. The CWBGFS ensemble prediction system (CWBGEPS) setup is shown in Table 1. Moreover, the Stochastically Perturbed Parameterization Tendency (SPPT) process (Palmer *et al.*, 2009) is added in CWBGEPs since 19 July 2018. The SPPT uses three different horizontal scales 500 km, 1000 km, and 2000 km random patterns which effectively increase the original ensemble spread (Fig. 1).

Basically, the smaller differences between the root mean square error (RMSE) and the ensemble spread, the better ensemble prediction system is. But, in Fig. 1, there are still about 15% differences between RMSE (solid line) and ensemble member spread (dash line). If we compare recently CWBGEPs results with NCEP GEFS (Fig. 2), we can find the RMSE of CWBGEPs (black solid line) is larger than NCEP GEFS (red solid line) and the spread of CWBGEPs (black dash line) is far smaller than NCEP GEFS (red dash line). That

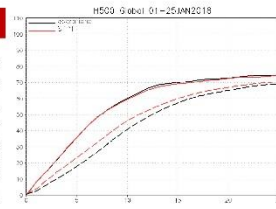


Figure 1. CWBGEPs with the SPPT (red) and w/o (black). The RMSE is shown by solid line and the ensemble spread is dash line.

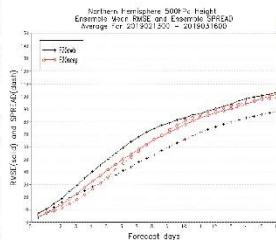


Figure 2. The RMSE and ensemble spread between CWBGEPs (black) and NCEP GEFS (dash).

means the performance of CWBGEPs is not so good. The preliminary view is that we should composite the initial perturbations subtly (enlarge the amplitude?) or fine tune our SPPT relative parameters. However, we probably should improve the CWBGFS itself. Because we find in the first three days the singular vector perturbations growing well and even the initial magnitude just half of NCEP GEFS (Fig. 2). We are not sure why after three days those perturbation cannot keep the growth rate like the first three days and have the enough spread.

Table 1. CWBGEPs Structure

CWBGFS Ensemble Prediction System													
deterministic model control rate	T319L60 T319L60												
resolution	ensemble for 45 days T319L60												
TLM and adjoint model	T42L60												
initial perturbation, singular vector	<table border="1"> <tr> <td>north hemisphere</td> <td>20°N-80°N, 0°-360°</td> </tr> <tr> <td>south hemisphere</td> <td>20°S-80°S, 0°-360°</td> </tr> <tr> <td>Indian ocean</td> <td>20°S-20°N, 45°E-85°E</td> </tr> <tr> <td>Tropical area</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>South China Sea</td> <td>20°S-20°N, 60°E-120°E</td> </tr> <tr> <td>East Philippines</td> <td>20°S-20°N, 120°E-150°E</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	north hemisphere	20°N-80°N, 0°-360°	south hemisphere	20°S-80°S, 0°-360°	Indian ocean	20°S-20°N, 45°E-85°E	Tropical area	<table border="1"> <tr> <td>South China Sea</td> <td>20°S-20°N, 60°E-120°E</td> </tr> <tr> <td>East Philippines</td> <td>20°S-20°N, 120°E-150°E</td> </tr> </table>	South China Sea	20°S-20°N, 60°E-120°E	East Philippines	20°S-20°N, 120°E-150°E
north hemisphere	20°N-80°N, 0°-360°												
south hemisphere	20°S-80°S, 0°-360°												
Indian ocean	20°S-20°N, 45°E-85°E												
Tropical area	<table border="1"> <tr> <td>South China Sea</td> <td>20°S-20°N, 60°E-120°E</td> </tr> <tr> <td>East Philippines</td> <td>20°S-20°N, 120°E-150°E</td> </tr> </table>	South China Sea	20°S-20°N, 60°E-120°E	East Philippines	20°S-20°N, 120°E-150°E								
South China Sea	20°S-20°N, 60°E-120°E												
East Philippines	20°S-20°N, 120°E-150°E												
optimization time	48 hrs												
ensemble size	20												
forecast length	45-day												

2. Downscaling

In Taiwan, for the fine agriculture, agricultural research institute needs to estimate which kind of crops should be cultivated in next season based on monthly, subseasonal or seasonally forecast. Furthermore, the long term temperature forecast is used for estimating the insect control or disease prevention in cultivation. For the agriculture needs, CWBGEPs is in charged of affording the two meter temperature 45 days forecast at some specific locations, the greenhouses or the fields. In the future, CWBGEPs is also going to provide rainfall, solar radiation, relative humidity, and wind speed/direction for farmers. The Fig. 3 is the example to show the T2m forecast in Taipei. The green line and red line stand for CWBGEPs control run and ensemble mean. The gray lines are from ensemble members. The blue line is high resolution CWBGFS for 16 days weather forecast. The gray bar marks one standard deviation of ensemble members, and it somehow estimates the highly probability range. The green, red and blue line are always stick together around 5-7 days and then they will separate and evolve to different curves pattern. The 5-7 days is the limitation of weather forecast (the period of time more accurate) and after that 10 days or longer forecast we need to use different view to explain the forecast. The pentad average forecast or same target time different initial time forecast average or some kind of tendency probability could be more appropriate than single specific value forecast for long term forecast.

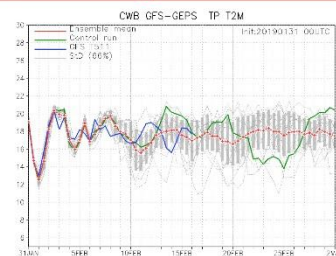


Figure 3. The 30 days T2m forecast at Taipei based on CWBGEPs initial time 20190131 00 UTC 45 days forecast.

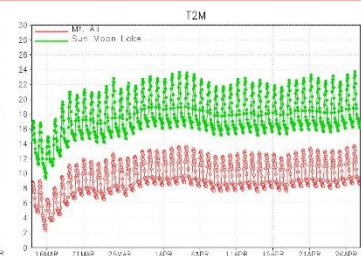


Figure 4. The 45days T2m hourly forecast in Taiwan Sunmoon lake (green) and Ali mountain (red).

At the same time, it is not so economic to output high time resolution, e.g., hourly forecast in 45 days forecast. On the other hand, the hourly forecast variation is probably not accurate at downscaling location. We can train, the **machine learning method**, the specific location real hourly observation and get the hourly variation regression equation then fit in the daily downscaling 45 days NWP forecast (Fig. 4). The regression we used is **support vector regression**. Moreover, the support vector regression not only gives the hourly variation but also gives higher spatial resolution possible variation based on ensemble members. Next, we are going to build **neural network learning** for fine downscaling Taiwan area forecast by combining CWBGEPs and observation (Alpaydin, 2014; Hsieh, 2009).

3. Summary

The singular vector perturbations of CWBGEPs reflect the dynamic instability around midlatitude jet stream. However, CWBGEPs cannot have well spread especially around tropical area. The SPPT can cooperate well with singular vector perturbations and some parameters like vertical profile and the amplitude factor are still necessary fine tuning. Some interesting energy cascades in midlatitude or tropical areas are worth studying.

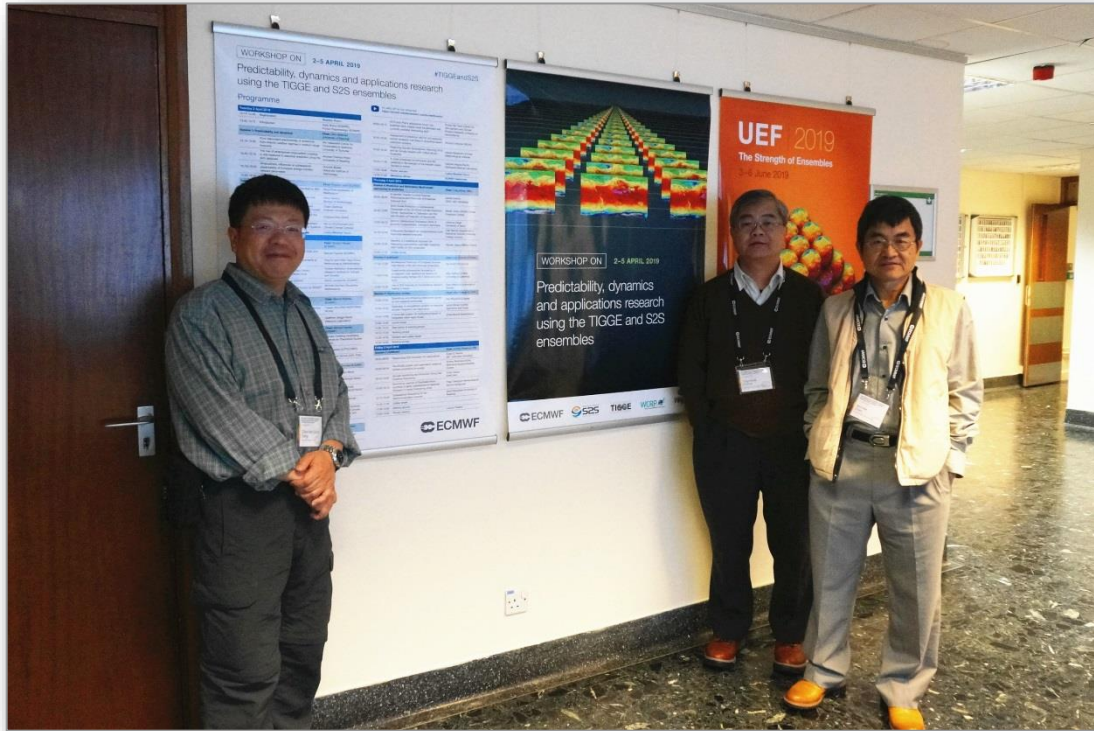
There are many jobs in the next stage. They include: for example, how to define the amplitude of singular vector in different time and area, how to select different singular vector calculation areas, how to compose singular vectors, how to extend the predictability of CWBGEPs, e.g. nudging SST, coupling ocean, etc.; should we try to use EnKF or others to form ensemble perturbations; what if we do not have TLM and ADJ in next new dynamic core model and what should we do; is it possible to interpolate current singular vectors into new model grid; what kind of probabilistic products can we contribute to forecast; what kind of downscaling method can we use in Taiwan; Machine learning or AI can help to raise the downscaling forecast quality or not.

We can image that the boundary between weather forecast and climate forecast will be getting blurred. The predictive products of NWP model will be extended to be prescriptive products which are the goal of CWBGEPs.

4. Reference

- Alpaydin, E., 2014: *Introduction to Machine Learning*. MIT press, 640pp.
 Buizza R., J. Tribbia, F. Molteni and T. Palmer, 1993: Computational of optimal unstable structures for a numerical weather prediction model. *Tellus*, **45A**, 388-407.
 Hsieh, W. W., 2009: *Machine learning methods in the environmental sciences: Neural networks and kernels*. Cambridge Univ. press, 349pp.
 Palmer, T. N., R. Buizza, F. Doblas-Reyes, T. Jung, M. Leutbecher, G. J. Shutts, M. Steinheimer, A. Weisheimer, 2009: Stochastic parameterization and model uncertainty. *ECMWF Technical Memorandum*, **598**, 42pp.

三、 訪問 ECMWF 及研討會交流



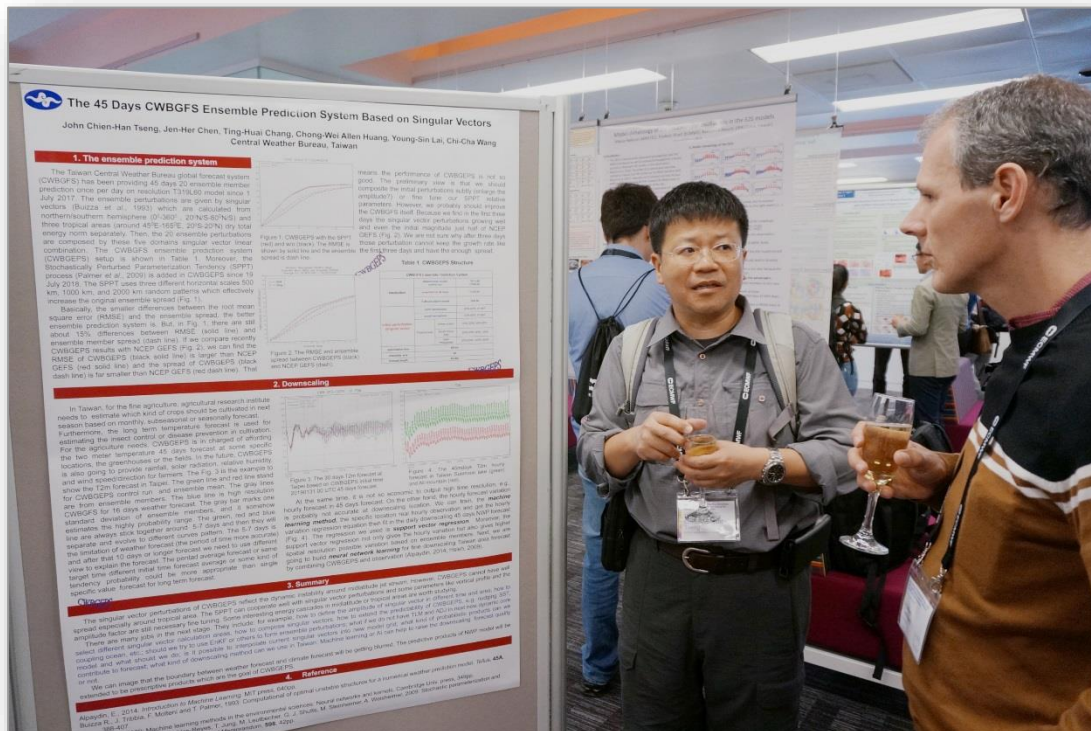
報告人於 ECMWF 大廳研討會會議海報前合影



本次研討會參與成員大合照



ECMWF 研討會會議廳



報告人曾建翰技正和國外學者進行交流



報告人 3 人與 ECMWF 數值模式動力核心發展組副組長 Dr. Nils Wedi 討論模式發展策略



報告人 3 人與 NCEP/EMC 系集預報組組長 Dr. Yuejian Zhu 商談往後與氣象局的
合作策略