

出國報告（出國類別：開會）

赴韓國首爾參加 2018 KIAPS 國際全球 數值天氣預報系統建模研討會

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：連國淵副研究員

派赴國家/地區：韓國

出國期間：107 年 11 月 11 日至 15 日

報告日期：107 年 12 月 28 日

摘要

韓國大氣預報系統研究所(Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems ; KIAPS) 為韓國發展數值天氣預報系統的研究單位，其目標為發展該國自有的全球模式與數值天氣預報系統，為東亞地區主要的天氣預報模式發展中心之一。KIAPS 每年主辦國際全球數值天氣預報系統建模研討會(KIAPS International Symposium on the Global NWP System Modeling)，討論主題涵蓋作業數值天氣預報系統、模式動力核心、模式物理參數化及資料同化等議題，邀請全球各主要天氣作業中心負責數值天氣預報系統發展與維運的專家學者進行交流及指導，以及其內部與其他單位的研究人員，也以演講或海報發表的形式發表各自的研究發展成果。

由於數值天氣預報系統研發是中央氣象局的重要發展工作項目之一，藉派員出席此研討會，可習得世界上數值天氣預報系統之最新發展動態，提升中央氣象局天氣預報系統發展技術，並與國際各主要氣象機構的專家學者互動，爰派連國淵副研究員參加此國際研討會並以海報形式發表研究成果。連員參加本次研討會，對 KIAPS 在過去 8 年間的研發成果，以及對韓國為達成數值天氣預報系統發展的技術自主化而投注如此大量資源，印象十分深刻，KIAPS 的經驗值得臺灣借鏡思考。

目次

摘要.....	1
目次.....	2
一、目的.....	3
二、過程.....	3
三、心得與建議.....	5
附錄.....	9
附錄 1 - 論文摘要與海報.....	9
附錄 2 - 口頭演講議程表.....	11

一、目的

韓國大氣預報系統研究所 (Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems ; KIAPS) 為韓國發展數值天氣預報 (numerical weather prediction ; NWP) 系統的研究單位，創立於 2011 年，其目標為發展韓國自有的全球模式 (global model) 與數值天氣預報系統，預計以 9 年的時間完成此任務，最終將其發展的系統轉移至韓國氣象局 (Korea Meteorological Administration ; KMA) 進行常態性的天氣預報作業 (operation)。該研究所經過數年的發展，已經累積不少成果，成為東亞地區主要的天氣預報模式發展中心之一，其在數值天氣預報系統發展之經驗值得中央氣象局 (以下簡稱氣象局) 參考。

KIAPS 每年主辦為期 3 天的國際全球數值天氣預報系統建模研討會 (KIAPS International Symposium on the Global NWP System Modeling ; 後稱 KIAPS 國際研討會)，討論主題涵蓋數值天氣預報作業系統概觀、模式動力核心 (dynamical core) 發展、模式物理參數化 (physics parameterization) 發展與應用、資料同化 (data assimilation) 等議題。此研討會的主要目標是邀請全球各主要天氣預報作業中心負責數值天氣預報系統發展與維運的著名專家學者進行交流及指導，每位國際學者在會議中給予 1 至 2 場演講，同時 KIAPS 內部的研究人員也在該研討會中發表本地的研究發展成果，藉此機會與世界各頂尖專家學者交流。除此之外，該研討會亦開放外界其他單位報名參加交流學習。在 3 天的議程結束後，KIAPS 接續安排 2 天的內部年度評鑑會議，由邀請來的國際專家學者擔任評審委員，給予該單位的年度發展建議與指導，此部分不開放外界單位參加。

基於氣象局過去和韓國相關研究單位的合作關係，氣象局也收到 KIAPS 國際研討會的邀請資訊。氣象局在數值天氣預報系統研發是重要工作項目之一，爰派員出席 KIAPS 國際研討會，期望習得國際上數值天氣預報系統之最新發展動態，提升本局天氣預報系統發展技術，並藉此機會與 KIAPS 邀請的國際各主要氣象機構專家學者互動，加強氣象局在數值天氣預報系統研發的國際能見度，因此指派連國淵副研究員參加此國際研討會，並在會議中以海報形式發表研究成果，題目為「Accelerating assimilation development for new observing systems using EFSO」(摘要與海報附錄 1)。

二、過程

2018 年 KIAPS 國際全球數值天氣預報系統建模研討會於 11 月 12 日至 11 月 14 日在韓國首爾市舉行。連員於 11 月 11 日自臺北出發飛往韓國仁川機場，11 月 12 日至 11 月 14 日參加該會議及發表研究成果，並於 11 月 15 日自韓國首爾返回臺北。

日期	停留地點	工作摘要
107/11/11 (日)	臺北—韓國首爾	自臺北至韓國首爾
107/11/12 (一)	韓國首爾	1. 參加「2018 KIAPS 國際全球數值天氣預報系統建模研討會」第 1 天 2. 參加晚宴 Welcome Dinner
107/11/13 (二)	韓國首爾	1. 參加「2018 KIAPS 國際全球數值天氣預報系統建模研討會」第 2 天 2. 以海報形式發表論文「Accelerating assimilation development for new observing systems using EFSO」。
107/11/14 (三)	韓國首爾	參加「2018 KIAPS 國際全球數值天氣預報系統建模研討會」第 3 天
107/11/15 (四)	韓國首爾—臺北	自韓國首爾返回臺北

KIAPS 國際研討會討論的主題涵蓋數值天氣預報作業系統概觀、模式動力核心發展、模式物理參數化發展與應用、資料同化，邀請的知名國際專家學者包括：

- 美國氣象局 (National Centers for Environmental Prediction ; NCEP) : Vijay Tallapragada、Daryl Kleist
- 美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration ; NOAA) : Stan Benjamin
- 美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration ; NASA) : Wei-Kuo Tao
- 歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ; ECMWF) : Richard Forbes、Massimo Bonavita
- 英國氣象局 (Met Office) : Dale Barker、Adam Clayton
- 加拿大環境部 (Environment Canada) : Stephane Belair
- 美國馬里蘭大學 (University of Maryland) : Eugenia Kalnay
- 澳大利亞聯邦科學與工業研究組織 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation ; CSIRO) : John McGregor

在 KIAPS 方面，包含其主任和部分組長共 6 位研究學者均給予口頭演講，而其他研究職人員依其內部規定都要以海報發表研究成果，海報發表篇數總計 43 篇。口頭演講的議程如附錄 2。

11 月 12 日（第 1 天）上午為重點演講（keynote presentations），分別由韓國延世大學（Yonsei University）的 Jhoon Kim 教授介紹最新的衛星遙測（remote sensing）技術、韓國電子通信研究院（Electronics and Telecommunications Research Institute）的 OK Baek 研究員主講尖端高速計算與人工智慧科技發展現況及展望。下午正式進入該研討會主軸，主題為數值天氣預報作業系統概觀與模式動力核心發展。首先由各先進國家氣象局或作業模式發展單位，介紹各自單位的數值天氣預報作業系統發展現況，此部分的演講讓連員得以了解各主要單位目前採用的技術、發展策略及未來規劃。當天晚上於會場設有晚宴接待，亦是與各國專家學者交流討論的好時機。

11 月 13 日（第 2 天）上午的主題為模式物理參數化方法發展。物理參數化一直是影響數值天氣預報模式表現的重要技術，各國專家學者帶來的最新研究都相當重要。本次研討會中討論到比較多的主題之一為當模式解析度日益增高的時候，物理參數化法要怎麼對應模式解析度自適調整（scale aware），可見這是近年來各模式發展單位都面臨到的重要課題。下午主題為接續模式物理參數化方法發展，並加入更多模式應用的演講，包括氣候模擬、颱風預報、生物地球化學（biogeochemical）模式預報與資料同化等。下午 3 時 50 分到 6 時為海報發表時間，藉此機會連員以海報發表的形式介紹其過去在 Ensemble Forecast Sensitivity to Observation（EFSO）方面的研究，與各國的專家學者討論，也更全方位地看到整個 KIAPS 團隊的各研究主題。

11 月 14 日（第 3 天）上午的主題為資料同化，與連員的研究專長最為相關，因此這部分的演講對連員來說最重要。藉此機會，連員更新了對世界各主要先進單位的資料同化發展現況與未來規劃的了解，對其往後規劃氣象局在資料同化技術發展方面的策略有相當大的幫助。該會議於本日中午劃下句點。

三、心得及建議

本次參加 KIAPS 國際研討會是連員第一次踏上韓國。連員以前在美國求學，畢業後至日本工作過數年，因此對美、日的學術界和氣象作業單位均有些了解，但一直沒有去過韓國，也少有機會接觸韓國的研究學者，對韓國的天氣預報作業和研究發展現況相當陌生。這次對連員來說是個很好的機會，能接觸韓國的作業和研究單位，並與韓國做數值天氣預報系統相關領域的研究學者交流。

本次研討會讓連員感受最深的是韓國願意投入這麼多資源，從頭建構自己的數值

天氣預報系統，KIAPS 在 2011 年成立之初，政府就一次核定了連續 9 年的經費預算，總計約新臺幣（以下同）30 億元，相當於每年超過 3 億元。該單位成立的目標相當明確，就是要從頭開始自主發展韓國的全球數值模式與數值天氣預報系統，並在發展完成之後移交 KMA 作為常態性天氣預報作業使用。

KMA 目前使用的數值天氣預報作業系統並非自己建立，而是向英國氣象局購買，在運作上預報表現雖然很好，但終究並非自己的技術。然而，現今數值天氣預報模式與資料同化技術發展，已經成為一個非常需要專業技術經驗與大量科技人力資源的領域，不是後進者可以輕易趕上的，而韓國竟然願意投注這麼大的資源與耐心來達成這件事，只為了技術自主，實在令人相當敬佩，值得臺灣借鏡思考。當然，除了經費資源的投入之外，該單位的技術能力與執行力也是成功與否的關鍵。

KIAPS 成立至今已進入第 8 年的尾聲，目前僱用的員工有數十人，80% 左右為擁有博士學位的專業研究者，所涉及的研究工作包括數值天氣預報模式發展、資料同化、模式系統校驗（verification）與診斷（diagnostics）、與高速計算管理等，皆已有相當不錯的成果。具體而言，他們已經完成了一個稱為 Korean Integrated Model（KIM）模式的主要發展工作，以及其對應的四維系集－變分資料同化（4-dimensional ensemble-variational data assimilation；4DEnVar）系統，各項技術都達到世界水準。他們已使用此系統進行準作業（semi-operational），並已著手準備在 2020 年將該系統轉移至 KMA，確實沒有辜負當初韓國的國家投資。

在研究成果報告撰寫方面，KIAPS 在 2018 年以在一國際英文期刊 *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 發行增補期號（supplement issue）（Vol. 54(S1)；2018 年 6 月；封面如圖 1）的方式，發表該單位過去數年的研究成果。在該增補期號中總計包含 11 篇英文學術論文，皆由 KIAPS 的研究學者撰寫，實為向世界呈現該單位研究成果的最有效方式。本次會議的與會者皆獲得一本該期刊增補期號的紙本印刷。

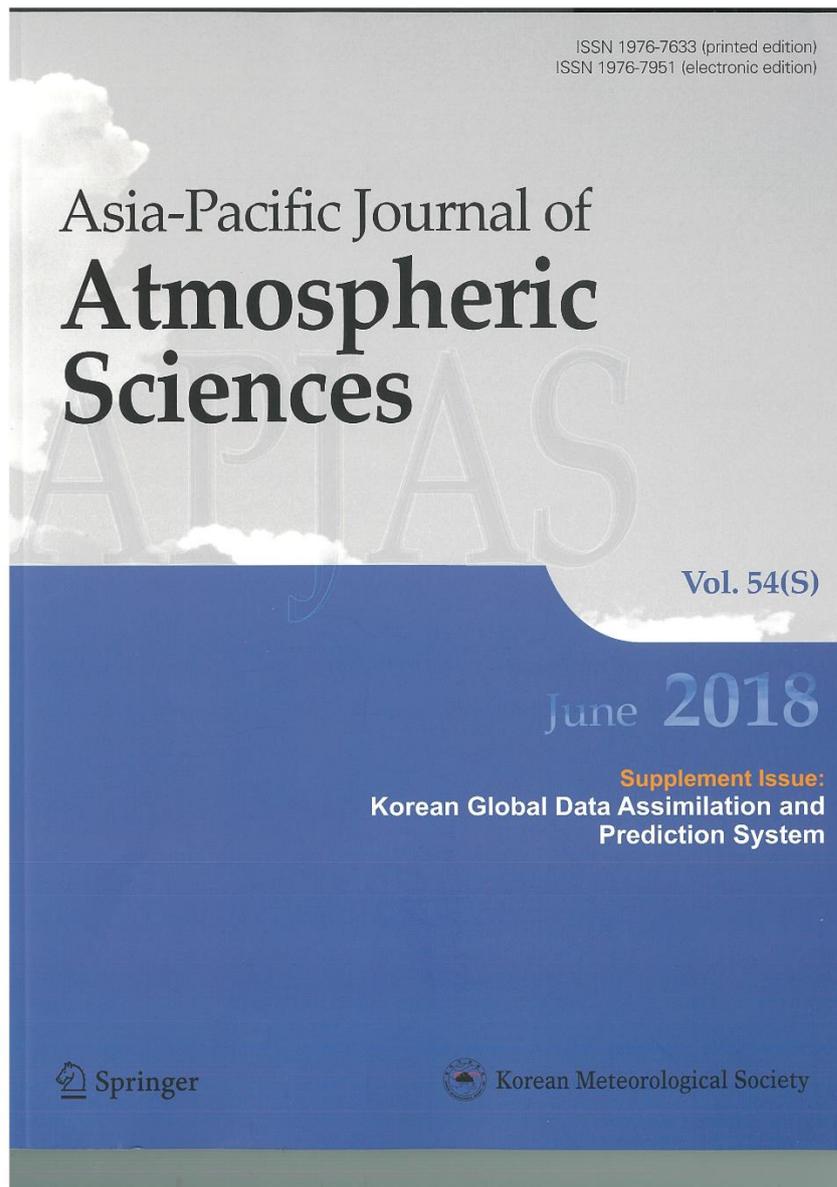


圖 1：每位與會者拿到的 *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 期刊增補期號，為 KIAPS 過去數年研究成果的論文集。

反思臺灣數值天氣預報系統發展的現況，氣象局在全球數值天氣預報系統的發展上，目前正值一個關鍵的時間點。氣象局過去已自立發展數值模式超過 20 年，多年前曾是世界上少數有能力自己發展數值天氣預報系統的單位，但受限於人力編制、經費資源，在數值天氣預報技術日益專精化與複雜化的今日，可能無力負荷維持在世界頂尖水平所需的研究開發能量。氣象局在這兩年間已經初步決定由美國氣象局引進美國的最新數值天氣預報模式，計畫在未來可能取代現行的模式，雖然預期將可因此大幅提升氣象局全球數值天氣預報系統的表現，但將來在使用他單位系統為主的情況下，要如何保有自身的研究能量與開發人力，將是氣象局要面對的重要課題。

韓國政府在 **KIAPS** 上的投資甚為鉅大，若以天氣預報實務需求來考量，由於現今世界各主要國家的全球數值天氣預報產品皆可方便取得或購買，擁有並運行自己的全球模式在預報實務上的必要性或許不大；相對地，投入資源自主發展自己國家的模式的最主要獲益，將是該國在此相關領域的研究技術水平的累積，與藉此培養出來的研究人才，這方面亦不可謂不重要，端看我們如何衡量其重要性。臺灣基於各種現實考量，在這方面當然不一定要走像 **KIAPS** 一樣的路，但是如何找出適合我們自己國家的道路，在資源花費和培植研究發展技術與人力中取得均衡，將是相當重要的課題。

Accelerating assimilation development for new observing systems using EFSO

Guo-Yuan Lien^{1,2,3}, Daisuke Hotta^{4,3}, Eugenia Kalnay³, Takemasa Miyoshi^{2,3}, Tse-Chun Chen³

¹ *Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan*

² *RIKEN Center for Computational Science, Kobe, Japan*

³ *Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, College Park, Maryland, USA*

⁴ *Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Tsukuba, Japan*

To successfully assimilate data from a new observing system, it is necessary to develop appropriate data selection strategies, assimilating only the generally useful data. This development work is usually done by trial-and-error using observing system experiments, which are very time- and resource-consuming. We propose a new, efficient methodology to accelerate the development using the Ensemble Forecast Sensitivity to Observations (EFSO). First, non-cycled assimilation of the new observation data is conducted to compute EFSO diagnostics for each observation among a large sample. Second, the average EFSO conditionally sampled in terms of various factors is computed. Third, potential data selection criteria are designed based on the non-cycled EFSO statistics, and tested in cycled OSEs to verify the actual assimilation impact. We demonstrate the usefulness of this method with the assimilation of satellite precipitation data. It is shown that the EFSO based method can efficiently suggest data selection criteria that significantly improve the assimilation results.

Accelerating assimilation development for new observing systems using EFSO

Guo-Yuan Lien^{1,2,3}, Daisuke Hotta^{4,3}, Eugenia Kalnay³, Takemasa Miyoshi^{2,3}, Tse-Chun Chen³

¹ Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan
² RIKEN Center for Computational Science, Kobe, Japan
³ Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, College Park, Maryland, USA
⁴ Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Tsukuba, Japan

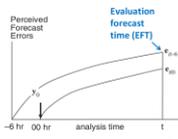
Introduction

- To successfully assimilate data from a new observing system, it is necessary to develop appropriate **data selection criteria**, assimilating only useful data.
- The development work can be done by **trial-and-error** using observing system experiments (OSE); however,
 - Trial-and-error is very time- and resource-consuming.
 - The signal from new observations in OSE is obscured by the presence of the many observations already assimilated in the control experiment, making it difficult to discern the impact from the newly assimilated observations without conducting experiments over a long period (Geer 2016; Hotta et al. 2017).
- Our proposal:** To accelerate the development using the **Ensemble Forecast Sensitivity to Observations (EFSO)**.

EFSO

Ensemble forecast sensitivity to observation (EFSO)

- Forecast Sensitivity to Observations (FSO; Langland and Baker 2004)
- Estimate the forecast error reduction from observations in terms of a given norm.
- Can be easily compute with ensemble data assimilation systems without an adjoint model (Kalnay et al. 2012)
- Main computational cost: ensemble forecasts from $t = 0$ to EFT.
 - Hotta et al. (2017) shows a 6-h EFT is long enough!



$$\Delta e^2 = e_{10}^2 - e_{10-\delta}^2 = e_{10}^T C e_{10} - e_{10-\delta}^T C e_{10-\delta}$$

$$\approx \frac{1}{N-1} \delta^T R^{-1} V^T X_{(10)}^T C (e_{10} + e_{10-\delta})$$

$$\text{Moist total energy norm: } e^2 = \frac{1}{2} \int_V \left[\underbrace{u'^2 + v'^2 + \frac{c_p}{R} \gamma'^2 + \frac{L^2}{C_p T_0} q'^2}_{\text{Kinetic energy}} + \underbrace{\frac{R_0 T_0}{p_0} p_0'}_{\text{Moist energy}} \right] ds$$

Two ways of using EFSO for observation selection

- "Online" approach: Proactive Quality Control (PQC) (Hotta et al. 2017)**
 - Adaptive to the latest changes of the observing systems.
 - Detect **detrimental observations**.
 - Require **"future" observation** (6-h later) to compute the EFSO and improve the analysis. Not possible for "fast" NWP, but it improves the "final analysis."
- "Offline" approach: This poster (Lien et al. 2018)**
 - Work once to determine appropriate observation selection rules, and then use the rules as a standard QC in the NWP system.
 - Accelerate assimilation development for new observing systems.

Proposed methodology

- Step 1:** Conduct an "offline" (non-cycled) DA experiment, assimilating almost all available data from the new observing system (with minimal data screening).
 - Obtain large samples of EFSO data for the new observations.
- Step 2:** Compute EFSO statistics based on various factors that can be potentially used to formulate data selection rules, such as:
 - Locations, time, channels.
 - Any kind of data quality flags provided with the data.
 - Observed values or O-B departures.
 - Any model background properties; in EnKF, also the statistical properties from the background members.
- Step 3:** Examine the impact of different selection criteria by applying them as standard QC in cycled OSEs.

Summary

- We propose a method to use non-cycled EFSO samples to help determining the observation selection criteria for new observing systems, which can accelerate the assimilation development.
- The usefulness of this method is demonstrated with the assimilation of precipitation.
- Lien, G.-Y., D. Hotta, E. Kalnay, T. Miyoshi, and T.-C. Chen, 2018: Accelerating assimilation development for new observing systems using EFSO. *Nonlin. Processes Geophys.*, **25**, 129–143. doi:10.5194/npg-25-129-2018

This study was initially conducted at University of Maryland, partially supported by NASA, NOAA, and the Office of Naval Research (ONR). After G.-Y. Lien moved to RIKEN AICS, the work continued with additional support by JST CREST and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) Precipitation Measuring Mission (PMM).

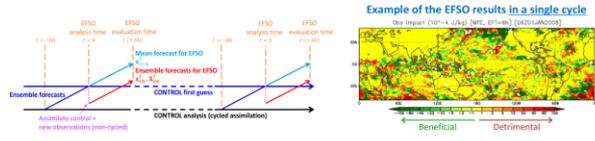


Experiments with precipitation assimilation

- We demonstrate this methodology with the precipitation assimilation.
 - Why? Precipitation is difficult to be assimilated! (Lien et al. 2013, 2016a,b)

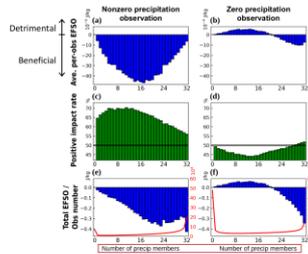
Step 1: EFSO samples

- Since all good and bad observations are assimilated, we do not to carry out cycled assimilation so that the **degrading trend of the analysis can be avoided**.
- Sample: Year 2008; every 30 hours (skip every 4 of 5 cycles).
 - In total: 293 offline cycles; 2.9×10^6 EFSO for single precipitation observations



Step 2: EFSO statistics

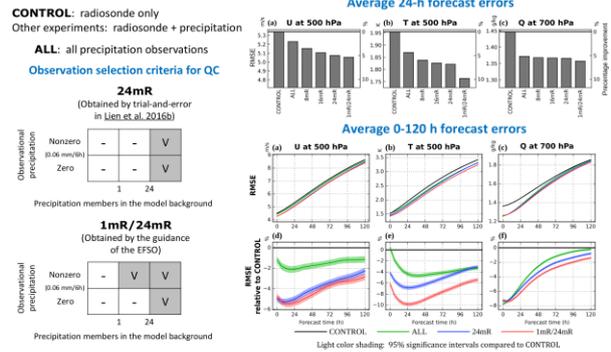
- Calculate the EFSO statistics within the non-cycled EFSO samples in terms of:
 - number of precipitating background members
 - observed rain/no rain



- First column (nonzero precipitation observations):** The average per-obs EFSO is beneficial regardless of the number of precipitating members.
- Second column (zero precipitation observations):** The average per-obs EFSO is only beneficial when many ensemble members are (wrongly) precipitating.

Step 3: OSEs based on EFSO

- EFSO gives relative usefulness of observations; The real impact of assimilating the subset of observations is thus verified by OSE.
- However, the **effort (times) of trial-and-error experiments is expected to be much reduced** with the guidance of the offline EFSO statistics.



附錄 2 – 口頭演講議程表



>>>>> 2018 KIAPS
International Symposium on the Global NWP System Modeling

Program (Day 1)

First Day (12 November 2018, Monday)			
08:30 - 09:20	Registration		
Opening Ceremony			
09:20 - 09:25	Opening Remarks	Song-You Hong (Director, KIAPS)	
09:25 - 09:30	Congratulatory Address	Dong-Kyu Lee (Director, KMA/NMC)	
09:30 - 09:35	Congratulatory Address	Dale Barker (Chair, KIAPS SAC)	
09:35 - 10:20	Group Picture & Coffee Break		
Session 1: Keynote Presentations			Session Chair: Dale Barker
10:20 - 11:10	1.1	New Era for the Satellite Remote Sensing of Atmospheric Composition	Jhoon Kim (Yonsei University, Korea)
11:10 - 12:00	1.2	Present and Future of High Performance Computing and AI	OK Baek (ETRI, Korea)
12:00 - 13:30	LUNCH Break		
Session 2: Overview of Operational NWP Systems			Session Chairs: Stan Benjamin & Wei-Kuo Tao Rapporteur: Kyung-Hee Seol & Eun-Hee Lee
13:30 - 13:45	2.1	Overview of the KIAPS Model Development	Song-You Hong (KIAPS)
13:45 - 14:00	2.2	Implementation of FV3GFS at NCEP: Major Advancement Towards Unified Forecast System for Research and Operations	Vijay Tallapragada (NCEP)
14:00 - 14:15	2.3	Current Status and Plan of KMA's NWP Systems	Hyun-Suk Kang (KMA)
14:15 - 14:30	2.4	NOAA/ESRL Earth System Modeling From Hours to Subseasonal	Stan Benjamin (NOAA/ESRL)
14:30 - 14:45	2.5	Global and Convective-Scale NWP at the Met Office: Status and Plans	Dale Barker (UK Met Office)
14:45 - 15:00	2.6	Numerical Environmental and Weather Prediction at ECCO	Stephane Belair (Env. Canada)
15:00 - 15:15	2.7	Recent Progress in Operational Global NWP at ECMWF	Richard Forbes (ECMWF)
15:15 - 15:30	2.8	Use NASA Unified WRF for Real Time Forecast to Support NASA GPM Field Campaigns	Wei-Kuo Tao (NASA/GSFC)
15:30 - 15:50	Coffee Break		
Session 3: Dynamical Core Development			Session Chairs: Joseph Klemp & Suk-Jin Choi Rapporteur: Hyun Nam
15:50 - 16:10	3.1	Improving Model Efficiency in KIM Dynamical Core	Suk-Jin Choi (KIAPS)
16:10 - 16:30	3.2	Damping Acoustic Modes in Compressible HEVI and Time-Split Integration Models	Joseph Klemp (NCAR)
16:30 - 16:50	3.3	Evaluation of Hybrid Dynamic Viscosity Method in KIM	Tae-Jin Oh (KIAPS)
16:50 - 17:10	3.4	Vertical Resolution Revisited: Forecast Results and Theory	William Skamarock (NCAR)
17:10 - 17:30	3.5	Atmospheric Modelling on the Equal-Area Cubed-Sphere	John McGregor (CSIRO)
17:30 - 18:30	Ice Break		
18:30 - 20:00	Welcome Dinner		



Program (Day 2)

Second Day (13 November 2018, Tuesday)			
Session 4: Physics Parameterization Development		Session Chairs: Richard Forbes & Jongil Han Rapporteur: Jung-Yoon Kang & Sooya Bae	
09:00 - 09:20	4.1	A Simple Parameterization of Heat Storage in Canopies over Forest Regions	Jongil Han (NCEP)
09:20 - 09:40	4.2	Effect of Scale-Aware Nonlocal Planetary Boundary Layer Scheme on Lake-effect Precipitation at Gray-Zone Resolutions	Hyun-Joo Choi (KIAPS)
09:40 - 10:00	4.3	Development and Application of Coupled Chemistry-Weather Forecasting Model	Rokjin Park (Seoul National University)
10:00 - 10:20	4.4	Toward Reducing Common Cloud-Radiation Errors from 4-hour to 4-week Prediction	Stan Benjamin (NOAA/ESRL)
10:20 - 10:40	Coffee Break		
10:40 - 11:00	4.5	Diminishing Drizzle in a Global Model	Richard Forbes (ECMWF)
11:00 - 11:20	4.6	WRF-SBM Sensitivity Simulations for the Impact of Aerosol on Maritime/Continental Deep Convective Systems	Wei-Kuo Tao (NASA)
11:20 - 11:40	4.7	A scale-adaptive mass flux estimation implemented in the SAS cumulus parameterization scheme	Baode Chen (STI/CMA)
11:40 - 12:00	4.8	Precipitation Forecast Experiments using the Weather Research and Forecasting Model at Gray-Zone Resolutions	Ji-Young Han (KIAPS)
12:00 - 13:30	LUNCH		
Session 5: Physics Parameterization & Application		Session Chairs: Vijay Tallapragada & Rae-Seol Park Rapporteur: Sunghye Baik & Seung-Bu Park	
13:30 - 13:50	5.1	Can Large-scale Solar and Wind Farms Create a Significant Climate Change?	Eugenia Kalnay (University of Maryland)
13:50 - 14:10	5.2	Consistency between Cloud Physics and Radiation Schemes in the KIM	Rae-Seol Park (KIAPS)
14:10 - 14:30	5.3	Seasonal Ensemble Simulation of KIM with Stochastically Perturbed Forcing	Myung-Seo Koo (KIAPS)
14:30 - 14:50	Coffee Break		
14:50 - 15:10	5.4	High-Resolution HWRF with Improved Representation of Air-Sea-Wave Interactions for Improved Tropical Cyclone Forecasts	Vijay Tallapragada (NCEP)
15:10 - 15:30	5.5	The New Canadian Land Surface Modeling and Data Assimilation Systems and Their Impact on Numerical Prediction	Stephane Belair (Env. Canada)
15:30 - 15:50	5.6	Strongly Coupled Physical and Biogeochemical Data Assimilation	Hajoon Song (Yonsei University)
15:50 - 18:00	Poster Presentation		



Program (Day 3)

Third Day (14 November 2018, Wednesday)

Session 6: Data Assimilation			Session Chairs: Daryl Kleist & In-Hyuk Kwon
			Rapporteur: Hyo-Jong Song & Hyung-Wook Chun
09:00 - 09:20	6.1	Applications of EFSO to Improve NWP	Eugenia Kalnay (University of Maryland)
09:20 - 09:40	6.2	Recent Development of a hybrid Data Assimilation System at KIAPS	In-Hyuk Kwon (KIAPS)
09:40 - 10:00	6.3	Advancing Data Assimilation Science at ECMWF	Massimo Bonavita (ECMWF)
10:00 - 10:20	Coffee break		
10:20 - 10:40	6.4	Variational Bias Correction of Radiance Data at KIAPS and Associated Results	Ji-Hyun Ha (KIAPS)
10:40 - 11:00	6.5	Background Error Covariance in Strongly Coupled Land-Atmosphere Data Assimilation and Influence on Soil Moisture Data Assimilation	Zhaoxia Pu (University of Utah)
11:00 - 11:20	6.6	Ensemble-Variational Data Assimilation at the Met Office: Progress and Plans	Adam Clayton (UK Met Office/KMA)
11:20 - 11:40	6.7	Data Assimilation for FV3-based GFS: Initial Implementation and Future Directions	Daryl Kleist (NCEP)
11:40 - 12:00		Symposium Summary	Chairs : Dale Barker (UK Met Office) & Song-You Hong (KIAPS)