

出國報告（出國類別：實習）

參與美國氣候預報中心季風訓練
(Monsoon Training Desk)課程

服務機關：中央氣象局

姓名職稱：葉銘德 技佐

派赴國家：美國

出國期間：104年7月27日至12月16日

報告日期：105年3月10日

摘要

美國氣候預報中心(Climate Prediction Center, CPC) 提供 2 週以上的氣候監測及預報資訊，包括 8 至 14 天預報、月及季長期氣候展望及各項氣候相關監測。2011 年起美國氣候預報中心開設季風訓練課程(Monsoon Training Desk)，提供世界各地氣候預報相關人員完整訓練課程及參與氣候預報作業流程討論會議的機會。

此次季風訓練課程的短期交流，豐富完整的課程內容充實在職相關氣候背景的知識；此外亦定期參加例行性美國氣候預報中心的預報會議，與各國預報人員交流及分享實務的預報經驗。職與美國氣候預報中心資深氣候研究員 Mr. David Unger 合作，了解美國氣候預報中心作業化的統合性預報技術。此項合作，有助於中央氣象局發展統合性預報技術，以客觀化的技術統合各種統計與動力預報模式的輸出，作為預報員最終決策的參考，並能提升長期氣候預報能力。近幾年來，中央氣象局與美國氣候預報中心的合作關係將更緊密，此合作關係可提升臺灣在國際的能見度，增加國際資源，改善長期預報技術。

目次

一、	目的.....	4
二、	過程.....	5
三、	心得與建議.....	6
四、	結論.....	13
五、	附圖.....	14

一、目的

美國氣候預報中心 (Climate Prediction Center, CPC) 隸屬於美國海洋暨大氣總署(NOAA)，國家氣象局 (National Weather Service, NWS) 下的國家環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction;NCEP)，主要負責 2 週以上的氣候預報及監測。中央氣象局氣象預報中心長期預報課的工作項目亦為中短期氣候監測，主要是針對週至月季長期的時間尺度預報。

為了增進與國際間的交流與合作，美國氣候預報中心於 2011 年開始，設立完整的季風訓練(Monsoon Training Desk)課程讓世界各國氣候相關人員參加，中央氣象局積極地派相關人員參與，提高國際能見度及預報經驗交流。2015 年中央氣象局派職至美國氣候預報中心參加季風訓練課程，充實相關背景及增廣見聞；參加此中心的例行性預報會議，與美國預報人員有實務交流及學習的機會，促進臺灣與國際接軌，並了解美國及其他先進國家的氣候作業模式。本次的交流合作對本局預報中心長期預報業務有莫大助益，訓練人員並將所學經驗及心得與同仁分享。

除了課程與會議之外，職與美國氣候預報中心資深氣候研究員 Dr. David Unger 合作，學習美國氣候預報中心作業化的統合性預報技術。此項合作，有助於中央氣象局發展統合性預報技術，客觀化的統合各種統計與動力預報模式的輸出，作為預報員最終決策的參考。近幾年來，中央氣象局與美國氣候預報中心的合作關係將更緊密，此合作關係可提升臺灣在國際的能見度，增加國際資源，改善長期預報技術。

二、過程

職此次赴美行程及工作內容說明如下表：

日期	地點與相關工作內容
104年7月27日	臺灣→美國洛杉磯→抵達美國馬里蘭州
104年7月28日	在楊錫鏗(Sky)博士幫忙下，至CPC熟悉工作環境
104年7月29日至31日	至CPC報到，由楊錫鏗博士介紹CPC組織及認識CPC工作夥伴，並與Dr. Emily Becker見面，討論未來工作方向
104年8月1日至11月30日	<ol style="list-style-type: none">1. 參與季風訓練課程，由Dr. Wassila Mamadou Thiaw 規劃課程內容及安排課程時間。2. 參與例行預報討論會，包含每週1次季內震盪(MJO)討論會及Tropical hazard會議，每月1次的月、季預報、Monthly climate review、海洋、乾旱監測等。3. 與美國氣候預報中心資深氣候研究員Dr. David Unger合作，學習客觀統合性預報技術。4. 11月9日至11月10日：參加美國海洋大氣總署(NOAA)氣候測試平台研討會(Climate Test Bed Meeting)。
104年12月1日至12月15日 (休假)	美國馬里蘭州→加州探訪親友
104年12月16日	美國加州→返回臺灣

三、心得與建議

位於美國馬里蘭州的美國氣候預報中心，緊鄰馬里蘭大學，距離華府捷運綠線 College Park 站步行約 20 分鐘。職員中包括聯邦公務員(Government employees)及計畫約聘人員 (Contractor)。美國氣候預報中心內部主要劃分為研究發展(Development)部門及預報作業(Operational)部門：研發部門負責氣候相關的研究發展，預報作業部門從事各項氣候預報作業的發布及改進。

美國氣候預報中心提供 2 週以上的氣候監測及預報資訊，包括 8 天至 14 天預報、月及季長期氣候展望及各項氣候相關監測(包含海洋狀態、乾旱監測及預警、全球劇烈災害監測及預報等)。2011 年起美國氣候預報中心設置為期 4 個月的季風訓練課程(Monsoon Training Desk)，提供世界各地氣候預報相關人員完整訓練課程及參與氣候預報作業流程討論會議，並有機會與各國預報人員交流及分享實務預報經驗。

在這次的參與季風課程訓練過程中，主要的學習心得分為 3 大部分，包含季風訓練課程、美國氣候預報中心預報討論會議、客觀統合性預報技術，以下將逐一說明各部分的學習心得。

(一) 季風訓練課程

季風訓練課程為期 4 個月，職參與 2015 年 8 月 1 日到 11 月 30 日的季風訓練課程，參與國家包括臺灣、印度尼西亞及非洲各國，參與人員皆為各國專業的預報人員，因此可針對各地季風環流及所遇到的預報問題進行深入討論。季風訓練課程的授課講師皆為資深研究員或預報員，針對其專精部分安排專業豐富的課程內容。課程內容涵蓋 4 大類別，第 1 類為美國氣候預報中心組織及業務內容介紹：包含詳細介紹美國氣候預報中心隸屬單位的組織架構，此中心目前提供的產品及服務項目，對外開放的資料種類(包含降水資料、模式資料及再分析氣象資料等)；第 2 類為預報及校驗介紹：包含介紹預報作業流程、判讀模式資料及決定最後預報結果、校驗結果也是關注重點之一；第 3 類為世界季風介紹：包含北美季風、非洲季風、亞洲季風及南美洲季風等，充分了解世界各國季風特性，季風預報進展及近期重大研究成果，對於季風定義也因為地域性的不同而有所差異；第 4 類為海氣監測介紹：包括海洋、季內震盪(ISO)、聖嬰現

象(ENSO)、平流層臭氧及乾旱、北極震盪(AO)及太平洋年代際震盪(PDO)等。授課講師具備充分的專業知識背景，並預留足夠的時間與學員互動及發問，課程結束也會主動提供上課使用的講義。

(二) 美國氣候預報中心預報討論會議

美國氣候預報中心之預報業務為定期發布第2週以上至月季尺度的預報，其中包括每天發布6-10及8至14天預報、3週至4週預報(實驗性)，每月發布月預報、季預報、乾旱監測及季內震盪預測等。每月有例行性針對海洋及乾旱部分的討論會，預報討論會議均提供遠端連線的設備，使有興趣的學者及相關研究人員可透過遠端連線，參與討論會議及發表意見，利用此先進科技設備降低因區域性的隔閡，大幅增加預報經驗交流的機會，值得中央氣象局參考。

1. 6天至10天及8天至14天預報：氣候預報中心每天發布6天至10天及8天至14天的預報，週末及週日的預報內容為預報系統自動產出，週間則加入預報員的主觀修正。預報主要是參考統計及動力模式。統計模式參考類比法(Analog)；動力模式參考全球預報系集模式(Global Forecast System Ensemble)、歐洲ECMWF系集模式以及加拿大系集模式(Canadian ensembles)。除了參考動力及統計模式資料，也會依據遙相關的研究結果輔助預報決策，例如：當北太平洋上有持續阻塞發生，與下游環流發展的情況有很好的相關性。
2. 3週至4週預報(實驗性)：氣候預報中心每周五發布實驗性的3週至4週預報，參考包含了動力模式CFS、ECMWF、JMA等；在統計模式方面，參考當地海溫、冰雪覆蓋量、土壤溫度以及受到MJO及ENSO影響下所建立的統計回歸預報。
3. 月季預報：美國氣候預報中心參考包含了統計模式CCA、OCN、SMLR等；在動力模式方面，為美國第二代氣候預報系統(CFSv2)模式，再經由統合性預報技術統合以上各模式的輸出結果(consolidation)，此外並參考IRI及National Multi-Model Ensemble(NMME，包括NCAR、NOAA/NCEP、NOAA/GFDL、IRI、NASA及Canada's CMC的系集模式)。由於2015年為聖嬰發展年，過去聖嬰事件的合成分析，亦為月季預報重要的參考依據。雖然有統合性預報技術的輔助，最終的

月季預報，仍是由預報員統合以上所有預報資料及其他專家意見，在工作站上以手繪方式完成。CPC 月預報流程如下：

(一) 月初開始

1. 收集觀測資料
 - 一、 降雨、土壤濕度、溫度...
2. 模式/工具資料
 - 一、 NMME, IMME
 - 二、 Analoges
 - 三、 合成分析
 - 四、 遙相關指標 (SOI, AO, PNA....).
3. Run computer code to generate tools

(二) 每月第 2 週星期五

1. 8:30 am - 所有預報員繪製預報圖
2. 9:30 am - 程式平均各預報員所繪製的預報圖
3. 9:30-11am - 小組會議討論預報圖並獲取共識
4. 2pm - 對內部成員及外部參與者簡報
5. 3pm-5pm - 輪值預報員彙整資料並開始繪製所有季的預報圖

(三) 星期一

1. 輪值預報員繼續彙整資料並繪圖

(四) 星期二

1. 上午 - 預報圖完成並提出草案
2. 下午 - Quality assurance check (1330)
3. Evening - 修改預報以符合 Quality Assurance checks

(五) 星期三

1. 下午一點 完成最終預報圖, 並產出相關產品

(六) 每月第 3 週星期四 - 830am - 發布預報產品

4. 校驗分析：美國氣候預報中心相當重視過去模式校驗結果，因此積極研發校驗系統，針對每次的預報做校驗分析並討論，校驗分析結果提供預報人員參考，並對未來預報決定做修正。

中央氣象局長期預報課的月季預報流程與美國氣候預報中心相似，主要是參考統計及動力模式，參考的模式種類及資料來源也都大致相同。目前課內的預報主要是參考動力模式，因此若動力模式預報結果不佳，預報表現也將下降，因此若有適當的校驗方式有助於修正預報的結果。不過，目前課內所參考的動力模式大多來自於外國模式產出圖形，而非原始模式的預報數據資料，所以無法估算過去校驗的結果，因此無法了解在使用模式時，在不同季節及不同環流狀況下預報人員所需做的調整及修正。本局氣象科技研究中心每月提供長期預報課本局模式的預報及校驗結果，也透過統計與動力降尺度，針對臺灣的各個區域提供適當的預報建議，但本局模式仍有很大發展空間，發展氣候預報模式須投入更多的資源及人力，才能進行校驗結果及改進預報技術。

(三) 客觀統合性預報技術(CON)

統合性預報(CON)主要是綜合所有統計模式:CCA(圖 1)、OCN(圖 2)、SMLR(圖 3)及動力模式 CFSv2(圖 4)的輸出結果，獲得一個綜合性的客觀預報建議。依據美國氣候預報中心的預報校驗分析，綜合性預報對比任何單一預報工具，有較高的預報技術。綜合性預報包含以下部分：

1. 迴歸:此步驟的目的在於修正個別模式的輸出，氣候預報的預報技術與預報得分仍有很大的進步空間，能夠用來建立修正模式預報結果關係式的參考氣候資料也很少，以 NCEP 的氣候預報模式(CFS)為例，只有從 1981 年到現在的 reforecast 資料，難以將這些有限年份的資料再分類進行分析，為了利用有限的資料進行誤差修正的工作，美國氣候預報中心採取線性迴歸修正的方式(圖 5)，利用 25 年的 reforecast 資料與觀測資料建立迴歸關係式，並作誤差分布的估計，以建立預測變數的機率密度函數(PDF)(圖 6)，提供超越機率產品及氣候預報三分類之用。有了迴歸關係式與機率密度函數之後，帶入未來要預報的模式輸出結果，進行誤差的修正與建立可能的預報區間。
2. 預報校驗:模式過去的 reforecast 預報資料經由上述線性迴歸修正之後，與過去同期觀測資料進行預報結果的校驗，以決定模式在不同季節與不同網格點的預報

成績，目前是計算模式預報的氣候距平值與該網格的氣候距平值間的相關係數，相關係數在 0.3 為門檻，低於此值則不具預報技術。

3. Skill Mask:各預報模式在經過線性迴歸誤差修正之後，結果在呈現給預報員參考之前，會先利用預報校驗的結果，依預報技術得分，在模式輸出圖上提示該點的預報信心度，避免預報員誤判並使用不具預報技術的資訊。
4. 統合所有預報模式:所有的統計模式與動力模式經過上述的前處理之後，依照預報校驗所得到的距平相關係數決定各個模式的比重，進行合成得到最終的統合性預報建議(圖 7)。
5. 實務上的流程如下:

- Step 1. 去除所有模式及觀測的趨勢(Detrend all models and Obs.)

$$F = F - F_{10} \quad Obs = Obs - Obs_{10}$$

F_{10} , Obs_{10} = The EMA approximating a 10-year mean

- Step 2. 系集迴歸(Ensemble Regression)

Final forecast set, F are anomalies.

- Step 3. 將趨勢加回系集迴歸後的結果(Restore the forecast)

A) $F = \underline{F} + F_{10}$

使用 OCN 的趨勢

B) $F = \underline{F} + C30$: $C30 = 30\text{-year Climatology}$

使用氣候值的趨勢

C) $F = \underline{F} + C30 + R_{OCN} (F_{10} - C30)$:

$R_{OCN} = \text{Correlation} (F_{10}, Obs)$

以校驗結果決定

氣候預報中心所使用的這幾種統計及動力預報模式，在模式的輸出結果常常有不一致的情形，不僅各模式預報的趨勢、強度不同，在不同地區的預報技術也有很大的差異，在沒有客觀統合性預報技術的輔助下，預報員必要要主觀的綜合個別模式的結果，常常沒有辦法做出最佳的判斷，且沒有一致的判斷標準，難以事後校驗。在客觀

統合性預報技術的輔助下，比較高的機會可以反映模式所提供的資訊。統合性預報的優點有以下幾點：

1. 以客觀方式整合所有預報工具，取代人為主觀融合預報資訊的過程。
2. 相較於個別的預報模式或過去人為主觀的官方預報，統合性預報技術提供季節預報較高的預報技術。
3. 此方法可以很容易加入其他預報模式或工具。

美國氣候預報中心的長期氣候預報在科學基礎上(圖 9)，主要根據以下的工具:1)ENSO 的合成分析;2)長期趨勢;3)動力模式;4)統計模式，產出預報產品的過程，非常仰賴預報作業輔助系統的幫忙，例如上述的統合性預報技術，中央氣象局在氣候預報中所使用的科學基礎與美國氣候預報中心非常類似(圖 8)，差別在於預報決策的過程與方法，如何由預報員完全主觀預報過渡到半客觀預報，氣象局有以下幾點需要擴充：

1. 再預報資料(reforecast)的產生與獲得:在統合性預報中，首先需要所有模式的長期再預報資料，且再預報資料必須使用與正式作業完全相同的預報模式，每當作業中所使用的模式有修改時，再預報資料必須更新為作業模式所使用的版本。氣象局目前所使用的統計模式有 CA、CCA、OCN 及 Analog，由於是本局自行發展，所以可以自行依需求產出再預報資料；在動力模式方面，CWB CFS 亦可依需求產生再預報資料，如使用美國的 CFSv2 氣候模式，亦可經由網路下載相關的再預報資料。如需進一步擴充使用其他歐洲或日本的氣候預報模式，則需解決再預報資料的獲得問題。
2. 校驗系統的建立:目前氣象局的氣候預報流程中，仰賴人工校驗各模式的預報成果，且僅限於最近模式結果與觀測資料的比較，缺乏模式長期的預報校驗，難以統計模式在各不同季節與月份在不同地點的預報成績，故難以應用在客觀化的預報流程當中。在發展統合性預報技術的過程中，校驗技術的發展為相當重要的一環，不僅流程中需要，更可作為評估整體統合性預報技術成效的依據。

3. Skill mask 後預報資料的提供:雖作為統合性預報系統當中的一環，在整個系統尚未開發完全之前，配合先前校驗系統的建置，可以先提供 skill mask 後的預報資料供預報員參考，避免預報員誤判並使用不具預報技術的資訊。
4. 統合性預報技術的發展:美國氣候預報中心自 2006 年開始運用統合性預報技術到作業流程當中，已具有相當豐富的實務經驗。本局除已開始自行發展之外，可嘗試引進氣候預報中心現有的相關元件並加以修改，以切合中央氣象局的作業需求。

四、結論

職此次赴美國氣候預報中心參與季風訓練課程，定期參加例行性美國氣候預報中心的預報會議，與美國預報人員進行實務交流及學習相關預報流程。除充實相關氣候專業背景及增廣見聞，與其他國家的學員亦有所交流。在 4 個月的受訓期間，受到 Dr. Emily Becker 博士諸多幫忙，負責協調相關人員協調溝通與時間的安排，在 Mr. David Unger 的指導下，了解美國氣候預報中心作業化的統合性預報技術，有助於中央氣象局發展統合性預報技術，以客觀化的技術統合各種統計與動力預報模式的輸出，作為預報員最終決策的參考，並能提升長期氣候預報能力。另外於美國氣候預報中心工作的楊錫鏗博士，也在各樣生活事務及工作上幫助職步上軌道，讓職在初到美國時無後顧之憂。除此之外，在美國工作的時候，也可感受到許多在美國氣候預報中心工作的臺灣人，對於中央氣象局與美國氣候預報中心的合作有很深的熱情，也願意對於兩邊的合作給予協助。建議未來中央氣象局應該要更珍惜這樣的機會，選派適合的工作同仁繼續參與季風訓練課程，此不僅可幫助中央氣象局氣候預報相關人員在知識上有所增長，也可藉此機會與美國預報中心有更多合作的機會。在此感謝在美國氣候預報中心幫助過我的每個人以及楊錫鏗博士，也謝謝中央氣象局的長官們願意給我學習的機會，讓我這一趟美國之旅充滿了美好的回憶。

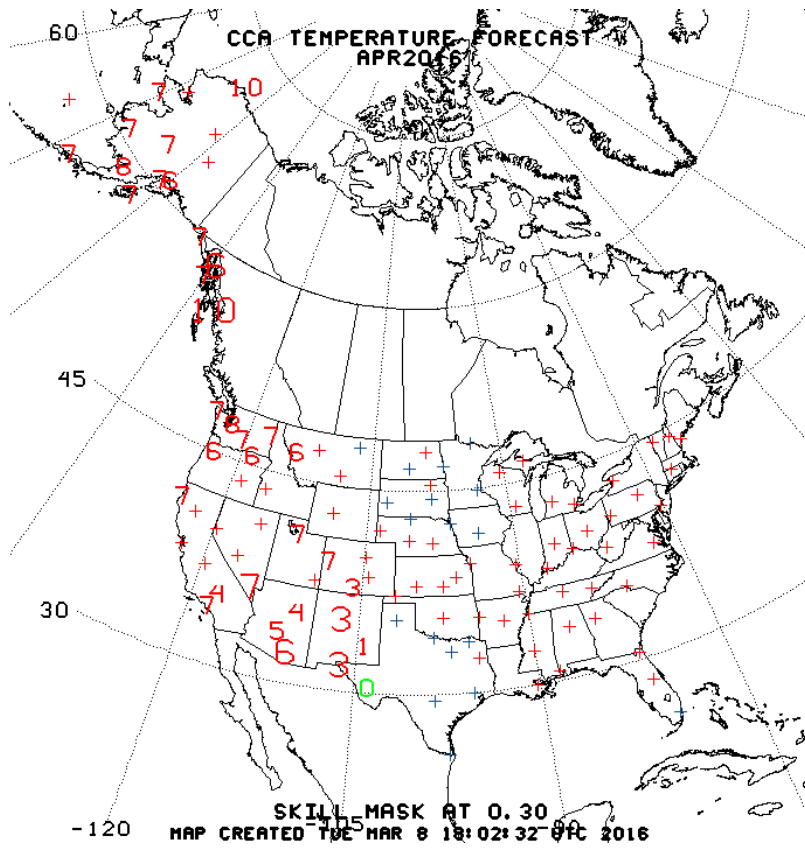


圖 1:CCA

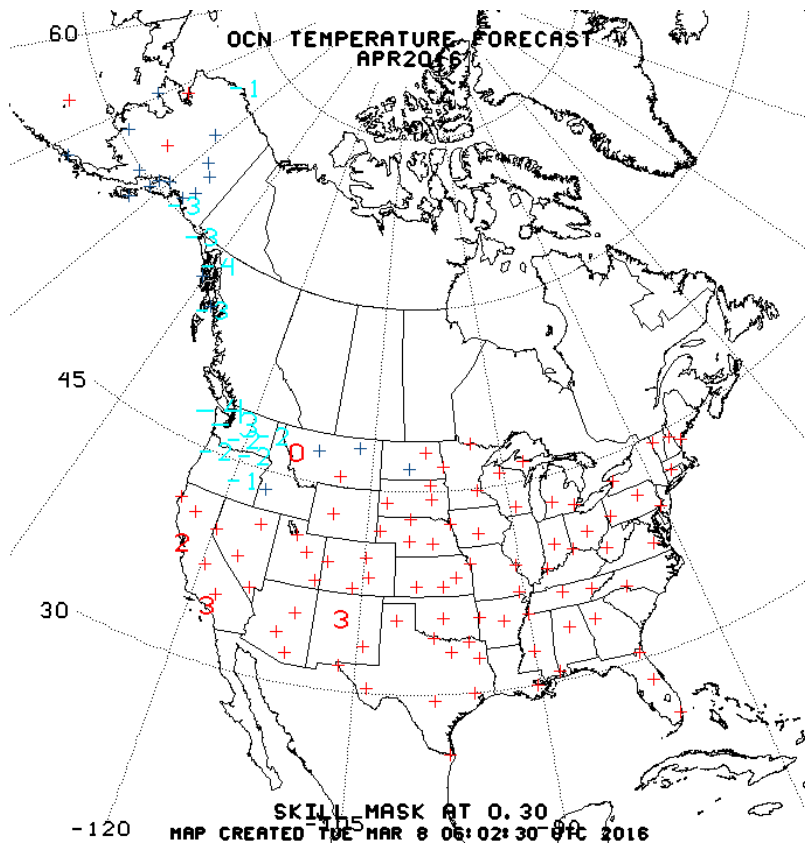


圖 2:OCN

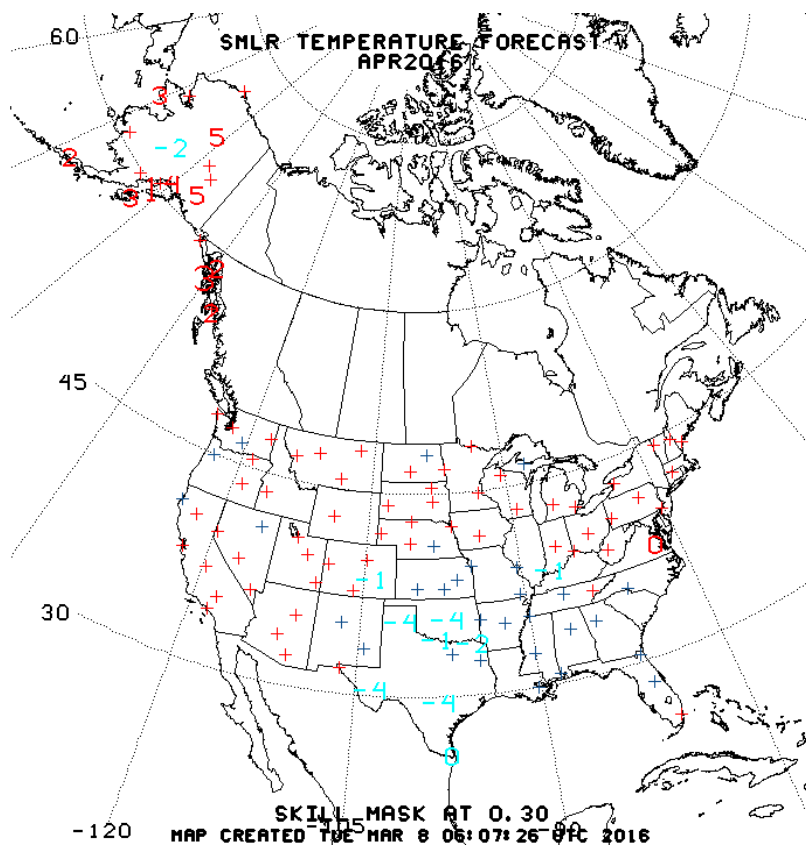


圖 3: SMLR

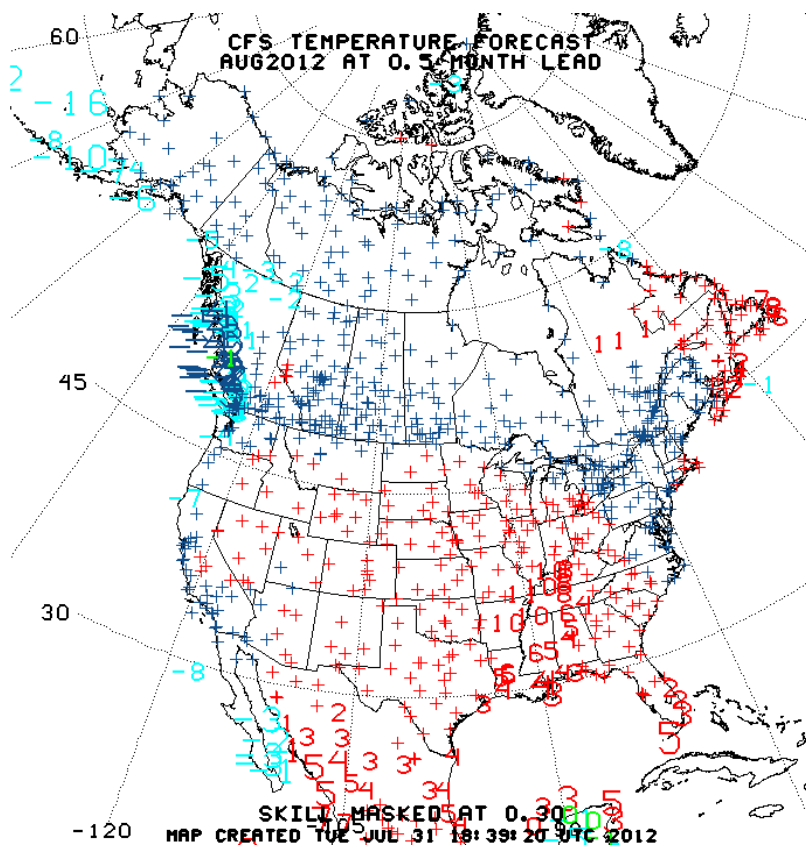


圖 4: CFSv2

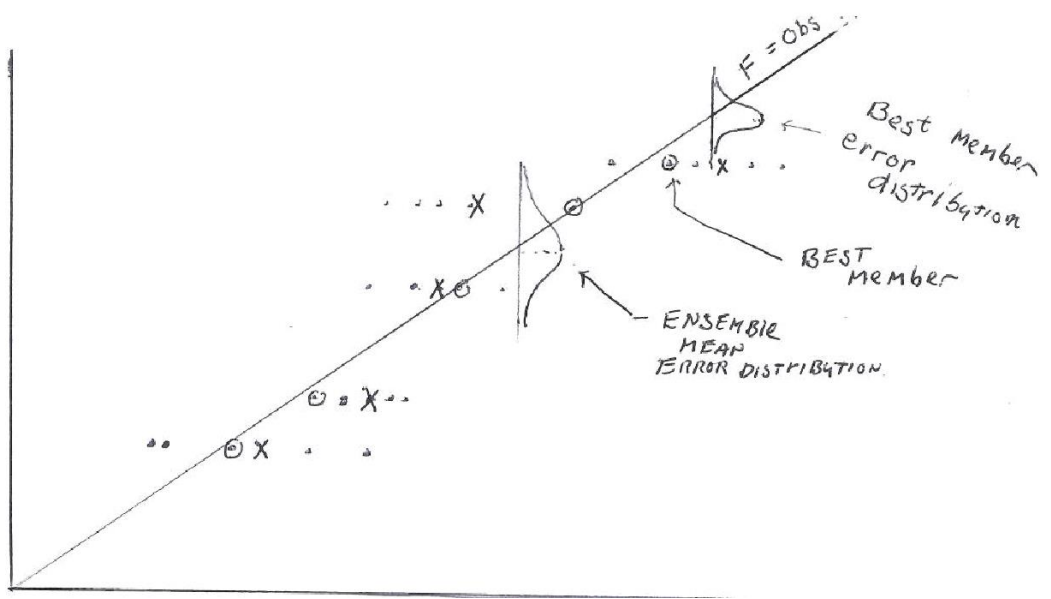


圖 5: 模式各系集成員迴歸與誤差分布示意圖

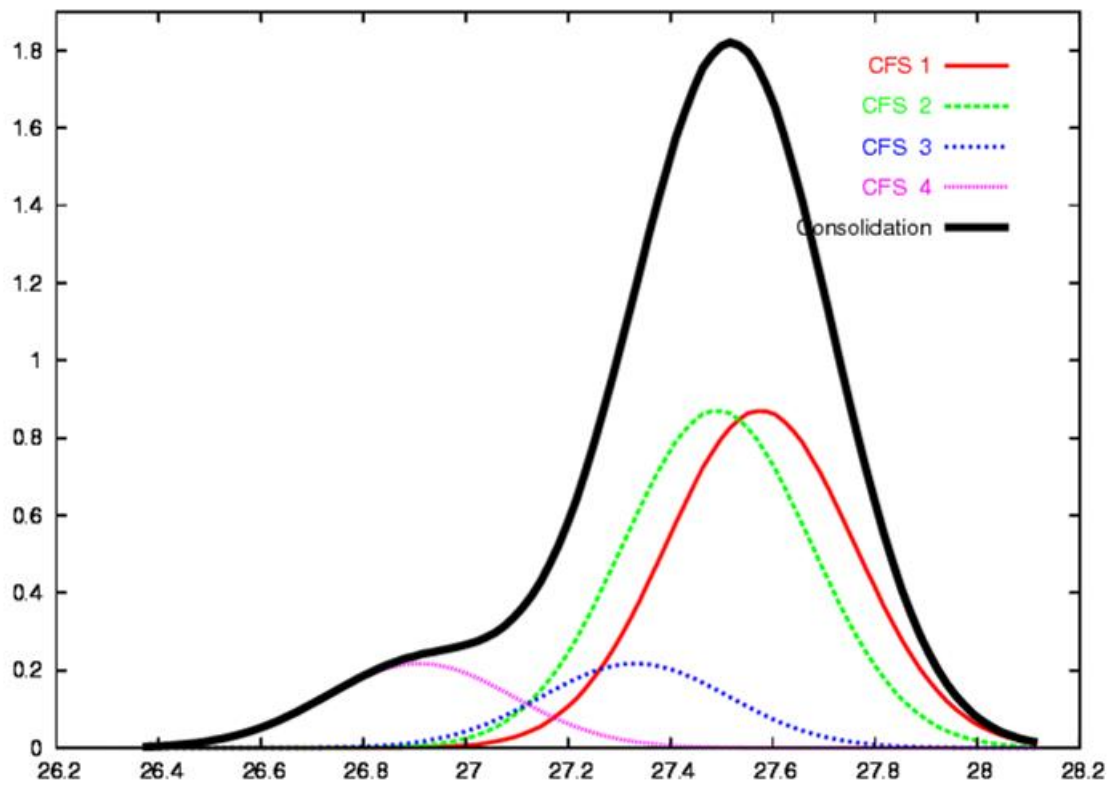


圖 6: 各模式機率密度函數分布與合成之最終機率分布

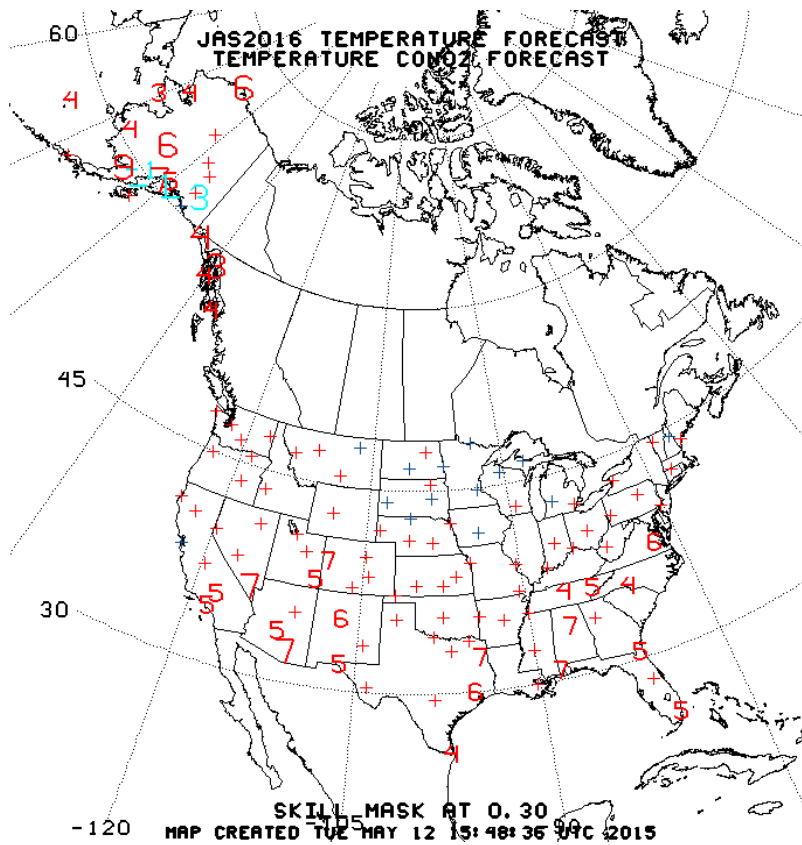


圖 7: 最終的統合性預報建議

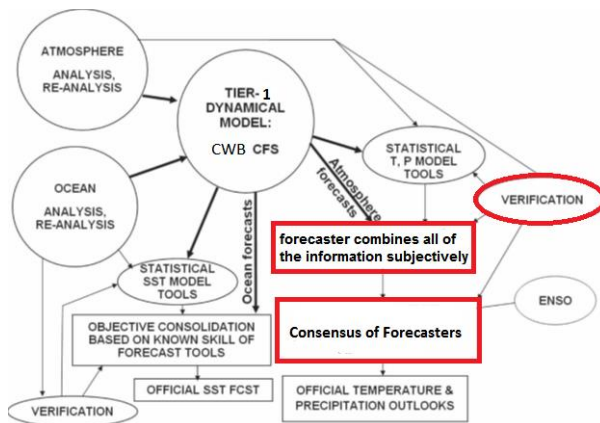


圖 8: CWB outlook operation schematic

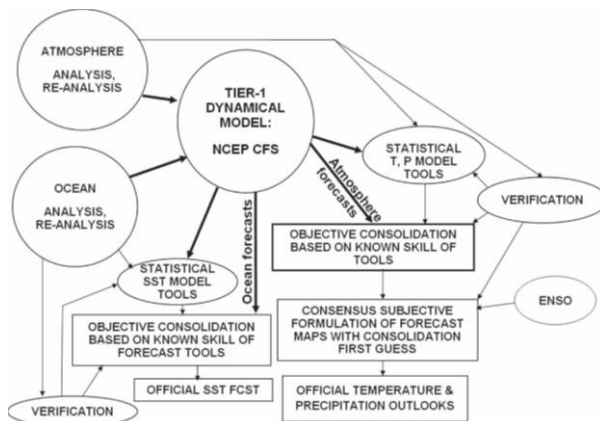


圖 9: CPC 3-month outlook schematic