

CWB/GFS-TCo639全球模式中引入Flake Model之測試及研究

吳佳瑩 陳建河 張庭槐
中央氣象局 氣象資訊中心

摘要

地球表面的熱力與水氣通量以及動量的傳輸對於大氣來說是一個至關重要的下邊界條件。對全球模式而言，我們透過陸地模式以及耦合海洋模式來幫助我們模擬在陸地及海上所發生的熱量與水氣交換。然而，在目前的中央氣象局全球預報系統 (CWBGFS, Central Weather Bureau – Global Forecast System) 模式中，陸地上的湖泊是以海洋的形式來處理，目前短期的天氣模式預報中，海表面的溫度是不隨時間改變的，也就是說，湖泊的表面溫度亦不隨時間變化。如此的假設無法反映實際上湖泊的表面溫度變化，進而影響到模擬陸地上的天氣系統表現。

因此我們引進了Fresh-water Lake Model (Flake Model (Mironov,2008))，其水層包含混合層和溫躍層，另外還有雪、冰和沈積層的溫度計算，藉由此模式我們更可以掌握在陸地上的溫度以及水氣的日夜變化，以期能精進全球模式的預報度。

關鍵字：全球預報系統、淡水湖泊模式

一、前言

中央氣象局全球數值預報系統(Central Weather Bureau - Global Forecast System, CWBGFS)於1988年上線作業，並隨學術與硬體設備的精進與更新而多次改版，現行作業版本為CWBGFS/TCo639模式，為八面體(Octahedral)的計算網格，並針對高斯格點進行隨著緯度升高緯向格點隨之遞減的分布(Malardel et al. 2016)，此一網格點的特性為帶有一定的濾波效果，降低人工濾波的程度，同時亦能得到穩定的積分結果。此一作業模式所使用之地表模式為NOAH LSM (NOAH Land Surface Model (Koren et al. 1999; Ek et al. 2003))，為在陸地有四層土壤層、陸冰有三層冰雪層之土壤模式。模式中並未特別處理陸地上的水域(湖泊)，而是將水體部分以海洋的形式處理。對短期天氣模式預報來說，我們假設海表溫度不隨時間改變，這對於海溫變化緩慢的海洋來說假設成立，但無法套用在封閉水域、深度不若海洋的湖泊上。因此我們引進了 Fresh-water Lake Model (Flake Model (Mironov,2008))，其水層包含混合層和溫躍層，另外還有雪、冰和沈積層的溫度計算。與此同時，我們更新了目前所使用的地表地真資料，將湖泊區域從原始定義為海洋的區域中獨立出來，並建立湖泊深度資料，以在Flake Model中進行計算。

詳細的地真資料更新請參照第二章、Flake Model 的引進請參照第三章、實驗設計與結果請參照第四章。

二、地真資料更新

目前CWBGFS模式中所使用的地真資料來源為美國國家環境預報中心(National Centers of Environmental Prediction, NCEP)所提供，其資料解析度約0.117度x0.117度(3072x1536個網格點)。儘管上述的資料解析度內插至目前所使用之模式網格點時並不會出現粗糙的地表特徵，但由於其內資料並無“湖泊”種類之標記，在進行海、湖判讀時容易出現混淆，亦無提供湖泊深度資料。因此我們透過CWBWRP (Central Weather Bureau - Weather Research and Forecasting) 取得 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 30秒解析度地真資料，內插至TCo639之模式網格。此次所更新的地真資料包括海-陸-湖分布(圖 1)、植被分布、土壤分布(圖 2)，以及湖泊深度(Kourzeneva (2009)、Kourzeneva (2010)、Kourzeneva et al. (2012)、Choulga et al. (2014))。以這組地真資料來說，在台灣陸地上並無被標示出的水域，也就是說，在30秒地真資料中，台灣沒有湖泊。在土壤分布與植被分布上來說，更新後的土壤分布與目前所使用的差異較大，在台灣地區種類大多為壤土；而

對植被分布來說差異則較小。湖泊深度資料同樣由30秒解析度內插至TCo639之模式網格。

三、Fresh-water Lake Model

Fresh-water Lake Model (Flake Model (Mironov,2008))是一個一維兩層模式，包含湖水的混和層以及躍溫層，另外還有躍溫層之下的沉積層(目前測試模式尚未開啟)以及湖水表面的雪、冰層計算。概念上為假設湖水的溫度垂直剖面形狀為固定，則不需解如TKE等偏微分方程，僅需計算隨時間變化的溫度剖面，亦節省許多計算資源。圖 3 為夏季與冬季的湖水溫度剖面圖，其概念為在春夏時，熱量由大氣進入湖水中，經由湖水儲存在沉積層頂處，並在秋冬之時將熱量釋放給湖水，因而在冬夏兩季的湖水溫度

剖面形狀接近對稱。詳細的湖水溫度熱量傳遞與剖面的近似計算請參考Mironov (2008)與Mironov et al. (2010)。

模式中透過給予湖水表面溫度、是否有冰雪及其厚度、以及湖水深度後，經由溫度剖面形狀來預報當下湖水中的溫度剖面，包含湖上的冰雪與湖下的沉積物溫度剖面亦是用此方法計算。另外，在冰雪的計算，明確定義雪層在冰層上方，並透過形狀剖面來預報雪表面溫度及其厚度。

目前Flake Model應用在許多區域模式(如：COSMO (Mironov et al.(2010))、HIRLAM (Kourzeneva et al.(2009)))及全球模式(如：德國DWD ICON、ECMWF IFS)中，美國NCEP亦於近年著手研究將此模式納入全球模式中。因此我們亦將Flake Model引入CWBGFS中測試及研究，以期能精進模式在近地面的參數預報表現。

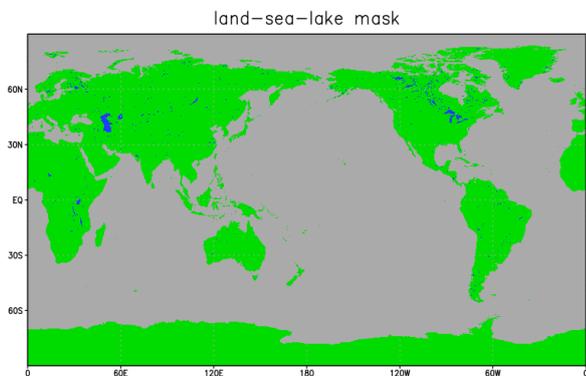


圖1 內插至TCo639模式網格點之海-陸-湖分布。灰色部分為海、綠色部分為陸、藍色部分為湖。

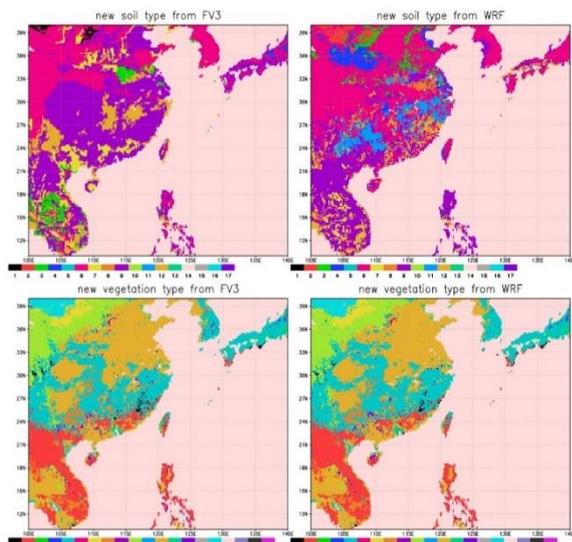


圖2 內插至TCo639模式網格點之土壤分布與植被分布。上列為土壤分布、下列為植被分布。左排為使用NCEP所提供之地真資料、右排為使用MODIS 30秒解析度之地真資料。

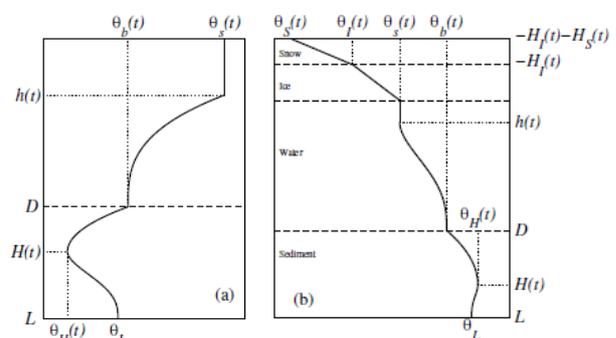


圖3 Flake Model中所使用之夏(圖左)、冬(圖右)溫度剖面。 $h(t)$ ：混和層深、 D ：湖深、 $H(t)$ ：thermal wave在沉積物層影響的深度、 L ：thermal active在沉積物層影響的深度、 $\theta_s(t)$ ：湖表面溫度、 $\theta_b(t)$ ：湖底溫度、 $\theta_H(t)$ ：經由thermal wave影響的上層沉積物溫度、 θ_L ：不受thermal active影響的沉積物溫度、 $-H_S(t)$ ：雪深、 $-H_I(t)$ ：冰深、 $\theta_S(t)$ ：雪表面溫度、 $\theta_I(t)$ ：冰-雪交界面溫度。[圖片摘自Mironov (2008) fig.3, fig.4]

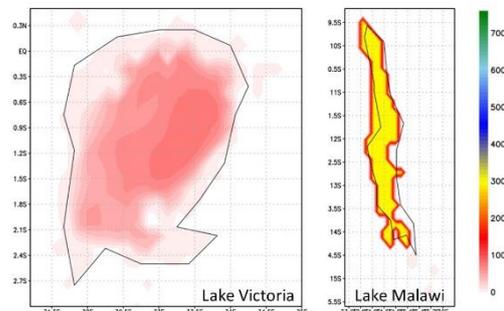


圖4 內插至TCo639模式網格點之湖泊深度。圖左為非洲維多利亞湖(Lake Victoria)、圖右為非洲馬拉威湖(Lake Malawi)。

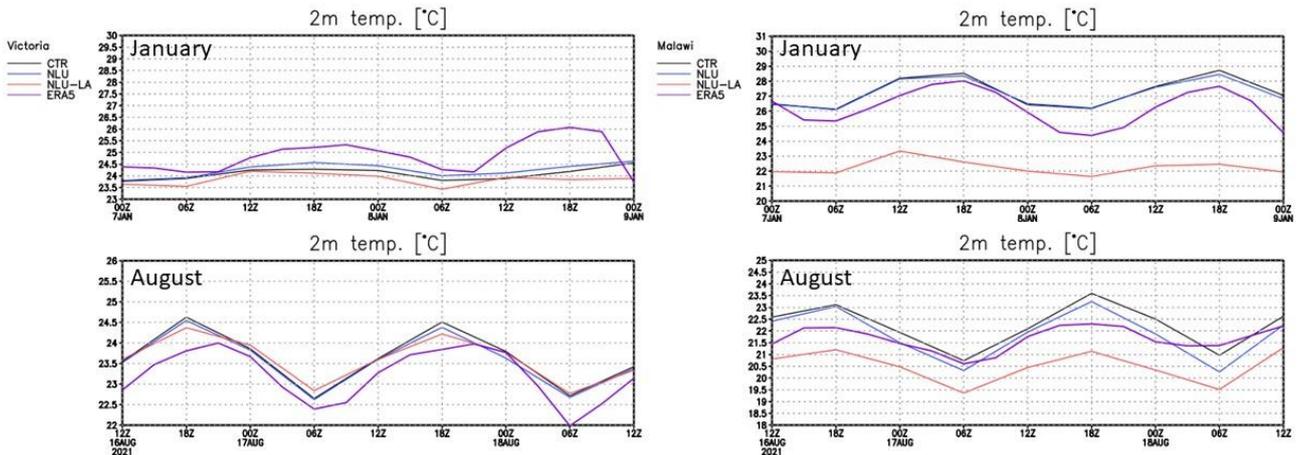


圖5 為2021年01月06日00Z(上列)以及2021年08月15日12Z(下列)預報第24小時至第72小時於維多利亞湖(左排)以及馬拉威湖(右排)之2 m溫度。圖中黑線為控制實驗(CTR)、藍線為更新地真資料實驗(NLU)、紅線為更新地真資料並使用Flake Model、紫線為ERA5再分析資料。

四、實驗設計與結果

我們選定冬夏各一天做為模式初步的引入測試，初始場分別為2021年01月06日00Z以及2021年08月15日12Z。為了避免模式初始調整影響結果判讀，分析校驗時間均為模擬時間第二及第三天。模式實驗分為三組，第一組控制實驗(CTR)為使用目前CWBGFS作業所使用之地真資料、第二組對照實驗(NLU)為使用更新後之地真資料、第三組對照實驗(NLU-LA)為使用更新後地真資料並引入湖泊模式。以上三組實驗均使用相同之地表模式(NOAH LSM)，僅更動背景(地真)資料與新增湖泊模式。

我們選定兩個不同形狀湖泊做為本次檢驗對象，分別為：非洲維多利亞湖(Lake Victoria)與馬拉威湖(Lake Malawi)。圖4為上述兩個湖泊內插至TC0639之模式網格的深度資料，可以看到維多利亞湖較淺(湖深不到100m)，且湖泊範圍為寬廣型態，而馬拉威湖全湖深度約為300m，相較於維多利亞湖深上許多，並且其形態為細長型。

圖5為兩個湖泊在測試實驗中的2 m氣溫結果。分別為2021年01月06日00Z(圖5上列)以及2021年08月15日12Z(圖5下列)預報第24小時至第72小時於維多利亞湖(左排)以及馬拉威湖(右排)之2 m氣溫。可以看到在CTR實驗與NLU實驗中，湖泊上的近地溫度差異不大，這是由於更新地真資料並未直接影響到湖泊，在新、舊地真資料中，”湖泊”的範圍均判定為”水體”，因此均將此地視為”海水”計算。對維多利亞湖來說，在01月06日00Z的模擬中，2 m氣溫較ERA5的再分析資料稍低；而在08月15日12Z的模擬中則偏高。對馬拉威湖來說，在兩個模擬實驗中，2 m氣溫均較ERA5的再分析資料稍高。在加入Flake Model之後，2 m氣溫均有下降的趨勢，尤其以馬拉威湖的氣溫下降程度

最多，分析推測是由於馬拉威湖的湖水深度較深，而較深的湖泊在湖底擁有溫度較低的湖水，經過垂直混和後使得湖水表面降溫，因而影響近地面的氣溫。而此一現象對深度較淺的湖泊影響較小，馬拉威湖的2 m氣溫雖然在加入Flake Model之後有稍稍下降，但整體來說差異不大。

對湖面上空氣的水氣影響是正面的。由圖6中可以看出，在預報2 m氣溫較接近ERA5再分析資料的維多利亞湖，其2 m比濕相較於CTR實驗增加超過1.2 kg/kg。在CTR實驗中，湖泊上的水氣含量一直與附近的陸地相近(或僅稍高一點點)(圖未示)，而在加入Flake Model後，湖水上方的水氣合理地提升，並且帶往湖泊的下風處，這有助於模式在近地面偏乾的修正。而在08月15日12Z的模擬中，由於在馬拉威湖的溫度

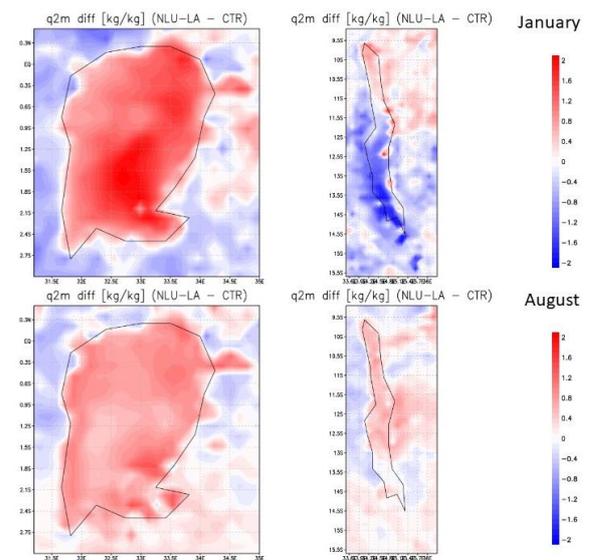


圖6 為2021年01月06日00Z(上列)以及2021年08月15日12Z(下列)預報第24小時至第72小時於維多利亞湖(左排)以及馬拉威湖(右排)之平均2 m比濕。

預報偏低，使得大氣中的水氣預報跟著下降，此一現象同樣發生在全球其餘氣溫下降較多的湖泊(此處不討論)。

本篇論文討論CWBGFS引入Flake Model後對模式的影響。我們初步了解在加入Flake Model過程後，可以下修湖水上近地面的氣溫，並且增加湖泊上及下風處近地面的水氣，但同樣需要注意對於較深湖泊的水溫混和，進而影響到近地面大氣的溫度下降過多的問題。目前仍有許多議題還未深入探討，包括冬季結冰湖水的影響、裏海與黑海是否該使用Flake Model計算(不完全淡水，但由於是封閉水域因此理應不屬於海洋模式計算)等等，待後續進行更詳盡的研究與調整，以能夠精進全球模式在近地面上的大氣預報表現。

五、參考文獻

- Choulga, M., Kourzeneva, E., Zakharova, E. and Doganovsky, A., 2014: "Estimation of the mean depth of boreal lakes for use in numerical weather prediction and climate modelling.", *Tellus A* 66, 21295. DOI:10.3402/tellusa.v66.21295.
- Kondratiev S., 2010: "External Parameters for the Parameterization of Lakes in NWP and Climate Modeling.", Diploma Thesis, monography, Saint-Petersburg, Russia, 51 (in Russian).
- Koren, V., J. C. Schaake, K. E. Mitchell, Q. Y. Duan, F. Chen, and J. Baker, 1999: "A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models.", *J. Geophys. Res.*, 104, 19,569 – 19,585.
- Kourzeneva E., 2009: "Global dataset for the parameterization of lakes in Numerical Weather Prediction and Climate modeling." *ALADIN Newsletter*. 37, July–December, F. Bouttier and C. Fischer, Meteo-France, Toulouse, France, 46–53. Available online at: <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/IMG/pdf/FULL-3.pdf>.
- Kourzeneva E., 2010: "External data for lake parameterization in Numerical Weather Prediction and climate modeling." *Boreal Env. Res.* 15: 165–177.
- Kourzeneva E. Bouttier F., Fischer C., 2009: "Global dataset for the parameterization of lakes in numerical weather prediction and climate modelling.", *ALADIN Newsletter*. Toulouse, France: Meteo-France. 46–53. July–December.
- Kourzeneva E., Asensio H., Martin E., Faroux S., 2012a: "Global gridded dataset of lake coverage and lake depth for use in numerical weather prediction and climate modelling.", *Tellus A*. 64: 15640. 10.3402/tellusa.v64i0.15640.
- Malardel, S., N. Wedi, W. Deconinck, M. Diamantakis, C. Kühnlein, G. Mozdzyński, M. Hamrud & P. Smolarkiewicz, 2016: "A new grid for the IFS", *ECMWF Newsletter No.* 146, 23–28.
- Mironov, D. V., 2008: "Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction. Description of a Lake Model." Technical Report 11, COSMO, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany, 41 pp.
- Mironov, D., Heise, E., Kourzeneva, E., Ritter, B., Schneider, N. and co-authors, A. 2010: "Implementation of the lake parameterization scheme FLake into the numerical weather prediction model COSMO." *Boreal Environ. Res.* 15, 218_230.