

# YSU邊界層參數法之修正強化混合作用 對東亞地區的影響評估

戴俐卉 洪景山 馮欽賜  
氣象資訊中心  
中央氣象局

## 摘要

Yonsei University (YSU) 邊界層參數法在2015年4月釋出的WRF-ARW模式V3.7版本中，加入了一項雲頂輻射冷卻效應所產生之渦流混合作用 (top-down mixing) 新方案，此一作用在參數法中是藉由重新調整擴散分布曲線 (K-profile) 以及雲頂逸入效應來達成。依據研究顯示，透過YSU參數法的修正可以有效改進近地面的溫度與濕度偏差，並且改善在朝鮮半島附近海面上的假霧。而中央氣象局的區域模式對於東亞地區的預報一般來說近地表也易有溫度的冷偏差，且在海面上常會預報出穩定無法消去的淺積雲，因此本篇研究希望透過對YSU參數法中修正強化混合作用的評估，分析與了解其對於我們的區域模式在東亞地區之預報是否有改進的空間。

關鍵字：邊界層參數法

## 一、前言

水氣、熱以及動量在由地球表面到自由大氣的邊界層中是透過擾動渦流來進行交換。這些渦流的時間以及空間尺度在大多數的中尺度模式中都沒有被網格點所解析，因此需透過邊界層參數法來模擬。適切的邊界層參數法可以正確的描述低對流層中熱力及動力的結構，對於改善高解析度模式的預報至為關鍵 (Jankov et al. 2005; Stensrud 2007; Hacker 2010)。在中央氣象局所使用的WRF (Weather Research and Forecasting) 區域數值模式中，是選用延世大學邊界層參數法 (Yonsei University; YSU, Hong et al., 2006)，該參數法與MRF (Hong and Pan, 1996) 一樣，都是依據Troen and Mahrt (1986) 的概念，使用一次閉合 (first-order closure) 非局地封閉 (non-local) 方案，但是YSU在格點上顯性 (explicitly) 的處理邊界層頂的逸入作用，更能正確的模擬邊界層浮力導致的垂直深混合。在2015年4月之後釋出的WRF版本，針對YSU參數法新加入了一項雲頂輻射冷卻效應所產生之渦流混合作用 (top-down mixing) 新方案，此一作用在參數法中是藉由重新調整擴散分布曲線 (K-profile) 以及雲頂逸入效應來達成。依據Lee. et al. (2015) 的研究顯示，透過YSU參數法的修正可以有效改進近地面的溫度與濕度偏差，並且改善在朝鮮半島附近海面上的假霧。而中央氣象局的區域模式對於東亞地區的預報一般來說近地表也易有溫度的冷偏差，且在海面上常會預報出穩定無法消去的淺積雲，因此本篇研究希望透過對YSU參數法中修正強化混合作用的評估，了解其對於我們的區域模式在東亞地區之預報

是否有改進的空間。第二節為修正強化混合作用的原理與結果簡介，第三部分為個案與半個月實驗與結果討論，第四節為總結與未來工作。

## 二、修正強化混合作用介紹

YSU參數法中的修正強化混合作用方案，是依據Wilson and Fovell (2014) 的研究，藉由人為修正邊界層擴散係數的垂直分布以及邊界層頂的逸入效應來模擬雲頂 (或霧頂) 因輻射冷卻作用所導致的垂直混合加強的現象。其修正方程如下：

### Wilson and Fovell (2014)

Non-local K profile: added in a reversed diffusivity profile

$$K_m = kw_g z \left(1 - \frac{z}{h}\right)^p + \left\{ kw_{pbl} (h - z) \left(1 - \frac{h-z}{h}\right)^p \right\}$$

$w_{pbl} \sim$  function of cloud top radiative cooling

Entrainment: a function of surface flux and PBL top flux

$$\overline{(w'\theta')}_h = -0.15 \left(\frac{\theta_v}{g}\right) \frac{w_m^3}{h} - ENT_{eff} \left(\frac{\theta_v}{g}\right) \frac{w_t}{h}$$

第一項是藉由重新調整高邊界層擴散係數的分配，增加該處的擴散，第二項則是在原來僅受地表通量影響的逸入方程中則加入邊界層頂通量的影響。理論上，此一修正會使得濕度的擴散可以更有效率抵達邊界層之上，有助於霧的消散。在理想個案的研究上，此一修改使得近地表變得較為暖乾，邊界層頂較為冷濕。

## 三、預報結果與討論

本研究使用WRFV3.8版本，以無開啟修正強化混合 (以下簡稱實驗1) 與開啟修正強化混合 (以下

簡稱實驗2) 以及將對流層垂直解析度由原來的10層增加至20層(以下簡稱實驗3) 三組實驗, 進行東亞地區2015年8月3日00Z的個案預報分析, 預報範圍如圖1所示。圖2為整個預報範圍上溫度平均的垂直分布, 由圖所示, 實驗2在低層會有溫度增加的情形, 且海點比陸點明顯, 但是到了邊界層頂附近, 溫度差異會反轉, 實驗2的平均溫度會略低於實驗1, 不過平均場的差異在此個案並不明顯。圖3為兩米溫度場平均隨預報時間的變化, 由圖中可見, 強化混合作用造成的近地表增暖效果會在夜間較為明顯, 而海點的增暖比陸地來得明顯許多。另外, 若在開啟修正強化方案下再增加下邊界的垂直解析度, 會使低層的增溫作用更加明顯(如圖4)。圖5為邊界層高度隨預報時間的差異分布, 由圖中可見, 在實驗個案中, 增加混合作用的確可以增加平均10-60公尺的海洋邊界層厚度, 增加垂直解析度亦然。而在水相粒子( $Q_c + Q_r$ )的分布上(圖6), 實驗1的水相粒子在模式第10層的位置會存在一個穩定的相對極值, 而近地面的水相粒子在預報的夜間易有極大值出現, 且不易向上傳送。實驗2的水相粒子相較於實驗1, 有低層變乾燥, 高層變濕的情形, 且變濕的高層位置抬高至第11-12層之間, 顯示新的強化混合作用, 可以使得夜間近地表的水相粒子更有效的被混合至更高層, 且在對流層頂的過衝(overshooting)現象也較實驗1更為明顯。由水氣的垂直分布(圖7)差異來看, 實驗2也同樣顯示出低邊界層變乾、高邊界層變濕的情形。此個案的表現結果與理論以及理想個案的研究結果相符。此外, 本研究亦就此修正強化混合作用方案執行一組15天的72小時預報, 希望能了解該邊界層的修正方案對於東亞地區的預報在綜觀尺度的校驗上是否會與原來的參數法有明顯的差異。圖8-圖10為重力位高、溫度以及風場對NCEP分析場校驗得分的垂直分布圖, 對重力位高的校驗兩組實驗的差異不大, 不過實驗2有稍微好的表現, 均方根值稍小且平均誤差也較為接近零值線。溫度的差異分布(圖9)更為明顯, 平均誤差在近地表由原本的接近-0.4度的偏差修正為-0.2度, 850-700hPa原本過暖的預報也修正得較接近零值線, 此外, 原本模式高層400-200hPa間過冷的預報也有修正一些回來, U與V風場(圖10與圖11)的情形也類似, 新的方案可以使RMS有些微的改進, 而其平均誤差則都更接近零值線。

## 四、總結與未來工作

本研究利用WRF模式V3.8版本中YSU邊界層參數法所提供的修正強化混合作用方案, 測試其修正

效應對於東亞地區區域預報的影響, 分析結果顯示, 透過重新調整高邊界層擴散係數的分配以及邊界層頂逸入效應的增加來參數化雲頂因輻射冷卻致使混合加強的修正方案, 會導致海洋上近地層的溫度增加, 並且可以較有效的將低層的水氣帶到邊界層頂, 因此近地層會變暖、變乾, 邊界層頂會變冷、變濕, 而透過邊界層參數將該處的變化通量擴散到上層的自由大氣, 由15天的預報實驗來看, 修正後的YSU參數法對於重力位高、溫度以及風速的校驗平均誤差都有改進的情形。不過強化的混合模擬對於海上淺積雲的雲量消長、降雨以及局部環流的影響, 仍尚待更進一步的研究分析。

## 五、參考文獻

- Hacker, J. P., 2010: Spatial and temporal scales of boundary layer wind predictability in response to small-amplitude land surface uncertainty. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 217-233.
- Hong, S.-Y., S. Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 2318-2341.
- Jankov, I., W. A. Gallus, M. Segal, B. Shaw, and S. E. Koch, 2005: The impact of different WRF Model Physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall. *Wea. Forecasting*, **20**, 1048-1060.
- Lee, E.-H. and S.-Y., Hong, 2015: Development of PBL parameterization at KIAPS. DICE and GABLS4 workshop on 20-22 May 2015. Toulouse, France.
- Stensrud, D. J., 2007: Parameterization Schemes: Keys to understanding Numerical Weather Prediction Models. Cambridge University Press, 456pp.
- Troen, L., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensitivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteor.*, **37**, 129-148.
- Wilson, T., and R. Fovell, 2014: Improvements in modeling persistent fog. 16th Conference on Mountain Meteorology, 18 -22 Aug. 2014, San Diego.

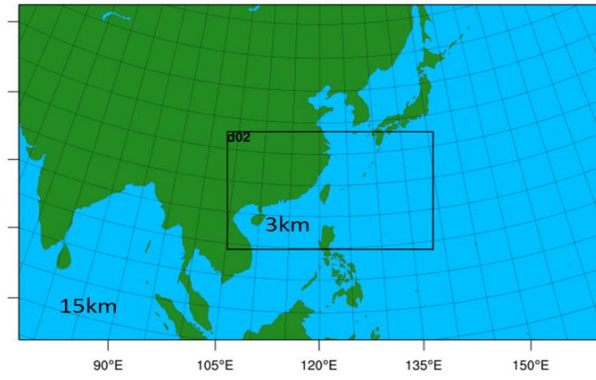


圖1:實驗模式之預報範圍設定

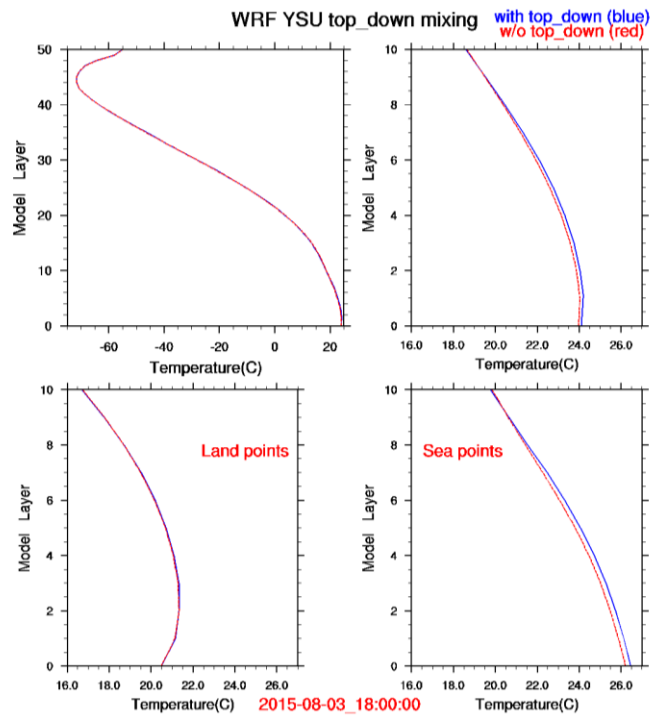


圖2:模式範圍下平均溫度的垂直分布,右上為第1到10層的放大,左下為陸點的平均溫度在1到10層分布,右下為海點分布。

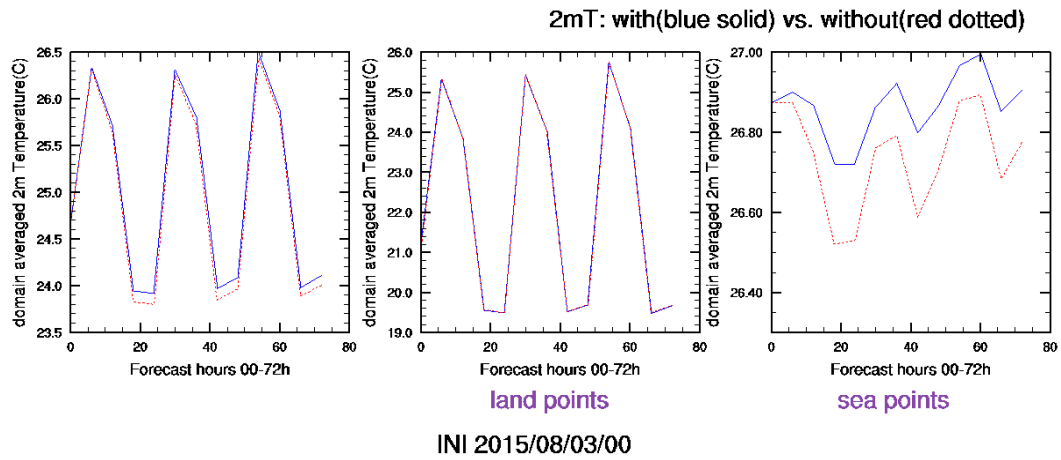


圖3:實驗1(紅色)與實驗2(藍色)模式範圍下2米溫度場平均隨預報時間的分布,由左到右分別為全範圍平均、陸點平均與海點平均。

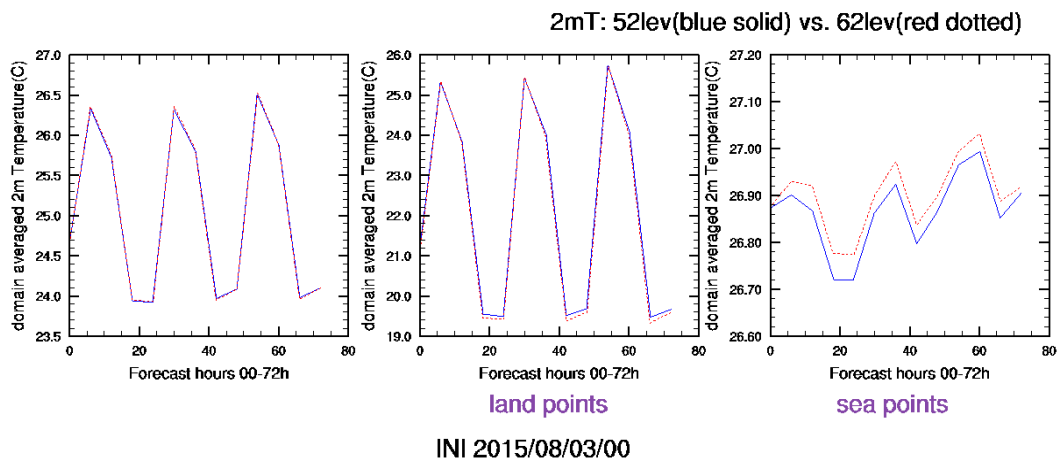


圖4：實驗2(紅色)與實驗3(藍色)模式範圍下2米溫度場平均隨預報時間的分布，由左到右分別為全範圍平均、陸點平均與海點平均。

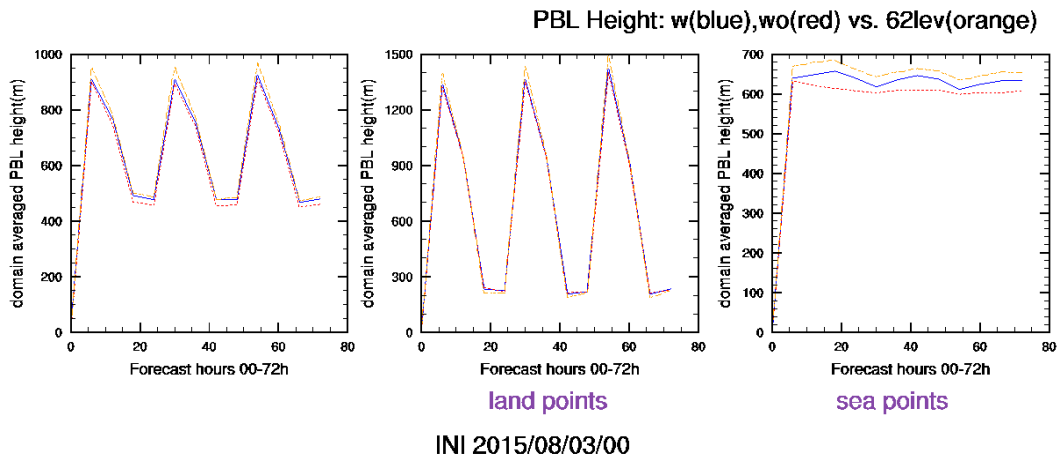


圖5：實驗1(紅色)、實驗2(藍色)與實驗2(藍色)模式範圍下2米邊界層高度場平均隨預報時間的分布，由左到右分別為全範圍平均、陸點平均與海點平均。

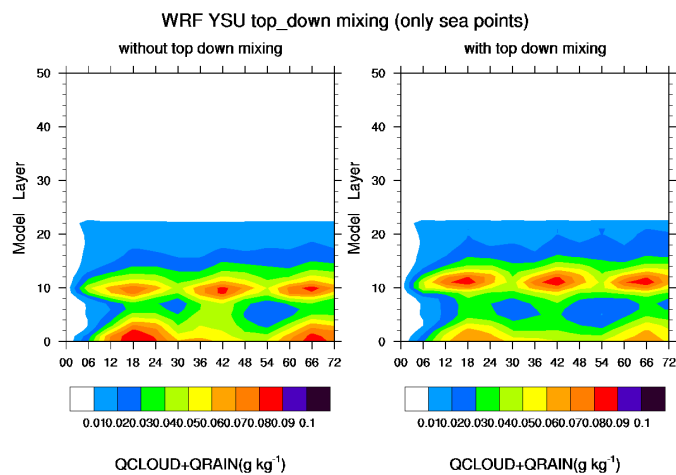


圖6：QCLOUD+QRAIN的濃度隨預報時間的分布情形，左圖為實驗1，右圖為實驗2。

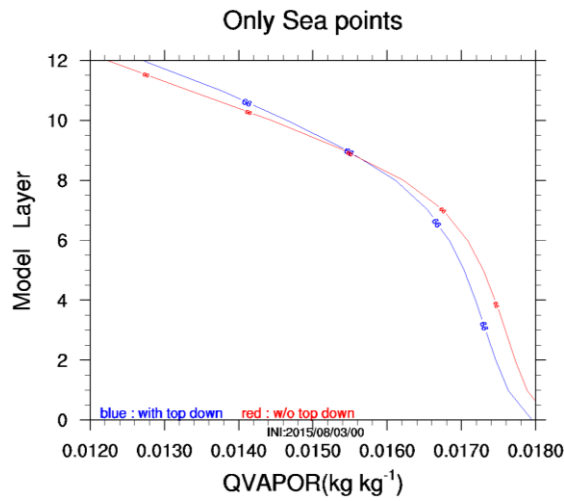


圖7：水汽 ( $Q_{\text{vapor}}$ ) 平均在模式0-12層的垂直分布，紅線為實驗1，藍線為實驗2。

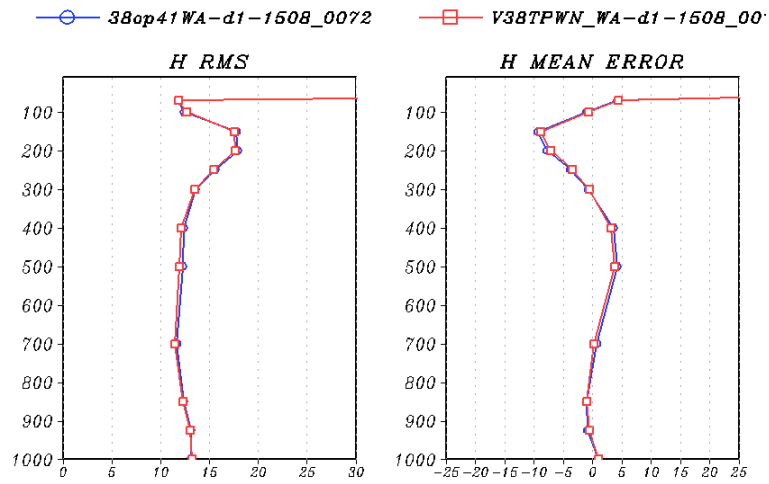


圖8：2015年8月1日~15日之重力位高均方根誤差（左圖）以及平均誤差（右圖）場平均垂直分布，實驗1為藍線，實驗2為紅線。

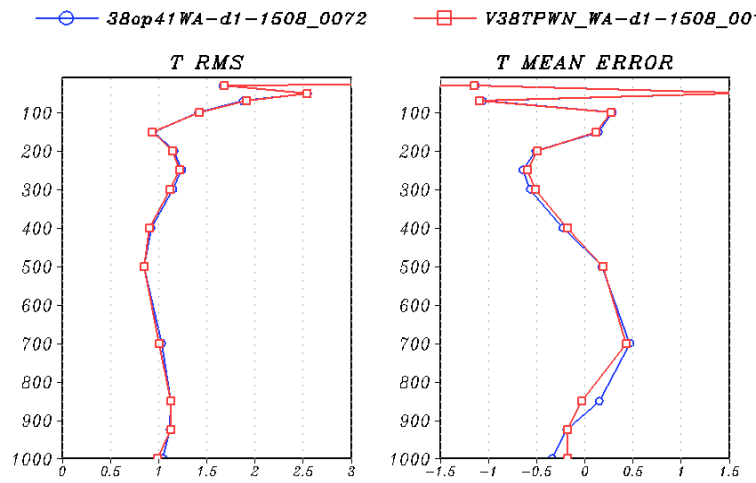


圖9：2015年8月1日~15日之溫度均方根誤差（左圖）以及平均誤差（右圖）場平均垂直分布，實驗1為藍線，實驗2為紅線。

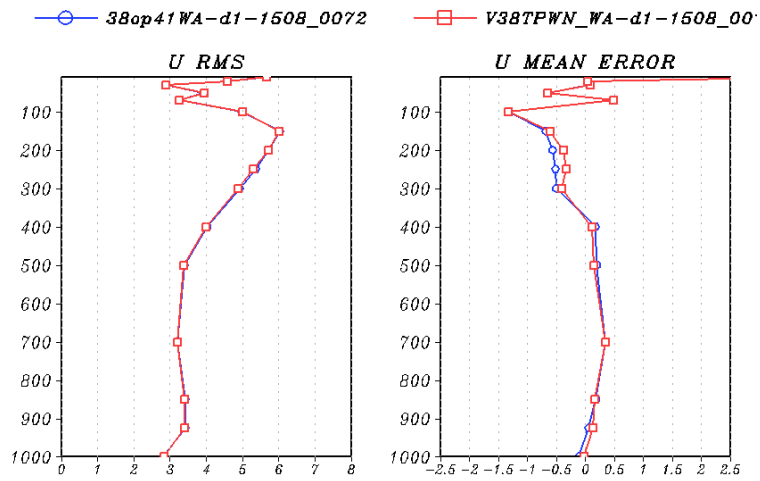


圖10：2015年8月1日~15日之U風速均方根誤差（左圖）以及平均誤差（右圖）場平均垂直分布，實驗1為藍線，實驗2為紅線。

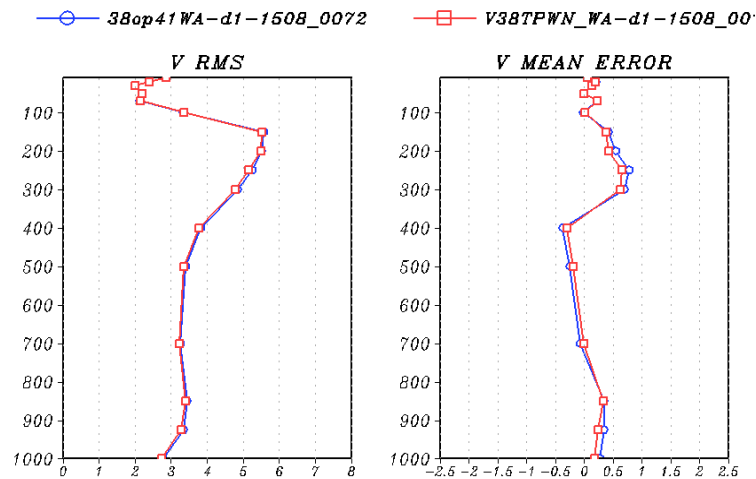


圖11：2015年8月1日~15日之V風速均方根誤差（左圖）以及平均誤差（右圖）場平均垂直分布，實驗1為藍線，實驗2為紅線。