

# 以改良式ABLER法應用於台灣地區降雨系統移速場外延估計

洪國展<sup>1</sup> 李天浩<sup>2</sup> 馮智勇<sup>1</sup> 黃椿喜<sup>3</sup> 丘君翹<sup>2</sup> 林彥廷<sup>2</sup>  
多采科技公司<sup>1</sup> 國立臺灣大學土木工程學系<sup>2</sup> 中央氣象局<sup>3</sup>

## 摘要

ABLER(Advection-Based Lagrangian Eulerian Regression)法為將Shiiba的移流迴歸式擴充,結合Lagrangian觀點及Eulerian觀點,使其在不受CFL(Courant-Friedrichs-Lewy)條件限制下,利用兩張連續的觀測雷達回波資料,估計任意未知系統的移速場係數值。

雷達觀測回波資料,在觀測量值低於特定數值時,降雨情況並不明顯。改良式ABLER法針對強降雨發生區域處,透過門檻值過濾的方式,篩選出門檻值以上的回波觀測網格,並針對篩選出的資料點進行移速場係數值求解矩陣式的構築。如此,可在僅考量連續兩張的強回波區域或網格的相關性下,進行移速場係數值的求解,更能代表強回波區域的移速特性。臺灣地區地形複雜,降雨系統的移動容易受地形影響。改良式ABLER法考量此效應,除了將全張影像進行全域移速場推估外,亦將近臺灣範圍主觀劃分為多數次區域,針對各次區域進行ABLER法演算以獲得次區域內移速場。最後將該等次區域分別推得的移速場進行組合,獲得組合全域移速場。

在系統移速場外延方面,以連續兩張影像求得的移速場,僅能代表此時間間隔內的移速,對於外延至次一時間間隔的移速場上,無法利用先前其他影像的連續時間移速變化趨勢資訊。改良式ABLER法於移速場外延上,整合雙指數加權移動平均法(Double Exponential Weight Moving Average),利用 $t-n$ 至 $t$ 之間共 $n+1$ 張影像所推得連續 $n$ 個 $\Delta t$ 之間的移速場時間序列(亦即 $t-n \rightarrow t-(n-1)$ 至 $t-1 \rightarrow t$ ),以網格為單位外延 $t \rightarrow t+1$ 的移速場分佈。

關鍵詞：ABLER、移速場、外延、空間資料品質權重係數、雙指數加權移動平均法

## 一、前言

降雨系統移速場的推估,有助於預測降雨系統於未來時刻時的位置。過去的估計方法中,有由Rinehart和Garvey(1978)發展的TREC(Tracking Radar Echo by Correlation)法、Takasao和Shiiba(1984)的方法(以下簡稱Shiiba法),以及李天浩(2013)年提出的ABLER(Advection-Based Lagrangian Eulerian Regression)法。

TREC法假設移速為線性,降雨系統以整數網格為單位進行平移,因此移速推估被限制為整數網格單位,使得網格尺寸對估計誤差具有明顯的影響(鍾德霖(2005))。Shiiba法將系統移速與源減項以二維空間座標自變數之線性函數表現,自由度較TREC法為高,唯此方法受到CFL條件(Courant-Friedrichs-Lewy)的限制,而僅能在單一網格內進行估計。

ABLER法則以Shiiba法搭配Lagrangian平移處理,將原本Shiiba方法延伸至一個網格點外的位置,解決天氣系統移動可能超過單位網格範圍的問題。ABLER法中所採用的Lagrangian平移處理方式,對於複數平移位置中,以Shiiba方法選擇迴歸統計後具有

最高相關係數者為最佳平移位置,使得整體天氣系統的移動能夠跨過單位網格,因而衍生網格平移時所形成的速度則可稱為網格速度或Lagrangian速度;而在相同網格中所進行的迴歸統計計算,所描繪的單位網格內速度則可稱為Eulerian速度。

由於雷達觀測回波資料之量值在低數值時降雨情況並不明顯,本研究於ABLER法的改進上引入門檻值設定,僅針對門檻值以上的網格點進行ABLER演算;同時在考量靠近地形時系統移速可能與海平面上不同的情形,將近臺灣範圍主觀劃分為多個次區域以分別推求移速,並以加權及高斯平滑法重新構築組合全域移速場。

在移速場外延方面,若採用 $t-1 \rightarrow t$ 的移速場做為 $t \rightarrow t+1$ 的移速場估計時,相當於直接使用延續法的概念,實際上可能無法顯現移速場隨時間進行的變化歷程。本研究以雙指數加權移動平均法(Double Exponential Weight Moving Average, DEWMA)取代延續法的移速外延方式,利用DEWMA能夠記憶而延續變數變化趨勢的特性進行外延估計。

## 二、研究方法

### 2.1 ABLER(李, 2013)

ABLER法以Shiiba法為基礎，結合Lagrangian與Eulerian的特性，利用平移後匹配網格最大相關性的分析，決定最佳網格平移量，分別推行網格速度與單位網格內速度，整合成分析範圍的移速場分佈。圖1簡單說明上述方法的邏輯，

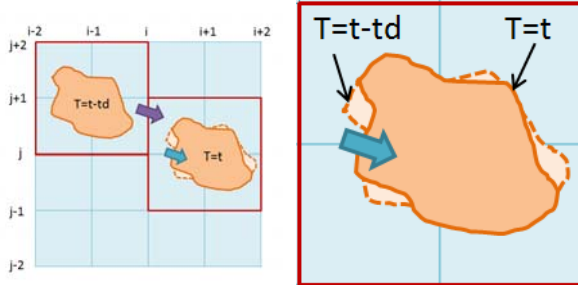


圖1 ABLER法示意圖(改圖)

圖1左側顯示對於每個 $T = t$ 時刻的分析範圍而言，在尋找前一時刻 $T = t-1$ 時最相關的系統位置時，在水平與垂直方向可能各需要進行不同網格數的平移，右側為平移後兩者的網格間資料匹配，在此平移量下可使相互匹配的網格回波資料具有最高的相關性。因此，在移速場的演算可分為網格速度與單位網格內速度，並整合成分析範圍的移速場分佈。

### 2.2 DEWMA

前述的ABLER法可獲得以 $t-1$ 、 $t$ 兩張連續雷達回波影像，進行 $t-1 \rightarrow t$ 時距間的最佳移速場 $V_{t-1 \rightarrow t}$ 的估計，再使用多張連續雷達回波影像時，可採用具有記憶特性的DEWMA法進行外延估計，而比延續法更能代表變數隨時間的變化趨勢。

DEWMA的作法如下：

$$s_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \quad \text{for} \quad t \geq 2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2-1)$$

$$b_t = \gamma(s_t - s_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} \quad \text{for} \quad t \geq 2, \quad 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (2-2)$$

其中， $x_t$ 為目標變數的時間序列，在此改進中即為網格點的 $x$ 方向或 $y$ 方向的移速場數值； $s_t$ 為目標變數的平滑化數值，在目前時間 $T = t$ 下， $s_{t+1}$ 即為 $x_t$ 的外延推估值； $b_t$ 為代表趨勢的變數，由 $s_t$ 的計算可知即為利用 $T = t-1$ 的趨勢數值 $b_{t-1}$ 調整 $T = t$ 的目標變數 $s_t$ 。

方程式中有三項參數需要設定，分別是兩條方程式中採用的平滑化參數 $\alpha$ 及 $\gamma$ ，以及初始趨勢 $b_1$ 的選擇方式。 $b_1$ 有多種選擇方式，如 $b_1 = x_2 - x_1$ 、 $b_1 = \frac{1}{2}(x_3 - x_1)$ 、 $b_1 = \frac{1}{3}(x_4 - x_1)$ 、 $b_1 = \frac{1}{n-1}(x_n - x_1)$ ，不管如

何選擇，原則上仍需要一段連續資訊做為其估計值，當隨時間進行時，此初始趨勢 $b_1$ 選擇的影響將逐漸消失，而由方程式(2-1)及(2-2)可知，可透過平滑化參數 $\alpha$ 及 $\gamma$ 的選擇方式，調整 $T = t-1$ 與 $T = t$ 時刻目標邊數或趨勢變數影響的比重。

對於 $T = t+1$ 的變數外延推估而言，則採用方程式(2-3)。由於 $s_t$ 及 $b_t$ 皆以記錄 $T = t$ 時刻之前，目標變數與趨勢變數的變化，因此方程式(2-3)較先前的延續法外延方式而言，係為具有趨勢的時間序列預報。

$$F_{t+m} = s_t + mb_t \quad \text{for} \quad m \geq 1 \quad (2-3)$$

表 2.1 及圖 2.2 分別顯示以一時間序列數值為例，再採用 $b_1 = \frac{1}{3}(x_4 - x_1)$ 及 $\alpha = 0.3623$ 、 $\gamma = 1$ 時，以DEWMA 計算所得的 $s_t$ 序列

表1 DEWMA測試數列

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$x_t$	6.4	5.6	7.8	8.8	11	11.6	16.7	15.3	21.6	22.4					
$s_t$		6.6	7.2	8.1	9.8	11.5	14.5	16.7	19.9	22.8	25.8	28.7	31.7	34.6	37.6

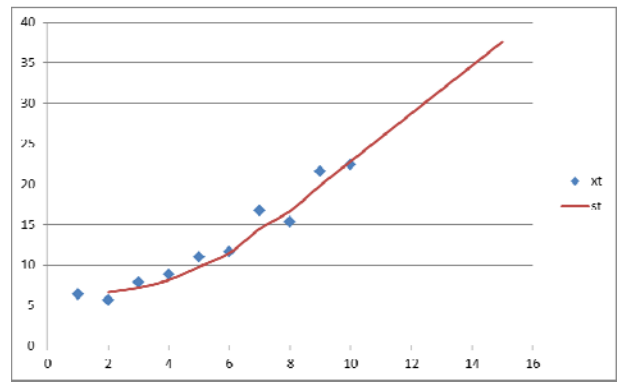


圖2 DEWMA測試結果

### 2.3 資料

採用氣象局提供 118°E 至 123.46°E 與 20.5°N 至 26.5°N 之間，利用GRASS將原始資料進行0.03°的空間解析度內插後的COMPREF範圍資料，進行連續多張影像的移速場推估，其時間解析度10分鐘。實際資料存在許多-99.~0.之間的數值，分析上可利用門檻值設定進行濾除(此門檻值也可依不同目的設定為其他數值)。

0.03°空間解析度約等於3124.0m，當透過ABLER法得到的前時刻最佳平移量相差1個網格時，其Lagrangian速度項差異則為5.02m/s。最佳平移量的決定係指經過此平移量移動之後，以Shiiba算式能有最大相關係數，此時同時能推估單位網格內的Eulerian速度。

如前所述，在改良式ABLER法除了設定有效雷達回波門檻值進行分析外，亦依照地形進行主觀次

區域劃分，圖3表示10個紅色範圍沿海次區域與4個黃色範圍山區次區域。

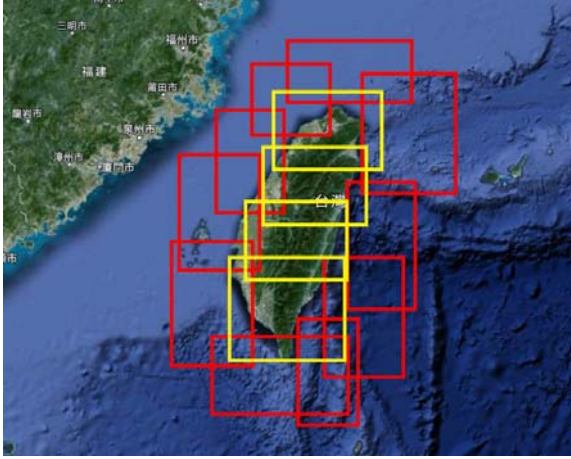


圖3 次區域主觀劃分結果

## 2.4 研究流程

本研究流程圖如圖4所示。

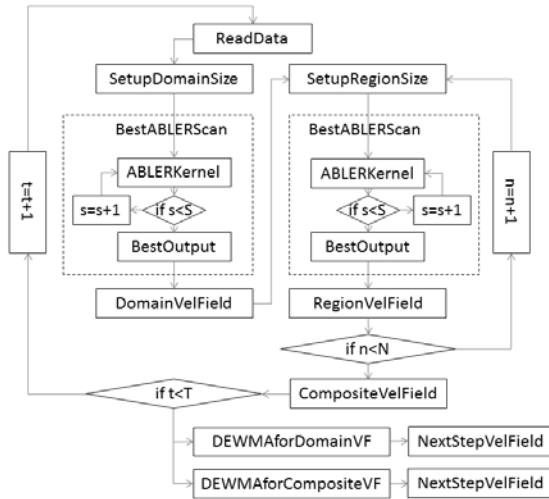


圖4 研究流程圖

圖4中最主要的工作區塊為BestABLERScan與DEWMA兩者。在讀取資料之後，先對全域(Domain)進行分析，獲得最佳全域移速場，接著依照次區域(Region)設定進行次區域最佳移速場推估。

待所有的次區域最佳移速場推估完成後( $n = N$ )，將各次區域移速場以算術權重進行合併，缺漏處則以全域移速場視為背景場填入，再經過高斯平滑法處理重疊處移速場不連續的情況，形成一組合全域移速場。

BestABLERScan中針對預先設定的平移方式，計算 $T = t$ 及 $T = t - 1$ 時刻不同平移量之間，匹配網格的相關係數(ABLERKernel)。本研究中的平移設定為最大為 $(\pm m, \pm n)$ ，並預設 $m = n = 10$ ，換算得到的Lagrangian速度(網格速度)約為50.2m/s，亦即能夠搜尋 $x$ 或 $y$ 方向中降雨系統移動速度發生於 $\pm 50.2$ m/s內的情況，此範圍對實際的系統移動速度而言應已

足夠。當搜尋完成後( $s = S$ )，輸出具有最大相關係數的平移量(BestOutput)，做為最佳平移量。

當所有影像分析完成後( $t = T$ )，便針對前述全域移速場時間序列，及組合移速場時間序列，分別以DEWMA進行未來 $t = T + 1$ 時刻，逐網格的移速場外延估計。

## 三、結果與討論

### 3.1 案例及設定說明

採用時間範圍為20120611.1200~20120612.0320的鋒面事件，共為93張10分鐘的連續影像資料，dBz採用門檻值為0， $(m, n)$ 設定為(10,10)。當分析區域有效網格點數(dBz值大於門檻值)過少時，以相匹配網格回波進行的相關係數計算可能失真，因此在進行次區域分析時，設定有效網格比例門檻值為0.3，當有效網格數量低於此門檻值時，便不進行計算，其空間位置的移速場便以背景場代入。

### 3.2 移速場推估與外延估計結果

圖5顯示上述時間段中，針對全張影像進行BestABLERScan，獲得逐時間於 $x$ 及 $y$ 方向的最佳平移量(movx,movy)及對應的最佳相關係數，movx及movy為負值分別表示對每一時刻而言的上一時刻最佳位置來源在目前的西南方，亦即系統往東北方移動。movx及movy反映Lagrangian速度，顯示系統主要方向為向東移動，而對於系統移速的微調，則透過相互匹配的網格計算Eulerian速度。

圖6顯示於上述時段中，選擇1340~1420共六張實測資料繪製之回波場，以及五個時間間隔推估的全域移速場分佈。

圖7顯示相同時段間，以圖3次分區劃分方式，及3.1中所述的設定，進行的組合全域移速場推估的結果，其中高斯平滑法中採用 $\sigma = 2$ ，並取 $3\sigma = 6$ 的範圍進行加權計算。左欄為實際影像進行的移速推估，例如1340→1350的移速場為採用1340及1350兩時刻實測影像計算的移速場分佈，右欄則為DEWMA進行的移速場外延推估，例如1340→1350的移速場為採用1340之前各時刻的移速場推估結果，再針對逐網格採用 $b_1 = \frac{1}{3}(x_4 - x_1)$ 及 $\alpha = 0.3623$ 、 $\gamma = 1$ 的設定，進行的逐網格移速場外延估計。

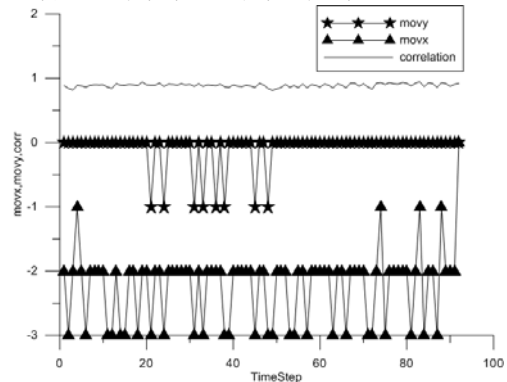


圖5 全域最佳平移量與相關係數

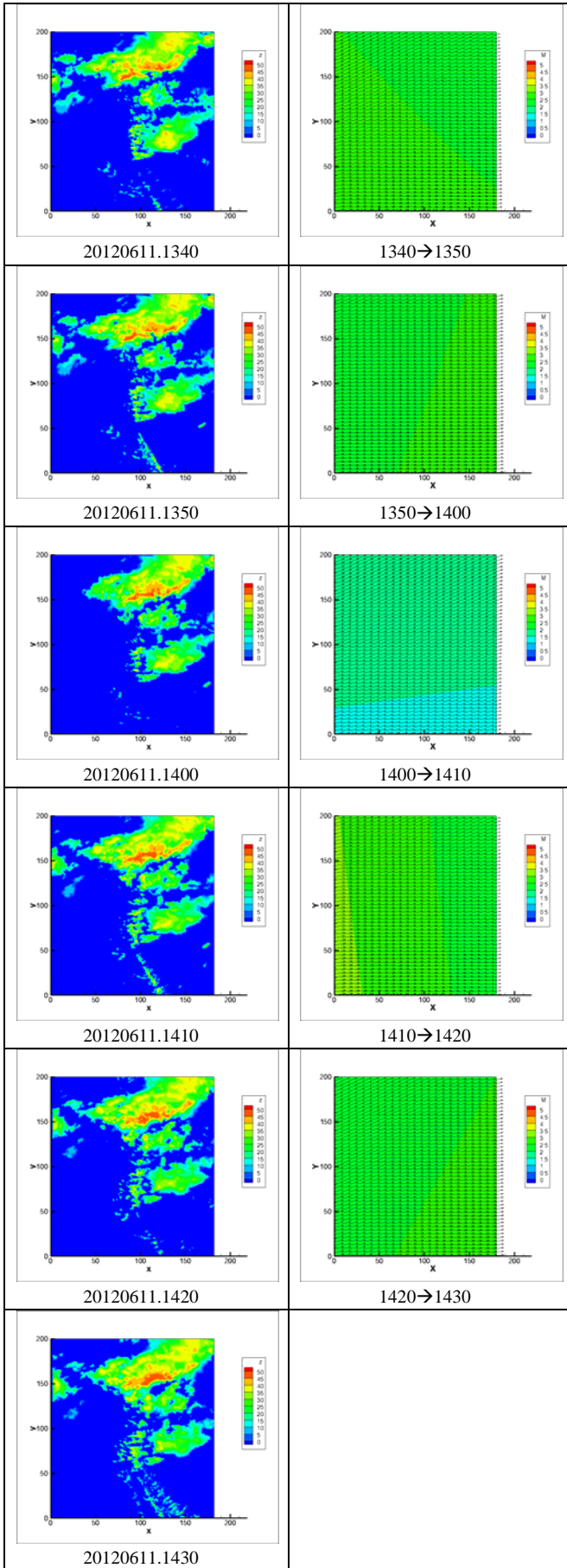


圖6 1340~1420間逐時刻全域移速場推估

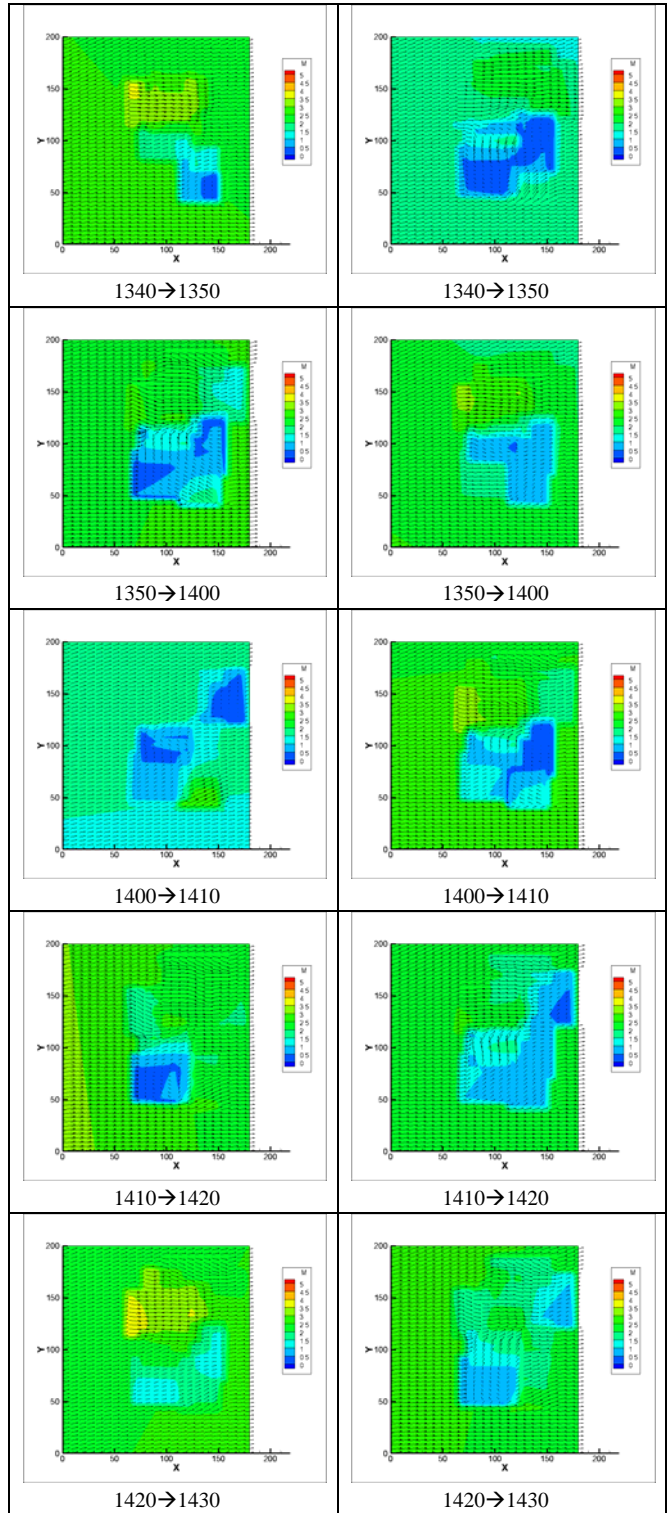


圖7 1340~1420間逐時刻組合全域移速場及外延推估

### 3.4 綜合比較

首先參考圖5及圖6，由圖6左欄時序變化略可知分析目標為由西往東之系統，圖5中的movx及movy則多在-2及0上下，顯示對每個目前時間而言，上時刻最相關影像位置在目前的西方，表示系統係由西往東移動。在圖6右欄的移速場推估結果中，由於對於每個時間間隔而言，各網格的Lagrangian速度係為相同，平移後匹配網格間的Eulerian速度係如Shiiba原始方法以二維空間的線性函數描述，因此與Lagrangian速度疊加後於二維空間中仍呈現平順的線性變化，顯示利用全張影像所進行的移速場推估，並無法看到系統受到地形的影響。

圖7左欄顯示如圖3進行次分區劃分，採用有效網格點數設定為0.3的情況下，進行各分區移速與背景場的組合，並以高斯平滑法進行平滑後的組合全域移速場推估結果。

由圖可知，此系統雖於整體上係由西往東移動，但北方系統移動速度較背景場稍快，而南方零星回波則稍慢甚至為停滯的情況。除此之外，在靠近分析範圍中央靠近臺灣地形的區域，局部區域產生大角度向南北方的移速場，顯示當系統靠近臺灣地形時，受地形阻礙而產生無法順利過山的情況。

組合全域移速場在次區域與背景場之間，部分位置存在明顯的分析範圍邊界，當次區域與背景場分析所得的最佳平移量差異1網格時，所形成的Lagrangian速度差異約為5m/s，為造成此明顯分析範圍邊界的成因。此現象可以兩方法改進，首先可採用較高空間解析度的資料進行分析，若空間解析度提高一倍，因平移量差異造成Lagrangian速度差異則可減半；接著可選取較高的高斯平滑法 $\sigma$ 數值，較高的 $\sigma$ 數值，具有更顯著的平滑效果，也能消弭部分的不連續現象。

若以圖7左欄直接做為移速場外延估計時，作法即為延續法，例如以左欄1400→1410直接做為1410→1420的延續法外延估計。然此估計結果若與圖7左欄次一時刻1410→1420相比較時，可發現其移速場有顯著差別。回頭參考圖6左欄20120611.1400、20120611.1410及20120611.1420三張原始影像可發現，1400及1420整體型態較為接近，1410於分析範圍西方的回波區塊與南方的帶狀回波皆消失，此為連續移速場推估差異的主因。

圖7右欄為移速場外延估計的結果。外延估計是指利用過去的影像針對次一個未來時間間隔進行估計，因此以1400→1410為例，採用的資料為1200至1400間共13張觀測影像，所計算連續12個十分鐘間隔的移速，並以DEWMA進行外延估計的結果。參考式(2-1)，以右欄1400→1410而言，此移速場外延估計為左欄及右欄1350→1400的加權。因此右欄整體的移速場外延估計不像左欄一般，可能因某時刻實際影像的明顯差異，造成移速場趨勢的大幅改變。

## 四、結論與後續建議

### 4.1 結論

ABLER法透過分析範圍平移的方式，將移速場分解為Lagrangian速度(網格速度)及Eulerian速度，而能使移速場的推估延伸至單位網格以外。

改良式ABLER法透過門檻值設定的方式濾除可能的無效回波值，也可透過門檻值設定，針對降雨顯著、回波值於特定數值以上的網格進行分析。

改良式ABLER法透過主觀劃分多次區域的方式，改良在降雨系統同時分佈於海平面上時，以全域移速場的綜觀特性，無法描述降雨系統靠近時受到台灣地形的影響。

DEWMA法具有記憶變數變化趨勢的特性，於時間的外延估計上較延續法更具優勢。

### 4.2 建議

本研究提出以下幾點建議。在改良式ABLER法方面，次區域的劃分，提供了一種能局部追蹤系統移動及推估移速場的可能性。目前依照地理位置進行主觀次區域的劃分可能使得單一局部系統被區分至多個次區域之中，未來可整合系統空間位置動態判斷的方式，針對 $T = t$ 時刻的雷達回波影像，取出系統空間佔據範圍，以使整體系統包含於同一區塊之中，而更能描述系統移速的情況。

在DEWMA方面，本研究目前採用的初始趨勢 $b_1$ 與平滑化參數 $\alpha$ 及 $\gamma$ 係為主觀設定，初始趨勢 $b_1$ 在影像隨時間進入後，對後期推估的影響逐漸變小至消失。平滑化參數 $\alpha$ 及 $\gamma$ 的選擇，於未來可採用隨時校正的方式，利用當在 $T = t + 1$ 時刻有新的影像進入時，使 $T = 0 \sim t$ 時刻間的目標變數觀測值 $x_t$ 與目標變數平滑化數值 $s_t$ 之間有最高的相關性的方式，搜尋最佳的平滑化參數 $\alpha$ 及 $\gamma$ 推估。

本研究在演算上具有許多重覆的相同迴圈運算，例如全域與各次區域的移速場推估，逐網格點的外延推估等等，皆為相同的演算邏輯。對於未來若有作業化需求的演算時效壓力時，建議可以GPU技術進行模式的調整與修正，以提高演算效率。

本研究目前進行的移速場外延推估方式，未來應持續反行為回波值的外延推估，進行降雨的空間估計。

## 五、參考文獻

- [1] 李天浩、張鳳吟、丘君翹、蔡雅婷、黃椿喜、劉承昕、薛宏宇, 2013: “應用QPESUMS資料迴歸估計台灣地區降水系統移速場”, 103年天氣分析與預報研討會
- [2] 鍾德霖、李天浩, 2005: “利用雷達回波資料與TREC方法估計降水雨腳移動場”, 中國土木水利工程學刊, 第十七卷第三期, 403-412
- [3] Rinehart, R.E. and E.T. Garvey, 1978: Three-Dimensional Storm Motion Detection by Conventional Weather Radar. , *Nature*, 273, 287-289.
- [4] Takasao, T. and M. Shiiba, 1984: “Development of techniques for on-line forecasting of rainfall and flood runoff.”, *Natural Disaster Science*, 6, 83.
- [5] Takasao, T., M. Shiiba, and E. Nakakita., 1994: “A real-time estimation of the accuracy of short-term rainfall prediction using radar.”, *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering*, 7, 339-351.