

利用遙測資料三維變分同化模擬侵台颱風

王潔如 黃清勇

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

本文使用 NCAR MM5 三維變分同化(Three-Dimensional Variational Data Assimilation)方法，將 GPS 折射率資料、AMSU 反演的三維風場資料、QuikSCAT 海平面風場資料及傳統觀測資料資料同化於中尺度模式中，以了解同化多種衛星觀測資料對於改善數值天氣預報準確度的影響。

其結果顯示，與加入 GPS 掩星觀測資料比較，發現水氣方面有較明顯的改變，而加入 QuikScat 的風場所改善的氣壓強度沒 AMSU 反演的三維風場資料來的明顯。

一、前言

全球定位系統GPS(Global Positioning System)資料在各方面的應用已有多年的歷史。在過去有許多的研究偏重於GPS測量所反演的氣象變數資訊與其他觀測系統得到的資訊的差異，研究指出GPS/MET資料所反演的氣象變數垂直剖面，與其他觀測及模式分析資料相比較的差異性很小。(Kursinski et al., 1995; Ware et al., 1996)。但是要如何將這些非傳統的資料導入模式中是現在一項重要的問題，目前所採用的方式以變分同化為主軸，像是Zou et al. (1995) 提出以四維變分資料同化(4DVAR)系統將大氣的折射率同化進模式中，進行觀測系統模擬實驗。其結果顯示大氣折射率同化可以非常有效地反演出水汽垂直剖面，對於預報結果有相當正面的影響。

3DVAR為4DVAR的降階系統只用初始時間附近觀測資料來調整初始場，沒有預報的共軛模式，比起所耗費的的電腦計算能力，要來的節省很多。3DVAR的優點在於可以同化溫度、溼度、風場外，還可以同化模式沒有直接計算的變數。

因此本文將結合多種衛星觀測資料(包括GPS折射率資料、AMSU反演的三維風場資料、QuikSCAT海平面風場資料)使用NCAR MM5三維變分同化(Three-Dimensional Variational Data Assimilation)的方法，討論這些衛星觀測資料對於區域天氣預報的改善程度。

二、研究方法

2.1 三維變分資料同化系統之簡介

MM5 3DVAR 是由 NCAR/MMM 所設計於 MM5 模式加入的三維變分資料同化系統，此系統可同化多種觀測資料進而改進模式的初始分析場，使其更接近於實際大氣狀態，提升數值天氣預報之準確性。

MM5 3DVAR 在變分問題的數學處理上，採用卡爾曼濾波法(Kalman filter)提供了一個客觀函數的最小化(即 cost function 價值函數)，定義為：

$$J = \frac{1}{2} \left\{ (x - x_b)^T \mathbf{B}^{-1} (x - x_b) + [y_{obs} - H(x)]^T \mathbf{O}^{-1} [y_{obs} - H(x)] \right\} \quad \dots(1)$$

其中

x : 分析變數(n 維向量)

x_b : 背景變數(n 維向量)

y_{obs} : 觀測變數(m 維向量)

\mathbf{B} : 預報誤差協方差矩陣(n×n)

\mathbf{O} : 觀測誤差協方差矩陣(m×m)

H : 非線性算子，將分析的變數向量轉換成觀測向量

上述函數 J 極小值可以使分析變數 x 與背景變數 x_b 的誤差在引進觀測資訊時有最佳的調整。目前 3D-VAR 中的求 J 極小值的方法，是容許 H 為非線性的。

2.2 實驗設計

採用數值天氣預報模式 MM5 3.6 版模擬，共選取杜鵑以及敏督利兩個案分別探討。在杜鵑個案中 domain 1 和 2 中使用 KF 的積雲參數化法，在所有 domain 皆使用 MRF 的邊界層參數化法。Dujuan 颱風個案採 3 層槽狀網格的配置。DOMAIN1 的網格數為 151*151，其解析度為 45 公里；DOMAIN2 的網格數為 151*163，其解析度為 15 公里，DOMAIN3 的網格數為 151*151，其解析度為 5 公里，進行 48 小時預報。我們目前在 MM5 模式中加入 NCEP AVN(aviation version of the NCEP/MRF (Medium Range Forecast))model 的資料，其中資料網格解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

本實驗探討使用 GPS 折射率資料及 QuikSCAT 海平面風場資料對數值天氣預報結果的影響，其中我們利用同化 QuikScat 海面風場資料，其為距海平面 10km，解析度 25 公里，調節颱風強度以及改善路徑，提供我們一維的風場資料的來源。因為本文中 Dujuan 個案模擬的初始時間內 QuikScat 沒有資料，設計使用 Cycling 3DVAR 的方式同化 QuikScat 資料，也就是先以加入 GPS 折射率資料及傳統觀測資料的初始場放入模式積分 9 小時後，再將結果拿出來做 3DVAR，最後把做完在 3DVAR 的資料當作模式的初始場繼續積分下去。

同化的資料包括 GPS 資料與傳統觀測資料資料與 QuikScat(圖 1)。GPS 掩星觀測資料來自 CHAMP 衛星觀測，共同化 6 筆資料(表一)進行模擬加以討論，比較加入同化所產生的差異性。

敏督利個案 domain 1 和 2 中使用 Grell 的積雲參數化法，其他設計與杜鵑個案相同。主要探討同化 3 筆 GPS 掩星資料(表一)及 AMSU 反演的三維風場資料對預報的影響。

三、結果分析與討論

3.1 Dujuan 颱風

Dujuan 颱風被中央氣象局歸為中度颱風，圖1為中央氣象局最佳路徑與模擬路徑結果，我們可以看出在使用傳統觀測(GTS)及衛星資料(GPSRF)3DVAR之模擬(BOTH)，颱風在模擬30個小時前後登陸鵝鑾鼻，這與實際路徑有所差別。但是預報的路徑移動方向，顯示颱風行徑方向在前6小時是往西北西，6-12小時往西北方向，之後轉為西北西，與實際路徑整體接近，大致上的模擬走向是相當不錯的。在颱風強度方面，模擬出來的颱風強度仍嫌不足，但是有經過三維變分同化的初始場所模擬出來的結果與實際觀測的結果較接近，與只使用傳統觀測資料(GTS)3DVAR模擬結果相類似，在登陸前圖中展現出些微的差異，在登陸後不明顯。同化傳統觀測資料(GTS)、衛星資料(GPSRF)與QuikScat海平面風場資料模擬結果，颱風在預報30小時後登陸，颱風在前15個小時是向西前進，也是通過鵝鑾鼻，路徑模擬的結果與BOTH大致相同，颱風在前12小時的移速，較實際結果快，但是在1日12UTC-18UTC這段時間颱風移速的中心位置跟最佳路徑相當接近，這個個案很可惜沒有完整的颱風結構的風場資料，所以其強度與BOTH的結果一致。

在降雨的預報方面，圖4是 BOTH case 模擬之預報累積降雨量，與圖3 實際觀測的累積雨量相比較，在前12小時預報的累積降雨量，明顯的少於實際觀測的結果，可是 BOTH 有抓到雨量高值的分布位置，雨量集中在東部有一塊雨量較大值。與加入 GPS 的結果分布相似，但雨量高值比起 BOTH 的 case 較接近真實雨量。9月1日12-24UTC，在最大降雨量上 BOTH 的結果最接近真實雨量。多同化 QuikScat 海平面風場資料模擬的結果降雨型態的分布與 BOTH 大致相同，但是在降雨量的最大值上要比起 BOTH 更接境實際觀測雨量。

3.2 颱風敏督利

敏督利颱風也是被中央氣象局歸為中度颱風，圖5中央氣象局發布之最佳路徑與模擬路徑結果，比較使用3DVAR同化傳統觀測資料與衛星資料(GTS+GPSRF)之模擬結果(BOTH)與使用3DVAR同化傳統觀測資料之模擬結果(GTS)。在前24小時模擬中，此時兩組模擬的 Mindulle 颱風在初期移速上較實際結果快，且登陸位置較實際偏南。但 BOTH case 的颱風路徑前48小時較接近實際，颱風中心登陸的位置是 GTS case 接近觀測。加入 GPSRF 的資料有助於改善路徑預報。

加入 AMSU 風場資料的颱風走向與實際觀測接近，颱風由初始位置菲律賓東北方海面，轉向台灣東部海域前進，然後在宜蘭、花蓮一帶登陸，穿越台灣在新竹一帶出海。其颱風初始強度 973mb 與實際颱風 950mb 接近。

圖6為實際之累積降水量，圖6a顯示29日時主要降水多集中東半部，最大值可達76.5mm，然至30日至7月1日(圖6b)，雨量明顯增加，仍集東半部。將其與模擬相較，2日之主要降水位置集中於東部山區，模擬之結果皆有表現出來。由登陸及雨觀測相較，說明了此個案之模擬結果掌握了主要降雨量分布的特徵。但由於模擬之颱風移動速度較觀測快，且穿越過中央山脈中心出海，所以同化 GTS 與 GTS+GPSRF 得累積降水量皆比實際之累積降水量來的多很多。

加入 AMSU 風場的 case(圖7)，在7月1號模擬雨量集中在東部有一塊雨量

較大值與實際分佈相似，但較觀測到雨量較多。7月2號模擬結果在台東地區有高達 673mm 的最大值這與實際相差甚遠。

四、結論

本研究選取 Dujuan 及 Mindulle 兩個颱風個案，設計了對照模擬實驗。討論使用以客觀分析的方式將傳統資料加入網格中與 3DVAR 同化將傳統觀測資料導入模式的初始場模擬差異。以及 3DVAR 同化加入 GPS 掩星觀測資料，比較加入同化初始場所產生的差異性。

在 Dujuan 颱風個案，使用加入 GPS 掩星觀測資料及傳統觀測資料資料的模式初始場，我們所模擬出來的颱風路徑移動方向大致上與實際路徑相符，模擬的颱風移速也是相當不錯的。但是對於中心氣壓強度上的準確性卻低很多，由觀測累積降雨量來看，杜鵑颱風掃過台灣南端帶來的最大降雨量出現在東部地區，這與模擬的累積降雨量結分布一致。只是使用傳統觀測資料(GTS)3DVAR 模擬結果與其同化 GPS 折射率資料十分接近，這顯示 GPSrf 並非造成預報改善的主因，這是因為 Dujuan 個案中為 6 筆 GPS 探空點資料，而且皆離台灣很遠，GPSrf 的資料尚不足夠。

使用加入使用 GPS 折射率資料及 QuikSCAT 海平面風場資料的模式對於中心氣壓強度上的準確性仍無改善，這可能是因為在杜鵑的個案中 QuikScat 的風場並未掃到完整的颱風結構，另外有可能是 QuikScat 為一維風場提供資訊不足導致。

另一個颱風 Mindulle 的使用加入使用 GPS 折射率資料模擬，在登陸前 48 小時比起只使用傳統觀測資料(GTS)3DVAR 模擬結果有將近 40km 的路徑修正，颱風移動方向更接近實際路徑，對於中心氣壓強度上的準確性不足，由觀測累積降雨量來看，由於模擬之颱風在登陸前後路徑較實際觀測差，登陸位置偏南，移動速度較觀測快，所以累積降水量皆比實際之累積降水量來的多很多。

而加入 AMSU 反演的三維風場資料，颱風強度與實際觀測接近，路徑也大致相近，在雨量模擬方面仍然偏多，但比起沒加入 AMSU 資料模擬個案來的好。

參考文獻

- Kursinki, E. R., G. A. Hajj, K. R. Hardy, L. J. Romans, and J. T. Schofield, 1995: Observing tropospheric water vapor by radio occultation using the global positioning system, *Geophys. Res. Letter*, **22**, No.17,2365-2368.
- Ware, R., M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, B. Herman, Y. Kuo, T. Meehan, W. Melbourne, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. Anthes, S. Businger, and K. Trenberth, 1996: GPS sounding of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **77**, 19-40.
- Zou, X., Y.-H. Kou, and Y.-R. Guo, 1995: Assimilation of atmospheric radio refractivity using a nonhydrostatic adjoint model. *Mon. Wea. Rea.*, **123**, 2229-2249.

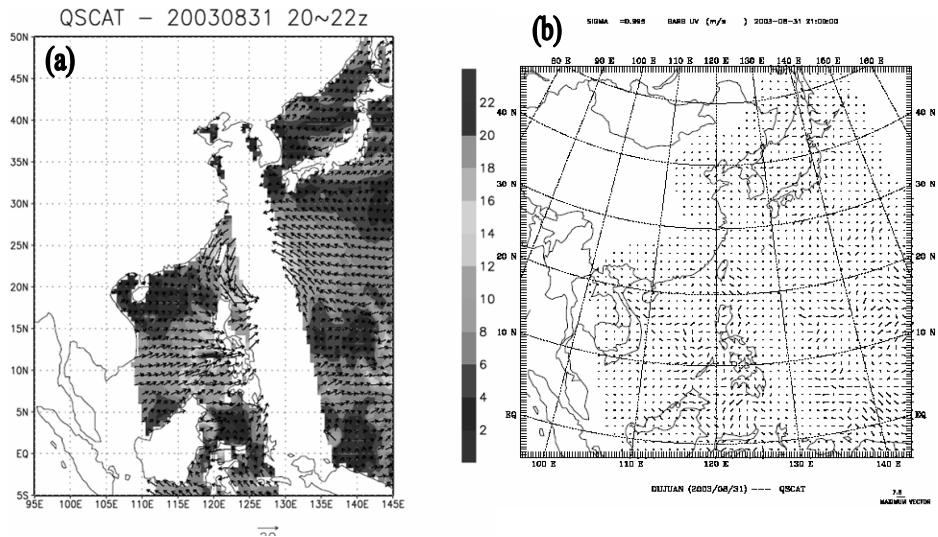


圖 1. (a)2003 年 8 月 31 日 2000-2200 UTC 的 QuikSCAT 海平面風場資料與 (b) 使用 3DVAR 同化 QuikScat 資料初始風場的增量，在 $\sigma=0.985$ 的高度層。

天氣個案	觀測時間	緯度，經度
Dujan Typhoon (2003/08/31/12-09/02/ 00)	09:00	(4.24 ⁰ , 129.91 ⁰)
	10:29	(10.47 ⁰ , 102.36 ⁰)
	10:34	(-2.40 ⁰ , 133.31 ⁰)
	11:54	(49.05 ⁰ , 83.74 ⁰)
	11:57	(42.39 ⁰ , 104.01 ⁰)
	13:32	(27.04 ⁰ , 86.15 ⁰)
Mindulle Typhoon (2004/06/29/06-07/02/ 06)	04:19	(9.10 ⁰ , 141.05 ⁰)
	07:18	(35.68 ⁰ , 97.08 ⁰)
	08:48	(48.79 ⁰ , 80.24 ⁰)

表一、同化模擬個案及所使用之掩星折射率觀測資料

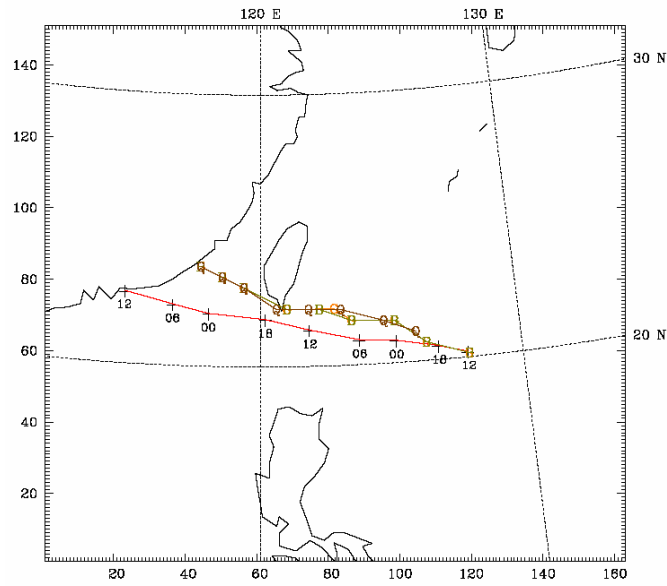


圖 2. Dujuan 颱風個案(2003/08)路徑圖，中央氣象局最佳路徑圖(標記號為十字)，同化傳統觀測資料(GTS)模擬之路徑(標記號為 G)，同化傳統觀測資料(GTS)與衛星資料(GPSRF)之路徑(標記號為 B)，同化傳統觀測資料(GTS)、衛星資料(GPSRF)與 QuikScat 海平面風場資料之路徑(標記號為 T)，除了同化傳統觀測資料(GTS)、衛星資料(GPSRF)與 QuikScat 海平面風場資料之路徑，第一點為模式模擬的初始時間 21UTC，與下一點間距 3 小時外，每個點間格 6 小時。

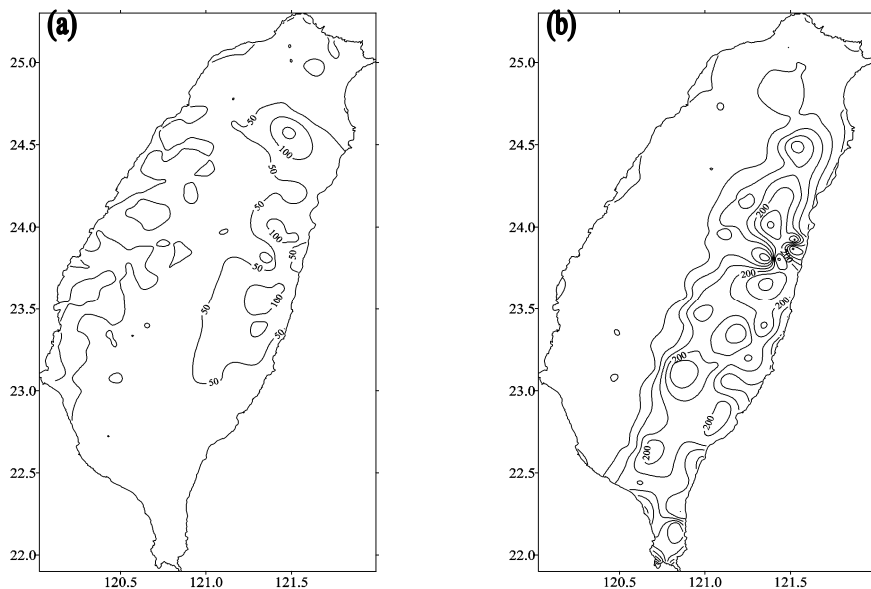


圖 3. 颱風 Dujuan 實際觀測的累積雨量圖，時間為 (a) 0000-1200 UTC 1 September 2003 (167 mm)，(b) 1200-2400 UTC 1 September 2003 (306mm)。括號內的數值表示最大降雨量。等值線為 50 mm。

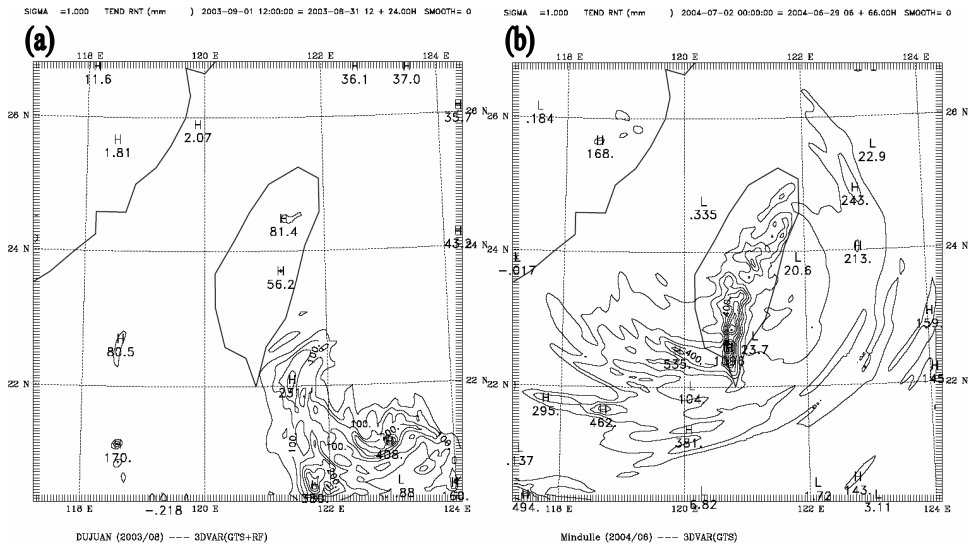


圖 4. 颱風 Dujan 個案(2003/08)，使用 3DVAR 同化傳統觀測資料與衛星資料 (GTS+GPSRF)模擬後，每 12 小時的觀測累積降雨量，時間為(a) 0000-1200UTC 1 September 2003 (81.4mm) (b) 1200-2400UTC 1 September 2003 (387mm)。等直線間距為 50 mm。

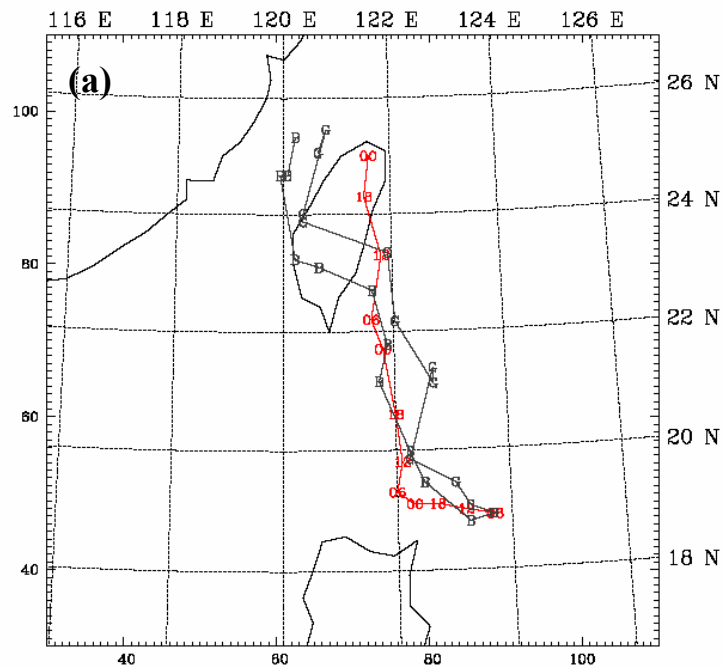


圖 5. 颱風 Mindulle(2004/06)個案路徑圖，紅線為中央氣象局最佳路徑圖，黑色(標記號為 G) 為 GTS 模擬之路徑，黑色(標記號為 B)為 BOTH 之路徑。每個點間格 6 小時。

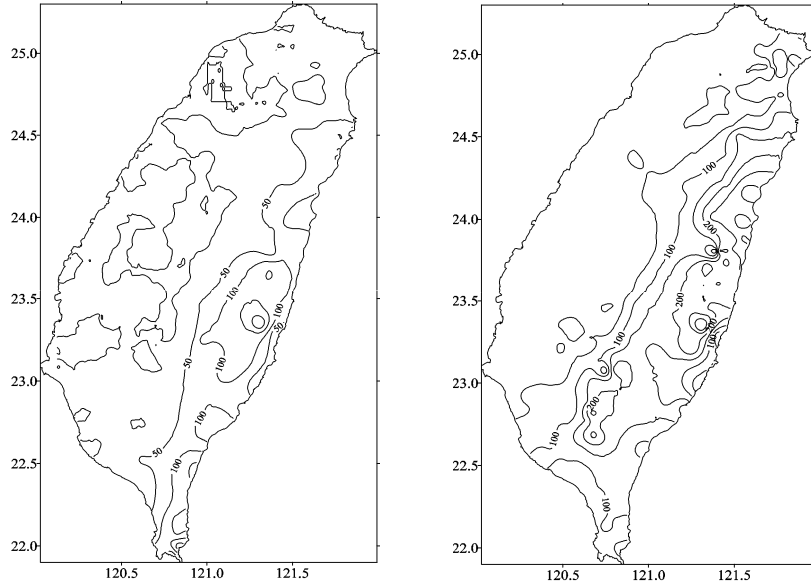


圖 6. Mindulle 個案(2004/06)實際觀測的累積雨量圖時間為 (a) 0000UTC 30 June -1 July 2004(240mm)、(b) 0000UTC 2-1 July 2004(356mm)。等值線為 50mm。

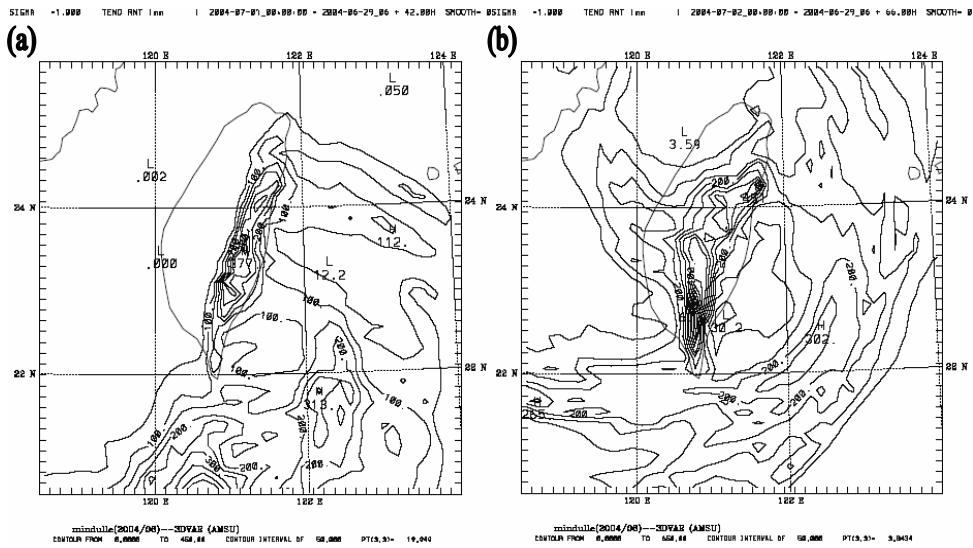


圖 7. 同化 AMSU 衛星資料風場資料後，颱風 Mindulle 24 小時的模擬累積降雨量，時間為(a) 0000UTC 30 June -1 July 2004 (377 mm)，(b) 0000UTC 2-1 July 2004 (673 mm)。括號內的數值表示最大降雨量。等直線間距為 50 mm。