

不同降水物理過程之颱風路徑系集預報

黃柏智¹ 周昆炫²

¹空軍氣象中心

²中國文化大學大氣科學系

摘 要

本研究使用 WRF 模式，選用 Kain-Fritsch、Betts-Miller-Janjic、Grell-Devenyi 和 New-Grell 等四種積雲參數法及 Kessler、LFO、WSM3 和 WSM6 等四種微物理參數法組合成 16 種不同降水物理過程產生系集預報結果，並與世界主要全球預報模式 NCEP、JMA、UK 和 EC 等比較優劣。

研究結果顯示：第一、可產生路徑的分布，提供颱風未來移動行進方向預報；第二、當積雲參數法固定在 Kain-Fritsch 時的四組參數法組合，可以產生最佳系集預報；第三、積雲參數法選擇 Kain-Fritsch 參數法及微物理法選擇 WSM3 參數法時可以獲得最小平均路徑誤差，為最佳參數法之組合。

另外，由於實驗中颱風模擬強度不足，因此使用渦旋植入法加強颱風初始強度，以期得到較佳的預報結果。實驗結果發現：第一、可有效縮小路徑之分布，對於預報後期之結果可有效改善；第二、植入渦旋後新的參數法組合所產生之系集預報，雖可提供較佳預報結果，但無法有效增進未使用渦旋植入法時積雲參數法固定在 Kain-Fritsch 的四組參數法組合所產生之系集預報；第三、選用 Grell-Devenyi 積雲參數法及 WSM3 微物理參數法時可以得到最小平均路徑誤差，可作為渦旋植入後最佳之物理參數組合。

關鍵詞：WRF、颱風路徑系集預報、積雲參數法、微物理參數法

一、前言

颱風是一個跨尺度且相當複雜的劇烈天氣系統，受限於生命期多位於海上而難以得知颱風的綜觀氣象資訊，對於預報上增加不少難度。目前國內、外對於颱風研究日益先進，但仍無法避免颱風路徑預報難以準確的事實。因此，本研究將使用改變與降水物理過程相關之參數法進行颱風路徑系集預報。

近年來，許多研究使用數值模擬方式，利用降水物理過程相關之參數法對氣象預報進行校驗。例如青（2003）使用 MM5 模式，以桃芝（2001）颱風為研究個案，針對不同的積雲參數法、微物理參數法及邊界層參數法對颱風路徑做測試。積雲參數法以 Grell 參數法最佳；微物理參數法則是 Goddard Graupel 參數法表現最好；而邊界層參數法則

對於模擬桃芝颱風路徑有相當的影響。

簡等(2003)使用 MM5 模式測試發現 Grell 積雲參數法與 Resiner I 微物理過程的物理組合方式對於梅雨季降水有較好表現；簡等(2004)亦使用 MM5 模式研究發現梅雨季數值模擬比較適合使用 GFS 初始場，搭配 Grell 參數法與 Mixed-phase 或 Goddard 微物理方法組合。

洪等(2006)以 WRF 模式於東亞地區進行數值天氣預報，發現就探空站上的氣象場校驗而言，邊界層參數法使用 YSU scheme，微物理參數法使用 WSM 5-class scheme，積雲參數法使用 Kain-Fritsch scheme 為最佳的物理參數法組合。而在定量降水預報校驗中，臺灣地區應以 Kain-Fritsch scheme 積雲參數法，WSM 5-class scheme 微物理參數法與 YSU scheme 邊界層參數法的物理組合為首選，但臺灣地區大雨模擬的物理設定則以 Grell-Devenyi scheme 積雲參數法為首選。

而近年針對颱風路徑預報誤差亦有研究。如黃等(2006)使用 EOF 分析可以客觀顯示環境流變化之方向，可用於輔助對颱風路徑預報誤差之了解。黃等(2007)亦使用 WRF 3DVAR 將 CHAM GFS 掩星觀測折射率資料及傳統觀測資料同化於 WRF 模式，針對敏督利(2004)颱風及海棠(2005)颱風進行模擬，其結果顯示加入多種衛星資料對於預報模擬有正面效應。

Fovell et al. (2007) 使用 WRF 模式針對 2005 年襲擊美國南部的 Rita 颱風進行模擬，

利用改變積雲參數法及微物理參數法得到不同降水物理過程之組合，可得到颶風路徑系集預報，與美國國家颶風中心(National Hurricane Center)所發布之多種模式(multi-model)預報之結果相近，產生颶風可能侵襲的範圍。其研究指出，微物理參數法對於颶風的特徵有直接或間接的影響，如颶風半徑的大小、強度及其移動；積雲參數法對於模擬颶風的維持和發展具有幫助。後期 Fovell et al. (2009) 的研究亦指出，不同的降水物理過程會改變雲中粒子的終端速度(fall speeds)，對暴風半徑外的風具有影響；而微物理參數法可調節溫度梯度進而得到較大的氣壓梯度，產生引導風暴移動的氣流。

簡等(2008)透過 WRF 3DVAR 的方法，同化近似三維分佈的投落送資料及二維分佈的 QuikSCAT 資料進行模擬，其結果顯示可以有效掌握颶風及梅雨鋒面的環境訊息，對於颱風路徑預報及梅雨鋒面的水氣掌握有一定程度的影響。

由上述的文獻回顧中可以發現，在模式中使用與降水物理過程相關的參數法，包括積雲參數法、微物理參數法等，對於氣象預報之提升與颶風路徑預報具有貢獻。而在颶風路徑預報研究中使用 EOF 與 WRF 3DVAR 亦可有效減少路徑預報誤差。雖然青(2003)利用改變不同參數法可以得到較佳的颶風路徑，但在國內研究中卻未有使用不同降水物理過程相關的參數法組合進行颶風路徑之系

集預報。因此，吾人使用 Fovell et al. 的研究概念，嘗試找出適合臺灣地區不同降水物理參數法組合下的颶風路徑系集預報。

研究中使用 WRF 模式，針對 2008 年襲擊的辛樂克颱風與蕃蜜颱風做為模擬個案，選用 16 組不同降水物理過程的參數法組合進行系集預報，並與世界主要的全球預報模式比較，以期可以得到較佳的預報結果。

二、資料來源及實驗設計

(一) 資料來源

本研究使用 WRF 模式(Weather Research and Forecast model)3.0.1 版針對 2008 年辛樂克颱風與蕃蜜颱風進行模擬，並以 2008 年觀測系統研究及預報實驗亞太區活動期間(The WMO/WWRP Observation System Research and Predictability Experiment Pacific-Asian Regional Campaign, T-PARC) 美國國家環境與預報中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)之全球預報系統(Global Forecast System, GFS)預報場做為模式初始場，網格解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。辛樂克颱風預報場選取時間為 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 起，每 12 小時一筆，至 2008 年 9 月 20 日 0000 UTC 止，共進行 21 個不同時間點模擬，最長預報時間為 120 小時；蕃蜜颱風預報場選取時間為 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 起，亦為每 12 小時一筆，至 2008 年 9 月 30 日 1200 UTC 止，共進行 9 個不同時間點模擬，最長預報時間為 120 小時。

研究中使用美軍聯合颶風警報中心

(JTWC)所公布之最佳路徑，作為比較颶風路徑預報差異的依據；另外在研究中所使用到之主要全球預報模式 EC、NCEP、UK 及 JMA 等所產生之颶風預報路徑是由中央氣象局提供。

(二) 實驗設計

1. 巢狀網格設計

使用巢狀網格設計，藍伯特投影，選取模擬的兩個颱風其外層粗網格 Domain 1 設計相同，真實緯度(real latitude)分別為北緯 10 度及 30 度，投影中心位在北緯 28 度，東經 120 度，解析度 45 公里，網格數 227 x 136，參考中央氣象局非靜力預報系統(Non-hydrostatic Forecast System, NFS)有限區域模式解析度 45 公里的範圍所設計；內層細網格 Domain 2 則以颱風生命期為設計，解析度 15 公里；辛樂克颱風模擬中採用的網格點數為 280 x 229；蕃蜜颱風模擬中採用的網格點數為 280 x 208，垂直方向有 27 層(圖未示)。

2. 物理參數組合設計

研究中選用 4 種微物理參數法與 4 種積雲參數法組合成 16 種不同降水物理過程參數組合。微物理參數法選用：Kessler、Lin et al.(LFO)、WRF Single moment 3-class(WSM 3-class)及 WRF Single moment 6-class(WSM 6-class)。積雲參數法選用：Kain-Fritsch(KF)、Betts-Miller-Janjic(BMJ)、Grell-Devenyi 及 New Grell(見表 1)。長波輻射參數使用 RRTM Scheme，短波輻射參數

使用 Dudhia Scheme，邊界層物理選用 YSU Scheme。藉由上述各參數法之設計，進行颱風路徑系集預報。

表 1 不同降水物理過程參數法組合表 (MP 表示微物理參數法, CP 表示積雲參數法)

CPs \ MPs	Kessler (1)	Lin et al. (2)	WSM3 (3)	WSM6 (6)
Kain-Fritsch (KF=1)	11	12	13	16
Betts-Miller-Janjic (BMJ=2)	21	22	23	26
Grell-Devenyi (Grell=3)	31	32	33	36
New-Grell (N.Grell=5)	51	52	53	56

3. 渦旋植入法設計

由於初始場解析度低，模擬出的颱風強度偏弱，不符合實際強度，因此吾人使用 Chou and Wu (2008)所提出之概念來進行渦旋植入，以加強颱風模擬之強度，並測試渦旋植入法後對於不同降水物理過程之颱風路徑系集預報的影響。

在渦旋植入過程中，為避免植入之渦旋距離陸地過近而破壞渦旋結構，因此，重新選定實驗時間：辛樂克颱風為 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 起，每 12 小時一筆，至 2008 年 9 月 16 日 1200 UTC 止，共進行 6 個不同時間點模擬，最長預報時間為 120 小時；蕃蜜颱風為 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 起，每 12 小時一筆，至 2008 年 9 月 30 日 1200 UTC 止，共進行 6 個不同時間點模擬，最長預報時間亦為 120 小時。

渦旋植入有兩步驟：第一、依照不同時間點的颱風強度植入適合的理想渦旋，然後進行 12 小時模式積分，以產生模式 spin up

之渦旋結構；第二、將 spin up 之渦旋結構取代全球預報場之颱風結構，然後開始進行模式積分。

第一步驟中渦旋植入法所使用的 Rankine vortex 結構，其風場為：

v = A(z) F(r) (1)

F(r) = V_max * (r/R_max)^alpha ; (r <= R_max) (2)

F(r) = V_max * (r/R_max)^alpha ; (r > R_max) (3)

式中，v 為切線風場；A(z)為垂直壓力層之權重；F(r)為切向風場在徑向之變化；V_max 為近中心最大風速，實驗中依照颱風強度需求，分別假設 20、30、40、50 及 60 m s⁻¹，並植入原時間點颱風初始場之位置，經過 12 小時模擬使渦旋與環境場平衡後可得到不同強度之理想渦旋，以便實驗植入之用；R_max 為最大風速之半徑，實驗中設為 80 公里；alpha 為風速隨暴風半徑遞減指數，實驗中設為 -0.7。

第二步驟中，距離中心 300 公里之內之資料完全由 spin up 之資料取代，而 300~600 公里則為模式 spin up 資料與初始場資料的簡單線性結合。

三、實驗結果及統計分析

(一) 渦旋植入前

實驗結果指出，當使用 16 種不同降水物理過程參數法組合可以得到系集預報路徑的分布，此分布所及範圍與中央氣象局所發布之颱風路徑潛勢預測相似，可代表颱風未來可能侵襲的範圍，對於警戒及防災具有參考價值。圖 1a 是以辛樂克颱風 2008 年 9 月 9

日 0000 UTC 為例，可見其系集路徑分布；圖 1b 則為同時間中央氣象局所發布之颱風路徑潛勢預測。圖 2a 是以蕃蜜颱風 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 為例，亦可見其系集路徑分布；圖 2b 則為同時間中央氣象局所發布之颱風路徑潛勢預測。

透過統計方法檢視，發現當選擇 Kain-Fritsch 積雲參數法及 WSM3 微物理參數法作為組合時，可以獲得最小平均路徑誤差，是為最佳參數法組合 (表 2)；而當積雲參數法使用 Kain-Fritsch 參數法時，其四組參數法組合所產生的平均系集路徑 ensm04 可以產生與世界主要全球預報模式相近的預報。另外，在本實驗中四個主要全球預報模式的系集 (JUNE) 結果，可達到最佳預報結果，再次驗證系集預報價值 (圖 3)。

本研究藉由 T-test 統計檢定來比較任兩組平均路徑誤差是否具有統計上的差異，並定義當 T-test 計算之 P 值 (機率值) 小於 0.1 時，即可視為兩組平均路徑誤差有統計上的差異 (相當於 90% 的統計信心度)。JMA 與 ensm04 在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.41、0.29 及 0.39；UK 與 ensm04 在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.09、0.06 及 0.32；NCEP 與 ensm04 在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.41、0.12 及 0.06；EC 與 ensm04 在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.41、0.5 及 0.37。由上述可知，系集平均路徑 ensm04 優於全球預報模式 UK (圖 4)，而與 JMA (圖未示) 及 EC (圖 5) 的預報能力相當，雖預報能力

遜於 NCEP (圖未示)，但整體而言仍具有相當之預報能力。

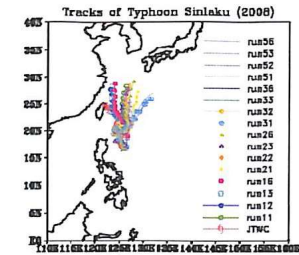


圖 1 上：辛樂克颱風 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 系集路徑分布；下：同時間中央氣象局所發布之颱風路徑潛勢預報圖。

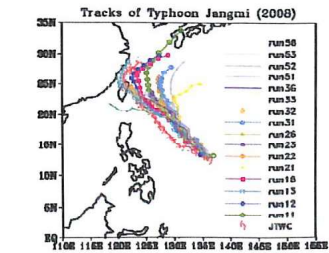


圖 2 上：蕃蜜颱風 2008 年 9 月 24 日 1200

UTC 系集路徑分布；下：同時間中央氣象局所發布之颱風路徑潛勢預報圖。

(二) 渦旋植入後

根據實驗結果可知，渦旋植入後亦可有效提供系集預報路徑之分布，且分布的範圍也有縮小，對於颱風未來可能侵襲之範圍更易於掌握；而渦旋植入後提供更強的颱風，相對增加颱風存在於模擬中之時間，延長颱風路徑的可預報性；又因為初始強度一致，故在預報前期有較一致的路徑分布（圖 6 及圖 7）。

統計結果指出，當積雲參數法選擇 Grell-Devenyi 及微物理參數法選擇 WSM3 時，可作為渦旋植入法後最佳參數法組合，即 run33b（表未示）；而選用 run12b、run13b、run32b 及 run33b 等組合作為新的系集預報組合 new04b 時也可提供如全球預報模式之預報結果，但無法有效增進未植入渦旋前 ensm04 之系集預報結果（圖 8）。而透過檢定結果發現，new04b 可具有與全球預報模式相當之預報能力，再次驗證統計結果（圖未示）；渦旋植入後之最佳參數法組合 run33b 之平均路徑誤差略優於未渦旋植入前之最佳參數法組合 run13（圖 9）；而整體而言，渦旋植入後可改善預報後期結果（圖 10）。

四、結論與未來展望

Fovell et al. (2007) 透過改變積雲參數法及微物理參數法得到不同降水物理過程之組合，可得到颱風路徑系集預報的概念，本研究嘗試在東亞地區實驗，以期可以獲得最

佳颱風路徑系集預報結果。研究結果顯示，無論渦旋植入與否，改變不同降水物理過程參數法之颱風路徑系集預報皆具有其預報價值，可作為預報參考之用。

近年來，亦有颱風路徑系集預報之研究，其結果皆相當不錯。例如超級系集預報的概念（Kumer et al. 2003; Mark et al. 2008）、權重定位及權重移動向量的概念（Elsberry et al. 2008），均可決定出最佳颱風之預報路徑，未來可以嘗試使用上述概念，以期決定更好的颱風預報路徑。

各降水物理參數法組合對於颱風之強度與結構之模擬，亦可為探討研究議題之一。不同的降水物理過程參數法對於模擬颱風之強度與結構將有所差異，可以檢視各參數法組合在模擬颱風時之合理性。

在未來，如能將研究成果實際應用於即時數值預報中，對於災害警戒及防災將有所助益。

參考文獻

青麟，2003：桃芝(2001)颱風之系集模擬研究。中國文化大學，地學研究所大氣科學組，碩士論文，共99頁。

簡芳菁、蕭育琪、周仲島、林沛練、楊明仁、洪景山、鄧仁星及林慧娟，2003：MM5 系集降水預報之校驗，大氣科學，31，77-93頁。

簡芳菁、柳懿秦、周仲島、林沛練、洪景山及蕭玲鳳，2005：2003年梅雨季MM5系

集降水預報，大氣科學，33，255-275頁。

洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎及雷銘中，2006：WRF 模式之敏感度測試第一部分：探空測站上的校驗，大氣科學，34，241-259 頁。

洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎及雷銘中，2006：WRF 模式之敏感度測試第二部分：定量降水預報校驗，大氣科學，34，261-276 頁。

黃清勇及羅璋盛，2006：颱風路徑預報誤差 EOF 分析，大氣科學，34，277-290 頁。

黃清勇、周濤及郭勉之，2007：GPS 掩星折射率資料同化對於颱風模擬的影響，大氣科學，35，135-150 頁。

簡芳菁及謝章眉，2008：投落送與 QuikSCAT 資料同化對 WRF 模擬之影響，大氣科學，36，217-247 頁。

Chou, K.-H., and C.-C. Wu, 2008: Development of the typhoon initialization in a mesoscale model combination of the bogus vortex and the dropwindsonde data in DOTSTAR. *Mon. Wea. Rev.* 136, 865-879.

Elsberry R. L., J. R. Hughes, and M. A. Boothe, 2008: Weighted Position and Motion Vector Consensus of Tropical Cyclone Track Prediction in the Western North Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 749-770.

Fovell, R. G., Kristen L. Corbosiero, and

Hung-Chi Kuo, 2009: Cloud Microphysics Impact on Hurricane Track as Revealed in Idealized Experiments. *J. Atmos. Sci.*, 66, 1764-1778

Fovell, R. G., and H. Su, 2007: Impact of cloud micro-physics on hurricane track forecasts, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24810, doi: 10.1029/2007GL031723.

Kumar, T. S. V., T. N. Krishnamurti, M. Fiorino, and M. Nagata, 2003: Multimodel superensemble forecasting of tropical cyclones in the Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 574-583.

Mark R. Jordan II, T. N. Krishnamurti, and Carol Anne Clayson, 2008: Investigating the Utility of Using Cross-Oceanic Training Sets for Superensemble Forecasting of Eastern Pacific Tropical Cyclone Track and Intensity. *Wea. Forecasting*, 23, 516-522.

表 2 辛樂克及薔蜜颱風在第 24、48、72 及 96 小時出現最少路徑誤差次數及相對百分比表。

Sinlaku																
run11	run12	run13	run16	run21	run22	run23	run26	run31	run32	run33	run36	run51	run52	run53	run56	
times	5	7	24	9	2	5	2	7	1	2	4	5	1	0	5	1
total	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
total %	7%	10%	33%	13%	3%	7%	3%	10%	1%	3%	6%	7%	1%	0%	7%	1%
Jangmi																
run11	run12	run13	run16	run21	run22	run23	run26	run31	run32	run33	run36	run51	run52	run53	run56	
times	4	5	11	5	1	1	1	0	2	0	2	4	1	0	2	0
total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
total %	13%	17%	37%	17%	3%	3%	3%	0%	7%	0%	7%	13%	3%	0%	7%	0%
Sinlaku+Jangmi																
run11	run12	run13	run16	run21	run22	run23	run26	run31	run32	run33	run36	run51	run52	run53	run56	
times	9	12	35	14	3	6	3	7	3	2	6	9	2	0	7	1
total	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
total %	9%	12%	34%	14%	3%	6%	3%	7%	3%	2%	6%	9%	2%	0%	7%	1%

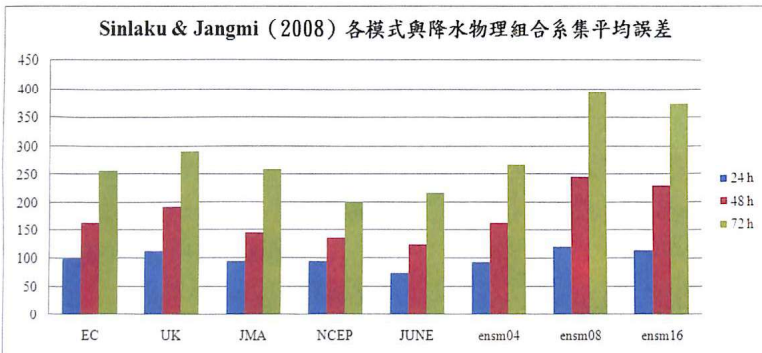


圖 3 辛樂克及薔蜜颱風綜合統計各全球預報模式、JUNE 及各平均系集路徑誤差直方圖。

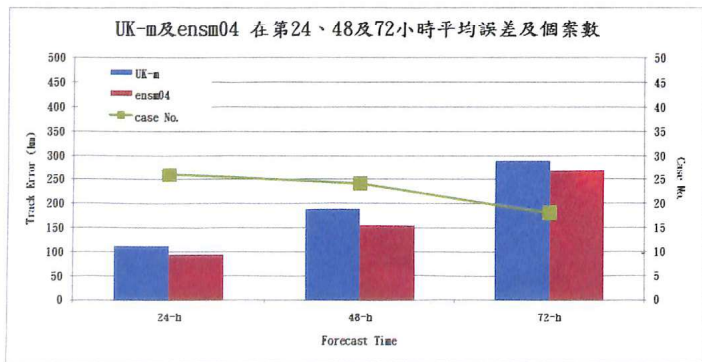


圖 4 UK 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.09、0.06 及 0.32。

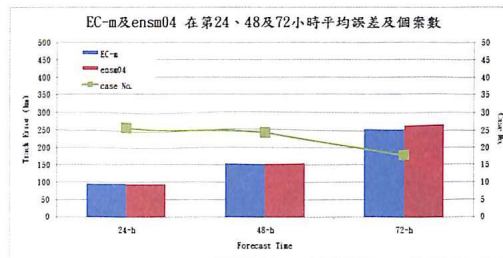


圖 5 EC 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.41、0.5 及 0.37。

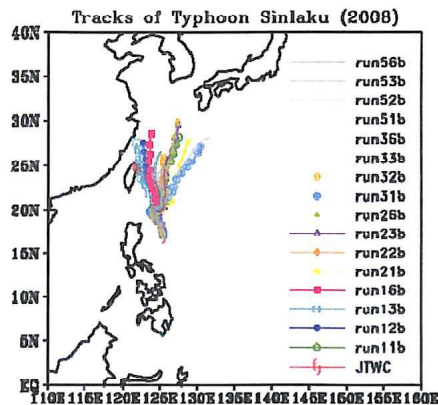


圖 6 渦旋植入後辛樂克颱風 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 系集路徑分布，可與圖 1a 比較。

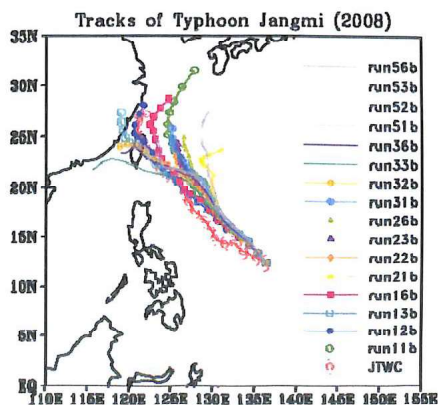


圖 7 渦旋植入後薔蜜颱風 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 系集路徑分布，可與圖 2a 比較。

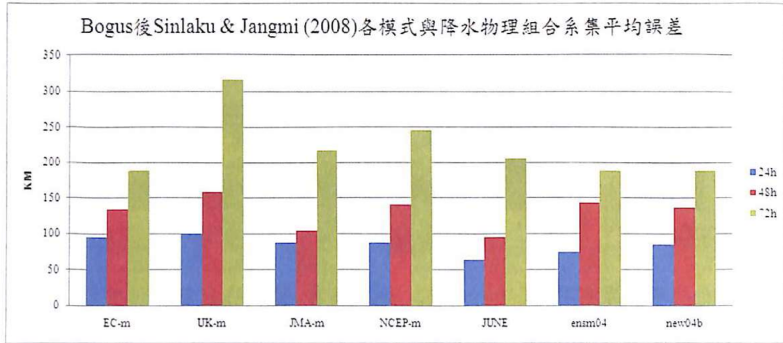


圖 8 渦旋植入後辛樂克及薔蜜颱風綜合統計各全球預報模式、JUNE、ensm04 及 new04b 路徑誤差直方圖。

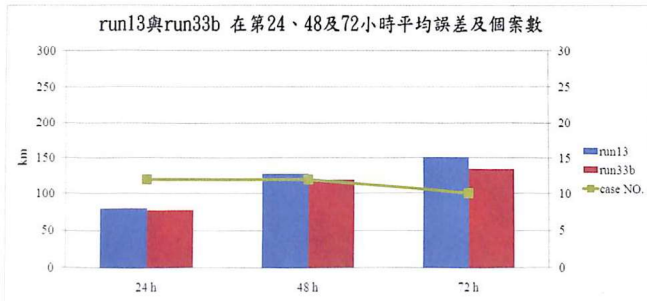


圖 9 run13 與 run33b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.41、0.27 及 0.33。

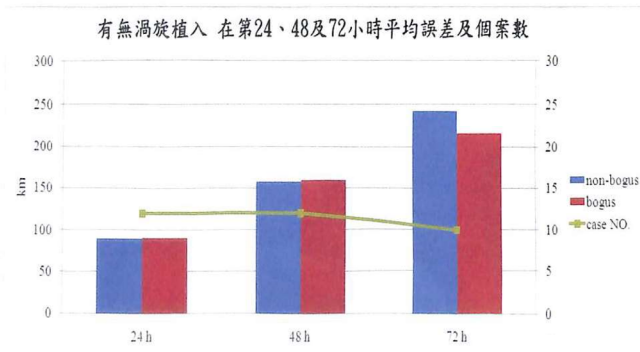


圖 10 渦旋植入前、後平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.4、0.37 及 0.002。