

台灣地區颱風極端降雨與大氣低層水氣傳送的關聯性研究

吳宜昭、王安翔、于宜強

國家災害防救科技中心氣象組

摘要

台灣地區每年汛期均受颱風侵襲，颱風所帶來之豪雨經常造成災害的發生。為了瞭解大氣環境的水氣傳送如何加強颱風的降雨，本研究利用災防科技中心過去所研究的極端降雨事件的成果，選取極端降雨的颱風事件進行分析。研究中將影響颱風的季風環境分區段，計算水氣的多寡，進一步了解環境與颱風降雨之關係。研究發現，侵台颱風在臺灣陸地上的降雨量與颱風接近臺灣期間的強弱無直接相關；與夏季季風提供水氣量的相關性較為直接。

一、前言

颱風侵台期間所引發的豪(大)雨，經常導致台灣嚴重的水患。研發監測或預判颱風降雨的技術，一直是氣象防災的關鍵議題。過去研究發現，夏季季風環流傳送至東亞的水氣通量與颱風侵台期間的降雨有關。朱等人(2010)分析 1960-2009 年歷史颱風的降雨氣象因子時，

發現台灣南方、菲律賓海附近低層大氣的水氣通量和颱風整場平均雨量有正相關，其相關性可達 0.5（圖 1）。

防災科技中心氣象組自 2012 年起，開始針對不同延時降雨進行分析。依據可能致災的降雨門檻，建立極端降雨事件簿，並利用各式天氣資料，判斷降雨事件的天氣型態（龔等人，2012；龔等人，2013）。本研究延續極端降雨事件簿的成果，藉由了解大尺度環流水氣通量和侵台颱風降雨間之關係，進一步協助極端降雨事件研究進行更深一層的分類。並建立大尺度環流水氣通量對侵台颱風降雨貢獻的概念模式，增加氣象防災的知識。

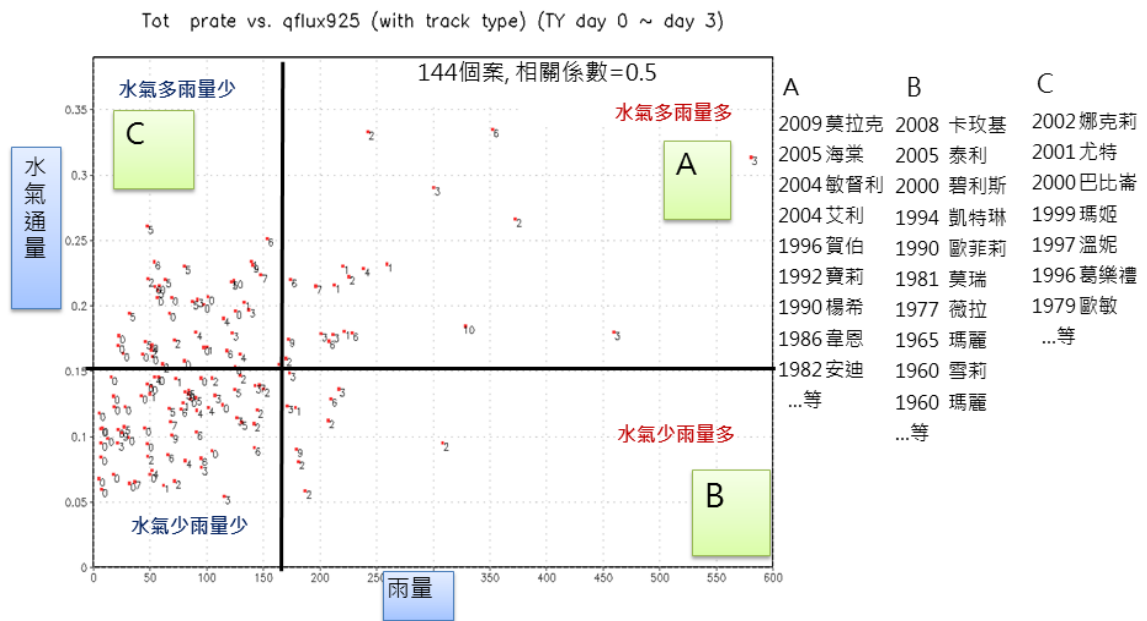


圖 1 1960-2009 年 6~8 月侵台颱風總平均雨量(橫軸)和低層大氣水氣通量(縱軸)的散佈圖。水氣通量為自發布海上颱風警報當天起連續四天的平均值（修改自朱等人，2010）。

二、 歷史颱風極端降雨事件之概述

龔等人(2012、2013)分析各鄉鎮淹水與坡地災害警戒雨量值和根據過去災害之降雨特性，並參考氣象局豪(大)雨日雨量門檻值，分別定義不同延時(1、3、6、12、24小時)的極端降雨門檻值(分別為50毫米、130毫米、200毫米及、350毫米、350-600毫米)。使用1992~2013年氣象局傳統測站與自動雨量站共482個測站的雨量資料，選定歷史極端降雨事件。

本研究從極端降雨事件中，挑出夏季(6~8月)受颱風影響的豪雨事件進行分析。22年中六類不同延時事件共計有197日(如表1)，各類延時事件日數如表1所示。因為短延時極端降雨事件多歸因於中、小尺度或地形效應，而本研究工作著重於大尺度環境的水氣通量和颱風降雨的關係，後續研究先以長延時類別中的24小時延時降雨事件為研究對象。

首先分析所有事件的基本條件如降雨期間颱風強度、累積降雨和中央氣象局發佈警報期間先後關係及颱風接近台灣時的路徑等。以24小時降雨大於600毫米事件(共50日)為例，統計得到的重點如下：

表 1 歷史極端降雨事件簿中夏季(6~8月)受颱風影響之降雨事件
(日)數

類型	降雨延時	致災降雨門檻值(毫米)	6~8月事件日數
短延時	1小時	50	188
	3小時	130	98
	6小時	200	73
長延時	12小時	350	59
	24小時	350	94
		600	50

■造成豪雨事件時的颱風強度以輕度(佔 52%)和中度(佔 46%)為主，強烈颱風比例極少(2%)，顯示颱風接近臺灣時，即使強度相對較弱，仍有不少造成豪大雨的機率(圖 2(a))。

■絕大多數豪雨事件(88%)發生於中央氣象局颱風警報期間，僅有約一成(6個)事件發生於警報解除之後，包括 1996 賀伯(後期)、2000 碧利斯(後期)、2002 娜克莉(後期)、2013 潭美(後期)、2013 康芮(後期)及 2013 康芮之後的 0829 豪雨(圖 2(b))。

■颱風路徑以三、二、一及六號四大類路徑為主，佔所有事件

八成左右，其中依比例高低依次為三號（36%）、二號（22%）、一號（14%）及六號（10%）路徑，其餘各類路徑比例均低於 10%（圖 2 (c)）。

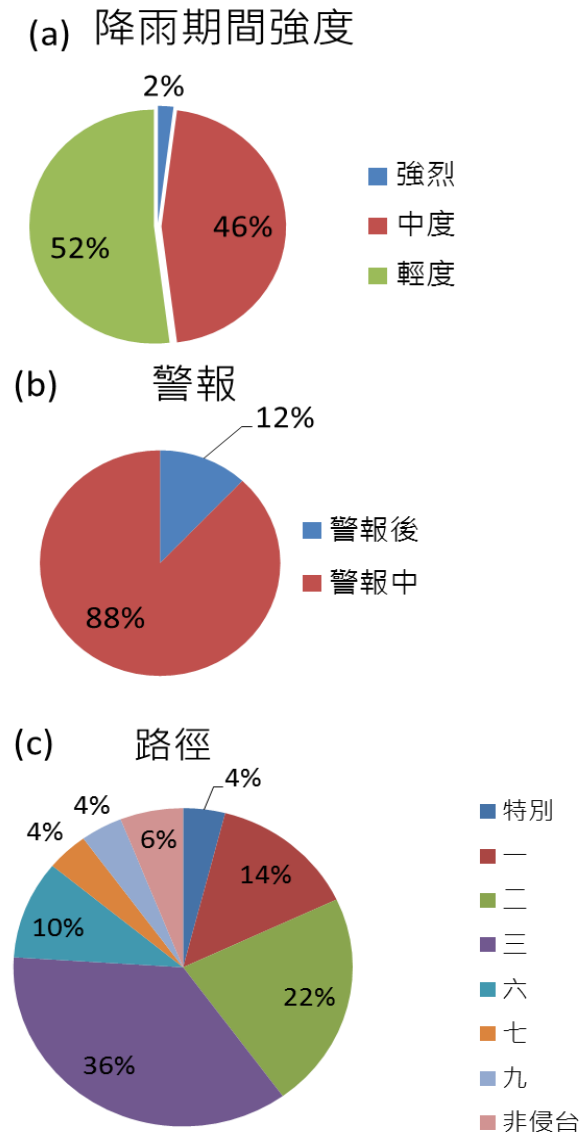


圖 2 歷史極端降雨事件簿中夏季（6~8 月）受颱風影響且 24 小時降雨大於 600 毫米事件的統計結果。統計項目包括 (a) 豪雨事件發生期間颱風的強度、(b) 降雨時間和中央氣象局發佈警報期間先後關係及 (c) 颱風接近台灣時的路徑類別。

三、 颱風極端降雨事件的水氣通量分析

如前言中所述，先前相關的研究著重於颱風整場累積降雨和上游夏季季風水氣通量的關係。為了瞭解極端降雨事件與水氣傳送之關係，則先選取長延時的極端降雨事件，即 24 小時累積降雨大於 350(或 600)毫米的事件（計有 94(50)日）。並以 1992-2013 年 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996)的 2.5 度× 2.5 度日解析網格資料來分析低層（850 百帕）大氣水氣通量。

為了瞭解颱風周邊不同區域的水氣通量對颱風降雨之貢獻，將颱風周圍分解成不同區域進行水氣的分析。因選取的事件 24 小時累積降雨量均相當可觀，且絕大多數颱風的位置都很接近台灣，可將所有事件的水氣通量空間分布圖疊加起來後取其平均，以分析眾多個案水氣通量空間分布的平均狀態（圖 3）。一般而言，在盛夏時期，除了溫暖的海洋表面可以直接提供颱風水氣使颱風發展，大尺度西南季風環流也常透過水平傳送供應颱風及鄰近環境水氣。以本研究選取的這些造成豪雨事件的颱風個案為例，絕大多數（超過九成）豪雨事件發生時季風環流的水氣通量在台灣附近或者台灣以南、菲律賓北邊附近和颱風本體環流匯集，提供颱風維持或發展的水氣與能量。如圖 3 所示，進一步將中南半島附近延伸至颱風環流之間的區域分成區域 1(季

風上游)、區域 2 (菲律賓附近)、區域 3 (台灣附近) 及區域 4 (日韓附近) 四個區域。分別定義不同區域水氣通量的貢獻如下

上游季風環流提供 = 區域 1 (季風上游) + 區域 2 (菲律賓附近)

颱風本體環流 = 區域 3 (台灣附近) + 區域 4 (日韓附近)

整體水氣通量 = 上游季風環流提供 + 颱風本體環流

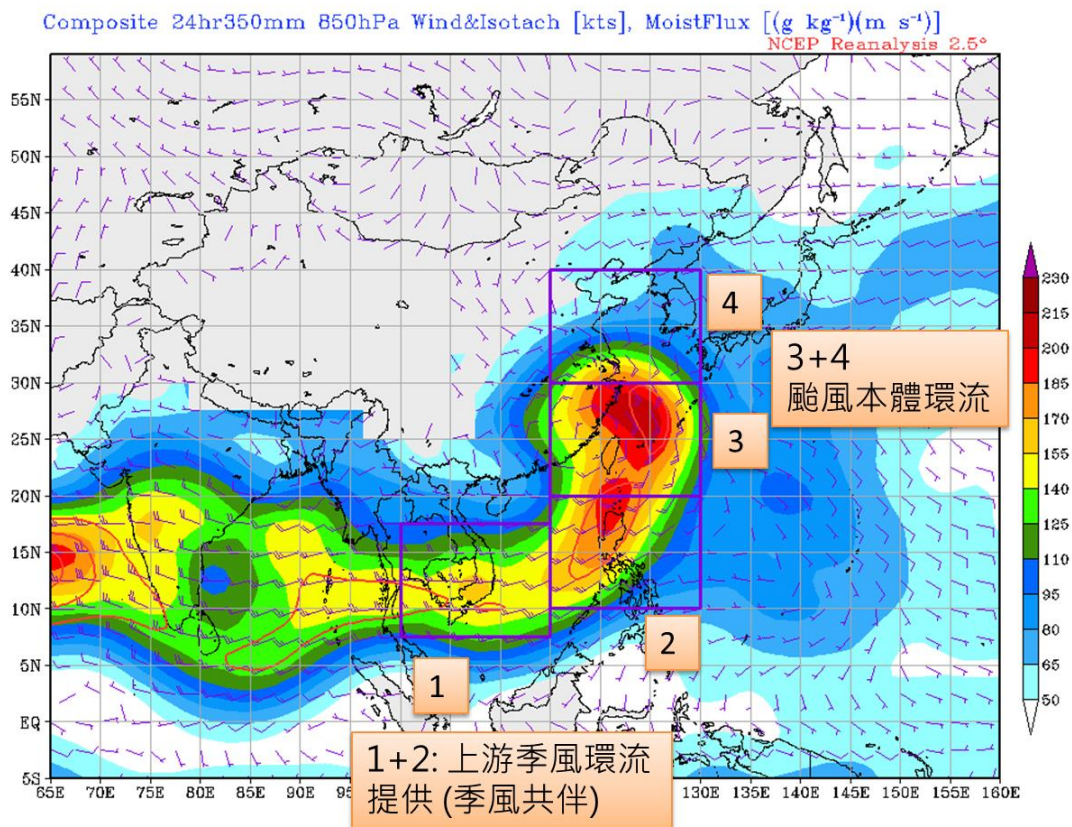


圖 3 將颱風週圍低層 (850 百帕) 大氣的水氣通量場的分解成不同區域的和，圖所示為 24 小時累積降雨大於 350 毫米事件 (共 94 日) 的合成圖，包括水氣通量 (色階) 及風場 (箭頭)。

檢視這些事件中，水氣通量量值和降雨量是否仍然有密切相關。

根據降雨是否超過 600 毫米，將 24 小時累積降雨大於 350 毫米的 94 事件再細分為累積降雨大於 600 毫米的 A 組（50 事件）及累積降雨介於 350 毫米和 600 毫米的 B 組（44 事件），分別計算兩組事件的整體水氣通量平均值。A 組整體水氣通量平均值較 B 組平均值高，前者約較後者高出 10%。此結果顯示即使以日的時間尺度分析，低層大氣水氣通量總和越高，累積降雨也越大，呼應了之前研究的結論。

統計所有事件的平均值來比較各區域水氣通量貢獻的比例（圖 4）。結果顯示區域 3（台灣附近）比例最高，佔颱風整體水氣通量的 31%，區域 1（季風上游）和區域 2（菲律賓附近）比例相當，均佔 26%，區域 4（日韓附近）比例最低，佔 17%。而將區域重新相加後，代表上游季風環流提供（季風上游+菲律賓附近）和颱風本體環流（台灣附近+日韓附近）的水氣通量貢獻比例相當，大致各佔整體水氣通量的一半。

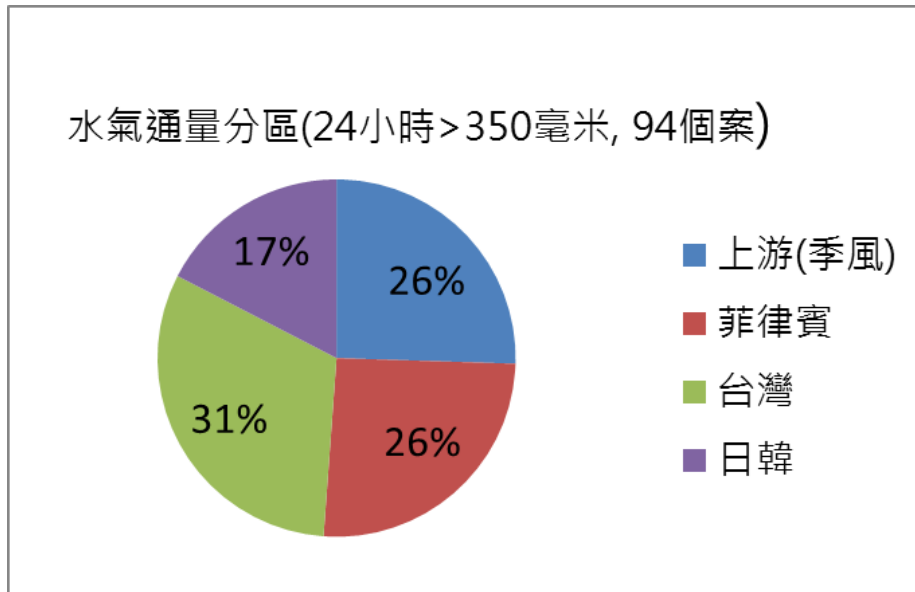


圖4 自颱風上游季風環流至颱風附近的低層大氣不同區域的水氣通量量值比例。比例統計自 24 小時累積降雨大於 350 毫米的事件 (94 日) 平均值。

接下來，嘗試以水氣通量分量比例將事件分類。針對 24 小時降雨大於 600 毫米的事件(共 50 日)，將每一事件的整體水氣通量拆解成上游季風環流提供與颱風本體環流兩種分量的和，並依各分量高於或低於該分量整組平均值將其分為多或少的類別。依此原則，所有事件依兩分量的多寡可分成四大類(表 2、圖 5)，第一、三類個數較多(15 和 20 個)，分佔 30%和 40%，第二、四類較少(7 和 8 個)，各佔 14% 和 16%。

表 2 對於 24 小時降雨大於 600 毫米的降雨事件 (50 日)，每一事件依其上游季風環流提供與颱風本體環流兩種水氣通量分量是否高於或低於該分量整組平均值，分成四大類。

	上游季風環流提供	颱風本體環流	事件日數
第一類	多	多	15
第二類	少	多	7
第三類	少	少	20
第四類	多	少	8

由於上游季風環流提供和颱風本體環流的水氣通量量值大致相當，兩者相加後的總和(即整體水氣通量)越大(小)者落於此散布圖的右(左)上角，如圖 5 右上角藍色區域範圍內為整體水氣通量偏高（高於平均值加上一個標準差）的事件。左下角褐色區域範圍內則為整體水氣通量偏低（低於平均值減去一個標準差）的事件。另外，前述於颱風警報解除之後才發生豪雨的 6 事件(圖 5 中標示螢光黃的事件)，幾乎都落於第三類。這些事件值得後續仔細分析。

24小時雨量大於600毫米(50個案)

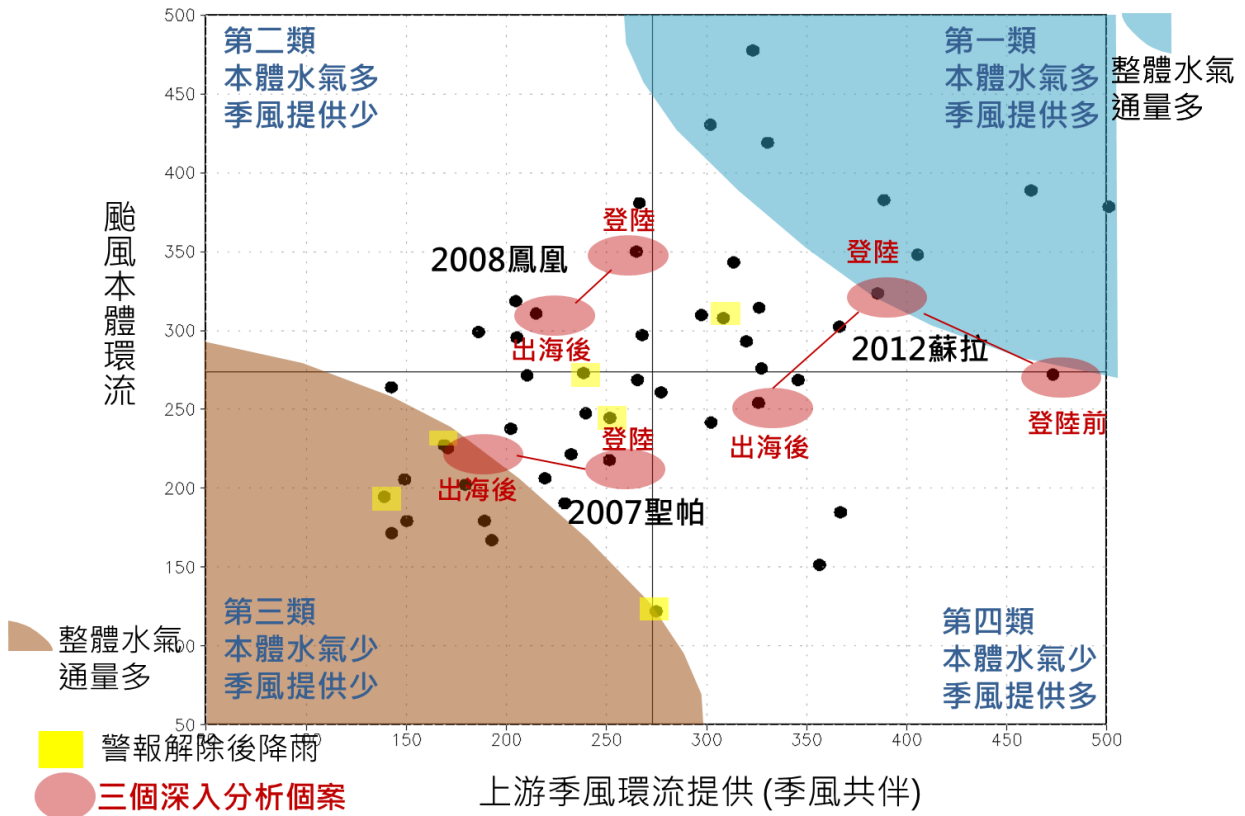


圖 5 對於 24 小時累積降雨大於 600 毫米的降雨事件 (50 日)，每一事件的上游季風環流提供 (橫軸) 與颱風本體環流 (縱軸) 兩種水氣通量分量的散佈圖。

四、 水氣通量與颱風降雨關係一個案分析

接著挑選適當範例，用以評估上游季風環流水氣和颱風本體環流水氣對於侵台颱風降雨影響的差異。由於事件簿的事件選取以 24 小時為時間單位，同一颱風可能造成連續數天的豪大雨，侵台期間的不同階段也可能成為事件簿中的不同個案。經考慮從水氣通量相對較少的二、三、四類別，分別挑選出三個侵台颱風，三颱風分別於不同階

段累積降雨達到 24 小時 600 毫米的門檻值，因而成為事件簿的 7 個事件，分別為 2008 年鳳凰颱風的登陸期間及出海後階段、2007 年聖帕颱風的登陸期間及出海後階段，以及 2012 年蘇拉颱風的登陸前、登陸期間及出海後階段(即圖 5 中的 7 個紅色圓圈)。另外，三颱風雖多數時期處於整體水氣通量中等(圖 5 中白色區域)的類別，但期間有部分時期達到整體水氣通量高(圖 5 中藍色區域)及整體水氣通量低(圖 5 中褐色區域)，可用於評估即使是同一颱風，但其整體水氣通量增多或減少時是否對其降雨會產生影響。

表 3 為所選取的 3 場颱風事件之特性與歷程之時間列表。此 3 個颱風皆為從東向西行而侵襲台灣地區之颱風，2007 年聖帕颱風及 2008 年鳳凰颱風的路徑均為 3 類，而 2012 年蘇拉颱風為路徑 2 類的颱風。蘇拉颱風的登陸停留時間最久，達到 11 小時；聖帕和鳳凰颱風分別為 6 和 8 小時。在水氣型態分類方面，聖帕颱風為颱風本體水氣和季風水氣皆少的個案；鳳凰颱風為颱風本體水氣多、但季風水氣少的個案；蘇拉颱風的颱風本體水氣少，但是季風水氣多。

在雨量資料方面，使用雷達-雨量站整合降雨估計網格資料進行計算。此資料結合雷達估計降雨和地面雨量站觀測的特性，又具有高時空解析度之優點，可提供較佳的雨量估計值(林等人，2006)。

表 3 颱風特性與不同歷程之時間列表

颱風名稱/年份	颱風強度	水氣型態	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海	(d)出海後	登陸歷時時間 (hr)
聖帕 (2007)	中度	本體少/ 季風少	8月18日 2時	8月18日 5時	8月18日 11時	8月18日 20時	6
鳳凰 (2008)	中度	本體多/ 季風少	7月28日 2時	7月28日 6時	7月28日 14時	7月28日 20時	8
蘇拉 (2012)	中度	本體少/ 季風多	8月1日 12時	8月2日 3時	8月2日 14時	8月3日 0時	11

由颱風路徑比較顯示，蘇拉颱風在登陸前有打轉的情況，且登陸後停留時間最久，從颱風陸警發布至陸警解除期間之累積降雨顯示(圖 6)，蘇拉颱風之累積降雨較為顯著。因此，依據氣象局之颱風路徑位置，將颱風侵襲期間分為 3 個階段，

1. 登陸前 100km
2. 登陸至出海
3. 出海後 100km

由上述定義的颱風階段歷程，計算其平均降雨值（表 4），目的為客觀評估颱風在各分期之降雨情況。同時，設定不同降雨門檻值，以了解在不同降雨強度下的降雨範圍。雨量門檻值之定義說明如下：

1. 低降雨門檻值：平均雨量大於 10mm h^{-1} ，並計算達到此標準之網格平均降雨值，其結果如表 5 所示。
2. 高降雨門檻值：平均雨量大於 30mm h^{-1} ，並計算達到此標準之網格平均降雨值，其結果如表 6 所示。

由上述的降雨門檻值定義，將達到此門檻值以上的網格數量乘上平均降雨值，此量值相當於從大氣中落下的水量體積，定義為「平均相當水體」。做為評估每個颱風事件在不同歷程時之降雨衝擊，其值越大表示降雨水體越多，可能造成的災害衝擊也越高。其計算方式如下，首先假設每場颱風之降雨效能近乎一致，由於雷達-雨量站整合估計降雨之空間解析度約 1.3km ，假定其代表單位面積之降雨量，定義平均相當水體如下：

$$\text{平均相當水體}(\text{WV}, 10^5 \text{ km}^2 \text{ mm h}^{-1}) = \text{達到降雨門檻值之網格數量} \\ \times \text{平均降雨值} (\text{km}^2 \text{ mm h}^{-1})$$

由於各颱風強降雨分布範圍不同，因此透過門檻值之篩選，可以得到強降雨區的網格數量，此約等同強降雨之分布範圍。透過上述的

方法，計算水體量之多寡，可進一步評估不同颱風在同一時期之衝擊影響。例如，聖帕颱風和鳳凰颱風在平均降雨量大於 10mm h^{-1} 時(表 5)，颱風登陸前之平均降雨和達到門檻值的數量，兩者各有高低。經過平均相當水體之計算後(表 7)，聖帕颱風較鳳凰颱風為多。

表 4 颱風不同歷程之平均降雨值(單位： mm h^{-1})

颱風名稱/年份	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海後
聖帕(2007)	11.7	12.6	11.3
鳳凰(2008)	9.9	11.2	10.8
蘇拉(2012)	7.4	15.3	8.2

表 5 颱風降雨大於低降雨門檻($> 10 \text{mm h}^{-1}$)之平均降雨和網格數量

颱風名稱/年份	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海後
聖帕(2007)	18.0(9814)	20.3(8371)	17.2(6662)
鳳凰(2008)	21.3(6291)	17.3(7239)	17.6(8160)
蘇拉(2012)	18.6(4438)	18.7(12470)	17.6(6039)

表 6 颱風降雨大於高降雨門檻($> 30 \text{ mm h}^{-1}$)之平均降雨和網格數量

颱風名稱/年份	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海後
聖帕(2007)	38.7(713)	40.6(1262)	41.1(526)
鳳凰(2008)	40.2(1167)	38.2(543)	33.2(353)
蘇拉(2012)	36.0(284)	35.0(1326)	33.1(299)

表 7 低降雨門檻($> 10 \text{ mm h}^{-1}$)之平均相當水體 (單位： $10^5 \text{ km}^2 \text{ mm h}^{-1}$)

颱風名稱/年份	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海後
聖帕(2007)	1.7	1.6	1.1
鳳凰(2008)	1.3	1.2	1.4
蘇拉(2012)	0.8	2.3	1

表 8 高降雨門檻($>30 \text{ mm h}^{-1}$)之平均相當水體 (單位： $10^5 \text{ km}^2 \text{ mm h}^{-1}$)

颱風名稱/年份	(a)登陸前	(b)登陸	(c)出海後
聖帕(2007)	0.2	0.5	0.2
鳳凰(2008)	0.4	0.2	0.1
蘇拉(2012)	0.1	0.4	0.09

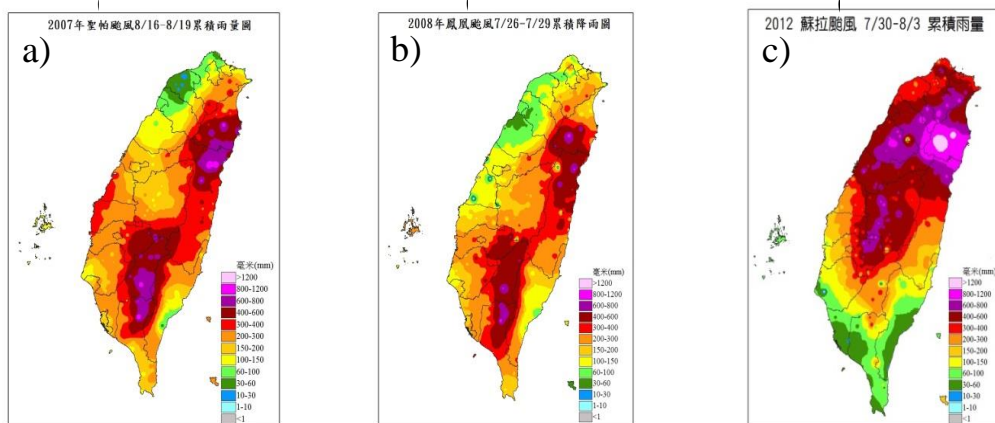


圖 6 颱風侵襲期間之累積降雨分布，(a)聖帕，(b)鳳凰，及(c)蘇拉。

在颱風登陸前 100km 至登陸期間之平均降雨分布顯示(圖 7)，主要降雨區域發生在北部、東部及東北部地區，尤其山區降雨較平地為大。從颱風路徑顯示(圖未示)，蘇拉颱風在台灣東部外海有打轉的現象，以致在登陸前之累積降雨時間較長，但由此時期之各個颱風平均降雨分析顯示(表 4a)，蘇拉颱風之平均降雨為 3 個颱風事件中最低的事件。

若依據低降雨門檻值之定義分析登陸前的平均降雨(表 5)顯示，平均降雨最高為鳳凰颱風，但達到門檻值之降雨分布範圍以聖帕颱風為最大。若由高降雨門檻值之定義分析(表 6)，顯示平均降雨仍是以鳳凰颱風為最高，同時強降雨分布範圍也是最大。接著以平均相當水體之定義分析(表 7 和表 8)，顯示平均時雨量大於 10mm 之降雨衝擊，

強度排名分別為聖帕、鳳凰，蘇拉颱風最弱。而平均時雨量大於 30mm 之降雨衝擊，強度排名分別為鳳凰、聖帕，蘇拉颱風最弱；這表示鳳凰颱風的強降雨影響範圍大，可能對於局部地區之災害衝擊也大。

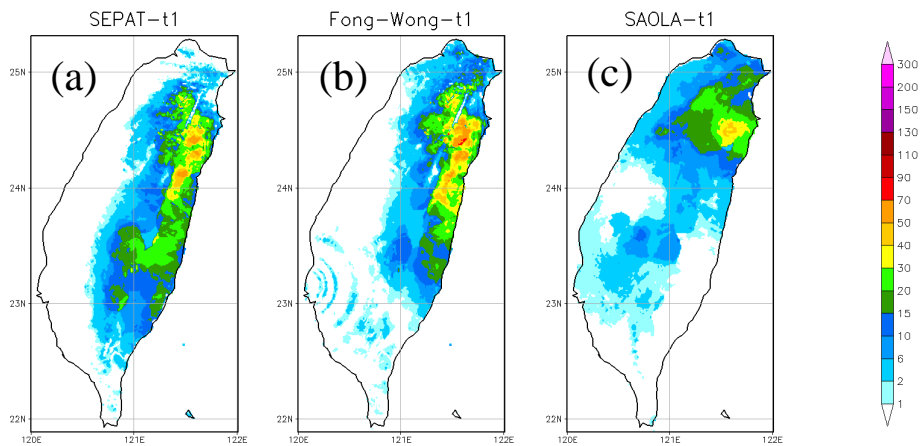


圖 7 颱風登陸前 100km 至登陸之平均降雨分布，(a) 聖帕颱風，(b) 鳳凰颱風，及(c) 蘇拉颱風，平均降雨值如色標尺所示，單位 mm h⁻¹。

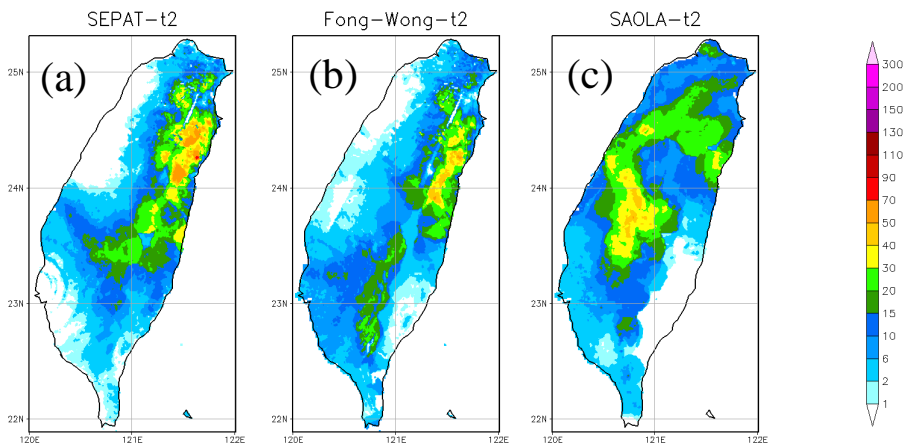


圖 8 同圖 7，但為颱風登陸至出海期間。

在颱風登陸後至出海前之平均降雨分布顯示(圖 8)，聖帕颱風的降雨區域發生在東部、東北部地區及中部山區，尤其東部山區降雨顯著。而鳳凰颱風的降雨區域分布在東部和南部山區，山區降雨較平地

為高。此期間，蘇拉颱風之平均降雨主要分布在中部山區，北部和東部山區為降雨次中心。

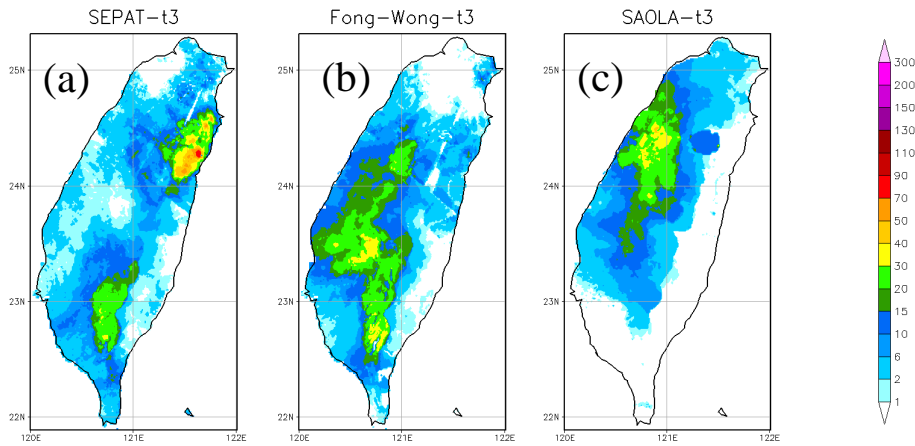


圖 9 同圖 7，但為颱風出海後至距離台灣 100km 遠之期間。

表 5b 和表 6b 為不同降雨門檻值之分析，顯示 2 種門檻值中，以聖帕颱風的平均降雨為最高，但降雨分布範圍以蘇拉颱風為最大。若以低降雨門檻所得到的平均相當水體來看(表 7b)，顯示蘇拉颱風的降雨水體為最大，聖帕次之，鳳凰颱風最弱。而以高降雨門檻所得到的平均相當水體來看(表 8b)，則以聖帕颱風最大，蘇拉颱風次之，鳳凰最後。

圖 9 為颱風出海後至距離台灣 100km 遠的平均降雨分布顯示，聖帕颱風隨遠離台灣地區，但仍對於東部帶來劇烈降雨，同時在台灣南部山區也有降雨發生。鳳凰颱風在遠離時，主要對於中部的平地山區和南部山區造成較大雨勢。而蘇拉颱風在遠離時，在中部地區發生

顯著降雨。

在颱風出海後的降雨情況，在不同降雨門檻值之分析(表 5c 和表 6c)，顯示各個颱風的平均降雨和強降雨分布範圍相較前一個時段都呈現下降和減少的情況。若以不同降雨門檻所得到的平均相當水體來看(表 7c 和表 8c)，也大多呈現同樣的情況。

若將颱風的水氣型態和平均相當水體進行比較，顯示聖帕颱風處於颱風本體和季風提供水氣皆少的環境中。從平均相當水體之評估來看，發現以較低降雨門檻值評估時，呈現降雨逐漸減弱的情況。但以較高門檻值評估時，在颱風登陸至出海期間出現降雨最大值。與鳳凰颱風的評估比較，顯示雖然聖帕颱風本體水氣少，但仍可造成相當多的降水，這可能和聖帕颱風環流內部雲系結構完整且其環流雨帶與地形密切交互作用有關（游等人，2008）。

而鳳凰颱風一直處於颱風本體水氣多，但季風提供水氣少的環境中，從較低降雨門檻值所得的平均相當水體評估來看，呈現先降後升的情況；在較高降雨門檻值分析方面，則呈現逐漸減弱的情況。

蘇拉颱風一開始是處於颱風本體水氣少，季風水氣多的情況，其評估值皆較其他 2 個颱風為弱；但在登陸至出海期間，則處於颱風本

體水氣多且季風提供水氣多的條件下，從不同降雨門檻值分析所得的平均相當水體評估，顯示皆在此時期有最大值出現，甚至超過鳳凰颱風；但當颱風出海後，便迅速減弱。

以上分析的重點標示於圖 10 中，以便利讀者明瞭水氣通量和颱風降雨的關係於颱風接近台灣至離去時不同階段的變化。

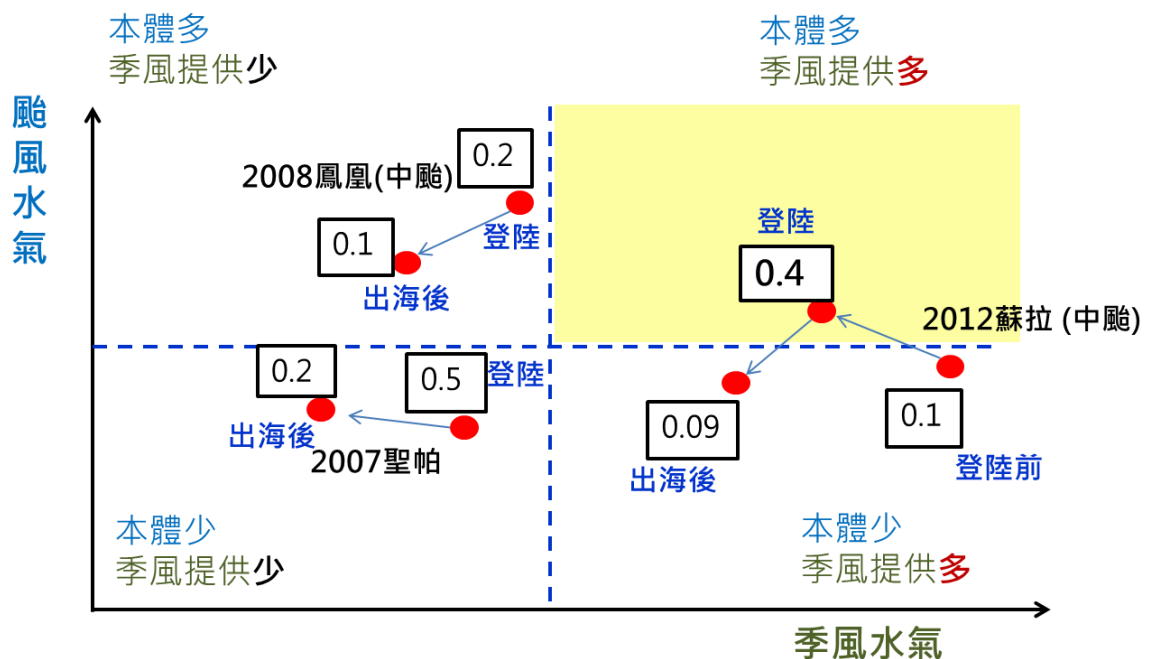


圖 10 根據圖 5 繪製的示意圖，特別標示出三個案於接近至遠離台灣時不同階段在圖 5 中相對位置的變化。此三個案被選取來深度評估水氣通量和颱風降雨關係。圖上數字為颱風降雨大於高降雨門檻值 (30 mm h^{-1}) 之平均相當水體量值 (見內文解釋)。

五、 結論

本研究對象為 1992-2013 年歷史極端降雨事件簿中 6~8 月受颱風影響的長延時 (24 小時) 降雨事件。藉由將每一事件的整體水氣通

量分解成上游季風環流提供與颱風本體環流兩種分量，並依兩種水氣通量分量的多寡將所有事件分類，最後從整體水氣通量較少的第二、三、四類別選取了 2007 年聖帕颱風、2008 年鳳凰颱風及 2012 年蘇拉颱風進一步分析降雨特性，以了解颱風本體水氣通量和季風環流水氣通量對於颱風降雨影響的差異。

利用降雨門檻值和平均相當水體之評估方式，對於三颱風襲台期間不同歷程進行評估，結果顯示：

■ 在高降雨門檻值所得之平均相當水體評估顯示，當颱風進入季風提供水氣多且颱風本體水氣多的階段時，降雨量變多，且強降雨範圍增大。

■ 當颱風本體水氣多，但季風提供水氣少時，襲台期間之降雨有逐漸趨緩的情況。

■ 在颱風本體水氣少且無季風水氣提供的環境條件下，透過伴隨強風的環流雨帶與地形交互作用，仍可以造成劇烈降雨。

造成颱風劇烈降雨的氣象因子非常多且複雜，除了夏季季風環流傳送來的水氣通量高低和臺灣鄰近大環境的水氣豐沛與否有關，颱風本身特性如接近或登陸臺灣期間移動速度的快慢也是影響雨量多寡

的重要因子。近年的研究 (Su et al., 2012; Hsu et al., 2013) 顯示颱風若在台灣鄰近區域移動速度慢、停留時間長，累積降雨易偏多。另外，颱風本身結構如環流雨帶與台灣高聳地形的交互作用也是造成颱風劇烈降雨的重要因素。本研究著眼於探討第一項因子的影響，在以颱風本體水氣多寡和季風提供水氣多寡將個案分類後，僅選取 3 場颱風事件進行初步探討。未來，預計強化水氣通量分析方法（例如，計算水氣收支），並擴大分析其他事件簿事件的降雨特性，以增加分析樣本數，如此分析出來的結果應該更具有統計的代表性。

參考文獻

- 朱吟晨、吳宜昭、林李耀，2010：低層大氣水氣通量對颱風降雨的影響。2010 年中央氣象局天氣分析與預報研討會暨美華海洋大氣學會第五屆國際海洋大氣研討會，台北。6/28-6/30。
- 林李耀、王安翔、黃麗蓉、張智昌、林聖琪、李清勝及周仲島，2006：雷達雨量資料在降水估計之初步分析。2006 年天氣分析與預報研討會論文摘要彙編。台北。5/11~5/16。
- 游保杉、葉克家、謝龍生、傅金城、吳啟瑞、張駿暉、許至璵、黃成甲、葉森海、林宣汝，2008：0809 豪雨及聖帕颱風災害綜合評

估報告。NCDR 96-T17。

龔楚嫻、于宜強、李宗融、王安翔，2012：台灣地區短延時致災降雨研究。101 年天氣分析與預報研討會。交通部中央氣象局，台北。9/17-20。

龔楚嫻、于宜強、李宗融、林李耀，2013；冬半年台灣東北部致災降雨事件之天氣類型分析。中央氣象局 102 年天氣分析與預報研討會，桃園龍潭。5/13-5/15。

Hsu, L.-H., H.-C. Kuo, and R. G. Fovell, 2013: On the Geographic Asymmetry of Typhoon Translation Speed across the Mountainous Island of Taiwan. *J. Atmos. Sci.*, 70, 1006–1022.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-472.

Su, S.-H., H.-C. Kuo, L.-H. Hsu, and Y.-T. Yang , 2012: Temporal and Spatial Characteristics of Typhoon Extreme Rainfall in Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90, 721-736