

夏天活躍於臺灣山脈東西兩側的輕度熱帶氣旋波動與反氣旋波動相互牽引作用造成臺灣西南部及山區的極端擾波：(I)熱帶氣旋波動沿東岸近海北移

劉明禮

中央氣象局退休人員

摘要

2013年夏末 Kong-Rey 和 2004 年夏初 Mindulle 兩個輕度熱帶氣旋波動的中心，從臺灣東南方的 22°N 北移至 25°N 北方近海後，分別在在臺灣西南部平地及中南部山區發生劇烈降水；Kong-Rey 波動中心沿著臺灣東岸近海的 122.5°E ~122.7°E 北移，距離陸地約 70~90km；Mindulle 波動中心沿著臺灣東南岸近海的 121.6°E ~121.8°E、從東南方的 22°N 北移至 23.7°N 後向西登陸，進入山區後逐漸轉向北至 25°N 後西行出海。Kong-Rey 熱帶氣旋波動在北移時段裡，從地面到 700hPa 高層大氣，在華北地區或 30°N 的北方 Ω 型天氣擾波活躍，造成涵蓋大陸華南及沿岸地區的反氣旋波動持續地活躍；熱帶氣旋波動 Mindulle 的此一特徵更向上延伸至 500hPa 高層大氣。

當華北地區的 Ω 型的天氣架構、華南地區持續性的反氣旋波動阻滯作用、臺灣山脈的遮蔽作用等被去除或崩壞時：【1】華北地區的 Ω 型的天氣波動後面波槽波動，向東推進逼近大陸東海岸、熱帶氣旋波動移行到達 25°N 附近，造成由大陸東北部近海的低壓波槽向南延伸到東南部近岸，與東南部近海富含水氣氣旋渦流柱體胞群匯聚，且垂直向上伸展增深；【2】大陸東南部海岸具有彎曲海陸界面特徵，更加增深擴展渦流雨胞柱體群的發展，向著東北方向灌進臺灣的西南部，造成強烈降水；【3】太陽直射強度與蓄積是影響區域劇烈降水時間與地點的重要因素。

一、基本觀念

當活躍於熱帶及副熱帶區域的海洋裡的熱帶氣旋波動，在移行的過程發生併合增深或分裂減弱，通常秋冬季節的北方沉降冷大氣造成分裂，夏天的小尺度擾波活躍聚合併入則造成增深〔6〕〔7〕。

【一】併合增深：活躍於熱帶區且向西移的熱帶氣旋波動，侵襲或靠近臺灣時所處的大環境，它的鄰近通常是小氣旋波動或渦流胞柱體活躍，在移行過程中被聚合併入且加深熱帶氣旋波動，氣旋波動的南方部分結構屬於由西南向東北彎曲狀捲入，所以這些小氣旋波動或渦流胞柱體正在匯入主體的時候，通常在熱帶氣旋波動的西南部分有一個由西南向東北逐漸增大的尾曳，逐漸增加彎曲度而併入，聚合且融入主體，增深熱帶氣旋波動〔3〕〔4〕〔6〕。

【二】分裂減弱：當熱帶氣旋波動的北方部分，熱的、上升的渦流胞體遭遇冷的、沉降的北風或東北風時，上升運動被抑制，第一象限或第二象限的前緣部分潰散；造成氣旋波動結構上的分裂，北方邊緣部份分裂後，大致分成分裂後主體與分裂潰散的東北部份與西北部份區塊等三個部份〔6〕〔7〕〔8〕。

1、主體的熱帶氣旋波動遇及北方強且大規模沉降的冷大氣，作用於氣旋波動的上升運動，破壞主體的熱帶氣旋波動發展，造成整個帶氣旋波動的主體被迫向北或向東北移行；或者因為熱帶氣旋波動的北邊部份波能被削弱，氣旋波動波能密度分佈發展為南密集而北相對寬鬆的狀態；或以渦流強度來論述，則熱帶氣旋波動的南方部分較北方部份強且密集，此時整體的熱帶氣旋波動將傾向於向北或向東北移行，以獲取整體氣旋波動維持穩態圓形波動特徵。

2、北方邊緣部份分裂後的西北部分渦流胞柱體，分裂前是東北向西南的渦流胞體帶，且螺旋式的上升走向捲入熱帶氣旋波動，分裂後走向則是彎曲度減弱或以

西北向拋出，通常伴隨著北方冷空氣不斷的侵襲，除了持續減弱熱帶氣旋波動主體的強度外，此一從東北方向來的尾曳則逐漸減弱彎曲度轉為向西北及向北拉長。

3、北方邊緣部份分裂後，原來熱帶氣旋波動東北部分彎曲度減弱，這個部分的渦流胞柱體向著東北方向分離或分裂脫離拋出。分裂後熱帶氣旋波動的主體部分、東北與西北部分走向合成的力學架構仍是向北，西北部份雖向西北擴散，但仍有注入熱帶氣旋波動主體分量而與主體波動連結，當渦流胞柱體東北部份失衡拋出後，與減弱的熱帶氣旋波動主體完全分裂脫離成為獨立的、強的擾波，造成此一分裂後的強烈擾波，在移行的駐留處發生劇烈的降水。

二、2013 年夏末 Kong-Rey 熱帶氣旋波動以及 2004 年夏初 Mindulle 熱帶氣旋波動的天候特徵

【一】2013 年夏末 Kong-Rey 熱帶氣旋波動的天候特徵

1、天候特徵

2013 年 8 月下旬，輕度的 Kong-Rey 熱帶氣旋波動，在菲律賓東方海面生成後向西北轉向北北西，在 26 日凌晨約從 14°N /128°E 轉向西北朝呂宋島東方海面前進，27 日凌晨到達 17.5°N/124°E 附近又轉向北，此後到臺灣東部近海的路徑大致為偏北，在 28 日 13 時到達臺灣東南部海面 21.5°N/122.7°E，此後至 29 日 07 時 (24.8°N/122.5°E) 沿著 122.5°E ~122.7°E 前進，隨後在掠過臺灣東北部近海後轉向東北移動遠離臺灣。在熱帶氣旋波動警報解除後，持續在臺灣中南部地區降下豪雨，30 日當日雨勢仍達到大豪雨等級。總計

28日至29日影響期間，於苗栗以南各縣市降下大豪雨，嘉義縣、臺南市、高雄市及屏東縣等地區更降下超大豪雨，最高累積雨量發生在臺南市山上區山上站，達765mm。29日上午5時到7時造成中南部強降雨，雲林縣虎尾5至6時的時雨量達129mm，其次為屏東縣大漢山122mm、嘉義縣中坑120mm；造成西半部地區嚴重淹水，淹水災害發生在臺北、臺中、彰化、雲林、嘉義、臺南及高雄等地區〔1〕。

2、天氣圖與影像特徵

輕度的Kong-Rey熱帶氣旋波動，8月28日11時(18.8°N/123.8°E)到晚上都維持在呂宋島(Luzon)東北方外海偏北移行，以後轉稍偏西行再轉偏北(圖四)，28日08時的700hPa天氣圖明顯的標示反氣旋波動涵蓋整個華南地區，包括東南部及南部近岸，它的北方30°N以北為一近乎Ω型天氣擾波，西端的波槽沿著120.5°E，從約50°N向南延伸至30°N附近(圖一)，此一波槽約以每天10°E的速度向東，在29日20時移至130°E，此時因Kong-Rey的牽引作用造成強的氣旋波槽由大陸東北近岸向南延伸至華南地區近岸，強的冷暖大氣交會，重力波發威，重力位能與動能轉換引發臺灣西南部平地的劇烈天氣擾波或降水(圖二、圖五)；27日20時32分(20時位置：19.5°N/123.7°E)的東亞衛星雲圖顯示：輕度級(990hPa~995hPa)Kong-Rey熱帶氣旋波動約以15Km時速北移，當南海海洋上的西風或西南風活躍，造成Kong-Rey南方由西南向東北捲入的擾波非常活躍，以及在Kong-Rey西邊近乎等強度相連結的擾波並列，紅外光衛星圖顯現了上述熱帶氣旋波動西邊與南邊裡的海洋擾波聚合融入特徵(圖三)。

【二】2004年夏初Mindulle熱帶氣旋波動的天候特徵

1、天候特徵

Mindulle於6月下旬在Luzon島東北方外海以偏西的行徑向西，29日深夜、30日凌晨約到達19°N/123°E附近出現了偏西緩慢移動的現象。30日10時開始，路徑幾乎轉直角，由西轉北移動，直指臺灣東南部陸地，熱帶氣旋波動的強度，則大幅減弱；7月1日08時，減弱為輕度等級。1日晚間10時左右，熱帶氣旋波動中心在花蓮壽豐登陸，2日08時移到了25°N/121.6°E，上午10時由淡水河出海〔2〕〔5〕〔9〕。6月30日至7月2日的3天累積雨量，其中以阿里山565.5mm和成功的518.0mm最多，其次花蓮和東吉島有425.5mm和404mm，另玉山有392.5mm亦不少。在最大時降雨量中，東吉島在2日19時56分後的降雨量達87mm，在臺南和成功亦分別出現69mm和63mm的時雨量。Mindulle於7月2日離開台灣陸地，7月2日才在南部及中部山區降下豪雨，3天累積雨量以屏東山地門的尾寮山達728.5mm，花蓮玉里有685.5mm，高雄縣桃源鄉的御油山的656.5mm等三處最多，超過500mm有16個測站，雨量充沛且集中在高屏、嘉義和花蓮地區〔9〕。2日在屏東、高雄和嘉義山區降雨多處超過500mm，中部山區亦有超過400mm，7月3日在中部及南部山區持續降下豪雨，亦是多處超過500mm，4

日豪雨仍未停，南部份地區更達800mm雨量；降雨地區和3日大致相同，5日雨量才稍歇。從2日至6日的5天累積雨量，高屏、台南、嘉義、台中、南投、苗栗山區降雨量均超過1000mm，在高屏山區更超過2000mm的驚人雨量(圖十)〔2〕〔9〕。

2、天氣圖與影像特徵

Mindulle與Kong-Rey比起來有幾個最明顯的特徵：Mindulle於6月30日上午在Luzon島東北方近海的移行路徑，由西行轉北(圖十一)，Kong-Rey則一直以偏北移行；Mindulle在華北地區的Ω型天氣擾波與華南地區的反氣旋波動由地面向高空發展至500hPa(圖六、圖七)，Kong-Rey則向高空發展至700hPa；華南地區沿著南方近岸排列的渦旋擾波非常活躍，且持續向東移行(圖九)，在華南地區東南部近岸波槽(圖八)匯聚牽引作用下移向臺灣山脈，造成中南部山區向風面的持續且劇烈降水〔1〕〔2〕。

三、討論與結論

【一】討論

本研究著重於探討輕度熱帶氣旋波動離開臺灣後，卻引發西南部平地與中南部山區向風面劇烈且持續的降水機能。

1、太陽的直射效應：熱能

兩個熱帶氣旋波動都屬於輕度等級，Kong-Rey發生在8月底，太陽南移到達近赤道或北半球日照的南方盡頭，Mindulle發生於6月底7月初，太陽徘徊於直射北半球最北端的北回歸線，各別屬於太陽活躍期裡：北半球步入日照分佈逐漸減弱期及增溫的最強增強期。在天氣動力學裡，太陽直射是赤道區熱帶氣旋波動向高層大氣伸展的主要因素，天氣形態裡的典型特徵，Ω型的天氣架構、華南地區的反氣旋，Mindulle呈現從地面到500hPa的天氣擾波，Kong-Rey則呈現從地面到700hPa的天氣擾波。從太陽一年週期裡的南迴與北回歸線位移，運用波動學裡的HOKE定律來論述區域吸收能量強度，則以每年6月下旬到七月最強，8月底與梅雨期有相似的能量架構，華南地區到臺灣的海陸分佈，也是激化增強天氣擾波的持續性垂直發展的重要因素。

2、阻滯作用和遮避作用：反氣旋波動與臺灣山脈

2013年8月下旬和2004年6月底7月初，臺灣附近的整個顯性天氣擾波包括：活躍於臺灣東部近岸的熱帶氣旋波動，以及南海或大陸華南地區的南方近岸富含水氣的西風或西南風，都是會造成劇烈天氣擾波的發展。當熱帶氣旋波動在臺灣東部近岸北移時候，因為臺灣山脈的遮蔽效應，只造成臺灣南端或東南部局部降水；再者，強的反氣旋波動涵蓋大陸華南地區及與南部和東南部的近岸或近海，整個大規模的橢圓形反氣旋波動持續地活躍，渦旋風是以順時針方向、由內向外增強且沉降的大氣風場結構，特別在橢圓形反氣旋波動的東半部邊緣，具有最強的向南和向西南沉降風場，帶來華南地區，特別在近海岸附近，擁有平靜或天氣擾波相對稀少的天候特徵。或者應該是“臺灣山脈遮避效應與華南反氣旋波動阻滯效應”造

成：活躍於臺灣東部近岸的熱帶氣旋波動持續穩定的向北移行；再者，持續活躍於大陸華南地區且涵蓋南部東南部海岸的反氣旋波動，造成此一區域天氣擾波稀少而且較為平靜的天候。

3、臺灣山脈的遮避效應及華南地區反氣旋波動阻滯效應崩壞或消失：臺灣中南部或向風面高山區域的劇烈降水

(1) 流體動力學 (fluid-dynamics) 和空氣動力學 (aerodynamics) 的邊界層基本理論與實驗設計裡，流體通過水平界面及彎曲界面時，產生擾波或渦旋的各種參數，像流體的速度、氣態或液態、黏滯力，邊界層的摩擦力、溫度、發生擾波時間、空間分佈和幾何面彎曲度等，是很重要且必要的決定因子。通過平面的流體遭遇到彎曲面時，原來制衡的作用力，特別是垂直作用於平面界面上的正向力(Normal Force)，所造成的反作用力突然消失，整個制衡的作用力崩壞，結果：擾波或渦流在彎曲處附近，發生渦旋強度或擾波增深現象 (Leipzig, 1931；L.Prandtl and .Tietjens, 1931) [10] [11]，這種現象在海洋波動或大氣波動裡，都是常見而且必須加以特別注意。

(2) 氣象動力學或氣候動力學領域裡，日照強度與蓄積、水陸界面及尺度的大小、山脈、沙漠、湖泊、... 等影響擾波生成與衰變的重要因子，在實際的研究與應用上則採用參數化與尺度化，來探討大範圍或區域的天候特徵，尋找天氣擾波或渦旋流體柱強度變化的重要因子，也是非常有效的方法。本研究著重在華南地區的天氣學或氣候學上的研究，大陸南部及東南部的海陸界面，個別具有近乎平行緯度圈及轉向北偏東的直線、在東南部海岸則呈現由西南轉東北的彎曲走向、北迴歸線與日照蓄積等發生於這一個區塊，尤其在太陽照射北半球時段裡，都是影響造成天候擾波發展的重要機能。

(3) 當 Ω 型的天氣擾波裡的後方或西端波槽，向東推進逼近大陸東海岸，而且此時的熱帶氣旋波動也北移至臺灣北部近海，牽引連結造成北方波槽向南延伸至大陸東南部近岸，華南地區的反氣旋波動崩壞，大陸南部沿著近岸排列的渦流胞柱體群，得以發展且向西移動，特別在移到大陸東南部近岸時。由大陸東北部近海向南延伸而來的波槽裡的西北風強，與富含水氣的西風或西南風在此匯合，加強渦流雨胞的垂直發展；再者，這一區域具有彎曲海陸界面特徵，更加增深擴增渦流雨胞柱體群的發展，向著東北方向灌進臺灣的西南部，垂直發展至 700hPa 的 Kong-Rey 造成西南部平地的劇烈降水，垂直發展至 500hPa 的 Mindulle，則造成中南部向風面山區的劇烈降水，後者發生在陽光直射最活躍期，劇烈降水持續較長的時間。

【二】結論

臺灣山脈遮避效應、華北地區 Ω 型的天氣架構、伴隨著華南地區持續性的反氣旋波動阻滯效應，造成活躍於臺灣東部近岸的熱帶氣旋波動，持續穩定的向北移行，以及華南地區及近海擁有平靜的天候或天氣擾波相對稀少。

當華北地區 Ω 型的天氣架構因後面波槽向東推進

逼近大陸東海岸、此時的熱帶氣旋波動也北移至臺灣北部近海，臺灣山脈對熱帶氣旋波動遮避效應消失；熱帶氣旋波動的連結牽引，華南地區持續性的反氣旋波動崩散，造成氣旋波槽再向南延伸至華南地區的東南部近岸，此時大陸南部沿著近岸排列的渦流胞體群得以發展且向西移動；由大陸東北部近海向南延伸而來的波槽裡強的西北風，與富含水氣的西風或西南風在此匯合，增深加強渦流雨胞柱體群的垂直發展；加上這一區域具有彎曲海陸界面特徵，更加擴增渦流雨胞柱體群強度的發展，並且朝著東北方向灌進臺灣的西南部。

垂直發展至 700hPa 的 Kong-Rey 造成西南部平地的劇烈降水，垂直發展至 500hPa 的 Mindulle，則造成中南部向風面山區的劇烈降水，後者發生在陽光直射最活躍期，劇烈降水持續較長的時間。

四、致謝與感言

Robert Hooke (1635~1703) 的彈性波動定律廣泛地應用於各種彈性力學或矩陣 (matrix) 運算，作者近年來的研究裡嘗試運用波動學觀點作為理論依據，本研究則以太陽在南迴歸線與北回歸線間規則的運行做為區域加熱的重要方式，因此運用 Hooke's Law 做為熱能供給的簡單敘述。再者，本研究裡參閱許多有關 Kong-Rey (2013) 和 Mindulle (2004) 兩個輕度熱帶氣旋波動的資料，雖沒有全部都列入參考文獻中，作者於此深致謝意。

五、參考文獻

- [1] 交通部中央氣象局資料庫
- [2] 徐辛欽，2004：“民國93年颱風調查報告—第7號敏督利颱風(Mindulle, 0407)” 交通部中央氣象局，1~21
- [3] 劉明禮，2009：“臺灣山脈地形對大氣強制作用所造成的波動現象” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局pp261~265.
- [4] 劉明禮，2010：“臺灣山脈對熱帶氣旋波動的地形強制作用” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局pp347~352.
- [5] 劉明禮，2011：“臺灣山脈對熱帶氣旋波動的地形強制作用——臺中盆地的焚風” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局pp81~86.
- [6] 劉明禮，2012：“活躍於臺灣近海與山脈的熱帶氣旋波動波變特徵——複合、分裂與角動量守恆” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局pp219~222.
- [7] 劉明禮，2012：“盛夏至仲秋臺灣與近海強烈熱帶氣旋波動的分裂型波變” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局pp223~227.
- [8] 劉明禮，2014：“臺灣山脈地形效應與大氣熱力效應對活躍於東部及南部近海的熱帶氣旋波動造成偏轉的動力作用——(II)在東部及西南部近海經向或北向偏轉” 天氣分析與預報研討會論文彙編，交通

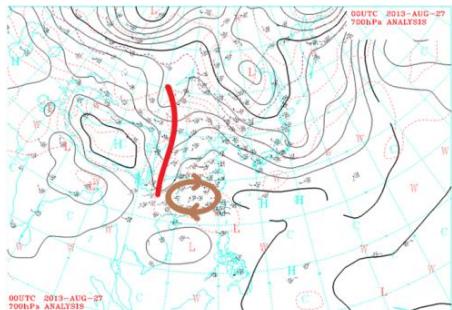
部中央氣象局

[9] 劉明禮, 2014; “臺灣山脈地形效應與大氣熱力效應對活躍於東部及南部近海的熱帶氣旋波動造成偏轉的動力作用——(I)在東部近海的緯向偏轉” 天氣分析與預報研討會論文彙編, 交通部中央氣象局

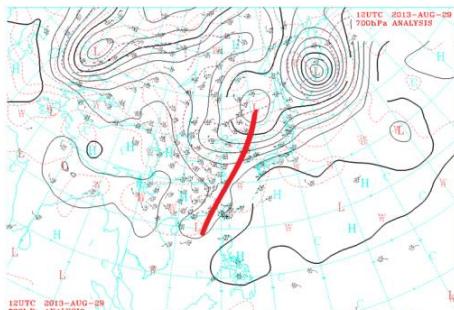
[10] 劉明禮, 2015; “盛夏季節裡熱帶氣旋波動桃

芝(2001)與卡枚基(2008)侵臺時的移行極端轉折” 天氣分析與預報研討會論文彙編, 交通部中央氣象局

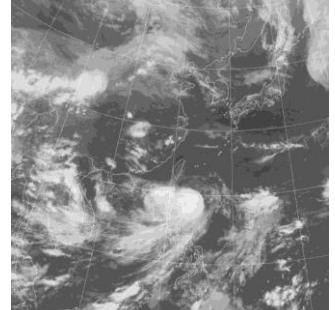
[11] S.Goldstein, 1950; Developments in Fluid Dynamics, Vol. I, Chapter II . Oxford University Press, Amen House,London E.C.4 , 50~88



圖一：2013年8月27日08時
700hPa東亞天氣圖



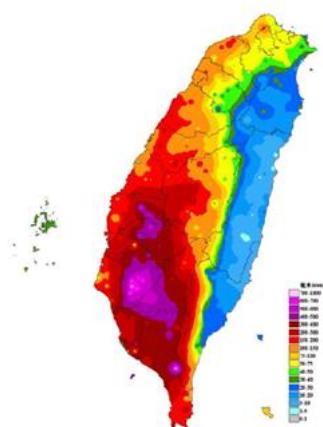
圖二：2013年8月29日20時
700hPa東亞天氣圖



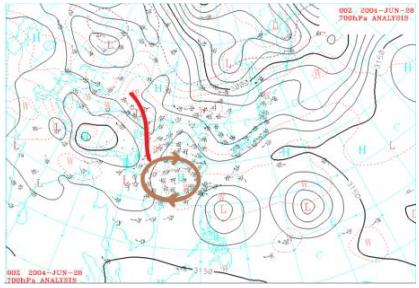
圖三：2013年8月27日
20時32分東亞衛星雲圖



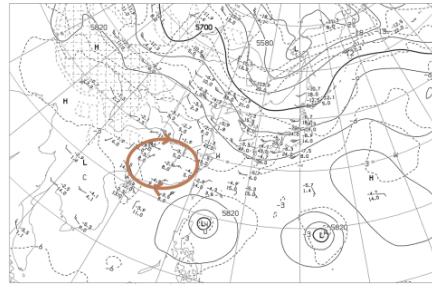
圖四：2013年Kong-Rey熱帶
氣旋波動的軌跡



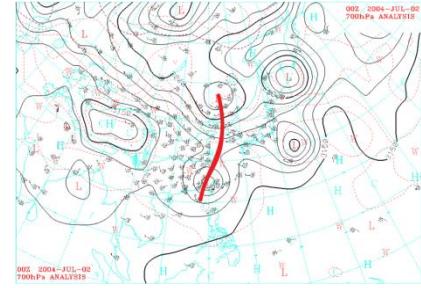
圖五：2013年Kong-Rey熱帶
氣旋波動8月27~29日累積雨量圖



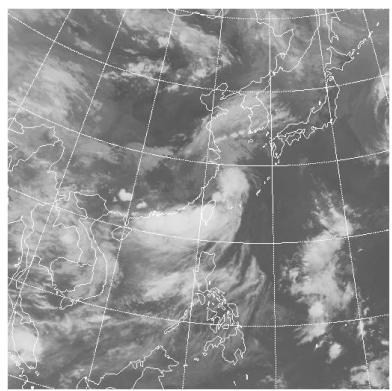
圖六：2004年6月28日08時
700hPa 東亞天氣圖



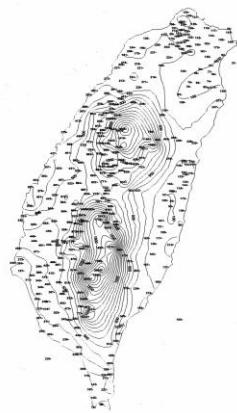
圖七：2004年6月29日08時
500hPa 東亞天氣圖



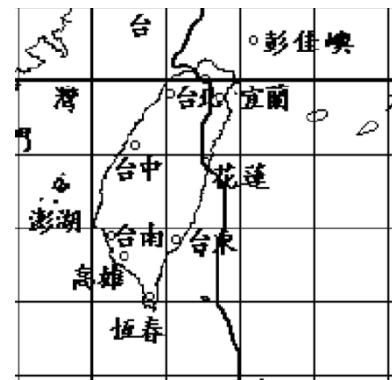
圖八：2004年7月2日08時
700hPa 東亞天氣圖



圖九：2004年7月3日08時23分
東亞衛星雲圖



圖十：Mindulle北移後 (7月2日
~6日) 臺灣地區等雨量線圖



圖十一：2004年Mindulle熱帶
氣旋波動的軌跡