

---

**冷季臺灣東北部異常降雨對坡地災害影響  
之研究**

**Research on the impact of abnormal  
rainfall in northeastern Taiwan during the  
cold season on slope disasters  
成果報告書**

---

執行單位：國立臺灣大學

執行期間：113年2月7日至113年12月31日

計畫主持人：林得恩 助理研究員

協同主持人：陳明仁 博士

**農業部農村發展及水土保持署 編印**

**中華民國 113 年 12 月**

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）



# 冷季臺灣東北部異常降雨對坡地災害影響之研究

## 摘 要

利用氣候統計、診斷分析和數值模擬等研究方法，針對冷季臺灣東北部異常降雨可能引發坡地災害的劇烈降雨天氣系統進行個案研究。冷季臺灣東北部坡地災害事件中最多類型的分別是崩塌、沖蝕與洪水。可能的動態肇因，計有颱風與東北季風形成之共伴效應（佔統計總數的 78%，最多）、順向坡地層滑動、東北季風帶來之地形雨、颱風及其外圍環流與鋒面系統。

由預兆得分計算，顯示累積降雨量門檻是具備預報技術能力的。偏差值明顯大於 1，表示在預報極端劇烈降雨事件時，預報人員普遍對天氣系統強度的掌握存在高估的趨勢。此外，從坡地災害事件發生前 6-12 小時的角度來看，綜合整體的預報表現最佳。

數值模式模擬異常降雨天氣系統個案的發展過程中，降雨的時空分布與運動強度，掌握能力相當不錯。而在流場配置、溫度差異、混合比變化以及水氣輻合等不同面向的表現，反應最為敏感，可做為防災應變指揮官紅黃警戒決策下達的重要參考數據之一。

**關鍵詞：**冷季、臺灣東北部異常降雨、坡地災害



# **Research on the impact of abnormal rainfall in northeastern Taiwan during the cold season on slope disasters**

## **Abstract**

Using research methods such as climate statistics, diagnostic analysis, and numerical simulations, we conduct case studies on the severe rainfall weather systems that may trigger slope disasters due to abnormal rainfall in northeastern Taiwan during the cold season. In the cold season, the most common types of slope disasters in northeastern Taiwan are landslides, erosion, and floods. The possible dynamic causes include the accompanied effect of typhoons and northeast monsoons (accounting for 78% of the total statistics, the most), sliding of dipslopes, orographic rain brought by the northeast monsoon, typhoons and their peripheral circulation, and the frontal systems.

The calculation of the precursor score shows that the cumulative rainfall threshold has forecasting capability. A significantly greater deviation value than 1 indicates that forecasters generally tend to overestimate the intensity of the weather systems when predicting extreme severe rainfall events. Additionally, from the perspective of 6-12 hours before the occurrence of slope disaster events, the overall forecasting performance is the best.

In the process of simulating cases of abnormal rainfall weather systems, the model demonstrates a good capability in capturing the spatial and temporal distribution of rainfall and the intensity of movement. The model is particularly sensitive in various aspects such as flow field

configuration, temperature differences, changes in mixing ratio, and moisture convergence. It can be used as one of the important reference data for the disaster prevention and response commander to issue red and yellow alert decisions.

**Keywords: the cold season, abnormal rainfall in northeastern Taiwan, slope disaster**

# 目次

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 摘要.....                | I     |
| Abstract.....          | III   |
| 目次.....                | V     |
| 表次.....                | VII   |
| 圖次.....                | IX    |
| 第一章 緒論.....            | 1-1   |
| 第二章 工作執行方法與步驟.....     | 2-1   |
| 第一節 工作執行方法.....        | 2-1   |
| 第二節 工作執行步驟.....        | 2-64  |
| 第三章 工作執行進度與初步研究成果..... | 3-1   |
| 第一節 工作執行進度.....        | 3-1   |
| 第二節 初步研究成果.....        | 3-6   |
| 第四章 結論與建議.....         | 4-1   |
| 參考文獻.....              | 附錄-1  |
| 期初報告委員提問意見及答覆.....     | 附錄-5  |
| 期中報告委員提問意見及答覆.....     | 附錄-8  |
| 期末報告委員提問意見及答覆.....     | 附錄-13 |



## 表次

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| 表 2-1 2006-2023 年冷季（10 月至翌年 4 月）期間，臺灣東北部坡地<br>災害事件統計表..... | 2-4  |
| 表 2-2 10 月 14 日總累積雨量表.....                                 | 2-18 |
| 表 2-3 10 月 15 日總累積雨量表.....                                 | 2-18 |
| 表 2-4 10 月 16 日總累積雨量表.....                                 | 2-19 |
| 表 2-5 10 月 17 日總累積雨量表.....                                 | 2-20 |
| 表 2-6 10 月 14 至 10 月 17 日總累積雨量表.....                       | 2-21 |
| 表 2-7 尼莎颱風侵襲及影響期間，各氣象量場分布綜合評估表.....                        | 2-63 |
| 表 3-1 計畫重要工作項目與預期進度管制表.....                                | 3-3  |
| 表 3-2 計畫交付項目管制表.....                                       | 3-5  |



## 圖次

|                                                                                                                                             |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-1 2006-2023 年期間, 逐年坡地災害事件肇生次數統計.....                                                                                                    | 2-7  |
| 圖 2-2 2006-2023 年期間, 坡地災害事件肇生的時空分佈統計.....                                                                                                   | 2-7  |
| 圖 2-3 2006-2023 年期間, 坡地災害事件肇因的統計分析.....                                                                                                     | 2-8  |
| 圖 2-4 研究流程規劃.....                                                                                                                           | 2-9  |
| 圖 2-5 研究中選取衛星雲圖診斷範圍 (18-30°N, 108-122°E), 主要<br>涵蓋大陸華南地區、海南島、南海、臺灣海峽及本省地區....                                                               | 2-22 |
| 圖 2-6 NCEP/DOE Reanalysis-I 經緯度網格分析場資料.....                                                                                                 | 2-23 |
| 圖 2-7 中央氣象署新一代劇烈天氣監測系統( Q-Plus ) 資料.....                                                                                                    | 2-24 |
| 圖 2-8 尼莎颱風路徑圖( 資料來源: 中央氣象署 ).....                                                                                                           | 2-25 |
| 圖 2-9 2022 年 10 月 15 日 00UTC MPAS 模式 850hPa 水氣通量圖：<br>黑色實線為 850hPa 重力位高度，藍色流線為 850 至 300hPa<br>平均氣流場，底圖為 850hPa 水氣通量 ( 資料來源：<br>NCDR )..... | 2-25 |
| 圖 2-10 2022 年 10 月 15 日 00UTC 海水熱焓量圖 ( 資料來源：<br>RAMMB ).....                                                                                | 2-26 |
| 圖 2-11 2022 年 10 月 14 日 12UTC WRF-D 可降水量圖：風標為地面<br>風，底圖則為可降水量.....                                                                          | 2-26 |
| 圖 2-12 2022 年 10 月 14 日單日日累積雨量圖.....                                                                                                        | 2-27 |

|                                                                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-13 2022 年 10 月 15 日 00UTC WRF-D 可降水量圖.....                                                                | 2-27 |
| 圖 2-14 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 20 時，尼莎颱風逐漸靠近巴士<br>海峽，太平洋高壓脊配合尼莎颱風外圍環流，將水氣輸送至<br>臺灣東部及北部地區，紅色代表水氣較豐沛之地區..... | 2-28 |
| 圖 2-15 2022 年 10 月 15 日單日日累積雨量圖.....                                                                          | 2-28 |
| 圖 2-16 2022 年 10 月 15 日宜蘭縣大同鄉翠峰湖降雨歷線圖：柱狀圖<br>為時雨量，折線圖則為單日累積雨量圖，橫軸為時間(單位：<br>小時).....                          | 2-29 |
| 圖 2-17 10 月 16 日下午 14 時的地面氣壓值和 925 百帕的風場，可以<br>看到北臺灣有東風上的短波.....                                              | 2-29 |
| 圖 2-18 2022 年 10 月 16 日 7 時 50 分 3km 高雷達回波及風場：底圖<br>為海拔 3km 高之雷達合成回波，風標為 3km 高採用<br>WISSDOM 方式計算之雷達反演風.....   | 2-30 |
| 圖 2-19 2022 年 10 月 16 日 14 時 30 分氣象署雷達回波圖.....                                                                | 2-30 |
| 圖 2-20 2022 年 10 月 16 日單日日累積雨量圖.....                                                                          | 2-31 |
| 圖 2-21 2022 年 10 月 17 日 13 時 50 分雷達回波圖.....                                                                   | 2-31 |
| 圖 2-22 2022 年 10 月 17 日 0 時至 23 時累積雨量圖.....                                                                   | 2-32 |
| 圖 2-23 2022 年 10 月 14 日 0 時至 17 日 23 時 95 小時累積雨量圖....                                                         | 2-32 |
| 圖 2-24 2022 年 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 06 時及 10 月 16 日 20                                                    |      |

|                                                                                                |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 時至 10 月 17 日 20 時 500 百帕分析場，其中，紅色曲線代表<br>在 500 百帕上的槽線.....                                     | 2-35 |
| 圖 2-25 2022 年 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 06 時地面天氣圖.....                                         | 2-36 |
| 圖 2-26 2022 年 10 月 14 日 20 時至 10 月 17 日 08 時彭佳嶼探空.....                                         | 2-36 |
| 圖 2-27 東北季風的分流在磺溪山谷內合流示意圖(資料來源：鄭與<br>游，2014).....                                              | 2-37 |
| 圖 2-28 2022 年 10 月 15 日 20 時 10 月至 16 日 20 時 925 百帕 NCEP<br>模式環境分析場.....                       | 2-37 |
| 圖 2-29 颱風外圍環流和東北季風共伴示意圖.....                                                                   | 2-38 |
| 圖 2-30 2021 年圓規颱風通過巴士海峽期間，NCEP 模式環境分析<br>場.....                                                | 2-38 |
| 圖 2-31 個案研究彙整所得冷季臺灣東北部劇烈降雨之環境量場檢查<br>表.....                                                    | 2-41 |
| 圖 2-32 整體技術得分計算結果，包含有預兆得分、偏差得分、可偵<br>測率及誤報率的計算（分別就坡地災害事件發生前 6 小時、<br>前 12 小時及前 24 小時）.....     | 2-42 |
| 圖 2-33 模式設計三層巢狀網格，外層粗網格（D1）水準解析度為 27<br>公里，中層網格（D2）水準解析度為 9 公里，以及內層細網<br>格(D3)水準解析度為 3 公里..... | 2-49 |

|                                                                                                                                                        |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-34 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 12Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 17Z 時之逐時累積降雨量, 單位為 mm.....                                                           | 2-51 |
| 圖 2-35 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時地面氣溫( $^{\circ}\text{C}$ )、海平面氣壓(hPa)<br>及地面風速(kts).....                 | 2-53 |
| 圖 2-36 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 925hPa 混合比( $\text{gkg}^{-1}$ )、氣壓(hPa)<br>及風速( $\text{ms}^{-1}$ )..... | 2-55 |
| 圖 2-37 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 850hPa 風速( $\text{ms}^{-1}$ )、氣壓(hPa)<br>及溫度( $^{\circ}\text{C}$ )..... | 2-57 |
| 圖 2-38 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 700hPa 溫度( $^{\circ}\text{C}$ )、氣壓(hPa) 及<br>風速(kts).....               | 2-59 |
| 圖 2-39 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年<br>10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 500hPa 溫度( $^{\circ}\text{C}$ )、氣壓(hPa) 及<br>風速(kts).....               | 2-61 |
| 圖 2-40 模式靈敏度測試, 關掉模式中的潛熱釋放效應項, 環境量場<br>的改變, 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z                                                              |      |

時之每 3 小時 850hPa 風速(m/s，藍線)以及輻合( $10^{-4}\text{s}^{-1}$ )...2-62



## 第一章 緒論

根據過去的統計資料，劇烈降雨或累積總降雨量過大常常是導致坡地災害的動態因素之一。在坡地災害事件發生前，綜觀環境條件的變化，可能會提供一些前兆信號（林，2021；林，2022）。因此，通過加強對環境條件變化的追蹤監測，可以及時掌握這些參數的變化情況，從而預先發現可能存在的坡地災害風險。爰此，落實氣象預報的追蹤監測，持續關注劇烈天氣預報，運用高解析度的氣象模式進行數值模擬，事前預測降雨量及其時空分佈變化。掌握環境條件的診斷分析，研析當時大氣環境條件，包括溫度、濕度、風速等參數的驛變。並進一步結合地形地貌特徵，識別易發生滑坡或泥石流的高風險區域，評估降雨對坡地穩定性的影響，強化對累積總降雨量及其時空分佈變化的預測能力，提供精確的降雨預報；通過實時數據更新和動態監測，提前發出預警信號，為防災與減災提供更多準備時間。

臺灣東北部在冷季（主要指每年10月至翌年4月間）經常出現異常降雨現象，這種情況通常與東北季風和其它氣象條件有關。冬季，來自西伯利亞和蒙古的冷高壓氣團經常會產生強烈的東北季風，帶來寒冷且潮濕的空氣。當這些潮濕的東北季風遇到臺灣東北部的山脈時，地形抬升作用會導致降水增多。另外，颱風與環境東北季風所形成的共伴效應，也常導致東北部在冷季有異常降雨情事發生。而臺灣東北部的地形複雜，山區眾多，這些山脈阻擋並強迫舉升來自海上的濕潤氣流，促進降雨形成。尤其在迎風面的區域（如宜蘭、基隆、新北），降雨量往往更為豐富。根據統計，所累積顯著的降雨量，也有肇致坡地災害在冷季發生的可能。

計畫的執行與推展，擬解決以下幾個問題：延長坡地災害可能肇生的事先預警整備時間；釐清共伴效應在冷季劇烈降雨天氣系統強度發展與延時過程中可能扮演的角色；增進對冷季劇烈降雨天氣系統所肇生坡地災害事件發生前兆之綜觀環境條件的認識與掌握；有效支援強化防災應變指揮官進行坡地災害警戒調度的決心下達。

研究計畫，將針對坡地災害事件進行診斷分析與數值模擬，具體執行內容，共計 5 項，分述說明如下：

- (1) 統計歷史坡地災害事件的氣候特徵、時空分佈與環境條件，旨揭瞭解不同氣候條件、時間和空間尺度下，坡地災害的發生情況和行為特徵，並與事件可能肇因之不同天氣系統進行分類統計，釐清兩者可能存在的因果對應關係。
- (2) 從歷史坡地災害事件當中，挑選出臺灣地區冷季劇烈降雨個案進行診斷，評估出事件發生前 6、12 及 24 小時之綜觀環境條件的特徵，以及氣象量場的特性，歸納釐清出異動變化的關鍵訊號，並進一步探討可能發生的物理過程與肇因分析。
- (3) 利用綜觀環境量場的診斷分析，藉此瞭解關鍵氣象量場因子在冷季東北季風下，劇烈降雨天氣系統中所扮演的角色以及與對流可能聯結之關係。研究中的冷季臺灣東北部異常降雨個案，冷季（主要指每年 10 月至翌年 4 月間），降雨延時超過 6 小時以上，降雨型態屬持續性的降雨行為，且降雨強度在豪雨（200mm/24h 以上或 100mm/3h 以上雨量）或以上的事件，定義為「異常」降雨；經統計分類作業，因颱風或熱帶擾動所造的遠距降雨亦一併納入分析。

- (4) 經由高解析度氣象數值模式 WRF(Weather Research and Forecasting Model)進行個案模式模擬，從提高模式解析度、地形參數化，再透過靈敏度的設計、物理量場的運算以及收支貢獻的診斷，嘗試釐清導致坡地災害個案之前兆環境與冷季環境特徵條件的關鍵變化，研究成果可有效且具體的回饋至防災預警的實際整備及判斷決策作業上。
- (5) 建置冷季東北季風可能肇致坡地災害事件之環境前兆所對應的氣候概念模式，掌握氣象因子以及環境變化趨勢與重要參數閥值，將有助於加強對坡地災害可能肇生的預警和預測能力。

總體而言，本研究計畫透過統計分析、診斷研判和模式模擬等研究方法，嘗試從氣象環境條件的特性出發，結合坡地災害事件的肇生特徵，通過實地觀測和數據蒐集，將研究成果應用於實際的防災工作中，落實檢驗和改進理論模型，預前掌握潛在的坡地災害風險，並進一步探究坡地災害的可能發生機制和前兆環境訊號，這在過去的研究當中，是比較鮮見的。爰此，本計畫不但可以滿足全案創新研究的精神內涵，也可進一步落實學研合一的最大效益，將有助於提高對坡地災害的預警和預測能力，研究成果並可直接回饋至防災預警的實際整備及判斷決策作業上，俾利減少可能坡地災害肇生的損失與災情。



## 第二章 工作執行方法與步驟

### 第一節 工作執行方法

#### 1.實施方法：

彙整統計過去 18 年(2006-2023 年)臺灣坡地災害事件的時間、地點、肇因及災情等基礎背景資料，做為本研究的個案樣本（其中，坡地災害事件選取，採以農村水保署官網公告標定之重大災害事件為準）。延續林（2022）的研究，對應過去 18 年（2006-2023 年）臺灣地區所發生的豪雨個案中，進行劇烈天氣之前兆環境的比對診斷，嘗試釐清可能肇致強降雨之關鍵氣象參數的量化特徵與變化脈動，並進一步統計分類坡地災害事件可能肇因的天氣系統類型。

所選取坡地災害事件包含有土石流、崩塌、地滑、洪水、沖蝕等。統計分析結果顯示，坡地災害肇生在年際分佈表現上，並無規律變化的特徵（如圖 2-1），端視該年所影響的劇烈降雨事件而定。至於，前 9 年的肇生事件數，共計 392 件，佔總數的 67.9%；後 9 年的肇生事件數，共計 185 件，佔總數的 32.1%，顯見肇生次數近年有減少趨勢。其中，坡地災害事件肇生個數又以 2009 年最多（共 127 件），2020 年最少（共 3 件），均與颱風肇因有關。最容易肇生的地區分別有新北市、宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣；其中，高屏兩地合佔總數的 24.6%最多。另一方面，最常發生的時段落在 5-9 月，暖季合佔總數的 76.9%最多（圖 2-2），對應颱風與梅雨鋒面等劇烈降雨天氣系統所影響，此一結果與原先預期相當吻合。

然而，我們更關心當有坡地災害事件發生之際，當時的天氣系統以及環境特徵。結果顯示，主要可分為 5 大類型（圖 2-3），分述如

後：

- 1.第 1 種類型：颱風、熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流，共計 420 件，佔總數的 72.8%。
- 2.第 2 種類型：梅雨鋒面，共計 87 件，佔總數的 15.1%。
- 3.第 3 種類型：非梅雨鋒面的鋒面，以及午後雷陣雨，共計 24 件。
- 4.第 4 種類型：東北季風，以及東北季風與南方低壓系統所結合的共伴環流，共計 37 件，佔總數的 6.4%。
- 5.第 5 種類型：地震，共計 9 件，佔總數的 1.5%。

其中，第 1 種類型加上第 2 種類型就佔總數的 87.9%，由於颱風通常帶來豐沛的水氣和勁風，對地形造成強烈的影響，容易引發土石流、崩塌等災害；梅雨鋒面則常伴隨著長時間的持續性降雨，尤其在持續性的暴雨時，易導致山區土石流、崩塌等災害。透過統計分析，可以看出颱風（以及熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流）及梅雨鋒面對我坡地災害事件的肇生，扮演著非常關鍵的角色。而其中，第 4 種類型，「東北季風，以及東北季風與南方低壓系統所結合的共伴環流」型態，雖然只有 37 件個案，佔總數的 6.4%；但一旦發生，由於降雨影響延時較久、降雨類型較為連續，且累積降雨較為顯著，常易肇致臺灣東北部地區異常的降雨現象，並導致坡地災害的肇生。爰此，本年度將就每年冷季（10 月至翌年 4 月）期間，發生在臺灣東北部地區（以基隆、新北、宜蘭為主）的異常降雨肇致坡地災害事件進行個案研究，研究中的冷季臺灣東北部異常降雨個案，冷季（主要指每年 10 月至翌年 4 月間），降雨延時超過 6 小時以上，降雨型態屬持續性的降雨行為，且降雨強度在豪雨（200mm/24h 以上或

100mm/3h 以上雨量) 或以上的事件，定義為「異常」降雨；經統計分類作業，因颱風或熱帶擾動所造的遠距降雨亦一併納入分析。主要運用氣候統計、診斷分析，以及數值模擬等研究方法，目標為藉此建置穩定可靠的冷季東北季風肇致強降雨綜觀環境診斷指標及肇生前兆環境條件的概念模式。

表 2-1 為研究 2006-2023 年冷季（10 月至翌年 4 月）期間，臺灣東北部坡地災害事件的統計結果，如果將時間對切割成前半部（2006 至 2014 年）及後半部（2015 至 2023 年）2 部份，前半部計有 25 次坡地災害事件，後半部計有 16 次；此與統計全島坡地災害事件結果相符，均顯見肇生次數在近年都有減少趨勢。最多發生的縣市為宜蘭縣，佔 26 件；其次，分別為新北市的 10 件，以及基隆市的 5 件。也顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件中最多的縣市是宜蘭縣。就坡地災害的類型來看，地滑佔有 1 件，沖蝕有 11 件，崩塌有 15 件，土石流有 5 件，洪水有 9 件；顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件中最多類型的分別是崩塌、沖蝕與洪水。最令我們感興趣的是，肇致這些坡地災害發生的動態原因，統計結果也顯示，順向坡地層滑動佔有 1 件，東北季風帶來之地形雨計有 5 件，颱風及其外圍環流佔有 2 件，鋒面佔有 1 件，颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應件數最多，佔有 32 件，佔統計全數的 78%；顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件肇生中的最主要動態原因就是颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應，這在未來防災應變整備作業評估上，應該要將其列為冷季臺灣東北部劇烈降雨的重要風險管理項目之一。

表 2-1 2006-2023 年冷季（10 月至翌年 4 月）期間，臺灣東北部坡地災害事件統計表

| 發生縣市 | 影響時間        | 災害內容                     | 肇生原因                              |
|------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 基隆市  | 2010/4/25.  | 4/25 七堵地滑                | 順向坡地層滑動<br>非氣象因素                  |
|      | 2016/10/10. | 10/10 仁愛沖蝕               | 東北季風帶來之地形雨                        |
|      | 2022/2/23.  | 2/23 信義崩塌                | 東北季風帶來之地形雨                        |
|      | 2022/10/16. | 10/16 暖暖崩塌<br>10/17 七堵崩塌 | 尼莎颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應            |
| 新北市  | 2007/10/6   | 10/6 淡水沖蝕<br>10/7 五股沖蝕   | 柯羅莎颱風及其外圍環流                       |
|      | 2016/10/9   | 10/9 汐止崩塌                | 鋒面影響                              |
|      | 2017/10/13  | 10/13 汐止崩塌<br>10/14 汐止崩塌 | 1011 豪雨<br>卡努颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應 |
|      | 2020/12/4   | 12/4 瑞芳崩塌                | 東北季風帶來之地形雨                        |

|     |            |                                                                                                               |                                               |
|-----|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|     | 2022/10/16 | 10/16 汐止崩塌<br>10/17 汐止崩塌                                                                                      | 尼莎颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應            |
|     | 2022/11/1  | 11/1 汐止崩塌                                                                                                     | 1101 豪雨<br>奈格颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應 |
|     | 2023/2/5   | 2/5 金山崩塌                                                                                                      | 東北季風帶來<br>之地形雨                                |
| 宜蘭縣 | 2009/10/5  | 10/5 三星土石流<br>10/5 三星沖蝕<br>10/6 大同洪水<br>10/6 大同沖蝕                                                             | 芭瑪颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應            |
|     | 2010/10/21 | 10/21 大同洪水<br>10/21 蘇澳土石流<br>10/21 蘇澳沖蝕<br>10/21 蘇澳洪水<br>10/21 冬山洪水<br>10/21 三星洪水<br>10/21 冬山沖蝕<br>10/21 蘇澳崩塌 | 梅姬颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應            |
|     | 2011/10/2  | 10/2 大同沖蝕                                                                                                     | 1001 豪雨                                       |

|  |            |                                                                                                                       |                                               |
|--|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|  |            | 10/2 大同土石流<br>10/2 員山沖蝕<br>10/2 三星土石流<br>10//2 大同洪水<br>10/3 南澳洪水<br>10/3 大同土石流<br>10/3 大同洪水<br>10/3 大同沖蝕<br>10/9 蘇澳沖蝕 | 奈格颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應            |
|  | 2017/10/13 | 10/13 大同洪水                                                                                                            | 1011 豪雨<br>卡努颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應 |
|  | 2022/10/7  | 10/7 南澳崩塌                                                                                                             | 1007 豪雨<br>東北季風帶來<br>之地形雨                     |
|  | 2022/10/16 | 10/16 大同崩塌<br>10/17 大同崩塌                                                                                              | 尼莎颱風及其<br>外圍環流與東<br>北季風形成之<br>共伴效應            |

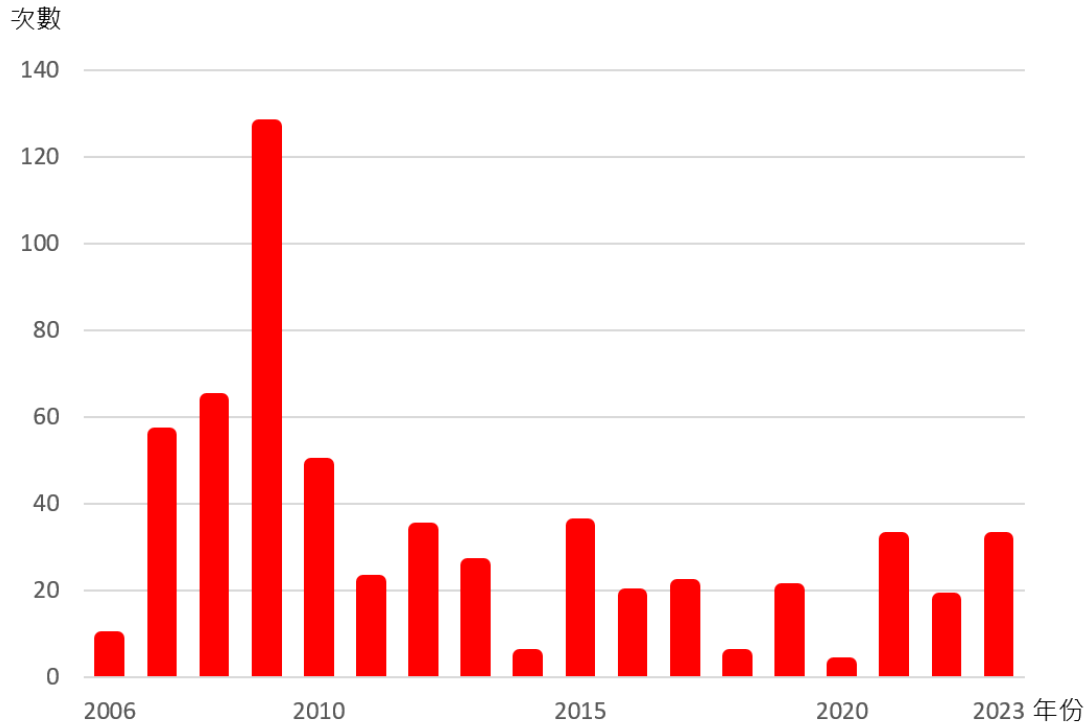


圖 2-1 2006-2023 年期間，逐年坡地災害事件肇生次數統計

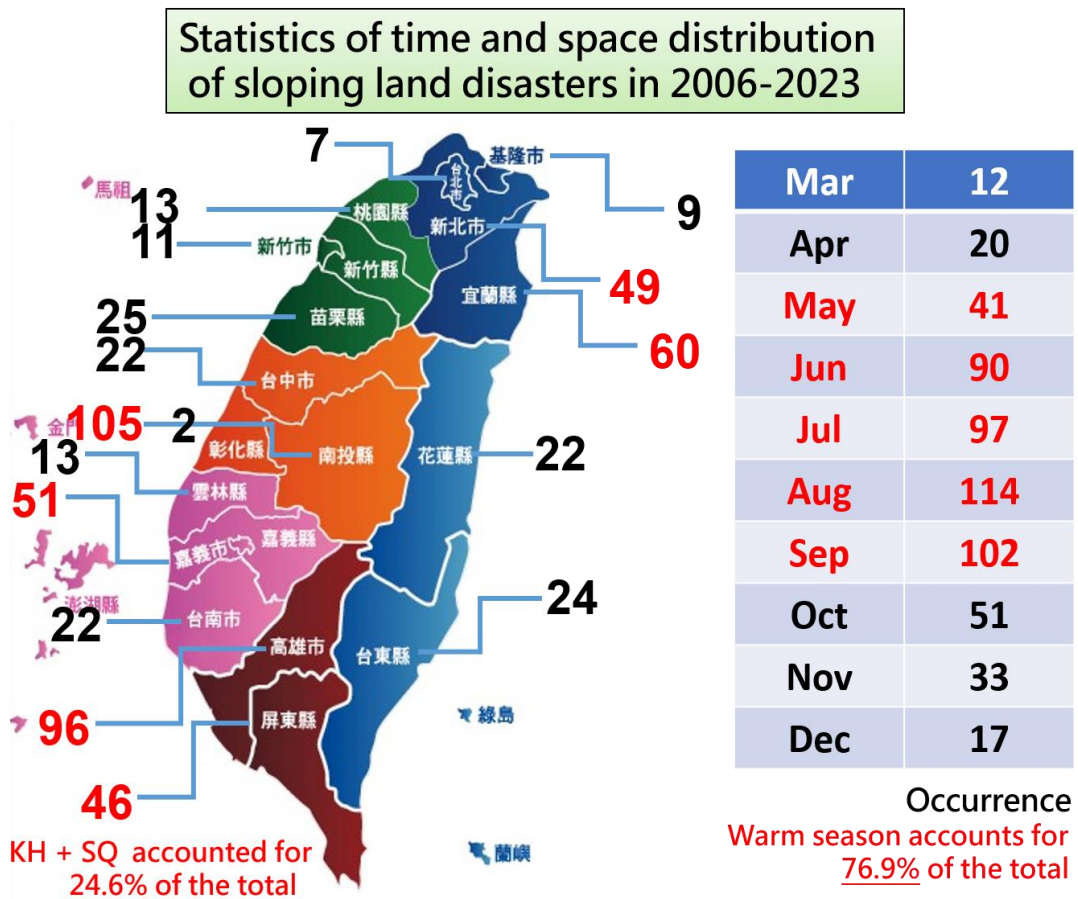


圖 2-2 2006-2023 年期間，坡地災害事件肇生的時空分佈統計

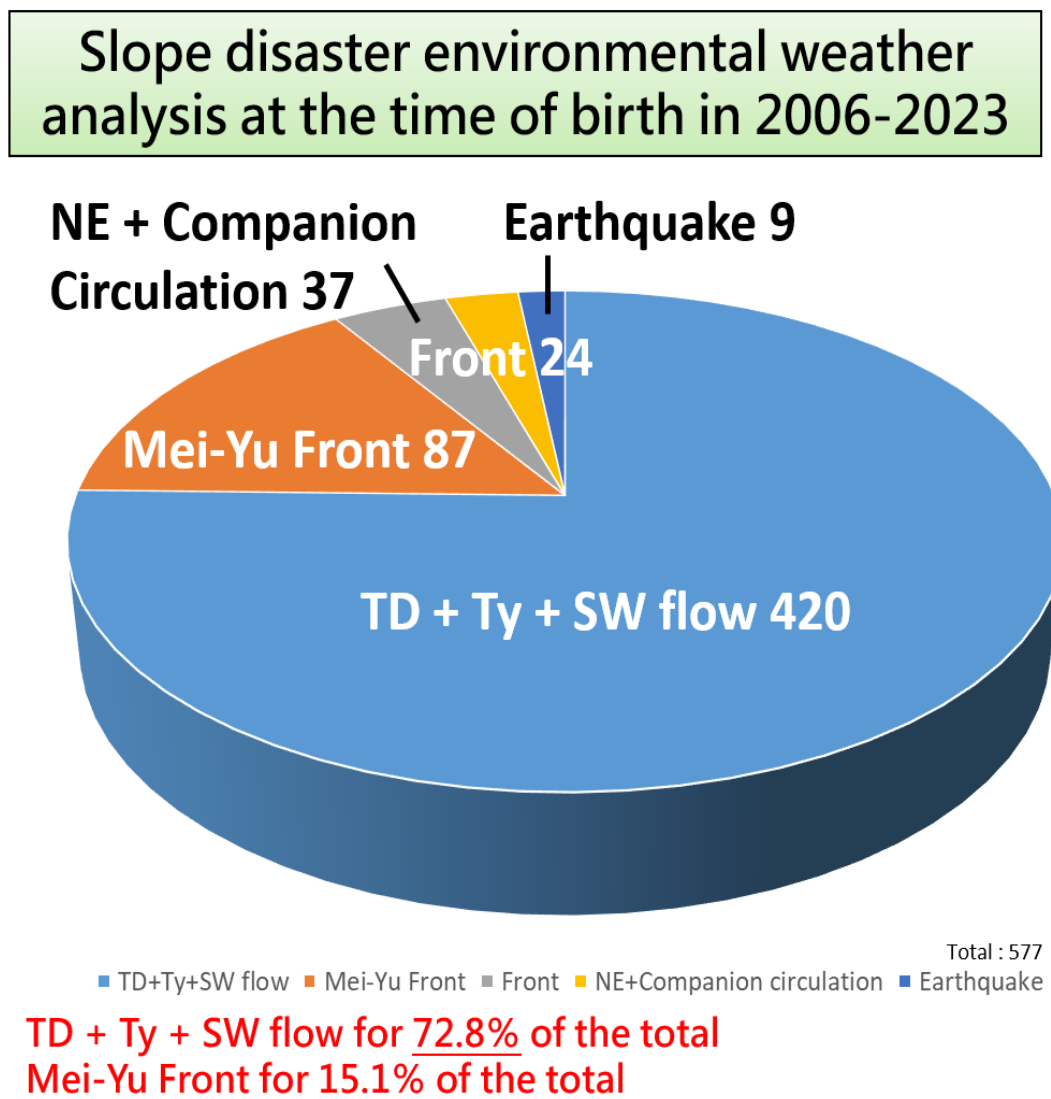


圖 2-3 2006-2023 年期間，坡地災害事件肇因的統計分析

主要研究流程規劃如圖 2-4，囊括有氣候統計、診斷分析，以及數值模擬等不同研究方法，進行整體性的評估與分析探討。研究完成重要工作項目，計有建置坡地災害事件可能發生前兆環境特徵的概念模式，以及運用高解析度模式進行模擬校驗，建置穩定可靠的冷季東北部異常降雨綜觀環境診斷指標等 2 大點。最後，落實研究成果可直接具體回饋至防災預警的實際整備、警戒調度及判斷決策作業上。分述如下：

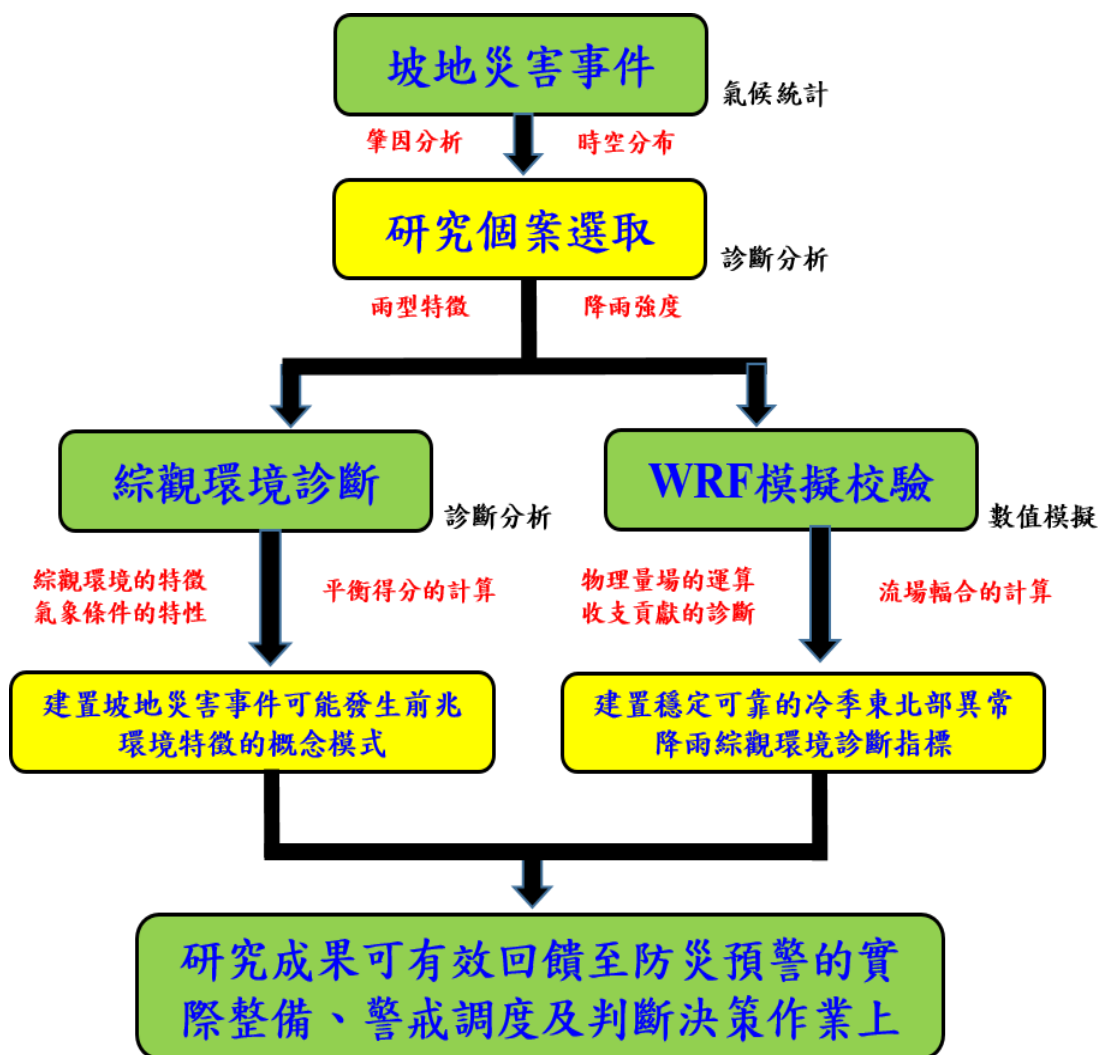


圖 2-4 研究流程規劃

過往研究，少有結合坡地災害事件實例，與環境氣象診斷及氣象數值模擬手段，進行整合性及整體性的研究分析。研究計畫，選取冷季在臺灣東北部的異常個案進行診斷分析，再對應至歷史坡地災害事件發生的可能推估，有利於防災應變紅、黃土石流警戒發布、提昇或解除的參考判斷。另一方面，利用高解析度的數值模式進行模擬，可以進一步瞭解劇烈對流降雨天氣系統的環境條件與結構特徵，以及後續發展的可能與影響程度。研究成果，可具體有效回饋至實際防災預警作業上，提供指揮官進行坡地災害警戒調度的決心下達，大大增強實際防災預警作業的效能和應變能力，運用性及實用性高。

以上所提的研究方法、研究步驟和研究成果，可以幫助我們更全面、整體性地瞭解到發生在冷季的劇烈對流降雨天氣系統之形成和發展，進而事先預測可能的坡地災害事件發生。同時，透過高解析度的數值模擬，也可以進一步分析先兆環境和對劇烈對流降雨的影響程度，這對於預報警戒的決策和應變措施的製定安排，提供更多具體的有效評估資訊。綜合來看，整合性的研究分析回饋於防災應變、整備調度與預警警戒等方面，都具有非常重要的參考價值。

**(1) 建置冷季東北季風劇烈降雨肇致坡地災害事件可能發生之前兆環境條件的概念模式：**

透過衛星雲圖中的雲頂溫度高低和雲系面積大小，可以分析冷季劇烈降雨天氣系統的時空分佈和發展演變過程。一般而言，劇烈降雨天氣系統的雲系面積較大，且其雲頂溫度低於 $-40^{\circ}\text{C}$ ，隨著時間的推移，雲系面積不斷擴大，且逐漸向北移動，同時雲頂溫度也會不斷降低。當雲頂溫度低於 $-50^{\circ}\text{C}$ 時，通常會發生強降水和雷暴活動。經由對冷季劇烈降雨天氣系統的時空分佈和發展演變過程的分析，可以有效地預測和預警坡地災害的發生。同時，結合其它氣象要素如降雨量、風速及地形特徵等，也能更準確地精進評估坡地災害的風險程度。

延續林（2022）的研究，使用有經過 MB 色調強化及校正的紅外線衛星雲圖（因資料來源限制，使用 MTSAT 衛星資料，2015 年後改用向日葵氣象衛星資料），每張雲圖時間間隔為 1 小時，選取範圍（如圖 2-5）涵蓋大陸華南地區、海南島、南海、臺灣海峽及本省地區（即  $18-30^{\circ}\text{N}$ ， $108-122^{\circ}\text{E}$ ），透過雲圖中雲頂溫度及其所涵蓋的雲系面積來分析冷季劇烈降雨天氣系統的時空分佈及發展演變過程。

NCEP/DOE（National Centers for Environmental Prediction / Department of Energy）Reanalysis-I 經緯度網格分析場資料，水準經緯度網格解析度為  $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ，每日計有四次（分別為 0000、0600、1200 及 1800 UTC）之 1000 hPa、975 hPa、950 hPa、925 hPa、900 hPa、850 hPa、800 hPa、750 hPa、700 hPa、650 hPa、600 hPa、550 hPa、500 hPa、450 hPa、400 hPa、350 hPa、300 hPa、250 hPa、200 hPa、150 hPa、100 hPa、70 hPa、50 hPa、30 hPa、20 hPa、10 hPa 等 26 層網格資料，針對選取個案，進行前 6、12 及 24 小時的不同氣象量場

診斷；其中包含重力位高度、渦度、風向、風速、溫度、氣壓、降水、平均氣流、水氣通量、輻合、輻散以及相對位溫等氣象參數(圖 2-6)。

也利用中央氣象署官方網頁、國家災害防救科技中心的 WATCH 網頁、中央氣象署新一代劇烈天氣監測系統(Q-Plus) 資料(圖 2-7) 等，進行氣象量場診斷分析以及各崩塌個案降雨雨型、特徵以及強度的評估參考資料；統計彙整在坡地災害事件肇生前，冷季劇烈降雨天氣系統之綜觀環境條件的特徵以及氣象量場分佈的特性，再透過現地探勘校驗作業，與實際雨量站的觀測數值進行分析比對，俾利完成預報檢查表項目的挑選釐定。

蒐集臺灣冷季期間，坡地災害事件發生前的相關資料，包括氣象量測數據、衛星雲圖、雷達回波及冷季劇烈降雨個案相關報告等。再將蒐集到的資料進行整理、分類和統計，分析冷季劇烈降雨天氣系統的時空分佈及其發展演變過程，包括降雨天氣系統移動速度、方向、面積、強度等特徵。對比坡地災害事件發生前的氣象量測數據、雷達回波和衛星雲圖，分析冷季劇烈降雨天氣系統相關氣象條件，包括大氣穩定度、水氣含量、氣壓場和風場等特徵。透過現地探勘校驗作業，與實際雨量站的觀測數值進行分析比對，評估冷季劇烈降雨天氣系統相關氣象條件對於降雨分佈和強度的影響。根據診斷分析的結果，針對冷季劇烈降雨天氣系統肇生坡地災害事件的綜觀環境條件和氣象量場分佈特性，製定對應的預報檢查表項目，並加以挑選釐定，進行量化的平衡得分評估計算，藉以提高對坡地災害預報和預警的精確度和有效性。

誤差矩陣是一個用於評估預測模型的方法，可以用來評估模型預測的精確性。誤差矩陣由四個要素組成：真陽性(True Positive, TP)、

假陽性 (False Positive, FP)、真陰性 (True Negative, TN)、假陰性 (False Negative, FN)。在評估綜觀環境條件檢查項目對於預報坡地災害區域之強降雨的預兆得分時，可以使用誤差矩陣來評估其準確性。將觀測雨量門檻值設定為一定數值，如 100mm，則當預報的強降雨雨量超過 100mm 時，即視為預報正確，否則視為預報錯誤。以此為基礎，可以計算出每一次預報的誤差矩陣，進而計算出其準確率。以下是誤差矩陣的四個要素：

1. 真陽性 (True Positive, TP)：預測為強降雨且實際上也發生了強降雨的次數。
2. 假陽性 (False Positive, FP)：預測為強降雨但實際上沒有發生強降雨的次數。
3. 真陰性 (True Negative, TN)：預測為非強降雨且實際上也沒有發生強降雨的次數。
4. 假陰性 (False Negative, FN)：預測為非強降雨，但實際上卻發生了強降雨的次數。

為評估綜觀環境條件各檢查滿足項目對於預報災區強降雨的預兆得分(Threat Score, TS)，設定觀測雨量門檻值，且設定目標災區中有任一測站達強降雨標準，即視為滿足強降雨發生。將各項目檢查預報結果與實際觀測資料分別進行比對，利用誤差矩陣判斷各次評估之準確率，誤差矩陣可分為 4 種情境，分別為滿足，有預測/有發生(hits)、滿足，有預測/無發生(misses)，無滿足，無預測/有發生(false alarms)，無滿足，無預測/無發生(no events)。故可利用其分類結果，進一步計算可偵測率(Probability of Detection, POD)、誤報率(False Alarm Ratio, FAR)以及預兆得分(Threat Score, TS)等三種評估指標，藉以掌握可靠

性較高，且滿足坡地災害事件肇生的冷季劇烈降雨天氣系統綜觀先兆環境條件關鍵因數，可有效回饋於坡地災害區域之強降雨發生與否的預報參考指標。

研究針對過去 18 年冷季，導致臺灣東北部地區異常降雨個案中，分佈範圍最廣、降雨量最豐，且降雨延時最久的超大豪雨個案中，研究計畫選取 2022 年 10 月 14 至 17 日間尼莎颱風及其外圍環流影響個案進行診斷分析與數值模擬，該個案單 10 月 16 及 17 日的日累積降雨量統計，台北士林的擎天崗站就高達 743.5mm，宜蘭大同的樂水分校站也達 736mm，宜蘭大同梵梵站 689mm，桃園復興的嘎拉賀站也有 516mm，均已達到超大豪雨標準，也使得劇烈豪大雨事件為臺灣東北部地區帶來嚴重的災情，最後衍生基隆、新北及宜蘭等處的坡地災害事件肇生。期間 96 小時最大累積雨量為臺北市士林區擎天崗 1962mm，其次是宜蘭縣大同鄉樂水分校 1165.5mm 及新北瑞芳五分山的 1034.5mm。尼莎颱風事件主要影響時間為 2022 年 10 月 14 至 17 日，和當年 9 月份的軒嵐諾颱風及梅花颱風不同，影響降雨熱區分布的因素除了颱風本身路徑之外，還有北方冷高壓帶來的東北(季)風，並有颱風外圍環流與東北季風輻合產生的共伴效應發生。

從中央氣象署颱風路徑圖(圖 2-8)，尼莎颱風之前身熱帶性低氣壓 TD23 於 10 月 14 日 8 時生成於菲律賓東方外海，隨後沿太平洋高壓南側之偏東風駛流場繼續往西移動(圖 2-9)，從 850hPa 水氣通量圖顯示，主要水氣通量大值均在颱風的北側及東北側外圍，在結構分布上相當不均。TD23 緩慢西行，於 10 月 15 日 14 時升格為 2022 年第 20 號颱風尼莎(NESAT)，中央氣象署同時發布海上颱風警報。在警報發布後，尼莎颱風調整往西北西方移動，在進入巴士海峽後，其高層

輻散改善且位處溫暖洋面上(圖 2-10)，其強度逐漸增強且暴風半徑擴大，颱風暴風圈於 10 月 16 日下午至傍晚掠過臺灣南部海域。由於逐漸遠離臺灣，中央氣象署於 10 月 16 日 20 時解除尼莎颱風之海上颱風警報，並同時將其升級為中度颱風。就運動路徑來看，尼莎颱風是一個由東向西、沿著巴士海峽前進的輕度颱風，它不但中心未登陸臺灣陸地，且路徑較偏巴士海峽南側前進；但卻肇致基隆暖暖、七堵，新北汐止，以及宜蘭大同發生崩塌等多處坡地災害事件，且影響時間持續 4 天，所帶來的累積降雨量也相當可觀（颱風影響期間，最大累積降雨量為臺北市士林區擎天崗 1962mm，其次是宜蘭縣大同鄉樂水分校 1165.5mm 及新北瑞芳五分山的 1034.5mm）。

#### 一、尼莎颱風生命期的 4 個階段：

若依據尼莎颱風環流影響程度及時間，來進行 4 個階段的分類：第 1 階段為東北季風影響(10 月 14 日 0 時至 10 月 15 日 0 時)，第 2 階段為尼莎颱風環流與東北季風共伴(10 月 15 日 0 時至 10 月 16 日 0 時)，第 3 階段為尼莎颱風雨帶或颱風外圍環流影響(10 月 16 日 0 時至 10 月 17 日 0 時)，第 4 階段為東北季風影響(10 月 17 日 0 時至 10 月 18 日 0 時)。

第 1 階段(10 月 14 日)，主要受增強之東北季風影響，且因 TD23 逐漸接近，環境水氣明顯增多(圖 2-11)，臺灣東北部及東部外海的可降水量在 50 至 65mm 之間，環境風場則為盛行東北風。而降雨主因為東北季風吹拂至陸地上後，於迎風面造成降雨。主要降雨區域為臺北市陽明山區及新北市雪山山脈西側(瑞芳至三峽)，最大日累積雨量為新北市瑞芳區五分山 168.5mm(圖 2-12)。

第 2 階段(10 月 15 日)受尼莎颱風外圍環流與東北季風在東北部外海所產生輻合的共伴影響，環境水氣明顯增多(圖 2-13)，配合太平洋高壓脊及尼莎颱風的外圍環流(圖 2-14)，將水氣輸送至臺灣地區東部及東北部外海後，在迎風面地區造成顯著降雨，臺灣東北部及東部外海的可降水量增加在 55 至 70mm 之間，雖然環境仍為東北風，但整體雨勢顯然比 10 月 14 日時來得大。主要降雨區域為臺北市陽明山區、新北市雪山山脈西側及宜蘭縣南部山區，最大日累積雨量為臺北市士林區擎天崗 608mm(圖 2-15)。此外也可觀察到隨著颱風的移動接近，宜蘭南側山區雨勢漸增，在 10 月 15 日 12 時前平均時雨量約 10mm，12 時後平均時雨量約 20mm(圖 2-16)，也有明顯增加的趨勢。

第 3 階段(10 月 16 日)，10 月 16 日 0 時至 16 日 20 時為尼莎颱風通過巴士海峽期間，受尼莎颱風雨帶及外圍環流影響，配合東風上的短波(圖 2-17)，使得海面上的對流發展更加旺盛。清晨至上午在宜蘭至花蓮外海有颱風雨帶沿 700hPa 之東南風自宜蘭縣南澳鄉沿海移入陸地(圖 2-18)，翻越中央山脈後，並於宜蘭縣大同鄉樂水分校至桃園縣復興區光華國小一帶降下超大豪雨，樂水分校 0 時至 12 時的整日累積雨量達 647mm，集中的降雨也造成台 7 線道路中斷，明池山莊 303 人受困。午後至傍晚，尼莎颱風雨帶北移至宜蘭至東北角外海，雨帶翻越雪山山脈後於新北市汐止降下超大豪雨(圖 2-19)，新北市汐止區國一 N013K 13 時至 19 時累積雨量達 276mm，也導致汐止伯爵山莊旁坍方肇生。總結來看，10 月 16 日主要降雨區域為東半部地區及北部地區，在宜蘭南側山區至桃園山區，以及新北市東側山區有較大降雨，單日最高累積雨量為宜蘭縣大同鄉樂水分校的 736mm(圖 2-20)。由於本階段雨勢相當集中，加上前 2 日的前期累積

連續降雨，也肇致基隆暖暖、新北汐止及宜蘭大同等多處崩塌等坡地災害，影響最為顯著。

第 4 階段(10 月 17 日)屬颱風遠離階段，尼莎颱風外圍環流主要為高雄、臺東、屏東及恆春半島帶來間歇性降雨，累積雨量較少。受大陸冷高壓南下帶來較強之東北季風影響，搭配尼莎颱風的殘餘水氣，主要降雨熱區為陽明山區、基隆北海岸、東北角及宜蘭南澳山區(圖 2-21)，其中，在下午 2 時後於新北三芝至瑞芳之沿海鄉鎮有對流持續生成造成持續性降雨，中央氣象署於 18 時 40 分針對新北汐止及基隆北海岸發布大豪雨特報，17 日累積雨量為臺北市士林區擎天崗 743.5mm(圖 2-22)。直到 20 時後水氣逐漸減少，雨勢趨緩，後續才得以於 18 日下午 3 時，解除剩餘之土石流警戒。

綜觀來看，本次尼莎颱風事件主要受颱風雨帶或外圍環流，再搭配與東北季風產生輻合的共伴效應，在基隆北海岸及宜蘭南側山區降下超大豪雨等級之降雨，尼莎颱風遠離後，又有東北季風南下，延長降雨時間，期間 96 小時最大累積雨量為臺北市士林區擎天崗 1962mm，其次是宜蘭縣大同鄉樂水分校 1165.5mm，逐日及期間總累積雨量統計資料可參考表 2-2 至 2-6 及圖 2-23。

表 2-2 10 月 14 日總累積雨量表

| 縣市鄉鎮   | 測站          | 累積雨量<br>(mm) | 較大降雨時段<br>(LST) | 最大時雨量<br>(mm) |
|--------|-------------|--------------|-----------------|---------------|
| 新北市瑞芳區 | 五分山(C0AH30) | 168.5        | 03 至 05 時       | 28.5          |
| 臺北市南港區 | 茶場(A1AD70)  | 125.5        | 19 至 24 時       | 12            |
| 新北市三峽區 | 大豹(01A210)  | 118          | 18 至 24 時       | 19            |
| 新北市三峽區 | 熊空山(01AG10) | 114          | 17 至 24 時       | 18            |
| 臺北市士林區 | 擎天(A1AD10)  | 113          | 23 至 24 時       | 24.5          |
| 宜蘭縣大同鄉 | 翠峰湖(C0U960) | 77           | 20 至 24 時       | 9             |

表 2-3 10 月 15 日總累積雨量表

| 縣市鄉鎮   | 測站               | 累積雨量<br>(mm) | 較大降雨時段<br>(LST) | 最大時雨量<br>(mm) |
|--------|------------------|--------------|-----------------|---------------|
| 臺北市士林區 | 擎天崗(A1AD10)      | 608          | 間歇性             | 42            |
| 臺北市北投區 | 竹子湖(466930)      | 456.5        | 間歇性             | 34.5          |
| 宜蘭縣大同鄉 | 翠峰湖(C0U960)      | 404.5        | 11 至 24 時       | 27.5          |
| 新竹縣尖石鄉 | 西丘斯山<br>(21D350) | 299          | 23 至 24 時       | 38.5          |
| 宜蘭縣大同鄉 | 留茂安(01U070)      | 288          | 21 至 24 時       | 35            |
| 臺北市北投區 | 鞍部(466910)       | 276.5        | 間歇性             | 19.5          |
| 宜蘭縣大同鄉 | 土場(C0UA00)       | 274.5        | 22 至 24 時       | 26.5          |
| 新北市瑞芳區 | 五分山(C0AH30)      | 260          | 間歇性             | 18.5          |
| 新北市汐止區 | 五指山(C0A870)      | 235.5        | 9 至 15 時        | 17            |
| 桃園市復興區 | 拉拉山(CAC040)      | 140.5        | 21 至 24 時       | 12.5          |
| 花蓮縣秀林鄉 | 和中(C0T9D0)       | 82.5         | 12 至 14 時       | 23.5          |

表 2-4 10 月 16 日總累積雨量表

| 縣市鄉鎮   | 測站                   | 累積雨量(mm) | 較大降雨時段<br>(LST) | 最大時雨量<br>(mm) |
|--------|----------------------|----------|-----------------|---------------|
| 宜蘭縣大同鄉 | 樂水分校<br>(81U870)     | 736      | 01 至 13 時       | 106.5         |
| 宜蘭縣大同鄉 | 梵梵(2)<br>(01U060)    | 689      | 01 至 13 時       | 88            |
| 桃園市復興區 | 嘎拉賀(21C090)          | 516      | 03 至 12 時       | 74.5          |
| 桃園市復興區 | 光華農路<br>(81C760)     | 501.5    | 03 至 12 時       | 61            |
| 臺北市士林區 | 擎天崗(A1AD10)          | 497.5    | 14 至 24 時       | 39.5          |
| 新北市汐止區 | 國一 N013K<br>(CAA010) | 478      | 14 至 18 時       | 71            |
| 新北市汐止區 | 汐止(C0AH00)           | 466      | 14 至 18 時       | 65.5          |
| 基隆市七堵區 | 五堵(01B030)           | 454      | 14 至 18 時       | 50            |
| 新北市瑞芳區 | 大粗坑(81AI30)          | 380      | 14 至 20 時       | 48.5          |
| 新竹縣尖石鄉 | 玉峰(21D150)           | 318.5    | 3 至 13 時        | 46.5          |
| 花蓮縣秀林鄉 | 荖溪(C1Z140)           | 246      | 9 至 11 時        | 48            |

表 2-5 10 月 17 日總累積雨量表

| 縣市鄉鎮   | 測站                   | 累積雨量(mm) | 較大降雨時段<br>(LST)      | 最大時雨量<br>(mm) |
|--------|----------------------|----------|----------------------|---------------|
| 臺北市士林區 | 擎天崗<br>(A1AD10)      | 743.5    | 間歇性                  | 55.5          |
| 宜蘭縣南澳鄉 | 西帽山(C0UA50)          | 370.5    | 4 至 5 時<br>10 至 15 時 | 43            |
| 基隆市七堵區 | 國一 S006K<br>(CAB020) | 346      | 8 至 19 時             | 35.5          |
| 新北市瑞芳區 | 三貂嶺(01AF90)          | 338      | 11 至 20 時            | 28            |
| 新北市汐止區 | 五指山(C0A870)          | 335      | 間歇性<br>0 至 18 時      | 23.5          |
| 基隆市七堵區 | 五堵(01B030)           | 323      | 7 至 14 時             | 24            |
| 臺北市北投區 | 鞍部(466910)           | 311      | 間歇性<br>0 至 16 時      | 21            |
| 臺北市士林區 | 溪山(A1AC90)           | 305      | 6 至 18 時             | 24            |
| 基隆市七堵區 | 復興國小<br>(NUP490)     | 304      | 間歇性<br>14 至 20 時     | 38            |
| 新北市瑞芳區 | 五分山(C0AH30)          | 303      | 6 至 20 時             | 24.5          |
| 宜蘭縣南澳鄉 | 東澳(C0U760)           | 301      | 間歇性<br>4 至 16 時      | 36.5          |

表 2-6 10 月 14 至 10 月 17 日總累積雨量表

| 縣市鄉鎮       | 測站                   | 累積雨量<br>(mm) | 縣市鄉鎮       | 測站               | 累積雨量<br>(mm) |
|------------|----------------------|--------------|------------|------------------|--------------|
| 臺北市<br>士林區 | 擎天崗<br>(A1AD10)      | 1962         | 宜蘭縣<br>大同鄉 | 樂水分校<br>(81U870) | 1165.5       |
| 新北市<br>瑞芳區 | 五分山<br>(C0AH30)      | 1034.5       | 宜蘭縣<br>大同鄉 | 翠峰湖<br>(C0U960)  | 987          |
| 基隆市<br>七堵區 | 五堵(01B030)           | 984          | 臺北市<br>北投區 | 鞍部(466910)       | 976.5        |
| 宜蘭縣<br>大同鄉 | 梵梵<br>(2)(01U060)    | 961          | 新北市<br>平溪區 | 火燒寮<br>(01A200)  | 907          |
| 基隆市<br>七堵區 | 國一 S006K<br>(CAB020) | 898          | 新北市<br>汐止區 | 五指山<br>(C0A870)  | 885.5        |
| 新北市<br>雙溪區 | 泰平(C0A550)           | 868          | 宜蘭縣<br>南澳鄉 | 西帽山<br>(C0UA50)  | 858.5        |
| 臺北市<br>士林區 | 溪山(A1AC90)           | 851.5        | 宜蘭縣<br>南澳鄉 | 西德山<br>(C0UA40)  | 850.5        |
| 新北市<br>雙溪區 | 太平(L1A840)           | 836          | 新北市<br>汐止區 | 汐止(C0AH00)       | 816.5        |
| 新北市<br>瑞芳區 | 大粗坑<br>(81AI30)      | 804.5        | 新北市<br>瑞芳區 | 三貂嶺<br>(01AF90)  | 793          |
| 新北市<br>汐止區 | 國三 S010K<br>(CAA030) | 790.5        | 宜蘭縣<br>大同鄉 | 土場(C0UA00)       | 785          |
| 新竹縣<br>尖石鄉 | 西丘斯山<br>(21D350)     | 578.5        | 桃園市<br>復興區 | 嘎拉賀<br>(21C090)  | 584          |
| 桃園市<br>復興區 | 光華農路<br>(81C760)     | 563.5        | 花蓮縣<br>秀林鄉 | 和平林道<br>(C0Z220) | 395          |

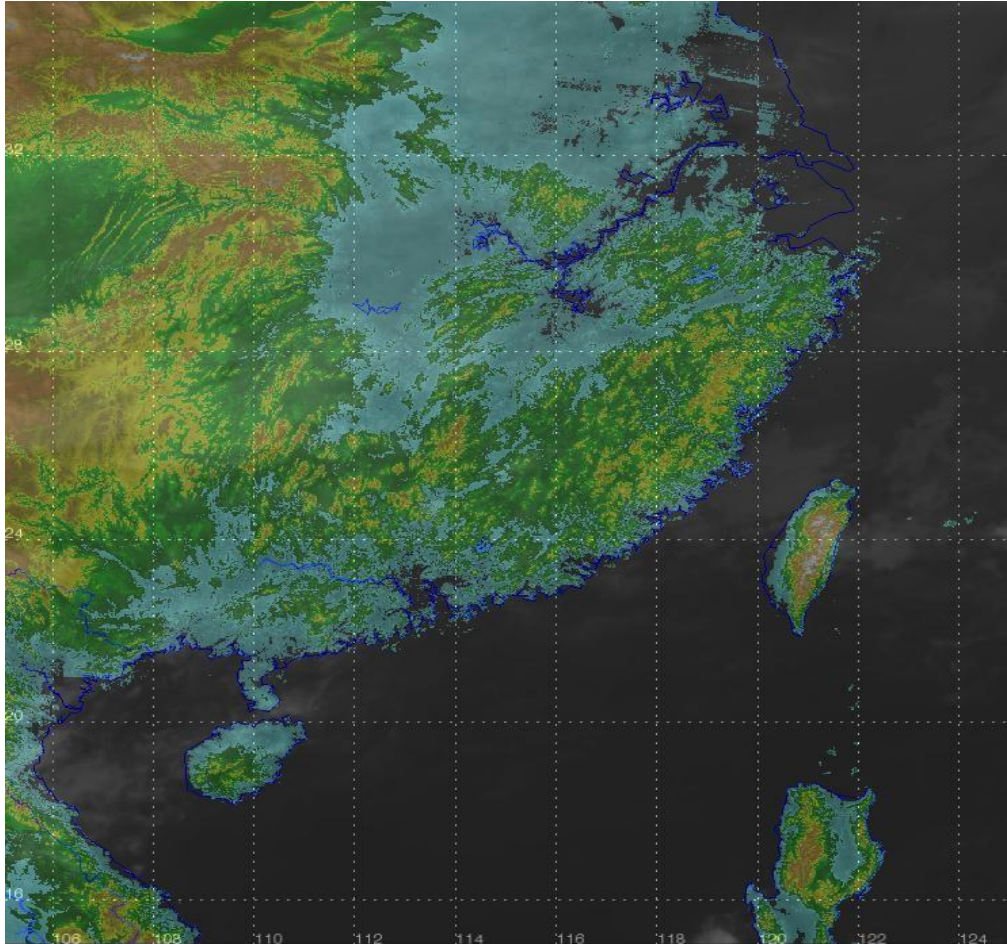


圖 2-5 研究中選取衛星雲圖診斷範圍（18-30°N，108-122°E），主要涵蓋大陸華南地區、海南島、南海、臺灣海峽及本省地區

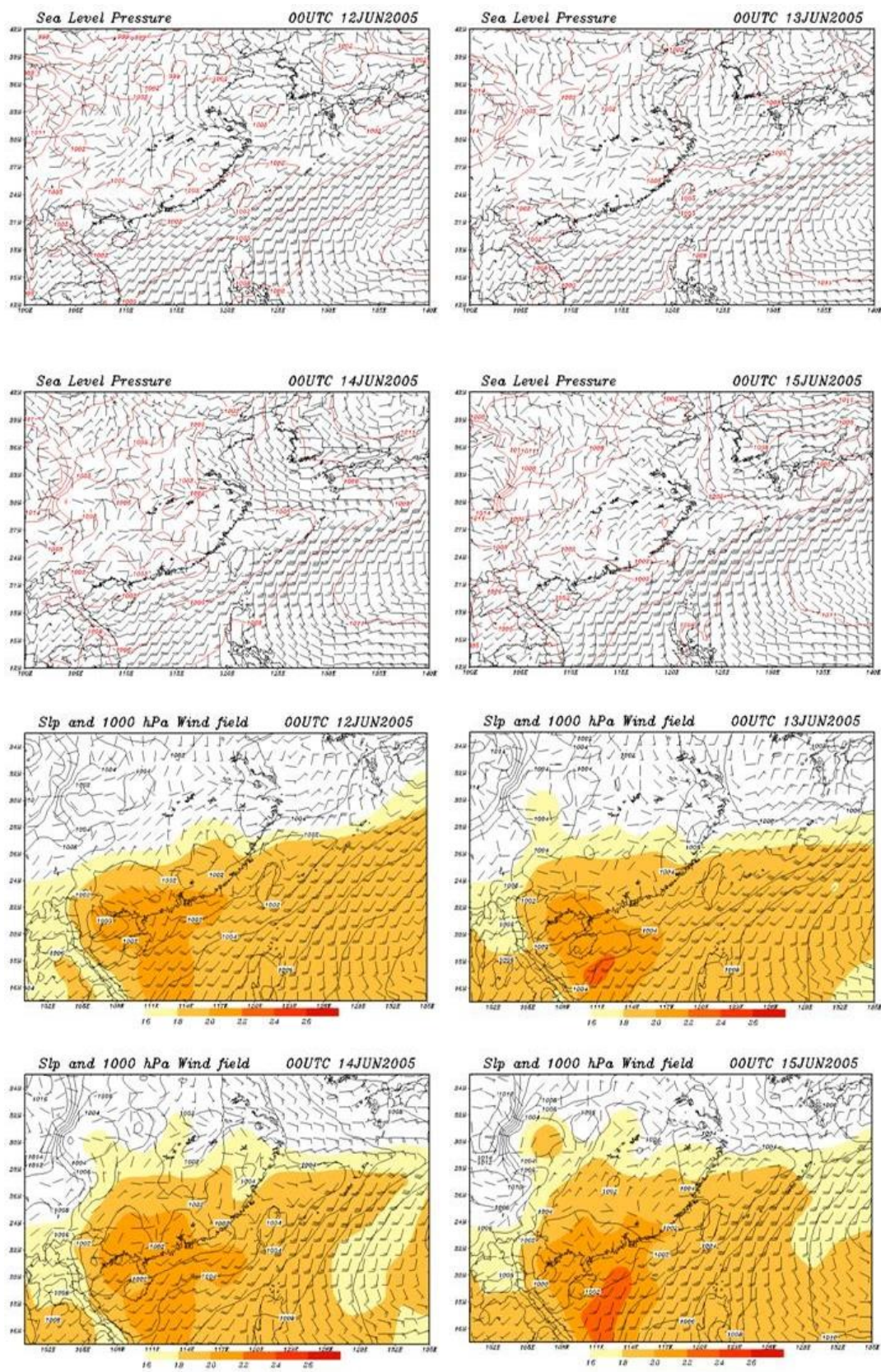


圖 2-6 NCEP/DOE Reanalysis-I 經緯度網格分析場資料

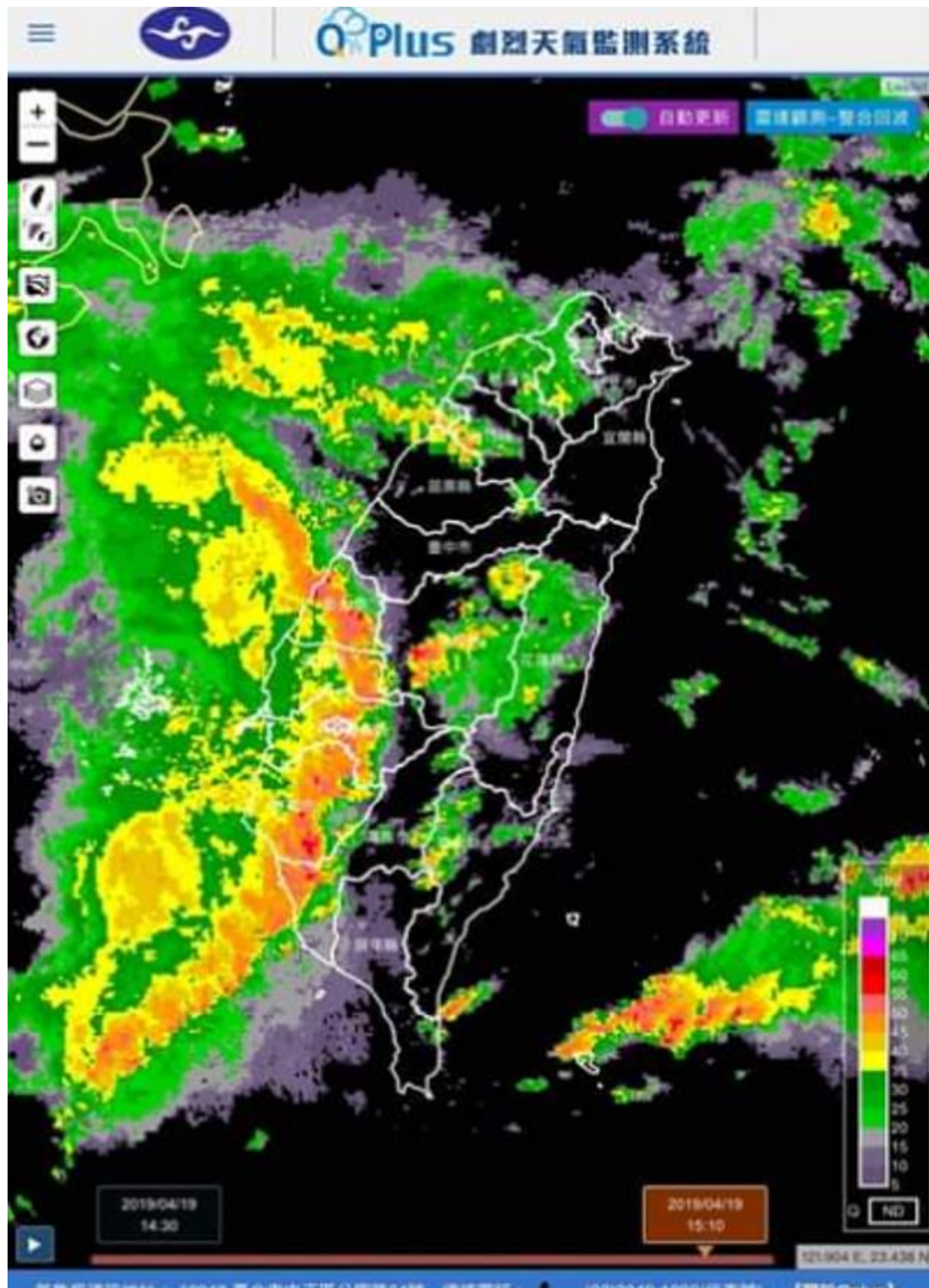


圖 2-7 中央氣象署新一代劇烈天氣監測系統(Q-Plus) 資料

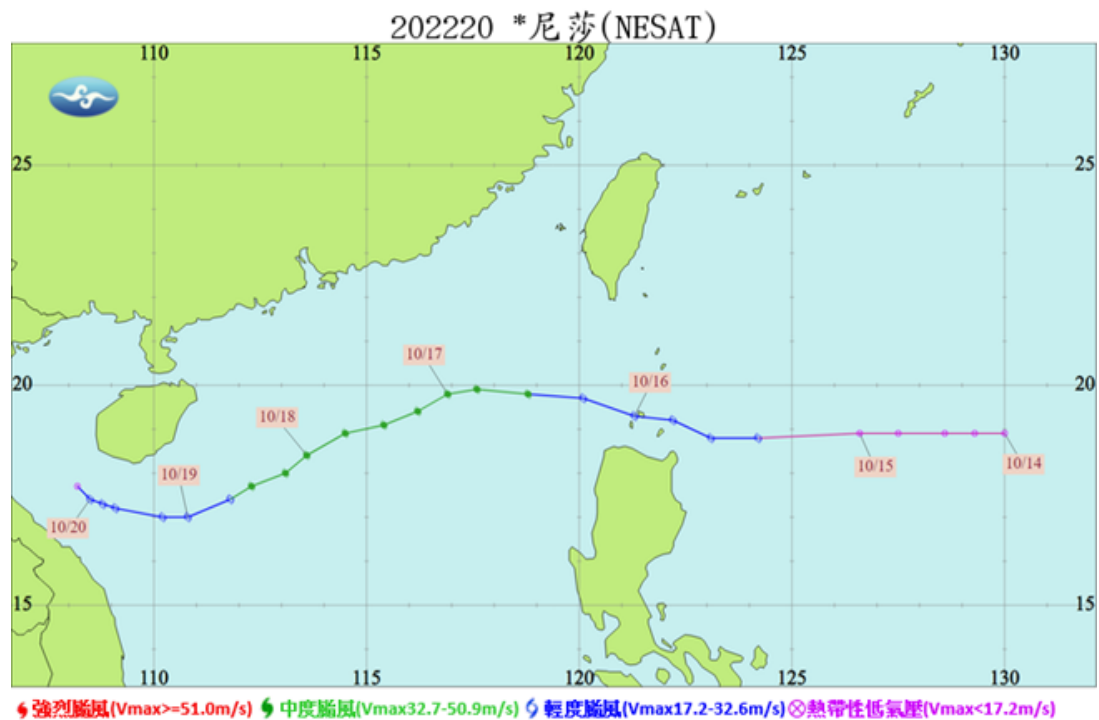


圖 2-8 尼莎颱風路徑圖（資料來源：中央氣象署）

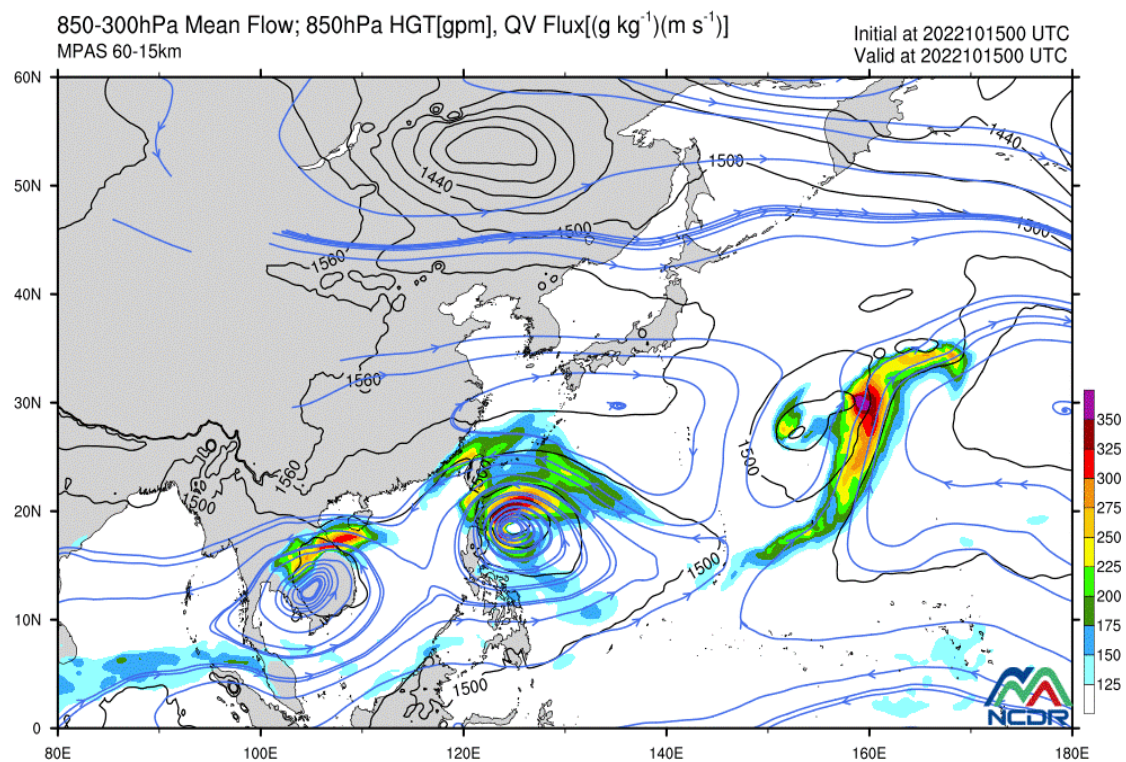


圖 2-9 2022 年 10 月 15 日 00UTC MPAS 模式 850hPa 水氣通量圖：黑色實線為 850hPa 重力位高度，藍色流線為 850 至 300hPa 平均氣流場，底圖為 850hPa 水氣通量（資料來源：NCDR）

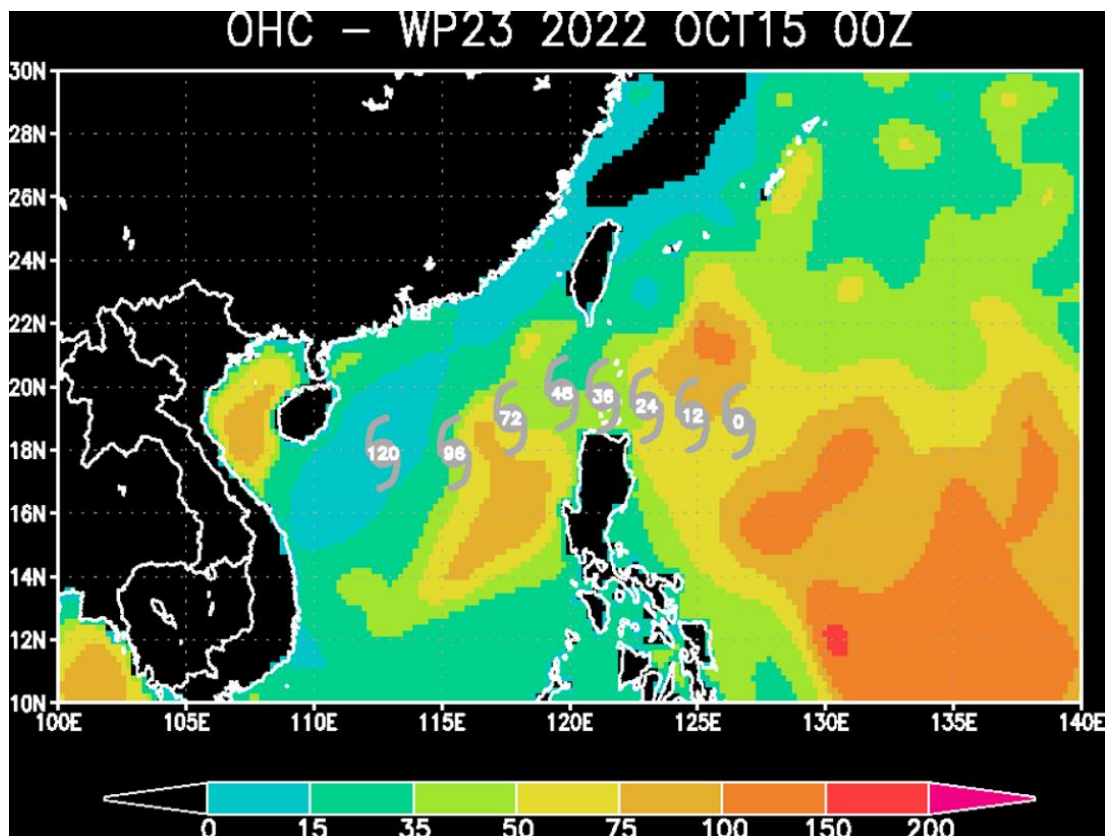


圖 2-10 2022 年 10 月 15 日 00UTC 海水熱烺量圖  
(資料來源：RAMMB)

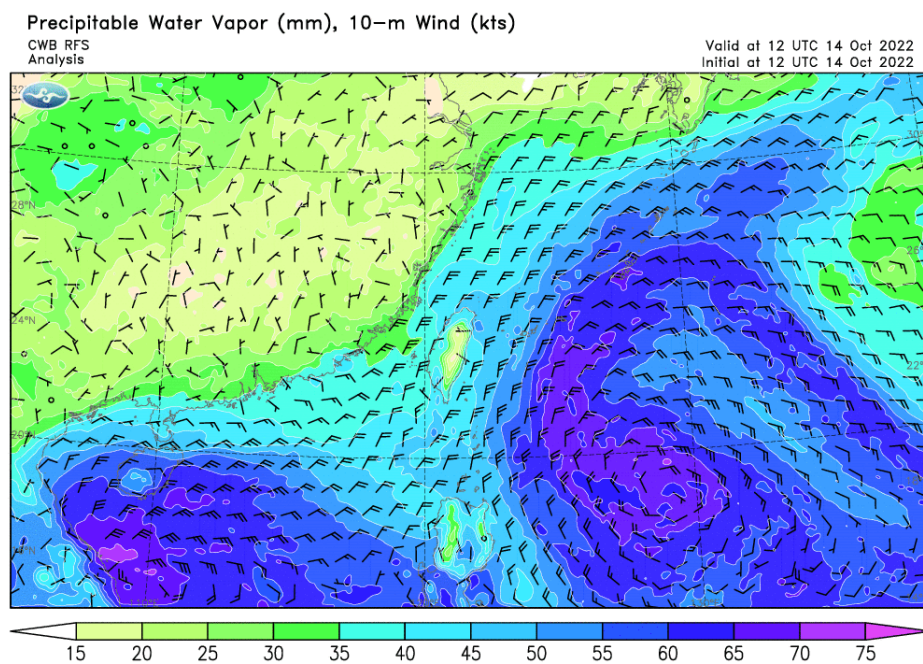


圖 2-11 2022 年 10 月 14 日 12UTC WRF-D 可降水量圖：風標為地面  
風，底圖則為可降水量（資料來源：中央氣象署）

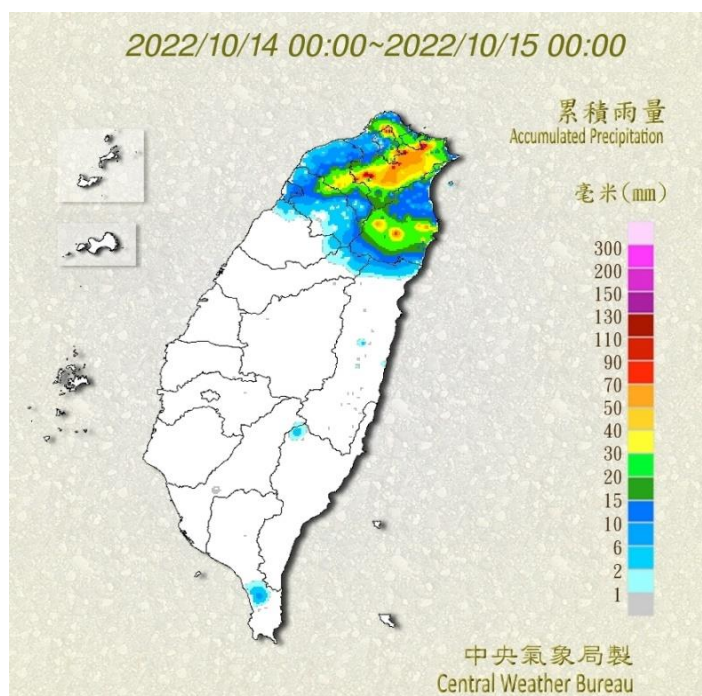


圖 2-12 2022 年 10 月 14 日單日日累積雨量圖

(資料來源：中央氣象署)

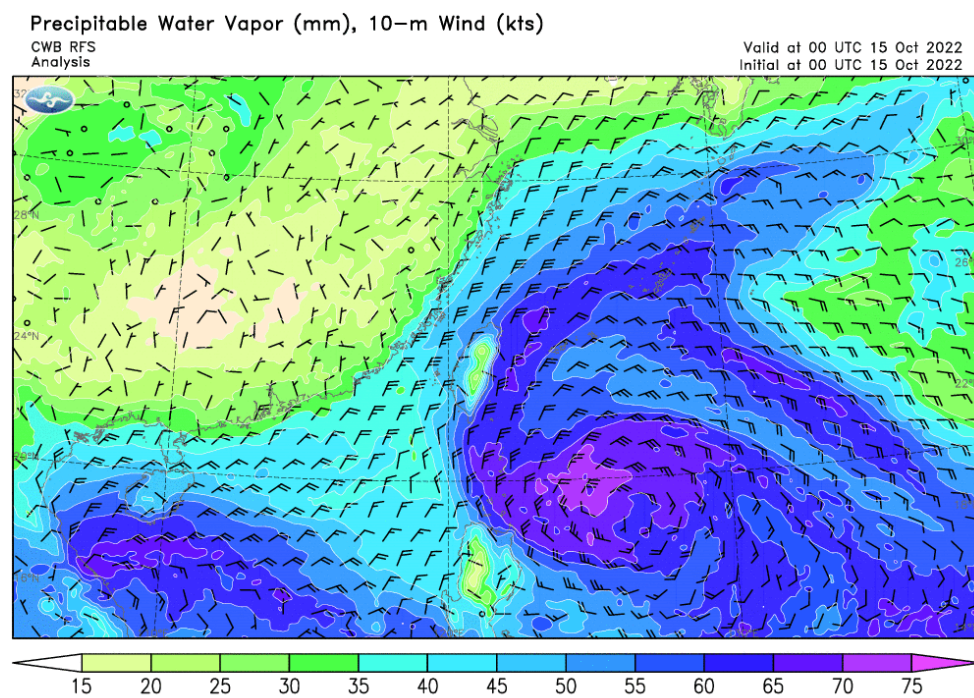


圖 2-13 2022 年 10 月 15 日 00UTC WRF-D 可降水量圖

(資料來源：中央氣象署)

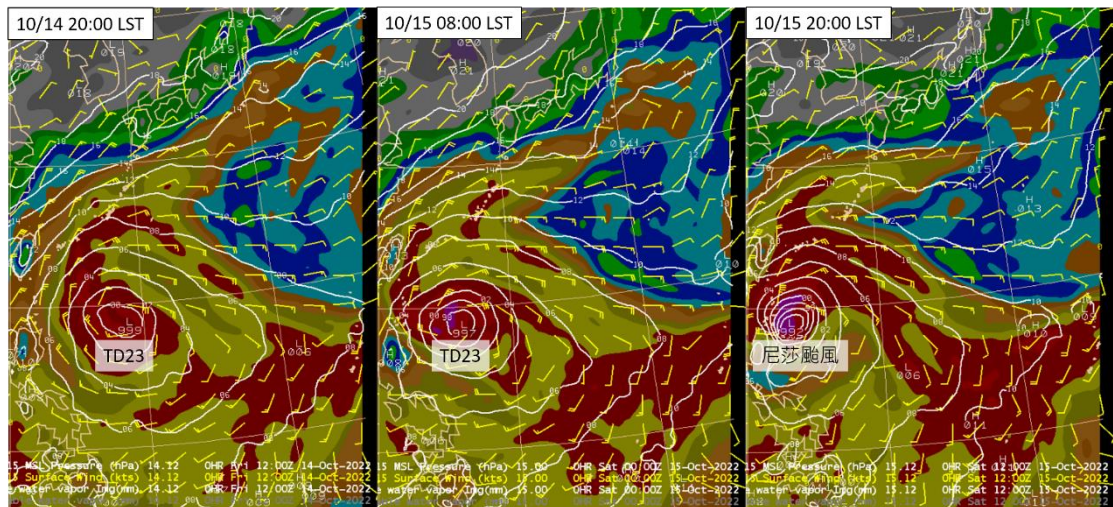


圖 2-14 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 20 時，尼莎颱風逐漸靠近巴士海峽，太平洋高壓脊配合尼莎颱風外圍環流，將水氣輸送至臺灣東部及北部地區，紅色代表水氣較豐沛之地區  
(資料來源：Wins)

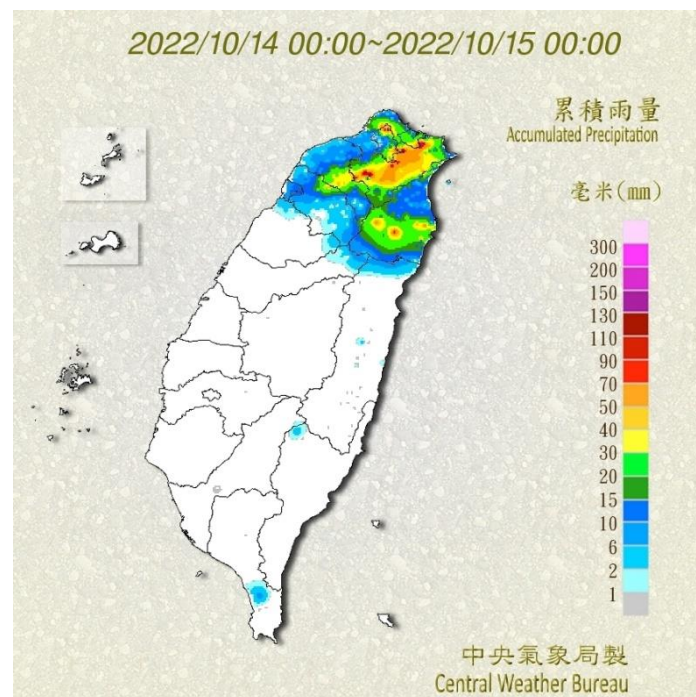


圖 2-15 2022 年 10 月 15 日單日日累積雨量圖  
(資料來源：中央氣象署)

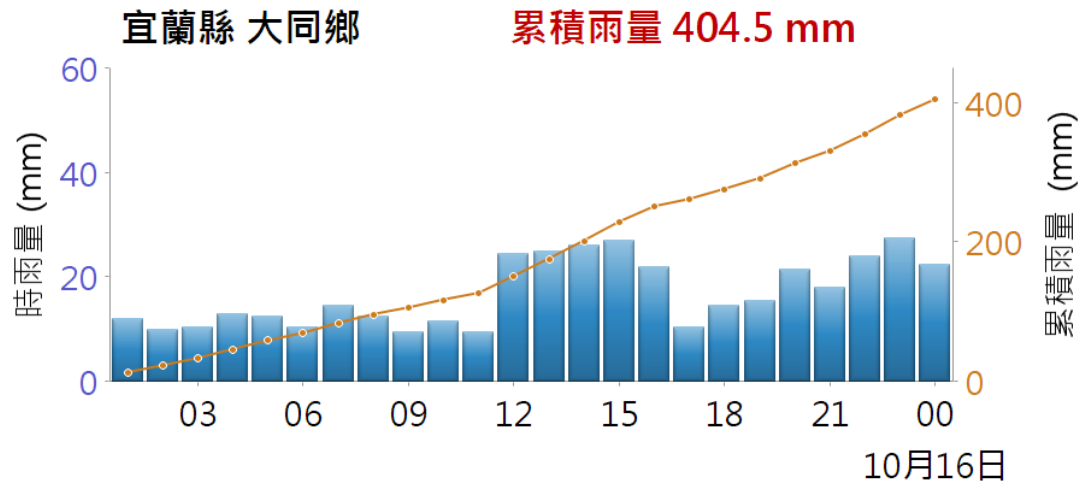


圖 2-16 2022 年 10 月 15 日宜蘭縣大同鄉翠峰湖降雨歷線圖：柱狀圖為時雨量，折線圖則為單日累積雨量圖，橫軸為時間(單位：小時)（資料來源：NCDR）

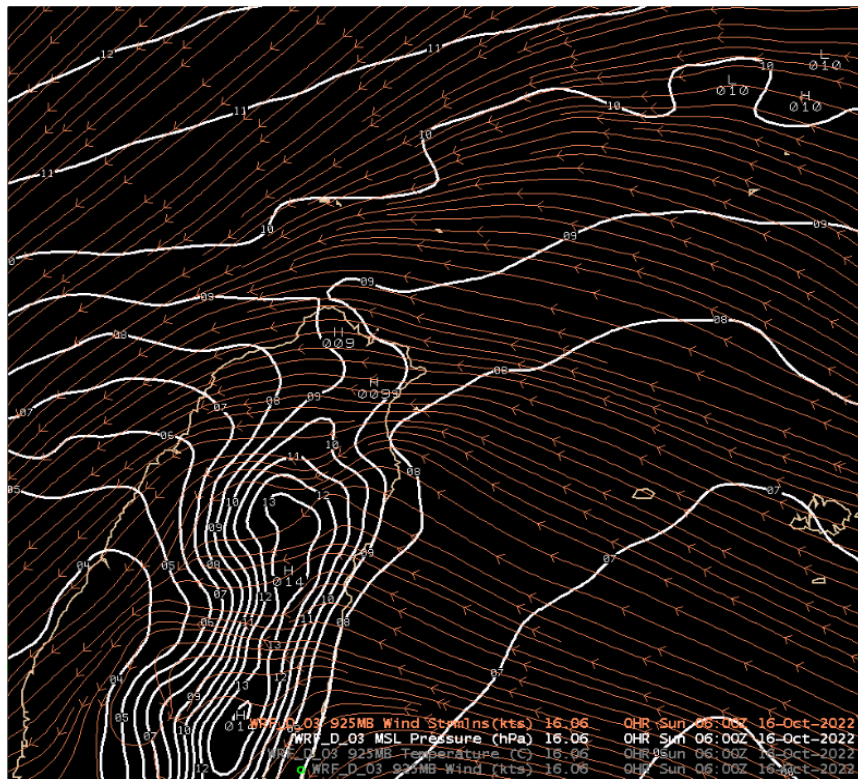


圖 2-17 10 月 16 日下午 14 時的地面氣壓值和 925 百帕的風場，可以看到北臺灣有東風上的短波（資料來源：Wins）

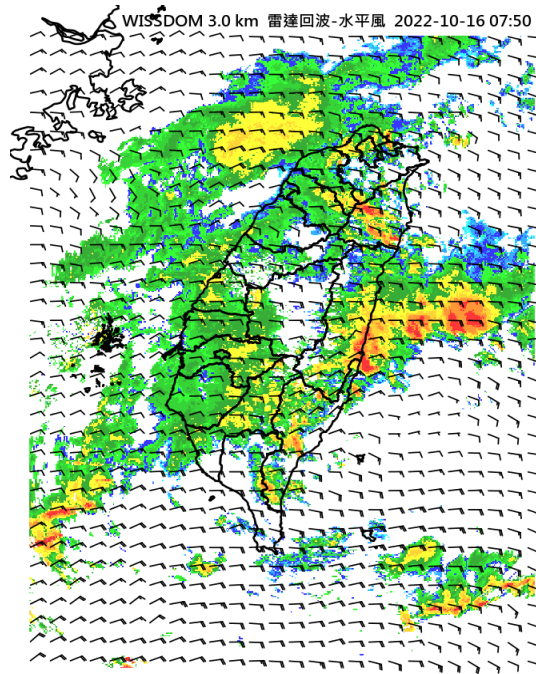


圖 2-18 2022 年 10 月 16 日 7 時 50 分 3km 高雷達回波及風場：底圖為海拔 3km 高之雷達合成回波，風標為 3km 高採用 WISDOM 方式計算之雷達反演風（資料來源：NCDR）

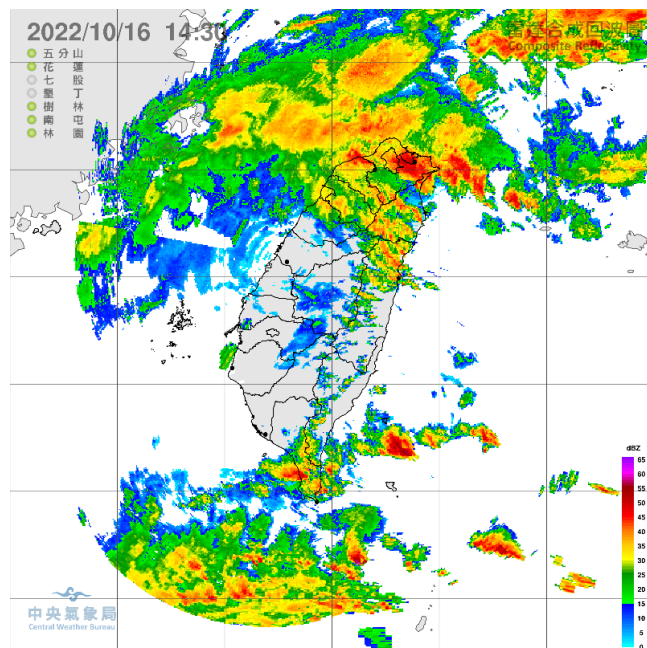


圖 2-19 2022 年 10 月 16 日 14 時 30 分氣象署雷達回波圖  
（資料來源：中央氣象署）

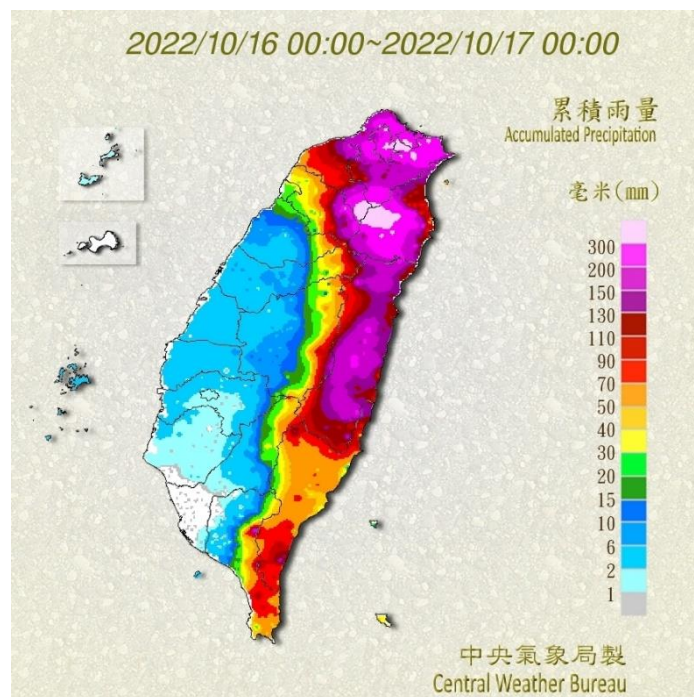


圖 2-20 2022 年 10 月 16 日單日日累積雨量圖

(資料來源：中央氣象署)

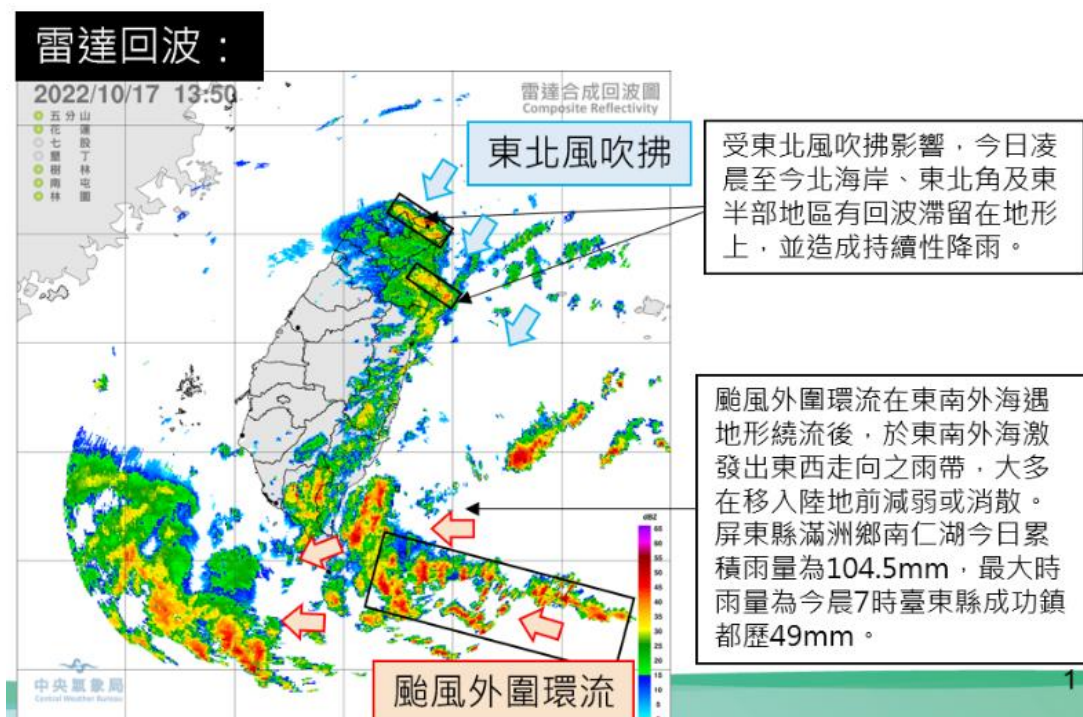


圖 2-21 2022 年 10 月 17 日 13 時 50 分雷達回波圖

(資料來源：中央氣象署)

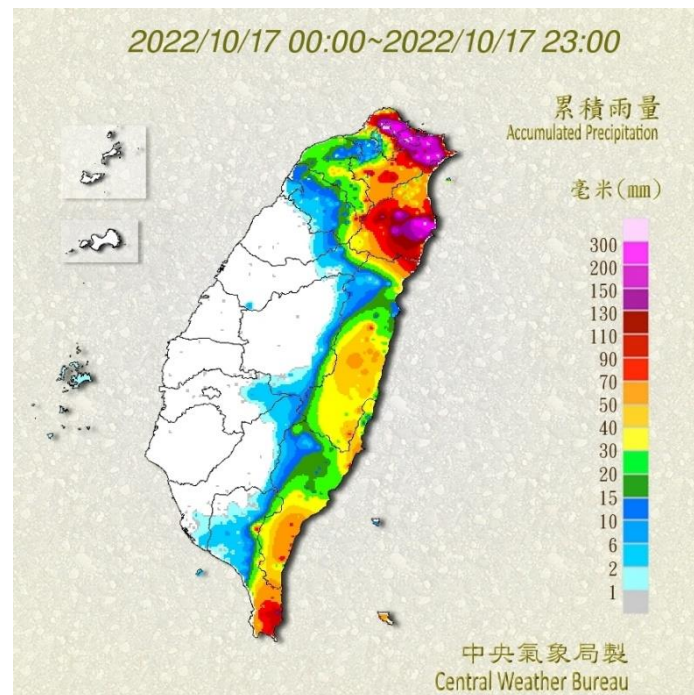


圖 2-22 2022 年 10 月 17 日 0 時至 23 時累積雨量圖

(資料來源：中央氣象署)

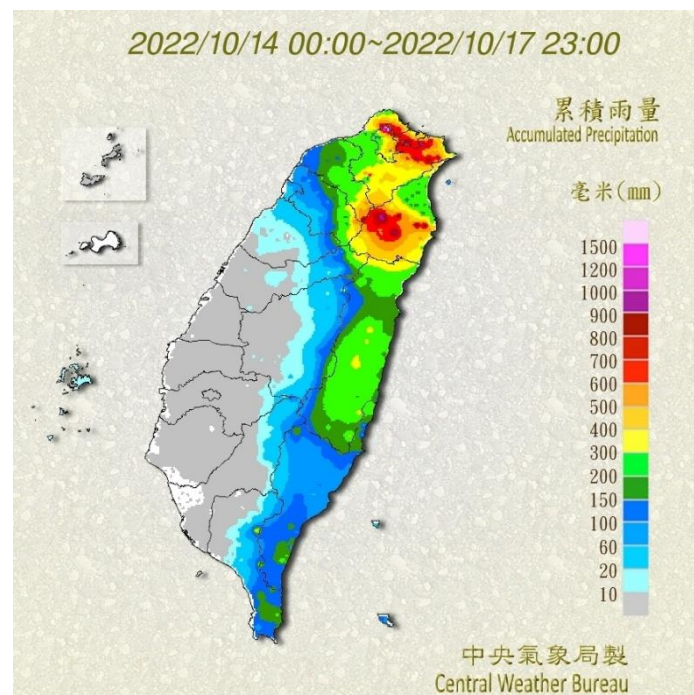


圖 2-23 2022 年 10 月 14 日 0 時至 17 日 23 時 95 小時累積雨量圖

(資料來源：中央氣象署)

## 二、超大豪雨的環境特徵：

由中央氣象署的 500 百帕環境分析場(圖 2-24)可以看到，10 月 14 日 20 時至 10 月 17 日位於華中至華北一帶前後共有 2 道槽線通過，其中 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日是第 1 道槽線影響，大陸冷高壓位於華北地區並向東移動(圖 2-25)，槽線通過，通常代表後面北方冷空氣更有機會南下，整個華南到臺灣地區大範圍都在東北風的環境下，對應東北季風的強度也有增強的趨勢。此時彭佳嶼地區探空圖(圖 2-26)在近地面的風速在 20 至 25 節，風向轉至 45 度，東北風厚度可自地面向上延伸至 1500 至 2000 尺，且風速也有逐漸增強的趨勢。並且尼莎颱風帶來足夠的水氣，低層環境相當潮溼，700 百帕以下幾乎呈現飽和狀態，此階段大氣環境在經過東北部的特殊地形後，更為有利於東北風的分流在磺溪山谷內合流(圖 2-27)，造成強降雨現象的發生。而在 10 月 16 日 20 時之後第 2 道槽線位於華中地區並加深，北方冷空氣明顯增強，彭佳嶼地區探空圖在近地面的風速增強至 30 節，風向由 60 度轉至 45 度，也造成北部山區第二次發生強降雨現象。

至於尼莎颱風外圍環流與東北季風共同影響部分：從 10 月 15 日 0 時至 10 月 16 日 20 時 925 百帕分析場(圖 2-28)可以看到，10 月 15 日 20 時至 10 月 16 日 20 時臺灣北部海面持續偏東北風，而在 16 日 08 時至 16 日 20 時尼莎颱風通過巴士海峽後，在臺灣東部海面轉偏東風至東南風，在宜蘭外海與東北季風形成輻合，隨後，再隨著環境的駛流場移入臺灣陸地，此位置非常有利於迎風面的臺灣東北部形成顯著的降雨現象。

圖 2-29 就顯示當颱風外圍環流與環境東北風所形成的共伴效應示意圖，主要有 3 個不同的階段，第 1 階段，大環境要有東北季風南

下，第 2 階段，颱風外圍雲系在颱風的東北部區域會帶來東南風，第 3 階段，此時東北季風的冷空氣和颱風所攜帶的水氣加乘，產生共伴效應，迎風面的臺灣東北部雨勢會更加明顯增大。若比較 2021 年的圓規颱風，圓規颱風通過巴士海峽期間(圖 2-30)，環境為偏東風，並未在宜蘭外海地區有明顯風向輻合區；另外，從等溫線分布可以看到，溫度梯度前緣在華南地區，而是在圓規颱風通過巴士海峽後，溫度梯度前緣抵達臺灣北部，此時臺灣北部逐漸脫離颱風外圍環流影響，故無法與東北季風形成共伴效應，兩者環境機制不同。

綜上，尼莎颱風從 2022 年 10 月 14 日尚未發展成颱風時，向東移動接近巴士海峽時帶來充足水氣，此時臺灣受東北季風影響，在磺溪山谷內形成合流並在擎天崗地區發生超大豪雨。10 月 15 日 14 時尼莎颱風形成後並通過巴士海峽，於 15 日 08 時起至 16 日 20 時臺灣東部海面受颱風外圍環流影響，於在宜蘭外海與東北季風形成共伴，使宜蘭外海持續有強對流雲系發展後向西移入臺北市東側地區並造成短延時強降雨。16 日 20 時候尼莎颱風逐漸遠離，臺灣受東北季風以及颱風殘餘水氣影響，再次在北部地區發生超大豪雨。比較 2021 年圓規颱風環境場，並無顯著冷空氣影響，因此沒有共伴效應發生。

此次事件造成臺灣北部及東北部地區前後共發布土石流黃色警戒 91 條，紅色警戒 75 條，根據研究分析結果，在天氣預報上除了要注意東北季風之風向及風速外，也須掌握來自菲律賓東方海域至南海之熱帶系統所帶來的水氣，增強對冷季東北部地區劇烈降雨的預報能力。另外，判斷是否颱風外圍環流與東北季風共伴，除了留意宜蘭外海是否有明顯的輻合帶外，亦可以透過等溫線判斷是否有冷空氣南下，做為加強東北季風共伴的參考依據。

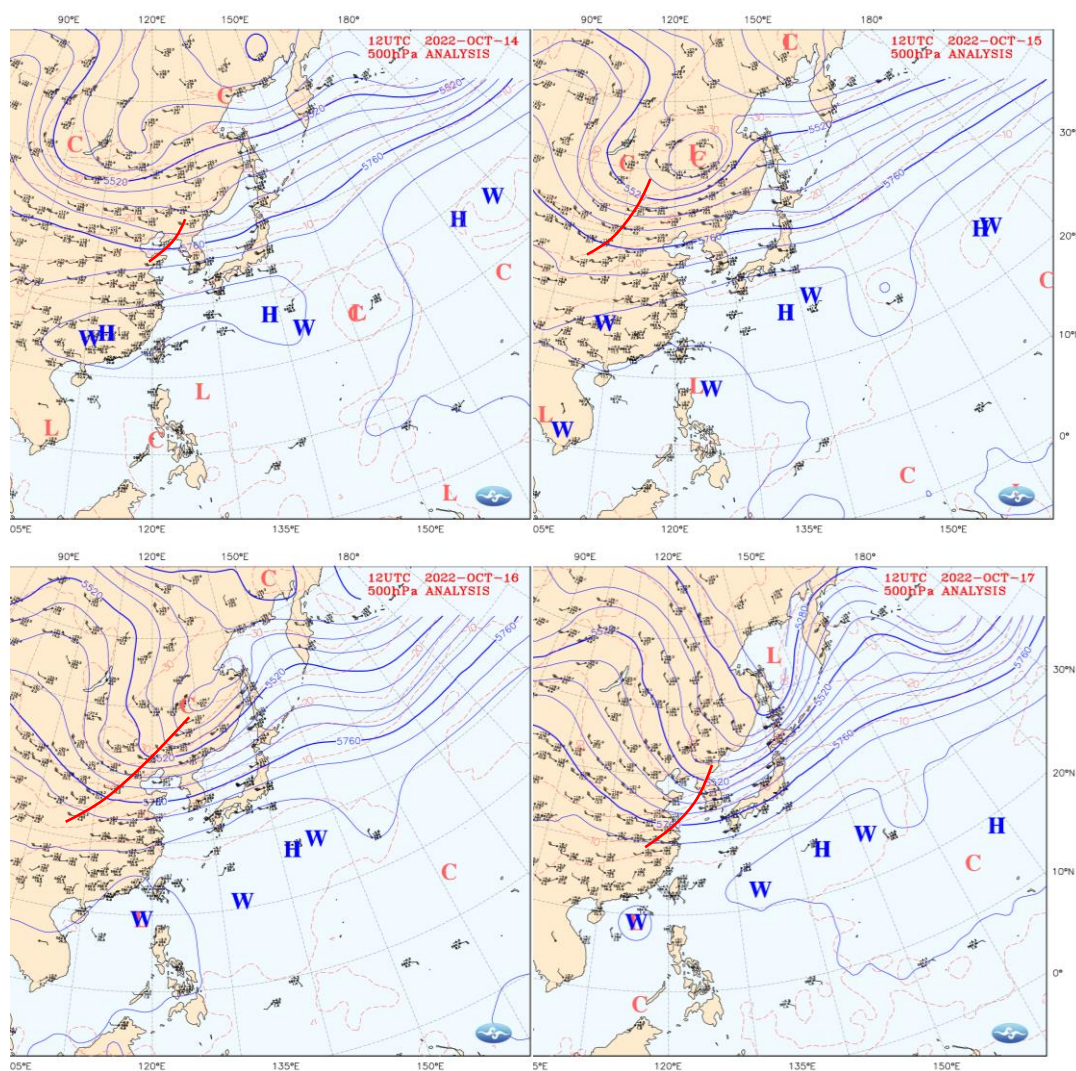


圖 2-24 2022 年 10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 06 時及 10 月 16 日 20 時至 10 月 17 日 20 時 500 百帕分析場，其中，紅色曲線代表在 500 百帕上的槽線（資料來源：中央氣象署）

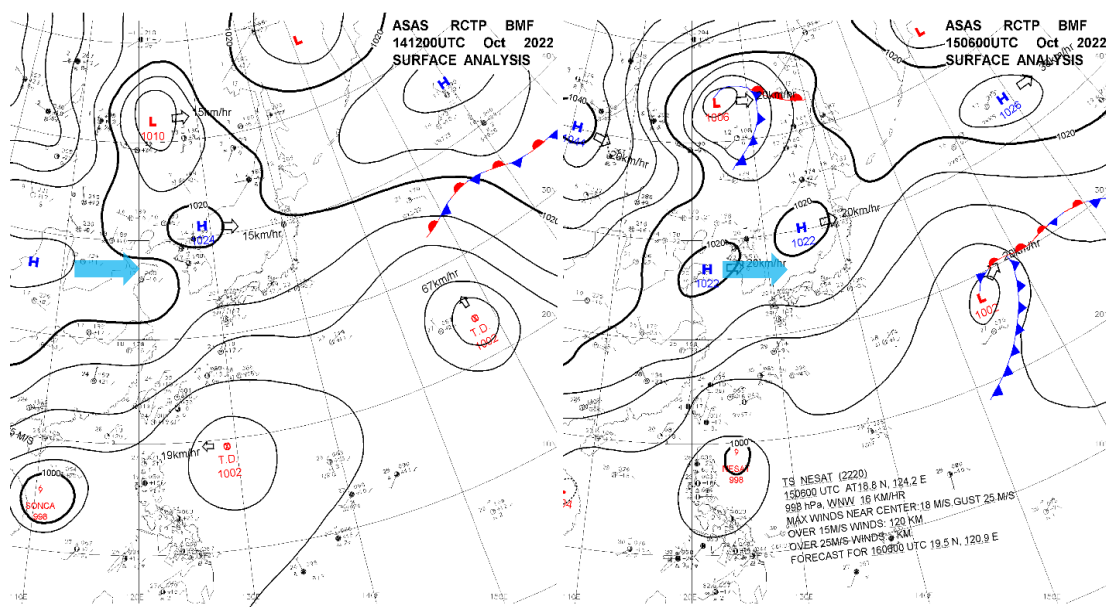


圖 2-25 2022 年10 月 14 日 20 時至 10 月 15 日 06 時地面天氣圖

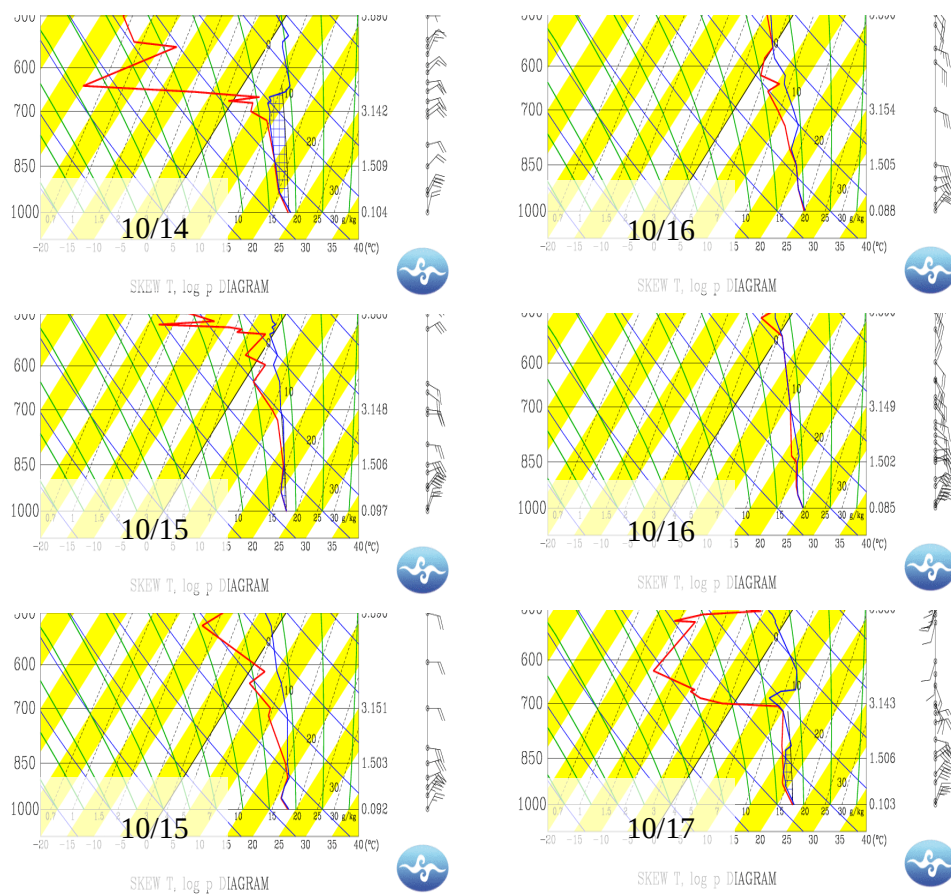


圖 2-26 2022 年10 月 14 日 20 時至 10 月 17 日 08 時彭佳嶼探空

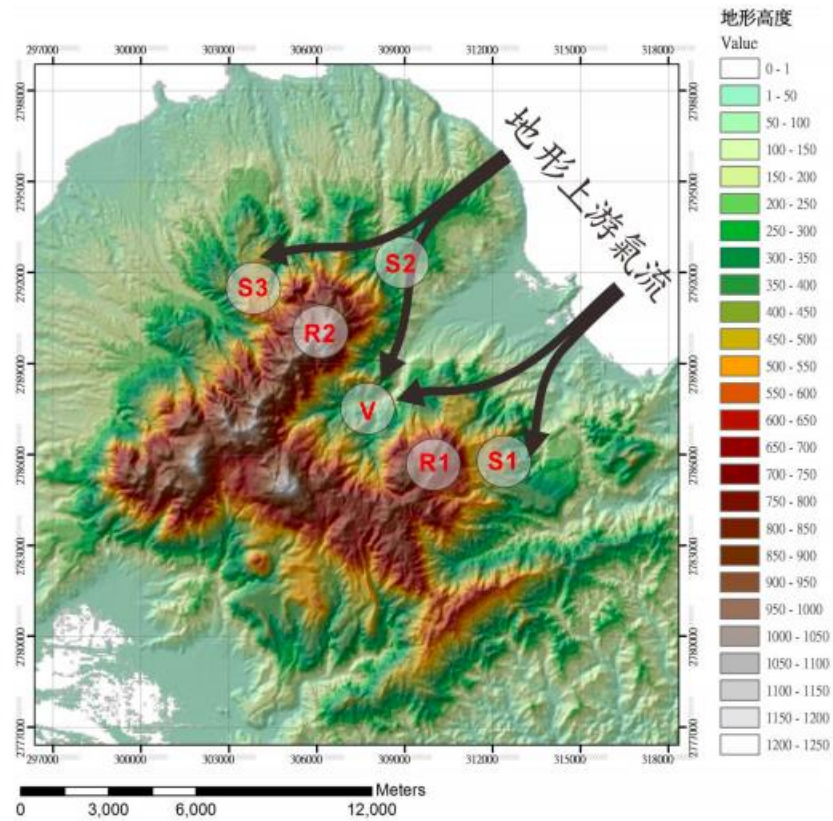


圖 10 強降水區域示意圖，色階為地形高度（單位為公尺，間距如圖右方所標示），比例尺標示於左下方。R1 及 R2 代表山頂區域，S1、S2 及 S3 代表斜坡區域，V 代表山谷區域，箭頭表示地形上游氣流接近地形之特徵。

圖 2-27 東北季風的分流在礪溪山谷內合流示意圖

（資料來源：鄭與游，2014）

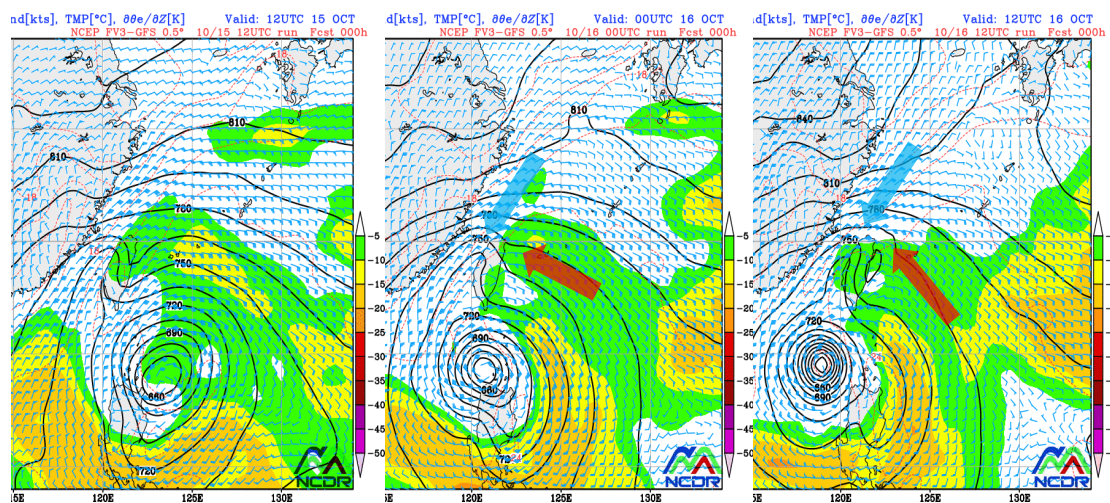


圖 2-28 2022 年 10 月 15 日 20 時 10 月至 16 日 20 時 925 百帕 NCEP

模式環境分析場

## 共伴效應示意圖

資料來源：  
中央氣象局

**3** 東北季風  
的冷空氣和颱風  
的水汽加乘，  
產生共伴效應，  
迎風面的台灣  
北部及東半部  
雨勢會更大

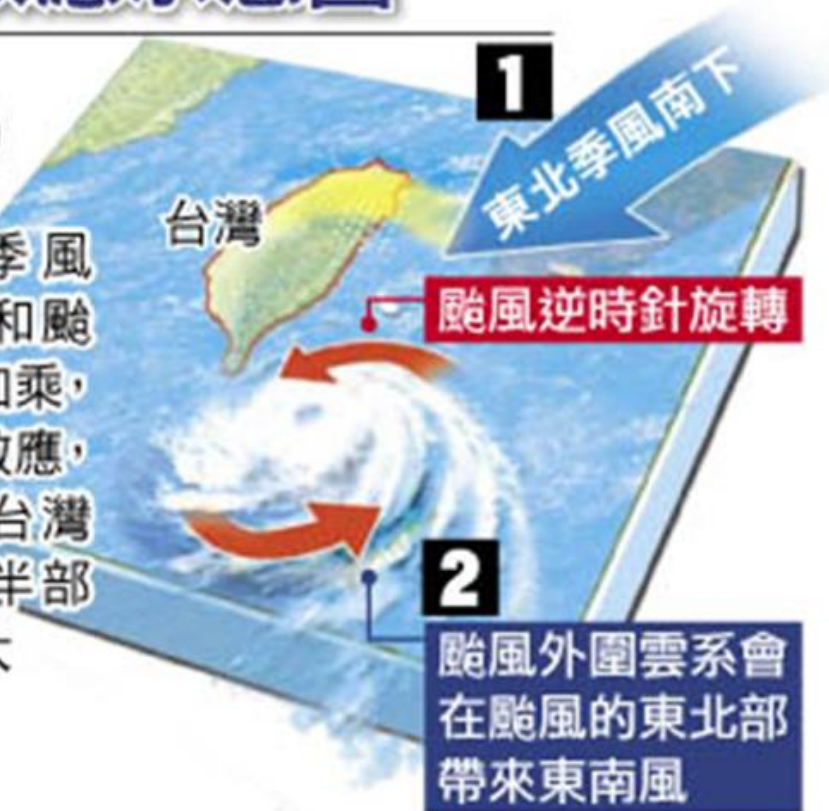


圖 2-29 颱風外圍環流和東北季風共伴示意圖

(資料來源：中央氣象署)

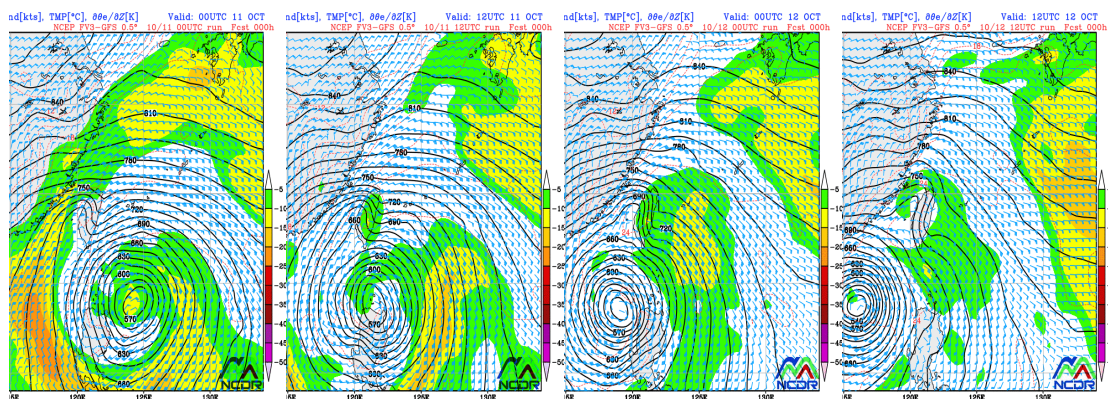


圖 2-30 2021 年圓規颱風通過巴士海峽期間，NCEP 模式環境分析場

### 三、平衡得分的計算：

劇烈降雨前，反應在環境量場以及系統本身的變化與趨勢，均存在有顯著的關鍵訊號。根據上述診斷量場分析，完成臺灣東北部地區冷季異常降雨且有肇致坡地災害的量化檢查表（圖 2-31），並透過本研究個案進行校驗分析，滾動式修正，嘗試找到關鍵的有效閾值。研究也發現，當滿足 8 項或以上的項數個案，肇致豪大雨現象機會相對提高，所對應的坡地災害肇生機率也相對增加。參考 Wilks（2011）技術得分計算，為評估綜觀環境條件各檢查滿足項目對於預報災區強降雨的預兆得分(Threat Score, TS)，設定觀測雨量門檻值，且設定目標災區中有任一測站達強降雨標準，即視為滿足強降雨發生。將各項目檢查預報結果與實際觀測資料分別進行比對，利用誤差矩陣判斷各次評估之準確率，誤差矩陣可分為 4 種情境，分別為滿足，有預測/有發生(hits)、滿足，有預測/無發生(misses)，無滿足，無預測/有發生(false alarms)，無滿足，無預測/無發生(no events)。故可利用其分類結果，進一步計算可偵測率(Probability of Detection, POD)、誤報率(False Alarm Ratio, FAR)、偏差得分(Bias Score, BS)以及預兆得分(Threat Score, TS)等四種評估指標，藉以掌握可靠性較高且滿足坡地災害事件肇生的綜觀環境條件關鍵因數，可適時回饋於災區強降雨發生與否的預報決策參考。

從整體分析結果來看（圖 2-32），在這 41 個坡地災害案例發生前 6 小時、前 12 小時及前 24 小時的 TS 值，分別為 0.68、0.64 及 0.59，顯示就整體統計分析來看，TS 愈接近 1，累積降雨量門檻是具有預報技術能力。BS 值分別為 1.41、1.52 及 1.65，當 BS 大於 1，代表有過度預報情事，可以進行適度修正。顯示預報極端劇烈降雨事件時，

預報人員對於天氣系統強度的掌握普遍都有高估的趨勢。POD 值在坡地災害事件發生前 6 小時、前 12 小時及前 24 小時分別為 0.92、0.94 及 0.92，根據經驗，POD 愈高，代表預報技術愈好。FAR 值分別為 0.26、0.29 及 0.35，當 FAR 得分愈低，表示錯誤預報愈少。這也突顯在整個運動及發展過程中，仍存在有相當程度的不確定性；若與去年針對梅雨季劇烈降雨導致坡地災害的個案平衡得分來進行比較，所得 TS 值得分較高，BS 值得分較低，顯示量化檢查表對於臺灣東北部地區冷季異常降雨預報的掌握能力較為穩定。另一方面，在所統計的 10 項影響因子當中，達肇致坡地災害的個案有 3 項的滿足率大於 85% 為最高，分別為「臺灣東北部外海有氣流場的輻合」、「850hPa 水氣通量輻合大於  $180\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 」，以及「850hPa 溫度場有顯著冷平流」等，值得未來在冷季診斷臺灣東北部地區是否會有異常降雨時的重要參考依據之一。

爰此，從坡地災害事件發生前 6-12 小時，無論是在可偵測率、誤報率或是預兆得分上，綜合整體的預報表現成效最佳，適可提供防災應變前置預警整備的重要參考資訊，有效協助防災應變的前置預警整備工作；就防災應變的資料判讀、決策擬定與信心下達而言，此階段的檢查執行效益表現具有相當程度的參考價值。

| 項次 | 層別 | 檢 查 項 目                                              | 0時 | 前6<br>小時 | 前12<br>小時 | 前24<br>小時 | 備 考 |
|----|----|------------------------------------------------------|----|----------|-----------|-----------|-----|
| 1  | 低層 | 在北緯17至22度之間，巴士海峽附近，有自東向西移動的颱風或熱帶擾動系統                 | ●  | ●        | ●         | ●         |     |
| 2  | 低層 | 在東經120至125度、北緯24至28度之間，有大範圍風速大於15kTs的東北風             |    |          |           |           |     |
| 3  | 低層 | 在東經122至124度、北緯24至26度之間，臺灣東北部外海有氣流場的輻合                |    |          |           |           |     |
| 4  | 低層 | 在東經120至125度、北緯24至28度間，大範圍東北風持續超過48小時或以上              |    |          |           |           |     |
| 5  | 低層 | 850hPa水氣通量輻合<br>大於 $180\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ |    |          |           |           |     |
| 6  | 低層 | 地面圖中，在東經118至122度、北緯25至28度之間，有大陸高壓系統存在                |    |          |           |           |     |
| 7  | 低層 | 850hPa溫度場，在東經117至122度、北緯23至28度之間，有顯著冷平流              |    |          |           |           |     |
| 8  | 中層 | 500hPa高度場，在東經117至122度、北緯23至28度之間，有槽線通過               |    |          |           |           |     |
| 9  | 中層 | 700hPa相對濕度<br>大於85%                                  |    |          |           |           |     |
| 10 | 中層 | 500hPa渦度場有<br>大於 $5 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 正渦度 |    |          |           |           |     |

圖 2-31 個案研究彙整所得冷季臺灣東北部劇烈降雨之環境量場  
檢查表

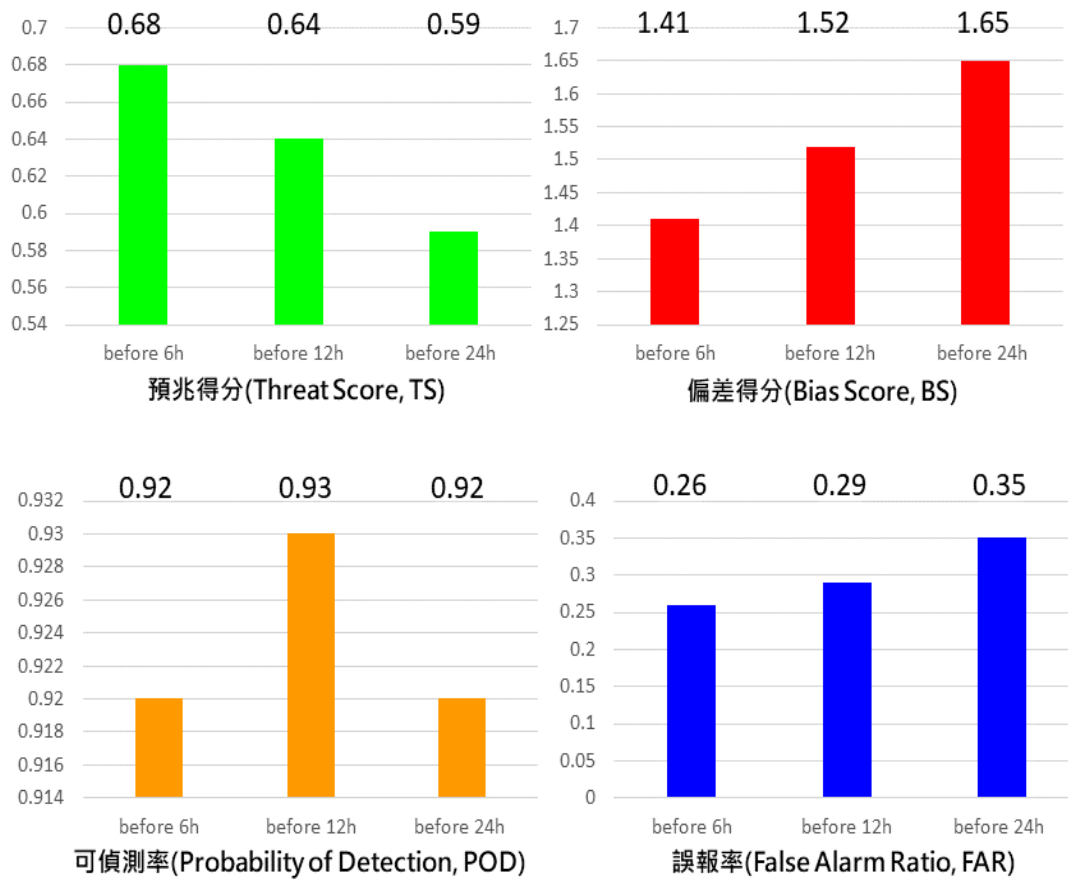


圖 2-32 整體技術得分計算結果，包含有預兆得分、偏差得分、可偵測率及誤報率的計算（分別就坡地災害事件發生前 6 小時、前 12 小時及前 24 小時）

**(2)運用高解析度模式進行模擬校驗，建置穩定可靠的冷季東北  
季風肇致強降雨綜觀環境診斷指標：**

研究計畫使用之天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting Model；以下簡稱 WRF)，WRF 模式是由美國國家大氣研究中心、國家海洋和大氣管理局、國家科學基金會和其它機構共同開發的一個中尺度數值天氣預報系統。它具有高解析度、多物理參數選擇和高度的可配置性，可用於模擬氣象、氣候和空氣質量等領域的問題。WRF 模式已被廣泛用於全球各地的氣象研究和預報，並且是現代天氣預報的主要工具之一；模式可以選擇不同的物理參數方案和參數值，以適應不同的大氣條件和研究需求。這些參數包括邊界層處理、降水物理過程、輻射過程、地表過程等，可以進行不同層次的數值模擬，包括全球模擬、區域模擬以及微尺度模擬。

模式以美國NCEP (National Center for Environmental Prediction) GFS Reanalysis II全球模式再分析場為初始場，積分72小時的數值預報。模式設計為三層巢狀網格，積分範圍如圖2-33所示，外層粗網格 (D1) 水準解析度為27km，網格點數目為300×200；中層網格 (D2) 水準解析度為9km，網格點數目為196×196；內層細網格 (D3) 水準解析度為3km，網格點數目為208×226，相鄰兩層網格間的資料可透過雙向交互作用(two-way interactive)互相影響。垂直方向則為31 層， $\sigma$ 分別為1, 0.993, 0.983, 0.97, 0.954, 0.934, 0.909, 0.88, 0.8361701, 0.7923404, 0.7485106, 0.7046807, 0.6277299, 0.5572627, 0.4928232, 0.4339828, 0.3803385, 0.3315117, 0.2871466, 0.2469097, 0.2104879, 0.177588, 0.1479352, 0.1212722, 0.09735856, 0.07596929, 0.05689425, 0.03993714, 0.02491467, 0.01165564, 0，所使用的terrain-following hydrostatic-pressure垂直座標軸，其中9層設定在高度1600m以下，合

理呈現邊界層的演變。至於積分的時間步階(time step)為15秒，模式的側邊界使用開放邊界條件(open boundary conditions)，而上邊界則使用Rayleigh damping。

模擬包括所有的物理過程，分別選用RRTM長波輻射及Dudhla的Simple短波輻射參數法，積雲參數化採用KF scheme (Kain and Fritsch, 1992 and 1993)，邊界層則採用高解析度YSU scheme (Hong and Pan, 1996)，及雲物理參數化用WSM5class scheme (Hong et al., 1998)。選取個案為冷季造成東北部地區劇烈降雨事件，2022年10月14日至10月17日的尼莎颱風及其外圍環流影響，除帶來臺灣北部及東北部地區顯著的累積降雨，當輻合對流系統移入臺灣後，甚至導致局部地區超大豪雨外；也肇致基隆、新北及宜蘭等地大小不一的坡地災害，總降雨影響時間超過96小時。模式積分起始時間為2020年10月15日00Z，積分時間長度均為72小時，1小時輸出一次產品。

由圖 2-34，WRF 數值模式模擬自 2022 年 10 月 15 日 12Z 至 10 月 16 日 17Z 之逐時累積降雨量結果顯示，10 月 15 日 12Z 至 10 月 15 日 19Z 的降雨多以北部的東北部為主，研判與環境盛行風為東北風有關，尤其是在迎風面的北部及東北部地區降雨最為顯著；對應圖 2-14，也可清楚看到水氣涵蓋的範圍。10 月 15 日 20Z 起，在臺灣東部及東北部外海開始有雨帶匯聚，且隨後循環境盛行風逐漸移入臺灣陸地，並造成東部及東北部地區更為顯著的降雨現象，且降雨區域也由原先的平地，往內陸山區移動。隨後，自 10 月 16 日 03Z 起，降雨訊號有稍往北調的趨勢，降雨熱區以宜蘭及東北部的基隆、新北地區為主，對應圖 2-18 及圖 2-19，即可清楚看出，降雨對流系統強度的變化。再對應到圖 2-20，顯示出 10 月 16 日單日累積總降雨量就相當驚人，主要降雨熱區多集中在大臺北及宜花地區，最大降雨量則落在

宜蘭山區。10 月 16 日 04Z 之後，主要受尼莎颱風雨帶及其外圍環流雲系不斷移入的影響，海面上對流發展依舊活躍，宜蘭及新北山區降雨也持續顯著。一直到 10 月 16 日 13Z 之後，對流胞開始向北修正移動；到 10 月 16 日 17Z 之後，強度也開始有逐漸減弱的趨勢；模擬降雨結果與圖 2-21 的雷達回波遙測結果相當吻合。

圖 2-35，是 WRF 模式模擬自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時地面氣溫、海平面氣壓及地面風速的結果，2022 年 10 月 15 日 06Z 地面預測圖顯示，環境風場是由東北季風主導，風速在 20 至 25kts，也北方冷空氣有明顯下衝的趨勢（至 10 月 15 日 09Z 前，臺灣海峽中北部海域最為明顯），此時，尼莎颱風適位於菲島的東北方外海，颱風結構似乎並無受到菲島地形的破壞，氣壓梯度有漸緩增。初步研判，由於尼莎颱風尚在南邊海域，在此階段，屬東北季風影響階段，此一結果與圖 2-13 的風場配置，相當一致。10 月 15 日 12Z 之後，隨著尼莎颱風路徑逐漸向西北方調整，臺灣東方外海的風向漸由原先的東北風，轉為東風，再轉為東南風，且氣壓梯度快速增加，至 10 月 15 日 18Z，在宜蘭外海附近，已經可以看到有原先環境的東北風與颱風北抬後的東南風所進行的氣流輻合現象。到 10 月 15 日 21Z，當尼莎颱風移動到呂宋島的正北方時，臺灣東北方外海的風場輻合就更加明顯，風速更可增大到 30 至 35kts。評估在此階段，屬於東北季風與颱風外圍環流所產生的共伴效應階段，輻合後的對流也隨著環境盛行風（即東北風），再向臺灣內陸移動，並造成基隆、新北及宜蘭等縣市開始有明顯的累積降雨，隨後並陸續發生局部地區的坡地災害事件，對應圖 2-14，無論在風場的輻合、水氣的輻合以及風速的增加等，變化趨勢都是非常一致。自 10 月 16 日 00Z 開始，雖然輻合的現象漸不顯著，但此時在臺灣東部

外海的盛行風已轉為東南風，且北方冷空氣也漸減弱，雖然海峽仍吹東北風，而此的的尼莎颱風正走到呂宋島的西北方外海。評估在此階段，適為尼莎颱風的外圍環流雲系影響階段，很明顯的是，臺灣東方外海為颱風外圍環流的迎風面，吹的是東南風；在臺灣西方外海則維持為東北風。到了 10 月 16 日 15Z 之後，北方冷空氣再度南下，尼莎颱風持續向西挺進，水氣涵括範圍也有向下遞減，臺灣東方外海的東南風，也逐漸調整大範圍區域均為東北風，評估在此階段，屬颱風遠離階段，尼莎颱風外圍環流所帶來間歇性陣性降雨，累積總雨量也有逐漸減少的趨勢。

模式模擬結果，圖 2-36，是自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 925hPa 混合比、氣壓及風速的數值模擬結果，從混合比的空間分布來看，在 10 月 15 日 06Z 至 10 月 15 日 09Z 期間，仍以尼莎颱風及其外圍環流附近最大，臺灣北部及東北部地區的分布相對是偏小、偏弱。自 10 月 15 日 12Z 開始，混合比較大區域開始往西移動，向臺灣東部及東北部陸地集中，配合環境盛行風的導引，臺灣東部地區已增加為  $17$  至  $19\text{gkg}^{-1}$  的範圍之間，較之前則有明顯增多的趨勢。而 10 月 16 日 00Z 開始，臺灣東部的混合比尚未減弱，顯示降雨機會仍屬偏大，且多集中於宜花、基隆及新北等縣市範圍內。至 10 月 16 日 15Z 之後，混合比的範圍和強度隨著颱風的遠離，而有明顯的縮小和減弱趨勢；對應圖 2-36，亦即輻合效應減弱後的水氣量環境現況，對應趨勢相當一致。

自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 850hPa 風速、氣壓及溫度表現可參見圖 2-37，WRF 模式模擬顯示，在 850hPa 溫度場的表現，以 10 月 15 日 06Z 至 10 月 15 日 09Z 及 10 月 16 日 00Z 至 10 月 16 日 15Z 這 2 個時段，北方冷空氣南下

的緯度最低、範圍最大且強度最強，對應在圖 2-34 中，適於東北季風影響、颱風外圍環流雲系及颱風遠離等 3 個不同階段，也反應出在此範圍外，東北季風在整個降雨過程中所扮演的關鍵角色。如果，與圖 2-38 及圖 2-39 相比較，每 3 小時 700hPa 及 500hPa 的溫度、氣壓及風速等量場的呈現，自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時期間，在中、低對流層的量場空間分布，也有類似的表現。

爰上，整體來看，模式模擬結果與觀遙測現況，吻合度高。在 4 個不同階段中(如：表 2-7)，可以量化得知差異量場因子分布的特性。10/14 00Z 至 10/15 09Z 期間為東北季風影響階段，主要降雨熱區在基隆及新北地區，最大的時降雨量在 10-50mm；10/15 10Z 至 10/15 21Z 期間為東北季風與颱風外圍環流形成的共伴效應階段，主要降雨熱區在大台北及宜花地區，最大的時降雨量在 40-80mm；第 3 階段，10/15 22Z 至 10/16 12Z 期間，為受颱風及其外圍環流雲系移入影響階段，主要降雨熱區在大台北及宜花地區，最大的時降雨量落在 50-100mm 之間；最後，10/16 13Z 至 10/17 06Z 期間，為颱風遠離及東北季風影響階段，主要降雨熱區在大台北地區，最大的時降雨量為 20-50mm。

在第 1 階段，東北季風影響期間，東北部地面氣溫在攝氏 24 至 26 度之間，外海輻合值在  $2$  至  $4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值 13 至  $15 \text{ gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 12 至  $15 \text{ ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 10 至 12 度之間；在第 2 階段，東北季風與颱風外圍環流形成的共伴效應期間，東北部地面氣溫在攝氏 22 至 25 度之間，外海輻合值在  $5$  至  $10 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值 15 至  $20 \text{ gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 18 至  $23 \text{ ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 7 至 10 度之間；在第 3 階段，颱風及其外圍環流雲系移入影響期間，東北部地面氣溫在攝氏 24 至 27 度之間，外海輻合值在  $3$  至  $6 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值 14 至  $18 \text{ gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 17 至  $21 \text{ ms}^{-1}$ ，700hPa

的溫度在攝氏 10 至 12 度之間；在第 4 階段，颱風遠離及東北季風影響階段，東北部地面氣溫在攝氏 23 至 26 度之間，外海輻合值在  $1$  至  $3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值 12 至  $15 \text{ gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 12 至  $16 \text{ ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 9 至 11 度之間。綜上，無論在氣壓場、高度場、溫度場及風速的改變量均有訊號產生，這個重要的研究結論，可直接回饋至未來防災應變進駐開設作業期間，做為劇烈降雨天氣系統強度變化判斷以及影響延時評估分析的重要參考之一。

另一方面，透過模式靈敏度測試結果，發現當關掉模式中的潛熱釋放效應項時，環境量場呈現顯著的變化。圖 2-40，自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 850hPa 風速(m/s，藍線)以及輻合( $10^{-4} \text{s}^{-1}$ )，當模式內的潛熱釋放效應項關閉時，850hPa 風速驟減為 10.2 至  $10.5 \text{ m/s}$ ，與控制組原先的 18 至  $23 \text{ m/s}$  相差甚多(表 2-7)，其它時段的風速也同樣明顯減少；颱風的中心氣壓也從原先的 985hPa 上填至 995hPa，顯見颱風強度的減弱，也使得暴風圈範圍的縮減，原先颱風外圍環流（尤其是東南風的外圍雲系）幾乎已經到不了臺灣的東北部海域，只能停留在菲島的東北方外海，而原先預期東北季風與尼莎颱風外圍環流所產生的輻合與共伴效應完全不見。對應圖 2-40，輻合值也從原先的 5 至 10（單位為  $10^{-4} \text{s}^{-1}$ ）下修到不足 4.5（單位為  $10^{-4} \text{s}^{-1}$ ），降雨只剩下單純的東北季風降雨模式所影響，原先劇烈降雨的強度及範圍也同步跟著下調。顯見，在沒有輻合共伴效應的模擬選項中，臺灣北部及東北部冷季異常降雨的機率大幅下降，這個研究結論可以回饋給未來的防災應變工作上，對於冷季劇烈降雨天氣系統強度變化的判斷以及影響延時、評估分析方面，做為重關鍵的參考依據之一。

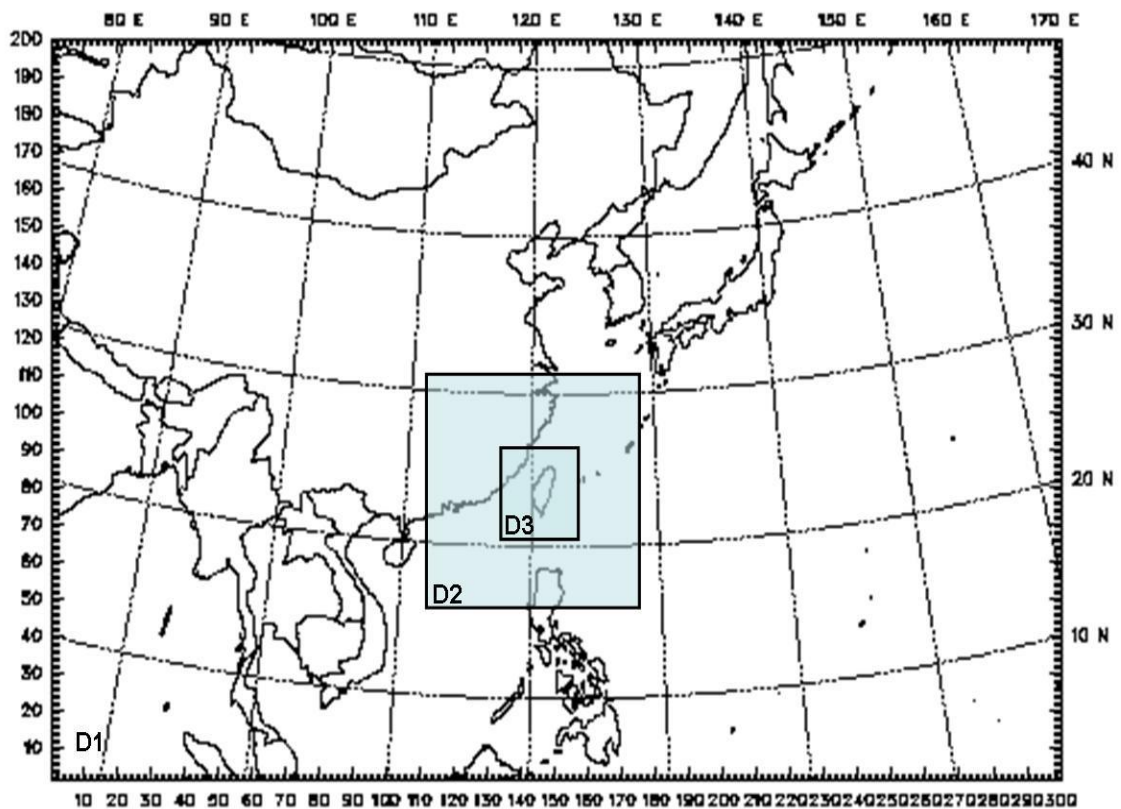
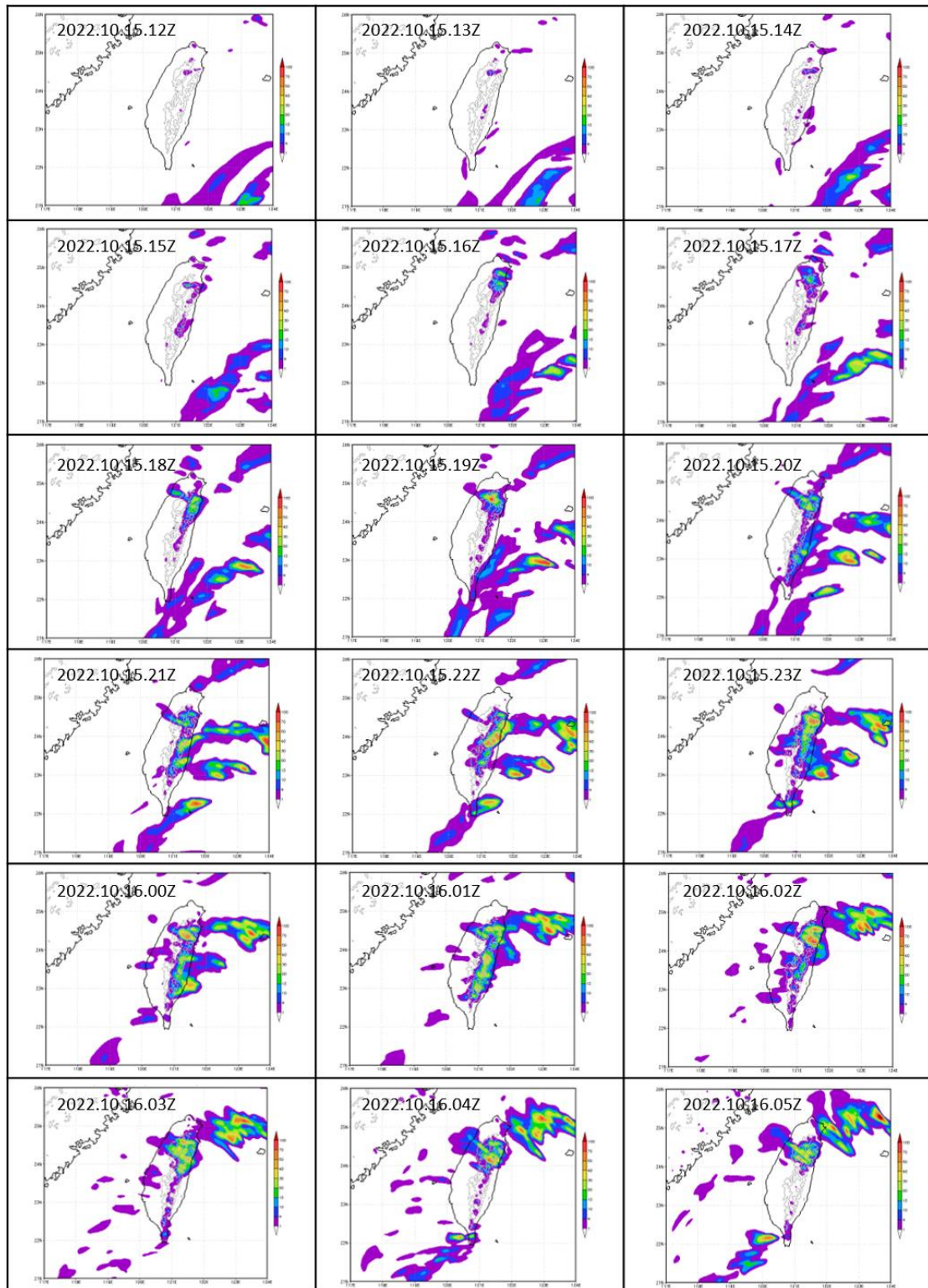


圖 2-33 模式設計三層巢狀網格，外層粗網格 (D1) 水準解析度為 27 公里，中層網格 (D2) 水準解析度為 9 公里，以及內層細網格 (D3) 水準解析度為 3 公里



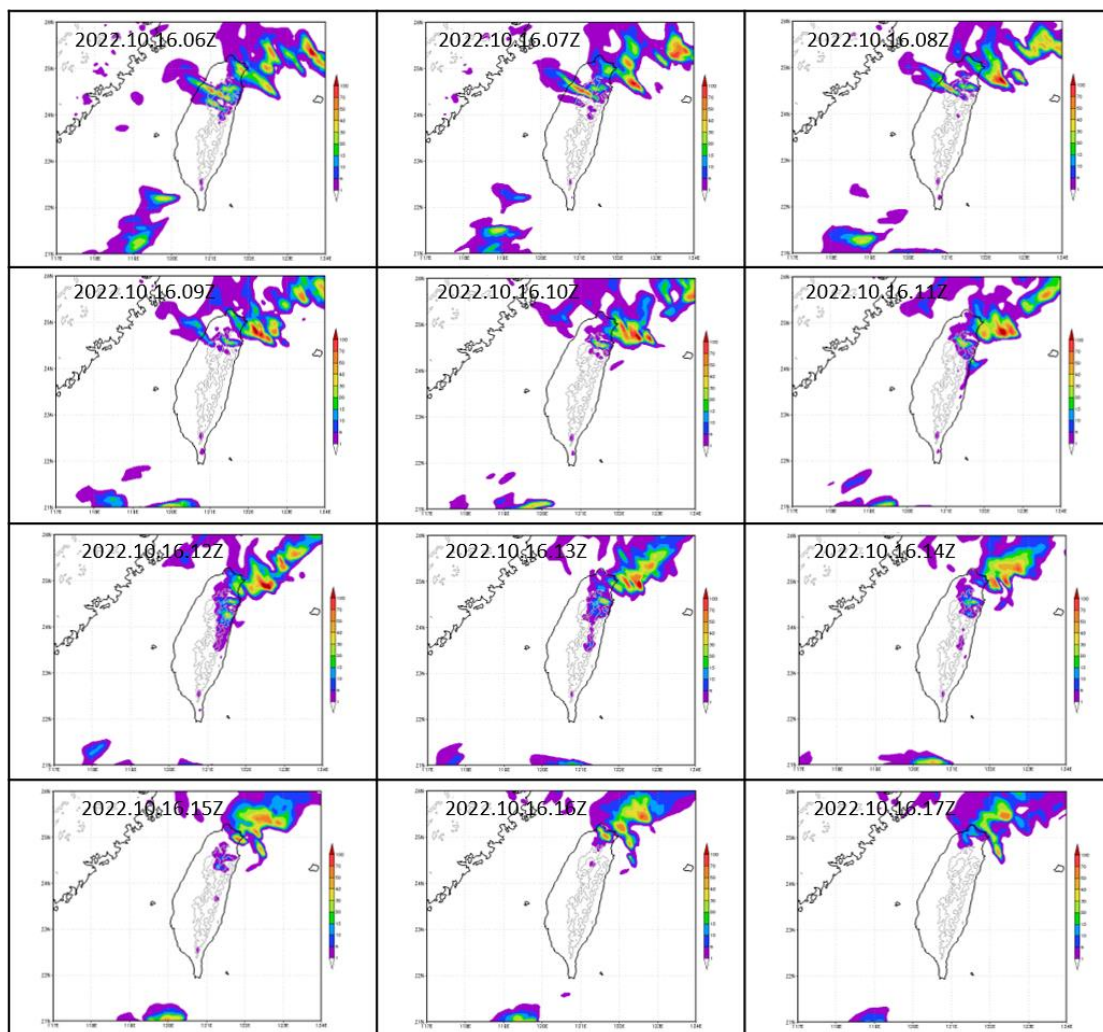
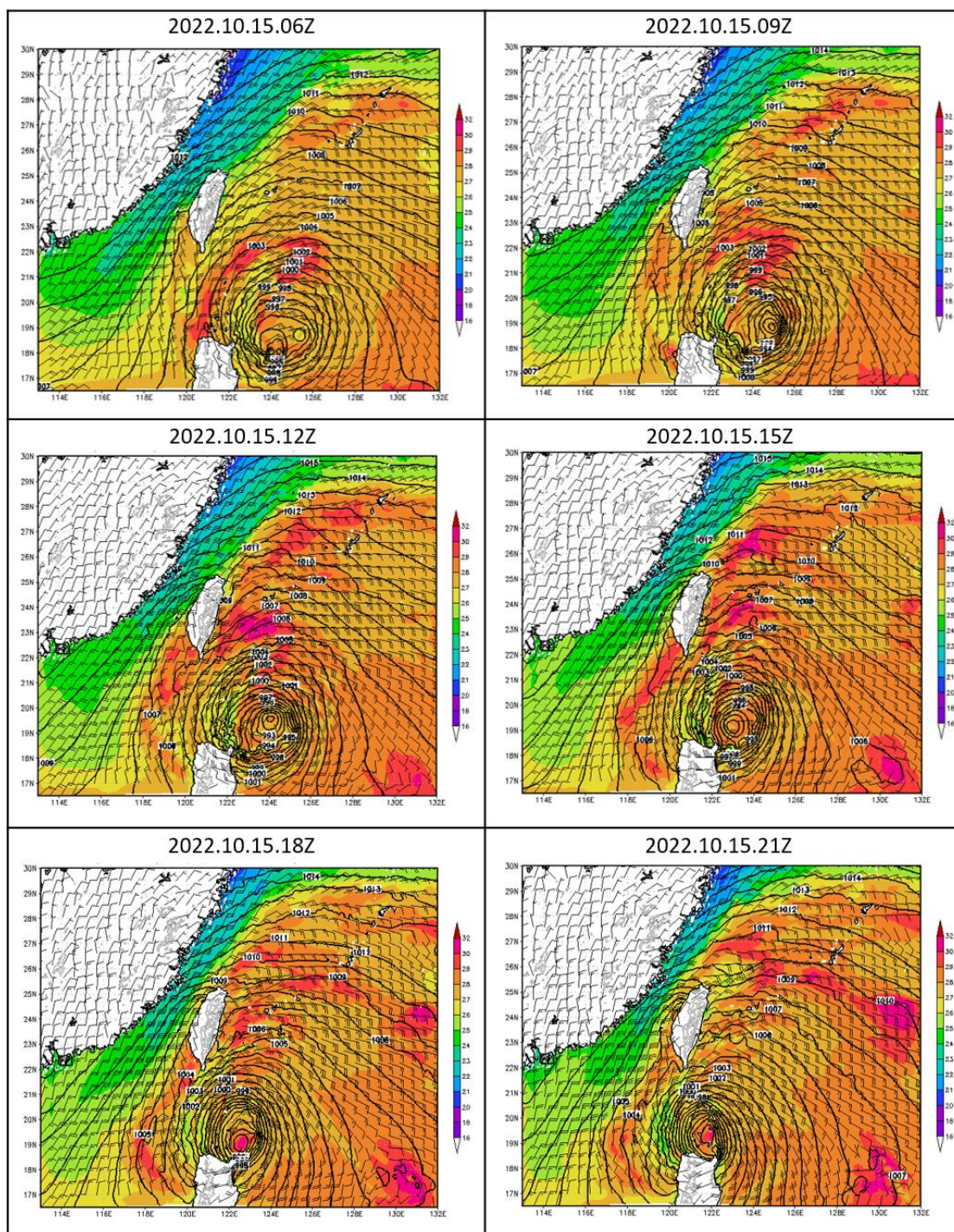


圖 2-34 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 12Z 至 2022 年 10 月 16 日 17Z 時之逐時累積降雨量，單位為 mm



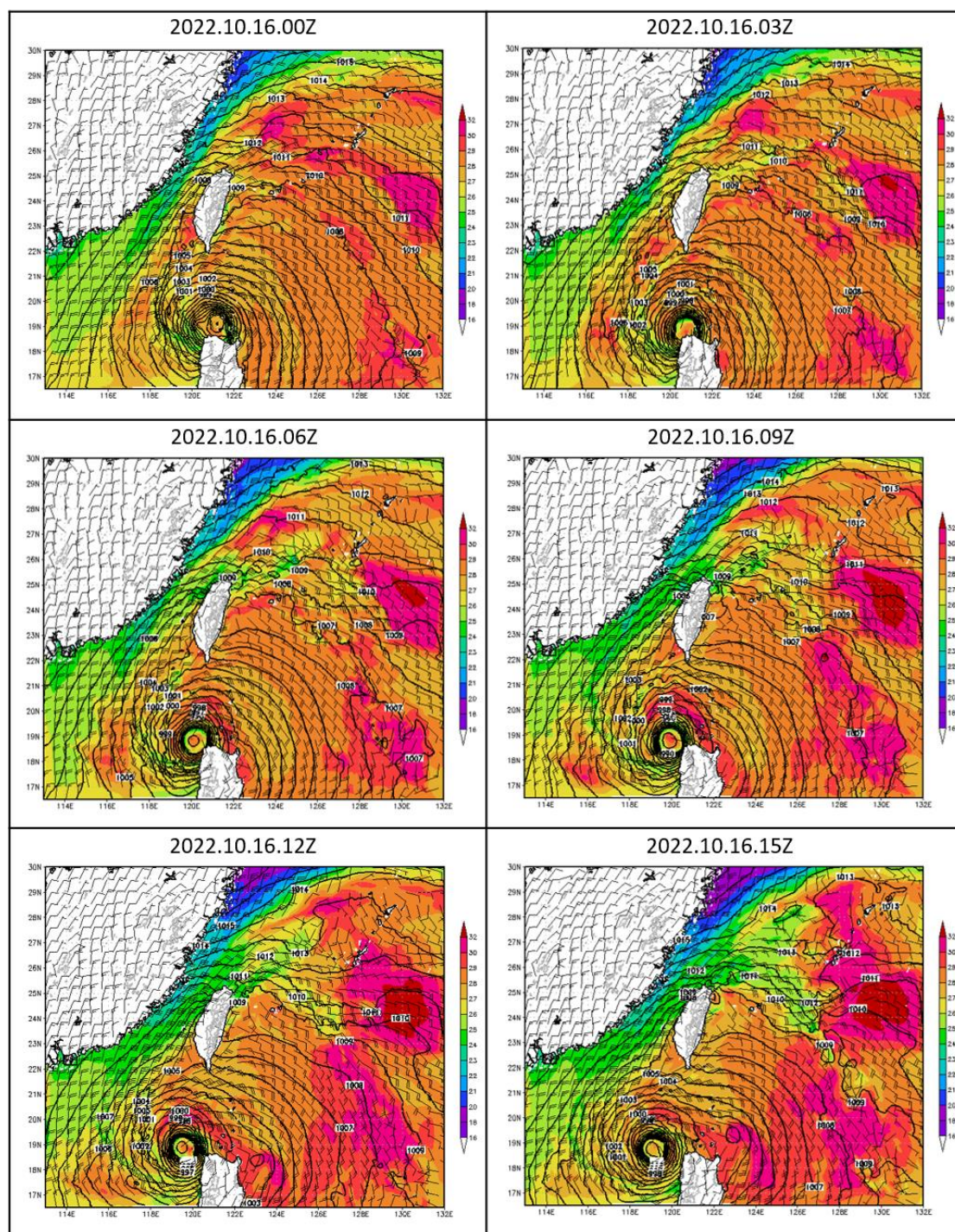
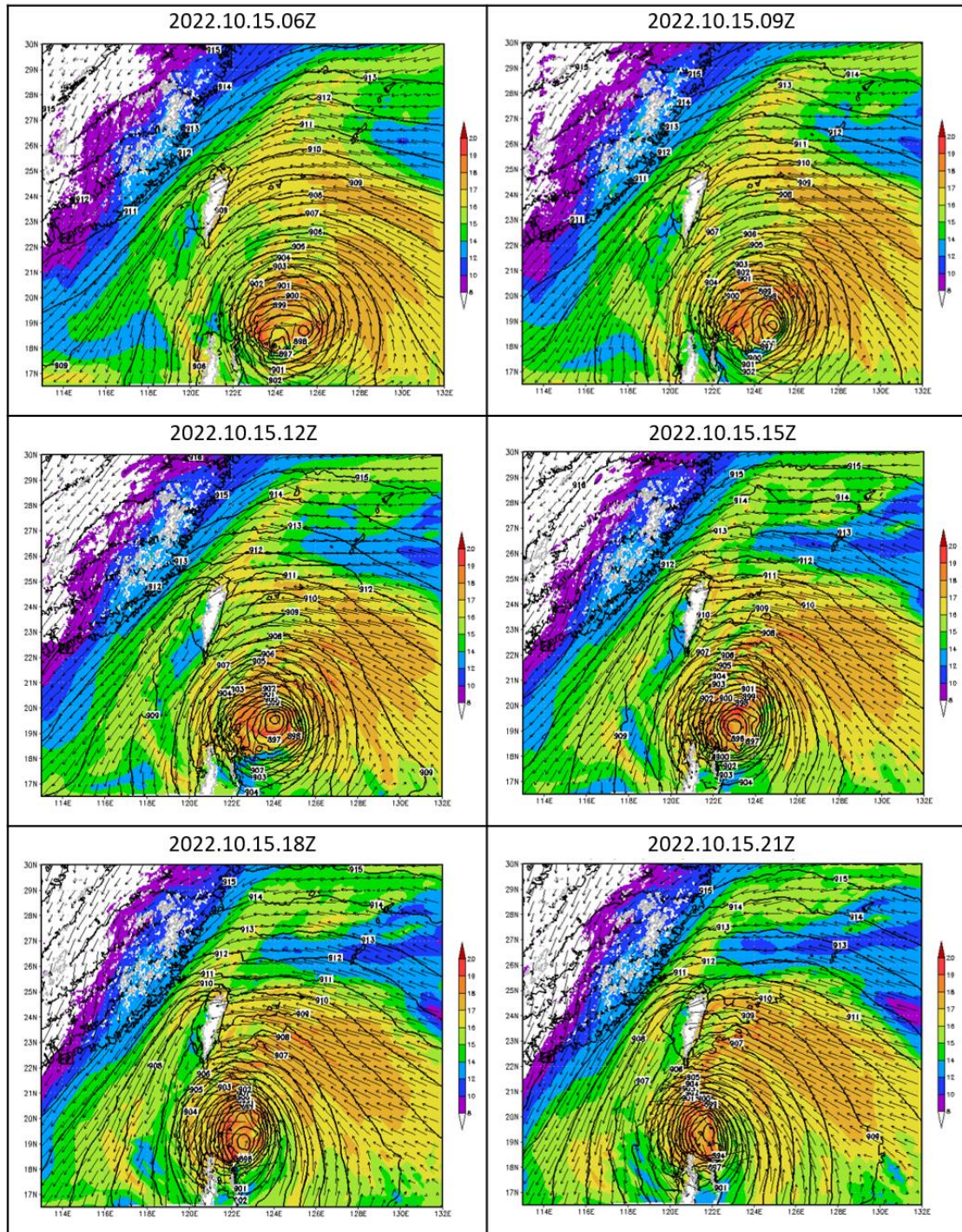


圖 2-35 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時地面氣溫( $^{\circ}\text{C}$ )、海平面氣壓(hPa)及地面風速(kts)



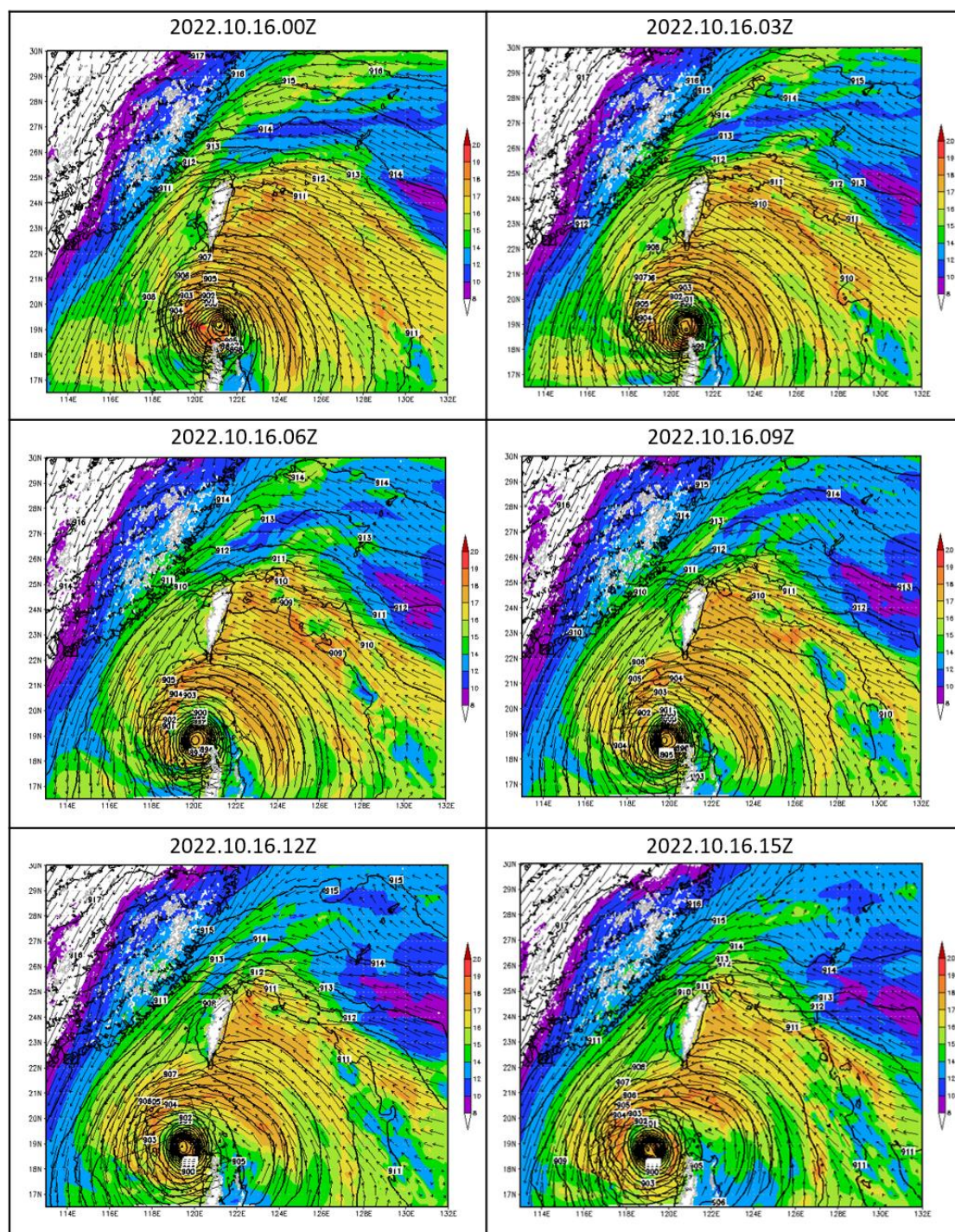
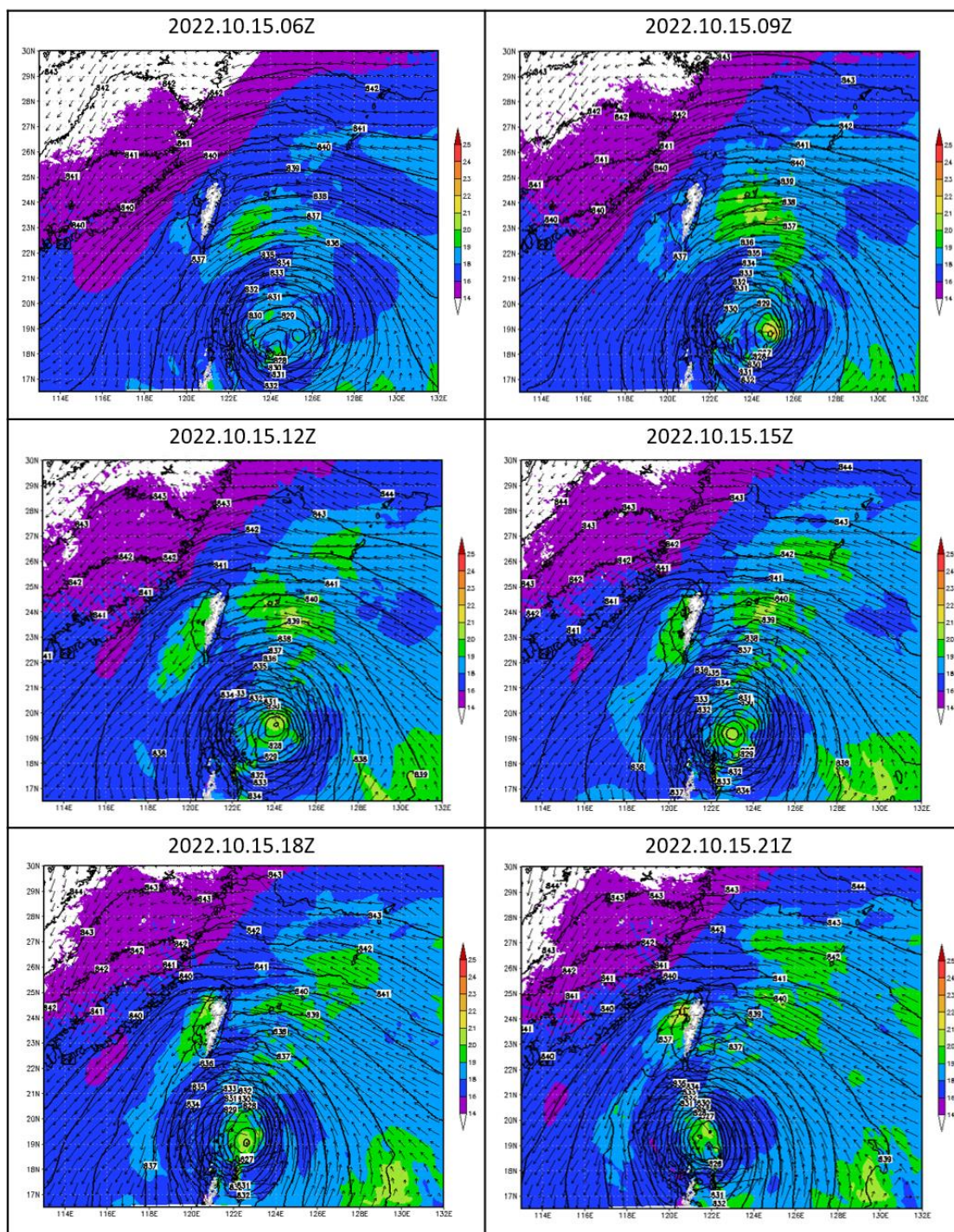


圖 2-36 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 925hPa 混合比( $\text{gkg}^{-1}$ )、氣壓(hPa) 及風速( $\text{ms}^{-1}$ )



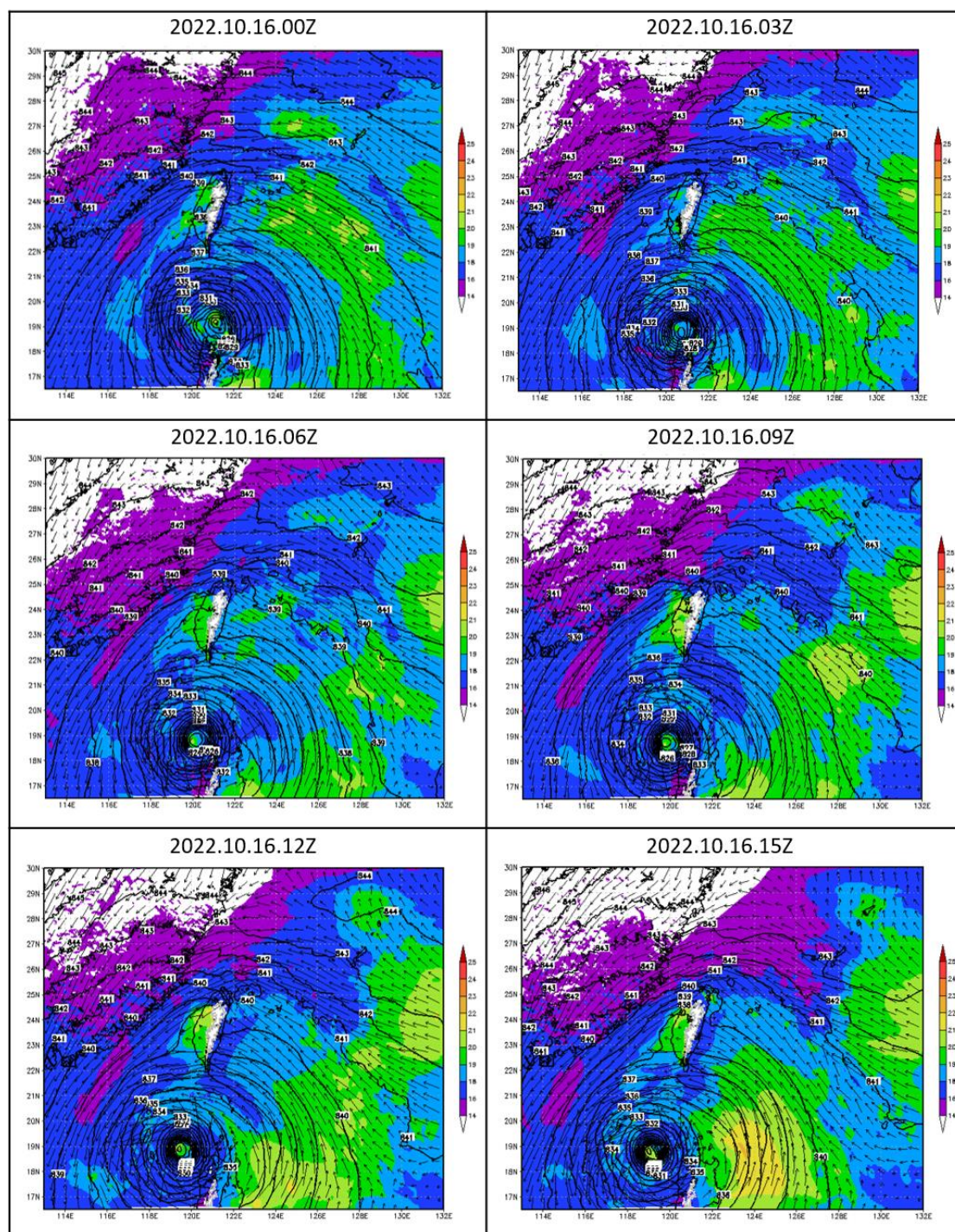
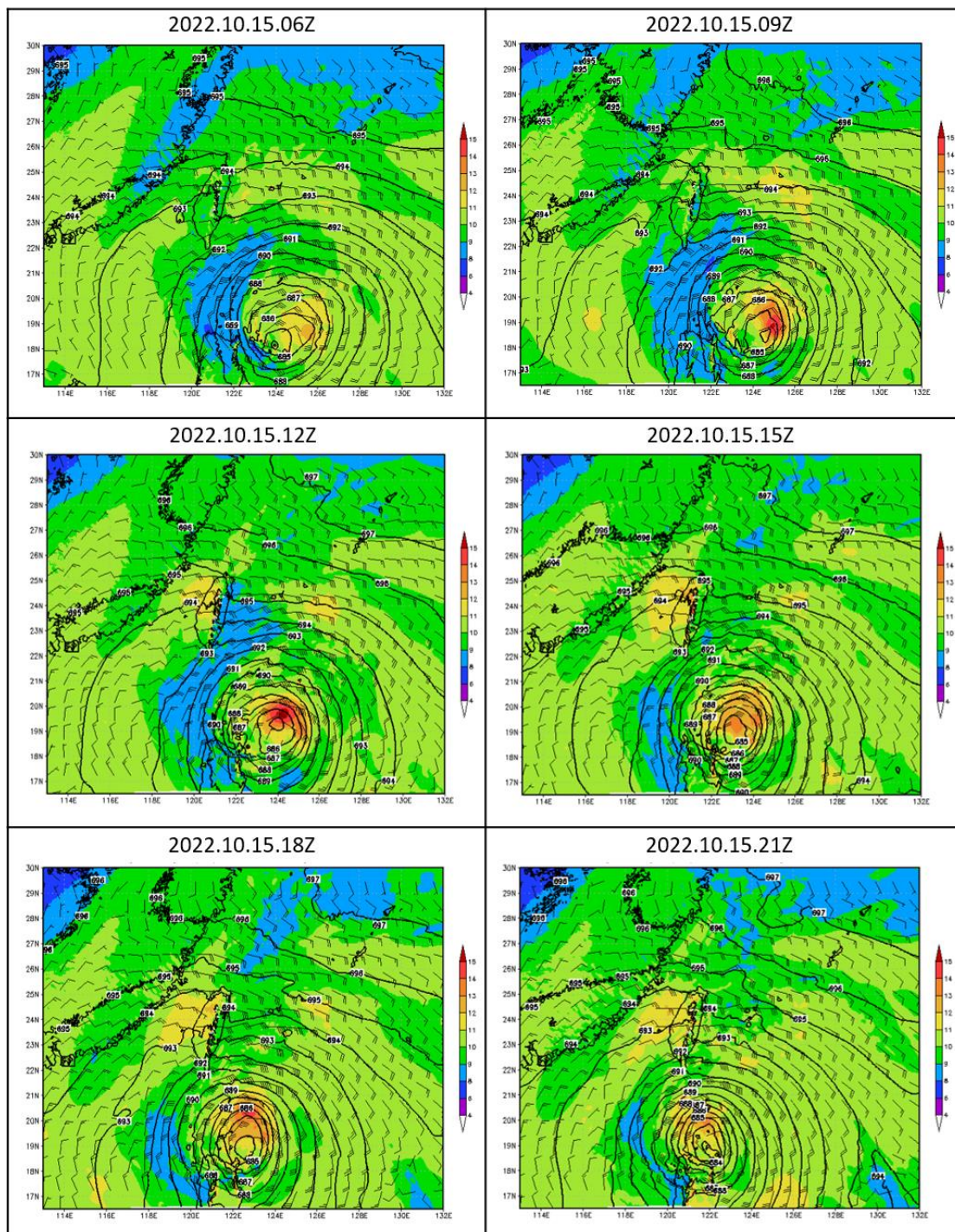


圖 2-37 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 850hPa 風速( $\text{ms}^{-1}$ )、氣壓(hPa) 及溫度( $^{\circ}\text{C}$ )



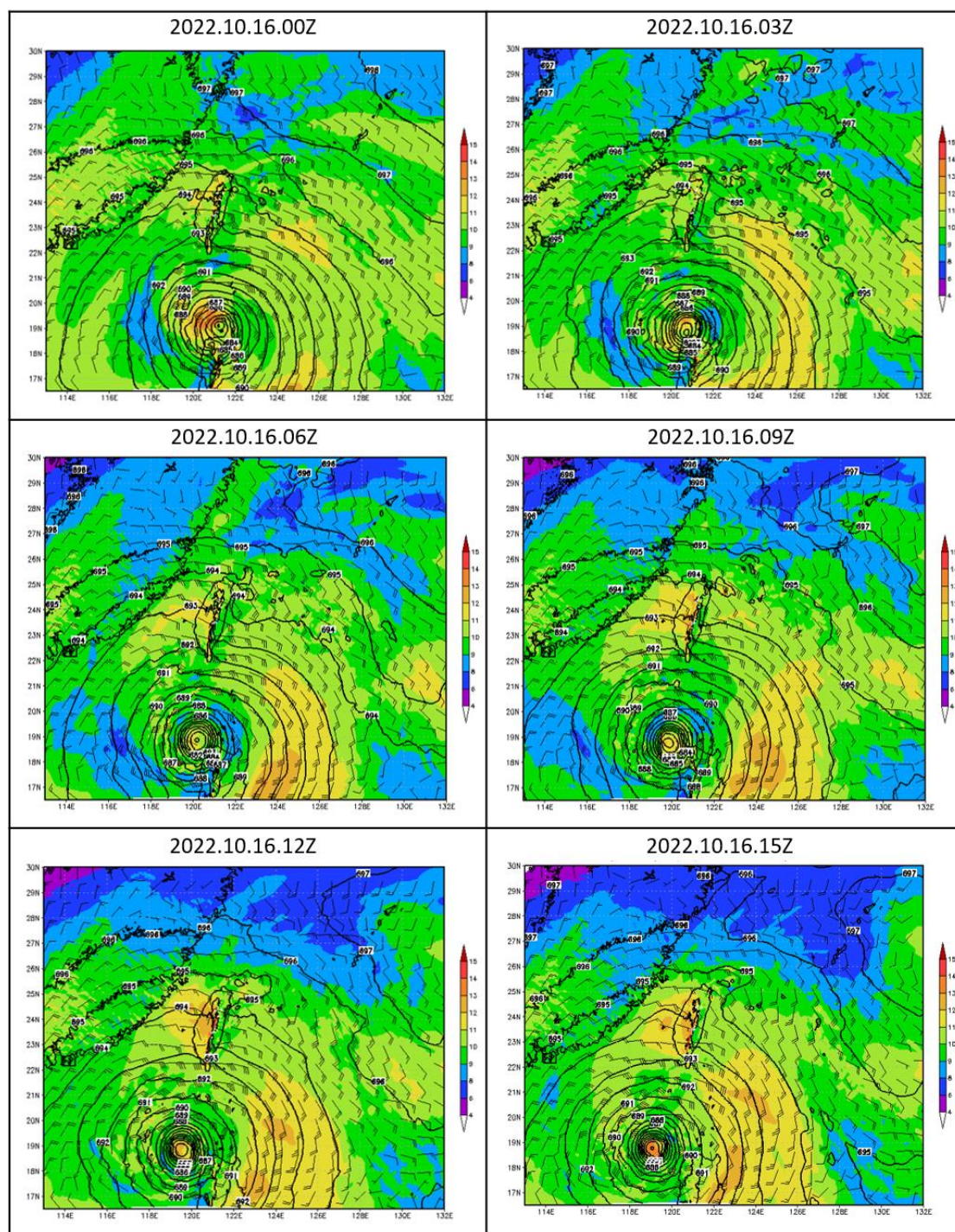
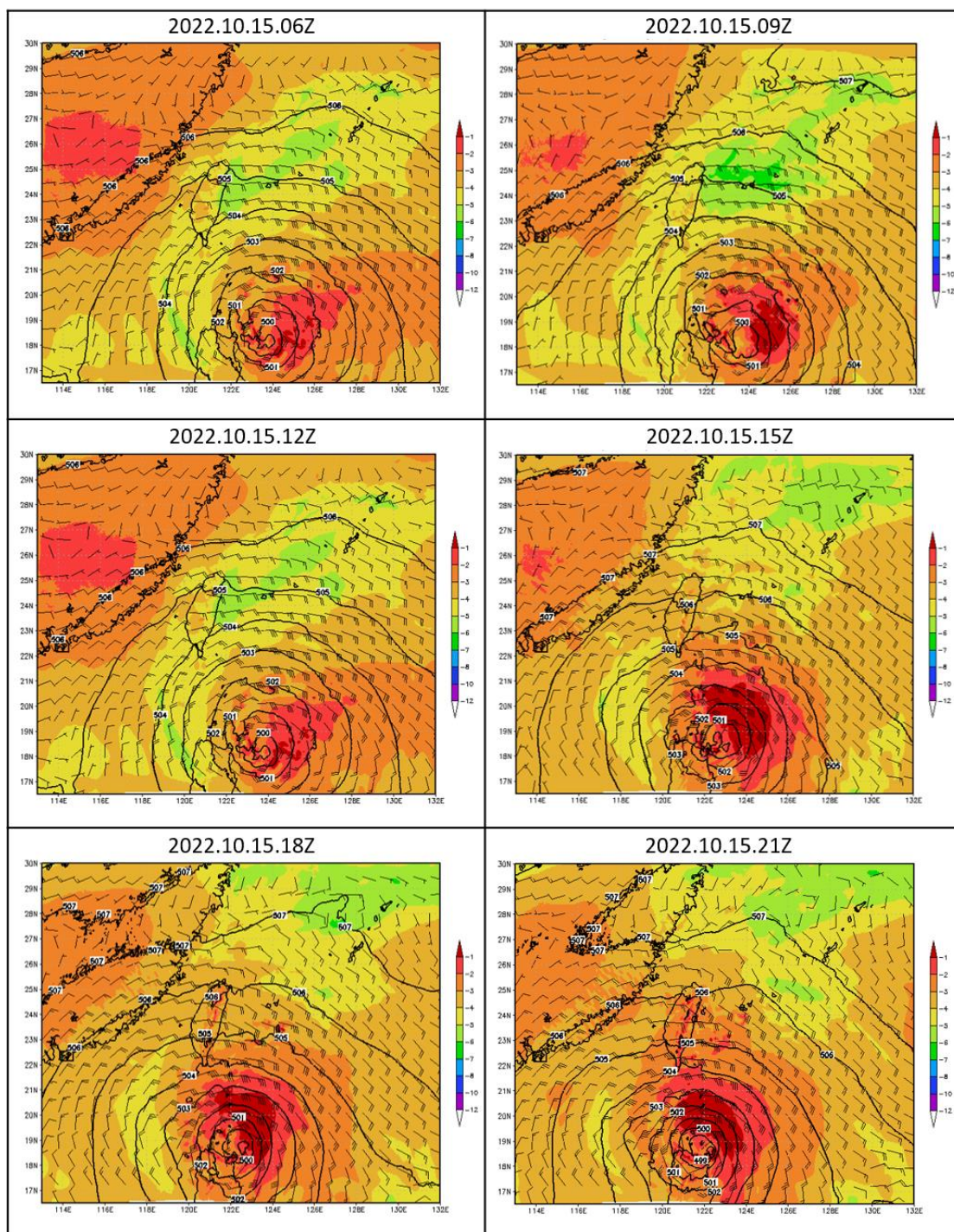


圖 2-38 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 700hPa 溫度( $^{\circ}\text{C}$ )、氣壓(hPa) 及 風速(kts)



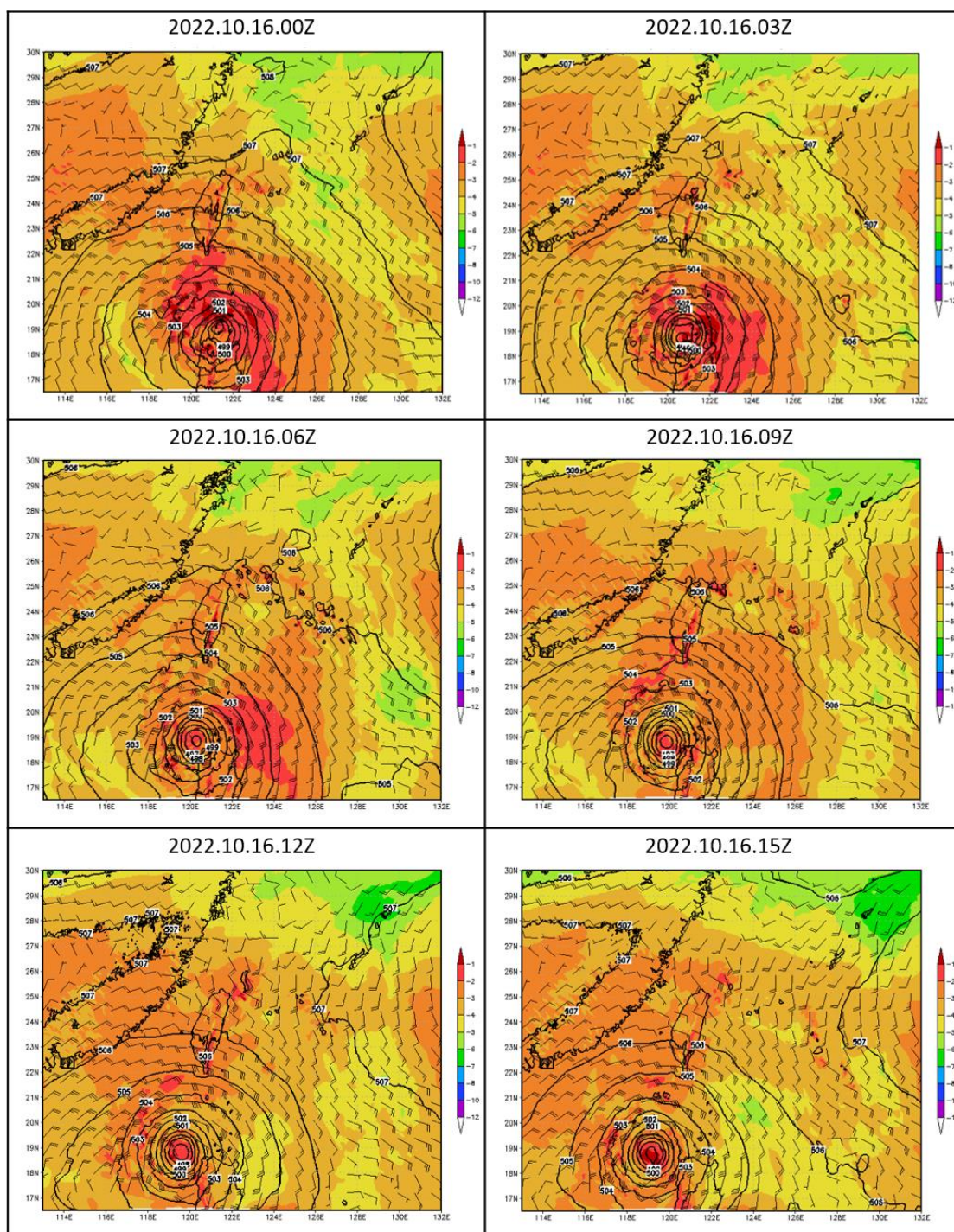


圖 2-39 WRF 模式模擬 (D3) 自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 500hPa 溫度( $^{\circ}\text{C}$ )、氣壓(hPa) 及 風速(kts)

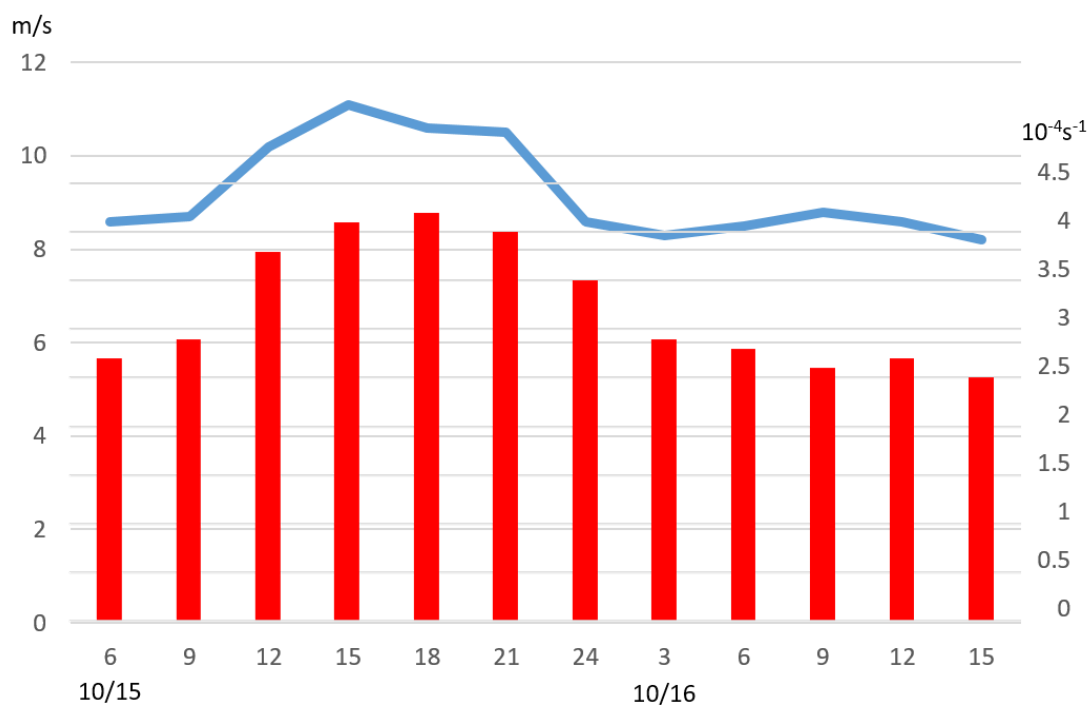


圖 2-40 模式靈敏度測試，關掉模式中的潛熱釋放效應項，環境量場的改變，自 2022 年 10 月 15 日 06Z 至 2022 年 10 月 16 日 15Z 時之每 3 小時 850hPa 風速(m/s，藍線)以及輻合( $10^{-4}s^{-1}$ )

表 2-7 尼莎颱風侵襲及影響期間，各氣象量場分布綜合評估表

| 時間                              | 10/14 00Z-<br>10/15 09Z | 10/15 10Z-<br>10/15 21Z        | 10/15 22Z-<br>10/16 12Z | 10/16 13Z-<br>10/17 06Z |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 影響系統                            | 東北季風                    | 東北季風與<br>颱風外圍環<br>流形成的共<br>伴效應 | 颱風及其外<br>圍環流雲系          | 颱風遠離及<br>東北季風           |
| 降雨熱區                            | 基隆、新北                   | 大台北及宜<br>花                     | 大台北及宜<br>花              | 大台北                     |
| 最大時雨量<br>mm                     | 10-50                   | 40-80                          | 50-100                  | 20-50                   |
| 地面氣溫 $^{\circ}\text{C}$         | 24-26                   | 22-25                          | 24-27                   | 23-26                   |
| 輻合 $10^{-4}\text{s}^{-1}$       | 2-4                     | 5-10                           | 3-6                     | 0-3                     |
| 混合比 $\text{gkg}^{-1}$           | 13-15                   | 15-20                          | 14-18                   | 12-15                   |
| 850hPa 風速<br>$\text{ms}^{-1}$   | 12-15                   | 18-23                          | 17-21                   | 12-16                   |
| 700hPa 溫度<br>$^{\circ}\text{C}$ | 10-12                   | 7-10                           | 10-12                   | 9-11                    |

## 第二節 工作執行步驟

- (1)彙整統計過去 18 年(2006-2023 年)臺灣坡地災害事件個案的時間、地點、肇因及災情等基礎背景資料。
- (2)對應(1)所篩選的個案，找出冷季臺灣東北部地區強降雨個案之降雨的雨型、特徵以及強度。
- (3)根據(1)、(2)的結果，透過診斷分析方法，釐清冷季臺灣東北部地區劇烈降雨個案綜觀環境條件的特徵、氣象量場的特性以及水氣通量的診斷；隨後，支援完成平衡得分的量化計算，藉以掌握可靠性較高且滿足坡地災害事件肇生的綜觀環境量場關鍵因數，研究結果可有效回饋於災區強降雨發生與否的預報參考指標。
- (4)同步依據(1)、(2)分析的結果，運用高解析度模式 WRF 進行個案模擬與校驗，並規劃透過靈敏度的設計以及物理量場的運算，釐清坡地災害個案之前兆環境的關鍵變化，建置穩定可靠的冷季臺灣東北部地區強降雨綜觀環境診斷參數依據。
- (5)綜上，由(3)、(4)的結果，透過交叉驗證挑選後，提出冷季臺灣東北部地區劇烈降雨肇致坡地災害事件肇生環境前兆的關鍵指標，掌握氣象因數以及對流特性的變化趨勢與關鍵參數，並具體回饋至實際防災預警及判斷決策作業上（參考圖 2-4）。

## 第三章 工作執行進度與初步研究成果

### 第一節 工作執行進度

研究計畫重要工作執行項目以及作業管制進度，主要以氣候統計、診斷分析及數值模擬等 3 大面向逐步進行。期初 2、3 月份，完成委託專業服務契約書撰寫及提交，置重點於研究目標的確定。隨後至 6 月份，如期完成基礎背景資料蒐整、環境氣候特徵分析與所選取個案之坡地災害肇生前兆的綜觀環境條件診斷研究，除對冷季臺灣東北部地區劇烈降雨個案的降雨特性與環境特徵建立氣候概念的雛型外，也嘗試量化瞭解冷季臺灣東北部地區劇烈降雨的先兆環境特性，再經由技術得分的計算，找到科學的數據支撐，並進一步釐清可能的關鍵量場因數，對於本案後續的研究操作，提供更為具體的設定指標與診斷參考。期間的 3、4 月份，依計畫期程，同步完成期初工作計畫書的撰寫及提交。

7、8 月份，進行高解析度的數值模式 WRF 針對研究個案完成模擬，一方面，藉此彌補在海上資料不足的困擾，提高在診斷分析上，時空解析度的精進，嘗試還原可能的實際天氣環境現況；另一方面，延續上半年診斷量場的關鍵因數追蹤探討，提供更為有利的量化判斷指標，建置穩定可靠的冷季臺灣東北部地區強降雨綜觀環境診斷參數依據。期間，也依計畫期程，完成期中報告的撰寫及提交。

研究計畫後期，在 8、9 月份完成模式模擬的靈敏度測試與驗證，進一步瞭解冷季臺灣東北部地區對流發展增強的能量來源。10、11 月份，透過上述研究初步成果，經由交叉驗證挑選後，提出冷季臺灣東北部地區劇烈降雨肇致坡地災害事件肇生環境前兆的關鍵指標，並具體回饋實際防災預警作業上。期間，也依計畫期程，進行期末報告

的撰寫及提交準備作業，預期最快在 11 月上旬前，全案可以完成提交期末報告書面資料。

成果報告書的撰寫及提交，確依期末報告委員審查意見修正補強後，預期最快在 12 月上旬前可以完成。研究執行迄今，研究作業與初步成果，如期、如質，依核定計畫內容，落實完成各項作業項目（參見表 3-1，計畫重要工作項目與進度管制表所示）。

表 3-1 計畫重要工作項目與進度管制表

| 月份                | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 工作項目              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 委託專業服務契約書撰寫、提交    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 基礎背景資料彙整統計及診斷分析   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 釐清前兆環境條件及平衡得分計算   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 高解析度的數值模式WRF模擬    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 靈敏度測試及收支貢獻診斷      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 提出肇致坡地災害事件之環境關鍵指標 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 期初工作計畫書撰寫、提交      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 期中報告撰寫、提交         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 期末報告撰寫、提交         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 成果報告撰寫、提交         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 預訂進度累積百分比(%)      | 5  | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 55 | 70 | 80 | 85  | 95  | 100 |

計畫交付項目管制，確依核定計畫內容，計已陸續完成上半年作業項目，【綜觀環境條件的特徵，與氣象量場的特性】，工作內容包含有災例蒐集、個案選取、地形地質資料分析、衛星雲圖診斷、氣象雷達回波分析、閃電落雷情資分析、平衡得分計算以及 NCEP/DOE 網格場資料劃圖分析等；下半年作業項目，業已陸續完成【進行高解析度氣象數值模式之個案數值模擬與校驗】，工作內容包含有 WRF 氣象數值模式進行個案數值模擬，並設計進行靈敏度測試，藉此釐清冷季臺灣東北部地區劇烈降雨天氣系統的影響過程與發展特徵，進一步瞭解坡地災害個案之前兆環境的關鍵變化過程等，2 大項的執行率均要求達成率為 100%（參見表 3-2，計畫交付項目管制表所示）。

表 3-2 計畫交付項目管制表

| 重要工作項目                                                                    | 工 作 數 量    |                                       |                                |                     | 實施地點                                                                                  | 備註                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | 單位         | 全程計畫目標<br>113 年 2 月至<br>113 年 12 月    | 至 113<br>年 度 止<br>年 累 計 成<br>果 | 本 度<br>年 預 目<br>定 標 |                                                                                       |                                                                                                               |
| 建置冷季東<br>北季風劇烈<br>降雨水筆致<br>地災害事件<br>可能發生之<br>前兆環境條<br>件的概念模<br>式          | 2 至<br>3 人 | 113 年 2 月 7 日<br>至 113 年 6 月<br>30 日  | 100                            | 100                 | 竹、<br>栗、<br>南、<br>台、<br>嘉、<br>義、<br>高、<br>屏、<br>東、<br>基、<br>宜、<br>花、<br>蓮、<br>台、<br>東 | 利用統計、<br>氣候分析、<br>平衡計算、<br>分地校對、<br>及現勘比<br>探驗來進<br>行評估                                                       |
| 運用高解析<br>度模式進行<br>模擬校驗，<br>建置穩定可<br>靠的冷季東<br>季風筆致強<br>降雨水筆致<br>環境診斷指<br>標 | 2 至<br>3 人 | 113 年 7 月 1 日<br>至 113 年 12 月<br>31 日 | 100                            | 100                 |                                                                                       | 高度值模<br>式、靈測<br>解析數式、<br>度校、<br>模擬、<br>敏試、<br>試驗、<br>瞭地、<br>解坡、<br>災個、<br>案之、<br>兆環、<br>的關、<br>變鍵、<br>化特<br>徵 |

## 第二節 初步研究成果

執行計畫迄今，計已達成初步研究成果 4 項，分述如下：

### 1.彙整統計歷史冷季臺灣東北部地區劇烈降雨所肇致坡地災害事件的基礎背景資料，瞭解坡地災害崩塌事件的時空分佈、肇因及災情影響。

根據歷史坡地災害事件的統計結果，顯示坡地災害的肇生次數有減少的趨勢。前 9 年的肇生事件數，共計 392 件，佔總數的 67.9%；後 9 年的肇生事件數，共計 185 件，佔總數的 32.1%，年際分佈並沒有規律的變化特徵。最容易肇生的地區分別有新北市、宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣；其中，高屏兩地合佔總數的 24.6% 最多。另一方面，最常發生的時段落在 5-9 月，暖季合佔總數的 76.9% 最多。

當坡地災害發生時，與當時的天氣系統和環境特徵相對應的有颱風、熱帶擾動或颱風過後引入的西南氣流，共計 420 件，佔總數的 72.8% 最多；其次是梅雨鋒面，共計 87 件，佔總數的 15.1%。這兩者的累加個數佔總數的 87.9%，顯示颱風（或熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流）以及梅雨鋒面在坡地災害事件的肇生中扮演了非常關鍵的角色。然而，另一種的天氣類型，「東北季風，以及東北季風與南方低壓系統所結合的共伴環流」型態，雖然只有 37 件

個案，佔總數的 6.4%；但一旦發生，由於降雨影響延時較久、降雨類型較為連續，且累積降雨較為顯著，常易肇致臺灣東北部地區異常的降雨現象，並導致坡地災害的肇生。

## 2. 診斷釐清冷季臺灣東北部地區劇烈降雨所肇致坡地災害肇生前兆之綜觀環境條件，以及氣象量場特徵，具體回饋防災應變整備預警作業。

研究個案中，冷季臺灣東北部地區劇烈降雨導致坡地災害，除了先前的東北季風在迎風面造成的降雨，以及颱風或熱帶擾動遠離，所殘餘的水氣或外圍環流雲系造成局部地區的累積降雨之外；另一類的共伴效應也是東北部山區主要顯著降雨的原因之一。共伴效應在大環境要先有東北季風南下；隨後，颱風外圍雲系在颱風的東北部區域會帶來東南風；再來，此時東北季風的冷空氣和颱風所攜帶的水氣加乘，在東北部外海產生共伴效應，肇致迎風面的臺灣東北部雨勢會更加明顯增大。

綜合而言，環境中的風場、水氣場和溫度場對劇烈降雨天氣系統的發展、運動和影響至關重要。這些量場變化是形成豪大雨天氣的關鍵因素，也常是坡地災害可能肇生之先兆環境的重要量場條件特徵。

### 3.完成冷季臺灣東北部地區劇烈降雨個案預報災區降雨的平衡得分計算評估，找到環境量場的最佳參考數據。

在坡地災害案例發生前 6 小時、前 12 小時及前 24 小時的 TS 值，分別為 0.68、0.64 及 0.59，顯示就整體統計分析來看，TS 愈接近 1，累積降雨量門檻是具有預報技術能力。BS 值分別為 1.41、1.52 及 1.65，當 BS 大於 1，代表有過度預報情事，可以進行適度修正。顯示預報極端劇烈降雨事件時，預報人員對於天氣系統強度的掌握普遍都有高估的趨勢。POD 值在坡地災害事件發生前 6 小時、前 12 小時及前 24 小時分別為 0.92、0.94 及 0.92，根據經驗，POD 愈高，代表預報技術愈好。FAR 值分別為 0.26、0.29 及 0.35，當 FAR 得分愈低，表示錯誤預報愈少。這也突顯在整個運動及發展過程中，仍存在有相當程度的不確定性。

再從坡地災害事件發生前 6-12 小時，無論是在可偵測率、誤報率或是預兆得分上，綜合整體的預報表現成效最佳，適可提供防災應變前置預警整備的重要參考資訊 (Lin et al., 2023)。另一方面，在所統計的 10 項影響因子當中，達肇致坡地災害的個案有 3 項的滿足率大於 85% 為最高，分別為「臺灣東北部外海有氣流場的輻合」、「850hPa 水氣通量輻合大於  $180\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 」，以及「850hPa 溫度場有顯著冷平流」等，值得未來在冷季診斷臺灣東北部地區是否會有異

常降雨時的重要參考依據之一。

#### 4. 進行高解析度的數值模式 WRF 模擬與校驗，建置穩定可靠的冷季東北季風肇致強降雨綜觀環境診斷指標。

根據模式模擬結果，在 4 個不同階段中，可以量化得知差異量場因子分布的特性。10/1400Z 至 10/15 09Z 期間為東北季風影響階段，主要降雨熱區在基隆及新北地區，最大的時降雨量在 10-50mm；10/15 10Z 至 10/15 21Z 期間為東北季風與颱風外圍環流形成的共伴效應階段，主要降雨熱區在大台北及宜花地區，最大的時降雨量在 40-80mm；第 3 階段，10/15 22Z 至 10/16 12Z 期間，為受颱風及其外圍環流雲系移入影響階段，主要降雨熱區在大台北及宜花地區，最大的時降雨量落在 50-100mm 之間；最後，10/16 13Z 至 10/17 06Z 期間，為颱風遠離及東北季風影響階段，主要降雨熱區在大台北地區，最大的時降雨量為 20-50mm。

在第 1 階段，東北季風影響期間，東北部地面氣溫在攝氏 24 至 26 度之間，外海輻合值在 2 至 4  $\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值 13 至 15  $\text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 12 至 15  $\text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 10 至 12 度之間；在第 2 階段，東北季風與颱風外圍環流形成的共伴效應期間，東北部地面氣溫在攝氏 22 至 25 度之間，外海輻合值在 5 至 10  $\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，

混合比值 15 至 20  $\text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 18 至 23  $\text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 7 至 10 度之間；在第 3 階段，颱風及其外圍環流雲系移入影響期間，東北部地面氣溫在攝氏 24 至 27 度之間，外海輻合值在 3 至 6  $\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ ，混合比值 14 至 18  $\text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 17 至 21  $\text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 10 至 12 度之間；在第 4 階段，颱風遠離及東北季風影響階段，東北部地面氣溫在攝氏 23 至 26 度之間，外海輻合值在 1 至 3  $\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ ，混合比值 12 至 15  $\text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速 12 至 16  $\text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏 9 至 11 度之間。綜上，無論在氣壓場、高度場、溫度場及風速的改變量均有訊號產生，這個重要的研究結論，可回饋至未來防災應變進駐開設作業期間，做為劇烈降雨天氣系統強度變化判斷以及影響延時評估分析的重要參考之一，俾利預早完成疏散警戒、預警佈署與調度整備，提供應變中心指揮官下達決策參用。

另一方面，業已完成模式敏感度測試實驗的設計與進行，當關掉模式中的潛熱釋放效應項時，環境量場呈現顯著的變化。從每 3 小時 850hPa 風速( $\text{m/s}$ ，藍線)以及輻合( $10^{-4}\text{s}^{-1}$ )，當模式內的潛熱釋放效應項關閉時，850hPa 風速驟減為 10.2 至 10.5 $\text{m/s}$ ，與控制組原先的 18 至 23 $\text{m/s}$  相差甚多，其它時段的風速也同樣明顯減少；颱風的中心氣壓也從原先的 985hPa 上填至 995hPa，顯見颱風強度的減

弱，也使得暴風圈範圍的縮減，原先颱風外圍環流（尤其是東南風的外圍雲系）幾乎已經到不了臺灣的東北部海域，只能停留在菲島的東北方外海，而原先預期東北季風與尼莎颱風外圍環流所產生的輻合與共伴效應完全不見。輻合值也從原先的 5 至 10 (單位為  $10^{-4}s^{-1}$ ) 下修到不足 4.5 (單位為  $10^{-4}s^{-1}$ )，降雨只剩下單純的東北季風降雨模式所影響，原先劇烈降雨的強度及範圍也同步跟著下調；顯見，在沒有輻合共伴效應的模擬選項中，臺灣北部及東北部冷季要發生異常降雨的機率將會大幅下降。

再從坡地災害事件發生前 6-12 小時的預報效果來看，無論是可檢測率、誤報率還是預兆得分，綜合整體的預報表現最佳，為防災應變前期預警準備提供了重要的參考資訊。就防災應變的資料解讀、決策制定和信心下達而言，這個階段的檢查確認對於執行效益具有相當程度的參考價值。



## 第四章 結論與建議

根據年度計畫，我們利用氣候統計、診斷分析和數值模擬等研究方法，針對可能引發坡地災害的劇烈降雨天氣系統進行個案研究。目前階段選擇了冷季臺灣東北部異常降雨個案進行測試，根據後續的研究需求，可能會再納入颱風或其它引發因素的個案進行研究。

根據歷史坡地災害事件的統計結果顯示，坡地災害發生次數呈現減少的趨勢，年際分佈沒有明顯的規律變化。最容易肇生的地區分別有新北市、宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣；其中，高屏兩地合佔總數的 24.6% 最多。另一方面，最常發生的時段落在 5-9 月，暖季合佔總數的 76.9% 最多。而再就冷季，臺灣東北部異常降雨個案當中，發現最多發生的縣市為宜蘭縣，佔 26 件；其次，分別為新北市的 10 件，以及基隆市的 5 件。也顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件中最多的縣市是宜蘭縣。肇致這些坡地災害發生的動態原因，統計結果也顯示，順向坡地層滑動佔有 1 件，東北季風帶來之地形雨計有 5 件，颱風及其外圍環流佔有 2 件，鋒面佔有 1 件，颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應件數最多，佔有 32 件，佔統計全數的 78%；顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件肇生中的最主要動態原因就是颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應，這在未來防災應變整備作業評估上，應該要將其列為冷季臺灣東北部劇烈降雨的重要風

險管理項目之一。

研究針對過去 18 年冷季，導致臺灣東北部地區異常降雨個案中，分佈範圍最廣、降雨量最豐，且降雨延時最久的超大豪雨個案中，研究計畫選取 2022 年 10 月 14 至 17 日間尼莎颱風及其外圍環流影響個案進行診斷分析與數值模擬，該個案單 10 月 16 及 17 日的日累積降雨量統計，台北士林的擎天崗站就高達 743.5mm，宜蘭大同的樂水分校站也達 736mm，宜蘭大同梵梵站 689mm，桃園復興的嘎拉賀站也有 516mm，均已達到超大豪雨標準，也使得劇烈豪大雨事件為臺灣東北部地區帶來嚴重的災情，最後衍生基隆、新北及宜蘭等處的坡地災害事件肇生。尼莎颱風事件主要受颱風雨帶或外圍環流，再搭配與東北季風產生輻合的共伴效應，在基隆北海岸及宜蘭南側山區降下超大豪雨等級之降雨，尼莎颱風遠離後，又有東北季風南下，延長降雨時間，期間 96 小時最大累積雨量為臺北市士林區擎天崗 1962mm，其次是宜蘭縣大同鄉樂水分校 1165.5mm。綜上所述，風場、水汽場和溫度場是影響劇烈降雨天氣系統發展、移動和影響的關鍵要素（林，2023）。

此次事件造成臺灣北部及東北部地區前後共發布土石流黃色警戒 91 條，紅色警戒 75 條，根據研究分析結果，在天氣預報上除了要注意東北季風之風向及風速外，也須掌握來自菲律賓東方海域至南海

之熱帶系統所帶來的水氣，增強對冷季東北部地區劇烈降雨的預報能力。另外，判斷是否颱風外圍環流與東北季風共伴，除了留意宜蘭外海是否有明顯的輻合帶外，亦可以透過等溫線判斷是否有冷空氣南下，做為加強東北季風共伴的參考依據。

另一方面，通過平衡得分計算，預兆得分接近 1，顯示累積降雨量門檻是具備預報技術能力的。偏差值明顯大於 1 表示，在預報極端劇烈降雨事件時，預報人員普遍對天氣系統強度的掌握存在高估的趨勢；若與去年針對梅雨季劇烈降雨導致坡地災害的個案平衡得分來進行比較，所得 TS 值得分較高，BS 值得分較低，顯示量化檢查表對於臺灣東北部地區冷季異常降雨預報的掌握能力較為穩定。在所統計的 10 項影響因子當中，達肇致坡地災害的個案有 3 項的滿足率大於 85% 為最高，分別為「臺灣東北部外海有氣流場的輻合」、「850hPa 水氣通量輻合大於  $180\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 」，以及「850hPa 溫度場有顯著冷平流」等，值得未來在冷季診斷臺灣東北部地區是否會有異常降雨時的重要參考依據之一。此外，從坡地災害事件發生前 6-12 小時的角度來看，綜合整體的預報表現在可探測率、誤報率和預兆得分上最佳，可為防災應變的前置預警準備提供重要的參考資訊。

研究也運用高解析度的中尺度數值模式 WRF 進行個案模擬與校驗比對。模式模擬結果，在 4 個不同階段中（如：表 2-7），可以量

化得知差異量場因子分布的特性。在第 1 階段，於東北季風影響期間，東北部地面氣溫在攝氏 24 至 26 度之間，外海輻合值在  $2$  至  $4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值  $13$  至  $15 \text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速  $12$  至  $15 \text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏  $10$  至  $12$  度之間；在第 2 階段，東北季風與颱風外圍環流形成的共伴效應期間，東北部地面氣溫在攝氏  $22$  至  $25$  度之間，外海輻合值在  $5$  至  $10 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值  $15$  至  $20 \text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速  $18$  至  $23 \text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏  $7$  至  $10$  度之間；在第 3 階段，颱風及其外圍環流雲系移入影響期間，東北部地面氣溫在攝氏  $24$  至  $27$  度之間，外海輻合值在  $3$  至  $6 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值  $14$  至  $18 \text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速  $17$  至  $21 \text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏  $10$  至  $12$  度之間；在第 4 階段，颱風遠離及東北季風影響階段，東北部地面氣溫在攝氏  $23$  至  $26$  度之間，外海輻合值在  $1$  至  $3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ ，混合比值  $12$  至  $15 \text{gkg}^{-1}$ ，850hPa 風速  $12$  至  $16 \text{ms}^{-1}$ ，700hPa 的溫度在攝氏  $9$  至  $11$  度之間。綜上，無論在氣壓場、高度場、溫度場、水氣場及風速的改變量均有訊號產生，且訊號與之前階段內容，均有相當大的差異；尤其是在流場變化、溫度分布、混合比變化以及水氣輻合等不同面向的表現。這個重要的研究結論，可回饋至未來防災應變進駐開設作業期間，做為劇烈降雨天氣系統強度變化判斷以及影響延時評估分析的重要參考之一。

研究規劃同步也進行模式的敏感度測試實驗，在沒有輻合共伴效應的模擬選項中，嘗試去釐清個案環境的海平面氣壓場、水氣場、風場、垂直運動場和高度場的可能變化。當模式內的潛熱釋放效應項關閉時，850hPa 風速驟減為 10.2 至 10.5m/s，與控制組原先的 18 至 23m/s 相差甚多，其它時段的風速也同樣明顯減少；颱風的中心氣壓也從原先的 985hPa 上填至 995hPa，顯見颱風強度的減弱，也使得暴風圈範圍的縮減，原先颱風外圍環流（尤其是東南風的外圍雲系）幾乎已經到不了臺灣的東北部海域，只能停留在菲島的東北方外海，而原先預期東北季風與尼莎颱風外圍環流所產生的輻合與共伴效應完全不見。輻合值也從原先的 5 至 10（單位為  $10^{-4}s^{-1}$ ）下修到不足 4.5（單位為  $10^{-4}s^{-1}$ ），降雨只剩下單純的東北季風降雨模式所影響，原先劇烈降雨的強度及範圍也同步跟著下調。這一重要的研究結論可回饋到未來的防災應變執行中，做為判斷冷季劇烈降雨天氣系統強度變化和影響延時評估分析的評估參考，藉以改善過往在進行冷季異常降雨診斷評估時，所面臨到的挑戰與窘境。

另一方面，根據研究結果，在坡地災害事件發生前 6-12 小時，綜合整體的預報表現在可檢測率、誤報率和預兆得分方面最佳，適可提供防災應變前置預警準備的重要參考資訊。就防災應變的資料解讀、決策制定和決策執行而言，對這一階段的檢查和確認具有相當程

度的參考價值。這意味著在此時間範圍內進行的預報可以在預測坡地災害事件方面提供相對準確的資訊，說明決策者做出及時有效的防災應對措施（林，2021；林，2023）。整體來看，引發坡地災害的劇烈降雨事件具有以下特徵：降雨量大、持續時間長、水氣供應豐沛，對山區造成顯著的累積降雨（林，2022）。洪等（2006）在研究中針對2006年的個案進行了敏感度測試，評估了模式在東亞地區的預報能力，並發現選擇不同邊界層參數化方案對模式預報誤差的影響最為顯著，它不僅影響著大氣邊界層內的熱量傳輸，同時也與水氣的垂直傳輸過程密切相關。未來，可以再進一步對環境水氣通量進行診斷和水氣傳輸進行計算與時間序列診斷，進行更深入的量化分析，藉以澄清劇烈對流降雨行為的可能延時、過程和影響，從而有助於改進和實施防災預警與入夜提醒的整備工作。

## 參考文獻

- Back, L. E. and C. S. Bretherton, 2009: On the Relationship between SST gradients, boundary layer winds, and convergence over the tropical oceans, *J. Climate*, **22**, 4182-4196.
- Brommer, D. M., R. C. Balling, and R. S. Cervený, 2003: Local and regional discriminators of mesoscale convective vortex development in Arizona. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1939-1943.
- Chang, C.-P., Y.-T. Yang, and H.-C. Kuo, 2013: Large increasing trend of tropical cyclone rainfall in Taiwan and the roles of terrain. *J. Climate*, **26**, 4138–4147.
- Chang M.J., Chang H.K., Chen Y.C., Lin G.F., Chen P.A., Lai J.S., Tan Y.C., 2018 : A support vector machine forecasting model for typhoon flood inundation mapping and early flood warning systems. *Water* ,**10(12)**,1734.
- Chen, C. S., Y. L. Chen, C. L. Liu, P. L. Lin, and W. C. Chen, 2007: Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Wea. Forecasting*, **22**, 981-1002.
- Chen, G. T.-J., C.-C. Wang and A. H. Wang, 2007: A case study of subtropical frontogenesis during a blocking event. *Mon. Wea. Rew.*, **135** ,2588-2609.
- Fang, X., Y.-H.Kuo, and A. Wang, 2011: The Impacts of Taiwan Topography on the Predictability of Typhoon Morakot's Record-Breaking Rainfall: A High-Resolution Ensemble Simulation.

- Wea. Forecasting*, **26**, 613-633.
- Hong, J.-S., 2003: Evaluation of the high-resolution model forecasts over the Taiwan Area during GIMEX. *Wea. Forecasting*, **18**, 836-846.
- Hsu, L.-H., S.-H. Su, R. G. Fovell, and H.-C. Kuo, 2018: On typhoon track deflections near the east coast of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **146**, 1495–1510.
- Huang C.C., Fang H.T., Ho H.C., Jhong B.C., 2019 : Interdisciplinary application of numerical and machine-learning-based models to predict half-hourly suspended sediment concentrations during typhoons. *J Hydrol* , **573**, 661-675
- Kim, H. W., and D. K. Lee, 2006: An observational study of mesoscale convective systems with heavy rainfall over the Korean Peninsula. *Weather and Forecasting*, **21**, 125-148.
- Lau, N.-C., and J.-P. Jeffrey, 2009: Simulation of synoptic- and sub synoptic-scale phenomena associated with the East Asian summer monsoon using a high resolution GCM. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 137-160.
- Lee, C. S., L. R. Hwang, H. S. Shen, and S. T. Wang, 2006: A Climatology Model for Forecasting Typhoon Rainfall in Taiwan. *Natural Hazards*, **37**, 87-105.
- Lexi Henny, Chris D. Thorncroft, Huang-Hsiung Hsu, and Lance F. Bosart, 2021: Extreme rainfall in Taiwan: seasonal statistics and trends. *J. Climate*, **34**, 4711-4731.
- Lin Te-En , Ming-Jui Chang, Jihn-Sung Lai , 2023 : Environmental diagnosis of precursor of slope hazard potential, 2023 ICEO & SI

Conference, June 12-13, Taipei, Taiwan.

Punkka, A. J., and M. Bister, 2005: Occurrence of summertime convective precipitation and mesoscale convective systems in Finland during 2000-2001. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 362-373.

Shankar, D., S. R. Shetye, and P. V. Joseph., 2007: Link between convection and meridional gradient of sea surface temperature in the Bay of Bengal. *Journal of Earth System Science.*, **116**, 385–406.

Tsai, H.-C. and Lee, T.-H., 2008: Maximum covariance analysis of typhoon surface wind and rainfall relationships in Taiwan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **48**, 997-1016.

Weng, S.-P., and C.-D. Yang, 2018: The construction and verification of daily gridded rainfall dataset (1960–2015) in Taiwan (in Chinese with English abstract). *Taiwan Water Conserv.*, **66**, 33–52.

Wilks, Daniel S., 2011 : Statistical methods in the atmospheric sciences. *Elsevier Inc.*, **8**.

李清勝、羅英哲、張龍耀，2007：琳恩颱風(1987)與東北季風交互作用產生強降水之研究。 *大氣科學*， **35**， 13-34。

李鎮洋、賴文基、陳振宇、黃效禹、郭力行，2011：莫拉克颱風複合型災害發生歷程的時空重建—以小林村深層崩塌為例， *中華水土保持學報*， **42-4**， 313-324。

林冠瑋、顏心儀、郭賢立，2015：豪雨觸發之大規模山崩的降雨條件分析， *工程環境會刊*， **35**， 1-16。

林冠瑋、洪瀨，2019：大規模崩塌之促崩降雨分析， *地工技術*， **161**， 29-36。

- 林得恩，2021：土砂災害肇生前兆之綜觀環境條件診斷，*行政院農業委員會水土保持局110年度創新研究計畫*，**95**頁。
- 林得恩，2022：梅雨鋒面肇致坡地災害之個案研究，*行政院農業委員會水土保持局111年度創新研究計畫*，**81**頁。
- 林得恩，2022：劇烈降雨系統對高山陣地之風險評估，*氣象預報與分析*，**250**，1-15。
- 林得恩，2023：梅雨鋒面肇致坡地災害之先兆環境研究，*氣象預報與分析*，**252**，1-15。
- 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、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**,241-260。
- 蕭羽利，2011：芭瑪颱風(2009)與東北季風共伴效應之數值模擬分析。*國立臺灣師範大學碩士論文*，**123**頁。
- 蔡元融、賴文基、許登傑、謝正倫、黃效禹，2016：潛在大規模崩塌區影響範圍劃設，*中華防災學刊*，**8-2**，159-172。
- 謝信良，1996：嘉南地區定量降水預報整合計畫—總計畫(二)。*國科會防災研究報告NSC85-2621-P-052-002*，**161**頁。
- 顏自雄，2003：賀伯颱風(1996)及其受台灣地形影響之數值模擬研究。*國立台灣大學博士論文*，**108**頁。

**期初報告委員提問意見及答覆：**

- 一、本計畫可促進基礎科學發展，建議於國內外研討會及期刊發表，可提升國內學術及技術。

答：謝謝委員肯定。

研究結果預畫國內、外研討會投稿 3 至 4 篇，國內、外期刊發表 2 篇，藉此提升國內學術及技術研發。

- 二、降雨引致坡地災害除了雨型、雨的特徵與強度外，坡地的地文特性也是關鍵，建議彙整過去 18 年以來東北部地區在冷季臺灣東北部異常降雨致災的案例（恐怕案例數不多），能夠適度的與坡地災害的學者專家互動交流，尤其是熟悉基隆地區坡地災害的學者。

答：謝謝委員提醒。

本研究將彙整過去 18 年以來，臺灣東北部地區在冷季異常降雨的個案，在研究診斷分析的過程中，將尋求與坡地災害的專家學者進行交流討論，俾利釐清並瞭解研究個案之自然環境、降雨系統、地文特性與坡地災害肇生可能存在的關係。

- 三、本研究研究冷季，但實際上所舉的例子都是因為颱風引起的強降雨和土石流，即便是與東北季風的共伴效應，也還是因為颱風所致。建議排除颱風的影響，考量非汛期的東北季風降雨條件是否足以造成「劇烈降雨」作為研究的對象。

答：謝謝委員提醒。

研究目標主要以統計自當年 10 月至翌年 4 月間，在東北季風環境下所肇致臺灣的劇烈降雨個案（將先排除因颱風及地震所造成的坡地災害事件），根據降雨雨型、環境流場以及天氣型態，劃分為東北季風型及共伴效應型等 2 大類，再進行量化診斷分析，經

由平衡得分的計算，進一步釐清主要環境條件、水氣來源、輻合機制以及影響程度，做為後續數值模式模擬時的校驗比對依據，俾利後續建置冷季東北季風劇烈降雨肇致坡地災害事件可能發生之前兆環境條件的概念模式。

四、評估事發前環境條件特徵與氣象量場特性僅考量東北季風降雨，建議宜通盤考量。

答：感謝委員提醒。

將就環境的水氣分布、能量傳遞、環境不穩定度以及異常降雨的激發機制以及物理過程，進行通盤考量與整體評估。

五、建議可以提出特殊的研究方法或定義出任何與過往不同的氣象特徵。

答：謝謝委員肯定。

本研究經由高解析度氣象數值模式 WRF 進行個案模式模擬，透過靈敏度的設計與量場的幾何運算，嘗試釐清冷季東北季風劇烈降雨之前兆環境的關鍵變化，並有效回饋至防災預警的實際整備作業上。

六、由於雨量站有限，即使模擬網格更精細，但模擬結果卻不易驗證。

答：謝謝委員肯定。

除利用雨量站的實際觀測數據外，研究設計透過以下 3 種研究手段進行輔助研判，用來進行與模式模擬結果驗證。包含有提高模擬設計的網格解析度與靈敏度測試、氣象雷達遙測結果的運用，以及高解析度氣象衛星的圖資辨別。

七、若實際上的焦點於共伴效應，則建議後續研究的題目以颱風與東北季風的共伴效應造成的劇烈降雨為題。

答：謝謝委員提醒。

研究目標，在東北季風環境下所肇致臺灣的劇烈降雨個案（將先排除因颱風及地震所造成的坡地災害事件），根據降雨雨型、環境流場以及天氣型態，先期劃分為東北季風型及共伴效應型等 2 大類，藉此釐清並掌握在不同環境下，冷季東北部異常降雨的可能物理過程、降雨特性與環境特徵。

## 期中報告委員提問意見及答覆：

一、依據本計畫所提工作進度，在7、8月之前僅進行基礎資料統計及診斷分析、前兆環境條件及平衡得分計算，高解析度模擬等工作都是在7、8月之後才開始進行。但報告中顯示已經進行了WRF模擬。

答：謝謝委員提醒。

計畫預期規劃7、8月之後，始進行高解析度數值模式的模擬。現因今年前期的基礎資料統計、診斷分析及平衡得分計算工作相當順利，研究進度提早完成；遂逕執行後期的研究工項，加上數值模擬的積雲參數化、微物理過程參數化及邊界層參數化均須調整與設計，耗時較久，過程較為複雜，需更多時間來進行補強，俾利後續整體的診斷評估與比對驗證。

二、在本計畫以冷季為主軸，但相關的文獻探討與論述中，似仍以颱風共伴效應為相對重要的降雨事件。請在論述中，更明確地區分摒除颱風影響的境況下，所謂的「異常」降雨之定義，多強、多久的降雨為「異常」降雨。

答：謝謝委員提醒。

研究中的冷季臺灣東北部異常降雨個案，冷季（主要指每年10月至翌年4月間），降雨延時超過6小時以上，降雨型態屬持續性的降雨行為，且降雨強度在豪雨（200mm/24h 以上或100mm/3h 以上雨量）或以上的事件，定義為「異常」降雨；經統計分類作業，因颱風或熱帶擾動所造的遠距降雨亦一併納入分析。

三、目前結果指出統計10項因子中有三項較適合作為冷季是否會有異常降雨的參考依據。

答：謝謝委員提醒。

是的，在所統計的10項影響因子當中，易肇致坡地災害的個案有3項的滿足率大於85%為最高，分別為「臺灣東北部外海有氣流場的輻合」、「850hPa水氣通量輻合大於 $180\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 」，以及「850hPa溫度場有顯著冷平流」等，值得未來在冷季診斷臺灣東北部地區是否會有異常降雨時的重要參考依據之一。

四、目前WRF的模擬有初步成果，但尚待敏感度測試。

答：謝謝委員提醒。

在研究期程的規劃中，於期末報告內容安排，將會納入模式設計的敏感度測試部份進行綜合診斷研析。

五、P.3-10，「綜上，無論在氣壓場、高度場、溫度場及風速的改變均有訊號產生」若此為重要的研究結論，請更具體說明如何回饋到未來的劇烈降雨判斷與延時評估分析參考？

答：謝謝委員提醒。

在冷季，環境有來自北方冷高壓所伴隨的東北風，當南方有颱風或熱帶擾動自東向西運動，接近巴士海峽附近通過時，其外圍環流雲系（偏東南風的這支）易與環境東北風在臺灣東北部外海產生輻合，並循環境東北風移入至臺灣陸地，產生集中性且顯著性的降雨。此一過程，無論在氣壓場、高度場、溫度場及風場上，均有明顯的變化。對應到未來防災應變進駐開設作業期間，則可做為劇烈降雨天氣系統強度變化判斷以及影響延時評估分析的重要參考之一，俾利預早完成疏散警戒、預警佈署與調度整備，

提供應變中心指揮官下達決策參用。

六、本研究成果對於天氣的預報較有直接關連，確實可以提升中央政府農業部農村水保署提前針對東北季風時期的降雨事件有提前預警作用，對於提早開始進行臨災戒備啟動有所幫助。但相較於實際觀測的降雨資料或短期降雨的即時預報，本研究未來的整體研究成果尚難對於防災應變的指揮決策有具體的幫助，亦難以據以提早啟動應變機制，如災害應變中心開設或預防性疏散撤離。且此為有共伴效應的狀況下。

答：謝謝委員肯定。

研究結果發現，冷季在臺灣北部及東北部的異常降雨事件肇生，反應在氣壓場、高度場、溫度場及風場上，均有明顯的變化訊號，透過診斷與分析，可以預先研判異常降雨發生的可能性，提早啟動防災應變機制，有效支援應變進駐的指揮決策信心下達，藉以落實防災、減災與避災的最大效益。

七、在未來期末報告撰寫時，應參考水保署現行發布警戒之雨量預報方式與時效性，以及警戒發布的作業考量（如雨量預報時間、警戒發布時間）等，以便讓水保署人員更瞭解應如何應用本研究成果。

答：謝謝委員提醒。

研究成果，建立冷季臺灣北部或東北部異常降雨的概念模式，從環境量場變化的訊號，對應到可能降雨的程度以及強度的影響，可具體回饋於實際應變進駐的情資研判作業上，對於警戒發布的作業考量，以及監測守視的時效掌握，甚至疏散撤離的決策下達，均具有有效的實質助益。

八、希望於期末時可以提出何種颱風走向會造成共伴效應，以供署內參考。

答：謝謝委員提醒。

當大陸冷高壓環流形成，使東北季風盛行，常為臺灣北部、東北部帶來降雨，若此時有颱風或熱帶擾動在巴士海峽附近，則颱風外圍環流的暖空氣與東北季風的冷空氣在臺灣東北部外海合流，產生共伴效應。在迎風面的北部及東北部易有較長時間的豪大雨；簡單來說，環境先要有東北風，南邊後要有颱風或熱帶擾動在巴士海峽附近，則此時所預期的共伴效應要發生的機率也會跟著增大。

九、期末報告時是否可以將報告書內盤點內容作成表，以利閱讀，例如颱風的壓力場、風場數據…等。

答：謝謝委員提醒。

研究選取分析尼莎颱風個案，已將不同階段影響下，降雨場、氣溫場、輻合場、混合比場以及風場等進行盤點彙整，如表 2-7 所示，藉此可以預先研判異常降雨發生的可能性，提早啟動防災應變機制，發揚創新研究最大的實質功效。

十、P2-3 提及其他的冷季臺灣東北部異常降雨災害內容(順向坡地層滑動佔有 1 件，東北季風帶來之地形雨計有 5 件，颱風及其外圍環流佔有 2 件，鋒面佔有 1 件)是否會也進行簡易分析呢？

答：謝謝委員提醒。

統計研究結果顯示，颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應件數最多，佔有 32 件，佔統計全數的 78%；其它類型(包含順向坡地層滑動、東北季風帶來之地形雨、颱風及其外圍環流以及

鋒面等)則佔統計全數的 22%，預計俟未來降雨事件的母數蒐集更多時，也會一併納入診斷範疇當中，讓評估分析更具整體性與代表性。另一方面，也顯見出冷季臺灣東北部坡地災害事件肇生中的最主要動態原因就是颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應，這在未來防災應變整備作業評估上，應該要將其列為冷季臺灣東北部劇烈降雨的重要風險管理項目之一。

## 期末報告委員提問意見及答覆：

一、加強環境水氣通量診斷，分析水氣傳輸和時間序列變化，了解劇烈對流降雨的延時、過程和影響，進而提升防災預警和入夜提醒的準確性。因此，在預測冷季東北部異常降雨及坡地災害的準確性時，如何透過關注關鍵氣象參數的更新與率定，作為改進預警時效，以提升模式預報精度，請補充說明。

答：謝謝委員肯定。

在研究的量化診斷結果，除了針對環境水氣通量進行分析，分析水氣傳輸和時間序列變化，釐清劇烈對流降雨的延時、過程和影響之外；也由平衡得分的計算項目，所統計的 10 項影響因子當中，達肇致坡地災害的個案有 3 項的滿足率大於 85% 為最高，分別為「臺灣東北部外海有氣流場的輻合」、「850hPa 水氣通量輻合大於  $180\text{gkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 」，以及「850hPa 溫度場有顯著冷平流」等 3 組關鍵氣象參數，都是非常值得未來在冷季，進一步診斷臺灣東北部地區是否會有異常降雨時的重要參考依據之一。

二、何為異常降雨，是指颱風共伴帶來的豪大雨？那為什麼不說是颱風共伴效應降雨，要稱是「異常」，異常感覺是不能解釋的降雨或不常出現的降雨會比較適合，如果每年冷季都常出現，是不是可以用更好的稱呼。

答：謝謝委員提醒。

研究計畫經由診斷分析發現，這些冷季異常降雨所肇致坡地災害發生的動態原因，順向坡地層滑動佔有 1 件，東北季風帶來之地形雨計有 5 件，颱風及其外圍環流佔有 2 件，鋒面佔有 1 件，颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應件數最多，佔有 32

件，佔統計全數的 78%。顯見冷季臺灣東北部坡地災害事件肇生中，肇因相當複雜且眾多；但是，最主要動態原因還是颱風及其外圍環流與東北季風形成之共伴效應。

三、冷季為以月份作為單位，然近年冬季縮短而秋季消失之氣候型態，冷季是否需調整？而其異常降雨現象是否易受台灣島地形影響？

答：謝謝委員提醒。

在氣候異變、全球暖化加劇下，臺灣氣候環境的確受到極大的影響與干擾，包含夏季的延長、春季及秋季的縮短，四季的時間分佈做了很大的改變。研究中的設計，就是為了減少這種環境量場因氣候變遷所肇致的顯著不同，可能造成的研判失準。根據過去 10 年實際天氣條件現況，定義冷季為每年 10 月至翌年 4 月間的時段，嘗試釐清異常降雨的主要原因與可能過程。

而冷季異常降雨現象，當然與臺灣局部地區的特殊地形有關。舉例來說，在東北季風盛行下，宜蘭地區畚箕型的地形，常常會使得環境水氣更易累積且不容易外散，近於造成顯著的累積降雨現象。