

探索一個既熟悉又陌生問題— 2020 年宜蘭劇烈降雨實驗(2020 YESR)簡介

蘇世穎 劉清煌

中國文化大學大氣科學系

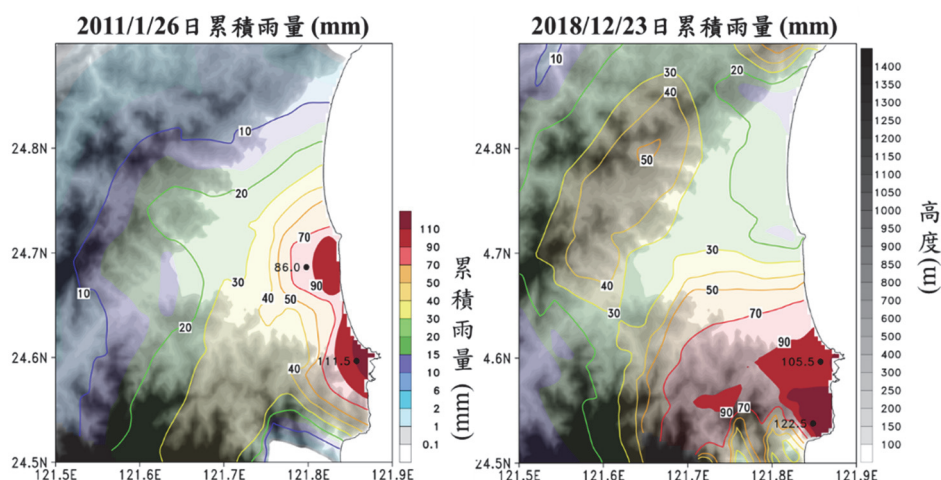
摘要

2020 年十月中旬，宜蘭地區受到東北風的影響降下連日大雨。部分地區單日累積雨量超過 400 毫米，三天累積雨量超過 600 毫米。在同年的 12 月份，宜蘭地區連續 29 天的降雨，也打破了當地過去的連續雨日紀錄。這樣的現象相信對於生活在北台灣的朋友而言並不陌生，甚至心中可能一直存在著類似的疑問。其實回想一下，大家在小時候或是中小學的地理課上，可能老師們都曾經介紹過『竹風蘭雨』這個俗諺，但對於像導致蘭陽平原降雨這類區域氣候特徵的形成機制，卻缺乏詳細進一步的說明與描述。就在這個各項活動都被疫情打亂步伐，也迫使大家放慢腳步的 2020 年，台灣大氣科學界卻展開了一次大規模的合作觀測實驗，就是嘗試要對這種小區域複雜地形下的對流發展機制進行研究。在這篇文章中，我們嘗透過對於過去有關宜蘭地區相關氣象研究的回顧，一起去找尋可能導致宜蘭冬天一直下雨的因素。

大部分的氣象俗諺，其實都是在描述一定範圍內區域空間中的氣候平均狀態。在科學意義上，通常是具有統計上代表性的氣候特徵。『竹風蘭雨』這句話的出處來自清同治九年由陳培桂所纂輯之淡水廳志中卷十一的風俗考，原文是：『竹塹多風，蘭地多雨。諺謂之竹風蘭雨』。這句話是在描述在冬季強烈東北風的環境下，新竹地區的風勢強勁但無明顯降雨，而同時在蘭陽平原則風速較低且降雨不斷的氣候特徵。由現代氣候統計的觀點來看，冬季時全台的降雨頻率與總降雨量都較低，屬於氣候上的乾季。此時中南部地區幾乎無雨，而降水區主要集中在桃園以北的區域及東部宜蘭、花蓮地區的迎風面上。傳統上我們對於冬季降雨機制的描述，會以東北風受地形舉升後產生的連續性層狀降水為主。但在後續的研究中顯示，在複雜的地形效應下，北海岸與宜蘭地區也經常發生強降雨事件。

一般來說，冬季宜蘭平原地區的降雨分布中，受到地形舉升的影響會在近山區的地方產生較著顯著的降雨。但在一些個案中，我們也注意到平地降雨量卻更為顯著（圖一）。在冬季的蘭陽平原上，這種特殊降雨空間分佈的特徵，其實一直被應用在氣象作業單位進行天氣預報分析作業上。但其對流發展與綜觀環境條

件間的關聯性，或局地環流和地形交互作用卻鮮少被探討。



圖一 2011/1/26 和 2018/12/23 宜蘭地區日累積雨量（取自：台灣豪雨圖 8-3）

就像前面所說的，蘭陽地區冬季降雨的特徵很早就被應用在氣象預報分析中。在 1935 年的日據時代，『宜蘭測候所』才開始設置，開始有常態性的氣象觀測紀錄。而當時出任所長的樺澤實先生，透過分析最早觀測到的氣象紀錄，發現到宜蘭地區冬季的降雨有從海岸線向內陸山區遞減的現象。當時對於地形舉升導致降雨機制描述，是單純透過機械力強迫舉升誘發對流在地形上發展，導致山區有較大降雨的降雨現象，而蘭陽平原的降雨特徵明顯的不適用這樣的解釋。在此之後，當描述這蘭陽平原降雨特徵的技術報告送回當時的『台灣總督府氣象台』後，被當時的台長西村傳三博士正式命名為『第二類地形性降雨』，也是宜蘭地區降雨特徵第一次有相關文獻紀錄。那段時間雖然正值二次世界大戰的期間，但是相關的氣象觀測工作並沒有停歇。在 1942 年 12 月中旬，台灣總督府氣象台組織了一支 14 人的『第二類地形性降雨調查隊』，由當時兩位氣象台的氣象技師藤澤正義與樺澤實先生帶隊，率領 2 位技手與 10 位在『總督府測候技術官養成所』培訓的學生，前往宜蘭地區進行為期 10 天的地面與高空測風觀測。在當時 14 位觀測隊員中，只有一位台籍的氣象人員參與，那便是台灣氣象界的耆老 周明德先生（為周明達教授的大哥）。周明德先生所撰寫的書中曾提及此次的觀測活動（圖二），在處於戰爭的時期可以動員如此大量的人力進行三度空間的大氣觀測是十分難得的一件事情。

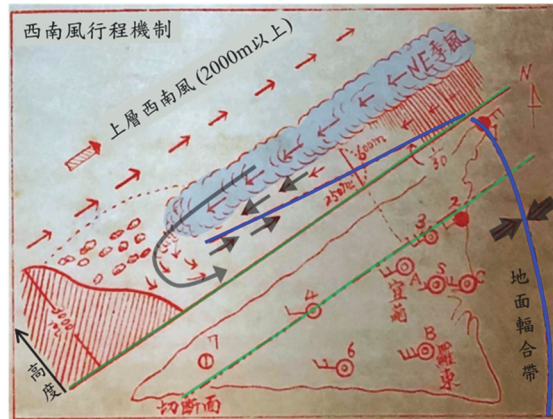
雖然當時這次觀測活動的研究成果受到二戰的影響沒有辦法立即發表，但是在戰爭結束後，樺澤實先生將攜回日本的資料經過整理與分析，提出由於宜蘭地區特殊簸箕型地形導致東北風發生迴流，進而在平原地區發生較強的降雨的機制，



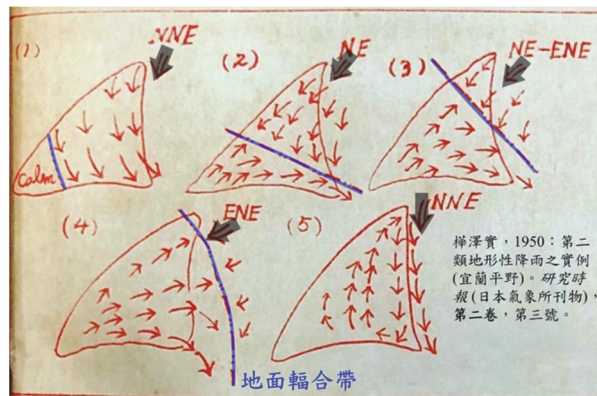
圖二 周明德先生所撰寫之『台灣風雨歲月』與黃繁光先生編著之周明德先生傳記『風起雲湧時』兩本書之封面照片。

並發表在 1950 年日本氣象廳的刊物『氣象庁研究時報』中。在這篇文章中，透過地面測站的觀測資料配合垂直測風觀測所得之風場資料，推測宜蘭地區在東北季風的環境下，中低層氣流受蘭陽平原西南方山脈的阻擋，會在低層產生迴流形成西風。而此迴流風場與大尺度環境的低層東北風在低層產生輻合，因為氣流輻合所誘發的對流系統發展進而造成蘭陽平原地區的降雨（圖三）。在這樣的模型下，對流發展的位置會受到氣流輻合帶的位置不同而有所改變，而冬季大陸冷高壓的移動所導致環境風場變化便是造成輻合帶位置變化的主因（圖四）。這樣的模型確實可以解釋部分蘭陽地區冬季降雨的特徵，但是導致迴流風場的機制上的解釋卻不夠全面，因為對流降雨的外流效應或是其他非絕熱機制亦可能導致低層輻合。換句話說，在此一模型中是不考慮對流發展所伴隨之非絕熱機制的乾模式(dry model)，與實際大氣中的物理機制可能不盡相同，需要更多的觀測資料與模擬實驗來驗證。

雖然台灣地區的氣象觀測技術與研究發展在過去的六十多年間已經有大幅度的進步，無論是在先進觀測設備的建置或利用數值模式進行相關模擬研究上，都讓台灣的氣象研究已經與國際各先進研究機構位於相同的水平。但由於台灣西岸的人口稠密氣象災害導致的衝擊較大，急需大量的研究投入去改善相關的預報能力，所以多數大型的氣象觀測研究實驗都聚焦在台灣西岸的大氣環境條件研究，



圖三 冬季蘭陽平原『第二類地形性降雨』之迴流風場示意圖。(原圖修改自：樺澤實，氣象庁研究時報，1950)



圖四 冬季蘭陽平原『第二類地形性降雨』之地形迴流，與低層東北風輻合雨帶示意圖 (原圖修改自：樺澤實，氣象庁研究時報，1950)

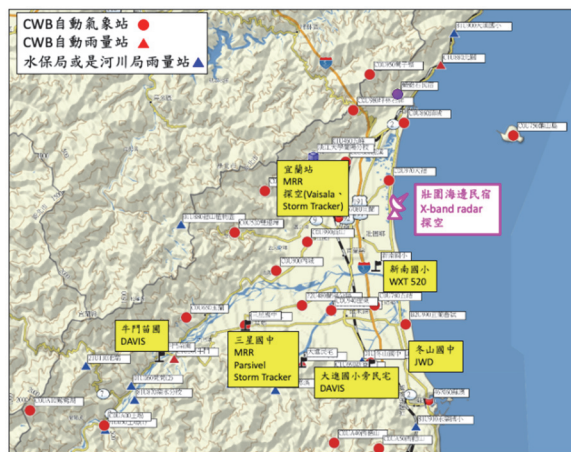
也確實讓台灣各項天氣分析與預報能力都有很大的改善。但相對來說，在過去很長一段時間裡台灣東海岸地區，如宜蘭地區，都相對缺乏針對該區域的觀測活動。以氣象局的宜蘭測站為例，在1987年『臺灣地區中尺度實驗 (Taiwan Area Mesoscale Experiment, TAMEX)』曾在當地施放過探空氣球收集高層大氣資料後，有30多年的時間都不曾有相關觀測活動進行。即便是2001年將研究標的聚焦在提升台灣東部地區降雨預報能力的『綠島中尺度實驗 (Green Island Mesoscale Experiment, GIMEX)』，也只在夏季針對屏東、台東、花蓮地區進行整合觀測實驗，也沒有機會對於冬季宜蘭地區的降雨特徵提供進一步的觀測資訊。而關於宜蘭區域的相關氣象研究多聚焦在防災與水文的應用，但也有少數的研究

以宜蘭地區秋冬季降雨特徵或豪大雨事件作為研究標的，如（李，1987；陳，2000；葉，2003 等），而更多的研究是透過數值模式模擬不同大氣綜觀環境條件下的宜蘭降雨特徵進行模擬實驗。比較早期的相關研究中，像是李金萬博士的論文，指出在東北風環境下的綜觀尺度環境條件對於冬季異常降雨會有影響。而在後續的數值模擬研究中則顯示，像是鋒面位置與東北風風向、風速等綜觀條件都會影響宜蘭地區對流系統的發展，導致不同型態的降雨特徵。另一方面，陳等（2012）利用了中央氣象局所建置自動氣象站與人工測站資料，分析在梅雨鋒面後東北風環流下宜蘭地區局地環流的變化與降雨特徵，也顯示出複雜地形上的風場的日夜變化會影響降雨的空間分佈。

在 2019 年底，文大邀請了郭鴻基教授分享之先前共同參與的『雙北都會區夏季暴雨觀測預報實驗（Taipei Summer Storm Experiment, TASSE）』的初步成果。在成果分享會之後，我們討論到宜蘭地區的異常降雨現象，可能也與台北午後對流系統發展機制相似，也應該與地形-對流交互作用有關。但有鑒於過去對於宜蘭地區三度空間的大氣環境條件，長期缺乏系統性的觀測資訊，即便我們想要透過數值模式進行實驗也會面臨到無觀測資料可參考的困境。因此我們開始規劃在 2020 年進行一次小規模的觀測實驗，想評估在宜蘭地區進行大規模觀測實驗的可能性。2020 年 4 月起，透過台大與文大的合作，我們在蘭陽平原地區增設了 4 座地面自動氣象站，增加在蘭陽平原區靠近山區的觀測資料密度。在 2020 年 7 月份，協同中央氣象局和台大、中大與文大三校共同在宜蘭地區進行一次測試性的小規模實驗。在這次實驗中，我們於宜蘭測站、壯圍海邊和三星國中三地設置探空站，配合降雨雷達等遙測設備與無人機進行宜蘭地區三度空間大氣環境條件的觀測（圖五）。

2020 宜蘭夏季降水 觀測實驗 (YESR)

- Radar on site:
07/13-07/19
- IOP:
07/17/00UTC –
07/19/00UTC



圖五 夏季 YESR 實驗之主要觀測儀器空間配置，而無人機觀測位置在宜蘭站

在這項測試實驗中，我們其中一項重點工作是要測試在宜蘭地區利用低功率降雨雷達觀測對流發展的可行性，因為氣象局作業化的五分山雷達與花蓮雷達受限於地形阻擋效應，無法觀測於蘭陽平原低層的對流發展的過程。這樣的地形限制對於未來針對冬季伴隨東北風發展的淺對流系統的觀測會有一定程度的影響，所以在本次實驗中由台大陳維婷教授團隊與林博雄教授團隊帶領學生在壯圍海邊進行實驗。實驗結果確實顯示了，使用部署在平原上的低功率降雨雷達進行觀測，有助於宜蘭地區對流系統發展的監測。

夏季測試實驗中的另一個重點是要嘗試使用成本較低的探空設備，進行高時間與空間密度觀測的可行性評估。由於我們所要探討的科學問題是在宜蘭地區環流與地形交互作用下的各種物理機制，所以高時空解析度的三度空間環流資訊是我們重要的觀測目標，而使用氣象局作業使用的標準探空儀的價格較高。這樣高成本的設備若在高頻率的觀測下使用，則會導致觀測實驗的採樣頻率受到經費的限制。所以我們嘗試使用台大林博雄老師團隊所開發的迷你探空系統-storm tracker，作為測試實驗中主要的高空觀測設備，每 2 小時進行一次觀測作業收集中低層大氣的各項氣象參數。同時在中央氣象局的大力支援下，我們也在宜蘭站每 6 小時同步施放 (co-launch) 一顆氣象局作業使用的標準探空儀進行資料的比對實驗 (圖六)，實驗結果顯示透過迷你探空系統的穩定性已可達作業化水平，且所收集到的資料透過資料後處理流程後，其資料可信度與一般作業探空的水準相當，確實可以用來進行高時空解析度的觀測。



圖六 2020 年夏季 YESR 實驗第一顆同步施放探空氣球 (7/17/2020 00Z)，這是自 1987 年 TAMEX 實驗後首度在宜蘭站施放探空氣球。(照片由劉清煌老師拍攝)

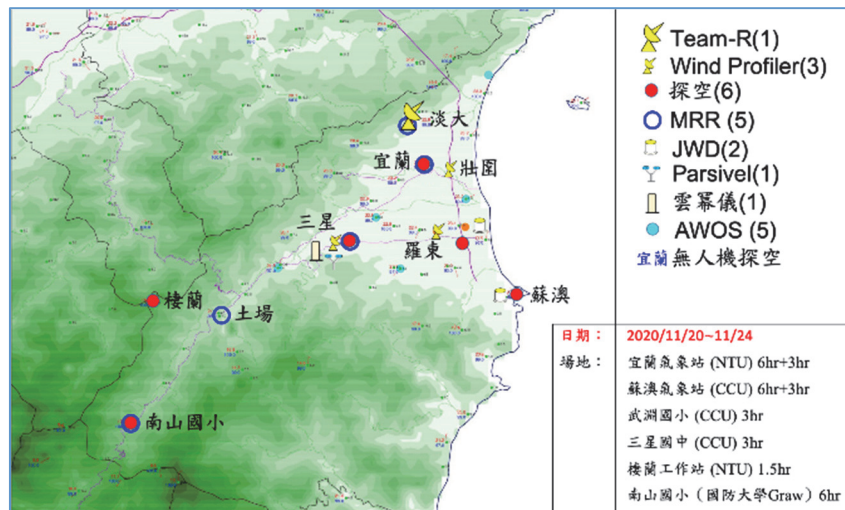
另一方面在密集觀測期間（IOP），受惠於中大與中央氣象局的合作，中央大學王聖翔教授的團隊同步在宜蘭站以四軸小型旋翼無人機進行同步的低邊界層觀測（圖七），收集相關溫濕度資訊與觀測 PM2.5 的垂直剖面。而劉清煌老師與蘇世顥老師與文大的團隊除了執行探空施放的觀測外，也在蘭陽平原上多個站點裝設垂直指向的微波降雨雷達(MRR)與雨滴譜儀，試著透過長時間連續觀測資料分析宜蘭地區對流降雨特徵與邊界層的變化特徵。



圖七 2020 年夏季 YESR 實驗探空氣球與無人機同步觀測。(照片由王聖翔老師拍攝)

因為在夏季的小型測試實驗，我們對於在宜蘭當地進行高時間空間解析度的三度空間大氣環境觀測的可行性更具有信心。關於冬季觀測的進一步實驗構想與規劃，由劉清煌教授在 109 年度的『天氣分析與預報研討會』中介紹給學界，並獲得很多的迴響。在 9 月份起，我們便積極地邀請國內各大氣科學研究單位參與，希望能集結國內學界與作業界的觀測能量，將更多的觀測資源投入提供更全面的大氣環境觀測數據。經過大家熱烈的響應，冬季觀測實驗中參與的團隊包含中央氣象局、台大、中大、文大、中央研究院與國防大學。在 2020 年 11 月 19 日至 24 日期間，全部的團隊都將觀測儀器佈置在宜蘭地區，共同進行一次觀測實驗活動。那段期間，在宜蘭地區集結了國內各項先進的氣象觀測儀器，針對宜蘭地區冬季東北季風與複雜地形環境下的三度空間風場變化、降雨分佈特徵、對流發展機制與山區微氣象條件進行觀測與分析。因為氣象界的熱情參與，讓我們有機會將此次的宜蘭劇烈降雨觀測實驗（YESR）與國內的各項觀測實驗有更密

切的互動機會。其實冬季的 YESR 實驗可以視為先前『雙北都會區夏季暴雨觀測預報實驗 TASSE』觀測實驗的延續，也可做為『臺灣區域豪雨觀測與預報實驗 (TAHOPE)』計畫的冬季部分 (winter component)。圖八為冬季觀測實驗的儀器空間配置，因為我們對於冬季東北風環境下的大氣三維環流結構最感興趣，所以此次特別商請中大林沛練教授團隊 (與海科中心合作) 協助將剖風儀移至壯圍，和中研院陳韡勳博士團隊與國防大學侯昭平老師團隊的剖風光達系統加入觀測，提供連續且高時間解析度的低層大氣風場資訊。這些資料配合平原地區的四個探空站與蘭陽溪河谷中上游的兩個探空站點，可以形成高空間密度的觀測網，提供當地 3 維空間的環流特徵。在 IOP 觀測期間，中大的移動式降雨雷達團隊 (Team-R) 在廖宇慶教授、張偉裕教授和鍾高陞教授的帶領下，也移動至淡江大學宜蘭校區進行觀測。受惠於大量使用微型探空系統，在這次觀測實驗中，我們首次嘗試在小區域範圍中同時釋放大量探空氣球，宜蘭、蘇澳、五洲與三星等觀測站每三小時釋放一顆微型探空 (storm tracker, ST)，宜蘭與蘇澳站每六小時同時施放一組標準作業用探空 (Vaisala) 探空。山區棲蘭站在台大羅敏輝老師的帶領下，針對山區邊界層變化進行更高時間解析度的觀測，白天每 1.5 小時釋放一顆微型探空，夜間則與其他測站同步維持每 3 小時施放的頻率。在國防大學的師生協助下，在蘭陽溪河谷的上游設置了南山測站，每 6 小時釋放一組 Graw 探空。其中，宜蘭與蘇澳站的每六小時的標準探空觀測資料會即時回傳到氣象局作業系統，提供氣象局同仁進行天氣診斷分析使用。與夏季實驗相同，中大無人機團隊也同步在宜蘭站進行低邊界層的觀測，直至觀測實驗結束。



圖八 冬季 YESR 實驗之主要觀測儀器空間配置，圖上的無特殊標示之小點為氣象局自動測站位置

本次觀測我們也聚焦在東北風環境下低層大氣的層狀降雨過程，所以由平原向山區方向，透過文大和台大陳正平教授與游政谷教授所支援儀器設備，我們分別在宜蘭、三星、土場和南山設置微波降雨雷達，希望能觀測層狀降雨發展的特徵。而台大林博雄教授所支援的雲幕儀則設置在三星站，與宜蘭、蘇澳兩站共同作為本次觀測實驗中，提供各項觀測設備資料交叉驗證的超級測站(Super site)。同時，台大的楊明仁教授與吳建銘教授則針對該區域進行超高解析度的數值模擬，並作為觀測規劃與作業時的天氣預報參考。相關的觀測資料正由各氣象團隊進行資料的後處理流程，經過整理後的資料最終將會進到科技部所支持的大氣水文資料庫中。這次參與觀測實驗的團隊都十分支持這種合作模式，而所收集到的各項觀測資料在資料保護期過後，將依照各單位的資料使用規範開放給所有學界同仁共享。在這次觀測活動中，台灣的氣象作業單位提供給我們大量的幫助，中央氣象局除了提供觀測場地外，也大方提供作業用的標準探空設備讓我們可以進行資料校驗比對實驗。同時，氣象局預報中心也在觀測期間提供所有觀測團隊每日即時的天氣分析診斷與預報資訊。國家災害防救科技中心（NCDR）也協助我們在觀測期間，即時提供高解析度的雷達/模式風場的整合資料（WISSDOM）。

在觀測活動期間的一個小花絮就是與氣象應用推廣基金會合作，在 11 月 22 日上午於宜蘭測站舉行科普講座（圖九）。雖然受到場地與防疫規定的限制，現場僅開放 30 位民眾入場，但是透過網路直播連遠在海外的網友們也能一同參加這次的活動。會中除了當時參與觀測的研究同仁外，我們也特別邀請蔡清彥老師與鄭明典局長一同與民眾和網友們互動，介紹台灣氣象預報與觀測技術的發展過程與未來展望，也獲得很多的迴響。



圖九 冬季 YESR 實驗之科普活動照片，此為 11/22/2020 03Z 之探空氣球施放展示活動合影。(照片由郭韋辰先生拍攝)

我們十分感激大氣科學界之各單位熱情的參與，讓 2020 年的宜蘭暴雨觀測能順利完成且收穫滿滿。但整體來說，這次的觀測實驗的規模，還是屬於偏向測試性質的預實驗，而對於宜蘭地區降雨的特徵與機制還有許多需要進一步觀測與研究的內容。舉例來說，2020 年 11 月 21 日在觀測中，我們在蘇澳站測得超過 240mm 的日累積雨量，但是在衛星與雷達資料上皆無深對流雲的信號。而基於過去已知的降雨機制中，對於這類型低層暖雲所產生的豪雨事件缺乏完整觀測與分析，是值得進一步的研究與分析的課題。而宜蘭地區特殊的複雜地形也十分適合研究山區與低層大氣間各項的交互作用，希望未來能透過更多的觀測實驗，增加對於台灣山區邊界層溫度、降溫率、濕度、亂流以及對流特徵瞭解，才能對於宜蘭地區特殊的地形降雨機制有更全面性的認識。

參考資料/延伸閱讀

- 樺澤實，第 2 種地形性降雨の實例について，(1950)，氣象庁研究時報，第二卷，第三號，p65-69。
- 周明德(1992)，台灣風雨歲月—台灣的天氣諺語與氣象史，聯明出版社，172 頁，ISBN13：9789578698000。
- 李金萬（1987），台灣北部冬季東北季風影響下異常降水個案之診斷分析（博士論文），中國文化大學地理研究所，台北。
- 陳盈擘（2000），宜蘭地區秋冬季降雨特性之研究（碩士論文），國立中央大學大氣物理研究所，桃園。
- 周仲島（2001），台灣天氣研究計畫與綠島中尺度實驗簡介，科學發展月刊 29，568-578。
- 葉嘉靜（2003），宜蘭地區秋冬季豪大雨特性之研究（碩士論文），國立中央大學大氣物理研究所，桃園。
- 黃繁光(2009)，風起雲湧時—首位台籍氣象官周明德平生所見所聞，新北市立淡水古蹟博物館，200 頁，ISBN：9789860168419。
- 陳泰然，王子軒，黃心怡(2012)，宜蘭地區梅雨季鋒後大豪雨之中尺度特徵探討大氣科學，第四十期第四號，407-426。