

論述	大陸現況	法令天地	全民國防	資通安全	科技新知	健康生活	生態保育	文與藝	美麗台灣·文化領航	其他
----	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----------	----

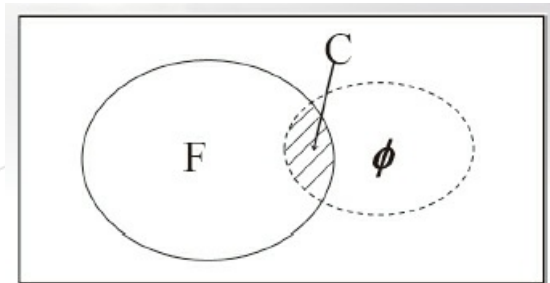
您知道季風、梅雨、鋒面等氣象是如何產生及移動的嗎？而目前我國的天氣預報極限及準確率又達到何種程度？

臺灣與東亞地區的梅雨(下)

◎陳泰然

豪雨預報能力

接著比較中央氣象局對颱風與梅雨的豪(大)雨預報能力。豪(大)雨預報能力是用什麼方法來校驗呢？一般是以Threat Score T得分，如(圖八)所示，預報將發生豪雨的範圍為F，觀測到豪雨的範圍為 ϕ ，C就是正確預報發生豪雨的部分，以正確的C部分除以F + ϕ 的總面積就叫T得分；如果F跟 ϕ 完全重疊，T得分就是1，即百分之百正確的意思，也就是完美預報；若F跟 ϕ 完全分離不交集，T得分就是0，所以這個技術得分是從0到1，0表示沒有預報能力，如果是1的完美預報，那大氣科學科系就要關門了，研究也不用做了。另外兩個指標也滿好的，一個叫前估PF (prefiguration)，前估的意思是什麼？就是觀測的豪雨事件有多少事先可以被預報到的，也就是事先可以預報到的那個部分C/ ϕ ；什麼叫後符PA (post agreement)？就是預報的豪雨事件有多少應驗了，等於C/F的部分。且看氣象局的豪(大)雨預報能力，颱風預報T得分為0.6，還不錯，不過梅雨就只有0.17，但最近因為模式改進已接近0.2左右，颱風的前估則提高為0.68，而後符更高達0.85，這個校驗結果顯示臺灣的颱風路徑預報得相當好。

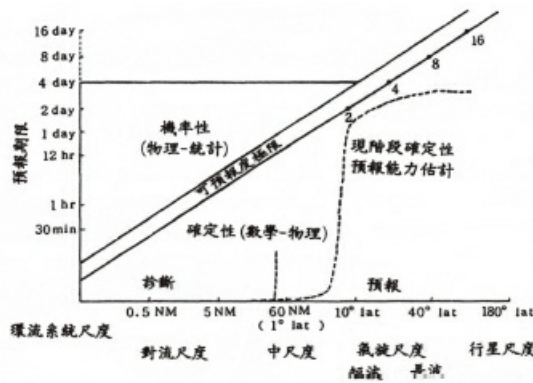


圖八：T得分之概念示意圖。F為預報定量降水的範圍， ϕ 為觀測到的定量降水範圍，C為正確預報範圍，T得分即為 $C / (F + \phi - C)$ 。

梅雨季的豪雨預報主要涉及鋒面系統，而直接造成豪雨的中尺度對流系統涉及的過程甚多。前述梅雨季豪雨預報能力的前估0.2較差，後符0.57還好，換句話講，在梅雨季氣象局預報會有豪(大)雨，應驗的機會頗大，但是很多地方發生的豪(大)雨，氣象局事先是沒有預警的；不是他們不願意預報，而是以目前的科學了解，他們做不到，這表示在豪(大)雨的產生過程，有些是屬於綜觀尺度過程，有些是中尺度過程。什麼叫綜觀尺度？就是範圍大小是千公里的，諸如環流系統差不多是千公里的；什麼叫中尺度？環流系統水平尺度只是百公里的，像鋒面這樣的尺度。中尺度對流系統水平尺度一般是幾百公里，由於我們對中尺度的過程缺乏了解，因此預報能力不足，所以反應出來的預報效果也差。因此，梅雨季裡的豪(大)雨，最主要的研究還是要加強了解中尺度的過程。所以，從民國70年之後，我的研究主要就集中在中尺度氣象，而導引我進入這個研究領域最主要的思考，還是在它造成的災害。

天氣預報能力

再來談談預報能力這個概念。除了豪(大)雨預報之外，氣象局天天都在做各式各樣的天氣預報，那麼現階段的天氣預報能力如何？以(圖九)示意圖介紹現階段的天氣預報能力和預報極限的概念，同時探討為什麼目前沒有辦法做到完美或百分之百正確預報的理由。要做天氣預報一定要先對天氣系統做預報，天氣系統的預報由數值模式完成，也就是用物理和數學的方法，以數值模式來預報環流系統，例如高壓、低壓、鋒面、高空的槽脊線、波動等等，這些都稱為環流系統，因為天氣變化由環流系統所造成，所以也叫天氣系統。不過同樣的環流系統也不一定會有同樣的天氣，例如同樣是梅雨鋒，也會有不同的天氣；同樣是低壓或是颱風，也都會有不同的天氣。圖上X軸為環流系統的尺度，可從很小的尺度例如發生在臺北市的夏季午後雷陣雨，或稍更大一點的颶線 (squall line)，或是再大一點的中尺度對流系統，一直到最大的行星尺度例如太平洋高壓橫跨整個太平洋、西伯利亞高壓占據整個西伯利亞與蒙古地區等。不同環流系統尺度有不同的生命史，基本上環流系統的尺度越大生命史就越長，尺度越小生命史就越短，Y軸就是環流系統的生命期或預報期限。在1970年代氣象界就已形成一個共識，認為天氣的可預報度與環流系統的生命史相當，環流系統的尺度小則生命史就短，預報期限就比較短。圖內的斜線就是可預報度的極限，亦即用數學和物理的方法來做預報，是被這一條斜線限制住了；被限制的理由有下述三個，一個是數學的理由，一個是物理的理由，另一個是觀測資料的理由。



圖九：可預報度極限與現階段預報能力和環流系統水平尺度 (X 軸) 與預報期限 (Y 軸) 之相關分帶。

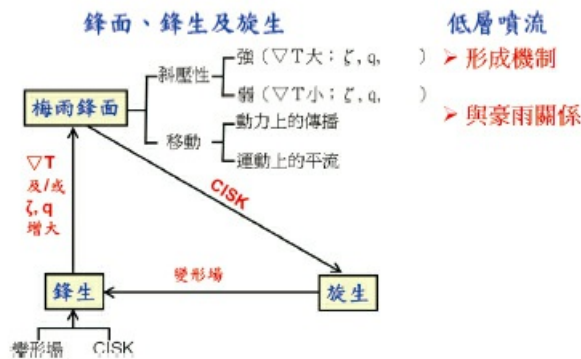
要做預報首先需要把一些物理上的保守定律寫成數學方程，這些物理定律不外乎是能量保守、動量保守、水物質保守及描述空氣狀態的方程。而從物理定律寫成數學方程，因其非線性故無解析解，但要做預報又不得不去解它，只好用數值方法；數值模式就是用數值方法來做環流系統的預報。在理論探討上，常把非線性方程線性化去求得解析解，如此可以提供很重要的過程理解；但是做預報不可能這樣，一定要回到真實世界，所以一定要用數值方法去解非線性方程，一旦用數值方法去解，就會有截斷誤差以及一些計算上的不穩定度出現，積分計算到一段時間後，誤差雜訊比訊號還大時就無法預報了。換言之，在做預報時就是在做積分，從現在的觀測資料開始積分往下一時間外推，推到一段時間後，截斷誤差就太大了，或是計算已經不穩定了，這是對預報有極限的第一個理由。

另外一個理由是一些物理過程上的問題，包括輻射、亂流及對流，這些都在大氣裡存在，在天氣變化上扮演重要的角色。惟大氣中沒有對這些過程的直接觀測，也不知道如何正確地描述它們，因此就只好用可以觀測到的參數去代表它們，這叫參數化 (parameterization)。既然是參數化，那麼問題就來了！我們並不知道可以用什麼樣的合理函數來代表它們，所以參數化就會有近似的問題，參數化產生的誤差一樣會隨著時間的積分而累積。

第三個問題是觀測資料的誤差，從傳統的地面觀測、高空觀測，到現代的雷達觀測、衛星觀測、飛機觀測、船舶觀測等，各式各樣的觀測都有誤差。首先，不可能在每個地方都有觀測，也就是資料不完整的誤差；其次，對於預報上需要的基本參數，包括氣壓、溫度、溼度、風場等，即使利用最先進的科學儀器觀測也不可能完全正確。這些觀測誤差經由電腦模式的預報積分，一段時間後，誤差雜訊就比訊號還大，這時就沒有預報能力了。過去認為預報極限大約兩個星期，但實際上現今預報期限或預報能力大概最長僅 8 至 9 天；在冬天中緯度地區可到 8 至 9 天，臺灣冬天的預報有時亦可到了 7 至 8 天，例如強烈寒流要來的話，7 至 8 天前大概就可準確預報了；但一到夏天又不行了，因為天氣已非由中緯度系統影響，而是受熱帶系統控制，現今熱帶系統的可預報度遠比中緯度系統為低。

三十年來與近年來的研究

最後談談個人過去三十多年研究生涯的主要問題，其實就是梅雨鋒面系統，研究鋒面怎麼生成？怎麼消失？鋒面上氣旋怎麼生成？怎麼消失？鋒面南側的低層噴流怎麼形成？跟豪大雨有何關係？其實鋒面垂直環流、鋒上氣旋以及低層噴流，都與豪雨的形成有關，(圖十)就是相關示意圖。先談梅雨鋒面到底有什麼特徵？首先說明，溫度梯度大小在氣象上稱為斜壓性，溫度梯度越大則斜壓性越強；之前曾談及梅雨鋒與極鋒的主要差異就在溫度梯度的大小，大部分梅雨鋒的溫度梯度較弱，但也有一部分很像極鋒，有較大的斜壓性，溫度梯度很大，鋒面經過時溫度可下降很多。所以梅雨鋒亦可分為斜壓性強與弱的不同類別，其導致的天氣現象也會不一樣。而什麼機制形成斜壓性較強或較弱的梅雨鋒，是個人的研究探討的問題之一，特別是溫度梯度較弱的鋒面其強度怎麼維持的問題。



圖十：梅雨鋒面系統內之鋒面、鋒生、旋生及低層噴流及其與豪雨之相關。

鋒面移動牽涉到天氣變化，鋒面過境時雲帶裡的對流雲可造成豪雨，也會造成溫度變化和風場變化，所以鋒面除了它的結構特徵與鋒面演變問題之外，還有它的移動問題。以前我們認為鋒面移動只是運動學上的問題，冷氣團推著暖氣團使冷鋒移動，但研究發現鋒面也可經由動力過程驅動而傳播，不只是運動學上的位移而已，因此對梅雨鋒面的研究而言，包括它的移動、結構特徵以及鋒生過程。中緯度地區的鋒生，基本上就是透過變形場，風場的變形 (deformation) 可使所觀測到的溫度梯度越來越大而形成鋒面；但對於梅雨鋒而言，變形場通常不足以形成所觀測到的鋒面強度，鋒面

的形成與其強度維持還要靠第二種條件性不穩定（CISK）。什麼是第二種條件性不穩定？就是兩種不同尺度的環流系統進行正的反饋作用，在梅雨鋒面裡就是積雲對流這個小尺度系統與鋒面這個比積雲對流為大的大尺度系統交互作用，積雲對流釋放潛熱使鋒面越來越強，溫度梯度即使不變大，它的渦度也會變強，鋒面則提供對流所需之風場輻合與水氣，這個就是CISK機制。

鋒面的形成叫做鋒生，也就是鋒面強度越來越大，意思就是鋒面的溫度梯度變大或是它的旋轉性變大，或是它的水氣梯度變大，都可叫做鋒生。由於鋒生過程產生鋒面，而在鋒面上也可以產生低壓，這個低壓可以發展並提供風場變形使鋒面增強。梅雨鋒面低壓怎麼發展，它不像中緯度的溫帶氣旋低壓可以透過高層槽線的作用增強，也就是準地轉理論所預期的高層與低層系統產生耦合，使地面上的低壓發展。梅雨鋒面所在處，高層缺乏可供低壓發展的槽線，低壓若要發展主要得靠積雲對流潛熱，這就有點像颱風的發展一樣是靠積雲對流提供能量，梅雨鋒面上低壓的發展也不例外，只不過不像颱風那麼強烈。我們研究也發現，當在鋒面上形成低壓氣旋後，低壓提供變形場使鋒面增強。所以個人過去三十多年的梅雨研究，基本上就是在研究鋒面系統裡的鋒面、鋒面的生成、鋒面的移動、鋒面上的氣旋生成、鋒面南側低層噴流的形成，以及這些現象與豪雨的關係。

（作者為國立臺灣大學大氣科學系講座、國立臺灣大學前副校長）

論述	大陸現況	法今天地	全民國防	資通安全	科技新知	健康生活	生態保育	文與藝	美麗台灣·文化領航	其他
----	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----------	----

望強震即時警報系統能普及臺灣各地，提供大家快速、準確的地震預警，減低地震所造成的威脅。

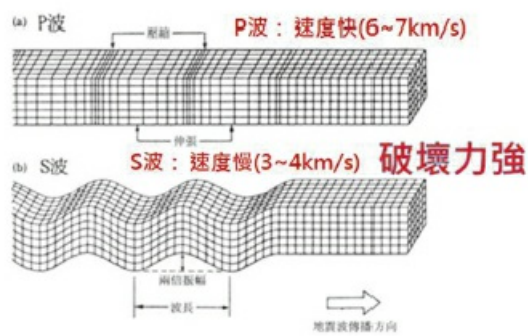
強震即時警報系統之研發與應用

◎林沛陽

強震即時警報簡介

臺灣地區位於環太平洋地震帶上，地處歐亞板塊與菲律賓海板塊的交界帶，地質活動頻繁，平均每年發生四千多起的大小地震，包括兩百多起的有感地震。近百年來臺灣已經發生了多起重大的災害性地震，其地震歷史最早可追溯到明朝萬曆年間。西元1935發生了首次災情慘重的新竹臺中烈震，該次地震造成了3,276人死亡，一萬兩千餘人受傷，房屋一萬七千餘棟全倒、三萬六千餘棟半倒；爾後又陸續有民國30年的嘉義地震、民國35年的臺南地震、民國53年臺南嘉義地震，以及民國88年造成2,434人死亡、近十一萬戶房屋倒塌災情的921集集大地震。上述強烈地震，每次均造成大量的人員傷亡以及財產損失，然以現今的科學技術而言，仍無法事前預估地震而先行避難，需藉由地震觀測網和歷史地震資料與當地的地質條件，判定可能存在的危險區，先行規劃地震災害避難措施。

美國和墨西哥於1980年代中後期，開始發展強震預警系統。1989年美國地質調查所在深受地震所苦的加州裝設了一個偵測餘震的預警系統，利用原有的地震網接收餘震訊息，並使用無線電訊號將餘震訊息提供給正在幫忙救災中的救援人員。墨西哥在1985年發生一次傷亡達萬人以上的地震後，也在其外海的地震帶，沿著海岸線布置了一連串的地震儀；當地震發生時，海岸線的地震儀收到訊號，藉由專屬的無線電訊號，傳給百里外的墨西哥市，做出防震準備。該系統曾於1995年發生的規模7.3級地震中，成功地在S波襲擊墨西哥市前72秒發布地震警報。



圖一 地震波示意圖

跟臺灣同樣位處環太平洋地震帶的鄰國日本，也同樣深受地震災害所苦。日本氣象廳為了降低地震帶來的災害，2007年10月建構強震即時警報系統（Earthquake Early Warning, EEW），並推廣到日本全國。透過網格大小約為二十平方公里之地震觀測網，集合靠近震央的測站群之即時資料，偵測速度較快的P波（圖一），進行該次地震事件之震波影響情形推估，並對於S波尚未到達的區域（距震央較遠處）提出警示。此種運用測站群資料，統合運算推估地震規模、地表震度以及S波到達時間等相關參數之運行模式，可視為區域型強震即時警報系統。而我國目前正由中央氣象局輔以遍布全臺的地震測站（強震觀測網，TSMIP），進行強震即時警報系統的開發與測試。

現地型強震即時警報系統研發

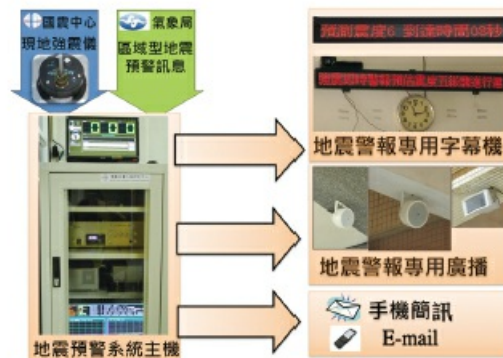
目前中央氣象局已經建置中央地震觀測網，以及區域型強震即時警報系統。區域型系統可以依據散布全臺的地震儀進行偵測與計算，計算完後對全臺灣發布地震預警，因此需要一定的作業時間。以發生在內陸地震來說，平均需要18至20秒才能提出警報，然而此時地震波已經散布出一段距離，近震央區域（50至70公里半徑內）已經來不及在地震來臨前收到地震警報，這些區域稱之為地震預警系統的「盲區」。臺灣地區幅員較小，南北向三百餘公里，東西向約一百公里，災害型地震的發生，其震央大多在島內，例如民國88年的921大地震，其震央在南投縣集集鎮；以此推算北至新竹縣，南至臺南縣皆可能是地震預警系統的盲區。盲區都是地震的重災區，因此縮小盲區便是一件刻不容緩的任務。有鑑於此，國家地震工程研究中心（簡稱國震中心）自97年起開始進行現地型強震即時警報系統的研發，其中包含現地型強震即時警報模組、結構物反應快速評估模組、嵌入式系統整合與測試、客製化地震警報展示與自動化減災控制，並建置一棟兩層樓之模型展示屋，裝置現地型強震即時警報系統，於國震中心之三軸向地震模擬震動台進行驗證測試（圖二）。試以921集集地震為例，依據各地區距震央的遠近，本系統可以分別為嘉義、臺中、新竹與臺北多爭取11、7、17與27秒的預警時間（相較於臺灣高鐵現行之地震告警系統；地震觸發門檻值40gal），並在劇烈震波抵達前，透過廣播、字幕機、電視插播等方式提出預警；同時也自動關閉瓦斯，以避免火災的發生；開啟大門以及逃生動線指示燈以利逃生；將電梯停至最近樓層並開啟電梯門，減低傷亡與受困。透過以上種種自動化警報展示以及減災控制的方式，可讓人們順利進行避難疏散與掩蔽，大幅減低地震所造成的傷亡與不便。



圖二：運用振動台模擬 921 地震，現地型強震即時警報系統可分別為嘉義、臺中、新竹、臺北多爭取 11、7、17 與 27 秒的預警時間

強震即時警報示範系統建置

強震即時警報系統在通過實驗室的實機整合測試後，便開始進行現地的長期驗證測試。在這一兩年內，分別在臺北市芳和國中、宜蘭縣宜蘭國小、南安國中、中興保全羅東分公司、花蓮縣花蓮火車站、光復國小、玉東國中、嘉義縣中正大學，以及港坪國小建置強震即時警報示範站，藉以實際測試此系統於實際地震下之功效，同時也用以進行教育與推廣。強震即時警報示範站的功能與架構會依據設置點的需求作客制化的設計，以學校而言，目前的規劃如圖三；同時整合氣象局所提供之區域型地震警報，以及校園內建置之現地型強震即時警報系統，不論地震發生在多遠與多近，都能以最快的方式得到預警。一旦偵測到地震，會自動透過遍布於校園內的專用廣播以及警報字幕，即時傳遞地震警報；同時學校與相關人士也能收到簡訊及e-mail，即使不在學校也能立刻掌握狀況。



圖三：強震即時警報示範站功能與架構

目前強震即時警報示範系統的建置地點集中在地震潛勢較高的地區，希望藉由此系統的應用，讓這些校園能提早進行防震準備，減少地震所造成的損失。因應這些示範站硬體的建设，國震中心、災防中心與氣象局也一起著手與這些學校合作，編修地震防災演練的標準作業程序。將此系統整合於實際地震防災教育之中，以便在地震防災演練時，有效運用強震即時警報系統所提供的預警時間。圖四顯示地震防災演練流程，在人們尚未感受到地震前，強震即時警報系統即可運用其靈敏的地震計偵測P波，預估可能發生災害型地震時，透過廣播與字幕示警。一樓學校師生聽聞警報時立刻向外疏散至空曠地，二樓以上師生就地進行掩蔽，遠離玻璃門窗，倚靠桌椅保護頭部（依據921地震所帶來的教訓，一樓教室在強烈地震下容易直接倒塌，二樓以上雖有損毀，但仍能保有一定的生存空間）。依據各校演練的經驗，僅約10至20秒即可完成相關動作。在強烈地震波抵達時，一樓已經完全疏散，樓上師生已經完成避難掩蔽，如此便可以大幅減低地震所造成之傷亡。

地震防災演練



圖四：地震防災演練流程

結論

民國一百年，國震中心設置的示範站一共紀錄到123筆地震，能有效提出之預警率為96.89%；預估的震度與實際震度相差一級內的有85.17%。國震中心將會持續收集相關資料、升級與維護相關軟硬體，更重要的是會持續進行相關教育推廣的工作。期望未來這套系統能普及臺灣各地，提供大家快速、準確的地震預警，減低地震所造成的威脅。

(作者任職財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心研究員)