

日本「緊急地震速報系統」發展現況

賴文基^{1,2}、謝正倫^{1,3}、藤繩幸雄⁴

¹國立成功大學防災研究中心

²國立成功大學資源工程系

³國立成功大學水利及海洋工程系

⁴日本即時地震情報利用協議會

摘要

日本氣象廳預定於 2007 年 10 月 1 日開始針對一般民眾提供緊急地震速報資訊的服務，在地震防災工作的演進上，具有相當重大的意義。日本緊急地震速報系統實用化計劃五年來的研發與建置工作，其最大的優勢在於產業界有效的銜接氣象廳所提供的地震速報資訊，針對不同地震防災的需求：工廠、住家、大眾運輸...等，開發個別領域的應用商品，在充分考慮地震速報的能力與限制後，配合防災體系的規劃，提供不同防災資訊運用者迅速、正確的資訊。地震速報系統確實能對地震防災提供極大的功效，但也有待於相關配合條件(產業技術、防災體系與防災教育等)能同時適切的發展，日本「緊急地震速報系統」的發展經驗，值得未來台灣地區發展地震速報防災應用的重要參考。

關鍵詞:地震、緊急地震速報系統、地震防災、防災體系

一、前言：日本地震防災策略的轉變

日本地震防災策略的轉變，主要是因為 1995 年 1 月 17 日神戶地震造成嚴重死傷後，日本全國針對過去地震防災策略成效徹底的進行檢討。過去所著重的災前性策略(地震預測)及災後型策略(災害搶救)在神戶地震中遭到嚴重的挑戰，讓日本政府對於地震的防災策略，轉換為更著重在災中的應變作為(如緊急地震速報)及減災措施(如減震工程)。

在 1995 年後地震防災策略由積極的地震預測、發生風險評估等，轉向側重減震工程等被動的減災防災策略。減震工程對於地震災害的減輕確實有其重要的功用，然而減震工程也

有其功能極限，對於以下三項保全對象，較無法提供安全保障：

1. 對於行動中的人員、車輛、電梯等較無法發揮保護的效果。
2. 對於規模較大的構造物(如堤防、水壩等)效果也較有限。
3. 對於地震引起的二次災害(如火災)或自然災害(液化、海嘯、山崩、堰塞湖)也無法提供防範效果。

針對這些減震工程無法發揮保護的部份，緊急地震速報恰好可以提供與減震工程相輔相成的防災功能，對於行動中人員、車輛提供警示效果，對於較大構造物的運作啟動緊急控制，對於部分的地震引發自然災害或二次災害(火災、海嘯)能降低人員死傷及經濟損失等衝

擊。2005 年日本中央防災會議制定地震防災戰略中，明確針對日本未來可能發生的東海地震、東南海及南海地震，預計達到的「減災目標」為透過今後 10 年的努力，將地震造成的死者數及經濟損失金額達到減半的目標。為達成此一目標，將完成 90%建築物耐震強化以及地震與海嘯災害圖的製作與宣導，以期能從硬體強化及民眾教育兩方面收到具體降低災害衝擊。如果沒有緊急地震速報的建置與運作，在 10 年期間要降低地震災害人員死傷與經濟損失減半的目標，可能無法達成。

二、日本緊急地震速報系統介紹

地震發生後，因為斷層錯動由震源處釋放出能量而造成波動(此波動稱之為地震波)，而向四面八方呈輻射狀傳遞。地震波傳遞的速度，地震發生初期所產生的小波動(P 波，波速約為 6~7 公里/秒)與傳遞主要地震能量的主震波(S 波，波速約為 3~4 公里/秒)間有明顯的速度差異，一般而言波速較快的 P 波會由震源處先傳達到觀測點，波速較慢但波動能量較大的 S 波則會較慢到達。

緊急地震速報的原理就是利用地震波傳播速度與地震觀測數據藉由光纖網路電磁波傳送的速度差異，利用在主要波動 S 波尚未到達前，提前利用已經接收到的 P 波訊號推估震源位置、地震規模，並利用這些地震資訊計算保全對象(住宅、工廠...等) S 波可能到達時間及可能產生的震波大小(震度)，以善用這些資訊採取相關減災措施於機先。

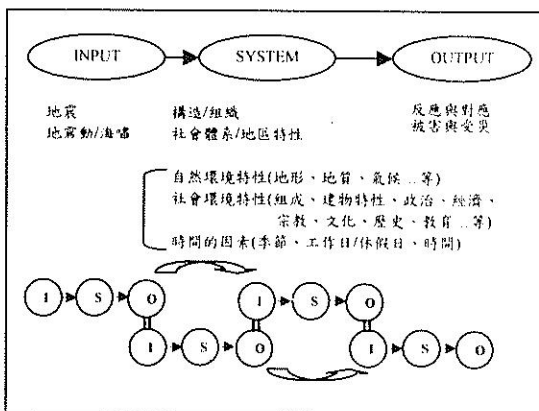
日本氣象廳及獨立行政法人防災科學技術研究所(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, NIED)於全國設置約一千餘處地震儀進行全國性的地震觀測，這些地震儀透過光纖網路將觀測資料彙集至日本氣象廳，資料透過分析後，將分析結果提供給第一次資料配送者(如 Real-time earthquake information Consortium, REIC)，再

分別傳送至相關使用者(第二次資料配送者)進行相關運用。

緊急地震速報(Earthquake early-warning, EEW)，就是利用距離震源地最近的地震觀測點接收到 P 波訊號時，進行偵測與分析，日本氣象廳接收地震資訊並進行分析需花費數秒鐘，分析結果交由財團法人氣象業務支援中心(Japan Meteorological Business Support Center)、即時地震情報利用協議會等第一階段資料分送者後，再傳送供給第二階段各相關專業資料加值分送中心，最後傳送給各相關所需使用者。日本緊急地震速報發布的內容包括有：①震源位置、②地震規模及③地震發生時刻。

三、日本緊急地震速報系統於地震防災的關鍵意義

從災害各階段的推移與連鎖性而論(圖一)，應針對災害各階段推移現象做考慮，災害減輕的最大效能則應從擴大的連鎖性中，從時間及空間尺度中，選擇關鍵點進行阻隔或降低對策，防止災害後續連鎖效應持續擴大，並降低所需的花費，而緊急地震速報系統就是針對地震災害災情擴大的關鍵時刻，爭取能降低災害損失最大效能因應而生的地震災害減輕對策。



圖一、災害推移與連鎖性圖

Figure 1. The development and chain reaction of

the earthquake hazard.

透過緊急地震速報希望能提供以下五項地震災害減輕效果：

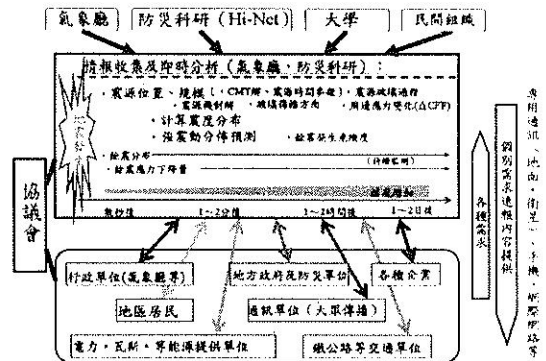
- (1) 人員死傷的降低：透過事前通知，進行避難或採取安全姿勢。
- (2) 建物受損的抑制：透過事前通知，進行震動及破壞抑制。
- (3) 火災發生的防範：透過事前訊號，進行電源與瓦斯關閉。
- (4) 物質上及經濟上損失的降低：透過事前警報，進行工業機械及運輸車輛操作的停止。
- (5) 防災意識的提升：利用緊急地震速報的運作，提升民眾地震防災意識與教育。

透過緊急地震速報的發佈與配套的後續利用，希望能大幅降低因為地震動造成的人員死傷、生活不便(如電梯故障，造成人員禁閉)及經濟損失。預計達成的目標或透過已發生案例的驗證，緊急地震速報系統希望能夠發揮降低人員死傷的效果(對於未來想定發生的東海地震推估有降低 82%的效果、2003 年宮城縣外海地震推估有降低 94%的效果、1995 年神戶地震則推估也有降低 1%的效果)，或降低電梯等公用設施因電力中斷造成人員生活不便(2005 年千葉縣西北部地震推估有 97%的降低效果、2005 年宮城縣外海地震則推估有 100%的降低效果)。

四、日本緊急地震速報系統開發計畫

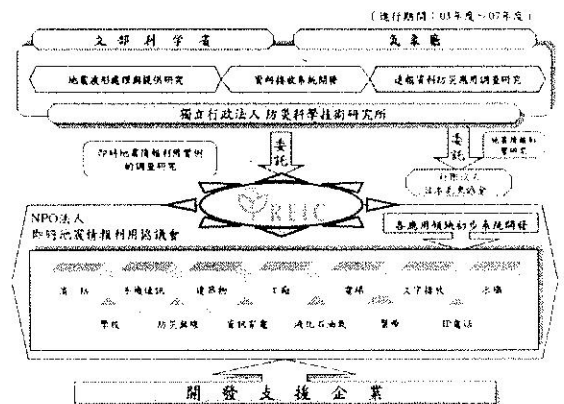
日本地震觀測資料收集與應用的流程如圖二，即時地震觀測資料收集與分析分別由日本氣象廳與防災科學技術研究所負責，大學院校及民間組織所偵測的地震資料，也可提供進行分析。地震發生後觀測及分析的資訊，則分別提供給中央行政單位、維生管線經營及管理單位，並優先通報震度較大的災區民眾，以及早採取因應對策。之後再依序通知地方政府、防

災單位、大眾傳播機構、鐵公路等交通單位，最後再提供給所需之特定事業。在地震觀測資訊的加值應用方面則由即時地震情報利用協議會等情報利用者負責，依照個別需求提供所需內容。



圖二、日本緊急地震速報相關之觀測、分析、資料發佈與後續應用架構圖

Figure 2. The organization of earthquake early-warning observation and earthquake hazard mitigation in Japan.



圖三、日本緊急地震速報系統開發計畫組成架構圖

Figure 3. The scheme of the development project for EEW in Japan.

沿襲日本地震觀測資料收集與應用的架

構，日本緊急地震速報系統開發計畫，主要由日本文部科學省(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)提供經費，透過日本氣象廳的協助下，由日本防災科學技術研究所負責主要技術的研究、開發(圖三)，在推廣應用上則委託即時地震情報利用協議會(REIC)與相關支援企業合作，進行地震防災相關領域應用的研發。即時地震情報利用協議會是由社會各產、官、學領域代表所組成，針對即時地震情報、洪水、海嘯等即時防災情報，進行以下的各項工作：①即時防災情報利用相關調查研究、②即時防災情報利用相關啟蒙與推廣、③即時防災情報相關的標準化制定與檢討、④即時防災情報相關機構聯絡與協調及⑤即時防災情報提供相關研究等。參與即時地震情報利用協議會之相關廠商及單位亦可在此一共同平台上進行各自領域產品開發與銷售，共同推廣緊急地震速報之應用與落實。

五、日本緊急地震速報系統開發成果

日本緊急地震速報系統開發計畫，自 2001 年起開始籌劃開發，2003 年 3 月「緊急地震速報實用化相關檢討會」開始正式運作迄今已進入第五個年度，五個年度中依序完成各項開發與技術的落實運用，這期間及今後預定的各項時程如表一，預計自今年(2007 年)10 月起開始針對一般民眾提供緊急地震速報資訊。

此處舉兩個實例說明緊急地震速報的建置成果，第一個案例為發生在 2005 年 7 月 23 日日本千葉縣西北部地震(MJMA6.0)，第二個案例為 2005 年 8 月 16 日日本東北地區宮城縣外海地震(MJMA7.2)。

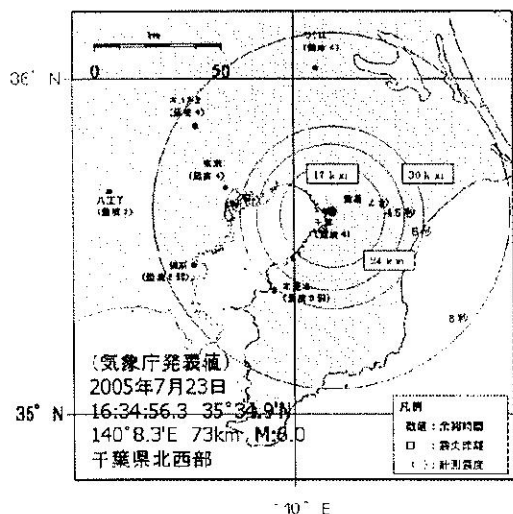
2005 年 7 月 23 日日本千葉縣西北部地震，緊急地震速報運作的結果如圖四，地震發生後從最近的地震儀偵測到地震 P 波訊號後，隨即發出緊急地震速報第 1 報，即使震央就位在千葉縣政府所在地千葉市附近，緊急地震速

報發出至地震波主要震波 S 波到達千葉市的預警時間約有 3.5 秒。3.5 秒的預警時間對照於人員採取避難行動是不夠充足，但對於瓦斯及電力等維生管線的關閉、自動門的打開等自動控制系統的運作時間是足夠的，對於火災等地震引起的二次災害防範，也有足夠的時間進行避災、減災措施。

表一、日本氣象廳緊急地震速報進行時程表

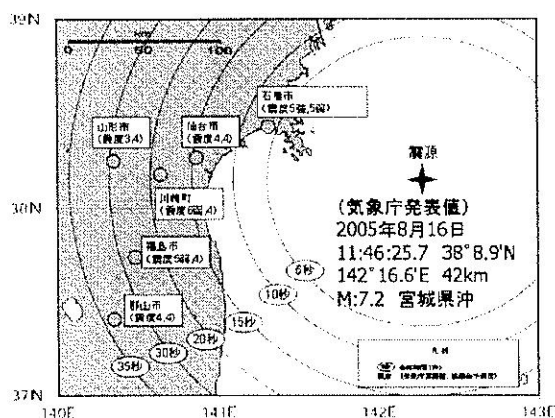
Table 1. The schedule of the JMA's develop project for EEW system

項次	時間	工作內容
1	2003年3月	「緊急地震速報實用化相關檢討會」成立
2	2004年2月	試驗性速報提供開始(關東至九州東岸間地區)
3	2005年3月	試驗性速報提供擴大(加入北海道及東北地區)
4	2005年6月	加入Hi-Net觀測綜合分析結果速報發佈
5	2005年11月	「緊急地震速報正式運用相關檢討會」成立
6	2006年3月	試驗性速報提供擴大至全國
7	2006年5月	「緊急地震速報正式運用相關檢討會」期中成果報告及檢討修正
8	2006年12月	「緊急地震速報正式運用相關檢討會」成果報告(案)審議
9	2007年 1/15~2/13	各方意見及建議募集
10	2007年2月中旬	「緊急地震速報正式運用相關檢討會」成果及結論定稿(對一般民眾速報提供時程決定)
11	2007年4月1日	一般民眾緊急地震速報的宣導及推廣活動
12	2007年10月1日	對一般民眾緊急地震速報提供開始



圖四、2005 年日本千葉縣西北部地震緊急地震速報系統發佈預警時間圖

Figure 4. The result of the EEW for the north-west Chiba's earthquake, July 23, 2005.



圖五、2005 年日本宮城縣外海地震緊急地震速報系統發佈預警時間圖

Figure 5. The result of the EEW for the Miyagi offshore earthquake, August 16, 2005.

2005 年 8 月 16 日日本東北地區宮城縣外海地震，緊急地震速報運作的結果如圖五，在此案例中宮城縣政府所在地仙台市的預警時間約有 14 秒。住宅若裝置有緊急地震速報系統

時，當警報發出後人員還有機會退避至戶外，那麼因為住宅倒塌造成人員傷亡的情況，應該就能有效降低。

除了地震案例測試外，歷年來也針對地震災害中人員死傷的成效進行評估研究。針對不同預警時間與人員死傷的比例變化分析結果如表二，結果發現即使僅有 2 秒的預警時間，仍能有降低死亡比例成為原本的 75%，有 5 秒鐘的預警時間則能明顯降低死亡人數成為原本的 20%，如果有 10 秒鐘的預警時間死亡人數就能降低至原本的 10%，重傷的比例也降低成為原本的 10%，如果有 20 秒的預警時間，除了死傷人數能夠降低至原本的 5%外，原本重傷人數的比例也有 80%能夠降低成無傷的狀況，中等傷的人數比例也有 95%能夠降低至無傷的程度。

根據此一結果，東京大學生產技術研究所 (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo) 目黑公郎教授等人模擬日本東海地區於中午 12 時發生八級地震時，不同預警時間與傷亡人數模擬結果(表三)。結果顯示，推估的人員傷亡減輕量，死者約減少 3000 人(減少 82 %)，重傷者約減少 12000 人(減少 74 %)，中等傷者約減輕 54000 人(減少 73 %)，未受傷者約增加 69000 人。

六、日本緊急地震速報系統發展近況

自 2006 年 8 月起，日本氣象廳開始向特定的 70 個單位進行緊急地震速報的發送，迄今已有超過 300 家的公司、機構與日本氣象廳簽約，希望接收緊急地震速報資訊，並進行各自防災領域的應用。在 2006 年 8 月起進行試驗營運的應用案例包括了：

1. 設施、機器的控制：列車減速或停駛、電梯最近樓層停靠、工廠危險物品流出、閘門開啟或關閉控制。

表二、不同預警時間與傷亡率減低模擬結果(目黑公郎，2003)

Table 2. The estimated casualties rates of different early-warning time with / without EEW system (Meguro., 2003).

預警時間	預警狀況下減輕 傷亡狀況	無預警狀況下傷亡狀況			備註
		死亡	重傷	輕傷	
2秒	死亡	75			對地震發生有警覺，但來不及採取避難行動，或許可採取一些安全姿勢。有可能透過網路發佈警報訊號，於主震到達前關閉瓦斯、電器。
	重傷	15	75		
	輕傷	5	15	75	
	未受傷	5	10	25	
5秒	死亡	20			從學校的實際地震測試中，經過訓練的學生來得及躲入課桌下方，進行緊急安全避難。
	重傷	60	20		
	輕傷	10	50	20	
	未受傷	10	30	80	
10秒	死亡	10			有資料說明比未發佈速報情況下相比，能夠產生90%的傷亡降低率。若經過一般的訓練，人員可能得以從倒塌的屋中逃出。
	重傷	30	10		
	輕傷	50	30	10	
	未受傷	10	60	90	
20秒	死亡	5			相較於未發佈速報情況下相比，能夠產生95%的傷亡降低率。警報發佈後，還有呼喊通知家中成員避難機會。
	重傷	15	5		
	輕傷	30	15	5	
	未受傷	50	80	95	

(數字代表傷亡改變率，以無預警狀況下各程度為 100%為估算依據)

表三、東海地震(M8)傷亡人數模擬及緊急地震速報改善結果(目黑公郎，2003)

Table 3. The estimated casualties rates with / without EEW system for M8 earthquake in Tokai area (Meguro et al., 2003).

無緊急地震速報	死亡	重傷	輕傷	未受傷
	3685	16579	74565	—
有緊急地震速報	死亡	重傷	輕傷	未受傷
	673	4362	20455	69339
降低率(%)	82	74	73	

2. 安全確保：醫院內患者維生儀器運作確保、建築工地安全確保、辦公室安全確保。
3. 防救災活動提前展開：防災指揮所、消防隊等人員招集與緊急聯絡使用方法(如無線電)通知。
4. 其他防災可能運用技術開發、測試與檢討。

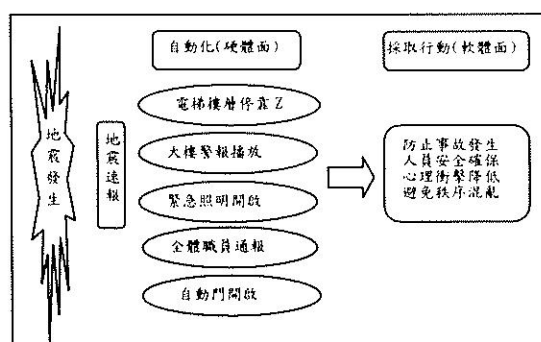
這些個別與氣象廳簽定緊急地震速報提供的事業單位(公司、機構)，可針對各自事業所需，增加其他的速報內容，但為避免初期推廣可能因為誤訊號等造成的損失糾紛，契約中均會加註對地震速報內容應用的限制及除責說明等。

自 2006 年 8 月起，日本氣象廳的緊急地震速報將開始透過特定的 489 個(至 2007 年 5 月 1 日止)進行緊急地震速報情報資料接收及分送。這些資料分送的機構包括公共事業、防災利用機構、網路服務業者、電信業者...等。由於緊急地震速報倚賴快速的傳輸，僅有數秒鐘的預警時間，任何因為資料處理及發送造成的延遲都會降低及災害降低的成效。目前的資料傳輸方面，透過網路傳輸技術的更新，自地震儀偵測到 P 波訊號，經過氣象廳計算並發佈至如 REIC 等第一次資料配送者約需 3~4 秒，自 REIC 發送緊急地震速報至相關應用業者則僅需 0.1 秒(網際網路)、0.5 秒(衛星通訊)，所以相關應用業者幾乎在同時就可將訊息發送至所需的用戶。

未來(預定自 2007 年 10 月起開始針對一班民眾提供服務)自緊急地震速報開始開放給一般民眾申請後，日本電信電報公司(Nippon Telegraph and Telephone Corporation, NTT)使用者在每個月 5000 日圓的線路費外只要再支付 300 日圓，就可以接收緊急地震速報的訊息傳送至電腦或電話，未來還打算將訊息發送至電視機，以文字顯示方式進行通報，去年秋天 NTT 提出此一提案時，獲得民眾的熱烈反應。手機業者並也已經開始進行緊急地震速報簡訊發送的測試，在未來實際的情況下，可能必須

在瞬間發佈數百萬通的速報簡訊，儘管在技術上是有可能達到，但必須針對目前的電信通訊設備進行大量提昇，由於花費較大，目前尚未正式進行商業營運。

為避免因為誤報，造成民眾的不安，故針對一般民眾緊急地震速報的發佈是以超過 2 處偵測到 P 波訊號，且震度超過日本氣象廳 5 弱以上的地震才進行發佈，當次地震也僅發佈一次通報(特定使用機構在當次地震中，會隨著地震資料增加，進行多次發佈)。針對一般民眾緊急地震速報的內容包括地震時間、震央位置、震度 5 弱以上影響地區、震度 4 的影響地區。受限於一般民眾屬不特定多數，分布廣泛，故針對一般民眾並不提供當地的推估震度及 S 波到達的預警時間。



圖六、緊急地震速報與避難行動運用圖

Figure 6. The action plan and application of earthquake early warning.

相關的應用還包括辦公室大樓、工廠、學校、醫院等單位，利用緊急地震速報配合單位防災硬體設備及防災避難行動計畫(業務計畫)採取相關因應行動(圖六)，以降低地震災害衝擊。在今年(2007 年)2 月於橫濱舉辦的第 11 屆震災對策技術展中，合計有 128 家公司及法人機構參加此次展覽，其中有近 40 家公司展出配合緊急地震速報系統今年 9 月針對全民的正式營運所開發的各式產品，從簡易型的地震計、家用緊急地震速報接收與警報器、緊急地震速

報傳輸服務、企業緊急地震速報自動化診斷與規劃、緊急通訊與傳輸、晶圓廠緊急地震速報及廠房控制系統、建設工地緊急地震速報僅報系統、緊急地震速報訊息播放自動販賣機...等(圖七、圖八)。



圖七、防災資訊通告功能自動販賣機展示情形
Figure 7. The demonstration of the EEW notify functional vending machine



圖八、防災資訊通告功能自動販賣機近觀
Figure 8. The close view of the EEW notify functional vending machine.

七、結論

台灣地區的地震速報研究，中央氣象局早

在 1990 年代就開始著手建置及研發，在震央的定位技術及地震規模初估等，在數秒鐘內就可以提供相當精確的結果，台灣地震觀測網及分析技術也因而廣為國際地震研究學者所推崇。日本緊急地震速報系統提供給我們的鼓舞，在於成功的結合產、官、學三方的合作，不但是首次跨單位(日本氣象廳及防災科學技術研究所)地震觀測資料綜合運用，也突破了地震觀測僅是科學研究或新聞通報的固定思維，日本即時地震情報利用協議會調查並整合各項民間資源，研發資料提供與資料服務機制，並輔佐各相關產業建構緊急地震速報系統的服務端，藉由各項防災技術運用產業的落實結合地震觀測速報的公用資源，真正落實到地震災害減輕及防範上，做到回饋取之於社會，用之於社會的公益精神。

除了公益意義外，緊急地震速報的運作也創造了商機無限的防災產業，目前加入日本緊急地震速報應用產業開發的廠商已超過 127 家，預估的市場規模也從數年前初估的 600 億日圓，迅速擴大到 3000 億日圓以上的規模(日經產業新聞 2006 年 10 月 18 日第 2 版報導)，並隨著各項防災領域的應用(如私人住宅的保全系統、聚眾場所—百貨公司、戲院、辦公大樓的避難導引)除了確立地震防災中擔任的角色外，透過防災科學研究，落實到民生產業發展，日本緊急地震速報的開發與應用，成功的將防災科學從學術研討中，轉型到家家戶戶倚賴的民生科技，這也是台灣地震防災工作未來值得學習的良好示範。

日本緊急地震速報的成功建置，除了日本對於地震防災確實有迫在眉梢的危機感，所以在中央至地方政府防災應變體系的完整性、產業技術研發能力、針對不同領域使用者的專業設計完善性，確實有其優越之處。然而台灣自 1999 年 921 集集地震後，也充分感受到地震災害對社會經濟的威脅性，在集集地震後接連經歷多次天然災害的慘痛教訓，也讓中央或地方

政府防災應變體制逐漸健全。在追求更高生活品質與安全確保的社會發展趨勢下，各項防災科技都有再發展落實成為民生產業所需的實際作為。特別是針對不同保全對象，各自對安全保障的要求均有其特殊的顧慮(如高科技晶圓廠、偏遠山區溫泉飯店、儲存危險原料的化工煉油廠...等)，不可能全數要求政府單位以有限的公共資源，滿足所有民眾各自的不同需求。

透過類似日本緊急地震速報建置計畫，結合台灣產、官、學各單位進行跨領域的結合與分工，在台灣既有的地震觀測優勢下，應也能達成在短期內大幅降低地震災害造成人員傷亡、經濟損失對社會的衝擊。地震防災是必須持續推動與永不能放棄的工作，試想，如果我們的家人或朋友都能在緊急地震速報的警報中，安全渡過地震波通過時的威脅，即使是僅有 5%、15%那麼一點機會，身為地震防災科技研究的工作者，我們都應該全力以赴。

八、參考文獻

- 広瀬弘忠：人はなぜ逃げおくれるのか—災害の心理学,集英社,2004.
- 末松孝司等：密集空間を対象とした総合避難誘導シミュレーションシステム研究, 大都市震災軽減化特別プロジェクト平成16年度報告書,2005.
- 目黒公郎，目黒メソッド (http://risk-mg.iis.u-tokyo.ac.jp/index_2.htm), 2003.
- 山崎登，災害情報が命を守る,消防科学と情報, 2004.

Current Status and Development of Earthquake Early-Warning System in Japan

Wen-Chi Lai^{1,2}、Chjeng-Lun Shieh^{1,3}、Yukio Fujinawa⁴

¹ Disaster Prevention Research Center, National Cheng Kung University

² Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University

³ Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

⁴ Real-time Earthquake Information Consortium, Japan

ABSTRACT

The Japan Meteorological Agency plans to start Earthquake Early-Warning service to the general public in October 2007. The Japanese government has spent the last five years constructing the earthquake early-warning network. Consisting of more than 1000 seismometer stations scattered around the country, the network is designed to detect the first tremor of an earthquake, calculate the likely hypocenter and magnitude, and then issue an alert. The alert would be received by automated systems installed at different locations (power stations, railroads, schools, etc.) for users to take actions so as to save lives and property. Currently, more than 300 organizations have signed up to receive the information. Among them, some repackage the information to suit different needs in each field. Except technological development, educating to people on how to respond to an alert and establishing disaster prevention systems in collaboration with the earthquake early-warning system is quite necessary.

Key words: Earthquake, Earthquake early warning system, Earthquake hazard mitigation, Organization of disaster prevention