

智慧全人居家預警災防系統之研究

內政部建築研究所委託研究計畫成果報告

中華民國 111 年 12 月

智慧全人居家預警災防系統之研究 委託研究計畫

受委託單位：中華大學學校財團法人中華大學
計畫主持人：蕭炎泉
共同主持人：何明錦
協同主持人：楊明玲
研究助理：謝博全、賴淑貞
研究期程：中華民國 111 年 1 月至 111 年 12 月
計畫經費：新臺幣壹佰貳拾伍萬捌仟元整

內政部建築研究所業務委託計畫成果報告

中華民國 111 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

第一章	緒論.....	1
一、	計畫緣起暨目標.....	1
二、	研究方法.....	4
三、	研究流程.....	4
一、	研究進度.....	6
二、	研究限制.....	7
第二章	文獻彙整分析.....	9
一、	地震之簡介.....	9
二、	地震之種類.....	9
三、	地震波.....	11
四、	以波速定位.....	17
五、	地震度量.....	20
六、	地震波的轉性.....	25
七、	地震帶.....	27
八、	地震預測.....	30
九、	物聯網簡介.....	43
十、	物聯網在智慧居家預警災防系統之應用.....	46
第三章	計畫完成執行情形.....	49
一、	本計畫已經完成之工作項目彙整.....	49
二、	第一次專家訪談.....	50
三、	第一次專家諮詢會議.....	52
四、	期中報告會議.....	53
五、	第二次專家訪談.....	53
六、	第二次專家諮詢會議.....	54
七、	期末報告會議.....	56
第四章	研究設計.....	59

一、	系統場景設計.....	59
二、	系統硬體元件.....	60
三、	軟體之設計及開發.....	64
四、	JSON 資訊.....	66
五、	傳送指令給遠端相關被控制設備.....	67
六、	昇降設備遠端控制系統資訊安全措施.....	67
第五章 研究成果.....		71
一、	地震資訊系統架構.....	71
二、	硬體雛型開發.....	74
三、	地震預警數據發布.....	74
四、	地震預警數據擷取及相關計算.....	80
五、	地震預警系統執行之模擬.....	82
六、	相關議題探討.....	86
第六章 結論與建議.....		89
一、	結論.....	89
二、	建議.....	89
附錄一、第一次專家訪談會議記錄.....		91
附錄二、第一次專家諮詢會議記錄.....		101
附錄三、第一次專家諮詢會議照片.....		107
附錄四、期中報告委員專家意見及回應表.....		113
附錄五、第二次專家訪談會議記錄.....		117
附錄六、第二次專家諮詢會議記錄.....		119
附錄七 期末報告委員專家意見及回應表.....		123
附錄八、鄉鎮市區場址效應表.....		125
附錄九、區域地震震度計算驗證.....		135
附錄十、JSON 格式傳遞強震信息範例.....		139
參考書目.....		141

表次

表 1. 「智慧全人居家預警災防系統」之工作進度表.....	6
表 2. 中央氣象局於2000年8月1日公告修訂的震度分級表[57；58].....	22
表 3. 中央氣象局預計於2020年1月1日起實施的震度分級表[60].....	23
表 4. 2000年8月至2019年12月震度7級的地震[57].....	24
表 5. 地震波波代號意義見如下表所示[66].....	26
表 6. 「智慧全人居家預警災防系統」已完成之工作項目.....	49
表 7. 第一次專家諮詢會議與會名單.....	52
表 8. 第二次專家諮詢會議與會名單.....	54
表 9. 本研究使用傳遞地震預警數據的 JSON 資料格式.....	66
表 10. 國家發展委員會研提資訊安全配套措施各層面定義與範圍表.....	68

圖次

圖 1. 本計畫之研究步驟圖	5
圖 2. 地震儀紀錄下的地震波[7]。	12
圖 3. P 波的傳遞示意圖[17]	14
圖 4. S 波的傳遞示意圖[5]	15
圖 5. 通過使用來自至少三個測站資料來計算地震的震央[47]	18
圖 6. P 波和 S 波的傳播[50]	18
圖 7. P 波和 S 波波速的不同性[51]	19
圖 8. 中央氣象局現行與舊制地震震度分級對照[60]	24
圖 9. 地震波波相的命名方式[65]	25
圖 10. 地震波波速隨著深度的變化[69]	27
圖 11. 1963 年–1998 年全球 35 萬 8214 個地震的分佈[73]	28
圖 12. 全國地震觀測站[78]	31
圖 13. 短週期地震儀 S-13[78]	32
圖 14. 各地震站之數位信號全傳回臺北中心站[78]	33
圖 15. 國家實驗研究院現地型強震即時警報系統[83]	35
圖 16. 2016 國地質調查局的 ANSS 自由場地震台網分佈圖[79]	36
圖 17. 緊急地震速報地震觀測點[96]	37
圖 18. 國家地震烈度速報與預警工程計劃部署的監測台站分佈圖[102]	39
圖 19. 墨西哥國立自治大學圖書館的一個地震預警接收機[80；106]	41
圖 20. 2008 停運前的伊格納利納核電站反應爐[110；111]	42
圖 21. 物聯網架構圖[11；14]	44
圖 22. 物聯網架構示意圖[23]	46
圖 23. D1 Mini 控制板及其腳位功能	60
圖 24. RCWL-0516 人體智能感應探測器	61

圖 25. 瓦斯切斷器	61
圖 26. 大門電子門鎖	62
圖 27. 電動門弓器	62
圖 28. 聲光警報器	63
圖 29. LCD 液晶顯示模組	63
圖 30. 繼電器	64
圖 31. VSCode Python 套件	65
圖 32. Python 編譯環境	66
圖 33. 建築物昇降設備遠端監控系統主要架構圖	69
圖 34. 雲端資料儲存安全的三大要素	70
圖 35. 中央氣象局強震即時警報系統畫面	71
圖 36. 本計畫之研究流程圖	72
圖 37. 本計畫之系統架構圖	73
圖 38. 「智慧全人居家預警災防系統」之硬體雛形	74
圖 39. 中央氣象局地震速報信息的顯示畫面 (地震編號第111153號)	75
圖 40. 新的資料出現在地震即時預警區(CWB-EEW111028501.xml)	76
圖 41. CWB-EEW111028501.xml 檔案的相關屬性資訊	76
圖 42. CWB-EEW111028501.xml 的檔案內容	77
圖 43. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的地震資訊	77
圖 44. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的圖面地震報告	78
圖 45. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的震度圖	78
圖 46. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的最大地動加速圖	79
圖 47. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的最大地動速度圖	79
圖 48. 第111153號地震發布的 LINE 地震警示通知截圖	80
圖 49. 中央氣象局官網公告知地震到達新竹地區預期震度圖	81
圖 50. 本計畫團隊計算傳遞到新竹中華大學預期震度圖	81

圖 51. 「智慧全人居家預警災防系統」系統雛形網站畫面.....	82
圖 52. 本系統網站地震資料擷取之各時間點畫面.....	82
圖 53. 本系統網站自氣象局讀取地震資料之各時間點畫面.....	83
圖 54. 瓦斯切斷器關閉瓦斯之供氣圖.....	83
圖 55. 系統啟動開啟門鎖功能.....	83
圖 56. 系統啟動開啟門扇功能.....	84
圖 57. 電子顯示器顯示預期到達地震震度及剩餘秒數.....	84
圖 58. Line 逐秒發布強震即將來襲之警示通知畫面.....	85
附圖 1. 專家諮詢會議與會人員.....	107
附圖 2. 會議簡報開始.....	107
附圖 3. 會議簡報結束進行專家諮詢.....	108
附圖 4. 中央氣象局地震測報中心課長_廖哲緯.....	108
附圖 5. 台灣高速鐵路股份有限公司土建設計工程部博士_孫維忠.....	109
附圖 6. 中華民國建築物昇降暨機械停車設備協會組長_章建成.....	109
附圖 7. 內政部建築研究所組長_陳建忠.....	110
附圖 8. 計劃主持人_蕭炎泉教授.....	110
附圖 9. 本計畫共同主持人_何明錦教授.....	111
附圖 10. 專家訪談會議與會人員.....	118
附圖 11. 專家諮詢會議與會人員.....	121

第一章 緒論

一、計畫緣起暨目標

(一)、計畫緣起

台灣位於西太平洋地震帶，地震活動頻繁。根據氣象局統計，以30年平均值得計算，台灣地震次數每年平均約3.4萬多次。近5年因為中央氣象局系統靈敏度改善，每年測得之平均地震超過4萬次。地震強波會由震央往四方傳送，平均傳遞速度約4.0-4.5Km/Sec。強烈地震發生時，由於建築物結構體遭受破壞，經常造成住宅受損與民眾逃生困難等問題，包括：

1. 因為強震會造成瓦斯線路斷裂，導致瓦斯外洩進而引起火災。
2. 因為強震可能會造成大門門扇被門框卡住，導致居民被困於屋內影響逃生。
3. 強震發生時，高樓電梯常因震幅過大導致故障，造成人員困在電梯內需外人救援。

我國中央氣象局全國地震測站約635個。當地震發生時，氣象局蒐集到來自五個以上測站資料後，約在震後10-12秒鐘便可計算並公告該地震之震央、深度及規模。本研究擬開發「智慧全人居家預警災防系統」之雛型，在氣象局發布地震預警信息後，系統可以自氣象局網站擷取該次地震之震央、地震發生深度及規模等資料，計算出該地震到達場址的距離、地震到達剩餘秒數及預期震度。當計算出預期地震震度超過警戒值時，可以利用智慧控制技術，啟動瓦斯遮斷器關閉瓦斯。當偵測到有居民在屋內時，則打開門鎖及門扇避免門扇卡住，以利居民後續逃生避難行動。系統同時啟動聲光警報系統及顯示地震震度及到達剩餘秒數信息，提供居民做出合適之逃生避難行動。系統可將強震信息傳遞到電梯管理中心，該中心可逕行實施相關措施，如管理的電梯群在震波傳遞到場址前，預先停到下一樓層、管制電梯運作並開啟梯門讓乘員疏散，可有效保護居民生命及財產安全。

(二)、計畫目標

本「智慧全人居家預警災防系統」計畫預期目標包含：

- (1). 連結中央氣象局自動擷取即時地震預警資料，並依據地震發生之位置及規模，計算其到達所在位置之剩餘時間及震度。
- (2). 當該次地震會對建築物及居民造成災情時，馬上切斷瓦斯供氣，避免因瓦斯管線破壞引發火警。
- (3). 當有居民在家時，馬上啟動聲光警報、顯示相關地震資訊以通知居民做必要之防護措施。自動打開門鎖並開啟門扇，避免因強震卡死門扇影響居民之逃生，確保居民在強震發生時能平安撤離。
- (4). 將強震資訊傳遞至電梯管理中心。該中心可逕行實施相關措施，如針對轄內管理之電梯群執行控制措施，將電梯停在最近樓層、管制電梯之使用、打開電梯門，並廣播地震即將來襲資訊以通知居民做相關疏散措施，以減少生命傷亡及財產之損失。

(三)、研究計畫背景

台灣地震頻繁，東臨環太平洋火山帶，西臨菲律賓海板塊，每年平均移動82mm朝西北碰撞歐亞板塊，因此地震頻繁。近年來因工業發展，各種人為災害接踵而生。過去10年全球共發生3,852起自然災害，導致78萬人死亡，20多億人受災，經濟損失逾9,600億美元，其中地震死亡人數逾46萬人。地震是最致命的自然災害，震災導致死亡人數居自然災害總死亡人數60%。亞洲受自然災害打擊最重，因自然災害死亡人數佔全球總數的85%。過去10年間最嚴重自然災害包括：2004年印度洋大海嘯(造成22萬6,408人死亡)、2005年巴基斯坦地震(造成7萬3,338人死亡)、2008年緬甸颶風(造成13萬8,366人死亡)、同年四川汶山地震(造成8萬7,476人死亡)等，均發生在亞洲。

透過本研究「智慧全人居家預警災防系統」之開發，當強震來襲時，系統能響起警報器、自動啟動瓦斯供應切斷、自動發送 Line 信息給相關人員，並且自動開啓大門門鎖及門扇，可以有效地讓居民逃離現場，以防止災害的發生，提升居家生活的安全。

(四)、研究目的

本研究使用微控制板及線路之連接，啟動瓦斯切斷器、開啟門鎖及門扇、啟動聲光警報及通知電梯管理中心，建立「智慧全人居家預警防災系統」，其研究目的包括：

- (1). 以文獻回顧彙整地震相關資料，包含地震起因、氣象局地震偵測方法、震波傳遞方式、物聯網相關元件及瓦斯切斷器等設備的作動特性。
- (2). 當有地震發生、氣象局地震測報中心發布地震預警資訊於網站時，馬上擷取該地震之震央位置、發生深度及地震規模等訊息。
- (3). 計算該地震震波到達所在地之時間及震度，當系統判別會造成災害時，馬上啟動瓦斯切斷器關閉瓦斯供氣。
- (4). 偵測到有居民在家時，馬上啟動警鈴及顯示即時地震資料，並自動開啟大門門鎖及門扇避免卡死，以利居民做最適切之防災避難措施。
- (5). 發出信號至電梯管理中心。該中心可逕行實施相關措施，如控制電梯群之運作，將電梯停在最近樓層、管制電梯運作、開啟梯門讓人員疏散，以減低因地震造成的生命傷亡及財產損失。

(五)、本研究計畫之重要性

本計畫開發的系統能自中央氣象局自動擷取即時地震預警資料，依據地震發生之位置及規模，計算其到達所在位置之時間及震度，並依據設計自動切斷瓦斯供氣，以免因瓦斯管線破壞發生火警。當有居民在家時，馬上啟動聲光警報、顯示相關地震資訊以通知居民做必要之防護措施，自動解開門鎖並開啟門扇，以免因強震卡死門扇影響居民之逃生，增加逃生疏散時間以有效保護居民生命及財產，提高居民對地震自我防衛及應變能力。

二、研究方法

本「智慧全人居家預警災防系統」研究計畫，將採行以下之研究方法：

(一)、文獻回顧

使用文獻回顧探討地震起因、氣象局地震偵測方法，並探討目前物聯網及資通訊等科技，運用在即時地震災防系統，以使用最新的技術與概念導入居家安全智慧防災。

(二)、情境設計

依據居家安全防護之需要，設計計畫之場景，包含地震災害發生時，啟動瓦斯切斷器，Line 即時通知推播及大門門鎖及門扇之開啟。在了解居家安全需要後，按需求設計場景，以滿足地震災害防治和居家安全之需求。

(三)、物聯網硬體功能探索

搜尋並探討市面上可使用之微控制板及線路之連接。物聯網元件種類相當多，需要依據場景需求挑選合適之微控制板與線路連接，以發揮系統設計整合之功能，來執行居家地震防災系統之運作。

(四)、管理軟體之開發

使用合適之軟體開發環境，設計氣象局地震預警系統資料之擷取、控制元件感知數據之讀取、管理命令之下達等。透過管理程式之開發，讓使用者能設定各種環境數值探測，行使命令之下達。包含啟動瓦斯開關閥之關閉、大門門鎖之解鎖及門扇之開啟、Line 信息之通報等，以達居家地震災害預防之成效。

三、研究流程

本計畫主要透過結合產業、學術機構等單位，採用文獻回顧、專家訪談與現場調查分析、專家諮詢會議、軟體及硬體設計及開發、系統雛型之開發、系統功能之驗證及與現有智慧化平台整合之探討，以完成計畫之執行，其研究流程如圖1所示。

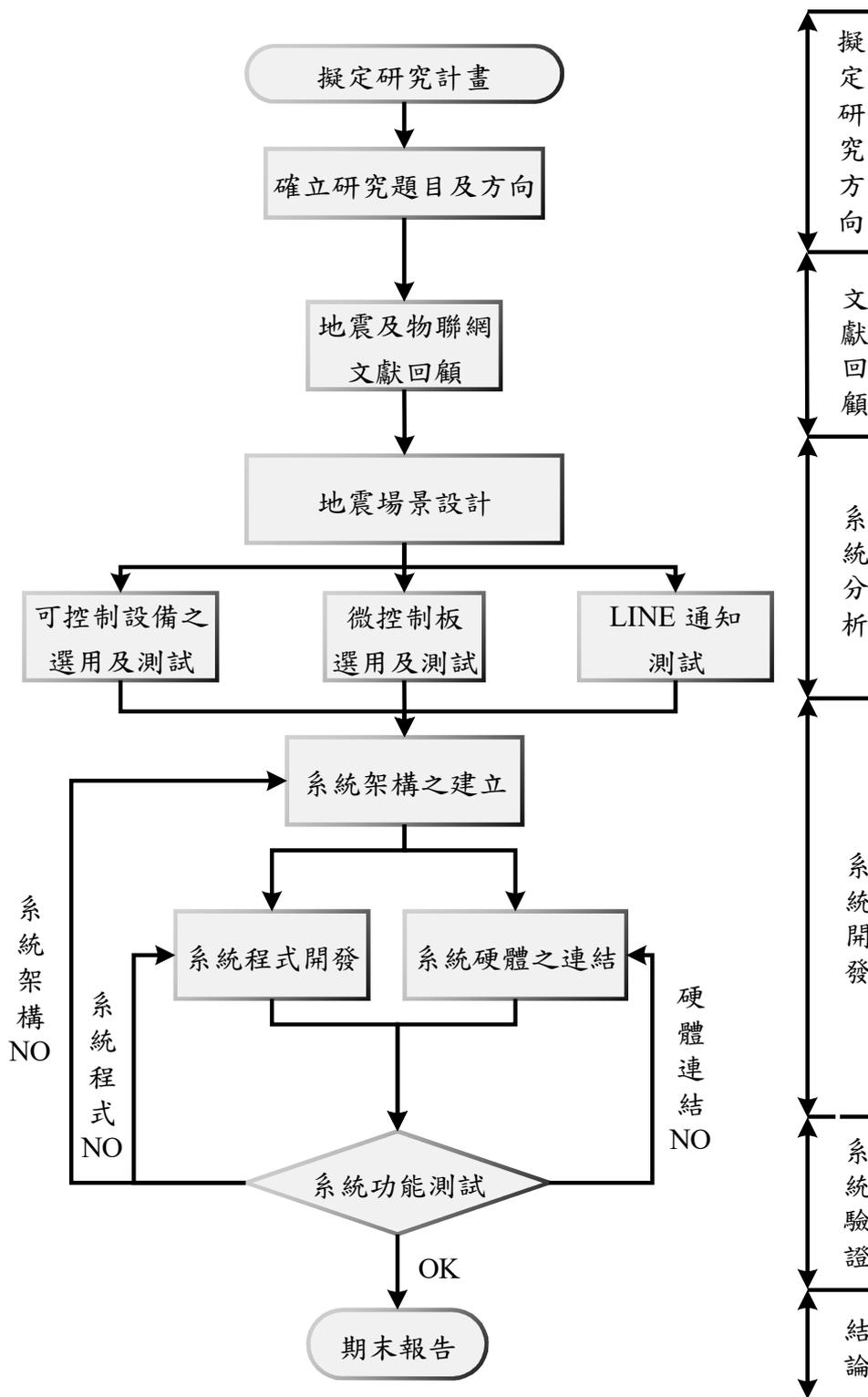


圖 1. 本計畫之研究步驟圖

一、 研究進度

本計畫各項工作期程安排如表1所述。

表 1. 「智慧全人居家預警災防系統」之工作進度表

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月	備註
文獻回顧	■	■											已完成
專家訪談及現場參訪			■	■									已完成
第一次專家諮詢會議					■								已完成
期中報告審查會議						■							已完成
硬體設計及控制軟體之開發							■						已完成
雛型之開發							■						已完成
系統功能驗證								■					已完成
使用者之系統測試								■					已完成
第二次專家諮詢會議									■				已完成
地震預警系統與硬體連動連結										■			已完成
期末報告審查會議											■		已完成
成果報告之繳交												■	已完成
預定進度 (累積數)	5 %	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100 %	
<p>說明：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。 2. 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每 1 小格粗組線為 1 分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。 3. 科技計畫請註明查核點，作為每 1 季所預定完成工作項目之查核依據。 													

二、 研究限制

本計畫完成下列之研究工作，包含：

- (1) 完成中央氣象局地震預警訊息之自動擷取系統。
- (2) 使用氣象局擷取之地震預警資料，計算該地震到達場址剩餘時間及預期地震震度。
- (3) 以物聯網環境開發「智慧全人居家預警災防系統」，並製作模擬模型以展示系統之切斷瓦斯開關、地震警報信息之顯示、自動開啟門鎖、自動開啟門扇、Line 信息通報及發送信號通知至電梯管理中心。

因為計畫執行時間、研究經費及其他因素，本研究有以下之限制：

- (1) 本計畫為擷取中央氣象局的地震預警資料，所獲得為區域型的地震測報信息，當震央太近時，會有產生警報盲區的問題。
- (2) 本研究利用中央氣象局發布之預警資料，經過計算後預期將有強震來襲時，僅透過通訊裝置傳送訊號至電梯管理中心，惟電梯設備如何作動，後續仍需要電梯設備商配合再開發情境作動軟體方能成效，且須注意與電梯設備商討論資訊安全之配套工作。

第二章 文獻彙整分析

一、地震之簡介

地震學(Seismology)一詞源於希臘文 Seismos，即地震(Earthquake)之意，再結合 logos 科學(Science)一字而成。地震學為地球科學之一分科，研究地震及其相關現象[1]。地震就是突然而強烈的震動。當地球內部長期積累而來的大地應力（即單位面積上產生的抵抗外力的力），超過岩層所能承受的限度時，岩層便會突然發生斷裂或錯位，使積累的能量急劇地釋放出來，並以波動的震蕩形式向四方八面傳播出去，令地面發生震動。震動的發源處稱為震源（Focus, or Hypocenter）。大多數震源都在地殼和上地殼頂部。根據震源的深度，地震可分為三類：淺源地震（深度在 0~70 公里）、中源地震（深度在 70~300 公里）和深源地震（深度在 300 公里以上）。由震源豎一垂直線至地面上的位置稱為震央（Epicenter）。震央是地表距離震源最近的地方，是地震波最早到達的地點[2]。

地震所產生的波動叫地震波。其中可以在地球內部傳播的地震波稱為體波，可分為縱波（主波/P 波）和橫波（次波/S 波）兩種。縱波傳播時，岩石物質振動的方向與傳播的方向一致，而且傳播速度較快；橫波傳播時，岩石物質的振動方向與傳播方向垂直，而且傳播速度較慢。所以當地震發生時，人們的感覺是先顛後晃。只能在地球表面至數十公里深的範圍內傳播的地震波稱為表面波（Surface Wave）。它是縱波或橫波到達地面後，在一定條件下激發起來的次生波，速度比橫波還慢。一般當橫波或表面波到達時，震動最為猛烈，破壞作用也最大[2]。

二、地震之種類

(一)、構造地震

世界上絕大多數地震(90%)都屬於構造地震。因為岩層受到二地殼之間互相推擠的力量，岩層因受力而產生形變，直到地應力大於岩層本身所能承受的力時，岩層

發生斷裂放出地震波，造成地震。著名的「彈性反彈理論 (Elastic Rebound Theory)」即是說明此現象[3]。

(二)、火山地震

由於火山活動時岩漿噴發衝擊或熱力作用而引起的地震，稱為火山地震。火山地震數量較小，數量約占地震總數的7%左右。火山地震和火山通常存在關聯。火山爆發可能會激發地震，而發生在火山附近的地震也可能引起火山爆發。一般而言，影響範圍比較小。[3]。

(三)、陷落地震

由於地下水溶解可溶性岩石（如石灰岩），或由於地下採礦形成的巨大空洞，造成地層崩塌陷落而引發的地震，稱為陷落地震。這類地震約占地震總數的3%左右，規模也都比較小[3]。

(四)、誘發地震

在特定的地區因某種地殼因素誘發而引起的地震，稱為誘發地震。這些外界因素可以是地下核爆炸、隕石墜落、油井灌水等，其中最常見的是水庫誘發地震。水庫蓄水後改變了地面的應力狀態，且水庫的水滲透到已有的斷層中，起到潤滑和腐蝕作用，促使斷層產生滑動。但是並不是所有的水庫蓄水後都會發生水庫地震，只有當庫區存在活動斷裂、岩性剛硬等條件，才有誘發的可能性[3]。

(五)、氣候暖化與地震的關聯

全球氣候暖化使高緯度地區的冰川加速溶解，並相應的使全球海平面上升。對於高緯度地區而言，冰川的溶解使地殼上承受之重量減小，並導致地殼回彈。在地殼回彈的過程中，地殼內應力的分佈也相對的發生改變，導致原有的斷層系統重新活化，並產生地震。此類地震多發生於板塊內部地區，並且大多數皆發生於高緯度地區。1989年發生於魁北克的 Mw6.3地震即為其中一例[4]。

(六)、人工地震

以人為採用強力炸藥直接破壞地殼，藉以測得相關研究數據，或進行礦藏開採，武器測試等活動造成的地震，稱為人工地震。2017年發生在朝鮮社會人民主義共和國的 Mw6.3地震，便是進行核子試驗所造成的[3]。

三、地震波

地震波 (Seismic Wave) 是指以地震為能量來源的波動[9]。當地震發生時，人們通常會因為地震波的傳播而感覺到地面「搖晃」。地震波的產生一般肇因于岩石破裂自然造成的構造地震，少部分來自其他自然或人為現象，如風、核試驗和礦坑坍塌所產生的地震；地震波也可以產生新的地震波。雖然地震在進行時大部分的能量都會在克服摩擦力中損失，只有少數以地震波的形式傳播出去，但在人類經驗中，地震波卻因常與生活空間重疊及具備強大破壞力，而成為多數人對地震的第一印象[5]。

地震波的性質，來自於其母地震和傳播沿途的地質環境，因此藉由研究地震波，人類就有機會回推了解地震的起源與周遭的地質構造，推進地震預警、建築設計乃至於礦業工程的進展。換句話說，研究地震波，除了瞭解地震本身外，還可以一窺地球內部堂奧。由於地球很大，挖深井等直觀方法研究內部構造效果有限，因此分析地震波是目前人類最常用的科學研究手段。研究地震波的科學，就可以促進人類對地震學、地球構造學、地球物理學、地球科學的瞭解[5]。

地震波是地震震源瞬間散發能量初方式，當地球物質在實體波經過時，可能以三維方式（上下、左右、前後）震動。如果不同質點間的震動方向屬於（相對於波速方向的）前後震動，代表震波以前後壓縮、縱波的方式向外傳遞，這種一密一疏的震波稱為「P波」。P代表主要（Primary）或壓縮（Pressure）。由於P波的傳播來自於在傳播方向上施加壓力，而地球內部幾乎不可壓縮，因此P波很容易通過介質傳遞能量。事實上，P波是所有地震波裡最快的波，因此也會是地震儀第一個記錄

到的波。因為壓縮力在固體、液體中都能存在，因此 P 波能在固體和液體中傳播[5；6]。

地震儀紀錄下的地震波，紅線是先到來的 P 波，綠線是較晚的 S 波，如圖2所示：

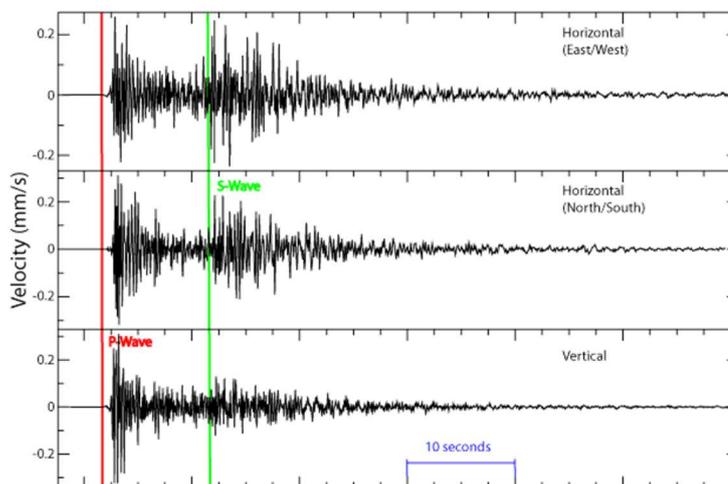


圖 2. 地震儀紀錄下的地震波[7]。

由於接近地表的地層地震波速率較低[4]。因此在近地表處發生的地震，很容易把能量送進地表的低速層內，這些蓄積的能量波稱為「陷波」。當累積的陷波彼此干涉，倘若發生建設性干涉，便有機會使地層共振，使能量沿地表傳播。表面波傳遞速度較 S 波慢一些。P 波及 S 波干涉的表面波為雷利波 (Rayleigh Wave)，又稱為地滾波。粒子運動方式類似海浪，在垂直面上粒子呈逆時針橢圓形振動，震動振幅一樣會隨深度增加而減少。由 S 波相互干涉的表面波為洛夫波 (Love Wave)，振動只發生在水平方向上，沒有垂直分量，差別是側向震動振幅會隨深度增加而減少[5；9；10]。

在近距離地震紀錄（小於200公里）中，在 S 波後方的波包並非表面波，而是尾波。地球內部雖然大致是均勻的，但小部分有不均勻的質點分佈，越靠近地表越多（例如斷層或岩石裂痕）。當震波向外傳播時，這些不均勻或散射質點或與震波作用，產生散射現象。該散射波在紀錄中會形成尾波。尾波的長短與震波耗散為熱能的程度有關。例如月球因為剛性較低，耗散低，故尾波時間長。尾波如同地震圖上異質性所留下的「指紋」，研究尾波可以促進對某處地質結構之瞭解[5；11]。

在物理學上，地震波屬於實體波、能夠對質點造成實際震動，在穿越不同媒介時，有機會發生折射、反射及全反射；當許多波疊加在一起時，還有可能發生共振，並產生駐波。這些波的物理與地震本身的特性便是科學家分類地震波的依據[12]。

總體來說，依照波的性質，地震波主要分為三種：實體波、表面波和尾波。實體波是能在物體（此處尤指地球）傳遞的波，也是最常出現在新聞媒體討論中的波；表面波由實體波產生，以在物體表面傳遞為主，甚少到達地表以下的地方；尾波則是最後由其他波與地形交互作用產生的，最後到達地震觀測者的儀器[5]。理論上一場典型的地震發生時，以上三種波都會出現，不過實際上並不是每一場地震都能觀測到明顯的表面波和尾波。地震波的種類如下所述：

（一）、實體波

實體波，又常簡稱為「體波」，是指能在地球內部傳遞的地震波[14]。實體波是直接由地震彈性產生的波動，是每場地震一定會出現的波形。依照橫波和縱波的不同，實體波又可以分成兩種。在台灣等地通常稱呼「縱波」為「P波」，「橫波」為「S波」。部分對於命名相當講究的台灣地區大學教科書，則會強調「P波」是「實體波中的縱波」、「S波」為「實體波中的橫波」，因為表面波和尾波嚴格說起來也是物理意義上的縱波和橫波[15]。以下將根據地震時地震波產生的實際順序依序介紹：

（1）P波（縱波）

P波是最早到達的波。地球物質在實體波經過時，可以在三個維度（上下、左右、前後）上產生震動；如果不同質點間的震動方向屬於（相對於波速方向的）前後震動，也就是說震波以前後壓縮、縱波的方式向外傳遞，稱為「P波」。事實上，P波是所有地震波裡最快的波，因此也會是地震儀第一個記錄到的波。因為壓縮力在固體、液體中都能存在，因此P波能在固體和液體中傳播（其實氣體也可以藉此傳播，例如聲波）[5；16]。P波的傳遞示意圖，如圖3所示：

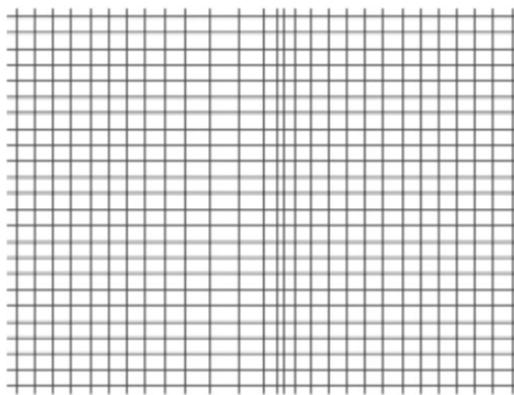


圖 3. P 波的傳遞示意圖[17]

物理上，在一等向性介質中，P 波傳播速度的公式為[18]：

$$(1). \quad v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}} = \sqrt{\frac{(1 - \nu)E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)\rho}}$$

其中 K 是體積模量，G 是剪切模量， ρ 是介質密度，E 是楊氏係數， ν 則是蒲松比。實際使用上，有時會使用貝切定律對此公式進行簡化，貝切公式的內容為[19]：

$$v_p = \text{func}(M_{\text{avg}}) + \rho \cdot c.$$

其中 M_{avg} 是介質的平均分子量，是由實驗獲得的經驗函數， $\text{func}(X)$ 是由實驗獲得的經驗函數， c 是常數。

P 波的波速在地殼處速度約普遍在每秒 6 公里以下，在下地函約每秒 13.5 公里，到了地球核心，約每秒 11 公里[22]。在穿越水時，P 波波速約每秒 2 公里[20]。

(2) S 波（橫波）

S 波到來的比 P 波晚，同樣是由地震的岩石錯位直接產生。S 波影響的質點會在上下或左右方向震動、以橫波的方式前進。S 波的波速雖然較慢，約為 P 波的 0.58 倍，但是振幅較大，約為 P 波的 1.4 倍。由於當地震波從地底來到地表時，S 波的震動方向平行於地表的分量較多，較容易水平拉扯建築物，而一般建築水平耐震能力較弱（因為垂直聳立），故 S 波經常是造成地震破壞的主因[5]。

S 波的傳遞示意圖 4 所示：

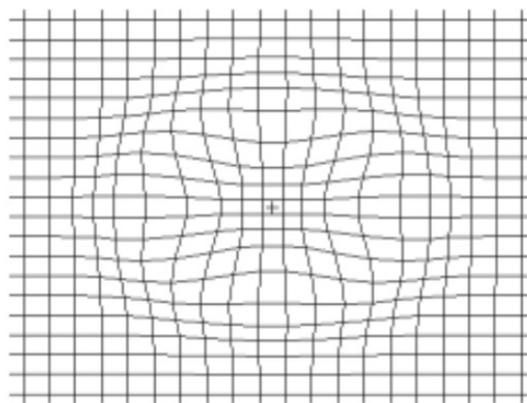


圖 4. S 波的傳遞示意圖[5]

物理上，在一等向性介質中，S 波傳播速度的公式為[18]：

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)\rho}}$$

其中 G 是剪力模數， ρ 是介質密度， E 是楊氏係數， ν 則是蒲松比。

從上式中可以發現，S 波的波速受剪力模數影響極大。事實上在地表處因為風化層較厚、地面較軟，剪力模數較低，S 波速度常降至每秒數百公尺，這個時候波速下降的動能損失會由增加的震動幅度來彌補，造成地面搖晃增加，就容易引發場址效應[21]。場址效應是一種影響地震震度的因素[22]，他會造成原本應該離震央越遠震度就會越小的震度，在當地震波被傳至沖積層地表時震幅加大，地震的持續時間也會被延長，增加一場地震搖晃的影響力[23]。場址效應會造成地震在地表較軟區（通常是人口密集區）的所造成的傷害擴大，妨礙經濟活動。2016年的美濃大地震及同年的熊本地震都曾因此效應造成非震央區的重大災情[24；25]。

另外從上式中還可以發現，因為液體無法承受剪力（剪力模數趨近於0），所以 S 波不能通過地球中液體的地區（例如海洋和外地核）[5]。

(3) T波(T-wave)

T波從相對於P波(Primary)、S波(Secondary)命名為第三道波(Tertiary)。當地震能量經由適當的角度進入聲發波道低速帶時，會造成全反射，能量不易散失，可以傳播數千公里，最後被沿岸的地震測站偵測到[26]。T波的速度大約是每秒1.5公里[27]。

(二)、表面波

在P波及S波相繼到達測站後，下一種到達的波稱為「表面波」。表面波不是體波。稱為表面波是因為他只沿著地球表面傳遞，能量只分佈於表層而不深入內部[28]，所以在越深的地方表現越不明顯[29]。表面波是一種「由地震波產生的波」，亦即表面波的產生是由P波和S波彼此干涉疊加而來。由於深度越淺，波速一般越低[8]，基於折射原理，在近地表處發生的地震很容易就能把能量送進地表附近的低速層內，蓄積稱為「陷波」的能量。當累積發生建設性干涉，便有機會使地層共振，產生表面波[5]。表面波在某些環境中會特別大，例如在具備場址效應的環境中，因為地震波在地表與地下的波速差較大，陷波容易產生，表面波明顯。然而也不是所有地震都能觀測到明顯的表面波。一般來說，如果一場地震中表面波有出現的話，他的速度會比S波更慢，但威力更大。事實上，大一點的地震中表面波的震幅甚至可達數公分[29]。

(三)、尾波

在近距離地震紀錄(小於200公里)中，在S波後方的波包並非表面波，而是尾波(Coda Wave)。尾波是一種由地球內部小尺度不均勻性對地震波散射而產生的地震波[40]。

雖然地球內部雖然大致是均勻的，但局部仍可能出現密集或疏鬆的地方，且這種不完美越靠近地表越多(例如斷層或岩石裂痕的型態呈現)。而當震波向外傳播時，這些不均勻或散射質點就會與震波作用，產生散射現象。此散射波在紀錄中便是尾波。尾波的長短與震波耗散為熱能的程度有關。例如月球因為剛性較低，耗散低，

故尾波時間長[5]。

(四)、空氣中的地震波

「氣壓波」是地震的能量以波在空氣中傳遞的一種形式。在地震發生的場合，有機會將地表的波動改變為空氣中的震動形式，換句話說，將地面變成一個大喇叭[42；43]。這種空氣中的震動可能造成大氣層中的電離層晃動，一些研究人員表示它可以應用於海嘯預警系統[44]。

四、以波速定位

地震波最常見的應用，就是用來推算地震中震源和震央的位置，以瞭解地震究竟是從何方發出。基於地震波速的特性，人們得以藉分析地震波訊號的到來時間對地震的發生處做定位。對於短距離的地震，科學家可以藉由分析 P 波和 S 波的到達時間差來計算震央距離；如果是全球範圍都收得到地震訊號的大規模地震，科學家只需要分析不同地點收到 P 波的時間差異即可計算出震央。為了計算精確的震源，地震波的抵達時間必須得到精準的測量。由於 P 波以每秒數公里的速度移動，因此即便是幾秒或零點幾秒的誤差在計算中就有可能意味著數公里的誤差。不過對於確定距離小於200公里的地震，手工計算震央距離的快速方法是將 P 波和 S 波的到達時間差以秒為單位乘以每秒8公里。現代地震量測則使用更複雜的地震定位技術[45]。

儘管從幾何理論上來看，只要三筆資料就可以找到震央和震源，不過實務上一般都會使用數十乃至數百個測站的紀錄來到達用於計算震源。這是為了避免計算誤差。在實踐中，使用多個測站以目前科技來說，在全球範圍內可以實現的精度大約為10到50公里左右。如果設站的陣列離震源近一些或設定較密集，則可以提供大約一公里上下的精度，如果再透過地震波形分析，還可以實現更高的精度[46]。通過使用來自至少三個測站資料來計算地震的震央如圖5所示：

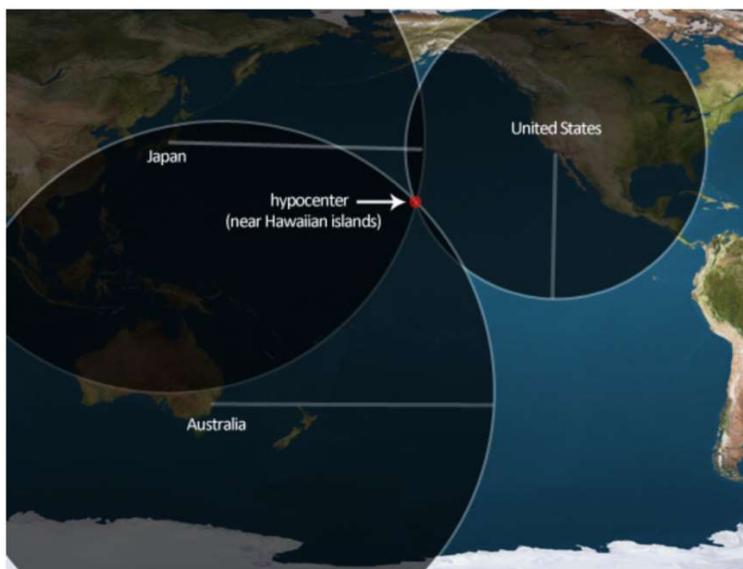


圖 5. 通過使用來自至少三個測站資料來計算地震的震央[47]

由震源計算產生的錯配被稱為「殘差」(Residual) [48]。以目前人類能達成的精度條件來說，利用地震波計算地震震央，對於有大量近距離地震測站（250公里內10測站以上）的場合，計算結果和實際位置誤差在五公里內（稱為 GT5精度）的成功機率為95%，較遠測站（經緯度差 10° 以內）誤差25公里以內（稱為 GT25精度）的機率可達90%[49]。P波和S波的傳播如圖6所示：

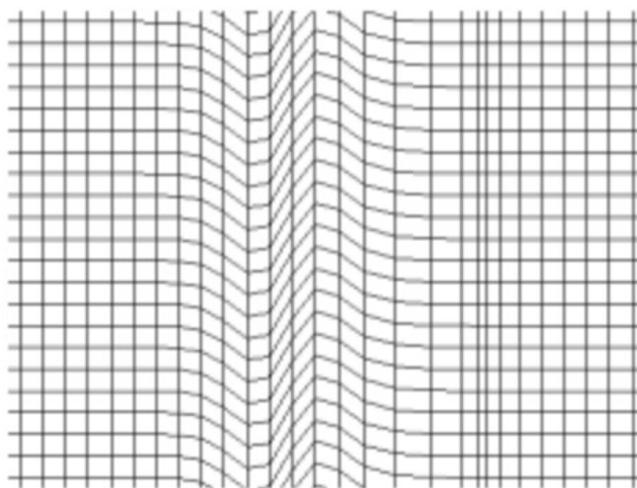


圖 6. P波和S波的傳播[50]

對遙遠處所發出的地震，第一個到達測站的P波必然是經過地函，甚至可能也經過外核，然後向上返回到地表的，這是因為較長的路線可能需要較短的時。事實上由於地球內部越深速度越快，根據惠更斯—菲涅耳原理，地震波會傾向繞走需時

較短的地下路線。不過波速的增加並不是因為越深石頭密度越大密度的增加反而會減慢波浪的速度，而是因為岩石的剪力模數／彈力係數增加了[5]。

(一)、大森公式 (P-S 波走時差)

大森公式是常見的地震距離計算方式，在1899年由日本地震學者大森房吉提出，其計算原理建立於 P 波和 S 波波速的不同性。由於 P 波及 S 波波速不同，因此它們分別抵達地震測站的時間也會不同，圖7所示為傳統地震圖。

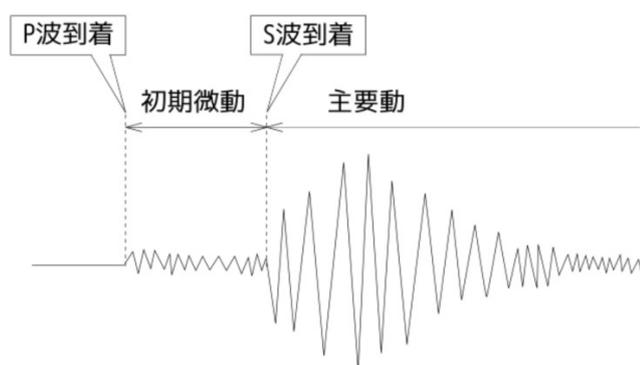


圖 7. P 波和 S 波波速的不同性[51]

只要知道初期微動的時間，藉由已知的 P 波和 S 波波速，可以推出震央距離 r 為：

$$\frac{r}{v_s} - \frac{r}{v_p} = t$$

其中， U_p 是 P 波速度、 U_s 是 S 波速度， t 則是走時差。繼續簡化可以得到：

$$r = t \cdot \frac{v_s v_p}{v_p - v_s} = k \cdot t$$

k 稱為大森係數，通常取 6 - 8 km/秒。推出測站距離之後，可以將每個測站的結果，以離震央距離為半徑，測站為圓心畫圓。求得這些圓的交點（或兩兩交點的折衷值搭配其他條件判斷），即可得知震源[52；53]。

(二)、P 波抵達時間

S-P 波走時曲線的定位原理非常淺顯易懂，但是在實際狀況中，要精確的判定 P

波的抵達時間遠比 S 波容易。在一般情況下，P 波訊號的強度遠大於背景雜訊，能輕易的判定，而 S 波的波速低於 P 波，造成判斷 S 波的抵達時間會受到 P 波的干擾而出現誤差。另一種常見的方法則是使用 P 波抵達時間定位。使用 P 波抵達時間定位時，會採用多個測站的 P 波抵達時間，配合地殼的 P 波波速模型，利用逆推原理來判定震央。在這種情況下，地殼的速度模型就扮演重要的角色，然而地殼的組成複雜，地質構造也會影響波速，地震定位的精確性仍有很大的進步空間[54]。

使用 P 波抵達時間定位的公式為(顏心儀，2006)：

$$T_i - T_0 = \frac{\sqrt{(r_i - r_0)^2}}{v_p}$$

其中， r_i 為測站座標， r_0 為震源座標。 T_i 、 T_0 分別為接收到的時間和回推的地震發生時間。 v_p 是 P 波速度。

五、 地震度量

目前衡量地震規模的標準主要有規模 (Magnitude) 和震度 (Seismic Intensity) 兩種。

(一)、 規模

規模是地震大小的一種度量，根據地震釋放能量多少來劃分。目前國際上一般採用美國地震學家查爾斯·法蘭西斯·芮克特和賓諾·古登堡於1935年共同提出的規模劃分法，即現在通常所說的芮氏地震規模。芮氏規模是地震波最大振幅以10為底的對數，並選擇距震央100公里的距離為標準。芮氏規模每增大一級，釋放的能量約增加31.6倍，相隔二級的規模其能量相差1000倍。由於芮氏地震規模在超過 ML7以上會發生飽和現象，並且不適合用來測量遠距地震的規模，因此科學界現多使用地震矩規模描述中型到大型地震的地震規模[55]。

小於芮氏規模2.5的地震，人們一般不易感覺到，稱為小震或微震；芮氏規模2.5-5.0的地震，震央附近的人會有不同程度的感覺，稱為有感地震，全世界每年大

約發生十幾萬次；大於芮氏規模5.0的地震，會造成建築物不同程度的損壞，稱為破壞性地震。芮氏規模4.5以上的地震通常可以在全球範圍內監測到。有記錄以來，歷史上最大的地震是發生在1960年5月22日19時11分南美洲的智利，經過重新分析該地震的波形，科學家認為該地震的地震矩規模達 M_w 9.5[3]。

(二)、震度

指地震對地面所造成的破壞和影響程度，由地震時地面建築物受破壞的程度、地形地貌改變、人的感覺等宏觀現象來判定。地震震度源自和應用於十度的羅西福瑞分級 (Rossi-Forel Scale)，由義大利火山學家朱塞佩·麥卡利 (Giuseppe Mercalli) 在1883年及1902年修訂。後來多次被多位地理學家、地震學家和物理學家修訂，成為今天的修訂麥卡利地震震度 (Modified Mercalli Scale)。「麥卡利地震震度」從感覺不到至全部損毀分為1 (無感) 至12度 (全面破壞)，6度或以上才會造成破壞[56；3]。

每次地震的規模數值只有一個，但震度則似乎與該地點與震央的距離，震源的深度，震源與該地點之間和該地點本身的土壤結構，以及造成地震的斷層運動種類等因素而有強弱的變化。然而，一般說來震度會隨距離震央的距離而成指數比的下降[56]。

(1). 台灣地震震度分級

我國使用的地震震度分級是由交通部中央氣象局制定，現行震度分級以地動加速度來區分，分為0級至7級，共8個等級。新制震度分級於2020年1月1日起實施，以地動加速度與地動速度來區分，分為0級、1級、2級、3級、4級、5弱、5強、6弱、6強、7級，共10個等級[57]。

臺灣的地震觀測始於日治時期，2000年8月之前的震度分級是沿用日本1936至1948年所使用的震度分級，將震度分成0級至6級，共7個等級，震度6級為地動加速度在250 gal 以上[58]。1999年921大地震時中央氣象局曾記錄到地動加速度超過980 gal 的資料，由於測得震度6級的地區廣闊，不利於受災情況之研判，中央氣象局在

2000年8月公告增加一個震度分級如表2所示，以地動加速度400gal 作為震度6級的上限，400gal 以上定為震度7級[59]。

表 2. 中央氣象局於2000年8月1日公告修訂的震度分級表[57；58]

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	屋內情形	屋外情形
0 無感	0.8gal 以下	人無感覺。		
1 微震	0.8~2.5gal	人靜止時可感覺微小搖晃。		
2 輕震	2.5~8.0gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3 弱震	8~25gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4 中震	25~80gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也會感到搖晃。
5 強震	80~250gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。
6 烈震	250~400gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙、噴泥現象。
7 劇震	400gal 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。

註：1gal = 1cm/sec²

由於震度5級與6級的區間較寬，不利於區分災情，且因為地震儀解析度與地震站密度的增加，舊制震度分級的計算程式容易在小規模地震測到高震度，但此高震度範圍小、時間短暫，不致造成災情，中央氣象局決定將震度5級細分為5弱與5強、6級細分為6弱與6強如圖8所示，並修改震度計算程式，新制震度分級於2020年1月1日起實施，如表3所示[60]。

表 3. 中央氣象局預計於2020年1月1日起實施的震度分級表[60]

震度分級		人的感受	屋內情形	屋外情形
0 級	無感	人無感覺。		
1 級	微震	人靜止或位於高樓層時可感覺微小搖晃。		
2 級	輕震	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3 級	弱震	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4 級	中震	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	房屋搖動甚烈，少數未固定物品可能傾倒掉落，少數傢俱移動，可能有輕微災害。	電線明顯搖晃，少數建築物牆磚可能剝落，小範圍山區可能發生落石，極少數地區電力或自來水可能中斷。
5 弱	強震	大多數人會感到驚嚇恐慌，難以走動。	部分未固定物品傾倒掉落，少數傢俱可能移動或翻倒，少數門窗可能變形，部分牆壁產生裂痕。	部分建築物牆磚剝落，部分山區可能發生落石，少數地區電力、自來水、瓦斯或通訊可能中斷。
5 強		幾乎所有的人會感到驚嚇恐慌，難以走動。	大量未固定物品傾倒掉落，傢俱移動或翻倒，部分門窗變形，部分牆壁產生裂痕，極少數耐震較差房屋可能損壞或崩塌。	部分建築物牆磚剝落，部分山區發生落石，鬆軟土層可能出現噴沙、噴泥現象，部分地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷，少數耐震較差磚牆可能損壞或崩塌。
6 弱	烈震	搖晃劇烈以致站立困難。	大量傢俱大幅移動或翻倒，門窗扭曲變形，部分耐震能力較差房屋可能損壞或倒塌。	部分地面出現裂痕，部分山區可能發生山崩，鬆軟土層出現噴沙、噴泥現象，部分地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷。
6 強		搖晃劇烈以致無法站穩。	大量傢俱大幅移動或翻倒，門窗扭曲變形，部分耐震能力較差房屋可能損壞或倒塌，耐震能力較強房屋亦可能受損。	部分地面出現裂痕，山區可能發生山崩，鬆軟土層出現噴沙、噴泥現象，可能大範圍地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷。

震度分級		人的感受	屋內情形	屋外情形
7級	劇震	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	幾乎所有傢俱都大幅移動或翻倒，部分耐震較強建築物可能損壞或倒塌。	山崩地裂，地形地貌亦可能改變，多處鬆軟土層出現噴沙、噴泥現象，大範圍地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷，鐵軌彎曲。



圖 8. 中央氣象局現行與舊制地震震度分級對照[60]

1991年7月到2000年8月中央氣象局紀錄到地動加速度超過400 gal (即震度7級)的資料共有53筆，其中1999年921大地震就包括20筆[57]。而2000年8月至2019年12月中央氣象局的地震報告出現震度7級的地震則有9筆，如表4所示：

表 4. 2000年8月至2019年12月震度7級的地震[57]

名稱	日期	測站位置	最大地動加速度(gal)
2000年宜蘭外海地震	2000年12月30日	宜蘭縣南澳鄉	406.98
2004年東部外海地震	2004年5月8日	蘭嶼	452.98
2004年花蓮地震	2004年5月1日	花蓮縣秀林鄉太魯閣	619.8
2009年花蓮地震	2009年12月19日	花蓮縣豐濱鄉磯崎村	539.89
2009年南投地震	2009年11月5日	南投縣名間鄉	410.51
2013年花蓮地震	2013年10月31日	花蓮縣萬榮鄉西林村	431.28
2016年高雄美濃地震	2016年2月6日	臺南市山上區	401.19
2018年花蓮地震	2018年2月6日	宜蘭縣南澳鄉、花蓮縣花蓮市、花蓮縣壽豐鄉鹽寮村、花蓮縣秀林鄉太魯閣	484.51

名稱	日期	測站位置	最大地動加速度(gal)
2019年花蓮地震	2019年4月18日	花蓮縣秀林鄉銅門村	515.17

六、地震波的轉性

由於地球的內部並不是均質，因此當介質有所差異時，地震波的性質和行徑就有可能改變，稱為「轉性」。由於一般震波的速度隨距離地表的深度增加而增加，若是發現震波的波速突然減緩、發生偏折，就有可能代表著可能地震波在行徑中遇到了介質改變的突然區。通常可能是因物質的狀態不同（如固態、液態之差別）或者是不連續面的影響所造成的結果。所以科學家們就利用這一組組的觀測記錄成果，一次又一次地計算出地球的分層狀態。國際地震學會自1903年起，即開始收集地震資料[5；61]。

(一)、地震波波相的命名

當一場地震發生時，會向四面八方散發出無限多種路徑的地震波，每一個方向的地震波都有機會因為路徑上遇到的地質條件而發生某種程度的轉性。在地球物理探勘學中，科學家們會考慮每一道波的折射、反射情形，但是在地球物理學這種尺度較大的學科，一般在研究地震波轉性的路徑時，最優先考慮的因素主要只有兩種：造成波反射的介面與地震波的行徑方向（尤其是相對於地心的方向）。科學家會將穿過地球的地震波加以分類，並給與每個波相（Wave Phase）一串以拉丁字母組成的代碼命名，可以看到地震波的命名方式。每一個字母代表著經過的介面，字母的大小寫則代表方向[62；63；64]。如圖9、表5所示：

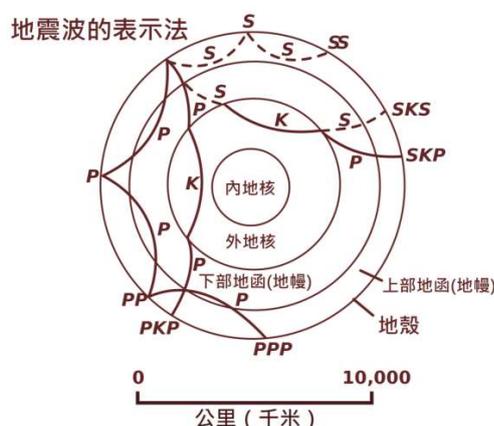


圖 9. 地震波波相的命名方式[65]

表 5. 地震波波代號意義見如下表所示[66]

代號	意義
c	在地函和外地核邊界發生過反射
i (小寫)	在內地核和外地核邊界發生過反射
I (大寫)	成為內地核中的 P 波 (縱波)
J	成為內地核中的 S 波 (橫波)
K	成為外地核中的 P 波 (縱波)
n	沿地殼和地函邊界傳遞的過程
P (大寫)	成為在地函中傳遞的 P 波 (縱波)
p (小寫)	成為自震源往上传遞的 P 波 (縱波)
S (大寫)	成為在地函中傳遞的 S 波 (橫波)
s (小寫)	成為自震源往上传遞的 S 波 (橫波)
(無代號)	當地震波抵達地表或從地表反射時，不使用字母

(二)、地震波 P 波和 S 波的相互轉換

當地震發生時，地震波會被向外發射進入地球深處。當地震波的行進遇到介質不連續的地方（例如固液介面）時，震波造成的質點的振動方式就有可能發生改變。在地球中許多不連續特別明顯的地域（例如地函與外地核的邊界），振動方式的改變甚至明顯到讓一部分的縱波變成橫波、讓一部份的橫波變成縱波。轉換出來的波又稱為「C 波」（英語：Converted-wave）[67]。

地球上地質不連續最顯著的地方就是地函（固體）—外地核（液體）及外地核（液體）—內地核（固體）的邊界。這是因為地震波中包含的 S 波是橫波，無法存在於液體的外地核，故地震波若欲向下傳播，在這兩種介面上，要先讓 S 波從有到無，再由無到有。而這裡所有能量移轉都要以 C 波先將 S 波能量「寄放」於 P 波中來呈現 [67]。關於 C 波轉換的原因，以下是目前通行理論的解釋：

當 P 波行進遇到不同介質的交介面時，如果不是以 90 度角直射，都會一定程度上造成介面質點垂直和平行兩種方向的運動。這種複合式的運動的震動對從正上方的觀察者來看，等價於垂直介面方向的「SV 波」和平行介面方向的「SH 波」兩種「S 波」的疊合。SH 波的質點運動在通過介面後不會有任何的變化，但倘若 SV 波再遇到一次

介面，則其造成的質點運動會是垂直的，所以又可以等價為 P 波。因此，地震波在地下行進時，會出現 P 波變成 S 波、S 波變成 P 波的現象[68]，如圖 10 所示。

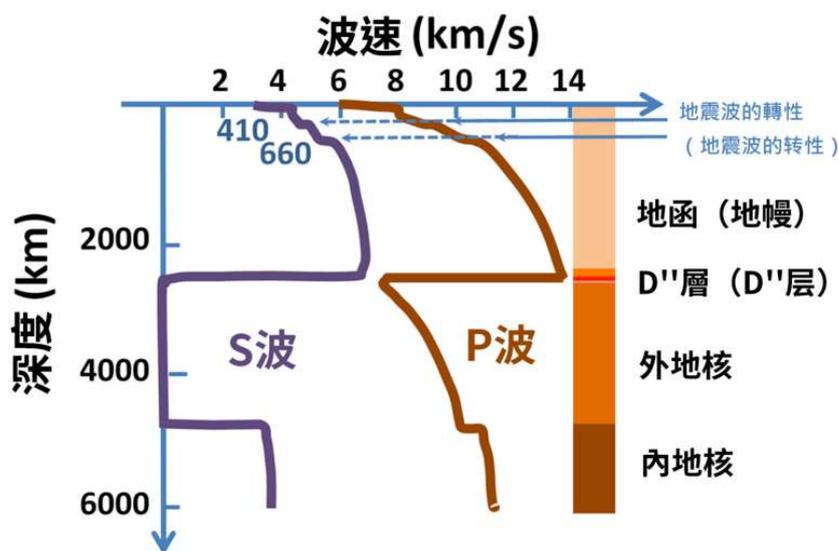


圖 10. 地震波波速隨著深度的變化[69]

地震波的這種互相轉換特性在地球物理上具有重大意義。因為地球的外地核是液態的，從地函進入的 S 波無法在其中活動，罔論穿越這層障礙，但是科學家卻又在地球的內地核中檢測出了 S 波活動的跡象[5]。目前通行的解釋是這種 S 波是由 P 波在內外地核的交界上轉換形成的，P 波得以穿過外地核。然而從 P 轉為 SV 再轉回 P 波的能量衰減非常大，如何去量度與證明理論的正確性，仍然是地震學家們爭論的議題[70]。地震波變性研究的資料採集和資料分析雖然比一般的地球物理轉性方法困難，但是研究 C 波也能為人類的科學帶來許多貢獻。舉例來說，科學家可以藉由分析 P 波波速和 S 波波速的改變，瞭解一地的地質結構、推知該地的岩石孔隙率，甚至發現地震徵兆、預測地震[71；72]。

七、地震帶

地震的地理分佈受一定的地質條件控制，具有一定的規律。地震大多分佈在地殼不穩定的部位，特別是板塊之間的接壤邊界，形成地震活動活躍的地震帶。全世界主要有三個地震帶[5]，如圖 11 所示：

- (1). 環太平洋地震帶：包括南、北美洲太平洋沿岸，阿留申群島、堪察加半島，

千島群島、日本列島，經過台灣再到菲律賓轉向東南直至紐西蘭，是地球上地震最活躍的地區，集中了世界80%以上的地震。本帶是在太平洋板塊和北美洲板塊、歐亞板塊、印度洋板塊的接壤邊界，及南極洲板塊和美洲板塊的接壤邊界上。

- (2). 歐亞地震帶：大致從印度尼西亞西部，緬甸經中國橫斷山脈，喜馬拉雅山脈，越過帕米爾高原，經中亞細亞到達地中海及其沿岸。本帶是在歐亞板塊和非洲板塊、印度洋板塊的接壤邊界上。本地震帶約集中全世界15%的地震。
- (3). 中洋脊地震帶：包含世界三大洋（即太平洋、大西洋和印度洋）和北極海的中洋脊。中洋脊地震帶僅含全球約5%的地震，此地震帶的地震幾乎都是淺層地震。

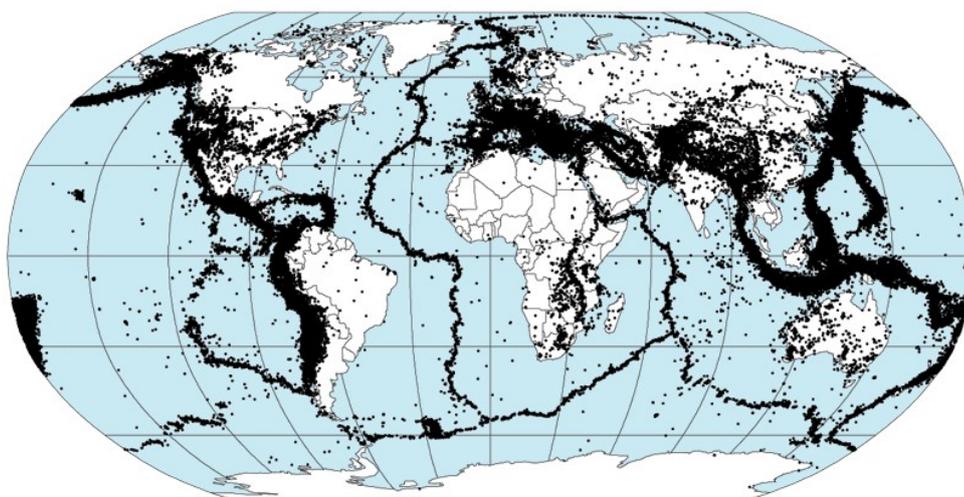


圖 11. 1963年-1998年全球35萬8214個地震的分佈[73]

(一)、台灣地震帶之分佈情形

台灣地震帶之分佈主要有3個地震帶，如下所述[1]：

- (1). 西部地震帶：泛指整個台灣西部地區，大致與島軸平行。主要係因為板塊碰撞前緣的斷層作用引發地震活動，由於斷層構造多局限在地殼部分，因此震源深度相對較淺（約10餘公里）。但由於西部地區人口稠密、工商建設發達，因此每每有大地震發生時都會造成較嚴重的災情。

- (2). 東部地震帶：此地震帶之地震係直接肇因於菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞所造成，地震活動頻率最高。此一地震帶南端幾與菲律賓地震帶相接，並沿台灣本島平行方向向北延伸經台東、成功、花蓮到宜蘭，而與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底相連。本地震帶南端與花蓮以北區域因板塊隱沒作用，震源深度可達到300公里左右。
- (3). 東北部地震帶：該帶係受沖繩海槽擴張作用影響，自蘭陽溪上游附近經宜蘭向東北延伸到琉球群島，屬淺層震源活動地帶，並伴隨有地熱與火山活動現象（龜山島附近）。

(二)、地震板塊運動

板塊構造學說(Plate Tectonics)主要在說明目前發生在地球上層的構造及解釋地震發生之原因。地球的最外部為冷而硬的可移動之岩石，稱為岩石圈(Lithosphere)，其厚度平均約 100 公里，岩石圈之下為軟流圈(Asthenosphere)為粘度高的液態物質所組成，在高溫、高壓作用下而成可塑性，使岩石圈漂浮其上。板塊構造的基本觀念是將岩石圈分成數個接近剛性之板塊，包括較大的歐亞板塊、美洲板塊、非洲板塊、印度洋板塊、太平洋板塊及南極洲板塊和數個較小之板塊，板塊受到張力、壓力、重力及地函對流的作用，不同的板塊之間每年以數公分的相對速度緩慢移動，大部分的地震、火山及造山運動便由於相鄰板塊之互相作用而發生。板塊交界處主要有 3 種型態[1]：

- (1). 分離板塊交界處(Divergent Boundaries)：代表地殼引伸拉裂的現象，在中洋脊(Mid-ocean Ridge)處相鄰的兩板塊互相分離，而產生新的岩石圈，其材料來自地函的上部，係經熔融作用而產生。地殼在這裡由於張力作用向兩側擴張延伸，沿著發散交界處常有地震發生，其震源深度多在 100 公里以內。
- (2). 聚合板塊交界處(Convergent Boundaries)：在這交界處兩板塊相互碰撞，較重者插入較輕者之下方（約以 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之傾角），使老的岩石圈消失而回到地函中，這插入的部分叫隱沒帶(Subduction Zone)。由於兩板塊間的相互磨擦，所以沿著隱沒帶可以不斷地發生地震而造成一地震帶，其震源深度可從很淺到

大約 700 公里左右。台灣花蓮附近為歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊之聚合板塊交界處，所以地震非常頻繁。

- (3). 守恆板塊交界處(Conservative Boundaries)：守恆板塊交界處不產生新的岩石圈，也不使岩石圈消失，相鄰兩板塊彼此橫向移動磨擦，而產生震源深度較淺之地震。台東縱穀斷層即為歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊之守恆板塊交界處。

八、地震預測

在地震發生之前，能夠明確地指出地震發生的地點，地震發生的時間，以及地震的規模、震度等，這就叫做地震預測。但是迄今為止，地震預測技術仍未完全成熟[1]。早在中國東漢時期，張衡就發明地動儀，並於134年記錄到隴西大地震，但只是對地震發生後的一種記錄儀器，並不能對地震有任何預測。長期以來人類一直嘗試著預報地震，以便在地震發生之前做好準備，減小地震災害損失。一般認為科學的地震預報應對一次地震發生的時間、地點和規模作出較為準確的判斷。但由於地球內部活動的複雜性以及人類對此缺乏有效監測手段和預報模型，時至今日地震預報技術尚不完善，成功的例子很少，地震預報仍是當今世界科學的一大難題[66]。

目前全球範圍內已經建立了比較廣泛的地震監測台網，科學家們還通過超深鑽井等手段獲取更多的地球內部資訊。但是人類地震預報的水準還僅限於通過歷史地震活動的研究，對地震活動做出粗略的中長期預報。在短期和臨震預報方面主要還是依靠傳統的地震前兆觀測和監測[66]。

(一)、台灣地震之預測

依據 1991 ~ 2006 年的地震資料統計，台灣地區平均每年約發生 18,500 次地震，也就是每天大概有 51 次之多，這時假定有人預測說：「最近台灣地區將會發生地震」，由資料顯示其預測到之機率是非常高，但是這種預測並無明確的時地描述，無法提供地震防災使用，因此也就沒有任何防災意義。雖然準確的地震預報技術還有待努力，但由於各種地震觀測資料日漸增多，地震發生後可能造成的災害評估技術也越趨成熟，

如：(1) 可能發生破壞的地區；(2) 破壞發生的機率；(3) 破壞的程度。這樣一來對提升救災效率、降低生命財產的損失就有明顯的幫助。這也是目前地震預測技術的發展過程中，最可預期的成效[1]。

(二)、地震資料之感測及傳輸

地震測報中心自民國78年8月成立以來，即積極推動執行「加強地震測報建立地震觀測網計畫」，以擴建地震網並蒐集地震資料。在擴建地震網方面，除保留19個氣象站內原有之垂直分量地震儀外，增設南北、東西各兩個分量，使地震網的每一點皆為完整之三分量地震站。另外再增加31個皆為三分量之地震站，並將中央研究院地球科學研究所之遙記式地震網及中正大學嘉南區域網予以整合，組成包含71個全國地震觀測站之即時地震觀測網，如圖12所示[78]。

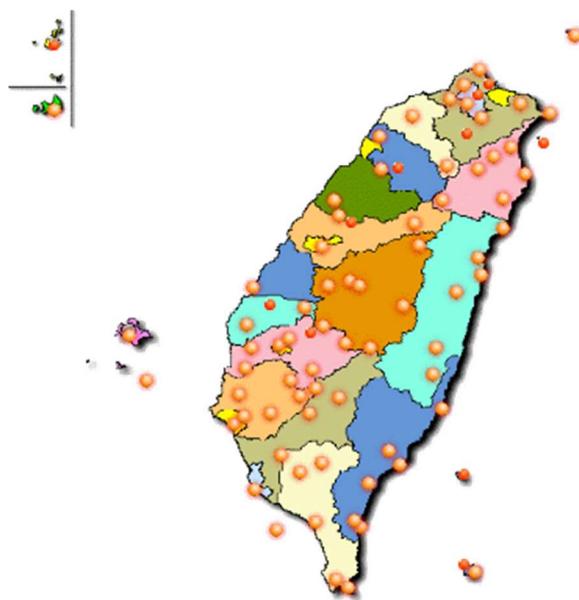


圖 12. 全國地震觀測站[78]

短週期地震儀 S-13 (Portable Short-period Seismometer) 為中央氣象局自民國71年起更新地震觀測設備所採用的儀器，其建造結實、穩定性佳，內部構造為彈簧、重錘及線圈，如圖13所示[78]。



圖 13. 短週期地震儀 S-13[78]

當地震發生時，重錘上下振動而與線圈產生感應電流，亦即地震大小之信號。其週期範圍在0.91~1.33 秒之間，正常以1 秒為準。因 S-13為一極靈敏的感應器，爲了不受非地震之地表振動所影響，在有人氣象站以放在地震室內之地震臺上為宜，同時須放在操作人員較少經過的地方，以免碰倒而使其內部受損。無人地震站則放在觀測站之水泥基座臺上[78]。

台灣地震站的地震儀信號經過數位化後，由寬頻網路直接傳回臺北。當各地震站之數位信號全傳回臺北中心站後，先進入數位訊號分接器後，再分接進入多套資料接收處理系統（如 NSDP、ICP 等），進行地震事件偵測與連續記錄，及進入數位／類比轉換器，將信號還原成地震儀所產生之原始信號，此信號可在多筆式類比地震記錄器上記錄，如圖14所示[78]。



圖 14. 各地震站之數位信號全傳回臺北中心站[78]

(三)、地震預測研究方法

雖然人們至今對於地震發生的機制(Mechanism)還沒有徹底了解，地震預測理論也還沒有充分建立，但是仍有許多嘗試性的地震預測研究方法，常見的有以下幾種：(1). 測地法；(2). 驗潮；(3). 地殼變動的連續觀測；(4). 地震活動；(5). 地震波速度；(6). 地磁及地電流；(7). 活斷層及褶曲；(8). 岩石破壞實驗和地殼熱流量的測定；及(9). 其他。茲選擇介紹一些重要的方法分述如下[1]：

(1). 測地法 (Geodesic Method)：

根據過去許多紀錄，在大地震發生時地會發生變動，而有時會發生在地震之前。因此測量地殼變動情形並研判地震前兆現象，是可以預測將否有大地震發生。例如西元 1964 年日本新潟地區發生地震前有地盤下沉現象，因當地經常從事測量調查工作，故發現地震發生之前確有前兆現象可尋。此外地殼發生變動的面積會隨地震規模之增大而增加，也就是說地殼發生異常變動的範圍越廣，可能發生地震的規模也越大。

(2) 井水含氡量的變化：

前蘇聯的科學家，在加爾姆地區發現到水井中的含氡量(Radon)於地震前會增加，亦用以預測地震。氡是一種放射性氣體，科學家們認為當岩石受到強大壓力時，岩石內部產生無數微小裂隙，通常只有用顯微鏡才看得見。岩石有了裂隙之後，曝露於地下水的表面積自然也會增加。當地下水滲入裂隙之中，補滿裂開的空隙，可以接觸到較多的放射性物質，同時吸收更多量的氡。直到地震發生，岩石突然崩裂，氡的含量又漸下降。因此監測井水含氡量，可以知道岩石受力情形，從而預測地震。

(3) 分析天然氣含量：

德國杜秉根大學的地質學家恩斯特教授，在富有沼氣的杜秉根地方從事地下沼氣含量的分析，建立了一種具有地方特色的地震警告系統。在西元 1969 年，他首次觀測到探測器裡沼氣含量先增加 0.2%至 2%，而於經過強烈地震後沼氣含量又告下降。又發生餘震時，沼氣含量也會增加。在 1973 年，恩斯特教授在中美洲的哥斯大黎加的首都聖荷西擔任客座教授時，與哥國的地質研究所合作研究，他以天然氣探測器觀測的結果，發現地球天然氣含量與火山爆發有連帶關係，此法也能預測地震。天然氣探測器主要在分析二氧化碳，因為在火山要爆發的那些地區，二氧化碳的濃度會高達12%。測定土壤內天然氣含量的方法簡單，測定工具只需一根1公尺的探測管，是屬於較經濟的一種預測地震方法。

(四)、國內外地震預警系統現況

地震預警系統 (Earthquake Early Warning System, EEWS)，是指依託潛在震源地附近的地震台網，在震後數秒內快速估算地震影響範圍和震害程度，在破壞性的 S 波和表面波到達設防區域前發布警報的即時地震資訊處理系統[79]。

地震預警系統利用 P 波傳播速度較快、幅值較小，S 波和表面波傳播速度較慢、幅值和破壞性較大，以及電磁波傳輸速度遠大於地震波的特性，透過讀取分析布設在各地的即時傳輸地震監測台站的記錄資料，快速對地震要素進行評估，來向預警設防區域發布警報，以避免人員傷亡和財產損失[79]。

地震預警系統的概念由美國地震學家庫珀於1868年首次提出，並於1964年在日本首次投入實際應用。墨西哥則於1993年建成了首個面向公眾使用的地震預警系統[104]。目前，中華民國、日本、中國、墨西哥、羅馬尼亞、土耳其、義大利、法國等已經建成地震預警系統，其中土耳其和羅馬尼亞為區域性預警系統，法國、中國等國為特定設施專用預警系統。而中國、美國、義大利、加拿大等國的全國性地震預警系統尚處於在建或籌建階段[79；80]。

(1) 中華民國

1986年花蓮地震的災情狀況促使中華民國交通部中央氣象局啟動地震預警系統的研發工作[112]。1994年交通部中央氣象局在台灣花蓮縣裝設地震預警試驗系統，後於1998年停止監測[81]。

2001年中央氣象局開始進行地震預警系統的成效測試[82]。2008年中華民國國家實驗研究院下屬的國家災害防救科技中心、國家地震工程研究中心與國家高速網路與計算中心開始與中央氣象局合作研發強震即時警報系統[83]，如圖15所示。2014年中央氣象局開始全面對中小學發布強震即時警報[84]。同年交通部中央氣象局與企業合作，推出強震即時警報行動應用程式以供大眾使用[85]。2016年強震即時警報系統與災防告警細胞廣播系統介接，使用4G 服務的智慧型手機可接收地震預警訊息。另外截至2019年11月，P-Alert 觀測網已建成測站721個[86]。



圖 15. 國家實驗研究院現地型強震即時警報系統[83]

中央氣象局透過電腦軟體、行動應用程式、災防告警系統、電視媒體等形式，向社會快速發布預警資訊[87；88]。據中央氣象局資料顯示，對於發生在台灣島內和近海海域的地震，該系統可在震後20秒內對外發布警報，並可對震央70公里以外的地區提供預警[89]。但亦有批評指出該系統在預警發布經驗、警報播送時效性、政府政策配套等方面存在不足[90]。

(2) 美國

美國地質調查局正在加利福尼亞州針對多套地震預警系統進行內部測試與研究，包括 ElarmS 預警系統、虛擬地震學家系統（Virtual Seismologist）、PreSEIS 預警系統及 ShakeAlert 系統[79]。

ElarmS 預警系統由加州大學伯克利分校地震學實驗室的艾倫教授設計研製。該系統利用布設在加州州內400餘個場地的約600個地震觀測台站即時傳輸觀測資料，在檢測到 P 波時，即時計算特徵週期、信噪比、每秒地震動峰值等地震參數資料，結合運算產生的規模和地震動水準估計結果，即時產生警報圖（AlertMap）等預警產品[79]，如圖16所示。

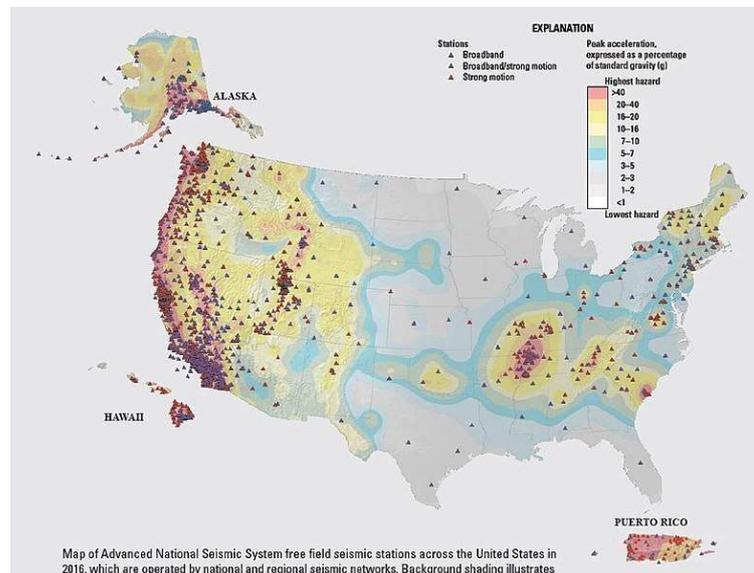


圖 16. 2016 國地質調查局的 ANSS 自由場地地震台網分佈圖[79]

虛擬地震學家系統目前正在美國南加州地區和瑞士測試執行，該系統利用布設在加州的約600個地震觀測台站傳輸資料，即時計算每秒的峰值地震運動加速度 PGA、峰值地面運動速度 PGV、峰值運動位移 PGD 資料，採用貝葉斯推斷方法，以獲得地震規

模、震央位置等參數的最大似然函式[79]。

基於神經網路演算法的 PreSEIS 預警系統由加州綜合地震台網 (California Integrated Seismic Network) 執行維護[91]。在大震時能夠估計斷層破裂演化產生的地震動分佈[79]。該系統目前正在美國加州和伊斯坦堡地區進行測試研究[92]。

美國地質調查局投資建設的 ShakeAlert 預警系統當前正處於示範執行狀態。2012年1月以來，該系統一直向選定的測試版使用者傳送地震預警資訊[93]。該系統匯集了 ElarmS 預警系統和虛擬地震學家系統的技術成果，其中西海岸部分計劃耗資3800萬美元完成[94]。該系統計劃透過手機、電視、收音機和公共場所廣播等方式，向公眾播發地震預警[95]。

(3) 日本

日本國內有多套地震預警系統正在執行，包括面向公眾的緊急地震速報系統和面向新幹線鐵路系統的地震動早期檢知警報系統 (UrEDAS) 等，如圖17所示。

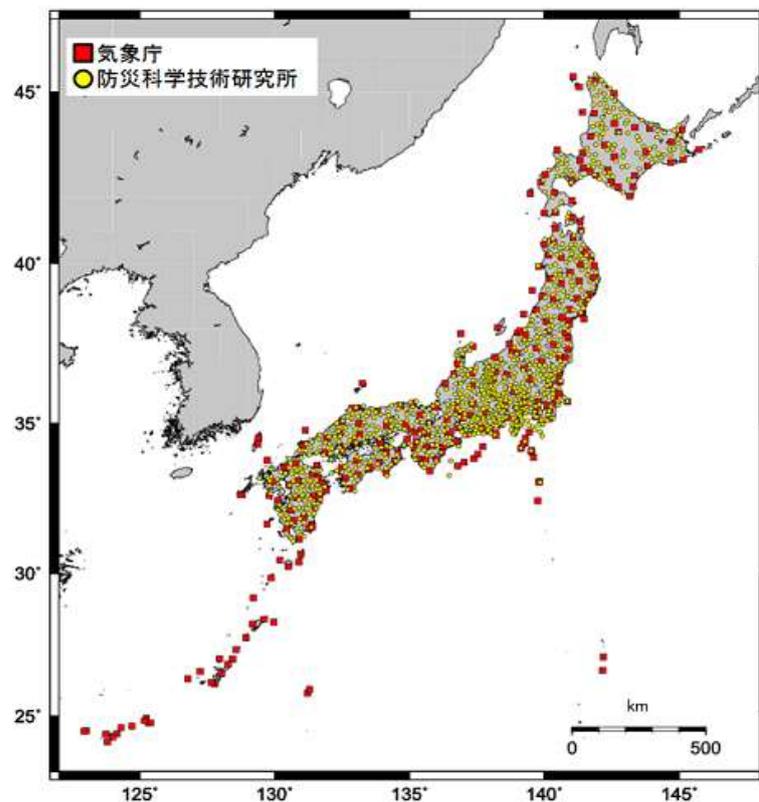


圖 17. 緊急地震速報地震觀測點[96]

1964年日本國鐵鐵道技術研究所設計的新幹線報警器—地震計式地震預警系統首

先為東海道新幹線提供服務，其後擴充到多條高速鐵路線上[79；80]。1982年日本國鐵將改進後的報警地震儀安裝在新開行的東北新幹線上。日本國鐵總共安裝了四百餘台報警地震儀，在常規鐵路線上架設間距為40至50公里，新幹線上布設間距為20公里。但這種報警地震儀在實踐中暴露出預警時效性差和誤報率高的特點[80]。1983年鐵道技術研究所結合報警地震儀的使用情況推出了 UrEDAS 系統，並於同年完成了原型系統，亦於次年完成了試驗觀測[97]。1989年左右，鐵道綜合技術研究所開始在東海道新幹線設定 UrEDAS 系統[98]。考慮到多台站系統的複雜性和網路系統的脆弱性，該系統採用單台訊號預警模式，能根據地震波形估算地震規模和震源深度，對20公里以內的破壞性地震發出預警。1995年阪神大地震後，鐵道綜合技術研究所對原有系統加以改進，推出了 Compact UrEDAS 系統，並將預警範圍擴充到200公里[79]。

1995年的阪神大地震促使日本發展全國性的地震預警系統。由文部科學省主導研製的緊急地震速報系統基於部署在日本全國各地的觀測台站為日本全體國民提供了地震預警服務。2004年2月，日本氣象廳和防災科學技術研究所開始對緊急地震速報系統進行線上測試。並於2006年8月至2007年10月開始向部分使用者傳送測試性警報資訊。2007年10月1日，緊急地震速報系統正式開始向全體公眾發布地震預警資訊[80]。

截至2018年7月，在日本全國範圍內被日本氣象廳用於震度觀測的地震台站共有4,372個，其中屬於氣象廳的有670個，屬於地方自治體的有2,913個，屬於防災科學技術研究所的有789個[99]。

(4) 法國

法國國家鐵路在長度約250公里的法國高速鐵路地中海線沿線設定了24個地震監測點，構成了地中海線地震預警系統。各地震監測點平均間隔10公里，且與位於馬賽的控制中心及位於巴黎的法國國家地震局驗證中心相連。當預警系統監測到的地震動超過65伽的預警閾值時，可向列車發出執行指令叫停列車。該系統的預警準確率高，但訊號傳輸環節過多、延時長，預警時效性不足[100]。

(5) 中國

中華人民共和國對地震預警系統的研究歷史可以追溯到1990年代中期。1994年，

在廣東大亞灣核電站運營之初，國家地震局工程力學研究所就為之配備了一套由6台加速度計、4台峰值加速度計及2個地震觸發器組成的地震報警系統。當觀測地震動超過預先設定的閾值，中心控制室的報警器就會自動報警，經專家系統決策後即可立即採取緊急處置措施。其後浙江秦山核電站、廣東嶺澳核電站中也採用了相應的地震報警裝置。2007年中華人民共和國在冀寧高壓輸氣管道專案中建設了該國第一個輸油氣管道的地震預警系統[104]。2011年年中，京津、京滬高鐵地震監視預警系統透過驗收，這是地震預警技術在中華人民共和國鐵路系統的首次運用[101]。

2008年汶川大地震後，中華人民共和國政府決心建設全國性的地震預警系統—國家地震烈度速報與預警工程[101]，如圖18所示。中國地震局于同年開始實施《地震預警系統研究及系統建設》等兩項地震行業專項，並於2010年實施國家科技支撐專案《地震預警與震度速報系統的研究與示範應用》，並在福建省、首都圈地區、甘肅省蘭州市部署了地震預警示範系統[102；103；104]。2015年7月起，中國地震局啟動了專案科研工作，其專案科研報告已於2017年2月得到了國家發展和改革委員會批覆。國家地震烈度速報與預警工程處在2020年投入使用。中國地震局合共計劃在中國大陸建設地震預警台站15,510個，包括1,960個組態測震儀和強震儀的基準站、3,309個組態強震儀的基本站以及10,241個組態震度儀的一般站[102]。

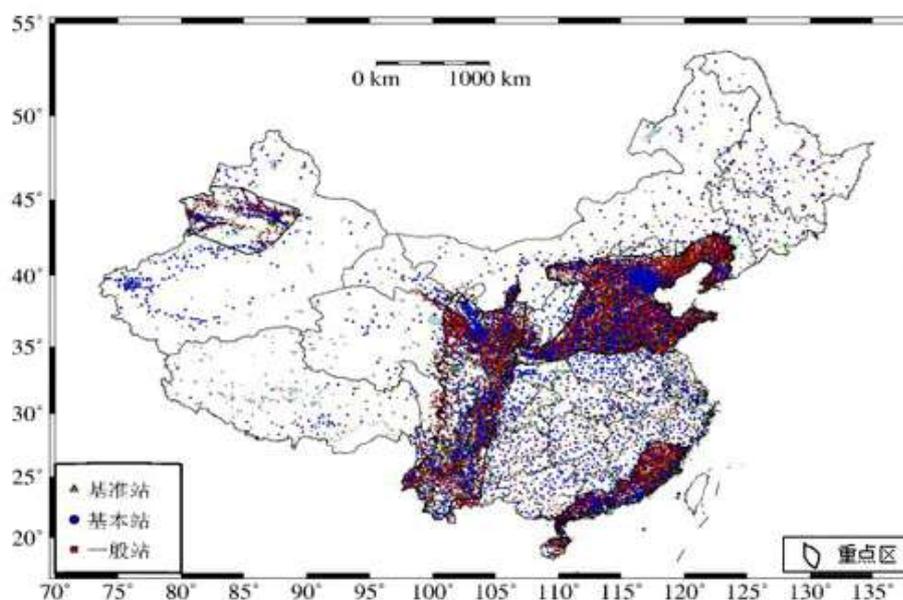


圖 18. 國家地震烈度速報與預警工程計劃部署的監測台站分佈圖[102]

(6) 義大利

義大利目前建有一個實驗性的地震預警系統。義大利研究人員利用該國南部伊爾皮尼亞 (Irpinia) 地區的28個監測台站所構成的 IsNet 台網產出即時觀測資料，並藉此設計了採用概率進化演算法的 Preto 地震預警系統。該系統能夠較準確地判定地震的震央和規模等要素，但對峰值地震動的估計值偏差較大。研究人員同時認為，該系統的對大規模地震的處理能力不佳，大震時震源的有限性可能對系統效能的發揮產生較大影響[80]。

(7) 土耳其

在1999年伊茲密特地震和1999年迪茲傑地震後，土耳其政府開始對北安那托利亞斷層高度的地震活動性加以重視，並啟動了地震預警系統的設計與建設工作。隨後土耳其政府先後在伊斯-庫爾的高層辦公大樓，和安隆-特拉爾基亞發電站建設了地震預警試驗系統[79]。2002年，土耳其政府正式啟動了伊斯坦堡地震預警系統的部署工作。伊斯坦堡地震預警系統，以布設在馬爾馬拉海北海岸的10台強震儀和5台海底地震儀為依託，採異地預警模式進行工作[105]。若台網中有2至3個台站觀測到的地面運動強度超過預先設定的閾值，系統即會對外發布警報[105]。

除伊斯坦堡已啓用的地震預警系統外，土耳其有關當局還基於伊斯坦堡阿塔科伊的20座台站觀測裝置建立了「自適應性地震預警資訊網路系統」。該系統採用去中心化設計，在每個台站內都裝配了感測器、內部處理器和無線通信器，並可將本地地震動參數向台網內其他台站共用。因此該系統未來可實現單台站輸出和多通道輸出兩種方式發布預警資訊[79]。

(8) 墨西哥

墨西哥的地震預警系統原有兩個，分別名為「墨西哥城地震預警系統」和「瓦哈卡市地震預警系統」，為墨西哥城和瓦哈卡州提供預警監測服務。2005年，這兩個系統被合併為「墨西哥地震預警系統」[80；106]，如圖19所示。



圖 19. 墨西哥國立自治大學圖書館的一個地震預警接收機[80；106]

墨西哥城地震預警系統於1993年開始向墨西哥城的公眾發布地震預警資訊，並於1995年格雷羅地震中首次發布預警資訊[107]。而在2003年時，墨西哥地震儀表與記錄中心研製的瓦哈卡市地震預警系統投入使用[80]。墨西哥地震預警系統的預警台網主要分佈在巴亞爾塔港沿岸南部、格雷羅州山區、布埃布拉北部和瓦哈卡州大部地區，由墨西哥地震儀表與記錄中心負責建設和維護工作，採用甚高頻波段廣播地震預警，可為墨西哥腹地的民衆爭取數十秒的避險時間。該系統設施裝置較為簡易，預警技術較為原始，可靠性較差[106]。而且由於墨西哥政府對系統的重要性認識不足，執行維護資金缺乏，導致系統的覆蓋人口較少，警報範圍較小[79；80]。目前，墨西哥地震預警系統下用於地震監測的台站共有97個，集中分佈在該國西南沿海地區[106]。

(9) 羅馬尼亞

弗朗恰縣是羅馬尼亞地震活動性最高的地區，是歐洲活動性最高的殼下地震區和世界上最特殊的地震帶之一。具有活動性的本地孤立性和有限性、殼下能量釋放的有限性、破壞性地震重複率高的特點[108]。鑑於發震區域的高度局限性，羅馬尼亞國家地球物理研究所在弗朗恰地區布設了2組台陣和102座台站[113]，並基於這兩組台陣建立起專門為布加勒斯特提供地震預警資訊服務的地震預警系統。此外，該系統還為羅馬尼亞國家物理與核工業研究所提供預警資訊服務，以保證所核心燃料的安全[79]。

(10) 其他國家

加拿大研究人員於21世紀初在溫哥華試驗安裝了 Shakealarm 系統，為當地提供地震預警服務[109]。同時，立陶宛伊格納利納核電站也在1999年建成了一套採用地震動

值預警的核電站地震預警系統，如圖20所示。該系統由核電站周圍的6個台站組成地震圍欄，從而使伊格納利納核電站有能力在地震波到達2秒前插入反應爐控制棒，該系統於2009年年末隨著該核電站關閉而退役[110；111]。

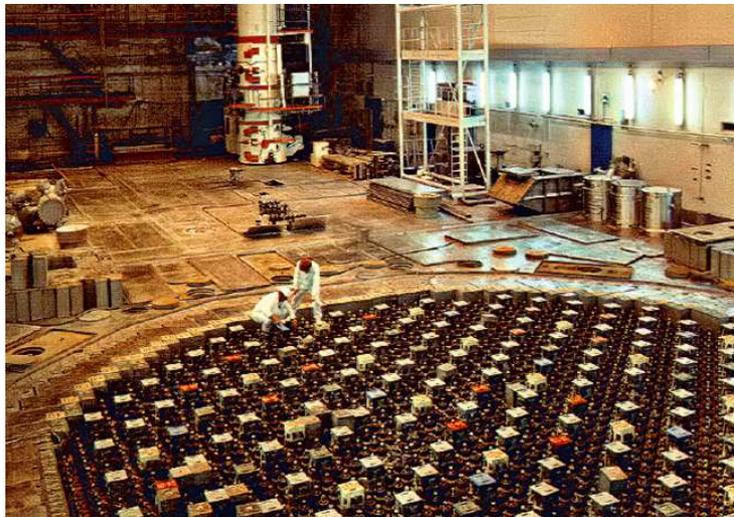


圖 20. 2008停運前的伊格納利納核電站反應爐[110；111]

另外，伊朗水電資源開發公司也在該國的卡爾黑大壩建設了一座由6台加速度計和6台強震記錄儀組成的地震監測網路。除此之外，瑞士、希臘也建造了特定設施專用地震預警系統[111]。

(11)國外預警系統值得台灣借鏡之處

地震預警可以用在多遠的範圍，真要用科學的角度來看，實在很難給個門檻範圍。因為地震大小不同，衰減的程度不同，當然我們會得到的預警時間也都不同。從一個七級地震的情境來看，大於六級震度的地方幾乎都在預警盲區內，五震震度區或許可以仰賴現地型預警技術，而四級震度區或許可以藉由區域型地震預警得到更多的預警時間。所以我們可以大略估出不同距離、震度與可預警的時間差異，可以發現當規模越大時，震災範圍將會較大，當然需要預警的地方（震度4級）就會變大，此時再來談「得到多少預警時間」才有實質意義。預警技術所考量的地方應該是搖晃較大的地方，若是針對震度極小的地方，看起來就只是一個倒數計時展示器的概念而已。

(五)、地震對構造物造成之損害

地震對於人畜直接造成傷害的機會不大，但對於人為構造物因受了劇烈的地震動，

而致倒塌崩潰，繼而殃及人畜者，損失往往非常嚴重。地震時或地震後，可能導致的損害如下[1]：

- A. 房屋建築物傾倒，尤其公共建築物如戲院、學校、醫院、市場等人口密集的地方，最易引起重大的傷亡。
- B. 水壩崩潰，水庫開裂，河堤決口，致而洪水泛濫引起水災。
- C. 房屋、電線杆斷裂倒塌，引起電線走火，以及瓦斯、煤氣、爐灶等失火，造成火災。
- D. 公路坍方，橋梁斷裂，路面突起或下陷，造成交通阻塞，以致消防車、救護車無法出動施救，擴大災情。

九、物聯網簡介

(一)、物聯網定義

物聯網(Internet of Things, IoT)技術是網際網路、傳統電信網等資訊之承載體，讓所有能行使獨立功能的普通物體實現互通的網路。IoT 一般為無線網，而由於每個人周圍的裝置可以達到一千至五千個，所以 IoT 可能要包含500兆至一千兆個物體。在 IoT 上每個人都可以應用電子標籤將真實的物體上網聯結，在 IoT 上都可以查出它們的具體位置。通過 IoT 可以用中心電腦對機器、裝置、人員進行集中管理、控制，也可以對家庭裝置、汽車進行遙控，以及搜尋位置、防止物品被盜等，類似自動化操控系統。同時透過收集這些細微的資料，最後可以彙整成巨量資料，包含重新設計道路以減少車禍、都市更新、災害預測與犯罪防治、流行病控制等社會的重大改變。IoT 將現實世界數位化，應用範圍十分廣泛，IoT 拉近分散的資訊，統整物與物的數位資訊。

(二)、物聯網特性

物聯網將現實世界數位化，應用範圍十分廣泛。物聯網拉近分散的資訊，統整物與物的數位資訊，應用領域包括運輸和物流領域、健康醫療領域範圍、智慧型環境領域、個人和社會領域等，具有十分廣闊的市場和應用前景[21]。物聯網賦予物體智能將

無處不在的設備和設施，透過各種無線和有線通訊網連結實現溝通和對話(圖21)，以供管理和服務功能，藉由感知、聯網技術，達到智慧化生活與服務的目的[11；14]。

- 物聯網的需求以及特性包含：
 - (1) 具有獨一無二的識別身分。
 - (2) 感測及儲存環境資訊的能力。
 - (3) 具有向外分享資訊的能力。
 - (4) 具有與其他物件互相溝通的能力。
 - (5) 具有支援 IP 或透過閘道器連網的能力。
- 物聯網設備具有以下特點：
 - (1) 小型與便宜。
 - (2) 能源限制。
 - (3) 運算限制。
 - (4) 儲存限制。
 - (5) 頻寬限制。

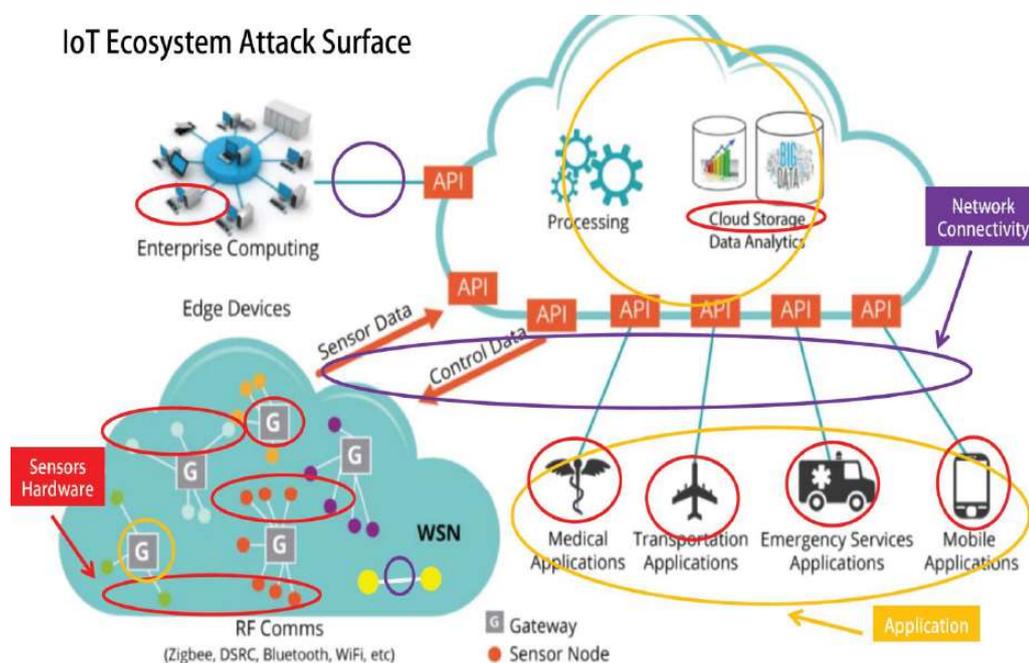


圖 21. 物聯網架構圖[11；14]

- 物聯網可視為一種動態的全球網路基礎設備，它必須具備：

- (1) 自我組織的能力。
- (2) 標準協定的支援。
- (3) 具互通性的通訊協定支援。
- (4) 實體世界與虛擬世界的物體需要無縫整合。
- (5) 物體要有獨一無二的身分 ID。
- (6) 物體本身保有原先的物理特性。
- (7) 物體在虛擬世界中存有另一種虛擬的特性。
- (8) 物體及虛擬特性必需能以數位方式表達及交換。

物聯網是架構在網際網路上更為龐大的網路，相較於網際網路僅是人與人之間的資訊交換，物聯網更結合了各種末端設備和設施，而這些設備或設施再透過各種無線、長距離或短距離之通訊網路，實現並互聯互通、應用整合，以雲端運算為基礎的營運等模式，採用適當的資訊安全保障機制，提供安全可控乃至個人化的即時線上監測、定位追朔、警報連動、調度指揮、專案管理、遠端控制、安全防範、遠端維護保全、線上升級、統計報表、決策支援、領導桌面等管理和服務功能[11；14]。

(三)、物聯網三層架構

物聯網劃分成3個階層(圖22)，「感知層」為3層中的最底層，用以感知數據資料；「網路層」為第二層，用以接收感知層的數據資料，並傳送至應用層；「應用層」為最貼近現實生活中的層次，將接收到的數據資料作最有效的運用。以下為感知層、網路層及應用層的架構及其發展的關鍵技術[15]。

- 感知層

- (1) 具有感測、辨識及通訊能力的設備。
- (2) 針對不同的場景進行感知與監控。
- (3) 包含溫度、濕度、紅外線、光度、壓力、音量等各式感測器。

- 網路層

- (1) 將感知層收集到的資料傳輸至網際網路。

(2) 通訊技術。

● 應用層

(1) 傳輸協定。

(2) 雲端運算。



圖 22. 物聯網架構示意圖[23]

十、物聯網在智慧居家預警災防系統之應用

未來物聯網在建築領域的應用，會著重於透過互聯讓建築變得更聰明。萬物互聯是趨勢，現今的互聯技術和產品已經可以實現更加「智慧」的建築。真正的互聯不僅是系統的簡單交互，更是人機對於建築的深層對話，可以讓建築的各項系統形成綜效，從而大幅提升能效和營運效率。建築領域將是互聯、綠色技術應用的重要平台。

物聯網在建築領域的應用是把建築藝術與資訊技術進行有機結合，基於物聯網、雲端運算、大數據等新技術的應用，實現對建築的自控系統和資訊系統的互聯互通，可以提供出入口門禁和人流管理優化、自動調節燈光、溫濕度、電量監控、緊急情況回應等一系列智慧化功能，並且可以根據資料分析，幫助業主高效地處理各類建築營運中碰到的各種問題。

本計畫將使用物聯網元件及環境，建立「智慧全人居家預警災防系統」。該系統使用了物聯網的感知元件、控制板、瓦斯切斷器、聲光警報器、自動門鎖、電動門弓器

等，開發了地震預警防災的雛形。

第三章 計畫執行情形

一、本計畫已經完成之工作項目彙整

目前本計畫的執行情形，已經完成的工作項目如表6所示。

表 6. 「智慧全人居家預警災防系統」已完成之工作項目

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月	備註
文獻回顧	■	■											已完成
專家訪談及現場參訪			■	■									已完成
第一次專家諮詢會議					■								已完成
期中報告審查會議						■							已完成
硬體設計及控制軟體之開發							■						已完成
雛型之開發							■						已完成
系統功能驗證								■					已完成
使用者之系統測試									■				已完成
第二次專家諮詢會議									■				已完成
地震預警系統與硬體連動連結										■			已完成
期末報告審查會議											■		已完成
成果報告之繳交												■	已完成
預定進度 (累積數)	5 %	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100 %	

本計畫目前完成之事項包括：

- (1) 第一次專家訪談。
- (2) 第一次專家諮詢會議。

- (3) 期中審查會議。
- (4) 第二次專家訪談。
- (5) 第二次專家諮詢會議。
- (6) 完成中央氣象局地震預警訊息之自動擷取系統。
- (7) 使用氣象局擷取之地震預警資料，計算該地震到達場址剩餘時間及預期地震規模。
- (8) 以物聯網環境開發「智慧全人居家預警防災系統」，並製作模擬模型以展示系統之切斷瓦斯開關、地震警報信息之顯示、自動開啟門鎖、自動開啟門扇、Line 信息通報等之功能。

二、 第一次專家訪談

本團隊於111年3月14至5月15日，針對四位專家進行訪談，分別為柯孝勳顧問（國家災害防救中心組長）、廖哲緯顧問（中央氣象局地震測報中心 Seismological Center 課長）、陳文彬顧問（台灣無線城網路科技股份有限公司）及張其中顧問（其禾實業有限公司總監），針對下列議題進行專家訪談。第一次專家訪談之議題包含：

- 柯孝勳顧問（國家災害防救中心組長）
 - (1). 國震中心如何取得資料及發送資料？
 - (2). 針對地震數據有基礎研究如震波 P 波截取單位是？
- 廖哲緯顧問（中央氣象局地震測報中心課長）
 - (1). 我國中央氣象局地震數據發布的數據，本團隊自氣象局地震資料開放平台(<https://opendata.cwb.gov.tw/userLogin>)擷取相關地震資料。我們透過氣象局提供的 API (A0015 及 A0016)，每一秒鐘擷取地震資料一次。另某些擷取到的地震資料中，其地震發生時間與氣象局 API 取得地震資訊時間有近兩分鐘之落差，請問這種現象正常嗎？
 - (2). 請問在計算場址地震震度及到達時間時，對於不同地質結構，如何修正

其震波傳遞時間及到達場址之地震震度？

- (3). 請問貴局針對上述地震測報相關數據，目前時以甚麼方式傳遞相關地震測報資料到哪些單位？另目前有哪些民間機構有配合貴局開發相關 App，將相關地震測報資料傳遞給大眾使用？
- (4). 請問氣象局目前對建築用昇降設備(電梯)之地震災害防制，有甚麼相關研發成果可供分享？對中華大學已取得之專利有甚麼應用上之提議與相關注意事項之建議？

● 陳文彬顧問(台灣無線城網路科技股份有限公司)

- (1). 請問在智慧建築中，智慧門鎖及電動門弓器是如何作動的？
- (2). 請問智慧門鎖可以自室內以手勢揮動啟動開鎖/關鎖嗎？在室內合適以語音辨識方式控制嗎？
- (3). 請問電動門弓器可以以手勢揮動/語音辨識啟動開啟/關閉嗎？
- (4). 請問上述智慧門鎖及電動門弓器可以以程式控制方式來操作嗎？

● 張其中顧問(其禾實業有限公司總監)

- (1). 其禾 CH-256 控制系統量身打造，結合物聯網 IoT 技術，全天候 24 小時回報電梯狀態，並詳實紀錄運轉履歷。eKeeper 第一時間掌握電梯故障訊息，主動通報並派遣專業技術人員。故障訊息存取是否可以開放資料管理及開發應用。是否可提供遠端程式控制起停樓層功能？
- (2). 目前對電梯(建築用昇降設備)之地震災害防制貴公司有何研發成果可供分享?有何應用上之建議與注意事項？
- (3). 電梯所在位置場址震度若可預測且在 P 波與 S 波時間差之內，或偵測到震源地震與傳遞到場址 S 波之時間差，若經傳遞訊息至電梯控制中心，能否及時啟動控制與作動。對傳遞預警方式有何建議？
- (4). 若啟動防震控制，電梯停於樓層時如何控制不再運行? 若正下降或上升，如何判定 P 波 S 波時間差內可到達最近樓層? 若判定無法在 P 波 S 波時間差內或偵測到震源地震與傳遞到場址 S 波之時間差內，到達

最近樓層，是否會自行判定夾鎖於導軌？或稍遲因感受震度而夾鎖於導軌？或有其他控制方式？

本團隊第一次專家訪談之紀錄，彙整於「附錄一、第一次專家訪談會議紀錄」。

三、第一次專家諮詢會議

(一)、諮詢會議專家資料

本計畫在111年5月24日(二)上午9:30，舉行第一次專家諮詢會議，與會專家名單如表7所示。

表 7. 第一次專家諮詢會議與會名單

姓名	單位	職稱
陳建忠	內政部建築研究所	組長
褚政鑫	內政部建築研究所	助理研究員
廖哲緯	中央氣象局地震測報中心	課長
孫維忠	台灣高速鐵路股份有限公司 土建設計工程部	博士
章建成	社團法人中華民國建築物升降暨機械停車設備協會	組長
陳明助	明鑫管理顧問有限公司	顧問
林沛暘	衛波科技股份有限公司	執行長
陳文彬	台灣無線城網路科技股份有限公司	總經理
蕭炎泉	中華大學學校財團法人中華大學	計畫主持人
何明錦	中華大學學校財團法人中華大學	共同主持人
楊明玲	中華大學學校財團法人中華大學	協同主持人
謝博全	中華大學學校財團法人中華大學	研究員
賴淑貞	中華大學學校財團法人中華大學	研究員

(二)、第一次專家諮詢會議討論議題

本次專家諮詢會議討論議題包含：

- (1) 本團隊已經完成快速通報軟體下載及安裝，並從模擬資料中已計算出預期到址時間及震度，與歷史資料驗證後數據都正確。請專家學者們協助指導提供修正建議
- (2) 本計畫預計開發之「智慧全人居家預警防災系統」雛型，在系統擷取到中央氣象局預警系統資料並預期強震即將來襲時，其啟動預警防災措施之步驟與流程有何可改善之部份？
- (3) 在系統擷取到中央氣象局預警資料並預期強震即將來襲時，當強震警訊傳遞至電梯控制中心後，電梯管制流程及因應處理方式為何？
- (4) 物聯網及無線通訊技術等現代科技之應用，對於地震預警防災服務方面，可以提供那些有幫助的解決方案？

(三)、專家諮詢會議專家意見

本次專家諮詢會議，在111年5月24日上午9：30開議，討論到中午12：00，情況相當熱烈。與會專家學者之意見彙整如「附錄二、第一次專家諮詢會議紀錄」所示，諮詢會議相關照片如「附錄三、第一次專家諮詢會議照片」所示。

四、期中報告會議

本計畫在111年7月7日(四)14：30，舉行期中報告會議。會議中員專家意見詳見「附錄四、期中報告委員專家意見及回應表」所示。

五、第二次專家訪談

本團隊於111年9月12日，對台灣大學地質科學系吳逸民教授進行專家訪談，訪談之議題如下所示：

- (1) 吳教授研發之「P波警報器」，可在地震最大震動來臨前的5至8秒提出預警，目前預警訊號是否已經可直接連接設備商應用，如電梯於強震來襲前的自動停於最近樓層或其他防災功能？

- (2) 據悉吳教授您研發「P波警報器」，這套警報器已在全台設有750個地震預警測站，可即時傳送震度圖，提供防救災參考；請教各預警測站資料是否全部集中到台灣大學地質系主機，研究機構或其他學校是否可以申請取得資料進一步研究。(參考位置: <https://www.cna.com.tw/news/ahel/202103220176.aspx>)
- (3) 三聯公司的地震預警系統，整合了區域型及現地型地震預警系統是否廠商投入成本較高；請教吳教授，一般企業應用(如電梯、瓦斯公司、高敏感度機具廠房等)，是否「P波警報器」的報警器功能已經足夠？又「P波警報器」如何與這些需要被保護的設施連動？

該次訪談之紀錄彙整於「附錄五、第二次專家訪談會議紀錄」。

六、 第二次專家諮詢會議

(一)、 諮詢會議專家資料

本計畫在111年9月29日(四)上午10:00，舉行第二次專家諮詢會議，與會專家名單如表8所示。

表 8. 第二次專家諮詢會議與會名單

姓名	單位	職稱
王榮進	內政部建築研究所	所長
褚政鑫	內政部建築研究所	助理研究員
廖哲緯	中央氣象局地震測報中心	課長
柯孝勳	國家災害防救科技中心	組長
徐春福	國霖電梯股份有限公司	總經理
章建成	社團法人中華民國建築物升降暨機械停車設備協會	組長
黃秀莊	臺北市建築師公會	理事長
蕭炎泉	中華大學學校財團法人中華大學	計畫主持人
何明錦	中華大學學校財團法人中華大學	共同主持人
楊明玲	中華大學學校財團法人中華大學	協同主持人

姓名	單位	職稱
謝博全	中華大學學校財團法人中華大學	研究員
賴淑貞	中華大學學校財團法人中華大學	研究員

(二)、 諮詢會議討論議題

第二次專家諮詢會議討論的議題包含：

- (1) 本團隊已經開發中央氣象局地震預警資料擷取程式，並能計算出預期到址時間及震度，經驗證後與氣象局發布之資料數據都相符，亦收集到現地型預警系統，就此2型態之預警系統應用，請協助提供應用經驗與相對優勢。
- (2) 本計畫開發之「智慧全人居家預警防災系統」雛型，在系統擷取到中央氣象局預警系統資料並預期強震即將來襲時，其傳輸 啟動 預警防災措施之項目與流程，有何建議及補充事項？
- (3) 本防災預警系統在偵測強震可能來襲時，在與電梯設施連繫以作動防災措施中，有甚麼通訊環境需求？信息傳遞機制為何？及電梯控制程式中需要有甚麼配套措施？
- (4) 本計畫開發之系統目前場景設計為居家型，未來將推廣到社區型或區域型預警防災，可能的推動策略及應注意事項為何？

(三)、 專家諮詢會議專家意見

本次專家諮詢會議，在111年9月29日上午10：00開議，討論到中午12：00，情況相當熱烈。與會專家學者之意見及照片請參考「附錄六、第二次專家諮詢會議紀錄」。

七、 期末報告會議

- 一、 時間：111年10月28日（星期五）下午2時30分
- 二、 地點：本次會議採實體及視訊併行會議(實體會議於本所簡報室)
- 三、 主席：王所長榮進 記錄：黃中興
- 四、 出席人員：詳如簽到簿
- 五、 主席致詞：(略)
- 六、 業務單位報告：(略)
- 七、 計畫主持人簡報：(略)
- 八、 綜合討論(依研究計畫序)：

本計畫期末報告會議之委員意見如下所述，本團隊之回應請參考「附錄七、期末報告委員專家意見及回應表」。

(一)、蔡教授淑瑩

1. 台灣處地震帶，居家預警災防系統計畫有其重要性。
2. 文獻回顧-國外預警系統(P.36-42)介紹後應說明值得台灣借鏡之處。
3. 2.9 物聯網後應該說明跟居家預警災防系統的關聯性。
4. 3.3 專家諮詢會議應說明專家意見跟後續研究設計的關聯性，而非只有當附錄。
5. 計畫資料引用請註明出處，請檢視之。如 P64-66，圖 33，圖 34 等。

(二)、陳教授政雄

1. 本研究使用微控制板及線路之連接，啟動瓦斯切斷氣關閉瓦斯供氣。自動開啟大門，以利避難。啟動聲光警報及通知電梯管理中心，使該中心逕行將電梯停在最近樓層，讓人員疏散，實用性頗高。
2. 因應超高齡社會的來臨，愈來愈多的使用對象將是高齡者。建議對科技產品的應用須注意「可以因應高齡者的使用習慣」及「可以降低成本，容易維修」等 2 方面。

(三)、李教授東明

1. 有關智慧防災議題，國家地震工程研究中心曾與中保科技合作，研發較 P 波早 10~20 秒啟閉瓦斯、解鎖等套裝軟體、本研究可參考該相關資料。
2. 未來確應將智慧防災納入智慧全人居家思考，目前科技確可提供重要的支持。

(四)、王建築師武烈（書面審查）

對於生命安全保障，研究開發「智慧居家安全預警防災系統」確屬重要。本研究已將 95%就建築物納入，並擴及精密設備之防震、高速運行之車輛、智慧居家安全、智慧城市等，方向正確，未來性很強，感謝研究團隊的費心。

(五)、本所褚助理研究員政鑫

1. 有關報告書圖表請加註資料來源或出處，若為本研究產出，可加註為「資料來源：本研究整理」。
2. 報告書第六章建議部分請依本部規定格式整理，註明可落實執行之主協辦單位，另請將期初審查意見放入附錄。

(六)、本所王組長順治

1. 本研究實用性高，成果獲得肯定。
2. 建議可增加思考地震來時，逃生避難行為需要的相關設備，如自動照明、自動發電機等是否都可以透過這個系統獲得更好的反應。

九、研究團隊回應（蕭計畫主持人炎泉）

1. 本團隊會在國外預警系統處說明值得台灣借鏡之處，並在第2.9節中加以說明物聯網在本居家預警防災系統的應用之關聯性。
2. 在報告書中，本團隊會把圖表請加註資料來源或出處，若為本研究產出，會加註「資料來源：本研究整理」。
3. 本團隊會在第3.3節及3.6節之專家諮詢會議中，加以說明專家意見跟後續研究設計的關聯性。

十、 會議結論：

(一)、 本次會議三案期末報告，經審查結果原則通過；請業務單位將與會審查委員、出席代表及書面意見詳實記錄，供執行團隊參採，納入成果報告，包括期初、期中及期末之審查意見製作回應表，並依本部規定格式繳交成果報告。

(二)、 應注意內文及圖表之智慧財產權，如有與之相關資料要註明來源，報告結論及建議事項應具體可行。

十一、 散會(下午4時30分)

第四章 研究設計

本計畫開發地震預警資料擷取軟體，隨時監測氣象局地震測報中心之即時地震預警資料。當有即時地震預警資料更新時，馬上取得該地震之規模、位置及深度，並且計算到達所在位置的預期震度及時間。當判別該次地震可能會造成災害時，馬上啟動瓦斯切斷器關閉瓦斯之供氣；當偵測到有居民在家時，馬上啟動聲光地震警報，並以 Line 信息及電子看板顯示即時地震資料(包含地震之剩餘到達秒數及其預期震度)，並自動開啓大門門鎖及門扇避免卡死，以利居民做最適切之地震防災措施，減低因地震造成的生命及財產損失。本計畫之工作項目如下所述：

一、系統場景設計

本研究針對地震發生時居家安全防護之需要，設計計畫之場景，包含地震災害發生時，啟動瓦斯切斷器，Line 通知之傳遞及大門門鎖及門扇之開啟。在瞭解居家安全需要後，按使用者需要設計系統的架構及功能，以滿足居家地震災害防制之需求。本計畫提出「智慧全人居家預警防災系統」之場景說明如下：

- (1) 中央氣象局在全國建置了635個地震偵測站，以隨時監測地震的發生。
- (2) 當地震發生時，各監測站將偵測到的地震資料傳回中央氣象局。當有超過5個以上測站回傳地震資料後，超級電腦即刻進行地震時間、震央、地震規模及發生深度的計算。
- (3) 當電腦計算出地震發生時間、震央、深度及規模後，將地震預警資料公佈在網站。
- (4) 本系統每秒鐘讀取網路一次，當在地震預警網站偵測到新的地震網頁資料時，馬上擷取其中地震發生時間、震央、深度及規模等資料。
- (5) 系統計算出該次地震震央與所在地的距離、剩餘抵達本地的時間及預期到達震度。
- (6) 如果預期地震震度高於某閾值(例如4級)，則啟動關閉瓦斯開關；如果人體感知器偵測有人在家時，則開啓大門門鎖及門扇、發出聲光警報、顯示地震預

期到達震度及剩餘秒數，發布 LINE 強震信息；並發送訊號到電梯控制機制，將電梯停到下一層樓、進行強震信息廣播並開啟梯箱門疏散乘客。

二、系統硬體元件

物聯網元件種類相當多，需要依據場景內容挑選合適之控制板，並做合適之連接，以發揮系統設計整合之功能，來執行居家地震防災系統之運作。本研究系統主要分為控制板、感知元件及地震防制可控設施三大類，其介紹說明如下：

(一)、控制板

Arduino 的 D1 mini 控制板，把 ESP-12F 所有腳位都引出了，如圖23所示。它可以被當作一塊擁有 WiFi 功能的 Arduino 板，直接使用 Arduino IDE 來開發，使用 ESP8266 等相關函式庫，快速又方便。D1 mini 最大的特色就是可以當積木使用，堆疊多種模組，可搭配模組有 DHT11 溫濕度模組、18B20 溫度模組、BMP 氣壓模組、W2812 全彩 LED 模組及繼電器模組等。以上模組的搭配讓 D1 mini 有更多不同的使用方式。D1 mini 用 Arduino IDE 來設計程式，支援 OTA 無線上傳。硬體安裝後，其操作模式跟 UNO、Nano 版完全相同，十分方便。

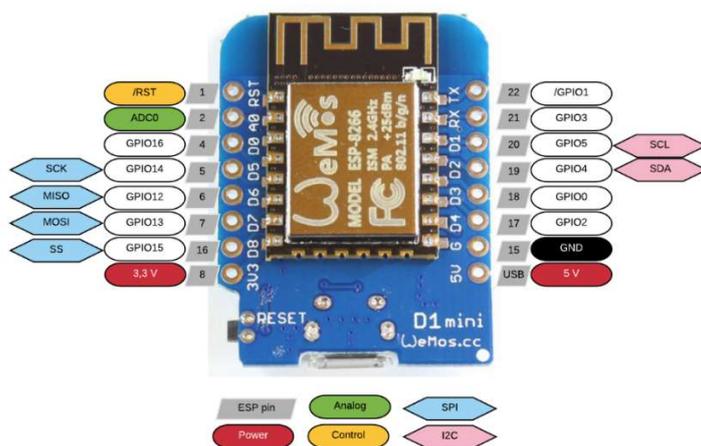


圖 23. D1 Mini 控制板及其腳位功能

(二)、人體感應探測器

本研究用來偵測屋內時否有人在家，是使用 RCWL-0516 微波雷達感應開關模組，

如圖24所示。RCWL-0516人體感應探測器是一款採用多普勒雷達技術，專門檢測物體移動的微波感應模塊。該模塊具有靈敏度高，感應距離遠，可靠性強，感應角度大，供電電壓範圍廣等特點，被廣泛應用於各種人體感應照明和防盜報警場合。



圖 24. RCWL-0516人體智能感應探測器

(三)、地震災害防制可控制設施

(1)、瓦斯切斷器

當接收到有強震即將來臨時，系統馬上啟動瓦斯切斷器(圖25)，將開關閥以順時針旋轉90度來切斷瓦斯之供氣，避免強震震裂管線造成瓦斯漏氣而引發火災，以保障居民之安全。



圖 25. 瓦斯切斷器

(2)、大門電子門鎖

當系統計算出有強震即將來臨，且偵測到屋內有人時，系統會自動開啓大門門鎖(圖26)並開啟門扇，以避免門扇在地震的壓力下變形卡住，導致居民無法逃生或救援人員無法進入屋內協助處理救災問題。



圖 26. 大門電子門鎖

(3)、電動門弓器

當系統接收到強震即將來臨，且偵測到有人在家時，系統會自動開啟門鎖並啟動門弓器(圖27)，馬上推開大門門扇，以允許居民能從大門疏散到避難空間，且讓急救人員能進入屋內協助處理救災問題。



(4).

圖 27. 電動門弓器

(4)、聲光警報器

當該地震預期到達震度在4(或設定數值)以上，而且偵測到有人在屋內時，馬上啟動聲光警報器，如圖28所示，以尖銳聲音及閃光警示居民做即時之防護措施，或馬上疏散到避難場所，來降低強震可能引起之生命傷亡及財產損失。



圖 28. 聲光警報器

(5)、LCD 液晶顯示模組

本研究使用 LCD 顯示模組，來顯示預期地震震度以及地震即將來臨之倒數時間，它類似1602/16x2單色字元型 LCD 液晶顯示模組(必要時可以更換成別的型號)，用以顯示強震預警相關資料，如圖29所示。



圖 29. LCD 液晶顯示模組

(6)、繼電器

繼電器的內部構造有一個電磁鐵，在沒有訊號提供時，內部的簧片會在上方，這時候「常閉」與「公共端」是通路，「常開」和「公共端」是斷路，當電磁鐵透過訊號通電，就會將內部的簧片往下吸附，此時「常閉」與「公共端」變成斷路，「常開」和「公共端」變成通路，藉由這個方式，我們就可以控制電器用品的開和關，如圖30所示。



圖 30. 繼電器

(7)、LED 燈

本研究利用 LED 燈泡的通電發亮，來表示已成功發出信號到電梯管理中心，以接管電梯之運作，將電梯停在最近樓層、開啓梯箱門讓人員疏散，以減低因地震造成的生命傷亡及財產損失。

三、軟體之設計及開發

使用合適之軟體開發環境，來設計控制元件感知數據之讀取及管理命令之下達等，是一般物聯網智慧管理系統的架構。本計畫透過管理程式之開發，讓軟體能監看並自動擷取中央氣象局發布之地震預警資料。系統再將擷取到地震的震央、規模、深度等資料透過運算，以得出該地震預期到達震度及剩餘秒數。當預期到達震度超過預設閾值時(使用者可以依需要調整作動閾值)，馬上啟動關閉瓦斯之供氣；當感知器偵測有人在屋內時，馬上下達相關命令之執行，包含開啟大門門鎖及門扇、Line 信息之通報、地震聲光警報等之播報等，以通知居家人員做最適切的地震災害防制措施、確保生命財產之安全。

(一)、Python 環境平臺介紹

VSCode Python 是 Microsoft 推出的編輯器，因為 Microsoft 有打造過 Visual Studio 整合開發環境的豐富經驗，和其他編輯器比較，VSCode Python 的優勢包含它是開放型架構、擁有活躍的開發社群、內建 Debugger 框架、原生 Git 整合及套件整合容易等特性。對於初學者來說，VSCode Python 是一套適合入門的開發環境。它的安裝方式也十

分簡易，在官網下載後按照指示安裝完成即可，如圖31所示。

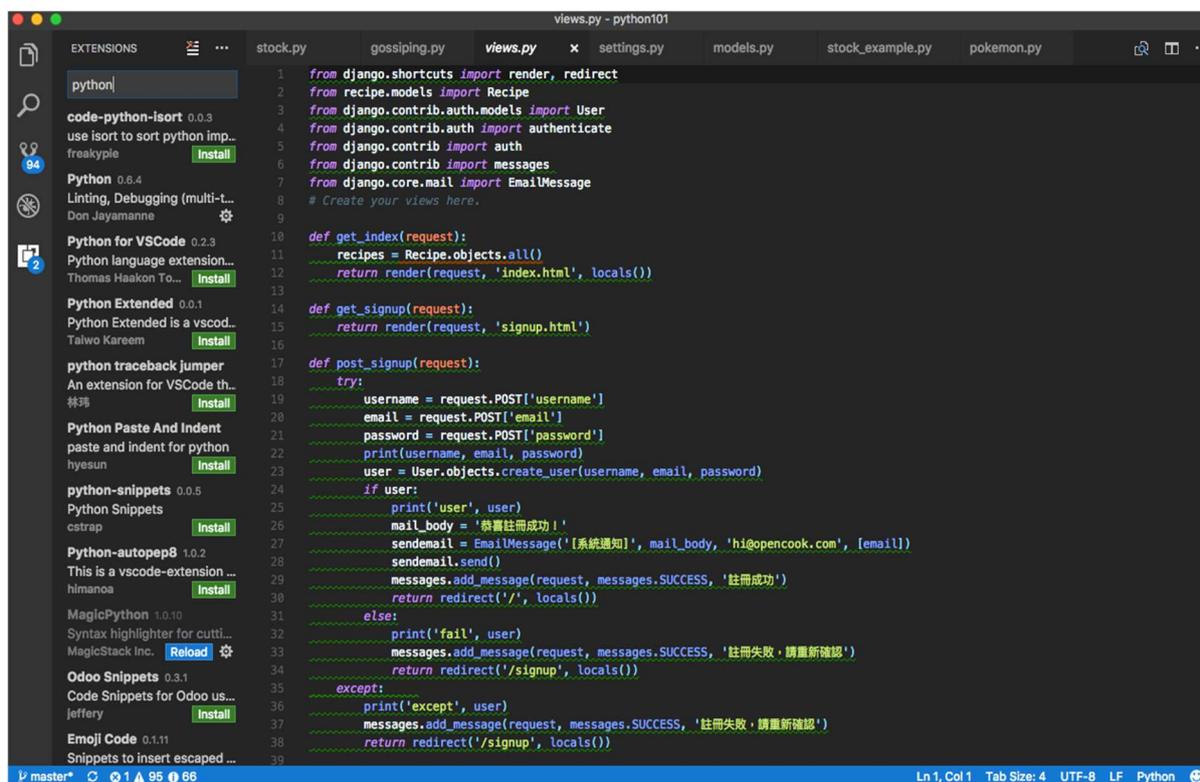


圖 31. VSCode Python 套件

(二)、編譯 Python 程式

Python 是多範式(Multi Paradigm)程式語言。它完全支援結構化的程式設計，還有很多特徵支援函式語言程式設計和元程式設計，包括元類和元物件（魔術方法）。通過擴充還可以支援很多範式，包括面向切面。Python 是完全物件導向的語言，函式、模組、數值、字串都是物件；並且完全支援繼承、重載、衍生、多重繼承，有益於增強原始碼的重複使用性。本研究使用 Python 開發系統控制軟體，如圖32所示。



圖 32. Python 編譯環境

四、JSON 資訊

JSON (JavaScript Object Notation)是由道格拉斯·克羅克福特構想和設計的一種輕量級資料交換格式。其內容由屬性和值所組成，因此也有容易閱讀和處理的優勢。JSON是獨立於程式語言的資料格式，其不僅是 JavaScript 的子集，也採用了 C 語言家族的習慣用法。目前也有許多程式語言都能夠將其解析和字串化，其廣泛使用的程度也使其成為通用的資料格式。本計畫中當地震的相關資料被截取計算完畢後，即以 JSON 交換格式傳遞給其他使用單位。本研究所使用 JSON 格式及內容如表9所示。

表 9. 本研究使用傳遞地震預警數據的 JSON 資料格式

介面名稱	接收地震預警數據		
作業說明	設定區域型地震預測達四級以上時啟動電梯設備及社區告警通報等數據		
傳入 Header 格式			
欄位	名稱	型別	檢核條件/說明
Content-Type	內容類型	String	application/json
傳入 RequestBody 格式			
欄位	欄位名稱	型別	檢核條件/說明
tokenId	認證碼	String	授權碼，管理單位系統提供

sysId	系統代碼	String	授權碼，設備商管理系統提供
data	內容值	Object	
dataList	資料列表	ArrayObject	
site_id	區域位置	String	設定發佈位置
Lon_original	CWB 擷取經緯度	String	震央經度
Lat_original	CWB 擷取經緯度	String	震央緯度
Lon_end	指定區域經緯度	String	指定到達區域/經度
Lat_end	指定區域經緯度	String	指定到達區域/緯度
originTime	時間戳記	String	發報時間
endTime	時間戳記	String	到達時間
Value	測讀值	Double	地震規模
trigger_type	觸發類型	String	到達預報地震震度
description	說明	String	發報通知資訊
回傳 ResponseBody 資料格式			
欄位	欄位名稱	型別	檢核條件/說明
code	回傳狀態代碼	String	必填，成功回傳值為0；失敗回傳值為小於0，如-1

五、傳送指令給遠端相關被控制設備

當我們自中央氣象局網站擷取即時地震預警資料，在經過運算後如果預期到達地震震度達到閾值以上時，除了啟動瓦斯切斷器、開啟門鎖及門扇、啟動聲光警報、發布 LINE 地震信息推播及以顯示器顯示強震來襲資料外，對於住家/社區/大樓的電梯，可以透過 Internet、WiFi、藍芽等機制，傳送一個訊號(Input)到電梯的特定乾接點，即可讓電梯執行相關災防措施，包含將電梯停到下一個樓層、將電梯廂門打開、疏散乘客並廣播強震即將來襲信息，以避免電梯被強震卡在梯坑內需等待救援造成困擾，可以避免強烈地震造成的生命傷亡及財物的損失。

六、昇降設備遠端控制系統資訊安全措施

在建築物昇降設備遠端控系統中，與資訊安全相關之配套措施如下所述：

(一)、 國家發展委員會所訂各項資訊安全配套措施

為接軌國際發展趨勢推動政府數位服務轉型，國家發展委員會透過資料趨動方式，研提資訊安全相關的配套措施。本配套措施以政府數位服務指引為基礎，參考先進國家數位服務發展配套，並蒐集國內外資通訊科技發展新趨勢，及綜整我國數位發展政策、方案，作為機關發展數位服務過程中，各項配套作為之參考依據(表10)。

表 10. 國家發展委員會研提資訊安全配套措施各層面定義與範圍表

層面	定義與範圍
服務	滿足民眾需求或支援政府運作的機制與系統。內容包含臨櫃辦理、到宅服務、數位資訊服務等。
設計	設想與規劃使用者(含數位弱勢)所需數位服務的行為與活動。內容包含使用者研究、服務設計、多元管道等。
資料	機關業務運作所產生及蒐集的資料與文件。內容包含開放資料、領域資料、民眾個人化資料(My Data)、開放性檔案(ODF)等。
軟體	開發及管理政府數位服務所需軟體資源及作業程序。內容包含自由開源軟體、應用程式介面、軟體開發流程等。
平臺	發展政府數位服務所需共用平臺及服務。內容包含應用程式開發平臺、績效平臺、身分驗證服務、電子付費服務等。
基礎設施	建置及維運政府數位服務所需基礎設施。內容包含雲端資料中心、機房共構、通訊網路等。
資安	保護資訊之三大基本特性：機密性、完整性、可用性；及其延伸特性如鑑別性、可歸責性、不可否認性與可靠性。內容包含安全系統環境、資料遞送及服務測試等。
法規	規範及引導政府數位服務運作所涉及相關法規與議題。內容包含個人資料保護法及施行細則、政府資料開放作業原則、資通安全管理法及其子法等。
職能培力	培育公務人員因應政府數位轉型所需的技能，內容包含人才訓練、跨領域團隊等。
實踐社群	結合對特定知識領域感興趣的內部同仁及外部領域專家，共同工作和學習，分享和發展該領域的知識。內容包含建立公私協力機制及資訊發布管道。

資料來源：服務型智慧政府推動計畫整體規劃(106年-109年)[22]

(二)、 昇降設備遠端監控系統主要資訊安全管控範圍

建築物昇降設備遠隔監控系統，資訊安全管控主要內容在網路層級雲端運用層。本團隊建議將終端設備，即指負責在邊緣接收昇降設備控制系統輸出之信號，和進一步計算、驗證、傳輸的邊緣設備，及透過網際網路上傳到雲端的相關應用等，納入主要資訊安全安全管控範圍，如圖33所示。

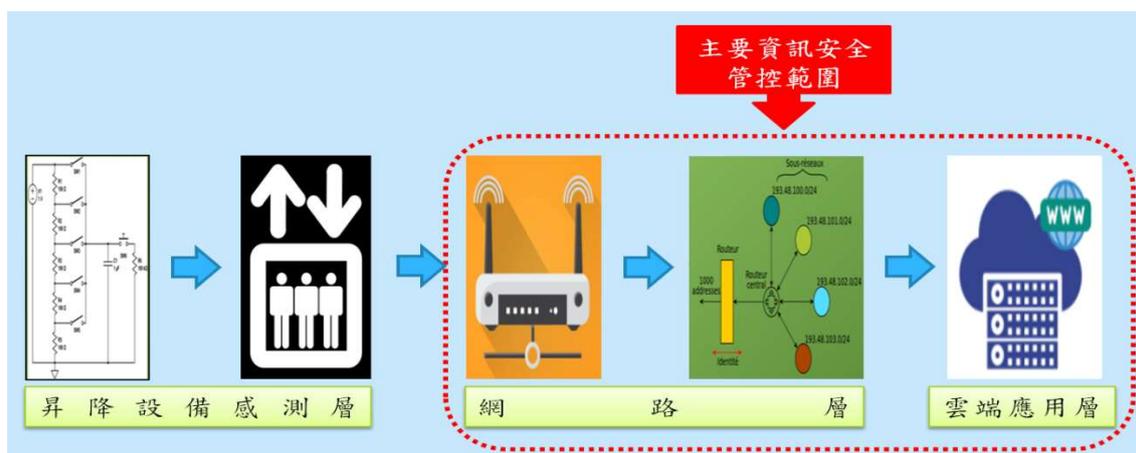


圖 33. 建築物昇降設備遠端監控系統主要架構圖

資料來源：本書自行繪製

(三)、昇降設備遠端監控系統資訊安全相關配套措施

為了確保建築物昇降設備遠隔監控系統的資訊安全，相關的配套措施包含：

A. 終端設備

- (1) 雲端伺服器的連線保證：終端設備需要確保連接到正確的雲端伺服器，常用的網路連接參數包括 IP 位置、DNS 域名、Port 通訊埠、通訊協定、加密方式、帳號、密碼等資訊必須被保護與管理。
- (2) 數據完整性：從電梯控制系統或感測器發送到終端設備的數據，必須被確認其數據的完整性，包括每筆數據的起始、結束、內容、順序、等。

B. 地對雲傳輸

- (1) 數據機密性：傳輸過程中，數據內容僅限被有權限的一方存取。若因非預期原因造成數據被截獲，也應該使該數據內容不能被讀取。
- (2) 數據完整性：確保數據在傳輸過程中不被竄改、刪除、移動。

C. 雲端儲存與系統

- (1) 身分驗證：雲端系統需要確保要求連線的客戶端是可被識別與接受的用戶，身分驗證常用帳號與密碼 (Account & Password)、憑證 (Credential) 等方式實現。

- (2) 權限管理：針對已知的用戶端，雲端系統應該設定該用戶端可以對哪些數據做哪些操作。權限管理的最佳實作是僅配發必要之最小權限給予用戶端，以減少數據管理的風險。
- (3) 數據機密性：儲存在雲端系統上的數據必須被妥善保存，並給予一定程度的保護，避免數據在雲端儲存時洩漏(如圖34所示)。
- (4) 數據可用性：雲端系統應有能力維持數據在任何時候皆可提供服務，以確保後續的系統運行不會因數據服務中斷而導致系統崩潰。
- (5) 數據完整性：確保數據在儲存過程中不被竄改、刪除、移動。

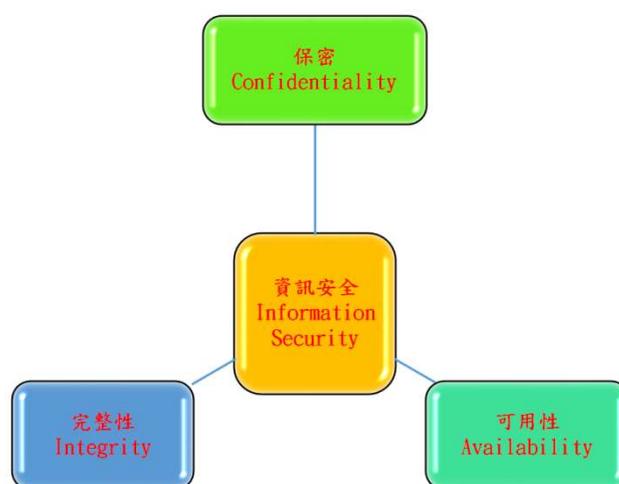


圖 34. 雲端資料儲存安全的三大要素

資料來源：The CIA Triad of Information Security [114]

第五章 研究成果

一、地震資訊系統架構

本計畫開發爬蟲軟體，在中央氣象局網路擷取地震即時預警資訊，並計算預期之地震震度及到達時間。本團隊與中央氣象局地震預報中心，有簽訂「地震資訊傳遞合作開發」計劃。在與氣象局簽訂合作開發計劃後，可以下載並安裝「中央氣象局強震即時警報」系統(圖 35)，可以馬上接收到強震即時信息，並且有權限到中央氣象局的地震即時預警網站，擷取氣象局發布之地震即時資料。在擷取到地震震央與規模後，可以計算出該地震到達所在位置的距離、剩餘到達時間及預期震度。本計畫之研究流程如圖 36 所示。



圖 35. 中央氣象局強震即時警報系統畫面

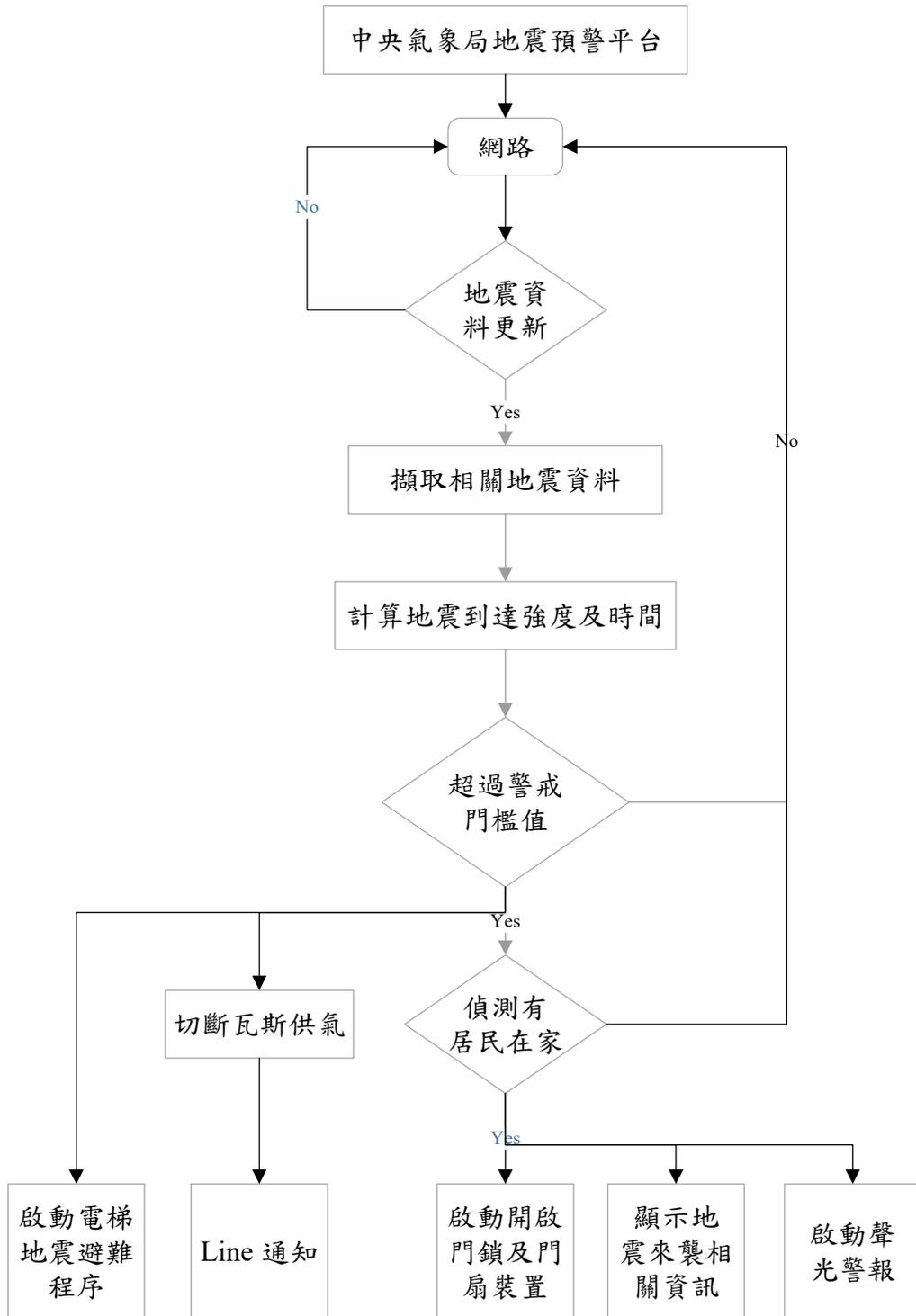


圖 36. 本計畫之研究流程圖

本研究設計之系統架構如圖 37 所示，其說明如下：

- A. 中央氣象局經由寬頻網路蒐集全國各地震測站的感測資料，匯入超級電腦計算該次地震的震央、深度及規模，公布於地震預警網站。

- B. 本計畫開發「智慧全人居家預警災防系統」，應用 Python 開發程式隨時監看(每秒讀取一次)氣象局地震預警網頁，當有新增地震預警資料時，馬上擷取相關內容。
- C. 當計算出來的預期地震震度高於預設閾值時，則啟動 D1 Mini 控制板作動。控制板會馬上啟動瓦斯切斷器關閉瓦斯的供氣、並發送 LINE 地震信息的播送。
- D. D1 Mini 控制板讀取人體感應器。當偵測出有人在屋內時，控制板會開啟門鎖及門扇，在顯示器播出預期到達地震的震度、剩餘的秒數(每秒顯示一次)，及發出聲音及閃光警示。
- E. 發送電梯地震通報到電梯/控制中心，由控制中心逕行啟動強震災害預防程序，包含把電梯停到下一樓層、開啟梯箱門並廣播強震即將來襲信息，以疏散乘客及確保乘客的生命及財物的安全。

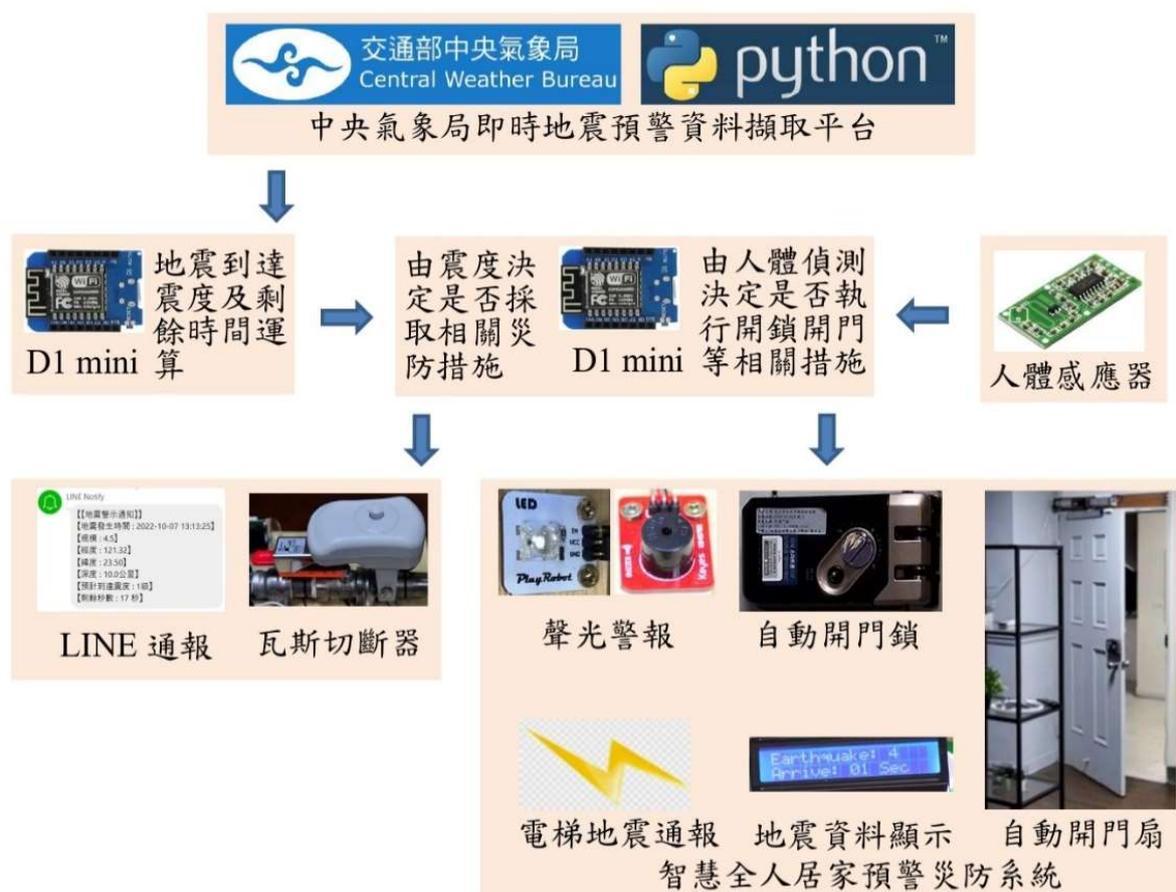


圖 37. 本計畫之系統架構圖

二、硬體雛型開發

本研究團隊開發出「智慧全人居家預警災防系統」之雛形，如圖 38 所示。

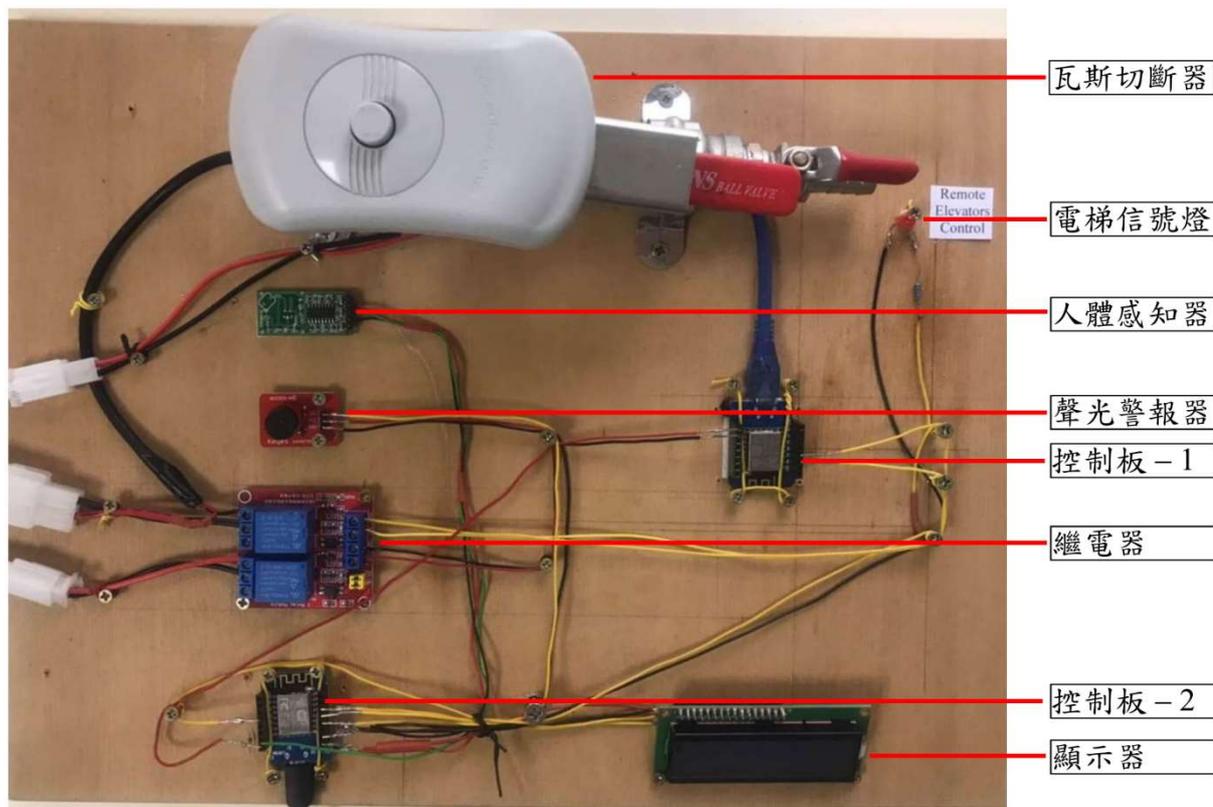


圖 38. 「智慧全人居家預警災防系統」之硬體雛形

三、地震預警數據發布

本研究開發應用程式，即時監讀中央氣象局地震速報中心發出的地震預警檔案，該資料檔(XML 格式)被放在接收檔案儲存區 (C:\CWBEQ\XML)。其運作程序如下所示：

- (1) 當地震發生時，中央氣象局地震速報系統會將地震預警資料傳送到儲存區。
- (2) 本計畫開發監看軟體，每秒檢核是否有新增的地震預警資料。
- (3) 當有地震發生，全國各地測站傳回地震偵測資料。當有五個以上測站的資料傳回中央氣象局的超級電腦，便依據傳回數據計算該次地震的震央、深度及規模等預警資料，並將預警資料傳送到接收檔案儲存區。
- (4) 為了方便解釋，我們以編號為111153的地震來說明。本系統發現有新的地震預警資料出現，在中央氣象局地震速報信息的顯示畫面，出現第111153號地

震的相關信息，如圖39所示。在 C:\CWB\EQ\XML 目錄中，出現了新的地震通報資料檔 CWB-EEW111028501.xml，如圖40所示。該檔案的相關屬性如圖41所示，該檔案的內容如圖42所示。

(5) 中央氣象局地震測報中心，針對111153號地震的相關公告內容，如圖43—圖47所示。

(6) 本研究針對第111153號地震產生的 LINE 地震警示通知截圖如圖48所示。

從圖42中發現，該次地震(153號)發生於2022-10-10T04:43:29，中央氣象局對該次地震發布預警資料的時間為2022-10-10T04:43:45，顯示中央氣象局在16秒鐘內完成地震資料的蒐集、計算及預警發布。



圖 39. 中央氣象局地震速報信息的顯示畫面 (地震編號第111153號)

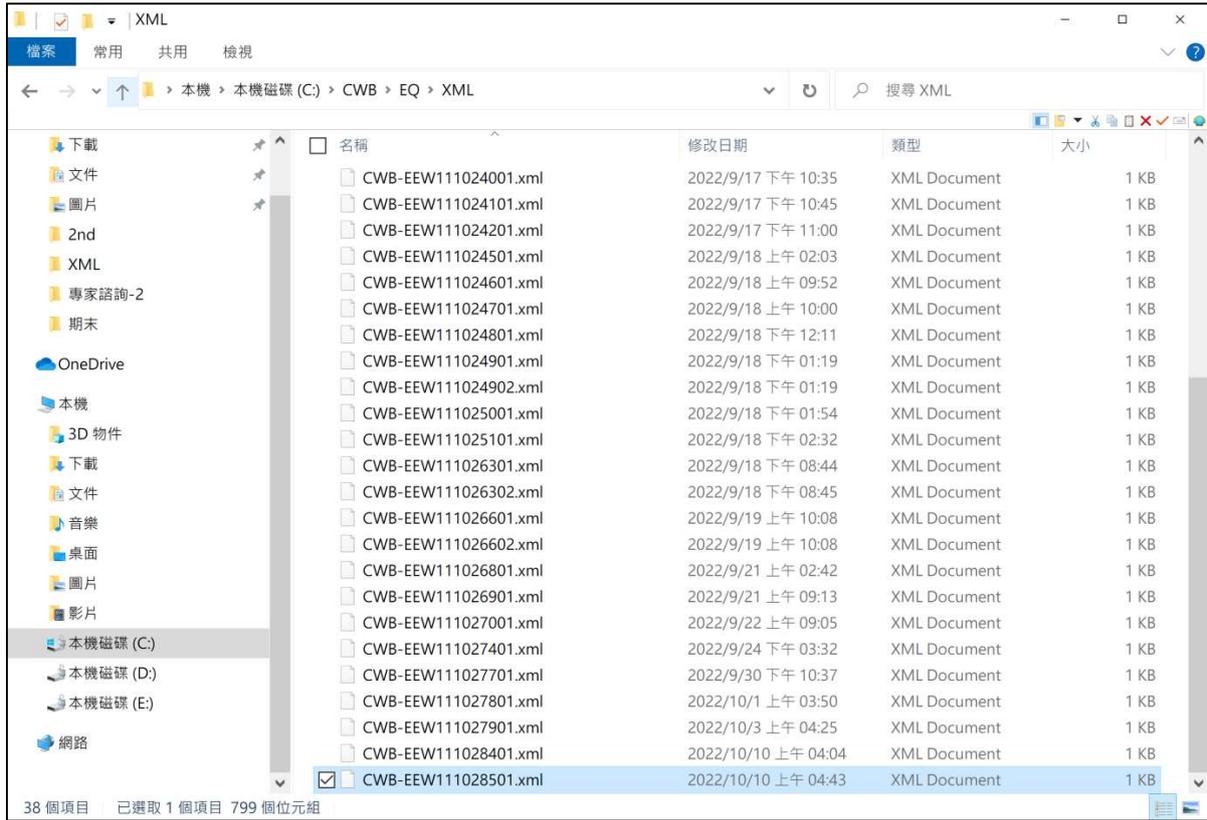


圖 40. 新的資料出現在地震即時預警區(CWB-EEW111028501.xml)



圖 41. CWB-EEW111028501.xml 檔案的相關屬性資訊

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <earthquake>
  <identifier>CWB-EEW111028501</identifier>
  <schemaVer>TW-CWB-XML-EEW:1.0</schemaVer>
  <language>zh-TW</language>
  <event>地震警報</event>
  <senderName>中華民國交通部中央氣象局</senderName>
  <sent>2022-10-10T04:43:45+08:00</sent>
  <status>Actual</status>
  <msgType>Alert</msgType>
  <msgNo>1</msgNo>
  <description>WAN</description>
  <originTime>2022-10-10T04:43:29+08:00</originTime>
  - <epicenter>
    <epicenterLon unit="deg">121.76</epicenterLon>
    <epicenterLat unit="deg">24.37</epicenterLat>
  </epicenter>
  <depth unit="km">10.0</depth>
  - <magnitude>
    <magnitudeType>236_5685_3</magnitudeType>
    <magnitudeValue>4.5</magnitudeValue>
  </magnitude>
  <pgaAdj>1.0</pgaAdj>
</earthquake>

```

圖 42. CWB-EEW111028501.xml 的檔案內容

地震資訊
搜尋結果：2022年10月

[首頁](#) / [地震資訊](#) / [地震活動彙整](#) / [地震資訊](#)
➤

第153號 10月10日4時43分 規模 4.3 宜蘭縣政府南方 43.9 公里 (位於宜蘭縣近海)



第153號

發震時間：111年10月10日 4時43分28秒

震央位置：北緯 24.34° 東經 121.8°

地震深度：18.9 公里

芮氏規模：4.3

圖 43. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的地震資訊



圖 44. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的圖面地震報告

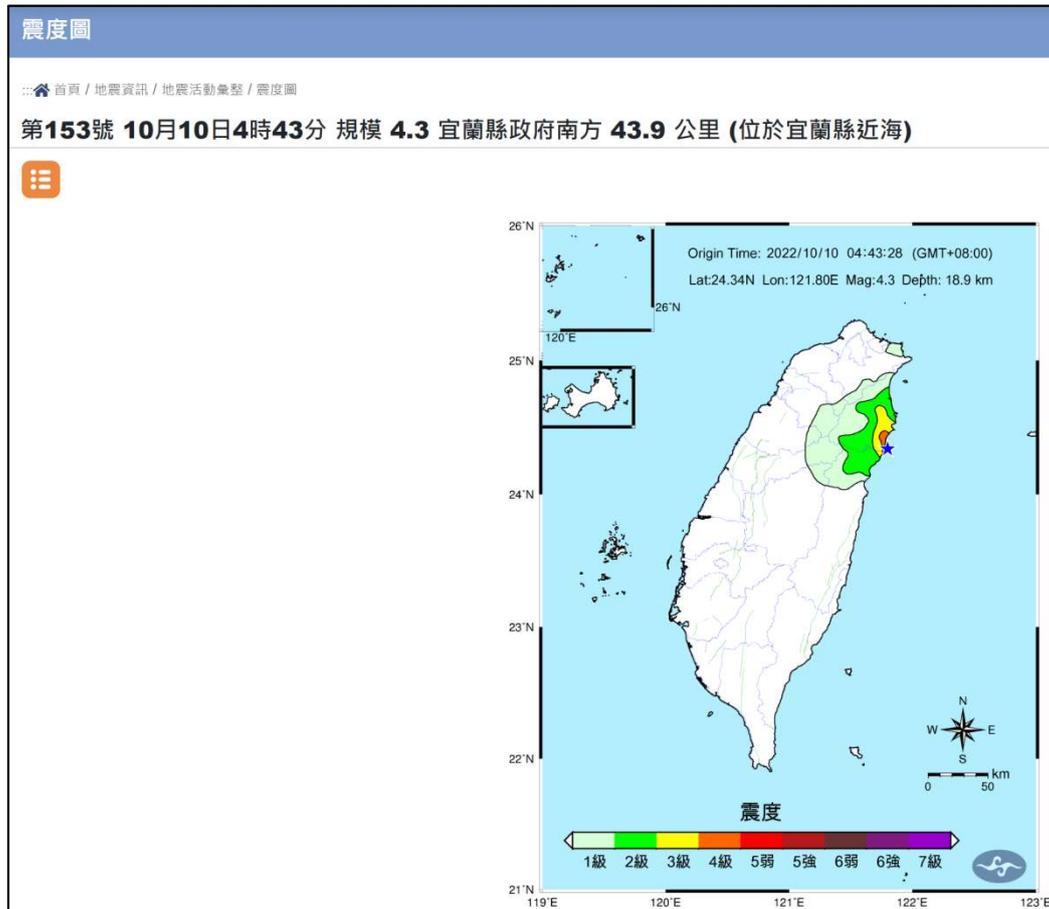


圖 45. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的震度圖

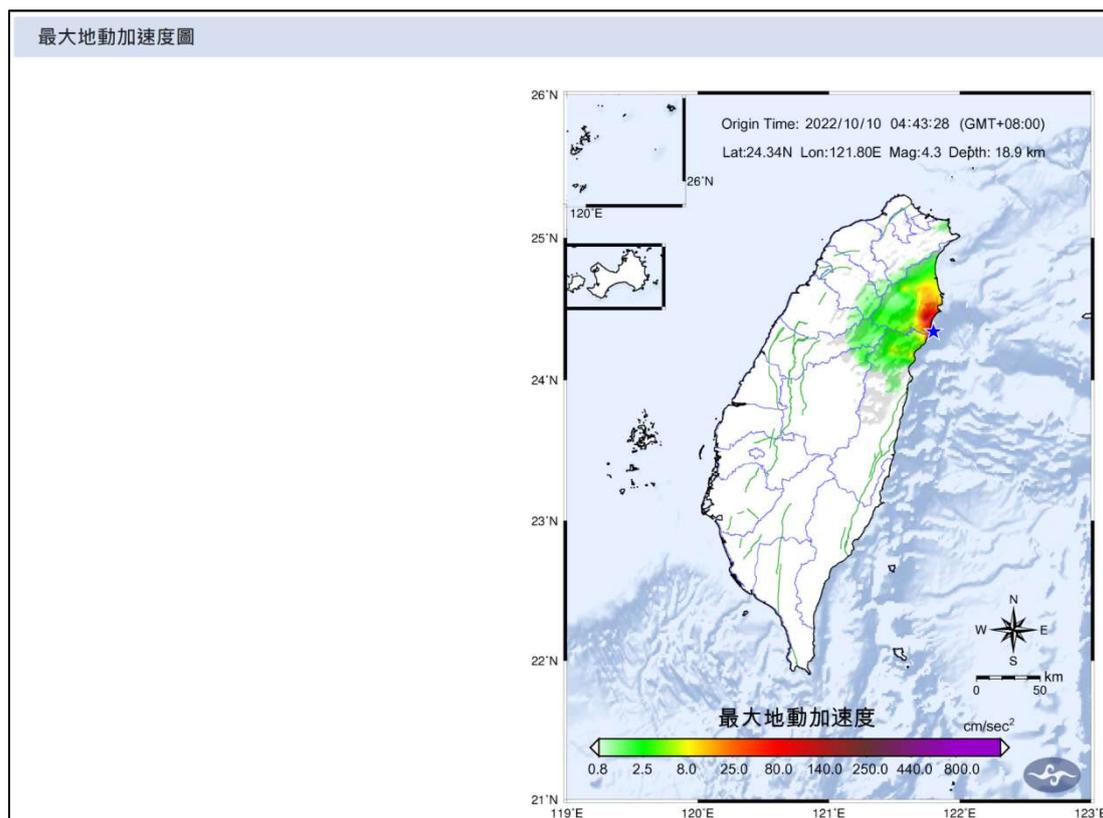


圖 46. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的最大地動加速圖

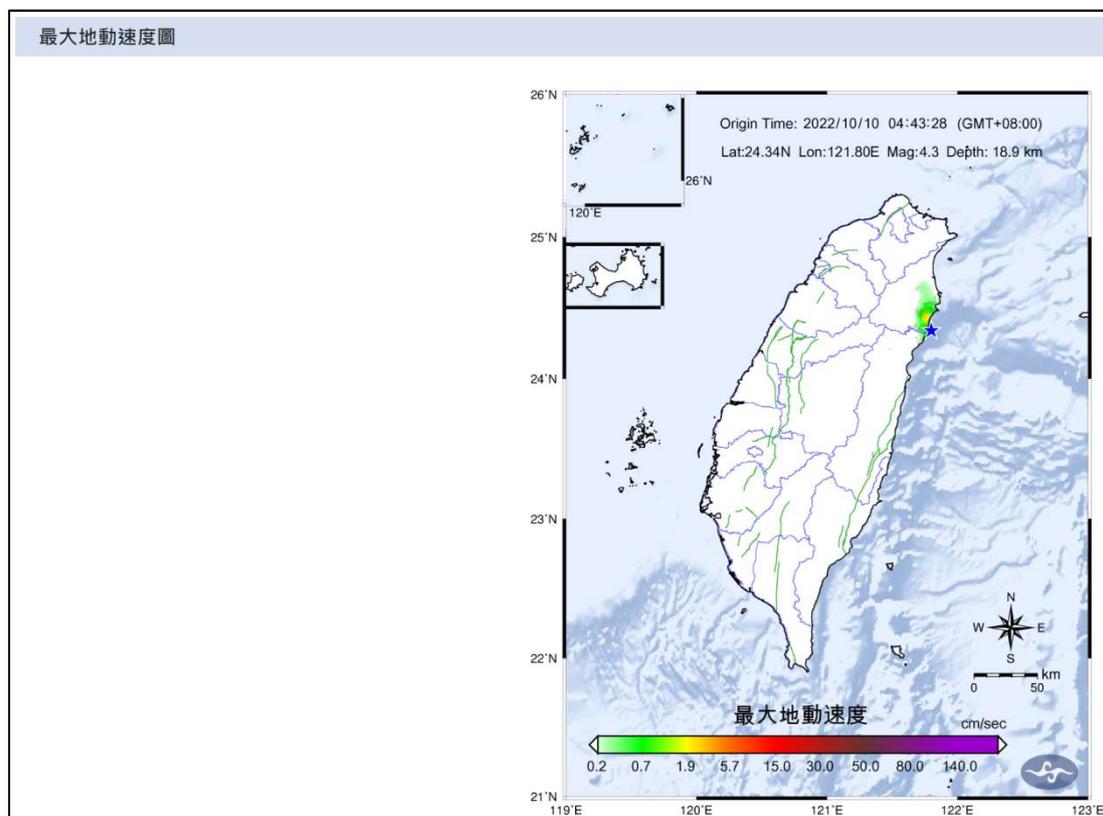


圖 47. 中央氣象局地震測報中心發布的第111153號地震的最大地動速度圖

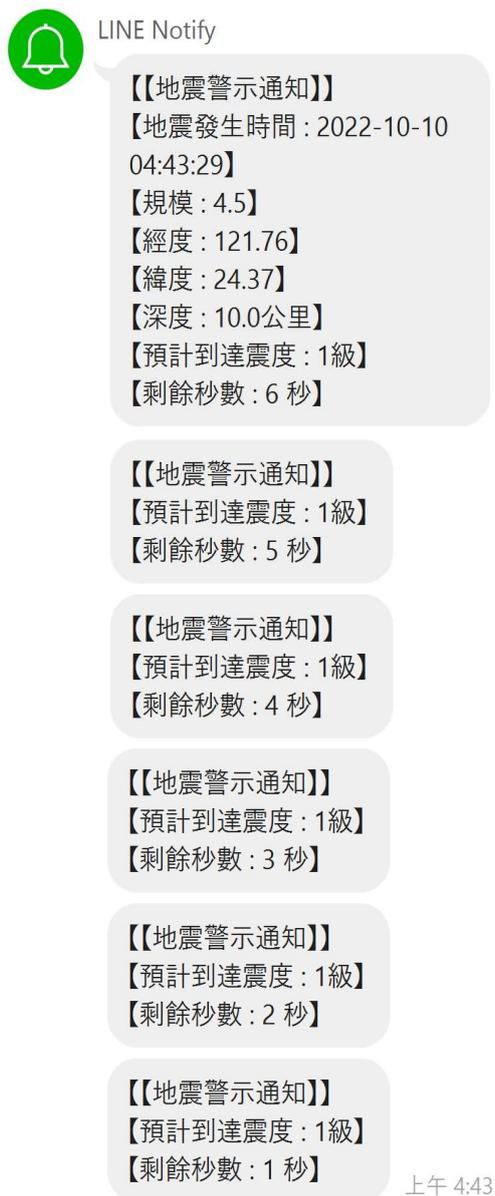


圖 48. 第111153號地震發布的 LINE 地震警示通知截圖

四、地震預警數據擷取及相關計算

本研究開發的軟體，可以自氣象局地震速報中心發布的 XML 檔案，擷取地震的發生時間、震央、深度及規模。本系統馬上計算本所在地與震央的距離，預期到達地震震度及地震到達剩餘秒數。

由於中央氣象局針對每次地震的發生，都會在氣象局網頁上發布。就以預報時間為2022-05-19 07:52:47.0，於臺灣東部海域發生規模5.5有感地震，最大震度宜蘭縣南澳、臺東縣長濱、南投縣國姓、花蓮縣西寶、南投縣南投市、臺中市霧峰、新竹縣竹東、

彰化縣彰化市等都為1級。圖49為中央氣象局發布該次地震的地震報告，其中到達新竹地區震度為一級。圖50所示為本團隊依據「附錄八、鄉鎮市區場址效應表」中，擷取出新竹市香山區的座標為東經120.912，北緯24.770，經程式計算結果驗證吻合中央氣象局之區域地震震度。相關之驗證計算資料如「附錄九：區域地震震度計算驗證」所示。



圖 49. 中央氣象局官網公告知地震到達新竹地區預期震度圖

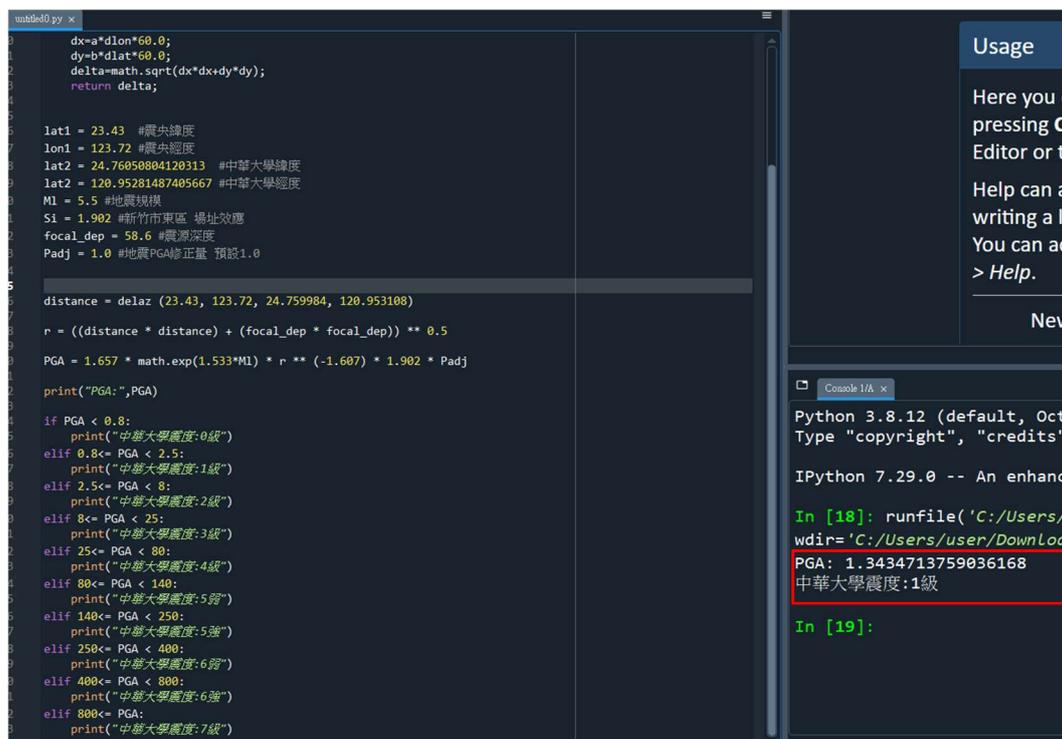


圖 50. 本計畫團隊計算傳遞到新竹中華大學預期震度圖

五、地震預警系統執行之模擬

(一)、地震預警資料之擷取及計算

為了擷取及計算中央氣象局的相關地震預警資料，本團隊開發了「智慧全人居家預警災防系統」雛形，該系統網址為：<http://192.192.82.139/earthquake/menu.jsp>，系統畫面(圖51)包含地震擷取震央位置的 MAP 位置、擷取 CWB 地震即時地震速報中心資料及中央氣象局地震發報通知資訊。



圖 51. 「智慧全人居家預警災防系統」系統雛形網站畫面

本研究將使用2022-10-10發生的第111185號地震來說明。在圖52中，地震發生時間為11:37:32.0，氣象局地震預警中心訊息發送時間為11:37:48.0(蒐集資料及計算地震預警資料時間16秒)，發送到使用者電腦為11:37:51(地震速報系統發送到使用者時間3秒)，本系統擷取時間為11:37:53(系統開啟檔案及計算相關資料使用了2秒)。

地震發生時間:2022-10-10 11:37:32.0	規模:4.8	訊息發送時間:2022-10-10 11:37:48.0	即時擷取時間:2022-10-10 11:37:53.0
地震發生時間:2022-10-10 04:43:29.0	規模:4.5	訊息發送時間:2022-10-10 04:43:45.0	即時擷取時間:2022-10-10 04:43:50.0
地震發生時間:2022-10-10 04:03:41.0	規模:4.5	訊息發送時間:2022-10-10 04:04:05.0	即時擷取時間:2022-10-10 04:04:14.0
地震發生時間:2022-10-08 21:58:28.0	規模:4.5	訊息發送時間:2022-10-08 21:58:56.0	即時擷取時間:2022-10-08 21:59:01.0
地震發生時間:2022-10-07 22:06:56.0	規模:4.6	訊息發送時間:2022-10-07 22:07:10.0	即時擷取時間:2022-10-07 22:07:14.0

圖 52. 本系統網站地震資料擷取之各時間點畫面

使用同一筆地震資料，本系統讀取中央氣象局地震測報中心發布的信息，它的公

布時間為11:41:33，共使用了04:02(圖53)。這是因為氣象局需彙整完所有測站傳回來的資料，執行更精密的計算後才發布地震的信息，所以時間會需要稍微久一些。

2022-10-10 11:37:31.0 臺東縣近海發生規模4.4有感地震，最大震度臺東縣東河4級。系統新增時間:2022-10-10 11:41:33.0
2022-10-10 10:40:54.0 宜蘭縣近海發生規模3.5有感地震，最大震度宜蘭縣南澳3級。系統新增時間:2022-10-10 10:44:33.0
2022-10-10 06:17:52.0 臺東縣海端鄉發生規模3.9有感地震，最大震度臺東縣池上、花蓮縣富里2級。系統新增時間:2022-10-10 06:21:04.0
2022-10-10 05:29:30.0 花蓮縣近海發生規模4.2有感地震，最大震度臺東縣長濱、花蓮縣光復2級。系統新增時間:2022-10-10 05:34:13.0
2022-10-10 04:43:28.0 宜蘭縣近海發生規模4.3有感地震，最大震度花蓮縣和平、宜蘭縣南澳4級。系統新增時間:2022-10-10 04:47:33.0

圖 53. 本系統網站自氣象局讀取地震資料之各時間點畫面

(二)、相關地震災防措施之執行

當系統自中央氣象局地震預警網站擷取地震預警資料，經計算後預期到達地震震度會超過閾值時，系統馬上啟動瓦斯切斷器關閉瓦斯之供氣，如圖54所示。當系統的人體感應器偵測到有人在屋內時，系統馬上啟動開啟門鎖(圖55)及開啟門扇(圖56)功能，聲光警報系統馬上發出閃光及高分貝聲響，以提醒居民準備採取就地避難或逃生措施，電子顯示器會顯示預期到達地震之強度及剩餘秒數(圖57)，Line 也會發布強震即將來襲之震度，及逐秒發布剩餘地震到達秒數之警示通知，其連續畫面如圖58所示。系統也將計算出來的強震預警資料，以 JSON 格式傳遞到有關連的機構，其傳遞範例內容請參閱「附錄十、JSON 格式傳遞強震信息範例」。



圖 54. 瓦斯切斷器關閉瓦斯之供氣圖



圖 55. 系統啟動開啟門鎖功能



圖 56. 系統啟動開啟門扇功能



圖 57. 電子顯示器顯示預期到達地震震度及剩餘秒數

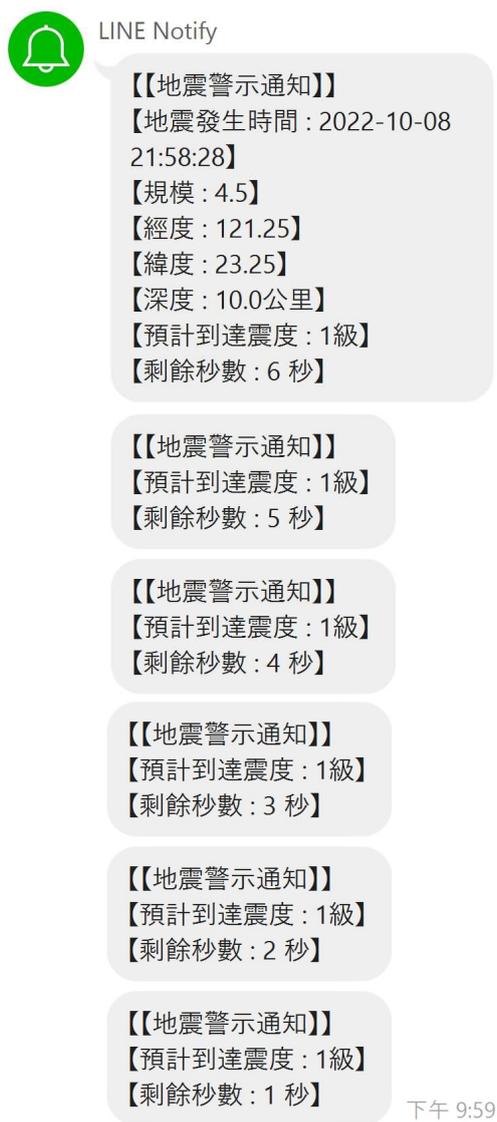


圖 58. Line 逐秒發布強震即將來襲之警示通知畫面

六、 相關議題探討

本團隊於研究期間收到建研所轉111年8月10日營建署提供納辦之「建築物昇降設備強震即時警報系統整合與應用措施及推動策略之研究」研究課題，為使各界更瞭解該課題之探討重點內容，因此本研究盧列以下議題進行探討：

1. 電梯與強震即時警報系統整合應用的可行性討論

在本成果報告中第五章第五節的「(二)、相關地震防災措施之執行」中，本研究系統當擷取到中央氣象局地震預警網站地震預警資料後，系統將計算出強震預警資料，以JSON格式傳遞到相關控制中心，進行相關設備之應變。因此強震即時警報系統可傳送訊號至電梯控制中心乾接點，針對地震規模，可讓電梯執行地震災害防制措施，如將電梯停到下一個樓層、打開電梯廂門及廣播強震，或立即停止運作，原則上具有可行性。

2. 國內電梯與強震即時警報系統整合應用的需求情形

由於電梯在國內建築物中屬垂直運輸系統功能，在人口密集高的都會區是不可缺少的設施，加上台灣地處西太平洋地震帶上，每年會發生2萬次有感/無感地震，其中規模6.0以上平均每年3次；如能在地震發生當下透過中央氣象局發布預警資料，經由強震即時預警系統計算，採用網路科技即時通知，可為各場域提供更快速的預警，進而採取必要之防震措施。在這短短幾秒的應變時間內若能有效把電梯自高速運轉的每小時60公里速度，降到每小時10-20公里，甚至停俾且開啟梯箱門，就能彰顯其效益。

3. 盤點國內電梯與地震感知器的產業技術現況

國內電梯業者於電梯內設置地震感知器，主要原理為P波傳送速度較快、S波到達時間較慢，透過感知器接收P波後，可推測S波的震度，必要時馬上進行剎車、就近樓層停靠、打開車廂門及警告乘客趕快出車廂避難等防災措施。目前國內電梯業者有使用地震感知裝置的電梯廠商如下：

- A. 台灣三菱電梯「地震管制運轉裝置」。
- B. 國霖電梯的「電梯地震感知器與自動停止裝置」。

- C. 櫻花電梯的「P+S 地震感知器」。
- D. 日谷機電有限公司的「地震感知器」。
- E. 台灣昭和股份有限公司進口的「地震檢知裝置」。

這些感知裝置的優點為每部電梯皆可進行獨立感知，在偵測到 P 波到達後，依 P 波的強度計算 S 波的可能震度，以採取必要之防災措施。因主要裝設在電梯上，因此每部電梯都需裝設感知器，其成本都需新台幣3萬元起跳，加上安裝、測試及保養費用，使每部電梯維護成本費用較高。

4. 國內電梯地震感知器與強震即時警報系統整合應用的比較、推廣障礙及推動策略

國內電梯地震感知器與強震即時警報系統整合應用相關比較如下：

- (1) 對於離震央比較近的地區，強震即時警報系統反應時間與電梯中安裝感知器反應時間相差不到數秒，因此發揮效益有限。

電梯地震感知器係直接偵測地震 P 波後計算地震大小直接進行預警動作；強震即時警報是針對各測站偵測到地震後，進行複合計算得到地震大小及震央等資訊，發送訊息至各控制中心進行電梯預警動作，因此原則電梯位置距震央越遠時，可爭取更多應變時間，由於台灣本身面積不大，各地距離震央都不會太遠，因此強震即時警報較電梯地震感知器可爭取時間，依距離遠近可爭取1-8秒時間(以震央在花蓮，最遠傳至台北為例)，惟越靠近震央可爭取的應變時間會越短，使效果有限。

由於國內電梯地震感知器及強震即時警報系統等產品的供應及技術皆有相當水準，亦可進行實地設置，因此建議相關權責單位可召開會議邀集業界進行研商，透過討論機制，並參考日本現行電梯的規定(建築基準法第129條第10款，昇降機安全裝置為能在地震或其他衝擊下，感知加速度達到國土交通大臣所認定標準後，自動將機廂停至昇降機道入口門的位置，打開機廂門及昇降機道入口門，且能讓機廂裡的人從內部開門之裝置)，分階段擬定可行之推動策略及期程，修正相關規定，以減少人員受困於電梯機率。

- (2) 國內電梯地震感知器直接接收地震波引發電梯預警動作，強震即時警報系統係依靠網路傳輸訊號，快速，但較有訊號延遲、斷訊及資安等顧慮。

國內電梯地震感知器係直接接收地震波引發電梯預警動作，因此較無收訊問題，而強震即時警報系統係依靠網路傳輸，須注意有斷訊及延訊的誤差產生；又因使用網路傳輸，駭客入侵竊取資料甚至控制相關設備之資安問題亦需重視，因此建議相關權責單位可召開相關會議，研議討論防範方式。

- (3) 廠商自行研發電梯地震感知器之控制系統與資訊傳輸通訊標準亦屬寡占系統，因此需整合通訊協議。

電梯廠商研發電梯地震感知器時，皆係依自家產品搭配最適之控制系統與通訊協定，為各廠商專利，因此如需接收外部訊號進行電梯預警動作，仍待整合通訊協議，因此建議相關權責單位邀集廠商召開協調會議，分階段要求廠商配合需有符合規定的通訊協定，進而達成電梯預警措施，防止民眾受困。

第六章 結論與建議

一、 結論

地震是地球上主要的自然災害之一，一般居民無法在地震來襲之前，採取有效的防護措施。本研究針對「居家」開發「智慧全人居家預警防災系統」，截取中央氣象局地震速報中心的地震預警資料（地震的震央、規模及深度）後，再運用系統計算預期到達之震度及剩餘時間等資訊後，在地震到達前立即提前發送預警信息，以便在極短的應變時間內，進行瓦斯關閉供氣、開啟門鎖及門扇、啟動聲光警報及電子看板顯示即時地震資料等有效的災害防護措施，減低強震可能帶來的人員傷亡及財物的損失。其主要內容及獲致結論如下：

- (一)、 開發之監看軟體可隨時監測中央氣象局地震測報中心之即時地震預警資料，當地震預警資料更新時，立即擷取地震規模、震央及深度等資訊，計算到達所在場址之預期震度及剩餘時間，並可同步以 LINE 推播前述地震信息。
- (二)、 計算判別該次地震可能造成災害時，立即啟動瓦斯切斷器關閉供氣；當人體感應器判別有居民在家時，即開啟門鎖及門扇、啟動聲光地震警報，並以電子看板顯示即時地震資料(包含預期震度及倒數到達秒數)，讓居民採取適當防護措施以降低人員及財物損失。

二、 建議

本研究綜合上述研究過程，彙整專家意見及研究成果，提出下列具體建議事項：

➤ 建議一

進行智慧全人居家預警防災系統雛型之推廣，以增加居家安全：立即可行建議。

主辦單位：財團法人台灣建築中心

協辦單位：內政部建築研究所

本研究之「智慧全人居家預警防災系統」屬區域型的預警系統，透過截取中央氣象局地震速報中心的地震預警資料，於雲端計算快速得知地震規模、位置、到達時間，

在地震到達前發送預警信息，以便在極短的應變時間內，進行瓦斯關閉供氣、開啟門鎖及門扇、啟動聲光警報、line 推播及電子看板顯示即時地震資料等有效的災害防護措施，減低強震造成的人員傷亡及財物損失，讓使用者有更多的時間因應，提高居住安全，建議可針對本系統進行推廣，使居家安全更能防患未然。

➤ **建議二**

電梯設備導入地震預警系統之元件技術雖漸進成熟，現階段推動執行方式仍需審慎評估：中長期建議

主辦單位：內政部營建署

國內「地震感知器」及「強震即時警報系統」等地震預警系統相關產品的供應及技術，已有相當水準，若該裝置設置於電梯使用，在技術上尚屬可行。

惟囿限於強震即時警報系統之所爭取1至8秒的時間效益，須考量整體建置成本、物聯網整合規格、訊息傳遞之通訊協定、安全性(防駭入侵管控)、網路訊號穩定性等因素，以及發送警報訊息中心遭入侵，可能造成全國數十萬臺電梯發生非預期的被控制狀況，亦可能同時產生電梯專業技術人員能量是否能負荷大量復歸作業情形。是以，宜由各相關權責單位邀集各界研商相關技術規格，凝聚統合執行細節；並參酌國外推動最新技術發展現況，完成整體配套措施後，再予考量推動時機及項目。

附錄一、第一次專家訪談會議記錄

內政部建築研究所

「智慧全人居家預警災防系統之研究」

委託研究計畫案

第一次專家訪談會議紀錄

專家訪談時間：111年5月3至5月17日分梯次進行

地點：由於疫情影響關係，本專家訪談採通訊軟體訪談方式進行。

訪談對象：

- 一、柯孝勳 顧問(國家災害防救中心組長)
- 二、廖哲緯顧問(中央氣象局地震測報中心 Seismological Center 課長)
- 三、陳文彬顧問(台灣無線城網路科技股份有限公司)
- 四、張其中顧問(其禾實業有限公司總監)

訪談議題：

中華大學團隊承接內政部建築研究所「智慧全人居家預警災防系統之研究」，其中較重要者，希望利用地震時 P 波與 S 波傳遞之時間差，或偵測到震源地震與傳遞到場址 S 波之時間差，提前啟動預警機制，使電梯得以先停至最近樓層並開門廣播，使人員得以離開電梯，甚至打開瓦斯遮斷閥、逃生門、及相關設備，以利人員安全避難逃生。

(一)、柯孝勳顧問(國家災害防救中心組長)

(1). 國震中心如何取得資料及發送資料?

➤ 回答

國震中心有佈設現地強震儀，中央氣象局將即時地震資訊轉發到國震中心系統，大致 1 至 2 秒會發送給電信業者，電信業者再傳送警訊給用戶手機。

氣象局經過測站(約 170 多處測站是即時的)截取資訊必須經過計算，確定地震資訊才發送出來給國震中心(時間全程歷經十幾秒)。

(2). 針對地震數據有基礎研究如震波 P 波截取單位是?

➤ 回答

可找國震中心地林哲民博士或林沛暘博士，他們曾經做過前置震波基礎數據及地球科學研究。

台大地質系吳逸民老師也進行過一個配合科技部的研究計畫，全台灣各地學校(因為學校有電有網路)安裝 670 多個機電式測站，已發展出 P Alarm 設備感測資訊，專門截取 P 波訊號，平台已可公開給對外應用。吳老師也有開發一個感測警報應用平台，使用者也可以利用取得數據自行開發應用程式。

(二)、廖哲緯顧問(中央氣象局地震測報中心課長)

(1). 我國中央氣象局地震數據發布的數據，本團隊自氣象局地震資料開放平台(<https://opendata.cwb.gov.tw/userLogin>)擷取相關地震資料。我們透過氣象局提供的 API (A0015及 A0016)，每一秒鐘擷取地震資料一次。另某些擷取到的地震資料中，其地震發生時間與氣象局 API 取得地震資訊時間有近兩分鐘之落差，請問這種現象正常嗎？

➤ 回答

地震報告中的時間為地震發生時間，中央氣象局處理地震資訊的流程為：地震發生>地震波由震源傳出>地震站儀器偵測到>中央氣象局地震速報系統自動計算>若判斷為可能致災之強震則自動發布地震預警資訊(地震發生後 10-15 秒)>人工檢視各測站觀測資料>發布地震報告(地震發生後 3-8 分鐘)。您所看到接收資訊時間為發布地震報告之時間，因其中包含震波傳遞、系統處理及人工檢視時間，故存在落差。

(2). 請問在計算場址地震震度及到達時間時，對於不同地質結構，如何修正其震波傳遞時間及到達場址之地震震度？

➤ 回答

地震儀所接收到的地震波形訊號，包含震源型態、路徑效應、場址效應及儀器響應，以目前地震速報系統來說，震源都是以點震源作為預設，路徑則是有 3 維速度模型來估算傳遞過程的變化，不同測站位置則有不同的場址放大參數，中央氣象局及學界針對路徑與場址已有相當多年的研究，目前在預估與觀測的落差已相當小。

- (3). 請問貴局針對上述地震測報相關數據，目前是以甚麼方式傳遞相關地震測報資料到哪些單位？另目前有哪些民間機構有配合 貴局開發相關 App，將相關地震測報資料傳遞給大眾使用？

➤ 回答

目前中央氣象局地震資訊傳遞的管道很多元，除了保留傳統的傳真、文字簡訊、電話、電視跑馬燈及網頁資訊外，也新增 PWS 災防告警細胞廣播訊息、臉書社群、行動裝置 App、開放資料平台及許多與民間單位合作開發之地震資訊應用服務(不僅有 App，還有警報裝置、自動控制、智慧防災住宅、複合型地震預警服務.....)。傳遞對象有防救災單位、軍方、全國高中職國中小、交通運輸管理單位、電力管理單位.....等。

- (4). 請問氣象局目前對建築用昇降設備(電梯)之地震災害防制，有甚麼相關研發成果可供分享？對中華大學已取得之專利有甚麼應用上之提議與相關注意事項之建議？

➤ 回答

過去與中央氣象局合作之民間單位投入昇降設備與地震防災應用研發，很遺憾市場對於這部分接受度還不足，公司難以從市場獲利生存。貴團隊未來在發展上可以多與產業合作，一步步拓展市場。

(三)、陳文彬顧問(台灣無線城網路科技股份有限公司)

- (1). 請問在智慧建築中，智慧門鎖及電動門弓器是如何作動的？

➤ 回答

智慧門鎖是一種通過密碼/卡片/指紋/人臉辨識/鑰匙/手機 APP(藍牙/NFC/WIFI 等 IOT 無線通訊技術)輸入來控制電路或是晶片工作(存取控制系統)，從而控制機械開關的閉合，完成開鎖、閉鎖任務的智慧產品。

智慧門鎖的種類很多，有簡易的電路產品，也有基於晶片的性價比較高的產品。現在應用較廣的智慧門鎖是以晶片為核心，通過程式設計來實現的。

智慧門鎖作動原理，它也是以單片機為核心，配以相應硬體電路，完成密碼/卡片/指紋/IOT 無線通訊技術的設置、存貯、識別和顯示、驅動電磁執行器並檢測其驅動電流值、接收感測器送來的報警信號、發送資料等功能。

單片機接收鍵入的代碼，並與存貯在 EEPROM 中的密碼/指紋/卡片數據進行比較，如果正確，則驅動電磁執行器開鎖；如果不正確，則允許操作人員重新輸入，一般最多可輸入三次；如果三次都不正確，則單片機通過通信線路向智慧監控器報警。單片機將每次開鎖操作和此時電磁執行器的驅動電流值作為狀態資訊發送給智慧監控器，同時將接收來自感測器介面的報警資訊也發送給智慧監控器，作為智慧化分析的依據。

智慧門鎖按照輸入密碼方式可以分為以下幾類：

- A. 按鍵式智慧鎖：採用鍵盤(或組合按鈕)輸入開鎖密碼，操作方便。內部控制電路常採用智慧鎖專用積體電路 ASIC。
- B. 撥盤式智慧鎖：採用機械撥盤開關輸入開鎖密碼。許多按鍵式智慧鎖可以改造成撥盤式智慧鎖。
- C. 智慧鑰匙式智慧鎖：使用智慧鑰匙輸入(或作為)開鎖密碼。智慧鑰匙是構成控制電路的重要組成部分。智慧鑰匙可以由元器件或由元器件構成的單元電路組成，做成小型手持單元形式。智慧鑰匙和主控電路的聯繫可以是聲、光、電磁等多種形式。
- D. 觸摸式智慧鎖：採用觸摸方法輸入開鎖密碼，操作簡單。相對於按鍵開關，觸摸開關使用壽命長，造價低，因此優化了智慧鎖控

制電路。

- E. 生物特徵式智慧鎖：將聲音、指紋等人體生物特徵作為密碼輸入，由電腦進行模式識別控制開鎖，智慧化相當高。

門弓器就是能讓門自己打開或關上的一種機械機構，在開門之後它會利用油壓自動將門帶上。它可以確保人離開之後會自動且安全地將門關上，但大部分的人在出入公共大樓、建築物時，通常不會注意到門弓器就安裝在門上方。它最常被安裝的地方不外乎入口、出口大門、防火門、廚房及洗手間的門。在日常生活中，門弓器除了為人們增加安全性，還可以避免蚊蟲進入室內，更可以控制室內溫度，以免在門被忘記關上時冷氣或暖氣外流。在先進國家中，無論是居家生活或是公共場所的門幾乎都會裝上門弓器，於門弓器建材五金中已經是不可或缺的一種安全配備。

現在隨著人們生活水準的提高，人們越來越追求科技技術的力量，各種全新的科技技術今日人們的生活，例如電動門工作，電動門弓器成為現代化的消費成為人們的夢想，現在越來越多的商場、學校、住宅、辦公樓的無障礙空間設計都在使用電動門弓器。今天將給大家介紹一下基於使用電動門弓器自動門基本的工作原理。

電動門弓器作動三大作動單元如下：

- A. 主控制器是整個電動門弓器的指揮中心，是電動門弓器的核心部件，它通過指令程式發出相應的指令來指揮動力馬達的工作，並且用戶可以通過主控制器來調節門扇的開啟或關門。
- B. 訊號接收器或感應測探器，主要是負責接收外部信號，只要接收到開門的訊號它就會主動給主控制器一個信號。
- C. 動力馬達是提供開關門的主要動力，控制電動門弓器的開關門運行。

- (2). 請問智慧門鎖可以自室內以手勢揮動啟動開鎖/關鎖嗎？在室內合適以語音辨識方式控制嗎？智慧門鎖可以自室內以手勢揮動啟動開鎖/關鎖嗎？

➤ 回答

是可以的!可以從智慧門鎖開鎖方式中的 IOT 無線通信方式的開鎖功能裡加入 IOT 無線手勢感應器的單元，作動原理是藉由無線手勢感應器接收到手勢開門訊號後，由手勢無線感應器裡的 IOT 無線模組發出訊號給智慧門鎖上的 IOT 無線開鎖接收模組，再由智慧門鎖內的 IOT 無線通訊模組發出開鎖訊號給智慧門鎖內的控制單元打開或關閉門鎖。

(3). 在室內合適以語音辨識方式控制嗎？

➤ 回答

大部分的場所我們不建議使用語音辨識方式開鎖！使用智慧門鎖的場景一般大多是住家或需要安全性較高的場所，通常較不適合使用語音開鎖主要是語音辨識始終存在誤辨識的風險，有機率在無意識的語音交談中誤辨識而將門鎖打開，造成安全隱憂！

(4). 請問電動門弓器可以手勢揮動/語音辨識啟動開啟/關閉嗎？電動門弓器可以以手勢揮動/語音辨識啟動開啟/關閉嗎？

➤ 回答

是可以的!可利用無線 IOT 通訊模組連結方式來實現！其實步驟如下說明：先將 IOT 無線通訊模組接入手勢辨識設備及語音辨識設備的訊號輸出口，讓手勢或語音辨識設備在接收到用戶手勢或語音指令時，輸出開門訊號給 IOT 無線通訊模組，在電動門弓器端亦加上 IOT 無線通訊模組，並連接門弓器上的開/關/停/及共線連接上 IOT 無線控制模組，即可實現手勢或語音來控制電動門弓器。

(5). 請問上述智慧門鎖及電動門弓器可以程式控制方式來操作嗎？

➤ 回答

是可以的！可透過編寫手機 APP 來控制無線 IOT 智慧控制主機，發射控制訊號到門弓器或智慧門鎖上的無線 IOT 接收模組，實現手機程序遠程控制！

(四)、張其中顧問(其禾實業有限公司總監)

- (1). 其禾 CH-256 控制系統量身打造，結合物聯網 IoT 技術，全天候 24 小時回報電梯狀態，並詳實紀錄運轉履歷。eKeeper 第一時間掌握電梯故障訊息，主動通報並派遣專業技術人員。故障訊息存取是否可以開放資料管理及開發應用。是否可提供遠端程式控制起停樓層功能?

➤ 回答

本公司自行開發的 eKeeper 雲端守護系統，搭配 CH-256 智能電梯控制系統，已經在電梯保養的應用上使用有 8 年以上，改善保養業務成效卓著，同時也累積了為數可觀的電梯相關資訊可供分析改進保養策略。

本公司與新加坡客戶合作密切，得知新加坡政府在電梯保養的安全管理上要求相當嚴謹，所有政府核准使用的電梯，都需將電梯運轉的資訊回報監管單位，確保電梯作為垂直交通工具的安全性，我們的控制系統也都有合乎新加坡的政府法規，所以我們的系統是可以提供相關資料的。本公司也積極近一步應用這些蒐集的資料做進一步的大數據分析，作為新一代系統的改進以及保養維護的作業流程之用，例如：電梯部件的更替時機，以達到零故障的期望。這也是台灣政府可以借鏡的部分。

針對遠端控制電梯起停運轉功能部份，以 CH-256 加上 IoT 實際上來說，你可以說它就是一個物聯網的電梯，技術上來說這個不是問題，在某些操作上也沒有危險性，但是，就電梯相關法規上並不是那麼明確，而且電梯本身是屬於業主的財產，在未經業主授權下，我們也無權擅自在遠端做此操作，所以，我們的電梯系統目前並未賦予這方面的功能。

- (2). 目前對電梯(建築用昇降設備)之地震災害防制，貴公司有何研發成果可供分享?有何應用上之建議與注意事項?

➤ 回答

電梯車廂在電梯機坑運行，它其實就是一種軌道運輸系統，你可以把它

當作是垂直運行的火車或是捷運，針對每分鐘 150M 以上速度運作的電梯，在高速運轉中遇到地震發生的確是一件危險性極高的，所以，控制系統具備地震應變的能力是必備的功能。本公司的智能電梯控制系統，包含了一級地震與二級地震的應變功能。針對高速電梯的場域，公司會提供客戶安裝地震感測器的建議，畢竟，台灣是屬於多地震地帶，一次脫軌的意外，它所造成的危害與後續維修，都遠超過購買地震感測器的價格，其實，我們建議所有的電梯最好都能具備地震感測的應變能力。當然，我們也希望這種感測設備的價格，能夠平民化到所有大樓用戶都能很直覺的想要的程度。

- (3). 電梯所在位置場址震度若可預測且在 P 波與 S 波時間差之內，或偵測到震源地震與傳遞到場址 S 波之時間差，若經傳遞訊息至電梯控制中心，能否及時啟動控制與作動。對傳遞預警方式有何建議？

➤ 回答

電梯在高速運轉到轉換到低速到安全停止下來，大約需要 3-5 秒鐘時間，如果能爭取到這點時間，對乘坐在電梯車廂裡的人員，絕對是大大提高其安全性，對於電梯設備也是大幅度地降低其損害程度。如何爭取這關鍵的 3-5 秒，絕對是電梯控制系統的重要能力。在現場大樓裡面安裝感測器，也必須等到地震 P 波到達當地才能感測到訊號，在嚴重的 S 波接續到達就只剩下更少的可應變時間了。如果能在地震發生地就感測到地震的發生，這個訊號透過現在的網路科技運作，可以為較遠處的場域提供更快速的預警，將會更能縮短地震訊息的感知時間，也就能提供控制系統再多那 1-2 秒的應變的處理時間，是想看看，每小時 100 公里速度與降到每小時 20 公里的衝擊，之間的嚴重程度，這相差是用曲線比例方式來看的，這也就是我們可以努力的地方。

- (4). 若啟動防震控制，電梯停於樓層時如何控制不再運行？若正下降或上升，如何判定 P 波 S 波時間差內可到達最近樓層？若判定無法在 P 波 S 波時間差內或偵測到震源地震與傳遞到場址 S 波之時間差內，到達最近樓層，是否會自行判定夾鎖於導軌？或稍遲因感受震度而夾鎖於導軌？或有其他控制方式？

➤ 回答

當地震發生知道後，電梯控制系統即響起警報，語音系統同時播報地震發生的訊息，同時會啟動應變功能讓電梯減速停止在最近的樓層，在電梯可以開門的區域範圍時，自動開啟車廂門，讓內部乘客儘速離開避難，地震感知器通常有兩階段程度的訊號提供控制系統，較低程度的地震信號一般在地震停止後會自動恢復，電梯系統也可以在訊號消失後自動恢復正常運作。如果遇到比較嚴重程度的地震，則會啟動第二層級的警報訊號，這種訊號是不會自動恢復的，當有第二級地震訊號發生後，電梯公司必須派技術工程師到現場，對電梯的安全結構做全盤的檢查，這裡當然軌道的安全係數是最大的重點，對於超過安全係數者，重新更換也是必要的，在確認整體電梯的安全後，才可以用手動的方式將地震感知器恢復重置，才可以讓電梯再次正常運作。

(5). 其他寶貴意見:

有用的傳遞訊號必須滿足以下的要求

明確性：以設備接收的訊號取代人類的語文。

精準度：正確的描述嚴重程度，設備端可以做最佳的應對處理。

快速：如何將資訊廣泛又快速的讓全區域的設備端無時差的收到信息。

(6). APP 的嫁接應用

由地震訊號發送端開發網路 APP，提供開放式的訊號傳輸格式標準，應用端安裝在設備上 24 小時接受警訊，達到快速應變的作用。

附錄二、第一次專家諮詢會議記錄

內政部建築研究所

「智慧全人居家預警災防系統之研究」委託研究計畫案

第一次專家諮詢會議紀錄

- 一、開會時間：111年5月24日(二)上午9:30
- 二、地點：遠距線上會議
- 三、主持人：蕭炎泉教授
- 四、與會人員：附線上會議照片
- 五、會議紀錄：
 - (一)、主席暨長官致詞
 - (二)、引言簡報
 - (三)、專家意見回饋：(依發言順序紀錄)

專家意見整理:

(一)、廖哲緯（中央氣象局地震測報中心課長）

- (1). 地震預測的部分，我們有參與前瞻計畫，針對測站和整個的演算法，有做滿大的一個精進，如果地震是發生在島內的話，基本上可以在10秒裡面就發送一個地震預期的訊號。
- (2). 接收端除了中小學或者是民間業者之外，如果預估震度有到四級的其實大家的手機會收到災防報警訊息，那目前這兩者的時間差也逐漸縮小，我們的目標就是盡量縮短處理地震的時間，儘快的把地震資訊發布出去，通訊的過程都是很順暢的盡量都是零點零幾之秒之內就接收到了。

- (3). 預警時間這個部分之前我跟那個國震中心有合作，那我們現在自己有在開發就是所謂的複合型的地震預警。現在很多電梯其實都有使用現地型的預警，那就是感受到震動到 P 波去預估 S 波之後做一些因應的作為。P 波 S 波自己本身有時間差的特點，可以搭配這個氣象局的區域性預警，如果兩者相互配合的話可以得到很好的功效。針對比較終點距離地震有很好的預警效果。
- (4). 針對近距離的地震區域型沒有辦法做好快速的通報，因為在盲區內。地震發生之後又緊接著一個很大的地震，這時候電梯本身如何去處理？電梯內的人如何順暢地與外界聯繫？如果要考慮電梯也要加入預警系統，中央控制系統非常敏感，要開放地震預警系統要進入電梯系統，會要求被開放 IP，可能就有資安系統的考量，這部分要整體納入研究。

(二)、孫維忠（台灣高速鐵路股份有限公司土建設計工程部博士）

- (1). 高鐵現在針對地震的告警系統，就稱為「地震告警系統」，它是一個現地型的地震告警系統。在高鐵沿線350公里範圍有12個地震的主要偵測測站，另外有40個副地震測站，沿線每隔7公里就會有一個地震的測站，主要運作原則，主要測站有量測到4級以上的震度，就是在車站的影響範圍，會讓所有的列車停止。從300公里每小時的行車速度，緊急煞車，讓列車真正的停止下來也需要3分鐘。會讓我們產生有災難性的地震，大概是120 gal 以上，我們的原則是40 gal 以上就停車了。事實上80 gal 到120 gal 範圍裏面，並沒有造成災害，但車子已經停下來了，我們有一套恢復運轉的程序。因為有這些副地震測站就可以在做巡檢的時候，讓巡檢範圍縮小，恢復運轉的時間可以縮短，這是我們對的地震測站的功能的應用。
- (2). 日本新幹線採用了地震預警、地震早期預計系統，所以我們公司在這兩年，與國震中心及中興保全公司有相關合作，未來是否有機會運用在台灣高鐵上面。日本早期地震系統在日本新幹線的應用，造成一些誤報困擾。第一個就

是乘客的旅客的抱怨。第二個就是中斷營運之後對他營運的損失等等。這些都會造成日本很多的困擾。怎樣是運用在我們的生活上要點。很重要的就是減少困擾。

- (3). 高鐵每一部電梯都會有裝置所謂的地震感知器，我們所偵測的到的也是地震加速度 g_{1a} 來當作一個機制，當偵測作動時電梯就會自動運行到最近樓層，把門打開，讓電梯裡面的乘客，趕快疏散出來。之後把門關閉之後就不再啟動，維護人員到現場去檢視所有的狀況，等到維護人員去之後，他才可以在被啟動。還有另外一種狀況，如果強震偵測到 $100g_{al}$ 的時候，電梯會立即的緊急停止電梯停在中間這樣的動作。這是確保整個電梯裡面旅客或是人員的安全狀況。我方維護人員，甚至電梯公司的人來到現場做檢視後，才可以再去啟動，這是目前高鐵這邊的運作。

(三)、章建成（社團法人中華民國建築物升降暨機械停車設備協會組長）

有關於今天的議題，在110年度的第二季內政部建研所曾經有開過有關強震即時警報系統整合應用議題，做一個徵詢及措施的必要性；第1點是新設的升降設備偵測的組件、硬體的條件的限制；第2點是針對既有的升降設備，他要一樣是偵測的組件、硬體的條件的限制，第3點國外法規參考的案例。第4點是針對國家標準的相關的法令怎麼樣去配合，建築技術規則的部分。

目前台灣電梯安裝地震偵測都是現地型的，現地型地震儀就是現地感應到才作動。目前台灣地震偵測型式有兩種，一種是把 P 波跟 S 波分開設置在不同地方。台灣有安裝地震偵測的設備及場域都是屬於非標配，有相關需求及高樓才會設置，有機械式及三軸加速器兩種偵測設備。遠端安裝的地震偵測希望可以透過資訊系統(如雲端或 APP)絕對會比在地型的接收傳輸速度更快。雲端或 APP 直接發送訊號給電梯或其他設備，當然會增加設備成本但這是必要性的。

萬一遭遇強震如921地震發生，電梯又要停靠最近樓層又遭停電時情境怎麼處理，希望研究團隊可以納入情境。

(四)、陳明助（明鑫管理顧問有限公司顧問）

我現在是在北科大念博士班，我之前在永大電梯的擔任研發處處長。電梯內部有些資料可以提供參考，如果超過150gal 五級以上地震就必須停止，如果遇到更高的地震就必須安裝自動診斷自動恢復設備，因為如果地震太大的話，要做成自動恢復沒有做的很清楚是不可行，因此電梯上的感知器也會有比較高的價格，以日本地震產生後電梯的平等配重設備故障比例約29%，車門開啟故障比例15%，這兩部分算比較高的故障比例，其他就是主鋼索部分佔8%，所以在整個電梯系統地震後就有這些故障問題要回復，這也是我們在地震發生後對電梯的對應狀況。剛剛各位專家也提到用地震現地監測是可以馬上做一個積極反映，比較高級的電梯有相似捷運系統在地震發生後有類似巡軌的模式，可以排除一些比較大的問題，因為地震發生後電梯的數量很多幅員也很廣，人員是不是可以馬上過去做救護的動作，或者讓電梯自動回歸，這是一個很大的議題需要去討論的 如果沒有裝這樣裝置，可以考慮擷取國震中心的即時地震發布，直接到大樓監控中心去看電梯狀況優先次序直接作業。

(五)、林沛暘（衛波科技股份有限公司執行長）

目前台灣的速報有兩個，一個是氣象局區域型的地震速報，一個是國震中心地域型的地震速報，這兩個都是國家的經費在前瞻計畫的分向三及分向四計畫做的，政府已經將區域型及地域型做好整合，整合成一個複合式地震速報，廠商或是中華大學也可以去申請複合式地震速報的資料，好處是不管是氣象局或國震發布的資料都可以最快取到，第二好處就是複合式地震速報可以幫忙做一個簡單分隔，比如全台灣有300多個鄉鎮市，可以預估下一秒鐘各鄉鎮市震度有幾級，直接針對各區域需求去做動作既可。現地型的好處就是在靠近震央的時候比較快取得警報，距離震央比較遠區就區域

型比較先得知。

目前產業界有幾家公司在做 IoT 的 device 控制箱控制盒，可以直接控制電梯迴路或作動，比如150 gal 就會停梯在最近的樓層，預警也是用同樣的情境模式在運作。IoT 的 Device 控制箱控制盒或 APP 可以收國震中心資料去觸控電梯，如果是 APP 可以裝在中控中心去運作，如果是一個控制器可以裝在電梯旁邊去運作。針對資安問題可以用特殊的 IoT device 去接收國震中心資料後轉類比式觸控電梯是否就可以解決資安問題。

地震上的情境針對高樓層電梯設計，可以設計多重門檻。比如四級以上時電梯可能停在最近的樓層，五級以上可能就停在當下，結束後電梯自動復歸這樣可以避免一些誤報。以過去國震中心100筆地震資料來看，如果離震央40公里範圍大概有4-5秒的距離可以先預測，如果到100公里以上距離大致有十幾秒的時間，如果超過200公里很少超過四級的基本上就可以不理會了。至於門的控制被觸發開門了，可能會有安全問題，之後得請保全協助關門，這部分研究可能需要在周全一點。瓦斯關閉總開關問題也是爐火並沒有關閉，這部分也需要思考周全才不會有負面的觀感。可以琢磨指引疏散或聲光導引用戶避難功能，對防災也是很有幫助。

(六)、 陳文彬 (台灣無線城網路科技股份有限公司總經理)

我們主要是做這種的無線通訊模組及雲端的聯網平台的公司，就智慧建築我們會用到的設備，第一個是我們雲端遠程連線的機制，因為我們是採用 P to P 的技術，所以不需要去申請實體 IP 或專線的网络環境。在智慧建築災害應變跟我們比較有關係的就是可以做到連動，比如說地震來臨時透過雲端系統，速報數萬或數百萬的遠程設備，同時去開或關作動設備的一個行為，我們主要就是做到中間橋梁，給予應用的一個模式。

(七)、 陳建忠 (內政部建築研究所組長)

國震中心前瞻計畫所整理的資料及資訊都可以當作我們這案子的進一步應用，所

以我對這案子充滿了信心，第二、就是針對高鐵站及台南的地震佈設那些？在公共場所的資源應用在居家是否考量成本及適用性，有沒有實際的場域及回饋方式去結合。第三、針對居家人誤報及人性調整，過於精密可能造成使用困擾。是否有 AI 學習系統，當有警訊時提醒物管人員有個緩衝，使用者如果清楚對他們需求，對舒適度及習慣度是比較棒的系統。

(八)、專家諮詢會議小結

從本次專家諮詢會議中，我們綜合了專家意見跟本計畫的後續研究設計的關聯性：

- A. 我們計畫的執行將專注在中央氣象局地震預警測報資料的擷取，及計算該地震預期到達的強度及剩餘秒數，並對超過閾值的強震做災防作動。
- B. 由於電梯的防震措施目前大都由裝設的感知器，藉由 P 波的測得值去預測可能的 S 波強度，以作出相關防災措施。本研究可以把預期強震資料設法傳送給電梯裝置，以便在 P 波未到達前就可以採行相關防災措施。

附錄三、第一次專家諮詢會議照片

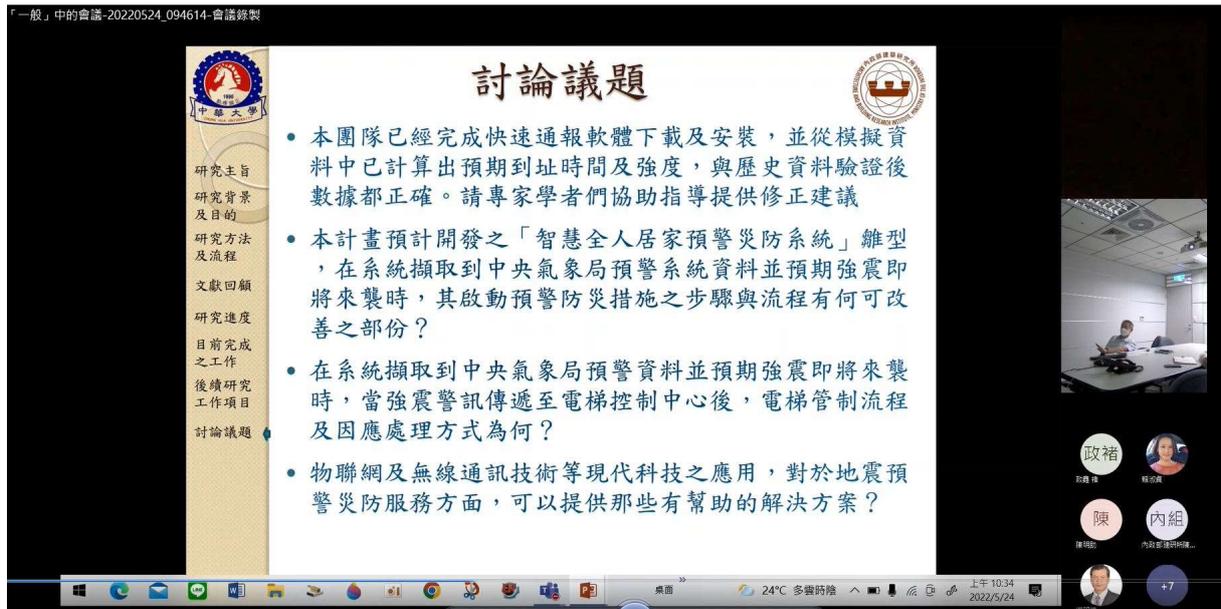
因疫情關係，第一次專家諮詢會議採遠距方式進行。將會議進行過程及與會人員以照片進行記錄。



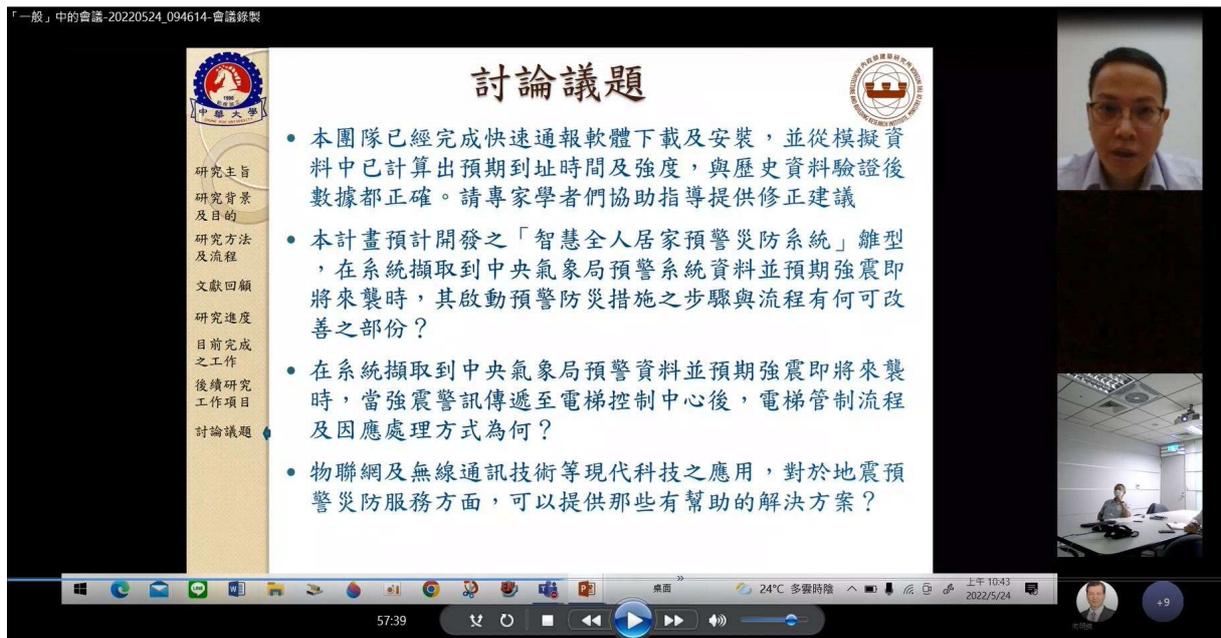
附圖 1. 專家諮詢會議與會人員



附圖 2. 會議簡報開始



附圖 3. 會議簡報結束進行專家諮詢



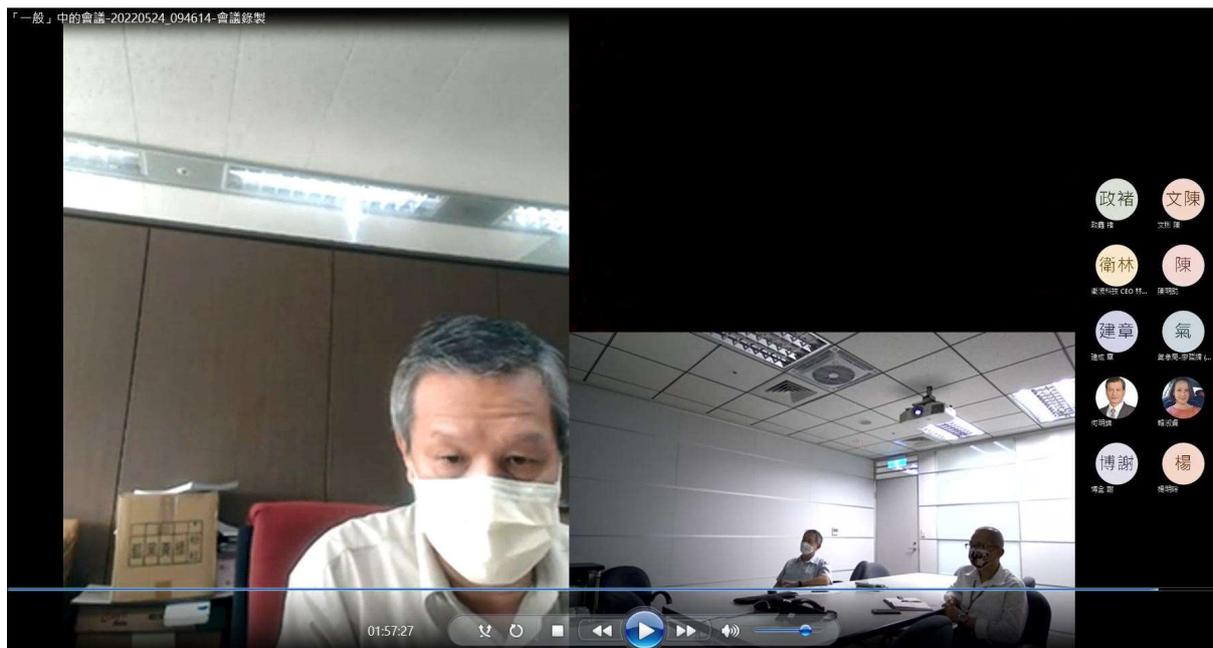
附圖 4. 中央氣象局地震測報中心課長_廖哲緯



附圖 5. 台灣高速鐵路股份有限公司土建設計工程部博士_孫維忠



附圖 6. 中華民國建築物升降暨機械停車設備協會組長_章建成



附圖 7. 內政部建築研究所組長_陳建忠



附圖 8. 計劃主持人_蕭炎泉教授



附圖 9. 本計畫共同主持人_何明錦教授

附錄四、期中報告委員專家意見及回應表

內政部建築研究所111年度 「智慧全人居家預警災防系統之研究」委託研究計畫期中審查意見回復表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	(委員姓名)：王建築師武烈 1. 對弱聽者或重聽老人災難預警系統，應採高流明警示閃燈。	謝謝委員建議。本系統在有強震即將來襲時，會使用高流明之警示閃燈。
2	(委員姓名)：王建築師文楷 1. 國內法規對建築物的避難，係以火場之防火避難思維為考量。 2. 建築物中所指「逃生門」於建築技術規則建築設計施工編條指安全梯之各式房或門，對防火門之控制以「關閉」為安全對策，故防火門有常時關閉式、常時開放式均須加裝開啟後可自行關閉之裝置(通常採用門弓器)，地震常伴隨火災，為近年福利機構所關注之「複合式災害」，故本研究之領域，請納入法規「防火門」之兼容性。	1. 謝謝委員建議。 2. 本計畫研究之標的，是以強震發生時讓居民可以安全逃生避難為研究方向。 3. 如前所述，防火與防地震災害對於門的功能需求是有不相同的。
3	(委員姓名)：蔡教授淑瑩 1. 文獻回顧請聚焦於預警災防系統，如報告書第 16 頁物聯網後應補充與災防系統之關聯性。 2. 簡報引用維基百科，嚴謹度較為不足，建議不宜引用。 3. 居家環境除瓦斯、電動門、電梯以外，是否可考量廚房、臥房高櫃等設施與系統整合之可能性。	1. 謝謝委員建議。 2. 本研究在文獻回顧中，會在物聯網之後增加介紹相關控制板、感知器、等智慧控制元件於智慧全人居家預警災防系統中之應用方式。 3. 在日後相關報告中，將避免再引用維基百科之資料。 4. 居家的防震相關設施設備種類相當多，本計畫將先針對瓦斯開關、自動門鎖、自動開門、地震警報系統等為研究項目。至於其他居室之高櫃等利用繫件可防護者暫不列入探討。

<p>4</p>	<p>(委員姓名)：陳教授政雄</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究使用微控制板及線路之連接，啟動瓦斯切斷器關閉瓦斯供氣，自動開啟大門以利避難，啟動聲光警報及通知電梯管理中心，並將電梯停在最近樓層讓人員疏散，請分析與目前市場上產品之異同及優劣點。 2. 目前是 5G 的世代，是否影響本研究成果?另因應超高齡社會來臨，愈來愈多的使用對象將是高齡者，建議對科技產品的應用朝易於使用及因應高齡者使用習慣方式建置，降低成本且方便維修。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員建議。 2. 目前市場上產品有類似之功能，但是此類產品無法在地震到達前，發出相關預警信息及啟動地震防範動作。本研究係自氣象局地震預警網站擷取地震資料，有強震來襲之虞時可以把利用強震來襲前的黃金數秒，採取有效的地震災害防範措施。 3. 5G 的世代不只不會影響本研究成果，還會使感知器更精準、傳播速度更快速，提升本研究的防震效果。 4. 科技產品勢必朝高齡者易於使用及降低成本、方便維修的方向進行改進與開發。
<p>5</p>	<p>(委員姓名)：宋教授立堯</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議補充說明目前本研究與類似系統或成品之關係，能更明瞭其間之差異以及本研究預期成果之特色。 2. 報告書第 3 頁有關研究目的各點之文字說明，較類似研究內容，建議予以調整。 3. 本研究專家訪談內容表示，有某民間單位已開發昇降設備與地震防災應用研發系統，但市場接受度不足，主要在於成本與獲利之考量，另有關技術上資安問題、設備開關設定及操作之安全問題，請問本研究有何對策。 4. 建議可補充說明本系統未來推廣之對象。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員建議。將補充於後續研究成果。 2. 謝謝委員建議。將於後續報告中作妥適之調整。 3. 有單位已開發昇降設備與地震防災應用系統，由於成本與獲利之考量，致使市場接受度不足。目前物聯網相關元件已受廣泛使用，亦使成本相對降低，可增加推廣運用可能性。另資安、設備開關設定及操作安全等，將於後續報告中補充說明。 4. 本系統未來推廣使用之可能對象，將於後續研究中，透過訪問調查再予補充說明。
<p>6</p>	<p>(機關代表)：內政部營建署國民住宅組 蘇科長玉峰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 社會住宅的社區防災中心會即時收到地震火災資訊，包含關閉瓦斯總開關、警報系統及逃生門等都會作動，這是屬於社區型的，建請釐清本研究標的是屬社區型還是 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本系統可以同時使用於社區及個別家庭，其作動的位置、廣播的範圍會因不同型態有所差異。其裝置與運用方式將於後續報告中補充說明。

	<p>家庭型的(像 Google Home 直接與住戶的電視、電燈、音響、門鎖直接做連結)，此外，在報告書沒詳細說明如何使用此系統？不同系統對應不同使用群組，後續管理維護也不同。</p> <p>2. 當災害發生時，現行法規對於電梯、門都有一些期待的作動，惟與報告書內所述不太相同，建議設定相關情境，如地震的情況、火災的情況，對於門的作動是不同的。</p>	<p>2. 不同災害發生時，對電梯與門之期待作動不同。本研究係以地震災為主要設想之情境。其他災害型態將另行探討。</p>
7	<p>中華民國全國建築師公會：劉理事長國隆</p> <p>1. 目前市面上的新電梯有裝地震感知器，當地震大於某一震度時會停止電梯運作並下降到下一樓層，停止完成後再打開梯箱門。</p> <p>2. 對於是否每棟建築物的電梯，都要裝地震偵測器連接到國家地震中心，及是否能有效運作？請執行單位考量。</p>	<p>1. 目前市面上的新電梯有裝地震感知器，本研究於文獻收集及調查中已有相關資訊，可予補充敘述。</p> <p>2. 本研究考量技術及經濟可行性，並不建議每棟建築物的電梯，都要裝地震偵測器連接到國家地震中心。本研究係規劃地震發生時，擷取氣象局地震資訊，並計算到達本地的剩餘秒數及預期震度，當預期地震震度達設定閾值時(例如四級)，立即透由預設之區域傳感器啟動各公司或社區管理之電梯地震防災裝置。</p>
8	<p>臺灣建築學會：趙秘書長夢琳</p> <p>將防災系統更深化非常有意義，如能與設備廠商結合，將更能完成全齡多元的美好社會。</p>	<p>謝謝委員的建議，與設備廠商結合確實為後續可著力之方向。</p>
9	<p>內政部建築研究所王副所長安強</p> <p>1. 地震會影響瓦斯公司輸送的管線安全及避免漏氣其引起火災，日本經驗瓦斯公司透過感測器知地震震損其管線會停止供氣，屬源頭管理，請參考。</p>	<p>1. 謝謝寶貴意見，我們會在後續計畫中將源頭管理納入後續建議，供相關事業主關機參考。</p>

	<p>2. 本研究之情境預警系統4級以上震度對居家瓦斯器做關閉動作，屬末端管理，請思考有無與前端瓦斯公司之連動防災，以及居家落地管理之成本及可行性？</p>	<p>2. 謝謝寶貴意見，我們會在後續計畫中考慮將前端瓦斯公司之連動防災納入參考，並分析個別家戶與社區幹管管理之成本及可行性。</p>
--	--	---

附錄五、第二次專家訪談會議記錄

內政部建築研究所

「智慧全人居家預警災防系統之研究」

委託研究計畫案

第二次專家訪談會議紀錄

專家訪談時間：111年9月12日進行

地點：由於疫情影響關係，本專家訪談採通訊軟體訪談方式進行。

訪談對象：

台灣大學地質科學系 吳逸民教授專家訪談

訪談議題：

- (1) 吳教授研發之「P波警報器」，可在地震最大震動來臨前的5至8秒提出預警，目前預警訊號是否已經可直接連接設備商應用，如電梯於強震來襲前的自動停於最近樓層或其他防災功能？
 - 回答：目前的預警系統偵測到地震發報級數，都會發一個訊號給設備，如電梯作動收到報警系統發布信息記號。
- (2) 據悉吳教授您研發「P波警報器」，這套警報器已在全台設有750個地震預警測站，可即時傳送震度圖，提供防救災參考；請教各預警測站資料是否全部集中到台灣大學地質系主機，研究機構或其他學校是否可以申請取得資料進一步研究。(參考位置：<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202103220176.aspx>)
 - 回答：可以向台大申請技轉合約，三聯科技也是跟台大申請取得即時地震資料，資料是開放申請使用的。
- (3) 三聯公司的地震預警系統，整合了區域型及現地型地震預警系統是否廠商投入成本較高；請教吳教授，一般企業應用(如電梯、瓦斯公司、高敏感度機具

廠房等)，是否「P波警報器」的報警器功能已經足夠？又「P波警報器」如何與這些需要被保護的設施連動？

- 回答：三聯科技地震預警系統，一般會結合現地及區域，三聯有兩組訊號，有任何一組訊號來就做動，兩組設備有一組接收到地震報警都會發一組訊號給需要作動的設備，台大制式標準技轉過程及合約，「P波警報器」目前是技術委託給三聯產品銷售，P波警報器都安裝在學校，目前都是連接學校廣播器及顯示器，報警數據會傳遞到台大地質科學系的電腦機房。
- 訪談照片：



附圖 10. 專家訪談會議與會人員

附錄六、第二次專家諮詢會議記錄

內政部建築研究所

「智慧全人居家預警災防系統之研究」委託研究計畫案

第二次專家諮詢會議紀錄

一、開會時間：111年9月29日(四)上午10:00

二、地點：內政部建研所13樓會議室

三、主持人：何明錦教授

四、與會人員：附會議照片

五、會議紀錄：

(一)、主席暨長官致詞

(二)、引言簡報

(三)、專家意見回饋：(依發言順序紀錄)

專家意見整理：

(一)、廖哲緯（中央氣象局地震測報中心課長）

- (1) 考慮警報盲區的問題，建議警報訊號獲取應整合區域型與現地形的技術，以利時效，研究團隊亦可參考民生物聯網計畫研究成果，進一步加值運用。
- (2) 情境影片中有關開門等動作時序可調整相關說明。
- (3) 推動策略上，建議可以考慮以標章形成（鼓勵的方式）推動，也許可先在法令前儘速推動。

(二)、柯孝勳（國家災害防救科技中心組長）

- (1) 現今尚無有效「地震」預測方法，建議將預測改為預警。

- (2) 氣象局目前地震已由早期 T1 專線改為寬頻網際網路傳輸。
- (3) 地震資訊資訊主要有地震速報（預警）及地震報告，前者為近震央測站快速測報，各地震度為預測估值；後者為各測站接收到的實際測值，因而有時間差距。

(三)、徐春福（國霖電梯股份有限公司總經理）

- (1) 研究團隊所開發預警防災系統值得推廣及商品化。
- (2) 團隊研究案之預警防災系統可以取代地震感知器，因為它可以做到事先預防。
- (3) 建議研討立法其應用並取代電梯地震感知器。
- (4) 研究團隊所開發預警防災之系統可應用在居家、大樓、電梯刷卡、等門禁及運用在高鐵台鐵預警防災上。

(四)、章建成（中華民國建築物升降機停車設備協會組長）

- (1) 建議相關主管機關修正法令，比照日本國土交通省之地震時管制運轉的設置（法令第129之10，第三次第2號規定）；除現地設置外，利用 CWBEEW 所發報之訊息，透過 IoT 裝置直接傳送至電梯設備，需要注意資安防護之考量。
- (2) 傳遞過程可透過電信設備商、專業廠商自建 IoT 雲端或現地形地震感知裝置，將信號傳遞結果至昇降設備控制器，比照建築技術規則建築設備篇第110條第六項規定。（昇降機應設有停電復歸就近樓層之裝置）
- (3) 市售地震感知器有分為 S 波、S&P 波或分開設置偵測 P 波、S 波其震度大部分均以震度三級為區分，昇降設備所採取之措施為就近樓層停靠或立即停止。

(五)、黃秀莊（臺北市建築師公會理事長）

建議將此預警防災開發系統之設備融入智慧建築的項目並取得獎勵項目。因應近年來的危老都更計畫。

➤ 附件：（現場團體照）



附圖 11. 專家諮詢會議與會人員

附錄七 期末報告委員專家意見及回應表

內政部建築研究所111年度 「智慧全人居家預警防災系統之研究」委託研究計畫期末審查意見及廠商回應一覽表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	<p>(委員姓名)：蔡教授淑瑩</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 台灣處地震帶，居家預警防災系統計畫有其重要性。 2. 文獻回顧-國外預警系統(P.36-42)介紹後應說明值得台灣借鏡之處。 3. 2.9 物聯網後應該說明跟居家預警防災系統的關聯性。 4. 3.3 專家諮詢會議應說明專家意見跟後續研究設計的關聯性，而非只有當附錄。 5. 計畫資料引用請註明出處，請檢視之。如 P64-66，圖 33，圖 34 等。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員認同。 2. 本研究已依建議，加入國外預警系統值得台灣借鏡之處。 3. 本研究將已依建議，增加物聯網與居家預警防災系統的關聯性。 4. 本研究已依建議，增加專家諮詢會議小結，說明專家意見與後續研究設計之關聯性。 5. 謝謝指正，已經加註資料引用出處。
2	<p>(委員姓名)：陳教授政雄</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究使用微控制板及線路之連接，啟動瓦斯切斷氣關閉瓦斯供氣。自動開啟大門，以利避難。啟動聲光警報及通知電梯管理中心，並將電梯停在最近樓層，讓人員疏散，實用性頗高。 2. 因應超高齡社會的來臨，愈來愈多的使用對象將是高齡者。建議對科技產品的應用須注意「可以因應高齡者的使用習慣」及「可以降低成 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員認同。 2. 智慧建築藉由物聯網的成熟與科技的進步，在容易操控、防呆機制、容易保養及耐久性已經有長足的進步。

	本，容易維修」等 2 方面。	
3	<p>(委員姓名)：李教授東明</p> <p>1. 有關智慧防災議題，國家地震工程研究中心曾與中保科技合作，研發較 P 波早 10~20 秒啟閉瓦斯、解鎖等套裝軟體、本研究可參考該相關資料。</p> <p>2. 未來確應將智慧防災納入智慧全人居家思考，目前科技確可提供重要的支持。</p>	<p>1. 本研究確有參考國家地震工程研究中心的資料作為執行計畫之參佐。</p> <p>2. 謝謝委員寶貴意見。</p>
4	<p>(委員姓名)：王建築師武烈 (書面審查)</p> <p>對於生命安全保障，研究開發「智慧居家安全預警災防系統」確屬重要。本研究已將 95% 就建築物納入，並擴及精密設備之防震、高速運行之車輛、智慧居家安全、智慧城市等，方向正確，未來性很強，感謝研究團隊的費心。</p>	<p>謝謝委員認同。</p>
5	<p>本所褚助理研究員政鑫</p> <p>1. 有關報告書圖表請加註資料來源或出處，若為本研究產出，可加註為「資料來源：本研究整理」。</p> <p>2. 報告書第六章建議部分請依本部規定格式整理，註明可落實執行之主協辦單位，另請將期初審查意見放入附錄。</p>	<p>1. 已補充修正，謝謝提供寶貴建議。</p> <p>2. 本報告書第六章已依規定格式處理，謝謝。</p>

附錄八、鄉鎮市區場址效應表

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
新北市	板橋區	10101	121.448	25.007	2.065
新北市	三重區	10102	121.477	25.068	1.926
新北市	永和區	10103	121.505	25.009	1.873
新北市	中和區	10104	121.488	24.990	1.948
新北市	新莊區	10105	121.421	25.033	2.623
新北市	新店區	10106	121.525	24.930	1.931
新北市	土城區	10107	121.436	24.967	1.667
新北市	樹林區	10108	121.388	24.983	1.443
新北市	鶯歌區	10109	121.340	24.957	0.959
新北市	三峽區	10110	121.400	24.872	1.325
新北市	淡水區	10111	121.456	25.185	1.999
新北市	汐止區	10112	121.654	25.086	2.090
新北市	瑞芳區	10113	121.829	25.090	1.286
新北市	蘆洲區	10114	121.464	25.089	1.936
新北市	五股區	10115	121.428	25.098	1.541
新北市	泰山區	10116	121.404	25.054	2.448
新北市	林口區	10117	121.339	25.101	2.111
新北市	深坑區	10118	121.612	24.999	1.542
新北市	石碇區	10119	121.638	24.951	1.423
新北市	坪林區	10120	121.711	24.914	0.930
新北市	三芝區	10121	121.499	25.232	1.412
新北市	石門區	10122	121.555	25.259	1.406
新北市	八里區	10123	121.384	25.126	2.130
新北市	平溪區	10124	121.751	25.027	1.543
新北市	雙溪區	10125	121.822	25.000	1.622
新北市	貢寮區	10126	121.904	25.042	0.954
新北市	金山區	10127	121.598	25.221	1.586
新北市	萬里區	10128	121.640	25.178	1.581
新北市	烏來區	10129	121.557	24.785	1.164
臺北市	松山區	10201	121.555	25.066	1.960
臺北市	信義區	10202	121.563	25.030	2.106
臺北市	大安區	10203	121.535	25.028	1.833
臺北市	中山區	10204	121.530	25.070	1.924
臺北市	中正區	10205	121.512	25.030	1.944
臺北市	大同區	10206	121.504	25.066	2.000
臺北市	萬華區	10207	121.491	25.031	1.724
臺北市	文山區	10208	121.565	24.989	1.532

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
臺北市	南港區	10209	121.613	25.040	2.268
臺北市	內湖區	10210	121.582	25.085	2.023
臺北市	士林區	10211	121.524	25.136	1.538
臺北市	北投區	10212	121.507	25.154	1.534
桃園市	桃園市	10301	121.287	24.999	1.417
桃園市	中壢市	10302	121.201	24.978	1.536
桃園市	平鎮市	10303	121.209	24.923	1.549
桃園市	八德市	10304	121.283	24.949	1.568
桃園市	大溪鎮	10305	121.292	24.872	1.498
桃園市	楊梅鎮	10306	121.115	24.917	1.328
桃園市	蘆竹鄉	10307	121.285	25.056	1.858
桃園市	大園鄉	10308	121.204	25.062	1.752
桃園市	龜山鄉	10309	121.344	25.023	2.038
桃園市	龍潭鄉	10310	121.203	24.848	1.427
桃園市	新屋鄉	10311	121.067	24.978	1.309
桃園市	觀音鄉	10312	121.090	25.023	1.326
桃園市	復興鄉	10313	121.353	24.717	1.148
新竹縣	竹北市	10401	120.989	24.836	2.246
新竹縣	竹東鎮	10402	121.066	24.722	1.881
新竹縣	新埔鎮	10403	121.079	24.838	1.555
新竹縣	關西鎮	10404	121.190	24.786	1.558
新竹縣	湖口鄉	10405	121.048	24.898	1.070
新竹縣	新豐鄉	10406	120.990	24.905	1.395
新竹縣	芎林鄉	10407	121.094	24.770	1.773
新竹縣	橫山鄉	10408	121.143	24.707	1.653
新竹縣	北埔鄉	10409	121.056	24.674	1.797
新竹縣	寶山鄉	10410	120.994	24.744	1.758
新竹縣	峨眉鄉	10411	120.998	24.673	1.696
新竹縣	尖石鄉	10412	121.273	24.598	1.262
新竹縣	五峰鄉	10413	121.130	24.586	1.275
新竹市	東區	10501	120.984	24.789	2.410
新竹市	北區	10502	120.941	24.820	1.373
新竹市	香山區	10503	120.912	24.770	1.902
苗栗縣	苗栗市	10601	120.803	24.560	1.705
苗栗縣	苑裡鎮	10602	120.677	24.409	1.714
苗栗縣	通霄鎮	10603	120.700	24.490	1.679
苗栗縣	竹南鎮	10604	120.873	24.696	2.078
苗栗縣	頭份鎮	10605	120.918	24.671	1.980
苗栗縣	後龍鎮	10606	120.768	24.617	1.839
苗栗縣	卓蘭鎮	10607	120.835	24.328	1.196

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
苗栗縣	大湖鄉	10608	120.839	24.400	1.116
苗栗縣	公館鄉	10609	120.851	24.499	1.292
苗栗縣	銅鑼鄉	10610	120.790	24.462	1.456
苗栗縣	南庄鄉	10611	121.007	24.570	1.119
苗栗縣	頭屋鄉	10612	120.877	24.573	1.399
苗栗縣	三義鄉	10613	120.765	24.381	1.239
苗栗縣	西湖鄉	10614	120.750	24.536	1.544
苗栗縣	造橋鄉	10615	120.873	24.629	1.807
苗栗縣	三灣鄉	10616	120.945	24.633	1.650
苗栗縣	獅潭鄉	10617	120.911	24.524	1.092
苗栗縣	泰安鄉	10618	121.074	24.406	0.985
臺中市	豐原區	10701	120.727	24.251	1.207
臺中市	大里區	10702	120.687	24.098	1.629
臺中市	太平區	10703	120.760	24.106	1.193
臺中市	東勢區	10704	120.819	24.244	1.631
臺中市	大甲區	10705	120.638	24.380	1.403
臺中市	清水區	10706	120.568	24.297	1.749
臺中市	沙鹿區	10707	120.581	24.232	1.309
臺中市	梧棲區	10708	120.518	24.254	1.967
臺中市	后里區	10709	120.698	24.319	1.192
臺中市	神岡區	10710	120.664	24.265	1.119
臺中市	潭子區	10711	120.703	24.213	1.289
臺中市	大雅區	10712	120.631	24.232	1.063
臺中市	新社區	10713	120.823	24.179	1.299
臺中市	石岡區	10714	120.784	24.264	1.227
臺中市	外埔區	10715	120.656	24.332	1.276
臺中市	大安區	10716	120.586	24.367	1.383
臺中市	烏日區	10717	120.614	24.084	1.788
臺中市	大肚區	10718	120.542	24.144	1.810
臺中市	龍井區	10719	120.528	24.202	1.839
臺中市	霧峰區	10720	120.714	24.047	1.763
臺中市	和平區	10721	121.149	24.276	1.222
臺中市	中區	10801	120.671	24.143	1.639
臺中市	東區	10802	120.689	24.139	1.240
臺中市	西區	10803	120.657	24.147	1.431
臺中市	南區	10804	120.656	24.121	1.633
臺中市	北區	10805	120.675	24.160	1.211
臺中市	西屯區	10806	120.618	24.185	1.149
臺中市	南屯區	10807	120.607	24.141	1.506
臺中市	北屯區	10808	120.721	24.189	1.100

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
彰化縣	彰化市	10901	120.554	24.077	2.055
彰化縣	鹿港鎮	10902	120.441	24.085	2.217
彰化縣	和美鎮	10903	120.505	24.120	1.797
彰化縣	北斗鎮	10904	120.527	23.869	1.957
彰化縣	員林市	10905	120.582	23.958	1.692
彰化縣	溪湖鎮	10906	120.472	23.953	2.079
彰化縣	田中鎮	10907	120.581	23.858	1.399
彰化縣	二林鎮	10908	120.396	23.927	2.200
彰化縣	線西鄉	10909	120.425	24.129	2.288
彰化縣	伸港鄉	10910	120.471	24.165	2.116
彰化縣	福興鄉	10911	120.426	24.028	2.046
彰化縣	秀水鄉	10912	120.498	24.035	2.109
彰化縣	花壇鄉	10913	120.552	24.030	1.661
彰化縣	芬園鄉	10914	120.627	24.001	1.643
彰化縣	大村鄉	10915	120.550	23.994	1.682
彰化縣	埔鹽鄉	10916	120.453	23.994	1.998
彰化縣	埔心鄉	10917	120.528	23.957	1.817
彰化縣	永靖鄉	10918	120.527	23.920	1.919
彰化縣	社頭鄉	10919	120.592	23.907	1.488
彰化縣	二水鄉	10920	120.624	23.815	1.501
彰化縣	田尾鄉	10921	120.513	23.899	2.175
彰化縣	埤頭鄉	10922	120.466	23.880	2.320
彰化縣	芳苑鄉	10923	120.344	23.959	2.117
彰化縣	大城鄉	10924	120.304	23.859	2.150
彰化縣	竹塘鄉	10925	120.404	23.855	2.029
彰化縣	溪州鄉	10926	120.520	23.833	1.834
南投縣	南投市	11001	120.673	23.923	1.566
南投縣	埔里鎮	11002	120.961	23.980	1.129
南投縣	草屯鎮	11003	120.730	23.984	1.551
南投縣	竹山鎮	11004	120.718	23.717	1.360
南投縣	集集鎮	11005	120.778	23.839	1.190
南投縣	名間鄉	11006	120.668	23.847	1.467
南投縣	鹿谷鄉	11007	120.768	23.735	1.183
南投縣	中寮鄉	11008	120.772	23.910	1.647
南投縣	魚池鄉	11009	120.924	23.873	1.003
南投縣	國姓鄉	11010	120.860	24.012	1.079
南投縣	水里鄉	11011	120.865	23.811	1.004
南投縣	信義鄉	11012	121.014	23.651	1.236
南投縣	仁愛鄉	11013	121.135	24.029	1.207
雲林縣	斗六市	11101	120.563	23.707	1.924

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
雲林縣	斗南鎮	11102	120.470	23.678	1.783
雲林縣	虎尾鎮	11103	120.428	23.709	1.997
雲林縣	西螺鎮	11104	120.456	23.781	1.751
雲林縣	土庫鎮	11105	120.360	23.698	1.907
雲林縣	北港鎮	11106	120.291	23.591	1.797
雲林縣	古坑鄉	11107	120.612	23.634	1.824
雲林縣	大埤鄉	11108	120.412	23.645	2.071
雲林縣	莿桐鄉	11109	120.527	23.767	1.914
雲林縣	林內鄉	11110	120.605	23.753	1.656
雲林縣	二崙鄉	11111	120.390	23.788	1.825
雲林縣	崙背鄉	11112	120.333	23.783	1.818
雲林縣	麥寮鄉	11113	120.215	23.814	2.471
雲林縣	東勢鄉	11114	120.254	23.700	2.434
雲林縣	褒忠鄉	11115	120.302	23.717	2.025
雲林縣	臺西鄉	11116	120.192	23.712	2.379
雲林縣	元長鄉	11117	120.323	23.645	1.902
雲林縣	四湖鄉	11118	120.202	23.646	2.090
雲林縣	口湖鄉	11119	120.121	23.575	2.016
雲林縣	水林鄉	11120	120.221	23.570	1.816
嘉義縣	太保市	11201	120.341	23.474	2.013
嘉義縣	朴子市	11202	120.242	23.444	2.029
嘉義縣	布袋鎮	11203	120.168	23.382	1.768
嘉義縣	大林鎮	11204	120.462	23.594	2.006
嘉義縣	民雄鄉	11205	120.438	23.543	1.989
嘉義縣	溪口鄉	11206	120.400	23.598	2.000
嘉義縣	新港鄉	11207	120.344	23.550	1.758
嘉義縣	六腳鄉	11208	120.254	23.517	1.990
嘉義縣	東石鄉	11209	120.164	23.462	2.399
嘉義縣	義竹鄉	11210	120.216	23.350	2.322
嘉義縣	鹿草鄉	11211	120.300	23.408	1.852
嘉義縣	水上鄉	11212	120.416	23.427	1.995
嘉義縣	中埔鄉	11213	120.513	23.400	1.726
嘉義縣	竹崎鄉	11214	120.591	23.503	1.666
嘉義縣	梅山鄉	11215	120.622	23.549	1.421
嘉義縣	番路鄉	11216	120.625	23.419	1.060
嘉義縣	大埔鄉	11217	120.582	23.292	1.192
嘉義縣	阿里山鄉	11218	120.791	23.451	1.031
嘉義市	東區	11301	120.460	23.483	1.857
嘉義市	西區	11302	120.413	23.476	2.105
澎湖縣	馬公市	11401	119.580	23.552	2.420

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
澎湖縣	湖西鄉	11402	119.641	23.582	2.420
澎湖縣	白沙鄉	11403	119.588	23.644	2.420
澎湖縣	西嶼鄉	11404	119.500	23.609	2.420
澎湖縣	望安鄉	11405	119.500	23.376	2.420
澎湖縣	七美鄉	11406	119.500	23.205	2.420
臺南市	新營區	11501	120.292	23.301	2.103
臺南市	永康區	11502	120.242	23.031	1.951
臺南市	鹽水區	11503	120.289	23.335	1.829
臺南市	白河區	11504	120.498	23.292	1.057
臺南市	麻豆區	11505	120.233	23.182	2.204
臺南市	佳里區	11506	120.172	23.166	2.170
臺南市	新化區	11507	120.327	23.038	2.087
臺南市	善化區	11508	120.292	23.142	1.968
臺南市	學甲區	11509	120.174	23.255	2.166
臺南市	柳營區	11510	120.344	23.270	1.788
臺南市	後壁區	11511	120.337	23.361	1.736
臺南市	東山區	11512	120.422	23.282	1.403
臺南市	下營區	11513	120.251	23.234	1.980
臺南市	六甲區	11514	120.372	23.230	1.782
臺南市	官田區	11515	120.350	23.191	1.704
臺南市	大內區	11516	120.390	23.152	1.533
臺南市	西港區	11517	120.198	23.122	2.601
臺南市	七股區	11518	120.096	23.119	1.977
臺南市	將軍區	11519	120.115	23.211	1.888
臺南市	北門區	11520	120.127	23.285	2.124
臺南市	新市區	11521	120.284	23.084	2.416
臺南市	安定區	11522	120.220	23.102	2.829
臺南市	山上區	11523	120.340	23.106	1.771
臺南市	玉井區	11524	120.458	23.129	1.161
臺南市	楠西區	11525	120.511	23.179	1.145
臺南市	南化區	11526	120.560	23.123	0.857
臺南市	左鎮區	11527	120.401	23.024	1.569
臺南市	仁德區	11528	120.225	22.946	1.342
臺南市	歸仁區	11529	120.285	22.957	1.751
臺南市	關廟區	11530	120.326	22.952	1.747
臺南市	龍崎區	11531	120.383	22.958	1.570
臺南市	東區	11601	120.222	22.982	1.711
臺南市	南區	11602	120.181	22.952	1.486
臺南市	中西區	11603	120.185	23.000	2.264
臺南市	北區	11604	120.197	23.011	2.299

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
臺南市	安南區	11606	120.146	23.045	2.236
臺南市	安平區	11607	120.156	22.989	1.888
高雄市	鳳山區	11701	120.345	22.617	1.582
高雄市	岡山區	11702	120.293	22.805	1.315
高雄市	旗山區	11703	120.464	22.877	0.836
高雄市	美濃區	11704	120.553	22.907	0.942
高雄市	林園區	11705	120.385	22.508	1.319
高雄市	大寮區	11706	120.399	22.593	1.901
高雄市	大樹區	11707	120.414	22.712	1.065
高雄市	大社區	11708	120.364	22.739	1.135
高雄市	仁武區	11709	120.351	22.707	1.140
高雄市	鳥松區	11710	120.358	22.669	1.181
高雄市	橋頭區	11711	120.292	22.754	1.290
高雄市	燕巢區	11712	120.364	22.791	1.202
高雄市	田寮區	11713	120.387	22.867	1.185
高雄市	阿蓮區	11714	120.309	22.871	1.114
高雄市	路竹區	11715	120.252	22.860	1.097
高雄市	湖內區	11716	120.216	22.896	1.162
高雄市	茄萣區	11717	120.189	22.886	1.204
高雄市	永安區	11718	120.221	22.826	1.300
高雄市	彌陀區	11719	120.230	22.775	1.511
高雄市	梓官區	11720	120.251	22.745	1.521
高雄市	六龜區	11721	120.660	23.004	1.120
高雄市	甲仙區	11722	120.608	23.124	0.807
高雄市	杉林區	11723	120.554	22.988	0.997
高雄市	內門區	11724	120.464	22.958	1.139
高雄市	茂林區	11725	120.751	22.920	1.412
高雄市	桃源區	11726	120.851	23.225	1.182
高雄市	那瑪夏區	11727	120.722	23.271	0.951
高雄市	鹽埕區	11801	120.275	22.627	1.496
高雄市	鼓山區	11802	120.271	22.645	1.173
高雄市	左營區	11803	120.283	22.683	1.399
高雄市	楠梓區	11804	120.290	22.727	1.394
高雄市	三民區	11805	120.307	22.657	1.279
高雄市	新興區	11806	120.299	22.630	1.565
高雄市	前金區	11807	120.285	22.628	1.669
高雄市	苓雅區	11808	120.309	22.625	1.436
高雄市	前鎮區	11809	120.302	22.591	1.569
高雄市	旗津區	11810	120.281	22.586	1.709
高雄市	小港區	11811	120.323	22.534	2.106

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
屏東縣	屏東市	11901	120.473	22.668	1.138
屏東縣	潮州鎮	11902	120.548	22.536	1.085
屏東縣	東港鎮	11903	120.462	22.467	1.263
屏東縣	恆春鎮	11904	120.770	21.981	1.392
屏東縣	萬丹鄉	11905	120.470	22.579	1.180
屏東縣	長治鄉	11906	120.553	22.692	1.088
屏東縣	麟洛鄉	11907	120.525	22.647	1.077
屏東縣	九如鄉	11908	120.486	22.732	0.970
屏東縣	里港鄉	11909	120.502	22.798	1.197
屏東縣	鹽埔鄉	11910	120.561	22.741	1.070
屏東縣	高樹鄉	11911	120.588	22.804	1.081
屏東縣	萬巒鄉	11912	120.581	22.589	1.209
屏東縣	內埔鄉	11913	120.585	22.648	1.116
屏東縣	竹田鄉	11914	120.514	22.593	1.132
屏東縣	新埤鄉	11915	120.574	22.487	1.096
屏東縣	枋寮鄉	11916	120.585	22.400	0.949
屏東縣	新園鄉	11917	120.445	22.516	1.360
屏東縣	崁頂鄉	11918	120.489	22.520	1.296
屏東縣	林邊鄉	11919	120.504	22.443	1.460
屏東縣	南州鄉	11920	120.508	22.482	1.404
屏東縣	佳冬鄉	11921	120.536	22.431	1.274
屏東縣	琉球鄉	11922	120.363	22.340	1.632
屏東縣	車城鄉	11923	120.732	22.078	1.045
屏東縣	滿州鄉	11924	120.828	22.059	1.427
屏東縣	枋山鄉	11925	120.653	22.251	1.363
屏東縣	三地門鄉	11926	120.692	22.788	1.433
屏東縣	霧臺鄉	11927	120.794	22.750	1.401
屏東縣	瑪家鄉	11928	120.680	22.671	1.390
屏東縣	泰武鄉	11929	120.684	22.607	1.084
屏東縣	來義鄉	11930	120.678	22.503	0.774
屏東縣	春日鄉	11931	120.694	22.407	0.837
屏東縣	獅子鄉	11932	120.738	22.241	1.205
屏東縣	牡丹鄉	11933	120.807	22.154	1.170
臺東縣	臺東市	12001	121.105	22.753	1.532
臺東縣	成功鎮	12002	121.351	23.107	1.600
臺東縣	關山鎮	12003	121.169	23.055	1.417
臺東縣	卑南鄉	12004	120.981	22.775	1.334
臺東縣	大武鄉	12005	120.894	22.379	1.203
臺東縣	太麻里鄉	12006	120.979	22.581	1.462
臺東縣	東河鄉	12007	121.279	22.951	1.657

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
臺東縣	長濱鄉	12008	121.418	23.330	1.513
臺東縣	鹿野鄉	12009	121.143	22.950	1.252
臺東縣	池上鄉	12010	121.212	23.094	1.338
臺東縣	綠島鄉	12011	121.513	22.687	1.287
臺東縣	延平鄉	12012	120.999	22.888	1.198
臺東縣	海端鄉	12013	121.012	23.124	1.228
臺東縣	達仁鄉	12014	120.834	22.371	1.060
臺東縣	金峰鄉	12015	120.864	22.586	1.328
臺東縣	蘭嶼鄉	12016	121.497	22.089	2.150
花蓮縣	花蓮市	12101	121.594	23.996	1.433
花蓮縣	鳳林鎮	12102	121.457	23.747	1.379
花蓮縣	玉里鎮	12103	121.349	23.380	0.956
花蓮縣	新城鄉	12104	121.603	24.073	1.215
花蓮縣	吉安鄉	12105	121.553	23.956	1.370
花蓮縣	壽豐鄉	12106	121.517	23.841	1.496
花蓮縣	光復鄉	12107	121.433	23.650	1.396
花蓮縣	豐濱鄉	12108	121.485	23.591	1.223
花蓮縣	瑞穗鄉	12109	121.400	23.521	1.091
花蓮縣	富里鄉	12110	121.287	23.200	1.263
花蓮縣	秀林鄉	12111	121.508	24.096	1.364
花蓮縣	萬榮鄉	12112	121.320	23.709	1.794
花蓮縣	卓溪鄉	12113	121.160	23.381	1.004
宜蘭縣	宜蘭市	12201	121.749	24.750	1.609
宜蘭縣	羅東鎮	12202	121.766	24.686	1.601
宜蘭縣	蘇澳鎮	12203	121.848	24.545	1.573
宜蘭縣	頭城鎮	12204	121.942	24.844	0.733
宜蘭縣	礁溪鄉	12205	121.713	24.814	0.949
宜蘭縣	壯圍鄉	12206	121.794	24.761	1.702
宜蘭縣	員山鄉	12207	121.666	24.739	1.179
宜蘭縣	冬山鄉	12208	121.744	24.646	1.387
宜蘭縣	五結鄉	12209	121.784	24.682	1.519
宜蘭縣	三星鄉	12210	121.654	24.670	0.833
宜蘭縣	大同鄉	12211	121.533	24.546	1.188
宜蘭縣	南澳鄉	12212	121.635	24.467	1.514
基隆市	中正區	12301	121.775	25.197	1.077
基隆市	七堵區	12302	121.672	25.107	1.866
基隆市	暖暖區	12303	121.739	25.084	1.718
基隆市	仁愛區	12304	121.735	25.120	1.348
基隆市	中山區	12305	121.728	25.148	1.268
基隆市	安樂區	12306	121.698	25.150	1.160

縣市	鄉鎮市區	代碼	經度	緯度	場址
基隆市	信義區	12307	121.764	25.129	1.353

附錄九、區域地震震度計算驗證

(1) 取得 CWB-EEW111020601.xml 地震資料

```
<earthquake>
<identifier>CWB-EEW111020601</identifier>
<schemaVer>TW-CWB-XML-EEW:1.0</schemaVer>
<language>zh-TW</language>
<event>地震警報</event>
<senderName>中華民國交通部中央氣象局</senderName>
<sent>2022-05-19T07:53:50+08:00</sent>
<status>Actual</status>
<msgType>Alert</msgType>
<msgNo>1</msgNo>
<description>WAN</description>
<originTime>2022-05-19T07:53:12+08:00</originTime>
<epicenter>
<epicenterLon unit="deg">123.72</epicenterLon> #震央經度
<epicenterLat unit="deg">23.43</epicenterLat>#震央緯度
</epicenter>
<depth unit="km">20.0</depth>
<magnitude>
<magnitudeType>236_4057_6</magnitudeType>
<magnitudeValue>5.5</magnitudeValue>#地震規模
</magnitude>
<pgaAdj>1.0</pgaAdj>
</earthquake>
```

(2) 計算區域震度

自「附錄八、鄉鎮市區場址效應表」，可以自兩地點的經緯度，計算其距離，計算程式如下：

```
def delaz(elat, elon, slat, slon):  
    avlat=0.5*(elat+slat);  
    a=1.840708+avlat*(.0015269+avlat*(-.00034+avlat*(1.02337e-6)));  
    b=1.843404+avlat*(-6.93799e-5+avlat*(8.79993e-6+avlat*(-6.47527e-8)));  
    dlat=slat-elat;  
    dlon=slon-elon;  
    dx=a*dlon*60.0;  
    dy=b*dlat*60.0;  
    delta=math.sqrt(dx*dx+dy*dy);  
    return delta;
```

- 計算震央到預設中華大學新竹校區剩餘震度

```
lat1 = 23.43 #震央緯度  
lon1 = 123.72 #震央經度  
lat2 = 24.76050804120313 #中華大學緯度  
lon2 = 120.95281487405667 #中華大學經度  
Ml = 5.5 #地震規模  
  
Si = 1.902 #新竹市東區場址效應  
focal_dep = 58.6 #震源深度  
Padj = 1.0 #地震 PGA 修正量 預設 1.0  
distance = delaz (23.43, 123.72, 24.759984, 120.953108)  
r = ((distance * distance) + (focal_dep * focal_dep)) ** 0.5  
PGA = 1.657 * math.exp(1.533*Ml) * r ** (-1.607) * 1.902 * Padj  
print("PGA:",PGA)
```

```
if PGA < 0.8:  
    print("中華大學震度:0 級")  
elif 0.8 <= PGA < 2.5:  
    print("中華大學震度:1 級")  
elif 2.5 <= PGA < 8:  
    print("中華大學震度:2 級")  
elif 8 <= PGA < 25:  
    print("中華大學震度:3 級")  
elif 25 <= PGA < 80:  
    print("中華大學震度:4 級")  
elif 80 <= PGA < 140:  
    print("中華大學震度:5 弱")  
elif 140 <= PGA < 250:  
    print("中華大學震度:5 強")  
elif 250 <= PGA < 400:  
    print("中華大學震度:6 弱")  
elif 400 <= PGA < 800:  
    print("中華大學震度:6 強")  
elif 800 <= PGA:  
    print("中華大學震度:7 級")
```


附錄十、JSON 格式傳遞強震信息範例」

Method		POST
URL		/earthquake
Request	Headers	content-type=application/json
	body	<pre>{ "sysId": "Abc123...接收授權碼", "tokenId": " Abc123...接收授權碼", "data": { "dataList": [{ "lon_original": "121.19", "lat_original": "23.14", "origintime": "2022-09-18T20:44:37+08:00", "value": "6.8", "lon_end": "120.912", "lat_end": "24.770", "endtime": "2022-09-18T20:44:52+08:00", "trigger_type": "4.5", "description": "四級地震於15秒後到達" }] } }</pre>
Response	body	<pre>{ "code": "0", "msg": "傳輸成功", "data": null }</pre>

參考書目

- [1] 交通部中央氣象局(2008)，地震百問，台北市，國家書局松江門市。
- [2] 陳光榮(2014)，地震防災概論，新學林網路書店。
- [3] 維基百科(2019)，地震，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E9%9C%87>，2020/2/25瀏覽。
- [4] Sharon Begley. (2006) How Melting Glaciers Alter Earth's Surface, Spur Quakes, Volcanoes. The Wall Street Journal.
- [5] 王乾盈(2014)，基礎地球科學上，新北市：全華出版社。
- [6] NTU 新加坡地球觀測站(2019)，Why do P-waves travel faster than S-waves?
<https://earthobservatory.sg/faq-on-earth-sciences/why-do-p-waves-travel-faster-s-waves>，2020/2/27瀏覽。
- [7] Pekachu (2006)，Seismogram，<https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Seismogram.gif>，2020/2/27瀏覽。
- [8] Charles J. Ammon (2001), Seismic Waves and Earth's Interior. An Introduction to Earthquakes & Earthquake Hazards. Pennsylvania State University Department of Geosciences.
- [9] 吳逸民(2012)，地震波地質百科，台灣地震知識服務網。
<https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=140855&mp=105&ctNode=1233>，2020/2/2瀏覽。
- [10] 王乾盈(2009)，表面波台灣大百科全書，中華民國文化部。
<http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3390>，2020/2/20瀏覽。
- [11] Miguel Herraiz, A. F. Espinosa. (1987)，Coda waves: A review. Pure and Applied Geophysics. 125 (4): 499-577.
- [12] Shearer, Peter M (2009), Introduction to Seismology. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- [13] 中央氣象局地震測報中心(2019)，<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/station/>，2020/2/28瀏覽。
- [14] USGS (2018), Body Wave. Earthquake Glossary. United States Geological Survey.
- [15] 趙克常(2013)，地震概論，臺北市，五南圖書，219–223。
- [16] NTU 新加坡地球觀測站(2019)，Why do P-waves travel faster than S-waves? <https://earthobservatory.sg/faq-on-earth-sciences/why-do-p-waves-travel-faster-s-waves>，2020/2/27瀏覽。
- [17] Christophe Dang Ngoc Chan(2006)，Propagation of a plane compression wave (impulse).https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Onde_compression_impulsion_1d_30_petit.gif，2020/2/20瀏覽。
- [18] Novotny, Oldrich. (1999), Seismic Surface Waves. Salvador, Bahia, Brazil: Centro de Pesquisa em Geofisica e Geologia, Universidade Federal da Bahia.
- [19] Poirier, Jean-Paul. (2000)，Introduction to the physics of the earth's interior 2nd. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press. 79–80.
- [20] 萊維、麥瑟斯、薩爾瓦多、馬力歐(1997)，大地怒吼：地震與火山的故事 Why The Earth Quakes. 臺北市：時報文化：69, 127–129.
- [21] 王乾盈(2009)，體波，臺灣大百科全書，中華民國文化部。
- [22] Semblat, Jean-François. (2009) Pecker, A. Waves and Vibrations in Soils: Earthquakes, Traffic, Shocks, Construction Works. IUSS Press.
- [23] 甘芝萁、黃立翔(2016)，場址效應小檔案，自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/957157>，2020/3/5瀏覽。
- [24] 吳家豪(2016)，台南非震央卻重創，地震專家：場址效應，中央通訊社，<https://www.taiwannews.com.tw/ch/news/2879266>。
- [25] 生活中心(2016)，為什麼台南災情最慘一張圖讓你秒懂「場址效應」。蘋果日報。<https://tw.news.appledaily.com/life/realtime/20160206/792215/>，2020/3/5瀏覽。
- [26] 涂道霖(2008)，台灣地區 T 波的生成研究，臺灣大學地質科學研究所學位論文。

- [27] 日本地震學會(2020)，日本地震學會広報誌「なるふる」Vol.75PDF。
<https://www.zisin.jp/>，2020/3/5瀏覽。
- [28] 郭士豪(2001)，準分子雷射與微型聲波感測器之製作、測試與應用。國立成功大學機械工程學系碩士論文。
- [29] Sammis, Charles and Henyey, Thomas. (1987)，Geophysics Field Measurements. Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- [30] 交通部中央氣象局(2003)，地震百問。臺北市:交通部中央氣象局地震測報中心，第13頁、第46則。
- [31] 黃瑋程、鄭濬承(2018)，台灣西南平原表面波現象探討，2018年臺灣國際科學展覽會優勝作品專輯，臺灣國際科學展覽會。
- [32] Mateusz Pasternak(2007)，Rayleigh wave-propagation。
https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Rayleigh_wave-propagation.jpg，2020/3/5瀏覽。
- [33] Kjartansson, Einar. (1979)，Constant Q-Wave Propagation and Attenuation. Journal of Geophysical Research.，2020/3/5瀏覽。
- [34] Po-Wei Kao(2019)，Depiction of the propagation of a Love wave. The particles vibrate perpendicularly to the direction of propagation and the amplitude decays with depth. https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Love_wave_in_Chinese.png，2020/3/5瀏覽。
- [35] 郭茂坤(2002)，Stoneley wave - 史東尼波雙語詞彙、學術名詞暨辭書查詢網，國家教育研究院。<http://terms.naer.edu.tw/detail/1330624/>，2020/3/9瀏覽。
- [36] DalMoro, Giancarlo. (2015)，Chapter 1 - Introducing Surface Waves. Surface Wave Analysis for Near Surface Applications. Elsevier.
- [37] 王正松(1984)，地震與地震學，臺北市，正中書局。
- [38] Marikanessa (2013)，A scheme of motion during fundamental toroidal oscillation of the Earth.
https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Fundamental_toroidal_oscillation_Earth.gif，

2020/3/9瀏覽。

- [39] 江穎、胡小剛、劉成利、孫和平(2014)，利用地球自由振盪觀測約束蘆山地震的震源機制解，中國科學：地球科學。
- [40] 吳如山、謝小碧(2014)，地震學百科知識（十二）地震波散射，國際地震動態。
- [41] Ingo Wölbern (2007)，Example of the coda of a seismic wave: 200 s of the coda are shown after the P wave arrival of a teleseismic event.
https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Seismic_Coda.png，2020/3/9瀏覽。
- [42] Watada, Shingo; Kunugi, Takashi; Hirata, Kenji; Kanamori, Hiroo; Oikawa, Jun; Tsuji, Yoshinobu; Sekiguchi, Shoji.(2006)，Atmospheric pressure change associated with the 2003 Tokachi-Oki earthquake. Geophysical Research Letters.
- [43] 三雲健 (2011)，大地震、津波、火山大爆發などから発生した気圧波地震。
- [44] 長尾大道、樋口知之(2013)，地震音波データ同化システムの開発：雙子実験による検証，統計数理研究所。
- [45] MetEd (2013)，Tsunami warning center reference guide. Jakarta: USAID/Indonesia.
- [46] Ben-Zion, Yehuda; Vernon, Frank; Ozakin, Yaman; Zigone, Dimitri; E. Ross, Zachary; Meng, Haoran; White, Malcolm; Reyes, Juan; Hollis, Dan; Barklage, Mitchell.(2015)，Basic data features and results from a highly-dense seismic array on the San Jacinto fault zone. Geophysical Journal International.
- [47] Praveenron (2014)，The Hypocenter/Epicenter of an earthquake is calculated by using the seismic data of that earthquake from at least three different locations.
https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Hypocenter_Calculation.png，2020/3/9瀏覽。
- [48] USGS(2017)，Residual. Earthquake Glossary. United States Geological Survey.
- [49] Bondár, István; Myers, S. C.; Engdahl, Eric Robert; Bergman, Eric A.(2004)，Epicentre accuracy based on seismic network criteria. Geophysical Journal International.
- [50] Christophe Dang Ngoc Chan(2006)，P- and S-wave sharing with time.

- https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Ondes_P_et_S_1d_30_petit.gif，2020/3/9瀏覽。
- [51] すじにくシチュー(2015)，地震の波形説明図。
https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Diagram-of-seismic-waves_jp.svg，2020/3/9瀏覽。
- [52] Omori, F. (1894), On the aftershocks of earthquakes, Journal of College Science, Imperial University of Tokyo, 7, 111.
- [53] Dartmouth(2018)，Determining earthquake distance.
http://www.dartmouth.edu/~ears5/handouts/EQ_distance.html，2020/3/10瀏覽。
- [54] 顏心儀(2006)，用台灣寬頻地震網從事強震預警研究，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。
- [55] SCEDC(2013)，Multiple Magnitudes?. SCEC Educational Module.
<https://web.archive.org/web/20180308030044/http://scedc.caltech.edu/Module/sec3pg19.html>，2020/3/10瀏覽。
- [56] USGS (2019), The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Hazards Program. United States Geological Survey.
- [57] 中央氣象局地震測報中心(2019)，何謂震度?地震百問，
<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-TW/Guidance/FAQdetail/36>，2020/3/10瀏覽。
- [58] 吳逸民(2019)，震度 Intensity，地質百科經濟部中央地質調查所，
<https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?mp=105&ctNode=1233&xItem=140853>，2020/3/10瀏覽。
- [59] 交通部中央氣象局(2019)，增修中央氣象局震度分級—新增震度七級劇震，
http://www.rel.org.tw/921/rec_doc/doc/g018/g018-2/09-890808%E6%96%B0%E8%81%9E%E7%A8%BF-%E5%A2%9E%E4%BF%AE%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E6%B0%A3%E8%B1%A1%E5%B1%80%E9%9C%87%E5%BA%A6%E5%88%86%E7%B4%9A.doc，2020/3/10瀏覽。
- [60] 交通部中央氣象局(2019)，震度新分級應變更實用，

<https://www.cwb.gov.tw/Data/service/Newsbb/CH/1081218earthquakepress.pdf> ,
2020/3/10瀏覽。

[61] 教育大市集(2019) , 地震波的實際應用 ,

https://web.archive.org/web/20190127152658/https://market.cloud.edu.tw/content/senior/earth/yl_ld/content/2-1/waveapp.htm , 2020/3/13瀏覽。

[62] Bullen, K. E.; Bolt, Bruce A. (1985), An introduction to the theory of seismology 4th. Cambridge: Cambridge University Press.

[63] Lee, William H.K.; Jennings, Paul; Kisslinger, Carl; Kanamori, Hiroo. (2002), International handbook of earthquake and engineering seismology. Amsterdam: Academic Press.

[64] 地球物理學概論(1998) , 中壢 , 中華民國地球物理學會。

[65] Po-Wei Kao(2019) , Earthquake wave paths in Chinese ,

https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Earthquake_wave_paths_in_Chinese.png ,
2020/3/13瀏覽。

[66] 維基百科(2019) , 地震波 ,

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E6%B3%A2#%E5%9C%B0%E9%9C%87%E6%B3%A2%E7%9A%84%E8%BD%89%E6%80%A7> ,
2020/3/13瀏覽。

[67] Probert, T.; Robinson, J.P.; Ronen, S.; Hoare, R.; Pope, D.; Kommedal, J.; Crook, H.; Law, A.(2000) Imaging Through Gas Using 4-Component, 3D Seismic Data: A Case Study From The Lomond Field. Offshore Technology Conference. Houston, Texas.

[68] Bullen, K. E. (1951), Theoretical Amplitudes of the Seismic Phase PKJKP. Geophysical Journal International. 6 (s3): 163-167.

[69] Po-Wei Kao(2019) , Speeds of Seismic Waves in Chinese .

https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Speeds_of_Seismic_Waves_in_Chinese.png ,
2020/3/15瀏覽。

- [70] 潘昌志(2013)，穿越的地震波，怎麼會轉性了？，泛科學。
- [71] 萊維、麥瑟斯、薩爾瓦多、馬力歐、大地怒吼(1997)，地震與火山的故事 Why The Earth Quakes. 臺北市，時報文化。
- [72] Stewart, Robert R.; Gaiser, James E.; Brown, R. James; Lawton, Don C. (2002) Tutorial, Converted-wave seismic exploration: Methods Geophysics (Tulsa, Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists), 67 (5): 1348–1363
- [73] NASA, (2004) Epicentre ale cutremurelor produse în intervalul de ani 1963–1998. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quake_epicenters_1963-98.png，2020/3/15 瀏覽。
- [74] 新浪新聞中心(2006)，成功的地震預報實踐。<http://news.sina.com.cn/c/2006-07-17/172710449596.shtml>，2020/3/15 瀏覽。
- [75] 王曉易 (2008)，事前成功預測並採取了措施，傷亡18308人。
<https://web.archive.org/web/20190106204335/http://history.news.163.com/08/0512/15/4BOM6JK200011248.html>，2020/3/15 瀏覽。
- [76] 張慶洲 (2006)，唐山警世錄：7.28大地震漏報始末，上海人民出版社。
- [77] 陸振華 (2008)，唐山地震青龍縣奇跡重播：全縣僅1人死亡，新浪新聞中心。
<http://news.sina.com.cn/c/2008-05-27/042115624149.shtml>，2020/3/20 瀏覽。
- [78] 中央氣象局(2021)，即時地震觀測網，取自
<https://scweb.cwb.gov.tw/earthquake/Twenty.aspx?ItemId=14&CId=221&loc=tw>
- [79] 張紅才(2013)，地震預警系統關鍵技術研究，中國地震局系統力學研究所，44–45。
- [80] 張紅才、金星、李軍、韋永祥、朱海燕(2013)，地震預警系統研究及應用進展，地球物理學進展，2 (28): 706–719。
- [81] 蔡承勇(2015)，即時走時序列地震定位法及台灣小區域地震預警陣列應用，國立成功大學地球科學系。
- [82] 中央氣象局地震測報中心(2015)，各觀測系統發展史-20周年專刊，中央氣象局

地震測報中心，臺北。

- [83] 國家實驗研究院(2015)，地震預警科技現地型強震即時警報系統@臺灣，國家實驗研究院，臺北。
- [84] 蕭乃祺(2016)，中央氣象局強震即時警報作業推動現況，台灣地震科學中心通訊(台灣地震科學中心)。
- [85] 孫曜樟(2014)，手機可救命首款官民合作地震求援 APP 供免費下載，ETtoday 東森新聞雲，臺北。
- [86] 事件波形資料庫介紹(2020)，P 波警報器強震網，臺北。
- [87] 地震百問(2018)，中央氣象局強震即時警報對外通報的方式與管道，目前有哪幾種？未來發展的規劃為何？中央氣象局地震測報中心。
- [88] 科技新報(2018)，臺灣地震預警警報正式啓用，預測規模 5 以上地震將推送警報到你的手機，搜狐網新聞，北京。
- [89] 交通部中央氣象局(2018)，105地震年報交通部中央氣象局，臺北。
- [90] 大規模地震災害防治策略建議書，臺北:中央研究院: 19-21。
- [91] PhysOrg. (2011) Early warning system predicted shaking from Oct. 30 quake.
- [92] M Bose; F Wenzel; M Erdik. (2008) PreSEIS: A Neural Network-Based Approach to Earthquake Early Warning for Finite Faults. Bulletin of the Seismological Society of America. 98 (1): 366–382.
- [93] Burkett, Erin R.; Given, Douglas D.; Jones, Lucile M. ShakeAlert (2014): an earthquake early warning system for the United States West Coast.
- [94] Lin, Rong-gong. (2015) Congress members urge \$16 million to fund quake early warning system. Los Angeles Times.
- [95] ShakeAlert (2018) : An Earthquake Early Warning System for the West Coast of the United States
- [96] 日本氣象廳 (2018)，緊急地震速報に活用している地震観測點。
- [97] 中村豊 (1996)，研究展望：総合地震防災システムの研究，土木學會論文集，

- 531: 1–33。
- [98] (社)日本技術士會/防災支援委員會(2018), 防災 Q&A, 日本技術士會—防災支援委員會。
- [99] 日本氣象廳(2018), 震度觀測點(全國), 日本氣象廳, 東京。
- [100] 孫利、鍾紅、林泉(2011), 高速鐵路地震預警系統現狀綜述。世界地震工程, (3): 89–96。
- [101] 中國地震局辦公室(2017), 復興號高鐵啓程中國地震局助力保障高鐵運行安全, 中國地震局, 北京。
- [102] 澎湃新聞(2017), 國家地震烈度速報與預警工程含4大重點預警區, 秒級速報, 中國地震局, 北京。
- [103] 曹金龍(2013), 首都圈地區建立地震預警系統的幾點思考, 城市與減災, (5): 9–12。
- [104] 澎湃新聞(2013), 國家地震預警系統在福建試運行, 正擬定技術標準, 新浪網新聞, 北京。
- [105] Can Zulfikar. (2016), Ali Pinar. Operational EEW Networks in Turkey. Geophysical Research Abstracts.
- [106] A. Cuéllar; (2014) The Mexican Seismic Alert System (SASMEX): Its Alert Signals, Broadcast Results and Performance During the M7.4 Punta Maldonado Earthquake of March 20th, 2012. Early Warning for Geological Disasters.
- [107] Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C., (2016) CIRES, México. www.cires.mx.
- [108] V. Marza. (1995), 羅馬尼亞的地震危險性, 防災減災工程學報。(A): 46–47。
- [109] Zaicenco, Anton; Weir-Jones, Iain. (2012) Lessons Learned from Operating an On-site Earthquake Early Warning System. Proceedings, World Conference on Earthquake Engineering. September.
- [110] 趙紀東、張志強(2009), 地震預警系統的發展、應用及啓示, 地質通報, 4

(23): 456–462。

[111] 王雪梅(2018)，背景資料：伊格納利納核電站，騰訊網新聞，深圳。

[112] 吳逸民、蕭乃祺、林孝維(2016)，地震初達波強震即時警報系統之研發，地震技術報告彙編。

[113] A Marmureanu; L Elia; C Martino; A Zollo. Earthquake early warning for Romania - most recent improvements. Universidad Nacional de Colombia. 1995, (3): 5–19.
ISSN 0121-2974.

[114] The CIA Triad of Information Security: An Overview ,
<https://uniserveit.com/blog/the-cia-triad-of-information-security>。

智慧全人居家預警災防系統之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：蕭炎泉、何明錦、楊明玲、謝博全、賴淑貞

出版年月：111年12月

版次：第1版

ISBN：978-626-7138-43-4（平裝）