

# 探討大地震的預測對策

何耀坤

臺南市私立光華女中

地震是大自然美中不足的憾事，給人帶來恐懼又造成很大的生命和財產損失。因為地震是很複雜的自然現象，所以目前尚無法確實預測發生的時間、大小及位置。現在各國正努力以科學方法研究預測地震，如觀測小地震發生頻率之變化、震波速度的變化、地球磁力和重力場之改變情形，地表變形的測量等。可是至目前有極稀少的成功之外，無法達到實用階段。現代科學對地震所採取方法有二，①記錄各地地震的情形來分析原因，②對每一地震當做獨立的物理現象，以物理、地球科學及工學來了解。

地震的預測應要達成，何時，在何處，會發生多大的地震等三條件。現在太空科學、電子科技、基因科學很進步，我相信能預測地震發生的日子不遠。

## 一、關於地震的預測

對地震預測研究在美國有許多人，相信最近將來能成功並實用化。雖然日本人對這種研究信心和評價較低，可是日本當局對地震預測組織已完成一段落。如果國家政府有關地震的機構和學術研究機關，發現地震預測要素有顯著發生變化時，如土地異常隆起，地震活動度增加時應怎麼辦？發出地震預報的權限和責任雖然沒有規定，可是要以國民生活的安全優先考慮，不可說：「地震的發生預測現在尚在研究階段，無法告知」，這些事和醫學上處理癌問題情形不同。

大地震不是像核子彈在局部爆發，是因為局部的地層或板塊之破壞引起連鎖反應，更引起蓄積有破壞性能量的大地域的災害。集集大地震起因於大茅埔、雙冬斷層被推擠，進而帶動西側平行並相近的車籠埔斷層，使地層劇烈上升。在科學上雖然能了解某地區蓄積有多少破壞能量，但是對破壞的引發性微細觀測裝置如何配置，實際上很困難做到。如在醫學上對某疾病的病因明瞭後，如何治療，幾天後某病狀會變怎樣等要靠名醫的經驗和判斷，可是醫師沒有這種預測的義務。在天然災害發生前根據所發生的局部現象，要推測何時會發生災害，於理論上雖然可說明，實際上觀測能力有限，最後靠國家機關的判斷。所以只能要求國家的地震研究單位，以客觀方法去努力盡理想。

1965年至1967年在日本松代發生群發性又淺層性大地震時，當地鎮長中村氏接受媒體記者訪問時說：「現在我們最需要的不是錢或物資，是需要有關地震的學問」，的確是名言。但是現在有關地震的學問，不是完全無力。對這次集集大地震在各大學及研究機構檢

討觀測結果，並對嘉南地區發出地震警告資訊，在實質上可謂地震警報。可是一般人的反應參差不齊，因職業及生活環境各有不同的認識。像地方行政當局只注重對學校建物和橋樑補修，增加消防力和醫療設施等。從這次震災看來，無論發出資訊及接受資訊雙方都缺乏訓練。

## 二、各國對地震的預測研究計劃

預測地震以保護人民的生命財產，是一般民眾的願望，所以地震預測（earthquake prediction）是地震學的重要目標。下面介紹各國對地震預知研究情形，記述對地震預測有用的各種地球物理現象的意見。地震預測和地震警報（earthquake warning）是完全不同的問題，主要區別為純粹以技術的預測和一為行政判斷的警報。

### (1) 日本的地震預測研究計劃

1960 年日本的地震學家有志討論地震預測的可能性，發表「地震預測—現狀和推進計劃」刊出小冊，堪稱為地震預測的藍本，成為現在研究地震預測的基本。日本學術會議機構建議政府，特在新潟地震（ $M=7.5$ , 1964 年）後以國家計劃，自 1965 年開始地震預測研究。於學術方面設立地震預測委員會，實施方面由文部省測地學審議會，於十三年間投入 150 億日元，動用一百名公務人員。

計劃實施當初工作以取地震預測必要的基本資料為重點，於 1965~1967 年松代群地震及 1968 年土勝沖地震（ $M=7.9$ ）後，由社會的要求將研究重點改為預測方面。1976 年在遠州灘至駿河灣有發生大地震的傳言，而積極展開東海地域的地震預測工作。此間在中央政府建設省國土地理院中設立「地震預測連絡會」，會長萩原尊禮教授（東京大學），由國立大學及相關政府機關專家約三十名，檢討資料。1976 年成立地震推進本部（議長：科學技術廳長官），設東海地域判定會，是觀測到異常現象的緊急判定組織，並成立大地震對策特別措施法，以減輕震災。

在這計劃實施上，全國用 geodimeter 每五年反覆用光波的邊長測量，製作一、二等三角點（總數約 6000 點）形成全國精密測地網，將地殼歪曲變化監控成為可能。因此將全國達 2 萬公里的一等水準測量路線，每五年改測一次，實踐所謂「藍本計劃」。另在特別重要地域，每隔 1~2 年反覆作水準測量。為檢出海水面相對陸地的昇降度，設置 20 所檢潮所，和已有的共有一百所，設在日本沿岸每隔一百公里地點。另外設立地殼變動連續觀測所共十三所，並在氣象廳的地震觀測儀器更換現代化，同時由十九所國立大學設立微小地震觀測所支援工作。國立防災科學技術中心在埼玉縣岩槻的土地上挖深孔，在深 3510 公尺深岩盤上裝高感度地震計。

又每年一次在伊豆大島舉行人工爆破，觀測其地震波，觀測相模灣底的地震波速度的變化。另調查日本的活斷層，決定活斷層位置。爲了地磁全年變化的精密觀測，裝備 proton 磁力計的觀測所設十四所，加強國土地理院的磁氣測量。在神奈川縣油壺設站連續觀測土地的電阻比率。在五所國立大學內設立岩石破壞實驗設備，期待能取得地震預測理論的基本資料。現在各種資料能用遠隔測定器，送測定值到遠方記錄的技術很進步，設在各國立大學的觀測中心，資料可上網路，適時隨時能處理。

### (2) 美國的地震預測計劃

自從 1964 年在東京召開日、美地震預測研討會以後，美國對地震預測關心提升，同年三月受阿拉斯加地震（ $M=8.4$ ）的大刺激，但是受當時越南戰爭之影響、對地震的研究有一點拖延。可是 1973 年決定地震災害減輕對策計劃（Earthquake Hazards Reduction Program）開始實施。有關地震預測的預算在地質調查所(USGS)，1977 年有 730 萬美元，其中 200 萬美元支給大學，全預算中 39%爲人事費，29%是經常費，這些費用比日本少。

美國的地震預測計劃的各項工作內容和日本略相同，但是重點當然放在加州的 Sanandres 大斷層之觀察，而在舊金山南方的 Hollister 附近，設有對微小地震、傾斜、歪曲、斷層、地磁等高密度觀測網。最近在洛杉磯北方發現以 Palmdale 爲中心有廣域異常隆起，非常擔心大地震會再來臨（1857 年曾有  $M=8$  地震的記錄）。

### (3) 蘇俄的地震預測計劃

在中亞細亞的所謂 Silk Road 沿線上的 Tashkent, Ashkabad……等都市，曾經發生過大地震，因此蘇俄對中亞細亞的地震預測研究很用心。尤其對 Garm 地區實施綜合觀測，對地震的先行的地震波速度的變化，土地的抵抗變化的研究方面有相當的成果。在常有大地震的堪察加地區，有統計的地震預測，地電流變化等研究較著名。

### (4) 中共的地震預測計劃

1966 年 3 月在北京西南方約 300 公里的邢台附近，發生了  $M=6.8$  及 7.2 地震，災害大。當時周恩來視察災情後，新設國家地震局以國家計劃地震預測工作。動員科學家數百人，技術人員數千人，設地震觀測所 250 所及觀測點 5000 點。有許多民間志工參加協助，用自製儀器觀測地電流，地下水情形，又調查動物異常行動和地震關係。全國設十七地震隊由國家地震局（State Seismological Bureau）連絡指揮。

在中國偶而會有大地震，陝西省的地震（ $M=8$ ，於 1556 年）死者 82 萬人。1920 年寧夏省海原地震（ $M=8.5$ ），死者 18 萬人。因爲用“土角”建材爲主所建的民屋，被壓死的人數甚多。1975 年 2 月 4 日在遼寧省海城附近發生  $M=7.3$  地震時，因有長短期的預測在先，

政府事前發出退避指令，市民集合在廣場時真正發生了大地震。這事後來受到各國地震科學界的讚賞，但是中共的地震預測計劃大綱和各國相同，只是民眾志工活動和教育的配合是成功的因素。

1976年7月28日河北省唐山附近發生了M=7.8地震時，事先的預測不成功，災害大（據說死者70萬人），從以上實例證明預測地震並不是簡單的事。

### (5) 國際地震預測委員會和 UNESCO 的活動

在地震預測關心高昂時，國際測地學地球物理連合會（簡稱 IUGG）的國際地震學及地球內部物理學協會（簡稱 IASPEI）中，在 1976 年成立國際地震預測委員會（International Commission on Earthquake Prediction），第一屆委員長是日本的萩原教授，第二屆是蘇俄的 E. F. Savarensky，第三屆是美國的 J. P. Eaton。這委員會常將東方的地震預測成果向西方學家介紹，並推進開發國家的地震預測工作。聯合國文教組織(UNESCO)於 1979 年召開大規模的有關地震預測的研討會，積極努力這方面問題。

## 三、地震預測的要素

現在所謂地震預測計劃，是要具體把握地震發生前的所謂先行現象，當然過去地震活動的統計資料對地震預測也有大的幫助。在此根據日本的地震預測藍本，對地震預測有關的記述其概略如下。

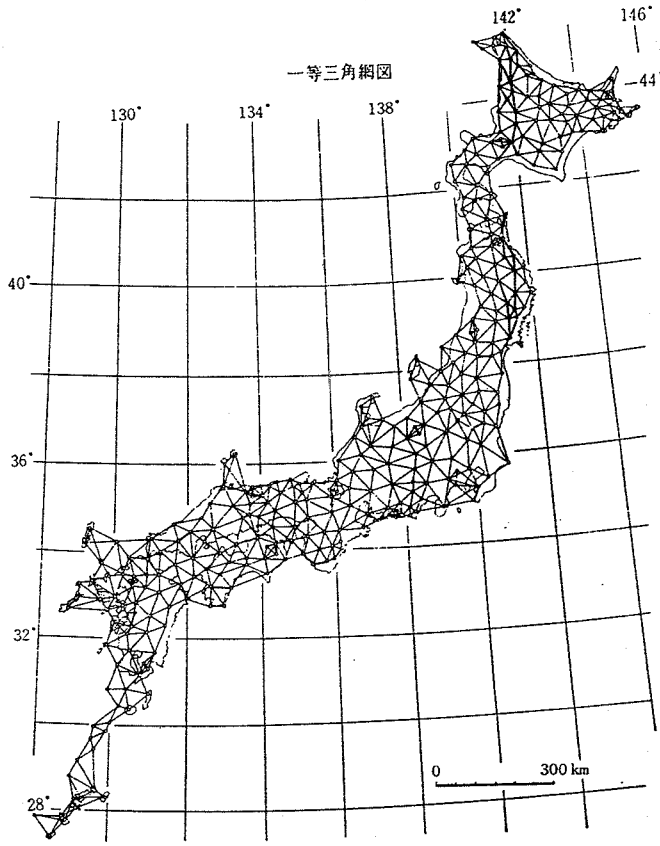
### (1) 測地測量的地殼變動情形

#### ① 水平變動

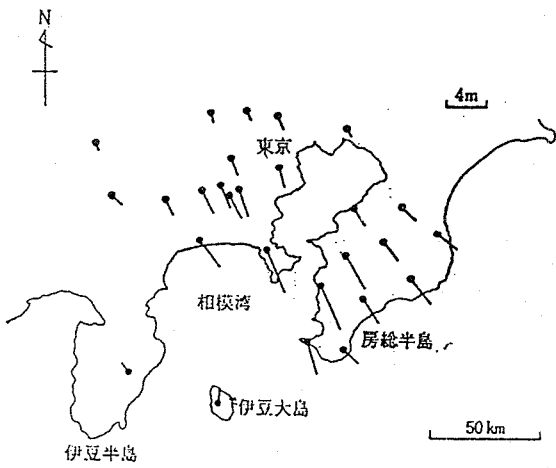
日本全國如圖一，由 330 點的一等三角點，構成三角網。三角點位置由三角測量可正確求算。如果反覆三角測量查出其中的差異，就可知三角點的移動情形。圖二是 1923 年關東地震（M=7.9）時，關東南部的一等三角點的變位。在此值得注目的，是伊豆大島及伊豆半島之移動和其他地區相反，證明相模灣東邊產生了斷層。最近使用高頻律變調雷射光，在 50 公里距離，能以 1 公分精度測量，以邊長直接測量的三邊測量代替以前的三角測量。這方法比較可節省勞力和經費，精度也高。

#### ② 上下變動

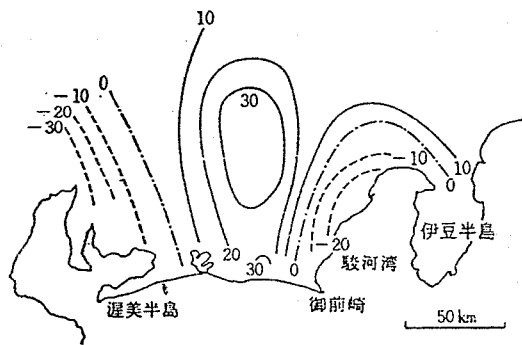
要調查地殼的上下移動，普通用水準測量，在日本全國主要道路每 2 公里設置有水準點，一等水準路線全長有 2 萬公里。反覆作水準測量能檢出各地的上下及地殼的變動情形。圖三是日本國土地理院在 1889~1967 年間，在東海地方的地殼上下情形，可知駿河灣西岸有顯著沈降。



圖一 日本的一等三角網 (國土地理院)



圖二 關東地震時的一等三角點的移動情形 (國土地理院)



圖三 東海地方的土地上下變動 (1889~1967年) 單位: cm (日本國土地理院: 1974年)

## (2) 檢潮

在地震直前海水發生異常退潮之報告，有 1793 年在日本的鯨澤地震（ $M=6.9$ ），1802 年佐渡地震（ $M=6.6$ ），1872 年濱田地震（ $M=7.1$ ），丹後地震（1927 年， $M=7.5$ ）。這現象是證明陸地局部有急上昇，現在對海水面的相對陸地升降情形用檢潮儀可觀察。海水面的高低受氣壓、水溫、風、潮流等氣象及海象影響多。為避免此影響，要在較接近的兩所檢潮所作檢潮記錄，求兩所的上下變動。

## (3) 地殼變動連續觀測

為補充間缺的測地測量，另設立地殼變動觀測所，裝備連續觀測使用傾斜計和歪曲計。據目前的觀測結果，由連續觀測的傾斜變化，會反映出由測地測量反覆檢出的地殼變動情形，但是方向和位移量不一定一致。

## (4) 地震活動

### ① 板塊理論和地震

地球上地震較多的地域是太平洋周邊，中國西部，巴爾幹至阿爾布斯；震源較深的地震多發生在日本，阿留申，南太平洋沿岸，喜馬拉雅，愛琴海等，用板塊理論可說明。至於中國大陸內部的大地震和羅馬尼亞的有限地域的深源地震的原因，未能有詳細的說明。

### ② 微小地震

在地震中小地震最多，所以觀測微小地震（ $3 > M \geq 1$ ）和極微小地震（ $1 > M$ ），可了解某地域的地震傾向。

### ③ 前震

許多地震發生時，尤其大地震前常有小地震，稱為前震。如中國 海城地震，主震發生在 2 月 4 日，從 2 月 1 日開始有微小地震，無論次數或規模（ $M$ ）漸漸增加，於 4 日上午發生  $M=4.7$  及 4.2 地震，前震次數急減時發生  $M=7.3$  的主震。前震一般被認為在主震附近發生，但是也需要擴展範圍調查更廣域的前震活動情形，因為廣域的地震活動常在大地震前會升高。

### ④ 大地震前的異常地震

日本 關谷氏舉伊豆半島外海地震為例，指出在大地震之前，主震震源周邊有異常的活潑地震發生。

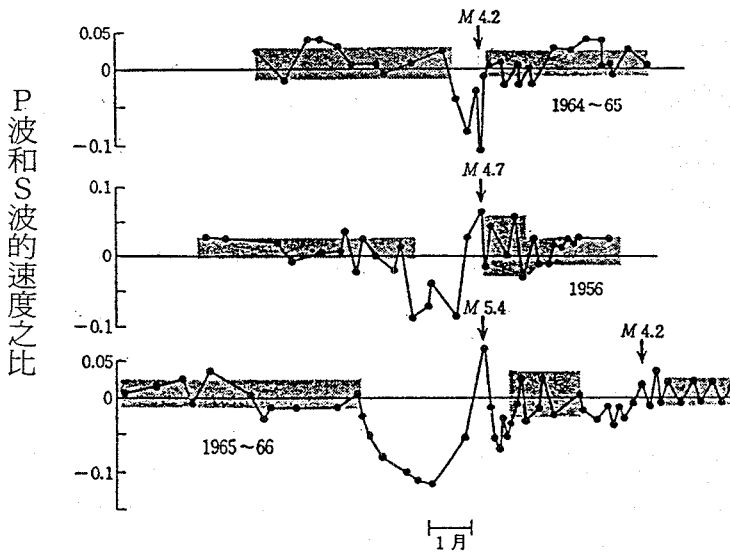
### ⑤ 地震活動的空白地帶

美國和蘇俄學家在阿留申和堪察加的大地震時，指出在大地震發生前一段很長時期震源域幾乎沒有中小規模的地震。在舊金山附近，洛杉磯北方也如此。存在有如此的地震的

空白地帶 (Seismicity gap)，後來由測地測量也確認，是在此地域正進行土地的歪曲蓄積。另外在南美 秘魯西海岸，智利北部至東南方秘魯海岸也有明顯的這種地震的空白地帶之存在。

### (5)地震波速度

將來要發生大地震的震源域內，若有別的地震波傳來時，其速度會變化，這種報告有不少，圖四是蘇俄 Garm 地區的觀測結果。P 波的速度和 S 波的速度之比  $V_p/V_s$  在地震之前會減少，而其減少回復後就發生地震。 $V_p/V_s$  之比所呈的異常期間，若地震規模愈大就愈長。這種例子在美國、中國及日本都有，所以可成爲預測地震的有力方法之一。可是在  $V_p/V_s$  之比的變化沒有顯出而發生的地震也有，到底那種地震會顯出變化，那種地震不會顯出變化，現在沒有定論。



圖四 Garm 地區的  $V_p/V_s$  比之變化  
陰影部分是誤差之範圍  
(據 Semyenov 1969, Kisslinger 1974)

### (6)地磁和地電流

#### ①地震的地磁效果

發生地震前後地磁會變化的事實，於前世紀以來有不少人提出這種報告。1974 年 6 月 加州 Sanandreas 斷層發生的  $M=3.8\sim 4.2$  地震群也有確認到地磁效果。

#### ②地震前的地磁變化

這種變化在日本、美國、中國、土耳其、蘇俄等國都有發現，尤其 1974 年 11 月 28 日加州發生地震（ $M=5.2$ ）之一個月前，發生了振幅 1.8r 之變化是顯著的例子。

### ③地電流

在地震前後自然地電流會呈異常變化之報告甚多，尤其在中國和堪察加方面特多。

### ④電阻

在蘇俄和中國有許多報告，指出地震前土地的電阻會變化的事實。在美國於  $M=3\sim 4$  級地震的數十日前，也有報告指出這事實。

## (7)其他的地震預測要素

日本的松代地震和 1976 年的伊豆地方發生土地異常隆起時，證實重力變化達數十  $\mu$  gal，這是對地下狀況的推測成爲有力的方法。如地下水的水位，水溫，化學成分的變化等，在地震前會發生變化的報告多，尤在中國和蘇俄有相當的成果。在地震發生之前，動物和魚類有異狀行動之事，從古時就有流傳民間。在美國對地震預測預算中，0.5%支出這方面的研究，日本也如此，我們不必認爲這是迷信。

總而言之，活斷層的調查研究對超長期的預測有用。在岩石的破壞實驗研究，對自前震→主震→餘震系列的地震活動的了解過程，可提出重要的線索。尤其在高內力和應力的岩石發生微小裂隙，其體積會引起膨脹的現象（稱 dilatancy），對地震發生的各種現象，如地震前的土地異常隆起，地震波速度的變化，地電阻的變化等現象。dilatancy 現象能統一說明其過程，是地震科學界應特別加以注意。

## 四、地震預測對策

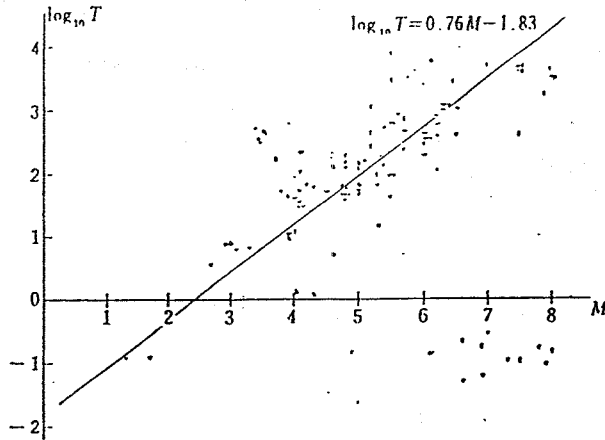
### (1)大地震的先行現象

大地震不會完全無前兆而突然發生，若詳細觀測其周圍環境的變化應可發現。所謂大地震的前兆；就是先行現象，如地殼變動（由測地測量及海岸線的升降檢查可知），土地傾斜和歪曲的連續觀測，前震，微小地震發生的程度，發震的結構，斷層的滑動速度，地震波速度的異常，地磁變化，地電流變化，地下水位或石油的湧出量等。

其中前震的先行時間很不規則，對主震的發生時間的預測難適用。圖五表示地震先行時間  $T$  和地震規模  $M$  之間的關係。圖五中的很小的點記號是各種的先行現象，直線周邊的分布是第一類先行現象，在橫軸下方的點是第二類先行現象。圖的縱軸是先行時間，以日數計，並取其常用對數，即是

$$\log_{10} T = 0.76M - 1.83$$





圖五 先行時間  $T$  (單位為日) 的常用對數和地震規模  $M$  之關係。

所以第一類先行現象的先行時間和地震規模有關，因此上式和地震預測有重要關係，即是先行時間愈長，規模  $M$  愈大。用此式來計算，其先行時間在  $M=6$  時為 1.5 年， $M=7$  時為 8.5 年， $M=8$  時為 49 年。於圖五中在右下方的小點，是第二類先行現象的先行時間，是分布於  $\log_{10} T = -1$  的周邊，似和  $M$  無關。換句話說，大地震發生的數小時以前，應可看出地震的前兆。在第二類先行現象之重要性，是如圖五中在  $M=7 \sim 8$  地震時，其前兆之出現很明顯，在  $M=4 \sim 6$  的中規模地震時其前兆難把握。所以第二類先行現象在大地震時應可觀測出來。

### (2) 加強測地測量

相關地震引起的地殼變動的研究是重要的，根據最近國科會提出的集集實地勘災報告證實，此次大地震逆衝斷層上下錯動最高達 7~8 公尺，主震斷裂朝北延伸擴大達 70~80 公里，震後在車籠埔斷層沿線的大甲溪畔，台中 大坑，霧峰及草屯等地，均發現斷層東較西側明顯隆起，落差可達數公尺之高。

地震相關的地殼變動的勘查，過去用三角點移量求算水平面內的地殼歪曲度。一般在地震時出現的斷層之周邊，歪曲度約一萬分之一（根據坪井忠二說法）。坪井氏指出若地殼歪曲達到一萬分之一，就會引起破壞而發生地震。換句話說，長每一公里若發生 10 cm 的伸縮或滑動時，地殼會破裂。如圖一的三角點距離，若各邊的長度變化時，用該三角形的重心的歪曲度可算出。根據這方法也可能計算出會引起大地震的可能性。

### (3) 預測地震的觀測方法

預測地震的觀測方法，除上述的方法外另有如下。

- ①在山間設地震儀，發送電波。在日本約有 250 所。
- ②測深井水位變化。下降有時達 7 公尺。
- ③重力測量、可知地下物質的移動情形。
- ④測土地傾斜或伸縮情形。
- ⑤注意地震前兆，如地鳴、發光現象、雲狀變化。

#### (4) 預測地震的四階段

第一階段：用統計來預測（是準備階段）

如在中國和日本有兩千至三千年的長期地震史料，其有效性明確。但是要注意所謂統計是，在資料的平均狀況有效，對預測將要發生的事完全無效。例如日本 河角廣氏根據東京附近的鎌倉的強震統計，提「東京大地震六十九年週期說」，雖然對東京防災工作有警覺作用，可是肯定說「六十九年」則有點過分。

第二階段：長期的預測—歪曲度蓄積階段

以此方法被認為有大地震發生可能性高的地區，應加強各種觀測，努力檢查地震的先行現象。

第三階段：短期的預測—地震先行現象的檢查

特別要注意大地震發生的相關地殼變動範圍比較廣。

第四階段：第二類先行現象出現的階段

#### 五、結語：

地震的預測要達成，何時，在何處，會發生多大地震等三條件。我相信能預測地震的日子不遠，但是如果大地震時沒有社會科學方面的配合工作，雖然能預測地震，但是救災方面仍不能發揮最大效果。故應該要注意建立行政措施和立法制度，同時建議以九月二十一日定為「台灣防災日」，提高對地震災害的警覺。

#### 參考文獻

1. 宇津德治：地震學（1977）共立全書
2. 金森博雄：地震的物理（1991）岩波書店
3. 力武常次：巨大地震（1979）講談社
4. 關谷溥：地震（第 2 輯，29，299—311）
5. 朱鳳鳴：中國地震考察團講演集，地震學會
6. Telford 等：Applied Geophysics, Cambridge Univ. Press