

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

應用衛星熱紅外影像於短期規模五以上地震預報

Applying Satellite Thermal Inferred-Red Imagery in Short-Term Forecasting for the Earthquakes above Scale five

計畫編號：NSC 90-2116-M-002-030

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：朱子豪教授 國立台灣大學地理環境資源學系

計畫參與人員：張國楨副教授 國立台灣師範大學地理系

李瑞陽助理教授 私立逢甲大學土地管理系

一、中文摘要

地震的成因有多種，而以地層錯動所引發的地震為最多，約佔百分之九十以上。地殼是由許多板塊所組成，且處於一種動態平衡的狀態，當地殼受力時，初期會以應力方式累積於地層內部，當在特定的地點，因蓄積過量的應力，地殼以斷裂的方式，將所累積的能量釋放出來，造成地殼的震動。大地震發生以前，在未來震源周圍相當大區域內的地球介質處於高應力狀態，稱之為“亦即孕震區，有相當大的岩石圈在運動著，會發生一系列複雜的物理和化學變化，並和外界的物質進行能量交換，使得震前出現低空大氣增溫、低空電場異常及某些氣體如甲烷、二氧化碳低空含量增加等現象。而衛星熱紅外輻射儀能監測低空大氣垂直溫度異常及其各種介面（地面、水面、溫度）變化。

本研究應用熱紅外衛星影像為主要監測工具，以地面異常大範圍增熱為偵測對象，依不同之地震類型與強度(規模 5(含)以上)加以歸納其可分辨之判釋模式。將地面正常溫度的數值或邏輯模式透過地區性氣象溫度資料的歸納與迴歸加以建立，再與熱紅外光判釋溫度加以比較，以推出可能異常區。此外可訪談已有經驗之判釋者以建立局部異常的判釋特徵或判釋準則。

未來可以用以建立判釋模式及知識庫之用。運用類神經網、統計迴歸分類及準則以專家系統等技術來建立溫度異常移動規模與地震時間、空間及規模間之關連性。

關鍵詞：短期地震預報、熱紅外影像、遙測、紅腫說。

Abstract

After the 921 Earthquake, people in Taiwan realized earthquake is one of the large-scale natural disasters with huge damages. To accurately forecast earthquake, especially the short-term one is the important basis for disaster mitigation. There are many earthquake-forecasting techniques developed by the experts from USA, Japan, China and Russia were successfully in many cases through using earth-physics, earth-chemise, and crest-movement detection methods. Among these methods, applying thermal inferred-Red imagery in the prediction is the most feasible and cheapest approach.

In this research, data bases of earth-quake, thermal imagery, pre-sight data were established, and the abnormal-thermal and its movement were detected and applied to predict the earthquake center location, time and their

scale based on the red-swollen theory. The thermal imagery were tracing form 1.5 month before the earthquakes, the abnormal warm areas and their movement was tracked and applied in digging out the relationship among the movement and the centers of earthquakes.

A computer-assistant prototype system was developed based on the detecting techniques and forecast model developed in this research. The tracking paths of abnormal warm areas were found, the temperature changes around the centers of earthquakes indicated that there might be a concave area in term of temperature around the center of earthquakes. Finally a proposal of an integrated, long-term research project for better earthquake forecasting and monitoring was presented.

Keywords: Short-Term Earthquake Forecast, Thermal Inferred-Red Imagery, Remote Sensing

二、緣由與目的

聯合國大會於 1987 年 12 月 11 日通過了第 169 號決議，在上一世紀的最後十年 (1990-2000 年)，推動了“國際減災十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR)活動。各國紛紛設立不同之減災組織，並進行減災及災害防救之工作。在台灣三年前便開始成立防災國家型科技計畫，嘗試結合學官界來進行減災工作。

921 大地震後，台灣居民終於體會到由地震所造的地震災害是人類面臨傷亡較多、規模較大的自然災害。在二十世紀中，全球由地震造成的傷亡人數已達幾百萬，經濟損失逾千億美元。台灣位處於太平洋西岸板塊碰撞的地震帶上，地震發生頻率高而且強度大。據氣象局統計，二十世紀中，台灣地區發生 5 級以上地震就達 88 次，其中 6 級大震 42 多次，7 級以上大地

震 23 次，若可以提早預測地震，則死傷及損失將較小。

準確的地震預報，尤其是短期地震預報是減輕地震災害的重要基礎。地震應是有前兆的，但由於地震前兆非常複雜，亦發展各樣地震預報的方法。其中最常見且較科學之地震前兆預測有地殼變動、地下水異常及地面大範圍增溫。自 60 年代以來美國、日本、俄國、中國相繼開展了以地震前兆主的地球物理、形變及天文因素等手段的觀測，通過許多震例研究，也確實在某種程度上做了地震三要素成功的預報，但是亦有更多倍的虛報和漏報。這表示地震預報應可行，但距穩定準確的預報尚有一段距離。

依據大陸著名地震學家付承義院士 1971 年提出的“紅腫說”及地球-大氣耦合作用，他發認大地震震源周圍相當大區域內的地球介質處於高應力狀態，稱“紅腫區”在此有相當大的岩石圈在運動著，發生一系列複雜的物理和化學變化，並和外界的物質進行能量交換，使得震前出現低空大氣增溫、低空電場異常及某些氣體如甲烷、二氧化碳低空含量增加等現象。而衛星熱紅外輻射儀能監測低空大氣垂直溫度異常及其各種介面（地面、水面、溫度）變化，上述的幾種異常如低空大氣增溫就可通過它探測出來。

發生地震是地球的地質結構發生變化的結果，有時會牽涉到很大的範圍，特別是七級以上的地震，地震前會在幾百萬平方公里範圍的地區出現地震異常。利用衛星熱紅外影像進行地震短期預報是地震預報課題的一種新方法，衛星影像的最大優點是可以獲取較大範圍的地面影像。

因此使用熱紅外線影像監測地表異常增溫，並明確定義出增溫區、發生增溫的時間、增溫區範圍、增溫區與地震三要素間的關係，以提高地震預報的精確度，進而引入遙測影像自動判釋技術及其他地震預報資訊，建立完整地震預報系統。

三、研究方法

本研究奠基於大陸航天公司對地震預報的研究，將地面正常溫度的數值或邏輯模式透過地區性氣象溫度資料的歸納與迴歸加以建立，再與熱紅外光判釋溫度加以比較，推出可能異常增溫的範圍，並找出異常增溫現象與地震三要素的關連性。本研究工作項目的方法及內容說明如下：

1.地震資料搜集及建庫

由中央氣象局及中研院取得近 20 年內規模五(含)以上(尤其是 921 之後的大量強餘震)地震的位置、強度、深度及地震被記錄與破壞記錄，並建立 GIS 資料庫：以便與衛星影像及地面氣象資料相整合。此外餘留空間記錄其新的地震分類、及外連相關地震資料與描述。

2.熱紅外現線衛星影像資料搜集及建庫

向國內或大陸氣象局及其他單位收錄 AVHRR imagery 及 GMS 氣象衛星影像，依上述地震時間取其之前 20 天及後 10 天熱紅外線影像資料整理後，以時間與影像類別為索引加以建立資料庫，並以地震為事件分割為獨立單位，並註記其預測過程及結果。

3.建立與紅腫說相關之地震類別

依地震之深度、地點、強度，輔以已知地震發生機制與相對應之地表熱異常。由於地震震央的深度規模不同地層紅腫現象外釋氣體及電場之變化亦可能不同，而震央位於板塊內高區或破撞邊緣之不同亦可能造成紅腫現象的不同，故依此假設將震央深度地震規模及所在位置分別分級與分類，便可將三種資訊組合為一分類體系的三要素。依此類別分別歸納紅腫行為，及其外顯之熱異常(增溫)與 CO_2 及 CH_4 異常釋出應可理出規律及解釋部分紅外線影像異常增溫判釋中的誤判(Commission Errors)及漏判(Omission Errors)。

4.紅腫熱異常判釋

將地面正常溫度的數值或邏輯模式透過地區性氣象溫度資料的歸納與迴歸加以建立。再與熱紅外光判釋溫度加以比較，以推出可能異常區。此外可訪談已有經驗

之判釋者以建立局部異常的判釋特徵或判釋準則。未來可以用以建立判釋模式及知識庫之用。

5.紅腫熱異常區移動偵測及以熱異常移動預測地震時間、空間及強度

運用類神經網、統計迴歸分類及準則以專家系統等技術來建立溫度異常移動規模與地震時間、空間及規模間之關連性。而其正確性需以時間空間及規模來評估。

6.建立電腦輔助短期地震預測系統

依據前面人工判釋程序、準則、地震分類及異常增溫判釋之方法與移動判認等地震預測模式來建立一地震短期預測輔助系統，其優先整合各種已建立之資料庫，並建立處理功能模組及判釋與預測模式模組。

四、成果與討論

我們從 1999 年至 2001 間的地震選出五個地震規模大於 6 的地震作為試作對象，分別為 1999 年 921、1022 地震、2000 年 611、910 地震、2001 年 614 地震。針對這 5 個地震收集其地震發生時間、震央位置、震源深度、地震規模資料。並依據我們所挑出的地震案例，收集地震發生前 30 天每天一張衛星影像來作分析。本研究所使用的影像資料為 NOAA AVHRR 所製作出來的海水表面溫度資料(Sea Surface Temperature, SST)及 GMS 衛星 IR1 波段製作的表面溫度資料。另外以五個震央為中心，收集半徑 50 公里內的中央氣象局所屬台灣地區自動雨量及氣象測站之氣溫資料，製作等溫線圖，以找出溫度與震央的關係。

本研究針對此五地震案例的溫度影像來偵測增溫區的出現及移動，希望能找出增溫區大小、程度及增溫區移動型態與地震三要素間的關係。在 AVHRR 影像部分，雖然其解析度較高，但範圍較小且影像中

包含過多雲量，經過影像加強與前後天影像相減等影像處理後，發現效果並不是很好，亦即無法找出增溫區的位置，轉而觀察範圍較大的GMS影像，並將研究能量集中於1999年921地震，收集地震發生前兩個月的影像。此外，由於增溫區是一種大範圍異常增溫，所以需比較正常與非正常（地震前期）時期的熱紅外影像之差異，並藉以歸納出增溫區的特徵，因此收集了1998年同時期（7/22~9/22）的GMS影像，以便與1999年影像作比較。

在觀察921的GMS影像後，發現在8月13日開始在台灣東南方海域出現一高溫區，此高溫區由台灣東南海域出現後，向西移動並漸漸增大其範圍，至西南海域後又往西北方向移動至台灣中北部籠罩，並在台灣北部作上下移動。在9/12的影像上，高溫區出現雁行狀排列。在9/10高溫區籠罩著台灣的同時，台灣地區的溫度卻出現相對較低的狀態，即所謂的溫度凹陷區。而和1998年同時期的影像相比，1998年的影像中雖偶有高溫區出現，但都不持續，也沒有線性的移動，因此可判斷當時並無規模較大的地震。觀察完921的資料後，演繹出地震發生的時機及地點有幾種可能：

1. 增溫區出現雁行狀排列後幾天。
2. 增溫區與台灣構造帶交會，並做上下移動後幾天，而震央的位置可能出現在上下移動的區域內。
3. 增溫區與台灣構造帶交會，而台灣本島出現溫度凹陷區後幾天，而震央的位置可能出現在溫度凹陷區內。

而從地面測站得到的陸上氣溫資料，作了空間分析與時間分析。在空間分析上，利用距離震央50公里內測站的氣溫資料畫等值線，希望能看到震央是在增溫區中的凹陷區，即溫度較低的區域，但因測

站不夠密集使得等溫線與震央沒有很明顯的關係。在時間分析上，將各個測站每天的平均溫度畫出折線圖，觀察地震發生當天，此測站的溫度和其他天溫度相比，是處在下降翼、上升翼、頂端還是底部。五個震例中，921地震、611地震所有測站溫度為於下降翼，1022地震、910地震位於頂上及微下降，614地震位於底部及微上升。雖沒有明顯的歸納，但後續研究可從地震的分類及測站與震央的距離著手，歸納出氣溫的時空分析與地震的關係。

後續研究上，將921震例中所觀察到之相關現象與其他震例影像作比對，以期能將增溫區特徵與地震三要素間做更有系統的歸納，並更精確的定義出增溫區發生的起始時間和增溫程度。另外氣團或洋流對於地表溫度的影響目前尚未量化且校正，這部分可以蒐集相關資訊作校正以增加預報的準確性。當肉眼判釋達到一定的精確度，且增溫現象有明確定義後，將引入影像自動判釋技術。當我們利用遙測可以做到預測的最高空間精度後，可再加入的其他資訊來提高預測精度，如地下水水位觀測、電場變化、動物昆蟲異常騷動等，組成一完整的地震預報系統。

五、計畫成果自評

研究成果與原設定的目標相近，但由於影像資料取得的不方便，故分析的地震數量較不足。雖是如此，在以分析的案例中，已發覺增溫區的演化模式，及預測時機。目前已在兩個研討會中發表成果，可再增加一些案例的分析與標準化作業程序與方法，便可以再正式發表期刊論文。而實務價值方面，則尚未達到有能力準確預測地震的精度。

六、參考文獻：

朱子豪，2000，車籠埔斷層鄰區建物破壞

及斷層距離與建物結構分析，行政院
國家科學委員會計畫成果報告。

李玲芝、徐旻、戈風沙、強祖基、賃常恭，
1999，地震短臨預報課題現況及設
想，1999年海峽兩岸空間資訊與防災
科技研討會，pp196-197。

肖繼東、吳其勇、張永明、唐淑娟，1999，
氣象衛星熱紅外資料在新疆短臨強震
預報中的應用研究，1999年海峽兩岸
空間資訊與防災科技研討會，
pp197-203。

孫志鴻、朱子豪、蔡博文，(1996)，利用
衛星影像輔助坡地利用管理監測，行
政院農業委員研究計畫成果報告。