

# 來自太空中的震央

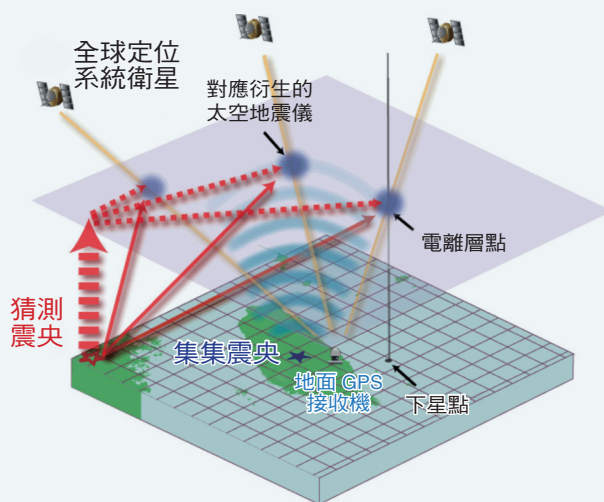
劉正彥

研究結果證實了地震時地表垂直的震動會有效地拍動近地表的大氣層，造成大氣擾亂，其後更傳入並擾動了太空中的電離層。

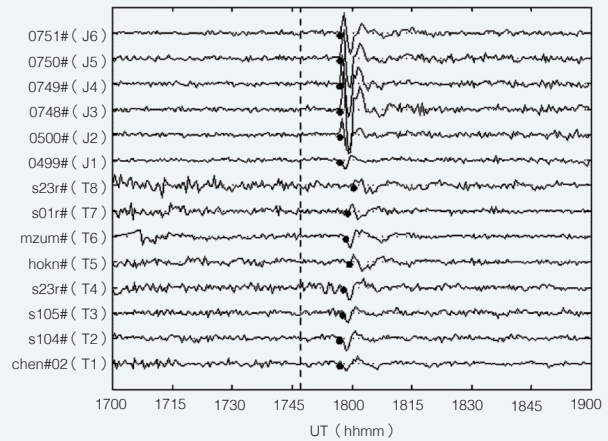
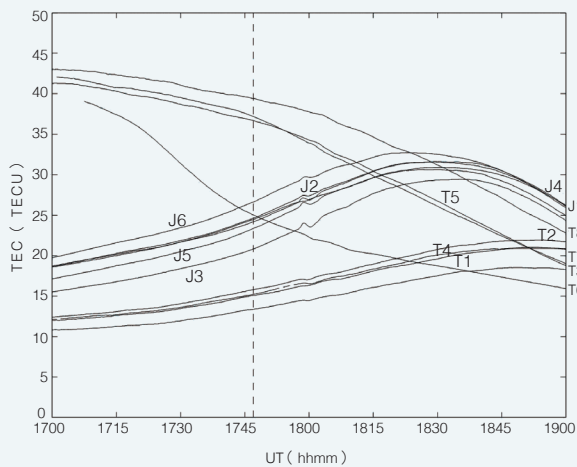
筆者於研讀博士期間專注於高緯度電離層與磁層耦合作用的研究，回國後希望能做些與家鄉有關的中低緯度電離層研究。台灣位處北半球電離層赤道異常區，每天早上 10 時至晚上 22 時的電離層電漿濃度高居世界之冠，同時是地表地震頻繁發生的地區。對這「巧合」，不禁令人產生疑問：地震的震動會不會影響距離地表 100 ~ 20,000 公里太空中的電離層？

這個疑問促使筆者帶領碩士生展開了探索。我們分析了電離層探測儀（即雷達）每 15 分鐘記錄一次的電離圖，這些圖片顯示距地表 90 ~ 350 公里的電離層電子濃度。結果並沒看到地震發生時電離層電子濃度有什麼明顯的變化，卻發現 90 公里高的電離層散塊 E 層的電子濃度在地震前幾天似乎有異常增加的現象，而 300 公里高的電離層 F 層電子濃度則是異常地減少。經過詳細的研究後更確認：台灣上空 90 公里高的電離層散塊 E 層的電子濃度，會在規模大於 6.0 的地震前 1 ~ 5 天的日出及日落時段異常增加。

當時研究團隊成員覺得這一出現在地震之前的異象很不合理，於是另找了一位碩士生統計台灣於 1994 ~ 1999 年間距離地表約 300 公里的電離層 F2 層層峰電子濃度的變化，並與



這張圖顯示 1999 年 921 集集大地震引發的大氣層電離層同震擾亂，包括地面全球定位系統 GPS 接收機和其對應衍生的太空地震儀，以及前述兩種定位方法計算時所需猜測的地震同震擾亂源頭位置與其傳播路徑。藍星：集集震央。紅星：猜測震央。黃線：電離層全電子含量積分路徑。紅線：同震擾亂進入大氣層和電離層可能的路徑。藍點：太空地震儀。

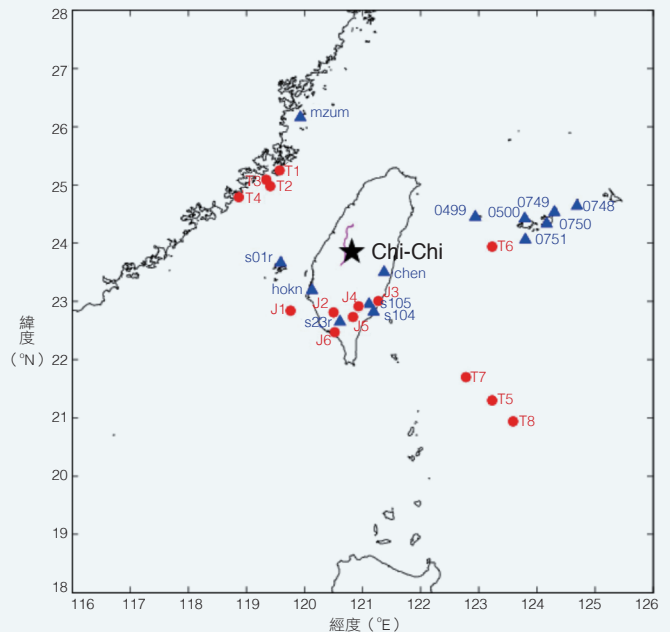


集集大地震期間，14 個太空地震儀所記錄的電離層全電子含量時序變化。（左）原始紀錄，T 和 J 分別代表台灣和日本地面 GPS 接收機對應衍生的太空地震儀紀錄。（右）濾波後變化。黑點：電離層擾亂到達的時刻。振動擾亂量在原始紀錄中非常小，大約只有 1 個全電子含量單位，惟經濾波處理後清楚可見。

這期間內發生規模大於 5.0 至 6.0 地震前後數天的數據比較，希望能發現是否有電離層異常現象。研究結果顯示，上述地震前 1 至 5 天下午時段的 F2 層層峰電子濃度會有連續數小時的異常減少。如 1999 年 921 集集大地震前 1、3 和 4 天下午時段的電離層電子濃度就顯現大量減少，驗證了上述研究結論的正確性。

台灣強震前電離層電子濃度有顯著的異常變化的現象，雖然有統計資料為證，仍不免令人質疑其關聯性：為什麼地震前地表未動，電離層電子濃度卻有明顯的變化？又當地震發生時，地表強大的震動為什麼沒能引起太空中電離層一起振動？據猜想，可能是本研究使用的電離層雷達每 15 分鐘記錄的時間間隔解析度不夠高。

適逢筆者應用全球定位系統 GPS 接收機處理資料的研究有所進展，可成功地利用任何雙頻率接收機獲得從衛星到地面接



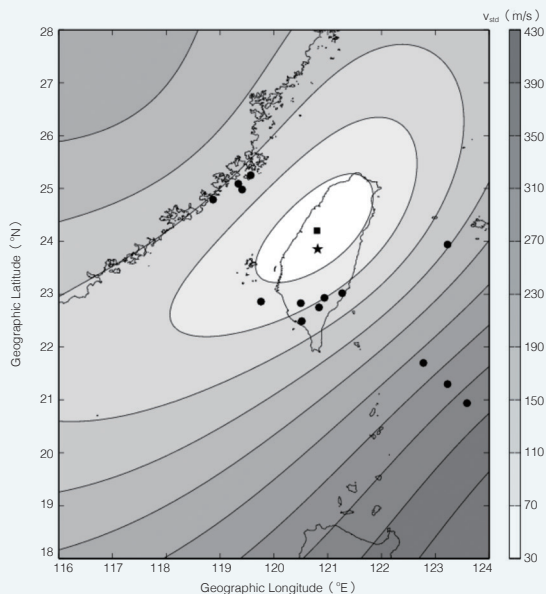
集集大地震期間，台灣和日本地區 14 個地面 GPS 接收機及其記錄的電離層擾亂出現（即太空地震儀）的位置。黑星：集集震央。藍三角：地面 GPS 接收機。紅點：太空地震儀。T 和 J 分別代表台灣和日本地面 GPS 接收機對應衍生的太空地震儀。

收機之間的電離層電子濃度作累加總量的計算，這結果稱為「全電子含量」。藉由這計算就可探求距離地表約 350 公里的電離層全電子含量的變化，其時間解析度也提高到每 30 秒鐘記錄一筆資料。若把電離層全電子含量的觀測點想像為漂浮在距離地表約 350 公里的「太空地震儀」，則地震學家慣用的各項技術都可用來分析資料。

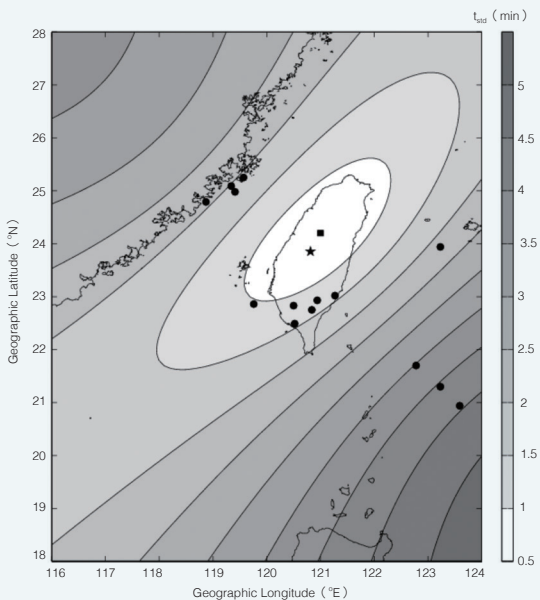
為解開電離層與地震同震（振）的疑問，筆者在集集大地震之後，前往中央研究院地球科學所進行短期研究訪問，並與專精地震震源定位的黃伯壽及林正洪研究員共同研究，使用射線叢集法和射線追蹤法探索電離層全電子含量擾亂的源頭。最後確認了集集大地震引發電離層同震的現象，且得以計算出地表震（振）源傳入大氣層乃至太空電離層的速度。事實上，太空地震儀測得的地表振源可能是地表錯動量最大的地方，而非集集大地震的震央。

若分別把電離層擾亂位置和時刻代入兩種不同定位方法，可計算地震同震擾亂源頭的地面位置。射線叢集法假設地震於稍早某一時刻發生，大區域網格搜尋，並逐一計算每一猜測同震擾亂源位置時的擾亂傳播速度和對應的偏差量。當某一源頭位置的偏差量達極小值時，就斷定源頭位置應已同時滿足 14 個太空地震儀觀測，可視為是地震地表振動引發大氣擾亂的源頭位置。

值得一提的是，時間偏差最小值顯示擾亂源位置最可能在集集震央東北方 40 ~ 50 公里處。巧合的是，相關研究報告也顯示，集集大地震最大的地表垂直位移位於集集震央東北方大約 50 公里處。這些結論的一致性證實了地震地表垂直震動會有效地拍動近地表的大氣層，造成大氣擾亂，其後更傳入並擾動了太空中的電離層。



以射線叢集法搜尋計算集集大地震引發的大氣同震源頭。星、方塊、圓點分別代表集集震央、同震擾亂源頭、太空地震儀的位置。這張圖說明偏差量極小值是振動擾亂發生於 1 時 47 分前後，且位於集集震央北方 39 公里處。



假設地震引起的大氣層擾亂的平均水平和垂直傳播速度約為每秒 700 至 1,000 公尺，以射線追蹤法搜尋計算集集大地震引發的大氣同震源頭。



事實上，由筆者的團隊發展出來的太空地震儀觀測電離層擾亂技術，應是全球首創。這一技術除了可研究電離層地震前兆與同震現象外，也扮演太空海潮計的角色，如成功地觀察到 2004 年 12 月 24 日規模 9.3 蘇門答臘地震引發的印度洋海嘯，並計算得到電離層全電子含量擾亂源頭地面位置及其傳播速度約為每小時 720 公里。

這一觀測技術更藉由綿密的電離層全電子含量觀測點，詳細計算出 2011 年 3 月 11 日規模 9.0 日本東北地震及後續海嘯所引發的所有震動（振動）擾亂傳播速度，並且首次由太空直擊海嘯的源頭位置。海嘯在大海面上的傳播速度較其於電離層中引發的擾亂慢，研究也顯示日本東北地震引起的海嘯電離層全電子含量擾亂比這次海嘯抵達夏威夷領先約 2 至 3 小時。這一

領先的特性，令電離層全電子含量觀測具有海嘯預警的應用潛力。

目前台、日、美、法、德等國的科學家已開始思考跨國合作，計劃從太空中觀察震央，結合海嘯與電離層物理模式，進行海潮計與電離層全電子含量聯合觀測，期以建立海嘯預警輔助系統，維護生命和財產的安全。

---

劉正彥

中央大學太空科學研究所

---

