

台灣中大型地震震源資訊之快速彙整與提供(II)

Large earthquake mechanism interpreted from its source spatial-temporal slip distribution and other earthquake parameters

(II)

主管單位：中央氣象局

林正洪，李憲忠

Lin, Cheng-Horng and Lee, Shiann-Jong

中央研究院 地球科學研究所

摘要

台灣過去無數次的大地震，均曾經對臺灣地區造成嚴重之衝擊與災害。特別是民國八十八年九月二十一日發生芮氏規模 7.3 的集集大地震，地表產生大尺度的破裂，沿著車籠埔斷層北從東勢、南至竹山間，均可看見數公尺的落差。這不僅直接奪走了二千多條寶貴生命，並造成數十萬人無家可歸。為了減少未來大地震之衝擊，本計畫首先針對台灣地區中大規模地震進行震源破裂過程的時間-空間分佈分析。透過高解析與高精確度的聯合震源逆推，以霧台地震與宜蘭外海發生芮氏規模 6.6 的地震為例，結果發現的破裂過程是由大尺度的重複破裂所構成。其次本計畫彙整其他三項研究分析結果，包括(1)震源機制與地震破裂面之迅速判定、(2)庫倫應力變化之推演、(3)震源區域地質與孕震構造之分析，對臺灣地區中大型地震發生後進行快速研判其發生之原因及地質構造關係，以提供政府單位及所有民眾正確之地震資訊，進行有效之防救災工作。

關鍵詞：中大規模地震、源機制解、庫倫破壞應力、破裂過程

Abstract

Some deadly earthquakes had impacted Taiwan during the past decades. In particular, the 921 chi-chi earthquake killed more than 2,400 residents in Taiwan. In order to mitigate possible earthquake damages in the future, at first, this project will analyze the spatial-temporal slip distribution of large earthquakes occur in Taiwan. The body wave source inversion method will apply in this study. To follow this approach, basic source parameters should be prepared, including the magnitude, epicenter location, focal mechanism and fault plane solution. Recently, the source parameter information is routinely reported by Central Weather Bureau. Based on these information, rapid source inversion analyze can be done once big earthquake occur. In addition, we will combine results from some other studies, including (1) Rapid Determination of Earthquake Focal Mechanism and Fault Plane, (2) Static

Coulomb stress changes associated with large earthquakes and (3) geological analyses in the earthquake source area, to interpret the possible mechanism of large earthquakes in the Taiwan area. All of information will provide government as well as publics to assess and mitigate possible impact by future large earthquakes.

Key words: Large earthquake, focal mechanism, Coulomb failure stress, rupture process.

一、前言

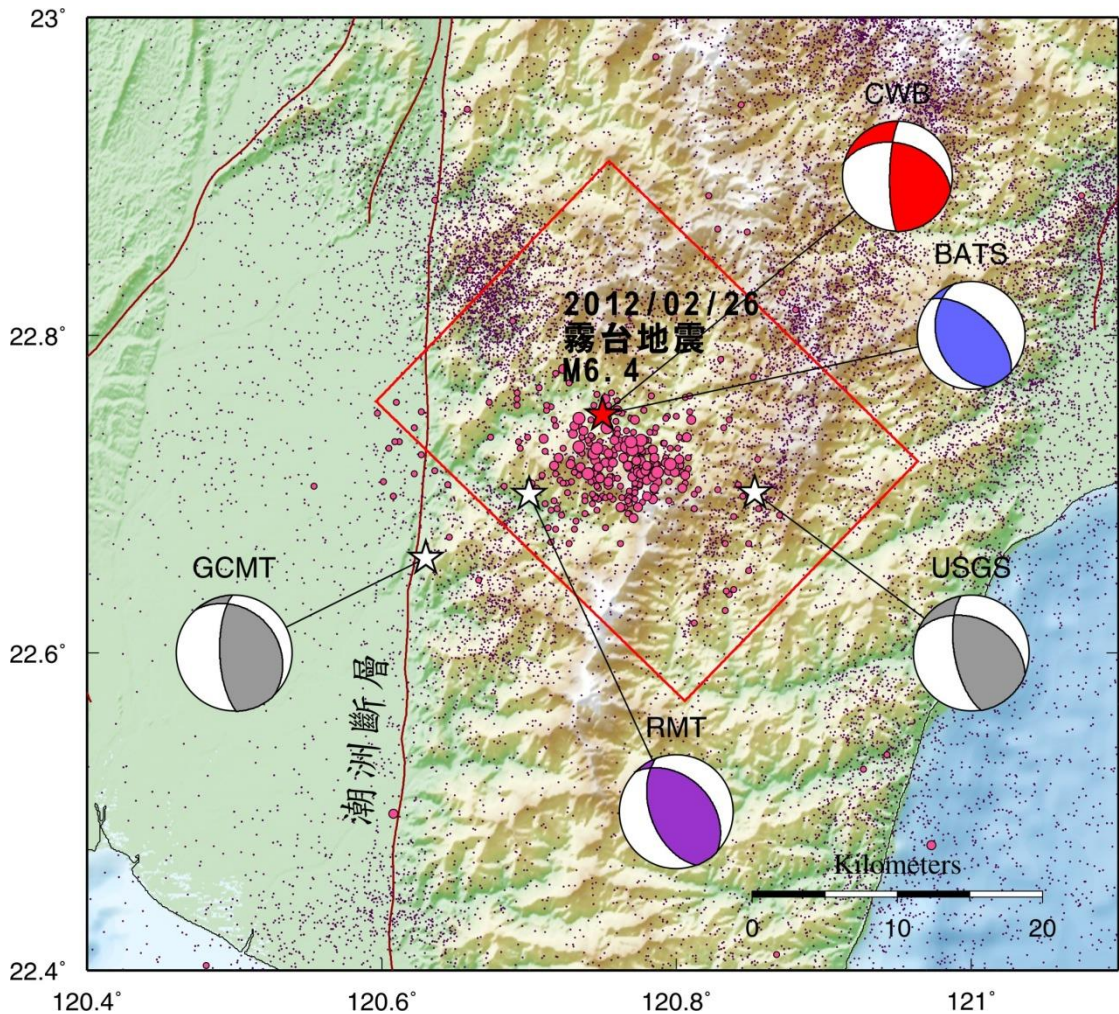
台灣位處於環太平洋地震帶上，地震發生非常頻繁。過去百年來，台灣地區發生過多次重大地震災害。其中造成較為嚴重災情的地震，包括有 1904 年斗六大地震、1906 年梅山地震、1916 年南投地震系列、1935 年之新竹-台中地震、1946 年的新化地震，與 1964 年白河地震等。民國八十七年 7 月 17 日亦曾於嘉義瑞里附近，發生芮氏規模 6.2 之地震，總共造成了五死二十七傷與上億元的損害。特別是民國八十八年九月二十一日發生芮氏規模 7.3 的集集大地震，地表產生大尺度的破裂，沿著車籠埔斷層北從東勢、南至竹山間，均可看見數公尺的落差。這不僅直接奪走了二千多條寶貴生命，並造成數十萬人無家可歸。這是自二次大戰以後，台灣最大的一次災難，對社會、民生將造成莫大的長久傷害。因此，台灣西部地區之地震，對已大量開發之西部地區，有很大的影響。所以如何減少地震災害是臺灣一項非常重要之工作。

本計畫為了減少未來大地震之衝擊可能性，將針對台灣地區中大規模地震，進行仔細地震源破裂過程的時間-空間分佈分析。目前國內外例行地對中大型地震進行分析的研究相當有限。由於震源破裂過程逆推需要相當的經驗來檢視隱藏於眾多自由度中的最佳解，並非一次線性逆推即可求得，再加上逆推過程本身的龐大計算量，造成求取最佳解的過程相當費時。另外，對於中等規模地震($M < 6.0$)，其地震波能量常無法有效傳至遠震(遠震體波震源逆推一般需震央距大於 30 度)的距離，訊噪比不佳的訊號會造成逆推上的困難；而大規模地震由於破裂面積大，破裂過程更為複雜，逆推時所需考量的自由變量更多，相對地也會造成逆推上的問題。此外，以近場資料進行逆推雖然可以提供更多的震源破裂訊息，但由於需考量到震源至測站間的構造側向變化所造成的影響，除了以更為複雜的一維速度模型來解釋外有時甚至需考量三維速度模型，在這種情況下建立三維格林函數將耗費大量的時間。

二、2012 年 2 月 26 日霧台地震($M_L 6.4$)震源破裂過程分析:

2012 年 2 月 26 日霧台地震是 2012 年至今於台灣發生的最大規模島內地震。此地震的發生位置相當接近 2010 年甲仙地震，且兩地震有許多相似性。此次地震同樣發生在過去地震活動相對較少的地震空白區，且其斷層面解也與周遭已知的斷層走向有很大的差異(圖一)。為了要釐清這個地震究竟如何發生、破裂過程為何，本研究採用近場強震資料與遠場體波資料進行聯合震源過程逆推。研究中採用 USGS 震源機制解中的一個西北-東南走向、朝東北下傾的斷層面做為斷層模型，以三維格林

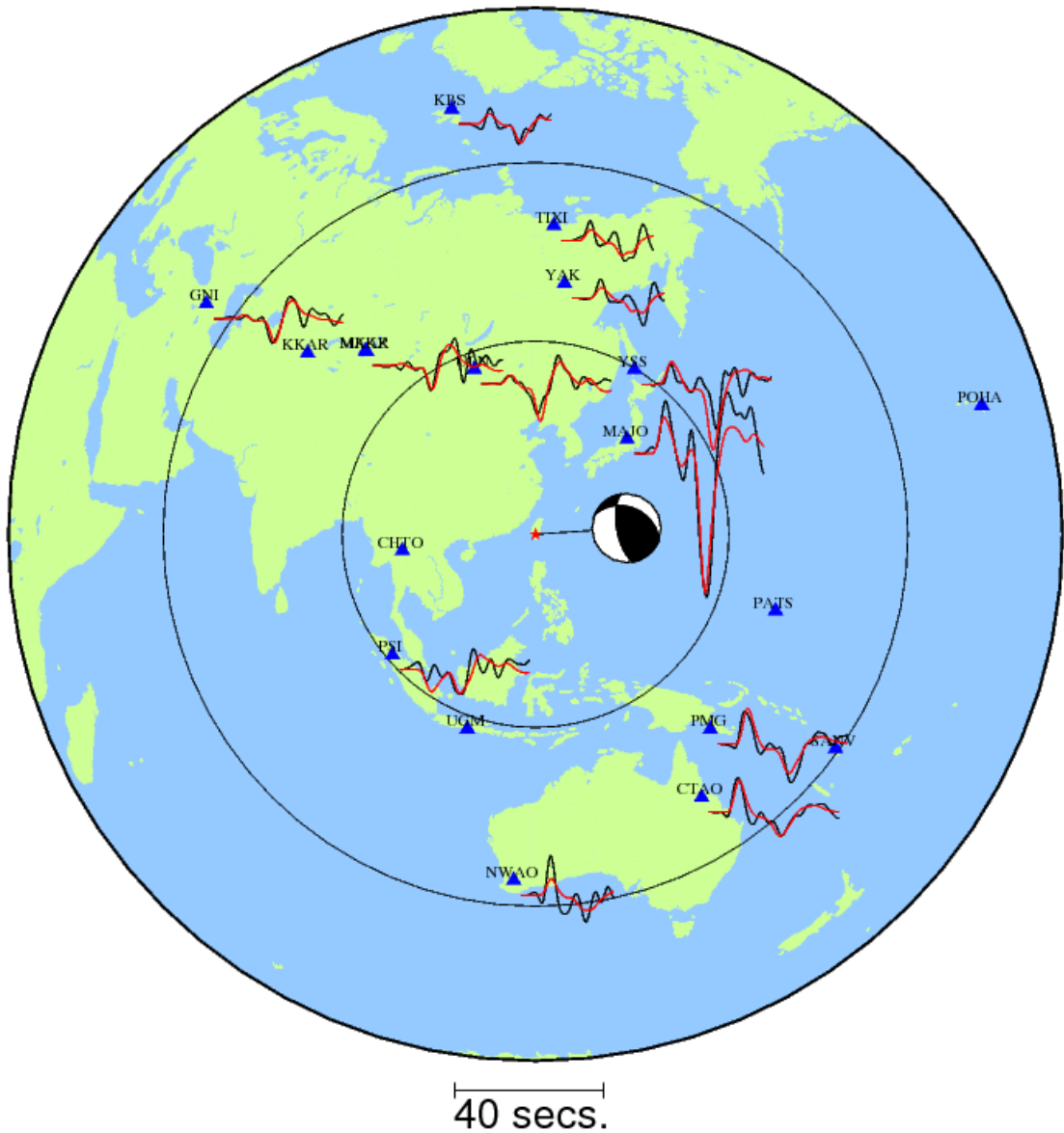
函數來擬合近場資料，並以平行化非負最小平方法來進行逆推，希望能藉此獲得較高解析度的震源時間-空間破裂過程模型。



圖一、霧台地震主震震央(紅色星號)與主震發生後之餘震分佈(紅色圓形，中央氣象局提供)。2000年至2010年之背景以紫色實心點表示。各機構針對霧台地震所發佈之震源機制解與震央位置也同時表示於圖中。本研究之震源位置採中央氣象局重新定位之結果，震源機制採USGS中心地震矩張量解，其走向、滑移、傾角分別為 292° 、 39° 、 39° 。

本研究之遠震波形資料取自聯合地震研究機構(IRIS)之資料管理中心(DMC)，以 Broadband 之垂直分量進行逆推。為避開淺部地殼構造的複雜性，盡量使用 30° 到 100° 間之測站記錄，並考量資料之記錄品質與方位角的包圍性等因素，共選取 12 個測站進行分析(圖二)。在進行逆推之前必須先對遠震波形進行處理。此分析直接將原始的速度型資料做帶通濾波 $0.01-0.5\text{Hz}$ ，並僅採取 Z-component 進行逆推。近場地震記錄採中央氣象局即時強震網(RTD)之強地

動資料。所採用之測站分佈如圖三所示。由於研究中以速度記錄進行逆推，所有的強震資料先積分到速度，然後做帶通濾波 0.05-0.33Hz。所採用之波形時間長度為 <40 秒，取樣率為 0.2 秒。



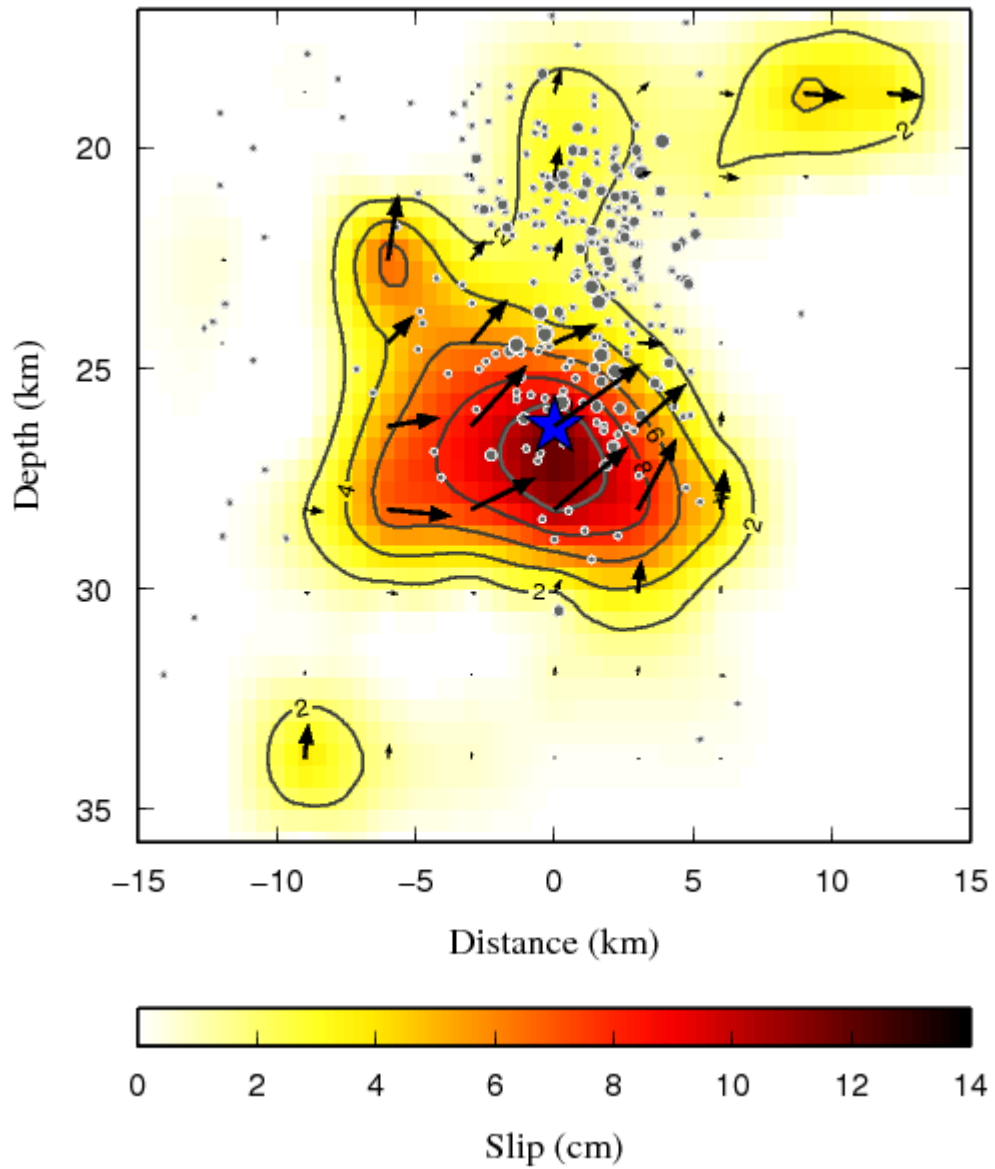
圖二、遠震波形擬和結果。紅色實線為合成波，黑色實線為遠震觀測波形。

就有限斷層而言，一個測站的觀測波形可視為由斷層面上所有子斷層所貢獻的波形線性疊加的結果。研究過程中經不同斷層面積大小的測試，最後假設此次錯動之斷層面積為沿走向長 27 公里、沿傾角寬 27 公里之矩形，並將斷層面分成 9x9 個子斷面，每個子斷面長 3 公里、寬 3 公里，以其中心點表示 subfault 之點震源位置。子斷層至各測站間之格林函數，遠場部分採 Kikuchi & Kanamori (1982) 之方法計算，近場則以譜元素法計算三維格林函數。將求得之各子斷層格林函數與觀測波形寫為 $Ax=b$ ，其中 A 為子斷面之格林函數矩陣，B 為觀測波形向量，

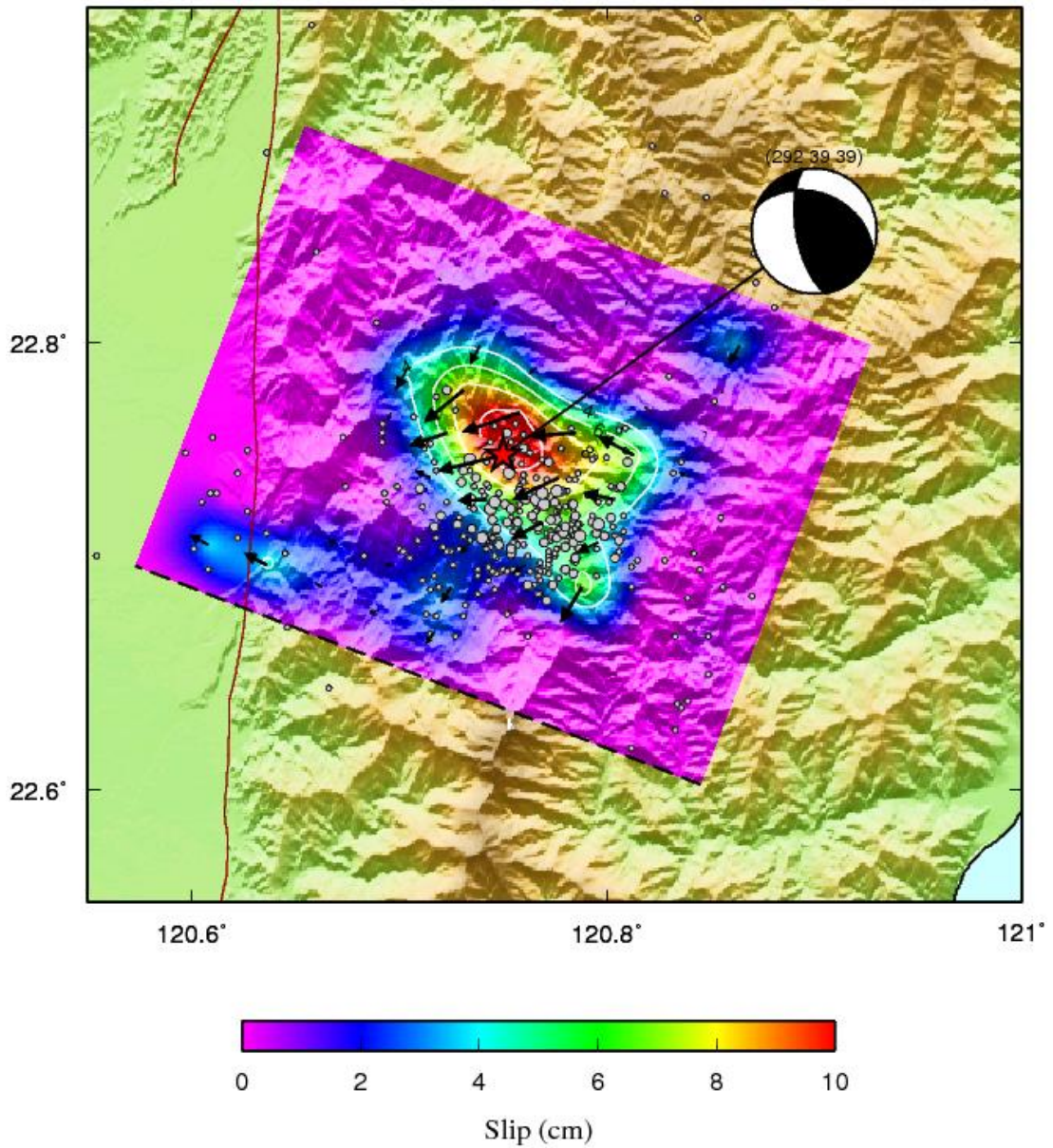
x 向量則為各子斷面上之地震矩釋放量。研究中以平行化非負最小平方法求解 x。並透過平行化非負最小平方法來提升逆推效率與逆推解析度，此方法已經成功應用在大型地震的震源研究上(Lee et al., 2006; Lee et al., 2012)求出 x 矩陣後帶回 $Ax=b$ 可算出理論合成波形，藉此便可得到觀測與理論波形的擬合情形並分析斷層面上的錯動量分布。研究中，逆推誤差之估算採 $(Ax-b)^2/b^2$ 。

首先看到的是逆推結果的錯動量空間分佈 (圖三)，最大錯動量發生的位置落在震源下方約 1-2 公里，與氣象局重新定位後之震源位置相當接近。斷層面上的滑移主要集中在單一區域，僅形成一個明顯的 Asperity。此 Asperity 以震央附近為中心，錯動量逐漸向外遞減，最大錯動量大於 10 公分，滑動的範圍約 10x10 平方公里，主要滑動為左移帶有逆衝分量。另外有些許零星較小的錯動在斷層較淺處發展，其錯動量小於 5 公分，主要以逆衝滑移為主。斷層深部還可以看到更小的錯動量分佈，但範圍不大且滑動量小，可能為波形逆推殘餘值所造成的假錯動，可忽略不加以討論。錯動量分佈投影至地表後與餘震分佈間有一定的相關性，大部分餘震落在 Asperity 的南側，少部分餘震朝西邊分佈似乎與位在較淺處發展的錯動有所關連。仔細來看錯動量沿深度在斷層面上的分佈(圖四)，可以看到與先前水平投影的推論一致，幾乎沒有大的餘震落在 Asperity 中心，而淺部餘震則與主要 Asperity 上方零星之逆衝破裂位置相當。

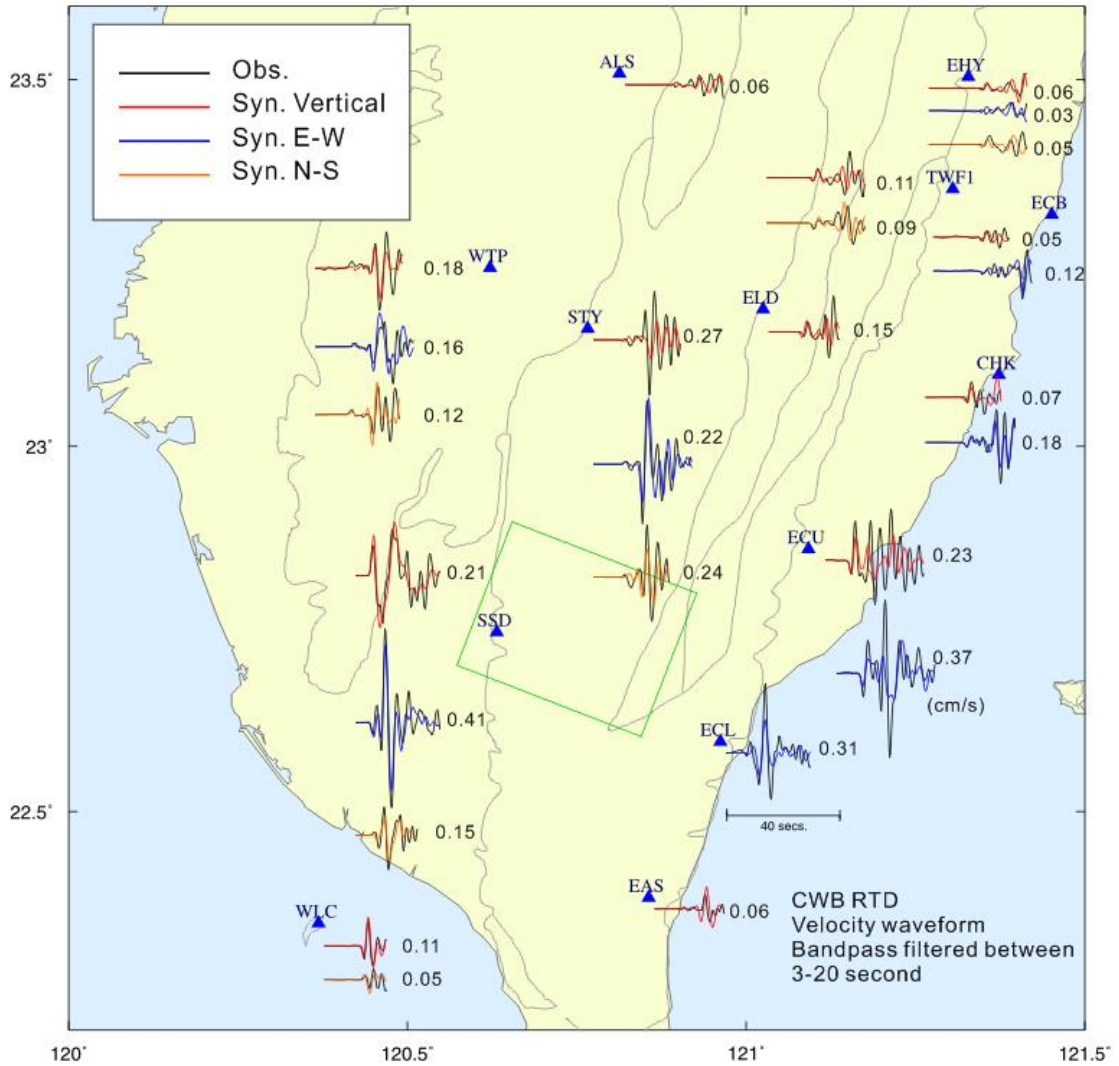
遠場觀測記錄與合成波形的比較顯示於圖二。由於霧台地震屬中大規模地震，遠震紀錄之震幅僅勉強可以辨識，能夠重中挑選出來進行逆推的測站並不多，且波形也不盡理想。儘管在這樣的條件下，逆推結果之遠震最大震幅以及後續的波相都解釋的不錯，特別是位在北邊的波形，在這個方向上的記錄大都比較單純且有很大的震幅。相反地位在西南側的測站顯示出較為複雜的波形，其波形特徵於合成波中勉強可以解釋。遠震波形誤差值為 0.23。三分量的近場合成波與觀測記錄之比較顯示於圖五。同樣地由於地震不算大，近場紀錄被相對複雜的路徑與構造效應所支配，儘管研究中已經採用三維格林函數，近場紀錄的擬合結果仍僅勉強可接受，其波形誤差為 0.61。聯合逆推之整體波形誤差為 0.42。



圖三、霧台地震錯動量空間分佈。灰色實心圓為地震過後三天內的餘震分佈(氣象局提供)。



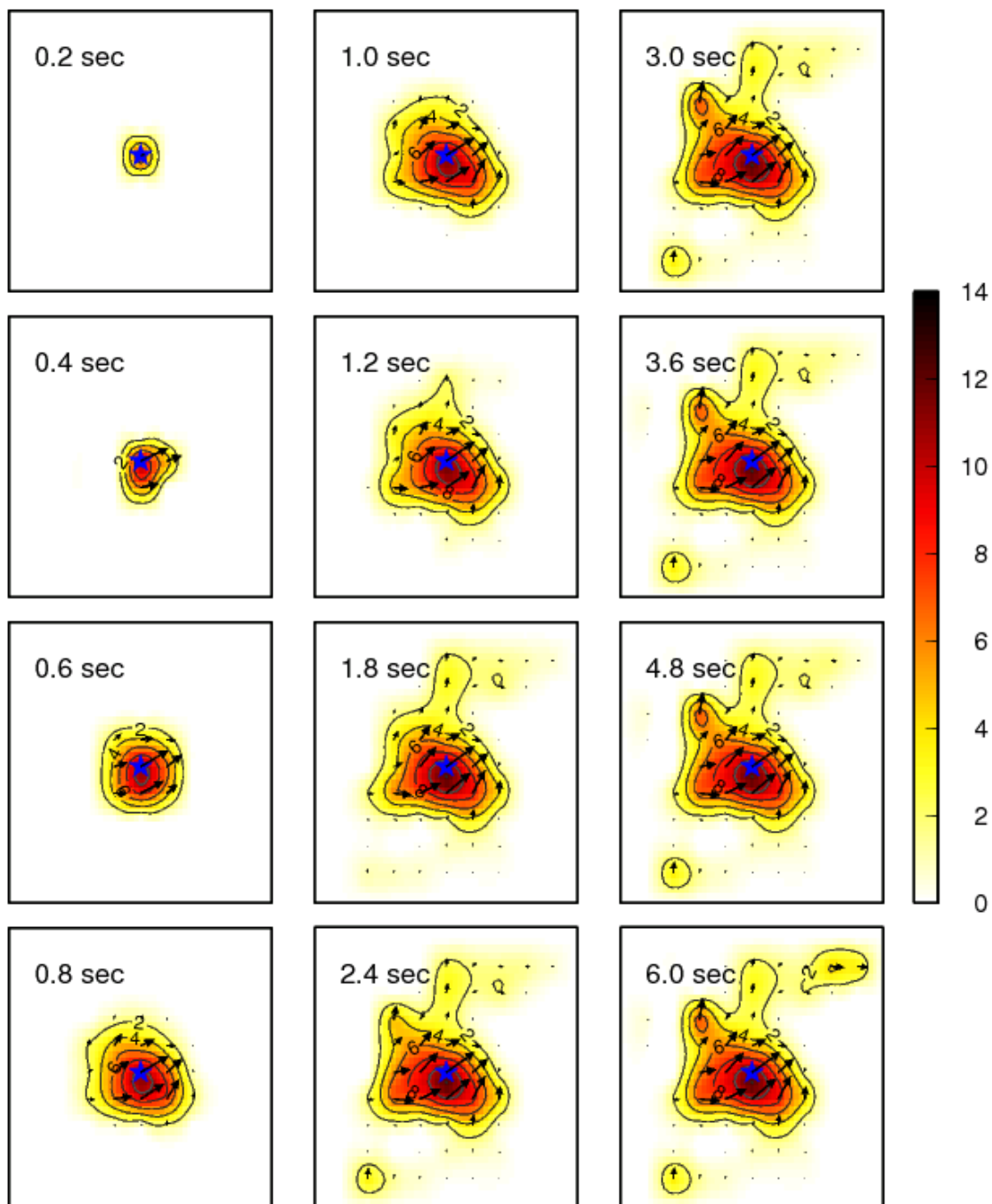
圖四、霧台地震錯動量分佈水平投影。灰色實心圓為地震過後三天內的餘震分佈(氣象局提供)。震源機制球顯示 USGS 之體波中心地震矩張量逆推結果。



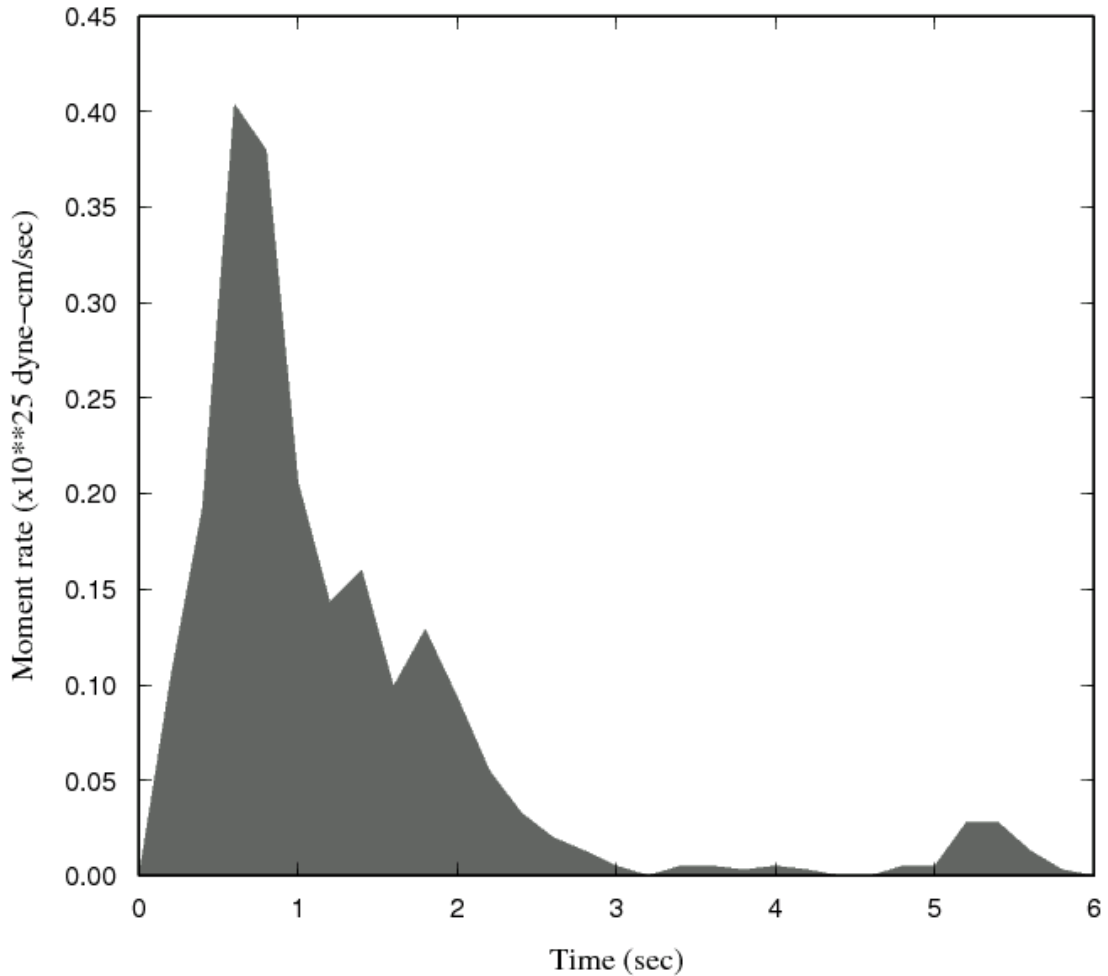
圖五、近場強震資料擬和情形。不同顏色表示不同方向之合成波與觀測紀錄(見左上角圖說)。各波形後方之數字表示觀測紀錄中之最大速度值。

霧台地震破裂過程的時間分佈顯示於圖六。錯動由震源處開始發生，隨後朝較深的地方破裂，並逐漸以此破裂區為中心往外擴展。這個過程相當迅速，約在 1 秒鐘後便完成了大部分的錯動，並形成震央附近唯一的一個大的 Asperity。這個時間內的滑動主要以帶有左移分量的逆衝滑移為主。1 秒鐘後，於震源上方較淺處的斷層面上開始產生破裂，但滑移量並不大且持續很短時間，大約由 1.2 秒發展至 1.8 秒，這個時間內的滑移主要為逆衝形式。1.8 秒後，於 Asperity 左上方有另一個次生 Asperity 開始發展，同樣地此發展也僅持續很短時間，約停止於 3 秒，這個過程同樣以逆衝為主要滑動形式。3 秒後，斷層面的活動近乎停止，最後約在 5~6 秒於斷層面更淺的地方產生了一個局部性的小錯動，以左移滑動的方式出現。圖七為逆推得到的霧台地震震源時間函數，可以看能量的釋放相對單純，僅有一個比較大的能量於很短的時間內釋放，另一個小的能量釋放比較晚才出現。第一個能量釋放持續了約 3 秒，峰值落在 1 秒附近。其對應的破裂為主要

Asperity 的能量釋放以及後續在 Asperity 上方的次生錯動所釋放的能量。隨後斷層面的活動近乎停止，最後在 5-6 秒時才又釋放了極小部分的能量，其峰值約落在 5.5 秒。整個破裂持續時間約 6 秒，主要能量釋放僅約 3 秒，總釋放地震矩為 0.854×10^{25} dyne-cm，約相當於規模 Mw 5.89 之地震。



圖六、霧台地震之震源破裂過程。



圖七、霧台地震之震源時間函數。

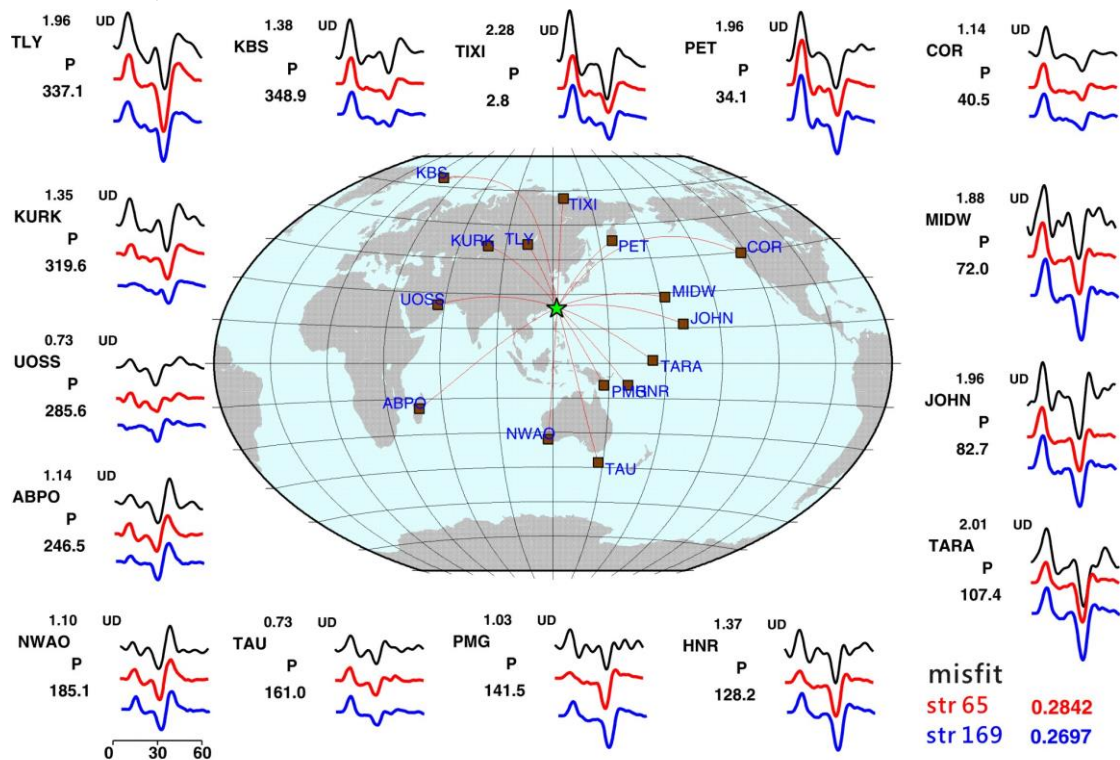
由此逆推結果顯示，此次霧台地震的規模僅 $M_w 5.89$ ，此規模具相對單純的破裂過程可以預期。斷層面上僅有一個主要的錯動區，以帶左移分量的逆衝滑移為主；另外一個相對較小的滑動區則位在斷層淺部，以純左滑為主要行為。破裂首先發生在地殼深部約 25 公里的位置，由震源開始稍微朝深處破裂，形成第一個也是唯一的一個主要錯動區，其後便大致完成九成以上的破裂。後期的破裂則主要發生在斷層淺部，於淺處產生一個相對小的錯動區，整個斷層面在地震的過程中滑移了 6 秒，主要破裂之能量釋放僅約 3 秒。逆推結果的滑移量分佈與餘震分佈間有合理的一致性，大部分的餘震發生在大錯動區的上緣。此聯合震源逆推的結果似乎與 2010 年甲仙地震有所相似，是否這兩個地震具構造上的關連性需進一步深入調查，而此震源逆推結果可以幫助釐清此區域地質構造與大地應力間的相互關係。

三、2012 年 6 月 10 日宜蘭外海地震($M_L 6.6$)

2012 年 6 月 10 日宜蘭外海發生芮氏規模 6.6 的地震，此起地震為今年台灣

地區至今發生規模最大的地震，地震深度 70 公里，宜蘭南澳與花蓮和平最大震度五級，全台遠至澎湖和馬祖皆有感受到震度，但因震源深度較深並且震央在外海，並沒有造成任何重大災害。此區域為菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交界，並且附近有琉球島弧以及琉球海溝等構造。為了探討此地震如何發生以及其破裂過程為何，本研究採用遠場體波資料進行震源過程逆推，採用 BATS 以及 CWB 兩組東西與南北向各四個震源機制解，藉由不同的震源機制探討可能的發震構造，並以非負最小平方法來進行逆推，希望可以獲得此地震的破裂訊息。

本研究之遠震波形資料取自聯合地震研究機構 (IRIS) 之資料管理中心 (DMC)，以 Broadband 之垂直分量進行逆推。為避開淺部地殼構造的複雜性，盡量使用 30o 到 100o 間之測站記錄，並考量資料之記錄品質與方位角的包圍性等因素，共選取 15 個測站進行分析(圖八)。在進行逆推之前必須先對遠震波形進行處理。此分析直接將原始的速度型資料做帶通濾波 0.01-0.1Hz，並僅採取 Z-component 進行逆推。研究中以位移記錄進行逆推。所採用之波形時間長度為 <60 秒，取樣率為 0.5 秒。

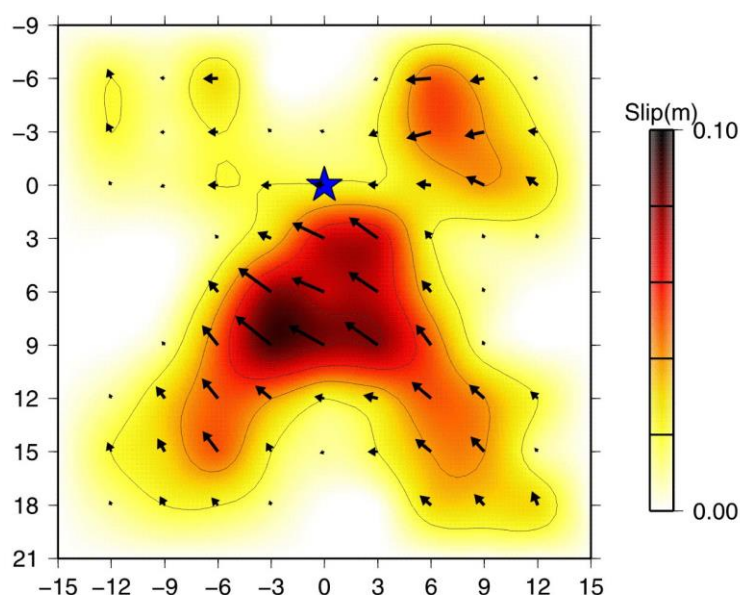


圖八、遠震波形擬和結果。黑色實線為遠震觀測波形，紅色實線為 BATS strike65 的合成波，藍色實線為 BATS strike169 的合成波，綠色星號為震央。波形前的參數依序為震幅、測站名、P 波以及方位角。

就有限斷層而言，一個測站的觀測波形可視為由斷層面上所有子斷層所貢獻的波形線性疊加的結果。研究過程中經不同斷層面積大小的測試，最後假設此次錯動之斷層面積為沿走向長 24 公里、沿傾角寬 24 公里之矩形，並將斷層面分成

8x8 個子斷面，每個子斷面長 3 公里、寬 3 公里。子斷層至各測站間之遠場格林函數，採 Kikuchi & Kanamori (1982) 之方法計算。將求得之各子斷層格林函數與觀測波形寫為 $Ax=b$ ，其中 A 為子斷面之格林函數矩陣， b 為觀測波形向量， x 向量則為各子斷面上之地震矩釋放量。研究中以平行化非負最小平方法求解 x ，並透過平行化非負最小平方法來提升逆推效率與逆推解析度，此方法已經成功應用在大型地震的震源研究上(Lee et al., 2006; Lee et al., 2012)。求出 x 矩陣後帶回 $Ax=b$ 可算出理論合成波形，藉此便可得到觀測與理論波形的擬合情形，並分析斷層面上的錯動量分布。研究中逆推誤差之估算採 $(Ax-b)^2/b^2$ 。

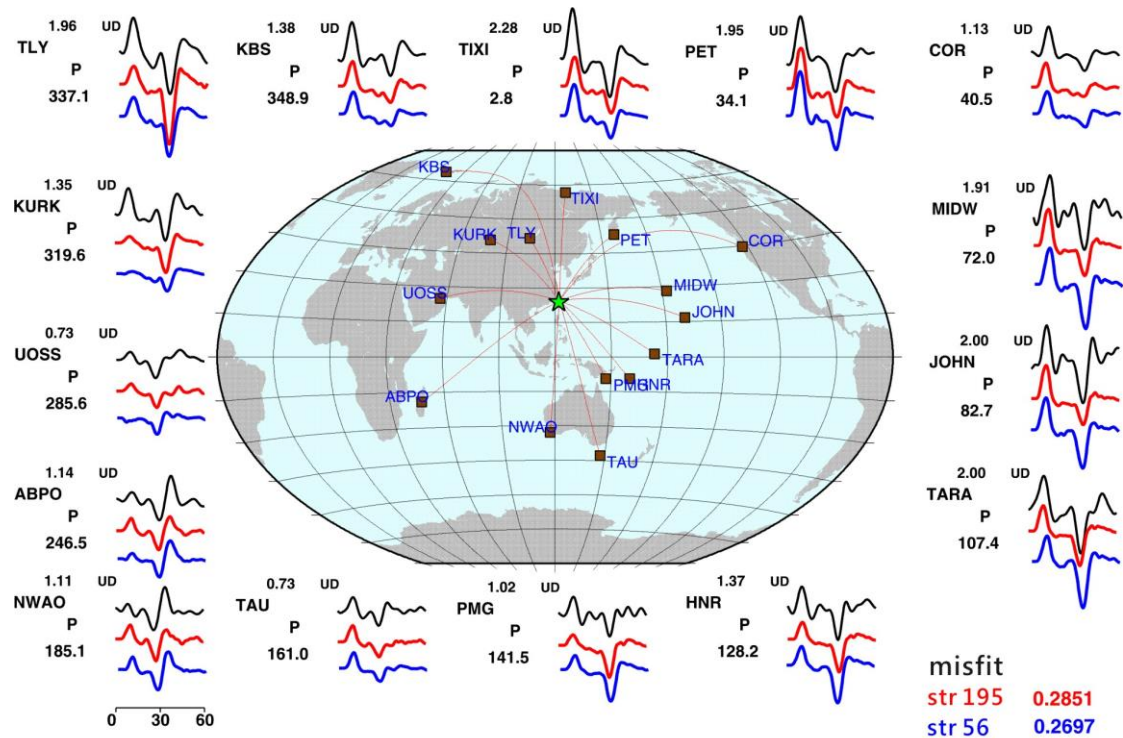
利用 BATS 與 CWB 兩機構所計算出的斷層面解進行分析。BATS 的兩個斷層面分別為 (169, 72, 40) 與 (65, 51, 157)，兩者所計算出的 misfit 皆不大，分別為 0.2842 與 0.2697，但 (169, 72, 40) 在 KURK 與 UOSS 等測站上某些波相無法符合觀測波形(圖八)，甚至與觀測波相相反的情況，所以雖然 (169, 75, 40) 的機制所算出的 misfit 比較小，然而在 BATS 的震源機制上，我們選擇 (65, 51, 157) 這個面來進行討論。圖九為逆推結果的錯動量空間分佈，最大的錯動量發生位置為震源下方 8-9 公里處，主要的滑移在震源下方形成一個 Asperity，此 Asperity 錯動量約略分佈在斷層面的右上至左下長條狀的區域，由斷層中心延伸至右下方也有錯動量的分佈，最大錯動量接近 0.1 公尺，破裂的範圍約 12x6 平方公里，主要滑動為左移帶有逆衝分量。另外有些許較小的錯動在斷層較淺處發展，錯動量小於 0.05 公尺，主要是左移分量。斷層深部也有 0.07 公尺以下的錯動，分別在斷層的右下角與左下角。斷層左上方有更小的錯動量分佈，但範圍不大滑動量小，可能為波形逆推殘餘值所造成的假錯動，可忽略不加以討論。



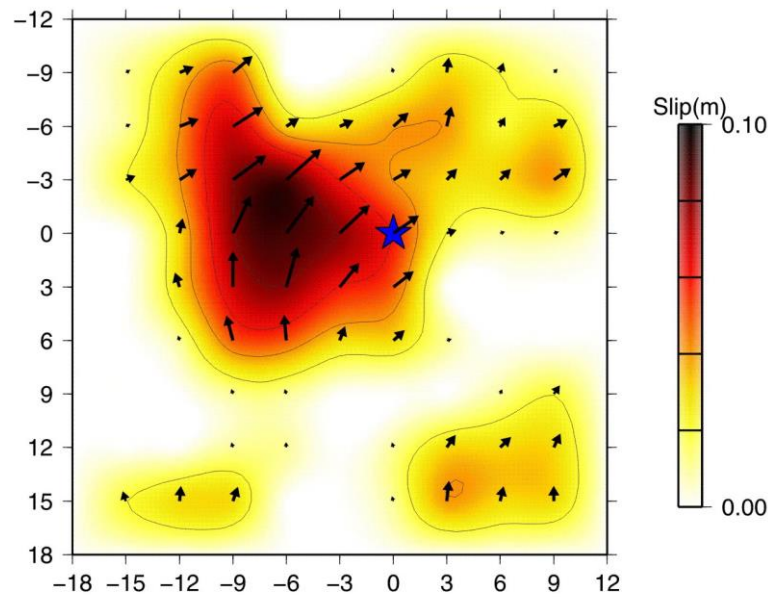
圖九、宜蘭外海地震(BATS strike 65)錯動量空間分佈。藍色星號為震央位置。

遠場觀測記錄與合成波形的比較顯示於圖八。由於此地震震矩規模 5.8，遠震記錄之震幅尚且可以辨識，在主要幾個入射角方向上的波形都有明顯的波形記錄，在北方至東側的測站上的紀錄大都比較單純並且有很大的震幅。相對在西南側的測站顯示出較為複雜的波形並且震幅較小，其波形特徵於合成波中勉強可以解釋。遠震波形誤差值為 0.28。

CWB 的兩個斷層面分別為 (195, 55, 63) 與 (56, 42, 122)，兩者所計算出的 misfit 皆不大，分別為 0.2851 與 0.2697，但 (56, 42, 122) 在 KURK 與 UOSS 等測站上某些波相無法符合觀測波形 (圖十)，甚至與觀測波相相反的情況，故在 CWB 的震源機制上，我們選擇 (195, 55, 63) 這個面來進行討論。圖十一為逆推結果的錯動量空間分佈，最大的錯動量發生位置為震源左方 6-7 公里處，主要的滑移在震源左方形成一個 Asperity，此 Asperity 錯動量約略分佈以最大錯動量為中心向外擴散，向右至震源右側，向下大約至距離震央 6 公里處，最大錯動量接近 0.1 公尺，滑動範圍約為 9x12 平方公里，主要滑動在震源下方為逆衝分量，從震源深度以上就轉為右移帶有逆衝的分量。另外在斷層右下方也有較小的錯動分佈，最大錯動量不超過 0.04 公尺，而斷層左下方有些微的錯動分佈，錯動量不超過 0.02 公尺，推估也可能是波形逆推殘餘值所造成的假錯動，可忽略不加以討論。遠場觀測記錄與合成波形的比較顯示於圖十，遠震波形誤差值為 0.28。

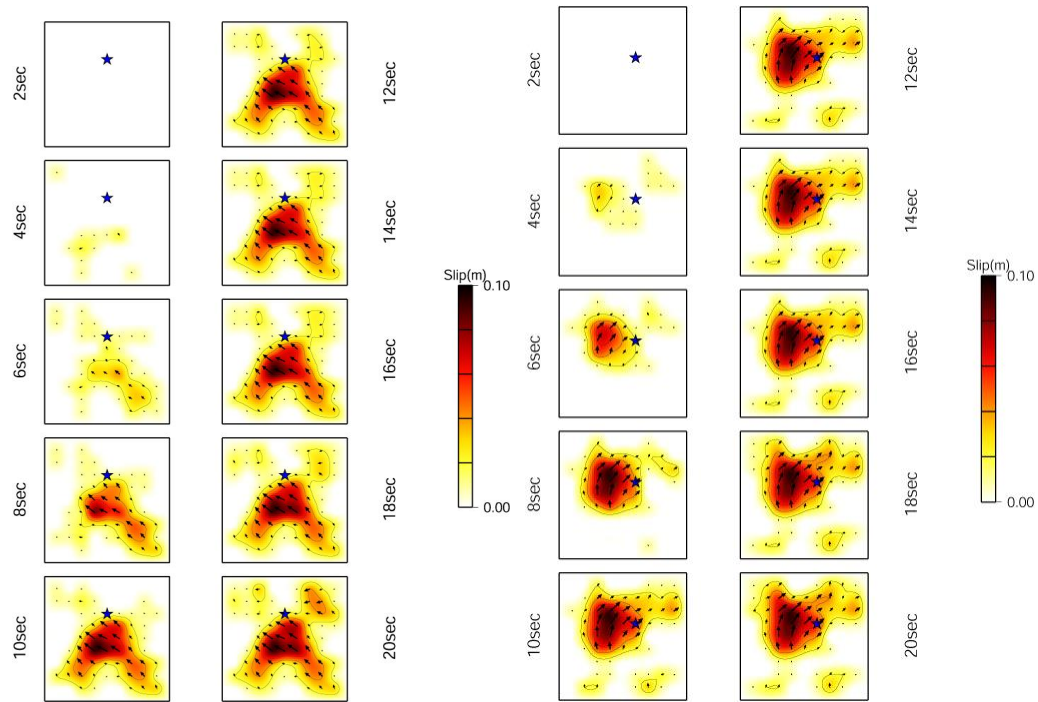


圖十、遠震波形擬和結果。黑色實線為遠震觀測波形，紅色實線為 CWB strike195 的合成波，藍色實線為 CWB strike56 的合成波，綠色星號為震央。波形前的參數依序為震幅、測站名、P 波以及方位角。



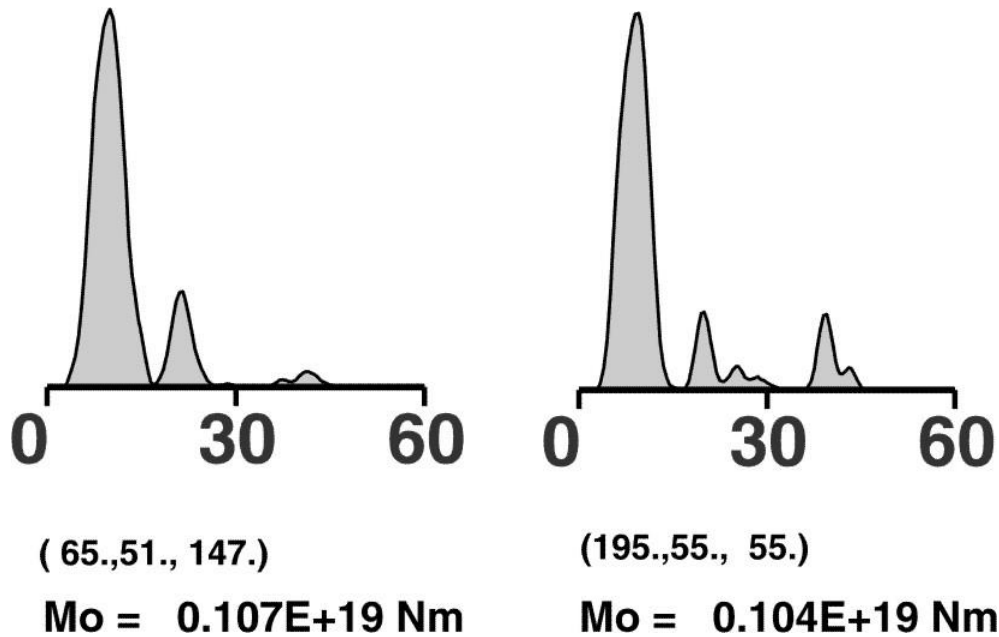
圖十一、宜蘭外海地震(CWB strike 195)錯動量空間分佈。藍色星號為震央位置。

宜蘭外海地震破裂過程的時間分佈顯示於圖十二。圖左為 BATS 震源機制 (65, 51, 157) 下的破裂過程，錯動由震源下 9 公里開始發生，隨後朝右下方破裂，大約 8 秒左右此區域的滑移量增大，10 秒左右震央的左下方也開始產生破裂，震央下方的 Asperity 也逐漸向外擴大，這些錯動主要為逆衝帶有左移的形式，約略在 18-20 秒的時候震央右上方連帶產生了些微的錯動，以左移滑動的方式出現。圖右方為 CWB 震源機制 (195, 55, 63) 的破裂過程，錯動由震源左側 9 公里處發生，6 秒左右逐漸四周擴散，8-10 秒即產生了很大的 Asperity，並且在震源右上方也產生了些許的滑移分佈，10 秒以後滑移量趨於穩定，6 秒左右的破裂在震源深度以上為右上的滑移，在震源深度以下的破裂為逆衝向上，但隨著 Asperity 擴大，在震源深度以下的滑移轉為逆衝帶有些微左移的滑移方式，最大的滑移量接近 0.1 公尺，但在震源右側的滑移量不超過 0.04 公尺。



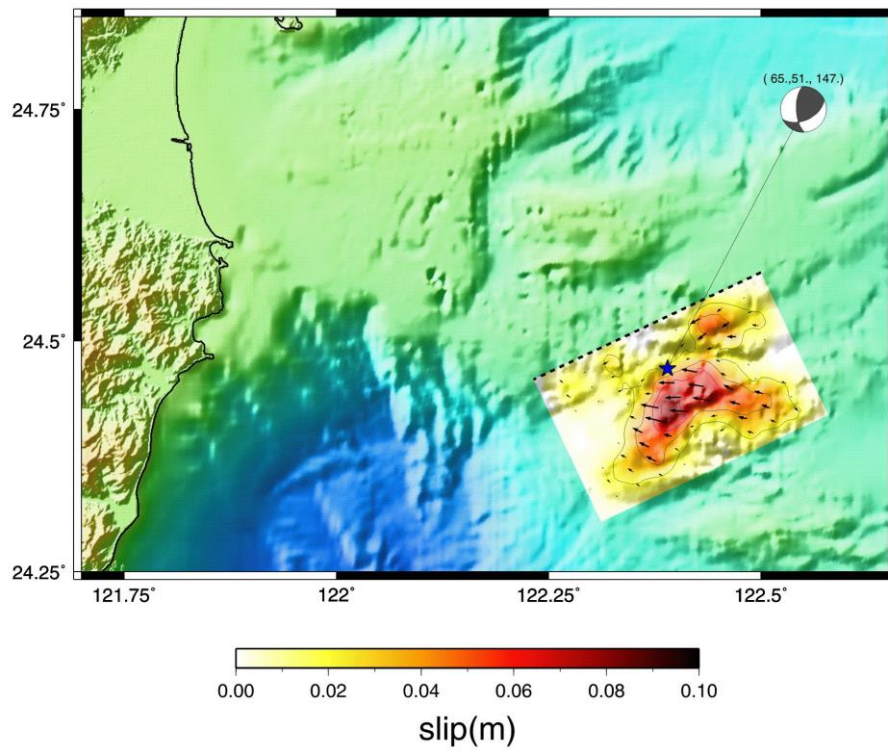
圖十二、宜蘭外海地震之震源破裂過程。左圖為 BATS(strike 65)，右圖為 CWB(strike 195)之震源破裂過程。

圖十三為逆推得到的宜蘭外海地震震源時間函數。圖六左為 BATS (65, 51, 157) 的能量釋放較為單純，僅有一個比較大的能量於 4 秒~20 秒內釋放，另一個小的能量釋放比較晚才出現。第一個能量釋放持續了約 16 秒，峰值落在 10 秒附近。其對應的破裂為主要 Asperity 的能量釋放以及後續在 Asperity 上方的次生錯動所釋放的能量。隨後斷層面的活動近乎停止。整個破裂持續時間約 40 秒，主要能量釋放僅約 16 秒，總釋放地震矩為 0.107×10^{19} Nm，約相當於規模 Mw 5.95 之地震。圖六右為 CWB (195, 55, 63) 的能量釋放，與 BATS 的結果類似，僅有一個比較大的能量於 4 秒~14 秒內釋放，另有兩個小的能量釋放比較晚才出現。第一個能量釋放持續了約 10 秒，峰值落在 8 秒附近。其對應的破裂為主要 Asperity 的能量釋放以及後續在 Asperity 右側的次生錯動所釋放的能量。隨後斷層面的活動近乎停止。整個破裂持續時間約 40 秒，主要能量釋放僅約 10 秒，總釋放地震矩為 0.104×10^{19} Nm，約相當於規模 Mw 5.94 之地震。

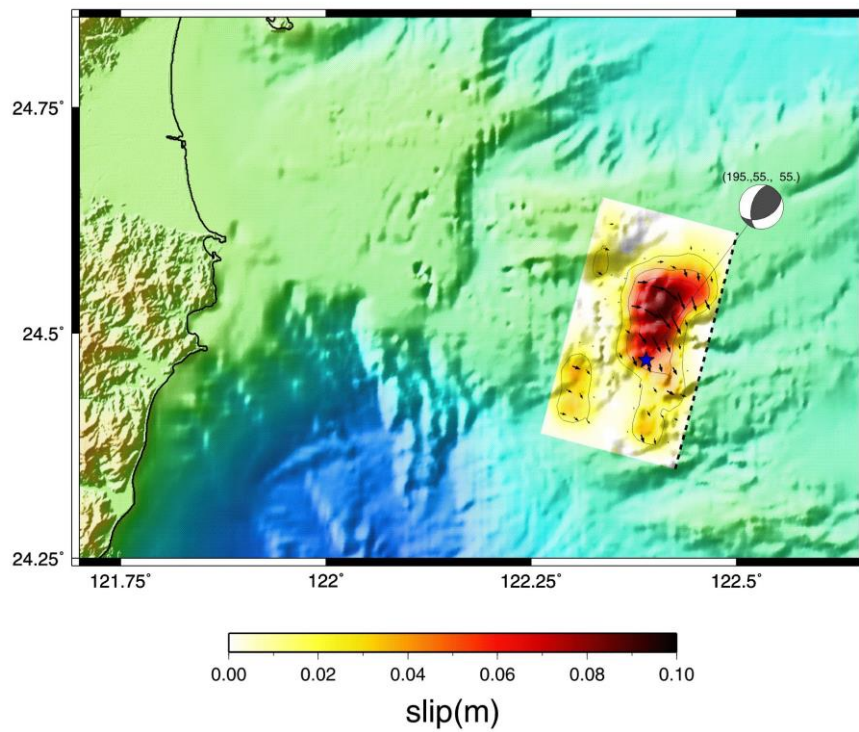


圖十三、宜蘭外海地震之震源時間函數。左圖為 BATS(strike 65)，右圖為 CWB(strike 195)之震源時間函數。

藉由 BATS 與 CWB 兩機構對於此地震的震源機制解，分析 BATS (65, 51, 157) 的逆推結果 (圖十四)，由於宜蘭外海地震的規模僅 Mw5.8，此規模具相對單純的破裂過程可以預期。斷層面上僅有一個主要的錯動區，以帶左移分量的逆衝滑移為主；另外一個相對較小的滑動區則位在斷層淺部，以純左滑為主要行為。破裂首先發生在地殼深部約 77 公里的位置，由震源開始稍微朝深處破裂，形成第一個也是唯一的一個主要錯動區，其後便大致完成九成以上的破裂。後期的破裂則主要發生在斷層淺部，於淺處產生一個相對小的錯動區，整個斷層面在震的過程中滑移了 40 秒，主要破裂之能量釋放僅約 16 秒。分析 CWB(195, 55, 63) 的逆推結果 (圖十五)，與 BATS 斷層面上僅有一個主要的錯動區類似，但以帶右移分量的逆衝滑移為主；另外一個相對較小的滑動區則位在斷層淺部，以純右滑為主要行為。破裂首先發生在地殼深部約 70 公里的位置，由震源開始稍微朝北方破裂，形成第一個也是唯一的一個主要錯動區，其後便大致完成九成以上的破裂。後期的破裂則主要發生在斷層淺部，於淺處產生一個相對小的錯動區，整個斷層面在震的過程中滑移了 40 秒，主要破裂之能量釋放僅約 10 秒。此兩個機制的斷層面解方向完全不同，但 dip 的角度差不多，滑移型態也都為逆衝為主，在深度 70 公里左右這樣的破裂模式，推測應是受隱沒帶擠壓，在隱沒帶上方的地層受到推擠而向上產生的逆衝斷層，而此地區上方還有琉球島弧，所以對於破裂產生可能的受力方向還需日後補充資訊再來進行探討。



圖十四、宜蘭外海地震(BATS strike 65)錯動量分佈水平投影。震源機制球顯示 BATS 之體波中心地震矩張量逆推結果。



圖十五、宜蘭外海地震(CWB strike 195)錯動量分佈水平投影。震源機制球顯示 CWB 之體波中心地震矩張量逆推結果。

參考文獻

1. Kikuchi, M. & H. Kanamori, 1982. Inversion of complex body waves: Bull. Seismol. Soc. Am., v. 72, p. 491-506.
2. Lee, S. J., B. S. Huang, M. Ando, H. C. Chiu & J. H. Wang, 2011. Evidence of large scale repeating slip during the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 38, L19306, doi: 10.1029/2011GL049580.
3. Lee, S. J., K. F. Ma & H. W. Chen, 2006. Three-dimensional dense strong motion waveform inversion for the rupture process of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, J. Geophys. Res., 111, B11308, doi:10.1029/2005JB004097.