

台灣西部地區三維速度構造

辛在勤 何美儀

中央氣象局地震測報中心

摘要

本研究選用中央氣象局地震網在1992年至1994年台灣西部地區所收錄到625個地震，總計10210個P波、6133個S波之走時資料推算台灣西部地區三維速度構造，並將該地區內3800個地震重新以三維速度模式再定位以分析地震活動特性及其與速度構造、地體構造活動的關係。

所得之三維速度構造顯示，P波、S波速度分佈的大趨勢一致。西部地區在不同深度所見之速度高與低區與此區布蓋重力異常之高與低區有很好的相關性。在淺層所見之速度低區與西部盆地中沉積的新第三紀碎屑岩層有關。隨著深度的增加，速度低區東移至中央山脈下，反應中央山脈下的巨厚岩體。西部地區之主要構造線分佈在地震活動上扮演極重要之角色。大部份的地震皆發生在西部褶皺衝斷帶與中央山脈上衝板岩帶內。唯一例外是佳里新震區之出現。由數個東西向的深度剖面，皆可發現在主要構造線下之速度構造皆有向東傾斜的現象，而地震分佈卻與速度構造略成垂直（即向西傾斜）。

關鍵字：三維速度構造。

一、前言

地震定位是利用地震波傳播的原理，極小化各觀測值的差異，以求取最佳地震發生參數，可見地震定位是架構在一已認定的速度模式上，因此速度構造的選用，對地震定位影響極大。單純的一維速度模型雖可滿足一般的地震定位作業，但對地質複雜或側向速度變化極大的地區，則可能造成地震位置的偏差，嚴重者足可誤導地震活動及地震分布的解釋。可見速度模式的採用，在地震定位上實在扮演一個非常重要的角色。

台灣地區不管由地形或地質來看，都是一個側向變化極大的地區，而地震定位作業至今仍沿用Yeh and Tsai (1981)的台灣中部地區一維速度構造模式，但自1991年開始中央氣象局結合TTSN並提昇觀測設備為三向數位紀錄，形成一完整的台灣地區地震網(TAIwan SEIsmic Network, Tai-

SeiN)，測站數目增加，地震網密度也跟著相對提高，歷經2年餘也蒐集了相當多的地震資料，原先單純的一維速度模型已無法滿足所觀測到的現象，只能提供初步的地震位置分佈及活動，因此如何進一步利用其資料仔細推算台灣地區速度構造及再定位後分析地震活動特性及其與速度構造、地體構造活動的關係，實為非常重要之課題。而環顧今日潮流，利用地震波走時逆推三維速度構造已是潮流所趨，甚至在不久的將來用三維速度構造來作例行定位也極有實現的可能。

由於要建立一個適合全台灣的三維速度模型並非易事，因此本文嘗試先選擇建立區域性的速度模型，希望能建立一套逆推程序，以作為台灣地區三維速度模型探討的先趨。臺灣西部地區由於地質環境相對於東部較為單純，加上中央氣象局自擴大地震網以來，無論在測站數目與密度皆已足夠，因此較適合用來做三維速度構造之測試

及研究，此亦是本研究之選擇西部地區的主要原因。

二、區域地質和構造

本研究區在地理上自東而西可分為中央山脈、西部麓山帶、海岸平原及臺地。根據何春蓀(1986)，先第三紀的變質基盤出露在中央山脈東坡。在基盤岩層上，西部褶皺衝斷帶由厚度相當大的第三紀至更新世碎屑沉積物所組成。層序很厚的古第三紀海相泥質沉積岩直接覆蓋在這基盤上，分佈在中央山脈的背部和其西坡及東南坡。這些泥質岩層現已變為一個顯著的硬頁岩及板岩帶，其中夾有變質砂岩互層。未變質的新第三紀岩層分佈在板岩帶以西的西部麓山帶內，兩者間以一條縱貫全島的上衝斷層相隔。板岩帶中另一條重要的構造線是分開雪山山脈與中央山脈中脊的梨山斷層，由於梨山斷層的地理位置居於台灣島的中間地帶，故又稱為中軸斷層；在地震資料上證明此斷層目前仍在活動(Wu, 1978)。

中央山脈西邊的麓山帶由漸新世晚期或中新世至更新世早期的淺海至陸臺相碎屑沉積物所構成。主要沉積物為砂岩、頁岩互層，石灰岩的分佈有限。全部岩層由北向南頁岩或泥岩逐漸增加，厚度也隨同加大。在西部盆地中沉積的碎屑岩層的總厚度有由東邊的八千公尺左右向西遞減變薄的現象。

台灣西部新生代的主要造山運動是上新、更新世的蓬萊運動，在上新世末開始時有大量更新世礫岩堆積在盆地中，及其達到高潮，西部盆地崩潰，褶皺斷裂形成的山脈也逐漸上升。在這運動期中，並未發生變質作用，也沒有大規模火成岩的侵入。地殼變動的結果產生顯著的覆瓦狀斷層體系，以緊密和不對稱的褶皺及東南傾斜的低角度逆斷層為主。所有褶皺都以曲滑褶皺為主，軸面都向東或東南傾斜。有一個表層滑動面位在這個覆瓦狀斷層帶底部，一切變形作用僅限於這個滑動面以上的第三紀岩層，其下較老的基盤岩層則未參加。在若干地點，常見兩組相配合的橫移斷層切割這位於淺部的褶皺衝斷帶。

蓬萊運動不但影響西部麓山帶，也波及中央

山脈中的板岩帶和變質岩系。就板塊構造運動而論，此運動代表更新世時亞洲大陸和其東面呂宋弧的碰撞結果。這第四紀的運動目前仍在活動，尤其是台灣的中南部。Suppe (1981)認為歐亞大陸與菲律賓海板塊的邊界是馬尼拉海溝，並向北延伸到西部麓山帶下，但確切位置並不知道。

三、原 理

本研究以取得Thurber (1983)研究的程式，須略作修改增加網格點數、測站數、地震數及其他相關參數，使其能在VAX機器上運算，因此將以它為主體從事臺灣西部地區三維速度構造及地震定位的探討。

走時 t 的殘餘值 r （真正走時與利用初始值所計算之理論值之差異）可表為

$$r = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial T}{\partial x_k} \Delta x_k + \Delta t_0 + \sum_{n=1}^N \frac{\partial T}{\partial \alpha_n} \Delta \alpha_n$$

式中 Δt_0 ， Δx_k ， $\Delta \alpha_n$ ，是地震發生參數和速度構造的微擾項(perturbation)， $\frac{\partial T}{\partial x_k}$ ， $\frac{\partial T}{\partial \alpha_n}$ 則為走時相對於地震位置和速度的偏微分項(partial derivative)。其中速度參數模式是設定在兩組互相垂直平面分割水平多層次的一維空間為許多格點上而構成，波徑的計算則採用Thurber於1983年及Um and Thurber於1987年所提出兩種波線追蹤之計算方法，一為近似波線追蹤法(Approximate Ray Tracing, ART)，另一則為Pseudo-bending。逆推方法則使用Iterative Damped Least Square來求解。在每一次迭代過程中，均會決定新的波徑、加入震源解並利用參數分離的技巧將速度與震源二類參數分段計算。在逆推過程中會根據殘餘值大小及震源—測站距離給予權重。此外也將同時計算解析度矩陣。

四、資料選取

本研究所選用之地震資料，以中央氣象局地震網在1992年至1994年所收錄到的地震為主，選取範圍在東經119.5度至121.3度、北緯22度至25度、規模大於2以上、深度小於四十公里、至少有十個測站收到，共計625個地震，詳細震央分佈及地震深度分佈統計見圖一(a)、(b)；又所選用西

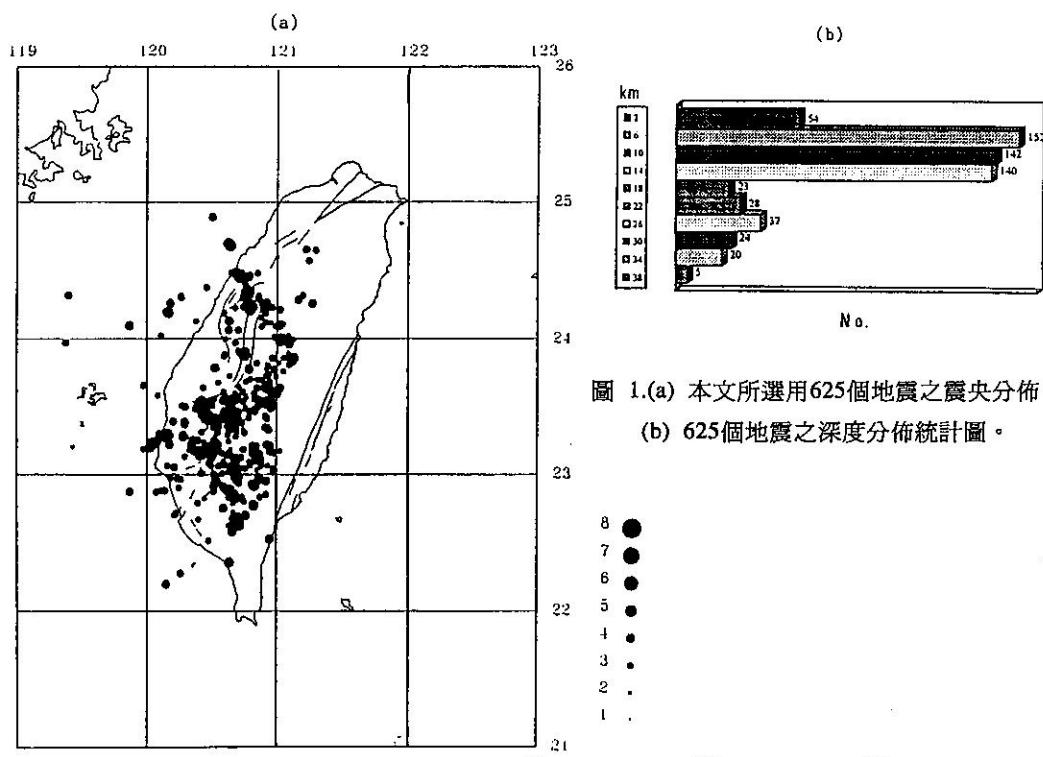


圖 1.(a) 本文所選用625個地震之震央分佈，
(b) 625個地震之深度分佈統計圖。

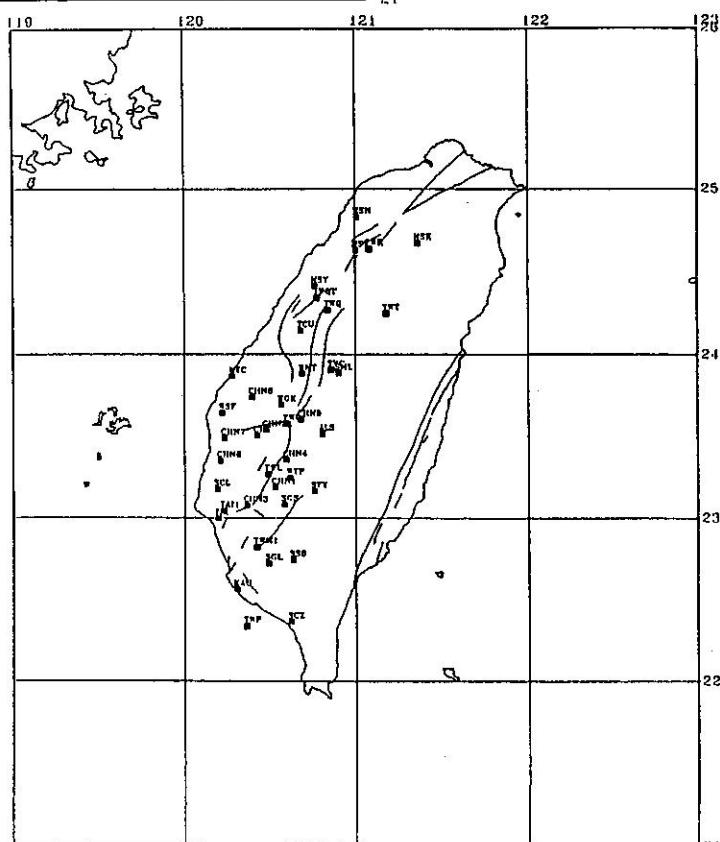


圖 2. 本文所選用39個地震測站之空間分佈。

部地區的測站計39個，其空間分佈見圖二。

在資料篩選過程中，每個地震均需重新再檢視過，選用品質良好之P、S相位，總計10210個P波、6133個S波。至於在S波的檢視過程中，由於S波的波相較不清楚，不確定性也較P波大，且怕會誤挑到P-S的轉換波，因此吾人在檢取S相位時，特將其質點運動(particle motion)也繪出，以做為檢取時的依據，同時也增加在逆推S波時的可信度。

五、三維速度模型逆演與分析

本研究用來做為三維速度構造起始模式之一維速度模式（見表一），乃依據何（1994）所得台灣西部地區之一維速度模式。

表一、本研究所用之一維速度模式(何, 1994)

深度 (公里)	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	V_p/V_s
0	3.50	2.00	1.74
1	3.78	2.20	1.72
4	5.04	3.03	1.66
9	5.71	3.26	1.75
13	6.05	3.47	1.74
17	6.44	3.72	1.73
25	6.83	3.99	1.73
30	7.28	4.21	1.75

三維速度構造模式的設定，參考已有的地球物理及地質資料來決定兩組互相垂直之垂直平面的方向。根據現有資料顯示，台灣的主要地質構造是呈東北-西南走向，因此本文選用兩種垂直平面之方向：第一種為一組垂直平面沿南北方向，另一組沿東西方向。第二種亦為二組互相垂直的平面，但由正北向東旋轉12度，大致與中央山脈的走向一致。

二種三維空間速度模式之格點設定皆一樣，先設定一原點，由原點算起，以公里計，水平面上在經度方向是以每十公里取一點，共十點；在緯度方向，第一點距原點十五公里，第二點距原點五十公里，第三點距原點六十五公里，之後每

點相距十公里，直到175公里後，每點相距廿五公里，最後一點距原點二百五十公里，共17點。二種速度格點的平面位置圖見圖三(a), (b)。二者的起始速度模型皆採用上述之一維速度模式，不同處主在起始原點不同及有無旋轉。第一種模型之原點設在北緯22.4度，東經120度。第二種模型之原點設在北緯22.5度，東經119.9度，由北向東旋轉12度。此兩種模式的逆演計算同時考慮是否加入測站修正值，因此共有四種逆演處理。

每種模式均經過三次重複運算，比較這四種不同逆演方式的結果發現有無旋轉之趨勢不論在淺層（4公里）或較深層（13公里）均類似，但有旋轉者之方向與地質走向較相符；且由於吾人在深度小於一公里之速度層缺少人工炸測作為控制點，因此在深度小於一公里的解析度相對較差，只好利用測站修正來彌補深度小於一公里之走時誤差及作為測站高程修正之參考，因此本文將採用有旋轉且經測站修正之結果來作為本文結果討論之依據。圖四為第二種模式暨加入測站修正值的逆推結果依一維之水平層繪成速度等值線。其中P波、S波速度及 V_p/V_s 的等值線間隔分別為0.2、0.15公里每秒及0.05。

為探討地震活動與速度構造間之關係，吾人由中央氣象局地震資料庫中選取1992年至1994年四月，不分規模、深度，範圍在東經119度至121.3度、北緯22度至25度，共3800個地震，用本研究所得三維速度模式重新定位後，再依一維水平層的深度選取發生在該層上下四至八公里內之震央分佈與P波、S波速度及 V_p/V_s 的等值線同繪於圖四。

由於 V_p/V_s 反應的是岩層的孔隙率、破碎程度、液壓等等，並受很多因素影響，如沉積岩的成份、孔隙壓力，溫度、裂隙的排列方向、液體的飽和度等。而這些影響最明顯處在淺層，深度加深後由於壓力的增加使大多數的裂隙閉合，因此對 V_p/V_s 的影響就沒那麼大了。此外 V_p/V_s 還必須與其他資料如重力等綜合解釋才能成為一有力的診斷證據。

由速度等值線圖（圖四）來看，P波、S波速度分佈的大趨勢是相當一致的。在第一層（深度

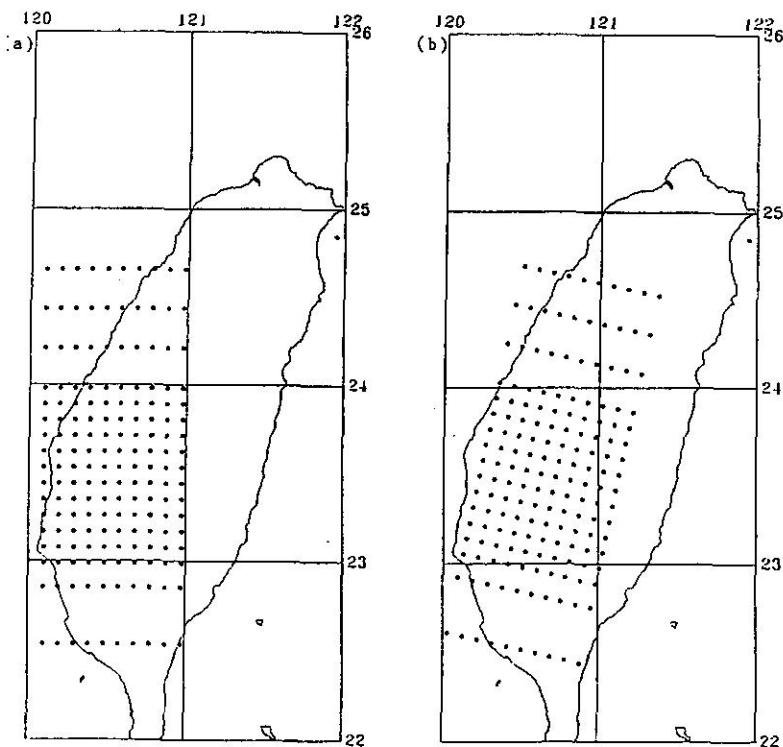


圖 3. 本研究所用二種不同速度格點的平面位置圖。(a)為兩組沿南北向及東西向之垂直平面切割一維水平層。(b)則為(a)之速度格點由北順時針旋轉12度，與中央山脈走向一致。

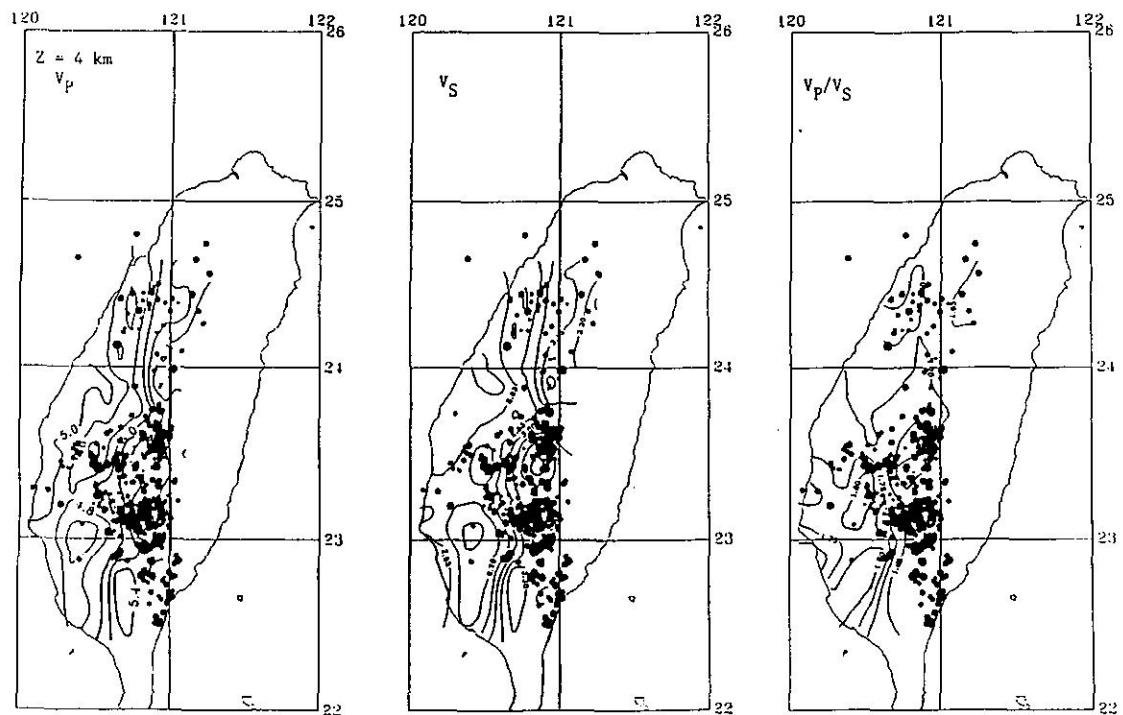


圖 4. 三維速度模式依每一層所繪成之P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖圖，與發生在該層上下四至八公里內之震央分佈。

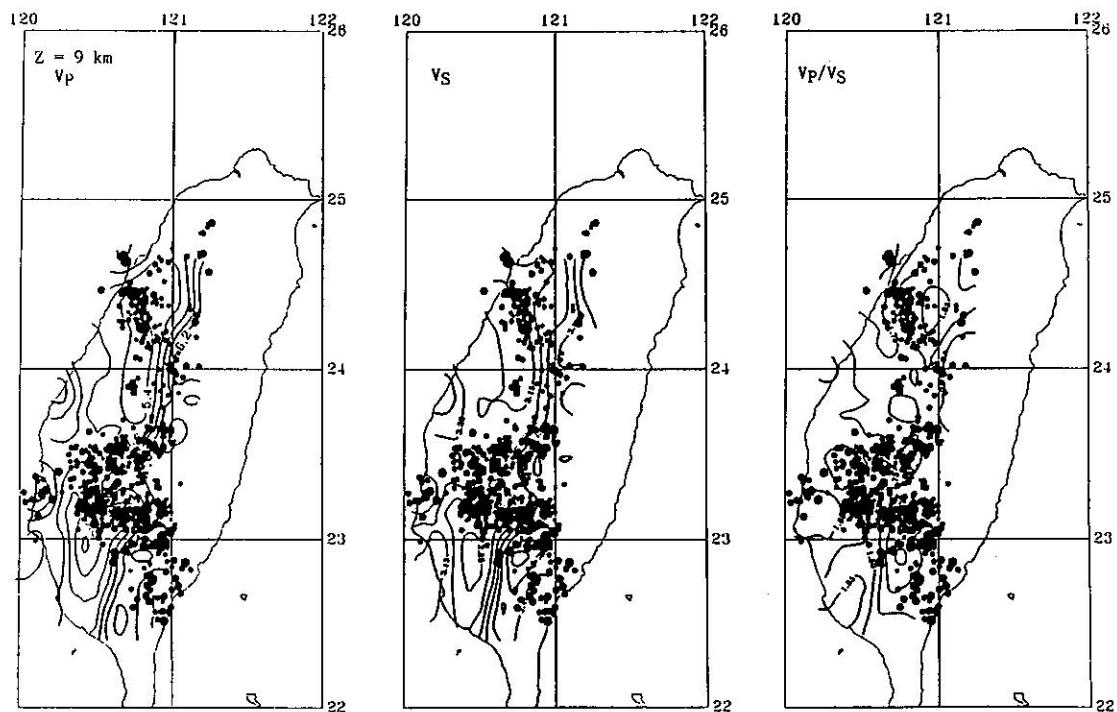


圖 4. (續)

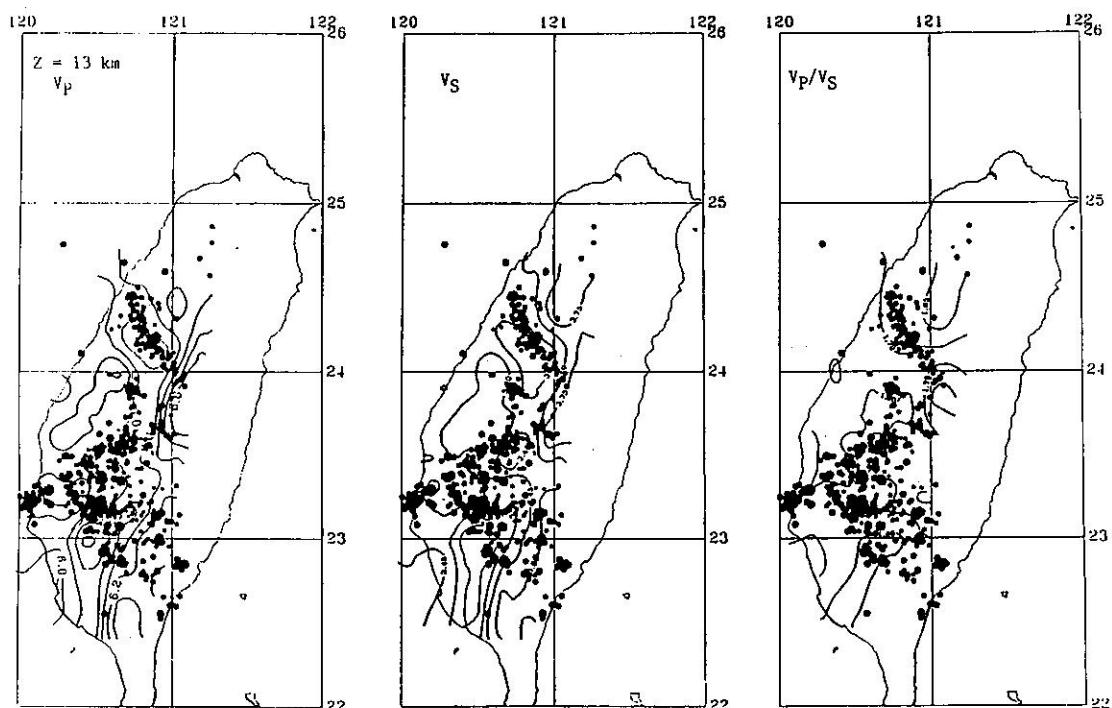


圖 4. (續)

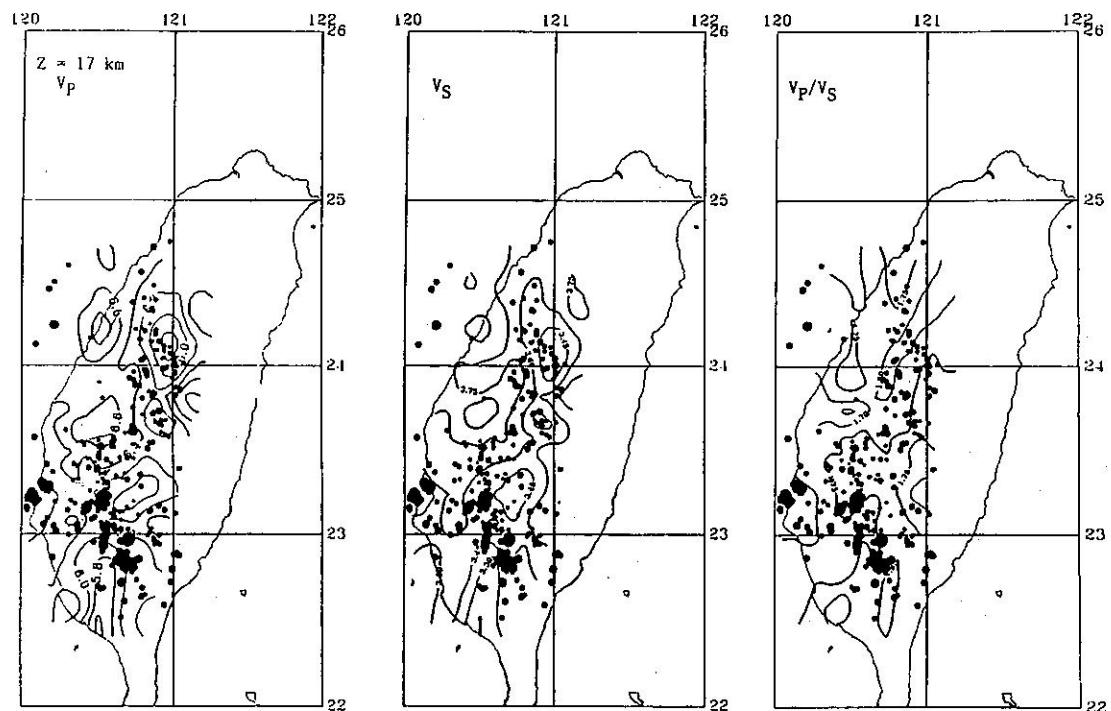


圖 4. (續)

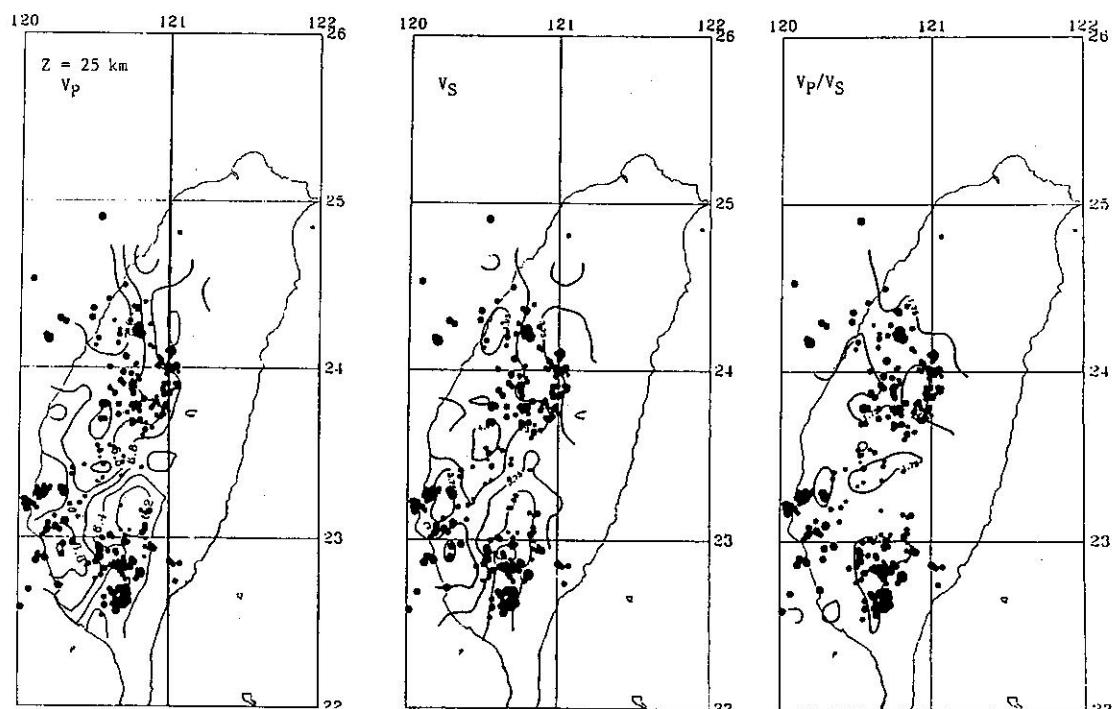


圖 4. (續)

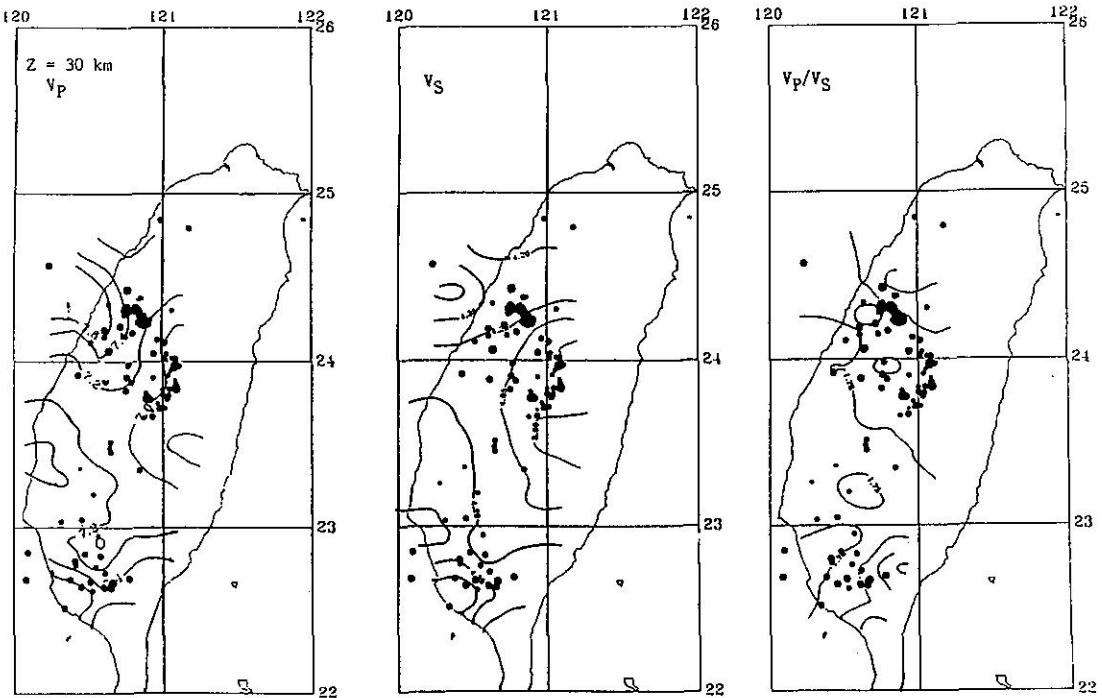


圖 4. (續)

四公里），基本上等值線有東北—西南方向的趨勢，東西兩邊的速度顯然比中間高，南北各有一速度低區，北部在台中地區，而南部在臺南、高雄、屏東地區的速度又似乎更低，此類的低區反應出有較厚或鬆弛的沉積物存在。至於震央分佈則似乎與東邊靠中央山脈一帶的速度高區有關，且集中在其南北二端，另有少數地震分佈在中間的速度低區與北邊的三義地區。第二層（深度九公里），其速度分佈與第一層類似，但靠東邊的P波速度梯度似乎變得更陡，而等值線呈東北—西南方向的趨勢，似乎延續到25公里深都還看得出來。南部的速度低區範圍似乎變大了。而在佳里、北港附近各有一局部高區出現。在此深度之震央分佈似乎有往中間速度低區分佈的趨勢，另在佳里速度高區也開始有地震出現。在北部的速度低區有一群地震呈北偏西方向線型分佈，與速度低區的走向一致，此走向似與地表的斷層分佈垂直，而此一現象到了深度十三公里更為明顯且呈西北東南向分佈，頗值得玩味。第三層（深度十三公里），其速度分佈也與第一層類似，但中

間的速度低區有向東移動的現象，南部的低區位置則大致不變。在地震活動方面，除北部的線型地震分佈外，地震分佈主要集中在中間速度低區至西邊佳里的速度高區，但北港附近則呈一片空白，由S波速度分佈圖則可看出地震似乎沿著北港地區的S波速度高區外圍分佈。第四層（深度十七公里），速度低區更向東移，且分散成好幾團。主要速度高區分佈在北港高區以北，佳里地區速度反而相對變低了。此外在此深度附近之地震個數減少，分佈也較為零星，只在佳里、大埔、三地附近有較密集的地震分佈。第五層（深度二十五公里），速度低區整個移至東邊的中央山脈下。速度高區仍以北港以北為主，但在佳里以南，即臺南附近則出現一局部速度高區。此深度附近之地震分佈仍然零星，但似有以6.6公里每秒的P波等速度線為界的趨勢，大於此速度的地區，地震分佈較平均，小於此速度的地區，地震分佈則集中在南部三地附近的低區內。至第六層（深度三十公里），東邊仍有少部分的速度低區存在，其餘速度分佈則變得較為一致。此一現象可

說與地質相當吻合，在淺層的速度低區與西部沉積盆地厚度有關，隨著深度增加，速度低區的東移則反應中央山脈下的巨厚岩體。到了三十公里，全區的速度分佈可說相當均勻，應與到了莫荷深度，反應上部地函的特性有關。若就地震分佈來看，地震個數數明顯銳減，且分佈亦呈兩極化；地震似乎分佈在速度較大之地區。綜合看來，地震似乎分佈在Vp/Vs變化梯度較大之處。

另外為了探討地震活動在深度剖面上的分佈與速度構造的關係，本研究取了七條剖面，其中由南而北選三條東西向剖面、由西而東選二條南北向剖面，此外斜向剖面則選二條，一條東北-西南向大致沿西部麓山帶外緣，最後一條剖面的方向與前一條剖面夾50度角，或者可說是南中國海大陸斜坡的方向（Suppe, 1984）。每一個剖面所用

的地震是以剖面位置為準、±10公里為範圍而選取的，並分別顯示P波、S波速度與Vp/Vs的構造與震源分佈圖。圖五即為本研究所選取的七條深度剖面線之平面位置圖，圖中a、b、c為本區域內三條主要構造界線（何春蓀，1982），a為西部麓山帶與濱海平原的界線，b為分隔西部麓山帶中未變質之新第三紀地層與中央山脈西斜面上衝板岩帶之界限斷層，或叫屈尺斷層，c為分開雪山山脈與中央山脈中脊的界限斷層，又叫梨山斷層。

剖面AA'（圖六），其剖面位置大致通過佳里、大埔、桃源地區，圖中a、b、c為地表主要構造線之相對位置。綜合P波、S波速度等值線之分佈似可看出相對這三條主要構造線其下之速度構造皆有向東傾斜之現象（圖中虛線所示）。由速度構造上來看，在佳里、大埔之間有一速度低

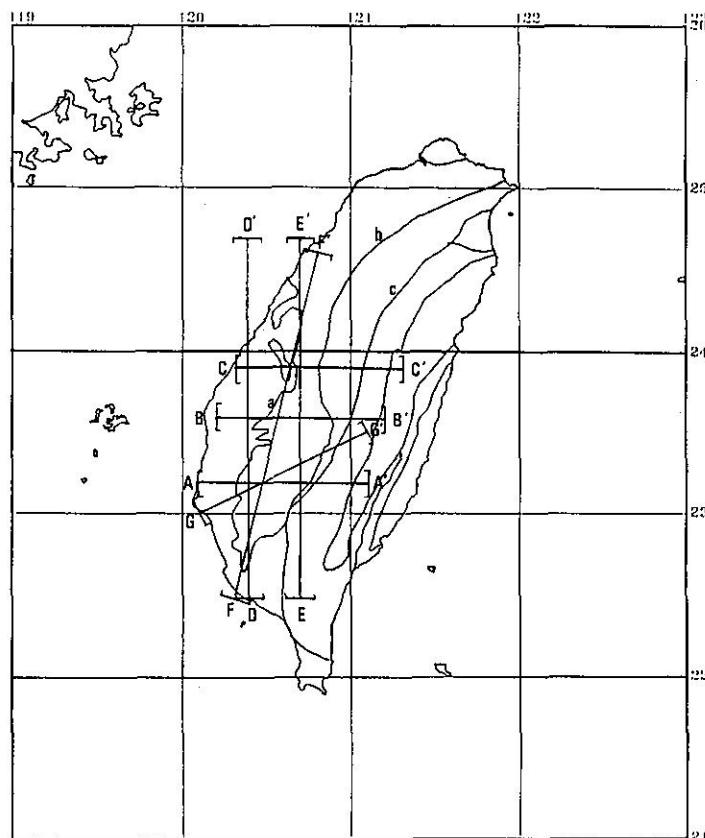


圖 5. 本研究所選取的七條深度剖面線之平面位置圖，圖中a、b、c為本區域內三條主要構造界線（何春蓀，1982），a為西部麓山帶與濱海平原的界線，b為屈尺斷層，c為梨山斷層。

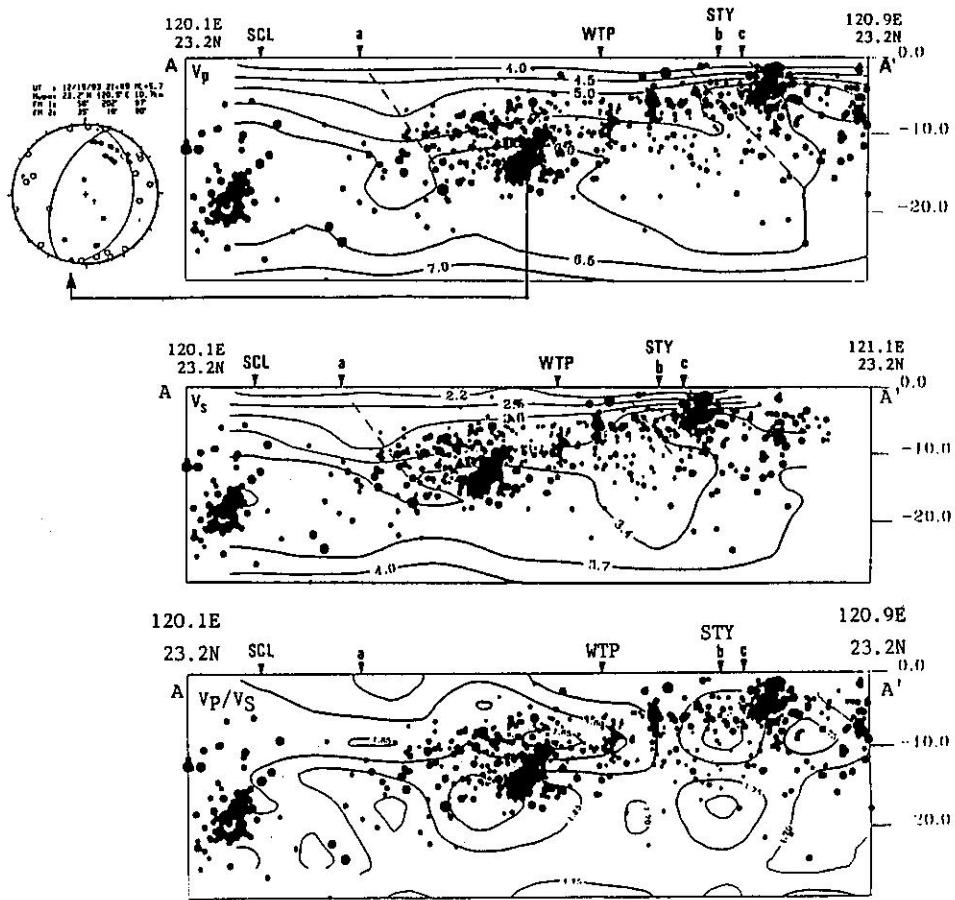


圖 6. 剖面AA'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。最上圖左方為1993年12月15日大埔地震之震源機制（郭等，1994年）

區，其深度可延伸至廿公里左右，東邊的桃源地區的速度高區約在深度五公里左右出現。由地震分佈來看，圖中三個主要地震群狀分佈，分別發生在佳里，佳里至大埔間，及桃源東方，其深度分佈由15-25公里向東漸次變淺至5公里左右，但皆與速度構造略成垂直現象（即向西傾斜）。另外根據Roecker et al. (1987)的說法，他認為北緯23度為歐亞大陸板塊下插至菲律賓海板塊的最遠界限，且其地震主要沿深度在35至50公里的一低速帶發生。由整個剖面來看，P波速度5.5至6.0公里每秒的速度層似乎有向東平緩下插的趨勢，深度可達廿五公里，再往深下去因本研究所逆推的深

度只到三十公里而無法討論。S波的趨勢亦同。若由 V_p/V_s 的等值線圖來看，則地震似有沿 V_p/V_s 變化較大之處發生的趨勢。

剖面BB'（圖七），其速度分佈與剖面AA'類似，P波、S波速度等值線之分佈相對於主要構造線（a、b）下之速度構造亦有向東傾斜之現象（圖中虛線所示）。而在b下之地震分佈與速度構造亦略成垂直現象（即向西傾斜），主要集中在十公里內。另有一些地震則似乎發生在P波、S波速度介於5.5至6.5公里每秒、S波速度介於3.1至3.7公里每秒的一層。

剖面CC'（圖八），其速度分佈亦與剖面AA'

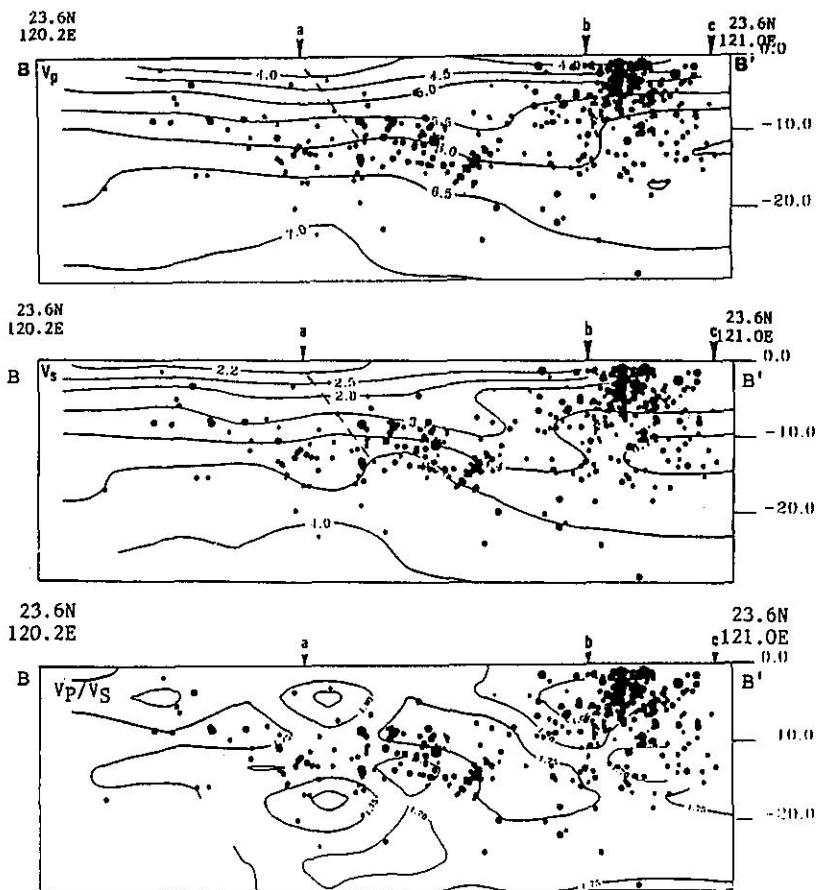


圖 7：剖面BB'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

類似，在構造線（a、b）下之速度構造亦有向東傾斜之現象（圖中虛線所示），深度可達廿公里。本區的地震個數相對減少，且分佈零散，在a下有一小群地震分佈與速度構造亦略成垂直現象。

剖面DD'（圖九），為南北向之剖面，其南段主要經過西部麓山帶，北段則通過西部濱海平原。在構造線a下之速度構造有向北傾斜之現象（圖中虛線所示），並延伸至廿公里深。地震分佈集中在西部麓山帶內、震源深度多集中在五至廿公里間。由地質構造可知在此剖面之麓山帶內地質構造甚為複雜，存在有多條南北走向之斷層

與褶皺，因此麓山帶之地震與此帶之內之褶皺與斷層有關。

剖面EE'（圖十），為一南北向之剖面，由速度構造與地震分佈可發現是本區內最為複雜的地區，地震大多成群狀分佈。由速度構造來看，南部的速度等值線在桃源以西一帶有向北傾斜之現象（圖中虛線所示），深度可延伸到廿五公里深。有三個地震群狀分布與速度構造略成垂直現象，其深度分佈由25公里向北漸次變淺至5公里左右（在桃源附近）。再往北到阿里山附近，速度等值線似乎又有向北傾斜的趨勢，但地震卻與前者呈反方向向北傾角約60度分佈。

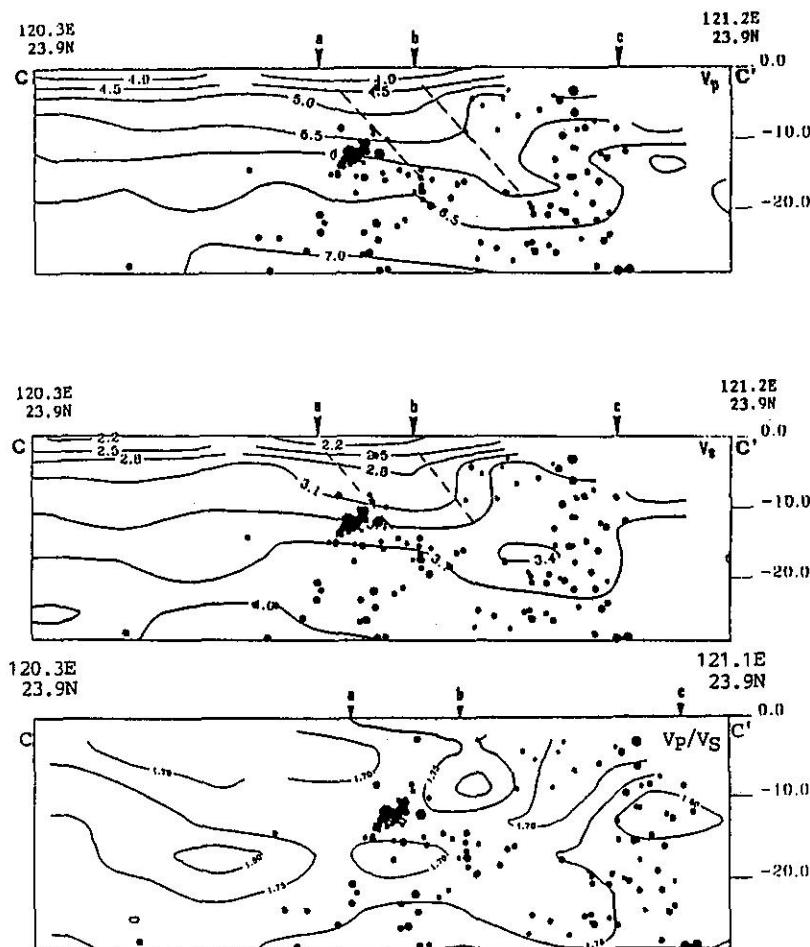


圖 8. 剖面CC'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

剖面FF'（圖十一），為一東北-西南方向剖面，大部份通過西部麓山帶。由速度構造來看，在西南端構造線a下之速度構造有向東北傾斜之現象（圖中虛線所示）。在這一剖面線上的地震，主要分佈亦在西部麓山帶內，且深度多小於廿公里。若以 V_p/V_s 的等值線分佈來看，主要地震分佈集中在兩處，一在 V_p/V_s 值的高區，另一在 V_p/V_s 低區。

剖面GG'（圖十二），方向大致為西南西-東北東。在西南端有一局部速度高區，其延展深度不超過十公里，相對應三條主構造線a、b、c下之速度構造似有向東北傾斜之現象（圖中虛線所示）但並不很明顯。主要的地震分佈亦由西南端深度廿五公里向東漸次變淺至五公里左右，且與速度構造略成垂直現象（即向西南傾斜）。若以 V_p/V_s 的等值線分佈來看，主要地震分佈集中在

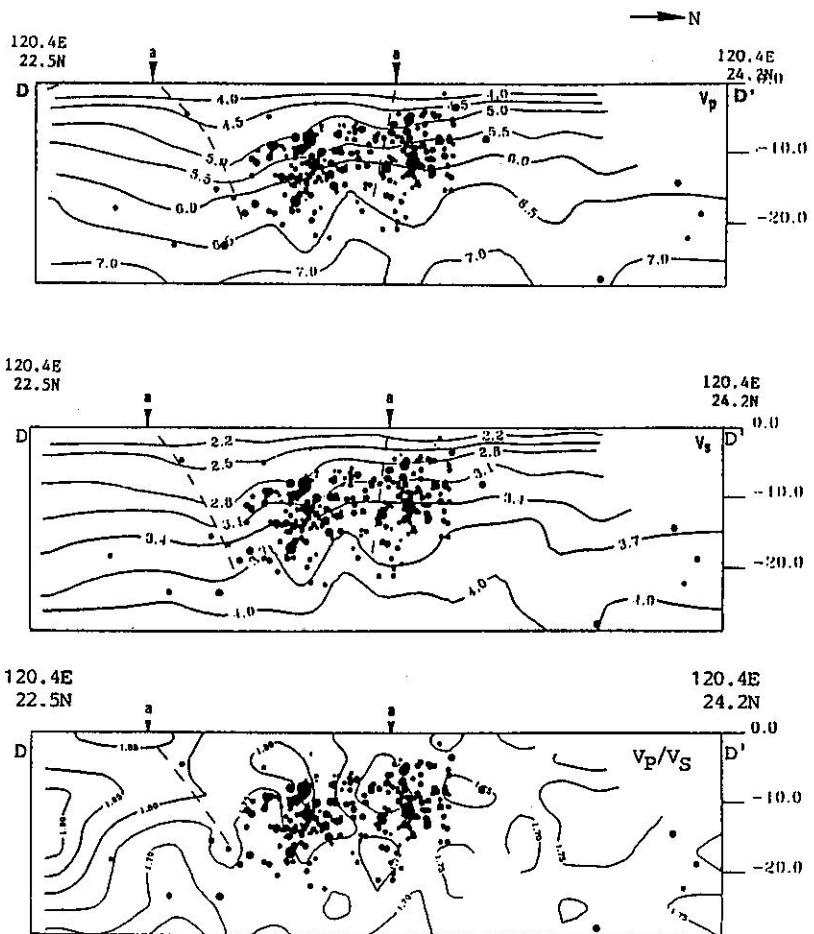


圖 9. 剖面DD'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

V_p/V_s 值的高區。

六、討 論

由台灣的布蓋重力異常圖（葉和顏，1992，圖十三）來看，台灣西部地區有兩個明顯重力低

區，一在台中、埔里地區，一在高雄、屏東地區（即所謂屏東谷地），而在北港地區則有一重力高區。此一現象與本研究所得的結果，極為相符。由三維速度構造來看，西部地區之兩個速度低區與重力低區的位置一致，且深度延伸至十七

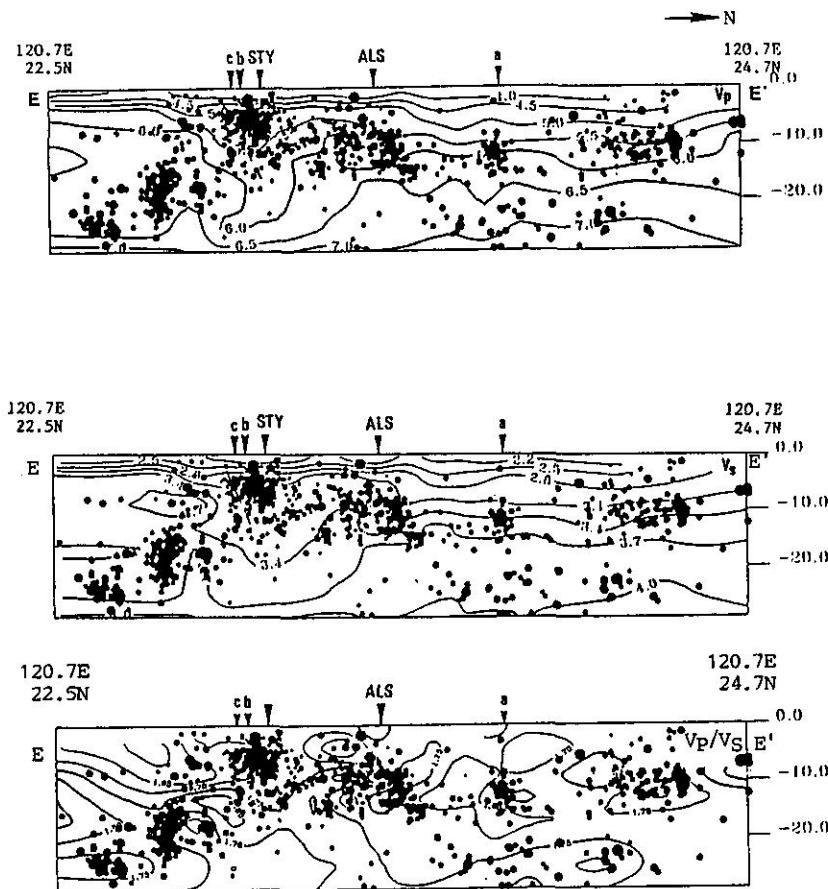


圖 10. 剖面EE'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

公里都還清晰可見。而北港重力高區在速度構造上則為一速度高區，但它要在深度九公里處才明顯可見。在深度九公里另一明顯可見的速度高區則在佳里附近，唯其深度只延伸至十三公里左右，大於十七公里以後反而速度增加不如周遭

快。北港地區的速度構造變化與佳里地區相似，但這兩區之地震活動卻似有天壤之別。另在大埔、桃源附近的速度低區則在深度十七公里才顯現出來，並與布蓋重力異常在此區所見之相對重力低區相符。

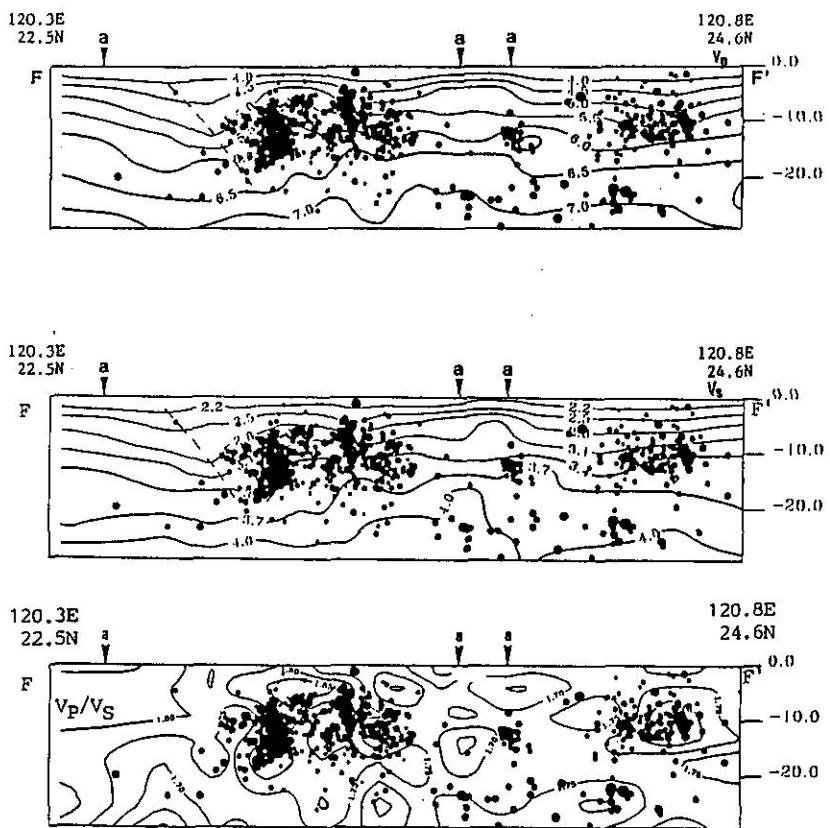


圖 11. 剖面FF'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

在地震活動與速度構造方面，綜合各不同深度的橫切面來看（圖四），地震主要分佈在所謂西部褶皺衝斷帶（即地質分區上的西部麓山帶）與上衝板岩帶（中央山脈山脊及其西斜面）內，與構造可說息息相關。唯一例外者為發生在佳里速度高區之地震群，其深度分佈可達25公里，且此區在地表上也看不出有任何斷層走向與其相關，主要地震觀測自1991年佳里地震後才有明顯

的地震活動，因而成了一個新震區（辛，1993）。

由深度垂直剖面上來看，速度構造與圖五中的三條主要構造線關係密切。三條東西向之深度剖面在主要構造線下之速度構造皆有向東傾斜的現象，而地震分佈卻與速度構造略成垂直（即向西傾斜），此類似現象在其他剖面亦可見到。若以1993年大埔地震為例（圖六），考慮其震源機制為一斷層面向西傾角約56度之逆斷層（郭等，1994），

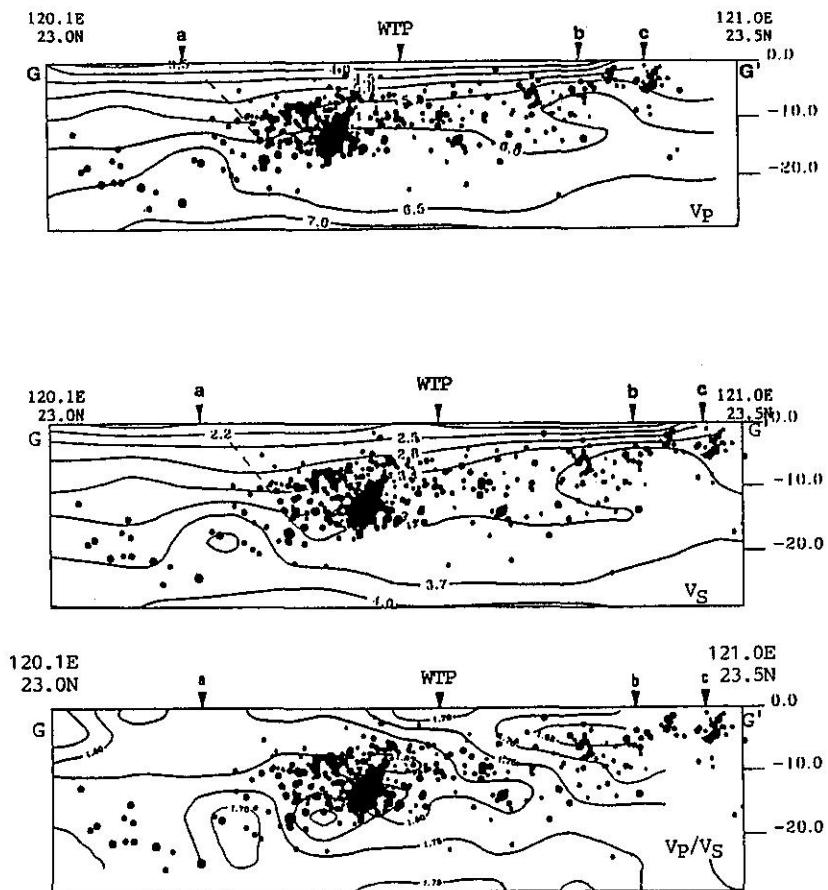


圖 12. 剖面GG'的P波、S波速度及 V_p/V_s 等值線圖與發生在該剖面前後十公里內之震央分佈。

再由其震央分佈亦為一向西傾斜之斜面，西部地區麓山帶的地震成因應與東西向的板塊擠壓造成向東傾斜的速度構造，而局部地區卻因受此壓力在向前滑移時受阻而形成向西傾斜之逆斷層形態。

七、結論

本研究利用地震波之到達時間資料，藉逆推方法來推求台灣西部地區之三維速度構造。所求得之速度構造，被用來對地震重新定位，及推演地震活動與台灣西部地區地質構造間之關係。綜合以上研究，可獲得結論如下：

- 1.本文用來推求地震波速度構造之方法，主要是根據Thurber (1983)之理論。主要不同點在波線追蹤上，多加了Pseudo-bending法以補近似波線追蹤法之不足。
- 2.本研究利用觀測S-P之時間差，逆推 V_p/V_s ，代替直接計算S波之速度。由於 V_p/V_s 之變化與地質與地球物理資料有很好的相關性，應有助於逆推結果的解釋，但由於影響 V_p/V_s 的變因太多且其主要反應淺層的變化，最好再加上其他資料綜合解釋才能成為有力的證據，因此在本研究中並未詳細加以討論，未來應仍有發展空間。
- 3.用兩組南北向與東西向的垂直平面由北向東旋轉

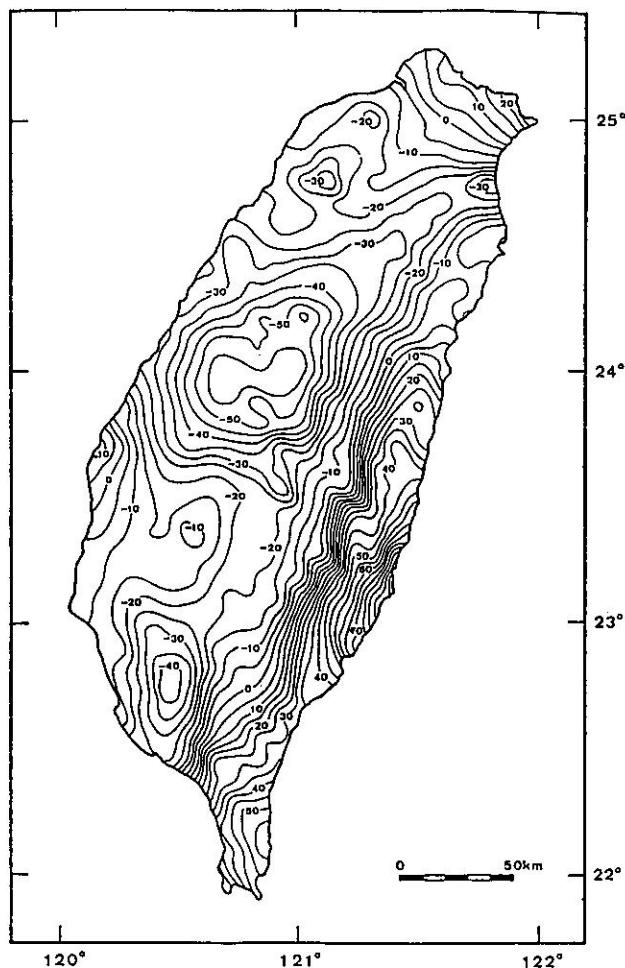


圖 13. 台灣地區布蓋重力異常圖（等值線間隔：5毫伽，葉和顏，1992）。

12度分割所推求之一維速度構造，做為三維速度構造之起始模式，加上測站修正，所得之三維地震波速度構造，由速度等值線圖來看，P波、S波速度分佈的大趨勢是相當一致的。結果顯示西部地區在淺層所見之速度低區與西部盆地中沉積的新第三紀碎屑岩層有關；所見之南北低區則與北港基盤高區分隔西部盆地成南北兩個不同沉積相之沉積盆地有關。隨著深度的增加，速度低區隨之東移至中央山脈下，此時所見之速度低區則反應中央山脈下的巨厚岩體。

4.由台灣西部地區三維速度構造之研究結果顯示，西部地區其南北兩布蓋重力低區處在深度四公里

至十七公里間有相對的低速度分佈，主要為一區域性效應，而在深度十七公里出現之速度低區則與布蓋圖上南北兩低區間之相對重力低區有關。

5.西部地區之主要構造線分佈在地震活動上扮演極重要之角色。大部份的地震皆發生在所謂西部褶皺衝斷帶（即地質分區上的西部麓山帶）與上衝板岩帶（中央山脈山脊及其西斜面）內。唯一例外是佳里新震區之出現。

6.由數個東西向的深度剖面，皆可發現在主要構造線下之速度構造皆有向東傾斜的現象，而地震分佈卻與速度構造略成垂直（即向西傾斜）。若由 V_p/V_s 的等值線圖來看，則地震似有沿 V_p/V_s 變化

較大之處發生的趨勢。

八、參考文獻

- Aki, K. and Lee, W.H.K., 1976. Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes, 1, a homogeneous initial model, *J. Geophys. Res.*, 81, 4381-4399.
- Crosson, R.S., 1976. Crustal structure modeling of earthquake data 1. Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters, *J. Geophys. Res.*, 81, 3036-3046.
- Eberhart-Phillips, D., 1990. Three-dimensional P and S velocity structure in the Coalinga region, California, *J. Geophys. Res.*, 95, B10, 15343-15363.
- Eberhart-Phillips, D. and Michael, A. J., 1993. Three-dimensional velocity structure, seismicity, and fault structure in the Parkfield region, central California, *J. Geophys. Res.*, 98, B9, 15737-15758.
- Eberhart-Phillips, D., 1993. Local earthquake tomography : earthquake source regions, in Seismic Tomography : Theory and Practice, edited by H. M. Iyer and K. Hirahara, 613-643.
- Kissling, E., 1988. Geotomography with local earthquake data, *Rev. Geophys.*, 26, 659-698.
- Pavlis, G. L., and Booker, J. R., 1980. The mixed discrete continuous inverse problem : application to the simultaneous determination of earthquake hypocenters and velocity structure, *J. Geophys. Res.*, 85, 4801-4810.
- Pavlis, G. L., and Booker, J. R., 1983. A study of the importance of nonlinearity in the inversion of earthquake arrival time data for velocity structure, *J. Geophys. Res.*, 88, 5047-5055.
- Rau, R. J., 1992. Flexure modeling and Taiwan tectonics, Master thesis in Geology, State Univ. of New York at Binghamton.
- Roecker, S. W. Yeh, Y. H., and Tsai, Y. B., 1987. Three-dimensional P and S wave velocity structure beneath Taiwan : deep structure beneath an arc-continent collision, *J. Geophys. Res.*, 92, B10, 10547-10570.
- Suppe, J., 1980. A retrodeformable cross section of northern Taiwan, *Proc. Geol. Soc. China*, 23, 46-55.
- Suppe, J., 1981. Mechanics of mountain building and meta-morphism in Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 67-90.
- Suppe, J., 1984. Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 6, 21-33.
- Thurber, C. H., and Ellsworth, W. L., 1980. Rapid solution of ray tracing problems in heterogeneous media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 70, 1137-1148.
- Thurber, C. H., 1983. Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in the Coyote lake area, central California, *J. Geophys. Res.*, 88, 8226-8236.
- Thurber, C. H., 1984. SIMUL3, in documentation of earthquakes algorithms, (ed. E. R. Engdahl), Report SE-35, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Boulder, CO, 15-17.
- Thurber, C. H., 1986. Analysis methods for kinematic data from local earthquakes, *Rev. Geophys.*, 24, 793-805.
- Thurber, C. H., 1992. Hypocenter-velocity coupling in local earthquake tomography, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 75, 55-62.
- Thurber, C. H., 1993. Local Earthquake Tomography : velocities and V_p/V_s -theory, Seismic Tomography : Theory and Practice, edited by H. M. Iyer and K. Hirahara, 563-583.
- Thurber, C. H., and Atre, S. R., 1993. Three-dimensional V_p/V_s variations along the Loma Prieta rupture zone, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 83, 717-736.
- Um, J., and Thurber, C. H., 1987. A fast algorithm for two-point seismic ray tracing, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 77, 972-986.
- Wu, F. T., 1978. Recent tectonics of Taiwan, *J. Phys. Earth*, 26, Suppl. S265-S299.
- 辛在勤, 1993. 台南佳里震區的研究。行政院國家科

學委員會專題研究計畫成果報告。

何春蓀，1982. 台灣地體構造的演變—台灣地體構造圖說明書，經濟部出版。

何春蓀，1986. 台灣地質概論—台灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所出版。

何美儀，1994. 台灣西部地區三維速度構造，中央大學地球物理研究所碩士論文。

郭鎧紋，辛在勤，張建興，1994. 民國八十二年十二

月十六日大埔地震調查報告。氣象學報，付印中。

葉義雄，1986. 由地震與重力資料推研台灣北部地殼及上部地函三維構造，中央大學地球物理研究所博士論文。

葉義雄, 顏宏元, 1992. 台灣布蓋重力異常圖 (1: 500,000), 中央研究院地球科學研究所。

THREE DIMENSIONAL VELOCITY STRUCTURE OF WESTERN TAIWAN

Tzay-Chyn Shin Mei-Yi Ho

Seismology Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

Taiwan has been recognized as the results of the interaction between the Eurasian plate and the Philippine sea plate. To study the relationships among geological condition, tectonic feature and seismic activity, the three dimensional velocity structure plays a very important role. In this study, the three dimensional crustal structures of western Taiwan are inversed by using the P and S wave arrival times of the earthquakes occurring in the region of western Taiwan.

Using the data of 625 events recorded by the Taiwan Seismic Network (TaiSeiN). The three dimensional velocity structure of western Taiwan is inverted in an iterative damped least square sense. In order to realize how the local seismic activity associated with the velocity structure or geological structure, the 3800 earthquakes in the area are also relocated with the three dimensional velocity model. In general, the relocated earthquakes have less root-mean-square error of travel time residual.

The results have two major significant folds. The general trend of the P wave velocities is similar to that of the S wave velocities and both are consistent with the geological structure to the depth of 30 km, especially in the shallow part which is dominantly of the Neogene sedimentary rocks and its thickness is increased from the west to east. The three dimensional P and S wave velocity structures can interpret the distribution of Bouguer gravity anomaly. The relatively low gravity areas are related to relatively low velocity areas at different depth ranges.

Key words : Three Dimensional Velocity Structure