

2004年台灣地區地震震源參數

陳榮裕¹ 張建興¹ 甘志文^{1,2} 吳逸民³ 辛在勤⁴

¹中央氣象局地震測報中心

²國立中正大學地震研究所

³國立台灣大學地質系

⁴中央氣象局

摘要

本文發表2004年台灣地區中等規模以上地震之震源機制解，包括P波初動震源機制解及中央地震矩張量逆推(Centroid Moment Tensor inversion, CMT)震源機制解兩種。我們總共得到102個地震的P波初動震源機制解。此種震源機制解是經由基因演算法(Wu *et al.*, 2008)以非線性總體搜尋求得。CMT震源機制解是經由改良之中央地震矩張量逆推演算法(Kao *et al.*, 1998a)，加上本文提出的藉由地震觀測站與震央間之方位角覆蓋率，自動產生CMT逆推測站之權重(Weighting)來求得。此方法克服台灣地區高背景雜訊及複雜板塊構造所造成之非均向性速度構造等因素之影響。我們總共得到104個地震的CMT震源機制解。為了使本研究結果能夠容易理解及學術上廣為使用，其彙整後之地震震源參數結果表格及完整逆推結果之電子檔案均放置於中央氣象局寬頻資訊網頁<http://cwbsnbb.cwb.gov.tw>內提供查詢。希望在此網頁中建立台灣地區地震震源機制資料庫，提供台灣地區地震孕震構造及板塊構造研究之用。

關鍵詞：基因演算法、震源機制解、中央地震矩張量

一、簡介

由於受到歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互擠壓碰撞，台灣地區的地體構造複雜，屬於地震活躍地區，每年發生大大小小地震個數不下上萬。在台灣東邊，菲律賓海板塊沿著琉球海溝向北隱末至歐亞大陸板塊下方；而在台灣南部，歐亞大陸板塊在南中國海部分向東隱末至菲律賓海板

塊下方。台灣東部之花東縱谷為歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊之縫合帶。縫合帶將台灣島分為2大區塊；縫合帶東方主要由菲律賓海板塊所帶領之海岸山脈及一系列火山島(呂宋島弧系統)所組成，而縫合帶西方則是屬於歐亞大陸棚(Ho, 1999)，主要分為北部、東北部、南部及西南部等4大地質帶，地形區分由西至東主要有海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈及中央山脈

等4個區域，圖1為台灣地區主要地質構造概要分布圖。台灣造山運動大約開始於400萬年前，就地質年代而言屬於相當年輕。台灣目前受到菲律賓海板塊往西北方向移動之壓縮，每年約以8cm之速度聚合(Yu *et al.*, 1997)。在此劇烈地殼變形下，每年引發大量地震，而這些中大型地震對於台灣地區之地球板塊構造及地震震源研究提供絕佳之研究資料。而地震震源機制解代表地震地體構造發震機制之特性，也就是說，從地震震源機制之分布即可了解地震板塊構造之特性。

因此，本研究主要目的在求取2004年台灣地區地震震源機制解，並加以彙整，以利於探討台灣地震發震機制及板塊孕震構造。本文所得到的震源機制解有2種：(1) P波初動震源機制解，採用中央氣象局短週期為主之地震觀測網(Central Weather Bureau Seismographical Network, CWBSN)所紀錄初達P波向上或下的地動資料，經由基因演算法求得102個地震的P波初動震源機制解。(2)地震波形逆推之CMT震源機制解，以臺灣寬頻地震觀測網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)所觀測之體波波型，藉由CMT逆推方法求得104個地震的震源機制解。本研究所採用之地震觀測網的測站分布位置如圖2所示。藉由逐年地震發生個數及地點之累積，增加台灣地區地震震源機制解個數，希望對於台灣地區整體及局部區域之地震孕震構造及板塊構造能夠提供詳盡解析。

二、方法

(一) 以基因演算法求取P波初動震源機制解

20世紀初日本學者以雙力偶(double couple)之震源模式定義P波初動極性(polarities)分布的4個象限型態(quadrant type)，藉以解釋應力方向。Honda (1957)考慮震源球(focal sphere)，將P波上下動分布投影在此球面上，以求得斷層面解(fault-plane solution)。雖然以P波初動法能夠快速且簡單運用在地震震源機制解之求取，通常在非線性最佳化處理過程中以運用重覆階層搜尋法(iterative gradient search, Udias and Buforn, 1988)及網格搜尋法(grid search algorithms, Snoke *et al.*, 1984; Reasenberg and Oppenheimer, 1985; Snoke, 2003)，然而前者存在局部極小值問題；後者則因為在求取高解析研究時需耗費電腦運算時間，因此需要一個具經濟及效率之運算法以求取震源機制解。

基因演算法在非線性最佳解問題上已經是一強大運算工具，早在1975年Holland就已經提出，在不規則及多維度模型空間中，具有高效率搜尋，並且運用到不同科學領域(如Goldberg, 1989; Davis, 1991; Sen and Stoffa, 1995)，同樣運用地震學波形逆推(Sambridge and Drijkoningen, 1992)、地震定位(Sambridge and Gallagher, 1993; Billings *et al.*, 1994)、地殼構造研究(Zhou *et al.*, 1995; Yamanaka and Ishida, 1996; Bhattacharyya *et al.*, 1999; Chang *et al.*, 2004; Lawrence and Wiens, 2004; Pezeshk

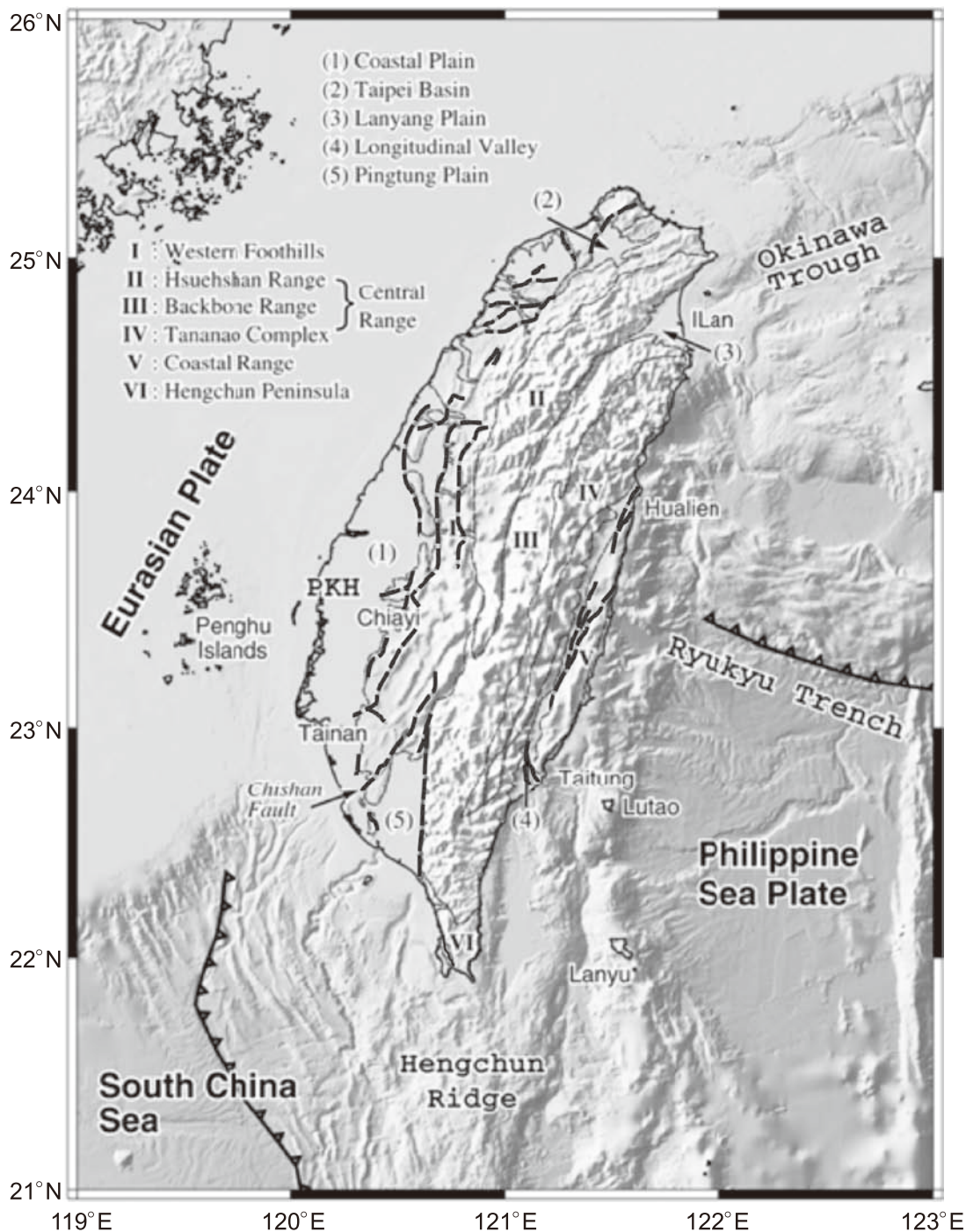


圖1. 台灣地區地形及地質構造分布圖。粗虛線代表活動斷層地表位置(取自Wu *et al.*, 2008)

Figure 1. Map of the Taiwan region showing the topography and geological settings. Solid-dash lines show the locations of active faults (Wu *et al.*, 2008).

and Zarrabi, 2005)、震源機制解及其他震源參數之研究 (Chen and Kao, 2000; Kobayashi and Nakanishi, 1994; Yin and Cornet, 1994; Zhou *et al.*, 1995b; Sileny, 1998; Koper *et al.*, 1999; Jimenez *et al.*,

2005)。Kobayashi 及Nakanishi(1994)最早以P波初動上、下極性藉由基因演算法決定地震震源機制解，之後也有許多以基因演算法在不同層面領域探討震源機制斷層面之研究(Yin and Cornet, 1994; Zhou

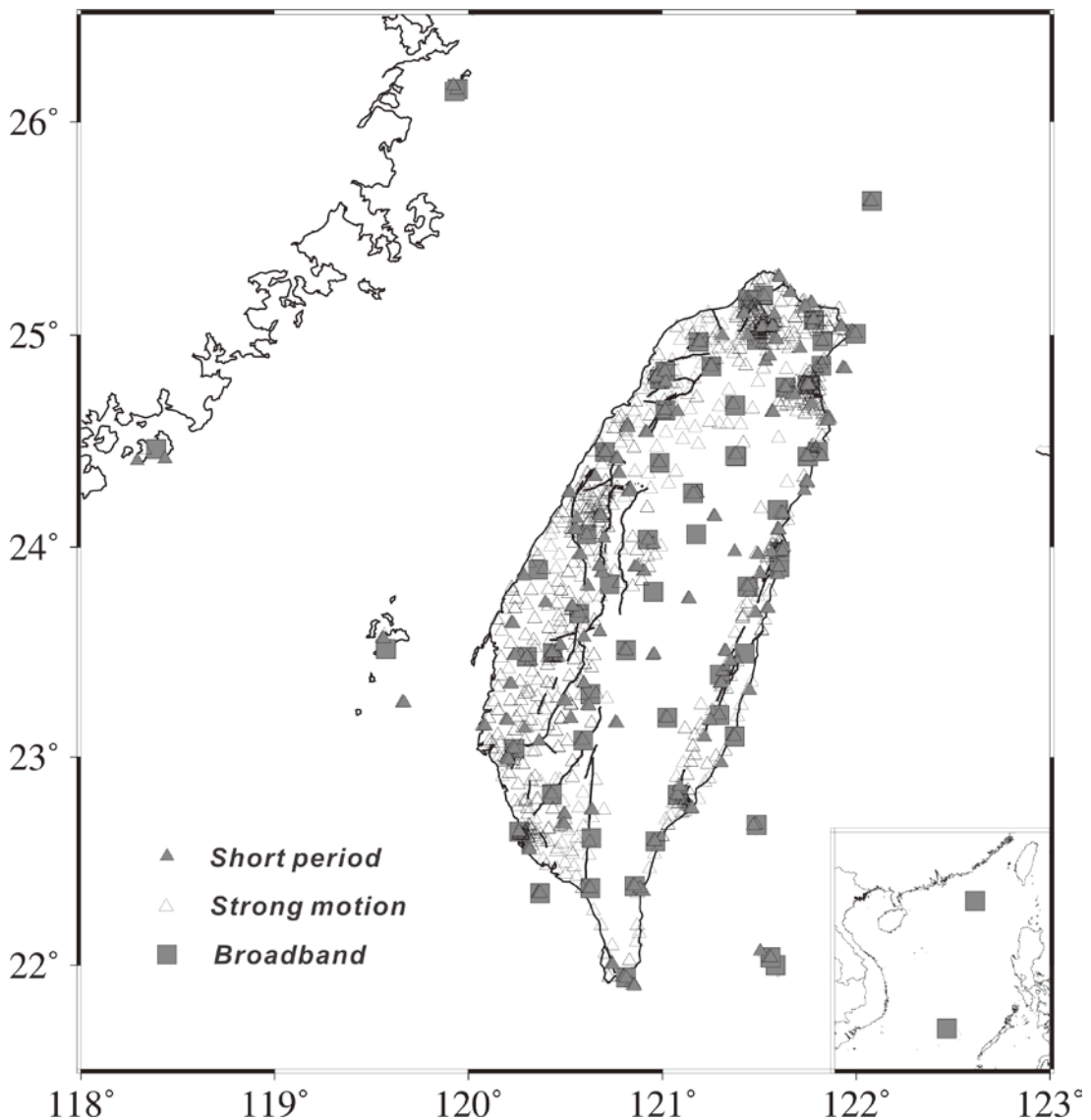


圖2. 台灣地區地震觀測網測站分布圖。

Figure 2. Map of the seismic networks in Taiwan.

et al., 1995b; Sileny, 1998; Koper *et al.*, 1999)。

本文研究步驟如下：

1. 廣泛收集資料：P波初動震源機制之研究受限於資料分布的良好與否，即震央周圍的測站分布良好，才不至於在選取及描繪震源機制解時產生選取斷層面解的偏差。因此，Wu *et al.* (2008) 探討台灣地區震源機制解時，取用中央氣象局71個短週期即時速度型觀測網(CWBSN)及近680個自由場強震網(Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP)之地震觀測站資料。本研究為使地震資料更加豐富，加入台灣寬頻地震觀測網及日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)地震觀測網靠近台灣之測站(JMJ, JOW及YOJ)。尤其，位於台灣東北部日本氣象廳之地震觀測站，對於台灣東北外海地震提供相當重要控制點，這也是中央氣象局積極發展及建置海底地震儀的原因。
2. 採用三維速度構造模型重新地震定位：P波初動震源機制解主要原理為地震波出射角在下半球投影之結果，因此，由地震震源射出之P波方位角及出射角對震源機制解影響非常大，而台灣板塊構造複雜，對傳統一維速度構造模型之定位，顯然側向速度構造會大大影響結果，因此，本研究運用Wu *et al.* (2007)所得之台灣地區三維速度構造模型，取CWBSN測站P波及S波到時資料及TSMIP測站資料之S-P波時間差，以三維速度構造波線追跡

演算重新定位，並求得震央與地震測站間之出射角及方位角(Thurber, 1993; Thurber and Eberhart-Phillips, 1999)。

3. 基因演算法求取P波初動震源機制解：以基因演算法有系統分析及處理台灣地區芮氏規模大或等於4.0之地震，Wu *et al.* (2008)對演算結果以品質指標(Quality Index) Q_{fp} ，定義處理結果品質優良與否，其中 $Q_{fp} = 0$ 定義為不符合； $Q_{fp} > 1$ 為良好之震源機制解。詳細參數定義讀者可參考先前報告(Wu *et al.*, 2008)。
4. P波初動震源機制解的選取條件：本文選取P波初動地震震源參數結果標準如下：(1)至少10個地震測站P波初動上、下極性，且相鄰測站間最大張角須小於 180° ；(2)逆推結果品質 $Q_{fp} > 0.1$ ；(3)震源參數方位角(strike)、傾角(dip)及滑移角(slip)之標準偏差均需小於 20° 。

(二)CMT逆推震源機制解

早在1980年中央地震矩張量(Centroid-Moment-Tensor, CMT)逆推技術已成功開發，並有系統性的應用在決定全球大、中等地震之地震震源參數(如Dziewonski *et al.*, 1981; Kawakatsu *et al.*, 1995; Sipkin, 1982)。之後隨著區域地震觀測網之建立，CMT逆推技術也成功應用在區域性地震震源機制解之探求(如Dreger and Helmberger, 1993; Fan and Wallace, 1995; Lay *et al.*, 1994; Thio and Kanamori, 1995; Zhao and Helmberger, 1994)。因此，對許多地區性寬頻地震網而言，例行性區域地震之CMT震源機制解已成為標準作業流程(例如Zhu and Helmberger,

1996 ; Pasyns *et al.*, 1996)。

Kao等人(1998a)於中央研究院地球科學研究所建立台灣寬頻地震觀測網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)時，取用初達波後100秒之體波波形，透過CMT技術已經能夠系統性決定台灣區域地震可靠之地震震源參數。此一地震觀測網開始運作於1994年，目前共建置21站，以即時連續資料傳輸至中央研究院地球科學研究所之資料管理中心(DMC-IES) (如圖2)。Kao等人(1998b, 2001)及Kao and Jian(1999, 2001)曾概敘此一BATS地震觀測網之結構及運作。DMC-IES負責BATS資料之管理及配置，相同目的下將資料副本並提供美國地震合作研究所(Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS)資料管理中心，有興趣之讀者可從BATS網頁(<http://bats.earth.sinica.edu.tw>)得到更新訊息。

中央氣象局地震測報中心自2000年參與國科會「地震及活斷層研究」(National Program for Earthquake and Active-Fault Research)跨部會大型整合計畫，配合中央研究院及國立中央大學既有寬頻測站之位置，務必讓寬頻地震觀測網測站之建置，能均勻分布於全台灣地區，甚至往離島延伸，加強觀測能力並拓展觀測範圍。並配合國防部執行「南海計畫」，於東沙島及南沙太平島設置寬頻地震觀測站，透過衛星即時傳輸回中央氣象局。截至目前中央氣象局於台灣地區共建置33個寬頻地震觀測站，中央氣象局所設置之寬頻地震測站網及中研院地科所寬頻地震測站網藉由共同合作，合稱為「台灣寬

頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)」(目前共計54站)，收錄的地震資料相互即時交換及處理，以達到資源共享之目標。目前寬頻地震觀測網測站分布位置如圖2所示，依分布狀況可以看到測站涵蓋台灣本島及離島地區且均勻分布，相關資料可從中央氣象局台灣寬頻地震網資訊系統網頁(<http://cwbsnbb.cwb.gov.tw>)得到更新訊息。

CMT逆推震源機制運算法從背景雜訊估算開始，決定了逆推過程可使用之頻寬。其中比較P波到時前、後各3000秒之地震波形能量頻譜(power spectra)，決定截取帶通慮波之低頻角約為0.02Hz (Kao *et al.*, 1998a)。為有效模擬台灣區域之非均向性之速度構造，運用了兩階段處理，取用測站與震源間之不同速度模型。詳細技術讀者可參考先前報告(Kao *et al.*, 1998b; Kao and Jian, 1999)。

本研究基於地震資料自動化處理觀念，屏除以人工調整逆推過程測站權重，而改以地震方位角覆蓋率方式換算地震測站權重，得到規律性之測站權重，並快速且穩定提供給CMT逆推震源機制解之所需，所逆推震源機制之結果不僅正確且屏除人為主觀因素所造成之差異(陳榮裕, 2006)。地震測站方位角覆蓋率之權重公式如下：

$$Cov = \begin{cases} \sum_{i=1}^j \left(1 - \left[2 * \frac{Az_{ij}}{RAz} - \left(\frac{Az_{ij}}{RAz} \right)^2 \right] \right); & Az \leq RAz; i \neq j \\ 0 & ; Az > RAz \end{cases}$$

$$W_i = \begin{cases} \frac{1}{Cov}; & Cov \neq 0. 0 < W_i \leq 1 \\ 1 & ; Cov = 0. \end{cases}$$

上式中之 Cov 為地震測站方位角覆蓋率 (Station coverage), W_i 為測站權重 (weighting), RAz 為關聯方位角 (relation Azimuth angle), Az 為測站間之夾角。本研究即以 W_i 作為逆推震源解之權重。圖3 為取關聯方位角 90° 所繪製之測站方位角覆蓋率值分布圖。

逆推結果以波形不吻合度 (misfit, E) 及補償線性向量偶極 (compensated linear vector dipole, CLVD, ϵ) 分別以字母 A~F 及數字 1~4 作為逆推資料結果品質特性代表。 E 及 ϵ 代表意義也於先前 Kao 等人 (1998b) 及 Kao and Jian (1999) 報告中解釋過並詳列於表 1 中。本文相關地震之 CMT 震源參數報告取用標準如下：(1) 至少 3 個地震測站之 3 分量地震波形運用在逆推計算；(2) 逆推結果品質必須高於 C4。

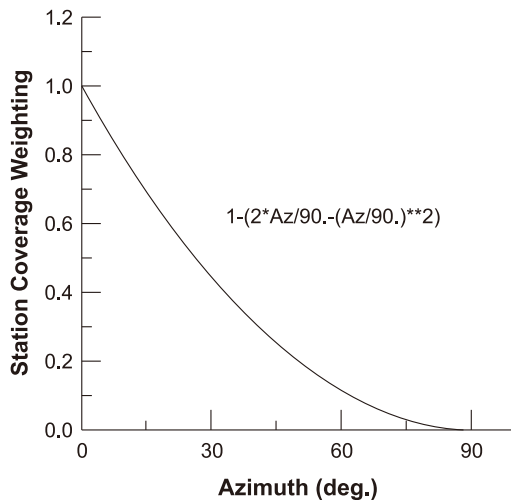


圖3. 關聯方位角 ($RAz=90^\circ$) 所繪製之測站方位角覆蓋率值分布圖。

Figure 3. Station coverage weighting with relation angle 90° .

表1. CMT逆推結果之品質分類

Table 1. Quality classification of the inversion results.

等級	判斷標準
平均地震波形不吻合度(E)	
A	$0.0 \leq E < 0.3$
B	$0.3 < E \leq 0.5$
C	$0.5 < E \leq 0.7$
D	$0.7 < E \leq 0.9$
E	$0.9 < E \leq 1.1$
F	$1.1 < E$
CLVD分量(ϵ)	
1	$\epsilon \leq 0.10$
2	$0.10 < \epsilon \leq 0.25$
3	$0.25 < \epsilon \leq 0.40$
4	$0.40 < \epsilon$

三、結果與討論

中央氣象局2004年在台灣地區總共定位出大大小小21,783個地震(圖4所示), 其中本研究以基因演算法求得102個地震的P波初動震源機制解, 滿足上述篩選條件並列於表2中。相關地震震央位置並繪製於圖5a, 地震震源機制球繪於圖5b。地震震央主要分布在地震觀測網內及附近, 觀測網外少數規模較大之地震, 因為可觀測之P波初動極性分布較廣, 所以可以解析出震源參數。另外, 以CMT求得104個地震震源機制解, 滿足上述條件並列於表3中, 相關震央位置並繪製於圖6a, 地震矩張量震源機制球及震源深度繪於圖6b, CMT震源機制解之解析能力好與壞, 主要取決於地震波訊號與背景雜訊比值之大小(訊號與雜訊比), 中大型地震規模之地震

較能藉由地震波形逆推出震源機制解，台灣地區大約以芮氏地震規模(ML)4.0以上解析能力較佳，少數地震規模介於3.5至4.0之地震，因震央距較近，其地震波相訊號明顯，乃能解析出地震震源機制。

2004年中同時能夠由P波初動及CMT解析出之地震震源機制共計48個地震，相關地震震央位置如圖7a，比較兩者所得之震源機制球型態(圖7b)，約有90%以上地震震源模式相近似，其中以圖7中編號21、40及48差異較大。探討P波初動與CMT震源機制解之差異性時，首先須從原理特性分辨之，再探究方法條件限制及誤差來源。

一般而言，P波初動震源機制解是以地震發震時，一開始岩層瞬間錯動之能量，透過岩層為介質，以地震波訊號方式傳遞至地震測站。當我們在繪製下半球投影震源機制球時，受到測站上下動極性、相對震央方位角及出射波之張角等3個因素控制整個地震震源機制型態。首先，判讀地震波上下動極性時，可能會因為地震儀垂直向之極性登錄錯誤或是人為誤判等因素，造成極性錯誤；再者，地震波在地層傳遞過程中，以最快速路徑方式到達測站，因此，P波初達波在到達測站時之方位角及出射波張角因為非模型之折射及過分簡化之地層速度構造介面下估算會有所偏差。尤其台灣地區構造相當複雜，地震斷層錯移時所產生之雙力偶理論P波輻射振幅(the theoretical P wave radiation amplitude, Aki and Richards, 1980)，會因為側向速度變化，在接近輻射節面(斷層節面)振幅極性越不明顯(low amplitude,

near-nodal)，因而會有些許差異，容易造成震源機制解之差異。因此，慎選速度模型也是求取精確震源機制解必備條件之一，本研究之所以取用Wu *et al.* (2007)之台灣區3D速度構造模型，重新地震定位並求得三維速度構造之測站方位角及出射張角。除此之外，P波初動解還受限於資料分布的良好於否，即震央周圍的測站分布良好，才不至於在描述震源機制解時產生人為選取斷層面解的偏差。台灣地區多數地震發生於外海，地震測站的分布自然較不均勻，在選取斷層面時有所困難。為減少人為主觀因素對斷層面的選取而造成誤差，因此特別使用基因演算法以客觀考量，選取適當震源機制解。

另一方面，CMT方法是取用體波(body wave)位移全波形，經由逆推運算求得地震震源機制解，為降低細微速度構造所引起之差異，採用低頻帶通濾波(0.02~0.08Hz)。整體而言CMT之解析能力，主要取決於地震波訊號與背景雜訊比值之大小(訊號與雜訊比)，所以對於中小型規模之地震就難以解析；再者，以波形逆推處理過程，已假設點震源(point source)模式破裂，因此，較大規模之地震(例如 M_L 大於7.0)，在多次破裂過程，只能近似模擬出地震震源特性；除此之外，較大地震序列之發生，如果地震發震時間過於接近時，會因為前一個地震之尾波(coda wave)或是表面波震盪，後續地震體波波形受到干擾，也無法有效解析震源機制解。然而，相對於P波初動解而言，地震測站不需均勻分布，所以對於台灣外海之網外地震，CMT也有相當高之解析能力，

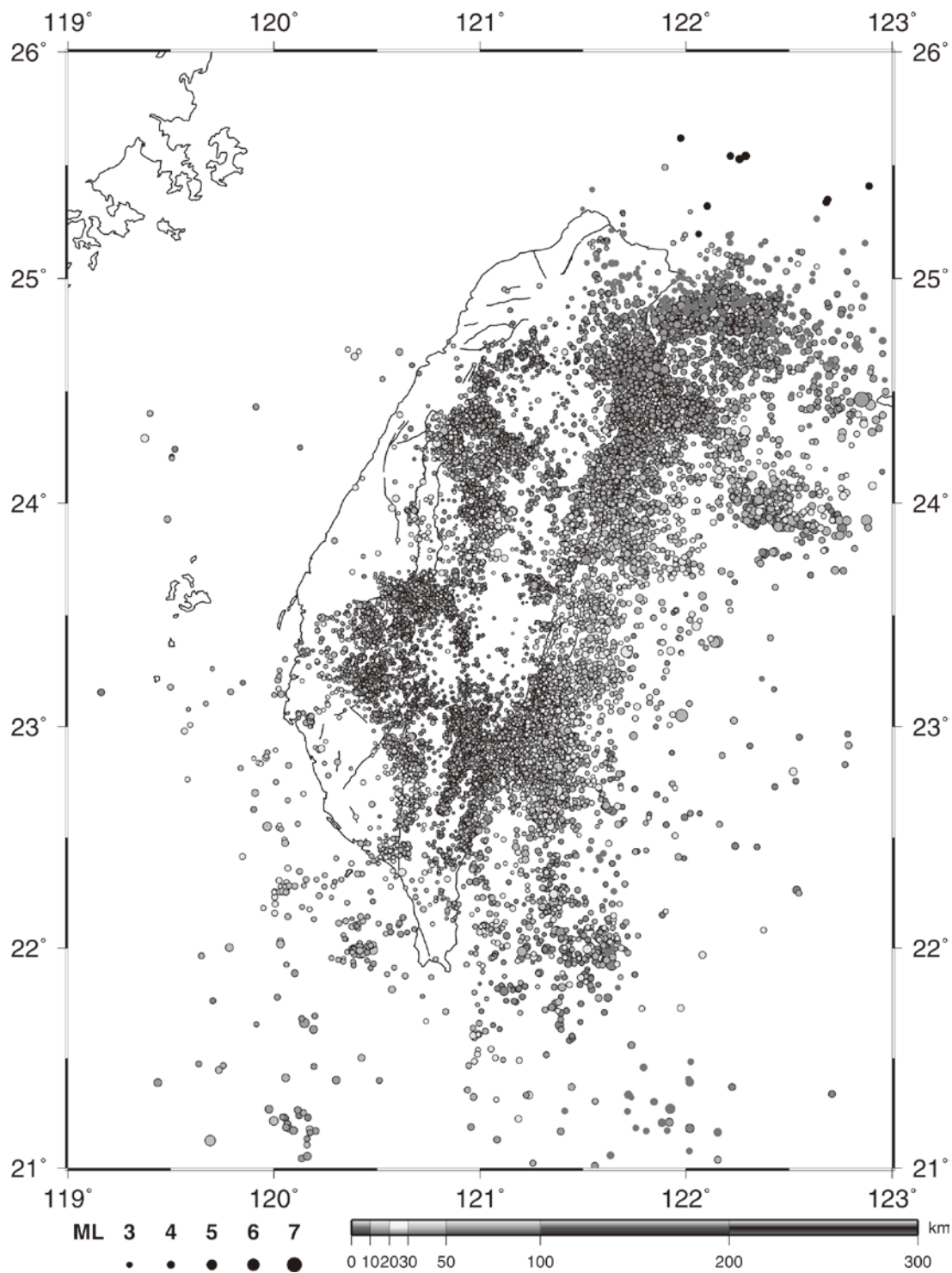


圖4. 2004年台灣地區地震震央位置。

Figure 4. The epicenter of Taiwan earthquakes occurred in 2004.

表2. 由基因演算法求得之P波初動震源參數。

Table 2. Source parameters of the studied earthquakes of P wave first motion from genetic algorithms.

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ¹	M	Strike ²	Dip ²	Rake ²	Q_{fp}^3	Npro ⁴	Ag ⁵
1	2004/01/01/03:15:19.47	23.36	121.63	31.18	5.35	237±5	79±3	123±2	7.45	150	20
2	2004/01/06/21:44:39.63	22.79	121.05	9.12	3.43	6±15	80±12	70±19	1.36	21	63
3	2004/01/10/17:48:39.51	24.61	122.41	88.02	4.61	76±19	49±17	95±10	0.79	27	146
4	2004/01/15/15:28:15.41	22.81	121.10	6.77	3.94	3±1	64±4	-158±2	4.13	31	82
5	2004/01/18/20:44:21.28	23.64	121.58	34.61	3.79	15±11	56±12	78±15	0.29	21	55
6	2004/01/23/07:51:1.22	23.47	120.64	8.61	4.15	58±20	57±16	121±18	2.32	34	45
7	2004/01/24/06:08:31.83	22.78	121.07	9.12	3.34	57±18	60±6	106±9	1.71	17	63
8	2004/01/25/03:44:9.72	23.07	121.43	19.17	4.40	21±4	35±1	69±9	2.11	26	70
9	2004/01/28/19:13:25.05	22.99	120.94	7.03	5.15	187±8	57±8	-82±8	1.77	43	57
10	2004/01/28/19:17:26.24	22.99	120.95	9.26	4.62	164±10	58±19	-76±11	0.69	33	69
11	2004/01/28/19:34:49.93	23.00	120.94	3.66	4.97	188±11	60±16	-64±11	1.37	22	86
12	2004/01/28/20:10:6.94	22.99	120.95	5.38	4.17	174±15	33±17	-65±14	1.21	22	80
13	2004/01/28/23:05:35.01	23.00	120.94	6.79	3.65	176±9	35±9	-85±17	1.10	19	49
14	2004/01/29/05:23:30.56	22.99	120.98	9.89	4.38	165±9	37±15	-72±13	0.19	18	85
15	2004/01/29/17:46:6.99	22.99	120.95	5.59	3.72	158±9	63±8	-89±11	0.11	12	103
16	2004/01/31/06:21:51.13	23.14	120.42	18.34	3.63	202±8	84±17	165±12	0.23	15	103
17	2004/02/02/15:47:36.25	23.44	120.62	7.99	4.13	84±9	77±8	134±13	1.46	34	39
18	2004/02/08/04:39:44.75	23.18	120.63	7.44	3.35	225±5	52±5	130±2	0.30	13	108
19	2004/02/11/10:12:2.09	24.41	121.81	10.69	3.42	82±11	72±7	-18±14	2.53	20	66
20	2004/02/11/16:32:37.69	22.92	121.28	16.15	3.96	49±3	85±12	-177±20	1.41	17	70
21	2004/02/15/13:32:6.48	23.83	121.04	30.00	4.90	43±1	85±1	-96±1	4.17	73	22
22	2004/02/24/00:55:7.22	23.76	121.43	60.60	4.72	197±9	69±12	100±16	7.72	56	42
23	2004/02/26/04:33:10.31	23.97	123.13	41.47	5.91	155±1	74±1	-18±1	2.48	41	102
24	2004/02/29/02:23:10.26	24.75	121.96	12.55	4.30	41±7	32±2	-103±9	0.49	20	98
25	2004/02/29/12:54:46.67	24.13	121.68	10.99	4.06	198±4	72±17	-22±7	0.14	28	55
26	2004/02/29/15:37:27.14	23.62	120.81	6.04	3.03	76±17	44±16	-147±19	0.85	16	53
27	2004/02/29/16:26:50.64	24.36	121.98	29.62	4.17	163±4	15±1	103±6	1.01	21	74
28	2004/03/03/13:50:28.49	23.98	121.14	25.85	4.64	209±2	78±5	113±9	6.11	40	39
29	2004/03/22/21:36:52.97	24.34	121.80	6.58	3.90	84±6	76±18	-22±16	3.12	29	73
30	2004/03/23/03:55:20.24	24.34	121.79	6.43	3.71	180±1	53±11	162±2	1.41	18	78
31	2004/03/23/07:58:15.20	24.34	121.79	6.45	3.48	87±19	85±20	-45±11	0.36	13	109
32	2004/03/25/19:07:4.32	23.41	120.64	8.74	4.54	50±12	51±12	137±13	9.62	67	29
33	2004/03/25/19:11:28.87	23.41	120.64	11.43	3.10	228±4	59±10	136±11	0.74	13	60
34	2004/03/28/19:20:21.60	22.91	121.29	23.94	3.37	98±11	29±10	-151±16	0.71	13	65
35	2004/04/07/05:27:14.88	23.84	120.72	25.44	3.35	148±15	34±3	103±13	1.06	16	53
36	2004/04/09/05:33:38.68	24.10	121.53	21.58	4.51	111±13	32±12	163±12	0.28	38	41
37	2004/04/09/23:21:34.00	23.64	121.51	34.14	4.22	133±17	67±9	-57±18	4.02	29	65

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ¹	M	Strike ²	Dip ²	Rake ²	Q_{fp}^3	Npro ⁴	Ag ⁵
38	2004/04/13/20:09:25.84	23.43	120.58	7.79	2.75	52±14	60±20	119±13	0.76	14	60
39	2004/04/21/18:38:38.50	22.91	120.98	6.79	4.09	162±7	44±6	-75±5	0.61	29	43
40	2004/04/23/14:04:29.50	22.91	120.59	16.08	4.72	62±6	44±19	-165±15	1.73	41	67
41	2004/04/23/14:08:21.54	22.91	120.59	15.47	3.32	183±3	86±2	94±2	0.41	12	88
42	2004/04/24/15:20:30.28	23.94	121.48	19.25	4.94	80±1	43±1	152±1	0.17	55	45
43	2004/04/24/19:26:1.96	23.94	121.47	18.72	3.76	68±5	40±10	144±9	1.05	23	82
44	2004/04/24/22:29:0.59	23.94	121.47	19.51	3.84	64±12	37±7	140±8	1.41	20	53
45	2004/04/25/14:28:35.42	23.95	121.46	18.52	3.26	35±20	28±6	104±13	0.50	14	82
46	2004/04/27/10:08:13.44	24.19	121.58	31.49	4.26	63±1	53±1	147±6	1.80	38	69
47	2004/04/29/22:59:33.99	24.20	121.62	16.79	3.83	51±8	63±8	100±10	3.57	32	57
48	2004/05/01/21:58:49.92	23.85	121.95	36.20	4.36	255±4	72±11	172±15	4.95	37	56
49	2004/05/04/05:50:6.25	24.64	121.78	9.24	3.17	73±7	68±12	-13±13	0.78	16	63
50	2004/05/04/18:19:44.64	22.91	120.61	15.69	3.99	190±8	82±5	91±6	1.41	24	69
51	2004/05/07/20:36:13.77	22.56	119.99	40.22	4.16	83±4	88±1	78±1	0.47	14	127
52	2004/05/08/14:05:31.71	22.90	120.58	15.41	3.73	201±13	58±7	111±10	0.21	11	77
53	2004/05/08/14:09:37.11	22.90	120.58	15.12	3.31	201±20	87±3	94±5	0.16	11	82
54	2004/05/08/16:13:15.29	22.88	121.33	20.45	4.45	195±17	70±10	119±6	3.10	30	68
55	2004/05/09/06:02:21.28	23.41	120.64	9.97	4.52	59±10	52±9	151±11	10.47	49	39
56	2004/05/13/15:00:15.64	22.90	120.58	15.12	3.00	209±17	79±11	118±13	0.14	11	95
57	2004/05/13/15:28:49.83	24.05	121.51	19.56	4.22	222±3	74±4	112±9	3.33	42	63
58	2004/05/15/05:07:50.34	24.84	121.91	91.82	5.12	77±15	23±12	176±14	0.79	42	102
59	2004/05/15/22:54:20.28	23.46	120.40	9.94	3.16	46±9	68±6	141±8	2.49	22	66
60	2004/05/17/08:22:55.69	23.06	121.29	15.22	3.81	36±17	90±3	91±5	0.10	12	111
61	2004/05/17/18:02:8.46	23.04	121.30	16.12	4.19	66±3	71±3	-143±5	1.08	24	86
62	2004/05/19/07:04:12.72	22.72	121.37	23.75	6.03	12±15	25±9	42±15	5.38	90	40
63	2004/05/20/11:55:18.31	22.94	120.56	16.28	3.98	72±15	56±4	-97±7	1.31	27	56
64	2004/05/20/22:16:16.16	23.42	120.65	8.83	4.18	48±8	44±7	127±7	6.07	40	40
65	2004/05/21/04:18:0.39	23.97	121.13	24.26	3.85	209±1	70±4	127±5	1.55	23	101
66	2004/05/21/21:23:9.74	23.03	120.90	3.20	4.24	172±8	41±7	-51±9	3.14	29	60
67	2004/05/22/12:55:26.61	22.87	121.22	15.50	4.15	39±8	44±6	92±7	0.44	16	92
68	2004/05/22/20:25:38.75	24.05	121.51	19.20	3.55	68±1	30±1	116±3	1.93	31	55
69	2004/05/24/09:15:6.20	22.58	121.05	2.35	4.59	113±20	66±15	99±16	0.91	29	132
70	2004/05/25/03:55:26.66	22.77	121.23	12.15	3.37	16±7	58±9	95±11	0.70	16	75
71	2004/06/02/16:56:30.24	23.64	121.26	9.38	5.17	146±6	62±6	-77±6	0.13	58	137
72	2004/06/03/16:02:52.13	23.65	121.27	9.66	4.17	170±6	54±11	-64±7	0.28	30	119
73	2004/06/13/02:22:59.41	22.98	121.25	28.13	4.42	209±3	72±4	-59±6	5.71	34	40
74	2004/07/09/11:19:28.98	23.89	121.45	22.64	4.52	2±4	86±6	-37±9	1.05	35	70
75	2004/07/22/06:36:40.62	24.07	121.50	22.27	4.61	74±7	30±4	150±8	0.95	33	51
76	2004/07/26/14:04:22.26	23.52	120.64	8.80	3.19	56±18	47±14	123±16	1.65	17	51

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ¹	M	Strike ²	Dip ²	Rake ²	Q_{fp}^3	Npro ⁴	Ag ⁵
77	2004/07/28/09:38:46.13	23.93	120.99	12.84	3.69	65±1	45±5	148±6	0.37	12	79
78	2004/07/28/09:40:57.14	23.93	120.99	12.81	4.46	241±4	86±3	115±4	2.81	26	42
79	2004/08/05/13:38:16.93	23.60	120.59	9.45	3.41	69±11	50±17	-177±12	4.15	31	42
80	2004/08/08/13:12:26.22	24.64	121.84	76.95	4.98	243±2	89±9	-173±7	6.95	65	49
81	2004/08/14/03:29:40.54	22.91	120.98	5.41	4.32	200±15	42±11	-62±13	0.84	32	42
82	2004/09/02/06:07:50.56	23.19	120.50	8.90	4.26	3±16	89±12	-95±16	2.03	31	44
83	2004/09/07/11:45:55.72	24.67	121.86	9.76	4.05	19±7	70±10	-173±6	1.22	34	83
84	2004/09/08/01:07:48.94	23.34	121.58	21.65	3.95	75±5	45±15	-160±13	3.29	24	53
85	2004/09/18/02:52:35.67	24.47	122.86	64.72	5.12	97±2	75±7	88±3	0.83	29	109
86	2004/10/07/01:51:31.71	24.10	121.86	47.88	4.37	12±9	49±8	87±13	4.20	36	71
87	2004/10/08/03:34:21.68	24.07	121.64	8.85	3.02	38±7	72±4	78±3	1.07	16	73
88	2004/10/10/21:44:3.71	24.24	120.82	32.00	3.77	53±1	89±1	-93±1	3.32	27	81
89	2004/10/16/14:36:23.55	22.83	121.05	10.53	4.06	95±10	81±12	152±6	3.16	35	65
90	2004/10/16/15:21:3.10	22.92	120.96	7.96	3.62	170±4	53±6	-83±12	0.60	20	46
91	2004/10/21/11:28:44.40	24.32	120.80	30.71	3.82	246±4	89±11	152±18	0.72	25	90
92	2004/10/23/14:04:27.20	25.00	121.57	9.17	3.73	65±6	29±5	-47±5	8.36	66	45
93	2004/11/07/14:57:55.45	23.78	121.08	31.58	3.95	41±14	50±6	135±18	0.77	20	50
94	2004/11/08/16:33:10.06	23.93	122.52	18.62	4.68	120±13	33±5	86±8	0.45	20	142
95	2004/11/10/14:48:1.64	23.95	122.45	6.40	5.15	139±4	41±1	124±4	0.18	42	113
96	2004/11/11/02:16:44.15	24.30	122.20	28.85	6.09	82±2	62±1	99±1	1.83	85	92
97	2004/11/13/15:22:3.68	23.97	121.74	30.84	4.28	210±18	66±20	139±17	3.00	35	62
98	2004/11/25/16:56:58.44	24.36	121.01	6.31	3.08	177±3	77±8	-5±9	0.85	16	55
99	2004/11/26/14:16:0.12	23.93	122.85	16.88	4.16	51±16	45±7	75±19	0.17	18	151
100	2004/12/08/11:32:33.89	22.86	121.43	20.21	4.43	143±2	37±5	-34±9	6.04	35	68
101	2004/12/14/16:27:57.39	23.30	120.64	11.56	3.50	9±8	52±8	102±11	2.05	21	82
102	2004/12/24/18:37:37.90	23.22	120.54	15.97	3.24	16±20	52±16	92±12	1.28	16	70

¹ 以三維速度構造模型重新地震定位之地震發震時間(UT:年/月/日/時:分:秒)及震源位置(°N,°E,km)。

² 得到最佳之雙力偶震源機制解，以度為單位。

³ 品質指標取Wu *et al.*(2008)定義演算結果品質。

⁴ P波上、下動極性個數。

⁵ 地震測站與震央分布最大張角。

¹ Origin Time(UT: Year/Month/Day/hour:min:sec) and hypocentral location(°N,°E,km) relocated by the 3D velocity model (Wu, *et. al.*, 2007).

² Estimated best double-couple solution in degrees.

³ Quality index defined by Wu *et al.*(2008).

⁴ The number of P-wave polarities.

⁵ The maximum gap of angle between stations.

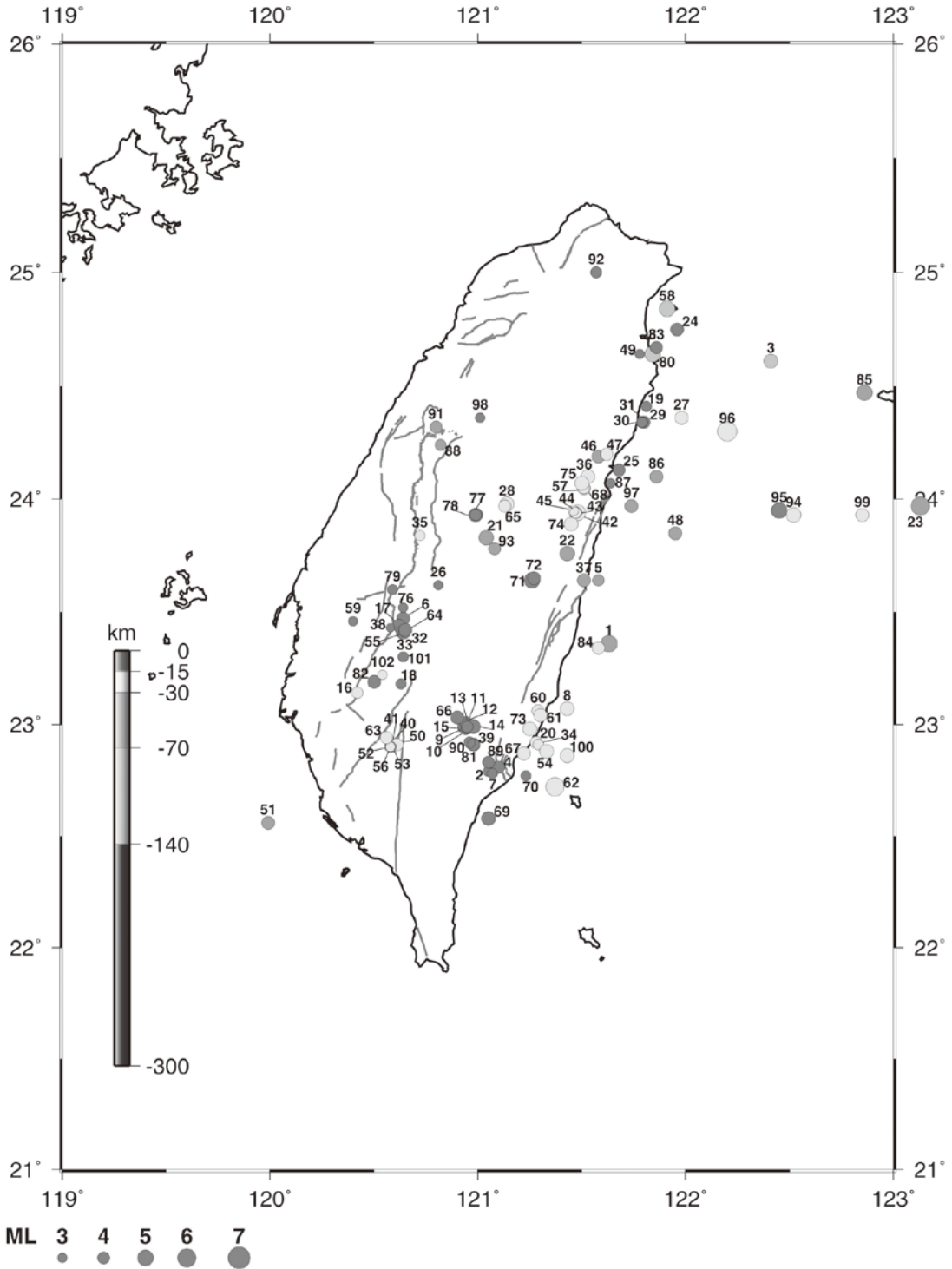


圖5a. 用基因演算法求得102個P波初動震源機制解之震央位置圖。圖中編號對應表1之順序。
 Figure 5a. Map shows the epicenters of 102 earthquakes presented in this study by genetic algorithms search P-wave polarities. Numbers are according to Table 1.



圖5b. 對應表1之P波初動最佳雙力偶震源機制解，震源機制解上方第一個數字為地震編號，刮號中數字為震源深度。

Figure 5b. Map shows the best double-couple solutions of P-wave first motion. The first number above each fault plane solution is corresponded to the event number of Table 1. The number in parenthesis shows the focal depth.

表3. 本研究由CMT逆推求得之震源参数。

Table 3. Source parameters of the studied earthquakes from CMT.

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ²	M_{xx}^3	M_{yy}^3	M_{zz}^3	M_{xy}^3	M_{xz}^3	M_{yz}^3	M_w	Strike ⁴	Dip ⁴	Rake ⁴	E ⁵	e ⁵	Class
1	2004/01/01/03:15:18.14	23.34	121.71	26±5	-533.78	-1020.89	2060.11	1537.64	-2043.13	369.34	4.93±0.25	14.3±9.8	32.8±5.7	42.7±12.4	0.467	1.05	B1
2	2004/01/05/11:07:24.62	22.86	121.30	11±3	-47.36	-91.42	138.78	206.82	-155.00	-328.01	4.36±0.22	250.3±3.0	34.7±7.7	160.7±21.9	0.661	55.17	C4
3	2004/01/06/00:55:33.38	24.54	121.67	47±7	-14.88	-5.05	19.92	0.93	-23.25	-10.06	3.60±0.18	82.2±22.5	18.5±9.1	65.6±11.1	0.611	39.47	C3
4	2004/01/10/17:48:40.18	24.62	122.38	97±8	-44.42	-30.30	74.72	6.05	8.61	50.91	3.88±0.19	38.9±25.0	27.4±20.6	114.4±13.0	0.522	92.24	C4
5	2004/01/13/09:29:1.00	23.99	121.77	11±3	-79.20	-195.46	274.66	317.35	263.34	-354.75	4.45±0.22	227.2±3.0	20.1±3.0	100.5±12.5	0.679	55.11	C4
6	2004/01/14/14:20:40.11	22.97	121.31	25±6	31.39	40.28	-61.41	6.66	-4.94	8.77	3.78±0.19	147.9±25.0	42.2±10.0	-97.9±12.3	0.674	76.46	C4
7	2004/01/25/03:44:10.34	23.07	121.37	23±6	1.44	-61.18	59.74	34.31	-7.26	-38.97	3.87±0.19	224.9±5.4	35.9±3.0	124.1±10.2	0.558	20.73	C2
8	2004/01/28/19:13:24.69	22.99	120.95	11±2	177.60	1923.78	-2268.01	1424.02	-2.56	-640.62	4.88±0.24	320.4±11.1	39.6±9.9	-105.5±19.4	0.525	35.96	C3
9	2004/01/28/19:34:49.79	23.01	120.93	13±3	-164.34	658.43	-494.09	215.83	215.35	-30.31	4.49±0.22	191.9±15.3	50.7±3.0	-51.7±9.1	0.563	27.86	C3
10	2004/01/28/20:10:7.71	22.99	120.97	11±3	-5.14	26.96	-21.81	15.96	15.03	-6.45	3.62±0.18	306.9±3.0	55.1±7.2	-136.4±9.3	0.537	2.04	C1
11	2004/01/29/05:23:30.93	23.01	120.94	13±4	5.62	49.17	-54.79	49.34	-8.01	-14.07	3.85±0.19	324.9±3.0	38.3±7.2	-92.9±4.0	0.652	63.70	C4
12	2004/01/30/12:20:2.74	23.24	121.59	56±10	37.21	-31.75	-5.46	6.59	-2.49	-17.84	3.67±0.18	233.6±3.0	67.2±4.3	-164.9±3.0	0.476	13.55	B2
13	2004/01/30/12:43:19.47	24.42	121.90	55±8	-23.64	-62.83	70.14	-80.28	-16.01	90.41	4.03±0.20	290.5±7.6	38.9±3.0	33.6±10.8	0.516	0.91	C1
14	2004/02/01/10:28:27.21	22.08	121.36	15±6	4.16	33.33	-37.49	29.17	-49.71	-11.25	3.83±0.19	355.8±3.0	32.4±8.1	-35.9±25.0	0.659	14.15	C2
15	2004/02/02/15:47:36.43	23.44	120.62	11±3	-6.94	-7.89	14.83	18.21	-7.56	9.01	3.54±0.18	53.0±9.0	30.5±3.0	102.5±17.7	0.635	74.38	C4
16	2004/02/04/03:23:59.42	23.38	122.15	41±3	1320.82	-12683.50	7737.58	4079.73	-1188.84	2764.17	5.32±0.27	10.4±25.0	37.4±3.0	83.2±21.6	0.468	55.46	B4
17	2004/02/05/06:05:46.73	22.76	121.34	21±9	1.94	-52.23	50.29	10.66	-31.76	11.51	3.80±0.19	349.3±3.0	40.3±6.0	51.8±4.8	0.551	26.81	C3
18	2004/02/15/13:32:6.66	23.83	121.04	24±9	109.51	-187.75	55.81	38.72	-184.53	188.33	4.26±0.21	326.5±3.0	28.9±10.5	14.9±6.5	0.591	13.91	C2
19	2004/02/15/19:03:20.93	24.13	121.70	12±4	-18.62	-35.44	54.07	11.24	16.24	-48.46	3.84±0.19	208.4±3.4	21.6±3.0	97.0±7.4	0.619	34.84	C3
20	2004/02/15/19:14:25.22	24.14	121.69	15±4	11.32	-2.00	-9.32	28.79	25.17	-46.54	3.79±0.19	282.5±25.0	29.3±3.6	-173.7±25.0	0.550	79.98	C4
21	2004/02/15/22:27:5.45	24.13	121.69	14±3	-131.80	-72.89	204.68	126.04	76.07	-220.35	4.27±0.21	252.2±10.2	27.2±9.3	129.8±14.9	0.532	7.84	C1
22	2004/02/19/10:24:29.71	23.00	121.36	15±7	14.23	68.62	-82.85	-78.37	43.95	39.21	4.00±0.20	245.4±3.0	53.0±5.6	-43.8±3.0	0.560	0.35	C1
23	2004/02/23/10:18:45.93	23.38	122.14	27±6	125.76	-246.16	120.40	22.71	5.04	80.26	4.18±0.21	36.2±13.7	42.8±12.4	138.9±6.1	0.502	91.77	C4
24	2004/02/24/00:55:7.01	23.75	121.51	75±10	-128.15	-104.33	232.49	26.63	-106.40	59.58	4.19±0.21	57.2±3.0	28.6±4.6	88.4±4.3	0.610	64.95	C4
25	2004/02/26/02:09:33.13	23.09	121.35	16±4	-52.19	-141.80	193.99	110.68	-7.97	-137.29	4.20±0.21	232.9±6.4	34.0±3.0	123.2±7.4	0.522	3.83	C1
26	2004/02/26/04:33:7.59	23.96	123.30	60±4	-324.40	-454.52	778.92	5999.32	-41.71	3497.62	5.17±0.26	89.1±4.3	59.3±5.2	175.7±12.7	0.474	14.69	B2
27	2004/02/29/02:23:10.07	24.74	121.98	12±4	44.19	-0.01	-44.18	-69.27	-6.28	13.30	3.88±0.19	274.6±4.7	62.2±12.8	-22.3±4.3	0.673	84.42	C4
28	2004/02/29/12:54:47.01	24.13	121.70	16±5	10.55	23.09	-33.64	22.35	26.34	-1.61	3.71±0.19	166.9±7.6	39.8±3.0	-46.9±7.9	0.539	18.95	C2
29	2004/02/29/16:26:50.97	24.33	122.04	24±6	8.51	-26.98	18.46	-12.51	13.11	-10.08	3.60±0.18	130.0±6.6	50.5±7.5	36.5±9.6	0.586	0.32	C1
30	2004/03/03/13:50:29.26	23.97	121.16	21±5	20.67	-73.96	83.22	-35.63	-30.21	102.62	4.03±0.20	315.5±3.0	27.1±5.8	40.7±3.0	0.488	2.00	B1
31	2004/03/13/05:03:51.84	22.98	121.41	43±5	176.21	-228.23	52.02	60.34	168.32	191.70	4.29±0.21	48.9±4.3	39.9±3.0	170.6±7.5	0.620	8.43	C1
32	2004/03/25/19:07:4.45	23.40	120.65	13±3	25.36	-111.48	86.11	38.49	45.59	32.94	3.99±0.20	42.7±6.3	47.6±3.0	134.6±10.4	0.510	5.58	C1
33	2004/03/26/08:03:4.83	23.44	121.54	29±6	0.11	-8.35	8.24	1.02	-3.57	-0.77	3.24±0.16	206.4±12.5	47.5±3.0	119.2±12.5	0.659	24.30	C2
34	2004/04/09/05:33:38.62	24.12	121.55	29±8	-89.23	-54.47	143.71	69.42	24.62	25.60	4.05±0.20	219.3±6.7	45.7±3.0	71.6±6.3	0.565	11.17	C2
35	2004/04/09/23:21:33.67	23.63	121.55	29±7	26.45	-16.40	-10.05	3.58	-7.79	-15.20	3.58±0.18	236.3±7.2	51.0±6.4	-159.4±7.8	0.511	1.83	C1
36	2004/04/19/00:56:12.31	22.73	121.17	26±4	-74.73	32.72	42.01	-24.30	10.72	24.26	3.85±0.19	247.3±3.4	51.6±3.0	34.1±8.5	0.471	47.58	B4
37	2004/04/19/17:51:23.92	22.82	121.38	41±4	689.74	-533.92	-155.82	-36.70	-17.10	-35.93	4.47±0.22	223.4±3.0	85.4±12.5	-176.9±4.8	0.560	44.17	C4
38	2004/04/23/14:04:29.83	22.92	120.60	18±5	56.61	-184.57	180.36	-7.74	106.81	131.61	4.20±0.21	22.1±4.3	31.6±3.0	133.6±3.0	0.623	1.39	C1
39	2004/04/24/15:20:30.49	23.95	121.47	21±6	-280.30	-226.46	506.75	243.34	127.48	-43.74	4.41±0.22	222.6±3.0	38.3±8.7	81.2±6.0	0.504	5.14	C1
40	2004/04/27/10:08:13.03	24.19	121.62	32±7	23.93	-5.37	-18.56	14.04	20.86	-5.31	3.62±0.18	142.9±5.6	35.7±6.5	-37.5±7.6	0.488	23.14	B2
41	2004/05/01/07:56:11.09	24.08	121.53	24±6	-2504.31	-1545.12	4049.43	2068.36	750.23	678.19	5.02±0.25	218.5±6.9	45.4±3.4	71.0±12.1	0.460	6.47	B1
42	2004/05/01/21:58:49.66	23.84	121.93	26±7	5.18	-9.44	13.22	35.10	5.84	-0.64	3.65±0.18	174.4±4.5	78.8±3.0	4.6±5.9	0.580	47.29	C4
43	2004/05/08/08:06:59.43	22.01	121.62	19±6	-12.27	-58.52	70.79	-42.13	-70.98	-59.00	3.99±0.20	167.2±3.0	22.7±4.7	121.2±8.9	0.560	10.01	C2
44	2004/05/08/16:13:15.19	22.85	121.37	14±3	-0.48	-53.51	53.99	-2.98	-40.26	41.49	3.87±0.19	339.5±4.5	29.3±3.0	47.0±8.1	0.493	38.38	B3
45	2004/05/08/20:18:40.44	21.97	121.42	22±4	-23.24	-57.36	80.60	-34.44	-46.26	-62.13	3.97±0.20	151.3±3.0	23.0±3.0	96.0±3.0	0.628	3.81	C1
46	2004/05/09/06:02:21.38	23.40	120.64	15±4	37.36	-135.34	97.98	51.35	28.60	65.77	4.05±0.20	43.3±11.0	40.1±7.7	134.8±12.2	0.555	34.91	C3

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ²	M _{xx} ³	M _{yy} ³	M _{zz} ³	M _{xy} ³	M _{xz} ³	M _{yz} ³	M _w	Strike ⁴	Dip ⁴	Rake ⁴	E ⁵	ε ⁵	Class
47	2004/05/13/15:28:49.52	24.06	121.52	20±9	-19.35	-19.35	38.70	19.31	9.64	9.56	3.68±0.18	208.2±4.0	47.6±3.2	65.9±5.6	0.513	20.11	C2
48	2004/05/15/05:07:50.47	24.86	121.90	100±7	276.77	-427.86	309.32	-2.51	292.36	-75.71	4.41±0.22	145.7±5.3	53.2±3.0	32.6±9.6	0.601	17.44	C2
49	2004/05/16/06:04:8.70	23.05	121.98	21±3	9942.88	-7965.42	2092.39	11209.10	-443.74	79.69	5.38±0.27	340.7±3.0	88.2±4.7	0.4±3.0	0.564	9.92	C1
50	2004/05/17/19:45:52.55	22.95	120.66	24±8	15.17	-21.39	6.23	-25.61	-8.69	18.76	3.66±0.18	290.2±5.5	56.3±3.0	9.4±5.5	0.651	5.30	C1
51	2004/05/19/07:04:12.94	22.71	121.37	13±2	7690.81	-136064.00	128373.00	28473.00	-78732.50	89008.80	6.11±0.31	352.4±3.0	29.1±3.0	55.8±4.8	0.401	4.90	B1
52	2004/05/20/22:16:15.96	23.41	120.65	14±3	-21.24	-41.36	62.60	24.41	-15.19	4.09	3.80±0.19	25.8±5.6	40.0±6.1	77.2±3.0	0.505	19.57	C2
53	2004/05/21/21:23:9.79	23.04	120.88	11±6	-45.01	59.38	-14.37	13.79	39.28	-9.11	3.83±0.19	313.2±3.0	63.8±14.7	-157.1±3.0	0.589	33.76	C3
54	2004/05/22/12:55:26.55	22.87	121.22	18±7	-6.33	-35.58	41.92	8.77	5.01	-29.88	3.74±0.19	198.2±22.8	26.5±5.2	95.5±9.9	0.577	15.49	C2
55	2004/05/23/00:58:28.13	21.99	121.52	17±4	184.68	75.68	-260.36	116.92	-68.03	-39.38	4.23±0.21	303.2±12.3	36.6±3.0	-88.9±3.0	0.683	0.90	C1
56	2004/05/23/01:07:18.26	21.99	121.40	17±5	204.78	56.08	-260.86	62.68	40.29	49.30	4.21±0.21	104.4±16.4	39.0±3.0	-99.4±4.6	0.665	27.04	C3
57	2004/05/24/09:15:6.33	22.58	121.04	11±6	-176.80	-28.20	205.00	115.11	259.35	-66.16	4.30±0.22	227.4±3.0	21.4±5.6	66.0±17.1	0.621	13.59	C2
58	2004/06/02/16:56:29.75	23.64	121.29	12±2	154.74	299.91	-454.65	317.10	-76.78	-83.28	4.42±0.22	322.8±5.2	38.7±9.0	-88.0±4.7	0.484	34.61	B3
59	2004/06/03/16:02:52.11	23.66	121.26	12±3	9.05	12.90	-21.95	9.26	-9.28	2.57	3.52±0.18	337.2±3.4	42.3±6.2	-62.9±7.8	0.512	34.73	C3
60	2004/06/06/00:09:8.24	22.53	120.97	18±2	-77.31	-909.08	1368.98	657.02	860.15	-1615.87	4.84±0.24	209.7±4.4	17.9±4.4	91.5±5.9	0.527	13.42	C2
61	2004/06/09/17:49:43.08	22.55	120.96	11±7	-22.56	36.03	-13.47	63.99	50.21	8.23	3.90±0.20	190.3±3.0	53.5±14.9	-8.1±25.0	0.665	8.65	C1
62	2004/06/13/02:22:58.39	22.89	121.32	24±5	-18.80	66.77	-47.97	-4.64	67.37	-22.27	3.92±0.20	337.0±3.0	39.5±3.0	-148.3±3.0	0.456	53.88	B4
63	2004/06/17/02:29:30.45	22.70	121.34	13±8	7.19	-19.02	11.83	6.31	-8.01	8.38	3.49±0.17	340.8±25.0	38.4±3.2	38.5±25.0	0.668	44.89	C4
64	2004/06/19/02:53:1.77	22.97	121.19	11±2	-21.92	-273.88	259.84	117.16	-33.55	-70.02	4.26±0.21	214.1±11.8	41.2±7.3	109.1±9.8	0.697	15.05	C2
65	2004/07/03/02:02:43.14	24.00	121.06	16±7	31.83	-0.54	-31.29	8.86	-5.67	-5.34	3.62±0.18	277.0±3.0	39.6±3.0	-101.2±3.0	0.615	13.40	C2
66	2004/07/06/07:32:2.77	24.90	122.27	13±3	5491.66	1397.22	-6109.31	-3591.22	2858.40	989.82	5.19±0.26	41.2±11.0	40.1±9.2	-119.9±3.4	0.557	4.41	C1
67	2004/07/06/11:38:0.10	22.93	120.95	12±4	107.23	119.93	-227.16	98.07	-1.44	-92.94	4.19±0.21	304.9±3.0	37.6±7.5	-110.7±4.2	0.532	23.14	C2
68	2004/07/06/11:39:27.94	24.98	122.18	12±7	144.06	76.89	-47.16	-114.63	306.69	-429.15	4.43±0.22	82.5±22.3	9.9±3.0	-43.5±21.9	0.658	16.14	C2
69	2004/07/09/11:19:28.83	23.90	121.50	23±7	-28.17	-20.06	46.49	64.32	-3.17	63.63	3.93±0.20	81.7±7.7	40.5±3.0	151.2±15.5	0.505	16.48	C2
70	2004/07/22/06:36:40.57	24.09	121.53	30±9	-76.11	-60.10	136.21	84.10	35.26	-10.37	4.05±0.20	220.3±8.7	39.0±7.0	78.6±12.8	0.570	18.38	C2
71	2004/07/28/09:40:57.02	23.91	121.02	17±4	-11.07	-87.85	112.59	54.36	-19.89	-14.20	3.98±0.20	220.5±4.3	45.7±5.0	108.9±7.8	0.551	11.20	C2
72	2004/08/01/11:21:25.74	24.56	121.86	20±5	25.69	-50.04	24.34	-72.69	-13.31	42.97	3.92±0.20	286.1±9.3	58.8±7.8	11.8±4.1	0.619	25.16	C3
73	2004/08/03/00:43:44.54	23.96	121.69	29±10	-38.25	153.14	-114.89	42.95	48.47	4.75	4.06±0.20	192.6±8.5	48.0±3.0	-52.7±13.6	0.577	29.48	C3
74	2004/08/08/13:12:26.16	24.67	121.82	77±9	338.51	-358.34	19.83	64.99	13.67	-57.00	4.31±0.22	140.0±3.0	83.0±7.4	-4.9±3.1	0.576	15.11	C2
75	2004/08/14/03:29:40.96	22.93	120.98	13±2	-11.19	80.47	-59.33	16.43	21.84	-8.78	3.86±0.19	328.9±8.3	47.4±3.0	-121.6±17.1	0.562	19.35	C2
76	2004/08/18/20:31:40.66	22.07	121.39	78±8	21.08	-24.72	3.64	131.36	169.44	90.36	4.18±0.21	186.6±25.0	35.1±3.9	0.9±15.3	0.489	75.69	B4
77	2004/08/18/22:18:27.80	22.55	121.34	26±8	18.50	-95.49	76.99	45.05	-27.44	-4.41	3.94±0.20	355.3±25.0	49.1±3.1	54.7±6.9	0.587	37.49	C3
78	2004/08/21/19:57:56.70	24.32	122.29	30±8	25.22	-34.91	9.69	27.76	16.14	29.74	3.76±0.19	63.2±4.8	50.0±9.4	169.8±4.0	0.575	3.28	C1
79	2004/08/26/09:25:52.12	22.89	121.28	17±3	-7.11	-27.54	34.66	13.94	-6.64	-3.62	3.64±0.18	218.4±10.9	46.0±5.6	106.5±6.9	0.595	8.95	C1
80	2004/09/02/06:07:50.86	23.20	120.50	13±6	-13.00	-16.45	29.45	39.63	14.18	30.87	3.78±0.19	77.7±6.7	50.3±3.0	148.4±14.6	0.674	10.40	C2
81	2004/09/07/11:45:55.18	24.65	121.85	13±6	9.82	-15.25	5.42	-11.94	-4.88	-0.36	3.45±0.17	201.4±3.0	71.0±3.5	167.5±7.8	0.699	37.84	C3
82	2004/09/18/02:52:35.65	24.44	122.89	64±6	11.59	-724.22	710.32	-180.01	-543.15	-603.30	4.63±0.23	185.1±4.6	25.4±3.0	125.7±7.8	0.350	9.11	B1
83	2004/09/21/18:17:2.61	24.90	122.11	11±2	103.14	-17.41	-101.26	-69.60	-2.00	18.95	4.00±0.20	261.3±18.0	44.9±8.5	-67.0±25.0	0.600	55.98	C4
84	2004/09/24/12:40:17.87	23.17	121.48	19±3	-13.93	-35.17	49.10	21.21	-5.87	-13.94	3.74±0.19	224.1±8.3	41.3±3.0	109.5±6.9	0.460	13.71	B2
85	2004/09/28/07:57:24.07	23.70	121.78	47±8	0.25	-24.58	24.33	4.85	-13.54	1.63	3.57±0.18	349.4±4.8	44.7±8.7	55.3±4.9	0.582	29.84	C3
86	2004/10/07/01:51:31.56	24.08	121.87	54±11	-22.43	-67.48	89.91	-16.37	16.63	-34.92	3.91±0.20	152.3±15.4	36.3±3.0	70.1±7.4	0.679	45.05	C4
87	2004/10/12/07:27:7.94	24.11	121.78	27±9	5.60	-10.70	5.09	10.49	-1.55	6.47	3.40±0.17	72.6±25.0	65.9±4.3	178.8±25.0	0.639	73.35	C4
88	2004/10/13/23:50:41.46	24.27	120.79	26±10	-3.68	-1.41	5.09	1.70	-7.64	8.49	3.33±0.17	71.8±8.1	12.5±8.8	117.4±16.0	0.603	14.14	C2
89	2004/10/15/04:08:50.18	24.46	122.85	85±13	-201926.00	108954.00	243.54	138546.00	473869.00	197093.00	6.43±0.32	206.2±8.4	22.1±7.7	4.7±5.8	0.448	0.27	B1
90	2004/10/15/17:33:37.56	22.62	121.64	19±3	14.16	-30.12	15.96	6.84	16.63	5.88	3.61±0.18	43.4±3.8	55.7±3.0	147.1±6.0	0.534	9.49	C1
91	2004/10/16/14:36:23.13	22.79	121.08	15±6	-19.84	1.73	18.11	21.87	-0.22	-0.28	3.58±0.18	51.0±17.6	45.4±6.5	79.8±25.0	0.608	91.39	C4
92	2004/10/26/08:20:45.02	22.90	121.29	19±4	13.95	-73.89	62.29	5.36	-27.67	-17.07	3.86±0.19	206.2±12.6	43.6±3.0	126.2±12.2	0.539	1.70	C1
93	2004/10/30/01:31:52.19	24.60	121.75	80±7	-2.52	-48.77	51.29	17.95	7.47	-1.12	3.76±0.19	191.1±3.0	43.7±7.0	78.6±5.5	0.638	9.84	C1
94	2004/11/05/20:37:50.54	23.19	121.35	15±5	-5.16	-14.89	15.61	20.76	0.06	-25.43	3.64±0.18	252.1±9.9	35.2±3.0	149.1±14.7	0.580	16.99	C2

No	Origin Time ¹	Lat. ¹	Long. ¹	Dep. ²	M_{xx}^3	M_{yy}^3	M_{zz}^3	M_{xy}^3	M_{xz}^3	M_{yz}^3	M_w	Strike ⁴	Dip ⁴	Rake ⁴	E^5	ϵ^5	Class
95	2004/11/08/15:35:2.59	23.89	122.62	28±9	-151.44	99.51	51.93	-174.69	374.25	-219.55	4.39±0.22	333.0±4.3	26.6±7.4	174.8±9.5	0.634	32.84	C3
96	2004/11/08/15:54:55.86	23.79	122.76	30±8	-75493.70	50968.30	24525.40	-29049.60	20421.40	-58993.50	5.92±0.30	320.0±3.0	60.2±8.8	155.0±3.9	0.622	43.04	C4
97	2004/11/08/19:38:10.32	23.93	122.51	15±2	559.10	388.95	-948.05	-155.37	1502.08	-1164.06	4.82±0.24	58.8±8.7	11.4±12.0	-84.1±13.5	0.683	27.28	C3
98	2004/11/10/14:48:2.75	23.97	122.42	20±7	-1119.45	469.51	649.94	-340.45	1659.96	-833.53	4.82±0.24	315.5±7.3	24.4±8.0	156.0±4.7	0.659	0.19	C1
99	2004/11/11/02:16:44.50	24.32	122.16	21±7	-8797.71	5569.73	3227.98	-1296.48	11874.30	-8357.82	5.41±0.27	314.2±6.4	26.2±11.9	165.4±4.0	0.677	3.41	C1
100	2004/11/13/15:22:4.37	24.00	121.69	35±8	17.97	-37.58	19.62	-0.36	-8.44	-1.09	3.62±0.18	213.7±3.0	57.4±3.0	142.8±11.3	0.489	54.92	B4
101	2004/12/08/11:32:32.59	22.84	121.47	19±7	0.39	-49.56	49.17	62.95	58.53	-27.44	3.94±0.20	179.1±3.1	37.0±4.3	32.2±10.9	0.459	40.43	B4
102	2004/12/16/00:10:0.31	23.95	122.41	26±1	-1571.42	1340.90	230.52	-427.08	1574.00	-1157.93	4.87±0.24	321.3±3.0	37.7±5.8	174.5±3.2	0.623	2.42	C1
103	2004/12/22/00:18:7.01	23.38	121.52	20±4	-26.30	-280.13	306.44	17.43	-121.59	193.21	4.32±0.22	352.4±25.0	28.9±4.4	65.8±16.5	0.525	24.01	C2
104	2004/12/22/00:28:47.10	23.37	121.54	23±6	-33.19	-71.18	104.36	25.04	-32.86	9.44	3.94±0.20	17.5±7.0	38.8±4.7	73.5±5.4	0.568	45.28	C4

¹中央氣象局地震測報中心所發布之地震發震時間(UT:年/月/日/時:分:秒)及震源位置(°N, °E)。

²逆推最佳震源深度(km)。

³X、Y、Z方向分別對應北、東、及垂直向下方向，單位為 1×10^{13} 牛頓米。

⁴得到最佳之雙力偶震源機制解，以度為單位。

⁵E及 ϵ 分別由公式(2)及(1)定義之， ϵ 以百分比(%)表示。

¹Origin Time (UT:Year/Month/Day/hr:min:sec) and hypocentral location (°N, °E) reported by the Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan, R. O. C.

²Estimated best depth in km.

³X, Y, Z point to the north, east, and vertically down, respectively. All are in the unit of 1×10^{13} Ntm.

⁴Estimated best double-couple solution in degrees.

⁵E and ϵ are defined by equations (2) and (1), respectively. ϵ is expressed in percent (%).

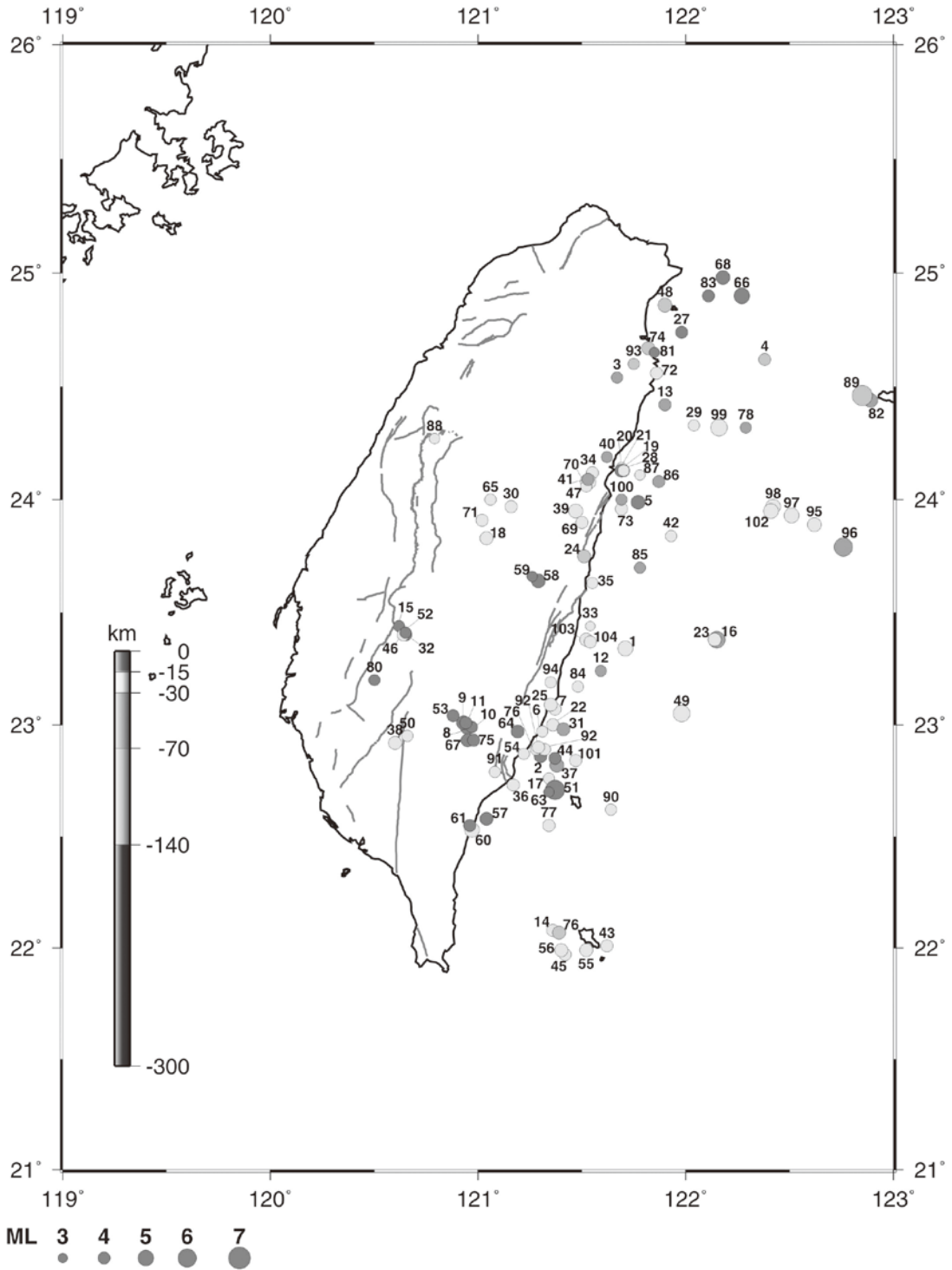


圖6a. 用CMT求得104個震源機制解之震央位置。圖中編號對應表3之順序。

Figure 6a. Map shows the epicenters of 104 earthquakes presented in this study by CMT inversion. Numbers are according to Table 3.

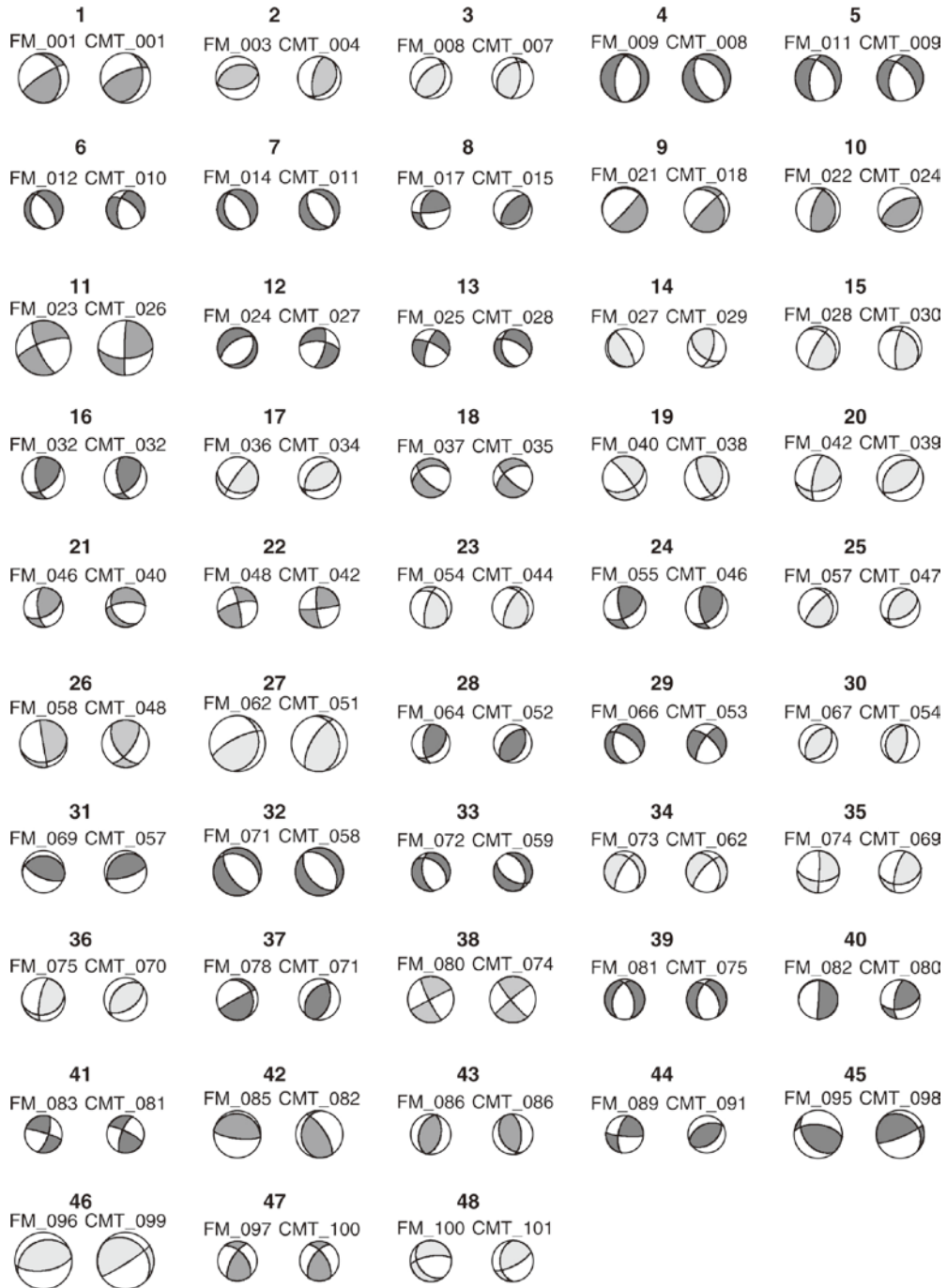


圖6b. 對應表3之CMT最佳雙力偶震源機制解，震源機制解上方第一個數字為地震編號，括號中數字為最佳震源深度。

Figure 6b. Map shows the best double-couple solutions of CMT. The first number above each fault plane solution is corresponded to the event number of Table 3. The number in parenthesis shows the best focal depth.

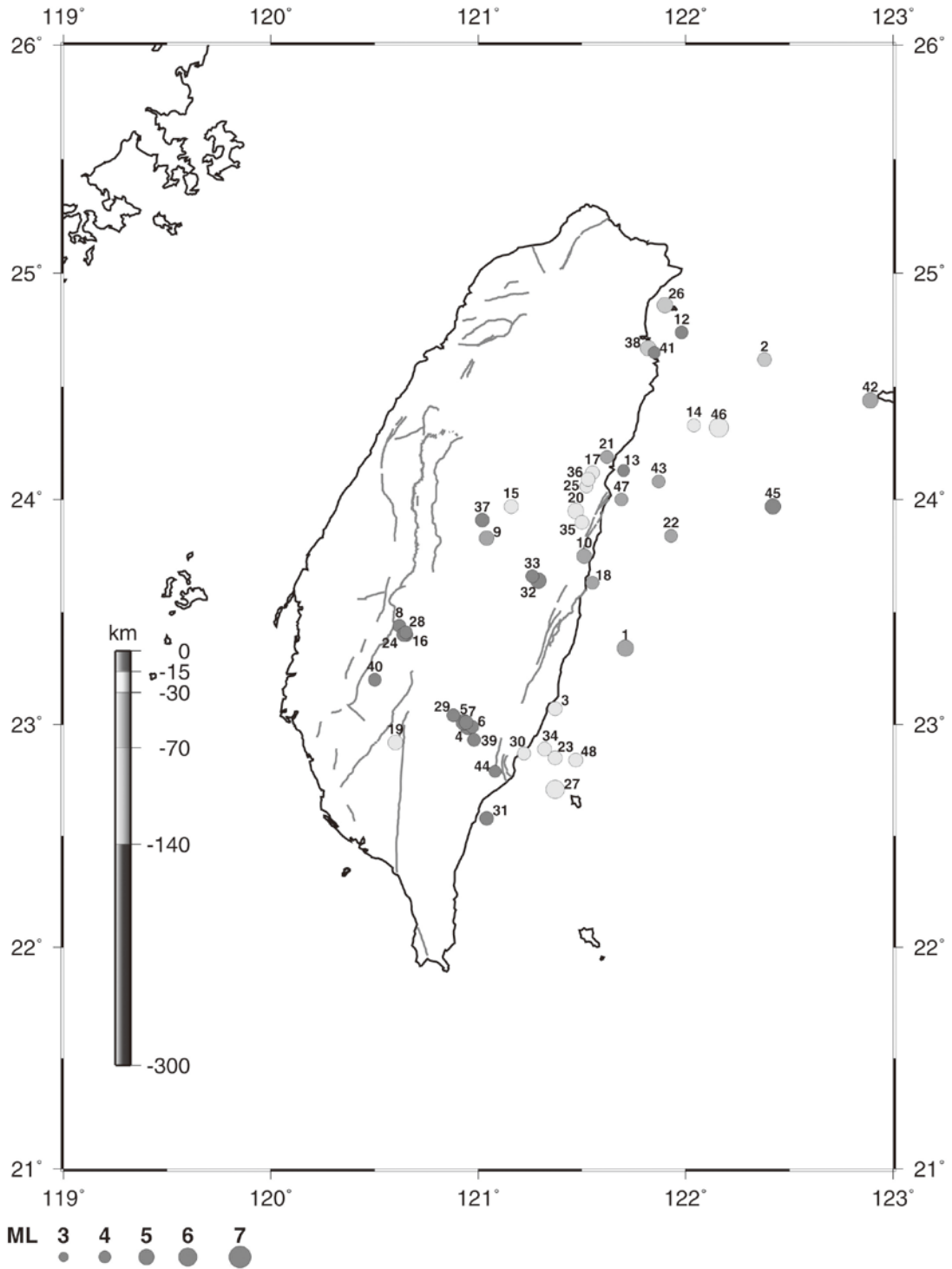


圖7a. 2004年中同時有P波初動及CMT之震源機制解的震央位置。圖中編號對應圖7b之順序。
 Figure 7a. Map shows the epicenters of earthquakes presented the first motion and CMT solutions in this study. Numbers are according to Figure 7b.

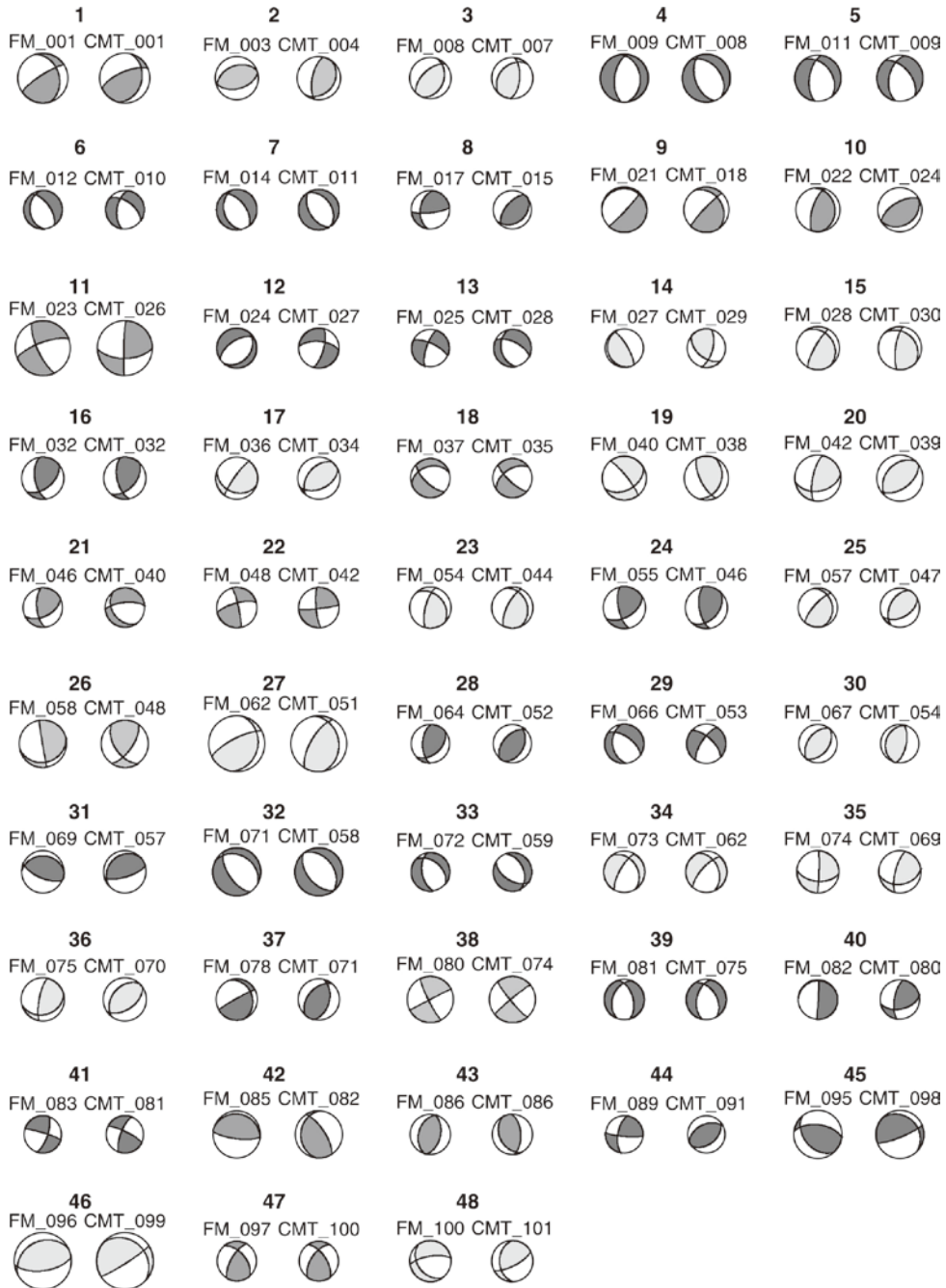


圖7b. 2004年中同時由P波初動及CMT求得之地震震源機制解比較，粗體數字對應圖7a之震央位置；FM_###為對應表2之P波初動解；CMT_###為對應表3之CMT震源機制解。

Figure 7b. Map shows the best double-couple solutions of first motion and CMT solutions in the same earthquake. The boldface numbers are according to the epicenter in Fig7a. FM_### is the first motion solution and the number are shown in Table 2, CMT_### is the CMT solution and the numbers are shown in Table 3.

因此，兩種方法對於台灣地區地震震源機制解呈現互補及相互印證作用，使得台灣地區之震源機制解更加豐富，對於發震構造也能更加清楚。

因應實際需求，本文中之震源機制解結果以電子檔附錄檔儲存，有興趣之讀者可從中央氣象寬頻地震觀測網資料網頁 (<http://cwbsnbb.cwb.gov.tw>) 下載全部資料。為讓本研究結果更容易讓學術領域接受及可用性，相關歷史地震之震源機制解結果，包含中央氣象局地震觀測網 (CWBSN) 歷年來P波初動解資料庫、中央研究院BATS CMT(Kao *et al.*, 1998b; Kao and Jian, 1999; Kao *et al.*, 2001, 2002a, 2002b; Liang *et al.*, 2003)、遠震地震波形逆推震源機制解(Chen *et al.*, 2004; Giardini *et al.*, 1985; Kao *et al.*, 1998a; Lin *et al.*, 2006)、近場強震波型資料逆推震源機制(Huang, 1994; Ma and Chen, 1999) 及其他相關研究(Chang *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2003; Chen and Wang, 1988; Chen and Wang, 1986; Chen and Wang, 1984; Chen *et al.*, 1999; Kuochen *et al.*, 2004; Lee and Tsai, 1981; Lee, 1983; Pezzopane and Wesnousky, 1989; Raw and Wu, 1998; Shin, 1995)等等均可此一網站搜尋。

四、致謝

感謝中央研究院地球科學研究所劉忠智先生，在中央氣象局建置寬頻地震觀測網之協助；並由衷感謝目前在加拿大地質調查所之高弘博士提供CMT資料處理原始程式及協助；謝謝中央研究院地球科學研究所梁文宗博士平日對寬頻資料分析及處

理建議。

五、參考文獻

- 陳榮裕, 2006. 以測站分佈覆蓋率做為波形逆推震源機制過程權重之分配研究. 中央氣象局研究發展專題CWB95-1A-15, 36頁。
- Aki, K., and P. G. Richards, 1980, Quantitative Seismology, Theory and Methods, Vol. 1, W. H. Freeman and Co., San Francisco, California.
- Bhattacharyya, J., A. F. Sheeham, K. Tiampo, and J. Rundle, 1999. Using a genetic algorithm to model broadband regional waveforms for crustal structure in the western United States, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **89**, 202–214.
- Billings, S. D., B. L. N. Kennet, and M. Sambridge, 1994. Hypocentre location: genetic algorithms incorporating problem-specific information, *Geophys. J. Int.* **118**, 693–706.
- Chang, C.S., T.C., Shin, and C.Y. Wang, 1998. Ruyi-Li earthquake – the slip at portion of thrust structure. *7 Annual Taiwan Area Geophysical meeting*, 1-12.
- Chang, S. J., C. E. Baag, and C. A. Langston, 2004. Joint analysis of teleseismic receiver function and surface wave dispersion using the genetic algorithm, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **94**, 691–704.
- Chen, K.C., B.S. Huang, K.L. Wen, H.C. Chiu, Y.T. Yen, S.N. Cheng, H.Y. Peng, T.M. Chang, T.C. Shin, R.C. Shih, and C.R.

- Lin, 1999. A Study of Aftershocks of the 17 July 1998 Ruey-Li, Chiayi Earthquake, *TAO*, **10**, 3, 605-618.
- Chen, C.H., W.H. Wang, and T.L. Teng, 2003. Tectonic Implications of 1998, Ruey-Li, Taiwan, Earthquake Sequence. *TAO*, **14**, 1, 27-40.
- Chen, K.C. and J.H. Wang, 1988. A study on aftershocks and focal mechanisms of two 1986 earthquakes in Hualien, Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, **31**: 65-72.
- Chen, K.C. and J.H. Wang, 1986. The May 20, 1986 Hualien, Taiwan earthquake and its aftershocks, *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, **6**, 1-13.
- Chen, K.C. and J.H. Wang, 1984. On the studies of the May 10, 1983 Taiping-shan, Taiwan earthquake sequence, *Bull. Inst. Earth Sci., Acad. Sin.*, **4**, 1-28.
- Chen, P.-F., Ekstrom, G. and Okal, E.A., 2004. Centroid moment tensor solutions for Taiwan earthquakes of the WWSSN Era (1963-1975). *TAO*, **15**: 61-73.
- Chen, R.-Y., and H. Kao, 2000. Determination of earthquake source parameters from regional waveforms using genetic algorithm, in *Proceedings of the Annual Meeting of the Chinese Geophysical Society*, 202–211, *Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, Taipei, Taiwan.
- Davis, L. (Editor), 1991. Handbook of Genetic Algorithm, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Dreger, D. S., and D. V. Helmberger, 1993: Determination of source parameters at regional distances with three-component sparse network data. *J. Geophys. Res.*, **98**, 8107-8125.
- Dziewonski, A. M., T. A. Chou, and J. H. Woodhouse, 1981: Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.*, **86**, 2825-2852.
- Fan, G., and T. Wallace, 1995: Focal mechanism of a recent event in South Africa: A study using a sparse very broadband network. *Seismol. Res. Lett.*, **66**, 13-18.
- Giardini, D., Dziewonski, A.M. and Woodhouse, J.H., 1985. Centroid moment tensor solutions for 113 large earthquakes in 1977-1980. *Phys. Earth Planet. Intre.*, **40**, 259-272 .
- Goldberg, D. E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Huang, B.-S., 1994. Estimation of Source Parameters by the Inversion of Near Source Strong Motion Wave Forms, *TAO*, **5**, 1, 11-26.
- Ho, C. S., 1999. An Introduction to the Geology of Taiwan. Explanatory Text of the Geologic Map of Taiwan, *Central Geological Survey/The Ministry of Economic Affairs*, Taiwan.
- Holland, J. H., 1975. Adaptation in the Natural

- and Artificial Systems, *University of Michigan Press*, Ann Arbor, Michigan.
- Honda, H. 1957. The Mechanism of the Earthquakes, *Sci. R, ep., Tohoku Univ.*, ser. 5, *Geophys.*, **9**, Suppl.
- Jimenez, A., J. M. Garcia, and M. D. Romacho, 2005. Simultaneous inversion of the source parameters and attenuation factor using genetic algorithm, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **95**, 1401–1411, doi 10.1785/0120040116.
- Kao, H. and Wu, F.T., 1996. The 16 September 1994 earthquake ($m_b=6.5$) in the Taiwan strait and its tectonic implications. *TAO*, **7**: 13-29.
- Kao, H., and P. R. Jian, 1999: Source parameters of regional earthquakes in Taiwan: July 1995-December 1996. *TAO*, **10**, 585-604.
- Kao, H., Shen, S.J. and Ma, K.-F., 1998a. Transition from oblique subduction to collision: Earthquakes in the southernmost Ryukyu arc-Taiwan region. *J. Geophys. Res.*, **103**: 7211-7229.
- Kao, H., P. R. Jian, K. F. Ma, B. S. Huang, and C. C. Liu, 1998b: Moment-tensor inversion for offshore earthquakes east of Taiwan and their implications to regional collision. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3619-3622.
- Kao, H., and P. R. Jian, 2001: Seismogenic patterns in the Taiwan region: Insights from source parameter inversion of BATS data. *Tectonophys.*, **333**, 179-198.
- Kao, H., Y. H. Liu, and P. R. Jian, 2001: Source parameters of regional earthquakes in Taiwan: January-December 1997. *TAO*, **12**, 431-439.
- Kao, H., Y. H. Liu, S. C. Chen, and W. T. Liang, 2002a: Source parameters of regional earthquakes in Taiwan: January-December, 1998. *TAO*, **13**, 197-204.
- Kao, H., Y. H. Liu, W. T. Liang and W. P. Chen, 2002b: Source parameters of regional earthquakes in Taiwan: 1999-2000 Including the Chi-Chi earthquake sequence. *TAO*, **13**, 279-298.
- Kawakatsu, H., 1995: Automated near-realtime CMT inversion. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2569-2572.
- Kuo Chen, H., Y.M. Wu, C.H. Chang, J.C. Hu, and W.S. Chen, 2004. Relocation of Eastern Taiwan Earthquakes and Tectonic Implications, *TAO*, **15**, 4, 647-666.
- Kobayashi, R., and I. Nakanishi, 1994. Application of genetic algorithms to focal mechanism determination, *Geophys. Res. Lett.* **21**, 729–732.
- Koper, K., M. E. Wyssession, and D. A. Wiens, 1999. Multimodel function optimization with a niching genetic algorithm: a seismological example, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **89**, 978–988.
- Lawrence, J. F., and D. A. Wiens, 2004. Combined receiver-function and surface wave phase-velocity inversion using a niching genetic algorithm: application to Patagonia, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **94**,

- 977–988, doi 10.1785/0120030172.
- Lay, T., J. Ritsema, C. J. Ammon, and T. Wallace, 1994: Rapid source-mechanism analysis of the April 29, 1993 Cataract Creek (Mw = 5.3), northern Arizona earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **84**, 451-457.
- Lee, T.Q., 1983. Focal mechanism solutions and their tectonic implications in Taiwan region. *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, **3**: 37-54.
- Lee, T.Q. and Y.B. Tsai, 1981. A study of the July 23, 1978 Lanhus, Taiwan earthquake sequence, *Bull. Inst. Earth sci., Acad. Sin.*, **1**, 31-50.
- Lin, T.W., R.D. Hwang, K.F. Ma, Y.B. Tsai, 2006. Simultaneous Determination of Earthquake Source Parameters Using Far-Field P Wave: Focal Mechanism, Seismic Moment, Rupture Length and Rupture Velocity, *TAO*, **17**, 3, 463-487.
- Ma, K.F. and Chen, J.Y., 1999. Focal mechanism determinations of the 1991 Chiali earthquake ($M_L=5.7$) sequence. *TAO*, **10**: 447-470.
- Pasyanos, M. E., D. S. Dreger, and B. Romanowicz, 1996: Toward real-time estimation of regional moment tensors. *Bull. Seimol. Soc. Am.*, **86**, 1255-1269.
- Pezeshk, S., and M. Zarrabi, 2005. A new inversion procedure for spectral analysis of surface waves using a genetic algorithm, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **95**, 1801–1808.
- Pezzopane, S.K. and Wesnousky, S.G., 1989. Large earthquakes and crustal deformation near Taiwan. *J. Geophys. Res.*, **94**: 7250-7264.
- Raw, R.J. and Wu, Francis T., 1998. Active Tectonics of Taiwan Orogeny From Focal Mechanisms of Small-to-moderate-size Earthquakes, *TAO*, **9**, 4, 755-778.
- Sambridge, M., and G. Drijkoningen, 1992. Genetic algorithm in seismic waveform inversion, *Geophys. J. Int.* **109**, 323–342.
- Sambridge, M., and K. Gallagher, 1993. Earthquake hypocenter location using genetic algorithm, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **83**, 1467–1491.
- Sen, M. K., and P. L. Stoffa, 1995. Global Optimization Methods in Geophysical Inversion, Elsevier, Amsterdam.
- Sileny, J., 1998. Earthquake source parameters and their confidence regions by a genetic algorithm with a “memory”, *Geophys. J. Int.*, **134**, 228–242.
- Shin, Tzay-Chyn, 1995. Application of Waveform Modeling to Determine Focal Mechanisms of the 1993 Tapu Earthquake and its Aftershocks, *TAO*, **6**, 2, 167-179.
- Thio, H. K., and H. Kanamori, 1995: Moment-tensor inversions for local earthquakes using surface waves recorded at TERRAScope. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **85**, 1021-1038.
- Wu, Y. M., C. H. Chang, L. Zhao, J. B. Shyu, Y. G. Chen, K. Sieh, and J. Avouac (2007). Seismic tomography of Taiwan: improved

- constraints from a dense network of strong motion stations, *J. Geophys. Res.*, **112**, B08312, doi 10.1029/2007JB004983.
- Wu, Yih-Min, Li Zhao, Chien-Hsin Chang, and Ya-Ju Hsu, 2008. Focal-Mechanism Determination in Taiwan by Genetic Algorithm. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**, 2, 651–661.
- Yamanaka, H., and H. Ishida, 1996. Application of the genetic algorithms to an inversion of surface-wave dispersion data, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **86**, 436–444.
- Yin, J. M., and F. H. Cornet, 1994. Integrated stress determination by joint inversion of hydraulic tests and focal mechanisms, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 2645–2648.
- Yu, S. B., H. Y. Chen, L. C. Kuo, S. E. Lallemand, and H. H. Tsien, 1997. Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, **274**, 41–59.
- Zhao, L. S., and D. V. Helmberger, 1994: Source estimation from broadband regional seismograms. *Bull Seismol. Soc. Am.*, **84**, 91-104.
- Zhou, R., F. Tajima, and P. L. Stoffa, 1995a. Application of genetic algorithm to constrain near-source velocity structure for 1989 Sichuan earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **85**, 590–605.
- Zhou, R., F. Tajima, and P. L. Stoffa, 1995b. Earthquake source parameter determination using genetic algorithms, *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 517–520.
- Zhu, L., and D. V. Helmberger, 1996: Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **86**, 1634-1641.
- Zhu, L., and D. V. Helmberger, 1998. Moho Offset Across the Northern Margin of the Tibetan Plateau, *Science*, **281**, 1170-1172.

The Focal Mechanisms of Taiwan Regional Earthquakes in 2004

Rong-Yuh Chen¹ Chien-Hsin Chang¹ Chih-Wen Ken¹²
Yih-Min Wu³ Tzay-Chyn Shin⁴

¹Seismological Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

²Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Chia-Yi, Taiwan

³Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

⁴Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

ABSTRACT

We determine the focal mechanism solution to earthquakes of medium and above magnitude that occurred in the Taiwan region in 2004. Both first motion and Centroid Moment Tensor (CMT) inversion solutions are collected in this study. There are 102 events of focal mechanism solution from firstmotion by genetic algorithm (Wu *et al.*, 2008), a nonlinear global search for the focalmechanism solutions. And we use an improved algorithm of CMT by Kao *et al.* (1998a) to overcome the generally higher background noise as well as the heterogeneous velocity structure resulted from the complex tectonic interactions near Taiwan. In addition, the weighting of stations produced automatically by the azimuth coverage from the recorder and epicenter is used in our routine CMT inversion. There are 104 events of solutions obtained by CMT inversion in 2004. All the results are displayed and can be searched on web site <http://cwbsnbb.cwb.gov.tw>. Our study provides a database of focal mechanisms for studying seismogenic structures and plate tectonics.

Key words: genetic algorithm, focal mechanism, Centroid Moment Tensor