

利用 P 波到時分析臺灣地底地體構造

陳曄力¹ 陳達毅²

¹ 臺北市立大學地球環境暨生物資源學系

² 中央氣象局地震測報中心

摘要

了解臺灣各區域底下的地體構造是一項重要的議題，透過分析地震事件之 P 波到時，我們可以了解臺灣底下地體構造的部分性質，本篇研究分析了 BATS 對於遠地及 Tonga-Kermadec 區域之地震事件之紀錄波形，將所有測站波形 stacking 後製作標準波形，並將所有測站波形與標準波形做 cross-correlation，計算出各測站對於地震事件之 P 波到時差，研究發現在 SSLB 以南的測站出現 P 波提早到達的現象，數據顯示出歐亞大陸板塊向東南方隱沒在臺灣中部，並且相較於前人的研究，本研究使用了更多樣本，本研究遠地地震事件共使用 91 件，Tonga-Kermadec 區域地震事件共使用 33 件。

一、前言

臺灣地區的形成是由歐亞大陸板塊以及菲律賓海板塊碰撞擠壓而生成，而這兩個板塊在臺灣底下的碰撞過程極為特殊且複雜，菲律賓海板塊在臺灣底下向北隱沒至地函，板塊交接面走向約為東西向，而在臺灣底下還有一南北走向的板塊交界面，此時理當陷入大陸性板塊的菲律賓海板塊卻壓在歐亞板塊上，而歐亞板塊於板塊交接處隱沒至地函，因為大陸性板塊隱沒至海洋性板塊之下的現象有違一般海陸板塊互動的常態（圖 1），因此了解臺灣各區域之板塊性質與歐亞大陸板塊隱沒與否便是

一件重要的議題。

要探討這項議題，我們需要透過各種地球物理的方式去探測臺灣地底的地體構造，地震波中的 P 波便是一個很好的分析材料，P 波波速 v 與楊氏係數 E (Young's modulus) 及密度 ρ 相關，(Lowrie, 2007)其關係式為

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

而地震波因為波速會隨著深度而變快的緣故造成折射現象，使遠地地震的地震波在接近地表的路徑接近垂直，因此我們可以透過分析遠地地震波得知一區域淺層

地體構造的性質。

(Amaru, Spakman, Villaseñor, Sandoval, & Kissling, 2008)提到，透過分析同一區域的地震測站對於遠地地震事件之 P 波到時差，可以反映出地底下的地體構造性質，在一區域之測站中挑選一測站為標準測站，將所有波形對齊該測站的理論到時後進行疊加(Stacking)，進而得到標準波形，將所有測站與標準波形做互相關(Cross-correlation)得到 lag 值，lag 值經過單位換算後即為 P 波到時殘差(Residual time, RT, RT 可為正可為負，其值愈大代表 P 波速度愈慢，反之則愈快)，將測站 RT 平均值(\overline{RT})視覺化呈現於地圖上，便可反映出各區域底下的淺層地體構造的性質，若將此方法套用於臺灣區域，便可對臺灣底下的地體構造有更進一步的了解。

而單純分析淺層的地體構造不足以了解歐亞板塊與菲律賓海板塊的互動，因此我們需要分析更深層的構造，(Chen, Huang, & Liang, 2004)利用了 RT 以及 P amplitude 來分析臺灣地區底下的地體構

造，在研究中使用了 Tonga–Kermadec 板塊交界地區的地震進行分析，假設在地函中存在的隱沒歐亞大陸板塊之傾角約為 60° ，傾向為東南方，最深深度約在 660km 之上，而 Tonga–Kermadec 板塊交界地區之方位在臺灣東南方，且正好初達 P 波在折射後在地函中傳遞的路徑可以經過假想板塊的位置(初達 P 波在 660KM 之上的入射角約為 60°)，在研究中分析了此區域之地震事件在臺灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seimology, BATS)的各測站所觀測到的 P 波到時及初動振幅，發現了可支持隱沒板塊存在的關鍵證據，而在上述(Chen, Huang, & Liang, 2004)的研究中只使用了 7 個地震事件的資料，樣本數尚有增加的空間。

本研究將會分別分析全方位遠震事件、各分向遠震時間以及 Tonga–Kermadec 區域地震事件，在 BATS 中所紀錄之波形，計算出 \overline{RT} 並將其視覺化於地圖上，藉此探討臺灣區域之地體構造。

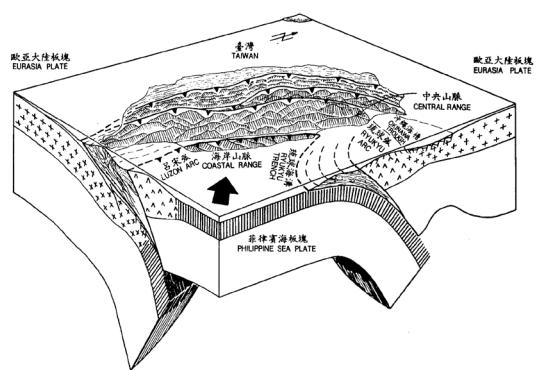


圖 1、臺灣板塊立體構造示意圖 (何春蓀, 1986)

Fig. 1 Schematic diagram of the three-dimensional structure of the Taiwan plate.

二、數據及方法

本研究使用資料來源為 IRIS 網站，觀測網為 BATS，使用測站有 KMNB、NACB、SSLB、TPUB、TWGB、YHNB、YULB 共七站，波形選擇寬頻頻道之垂直分量（BHZ），時間取樣從 2000 年至 2021 年。

要分析地震時序資料需要消耗許多時間，本次研究將會利用 Python 中的 Obspy 套件作為主要研究工具，利用套件中的函式及模組抓取 IRIS 網站上提供之 BATS 地震紀錄並進行分析，計算出觀測網中各測站之 RT 值，並將數據視覺化於地圖上。圖 2 為本研究之流程圖。

（一）地震事件挑選

1. 全方位遠地地震事件

為確保 P 波在淺層地層中傳遞路徑垂直，我們需要篩選出距離臺灣中心較遠的地震事件，並且地震規模要夠大，以確保地震波在長途傳遞後仍有足夠的能量使地震儀接收，因此在搜尋地震事件時須符合與臺灣中心（緯度：23.777818°N、經度：120.766413°E）距離大於 30°、地震矩規模大於 7.0 之條件，且事件搜尋時間設定範圍為 2000 年至 2021 年，實際取用事件共 91 件。圖 3 為全方位地震事件分布圖，附錄中表 1 為全方位遠地地震事件資訊列表。

2. 分向遠地地震事件

地震波在較深層的地層傳播時沒有垂直傳遞的性質，傳遞路徑不同，因此透過分析不同來向地遠震事件波形，可以了解較深層的地體構造型質，本研究將遠地地震事件依其來向分為東、西、南、北四種方

位來向進行分向分析，除震源方位特別設定外，其餘條件與全方位遠地地震事件分析相同，而東方來向事件。圖 4 為本研究將地震事件分類的方法示意圖，圖中綠點代表臺灣中心，四方位將方位角均分，並將分向中心對準各方位。圖 5 為事件分類結果，按對應方位擺放分類結果，上為北方來向，右為東方來向，以此類推。附錄中表 2 至表 5 分別為北、東、南及西方來向之地震事件資訊列表。

3. Tonga–Kermadec 區域地震事件

Tonga–Kermadec 區域地震事件之地震波在地函折射後，其傳遞路徑會通過假設存在臺灣底下的隱沒板塊，因此本研究將獨立分析 Tonga–Kermadec 區域之地震。對於此區域地震篩選地震事件之條件需要特別符合經度範圍 175°E~177°E、緯度範圍 16°S~32°S、地震矩規模大於 6.5 之條件，而事件搜尋時間範圍為 2003 年至 2021 年。圖 6 為 Tonga–Kermadec 區域地震事件獨立分析之事件分布圖，附錄中表 6 為 Tonga–Kermadec 區域地震事件資訊列表。

（二）計算理論到時與取得地震波形

在擷取地震波形以前，我們利用 $Taup$ 計算出每個地震事件對於各測站的理論到時，並在擷取各事件之波形時，將擷取時段設定為該事件對於各測站理論到時的前後三秒（資料總長共 6 秒），使波形資料之中心（資料點之第 3 秒）對齊於各自的理論到時。

處理波形資料時使用帶通率波，頻率上下限為 0.2 Hz~2.0 Hz，而計算理論到時使用模型為 ak135。

(三) 製作標準波形 (Stacking)

在擷取波形時，各資料之中心點已對齊於理論到時，直接疊加所有擷取的測站紀錄波形，便可得到各事件的標準波形。圖 7 為 2014/11/01 之地震事件標準波形範例。

(四) 互相關 (Cross-correlation)

使用標準波形對各測站之波形紀錄做互相關，得到 lag 值與最大相關係數，lag 值之單位為資料點數，測站取樣率為 0.05 秒，因此得 $RT = lag \times 0.05$ 。圖 8 為

2014/11/01 之地震事件對於 SSLB 測站之紀錄波形互相關範例。

(五) 篩選資料

篩選互相關後最大相關係數大於 0.7 之 RT 數據取出做平均，以確保數據的可信度。

(六) 資料視覺化

將各測站 \overline{RT} 以漸層色調呈現於地圖上，以此判斷該測站附近區域之地體構造是否影響 P 波傳遞速度。

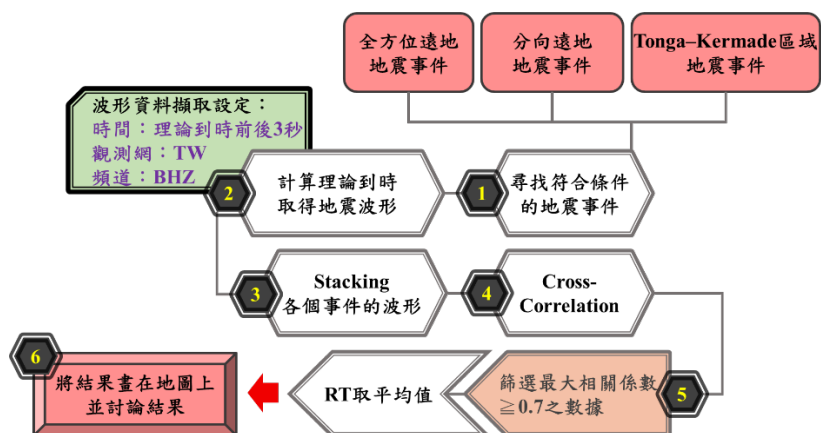


圖 2、研究流程示意圖。

Fig2. Schematic of the research process.

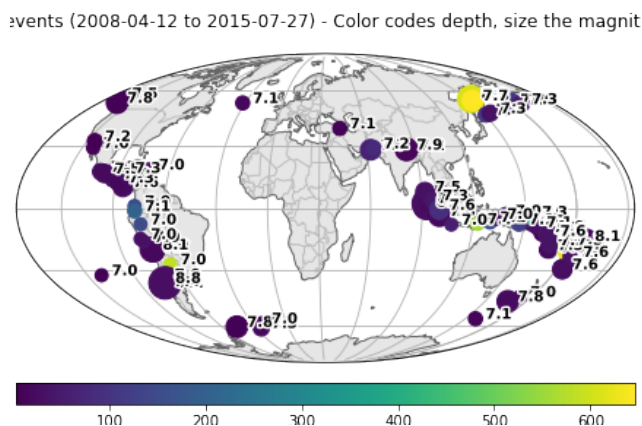


圖 3、全方位來向地震分析之事件分布圖。

Fig3. Distribution for independent analysis of all-directional seismic events.

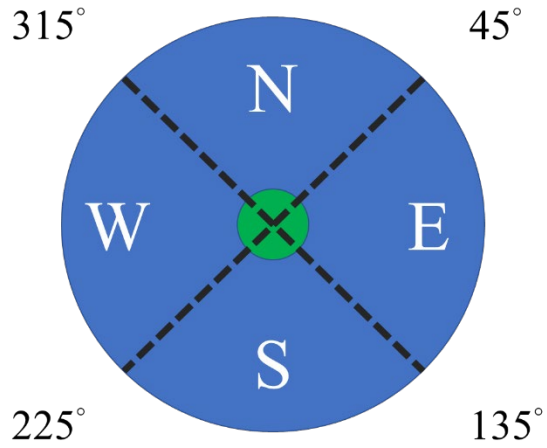


圖 4、分向方法示意圖。圖中綠點代表臺灣中心，四方位將方位角均分，並將分向中心對準各方位。

Fig4.Schematic of the divide direction method. The green dot in the schematic represents the center of Taiwan, the four directions are divided by azimuth equally, and the divided direction center is aligned to each orientation.

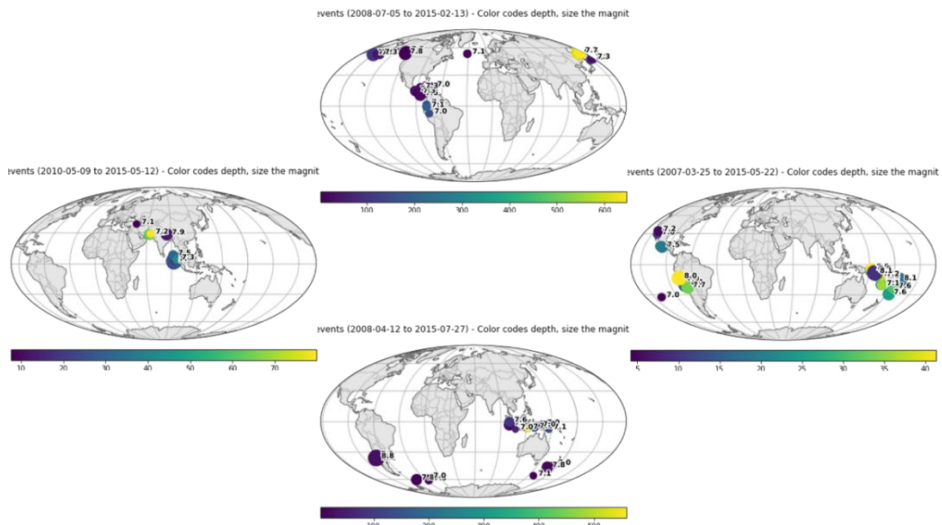


圖 5、分向分析分類結果。按對應方位擺放分類結果，上為北方來向，右為東方來向，以此類推。

Fig5.Results of divide direction method categorization. The classification results are according to the corresponding orientation, the upper is the north direction, the right is the east direction, and so on.

events (2003-01-04 to 2015-04-17) - Color codes depth, size the magnit

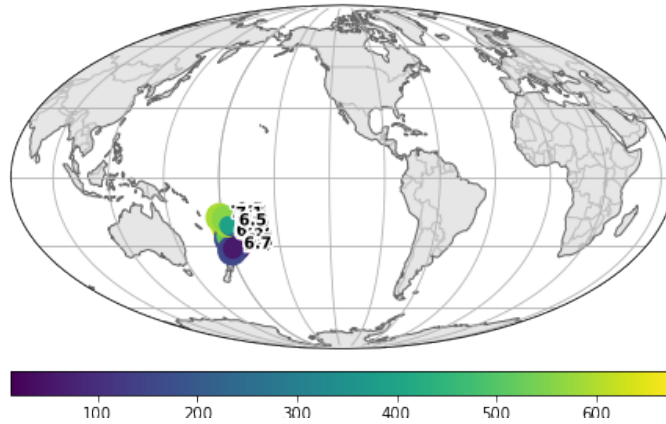


圖 6、Tonga-Kermadec 區域地震事件獨立分析之事件分布圖。

Fig6 Distribution for independent analysis of seismic events in the Tonga-Kermadec region.

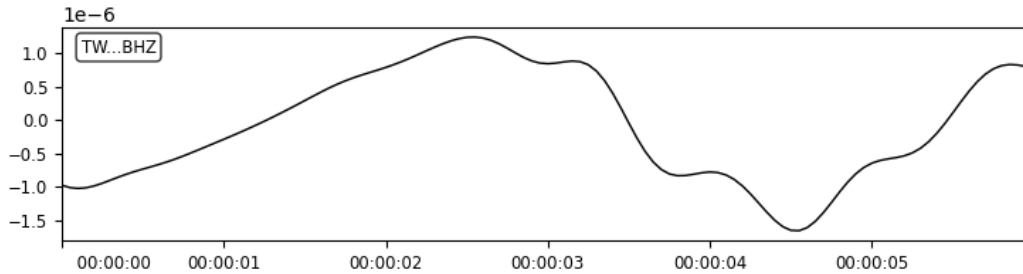


圖 7、2014/11/01 地震事件標準波形範例。在疊加波形時波形資料之絕對時間軸不會對齊，因此標準波形沒有絕對時間軸。

Fig7 Example of a standard waveform for 2014/11/01 seismic event. When stacking waveforms, the absolute timeline of the waveform data won't be aligned.

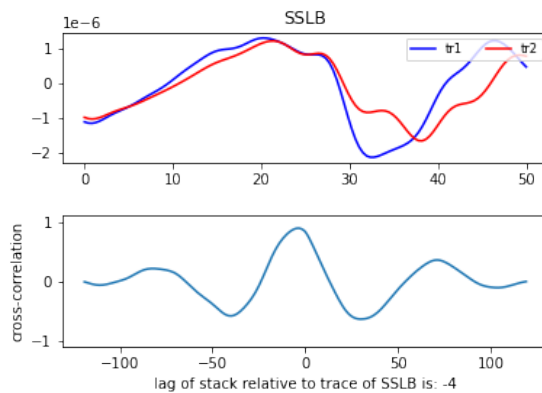


圖 8、2014/11/01 SSLB 測站互相關範例。

Fig8 Example of cross-correlation for 2014/11/01 seismic event by SSLB station.

三、結果

(一) 全方位來向地震事件分析結果

圖 9 為全方位來向地震事件分析結果視覺化之地圖，圓點為測站，而我們可以從圓點的深淺判斷 \overline{RT} 大小，顏色越深 \overline{RT} 越大，反之則愈淺。在圖中可以觀察到，各測站的 \overline{RT} 並沒有明顯差異，也沒有在鄰近的地理位置上呈現出相同的性質，其中在臺灣本島測站 \overline{RT} 值最大者為 YHNB， \overline{RT} 為 0.07 秒，最小者為 TPUB， \overline{RT} 為 -0.07 秒， \overline{RT} 最大值與最小值之差為 0.14 秒。

(二) 地震事件分向分析結果

圖 10 至圖 13 為北、東、南、西各向分向分析結果視覺化地圖，其中東方來向之分向分析結果與其餘三個方向有明顯的

不同，在東方及南向分向分析（圖 11、圖 12）的 \overline{RT} 地圖中可以看到，NACB 以南的測站反映出較小的 \overline{RT} ，在同區域的測站中顯示出類似的 \overline{RT} 向性，而在北向及南向的分析中則沒有在同區域的測站呈現類似的 \overline{RT} 向性。

(三) Tonga–Kermadec 區域地震事件分析結果

在 Tonga–Kermadec 區域地震事件分析中（圖 14），發現自 SSLB 以南的測站， \overline{RT} 皆明顯小於 SSLB 以北之測站，在 SSLB 以南區域顯示出 \overline{RT} 較小的性質，臺灣本島測站 \overline{RT} 最大者為 YHNB， \overline{RT} 為 0.29 秒，最小者為 TPUB， \overline{RT} 為 -0.3 秒， \overline{RT} 最大值與最小值差異為 0.59 秒。

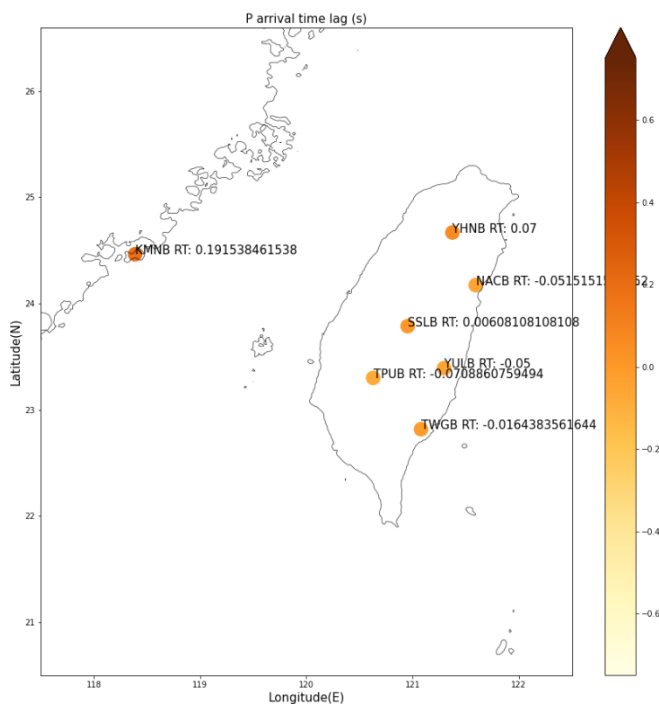


圖 9、BATS 對全方位來向地震 \overline{RT} 圖

Fig9 \overline{RT} map of BATS to all-directional seismic events.

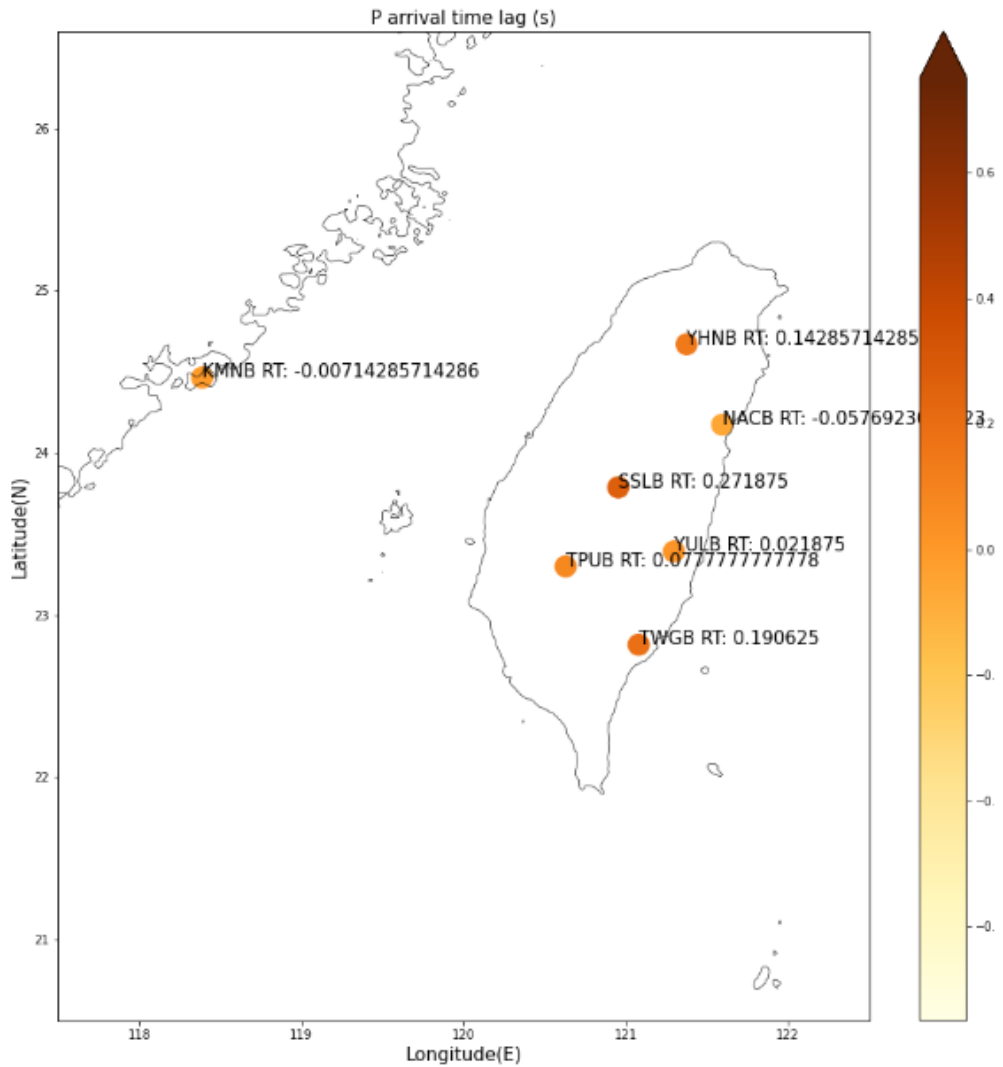


圖 10、BATS 對北方來向地震事件 \overline{RT} 圖。臺灣本島測站 \overline{RT} 最大者為 SSLB， \overline{RT} 為 0.27 秒，最小者為 TPUB， \overline{RT} 為 -0.05 秒， \overline{RT} 最大值與最小值差異為 0.32 秒。

Fig10 \overline{RT} map of BATS to north direction seismic events. The largest \overline{RT} of stations in Taiwan main island is SSLB, and the \overline{RT} is 0.27 seconds. The smallest is TPUB, and the \overline{RT} is -0.05 seconds. The difference between the maximum and minimum values of \overline{RT} is 0.32 seconds.

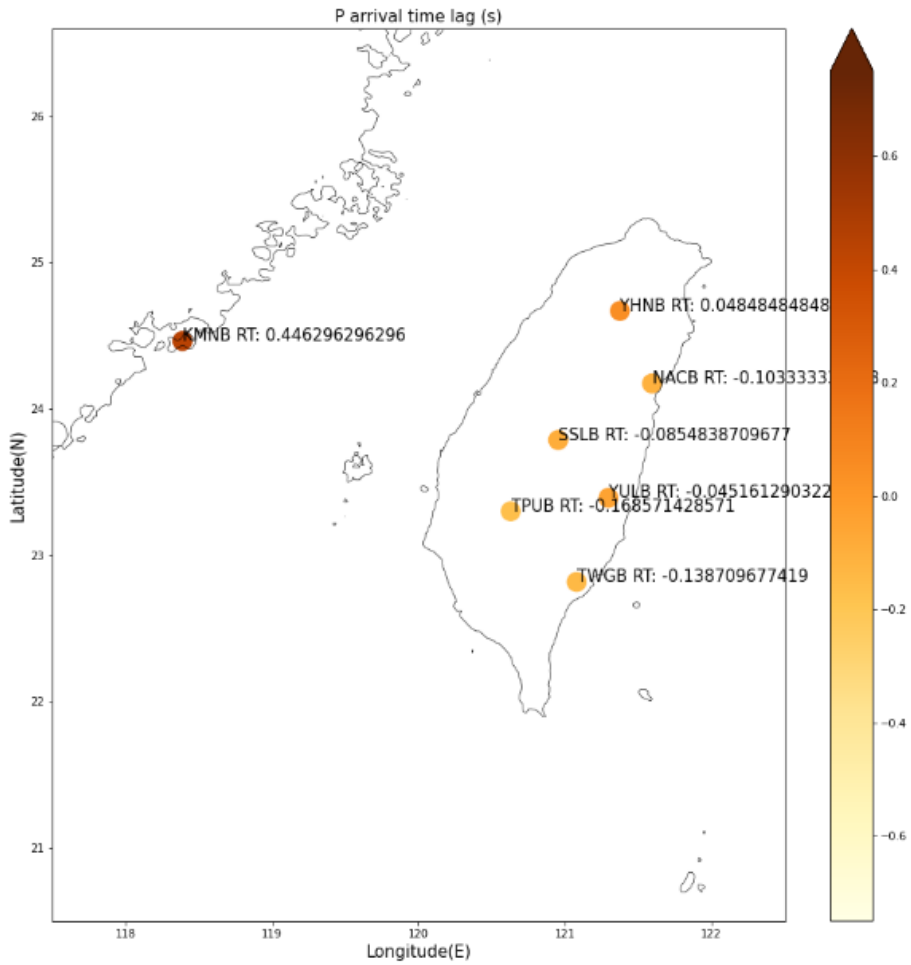


圖 11、BATS 對東方來向地震事件 \overline{RT} 圖。臺灣本島測站 \overline{RT} 最大者為 YHNB， \overline{RT} 為 0.05 秒，最小者為 TPUB， \overline{RT} 為-0.16 秒， \overline{RT} 最大值與最小值差異為 0.21 秒。

Fig11 \overline{RT} map of BATS to east direction seismic events. The largest \overline{RT} of stations in Taiwan main island is YHNB, and the \overline{RT} is 0.05 seconds. The smallest is TPUB, and the \overline{RT} is -0.16 seconds. The difference between the maximum and minimum values of \overline{RT} is 0.21 seconds.

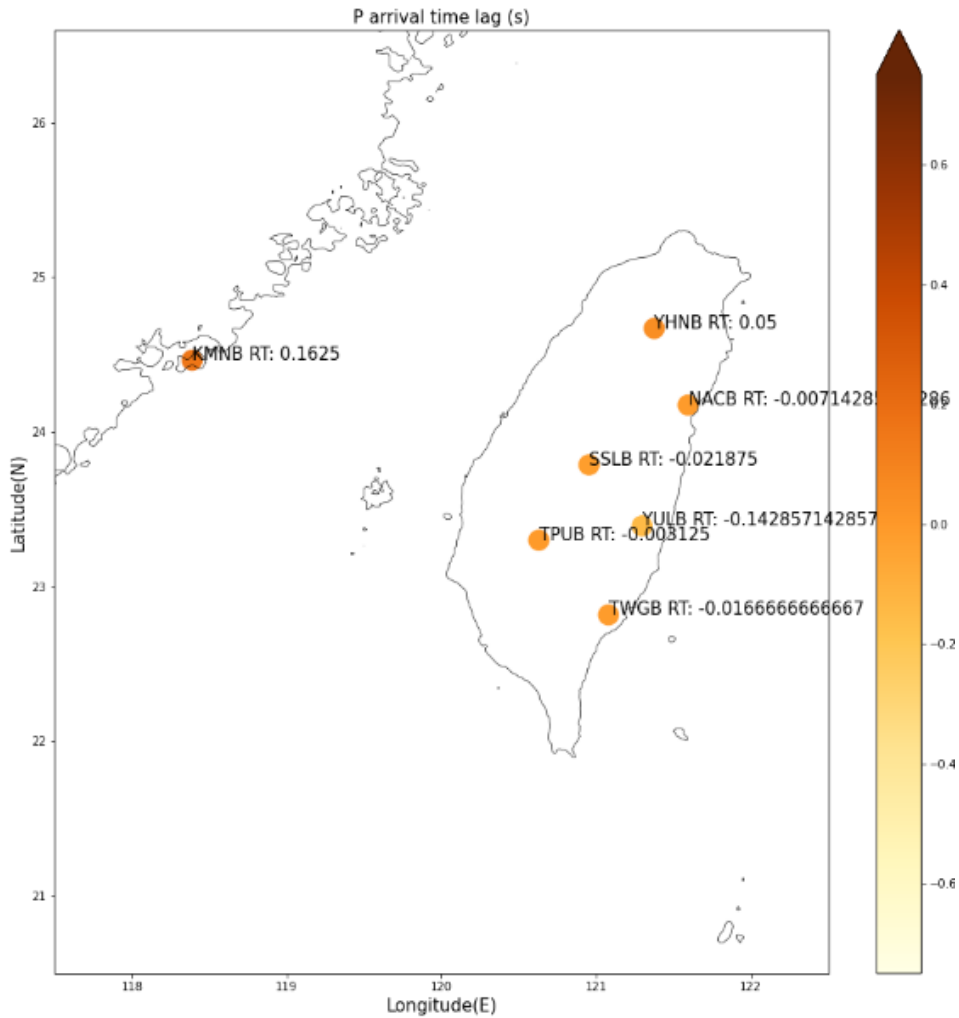


圖 12、BATS 對南方來向地震事件 \overline{RT} 圖。臺灣本島測站 \overline{RT} 最大者為 YHNB， \overline{RT} 為 0.05 秒，最小者為 YULB， \overline{RT} 為 -0.14 秒， \overline{RT} 最大值與最小值差異為 0.19 秒。

Fig12 \overline{RT} map of BATS to south direction seismic events. The largest \overline{RT} of stations in Taiwan main island is YHNB, and the \overline{RT} is 0.05 seconds. The smallest is YULB, and the \overline{RT} is -0.14 seconds. The difference between the maximum and minimum values of \overline{RT} is 0.19 seconds.

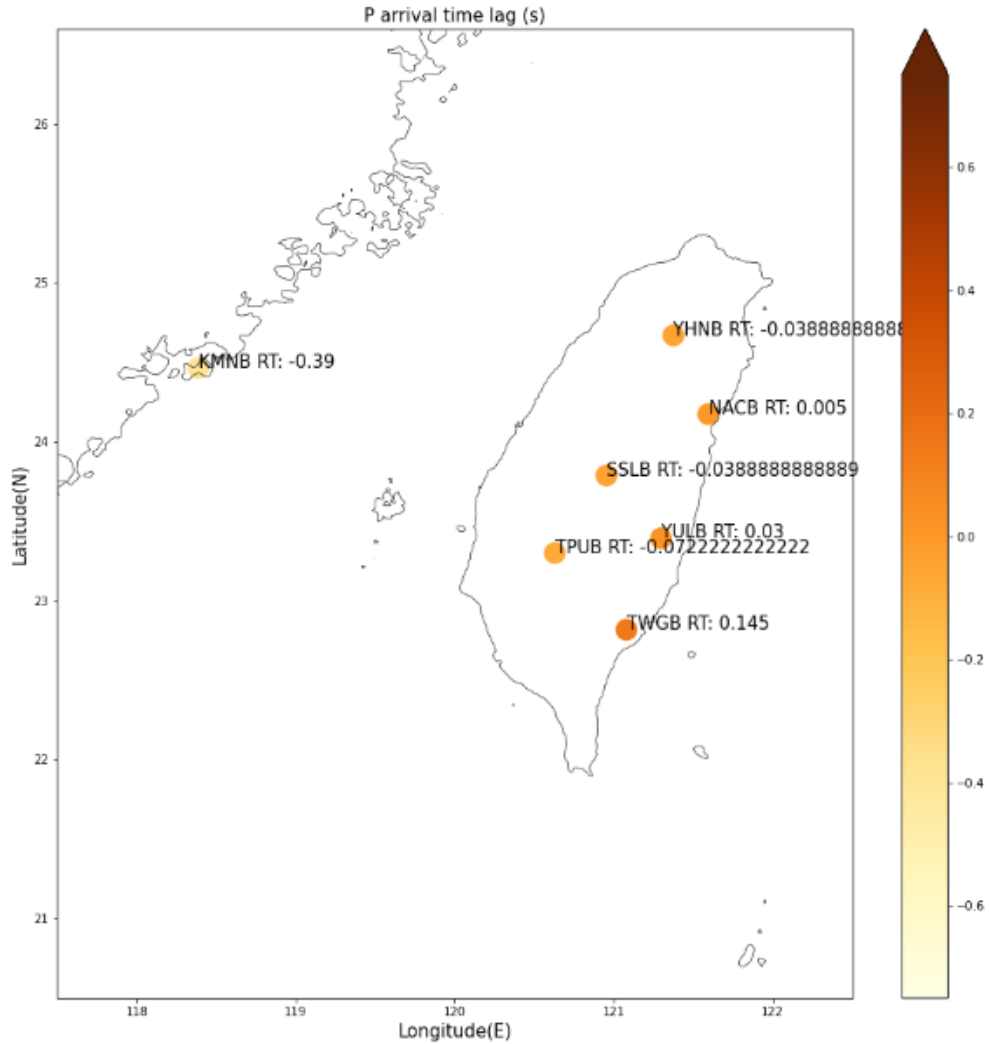


圖 13、BATS 對西方來向地震事件 \overline{RT} 圖臺灣本島測站 \overline{RT} 最大者為 TWBG， \overline{RT} 為 0.15 秒，最小者為 TPUB， \overline{RT} 為 -0.07 秒， \overline{RT} 最大值與最小值差異為 0.22 秒。

Fig13 \overline{RT} map of BATS to west direction seismic events. The largest \overline{RT} of stations in Taiwan main island is TWBG, and the \overline{RT} is 0.15 seconds. The smallest is TPUB, and the \overline{RT} is -0.07 seconds. The difference between the maximum and minimum values of \overline{RT} is 0.22 seconds.

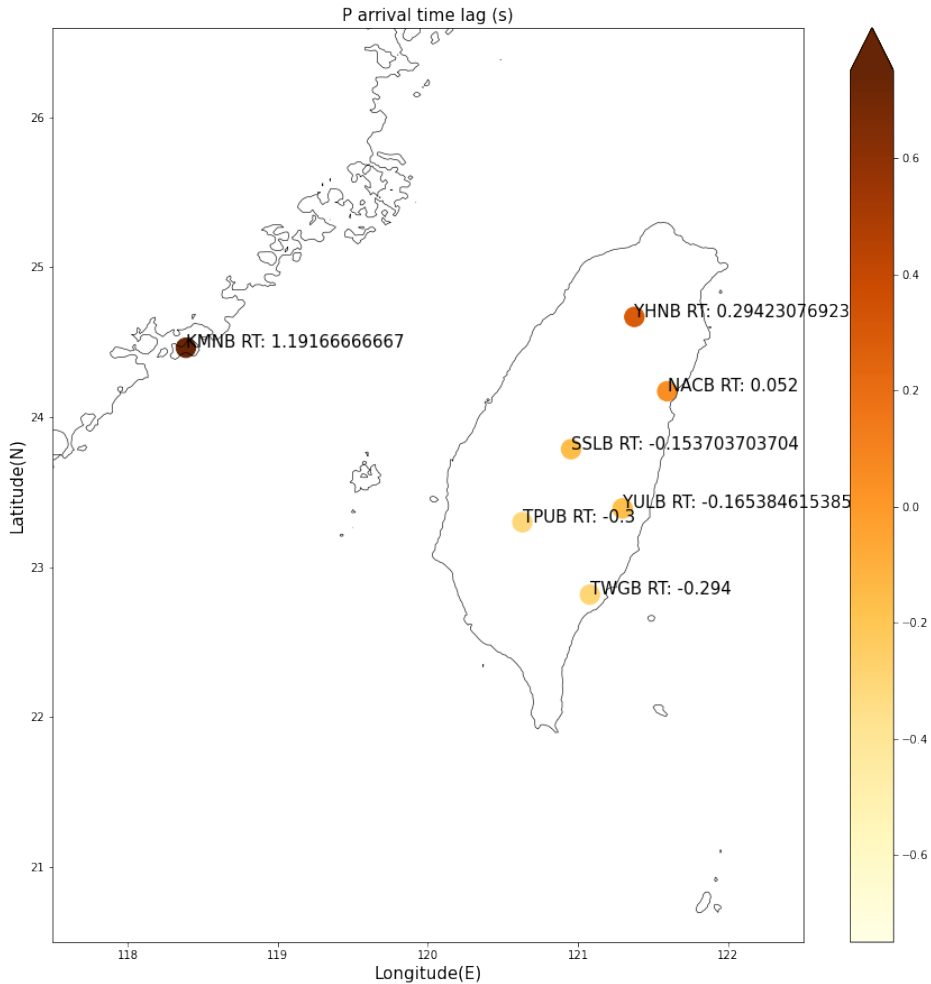


圖 14、BATS 對 Tonga–Kermadec 區域地震事件 \overline{RT} 圖

Fig14 \overline{RT} map of BATS to Tonga–Kermadec region seismic events.

四、結論

在全方位的遠震分析結果中，因臺灣地區各測站之 \overline{RT} 差異過小，且在各區域中 \overline{RT} 沒有顯示出相同向性，而遠地地震波在地層中傳遞路徑為垂直，因此無法判斷透過本研究之研究方法判斷淺層地體構造之性質。而在分向分析中，東向及南向之分析結果與北向及西向不同，在東向及南向(圖 10、圖 11) 之分析結果中可以看出在臺灣

中部以南的測站，其 \overline{RT} 皆為負值，在同區域中 \overline{RT} 呈現相同向性，顯示出在東南來向之地震在傳遞至中南部測站的過程中，通過了一些速度構造異常的區域，並且其影響範圍大約在臺灣中部開始，延伸至南方。從上述的討論中我們可以得知，在臺灣地區較深處的地體構造中，存在各向異性的不連續構造，並且這個構造在 Tonga–Kermadec 區域地震事件的分析結果中得到

了更明顯的 \overline{RT} 差異，也更確定了其影響範圍以及成因。

在 Tonga–Kermadec 區域地震事件分析結果中，我們可以觀察到 SSLB 以南之測站 \overline{RT} 皆顯示負值，並且它們的 \overline{RT} 與臺灣地區其餘兩測站差距甚大，透過我們對歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交互作用的了解，我們可以得知，該影響為在中臺灣處向東南方隱沒之歐亞大陸板塊造成，P 波通過此構造時波速較快，且其影響範圍為臺灣中南部，分析結果與先前提及之文獻相近。

透過分析臺灣的淺層與深層之地體構造，我們能夠更了解各區域地體構造的性質，雖然在本研究中全方位的地震分析結果，對於了解淺層地體構造沒有太大幫助，但是透過分向分析我們可以了解臺灣底下深層地層的部分性質，了解到臺灣底下存在一些不連續的構造，造成地震波的速度異常，並且透過分析 Tonga–Kermadec 區域之地震事件，也更確定了該異常構造的原因以及其影響範圍，並且相較於前人之研究，本研究使用了更多的地震事件作為研究樣本，增加了數據的可信度。

附錄

表 1、本研究所使用之全方位地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.1 The information of all-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2008/4/12	0:30:12	158.5422	-55.5913	10
2	2008/6/30	6:17:44	-21.9794	-58.284	10
3	2008/7/5	2:12:06	152.8633	53.9462	646.1
4	2008/11/24	9:03:00	154.2934	54.2201	505.3
5	2009/1/15	17:49:38	155.246	46.8333	31.1
6	2009/3/19	18:17:41	-174.5899	-23.1555	30.9
7	2009/5/28	8:24:48	-86.243	16.8078	29
8	2009/7/15	9:22:32	166.6363	-45.8339	20.9
9	2009/9/2	7:55:02	107.4109	-7.7346	57.8
10	2009/9/29	17:48:12	-171.9369	-15.5119	18.5
11	2009/9/30	10:16:11	99.9678	-0.7071	90.2
12	2009/10/7	22:03:14	166.5023	-13.0359	33.7
13	2009/10/7	22:18:54	166.3694	-12.4743	59
14	2009/10/7	23:13:49	166.4628	-13.0836	32.9
15	2009/11/9	10:44:55	178.4528	-17.2674	591.3
16	2010/1/3	22:36:30	157.4167	-8.8788	29.8

17	2010/1/12	21:53:10	-72.588	18.3823	15
18	2010/2/27	6:34:13	-72.9327	-36.1485	28.1
19	2010/2/27	8:01:23	-75.2105	-37.84	35
20	2010/3/11	14:55:29	-71.802	-34.2937	24.4
21	2010/4/4	22:40:44	-115.2633	32.2764	5.2
22	2010/5/9	5:59:42	96.0278	3.7328	42.3
23	2010/5/27	17:14:47	166.6722	-13.6734	34.7
24	2010/6/12	19:26:50	91.9546	7.8506	31.4
25	2010/8/10	5:23:46	168.0377	-17.5345	33.5
26	2010/8/12	11:54:15	-77.3694	-1.2779	206.5
27	2010/9/3	16:35:46	171.9023	-43.3608	4
28	2010/9/29	17:11:25	133.775	-4.9863	20.5
29	2010/10/25	14:42:22	100.1042	-3.5248	20
30	2010/12/25	13:16:38	167.9375	-19.8371	15.7
31	2011/1/1	9:56:58	-63.2373	-26.8513	584.3
32	2011/1/2	20:20:18	-73.3993	-38.3907	24.4
33	2011/1/18	20:23:26	63.9948	28.6831	79.9
34	2011/6/24	3:09:39	-171.8201	51.9805	49.8
35	2011/7/6	19:03:20	-176.2572	-29.3073	25.4
36	2011/8/24	17:46:12	-74.538	-7.6203	149.3
37	2011/9/3	22:55:36	169.778	-20.6279	136.6
38	2011/9/15	19:31:03	-179.324	-21.593	629
39	2011/10/21	17:57:17	-176.0332	-28.8809	34.8
40	2011/10/23	10:41:22	43.4465	38.7294	7.6
41	2011/10/28	18:54:35	-76.1207	-14.5572	29
42	2011/12/14	5:04:58	146.814	-7.5278	128.5
43	2012/1/10	18:37:00	93.2081	2.4307	20.9
44	2012/2/2	13:34:41	167.1814	-17.7532	27.3
45	2012/3/20	18:02:48	-98.3694	16.4734	19.4
46	2012/3/25	22:37:07	-72.1268	-35.2035	28.2
47	2012/4/11	8:38:38	93.0144	2.2376	26.3
48	2012/4/11	10:43:11	92.4284	0.7675	21.6
49	2012/4/12	7:15:49	-113.127	28.8386	10
50	2012/8/27	4:37:20	-88.6604	12.1318	16
51	2012/9/5	14:42:08	-85.3884	10.0242	20.7
52	2012/10/28	3:04:08	-132.1724	52.6777	7.4
53	2012/11/7	16:35:49	-92.0669	14.0318	38.7

54	2012/12/10	16:53:09	129.8684	-6.4969	161.5
55	2013/1/5	8:58:19	-134.8008	55.2347	3.1
56	2013/2/6	1:12:26	165.1418	-10.864	23.8
57	2013/2/6	1:23:24	164.93	-11.2569	34
58	2013/2/6	1:54:15	165.8168	-10.5087	9.9
59	2013/2/8	15:26:39	166.1453	-10.8933	22.4
60	2013/2/9	14:16:07	-77.462	1.0345	144.2
61	2013/4/6	4:42:36	138.4743	-3.4714	69.4
62	2013/4/16	10:44:19	62.136	27.9704	63.1
63	2013/4/19	3:05:53	150.924	46.0722	109
64	2013/5/23	17:19:05	-177.2133	-23.0783	177.7
65	2013/5/24	5:44:50	153.3912	54.815	607
66	2013/7/7	18:35:31	153.9277	-4.0134	387.1
67	2013/7/15	14:03:42	-25.2274	-61.0527	19.9
68	2013/8/30	16:25:02	-175.2137	51.5001	30.2
69	2013/9/25	16:42:43	-74.6012	-15.9001	38.2
70	2013/11/17	9:04:56	-46.5876	-60.3783	7.9
71	2014/4/1	23:46:47	-70.7877	-19.6193	17.1
72	2014/4/1	23:57:57	-71.0177	-19.962	10.8
73	2014/4/3	2:43:14	-70.4905	-20.5887	12
74	2014/4/11	7:07:23	155.0329	-6.6064	57.8
75	2014/4/12	20:14:39	162.1387	-11.2581	15.3
76	2014/4/13	12:36:19	161.9601	-11.4669	34.2
77	2014/4/18	14:27:25	-100.9938	17.3211	24.4
78	2014/4/19	13:28:01	154.992	-6.708	39.8
79	2014/6/23	20:53:10	178.6428	51.7028	102.1
80	2014/10/9	2:14:30	-110.9241	-32.2989	4.2
81	2014/10/14	3:51:37	-88.072	12.5893	63.9
82	2014/11/1	18:57:22	-177.8334	-19.8023	435.3
83	2015/2/13	18:59:14	-32.0209	52.5097	16.9
84	2015/2/27	13:45:06	122.4906	-7.358	559.1
85	2015/3/29	23:48:31	152.5778	-4.7758	41.3
86	2015/4/25	6:11:27	84.7168	28.1302	13.4
87	2015/5/5	1:44:04	151.8641	-5.5168	29.6
88	2015/5/7	7:10:23	154.5554	-7.3019	30.4
89	2015/5/12	7:05:19	86.126	27.8014	12.3
90	2015/5/22	21:45:20	163.5935	-11.1336	19.6
91	2015/7/27	21:41:21	138.5428	-2.7134	47.8

表 2、本研究所使用之北向分向分析地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.2 The information of north-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2008/7/5	2:12:06	152.8633	53.9462	646.1
2	2008/11/24	9:03:00	154.2934	54.2201	505.3
3	2009/1/15	17:49:38	155.246	46.8333	31.1
4	2009/5/28	8:24:48	-86.243	16.8078	29
5	2010/1/12	21:53:10	-72.588	18.3823	15
6	2010/8/12	11:54:15	-77.3694	-1.2779	206.5
7	2011/6/24	3:09:38	-171.8201	51.9805	49.8
8	2011/8/24	17:46:11	-74.538	-7.6203	149.3
9	2012/8/27	4:37:19	-88.6604	12.1318	16
10	2012/9/5	14:42:07	-85.3884	10.0242	20.7
11	2012/10/28	3:04:07	-132.1724	52.6777	7.4
12	2012/11/7	16:35:49	-92.0669	14.0318	38.7
13	2013/1/5	8:58:19	-134.8008	55.2347	3.1
14	2013/2/9	14:16:06	-77.462	1.0345	144.2
15	2013/4/19	3:05:52	150.924	46.0722	109
16	2013/5/24	5:44:49	153.3912	54.815	607
17	2013/8/30	16:25:02	-175.2137	51.5001	30.2
18	2014/6/23	20:53:09	178.6428	51.7028	102.1
19	2014/10/14	3:51:37	-88.072	12.5893	63.9
20	2015/2/13	18:59:13	-32.0209	52.5097	16.9

表 3、本研究所使用之東向分向分析地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.3 The information of east-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2007/3/25	0:40:03	169.3463	-20.5675	36.2
2	2007/4/1	20:39:56	157.0265	-8.4468	9.5
3	2007/8/15	23:40:58	-76.5555	-13.3836	41.2
4	2007/9/2	1:05:19	165.8205	-11.589	37.5
5	2007/11/14	15:40:49	-69.7803	-22.3208	33.6
6	2008/4/9	12:46:12	168.9074	-20.0376	31.4

7	2009/3/19	18:17:40	-174.5899	-23.1555	30.9
8	2009/9/29	17:48:11	-171.9369	-15.5119	18.5
9	2009/10/7	22:03:14	166.5023	-13.0359	33.7
10	2009/10/7	23:13:49	166.4628	-13.0836	32.9
11	2010/1/3	22:36:29	157.4167	-8.8788	29.8
12	2010/4/4	22:40:43	-115.2633	32.2764	5.2
13	2010/5/27	17:14:46	166.6722	-13.6734	34.7
14	2010/8/10	5:23:46	168.0377	-17.5345	33.5
15	2010/12/25	13:16:38	167.9375	-19.8371	15.7
16	2011/7/6	19:03:20	-176.2572	-29.3073	25.4
17	2011/10/21	17:57:17	-176.0332	-28.8809	34.8
18	2011/10/28	18:54:34	-76.1207	-14.5572	29
19	2012/2/2	13:34:41	167.1814	-17.7532	27.3
20	2012/3/20	18:02:47	-98.3694	16.4734	19.4
21	2012/4/12	7:15:49	-113.127	28.8386	10
22	2013/2/6	1:12:26	165.1418	-10.864	23.8
23	2013/2/6	1:23:23	164.93	-11.2569	34
24	2013/2/6	1:54:15	165.8168	-10.5087	9.9
25	2013/2/8	15:26:38	166.1453	-10.8933	22.4
26	2013/9/25	16:42:43	-74.6012	-15.9001	38.2
27	2014/4/1	23:46:47	-70.7877	-19.6193	17.1
28	2014/4/1	23:57:56	-71.0177	-19.962	10.8
29	2014/4/3	2:43:14	-70.4905	-20.5887	12
30	2014/4/12	20:14:38	162.1387	-11.2581	15.3
31	2014/4/13	12:36:19	161.9601	-11.4669	34.2
32	2014/4/18	14:27:24	-100.9938	17.3211	24.4
33	2014/4/19	13:28:00	154.992	-6.708	39.8
34	2014/10/9	2:14:29	-110.9241	-32.2989	4.2
35	2015/3/29	23:48:31	152.5778	-4.7758	41.3
36	2015/5/5	1:44:04	151.8641	-5.5168	29.6
37	2015/5/7	7:10:23	154.5554	-7.3019	30.4
38	2015/5/22	21:45:20	163.5935	-11.1336	19.6

表 4、本研究所使用之南向分向分析地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.4 The information of south-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2008/4/12	0:30:12	158.5422	-55.5913	10
2	2008/6/30	6:17:43	-21.9794	-58.284	10
3	2009/7/15	9:22:31	166.6363	-45.8339	20.9
4	2009/9/2	7:55:01	107.4109	-7.7346	57.8
5	2009/9/30	10:16:10	99.9678	-0.7071	90.2
6	2010/2/27	6:34:13	-72.9327	-36.1485	28.1
7	2010/2/27	8:01:23	-75.2105	-37.84	35
8	2010/3/11	14:55:29	-71.802	-34.2937	24.4
9	2010/9/3	16:35:46	171.9023	-43.3608	4
10	2010/9/29	17:11:24	133.775	-4.9863	20.5
11	2010/10/25	14:42:22	100.1042	-3.5248	20
12	2011/1/2	20:20:18	-73.3993	-38.3907	24.4
13	2011/12/14	5:04:57	146.814	-7.5278	128.5
14	2012/3/25	22:37:06	-72.1268	-35.2035	28.2
15	2012/12/10	16:53:09	129.8684	-6.4969	161.5
16	2013/4/6	4:42:36	138.4743	-3.4714	69.4
17	2013/7/15	14:03:41	-25.2274	-61.0527	19.9
18	2013/11/17	9:04:56	-46.5876	-60.3783	7.9
19	2015/2/27	13:45:05	122.4906	-7.358	559.1
20	2015/7/27	21:41:20	138.5428	-2.7134	47.8

表 5、本研究所使用之西向分向分析地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.5 The information of west-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2010/5/9	5:59:42	96.0278	3.7328	42.3
2	2010/6/12	19:26:50	91.9546	7.8506	31.4
3	2011/1/18	20:23:25	63.9948	28.6831	79.9
4	2011/10/23	10:41:22	43.4465	38.7294	7.6
5	2012/1/10	18:37:00	93.2081	2.4307	20.9
6	2012/4/11	8:38:37	93.0144	2.2376	26.3
7	2012/4/11	10:43:10	92.4284	0.7675	21.6
8	2013/4/16	10:44:19	62.136	27.9704	63.1
9	2015/4/25	6:11:26	84.7168	28.1302	13.4
10	2015/5/12	7:05:18	86.126	27.8014	12.3

表 6、本研究所使用之 Tonga–Kermadec 區域地震事件資訊，包含事件日期、時間、經度、緯度及深度。

Table.6 The information of west-directional seismic events used in this research. The information included date, time, longitude, latitude, and depth.

編號	日期	時間	經度(°)	緯度(°)	深度(km)
1	2003/1/4	5:15:05	-177.6276	-20.648	390.4
2	2003/5/4	13:15:17	-178.2674	-30.8799	57.3
3	2003/7/27	2:04:11	-176.5573	-21.1188	211.2
4	2004/7/15	4:27:13	-178.7667	-17.7045	560
5	2004/11/17	21:09:09	-178.7163	-20.0526	592.2
6	2006/1/2	22:13:40	-178.1096	-19.9742	584.1
7	2006/2/2	12:48:43	-178.2842	-17.8306	599.6
8	2006/3/31	13:21:01	-176.8148	-29.6842	24.8
9	2006/5/16	10:39:23	-179.1549	-31.8438	156
10	2007/1/31	3:15:55	-177.9179	-29.9015	60.5
11	2007/5/6	21:11:53	-179.3288	-19.4681	678.6
12	2007/10/5	7:17:54	179.4462	-25.1987	521.3
13	2007/10/16	21:05:43	179.5019	-25.7449	501.2
14	2007/12/9	7:28:20	-177.3637	-26.0959	149.8

15	2008/1/15	17:52:16	-179.5799	-21.9873	597
16	2008/12/9	6:24:01	-176.8526	-31.2656	26.1
17	2009/2/18	21:53:45	-176.2355	-27.3912	28.2
18	2009/5/16	0:53:50	-178.5584	-31.4495	32.5
19	2009/11/9	10:44:54	178.4528	-17.2674	591.3
20	2011/2/21	10:57:51	178.4765	-26.0435	551.8
21	2011/7/6	19:03:20	-176.2572	-29.3073	25.4
22	2011/7/29	7:42:22	179.8252	-23.7284	522.8
23	2011/9/15	19:31:03	-179.324	-21.593	629
24	2011/10/21	17:57:17	-176.0332	-28.8809	34.8
25	2013/5/23	17:19:04	-177.2133	-23.0783	177.7
26	2013/11/23	7:48:32	-176.5188	-17.1613	370.1
27	2014/5/4	9:15:52	179.0407	-24.7338	522.8
28	2014/6/23	19:19:17	-177.5306	-30.0038	20.8
29	2014/6/23	19:21:48	-177.4626	-30.1376	26.5
30	2014/6/23	20:06:19	-177.401	-29.9857	19.6
31	2014/7/21	14:54:41	-178.4001	-19.8015	615.4
32	2014/11/1	18:57:22	-177.8334	-19.8023	435.3
33	2015/4/17	15:52:53	-178.4403	-16.0488	12.6

參考文獻

- 何春蓀, (1986): 臺灣地質概論, 經濟部中央地質調查所, 共 164 頁。
- Amaru, M. L., Spakman, W., Villaseñor, A., Sandoval, S., & Kissling, E. (2008). A new absolute arrival time data set for Europe. *Geophysical Journal International*, 173(2), 465-472. doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03704.x
- Chen, P.-F., Huang, B.-S., & Liang, W.-T. (2004). Evidence of a slab of subducted lithosphere beneath central Taiwan from seismic waveforms and travel times. *Earth and Planetary Science Letters*, 229(1-2), 61-71.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of geophysics*.

Analyzing Tectonic Structure Beneath Taiwan by P Waves Arrival Time

Wei-Li Chen¹ Da-Yi Chen²

¹Department of Earth and Life Science, University of Taipei

² Seismological Center, Central Weather Bureau

Abstract

Understanding the tectonic Structure under various regions of Taiwan is an important topic. Through analyzing the P waves arrival time of seismic events, we can understand some of the properties of the tectonic Structure under Taiwan. This research analyzes the waveforms of teleseismic earthquake and Tonga–Kermadec area seismic events recorded by BATS. Make standard waveforms by stacking all the waveforms in the same event, and do cross-correlation to all the station waveforms and standard waveforms to calculate the P wave arrival time difference of seismic event. In the research, we found the phenomenon that P waves recorded by the stations south of SSLB were early arrival. Data show that the Eurasian plate subducted to the southeast at central Taiwan. Compared with the previous research, this study uses more samples. A total of 91 teleseismic event data were used, and 33 seismic events data in Tonga–Kermadec region were used in this study.