

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

合成孔徑雷達及大地測量應用於台灣活動變形之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2119-M-002-020

執行期間：2002年08月1日至2003年10月31日

計畫主持人：胡植慶

共同主持人：陳焜山、劉說安、陳于高

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立臺灣大學地質科學系

中華民國 93 年 1 月 31 日

本研究計畫已有如下之成果：

- (1) Hu, J.-C., Shen, L.-C., Hou, C.-T., and Chan, Y.-C., 2002. Current Crustal Deformation in Southwestern Taiwan from GPS Measurements, *Eos, Trans., AGU*, 83(47) Fall Meet., Suppl., Abstract F1280.
- (2) 沈里俊，利用 GPS 衛星測量在屏東-高雄地區地殼變形觀測之研究，國立臺灣大學地質科學系碩士論文，112 頁，2003。
- (3) 沈里俊、侯進雄、胡植慶、詹瑜璋、黃鐘、賴典章、林啟文，GPS 衛星測量應用於屏東平原活動構造之研究，經濟部中央地質調查所彙刊，2003（印刷中）。
- (4) Hu, J.-C., Hou, C.-S., Shen, L.-C., Chan, Y.-C., Chen, R.-F., Rau, R.-J., Yu, S.-B., Chung Huang C., 2003. Fault activity inferred from velocity field of GPS measurements in Pingtung area, southwestern Taiwan, submitted to *J. Asian Geosci.* (SCI)
- (5) Hou, C.-S., Hu, J.-C., Shen L.-C., Wang, J.-S., Chen C.-L., Lai, T.-C., Huang, C., Chen, R.-F., Chen, Y.-G., Angelier, J., 2003. Estimation of local subsidence using GPS measurements in Pingtung area, southwestern Taiwan, submitted to *CR Geosciences* (SCI)

GPS 衛星測量應用於屏東平原活動構造之研究

GPS Measurements of Active Structure in Pingtung Area, Southwestern Taiwan

沈里俊¹ 侯進雄^{1,2} 胡植慶¹ 詹瑜璋³ 黃鐘¹ 賴典章² 林啟文²

Li-Chun Shen¹, Chih-Shyong Hou^{1,2}, Jyr-Ching Hu¹, Yu-Chang Chan³, Chung Huang¹,
Dien-Chang Lai², Chii-Wen Lin²

1 國立台灣大學地質科學系 (Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C)

2 經濟部中央地質調查所 (Central Geological Survey, MOEA, Taipei, Taiwan, R.O.C.)

3 中央研究院地球科學研究所 (Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, R.O.C.)

Abstract: Five to six years of GPS measurements have been carried out by Central Geologic Survey since 1996 in southwestern Taiwan. The Pingtung network consists of 43 stations for investigating the crustal deformation and the land subsidence. We used Bernese software to calculate the station velocity of above-mentioned GPS stations by using the three measurements form August 1996 to August 1999. These GPS surveys have provided the velocity field relative to the Paisha station (S01R) of the Penghu islands, which is located in the stable continent shelf. GPS displacement velocities display the trends of variation in the investigated area. The station velocities are 42.2 mm/yr to 55.5 mm/yr in the azimuth from 245° to 272°. Station velocities decrease westwards and nearly increase southwards. In terms of velocity vector trends, there is a significant change of kinematics in study area. In the central and western part of the study area, GPS stations move nearly toward the west, whereas in the Kaohsiung and Pingtung coastal area, the displacement vectors demonstrate a clear counter-clockwise deviation toward SW. Our results clearly demonstrate that the tectonic escape may occur in southwestern Taiwan during the oblique collision. Chaochou fault is the major fault in studied area is considered as the thrust fault with left-lateral movement. Based on our studies, the velocity gradients of the GPS sations across the Chaochou fault are not significant. This implies that the Chaochou fault may be inactive.

1. 前言

台灣位於菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊的碰撞活動帶，這兩個板塊每年以 8.2 公分的顯著速度相互靠近，使台灣島上發生許多劇烈的地殼變形作用 (Yu et al., 1997, 1999 ; Yu and Kuo, 2001)。其中屏東平原地區 (圖一) 的地殼變形是研究焦點之一。根據余水倍 (Yu et al., 1997) 首先發表了全省 131 個 GPS 測站在 1990-1995 年間量測所得之台灣地區地殼變動情形 (Yu et al., 1997)，台灣西南部沿海的測站，速度向量有逆時針之現象轉向西南，且位移量往南有逐漸加大的趨勢，根據二維數值模式研究 (Hu et al., 1997, 2001) 顯示此地區的變形主要受北港高區的存在及主要斷層的活動影響所致。由於屏東平原地區的 GPS 測站較為稀少，只能提供地殼變形初步的資訊，為進一步詳細瞭解此區域的地殼變形形態，本研究蒐集經濟部中央地質調查所 1996、1997 和 1999 年三年的 GPS 測量資料，利用 Bernese 軟體加以處理分析，以估算高屏地區地殼變形監測網這四年間地殼運動的平均速度場，期望能對此區域之地殼變形有更進一步的認識。由於 GPS 對於垂直變動之觀測誤差約為水平觀測誤差之 3~5 倍，因此本文對於垂直的變動，暫不予討論。

2. GPS 資料收集與分析

本研究利用經濟部中央地質調查所建立之屏東地區地下水觀測網的 GPS 觀測資料，涵蓋的測站共 43 站 (侯進雄等, 1998)，測站與測站之間隔約為 5 至 10 公里。測站資料來源有三個單位，分別為經濟部中央地質調查所、中央研究院地球科學所及內政部。43 個測站中有 2 個為固定站 (S01R、S23R)。固定站資料每一時段為 24 小時，資料取樣間隔 30 秒。而移動站資料時段長度歷年不等，大致分佈為：1996 年 7 至 8 小時；1997 年 5 至 6 小時；1999 年 6 小時。移動站資料取樣間隔 15 秒，而為降低多路徑效應之影響，所有資料皆是追蹤仰角 15° 以上之衛星所得。

本研究區之 GPS 觀測資料，以瑞士伯恩大學天文研究所 (AIUB) 發展 Bernese 4.2 版軟體解算，以中央研究院地球科學所位於澎湖白沙 (S01R) 之連續追蹤站為固定參考點，並給予此測站很強的約制 (σ_0 : 0.0001 m)，可視該點不動，目的在估算各測站相對於澎湖白沙站 (S01R) 的相對速度，並採用 IGS 精密星曆，而座標系統則採用 WGS-84 座標系統。其結果如圖二所示。

研究結果顯示，本研究相對於 S01R 之速度約在 42.2 mm/yr (G011) ~ 55.5 mm/y(G049) 之間，方位角則落在 $245^\circ \sim 272^\circ$ 之間。測區除了沿海地區，大部分幾乎是向西位移，愈往西側，測站位移速度有減少的趨勢，年水平位移大多為 4.5~5.0 公分，然而到了高雄沿海地區測站(FONS, G011, G014 和 G015)卻明顯的逆時針向西偏南位移，年水平位移則落在 42.2

mm (G011)~51.0 mm (G014)之間，方向角 244° ~ 256° ，此逆時針偏轉之趨勢與中研究地球所之觀測成果相當一致(Yu et al., 1997)，如位於鳳山站(FONS)西南之 S010 測站，其年平均位移為 41.0 mm，方位角為 245° ，小琉球嶼之 LIUC 測站其年平均位移為 44.4 mm，方位角為 257° 。

3. 結果與討論

由於研究區域最主要之構造為南北向之潮州斷層，為瞭解潮州斷層之活動型態並分析此區地殼變形的行為，吾人將圖三之結果分別繪製了東-西和南-北速度分量 (圖四和五) 來加以探討。

3.1 東-西速度分量

由圖四顯示，測區由西向東年位移量有逐漸減少的趨勢，其平均速度量值為 38.1~55.1 mm/yr。由於潮州斷層之走向接近南北方向，吾人可以利用跨過潮州斷層各測站東西方向分量估算垂直斷層走向之壓縮量。本研究將潮州斷層分為北、中、南三段考慮，在潮州斷層 (圖四)，由斷層東西兩側測站顯示，東西方向之壓縮量並不明顯，表示跨過潮州斷層之東西向壓縮量極小。根據圖四-A 北段剖面結果顯示，G018 至 0621 之間 20 公里寬之地帶，東西向速度分量幾無變化，最大之東西方向速度分量差值則位於測站 0621-I042 之間，其東西向速度差可達 20 mm/yr，惟此兩測站相距約 20 公里，並無其它測站位於其間，因此無法估算其變形型態。至於中段剖面 (圖四-B)，則測站 S23R 至 S010 間之速度梯度約為 13 mm/yr，其變形趨勢由東向西逐漸縮短，吾人可推論其變形型態屬於分散式變形，並無明顯之集中變形現象，南段剖面 (圖四-C) 之測站速度分量較凌亂，大體而言，其變形型態屬於分散式之變形。

3.2 南-北速度分量

如前段所述，潮州斷層走向接近南北方向，本研究南北方向之速度分量，可以用以估算潮州斷層之走滑分量，根據本研究潮州斷層兩側之 15 個測站 (圖五)，只有 G049 之向南之位移分量 6.49 mm/yr 較大外，其它測站在 1.86 mm/yr 之下，落在本研究之誤差範圍內，因此難以估算其走滑趨勢。大體而言，潮州斷層之走滑分量相當小，與前人經由數值模式研究 (Hu et al., 2001) 推論潮州斷層帶應有明顯之左移分量之結果不盡相同。由圖五顯示，測區由北往其速度量值為 2.1~-18.7 mm/yr，負值代表向南。此區域測站除 S32R、G052、G002、G025、S022、S012、S064 外，其南北方向分量皆呈現向南移動之趨勢，惟上述測站之南北之分量皆在 2.1 mm/yr 以下，大部分落在誤差範圍內，因此，此部份測站需要累積更長時間之 GPS 觀測以瞭解其變形型態。向南位移量在沿海區域可達到約 11.9 mm/yr (G014)~18.7 mm/yr (G015)，此觀測值與中研院地球所之結果相當一致(Yu et al., 1997)，如 S010 測站，其向南之速度分量為 17.1 mm/yr，而小琉球嶼之 LIUC 測站其向南之速度分量為 14.7

mm/yr. 近期研究曾指出(Hu et al., 1997; 2001)此區可能受到構造脫逸之影響，唯沿海地因超抽地下水所引起之地層下陷現象亦相當明顯，對於地表觀測量之影響有待進一步釐清。

3.3 GPS 資料與地下構造之關連

由 GPS 所觀測之地殼變形可反映地下構造形貌與變形行為，本研究將 GPS 結果所得之年平均速度量分別放入最近發表之地層剖面(圖六)中來加以討論：

(1) A 地層剖面

如圖六 A 所示，此區共有三個測站 (0621、G020、G019)，其東西方向年平均位移量分別為 46.3、48.6 和 49.4 mm，投影至剖面之方位之年平均位移量為 35.5、37.2 和 49.2 mm。由結果顯示，此區由東南向西北的位移量有減少的趨勢，顯示此區存在著壓縮的地殼變形型態，其東西方向之差異值為 3.1 mm/yr 接近於誤差範圍。由地層剖面可知在 G019-0621 之間雖存在著褶皺的構造，而兩測站之間的位移改變量並不大，顯示此區並無顯著而集中之地殼變形。

(2) B 地層剖面

如圖六 B 所示，此區共有六個測站 (I042、G007、G005、G004、G024、S23R)，其東西方向年平均位移量分別為 18.0、45.5、49.2、47.3、48.2 和 49.9 mm，投影至剖面之年平均位移量分別為 17.1、33.8、49.1、47.2、48.1 和 49.8 mm。由結果顯示，除了 G005 相對於兩側測站平均移動速度快外，其餘的測站由東南向西北的的位移量有減少的趨勢，顯示此區屬於壓縮的地殼變形型態。在 G005-G004 之間似乎存在伸張性之的變形型態，由於其差值並不大，較難判定。I042 和 G007 兩站之間可能是受到旗山斷層或龍船斷層的影響，有將近 27.5 mm/yr 的變化量，由於此兩站中間地帶並無其它測站存在，因此較難估算其真正的變形型態，實有必要在此兩站之間加佈更多之測站。

4. 結論

本研究區域共 42 個測站，並結合中央研究院地球科學所位於此區的 GPS 觀測站的結果 (Yu et al., 1997) 來加以分析。由研究結果顯示，所有測站相對於 S01R 之速度約在 42.2 mm/yr~55.5 mm/yr 之間，方位角則落在 245°~272°。測區除了沿海地區，大部分幾乎是向西位移，愈往西側，測站位移速度有減少的趨勢，年水平位移大多為 4.5~5.0 公分，然而到了高雄沿海地區測站(FONS, G011, G014 和 G015)卻明顯的逆時針向西偏南位移，年水平位移則落在 42.2 mm (G011)~51.0 mm (G014)之間，方向角 244°~256°。

本區的主要構造之一是屏東平原東側約呈南北走向之潮州斷層，在地形上之線形非常明顯，長久以來被認為是主要的活動斷層之一。應用本研究南北方向之速度分量結果，應該可以用以估算潮州斷層之走滑分量，但根據本研究潮州斷層兩側之 15 個測站，只有 G049 之向南之位移分量 6.49 mm/yr 較大外，其餘均落在 1.86 mm/yr 之下，落在本研究之誤差範

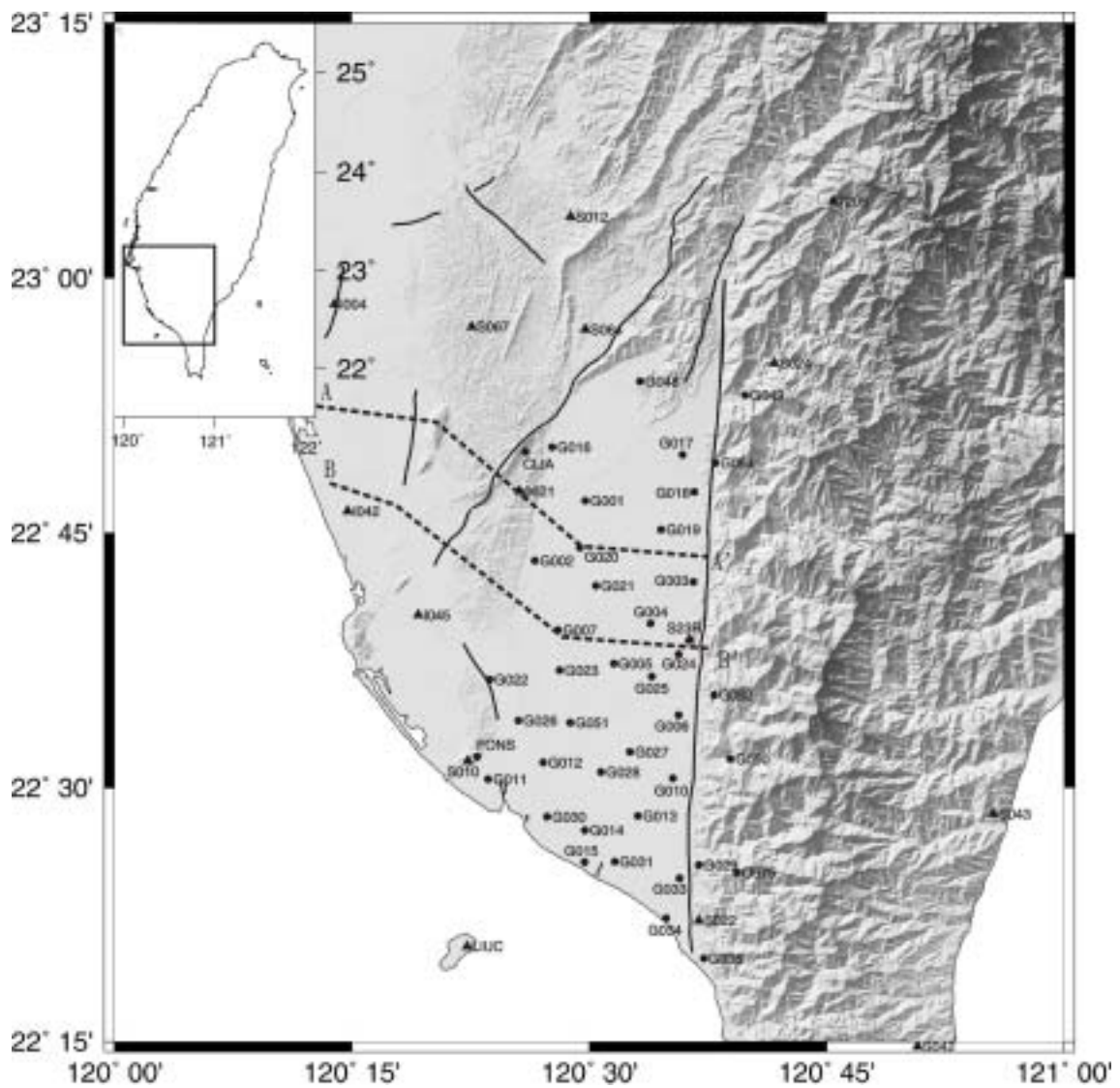
圍內，因此難以估算其走滑趨勢。大體而言，潮州斷層之走滑分量相當小，與前人經由數值模式研究 (Hu et al., 2001) 推論潮州斷層帶應有明顯之左移分量之結果不盡相同。另外在垂直潮州斷層之分量則顯示跨過潮州斷層兩側測站顯示東西方向之壓縮量並不明顯，從南北及東西速度分量之結果，暗示潮州斷層近期可能處於不活動之狀態，其原因可能為力學耦合 (mechanical coupling) 甚強，因此在潮州斷層兩側之 GPS 測站速度變化並不明顯。由於潮州斷層為傾向朝東之逆斷層，本測區潮州斷層東側之測之測站均離潮州斷層甚近，現階段無法判斷潮州斷層是否處於鎖定之狀態，其鎖住之深度及斷層參數亦無法估算，此問題之解答有賴進一步之地球物理資料及向東擴展之 GPS 測網。

誌 謝

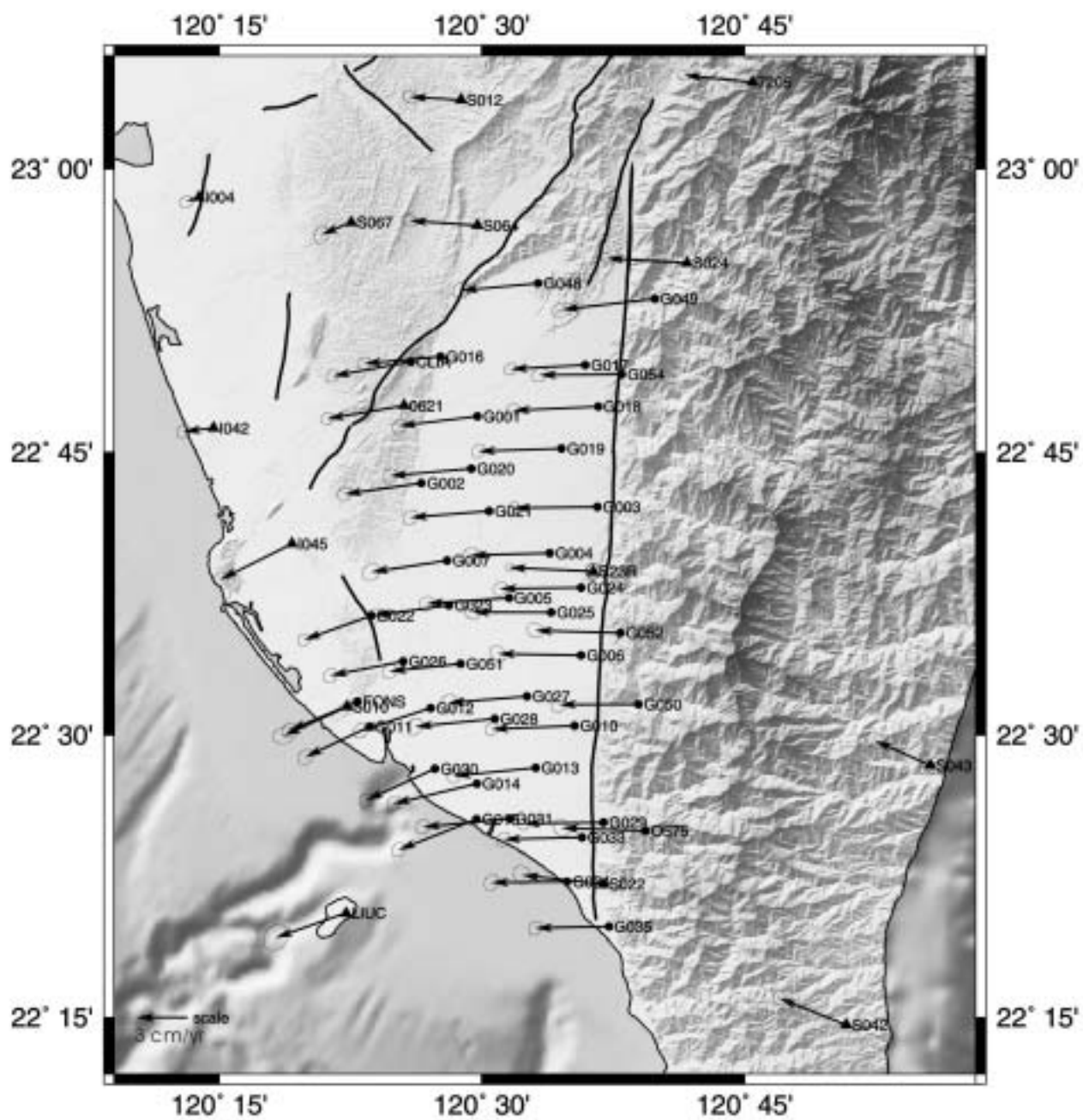
感謝經濟部中央地質調查所之「台灣地區地下水觀測網」計畫提供衛星資料處理分析，部分研究經費由國科會「地震及活斷層研究」跨部會重大科技計畫資助 (NSC 91-2119-M-002-020)。

參考文獻

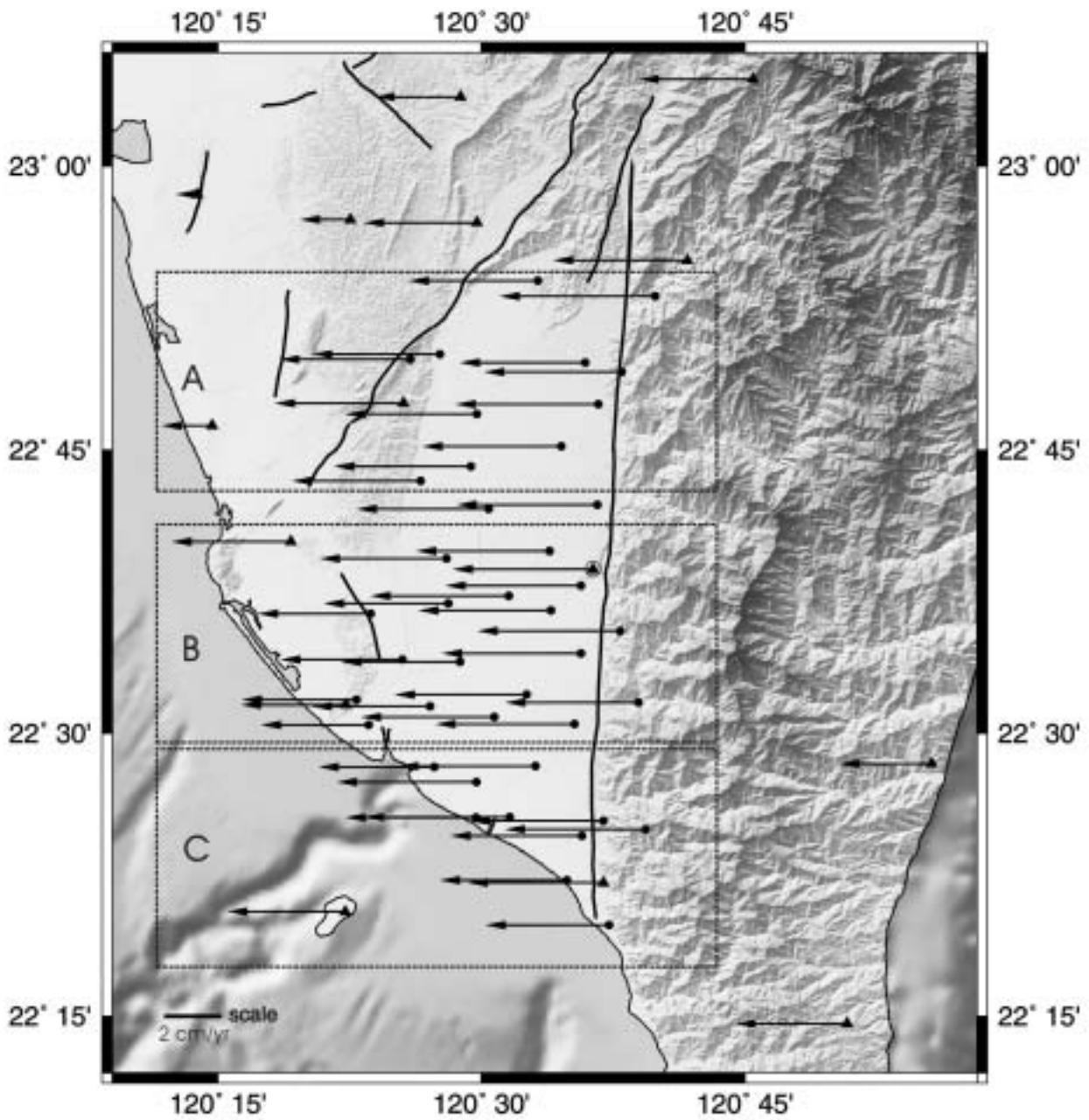
- 何春蓀 (1986) 臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所，164頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 台灣活動斷層概論，第二版，經濟部中央地質調查所，122頁。
- 侯進雄、費立沅、賴典章 (1998) 屏東平原之GPS測量調查研究。屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，239-251頁。
- 經濟部中央地質調查所 (1997) 台灣地區地下水觀測井網第一期計劃八十四年及八十五年度-屏東平原水文地質調查報告，經濟部水資源局，163頁。
- 鄭宏祺 (2000) 台灣西南部台南至屏東地區地質構造之研究，中央大學應用地質研究所碩士論文，92頁。
- Hu, J.-C., Angelier, J. and Yu, S.-B., 1997. An interpretation of the active deformation of southern Taiwan based on numerical simulation and GPS studies. *Tectonophysics*, 274, 145-170.
- Hu, J.-C., Yu, S.-B., Angelier, J. and Chu H.-T, 2001. Active deformation of Taiwan from GPS measurements and numerical simulations, *J. Geophys. Res.*, 106, 2265-2280.
- Shuy, J.H., Sieh, K., Chen, Y.-G., Lee, C.-T., Wang, Y., Ota, Y., Lee, J.-C., Sung, Q.-C., and Rubin, C., 2001. A preliminary neotectonic map of Taiwan, and its implications for future destructive Earthquakes, 2001 AGU Abstract.
- Yu, S.-B., Chen, H.Y. and Kou, L.C., 1997. Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S.-B., Kuo, L.-C., Punongbayan, R.S. and Ramos, E.G., 1999. GPS observation of crustal motion in the Taiwan-Luzon region, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 923-926.
- Yu, S.-B., and Kuo, L.C., 2001. Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 199-217.



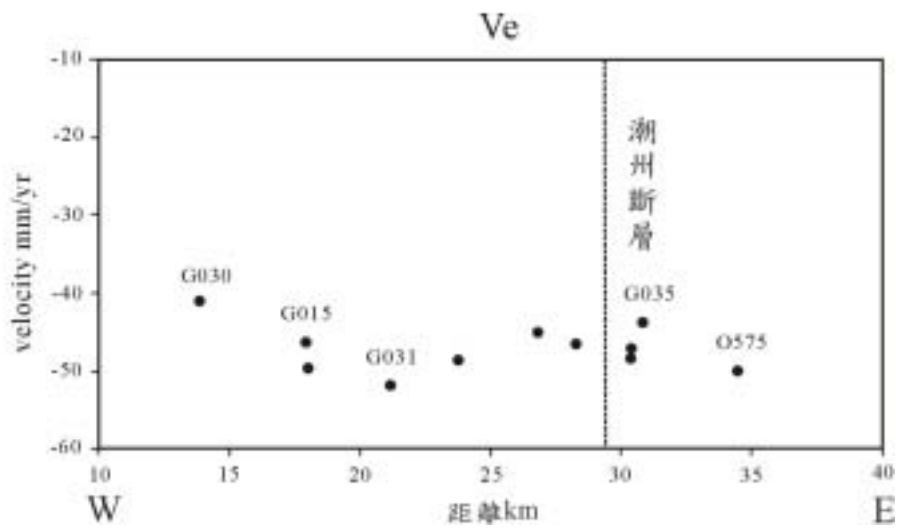
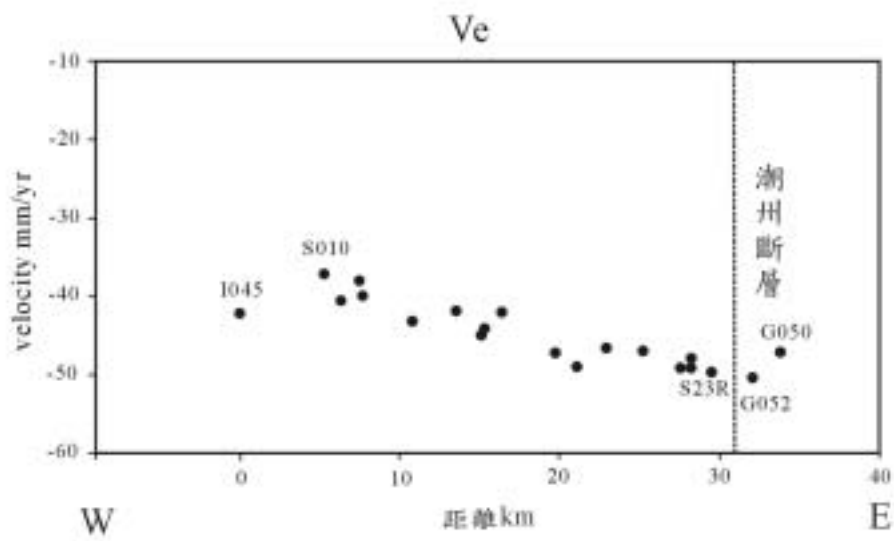
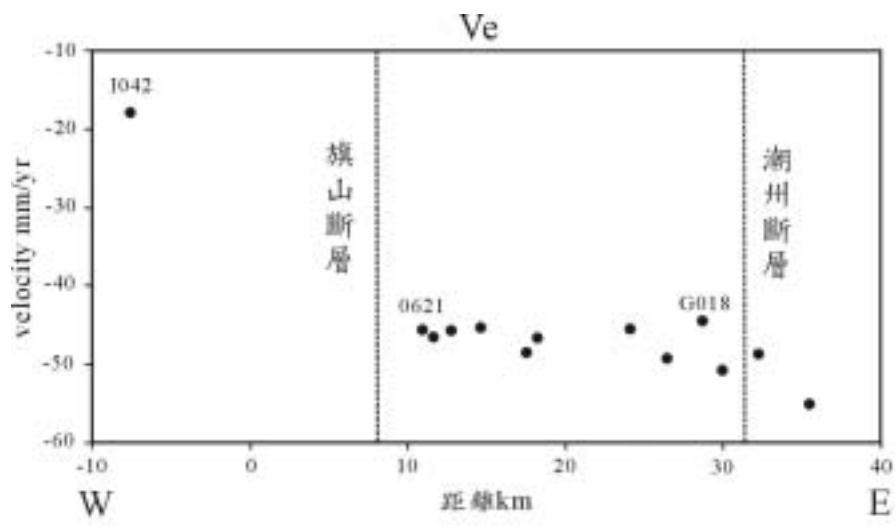
圖一 研究區域之 GPS 點位分佈圖及主要活動斷層 (林啓文等, 2000), 實心圓部分為經濟部中央地質地調所移動觀測站, 實心三角形部分為中研院地球所移動觀測站(Yu et al., 1997)。實線代表地質調查所之活斷層位置。陸上地形資料為臺灣 40 m×40 m 數值地形模型, 海底地形資料: 國科會海洋科學中心。



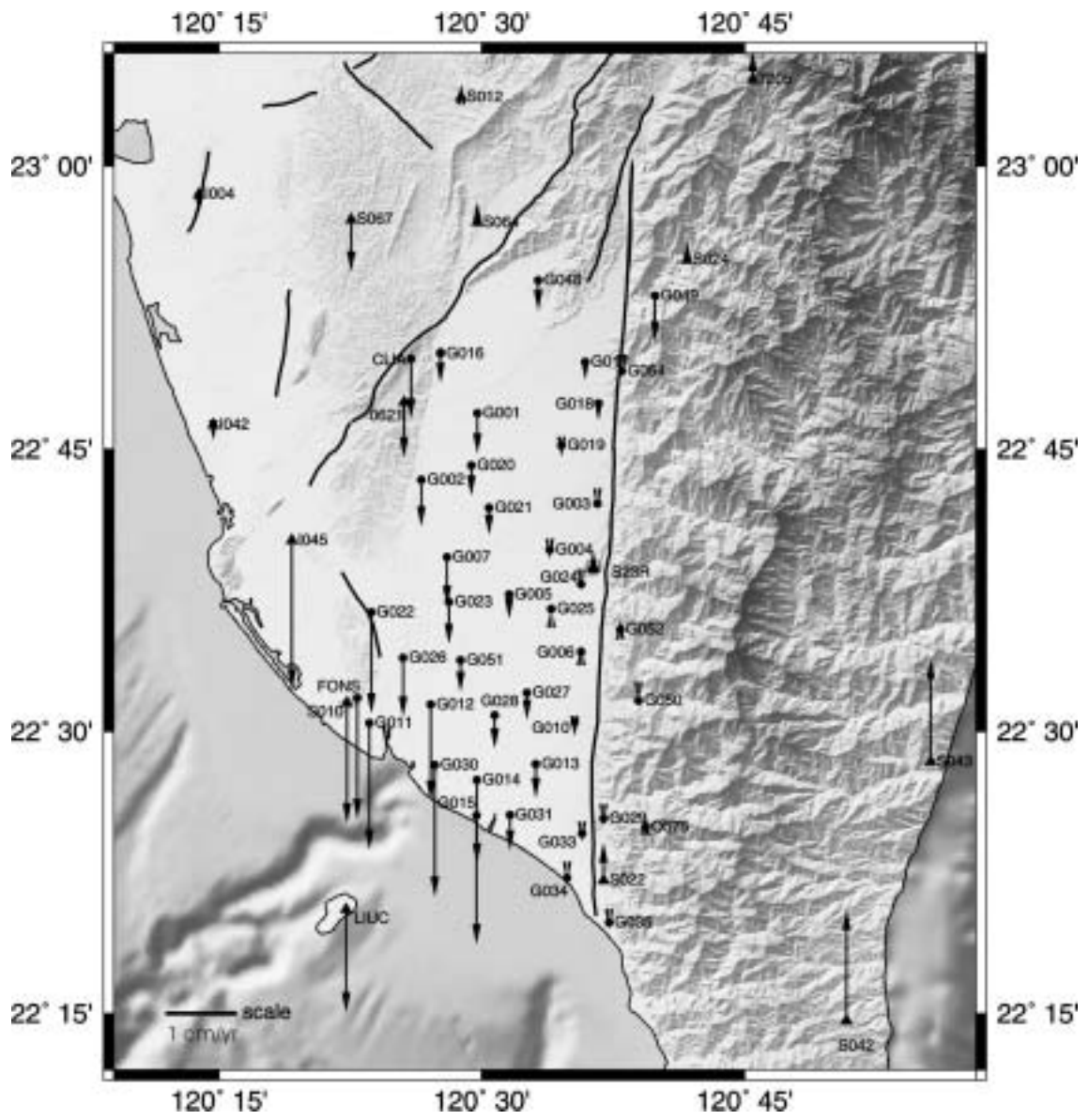
圖二 本研究 1996-1999 年屏東平原地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之平均速度。向量箭頭之橢圓代表 95%可信區間誤差橢圓，空心圓實心三角形為連續觀測站，其它圖例符號說明同圖一。



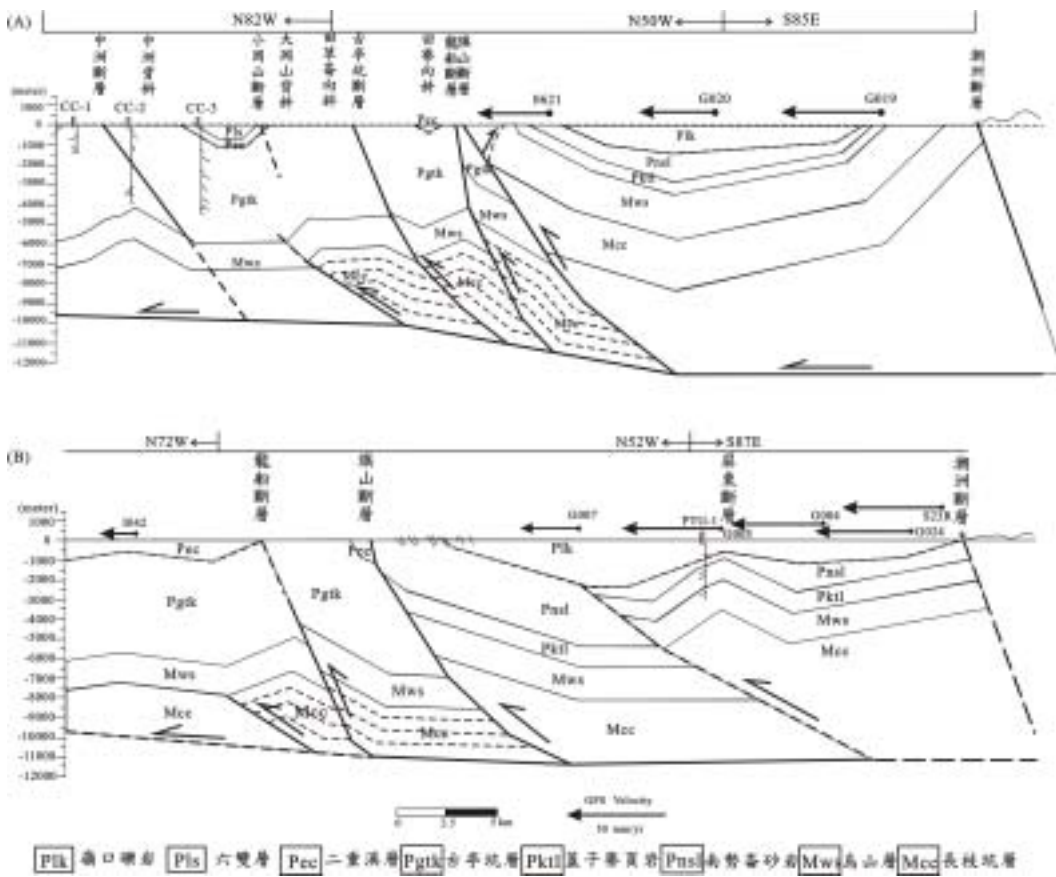
圖三 屏東平原地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之東-西方向分量平均速度，其它圖例符號說明同圖一。



圖四 根據圖三取 A、B、C 三個區域分別繪製其東西方向速度分量剖面，負號代表向量方位向西，點線表潮州斷層位置。



圖五 屏東平原地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之南-北方向分量平均速度，圖例說明同圖一。



圖六 剖面 A 及 B 的構造解釋及 GPS 平均速度向量，剖面之位置如圖一。其中箭頭的長度代表每年平均位移的速度量。圖中粗虛線代表推測的斷層位置，細虛線代表不整合面 (修改自鄭宏祺，2000)。