

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣西南海域大陸與海洋相互作用的特性--台灣西南海域 地震破裂面位態及發震機制 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 95-2611-M-002-027-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學海洋研究所

計畫主持人：張翠玉
共同主持人：李昭興
計畫參與人員：碩士生助理：王淑榕、康竹君、陳淑娟

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年08月07日

台灣西南海域地震破裂面位態及發震機制

Focal Mechanism and Seismotectonic Analysis at Southwest Taiwan

註：本計畫為 "台灣西南海域大陸與海洋相互作用的特性 – 海洋地球物理與海洋地質整合型計畫" 之第七子計畫

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2611-M-002-027-

執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：張翠玉 助理教授

共同主持人：李昭興 教授

計畫參與人員：王淑榕、康竹君、陳淑娟 (碩士生助理)
陳立華 (臨時工)

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：

本計劃無執行下列出差或研習活動

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：國立臺灣大學海洋研究所

中 華 民 國 96 年 07 月 29 日

計畫中文摘要

近幾年來，如何直接將地震活動以及板塊變形過程的相關性深入研究，成為台灣地球科學界的重要研究主題。一般地震儀的設計都適合架設在陸地表面，相對的海域地震觀測一直都有測站密度太低以及震波方位角包覆不足問題，常無法完整紀錄所有中小規模的海域地震。本計劃利用海底地震儀，觀測台灣西南部的地震活動，希望能建立台灣南部隱沒帶的地殼變形系統。台灣南部一直被認為是歐亞大陸板塊隱沒到菲律賓海板塊之處，然而台灣西南海域的地震活動除了跟板塊隱沒作用- 以馬尼拉海溝通過該區-有關外，南海海盆的開張作用也可能影響到該區的地震活動，由於該區屬於氣象局地震觀測網之外，該地區的發震機制及地震構造並不是很清楚，使用海底地震儀將可以直接觀測當地的地震活動，提供板塊內部構造活動的直接解析，所得的觀測資料將進行中小規模地震定位、速度構造分析、斷層面以及震源機制反演等，建立該區的地震構造模型。另外，將配合其他子計劃的觀測資料，經由整合性的觀察，希望能更清楚的了解台灣西南地區板塊聚合作用的空間尺度，另外根據所解出來的地震震源機制，將更進一步演繹台灣西南部的應力應變分佈。

關鍵詞: 海底地震儀、板塊聚合作用、地震定位、震源機制、馬尼拉海溝。

ABSTRACT

The correlation between earthquake activity and plate deformation is always taken highly in earth scientific domain, especially in Taiwan. However, seismographic instrumentation is largely limited by inland territory, and we therefore used to have a scarcity for the earthquake exploration in the marine area. Recently, thanks to the successful development of Ocean Bottom Seismometer (abbr. OBS) and its facility in detecting earthquake, we can have a better resolution for the marine seismicity. In this project, we will take advantage of 8 (or more) Micro-OBS, developed by the IFRERMER, for the seismotectonic topics at southwest Taiwan. It's known that the tectonic setting at south Taiwan is related to the eastward subduction of Eurasia plate beneath the Philippines Sea plate. Nevertheless, a distinct seismicity appeared at the Southwest Taiwan could neither be distinguished with the plates' subduction nor with the northward extension of the South China Sea at this area. Our premier goal is to clarify the possible plates' interior deformation and to tell the different geological units via the seismotectonic study. Furthermore, with proper seismological observation, the stress/strain field can be constructed for the study area.

Key words: OBS, plate convergence, Earthquake location, focal mechanism, Manila Trench.

報告內容

一、 研究計畫之背景及目的

近幾年來，因應社會大眾對地震觀測以及科學研究的要求，台灣地區已經架設各種不同用途的地震測站，然而這些測站都架設在陸地表面，相對的海域地震觀測一直都有測站密度太低以及震波方位角包覆不足問題，常常無法完整紀錄所有中小規模的海域地震。本計劃利用海底地震儀，觀測台灣西南部的地震活動，希望能更進一步了解台灣西南海域隱沒帶的地殼變形系統。台灣南部一直被認為是歐亞大陸板塊隱沒到菲律賓海板塊之處，然而台灣西南海域的地震活動除了跟板塊隱沒作用- 馬尼拉海溝再此項東隱沒到菲律賓板塊之下-有關外，南海海盆的開張作用也可能影響到該區的地震活動，由於該區屬於氣象局地震觀測網之外，該地區的发震機制及地震構造並不是很清楚，使用海底地震儀將可以直接觀測當地的地震活動，提供板塊內部構造活動的直接解析，所得的觀測資料將進行中小規模地震定位、速度構造分析、斷層面以及震源機制反演等，建立該區的地震構造模型。另外，將配合其他子計劃的觀測資料，經由整合性的觀察，希望能更清楚的了解台灣西南地區板塊聚合作用的空間尺度，另外根據所解出來的地震震源機制，將更進一步演繹台灣西南部的應力應變分佈。

本計劃"台灣西南海域大陸與海洋相互作用的特性 – 海洋地球物理與海洋地質整合型計畫"之第七子計畫，該計畫規劃為期三年，於 2005 年 8 月已開始執行第一年的計畫工作，並且在 2005 年 10 月於台灣西南外海成功的佈置 7 顆微型海底地震儀（圖一），取得海域地震資料。在當次的任務中，許多儀器本身的特性以及施放的技術都陸續被開發，而且在施放期間，南亞發生規模 7.6 的大地震(Pakistan Earthquake, GMT 2005/10/08 03:50:52.2)，這個地震的紀錄也被記錄在地震儀中。目前這個航次所得的地震資料已經大致處理完畢（處理流程見附錄一），解算出超過 700 個構造地震，其中於 10 月 8 日有一群地震(cluster)正好發生在本計畫所佈置的地震陣列中，由於該地震陣列的主震規模達 4.0 以上且離岸不遠，中央氣象局的地震觀測網同時記錄到這個事件中規模較大的幾個地震，本計畫所得的近場地震記錄除了有詳盡的小規模地震記錄外，還可以以近場記錄提供更好的地震規模參數解析，與氣象局的地震定位解算做比較。

本計畫於 2006 年 11 月執行另外一次針海底地震儀施放，該次使用 9 顆微型海底地震儀，地震儀陣列施放的地點主要橫過馬尼拉海溝（圖一），目前初步估計在本航次所記錄到的地震紀錄約為 2000 多個構造地震（圖二）。未來，我們除了繼續分析今年度所收集到的地震資料，進行微震的地震定位外，我們將釐清各種震源間震源頻譜的差異與地區性變化，希望能多量的分析更進一步了解 OBS 所紀錄到的各項地質事件特性，並幫助構造地震的地震資料分析。

本計畫所得的觀測結果將與其他地球物理以及海洋地質的觀測資料整合，經由整合性的觀察，我們期待能對台灣地區複雜的變形行為有較完整全面的了解。另外，進一步的震源機制解析可提供該區板塊在空間的精確變形觀測，除了資料本身的科學意義之外，這些資料更能提供地質災害的評估及預防，提昇台灣附近的地質防災及工程設計能力。

二、 研究方法

我們成功的利用近場地震記錄解算地震震源參數，所解算出的震源空間分布相關該地區地震發震機制以及可能的斷層面位態，本計劃主要的研究項目如下：

- (1) 西南海域一維地震速度模型 (1D layered velocity structure): 地震定位時常將地震波空間行進速度模式簡化為一維層狀的地震速度模型，而該一維層狀的地震速度模型其實也是利用地震走時資料計算逆推所得的結果。然而西南海域之前並無充分的地震資料可供計算，氣象局對該區的地震定位於是直接使用陸地地區地震速度模型，這當然無法得到精確的地震參數。本研究直接使用近場地震記錄，並以矩陣 single-value decomposition 的技巧，從資料中分別得到走時以及位置的相關矩陣，如此可以直接得到一個可信的一維地震速度模型，不必重複計算走時定位殘差，而且所得到的地震速度模型與修正殘差所得的結果相較，更為可信 (Pavlis and Booker, 1980)。
- (2) 海域地震定位: 有了可信的區域一維地震速度模型，我們據此計算震源位置。一開始先利用地震定位常用的 hypoinverse (Klein, 1984)，以 P-波、S-波走時資料估算地震震源位置，為求得更準確的定位結果，我們更進一步使用 hypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000) 定位法，以相鄰地震之間的路徑高相關性求地震震源的空間位置。
- (3) 三維地震層析模型 (tomography): 本研究利用震波走時建立三維地震速度模型 (Zhao et al., 1992, 1994)。在這一項操作中所有的地震同時重新定位所記錄的觀測震波走時 T 與測站距離的關係式為：

$$T_{ij}^{obs} = T_{ij}^{cal} + \left(\frac{T}{\Delta\varphi_j} \right)_{ij} \Delta\varphi_j + \left(\frac{T}{\Delta\lambda_j} \right)_{ij} \Delta\lambda_j + \left(\frac{T}{\Delta r} \right)_{ij} \Delta r + \Delta h_j + \Delta T_{oj} + \sum_k \frac{T}{V_k} \Delta V_k + E_{ij} \quad (1)$$

根據上述關係式，我們初步建置 2005 年所佈置 OBS 地區的 P 波三維地震層析模型。

三、 工作項目及成果

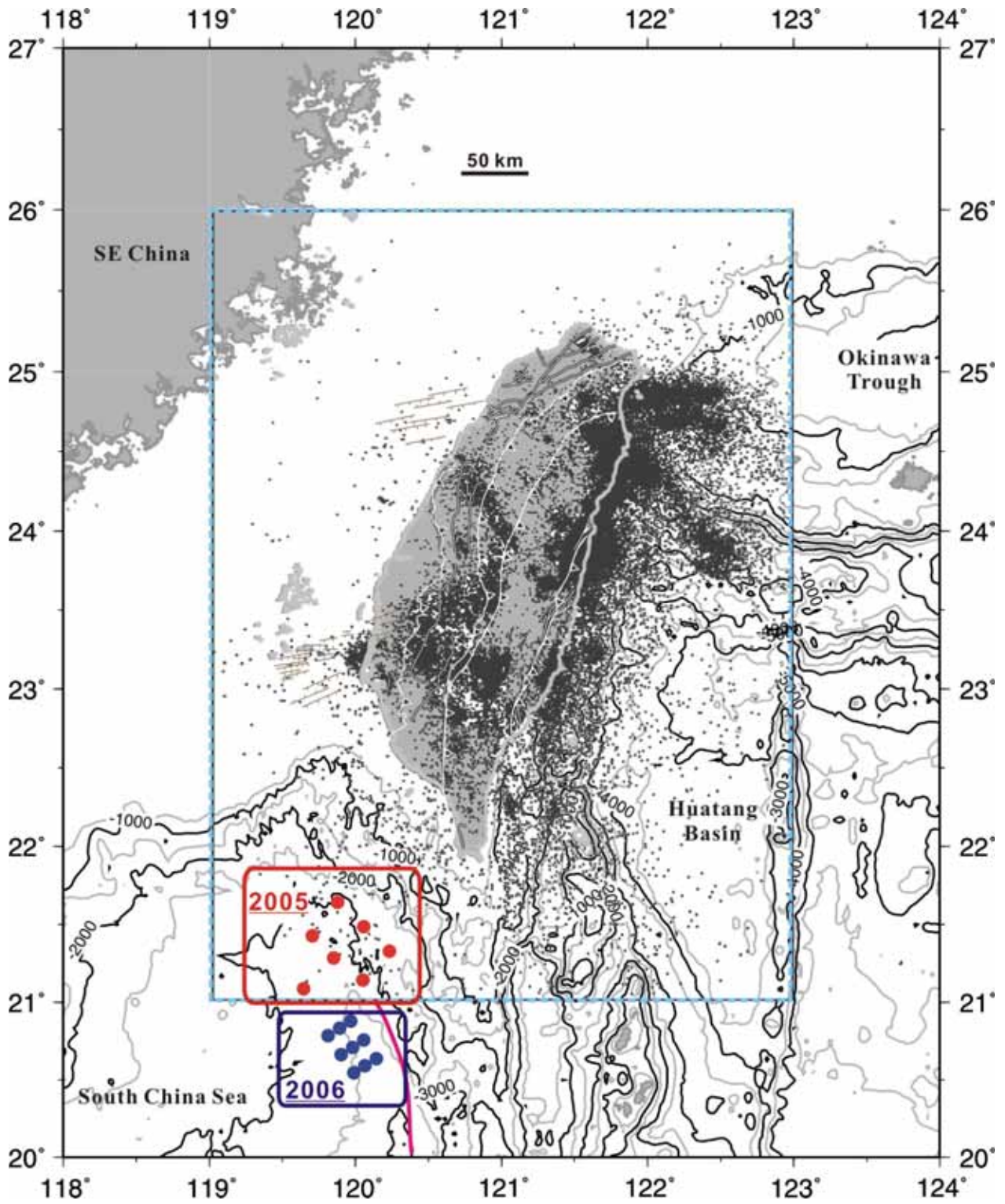
圖三為所得的一維地震速度模型，顯示在淺層地區可能富含水的沈積物，不過震波速度很快的沿著深度加速，在 15 公里的位置便達到莫氏面的速度，顯示該地區的地殼厚度約為 15 公里，這樣的厚度對應到海陸地殼交界的特性。

本研所得的地震定位標示於圖二以及圖四剖面中，受到地震儀陣列的空間分布影響，所解算的地震多位於地震儀陣列附近，不過將兩次實驗所得的地震分布相連，可得一個向東傾斜的地震帶，其對應板塊的擠壓形變。

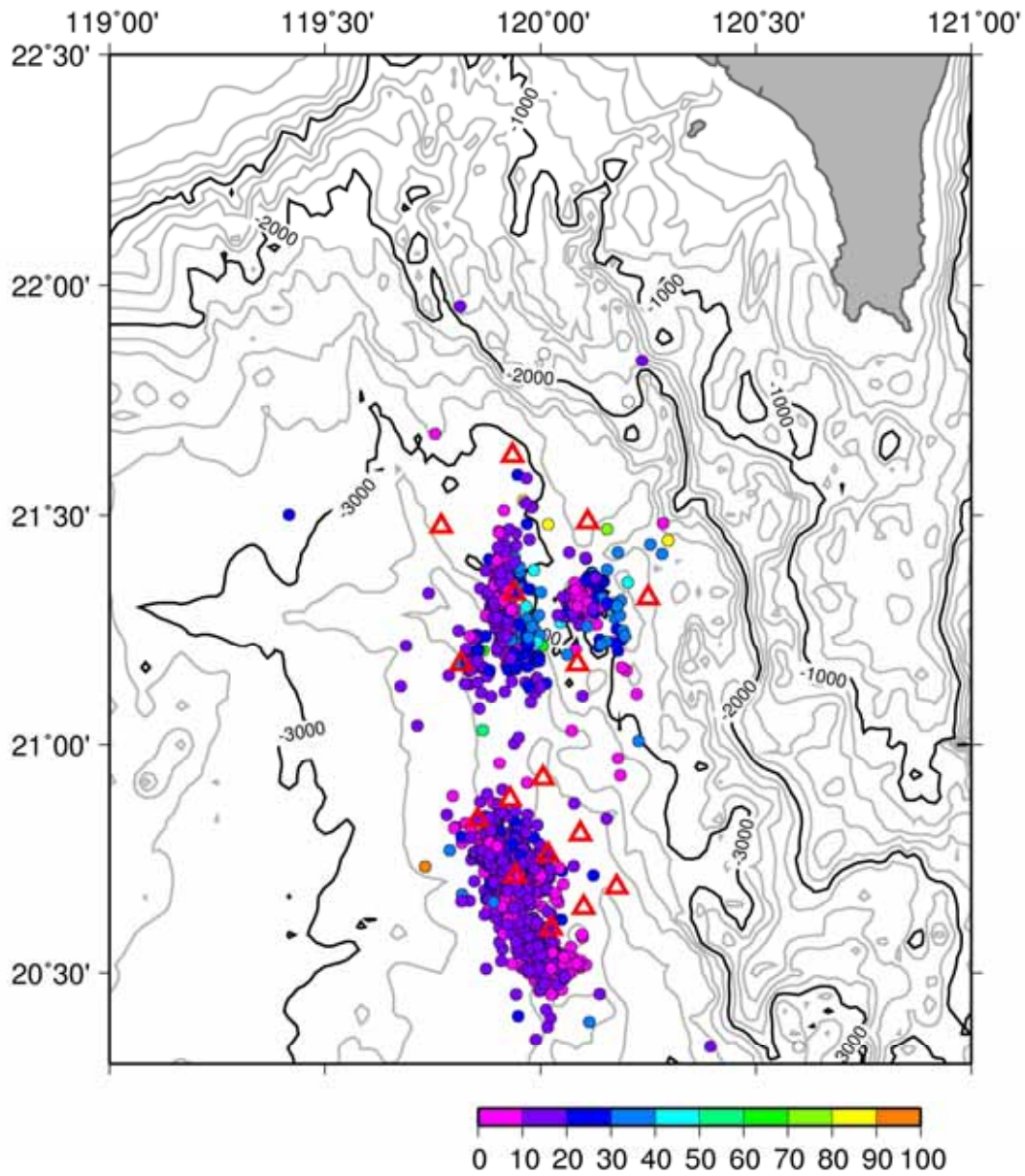
初步的三維地震層析模型見圖五，所得的結果與一維的模型相似，在淺層有一個低速層，而後於 15 公里處往下速度迅速增加，顯示上部地幔的高速特性。

四、參考文獻

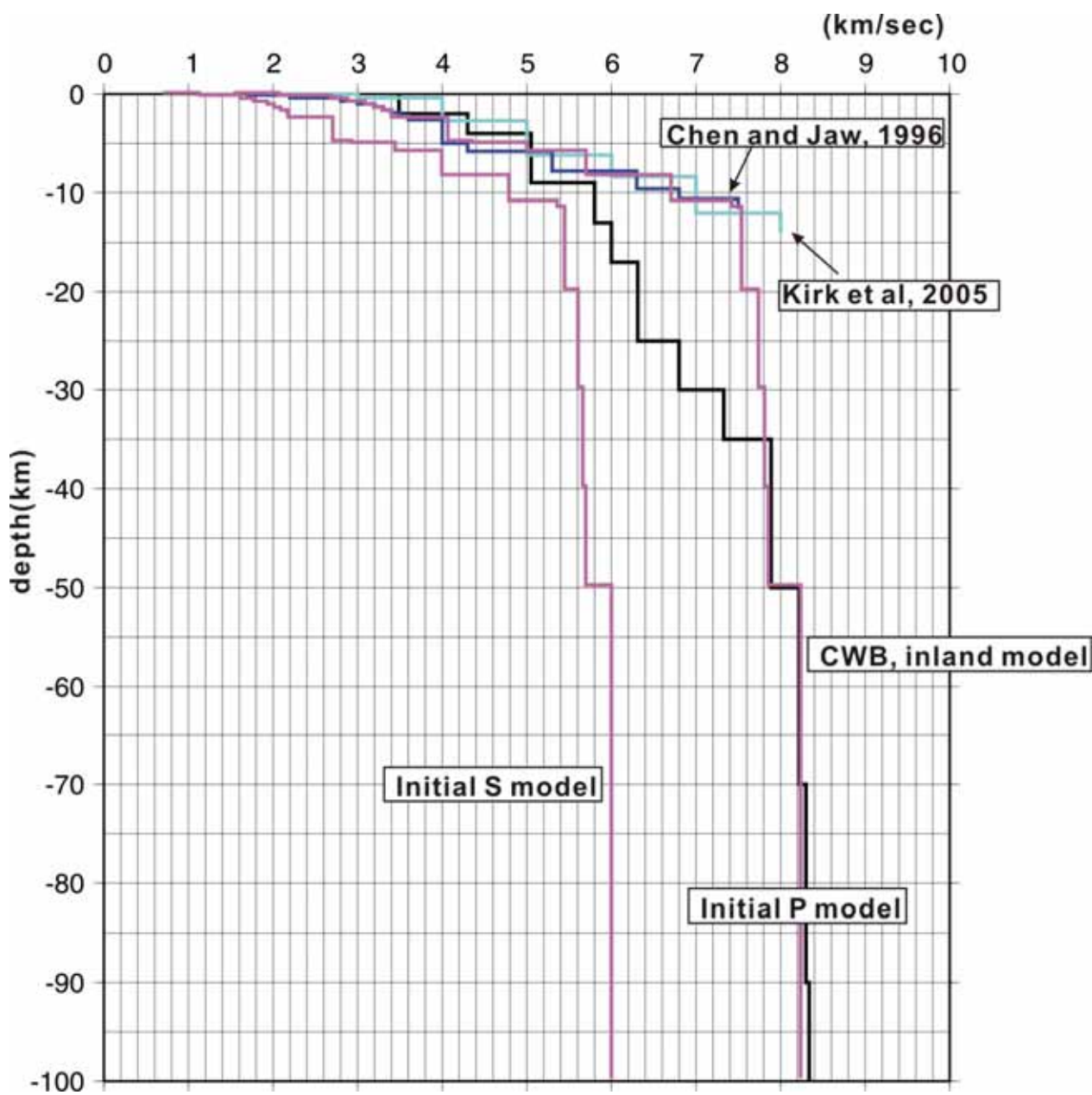
- Klein, F.W. (1984). Users guide to HYPOINVERSE, a program for Vax and PC350 computers to solve for earthquake locations. USGS open file report 84-000.
- Pavlis, GL, and J.R. Booker (1980). The mixed discrete-continuous inverse problem: application to the simultaneous determination of earthquake hypocenters and velocity structure, *J. Geophys. Res.*, 85, B9, 4801-4810.
- Waldhauser, F., and WL Ellsworth (2000). A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90 (6), 1353-1368.
- Zhao D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi (1992). Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, 19909-19928, 1992.
- Zhao D., A. Hasegawa, and H. Kanamori (1994). Deep structure of Japan subduction zone as derived from local regional, and teleseismic events, *J. Geophys. Res.*, 99, 22313-22329.



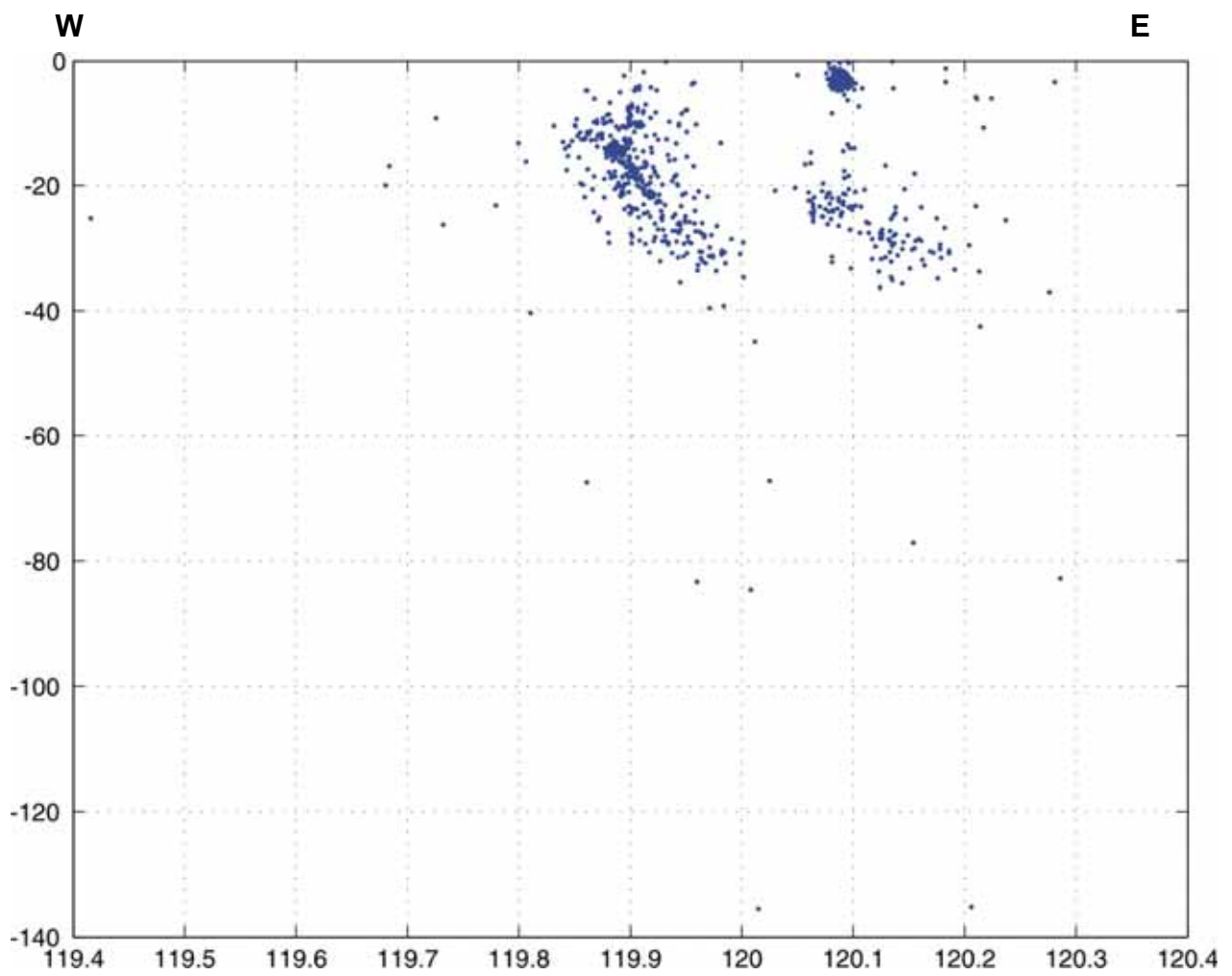
圖一、2005年以及2006年海底地震儀陣列平面位置圖。



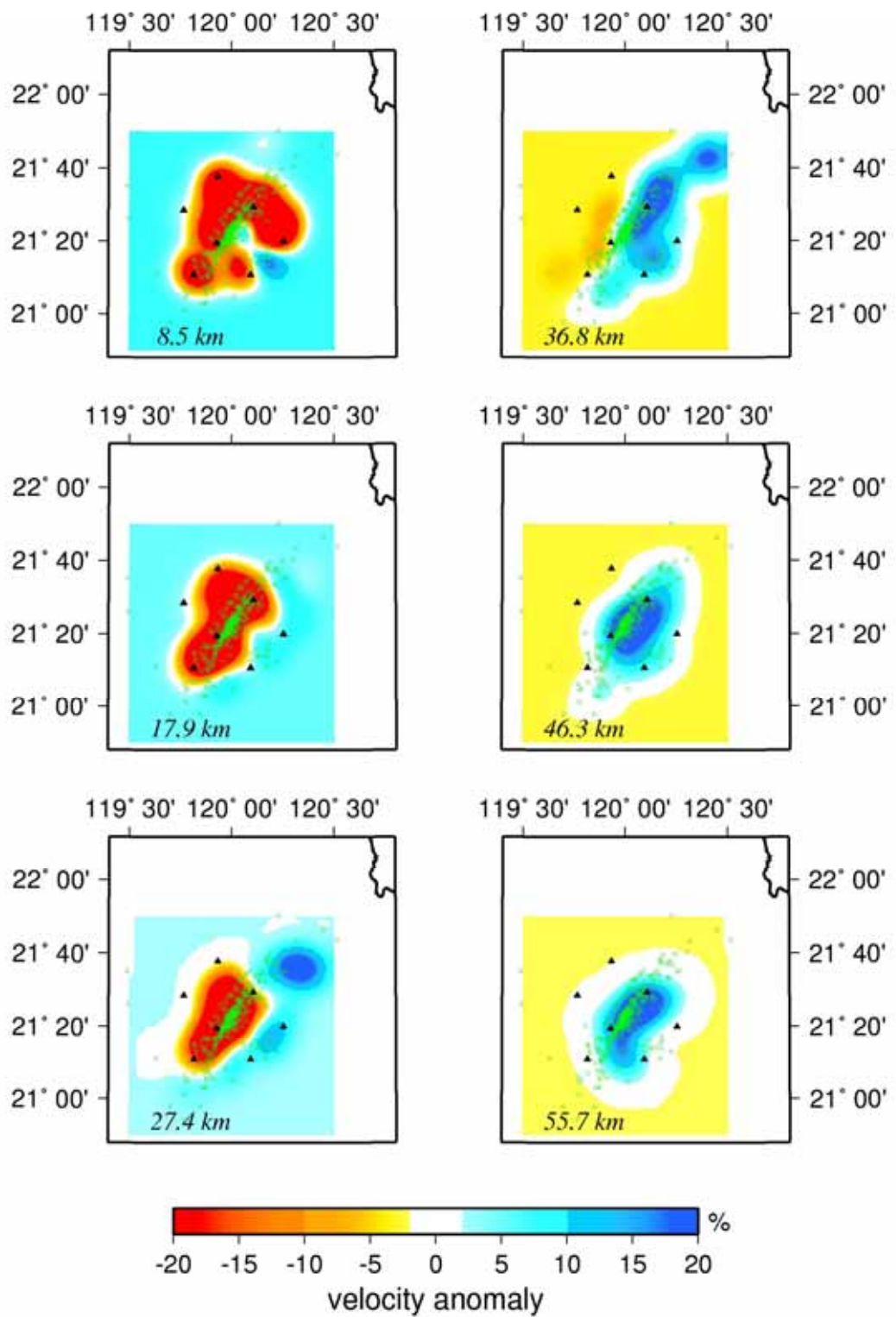
圖二、海底地震儀陣列所記錄的地震震央位置圖。



圖三、本研究所使用的一維地震速度模式。



圖四、2005年海底地震儀陣列所記錄的地震深度剖面圖。



圖五、本研究初步估算的 P 波三維速度結構圖，資料來源為 2005 年海底地震儀陣列所記錄的地震。

附錄一、地震資料處理流程

MicrOBS Data Processes

(1) preparation for initial references

- A. machine response
- B. determination of stations' location
- C. raw records convert to SAC format

obs2sac.c

(2) preparation for preliminary location

- A. event identification (omitting airgun-shooting section)
- B. event segmentation
- C. event identification (in airgun-shooting section)

ev_ident.c

ea_ident.c

ev_split.c

sac_split.c

(3) selection of 1D model for preliminary location

~ with related references and study; sometimes maybe a little bit imagination~

(4) preliminary location

- A. Phase picking, location tool
- B. Event listing and 3D tomo format
- C. Others

SEISAN

(python) get_obs.c

(SAC_macro) m_recut

(5) A robust 1D model

- A. recalculation of G matrix (matlab) gh.m, gv.m, para.m, d.m
- B. hypoDD

(6) plotting of velocity model

- A. velocity model plotting (feed in with "invers.out") *vel_p.c/vel_plot.sh/plot_vel.sh*

(7) re-arrangement of adjusted velocity model

- A. event listing and 3d tomo format *(python) rearrange*

(8) 3D tomography analysis

(9) magnitude determination

(python) calamp.py

(10) near-field focal mechanism solution

(11) converted phase study

(12) special event study