



國立臺灣大學理學院海洋研究所
海洋地質及地球物理組
碩士論文

Department of Marine Geology & Geophysics
Graduate Institute of Oceanography
College of Science
National Taiwan University
Master Thesis

台灣北部金山外海的地形地貌研究

Geomorphologic study offshore the Jingshan area

洪廷毅
Ting-I Hung

指導教授：宋國士 博士
Advisor: Gwo-Shyh Song, Ph.D.

中華民國 102 年 11 月
December 2013

致謝



好不容易終於完成了論文，兩年多來不算長也不算短，但學生生涯總算告一段落，能走到這一個階段，當然不是憑我一人之力可以完成，研究所求學的路途當中受到的幫助也絕對不是三言兩語感謝的完，只能在這小小的致謝當中，表達我深深的感激。

首先當然是我的指導教授宋國士老師，兩年多來，為了我們的學業盡心指導。印象中，忙碌的老師總是在辦公室內鮮少露臉，但當我們學生有任何問題要請教老師，老師從沒拒絕過，總是抽空為我們解答疑惑，且還會不斷地依照我們論文需求，安排給我們出海學習的機會，讓我們在實作中了解更多儀器的操作與及應用，這些專業的知識除了幫助我們論文的寫作外，也讓我們累積更多的能力在出社會後能夠更輕易地找到理想的工作。老師對我們辛苦的教導，實在不是三言兩語能夠形容的，總之非常感謝老師，希望老師以後能夠保持健康，心想事成，繼續教導更多的學生。

接著當然要感謝一路支持我向上學習的父母親，我常覺得，我的父親是世界上最強悍的男人，白手起家的他，不但一手創立起了他的事業，還不忘悉心教導我們，並讓我們在求學的路途當中得到最好的幫助及照顧，用心良苦只希望我們能夠成材，而親切的母親，更是我永遠的避風港，每當我回到台中，總是會有一盤水果切好放在我的眼前，而在那一瞬間所感受到的幸福是無可比擬的。感謝我的家庭，我今後會更加努力，希望我的成就能讓你們驕傲。

而再來要感謝的是全球測繪公司的學長姐，明龍、佩琨學長，靜歆、佳紅、凱惠學姊，幫助我學習各種測量繪圖的軟體，讓我在學習的過程中更加順利。還有明格學長、鄭昂、陳濤、阿偉、晏陞、家興一起陪我出海，在船上對我照顧良多，且教導我很多在船上的實作知識。而實驗室的芝營、又嘉、泓群在我需要幫助的時候總是能夠拉我一把，而進來的學弟妹，婉婷、明誼、志儒、楊橋、正緯、

中寧感謝你們讓這實驗室多了不少笑聲，苦悶的實驗室生活因為你們而更加多姿多彩，同時也感謝實驗室助理靜苓，幫忙實驗室的一切事務，讓我們不需費心在瑣碎的事情上面，能夠更加專心在我的論文之中，當然，定遠、昭瑜、琇文我們一起在實驗室打拼的日子我永遠都不會忘記。

要感謝的人實在太多，無法一一打出，總之因為我身邊的你們，我完成了這篇論文，謝謝你們。

摘要



在陸地上的斷層構造都會經過各種作用，包括建築工程、植被和自然大氣的雨水沖刷，使得斷層的線型構造無法被完整呈現，也因此，在陸地上追蹤每個斷層線的蹤跡是一個困難的工作。因此，依據每個活斷層外海海床之地物探勘結果，可以找出很多證據去認定斷層的活動與特性，近代很多調查研究也指出，我們可以利用多音束的水深資料明白分辨出陸地活斷層出海後其活動特性的狀態。

金山斷層和山腳斷層為台灣北部斷層系統中一條重要的斷層，但由於其斷層沿線經過大屯火山群，被大量的火山熔岩及火山碎屑岩所覆蓋，加上陸上風化作用的影響，無法顯著了解到斷層的特性及特徵，於是利用海上的地球物理探勘方法研究金山外海海床上的地形地貌特徵變得至關重要。

本論文研究使用多音束測深系統、側掃聲納地貌調查系統和淺層反射震測系統，以金山斷層為目標，利用多音束測深來得到高密度分佈的水深資料，去找出金山外海詳細的地形地貌特徵，並利用反射震測系統，藉此分析海床下的地層構造是否有活動的跡象，再加上近岸部分區域的側掃聲納資料，幫助我們將分析結果做一個佐證。

綜合上述各資料，及配合前人研究的分析，我們找到山腳正斷層在金山外海的延伸線，延伸長度約7.5公里，並在其尾端找到一匙狀斷層構造，證明山腳正斷層運動帶有右移向量。



目錄

摘要.....	1
第 1 章 前言.....	1
1-1 研究動機及目的.....	2
1-2 陸上區域地質構造狀況.....	4
1-3 前人研究.....	6
第 2 章 研究方法和資料收集.....	8
2-1 多音束測深系統及資料處理.....	10
2-1-1 儀器介紹.....	11
2-1-2 施測流程.....	13
2-1-3 多音束測深系統資料處理流程：.....	14
2-2 反射震測系統與資料處理.....	15
2-2-1 儀器介紹.....	16
2-2-2 施測流程.....	17
2-2-3 資料處理流程.....	17
2-3 側掃聲納系統與資料處理.....	18
2-3-1 儀器介紹.....	19
2-3-2 施測流程.....	20
2-3-3 資料處理流程.....	20
第 3 章 調查成果.....	22
3-1 金山外海水下地形.....	23
3-2 金山外海近岸的測掃聲納影像.....	26
3-3 反射震測剖面.....	29

第 4 章 討論.....	43
4-1 金山斷層的海延伸狀態與範圍.....	43
4-2 山腳斷層的終點位置.....	47
4-3 金山外海沉積型態.....	49
第 5 章 結論.....	50
參考文獻.....	52

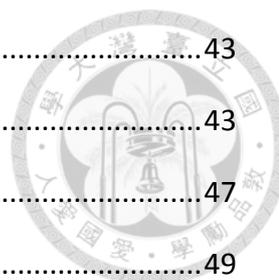


圖 1-1 台灣地體構造示意圖	2
圖 1-2 北台灣區域地質及斷層分布圖	3
圖 1-3 金山斷層與核一核二廠相對關係	4
圖 1-4 北投貴仔坑地區地質剖面圖	5
圖 1-5 台灣北部近海海底震測剖面圖	7
圖 2-1 研究探測的區域圖	9
圖 2-2 多音束測深系統探測示意圖	11
圖 2-3 Z-MAX 型 L1/L2 雙頻 GPS 動態衛星接收儀	12
圖 2-4 電羅經及船體運動感應器	12
圖 2-5 XBT 儀器	13
圖 2-6 多音束測深系統之資料處理流程	15
圖 2-7 APPLIED ACOUSTICS 公司所生產的 AA301 BOOMER	16
圖 2-8 反射震測作業示意圖	17
圖 2-9 反射震測資料處理流程	18
圖 2-10 美國 EDGETECH 4200 型拖魚	19
圖 2-11 側掃聲納影像和地形之關係圖	21
圖 3-1 台灣北部海域地形與研究區域關係圖	22
圖 3-2 金山外海水深資料地形圖	23
圖 3-3 金山外海水深圖各顯著地形	24
圖 3-4 水深地形延伸線與金山斷層關係圖	25
圖 3-5 近岸側掃聲納區域示意圖	26
圖 3-6 近岸側掃聲納圖	28
圖 3-7 反射震測探勘側線分布位置及編號	29
圖 3-8 第一條反射震測剖面圖	32
圖 3-9 第二條反射震測剖面圖	33
圖 3-10 第三條反射震測剖面圖	34
圖 3-11 第四條反射震測剖面圖	35
圖 3-12 第五條反射震測剖面圖	36
圖 3-13 第六條反射震測剖面圖	37
圖 3-14 匙狀斷層構造序列形成示意圖	39
圖 3-15 第七條反射震測剖面圖	40
圖 3-16 第八條反射震測剖面圖	41
圖 3-17 第九條反射震測剖面圖	42
圖 4-1 金山斷層與 A、B 延伸線關係圖	43
圖 4-2 A 延伸線上的地形剖面圖	44
圖 4-3 山腳斷層北段延伸圖	46
圖 4-4 測區北方窪地地形圖及震測剖面	47
圖 4-5 走向滑移斷層於斷層彎曲處及尾端斷層破裂方式示意圖	48



圖 4-6 匙狀斷層構造與花狀構造

圖 5-1 地形構造推論圖



第 1 章 前言



斷層的追跡對於地球科學的研究來說，是至關重要的事情，了解斷層在地形地貌上的型態、在地下的構造變動與延伸的長度以及特徵，可以幫助我們在地震發生時，能夠有更多的防範及準備。早期對斷層的研究追蹤僅限於陸上的野外探勘，及陸上地球物理的測量，但陸地上的斷層構造都會經過各種作用，包括建築工程、植被和自然大氣的雨水沖刷，使得斷層的線型構造無法被完整呈現，也因此，在陸地上追蹤每個斷層線的蹤跡並不容易。近年來，海上的地形地貌探勘方法開始興起，利用海洋地球物理的測量，找出海床的地形地貌特徵，由於海床地形構造所受到的物理或化學的風化侵蝕作用並不多，因此若在海床上所發生的構造變動，利用海洋地球物理的探勘方法，可以很輕易地對各種構造變動所肇生的地形做一個追蹤。

台灣北部受到沖繩海槽向西擴張的影響，正處於拉伸應力的影響範圍內，臺北盆地的產生，便是因為山腳斷層在第四紀晚期受到拉伸應力的影響而陷落的半地塹構造。臺北盆地是目前台灣人口密度最高的地方，若此處發生大地震，造成的傷亡將會非常嚴重，因此研究盆地周遭的斷層型態是非常重要的。而盆地周遭的斷層除了山腳斷層外，還有新莊斷層、金山斷層、台北斷層及崁腳斷層等，其中金山斷層從金山開始向西南延伸經過大屯火山群到北投貴子坑附近，但斷層沿線被大屯火山的火山碎屑岩所覆蓋，除了金山三角洲北部山麓及貴子坑附近有斷層露頭出現，經過大屯火山群的斷層沿線中，並沒有明顯的斷層露頭。因此金山斷層在出海後的斷層型態研究就變得相當有價值，這也是本文希望能夠在此處做出的貢獻。



1-1 研究動機及目的

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合處，菲律賓海板塊以每年七公分的速度朝西北向歐亞大陸板塊推擠(圖 1-1)，由於持續不斷的板塊運動，使得台灣的地震活動相當活躍。台灣島的造山運動大約發生在六百萬年前，強烈的聚合擠壓應力從北台灣開始發生，肇生了一系列覆瓦狀逆斷層的出現(圖 1-2)，但隨著時間的推移，由於板塊隱沒方向的轉換，造山運動的中心漸漸南移，台灣北部的應力狀態漸漸轉換成拉張情形，使得原本形成的一系列逆斷層活動停止，取而代之的是伸張的正斷層型態開始活躍，台灣北部的山腳斷層就是一個例子。

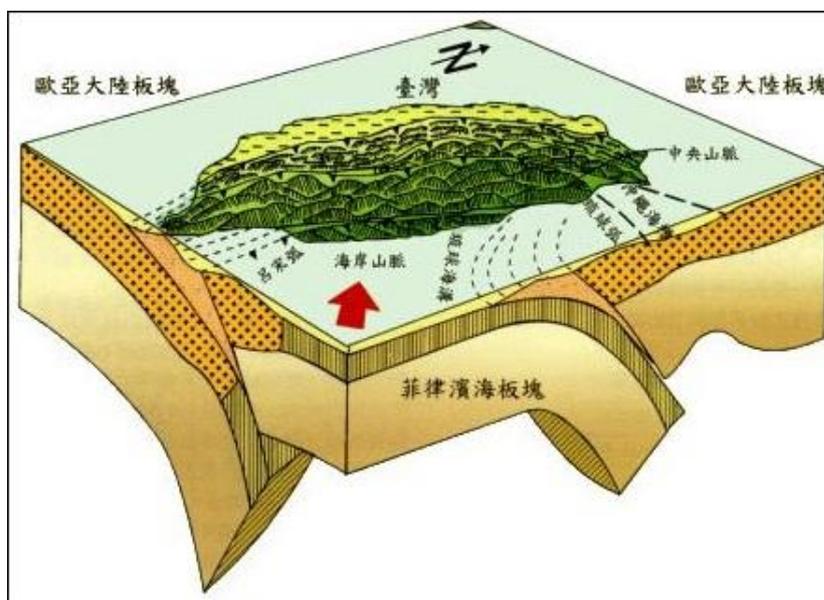


圖 1-1 台灣地體構造示意圖 (摘自 何春蓀, 1986)



圖 1-2 北台灣區域地質及斷層分布圖(摘自財團法人地工技術研究發展基金會網站)

金山斷層為台灣北部重要的斷層之一，在台灣地調所的資料中，金山斷層在陸地長約 34 公里，由塔寮坑向東北延伸經台北盆地、大屯火山群在金山區出海。而金山斷層出海處與台灣核一核二電廠相去不遠(圖 1-3)，雖然目前在中央地質調查所的資料中，金山斷層還被列為存疑性斷層，但卻不能因此否定其在活動的可能性，若然活動，將對鄰近的核電廠造成相當大的威脅，因此對金山斷層的特性做研究調查是必要的。

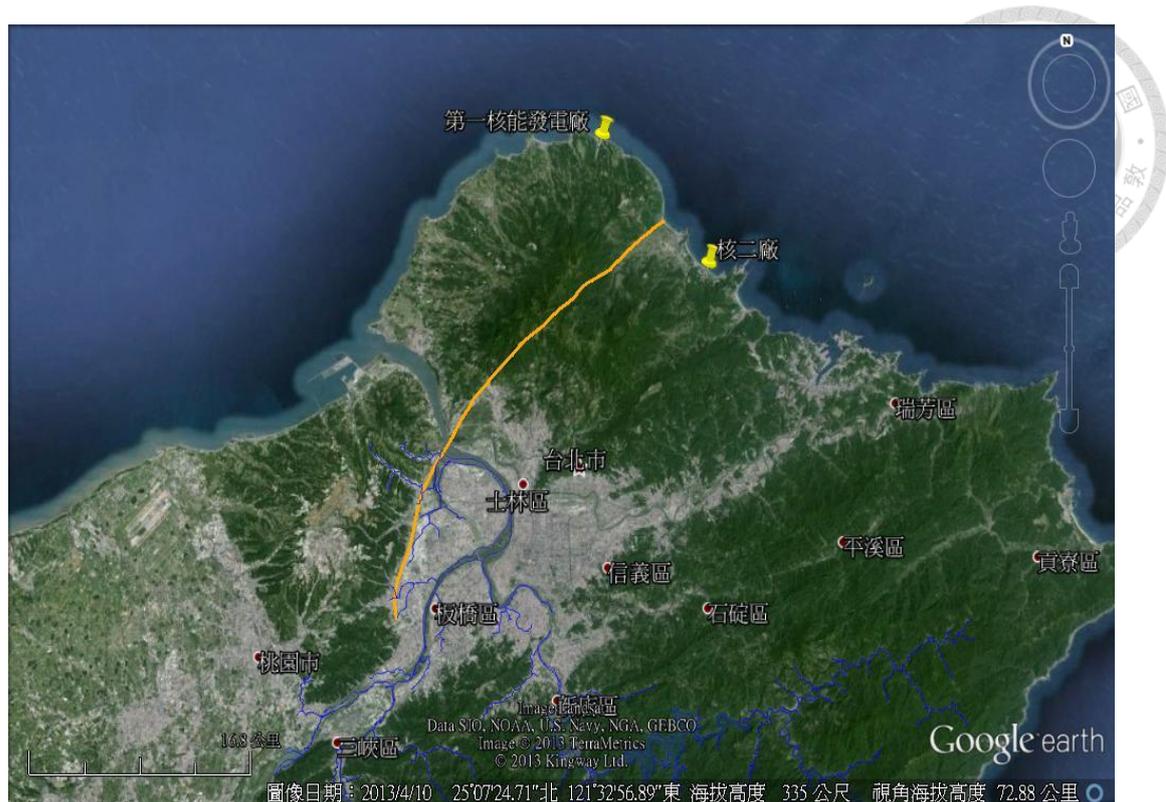


圖 1-3 金山斷層(黃線)與核一核二廠相對關係

近年來金山斷層的研究多集中於陸上地質或地球物理方法的調查，但由於陸上斷層經過風化作用的侵蝕，加上金山斷層在陸上經過大屯火山群，受到火山碎屑岩掩蓋，沒有明顯的露頭，難以做地質調查與追蹤。而在海上地質與地球物理的調查研究中，可以明顯的看出有一條顯著的地形線由金山地區延伸而出(蕭力元，1997；劉宗聖，1996；宋國士，1997)，且在震測資料上，此地形線也呈現有正斷層構造的出現，但由於缺乏近岸的高解析度資料無法完全確認是否為金山斷層的延伸。因此本研究將使用高解析度的聲納系統完整定義出海床的地形與地貌與斷層線走向，並實施多條跨越此線型線的高解析震測剖面及部分近岸的側掃聲納圖，以進一步證明其與金山斷層的關聯性。

1-2 陸上區域地質構造狀況

根據黃鑑水等人(1990)的敘述，金山斷層呈北東走向，為台灣北部主要斷層之一，斷層在金山西北的磺溪河谷內穿過，朝東北延伸進入金山外海海域，向西

南延伸進入大屯火山群，而後沿台北盆地西緣繼續向西南延展，但由於被台北盆地內的巨厚沉積物所覆蓋，無法確認是否持續向西南延伸與新莊斷層連接。

在斷層沿線地形上，發源於七星山麓的磺溪在金山地區形成金山三角洲沖積平原，此三角洲以磺溪頭為頂點，向東北方逐漸開闊，三角洲北緣山麓丘陵地，成一線型相接處，南方地形較不規則，無明顯分界。磺溪頭向西進入大屯火山群之主體，周圍大多由噴出熔岩流及凝灰角礫岩所構成，而金山斷層的線性構造蹤跡完全被其所覆蓋，無明顯露頭。斷層在北投貴仔坑南方穿出大屯火山群，此地區多為沉積岩及上覆火成岩所構成，在西北側則有一平緩之小平頂台地，海拔約250M左右。在進入台北盆地後，受到大量沖積層覆蓋，斷層在地形上已無任何表徵。

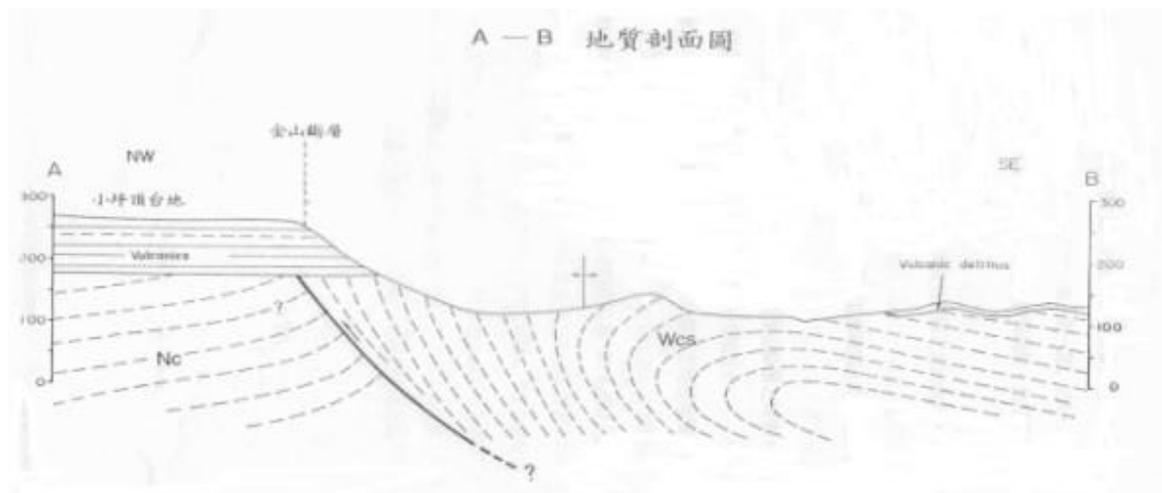


圖 1-4 北投貴仔坑地區地質剖面圖(摘自黃鑑水，1990)

而在地層地質上，斷層上盤為五指山層(圖 1-4)，主要出露地點在金山海岬及北投貴仔坑等局部地區。特徵以中粒至極粗粒堅硬礫石質白砂岩為主，成塊狀或後層。下盤為中新世晚期的南庄層及桂竹林層，主要出露地點在金山三角洲平原西北側及關渡地區。特徵以厚層中粒疏鬆白砂岩與砂頁岩薄互層為主，為濱海相之沉積物。



1-3 前人研究

朱建仁等人(1998)利用航空遙測及野外調查,分析了關渡-北投及金山北麓的地質狀況及DTM圖上的地形線性特徵,認為金山斷層經歷了三個時期,第一個時期金山斷層的初次活動,因造山時期的擠壓應力所肇生的逆斷層,大約在晚上新世的時期(黃鑑水等,1990),而第二個時期應力開始轉換,因扭壓應力的出現,造成一系列的走向滑移斷層,到了晚更新世時,北台灣進入後造山的張裂環境,金山斷層因而被活化成正斷層,應力轉換成拉張運動,活動至今。而鄰近的大屯火山群形成則是大約在中期更新世的時候(陳文山等,1993),大量岩漿沿著金山-山腳正斷層所造成的縫隙噴出,覆蓋了第三紀的岩石基盤,也掩蓋了金山斷層從磺溪口以南到北投貴仔坑的線形蹤跡,使得一般的野外地質調查變得困難。根據楊潔豪等人(1989)的電探研究,金山三角洲由極厚未固結之沖積層所覆蓋,且在沖積層下隱伏了一條活動斷層,而陳光榮等人(1995)利用微震調查方法找出金山斷層線下的斷層面大約為 55°SE ,由震源機制來看,金山斷層為逆斷層型態,但其活動有時為逆斷層有時為正斷層,端看本地區的應力型態。

關於金山斷層出海後是否延伸的討論,劉宗聖等人(1997)發現台灣北部海域有一系列明顯的東北向線性地形,而金山外海有兩條東北走向的陡坡出現,其中一條可直接對應到金山斷層的陸上線型構造,認為其為陸上斷層向東北方的延伸。宋國士等人(1997)也利用單音束測深儀器發現了此一現象,除此之外,也利用震測系統在海床底下發現斷層構造(圖 1-5),並且認為台灣北部外海的一系列斷層延伸,有被平移斷層截切的現象,而關於在外海的斷層型態部分,目前的研究都認為,斷層活動以正斷層活動為主(蕭力元,1997;黃文苓,2007;宋國士,1997;劉宗聖,1997)。在本研究區域內的應力狀態,受到沖繩海槽擴張的影響,應力作用以拉張應力為主(徐閔儀,2006)。

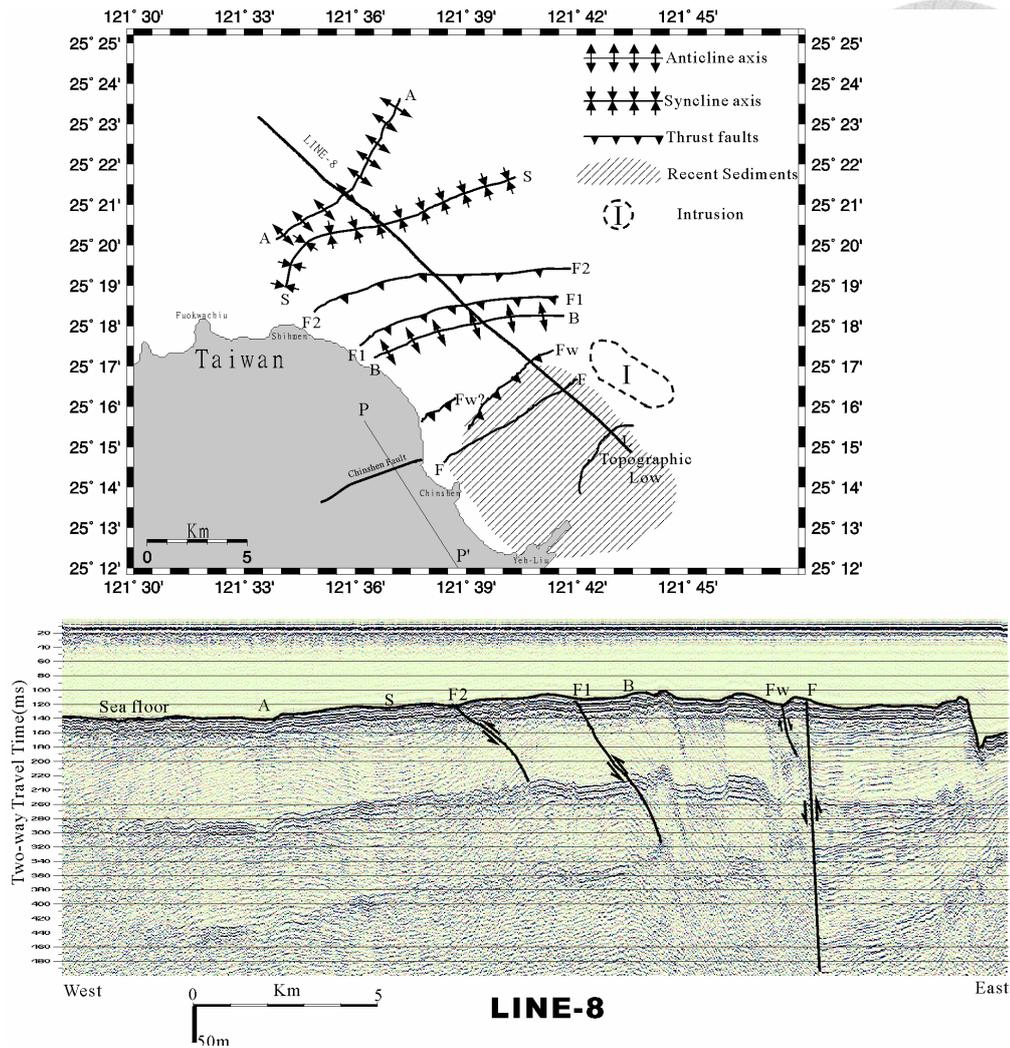


圖 1-5 台灣北部近海海底震測剖面圖(摘自宋國士，1997)

第 2 章 研究方法和資料收集



本研究所勘測的區域主要位於金山外海，區域範圍約為離岸 10 公里範圍的大陸棚水域(圖 2-1)，水深範圍約從 0~120 公尺，測區沿岸長約 5.6 公里，離岸寬約 3.2 公里。本研究施測時間為 2013 年七月中旬，主要使用的探測儀器為多音束測深系統及反射震測系統，以地形地貌資料以及震波測勘資料的收集及比對，找尋金山斷層出海延伸的型態，並利用近岸處，以燭台嶼為中心 1.5 海浬範圍內的海域側掃聲納資料做一個佐證。

在此特別說明，本次研究因全球測繪公司的人員的大力協助，才能順利圓滿地完成，感謝他們在這篇論文中所貢獻的一切。

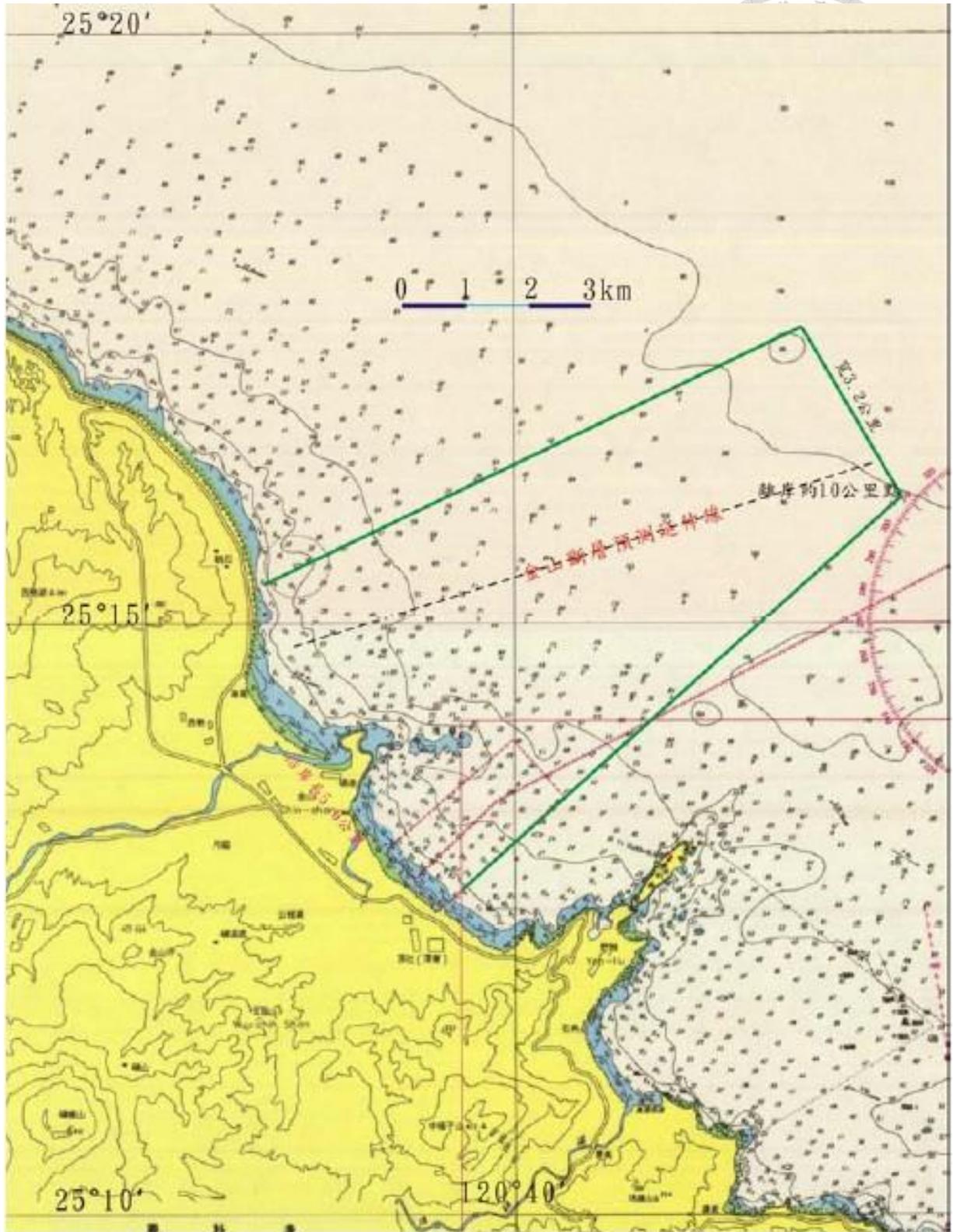


圖 2-1 本次研究所探測的區域圖，綠色梯形為這次研究所探測的範圍



2-1 多音束測深系統及資料處理

本研究中為了提高海床中地形變化的辨識能力，使用具有高解析度的多音束測深系統(Multi-Beam Echo Sounder System，簡稱 MBES)，來收集本研究區域內的地形資料，以期獲得較完整的地形特徵資訊。

傳統測深研究中所使用的單音束系統易受到施測環境影響而使其精準度降低，如因船姿態晃動而去除資料，進而造成資料蒐集的效率低下；單音束測深之測量範圍有限，航線規劃度的疏密與否影響到其後資料處理的地形的精確度及解析度；近岸的暗礁、堤防、淺灘等影響到船隻所能航行的區域，進而造成單音束測深無法在這些區域上有較為完整的資料蒐集；受到單音束束寬影響，地形的真實性會大打折扣，對於海洋工程設計和施工上造成負面影響。因此可得知傳統單音束測深系統的資料，對地形的真實性和解析度上有極大的影響，無法獲取高解析度、高效率、高安全性及準確性的水深資料。

為了解決以上單音束測深系統的諸多問題，如解析度、水深精確度、近岸施測安全性等，多音束測深系統的發展便成為必然的結果。多音束測深系統為目前水下地形量測作業者公認最有效率且能夠有效改善單音束測深系統的諸多缺點。多音束測深系統利用其同時發射多個窄音束集合起來成扇狀排列(圖 2-2)，沿航行方向成帶狀測量面，使其能夠做大範圍的地形探勘、且減小因船姿態晃動所造成的水深資料誤差，並同時提升水下地形測量的施測效率、資料密度、解析度和資料完整性。

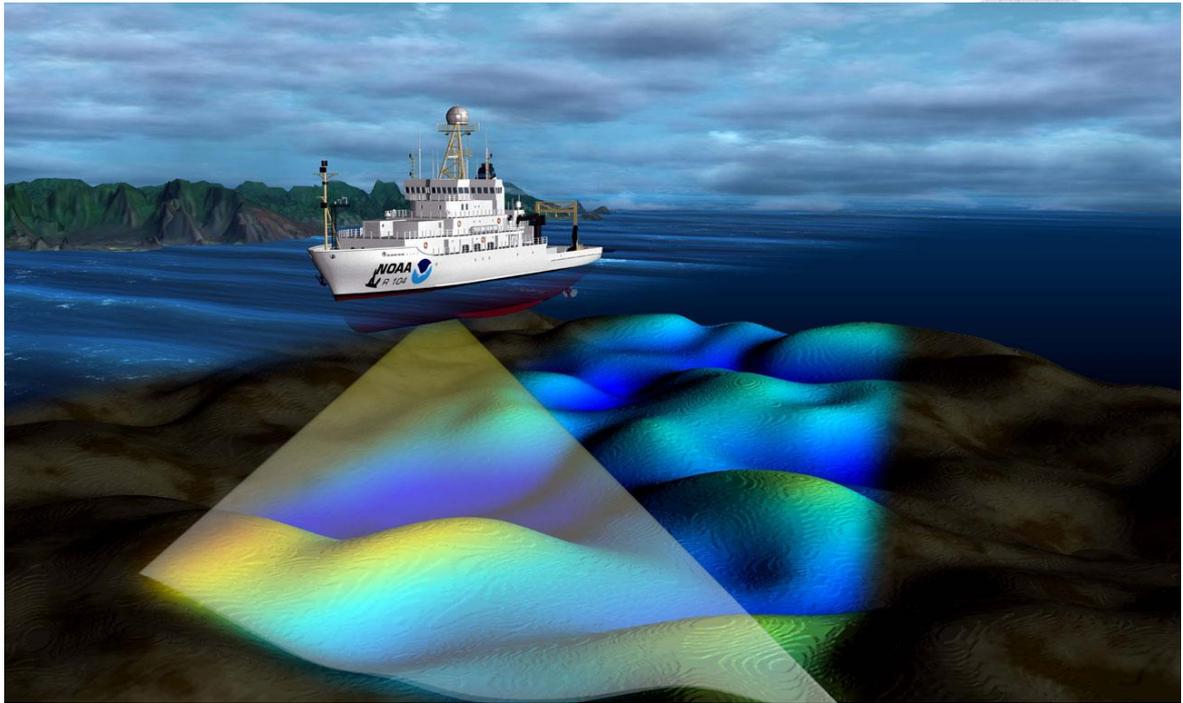


圖 2-2 多音束測深系統探測示意圖(摘自 NOAA 網站)

2-1-1 儀器介紹

多音束測深資料主要使用的儀器可分為定位儀器、測深儀器、船姿態紀錄儀器、聲速紀錄儀器，藉由整合上述儀器資料以繪出完整地形構造。以下介紹本次研究所使用的各儀器。

測深儀器：本研究中使用的多音束測深系統為 R2sonic 公司所出產的 sonic2022 型。扇形測深剖面寬可達 160 度，包含 256 個音束，每個音束寬 1x1 度，音波頻率 400kHz。

定位儀器：使用全球衛星定位系統(Global Position System，GPS)，為美國國防部發展出來，利用 GPS 衛星提供導航、測量及物體追蹤準確的瞬間座標位置。本研究使用美國 THALE 公司所生產的 Z-Max 型 L1/L2 雙頻 GPS(圖 2-3)作為船上即時動態衛星接收儀。

姿態記錄儀器：船在海面上航行時會因海上風浪的影響造成船隻不規則地擺動，所以必須安裝船體運動感應器(Motion Sensor)及電羅經(Gyo-Compass)(圖 2-4)，以提供船隻在航行時的運動狀態資料，如船體點頭(pitch)、左右舷旋轉(roll)、船

頭擺向(yaw)及船體隨海浪上下的起伏(heave)，匯整到系統整合單元內，來修正水深資料的誤差。

聲速測量儀器:聲波在海洋中傳遞，會因深度及海水性質的不同，而使得聲速值產生變化，導致測量數值產生誤差，因此本研究利用 Lockheed Martin Sippican 公司所生產的 XBT 探測器，來紀錄海水各水層的聲速，以利修正因聲速變化所產生的水深值誤差。

資料整合單元：將上述單元所得到的資料，整合輸入到電腦裡面，利用 HYPACK 公司所生產的 Hysweep 軟體，經過彙整計算後，即可得到研究區域內的地形構造資料。



圖 2-3 Z-Max 型 L1/L2 雙頻 GPS 動態衛星接收儀(摘自 Coastal Instrument & Supply Co. 網站)



圖 2-4 電羅經(左)及船體運動感應器(右)



圖 2-5 XBT 儀器示意圖。上圖為 XBT 發射筒，下圖為 XBT 接收器。將 XBT 的探針頭投入海中時，可即時算出海水聲速。

2-1-2 施測流程

在海上探勘作業開始時，首先要先在船上架設多音束測深系統的音鼓、主機、船姿態紀錄器、電羅經及定位儀器，音鼓主要設置於船舷，定位天線架設於船頂，船姿態紀錄器、電羅經及多音束測深系統主機固定於船內，接下來以船重心為原點(0,0,0)設定座標系，紀錄音鼓、GPS 及各項儀器的相對位置，以便在資料蒐集過後，能夠進一步的修正誤差。儀器裝置調整完畢後，會先在港內進行初步測試，監看資料品質及狀況，若發生異常狀況可即時調整。在出海探勘時，同時也會進行疊合測試(patch test)，找出儀器裝置時的些許誤差量，幫助資料蒐集的誤差修正。疊合測試的內容主要包括下列幾項目：

縱搖角偏差量修正(pitch offset)：找一有坡度的地形來回航行同一測線上。

橫搖角偏差量修正(roll offset)：找一平坦的地形來回航行同一測線上。

航偏角偏差量修正(yaw offset)：找一平坦且有目標物的地形，來回航行其上。

在彙整各項資料後才能進行多音束測深資料的後處理。



2-1-3 多音束測深系統資料處理流程：

海上探勘作業後，所蒐集到的水深資料，會因為各種海上環境的因素產生誤差，因此水深資料需經過後續資料的處理，將環境影響所產生的誤差排除，才能得到較正確的水深資料，以下介紹資料處理流程的步驟(圖 2-6)：

GPS 衛星定位資料差分：本研究所使用的 GPS 為雙頻的接收儀，可消去因電離層效應所產生的誤差，更由於在海上作業，空間上無屏蔽的效應影響，接收的狀態是最好的，且比單機定位的精準度更高。而在經過差分置換後能將原本的資料誤差修正至小於兩公尺。差分的原理是利用一已知固定基站的經緯度座標，作為在船上 GPS 動站的參考修正量，加上使用相同的衛星群及幾何分布，能得到更精確的定位值。

聲速及潮位的修正：在海上利用聲納作業時，會因為海水水層的物理性質不一，而導致聲波在各水層行進的聲速不同，進而影響到水深資料的真實性。而海水面的高低會隨著潮汐作用而產生變化。所以必須要再多音束測深作業的同時，也收集聲速及潮位的資料並以此修正資料的誤差，進而加深水深資料的準確性。

儀器的幾何位置修正：由於船體環境的影響，施測的儀器並非都擺在船體的重心位置，而當船體晃動時會使得儀器所產生的誤差量增加，所以必須記錄各儀器在船體上與重心的相對位置，在後處理中修正資料的誤差。

人工校正：上述修正完成後，會發現水深資料還是會有許多不合理的資料點出現，此為複雜的環境因素所產生的影響，無法用一固定參數式將之消除，所以必須以人工判視的方式，予以刪除。

繪製地形圖：將修正完成之水深點資料輸出，即可利用繪圖軟體依照需求繪製出高解析度的水深地形圖。

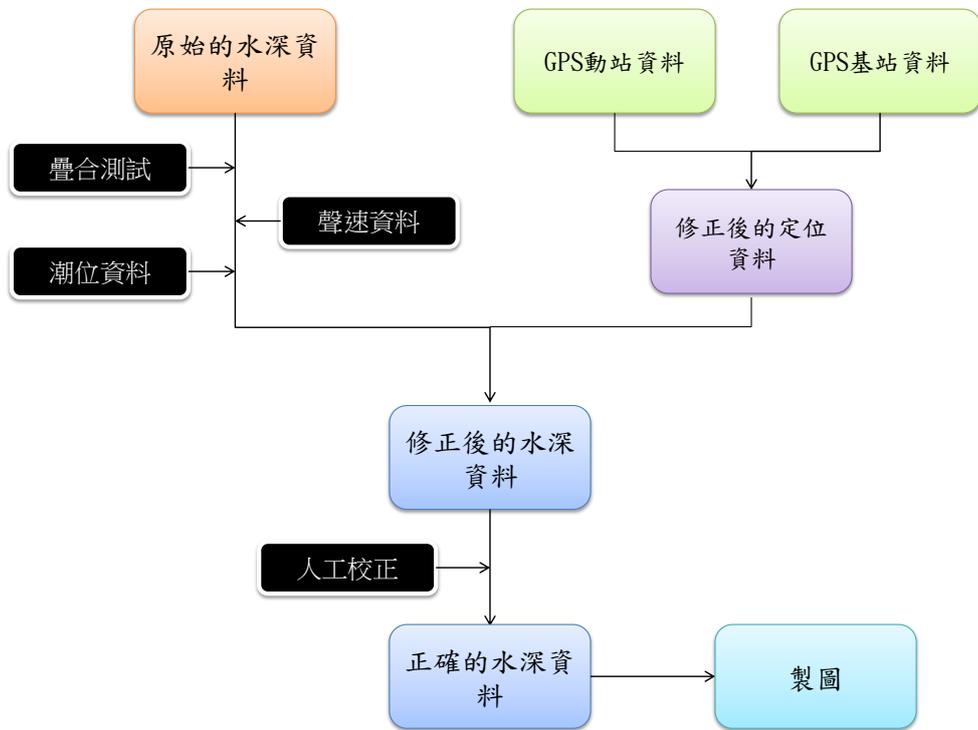


圖 2-6 多音束測深系統之資料處理流程

2-2 反射震測系統與資料處理

除了利用多音束測深系統了解海床上的地形起伏及變化外，必須還要輔以海床下地層的構造狀態，才能有效辨識、判別整個區域的地質構造概況，因此反射震測系統的使用，能夠幫助我們更了解海下構造的樣貌。震波測勘(Seismic)，主要是利用聲波在行進時，因地層各樣物理性質的不同，如岩性、成分、結構、含水量、壓力、厚度等，而有不同的阻抗，在經過時會有不同的路徑，其震幅、波形及頻率也會因此而產生改變，進而分辨出地下構造的樣貌。在做震波測勘時，我們會自行製造震源，稱為人工震源，如此便可以知道震源所肇生的時間、位置，海上的震測由於是利用聲波測勘，更可以知道震源的振幅、頻率等性質，依照其頻率可分成高頻震源及低頻震源，低頻震源的穿透力較強可得到較深的地層資料，但解析度不高，高頻震源雖無法探測較深的地層構造，但能得到較高解析度的地

層資料，兩種震源依照海域性質的不同都有人在使用，但由於本研究位於淺水區，為了得到較高解析度的震測圖，於是我們使用較高頻的震源作業。



2-2-1 儀器介紹

本次所使用的儀器為 Applied Acoustics 公司所生產的 aa301 boomer，其作動原理是利用電磁推動金屬板產生震動，頻率範圍約 100-4kHz，穿透力在 25-50m，解析能力在 0.5~1m 之間，接收器是由 12 個 hydrophone 所串連起來，目的是為了接收二維的震測頗面，並使用 CodaOctopus 公司所生產的 Octopus 360+ 資料蒐集紀錄器來接收並儲存，而衛星定位及船姿態紀錄器及電羅經與多音束測深系統使用同一套儀器，在本章節就不多做贅述。



圖 2-7 Applied Acoustics 公司所生產的 aa301 boomer(摘自 Applied Acoustics)



2-2-2 施測流程

在海上利用反射震測系統作業時，其 GPS、船姿態紀錄器及電羅經與多音束測深系統之架設方式同，本次所使用的 aa301 boomer 是以漂浮於海面上的拖魚形式，輔以同樣漂於海面上的接收器來執行資料蒐集的作業，其拖魚架設於船後，離船約 15 公尺，以減少船體震動所造成的雜訊。

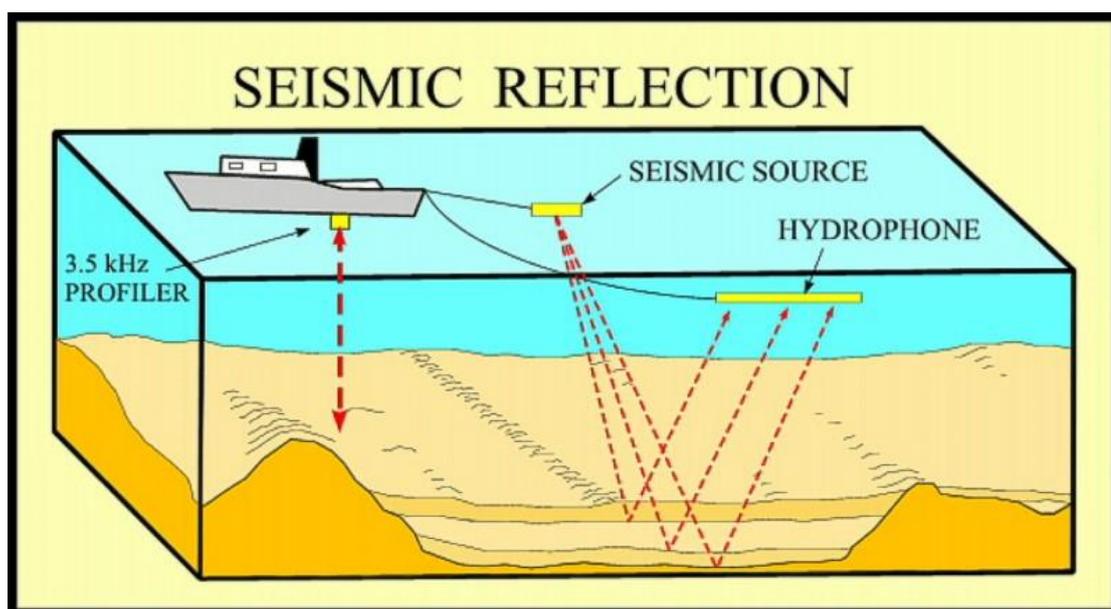


圖 2-8 反射震測作業示意圖(摘自 USGS 網站)

2-2-3 資料處理流程

本次研究所蒐集到的資料格式為 SGY 檔，使用的處理軟體是 Triton 公司所研發的 SB-Interpreter，處理流程如下(圖 2-9)：

編輯 SGY 檔：海上作業時，常會因環境因素或是人為因素的影響，造成船體停滯或是晃動，造成同一點資料密度過大，在軟體執行時會被拉張造成誤判，船體轉彎時也會有同樣的情形出現，所以必須先把同船時的資料點挑除。

濾波(filter)：資料蒐集的同時，會有許多背景的雜訊，例如船的引擎聲、波浪或其他雜訊聲源的干擾，所以我們必須在資料處理前，先把雜訊去除，提高訊雜比(S/N ratio)，每個儀器過濾的頻率波段不同，若選定波段太大，則可能還會

有過多的雜訊殘留；若選定的波段太小，則可能把原本的訊號濾掉，因此需要不停地作測試，挑選到最適合的波段。

增益(gain)：震波發出時，能量會因傳播距離的增加而減少，使得我們所接收到的能量減弱，因此必須將減少的能量補回，才能得到較清晰的深部影像。一般所使用的方法除了自動增益控制(automatic gain control, AGC)和時域變化增益(Time varying gain, TVG)外，我們還可以利用平整增益(flat gain)，讓觀察者選定更細微的部分作為整體的加強或減弱。

作圖：資料處理過後，可依照需求畫上海床線或是各個地層線，將明顯的截圖擷取下來，搭配其他水下資料的處理，作整體的判別。

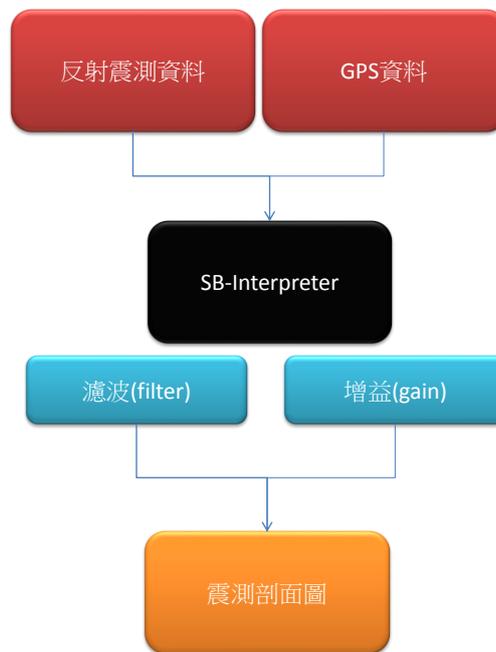


圖 2-9 反射震測資料處理流程

2-3 側掃聲納系統與資料處理

側掃聲納系統(Side-scan Sonar System)是一種高頻率高解析度的主動式聲納搜尋系統。最早發展於五零年代末期，主要用於搜索水雷與潛艇探測等軍事目的。直到六零年代初期以後，才慢慢應用在民生用途，如尋找沈船等。側掃聲納的施測方法為在測量船的後方拖行拖魚，利用其左右舷的線形音鼓陣列發射扇形波，

除了有涵蓋大面積地域與高效率的優點外，最大的好處是側向的指向性，可幫助測量人員獲得細微地形起伏的資訊。除此之外，利用回聲訊號的強弱也可幫助判別目標物的質地性質，在做海床地質調查時，也同時了解海床上質地的軟硬程度。

2-3-1 儀器介紹

前面提到側掃聲納是在船上利用拖曳的方式，連結著拖魚來發射及接受訊號，並傳送到船上讓我們可以及時得到海床的影像。因此整組側掃聲納系統共由三個儀器所組成，探測儀器、定位儀器及控制儀器，利用這三個儀器所蒐集到的資料在電腦上做一個整合及處理。

探測儀器：本研究所使用的側掃聲納為美國 EdgeTech 公司所生產的 4200 型拖魚(圖 2-10)，可使用三種頻率在不同的深度做探測，100khz/500m、300khz/230m、400khz/150m、600khz/120m、900khz/75m，解析度隨頻率增加而增高，視探測區域水深而定。

定位儀器：與前面多音束系統的定位儀器相同。

控制儀器：用同為 EdgeTech 公司所生產的 Analogue Control Interface(ACI) 做拖魚及電腦間的硬體介面，將電腦數位訊號轉換成控制訊號來控制拖魚並接收由拖魚傳回來的類比資料。



圖 2-10 美國 EdgeTech 4200 型拖魚(摘自 EdgeTech 網站)



2-3-2 施測流程

除了先前所敘述的定位儀器及船姿態儀器的裝置外，側掃聲納的拖魚在接上電纜時，還需綁上繩索才能施放，以防在施測過程中電纜承受的拉力太大而因此斷裂。在施測時，還要隨時注意水中的拖魚與海床的距離，側掃聲納的資料品質跟海床與拖魚的垂直距離(altitude)及斜距(slant range)比值有關，最理想的比值為8%~25%之間，此時所得到的資料品質為最好。

2-3-3 資料處理流程

資料處理是利用 OceanStar System 公司研發的 Season Hunter 和 Mapper。處理步驟如下：

時域變化增益修正(TVG)：把音傳播距離而減弱的能量補償回來，以利我們做辨識。

海床位置鎖定：因為音鼓到海床之間有一段水層，在影像中是空白的部分，用數化的方式將它去除之後影像會結合的較密。

斜距修正(slant range correction)：斜距修正基本上是以”海床為平面的狀態為前提”，利用拖魚高度，水中聲速及斜距換算拖魚到目標物的水平距離。經過斜距修正才可以得到正確的座標位置。(圖 2-11)

拼圖：利用 Mapper 軟體經側線依座標合併，成為一個區域的側掃聲納影像。對於底質的分布及目標物的位置都能更具體的了解。

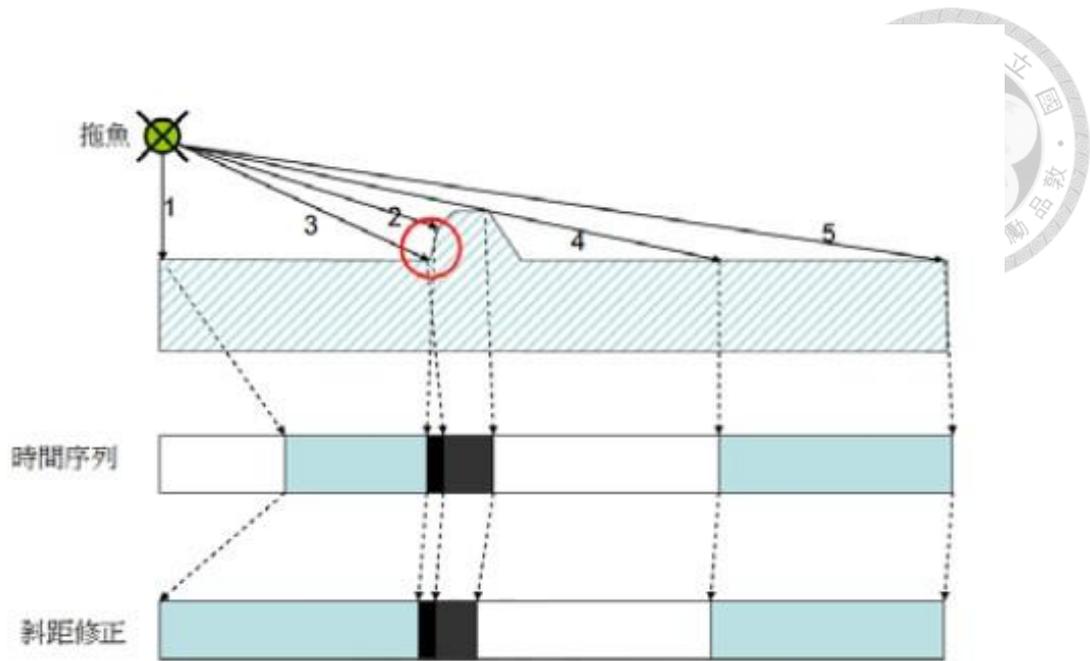


圖 2-11 側掃聲納影像和地形之關係圖。最上層為海床地形，中間層是依時間序列排序所接收到的訊號，最下層是斜距修正後的訊號。(摘自劉佩琨，2007)

第 3 章 調查成果



本次研究區域主要為金山外海近海海域，測量範圍沿岸長約 5.6 公里，離岸端寬約 3.2 公里，往外延伸約 10 公里範圍內的梯形區域進行多音束測深系統及淺層震測系統的測量(圖 3.2)。主要的研究標的是金山外海的地形地貌特徵，由於震測所能呈現的資料為 2-D 剖面，若構造走向垂直於測線剖面就無法判別；而多音束測深雖能展現平面的地形，卻對無法辨別海床底下的構造，所以希望藉由水深資料及淺層震測資料的交叉比對，探討金山斷層出海後的延伸型態及地形地貌特徵。並利用近岸部分的側掃聲納資料來加強佐證本研究成果

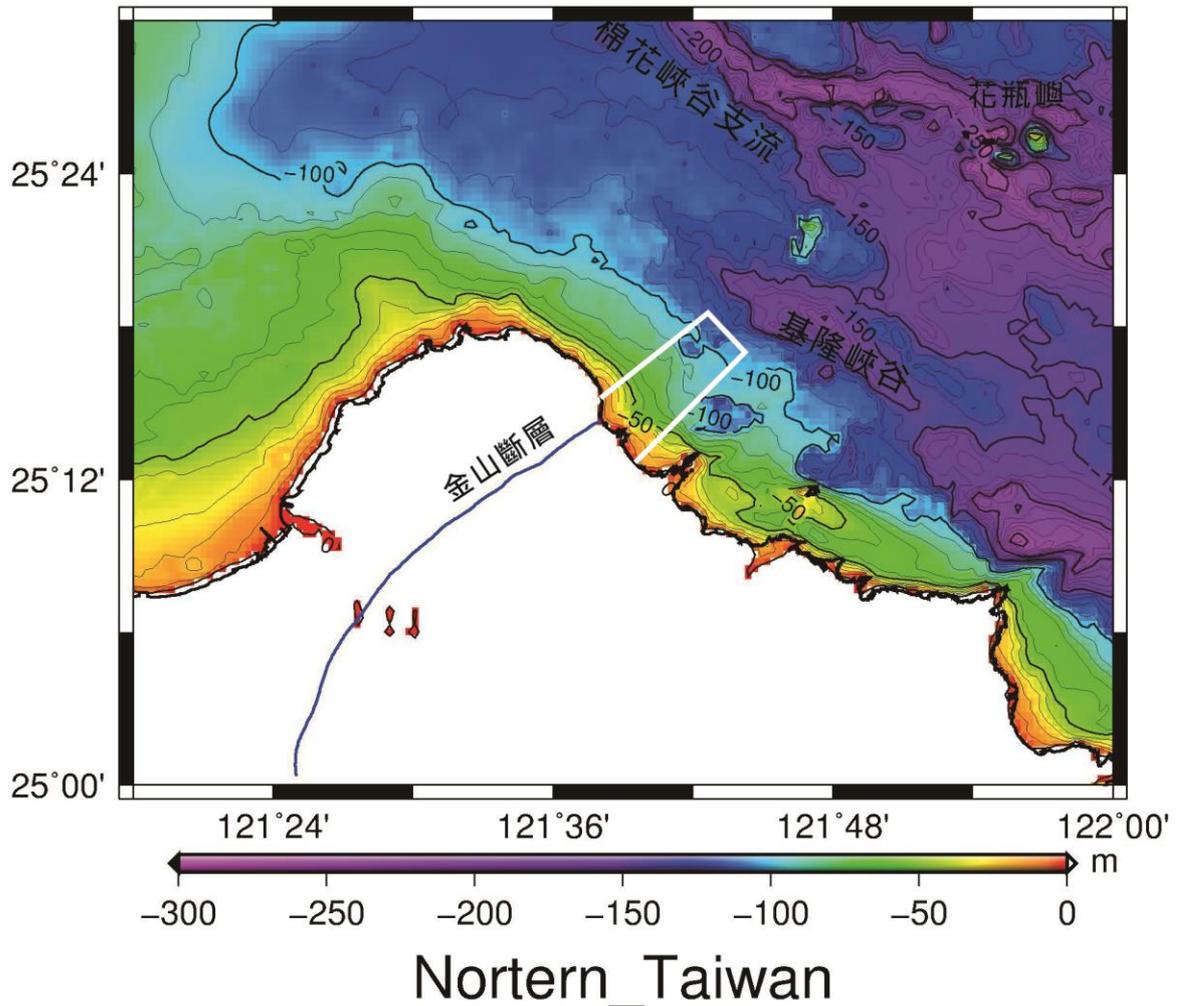


圖 3-1 台灣北部海域地形與研究區域關係圖，白框範圍為研究區域。



3-1 金山外海水下地形

圖 3-2 為本次多音束水深探測成果，水深圖區域範圍在北緯 25.19 到東經 25.32 東經 121.75 到 121.58 之間。水深範圍大概在 0-200m，西南方連接海岸線，海岸線東南為野柳海岬，西南突出的地形線為燭台嶼及磺港半島，基隆海谷則在水深圖東北方邊界外。

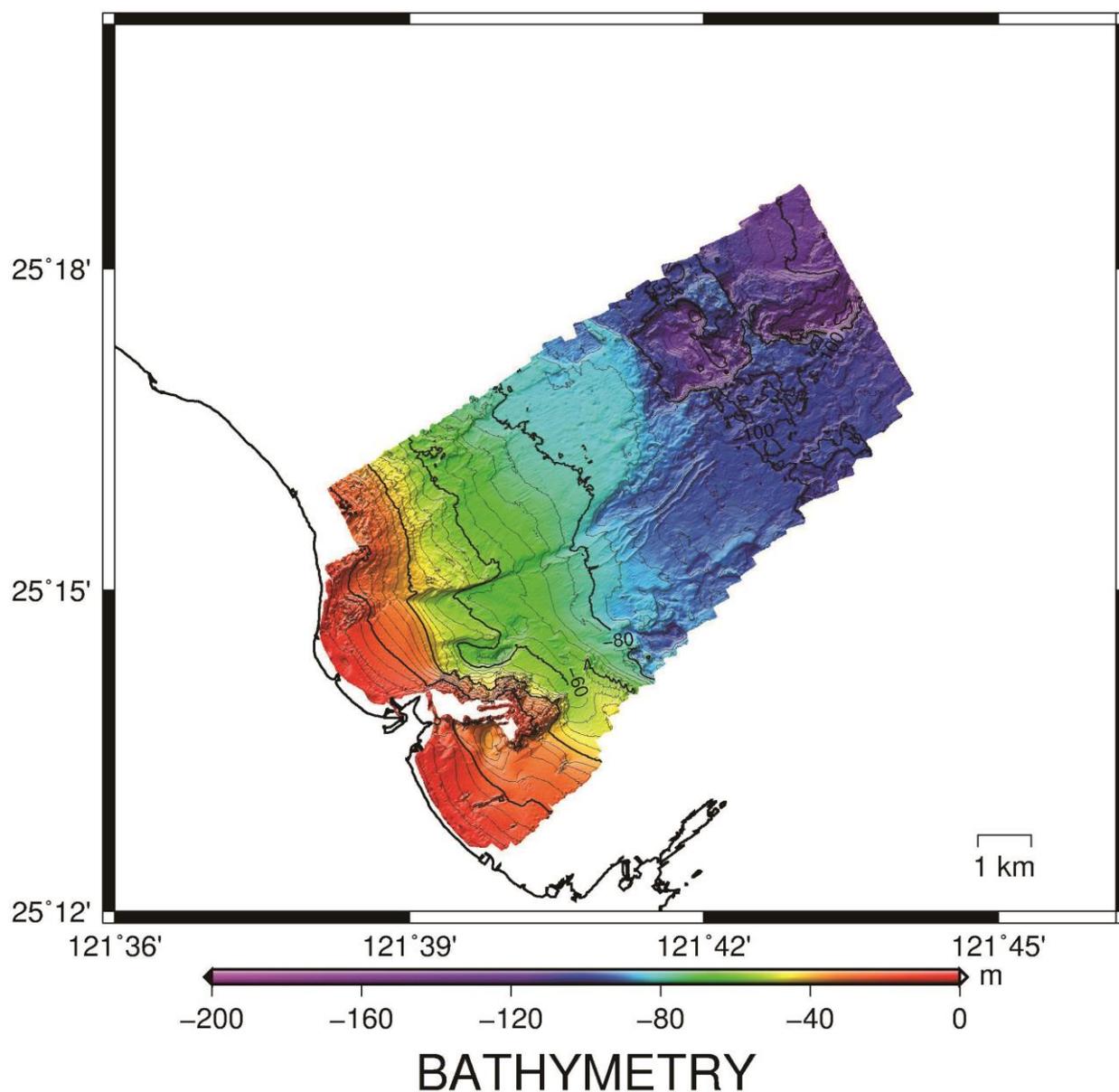


圖 3-2 金山外海水深資料地形圖

在這張水深地形圖上，可以看見有兩條明顯的地形線，其中一條從北緯 25° 14' 40" 的近岸 500m 處開始，約朝東北東方向呈弧形向外延伸，兩側地形西北高東南低，高差約 12m，直至深度到達 100m 左右，此一明顯的地形線才漸漸難以辨別，在本文中將稱呼其為 A 延伸線(圖 3-3(A))。而在水深圖北邊邊界附近有另一條明顯的地形線，從 121° 38' 24" 開始延伸，直線延伸約 4.5km，但地形高差較小，最大高差只有 3m，在本文中將稱呼其為 B 延伸線。而在 A 延伸線的尾端有一個明顯窪地(圖 3-3(B))，直徑約為兩公里左右，深度約為 130m，東北方以一寬約 150m 的缺口連接著一深度 150m 寬一公里左右的狹長谷地，其東北方連接著基隆海谷。在西南礮港半島處，有一個由半島延伸的坡地，在坡地的北邊有一小型窪地，直徑約 450m-1km，深度約 12m。在本圖中間可以很明顯地分辨出，有一系列大約兩公里長的狹長沙丘(wave)地形(圖 3-3(C))在此出現，而在礮港半島坡地的延伸終端也可以發現此一現象，但區域範圍較小。

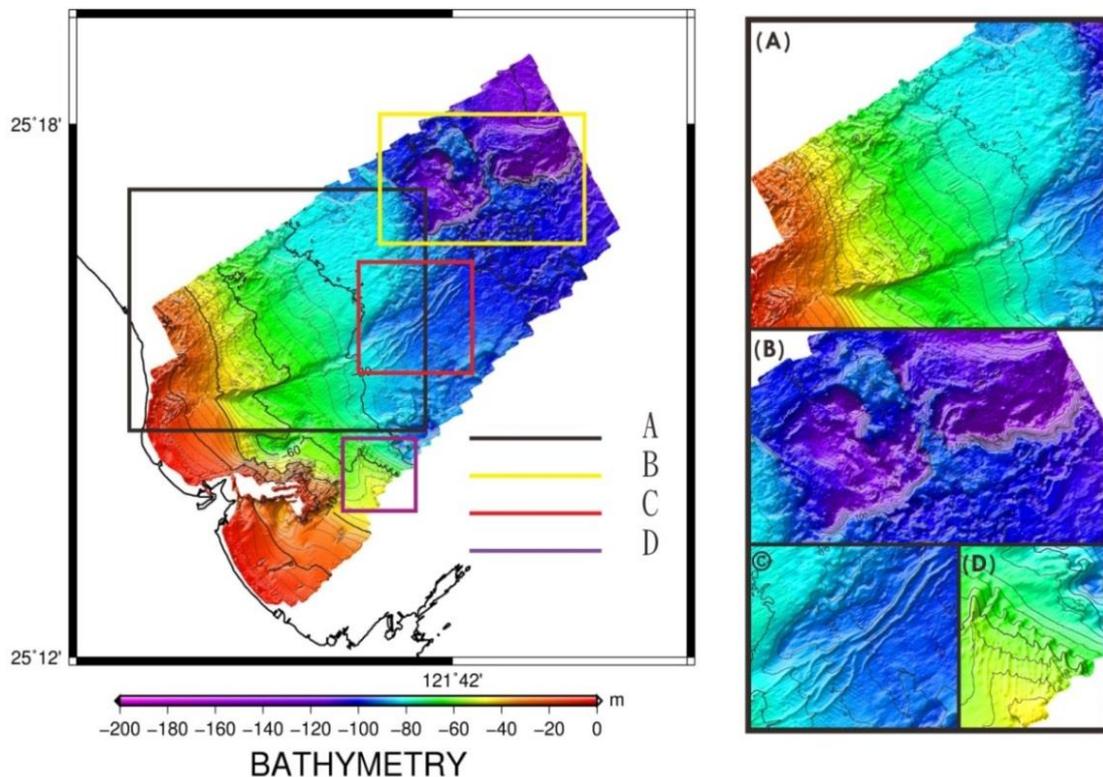


圖 3-3 金山外海水深圖各顯著地形(A)兩條由近岸開始延伸的地形 A、B 延伸線(B)水深圖北邊的窪地地形及峽谷地形(C)為 A 延伸線尾端旁的狹長沙丘地形(D)礮港半島外的小型沙丘地形

金山斷層為本次研究中最主要的目標斷層，呈東北-西南走向，向西南經過大屯火山群，朝東北在金山地區延伸出海。在此次的水深地形圖上可看出，近岸處的地形延伸線有兩條(圖 3-2(A))，一條為從北緯 25° 14' 40" 的近岸 500m 處開始延伸的 A 延伸線，延伸長度約五公里，另外一條為水深圖北方從北緯 25° 15' 36" 的近岸開始延伸的 B 延伸線，但只有水深圖中間的 A 延伸線，在地域關係上，與金山斷層出海處最為接近(圖 3-3)。

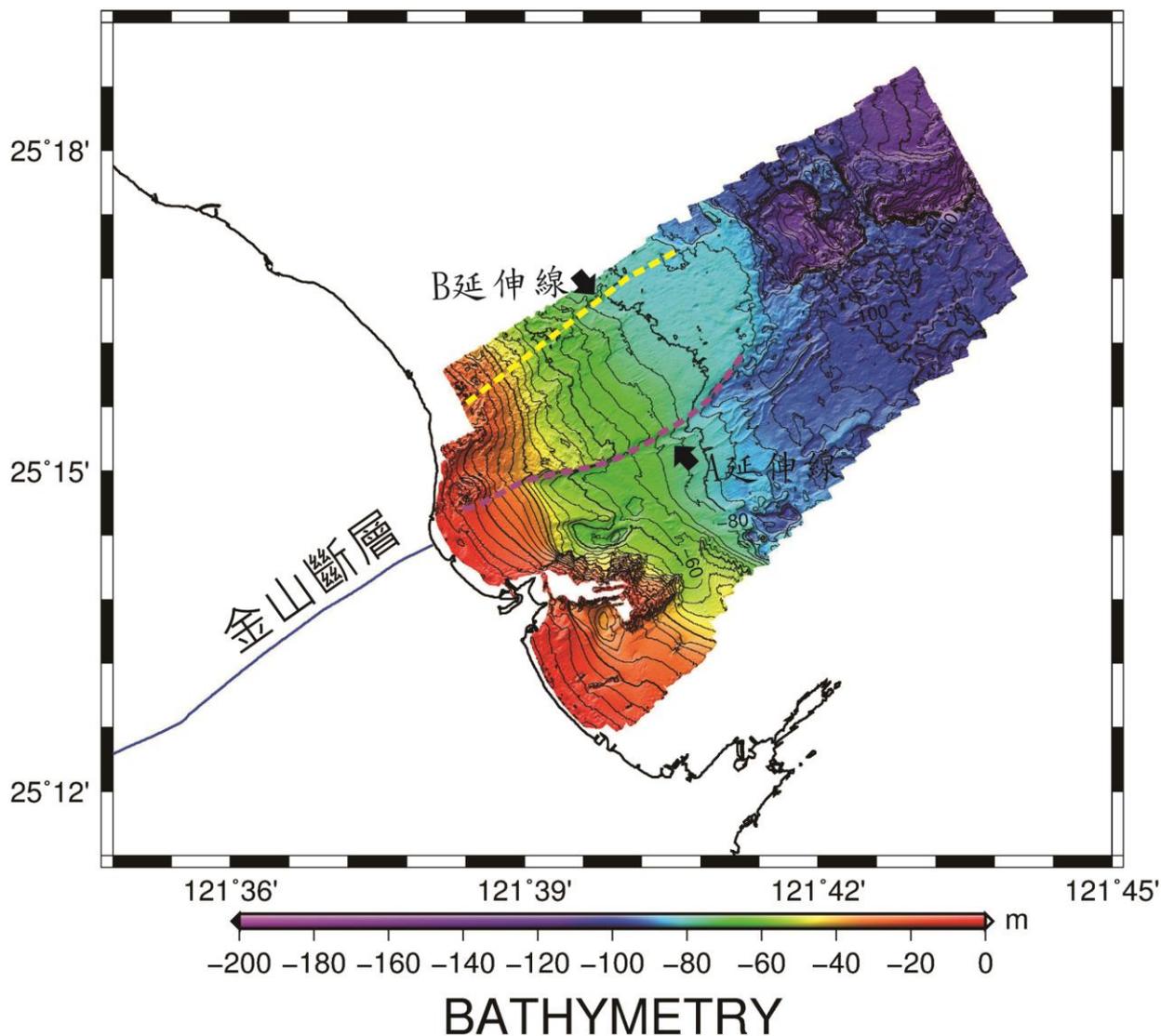


圖 3-4 水深地形延伸線與金山斷層關係圖



3-2 金山外海近岸的測掃聲納影像

本章節利用近岸的側掃聲納資料，配合前一節的水深地形圖，分析地形上較為明顯的特徵在側掃聲納圖中的展示，測區範圍為以燭台嶼為中心 1.5 海浬的海域範圍內(圖 3-4)。

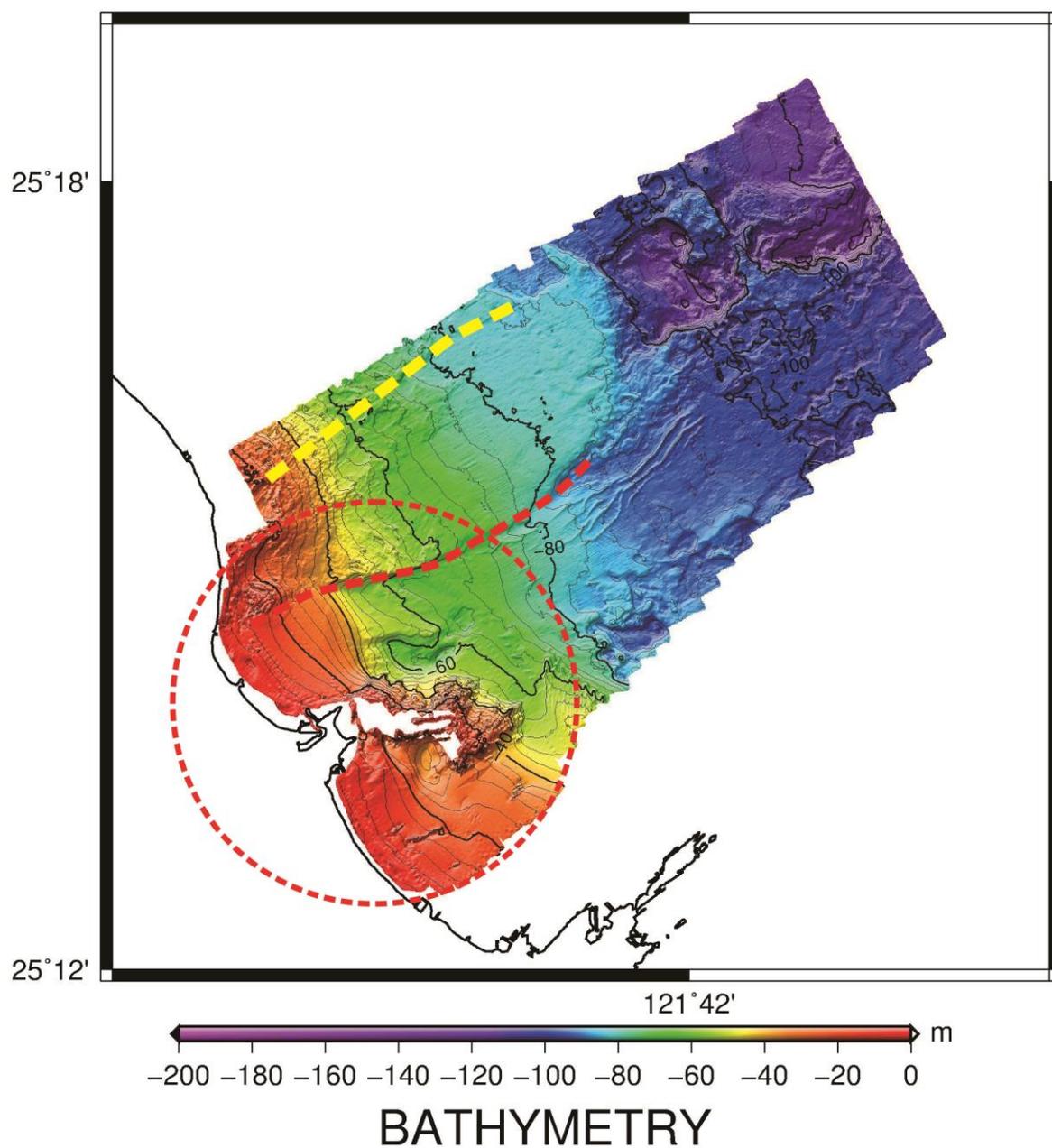


圖 3-5 近岸側掃聲納區域示意圖。紅色圓形虛線為區域範圍，紅線為 A 延伸線，黃線為 B 延伸線。

圖 3-6 側掃聲納圖區域範圍，大約以燭台嶼為中心，半徑 2.8 公里的近岸範圍海域，大約在東經 $121^{\circ} 38'00''$ 到 $121^{\circ} 41'10''$ 、北緯 $25^{\circ} 12'20''$ 到 $25^{\circ} 15'50''$ 之間。使用側掃聲納所得到的資料為灰階影像，影像顏色的深淺代表的意義是接收到回散射的能量強弱，顏色越深代表能量越強，相反的越淺則代表越弱，利用此一特性辨別海床底質的特性，回散射的能量越強，表示海床的底質越硬或越粗糙，而能量越弱則代表海床的底質越軟。在本圖中可以很明顯地看到有一條很明顯的線型在圖形北邊(圖 3-4)，這條線型分別了南北兩邊回聲訊號強弱的明顯不同，西北邊海床的回聲訊號較強，表示這裡海床沒被現生沉積物所覆蓋，裸露出老的粗質地層；而東南邊海床的回聲訊號較弱，此處應是被現生含泥的砂質沉積物所覆蓋，由此可見這條線型的兩邊的海床性質的不同，西北邊的海床質地較硬，而東南邊的海床質地較軟。而由海床的等深線來看而這條線型的位置正好對應到前面水深地形中，所提到的 A 延伸線上，進一步可以了解其與金山斷層的關係。但 B 延伸線不在此範圍內，無法得知其在此處的海床底質狀況。

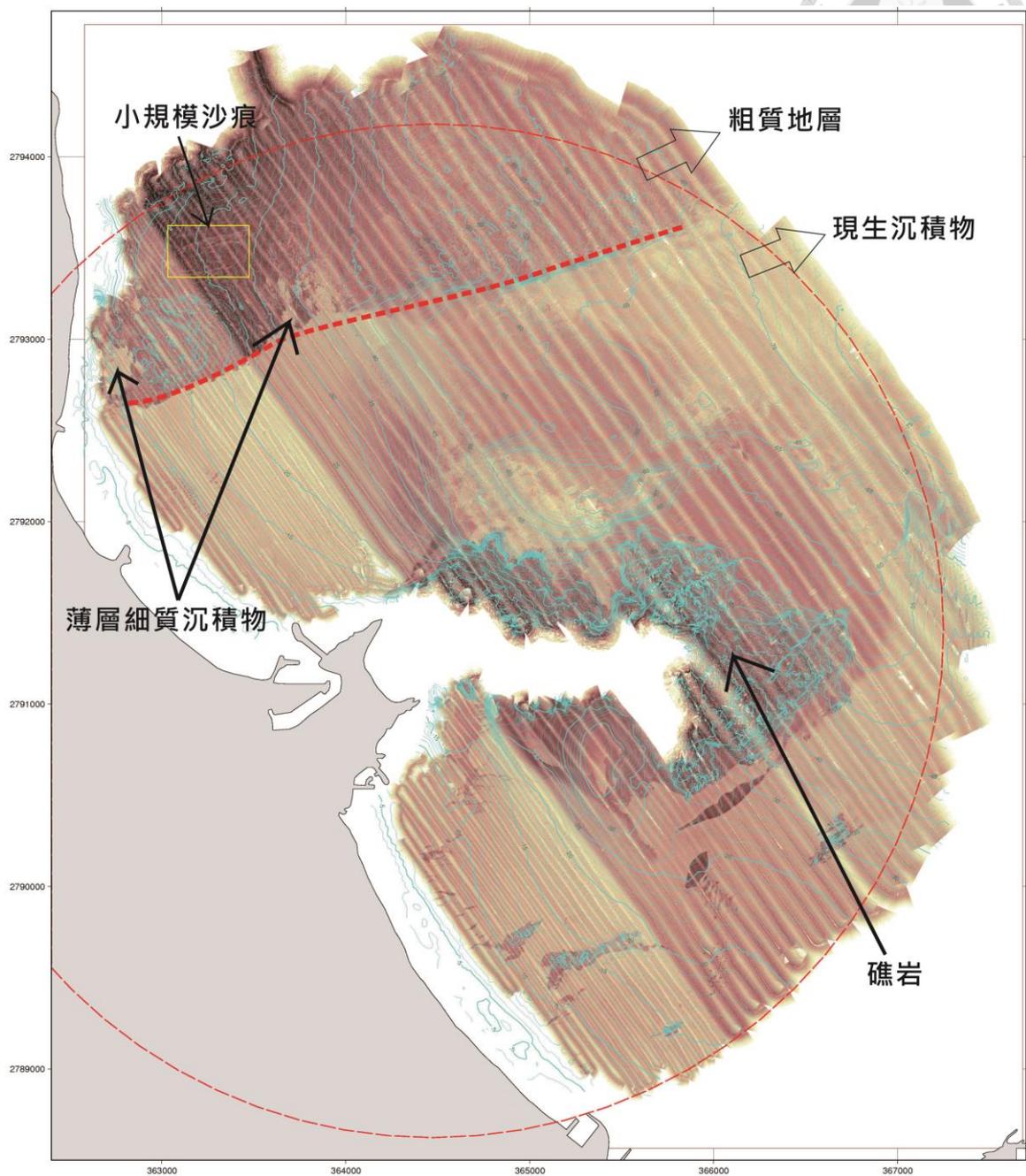


圖 3-6 近岸側掃聲納圖。圖中紅色直虛線為訊號回聲強弱的分界線，紅色圓形虛線為測量區域，藍線為等深線。西北邊的強回聲訊號為老的粗質地層，而東南方的弱回聲訊號代表現生沉積物，且有條明顯的回聲強弱分界線(紅虛線)。磺港半島坡地附近為礁岩，北邊硬質上有小規模沙痕(黃色方框)，分界線旁有兩處小區域薄層細質沉積物。



3-3 反射震測剖面

本次研究藉由 Applied Acoustics 公司所生產的 AA301 boomer 蒐集在金山外海 12 條震測線的資料(圖 3-7)，並使用 SB-Interpreter 軟體所處理，本次震測測線是以西北-東南的方向平行於海岸的方式，從近岸向外海排列，最近岸的測線 1 距離海岸線 1km，最遠的測線 11 距離海岸約 10km，測線 12 則為檢測線。以下將利用這 12 條震測剖面中的 1~9 條震測線，解釋金山外海海床下的構造狀態。

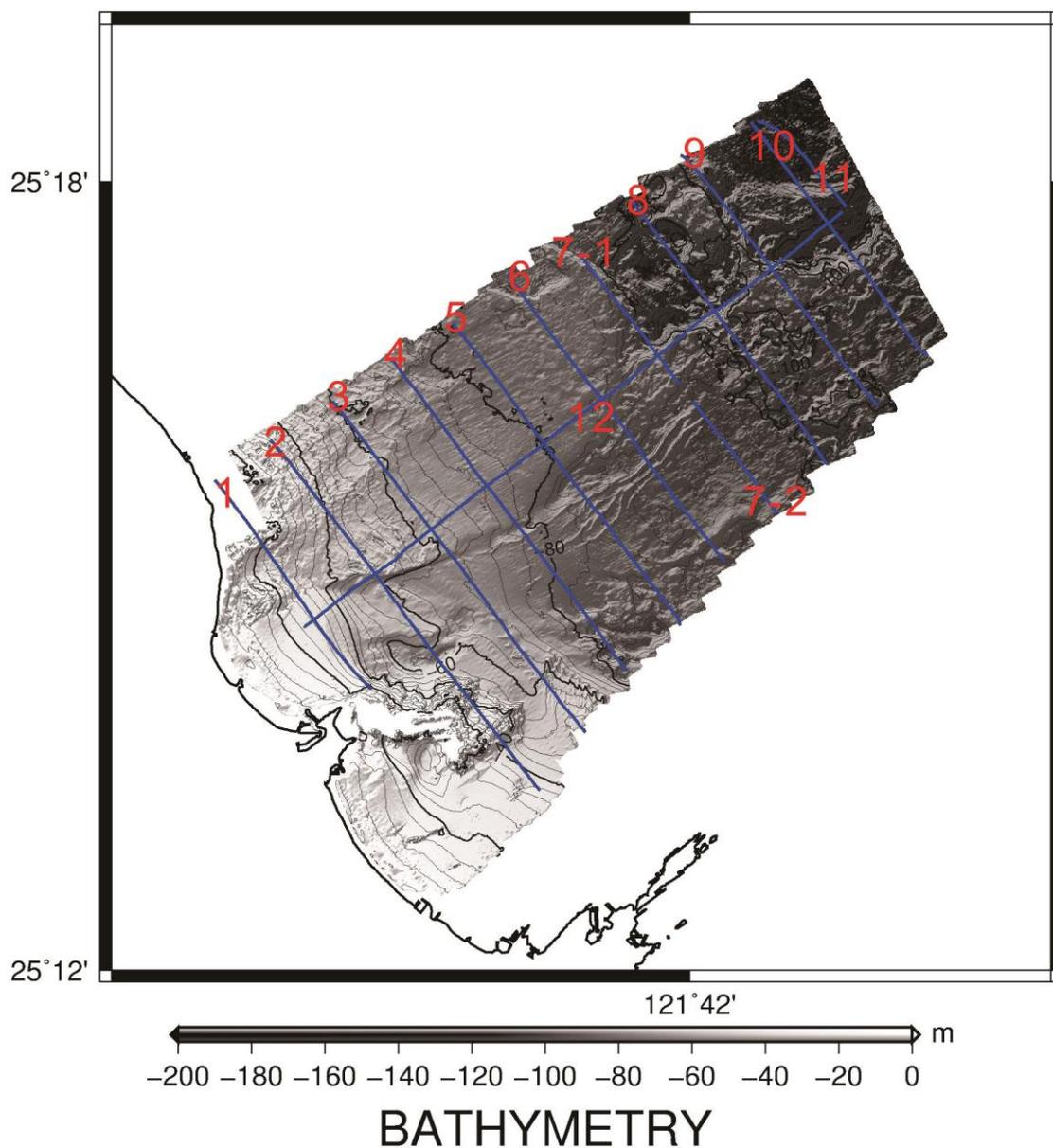


圖 3-7 本次反射震測所測量的側線分布位置及編號，水深圖以灰階色彩構成，越深處顏色越深。色階比例尺以連續色階表示，20m 為一個單位。

在第一條測線上我們可以發現(圖 3-8)，西北方的海床層面由於質地較硬的關係，其回散射的訊號較為強烈，震波幾乎沒有穿透力，無法明顯看出海床下地層的層序。而測線往東南方一直到在炸點 1250 處的正斷層線後，地層訊號才有較明顯的表現，這條正斷層線型，除了分開兩個海床底質不同的區域外，還使得東南方的地層向西北方傾斜下陷，而斷層線的位置在水深地形上正好對應到水深地形上的 A 延伸線。

第二條震測剖面(圖 3-9)，在 A 延伸線的對應位置上，有條可辨認的正斷層線出現在炸點 2300 附近，但線的兩側的地層訊號較不明顯，只有東南的一條較微弱的地層訊號有向西北傾斜的現象，而在剖面西北方有一條較不明顯的斷層線出現在炸點 500 的位置，正好對應到海床上剖面與 B 延伸線的交點，但由於地層訊號無法辨別，無法證明其斷層的樣貌，所以以虛線表示。

第三條剖面上(圖 3-10)同樣有一條明顯的正斷層線出現在炸點 2900，對應到水深地形的 A 延伸線上，且此處的地層訊號較震測剖面二明顯，可以看見現生沉積的地層往西北傾斜的狀態。在沉積地層之下可看到有一條地層的不整合面，為老地層與現生沉積物的界線，由此處可以大概看出地層因正斷層的陷落大約 10m，此不整合面一直到東南方還能明顯的辨別。且在東南方的測線與上述的小型沙丘地形相交，在地層不整合面上的地層可以觀察到沒有受到構造破壞，進一步證實與測線相交的小型沙丘地形與應力構造無關。

第四條震測剖面上可以看到(圖 3-11)，同樣在 A 延伸線與測線相交的位置，炸點 2800 上，有條明顯的正斷層線出現，地層因斷層關係向西北傾斜，而在地層線下方也找到了一不整合面代表著現生沉積物與老地層的交界，同時看出地層因正斷層的關係，向下傾沒約 10m。此不整合面向東南延伸，一直延伸至炸點 4000-4900 的海床之下，其海床上有地形的起伏，因地層排列同樣無明顯錯動，因此判斷此起伏地形應為海水運動所產生的沙丘。

在第五條震測剖面中(圖 3-12)，同樣有條明顯的正斷層線在炸點 1800 左右出現，且對應到水深地形上的 A 延伸線，在斷層線的右方也可發現沉積地層向西北方傾落的現象，而在地層上方的海床上，經過前述的大型沙丘地形，由於下方地層無明顯的構造變化，證明此地形與構造運動無關，形成的原因可能是因為沙丘西北方的地形坡度影響，使得此區的流速變快而在海床上所形成的沉積地形。另外在斷層線的西北方，有些因區域應力所肇生的節理面。

到了第六條震測剖面(圖 3-13)，已無與 A 延伸線相交，震測剖面的相對位置上，也沒有明顯的正斷層線，但海床下的沉積地層一樣有向西北方傾斜的現象，只是已經找不到明顯的斷層蹤跡，證明 A 延伸線的正斷層構造，在第五條、第六條震測剖面就已終止，或轉變應力型態活動。

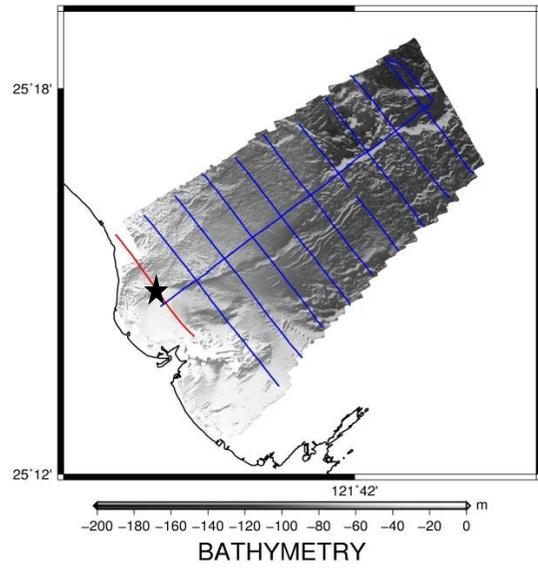
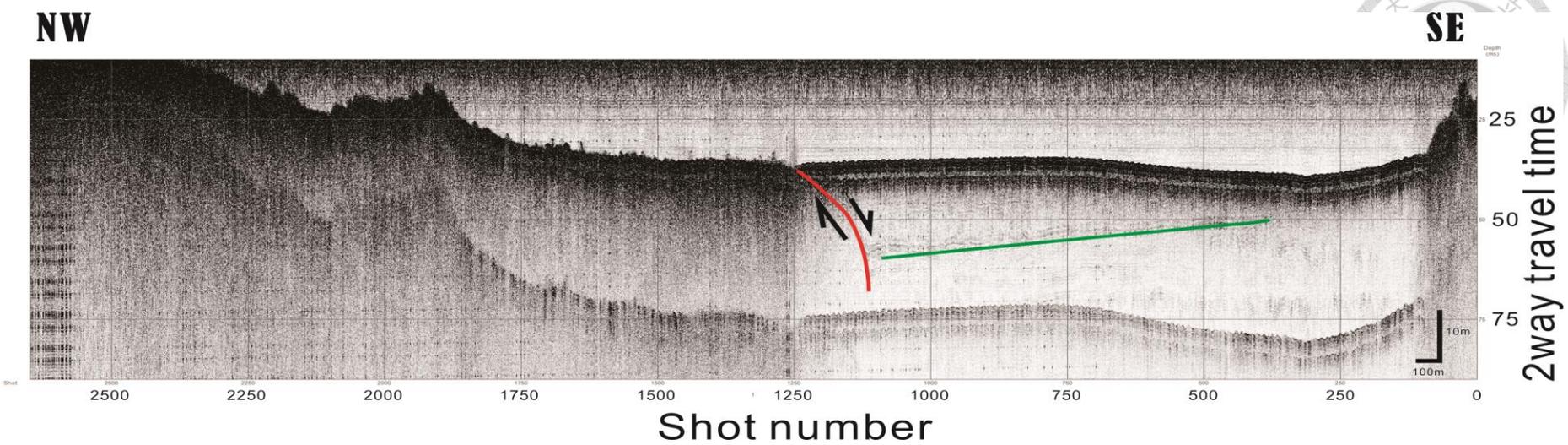
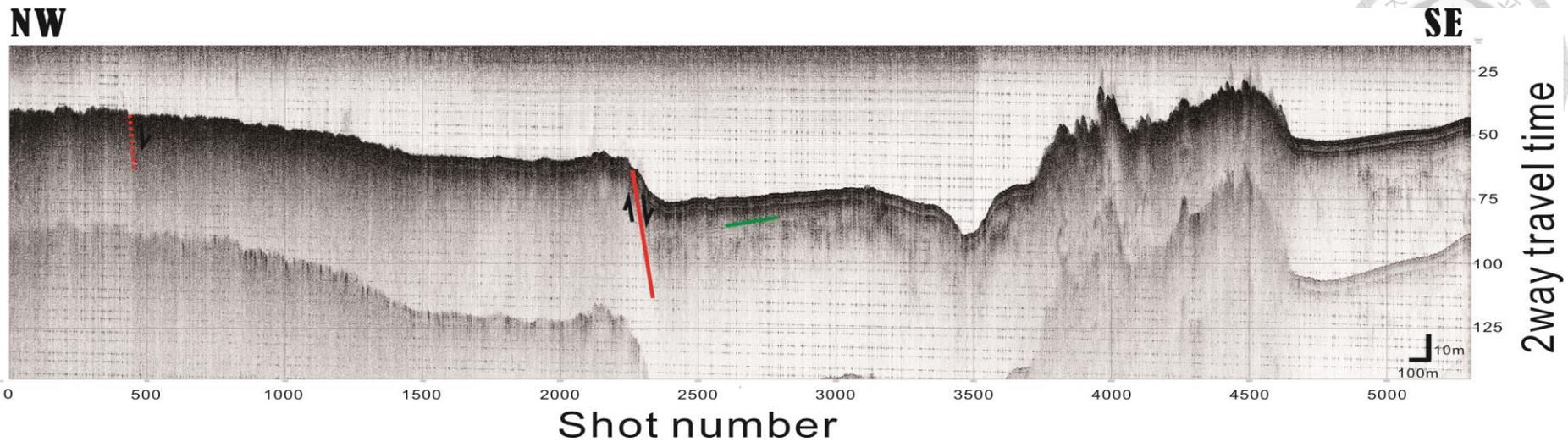


圖 3-8 上圖為第一條測線的剖面圖，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，圖中紅線代表的是正斷層，在炸點 1100 附近出現，綠線代表的是地層面向西北傾斜。左圖紅線為測線位置，星號為正斷層在海床上的位置。



Shot number

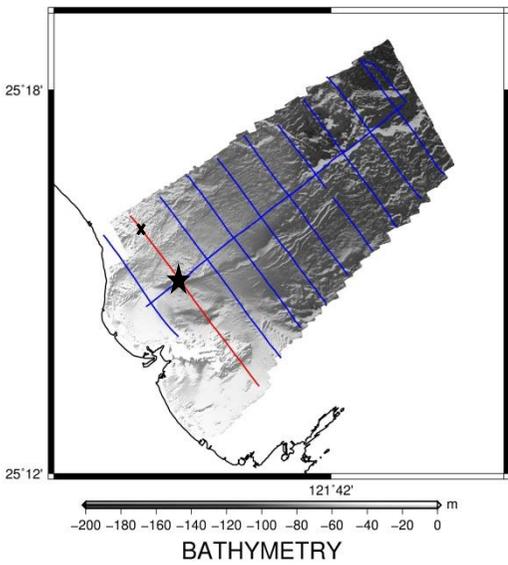


圖 3-9 第二條測線震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，這張剖面圖中，有條正斷層線(紅線)出現在炸點 2300 的位置附近，在此線的東南方，可以看到地層往西北方的傾斜現象(綠線)，但層面訊號沒有很清楚，而在西北方炸點 500 的位置有一條不明顯的正斷層線，以虛紅線表示。左圖為測線的位置(紅線)，星號為炸點 2300 附近的正斷層在水深地形圖上的位置，x 號為不明顯正斷層線的位置。

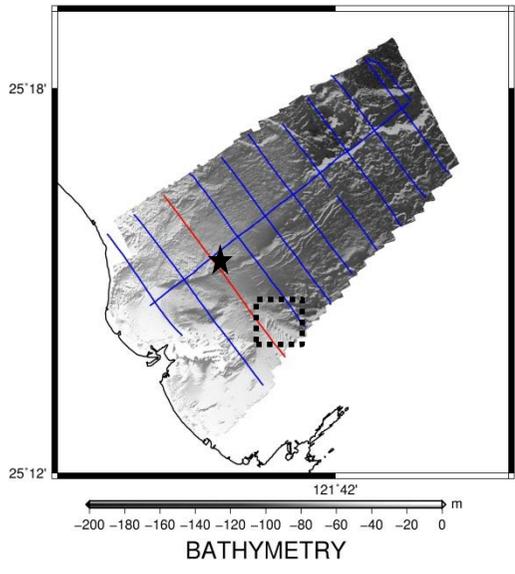
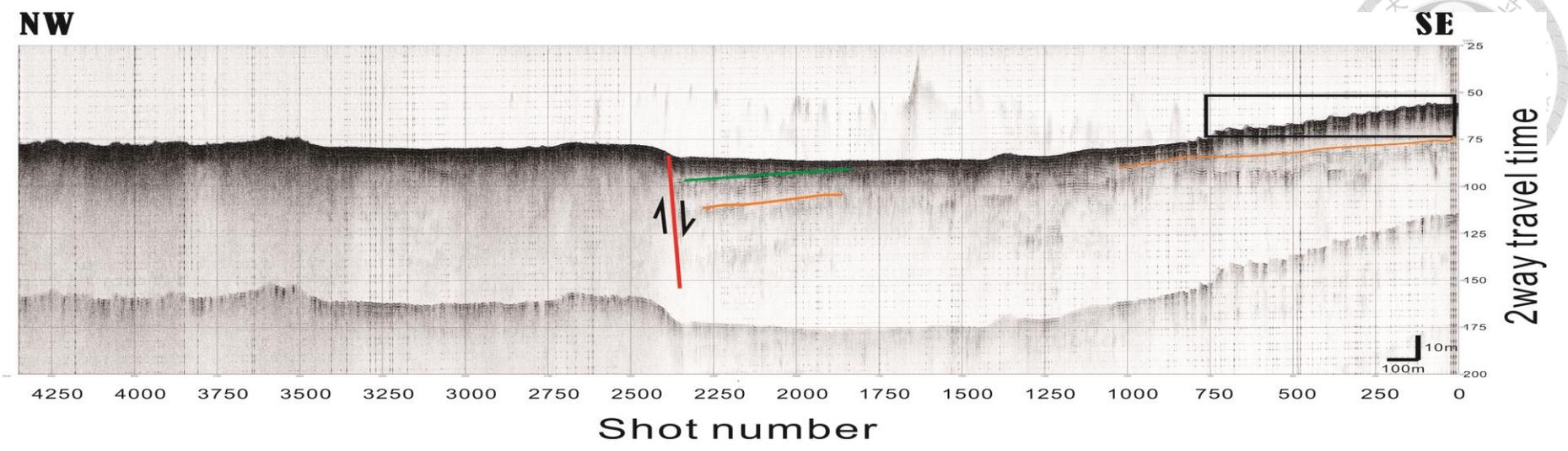
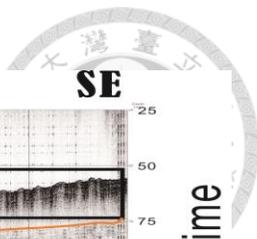


圖 3-10 在第三條震測剖面中，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，圖中的紅線為正斷層線的位置，綠色線為地層，有向西北傾斜的現象，下方的橘線代表一地層的不整合面，剖面東南方的黑框位置，為前述之小型沙丘地形在剖面上的表現，其下為沖積層(藍線)。而地層不連續面在海床上的位置為左圖星號，黑色虛線方框為小型沙丘地形在水深圖上的位置，而紅線為測線位置，星號為正斷層線位置。

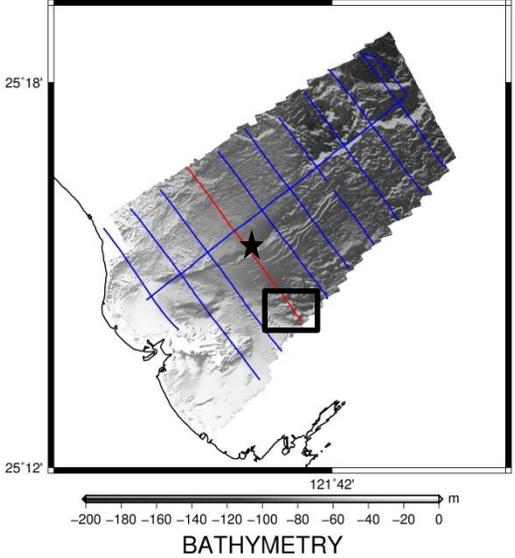
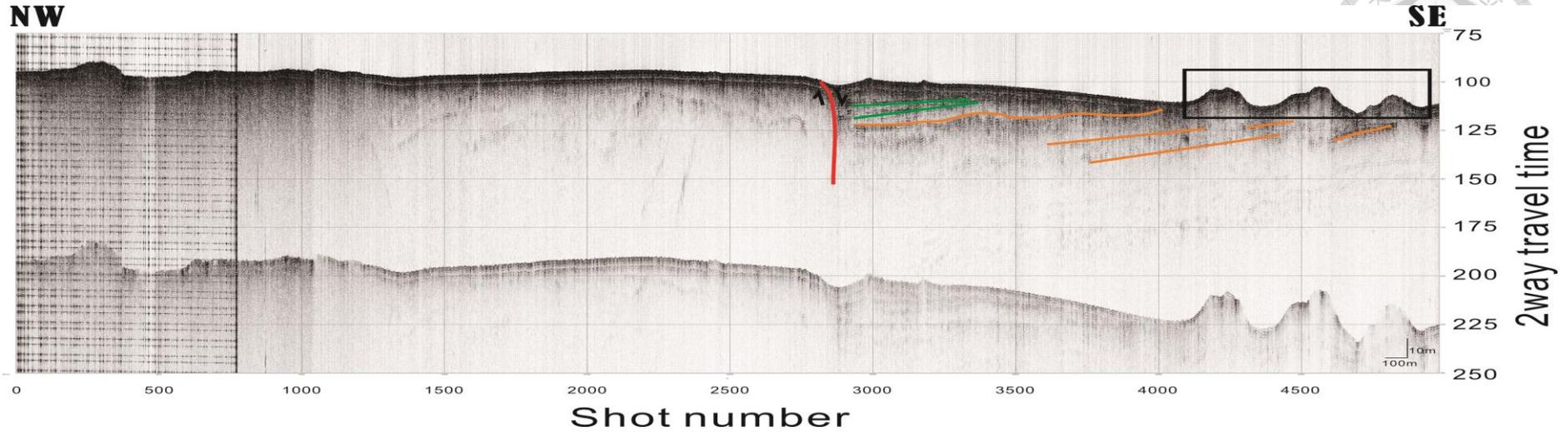


圖 3-11 在第四條震測剖面中，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，圖中的紅線為正斷層線的位置，出現在炸點 2800 附近，綠色線為地層，有向西北傾斜的現象，地層下為橘色的地層不整合面，延伸到剖面的東南方，在東南方的海床上炸點 4000-4900 的位置，有地形起伏的現象(黑框位置)。而正斷層線在海床上的位置為左圖星號，而紅線為測線位置，黑框表示海床上的起伏地形與剖面相交的位置。

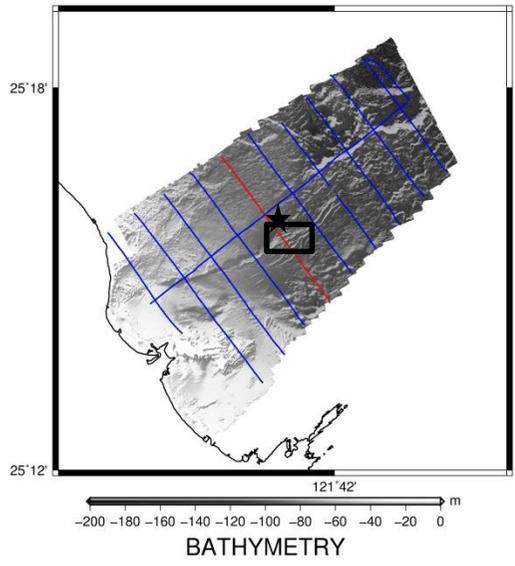
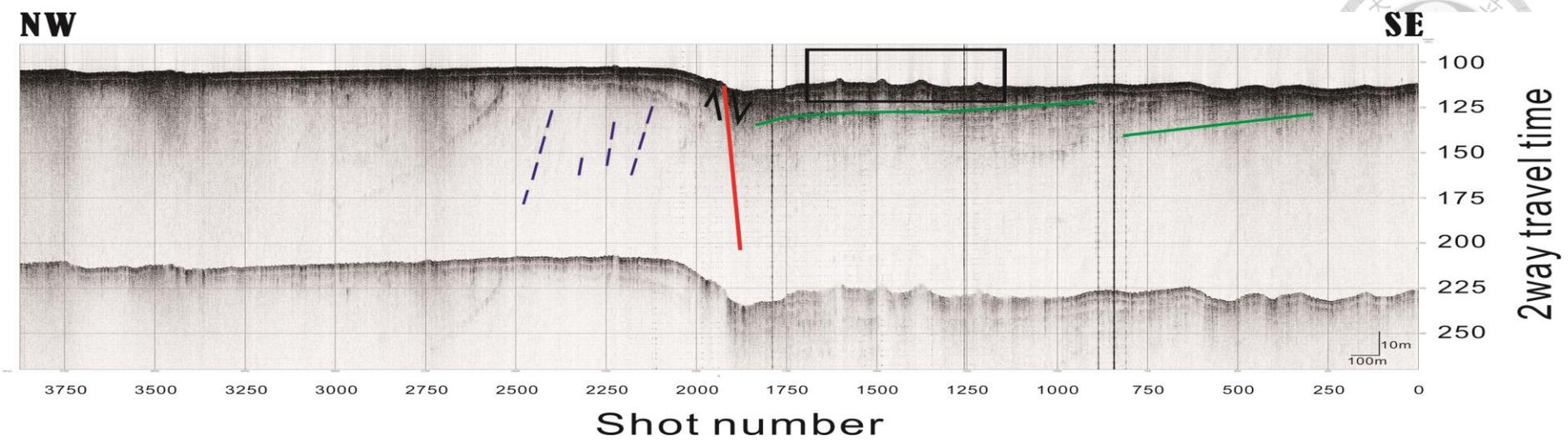


圖 3-12 第五條震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，在炸點 1900 附近的紅線代表正斷層線，綠線表示現生沉積物地層，正斷層線左方有些節理破裂面(藍線)，在炸點 1600 到 1300 之間，經過前面敘述的大型沙丘地形(黑框位置)。左圖紅線為測線位置，星號為地層不連續面在地形上的位置，黑框位置為剖面與前述大型沙丘相交之位置。

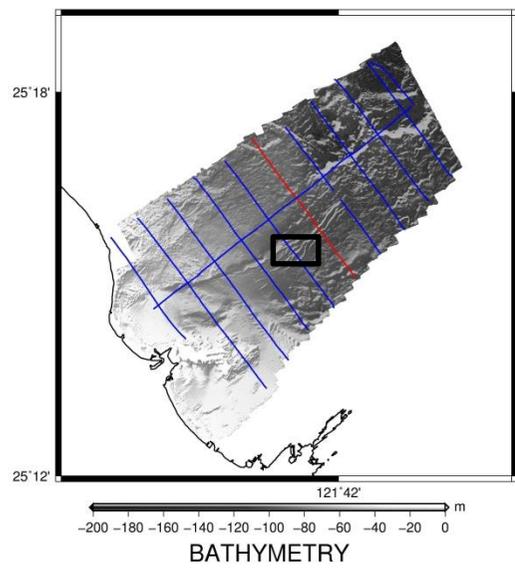
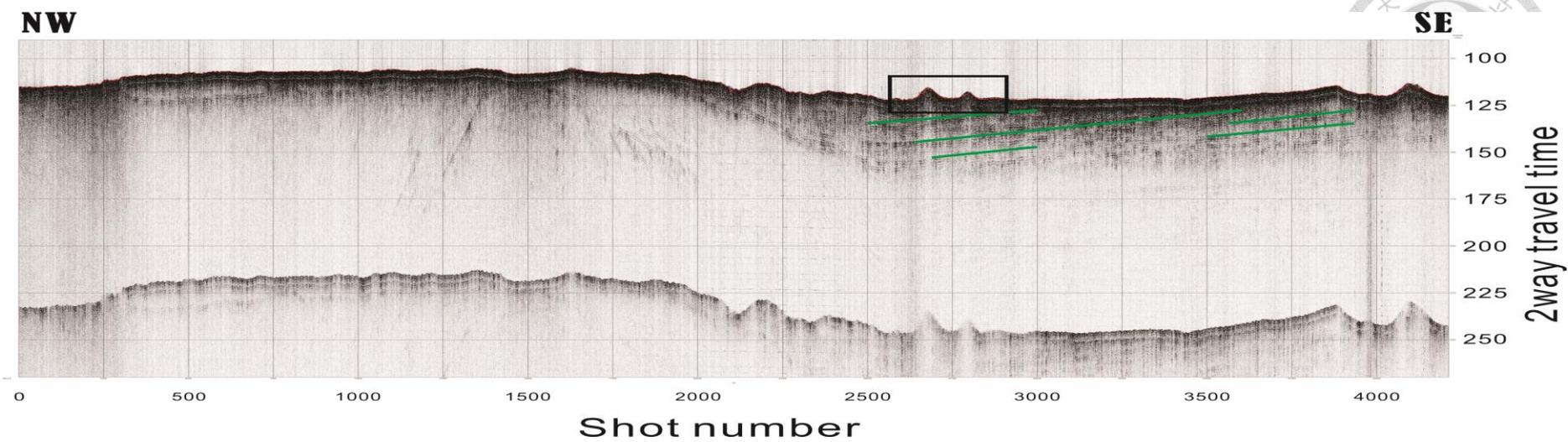


圖 3-13 第六條震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，本張震測剖面圖，無明顯的正斷層線，綠線為可辨認的現生沉積物地層，排列斷續且向西北傾斜，測線經過前述大型沙丘地形，在圖上黑框位置表現。左圖紅線為震測剖面位置，圖上黑框為前述之沙丘地形與測線相交的地點。

第七條震測剖面的西北方可以看到地層向東南下傾，而下傾後的地層訊號不明顯，無法看出地層的在下傾後的形貌，但東南方的地層有向西北的傾斜的現象，是否為構造的影響還需進一步的研究了解。

第八條震測剖面可以看到三個明顯的斷層線分別在炸點 3250、3000 及 2250 上，根據斷層間的地層排列方式，可以看出此一連續正斷層為匙狀斷層構造，在水深地形上，這條測線經過水深圖北邊的圓形窪地，窪地邊緣正好經過正斷層的位置，證明了地形上的窪地是由這一匙狀斷層構造所產生。

第九條測線在炸點 1000 上可以看到一條正斷層線，在其兩側的地層有不連續的現象出現，但在剖面的其他地方就無法有較明顯的地層訊號去判別斷層線的位置，西北方炸點 600 處，有一沉積層面的下傾，但因下傾後的訊號不明，無法判斷是否為構造運動影響而形成，但第九條震測剖面所在位置與西南方窪地相當接近，此區域地形構造也與剖面八型態相似，有可能同為區域構造內的匙狀斷層。

從這些正斷層資料可以了解到，A 延伸線下的正斷層構造，從近岸第一條測線就開始延伸，經過第二、三、四及第五條測線都可以明顯的看出斷層構造的在。而此正斷層線由第三第四條剖面可以看出，地層大約下滑 15 公尺，且經過計算，斷層傾斜角度大約為 40 度。B 延伸線在震測圖上的表現相當不明顯，這是由於在 B 延伸線上的海床底質較為堅硬，無法有效的觀測到海床下的構造，只能在第二條震測剖面上隱約的看出，但無法對其構造做有效的辨別。而在第六條剖面處，已無法顯著的在測線剖面上看見地層不連續面，只有斷續的地層訊號，因而推測此正斷層是在第五及第六條測線終止，沒有再繼續延伸。到了第七條測線由於訊號不明顯的關係，無法看出海床下的構造狀態，而第八條測線經過水深地形圖上北邊所出現的圓形窪地，在海床下出現三條地層的正斷層線，且根據這三條正斷層線中的地層形貌，判斷其為一系列的匙狀斷層，而此一系列的匙狀斷層造就了窪地地形的產生。匙狀斷層為一曲面的斷層，傾斜角度隨深度增加而變

小，因拉張應力的持續作用，若塊體間有弱面存在，就可能產生破裂並形成一系列匙狀正斷層(圖)。在第九條測線，窪地的邊緣，也有類似的構造地形出現，但由於地層訊號沒有第八條震測剖面明顯，只能以推測的方式將其歸類為同一構造區。另外，在前述的兩個沙丘地形構造下，由剖面三與剖面五、六看出其海床下的地層沒有經過構造變動，因此兩構造的形成原因應為海水運動所造成。

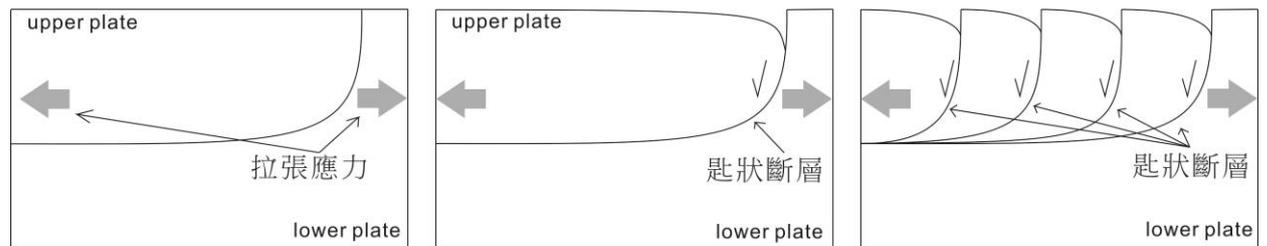


圖 3-14 匙狀斷層構造序列形成示意圖，發展順序由左至右，當塊體受到拉張應力的影響，可能會使塊體間的弱面破裂形成一系列的匙狀正斷層(修改自周泓群，2012)

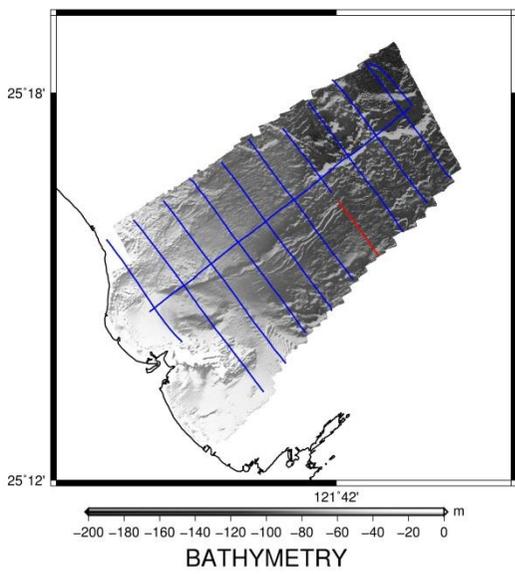
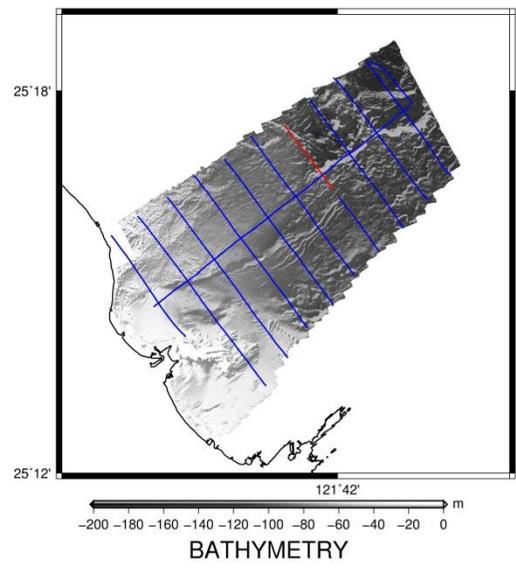
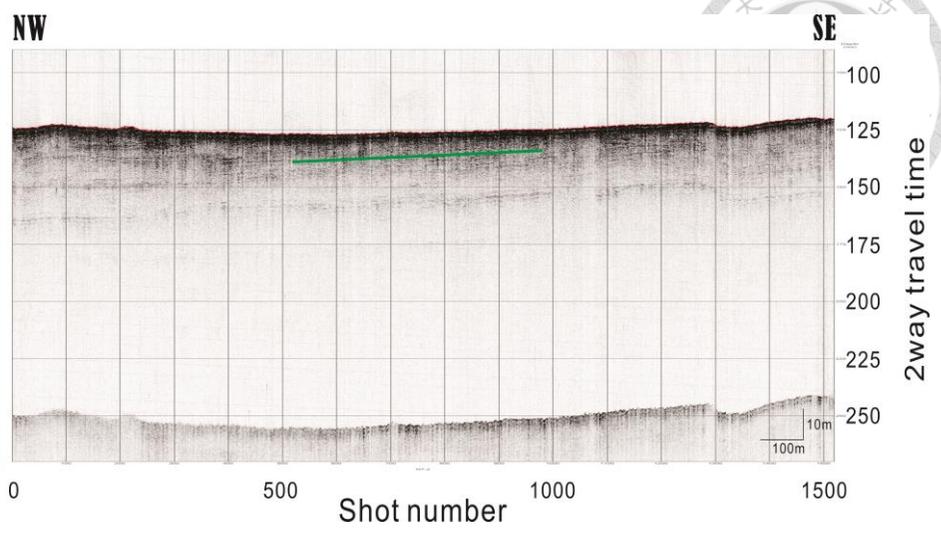
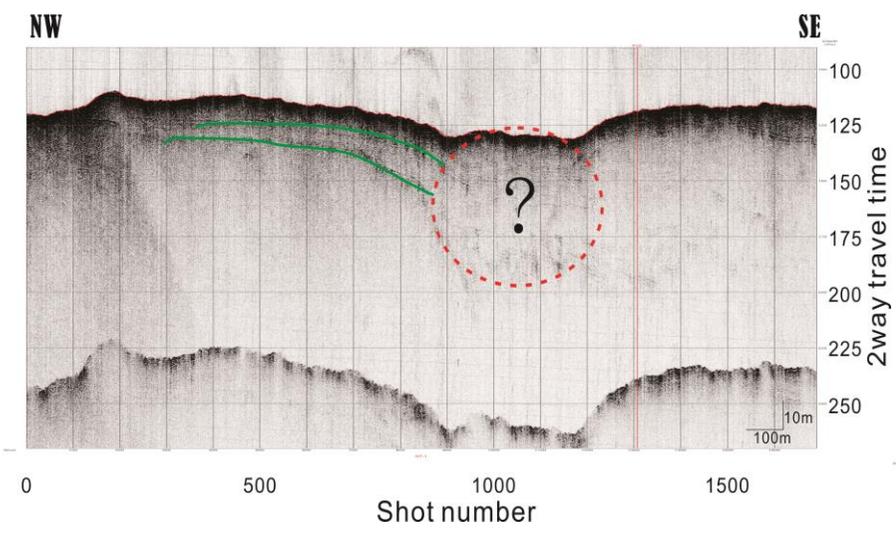
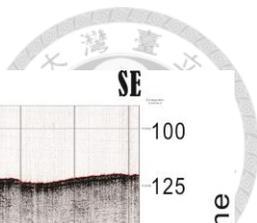


圖 3-15 第七條震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，從震測剖面的西北方來看，可以看到原本水平的地層在炸點 900 的位置下傾(綠線)，但下傾後由於訊號的不明顯，無法辨別下傾後的構造狀態(紅色圓形虛線)。但在東南方的地層有向西北傾斜的狀態(綠線)，且而東南方有一小型地層不連續面在此出現。左圖為測線位置(紅線)，黑色圓型虛線為剖面上訊號不明的位置。

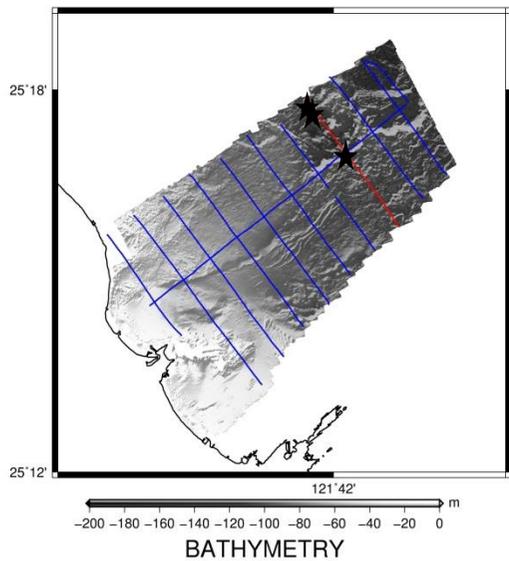
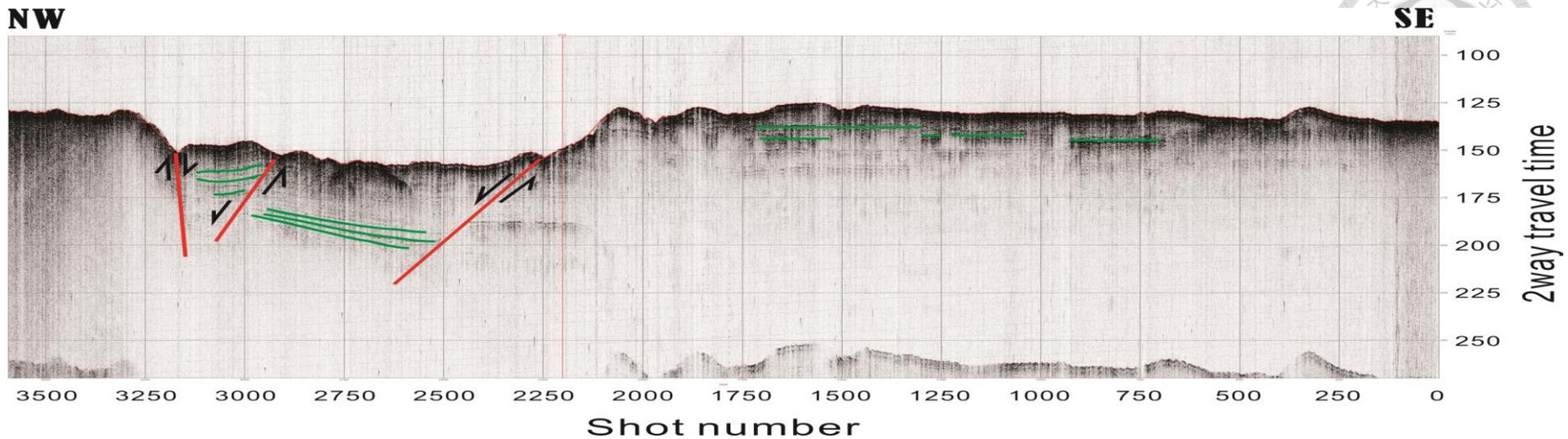


圖 3-16 第八條震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，本震測剖面中有三條正斷層線(紅線)，在剖面西北方炸點 3250、3000 及 2250 附近，中間為一地塹低區，綠線代表的是地層，剖面西北方的地層成匙狀排列，東南方的地層則為沖積地層水平排列。左圖為測線位置(紅線)，星號為三條地層不連續面在水深地形上的位置。

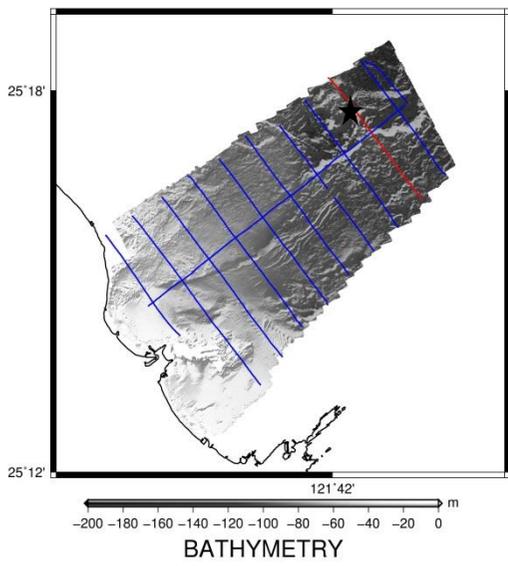
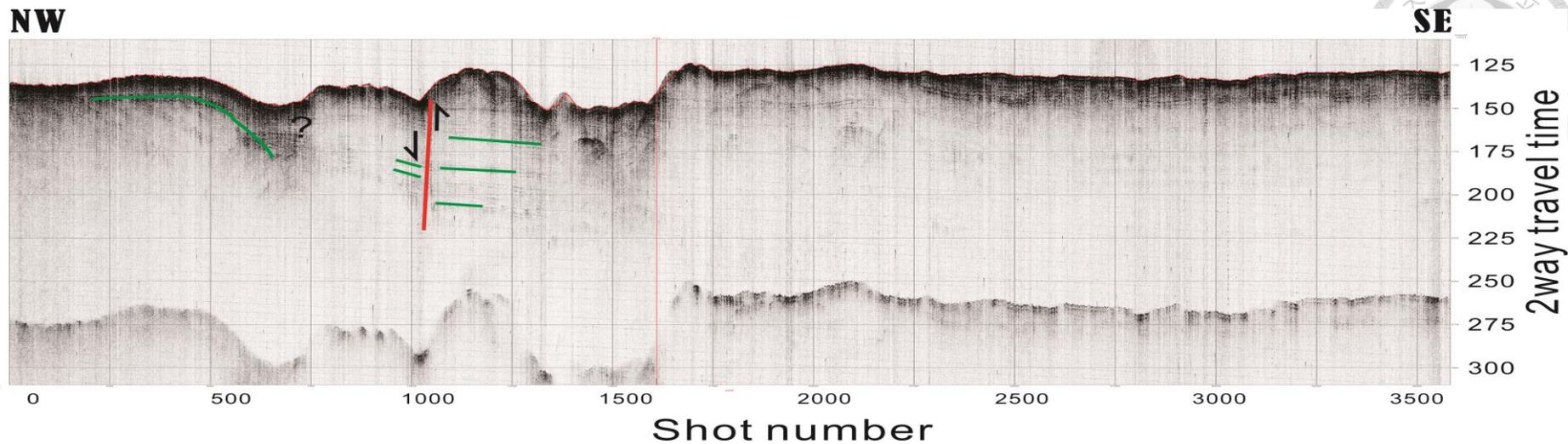
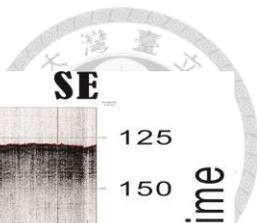


圖 3-17 第九條震測剖面，圖下面所標示的是炸點標號及位置，右邊標示的是聲速雙程走時單位為毫秒(ms)，右下角為圖例，地層訊號較不明顯，只有中間地層的訊號中，利用兩邊地層的傾斜，可稍微辨別出一條正斷層線(紅線)，而在剖面的西北方，有一條地層大約在炸點 600 處向下傾沒(綠線)，但此處地層訊號不明顯，無法判斷此處是否有斷層出現。左圖為震測線位置，星號為斷層線在水深地形圖上的位置。

第 4 章 討論



4-1 金山斷層的出海延伸狀態與範圍

由多音束測深系統資料處理出來的水深地形圖，可以看出兩條明顯的地形延伸線，都呈西北高東南低的形貌在金山外海近岸處向外延伸。

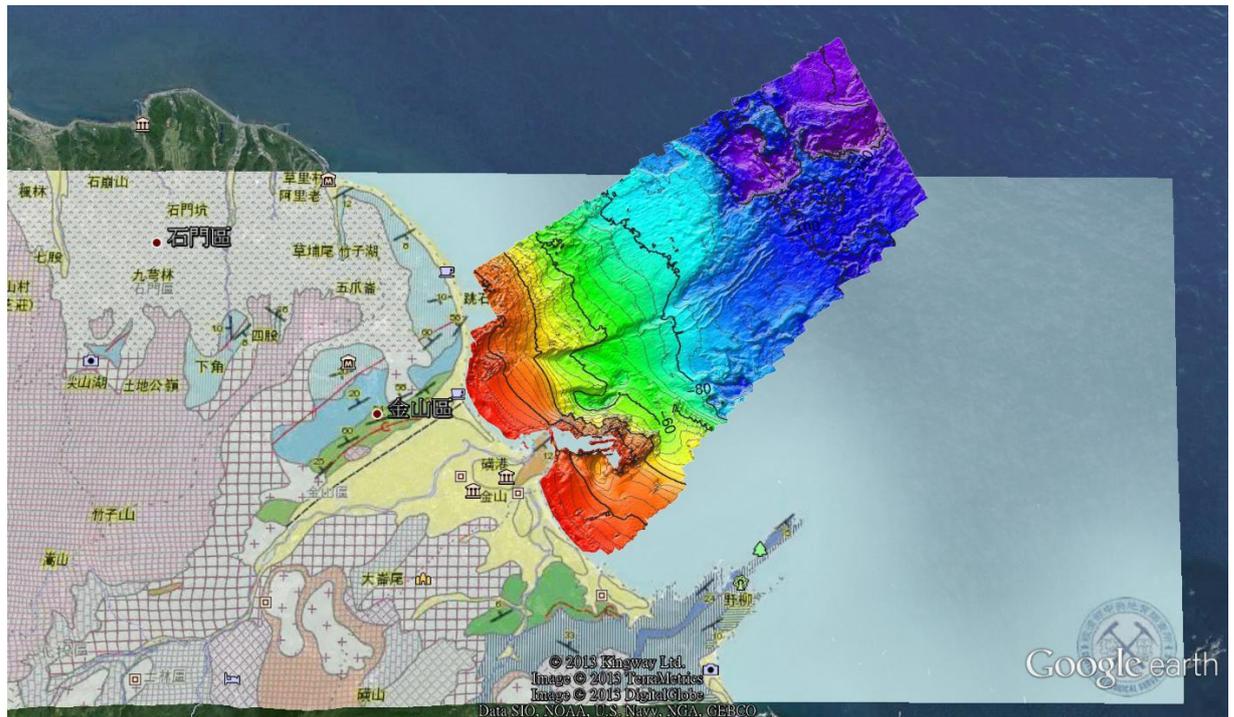


圖 4-1 金山斷層與 A、B 延伸線關係圖。藍色虛線為 A 延伸線，紅色虛線為 B 延伸線，黃線為金山斷層陸上斷層線

A、B 延伸線為金山外海地形圖上明顯的地形線，而 A 延伸線從北緯 $25^{\circ}14'40''$ 開始朝東北延伸，地形線的形貌呈西北高、東南低的型態，在其沿線的地形剖面圖中可以看出(圖 4-2)，A 延伸線延伸長度大約五公里，到水深 100m 左右便無法清楚地辨別，且在水深更深處也沒有相關聯的延伸跡象。而金山斷層在陸上的出海處(圖 4-1)，與此地形線相當接近，幾乎可以相連，在線型位置的比對上，可看作為同一構造線。

而 B 延伸線與 A 延伸線的延伸方向都是朝東北方延伸，其地形線的形貌也呈西北高、東南低的型態，從 $121^{\circ} 38' 24''$ 開始延伸，直線延伸約 4.5km，但地形高差較小，最大高差只有 3m，在地形上較不如 A 延伸線明顯，且由震測上的訊號強度來看，B 延伸線的所在位置兩側海床的性質並沒有不同，再加上金山斷層出海位置與 A 較相近，因此可以判斷 A 延伸線才是金山斷層的出海構造線。

而根據前人研究所做的震測剖面，金山外海除了金山斷層的出海構造外，還有一分支斷層在其西北方，因此推論 B 延伸線應為金山斷層的分支斷層，與金山斷層屬同一力場下的產物。

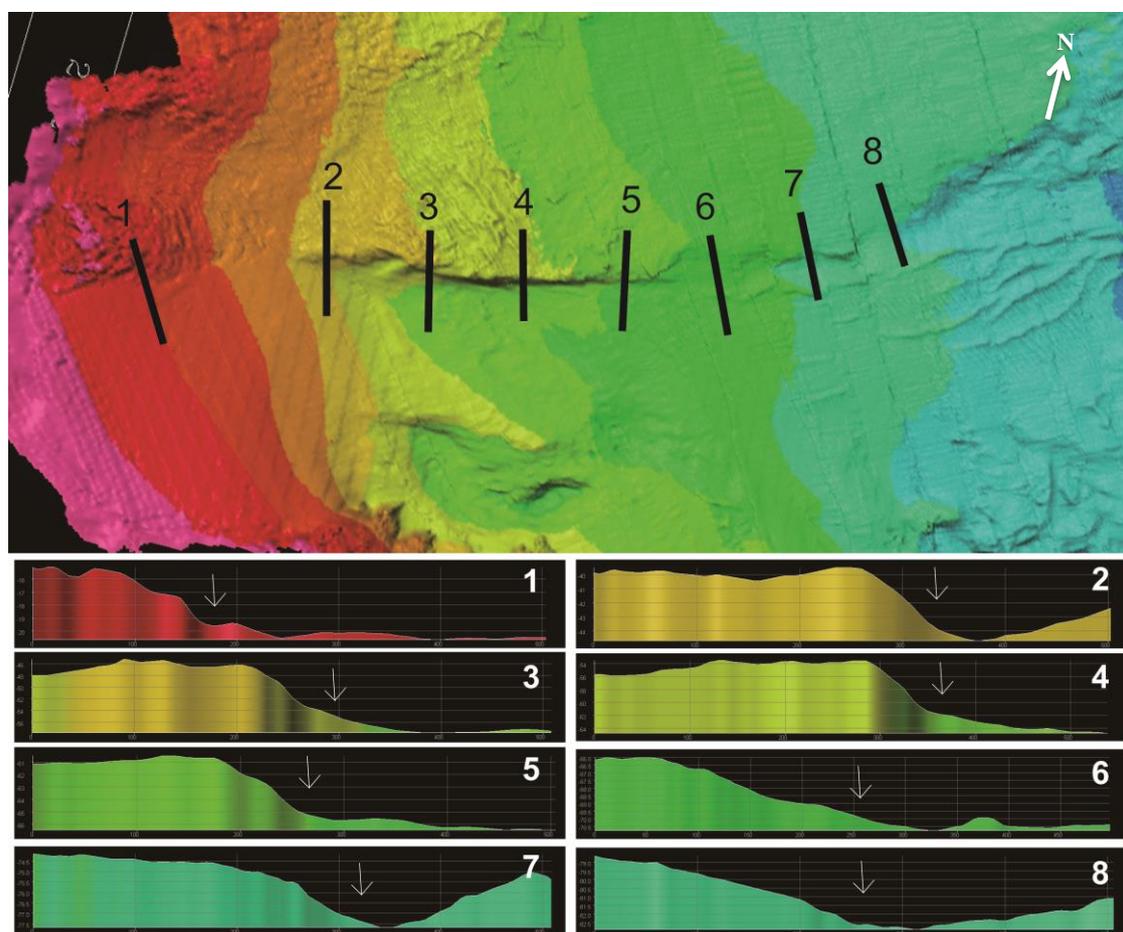


圖 4-2 A 延伸線上的地形剖面，上圖為 A 延伸線水深地形圖，黑線為剖面線位置編號 1~8 右上角白色箭頭為方位指示。下圖 1~8 為剖面圖，白色箭頭為與 A 延伸線的地形變化處。

因此，我們可以瞭解到金山斷層在金山外海的延伸線就是 A 延伸線，且在外海呈正斷層活動，但目前對於金山斷層的活動型態，各家學者有不同的看法，前人研究金山斷層，由野外調查(市川雄一，1930;丹桂之助，1943;徐茂揚，1967;

黃鑑水等，1991)、鑽井資料(蕭寶宗，1956)及地球物理方法(楊潔豪等，1990;謝昭輝等 1991)均顯示為一逆衝斷層，但李錫堤等(1992)、蕭文啟(1993)由野外調查與震測資料，均認為金山斷層為一正斷層。

黃鑑水等 (1991) 指出，金山斷層延線所經過的大屯火山群，並未受到斷層的影響產生構造變動，根據大屯火山群初次活動的年代大約在六十萬年前，顯示六十萬年以來金山斷層似未再活動過。於是我們認為，在金山外海的斷層活動有反轉的現象，與台灣北部地區的山腳斷層，有相似的運動型態。

在中央地質調查所中描述到，山腳斷層為正移斷層，呈北北東走向，可以分為 2 段：南段自台北縣樹林向北延伸至台北市北投區，長約 13 公里；北段由北投向北延伸至台北縣金山，長約 21 公里(圖 4-3)。而根據他們在關渡平原與金山地區鑽探的岩心資料，關渡平原之火山碎屑堆積與金山地區的岩性相同，且兩者的基盤深度均達到 500 多公尺因此正斷層很有可能是山腳斷層向北延伸所造成，且根據石瑞銓(2005)的淺層震測調查，推斷金山地區應歷經一次巨大的構造沈陷事件，此一正斷層有可能是山腳斷層向北延伸所造成的。

在此我們可以做個結論：

1. A 延伸線為金山斷層的延伸
2. 由於山腳斷層與金山斷層在北部金山地區，幾乎延伸在同一位置，因此可以推測兩條斷層在北部海岸佔據同一條線，在外海作正斷層運動。
3. B 延伸線可能為金山斷層的分支。

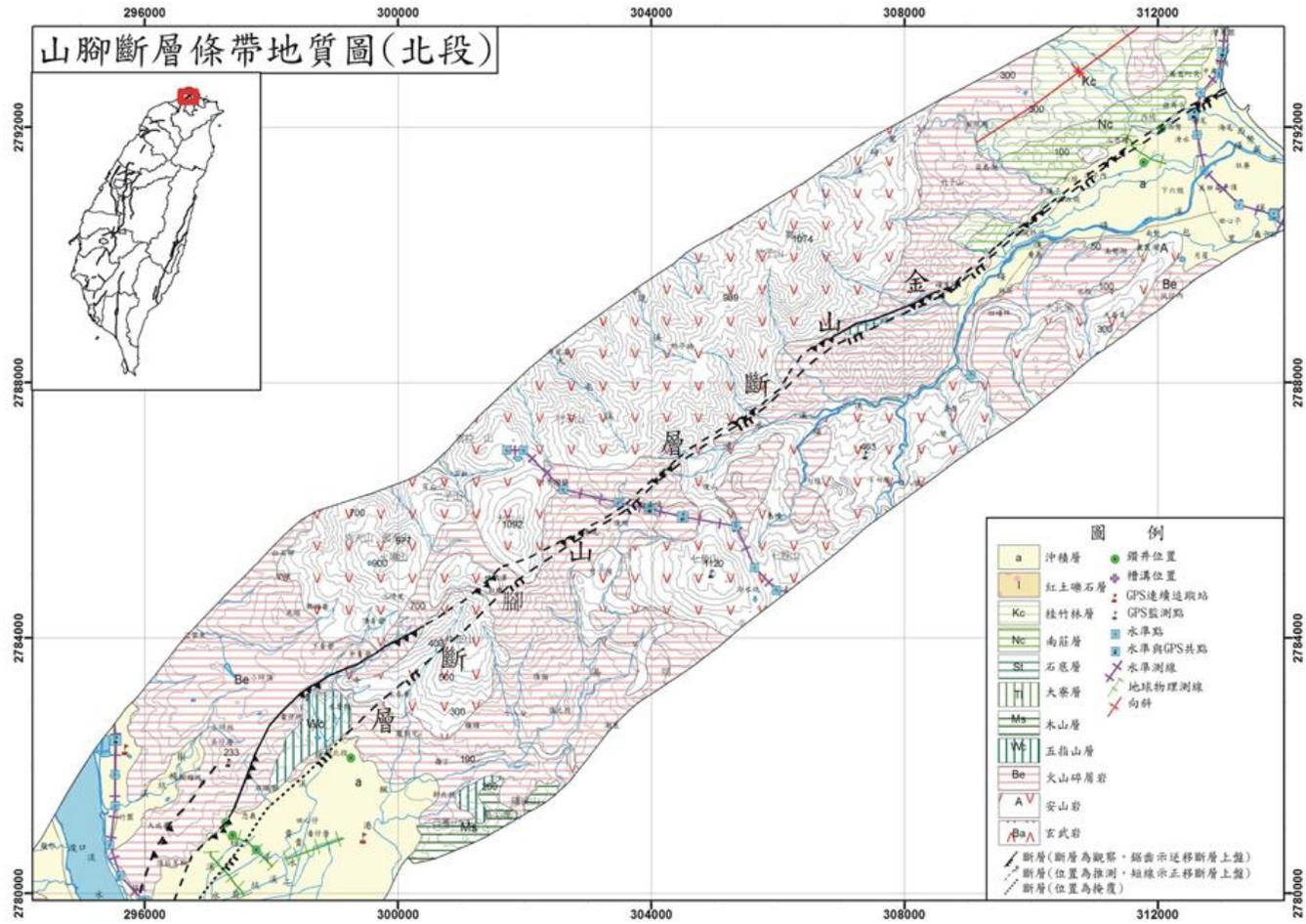


圖 4-3 山腳斷層北段延伸圖，可以看出山腳斷層從樹林穿過大屯火山群到達金山地區，其線性延伸於金山斷層幾乎為同一個位置。右上紅線位置為跳石向斜。(摘自中央地調所)



4-2 山腳斷層的終點位置

在本研究的區域範圍內，除了發現金山斷層的向海延伸構造外，也發現其中有些較為特殊的地形特徵。在探勘區域的北邊因匙狀斷層所筆生的圓形窪地，是我們需要討論的重點。而依據 A 延伸線在外海的延伸型態，及活動狀態，在本段之後，我們將以山腳斷層稱呼之。

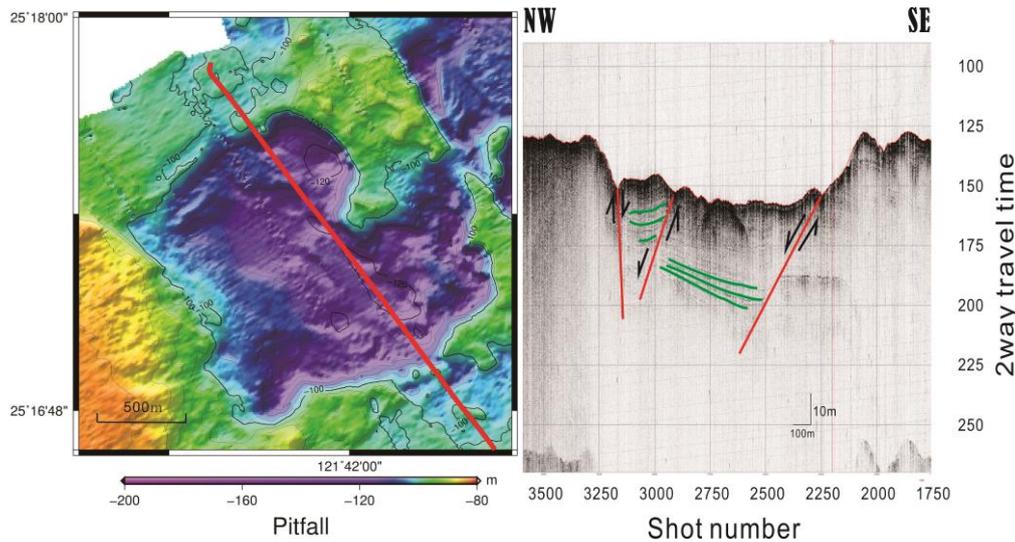


圖 4-4 左圖為測區北方窪地地形圖。紅線為第八條震測剖面位置。右圖為範圍內的震測剖面。

於上面的章節提到，此一窪地地形是由匙狀斷層構造所形成，而根據前人的研究(Woodcock, N. H., and M. Fischer, 1986)提到(圖 4-5)，走向滑移斷層的端點，或斷層走向的沿線，若出現有彎曲的情形，會因受到拉張或擠壓應力的影響，而形成一系列的拉張正斷層或是擠壓逆斷層，而產生匙狀斷層構造(listric normal fault)或花狀構造(flower structure)(圖 4-6)。反過來說，若在斷層尾端出現匙狀斷層構造或花狀構造，我們便可以依此來推論此斷層應包含有平行斷層走向的運動分量，且在斷層尾端有轉換拉張應力或轉換擠壓應力的情形發生。基於此一理論，我們可將此處辨認為山腳斷層的終點。

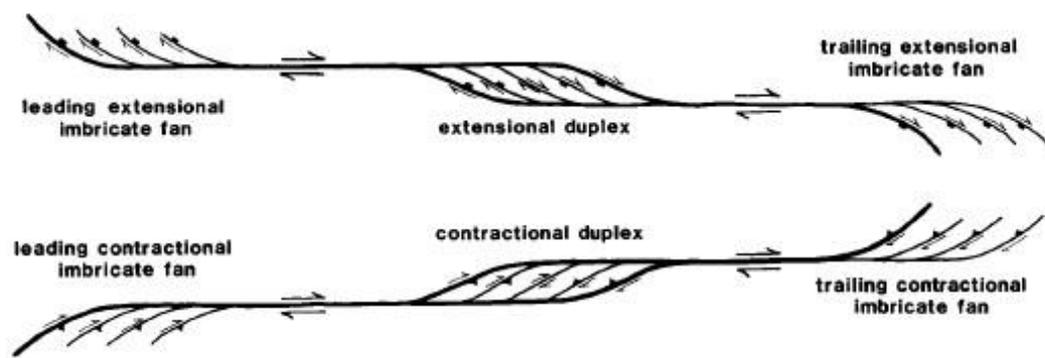


圖 4-5 走向滑移斷層於斷層彎曲處及尾端所形成的正斷層或逆斷層序列之破裂方式示意圖(摘自 Woodcock, N. H., and M. Fischer, 1986)

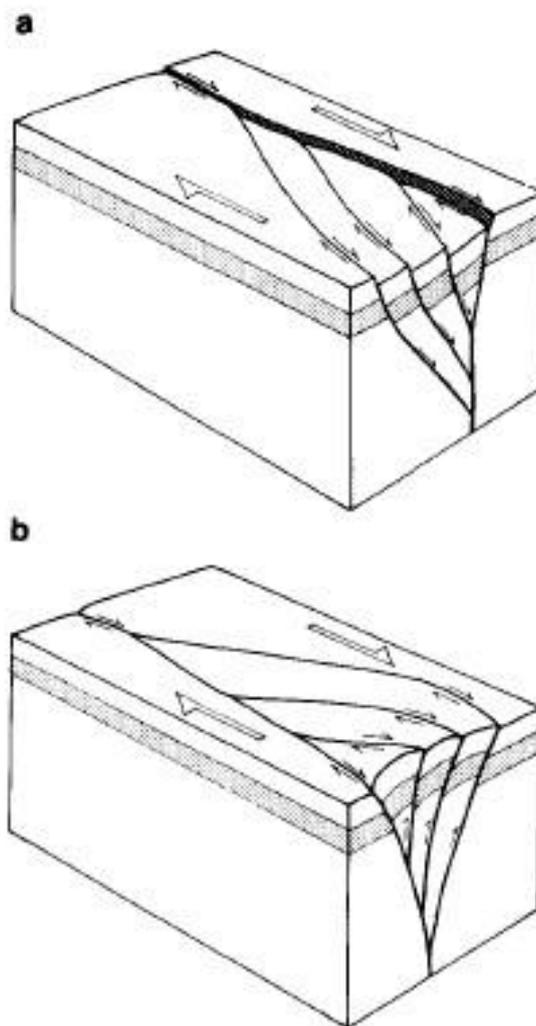


圖 4-6 由轉換拉張應力所形成的(a)匙狀斷層構造與(b)花狀構造(摘自 Woodcock, N. H., and M. Fischer, 1986)

4-3 金山外海沉積型態



根據近岸的側掃聲納成果來看，山腳正斷層兩旁的海床底質組成不同，西北方是由老的粗質地層構成，東南方則被現生沉積物所掩蓋。根據黃鑑水(1990)的研究中提到，金山斷層上盤為五指山層，下盤則為南庄層及桂竹林層，因此在山腳斷層出海延伸的西北側地層，應為南庄層及桂竹林層的延伸，而東南方地層應為五指山層，但被海外的現生沉積物所覆蓋住，只能在磺港半島處的外海坡地才能看到。根據震測剖面圖，山腳斷層在海上的正斷層活動，上盤相對下盤大約滑落了 10m，由此可知，海外斷層的東南側現生沉積物厚度大約為 20m，而西北側的現生沉積物較薄，大約只有 3m 左右的堆積。

而在探勘區域範圍內也找到幾個水成的沙丘(sand wave)構造，如磺港坡地延伸終端處有一個小型沙丘，而在其東北方、第四條震測線的東南方也有沙丘地形的出現，在山腳斷層延伸尾端旁也有一個狹長沙丘地形，由於它們海床下並無明顯構造變動，支持這裡的沉積為砂質沉積，在地形坡腳處，潮汐會產生一定強度的底流，發生在水深 100m 深處



第 5 章 結論

在本文中，我們認為正斷層活動現在發展在金山斷層的外海處，也因此所謂的山腳斷層，會從台北盆地再沿金山斷層的斷面向外海延伸，並且在此延伸線的末端，發現一個由匙狀斷層構造所形成的窪地，根據前人的研究 (Woodcock, N. H., and M. Fischer, 1986)，我們可以推測，山腳斷層只向外海延伸約 7.5 公里，而在尾端所出現的匙狀斷層，代表此處受到轉換拉張應力的影響，進一步推測山腳正斷層運動，有平行於走向的剪切移動向量，再加上斷層走向及匙狀斷層構造位置來推論，金山斷層為帶有右向滑移分量的正斷層構造(圖 5-1)。

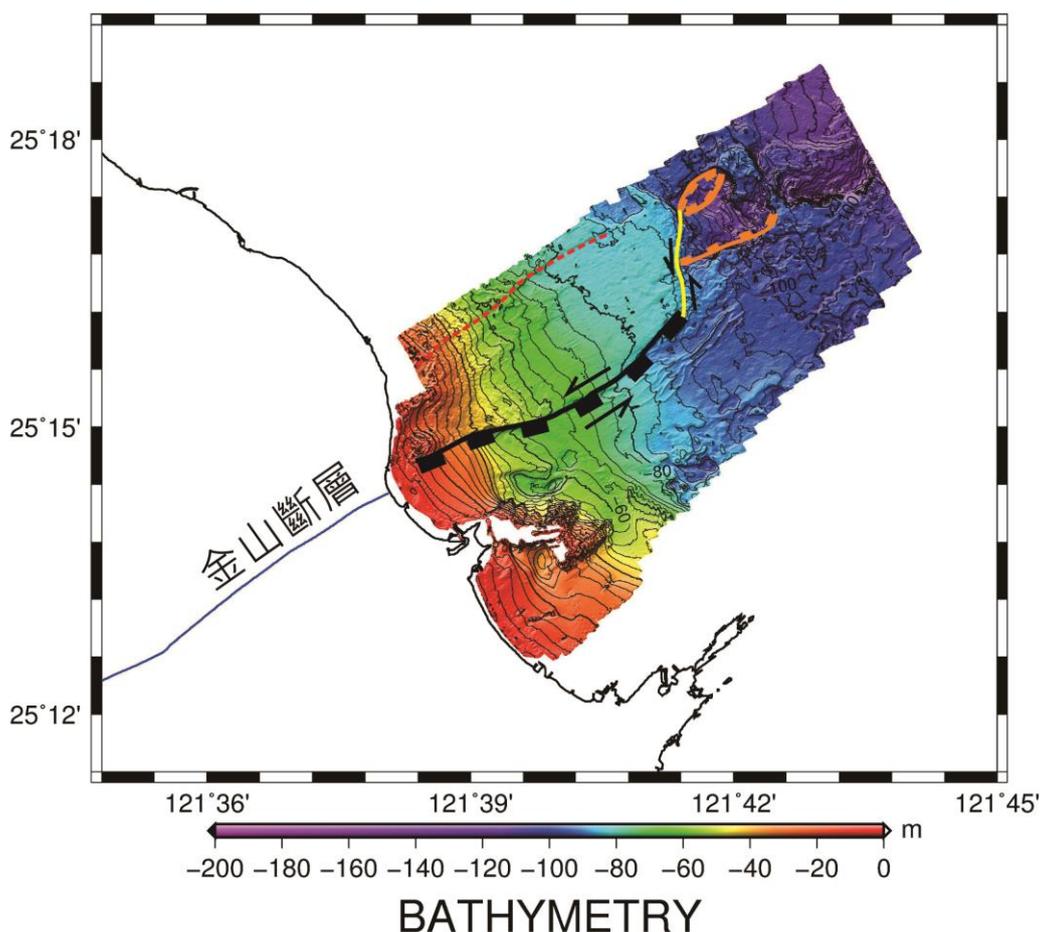


圖 5-1 圖上所表示為本次研究中的地形構造推論，黑線為山腳斷層在海外延伸線，紅色虛線為 B 延伸線，橘線為斷層尾端的匙狀斷層序列，黃色虛線為推論之平移斷層位置。

徐閔儀(2006)年的研究提到，台灣北部海域受到沖繩海槽擴張的影響，屬於伸張帶，若以金山-山腳斷層為分界於斷層西側速度向量皆往西北方移動，而斷層之東側則由東北方順時針移動，由此可見，山腳斷層除了正斷層運動的進行之外，依現階段的應力作用方式，其斷層運動還帶有右移的分量。由此證明本文對於山腳斷層的外海運動型態的推論。

在上述的推論結果下，我們便可對於區域內的構造型態及地形地貌結合做一個解釋(圖 5-3)。在整個研究區域內，因構造變化所肇生的明顯地形，就是山腳斷層延伸線，此一延伸線在區域內自海岸外 500m 附近開始，向海外延伸約 7.5 公里後便終止，而因山腳斷層在斷層尾端部分所產生的轉換拉張應力，形成一匙狀斷層所形成的窪地地形。



參考文獻

Chien- Hou Yang & Chow-Son Chen, 1989, Application Of The TEM Method In The Chinshan Fault Area, Chinshan, Taiwan, Proceedings of the Geological Society of China, 32-4, P369-381.

Chien-Jen Chu, Chyi-Tyi Lee & Louis S. Teng, 1998, Structural Features And Quaternary Tectonics Of The Chinshan Fault, Northern Taiwan, Journal of the Geological Society of China, 41-1, P25-42.

Kuang-Jung Chen, Yin-Hsiung Yen, Horng-Yuan Yen & Cheng-Horng, 1998, Seismological Studies In The Chinshan Fault Area, Journal of the Geological Society of China, 38-4, P335-353.

Song, G.S., Ma, C. P. and Yu, H.S., 2000, Fault- genesis of the Chilung Sea Valley Revealed by Topographic Lineaments, Marine Geology, 169, P305-325.

Song, G. S., Y. C. Chang and C.P. Ma, 1997, Characteristics of Submarine Topography off Northern Taiwan. TAO, 8- 4, P461-480

Woodcock, N. H., and M. Fischer, 1986, Strike-slip Duplexes, Journal of Structural, Geology, 8, P725-735.

朱健仁，(1992)，新莊(金山)斷層沿線的古應力分析，國立台灣大學地質研究所碩士論文，共 52 頁。

王朝興，(2005)，金山地區活動斷層之淺層震測調查，國立中正大學應用地球物理研究所碩士論文，共 61 頁。

王舒龍，(1995)，台灣北部地區之海底地形特徵及其隱藏之地質構造的意義。國立台灣海洋大學海洋科學研究所碩士論文，共 32 頁。

余水倍、陳宏宇、郭隆晨、侯進雄、李錦發，(1999)，台北盆地斷層活動之觀測研究，經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，P227-251。

李明隆，台灣北部近海一些地形構造之分析解釋，國立臺灣海洋大學應用地球科學研究所碩士論文，共 30 頁。

李錫堤、鄧屬予、劉聰桂、蔡隆珩。(1993)。台灣北部金山—新莊—山腳斷層活動性之地質評估(I)，國科會專題研究計畫成果報告，共 80 頁。

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，增訂第二版，共 164 頁。

邱俊穎、胡植慶、陳致言、劉桓吉，(2008)，山腳斷層在活動對於台北盆地內地形變化之探討，經濟部中央地質調查所特刊，第 20 號，P97-110。

林明聰，(1990)，震測法應用於金山斷層之調查研究，國立中央大學地球物理所碩士論文，共 69 頁。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同正、黃文正，(2000)，台灣活動斷層概論(第二版)-五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第 10 號，共 103 頁。

周泓群，(2012)，旗山斷層於海外延伸：轉換拉張機制之探討，國立台灣大學海洋科學研究所碩士論文，共 80 頁。

徐閔儀，(2006)，台灣北部震間地殼變形：1995-2005 年觀測，成功大學地球科學研究所碩士論文，共 123 頁。

陳文山，(1991)，金山斷層電探研究，國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 65 頁。

陳文山、楊志成、楊小青、劉進金，(2003)，從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造，經濟部中央地質調查所彙刊，P99-123。

黃怡煥，(2004)，沖繩海槽最南段與台灣北部斷層系統的分析與研究，國立台灣大學應用地球科學所碩士論文，共 67 頁。

黃鑑水、劉桓吉、李錦發，(1990)，台灣北部金山斷層之地質調查與探勘研究，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，第 79-44 號。

詹益湘，(2004)，關渡平原之淺層震測調查，國立中正大學地球物理研究所論文，共 56 頁。

劉宗聖、王正松、王舒龍、許明光，(1997)，台灣北部近海海底地形構造初探，台灣海洋學刊，第 36 卷第 2 號，P139-157。

劉佩琨，(2007)，側掃聲納數位影像之解析與辨識分析研究，國立台灣大學海洋研究所博士論文。

盧詩丁、劉彥求、衣德成、鍾令和、劉桓吉，(2005)，山腳斷層，經濟部中央地質調查所特刊，第 19 號。

