

國立臺灣大學理學院地質科學研究所

碩士論文

Department of Geosciences

College of Science

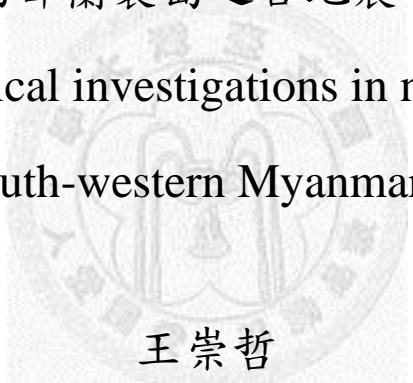
National Taiwan University

Master Thesis

緬甸西南部蘭裏島之古地震事件研究

Paleoseismological investigations in northern Ramree

Island, south-western Myanmar (Burma)



王崇哲

Chung-Che Wang

指導教授：徐濤德 博士

Advisor: J. Bruce H Shyu, Ph.D.

中華民國 102 年 1 月

January, 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

緬甸西南部蘭裏島之古地震事件研究
Paleoseismological investigations in northern Ramree
Island, western Myanmar (Burma)

本論文係王崇哲君 (R99224109) 在國立臺灣大學地質科學系完成之碩士學位論文，於民國一〇二年一月十五日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

王崇哲

(指導教授)

張中白

謝高龍

張昆銘

張川江

致謝

兩年半的碩士生涯說長不長說短不短，但就不知不覺的過去了。在這段時間裡面，增長了許多知識外，同時也對野外調查有了更深刻的體驗。在學習研究的一路上，除了自己堅持下來，也受到許多人的幫忙協助。

最感謝的是我的指導教授徐濤德老師，由於吾等資質駑鈍，尚且行事莽撞。但老師總是不厭其煩的一再指導我，將我重新引回到正確的道路上，讓我能順利的再繼續走下去。再來要感謝王昱學長在緬甸野外工作中，教授我許多的知識，並在過程中不斷的鞭策鼓勵我，讓我有更多的動力。還有感謝沈川洲教授指導定年方法與儀器操作，並與諸位口試委員：張中白教授、謝孟龍教授與顏君毅教授一同給予我許多的意見與指導，讓我更明白錯誤的所在，並找出自己的盲點。

人生中有著許多不同階段的旅途，每一段都有它的故事在。在踏進來之前，我對科學與研究這兩個詞還是懵懵懂懂。雖然現在的我可能還無法很好的表達它們的意思，但至少在這過程中，我學習到豐富的知識與處理問題的能力，也得到許多寶貴的經驗，也總算是完成了這段的旅途。謝謝我的父母與家人，在背後支持著我，使我能毫無顧忌的向前邁進，這份學習的成果就是我所能回饋給他們的禮物。

然而這一路上風塵僕僕，有歡笑也有淚水，在這其中，我最低潮的那段時間，要感謝興麟學姐給了我莫大的幫助，雖然我還是高估了自己的能力。謝謝阿和學長、宏偉學長、忠哲學長、鴉哥學長分別給予我專業的技术指導。也謝謝實驗室內陞哥、佳穎、怡蓉、俊甫、小杜、奕維、秦念祺、小班、陳承鴻諸位同學在各方面給予的意見與幫忙。當然還有感謝重要的助理玉秀打理各式各樣煩雜的業務。謝謝老吳、阿金、港仔、冠辰、錢錢、Rana、溫老、飯粒、則喻、Mao、小明、懷傑、小希、欽煌、韶怡、於蓁、Lily、Coco、怡綺、皓正、晉平、上達……等諸位朋友一路上各種的協助與開導。然而要感謝的人、事太多，但礙於篇幅而無法一一的詳述，請恕筆者無心之過。

摘要

位於東南亞的緬甸，在大地構造上，是夾在歐亞板塊與印澳板塊之間的一微板塊。在緬甸板塊的西側，印澳板塊向東隱沒入緬甸板塊之下，形成一巨大的碰撞隱沒邊界。由於此一隱沒作用，造成了緬甸板塊上活躍的構造活動。在此板塊邊界上，已知唯一的大規模歷史地震活動紀錄是在發生西元1762年的若開地震，該地震的活動紀錄在緬甸西部沿海地區都可以找到，且估計的地震規模高達8.8。先前在緬甸的海階研究中指出，此種規模的大地震活動周期約為900年。

本研究前往緬甸西南外海的蘭裏島，針對蘭裏島北邊四處地點的地形特徵進行研究，藉以瞭解此地區的地震周期。除了藉由DEM的影像判研當地的地形地貌之外，亦在野外中進行詳細調查記錄，採集可供定年之材料。利用地形的抬升記錄以及可以指示古海水面的生物特徵，瞭解過去的構造活動性。過去在島嶼的東北邊，靠近皎漂鎮的海岸上，有研究報導過這地方附著在岩壁上的牡蠣化石，是因為1762年的地震抬升而死亡，並得知1762年在此處的抬升約為1 m。本研究重新調查該地點，並發現在當地的海蝕凹壁同樣也記錄到1762年的地震抬升位移。在詳細的測量後，得知該地點有多次的地震活動記錄，且每次的地震規模均相似於1762年的地震事件。在蘭裏島的西北角，靠近雷卡蒙村落的海岸上，本研究在該地點的海蝕平台上，發現數段不同高程的珊瑚礁。在經過詳細的²³⁰Th定年後，得知1762年的地震事件在該地點所造成的抬升量約略與島嶼東側皎漂鎮所測得的抬升量相同。而在1762年的事件前後，都分別存在著另一次的抬升記錄，說明在蘭裏島上有更為複雜的構造抬升活動。根據珊瑚礁的分析結果，得知這些構造活動的抬升量，都與1762年的地震事件所造成的抬升量相近，顯示即使這些抬升事件只是地區性的構造現象，也可能成為極大的地震災害。雖然先前的研究報告指出在此地區具有約900年的地震周期，但仍然不得不謹慎思考地域性地震活動的可能性。

關鍵詞：古地震學，鈾釷定年，海階，緬甸，蘭裏島

ABSTRACT

Myanmar is located at the convergent boundary between the Indian-Australian and Eurasian plates. Along the northernmost part of the Sunda megathrust, the Indian-Australian plate subducts northeastward underneath the Burma micro-plate, and produces a series of deformation belts with many seismic activities. The last major earthquake along this belt occurred in 1762, with an estimated magnitude of about 8.5. From ages of uplifted marine terraces, it has been proposed that the earthquake recurrence interval in this area is about 900 years.

We surveyed four locations along the coast in northern Ramree Island, from north-eastern to south-western, Kyauk-Pyu (**KPU**), Tang-She (**TS**), Nga-Pyi-Taung (**NPT**) and Leik-ka-maw (**LKM**). Near the town of KPU, we found several levels of sea-notches on a sandstone ridge next to the coast. Up to four levels of uplifted sea-notches are present above the lowest notch, which has been shown to represent the co-seismic uplift during the 1762 earthquake. Since each notch has a ~1 m elevation difference, we suggest that there have been several paleo-earthquake events prior to 1762, and those events had similar magnitude to the 1762 Arakan earthquake. Along the coastline of northern Ramree Island to the west, there are 2 – 4 steps of marine terraces. In the site of TS, two steps of terraces be measured and also sampled several datable shell fragments in a trench. To the westernmost of northern Ramree Island, there is a small village named LKM. We found three groups of uplifted coral colonies with different elevations in the coastline. Th-230 ages of the corals indicate that the second group was killed by co-seismic uplift during the 1762 earthquake. The other two groups may therefore represent at least one event before and after the 1762 earthquake, respectively. The possible event after 1762 has not been reported anywhere else in western Myanmar, thus it may represent a local event. Furthermore,

since all of these three uplifted coral groups are lower than the lowest marine terrace, a step of marine terrace may require more than one earthquake event to form in this area. Therefore, in the previous studies, using only the ages of local marine terraces to determine the earthquake recurrence intervals in western Myanmar may have overestimated.

Key words: Paleoseismological, U/Th dating, Marine terraces, Myanmar, Ramree Island



目錄

口試委員審定書.....	I
致謝.....	II
中文摘要.....	III
Abstract	IV
目 錄.....	VI
圖、表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1-1. 動機與目的	1
1-2. 研究區域	2
1-3. 前人研究	3
第二章 研究方法.....	7
2-1. 衛星影像及 DEM	7
2-1-1. 生產 DEM	7
2-1-2. 階地判別.....	8
2-2. 野外測量及取樣	10
2-2-1. 地形地貌高程量測.....	10
2-2-2. 珊瑚高程量測及取樣.....	13
2-3. U/Th 定年分析.....	16
2-3-1. 原理介紹.....	16
2-3-2. 實驗流程.....	17

2-3-3. 年代計算公式及等時線校正.....	19
第三章 蘭裏島北部之地形特徵.....	22
3-1. 河川與山脈走向.....	22
3-2. 海階分佈.....	22
3-2-1. Kyaukphyu 的地形測量.....	22
3-2-2. Taungshe 的地形測量.....	30
3-2-3. Ngapyitaung 的野外測量.....	34
3-2-4. Leikkamaw 的野外測量.....	34
第四章 鈾鈷定年結果.....	41
4-1. 利用等時線分析獲得蘭裏島北部地區之珊瑚中鈷含量初始值.....	41
4-2. Kyaukphyu 的定年結果.....	43
4-3. Leikkamaw 的定年結果.....	44
第五章 討論.....	49
5-1. 緬甸西南外海之地震事件.....	49
5-1-1. 西元 1762 年地震事件.....	49
5-1-2. 其它地震事件之記錄.....	50
5-2. 階地與珊瑚礁之地震週期比較.....	50
5-2-1. 階地之地震記錄.....	50
5-2-2. 珊瑚礁之抬升記錄.....	51
5-3. 蘭裏島上的抬升記錄與階地形成之關聯.....	53
第六章 結論.....	54
參考文獻.....	56

圖、表目錄

圖 1-1. 東南亞地區板塊分佈與印度-緬甸邊界之古地震事件序列	5
圖 1-2. 緬甸西南部若開邦外海的島嶼分佈與蘭裏島北部的城鎮地理位置	6
圖 2-1. 蘭裏島北部的 Google Map 影像	9
圖 2-2. NIKON, Total Station, Nivo ^{3.M}	12
圖 2-3. Laser Technology, Laser Rangefinder, TruPulse 360	12
圖 2-4. X 光影像下所顯示的珊瑚年紋層(Knutson et al., 1972)	13
圖 2-5. 珊瑚生長形貌與 HLS 之間的關係(Zachariasen et al.,2000).....	15
圖 2-6. 台大地質系的多頻道感應耦合電漿質譜儀(MC-ICP-MS, Thermo, Neptune)	19
圖 2-7. 概略呈現以(²³⁴ U/ ²³² Th) _m 與(²³⁰ Th/ ²³² Th) _m 為對比之等時線線性方程式 (Cheng et al., 2000; 李桂淑, 2005).....	21
圖 3-1. 大範圍之衛星影像與數值高程模型及階地判研分佈	23
圖 3-2. KPU 地點的 DEM(a)與 Google 影像(b)	24
圖 3-3. 岸邊海蝕凹壁與牡蠣層之空間關係	25
圖 3-4. 陸上古凹壁的測量紀錄	27
圖 3-5. 陸上的海蝕凹壁樣貌及凹陷處標示	28
圖 3-6. 海蝕凹壁的測量結果統計分佈	29
圖 3-7. (a) TS 之階地判研與測量點位 (b)TS 的 Google 影像與測量點位	31
圖 3-8. 在 TS 槽溝的野外照片及描繪示意圖.....	32
圖 3-9. TS 的階面測量結果.....	33
圖 3-10. (a) NPT 的階面判研與測量點位 (b)NPT 的 Google 影像與測量點位	36
圖 3-11. NPT 的地形測量結果.....	37
圖 3-12. (a)LKM 的階地判研與測量點位 (b)LKM 的 Google 影像與測量點位...	38
圖 3-13. LKM 東側的地形面測量結果	39
圖 3-14. LKM 西側的地形面測量結果	40

圖 4-1. $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ vs $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 等時線的結果	42
圖 4-2. KPU 的珊瑚化石取樣地點示意圖	46
圖 4-3. LKM 的珊瑚化石取樣地點示意圖	46
圖 4-4. 珊瑚化石的高程與定年結果	47
表 4-1. KPU 與 LKM 之珊瑚鈾鈣定年結果	48
表 5-1. 蘭裏島北部之階地高度分佈	51



第一章 前言

1-1. 動機與目的

位於東南亞地區的緬甸，南北方延伸超過1400 km，東西方向的寬度大於800 km；位置上，北端銜接中國雲南及印度，東側緊臨泰國，而西部及南部地區分別迎向孟加拉灣及安達曼海。在構造上，此地區共有四板塊，緬甸微板塊 (Burma microplate)被夾在西側的印澳板塊與東側的巽它板塊 (Sunda plate)之間，這些板塊均與北邊的歐亞板塊相接臨。由於受到印澳板塊碰撞隱沒入緬甸板塊之下的作用影響，在這兩板塊的邊界上，形成一系列的火山島弧-海溝系統。此一碰撞隱沒邊界，由南至北可區分成三段區域，分別為巽它海溝 (Sunda Trench)、若開海溝 (Rakhine Trench)及吉大港褶皺逆衝帶 (Chittagong fold and thrust belt)(Than Tin Aung et al., 2006)。而緬甸西半部與中段的若開海溝相臨。

受到弧陸碰撞的影響，緬甸的構造活動相當的發達。二十世紀末期，由於軍政府專政獨裁，聯合國對緬甸實施經濟制裁，限制緬甸之進出口貿易，使得開發緩慢且缺乏詳細的地質研究。直到近些年來，緬甸政府逐漸的對外開放後，才加速了經濟發展，這也使得人口集中於沿海地區的各大都市中，其可能面臨的地震、海嘯災害，更是需要謹慎的去探討。

若我們綜觀過去的歷史地震紀錄，可以發現在靠近巽它海溝的蘇門答臘群島 (Sumatra Islands)地區，在過去的兩百年間，都曾有過規模7以上的大地震發生的歷史紀錄。尤其是2004年蘇門答臘大地震更是震驚了在這一大型逆衝帶上的諸多國家，所造成的傷亡損失極為慘重。而在北段的吉大港褶皺逆衝帶，同樣在過去的兩百年間也有規模7以上的大地震發生過。緬甸西半部沿海地區，若開海溝段，在過去的歷史文獻記載中，僅知在西元1762年時，有一次規模極大的地震。自1762年以來至近兩百五十年來，都沒有其他大地震的活動紀錄。然而近些年的災害大地震事件多發生於板塊碰撞帶上，並且造成了許多極為慘重的人員傷亡及經濟損失，2011年的日本東北大地震就是一個顯著的例子。在緬甸這一國家，其西側正

位於板塊碰撞隱沒帶上，同樣有機會發生大地震事件。加上緬甸正處於一個經濟開發快速成長的階段，經濟環境改善的同時，人口也跟著快速成長，倘若再度發生大地震，則極有可能造成嚴重的傷亡損失。為了瞭解其確實的地震活動性，本文希望利用階地與珊瑚的研究，試圖建構出一良好的地震週期。進而促使當地政府能有更嚴謹的地震防災意識，並讓當地居民瞭解到在這地區大地震發生的可能性。

1-2. 研究區域

緬甸西部沿海的構造指示著該地區的地震發生的主要原因為海溝隱沒作用(Than Tin Aung et al., 2006)。而印澳板塊以35-50 mm/yr 的速率碰撞隱沒入緬甸微板塊之下(Radha Krishna Sanu, 2000; Curray et al., 2003; Satayabala, 2003; Nielsen, 2004)。位於內陸的實皆斷層(Sagaing fault)，為緬甸與巽它板塊之間的一邊界，實皆斷層為一右移斷層，具有大約18 mm/yr的滑移速率(Socquet et al., 2006)。

在圖1-1中概括表現了研究地區的概況。右圖為南亞地區的大地構造，在這一地區主要分成三大板塊：西南邊的印度板塊，北端的歐亞板塊以及東南部份的巽它板塊。緬甸微板塊則夾在印度板塊跟巽它板塊之中。而圖中紅線為主要的構造線分布。圖上標示著自2004年南亞大地震以來的幾次大地震事件。圖1-1的左圖，其橫軸部分與右側大地圖的緯度座標相同，縱軸則標示西元年曆。此圖整理了在這地區的過去兩百五十年裡，所有規模7.5以上的歷史地震及其分佈位置。

緬甸西南部沿海地區若開海溝段在過去的兩百五十年間並未有大地震的發生(Than Tin Aung et al., 2006)。於是有一部分學者認為印度板塊已無向東隱沒的作用存在，而是拖著緬甸板塊向北移動。因此不具有東 - 西方向的應力累積，亦不會有隱沒作用的發生(Ni et al., 1989; Guzmán-Speziale and Ni, 2000)。

本研究區域位於緬甸西南部若開邦(Rakhine State)的蘭裏島(Ramree

Island)(圖1-2)，島上的宗教信仰以佛教為主，同時還存在著伊斯蘭教，在2012年中旬曾因宗教糾紛而發生流血衝突。最大的城鎮是在島嶼西北邊的皎漂鎮(Kyaukphyu, KPU)，住有上萬人口，同時也是整個島上最為繁榮的城鎮，建有深水港及機場。在二戰期間，日軍曾為了爭奪此一戰略地點與盟軍展開激烈的對戰，史稱蘭裏島之役(Allen et al., 1984)。近年來，因為島上的油氣資源開採探勘所帶來的外來投資，使得該島嶼的經濟發展有了飛躍性的成長。此一輸油管線預定2015年完成，並具有輸送40萬桶的日產量(Kean, 2009)。從地形上來看，蘭裏島為一個西北-東南延伸的長條形島嶼，島嶼的全長約70公里，最寬處約30公里。雖然蘭裏島名為島，但應該將其稱為半島較為恰當，這是由於在島嶼的東邊有一部份是直接與大陸連結的。

圖1-2左圖顯示出蘭裏島與其周邊臨近兩大島嶼的地理位置，分別是在北邊的斐揚卡群島(Phayonkar Islands)以及南邊的切杜巴島(Cheduba Island)，蘭裏島約略在這兩座島嶼之間。位處前陸盆地上的蘭裏島，原本應為平緩的沖積平原，並且由東邊的內陸向西傾沒入海中，但在其島嶼的西側卻有著異常隆起的高區，反而在東側呈現有廣闊的潮間帶與潮汐水道。西側高區與島嶼呈現相同的西北-東南走向，部分高度甚至超過海平面150 m以上。島中的山脊被構造扭曲褶彎相當劇烈。同時筆者還在蘭裏島北邊的Ngapyitaung地區，觀察到混同層(Mélange)的出現。加上在島嶼的東半部地區，有著為數眾多的泥火山噴發錐，仍有部份還在持續的噴發。上述種種現象都說明了該地區有著複雜的構造活動性。

本研究野外調查地點由東北至西南，分別臨近皎漂(Kyaukphyu, KPU)、咚希(Taungshe, TS)、噁嘉比桐(Ngapyitaung, NPT)及雷卡蒙(Leilkkamaw, LKM)四處城鎮位置(圖1-2)，為了方便稱呼，在後面將統一使用簡稱。

1-3. 前人研究

雖然在這地區有許多的歷史地震的相關研究，但對西元1762年4月2日發生在

若開地區的這一次大地震事件卻缺乏詳細的資料(Cummins, 2007)。最早的紀錄是在西元1841年，由英籍探險船奇爾德斯號(Childers)的船長E. Halsted所留下，記錄了蘭裏島及臨近島嶼的海岸線有3-7 m的抬升，但對於地震發生的確實時間不甚清楚。而Mallet(1878)研究這一地區的泥火山噴發紀錄時，確切的指出1762年4月有一大範圍的泥火山噴發，並在北邊孟加拉 (Bengal)、緬甸中部的阿拉干 (Arakan)以及緬甸南部的勃固 (Pegu)等地區，都有同樣的地震記錄，因而確定的此一地震的影響範圍極為廣泛。

Oldham(1883)匯集文獻紀錄，並確定了此一地震是在1762年4月2日下午5點發生的，並由文獻上的災害描述進一步換成震度表示。Cummins(2007)利用該地震的影響範圍、抬升紀錄，推測該地震所產生的海嘯會影響到整個孟加拉灣的臨海地區。Socquet(2006)由GPS速度場資料所推測在這地區，規模8.5的地震週期為每100年發生一次，或是規模9的地震週期為每500年發生一次。

Than Tin Aung等(2006)研究若開海溝北端的斐楊卡群島上的海階後，觀察到在1762年地震前，可能有另外2-3次大地震發生過，其造成的平均抬升量為5公尺。而Shishikura等(2009)在若開海溝南端的切杜巴島上，同樣利用海階的分析，確定了在1762年之前，有三次大地震發生，並造成海階的抬升，其每次的抬升量是5公尺，時間間隔大約是900年。然而由於先前的研究中定年樣本的不足，未能有更好的時間解析，因此對於造成階地抬升的地震週期，僅能是一個長時間的估算值。同時階地的形成可能為多次地震活動所致，由於其他較小規模的地震也有可能造成災害，因此不能忽略這些小地震的重要性。

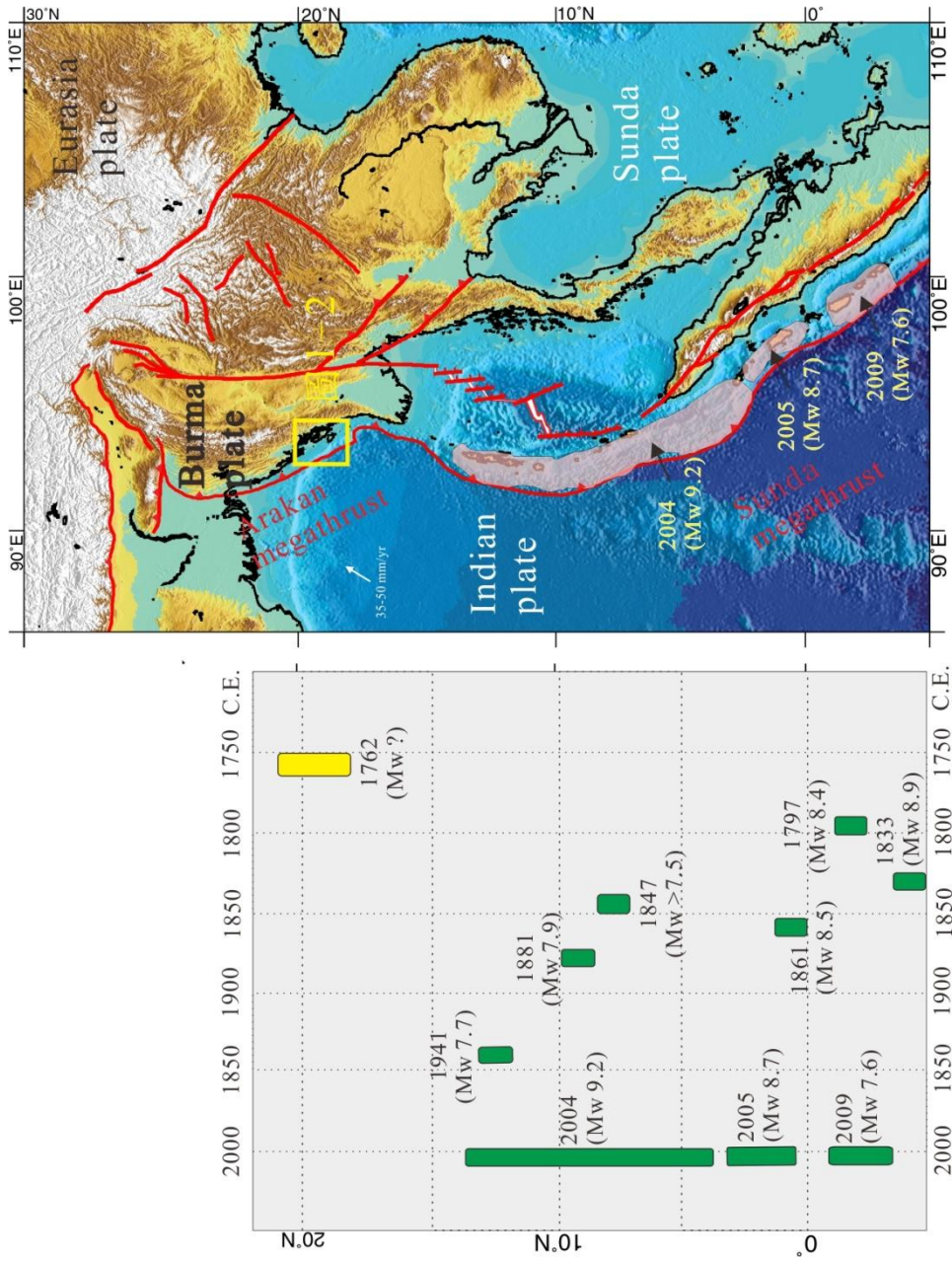


圖1-1. 東南亞地區板塊分佈與印度-緬甸邊界之古地震事件序列

右圖為此地區的板塊與構造分布。左圖橫軸部分與右圖的緯度座標相同，縱軸則標示西元年曆。此圖整理了在這地區的過去兩百五十年裡，所有規模7.5以上的歷史地震及其分佈位置。

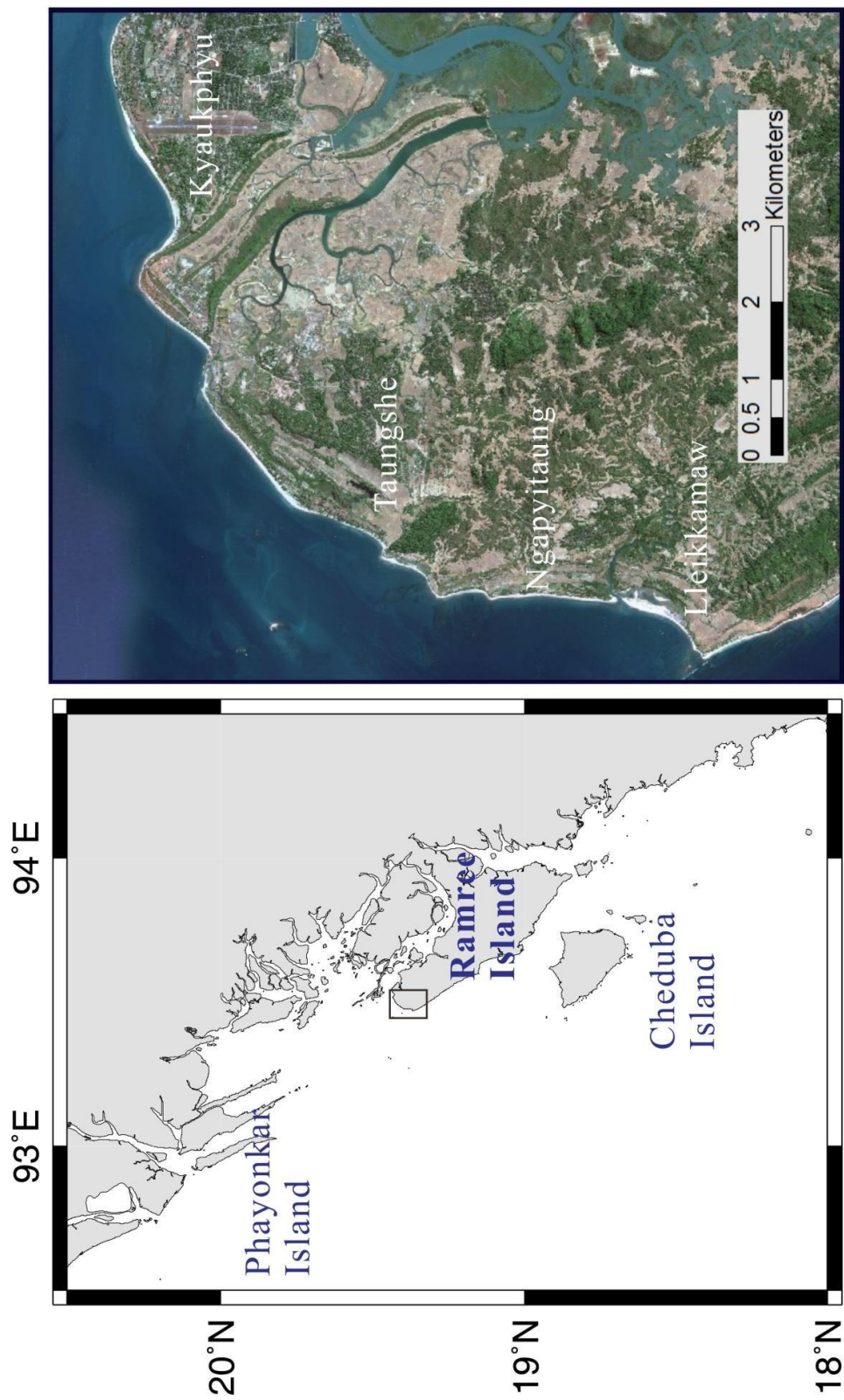


圖1-2. 緬甸西南部若開邦外海的島嶼分佈與蘭裏島北部的城鎮地理位置

左圖顯示了蘭裏島與周邊島嶼的地理分佈，圖中黑框為本研究區域，顯示在右圖上。

右圖則標示是四處城鎮，為本研究主要野外調查的地點。

第二章 研究方法

本研究以衛星影像及DEM當做地形判研的參考，在規劃野外調查地點之後，前往當地進行測量記錄，同時也在階地面上尋找可以定年之樣本，其取得的數個樣本，送至美國Beta Analytic實驗室進行加速質譜儀的碳十四定年。另外野外調查過程中，在LKM的沿海地區，找到原地生長的珊瑚礁群，在對珊瑚礁進行詳細的高程測量及樣本採集之後，將所得的珊瑚樣本，在台大地質系的高精度質譜與環境變遷實驗室中進行鈾釷定年。為了利於鈾釷定年與碳十四定年結果進行比較，在鈾釷定年結果將以1950年做為年代計算的原點，並會另外標示西元紀年以利比較。而碳十四的年代結果則顯示95% (2σ)的信賴區間。

2-1. 衛星影像及DEM

2-1-1. 生產DEM

DTM(數值地形模型, Digital Terrain Model)係以數值的方法, 呈現真實地形特徵的空間三維分布(Miller and Laflamme, 1958)。將航空測量所得的影像資料, 藉由視差原理建構出三維地形資料, 再轉換成可供電腦使用之數值資料。若資料是反映真實地形高程, 則稱DTM。若資料包含地面植被及人造建物時, 則稱DSM(數值地表模型, Digital Surface Model)。前述兩種都可統稱為DEM(數值高程模型, Digital Elevation Model) (Healey, 1991)。

數值高程模型的製作原理係利用航照所得立體影像對的視差, 在不同的位置觀察物體時, 越靠近的物體會越大的視差, 藉由觀察的視角及位置, 進而計算出與觀測物體之間的相對距離。衛星影像同樣可得到立體影像對, 並進一步生產出數值高程模型。本研究中, 利用法國SPOT衛星影像, 選取兩張相近時間但不同拍攝角度之影像, 藉由EXELIS公司所出的ENVI影像處理軟體, 進行數值高程模型的製作。其實際生產流程如下所示:

1. 輸入立體影像對, 選取兩張相近時間的衛星影像, 其影像分別得與地表

面交角 $0 \sim 30$ 度及 $0 \sim -30$ 度。

2. 輸入影像原始空間座標之定位參數。
3. 建立地面控制點 (GCP, Ground Control Point)，利用此項給予校正定位用之真實空間座標。
4. 選取對照點 (Tie Point)，在兩張影像上的相同位置，以利兩張不同視角之影像進行對比。
5. 設定所生產的DEM之投影座標系統及影像解析度。
6. 設定DEM的對比參數，包含相關性、對比區域大小及地形細節。
7. 檢查結果並對不合理的數值進行修正。
8. 輸出DEM

然而本研究中，所生產的DEM未能有效的顯示出海階，且於靠近海岸的解析度並不理想，探究其可能原因有二，大多數地區的植被過於茂密，且在階崖的地區都有著較多的樹木，在DEM計算過程中，這些植物產生嚴重的干擾，因此有較大的誤差出現；另外在海岸邊，可能是因為這地區較大的潮差，海水在不同時間點的覆蓋區域面積不同，且海水並不是一良好的反射面，因此有了較大的偏差。由於有上述兩點問題，故本研究在此，僅將所生產的DEM作為整體地區的地形研判工具，實際的階地剖面均採用野外測量資料。

2-1-2. 階地判別

在海岸上的海階發育有其複雜的形態與序列，在不同地區的階數可能會有所差異，甚至在部份地區會有海蝕凹壁的發育(Hsieh et al., 2004)。一般而言，海蝕平台為海水面與陸地的相對運動在一段時間內靜止後的產物，當兩者間存在著相對運動變化時，便會使得海蝕平台隆起形成海階(許，1988)。

藉由前述步驟所生產的DEM，套疊上Google Map所提供的高解析彩色衛星

影像，作為本研究中階地研判的基本工具。沿著蘭裏島北段的海岸線，在現今海蝕平台之上所觀察到的最低位階地為本研究的第一階，依序向上為第二階、第三階，依此類推。再藉由DEM及衛星影像觀察階地的分布，並將具有水平方向可互相延伸且相似高程之階地視為同一階。

在此地區的階地面，從衛星影像上，可以觀察到皆為開闢之農地。在坡度有所變化時，單一農田的範圍或縮小，或是完全被樹叢覆蓋。此一特徵在後續的野外觀察中，也驗證了此一階地分佈的特性(圖2-1)。圖2-1a為TS的區域影像。圖2-1b為NPT的區域影像。圖2-1c為LKM的區域影像。由上述衛星影像中，可以清楚的辨識出農田的分佈，這些田地的大小與階面的坡度有很大的關係，因此可以清楚得到階地變化的階崖所在位置，並判斷階面的分佈。



圖2-1. 蘭裏島北部的Google Map影像

圖2-1a為TS的區域影像。圖2-1b為NPT的區域影像。圖2-1c為LKM的區域影像。依據GoogleMap所提供的影像，筆者得以直接的判釋階地的分佈。

2-2. 野外測量及取樣

2-2-1. 地形地貌高程量測

在量測實際階面、珊瑚及地形特徵之高程上，本研究使用Nikon公司所生產的全站儀(Total Station, Nivo^{3.M})(圖2-2)搭配反射稜鏡進行現地地形三維雷射測量。全站儀在使用稜鏡的情況下，其測量精度可達 $(2+2 \text{ ppm} \times D)$ 公釐，最大測量距離為5000 m。另外，在無法架設全站儀的區域，則使用Laser Technology公司所生產的雷射測距儀(Laser Rangefinder, TruPulse 360)(圖2-3)做為輔助工具進行測量。此雷射測距儀的測量精度在距離100 m內為 $\pm 3 \text{ cm}$ ，而200 m內為 $\pm 100 \text{ cm}$ 。

由於在野外測量中缺乏絕對參考高程，而且手持GPS的高程誤差範圍太大，無法提供良好的高程控制，所以在本研究中藉由海水面當作控制基準面，以便比較在不同位置所得之測量結果。但海水面的高程會受到潮汐、波浪及洋流等作用影響，而在不同時間及地點或有所差異。為了解決此一問題，另外使用SPOTL (Some Programs for Ocean-Tide Loading)這一軟體來進行海水面變化的預測 (Agnew, 1996, 1997, 2012)，並以MSL(平均海水面, Mean Sea Level)作為所有的測量高程基準(圖2-4)。

SPOTL是利用過去的衛星觀察資料為基礎，搭配地形模型及氣候模型去推測未來海水面的變化波動。由於該軟體已經提供大量數據模型，所以我們僅需要選取該地區的數據模型並輸入經緯度座標以及欲推估的時間週期，就可以得到海水面的相對變化。其中的MSL是利用過去19年的海水面變化幅度，做平均之後取中間值當為0點。

在進行野外測量的過程中，筆者不定時的對海水面的高程位置進行測量，並記錄在不同時間的海水面相對於陸地儀器基站的高程。

測量海水面的方法如下：

1. 在未達破浪帶之區域選定一不易移動之海床面。
2. 固定反射稜鏡並測量當時之海床深度。

3. 記錄時間並利用鉛筆在標竿上記錄海水面變化的幅度，在此筆者以每5秒記錄一次海水面的高度，持續記錄至少2分鐘。
4. 統計所有在標竿上所繪的海水面高度，並計算出平均值。
5. 將儀器所測量的海床深度扣除標竿所記錄的海水面到海床之間的高差後，即可得當時海水面相對於陸地儀器基站的高程。
6. 對照潮汐表並加(減)回平均海水面的高程。

此平均海水面的高程值將視為在該處測量所得之高程原點0，所以後續所測得的數值均需配合此原點的歸零進行校正。另外，為了確定SPOTL所預測出的潮汐變化與野外實地的潮汐是相符合的，在野外的測量過程中，會不定時的測量海水面高程，去比較海水面的變化幅度是否與SPOTL所預測出的潮汐表相同。由於其兩者的比較結果是十分相近的，顯示SPOTL所模擬出的海水面變化確實是可以當做實地海水面變化的參考。

而本研究在KPU地區，靠近現今海岸線上的砂岩山脊有一系列發育良好的海蝕凹壁，海蝕凹壁可以做為海水面變化與構造抬升的指示工具(Pirazzoli, 1986, 1996)。Rust and Kershaw(2000)指出分布廣泛的海蝕凹壁可以做為區域構造對比的工具。若能有定年資料，還可以用於計算同震位移的測量(Hsieh and Rau, 2009)。

海蝕凹壁的形成機制與其環境密切相關，在波浪作用強時，海蝕凹壁的形成與波浪能拍打到的位置相關；倘若凹壁材料為碳酸鈣為主，則會有溶蝕的作用形成凹壁；另外，凹壁的形成與貝類的附著鑽孔行為有關。若在海蝕凹壁發育同時有相對於海水面的變化，則海蝕凹壁的發育也會有所差異。在本研究中，位於KPU的海蝕凹壁形成於砂岩山脊上，凹壁形成的週邊均有些生物附著，包含了牡蠣與穿孔貝，然而這些生物並非生長在凹壁的位置上，所以並非主導凹壁發育的主要原因。在此地區的波浪作用很可能是一個主要的原因，由於蘭裏島西側直接

迎向孟加拉灣，面向開放海域的一側，波浪幅度較大，可能為形成此地區凹壁的主要原因。但整體而言，相同地區的海蝕凹壁形成機制約略相同，所以海蝕凹壁是可以作為海水面的指標。在本研究的野外測量中，總共獲得5條的地形面測線，分別是在TS跟NPT各一條，在LKM三條。另外本研究也分別在KPU針對一隆起山脊上所發育的海蝕凹壁以及在LKM的珊瑚群礁進行詳細的高程測量。



圖2-2. NIKON, Total Station, Nivo^{3.M}

此型號之全站儀，其測量精度可達 $(2+2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$ ，也就是說在100 m的測量上，測量誤差只有2.2 mm。



圖2-3. Laser Technology, Laser Rangefinder, TruPulse 360

此型號的雷射測距儀，其100 m的測量精度為3 cm，雖然無全站儀精準，但在野外測量使用上，較為簡便。

2-2-2. 珊瑚高程量測及取樣

珊瑚本身的生物習性，可以記錄海水面的變化波動，藉以回推過去古海面所在的位置，此一方法在研究古地震事件或古氣候上，都有不錯的成果。由於珊瑚蟲無法長時間離開海水，一旦脫離海水就會死亡，所以只能生存於海水面最低潮之下。當海水面與陸地之間發生相互運動，變動後的最低潮水面低於珊瑚所生長的面時，活體的珊瑚蟲就會因為脫水而死亡，但其鈣質外骨骼仍會保留下來；而低於海水面變動後的珊瑚蟲仍然會沿著原有的珊瑚礁向外繼續生長，並再次的記錄下變動後的海水面高程。這樣的生長特徵使得珊瑚可以提供相對於海平面的地形變化記錄(Taylor et al., 1987; Zachariasen et al., 2000)。在珊瑚蟲生長初期會附著於硬底質之材料以穩定其個體不受水流影響。隨後以放射狀向四面八方延伸，且新生的珊瑚會疊置於死去的珊瑚骨骼之上，使得珊瑚的外骨骼以包覆的方式逐漸堆積加厚，加上珊瑚的生長速率會隨季節而有所變化，而產生類似樹輪般的年紋層(圖2-5)(Knutson, 1972)。

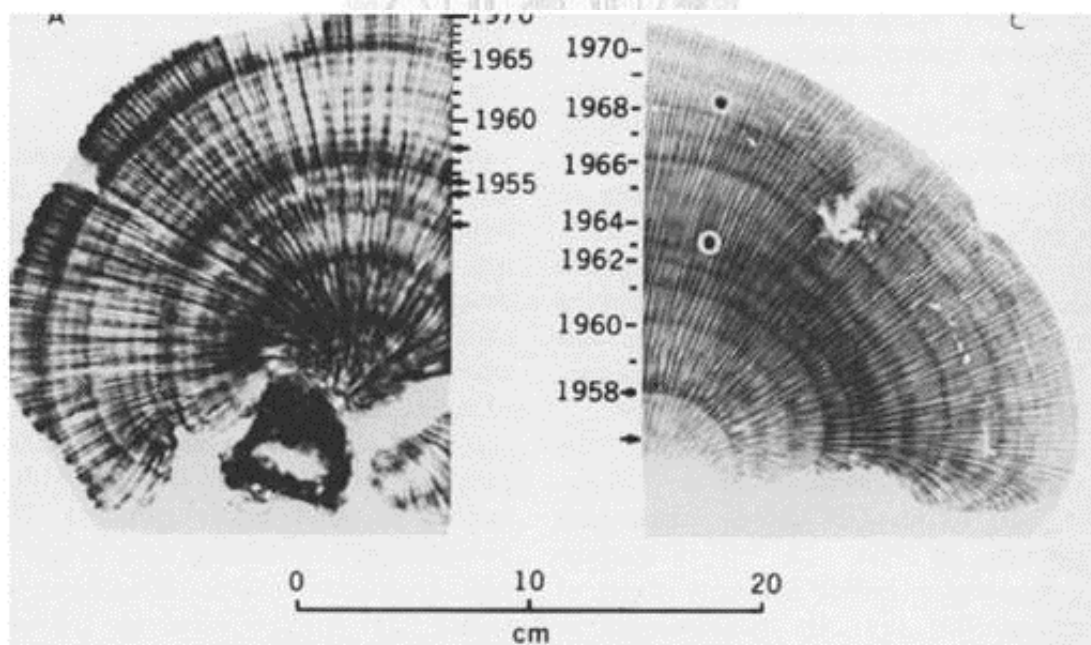


圖2-4. X光影像下所顯示的珊瑚年紋層(Knutson, 1972)

Knutson採取不同層之珊瑚樣本，並對其做元素分析，根據放射性元素含量較多之層位，視為核子試爆所導致。在計算層間數後，得知珊瑚的紋層為年變化。

由於珊瑚無法離水生長，因此珊瑚僅能生存於低潮線之下，這一生長界線又被稱為HLS(最高存活線，Highest Level of Survival)(Taylor et al., 1987)。若因氣候或是受到構造作用導致陸地有所抬升(下降)時，相對地HLS也會隨之改變，珊瑚的形貌也會跟隨著海水面變化而改變(圖2-6)。在海水面無大幅度變動之時，當珊瑚生長接近HLS時便會停止向上生長，但仍會持續向周圍生長，形成一平行於HLS的平面。倘若海水面降低時，高於HLS之上的珊瑚便會死亡，但在同一珊瑚體中，若是仍有部份區域仍在HLS之下時，其珊瑚會平行於HLS向周圍生長，形成一似「帽狀」珊瑚頭。反之，HLS上升時，珊瑚有更多的生長空間可以向上生長，於是其會沿著仍存活的珊瑚個體重新包覆回來，形成一似「杯狀」珊瑚頭。由兩次接觸到HLS所形成的平頭珊瑚，我們可以得知陸地之變動量，加上珊瑚的年紋層，即可計算區域的活動速率。此方法也可以應用於不同珊瑚個體上，其關鍵在於珊瑚曾經生長到接觸HLS而形成平頭珊瑚礁(Sieh et al., 1999; Zachariasen et al., 2000)。藉由前述珊瑚生長特徵，我們針對具平頭特徵之珊瑚礁，選擇保存較為良好之頂面測量其高程，同時利用鋸刀沿著跨過最大生長軸之水平線，切下片狀珊瑚塊以供後續分析及定年。

取樣回來的珊瑚，在肉眼可判別之相同紋層中，取100 – 200 mg裝入樣本瓶待化學處理。而後將珊瑚樣本送至台大生農學院附設動物醫院，運用其X光機(Toshiba 公司所生產的KXO32S)對大型片狀珊瑚樣本拍攝X光影像，以利後續對年紋層的判研工作。

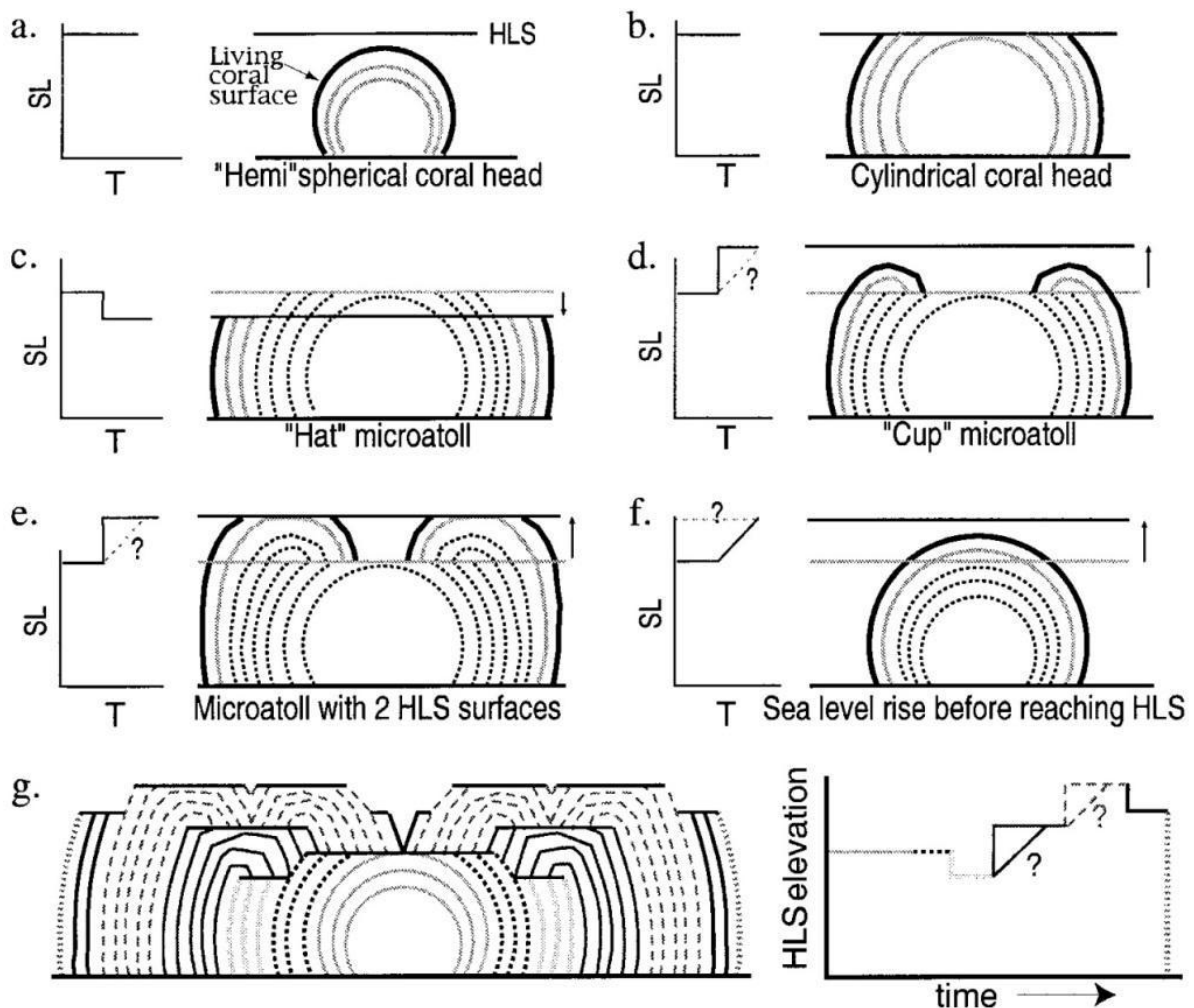


圖2-5. 珊瑚生長形貌與HLS之間的關係(Zachariasen et al.,2000)

(a)初始球狀珊瑚塊體。(b)當珊瑚生長到接處海水面時，頂部的珊瑚無法生存而死亡，但水面下的珊瑚仍會向外生長，形成同心圓之平頭珊瑚礁。(c)海水面下降使得高於水面之珊瑚死亡，形成似帽狀珊瑚礁。(d)若海水面在珊瑚形成平面頂部後上升，則外側的珊瑚會再次生長包覆回來，形成似杯狀珊瑚礁。(e)杯狀珊瑚礁若生長速率高於海水面上升速率，則會再次形成平頂面。(f)倘若海水面上升速率高於珊瑚生長速率，則珊瑚不會形成平頂面。(g)記錄到多次海水面變動之珊瑚礁，根據這些平頂面與再次包覆生長的樣貌，可以回推過去海水面變動速率(Zachariasen et al.,2000)。

2-3. U/Th 定年分析

2-3-1. 原理介紹

鈾系核種的衰變系列中，以各核種的不平衡現象為工具，回推定年材料之封存年代。藉由各種不同階段的衰變過程來計算年代，可以利用於地球科學或是環境氣候之研究。由於碳酸鹽類的材料容易富集鈾，因此成為鈾系定年中，最常用的材料，特別是石筍及珊瑚的定年成果最為卓越，再結合碳氧同位素的研究，便能詳細探討第四紀全球氣候變化之過程，使我們能瞭解第四紀之古氣候變化。

在自然界中有 ^{238}U 、 ^{235}U 及 ^{232}Th 為放射性母核種的衰變系列，這三個衰變系列同樣以 α 與 β 衰變為主，其母核之半衰期， ^{238}U 為 4.47×10^9 yr， ^{235}U 為 7.13×10^8 yr， ^{232}Th 為 1.3910^{10} yr (Jaffey et al., 1971; Cheng et al., 2000a)。在一封閉環境中，當母核經過數次衰變之後，其衰變速率會等於子核之衰變速率，達成永世平衡 (secular equilibrium) 的狀態。但在自然界的變化中，衰變核種的封閉系統會一再的被破壞，形成不平衡的現象。在海水中，鈾是一種難溶於水的元素，所以會很快的附著於懸浮顆粒而沉積下來，而鈾可以跟氧離子結合而形成 UO_3 存在水體中。因此珊瑚於海水中生長時，會吸收較多的鈾元素而形成一個不平衡的封閉系統。此時，藉由計算樣本中的 $^{230}\text{U}/^{234}\text{U}$ 與 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 的活性比值以得到其年代。此定年之年代上限可達64萬年 (Shen et al., 2012)。年代計算公式如下 (Bateman, 1910; Broecker, 1963; Cheng, 2000; Edwards, 2003)：

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}} = 1 + \left(\left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}} \right)_0 - 1 \right) e^{-\lambda_{230}t} + \frac{\delta^{234}\text{U}(0)}{1000} \left(\frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}} \right) (1 - e^{(\lambda_{234} - \lambda_{230})t})$$

...(公式2-1)

公式(2-1)為U-Th定年的年代計算公式。式中的同位素比值皆為活性比(activity ratio)，t為所求之年代， λ 為衰變常數， λ_{230} 使用 $9.1705 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ ， λ_{234} 使用 $2.82206 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ (Cheng et al., 2012)。 $\delta^{234}\text{U}(0)$ 係為Edwards(1987)所定義，原式 $\delta^{234}\text{U}(0) = [({}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U})_m / ({}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U})_{\text{eq}} - 1] \times 10^3$ ，其中的 $({}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U})_m$ 為測量值， $({}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U})_{\text{eq}}$ ，則為達到永世平衡時的比率，其值為1。

2-3-2. 實驗流程

將採取的珊瑚樣本，於台大地質系的高精度質譜與環境變遷實驗室中進行化學處理。實驗室為Class-10000等級之無塵室，並包含了Class-100等級之實驗桌面。所有實驗器具在使用前，均先經過GR等級的 HNO_3 酸洗，而後以Milli-Q Element所製造的純水(18.2Ω)洗清殘留之酸液。在實驗流程中，使用的超純酸分別為Seastar公司的 HNO_3 及 HCl 、Merck公司的 HClO_4 。

首先除去樣本中的有機質後(Edwards et al., 1987; Cheng et al., 2000b; Shen et al., 2002)，再由共沉澱法與離子交換法各別分離出鈾離子跟鈷離子(Edwards et al., 1988; Shen et al., 2003)，其詳細的步驟如下列流程：

消化樣本並除去有機質

1. 將所取的珊瑚樣本，放入玻璃瓶中並加注純水後，置於超音波震盪機中震盪，以除去堆積於珊瑚孔隙間的顆粒。此步驟需重複3次，每次震盪前都需重新更換玻璃瓶內之純水。
2. 烤乾樣本後稱重分樣，置入樣品瓶(Teflon beaker)，並以14N HNO_3 溶解珊瑚塊體。
3. 加入約樣本一半重量之 ${}^{229}\text{Th}$ - ${}^{233}\text{U}$ - ${}^{236}\text{U}$ Spike溶液，再加入10-20 滴的 HClO_4 以溶解去除有機質。
4. 加熱8小時，使樣本溶液能與Spike溶液混合並分解在樣本中的有機質。

5. 隨後烤乾溶液並加入2N HCl與純水使其再次溶解。

鐵離子共沉澱法

6. 將完成前面步驟的溶液移入離心管(Centrifuge tube)中

7. 加入2 - 3滴的 Fe^{3+} 溶液入離心管中。

8. 加入 NH_4OH 使得溶液酸鹼中和。此時 Fe^{3+} 會形成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 並與鈾、鈷離子會跟產生共沉澱(co-precipitation)。

9. 將溶液加入純水後，進行離心分離共沉澱之樣本。在每次完成離心後，將其管內上部溶液倒除，僅留下管底沉澱物後，再次加入純水進行離心，此步驟須重複進行三次。

10. 完成離心後。加入14N HNO_3 溶液使其溶解，並倒回樣本瓶後再加入一滴 HClO_4 ，並烤乾瓶內溶液。

11. 添加一滴的 HClO_4 入樣本瓶中，並再次烤乾。此步驟需重複三次。

12. 隨後添加一滴14N HNO_3 入樣本瓶中，並再次烤乾。此步驟需重複兩次。

13. 最後烤乾後，加入7N HNO_3 溶液溶解樣本。

以離子交換樹脂分離鈾、鈷元素

14. 將0.8ml的AG 1-X8離子交換樹脂注入約6-7 cm長的管柱(column)中。

15. 將樣本溶液注入已填充陽離子交換樹脂的管柱中，並加約3倍管柱體積的7N HNO_3 ，並將所搜集的廢液倒除，此步驟為分離除去鐵離子。

16. 加3倍管柱體積的6N HCl 入樹脂中，並另外準備樣本瓶收集分離出來的鈷離子。

17 注入3倍管柱體積的純水入樹脂中，並再以其他樣本瓶收集所分離出的鈾離子。

18. 隨後將所取得之樣本溶液添加2滴 HClO_4 並烤乾(此步驟需重複兩次)後；再加入1滴14N HNO_3 並烤乾(此步驟需重複三次)。

19. 最後以1% HNO_3 (+0.005N HF)溶液溶解樣本(Shen et al., 2002)並收取入

10ml樣本瓶(vial)中以完成樣本前處理。

完成離子分離後的樣本，將以多頻道感應耦合電漿質譜儀(MC-ICP-MS, Thermo, Neptune) (圖2-7)進行元素的測量。藉由SEM(secondary electron multiplier)，在測量50-200 fg的 ^{230}U (1-4 ng ^{238}U)或 ^{230}Th 元素時，儀器的靈敏度為2-4%，精準度達1-2% (2 σ)。校正儀器偏差的標準樣本為New Brunswick Laboratories Certified Reference Material 112A (NBL-112A)(Shen et al., 2012)。



圖2-6. 台大地質系的多頻道感應耦合電漿質譜儀(MC-ICP-MS, Thermo, Neptune)

2-3-3. 年代計算公式及等時線校正

受到海水中懸浮顆粒的影響，珊瑚在生成其外骨骼的同時，會包裹入些許的顆粒，而這些顆粒中帶有著不溶於水的鈦元素，會使得鈾鈦定年的基本假設不符，而造成年代上的誤差。為了能得到更準確的年代，我們利用等時線的方法來求得

$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 的初始值。其原始年代的計算公式(2-1)中，將 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})_0$ 以 $(^{232}\text{Th}/^{238}\text{U})(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_0$ 來取代，則可表示為(Cheng et al., 2000b)：

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}} = 1 + \left(\left(\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}} \right) \left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}} \right)_0 - 1 \right) e^{-\lambda_{230}t} + \frac{\delta^{234}\text{U}(0)}{1000} \left(\frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}} \right) (1 - e^{(\lambda_{234} - \lambda_{230})t})$$

...(公式2-2)

並可再次簡化為公式(2-3)(Cheng et al., 2000b)：

$$\left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}} \right)_m \approx \left(\frac{^{238}\text{U}}{^{232}\text{Th}} \right)_m \left(\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}} \right)_m \lambda_{234}t + \left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}} \right)_0$$

...(公式2-3)

公式(2-3)中的m項為分析樣本後所得測量值， $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_0$ 為初始的Th元素含量。假設同一層之樣本的年代相同，將公式視為一線性方程式，以 $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$ 為X軸項， $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_m$ 為Y軸項，將所測得資料點於座標系統上，則斜率 $\lambda_{234} t$ 為年代，而截距 $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_0$ 為所求之Th同位素初始比值(Cheng et al., 2000b)。

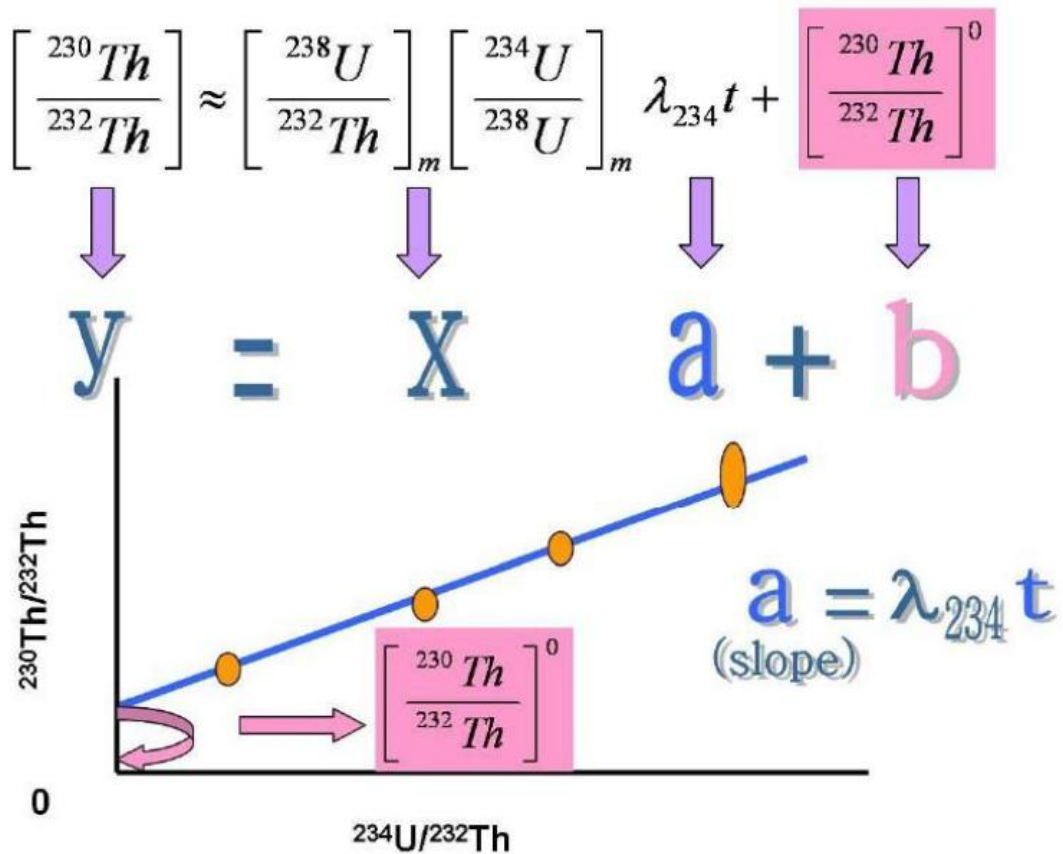


圖2-7. 概略呈現以 $(^{234}\text{U}/^{232}\text{Th})_m$ 與 $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})_m$ 為對比之等時線線性方程式

(Cheng et al., 2000b; 李桂淑, 2005)

在取樣同紋層之珊瑚樣本時，其鈾同位素的比值為固定的，差異只在於樣本的濃度差，藉由此一特性，將測值以上圖呈現並迴歸出初始的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 同位素。

第三章 蘭裏島北部之地形特徵

3-1. 河川與山脈走向

位於前陸盆地上的蘭裏島，距離西邊的若開海溝不到70 km。在這樣的地質條件下，島嶼本應為東高西低的地形分佈，但由DEM的結果看來，蘭裏島北部地區卻有著西高東低的地勢情況，島嶼北端的最高處為西側平行於海岸線的山脊，高於海水面約100 m，丘陵地的海拔高度約在20 m上下。在東半部地區，除了少數因泥火山的噴發而隆起的泥火山錐以及褶曲山脊之外，大多數地區為低緩的平原或是潮間帶，僅高於海水面數公尺，或甚至低於海水面，但因人為造堤阻擋海水淹沒，而被保留下來。由於這種西高東低的地勢，使得蘭裏島的河流均為向東匯集後，再向北邊流入孟加拉灣。在島嶼北端沿海地區，部份河流是平行於海岸線向東流後，再轉往北流入孟加拉灣。

3-2. 海階分佈

在蘭裏島北端的海階，具有很好的延伸性。最低位的海階面，可以在平行海岸線的方向找到其完整的分佈。高位的階地面就略有差異，尤其東西兩半部的高位海階的數量明顯不同(圖3-1)。

3-2-1. Kyaukphyu的地形測量

在KPU的DEM及衛星影像上，得知KPU地區的地形十分平緩，且無明顯的階崖存在，所以本研究將這地區的階地面都判斷為同一階面，其高度大約在3 m以內(圖3-2)。有一砂岩所構成的山脊，自內陸延伸入海中，在其山脊的側邊上有數段不同高程的海蝕凹壁，但該處的古凹壁存在已久，加上受到後來風化侵蝕的影響，其原始樣貌較不易辨識，難以簡單的判斷凹壁高程。

先前的研究，在KPU海岸的山脊上，找到可能死於1762年抬升的牡蠣化石。對比現今牡蠣生存的高度，得知1762年的地震，在此處的抬升約1公尺(圖3-3)。

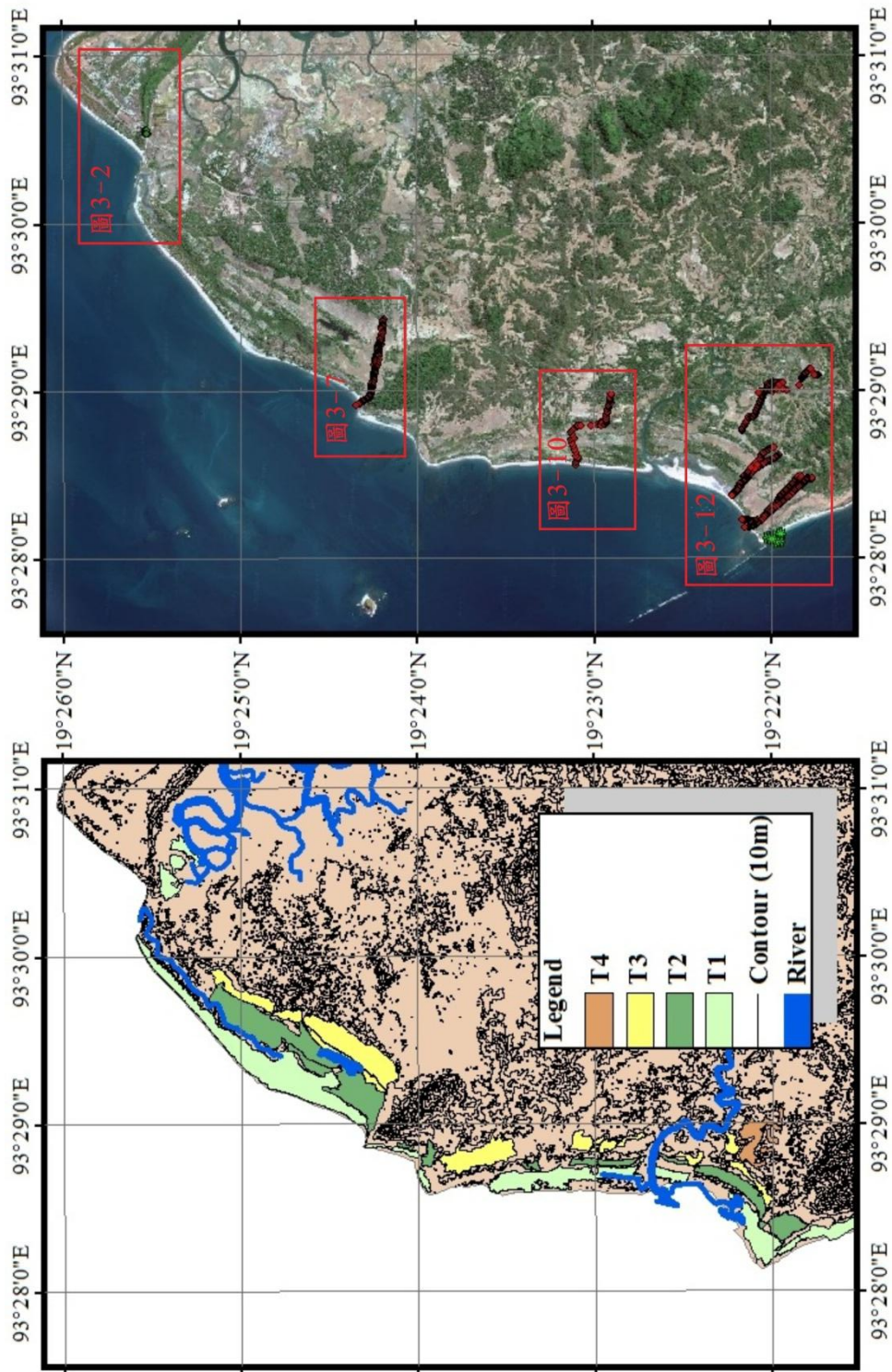


圖3-1. 大範圍之衛星影像與數值高程模型及階地判研分佈

圖係利用 SPOT5 影像所製作出的 DEM，並在其上加註階地的判釋結果。右圖為 Google Maps 影像，由北而南框出四處野外調查地點，並將測量點位標示其上。



圖3-2. KPU地點的DEM(a)與Google影像(b)

野外調查地點位於圖上兩黃框所圈圍區域，同時在圖上以綠點標示出取樣地點。

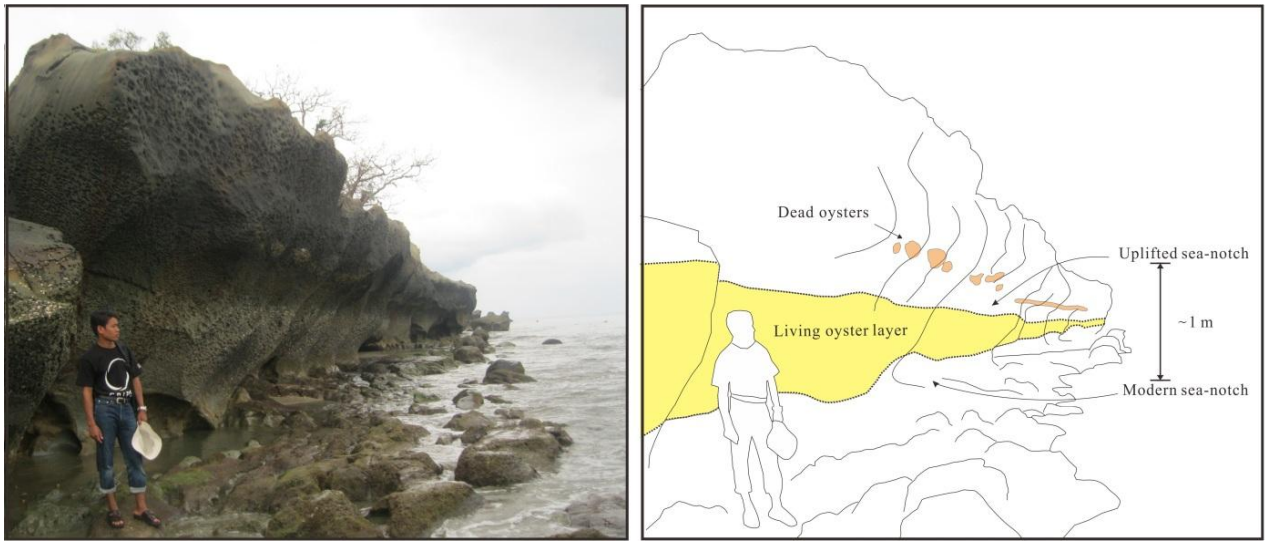


圖3-3. 岸邊海蝕凹壁與牡蠣層之空間關係

此地區的海蝕凹壁之上有一層牡蠣層，而古凹壁上方亦同存在著古牡蠣層。根據海蝕凹壁的量測結果顯示，古凹壁與現今凹壁約有1 m的高差。

在此一地區，本研究除了重新量測牡蠣之間的高程差之外，對在山脊上的海蝕凹壁也做了詳細的調查。在靠近海岸線的凹壁，由於架站上的困難，所以筆者僅利用稜鏡對凹壁的最凹處所在的高度進行測量，但在較為內陸的地區，由於山脊較高且凹壁面的保留情況不甚良好，故筆者對整個凹壁面做了數條測量線，這些測量點係藉由山脊的表面當作反射面以進行測量的，所以每個測量點都是在山脊面上的一點。根據這些測量結果，可以將凹壁的原始樣貌呈現出來，以利後續的分析或是瞭解測量結果的真實性。本研究可以將凹壁分成6階不同的高度，除了最低位的凹壁為因現今海水侵蝕所造成的之外，其餘凹壁彼此兩兩之間的高度差約為1 m左右。最低的兩階凹壁之上還保有現生牡蠣與牡蠣化石，代表著這些凹壁紀錄到了地震所造成的抬升事件。根據數段不同高度的凹壁，可以得知在這地區曾經多次發生過規模近似1762年的地震事件，並造成地形的抬升，但在此地區的潮差可以達到3 m，因此在這潮汐作用所造成的侵蝕下，並未保留明顯的階

地面下來。同時在分析山脊上的古海蝕凹壁所顯示的古海水面位置時，發現到在過去曾經有多次造成海水面大幅變動的事件存在(圖3-3)，這些事件都反應著地震所造成的抬升現象。由圖3-3所示，現今最低位的海蝕凹壁對應平均海水面的高程，故將其定為高程起始點0 m，其餘凹壁的對應高度約在1 m、1.5 m處及3.2 m處，而最低凹壁高差為1 m，正好與牡蠣的高程差相等，表示為相同的一次事件所造成的抬升結果。另外在距離海岸線約500 m的山脊上，我們也同樣對其上的凹壁進行測量(圖3-4)。在這邊筆者使用全站儀直接對岩壁進行測量，利用岩壁當反射面，得到凹壁面的真實樣貌。再將測量結果投影到東西方向上，其投影值視為水平距離，加上測量的高度後，就可以繪製出每一條測量的凹壁面樣貌(圖3-5)。箭頭所指為凹壁形貌最凹陷處，統計所有的測量結果之後做加總(圖3-6)。約在離現今平均海水面高約5.8 m、6.8 m及8 m處可以見到較多的測量結果，說明海蝕凹壁存在於在這三段的高程中。





圖3-4. 陸上古凹壁的測量紀錄

紅點為架設儀器之位置，黃點則為測量點。由於山脊面過於陡峭，無法使用稜鏡，所以在此處僅利用岩壁本身當反射面進行測量。

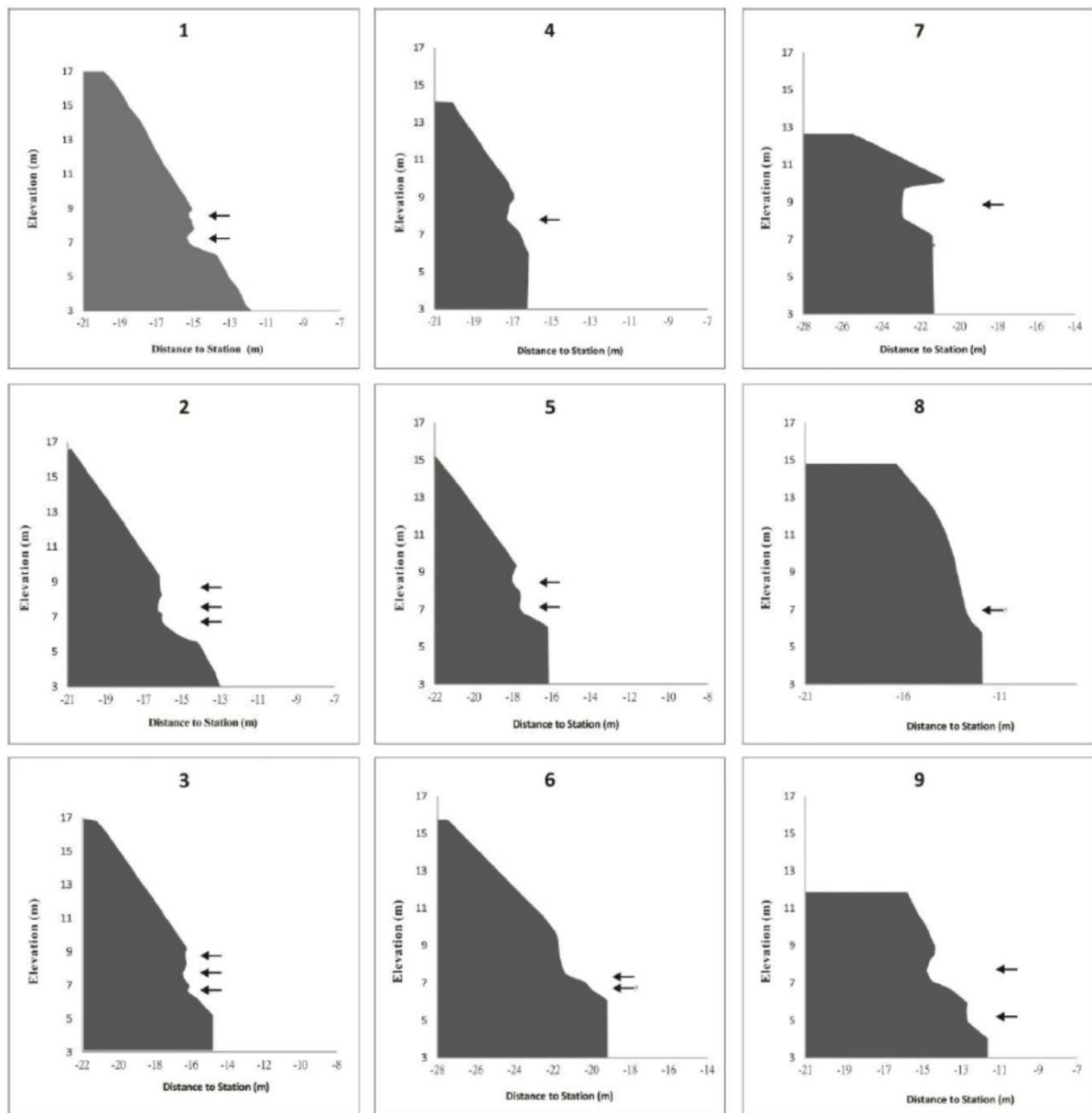


圖3-5. 陸上的海蝕凹壁樣貌及凹陷處標示

位於內陸的凹壁發育位置為先前海岸邊凹壁之山脊背面，正面凹壁經人為改建後已難以判別，所以在此處選擇山脊背面之海蝕凹壁。但背面凹壁為一順向上之斜面，較不易發育出完整的凹壁形貌。

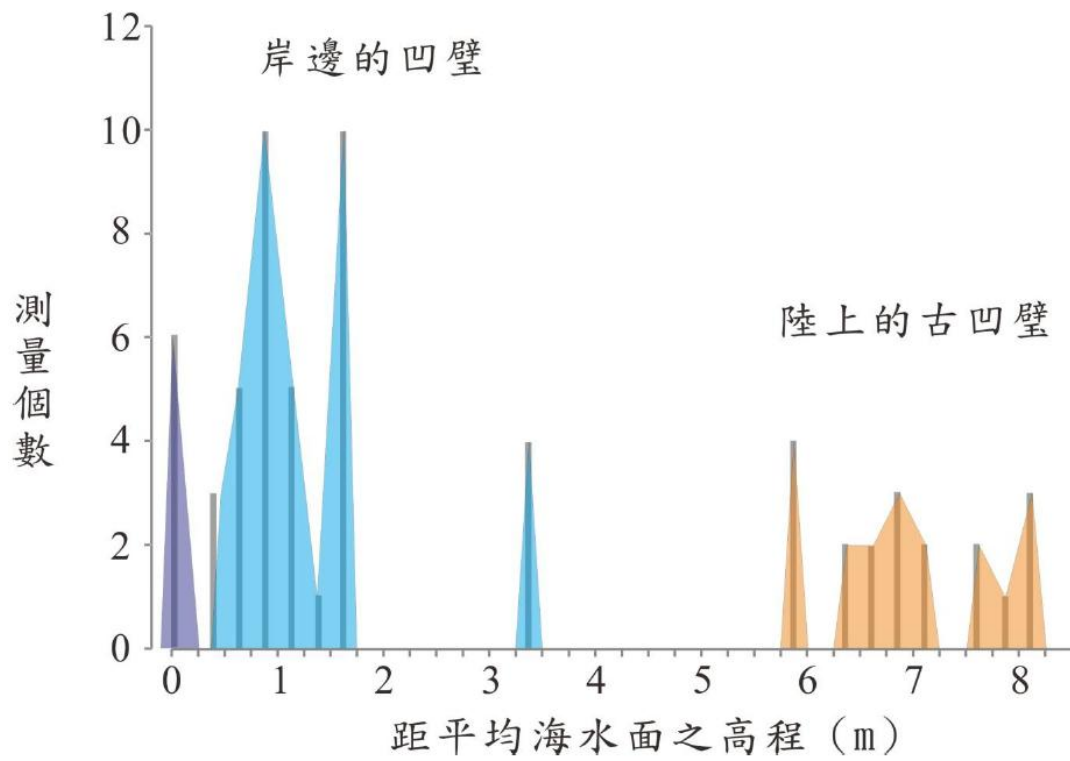


圖3-6. 海蝕凹壁的測量結果統計分佈

圖上測量個數為在不同高度中，測量在海蝕凹壁的最凹陷處次數。在陸上古凹壁，由於測量不易，所以筆者根據海蝕凹壁的樣貌，選取最凹陷處視為海蝕凹壁所曾存在的高度。

3-2-2. Taungshe的地形測量

在TS村區域，距離KPU不到3 km，但此處的階崖已經可以明顯研判，從DEM上可以區分出2-3階的階地面(圖3-7)。而在野外的測量結果中，我們僅能確定有兩階地面的存在，第一階的階地面大約高於平均海面2 m，第二階的階地面大約在平均海面以上4.5 m的高度(圖3-8)。另外，由於第二階地面上正好有因為管線的鋪設而開挖的路面，使我們有機會在一開挖露頭當中找到暴風搬運的貝殼碎屑(圖3-9)。這一剖面以中間一不整合面做為分界，上層是以粗砂為主，夾雜有細礫石，水流能量較強，為海灘環境。下層是以粉砂為主，偶有細礫石出現，化石保存較前者良好，古水深較前者深，為淺海潮間帶環境。而筆者分別於這兩層取得樣本，並送至美國Beta Analytic的實驗室進行碳十四的定年，其年代結果有二，分別為NPT201的Cal BP. 2700 – 2510 yr及NPT202的Cal BP. 520 – 450 yr (附錄二)。在年代與高程之間的關係上反而呈現一個倒序的現象。由於樣本NPT202的保存情況較為良好，且其樣本沉積環境指示著一較深水的環境，所以推測該樣本沉積階地在抬升之前，可以視為該階地面的年代下界。而NPT201的樣本較為破碎，說明該樣本非原地沉積，為其它地方搬運而來的，推測其樣本可能來自內陸的高位階面，定年結果並不能代表此一階地面的年代。

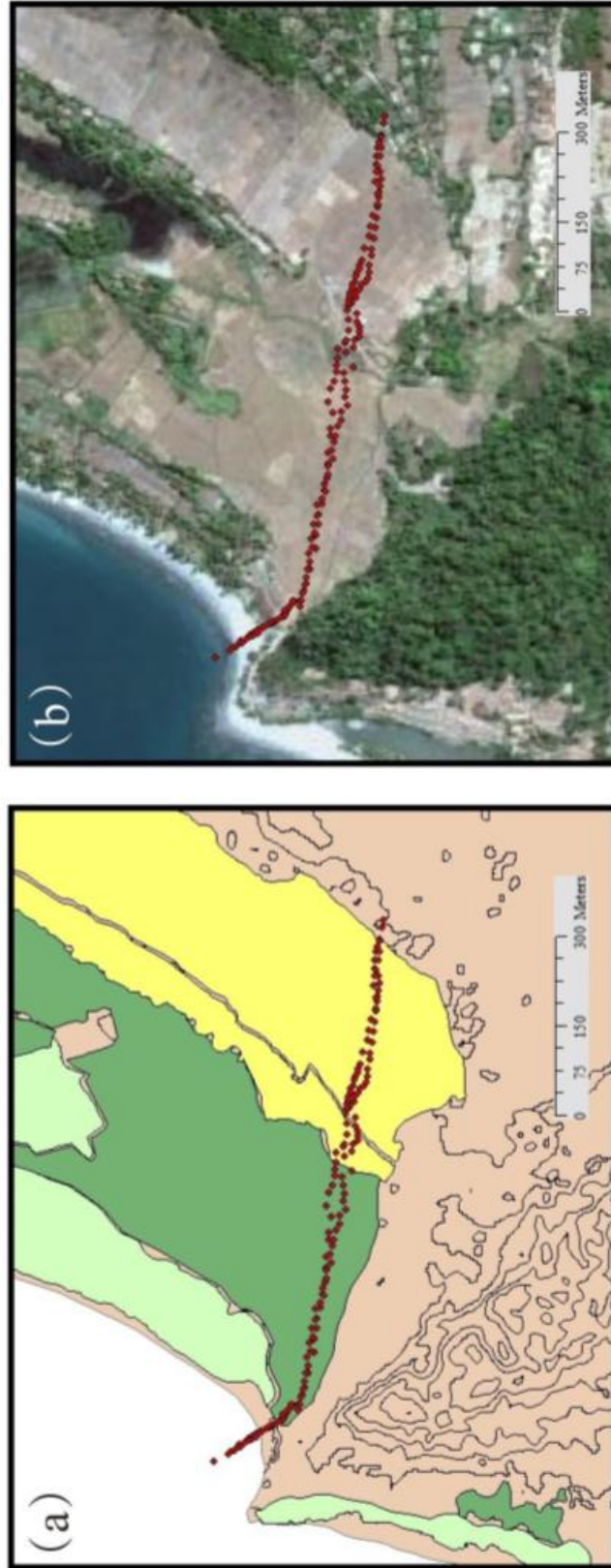


圖3-7. (a) TS之階地判研測量點位 (b) TS的Google影像與測量點位

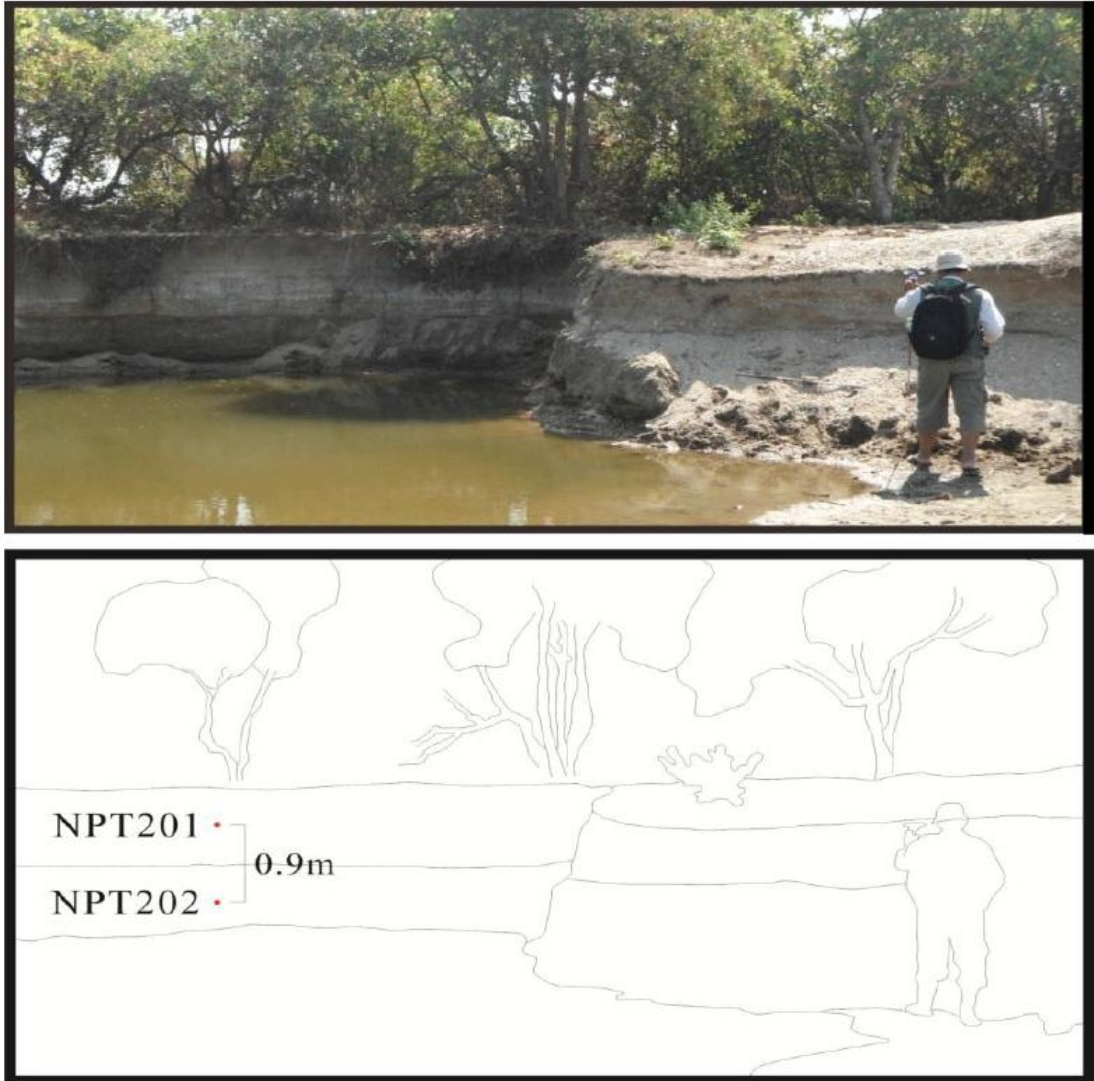


圖3-8. 在TS槽溝的野外照片及描繪示意圖

圖中人約高1.7 m。自頂面到不整合面的高差約0.6 m。

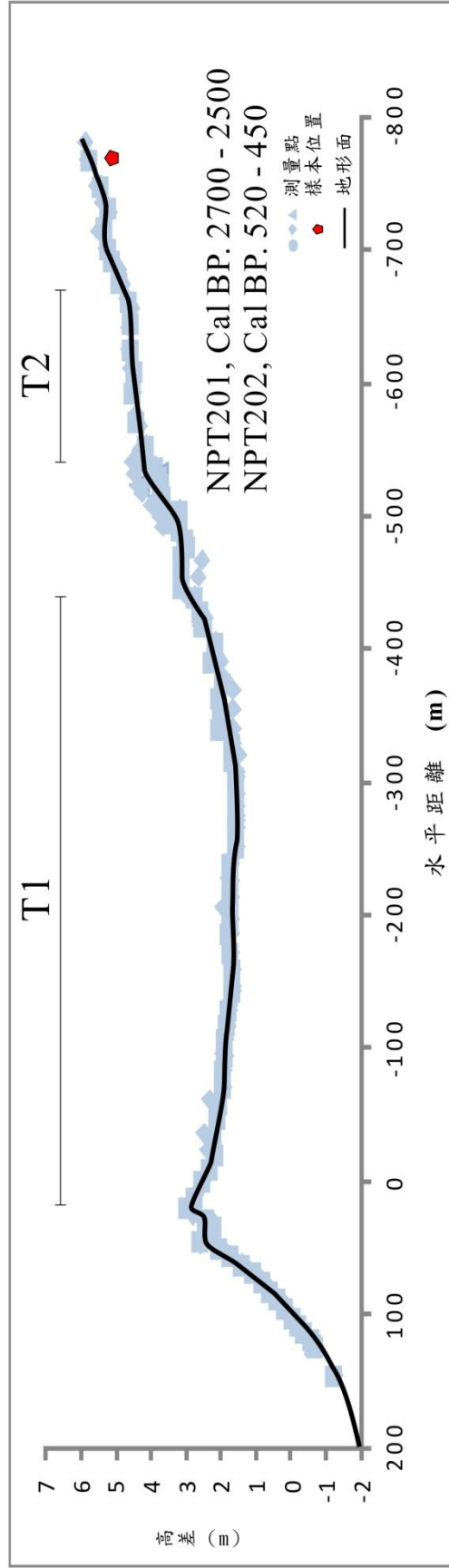


圖3-9. TS的階面測量結果

圖中紅點為樣本NPT201及NPT202取樣高度，定年結果顯示年代順序與前圖取樣位置相反，而在這兩樣本中間的不整合，顯示中間似乎有沉積上的間斷，亦或是被侵蝕後再次堆積。

3-2-3. Ngapyitaung的野外測量

在這地區的衛星影像判研中，可以區分出4階的階地面(圖3-10)。第一階的階面高度大約高於平均海水面2 m，第二階階面在5 m的高度，第三階階面在7 m的高度，第四階階面在10 m的高度(圖3-11)。在測量結果中，除了第二階和第三階交界面的階崖並不是那麼明顯之外，其餘階崖都可以清楚判別。

野外調查中，由於當地的樹叢與建築過多，視野極差，因此無法架設需要開闊視野才可進行測量的全站儀。於是筆者採用了雷射測距儀搭配反射稜鏡進行測量。然而此方法實際測量中，其所得之相對高度乃是地形面的高程差再加上雷射測距儀與反射稜鏡之間的高程差，且若是以手持雷射測距儀的情況下，就無法準確的評估觀測者是否水平站立，因而增加高程測量的誤差。為了解決前述問題，筆者首先將雷射測距儀固定於三角架上，並將反射稜鏡調整至與雷射測距儀等高，如此一來，測量所得的相對高程即反應了地形面變化的高程差。在測量過程中，除了記錄所測得之相對距離與高程差之外，同時在GPS中記錄點位資料，以利將所得的測量資料對比GPS點位資料進行方位的校正。最後將所得的測量結果投影在垂直海岸線上的延伸線上，並以圖3-11呈現。

3-2-4. Leikkamaw的野外測量

筆者在LKM有較多的測量，是因為在早先的野外調查中，發現在這地區的海岸線上有珊瑚礁的存在，且保存情況相當良好。從DEM上來看，在該區的西半邊可以明顯判研出兩階之階面，而在東半邊的位置上，可以判研出三階的階面存在。本研究總共在這地區進行了三條測線，其中東半邊兩條測線合併成一條，所以大致上區分成東邊一條以及西邊一條。這兩測線(圖3-12)的第一階階面高度大約都在2 m的位置上；西邊的第二階高度在6 m，而東邊的第二階高度僅在4 m左右(圖3-13、圖3-14)，此說明了即使是相鄰的地區，階地發育與保存的情況也會有所不同；東邊的第三階階面高約7 m，同時在第三階面上的農田中，發現有

塊狀的珊瑚化石，取樣並與後續取的珊瑚化石一併做鈾鈷定年。在測量第三階的階地面時，有些許高於第三階的平台零散出現，筆者將其視為第四階的殘存階面，其高度大約在12 m。另外在西側的階地面測量過程中，在第一階的階地面上，取到了兩組可做碳十四定年之樣本。其中一個是大略位在第一階階面的最高處，於一水井中，離地面約0.8 m深的細砂中找到一碳化木(LKM213)；另外一樣本是挖開了一小壕溝，從土壤層之下，粗砂夾帶著細礫石的海灘沉積物中，找到的貝殼碎屑(LKM214)。LKM213的碳十四定年結果為Cal BP. 270 – 220 yr而LKM214的碳十四定年結果為Cal BP. 270 – 120 yr (附錄二)，由於這兩組的定年結果均小於現今海蝕平台上最高位的珊瑚礁，說明這些樣本並不能代表階地面的年代，其可能為現地堆積或是因暴風事件的搬運而存留在該處，甚至可能為1762年地震所引發海嘯而帶來的堆積。

在LKM東邊的測線上，可以明顯見到過了第三階階崖之後，階地面有向南傾斜的現象，這可能是因為受到河水侵蝕後的結果，同時也說明了此處的第三階階地面原先或許更高(圖3-8、圖3-9)。

另外在LKM西北角海岸，我們對海岸線上的珊瑚礁進行了很詳細的測量。這地區的珊瑚礁可以分成兩個部份：在比較北邊的珊瑚礁是存在於被岩礁所包圍的潮汐水池(Intertidal pool)中，而在西南邊則是直接迎向孟加拉灣的珊瑚礁群。前者由於受到岩礁的障蔽影響，除了可以減少風浪的影響之外，其海水面高度的變化範圍也會比在開放性海洋中來的小，特別是潮線的位置會偏高，於是在此區的珊瑚礁，雖然本身的形貌保存的相當良好，且同時存在著現生珊瑚，但由於其形貌並無法真實反映海水面的高度變化，所以無法使用。而在西南邊直接面向開闊性海域的珊瑚礁群，雖然其樣貌保存的較差，但分佈廣闊且數量多，所以在有系統的區分量測下，還是可以分析各別珊瑚頂面的高程。另外我們同時對珊瑚進行採樣，並回來做鈾鈷定年，其年代結果將在下一章進行說明。

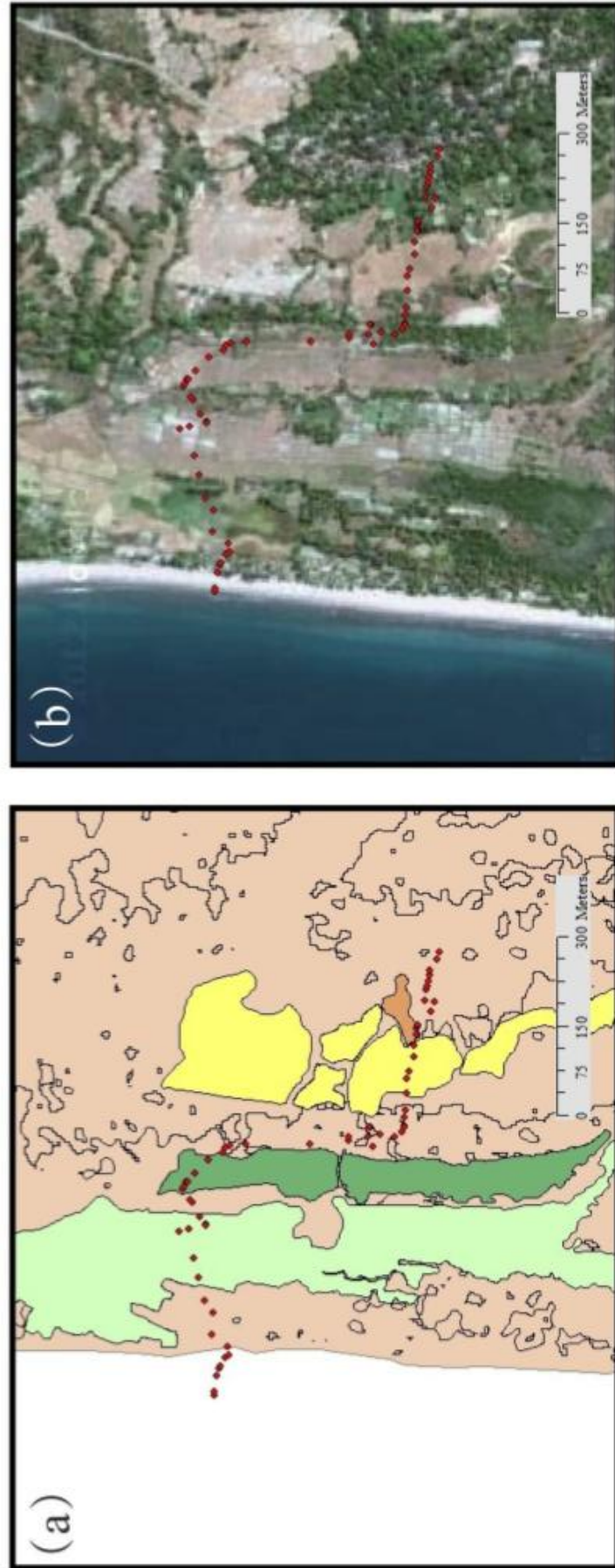


圖3-10. (a) NPT的階面判研與測量點位 (b) NPT的Google 影像與測量點位

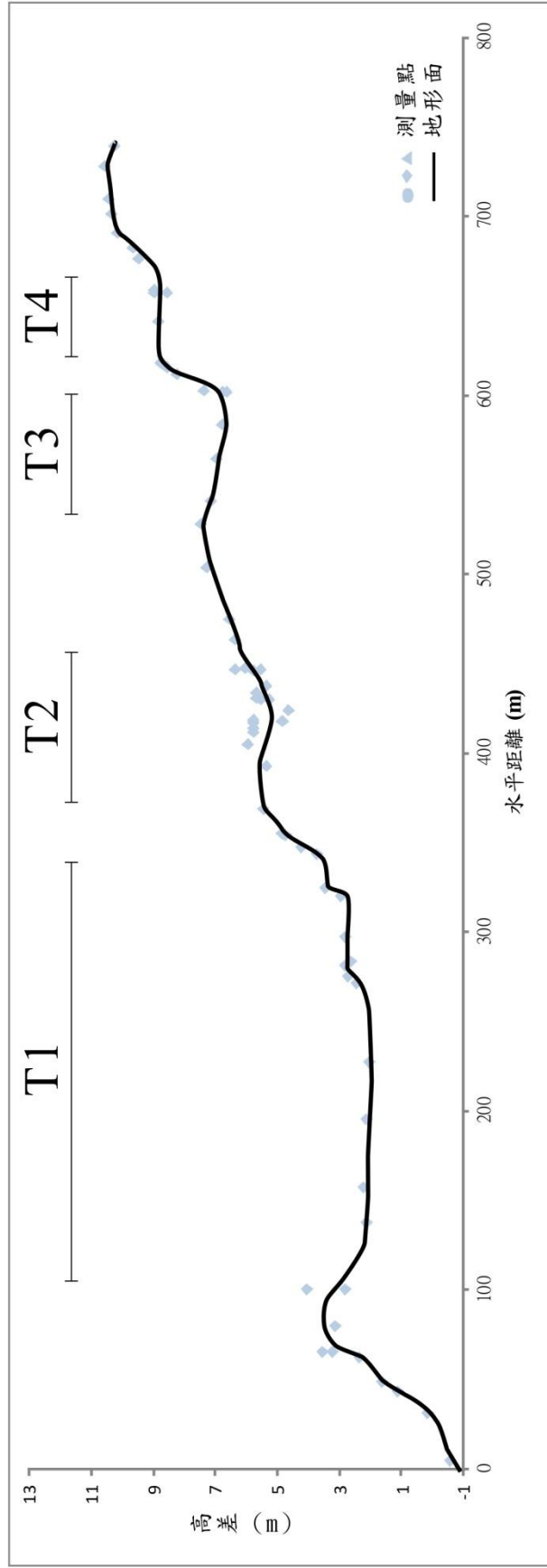


圖3-11. NPT的地形測量結果

此地區的地勢起伏較大，可能係受到東側臨近的背斜軸活動有關。

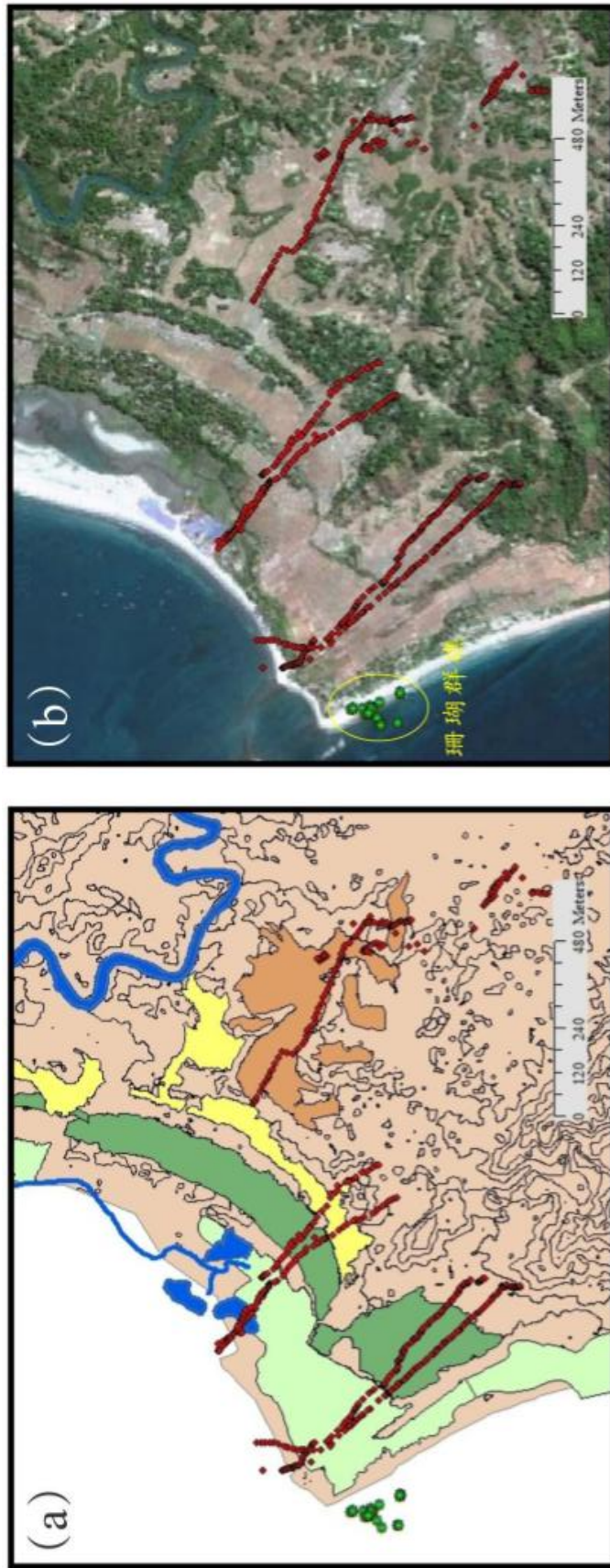


圖3-12. (a) LKM的階地判研測量點位 (b) LKM的Google影像與測量點位

圖中綠色標點位為珊瑚礁的測量點位。

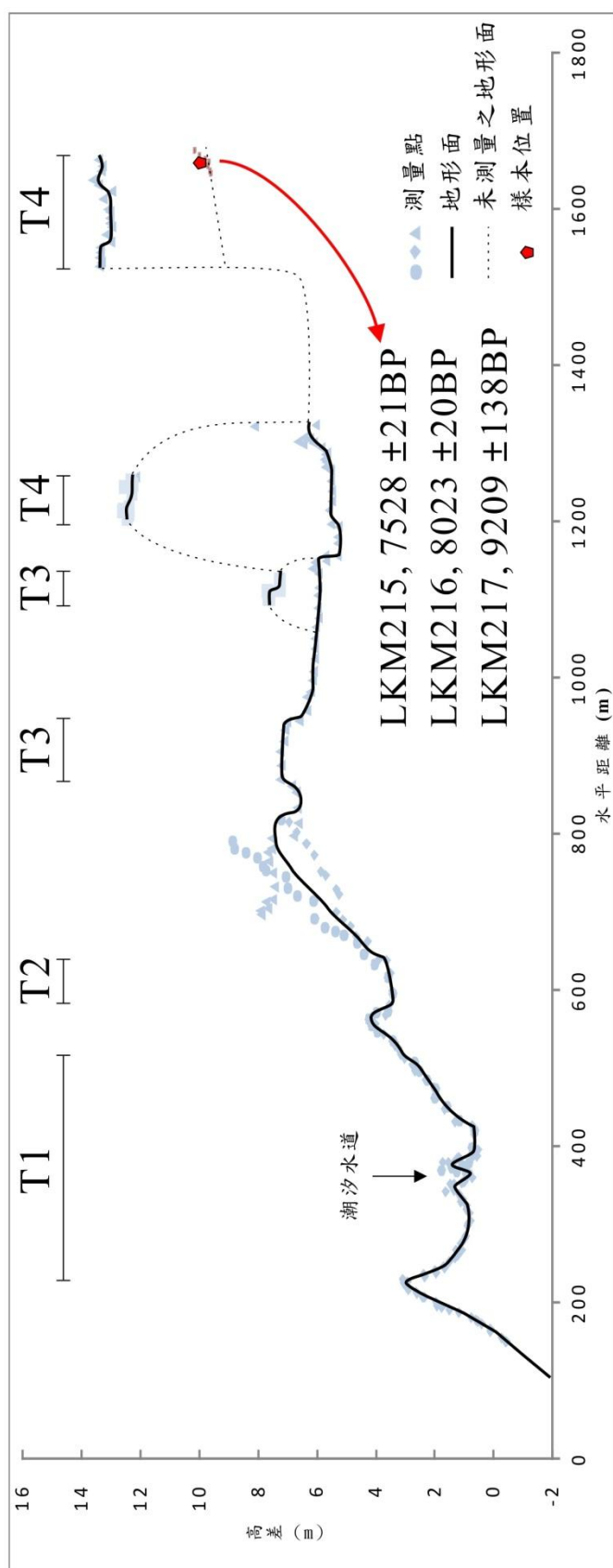


圖3-13. LKM東側的地形面測量結果

圖中灰色點係高位階地中的珊瑚化石採樣高度。以鈾釷定年取得定年結果。

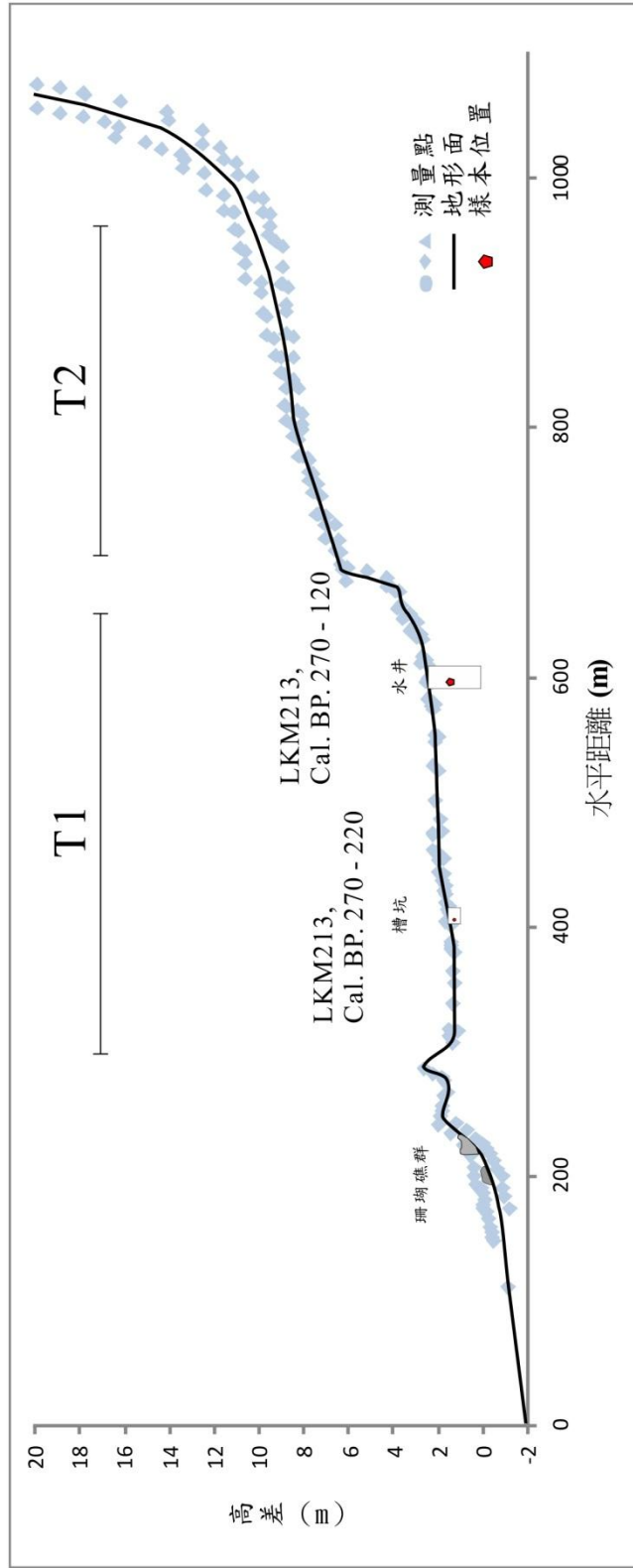


圖3-14. LKM西側的地形面測量結果

在階面上所取得兩組碳樣，定年結果顯示相近於1762年，可能是當時的海嘯所帶來的堆積物。

第四章 鈾釷定年結果

4-1. 利用等時線分析獲得蘭裏島北部地區之珊瑚中鈾含量初始值

等時線的原理是在相同時期的樣本材料，其內含的元素比值是相同的，差別只在於本身的絕對濃度。藉由等時線的方法，以求得在珊瑚形成的當下，環境中的初始鈾元素含量。在年代計算上，需除去在珊瑚形成當下，因為水體中的浮游顆粒充填入珊瑚的孔隙所帶來額外的鈾離子而使得定年結果有所偏差。表4-1的 Corrected Age是在計算年代時，使用 ^{230}Th 初始值進行校正後的結果。本研究採取兩組測量結果進行等時線的計算，分別是：LKM113及LKM230。本研究使用美國加州伯克利地質年代學中心的K.R. Ludwig所寫的Excel巨集*Isoplot 3.0*進行等時線的計算(Ludwig and Titterington, 1994; Ludwig, 2003)。

在高鈾濃度(2-3 ppm)含量的珊瑚中， ^{230}Th 定年法為一種理想的絕對年代定年工具(Shen et al., 2008)。但此定年法中，其年代計算等式需包含 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 的初始值(公式2-1)來進行校正。此一初始值為珊瑚在形成的當下，其周圍環境的鈾元素顆粒，而非來自鈾的衰變。一般而言，自然界中的地殼含有的Th/U原子比為3.6-3.8(Taylor and McLennan, 1995)。在假定永世平恆的條件下，來自大陸地殼的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 原子個數比值常被使用為4-5 ppm (Richards and Dorale, 2003)。現實情況中，Th同位素的初始值會因為環境的不同而有所差異(Cobb et al., 2003)。

Zachariasen等(2000)在蘇門答臘所使用的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 初始值為 6.5 ± 6.5 ppm。Shen等(2008)在西太平洋地區所測得的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 初始值約為4-6 ppm 之間。在巴哈馬的現生珊瑚中，甚至有曾測量到高達80 ppm 的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 初始值(Robinson et al., 2004)。這些都說明了，使用大陸地殼的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 值當 ^{230}Th 定年的初始值時，可能會得到很高誤差。

本研究採用LKM113及LKM230兩樣本，在同一紋層中取樣做等時線的分析。在利用*Isoplot3.0*迴歸出個別本樣的初始值後(Ludwig, 2003)，再將結果換成縱軸為 $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 及橫軸為 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ($\times 10^{-6}$)的圖4-1。

在圖4-1中LKM113測量值以紅點表示，定年結果為距今 196.7 ± 6.7 yr BP。LKM230的測量值以黑點表示，其中有一測量值以黃點表示，在該筆的測量資料中， $\delta^{234}\text{U}$ 的值為 152.0 ± 1.8 ，顯示該樣本可能受到成岩作用所影響，導致 $\delta^{234}\text{U}$ 偏高，且在等時線的結果中，有明顯偏離回歸線，所以在計算等時線時，不採計該筆測量資料。LKM230定年的結果為距今 284.6 ± 6.5 yr BP。然而計算等時線所得到的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 的比值中，LKM113的結果是 1.1 ± 1.1 ppm，LKM230的結果是 1.5 ± 1.5 ppm。由於LKM230計算所得到的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 初始值範圍包含LKM113所得的初始值，故使用LKM230視為這地區的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 初始值。此一初始值對比先前所提到鄰近的蘇門答臘或是西太平洋等地區的初始值，顯示在此地區海洋環境中的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 值偏低，但由於未採集海水樣本，故無法與當地海水中的U/Th同位素進行比較。後面在本研究的所有定年分析中，都採用 1.5 ± 1.5 ppm這一數值當 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 的初始值。

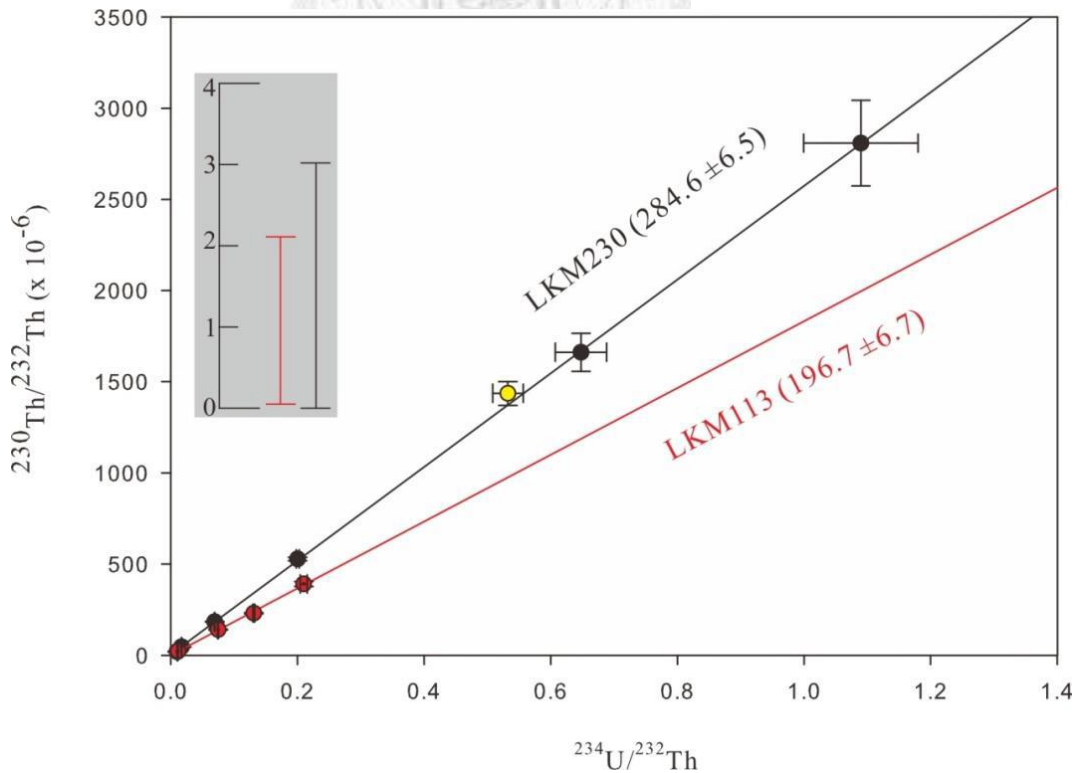


圖4-1. $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ vs $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 等時線的結果

4-2. Kyaukphyu的定年結果

在KPU的東南邊，靠近河道旁的沼澤地，我們發現了一整片廣闊的珊瑚礁(圖4-2)。為了瞭解這些珊瑚礁為何會存留在這一個充滿泥質沉積物的混濁水域中，我們取了些許的珊瑚樣本，並對其做的鈾釷定年，其結果如表4-1所示。

樣本KPU110B、KPU218：

採樣位置在KPU南端的一沼澤地中(UTM 46Q 0555898, 2146035)，受現今潮汐作用影響的潮間帶。在掘地約一公尺深處，可以找到珊瑚附著的底岩，說明這地區的珊瑚是現地生長。KPU110B為一具完整形態的珊瑚頭，而其周圍仍存有其他完整的珊瑚礁以及零散的珊瑚碎塊。KPU218(UTM 46Q 0556071, 2145940)為第二次前往野外取樣所得之樣本，採取可得較好定年結果之物種*Goniastrea sp.*，用以對比確定先前在此處的定年結果。

樣本KPU220：

採樣位置在KPU的東側，位於樣本KPU110B的北端。在兩側隆起小山脊的谷地中取得樣本KPU220 (UTM 46Q 0554608, 2148101)。樣本位於農田的田埂中，詢問當地農民得知，由於這顆珊瑚礁過大，不易移除，所以在開墾農田時就沒有移動過。可以視為現地保留之珊瑚化石。從定年結果可以得知在這片地區的珊瑚存活年代大約是在全新世中期(約6000年前)。在前人的研究(Grossman et al, 1998)中，我們可以得知中期全新世是個氣候溫暖的時期，當時的海水面比現今高，部分地區古海面甚至高於現今海面2 m。也因為這樣，當時在KPU這個地方可能還未形成陸地，而且離東側的大陸較今天來的遠，所以沒有如此多的沉積物搬運而來，其環境可能為淺海大陸棚或是半封閉的潟湖。但在經歷過這麼長時間的構造活動，且海水面下降之後，這個地方的珊瑚礁卻僅僅在高於平均海面不到0.5 m的高度，也就表示著這一地區並未存在著明顯的抬升活動。

4-3. Leikkamaw的定年結果

在LKM這個地方，找到的為數眾多的珊瑚礁，這些珊瑚礁分別記錄著不同時期的海水面高程變化(圖4-4)。自全新世中期海水面最高期下降之後，海水面高度的變化約略呈現持續上升的形態。在這段期間內，若珊瑚是因為海水面的下降而死亡，則表示陸地相對於海水面有更大幅度的抬升，筆者將其視為大地震事件所造成的抬升。再藉由鈾鈦定年這項技術對珊瑚做定年分析，以瞭解造成珊瑚死亡的抬升事件的年代，最後再結合先前所測量的珊瑚化石的高程分佈資料，即可得到一年代模型(圖4-4)。

樣本LKM215、LKM216、LKM217：

採樣位置於LKM端的階地上(UTM 46Q 0550930, 2141019)，在開墾的農田中以及臨近的階地堆積層都有找到，但大多為碎塊狀，無法確定是否為現地保存。

樣本LKM112、LKM113、LKM115、LKM116、LKM117、LKM230、LKM231、LKM232、LKM233、LKM234、LKM235：

這些樣本的採集位置在LKM的西北海岸線(UTM 46Q 0549224, 2141449)，珊瑚礁係直接附著於底岩，所以判定珊瑚礁皆為現地生長保存。這地區的珊瑚礁約略可以分成三群不同高程。最高的一群珊瑚礁(LKM117、LKM234 & LKM235)，保存情況較差，頂面受風化作用影響而凹凸不平，較難以判定最高位置，其高程測量結果僅能代表最小值。

定年結果顯示三組不同的時期，分別是最年輕的LKM115，其年代約在18世紀末期到19世紀中期；LKM112及LKM116的年代約在18世紀中期；LKM235約在10世紀。LKM115為一平頭珊瑚礁群，在取樣當時曾經以為該珊瑚礁是由於1762年的抬升事件而死亡的，所以多次重複測量，以確定樣本結果。測定出的²³⁸U

平均值為 3439.4 ± 4.0 ppb， ^{232}Th 的平均值為 11003 ± 37.3 ppt，而 $\delta^{234}\text{U}$ 的平均值為 145.6 ± 1.9 。LKM112 與LKM116為同類珊瑚礁，但LKM112係重新附著生長在LKM116之上，定年結果確定時代無倒置，表示該類珊瑚礁曾經一度出露於水面之上，所以停止生長。LKM112的 ^{238}U 值為 2922.2 ± 3.5 ppb， ^{232}Th 值為 15852 ± 59.7 ppt，而 $\delta^{234}\text{U}$ 的值為 148.3 ± 2.2 。本研究在此地區所找到的最高位珊瑚礁為LKM235，此群的珊瑚礁頂面皆因為風化侵蝕而未留下完整的頂面。LKM235的 ^{238}U 值為 2857.0 ± 3.2 ppb， ^{232}Th 值為 1856 ± 6.0 ppt，而 $\delta^{234}\text{U}$ 的值為 147.4 ± 1.9 。整體來說，在暖水或是冷水的珊瑚中， ^{238}U 的含量大約在 $1.5 - 4.0$ ppm(Shen and Dunbar, 1995; Edwards et al., 2003)，在這地區的珊瑚 ^{238}U 值也符合此一範圍。在開放海域中海水的 $\delta^{234}\text{U}$ 值為 146 ± 2 (Chen et al., 1986)，而此地區珊瑚測量值均約略在此一範圍內，說明該群珊瑚礁並未受到成岩作用影響。

在圖4-5所示的環境為現今海蝕平台，最左側灘台為此海蝕平台的最高處。海灘砂直接與底岩接觸，因此珊瑚可以附著在底岩生長。由於珊瑚僅能存活在海水面之下，所以視平均低潮線(Mean Lower Water Spring, MLWS)為現今珊瑚的存活上界，另外還有平均高潮線(Mean Higher Water Spring, MHWS)為潮汐水位的上界。在現今存活珊瑚以上約0.7 m高處，有一群珊瑚的定年結果約在1840年代左右。在活珊瑚以上2 m處，有另外一群的珊瑚礁有重新再次生長覆蓋的現象，底部的死亡時間大約是17世紀晚期，而頂端部份的定年結果約在18到19世紀之間。在此海岸的最高珊瑚礁是高於現今存活珊瑚以上約2.5 m，定年結果約在9世紀後期。可以看到珊瑚化石的年代分佈跟高程呈現正相關，也就是離現今高度越高，則年代就越老。



圖4-2. KPU的珊瑚化石取樣地點示意圖

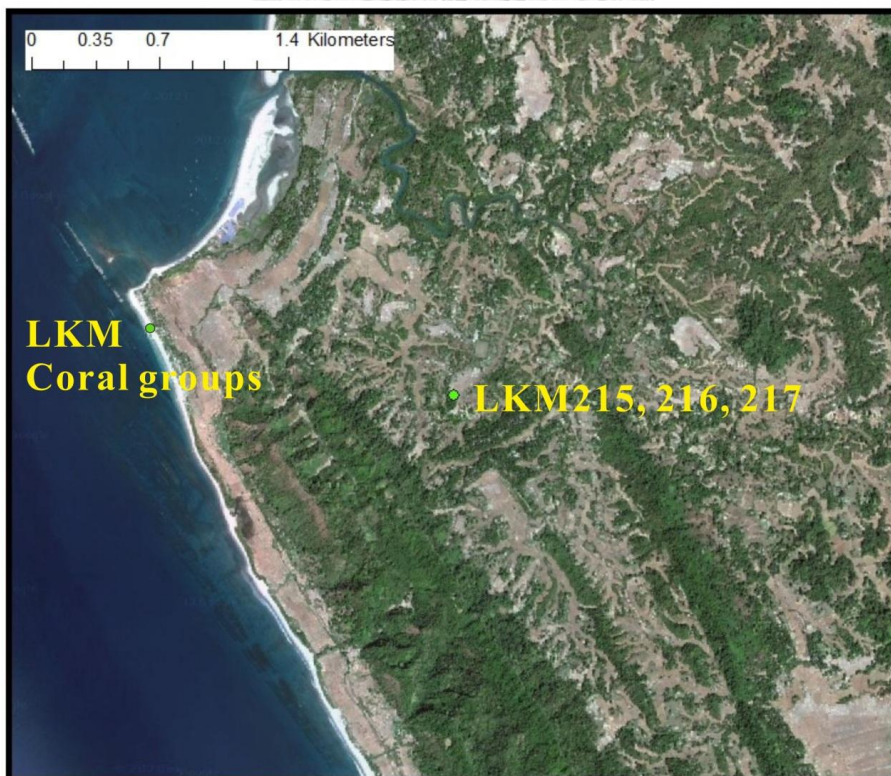


圖4-3. LKM 的珊瑚化石取樣地點示意圖

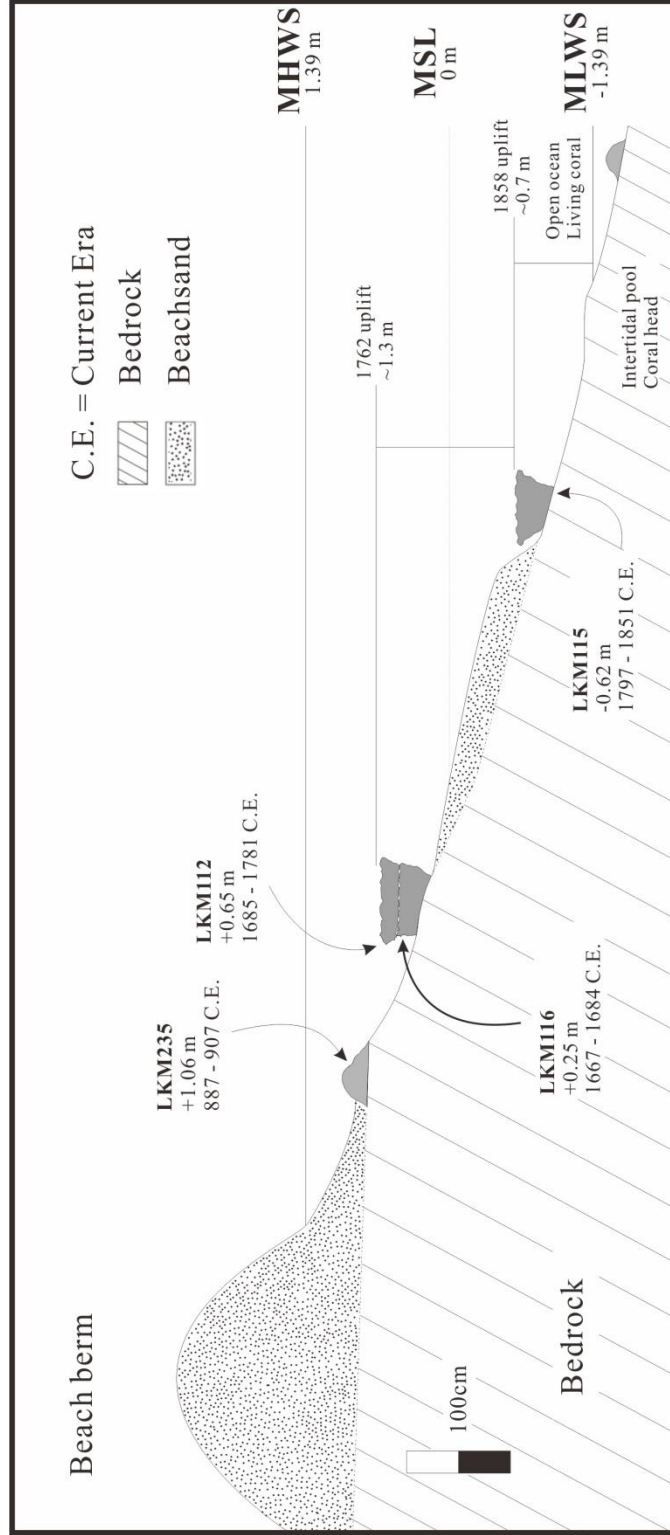


圖 4-4. 珊瑚化石的高程與定年結果

由珊瑚的定年結果與高程關係，可以得知1762年的地震事件在LKM造成約1.3 m的抬升，而在1858年的另一次地震事件也造成了約0.7 m的抬升。

Sample name	Sample location UTM 46Q	Age Corrected (yr)	Calendar year of coral	Elevation ^b (m)	Species
KPU110	0555898, 2146035	6201 ± 17	-4206 to -4172	< 1	<i>Porites sp.</i>
KPU218	0556071, 2145940	6066 ± 19	-4073 to -4036	~ 2	<i>Porites sp.</i>
KPU220	0554608, 2148101	7129 ± 25	-5142 to -5092	~ 2	<i>Porites sp.</i>
LKM112	0549226, 2141456	278 ± 48	1686 to 1782	0.65	<i>Porites sp.</i>
LKM113 ^a	0549226, 2141456	197 ± 7	1808 to 1822	-0.65	<i>Porites sp.</i>
LKM233	0549259, 2141382	182 ± 3	1827 to 1833	-0.67	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM115	0549224, 2141449	188 ± 27	1797 to 1851	-0.62	<i>Porites sp.</i>
LKM230 ^a	0549217, 2141452	285 ± 7	1721 to 1734	0.54	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM231	0549217, 2141452	277 ± 2	1733 to 1737	0.37	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM232	0549223, 2141457	258 ± 3	1752 to 1757	0.62	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM116	0549238, 2141433	337 ± 8	1667 to 1684	0.25	<i>Porites sp.</i>
LKM117	0549263, 2141375	1316 ± 183	513 to 879	1.06	<i>Porites sp.</i>
LKM234	0549218, 2141462	1108 ± 18	886 to 922	~ 1	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM235	0549218, 2141462	1115 ± 10	887 to 907	~ 1	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM215	0550930, 2141019	7598 ± 36	-5622 to -5550	~ 10	<i>Porites sp.</i>
LKM216	0550930, 2141019	8033 ± 20	-6041 to -6001	~ 10	<i>Goniastrea sp.</i>
LKM217	0550930, 2141019	9209 ± 138	-7336 to -7059	~ 10	<i>Porites sp.</i>

^a Isochron ages

^b MSL as 0 m of elevation.

表4-1. KPU與LKM之珊瑚鈾釷定年結果

(詳見附錄二)

第五章 討論

5-1. 緬甸西南外海之地震事件

5-1-1. 西元1762 年地震事件

在西元1841年，由E. Halsted船長所帶領的英籍探險船Childers號到訪緬甸切杜巴島嶼時，他發現到該島有一被抬升的古海岸線。在Halsted調查之後，他注意到這現象不僅在切杜巴島上有，同時在臨近的蘭裏島上也有同樣的現象。在他的記錄中說明這些島上的古海岸線高於海水面3–7 m。詢問過當地居民後，得知在1841年前80–90年發生了大地震，並造成當時海岸線的抬升。Halsted認為造成抬升的地震事件是有週期性的，可能是每百年活動一次。

而Mallet(1878)在研究孟加拉灣的泥火山噴發記錄時，找到了該地區有兩次在18世紀中期的泥火山噴發記錄，分別是在1757年跟1762年。該記錄指出在1757年時，有一次海底泥火山的噴發，以及在1762年的4月有另一次的噴發記錄。同時在1762年4月，歷史記錄顯示當時有地震發生，並摧毀了部份的吉大港城市，而且該地震在整個孟加拉灣、若開及勃固都可以感受得到。因此Mallet認為1762年4月的地震才是Halsted所提到，造成蘭裏島上海岸線抬升的事件。

Oldham(1883)在匯集印度及東南亞地區的地震事件時，發現到1762年4月2日的地震事件影響範圍極為寬廣。Cummins(2007)利用此一資料，推測在1762年所發生的地震，其破裂長度最大為350 km，且滑移量約10 m，計算出的地震矩規模為8.8。

在本研究中測得1762年地震事件所造成的抬升量，在KPU約為1 m，而在LKM約為1.3 m，這兩地點的抬升量都與前人報告中，1762年地震在蘭裏島所造成海岸線3–7 m的抬升有所出入。如此大的差異量或許是在不同地區所觀察到的結果，同時這說明了1762年的地震在蘭裏島上的不同位置，所造成的抬升可能有很大的差異。

5-1-2. 其它地震事件之記錄

本研究利用珊瑚礁的定年結果，得知在1762年前後分別有另一次的地震發生。根據定年結果，可以知道在1762年之後的地震發生時間大約是在19世紀中期。由Oldham(1883)的地震資料，可以找出數筆在此一期間所發生的地震資料：分別是在1839年3月、1843年2月、1843年10月、1848年1月以及1858年8月(表5-1)。依據其地點的描述，僅有1839年3月及1858年8月的地震可能發生在蘭裏島上。由文獻中可以得知1839年3月在內陸造成較大的災害，而在蘭裏島只有些微的搖動與泥火山的噴發。另外一個1858年8月的地震影響範圍以緬甸西南沿海地區為主。所以推測由定年結果所得到的抬升事件為1858年8月的地震。

由這一近代珊瑚礁的抬升記錄中，可以知道在蘭裏島上的大地震事件並非只有1762年此一事件。在1762年地震之後，至少還存在著一次的大地震活動。其有可能只是因為區域的構造活動所造成的，但卻也說明了在這地區有潛在的地震災害發生機會，在考慮開發建設的同時，也得考慮到這一區域構造可能造成的危害。

5-2. 階地與珊瑚礁之地震週期比較

5-2-1. 階地之地震記錄

在過去一萬年以來的太平洋古海面，就平均而言呈現持續的上升(Shepard, 1963)。部分地區在全新世中期即達到與現今海面相等的高度，並具有小幅的上下波動(趙，1984; Shackleton et al., 1987)。Chappell等(1996)在新幾內亞利用階地上的珊瑚礁與深海氧同位素對比，得知在距今約5千年前的海面與現今的海水面同高。Ota and Chappell(1999)同樣在新幾內亞的研究指出此一中期全新世的海水面最高期發生在6411 – 6994 yr BP。

前述海面變化的研究都說明，自從中期全新世海面最高期以來，海面變化約略呈現下降的現象。然而此一全球海面下降的幅度僅約2 m，所以在緬

甸西南若開邦外海的島嶼上，階地面的形成必然是有受到構造作用的影響而抬升，並非單純只是因為海水面的變化。

本研究在LKM高位階面上的珊瑚定年結果也顯示蘭裏島有持續的抬升作用在進行。在緬甸西南外海的這些島嶼上，大多數地區均存在著至少2 - 3階的海階。在先前的研究中，均假設海階的形成是由於單次大地震的結果，並且依照個別階地面的高程與定年結果，來計算過去的地震活動週期，並得到這地區約每900年會有一次大地震並造成約5公尺的抬升(Than Tin Aung et al., 2006; Shishikura et al., 2009)。

本研究在蘭裏島北部的階地測量中，由東北到西南，最低位的階地具有良好的延伸性，且其高程也是相近的。但在高位的階地測量結果中，同一階的高程在不同地區均不相等，即使是在相臨的地區(LKM-W & LKM-E)，其階地分佈也不相同。由此可見，並非所有的階地均可對比，並代表一次過去的大地震。由於地震事件的發生，並非只有在海溝上，因板塊隱沒作用所產生的活動，位處於海溝上盤的蘭裏島上，或許也存在著其他的構造，這些地區性的構造所造成的地震事件，有可能形成較為地區性，並且難以和其他地區對比的階地。

地點		T1	T2	T3	T4
西北	TS	2 m	4.5 m		
	NPT	2 m	5 - 6 m	7 m	9 - 10 m
	LKM-E	1.5 - 2 m	4 - 5 m	6 - 8 m	12 - 13 m
東南	LKM-W	2 m	6 - 8 m		

表5-1. 蘭裏島北部之階地高度分佈

5-2-2. 珊瑚礁之抬升記錄

由於海階係累積多次抬升事件所得的結果，因此要瞭解個別的地震事件時，需要有其他方法。早期將在階地面上的珊瑚化石與現生珊瑚的存活深度(約10-15

m)視為高程差，再依據定年結果去計算抬升速率(林，1989)。此方法在區域抬升速率快或是時間尺度大的時候，可以忽略由於生長位置的不確定性所造成的誤差，但在研究近代的地震抬升事件上，就顯得不足。Sieh等(1999)在研究蘇門答臘的隱沒帶時，利用珊瑚的生長習性，辨識出個別珊瑚的樣貌與海水面變化之間的關係，並將海水面的變化視為陸地相對於海水面的運動，再藉由年紋層去回推區域的抬升(下降)速率，其精準度可以達公分級。Zachariasen等(2000)將對珊瑚的形貌與海水面變化之間的關係做更詳細的描述，並建構出完整的分析方法。Natawidjaja等(2004)將珊瑚化石對比地震紀錄，可以得到個別地震在不同地區的抬升分量。Meltzner等(2006, 2010)再對比了過去數百年間的歷史地震記錄而有了較長周期的構造抬升(下降)速率。本研究在LKM的沿海地區有發現許多現地保存的珊瑚礁存在，由定年結果與珊瑚礁的高程分佈中(圖4-2)，可以知道在1762年的抬升事件之前以及之後都個別有一次的抬升事件存在。在高位的地方，有一批珊瑚礁高於1762年的珊瑚礁約0.4 m，其定年結果顯示為1762年之前約900年。另外還有一群珊瑚礁，死於1858年的地震抬升事件，該次事件的抬升量約為0.7 m，說明這也是一個不小的地震，並可能在局部地區造成災害。前述所得之研究成果指示著前人在臨近島嶼上單純利用階地高程與定年結果所算出的地震周期可能是有所低估的。而這些由珊瑚礁所記錄的抬升事件都在現今海蝕平臺之上，顯示著兩件事，第一、現存最低的階地面應形成於更老的抬升事件之中；第二、階地面的形成，在這地區是無法由單一次的抬升事件所導致，需要多次的抬升事件累積而成。因此先前在緬甸西南部外海的研究，其計算出來的地震周期與抬升速率可能是不恰當的。

另外本研究在LKM的距海水面以上約10 m的高位階地面上所採的珊瑚樣本，其定年結果約為5500 yr BP.到 7300 yr BP.，利用此一數據所估算出的長週期抬升速率約為1.4–1.8 mm/yr，但由於這些珊瑚塊體且無法確定是否是現地保存的，因此無確實之高程資料，因此其值僅能為該地區長周期的抬升速率之估計值。

5-3. 蘭裏島上的抬升記錄與階地形成之關聯

在先前的研究中均認為在緬甸西南外海島嶼上的海階形成均為單一次的大地震所造成的(Than Tin Aung et al., 2006; Shishikura et al., 2009)。探究其原因除了歷史記錄中對1762年地震事件所造成的抬升記錄外(Halsted, 1843)，可能也與當地的潮差有關。在緬甸西南外海的潮差可以高達3 m，在如此大的潮差之下，單一地震抬升若是大於3 m時，則的確可能可以行成一個新的海階。然而，若是抬升量小於3 m時，則大部份被抬升起來的海蝕平台可能都會再次被夷平，僅能有少部份的高區殘留下來。在這種情況下，若沒有在地震抬升事件發生後，馬上進行測量調查的話，則經過一段時間的侵蝕作用之後，再測量所得到結果只能代表該次地震抬升事件的最小值，這是因為無法藉由相同的地形特徵進行對比，所以難以真實的反應出地震抬升量。若利用此一抬升量對地震周期進行估算，可能會忽略其他規模較小的地震事件，並造成對地震周期的高估。



第六章結論

在緬甸西南部蘭裏島的研究中，本研究得到了以下數點的結論：

1. 本研究重新量測了在KPU的海蝕凹壁。對比先前在此地區古牡蠣生長層的抬升係為1762年地震事件所造成的約1 m的位移，與現今海蝕凹壁與其上方高一階的海蝕凹壁，也具有相同的位移量。由此可知海蝕凹壁同樣也與牡蠣層有著相等的抬升現象，且海蝕凹壁也可以用於判別地震的抬升事件。並且在量測高位的古海蝕凹壁後，知道在此處的海蝕凹壁保留了多次的地震抬升記錄，其相臨之兩古海蝕凹壁間都具有約1 m的高差，因此知道過去該處曾經發生過多次的地震抬升事件，且其每次的地震規模都與1762年地震規模相似。然而這些發育在砂岩之上的海蝕凹壁，形成機制與先前研究中，在石灰岩上的海蝕凹壁發育機制並不相同，需要進一步的研究以瞭解在砂岩上所形成的海蝕凹壁是否能作為良好的對比依據，
2. 由地形的判研中顯示著蘭裏島東西兩側的抬升並不相同。根據在階面上所採取珊瑚樣本的定年結果顯示，KPU與LKM同時期的定年結果，其所在的階地高度卻完全不相同。說明著蘭裏島西側抬升的量多於在東側所抬升的量。
3. 在LKM海岸的珊瑚礁，記錄到1762年之後的另一次地震抬升。此結果說明著在這邊的地震活動並不是只有在海溝的隱沒作用而引起的。該處可能有其他地區性的構造會引發地震，而這些個別地區性的地震同樣可以對蘭裏島造成災害。
4. 在蘭裏島上，單一階地的抬升並非只是由一次的大地震所造成。本研究在對珊瑚礁的研究中，發現到三次的地震抬升記錄，其中最早的一次地震抬升記錄是在1762年之前約900年。這一時間差正好與前人在緬甸西南部外海島嶼上的地震週期研究中，大地震的活動週期相同。但這三群被抬升的珊瑚礁都還位於現今的海蝕平台之上，略低於現今最低位的階地面。說明前人利

用在階地上所定年的結果可能不能真實反應階地的形成年代。若以此年代結果來推算地震週期時，可能會低估大地震的活動性。

5. 由於在蘭裏島的潮差甚大，可以高達約3 m，在如此大的潮差之下，若單一次地震的抬升量小於3 m時，被地震所抬升的區域考能會很快的再度被海水侵蝕夷平，而不易被保留下。僅有少部分高於海水所能影響到達的地區，才會被殘留下來。因此蘭裏島上廣泛分布的大面積海階，可能是一次地震的抬升的結果，但也不能忽略在這些大地震事件之間，仍會有其他地震抬升事件的存在。



參考文獻

- 李桂淑 (2005) 高精確珊瑚鈾釷定年技術之限制及應用。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共90頁。
- 林久芳 (1989) 台灣恆春半島及東部海岸全新世隆起珊瑚之鈾系定年研究。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文。共119頁。
- 許民陽 (1988) 台灣海階地形學研究。私立中國文化大學地學研究所博士論文。共178 頁。
- 趙希濤 (1984) 中國海岸演變研究。福建科學技術出版社。1-194。
- Allen, L. (1984). Burma: the Longest War. Dent Paperbacks. 513p.
- Agnew, D. C. (1996), SPOTL: Some programs for ocean-tide loading, SIO Ref. Ser. 96-8, 35 pp., Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA.
- Agnew, D. C. (1997). NLOADF: a program for computing ocean-tide loading, Journal of Geophysical Research. 102, 5109-5110.
- Agnew, D. C. (2012). SPOTL: Some Programs for Ocean-Tide Loading, SIO Technical Report, Scripps Institution of Oceanography; soon to also be available at the SIO Reports website. <http://escholarship.org/uc/item/954322pg>
- Bateman, H.(1910) The solution of a system of differential questions occurring in the theory of radioactive transformations. Proc. Cambridge. Phil. Soc. 15, 423-427
- Broecker, W. S. (1963) A preliminary evaluation of uranium series inequilibrium as a tool for absolute age measurements on marine carbonates. Journal of Geophysical Research. 68, 2817-2834.
- Chen, J. H., Edwards, R. L., and Wasserburg, G. J. (1986) ^{238}U , ^{234}U and ^{232}Th in sea water. Earth and Planetary Science Letters. 80, 241-251.
- Cheng, H., Edwards, R. L., Hoff, J., Gallup, C. D., Richards, D. A. and Asmerson, Y. (2000a) The half-lives of uranium-234 and thorium-230. Chemical Geology.

169, 17-33.

Cheng, H., Edwards, R. L. and Boyle, E. A. (2000b) U-Th dating of deep-sea corals.

Geochimica et Cosmochimica Acta. 64, 2401-2416.

Cobb, K. M., Charles, C. D., Cheng, H., Kastner, M. and Edwards, R. L. (2003)

U/Th-dating living and young fossil corals from the central tropical pacific. *Earth and Planetary Science Letters*. 210, 91-103

Chappell, J., Omura, A., East, T., Mee, M., Pandolfi, J., Ota, Y. and Pillans,

B.(1996) Reconciliation of Late Quaternary sea levels derived from coral terraces at Huon Peninsula with deep sea oxygen isotope records. *Earth and Planetary Science Letters*. 141, 227-236.

Curray, J. R., Emmel, F. J. and Moore, D. G. (2003) The Bengal Fan: morphology,

geometry, stratigraphy, history and process. *Marine Petroleum Geology*. 19, 1911-1223.

Cummins, P. R. (2007) The potential for giant tsunamigenic earthquakes in the

northern Bay of Bengal. *Nature*. 449

Edwards, R. L., Chen, J. H. and Wasserburg, G. J. (1987) ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{232}Th

systematics and the precise measurement of time over the past 500000 years.

Earth and Planetary Science Letters. 81, 175-192.

Edwards, R. L., Taylor, F. W. and Wasserburg, G. J. (1988) Dating earthquakes with

high-precision thorium-230 ages of very young corals. *Earth and Planetary Science Letters*. 90, 371-381.

Edwards, R. L., Gallup, C. D. and Cheng, H. (2003) Uranium –series dating of marine

and lacustrine carbonates. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 52, 363-405.

Grossman, E.E., Fletcher, C.H., and Richmond, B.M., (1998). The Holocene sea-level

highstand in the equatorial Pacific: analysis of the insular paleosea-level database.

- Coral Reefs 17, 309 – 327.
- Guzmn-Speziale, M. and Ni, J. F. (2000) Comment on “Subduction in the Indo-Burmese region: Is it still active?” by S. P. Stayabala. *Geophysical Research Letters*. 27, 1065-1066.
- Halsted, E. P. (1843) Report on the Island of Cheduba. *Journal of Asiatic Society of Bengal*. 114, 319-446.
- Healey, R. G. (1991) Presenting a Complete GIS solution. *Geographic Information Systems*. 19, 269-297.
- Hsieh, M.L., Liew, P.M. and Hsu, M.Y. (2004) Holocene tectonic uplift on the Hua-tung coast, eastern Taiwan. *Quaternary International*. 115-116, 47-70.
- Hsieh, M. L. and Rau, R. J. (2009) Late Holocene coseismic uplift on the Hua-tung coast, eastern Taiwan: Evidence from mass mortality of intertidal organisms. *Tectonophysics*. 474, 595-609.
- Jaffey, A. H., Flynn, K. F., Glendenin, L. E., Bently, W. C., and Essling, A. M. (1971) Precision measurement of half-lives and specific activities of ^{235}U of ^{238}U . *Physical Review C*. 4, 1889-1906.
- Knutson (1972) Coral chronometers: seasonal growth bands in reef coral. *Science*. 177, 270-272.
- Kean, T. (2009) Kyaukphyu-Yunnan oil pipeline to be completed by end of 2015. *MYANMAR TIMES*. 30th Nov.
- Ludwig, K. R. and Titterington, D. M. (1994) Calculation of $^{230}\text{Th}/\text{U}$ Ischrons, ages, and errors. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 58, 5031-5042.
- Ludwig, K. R. (2003) Mathematical-statistical treatment of data and errors for $^{230}\text{Th}/\text{U}$ geochronology. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 52, 631-656.
- Miller, C. L. and Laflamme, R. A. (1958) *The Digital Terrain Model: Theory and Application*. M.I.T. Photogrammetry Laboratory. 20p.

- Mallet, F. R. (1878) The mud volcanoes of Ramri and Cheduba. Record of the Geological Survey of India. XI, 188-207.
- Meltzner, A., Sieh, K., Abrams, M., Agnew, D., Hudnut, K., Avouac, J. and Natawidjaja, D. (2006). Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004. *Journal of Geophysical Research*. 111.
- Meltzner, A. J., Sieh, K., Chiang, H.W., Shen, C.C., Suwargadi, B.W., Natawidjaja, D. H., Philibosian, B. E., Briggs, R. W., and Galetzka, J. (2010) Coral evidence for earthquake recurrence and an A.D. 1390–1455 cluster at the south end of the 2004 Aceh–Andaman rupture. *Journal of Geophysical Research*. 115.
- Ni, J.F., Holt, W. E., Guzman-Speziale, M. and Bevis, M. (1989) Accretionary tectonics of Burma and the three-dimensional geometry of the Burma subduction zone. *Geology*. 17, 68-71.
- Nielsen, (2004) From partial to full strain partitioning along the Indo-Burmese hyper-oblique subduction. *Marine Geology*. 209, 303-327
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Ward, S. N., Cheng, H., Edwards, R. L., Galetzka, J. and Suwargadi, B. W. (2004) Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. 109,
- Oldham, T. (1883) A catalogue of india earthquakes from the earliest time to the end of A.D. 1869. *Memoirs of the Geological Survey of India*. 19, 163-215.
- Ota, Y., and Chappell, J. (1999) Holocene sea-level rise and coral reef growth on a tectonically rising coast, Huon Peninsula, Papua new Guinea. *Quaternary international*. 55, 51-59.
- Pirazzoli, P.A., (1986) Marine Notches. In: van de Plassche, O. (Ed.). *Sea-level Research: a Manual for the Collection and Evaluation of Data*, Geo Books,

Norwich, UK, 361-400.

Pirazzoli, P.A., Laborel, J., and Striors, S.C., (1996) Coastal indicators of rapid uplift and subsidence: examples from Crete and other eastern Mediterranean sites. *Z. Geomorph. N. F.* 102, 21-35.

Radha Krishna, M. and Sanu, T.D. (2000) Seismotectonics and rate of active crustal deformation in the Burmese arc and adjacent regions. *Journal of Geodynamics.* 30, 401-421.

Rust, D. and Kershaw, S. (2000) Holocene tectonic uplift patterns in northeastern Sicily: evidence from marine notches in coastal outcrops. *Marine Geology.* 167, 105-126.

Richards, D.A. and Dorale, J.A. (2003) Uranium-series chronology and environmental applications of speleothems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry.* 52, 407-460.

Robinson, L. F., Belshaw, N. S. and Henderson, G. M. (2004) U and Th concentrations and isotope ratios in modern carbonates and waters from the Bahamas. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 68, 1777-1789.

Shepard, F. P. (1963) Thirty-five thousand years of sea level. In: Clements, T. (Ed.), *Essays in Marine Geology in Honor of K.O. Emery.* University of South California Press, Los Angeles,

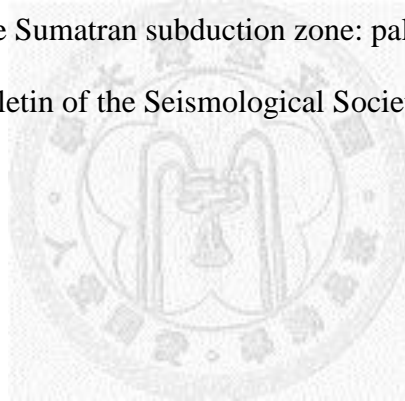
Shackleton, N. J., (1987) Oxygen isotopes, ice volume, and sea level. *Quaternary Science Reviews.* 6, 193-208.

Shen, G. T., and Dunbar, R. B. (1995) Environmental controls on uranium in reef corals. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 59, 2009-2024.

Sieh, K., Ward, S. N., Natawidjaja, D. and Suwargadi, B. (1999) Crustal Deformation at the Sumatran Subduction Zone Revealed by Coral Rings. *Geophysical Research Letters.* 26, 3141-3144.

- Shen, C. -C., Edwards, R. L., Cheng, H., Dorale, J. A., Thomas, R. B., Moran, S. B., Weinstein, S. E. and Edmonds, H. N. (2002) uranium and thorium isotopic and concentration measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Chemical Geology*. 185, 165-178.
- Shen, C. -C., Cheng, H., Edwards, R. L., Moran, S. B., Edmonds, H. N., Hoff, J. A. and Thomas, R. B. (2003) Measurement of attogram quantities of ^{231}Pa in dissolved and particulate fractions of seawater by isotope dilution thermal ionization mass spectroscopy. *Analytical Chemistry*. 75, 1075-1079.
- Satayabala, S. P. (2003) Oblique plate convergence in the Indo-Burma(Myanmar) subduction region. *Pure and Applied Geophysics*. 160, 1611-1650.
- Socquet, A., Vigny, C., Chamot-Rooke, N., Simons, W., Rangin, C. and Ambrousius, B. (2006) India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar determined by GPS. *Journal of Geophysical Research*. 111, B05406.
- Shen, C.-C., Li K.S., Sieh K., Natawidjaja D., Cheng H., Wang X., Edwards R. L., Lam D. D., Hsieh Y.T., Fan T.Y., Meltzner A. J., Taylor F. W., Quinn T. M., Chiang H.W., and Kilbourne K. H. (2008) Variation of initial $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ and limits of high precision U-Th dating of shallow-water corals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72, 4201-4223.
- Shishikura, M., Okamura, Y., Satake, K., Than Tin Aung, Fujino, S., Win Swe, Win Naing, Hla Saw, Tint Lwin Swe, Soe Thura Tun, and Thura Aung, (2009) Timing and recurrence of past great earthquakes off western Myanmar, deduced from Holocene marine terraces. Report in SMERM. 25p.
- Shen, C.-C., Wu, C.-C., Cheng, H., Edwards, R. L., Hsueh, Y. T., Galley, S., Chang, C. C., Li, T. Y., Lam, D. D., Kano, A., Hori, M., and Spotl, C. (2012) High-precision and high-resolution carbonate ^{230}Th dating by MC-ICP-MS with SEM protocols. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 99, 71-86.

- Taylor (1987) Analysis of partially emerged corals and reef terraces in the central Vanuatu arc: comparison of contemporary coseismic and nonseismic with Quaternary vertical movements. *Journal of Geophysical Research*. 92, 4905-4933.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*. 33, 241-265.
- Than Tin Aung, Okamura, Y., Satake, K., Win Swe, Tint Lwin Swe, Hla Saw, and Soe Thura Tun, (2006) Paleoseismological field survey along the western coast of Myanmar. *活断層・古地震研究報告*. 6, 171-188.
- Zachariasen, J., Sieh, K., Taylor, F. W. and Hantoro, W. S. (2000) Modern vertical deformation above the Sumatran subduction zone: paleogeodetic insights from coral microatolls. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 90, 897-913.



附錄一、全站儀之測量原始資料

測量日期：2011/03/16

測量基站座標：(2148956, 554069) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次測量是在KPU西側的一處砂岩脊上，針對海凹進行測量。點號301、343為測量海水面的記錄，點號301測量時間為14:20，點號343測量時間為15:30。

(STN 為架站位置)

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
2	20.61	-2.47	13.572
3	21.439	-4.935	16.085
4	19.719	-4.463	13.225
5	19.349	-4.379	12.759
6	19.186	-4.342	12.508
7	19.035	-4.308	12.207
8	18.923	-4.282	12.017
9	18.765	-4.247	11.796
10	18.536	-4.194	11.417
11	18.222	-4.123	10.951
12	17.954	-4.063	10.51
13	17.525	-3.965	9.749
14	17.355	-3.925	9.451
15	17.14	-3.876	8.938
16	16.907	-3.823	8.471
17	16.69	-3.774	8.089
18	16.521	-3.736	7.816
19	16.245	-3.674	7.364
20	16.038	-3.627	7.041
21	15.823	-3.578	6.678
22	15.536	-3.524	6.215
23	15.343	-3.48	5.874
24	15.196	-3.446	5.613
25	15.116	-3.428	5.326
26	15.254	-3.46	5.115
27	15.32	-3.475	4.945
28	15.112	-3.427	4.776
29	15.102	-3.425	4.662
30	15.095	-3.423	4.618
31	15.086	-3.532	4.511
32	15.06	-3.526	4.275
33	15.169	-3.551	4.138
34	15.239	-3.568	4.039
35	15.281	-3.578	3.914
36	15.336	-3.591	3.797
37	15.353	-3.595	3.68
38	15.365	-3.597	3.563

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
39	15.255	-3.572	3.461
40	15.177	-3.553	3.35
41	15.061	-3.526	3.24
42	14.757	-3.521	3.097
43	14.384	-3.432	2.933
44	13.736	-3.277	2.682
45	13.681	-3.264	2.554
46	13.608	-3.246	2.468
47	13.562	-3.235	2.348
48	13.501	-3.221	2.232
49	13.443	-3.207	2.121
50	13.366	-3.189	1.933
51	13.223	-3.155	1.735
52	13.156	-3.138	1.621
53	13.113	-3.128	1.525
54	13.027	-3.108	1.391
55	12.943	-3.088	1.228
56	12.857	-3.067	1.085
57	12.765	-3.045	0.894
58	12.57	-2.999	0.627
59	12.371	-2.951	0.293
60	12.338	-2.943	0.157
61	12.281	-2.93	0.039
62	13.502	-0.186	0.719
63	13.622	-0.188	0.959
64	13.761	-0.19	1.194
65	13.84	-0.191	1.334
66	13.981	-0.193	1.64
67	14.07	-0.194	1.832
68	14.329	-0.198	2.019
69	14.638	-0.213	2.203
70	15.076	-0.321	2.391
71	15.398	-0.328	2.55
72	15.604	-0.333	2.725
73	15.976	-0.341	2.988
74	16.143	-0.345	3.196
75	16.093	-0.344	3.381
76	16.096	-0.344	3.619

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
77	16.253	-0.407	3.736
78	16.324	-0.409	3.949
79	16.293	-0.409	4.215
80	16.23	-0.407	4.462
81	16.135	-0.405	4.767
82	16.196	-0.368	4.988
83	16.198	-0.368	5.197
84	16.205	-0.368	5.381
85	16.2	-0.368	5.703
86	16.34	-0.372	6.018
87	16.559	-0.377	6.352
88	16.77	-0.381	6.695
89	17.006	-0.387	7.047
90	17.207	-0.391	7.353
91	17.304	-0.4	7.526
92	17.457	-0.403	7.783
93	17.646	-0.408	8.084
94	17.749	-0.409	8.256
95	17.834	-0.411	8.395
96	17.929	-0.413	8.55
97	18.046	-0.416	8.739
98	18.19	-0.419	8.942
99	18.308	-0.422	9.111
100	18.444	-0.425	9.323
101	18.6	-0.429	9.582
102	18.69	-0.431	9.746
103	18.897	-0.428	10.067
104	19.088	-0.433	10.366
105	19.332	-0.435	10.722
106	19.518	-0.448	11.001
107	19.735	-0.441	11.333
108	19.987	-0.448	11.734
109	20.36	-0.456	12.319
110	20.823	-0.466	13.003
111	21.502	-0.483	13.758
112	21.42	-0.08	13.625
113	21.212	-0.079	13.286
114	20.886	-0.078	12.917
115	20.641	-0.077	12.554
116	20.31	-0.076	12.051
117	20.103	-0.075	11.729
118	19.846	-0.079	11.341
119	19.515	-0.078	10.843
120	19.308	-0.077	10.533
121	19.153	-0.076	10.246
122	18.914	-0.075	9.88
123	18.691	-0.074	9.553

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
124	18.499	-0.073	9.25
125	18.296	-0.072	8.951
126	18.101	-0.072	8.671
127	17.91	-0.071	8.344
128	17.732	-0.07	8.057
129	17.553	-0.069	7.773
130	17.386	-0.069	7.494
131	17.196	-0.068	7.215
132	17.047	-0.067	6.96
133	16.836	-0.072	6.669
134	16.702	-0.072	6.423
135	16.52	-0.071	6.175
136	16.439	-0.076	5.969
137	16.242	-0.075	5.674
138	16.322	-0.075	5.388
139	16.321	-0.075	5.146
140	16.279	-0.075	4.941
141	16.243	-0.075	4.731
142	16.31	-0.078	4.568
143	16.393	-0.09	4.339
144	16.439	-0.093	4.089
145	16.388	-0.093	3.873
146	16.189	-0.092	3.612
147	16.152	-0.091	3.405
148	16.178	-0.097	3.167
149	16.007	-0.096	2.956
150	15.695	0.942	2.74
151	16.104	2.192	2.562
152	16.34	2.224	2.734
153	16.459	2.24	2.904
154	16.533	2.25	3.098
155	16.492	2.244	3.246
156	16.627	2.263	3.39
157	16.753	2.28	3.586
158	16.947	2.306	3.87
159	17.296	2.357	4.149
160	17.334	2.362	4.39
161	17.315	2.36	4.607
162	17.254	2.352	4.829
163	17.198	2.343	5.022
164	17.141	2.335	5.208
165	16.996	2.315	5.388
166	17	2.317	5.596
167	17.175	2.341	5.93
168	17.297	2.357	6.27
169	17.843	2.431	7.082
170	18.216	2.482	7.58

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
171	19.019	2.591	8.84
172	19.627	2.674	9.663
173	20.083	2.737	10.477
174	21.788	6.082	11.533
175	20.717	5.783	10.022
176	19.802	5.528	8.656
177	18.967	5.295	7.495
178	18.312	5.112	6.574
179	17.854	4.984	5.802
180	17.944	5.009	5.554
181	18.035	5.035	5.273
182	18.009	5.027	4.852
183	17.823	4.976	4.565
184	17.671	4.933	4.213
185	17.66	4.93	3.965
186	17.712	4.944	3.681
187	17.646	4.926	3.407
188	17.475	4.878	3.319
189	17.414	4.861	3.132
190	16.407	4.262	2.694
191	16.256	4.222	2.509
192	18.839	15.374	2.211
193	19.281	15.735	2.492
194	19.806	16.163	2.979
195	20.32	16.583	3.449
196	21.367	17.438	3.931
197	21.672	17.686	4.827
198	21.796	17.788	5.76
199	21.907	17.878	6.117
200	22.581	18.429	7.033
201	23.224	18.953	7.739
202	24.554	20.038	9.075
203	27.472	22.424	12.152
204	30.701	25.06	15.448
205	21.478	19.739	3.338
206	22.944	21.095	4.399
207	22.835	20.996	5.948
208	20.814	19.137	6.373
209	25.472	23.42	8.856
210	28.107	25.842	11.528
211	11.953	-10.828	2.283
212	12.483	-11.309	2.791
213	12.786	-11.583	3.272
214	12.961	-11.742	4.077
215	13.03	-11.805	4.79
216	13.243	-11.998	5.481
217	13.413	-12.151	6.333

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
218	13.865	-12.562	7.703
219	14.498	-13.135	8.911
220	16.381	-14.841	11.224
221	16.363	-7.352	9.37
222	15.81	-7.103	8.217
223	15.393	-6.915	7.293
224	14.926	-6.704	6.438
225	14.489	-6.508	5.66
226	14.391	-6.464	5.292
227	14.459	-6.494	5.008
228	14.628	-6.57	4.718
229	14.762	-6.63	4.406
230	14.801	-6.647	4.054
231	14.718	-6.636	3.729
232	14.39	-6.487	3.49
233	13.635	-6.147	3.147
234	13.16	-5.933	2.72
235	12.748	-5.747	2.328
236	12.495	-5.633	1.995
237	12.802	-4.738	1.993
238	12.7	-4.7	1.695
239	12.71	-4.703	1.431
240	12.148	-4.495	0.862
242	-15.42	-49.834	2.749
243	-38.131	-64.331	2.857
244	-27.637	-62.959	2.934
245	-44.894	-65.292	2.79
STN002	-62.679	-196.414	0.717
247	-67.498	-181.866	1.155
248	-50.562	-172.188	2.322
249	-33.802	-182.639	-0.026
250	-59.664	-230.588	-0.663
STN003	-39.985	-295.931	-2.881
252	-37.491	-312.255	-3.475
253	-37.509	-312.297	-3.477
255	-85.485	-449.2	-0.44
256	-85.958	-450.681	-0.591
STN004	44.729	-197.842	-1.448
260	-30.669	-301.463	-3.533
262	-84.881	-447.641	-0.403
263	-85.602	-450.572	-0.51
264	-86.77	-456.199	-0.408
265	-92.141	-474.204	-0.465
266	-93.493	-478.33	-0.419
267	-94.066	-481.276	-0.445
268	-94.436	-486.636	-0.396
269	-96.506	-500.776	-0.498

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
270	-98.89	-500.012	-2.63
271	-95.015	-481.874	-2.602
272	-95.01	-481.663	-2.59
273	-94.292	-477.425	-2.439
274	-88.99	-460.684	-2.514
275	-88.085	-456.69	-2.45
276	-87.711	-453.949	-2.413
277	-86.26	-448.413	-2.548
278	-85.775	-446.815	-2.796
279	-87.621	-455.985	-1.334
280	-88.606	-462.376	-1.469
281	-92.769	-472.27	-1.427
282	-93.073	-475.26	-1.475
283	-94.435	-479.312	-1.449
284	-94.934	-484.624	-1.337
285	-94.903	-483.249	-1.084
286	-95.036	-481.718	-1.11
287	-93.085	-475.534	-1.227
288	-92.88	-473.857	-1.252
289	-92.754	-472.05	-1.206
290	-88.587	-462.589	-1.061
291	-87.639	-456.279	-1.146
292	-87.235	-453.788	-1.146
293	-86.074	-450.243	-1.131
294	-85.524	-448.215	-1.165
295	-85.287	-446.545	-1.142
296	-84.871	-448.4	0.653
297	-85.64	-451.808	0.72
298	-86.892	-457.363	0.733
299	-88.328	-463.946	0.637
301	-30.169	-298.01	-3.508
303	-72.825	-335.629	-1.671
304	-73.553	-337.72	-1.55
305	-74.327	-339.902	-1.659
306	-74.417	-341.718	-1.7
307	-76.714	-349.329	-1.796
308	-77.469	-350.971	-1.837
309	-77.807	-352.444	-1.831
310	-78.463	-354.135	-1.794
311	-78.939	-356.097	-1.684
312	-79.574	-357.78	-1.755
313	-80.452	-360.381	-1.792
314	-81.608	-364.218	-1.777
315	-87.499	-394.552	-1.954
316	-88.213	-398.085	-1.963
317	-88.569	-399.366	-2.035
318	-89.015	-401.627	-2.023

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
319	-89.185	-402.546	-1.994
320	-89.502	-403.528	-1.982
321	-90.2	-405.359	-2.021
322	-90.511	-406.37	-2.001
323	-88.359	-399.883	-0.533
324	-87.703	-397.973	-0.604
325	-86.517	-393.218	-0.309
326	-88.286	-400.882	-1.214
327	-88.183	-399.473	-1.046
328	-87.401	-396.798	-1.114
329	-86.755	-393.845	-1.097
330	-86.139	-390.807	-1.132
331	-85.936	-389.555	-1.121
332	-85.678	-388.196	-1.194
333	-85.545	-386.992	-1.254
334	-85.151	-384.968	-1.135
335	-84.38	-380.945	-1.17
336	-83.929	-377.977	-1.258
337	-83.164	-374.625	-1.161
338	-81.767	-367.78	-1.161
339	-81.276	-365.48	-1.161
340	-77.196	-351.789	-1.244
341	-74.92	-346.294	-1.289
343	-21.573	-279.928	-3.211

測量日期：2011/03/17

測量基站座標：(2141619, 549356) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次記錄是在LKM西側階地面的測量結果。點號301、343為測量海水面的記錄
點號301測量時間為14:20，點號343測量時間為15:30。

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
2	-51.991	-7.026	-2.053
4	-82.236	-6.023	-2.493
5	-78.622	-5.419	-2.465
6	-74.683	-5.34	-2.408
7	-69.771	-5.122	-2.365
8	-63.785	-4.616	-2.288
9	-57.527	-3.471	-2.195
10	-52.205	-3.869	-2.051
11	-47.685	-3.413	-2.087
12	-43.289	-1.434	-2.011
13	-39.01	-0.988	-1.927
14	-34.487	-2.714	-1.699
15	-29.979	0.104	-1.63
16	-25.797	4.691	-1.659
17	-21.509	11.01	-1.452
18	-17.097	16.859	-1.186
19	-11.746	21.934	-0.596
20	-7.433	26.052	-0.059
21	1.941	29.556	-0.19
22	10.619	38.892	-0.418
23	17.311	45.341	-0.22
24	19.41	46.648	0.226
25	22.765	49.056	0.554
26	57.144	42.287	-0.52
27	60.535	44.25	-0.558
28	74.436	54.037	-0.718
29	93.898	65.2	-0.699
30	107.461	74.257	-0.61
31	108.806	76.328	-0.604
32	119.692	82.887	-0.558
33	125.812	86.658	-0.519
34	127.34	88.312	-0.415
35	136.193	93.587	-0.331
36	138.083	95.892	-0.302
37	147.035	102.437	-0.263
38	147.589	103.464	-0.077
39	152.679	109.627	-0.065
40	156.314	113.011	0.003
41	157.293	113.941	0.222

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
42	164.815	121.62	0.159
43	165.591	122.745	0.2
44	183.253	134.171	0.137
45	201.883	146.892	0.207
46	218.166	153.209	0.154
47	243.606	157.155	0.191
48	245.107	157.829	0.311
49	249.372	158.518	0.287
50	250.629	159.626	0.443
51	260.731	168.56	0.408
52	269.754	176.584	0.482
53	270.405	178.732	0.634
54	280.072	184.599	0.7
55	281.28	185.883	0.943
56	290.77	190.379	0.935
57	291.983	192.022	1.521
58	299.188	198.385	1.589
59	299.941	211.239	1.734
60	302.291	213.142	2.24
61	307.707	216.249	2.293
62	311.129	218.125	3.125
63	313.495	220.022	4.001
64	313.93	221.635	4.331
65	318.071	230.259	4.322
66	322.691	235.941	4.43
67	323.767	237.572	4.98
68	329.81	243.572	4.967
69	334.426	246.297	4.992
70	335.762	247.013	5.279
71	348.027	253.024	5.241
72	349.096	254.233	5.528
73	359.56	260.677	5.531
74	360.937	260.779	5.676
75	368.063	264.61	5.7
76	370.395	265.976	6.119
77	378.828	273.158	6.154
78	381.364	274.661	6.428
79	387.103	280.333	6.46
80	388.303	280.987	6.675
81	395.136	288.303	6.718

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
82	396.044	288.991	6.768
83	407.492	292.966	6.718
84	413.845	298.481	6.767
85	414.687	299.394	6.977
86	425.476	303.06	6.967
87	426.703	303.828	7.214
88	436.742	308.072	7.246
89	439.107	309.555	7.599
90	449.388	316.291	7.629
91	452.044	317.371	7.756
92	463.678	324.651	7.854
93	468.697	328.968	7.854
94	470.19	329.951	8.538
95	479.237	335.036	8.527
96	479.247	335.047	8.524
97	485.949	340.922	8.558
98	487.358	341.971	8.769
99	495.497	349.11	8.878
100	496.86	350.38	8.998
101	506.046	356.084	9.062
102	506.04	356.131	9.056
103	507.876	356.507	9.516
104	513.529	364.852	9.512
105	516.413	366.992	10.319
106	526.521	373.254	10.393
107	528.098	375.62	11.318
108	533.098	378.709	11.232
109	540.018	376.123	11.396
110	542.452	379.058	12.274
111	546.178	381.389	13.031
112	548.976	384.139	14.322
113	567.414	373.178	14.164
114	572.088	372.612	14.805
115	574.774	373.492	15.744
116	577.134	375.073	16.793
117	578.846	377.517	17.815
118	583.762	378.48	19.197
119	589.318	378.114	20.258
120	624.177	340.548	15.716
121	627.721	342.517	16.804
122	633.176	342.917	18.046
123	637.098	343.353	19.548
124	641.95	347.495	22.041
125	650.013	340.794	22.114
126	654.95	338.918	23.174
127	660.849	336.711	24.887
128	665.857	337.443	26.493

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
129	669.282	336.642	27.66
130	674.182	335.201	29.548
131	676.651	334.095	29.994
132	679.208	337.486	31.68
133	679.204	337.488	31.676
134	630.627	349.023	18.91
135	628.026	346.673	17.844
136	626.789	343.394	16.843
137	623.663	341.375	15.759
138	618.769	338.739	14.134
139	614.58	333.03	12.041
140	610.101	330.114	11.962
141	604.555	326.961	10.481
142	596.865	321.517	10.443
143	594.817	319.525	9.636
144	588.545	315.281	9.516
145	586.696	314.009	8.941
146	579.899	310.121	8.868
147	578.417	309.412	8.246
148	566.975	301.998	8.152
149	565.732	301.062	7.715
150	557.897	296.892	7.724
151	557.923	296.851	7.73
152	556.577	296.207	7.43
153	548.991	292.895	7.404
154	544.18	291.07	7.549
155	539.771	288.12	7.16
156	536.886	286.363	6.881
157	524.941	279.962	6.902
158	514.605	275.059	6.918
159	514.539	275.181	6.873
160	512.438	274.204	6.626
161	502.329	268.225	6.753
162	498.193	265.275	6.725
163	486.24	257.469	6.748
164	483.465	255.948	6.399
165	471.286	250.048	6.376
166	457.814	243.248	6.433
167	452.621	240.739	6.184
168	439.034	234.398	6.262
169	436.936	232.916	5.971
170	431.294	228.709	5.965
171	429.002	226.754	6.001
172	412.469	217.631	6.02
173	411.535	216.896	5.772
174	398.669	210.029	5.698
175	396.825	208.915	5.385

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
176	378.288	198.804	5.345
177	371.981	195.734	4.599
178	356.29	188.08	4.603
179	344.325	182.462	4.249
180	337.369	178.892	4.065
181	332.926	177.127	2.116
182	331.113	175.422	1.862
183	320.496	169.097	1.748
184	318.62	167.419	1.207
185	308.636	160.462	1.237
186	306.247	159.541	0.79
187	288.18	152.537	0.748
188	287.03	151.978	0.442
189	276.69	145.527	0.476
190	275.604	144.931	0.264
191	264.402	139.856	0.237
192	263.346	139.322	0.1
193	244.757	129.576	0.094
194	243.13	128.744	-0.04
195	223.258	118.406	-0.049
196	194.498	102.164	-0.117
197	186.052	100.265	-0.195
198	171.349	92.516	-0.118
199	169.396	91.628	-0.244
200	156.801	84.131	-0.238
201	153.387	82.782	-0.358
202	143.576	77.144	-0.359
203	140.541	76.218	-0.521
204	130.98	71.521	-0.377
205	128.847	70.494	-0.605
206	115.162	63.561	-0.567
207	112.952	61.922	-0.77
208	94.32	51.63	-0.721
209	68.433	33.912	-0.894
210	62.275	29.333	-0.682
211	34.067	23.131	-0.255
212	16.52	26.946	-0.278
213	4.393	31.29	-0.226
214	-8.131	34.693	-0.129
215	-14.296	35.978	-0.825
216	-20.119	35.679	-1.332
217	-29.958	38.202	-1.747
218	-39.403	43.534	-2.042
219	-49.475	50.578	-2.209
220	-59.57	57.23	-2.362
221	-73.194	65.485	-2.511
222	-85.831	71.636	-2.677

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
223	-94.208	74.832	-2.906
224	-106.801	77.355	-2.891
225	-117.216	79.769	-2.977
226	-130.116	83.197	-3.227
228	-132.521	5.684	-3.135



測量日期：2011/03/17

測量基站座標：(2141619, 549356) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次記錄是在LKM西側海岸的珊瑚礁高程測量結果。點號301、343為測量海水面的記錄，點號301測量時間為14:20，點號343測量時間為15:30。

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
2	-95.57	0.316	-2.711
3	-95.691	3.038	-2.709
4	-102.887	7.003	-2.722
5	-104.951	7.817	-2.742
6	-107.88	11.3	-2.686
7	-109.195	12.281	-2.714
8	-102.873	16.513	-2.687
9	-98.228	18.621	-2.699
10	-103.859	27.307	-2.704
11	-105.161	28.772	-2.712
12	-107.611	25.132	-2.688
13	-111.792	23.957	-2.69
14	-114.192	26.419	-2.686
15	-114.789	37.535	-2.699
16	-111.454	38.903	-2.72
17	-105.757	39.984	-2.705
18	-105.795	43.186	-2.71
19	-102.967	45.302	-2.714
20	-115.611	51.512	-2.698
21	-127.049	53.134	-2.707
22	-127.998	57.386	-2.671
23	-135.216	56.465	-2.685
24	-143.691	55.296	-2.722
25	-142.083	60.535	-2.703
26	-148.599	58.551	-2.717
27	-152.83	58.483	-2.716
28	-153.511	61.208	-2.713
29	-154.476	70.942	-2.703
30	-156.954	73.312	-2.745
31	-159.42	76.413	-2.774
32	-168.141	74.191	-2.707
33	-169.835	69.409	-2.691
34	-168.56	67.724	-2.69
35	-163.522	65.133	-2.706
36	-164.104	63.686	-2.69
37	-167.416	62.378	-2.698
38	-167.404	56.869	-2.666
39	-168.373	50.418	-2.697
40	-165.819	49.069	-2.686

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
41	-159.574	51.147	-2.673
42	-157.179	47.925	-2.698
43	-159.576	46.402	-2.717
44	-164.434	46.283	-2.702
45	-162.939	42.302	-2.732
46	-170.536	46.627	-2.705
47	-172.29	40.729	-2.703
48	-164.527	30.976	-2.706
49	-159.357	23.57	-2.688
50	-150.849	17.39	-2.722
51	-149.949	15.424	-2.705
52	-147.959	12.047	-2.695
53	-142.924	13.103	-2.698
54	-140.207	14.205	-2.711
55	-143.361	3.972	-2.689
56	-160.732	9.43	-2.72
57	-164.479	18.826	-2.7
58	-175.066	32.215	-2.725
59	-172.928	33.166	-2.715
60	-194.643	36.981	-2.844
61	-196.536	33.457	-2.78
62	-195.798	29.137	-2.852
63	-193.865	20.833	-2.786
64	-191.254	19.886	-2.816
65	-190.623	14.982	-2.813
66	-190.877	12.799	-2.779
67	-192.748	11.765	-2.827
68	-197.285	15.542	-2.842
69	-200.125	16.422	-2.783
70	-197.827	21.294	-2.817
71	-207.846	33.751	-2.821
72	-206.242	31.892	-2.848
73	-196.065	8.299	-2.846
74	-184.325	-4.45	-2.855
75	-174.068	-0.159	-2.796
77	-2.659	23.678	-1.324
78	-28.448	31.35	-1.007
79	-32.655	4.02	-1.213
80	-22.43	-16.22	-0.166
STN002	-150.772	-103.801	-0.009

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
82	-147.23	-197.445	-2.465
83	-146.939	-200.174	-2.435
84	-147.403	-200.5	-2.454
85	-143.026	-202.79	-2.413
86	-143.153	-203.479	-2.403
87	-144.857	-204.617	-2.389
88	-146.744	-203.698	-2.398
89	-146.865	-204.239	-2.41
90	-143.351	-207.403	-2.382
91	-142.874	-210.577	-2.382
92	-140.035	-212.537	-2.331
93	-144.734	-212.452	-2.407
94	-144.915	-212.8	-2.413
95	-146.371	-213.557	-2.363
96	-142.502	-214.588	-2.371
97	-140.549	-217.912	-2.428
98	-142.132	-218.543	-2.37
99	-141.744	-219.711	-2.368
100	-141.156	-220.24	-2.345
101	-141.194	-221.639	-2.345
102	-141.209	-222.181	-2.346
103	-141.282	-227.977	-2.386
104	-144.611	-229.954	-2.428
105	-142.858	-232.195	-2.417
106	-142.141	-235.981	-2.438
107	-135.318	-231.761	-2.419
108	-133.767	-226.526	-2.375
109	-133.741	-227.303	-2.379
110	-130.66	-229.589	-2.476
111	-139.264	-208.613	-2.393
112	-139.654	-208.551	-2.435
113	-139.577	-208.936	-2.436
114	-138.683	-210.133	-2.391
115	-138.051	-210.107	-2.378
116	-138.053	-210.092	-2.379
117	-139.329	-208.825	-2.52
118	-139.484	-208.616	-2.517
119	-140.632	-206.433	-2.504
120	-140.434	-205.89	-2.518
121	-143.298	-203.316	-2.574
122	-145.975	-202.401	-2.623
123	-144.997	-204.842	-2.518
124	-145.241	-204.861	-2.451
125	-146.063	-204.9	-2.484
126	-146.754	-204.145	-2.577
127	-147.076	-203.928	-2.504
128	-147.489	-200.282	-2.609

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
129	-148.058	-200.285	-2.583
130	-147.008	-200.354	-2.554
131	-143.392	-207.499	-2.431
132	-141.519	-208.778	-2.488
133	-143.139	-210.996	-2.621
134	-142.954	-210.942	-2.537
135	-142.482	-214.972	-2.635
136	-141.771	-214.936	-2.475
137	-141.484	-220.233	-2.579
138	-141.048	-222.207	-2.528
139	-145.131	-200.63	-3.057
141	-170.157	-111.877	-1.15
142	-170.329	-109.767	-1.233
143	-171.748	-108.521	-1.237
144	-173.308	-108.113	-1.282
145	-172.667	-109.318	-1.272
146	-173.967	-111.559	-1.342
147	-174.07	-113.53	-1.293
148	-175.141	-115.708	-1.339
149	-167.081	-127.545	-1.178
150	-167.879	-130.199	-1.208
151	-167.624	-132.391	-1.206
152	-169.821	-132.828	-1.241
153	-166.688	-137.874	-1.337
154	-167.513	-138.757	-1.384
155	-170.177	-140.401	-1.261
156	-168.06	-144.879	-1.333
157	-151.75	-73.997	-1.19
158	-151.717	-67.075	-1.254
159	-109.299	-56.777	-1.459
160	-106.542	-58.803	-1.445
161	-105.363	-57.37	-1.437
162	-69.035	-43.828	-1.379
163	-69.886	-39.254	-1.313
164	-46.603	-16.261	-1.46
165	-42.169	-0.343	-1.382
166	-93.921	-16.947	-1.457
167	-173.835	-116.59	-0.874
168	-167.406	-125.75	-0.886
169	-163.439	-128.356	-0.801
170	-169.08	-137.818	-1.093
171	-183.592	-108.229	-2.342
172	-183.599	-108.203	-2.341

測量日期：2012/02/06

測量基站座標：(2140565, 550681) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次記錄是TS階地的測量結果。點號3、165、166為海水面測量記錄，點號3的測量時間為09:20，點號165的測量時間為11:05，點號166的測量時間為12:40。

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
1	18.179	-0.623	0.322
2	18.221	-0.624	0.319
3	98.141	-58.184	-2.401
4	98.112	-58.227	-2.411
5	87.04	-50.635	-2.103
6	82.662	-48.051	-1.967
7	76.573	-43.861	-1.713
8	69.432	-38.877	-1.485
9	61.541	-34.485	-1.058
10	53.508	-30.809	-0.587
11	48.332	-28.336	-0.323
12	43.65	-26.152	0.15
13	37.101	-22.728	0.018
14	28.166	-16.366	-0.213
15	26.813	-15.182	0.075
16	24.015	-13.191	0.358
17	24.989	-6.738	0.535
18	20.284	-4.39	0.331
19	13.627	2.614	0.171
20	6.743	7.737	0.046
21	-1.474	9.534	-0.131
22	-6.325	24.601	-0.052
23	-10.839	37.449	0.07
24	-17.877	62.512	-0.1
25	-27.707	96.339	-0.515
26	-27.13	119.471	-0.617
27	-30.888	137.149	-0.681
28	-30.911	137.196	-0.68
29	-32.063	152.394	-0.767
30	-36.575	170.896	-0.732
31	-40.574	193.525	-0.705
32	-45.185	212.925	-0.48
33	-47.583	237.283	-0.664
34	-47.187	256.337	-0.752
35	-52.374	285.262	-0.892
36	-50.634	297.568	-0.874
37	-55.727	323.853	-0.869
38	-47.919	342.178	-0.902
39	-51.148	364.346	-0.782

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
40	-58.085	376.047	-0.748
41	-60.798	392.616	-0.739
42	-61.078	402.053	-0.518
43	-63.451	414.428	-0.45
44	-63.624	429.508	-0.295
45	-75.267	440.034	0.126
46	-77.131	444.32	-0.019
47	-80.821	460.631	0.45
48	-82.584	477.96	0.204
49	-79.601	494.678	0.101
50	-81.38	502.705	0.587
51	-85.99	505.304	0.599
52	-87.464	510.581	0.724
53	-92.946	516.015	1.242
54	-93.615	523.438	1.269
55	-99.654	530.08	1.555
56	-103.247	537.457	1.803
57	-110.078	540.783	1.953
58	-113.826	548	2.064
59	-116.295	557.387	2.103
60	-115.392	569.826	1.898
61	-119.824	586.404	1.896
62	-121.165	596.106	1.985
63	-124.857	614.148	2.021
64	-126.911	633.61	2.121
65	-128.625	649.488	2.198
66	-129.929	666.425	2.215
67	-131.986	683.18	2.08
68	-133.021	691.056	2.228
69	-134.591	701.816	2.336
70	-136.289	714.076	2.474
71	-134.443	726.686	2.803
72	-128.406	736.998	2.854
73	-129.213	751.672	3.049
74	-130.287	767.224	2.737
75	-131.838	774.79	2.929
76	-135.606	787.053	3.093
77	-139.595	807	3.407
78	-142.776	819.054	3.443
79	-140.992	805.955	3.348

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
80	-136.928	785.527	3.014
81	-135.913	766.712	2.803
82	-133.544	751.78	2.901
83	-130.401	735.327	2.816
84	-128.437	725.993	2.705
85	-127.108	709.081	2.471
86	-129.536	689.801	2.214
87	-129.649	671.293	2.151
88	-121.615	653.699	2.152
89	-118.887	635.355	2.056
90	-115.651	619.204	2.095
91	-108.952	598.68	1.96
92	-104.354	578.847	1.735
93	-100.907	569.961	1.725
94	-99.231	564.625	1.442
95	-96.203	557.472	1.411
96	-94.325	551.759	1.296
97	-91.378	542.24	1.243
98	-88.202	536.966	1.273
99	-88.201	536.98	1.265
100	-87.589	532.428	0.751
101	-83.984	523.824	0.953
102	-83.15	517.95	0.734
103	-81.698	511.774	0.583
104	-82.431	504.252	0.556
105	-96.237	488.403	0.715
106	-96.51	475.505	0.68
107	-99.389	466.263	0.687
108	-100.581	459.659	0.674
109	-100.838	450.387	0.314
110	-91.249	443.676	0.159
111	-89.973	432.375	0.072
112	-89.972	432.378	0.042
113	-77.168	424.958	-0.258
114	-90.842	398.999	-0.177
115	-74.657	389.827	-0.482
116	-76.026	376.002	-0.389
117	-78.61	360.645	-0.457
118	-76.117	349.039	-0.411
119	-79.919	335.689	-0.761
120	-70.514	325.706	-0.777
121	-69.002	311.819	-0.892
122	-62.999	300.534	-0.876
123	-59.674	284.045	-0.868
124	-58.22	274.311	-0.89
125	-53.645	261.148	-0.884
126	-55.972	245.65	-0.686

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
127	-47.773	234.705	-0.711
128	-47.294	219.615	-0.688
129	-40.941	204.388	-0.691
130	-44.281	191.405	-0.678
131	-37.316	178.755	-0.73
132	-28.242	168.812	-0.773
133	-30.016	150.187	-0.771
134	-22.993	136.95	-0.675
135	-25.607	122.603	-0.616
136	-19.901	113.262	-0.561
137	-20.975	98.442	-0.551
138	-15.023	88.195	-0.508
139	-16.085	74.446	-0.473
140	-13.256	61.043	-0.384
141	-11.501	48.611	-0.33
142	-8.92	35.214	-0.237
143	-5.629	21.741	-0.278
144	-2.515	9.944	-0.116
145	11.527	8.508	0.085
146	19.619	-2.313	0.293
147	25.794	-6.737	0.533
148	26.491	-16.233	-0.026
149	31.893	-19.438	-0.208
150	37.595	-22.453	-0.007
151	43.553	-25.374	0.133
152	48.598	-27.773	-0.389
153	54.178	-30.833	-0.692
154	59.6	-36.117	-1.033
155	65.555	-40.274	-1.354
156	70.466	-44.35	-1.609
157	77.657	-48.468	-1.82
158	84.607	-52.417	-2.059
159	90.257	-56.476	-2.257
160	96.471	-60.855	-2.484
161	102.776	-63.208	-2.648
162	107.432	-67.12	-2.837
163	112.377	-70.643	-3.001
164	116.304	-73.1	-3.091
165	117.053	-73.678	-3.134
166	140.956	-84.973	-3.675

測量日期：2012/02/10

測量基站座標：(2141502, 550829) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次記錄是在LKM東側低位階地的測量結果。點號93、144為海水面測量記錄
點號93的測量時間為12:25，點號144的測量時間為13:11。

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
1	-2.727	-12.11	-0.002
2	-13.602	-10.866	0.397
3	-27.292	-10.486	0.668
4	-37.32	-10.198	0.785
5	-39.289	-9.861	0.303
6	-52.613	-9.679	0.192
7	-71.581	-8.309	0.103
8	-94.987	-8.552	0.168
9	-112.968	-8.838	0.281
10	-113.995	-8.07	0.548
11	-138.79	-4.458	0.941
12	-146.74	3.062	1.326
13	-159.149	-3.094	1.506
14	-167.642	-5.111	1.776
15	-178.486	3.037	1.995
16	-199.552	-8.38	1.908
17	-206.272	-15.436	2.01
18	-223.338	-19.374	2.342
19	-228.119	-20.157	2.504
20	-249.918	-25.072	2.733
21	-263.827	-34.038	3.004
22	-277.913	-39.314	3.338
23	-290.288	-42.957	3.582
24	-293.819	-47.249	3.844
25	-250.796	-138.691	5.492
26	-241.167	-133.008	5.42
27	-236.066	-130.45	5.027
28	-229.557	-127.153	4.654
29	-218.152	-125.796	4.452
30	-212.913	-125.126	4.359
31	-206.298	-122.335	3.69
32	-191.208	-120.381	3.609
33	-180.79	-117.339	3.296
34	-175.595	-114.416	2.747
35	-152.556	-104.25	2.711
36	-142.323	-101.116	2.34
37	-136.649	-99.001	2.006
38	-132.534	-91.521	1.716
39	-123.717	-88.122	1.268

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
40	-108.234	-82.151	1.014
41	-96.274	-77.888	0.674
42	-80.151	-74.696	0.228
43	-58.51	-68.451	0.063
44	-36.302	-60.805	0.231
45	-34.907	-60.499	0.593
46	-27.682	-57.476	0.867
47	-19.532	-53.305	0.77
48	-11.515	-51.225	0.586
49	0.041	-49.157	0.059
50	27.43	-41.873	-0.685
51	38.895	-39.12	-0.837
52	50.926	-36.852	-1.095
53	62.016	-35.694	-1.398
54	73.632	-35.787	-1.378
55	86.234	-35.277	-1.778
56	104.444	-35.472	-2.19
57	118.866	-36.662	-2.717
58	140.145	-34.827	-2.617
59	148.605	-30.95	-2.623
60	158.802	-22.82	-2.517
61	162.628	-24.069	-2.293
62	165.97	-25.18	-1.951
63	168.7	-26.074	-1.604
64	170.701	-26.287	-2.097
65	172.641	-26.198	-2.422
66	174.4	-25.491	-2.516
67	179.019	-25.355	-2.62
68	159.301	3.994	-2.449
69	155.857	3.278	-2.284
70	154.744	3.251	-1.802
71	153.728	3.247	-1.626
72	152.112	3.459	-2.036
73	149.443	4.378	-2.113
74	147.498	3.917	-2.179
75	145.768	1.435	-2.79
76	138.256	-1.172	-2.83
77	118.554	-7.754	-2.683
78	107.769	-8.406	-2.627
79	100.519	-5.337	-2.032

	Coord Order		
序號	East	North	Hight
80	84.272	-5.988	-1.698
81	70.042	-5.769	-1.416
82	56.286	-6.79	-1.319
83	45.445	-1.109	-1.051
84	34.314	-5.786	-0.808
85	24.055	1.975	-0.591
86	16.932	-6.051	-0.342
87	3.956	-11.629	-0.096
88	-36.91	-10.654	0.797
89	-23.144	-36.607	0.795
90	16.525	-37.384	-0.195
91	33.09	2.215	-0.696
STN002	318.438	-34.495	-0.429
92	303.792	-32.406	-1.352
93	382.365	-19.283	-3.226
94	368.125	-24.04	-2.74
95	354.478	-27.447	-1.838
96	349.691	-29.159	-1.425
97	338.407	-31.652	-0.959
98	332.216	-32.417	-0.718
99	327.851	-32.966	-0.473
100	322.196	-45.217	-0.303
101	317.907	-48.032	-0.272
102	309.031	-36.112	-0.977
103	297.885	-34.743	-1.667
104	287.156	-33.972	-2.037
105	276.466	-34.207	-2.083
106	267.645	-34.802	-2.245
107	257.278	-35.291	-2.393
108	240.275	-34.79	-2.483
109	222.188	-30.617	-2.438
110	211.113	-27.3	-2.242
111	198.689	-30.77	-1.712
112	187.724	-26.715	-1.881
113	185.458	-27.469	-2.262
114	183.9	-24.366	-2.363
115	183.974	-21.781	-2.326
116	186.037	-22.153	-1.996
117	194.638	-23.207	-2.017
118	200.316	-23.553	-2.164
119	206.903	-24.14	-2.302
120	215.536	-27.789	-2.435
121	227.032	-28.874	-2.522
122	237.521	-29.46	-2.549
123	243.391	-23.895	-2.453
124	258.421	-19.257	-2.375
125	273.913	-22.446	-2.259

	Coord Order		
序號	East	North	Hight
126	282.102	-24.844	-2.144
127	290.591	-27.565	-1.863
128	298.955	-27.713	-1.689
129	304.989	-28.648	-1.397
130	311.544	-30.308	-1.004
131	324.801	-35.079	-0.389
132	328.461	-34.531	-0.467
133	333.274	-34.615	-0.748
134	338.883	-34.488	-1.018
135	345.948	-34.706	-1.384
136	351.606	-34.608	-1.577
137	358.972	-34.028	-2.157
138	365.891	-33.38	-2.6
139	371.172	-32.814	-2.824
140	374.526	-32.029	-2.951
141	381.015	-31.621	-3.231
142	391.835	-29.962	-3.616
143	397.418	-30.741	-3.796
144	396.759	-30.776	-3.745

測量日期：2012/02/12

測量基站座標：(2141502, 550829) UTM 46Q

測量單位：公尺

描述：本次記錄是在LKM東側高位階地的測量結果。

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
STN001	0	0	0
1	581.672	60.726	2.337
2	576.322	60.049	2.358
3	573.197	60.113	2.106
4	564.217	59.484	2.168
5	561.554	59.275	1.941
6	543.942	57.304	1.875
7	523.937	55.466	1.94
8	508.77	53.791	2.072
9	495.382	52.302	2.108
10	491.476	51.671	1.976
11	476.249	50.294	1.982
12	473.23	49.97	1.25
13	455.11	48.126	1.058
14	435.605	46.273	1.1
15	414.184	44.586	1.139
16	410.918	31.085	1.306
17	409.676	15.486	1.688
18	392.594	8.534	1.661
19	376.142	2.46	1.674
20	362.255	0.277	1.567
21	345.879	0.456	1.534
22	332.59	3.369	1.466
23	330.283	3.358	1.033
24	317.222	-0.218	0.77
25	300.271	-7.178	0.772
26	290.752	-1.312	0.636
27	274.421	-0.4	0.592
28	260.722	-1.494	0.562
29	243.427	-3.608	0.535
30	228.362	-2.537	0.507
31	213.968	-3.023	0.519
32	198.516	-3.164	0.499
33	184.271	-3.469	0.394
34	169.485	-3.821	0.423
35	150.821	-1.692	0.417
36	139.64	-2.12	0.381
37	122.568	-6.681	0.396

序號	Coord Order		
	East	North	Hight
38	114.011	-5.42	0.579
39	105.452	-4.86	0.537
40	101.961	-3.543	0.149
41	95.701	-4.404	0.157
42	93.704	-1.754	-0.266
43	76.754	-2.62	-0.262
44	67.394	-2.584	-0.249
45	54.935	-10.147	-0.288
46	52.982	-11.489	-0.031
47	35.309	-15.618	0.039
48	22.962	-19.907	-0.043
49	10.444	-22.701	-0.065
50	-3.493	-26.135	-0.039
51	-16.789	-29.22	-0.018
52	-27.035	-33.94	0.13
53	-37.942	-33.232	0.163
54	112.562	31.731	1.711
55	124.1	36.274	1.697
56	108.799	39.414	1.679
57	114.177	39.125	1.706
58	126.554	42.047	2.058
59	121.914	44.337	2.13
60	134.342	44.797	2.046
61	126.785	48.319	2.115
62	130.431	50.615	2.1
63	64.745	-51.156	6.899
64	54.562	-52.005	7.066
65	53.43	-54.692	6.838
66	59.973	-57.282	6.835
67	51.926	-60.167	6.835
68	61.639	-69.624	7.005
69	62.372	-59.093	6.858
70	36.125	-68.169	6.728
71	27.963	-75.699	6.683
72	26.679	-84.462	6.775
73	37.394	-87.53	6.973
74	-16.932	-32.42	0.003
75	-18.792	-35.652	0.166

Coord Order			
序號	East	North	Hight
76	-23.832	-47.417	0.186
77	-27.272	-60.156	0.094
78	-29.842	-67.917	0.286
79	-35.052	-69.097	0.908
80	-33.06	-74.585	0.923
81	-37.346	-81.23	0.883
82	-31.544	-91.77	0.69
83	-32.066	-97.21	0.864
84	-35.366	-98.104	1.741
85	-38.879	-98.893	3.216
86	-40.475	-101.174	4.235
87	-44.256	-104.053	5.444
88	-48.952	-106.24	6.176
89	-53.982	-111.576	6.607
90	-56.378	-114.935	6.843
91	-55.986	-121.064	6.825
92	-61.795	-125.312	6.851
93	-60.46	-129.988	6.883
94	-67.932	-132.743	7.115
95	-67.239	-137.347	7.009
96	-18.583	-111.046	1.062
97	-9.723	-173.839	2.569
98	1.299	-199.702	0.496
99	25.692	-95.623	6.596
100	6.627	-157.622	0.546
STN002	-108.365	-296.559	7.6
101	-200.94	-303.991	7.722
102	-236.715	-302.634	7.84
103	-270.461	-315.283	7.568
104	-288.297	-318.153	8.085
STN003	-293.836	-364.051	7.454
105	-181.197	-297.386	7.823
106	-185.48	-299.23	7.766
107	-192.761	-299.833	7.821
108	-198.044	-304.254	7.802
109	-205.232	-304.167	7.793
110	-209.705	-309.971	7.449
111	-216.101	-304.866	7.705
112	-218.448	-314.118	7.614
113	-224.697	-302.342	7.489
114	-231.083	-308.779	7.4
115	-239.929	-303.945	7.482
116	-243.49	-311.769	7.477
117	-254.201	-306.838	7.472

Coord Order			
序號	East	North	Hight
118	-254.364	-313.909	7.524
119	-270.515	-314.168	7.69
120	-274.549	-325.352	7.407
121	-284.185	-327.36	7.866
122	-289.282	-328.931	8.046
123	-301.646	-332.449	7.767
124	-308.361	-333.796	7.737
125	-316.997	-335.049	7.874
126	-267.917	-406.571	4.147
127	-274.751	-438.985	4.58
128	-272.349	-430.024	4.447
129	-270.175	-420.873	4.232
130	-269.818	-413.943	4.123
131	-264.049	-401.745	4.079
132	-260.14	-400.639	4.058



附錄二、原始定年資料

Uranium and Thorium isotopic compositions and ^{230}Th ages for KPU coral samples by MC-ICPMS, Thermo Electron Neptune, at NTU.

Sample name	Subsample ID	Weight (g)	^{238}U	^{232}Th	$d^{234}\text{U}$	$[\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}}]$	$[\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}]$	Age		$d^{234}\text{U}_{\text{initial}}$	Current Era (C.E.)
			(ppb)	(ppt)	measured ^a	activity ^c	ppm ^d	uncorrected	corrected ^{c,e}	corrected ^b	
KPU110B-1	1#1	0.2458	2706 ± 3.2	625 ± 3.0	144.1 ± 1.8	0.063251 ± 0.000132	4521.4 ± 23.0	6,142 ± 17	6,140 ± 17	146.7 ± 1.8	-4,207 to -4,173
KPU110B-2	1#2	0.2605	2704 ± 3.8	749 ± 4.8	146.5 ± 2.5	0.063057 ± 0.000537	3758.7 ± 39.8	6,109 ± 56	6,107 ± 56	149.1 ± 2.5	-4,213 to -4,101
KPU218	1#1	0.1308	2595 ± 5.7	159 ± 5.3	149.1 ± 3.1	0.062041 ± 0.000211	16710.7 ± 563.3	5,993 ± 27	5,992 ± 27	151.7 ± 3.1	-4,068 to -4,015
KPU218	1#1	0.1392	2597 ± 2.7	113 ± 5.0	146.7 ± 2.0	0.062039 ± 0.000151	23524.2 ± 1045.0	6,006 ± 19	6,005 ± 19	149.3 ± 2.0	-4,073 to -4,036
KPU220	1#1	0.1203	2656 ± 2.1	2368 ± 7.0	146.2 ± 1.3	0.072597 ± 0.000225	1344.2 ± 5.7	7,075 ± 24	7,067 ± 26	149.2 ± 1.4	-5,141 to -5,090

Chemistry was performed on MC-ICP-MS (Shen et al, 2010)

Analytical errors are 2s of the mean.

^a $d^{234}\text{U} = ([\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}]_{\text{activity}} - 1) \times 1000$.

^b $d^{234}\text{U}_{\text{initial}}$ corrected was calculated based on ^{230}Th age (T), i.e., $d^{234}\text{U}_{\text{initial}} = d^{234}\text{U}_{\text{measured}} \times e^{1234 \times T}$, and T is corrected age.

^c $[\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}}]_{\text{activity}} = 1 - e^{-1230T} + (d^{234}\text{U}_{\text{measured}}/1000)[1_{230}/(1_{230} - 1_{234})](1 - e^{-(1_{230} - 1_{234})T})$, where T is the age.

Decay constants are $9.1577 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ^{230}Th , $2.8263 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ^{234}U (Cheng et al., 2000), and $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ for ^{238}U (Jeffrey et al, 1971) .

^d The degree of detrital ^{230}Th contamination is indicated by the $[\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}]$ atomic ratio instead of the activity ratio.

^e Age corrections were calculated using an estimated atomic $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ratio of $1.5 \pm 1.5 \text{ ppm}$ (Shen et al, 2008)

表1. KPU的定年資料

Uranium and Thorium isotopic compositions and ²³⁰Th ages for LKM coral samples by MC-ICPMS, Thermo Electron Neptune, at NTU.

Sample name	Subsample ID	Weight (g)	²³⁸ U	²³² Th	^d ²³⁴ U	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U]	[²³⁰ Th/ ²³² Th]	Age	Age	^d ²³⁴ U _{initial}	Current Era	
			(ppb)	(ppt)	measured ^a	activity ^c	ppm ^d	uncorrected	corrected ^{c,e}	corrected ^b	(C.E.)	
LKM112	1#1	0.2245	2922 ± 3.5	15852 ± 59.7	148.3 ± 2.2	0.003412 ± 0.000087	10.4 ± 0.3	264 ± 8	217 ± 48	148.4 ± 2.2	1,685	to 1,781
LKM113B-1	1#1	0.4862	2890 ± 3.4	15004 ± 50.1	148.7 ± 1.8	0.002899 ± 0.000089	9.2 ± 0.3	215 ± 9	170 ± 46	148.7 ± 1.8	1,734	to 1,826
LKM113B-2	1#2	0.1885	2856 ± 3.2	2414 ± 5.9	147.6 ± 2.1	0.002129 ± 0.000036	41.6 ± 0.7	142 ± 3	134 ± 8	147.6 ± 2.1	1,807	to 1,824
LKM113	2#1	0.09155	2840 ± 2.1	5135 ± 14.4	146.1 ± 1.5	0.002196 ± 0.000044	20.1 ± 0.4	148 ± 4	133 ± 16	146.2 ± 1.5	1,801	to 1,834
LKM113	2#2	0.08927	3132 ± 3.2	5645 ± 15.3	145.7 ± 1.7	0.002110 ± 0.000046	19.3 ± 0.4	140 ± 4	125 ± 16	145.8 ± 1.7	1,809	to 1,842
LKM113	2#3	0.10124	2921 ± 3.2	4665 ± 11.0	145.1 ± 1.7	0.002208 ± 0.000036	22.8 ± 0.4	150 ± 3	136 ± 14	145.2 ± 1.7	1,800	to 1,829
LKM113	3#1	0.13257	2834 ± 2.5	716 ± 5.5	147.8 ± 1.4	0.002153 ± 0.000036	140.7 ± 2.6	144 ± 3	142 ± 4	147.9 ± 1.4	1,804	to 1,812
LKM113	3#2	0.16618	2859 ± 2.5	413 ± 4.3	148.6 ± 1.5	0.002013 ± 0.000027	230.2 ± 3.9	131 ± 3	129 ± 3	148.7 ± 1.5	1,818	to 1,824
LKM113	3#3	0.10492	2831 ± 3.1	256 ± 6.7	148.6 ± 2.1	0.002133 ± 0.000043	390.3 ± 12.9	142 ± 4	141 ± 4	148.7 ± 2.1	1,805	to 1,813
LKM115-1	1#1	0.1489	3031 ± 3.4	2186 ± 6.3	144.6 ± 1.8	0.002087 ± 0.000033	47.8 ± 0.8	138 ± 3	132 ± 7	144.7 ± 1.8	1,811	to 1,825
LKM115-2	1#2	0.1968	2989 ± 3.3	26165 ± 113.8	146.7 ± 1.8	0.002359 ± 0.000107	4.4 ± 0.2	164 ± 10	88 ± 77	146.8 ± 1.8	1,785	to 1,939
LKM115-3	1#3	0.2573	2862 ± 3.5	1941 ± 4.7	148.8 ± 1.9	0.001944 ± 0.000031	47.3 ± 0.8	124 ± 3	118 ± 7	148.9 ± 1.9	1,825	to 1,839
LKM115	2#1	0.08049	5948 ± 6.6	18010 ± 47.9	144.9 ± 1.9	0.002414 ± 0.000062	13.2 ± 0.3	170 ± 6	143 ± 27	144.9 ± 1.9	1,780	to 1,834
LKM115	2#2	0.12894	2923 ± 3.7	8827 ± 26.9	144.1 ± 2.0	0.002246 ± 0.000066	12.3 ± 0.4	154 ± 6	127 ± 27	144.2 ± 2.0	1,796	to 1,850
LKM115	2#3	0.11492	2882 ± 3.2	8890 ± 24.1	144.6 ± 1.9	0.002334 ± 0.000066	12.5 ± 0.4	162 ± 6	135 ± 28	144.6 ± 1.9	1,787	to 1,843
LKM115	2#4	0.12464	3014 ± 2.5	1033 ± 5.7	145.6 ± 1.8	0.001860 ± 0.000023	89.6 ± 1.2	116 ± 2	113 ± 4	145.7 ± 1.8	1,833	to 1,840
LKM116A	1#1	0.183	2618 ± 2.5	2283 ± 5.4	143.8 ± 1.6	0.003599 ± 0.000039	68.2 ± 0.7	283 ± 4	276 ± 8	143.9 ± 1.6	1,666	to 1,683
LKM117A	1#1	0.1515	2581 ± 2.3	72109 ± 449.8	145.5 ± 1.8	0.015896 ± 0.000450	9.4 ± 0.3	1,465 ± 44	1,221 ± 248	146.0 ± 1.8	481	to 977
LKM117	2#1	0.10518	2791 ± 3.5	25141 ± 106.2	144.8 ± 2.1	0.012885 ± 0.000244	23.6 ± 0.5	1,175 ± 24	1,096 ± 82	145.2 ± 2.1	772	to 936
LKM117	2#2	0.1214	2769 ± 3.9	15108 ± 53.4	143.4 ± 2.3	0.012870 ± 0.000203	38.9 ± 0.6	1,175 ± 20	1,127 ± 52	143.8 ± 2.3	771	to 874
LKM117	2#3	0.12014	2728 ± 3.9	14959 ± 52.9	142.7 ± 2.1	0.012943 ± 0.000204	39.0 ± 0.6	1,183 ± 20	1,135 ± 52	143.2 ± 2.1	763	to 867
LKM117	2#4	0.10343	2702 ± 3.7	46057 ± 280.0	142.5 ± 2.1	0.013701 ± 0.000359	13.3 ± 0.4	1,256 ± 35	1,107 ± 153	143.0 ± 2.1	690	to 996
LKM215	1#1	0.09303	2392 ± 2.4	661 ± 7.5	146.9 ± 1.7	0.076542 ± 0.000167	4576.4 ± 53.0	7,471 ± 21	7,468 ± 21	150.0 ± 1.7	-5,539	to -5,498
LKM215	1#2	0.15715	2330 ± 1.8	566 ± 4.6	146.1 ± 1.6	0.077174 ± 0.000334	5244.8 ± 48.3	7,540 ± 36	7,538 ± 36	149.3 ± 1.7	-5,624	to -5,552
LKM216	1#1	0.10505	2150 ± 1.9	47 ± 6.6	145.1 ± 1.4	0.081328 ± 0.000167	60810.9 ± 8488.9	7,972 ± 20	7,972 ± 20	148.4 ± 1.5	-6,042	to -6,002
LKM217	1#1	0.16903	2700 ± 2.3	19902 ± 78.1	147.4 ± 1.5	0.093900 ± 0.000802	210.4 ± 2.0	9,246 ± 84	9,182 ± 105	151.3 ± 1.5	-7,337	to -7,126
LKM230	1#1	0.1651	2630 ± 2.7	94 ± 4.2	151.8 ± 1.7	0.003105 ± 0.000029	1435.6 ± 65.8	234 ± 3	233 ± 3	152.0 ± 1.8	1,714	to 1,719
LKM230	1#2	0.1543	2475 ± 2.5	72 ± 4.5	148.4 ± 1.6	0.002943 ± 0.000025	1660.7 ± 104.4	219 ± 2	219 ± 2	148.5 ± 1.6	1,729	to 1,733
LKM230	2#1	0.19335	2499 ± 2.2	43 ± 3.6	147.5 ± 1.6	0.002957 ± 0.000029	2808.4 ± 234.5	221 ± 3	221 ± 3	147.6 ± 1.6	1,727	to 1,732
LKM230	2#2	0.19817	2579 ± 2.5	703 ± 3.9	147.9 ± 1.7	0.003025 ± 0.000027	183.2 ± 1.9	227 ± 3	225 ± 4	148.0 ± 1.7	1,722	to 1,729
LKM230	2#3	0.22613	2625 ± 2.2	248 ± 3.1	147.6 ± 1.4	0.003020 ± 0.000038	527.8 ± 9.4	227 ± 4	226 ± 4	147.7 ± 1.4	1,720	to 1,728
LKM230	2#4	0.30082	2558 ± 2.2	1133 ± 2.7	146.4 ± 1.5	0.002915 ± 0.000024	108.7 ± 0.9	217 ± 2	213 ± 5	146.5 ± 1.5	1,732	to 1,741
LKM230	2#5	0.17653	2552 ± 1.9	2812 ± 5.1	145.8 ± 1.5	0.003048 ± 0.000043	45.7 ± 0.6	230 ± 4	220 ± 10	145.9 ± 1.5	1,719	to 1,740
LKM231	1#1	0.1994	2734 ± 3.2	79 ± 3.5	148.0 ± 1.9	0.002981 ± 0.000022	1704.3 ± 76.5	223 ± 2	223 ± 2	148.2 ± 1.9	1,725	to 1,730
LKM231	1#2	0.1791	1862 ± 1.7	42 ± 3.9	147.7 ± 1.6	0.002913 ± 0.000021	2134.5 ± 198.3	217 ± 2	216 ± 2	147.8 ± 1.6	1,732	to 1,736

Sample name	Subsample ID	Weight (g)	²³⁸ U	²³² Th	^d ²³⁴ U	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U]	[²³⁰ Th/ ²³² Th]	Age		^d ²³⁴ U _{initial}	Current Era	
			(ppb)	(ppt)	measured ^a	activity ^c	ppm ^d	uncorrected	corrected ^{c,e}	corrected ^b	(C.E.)	
LKM232	1#1	0.1746	2253 ± 4.0	139 ± 4.0	148.2 ± 2.7	0.002714 ± 0.000026	725.9 ± 21.9	197 ± 3	197 ± 3	148.3 ± 2.7	1,751	to 1,756
LKM232	1#2	0.1911	2272 ± 2.9	206 ± 3.7	147.3 ± 1.9	0.002777 ± 0.000023	505.7 ± 9.9	204 ± 2	203 ± 2	147.5 ± 1.9	1,745	to 1,750
LKM233	1#1	0.1794	2882 ± 4.0	967 ± 4.2	148.6 ± 2.2	0.001942 ± 0.000023	95.6 ± 1.2	124 ± 2	121 ± 4	148.7 ± 2.2	1,826	to 1,833
LKM233	1#2	0.1375	2483 ± 48.2	1499 ± 5.8	235.2 ± 26.7	0.002225 ± 0.000055	60.9 ± 0.9	136 ± 6	131 ± 8	235.3 ± 26.7	1,811	to 1,827
LKM233	1#3	0.139	2974 ± 4.6	794 ± 5.3	152.0 ± 2.2	0.002050 ± 0.000022	126.8 ± 1.6	134 ± 2	131 ± 3	152.1 ± 2.2	1,816	to 1,822
LKM234	1#1	0.1915	3024 ± 6.0	5567 ± 17.6	145.3 ± 2.7	0.011709 ± 0.000143	105.0 ± 1.3	1,061 ± 14	1,045 ± 21	145.8 ± 2.7	884	to 926
LKM235	1#1	0.2221	2904 ± 3.9	3652 ± 9.4	147.1 ± 2.3	0.011590 ± 0.000112	152.2 ± 1.5	1,048 ± 11	1,037 ± 16	147.5 ± 2.3	898	to 929
LKM235	1#2	0.2066	2869 ± 4.4	247 ± 5.9	149.1 ± 2.3	0.012109 ± 0.000124	2320.3 ± 60.0	1,096 ± 12	1,095 ± 12	149.6 ± 2.3	843	to 867
LKM235	2#1	0.17088	2780 ± 2.3	1656 ± 4.7	146.5 ± 1.6	0.011704 ± 0.000082	324.4 ± 2.4	1,059 ± 8	1,054 ± 10	147.0 ± 1.6	886	to 906
LKM235	2#2	0.24952	2875 ± 2.3	1868 ± 4.0	146.8 ± 1.4	0.011542 ± 0.000072	293.3 ± 1.9	1,043 ± 7	1,038 ± 9	147.2 ± 1.4	903	to 921

Chemistry was performed on MC-ICP-MS (Shen et al, 2010)

Analytical errors are 2σ of the mean.

^a $\delta^{234}\text{U} = ([^{234}\text{U}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} - 1) \times 1000$.

^b $\delta^{234}\text{U}_{\text{initial}}$ corrected was calculated based on ²³⁰Th age (T), i.e., $\delta^{234}\text{U}_{\text{initial}} = \delta^{234}\text{U}_{\text{measured}} \times e^{\lambda_{234} \times T}$, and T is corrected age.

^c $[^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} = 1 - e^{-\lambda_{230}T} + (\delta^{234}\text{U}_{\text{measured}}/1000)[\lambda_{230}/(\lambda_{230} - \lambda_{234})](1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})T})$, where T is the age.

Decay constants are $9.1577 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁰Th, $2.8263 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁴U (Cheng et al., 2000), and $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁸U (Jeffrey et al., 1971).

^d The degree of detrital ²³⁰Th contamination is indicated by the [²³⁰Th/²³²Th] atomic ratio instead of the activity ratio.

^e Age corrections were calculated using an estimated atomic ²³⁰Th/²³²Th ratio of $1.5 \pm 1.5 \text{ ppm}$.

表2. LKM的定年資料

Carbon-14 ages for Ramree Island samples by AMS, at Beta analysis

Sample name	Material pretreatment	Measured age	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Convention age	2 SIGMA CALIBRATION Cal. BP.
NPT202	(shell): acid etch	2450 ± 30	-0.6 o/oo	2850 ± 30	2700 to 2510
NPT201	(shell): acid etch	430 ± 30	+1.8 o/oo	870 ± 30	520 to 450
LKM213	(shell): acid etch	190 ± 30	-1.6 o/oo	570 ± 30	270 to 120
LKM214	(wood): acid/alkali/acid	120 ± 30	-26.8 o/oo	90 ± 30	270 to 220 / 140 to 200 / (n/a)

表3. 碳14的定年資料



附錄三、衛星影像之原始資料

Date:	Product:	Processing level:	Size:	Satellite:
2009/1/2	2.5m BW	1A	1/4 scene	Spot5

Scence ID:	5245 3110 9010 2042 6412T
Shift of scene along the track:	6
Cloud percentage:	0%
Angle of incidence:	20.58 °

Product coordinates:	
Latitude of center	19.30 °
Longitude of center	93.56 °
Latitude of NW corner	19.47 °
Longitude of NW corner	93.43 °
Latitude of NE corner	19.40 °
Longitude of NE corner	93.75 °
Latitude of SW corner	19.21 °
Longitude of SW corner	93.36 °
Latitude of SE corner	19.13 °
Longitude of SE corner	93.68 °



Date:	Product	Processing level	Size	Satellite
2009/1/3	2.5m BW	1A	1/4 scene	Spot5

Scence ID:	5245 3110 9010 3040 7302T
Shift of scene along the track:	6
Cloud percentage	1%
Angle of incidence	-17.17 °

Product coordinates:	
Latitude of center	19.31 °
Longitude of center	93.55 °
Latitude of NW corner	19.47 °
Longitude of NW corner	93.42 °
Latitude of NE corner	19.40 °
Longitude of NE corner	93.73 °
Latitude of SW corner	19.20 °
Longitude of SW corner	93.36 °
Latitude of SE corner	19.14 °
Longitude of SE corner	93.67 °



© CNES 2009