

國立台灣大學理學院海洋研究所

碩士論文

Graduate Institute of Oceanography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物之研究

Clay Mineral Distribution in Surface Sediments of the Southern

Okinawa Trough



Cheng Chih-Jui

指導教授：蘇志杰 博士

Advisor: Su Chih-Chieh, Ph. D.

中華民國 97 年 07 月

July, 2008

國立臺灣大學（碩）博士學位論文
口試委員會審定書

南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物之研究

Clay Mineral Distribution in Surface Sediments of
Southern Okinawa Trough

本論文係鄭智睿君（R94241302）在國立臺灣大學海洋
研究所完成之碩士學位論文，於民國九十七年七月二十四日
承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

薛志杰

（簽名）

（指導教授）

陳于高

陳世勛

洪崇勝

魏國亨

陳永平

系主任、所長

（簽名）

致謝

本論文能夠順利地完成，不是單單只倚靠個人的辛苦以及努力，而是要歸功於許多人的指導、協助。在此，希望以我最誠摯的心意，向你們說聲「謝謝」。

首先感謝我的指導教授蘇志杰教授，您由於他不吝於分享其豐富的經驗與知識，讓我學會以更寬廣的視野去看事情、做研究、解決問題。感謝海洋所林斐然教授與鄭偉力教授，給予我論文上認真地指導與細心地協助、關心我的狀況。感謝中研院俞震甫教授與助理程如錦小姐提供 X 光繞射儀使用與教導，讓我在儀器損壞後仍能順利完成實驗。感謝海洋大學陳明德教授與助理廖佳汝小姐等協助岩心樣本的切割。感謝口試委員陳汝勤教授、魏國彥教授、洪崇勝教授及陳于高教授對於本論文之指正與建議。

我亦非常感謝實驗室的巧芸學姊、少薇學姊、國航學長、以瑛、屈、靜宜的討論、協助與鼓勵；佳瑜、溥聲、鑑禕、冠樵、玉璽、可樂、信宏、那那、禎琳平時給我學業上的建議，陪我聊天解悶打球遊玩，在我受傷行動不便時更幫助我許許多多，很高興在碩士生涯能認識有你們。豪章、佩涓、乙嘉在我修習教育學程過程中的合作與勉勵。蚯蚓、小魚兒因為有你們的友情支柱，平時給予的關心，讓我倍感溫暖。還有許許多多學長學姊、同學、學弟妹、以及無數朋友們的協助與關心，謝謝你們！

感謝女友冠圻的陪伴與付出，實質上的幫助與心靈上的支持，貼心的妳是我能夠繼續走過來的動力！

最後，最感謝的就是我的家人，爸爸、媽媽、姐姐，以及許許多多的親戚，在我這二十年的求學生涯中，不斷地對我付出、關懷，以及那份永無止盡的愛，讓我可以無後顧之憂地、恣意地享受自己所選擇的生活。

要感謝的人太多了，只能說：沒有你們，就沒有今天的我，也不會有這篇論文的誕生。

摘要

黏土礦物在海洋研究中普遍被用來當作沈積物的來源與傳輸的指標，沈積物中黏土礦物的種類及分布情形與鄰近區域岩石源區的性質和氣候有關。本研究依照美國地質調查所（USGS）所公布之黏土礦物分析方法流程，使用 X 光繞射法（X-Ray Diffraction; XRD）鑑定黏土礦物種類並進行半定量分析工作。

研究結果顯示，南沖繩海槽表層沈積物內黏土礦物中伊利石含量最高，其次為綠泥石，高嶺石再次之，膨潤石含量最低。

在含量變化上，伊利石在南沖繩海槽由西向東遞減，結晶度表示其可能為近變質帶岩石所風化而來，主要來源為蘭陽地區所輸入之沈積物。綠泥石與高嶺石於棉花峽谷下緣及海槽中心有相對高值，且與濁流沈積有良好之正相關，顯示其為自陸棚或陸坡所傳輸而來。膨潤石的變化明顯看出與海槽中海底火山的位置有關。Esquevin-Index 分析結果顯示海槽內沈積物中富鐵鎂伊利石與富鋁伊利石含量差異不大，幾處較低值可能與其源岩較多黑雲母類（Biotitic）岩石有關。

在南沖繩海槽沈積物樣本及東部各河川樣本中黏土礦物組成上，顯示海槽沈積物來源與陸上蘭陽地區輸出相關性較高，而花東地區河川沈積物供應量的比重可能較低。

本研究認為南沖繩海槽沈積物內綠泥石可能為富含鐵的鮑綠泥石（Chamosite），經由加熱處理方法時並無出現明顯綠泥石繞射峰值。

關鍵字：南沖繩海槽、黏土礦物、X 光繞射、鮑綠泥石

Abstract

Clay minerals are one of the most useful indicators marine geology to decipher the source and transport of sediments in oceanography. The composition and distribution of clay minerals in sediments are related to the climate and the nature of their parent rocks.

In this study, the analysis result of the clay minerals illite is the most abundant clay mineral in the southern Okinawa Trough (SOT), the chlorite and kaolinite are more in the study area. The amount of smectite is the lowest in the sediment.

The amount of illite increases from west to east SOT and the crystallinity of illite shows it might come from the weathering of rocks in the anchizone in the watershed of Lan-Yang River. The amount of chlorite and kaolinite is higher at the Mien-Hwa Canyon and the deepest part of SOT. The good correlation between chlorite, kaolinite and the turbidite distribution suggests that they were transported from the shelf or slope. We also observed that the amounts of smectite in the sediments are related to submarine volcanoes in the adjacent area. According to the Esquevin-Index, there is no difference between the amount of Fe,Mg-rich illite and Al-rich illite in the sediments of SOT. In some areas, the lower Esquevin-Index values indicate that the parent rocks might be more biotitic.

Comparing the composition of clay minerals in the SOT and the riverine sediments of the Eastern Taiwan, we found that the Lan-Yang River is the most important source to the sediments in the SOT.

Key words: clay minerals, southern Okinawa Trough, XRD, chamosite

目 錄

口試委員審定書.....	I
致謝.....	II
摘要.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1、前言.....	1
1.2、研究區域.....	1
1.3、前人研究.....	5
1.4、研究目的.....	7
第二章 研究方法.....	8
2.1、採樣區域.....	8
2.2、沈積物採樣.....	8
2.3、分析方法.....	12
2.3.1、樣本前處理.....	12
2.3.2、X 光繞射分析.....	17
2.3.3、黏土礦物之定性與半定量分析.....	19
第三章 結果與討論.....	23
3.1、黏土礦物相對含量之分布.....	23
3.1.1、黏土礦物在空間面上的變化.....	23
3.1.2、台灣東部河川樣本分析結果.....	30
3.2、黏土礦物相對含量隨深度的變化.....	32
3.3、南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物之來源討論.....	44

3.4、綠泥石測定的討論.....	46
第四章 結論.....	54
參考文獻.....	56



圖 目 錄

圖 1-1	台灣東北海域海底地形圖.....	3
圖 1-2	台灣周圍海況流矢圖.....	4
圖 2-1	本研究採樣位置.....	9
圖 2-2	實驗分析流程.....	14
圖 2-3	顆粒粒徑分布.....	14
圖 2-4	定向片自然風乾.....	15
圖 2-5	乙烯乙二醇飽和處理.....	15
圖 2-6	自然定向片及加熱處理圖譜之比較.....	16
圖 2-7	Bragg's Law 示意圖.....	17
圖 2-8	Rigaku MiniFlex AD0316 X 光繞射儀.....	18
圖 2-9	Illite 晶格圖.....	21
圖 2-10	Chlorite 晶格圖.....	21
圖 2-11	Kaolinite 晶格圖.....	21
圖 2-12	Smectite (montmorillonite) 晶格圖.....	21
圖 2-13	繞射峰圖譜.....	22
圖 3-1	前人研究中台灣周圍海域表層黏土礦物分布.....	24
圖 3-2	南沖繩海槽表層沈積物中伊利石含量分布圖.....	25
圖 3-3	南沖繩海槽表層沈積物中綠泥石含量分布圖.....	25
圖 3-4	南沖繩海槽表層沈積物中高嶺石含量分布圖.....	26
圖 3-5	南沖繩海槽表層沈積物中高嶺石對伊利石比值趨勢圖.....	26
圖 3-6	南沖繩海槽表層沈積物中膨潤石含量分布圖.....	27
圖 3-7	南沖繩海槽表層沈積物中 Esquevin-Index 趨勢圖.....	27
圖 3-8	南沖繩海槽表層沈積物中伊利石結晶度趨勢圖.....	28
圖 3-9	木瓜溪（上）與新武呂溪、卑南大溪（下）流域地質圖.....	31

圖 3-10	OR715-10 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	35
圖 3-11	OR715-14 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	35
圖 3-12	OR715-15 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	36
圖 3-13	OR715-19 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	36
圖 3-14	OR729-21 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	37
圖 3-15	OR801-04 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖.....	37
圖 3-16	南沖繩海槽樣本.....	48
圖 3-17	蘭陽地區樣本.....	48
圖 3-18	木瓜溪樣本.....	49
圖 3-19	卑南大溪樣本.....	49
附錄一	南沖繩海槽表層沈積物等時面上黏土礦物繞射圖譜.....	64
附錄二	台灣東部陸上河川樣本繞射圖譜.....	68
附錄三	南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜.....	71



表 目 錄

表 2-1	樣本站位資料.....	10
表 3-1	正常沈積時期各黏土礦物參數量表.....	29
表 3-2	台灣東部陸上河川各黏土礦物參數量表.....	30
表 3-3	OR715-10 各黏土礦物參數量表.....	38
表 3-4	OR715-14 各黏土礦物參數量表.....	39
表 3-5	OR715-15 各黏土礦物參數量表.....	40
表 3-6	OR715-19 各黏土礦物參數量表.....	41
表 3-7	OR729-21 各黏土礦物參數量表.....	42
表 3-8	OR801-04 各黏土礦物參數量表.....	43
表 3-9	各地黏土礦物分析簡述表.....	50



第一章 緒論

1.1. 前言

在地質科學中黏土具有兩種含義，一、作為顆粒粒徑大小的術語；二、岩石礦物的術語。黏土礦物是構成岩石和土壤細粒部分($<2\mu\text{m}$)主要成份的礦物。

沈積物中的黏土礦物主要是碎屑狀，它們可作為沈積物源區的指標。近代海洋沈積物中黏土礦物種類的多寡和組合情形以及分布狀況與鄰近陸地的岩石源區性質和氣候以及傳輸和沈積方式有關 (Petschick et al., 1996)。黏土礦物的種類繁多且複雜，一般而言，最常用來探討海洋或地質意義的黏土礦物不外乎高嶺石 (Kaolinite)、伊利石 (Illite)、綠泥石 (Chlorite) 以及膨潤石 (Smectite) 這四個族群。伊利石是海洋沈積物中最豐富的黏土礦物，主要由雲母類礦物風化而來；綠泥石明顯地集中在南、北半球高緯度地區的海洋沈積物中，與機械式風化作用有關；高嶺石則因為化學風化形成，故集中分布在赤道與低緯度地區的海洋沈積物中；膨潤石的分布則與火成岩有關。

分析黏土礦物最普遍使用的方法是 X 光繞射分析 (X-Ray Diffraction; XRD)。根據 Bragg 方程式，於固定 X 射線波長的條件下，利用不同黏土礦物的晶體面間距不同，可進行黏土礦物種類的分析和鑑定。由於 XRD 具有分析迅速、簡便的特性，並能夠大量反映黏土礦物各方面特徵，成為分析黏土礦物最有效的一種方法。

1.2. 研究區域

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界，為聚合性板塊邊緣。菲律賓海板塊相對歐亞板塊而言，每年以 7.1 公分的速率往西北方向移動 (Seno, 1977, 1993)。在台灣東北外海，菲律賓海板塊隱沒到歐亞板塊之下，形成琉球弧溝系統 (Letouzey and Kimura, 1985)。沖繩海槽則屬於琉球弧溝系統的弧後張裂盆地 (Uyeda and Kanamori, 1979)，由台灣東北的宜蘭平原向東北方延伸 1200 公里

至日本南端的九州。

沖繩海槽（通常定義為水深大於 1000 公尺的區域）面積約 $0.9 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，呈東北-西南走向，其中間部份微向太平洋凸出，但接近台灣時（亦即南沖繩海槽）則彎曲為近東西向，展現北寬（230 公里）南窄（60 公里）、北淺南深的地形。

東海南部是東海地形變化最急遽之處，Yu and Hong (1992) 依地理位置及形貌將該海域區分為五個地形單位，分別為：東海陸棚、東海陸坡、宜蘭陸棚、宜蘭海脊及南沖繩海槽，而南沖繩海槽為水深最深處（2270~2300公尺）。Yu and Hong (1992) 以1000公尺等深線區隔東海陸坡及南沖繩海槽。在東海陸坡上存在兩組較大的海底峽谷，由陸棚切蝕至海槽，南邊名為棉花峽谷，北邊名為北棉花峽谷；在陸棚上則存在另一小規模的峽谷，名為基隆海谷（圖1-1）（Song and Chang, 1993）。棉花峽谷及北棉花峽谷為東海陸棚沈積物輸送至南沖繩海槽的主要通道（Chung and Hung, 2000；Hung et al., 1999；Sheu et al., 1999）。

水文方面，黑潮（Kuroshio）為此區域主要的洋流系統（圖1-2），其源自北赤道洋流（North Equatorial Current），具有高溫高鹽、低初級生產力的特性（Chen Lee, 2000）。黑潮於台灣東北海域的流量約為 $22.6\text{-}23.7 \text{ Sv}$ ($10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$)，主流平均向北流速約為 $70\text{-}80 \text{ cm/s}$ （Liu et al., 1998；Tang et al., 2000），冬季時主流離岸較近且流幅較窄，夏季則離岸較遠且流幅較寬，最大流速出現在 122° E 左右。黑潮約在 25.4° N 位置，受到東海陸棚的地形阻擋，主流由北轉向東北沿棚緣向日本南端流去，另有一分支沿北棉花峽谷上衝至東海陸棚成為黑潮支流。上衝後的支流又分成兩股，一股流向東北併回黑潮主流，另一股則形成一逆時針方向渦流，最後於棉花峽谷與基隆海谷間再併回未轉向前的黑潮主流（Tang et al., 1998）。

Composite Current Velocity Vectors at 030 m
1991~2007
Summer(Jun. - Aug.)

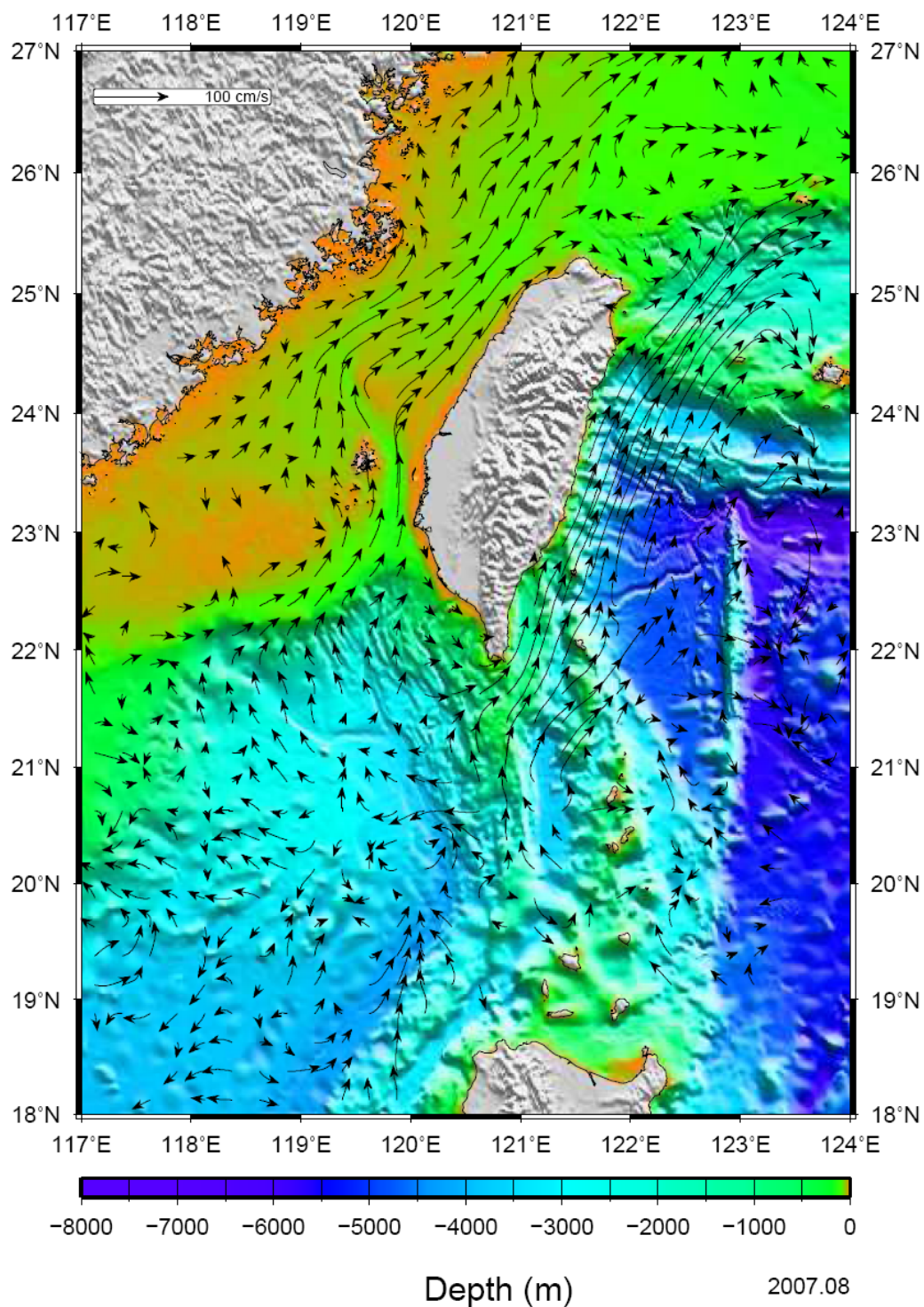


圖 1-2 台灣周圍海域流矢圖

流場資料來源：國家海洋科學研究中心資料庫

1.3. 前人研究

在沈積物組成方面，東海陸棚上多為砂質沈積，被認為是上次冰期遺留之殘留沈積物，幾乎沒有現代沈積物覆蓋（劉錫清，1996）。陸坡及海槽邊緣地區，沈積物因重力傾洩至南沖繩海槽底部而形成濁流沈積物（turbidite）（Hong and Chen, 2000）。沈積物組成以陸源物質為主，生物源物質極少（Chen et al., 1992）。沈積物化學成分分析結果顯示 Al 含量多介於 8-9%，證明鋁矽酸鹽礦物顆粒是沈積物最重要的組成，而海槽沈積物表層多有 Mn 富集的現象（蕭立銘，1994）。

宜蘭陸棚之下的陸坡與南沖繩海槽銜接處沈積速率最高，沈積速率在海槽中沿黑潮主軸的西緣由南向北遞減(Huh et al., 2006)。宜蘭陸棚輸出的沈積物為南沖繩海槽沈積物的主要來源之一，其他來源包括來自於東海陸棚經棉花峽谷進入海槽、台灣東部地區河川輸出之懸浮沈積物隨黑潮北流進入海槽，及台灣海峽水體繞過台灣北部併入逆時針渦流的沈積物(Tang et al., 2000)。

Lin and Chen（1983）分析沖繩海槽沈積物顆粒大小和礦物組成，初步判斷其來源包含中國大陸、台灣以及琉球群島，並且認為黑潮扮演了沈積物向外洋傳輸的屏障。林庚玲（1992）研究台灣東北外海表層沈積物之構造、組成和黏土礦物，發現南沖繩海槽沈積物中常出現濁流沈積物層序特徵，顯示沈積環境並不穩定。其次在蘭陽溪口外分布一扇形泥質沈積區，研判蘭陽溪輸入的沈積物對東北海域具有相當的影響性。此外，依據綠泥石含量呈現由南向北減少的趨勢，推測黑潮將台灣東部板岩的風化產物向北搬運至海槽，並闡明黑潮阻擋了沈積物向東擴散的理論。Lin et al.（1992）指出南沖繩海槽中棉花峽谷附近沈積物有機碳含量呈現陸坡值較陸棚為高的現象，並推論沈積物乃由陸棚向下輸送至陸坡及海槽底部沈積，解釋東海陸棚上無現代沈積物的現象。

Chung and Chang（1995, 1996）和陳星光（1995）以²¹⁰Pb測定台灣東北海域的沈積速率顯示，在陸棚與陸坡上部幾乎沒有沈積量，在下部陸坡棉花峽谷

出口處測得之沈積速率為0.37cm/yr，在棉花峽谷西側觀察到的沈積速率則為0.87 cm/yr。配合黑潮入侵東海陸棚行成反時針渦流的流況與流速條件，使沈積物由東海陸棚經棉花峽谷向下輸送，造成南沖繩海槽地區高沈積速率的看法，目前為一般所普遍接受。但是，東海陸棚區的沈積動力研究顯示長江輸出之沈積物因受到台灣暖流的阻隔而絕大部分無法向東傳輸，這些沈積物會被長江沿岸流搬運南下並沈積在內陸棚區（Milliman et al., 1985；蘇，2000）。此外，林殷田（2001）從有機碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布，亦可說明長江輸出之陸源沈積物沈積於河口及內陸棚之沈積型態。

李時雨（2001）以天然（ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ）以及人工（ ^{137}Cs 及 $^{239,240}\text{Pu}$ ）等放射性核種評估南沖繩海槽沈積物之可能來源。計算結果顯示，南沖繩海槽地區沈積量約為13.6Mt/yr，而蘭陽溪輸砂的供應量約為8.0Mt/yr，推論蘭陽溪輸出應為主要沈積物來源，東海陸棚經棉花峽谷和基隆海谷輸入及台灣東部地區河川顆粒物質隨黑潮北流沈降輸入次之。

南沖繩海槽沈積物可能主要來自台灣東部河流，尤其是蘭陽溪，雨季是重要的輸入時期，而颱風亦會將大量的顆粒物質帶出。高樹基（1995）發現蘭陽溪的逕流量與懸浮物的輸出量（即輸砂量）間存在良好的正相關。這些由蘭陽溪輸出的顆粒物質，有部分沈積於宜蘭陸棚或斜坡上，有些則沈積於海槽中，有的也可能被帶到東海陸棚（Hsu et al., 1998）。由於東海陸棚沒有淨沈積（Chung and Chang, 1995, 1996），因此沈積物的最終去處極可能是南沖繩海槽（許世傑，1998）。

張逸安（2004）研究沖繩海槽西南端岩心沈積物之礦物組成與地球化學結果顯示，沈積物主要源自台灣東北部蘭陽地區的岩層，越靠近海槽中部則蘭陽地區的貢獻比例逐漸降低，東海陸棚沈積物和琉球島弧火山岩類的貢獻比例相對來說逐漸變高。

凌巧芸（2007）利用粒徑趨勢分析結果，認為南沖繩海槽沈積物搬運方向

主要為由西向東傳輸，顯示蘭陽溪之輸入為主要沈積物來源。而搬運方向的強度在南沖繩海槽最西端有一弱區存在，可能是由於黑潮流速於翻越宜蘭海脊轉彎處流速降低所導致。

1.4. 研究目的

有關沖繩海槽沈積物來源眾說紛紜，其一主要認為沈積物是由中國大陸長江、黃河等河川輸出經由東海陸棚而來；另一則認為台灣東部河川為主要沈積物來源。過去於此區域沈積物黏土礦物相關研究顯示，海洋沈積物中黏土礦物之組成與分布的變化反映著沈積物之來源與傳輸途徑的差異（Lin and Chen, 1983；林，1992；張，2004）。本研究將利用南沖繩海槽地區已完成年代分析之岩心，進行其黏土礦物之時、空分布變化分析，藉此討論南沖繩海槽地區沈積物之來源與傳輸。



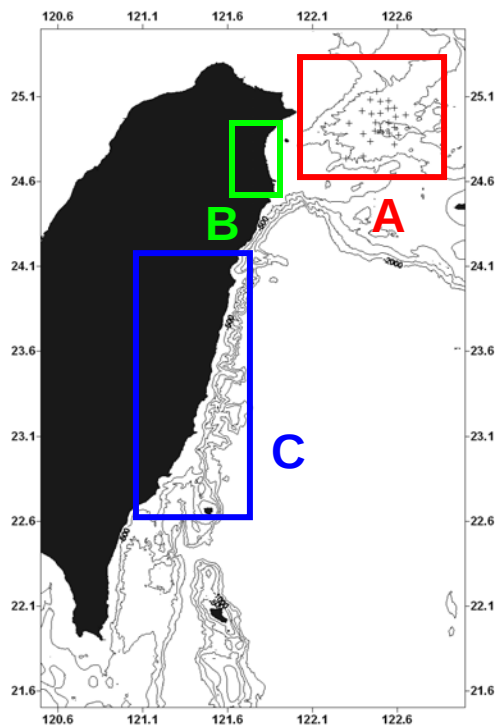
第二章 研究方法

2.1. 採樣區域

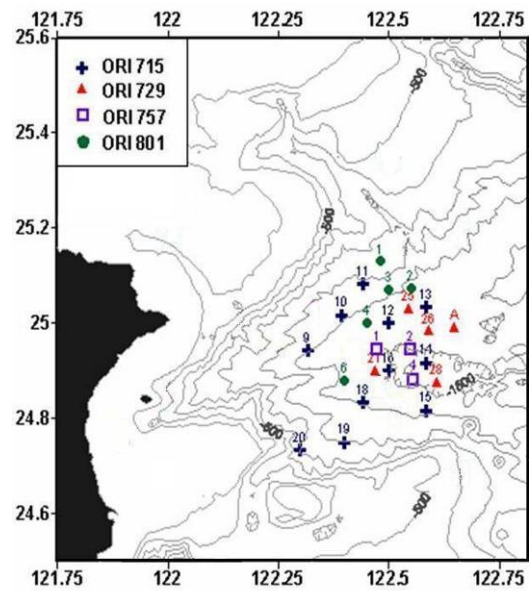
本論文研究區域位於沖繩海槽西南端（ 122° - 122.75° E, 24.5° - 25.5° N），實驗樣本以海研一號於2004-2006年間（OR715、OR729、OR757、OR801）所採取的箱型岩心（Box Core）為主要研究材料，另利用陸上蘭陽地區所採集的八個樣本及花東地區木瓜溪、新武呂溪、卑南大溪等四個河川樣本為補充材料。採樣位置如圖2-1，站位資料如表2-1所示。

2.2. 沈積物採樣

由海研一號所採集之 OR715-6、10、14、15、19 與 OR729-21 以及 OR801-4 共七支岩心每隔 1 公分取約 3-5 公克樣品進行黏土礦物分離工作，另外由凌巧芸（2007）所發表之沈積物顆粒粒徑與年代資料，找出 2002 年 3 月 31 日地震所引發濁流沈積物位置，取其之下 1-2 公分沈積物來代表未受濁流作用影響之南沖繩海槽沈積物。



水深資料：0 ~ -2000m



A 南沖繩海槽

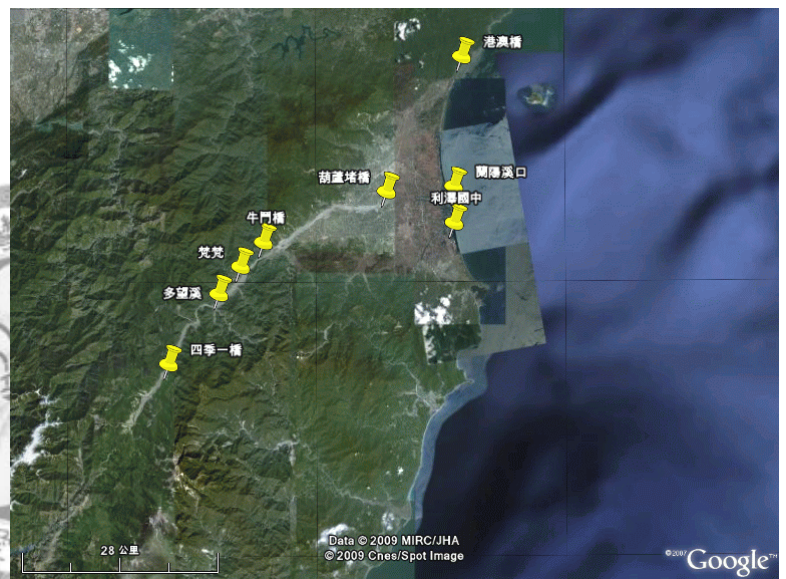
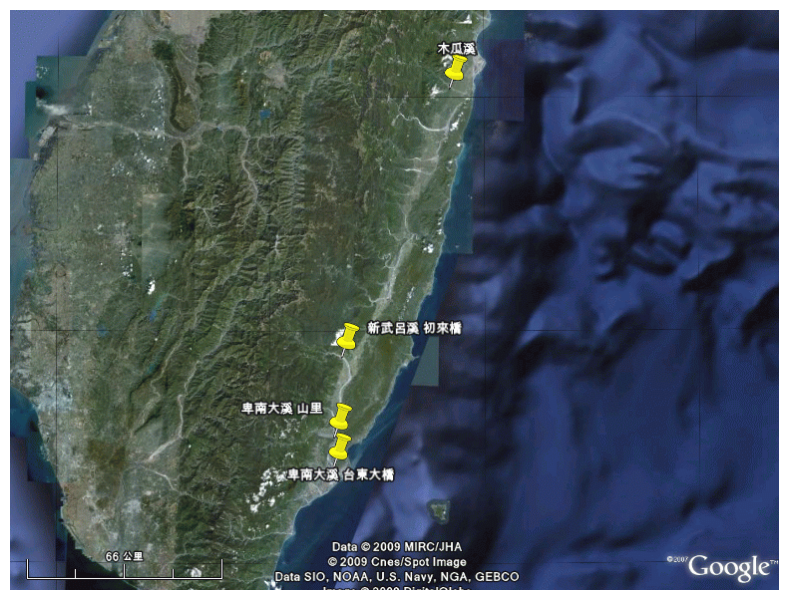


圖 2-1 本研究採樣位置

地形資料來源：國家海洋科學研究中心資料庫、Google Earth 資料庫



C 花東地區

表 2-1 樣本站位資料

Cruise	Station	Date	Location		Bottom depth (m)
			Longitude (°E)	Latitude (°N)	
715	9	2004/4/15	122.317	24.943	1273
	10	2004/4/15	122.392	25.017	1274
	11	2004/4/15	122.442	25.082	1127
	12	2004/4/15	122.500	25.001	1463
	13	2004/4/15	122.584	25.034	1399
	14	2004/4/15	122.584	24.917	1521
	15	2004/4/15	122.584	24.817	1319
	16	2004/4/16	122.500	24.900	1492
	18	2004/4/16	122.442	24.834	1312
	19	2004/4/16	122.400	24.750	1079
	20	2004/4/16	122.300	24.733	925
729	21	2004/9/8	122.468	24.897	1489
	25	2004/9/8	122.544	25.029	1428
	26	2004/9/8	122.590	24.981	1454
	28	2004/9/9	122.608	24.875	1522
	A	2004/9/8	122.649	24.990	1412
757	1	2005/6/28	122.472	24.946	1484
	2	2005/6/28	122.548	24.945	1503
	4	2005/6/28	122.554	24.883	1524

表 2-1 採樣站位表 (續)

Cruise	Station	Date	Location		Bottom depth (m)
			Longitude (°E)	Latitude (°N)	
801	1	2006/7/6	122.480	25.130	994
	2	2006/7/7	122.550	25.075	1374
	3	2006/7/7	122.500	25.070	1246
	4	2006/7/7	122.450	25.000	1425
	6	2006/7/7	122.400	24.880	1352

River	Station	Location	
		Longitude (°E)	Latitude (°N)
蘭陽溪	四季一橋 (鄭)	121.426	24.485
	多望溪 (洪)	121.497	24.575
	梵梵 (鄭)	121.528	24.610
	牛鬥 (鄭)	121.560	24.641
	葫蘆堵橋 (洪)	121.734	24.805
	蘭陽溪口	121.829	24.712
	利澤國中	121.829	24.665
	港澳橋	121.841	24.878
木瓜溪	木瓜溪 (洪)	121.528	23.933
新武呂溪	初來橋 (洪)	121.172	23.124
卑南大溪	山里 (洪)	121.147	22.882
	台東大橋 (洪)	121.145	22.792

註：(鄭)：台灣大學海洋所鄭偉力老師提供之樣本

(洪)：中央研究院地球所洪崇勝老師提供之樣本

2.3. 分析方法

本研究分析流程使用美國國家地質調查所 (USGS) 所制定黏土礦物分析方法 (Poppe et al., 2001)，如圖 2-2 所示並詳述如下：

2.3.1. 樣本前處理

樣品在上機前需先經過前處理步驟，除去有機質及碳酸鹽後，加入分散劑，避免沈積物因凝絮作用而產生團塊影響測量準確性。詳細處理步驟如下所示：

(1). 洗去海鹽

加入蒸餾水充分震盪均勻後放入離心機以每分鐘 4500 轉持續五分鐘離心，至上部溶液完全澄清（若非澄清狀態，則需再次離心），除去上部澄清液。

(2). 去除有機物

加入約 5-10 毫升 15% 雙氧水 (hydrogen peroxide) 震盪均勻後，置放至不再冒氣泡（約須一至三天，若反應太慢可使用磁石攪拌器）。以每分鐘 3500 轉持續 35 分鐘離心後，除去上部澄清液，再次加入些許雙氧水觀察是否仍有反應，若有則反覆本步驟，直至反應完全後加入蒸餾水震盪，以每分鐘 4500 轉持續五分鐘離心，重複三次以洗去雙氧水殘留。

(3). 去除碳酸鹽

加入 20% 冰醋酸 (acetic acid) 震盪均勻後置放入抽風櫃，靜置至不再產生氣泡（此反應較慢，可能須一至三天），直至反應完全後加入蒸餾水震盪，以每分鐘 4500 轉持續五分鐘離心，重複三次以洗去冰醋酸殘留。

(4). 加入分散劑

加入 35 毫升 1% 六偏磷酸鈉 (Hexametaphosphate, $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$) 震盪均勻後放置一天使顆粒均勻分散。

(5). 黏土礦物抽取

根據 Stokes 沉降法則，在介質中成均勻分布的分散顆粒由於重力作用會產生

沈降，當重力與阻力達到平衡時，分散顆粒做等速沈降，顆粒的沈降速率與顆粒半徑的平方成正比，與介質的黏滯係數成反比。將泡過六偏磷酸鈉之樣本倒入玻璃瓶內再加1%六偏磷酸鈉至水位10cm處。攪拌均勻後於靜置2小時後，抽取表層0~2cm之懸浮液後，再加入蒸餾水至10cm處，繼續靜置2小時，再抽取表層0~2cm之懸浮液，重覆此步驟，直至表層0~2cm完全澄清為止。將抽出之懸浮液使用離心機以每分鐘4500轉持續十分鐘離心後集合至一隻離心管。圖2-3為抽取之懸浮液在雷射粒徑分析儀Beckman Coulter LS13 320的分析結果，圖中可見抽取的溶液顆粒皆小於4 μm 。

(6). 製備自然定向片

將離心管內的黏土礦物加入些許蒸餾水後充分攪拌均勻，以滴管吸取 8-10 滴後均勻滴在二片載玻片上，任其自然風乾（圖 2-4）。

(7). 特殊處理定向片

待二自然定向片均風乾，作 X 光繞射分析 (X-ray Diffraction, XRD)，得到第一次的繞射圖譜。為了區分膨潤石、高嶺石與綠泥石，取其中一片自然定向片放入裝有乙烯乙二醇的真空皿中（圖 2-5）加熱 50 $^{\circ}\text{C}$ 持續一整晚，做膨潤石飽和處理；另外一片放入高溫爐中以 550 $^{\circ}\text{C}$ 加熱二小時，以破壞高嶺石之結晶構造（圖 2-6）後，再次作 XRD 分析得到加熱處理與乙烯乙二醇的繞射圖譜。

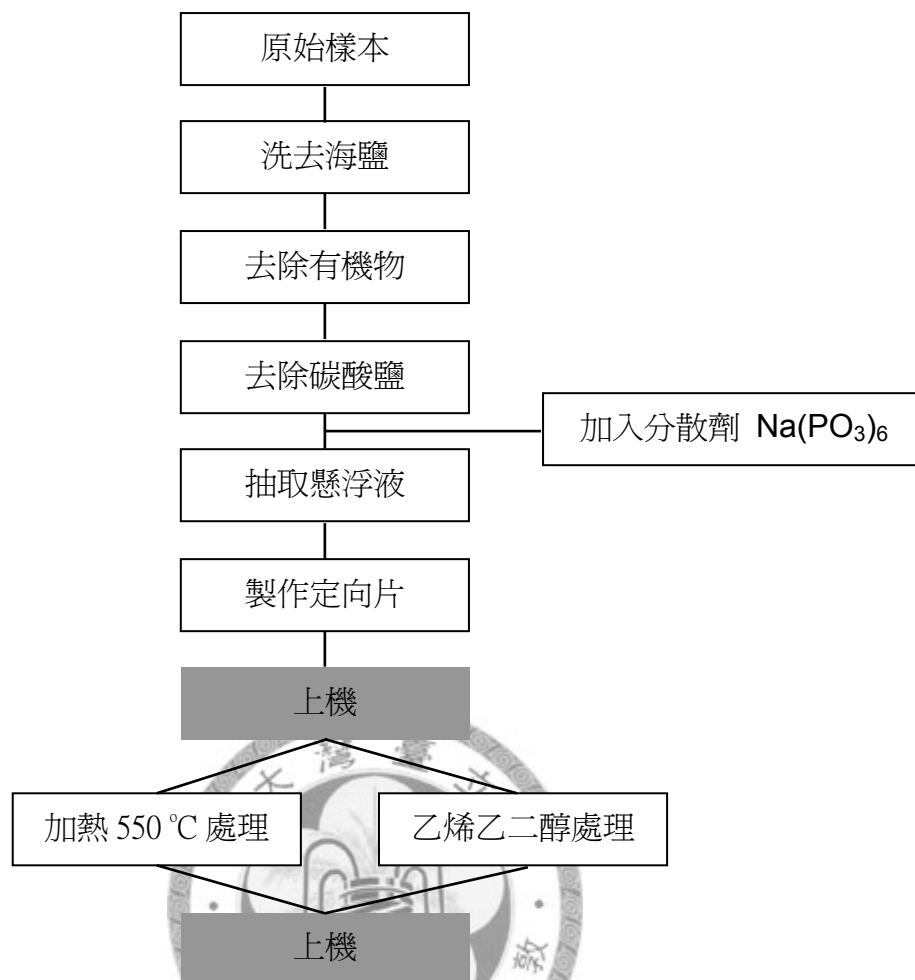


圖 2-2 實驗分析流程

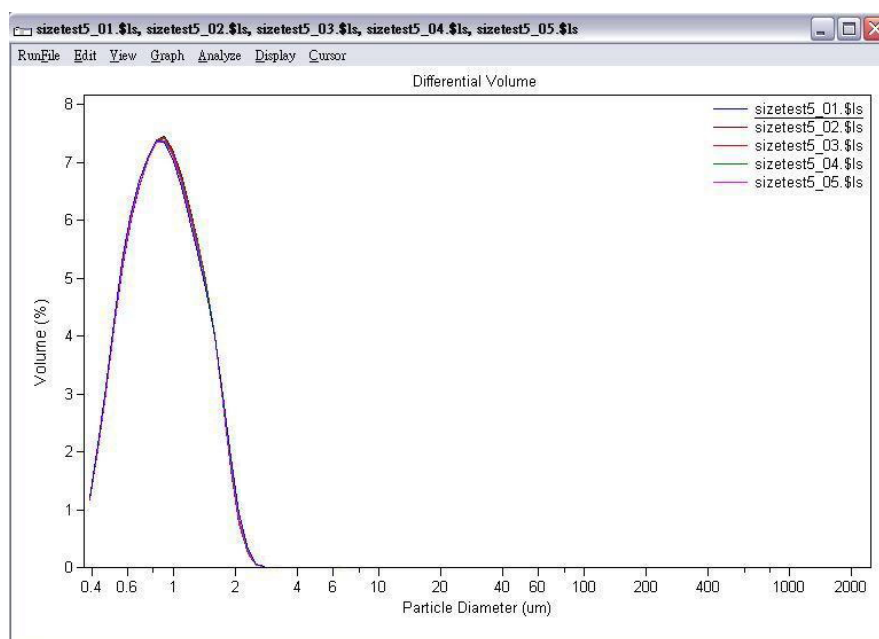


圖 2-3 顆粒粒徑分布



圖 2-4 定向片自然風乾



圖 2-5 乙烯乙二醇飽和處理

Sample identification: TX01-2-1

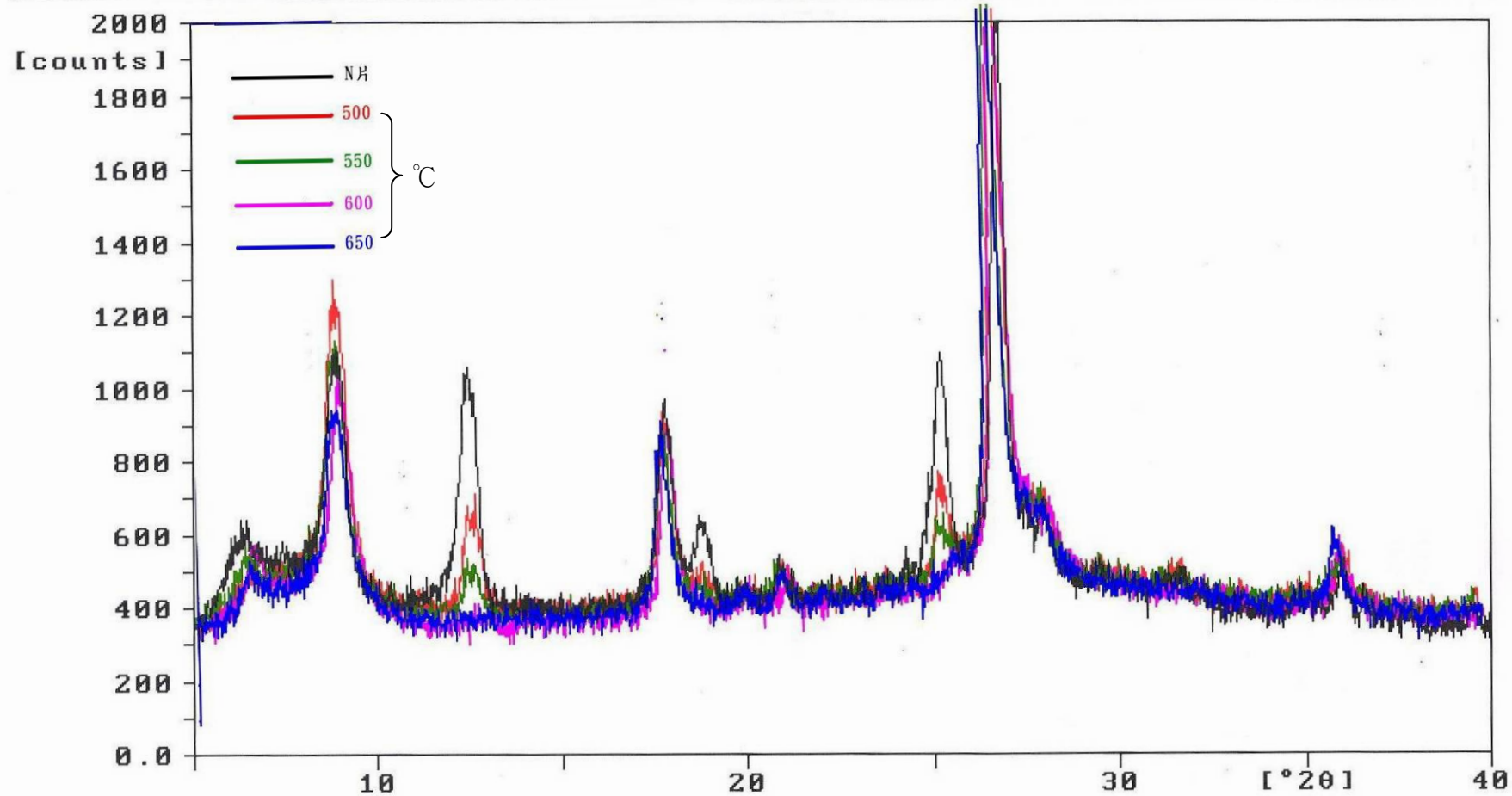


圖 2-6 自然定向片及加熱處理圖譜之比較，不同顏色代表加熱於不同溫度之定向片之分析圖譜。

2.3.2. X 光繞射分析

1912 年德國人 Von Laue 首次做出晶體 X 光繞射實驗。1913 年英國人 Bragg 簡化 Laue 所提出學說之數學過程，建立了 Bragg 方程式 (Bragg's Law)，X 光束波長 λ 及繞射角 θ 與晶體每層晶格間距 d 的關係 (圖 2-7) 為：

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

n 為繞射之階級或次數

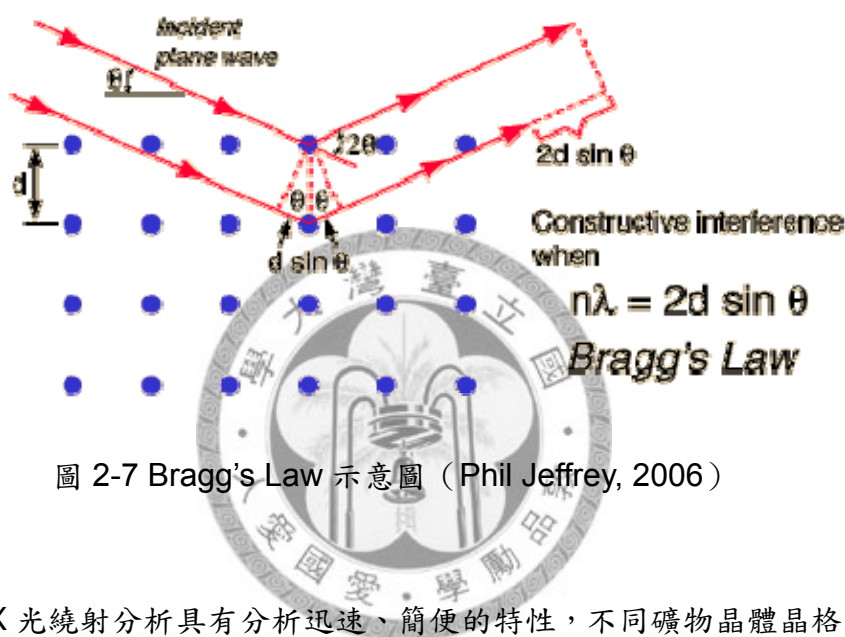


圖 2-7 Bragg's Law 示意圖 (Phil Jeffrey, 2006)

由於 X 光繞射分析具有分析迅速、簡便的特性，不同礦物晶體晶格大小不同，每一種晶體都有其特定的 X 光繞射結果，使 X 光繞射分析成為鑑定礦物最廣泛使用的方法之一。

黏土礦物為層狀矽酸鹽類礦物，不同黏土礦物的晶格面間距 d 大小不同，利用 X 光繞射結果代入 Bragg's Law 可得到晶格間距 d 值，根據此 d 值即可鑑定黏土礦物種類。

本研究開始時所使用的 X 光繞射儀為台大海洋所的 Philips PW1830 繞射儀，X 射線管為銅靶，實驗電壓 40kV、電流 30mA，掃瞄速度為每分鐘 2 度，從 4 到 30 度掃瞄定向片。後由於此繞射儀高壓變壓器損壞，因維修不易且耗時，改使用中央研究院地球所俞震甫教授提供的 Rigaku MiniFlex AD0316 X 光繞射儀 (圖 2-8) 進行實驗，X 射線管為銅靶，實驗電壓 30kV、電流 15mA，

其餘掃描條件皆相同。

繞射結果以 Jade XRD Pattern processing, Identification & Quantification 軟體作數據處理，得到繞射圖譜中各個繞射峰的晶格 d 、面積、半高寬等資料。



圖 2-8 Rigaku MiniFlex AD0316 X 光繞射儀

2.3.3. 黏土礦物之定性與半定量分析

海洋沈積物中黏土礦物組成主要以伊利石 (illite)、綠泥石 (chlorite)、高嶺石 (kaolinite) 及膨潤石 (smectite) 為主：

伊利石是海洋沈積物中最豐富分布也最廣的黏土礦物 (Griffin, 1968)，為一種似雲母結構，由兩層矽氧四面體單位夾著一層鋁氧八面體單位 (圖 2-9)，四面體中的矽有部分被鋁所取代，單位層間由鍵結力強之鉀離子所鍵結，不具膨脹性。伊利石通常於溫帶至寒帶半乾燥環境下形成，經風力或河流搬運至海洋，或是其他礦物經成岩作用轉變而來。台灣陸上的伊利石主要產於南部泥質區、雪山山脈和中央山脈的硬頁岩及板岩中。X 光繞射峰為 $10 \text{ \AA}$ 、 $5 \text{ \AA}$ 、 $3.33 \text{ \AA}$ 、 $2.5 \text{ \AA}$ 。

綠泥石是鐵鎂礦物風化的產物，由一層滑石層及一層水鎂石層所組成 (圖 2-10)。容易進一步風化成不同的礦物，在熱帶酸性、溫暖潮濕的條件下會轉變成高嶺石。海洋沈積物中的綠泥石明顯地集中在南北高緯度地區，主要源自於寒冷、乾燥和經強烈機械風化作用所供應之陸源物質。台灣陸上的綠泥石多產於中央山脈綠色片岩、角閃岩、片麻岩及變質泥岩內。X 光繞射峰為 $14 \text{ \AA}$ 、 $7 \text{ \AA}$ 、 $3.53 \text{ \AA}$ 。

高嶺石為一層矽氧四面體及一層鋁氧八面體組合而成 (圖 2-11)，矽氧四面體與一層鋁氧八面體之間以氫鍵鍵結。高嶺石由鋁質矽酸鹽類礦物受化學風化或熱液交換所形成，是熱帶及亞熱帶土壤風化最常見的黏土礦物，通常高嶺石的存在也指示著一個潮濕且溫暖的環境。氫鍵使得高嶺石不具膨脹性，但是氫鍵無法耐高溫，因此加熱超過 550°C 高嶺石就會被破壞。其 X 光繞射峰為 $7.2 \text{ \AA}$ 、 $3.57 \text{ \AA}$ ，與綠泥石的繞射峰相近，故加熱處理是區分高嶺石和綠泥石常用的方法。

膨潤石是蒙脫石族 (montmorillonite) 的群體名稱，粒徑極小，由火山灰或火山玻璃蝕變而來的風化產物，通常此礦物的含量升高可能指示著火山灰大量噴

發的事件發生。膨潤石為兩片矽氧四面體夾一個鋁氧八面體（圖 2-12），與伊利石的結晶構造相似，但其單位層間為水分子及可交換陽離子，晶面間距受含水量影響。經乙烯乙二醇飽和之後晶面間距由 14 Å 膨脹至 17 Å，為鑑定膨潤石常用的方法。

數量相等的各種黏土礦物混合物的繞射峰強度有一定的比例關係，此一比例關係稱為加權係數（Biscaye, 1965）。圖上（圖 2-13），繞射峰強度可由背景線到峰頂尖的高度代表，稱為峰高強度（peak-height intensity）；也可由背景線與峰形線所包圍的面積代表，稱為累積強度（integrated intensity），而後者比前者較為準確。同一繞射峰之寬窄與樣本之結晶度有關，繞射峰一半高度的地方之峰寬稱半高寬（FWHM），常以之表示結晶度（crystallinity）的好壞。

將各樣本中代表各黏土礦物所得之繞射峰強度依據加權係數換算可以得到黏土礦物相對含量，是一種廣泛採用的黏土礦物半定量分析方法。本研究之黏土礦物半定量分析採用 Biscaye（1965）所提出的經驗公式，採用經乙烯乙二醇飽和處理後的 17 Å、10 Å、7 Å 的繞射峰面積（累積強度）代表：

$$\frac{I_{17}}{4} + \frac{I_{10}}{1} + \frac{I_7}{2} = 100$$

其中 I_{17} 代表膨潤石強度， I_{10} 代表伊利石強度， I_7 代表高嶺石加上綠泥石的強度。高嶺石和綠泥石的含量比則依據 3.57 Å（高嶺石）與 3.53 Å（綠泥石）的繞射峰強度比例換算。

此外，由伊利石 5 Å 與 10 Å 此二個繞射峰強度的比值（ratio）可以得到 Esquevin-Index（EI, Esquevin, 1969；Gingele et al. 2001），此值介於 0-1 之間，小於 0.5 顯示樣本中的伊利石是屬於鐵、鎂含量較高的伊利石，代表此礦物源岩可能為富含黑雲母類（botitic）岩石；大於 0.5 則顯示為鋁含量較高的伊利石，代表源岩可能為富含白雲母類（mscovite）岩石。

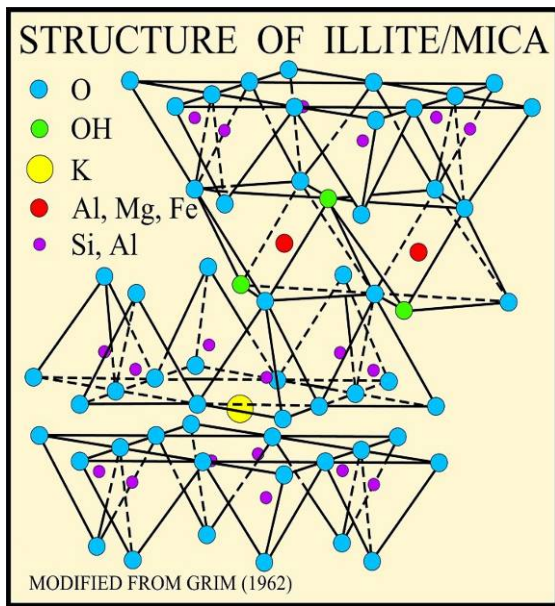


圖 2-9 Illite 晶格圖

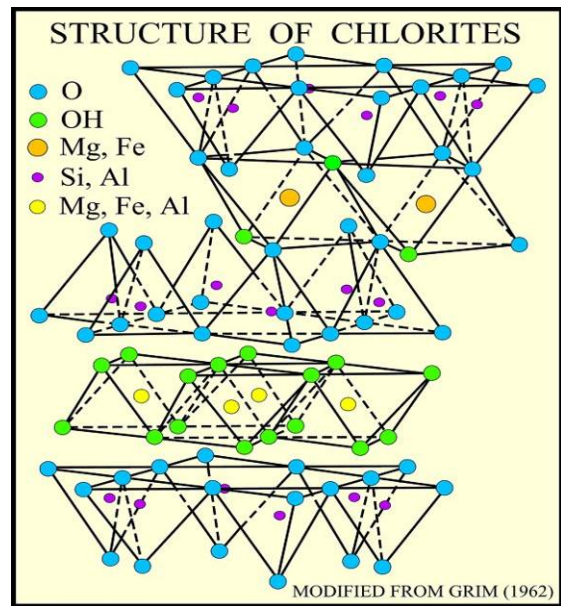


圖 2-10 Chlorite 晶格圖

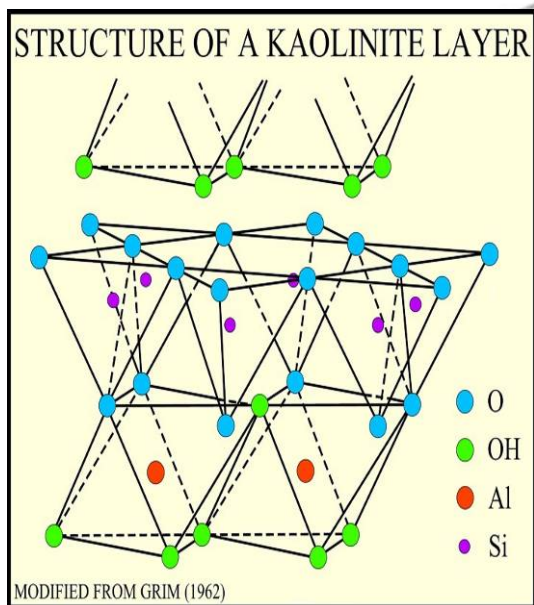


圖 2-11 Kaolinite 晶格圖

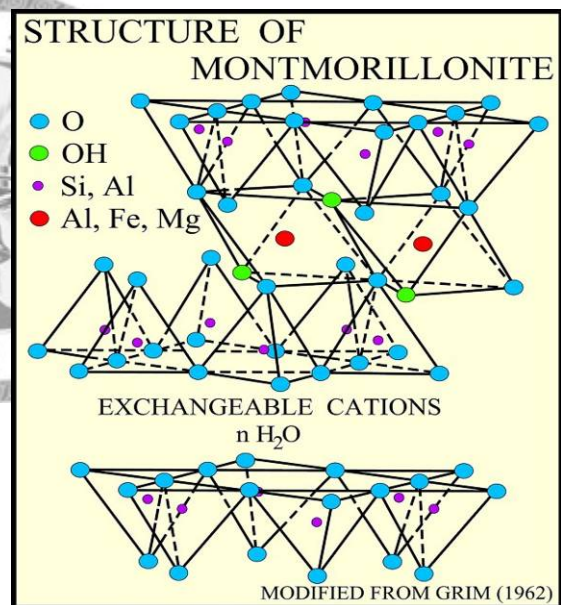


圖 2-12 Smectite (montmorillonite)
晶格圖

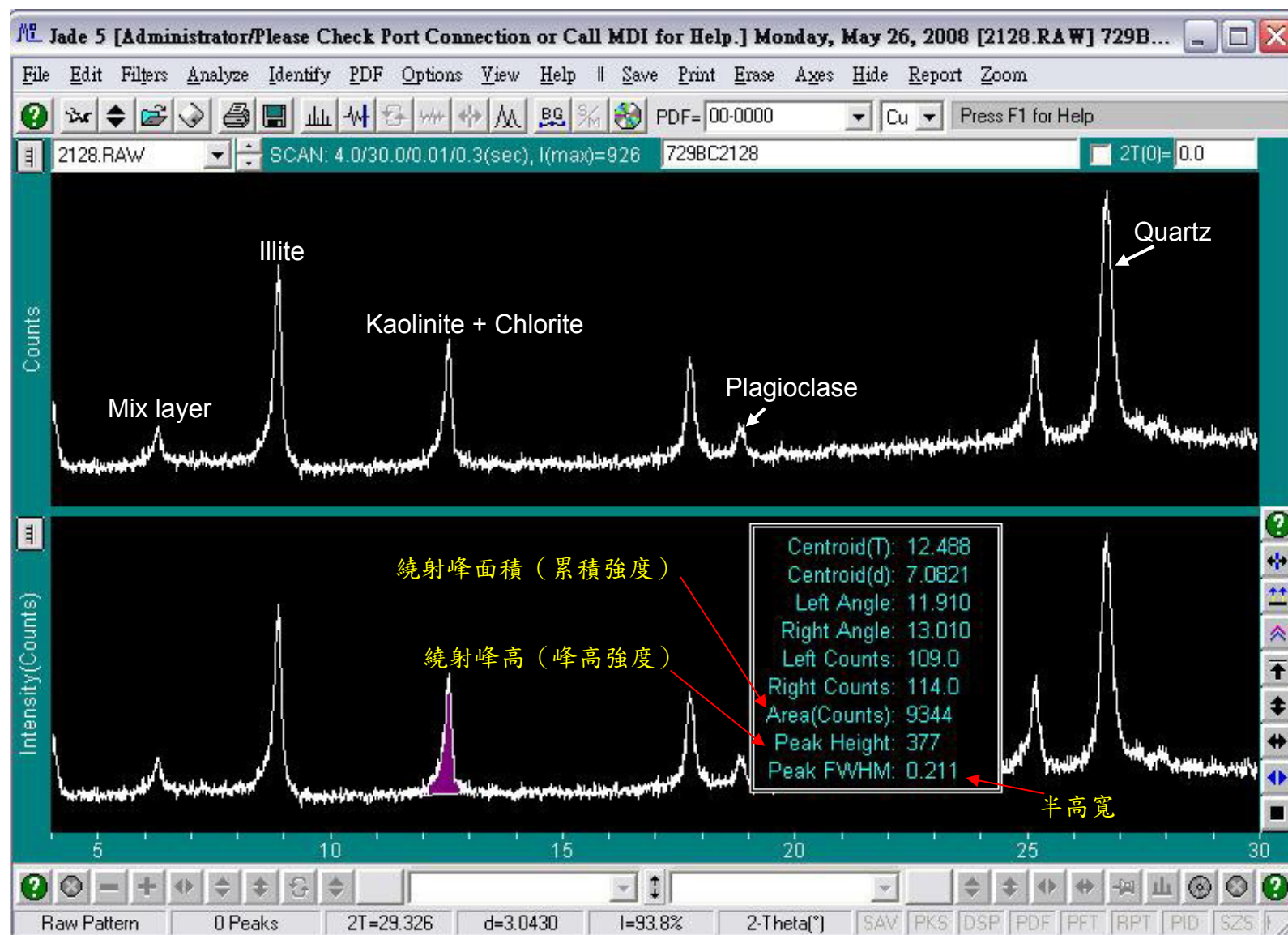


圖 2-13 繞射峰圖

第三章 結果與討論

X 光繞射結果顯示南沖繩海槽表層沈積物黏土礦物之中以伊利石、綠泥石、高嶺石及膨潤石為主要組成礦物。以下將利用研究區內各黏土礦物相對含量、結晶度及 EI 值之變化討論其時空分布與來源。

3.1. 黏土礦物相對含量之分布

3.1.1. 黏土礦物在空間面上的變化

Chen (1973) 針對台灣周圍海域所採集的海底沈積物研究其黏土礦物的組成與分布，並將研究海域分成南、北兩個區域。其中，東海至台灣海峽之間的陸棚帶各黏土礦物組成分布較為均勻，伊利石含量在 60-65%，綠泥石 20-26%，高嶺石 4-8%，膨潤石<10%；南海與東部海域則有膨潤石含量向外海增加的趨勢。北區黏土礦物來源主要出自於大陸及台灣河川所帶來之沈積物；而南區膨潤石含量的增加則與該區火山灰或基性岩之風化有關。Lin and Chen (1983) 分析沖繩海槽沈積物顆粒大小和礦物組成，將沖繩海槽分為三個黏土礦物區，由東北至西南依序為高綠泥石區，高膨潤石與高嶺石區以及富伊利石區。認為海槽沈積物來源包含中國大陸、台灣以及琉球群島（圖 3-1）。林（1992）的研究中黏土礦物半定量分析顯示：研究區域之伊利石含量往海槽方向逐漸增加，表明向陸側的沈積物被現生沈積物覆蓋而減少伊利石含量。綠泥石含量表明了黑潮的搬運機制和台灣東部板岩的風化作用。高嶺石的含量往海槽的方向遞減，表明北側主要源自中國大陸，而南側的高值可能源自於台灣和黑潮的搬運沈積。

本研究利用凌（2007）之沈積物顆粒粒徑與年代資料，取出 2002 年 3 月 31 日地震所引發濁流沈積物位置之下 1-2 公分沈積物來代表非地震時期（正常沈積時期）南沖繩海槽之沈積物。

分析結果如表3-1所示，繞射圖譜則參見附錄一。結果顯示，南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物以伊利石含量最高（74.4-83.2%），其次為綠泥石（12.6-19.6%）、高嶺石（2.0-5.7%），而膨潤石含量最低（1.2-4.7%）。

圖 3-2、3-3、3-4 分別為伊利石、綠泥石、高嶺石的含量百分比等值圖，圖中伊利石含量由西向東逐漸減少，於南沖繩海槽中心及棉花峽谷下緣有低值區存在；而綠泥石與高嶺石含量分布相似，為靠近台灣側最低，於海槽的南坡、北坡及中心含量較高。此一分布趨勢於 Kaolinite/Illite (K/I) 比值分布圖中更為明顯（圖 3-5）。膨潤石的含量高低一般來說與火山地區有關，越靠近火山區域含量越高，在海槽中心有許多海底火山，而由膨潤石含量百分比等值圖（圖 3-6）中可見到此一趨勢。

另外，計算 Esquevin-Index (EI) 值及 FWHM（半高寬）可以表示礦物受到風化及搬運的差異性，EI 值為伊利石 5 Å 與 10 Å 繞射峰強度的比值，低值表示含鐵、鎂伊利石較多；FWHM 在此指伊利石 10 Å 繞射峰的半高寬，低值表示此礦物結晶度較佳。圖 3-7 顯示 EI 值有一由西向東減少的趨勢。伊利石結晶度在南沖繩海槽中部與北坡較好（圖 3-8）

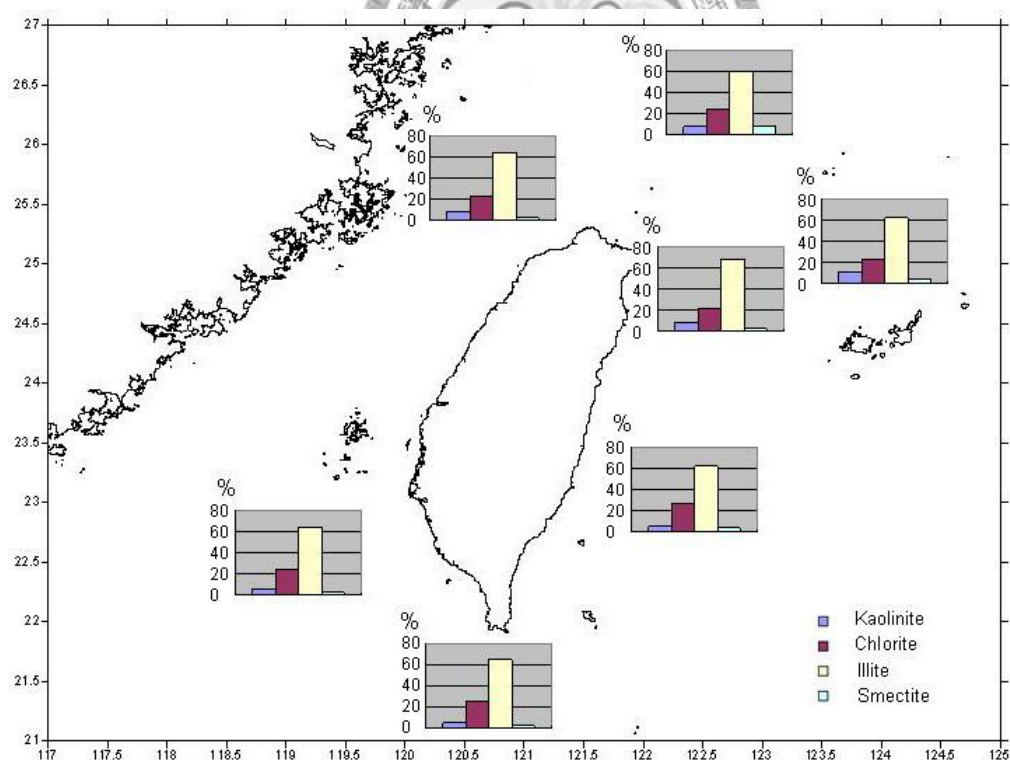


圖 3-1 前人 (Chen,1973 & Lin and Chen,1983) 研究中台灣周圍海域表層黏土礦物分布可見黏土礦物組成以伊利石為主，其次為綠泥石，高嶺石再次之，膨潤石含量最低，與本研究結果相異。

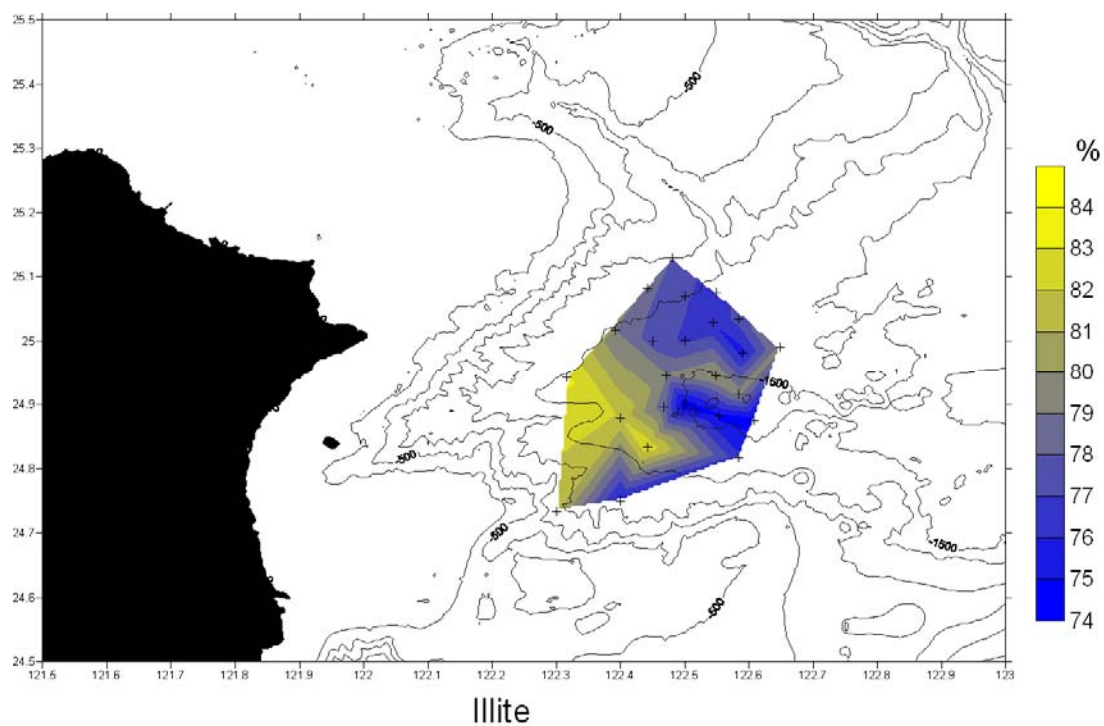


圖 3-2 南沖繩海槽表層沈積物中伊利石含量分布圖

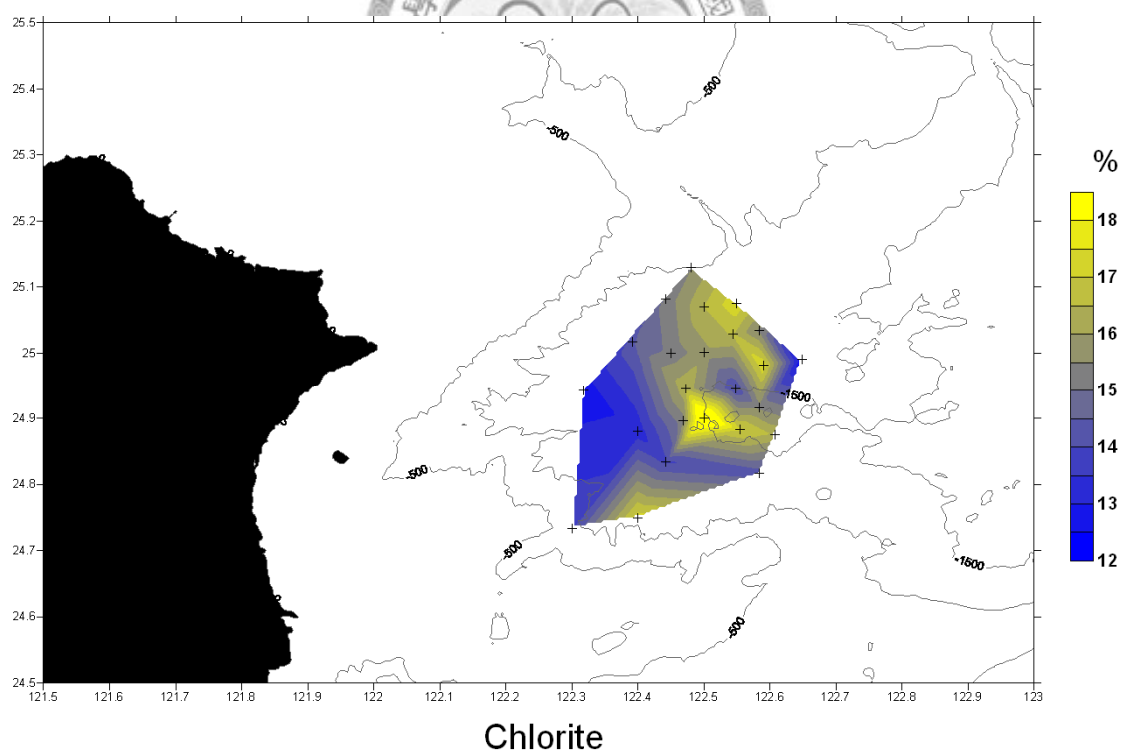


圖 3-3 南沖繩海槽表層沈積物中鐵綠泥石含量分布圖

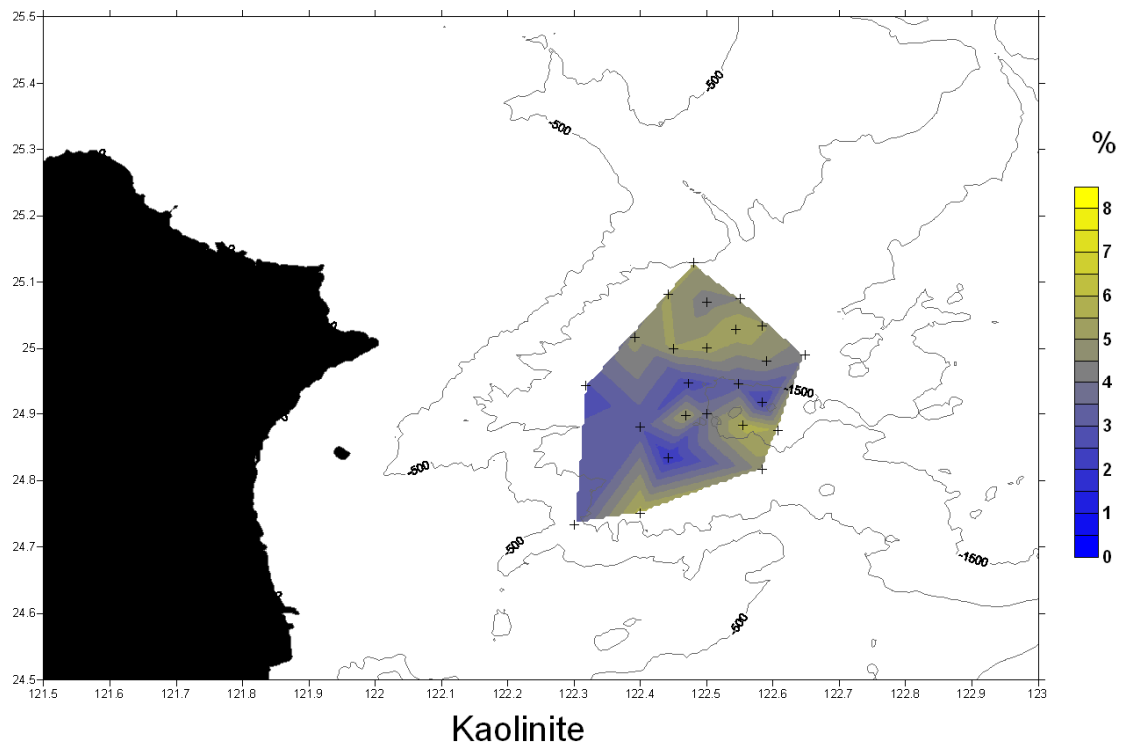


圖 3-4 南沖繩海槽表層沈積物中高嶺石含量分布圖

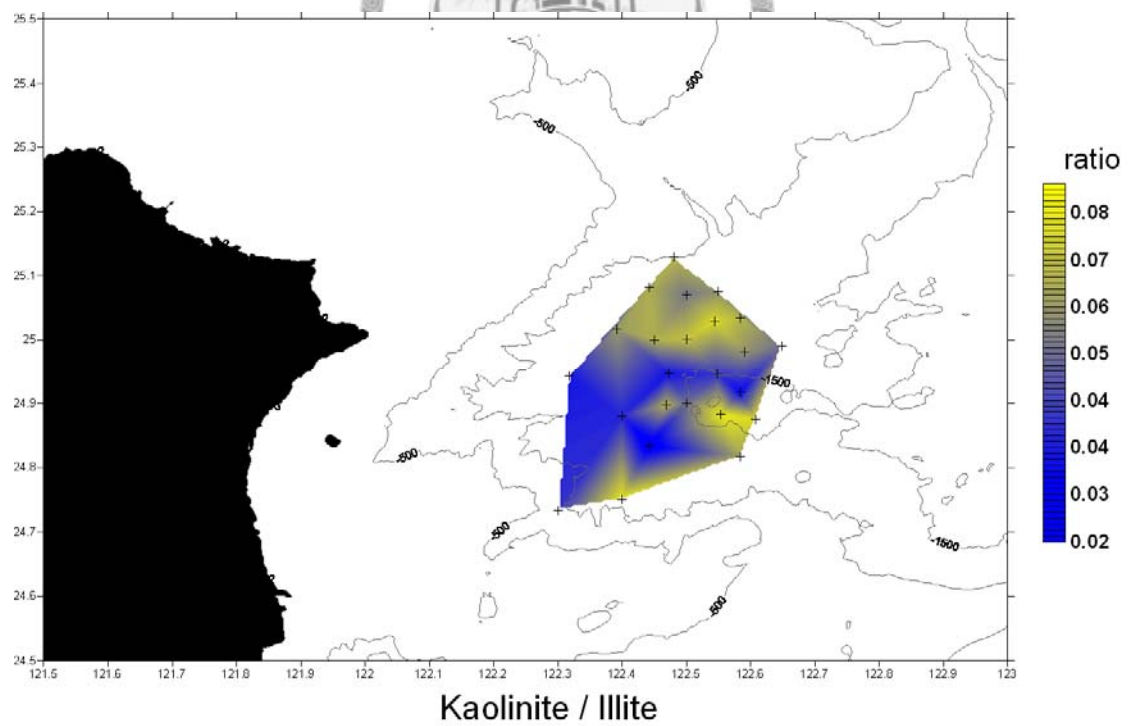


圖 3-5 南沖繩海槽表層沈積物中高嶺石對伊利石比值趨勢圖

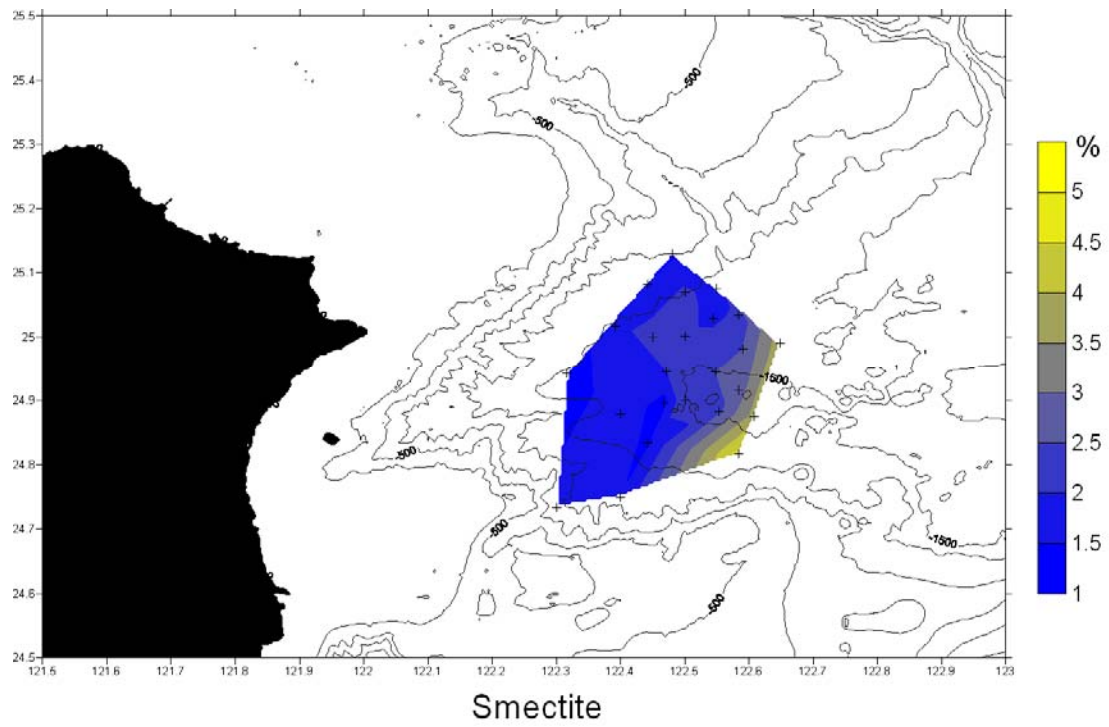


圖 3-6 南沖繩海槽表層沈積物中膨潤石含量分布圖

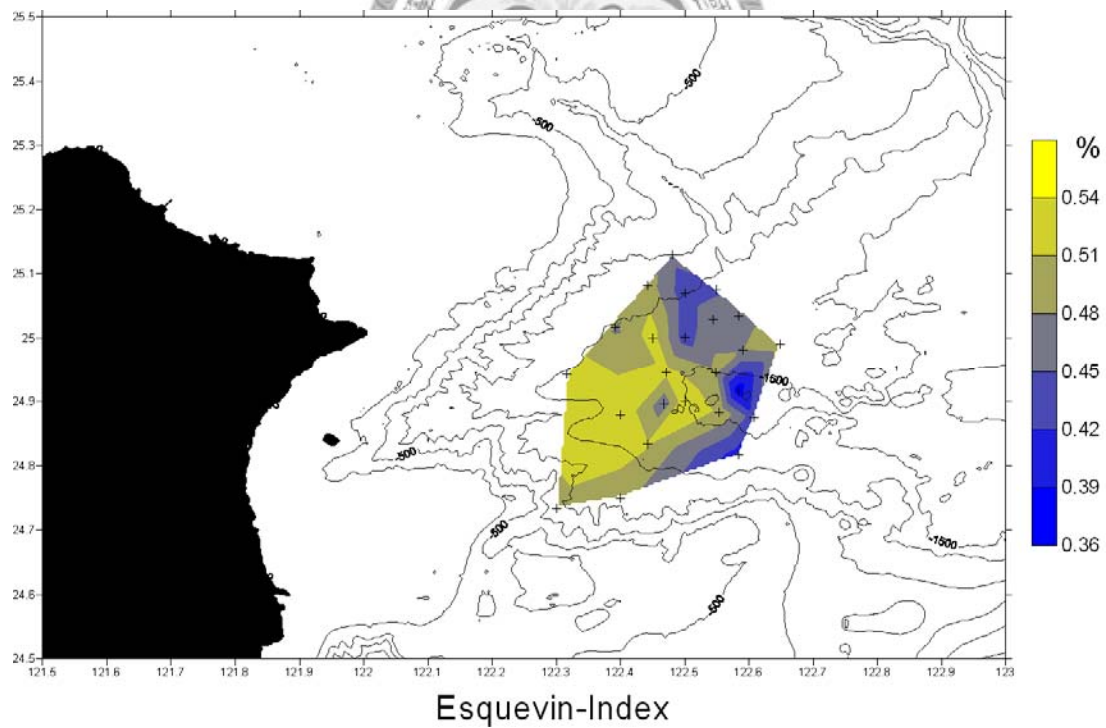


圖 3-7 南沖繩海槽表層沈積物中 Esquevin-Index 趨勢圖

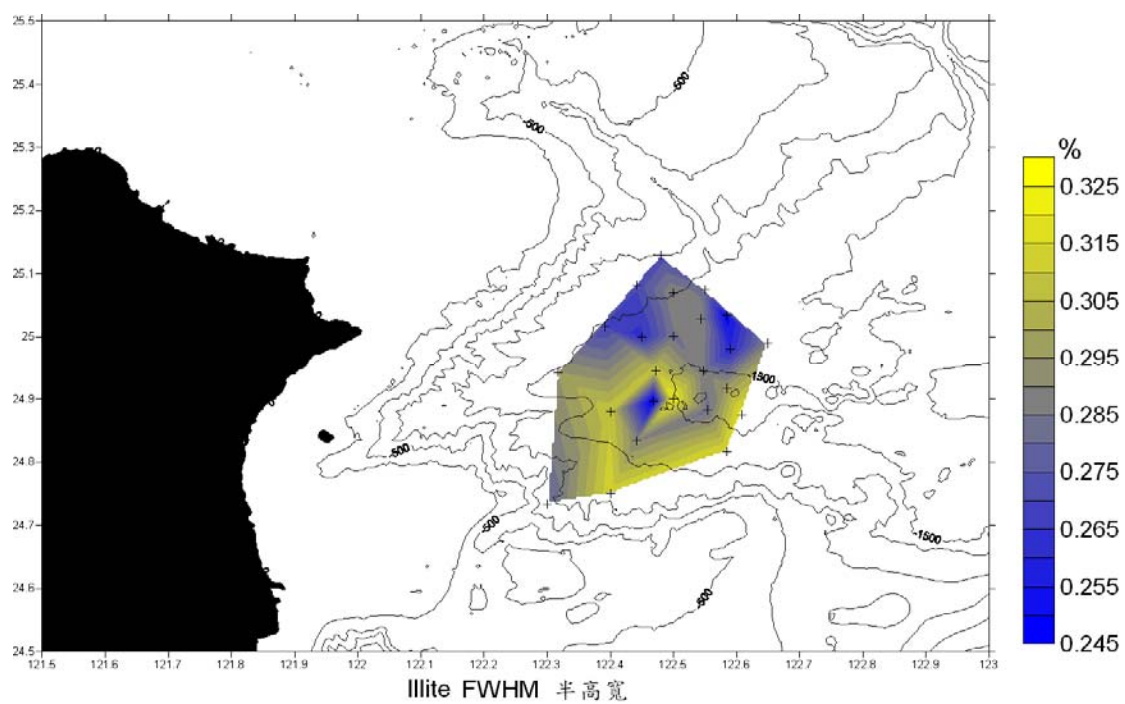


圖 3-8 南沖繩海槽表層沈積物中伊利石結晶度趨勢圖



表 3-1 正常沈積時期各黏土礦物參數量表

航	站	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
次	位	%	%	%	%		
OR715	9	1.2	83.2	2.9	12.7	0.53	0.295
	10	1.8	79.0	4.8	14.4	0.47	0.269
	11	1.5	78.3	5.1	15.2	0.50	0.271
	12	2.1	76.8	5.3	15.8	0.44	0.284
	13	2.1	77.4	5.1	15.4	0.47	0.251
	14	2.7	79.5	2.5	15.4	0.37	0.296
	15	4.7	76.4	4.7	14.2	0.41	0.277
	16	2.4	74.2	3.9	19.6	0.53	0.322
	18	1.4	82.8	2.0	13.9	0.51	0.289
	19	1.5	75.5	5.7	17.2	0.50	0.314
	20	1.7	81.1	3.3	13.9	0.50	0.284
OR729	A	3.8	79.4	4.2	12.6	0.50	0.288
	21	1.3	78.3	5.1	15.3	0.46	0.246
	25	1.9	76.0	5.5	16.6	0.47	0.29
	26	2.5	75.6	4.5	17.4	0.48	0.26
	28	3.7	74.4	5.5	16.4	0.43	0.32
OR757	1	2.0	79.1	2.7	16.4	0.52	0.308
	2	2.5	80.2	3.3	14.0	0.49	0.286
	4	2.4	74.8	5.7	17.1	0.51	0.283
OR801	1	1.4	78.0	5.2	15.5	0.46	0.271
	2	1.8	76.3	4.5	17.4	0.44	0.282
	3	2.1	77.2	4.2	16.5	0.43	0.29
	4	2.3	77.5	5.0	15.1	0.52	0.263
	6	1.8	81.9	3.1	13.2	0.54	0.309

3.1.2. 台灣東部河川樣本分析結果

東部河川沈積物樣本分析結果列於表 3-2，繞射圖譜請參見附錄二。

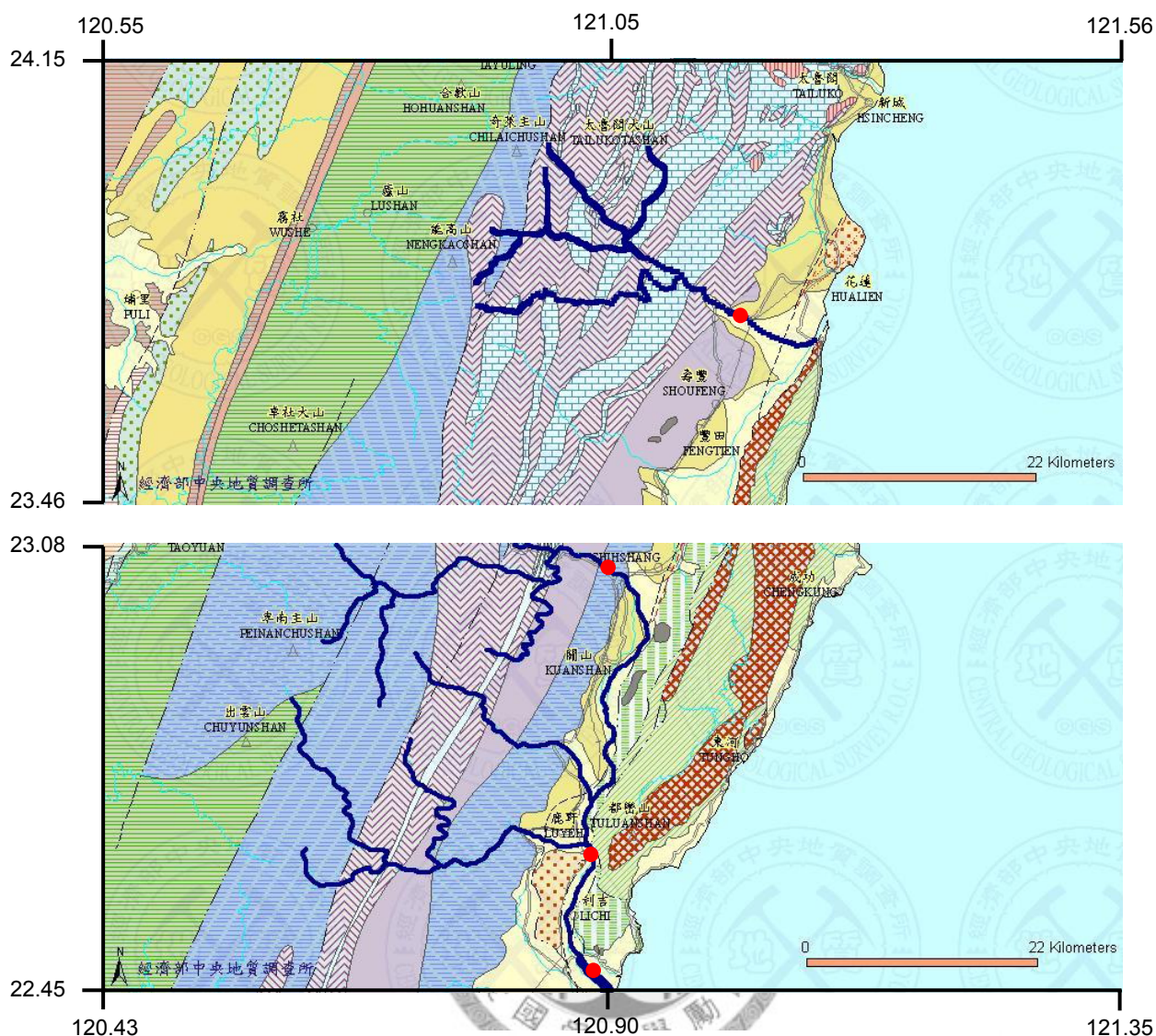
在蘭陽地區河川沈積物中並無膨潤石出現，且經過加熱 550°C 處理後無明顯綠泥石繞射峰存在。由蘭陽溪上游（四季一橋）至下游（蘭陽溪口）及沿海的港澳橋與利澤國中之樣本可見，上游沈積物中伊利石含量相對較高，表示伊利石含量往下游遞減，綠泥石與高嶺石含量遞增。而花東地區河川沈積物（木瓜溪、新武呂溪、卑南大溪）中則明顯看到含有少量膨潤石及高量綠泥石，經加熱 550°C 處理後有明顯綠泥石繞射峰存在。此現象可能與上述三條河川大範圍流經大南澳片岩綠色片岩段（富含綠泥石）有關（圖 3-9）。

表 3-2 台灣東部陸上河川各黏土礦物參數量表

河 川	站 位	smectite	illite	kaolinite	chlorite	El	FWHM _{illite}
		%	%	%	%		
蘭陽溪	四季一橋	0.0	83.6	4.1	12.3	0.39	0.379
	多望溪	0.0	82.8	4.3	12.9	0.42	0.283
	梵梵	0.0	81.6	4.6	13.8	0.41	0.355
	牛鬥橋	0.0	76.7	5.8	17.5	0.45	0.255
	葫蘆堵橋	0.0	72.4	6.9	20.7	0.48	0.274
	蘭陽溪口	0.0	67.4	8.2	24.5	0.54	0.277
港澳橋		0.0	67.9	8.0	24.1	0.55	0.266
利澤國中		0.0	62.4	9.4	28.2	0.51	0.259
新武呂溪	初來橋	0.9	71.7	6.6	20.8 *	0.34	0.186
卑南大溪	山里	1.8	70.8	6.9	20.5 *	0.39	0.242
	台東大橋	1.2	70.5	7.1	21.1 *	0.40	0.312
木瓜溪	木瓜溪	5.8	57.6	8.4	28.2 *	0.40	0.167

*表示定向片經過加熱 550°C 處理後高嶺石與綠泥石重疊繞射峰位置（約 12.5°）

有明顯繞射峰強度存在。



● 採樣點

圖 3-9 木瓜溪（上）與新武呂溪、卑南大溪（下）流域地質圖

資料來源：經濟部中央地質調查所地質資料置整合查詢網，五萬分之一地質圖

3.2. 黏土礦物相對含量隨深度的變化

利用海研一號所採取之箱型岩心OR715-10、14、15、19與OR729-21以及OR801-4，以1公分取樣間距分析沈積物中之黏土礦物組成，分析結果如表3-3~表3-8所示，繞射圖譜請參見附錄三。本研究結果與凌（2007）所發表沈積物之粒徑分析相互對照（圖3-10至3-15），顯示綠泥石和高嶺石含量與濁流（粗顆粒）沈積有很好的相對應關係；而膨潤石的含量變化甚小；EI值與結晶度與各黏土礦物含量百分比無明顯關係。對於各岩心中黏土礦物在深度上的變化，依站位（圖2-1）分述如下（緯度、經度、站位深度、岩心長度）：

OR715-10 ($25.017^{\circ}N$, $122.392^{\circ}E$, 1274m, 46cm) (圖 3-10)

本站位於南沖繩海槽北坡下緣， $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 與 ^{137}Cs 等放射性核種之定年結果（Huh et al., 2006）顯示此岩心底部年代約為 1892 年前後，沈積物中各黏土礦物平均含量顯示，伊利石約佔 77.2%，綠泥石 15.2%，高嶺石 5.1%，膨潤石為 2.5%，分析結果隨深度變化如圖 3-9 所示。在深度 23-24 公分（約為 1947 年前後）處有一明顯轉折，於此深度以下，粗顆粒變多，綠泥石及高嶺石含量增加，伊利石減少，結晶度轉好。膨潤石含量變化不大，可能是此區離海底火山較遠。EI 值變化幅度不大（0.38-0.52），平均為 0.45，表示樣本中含 Fe、Mg 的伊利石相對較多。

OR715-14 ($24.917^{\circ}N$, $122.584^{\circ}E$, 1521m, 42cm) (圖 3-11)

本站位於研究區域水深最深處，於岩心中可清楚見到兩次地震事件（2002 年與 1986 年）所造成之濁流沈積。岩心中伊利石平均含量約佔 74.8%，綠泥石 17.1%，高嶺石 5.7%，膨潤石為 2.5%。由圖 3-10 可見，於濁流沈積中有較高的綠泥石加高嶺石含量（26-29%）。膨潤石於 22-23 公分處有一較高值（7.2%），可能與鄰近區域的火山活動有關。EI 值與結晶度較無顯著變化，含 Fe、Mg 的伊利石也相對較多（EI 值皆小於 0.5，平均為 0.42）。

OR715-15 ($24.817^{\circ}N$, $122.584^{\circ}E$, 1319m, 43cm) (圖 3-12)

本站位於海槽南坡下緣，凌（2007）將之歸類於近洋沈積，岩心中看不到任何明顯的沈積構造，也無明顯的層序界線存在，顯示其為正常沈積的結果。定年資料顯示岩心底部年代約為1933年前後，屬於近七十年之沈積物。其中伊利石平均含量約佔74.0%，綠泥石17.0%，高嶺石5.5%，膨潤石為3.9%。伊利石、綠泥石及高嶺石含量隨深度並無較大變化，膨潤石含量相對於其他樣本較高，可能是由於靠近海槽中心海底火山所導致。EI值變化在0.34-0.53之間，多小於0.5，平均為0.46，表示樣本中含Fe、Mg的伊利石相對較豐富。

OR715-19 ($24.750^{\circ}N$, $122.400^{\circ}E$, 1079m, 42cm) (圖 3-13)

本站位於海槽南坡上，岩心中無明顯的顆粒粒徑變化，但粗顆粒在含量上相對較多，屬於半濁流沈積（凌，2007）。定年資料顯示岩心底部年代約為1946年前後，屬於近六十年之沈積物。各黏土礦物平均含量為伊利石76.3%，綠泥石16.3%，高嶺石5.5%，膨潤石1.9%。綠泥石和高嶺石含量與砂質含量間似乎有些正相關，但不甚明顯；此區離海槽中心海底火山甚遠，膨潤石含量極低；EI值介於0.47-0.54間，變化甚小，平均剛好為0.5，顯示樣本中富Al與富Fe、Mg之伊利石含量比例相差不大。

OR729-21 ($24.897^{\circ}N$, $122.468^{\circ}E$, 1489m, 40m) (圖 3-14)

本站靠近南沖繩海槽中心，岩心中可見到非常厚層（約20cm）之濁流沈積，經由定年資料得知此一厚層濁流為2002年331地震事件所引發，岩心底部年代約在1987年前後，為非常近期之沈積物。其中黏土礦物所含伊利石約佔76.2%，綠泥石16.2%，高嶺石5.4%，膨潤石為2.1%。綠泥石加高嶺石含量在濁流沈積的深度範圍（約岩心6-22公分）有明顯相對高值（23-26%），膨潤石含量較低，變化小，有若干小高值可能與海底火山作用有關。EI值的變化上隨深度有降低的趨勢，變化在0.44-0.55之間，平均為0.47，顯示富Fe、Mg伊利石可能隨深度含量相對增加。

OR801-04 (25.000° N, 122.450° E, 1425m, 49cm) (圖 3-15)

本站位在海槽北坡邊緣下部，在岩心中可見到非常多層濁流沈積，經由定年發現與地震事件比對良好，岩心底部年代約在 1900 年前後，為百年來之沈積物。岩心中伊利石平均含量約佔 74.3%，綠泥石 17.5%，高嶺石為 5.8%，膨潤石 2.4%。樣本中綠泥石和高嶺石含量高值與濁流沈積依然有非常良好之正相關(圖 3-15)，膨潤石含量甚低，一些小高值可能也與火山作用有關，但距離海底火山區較遠，並無顯著變化。EI 值與 OR729-21 樣本相同有隨深度降低的趨勢，變化在 0.43-0.55 之間，平均為 0.47。



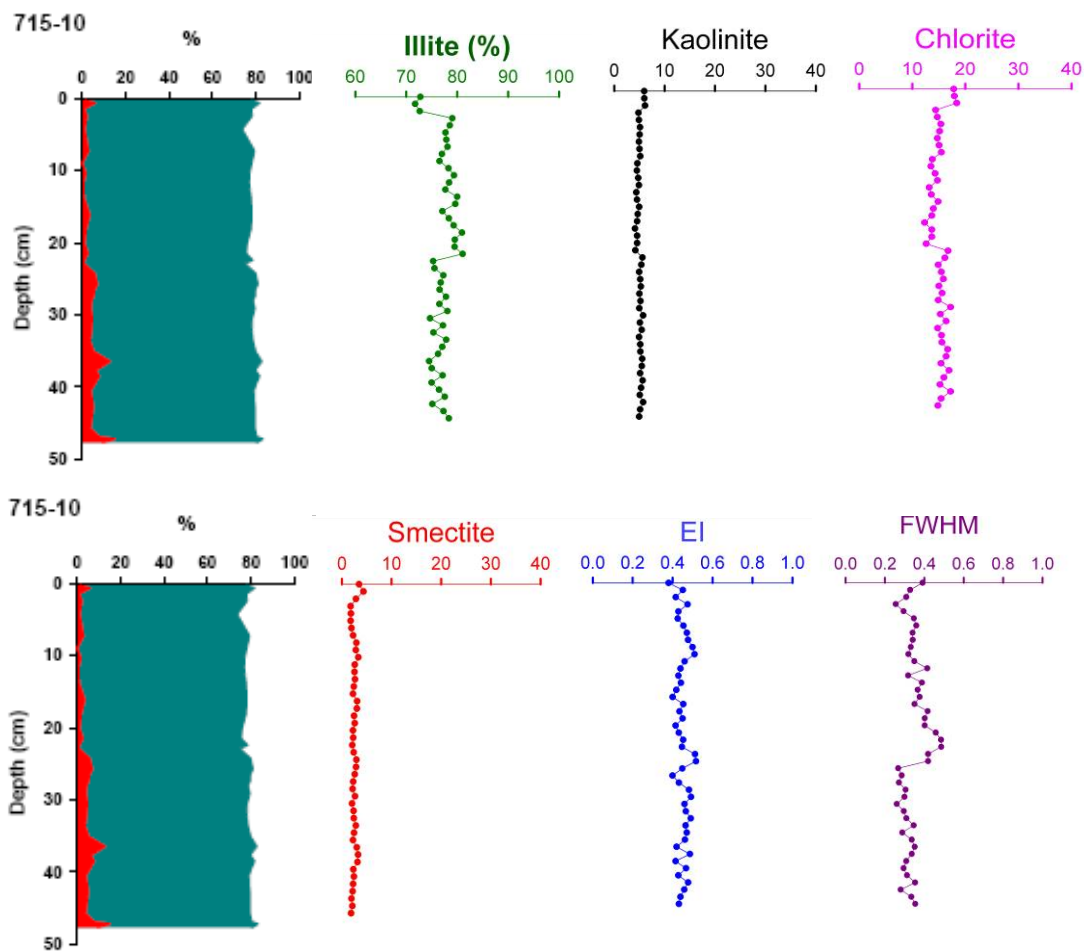


圖 3-10 OR715-10 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

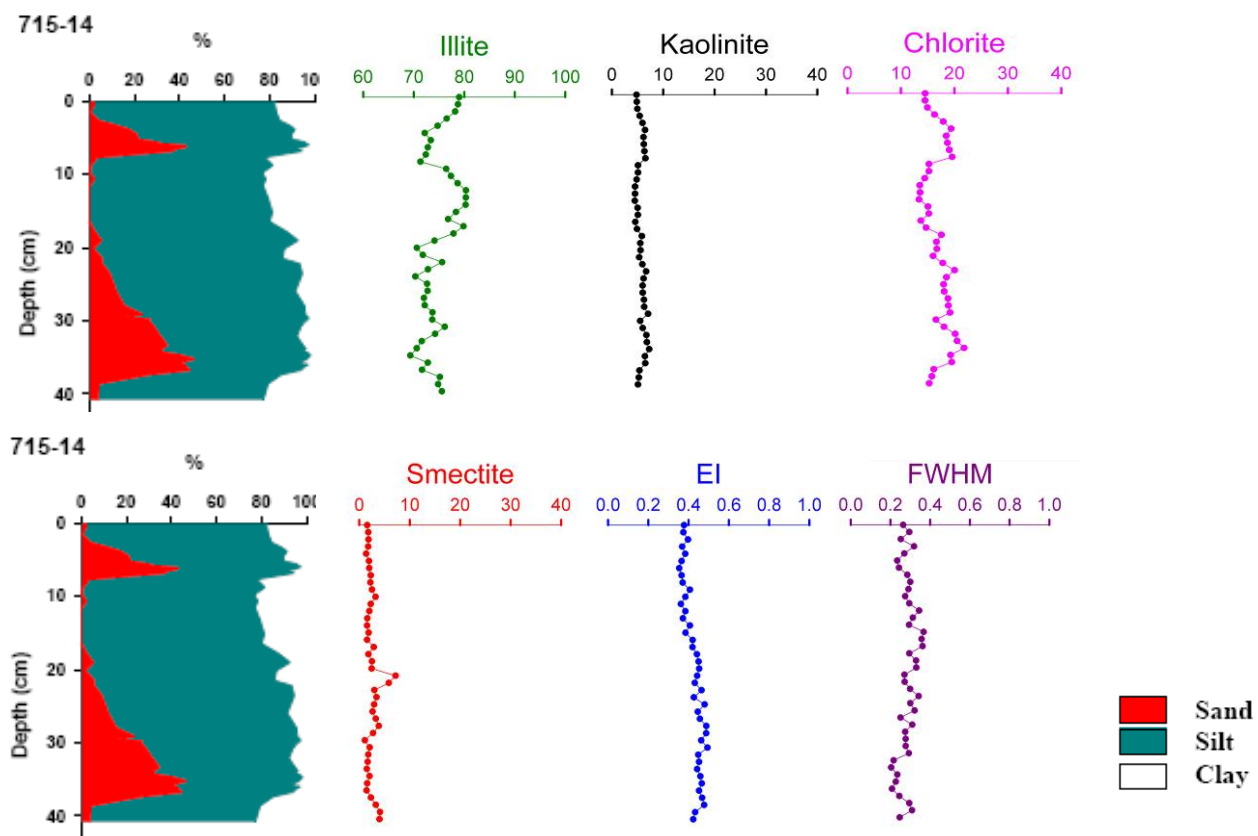


圖 3-11 OR715-14 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

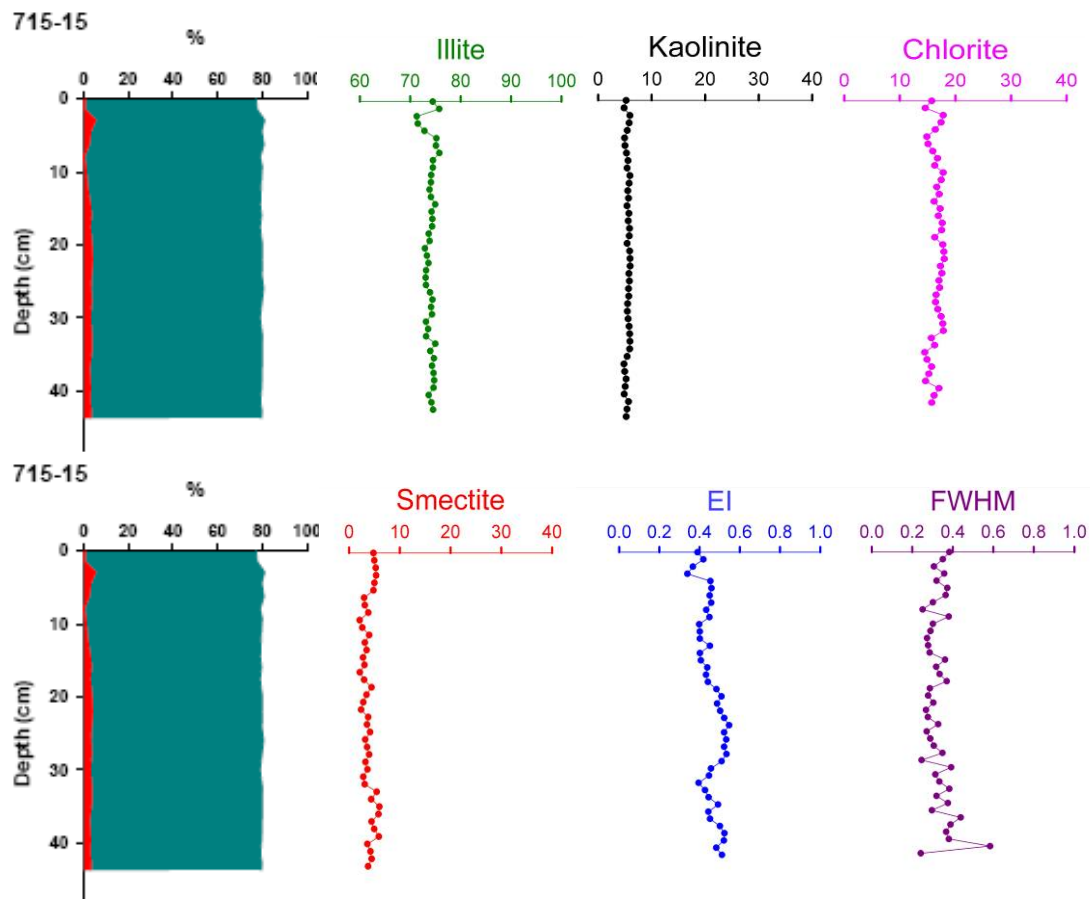


圖 3-12 OR715-15 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

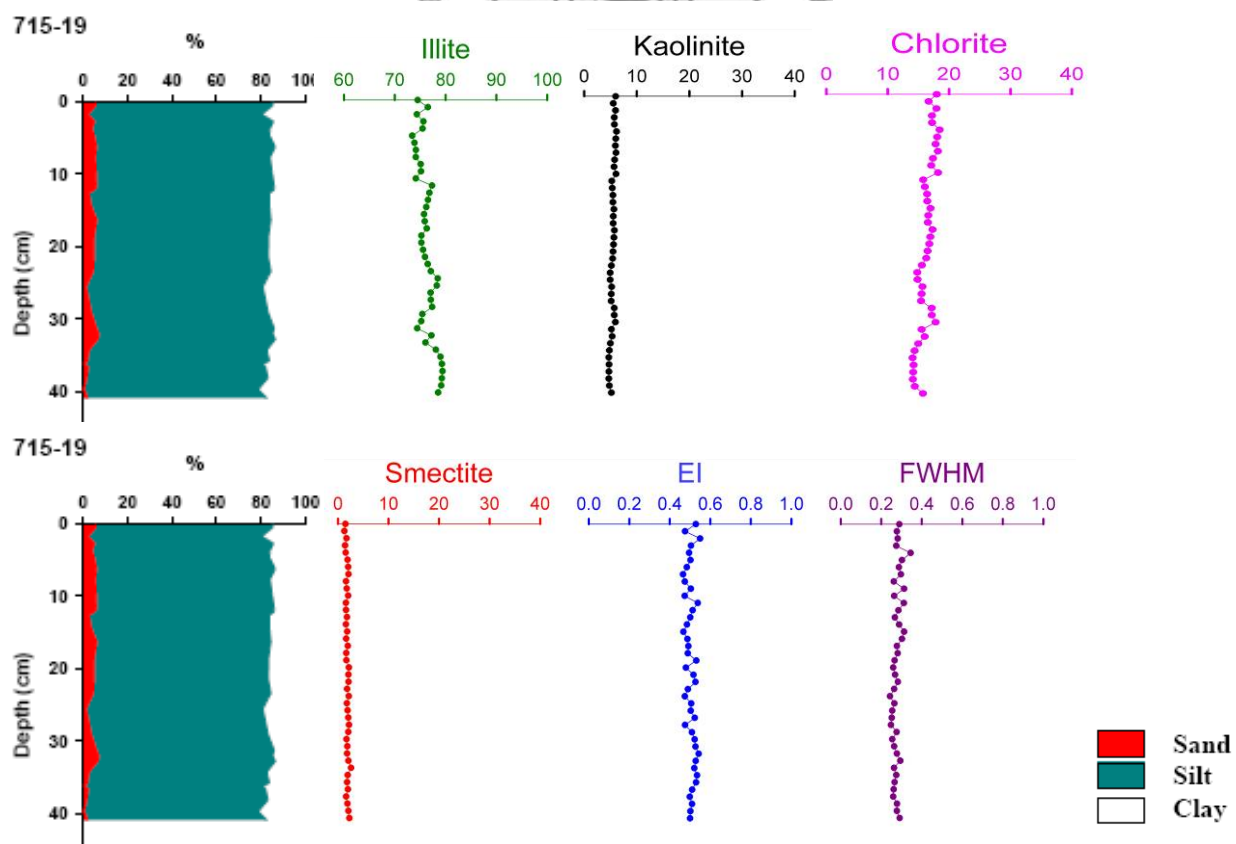


圖 3-13 OR715-19 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

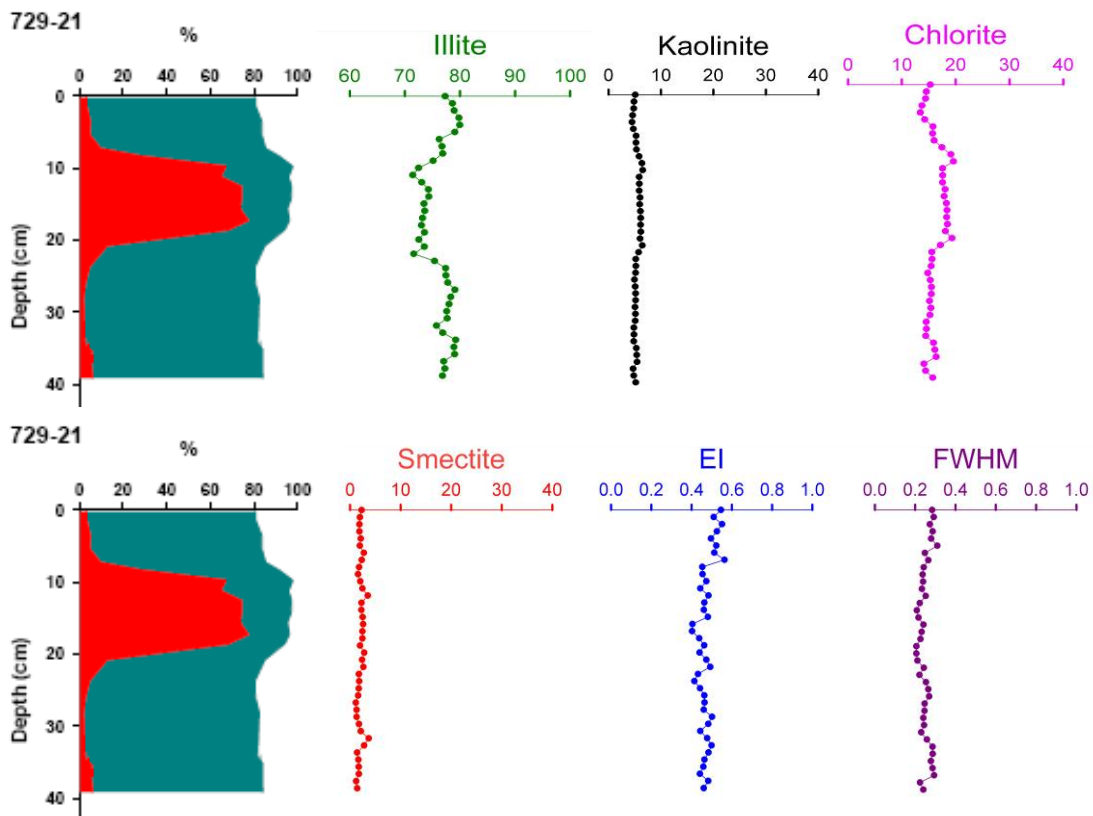


圖 3-14 OR729-21 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

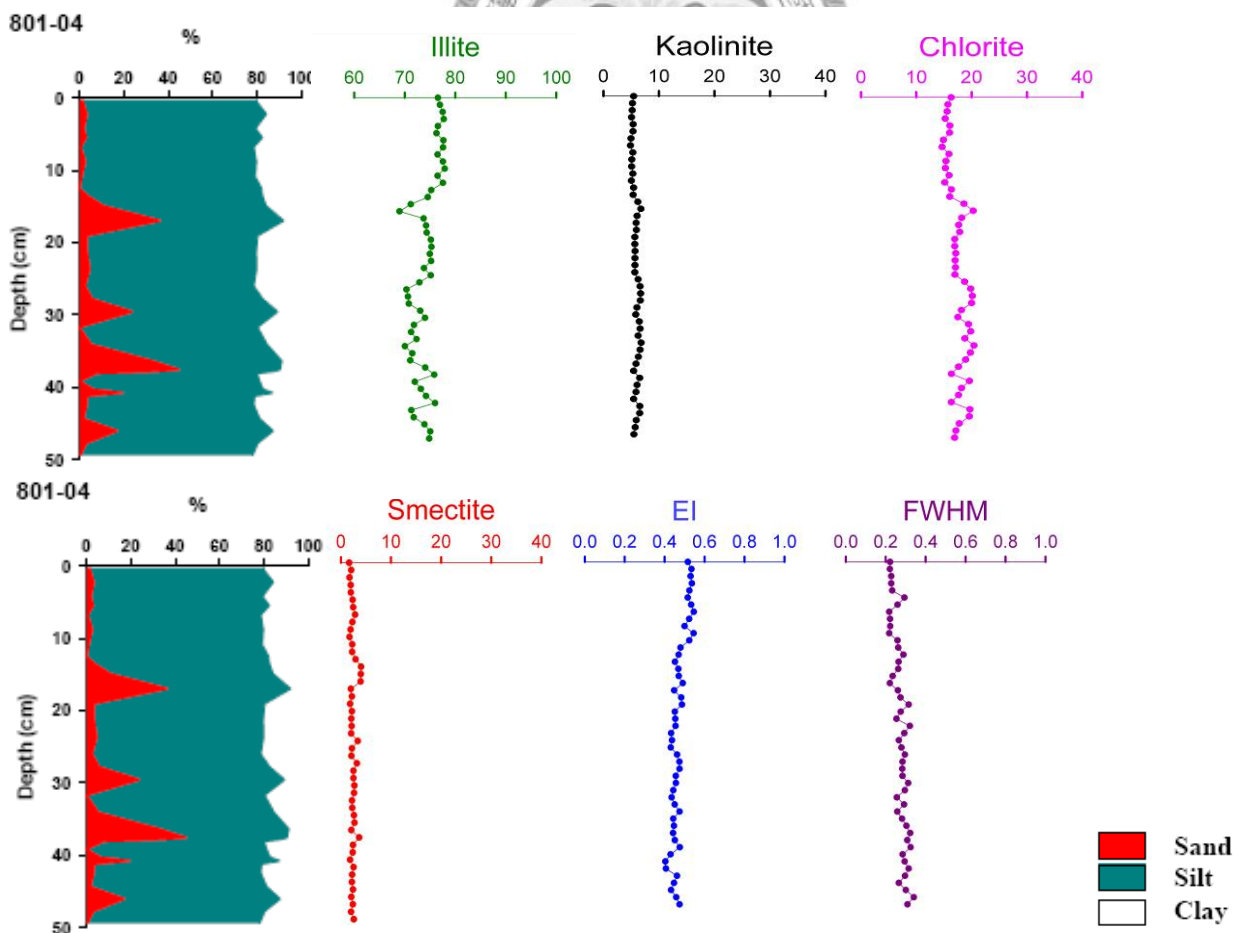


圖 3-15 OR801-04 中黏土礦物各項參數隨深度變化圖

表 3-3 OR715-10 各黏土礦物參數量表

OR715-10	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	3.5	72.8	5.9	17.8	0.38	0.391
2	4.3	71.7	6.0	17.9	0.45	0.328
3	2.8	72.6	6.1	18.4	0.42	0.308
4	1.8	79.0	4.8	14.4	0.47	0.255
5	1.8	78.5	4.9	14.7	0.43	0.295
6	1.8	77.7	5.1	15.4	0.43	0.347
7	1.9	77.9	5.0	15.1	0.45	0.359
8	2.3	78.1	4.9	14.7	0.47	0.340
9	2.9	77.0	5.0	15.1	0.48	0.341
10	2.8	76.5	5.2	15.5	0.50	0.331
11	3.3	78.3	4.6	13.8	0.51	0.319
12	2.6	79.4	4.5	13.5	0.46	0.349
13	2.6	78.4	4.8	14.3	0.44	0.415
14	2.6	77.7	4.9	14.8	0.43	0.318
15	2.4	80.0	4.4	13.2	0.44	0.388
16	2.3	79.6	4.5	13.6	0.42	0.366
17	3.1	77.1	5.0	14.9	0.40	0.376
18	3.0	78.4	4.7	14.0	0.45	0.350
19	2.5	79.3	4.6	13.7	0.43	0.417
20	2.6	80.9	4.1	12.3	0.45	0.402
21	2.2	79.5	4.6	13.7	0.41	0.402
22	2.3	79.5	4.6	13.7	0.43	0.458
23	2.1	81.1	4.2	12.6	0.45	0.485
24	2.4	75.3	5.6	16.7	0.45	0.486
25	2.9	75.6	5.4	16.1	0.51	0.419
26	2.9	77.3	5.0	14.9	0.52	0.419
27	2.6	76.8	5.2	15.5	0.45	0.267
28	2.3	76.6	5.3	15.9	0.40	0.285
29	2.2	77.8	5.0	15.0	0.43	0.271
30	2.7	76.5	5.2	15.6	0.48	0.305
31	2.1	78.1	5.0	14.9	0.49	0.299
32	2.4	74.7	5.7	17.2	0.46	0.260
33	2.4	77.2	5.1	15.3	0.47	0.296
34	2.8	75.3	5.5	16.4	0.49	0.309
35	2.5	77.8	4.9	14.8	0.46	0.346
36	2.2	77.1	5.2	15.5	0.47	0.288
37	3.0	76.2	5.2	15.6	0.46	0.336
38	3.3	74.5	5.6	16.7	0.42	0.351
39	3.1	75.0	5.5	16.4	0.49	0.336
40	2.3	77.1	5.1	15.4	0.41	0.308
41	2.4	75.0	5.6	16.9	0.47	0.295
42	2.3	76.4	5.3	16.0	0.43	0.312
43	2.2	77.6	5.1	15.2	0.48	0.353
44	1.9	75.1	5.7	17.2	0.46	0.280
45	2.1	77.3	5.1	15.4	0.44	0.334
46	1.9	78.3	4.9	14.8	0.43	0.354

表 3-4 OR715-14 各黏土礦物參數量表

OR715-14	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	1.6	79.0	4.8	14.6	0.38	0.264
2	1.8	78.8	4.9	14.5	0.37	0.295
3	1.8	78.2	5.0	15.0	0.40	0.252
4	1.8	76.5	5.4	16.3	0.37	0.319
5	1.4	74.7	6.0	17.9	0.38	0.270
6	2.0	72.2	6.5	19.4	0.37	0.234
7	2.0	73.4	6.2	18.5	0.35	0.243
8	2.3	72.8	6.2	18.7	0.37	0.285
9	2.2	72.4	6.3	19.0	0.37	0.300
10	2.5	71.3	6.5	19.6	0.41	0.291
11	3.2	76.4	5.1	15.3	0.38	0.274
12	2.3	77.4	5.1	15.2	0.36	0.295
13	2.0	78.7	4.8	14.5	0.38	0.345
14	1.6	80.3	4.5	13.5	0.37	0.313
15	1.6	80.3	4.5	13.6	0.41	0.294
16	1.9	80.3	4.5	13.4	0.38	0.367
17	1.6	78.4	5.0	15.1	0.42	0.357
18	2.9	76.8	5.1	15.2	0.42	0.362
19	1.8	79.9	4.6	13.7	0.44	0.295
20	2.5	77.9	4.9	14.7	0.45	0.329
21	2.5	74.1	5.9	17.6	0.45	0.330
22	7.2	70.6	5.5	16.6	0.44	0.271
23	5.9	71.8	5.6	16.7	0.43	0.272
24	3.0	75.6	5.3	16.0	0.46	0.299
25	3.4	72.8	5.9	17.8	0.43	0.342
26	3.0	70.3	6.7	20.0	0.48	0.300
27	2.6	72.6	6.2	18.5	0.45	0.322
28	3.3	72.7	6.0	18.0	0.46	0.251
29	3.9	72.0	6.0	18.1	0.49	0.310
30	2.7	72.2	6.3	18.8	0.49	0.274
31	1.1	73.7	6.3	18.9	0.46	0.277
32	2.1	73.7	6.1	18.2	0.49	0.277
33	1.8	76.1	5.5	16.5	0.45	0.293
34	1.7	74.2	6.0	18.1	0.45	0.216
35	1.5	71.6	6.7	20.2	0.44	0.204
36	2.1	70.6	6.8	20.5	0.46	0.235
37	1.6	69.3	7.3	21.8	0.47	0.227
38	1.5	72.8	6.4	19.3	0.45	0.208
39	2.3	71.6	6.5	19.5	0.47	0.245
40	3.3	75.2	5.4	16.1	0.48	0.295
41	4.1	74.8	5.3	15.8	0.43	0.309
42	4.0	75.6	5.1	15.3	0.42	0.247

表 3-5 OR715-15 各黏土礦物參數量表

OR715-15	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	4.6	74.5	5.2	15.7	0.39	0.383
2	4.8	75.7	4.9	14.6	0.42	0.351
3	5.0	71.3	5.9	17.8	0.37	0.307
4	5.3	71.5	5.8	17.4	0.34	0.358
5	5.3	72.8	5.5	16.4	0.45	0.320
6	5.0	75.2	5.0	14.9	0.46	0.373
7	4.8	75.1	5.0	15.1	0.45	0.365
8	3.0	75.8	5.3	15.9	0.46	0.302
9	3.1	74.5	5.6	16.8	0.43	0.251
10	3.8	74.5	5.4	16.3	0.45	0.380
11	2.1	74.2	5.9	17.8	0.40	0.302
12	2.6	74.1	5.8	17.4	0.40	0.290
13	4.0	73.8	5.6	16.7	0.40	0.273
14	3.1	74.1	5.7	17.1	0.45	0.278
15	3.5	74.9	5.4	16.2	0.40	0.286
16	2.8	74.2	5.8	17.3	0.41	0.362
17	3.0	74.4	5.6	16.9	0.44	0.318
18	2.1	74.3	5.9	17.6	0.43	0.335
19	3.0	73.7	5.8	17.5	0.44	0.370
20	4.4	73.9	5.4	16.3	0.48	0.287
21	3.4	72.9	5.9	17.7	0.51	0.278
22	2.8	73.3	6.0	17.9	0.49	0.304
23	2.4	73.6	6.0	18.0	0.50	0.268
24	3.8	73.1	5.8	17.3	0.52	0.277
25	3.5	73.0	5.9	17.6	0.55	0.328
26	4.2	73.1	5.7	17.0	0.52	0.271
27	3.2	73.9	5.7	17.2	0.53	0.289
28	3.6	74.4	5.5	16.5	0.52	0.306
29	4.0	74.1	5.5	16.4	0.53	0.349
30	3.2	74.3	5.6	16.8	0.51	0.246
31	3.6	73.1	5.8	17.4	0.46	0.392
32	2.8	73.5	5.9	17.7	0.45	0.314
33	3.1	73.1	5.9	17.8	0.40	0.334
34	5.5	75.0	4.9	14.7	0.43	0.383
35	4.4	74.0	5.4	16.3	0.44	0.320
36	6.0	74.7	4.8	14.5	0.49	0.376
37	5.8	74.3	5.0	14.9	0.44	0.297
38	4.4	74.6	5.2	15.7	0.45	0.439
39	5.0	74.7	5.1	15.2	0.50	0.389
40	5.9	74.6	4.9	14.6	0.52	0.367
41	3.6	73.7	5.7	17.0	0.52	0.381
42	4.2	74.2	5.4	16.2	0.48	0.584
43	4.5	74.5	5.3	15.8	0.51	0.242

表 3-6 OR715-19 各黏土礦物參數量表

OR715-19	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	1.5	74.5	6.0	18.0	0.53	0.289
2	1.3	76.5	5.6	16.7	0.48	0.277
3	1.7	74.3	6.0	18.0	0.55	0.281
4	1.4	75.6	5.7	17.2	0.50	0.274
5	1.5	75.5	5.7	17.2	0.50	0.345
6	1.9	73.4	6.2	18.5	0.50	0.302
7	2.0	73.9	6.0	18.1	0.48	0.287
8	2.1	74.2	5.9	17.8	0.47	0.297
9	1.6	74.1	6.1	18.2	0.47	0.262
10	1.7	75.1	5.8	17.4	0.50	0.313
11	2.0	75.2	5.7	17.1	0.47	0.264
12	1.6	74.1	6.1	18.2	0.54	0.312
13	1.6	77.3	5.3	15.8	0.51	0.285
14	1.8	76.8	5.4	16.1	0.50	0.267
15	1.6	76.5	5.5	16.4	0.48	0.288
16	1.8	76.2	5.5	16.5	0.47	0.313
17	1.6	75.7	5.7	17.0	0.49	0.302
18	1.9	75.9	5.5	16.6	0.49	0.277
19	1.7	76.3	5.5	16.5	0.49	0.281
20	1.7	75.2	5.8	17.3	0.53	0.266
21	2.2	75.2	5.6	16.9	0.48	0.259
22	2.1	75.6	5.6	16.8	0.52	0.268
23	2.1	75.9	5.5	16.5	0.53	0.282
24	1.8	76.5	5.4	16.3	0.49	0.264
25	2.1	77.1	5.2	15.6	0.47	0.243
26	1.8	78.5	4.9	14.8	0.51	0.265
27	1.9	78.3	5.0	14.9	0.50	0.254
28	2.0	77.0	5.2	15.7	0.52	0.252
29	2.2	77.1	5.2	15.5	0.48	0.248
30	2.1	77.4	5.1	15.4	0.51	0.276
31	1.7	75.4	5.7	17.2	0.52	0.254
32	1.9	75.2	5.7	17.2	0.53	0.264
33	1.8	74.4	5.9	17.8	0.54	0.277
34	2.1	77.2	5.2	15.5	0.53	0.294
35	2.6	76.0	5.3	16.0	0.52	0.263
36	1.9	78.1	5.0	15.0	0.53	0.274
37	1.8	79.0	4.8	14.4	0.53	0.266
38	2.0	79.3	4.7	14.1	0.51	0.261
39	1.6	79.4	4.7	14.2	0.50	0.259
40	1.9	79.2	4.7	14.2	0.51	0.278
41	2.1	79.1	4.7	14.1	0.50	0.277
42	2.3	78.5	4.8	14.4	0.50	0.291
43	4.5	74.5	5.2	15.8	0.51	0.242

表 3-7 OR729-21 各黏土礦物參數量表

OR729-21	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	2.3	77.3	5.1	15.3	0.55	0.284
2	2.0	78.6	4.9	14.6	0.51	0.292
3	1.9	78.9	4.8	14.4	0.55	0.273
4	1.9	79.8	4.6	13.7	0.53	0.287
5	2.1	80.0	4.5	13.4	0.50	0.279
6	1.9	79.1	4.8	14.3	0.52	0.310
7	2.7	76.2	5.3	15.8	0.51	0.248
8	2.3	76.7	5.2	15.7	0.56	0.265
9	1.8	76.9	5.3	16.0	0.45	0.242
10	1.6	75.1	5.8	17.5	0.45	0.237
11	2.0	72.5	6.4	19.1	0.47	0.239
12	2.5	71.4	6.5	19.6	0.44	0.233
13	3.5	73.1	5.9	17.6	0.48	0.252
14	2.3	74.3	5.9	17.6	0.46	0.223
15	2.2	74.3	5.9	17.6	0.46	0.208
16	2.5	73.5	6.0	18.0	0.48	0.216
17	2.6	73.6	6.0	17.9	0.40	0.241
18	2.4	73.2	6.1	18.3	0.40	0.232
19	2.5	73.0	6.1	18.4	0.44	0.226
20	2.0	73.6	6.1	18.3	0.46	0.206
21	2.8	72.5	6.2	18.5	0.44	0.206
22	2.4	73.5	6.0	18.1	0.47	0.211
23	2.6	71.6	6.4	19.3	0.49	0.243
24	1.7	75.4	5.7	17.2	0.43	0.221
25	1.8	77.4	5.2	15.6	0.41	0.253
26	1.7	77.4	5.2	15.6	0.44	0.265
27	1.6	77.8	5.2	15.5	0.46	0.269
28	1.1	79.1	4.9	14.8	0.46	0.247
29	1.3	78.3	5.1	15.3	0.46	0.246
30	1.3	78.0	5.2	15.5	0.50	0.240
31	1.8	77.6	5.2	15.5	0.48	0.244
32	2.1	77.7	5.0	15.1	0.44	0.230
33	3.7	75.8	5.1	15.4	0.48	0.258
34	2.8	76.9	5.1	15.3	0.50	0.286
35	1.4	79.2	4.8	14.5	0.48	0.287
36	1.7	78.9	4.9	14.6	0.46	0.278
37	1.7	79.0	4.8	14.4	0.46	0.286
38	1.8	77.0	5.3	15.9	0.44	0.294
39	1.2	77.3	5.4	16.1	0.48	0.224
40	1.4	76.8	5.4	16.4	0.46	0.240
41	2.1	79.1	4.7	14.1	0.50	0.277
42	2.3	78.5	4.8	14.4	0.50	0.291
43	4.5	74.5	5.2	15.8	0.51	0.242

表 3-8 OR801-04 各黏土礦物參數量表

OR801-04	smectite	illite	kaolinite	Chlorite	EI	FWHM _{illite}
depth (cm)	%	%	%	%		
1	1.7	76.6	5.4	16.3	0.52	0.222
2	2.1	77.0	5.2	15.7	0.53	0.221
3	1.7	77.5	5.2	15.6	0.53	0.228
4	2.0	77.7	5.1	15.2	0.54	0.228
5	2.0	76.6	5.4	16.1	0.52	0.233
6	2.3	76.3	5.3	16.0	0.52	0.294
7	2.5	77.6	5.0	14.9	0.53	0.259
8	2.8	77.6	4.9	14.7	0.55	0.218
9	2.3	76.5	5.3	15.9	0.52	0.222
10	2.0	77.5	5.1	15.4	0.50	0.223
11	1.7	77.9	5.1	15.3	0.55	0.218
12	2.3	76.5	5.3	15.9	0.52	0.259
13	2.3	77.5	5.0	15.1	0.48	0.263
14	3.0	75.2	5.5	16.4	0.47	0.289
15	4.0	74.6	5.4	16.1	0.45	0.265
16	4.0	71.2	6.2	18.6	0.47	0.263
17	3.9	69.0	6.8	20.3	0.47	0.235
18	2.0	73.7	6.1	18.2	0.49	0.221
19	2.2	74.2	5.9	17.7	0.45	0.261
20	1.9	74.3	6.0	17.9	0.48	0.274
21	2.2	75.2	5.7	17.0	0.49	0.315
22	2.1	75.3	5.7	17.0	0.45	0.275
23	2.2	75.0	5.7	17.1	0.45	0.254
24	2.1	75.2	5.7	17.0	0.45	0.321
25	3.4	73.8	5.7	17.1	0.43	0.293
26	2.2	75.1	5.7	17.0	0.44	0.266
27	2.1	72.9	6.2	18.7	0.43	0.279
28	3.2	70.3	6.6	19.8	0.46	0.296
29	2.5	70.6	6.7	20.1	0.47	0.284
30	2.5	70.8	6.7	20.0	0.47	0.283
31	2.7	73.1	6.1	18.2	0.46	0.284
32	2.6	74.0	5.8	17.5	0.46	0.313
33	2.2	71.8	6.5	19.4	0.44	0.296
34	2.3	71.3	6.6	19.9	0.43	0.256
35	2.6	72.3	6.3	18.8	0.45	0.292
36	2.7	70.0	6.8	20.4	0.47	0.258
37	2.1	71.5	6.6	19.8	0.44	0.282
38	3.7	71.1	6.3	18.9	0.45	0.304
39	2.4	74.1	5.9	17.6	0.44	0.323
40	2.4	75.8	5.5	16.4	0.45	0.308
41	1.9	72.0	6.5	19.6	0.48	0.325
42	2.5	73.2	6.1	18.2	0.43	0.285
43	2.3	74.2	5.9	17.6	0.40	0.295
44	2.2	76.0	5.4	16.3	0.41	0.315
45	2.4	71.3	6.6	19.7	0.46	0.297
46	2.1	71.8	6.5	19.6	0.45	0.266
47	2.4	73.9	5.9	17.8	0.43	0.301
48	2.0	75.1	5.7	17.2	0.46	0.341
49	2.6	74.9	5.5	16.9	0.47	0.309

3.3. 南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物之來源討論

整體來看，各樣本中高嶺石含量變化都有相同的趨勢—與濁流沈積（或砂質沈積物）有非常好的正相關，這可能與其來源有關。Aoki and Oinuma（1974）對於東海陸棚、沖繩海槽及台灣東側海域沈積物的研究中指出，東海陸棚沈積物中的黏土礦物含有高量的高嶺石，可能與陸棚上沈積物為非現代沈積（Chung and Chang, 1995, 1996），各黏土礦物受到水解等化學變化持續轉變為高嶺石有關。

Huh et al.（2004）在南沖繩海槽及和平海盆的岩心樣本中觀察到濁流沈積物，佐以放射性核種（ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 及 ^{137}Cs ）定年發現這些濁流沈積物發生年代剛好都有規模大於6.8的地震事件，排除了洪水及其他因素後指出這些濁流沈積物應是地震引發所形成的。凌（2007）的研究中指出南沖繩海槽中地震事件所引發之濁流沈積物除了1986年地震事件所引發者之外，皆發源於北坡，再往南傳輸至南沖繩海槽較深處沈積。

綜合上述論點，由濁流沈積與高嶺石含量正相關的現象可進一步推論這些砂質沈積物之來源多為陸棚或陸坡上所傳輸或經由重力與構造力作用崩落至此。此外在空間面上也可看到此相同趨勢（圖 3-3，3-4），在海槽南坡、北坡下緣及海槽中心的高值代表陸棚或陸坡的沈積物經由重力崩落或棉花峽谷（北坡）的傳輸搬運至此。

由高嶺石/伊利石（K/I）比值（圖 3-4）可見，伊利石含量在海槽近台灣側較高，往海槽深部遞減，顯示伊利石供應為由台灣河川輸入比重較多，換言之，沈積物中的高嶺石來源較偏向於陸棚或陸坡上沈積物輸入而來。膨潤石的含量變化則很單純的與海底火山的距離遠近有關。

Esquevin-Index（EI）值介於 0-1 之間，小於 0.5 顯示樣本中含鐵、鎂的伊利石較多，代表此礦物源岩可能為富含黑雲母類（biotitic）岩石；大於 0.5 則顯示為鋁含量較高的伊利石，代表源岩可能為富含白雲母類（muscovite）岩石。

(Esquevin, 1969) 南沖繩海槽表層沈積物中黏土礦物 EI 值平均為 0.48，顯示大體上鐵、鎂伊利石與鋁伊利石在含量上相差不大。幾處較明顯的低值位於棉花峽谷下緣及海槽深部。

FWHM (半高寬) 值代表礦物結晶度的好壞。伊利石之結晶度與岩層的深埋以及變質作用的溫度有關，一般而言，變質度愈高者伊利石的結晶度也愈高，因此伊利石結晶度常被用來判定風化成岩作用或極低度變質作用的變質度高低，如下表所示。

沈積學所屬名稱	相對應之變質相	溫度	伊利石結晶度 ($\Delta 2\theta$)
diagenetic zone 成岩帶	未變質-沸石相	200 [°] C 以下	>0.38±0.01
anchizone 近變質帶	葡萄石-綠纖石相	200 [°] C-300 [°] C	0.22-0.38
epizone 淺變質帶	低度綠色片岩相	300 [°] C 以上	<0.22±0.01

(Chen and Wang, 1995)

所用樣本若來自於泥岩及其變質後之岩石，如板岩或千枚岩等，這些泥質岩內皆富含伊利石或鉀雲母。但如果樣本中含有碎屑型雲母(即非自生)、黑雲母、多矽白雲母、或鈉雲母的存在，可能會改變繞射峰之半高寬，造成所測得之數據無法完全代表由變質作用所形成之伊利石結晶度，並影響到變質相判斷上之準確性。儘管如此，伊利石結晶度仍然經常被用來判別極低度變質岩之變質相。

本研究分析結果所得之 FWHM 平均為 0.285，變化幅度在 0.037 之間(表 3-1)，顯示沈積物中的伊利石可能由近變質帶(上表)岩石所風化而來。配合陸上蘭陽地區樣本的 FWHM 值(0.255-0.379)，推測伊利石的供應量以蘭陽地區近變質帶地層所提供為主，與伊利石含量變化趨勢相符。而花東地區河川的樣本中 FWHM 值甚低(木瓜溪：0.167)，表示河流均流經變質度相對較高之變質帶，如表 3-9 中的淺變質帶(epizone)而來。此外，由圖 3-8 可見花東地區的採樣河川均流經大南澳片岩綠色片岩段，故樣本中含較高量綠泥石。

沈積物黏土礦物種類含量多寡與河流流經地層有關。南沖繩海槽沈積物樣本與蘭陽地區陸上樣本經加熱處理後均無綠泥石的繞射峰出現，此一現象可能為綠泥石含量極低或缺乏，或是不同種類綠泥石所造成，此一現象留於下節討論。而花東地區河川樣本經加熱處理後卻仍有強度明顯之繞射峰存在（附錄二），推論海槽沈積物來源與蘭陽溪相關性較高，而花東地區河川沈積物可能並未大量傳輸至南沖繩海槽。

3.4. 綠泥石測定的討論

由於綠泥石 / 高嶺石的繞射峰在 $7\text{ \AA} / 7.2\text{ \AA}$ 與 $3.53\text{ \AA} / 3.57\text{ \AA}$ 二處非常接近，如果二者含量相當，則繞射峰會呈現雙峰狀，若兩者含量相差懸殊則繞射峰會重疊成一峰，造成鑑定困難，且若礦物結晶度稍差更將難以分辨，故區分綠泥石和高嶺石是粘土礦物 XRD 分析中常遇到的問題。茲就各項綠泥石與高嶺石的鑑定方法簡介如下：

- 慢速掃描法：使用 XRD 時以慢速（ $0.01\sim 0.25^\circ/\text{min}$ ）掃描，可使部分重疊或合為一峰的高嶺石繞射峰（ $3.57\text{ \AA}$ ）與綠泥石繞射峰的峰頂（ $3.53\text{ \AA}$ ），利用 curve fitting 方式加以分開。優點在於操作簡便，只需要製作一片定向片就能完成實驗。缺點樣本中礦物結晶度不能太差，因為此方法容易受到礦物結晶度差異或是 XRD 本身繞射誤差影響繞射峰高度與寬度時，不一定代表真正存在兩個繞射峰，但因 curve fitting 方法是由電腦執行，故結果仍會有兩個繞射峰值。
- 加熱處理法：利用礦物本身的熱特性，以不同溫度對各種礦物的破壞度加以鑑別。高嶺石結構中矽氧四面體與一層鋁氧八面體之間以氫鍵鍵結，但氫鍵無法耐高溫，因此將樣本加熱到一定溫度可將高嶺石結構破壞，使其繞射峰消失，而留下綠泥石繞射峰。加熱溫度點在各研究中略有不同，範圍約在 450°C 到 550°C 之間。一般而言，高嶺石在 550°C 左右產生脫水與晶格破壞，並轉變成為非晶質。綠泥石則到 600°C 左右發生第一階段脫水，在 800°C 開始

產生第二階段脫水，同時只殘留下(001)之繞射訊號，在 950°C 時已完全破壞，轉變為非晶質（陳惠芬等，2006）。此法優點在於利用礦物本身特性簡單明瞭，將高嶺石完全破壞後殘留下來的繞射峰就代表全部為綠泥石，不會因結晶度差異或電腦程式執行上而造成誤判。缺點在於因為加熱處理是屬於破壞樣本的方法，必須製作兩片定向片，就得增加原始樣本量，且普通載玻片在 550°C 尚可不變型，如果超過 550°C 就必須使用耐熱玻璃片代替。另外需備有高溫裝置（高溫爐），並要做一升溫序列來確定高嶺石在哪個溫度點破壞完全。

- 鹽酸處理法：綠泥石、蛭石等礦物可溶於熱的稀鹽酸中，一般方法為在黏土礦物樣本中加入6mol稀鹽酸溶液，以 80°C 水浴加熱15分鐘。處理過後樣本中綠泥石繞射峰會消失，留下高嶺石繞射峰。優點與加熱處理相同，皆為利用礦物本身特性加以區別，缺點為需要較大樣本量做鹽酸反應，且仍必須製作兩片定向片，鹽酸若無清洗乾淨則可能會對機器造成損害。
- 聯氨（ $\text{NH}_2\cdot\text{NH}_2$ ）處理法：水合聯氨（ $\text{NH}_2\cdot\text{NH}_2$ ）分子可以進入高嶺石結構層間，形成聯氨分子成層使高嶺石的繞射峰 $7.2\text{ \AA}$ 擴展到 $10.4\text{-}10.5\text{ \AA}$ ，而聯氨分子不能進入綠泥石結構中，所以綠泥石繞射峰位置不變，在繞射圖譜上 $7\text{ \AA}$ 的繞射峰不再包括高嶺石，代表的只是綠泥石的繞射。優點在於可以同時在一張繞射圖譜上顯示高嶺石與綠泥石分離後的繞射峰，缺點在於處理過程複雜且須備有水合聯氨溶液。

上述皆為鑒別綠泥石與高嶺石的方法，基於方便性與明顯度，慢速掃描法與加熱處理法為最普遍廣泛使用之方法。

本研究依據美國國家地質調查所（USGS）所制定黏土礦物分析流程方法，使用加熱 550°C 處理方法來鑑別綠泥石與高嶺石。研究結果發現，在南沖繩海槽、蘭陽地區之樣本經過加熱處理後，在高嶺石與綠泥石繞射峰重疊位置發現並

無任何繞射峰存在（圖 3-16、3-17、附錄一、附錄三），於木瓜溪、新武呂溪及卑南大溪樣本經過加熱處理後仍殘留強度甚高之繞射峰（圖 3-17、3-18、附錄二），表示樣本中含高量的綠泥石。這與前人研究結果相距甚大，可能和分析方法中針對高嶺石與綠泥石定性判斷的差異有關，茲列舉在台灣周圍及世界上相關前人研究中使用慢速掃描或加熱處理來鑑定綠泥石與高嶺石之方法，整理列於表 3-9。

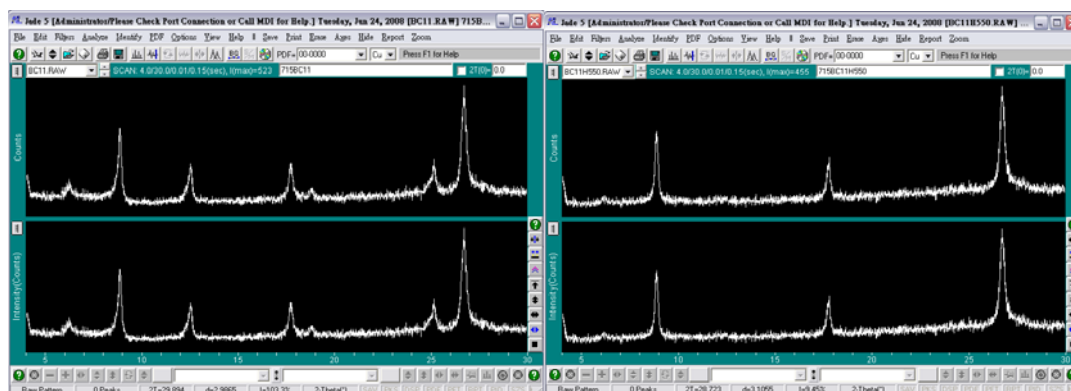


圖 3-16 南沖繩海槽樣本，左為未經任何處理之自然定向片，右為加熱 550°C 處理之定向片，可明顯見到高嶺石與綠泥石重疊繞射峰位置（約 12.5° ）加熱過後則並無任何繞射峰強度存在。

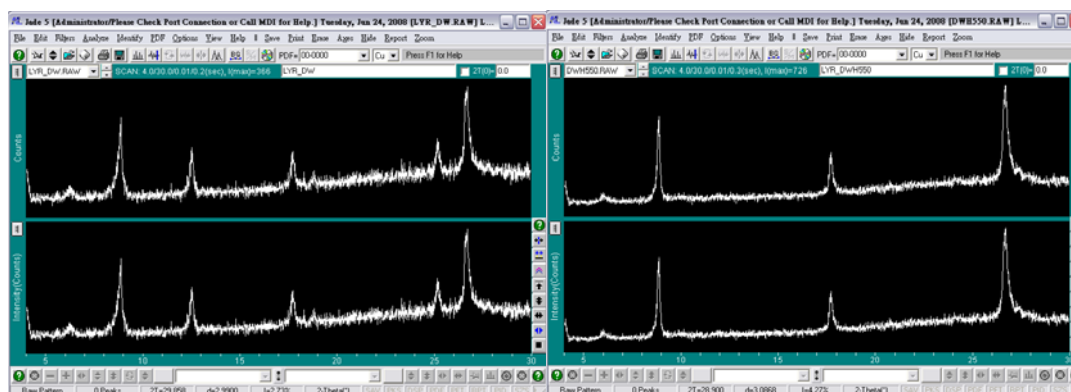


圖 3-17 蘭陽地區樣本，左為未經任何處理之自然定向片，右為加熱 550°C 處理之定向片，仍可明顯見到高嶺石與綠泥石重疊繞射峰位置（約 12.5° ）加熱過後並無任何繞射峰強度存在。

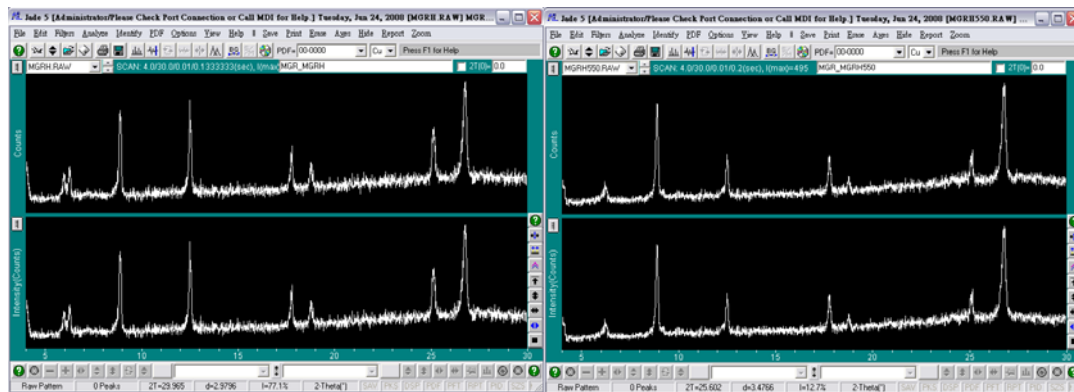


圖 3-18 木瓜溪樣本，左為未經任何處理之自然定向片，右為加熱 550°C 處理之定向片，高嶺石與綠泥石重疊繞射峰位置（約 12.5° ）加熱過後有明顯繞射峰強度存在。

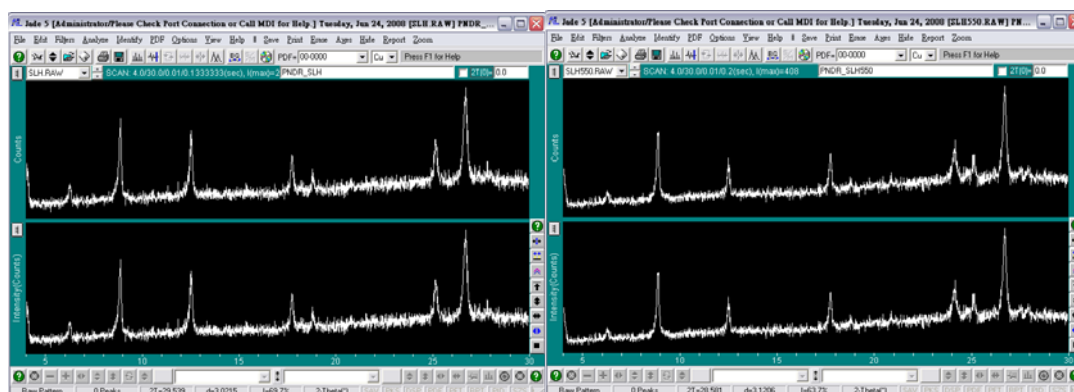


圖 3-19 卑南大溪樣本，左為未經任何處理之自然定向片，右為加熱 550°C 處理之定向片，高嶺石與綠泥石重疊繞射峰位置（約 12.5° ）加熱過後仍有明顯繞射峰強度存在。在圖譜上 24° 的位置於加熱處理後有繞射峰出現，經由使用儀器之專業人員確認為機器造成之錯誤，但不影響整體圖譜的判讀。

表 3-9 各地黏土礦物分析簡述表

I 表示伊利石、C 表示綠泥石、K 表示高嶺石、S 表示膨潤石

作者 (年代)	研究對象	使用方法	研究結果
台灣周圍			
陳培源 (1973)	台灣近海及南海北部沈積物	慢速掃瞄 (0.25/min) 全部樣本 加熱處理 (450 °C) 非全部樣本 鹽酸處理 非全部樣本	I : 60~65% C : 20~26% K : 4~8% S : <10%
Aoki and Oinuma (1974)	東海陸棚及沖繩海槽沈積物	加熱處理 (490 °C & 600 °C)	I : 55~72% C : 13~36% K : 21~41% S : 0~33%
林斐然, 陳汝勤 (1983)	南沖繩海槽沈積物	慢速掃瞄 (0.25/min)	I : 65% C : 22% K : 10% S : 3%
Manius and Covey (1985)	台灣西南部中新世至更新世沈積物	加熱處理 (550 °C)	I : 64~80% C : 3~5% K : 7~35% S : <6%
姚宗茂 (1987)	台灣海岸山脈泰源盆地新第三紀地層	加熱處理 (450 °C & 575 °C) 鹽酸處理 (3N HCl)	I : 40~75% C : 7~38% K : 缺乏 S : 3~22%
林庚玲 (1992)	台灣東北外海沈積物	慢速掃瞄 (0.25/min)	I : 60~73% C : 15~25% K : 7~16% S : 0~2%
Liu, et al. (2003)	ODP site 1146	加熱處理 (490 °C)	I : 22~43% C : 10~30% K : 2~18% S : 12~48%
江威德 (2006)	台灣西南海域沈積物	慢速掃瞄 (0.01/min)	I : 60~64% C : 19~24% K : 2~6% S : 8~12%

表 3-9 各地黏土礦物分析簡述表（續）

Steinke, et al. (2008)	South China Sea marine sediments	慢速掃瞄 (0.01/min)	I : 29~34% C : 18~22% K : 27~37% S : 10~26%
世界各地			
Aoki and Oinuma (1980)	Pacific and the Indian -Antarctic Basins marine sediments	加熱處理 (490 °C & 600 °C)	I : 41~47% C : 44~61% K : <25% S : 11~59%
Fagel, et al. (1996)	NW Atlantic sediments	加熱處理 (500 °C)	I : 15~55% C : 15~30% K : 8~12% S : 35~60%
Petschick, et al. (1996)	South Atlantic marine sediments	慢速掃瞄 (0.02/min)	I : 5~80% C : 0~60% K : 0~70% S : 0~90% 地區範圍大
Gingele, et al. (1997)	Baltic Sea sediments	慢速掃瞄 (0.005/min)	I : 60~75% C : 10~25% K : 10~20% S : 2~10%
Sandler and Herut (2000)	continental shelf sediments off Israel	加熱處理 (550 °C)	I : <10% C : 缺乏 K : 5~25% mix layer : 70~90%
Gingele, et al. (2001)	NW Australia marine sediments	慢速掃瞄 (0.02/min)	I : 30~60% C : 20~25% K : 30~40% S : 20~40%
Gingele, et al. (2004)	Murray Canyons(South Australia) marine sediments	慢速掃瞄 (0.02/min)	I : 7~50% C : 1~16% K : 28~55% S : 0~49%

表 3-9 各地黏土礦物分析簡述表（續）

Robert, et al. (2005)	ODP site 1085	加熱處理 (490 °C)	I : 36-44% C : 6-13% K : 9-15% S : 24-39%
Damiani, et al. (2006)	Wilkes Land continental rise (East Antarctica) marine sediments	慢速掃描 (0.05/min)	I : 44~80% C : 23% K : <5% S : 4~40%

由於綠泥石在黏土礦物中為一很大的族群（group），其礦物化學成分較為複雜，存在大量的離子替代（圖 2-10），已被國際黏土研究協會（Association International Pour L'Etude des Argiles, AIPEA）所命名較常見的綠泥石礦物有斜綠泥石（Clinoclore, $(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ）、鉍綠泥石（Chamosite, $\text{Fe}_3^{2+}(\text{Fe}_2^{2+}\text{Al})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ）、鎳綠泥石（Nimite, $(\text{Ni,Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ）等，其中又以以富含鎂、鋁的斜綠泥石最為廣泛。若把綠泥石分為富含鎂鋁綠泥石與富含鐵綠泥石兩個極端，進行加熱處理，富含鎂鋁綠泥石具有較明顯、強度較高的 7 Å、3.53 Å 繞射峰值，而富含鐵綠泥石因為容易被破壞而使繞射峰強度較弱，可能造成定性分析上的困難，故在分析綠泥石特性時需較為小心。

分析結果顯示本研究區域樣本中，南沖繩海槽與蘭陽地區沈積物中綠泥石為富含鐵綠泥石，故經過加熱 550°C 處理後無明顯繞射峰存在。而花東地區沈積物中綠泥石為富含鎂鋁之綠泥石，加熱處理後仍有明顯繞射峰殘留。

黏土礦物之定性與半定量分析方法，因不同工作者所採用之標本處理方法及步驟不同，同樣標本所得結果有相當之差異，本研究所採之定性與半定量分析方法與美國地質調查所所採用之方法一致。

高嶺石與綠泥石定性鑑別一直為黏土礦物分析中一項重要的問題，也有很多研究直接將高嶺石與綠泥石當做一項指標來討論。由上述整理約略可知慢速掃描以其優點為操作方便簡易，為一般研究所廣泛使用之方法，但當高嶺石與綠泥石

二者含量差異甚大或結晶度較差時，若能利用礦物本身之性質，加以分離二者，相信對分析結果的判斷會更為準確。



第四章 結論

一、根據黏土礦物分析資料得知，南沖繩海槽表層沈積物中主要的黏土礦物為伊利石（74.4-83.2%），其次為綠泥石（12.6-19.6%）、高嶺石（2.0-5.7%），而膨潤石含量最低（1.2-4.7%）。

二、在空間分布上，可看出各黏土礦物含量與其源區及傳輸方向有好的相關性。

伊利石含量在海槽近台灣側較高，往海槽深部遞減，於南沖繩海槽中心及棉花峽谷下緣有低值區存在。而綠泥石與高嶺石含量則為靠近台灣側最低，於棉花峽谷下緣有明顯向海槽中心傳輸的變化，由高嶺石/伊利石（K/I）比值亦可見相似的分布型態，顯示伊利石含量受台灣輸出影響較大，綠泥石與高嶺石來源較偏向於陸棚或陸坡上沈積物輸入而來。膨潤石的含量變化則與海底火山的距離遠近有關。

三、南沖繩海槽黏土礦物Esquevin-Index (EI) 值平均為0.48，顯示沈積物中鐵、鎂伊利石與鋁伊利石在含量上差異不大，幾處較明顯的低值位於棉花峽谷下緣及海槽深部。伊利石的半高寬（FWHM）代表其結晶度的好壞，研究數據平均為0.285，顯示沈積物中的伊利石可能由近變質帶岩石所風化而來，配合陸上蘭陽地區樣本分析結果，推測伊利石的供應量以蘭陽地區近變質帶地層所提供為主，與空間中伊利石含量分布趨勢相符。

四、在深度垂直變化上，綠泥石與高嶺石含量與濁流（粗顆粒）沈積有很好的相對應關係。配合其在空間變化趨勢，在棉花峽谷下緣及海槽中心的高值顯示濁流沈積為陸棚或陸坡所傳輸搬運下來，與前人所述相同。

五、沈積物黏土礦物種類含量多寡與河流流經地層有關。南沖繩海槽沈積物及蘭陽地區陸上沈積物樣本經加熱處理後繞射圖譜中均無綠泥石繞射峰出現。而花東地區河川樣本經加熱處理後仍有明顯之繞射峰殘留，推論海槽沈積物來源與蘭陽溪相關性較高，而花東地區河川沈積物可能並未大量傳輸至南沖繩海槽。

六、分析結果顯示本研究區域樣本中，南沖繩海槽與蘭陽地區沈積物中綠泥石為富含鐵綠泥石，故經過加熱 550°C 處理後無明顯繞射峰存在。而花東地區沈積物中綠泥石為富含鎂鋁之綠泥石，加熱處理後仍有明顯繞射峰殘留。



參考文獻

中文部份

江威德（2006）台灣西南海域天然氣水合物賦存區地質調查研究，海域地質調查與地球化學探勘：沈積物之黏土礦物分析。中央地質調查所報告第 95-26-C 號。

李時雨（2001）以落塵核種探討台灣東北海域之沈積動力。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。共63頁。

林庚玲（1992）台灣東北外海表層沈積物之構造、組成和黏土礦物。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。共 93 頁。

林殷田（2001）長江三角洲與東海陸棚沈積物內有機碳¹³同位素之區域分佈與垂直變化。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。共88頁。

姚宗茂（1987）臺灣海岸山脈泰源盆地新第三紀地層中黏土礦物之研究。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。共108頁。

凌巧芸（2007）南沖繩海槽地震引發濁流沈積物之來源及分布。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。共 74 頁。

高樹基（1995）高剝蝕率島嶼之碳的生物地球化學：以蘭陽溪流域為例。國立台灣大學海洋研究所博士論文。共262頁。

許世傑（1998）台灣東北外海沈積物來源與傳輸以及水體中微量金屬之地球化學。國立台灣大學海洋研究所博士論文。共268頁。

陳星光（1995）東海陸棚與陸坡之沈積速率與有機碳的埋藏。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。共80頁。

陳惠芬、宋聖榮、郭力維（2006）綠泥石、高嶺石、伊來石、蒙脫石在快速升溫下之熱重分析與 X 光繞射之結果。中國地質學會九十五年年會暨學術研討會大會手冊及論文摘要。

張逸安（2004）沖繩海槽西南端岩心沈積物之礦物組成與地球化學。國立台灣大學海洋研究所博士論文。共83頁。

劉錫清（1996）中國邊緣海的沈積物分區。海洋地質與第四紀地質，第16卷，1-11頁。

蕭立銘（1994）臺灣東北海域陸棚與陸坡區之水體和沈積地層中粒狀性金屬元素之分佈與傳輸。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。共88頁。

蘇志杰（2000）以多示蹤劑法探討東海之沈積動力學。國立台灣大學海洋研究所博士論文。共206頁。



英文部分

- Aoki, S., and K. Oinuma (1974) Clay mineral compositions in recent marine sediments around Nansei-Syoto Island south of Kyusyu, Japan. *Journal of the Geological society of Japan*, 80, 57-63.
- Biscaye, P. E. (1965) Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans, *Geological Society of America Bulletin*, 76, 803-832.
- Chen, C. H. and C. H. Wang (1995) Explanatory Notes for the metamorphic facies map of Taiwan, 2nd ed. Special Publication of Central Geological Survey, 2, 1-51.
- Chen, Lee, Y. L. (2000) Comparisons of primary productivity and phytoplankton size structure in the margin regions of southern East China Sea. *Continental Shelf Research*, 20, 437-458.
- Chen, M. P., S. C. Lo and K. L. Lin (1992) Composition and texture of surface sediment indicating the depositional environment off northeast Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 3, 395-418.
- Chen, P. Y. (1973) Clay minerals distribution in the sea-bottom sediments neighboring Taiwan island and northern South China Sea. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 3, 25-64.
- Chung, Y. and G. W. Hung (2000) Particulate fluxes and transports on the slope between the southern East China Sea and the South Okinawa Trough. *Continental Shelf Research*, 20, 571-597.
- Chung, Y. and W. C. Chang (1995) Pb-210 fluxes and sedimentation rates on the lower continental slope between Taiwan and the Southern Okinawa Trough. *Continental Shelf Research*, 15, 149-164.

- Chung, Y. and W. C. Chang (1996) Uranium and thorium isotopes in marine sediments off northeastern Taiwan. *Marine Geology*, 133, 89-102.
- Damiani, D., G. Giorgetti and I. M. Turbanti (2006) Clay mineral fluctuations and surface textural analysis of quartz grains in Pliocene-Quaternary marine sediments from Wilkes Land continental rise (East-Antarctica): Paleoenvironmental significance. *Marine Geology*, 226, 281-295.
- Esquevin, J. (1969) Influence de la composition chimique des Illites sur cristallinite. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA* 3 (1), 147-153.
- Fagel, N., C. Robert and C. Hillaire-Marcel (1996) Clay mineral signature of NW Atlantic Boundary undercurrent. *Marine Geology*, 130, 19-28.
- Furukawa, M., Tokuyama, H., Abe, S., Nishizawa, A., and Kinoshita, H., 1991. Report on DELP 1988 cruises in the Okinawa trough. *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo*, 66:17-36.
- Griffin, J. J., H. Windom and E. D. Goldberg (1968) The distribution of clay minerals in the World Ocean. *Deep-Sea Research*, 15, 433-459.
- Gingele, F. X. and T. Leipe (1997) Clay mineral assemblages in the western Baltic Sea: recent distribution and relation to sedimentary units. *Marine Geology*, 140, 97-115
- Gingele, F. X., P. D. Deckker and C. D. Hillenbrand (2001) Clay mineral distribution in surface sediments between Indonesia and NW Australia - source and transport by ocean currents. *Marine Geology*, 179, 135-146
- Gingele, F. X., P. D. Deckker and C. D. Hillenbrand (2004) Late Quaternary terrigenous sediments from the Murray Canyons area, offshore South Australia and their implications for sea level change, palaeoclimate and palaeodrainage of Murray-Darling Basin. *Marine Geology*, 212, 183-197

- Hong, E. and I. S. Chen (2000) Echo characters and sedimentary processes along a rifting continental margin, northeast of Taiwan. *Continental Shelf Research*, 20, 599-617.
- Hsu, S. J., F. J. Lin, W. L. Jeng and T.Y. Tang (1998) The effect of a cyclonic eddy on the distribution of lithogenic particles in the southern East China Sea. *Journal of Marine Research*, 56, 813-832.
- Huh, C. A., C. C. Su, C. H. Wang, S. Y. Lee and I. T. Lin (2006) Sedimentation in the Southern Okinawa Trough – rate, budget and turbidites. *Marine Geology*, 231, 129-139.
- Huh, C. A., C. C. Su, W. T. Liang and C. Y. Ling (2004) Linkages between turbidites in the southern Okinawa Trough and submarine earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 31, L12304.
- Hung, J. J., C. S. Lin, G. W. Hung and Y. Chung (1999) Lateral transport of lithogenic particles from the continental margin of the Southern East China Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, 483-499.
- Letouzey, J., Kimura, M. (1985) Okinawa Trough genesis: structure and evolution of a backarc basin developed in a continent. *Marine and Petroleum Geology*, 2, 111-130.
- Lin, F. J. and J. C. Chen (1983) Textural and mineralogical studies of sediments from the southern Okinawa Trough. *Acta Oceanography Taiwanica*, 14, 26-41.
- Lin, S., K. K. Liu, M. P. Chen, P. Chen and F. Y. Chang (1992) Distribution of organic carbon in the KEEP area continental margin sediments. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 3, 365-378.
- Liu, C. T., S. P. Cheng, W. S. Chuang, Y. Yang, T. N. Lee, W. E. Johns and H. W. Li

- (1998) Mean structure and transport of Taiwan Current (Kuroshio). *Acta Oceanographica Taiwanica*, 36, 159-176.
- Liu, Z., A. Trentesaux, S. C. Clemens, C. Colin, P. Wang, B. Huang and S. Boulay (2003) Clay mineral assemblages in the northern South China Sea: implications for East Asian monsoon evolution over the past 2 million years. *Marine Geology*, 201, 133-146.
- Manius, W. G. and M. Covey (1985) The effects of Provenance and diagenesis on clay content and crystallinity in Miocene through Pleistocene deposits, southwestern Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan*, 21, 173-185.
- Milliman, J. D., H. T. Shen, Z. S. Yang and R. H. Meade (1985) Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Continental Shelf Research*, 4, 37-45.
- Petschick, R., G. Kuhn, F. Gingele (1996) Clay mineral distribution in surface sediments of the South Atlantic: sources, transport, and relation to oceanography. *Marine Geology*, 130, 203-229.
- Robert, C., L. Diester-Haass and J. Paturel (2005) Clay mineral assemblages, siliciclastic input and paleoproductivity at ODP Site 1085 off Southwest Africa: A late Miocene-early Pliocene history of Orange river discharges and Benguela current activity, and their relation to global sea level change. *Marine Geology*, 216, 221-238.
- Sandler, A. and B. Herut (2000) Composition of clays along the continental shelf off Israel: contribution of the Nile versus local sources. *Marine Geology*, 167, 339-354.
- Seno, T. (1997) The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea Plate relative

- to the Eurasian Plate. *Tectonophysics*, 42, 209-226.
- Seno, T., S. Stein and A. E. Gripp (1993) A model for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and geological data. *Journal of Geophysical Research*, 98, 17941-17948.
- Sheu, D. D., W. C. Jou, Y. C. Chung, T. Y. Tang and J. J. Hung (1999) Geochemical and carbon isotopic characterization of particles collected in sediment traps from the East China Sea continental slope and the Okinawa Trough northeast of Taiwan. *Continental Shelf Research*, 19, 183-203.
- Song, G. S. and Y. C. Chang (1993) Comment on “naming of the submarine canyons off northeastern Taiwan: A note”. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 30, 77-84.
- Steinke, S., Y. J. J. Hanebuth, C. Vogt and K. Stattegger (2008) Sea level induced variations in clay mineral composition in the southwestern South China Sea over the past 17000 yr. *Marine Geology*, 250, 199-210.
- Tang, T. Y., J. H. Tai and Y. J. Yang (2000) The flow pattern north of Taiwan and the migration of Kuroshio. *Continental Shelf Research*, 20, 349-371.
- Tang, T. Y., Y. Hsueh, Y. J. Yang, and J. C. Ma, (1998) Continental slope flow northeast of Taiwan. *Journal of Physical Oceanography*, 29, 1353-1362.
- Uyeda, S. and H. Kanamori (1979) Back-arc opening and the model of subduction. *Journal of Geophysical Research*, 84, 1049-1061.
- Yu, H. S. and E. Hong (1992) Physiographic characteristics of the continental margin, northeast Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 3, 419-434.

網頁資料

Phil Jeffrey (2006) X-ray Data Collection Course.

<http://xray0.princeton.edu/~phil/Facility/Guides/XrayDataCollection.html>

Poppe, L. J., V. F. Paskevich, J. C. Hathaway, and D. S. Blackwood (2001) A

Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction.

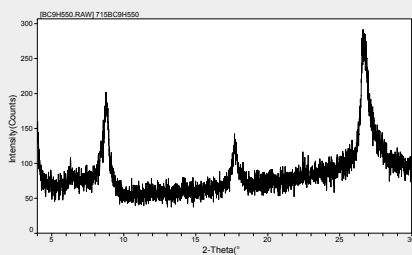
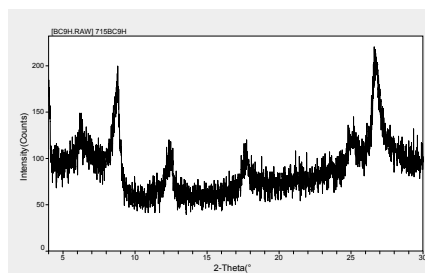
<http://pubs.usgs.gov/of/of01-041/index.htm>.



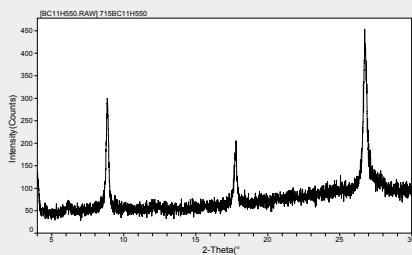
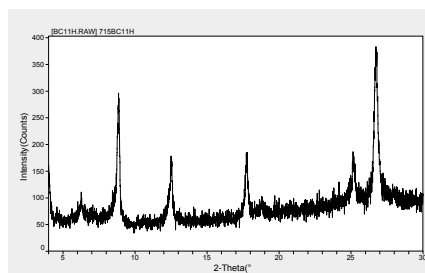
附錄一 南沖繩海槽表層沈積物等時面上黏土礦物繞射圖譜

自然定向片

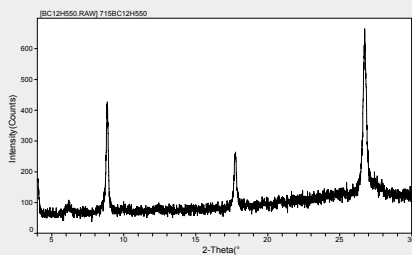
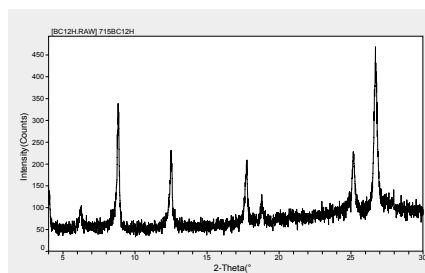
加熱 550°C 處理定向片



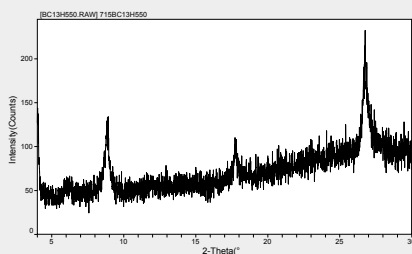
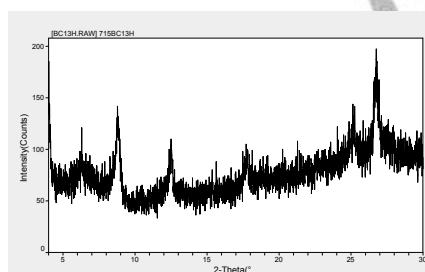
OR715-09



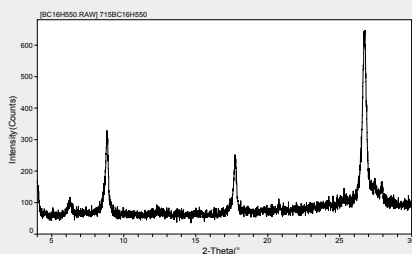
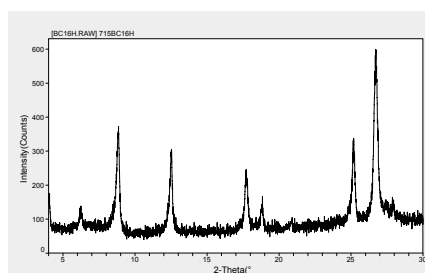
OR715-11



OR715-12



OR715-13

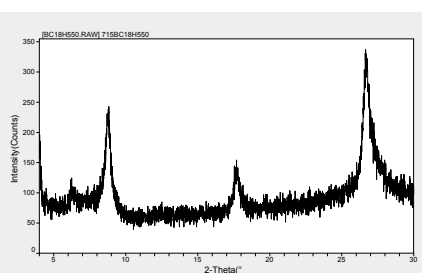
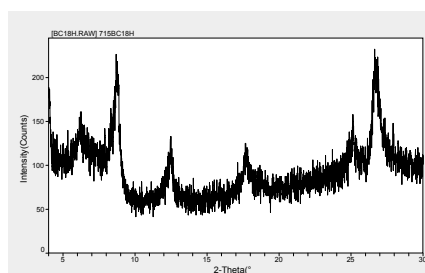


OR715-16

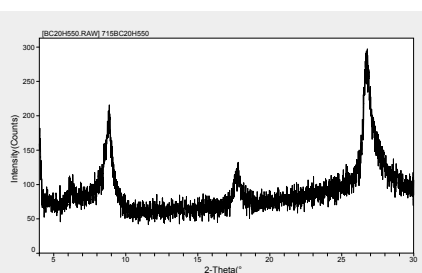
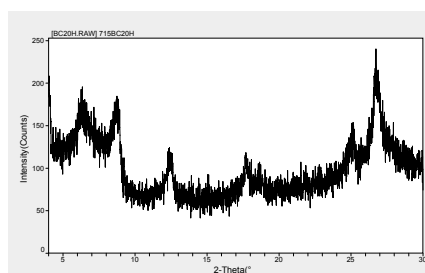
附錄一 南沖繩海槽表層沈積物等時面上黏土礦物繞射圖譜（續）

自然定向片

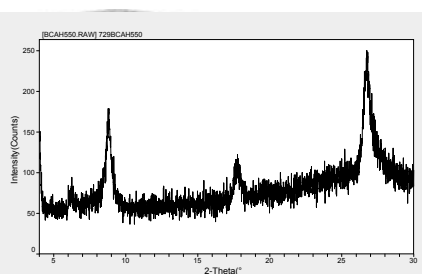
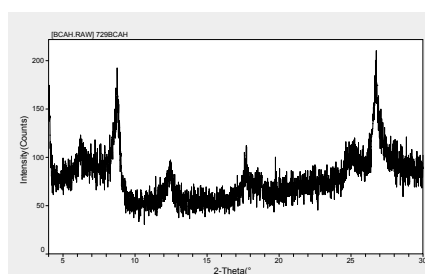
加熱 550°C 處理定向片



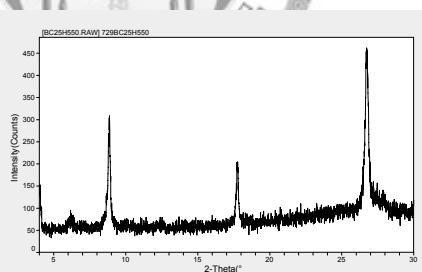
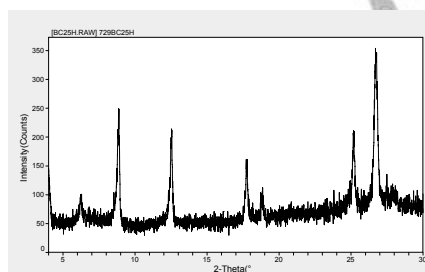
OR715-18



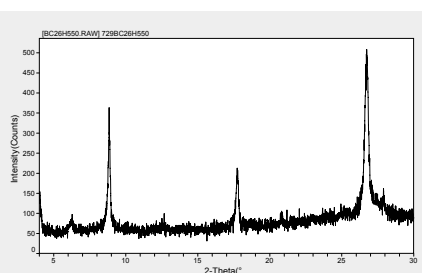
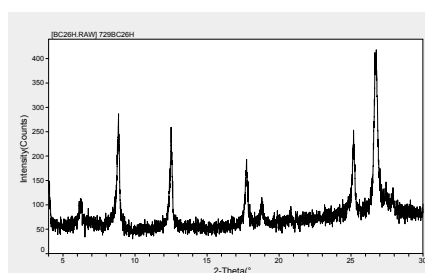
OR715-20



OR729-A



OR729-25

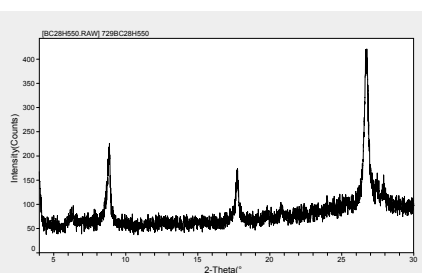
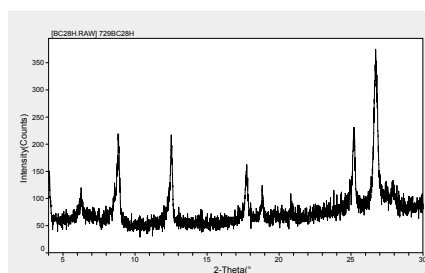


OR729-26

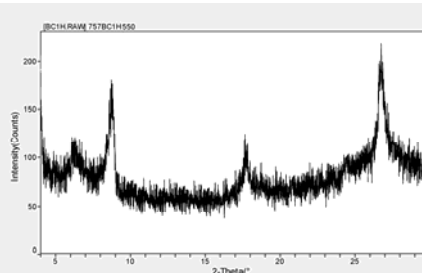
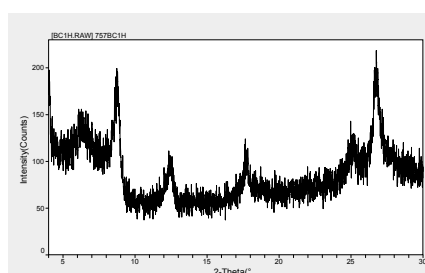
附錄一 南沖繩海槽表層沈積物等時面上黏土礦物繞射圖譜（續）

自然定向片

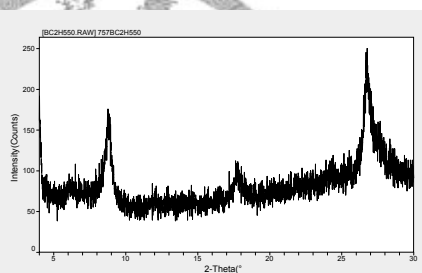
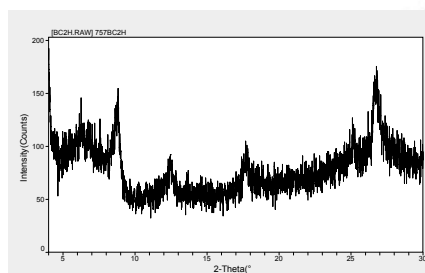
加熱 550°C 處理定向片



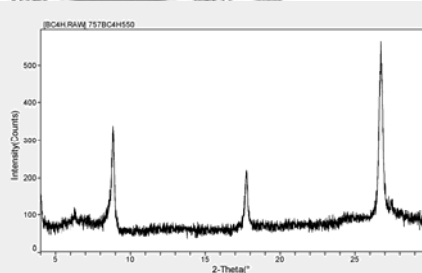
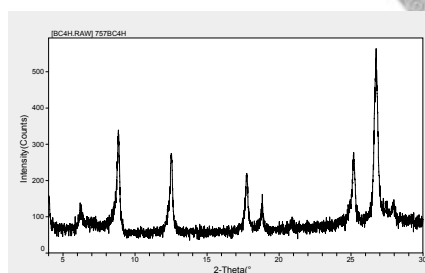
OR729-28



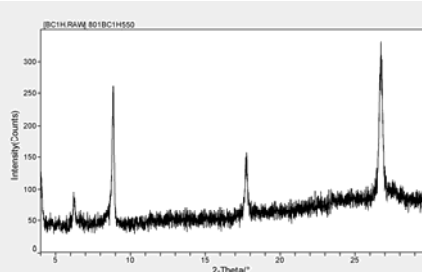
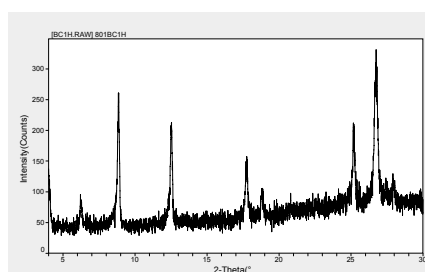
OR757-01



OR757-02



OR757-04

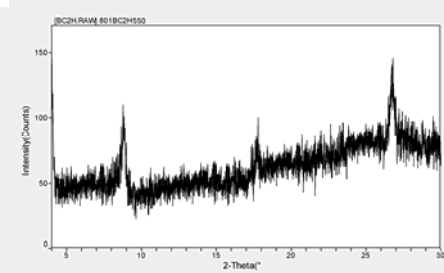
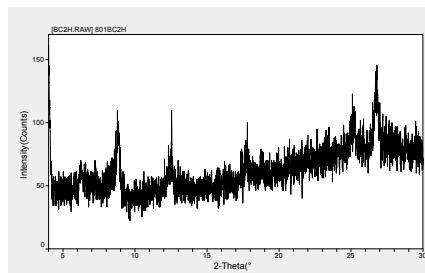


OR801-01

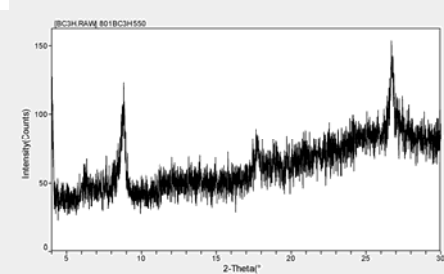
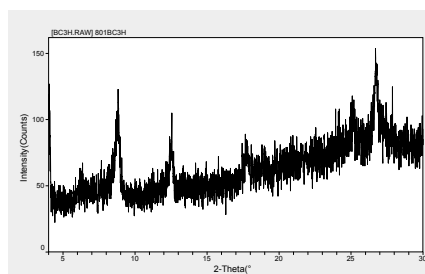
附錄一 南沖繩海槽表層沈積物等時面上黏土礦物繞射圖譜（續）

自然定向片

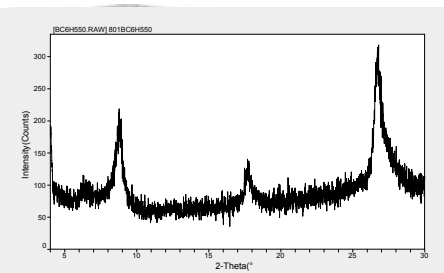
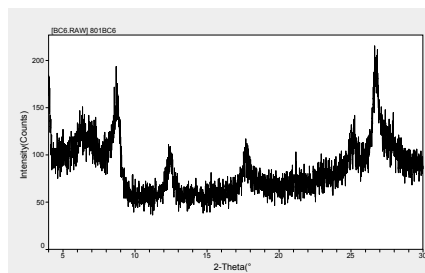
加熱 550°C 處理定向片



OR801-02



OR801-03



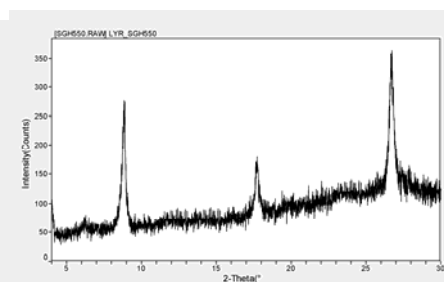
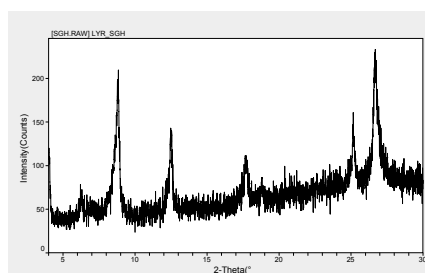
OR801-06



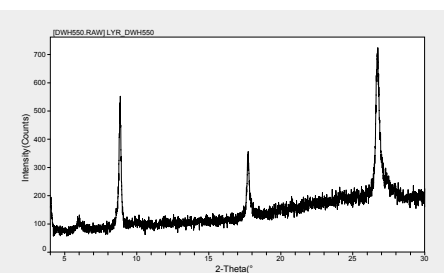
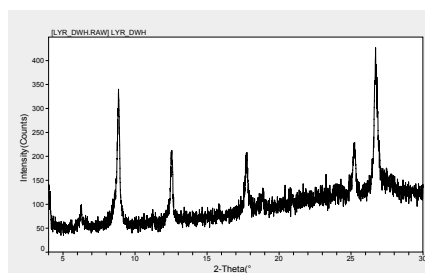
附錄二 台灣東部陸上河川樣本繞射圖譜
蘭陽溪

自然定向片

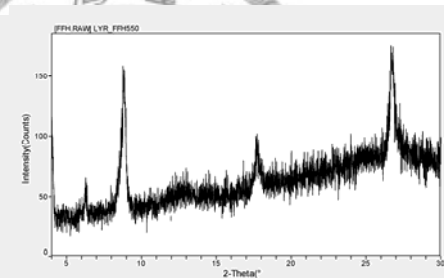
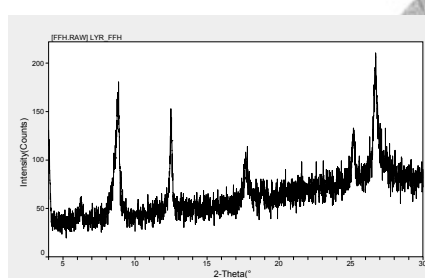
加熱 550°C 處理定向片



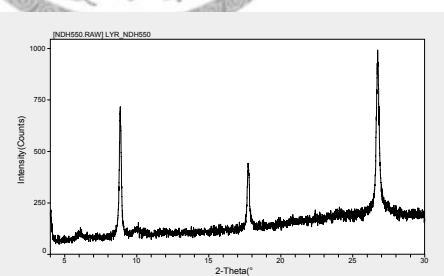
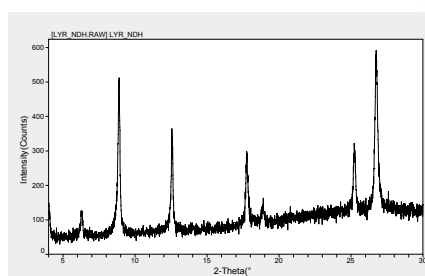
四季一橋



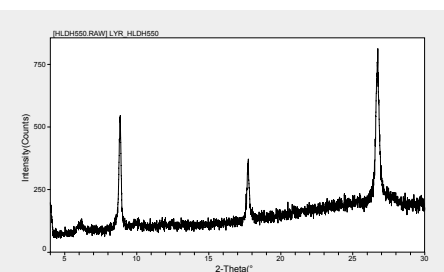
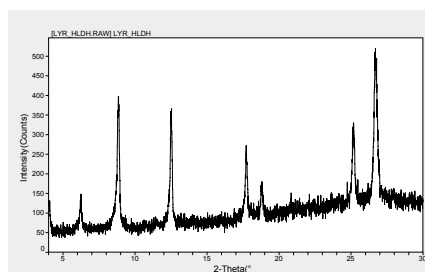
多望溪



梵梵



牛鬥橋



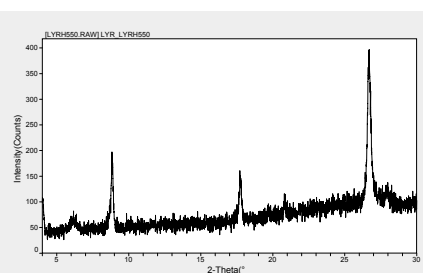
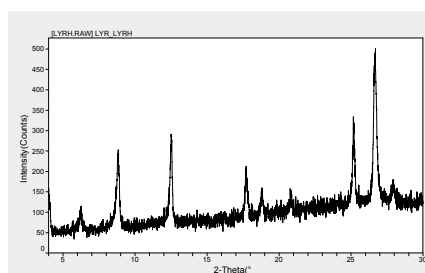
葫蘆堵橋

附錄二 台灣東部陸上河川樣本繞射圖譜（續）

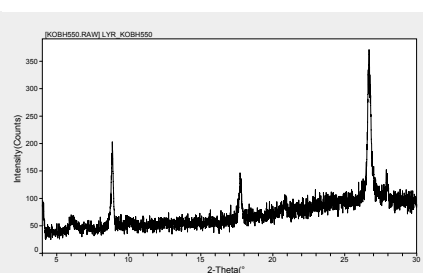
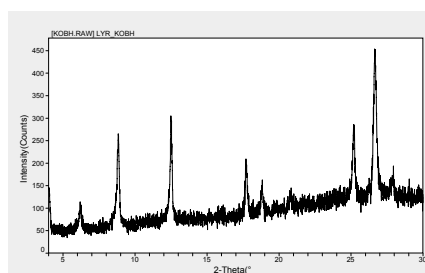
蘭陽溪

自然定向片

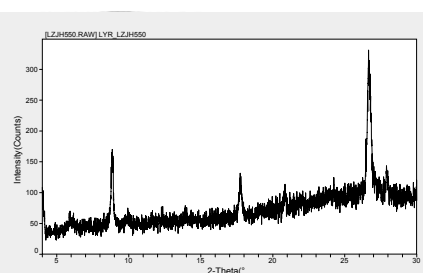
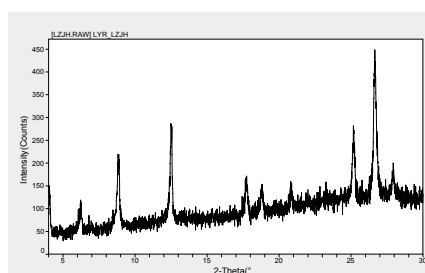
加熱 550°C 處理定向片



蘭陽溪口

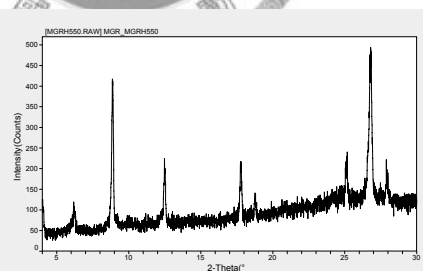
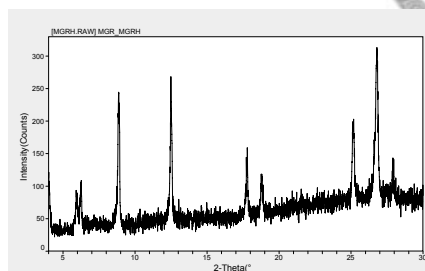


港澳橋



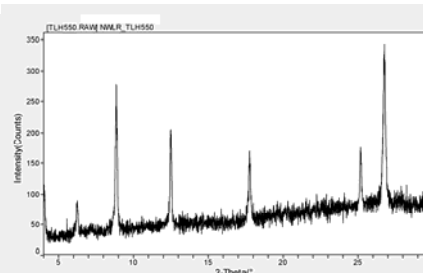
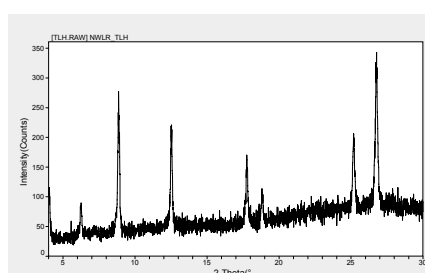
利澤國中

木瓜溪



木瓜溪

新武呂溪



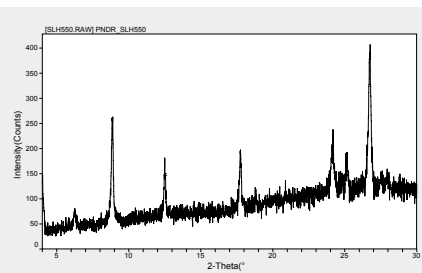
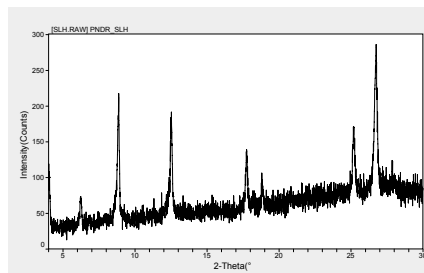
初來橋

附錄二 台灣東部陸上河川樣本繞射圖譜（續）

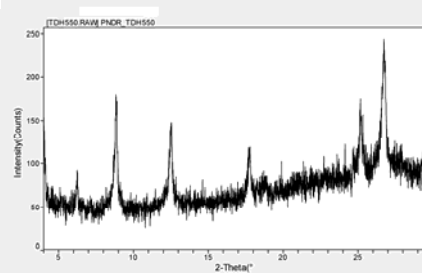
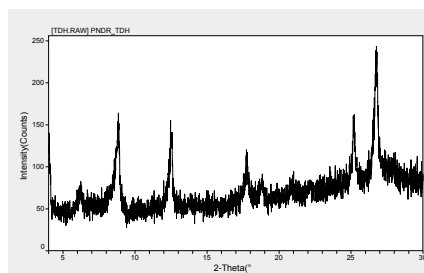
卑南大溪

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片



山里



台東大橋

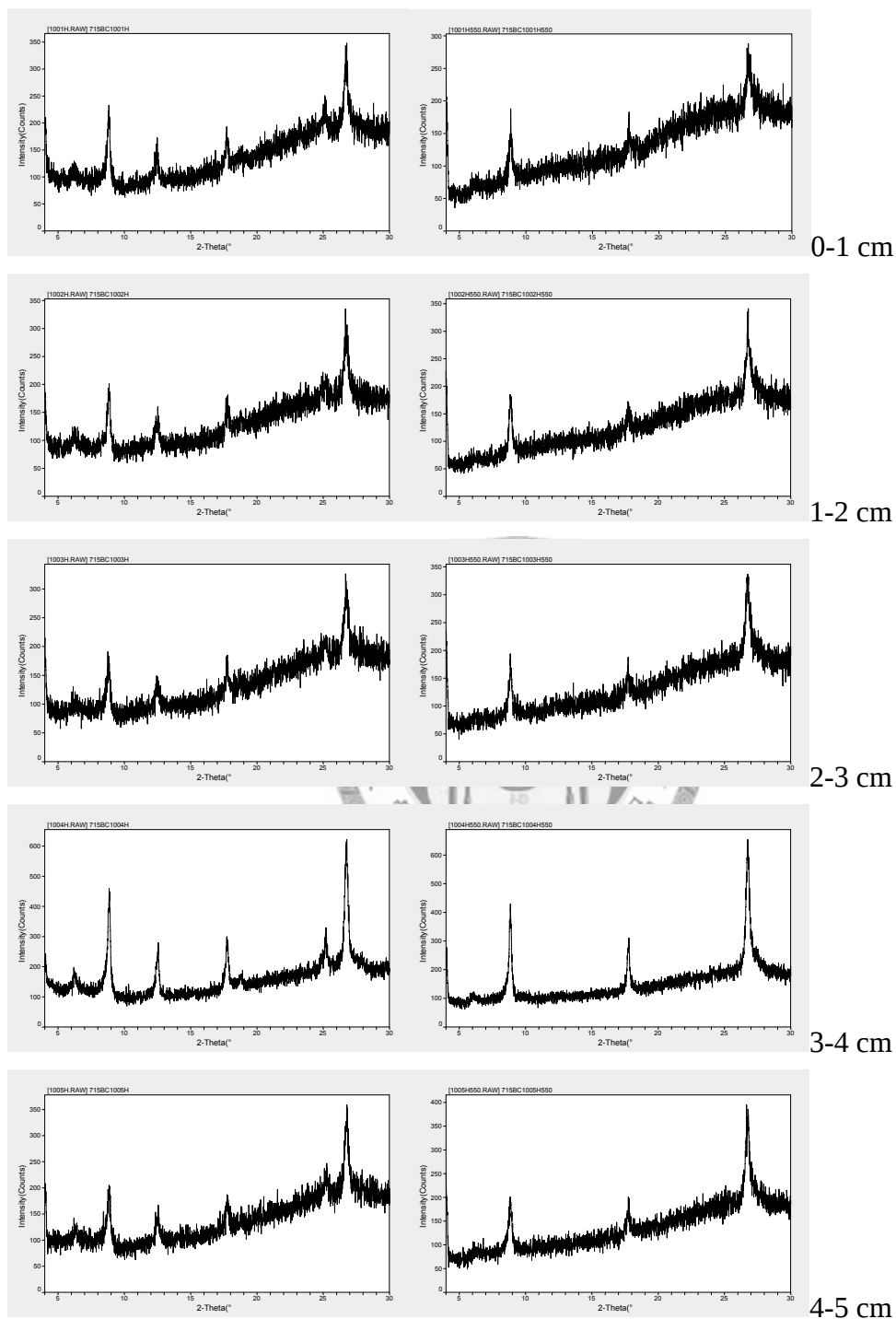


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜

OR715-10

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

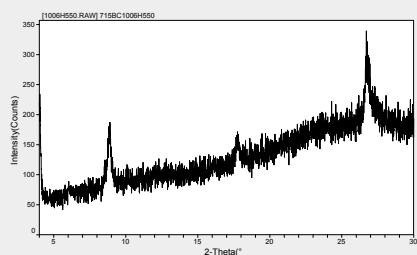
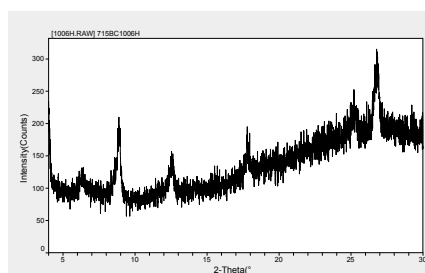


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

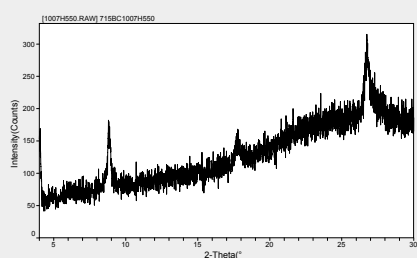
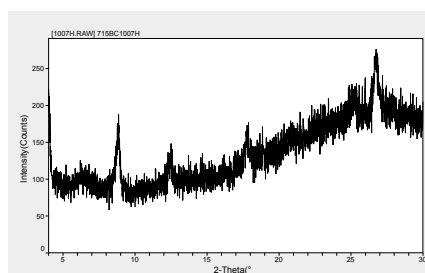
OR715-10

自然定向片

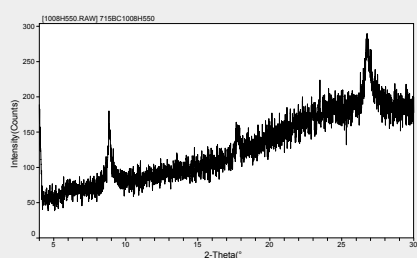
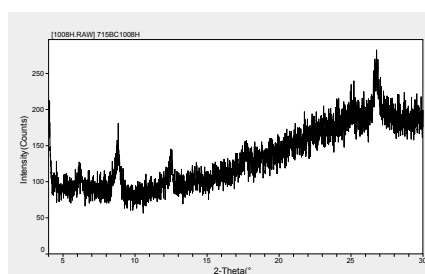
加熱 550°C 處理定向片



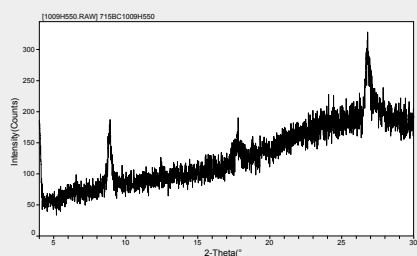
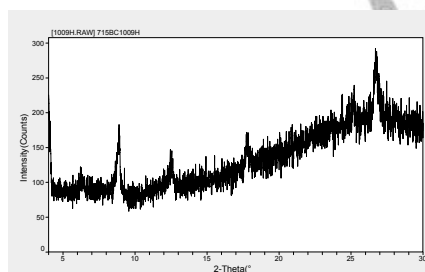
5-6 cm



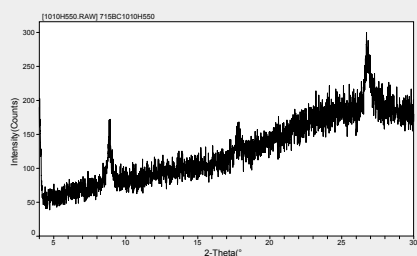
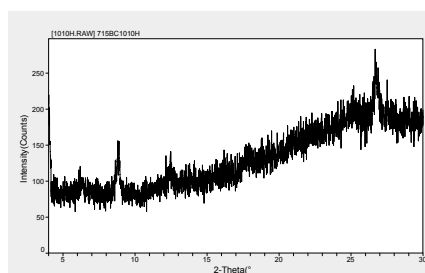
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



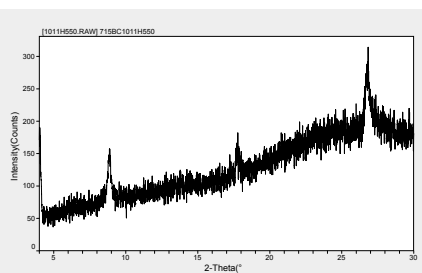
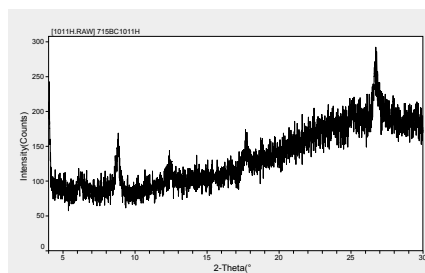
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

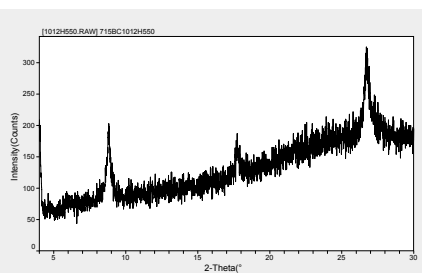
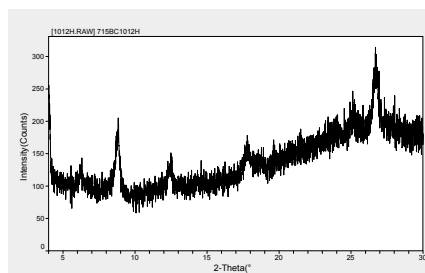
OR715-10

自然定向片

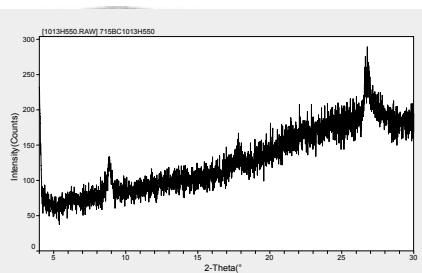
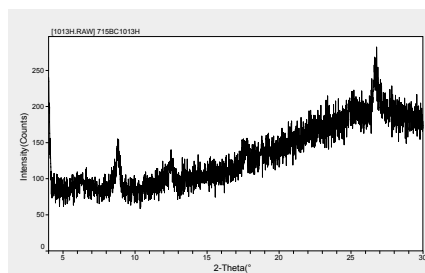
加熱 550°C 處理定向片



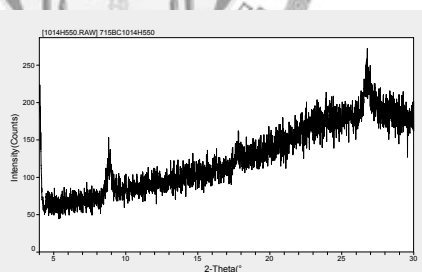
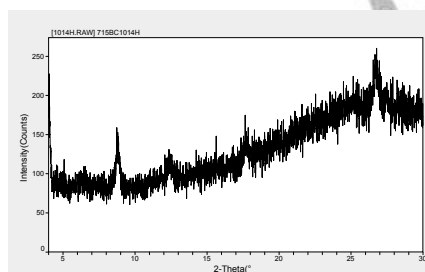
10-11 cm



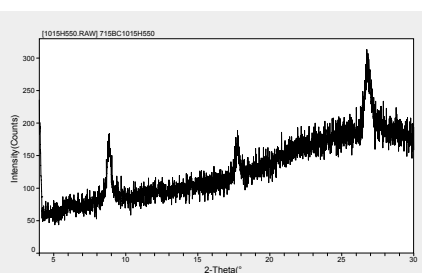
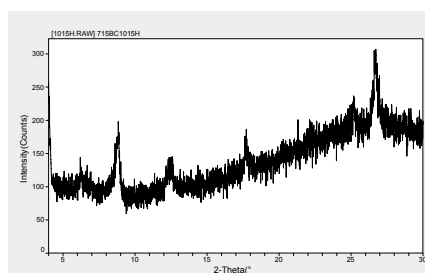
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



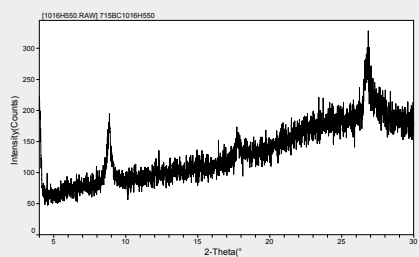
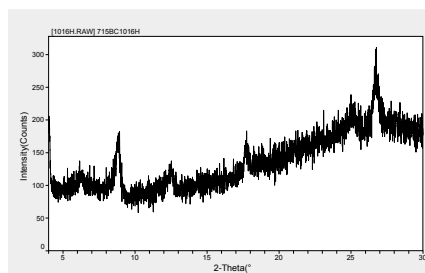
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

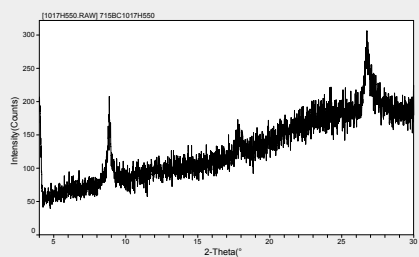
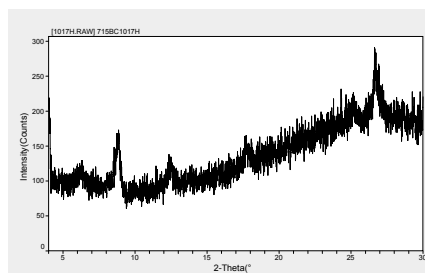
OR715-10

自然定向片

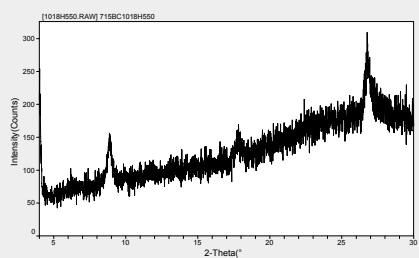
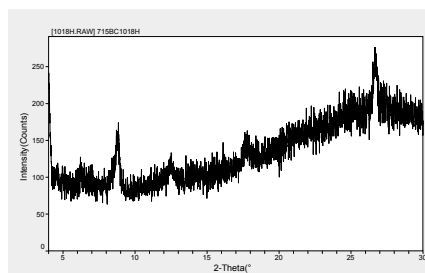
加熱 550°C 處理定向片



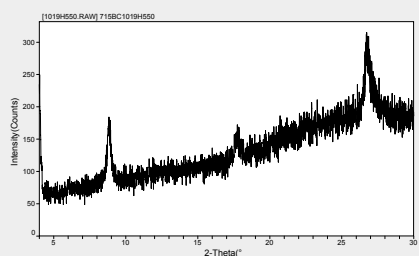
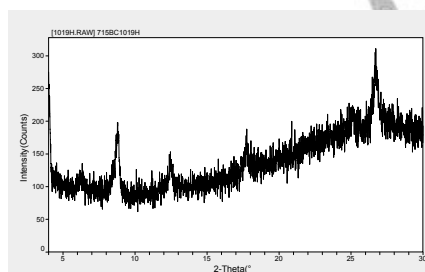
15-16 cm



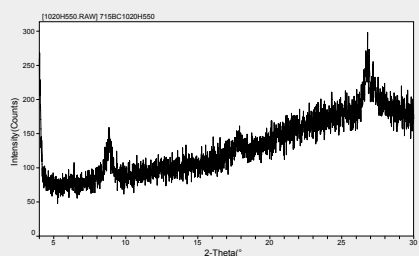
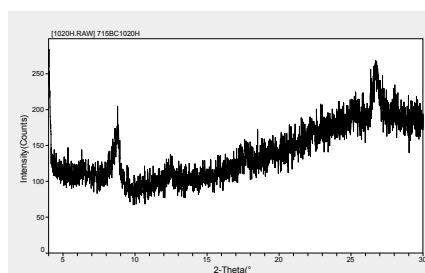
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



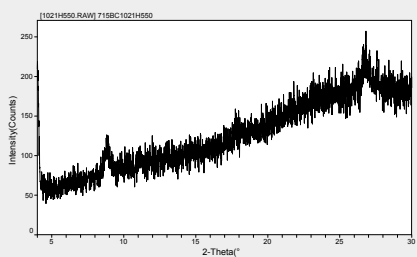
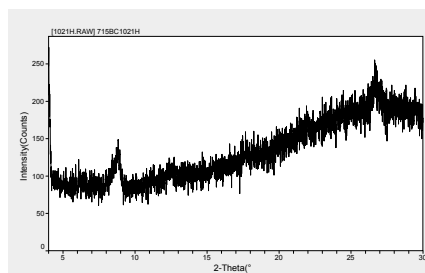
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

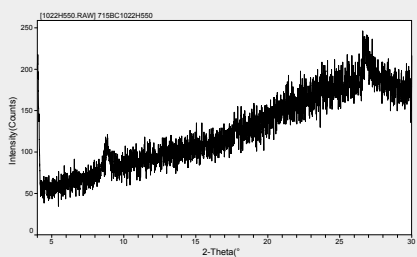
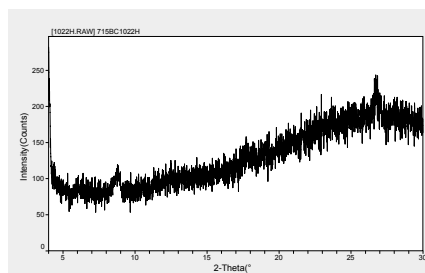
OR715-10

自然定向片

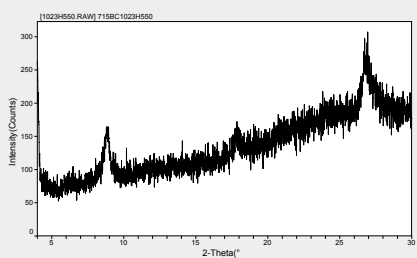
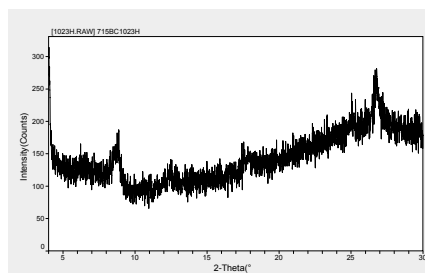
加熱 550°C 處理定向片



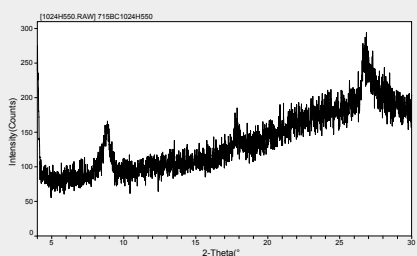
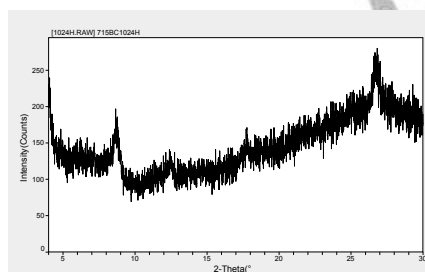
20-21 cm



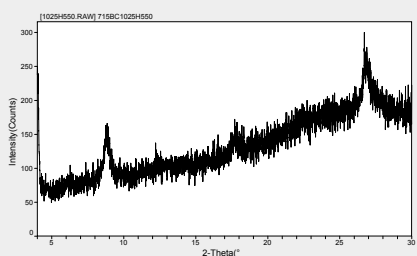
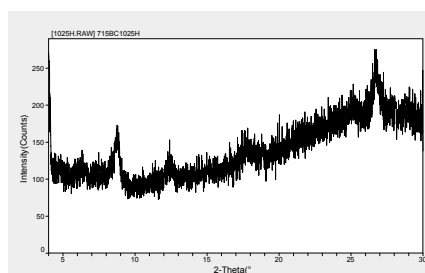
21-22 cm



22-23 cm



23-24 cm



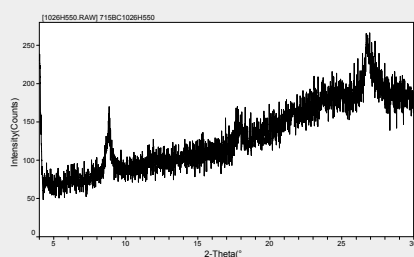
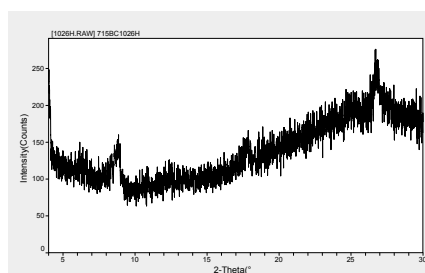
24-25 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

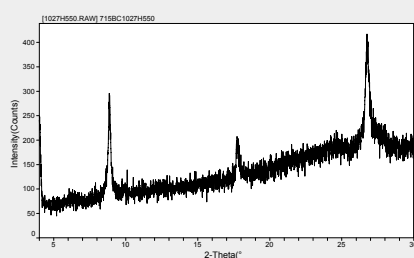
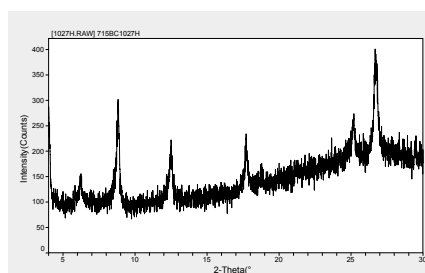
OR715-10

自然定向片

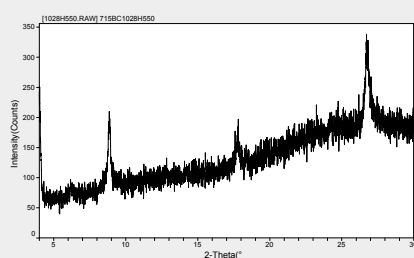
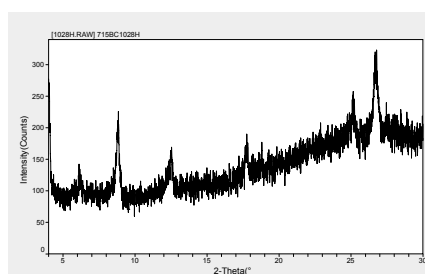
加熱 550°C 處理定向片



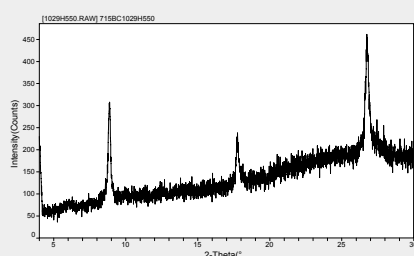
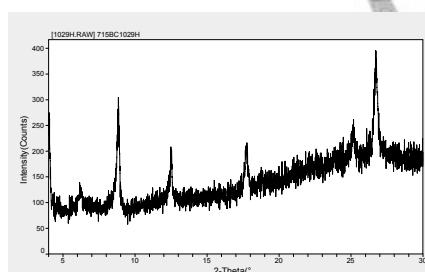
25-26 cm



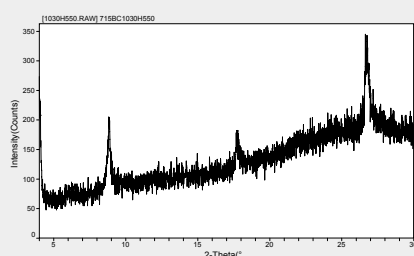
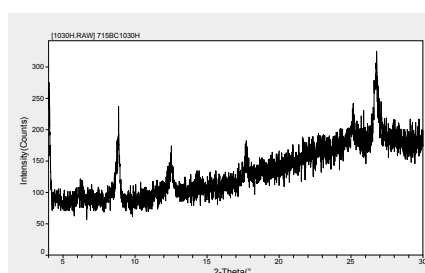
26-27 cm



27-28 cm



28-29 cm



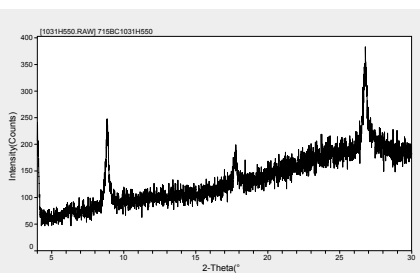
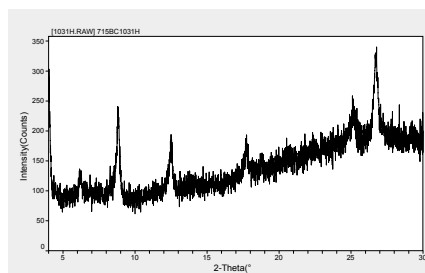
29-30 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

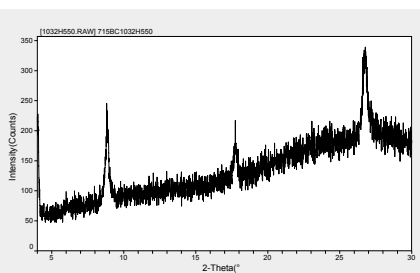
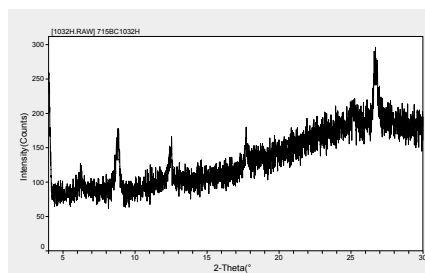
OR715-10

自然定向片

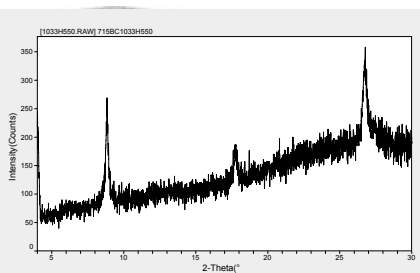
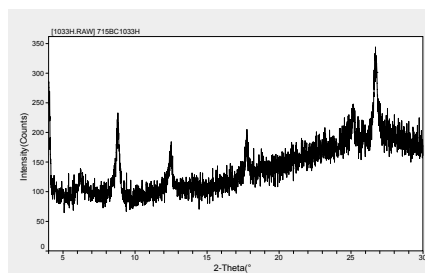
加熱 550°C 處理定向片



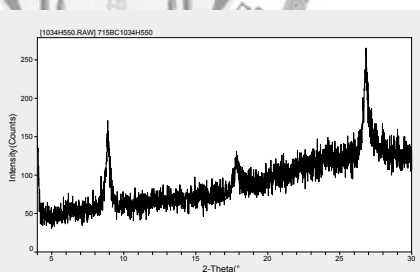
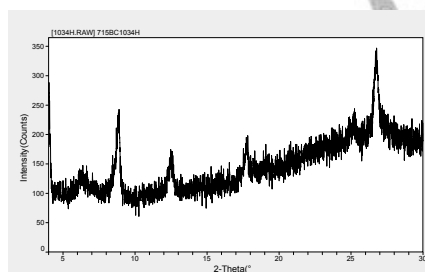
30-31 cm



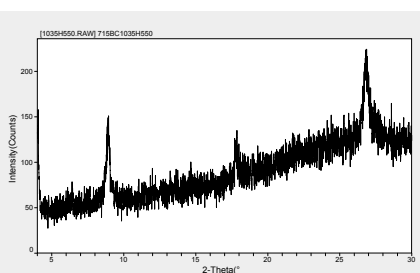
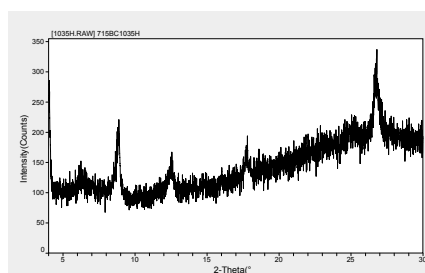
31-32 cm



32-33 cm



33-34 cm



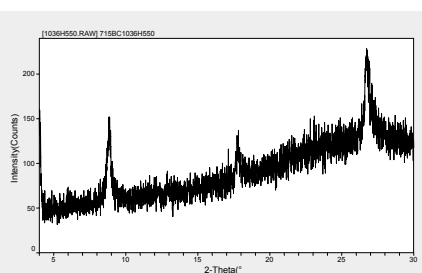
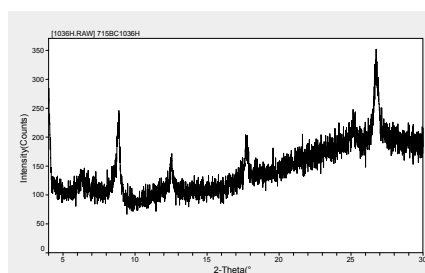
34-35 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

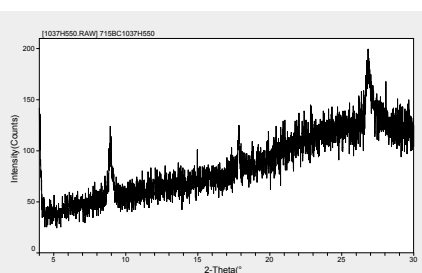
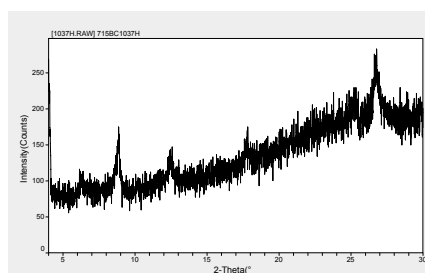
OR715-10

自然定向片

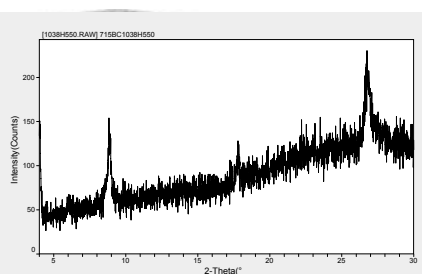
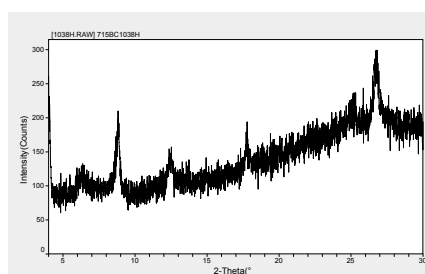
加熱 550°C 處理定向片



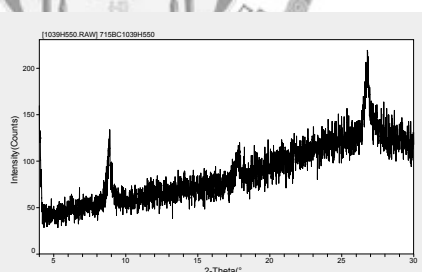
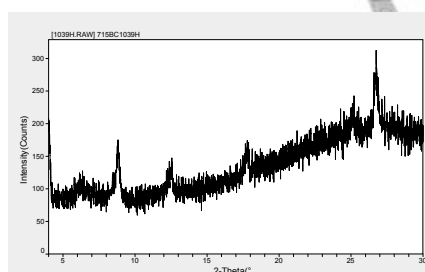
35-36 cm



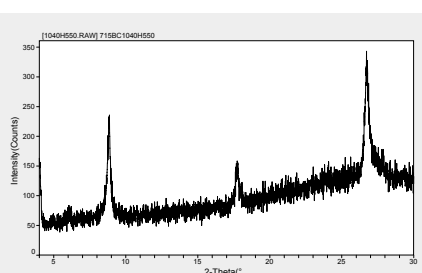
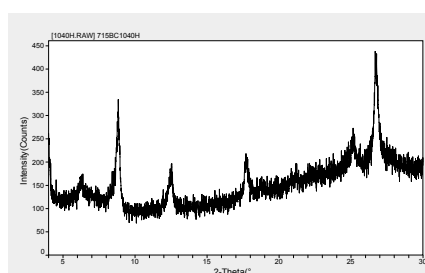
36-37 cm



37-38 cm



38-39 cm



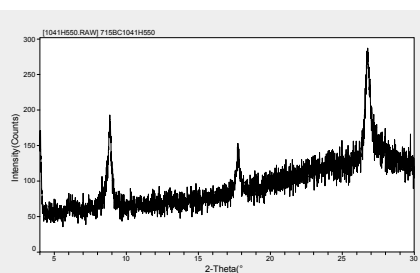
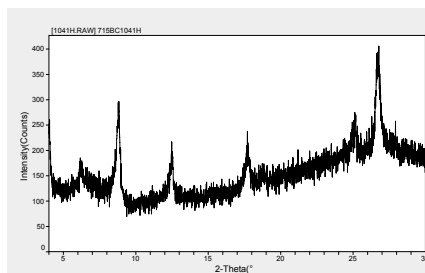
39-40 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

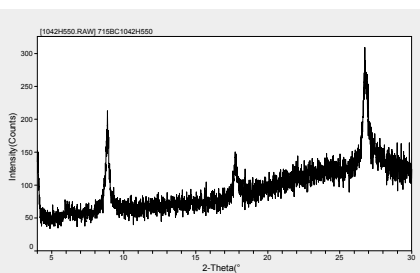
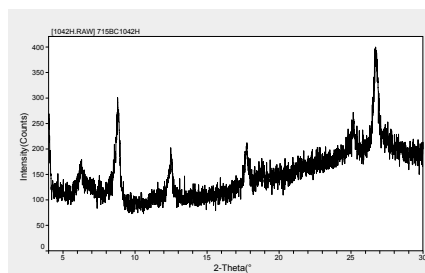
OR715-10

自然定向片

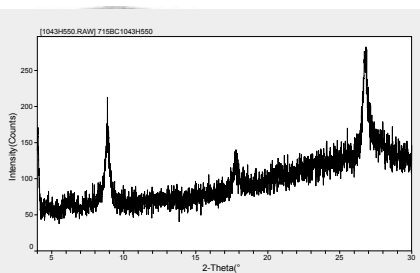
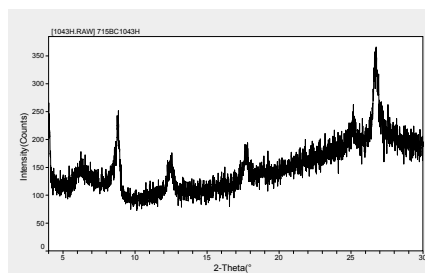
加熱 550°C 處理定向片



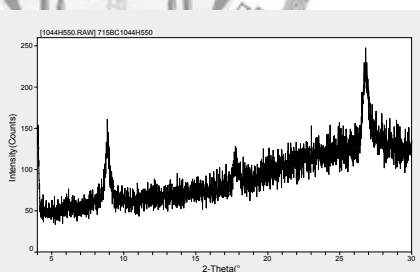
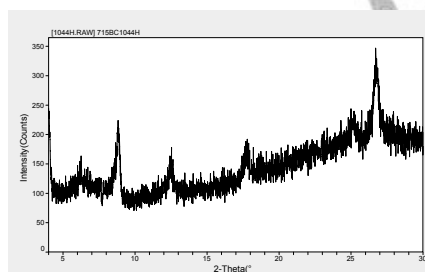
40-41 cm



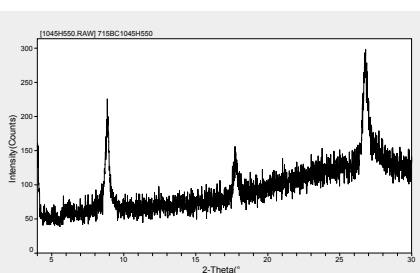
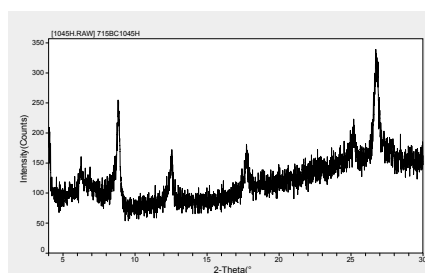
41-42 cm



42-43 cm



43-44 cm



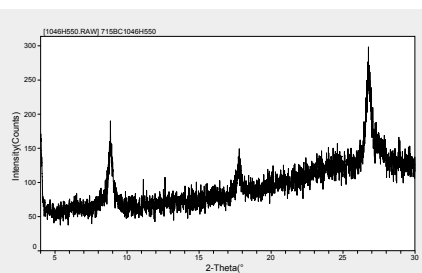
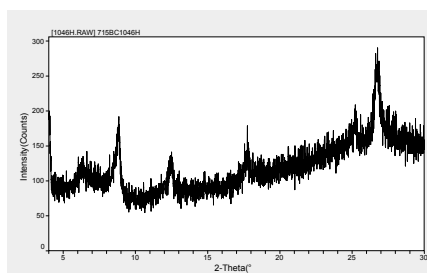
44-45 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-10

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片



45-46 cm

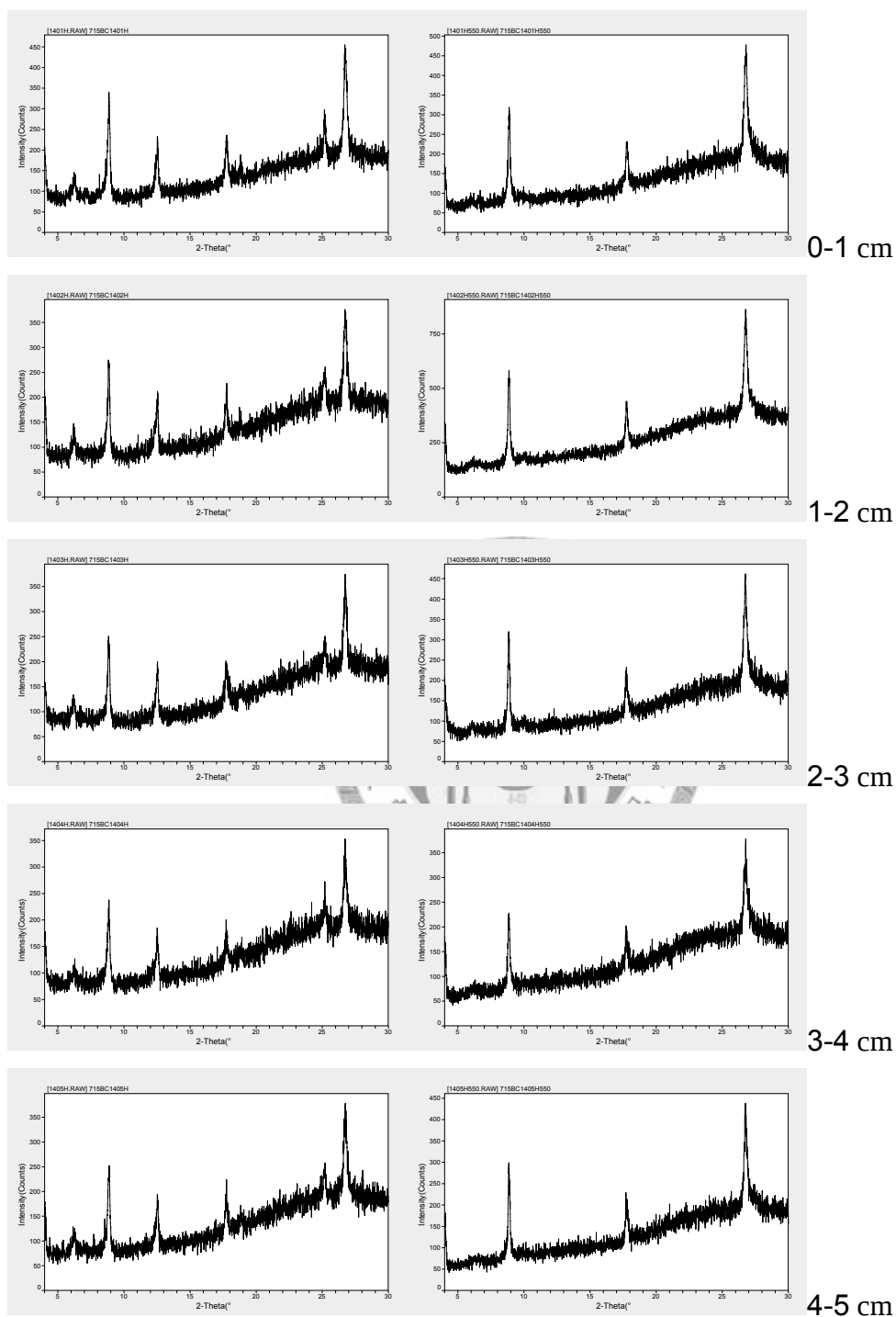


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-14

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

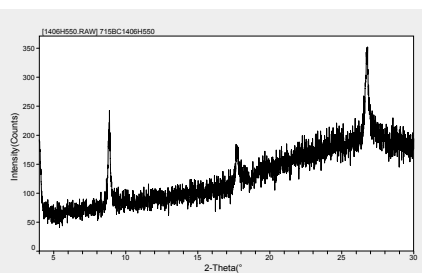
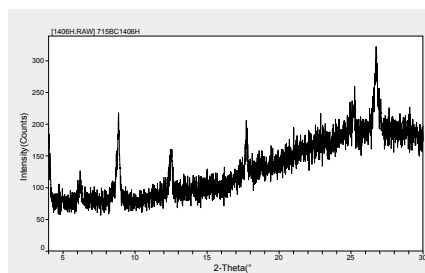


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

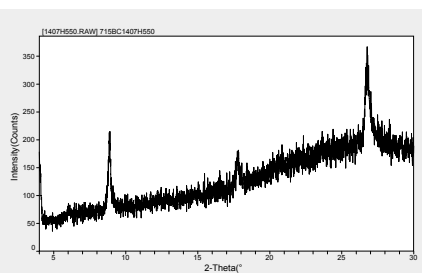
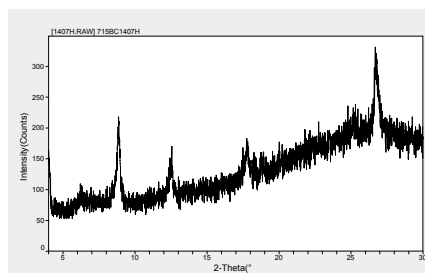
OR715-14

自然定向片

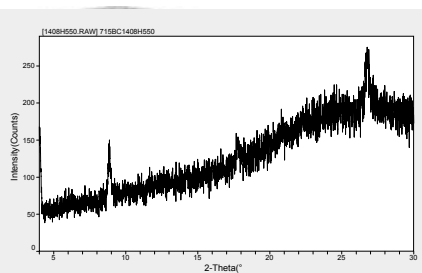
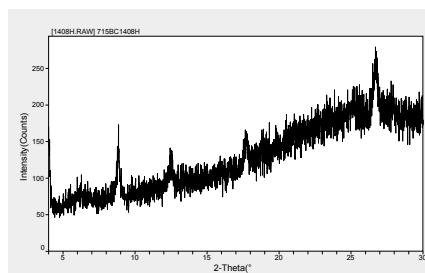
加熱 550°C 處理定向片



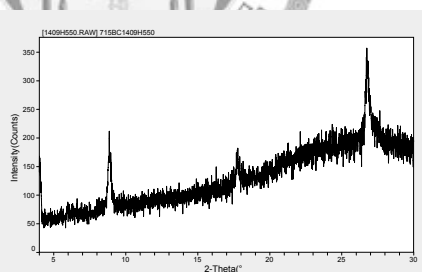
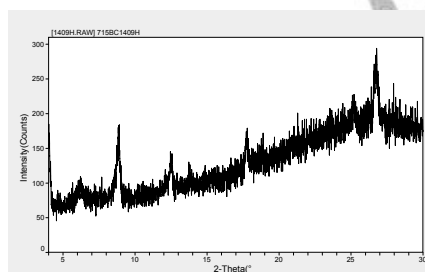
5-6 cm



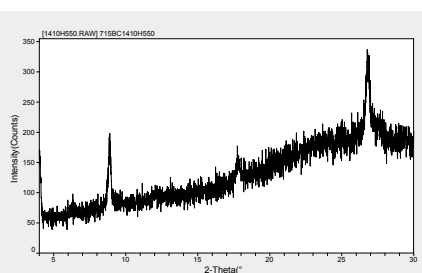
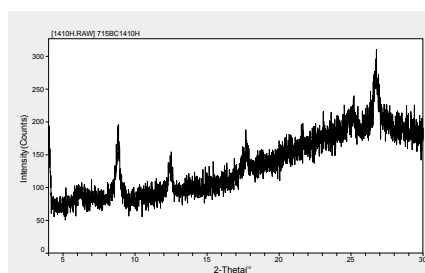
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



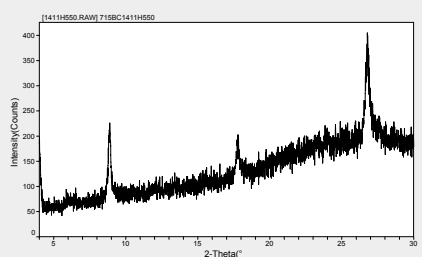
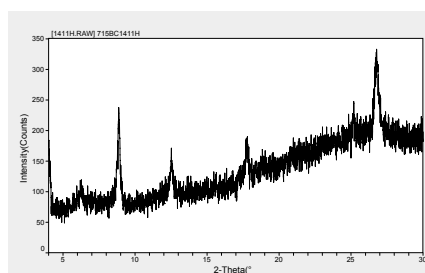
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

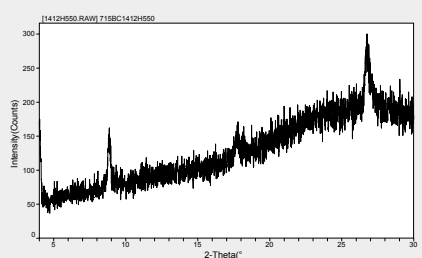
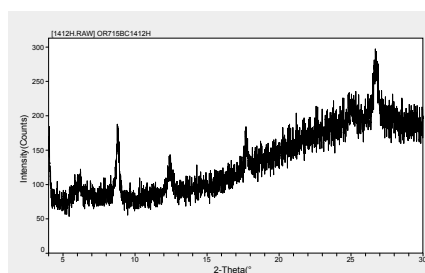
OR715-14

自然定向片

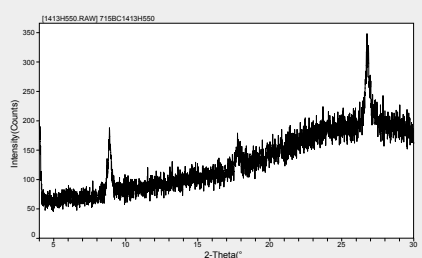
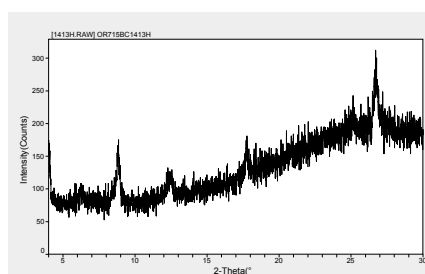
加熱 550°C 處理定向片



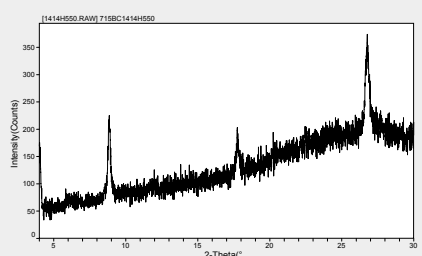
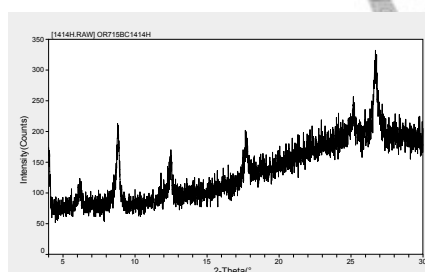
10-11 cm



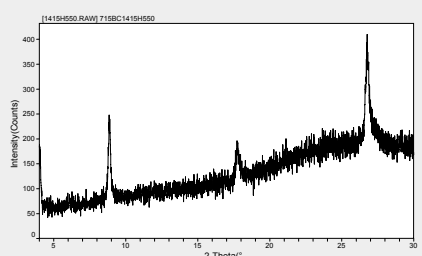
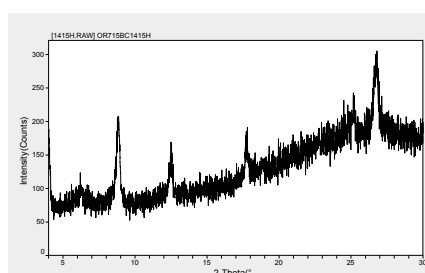
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



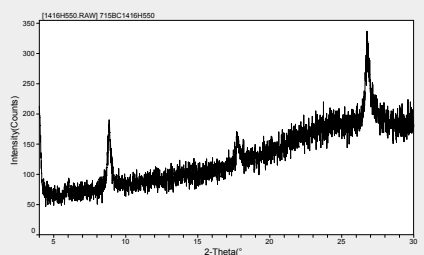
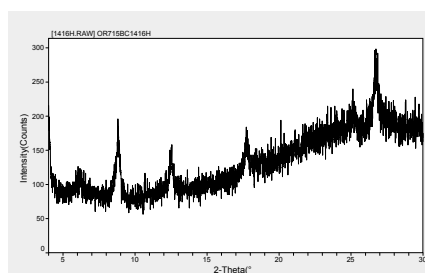
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

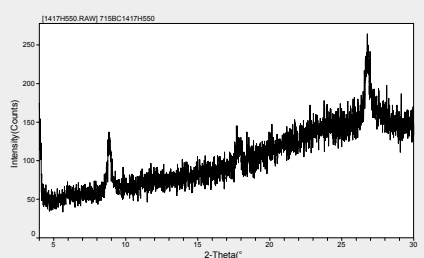
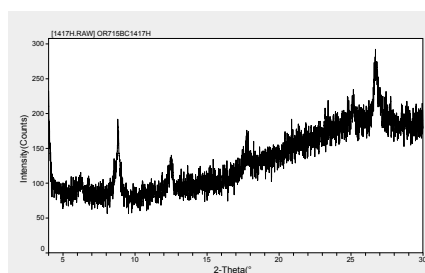
OR715-14

自然定向片

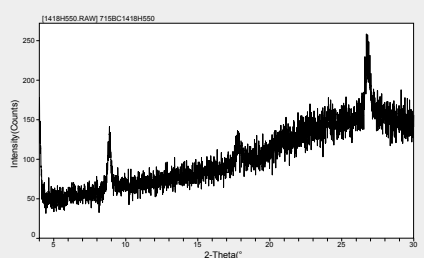
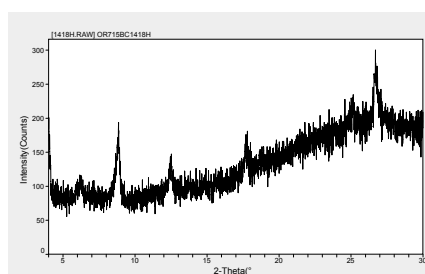
加熱 550°C 處理定向片



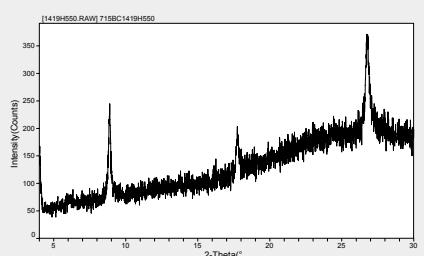
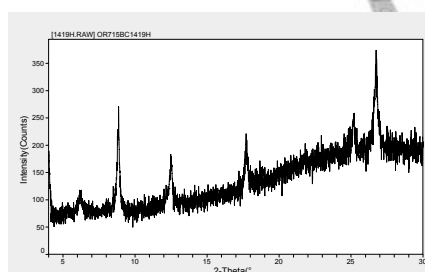
15-16 cm



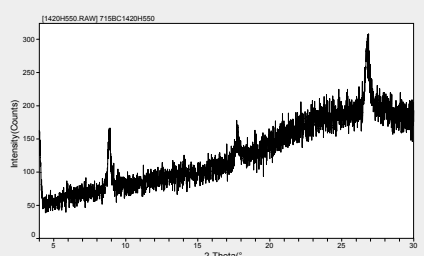
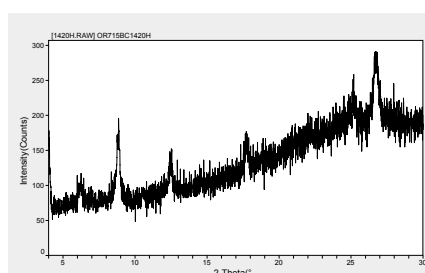
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



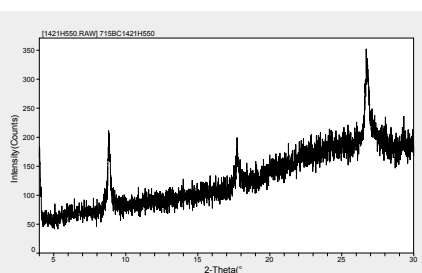
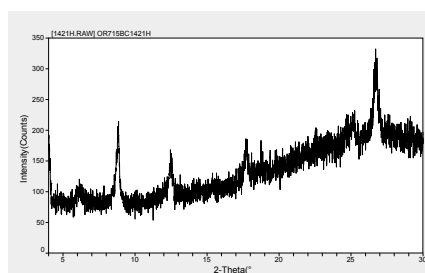
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

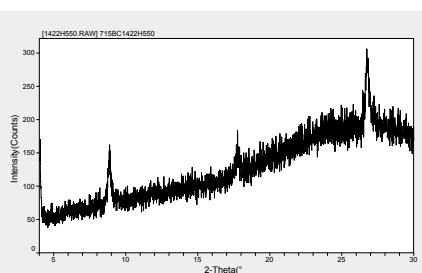
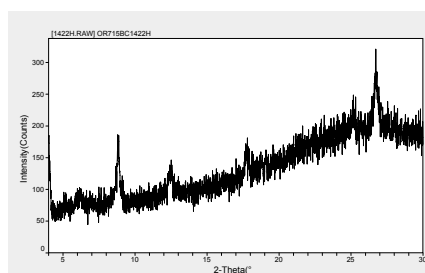
OR715-14

自然定向片

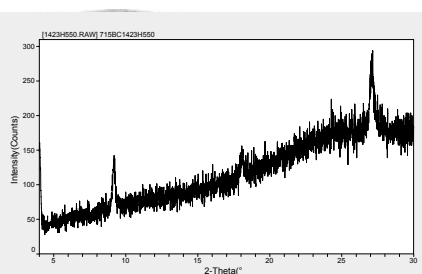
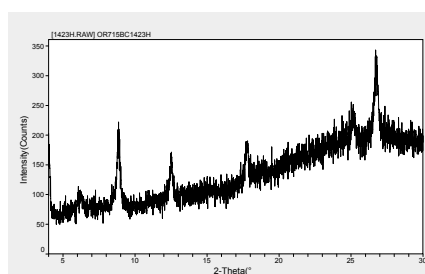
加熱 550°C 處理定向片



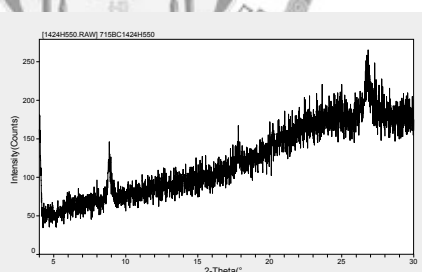
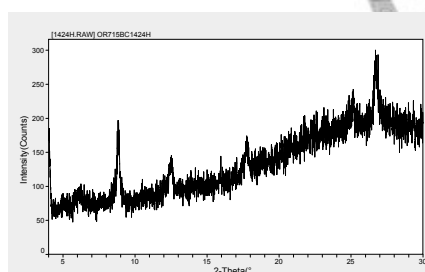
20-21 cm



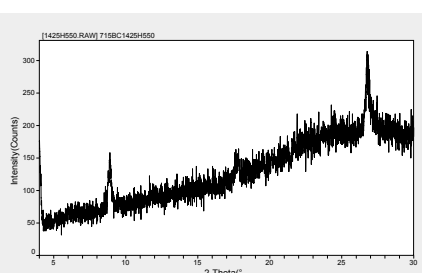
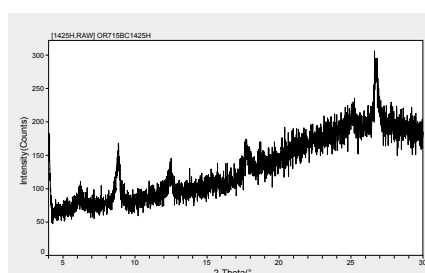
21-22 cm



22-23 cm



23-24 cm



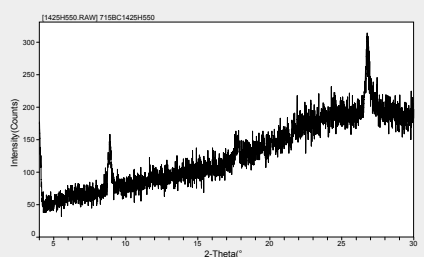
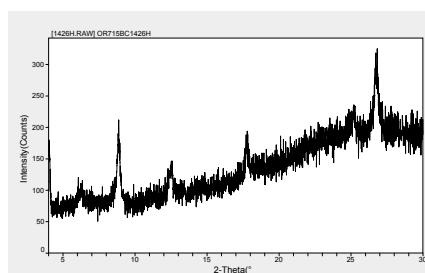
24-25 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

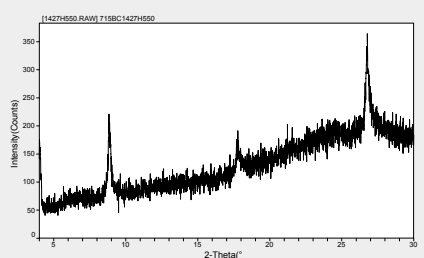
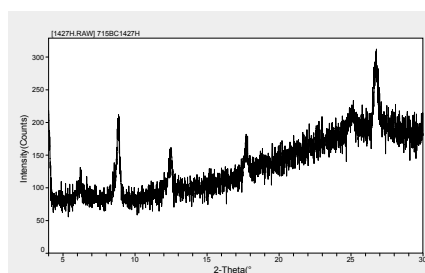
OR715-14

自然定向片

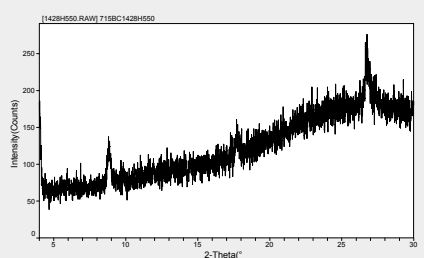
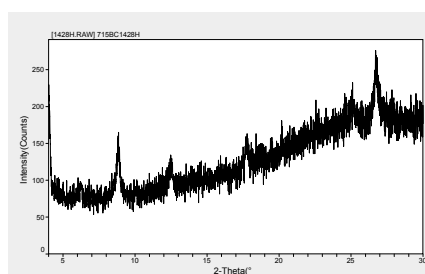
加熱 550°C 處理定向片



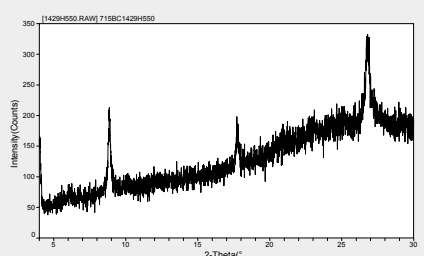
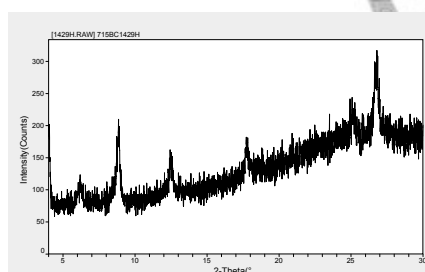
25-26 cm



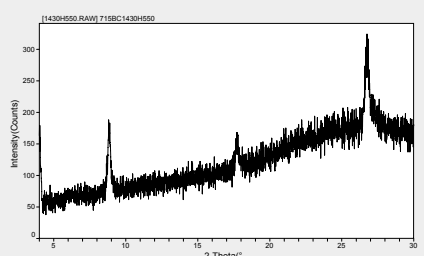
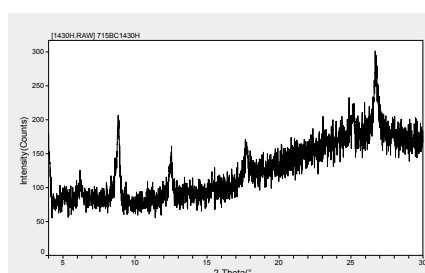
26-27 cm



27-28 cm



28-29 cm



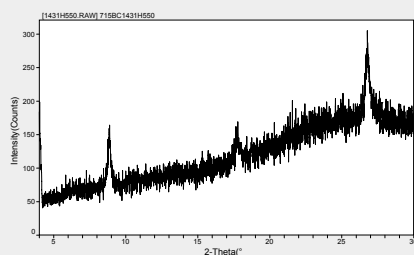
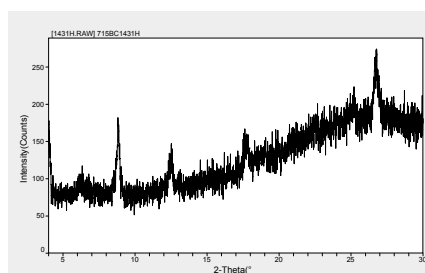
29-30 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

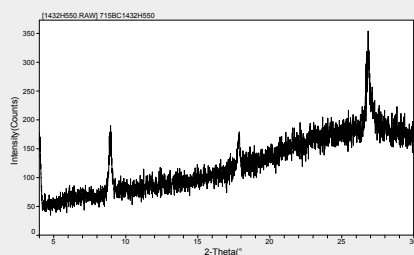
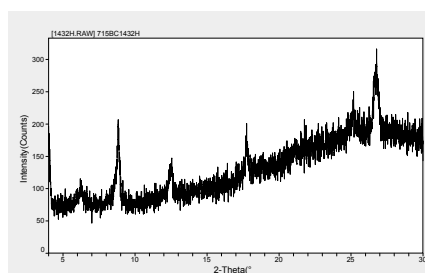
OR715-14

自然定向片

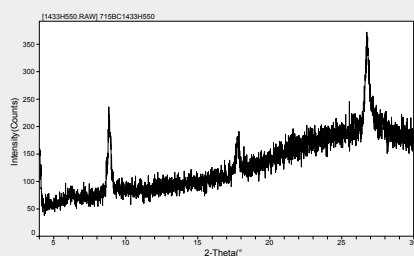
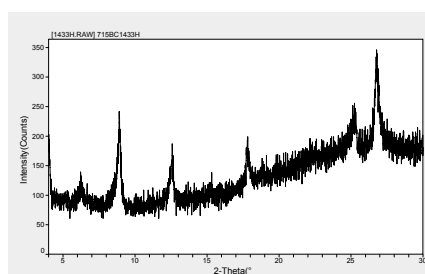
加熱 550°C 處理定向片



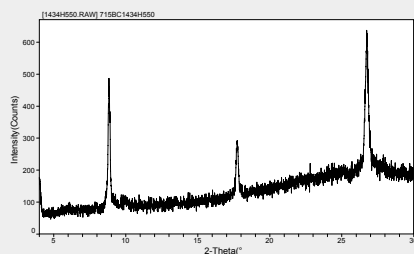
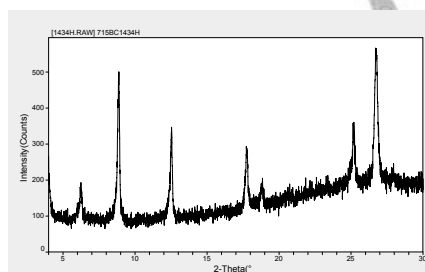
30-31 cm



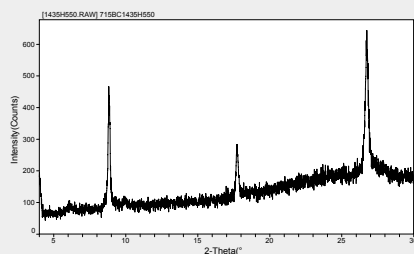
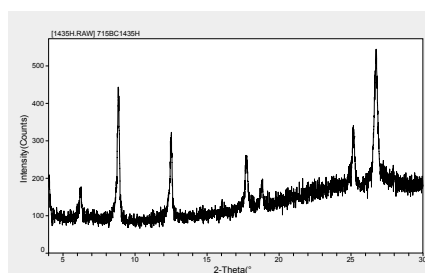
31-32 cm



32-33 cm



33-34 cm



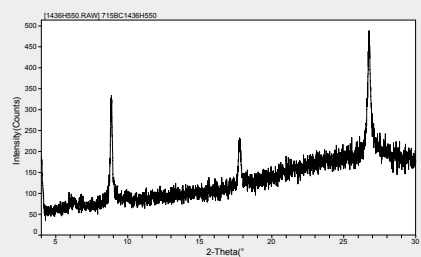
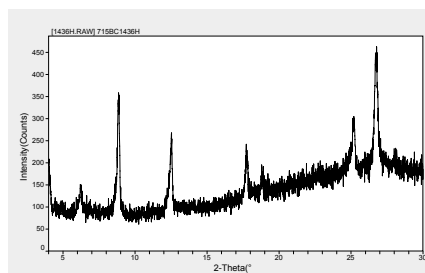
34-35 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

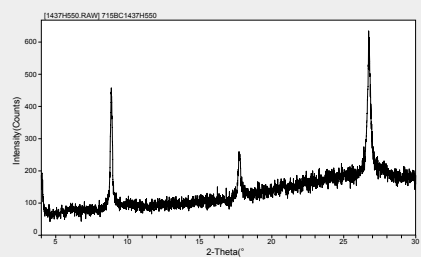
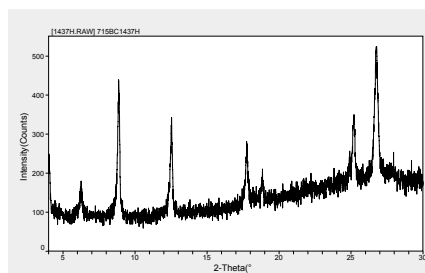
OR715-14

自然定向片

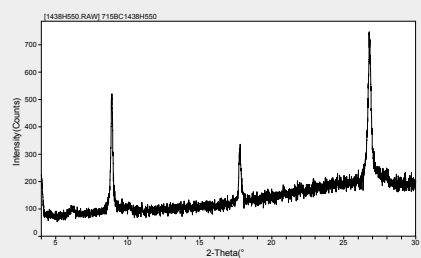
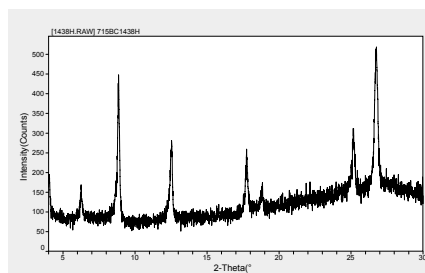
加熱 550°C 處理定向片



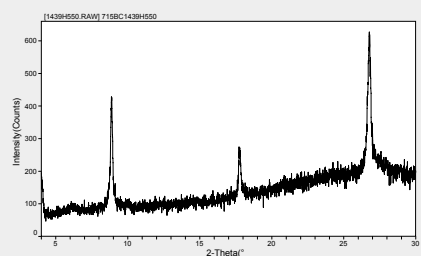
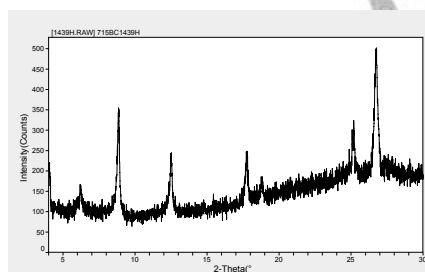
35-36 cm



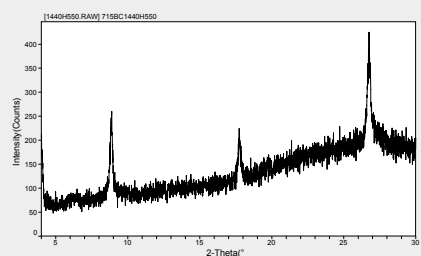
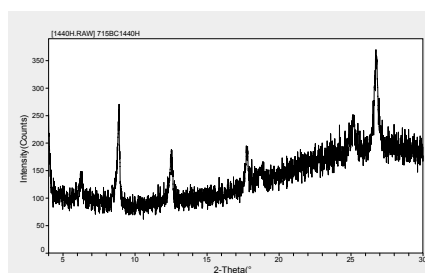
36-37 cm



37-38 cm



38-39 cm



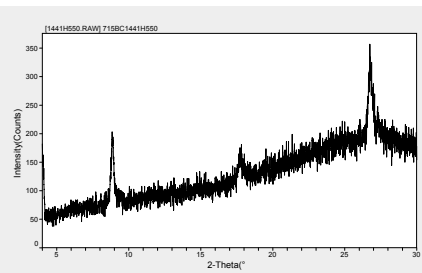
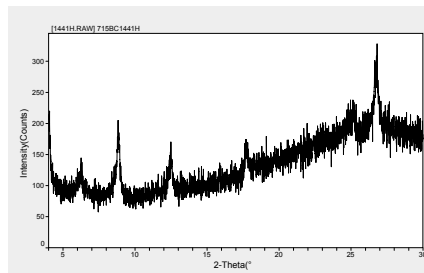
39-40 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-14

自然定向片

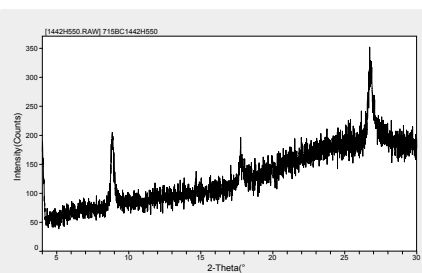
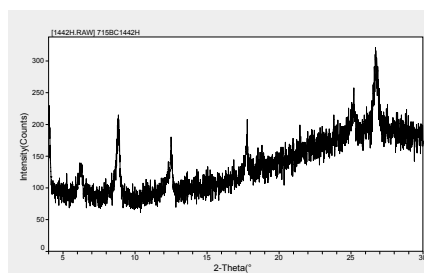
加熱 550°C 處理定向片



40-41 cm

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片



41-42 cm

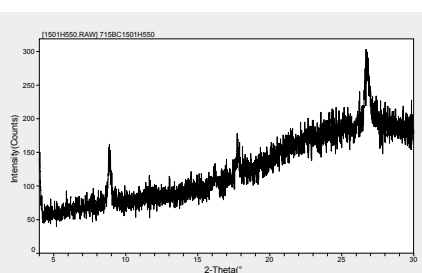
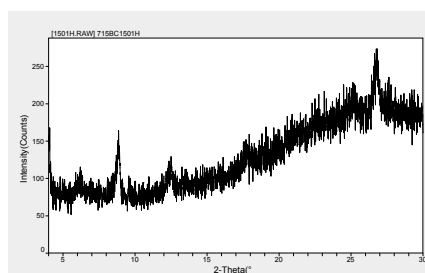


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

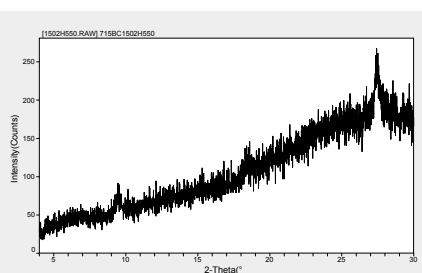
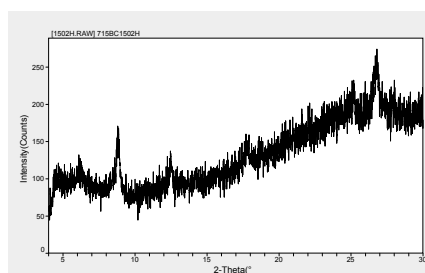
OR715-15

自然定向片

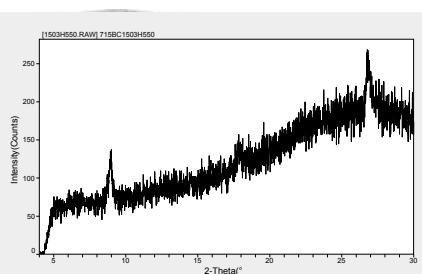
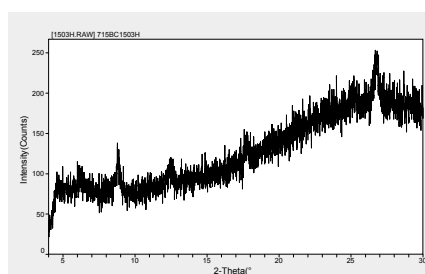
加熱 550°C 處理定向片



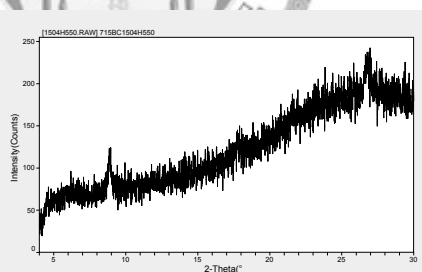
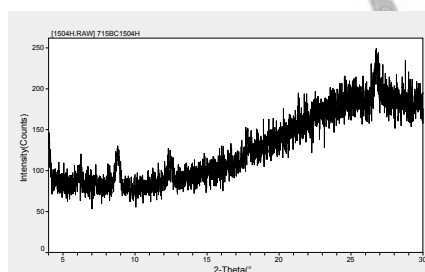
0-1 cm



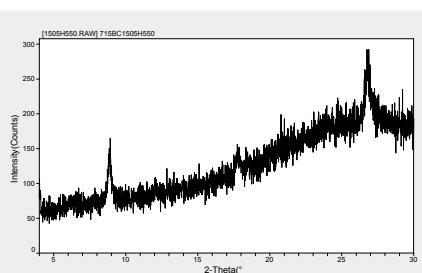
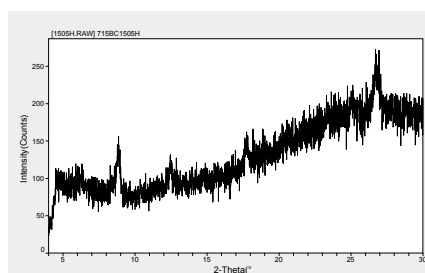
1-2 cm



2-3 cm



3-4 cm



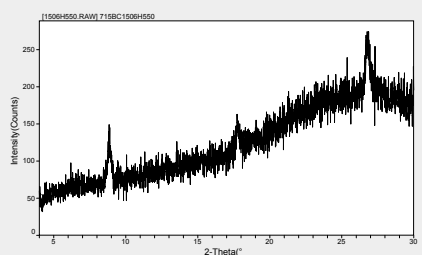
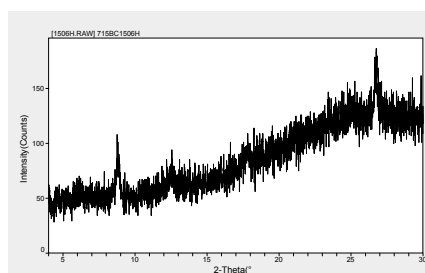
4-5 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

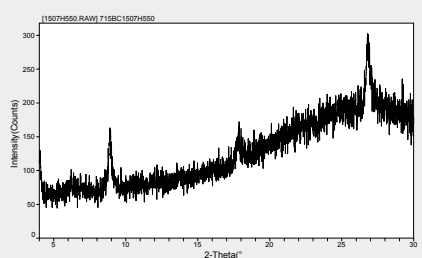
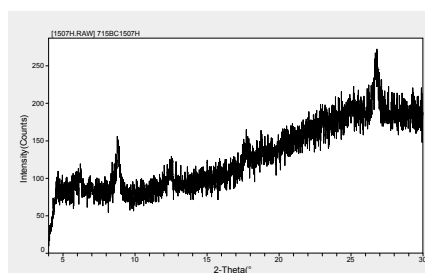
OR715-15

自然定向片

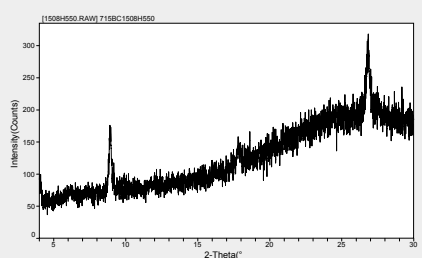
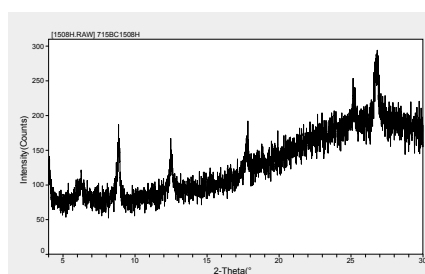
加熱 550°C 處理定向片



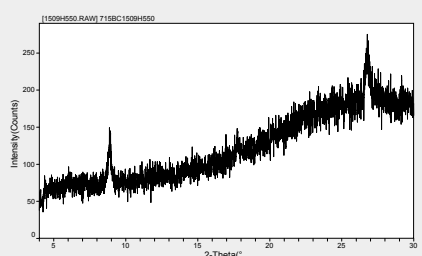
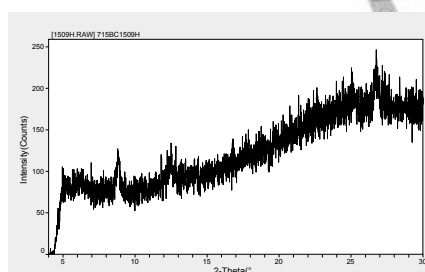
5-6 cm



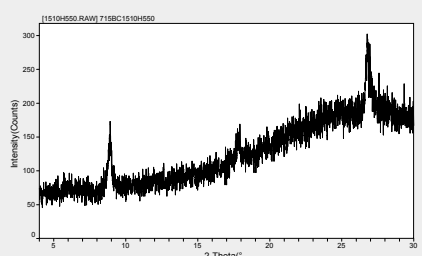
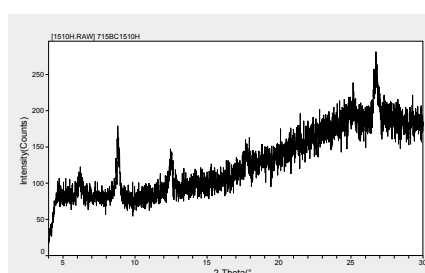
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



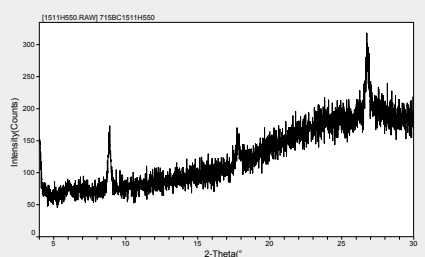
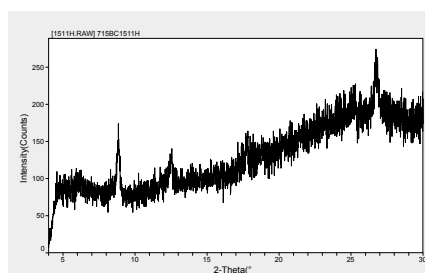
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

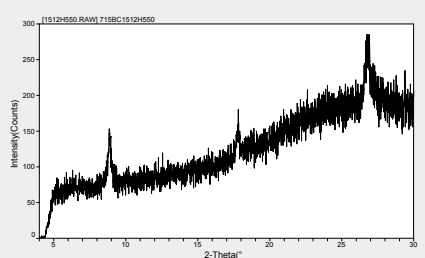
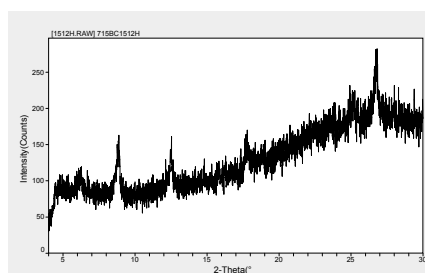
OR715-15

自然定向片

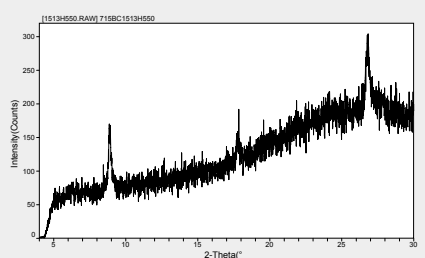
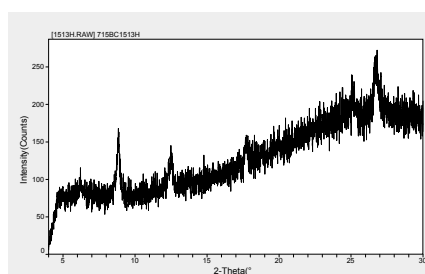
加熱 550°C 處理定向片



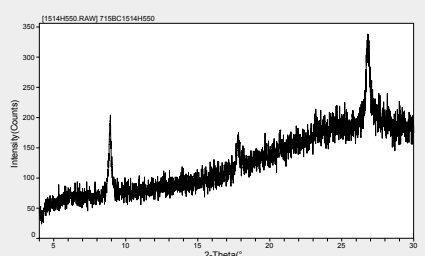
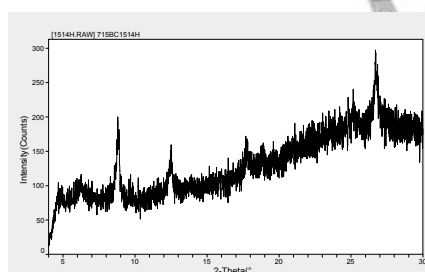
10-11 cm



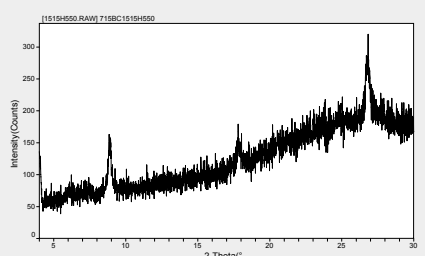
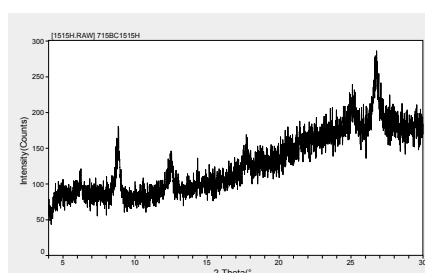
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



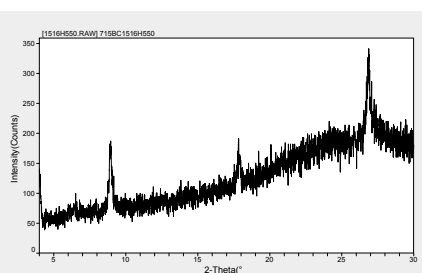
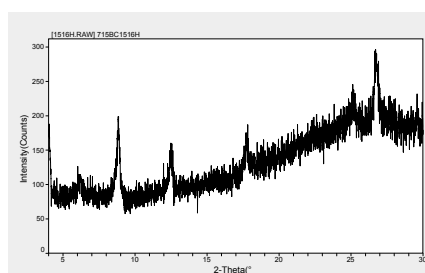
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

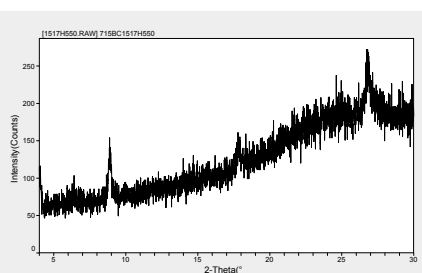
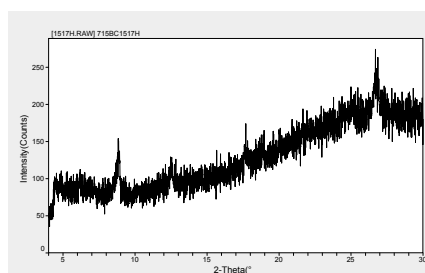
OR715-15

自然定向片

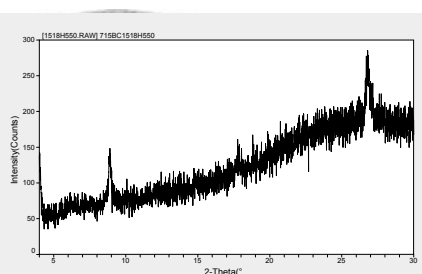
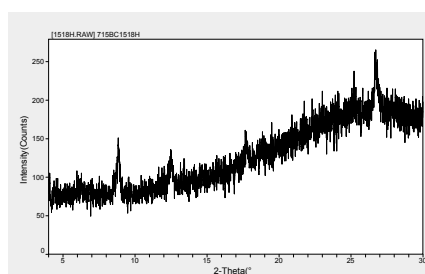
加熱 550°C 處理定向片



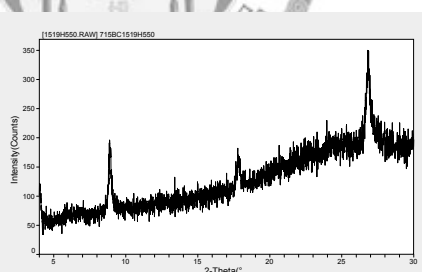
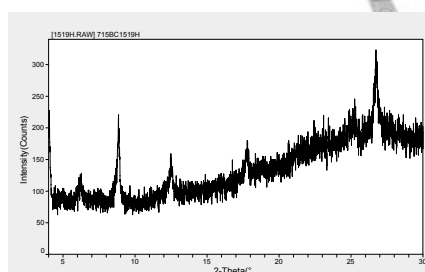
15-16 cm



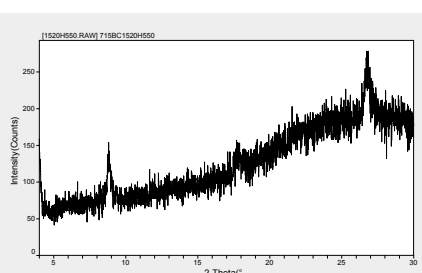
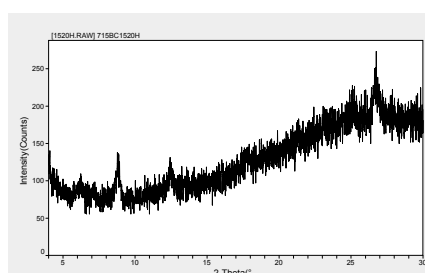
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



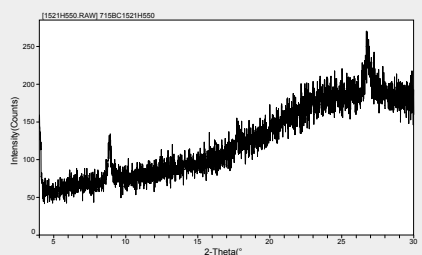
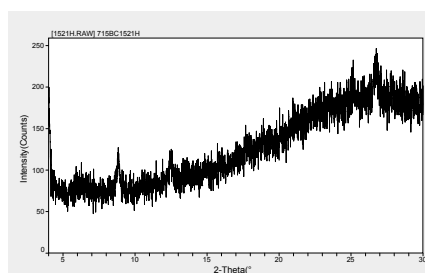
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

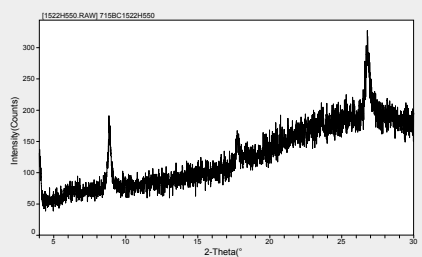
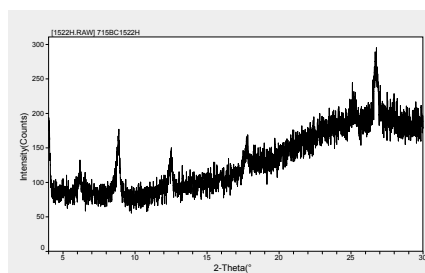
OR715-15

自然定向片

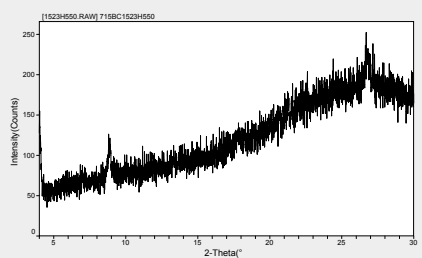
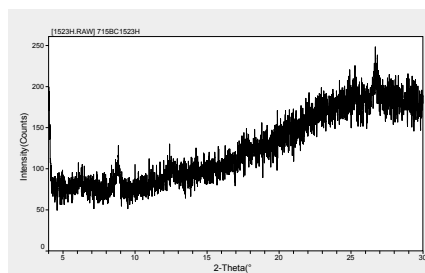
加熱 550°C 處理定向片



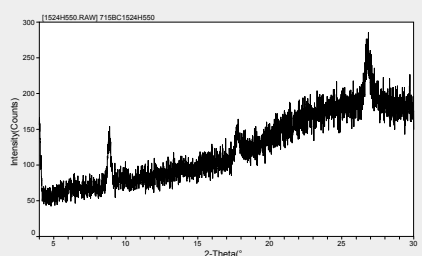
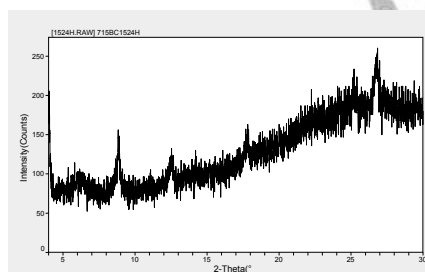
20-21 cm



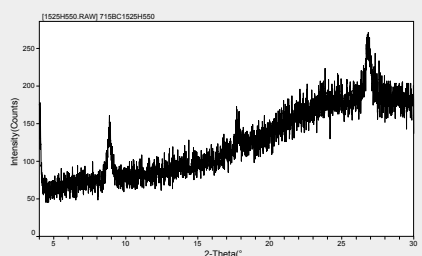
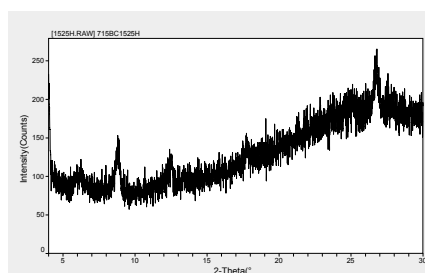
21-22 cm



22-23 cm



23-24 cm



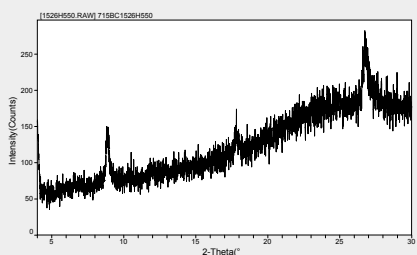
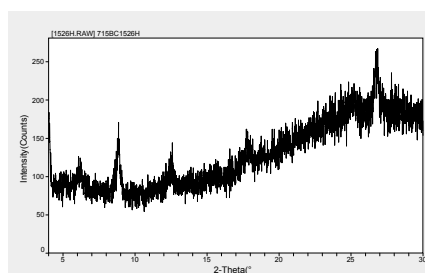
24-25 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

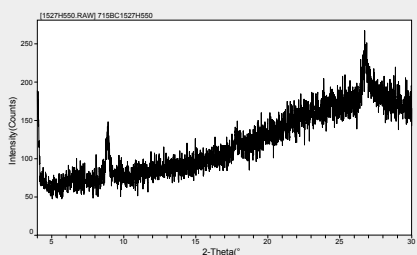
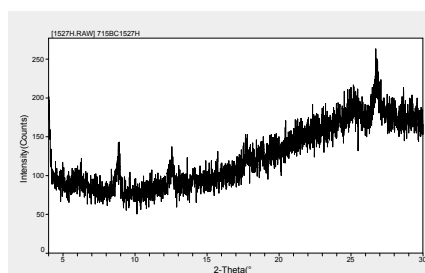
OR715-15

自然定向片

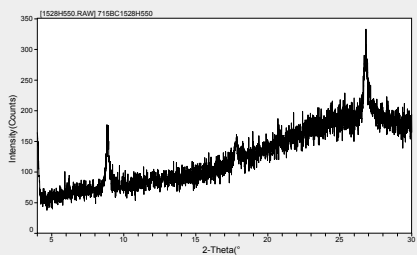
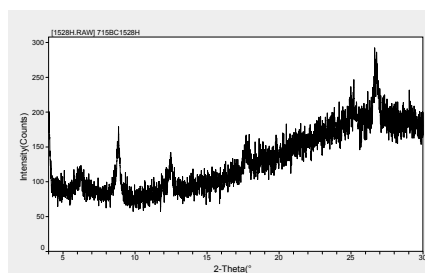
加熱 550°C 處理定向片



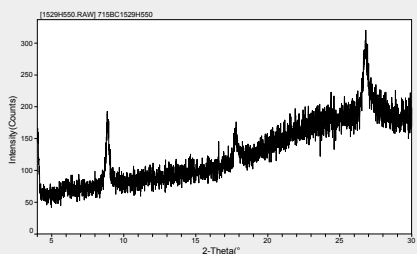
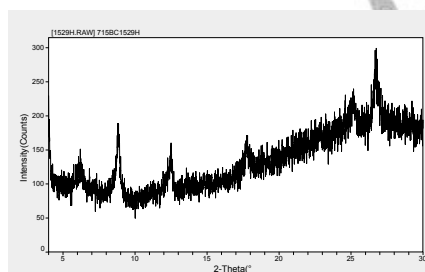
25-26 cm



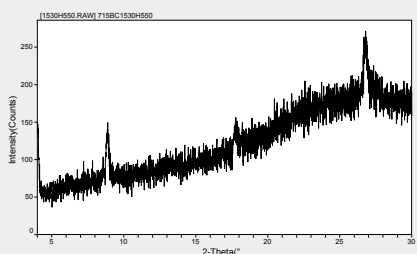
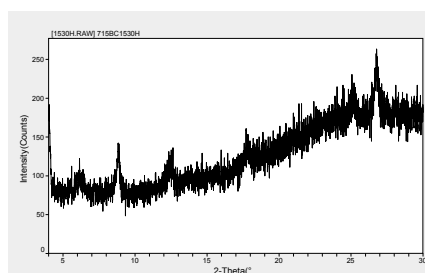
26-27 cm



27-28 cm



28-29 cm



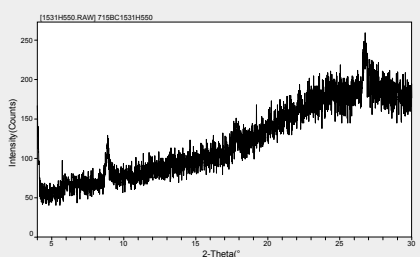
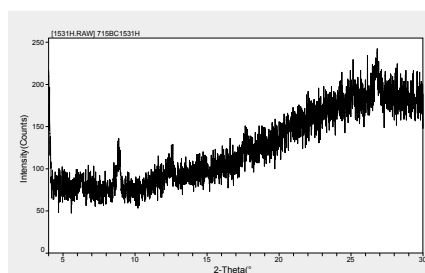
29-30 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

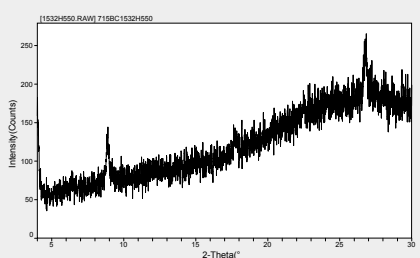
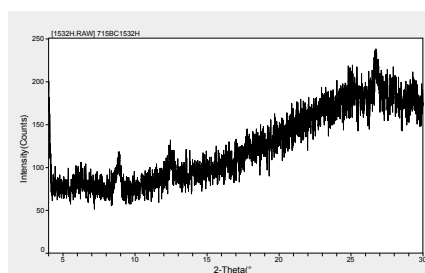
OR715-15

自然定向片

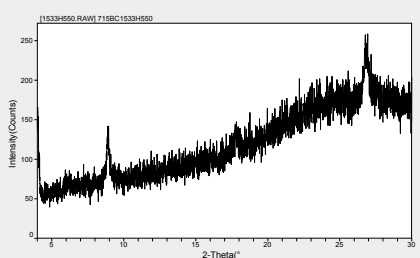
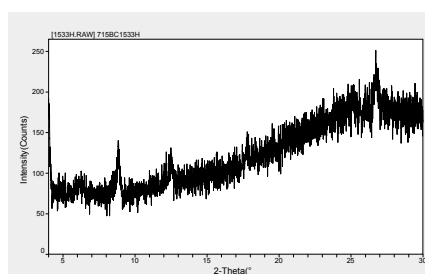
加熱 550°C 處理定向片



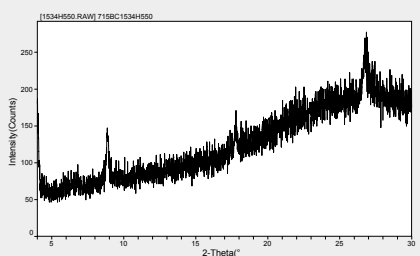
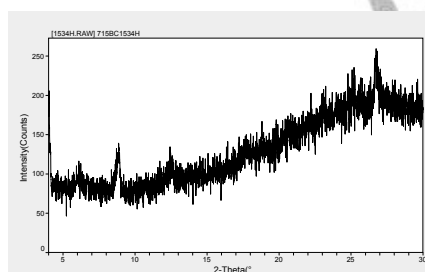
30-31 cm



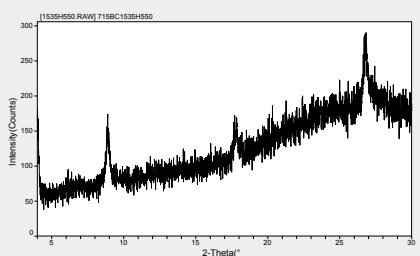
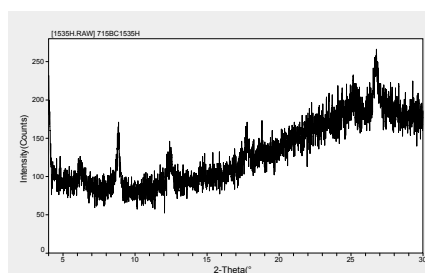
31-32 cm



32-33 cm



33-34 cm



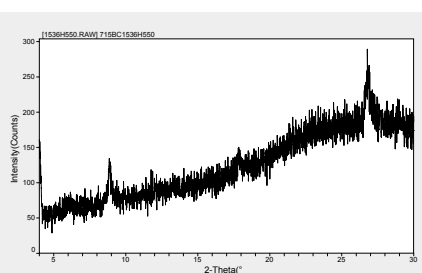
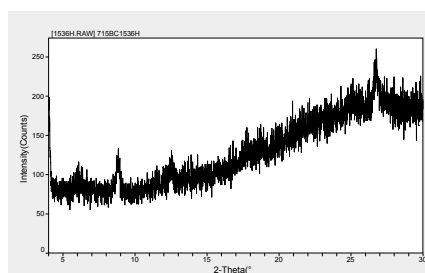
34-35 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

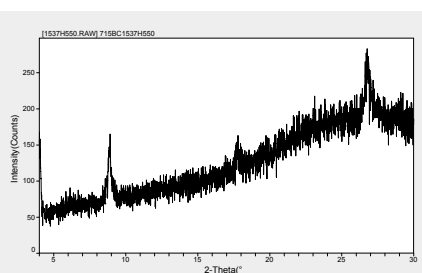
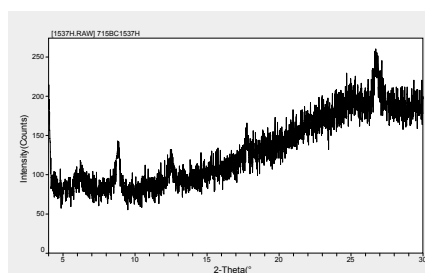
OR715-15

自然定向片

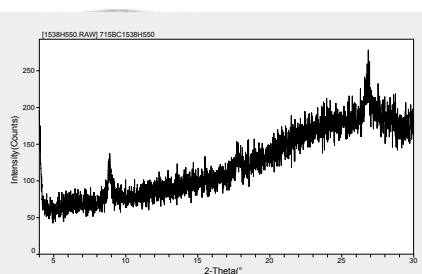
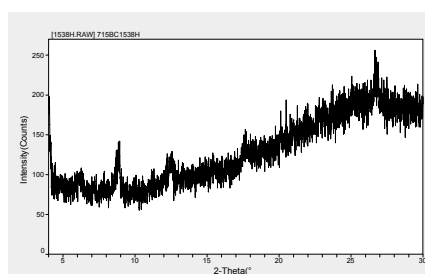
加熱 550°C 處理定向片



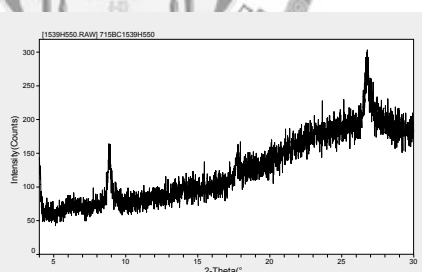
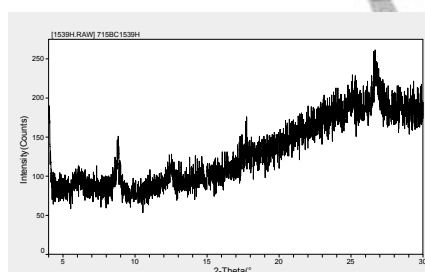
35-36 cm



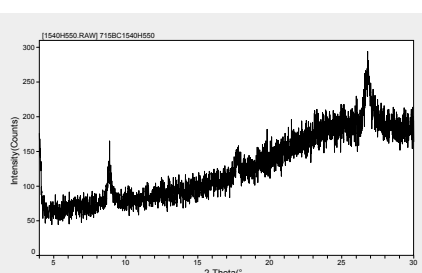
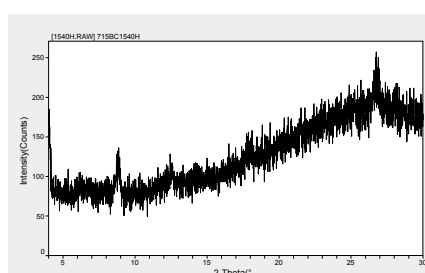
36-37 cm



37-38 cm



38-39 cm



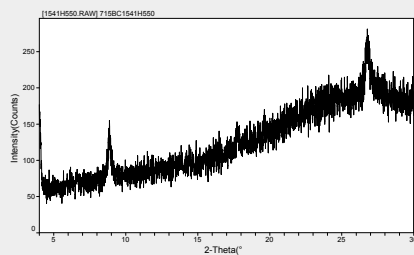
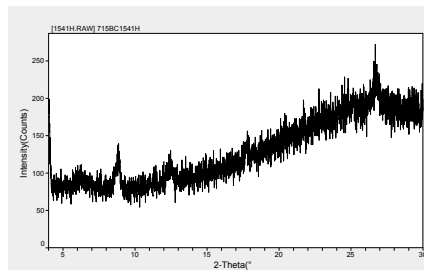
39-40 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

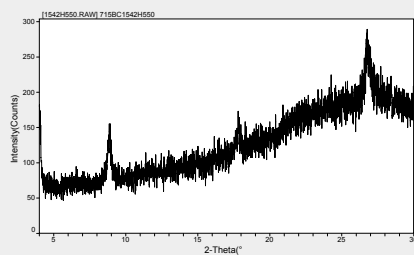
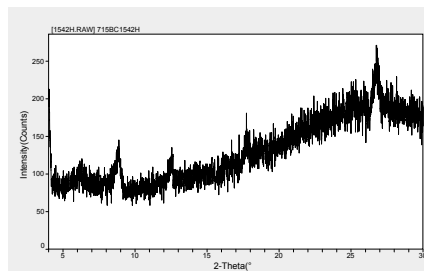
OR715-15

自然定向片

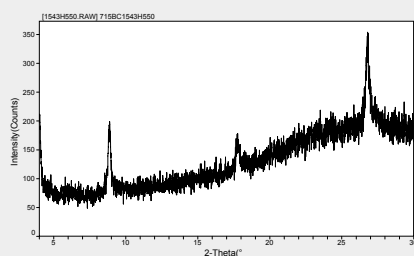
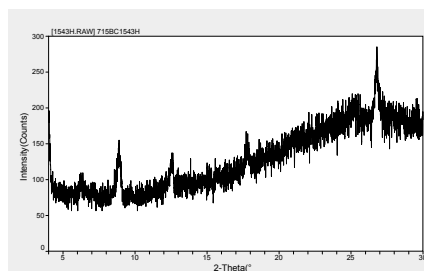
加熱 550°C 處理定向片



40-41 cm



41-42 cm



42-43 cm

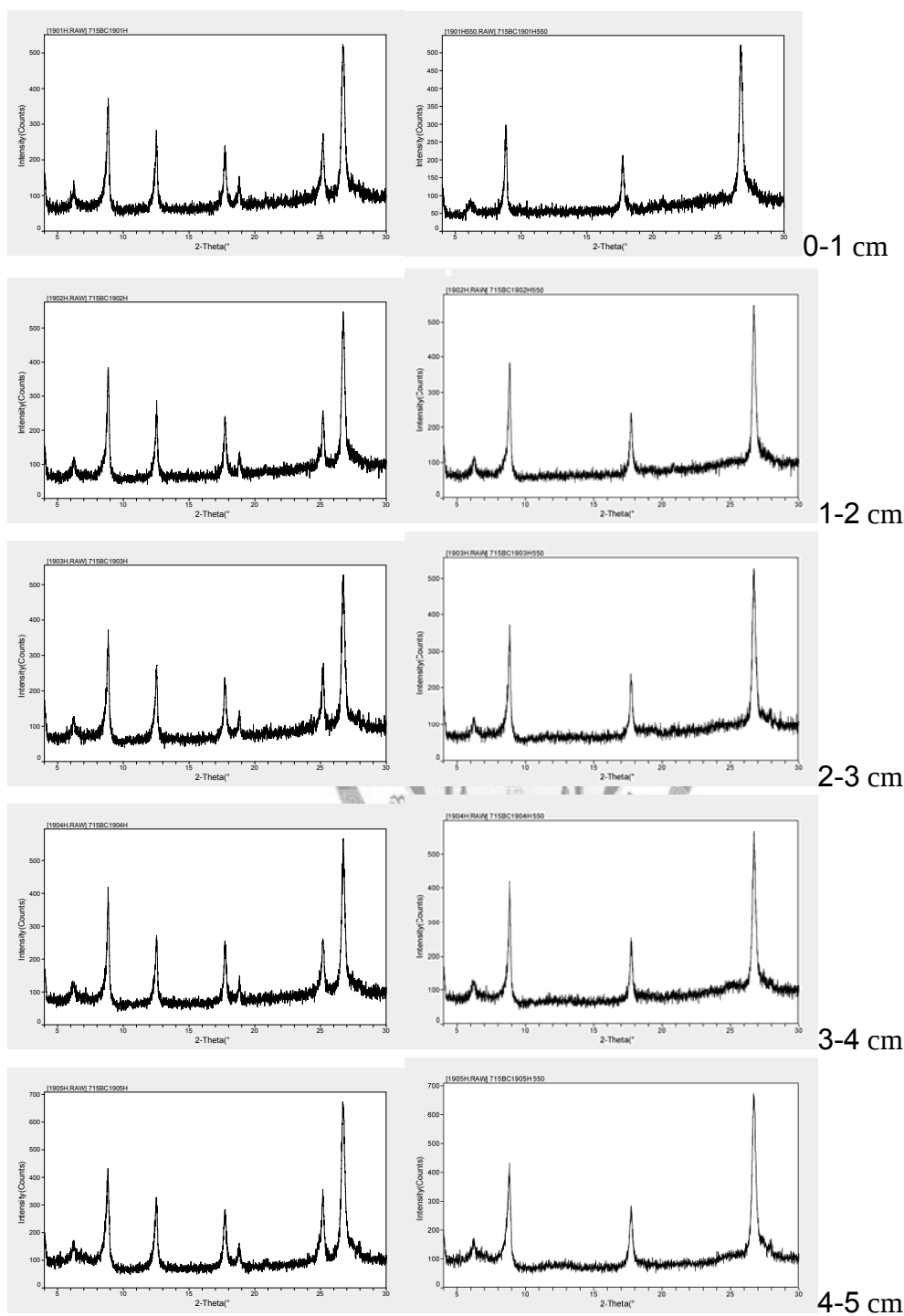


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

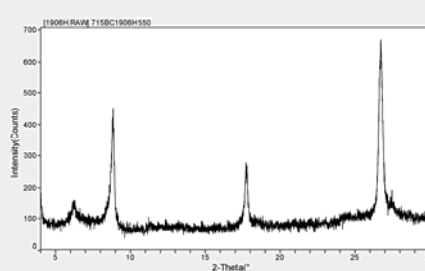
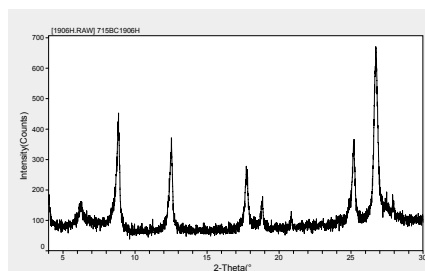


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

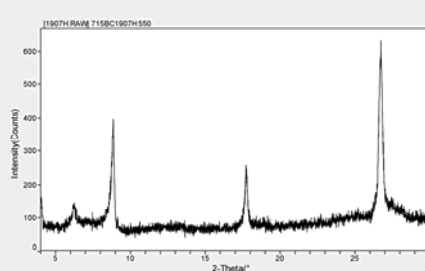
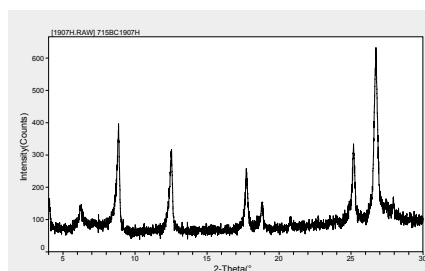
OR715-19

自然定向片

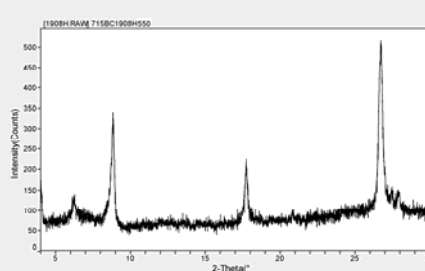
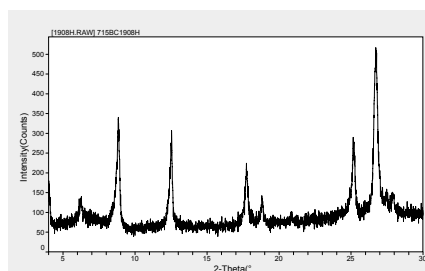
加熱 550°C 處理定向片



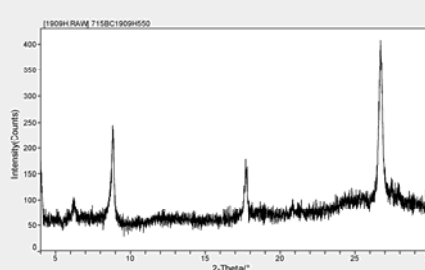
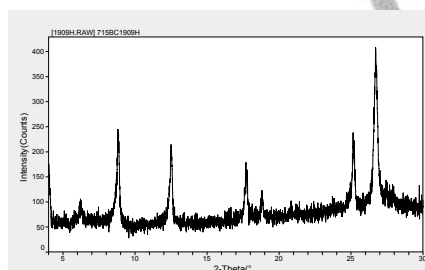
5-6 cm



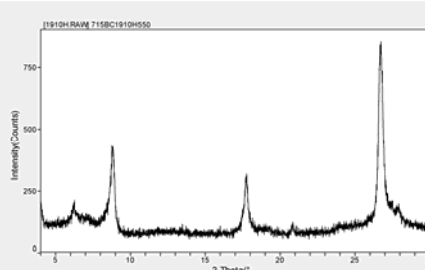
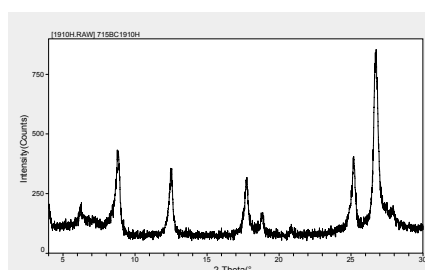
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



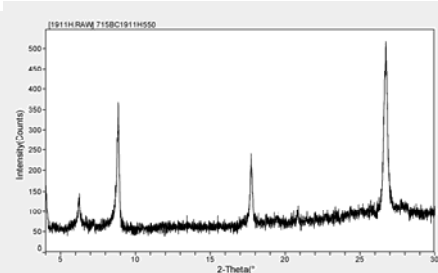
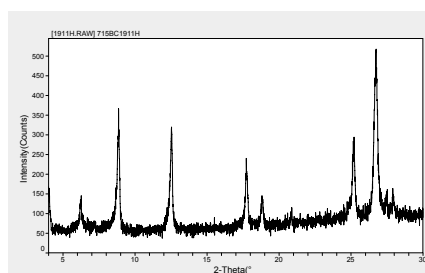
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

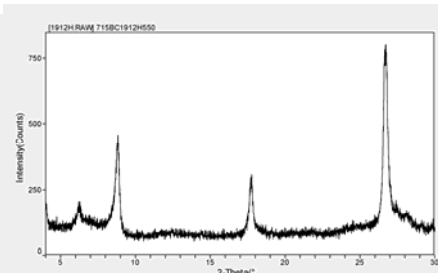
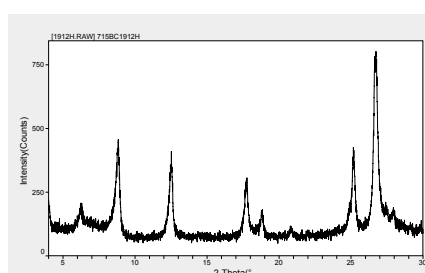
OR715-19

自然定向片

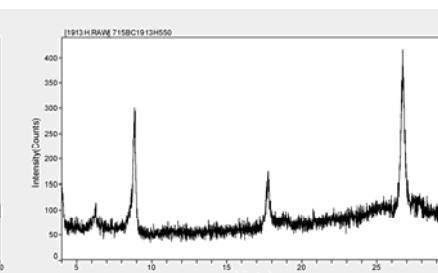
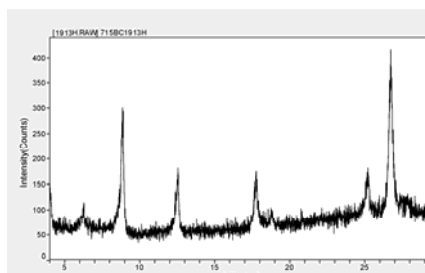
加熱 550°C 處理定向片



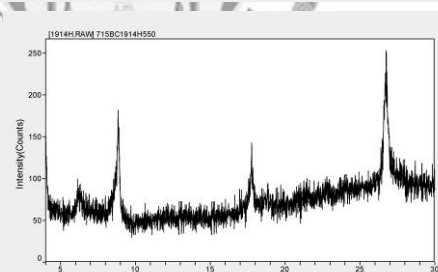
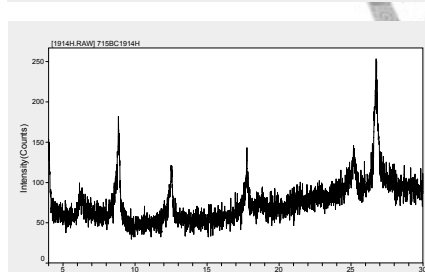
10-11 cm



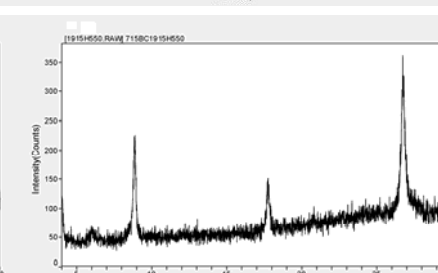
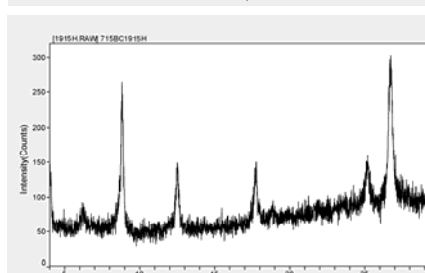
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



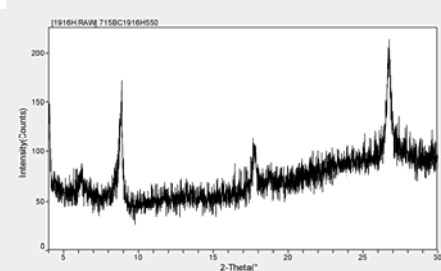
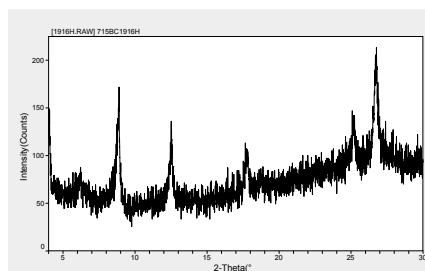
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

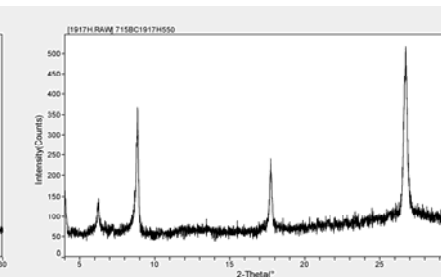
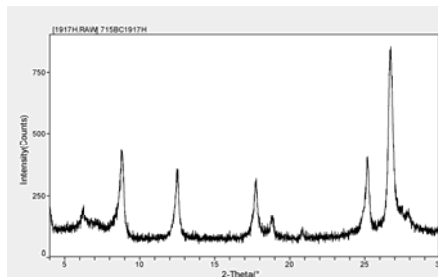
OR715-19

自然定向片

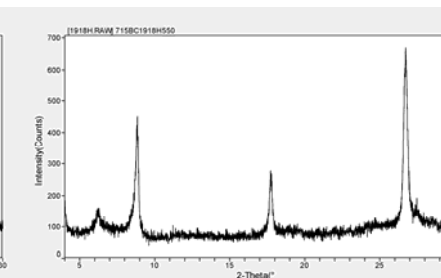
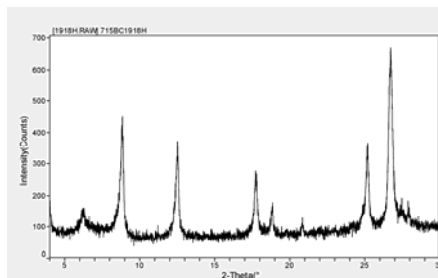
加熱 550°C 處理定向片



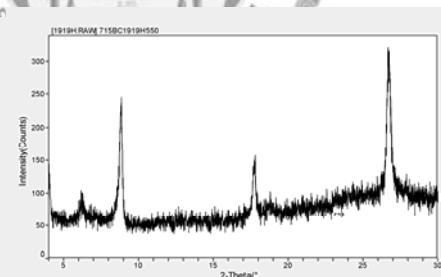
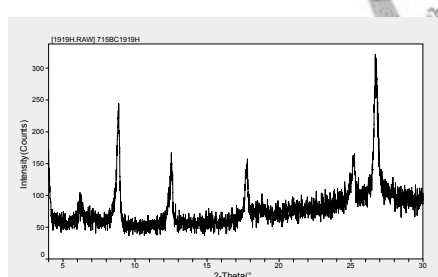
15-16 cm



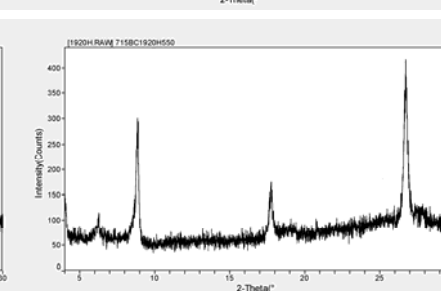
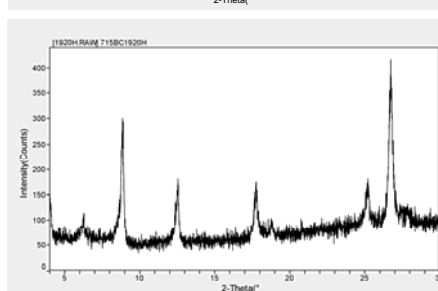
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



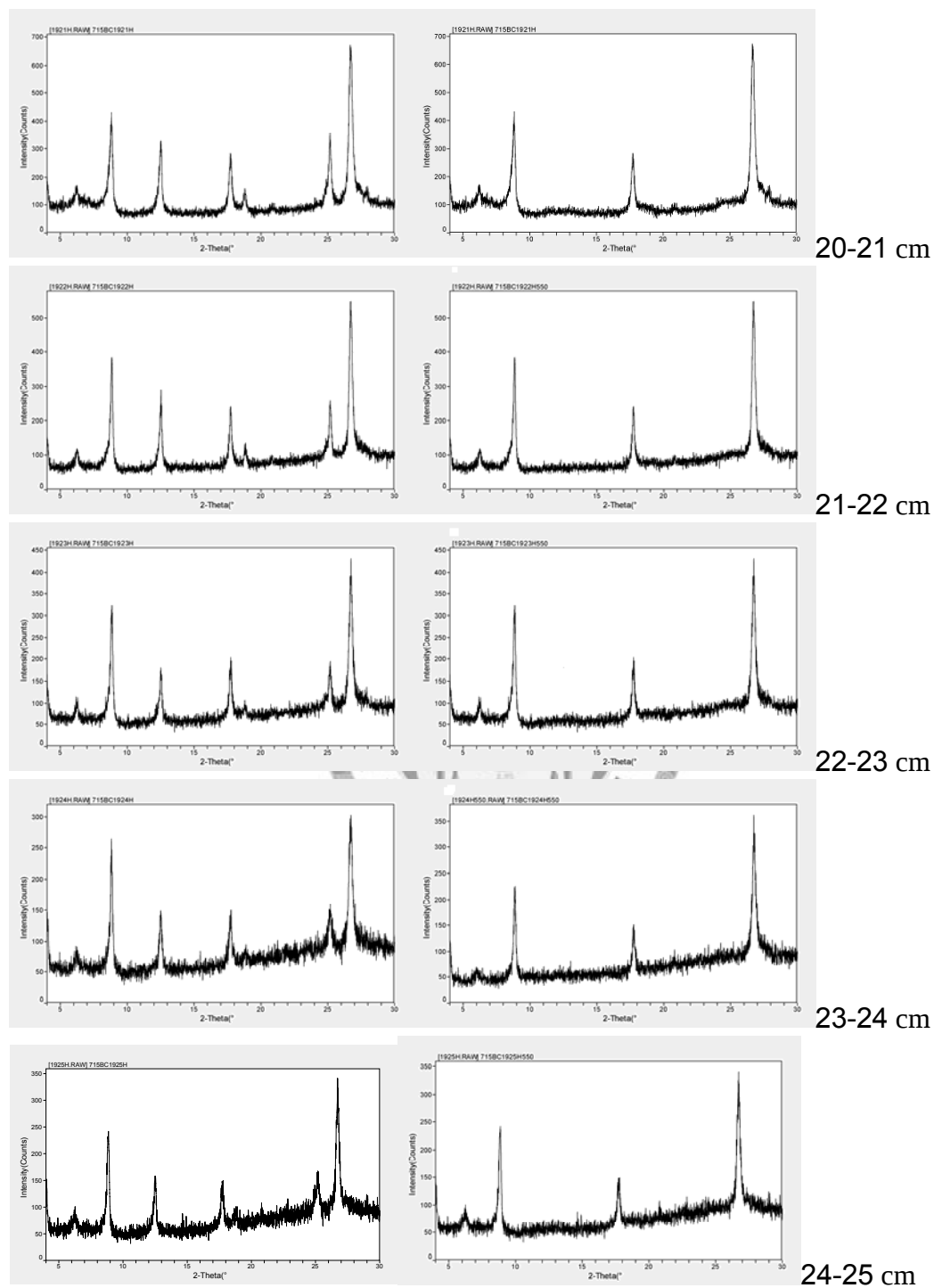
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

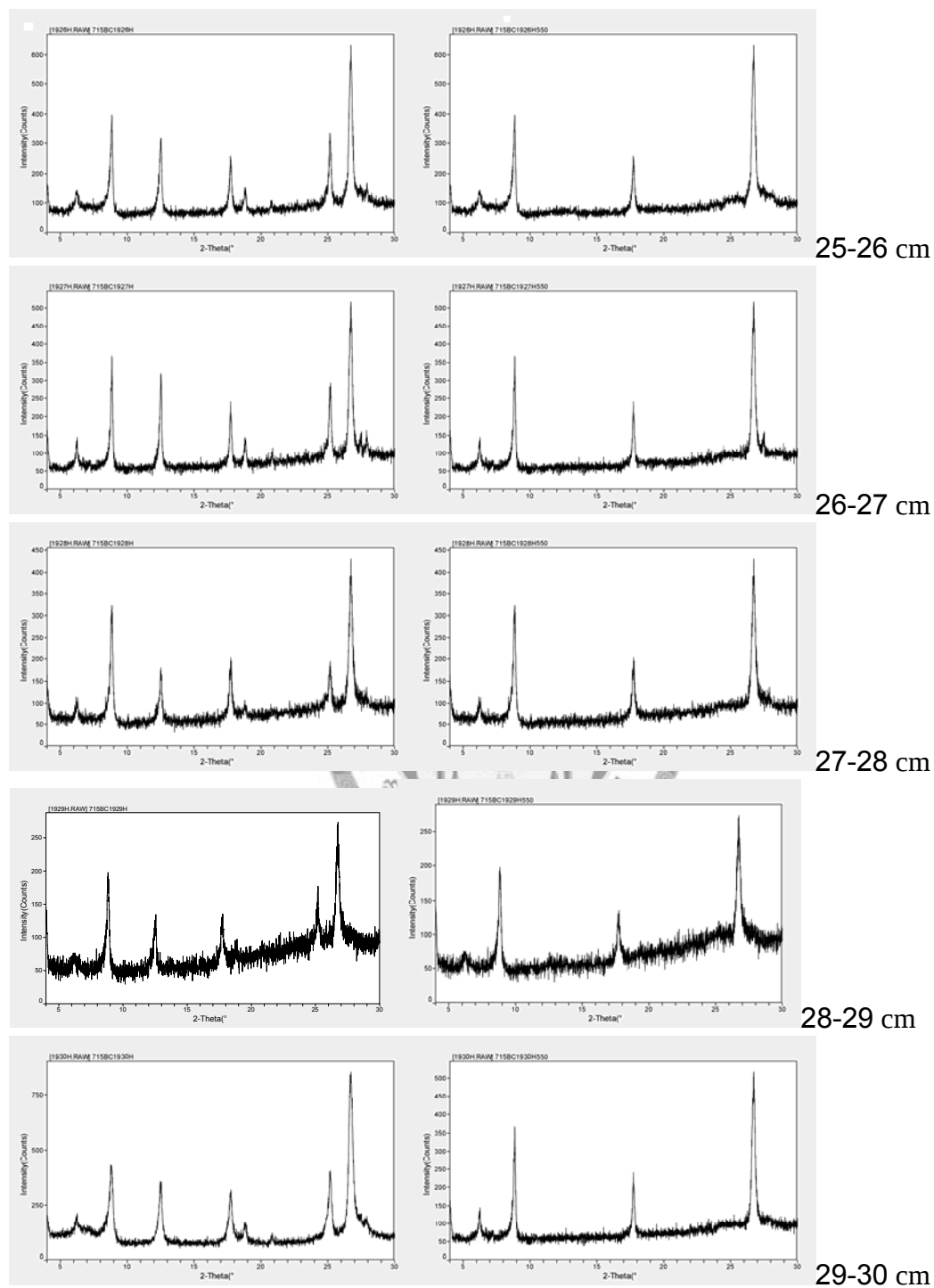


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜 (續)

OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

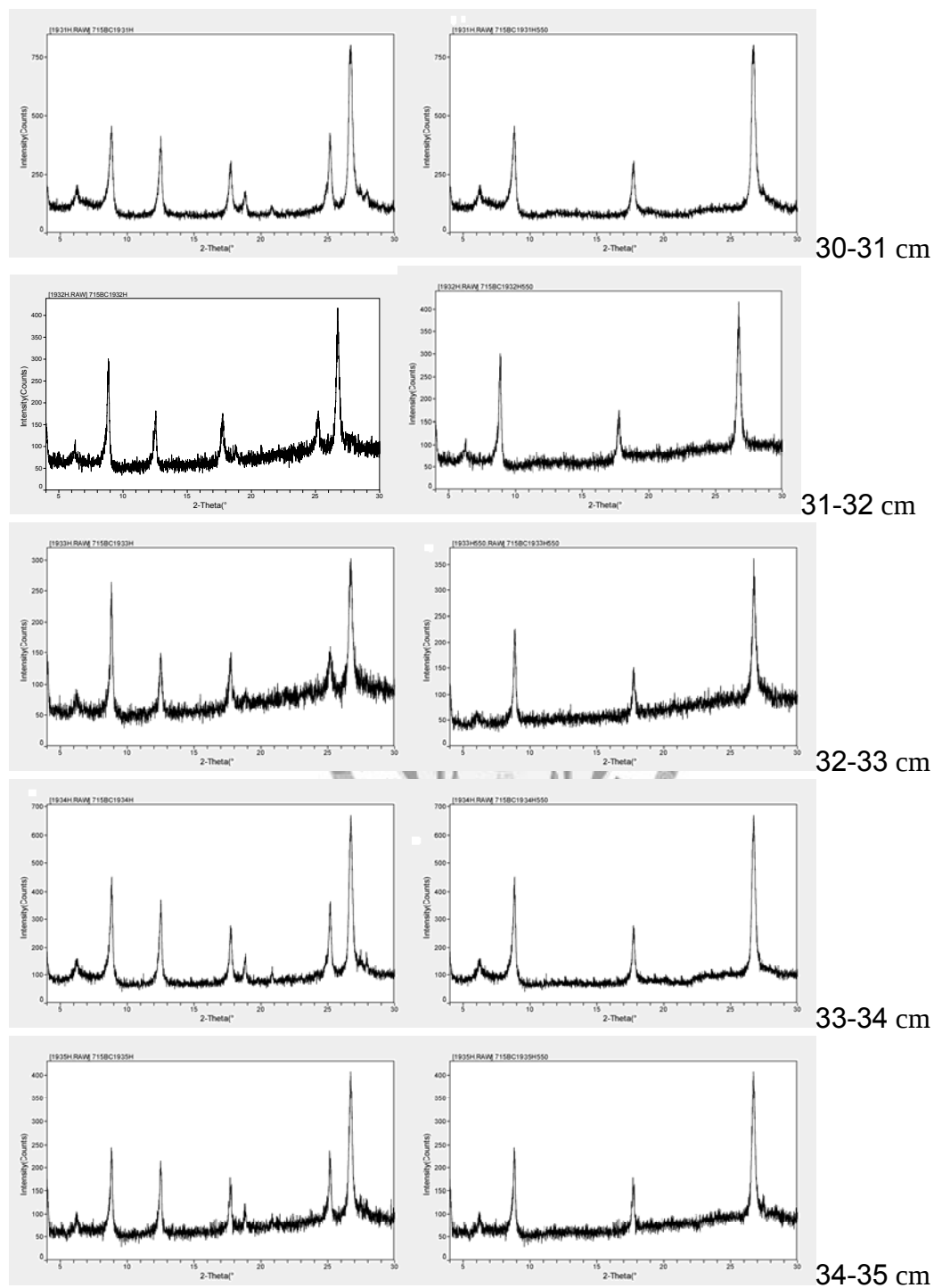


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

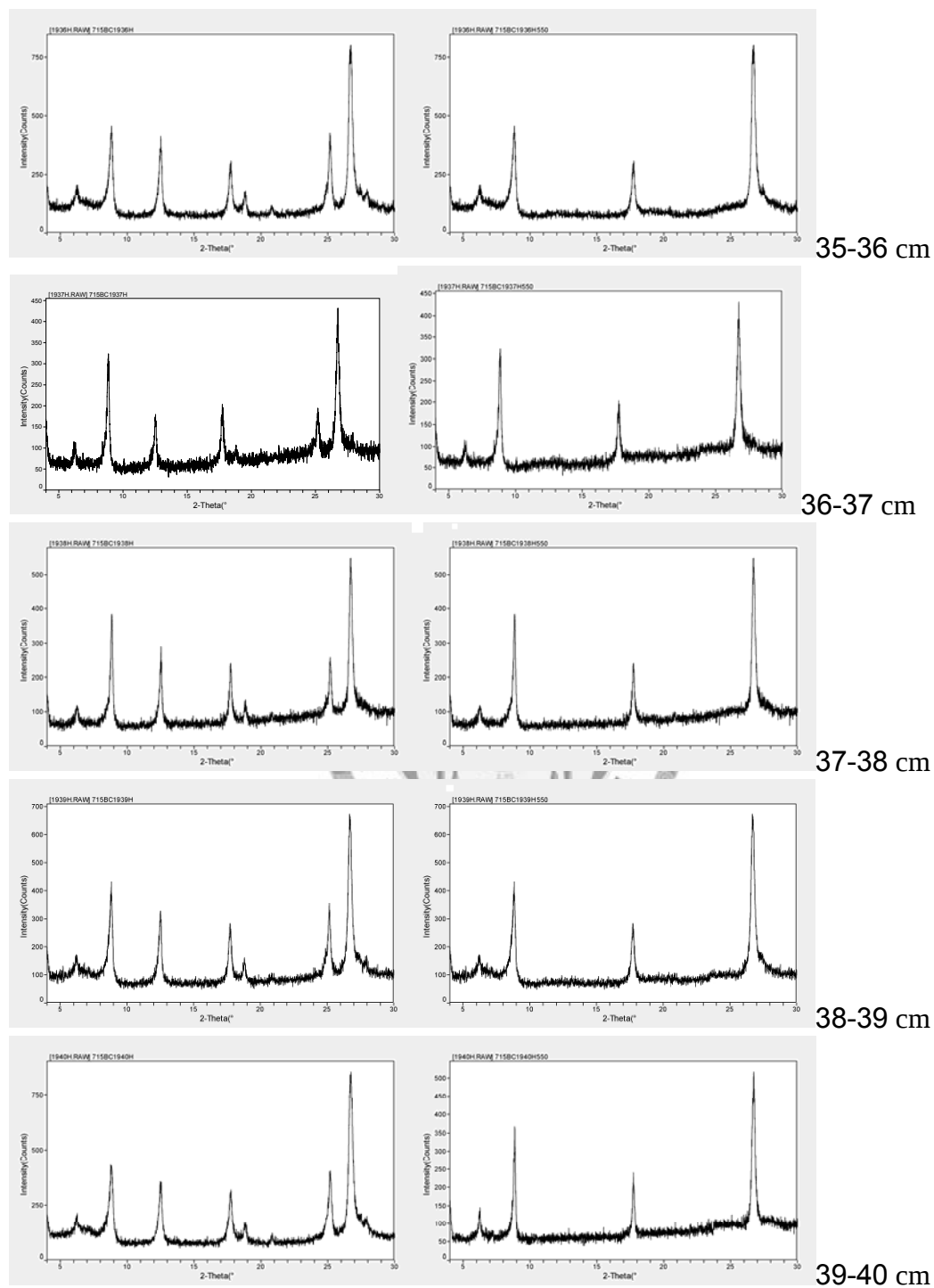


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

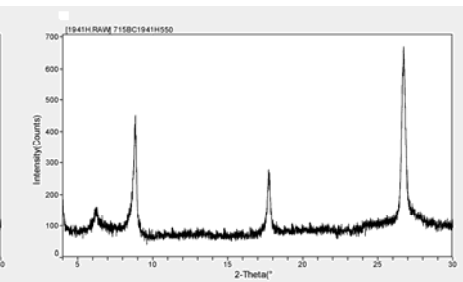
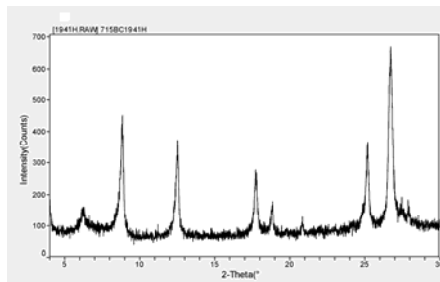


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

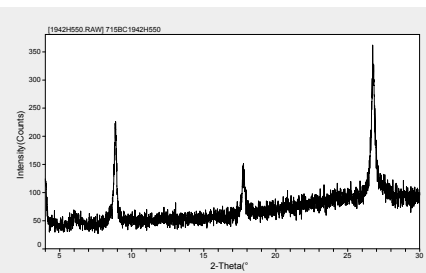
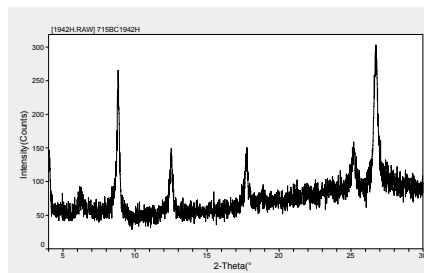
OR715-19

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片



40-41 cm



41-42 cm

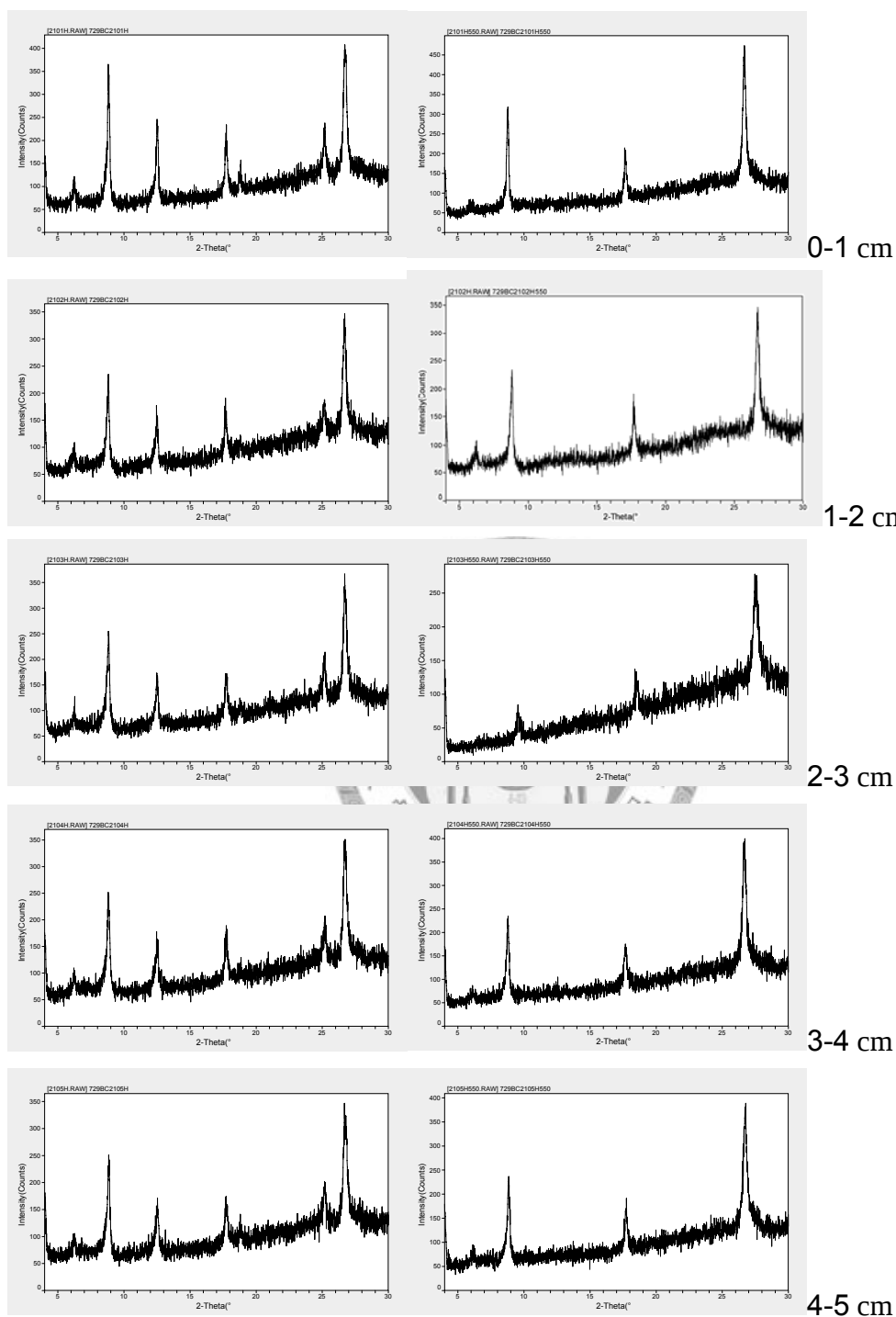


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

OR729-21

自然定向片

加熱 550°C 處理定向片

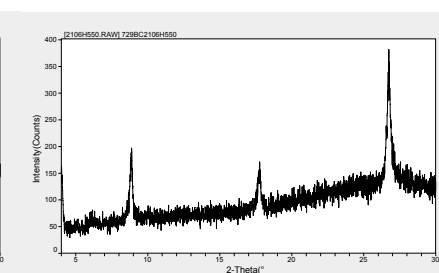
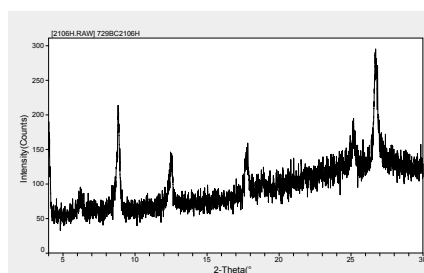


附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

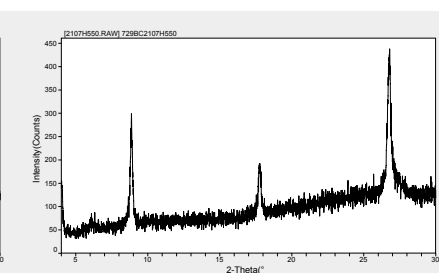
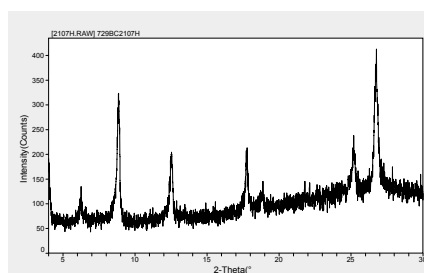
OR729-21

自然定向片

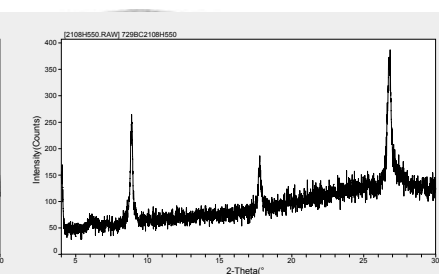
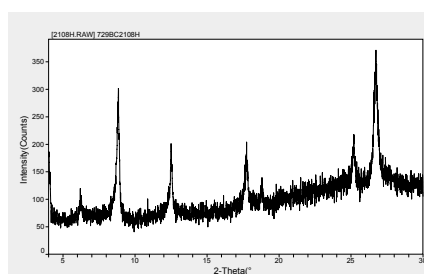
加熱 550°C 處理定向片



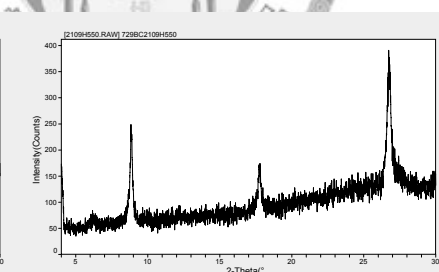
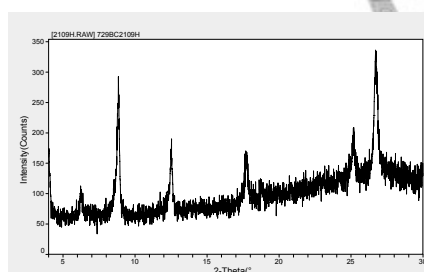
5-6 cm



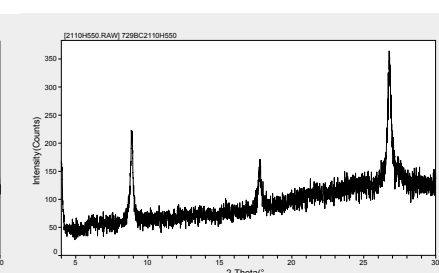
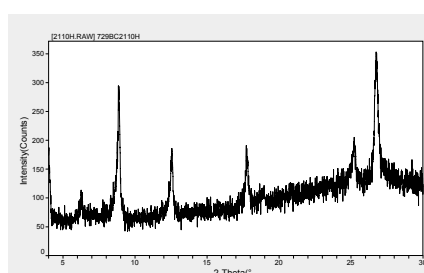
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



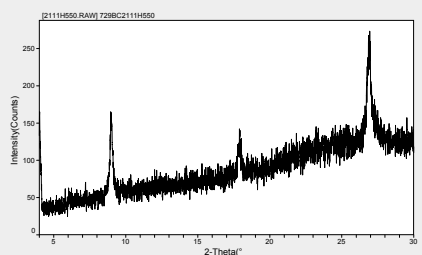
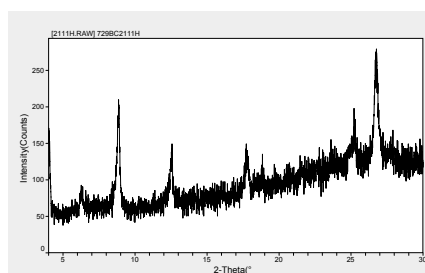
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

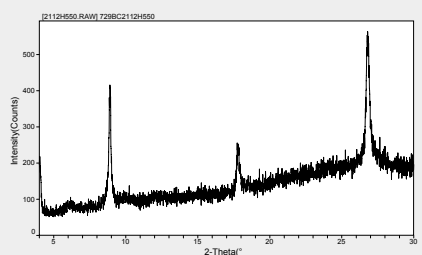
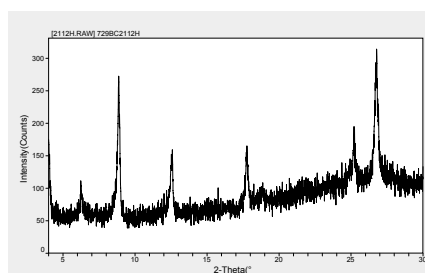
OR729-21

自然定向片

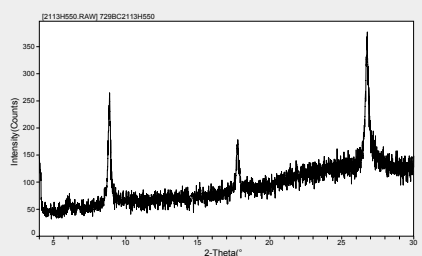
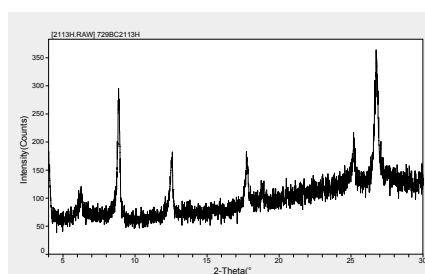
加熱 550°C 處理定向片



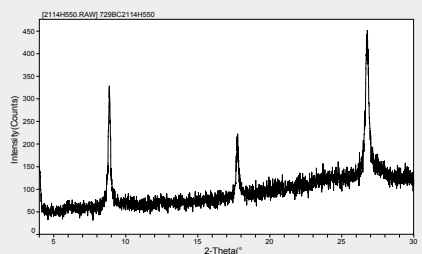
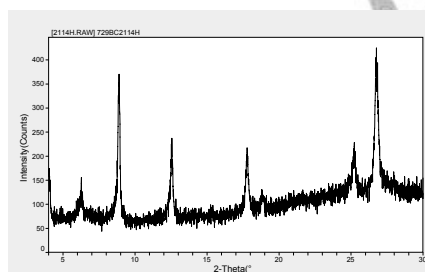
10-11 cm



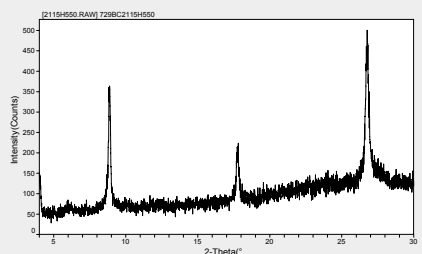
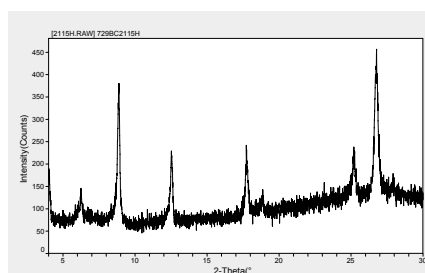
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



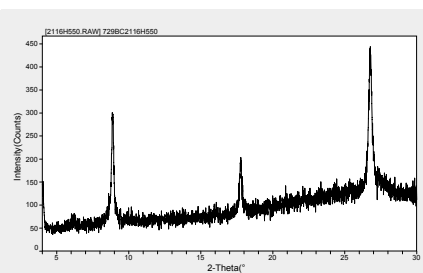
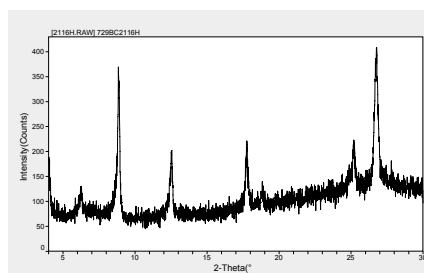
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

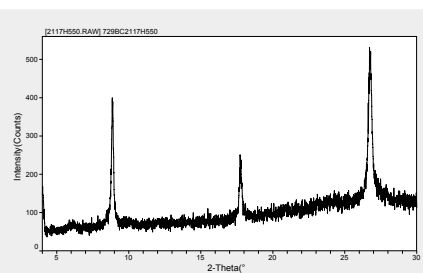
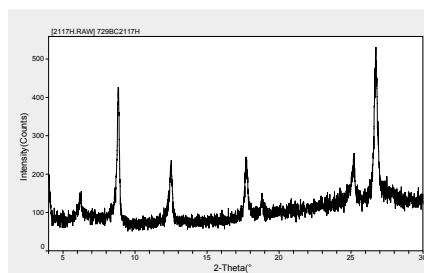
OR729-21

自然定向片

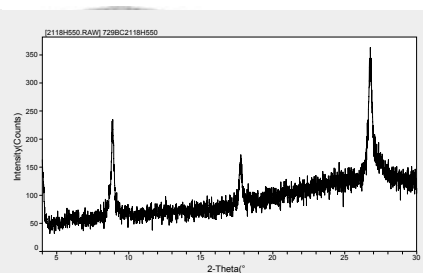
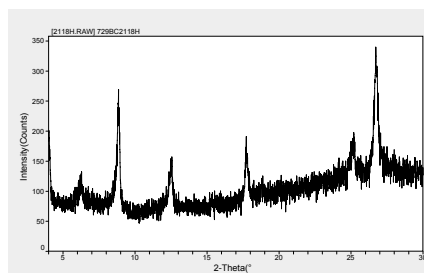
加熱 550°C 處理定向片



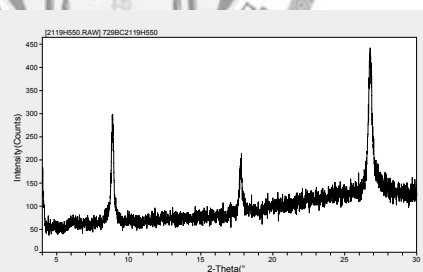
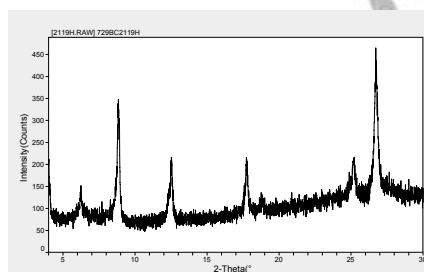
15-16 cm



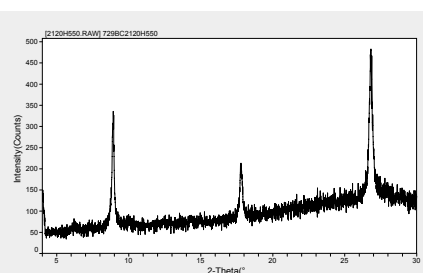
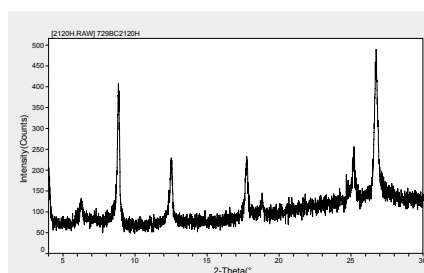
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



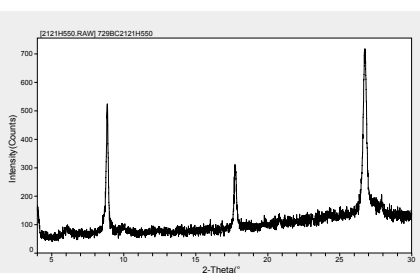
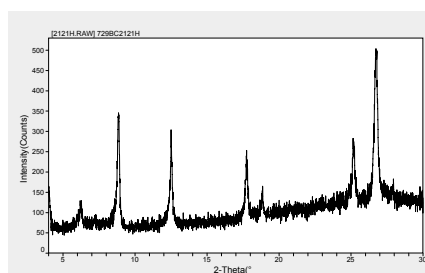
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

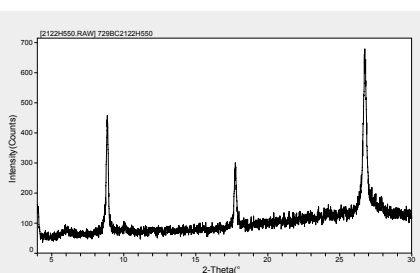
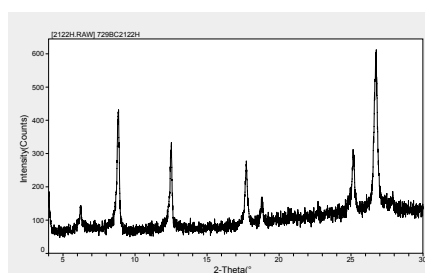
OR729-21

自然定向片

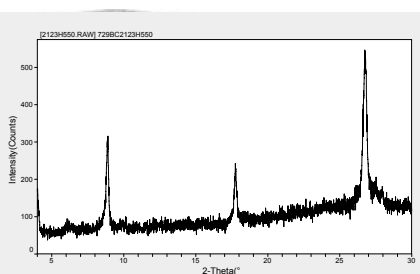
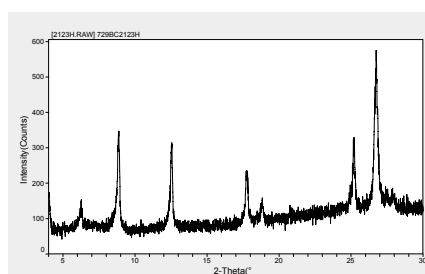
加熱 550°C 處理定向片



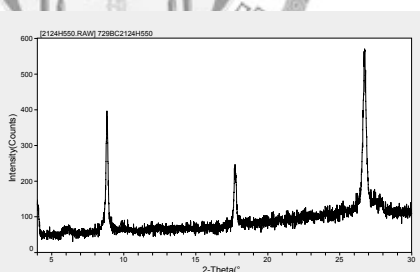
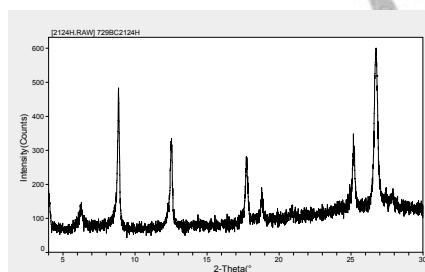
20-21 cm



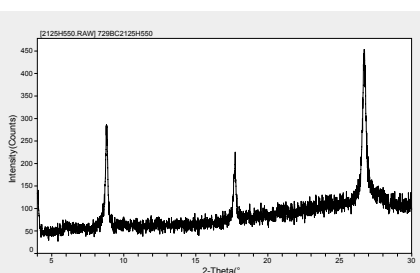
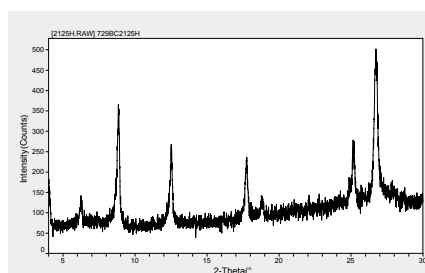
21-22 cm



22-23 cm



23-24 cm



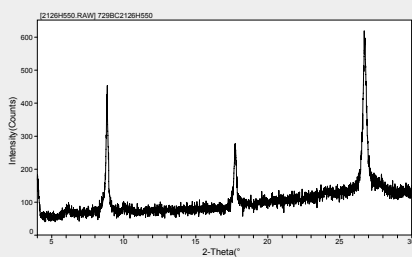
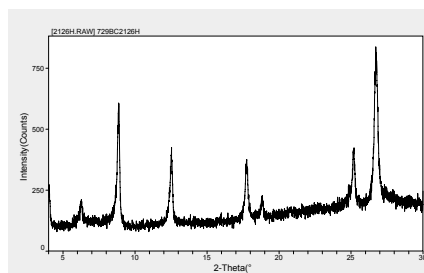
24-25 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

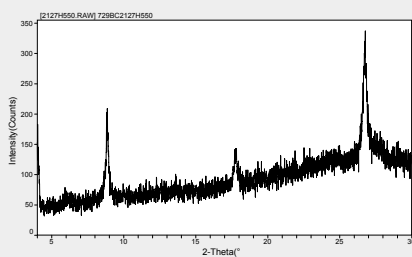
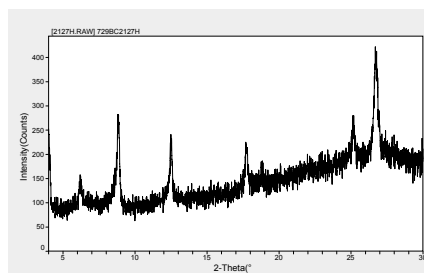
OR729-21

自然定向片

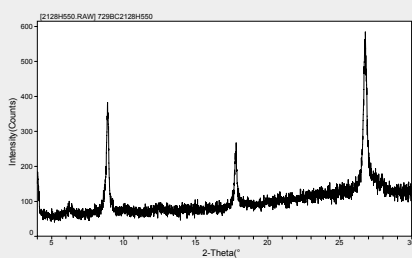
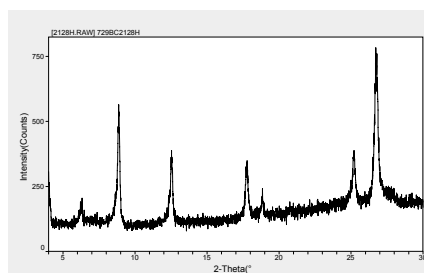
加熱 550°C 處理定向片



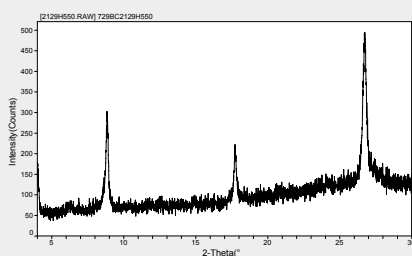
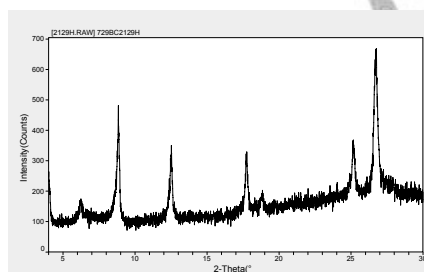
25-26 cm



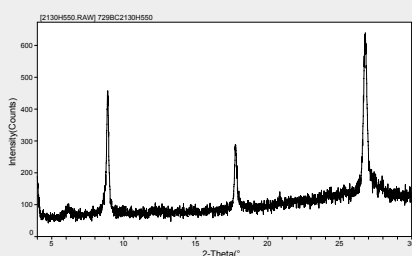
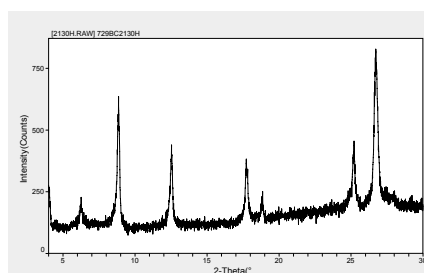
26-27 cm



27-28 cm



28-29 cm



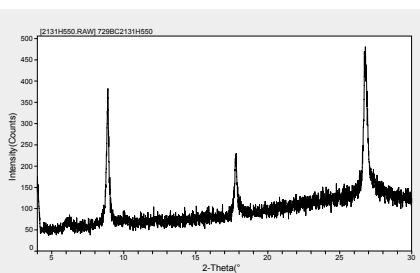
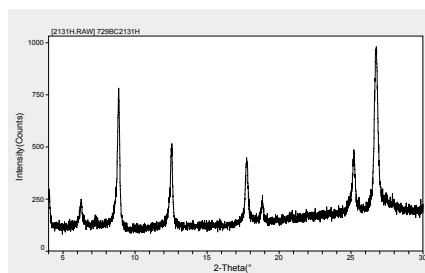
29-30 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

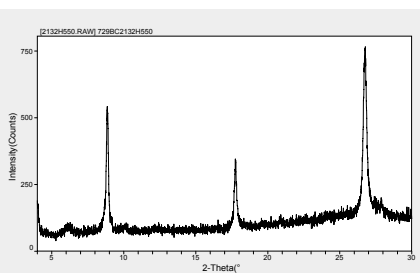
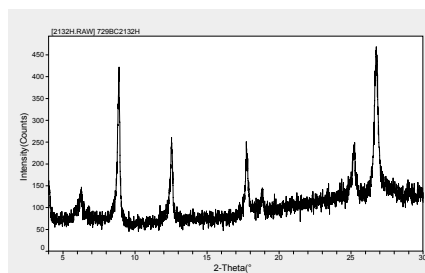
OR729-21

自然定向片

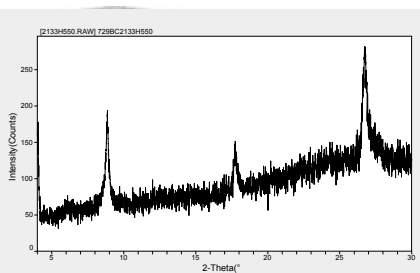
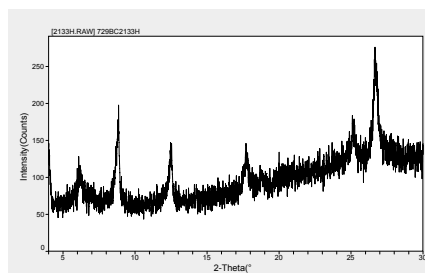
加熱 550°C 處理定向片



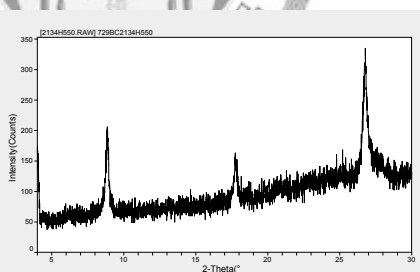
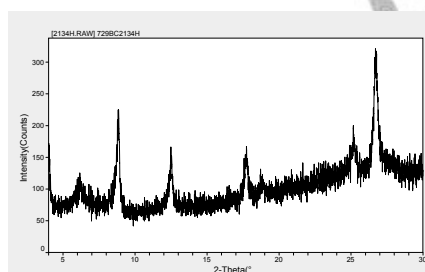
30-31 cm



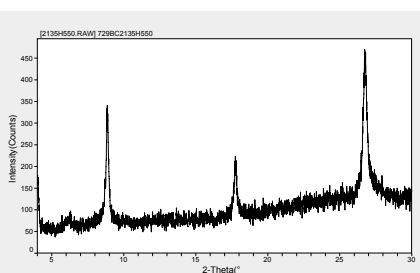
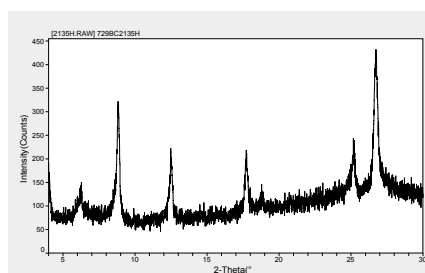
31-32 cm



32-33 cm



33-34 cm



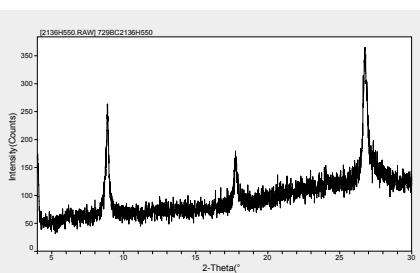
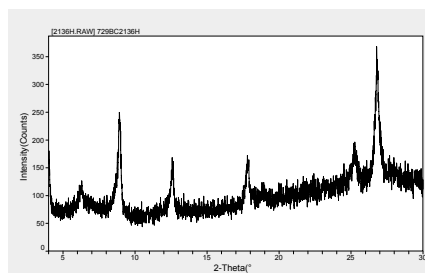
34-35 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

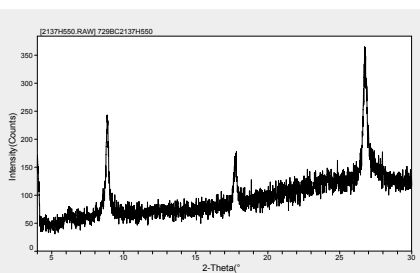
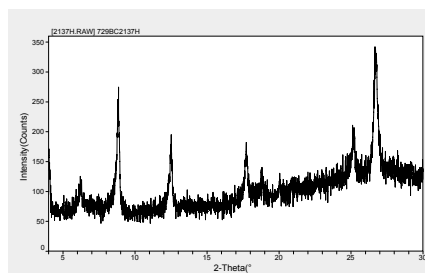
OR729-21

自然定向片

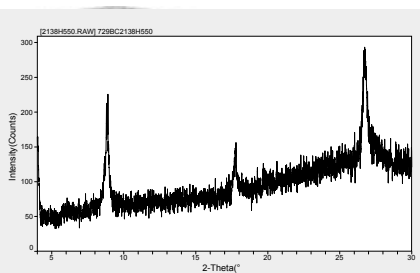
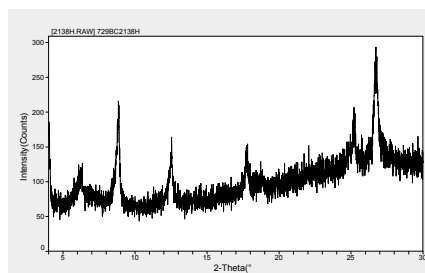
加熱 550°C 處理定向片



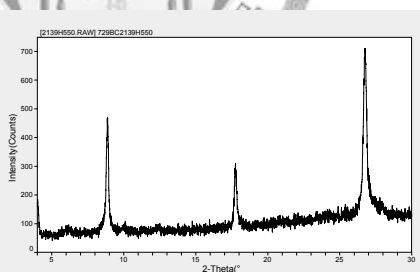
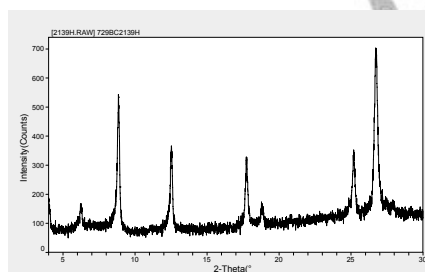
35-36 cm



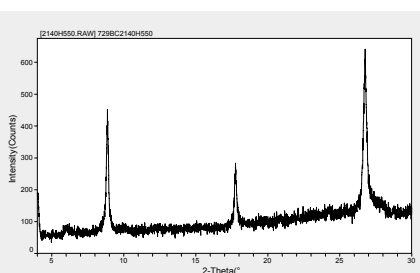
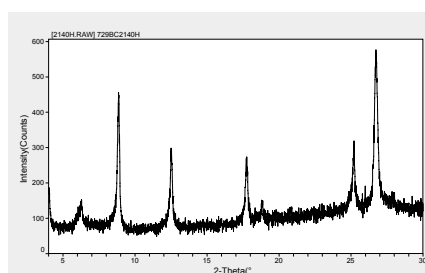
36-37 cm



37-38 cm



38-39 cm



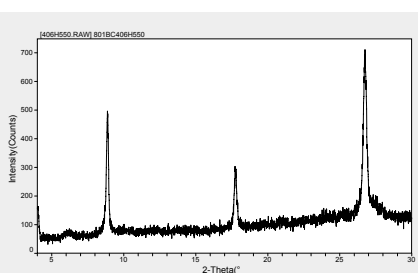
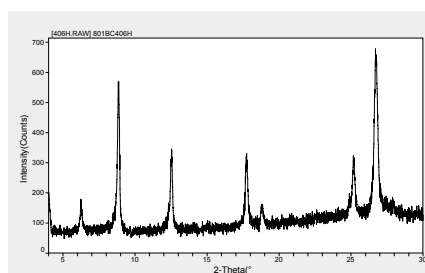
39-40 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

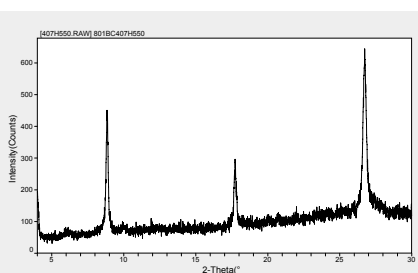
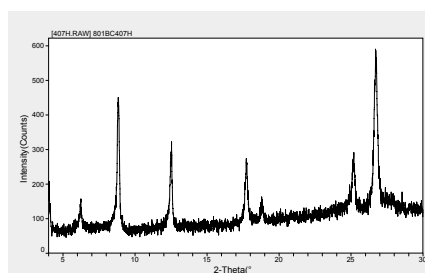
OR801-06

自然定向片

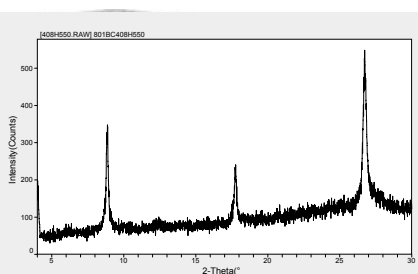
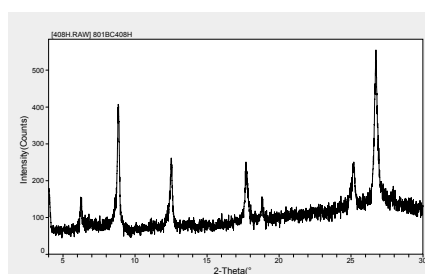
加熱 550°C 處理定向片



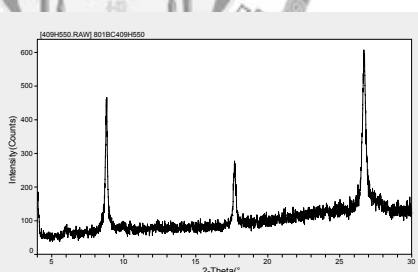
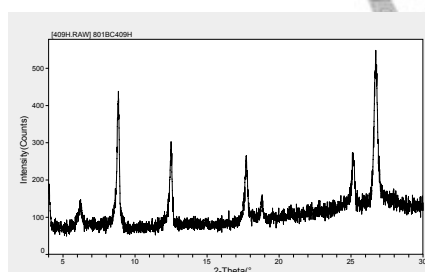
5-6 cm



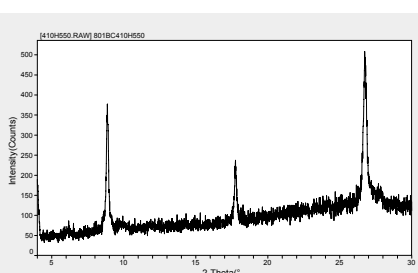
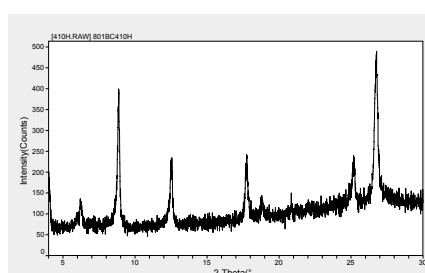
6-7 cm



7-8 cm



8-9 cm



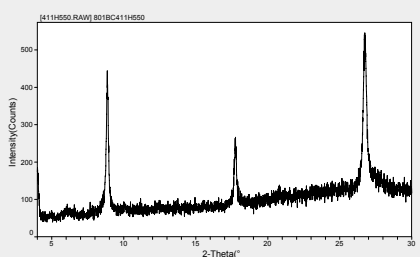
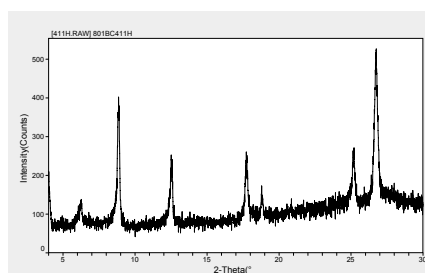
9-10 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

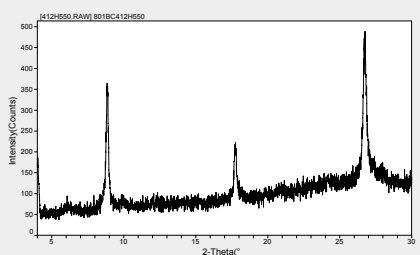
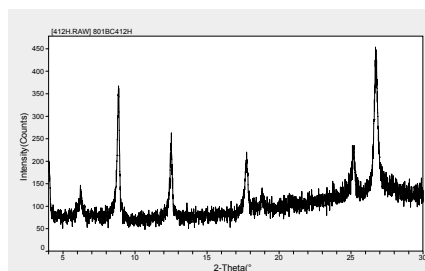
OR801-06

自然定向片

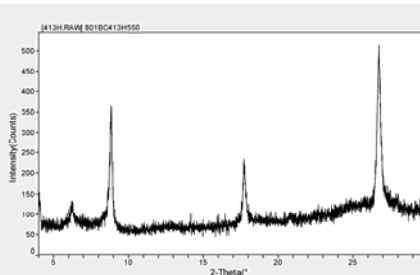
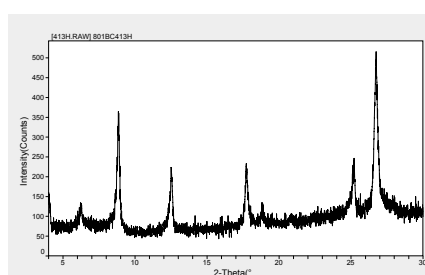
加熱 550°C 處理定向片



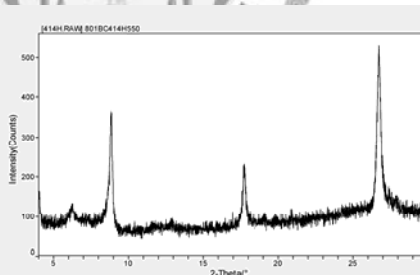
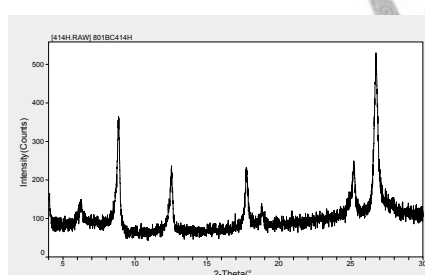
10-11 cm



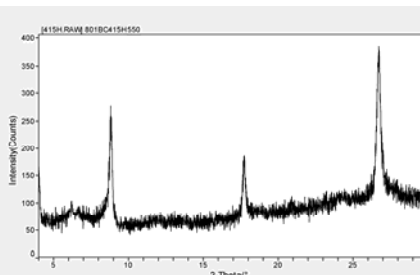
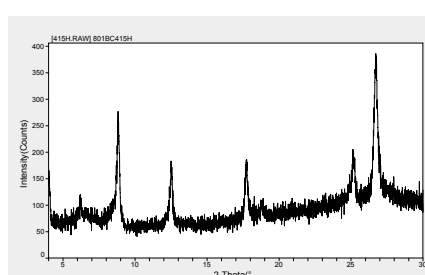
11-12 cm



12-13 cm



13-14 cm



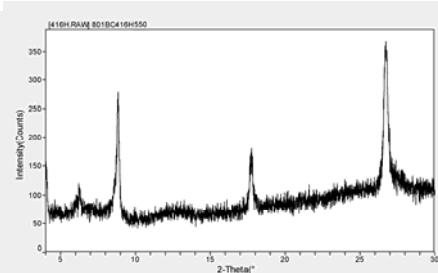
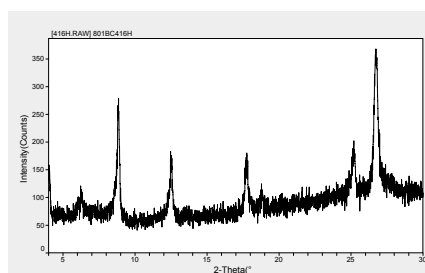
14-15 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

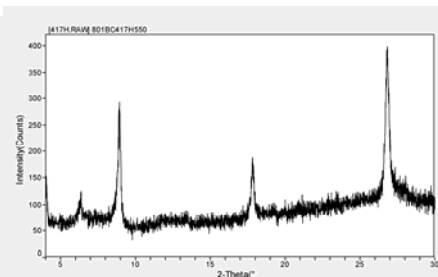
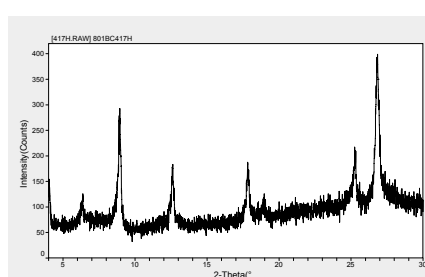
OR801-06

自然定向片

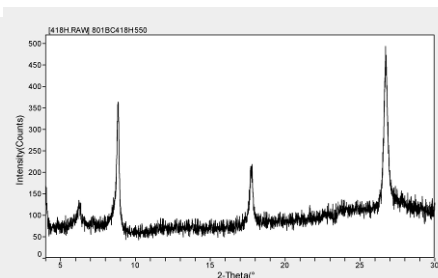
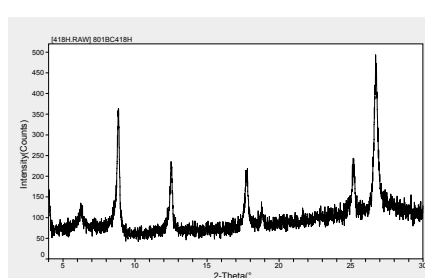
加熱 550°C 處理定向片



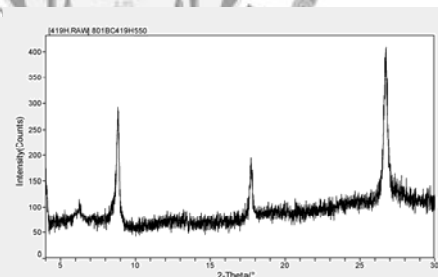
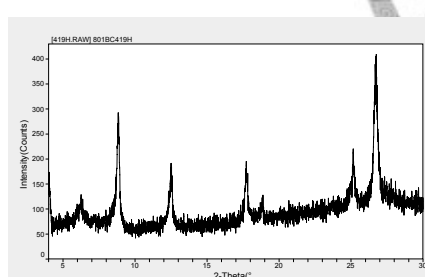
15-16 cm



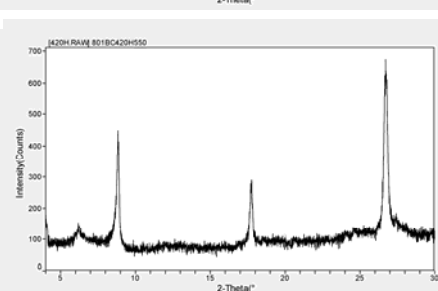
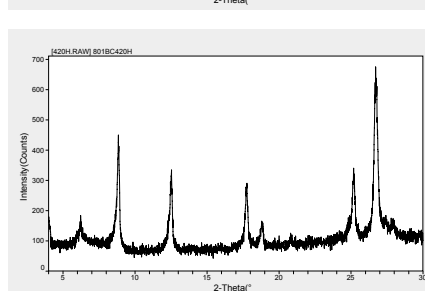
16-17 cm



17-18 cm



18-19 cm



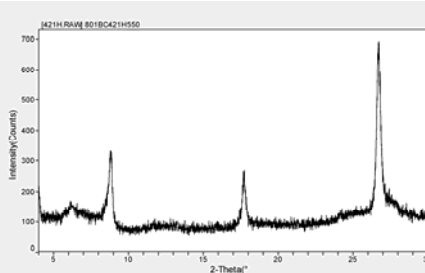
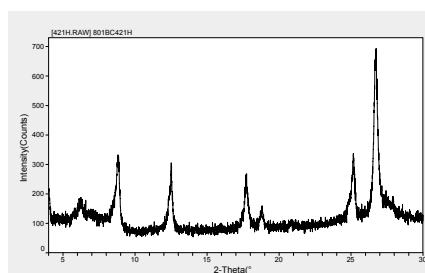
19-20 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

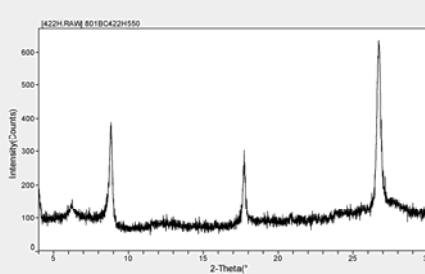
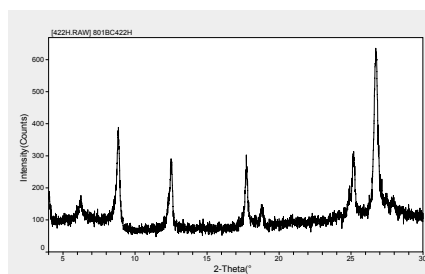
OR801-06

自然定向片

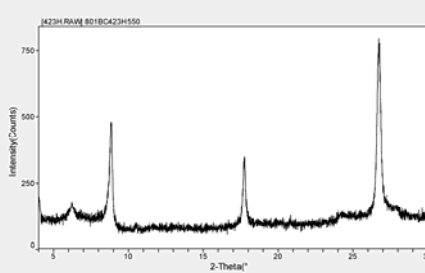
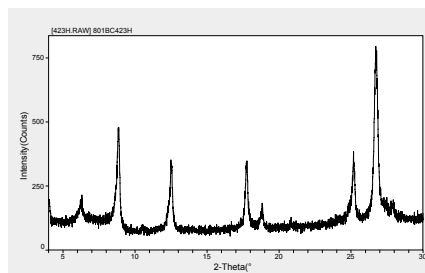
加熱 550°C 處理定向片



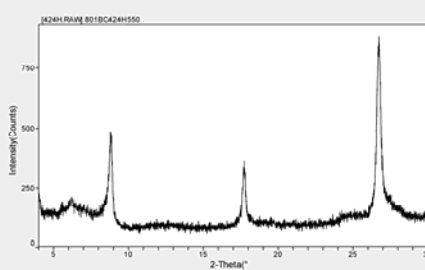
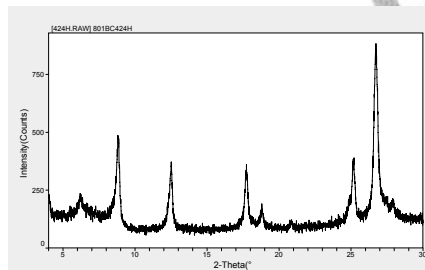
20-21 cm



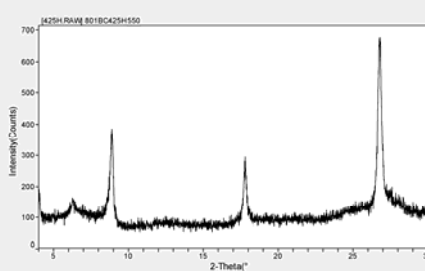
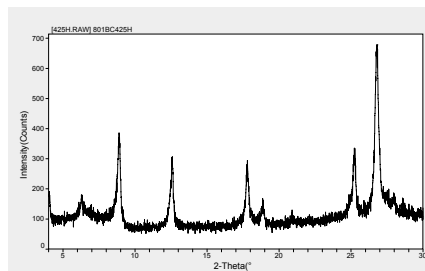
21-22 cm



22-23 cm



23-24 cm



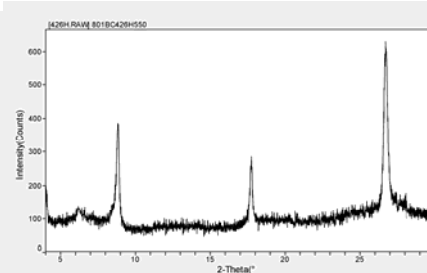
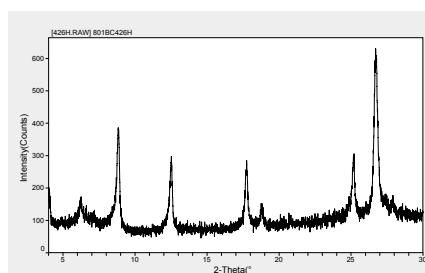
24-25 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

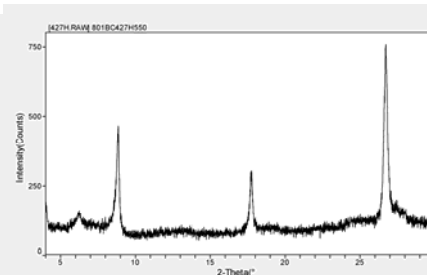
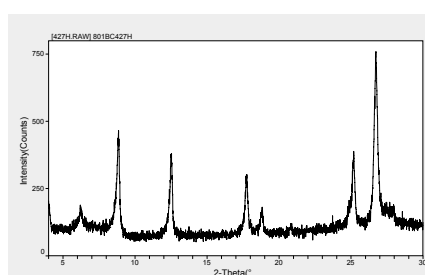
OR801-06

自然定向片

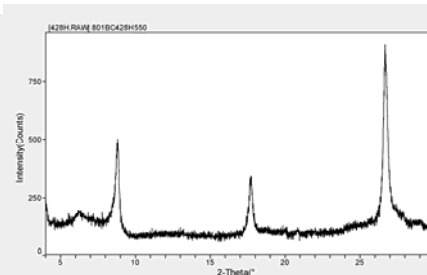
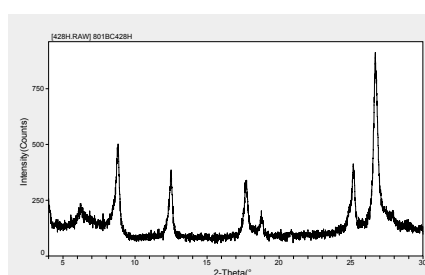
加熱 550°C 處理定向片



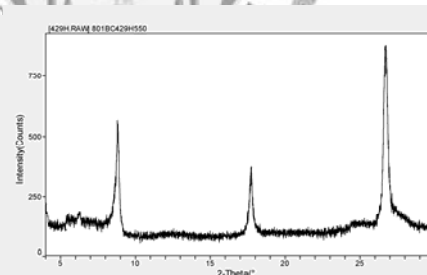
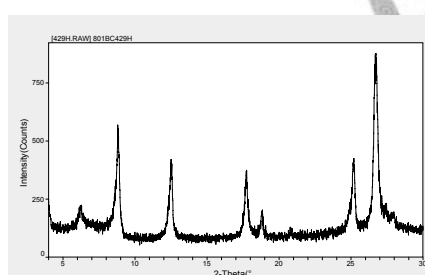
25-26 cm



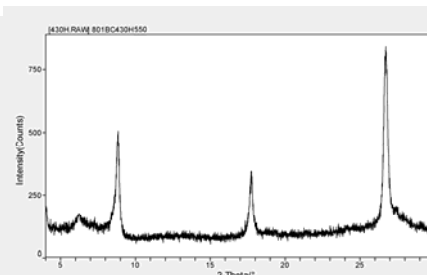
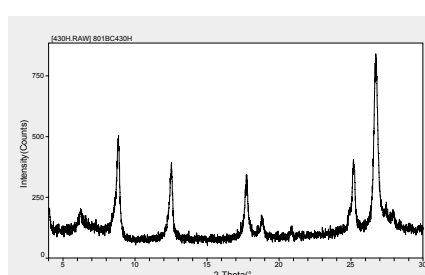
26-27 cm



27-28 cm



28-29 cm



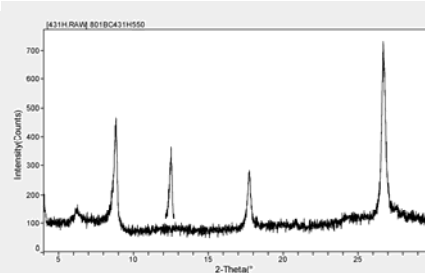
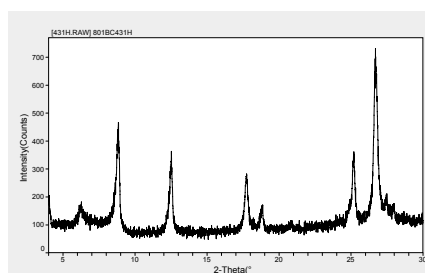
29-30 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

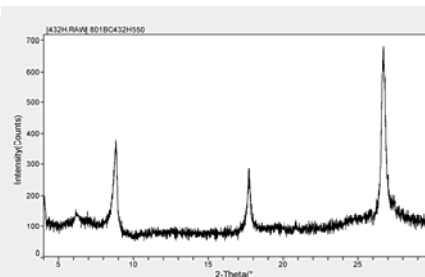
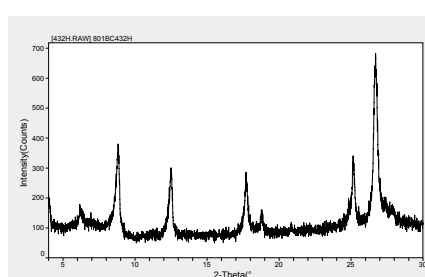
OR801-06

自然定向片

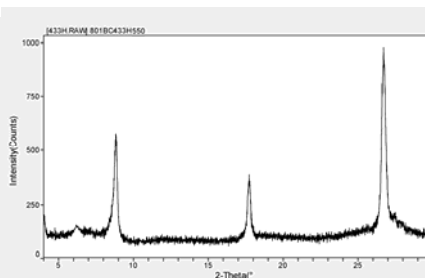
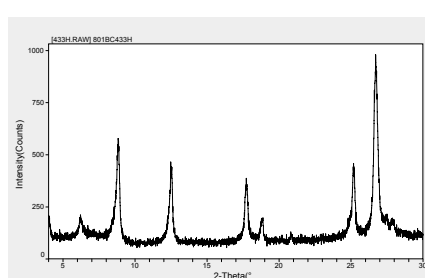
加熱 550°C 處理定向片



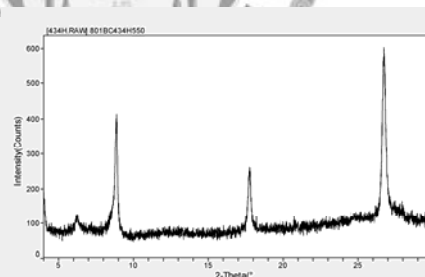
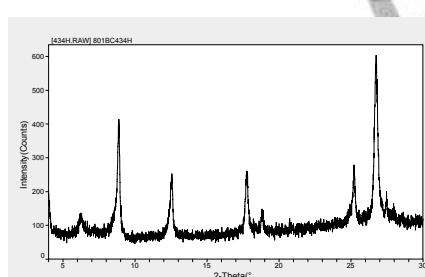
30-31 cm



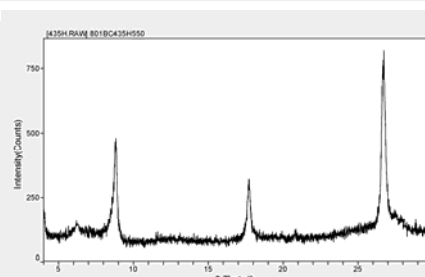
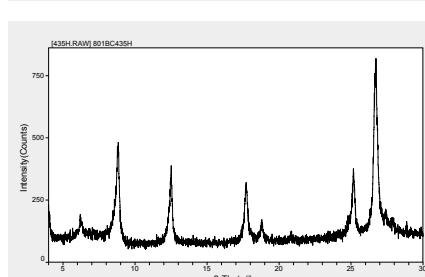
31-32 cm



32-33 cm



33-34 cm



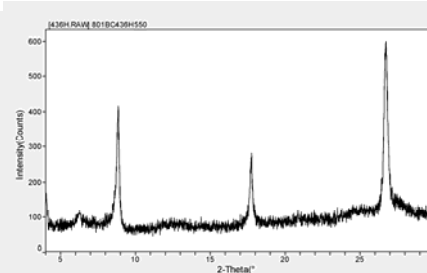
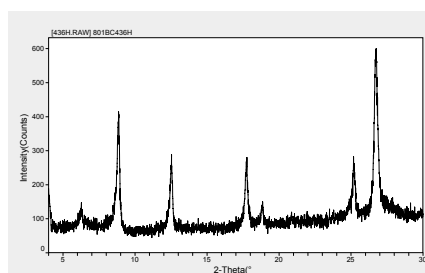
34-35 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

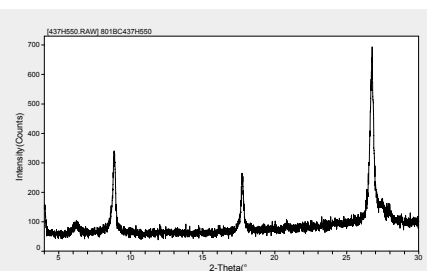
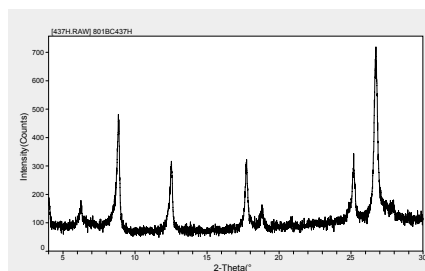
OR801-06

自然定向片

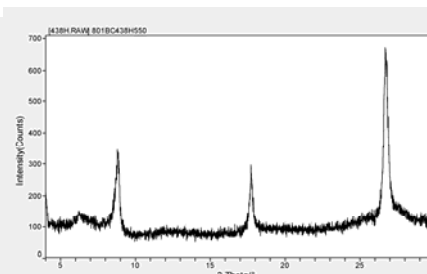
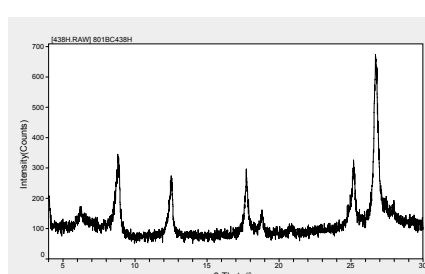
加熱 550°C 處理定向片



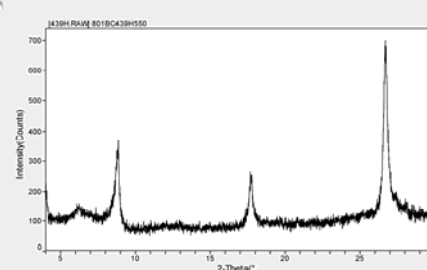
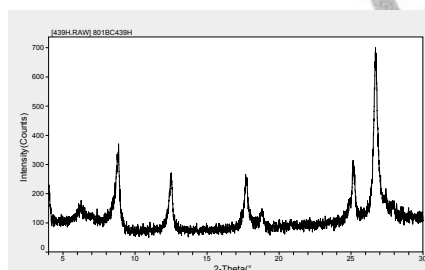
35-36 cm



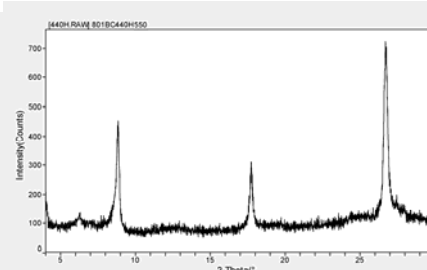
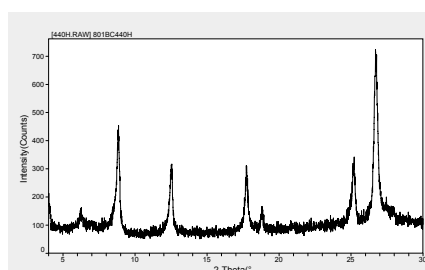
36-37 cm



37-38 cm



38-39 cm



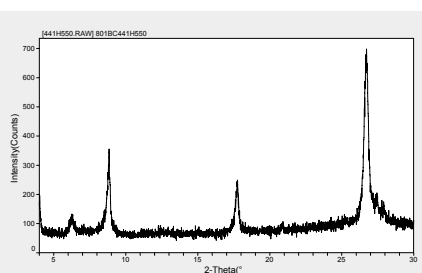
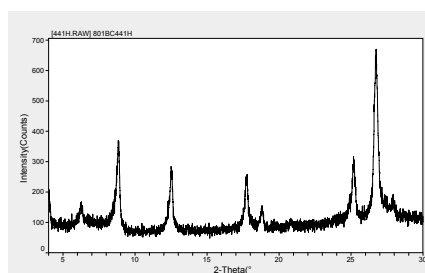
39-40 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

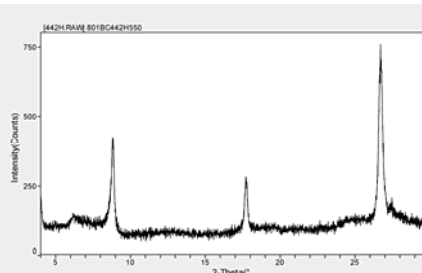
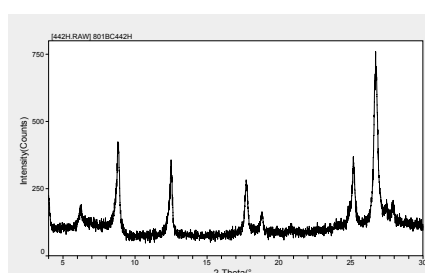
OR801-06

自然定向片

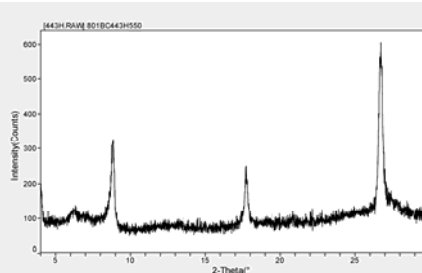
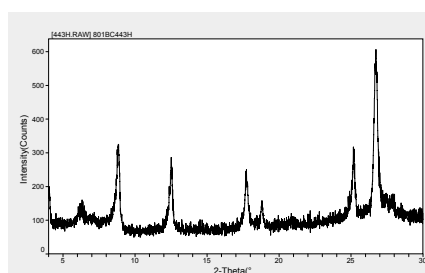
加熱 550°C 處理定向片



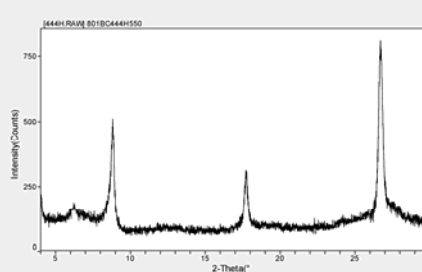
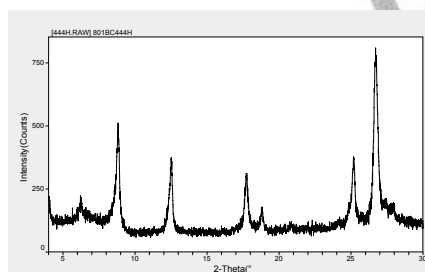
40-41 cm



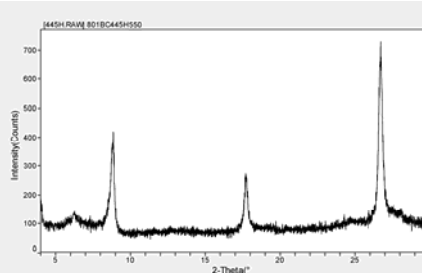
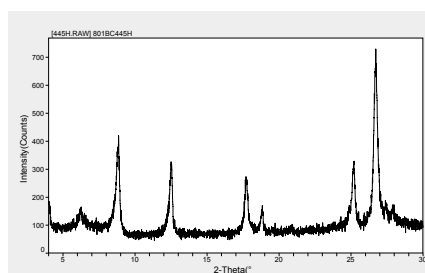
41-42 cm



42-43 cm



43-44 cm



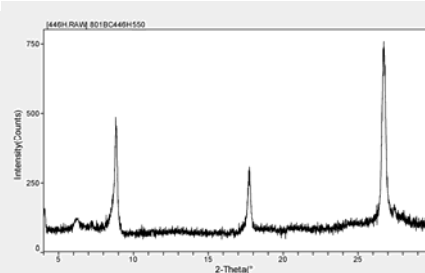
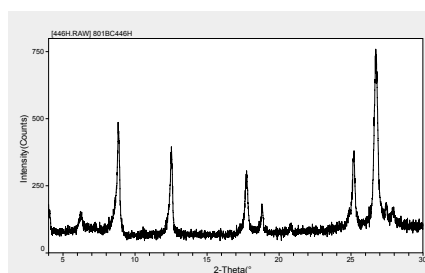
44-45 cm

附錄三 南沖繩海槽沈積物中黏土礦物不同深度繞射圖譜（續）

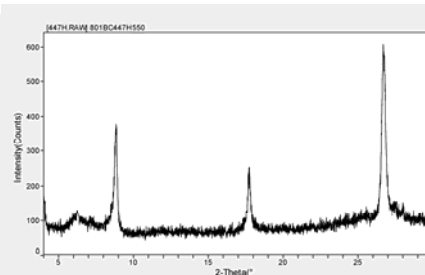
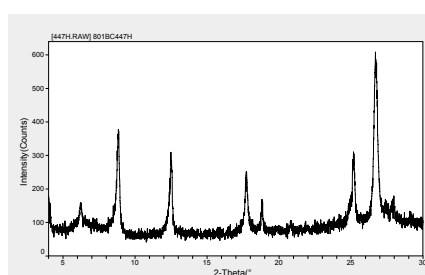
OR801-06

自然定向片

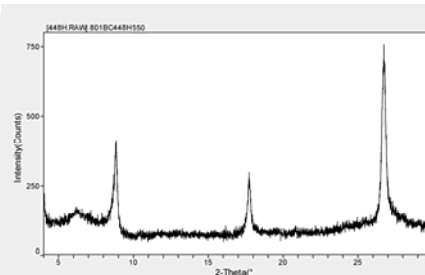
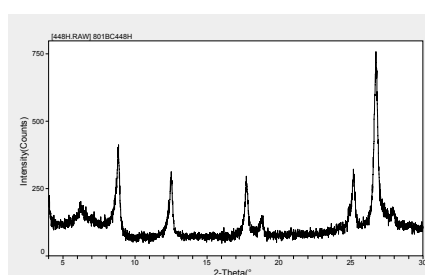
加熱 550°C 處理定向片



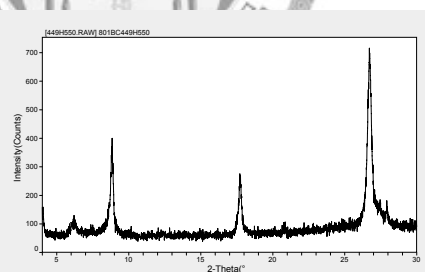
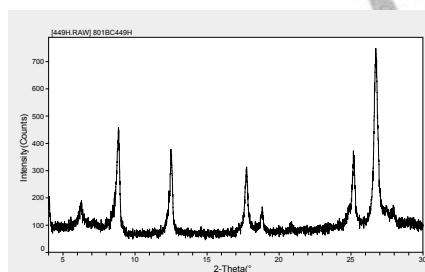
45-46 cm



46-47 cm



47-48 cm



48-49 cm