

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180009
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	臺灣西南部古亭坑層泥岩之古水深變化

就讀學校	臺北市立第一女子高級中學
指導教師	羅立 林郁梅
作者姓名	謝宜蓁

關鍵詞	<u>有孔蟲、古水深、粗顆粒含量</u>
-----	----------------------

作者簡介



大家好，我是謝宜蓁，目前就讀於臺北市立第一女子高級中學三年級，我對於地球科學充滿興趣，也喜愛探索新知。在研究過程中雖然遇到許多困難，但每次的收穫更加深了我對科學的熱愛。

感謝臺灣大學地質科學系羅立教授、楊峻誌助教，以及林郁梅老師給予我指導和幫助。

研究報告封面

2025年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別： 北區

科別：地球與環境科學科

作品名稱：臺灣西南部古亭坑層泥岩之古水深變化

關鍵詞：有孔蟲、古水深、粗顆粒含量

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

摘要

二仁溪剖面因受到小滾水逆斷層截切，而分為東、西剖面兩部分，東剖面的地層較老，西剖面的地層較年輕，故推測該地區東剖面古水深較西剖面深。本研究利用微體化石有孔蟲比例（%P）進行研究，希望能夠探討臺灣西南部沉積盆地的演化，以及二仁溪剖面地區的古水深變化與粗顆粒含量的相關性。但由於本研究使用的樣本並沒有採樣於每一沉積岩層，故臺灣西南部沉積盆地的沉積物供應量與構造抬升的因素仍需進一步的研究。

Abstract

The Erren River section is divided into eastern and western parts by the Hsiaokunshui Fault. The strata in the eastern section are older, while those in the western section are younger, suggesting that the paleowater depth in the eastern section was likely greater than that in the western section. This study uses the percentage of foraminifera (%P) in microfossils to investigate the evolution of the sedimentary basin in southwestern Taiwan and examines the relationship between changes in paleowater depth and coarse-grain content in the Erren River section.

壹、前言

一、研究動機：

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊聚合的邊界，在距今約 600 萬年前，菲律賓海板塊西緣的呂宋島弧北端與歐亞大陸板塊邊緣開始產生碰撞，碰撞造成了臺灣周圍大陸棚的沉積岩層、沉積物以及火山島弧相互擠壓形成構造抬升，此運動又稱作蓬萊造山運動（洪崇勝、謝凱旋，2007）。而因板塊聚合造成山體抬升，重力使得位於板塊聚合運動方向的前陸盆地（foreland basin）向下沉陷（陳文山等，2000）。

一般而言，此時當地古水深將受到前陸盆地沉陷速率、板塊擠壓構造、因風化或侵蝕產生的沉積物通量、地方氣候以及全球海水面變遷有關，而由於臺灣西南部以泥岩地層為主，缺少砂泥互層的構造，因此無法進行地層位態控制、排列地層上下關係和了解地層層序，也無法進行跨剖面的地層對比。羅建育（1988）曾利用古亭坑層泥岩樣本進行沉積學研究，並推測粗顆粒含量的變化與全球海水面有關。本研究想嘗試藉由臺灣西南部二仁溪剖面古亭坑層中的有孔蟲比例變化，分析臺灣島西南部沉積盆地的演化，並確認粗顆粒含量與古水深間的相關性。

二、研究目的：

- （一） 測試研究區域內沉積物粗顆粒含量與古水深的相關性。
- （二） 探討臺灣西南部沉積盆地地區的演化過程。

貳、研究設備及器材

一、軟體設備：

- （一） Microsoft excel：計算數據、繪製圖表

二、實驗器材：

- （一） 光學顯微鏡
- （二） 電子秤
- （三） 烘箱
- （四） 孔徑 63 μ m 篩網

- (五) 分量器
- (六) 樣本盤
- (七) 三孔夾

參、研究方法或過程

(一) 文獻探討：

以下為文獻探討中提及的相關名詞及其代表意義：

名詞	意義
生物地層事件	以化石種類的組成所界定之地質年代
始現面 (FAD, first appearance datum)	化石在地層中最早出現的位置
終現面 (LAD, last appearance datum)	化石在地層中最後出現的位置
再現面 (reappearance)	化石在地層中再次出現的位置
殼旋	外殼旋轉的方向，化石旋向變化也是一種生物地層事件

(一) 有孔蟲：

有孔蟲隸屬於有孔蟲目 (Foraminifera)，為海洋單細胞原生生物，大多具有外殼，外殼組成成分可分為碳酸鈣、有機質等等，且大小通常不超過 1 公分，最早的有孔蟲化石出現於距今約 5.4 億年前的寒武紀早期地層之中，而後有孔蟲廣泛分布於全球海洋各處，因其外殼容易保存於海洋沉積物中，依動物群的組成（即有孔蟲的存在與否）可以重建周圍環境海水的物理條件及化學成分，也可以作為生物地層事件以判斷地質年代，有助於重建過去氣候、海洋與地質的演化過程 (Schiebel & Hemleben, 2017)，有孔蟲可依棲息環境分為浮游有孔蟲和底棲有孔蟲兩大類（見圖一、圖二）。

浮游有孔蟲 (Planktonic foraminifer)，首次出現於約 1.7 億年前的侏羅紀中期，自白堊紀中期以來於全球海洋中繁衍。現代浮游有孔蟲最早由古近紀演化而來，約為 65.5-23 百萬年前 (million years, MA)，包括於白堊紀和古近紀交界 (約 65.5Ma) 後不久出現的地球歷史上第一個有刺物種。大多數現代浮游有孔蟲生活於開放性大洋的表層海水至斜溫層，為重要的海洋生物源沉積物之一 (Schiebel & Hemleben,

2017)。

底棲有孔蟲 (Benthic foraminifer)，為最早出現的有孔蟲，其中以碳酸鈣成分作為外殼的底棲有孔蟲約於志留紀 (444-419Ma) 期間出現，快速演化後使得碳酸鈣成為多數有孔蟲外殼的成分。大多數底棲有孔蟲生活於鄰近海岸線的淺海、大陸棚，底棲有孔蟲以無性多重裂變繁殖為主，相較於浮游有孔蟲以有性繁殖為主，演化較慢 (Murray, 2006)。

浮游有孔蟲與底棲有孔蟲比率 (%P)，換算公式為 $\%P = P / (P + B) * 100$ ，其中 P 代表浮游有孔蟲數量，B 代表底棲有孔蟲數量。 %P 與水深的相關性被推測有助於古水深重建，而 %P 隨水深呈指數型增加，公式為：水深 (m) = $a * \text{EXP}(b * \%P)$ ，為方便對照故取對數轉換，公式為： $\log(\text{水深}) = \log(a) + b * \%P$ 。

臺灣地區海域數據經適用性評估以及與其他海域、全球校準對比後，證實所得結果：水深 (公尺) = $\text{EXP}(0.04245 * \%P + 3.3127)$ ，可用於推斷臺灣海域約 30-2000 公尺水深範圍內的古水深測量 (Tapia et al., 2022)。

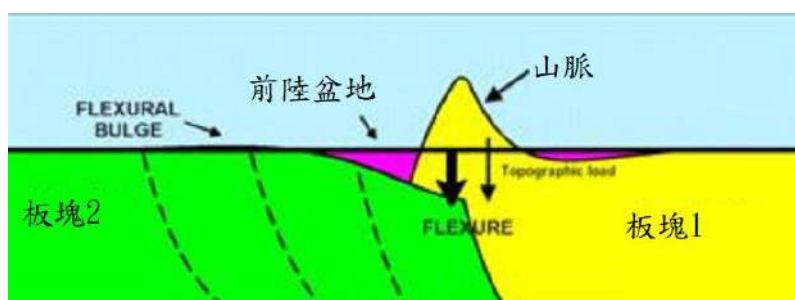


圖一、常見浮游有孔蟲種類 (作者拍攝) 圖二、常見底棲有孔蟲種類 (作者拍攝)

(二) 前陸盆地：

前陸盆地為鄰近造山帶的沉積物堆積區域，因造山帶下方岩石圈的向下彎曲而形成 (見圖三)，而沉積物碎屑主要來源於造山帶侵蝕作用，前陸盆地的地層和層相分析可以用以重建造山帶以及盆地的演化，對於臺灣地區前陸盆地的研究，主要利用了黏土礦物學的伊利石結晶度變化、有機碳、氮比率以及磁地層礦物濃

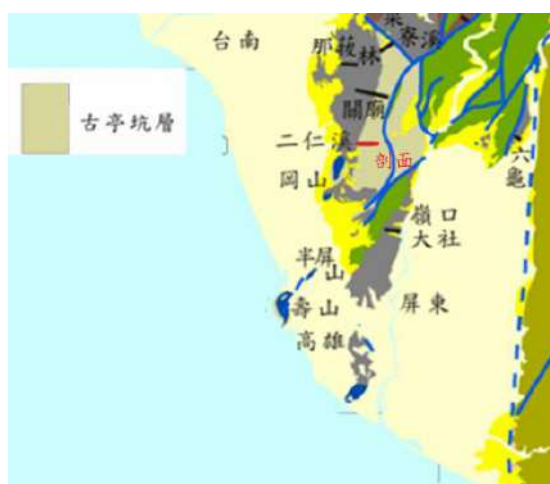
度變化等等（Hsieh et al.，2022）。



圖三、前陸盆地的形成（改自 DeCelles and Giles，1996）

（三） 古亭坑層：

古亭坑層分布於西部麓山帶的各個剖面之中（見圖四），主要由泥岩所構成，為前陸盆地沉陷後，再受板塊運動抬升至地表的地層，地層年代分布由 5.23Ma 至 0.8Ma（上新世早期至更新世中期），厚度約 2000 公尺，以巨厚泥岩為主，層內具有多種海相化石，如有孔蟲、超微化石及貝殼破片等等，上層時有貝類化石密集帶出現，古亭坑層岩性由下至上的砂質含量逐漸增加，含泥岩較多的區域，因泥岩膠結不良，常受雨水侵蝕，因而造成植物生長困難，易形成劣地地形（謝凱旋、洪崇勝，1999）。



圖四、古亭坑層於西部麓山帶之分布範圍（洪崇勝、謝凱旋，2007）

（四） 二仁溪剖面：

二仁溪位於臺灣島西南部，為高雄市與臺南市的界河（見圖五），二仁溪剖面

位於高雄市旗山區西方約 9 公里處，因受小滾水逆斷層構造截切而分為西剖面、東剖面兩部分（見圖六）。



圖五、二仁溪位置（改自經濟部水利署，2019）



圖六、小滾水逆斷層（改自 Chorng-Shern Horng and Kai- Shuan Shea, 1994）

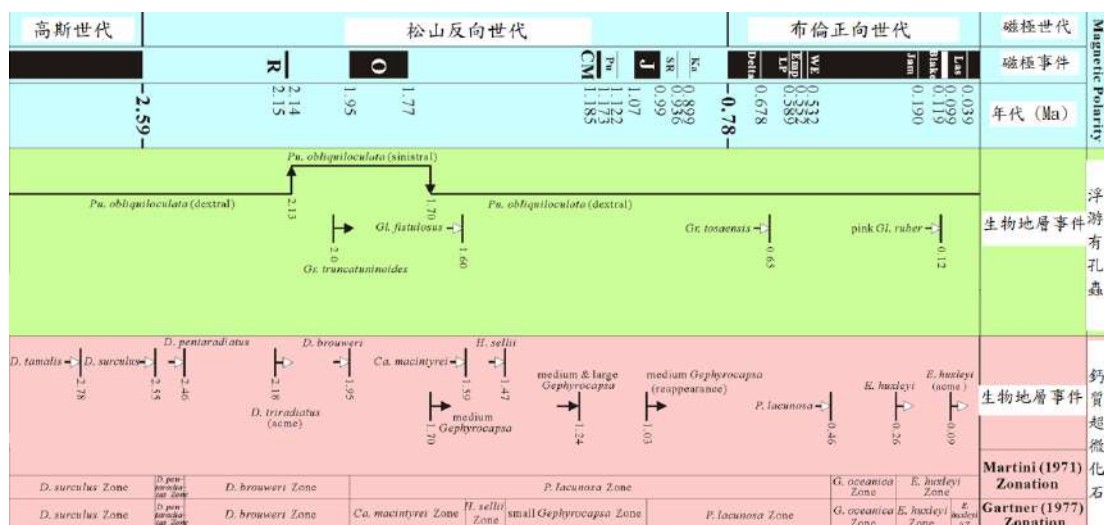
二仁溪西剖面地層走向為北偏東 $3\sim 40^\circ$ ，傾向為北偏西 $44\sim 86^\circ$ ，地層由下至上依序排列為古亭坑層、二重溪層、六雙層，其中古亭坑層出露完整，為該剖面主要使用的岩石地層單位（謝凱旋、洪崇勝，1999）。

地球磁場平均於幾十萬年間發生一次地磁逆轉事件，距今最近一次逆轉事件約發生於 0.78Ma ，由松山反向世代反轉為現今的布倫正向世代。逆轉事件發生時，

會於地層中留下印跡，而於長達 1.8Ma 的松山反向世代中，曾有多次正向磁極事件發生，其中持續時間短暫的事件很可能隸屬地磁的游移事件。

以二仁溪西剖面磁生物地層事件制約，可指認多項地質事件及磁極逆轉事件（洪崇勝、謝凱旋，2007），列點如下（見圖七）：

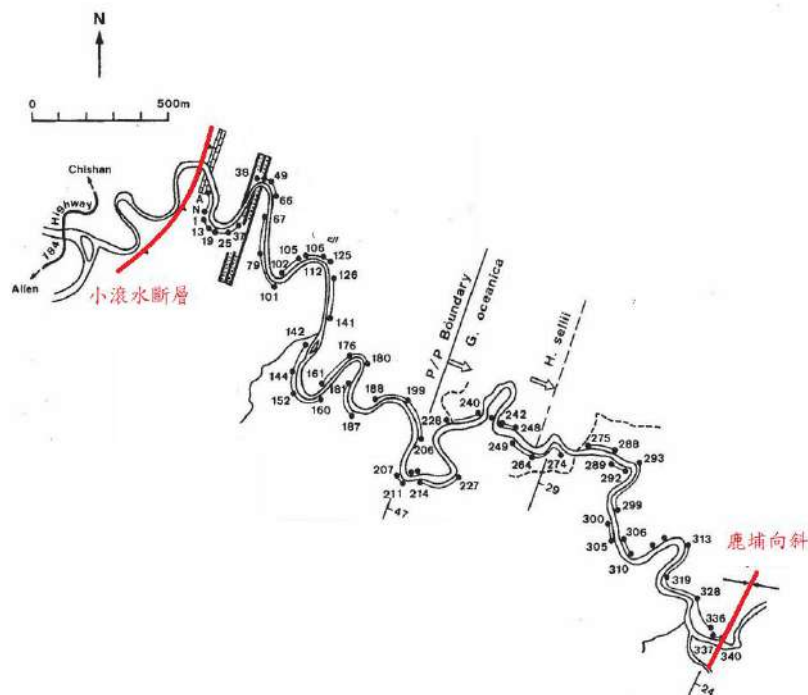
1. 資料滿足指認 Olduvai 正向磁極事件（1.95 -1.77Ma）的地層紀錄條件，包括：
位於鈣質超微化石 FAD *G. oceanica*（0.46Ma）之下；位於浮游性有孔蟲 FAD *Gr. Truncatulinoidea*（2.0Ma）之上；*Pu. obliquiloculata* 的殼旋為左旋（sinistral），提高指認的可信度，唯因受小滾水斷層截斷以致事件層位紀錄不全。
2. Jaramillo 磁極事件下界須落入 small Gephyrocapsa Zone 中（1.47-1.03Ma），而上界則須略高於 small Gephyrocapsa Zone 上界，即中型 Gephyrocapsa 再現面的略上方。二仁溪西剖面可界定 Jaramillo 磁極事件的上界，但下界則不明，因該區段古亭坑層富含泥質，沉積後使碎屑源的磁鐵礦發生溶蝕，生成另一種具磁性的硫化礦物，使地層無法忠實呈現古磁極記錄。
3. 該剖面的古亭坑層上部，具有布倫正向世代的起始面記錄。
4. 地層紀錄了 1.2-1.0Ma 時期的脊梁山脈急速隆起事件，因為當時沉積環境較深，屬於半深海相，該區域於 small Gephyrocapsa zone 時段聚集大量源自脊梁山脈侵蝕而下的泥質沈積物，形成約 400 至 600 公尺厚的古亭坑層。



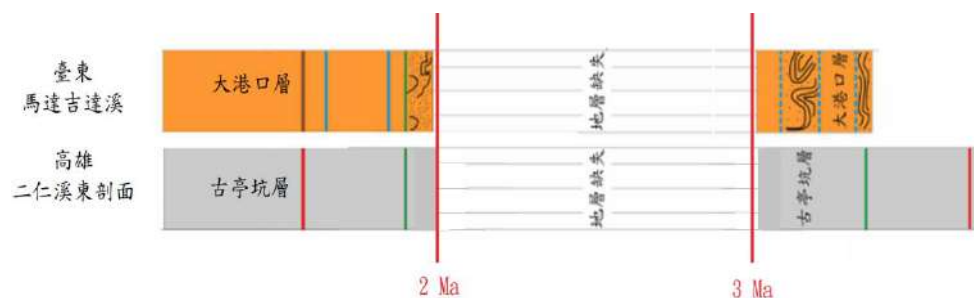
圖七、生物地層事件與磁極事件對照表（改自洪崇勝、謝凱旋，2007）

二仁溪東剖面因受剖面東側的鹿埔向斜影響（見圖八），呈現東南傾角的正層序（Chorng-Shern Horng and Kai-Shuan Shea, 1994），以下列點以二仁溪東剖面磁生物地層事件為制約之地質與磁極事件（洪崇勝、謝凱旋，2007）（見圖七）：

1. 位於西部麓山帶的二仁溪東剖面地層中，紀錄了一段長時間的地層缺失，時間約在 3-2Ma，而位於臺東的馬達吉達溪剖面同樣紀錄了此缺失，以其下部含礫岩層為分界，該地層以上及以下部分之鈣質超微化石種類、浮游有孔蟲種類、*Pulleniatina* 殼旋旋向、磁極世代、沉積形式及年代皆呈顯著差異（見圖九）。



圖八、二仁溪東剖面鹿埔向斜位置（改自 Horng, Chorng-Shern and Kai-Shuan Shea, 1994）



圖九、馬達吉達溪與二仁溪東剖面（改自洪崇勝、謝凱旋，2007）

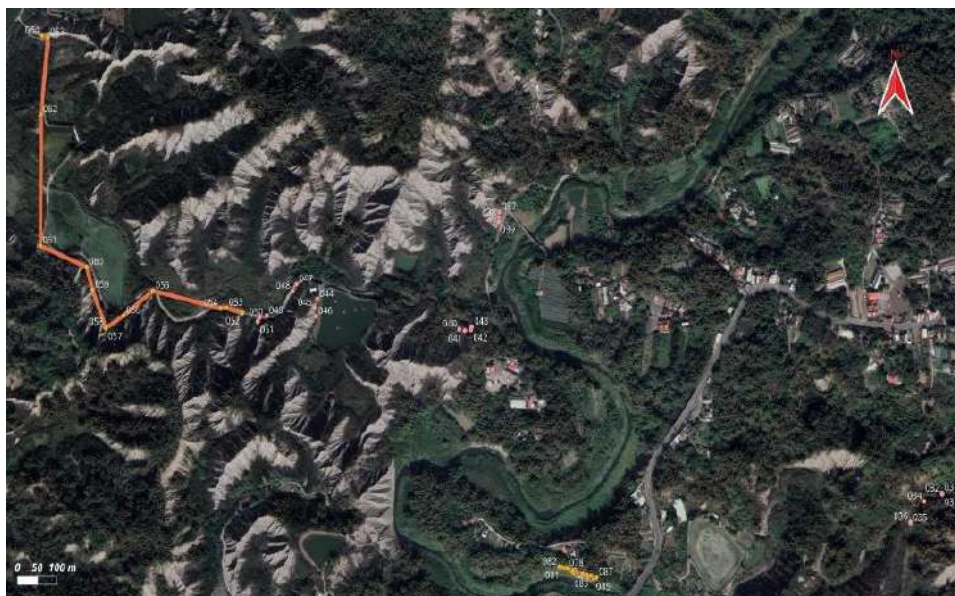
2. 二仁溪東剖面古亭坑層可能存在不整合面，由鈣質超微化石與浮游性有孔蟲整合研究證實此地層缺失的時間範圍約在 3-2Ma 之間，而此長時間的地層缺失，隱示當時蓬萊造山運動正處於高峰期，造成脊梁山脈的急速隆起，也導致前陸盆地與弧前盆地內大規模侵蝕作用或顯著礫岩堆積。
3. 於 1.2-1.0Ma 時期之脊梁山脈急速隆起事件中，二仁溪東剖面的沈積盆地受到構造活動之擠壓而封閉並形成了該剖面東側的鹿埔向斜。
4. 受包括 *G. oceanica* 的 15 項生物地層事件制約 (Chorng-Shern Horng and Kai-Shuan Shea, 1994)。

因 *G. oceanica* 生物地層事件於二仁溪東剖面及西剖面皆有發生，故可將兩剖面組合成一完整剖面，使二仁溪剖面可作為古亭坑層泥岩地區的代表地段之一。

二、研究方法：

因 *G. oceanica* 生物地層事件於二仁溪東剖面及西剖面皆有發生，所以可以將兩剖面組合成一個完整剖面 (Chorng-Shern Horng and Kai-Shuan She, 1994)，而完整剖面當中的粗顆粒含量由東至西漸增，故比對樣本中各參數的關係。

有孔蟲在二仁溪剖面的古水深被推測由東至西深度漸淺。而本研究使用採樣於二仁溪西剖面的 51 個樣本 (見圖十)，嘗試藉由樣本中的有孔蟲數量，計算出各樣本的 %P，用以計算各樣本點的古水深與泥岩地層中的比例幾乎只受沉積環境所影響，但一地區的粗顆粒含量可能受粗顆粒沉積物來源的不同或沉積物通量變化等等因素所影響，另外，以粗顆粒含量界定水深的方法，多以定性描述研究結果，而以 %P 界定古水深的方法可予以定量描述，並得知較明確的數值，故本研究以有孔蟲比例確認粗顆粒含量與古水深的相關性。



圖十、研究樣本採樣點（改自 Google Earth 畫面）

（一）樣本前處理：

為了取得樣本的前處理的基本數據（見圖十一），以作為後續各參數的比對與討論，須先以錘子將岩石樣本敲成小塊，用量筒裝取 20 毫升的過濾水，將樣本小塊放入量筒後紀錄增加的重量及體積，以測得樣本密度。

以小燒杯取 2 公克左右的樣本，放入烘箱中約 1-2 天去除樣本中的水分，取出後紀錄濕重和乾重，以計算樣本的含水量。再取密封瓶秤量並裝取足量樣本，加入適量過濾水，密封後放入烘箱中 1-2 天等待樣本軟化。軟化後將密封瓶自烘箱中取出，紀錄過篩前樣本重量，在以樣本總乾重=過篩前重量*（1-含水量），測出總乾重。

最後將樣本放置於 63 微米的篩網中，以過濾水刷洗並以小刷子反覆清洗樣本，確保完全去除樣本中過細的泥顆粒，只留下大於 63 微米的粗顆粒，以做為挑有孔蟲時使用的樣本。過篩完後將剩餘樣本裝入小燒杯中，放入烘箱 1-2 天去除樣本中的水分，並紀錄過篩後大於 63 微米的樣本乾重，以得出樣本中大於 63 微米的粗顆粒含量。

ID	過篩前重	總乾重	>63 μm 重	測密度 重量(g)	測密度 體積(水)	測密度 體積	EA濕重	EA乾重	粗顆粒 含量	含水量	密度
G1	276.22	254.05859	3.02	10.1	20	26.2	2.13	1.89	1.19%	11.27%	1.62903
G2	422	399.99433	2.06	11.84	20	26.8	2.82	2.6	0.52%	7.80%	1.74118
W1	265.94	248.88401	1.26	11.86	20	26.8	2.69	2.41	0.51%	10.41%	1.74412
W2	426.36	411.28942	1.85	10.15	20	25.5	2.25	2.12	0.45%	5.78%	1.84545
W3	280.63	270.65743	1.69	10.68	20	25.8	2.68	2.49	0.62%	7.09%	1.84138
W4	403.86	378.89719	2.06	10.66	20	27	2.56	2.34	0.54%	8.59%	1.52286
W5	319.14	304.325	2.71	12.38	20	26.8	2.56	2.35	0.89%	8.20%	1.82059
W6	311.92	294.69391	4.12	10.84	20	26	2.07	1.89	1.40%	8.70%	1.80667
W7	392.17	371.42062	3.05	10.08	20	25.8	2.74	2.53	0.82%	7.66%	1.73793
W8	286.39	277.65118	7.72	12.51	20	27	2.11	1.96	2.78%	7.11%	1.78714
W9	364.94	353.31775	5.23	10.9	20	26.1	2.67	2.51	1.48%	5.99%	1.78689
W10	307.67	299.48357	3.31	11.28	20	26.9	2.13	2	1.11%	6.10%	1.63478
W11	409.08	390.63592	2.93	11.75	20	27	2.23	2.07	0.75%	7.17%	1.67857
W12	302.98	288.17845	1.44	10.66	20	26.2	2.71	2.49	0.50%	8.12%	1.71935
W13	298.68	276.74183	1.81	10.17	20	26	2.02	1.81	0.65%	10.40%	1.695
W14	308.74	292.60917	2.24	10.47	20	26	1.8	1.65	0.77%	8.33%	1.745
W15	321.21	331.32044	106.04	11.57	20	27	2.28	2.27	32.01%	0.44%	1.65286
W16	320.6	293.78299	11.98	12.27	20	27	2.64	2.33	4.08%	11.74%	1.75286
W19	400.04	388.44088	2.8	10.54	20	26.1	2.04	1.93	0.72%	5.39%	1.72787
W20	447.72	418.97923	18.72	10.6	20	26.8	2.33	2.13	4.47%	8.58%	1.55882
W21	295.58	272.76711	13.05	10.13	20	26.1	2.32	2.07	4.78%	10.78%	1.66066
W22	320.25	306.01324	8.89	10.05	20	26	2.04	1.89	2.91%	7.35%	1.675
W23	384.19	360.97373	23.4	12.32	20	27	2.12	1.93	6.48%	8.96%	1.76
W24	355.74	348.90946	26.51	10.43	20	26	2.97	2.83	7.60%	4.71%	1.73833
W25	505.78	483.6294	44.11	11.28	20	26.8	2.32	2.17	9.12%	6.47%	1.65882
W26	351.69	347.85364	166.17	10.19	20	26.3	2.58	2.48	47.77%	3.88%	1.61746
W27	278.18	268.19883	16.24	11.52	20	27.4	2.56	2.37	6.06%	7.42%	1.55676
W28	332.15	323.91241	26.66	11.85	20	26.2	2.74	2.58	8.23%	5.84%	1.91129
W29	310.48	294.62939	0.98	10.62	20	25.9	2.79	2.56	0.33%	8.24%	1.8
W30	289.59	276.63012	1.81	10.4	20	25.9	2.44	2.25	0.65%	7.79%	1.76271
W31	313.17	306.20109	2.77	10.6	20	25.8	2.58	2.44	0.90%	5.43%	1.82759
W32	299.39	289.99909	3.83	11.14	20	26	2.42	2.26	1.32%	6.61%	1.85667
W33	270.61	266.08511	2.34	12.18	20	26.8	2.37	2.23	0.88%	5.91%	1.79118
W34	327.55	313.7618	3.98	12.59	20	27	2.45	2.26	1.27%	7.76%	1.79857
W35	146.52	144.12464	1.59	10.5	20	25.8	2.07	1.9	1.10%	8.21%	1.81034
W36	158.57	158.1826	0.98	11.02	20	26	2.23	2.08	0.62%	6.73%	1.83667
W37	146.54	145.17723	1.13	10.56	20	25.9	2.24	2.07	0.78%	7.59%	1.78983
W38	147.81	145.51509	1.05	10.42	20	25.9	2.24	2.06	0.72%	8.04%	1.7661
W39	162.02	158.42915	1.11	10.32	20	25.8	2.23	2.05	0.70%	8.07%	1.77931
W40	149.35	151.54836	1.18	12	20	26.1	2.14	2.01	0.78%	6.07%	1.96721
W41	144.39	140.87908	1.48	10.06	20	26.1	2.39	2.18	1.05%	8.79%	1.64918
W42	140.23	139.15372	0.61	10.12	20	25.8	2.82	2.61	0.44%	7.45%	1.74483
W43	147.27	144.26409	0.63	10.3	20	25.9	2.25	2.06	0.44%	8.44%	1.74576
W44	162.9	156.33128	0.5	10.71	20	26	2.11	1.9	0.32%	9.95%	1.785
W45	143.89	142.49693	1.19	10.64	20	25.9	2.44	2.25	0.84%	7.79%	1.80339
W46	145.98	145.99055	0.99	10.58	20	26	2.37	2.21	0.68%	6.75%	1.76333
W47	134.26	134.16534	0.32	10.31	20	25.9	2.64	2.45	0.24%	7.20%	1.74746
W48	140.72	139.80083	0.48	11.79	20	26.1	2.28	2.09	0.34%	8.33%	1.93279
W49	143.91	144.45401	0.07	10.48	20	26	2.02	1.89	0.05%	6.44%	1.74667
W50	137.87	136.15146	0.28	10.04	20	25.2	2.39	2.2	0.21%	7.95%	1.93077
W51	130.59	129.5176	0.5	10.19	20	25.5	1.75	1.61	0.39%	8.00%	1.85273

圖十一、二仁溪西剖面樣本前處理基本數據（作者整理）

(二) 挑有孔蟲：

為了取得各樣本的%P，過篩後樣本經 1-2 天烘乾後，需將各樣本中的有孔蟲一一挑出並分類記錄數量。首先須再使用 500 微米、250 微米和 150 微米的篩網再次過篩，取 250 微米至 150 微米間的樣本，並檢查 500 微米至 250 微米的篩網之間有沒有少數有孔蟲殘留，再將過篩完的樣本使用分量器分至適當的量（浮游有孔蟲數量約 200 隻以上），一次分為 1/2，同時需記錄分量倍數，分量後將樣本均勻平鋪於樣本盤中，放置於顯微鏡下，以細毛筆沾少許水以沾點的方式挑出有孔蟲，分類將浮游有孔蟲與底棲有孔蟲放於三孔夾上，需記錄總數量（見圖十二）。

編號	Planktonic	Benthic	分樣次數	編號	Planktonic	Benthic	分樣次數
ER G1	0	0	0	ER W25	0	0	0
ER G2	0	0	0	ER W27	76	39	0
ER W1	0	0	0	ER W28	213	40	0
ER W2	0	0	0	ER W29	0	0	0
ER W3	0	0	0	ER W30	0	0	0
ER W4	0	0	0	ER W31	0	0	0
ER W5	0	0	0	ER W32	0	0	0
ER W6	0	0	0	ER W33	0	0	0
ER W7	0	0	0	ER W34	198	8	0
ER W8	0	0	0	ER W35	0	0	0
ER W9	0	0	0	ER W36	0	0	0
ER W10	0	0	0	ER W37	0	0	0
ER W11	0	0	0	ER W38	0	0	0
ER W12	0	0	0	ER W39	0	0	0
ER W13	0	0	0	ER W40	0	0	0
ER W14	0	0	0	ER W41	182	13	0
ER W15	0	0	0	ER W42	0	0	0
ER W16	255	46	3	ER W43	0	0	0
ER W19	0	0	0	ER W44	0	0	0
ER W20	216	123	5	ER W45	0	0	0
ER W21	267	66	2	ER W46	0	0	0
ER W22	210	64	3	ER W47	0	0	0
ER W23	181	18	0	ER W48	70	0	0
ER W24	293	75	0	ER W49	121	3	0
ER W25	288	155	0	ER W50	92	3	0
				ER W51	62	56	0

圖十二、二仁溪西剖面之浮游與底棲有孔蟲數量紀錄（作者整理）

(三) 數據分析：

因為浮游與底棲有孔蟲數量皆為分樣後的數量，雖然以分樣後數據計算出的 %P 並不會有影響，但樣本中的有孔蟲總數將會減少，可能會影響後續樣本參數的比較，故須先將樣本中的浮游與底棲有孔蟲數量回復為分樣前總數，使 $N = X \cdot 2^n$ ，其中 N 為分樣前總數，X 為分樣後數量，n 為分樣次數，並計算。

得出樣本總數後，以 $\%P = P / (P + B) \cdot 100$ 的公式計算出各樣本的 %P，再由臺

灣地區的古水深公式：水深（公尺）=EXP（0.04245*%P+3.3127），分別計算出各樣本的水深，並記錄（見圖十三）。

編號	Planktonic(#)	Benthic(#)	總數	%P	水深	編號	Planktonic(#)	Benthic(#)	總數	%P	水深
ER G1	0	0	0	0		ER W26	0	0	0	0	
ER G2	0	0	0	0		ER W27	76	39	115	66.0869565	453.997
ER W1	0	0	0	0		ER W28	213	40	253	84.1897233	979.022
ER W2	0	0	0	0		ER W29	0	0	0	0	
ER W3	0	0	0	0		ER W30	0	0	0	0	
ER W4	0	0	0	0		ER W31	0	0	0	0	
ER W5	0	0	0	0		ER W32	0	0	0	0	
ER W6	0	0	0	0		ER W33	0	0	0	0	
ER W7	0	0	0	0		ER W34	198	8	206	96.1165049	1624.32
ER W8	0	0	0	0		ER W35	0	0	0	0	
ER W9	0	0	0	0		ER W36	0	0	0	0	
ER W10	0	0	0	0		ER W37	0	0	0	0	
ER W11	0	0	0	0		ER W38	0	0	0	0	
ER W12	0	0	0	0		ER W39	0	0	0	0	
ER W13	0	0	0	0		ER W40	0	0	0	0	
ER W14	0	0	0	0		ER W41	182	13	195	93.33333333	1443.32
ER W15	0	0	0	0		ER W42	0	0	0	0	
ER W16	2040	368	2408	84.717608	1001.21	ER W43	0	0	0	0	
ER W19	0	0	0	0		ER W44	0	0	0	0	
ER W20	6912	3936	10848	63.7168142	410.542	ER W45	0	0	0	0	
ER W21	1068	264	1332	80.1801802	825.797	ER W46	0	0	0	0	
ER W22	1680	512	2192	76.6423358	710.641	ER W47	0	0	0	0	
ER W23	181	18	199	90.9547739	1304.7	ER W48	70	0	70	100	1915.43
ER W24	293	75	368	79.6195652	806.376	ER W49	121	3	124	97.5806452	1728.48
ER W25	288	155	443	65.0112867	433.733	ER W50	92	3	95	96.8421053	1675.13
						ER W51	62	56	118	52.5423729	255.475

圖十三、二仁溪西剖面浮游與底棲有孔蟲總數及%P（作者整理）

肆、研究結果與討論

一、研究結果：

本研究結合二仁溪東剖面相關數據及結果，藉由繪製粗顆粒含量與有孔蟲總數、浮游有孔蟲數量、底棲有孔蟲數量與%P的關係圖，以及由 EXCEL 軟體計算各參數間的相關係數，探討粗顆粒含量與古水深變化的相關性。

（一）東、西剖面粗顆粒含量比較

繪製東、西剖面的粗顆粒含量折線圖（見圖十四），發現西剖面的粗顆粒含量有兩處突出的高值，分別為樣本 W15 的 32.005%和樣本 W26 的 47.770%，其餘樣本的粗顆粒含量皆小於 10%，在 51 個樣本數據中，有 40 個樣本的粗顆粒含量小於 2%，粗顆粒含量最低的則為樣本 W49 的 0.048%，西剖面平均粗顆粒含量約為 3.220%。

東剖面的粗顆粒含量較平均，也具有兩項較突出的高值，分別為 CPC-57 的

18.384%與 CPC-61 的 20.330%，在 110 個樣本數據中，有 106 個樣本的粗顆粒含量小於 10%，90 個樣本的粗顆粒含量小於 5%，粗顆粒含量最低的為樣本 CPC-5 的 0.194%，東剖面平均粗顆粒含量約為 2.873%。



圖十四、東、西剖面粗顆粒含量折線圖（作者繪製）

（二）西剖面樣本有孔蟲總數與粗顆粒含量的關係圖（見圖十五）

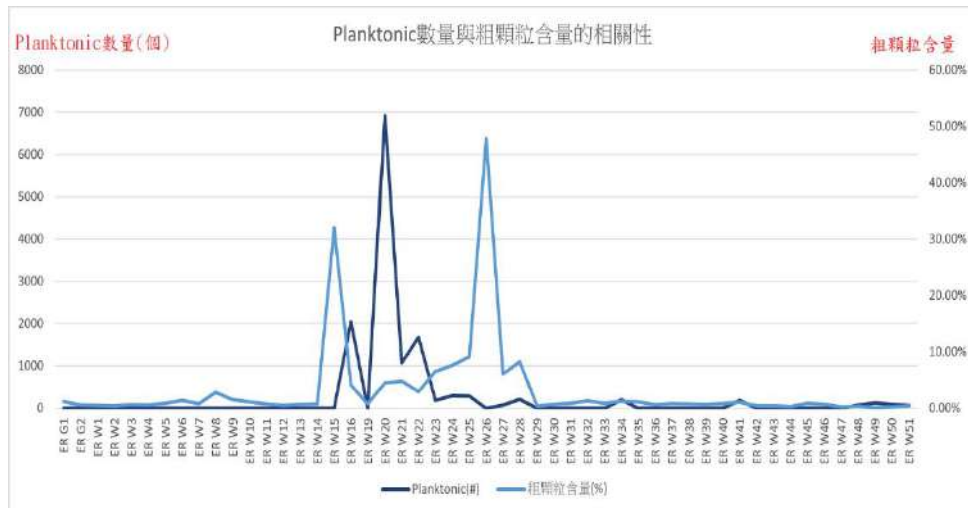
二仁溪西剖面樣本中，樣本 G1 至 W15、W19、W26、W29 至 W33、W35 至 40 及 W42 至 W47 中皆沒有看到有孔蟲，樣本 W20 中的有孔蟲總數最多，共 10848 個，有孔蟲總數第二多的為樣本 W16，共 2408 個，第三多的為樣本 W22，共 2192 個，第四多的為樣本 W21，共 1332 個，而其餘含有孔蟲的樣本中，有孔蟲總數介於 70-443 之間，西剖面樣本中的有孔蟲總數與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.034。



圖十五、有孔蟲總數與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

（三）西剖面樣本浮游有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（見圖十六）

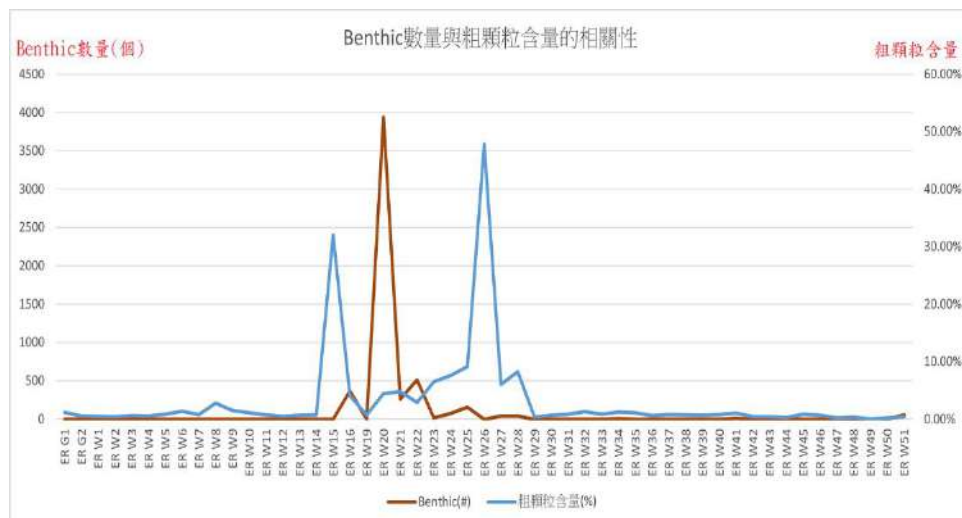
西剖面的浮游有孔蟲數量有一個極大值，為樣本 W20 的 6912 個，數量第二多的為樣本 W16，共 2040 個，第三多的為樣本 W22，共 1680 個，第四多的為樣本 W21，共 1068 個，在其餘含有孔蟲的樣本中，浮游有孔蟲數量介於 62-293 間，西剖面樣本中的浮游有孔蟲數量與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.036。



圖十六、浮游有孔蟲與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

（四）西剖面樣本底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（見圖十七）

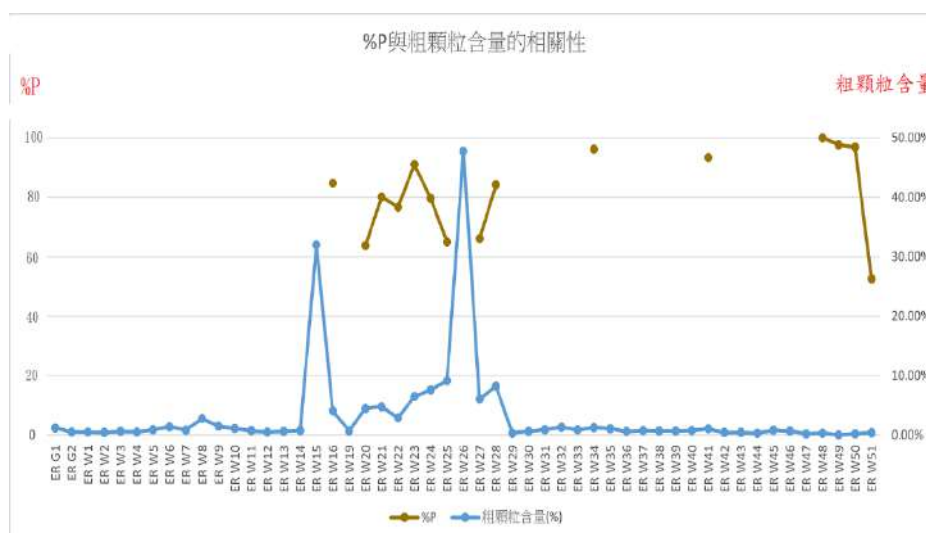
西剖面的底棲有孔蟲數量有一極大值，為樣本 W20 的 3936 個，其餘樣本數量起伏較小，數量第二多的為樣本 W22，共 512 個，第三多的為樣本 W16，共 368 個，在其餘含有孔蟲的樣本中，底棲有孔蟲數量介於 3-264 間，西剖面樣本中的底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.031。



圖十七、底棲有孔蟲與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

(五) 西剖面樣本%P 與粗顆粒含量的關係圖（見圖十八）

二仁溪西剖面的 51 個樣本中，共有 15 個樣本具有%P 數據，%P 最大的為樣本 W48，%P 為 1，第二大的為樣本 W49 的 0.976，第三大的是樣本 W50 的 0.968，%P 最小的樣本是 W51，為 0.525，西剖面樣本的%P 與粗顆粒含量間的相關係數約為-0.311。



圖十八、%P 與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

(六) 西剖面水深與粗顆粒含量的關係圖（見圖十九）

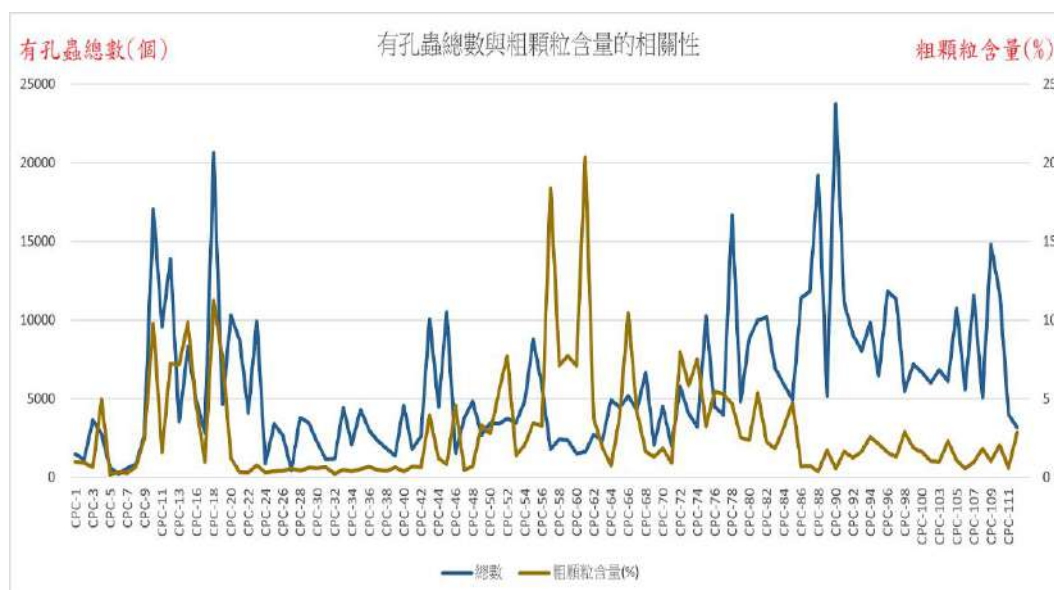
由於二仁溪剖面中只有 15 項樣本具有%P 數據，故能計算古水深深度的也只有 15 個樣本，水深最深的為樣本 W48，為 1915.435 公尺，第二深的為樣本 W49，為 1728.481 公尺，第三深的是樣本 W50，為 1675.132 公尺，水深最淺的樣本是 W51，為 255.475 公尺，西剖面樣本的水深與粗顆粒含量間的相關係數約為-0.311。



圖十九、臺灣地區水深與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

（七）東剖面樣本有孔蟲總數與粗顆粒含量的關係圖（見圖二十）

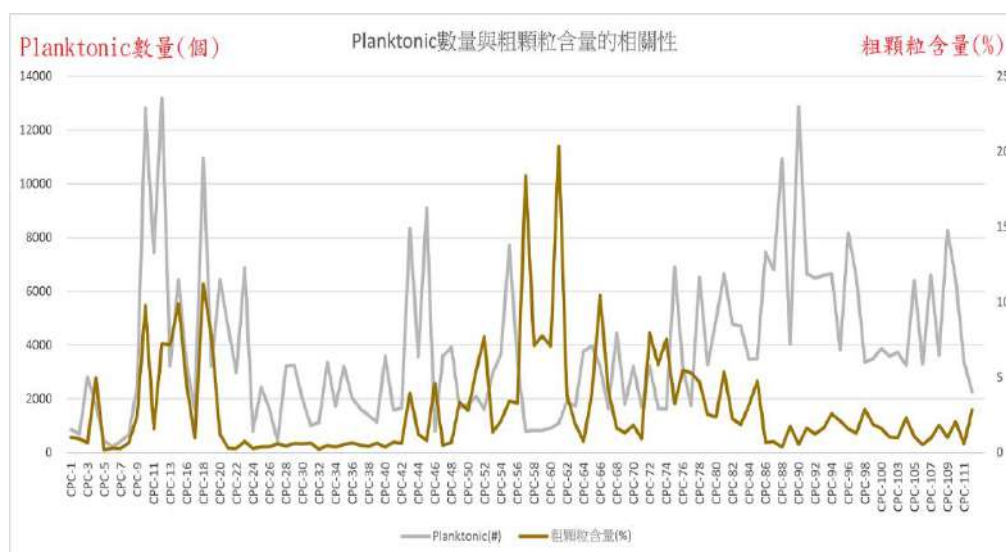
東剖面樣本共 110 個，分別為 CPC-1 至 CPC-13、CPC-15 至 CPC-100 以及 CPC-102 至 CPC-112，各樣本中皆含有豐富的有孔蟲，相較於西剖面樣本，東剖面樣本中的有孔蟲總數較平均，雖然也有突出的高值，但沒有明顯低值。有孔蟲總數前三多的樣本分別為 CPC-90、CPC-18 與 CPC-88，有孔蟲總數分別為 23477 個、20624 個與 19200 個，總數最低的三個樣本則為 CPC-6、CPC-27 和 CPC-7，有孔蟲總數分別為 226 個、444 個與 582 個，東剖面樣本中的有孔蟲總數與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.043。



圖二十、有孔蟲總數與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

(八) 東剖面樣本浮游有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（見圖二十一）

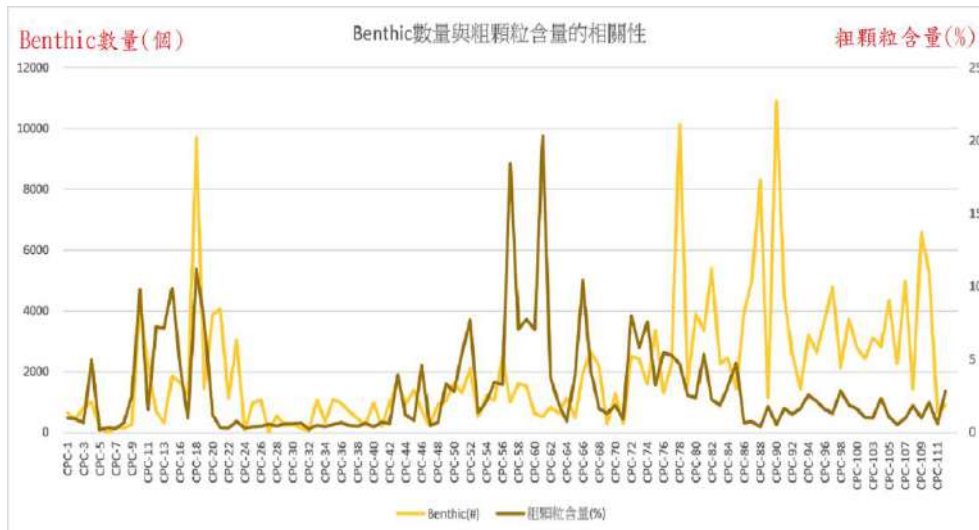
東剖面的浮游有孔蟲數量有五個大於 10000 的值，由大至小分別為樣本 CPC-12 的 13184 個，樣本 CPC-90 的 12864 個，樣本 CPC-10 的 12800 個，樣本 CPC-18 的 10941，以及樣本 CPC-18 的 10912 個，浮游有孔蟲數量最少的為樣本 CPC-6 的 221 個，第二低的為樣本 CPC-27 的 418，第三低的為樣本 CPC-7 的 422 個，東剖面樣本中的浮游有孔蟲數量與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.025。



圖二十一、浮游有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

(九) 東剖面樣本底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（見圖二十二）

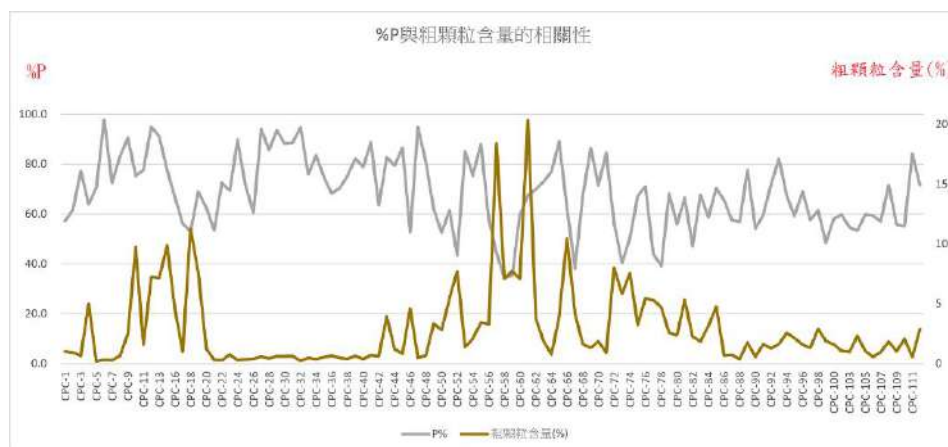
東剖面的底棲有孔蟲數量有四項極大值，為樣本 CPC-90 的 10880 個，樣本 CPC-78 的 10144 個，樣本 CPC-18 的 9701 個，與樣本 CPC-88 的 8288 個，而底棲有孔蟲最少的四個樣本，數量皆小於 100，分別為樣本 CPC-6 的 5 個，樣本 CPC-27 的 26 個，樣本 CPC-32 的 64 個，和樣本 CPC-24 的 92 個，東剖面樣本中的底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量間的相關係數約為 0.060。



圖二十二、底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

（十）東剖面樣本%P 與粗顆粒含量的關係圖（見圖二十三）

在二仁溪東剖面的 110 個樣本中，有 100 個樣本的%P 大於 50，而東剖面%P 在折線圖中分布較平均，無明顯的高值或低值，%P 最高的樣本為 CPC-6，%P 達 97.8，第二高的為樣本 CPC-12，%P 為 94.9，第三高的樣本為 CPC-47，%P 為 94.7，東剖面中%P 最低的為樣本 CPC-58，%P 為 34.2，第二低及第三低的樣本分別為 CPC-59 與 CPC-67，%P 為 35.4 和 38.1，東剖面樣本的%P 與粗顆粒含量間的相關係數約為-0.311。



圖二十三、%P 與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

（十一）東剖面水深與粗顆粒含量的關係圖（見圖二十四）

在東剖面的樣本數據中，水深最深的為樣本 CPC-6，為 1752.806 公尺，第二

深的為樣本 CPC-12，為 1552.407 公尺，第三深的是樣本 CPC-47，為 1538.932 公尺，水深最淺的樣本是 CPC-58，為 117.560 公尺，第二淺及第三淺的樣本分別為 CPC-59 和 CPC-67，水深為 123.520 公尺與 138.611 公尺，東剖面樣本的水深與粗顆粒含量間的相關係數約為-0.385。



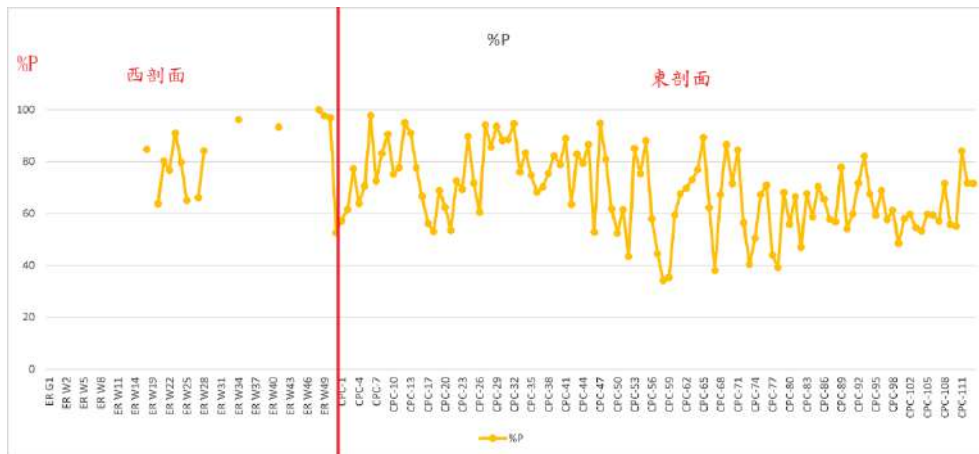
圖二十四、臺灣地區水深與粗顆粒含量的關係圖（作者繪製）

二、討論：

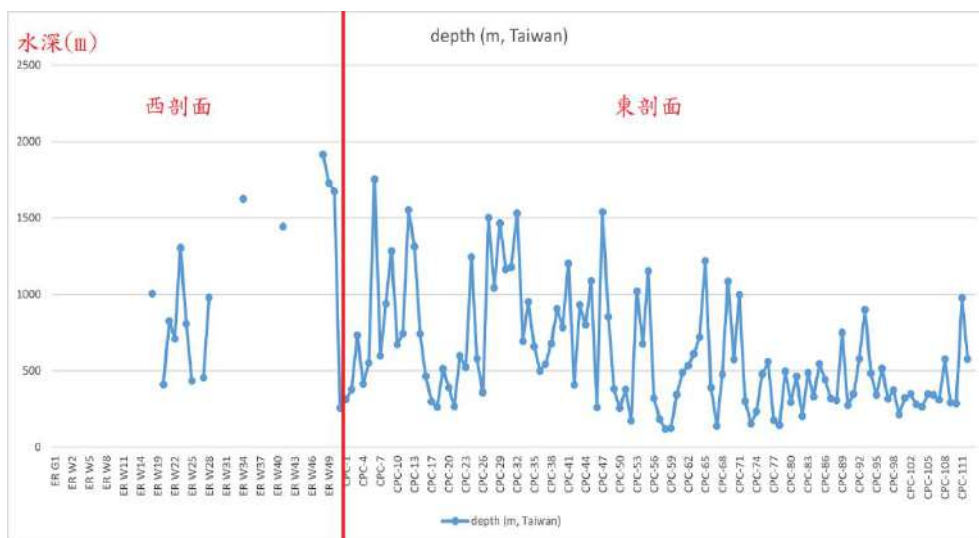
二仁溪東剖面的採樣樣本共 110 個，樣本中皆含有豐富的有孔蟲數據，但西剖面的採樣樣本中，大部分的樣本主要為砂岩，因此有孔蟲數量較少或沒有，不過以現有樣本數據仍可進行討論，以下將會針對完整二仁溪剖面，探討剖面中東、西兩部分間的關係。

（一）水深：

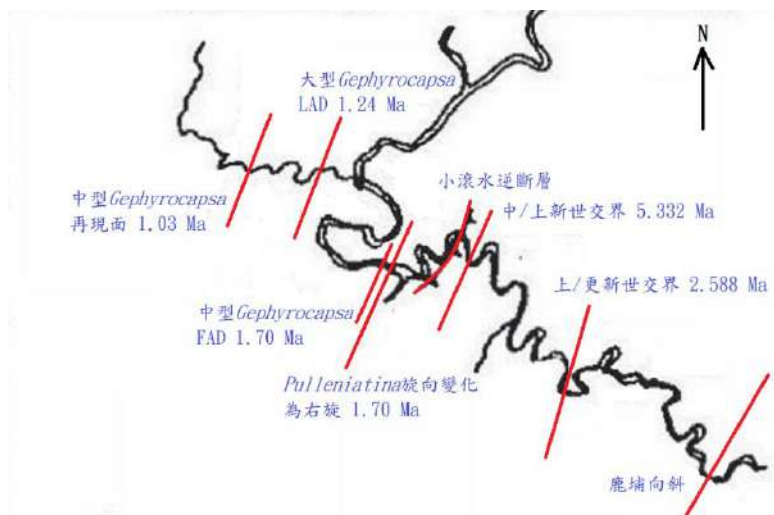
臺灣地區的古水深公式：水深（公尺）= $\text{EXP} (0.04245 * \%P + 3.3127)$ 中可得知，一地區的%P 與該地區的古水深呈正相關，且%P 愈大，古水深會愈深，而本研究經過比對東、西兩剖面的%P，發現除去砂岩樣本的不完整數據後，雖然單一剖面依%P 所計算出的水深範圍廣，如東剖面水深介於 117.560-1752.806 公尺之間，西剖面水深介於 255.475-1915.435 公尺，但是根據圖二十五和圖二十六，兩剖面間的%P 與水深並無明顯差距或趨勢，故依照研究結果，可推測二仁溪剖面東、西兩部分古水深並無明顯的深淺差別。



圖二十五、東、西剖面樣本的%P折線圖（作者繪製）



圖二十六、東、西剖面水深折線圖（作者繪製）



圖二十七、二仁溪剖面之地層年代分布（改自 Chorng-Shern Horng and Kai-Shuan Shea, 1994）

由 Horng (1994) 與謝凱旋 (1999) 的研究結果中，可大致繪製出二仁溪完整剖面的地層年代分布情況（見圖二十七），從圖中可看出小滾水逆斷層以東的地區因受到鹿埔向斜的影響，地層年代由東向西逐漸變老；小滾水逆斷層以西的地區，地層年代由東向西漸新，大致上來說，東剖面地層較西剖面地層老，故二仁溪東剖面的古水深被認為較西剖面深，與本研究結果並不相符。

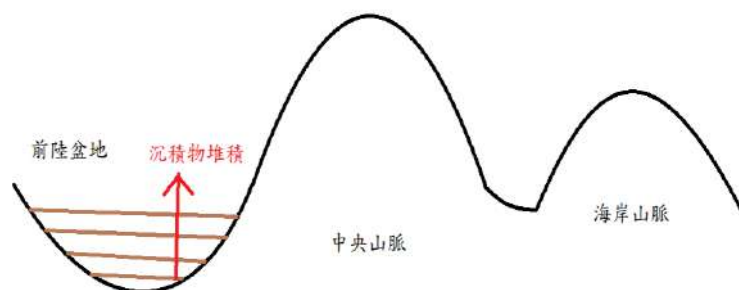
一個地區的古水深可能會受到當地前陸盆地沉陷的速率、板塊擠壓構造、因受風化或侵蝕作用而產生的沉積物通量、地方氣候以及全球海水面變遷影響，而對於為何分屬不同年代之東、西剖面的古水深無明顯差距，有以下幾點推測：

1. 沉積盆地：

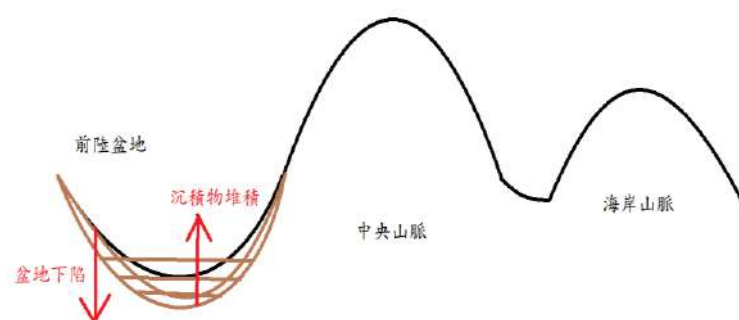
前人研究預先假設了二仁溪完整剖面皆位於同一前陸盆地的抬升區域，但假使兩剖面分別位於不同的沉積盆地，當菲律賓海板塊向西撞擊歐亞板塊形成造山運動時，東剖面位於的前陸盆地先沉陷，當板塊向西擠壓移動時，西剖面所位於的前陸盆地再沉陷。因兩剖面分屬不同盆地，所以地層年代的變化無法作為判斷古水深的依據。

2. 沉積物通量：

前人研究中認為，由於沉積物的持續堆積，當地地層古水深將由老到新逐漸變淺，而沉積盆地深度不會改變（見圖二十八）。但本研究認為前陸盆地隨著時間持續下陷，而沉積物沉積量持續增加，造成了沉積盆地古水深不隨著時間有明顯變化（見圖二十九），同時符合本研究結果。



圖二十八、前人推測之沉積盆地古水深變化示意圖（作者繪製）



圖二十九、本研究推測之沉積盆地古水深變化示意圖（作者繪製）

（二）粗顆粒含量：

藉由東、西剖面的%P 可推測兩部分古水深無明顯差別之後，由於二仁溪西剖面樣本中的平均粗顆粒含量（3.220%）較東剖面粗顆粒含量（2.873%）高，而粗顆粒含量愈高或是粒徑愈大通常代表了水深愈淺，因此想進一步探討粗顆粒含量與有孔蟲的相關性，相關性愈高可能表示以粗顆粒含量推斷古水深的方法可行性愈高，其中與有孔蟲有關的五項參數與粗顆粒含量的相關係數如表一：

剖面	參數一	參數二	相關係數
東剖面	有孔蟲總數	粗顆粒含量	0.043
東剖面	浮游有孔蟲數量	粗顆粒含量	0.025
東剖面	底棲有孔蟲數量	粗顆粒含量	0.060
東剖面	%P（水深）	粗顆粒含量	-0.385
西剖面	有孔蟲總數	粗顆粒含量	0.170
西剖面	浮游有孔蟲數量	粗顆粒含量	-0.174
西剖面	底棲有孔蟲數量	粗顆粒含量	0.296
西剖面	%P（水深）	粗顆粒含量	-0.311

表一、有孔蟲各參數與粗顆粒含量的相關係數（作者整理）

由表一中可得知，東剖面的有孔蟲總數、浮游有孔蟲數量、底棲有孔蟲數量與粗顆粒含量的相關性介於約 0.02-0.06 之間，相關性非常小，東剖面數據中與粗顆粒含量相關性最高的參數為%P（水深），假如粗顆粒含量與古水深相關，那麼 %P 愈大，古水深愈深，粗顆粒含量應愈小，兩者將呈現高度負相關，但東剖面中

的%P 雖與粗顆粒含量呈負相關，不過相關性太小，僅-0.385，故不宜單以粗顆粒含量判斷該地區古水深。

西剖面亦同，雖然西剖面各參數相關係數值相比東剖面要大，皆介於約 0.17-0.31 之間，且%P 與粗顆粒含量同樣呈現負相關，不過相關性仍太小，僅-0.311，故認為不適合做為古水深的單一判斷依據。

而對於西剖面粗顆粒含量較東剖面多的原因，兩地粗顆粒含量的差異，可能是由於粗顆粒沉積物的來源不同，若西剖面地區附近有持續供應粗顆粒沉積物的地區，而東剖面沒有，責相同水深的區域可能會含有不同比例的粗顆粒。

伍、結論

- 一、地層中的粗顆粒含量與由有孔蟲比例所計算出的古水深無明顯相關性，故依照研究結果，認為粗顆粒含量不足以作為重建古水深的單一工具。
- 二、由二仁溪剖面的%P 資料可知，東、西剖面兩部分的古水深無明顯的深淺變化，可能的原因有：
 - （一）東、西剖面分別屬於不同的沉積盆地。
 - （二）前陸盆地隨著時間持續下陷，而沉積物沉積量持續增加。
- 三、標題粗顆粒含量的差別可能源自於西剖面地區附近有大量的粗顆粒沉積物來源，而造成西剖面平均粗顆粒含量大於東剖面平均粗顆粒含量。

陸、參考文獻

- 一、經濟部水利署（2019）。順應河相之河川廊道範圍初步規劃研究。水利署電子報，345。
- 二、羅建育（1988）。台灣南部古亭坑泥岩之沉積學研究。中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 104 頁。
- 三、謝凱旋、洪崇勝（1999）。依據 *Pulleniatina* 的旋向變化劃定更新統下界。第四紀研究，6，549-557。
- 四、洪崇勝、謝凱旋（2007）。臺灣第四紀磁生物地層及蓬萊造山運動事件。經濟部中央地質調查所特刊，18，51-83。

- 五、Horng, Chorng-Shern & Shea, Kai- Shuan (1994) .Study Of Nannofossil Biostratigraphy In The Eastern Part Of The Erhjen-Chi Section, Southwestern Taiwan. Special Publication Of The Central Geological Survey, 8, 181-204.
- 六、Peter G. DeCelles & Katherine A. Giles (1996) . Foreland basin systems. Basin Research, 8 (2) , 105-123.
- 七、John W. Murray (2006) .Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press.
- 八、Ralf Schiebel, & Christoph Hemleben (2017) .Planktic Foraminifers in the Modern Ocean. Springer.
- 九、Raúl Tapia, Sicheng Le, Sze Ling Ho, Maria-Angela Bassetti, In-Tian Lin, Hui-Ling Lin, Yuan-Pin Chang, Kuo-Tung Jiann, Pei-Ling Wang, Jheng-Kuan Lin, Nathalie Babonneau, Gueorgui Ratzov, Shu-Kun Hsu, & Chih-Chieh Su (2022) . Planktic-benthic foraminifera ratio (%P) as a tool for the reconstruction of paleobathymetry and geohazard : A case study from Taiwan. Marine Geology, 453.

【評語】 180009

本研究利用微體化石有孔蟲比例（ (%P)）進行研究，希望能夠探討臺灣西南部沉積盆地的演化，以及二仁溪剖面地區的古水深變化與粗顆粒含量的相關性。但由於本研究使用的樣本並沒有採樣於每一沉積岩層，故臺灣西南部沉積盆地的沉積物供應量與構造抬升的因素仍需進一步的研究。