

出國報告(出國類別：其他)

2024 日本東北大學
與 311 地震海嘯相關考察計畫

服務機關：國立自然科學博物館

姓名職稱：鍾令和 助理研究員

莊舒雲 約聘服務員

派赴國家：日本

出國期間：2024.06.06 ~ 2024.06.16

報告日期：2024.08.27

摘要

日本的東北地區有著和台灣相似的板塊構造與地質環境，2011年日本東北沿海地區遭受到日本歷史上最強烈地震－平成23年東北地方太平洋近海地震，以及超越過往歷史紀錄的海嘯衝擊，此行主要在當地進行田野調查與參訪地震海嘯相關的博物館，並且走訪許多特殊地質點，見識到許台灣沒見過的特殊岩石與地景，是最好的野外教室。

此行踏遍日本東北多個區域，實地造訪不同種天然災害的現場，包括北起南三陸南至名取市的沿海地帶，以及橫跨山形縣、宮城縣的數個內陸地點，以理解災害的現象，並反思台灣經驗。也參觀了東北大學理學部博物館，透過參觀博物館與標本蒐藏庫，我們更能將台日在地質學方面的連結，了解得更透徹，並且從中思考促成本館與東北大學博物館與災害科學學系合作的可能性。

一、計畫目的	4
二、計畫行程	5
三、行程主題式紀要	6
1. 東北大學災害控制研究中心與理学部自然史標本館	6
2. 311地震海嘯災害部分	10
2.1 名取市震災遺構廣場與日和山	11
2.2 震災遺址荒濱小學校(仙台市)	13
2.3 震災遺址大川小學校(石卷市)	15
2.4 震災遺址門脇小學校(石卷市)	16
2.5 南三陸町舊防災對策廳舍	17
2.6 震災遺址向洋高校(氣仙沼市東日本大震災遺構傳承館).....	18
2.7 高田松原海嘯復興祈念公園(奇蹟的一本松)	19
3. 311地震海嘯除外的地質災害考察	20
3.1 仙台市區的活動斷層露頭-大年寺山斷層 Dainenjiyama fault.....	20
3.2 升形斷層(Masugata fault)的野外露頭	22
3.3 舊祭時大橋	23
3.4 荒澤水壩(Aratozawa Dam)上游的地滑區	23
4. 日本東北的火山地質	25
4.1 岩手山的熔岩流	25
4.2 川原毛地獄與鵜ノ崎海岸的岩脈入侵	26
4.3 不同的火山口湖-瀉沼、田澤湖與男鹿半島的一之目瀉、二之目瀉、三之目瀉.....	27
4.4 小安峽大噴湯	30
4.5 松川地熱發電所	31
5. 日本東北的礦業	31
5.1 釜石礦山隧道	32
5.2 舊釜石礦山事務所	33
6. 其他日本東北古生物景點	36
6.1 歌津館崎の魚龍化石產地	36
6.2 岩井崎石灰岩(Iwaizaki Limestone)	36
6.3 男鹿半島的魚類化石	37
四、心得感想與業務建議事項	38

一、計畫目的

日本東北經歷過1896年明治三陸地震、1933年昭和三陸地震、1960年智利地震的海嘯侵襲後，2011年日本東北沿海地區遭受到日本歷史上最強烈地震，日本氣象廳定名為「平成23年東北地方太平洋近海地震」（本文下稱311地震），並且引發超越歷史紀錄的海嘯衝擊，最大高度超過40公尺的海嘯襲擊了日本東北的福島、宮城、岩手、青森等縣，並造成超過1萬7千人的喪生與失蹤。去年適逢疫情解封而到日本旅行的鍾助理研究員令和，對於在當地進行田調與參訪地震海嘯相關的博物館非常感興趣，而且日本的東北地區有著和台灣相似的板塊構造與地質環境，從古至今也發生了許多地震、海嘯、火山、山崩等多種災害，是最好的自然災害野外教室。

2023年六月份在京都大學防災研究所舉辦的第六屆日台地殼動力研討會上，鍾員遇到來自東北大學的武藤潤(Jun Muto)教授，加上台大地理系莊昀叡副教授，三個人就認真討論了開一堂「日本災害地質學」的野外課之可行性，由台灣大學與東北大學的老師一起交流授課。很幸運的這樣的國際性課程受到兩方學校的支持而成功開設，並且藉著這樣的機會，可以讓科博館的同仁一起參與這千載難逢的機會，於是有了這次的科博之眼申請計畫，期望可以打開自身與同仁的國際視野之外，也可以提升本館科教組及車籠埔斷層保存園區未來常設展更新計畫之展示手法與內涵。

此行除了踏遍日本東北多個區域，實地造訪不同災害的現場，以理解災害的現象，並思考本館可以學習的借鏡之外，還會參觀東北大學理學部博物館，裏頭有豐富的地質館藏，尤其對台灣地質有特殊貢獻的早坂一郎教授恰巧是日本東北大學畢業的學者，透過參觀博物館與標本蒐藏庫，我們更能將台日在地質學方面的連結，了解得更透徹，並且從中思考促成本館與東北大學博物館與災害科學學系合作的可能性。

二、計畫行程

日期	主題	參訪地點
6月6日(四) Day1	交通日	台灣桃園機場至日本仙台
6月7日(五) Day2	東北大學參訪	日本東北大學理學部自然史標本館、災害科學國際研究所
6月8日(六) Day3	仙台平原的海嘯災害：名取市與仙台市	名取市震災遺構廣場、閑上的記憶、震災遺址仙台市立荒濱小學校
6月9日(日) Day4	上午：松島海岸地形 下午：311地震灣岸區域的災害：石卷市	松島海岸馬背、東日本大震災遺構大川小學校、門脇小學校
6月10日(一) Day5	海嘯避難與減災對策：南三陸町、二疊紀與三疊紀失落的拼圖	南三陸町舊防災對策廳舍、歌津魚龍化石與PT boundary、三陸地質公園、龍舞崎
6月11日(二) Day6	上午：海嘯災害與後續影響：氣仙沼市與陸前高田市 下午：礦業的興衰與延續 I	氣仙沼市東日本大震災遺構向洋高校、高田松原海嘯復興祈念公園（奇蹟的一本松）、舊釜石礦山事務所（礦坑見學）
6月12日(三) Day7	上午：礦業的興衰與延續II 下午：火山災害與資源－熔岩流、地熱與火口湖	舊釜石礦山事務所（辦公室與蒐藏參觀）、岩手山燒走熔岩流、松尾八幡平地熱發電所、田澤湖
6月13日(四) Day8	日本列島的誕生：男鹿半島大瀉地質公園	男鹿半島大瀉地質公園
6月14日(五) Day9	火山災害與資源－男鹿石與生剝鬼、火口湖、地熱與硫磺	男鹿真山傳承館、男鹿半島八望台、川原毛地獄
6月15日(六) Day10	上午：山谷裡的憂愁－峽谷與走山 下午：酸性火口湖－無魚之地	小安峽大噴湯、祭時被災地、瀉沼
6月16日(日) Day11	上午：超厲害露頭－鮭川村新庄地斷層帶 下午：返程	山形縣鮭川村 仙台市 - 桃園機場



三、行程主題式紀要

1. 東北大學災害控制研究中心與理学部自然史標本館

本次考察是台灣大學地理系莊昀叡副教授與東北大學災害控制研究中心武藤潤(Jun Muto)教授主導的兩校野外考察行程。考察的第一天進行日本東北地質背景的課程介紹。

首先我們到東北大學災害科學國際研究所一樓參訪目前陳列的海嘯災防相關研究，並且在那邊巧遇數個台灣籍的學者，令人驚訝的是他們來自各個領域，除了地質與災害相關的研究者之外，也有醫學背景台灣人在此工作，顯示出防災科學不再只有事前的研究與預警，也包括災害發生當下，整合各個領

域的專家一起規劃救災策略，是目前國際上對於災害應對的努力方向。接下來東北大學與台灣大學的學生進行日本東北地區地質背景的讀書會報告。



由東北大學災害控制研究中心 武藤潤(Jun Muto)教授介紹國際研究所的組成。

本次行程的重點之一是參訪東北大學理學部自然史標本館（又名：東北大學總合學術博物館）。起因於台灣大學（前身臺北帝國大學）地質學講座的第一位講座教授—早坂一郎博士是東北大學畢業的。早坂教授是科博館正在規劃「台灣特色地質」展示的重要素材，而武藤教授也嘗試幫我們聯繫早坂教授的親人，與尋找博物館中與早坂教授相關可以提供博物館展示的素材。

東北大學理學部自然史標本館的展示室非常小巧，內部直徑約19公尺的圓柱型結構，可利用展示面積約40來坪，加上挑高樓層夾層的環形展示區域，估計總展示面積不超過60坪。從1911東北大學（時稱東北帝國大學）成立地質學部以來，蒐藏的標本件數已超過100萬件。一樓承襲自然史館的陳列風格，按照地質年代為介紹岩石與地層是為展示的經線，特色化石、巨大寒鯨標本，甚至還有海嘯災害VR體驗等特色展品，則為中央視覺構成緯線。二樓除了延

續地質年代表介紹之外，還專闢了一區在介紹東北大學地質研究者，仿照地質學慣用的呈現地層中生物化石分布方式，將各個學者的專長與活躍年代，以地質年代線性呈現，很是有趣。



東北大學總合學術博物館所收藏恐龍標本化石。

在與現任館長高嶋礼詩(Reishi Takashima)教授交流時得知，早坂教授的兒子 - 早坂祥三教授(也是一位古生物學者，曾任鹿兒島大學校長)在17年前已經過世了。雖然我們沒有機會進一步認識兩位早坂教授，但是早坂教授的研究成果都保存在博物館裡，如果未來辦展可以進一步的合作。此外，早坂一郎教授的指導教授 - 矢部長克博士，也是東北（帝國）大學地質系第一任的系主任，他的相關研究成果也是未來可以合作的項目。



與東北大學綜合學術博物館 高嶋礼詩(Reishi Takashima)館長、根本潤技術員(Nemoto Jun)進行交流。



博物館展示櫃中擺放東北大學學者與他重要發現物：右：早坂一郎，台北帝國大學（現為台灣大學）地質學講座的第一位講座教授。左：矢部長克是早坂教授的指導教授，也是東北帝國大學地質系第一任的系主任。

2. 311地震海嘯災害部分

311地震後一小時引發的海嘯災害，重創東北海岸地區，造成超過1.8萬人死亡與失蹤，傷痛與裂痕至今仍留在的居民記憶中。大部分遭受災害的海岸邊，多為平坦的低地，一旦發布海嘯警告，居民只能盡可能往相對高處避難。在東北大震前，海嘯防災依據的參考浸水高度，多為1960年智利地震時引發的海嘯紀錄，所以我們在參觀這些海嘯遺址時，會發現許多生還的資深居民描述，真正的海嘯來襲時，比記憶中的歷史海嘯高度高出太多了，包括避難丘或是建築物等的高度，都無法應付此次海嘯，令人措手不及。

本次考察包含7個311海嘯相關的博物館與相關海嘯遺址。以下進行比較與整理：

名稱	所在地	交通便利性	門票與營業時間	海嘯最大浸水高度(海拔)	主要災害類型	災害應變	傷亡與生還
名取市東日本大震災慰靈碑、遺構廣場	名取市	普通	入館免費，無限制	8公尺	平原區海嘯	往高處避難，國道129為首選。	名取市近1000人喪生
震災遺址荒濱小學校	仙台市	容易	入館免費，禮拜一休息	6公尺	平原區海嘯	往頂樓避難	在荒濱小學校避難的320人全員獲救
震災遺址大川小學校	石卷市	普通	免費，，無限制	9.6公尺	山谷區海嘯	因地震而離開建物到相對空曠處	108名兒童和10名教師中有74位罹難，生還者多是家長強行帶離學校避難的
震災遺址門脇小學校	石卷市	容易	門票600日幣，禮拜一休息	8公尺以上	地震、平原區海嘯、火災	不斷移動、往高處避難	門脇地區超過500人喪生，但學校師生僅少數被家長接回的學生罹難。
南三陸町震災復興祈念公園與南三路町舊防災對策廳舍	南三陸町	困難	門票800日幣，，禮拜二休息	16.5公尺	山谷區海嘯	往頂樓避難	當時仍在建物內辦公的53名員工，僅有10名生還。

名稱	所在地	交通便利性	門票與營業時間	海嘯最大浸水高度(海拔)	主要災害類型	災害應變	傷亡與生還
名取市東日本大震災慰靈碑、遺構廣場	名取市	普通	入館免費，無限制	8公尺	平原區海嘯	往高處避難，國道129為首選。	名取市近1000人喪生
震災遺址荒濱小學校	仙台市	容易	入館免費，禮拜一休息	6公尺	平原區海嘯	往頂樓避難	在荒濱小學校避難的320人全員獲救
震災遺址大川小學校	石卷市	普通	免費，，無限制	9.6公尺	山谷區海嘯	因地震而離開建物到相對空曠處	108名兒童和10名教師中有74位罹難，生還者多是家長強行帶離學校避難的
震災遺址門脇小學校	石卷市	容易	門票600日幣，禮拜一休息	8公尺以上	地震、平原區海嘯、火災	不斷移動、往高處避難	門脇地區超過500人喪生，但學校師生僅少數被家長接回的學生罹難。
氣仙沼市東日本大震災遺址與傳承館	氣仙沼市	困難	門票600日幣，禮拜一休息	超過13公尺	峽谷區海嘯	往頂樓避難	氣仙沼市1152人在地震中罹難，214失蹤。
高田松原海嘯復興祈念公園	陸前高田市	困難	免費入館	超過15公尺	峽谷區海嘯	沿340國道往內路微推4公里以上。	陸前高田市1555人在地震中罹難，223失蹤。

2.1名取市震災遺構廣場與日和山

平坦的海岸邊，只有一處名為日和山的矮丘，其頂上的富主姬神社高度為6.3公尺，但海嘯高度推估有8公尺，也就是說，即使逃到日和山的山頂，也不一定能生還。（編按：海嘯後，因地層陷落，日和山只剩3公尺的高度）。



311海嘯之後名取市日和山的受災新聞影像，山上的神社也遭殃，只有一棵松樹留下。



名取市東日本大震災慰靈碑，紀念碑的高度就是當時311海嘯淹水的高度。遠處的松樹就是當時殘存下來的。

2.2 震災遺址荒濱小學校(仙台市)

荒濱小學校是這個區域的奇蹟，因為放眼望去，幾乎只剩下它作為震前即已存在的建築物，孤單屹立於距離海岸邊700公尺之處。在這個遺構，我們觀察了當時海嘯的浸水高度線，存在建築物與內部物品的各個角落，並且感受到當海嘯警報發布後，教職員、學生們與附近來避難的居民們之間的嚴陣以待，並且當機立斷且有秩序的聽從指揮，不斷往高樓層避難，並且在最後到頂樓避難的及時判斷。



311海嘯當時在荒濱小學校頂樓避難的民眾。

從結果來說荒濱小學校是幸運的，在四樓頂避難的320人在海嘯退去後，仍努力的運用學校剩餘的資源度過一個寒冷的夜晚，大人與小孩彼此加油打氣，最後在27小時後由自衛隊直升機的協助之下全數獲救。

參觀完荒濱小學校後，我們前往附近的東日本大震災觀音像與慰靈塔，附近也保留了民宅的遺構可以近距離觀察海嘯過後帶來的改變，省思大自然的力量。



野外參訪團於震災遺址荒濱小學校前合影。



震災遺址仙台市荒濱地區住宅地基／紀念碑「荒濱記憶之鐘」。

2.3 震災遺址大川小學校(石卷市)

為我們解說導覽的佐藤先生，在他自我介紹之後，我們才知道他是這個學校海嘯受難者的家屬，雖然他自謙英文不流利，所以準備了講稿希望我們體諒，但隨著他帶領我們走過大川學校的各個角落、並且還原了當時該校師生經過311地震、並且在海嘯警報發布後的各種行動各種，以至於釀成最後悲劇的過程，那些難過、震驚、同情、不忍、憤怒等等的情緒，在他平靜的語調中更讓人感到痛心與不捨。

學校中108名兒童和11名教師中有84位罹難，大多數是小朋友。這裡距離海岸線有四公里之遠，許多人覺得海嘯不可能入侵到這邊，但也因為地形加上距離海岸邊較遠的緣故，加上地震的避難方式與海嘯不同，在躲避餘震的時候，就這麼沒躲過海嘯的無情，只能看著海水沿著富士川溯上、漫過堤防灌進學校。這些罹難者本來是有機會逃走的，但人生很多時候是沒有如果的，佐藤先生強忍悲痛繼續擔任參觀遺址群眾的解說志工，就是希望可以把這些經驗傳承給更多的人知道，事前的演練與當下的決斷缺一不可，提醒我們永遠不要輕忽大自然的變化與威力。



2.4 震災遺址門脇小學校(石卷市)

與大川小學校相比，門脇小學校是幸運的，除了被家長接回家的小孩有7名罹難，其餘聽從老師指揮而疏散避難的孩子都平安。

其實這整個過程是驚險且戲劇化的，根據解說員的說明，在地震發生當下，學校開始了以地震為基礎的疏散避難，由於平常有確實做好演練工作，所以順利完成。接著海嘯警報發布，老師開始帶領孩子列隊往後山高處的海嘯指定避難處移動，有些居民因為看到了學生開始列隊爬山、而意識到必須趕緊做海嘯避難，餘下4名教職員留在學校引導前來避難的民眾。第一波海嘯來襲時，水面上漂流著著火的汽車，使得學校遭受到火災，教職員與避難民眾拼命逃離學校繼續往高處去，成功倖免於難，後來此大火整整燒了三天。

門脇小學校遺構的體育館，則是保留了當時日本政府為居民搭建的臨時避難屋，解說員說日本政府只有準備臨時避難屋，裡面的生活用品跟家店都是各方捐款買的，並且提到當時來自台灣的捐款高居第一，所以非常感謝台灣朋友的愛心。

帶領我們的志穗小姐是一位很棒的解說導覽員，雖是以日文導覽但口條非常清晰，讓日文只有N2程度的莊員可以掌握九成內容並且偶爾幫鍾員翻譯，且她整整講了快3小時，超過門脇小學校開放的時間，還帶我們到不遠處



的民間自發的傳承館參觀，真的非常敬業，我想這應該也是因為她對於這片土地的熱愛，希望東北震災的故事可以銘刻於人們心裡，對於防災意識上能更有所感。

志穗小姐講完解說之後，還不忘記說感謝台灣在311海嘯

之後的幫忙。她說日本政府只有準備臨時避難屋，裡面的生活用品跟家店都是各方捐款買的，所以非常感謝台灣朋友的愛心。根據資料臺灣政府與民間捐助至少200億日圓，居世界第一，超過其他93個捐款國家的總額。

2.5 南三陸町舊防災對策廳舍

原為志津川町所屬的行政廳舍，總樓層高度為12公尺，改制為南三陸町後主則區域防災對策，地面海拔高度僅1.7公尺，距離海岸邊僅600公尺。

311地震發生後，初期的海嘯警報之預測高度為6公尺，所以職員們決定留在防災對策廳舍嚴陣以待及提供居民避難資源，並且持續廣播62次，提醒居民疏散避難，有許多住在附近的居民也跑到此建築物中避難。

從當時的廣播錄音可以知道最後4次的海嘯警報廣播，變成了預測海嘯高度10公尺的警報了，但是，海嘯實際到來時的高度，已經超過頂樓、估計約有16.5公尺，於是逃到頂樓避難的人多數罹難，僅有少數10人死死抓住屋頂5公尺高的天線或鐵製欄杆固定身體，靠著意志力撐過水流而存活。直到最後都堅守崗位、持續放送海嘯警報廣播、救了許多居民的危機管理課職員遠藤未希，也殉職在洪流之中。



在攝影展入場入口所看到的南三陸町舊防災對策廳舍



照片中我們可以看到整座建物僅剩鋼構，外牆幾乎已不復見，且結構因海嘯的力量而變形毀損，可以想像當時的危急與慘烈。

2.6 震災遺址向洋高校(氣仙沼市東日本大震災遺構傳承館)

如同先前所參觀的數個震災遺構，向洋高校也幾乎完整的保留了海嘯災害後的面貌讓參觀者感受那震撼，如較高樓層外牆被海嘯帶來的漂流物撞毀、整台車子被沖進校舍內等等。

向洋高校四樓外牆的凹洞不是特別設計的，而是311海嘯所帶來的漂流物(冷凍機具)撞破的。



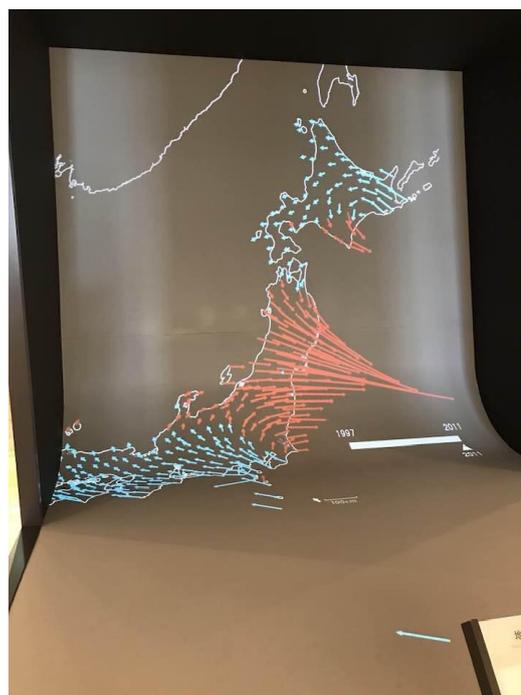
2.7 高田松原海嘯復興祈念公園（奇蹟的一本松）

此處規劃為岩手海嘯紀念館與日本特有的「道之驛」（設在非高速公路的國營道路上的休息站）結合而成的複合式公園，曾經名揚一時的「奇蹟的一本松」也在公園自導式步道可達之處。



雖然已經枯死，但是仍被當作標示的奇蹟一本松。

在這邊我們看到了一個令人印象深刻的投影設計，它將投影幕做成了仿海嘯般的曲面，上半部（較陡直）投影日本地圖，加上地震發生後的加速度變化及海嘯來襲的模擬高度，下半部（較低平）則以文字說明事件。令人驚嘆的点在於，整體動畫製作水準很高，配樂與音效也非常細膩，讓人忍不住佇立於此，一口氣將三個不同主題的動畫看完。我們不禁討論：做這樣的展示需要多少錢？



3. 311地震海嘯除外的地質災害考察

3.1 仙台市區的活動斷層露頭-大年寺山斷層 Dainenjiyama fault

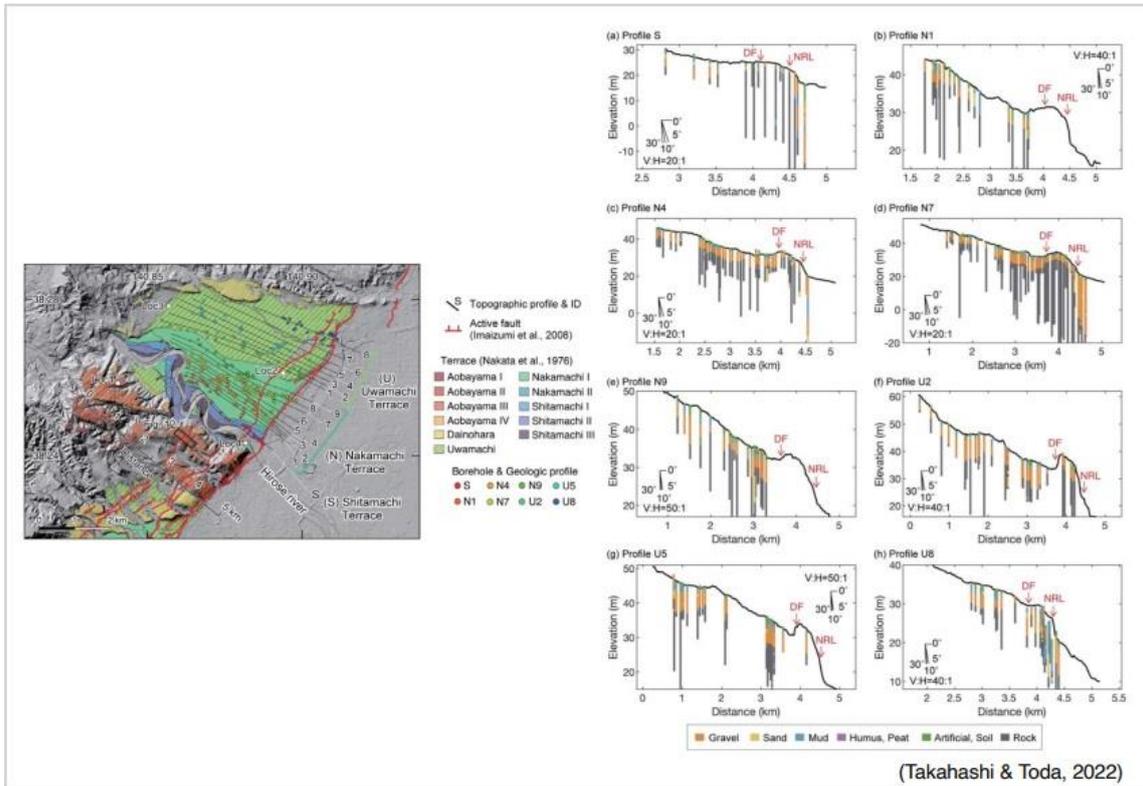
總長度超過21公里的長町-利府斷層帶(Nagamachi-Rifu fault, NRL)為日本仙台市區最大最明顯的活動構造。依據日本地震本部的調查斷層滑移速率約1 mm/yr, 最近一次斷層活動垂直抬升為1.0-2.1公尺, 地震事件發生大約在公元前380-200年之間(2230±60yBP)。本野外可以看到地形上主要道路落差超過15公尺, 目測因斷層作用傾斜

的街道至少500公尺以

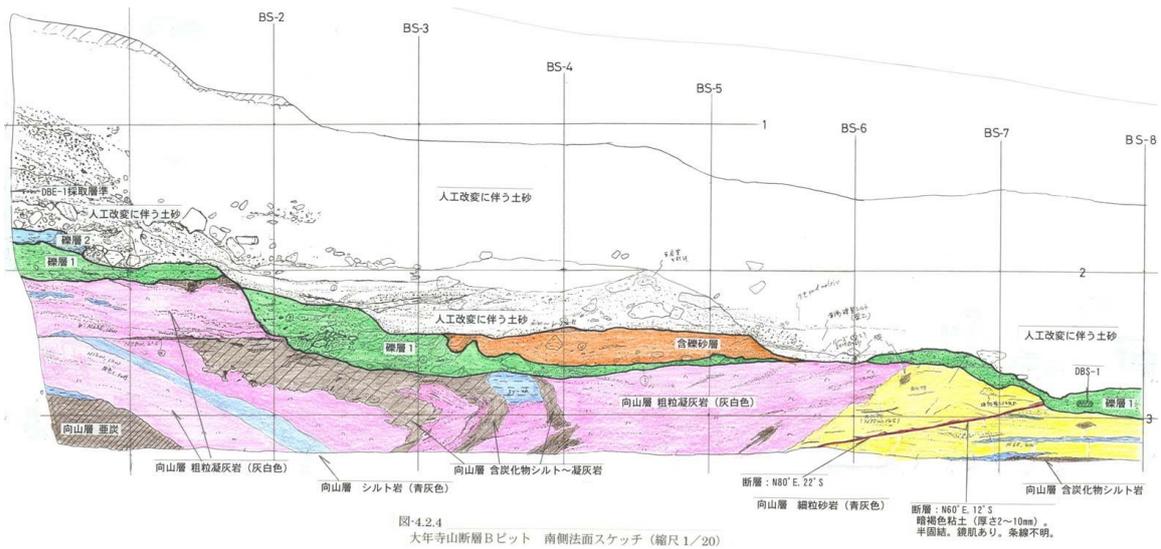
上。但由於都市化的關係調查工作不易進行, 大約在12年前因大樓重建開挖地下室時, 出露長町-利府斷層帶西側的分支斷層-大年寺山斷層(Dainenjiyama fault), 間接證實斷層活動接近地表, 其為重要的活動斷層。仙台市為日



本東北最大城市, 人口超過百萬, 由於311海嘯的關係, 人口持續成長, 長町-利府斷層帶的潛在風險持續增加中。



左圖：仙台平原分布圖，紅線為活動斷層；右圖為8條垂直長町-利府線斷層帶(NRL)所做的地質鑽井剖面，可以看出地形上與地下大年寺山斷層(DF)斷層活動的跡象。



大年寺山斷層(Dainijiyama fault)槽溝開挖剖面圖，紅線為斷層所在位置。資料來源：地震本部網頁<https://www.hp1039.jishin.go.jp/danso/Miyagi4/4-2-1-2.htm>

3.2 升形斷層(Masugata fault)的野外露頭

位在山形縣新莊盆地西部未出露地表的鮭川逆斷層(Sakekawa blind reverse fault)其活動速率0.7mm/yr，地震周期約2700年。鮭川逆斷層具有曲滑斷層的特性 (Flexural-slip faults)，在近地表有許多小斷層出現(包含日下斷層、升形斷層與本合海斷層等)，本此野外參訪的升形斷層(Masugata fault)露頭就是其中之一。就升形斷層的地層層位落差大約3.5-4公尺左右，最上層的約半公尺厚的淡黃色粉沙層被斷層影響彎曲成單斜褶皺(Monocline)，層位落差大約1.5公尺。顯示斷層有多次滑動的證據，與車籠埔斷層的行為類似。雖然露頭顯示升形斷層多次活動的證據，但是露頭頂面平整的紅土層堆積，所以前人研究(註)推估五萬年以來新莊盆地西部的斷層缺乏活動的跡象，只有東邊的日下斷層(Nikke Fault)在約2萬年可能有一次活動的證據。

註：松浦旅人 (2003) 山形県新庄盆地西部に分布する Flexural-slip 断層とその活動時期. 活断層研究，2003(23)，29-36。



電力公司大約在20年前整理電線杆邊坡時意外發現的鮭川斷層的野外露頭

3.3 舊祭時大橋

2008年6月14日岩手宮城地震，發生了山崩與斷橋的情況，紀錄顯示地震當時垂直的重力加速度值有將近3G。武藤教授表示我們進行野外考察的前一天正好是16年前岩手宮城地震發生的時間，所以選在這個周末，於現場有防災救援訓練與救難體驗。



來自台灣的我們，很難得有近距離觀察如此規模的防救災演練，不但出動各種機具與救難犬，也利用斷橋實際模擬了高差很大的救護吊掛訓練，令在承平時期的眾人，也能感受到災害發生當下的艱難處境與心理壓力。

3.4 荒澤水壩(Aratozawa Dam)上游的地滑區

1998完工長度413.7公尺的荒澤水壩(荒砥沢ダム)壩高74.4公尺，以農業灌溉用水為主。2008年岩手宮城地震引發最大落差約 148 公尺 的大規模地滑(長約 1,300 公尺、寬約 800公尺)，估計塌陷土方體積約 6700 萬立方公尺。如此大量的土方滑入水庫範圍造成水位上升了2.42公尺，並引發高度超過6公尺類似海嘯的波浪，所幸並未造成潰堤事件。

這是一個讓人印象深刻的地方，從照片可能很難看出來，這邊的地滑傾角竟然不到10度，也就是說拍攝照片所站地點的地層，是從照片後方較高區域，幾乎平的整片向片前方滑動陷落到現在的位置。2008年岩手宮城地震所產生的地表加速度讓這麼低傾角大規模地滑事件發生。在力學結構上真是很難以想像，所以聽到講解後的我們都忍不住倒吸了一口氣。



2008年岩手宮城地震引發大規模地滑的前後空拍對照圖



照片中的結構物據說是雷射測距儀，可以偵測地滑區的位移量，然而東北大學地質團隊也不確定已經超過十年的機器是否仍正常運作。

4. 日本東北的火山地質

由於日本東北為北美板塊與太平洋板塊聚合的所在，太平洋板塊的隱沒產生大量的岩漿活動，所以有許許多多第四紀、全新世(一萬年之內)，甚至是歷史上有噴發紀錄的活火山。對地質學家而言除了火山活動之外，也暗示著有大量的地熱資源。

4.1 岩手山的熔岩流

一下車，看到滿地的黑色塊狀岩石，粗糙不規則的表面讓人不禁想像要是跌倒了會有多痛呢！這種熔岩流叫什麼名字呢？腦袋快速的搜尋大學時代教科書上的內容，跟之前在夏威夷茂那羅亞火山的平滑熔岩流不一樣...對啦！就叫做Aa Lava，因為踩上去會痛到啊啊叫！就在我還沉浸在青春時代的記憶時，一旁的大學生果然開始哀號了，真不愧是Aa Lava，讓人想忘記都難。這些Aa Lava是距今約300年前噴發的，日本政府將它定義國家特別天然紀念物「燒走熔岩流」。總長度約1.5公里的岩手山熔岩流步道。為了珍貴地景保育，只允許遊客走在兩側鐵鍊內的範圍。



這些新生的Aa Lava扇狀分布黝黑岩石的覆蓋範圍長約3公里、最寬達1公里。在酷熱的中午時段來走這段岩手山熔岩流步道，頭頂著烈日、腳踏著棘刺般的石頭，實在不是舒適的健走，但面對東北富士—岩手山、以及台灣看不到的熔岩平野，大家還是邊走邊仔細觀察、開心拍照，對比快速行軍到目的地的東北大學師生群，兩者的民族性差異馬上分曉。

4.2 川原毛地獄與鵜ノ崎海岸的岩脈入侵

除了熔岩流之外，本次最讓我驚豔的是男鹿水族館旁岩脈入侵露頭。有一點淡綠色感覺的入侵岩脈大約是3000萬年前形成的。周圍的火成圍岩則是粉紅色的安山岩（平常我所認知的火成岩不是灰白色就是黑色，只能說世界各地的岩石總類真的千變萬化）。



男鹿半島的鵜ノ崎海岸的岩脈入侵露頭

另外一個著名景點「川原毛地獄」對我來說就沒有那麼驚奇，原因是很像陽明山的大油坑，只是顏色比較白一點換質過的石英安山岩組成。但是東北大學的(Yasufumo Iyru)教授是東北大學的地質專家，他說此處石英安山岩中的石英不是普通的石英，而是高壓相的貝他石英呀！



野外參訪團在川原毛地獄前的合照

此外，「川原毛地獄」的取名其實與宗教有關，據說是由月窗和尚在 1,200 年前左右開山，由於持續噴湧出的地熱、硫磺將周邊的草木碎石全部染白，有「地獄」的既視感故名之。目前川原毛地獄被列為「秋田縣指定天然紀念物」，並與青森縣的「恐山」、富山縣的「立山」，並列為日本三大靈地。

4.3 不同的火山口湖-瀉沼、田澤湖與男鹿半島的一之目瀉、二之目瀉、三之目瀉

在本次野外的火山地形部分也安排了各種不同各具特色的火山口湖。其中瀉沼是一個超年輕活火山口湖，直徑約300-400公尺，它是鳴子火山所形成的是一個火山口湖。其噴發紀錄出現在續日本後紀的條目中，噴發時間在仁明天皇承知4年（西元937年），所以推斷瀉沼大約在1100年前形成。由於湖水不外流而且底部仍有火山流體持續噴發，冬天是不會冰封的，也是世界少見的強酸性湖泊，也由於湖水的pH值很低，湖中沒有魚類生存。



潟沼一景

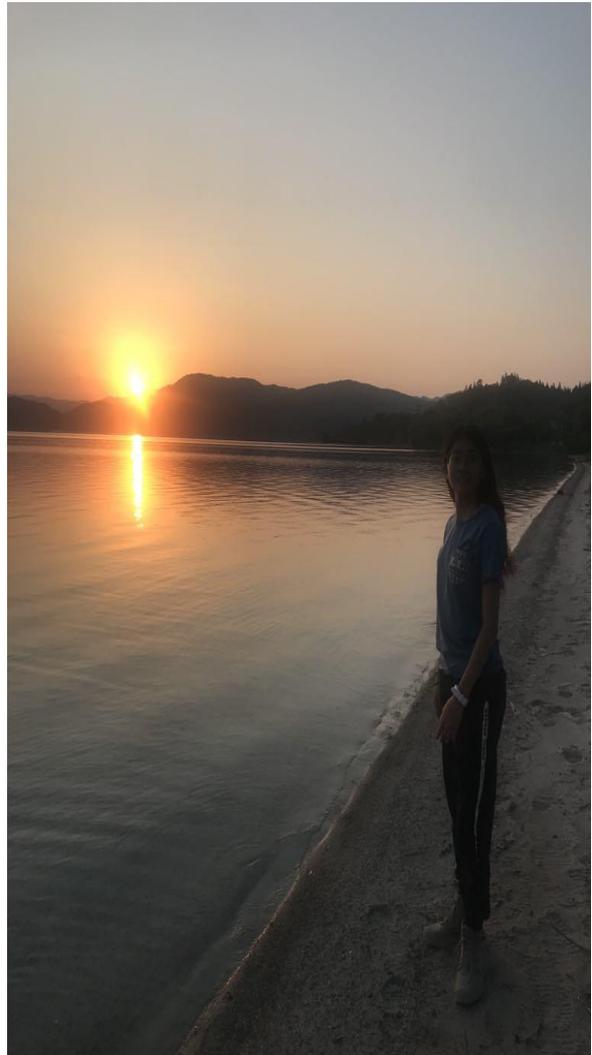
在男鹿半島有另外一群低平火山口湖(Maar)：一之目潟(6-8萬年前)、二之目潟(42-20萬年前)與三之目潟(2萬8千年前)。目潟的外觀為封閉的圓形湖泊貌，這種低平火山口湖推測是因為岩漿入侵的時候遇到豐富的地下層，發生水成岩漿噴發作用(類似水蒸氣爆炸)，在地表爆裂造成一個近圓形凹地，積水後而形成火山湖。



男鹿半島上的二ノ目潟

然而自然界常常出現例外，田澤湖是一個很深的低平火山口湖(深度174.4公尺，有日本貝加爾湖之稱)，井龍教授說這是一個很神奇的低平火山口湖，原因是雖然形狀很像火山口，但是周圍沒有找到任何火山噴發所留下的堆積物。而且田澤湖邊的沈積物是一種白色的結晶物，完全不像凝灰岩或是火山碎屑岩，也不是石英，也不是貝殼砂。猜了半天井龍教授告訴我們是透長石（Sanidine）！

井龍教授在太陽開下山的最後一刻，還補充了一個令人傷心田澤湖的生態滅絕故事。直徑約6公里的田澤湖因湖水很深被認為是很好的天然水庫。為了可以存更多湖水與水力發電，1940年代執行將鄰近的玉川溫泉水(pH值1.05)注入湖中的「玉川河水統制計畫」，然而造成湖水的酸性巨增。受到污染的田澤湖也造成湖中的日本特有種-國鱒魚(Kunimasu Salmon)數量大減，甚至滅絕。此後，田澤湖就背上「死亡之湖」的惡名，此後雖然在超過60年的人工改良與復育，目前田澤湖仍不適合魚類生存。然而原本在1948年被認為滅絕的國鱒魚卻幸運地在山梨縣富士五湖之一的西湖被發現，其原因也是「玉川河水統制計畫」時將10萬尾國鱒魚的魚苗投到富士五湖才僥倖留存下來。



田澤湖的夕陽

4.4 小安峽大噴湯

屬於栗駒國定公園的小安峽大噴湯位在垂直落差60公尺的「小安峽」之下，這麼陡的V字形峽谷是皆瀨川的急流侵蝕而成。想看到小安峽大噴湯必須下400個階梯到峽谷的底部。由於快速下切造成岩壁解壓節理產生地層間的縫隙，這些水平的裂隙提供了溫泉與蒸氣水平噴出的通道。但是，小安峽大噴湯的形成絕不是只需要河流快速下切就會形成的，台灣也有許多快速下切的河谷，但是卻沒有這樣蒸氣噴泉的景色。除了緻密水平地層中的裂隙還需要豐富的地下水與大量的地熱資源。然而在日本東北第四紀火山如此眾多的地區，也只有一處這樣的噴泉。



小安峽大噴湯有大量的蒸氣與高壓溫泉從岩壁上直接噴出

4.5 松川地熱發電所



松川地熱發電廠是日本第一座地熱發電廠，也是世界上第四座（昭和41年，1966年），已經運作超過半個世紀了，發電廠可輸出23.5MW的電力，雖然量不多但它是屬於是對環境較沒有負擔的綠能。十和田八幡平國立公園的地熱資源很特別，溫泉水不多，但蒸氣量很大，所以除了松川地熱發電廠是直接用地熱蒸氣(乾式蒸汽發電)外，周圍村莊的暖氣也是直接用地熱蒸氣取代。但是從探採出蒸氣到開始發電其實經歷了相當艱困的10年時間。在2016年在發電了50年之後，松川地熱發電廠被日本機械學會認定為「機械遺產」。

5. 日本東北的礦業

在活躍的岩漿活動地區另外一個重點就是礦業資源發達，釜石市其實是日本近代煉鐵工業的起點之一。公元1857年，盛岡家的藩士大島高任(1826年-1901年)在附近建造了一座西式高爐，成功將鐵礦石煉成鋼鐵，由此開啟日本工業近代化的歷程，此後釜石成為日本現代煉鋼業的發源地。釜石市政府將早期

煉鐵的過程與礦業公司在不同階段企業轉性的過程融入到城市觀光之中。釜石市鄰近介紹鐵礦與煉鐵相關的博物館就有三座：鐵的歷史館、橋野鐵礦山（三陸地質公園）與本次野外參訪的舊釜石礦山事務所(資料來源：<https://zh-tw.kam.aishi-kankou.jp/>)。

5.1 釜石礦山隧道

舊釜石礦山事務所包含著早期開挖的礦坑隧道，隧道總長度超過1000公里，在開採銅礦與磁鐵礦時期，礦區總共有3000名員工，並擁有自己的學校、自成一個社區。在金屬礦產利潤式微後開始開採石灰岩作為延續，並且發現礦區岩層流出的天然水，味道甘美且無重金屬疑慮，具經濟價值。在石灰岩脈停止採伐的現在，以天然水品牌「仙人秘水」繼續經營。現在釜石礦山株式會社只留下30名人員經營天然水事業，以及進行見學導覽等支援，主要開放礦坑與保留辦公室原貌作為見學參觀之用。



出發前即

被告知礦坑內不到10度，要記得帶保暖外套，實際體驗時，讓人驚訝的倒不是礦坑內的冷空氣，而是採用AI自動駕駛車作為礦坑內移動之用。工作人員首先向我們說明，需要乘坐AI自駕車深入礦坑3公里左右，非常安全敬請放心，也不要擅自操作車上的方向盤，讓它自動行駛即可。大家半信半疑的上了車，一邊欣賞螢幕中的礦坑歷史介紹，一邊戰戰兢兢地看著自動車安穩的行駛在幾乎

與車身同寬的坑道內，並靈活的閃避可能會撞上的石壁突出處，一旁還有平行坑道的清澈流水相伴，真的是很難忘的體驗。

團員們當場直接接了岩層流出的水來品嚐，真的是非常甘美、沒有怪異的金屬或土味，據說這些水沿著斷層帶流出，留在地下超過四十年，被岩層層層過濾，且奇蹟的沒有受到金屬礦場的重金屬滲入，真的很難得。礦坑內還利用礦區圍岩圍花崗岩的特性，作為專業級的音場測試場域來使用，真的是很多功能的一座礦坑耶！



可以直接生飲的地下水資源，成為舊釜石礦山事務所的新產品-仙人秘水

5.2 舊釜石礦山事務所

隔天參觀了舊釜石礦山事務所的辦公室，將過去繁盛的礦坑事業保留了下來，而且桌上的物品都是可以觸摸與操作的，這跟以往參觀的參觀經驗有很大的不同。大家很好奇的操作桌上的事務工具，有非常古老的機械式計算器、砵碼秤、打字機，甚至還有骨董級個人電腦。看著記帳簿清楚而娟秀的字跡，不禁想像著當年員工們忙碌的身影。

事務所的二樓呈列開礦所需的用具、地質圖、世界各地的礦石與當時的書籍資料，也展示德國地質學家H.E.璠曼（1854-1927）繪製的《予察東北部地質圖》與《日本帝國地質圖》（1911）。

舊釜石礦山事務所在2013年獲登錄為日本有形文化遺產。開放參觀時間為每天9:30~16:30，星期二與星期三休館、冬天(12/10~3/31)因為積雪不開放。



在舊釜石礦山事務所保留當時辦公室做為教學展示之用。



在舊釜石礦山事務所的展品中看到產自台灣的北投石與明礬石，可見當時礦業的榮景



在舊釜石礦山事務所外堆滿河谷著從1000公里長礦坑隧道挖出的礦渣

6. 其他日本東北古生物景點

6.1 歌津館崎の魚龍化石產地

井龍康文 (Yasufumo Iyru) 教授是跟我們講述此地發現魚龍化石的過程。地質學家原本是想尋找尋PT boundary (古生代二疊紀與中生代三疊紀的界線，此界線代表著一次重要的生物滅絕事件，Permian - Triassic extinction event) 而在此區研究，沒想到無意間發現了魚龍三疊紀海洋中的「魚龍」的化石，這珍貴的化石理所當然的被列為宮城縣天然紀念物。大家正想著可以輕易的觀



看魚龍化石，沒想到竟是在有點陡峭的岩壁上。由於位在海邊，擔心海浪侵蝕之下會加速化石的破壞，故幫它加上了透明壓克力保護著。拍照的時候放了10元日幣當作比例尺，但因為壓克力面太傾斜，硬幣就這樣滑到了山壁縫隙取不出來，成了可能在數千年後，另類的人類活動考古遺跡吧。(編按：原本放魚龍化石的博物館在311海嘯中被摧毀了，目前還沒辦法重建。)

6.2 岩井崎石灰岩(Iwaizaki Limestone)

在魚龍化石往北約12公里的岩井崎石灰岩(屬於北上帶南部古生代二疊紀地層，約2.5億年前)是著名化石標準產區之一，盛產珊瑚、腕足動物、菊石、海百合、毛藻、蠕蟲等26種生物化石。這個有許多台灣看不到古生代化石的岩井崎石灰岩被指定為宮城縣天然紀念物所以無法採集，有點可惜。其實台灣

也有古生代的石灰岩地層，不過已經變質成太魯閣國家公園裡的九曲大理岩了，因為變質作用已經看不出裡面有甚麼生物的形貌。

井龍教授指出岩井崎石灰岩中多樣性的厚層海百合沉積物、珊瑚和毛藻暗示這裡在古生代是屬於熱帶到亞熱帶的海洋環境。然而古生代生長在熱帶的珊瑚礁現在跑到溫帶的日本，這也在在顯示著大陸飄移與板塊運動等地科變動的過程。



古生代（二疊紀）的石灰岩中海百合化石(宮城縣指定天然記念物)

除了美麗的石灰岩外，此處還有海水會向上噴湧的「潮吹岩」與經歷過311地震海嘯考驗的「龍之松」。

6.3 男鹿半島的魚類化石

相較於前兩段的古生代與中生代的化石，井龍教授在本次野外中跟我們講解的第三個化石標本是跟新生代女川層(約1000萬年前)中的魚類化石。魚類化石所在的男鹿國定公園中所呈現的是跟整個日本海擴張與日本列島形成的地

質現象有著密切的關係。在2000萬年前(台島層)，日本其實跟歐亞大陸是連在一起的。在1500萬-2000萬年之間有一個地層缺失(不整合面)，代表著日本海開始擴張的起點，在館山崎的海邊看到一種綠色的凝灰岩(Tuff)就是海洋地殼擴張初期的產物(西黑澤層)。在鵜ノ崎海岸可以採集到燧石(chert)與魚類化石(女川層)著代表著日本海已經從生物無發生存轉變成形成水深足夠有魚群的生長的海洋環境。利用海洋生物指示地質變動的過程，真是一件有趣的事情。



鵜ノ崎海岸野外採集的魚類化石標本

四、心得感想與業務建議事項

1. 在參觀了六個與311日本東北大震災記海嘯災害相關的紀念館後，發現到他們很注重於「當時情況」的保留與傳達，不僅僅保留了災害相關遺構，也蒐集了常民的故事，除了還原當下驚險的一刻，也提供了一個宣洩悲傷的出口。這與台灣對於歷史傷痛的態度不同，人們避談當時的情景，是怕觸景傷情與加深不愉快的記憶。

2. 雖然野外行程中參訪了許多不同地點的海嘯博物館，但是每一個都有其獨特性與不可取代性，各館所致力於運用在地特色將彼此區分開來，不會將對方的特點拿到自己的館裡運用，充分做好市場區隔這一件事。科博館擁有兩個地震主題的分館應該也可以依據各自的特色發展出其獨特性，而不是變成兩個很像的館所，只是位在不同的地方。
3. 參觀門脇傳承館的時候，有個運用GIS系統，請生還者回想當時的避難行動與心情，並且將其足跡還原於地圖上，並且模擬海嘯來襲的時間，去還原災害發生時、人們的行動的投影展示。筆者認為此展品可以很生動的提供事件發生當下的緊張感，並且讓觀者可以自問：如果自己當時也身處其中，會怎麼做？
4. 整個日本行程的授課幾乎都是英語和日語為主，在聽過許多講師與解說員的講解後有一個深刻的感想：發音清楚、語速適當有條理，真的很重要。雖然身為現場解說與授課人員，對於此原則已經是非常熟悉了，但當主客易位成為聽眾、且母語非英日語的外國人時，才驚覺講者的口調對聽者吸收內容的影響之大，於是反思己身，期許自己的解說也可以讓略懂中文的外國人聽懂9成以上。
5. 在看到岩手海嘯紀念館看到高水準的動畫投影展示手法，用科技將美學與科學結合得很好，讚嘆之餘不禁反思：為什麼本館的展示影像呈現總讓人覺得差那麼臨門一腳？筆者認為其中一個原因，並非本館設計跟技術面做不到，而是沒有足夠的預算可以全力注搵、一次到位，在有限的經費之下總是要同時兼顧許多面向，導致無法吸引真正符合需求的廠商來投標。另一個原因可能是館方作風保守有關，先求穩再求好，導致無法放手做突破性的嘗試。
6. 看到鮭川斷層的野外露頭，真的好羨慕阿。得天獨厚的位置以及低濕度的環境，即使暴露在外也仍然保留得很好，對比竹山的斷層槽溝得細心維持、想盡辦法才能留住原貌，再次感受到台灣與日本的氣候差異呀！

7. 日本各地都有屬於自己地方特色的特定保存對象，被稱為天然紀念物。這些物品可能是景觀、化石、建築或歷史相關物件，而這些是屬於日本全體國人共同財產的概念，其所衍生出的文化與民族獨特性是非常值得台灣借鏡的地方。由政府專門保存的天然紀念物，除了其美麗與稀有性之外，同時也包含共同的歷史記憶與認同感，有助於族群融合並產生國族意識。
8. 考察行程尾聲的時候，武藤潤教授熱情與我們談論未來有沒有可能促成科博館與東北大學之間的合作關係。我們想起因疫情停辦許多年的學遊，如同本次是藉著野外考察授課知名而催生了這個行程，說是學遊也不為過，如果可以稍微調整一下深度與廣度（對非地質地理的人來說，這個行程太操了），或許可以為科博館的群眾打開另一扇世界之窗。對比觀光人潮接近飽和的都（東京都）、府（大阪府、京都府），日本東北地區很有開發旅行的潛力，不只有此次的天然地質寶庫，在人文方面也有許多特色，如男鹿半島的生剝鬼傳說，或號稱東北三大祭之首的青森睡魔祭，可以搭配科博館的學組專業，組成日本東北自然人文特色學遊。客群也不需限縮在我們習慣的學生族群，而要多多開發成人族群，比如說為中小學老師在寒暑假舉辦「從遊中學－日本再充電之旅」，或是為大學以上未出社會青年舉辦「Gap year－在日本東北找回初心」等創新玩法。