

國家科學及技術委員會補助專題研究計畫報告

以海底熱泉為樣版指標研究氣候變遷與極端棲地對沿岸生物的影響，為未來海洋提出永續解決方案-洋流與熱泉區環境因子對烏龜怪方蟹族群擴散與棲地選擇的影響(子計畫五)

報告類別：成果報告
計畫類別：整合型計畫
計畫編號：NSTC 111-2621-M-019-003-
執行期間：111年08月01日至112年07月31日
執行單位：國立臺灣海洋大學海洋生物研究所

計畫主持人：邵奕達
共同主持人：曾庸哲、林子皓、張家豪

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：張文爰
碩士班研究生-兼任助理：林順祥
碩士班研究生-兼任助理：盧俊霖
碩士班研究生-兼任助理：黃靖雯

報告附件：移地研究心得報告

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 112 年 10 月 26 日

中文摘要：烏龜怪方蟹(*Xenograpsus testudinatus*)最早發現於台灣龜山島海域，在此淺海熱泉的環境驅使怪方蟹演化出與其他生物截然不同的形態與生理機制。最近，在日本的昭和硫磺島與志根島的熱泉區也陸續發現了怪方蟹的族群。然而，使得怪方蟹群聚於熱泉區的分布機制還不清楚。本計畫將驗證兩個的假設：(1) 黑潮是否主導了怪方蟹的擴散；(2) 幼生沉降與稚蟹聚集是否受熱泉區的環境因子所驅動。本研究我們比對龜山島與硫磺島熱泉區的環境聲景與化學主成分分析，運用機器學習抽取兩地共有的最優勢特性。同時，採用分子鑑定重新分析龜山島與昭和硫磺島族群的分化情形，以及兩棲地成蟹對硫化物的化學趨性差異。水質分析顯示昭和硫磺島棲地並無硫化物的湧出，但總二氧化碳含量遠高於龜山島熱泉。但基因定序的結果表明，龜山島與硫磺島族群間並無分化，且可能保持著一定的基因交流。洋流對漂浮期幼生的輸送是海洋生物擴散與族群間基因交流的重要機制之一。此外，在行為學實驗中，來自龜山島的個體呈現出趨近硫化物的趨勢，但是昭和硫磺島的個體卻沒有。這顯示對硫化物的趨性可能促使龜山島族群的群集，但是卻不會發生在其他的族群上，因此，成蟹的化學趨性是否是形成當前叢狀分布的因素，尚需更多的研究證明。

中文關鍵詞：烏龜怪方蟹，族群分化，聲景，化學趨性

英文摘要：The hydrothermal vent crab *Xenograpsus testudinatus* (*Xenograpsidae*) was first discovered in Kueishan Island, Taiwan, in which they evolve a range of morphological and physiological adaptations to cope with extreme conditions. Recently, *X. testudinatus* populations were also found at the hydrothermal vents in Showa Iwo-Jima Island and and Shikine-jima Island in Japan. However, the mechanisms that result *X. testudinatus* distribution pattern and clumped those crabs to the vent areas are still unclear. This study aimed to test two hypotheses: (1) The dispersal pattern of *X. testudinatus* was dominated by Kuroshio Current, and (2) The larvae settle down or juvenile clumping were attracted by the environmental factors of the hydrothermal vents. In this study, the cues that attract juvenile vent crabs to the vent area will be test by behavior experiment. To this end, we will compare the soundscape and the chemical compositions of the vents in Kueishan Island and Showa Iwo-Jima island by principal component analysis. As well as, the population genetic compositions of the individuals from Kueishan Island Showa Iwo-Jima Island or were analyzed using molecular identification technique to understand the possible population differentiation between the two sites. Moreover, behavioral taxis test was conducted to know whether the crabs from different populations showed different taxis behavior to sulfide. Our results showed that the underwater spring in Showa Iwo-Jim had higher CO₂ levels than what was found in Keuishan island, but where

the sulfide level was not detectable. The genetic results indicated that the genetic divergence between the populations in Kueishan Island and Showa Iwo-Jima island were low, which suggested that gene flow between the two sties was possible. Ocean currents have been known that play an important role in the planktonic larval dispersal as well as maintaining the gene flow among the populations. Furthermore, behavioral test evidenced that the individuals from Keuishan island may move toward sulfide; however, it is not the case in the individuals from Showa Iwo-Jim. This results suggested that the levels of sulfide may be one of the cues that attract vent crabs in Keuishan island, but may not the main factor that formed their clumped distribution pattern among the west pacific fire ring. . The results of this study may not only explain how the geographic distribution of the *X. testudinatus* occurred, but also provide possible hypotheses for the development and evolution of the deep water hydrothermal biome. This information will be helpful in sustainable management in the future.

英文關鍵詞： *Xenograpsus testudinatus*, Population differentiation, soundscape, chemical taxis

一、前言

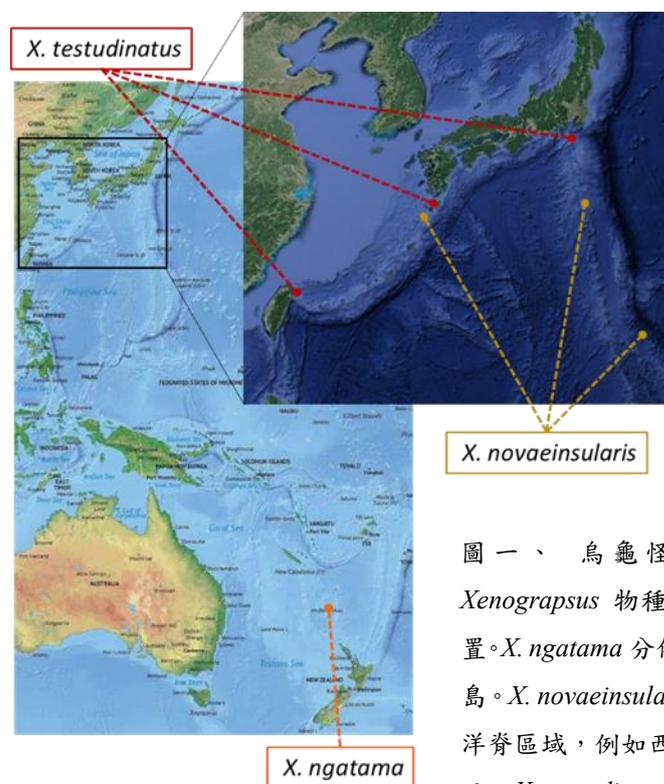
由於化學物質的排放，地質運動所造成的海底湧泉往往會導致周遭極端的水質環境。而在此區域生存的生物是必須要特化的生理機制以應對環境的壓力。龜山島的淺海熱泉是少數水深較淺，容易進行研究觀察的位置。在此區域，二氧化碳釋放導致高度酸性(Han et al., 2014)。此外，這個火山口區域的排放水具有高溫度和高含量的硫元素微粒例如 H₂S 與 SO₄，這些物質會轉化成硫化氫酸或亞硫酸，進一步降低 pH 值(Chen, 2005; Han et al., 2014)。對於大多數海洋生物來說，硫化氫是極具致命性的。即使在非常低的濃度下，例如大於 0.1 毫克/升(Schick, 1976)，也會損害動物的神經和呼吸系統。此外，儘管該地點位於黑潮的路徑上，但在深度介於 2 米至 14 米之間的周圍海域中，水質仍然極具酸性，pH 值範圍從 6.6 到 5.4 之間，硫化氫的濃度也很高。

只有少數動物能在極端的海底熱水泉環境中生存。其中，烏龜怪方蟹(*fide*)是唯一發現在龜山島淺水熱泉噴口周圍的多細胞動物物種。在此區域，個體數量在每平方米平均可達 364 隻以上(Ng et al., 2000)。這些螃蟹進化出一種獨特的取食行為，即捕食由有毒熱泉排放物殺死的死亡浮游動物(Jeng et al., 2004)。在平潮時，螃蟹會從洞穴中湧出，迅速進食這些死亡浮游動物的“Sea snow”(Jeng et al., 2004)。此外，烏龜怪方蟹是一種近似深海熱水泉螃蟹 *B. thermydron* 以及其他強滲透調節螃蟹物種，包括適應性淡鹽水的中國毛蟹 *Eriocheir sinensis* 和屬於地上兩生螃蟹的物種(Ki et al., 2009)的親緣地位較近的物種。因此，我們假設這一親緣群體的滲透調節能力的演化可能伴隨著顯著的酸鹼調節能力，使烏龜怪方蟹能夠棲息於龜山島熱泉區這些最酸的海洋區域。

然而，除了烏龜怪方蟹最初被發現的台灣龜山島的淺水(<20 米)熱水泉地點之外，同種類的螃蟹還被發現在日本鹿兒島縣硫磺島的熱水泉地點(Ng et al., 2014)(圖一)。此外，最近的研究表明，烏龜怪方蟹的族群分布可能比我們之前想像的要廣泛，即此物種已經正式記錄在伊豆群島的式根島(Izu Islands, Japan)(Miyake et al., 2019)。龜山島、硫磺島與式根島的烏龜怪方蟹族群棲息地都是典型的熱泉環境，具有極高的酸性和溫度(Ng et al., 2014; Miyake et al., 2019)。實際上，硫磺島的族群(pH = 6.1)比龜山島(pH = 6.5)和式根島(pH = 6.8)更酸性，但龜山島的硫化物濃度遠高於其他地方(Peng et al., 2011; Miyake et al., 2019)。

在這些族群中，根據線粒體細胞色素氧化酶 I (COI) 基因的早期基因分析顯示這兩個族群之間的差異非常小，並且可能通過高水平的基因流動相連(Ng et al., 2014)。此外，我們基於來自日本鹿兒島硫磺島和台灣龜山島的每個 18 個樣本的三個線粒體標誌物(COI、cytochrome b 和 12S rRNA)的初步族群遺傳分析也支持了 Ng et al. (2014) 的結論，即這兩個族群之間的遺傳差異水平非常低。因此，我們假設隨著洋流的族群擴散可能會促進怪方蟹的基因流動並限制族群演化的

分歧。一般來說，包括甲殼類的底棲海洋生物的早期生命週期通常包括浮游幼生階段，以及在它們定居於棲息地後的底棲幼體階段。浮游階段的持續時間和發育變化對於幼生的散佈至關重要，同時幼生的行為和海洋洋流也可能是影響這些物種在沉降階段(settledown)的棲息地選擇的重要因素(review in Jackson 1986；Morse 1991；Montgomery et al., 2001)。因此，這項研究將了解這些熱水泉地點的共有的化學成分或聲景相似特徵是否可能是導致烏龜怪方蟹成簇散佈模式的環境因子。

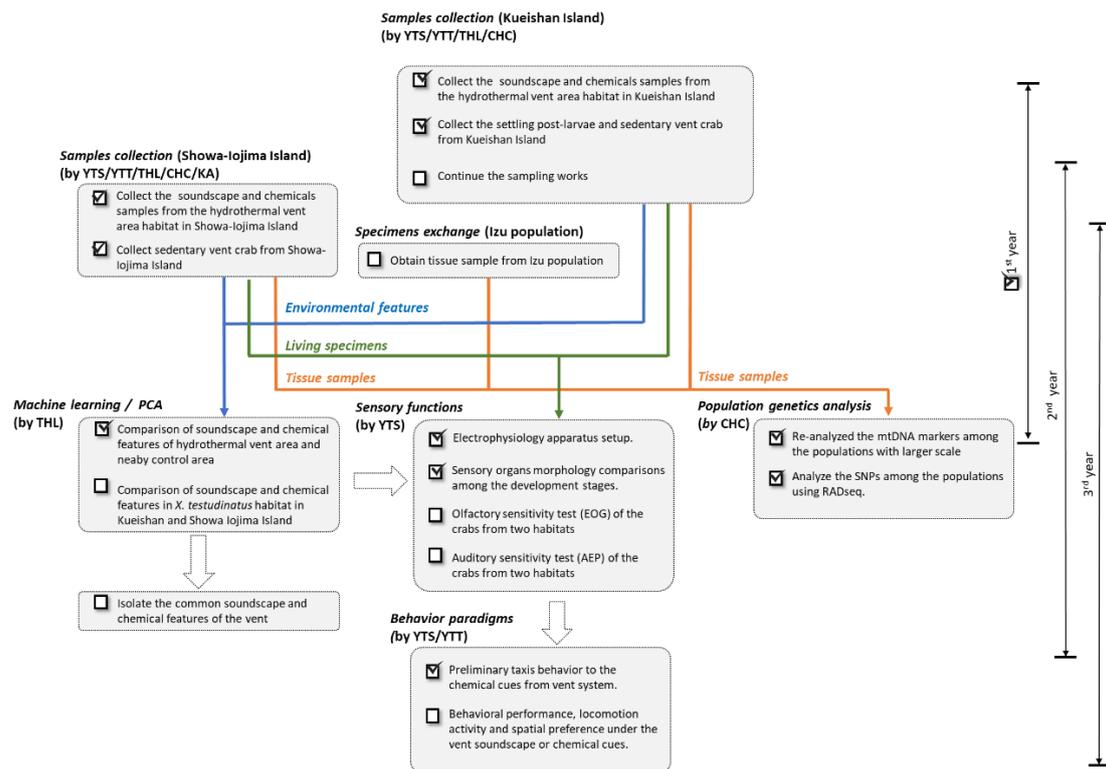


圖一、烏龜怪方蟹 *X. testudinatus* 與另外兩種 *Xenograpsus* 物種在太平洋西側的熱水噴口棲息地的位置。*X. ngatama* 分佈在南太平洋，例如紐西蘭的 Macauley 島。*X. novaeinsularis* 的地理範圍主要位於日本南部的海洋脊區域，例如西野島、奄美大島和馬利安納群島。然而，*X. testudinatus* 的散佈模式似乎與黑潮有關(地圖來源：Google Earth)。

二、研究目的

為了瞭解烏龜怪方蟹在西太平洋火環上分布的模式與族群交流機制，本計劃在接下來的三年中目標為釐清烏龜怪方蟹的族群遺傳在棲地之間的差異性，以及熱泉的環境因子是否吸引幼生或成體形成群聚，最終說明黑潮在烏龜怪方蟹散佈模式中所扮演的角色。

本計畫將從台灣的龜山島和鹿兒島的硫磺島收集烏龜怪方蟹的樣本以及環境特徵，例如聲景和化學組成。再加上收集於東北台灣周圍的浮游動物樣本，將分析烏龜怪方蟹浮游幼生的空間和時間分佈模式。實驗結果將有助於理解烏龜怪方蟹幼生是否沿著黑潮的路徑散佈(如下圖所示)。此外，我們將通過主成分分析比較龜山島和硫磺島熱水泉的聲景和化學成分。機器學習將分離出兩個地點的主要共同特徵，並將其用作行為測試的環境提示(如上圖所示)。



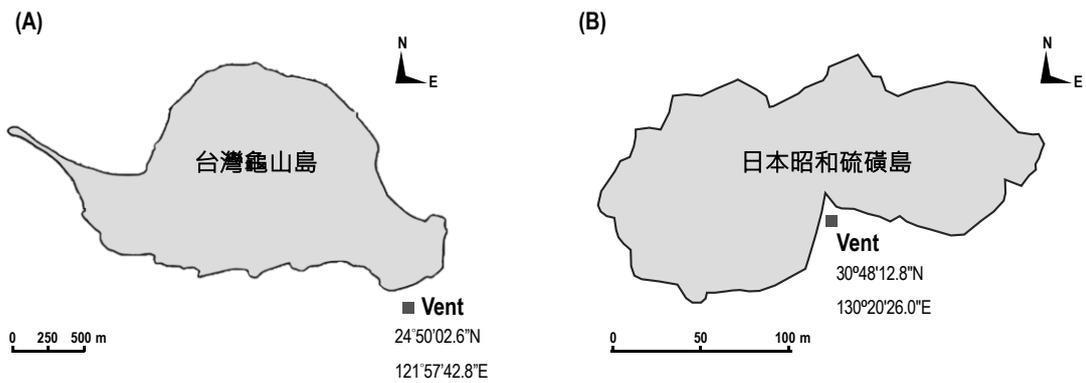
本年度的計畫目標為：

1. 烏龜怪方蟹在台灣龜山島與鄰近日本昭和硫磺島的族群遺傳結構差異
2. 分析龜山島海地與昭和硫磺島熱泉水質與水下聲景特徵
3. 以硫化物而言，熱泉的化學因子是否會引發烏龜怪方蟹的趨性

三、材料與方法

1. 樣本收集

研究團隊分別在 2022 年 10 月與 12 月、2023 年 1 月與 5 月，在台灣龜山島東南側的龜首淺海熱泉湧泉區域 ($24^{\circ}50'02.6''\text{N}$, $121^{\circ}57'42.8''\text{E}$; 深度 15-17 米) (圖二 A)，以及在 2023 年 4 月在日本昭和硫磺島南側淺海熱泉湧泉區域 ($30^{\circ}48'12.8''\text{N}$, $130^{\circ}20'26.0''\text{E}$; 深度 5 米) (圖二 B)，進行潛水收集生物性(圖三)與非生物性研究樣本。



圖二、採樣區域位置圖



圖三、日本昭和硫磺島南側淺海熱泉(A)與台灣龜山島東南側的龜首淺海熱泉(B)的烏龜怪方蟹生態照。

2. 水質條件與聲景監測

本計畫運用紐西蘭奧克蘭的 Ocean Instrument 公司生產的 SoundTrap 300 錄音機

來記錄臺灣龜山島和日本硫磺島的熱水口的水下聲音。SoundTrap 300 配備了一個工作頻率範圍為 20 Hz 到 60 kHz 的水聽器，高增益模式下的有效靈敏度為-175 dB re 1V/ μ Pa，可用於調查從可聽範圍到超音波範圍的水下聲音。

水下聲音將在潛水勘測期間錄製。SoundTrap 300 錄音機將固定在海底，時間約為 20-30 分鐘，取決於海況和天氣條件。除了在排氣場記錄水下聲音外，我們還將在非泉口棲息地進行錄音。為了確保我們能錄到泉口特定的聲音，我們將遵循 Chen et al.,(2021)所述的音訊源分離的機器學習方法，以隔離熱水口的聲學信號和背景雜音。並且，藉由 soundscape_IR 聲景訊息擷取工具箱 (Sun et al., 2022) 分析水下錄音的頻譜特性。頻譜分析的過程中，選擇 0.02 秒為視窗長度進行快速傅立葉變換分析，以取得頻率解析度為 46.8 Hz 的頻譜資料。為了確保頻譜分析能夠有效擷取海洋環境的聲景特性，而不受到偶然發生的噪音干擾，我們計算每 3 秒聲音片段中，各頻率的功率譜密度之中位數，作為頻譜特性的指標。根據過去研究的經驗，此方法能夠有效呈現海洋生態系中，最具主導性且持續出現的聲源特性，包括礁岩棲地的甲殼類動物聲音 (Lin et al., 2021) 與深海熱泉的熱液噴發聲音 (Chen et al., 2021)。為了探討熱泉口與鄰近礁岩棲地的聲景特性差異，我們針對 50-500 Hz、0.5-2 kHz 以及 2-4 kHz 三個頻率範圍，將功率譜密度進行積分，計算各頻率範圍的聲壓值強度，並以 Wilcoxon rank sum test 進行統計演定

為了評估採樣點水質，我們針對採樣樣本之溫度、pH 值、溶解氧 (D.O.)、鹼度、硫化物含量和碳酸氫鹽 (HCO_3^-) 含量進行了測量。我們使用配備 IDS pH 電極 (SenTix® 940, WTW) 的多參數可攜式儀器 (Multiline® Multi 3620 IDS, WTW, Weilheim, Germany)，在研究作業船上，測量了採樣點水樣的溫度、pH 值、和溶解氧。水樣的鹼度是根據之前發表的方法 (Saradin et al., 1999)，通過分光光度法進行測定。水樣的硫化物含量，是根據修改自 (Cline, 1969) 發表之分光光度法測定，使用含有 N,N-二甲基對苯二胺硫酸鹽和 50% 鹽酸中的三氯化鐵的硫化物-硫特异性混合二胺試劑。水樣中的溶解無機碳 (DIC) 含量，是使用 DIC 分析儀 (AS-C3, Apollo SciTech, Newark, DE, USA)，在氮氣作為惰性氣體的條件下，進行了獨立樣本三重測量，然後通過非分散紅外 (NDIR) Li-7000 $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ 分析儀 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) 進行了定量。所得數據最後使用 CO2SYS 模組，根據 DIC、pH 值和溫度計算了水樣的 HCO_3^- 濃度。解離常數是根據兩項方法學研究 (Mehrbach et al., 1973; Dickson and Millero et al., 1987) 進行調整。

未來對於化學成分的分析，我們將應用非負矩陣分解 (NMF)，這是一種用於從輸入矩陣中無監督提取特徵的機器學習演算法。NMF 強制執行非負約束，以便學習到的潛在因數和係數是純粹的加法性質。因此，該結果可以幫助我們識別與熱水口相關的化合物的獨立成分，並選擇這些化合物進行行為實驗。

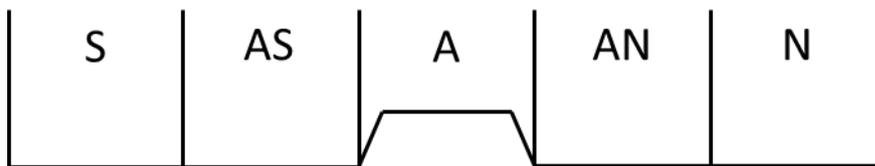
3. 族群基因結構

藉由 RADseq(受限制的擴增位點定序)，我們將分析不同族群之間的單核苷酸多態性(SNPs)，以瞭解是否存在一個未知的親本族群位於黑潮的上游，或者由於季節性水團的變化而在相鄰族群之間發生雙向基因流。本研究的結果將解釋烏龜怪方蟹的地理分佈方式，並為深海熱水生物群的發展和演化提供可能的機制。

以 100% 酒精脫水固定的日本鹿兒島與台灣宜蘭兩族群怪方蟹各 11 支與 15 隻為材料。藉由 QIAGEN DNA Micro Kit (56304) 抽取蟹鉗肌肉中的 DNA。抽取出的 DNA 樣本經由 Qubit 進行樣本 DNA 含量與品質檢驗。合格後轉交由基龍米克斯生物科技公司進行 RAD-Seq 建庫與定序工作。建庫方法參考(Andolfatto et al 2011)。將各 DNA 樣本以 MseI 限制酶進行切割處理後，黏合上專有的 barcode 序列。以自動化核酸片段分離回收裝置(Pippin Prep)挑選出長度在 300-450 bp 的片段並進行 14 個 PCR cycle 增幅。各樣本建庫完成後皆取出 50 ng DNA/樣本進行混合。以 NovaSeq X Plus system 進行雙端 150 bp 長度定序獲取序列數據。獲得的序列數據以 ipyrad v 0.9.61 (Eaton and Overcast 2020) 軟體以預設參數進行處理，並以 85% 相似度為界進行 denovo 組裝。最後所獲得的 reads 達到 92% completeness 以上的將選出進行後續以 STRUCTURE v2.3.4 (Pritchard et al. 2000) 分析。

4. 趨性行為實驗

本實驗採用 50cm×10cm×10cm 的壓克力盒，以及兩塊 10cm×17cm 的壓克力板隔出不同的硫化物濃度區域(圖四)，由於含硫化物海水的比重略高於標準海水，為避免水流流速快沖散硫化物濃度，在中間設立 6cm 的珍珠板載物台減緩濃度擴散的速度。實驗時，測試個體將於此板載物台中心施放(圖四)。實驗過程中，在行為裝置的壓克力盒上方架設 IDS 紅外線工業攝影機，記錄怪方蟹的行為，錄製 5 分鐘影片，後續將使用行為軟體(Noldus Etho Vision XT 11.5)進行分析。



圖四、趨性行為實驗設置

實驗開始前須架設好擋水用壓克力板，將實驗用壓克力盒區分成強硫區(S)、低硫區(AS)、中心區(A)、無硫區(AN)、純海水區(N)如圖 X 所表示。實驗進行時將同時在左右兩側倒入 1.6L 的海水，並在中間(A)的位置倒入 0.8L 的海水，加水後從純海水區(N)抽取 1000 μ l 的水樣到已經裝有 80 μ l 的反應試劑的 1.5ml 的離心管內，取至中心區(A)後從低硫區(AS)開始一直到強硫區(S)，取 100 μ l 的水樣並且加入 900 μ l 的二次水，目的是為了稀釋水樣避免濃度過高反應試劑無法抓取樣本。

待水體取樣完成後，將一隻烏龜怪方蟹置於中心區(A)的座台上並靜置一分鐘後開始錄製五分鐘行為影片。並在錄製完成後再次從純海水區(N)抽取 1000 μ l 的水樣，取至無硫區(AN)後從中心區(A)開始一直到強硫區(S)，取 100 μ l 的水樣並且加入 900 μ l 的二次水稀釋(圖)。影像紀錄將分析實驗個體的初始選擇區域，以及最後停留的區域，並且紀錄個體運動之軌跡。

5. 統計分析

由於本研究部分資料在 Shapiro-Wilk 常態檢定後並不符合常態分布，故資料統計分析利用 SPSS v. 20 通過 one-way Kruskal-Wallis 無母數檢驗進行比較，並且使用 Dunn 檢驗進行事後比較(Olsvik et al., 2005)。

四、結果

1. 棲地水質條件

表一、龜山島(台灣)與昭和硫磺島(日本)淺海熱泉區域的水質條件

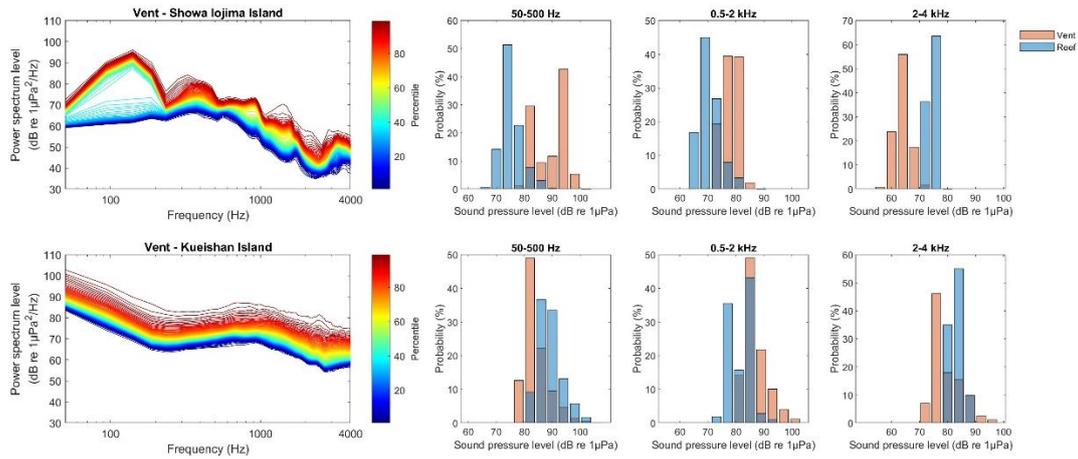
Site	season	Date	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)
龜山島	Summer	20220802	6.657±0.079	29.233±0.058	5.683±0.988
	Winter	20230109	7.300±0.434	23.033±0.115	8.633±0.258
昭和硫磺島	Spring	20230411	6.917±0.085	22.800±0.100	7.090±0.122

Site	season	Date	Sulfide (μM)	TCO ₂ (μmol/kg _{SW})	Alk (mmol/kg _{SW})
龜山島	Summer	20220802	225.869±9.648	2160.053±52.556	2657.599±106.234
	Winter	20230109	45.969±22.945	2137.607±35.096	1800.171±237.338
昭和硫磺島	Spring	20230411	0.000±0.000	3124.083±257.895	2126.349±27.455

如表二所示，怪方蟹於桂山島棲地的水質條件受季節影響甚鉅。夏季時的洋流流速稍緩，故棲地水質較容易受熱泉湧出的影響，具有較低的 pH，較高的硫化物含量與較高的水溫。相較於龜山島，昭和硫磺島的水溫較低且水中未偵測到硫化物，但是卻具有遠較龜山島更高的總二氧化碳濃度。結果顯示，昭和硫磺島的淺海熱泉應為典型的碳酸泉。

2. 水下聲景

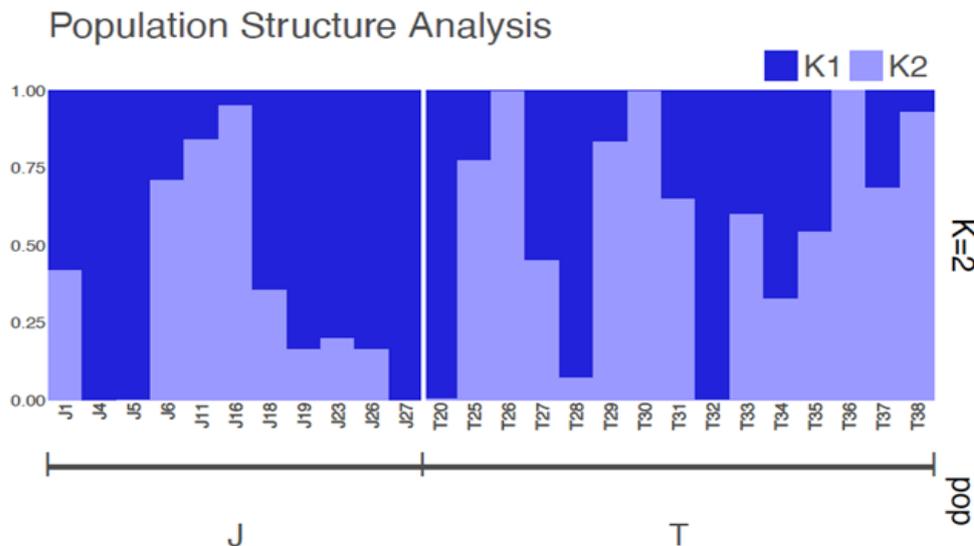
聲景分析結果顯示(圖五)，昭和硫磺島的熱泉口聲景整體上呈現低頻較強、高頻較弱的分布趨勢，聲音能量主要分布在 2 kHz 以下的頻率範圍。龜山島的熱泉口聲景也有相似的頻率分布趨勢，但聲音能量主要分布在 100 Hz 以下以及 1 kHz 附近的頻率範圍，並沒有如同昭和硫磺島一樣在 2 kHz 以上快速下降的趨勢。進一步比較三個音頻範圍的聲壓值強度在熱泉口和礁岩棲地之間的差異，可以清楚的觀察到，在昭和硫磺島的資料中，熱泉口的聲壓值在 50-500 Hz 以及 0.5-2 kHz 皆明顯較礁岩棲地高 ($p < 0.001$)，且在 2-4 kHz 則明顯較礁岩棲地低 ($p < 0.001$)。在龜山島的資料中，熱泉口的聲壓值只有在 0.5-2 kHz 明顯較礁岩棲地高 ($p < 0.001$)，但在 50-500 Hz 以及 2-4 kHz 都明顯較礁岩棲地低 ($p < 0.001$)。



圖五、昭和硫磺島與龜山島的水下聲景分析結果。左側為熱泉口的聲景頻譜分析結果，右側的直方圖為聲壓值於不同音頻範圍內，在熱泉口（橘色）和礁岩棲地（藍色）之間的分佈差異。

3. 族群基因結構分析

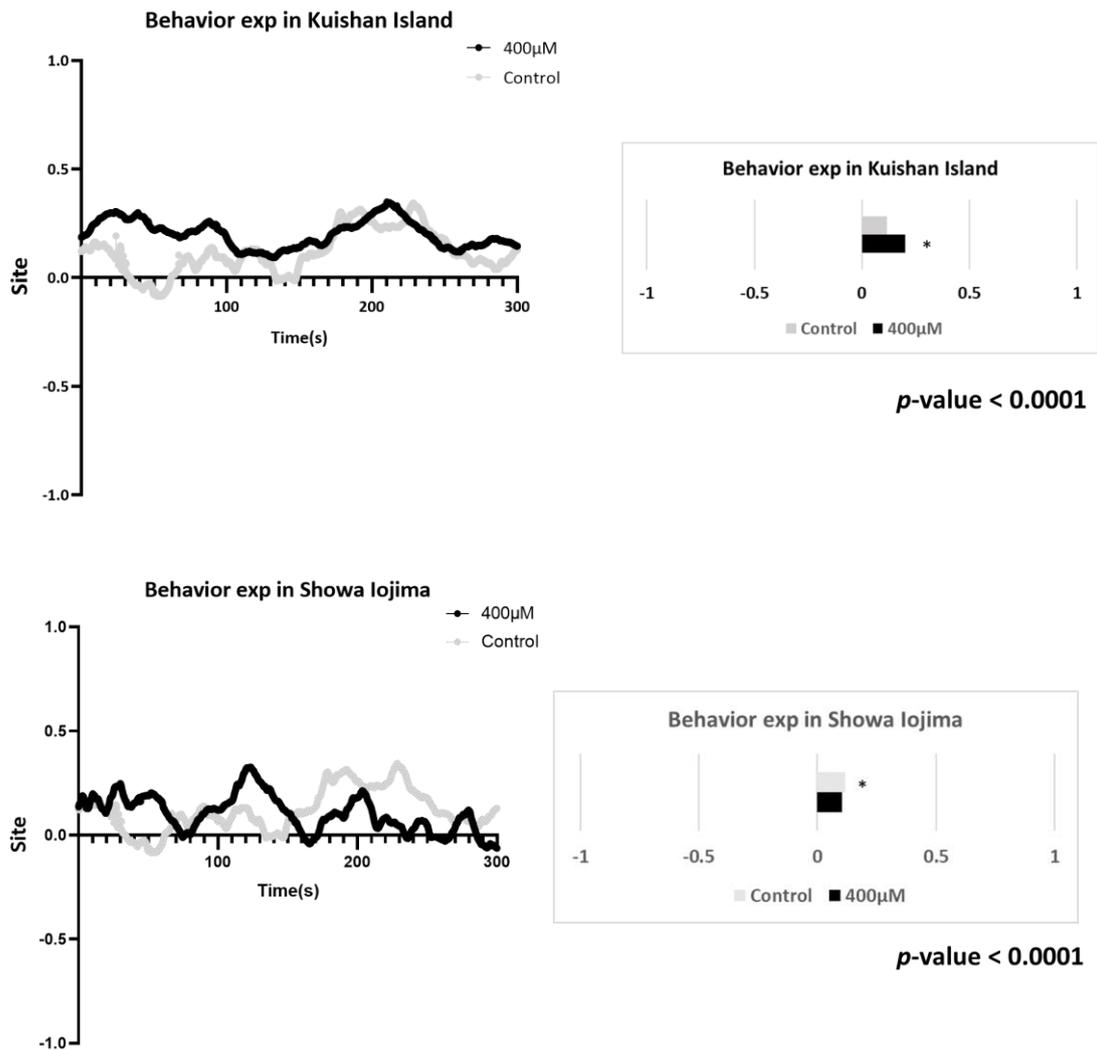
依 92% completeness 組裝結果，共獲得 339 loci/2007，STRUCTURE 分析中 K 值以 Evanno method (Evanno et al. 2005) 進行最佳化分析得值為 2，結果如圖六。顯示台灣與日本族群並無顯著分化。



圖六、採集至日本(J)的 11 隻與台灣(T)15 隻怪方蟹基於 RAD-Seq 定序所獲得 92% completeness 的 loci 進行 STUCTRUE 分析結果。在最佳 genetic cluster (K) 值為 2 時的 admixture 遺傳結構圖。

4. 趨性行為

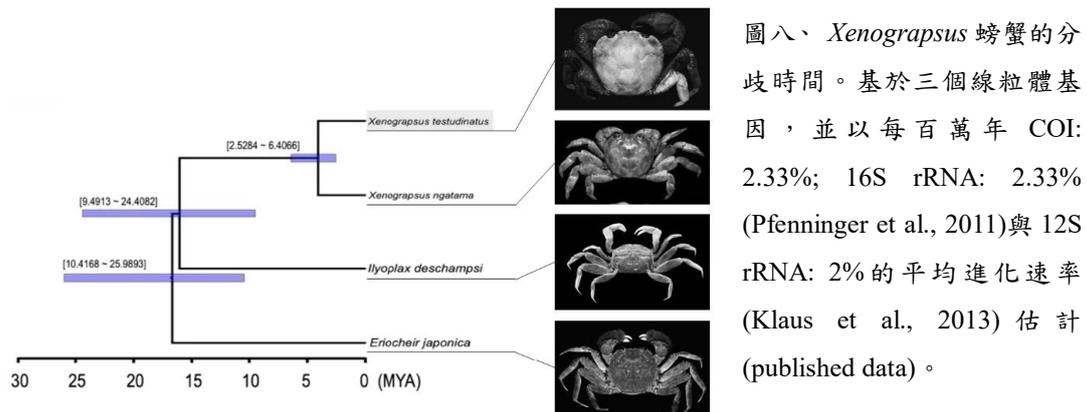
行為學實驗顯示，採集自龜山島的怪方蟹對 400 μ M 的硫化物時於內具有相當的正趨性。相較於對照組，螃蟹移動的向量分析結果也說明龜山島的怪方蟹有顯著靠近硫化物濃度較高區域的趨勢(圖七)。然而，採集自昭和硫磺島的怪方蟹則無此一趨性行為，並且，向量分析結果顯示這些螃蟹在面對硫化物水體時整體移動強度顯著下降(圖七)。



圖七、趨性實驗中，怪方蟹移動軌跡(平均值)與向量分析的結果

五、討論

演化上，烏龜怪方蟹與同樣分布於西太平洋火山帶上的 *X. novaeinsularis* 和澳洲東方的 *X. ngatama* 具有相似的形態特徵(Takeda & Kurata, 1977)。其中，線粒體 16S rRNA 分析結果顯示烏龜怪方蟹和 *X. ngatama* 屬於兩個不同的系統發育支序(Ng et al., 2007)。此外，根據線粒體基因(COI, 12S rRNA 和 16S rRNA)的多樣性和進化速率，我們的團隊估計烏龜怪方蟹和 *X. ngatama* 之間的分歧時間可能在 250 萬至 641 萬年前(上新世)之間(unpublished data, 圖八)。然而，由於缺乏 *X. novaeinsularis* 的分子資料，線粒體分析僅能說明演化的進程，可能忽略了當前不同族群的烏龜怪方蟹種群遺傳分化的程度。儘管如此，分子分類學研究的結果依然可以表示泉口動物在表型上可以高度可塑，此時形態描述可能不足以區分物種(Vrijenhoek, 2009)。



圖八、*Xenograpsus* 螃蟹的分歧時間。基於三個線粒體基因，並以每百萬年 COI: 2.33%; 16S rRNA: 2.33% (Pfenninger et al., 2011)與 12S rRNA: 2% 的平均進化速率 (Klaus et al., 2013) 估計 (published data)。

在目前已知的烏龜怪方蟹族群中，最早 Ng et al. (2014) 以 COI 基因為基礎的遺傳分析顯示，昭和硫磺島和龜山島之間的族群基因交流可能存在，且遺傳差異性非常小。而近期使用線粒體 COI、16S rRNA 和 D-loop 基因的序列的研究也說明在龜山島、昭和硫磺島或伊豆群島之間沒有明顯的族群分化(Yang et al., 2022)。此外，Oda et al. (2022) 對來自龜山島、昭和硫磺島、伊豆群島的式根島和大室熱泉(Omuro-dashi)的烏龜怪方蟹 COI 序列進行的研究顯示，只有式根島和大室熱泉之間存在顯著的遺傳分化，而其他任何兩族群間都沒有發現顯著遺傳差異(Oda et al., 2022)。在本團隊初步的研究中，根據更大的樣本空間和 COI、cytochrome b 和 12S rRNA 這三個 mtDNA 標記，我們的資料顯示，龜山島和昭和硫磺島的烏龜怪方蟹之間沒有明顯的族群間變異。然而，族群內變異性暗示了烏龜怪方蟹族群的遺傳多樣性可能略高於龜山島族群(表二)。

表二、烏龜怪方蟹在龜山島和昭和硫磺島（鹿兒島）的三個 mtDNA 標記，即 cytochrome b (495 bp)、COI (435 bp)和 12S rRNA (308 bp)的族群內變異性資料，以及基於這三個 mtDNA 標記的 cytochrome b 族群的分子差異分析（AMOVA）。(SE) (unpublished data)

Group	Sample size	No. of haplotypes	No. of polymorphic sites	Haplotype diversity	Nucleotide diversity (%)
Kueishan Island	18	12	22	0.922 (0.051)	0.396 (0.055)
Kagoshima	18	16	30	0.980 (0.028)	0.495 (0.049)
Total	36	25	41	0.968 (0.016)	0.446 (0.037)

Source of variation	Variance components	% Variation	P value	Φ-statistics
Among populations	-0.00218	-0.07	0.4133	-0.00071
Within populations	3.06699	100.07		

此外，本年度的計畫中，RADseq 的結果更顯示來龜山島與昭和硫磺島的螃蟹不具有顯著的基因分化。因此，我們認為這兩地點的螃蟹在基因交流層面應屬於同一族群族群。

Oda *et al.* (2022) 的研究顯示此區域的洋流模式可能是促進基因流並限制 *Xenograpsus* 螃蟹的族群分化的因素之一。並且海洋環境中的一些因素可能有助於不同族群之間的基因交流，同時限制了它們的進化分化。這可能包括海洋洋流、海洋溫度、水深、氧含量等因素，這些因素可以影響動物的分佈和基因流動性。這個假設的合理性可能需要進一步的研究來驗證，但它為 *Xenograpsus* 螃蟹的族群結構和演化提供了一可能的解釋。

海洋洋流一直被認為是海洋生物擴散的重要因素(review in Swearer *et al.*, 2019)。黑潮是此區域中強大的西邊界洋流，他將赤道溫暖水體向極地輸送，形成了北太平洋亞熱帶旋渦的西側邊緣。許多海洋生物季節性沿著這一洋流遷徙或被動運輸(review in Gibson 2003)，並且還影響了具有浮游生活階段的物種的分佈模式(review in Mukai 1993; Sassa 2019; Chiba 2013)。

烏龜怪方蟹的地理範圍主要沿著黑潮的路徑。事實上，黑潮可能是控制此物種在西北太平洋的擴散和分布的主要驅動因素(Oda *et al.*, 2022)，就像其他深海物種一樣(Watanabe *et al.* 2005; Lin *et al.*, 2020)。然而，在這個龜山島海域，季節性變化的洋流和風向與季風季節有關。在夏季，黑潮將溫暖的水從熱帶區域帶往此處並遠送至日本東部。然而，在冬季，親潮和中國近海洋流在西北太平洋區域占主導地位，帶來了來自北方的低溫水體，伴隨著黑潮逆流(review in Chuang *et al.*, 1993; Qui 2005)。在這樣海流交替的過程中，也無法排除水體的季節性變化也可能有助

於混合日本和臺灣熱水泉螃蟹幼體族群。在臺灣水域，浮游生物組合在季節性變化的水體中有很強的相關性(Tseng et al., 2003)。對於具有浮游幼體階段的大部分固定性物種，如珊瑚礁魚類，過去的研究顯示，洋流方向的改變可能會改變幼生的入添(Chiu & Chen 1998; Su et al., 2011; Hsieh et al., 2011; Rabbaniha et al., 2013)。季風季節之間的洋流變化可能會分別運送來自北方或南方的個體，而來自洋流的貢獻可能會減少族群間的遺傳變異。這暗示了黑潮可能在烏龜怪方蟹的分佈和基因流中發揮了重要作用，並支持先前關於海洋特徵對基因流和族群結構的假設(Oda et al., 2022)。

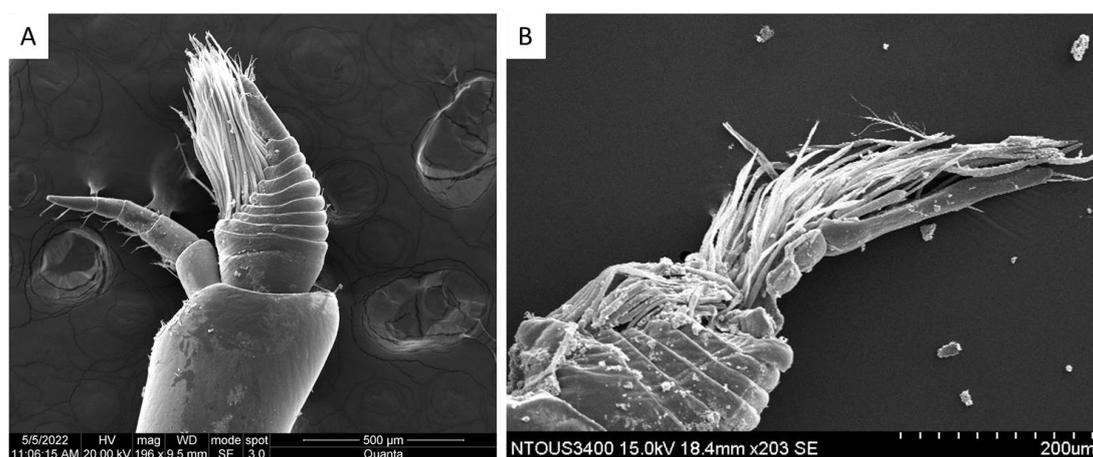
底棲海洋生物從早期浮游階段到定居到棲息地後的底棲幼生階段之間的沉降(settledown)對於物種的擴散與棲地選擇至關重要。而浮游階段時期持續的時間和個體發育的速度，以及幼體的行為也可能影響沉降的發生(review in Jackson 1986; Morse 1991; Montgomery et al., 2001)。對於十足目動物而言，大部分的定居發生在大眼幼生期之後。然而，烏龜怪方蟹的浮游階段持續時間尚不清楚。根據Grapsoidea物種的發育模型，Yang et al., (2022)假設烏龜怪方蟹的幼生發育可能需要15到25天。然而，其他研究表明，怪方蟹所屬短尾下目蟹的浮游階段持續時間可能從44天(Xanthidae)到60天(Majidae)不等(Reyns & Sponaugle, 1999)。在龜山島，烏龜怪方蟹的繁殖季節在夏季，此時可以觀察到雌性螃蟹釋放卵。然而，現場浮游生物組成的監測紀錄顯示，烏龜怪方蟹的幼生在三月之前就被發現，而大眼幼生的沉降則發生在十一月(Dahms et al., 2014)。當然，目前尚不清楚在龜山島附近收集到的幼生是否是該地點熱水泉螃蟹的後代。尤其是在夏季黑潮的流速很高(Qiu & Chen, 2005)，可能將烏龜怪方蟹的子代帶離產卵地點，或將來自其他族群的幼體帶到此地。

目前已知浮游階段後期的沉降行為是有選擇性的，例如聲音、氣味、光線、溫度或pH值，可以觸發幼生的沉降反應，並吸引它們聚集在適當的棲息地(review in Arvedlund & Kavanagh 2009)。另一方面，這種趨性行為也可能在定棲的幼年個體中表現出來。在深海熱水噴口系統中，動物的聚集可能是為了尋找食物或棲息地(Pond et al., 1997; Herring & Dixon, 1998)，或者為了選擇適當的環境以供養它們的共生細菌(Sarradin et al., 1999; Le Bris et al., 2006)。在深海中，熱泉噴口散發的硫化物、溫度和微弱的光線被認為是潛在吸引標的(van Dover et al., 1989; Renninger et al., 1995; Gaten et al., 1998)。由於發現烏龜怪方蟹在龜山島熱泉噴口周圍高度聚集，因此假設他們的幼蟲可能會沉降至熱泉噴口，並且只在這些區域進行定居(Dahms et al., 2014)，或者成年個體被這些環境因子吸引移動到熱水噴口區域(Hwang et al., 2008)。

魚類和甲殼動物幼生的沉降反應都可能因為嗅覺因子所誘發(Kingsford et al., 2002)。已知許多十足目後期幼蟲在出生地或與同種生物的群聚行為仰賴於環境中獨特的氣味線索(Jeffs et al., 2005)。此外，如果個體沒有偵測到特定的化學環

境組成，Gebauer et al.(2005)證明了紅樹林沼澤螃蟹(*Sesarma curacaoense*)的幼生可能會延遲最終變態過程，維持在浮游期的階段。目前所有已知的烏龜怪方蟹族群的生存環境都是深度在 5 到 37 米之間的淺海熱泉噴口。儘管此三個地點的化學特性略有不同，例如，昭和硫磺島的二氧化碳較高，但是硫化物明顯低於龜山島的棲地。此外，烏龜怪方蟹對於硫化物的趨性行為顯示，棲息於龜山島熱水噴口的個體具有相當的正趨性，但是在昭和硫磺島的族群卻無此一行為徵象。這顯示對硫化物的趨性可能促使龜山島族群的群集，但是卻不會發生在其他的族群上，因此，成蟹的化學趨性是否是形成當前叢狀分布的因素，尚需更多的研究證明。

烏龜怪方蟹除了位於第一對觸角的基部對應聽覺的耳石和毛細胞之外，與許多十足目一樣，於觸角鰓羽上具有特定的機械感受器(Anger 2001)，這些機械感受器提供了嗅覺和聽覺線索的感覺能力。此外，成年十足目動物可能在身體的大部分區域都有化感受器(感覺毛)，特別是怪方蟹第一對觸角上的這些感覺毛密度很高。我們的掃描電子顯微鏡圖像顯示，烏龜怪方蟹的第一對觸角末端有兩排相連的節段感受器(圖九)(unpublished data)，這與深海熱泉噴口蝦類，如 *Rimicaris exoculate* 和 *Chorocaris chacei* 中所描述的感覺器官相似(Zbinden et al., 2017)。這種結構可能表示烏龜怪方蟹可能像其他熱泉區域的十足目一樣，具有聽覺和化學能力。然而，由於體積較小，早期十足目幼蟲(包括烏龜怪方蟹)的嗅覺與聽覺感官能力很難通過電生理方法進行研究，但間接的行為證據表明在一些物種中這些感應明顯存在(Forward et al., 2001; 2003)。同樣，最近的研究表明，水下聲音的傳播可能是觸發十足目幼蟲後期(後浮游階段)沉降反應的重要環境線索(Jeffs et al., 2005; Montgomery et al., 2006)。



圖九、掃描式電子顯微鏡觀察下的烏龜怪方蟹第一角鰓羽構造 (A)龜山島樣本 (B) 昭和硫磺島樣本(unpublished data)。

水的物理特性與空氣不同。與空氣中的聲音相比，聲波在水中傳播得更快，傳播的距離更遠。因此，水下聲音是海洋中可能的定向線索，但同樣也可能是掩蓋信號的噪音。然而，有很多證據顯示，幼魚和甲殼動物幼生被聲音吸引而找到適合

的棲息地(review in Montgomery et al., 2006)。特別是，目前已知水下聲音影響了與珊瑚礁相關的蟹類幼蟲的棲息行為和變態時間(Stanley et al., 2010)，同時，聲音也可能在烏龜怪方蟹的棲息地選擇中起到重要作用。

淺水熱水噴口的聲學特性尚未得到深入研究。從水下調查過程的目視觀察，搭配人工聆聽水下錄音後，我們發現熱泉口逸散的大量氣泡是造成熱泉口聲景在 2 kHz 以下有較強聲壓值的原因，這種聲景特性與受到甲殼類動物高頻聲音主導的礁岩棲地具有明顯差異。這與深海熱水噴口類似，現在已發現的深海熱水噴口在低於 120Hz 的頻率範圍內發出窄頻帶音調與寬頻脈衝的水下聲音(Crone et al., 2006; Chen et al., 2021)。這些深海噴口與其他深海底棲棲息地具有不同聲景特徵(Chen et al., 2021)，並可能是深海熱水噴口中幼生的分散和沉降的棲息地特異性線索(Lin et al., 2019)。然而，我們也在海上調查過程中觀察到龜山島海域有觀光與漁業船隻頻繁活動，導致當地的礁岩棲地聲景在 50-500 Hz 音頻範圍受到噪音大幅干擾，明顯較熱泉口高。雖然目前我們仍然不知道船隻噪音是否會遮蓋熱泉口的水下聲音，但此結果顯示人為活動也可能透過水下噪音的媒介干擾棲地聲景。未來需特別關注這種聲景變化是否會影響當地海洋動物的個體行為與族群分布趨勢。

引用文獻

- Andolfatto P, Davison D, Erezylmaz D, Hu TT, Mast J, Sunayama-Morita T, Stern DL (2011) Multiplexed shotgun genotyping for rapid and efficient genetic mapping. *Genome Res* 21 (4):610-617.
- Anger, K. (2001). *The biology of decapod crustacean larvae*. Lisse: AA Balkema Publishers, Vol. 14, pp. 1-420.
- Arvedlund, M., & Kavanagh, K. (2009). The senses and environmental cues used by marine larvae of fish and decapod crustaceans to find tropical coastal ecosystems. In *Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems*. Springer, Dordrecht, pp. 135-184.
- Chen, C., Lin, T. H., Watanabe, H. K., Akamatsu, T., & Kawagucci, S. (2021). Baseline soundscapes of deep-sea habitats reveal heterogeneity among ecosystems and sensitivity to anthropogenic impacts. *Limnology and Oceanography*, 66(10), 3714-3727.
- Chen, C.A., Wang, B., Huang, J., Lou, J., Kuo, F., Tu, Y., & Tsai, H. (2005). Investigation into extremely acidic hydrothermal fluids off Kueishan Tao, Taiwan, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 24, 125-133.
- Chiba, S., Di Lorenzo, E., Davis, A., Keister, J. E., Taguchi, B., Sasai, Y., & Sugisaki, H. (2013). Large-scale climate control of zooplankton transport and biogeography in the Kuroshio-Oyashio Extension region. *Geophysical Research Letters*, 40(19), 5182-5187.
- Chiu, T. S., & Chen, C. S. (1998). A study on the status of ichthyoplankton in the waters around Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 25(3), 161-170.
- Chuang, W. S., Li, H. W., Tang, T. Y., & Wu, C. K. (1993). Observations of the countercurrent on the inshore side of the Kuroshio northeast of Taiwan. *Journal of Oceanography*, 49(5), 581-592.
- Cline, J. D. (1969). Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters 1. *Limnology and Oceanography*, 14(3), 454-458.
- Dahms, H. U., Tseng, L. C., & Hwang, J. S. (2014). Marine invertebrate larval distribution at the hydrothermal vent site of Gueishandao. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(1), 8.

- Dickson, A. G., & Millero, F. J. (1987). A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 34(10), 1733-1743.
- Eaton DA, Overcast I (2020) ipyrad: Interactive assembly and analysis of RADseq datasets. *Bioinformatics* 36 (8):2592-2594
- Evanno G, Regnaut S, Goudet J (2005) Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14 (8):2611-2620
- Francis RM (2017) pophelper: an R package and web app to analyse and visualize population structure. *Molecular Ecology Resources* 17 (1):27-32
- Forward Jr, R. B., Tankersley, R. A., & Rittschof, D. (2001). Cues for metamorphosis of brachyuran crabs: an overview. *American Zoologist*, 41(5), 1108-1122.
- Forward, R., Tankersley, R., Smith, K., & Welch, J. (2003). Effects of chemical cues on orientation of blue crab, *Callinectes sapidus*, megalopae in flow: implications for location of nursery areas. *Marine Biology*, 142(4), 747-756.
- Gaten, E., Herring, P., Shelton, P., & Johnson, M. (1998). The development and evolution of the eyes of vent shrimps (Decapoda: Bresiliidae). *Cahiers de biologie marine*, 39(3-4), 287-290.
- Gebauer, P., Paschke, K. A., & Anger, K. (2005). Temporal window of receptivity and intraspecific variability in the responsiveness to metamorphosis-stimulating cues in the megalopa of a semi-terrestrial crab, *Sesarma curacaoense*. *Invertebrate Reproduction & Development*, 47(1), 39-50.
- Gibson, R. N. (2003). Go with the flow: tidal migration in marine animals. *Migrations and Dispersal of Marine Organisms*, 153-161.
- Han, C., Ye, Y., Pan, Y., Qin, H., Wu, G., & Chen, C.T.A. (2014). Spatial distribution pattern of seafloor hydrothermal vents to the southeastern Kueishan Tao offshore Taiwan Island. *Acta Oceanol*, 33, 37-44.
- Herring, P. J., & Dixon, D. R. (1998). Extensive deep-sea dispersal of postlarval shrimp from a hydrothermal vent. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(12), 2105-2118.
- Hsieh, H. Y., Lo, W. T., Wu, L. J., Liu, D. C., & Su, W. C. (2011). Comparison of

- distribution patterns of larval fish assemblages in the Taiwan Strait between the northeasterly and southwesterly monsoons. *Zoological Studies*, 50(4), 491-505.
- Hwang, J. S., Dahms, H. U., & Alekseev, V. (2008). Novel nursery habitat of hydrothermal vent crabs. *Crustaceana*, 375-380.
- Jackson, G. A. (1986). Interaction of physical and biological processes in the settlement of planktonic larvae. *Bulletin of Marine Science*, 39(2), 202-212.
- Jeffs, A. G., Montgomery, J. C., & Tindle, C. T. (2005). How do spiny lobster post-larvae find the coast?. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 39(3), 605-617.
- Jeng, M.S., Ng, N.K. & Ng, P.K.L. (2004). Feeding behaviour: Hydrothermal vent crabs feast on sea "snow". *Nature*, 432, 969.
- Ki, J. S., Dahms, H. U., Hwang, J. S., & Lee, J. S. (2009). The complete mitogenome of the hydrothermal vent crab *Xenograpsus testudinatus* (Decapoda, Brachyura) and comparison with brachyuran crabs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 4(4), 290-299.
- Klaus, S., Mendoza, J. C., Liew, J. H., Plath, M., Meier, R., & Yeo, D. C. (2013). Rapid evolution of troglomorphic characters suggests selection rather than neutral mutation as a driver of eye reduction in cave crabs. *Biology letters*, 9(2), 20121098.
- Le Bris, N., Govenar, B., Le Gall, C., & Fisher, C. R. (2006). Variability of physico-chemical conditions in 9 50' N EPR diffuse flow vent habitats. *Marine Chemistry*, 98(2-4), 167-182.
- Lin, H. C., Cheang, C. C., Corbari, L., & Chan, B. K. K. (2020). Trans-Pacific genetic differentiation in the deep-water stalked barnacle *Scalpellum stearnsii* (Cirripedia: Thoracica: Scalpellidae). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 164, 103359.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T., Sinniger, F., & Harii, S. (2021). Exploring coral reef biodiversity via underwater soundscapes. *Biological Conservation*, 253, 108901.
- Mehrbach, C., Culberson, C. H., Hawley, J. E., & Pytkowicz, R. M. (1973). Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure 1. *Limnology and Oceanography*, 18(6), 897-907.
- Miyake, H., Oda, A., Wada, S., Kodaka, T., & Kurosawa, S. (2019). First record of a

- shallow hydrothermal vent crab, *Xenograpsus testudinatus*, from Shikine-jima Island in the Izu archipelago. *Biogeography*, 21, 31-36.
- Montgomery, J. C., Tolimieri, N., & Haine, O. S. (2001). Active habitat selection by pre-settlement reef fishes. *Fish and Fisheries*, 2(3), 261-277.
- Morse, A. N. (1991). How do planktonic larvae know where to settle?. *American Scientist*, 79(2), 154-167.
- Mukai, H. (1993). Biogeography of the tropical seagrasses in the western Pacific. *Marine and Freshwater Research*, 44(1), 1-17.
- Ng, N. K., Huang, J. F., & Ho, P. H. (2000) Description of a new species of hydrothermal crab, *Xenograpsus testudinatus* (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Grapsidae) from Taiwan. *Journal of the National Taiwan museum. Special publication series*, 10 (2000), pp. 191-199
- Ng, N. K., Davie, P. J. F., Schubart, C. D. & Ng, P. K. L. (2007). Xenograpsidae, a new family of grapsoid crabs (Crustacea: Brachyura) associated with shallow water hydrothermal vents. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 16, 233-256.
- Ng, N. K., Suzuki, H., Shih, H.-T., Dewa, S.-I. & Ng, P. K. L. (2014). The hydrothermal crab, *Xenograpsus testudinatus* Ng, Huang & Ho, 2000 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Grapsidae) in southern Japan. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 127, 391-399.
- Oda, A., Watanabe, H. K., Ohtsuka, S., Wada, S., Kondo, Y., & Miyake, H. (2022). Does the Kuroshio Current transport planktonic larvae of the hydrothermal-vent crab *Xenograpsus* Takeda & Kurata, 1977 (Decapoda: Brachyura: Grapsoidea)?. *Journal of Crustacean Biology*, 42(1), ruac016.
- Peng, S. H., Hung, J. J., & Hwang, J. S. (2011). Bioaccumulation of trace metals in the submarine hydrothermal vent crab *Xenograpsus testudinatus* off Kueishan Island, Taiwan. *Marine pollution bulletin*, 63(5-12), 396-401.
- Pfenninger et al. (2011). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 59 (2011) 23–33.
- Pond, D. W., Segonzac, M., Bell, M. V., Dixon, D. R., Fallick, A. E., & Sargent, J. R. (1997). Lipid and lipid carbon stable isotope composition of the hydrothermal vent shrimp *Mirocaris fortunata*: evidence for nutritional dependence on photosynthetically fixed carbon. *Marine Ecology Progress Series*, 157, 221-231.

- Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P (2000) Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155 (2):945-959
- Qiu, B., & Chen, S. (2005). Variability of the Kuroshio Extension jet, recirculation gyre, and mesoscale eddies on decadal time scales. *Journal of Physical Oceanography*, 35(11), 2090-2103.
- Rabbaniha, M., Dehghan, S., Seraji, F., Norinezhad, M., Mohammadkezhad, J., & Oofi, F. (2013). Review and show distribution pattern of marine fish larvae of Iranian coastal waters Persian Gulf by GIS. Agricultural Research, Education & Extension Organization Iranian Fisheries Research Organization.
- Reyns, N., & Sponaugle, S. (1999). Patterns and processes of brachyuran crab settlement to Caribbean coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 185, 155-170.
- Renninger, G. H., Kass, L., Gleeson, R. A., Van Dover, C. L., Battelle, B. A., Jinks, R. N., ... & Chamberlain, S. C. (1995). Sulfide as a chemical stimulus for deep-sea hydrothermal vent shrimp. *The Biological Bulletin*, 189(2), 69-76.
- Sarradin, P. M., Caprais, J. C., Riso, R., Kerouel, R., & Aminot, A. (1999). Chemical environment of the hydrothermal mussel communities in the Lucky Strike and Menez Gwen vent fields, Mid Atlantic Ridge. *Cahiers de biologie marine*, 40(1), 93-104.
- Sassa, C. (2019). Reproduction and early life history of mesopelagic fishes in the kuroshio region: a review of recent advances. *Kuroshio current: Physical, Biogeochemical, and Ecosystem Dynamics*, 273-294.
- Schick, J. M. (1976). Physiological and Behavioral Responses to Hypoxia and Hydrogen Sulfide in the Infaunal Asteroid *Ctenodiscus Crispatus*. *Marine Biology*, 37, 297-289.
- Stanley, J. A., Radford, C. A., & Jeffs, A. G. (2010). Induction of settlement in crab megalopae by ambient underwater reef sound. *Behavioral Ecology*, 21(1), 113-120.
- Su, W. C., Lo, W. T., Liu, D. C., Wu, L. J., & Hsieh, H. Y. (2011). Larval fish assemblages in the Kuroshio waters east of Taiwan during two distinct monsoon seasons. *Bulletin of Marine Science*, 87(1), 13-29.
- Sun, Y.-J., Yen, S.-C., & Lin, T.-H. (2022). soundscape_IR: A source separation toolbox

- for exploring acoustic diversity in soundscapes. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(11), 2347–2355.
- Swearer, S. E., Trembl, E. A., & Shima, J. S. (2019). A review of biophysical models of marine larval dispersal (pp. 325-356). CRC Press.
- Takeda, M. & Kurata, Y. (1977). Crabs of the Ogasawara Islands. IV. A Collection made at the New Volcanic Island, Nishino-shima-shinto, in 1975. Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, *Series A (Zoology)*, 3, 91-111.
- van Dover, C. L., Szuts, E. Z., Chamberlain, S. C., & Cann, J. R. (1989). A novel eye in 'eyeless' shrimp from hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 337(6206), 458-460.
- Vrijenhoek, R. C. (2009). Cryptic species, phenotypic plasticity, and complex life histories: assessing deep-sea faunal diversity with molecular markers. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(19-20), 1713-1723.
- Watanabe, H., Tsuchida, S., Fujikura, K., Yamamoto, H., Inagaki, F., Kyo, M., & Kojima, S. (2005). Population history associated with hydrothermal vent activity inferred from genetic structure of neoverrucid barnacles around Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 288, 233-240.
- Yang, C. H., Wang, T. W., Ng, P. K. L., Chan, T. Y., Lin, Y. Y., & Chan, B. K. K. (2022). Population Genetic Differentiation on the Hydrothermal Vent Crabs *Xenograpsus testudinatus* along Depth and Geographical Gradients in the Western Pacific. *Diversity*, 14(3), 162
- Zbinden, M., Berthod, C., Montagné, N., Machon, J., Léger, N., Chertemps, T., ... & Ravaux, J. (2017). Comparative study of chemosensory organs of shrimp from hydrothermal vent and coastal environments. *Chemical Senses*, 42(4), 319-331.

國立臺灣海洋大學

出國報告表

出國期間：111年09月17日至111年09月24日		報告繳交日期 111年10月07日
出國地點：日本 鹿兒島		經費來源：科技部計劃
出國人姓名	職稱	系所/單位
邵奕達	副教授	海洋生物研究所
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 1.交流拜會 <input type="checkbox"/> 2.進修 <input checked="" type="checkbox"/> 3.研究 <input type="checkbox"/> 4.實習 <input type="checkbox"/> 5.研討會 <input type="checkbox"/> 6.簽約 <input type="checkbox"/> 7.其他_____ (例如國際比賽、業務接洽等)	
出國過程摘要 (可複述)：		
<input checked="" type="checkbox"/> 1.交流單位： <u>鹿兒島大學 漁業學部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University)</u> <u>鹿兒島市立水族館 (Kagoshima City Aquarium)</u> <u>鹿兒島縣 三島村辦</u>		
<input checked="" type="checkbox"/> 2.交流對象： <u>安樂和彥 教授、西隆一郎 教授、西田和記 博士、大山辰夫 村長</u>		
<input checked="" type="checkbox"/> 3.其他重要事項： <u>1. 怪方蟹視覺與嗅覺電生理學實驗設置</u> <u>2. 參訪海蛞蝓繁殖設施</u> <u>3. 參訪青甘鰺室內養殖設施</u> <u>4. 與三島村村長會面商討未來合作議題</u>		

一、出國目的:

烏龜怪方蟹(*Xenograpsus testudinatus*) 最早發現於台灣龜山島海域，在此淺海熱泉的環境驅使怪方蟹演化出與其他生物截然不同的形態與生理機制。最近，在日本的昭和硫磺島與志根島的熱泉區也陸續發現了怪方蟹的族群且基因定序的結果表明，龜山島與硫磺島族群間並無分化，且可能保持著一定的基因交流。洋流對漂浮期幼生的輸送是海洋生物擴散與族群間基因交流的重要機制之一。然而，使得怪方蟹群聚於熱泉區的分布機制還不清楚，為了瞭解硫化物對怪方蟹沉降於群聚的重要性，我們前往安樂和彥教授實驗室學習並建立嗅覺電生理系統。同時，由於昭和硫磺島隸屬於鹿兒島縣三島村的轄區內，且三島村有意將其申辦為自然紀念物，故此行同時拜會三島村辦公室，並商討未來合作採樣的方式。

此外，鹿兒島市立水族館為目前唯一具備海蛞蝓繁殖能力，並且具有常設展示的水族館。此行我們將拜會鹿兒島市立水族館的西田和記博士，參訪期海蛞蝓繁殖設備並討論未來的合作研究方向。

二、出國過程:

9月17日 桃園機場(台灣)－福岡(日本)

9月18日 因颱風警報，暫停行程

9月19日 攜帶相關儀器設備前往鹿兒島大學的下關校區，並至其臨海研究站參訪青甘鱖室內養殖設施

9月20日 討論小型螃蟹之嗅覺電生理系統建立方式

9月21日 至鹿兒島市立水族館參訪海蛞蝓繁殖設施

9月22日 建立小型螃蟹之嗅覺電生理系統建立方式，嘗試不分離觸角以完整螃蟹的型態取得螃蟹嗅覺電生理的訊號。並前往拜會三島村辦公室，並商討未來合作採樣的方式。

9月23日 鹿兒島(日本)－福岡(日本)

6月08日 福岡(日本)－桃園機場(台灣)

三、出國心得:

這次實驗十分感謝安樂老師的協助，在不斷的嘗試總算排除了一些技術上的瓶頸，初步記錄到了怪方蟹的嗅覺電生理，並且將於台灣建立相同的實驗設備已進行實驗。此外，在與三島村村長交換意見後，對方不但同意我們未來的採樣，並且提議我方未來的海上調查可以使用三島村的船舶以增加調查工作的彈性。由於過去已有合作研究的經驗，鹿兒島市立水族館的西田博士為海蛞蝓的養殖技術提供了寶貴的建議，此將有助於未來實驗室馴養工作與相關生理實驗的進行。

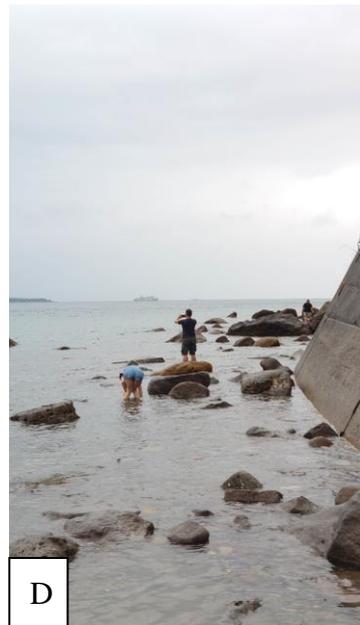
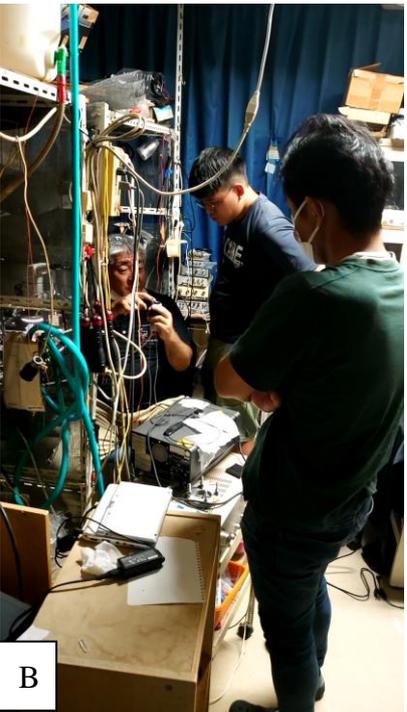
四、建議:

考量到實驗所需，很多設備經常須利用一些自製的零配件進行操作，鹿兒島大學中有一專用的工作室能夠協助製造這些實驗設備，對於拓展實驗的應用層面有許多的幫助。

五、攜回資料名稱及內容:

實驗記錄一份

六、其他



圖說 (A)-(C) 嗅覺電生理設備討論及實作 (D)測試個體採集 (E)-(F) 臨海研究站參訪青甘鱈室內養殖設施



圖說 (G)-(J) 鹿兒島市立水族館的
海蛸的養殖技術 (K)-(M) 拜會三
島村辦公室，並商討未來合作採樣的
方式



註 1：出國人員應於返國一個月內提出出國報告表，並辦理經費核銷。

註 2：本報告表請以電腦繕打，並儲存成 word 檔，檔名請使用出國人姓名，並請以電子郵件寄至 ing1226@mail.ntou.edu.tw (研發處計畫組林秀美小姐)，供各單位參考應用。

國立臺灣海洋大學

出國報告表

出國期間：112年04月08日至112年04月17日		報告繳交日期 111年5月06日
出國地點：日本 鹿兒島		經費來源：科技部計劃
出國人姓名	職稱	系所/單位
邵奕達	副教授	海洋生物研究所
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 1.交流拜會 <input type="checkbox"/> 2.進修 <input checked="" type="checkbox"/> 3.研究 <input type="checkbox"/> 4.實習 <input type="checkbox"/> 5.研討會 <input type="checkbox"/> 6.簽約 <input type="checkbox"/> 7.其他_____ (例如國際比賽、業務接洽等)	
出國過程摘要 (可複述):		
<input checked="" type="checkbox"/> 1.交流單位： <u>鹿兒島大學 漁業學部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University)</u> <u>鹿兒島縣 三島村辦</u>		
<input checked="" type="checkbox"/> 2.交流對象： <u>安樂和彥 教授、西隆一郎 教授、小谷知也 教授、大山辰夫 村長</u>		
<input checked="" type="checkbox"/> 3.其他重要事項： <u>1. 前往薩摩硫磺島(Satsuma Iwogima)執行採樣</u> <u>2. 於鹿兒島大學漁業部進行實驗</u> <u>3. 與三島村村長會面商討未來合作議題</u>		

一、出國目的:

烏龜怪方蟹(*Xenograpsus testudinatus*) 最早發現於台灣龜山島海域，在此淺海熱泉的環境驅使怪方蟹演化出與其他生物截然不同的形態與生理機制。最近，在日本的昭和硫磺島與志根島的熱泉區也陸續發現了怪方蟹的族群且基因定序的結果表明，龜山島與硫磺島族群間並無分化，且可能保持著一定的基因交流。洋流對漂浮期幼生的輸送是海洋生物擴散與族群間基因交流的重要機制之一。然而，使得怪方蟹群聚於熱泉區的分布機制還不清楚，為了瞭解硫化物對怪方蟹沉降於群聚的重要性，我們前往安樂和彥教授實驗室學習並建立嗅覺電生理系統。同時，由於薩摩硫磺島(Satsuma Iwogima)隸屬於鹿兒島縣三島村的轄區內，且三島村有意將其申辦為自然紀念物，故此行同時拜會三島村辦公室，並商討未來合作採樣的方式。

二、出國過程:

2023/04/08 台灣桃園機場—福岡機場

2023/04/09 整理水樣檢測儀器及生化實驗等研究器具耗材及潛水重裝備先放置於本次搭乘之研究船南星丸。

2023/04/10 鹿兒島港—薩摩硫磺島

2023/04/11 轉搭三島村之漁船並執行潛水採樣。

2023/04/12 薩摩硫磺島—鹿兒島港

2023/04/13 於鹿兒島大學漁業部進行實驗，並與西隆一郎教授與小谷知也教授會面。

2023/04/14 於鹿兒島大學漁業部進行實驗

2023/04/15 與大山辰夫村長會面商討未來合作議題

2023/04/16 鹿兒島大學—福岡

2023/04/17 福岡機場—台灣桃園機場

出國心得:

本次研究本人與碩士生張文爰偕同中央研究院曾庸哲老師、王敏真博士及博士生邱翎前往日本鹿兒島大學 (Kagoshima University) 進行訪問及研究，並且使用該單位研究船南星丸前往昭和薩摩硫磺島 (Showa Iojima) 進行研究採樣。由於目標樣區周邊水深不足，南星丸無法直接停靠，此次借用硫磺島三島村之漁船協助前往。所幸海況皆甚佳，故於4/11日上午完成主要潛水及採樣作業，下午時本預計進行周邊次要樣區觀察，但由於風向由西南轉東北，因考量安全性故提早結束作業。返港後將研究器具及採集之樣本螃蟹送回鹿兒島大學水產部，檢查並完成返台實驗的前處理。

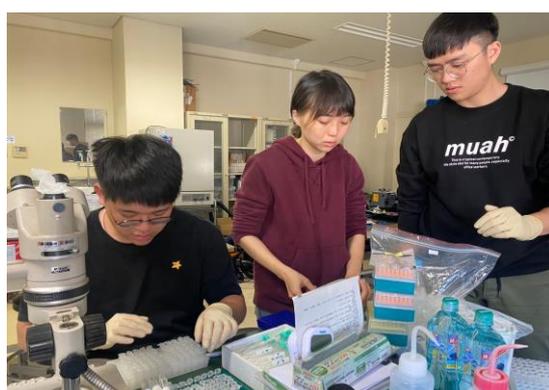
三、建議:

考量到實驗所需，很多設備經常須利用一些自製的零配件進行操作，鹿兒島大學中有一專用的工作室能夠協助製造這些實驗設備，對於拓展實驗的應用層面有許多的幫助。

四、攜回資料名稱及內容:

實驗記錄一份

五、其他



圖說

隸屬鹿兒島大學漁業學部的南星丸為本次採樣所使用之研究船	三島村之硫磺島(非薩摩硫磺島樣區)的主要火山噴口
由於目標樣區周邊水深不足，南星丸無法直接停靠，此次借用硫磺島三島村之漁船協助前往	樣區為薩摩硫磺島，因為昭和年間地質事件才形成的島嶼，故又稱昭和硫磺島
水下作業紀錄	薩摩硫磺島之怪方蟹棲地
與大山辰夫 村長會面商討未來合作議題	於鹿兒島大學漁業部進行實驗

111年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：邵奕達		計畫編號：111-2621-M-019-003-			
計畫名稱：洋流與熱泉區環境因子對烏龜怪方蟹族群擴散與棲地選擇的影響(子計畫五)					
成果項目		量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文	0	篇	
		研討會論文	0		
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
國外	學術性論文	期刊論文	1	篇	Chou, P. H., Hu, M. Y., Guh, Y. J., Wu, G. C., Yang, S. H., Tandon, K., Shao, Y. T., ... & Tseng, Y. C. (2023). Cellular mechanisms underlying extraordinary sulfide tolerance in a crustacean holobiont from hydrothermal vents. Proceedings of the Royal Society B, 290(1990), 20221973. (Environmental Science - General Environmental Science; Ranking 26/228=12%; IF=5.531)
		研討會論文	1		Zeng, W. Y., Tseng, Y. C., Shao, Y, T. (2023) Hythrothermol vent crab Xenograpsus testudinatus Chemical taxis & physiological responses. 15th University Consortium on Aquatic Sciences (UCAS) @ University of Hong Kong.
		專書	0	本	
		專書論文	0	章	
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	
		碩士生	1		張文爰
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		

	博士生	0	
	博士級研究人員	0	
	專任人員	0	
<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>		<p>建立與日本鹿兒島大學的研究合作關係，同時提供資料與影片協助日本三島村申請文化遺產</p>	