

國立臺灣師範大學理學院地球科學系

碩士論文

Department of Earth Sciences, College of Science

Natinoal Taiwan Normal University

Master's Thesis

臺南左鎮區二寮棘皮動物化石之研究

Study of fossil Echinoderms from Erliao, Zuojhen,

Tainan, Taiwan



指導教授：米泓生 博士

Advisor : Horng-Sheng Mii, Ph.D.

共同指導教授：王士偉 博士

Co-advisor : Shih-Wei Wang, Ph.D.

中華民國 112 年 10 月

October 2023

摘要

臺南左鎮區二寮棘皮動物化石之研究

郭周昱 國立臺灣師範大學 地球科學系

指導教授：米泓生 博士

共同指導教授：王士偉 博士

本研究透過形態觀察及特徵比較，針對產自臺南左鎮二寮出露之崎頂層中，總計 27 件共 33 隻的海星與 100 件海膽化石進行分類研究；另，經由化石泥質圍岩中所含超微化石分析，其地層年代相當位於 0.61-0.99Ma 區間（莊智凱，未發表）。所有海星化石：外形均呈星形、腕數為 5 腕、腕之切面呈長方形、口面與反口面均呈平坦、體盤相對較小、上緣板與下緣板均明顯且對稱、緣板外形呈長方形且板上覆滿顆粒體與偶帶有棘刺、帶線明顯，以及背板較小且呈小柱體狀等共同特徵，可同歸屬於柱體目 (Paxillosida) 中的槭海星科 (Astropectinidae)。再依據：背板大小、數量與排列；上、下緣板大小；腹板數，以及步帶溝寬窄等細部差異，可區分出 5 件槭海星 (*Astropecten*) 與 24 件鑲邊海星 (*Craspidaster*)；但由於化石大多缺少鑑種特徵，目前僅能從中鑑定出 2 件華普槭海星近似種 *A. cf. vappa* 與 4 件黃昏鑲邊海星近似種 *C. cf. hesperus*。另外，這批海膽化石標本雖然幾乎皆為內鑄型保存，且有不等程度的受壓變形，僅有極少數的化石標本上有肛下帶線的殘留，但根據海膽化石形態特徵：外殼呈

偏圓心形、殼長與寬幾乎相等；反口面殼後方比前方高、殼最高處在後方的第 5 間步帶、頂系靠近殼後方、前方步帶寬且中等程度凹陷、瓣狀步帶靠近內帶線處寬而殼緣處細、瓣帶上有排列整齊且兩兩成對的步帶孔、無環瓣帶線、大型殼疣；在口面，靠近殼前側口圍凸出、唇板凸起、肛門呈現稍長的橢圓形等特徵，可將這些海膽歸屬於猬團目 (Spatangoida)、拉文海膽科 (Loveniidae)、棘心海膽屬 (*Echinocardium*)，並且鑑定為同一種 *E.cordatum*。本研究報告臺灣地區最年輕海星化石，是臺灣首次槭海星與鑲邊海星化石紀錄，也很可能是世界上首次報導鑲邊海星化石。

關鍵字：棘皮動物、海星化石、海膽化石、崎頂層、左鎮、臺灣



Abstract

Study of fossil Echinoderms from Erliao, Zuojhen,
Tainan, Taiwan

Chou-Yu Kuo

Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

Advisor : Horng-Sheng Mii, Ph.D.

Co-advisor : Shih-Wei Wang, Ph.D.

Through morphological description and characteristic comparison, this study conducted a classification study on a total of 33 starfish and 100 sea urchin fossils from the Erliao area, Zuojhen, Tainan. In addition, through the analysis of the nanofossils contained in it shows that its age is in the range of 0.61-0.99 Ma (Chih-Kai Chuang, unpublished). All starfish fossils: bodies are star-shaped, have 5 arms, arm cross section rectangular, oral and aboral sides flat, disk relatively small, and superomarginals and inferomarginals are conspicuous and symmetrical. The marginals are rectangular in shape and covered with granules, with spines and fascioles. The abactinals are small and paxilliform. They can be classified to order Paxillosida and family Astropectinidae. Based on the following characteristic: the size, number and arrangement of the abactinals; the size of the superomarginals and inferomarginals; the number of actinals; and

the width of the ambulacral groove, 5 *Astropecten* and 24 *Craspidaster* can be distinguished. However, because most of the fossils lack classification characteristics, only 2 *A. cf. vappa* and 4 *C. cf. hesperus* can be identified from them. In addition, although these sea urchin fossil specimens are almost all preserved in casts and have varying degrees of compression deformation, only a few fossil specimens have subanal fasciole. However, according to the morphological characteristics of sea urchin fossils: test is heart-shaped, and the length and width of the test are almost equal. On the aboral, the back of the test is higher than the front, the highest part of the test is in the fifth interambulacrum, the apex system is close to the back of the test, the front ambulacrum is wide and moderately sunken. The petaloid is wide near the internal fasciole and thin at the ambitus. The petaloid has neatly arranged and paired ambulacral pores. No peripetalous fasciole and large tubercle. On the oral, the peristome is convex near the front side of the test. These sea urchins can be classified into order Spatangoida, family Loveniidae, and genus *Echinocardium*. And, can be identified as the same species, *E. cordatum*. This study reports the youngest starfish fossils in Taiwan. It is the first record of fossil *Astropecten* and fossil *Craspidaster* in Taiwan. It is also probably the first record of fossil *Craspidaster* in the world.

Keywords : Echinoderm, fossil starfish, fossil sea urchin, Chiting Formation, Zuojhen, Taiwan.

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	xi
致謝.....	xii
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 海星的分類.....	3
1.3 海膽的分類.....	9
1.4 研究材料及方法.....	12
1.4.1 研究材料.....	12
1.4.2 標本構造形態觀察.....	12
1.4.3 形態計測.....	14
第二章 文獻回顧.....	18
2.1 前人研究.....	18
2.1.1 海星.....	18
2.1.2 海膽.....	20
2.2 研究區域.....	23
2.2.1 位置與交通.....	23
2.2.2 地層與區域地質背景.....	30
第三章 研究結果.....	35
3.1 海星系統分類.....	35
3.2 海膽系統分類.....	47
第四章 綜合討論.....	52
第五章 結論.....	56
參考文獻.....	58

附錄一 臺灣目前的現生海星 (整理自 Chao, 2004 ; TaiCOL, 2023 ; 趙和蘇, 2009)
..... 70

附錄二 海星專有名詞中英文對照表 (整理自 Spencer and Wright, 1966 ; Gale, 2011 ;
Blake, 2013 ; 趙和蘇, 2009)..... 77

附錄三 二寮區域地層之超微化石研究(莊智凱, 未發表)..... 79

圖版說明

圖版



圖目錄

- 圖 1.1 海星身體各部位名稱，以楓槭海星 *Astropecten scoparius* 為例，左邊為反口面(背面)，右邊為口面(腹面)，(圖片修改自：<https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/ie/item/2014-533>)。.....5
- 圖 1.2 海星腕部橫切面的示意圖(修改自:Pillon, R. 2020.)。.....6
- 圖 1.3 歪形海膽-單色壺海膽 *Brissus unicolor* 各部位的名稱 (A)為反口面，間步帶由 1-5 標示，瓣狀步帶則由 I-V 標示。(B)為口面，(C)為後方。(修改自:Smith and Kroh ((eds) 2000-current))。.....11
- 圖 1.4 設置於國立自然科學博物館的 TORI FOCUS 焦點疊合自動顯微拍照系統，由裝有照相機的光學顯微鏡及桌上型電腦組成 (照片提供：王士偉博士)。.....15
- 圖 1.5 國立自然科學博物館的 DELAB μ CT-100 微米級電腦斷層掃描儀。.....16
- 圖 1.6 海星標本量測示意圖，以現生華普槭海星 *Astropecten vappa* 為例(圖片來源：澳洲博物館，<https://australian.museum/learn/animals/seastars/sydney-seastars/astropecten-vappa-mller-troschel-1843/>)。.....17
- 圖 2.1 (A)研究區域及化石採集地點之位置圖。(B) 360°日出亭的衛星影像(圖片來源:Google 地圖，<https://www.google.com.tw/maps>).....24

圖 2.2 360°日出亭的外觀樣貌，圖中黃色箭頭指向處為發現海星化石的大略位置。.....	25
圖 2.3 照片中為採集本研究之化石的地層原始樣貌，當時正在為後續日出亭的新建工程進行整地。本露頭灰色的部分為泥岩、棕黃色的部分則為砂岩（照片提供：王良傑先生）。.....	26
圖 2.4 位於二寮高分 42 號電線桿(WGS84 座標：22.99917°N, 120.41147°E)對面的地層露頭，由於植被覆蓋的關係，地層的側向延伸不易觀察；但可看到位於下方灰色的泥質砂岩上覆有棕黃色的砂岩，圖中比例尺為 1 公尺。.....	27
圖 2.5 位於臺南 162 縣道路標 8k+940 處(WGS84 座標：22.99845°N, 120.41108°E)的地層剖面，出露岩性為泥質砂岩夾有薄砂層，但上覆地層受植被而覆蓋無法觀察此露頭厚約 20 公尺、寬約 10 公尺。.....	28
圖 2.6 位於二寮高分 49 號電線桿對面的地層露頭(WGS84 座標：22.997°N, 120.41089°E)，灰色的泥質砂岩及棕黃色的砂岩交替出現，此露頭厚約 10 公尺、寬約 6 公尺。.....	29
圖 2.7 二寮附近區域的出露地層，圖中的紅色星號為化石發現地，位在崎頂層岡子林段的區域內。(圖片截取自中央地調所山崩地質資訊雲端服務平臺的五萬分之一全島無接縫地質圖 https://landslide.geologycloud.tw/map#).....	33

圖 3.1 黃昏鑲邊海星 *Craspidaster hesperus* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 002318-00148；(A)反口面、(B)口面，比例尺為 1 公分。.....39

圖 3.2 黃昏鑲邊海星的化石及現生標本的比對。現生標本(A) 00148 與海星化石標本(B) F054247、(C) F054242、(D) F054264 的比對，儘管外型及形態特徵都十分類似，但由於重要的鑑種特徵：上、下緣板交接處有一大型扁平棘，大多沒有保留下來，因此僅能將這三件化石標本鑑定為黃昏鑲邊海星的近似種 *Craspidaster cf. hesperus*。比例尺皆為 1 公分。.....40

圖 3.3 華普槭海星 *Astropecten vappa* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 002318-00152；(A)反口面、(B)口面，比例尺為 1 公分。.....45

圖 3.4 華普槭海星的化石及現生標本的比對。現生標本 00152 (A)為反口面、(B)為口面，化石標本(C)F05249、(D)F054256，儘管外觀及形態特徵都十分類似，但由於重要的鑑種特徵：第 1 至第 4 個上緣板的上側偏體緣處長有短的錐狀棘；從第 4 個上緣板到腕部約 3/4 處，各上緣板的中間長有一個直立的短鈍棘，皆沒有保留下來。因此僅能將這兩件化石標本鑑定為華普槭海星近似種 *Astropecten cf. vappa*。各圖中之比例尺皆為 1 公分。.....46

圖 3.5 心形棘心海膽 *Echinocardium cordatum* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 005155-00028；(A)反口面、(B)口面、(C)後側，比例尺為 1 公分。.....50

圖 3.6 心形棘心海膽化石標本與現生標本骨板排列形式的比較，除了內帶線及頂系無法辨識之外，其餘化石標本有留存下來的都跟現生樣本上看到的十分類似。(A)化石標本 EL046(由 TORIFOCUS 拍攝)、(B)現生標本的骨板排列形式示意圖(截取自：David and Laurin, 1996)。.....51



表目錄

表 1.1 現生海星目的分類表	7
表 2.1 二寮地區之地層對比表(節錄自莊智凱等，2007)。	34
表 3.1 鑲邊海星化石的形態測計(單位：公分)。	38
表 3.2 槭海星化石之形態測計(單位：公分)。	44
表 5.1 本研究海星及海膽化石的鑑種結果統計	57



致謝

首先，我要特別感謝我的指導教授米泓生博士，能夠包容我這個放著同位素研究不作還跑去做古生物的特殊份子，不但給予我很大的支持，在我遇到瓶頸時還能指點我、給我強而有力建議，儘管忙於學校的事務，也能夠給我一些論文寫作的建議，使我能順利完成。感謝共同指導教授臺中科博館的王士偉博士，願意相信我並給我這個機會，能研究這批前無古人、後應該也難無來者的棘皮動物化石，不但帶我認識化石發掘者，也親自帶我跑野外及協助相關的野外工作，還能適時的給予我研究建議，讓我能走在正確的方向上，百忙之中還能協助我修訂論文，提供了很多建議及想法，有幸能研究這批化石我感到十分榮幸。感謝來當我口試委員的國立自然科學博物館生物學組的李坤瑄副研究員，提供了很多海膽相關的研究建議及鑑定想法，讓我的研究更有說服力。

再來，我要感謝國立自然科學博物館生物學組的乾標本及浸液標本蒐藏庫，提供我作為跟化石樣本比對的現生海星及海膽樣本。感謝化石發掘者王良傑老師，若沒有您熱心的四處採集，我想我也沒有這個機會能做這個研究，並提供了許多野外的相片以及參考資料，使我的研究能更加完整。感謝莊智凱學長協助我進行超微化石的相關研究，從製作薄片到用電子顯微鏡拍照都由學長一手包辦，讓我對化石所屬的年代能更加清楚。感謝國家實驗研究院海洋科技研究中心，貴單位研發的焦點疊合自動顯微拍照系統，為化石樣本拍了許多清楚且細緻的照片，大大的幫助我在形態觀察及鑑定上的工作。感謝科博館的 X 光實驗室及何智偉博士，讓我能用新穎的 DELab μ CT-100 為化石及現生的樣本作 Micro-CT 得到清楚的內構影像，讓我在形態觀察上能更清楚方便。感謝中央地質調查研究所的陳政恒老師及圖書室的同仁，提供了許多網路上無法取得的文獻及研究資料，讓我可以更了解過去臺灣棘皮動物的相關研究。

也要感謝米家實驗室的各位夥伴：綉玉學姐、仲元學姐、綵芳、楷和、家陽、Minh、鑫伯，以及已經離校的瑋宸、家萱、韋壬、世安學姐，還有系辦的各位助教，不管是行政方面的協助或是一同參與研究室的 meeting 學習各種新知識及給予我研究上的建議。感謝陪我跑野外的宇翔、裕國及禹翰，有你們當我的司機及陪伴讓我能安心的進行野外工作。我要大大感謝一直在背後默默支持我的家人們，雖然我不常回家，卻總能包容及鼓勵我、給我很大的空間做自己想做的事，讓我能更有動力繼續向前邁進，爸媽您們辛苦了！我畢業了！

另外，我要感謝千芹，陪伴我度過無數個跟研究及論文奮鬥的日子，真的很幸運能遇到你，聽到你溫柔的問候及關懷，所有的勞累及不開心彷彿都拋到九霄雲外，讓我能帶著好心情繼續堅持下去。

最後，我想將這篇論文獻給於今年年初突然去當天使的外婆，無法當面親自跟您分享這份得來不易的喜悅，我真的覺得很遺憾，但您是我們家永遠的大家長，沒有您就沒有我們家，感謝您對這個家付出的一切，您的教導及養育之恩我都銘記在心，下輩子一定還要在做您的孫子！

第一章 緒論

1.1 前言

世界上有許多雖分屬於不同的地質年代但產出大量化石的地層，不管是在古生物學、生物的分類及演化、古環境重建等各方面都擁有很高的研究潛力及研究價值，國際上將這種地層稱為化石寶庫 (Lagerstätte)，像是屬於古生代的中國-帽天山頁岩(澄江生物群，早寒武紀 $\leq 518\text{Ma}$)、加拿大伯吉斯頁岩(中寒武紀 $\sim 508\text{Ma}$)，中生代的德國-索爾霍芬石灰岩(晚侏羅紀 $\sim 145\text{Ma}$)、中國-義縣層、九佛堂層(熱河生物群，早白堊世 $125\sim 124\text{Ma}$ 、 $123\sim 119\text{Ma}$)。新生代的美國-綠河層(早始新期 $53\sim 48\text{Ma}$)等都是世界知名的化石寶庫(例如：Butterfield et al., 2007；Pan et al., 2013；Rauhut et al., 2012；Smith et al., 2003；Yang et al., 2018)。臺灣的岩層相對年輕，化石藏量相較之下也非特別豐富，分布於西部麓山帶的新生代地層便是臺灣化石最主要且十分重要的產地，這些沉積岩層中含有非常豐富的海相化石，亦有陸相化石但數量相對較少。像是屬於軟體動物的螺貝類不但數量多且物種相當豐富，從胡忠恆教授所著的臺灣貝類化石誌便可窺知一二，這套書共有二十六冊，其中紀錄的各式螺貝類更是高達一千一百多種(胡忠恆，1991，1992，1993，1995)。除了雙殼類及腹足類之外，其他的軟體動物如：頭足類(Hayasaka, 1936，Huang, 2002；陶錫珍及胡忠恆，2005；Goedert et al, 2022)，棘皮動物(例如，Wang, 1984b, 1985, 1986；朱偉嘉，2003；莊三忠，2020)、節肢動物(例如：林朝榮，1947；胡忠恆，1980，1981；胡忠恆及陶錫珍，1996，2004；李世緯，未發表)，甚至

是脊椎動物(例如，何傳坤等 1996, 1997, 2000, 2008; 魏國彥, 2007; 林芝瑜, 2017; 張鈞翔, 2017; 蕭琮諭, 2022)等其他類別都有化石紀錄，且發現的種類及數量亦不少；。其中棘皮動物，尤其是海膽化石，不但分佈非常廣，從臺灣北部至南部、平原區到麓山帶都可以發現帶有海膽化石的岩層，更是民間及學界爭相收藏及研究的對象，但同為棘皮動物的海星，由於身體結構的組成特性，使在死亡後會快速解體並分散，若非受到沉積物快速埋藏，要形成化石是十分不易；因此，海星化石不僅臺灣、在全世界都十分稀有而珍貴。

本文研究一批發掘自二寮地區的海星及海膽化石，其中數量不少的海星化石可以說是目前臺灣地質紀錄中空前的發現，希望透過外觀構造的形態觀察及描述，與現生的海星及海膽進行對比，除了鑑定種屬之外，也希望透過形態測計瞭解這些海星及海膽的可能生長情形，並探就造成海星及海膽一同埋藏於此的原因及當時可能的生態環境。

1.2 海星的分類

海星在分類上屬於棘皮動物門海星綱，有著幼體兩側對稱、成體五輻對稱的特徵。大部分海星的身體外形為星形、腕足(arm)數為 5 腕，僅有少部分海星的腕足數量超過 5、最多可到 50 腕(Lawrence et al,2014)，或是某些變異的個體會有長成 4 隻或 5 隻以上腕足的情況，海星並不具備游泳能力，皆是底棲性的海生無脊椎動物。由於海星的口部長在腹面(口面)，因此海星是口面朝下的平貼在海床上，進行運動、覓食等行為，其中柱體目(Paxillosida)的海星是裡棲性、會潛入海床的沉積物中，但不會鑽太深、深度大約 3 至 4 公分，海星有著特化的管足：管足末端無吸盤，而是稍尖的凸起，這使牠們可以更容易鑽到泥砂中，不管是為了覓食、狩獵或是躲避天敵(Blake and Mah, 2012；Lawrence, 2013)，幾乎所有的海星都是雜食性且為機會主義者，僅有少部分的海星為狹食者，專吃藻類或攝取沉積物中的有機顆粒。根據世界海洋物種名錄(World Register of Marine Species，簡稱 WoRMS)及其下的子資料庫 World Asteroidea Database (Mal, 2023. <https://www.marinespecies.org/asteroidea/>)，現在世界上總共有超過 1800 種海星，由於 WoRMS 是針對現生種所作的分類紀錄，僅有部分具有重要分類學定位的化石種海星有紀錄在裡面，但並未包含其餘的化石種海星，因此實際上海星很可能超過 1900 種。海星的分佈範圍非常廣，從赤道的熱帶海域到南、北兩極的寒帶海域、潮間帶到數千公尺深的深海洋盆(Blake and Mah,2012)，不論是珊瑚礁、砂質、泥質或是其他底質的環境，都有海星的蹤跡。

海星的分類，主要是依靠細部的構造特徵，如：身體外形、體盤大小、背板的形態及排列方式、體緣處有無緣板、腹板的數量及排列

方式、叉棘的有無及形態樣式、管足末端有無吸盤等，但現今海星的分類系統還尚未有一個十分明確的結果，由於有更多的海星化石被持續發掘及研究，再加上分子生物技術的發展及應用(Mah and Foltz, 2011a,b)，海星的分類系統還正在逐步修正及擴充。當前的海星分類架構主要是修正及結合 Gale 以及 Blake 分別同時於 1987 年依據化石證據所提出的分類系統而來(Blake,1987；Gale,1987)，世界上的所有現生海星皆屬於海星綱(Asteroidea)下的新海星下綱(Neoasteroidea)，其下有三個超目及七個目，分別是：鉗棘超目 Forcipulatacea，其下有鉗棘目 Forcipulatida 及擬蛇尾目 Brisingida；有棘超目 Spinulosacea，其下為有棘目 Spinulosida；有瓣超目或稱緣帶超目 Valvatacea，其下有柱體目 Paxillosida、背肌目 Notomyotida 及有瓣目 Valvatida；而有緣目 Velatida 因為缺乏化石證據，再加上近代的分子生物證據顯示其與以上三個超目的親緣關係相對疏離(Mah and Foltz, 2011b)，因此並未隸屬於其中而是直屬於新海星下綱。

根據臺灣物種名錄(TaiCOL, 2023)以及近來國際上以分子生物技術應用在生物分類之研究成果(Mah and Foltz, 2011a&b)，經筆者修改及整理後，目前總計臺灣發現及記錄了 6 目 24 科 57 屬 78 種的海星(附錄一)。現生海星目的分類表請參見表 1.1。

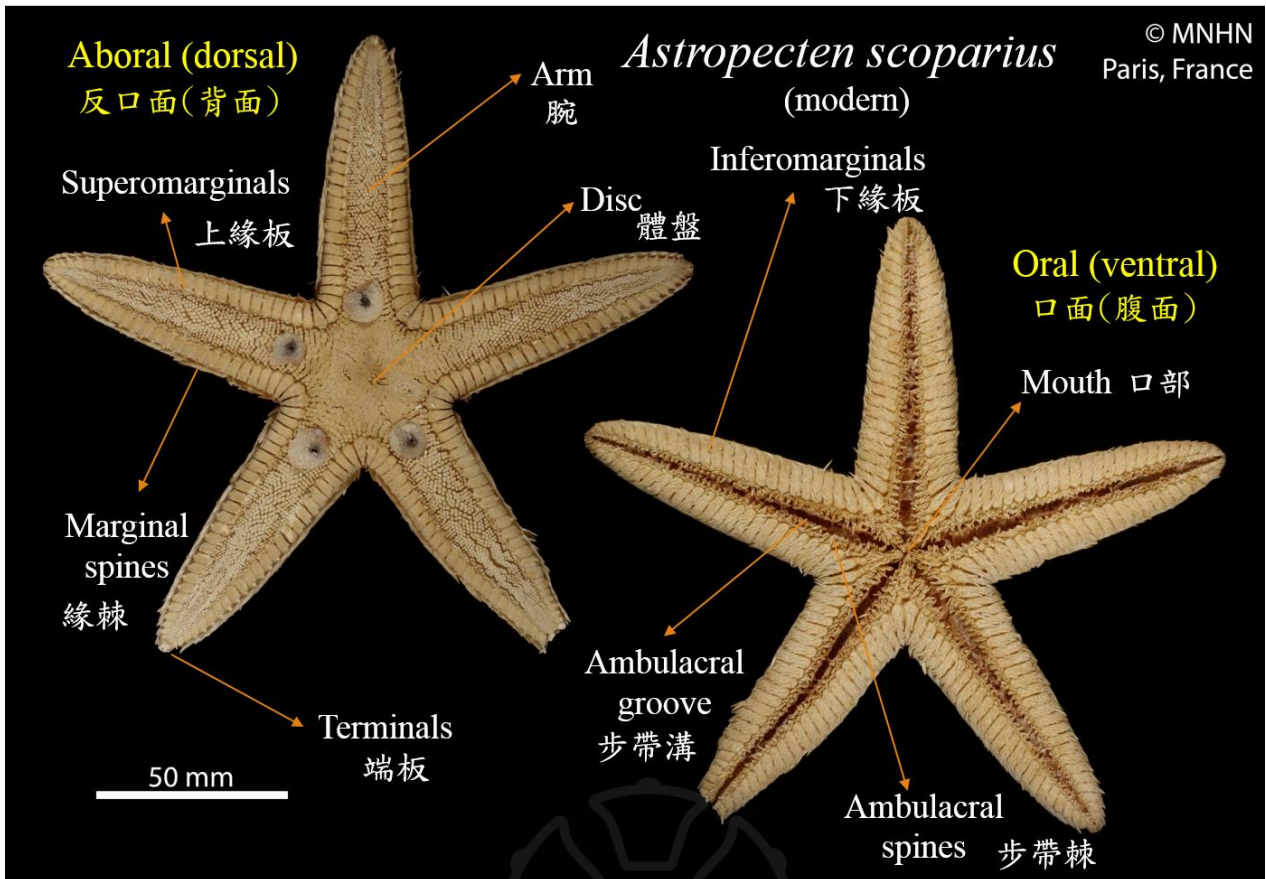


圖 1.1 海星身體各部位名稱，以楓槭海星 *Astropecten scoparius* 為例，左邊為反口面(背面)，右邊為口面(腹面)，(圖片修改自：<https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/ie/item/2014-533>)。

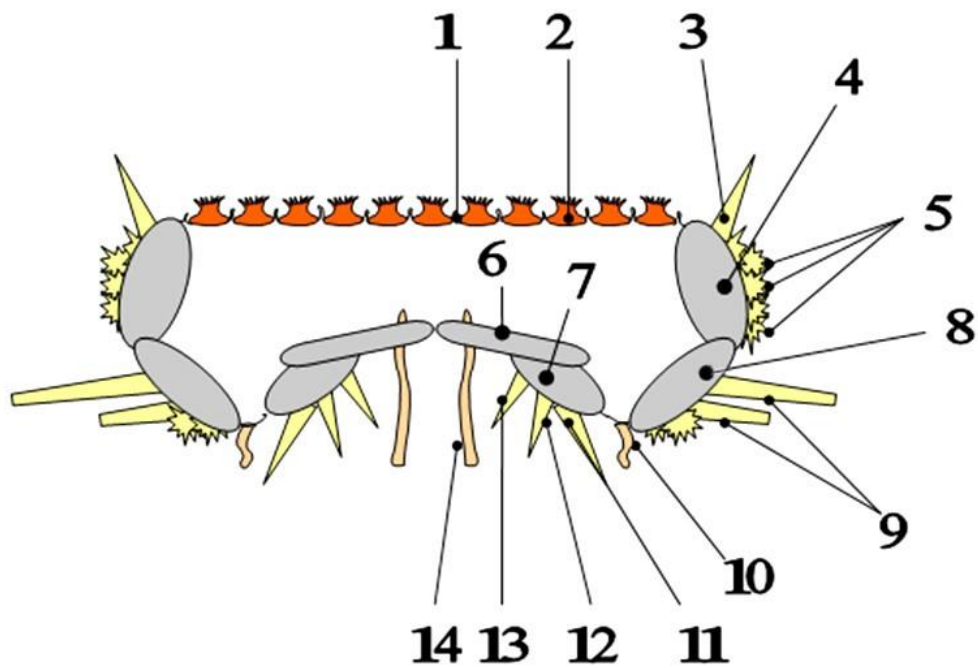


圖 1.2 海星腕部橫切面的示意圖 (修改自：Pillon, R. 2020.)。各構造的名稱如下：

1. 皮腮(papulae)
2. 小柱體(paxillae)
3. 上緣棘(supermarginal spines)
4. 上緣板(supermarginals)
5. 覆蓋在緣板上的顆粒體(granules)
6. 步帶板(ambulacral plates)
7. 側步帶板(adambulacral plates)
8. 下緣板(inferomarginal spines)
9. 下緣棘(inferomarginals)
10. 叉棘(pedicellariae)
11. 側步帶棘(adambulacral spines)
- 12.、13. 步帶棘(ambulacral spines)
14. 管足(tube feet)

表 1.1 現生海星目的分類表

(整理自 Lawrence, 2013; 趙和蘇, 2009。圖片來源: NOAA Ocean Exploration Benthic Deepwater Animal Identification Guide, v3. 2019)

<p>Region Depth P-HPT</p> <p>Benthopectinidae <i>Cheiraster</i> sp. D2-EX1703-13-20:23:39</p>  <p>Ocean Exploration and Research</p>	<p>背肌目 (Notomyotida)：擁有靈活、柔韌的腕足，腕足的內背側有特化的縱肌帶。皆為生活在深海的物種。</p>
<p>Region Depth P-MAR</p> <p>Astropectinidae <i>Plutonaster</i> sp. D2-EX1605-L1-19-02:21:16</p>  <p>Ocean Exploration and Research</p>	<p>柱體目 (Paxillosida)：背板呈小柱體狀，體型扁平體緣處多有明顯的上下緣板，管足末端為點狀、無吸盤。</p>
<p>Region Depth P-ASC</p> <p>Goniasteridae <i>Astroceramus</i> sp. D2-EX1702-02-03:05:17</p>  <p>Ocean Exploration and Research</p>	<p>顯帶目 (Valvatida)：背板排列緊密，皮腮區發達，叉棘多呈雙瓣型，管足末端有吸盤，無上步帶板。</p>



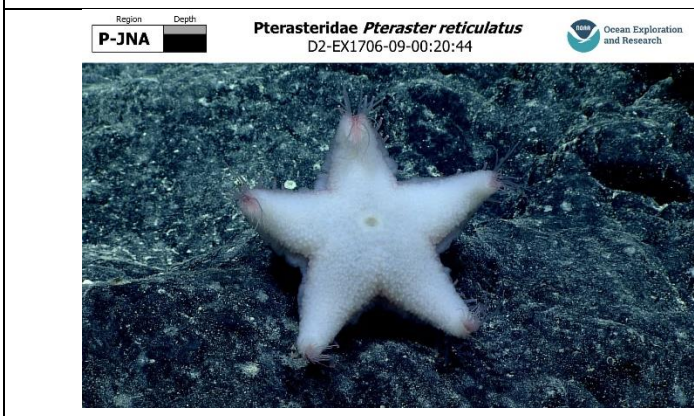
有棘目(Spinulosida)：體盤區域小，腕足多呈指狀，背板五角形成覆瓦狀或網狀排列，有間緣板，無叉棘管足末端有吸盤。



鉗棘目(Forcipulata)：體盤區域小，緣板多不明顯，背板一般呈緊密的網狀排列，龍骨板呈縱向排列，步帶板數量多，管足四列有吸盤，叉棘具兩瓣、有一基片。



擬蛇尾目(Brisingida)：又稱項鍊海星目，腕足數量在5隻以上，細長且靈活，緣板一列，體盤區呈圓形，缺乏腹板，管足很長。



有緣目(Velatida)：體盤區域大且厚，背板為經過修飾的小柱體狀，緣板與背板形狀類似，腹板區域窄，口板很寬。

1.3 海膽的分類

海膽為有體殼的底棲性海洋無脊椎動物，在分類上屬於棘皮動物門(Echinodermata)、海膽綱(Echinoidea)，其下分為頭帕亞綱(Cidarzoidea)及真海膽亞綱(Euechinozoa) (Kroh et al, 2023)；由身體外形則可分為規則海膽又稱為正形海膽以及不規則海膽又稱為歪或偏形海膽兩個類群(例如：Kroh, 2020；Kroh and Smith, 2011；Schultz, 2006, 2009, 2011)，兩者的區分為：正形海膽的肛門位於口面對側-反口面之頂系中央的眼殖圈內，並與口部上下對立，而歪形海膽的肛門則不位於反口面，有些種類的位於海膽體殼的後方邊緣(由運動方向定義，朝向運動方向的一側為前方，反之則為後方)，有些的則與口部同位於口面。正形海膽的體殼呈五輻對稱的球形或半球形，具有發達的大型棘；歪形海膽的體殼則外型多變，有的呈現心形、卵形或是扁平的餅乾形等，但仍具有兩側對稱的特色，歪形海膽沒有發達的大棘，而是全身包覆著毛絨絨的細刺。根據 World Echinozoa Database (Kroh et al, 2023. <https://www.marinespecies.org/echinozoa/>)，現在的海膽包含化石種共有四千兩百多種，其中以真海膽亞綱的成員為多(約佔整體的 61%)，牠們的分佈範圍非常廣，從赤道海域到極區、潮間帶到深度約五千公尺的深海都有海膽的蹤跡。正形海膽主要生活在岩礁或是珊瑚礁等硬底質的海底，食性為雜食性；而歪形海膽則生活在泥沙質的軟質海底，其中有些種類甚至會鑽進海床的表層沉積物中，像是心形海膽中獨團目的 *Echinocardium* 或是楯形目的沙錢類海膽，牠們會吞食沉積物並以其中的有機碎屑為食(Schultz, 2006, 2009, 2011)。當前的海膽分類系統主要見於(Schultz, 2006, 2009, 2011)，其利用海膽的細部特徵及特徵的數量對現生的海膽進行分類，並建立了一套鑑定檢索表，從目至科

再利用局部構造的細微差異分類到屬及種，另外，Smith and Kroh ((eds) 2000-current)利用英國倫敦的自然史博物館的館藏建立了一套以化石標本為主、現生標本為輔的分類方法：The echinoid directory. (<http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory/index.html>)。

目前，海膽化石紀錄最早是出現在古生代的奧陶紀，但古生代的海膽多樣性低，是相對比較小的族群(Smith, 1984)。而現生的正形海膽始出現於二疊紀，歪形海膽則在中生代晚期才開始出現，並以楯形目的海膽為代表在新生代發展興盛。在現今臺灣的周圍海域中，正形海膽的種類比歪形海膽還多(李坤瑄及陳章波，1994)，根據臺灣物種名錄(TaiCOL, 2023)，臺灣周遭海域目前共發現並記錄了8目53屬69種的海膽。不過在臺灣地層中發現的海膽化石大部份為歪形海膽，正形海膽的化石只占少數，而這些歪形海膽化石中又以沙錢目(Clypeasteroidea)的成員居多，這可能與牠們潛砂的習性有關(林日白，2018)。

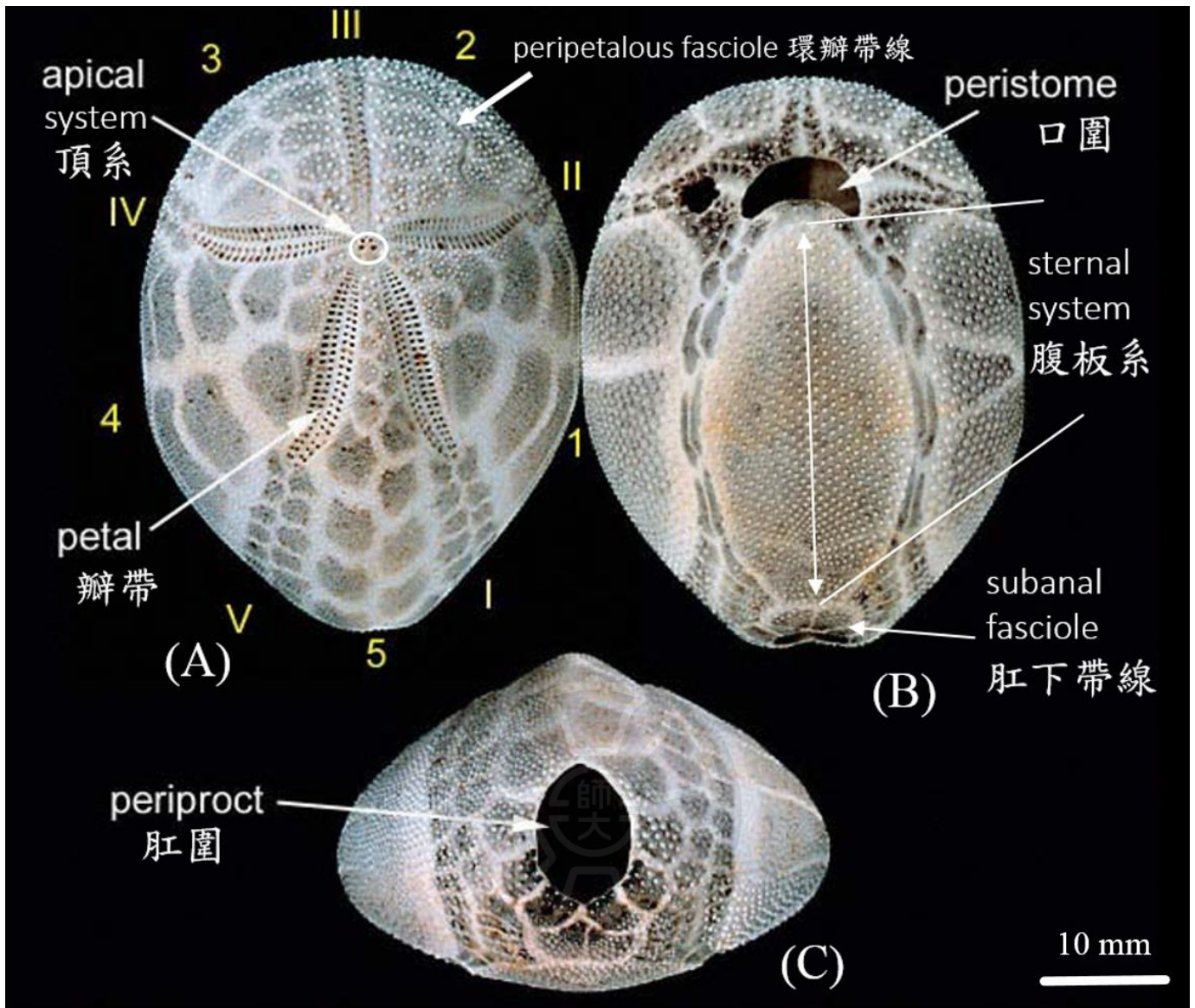


圖 1.3 歪形海膽-單色壺海膽 *Brissus unicolor* 各部位的名稱 (A)為反口面，間步帶由 1-5 標示，瓣狀步帶則由 I-V 標示。(B)為口面，(C)為後方。(修改自：Smith and Kroh ((eds) 2000-current))。

1.4 研究材料及方法

1.4.1 研究材料

本文研究之海星及海膽化石樣本由王良傑先生於 2012 年至 2013 年間採集二寮地區南側一層厚約 6 公尺的泥質砂岩，該地層應屬於崎頂層或是上部古亭坑層(黃能偉, 2001)。由於化石樣本之出露狀況還算不錯，採集下來後僅進行了初步之固化，且樣本幾乎不需再經過清修就可進行形態構造觀察及形態測計等工作。本批化石樣本現收藏於臺中之國立自然科學博物館，館藏編號為 NMNS007164 F054242-F054268，共有 27 件海星及 30 件海膽標本，但由於這些岩塊上有部分是帶有複數的海星及海膽，因此實際上是總計有 33 隻海星個體以及大約 100 隻的海膽個體。用來與化石種比較的現生種海星及海膽，則選定蒐藏於國立自然科學博物館生物學組之乾標本進行比對。研究方法主要是對所有的化石標本進行構造形態觀察，並會對保存完整的化石標本進行形態計測，以輔助並完善物種鑑定的結果。

1.4.2 標本構造形態觀察

海星的分類鑑定，主要是依據以下這些特徵：身體的外形、腕足的外形及數量、體盤大小、背板的外形及排列方式、緣板是否發達、腹板的數量及排列形式、口板的形式、步帶溝的寬窄、圍步帶板的形式及大小、體板上是否帶有棘刺或顆粒體、棘刺的外形及大小、叉棘的形式及其是否存在、管足的形式等(Gale, 2011; 趙與蘇, 2009)，因此這些形態特徵會是本研究的觀察重點，但相較於現生種，化石會受到風化或成岩作用的影響，有些細部特徵會也所缺損甚至無法留存，

例如：體板及其上帶有的顆粒體、各式棘刺和叉棘，口板等，因此在化石的細部形態描述上只能竭盡所能盡量達到完善，但就無法如同描述現生種時一般的細緻完整。而在海星形態特徵描述上使用的專有名詞及其之定義，將參考 Spencer and Wright (1966)、Gale(2011)及 Blake(2013)，並輔以趙與蘇(2009)之中文翻譯。以下將列舉本研究有使用到的專有名詞，其餘的可參考「附錄二 海星專有名詞中英文對照表」。

口面：又可稱為腹面，此面的中央為海星口器的所在，也是在一般狀態下海星接觸海床或底質的面；反口面：又可稱為背面，此面為口面的反側，其上長有肛門及篩板；體盤：為海星身體的中央區域，其內有海星的消化系統，而不同物種會有不同的體盤大小；背板：長在海星反口面(背面)的體板，從體盤區到腕部都有分佈，形態及排列方式多變，其中有部分海星在靠近腕的中軸處會長有比較大塊的背板，稱之為龍骨板；緣板：長在海星體緣處的體板，形態多變，長在背面側的為上緣板、長在口面側的為下緣板，通常各一列，上多長有顆粒體或棘刺；端板：長在每個腕末端的一大型體板；間輻區：兩個腕之間的身體區域；腹板：長在口面(腹面)的體板，數量及排列方式多變，主要出現在體盤區，有些種類的大海星則會延伸至腕部；內緣帶線：由緣板一路延伸至口部的溝狀結構，其帶有的細刺可形成很微小的水流帶動物質交換，是海星身體表面很重要的構造之一；步帶板：成對出現是、構成步帶的主要骨板，形態不規則，其與肌肉控制步帶的開與關；步帶溝：分佈於口面各個腕的中央，是管足伸出之處並從口部一路延伸至腕的末端，不同種類的大海星會有不同寬度的步帶溝；R：輻長，腕的末端至體盤中央之長度；r：間輻長，兩腕足正中間的體緣處至體盤中央之寬度。由於這批化石樣本的體型都偏小，因此我們會使用實體顯微鏡進行構造形態觀察，並使用國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中

心所研發的焦點疊合自動顯微拍照系統(TORI FOCUS)進行細部構造的觀察及拍照(見圖 1.4)；另外，我也將化石及現生的海星標本運用科博館的 DELab μ CT-100 微米級電腦斷層掃描儀做 Micro-CT(見圖 1.5)，利用電腦斷層掃描發現一些無法從外表觀察到的內部構造，或是隱藏在化石圍岩中的細節。此外，由於本文研究之化石的所在地層之年代為更新世，算是相當年輕，因此在做跟化石標本比對的現生種標本上，挑選在臺灣週遭海域有發現紀錄、屬於槭海星科(Astropectinidae)的海星。

1.4.3 形態計測

海星的形態計測並未如同海膽一樣有很多指標可以參考，在海星上主要是量測輻長(R)：腕的末端至體盤中央之長度與間輻長(r)：兩腕足正中間的體緣處至體盤中央之寬度(見圖 1.6)，兩者的比值 R/r 代表的是海星的個體大小： R/r 值高(> 4)，腕足狹長、體盤區域之面積小， R/r 值低(1-2)，腕足非常短、體盤區域之面積大，而 R/r 為 2-4，則代表體盤區域中等大小，腕足適度生長 (Gale, 2011; Lawrence et al., 2013)。

身體外型：Clark and Downey (1992)提到若五腕海星的 R/r 值小於 2，則代表此海星的體形為五角形或接近五角形，具有高 R/r 值的，則會出現在腕足的長度十分接近輻(ray)的長度的物種上。由於相同物種的 R/r 值會相當接近，因此這比值在海星的分類上是一項可參考的指標。本研究會選取保存相對較完整的海星化石樣本進行測量，避免因保存不佳或不完整影響測量結果。

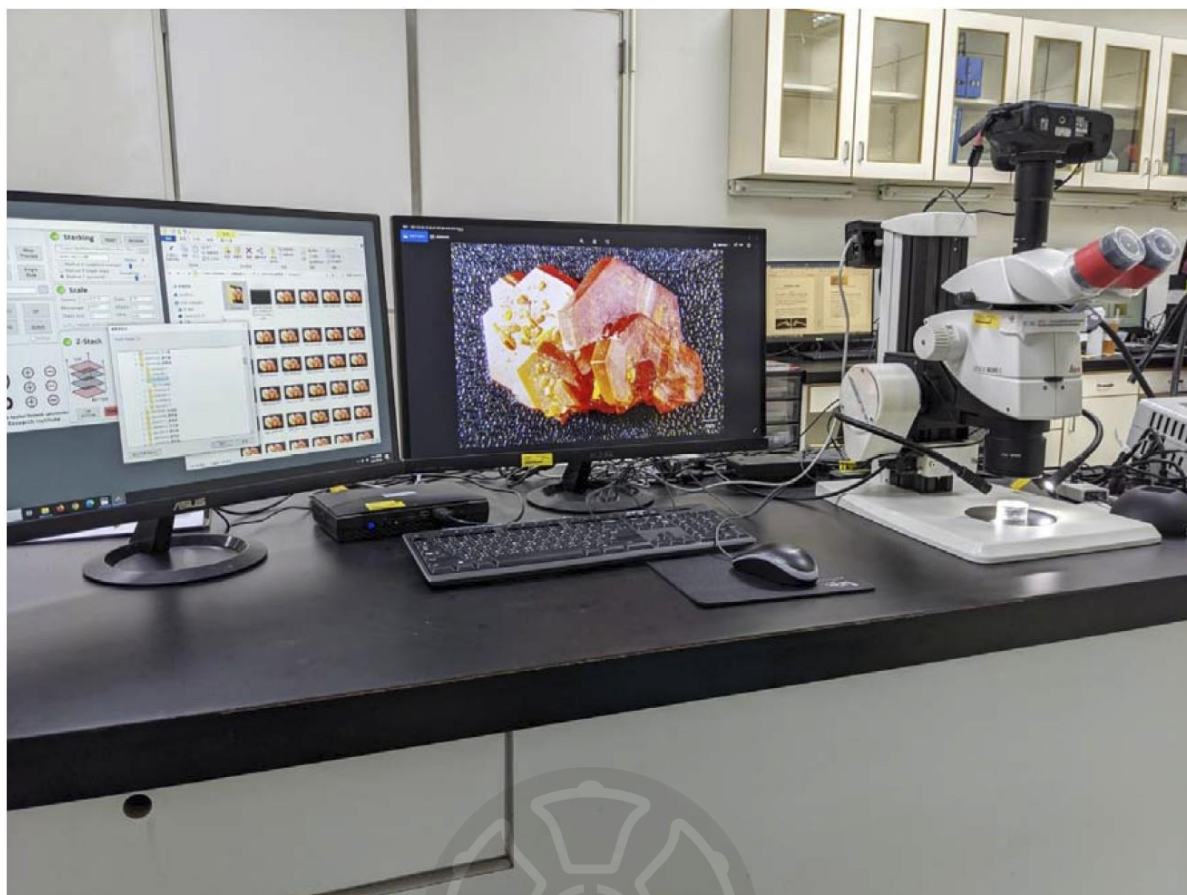


圖 1.4 設置於國立自然科學博物館的 TORI FOCUS 焦點疊合自動顯微拍照系統，由裝有照相機的光學顯微鏡及桌上型電腦組成（照片提供：王士偉博士）。



圖 1.5 國立自然科學博物館的 DELAB μ CT-100 微米級電腦斷層掃描儀。

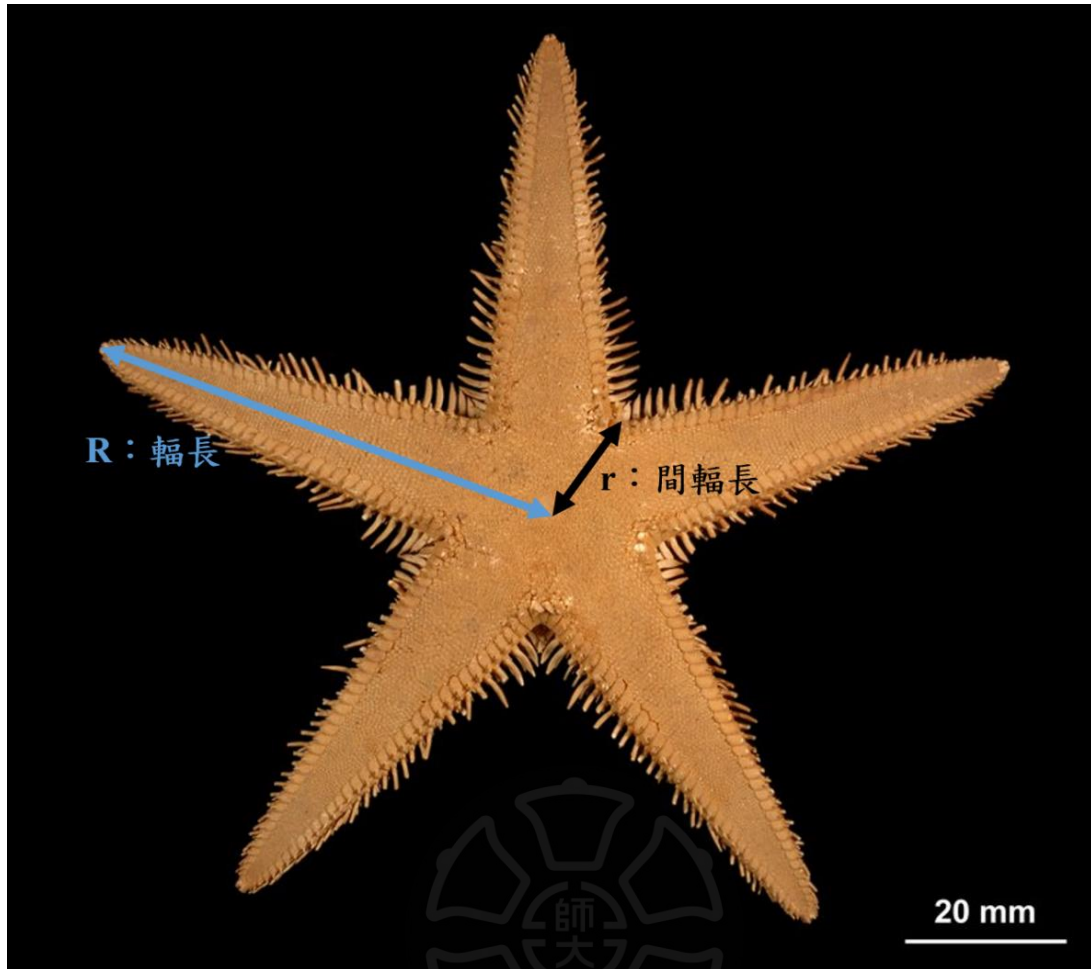


圖 1.6 海星標本量測示意圖，以現生華普槭海星 *Astropecten vappa* 為例(圖片來源：澳洲博物館，<https://australian.museum/learn/animals/seastars/sydney-seastars/astropecten-vappa-mller-troschel-1843/>)。

第二章 文獻回顧

2.1 前人研究

2.1.1 海星

在過去，臺灣海星化石之相關研究非常罕見，到目前為止僅有 Hayasaka (1933a,b) 兩篇，早坂一郎先生於楓港溪的轉石中發現 *Certonardoa semiregularis* (Muller & Troschel, 1842) 的近似種 *Certonardoa cf. semiregularis* 的化石，由於是在河床轉石中發現，因此其確切的所屬地層及年代並不清楚，僅由圍岩岩性大致認定屬於中新世的阿里山層，其後便再無任何海星化石的相關研究。雖然學術方面的成果缺乏，但在民間仍有為數不多的海星化石持續被發掘，像是王良傑先生所著的南瀛化石誌(王良傑，2007)中有記載臺南的菜寮溪曾發現從原地層中沖出的海星腕部殘片之化石、甲仙鄉公所出版之甲仙化石誌(曾德明，2000)亦有記載一件出自鹽桑坑溪溪谷中轉石之未定種海星化石，其餘如：南投國姓、臺中大甲溪等地皆有發現海星化石的消息，但以上這些地區皆僅是發現零星的海星化石個體，並未有海星化石呈群體出現之現象。

儘管臺灣的化石海星不管是樣本或相關研究都十分稀少，相比之下對於臺灣現生海星的研究可以說是相當豐碩。早在十九世紀就有科學家對北半球西太平洋地區的棘皮動物進行初步的調查及標本採集 (Agassiz, 1863; Döderlein, 1885; Gray, 1825; Sladen, 1889)，他們的調查結果除了發表大量的新種，也率先建立了初步的分類標準及架構，為後人打下良好的研究基礎。二十世紀之後開始有對日本鄰近海域至南中國海的棘皮動物進行詳細調查，Mortensen (1934) 認為中南半島附

近海域是全世界棘皮動物最豐富的區域，而臺灣的地理位置正好位於此區的邊緣。吳錫奎(1982)在調查臺灣棘皮動物之蛇尾類(陽燧足)時，也認為臺灣附近海域的棘皮動物非常豐富。Lane et al(2000)統整了在南中國海的棘皮動物群，總共有 982 個物種，其中包含 227 種海星及 167 種海膽。因此，臺灣周遭海域可以說是具有研究棘皮動物的巨大潛能。以臺灣的現生海星而言，是以海星相關的生態及分類研究為主。由於早期研究樣本與資料不易取得，因此過去對海星之研究不多，僅見於 Hayasaka (1949)，早坂一郎先生在臺灣西部海灘上採集活體海星進行記錄並分類出八種海星；Applegate (1984)於臺灣南部及蘭嶼再採集到四種海星，Chang et al (1964)、Liao and Clark (1995)以及 Lane et al(2000)在調查南中國海的棘皮動物時，亦有對臺灣西南海域的棘皮動物進行調查，而目前臺灣海星之研究主要見於國立自然科學博物館的趙世民博士(Chao and Chang, 1989, 1990; Chao, 1999a, 1999b, 2000, 2001, 2002, 2005, 2008; Tsai and Chao, 2004; 趙世民和蘇焉, 2009)，趙博士透過執行國科會之研究計畫，搭程海研一號，並僱用民用漁船，與國立中山大學、中央研究院的研究團隊合作取得大量標本，也有自行潛水下海採集樣本，並進行海星之分類研究及物種發表，共三期計畫(1998~1999; 2001~2002; 2003~2004)總計採獲 16 科 50 種的海星，成果可以說是相當豐富，其中柱體目槭海星科 9 種及顯帶目角海星科 20 種是最為優勢的兩類海星。而趙世民博士亦根據採集到的樣本發表了數篇海星系統分類的研究，Chao(1999a)描述以底拖船採集到的海星標本並對臺灣過去發現的槭海星科海星進行重新整理及修正，最早的 Hayasaka (1949) 記錄並發表了 3 種(*Craspidaster hesperus*, *Ctenopleura ludwigi*, *Astropecten scoparius*)，但趙博士認為其中兩種 *Ctenopleura ludwigi* 及 *Astropecten scoparius* 過去在鑑定上有誤認(misidentified)的

情況，且從那之後並沒有再採集到此兩種海星的現生標本，因此認定 *Ctenopleura ludwigi* 應為 *Ctenopleura sinica*、*Astropecten scoparius* 應為 *Astropecten vappa*；再加上採集到的五個新紀錄種，臺灣近海總計有 6 種槭海星科的海星。Chao(1999b)描述了生活在珊瑚礁區附近的十個新紀錄種，並回顧了過去發現的 10 科 31 種海星；Chao(2000)及 Chao(2001)分別從底拖船採集到的樣本中描述了 6 種及 7 種為新紀錄種的海星。趙世民與蘇焉在 2009 年合著了「臺灣的海星-生態與多樣性」這是臺灣海星研究的集大成，利用相對簡單的文字介紹海星的生態以及 56 種在臺灣海域發現的海星。

2.1.2 海膽

1948 年以前，臺灣海膽化石的相關研究僅見於 I, Hayasaka (1947,1948a)及 Hayasaka and Morishita (1947a,b)的數篇文獻中，他們將採集到為數不多的海膽化石標本進行描述及發表，並將這些化石樣本與日本及鄰近區域所發現到的同種或近似種進行比較。由於早期科技不發達、資訊不流通，研究資料缺乏，再加上現生及化石海膽的標本取得不易且數量往往不足等各種限制，因此除了對標本的外觀特徵做描述，只能進行一些簡單的長寬高及比例的數據計測，並將這些手段作為辨識及鑑定物種的依據。這些研究結果顯示，有一些曾在臺灣和日本發現的海膽，牠們雖然相似，但外形及身體比例仍有些許差異，因此 Hayasaka and Morishita (1947a)將之列為亞種。後續又將從高雄的大、小崗山，苗栗將軍山、白沙屯，新北市鶯歌等地採集到的海膽化石樣本中鑑定出六種屬於 *Clypeaster* 屬的海膽化石，除了外觀的形態描述外，還有對這些樣本進行長、寬、高、長寬比及長高比之量測，並與採自日本的現生近似種樣本進行比對。同年 Hayasaka and

Morishita 持續進行海膽化石的研究，並發表了另外四種的海膽化石 (Hayasaka and Morishita, 1947b)，其中包含了聞名於臺灣化石界的 *Scaphechinus mirabilis*，此種海膽是現今西北太平洋中十分常見的海膽，但在臺灣並沒有現生種的發現紀錄，僅有其之化石出現於更新世的地層中。早坂一郎先生在 1947 至 1948 年間陸續發表共 12 屬 19 種採自臺灣的海膽化石，其中大多數皆為心形海膽，僅有 2 屬 3 種為沙錢海膽 (Hayasaka, 1947, 1948a)，而早坂一郎先生為了比較化石種與現生種間的差異，亦有對臺灣近海的現生海膽進行生態學方面的觀察及研究 (Hayasaka, 1948b)。

1948 年之後，臺灣海膽化石的相關研究主要見於王家慶 (Wang, 1982a, 1982b, 1983, 1984a, 1984b, 1984c, 1985, 1986；王家慶等, 1984；鄭穎敏與王家慶, 1981, 1983)，除了持續進行化石樣本的物種鑑定及發表，亦開始對海膽的分類演化及生態方面進行系統性的研究。在物種鑑定方面，王家慶提出多孔帶的殼疣數量可作為辨識物種的依據 (Wang, 1982a)。此外，王家慶對一些臺灣產的海膽化石進行物種描述後，提出跟過去 Hayasaka 及 Morishita 不同的研究結果，除了將物種重新命名，甚至認為有部分物種是新種 (Wang, 1982b)；在分類演化方面，王家慶針對臺灣十分常見的沙錢目海膽化石提出一套分類分類系統，並討論該目的演化趨勢，其延續 Hayasaka 及 Morishita 等人的觀點，認為體殼長、寬、高間的比例可做為一個不同種之間的鑑別特徵 (Wang, 1984c, 1985, 1986)。王家慶等 (1984) 對採自苗栗的 *Scaphechinus mirabilis* 進行定量分析，利用直線回歸方程式表示其之生長方式，並研究其在生長過程中各部位特徵是「等率生長」或「異率生長」，這提供了一個可將海膽的形貌變化量化的計測方法。

朱偉嘉(2003)透過構造形態觀察及延用(Wang, 1982)的形態計測方法，研究產自臺南關子嶺地區的小型沙錢目海膽化石，並將其與臺灣西南沿海常見的現生種馬氏扣海膽(*Taiwanaster mai*)進行形態相似性的比較，由構造特徵上：口面間步帶板的連續情形和殼內支持構造分佈的不一致，以及形態計測分析上：現生種(*Taiwanaster mai*)之殼寬對殼長在生長過程中呈異率生長，化石種則呈等率生長，並且兩者皆具有殼高對殼長的比例漸減及口之相對位置均維持固定的共同特徵，因此認為臺南關子嶺地區的小型沙錢目海膽化石應為馬氏扣海膽(*Taiwanaster mai*)的同屬成員-*Taiwanaster* sp.未定種扣海膽。

莊三忠(2020)，利用可量化形態特徵及不可量化形態特徵，對採自臺南玉井地區的大量海膽化石進行分類。其中，由於當地產之餅型海膽的反口面上幾乎都有明顯的壓痕及破裂，因而懷疑殼體已產生變形；根據形態分析的結果顯示，沉積物在堆積時的上覆壓力，對海膽體殼的長、寬、高均有顯著的影響；故排除「殼長對殼寬」及「平均殼徑對殼高」等二項前人研究之鑑別依據，改採用共 51 項海膽體殼的細部特徵進行分類，並藉此整理、建立一套「海膽殼體之特徵及鑑種參數表」。

2.2 研究區域

2.2.1 位置與交通

二寮地區位於臺南市左鎮區的西南隅，由 20 號省道經左鎮市區後向南轉 168 號縣道後接 162 號縣道行約 8 公里，或由歸仁或關廟由 182 縣道向東經龍崎區後向北轉 164-1 號縣道後接 162 號縣道行約 6 公里，即可抵達二寮。二寮以壯麗的日出及雲海景觀聞名，此地區南方亦設有二寮觀日亭作為觀景臺，但鑑於時常為了欣賞美景而爆滿的人潮，西拉雅國家風景區管理處選在舊二寮觀日亭北方 300 公尺的一處半月形小丘新建立一大型觀景平台，命名為 360°日出亭 (WGS84 座標為：22.995400°N, 120.410350°E)，此平台於 2016 年正式啟用。根據化石發掘者王良傑先生所述，本文研究之棘皮動物化石標本的採集原址剛好與新建之觀景平台重疊(圖 2.1 及 2.2)，而原始地層在平台建好之後因受建築及草皮覆蓋現已不復見，甚是可惜。

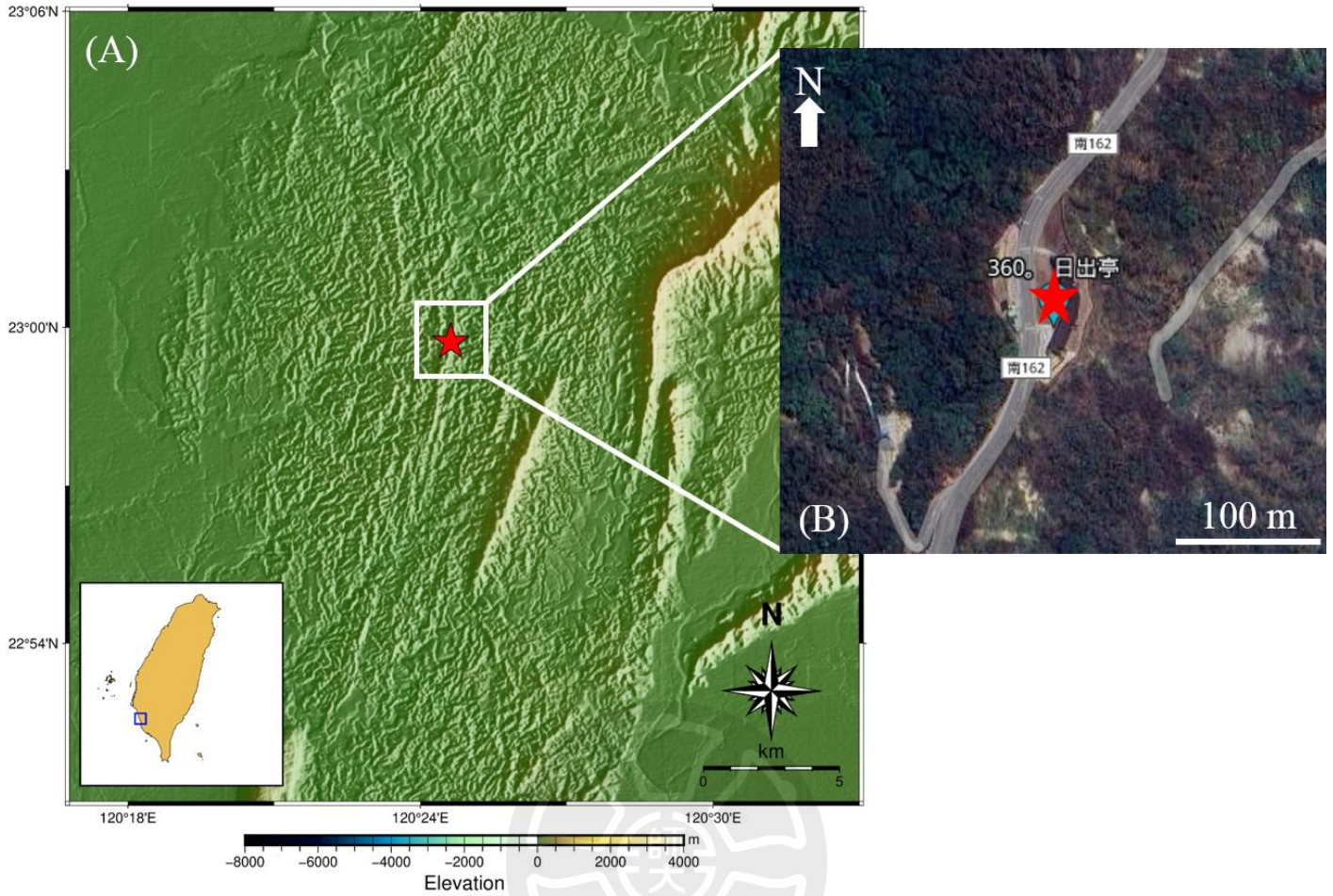


圖 2.1 (A)研究區域及化石發掘地點之位置圖。(B) 360°日出亭的衛星影像(圖片來源：Google 地圖 <https://www.google.com.tw/maps>)。



圖 2.2 360°日出亭的外觀樣貌，圖中黃色箭頭指向處為發現海星化石的大略位置。



圖 2.3 照片中為採集本研究之化石的地層原始樣貌，當時正在為後續日出亭的新建工程進行整地。根據王良傑先生所述：本露頭灰色的部分為泥岩、棕黃色的部分則為砂岩（照片提供：王良傑先生）。



圖 2.4 位於二寮高分 42 號電線桿(WGS84 座標：22.99917°N, 120.41147°E)對面的地層露頭，由於植被覆蓋的關係，地層的側向延伸不易觀察；但可看到位於下方灰色的泥質砂岩上覆有棕黃色的砂岩，圖中比例尺為 1 公尺。



圖 2.5 位於臺南 162 縣道路標 8k+940 處(WGS84 座標：22.99845°N, 120.41108°E)的地層剖面，出露岩性為泥質砂岩夾有薄砂層，但上覆地層受植被而覆蓋無法觀察，此露頭厚約 20 公尺、寬約 10 公尺。



圖 2.6 位於二寮高分 49 號電線桿(WGS84 座標:22.997°N, 120.41089°E)對面的地層露頭，灰色的泥質砂岩及棕黃色的砂岩交替出現，此露頭厚約 10 公尺、寬約 6 公尺。

2.2.2 地層與區域地質背景

新化丘陵是一位於臺灣西南部的廣大丘陵區，其西側緊鄰嘉南平原，地形上大致為海拔 250 公尺以下的低矮丘陵地，其中的菜寮地區是臺灣非常著名且重要的脊椎動物化石產地，而鄰近的二寮地區位於新化丘陵的東南側，北邊有菜寮溪、東側有岡林溪流經，由於本地區出露之岩性膠結不良且尚未完全岩化，在砂岩及頁岩互層之出露區，因受差異侵蝕影響，時常出現豬背嶺及單面山地形，泥岩出露區則常出現惡地地形。

臺灣西南部地區的更新統之岩性側向變化非常大，由北向南岩性有砂岩逐漸減薄、泥岩逐漸增厚的趨勢，地層的厚度也有由北向南逐漸增厚、沉積物顆粒由粗變細的現象，主要是因為沉積時的沉積環境為陸棚至大陸斜坡(何信昌等，2005)，環境深淺的不同造成了岩性差異，以至於前人對本地區有著截然不同的地層命名。陳文山等(2011)將此地區出現不同的地層命名及劃分進行整理：曾文溪以北（崙後斷層以西，左鎮斷層以北區域）的更新統命名為澗水溪層、六重溪層、崙下寮層、二重溪層與六雙層（Stach, 1955, 1957）。龜丹地區（崙後斷層以東，左鎮斷層以北區域）為竹頭崎層、北寮頁岩、鏡面砂岩與玉井頁岩（張錫齡與鍾振東，1956；鍾振東，1958a，1958b）。關廟-旗山地區（左鎮斷層以南，旗山斷層以西區域）為古亭坑層與崎頂層(烏居敬造，1932)。然而，因調查目的不同及各地層間界線不易區分，不同研究所採用地層名稱及分層也不一致，各文獻使用的地層名稱及其的標準剖面在岩性上也有相當差異。菜寮至二寮地區，剛好位於臺灣西南部岩相變化的過渡地帶，曾文溪以北及龜丹地區，甚至是南邊高雄旗山地區的地層體系，皆無法完全套用在本研究區域的地層上，使得地層對比有極高難度。

左鎮二寮地區的相關地質研究較少，最早是始於日據時期的鳥居敬造(1932)在調查台南州新化油田時，有對周圍地區的地層種類與分布、地質構造進行研究，之後僅有中國石油公司(1989)以及黃能偉(2001)對二寮地區的地層與地質環境進行報導；其中，黃能偉(2001)指出：由左鎮沿臺南 162 縣道向南至二寮，一路上都有上部古亭坑層及六雙層出露，其岩層中有厚層砂岩可做為地層畫分參考界限：下部古亭坑層與上部古亭坑層的界限-C 層，為一約 3 公尺厚具有生物擾動的泥質砂岩；上部古亭坑層與六雙層的界限-D 層，為一厚約 25 公尺的砂岩，其頂部含有 20 至 30 公分厚的扇貝化石密集帶；這兩層皆為野外極佳的指準層。其後要到 2005 年，中央地質調查所出版的五萬分之一地質圖的新化圖幅(何信昌等，2005)才有更明確的地層分布資料，由於二寮地區剛好位於該圖幅涵蓋區域的最南側，因此本研究依據新化圖幅之岩石地層名。

新化地質圖幅的岩石地層，係以左鎮斷層為界，二寮地區歸屬在左鎮斷層南側地質區，本地質區出露最老之地層為古亭坑層，較年輕的崎頂層以整合接觸的形式覆於其上，本圖幅根據野外調查獲得的資料將崎頂層由下到上再劃分為岡子林段、過嶺段、大坑尾段等三段。岩性方面，較老的古亭坑層以深海相泥岩為主，隨著沉積環境逐漸變淺，岩性向上逐漸變為砂質泥岩、砂岩及泥岩互層，偶夾粉砂岩及細粒砂岩，而崎頂層則是以淺海相沉積為主，下部的岡子林段以砂質泥岩、泥質砂岩及粉砂岩所組成，中部的過嶺段則是塊狀砂岩及泥質砂岩交替出現，這代表的是更淺的濱海相環境，上部的大坑尾段為濱海相甚至是陸相的沉積環境，以疏鬆的塊狀砂岩為主，偶夾有泥岩及砂、頁岩互層(何信昌等，2005)。崎頂層整體的沉積環境是由內遠濱帶變淺為潮下帶至潮間帶的沉積循環(Chen et al., 2001)，週期約為十萬年，是

受地球公轉軌道週期性變化影響產生之海水面變動。崎頂層在不同文獻中的分段名稱及相對應地層的關係可參見表二。

從日出亭沿著臺南 162 縣道向北至二寮高分 42 號電線桿處，在這約 400 公尺的路段內有地層出露(圖 2.4 至圖 2.6)，但部分區域受到植被及擋土牆覆蓋，因此橫向出露的狀況並不連續，且跟上、下地層的接觸關係也不清楚，但由對地形的觀察發現該地層露頭應為日出亭下方層位的地層。本露頭之岩性多為泥質砂岩，呈灰色且膠結不良，在岩層中僅有一些平行層理，看不到其他的沉積構造，夾有數層薄砂層，偶帶有石灰岩塊及結核，化石十分稀少，在灰色泥質砂岩上覆有棕黃色的砂岩，含有很豐富的化石，但由於本砂岩層大都受到植被覆蓋，因此瞭解有限。

由於本研究之化石的原始採樣地層露頭已因建作 360°日出亭而被覆蓋，僅能從地質圖中盡量去比對出可能的地層歸屬，但確切的地質年代並不清楚。因此，希望透過研究超微化石分析來比對地質年代，本項工作係委請莊智凱先生幫忙進行。總計使用各約 20 克的日出亭附近出露地層(圖 2.6)的岩石樣本，及海星化石(科博館館藏編號：NMNS007164-F054246)的圍岩樣本為研究材料，以濃縮法製作超微化石抹片，其處理程序簡述如下：岩樣泡水、清洗、過篩、取 $< 63 \mu\text{m}$ (微米)之顆粒置入燒杯、加水，經超音波震盪後取出懸浮液、滴於載玻片上、經加熱板烤乾後以蓋玻片及光學膠封片。完成後，用偏光顯微鏡在放大 1000 倍之下檢視並鑑定超微化石種屬與拍照。詳細的超微化石研究結果及拍照影響請參見附錄三。

由於海星化石的圍岩樣本中，超微化石數量稀少、保存不佳，且多為再結晶的再積化石，無法進行超微化石分析，因此化石的大致年

代則參考日出亭附近出露地層之岩石樣本的研究結果。根據莊智凱(未發表)，該地層應屬於新化圖幅中(何信昌等，2005)之崎頂層下部的岡子林段，或相當於 Stach (1955)及 Huang(1967, 1977)之上部古亭坑層。

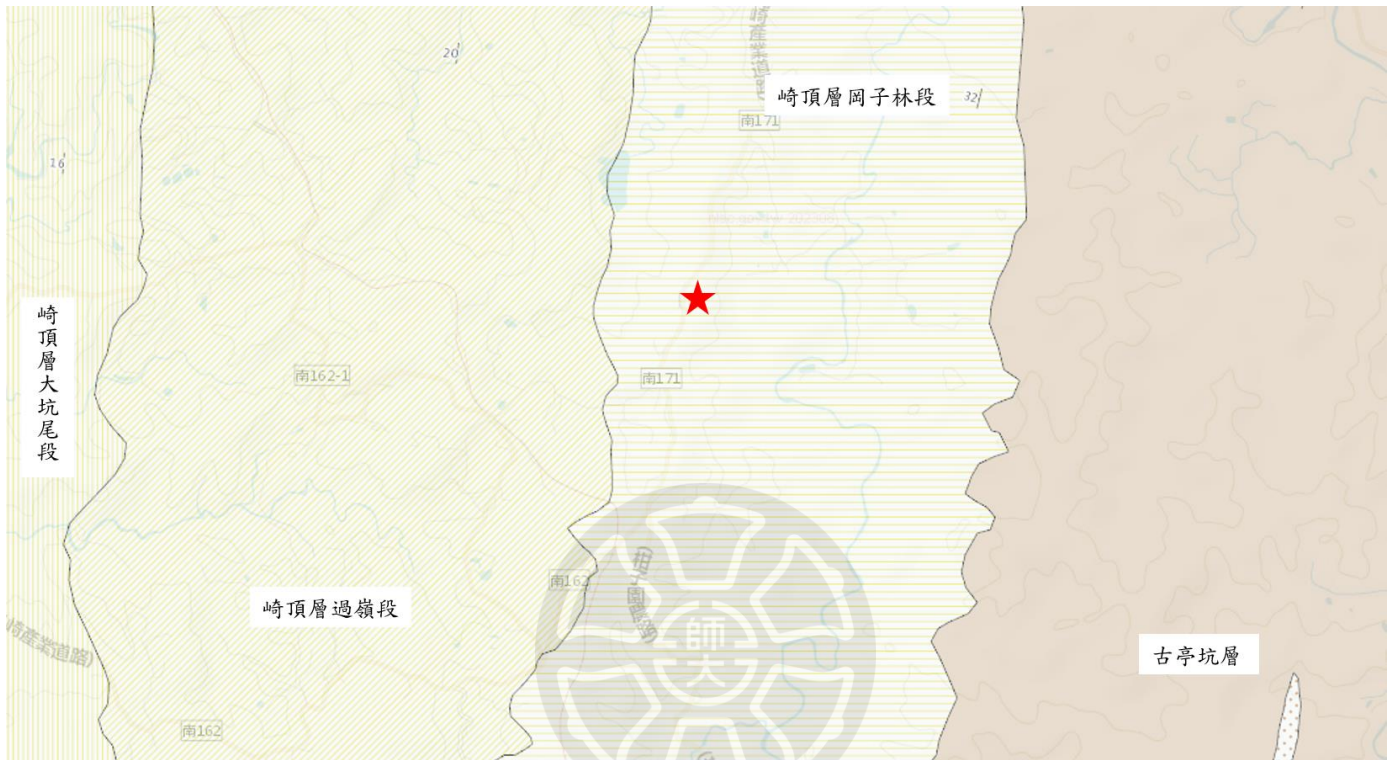


圖 2.7 二寮附近區域的出露地層，圖中的紅色星號為化石發現地，位在崎頂層岡子林段的區域內。(圖片截取自中央地調所山崩地質資訊雲端服務平臺的五萬分之一全島無接縫地質圖 <https://landslide.geologycloud.tw/map#>)。

謝凱旋 (1991)	陳文山等(1994) 黃能偉(2001)	何信昌等 (2005)	
六雙層	六雙層	崎 頂 層	大坑尾段
二重溪層			過嶺段
上部 古亭坑層			岡子林段
下部 古亭坑層	下部 古亭坑層	古亭坑層	

表 2.1 二寮地區之地層對比表(節錄自莊智凱等，2007)。

第三章 研究結果

3.1 海星系統分類

海星綱 **Class Asteroidea de Blainville, 1830**

柱體目 **Order Paxillosida Pierrier, 1884**

槭海星科 **Family Astropectinidae Gray, 1840**

描述：

所有研究的海星化石樣本外形均呈星形、具 5 腕、腕之切面呈長方形、腕之末端有端板，口面與反口面均呈平坦、體盤區域相對較小、上緣板與下緣板均明顯且對稱、緣板外形呈長方形或矩形且板上覆滿顆粒體、偶帶有棘刺、帶線明顯，背板較小、呈小柱體狀等共同特徵，因此可同歸屬於柱體目(Paxillosida)中的槭海星科(Astropectinidae)。槭海星科是柱體目的海星中物種最多樣的類群，根據 Mah and Blake (2012)與 Mah (2023)，目前槭海星科總共有 37 屬約 600 種，其中化石種有約 120 種及將近 500 種現生種。由於現生槭海星以半埋在海床的沉積物中、行裡棲性的生活方式，而這也可能是槭海星科擁有豐富化石紀錄的原因之一。槭海星類，從晚三疊紀至更新世都有發現(Gale, 2020)。在東亞地區，槭海星科的化石僅有日本：Kato et al (2013)及中國：Gale (2020)兩篇報導，而在臺灣雖然槭海星科化石有發現，但尚未有正式的研究報導。槭海星在臺灣週遭海域中卻十分常見，根據趙世民(2005)與臺灣物種名錄(TaiCOL)，總計有 6 屬 9 種，物種量算相當豐富，其標本採自水深 30 至 350 公尺的泥沙質海床。本研究之所有海星化石皆屬於槭海星科，依細部特徵區分出其中一個屬為鑲邊海星

屬 *Craspidaster* 共 25 件，另一為槭海星屬 *Astropecten* 5 件，以及 3 件未定屬。

鑲邊海星屬 Genus *Craspidaster* Sladen, 1889

Craspidaster cf. *hesperus* (Müller & Troschel, 1840)

圖版 1-2，圖版 3：圖 1-2

Craspidaster hesperus (Müller & Troschel) ; Fisher 1919: 60, pl. 9, fig.

3 ; Chao, 1999, p.261-262, fig. 13-16

Craspidaster sp.

圖版 3：圖 3-4

形態描述

外形均呈星形、身體外圍光滑，臂間角相對圓潤、腕數為 5、腕之切面呈長方形、腕之末端有端板，口面與反口面均呈平坦、體盤區域相對較小、上下緣板各一列、上緣板與下緣板均大而明顯且對稱、緣板外形呈長方形且板上覆滿顆粒體、偶帶有棘刺、各緣板之間的帶線較寬且明顯、緣板排列較不緊密、緣板的尺寸從間輻區至腕末端由大變小，在下緣板的上側、上及下緣板的交接處有一大型扁平棘，背板較小、呈小柱體狀、在腕部的背板呈橫向排列且數量少、整個腕部幾乎被緣板占據，腹板僅出現在間輻區且數量很少，並未延伸至腕部，上覆有顆粒體但較為稀疏，步帶板一對、分佈在步帶溝中央，步帶溝相對狹窄。R/r 值約在 3.16 至 4.31 之間 (n=14)，平均為 3.67。

形態比較

在形態特徵上，與化石比對之現生乾標本採自東港(科博館生物學組的 NMNS 002318-00148)，為完整的小型個體，R/r 為 3.4。由於研究的海星化石跟現生的十分類似，但其中僅有少數個體有保留上、下緣板、背板、腹板、步帶板、體板上的顆粒體與上及下緣板交接處的一大型扁平棘，其餘的皆只是印痕的形式，且所有屬於鑲邊海星屬的海星化石皆沒有保留上緣板周圍與體板之間的小鈍棘、篩板及肛門，而口板、腹板、步帶板、圍步帶板、步帶棘等口面的構造則因為埋在圍岩中而多不可見，但重要的鑑種特徵：上、下緣板交接處有一大型扁平棘，大多沒有保留下來；因此，只能從中鑑定出 4 隻黃昏鑲邊海星的近似種 *Craspidaster. cf. hesperus*，其餘的 21 隻僅能鑑定為未定種鑲邊海星 *Craspidaster sp.*。

本屬是由 Sladen (1889) 描述並建立的，僅有一個現生種 *Craspidaster hesperus* (Muller & Troschel, 1840)；其主要分布在西太平洋海域，北至日本南部、南至澳洲沿岸，在印度洋及孟加拉灣亦有些許紀錄，棲息於深度約在 20 至 300 米的泥砂質海底。此外，Hayasake (1949) 及 Chao (1999a, 未發表) 皆有報導及記錄在臺灣西南部沿海深度在 30 米至 100 米之間採集到 *Craspidaster hesperus*，但個體數量稀少，但本種在東海及南海是十分常見且屬於適應暖水環境的物種 (Clark and Rowe, 1971；Lane et al, 2000；廖玉臨與肖寧，2011)。

化石產狀

綜合前述資料(見章節 2.2 及附錄三)，研判本研究的海星化石，產出層位應屬於崎頂層下部的岡子林段。基於化石圍岩的觀察，其岩性為泥質砂岩，除海星化石之外，尚有海膽、腹足類、雙殼類、藤壺、

螃蟹、單體珊瑚，以及植物碎屑等，由雙殼俱在的雙殼類、身體結構完整的海星、外形完整的海膽，可以看出這些化石的完整性相當高，推論這些化石很可能為原地埋藏(*in situ*)，或是短距離搬運後快速埋藏。本批海星大部分是以印痕化石的形式留存，許多細部構造如：體板、口器、篩板、棘刺等大多沒有保留下來。

形態測計

表 3.1 鑲邊海星化石的形態測計(單位：公分)。

科博館標本編號	R	r	R/r
F054242	1.77	0.49	3.61
F054243	1.43	0.38	3.76
F054244	1.94	0.45	4.31
F054247	2.02	0.54	3.74
F054248	1.36	0.43	3.16
F054252	1.93	0.51	3.78
F054253	1.32	0.38	3.47
F054255	1.67	0.44	3.8
F054257	1.91	0.51	3.75
F054259	1.33	0.41	3.24
F054263	1.27	0.33	3.85
F054264	1.17	0.32	3.66
F054265	1.43	0.38	3.76
F054267	1.52	0.43	3.53

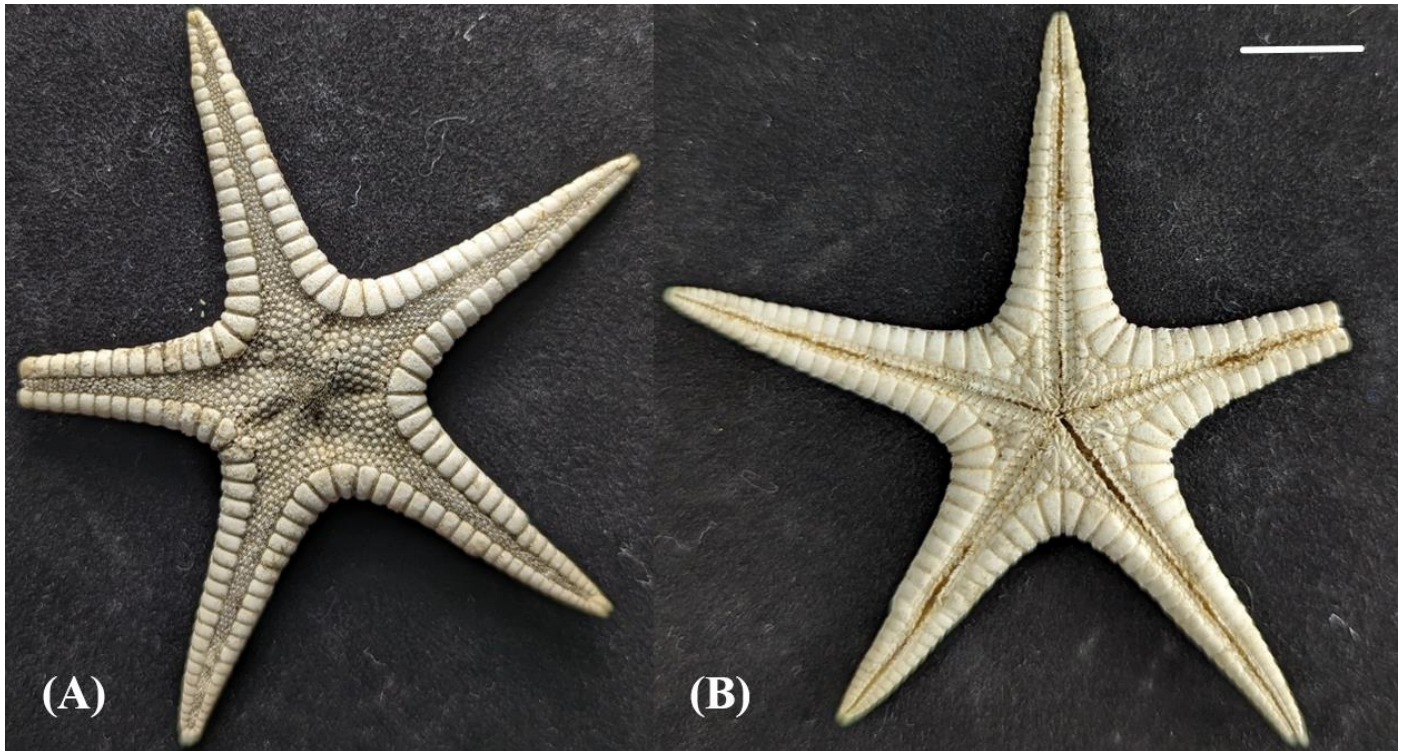


圖 3.1 黃昏鑲邊海星 *Craspidaster hesperus* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 002318-00148，(A)反口面、(B)口面。比例尺為 1 公分。

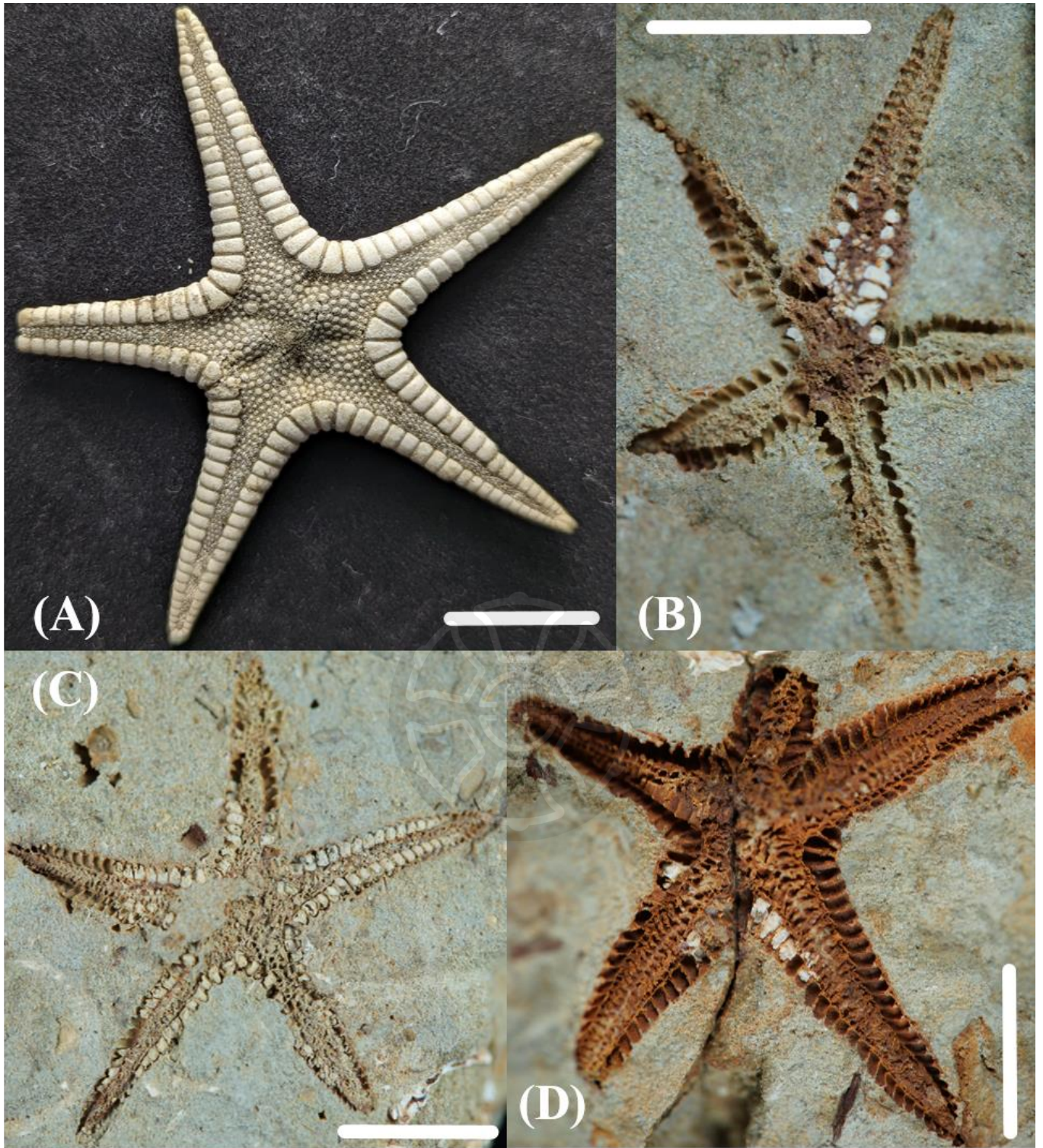


圖 3.2 黃昏鑲邊海星的化石及現生標本的比對。現生標本(A)00148 與海星化石標本(B)F054247、(C)F054242、(D)F054264 的比對，儘管外觀及形態特徵都十分類似，但由於重要的鑑種特徵：上、下緣板交接處有一大型扁平棘，大多沒有保留下來，因此僅能將這三件化石標本鑑定為黃昏鑲邊海星的近似種 *Craspidaster cf. hesperus*。比例尺皆為 1 公分。

槭海星屬 Genus *Astropecten* Gray, 1840

Astropecten cf. *vappa* Müller & Troschel, 1843

圖版四

Astropecten vappa Müller & Troschel ; : Liao and Clark, 1995, p. 76 ;

Chao, 1999, p. 260-261, fig. 9-12

Astropecten sp.

圖版九，圖 4

形態描述

鑲邊海星以外的海星化石由其之身體外形均呈星形、臂間角為鈍角、腕數為 5、腕之切面呈長方形、腕之末端有端板，口面與反口面均呈平坦、體盤區域小、上下緣板各一列、上緣板與下緣板均很明顯，但下緣板比上緣板還要大、緣板外形呈帶有點弧度的長方形且板上覆滿顆粒體、上緣板上的顆粒體較細小、下緣板上的顆粒體較大、形狀較為狹長且不規則，各緣板之間有雖淺但明顯的帶線，但在腹面的帶線更為明顯且延伸至口部，緣板的排列較為緊密、從間輻區、腕的基部至腕的中、前半部的緣板大小幾乎一致，僅有靠近腕末端的比較小，背板較小、呈小柱體狀、在腕部的背板呈橫向排列、與腕的方向垂直且數量多、背板在腕部的分布區域較寬大，腹板僅出現在間輻區且數量很少，並未延伸至腕部，上覆有顆粒體但較為稀疏，步帶板一對、分佈在步帶溝中央，圍步帶板分佈區域小、緊臨下緣板，步帶溝相對寬大。R/r 值約在 4.28 至 4.85 之間(n=3)，平均為 4.51。

形態比較

在形態特徵上，與槭海星現生乾標本 NMNS 002318-00152 (R/r 為 4.2)，採自枋山、現保存於科博館生物學組的十分類似。整體而言，槭海星化石的保存狀況比鑲邊海星好一些，其中甚至有化石是腹面出露的姿態，除了有保留上、下緣板、緣板上的顆粒體、背板，還有保留腹板、步帶板、圍步帶板；相較於鑲邊海星，槭海星僅有 5 件化石，且仍有部分形態構造缺失，槭海星的上緣板周圍與體板之間的細棘、第 1 至第 4 個上緣板的上側偏體緣處長有短的錐狀棘、下緣板上長有密集的短扁棘和少量的大型扁棘、靠近上及下緣板的交接處有 2 至 3 個大型扁棘、篩板及肛門，而口板、口器、步帶棘等口面的構造則未能完整保存。其中，重要的鑑種特徵：第 1 至第 4 個上緣板的上側偏體緣處長有短的錐狀棘；從第 4 個上緣板到約腕的 3/4 處，上緣板的中間長有一個直立的短鈍棘，皆沒有保留下來。因此僅能鑑定出 2 隻華普槭海星的近似種 *Astropecten* cf. *vappa*，以及 3 隻未定種槭海星 *Astropecten* sp.。

化石產狀

綜合前述資料(見章節 2.2 及附錄三)，研判本研究的海星化石，產出層位應屬於崎頂層下部的岡子林段。基於化石圍岩的觀察，發現與鑲邊海星化石不同的是，槭海星化石的圍岩顆粒似乎更細、多為泥(見圖版四)。除海星化石之外，尚有海膽、腹足類、雙殼類、藤壺、螃蟹、單體珊瑚，以及植物碎屑等，由雙殼類俱在的雙殼類、身體結構完整的海星、外形完整的海膽，可以看出這些化石的完整性相當高，推論這些化石很可能為原地埋藏(*in situ*)，或是短距離搬運後快速埋藏。本批

海星大部分是以印痕化石的形式留存，許多細部構造如：體板、口器、篩板、棘刺等大多沒有保留下來。

討論

槭海星屬 *Astropecten* (Gray, 1840) 為槭海星科中物種最豐富的屬，有 36 種化石種及 104 種現生種(Mah, 2023)，本屬主要分布在熱帶至溫帶的淺海，但在全球的所有海域中都能找到槭海星屬的成員，棲息於在砂泥質的海床上，最深之紀錄可達 1500m (Clark and Downey, 1992)。由於分布區域廣且物種眾多，因此本屬海星的系統發生學一直是一個待研究的議題，Döderlein(1917)首先基於型態特徵提出一套關於槭海星的演化史及系統發生學的假說，之後 Zulliger(2009)及 Zulliger and Lessios (2010)利用分子生物的系統發生學及生物統計的研究結果修正 Döderlein(1917)提出的假說，並加入更多證據以形成新的假說，認為槭海星屬是一個古老的族群，牠們的物種形成相對緩慢且經歷了很長一段時間，但牠們進化速度很快、直到近現代才產生新的物種；槭海星屬的一百多種現生種依照地理分佈區可分成三個類群：印度-太平洋、美國東及西岸(東太平洋及西大西洋)、地中海及東大西洋，造成這樣的地理分區可能是跟過去的地質事件有關，像是中中新世時特提斯洋關閉、中新世晚期的墨西拿期鹽度危機、上新世時巴拿馬地峽的抬升等。目前歸類在槭海星屬的化石種僅發現於新生代的沉積岩中，最早應是出現於晚始新世的巴爾頓期(~40 Ma)(Rasmussen, 1972)。華普槭海星 *Astropecten vappa* 作為槭海星屬中眾多現生種的一員，其主要分布在南海、印度洋及澳洲沿岸，在日本南部有零星發現，深度為 0 至 90 米(Clark and Rowe, 1971; Lane et al, 2000)。過去，Hayasake (1949) 及 Chao (1999a)皆有報導在臺灣西南部從嘉義到屏東一帶的沿海、深度在 30 米至 120 米之間，採集到 *Astropecten vappa*，且個體數量很多，

在趙世民於 21 世紀初期所作的國科會研究計畫-臺灣深海棘皮動物多樣性之研究中(趙世民，未發表)，就總計採集到超過 200 隻的華普槭海星，數量可以說是相當的多；不過在本研究中化石華普槭海星的數量卻很稀少，明顯跟現生紀錄的情況不符。

形態測計

表 3.2 槭海星化石之形態測計(單位：公分)。

標本編號	R	r	R/r
F054249	3.06	0.63	4.85
F054256	3.72	0.87	4.28
F054262	1.28	0.29	4.41



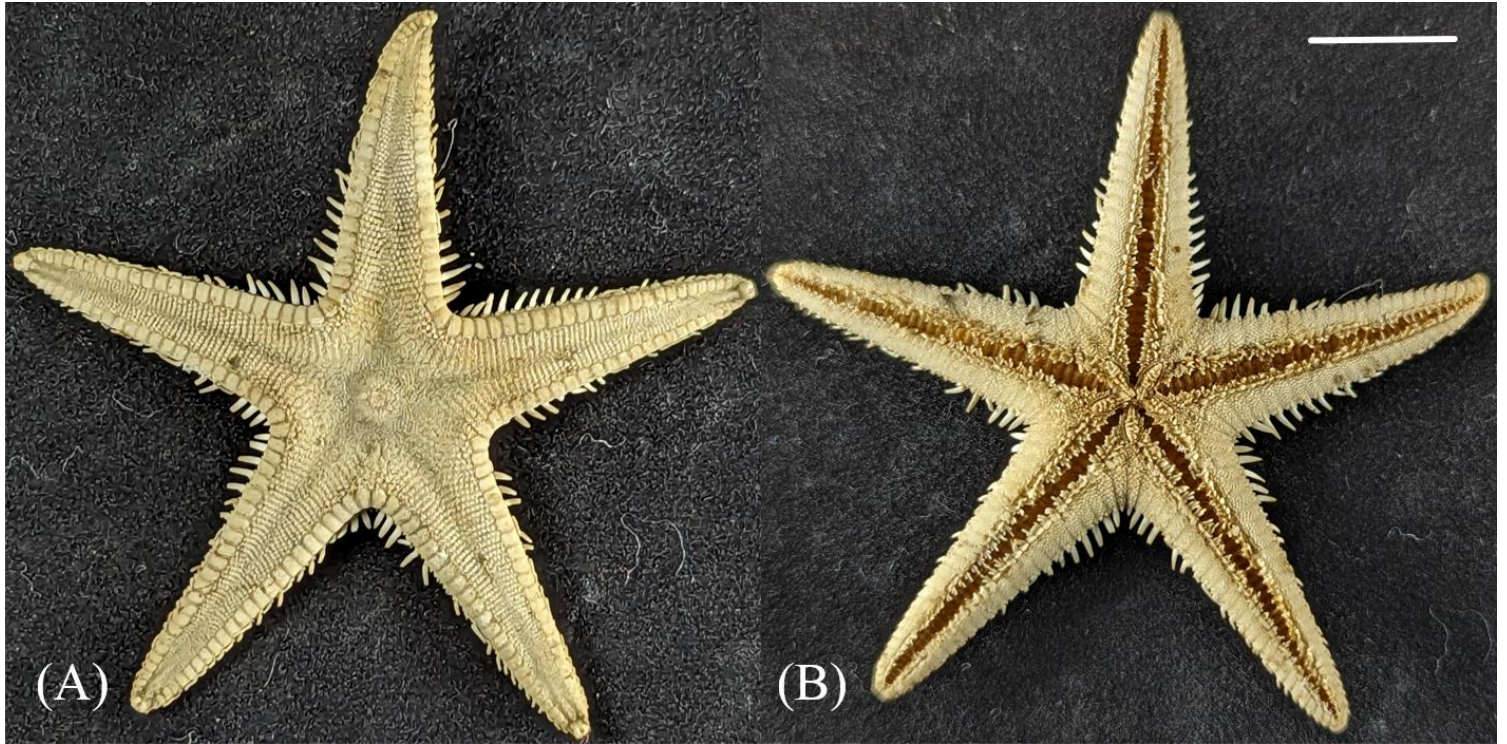


圖 3.3 華普槭海星 *Astropecten vappa* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 002318-00152，(A)反口面、(B)口面，比例尺為 1 公分。

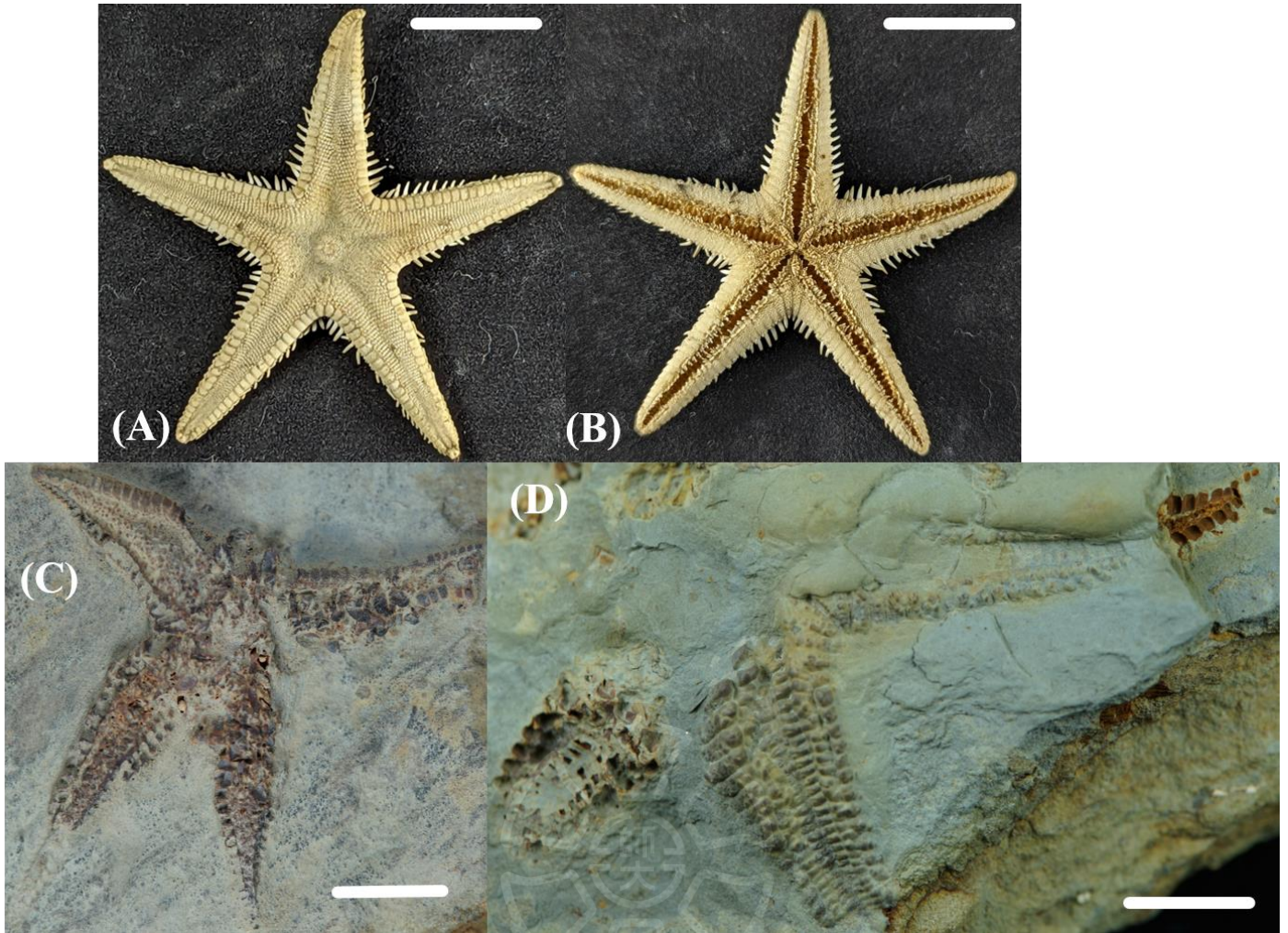


圖 3.4 華普槭海星的化石及現生標本的比對。現生標本 00152 (A) 為反口面、(B) 為口面，化石標本 (C) F05249、(D) F054256，儘管外觀及形態特徵都十分類似，但由於重要的鑑種特徵：第 1 至第 4 個上緣板的上側偏體緣處長有短的錐狀棘；從第 4 個上緣板到腕部約 3/4 處，各上緣板的中間長有一個直立的短鈍棘，皆沒有保留下來。因此僅能將這兩件化石標本鑑定為華普槭海星近似種 *Astropecten cf. vappa*。各圖中之比例尺皆為 1 公分。

3.2 海膽系統分類

海膽綱 Class Echinoidea Schumacher, 1817

猬團目 Order Spatangoida L. Agassiz, 1840

拉文海膽科 Family Loveniidae Lambert, 1905

棘心海膽屬 Genus *Echinocardium* Gray, 1825

心形棘心海膽 *Echinocardium cordatum* (Pennant, 1777)

圖版五至八

Echinocardium cordatum (Pennant) ; Nisiyama, 1968, p.218-219 ; Jagt and Wille, 2003, p.65-67 ; 林朝榮與劉平妹, 1987, p. 443.

形態描述

本研究於二寮地區採集的所有海膽化石，歸納以下之形態特徵：外殼很薄，殼體呈偏圓的卵形或心形、殼長及與殼寬幾乎相等，在反口面(背面)，殼的後方比殼的前方高、殼之最高處在後方的第 5 間步帶、頂系較靠近殼的後方偏正中心的位置、前方步帶寬且呈中等凹陷並有延伸至口面，其他四條步帶呈瓣狀且呈凹陷呈度較輕，瓣狀步帶靠近內帶線處寬、殼緣處細，瓣帶上有排列整齊、且兩兩成對的步帶孔，口面的殼疣細小且幾乎都大小一致、排列緊密，無環瓣帶線、及大型殼疣；在口面，靠近殼的前側口圍凸出、口圍的寬大於長、呈腎形，唇板短呈半圓形、腹板系突出呈菱形，口面的殼疣比反口面的大且排列較鬆散、疣的周圍沒有下陷的溝；肛門在殼的後方，肛門的長大於寬、呈現稍長的橢圓形等特徵，因此將這些海膽歸屬於猬團目 (Spatangoida)、拉文海膽科(Loveniidae)、棘心海膽屬(*Echinocardium*)，

但因頂系以及其上的生殖孔缺失，內帶線、肛帶線及肛下帶線幾乎無留存，僅有極少數的化石標本上有肛下帶線的殘留，覆蓋全身的各式棘刺皆無保留，骨板的排列樣式並沒有完全保留下來。

形態比較

本研究的海膽化石跟現生的棘心海膽十分類似，因此以採集自法國西北部、現保存於科博館生物學組的 NMNS 005155-00028 的現生乾標本來比對；現生標本之體殼長約 5 公分、寬約 4.8 公分、高約 3.3 公分，屬於中大型的個體，但這批海膽化石的體殼大小都偏小，殼長集中在 1.2 至 2.5 公分之間，僅有 1 件樣本有到 3.3 公分，形狀並非呈心形或卵形，而是比較狹長、扁平且類似盾牌形，雖然本研究海膽化石標本跟現生記錄相比，其尺寸都偏小，且都有不等程度的受壓變形，但基於型態特徵，將其鑑定為同一個現生種 *Echinocardium cordatum*。

化石產狀

本研究之化石樣本中除了有海星化石之外，也包含了大量的心形海膽化石，同一採集地就有採集到約一百顆海膽化石，科博館館藏編號為。其產出層位跟海星化石一樣皆屬於崎頂層下部的岡子林段，岩性為泥質砂岩。海膽化石的外形均相當完整，依據殼體外觀判斷這些海膽化石應很可能為原地埋藏(*in situ*)，或短距離搬運後快速埋藏。不過這些海膽化石標本幾乎皆是以內鑄型保存(見圖版八)，組成體殼的骨板經常是以印痕的形式留在圍岩上(見圖 3.6)，且殼體皆有不等程度的受壓變形(見圖版五至八)，在數據測量及鑑定工作上有相當大的難度。

討論

棘心海膽屬 *Echinocardium*，因其膨大且圓潤的體殼又被稱為海馬鈴薯(sea potato)，本屬共有 12 種現生種及 7 種化石種，主要分布在西太平洋、大西洋及地中海，分布水深在 0 至 500 米之間(Schulz, 2006)(不同種的分佈區域及水深整理在表 3.3)，呈裡棲性、住在泥砂底質的海床中。本屬是拉文海膽科中一群特化的海膽，跟其他絕大多數的拉文海膽科成員不同，棘心海膽喜歡深鑽到海床上的軟質沉積物中(砂質甚至泥質)、覓食並住在裡面，牠們以沉積物中的有機顆粒為食，最深可以鑽至海床下 30 公分(Kanazawa, 1992, 1995)，另沉積物的顆粒大小會決定鑽的深度，泥質海床會鑽的較淺、砂質海床會鑽的較深，牠們會從前方步帶伸出管足向上挖掘連通到海床的管道，並利用管足進行呼吸及物質交換；其他的拉文海膽科成員像是 *Lovenia* 及 *Breynia* 最深鑽至海床下 3 至 4 公分，有著跟棘心海膽類似習性，但生活在泥底質海床的 *Moira atropos*，則可鑽至海床下 15 至 20 公分。目前本屬的化石最早是出現在中新世的歐洲，後才出現在北美及亞洲(Kroh, 2010)。其中 *Echinocardium cordatum* 是本屬中分布範圍最廣的現生種，其最早的化石紀錄為晚上新世(Smith and Kroh, 2011)。現生的 *E. cordatum* 在東海、日本、菲律賓、紐澳地區、南非、大西洋到地中海都有發現(Mah, 2023)，但特別的是，臺灣卻從未有發現本種甚至是本屬海膽的現生紀錄，反而僅在苗栗的通霄及後龍的頭嵙山層中有發現 *Echinocardium cordatum* 的化石紀錄(黃進傳，2011)。

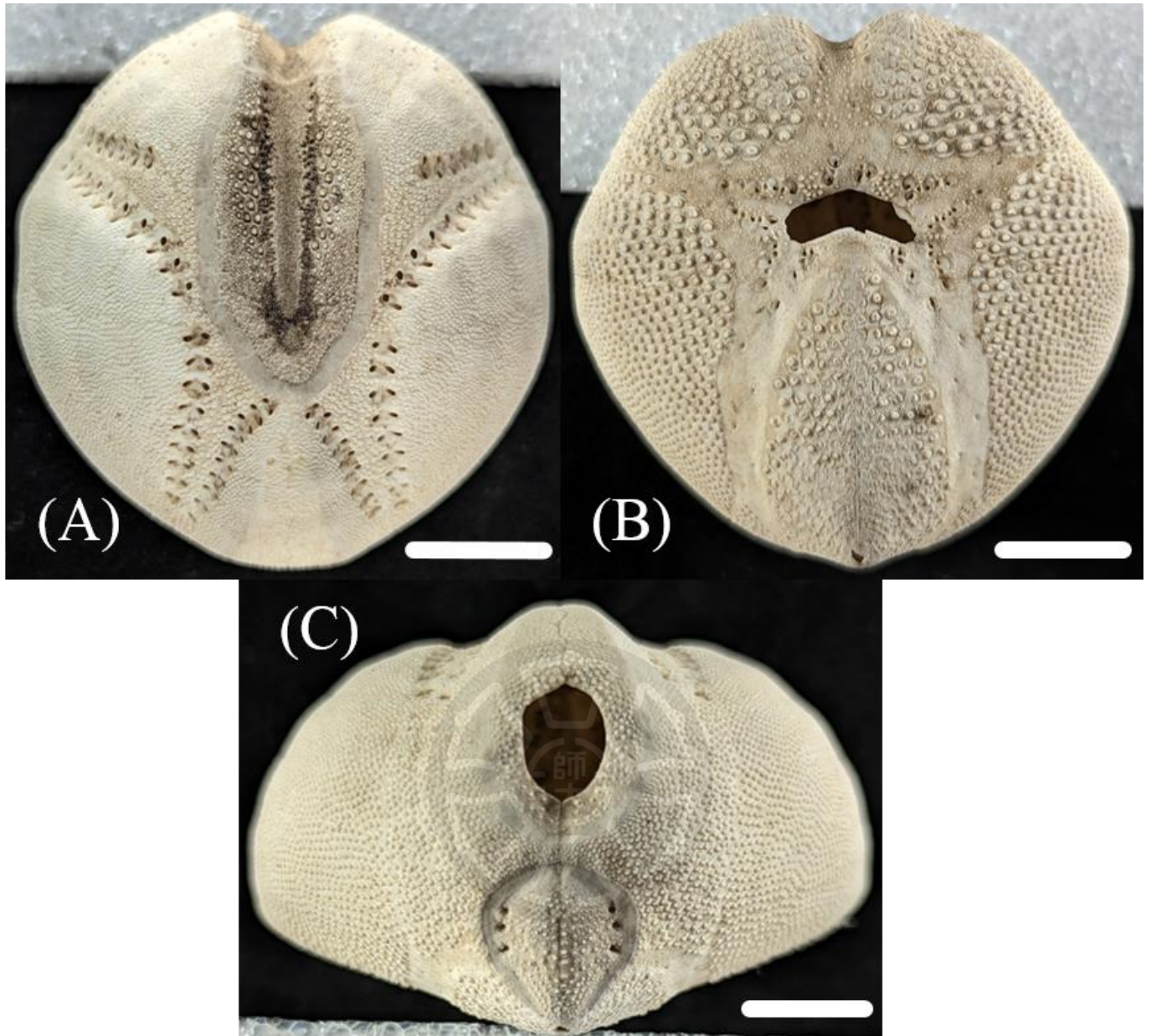


圖 3.5 心形棘心海膽 *Echinocardium cordatum* 的現生乾標本，國立自然科學博物館生物學組之館藏編號：NMNS 005155-00028，(A)反口面、(B)口面、(C)後側，比例尺為 1 公分。

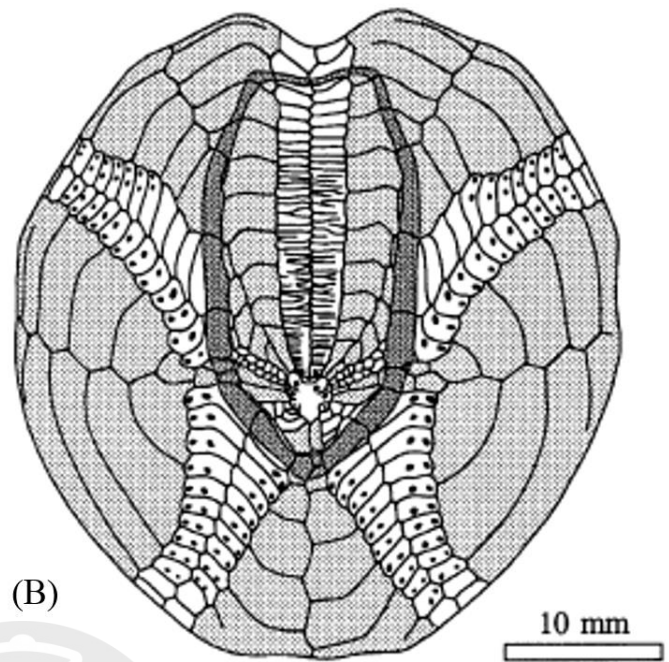


圖 3.6 心形棘心海膽化石標本與現生標本骨板排列形式的比較，除了內帶線及頂系無法辨識之外，其餘化石標本有留存下來的都跟現生標本上看到的十分類似。(A)化石標本 EL046 (由 TORI FOCUS 拍攝)
(B)現生標本的骨板排列形式示意圖(取自：David and Laurin, 1996)。

第四章 綜合討論

以現生的 *Echinocardium cordatum* 來說，大多數的群體都生活在遠濱、中砂至極細砂的沉積物中(Ursin, 1960)。本種海膽殼體的形態及大小，跟沉積物的顆粒大小有關，殼體的形態會影響到其身上的棘刺及帶線的挖掘機制，也連帶影響了海膽挖掘的深度。通常，在沉積物較粗粒的環境(砂質)中，殼體越接近球形、較深的前方步帶及較寬的楯板，就能挖掘得越深；而沉積物的顆粒大小越小(泥質)，則殼體越扁平、越小、有較淺的前方步帶溝及較窄的胸板，挖掘的深度較淺(Nichols, 1959；Buchman, 1966)。Buchman(1966)研究了英國附近海域中生長在不同環境的 *E. cordatum* 群體，在遠濱帶、水深 30 至 40 公尺的 *E. cordatum* 生活在粉砂質(24%泥)的海床上，牠們的生長速度比生活在沿岸的砂質(2%泥)的群體慢 2 至 3 倍，且有著較小的平均成體尺寸(殼長約 28mm)，而這可能跟攝食效率有關，在含泥較多的底質中攝食會因為黏性高且顆粒小造成海膽的攝食效率下降，連帶降低了他的生長速率及生長潛力。這樣的研究結果隨後得到了支持及確認(Higgins, 1974)，Higgins 在研究了紐西蘭的 *E. cordatum* 群體後得到了與(Buchman, 1966)相似的結果，此外還發現生長在粗粒沉積物中的 *E. cordatum* 大尺寸個體有著較高的攝食效率。海膽殼體的尺寸也跟年紀有關，*E. cordatum* 的幼兒時期可能小於等於 10mm，成體平均在 35 至 40mm，老年的個體則可長到 51mm；另外，分布區域亦有可能是影響海膽殼體大小的因素之一，據研究統計，在英國周遭海域的 *E. cordatum* 成體平均在 45 至 60mm 間(Buchman, 1966)，最大可長至 79mm，紐西蘭的 *E. cordatum* 成體平均在 35 至 50mm (Higgins, 1974)，而最大的成體紀錄則是在南非的樣本約 92mm(Mortensen, 1951)。此外，物種的歸屬也是一個很重要的因素，過去曾有高達 7 個發表為 *E. cordatu* 的新

物種，但在後來被認為是 *E. cordatum* 的同物異名(Mortensen, 1951)，在各分佈區域的 *E. cordatum* 之間可能因為在適應不同環境而演化出一些細微的構造差異，導致在鑑種上產生誤判，甚至還有介與兩物種之間的過渡型物種的發現紀錄，像是就有發現介於 *E. cordatum* 與 *E. fenauxi* 之間的物種 (Schultz, 2005)。近來，更有利用分子生物技術來嘗試釐清這些物種其中的關係，研究結果顯示 *E. cordatum* 其實是一個物種複合體，至少包含了五個分支，其中的部分物種在過去可能生活在一起並發生雜交，因此產生了形態特徵十分類似但又存在些微差異的後代，不過由於缺乏更多良好的化石紀錄做為佐證，因此還不確定發生趨異與形態分化的時間之間有無相關連(Chenuil and Féral, 2003; Egea et al., 2016; Féral et al., 1995)，而形態和遺傳多樣性之間的差異可以通過跟棘心海膽屬中的其他物種相比，*E. cordatum* 擁有高豐度和龐大的族群規模來解釋。這可能促進了形態和遺傳的變異，增加形態特徵的辨識困難以及模糊了物種彼此之間的區別 (David and Laurin, 1996; Egea et al., 2016)。而本研究中的化石種大部分有著小個體(18-25mm)、體殼較扁平、較淺的前方步帶及楯板較狹窄的特徵，再加上體殼有些許變形，乍看之下跟一般常見 *Echinocardium cordatum* 的形態特徵不太相符，且與另一種 *E. fenauxi* 有些類似，*E. fenauxi* 跟 *E. cordatum* 差別在於：*E. fenauxi* 的體殼更寬更扁、前方步帶較窄且其上有一對較大的管足孔、內帶線較窄及肛門為扁的橢圓形、寬大於長，*E. fenauxi* 在亞洲也僅有一筆於日本南部海域的發現紀錄，其餘紀錄都在地中海及大西洋(Schultz, 2005; OBIS)，考量到形態特徵的不同及分佈區域差異，再加上圍岩岩性為細顆粒的泥質砂岩，根據化石樣本的特殊形態以及底質沉積物的環境條件，這些證據都跟過去(Nichols, 1959; Buchanan, 1966; Higgins, 1974; Kanazawa, 1992, 1995)的研究結

果十分相似，這也更加堅定本研究將二寮地區發現的這批心形海膽鑑定為 *Echinocardium cordatum* 的結果。

海膽的埋藏學一直以來都是在研究海膽化石時的一個重要課題，正形海膽由於幾乎都生活在淺海區的硬質海床上，像是珊瑚礁或是岩礁等，環境上不太容易遭到掩埋，因此較不容易形成化石，而歪形海膽及沙錢主要生活在軟底質海床上、並會鑽入表層沉積物中，這使其形成化石的機率大大增加。在海膽死後到埋藏的過程中主要有兩個過程，第一是棘刺脫落、第二是體板的分解(Nebelsick and Kampfer, 1994; Smith, 1984)，若海膽在死後未受到立刻埋藏，會在短時間內解體。*Echinocardium* 會鑽入沉積物的裡棲性，讓牠有更高的機率被保存下來並形成化石。本研究根據對化石標本的觀察，發現：原本覆蓋在海膽殼體上的棘刺全都脫落、並未保留，部分海膽呈現上下顛倒，且堆積得十分雜亂，但體殼大致上保存完整；再加上所有海星化石，儘管有些個體保存不完整，但大部分皆呈現口面朝下、反口面朝上、五腕正常伸展、整個身體平攤在沉積物中的正常生活姿態，因此認為這些海膽及海星在生前可能遭遇暴風等外力擾動造成的快速埋藏事件，且受到短距離搬運後再堆積形成化石。

Echinocardium cordatum 大多生活在水溫 10-15°C 的溫帶海域，是屬於冷水種的海膽，在亞洲區域主要分布在日本南部海域及黃海，海南島跟菲律賓則有零星的發現(Kroh and Mooi, 2021; UNESCO OBIS)，但在現今臺灣的周遭海域卻沒有任何發現紀錄。根據中央氣象局的將軍海溫測站及七股浮標的觀測資料，現今的臺南沿海的海表溫度不管是年均溫或是月均溫均在 20°C 以上，甚至還出現超過 27°C 以上的高溫，因此較高的海溫可能令現生的 *Echinocardium cordatum* 不適合在此區

域生存，僅出現在較寒冷的北方海域；*Craspidaster hesperus* 及 *Astropecten vappa* 這兩種海星適合生存的溫度為 10-30°C(主要為 25-30°C)，牠們對溫度的耐受性較高，從稍微寒冷至溫暖的環境都可以適應，因此至今仍生存在於臺灣西南部的淺海區域。綜合各個現生種的生存環境、化石產狀及前人的研究結果，在距今 0.99 至 0.61 個百萬年前的更新世早期至中期，在臺灣西南部的二寮地區、水深 20 至 30 公尺的地方住著一群底棲無脊椎生物，有二枚貝、海星及海膽等，牠們可能建立了一個小型生態系統，但因為暴風事件導致牠們被快速掩埋而死亡，而 *Echinocardium cordatum* 可能因為環境變冷，從北方隨著較寒冷的海水遷徙至臺灣附近海域，並在約 0.61 個百萬年之後隨著西南太平洋海域的海溫逐漸升高，牠們便消失在臺灣海峽。



第五章 結論

1. 由構造及形態特徵，將發掘於二寮地區的 27 件共 33 隻海星化石鑑定出同屬於柱體目、槭海星科但不同屬的 2 種海星，分別為：鑲邊海星屬的黃昏鑲邊海星 *Craspidaster hesperus* 以及槭海星屬的華普槭海星 *Astropecten vappa*，但由於並不是所有化石都有保留到關鍵的鑑種特徵，因此僅有少數能鑑定為近似種，其餘的大部分樣本皆鑑定為未定種。海星化石之鑑種統計結果詳見於表 5.1。
2. 跟海星化石一同採集於二寮地區的約 100 隻心形海膽化石，雖然皆為內鑄形且有程度不一的變形，但依據有保留下來的形態特徵，將這些海膽化石皆鑑定為獨團目、拉文海膽科、棘心海膽屬的心形棘心海膽 *Echinocardium cordatum*。
3. 根據化石產狀，雖然有雙殼俱在且緊閉的二枚貝、五腕平攤、身體完整的海星以及外殼完整的海膽，但由於海膽身上的棘刺全部脫落，因此認為這批化石並非原地埋藏(*in situ*)，而是受到短距離搬運再堆積，且成因為風暴等外力擾動造成的快速埋藏事件。
4. 根據現生種的生活環境及化石產狀，當時的沉積環境應在水深約 20 至 30 公尺，介於正常天氣波底線面(Fairweather wave base)至暴風波底線面(Storm wave base)間的遠濱過度帶(Offshore transition)或上部遠濱帶(Upper offshore)。
5. 根據超微化石分析，本文研究化石樣本的所屬地層在超微化石帶 NN19c 之內，其年代為距今 0.99 至 0.61 個百萬年前，介於更新世早期至中期，因此應屬於崎頂層下部的岡子林段。
6. *Echinocardium cordatum* 可能因環境變冷，從北方(黃海、日本海)遷徙、擴散至臺灣海峽，並在距今 0.61 個百萬年前，隨著環境變溫暖，離開並消失在臺灣海峽。

7. 本研究是目前臺灣已知的紀錄中最年輕的海星化石，也是首次報導
 槭海星科的化石紀錄。

表 5.1 本研究海星及海膽化石的鑑種結果統計

Species	N=
<i>Craspidaster cf. hesperus</i> 黃昏鑲邊海星的近似種	4
<i>Craspidaster sp.</i> 未定種鑲邊海星	21
<i>Astropecten cf. vappa</i> 華普槭海星的近似種	2
<i>Astropecten sp.</i> 未定種槭海星	3
Astropectinidae indt. 無法辨識的槭海星科海星	3
<i>Echinocardium cordatum</i> 心形棘心海膽	100

參考文獻

- 方瑞洋，2006，新化丘陵崎頂層底部扇貝化石密集層產狀之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 102 頁。
- 王良傑、陳志鵬，2007，南瀛化石誌。臺南縣政府初板，南瀛地景文化專輯，共 347 頁。
- 王明惠、楊天南，2019，高屏地區井下生物地層對比：臺灣石油地質，第 43 期，第 1-24 頁。
- 王嘉慶，1984，沙錢目海膽分類系統新議：中國地質學會會刊，第 27 號，第 119-152 頁。
- 王嘉慶、林久芳、李麗秋，1984，頭嵙山層海膽 *Scaphechinus mirabilis* 形貌之計量研究：經濟部中央地質調查所年報，七十二年度，第 49-56 頁。
- 朱偉嘉，2003，臺南關子嶺地區小型沙錢目海膽化石之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 67 頁。
- 朱偉嘉，2018，臺灣的海膽化石：地質，第 37 卷，第 4 期，第 28-31 頁。
- 朱家萱，2021，西太平洋暖池 MD97-2140 岩芯 120 萬至 60 萬年前之古海洋學研究：有孔蟲殼體穩定碳氧同位素與鎂鈣比值。國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文，共 75 頁。
- 早坂一郎，1933，臺灣產化石あかひとでに就いて（豫報）：臺灣地學記事，第 4 卷，第 2 號，第 15-16 頁。
- 早坂一郎，1933，高雄州下より採集せるヒトデの化石（自高雄州採集之 *Asterias* 化石）：臺灣博物學會會報，第 23 卷，第 126-127 號，第 185-187 頁。

早坂一郎，1948，臺灣海膽類雜紀：臺灣省海洋研究所研究集刊，第 4 號，第 1-2(中文), 1-36(英文)頁。

早坂一郎，1949，臺灣海星類雜紀：臺灣省海洋研究所研究集刊，第 5 號，第 7-8(中文), 11-19(英文)頁。

早坂一郎，1949，臺灣產化石海膽類：地學雜誌，第 679 號。

何信昌、謝凱旋、高銘健、陳華玟，2005，五萬分之一臺灣地質圖及說明書---第 50 號，新化圖幅。經濟部中央地質調查所出版，共 77 頁。

李坤瑄、陳章波，1994，臺灣常見的棘皮動物。國立海洋生物博物館出版，共 96 頁。

林日白，2018，細說海膽化石：地質，第 37 卷，第 4 期，第 22-27 頁。

林宗儀，1990，臺灣南部古亭坑層中砂岩之沈積學。國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 120 頁。

林啟文，2013，五萬分之一臺灣地質圖及說明書---第 56 號，旗山圖幅。經濟部中央地質調查所出版，共 93 頁。

林殿順，1991，臺灣西南部麓山帶上新-更新統之沉積岩相與沉積環境演化。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，共 93 頁。

吳樂群，1993，臺灣南部旗山地區上部新第三系及第四系之沉積層序與演化。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，共 212 頁。

吳榮章，1982，臺南縣龜丹溪剖面之生物地層及其沉積環境：探採研究彙報，第 5 期，第 57-89 頁。

吳榮章，1984，臺南縣曾文溪剖面之生物地層及其沉積環境：探採研究彙報，第 7 期，第 33-51 頁。

吳榮章、梅文威，1985，高雄縣旗山至鳳山地區新第三紀及第四紀地層之生物地層與古沉積環境：探採研究彙報，第 8 期，第 58-75 頁。

吳榮章、梅文威，1992，高雄縣旗山至鳳山地區生物地層與古沉積環境研究：經濟部中央地質調查所特刊，第 6 號，第 263-295 頁。

許威傑，2007，臺灣西南部六重溪層與崁下寮層假整合界面的成因。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，共 95 頁。

張恭豪，2015，臺灣西南部前陸盆地初始發育的沉積環境演化。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 70 頁。

范力仁，2011，臺灣西南部內麓山帶前陸盆地地層架構研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 72 頁。

羅建育，1988，臺灣南部古亭坑泥岩之沈積學研究。國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 104 頁。

茅秀娟，2003，臺灣西南部新化丘陵地區鬮齒動物化石牙齒之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 111 頁。

廖玉麟、肖寧，2011，中國海棘皮動物的種類組成及區系特點：生物多樣性，第 19 卷，第 6 號，第 729-736 頁。

廖明威，2014，臺灣西南部麓山帶下部上新統之沉積環境及地層對比研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 97 頁。

曾德明，2010，甲仙化石誌增修四版。高雄市甲仙區公所出版，共 208 頁。

莊三忠,2020,臺南玉井地區海膽化石之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文,共 170 頁。

莊智凱、吳允心、魏國彥,2009,臺南左鎮菜寮三崁山剖面之鈣質超微化石生物地層:經濟部中央地質調查所特刊,第 22 號,第 197-214 頁。

陳文山、洪崇勝、謝凱旋、何信昌、陳勉銘,1997,臺灣西南部地區更新世岩層的對比:第四屆地層研討會,臺灣西南部地區地質研討會大會手冊及論文摘要,第 47-52 頁。

陳文山、黃能偉、楊志成,2011,臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化:經濟部中央地質調查所特刊,第二十五號,第 1-38 頁。

陳文山、游能悌,2016,西部麓山帶地質區。陳文山(編者):臺灣地質概論,第五章,第 53-90 頁。

陳國勤,王展豪,李坤瑄,邱郁文,2021,臺灣百種海洋動物 II-無脊椎動物。海洋委員會海洋保育署出版,共 272 頁。

趙世民,1999,臺灣棘皮動物誌---海星類分類之研究(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告,共 4 頁。

趙世民,2000,臺灣棘皮動物誌---海膽類分類之研究(II)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告,共 4 頁。

趙世民,2002,臺灣深海生物多樣性之研究調查---臺灣深海棘皮動物多樣性調查研究(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告,共 7 頁。

趙世民,2004,臺灣深海生物多樣性之研究調查---臺灣深海棘皮動物多樣性之研究(III)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告,共 11 頁。

趙世民、蘇焉，2009，臺灣的海星：生態與多樣性。國立自然科學博物館出版，共 259 頁。

黃能偉，2001，臺灣西南部更新統(左鎮地區)層序地層之初探。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，共 120 頁。

黃廷章、丁志興，1981，臺灣晚新第三紀淺海沉積超微化石生物地層：地質，第 3 卷，第 105-119 頁。

黃敦友，1959，臺南縣曾文溪西段地層剖面微體古生物之研究：臺灣科學，第 13 卷，1 期，第 29-35 頁。

黃敦友，1960，臺南縣那拔林背斜東翼地層剖面微古生物學的研究：臺灣科學，第 14 卷，第 4 號，第 195-198 頁。

黃進傳，2011，臺灣各地的海膽化石。個人出版，共 208 頁。

黃進傳，2015，臺灣各地的海膽化石 II。個人出版，共 124 頁。

烏居敬造，1932，臺南州新化油田調查報告及地質圖，比例尺三萬分之一。臺灣總督府殖產局出版第 609 號，共 29 頁。

紀文榮，1978，臺南縣曾文溪剖面之超微化石研究：探採研究彙報，第 1 期，第 45-60 頁。

紀文榮，1981，臺南縣泥岩區之超微體生物地層與對比研究：石油，17 卷，1 期，第 47-65 頁。

紀文榮，1982，嘉義、新營麓山帶地區新第三系之生物地層與對比：探採研究彙報，第 5 期，第 13-38 頁。

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，第 18 號，第 51-83 頁。

張錫齡，1962，六雙層之地層命名：中國地質學會專刊，第 1 號，第 189-192 頁。

鍾廣吉，1979，新化丘陵之地質與地形：地質，第 2 卷，第 31-38 頁。

鍾廣吉，1989，臺南縣境內新化丘陵之化石地質景觀及基礎地質調查。行政院農業委員會，78 年生態研究第 16 號，共 20 頁。

謝莉芬，1995，臺灣新生代錐螺科(Turritellidae)化石之分類研究 45-53 頁。國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文，共 132 頁(含圖版)。

謝英宗、謝凱旋，2009，菜寮溪三崁山剖面之沉積環境與化石群落：國立臺灣博物館學刊，第 62 卷，第 3 期，第 1-26 頁。

謝凱旋、洪崇勝，2010，臺灣西南部麓山帶地層與盆地架構：西南部麓山帶的地層系統和對比問題：第 6 屆臺灣地層研討會論文集，第 45-53 頁。

劉傳聯、金曉波、蘇翔、張洪瑞、程眾、馬瑞罡、馬曉旭，2018，鈣質超微化石在第四紀年代地層學中的應用：第四紀研究，第 38 卷，第 3 期，第 782-791 頁。

Blake, D.B., 1987, A classification and phylogeny of post-Palaeozoic sea stars (Asteroidea: Echinodermata): *Journal of Natural History*, v. 21, p. 481-528.

Blake, D.B., 2013, Early asterozoan (Echinodermata) diversification: A paleontologic quandary: *Journal of Paleontology*, v. 87, p. 353-372.

Blake, D.B., and Hagdorn, H., 2003, The Asteroidea (Echinodermata) of the Muschelkalk (Middle Triassic of Germany): *Paläontologische Zeitschrift*, v. 77, p. 23-58.

- Blake, D.B., Halligan, W.K., Larson, N.L., 2018, A new species of the asteroid genus *Betelgeusia* (Echinodermata) from methane seep settings, Late Cretaceous of South Dakota: *Journal of Paleontology*, v. 92, p. 1-11.
- Blake, D.B., and Hotchkiss, F.H.C., 2004, Recognition of the asteroid (Echinodermata) crown group: Implications of the ventral skeleton: *Journal of Paleontology*, v. 78, p. 359-370.
- Blake, D.B., and Jagt, J.W.M., 2005, New latest Cretaceous and earliest Paleogene asteroids (Echinodermata) from the Netherlands and Denmark and their palaeobiological significance: *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, v. 75, p. 183-200.
- Blake, D. B., and Portell, R. W., 2009, Implications for the Study of Fossil Asteroidea (Echinodermata) of New Genera and Species from the Eocene of Florida: *Journal of Paleontology*, v. 83, p. 562-574.
- Blake, D. B., and Reboul, R., 2011, A new asteroid (Echinodermata) faunule from the Early Cretaceous (Barremian) of Morocco: *Journal of Paleontology*, v. 85, p. 1021-1034.
- Blake, D. B., and Reid, R. III, 1998, Some Albian (Cretaceous) asteroids (Echinodermata) from Texas and their paleobiological implications: *Journal of Paleontology*, v. 72, p. 512-532.
- Buchanan, J., 1966, The biology of *Echinocardium cordatum* [Echinodermata: Spatangoidea] from different habitats: *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 46, p. 97-114.
- Blake, D. B., Donovan, S.K., Mah, C.L., and Dixon, H.L., 2015, Asteroid (Echinodermata) skeletal elements from upper Oligocene deposits of Jamaica and Antigua: *Geological Magazine*, v. 152, p. 1043-1056.
- Chao, S. M., 1999, A revision of the family Astropectinidae (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan, with description of five new records: *Zoological Studies*, v.38, no.3, p. 257-267.

- Chao, S. M., 1999, Revision of Taiwan starfish (Echinodermata: Asteroidea), with description of ten new records: *Zoological Studies*, v.38, no.4, p. 405-415.
- Chao, S. M., 2000, New Records of Sea Stars (Asteroidea: Echinodermata) from the Continental Shelf of Taiwan: *Zoological Studies*, v.39, no.3, p. 275-284.
- Chao, S. M., 2000, The irregular sea urchins (Echinodermata: Echinoidea) from Taiwan, with descriptions of six new records: *Zoological Studies*, v.39, no.3, p. 250-265.
- Chao, S. M., 2001, Seven newly recorded starfish from Taiwan (Echinodermata: Asteroidea): *Bulletin of the National Museum of Natural Science*, v.13, p. 1-12.
- Chao, S. M., 2002, The shallow-water echinoderms from Lanyu, Taiwan: *Collection and Research*, v.15, p. 1-7.
- Chao, S. M., Chen, C. P., Chang, K. H., 1990, Two newly recorded asteroids (Echinodermata: Asteroidea) from northeastern Taiwan: *Yushania*, v.7, p. 1-5.
- Chao, S. M., Chang, K. H., 1989, Some shallow-water Asteroids (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan: *Bulletin of Institute of Zoology, Academia Sinica*, v.28, p. 215-223.
- Clark, A. M., 1962, Asteroidea: B.A.N.Z. Antarctic Research Expedition, Reports, ser. B, v. 9: Adelaide, Australia, Griffin Press, 104 p.
- Clark, A. M., and Downey, M. E., 1992, *Starfishes of the Atlantic*: London, Chapman and Hall, 794 p.
- David, B., and Laurin, B., 1996, Morphometrics and cladistics: measuring phylogeny in the sea urchin *Echinocardium*. *Evolution*, v. 50, no. 1, p.348–359.
- de Ridder, C., and Saucède, T., 2020, Chapter 20 - *Echinocardium cordatum* in *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Fourth Edition: *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, v. 43, p. 337-357.

- Fisher, W. K., 1911, Asteroidea of the North Pacific and adjacent waters: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 76, 420 p.
- Fisher, W. K., 1919, Starfishes of the Philippine Seas and adjacent waters: Bulletin of the United States National Museum, v. 100, no. 3, 712 p.
- Gale, A. S., 2011, The phylogeny of post-Palaeozoic Asteroidea (Neoasteroidea, Echinodermata): Special Papers in Palaeontology, v. 38, 112 p.
- Hayasaka, I., and Morishita, A., 1947, Notes On Some Fossil Echinoids Of Taiwan, II: ACTA Geologica Taiwanica, v.1, no.2, p. 93-109.
- Hayasaka, I., 1947, Notes On Some Fossil Echinoids Of Taiwan, III: ACTA Geologica Taiwanica, v.1, no.2, p. 111-128.
- Hayasaka, I., 1947, Notes On Some Fossil Echinoids Of Taiwan, IV: ACTA Geologica Taiwanica, v.2, no.2, p. 85-124.
- Hayasaka, I., 1951, Fossil Echinoids from Taiwan: Journal of Geography (Chigaku Zasshi), v.60, no.1, p. 26-30.
- Higgins, R.C., 1974, Specific status of *Echinocardium cordatum*, *E. australe* and *E. zealandicum* (Echinoidea: Spatangoida) around New Zealand, with comments on the relation of morphological variation to environment. Journal of Zoology, v. 173, p. 451–475.
- Jangoux, M., 2022, The type specimens of extant asteroids (Echinodermata) in the Muséum national d'Histoire naturelle of Paris: Zoosystema, v. 44, no. 11, p. 259-334.
- Kanazawa, K., 1992, Adaptation of test shape for burrowing and locomotion in spatangoid echinoids: Paleontology, v. 35, no. 4, p. 733–750.
- Kanazawa, K., 1995, How spatangoids produce their traces: relationship between burrowing mechanism and trace structure. Lethaia 28, p. 211–219.

- Kier, P. M., and Lawson, M. H., 1978, Index of Living and Fossil Echinoids 1924-1970: Smithsonian contributions to paleobiology, no. 34, 182 p.
- Kroh, A., 2007, Climate changes in the Early to Middle Miocene of the Central Paratethys and the origin of its echinoderm fauna: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 253, Issues 1-2, p. 169-207.
- Kroh, A., 2010, Index of Living and Fossil Echinoids 1971-2008: Annalen des naturhistorischen Museums in Wien, Serie a, v. 112, p. 195-470.
- Kroh, A., and Mooi, R., 2023. World Echinoidea Database. Available online at <http://www.marinespecies.org/echinoidea> [accessed 2023-7-20].
- Kroh, A., and Smith, A. B., 2011, The phylogeny and classification of post-Palaeozoic echinoids: Journal of Systematic Palaeontology, v.8, no.2, p. 147-212.
- Lane, D. J. W., Marsh, L. M., VandenSpiegel, D., and Rowe, F. W. E., 2000, Echinoderm fauna of the South China Sea: An inventory and analysis of distribution patterns, The Raffles Bulletin of Zoology, Supplement 8:459-493.
- Lawrence, J. M.,(Editor), 2013, Starfish: Biology & Ecology of the Asteroidea, Baltimore, MD, USA: Johns Hopkins University Press, 267 p.
- Lawrence, J. M., Cobb, J. C., Herrera, J. C., Durán-gonzález, A., Solís-marín, F. A., 2018, Morphological comparison of *Astropecten cingulatus* and a new species of *Astropecten* (Paxillosida, Astropectinidae) from the Gulf of Mexico: Zootax, v. 4407, no. 1,p.86-100.
- Liao, Y. L., Clark, A. M., 1995, The echinoderms of southern China: Science Press, Beijing, 614 p.
- Mah, C.L., 2023, World Asteroidea Database. Available online at <https://www.marinespecies.org/asteroidea> [accessed 2023-7-20].

- Mah, C. L., and Foltz, D., 2011, Molecular phylogeny of the Valvatacea (Asteroidea: Echinodermata): Zoological Journal of the Linnean Society, v. 161, p. 769-788.
- Mah, C.L., and Foltz, D., 2011, Molecular phylogeny of the Forcipulatacea (Asteroidea: Echinodermata): Systematics and biogeography: Zoological Journal of the Linnean Society, v. 162, p. 646-660.
- Mooi, R., and Munguia, A., 2014, Sea Urchins of the Philippines: The 2011 Hearst Philippine Biodiversity Expedition. California Academy of Sciences, p. 213-235.
- Mortensen, T., 1951, A Monograph of the Echinoidea. V, 2. Spatangoida II. Amphisternata II. Spatangidae, Loveniidae, Pericosmidae, Schizasteridae, Brissidae: C. A. Reitzel, Copenhagen. 593 p.
- Nichols, D., 1959, Changes in the chalk heart-urchin *Micraster* interpreted in relation to living forms. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, v. 242, no. 693, p. 347-437.
- Nisiyama, S., 1968, The echinoid fauna from Japan and adjacent regions, Part II: Palaeontological society of Japan special papers, no.13, 481 p.
- Radwański, A., and Wysocka, A., 2001, Mass aggregation of Middle Miocene spine-coated echinoids *Echinocardium* and their integrated eco-taphonomy: Acta Geologica Polonica, v. 51, p. 295-316.
- Radwański, A., and Wysocka, A., 2004, A farewell to Świniary sequence of mass-aggregated, spine-coated echinoids *Psammechinus* and their associates (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Central Poland): Acta geologica Polonica, v. 54, no. 3, p.381-399.
- Radwański, A., Górka, M., and Wysocka, A., 2014, Badenian (Middle Miocene) echinoids and starfish from western Ukraine, and their biogeographic and stratigraphic significance: Acta geologica Polonica, v. 64, no. 2, p.207-247.

- Schultz, H., 2005, Sea Urchins: H. & P. Schultz Partner Scientific Publications Hemdingen, 484 p.
- Sladen, W. P., 1889, Report on the Asteroidea: Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873-1876: Zoology, v. 30, 894 p.
- Smith, A. B., 1984, Echinoid palaeobiology, *Special Topics in Palaeontology*: George Allen & Unwin, London, 190 p.
- Spencer, W. K., and Wright, C. W., 1966, Asterozoans, in Moore, R.C., ed., *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Pt. U, Echinodermata 3(1): Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas, Geological Society of America and University of Kansas, p U4-U107.
- Stach, L.W., 1957, Stratigraphic subdivision and correlation of the upper Cenozoic sequence in the foothills region east of Chiayi and Hsinying, Taiwan, China: Symposium on Petrology Geology of Taiwan, p. 177-230.
- Wu, S. K., 1982, The ophiurians (Echinodermata: Ophiuroidea) of Taiwan: Biological Bulletin of National Taiwan Normal University, v.17, p. 15-23.

附錄一 臺灣目前的現生海星 (整理自 Chao, 2004 ; TaiCOL, 2023 ; 趙和蘇, 2009)

Class Asteroidea 海星綱

Order Paxillosida 柱體目

Family Astropectinidae 槭海星科

Genus *Astropecten* 槭海星屬

Species *Astropecten polyacanthus* 多棘槭海星

Species *Astropecten vappa* 華普槭海星

Species *Astropecten velitaris* 怒棘槭海星

Genus *Craspidaster* 鑲邊海星屬

Species *Craspidaster hesperus* 黃昏鑲邊海星

Genus *Ctenopleura* 櫛肋海星屬

Species *Ctenopleura fisheri* 費氏櫛肋海星

Species *Ctenopleura sinica* 中華櫛肋海星

Genus *Dipsacaster* 荊棘海星屬

Species *Dipsacaster pretiosus* 美麗荊棘海星

Genus *Proserpinaster* 女神海星屬

Species *Proserpinaster euryactis* 廣曙女神海星

Genus *Tethyaster* 神海星屬

Species *Tethyaster aulophorus* 海神海星

Family Benthoplectinidae 深海槭海星科

Genus *Benthopecten* 深海槭海星屬

Species *Benthopecten* sp. 未定種深海槭海星

Genus *Cheiraster* 手海星屬

Species *Cheiraster planus* 扁平手海星

Family Ctenodiscidae 櫛盤海星科

Genus *Ctenodiscus* 櫛盤海星屬

Species *Ctenodiscus orientalis* 東方櫛盤海星

Family Luidiidae 砂海星科

Genus *Luidia* 砂海星屬

Species *Luidia avicularia* 松砂海星

Species *Luidia hardwicki* 哈氏砂海星

Species *Luidia maculate* 斑砂海星

Species *Luidia quinaria* 刺砂海星

Family Porcellanasteridae 瓷海星科

Genus *Eremicaster* 漠海星屬

Species *Eremicaster crassus* 粗荒漠海星

Genus *Sidonaster* 西頓海星屬

Species *Sidonaster vaneyi* 凡氏西頓海星

Family Pseudarchasteridae

Genus *Paragonaster* 仿角海星屬

Species *Paragonaster ctenipes* 櫛仿角海星

Genus *Pseudarchaster*

Species *Pseudarchaster* sp.

Family Radiasteridae 輻海星科

Genus *Radiaster* 輻海星屬

Species *Radiaster notabilis* 黑汁輻海星

Order Valvatida 顯帶目

Family Acanthasteridae 長棘海星科

Genus *Acanthaster* 長棘海星屬

Species *Acanthaster planci* 普氏長棘海星

Family Archasteridae 飛白楓海星科

Genus *Archaster* 飛白楓海星屬

Species *Archaster typicus* 飛白楓海星

Family Asterinidae 海燕科

Genus *Anseropoda*

Species *Anseropoda rosaceae* 荷葉海燕

Genus *Aquilonastra*

Species *Aquilonastra anomala* 紊亂海燕

Species *Aquilonastra burtoni* 伯頓氏海燕

Species *Aquilonastra coronate* 花冠海燕

Species *Aquilonastra limboonkengi* 林氏海燕

Genus *Cryptasterina*

Species *Cryptasterina pentagona*

Genus *Disasterina* 皮海燕屬

Species *Disasterina odontacantha* 齒刺皮海燕

Genus *Indianastra* 直齒海燕屬

Species *Indianastra sarasini* 薩拉氏直齒海燕

Genus *Nepanthia* 尼斑海星屬

Species *Nepanthia belcheri* 刺腕蠍海燕

Genus *Patiria* 海蝠屬

Species *Patiria pectinifera* 槭海蝠

Family Asterodiscididae 星盤海星科

Genus *Asterodiscides* 星盤海星屬

Species *Asterodiscides japonicus* 日本星盤海星

Family Asteropseidae 鋸腕海星科

Genus *Asteropsis* 鋸腕海星屬

Species *Asteropsis carinifera* 脊鋸腕海星

Family Goniasteridae 角海星科

Genus *Anthenoides* 花海星屬

Species *Anthenoides granulatus* 顆粒花海星

Species *Anthenoides laevigatus* 光滑花海星

Species *Anthenoides tenuis* 窄花海星

Genus *Calliaster* 美麗海星屬

Species *Calliaster childreni* 柴氏麗海星

Species *Calliaster euphylacteam* 堅棘麗海星

Genus *Ceramaster* 餅乾海星屬

Species *Ceramaster japonica* 日本餅乾海星

Genus *Fromia* 單鰓海星屬

Species *Fromia milleporella* 多孔單鰓海星

Species *Fromia monilis* 珠鏈單鰓海星

Genus *Goniodiscaster* 角盤海星屬

Species *Goniodiscaster forficulatus* 缺紋盤海星

Species *Goniodiscaster granuliferus* 顆粒角盤海星

Genus *Hippasteria* 馬海星屬

Species *Hippasteria imperialis* 帝王馬海星

Genus *Mediaster*

Species *Mediaster arcuatus* 銳形角海星

Species *Mediaster brachiatus* 中腕角海星

Genus *Neoferdina* 新飛地海星屬

Species *Neoferdina insolita* 棕緣蛇海星

Genus *Stellaster* 章海星屬

Species *Stellaster childreni* 柴氏章海星

Genus *Stellasteropsis*

Species *Stellasteropsis colubrinus* 鼠李角海星

Family Mithrodiidae 棒棘海星科

Genus *Mithrodia* 棒棘海星屬

Species *Mithrodia clavigera* 棒棘海星

Family Ophidiasteridae 蛇星科

Genus *Cistina* 盒星屬

Species *Cistina columbiae* 哥倫比亞盒星

Genus *Leiaster* 滑皮海星屬

Species *Leiaster speciosus* 美麗滑皮海星

Genus *Linckia* 指海星屬

Species *Linckia guildingi* 蓋丁指海星

Species *Linckia laevigata* 藍指海星

Species *Linckia multifora* 多篩指海星

Genus *Nardoa* 納多海星屬

Species *Nardoa frianti* 飛氏納多海星

Species *Nardoa tumulosa* 瘤納多海星

Genus *Ophidiaster* 蛇海星屬

Species *Ophidiaster armatus* 飾物蛇海星

Species *Ophidiaster cribrarius* 少篩蛇海星

Species *Ophidiaster granifer* 顆粒蛇海星

Species *Ophidiaster hemprichi* 曙光蛇海星

Genus *Certonardoa*

Species *Certonardoa semiregularis*

Family Oreasteridae 瘤海星科

Genus *Anthenea* 花瘤海星屬

Species *Anthenea chinensis* 中華花瘤海星

Genus *Choriaster*

Species *Choriaster granulatus* 粒皮瘤海星

Genus *Culcita* 麵包海星屬

Species *Culcita novaeguineae*

Genus *Halityle* 膨海星屬

Species *Halityle regularis* 規則膨海星

Genus *Pentaceraster* 疣海星屬

Species *Pentaceraster chinensis* 中華疣海星

Species *Pentaceraster westermanni* 棘疣海星

Family Solasteridae 太陽海星科

Genus *Lophaster* 脊海星屬

Species *Lophaster asiaticus* 亞洲脊海星

Species *Lophaster* sp. 未定種脊海星

Species *Solaster paxillatus* 顆粒太陽海星

Order Forcipulatida 鉗棘目

Family Asteriidae 海盤車科

Genus *Asterias* 海盤車屬

Species *Asterias rollestoni* 羅氏海盤車

Species *Asterias versicolor* 異色海盤車

Genus *Coronaster* 冠海盤車屬

Species *Coronaster sakuranus* 櫻花冠海盤車

Species *Coronaster volsellatus* 座冠海盤車

Genus *Coscinasterias* 篩海盤車屬

Species *Coscinasterias acutispina* 尖棘篩海盤車

Genus *Distolasterias* 長腕海盤車屬

Species *Distolasterias nipon* 日本長腕海盤車

Family Zoroasteridae 正海星科

Genus *Zoroaster* 正海星屬

Species *Zoroaster ophiactis* 輻鼠尾海星

Order Spinulosida 有棘目

Family Echinasteridae 棘海星科

Genus *Echinaster* 棘海星屬

Species *Echinaster callosus* 赤麗棘海星

Species *Echinaster luzonicus* 呂宋棘海星

Genus *Metrodira* 錐棘海星屬

Species *Metrodira subulata* 瘤錐棘海星

Order Velatida 有緣目

Family Pterasteridae 翅海星科

Genus *Euretaster* 真網海星屬

Species *Euretaster insignis* 真網海星

Order Brisingida 擬蛇尾目

Family Brisingidae 項鍊海星科

Genus *Brisingines* 項鍊海星屬

Species *Brisingines* sp. 未定種項鍊海星

Genus *Novodinia* 新奧丁海星屬

Species *Novodinia* sp. 未定種新奧丁海星

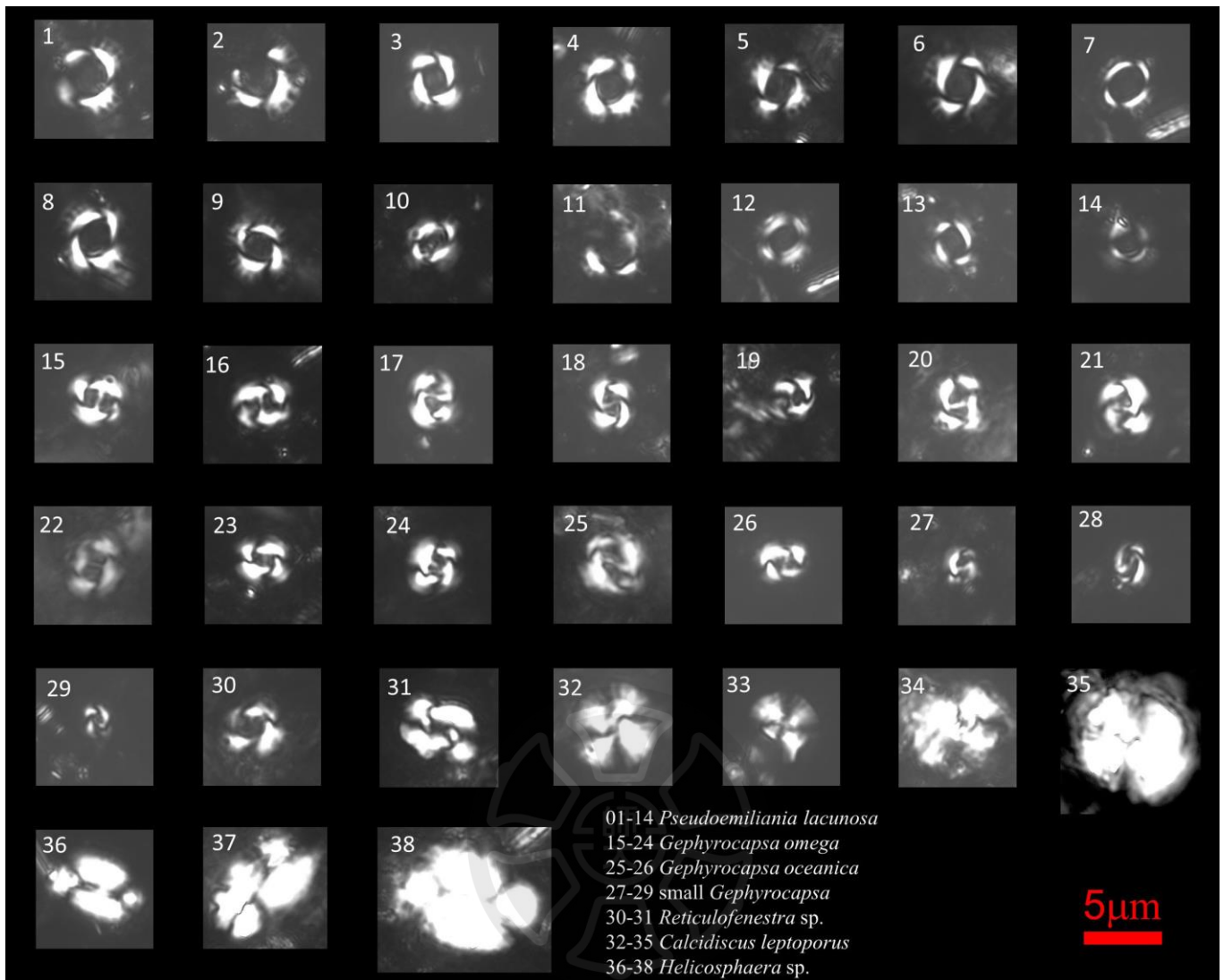
附錄二 海星專有名詞中英文對照表 (整理自 Spencer and Wright, 1966 ; Gale, 2011 ; Blake, 2013 ; 趙和蘇, 2009)

英文名稱	中文名稱
aboral	反口面
abactinal	反口面
abactinal ossicle	反口板(背板)
actinal	口面
actinal ossicle	口板(腹板)
adambulacral	側步帶
adambulacral ossicle	側步帶板
adambulacral spine	側步帶棘
ambulacral	步帶
ambulacral groove	步帶溝
ambulacral ossicle	步帶板
ambulacral spine	步帶棘
ampulla	罈囊
anus	肛門
arm	腕(足)
carinal ossicle	龍骨板
disc	體盤
fasciole	帶線
granule	顆粒體
inferomarginal ossicle	下緣板
interbrachial	臂間區

Interradial	間輻區
madreporite	篩板
marginal spine	緣棘
mouth angle ossicle (MAO)	口角骨
oral	口面
papula	皮腮
paxilla	小柱體
pedicellaria	叉棘
peristome	口圍
radial	輻
spine	棘
superomarginal ossicle	上緣板
superambulacral ossicle	上步帶板
terminal ossicle	端板
tube foot	管足

附錄三 二寮區域地層之超微化石研究(莊智凱，未發表)

由前人文獻(何信昌等, 2005; 莊智凱等, 2009; 謝英宗與謝凱旋, 2009; 謝凱旋與洪崇勝, 2010)得知二寮地區的地層年代大致為更新世早期, 超微化石帶約為 NN19; 該化石帶的主要指準化石有 *Pseudoemiliana lacunosa*、*Gephyrocapsa oceanica*, 輔助指準化石有 *Gephyrocapsa omega*、*Gephyrocapsa caribbeanica*、small *Gephyrocapsa* spp.、*Reticulofenestra asanoi* 等。而 NN19 根據 Chi(1978), 謝凱旋與洪崇勝(2010)等的研究, 又可再細分為四個亞帶, 由老至年輕依序為: NN19s、NN19a、NN19b、NN19c。以下簡述各亞帶之界定原則: NN19s 亞帶, 界於 *Discoaster brouwei* 的末現面與 *Gephyrocapsa oceanica* 的初現面(1.93-1.73 Ma); NN19a 亞帶, 界於 *Gephyrocapsa oceanica* 的初現面至 *Gephyrocapsa oceanica* 首次大量減少或消失面之間(1.73-1.24 Ma); NN19b 亞帶, 界於 *Gephyrocapsa oceanica* 首次大量減少或消失至本種再度大量出現之期間(1.24-1.02 Ma); NN19c 亞帶, 界於 *Gephyrocapsa oceanica* 之再現面至 *Pseudoemiliana lacunosa* 的絕滅面(1.02-0.46 Ma)。在日出亭附近出露地層的岩石樣本中, 除了發現豐富的鈣質超微化石 *Pseudoemiliana lacunosa* 和中小型的 *Gephyrocapsa* 屬, 其中亦有出現了橋狀構造與長軸近乎垂直的中型 *Gephyrocapsa omega* (見圖 2.8)。這表示該年代必不老於中型 *Gephyrocapsa* 之再現面(~1.02Ma)且不年輕於 *Gephyrocapsa omega* 的末現面(~0.61 Ma), 再配合 Horng 等人 (1998) 反向磁地層之研究結果, 則可將年代修正為 0.61 ~ 0.99 Ma、為超微化石帶 NN19c 的下半部; 在時間上, 應屬於新化圖幅中(何信昌等, 2005)之崎頂層下部的岡子林段沉積, 或相當於 Stach (1955)及 Huang(1967, 1977)之上部古亭坑層。



偏光顯微鏡拍攝之日出亭附近出露地層(WGS84 座標：22.997°N, 120.41089°E) 岩石樣本的超微化石影像(莊智凱，未發表)。

圖版一說明

圖 1-4：館藏編號 NMNS007164-F054242，*Craspidaster cf. hesperus* 的化石標本，拍照顯示其反口面觀。(圖 2-4 以 TORI FOCUS 拍攝)。

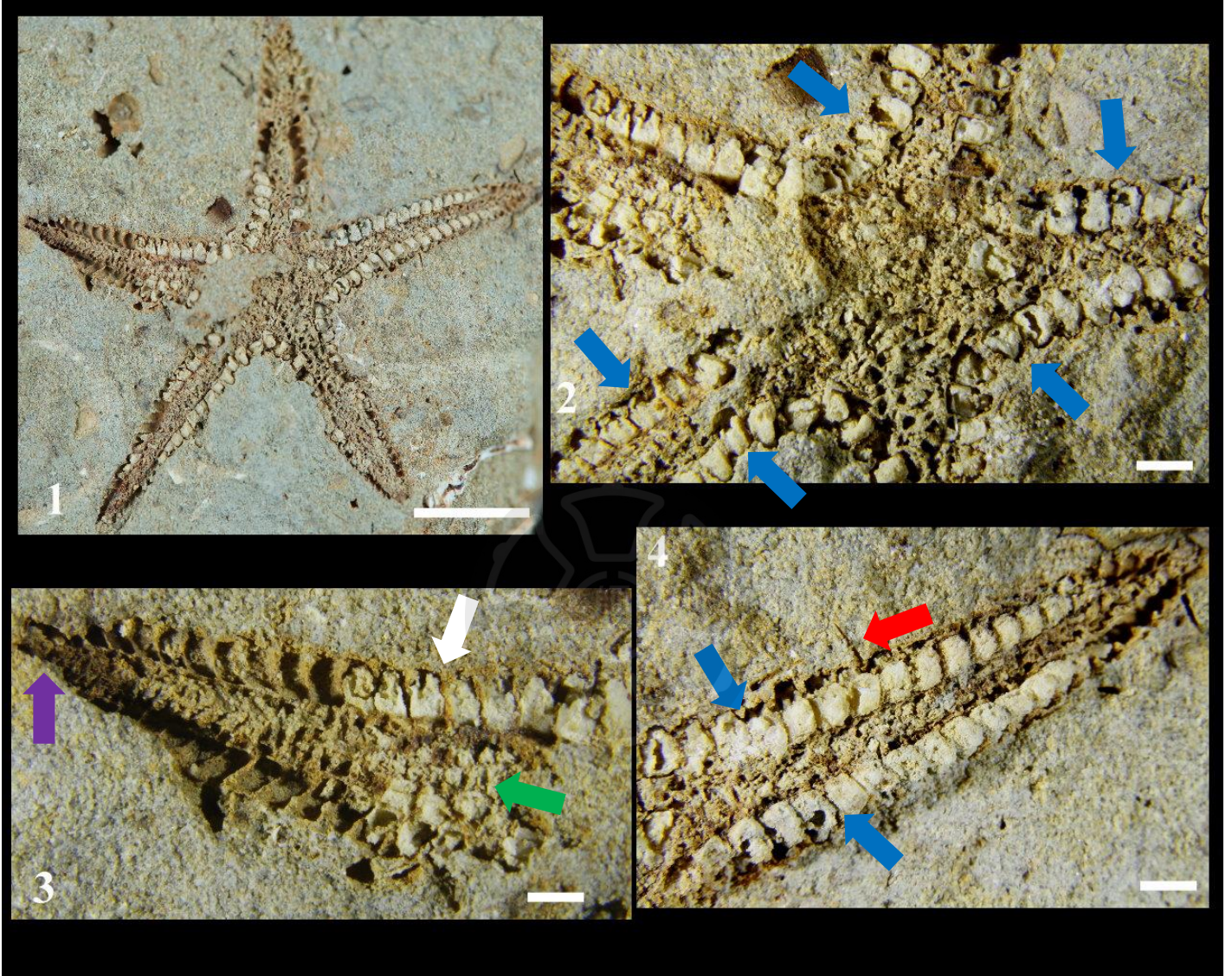
圖 1 為完整外觀，比例尺為 1 公分。

圖 2 為體盤區域的放大影像，臂間區有上緣板的殘留(藍色箭號)，比例尺為 1 毫米。

圖 3 為圖一中左側那隻腕部的放大影像，可見有下緣板(白色箭號)、步帶板(綠色箭號)的殘留，及端板的印痕(紫色箭號)，比例尺為 0.5 毫米。

圖 4 為圖一中右側那隻腕部的放大影像，可見有上緣板的殘留(藍色箭號)，及棘刺的印痕(紅色箭號)，比例尺為 0.5 毫米。

圖版一



圖版二說明

圖 1-5：館藏編號：NMNS007164-F054247，拍照顯示反口面觀。

圖 1 為本化石標本的整體外觀，比例尺為 3 公分。

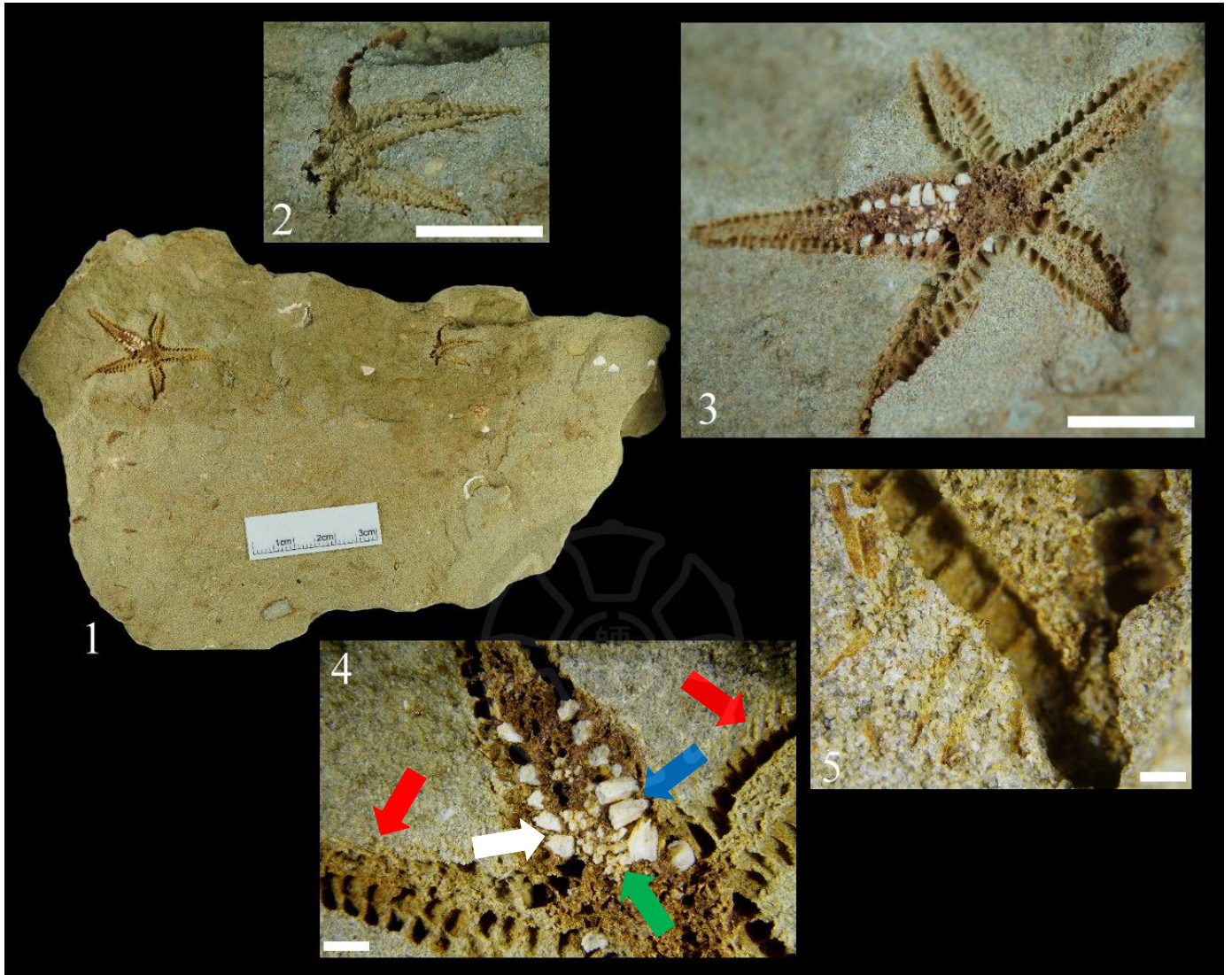
圖 2 為 F054247-1 僅保留印痕的 *Craspidaster* sp. 化石，比例尺為 1 公分。

圖 3 為 F054247 *Craspidaster* cf. *hesperus* 的完整外觀，比例尺為 1 公分。

圖 4 為圖 3 中，左側的腕部近照，顯示腕中部有兩兩成對的步帶板(綠色箭號)，兩側有明顯的上(藍色箭號)、下緣板(白色箭號)，以及大形扁平棘的印痕(紅色箭號)，比例尺為 1 毫米。(以 TORIFOCUS 拍攝)。

圖 5 為圖 3 中右下側腕部的局部放大影像，可以清楚看到在緣板外側有大形扁平棘的印痕，似乎是一對緣板配有一根棘刺，比例尺為 0.2 毫米。(以 TORIFOCUS 拍攝)。

圖版二



圖版三說明

圖 1-2：館藏編號 NMNS007164-F054264，*Craspidaster cf. hesperus* 的化石標本，拍照顯示個體之反口面觀。

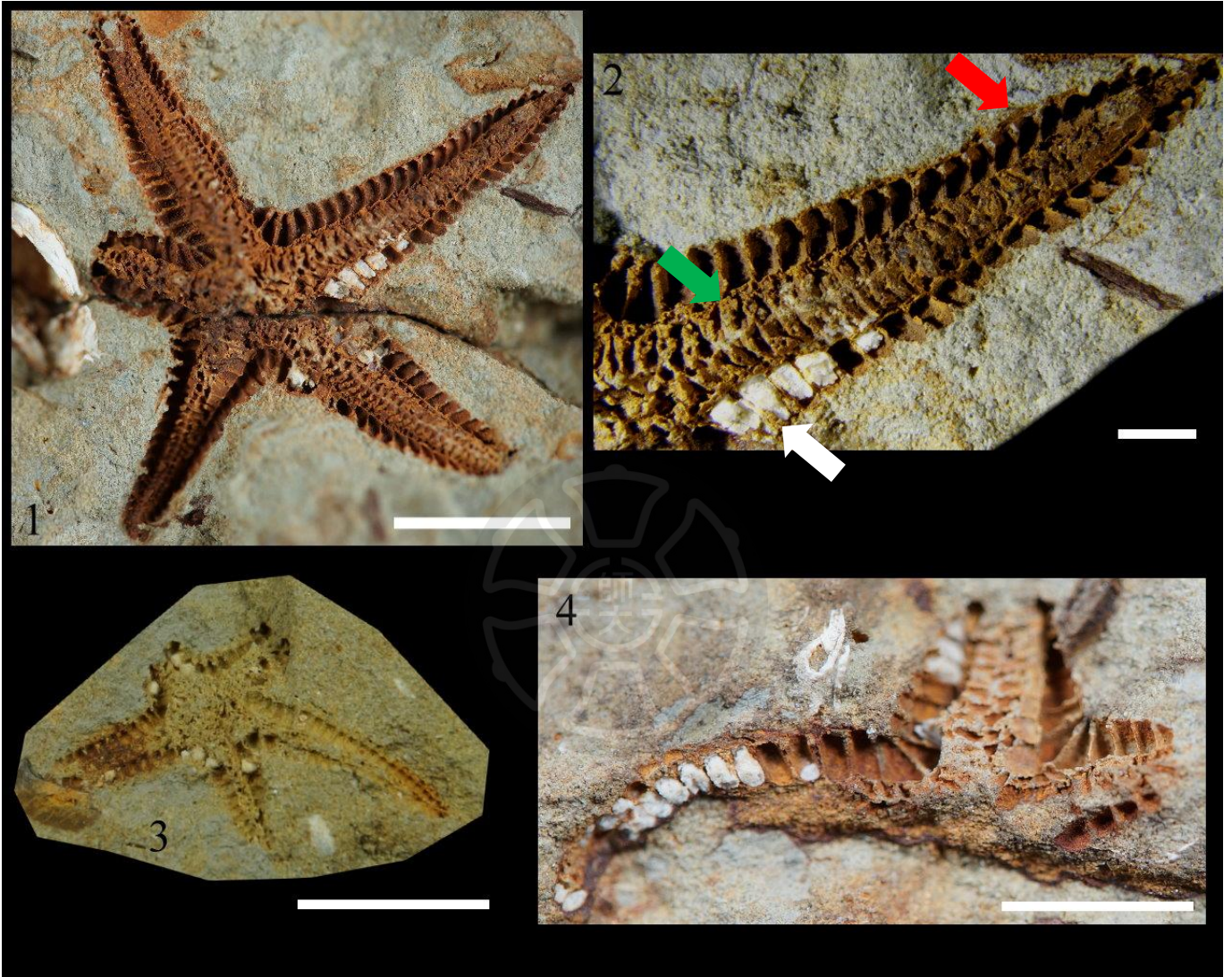
圖 1 為本化石標本的整體外觀，比例尺為 1 公分。

圖 2 為圖 1 中，右上側腕部的近照，有下緣板的殘留(白色箭號)、步帶板的印痕(綠色箭號)，紅色箭號則是緣棘的印痕，比例尺為 1 毫米。(以 TORI FOCUS 拍攝)。

圖 3：館藏編號 NMNS007164-F054242-1，為 *Craspidaster sp.* 的化石，拍照顯示個體之反口面觀，比例尺為 1 公分。

圖 4：館藏編號 NMNS007164-F054263，為 *Craspidaster sp.* 的化石，拍照顯示個體之反口面觀，比例尺為 1 公分。

圖版三



圖版四說明

圖 1-2：館藏編號：NMNS007164- F054249，*Astropecten cf. vappa* 的化石標本，拍照影像顯示其反口面觀。

圖 1 為本化石標本的整體外觀，比例尺為 1 公分。

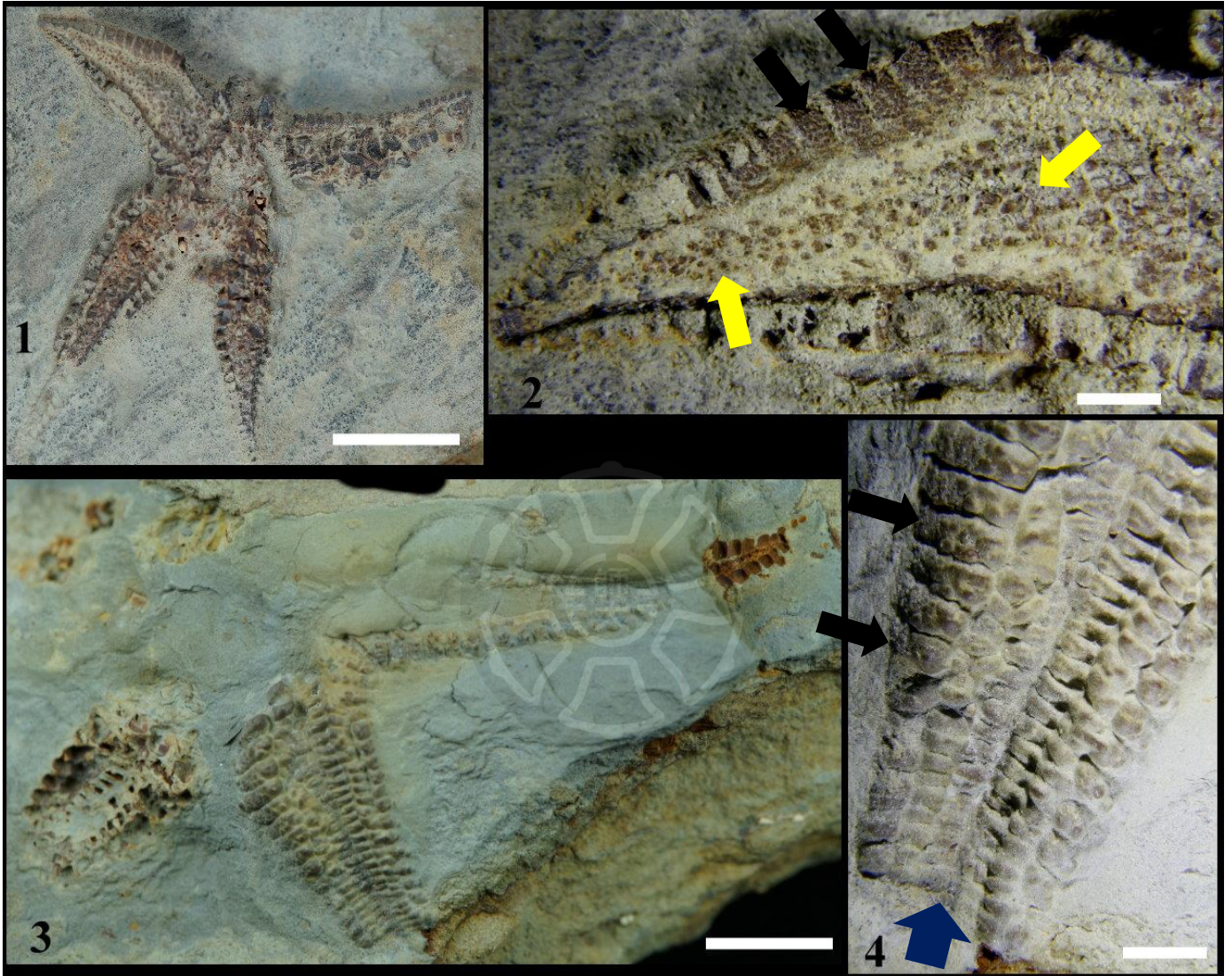
圖 2 為圖 1 中，左上側腕部的近照，可以觀察到排列緊密的上緣板，其上覆蓋有明顯的顆粒體(黑色箭號)，以及呈現小柱體狀的背板(黃色箭號)，比例尺為 1 毫米。(以 TORI FOCUS 拍攝)。

圖 3-4：館藏編號：NMNS007164- F054256，*Astropecten cf. vappa* 的化石標本，拍照影像顯示其口面觀。

圖 3 為本化石標本的整體外觀，比例尺為 1 公分。

圖 4 為圖 3 中，右下側腕部的近照，可以觀察到下緣板及覆蓋其上的顆粒體(黑色箭號)，兩兩成對的步帶板，及較寬的步帶溝(深藍色箭號)，比例尺為 1 毫米。(以 TORI FOCUS 拍攝)。

圖版四



圖版五說明

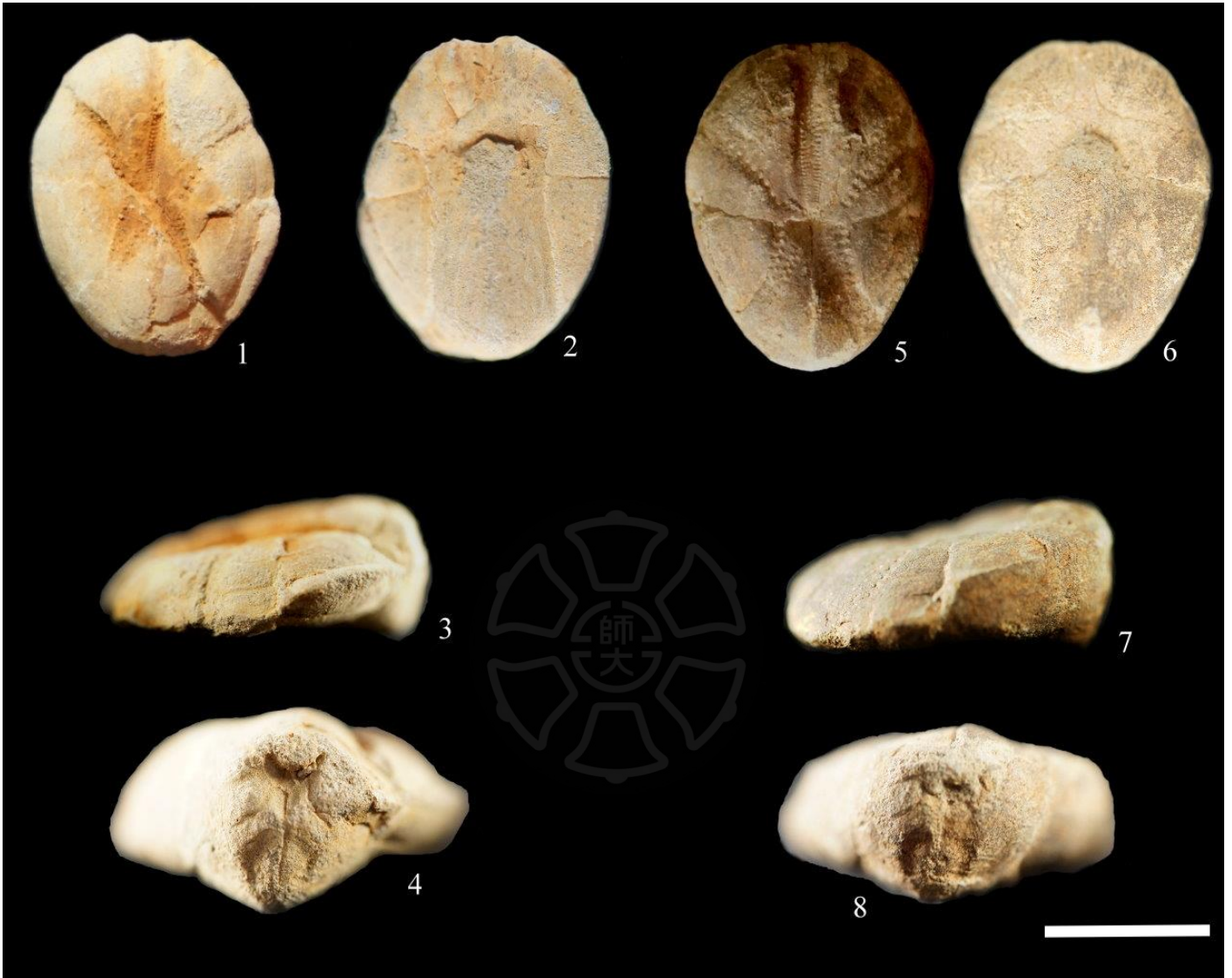
Echinocardium cordatum

圖 1-4：EL056。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。

圖 5-8：EL054。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。



圖版五



圖版六說明

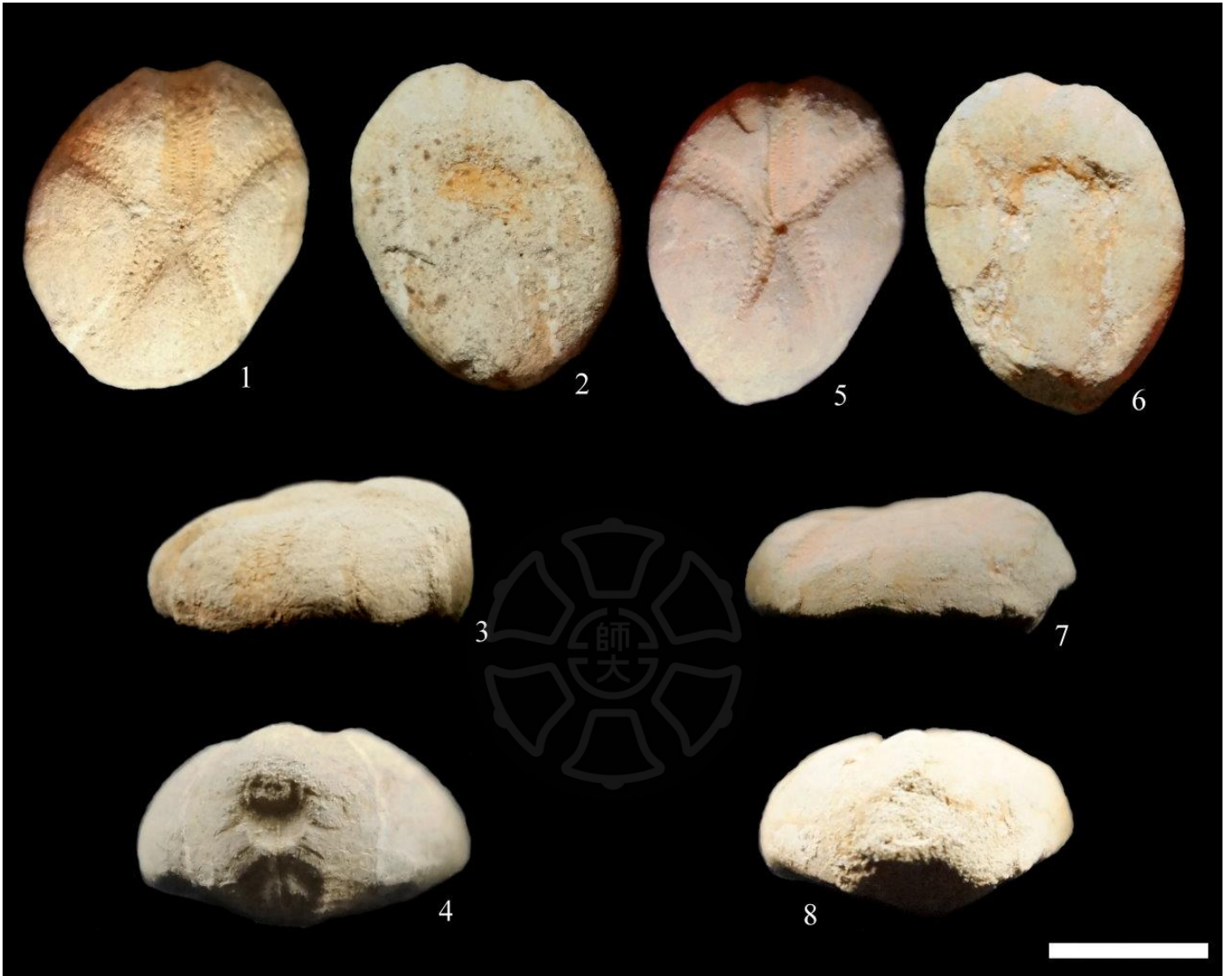
Echinocardium cordatum

圖 1-4：EL059。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。

圖 5-8：EL060。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。



圖版六



圖版七說明

Echinocardium cordatum

圖 1-4：EL061。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。

圖 5-8：EL068。圖 1 為反口面，圖 2 為口面，圖 3 為側面，圖 4 為後側。比例尺為 1 公分。



圖版七



圖版八說明

Echinocardium cordatum

圖 1-2：EL043，未定種槭海星及心形棘心海膽一同埋藏化石標本。

圖 1 為本化石標本的完整影像，比例尺為 3 公分。

圖 2 為心形棘心海膽及未定種槭海星之放大影像，位於圖 1 的上部，比例尺為 1 公分。

圖 3：EL044，保存算是完好的心形棘心海膽化石。比例尺為 2 公分。

圖 4：EL040，數隻心形棘心海膽一同埋藏的化石標本，比例尺為 1 公分。

圖版八



圖版九說明

圖 1：多肋笠蚶 *Limopsis multistriata*，比例尺為 0.5 公分。

圖 2：館藏編號 NMNS007164-F054260，無法辨識種屬的槭海星科海星，比例尺為 1 公分。

圖 3：未定種屬之藤壺，比例尺為 1 公分。

圖 4：館藏編號 NMNS007164-F054262，未定種槭海星，比例尺為 2 公分。

圖 5：麗島玉蟹 *Leucosia formosensis* 的背甲，比例尺為 1 公分。

圖 6：無法辨識種屬的螃蟹，影像呈現腹側，比例尺為 1 公分。

圖版九

