

華杏出版機構

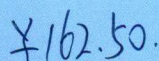
海洋環境 與生態保育

*Marine
Environment & Conservation Ecology*

新竹市立動物園園長 洪明仕 著



華都文化事業有限公司



推薦序

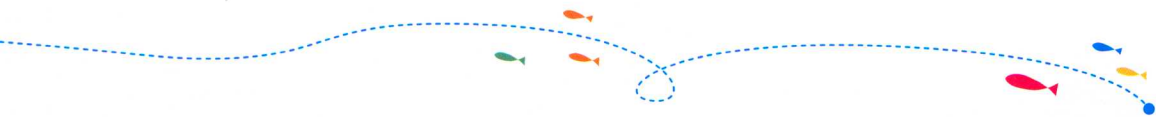
很高興也很榮幸受本書作者洪明仕園長之邀，為這本《海洋環境與生態保育》寫序。洪園長能在 2010 年剛出版《環境生態學》一書後的短短一年內，利用繁忙的公務之餘再度寫完這本以介紹海洋環境及保育為主軸的新書，其工作效率之高，及對海洋教育及環境教育的熱誠，著實令人感佩。

洪園長早在大學時就送過我一本他多年集郵的作品《郵票中的魚》，令從事魚類研究的我為之讚嘆不已。他去海大攻讀碩博士期間，因專攻甲殼類，並非我所指導的學生，他只修過我的「數值分類學」課程，但我有送給他一本我在 1998 年所寫的《海洋生態學》，或許對他日後推動海洋生態保育工作有所助益。

洪園長在 1992 年就考上高考，分發到新竹市政府建設局漁業課服務，從基礎的漁業資源保育及護漁的基層實務工作做起，因表現優異，被擢升為該局生態保育課的首任課長，任內完成客雅溪口及香山溼地野生動物保護區的劃設，實際將理論及知識應用到管理與執行的層面，殊為不易。相信這些工作的歷鍊，更加深了他對海洋保育工作的體認與信念。他對海洋科學及海洋教育的深厚學養，也可以從他這本書的內容充分展現無疑。

本書共分成七篇 15 章，第一篇到第五篇從全球的觀點談「海洋的環境」，從認識海洋的起源、時空、生態、探勘開始，談到海洋物理、化學、地質、生物因子，到環境分區及生物棲地、海洋生物，以及全球海洋生物及非生物資源的現況；第六篇則綜述「臺灣海洋環境的現況」，從棲地、生物到社會文化層面，讓讀者們可以很容易地概括了解臺灣海洋的面貌。最後第七篇則是「海洋的永續與未來」，先闡述海洋倫理，讓讀者可以思考造成今日海洋的危機，其實大多是由於人本主義的觀點所致。





這本書涉獵引用的文獻既多且廣，不少內容也都是最近幾年的研究成果，由此可見作者在大學兼課時，必定不斷地更新其授課內容，在教學上也是非常認真負責。全書的組織架構及文字敘述條理分明，言簡意賅，文筆流暢，版面活潑，故可讀性甚高，在各章後還附有問題討論、延伸學習的網站及參考文獻等，方便讀者把握各章節的重點，並能做更深入的探討與學習。因此這本書應該非常適合用在大學的海洋科學或海洋環境生態之入門書籍。

臺灣四面環海，原本海洋環境及資源非常優越，海洋生物的物種數平均為其他國家的 400 倍之多，但不幸的是在過去五、六十年內，由於人類的過漁、棲地破壞、汙染及氣候變遷的影響已在迅速衰退之中。如果大家再不願去面對海洋的真相，再不積極去推動「限漁」措施，有效地管理「海洋保護區」，鼓勵消費者「吃對魚、買對魚」來扭轉頹勢，則如 2006 年科學家所預測：再過 40～50 年，將會是無魚可捕、無魚可吃的年代。換言之，未來的海洋將很快因人類的破壞，又重回到過去寒武紀時，魚類尚未演化時的「沒有魚的海洋」之年代。

誠如賈福相教授所言：「研究」、「教育」及「立法」是海洋保育的三帖藥，其中又以教育最為基礎重要。惟有靠大家能認識海洋，了解海洋生物多樣性保育工作的重要，進而身體力行或影響民意代表立法及政府的施政，海洋保育才能成功。相信本書在出版後，必能廣被各界所採用，並在推動臺灣海洋的教育及生態保育上發揮很大的作用。

邵廣昭 謹識

中央研究院生物多樣性研究中心研究員兼執行長

2012 年 4 月

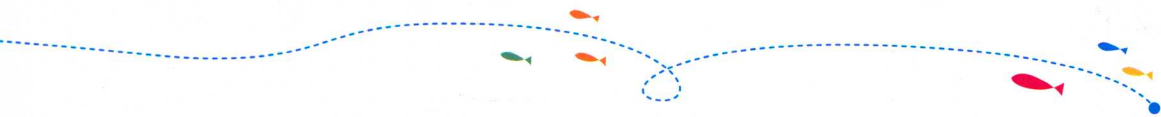
作者序

人類的母親是水，也是「海」這個字的由來。人體細胞質所含的水分能由海水轉化而來，海浪拍岸頻率如同人們熟睡中的呼吸頻率，而身體所流的血液及子宮內的羊水，成分也與海水相近。因此，我們與海洋的關係是令人驚訝的親密，應該視為母親般的對待，但又有多少人能這樣認同呢？臺灣海洋的生態系複雜及物種多樣，為世界上難得的熱點，又有多少住在這裡的人們所能了解？

海洋具有維持地球萬物生命的功能，對每一個人也有不同的意義：是古老演化的記憶、是廣納百川的包容、是綺麗的海岸風貌，或是離居海外的鄉愁。然而，對於從小就喜歡接觸海的筆者來說，一方面對海洋生物的多樣性充滿好奇，著迷於辨識與分類，一方面隨著年紀的增長而目睹海岸及物種的消失、驟降或變小，卻有著極深的感慨，不解為什麼許多被國際列為易危或瀕危的大型魚類，還經常出現在漁港販賣或餐廳的菜單呢？我們這一個世代可能已經預支了往後所有世代所能享有的海洋資源，海洋保育做得不夠，永續似乎已淪為空談，而海洋教育恐怕是最後的希望。

筆者幸運於生物資源動物組的高考及格後，第一個工作即選擇回到新竹家鄉從事海洋資源保育，取締非法捕魚，改善海洋棲地，之後成功劃設新竹市濱海的海洋保護區，將所學運用在海洋保育的實務工作，然而每當在臺灣及離島的海岸及漁港魚市走動時，仍強烈感受到海洋環境及資源遭到快速破





壞的危機，加上本身在大學兼課講授海洋相關課程，因此，蒐集過去大學時期以來約 20 年的照片，研讀最新的海洋研究成果，利用 1 年的熬夜時間，完成了這本書，冀望能貢獻一己之力，拋磚引玉，從海洋教育推廣著手，讓讀者藉此書獲得認識及了解海洋的管道，關懷失落的海洋，並參與「潔淨海洋」與「吃對底魚」的具體行動。

書中所提到的地理名詞及海底地形，建議可上《Google 地球》網站比對，必能增加趣味性及理解力，例如從極地的冰棚到熱帶的珊瑚礁觀看不同的環境，或從中洋脊到海溝透視板塊的邊緣。另一方面，書中以海洋生態學為架構，許多生態學名詞的詳細說明可參考本人所撰寫，由華都文化出版的《環境生態學》一書，此外本書以多元角度談及與海洋有關的「文化」、「資源」、「危機」、「保育」、「研究」、「教育」及「倫理」等面向，並從全球、臺灣及個人尺度的觀點，說明與海洋的各種關係。書中誤謬所在多有，專有名詞翻譯未臻完善，圖片仍有精緻改善空間，尚請讀者諸君指證及包涵。

感謝中央研究院生物多樣性中心執行長邵廣昭老師為序推薦，並給予指正意見，也感謝邵老師 1998 年所贈《海洋生態學》經典著作對本人的啟發；感謝國立臺灣海洋大學指導過本人的師長們、提供本書精采照片的好朋友們，以及華杏出版機構蕭聿雯企劃經理的邀約、李佩璟文編及張瑞玲美編的辛苦編輯，最後也感謝家人的支持，讓本人能無後顧之憂，完成此書。



洪明仕 謹誌

2012 年 4 月



Contents

目錄

第一篇 認識海洋

Chapter 01 海洋環境概說 001

- 第一節 海洋的起源歷史 005
- 第二節 海洋的時空劇本 009
- 第三節 海洋的環境生態 015
- 第四節 海洋的探勘歷程 021

- 第三節 海底地形的劃分 106
- 第四節 生物地理區的劃分 110

Chapter 05 海洋的環境與棲地 116

- 第一節 海岸形成與分類 117
- 第二節 海濱堆積環境 123
- 第三節 淺海環境與棲地 134
- 第四節 冰棚與冰山環境 142

第二篇 環境因子與系統運行

Chapter 02 海洋環境因子 028

- 第一節 物理與化學因子 029
- 第二節 地質與生物因子 040
- 第三節 水體運行因子 045
- 第四節 因子生成與限制因子 055

Chapter 03 海洋的運行系統 060

- 第一節 海洋的氣候系統 061
- 第二節 海洋的地質系統 068
- 第三節 海洋的營養系統 076
- 第四節 熱泉及冷泉系統 080

第四篇 繽紛的海洋生物

Chapter 06 海洋的生物多樣性 148

- 第一節 海洋生物多樣性 149
- 第二節 海洋微生物與植物 153
- 第三節 海洋動物 160

Chapter 07 個體生存之道 180

- 第一節 適應性演化 181
- 第二節 個體的適應 184
- 第三節 成長的改變 188
- 第四節 避敵與防禦 192

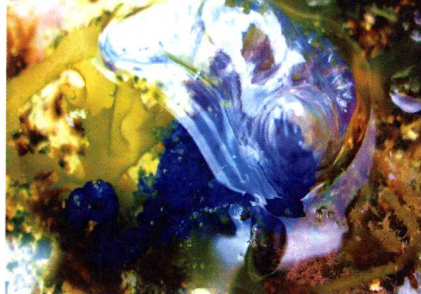
第三篇 海域區分與物種棲地

Chapter 04 海域的地理劃分 088

- 第一節 世界海域的劃分 089
- 第二節 水平與垂直的劃分 100

Chapter 08 物種之內 200

- 第一節 雌雄關係 201
- 第二節 群體關係 204
- 第三節 族群動態 210
- 第四節 生活史策略 215



Chapter 09 物種之間 222

- 第一節 種間關係 223
- 第二節 群聚結構 231
- 第三節 群聚消長 237

第五篇 全球海洋環境的現況

Chapter 10 海洋資源的開發利用 246

- 第一節 漁業與生物資源 247
- 第二節 海底燃料與礦藏 252
- 第三節 能源與海水淡化 258
- 第四節 輸運與遊憩資源 262

Chapter 11 海洋環境的危機與挑戰 272

- 第一節 棲地的快速消失 273
- 第二節 入侵種的危害 275
- 第三節 海洋的嚴重汙染 282
- 第四節 過漁的危機 289
- 第五節 全球環境變遷 292

第六篇 臺灣海洋環境的現況

Chapter 12 臺灣海域特色與資源 300

- 第一節 多樣的生態系統 301
- 第二節 豐富的海域資源 308
- 第三節 珍貴的海洋文化 313

Chapter 13 臺灣的海洋困境與挑戰 322

- 第一節 海岸消失 323
- 第二節 過度撈捕 325
- 第三節 養殖問題 329
- 第四節 汙染嚴重 332
- 第五節 管理困境 334

Chapter 14 臺灣海洋保育的現況 338

- 第一節 海洋保護區 339
- 第二節 海洋的保育網絡 344
- 第三節 海洋的保育教育 347
- 第四節 海洋研究與保育 352

第七篇 海洋的永續與未來

Chapter 15 海洋倫理 358

- 第一節 生態倫理的永續海洋 359
- 第二節 全球思維的海洋經營 361
- 第三節 在地參與的海洋行動 363

索引 370

專有名詞 379



海洋環境 與生態保育

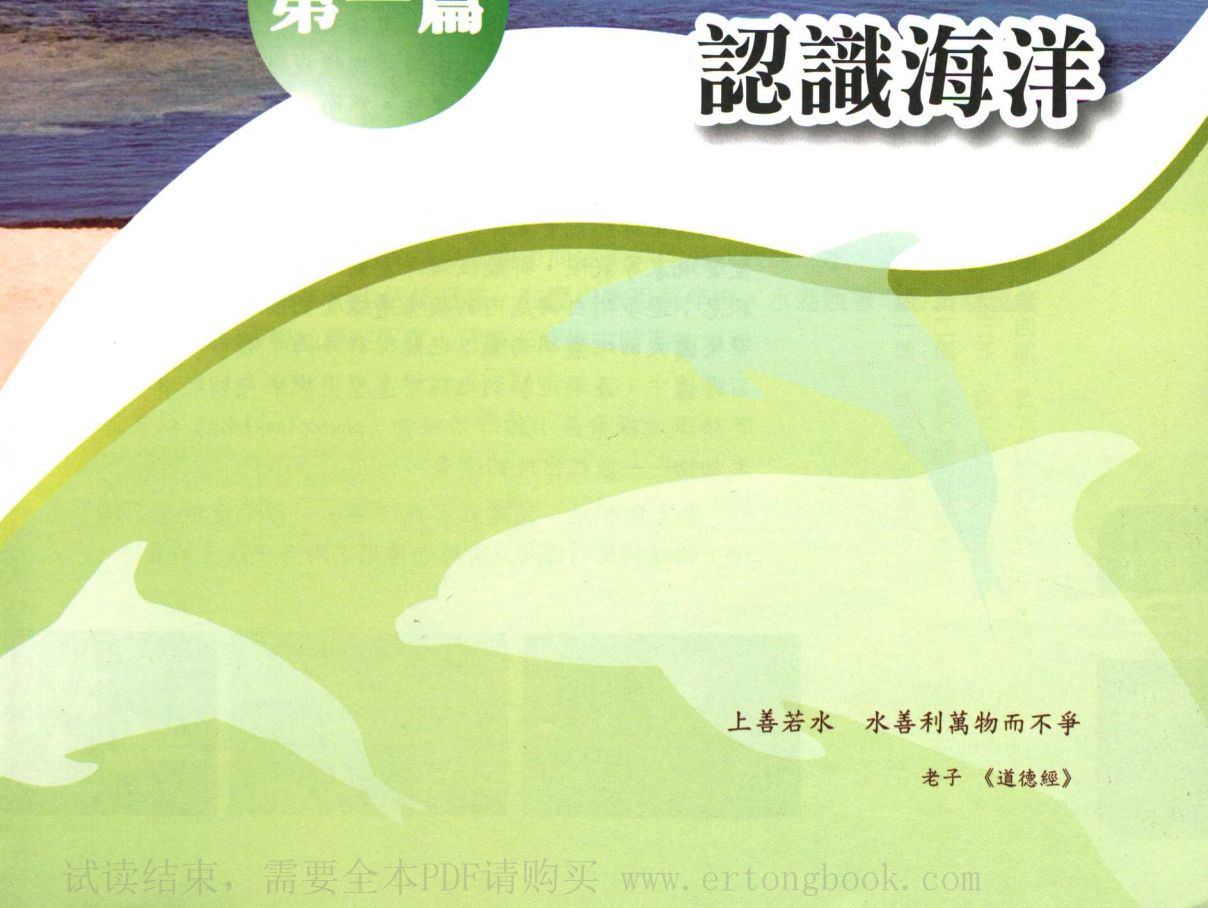
Marine Environment &
Conservation Ecology





第一篇

認識海洋



上善若水 水善利萬物而不爭

老子《道德經》

海洋環境概說

- 第一節 海洋的起源歷史
- 第二節 海洋的時空劇本
- 第三節 海洋的環境生態
- 第四節 海洋的探勘歷程

海洋

Marine
Environment &
Conservation
Ecology環境與
生態保育

004

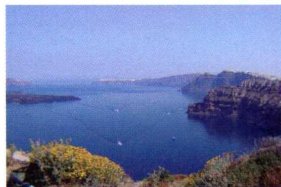
前言

1972年，遠從4萬5千公里的外太空，阿波羅17號上的太空人拍下一張名為“The Blue Marble”的地球照片，讓人們清楚了解到人類居住的地方，事實上是一個遍布海水的藍色星球，而人們所稱呼自己居住的星球為「地球」，比不上「水球」來得貼切。

依據科學家的統計，陸域占全球地表的29.2%（面積14,900萬平方公里），水域則占70.8%（面積36,100萬平方公里），其中水的容積估計約有13億6千萬立方公里。地球上擁有的水，以固態、液態及氣態的形態存在，主要為海水（97%）及少部分的淡水（3%），建構出地球上最大的水氣圈循環系統，讓地球上生命的出現成為可能。

海洋是一般人比較陌生的環境，主因為我們不是住在水域內的物種，對於海洋中發生事情的了解及關注程度自然不及陸域，此外海洋中的水域彼此相連，生態系統的範圍遼闊且不容易區隔，包括海洋與大氣的關係、海洋與陸地的關係，以及由海洋物種複雜關係所建構的系統，都不容易清楚其關連性。然而，雖比起陸地上研究的困難度更高，必須投入更多的經費與人力，近幾十年來，海洋科學的研究已迅速展開，人們開始了解到海洋能為地球熱能變動帶來緩衝；颱風（颶風）等天氣及聖嬰現象等氣候，都能從海洋變動的資料上取得預測的訊息；逐步明白海底內的板塊邊緣受到擠壓，為地球上帶來強大的地震與海嘯；也能從許多海中礦物及生物化石證據中，逐漸理解到地球變遷歷史與生命的起源，並更精準地探索最小的浮游植物（phytoplanktons）以及最大動物——藍鯨出現的環境。

令人扼腕地，同樣在近幾十年，人類不僅破壞了陸地上物種的生存環境，同時也糟蹋了海洋中珍貴的資源，

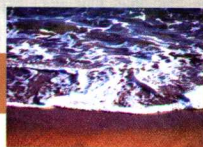


所有陸地上發生的環境困境與災難，幾乎也同時在海洋中上演著：棲息地的消失、汙染、外來種入侵，以及過度開發與捕撈，就連肇因於人類活動的全球暖化及臭氧層破洞，對於海洋環境都有相當嚴重的負面影響。

本書以淺顯的方式來介紹海洋，以海洋生態學的概念為基礎，融合海洋物理、海洋化學、海洋地質，以及海洋生物等學門最新的研究成果，讓讀者對海洋生態環境能有全面性的認識。另一方面，正因海洋生態系統運行所及之處，深深地影響到地球萬物的生存，讓每一個人都是海洋的受惠者，尤其身處臺灣海島的人們，倍受海洋環抱所恩寵，更要從認識浩瀚的海洋中，了解到自己的渺小，從而關心海洋目前面臨的危機與挑戰，積極參與海洋保育行動。

第一節

海洋的起源歷史



海洋的起源

海洋是怎麼來的？這不但是一個關乎地球歷史如何演變的課題，也是一個生命孕育場所如何誕生的問題。以今日的時間看過去，當地球於 45 ~ 46 億年前誕生時還是一個火球，隨著漫長的時間，火球的最外部分慢慢冷卻，但內部依然炙熱如昔。在熱焰隨時從地底噴發的年代，原始大氣層中包含著氫氣、氫氣、氮氣、二氧化碳及水蒸氣，但由於氫氣與氫氣相當輕，很快散逸到太空中，只留下較重而穩定的氮氣、二氧化碳及水蒸氣等氣體。大量蒸霧般的水氣在大氣中受到冷凝作用而逐漸掉落形成液態的水，水受到地熱呈現滾燙，蒸發作用也依然旺盛，在歷經數百萬年後，水溫隨著地殼表層溫度的冷卻而慢慢地穩定下來，逐漸形成遠古時期的海洋。

✧ 海洋就在你我的身邊



據推測，最早原始大陸的地殼，可能在 43.8 億年前形成（程延年、單希瑛、王士偉、張鈞翔，2009），而水蒸氣凝結成雨水後開始掉落，可能是始於 44 億年前（Prager & Earle, 2000），但海洋真正形成的年代卻無法得知，推估至少在 40 億年前。另一方面，科學家也認為外太空帶冰的彗星或其他的星體墜撞地球時，可能帶來富含生命的水源，成為海洋的一部分（France & Guerrero, 2008; Hartogh, 2010）。例如研究顯示，在地球尚未穩定成型期間，就曾遭受到巨大的星體衝擊，從地球身上撞掃出月球，且月球與地球的距離比現今的距離還要近（Hartmann & Miller, 1991），因此，海洋形成之初，就可能因月球強大引力而引發巨大的潮汐（tides）變化。許多星體對地球衝撞的同時也造成滔天巨浪，而海洋中的水也不時在蒸散及降雨之間，週期性地循環著。

■ 海洋形成初期

大氣的遽變

海洋形成的初期，火山劇烈活動所生成的二氧化碳瀰漫地球，而雨水則將二氧化碳融入水中，讓海洋呈酸性（非今日的弱鹼性）。大氣中濃厚的二氧化碳及水蒸氣，讓陽光難以穿透，使得海水的蒸發作用減緩，然而隨著二氧化碳溶於水中，並與水中的鈣離子結合產生碳酸鈣（石灰岩及貝殼的成分），也讓海水的酸性逐漸降低而趨於穩定。

另一方面，雨水降落地面的初期，溶解於水中物質尚不多，流入海洋後，海水的鹽度並不高。但當大氣中巨量的二氧化碳不斷地進入初期的海洋後，天際晴空逐現，在陽光的照射下，大量水蒸氣產生，海平面則開始下降，增加了許多陸地裸露的可能。在強風及大雨的作用下，裸露岩石內的成分藉由河川帶入海洋，讓海水中的鹽度開始增加。

氣候變動在海洋初期相當劇烈，原因在於火山活動頻繁，地震及海嘯不斷；海洋與陸地表面受熱的不均性，引發強烈的颶風；月球距離地球近，引發巨大的潮汐；以及星體對地球的撞擊，讓海水時常發生巨大蒸散。

地殼的變動

在海洋形成的初期，與當時岩石圈（lithosphere）存在的環境有相當大的關連性。地球內部構造，由淺入深為：地殼（crust）、地函（mantle）及地核（core）。其中地殼為地球最外層的薄殼，僅深入地表下 50 公里。地殼主要成分為富含鋁的矽酸鹽礦（silicate minerals），並可區分為大陸地殼（continental crust）或海洋地殼（oceanic crust）。倘若原始岩層隆出陸地，稱為大陸地殼；原始岩層之上為海洋，則稱為海洋地殼。大陸地殼厚而輕，海洋地殼薄而重，前者以酸性火成岩的花崗岩（granite）及鋯石（zircon）

較具代表性，後者則以基性的玄武岩（basalt）及更重的輝長岩（gabbro）較具代表性。輝長岩變質後，在遠古時期更形成廣闊的綠岩帶（greenstone belt）。

地函介於地殼與地核之間，主要成分為富含鎂的矽酸鹽礦，由外到內為：上地函（upper core）、軟流圈（asthenosphere）及下地函（lower mantle）。上地函主要為固態，並與地殼及其上的沉積層構成岩石圈（表 1-1）。當岩石圈上的地殼以大陸地殼為主，稱為大陸板塊（continental plates）；以海洋地殼為主，稱為海洋板塊（oceanic plates），但同一個岩石圈也可能同時具有大陸地殼及海洋地殼。無論是大陸板塊或海洋板塊，皆漂浮於軟流圈之上，而軟流圈內熱外冷的對流作用，也讓板塊產生漂移及海床擴張（有關板塊漂移及海床擴張的學說，於第 3 章再予詳細說明）。

地核主要成分為富含鐵與鎳，位於地表下 2,900 公里至最中心的 6,378 公里處（Prager & Earle, 2000），由外而內分為：液態的外地核與固態的內地核。

表 1-1 地球內部構造及板塊說明

內部構造	垂直距離 (Km)	主要金屬成分	主要組成		板塊
				沉積層	岩石圈 (大陸板塊或海洋板塊)
地殼	11 (海洋地殼) 50 (大陸地殼)	鋁	大陸地殼	海洋地殼	
地函	50 ~ 2,900	鎂	上地函		
			軟流圈		
			下地函		
地核	2,900 ~ 6,378	鐵及鎳	外核		
			內核		

海洋形成之初，古老陸地上的火山活動及熔岩冷卻，改變了地形地貌。海中的火山噴發，則因岩漿快速冷卻而形成枕狀岩（pillow basalts）。海中所產生的火山熔岩，通常介於大陸板塊及海洋板塊的交會處或熱源噴發處附近，讓陸塊有增加的機會，而岩內的礦物質則會融入水中，改變海洋內的化學成分。

由於年代太過久遠，無法判斷海洋形成初期與陸地的相對面積及關係為何，然而，科學家透過地質與化石的資料推測，6.5 億年前，古海洋占據地球表面絕大部分的面積，只有小部分的陸地存在，包括南極洲及少部分的澳洲

位處現今的赤道附近；南美的亞馬遜及格陵蘭（Greenland），則位處於現今的南極。

生命的誕生

科學家於加拿大巴芬島（Baffin Island）隆升至陸地的海床上，發現地球上最古老的沉積岩，約有 38 億年的歷史。或許讓我們感到納悶的是，究竟如何得知該岩石實際形成的年代呢？此乃利用測定岩石中成分元素的放射性同位素的比例差異而得知。例如：放射性鈾元素的半衰期約為 10 億年（每經過 10 億年會衰退掉一半），衰退後的元素會轉變為放射性鉛元素，只要測定岩石中二者的含量比例，就能知道這個岩石的形成年代。



1. 藍綠菌附生在碳酸鈣等硬基質上形成疊層石
2. 疊層石可看到最原始的生命模樣



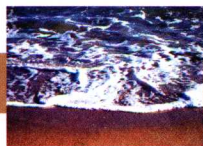
同樣約莫 38 億年前，地球上因海洋的形成而不再炙熱，水中成為孕育生命的穩定場所，讓水溶性的胺基酸有機化合物開始出現，胺基酸累積並組合成蛋白質，接著透過 DNA 的複製，讓構成生命的細胞有機會產生，這些最原始的生命形式，封存於最古老的沉積岩當中（Kaplan, 2010）。

35 億年前，發現單細胞生物藍綠菌（或稱藍綠藻；cyanobacteria）的化石。藍綠菌不具細胞核，屬於原核生物（prokaryotes），具有 DNA 行複製功能，更能利用光合作用獲得來自太陽的能量。令人訝異的是，這些非常原始的生物仍存活至今，聚集的藍綠菌附生在碳酸鈣等硬基質上，經過生物作用及沉積作用而形成球形或柱壘狀的疊層石（stromatolites），在某些高溫高鹽的淺海環境中。例如澳洲西部及巴哈馬（Bahamas）群島淺海域，都能看到這些原始生命形式活生生的模樣；在臺灣墾丁一帶隆起的珊瑚礁體上，也可以發現死亡的疊層石蹤跡（王士偉、王瑋龍、戴昌鳳，1998）。

行光合作用的藍綠菌開始為海洋帶來氧氣，但初期仍不穩定，地質學家從古老的條帶狀鐵礦（條紋石）判斷出過去大氣中的含氧情況，亦即含氧量高讓鐵礦呈氧化的紅色，含氧量低則鐵礦顏色不變，於是會有紅色及深色的交替條紋。直到 22 億年前，大氣中充滿穩定而充足的氧氣，具有細胞核的真核生物（eukaryotes）才開始出現。

第二節

海洋的時空劇本



海洋在形成後，除了與大氣成分、火山活動、水位變動、水體運行及陸地的形成與消失有關外，也與其內的生物有很大的關係。在過去尚未用同位素法訂定地球的地質年代時，地質學家慣用地層中生物化石的出現與消失，以及大陸運動所累積的地質資料，來訂定地質年代。空間則比對不同地區的岩石結構或沉積物組成，判斷出陸地與海洋所形成的空間模式。因此，時空交錯下的海洋舞臺，可以看到不同海洋生物扮演劇中的各種角色，有些種類及早上臺，有些種類突然下臺，有些種類曾擔任主宰角色，有些種類演化時間長，至今鮮少改變。

以生物化石為依據所訂定的地質年代，將大量化石出現以前的年代，稱為前寒武（Precambrian），時間從地球誕生的 45 億年前到 5.42 億年前，約占地球歷史的 88%。前寒武之後則分為：古生代（Paleozoic era）：5.42 ～