

本書作者

國立臺灣海洋大學作者群：

陳明德 教授

研究領域為海洋地質學、古海洋學、古氣候學、海洋微體古生物學、古全球變遷。

陳宏瑜 教授

研究興趣為環境中有機汙染物之行為、有機化合物之分析、大氣中營養鹽物質之輸送、有機化合物之汙染歷史、大氣化學參數統計與分析。

周文臣 教授

專長是化學海洋學、海洋碳化學、穩定同位素地球化學。

陳惠芬 教授

研究領域是礦物學、地球化學、古氣候變遷。

廖正信 教授

研究領域是海洋環境保全、漁業科學、海洋漁場學。

王佳惠 副教授

研究領域是魚類學、生物地球化學、海洋生物洄游研究。

黃向文 教授

研究專長為海洋政策、海洋事務、漁業資源評估、國際漁業政策與管理、漁業混獲物種（海鳥、海龜）保育、海洋廢棄物研究。

我們天性就愛親近海洋，除了欣賞海洋無時無刻的變化之美與海風帶來的清新空氣外，更殷殷期盼著漁穫收成賞賜的海鮮，與一艘又一艘貨輪運自他方的生活所需與奇珍異寶。臺灣四面環海，自許為海洋國家及漁業大國，卻長期忽略了海洋保育的重要。

海洋提供地球一半的氧氣，能夠調節氣候，並且孕育豐富的海洋資源，但是海洋生物多樣性的喪失，以及漁業資源枯竭，卻是氣候變遷之外另一個我們不願面對的真相。科學家預估到 2048 年，海裡將會沒有野生魚類可吃，海洋生態系也將會因為汙染及酸化而面臨崩盤的危機。

身為海洋國家，必需知道海洋事。閱讀本書可培養對全球環境變遷、海洋生物多樣性與國際事務的認知與論述能力，以奠定海洋素質基礎、了解海洋永續發展面臨的新課題與新挑戰。

Boulder Media 大石文化

定價：新臺幣 600 元
ISBN 978-957-8722-78-1



國立臺灣海洋大學



NATIONAL
GEOGRAPHIC

NATIONAL
GEOGRAPHIC

海洋科學
概論

Oceanography
for Everyone



國立臺灣海洋大學出版中心



大石文化

NATIONAL
GEOGRAPHIC

海洋科學 概論 暨其時代議題



國立臺灣海洋大學
陳明德等合著



ceanography
for Everyone



大石文化

出版宗旨

海洋是生命之母，牽動著生生不息的地球。自從工業革命以來，人類對於自然資源的開發與利用，造就了史無前例的文明，卻也逐步摧毀我們的海洋。如何兼顧人類社會發展與海洋健康，是未來地球上每一個人的責任與挑戰。本書內容是身為地球人一定要具備的海洋科學知識，以及身為臺灣人一定要知道的時代議題，包括太平島是島還是礁？西北太平洋颱風與海難；海洋酸化的威脅，以及我們的海洋環境受到了哪些汙染。美麗的海洋擁有豐富的生物多樣性，我們更必須復育漁業資源同時永續利用，留給下一代美好的海洋環境。

海洋科學概論 暨其時代議題

Oceanography for Everyone

作者 陳明德 陳宏瑜 周文臣
陳惠芬 廖正信 王佳惠 黃向文
聯合出版 國立臺灣海洋大學出版中心 大石國際文化有限公司

國立臺灣海洋大學出版中心
發行人 張清風
總編輯 莊季高
總策劃 陳明德
主編 謝玉玲
行政 陳怡伶 邱奕伶 廖佳汝
地址 基隆市中正區北寧路二號
網址 <https://www.ntou.edu.tw/>
電話 (02) 2462-2192

大石國際文化有限公司
發行人 熊曉鵠
總編輯 李永適
營運長 蔡耀明
副總編輯 鄭靜琪
特約編輯 郭雅欣
美術設計 裴情那
印務經理 蔡佩欣
地址 臺北市內湖區堤頂大道二段 181 號 3 樓
電話 (02) 8797-1758

印刷 群鋒企業有限公司
總代理 五南文化廣場
地址 臺中市區中山路 6 號
電話 (04) 2437-8010

2020 年 (民 109) 2 月初版
定價 新臺幣 600 元
版權所有，翻印必究
I S B N 978-957-8722-78-1 (平裝)
* 本書如有破損、缺頁、裝訂錯誤，
請寄回五南文化廣場更換



國家地理合股有限公司是國家地理學會與迪士尼公司合資成立的企業，旗下擁有國家地理雜誌、國家地理影像製片工作室、數位與社群媒體平台、書籍、地圖、兒童媒體，以及附屬活動，包括旅遊、圖庫銷售、品牌授權以及電子商務等。《國家地理》雜誌以 34 種語言在全球 75 個國家發行，擁有超過 3 億 5000 萬的數位閱聽者。國家地理合股公司會提撥收益的部分比例，透過國家地理學會用於獎助科學、探索、保育與教育計畫。

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

海洋科學概論暨其時代議題 / 陳明德等合著 - 初版 - 臺北市：
大石國際文化，民 109.02
304 頁：17.5 x 25.5 公分
ISBN 978-957-8722-78-1 (平裝)
1. 海洋學 2. 海洋環境保護 3. 文集
351.907 108022550



NATIONAL
GEOGRAPHIC

海洋科學概論 暨其時代議題

國立臺灣海洋大學陳明德等合著

Boulder Media 大石文化

Contents

- 8 身為海洋國家，需知海洋事
序一
撰文 / 張清風 校長
- 10 永續海洋，從全民教育著手
序二
撰文 / 邵廣昭 榮譽講座教授
- 14 航向藍海，立足國際
序三
撰文 / 龔國慶 終身特聘教授
- 20 開啓臺灣海洋教育的新里程碑
前言
撰文 / 陳明德 教授
- Chapter 1
22 海洋的基本性質
撰文 / 陳明德 教授
- Chapter 2
46 海洋環境的災難
撰文 / 陳宏瑜 教授
- Chapter 3
72 海洋的文明病：海洋酸化
撰文 / 周文臣 教授
- Chapter 4
96 太平島是「島」還是「礁」
撰文 / 陳明德 教授
- Chapter 5
西北太平洋的颱風 142
與海難事件
撰文 / 陳惠芳 教授
- Chapter 6
令人驚豔的海洋動物 170
撰文 / 廖正信 教授
- Chapter 7
漁業資源復育 224
撰文 / 王佳惠 教授
- Chapter 8
永續漁業 240
撰文 / 黃向文 教授
- 參考文獻 272
- 自我測驗題庫 286

| 序一 |

身為海洋國家，需知海洋事

眾所周知我們居住的地球，海洋約佔了總面積 71%，海洋是地球生命起源與孕育的場所，對全球環境變遷、氣候調節、生態系統運作、水文循環、生物資源與非生物資源，扮演關鍵角色。海洋與人類的關係更是密不可分，包括環境、資源、航運、產業、文化、管理、安全、國防、外交、教育、工程、觀光休閒，甚至國家政策與國際法律等等，都與你我息息相關，我們身為海大一份子，不可不知海洋事。

聯合國於 1982 年制訂「海洋法公約」——為海洋建立法律秩序，明確締約海洋事務，共同保護海洋生物資源、環境，促進海洋和平用途。1993 年 2 月「聯合國教科文組織」內的「政府間海洋委員會」在葡萄牙大會上提出「海洋國際年」。繼而 1994 年聯合國通過海洋法公約，並宣布 1998 年為「國際海洋年」。

2001 年我國行政院公佈「海洋白皮書」，於 2004 年成立「行政院海洋事務推動委員會」，確認我國為海洋國家，以「生態、安全、繁榮」為發展目標，同年公佈「國家海洋政策綱領」。2006 年公佈「海洋政策白皮書」，2007 年 6 月的「海洋教育政策白皮書」內容指出應強化各級學校學生之海洋素質基礎，培育產業界需要的優質人才，因此確立了我國海洋教育的目標、方向與策略，本校也於 2013 年成立國家級的「臺灣海洋教育中心」，整合全國的海洋科普教育資源。

為強化海洋科學教育，經多年的籌備討論，國立臺灣海洋大學自 2016 年始開設大一必修之全校性「海洋科學概論」通識課程，本校特別將上課之內容教材，再更加充實與整理，形成本專書之起源。授課內容除了傳授基本海洋科學的相關知識外，也融入海洋科技、海洋生物、海洋人文等面向，協助新生建構海洋藍圖概貌，俾利學生拓展後續專業領域，建置大學生涯自我學習地圖。

本專書邀請本校專任教授也是臺灣「海洋科學」相關領域頂尖研究人員共同撰文，彙編專書供學子研習，內容涵蓋「海洋的基本性質」、「海洋環境的災難」、「海洋的文明病：海洋酸化」、「太平島是『島』還是『礁』」、「西北太平洋的颱風與海難事件」、「令人驚艷的海洋動物」、「漁業資源復育：魚苗放流及追蹤方法」、「永續漁業」，期許本專書出刊，增進學生對海洋環境、海洋生物、海洋生態與資源的了解，同時培養對全球環境變遷、天然災害的發生及防治和環境保護等相關議題的認知及論述能力，為青年學子與國民奠定海洋素質基礎，進而培育產業界未來優質人才。

張清風

國立臺灣海洋大學校長

| 序二 |

永續海洋，從全民教育著手

誠如本書的書名，這是一本目前在坊間能跟得上時代的海洋學課本，只要從書中總共八章的章名，就可看得出書中的內容大多是近年來最受重視的海洋議題。過去數百年來，人類為了追求經濟發展及對海洋的無知及誤解，一味地對海洋資源強取豪奪，肆意汙染及破壞，已造成了今天海洋資源日益枯竭，海洋充斥著各種汙染物，海洋生物在逾 90% 的物種還沒被科學家所發現和命名之前，就可能已經消聲匿跡，更遑論要如何利用生物科技來開發利用，富國利民了。海洋生態的危機及海洋生物多樣性的迅速消失，已是全球各國亟需共同努力去面對的嚴峻挑戰。

海洋佔了地球近 71% 的面積，也是地球上最大的生態系統。每一個地區都有大量的人口依賴海洋維生和繁榮。海洋也提供了最寶貴的生態系服務的功能和價值，提供地球一半的氧氣，孕育了豐富的海洋資源，並且能夠調節氣候。但是海洋生物多樣性的喪失及漁業資源枯竭卻是氣候變遷之外，另一個不願面對的真相。造成的原因甚多，但因各方互推責任，使情況更加惡化。為徹底改善此一問題，2015 年聯合國所公布的 17 項永續發展目標（SDGs）中的目標 14，特別將「海洋」獨立出來，針對來自人為因素所造成的過度捕撈、棲地破壞、汙染以及海洋酸化等問題，要求各國積極採取行動，努力達成 2020 到 2030 年間所設定之目標，並研擬績效指標。聯合國在 2017 年 6 月首度召開以海洋永續為主題的聯合國大會，並在

其 SDG.14 的知識平台在網站上提供最新的訊息及進展。我國為配合此一目標，行政院在 2016 年 6 月由永續會要求生物多樣性分組重新擬定新的海洋及森林保育的國家目標、行動項目和績效指標。

筆者在 2015 年退休時曾起心動念，想要重新改寫一本《現代海洋生態學》的教材，來取代筆者在 1998 年所編撰，由國立編譯館主導及民間出版的《海洋生態學》的課本。主要的理由是過去的海洋學課本都是以灌輸海洋科學研究的理論及模式為主，和實際要面對和追求海洋永續的問題脫節，難以應用到今日要如何採取行動來挽救海洋的危機。包括海洋生態受到各種人為因素的破壞及氣候變遷的威脅，科學家預估到 2048 年，海裡將會沒有野生魚類可吃，海洋生態系也將會因為汙染及酸化而面臨崩盤的危機。因此，一本現代的海洋科學概論的書，其內容除了要更新海洋研究的新數據及納入科學研究的新發現、新技術，和新知識之外，也需要去介紹並設法解決海洋永續發展所面臨新課題及新挑戰。譬如近年來學界所發現及日益重視的海洋「死亡區」、聖嬰及反聖嬰的氣候變遷、漁業管理及混獲的問題、海洋保育及管理的方法、鯊魚的割鰭及保育類名錄、耳石日周輪的研究、碳封存的技術、稀土元素資源的爭奪，島或礁主權爭議的地質證據，以及海洋保護區為何重要等等。很高興看到這本書的編撰內容的規劃也和個人的想法不謀而合。

本書文筆流暢，深入淺出，言簡意賅，雖然只有八章，但是涵蓋面廣，從海洋物理、化學、地質、生物、古生物學、水下考古、氣象、文史、法政、航運及漁業等各個不同領域，並舉了不少古今中外的案例。可說是給非本科系的大學部學生提供了一本最佳的海洋科學通識課程的教材。書名因為是概論，所以省略了不少海洋科學比較枯燥無趣的基礎理論或知識，但也預留了不少可以讓授課老師旁徵博引，補充說明之處，譬如海洋噪音、微塑膠、藍碳及生態系的漁業管理等等。本書的另一特色是在書中適時地提供臺灣海洋的新數據、法規和現況，如油污染的防治與清除等，讓本書內容本土化，更能讓國人在閱讀時可以理解及認同。本書也就讀者們過去容易忽略及誤解的一些觀念提出了澄清，譬如「海洋酸化」的名詞容易讓人誤以為是海水會變酸性，但事實上是海水鹼性會逐漸變弱而已。而且優養化並非和海洋酸化無關，它因光合作用釋放的二氧化碳也會使海洋酸化的情況加劇，因此造成了沿岸的海水酸化的情況比大洋來得嚴重。

本書雖然捨棄了一般專業教科書需在文中引用文獻的束縛，但在內容取材方面加強了生活化和實際的應用。譬如海洋氣象中各國颱風強度分類的比較，颱風侵襲亞洲各國月別的機率統計表；以及海洋化學最容易被大家忽略的測量單位及其意義。此外，編輯一本可讀性高又能暢銷的教科書，最困難和具挑戰性的工作即在如何能搭配許多精美而又能取得版權的圖片。所幸本書總策劃能取得與全球科普教育最知名的《國家地理》雜誌合作，由他們負責提供圖片、編輯和出版，使這本教科書得以圖文並茂，大

大增加了本書的可讀性及讀者的購買意願，因此相信本書的出版必能受到產官學界及社會大眾的歡迎。

臺灣四面環海，自許為海洋國家及漁業大國，卻因過去長期重陸輕海、重經濟輕環保、重選票和輕永續，而忽略了海洋保育的重要，以致於臺灣的海洋仍處於危急存亡之秋。2018 年行政院在改組之際，新成立的「海洋委員會」及所屬的「海洋保育署」與「國家海洋研究院」就是在這種時空背景及國人的殷切期盼下應運而生。2019 年 11 月 1 日，立法院會三讀通過了《海洋基本法》，明定 6 月 8 日為「國家海洋日」，政府須在法案施行一年內，提出《國家海洋政策白皮書》。《海洋保育法》及《海域管理法》等各項新的法令也正積極地推動立法的工作，為臺灣海洋的永續帶來了一線振衰起敝的契機。但是如何能夠實際行動，還是要從全民的海洋教育著手，亦即循著「親海、知海、愛海」的環境教育途徑來了解海洋的特性、危機及解方。本書的出版可說是適時地提供了各大專院校在講授海洋科學概論或是通識課程中最佳的教科書或是參考書。很高興國立臺灣海洋大學在張清風校長的鼓勵和支持下能夠肩負起這個責任，邀請了校內海洋科學與資源學院的老師們，將他們多年來在校內授課的心血結晶，竭盡心力編撰成書來分享和貢獻給國人。



國立臺灣海洋大學海洋生物研究所榮譽講座教授
曾任中央研究院動物所所長、生物多樣性研究中心主任，
現為生物多樣性研究中心研究員兼系統分類及生物多樣性資訊中心執行長

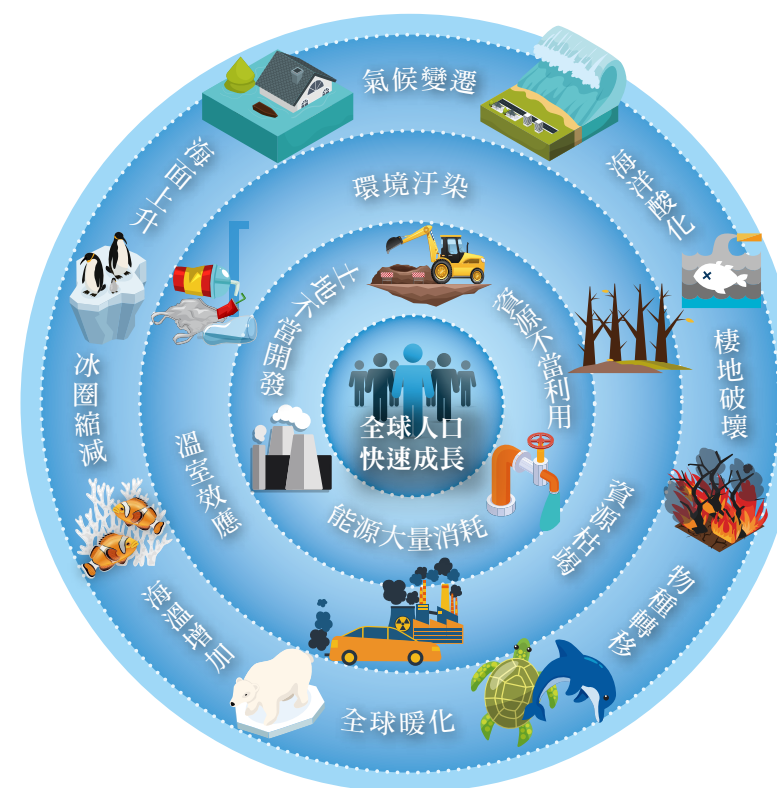
| 序三 |

航向藍海，立足國際

海洋是地球生命的起源與孕育的場所，面積覆蓋了地球表面積的 71%，平均水深約 3700 公尺，儲存了地球上 97% 的水，提供了全球人類生存與發展的必要條件，包括：（1）生命必要之蛋白質有 30% 是取自於海洋、（2）文明發展需要之能源（石油與天然氣）有 30% 是從海洋開採、（3）貨物的流通有 80% 是經由海洋運輸、（4）空氣裡的氧氣有超過 50% 是由海洋的光合作用生物所製造、（5）使用的淡水資源亦都來自海面海水的蒸發飄至陸地冷卻降雨而來。再者，由於水是所有物質中（除了氫之外）熱容量最大的介質，因此海洋更具有緩和地球氣候與吸收大氣二氧化碳的能力。除此之外，海洋尚有很多潛在的資源未被開發與利用，例如深海生物、海潮流能、波浪能、甲烷水合物、離岸風力發電等等海洋能源。綜合而言，海洋是地球生命的維生系統，與人類的生存與發展密不可分。

海洋之能成為人類與續生存與發展的維生系統，端賴海洋系統的運轉。海洋系統的運轉，可包括物理作用驅動的波浪、潮汐、海流、溫鹽環流；生物化學驅動的生態系食物網；地球物理化學過程驅動的有機碳沉降與能源生成等等。過去至今人類即利用海洋的運轉結果獲取維生必要的資源。然而，在人為活動的干擾下，海洋系統的運轉已逐漸在改變中，甚至已危及到國家安全，是以世界先進國家均已將海洋研究提升至國家安全層級；在大陸方面，更將之列為國家發展戰略。自 1950 年開始，全球人口數量以及能源的消耗激增，再加上土地的不當開發，釋放至大氣的溫室氣體（二

氧化碳、甲烷、氧化亞氮）亦同步攀升，形成溫室效應，導致全球暖化。全球暖化加上資源的不當利用與環境破壞，演變成今日所謂的全球變遷。在全球變遷下，已清楚看到全球大氣溫度升高、極區海冰縮減、海平面上升、海洋酸化等之結果（如下圖），這些結果不但進一步造成氣候變遷，也同時干擾海洋系統的運轉，未來北極融冰更可能造成海運航道的改變，牽動世界貿易與經濟。



臺灣位處於西北太平洋的亞熱帶氣候區，是世界航運的樞紐，全國 99% 以上的貿易是靠海運而來。臺灣不但四面環海，海洋特徵更是相當特殊，東岸有太平洋最大的暖流－黑潮流經，西岸有臺灣暖流與大陸沿岸流交會，東北海域有世界聞名的黑潮湧升以及龜山島的淺海熱泉，東南及西南外海尚有澎湖、蘭嶼、綠島等珍貴的珊瑚礁，北邊有東北亞區域漁獲量最高的東海陸棚，因此孕育出豐富多元的生態系與海洋資源；雖然如此，臺灣卻常年面對颱風、地震、聖嬰與反聖嬰等大自然作用的威脅。不過也正因为我們同時擁有得天獨厚的海洋資源以及大自然的挑戰，因此塑造出臺灣的人民具有勇於挑戰以及開創新局的硬頸性格。在前人的努力打拚下，我國在養殖、漁業、海運等維繫經濟發展的關鍵產業－「海洋產業」已居世界領先地位，特別在海洋總運輸量占我國進出口總量 99% 以上的海運產業，船舶總噸數與貿易總額分別排名全球第九名與第六名。臺灣可以稱得上是一個「日不落國」的「海洋大國」。

然而在全球變遷的作用下，臺灣擁有之地理優勢以及豐富的海洋資源將會面臨巨大的衝擊。舉例而言，全球暖化會造成北極融冰海運航道改變；海平面上升會造成海岸受到侵襲的風險增加；海面溫度升高會造成颱風的強度增加或是路徑與強度改變，致使陸地發生毀滅性災害的風險增高（例如 2008 年的莫拉克颱風）；海面溫度升高會降低海洋基礎生產力與海洋生物種類組成轉移或改變；氣候變遷會造成聖嬰或反聖嬰現象異常作用，使得珊瑚礁白化（例如 1998 年的東沙珊瑚白化），會造成海洋環流改變使得海洋生態資源損害（例如 2002 年的澎湖寒害）。再加上人為的作用，例如漁業資源的過度捕撈會造成漁業資源短缺，或是魚類體型變小，資源量隨

時間的變動幅度增大；如環境汙染會惡化漁業資源的品質，進一步危及人類食用安全（如深海魚重金屬或是環境荷爾蒙）。除此之外，在全球變遷的環境下，臺灣尚面臨最嚴重的人才匱乏、糧食短缺、缺乏自主能源以及抑制二氧化碳排放量的國際公約。

總而言之，全球變遷對我們賴以維生的海洋的衝擊已是現在進行式，解決之道，唯有透過整合性的海洋科學基礎研究，才能從中找到因應與調適的策略，特別是以「海洋立國」為願景的臺灣。回顧過去，臺灣海洋科學基礎研究從 1989 年的「黑潮陸棚邊緣交換過程研究」整合研究計畫開始，至今約僅 30 年，期間歷經了如「東海長期觀測與研究」、「黑潮通量探測變化」等長期且大規模的整合研究，並且使用國內三艘研究船，海研一號、海研二號、海研三號，進行海洋現場的觀測與採樣，如今已為國家培養了相當多的海洋科學人才，同時也累積了相當豐碩的研究成果與海洋知識。有鑑於此，國立臺灣海洋大學是臺灣唯一培育全方位海洋高等教育人才的國立大學，遂於 2016 年 2 月正式將「海洋科學概論」列為全校大一新生共同必修的通識課程，展現為我國培育具有宏觀思維之跨領域海洋高等教育人才的企圖心。經過三年多的教學現場實踐，如今更進一步地將授課教材與《國家地理》雜誌合作出版了《海洋科學概論》，令人振奮。這一本書是臺灣第一本以中文書寫的海洋科學專書，為擴大讀者群，更是將相對較艱深的海洋科學知識轉化成淺顯易懂的內容，此書正可做為培育當代海洋跨領域創新與研發高教人才的基石。另外，此書亦可做為我國十二年國民基本教育將海洋教育融入各科教學師資的重要參考書籍，亦可為一般社會民眾可以輕鬆閱讀的海洋科普書籍。

本書共有八章，第一章海洋的基本性質，首先讓讀者了解海洋的變動與大氣及陸地圈密不可分，然後再介紹全球海洋表面溫度變化、溫度隨深度的垂直變化與生物分布、海水鹽份的來源及鹽度的變化、海洋環流與大尺度風系如何互動等。第二章海洋環境的災難，介紹人類活動將過多的營養鹽排放進入海洋後，如何造成海洋的優養化與溶氧降低，並引發水質發臭與生物死亡，進一步介紹海洋的油污染對生態的浩劫以及除汙技術。第三章海洋的文明病：海洋酸化，介紹人類大量使用石化燃料持續將巨量的二氧化碳排放至大氣後，過多的二氧化碳是如何進入海洋，導致海水的酸度較工業革命之前高出 25% 之多，引發所謂的海洋酸化現象（目前海水仍然是屬於弱鹼性，平均的 pH 值約在 8.1 左右），海洋酸化現象也將降低珊瑚造礁作用，同時也會連動海洋生態系的改變，除此之外，也提出了一些醫治海洋酸化的藥方。第四章太平島是「島」還是「礁」，透過近年來國際爭議的南海仲裁事件，讓讀者認識海洋國土是如何主張，島與礁如何定義，以及世界各國為何要競相爭逐遠離陸地的蛋丸小島，並解開屬於我國最南端國土太平島的身世之謎，用以了解海洋地質研究的重要性。第五章西太平洋的颱風與海難事件，介紹臺灣是西北太平洋颱風的熱區，讓讀者了解颱風會在海洋形成的原因，颱風的等級如何劃分，接著導入一些因颱風侵襲造成的巨大災難事件，讓讀者體認到全球暖化氣候變遷，可能會讓颱風使壞，引發超大豪雨衍生出的生命與財產損失更是令人生畏。第六章令人驚豔的海洋動物，介紹地球生命的起源，在不同的海洋範疇裡存在著各式各樣令人驚豔的動物，也介紹了海洋動物之最，如最大的魚、游泳最快的魚、最美與最醜的魚等等，讓讀者了解到海洋生物多樣性及其價值。第七章漁業資源復育，由於漁業資源的過度捕撈以及氣候變遷的壓力下，透過具有科學性的魚苗放流，並利用先進魚體基因型以及耳石成份與特性，做

為天然標識方法，用以評估及追蹤魚苗放流成效。第八章永續漁業，介紹人類早期認為海洋魚類是無窮盡的資源，但是由於過度捕撈已造成漁業資源短缺，讓讀者了解如何透過全球漁業資源的評估與管理，達到漁業資源的永續。

展望未來，臺灣海洋科學的發展將由新一代海洋科學研究船（註），也就是「新海研一號」、「新海研二號」、「新海研三號」的接棒，邁向國際前沿。國立臺灣海洋大學會持續地將尖端的海洋科學基礎知識與研究新知，轉化為科普知識出版，讓大家品味分享。國立臺灣海洋大學除了出版這一本以中文書寫的《海洋科學概論》教科書之外，亦有適合學童與一般社會民眾閱讀觀賞的「海洋科學與人類生活」科普動畫極短片，歡迎讀者上網點閱，網址為 www.kidocean.ntou.edu.tw。

註：新一代的海洋科學研究船（新海研一號、新海研二號、新海研三號）由科技部委託台灣國際造船公司設計建造，歷時一年有餘，新海研二號及三號已於 2019 年 11 月 25 日完工交船，科技部將分別移撥給國立臺灣海洋大學以及國立中山大學管理營運，新海研一號也預計於 2020 年第一季完工交船，並將移撥給國立臺灣大學管理營運。這三艘新的研究船均採超低噪音的電力推進，擁有精準的動態定位、水文偵測與海水採樣等系統，並有多項可同時運作的船錠式聲納系統，在航行中即可同步測繪海流剖面、海底深度、海床地形地貌、海底地質結構、水下定位導航等，是國際級的多功能海洋研究船。新的海洋研究船也將承接我國海洋科學基礎研究與海洋國土永續發展的使命，航向藍海，立足國際。



國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所終身特聘教授
曾任國立臺灣海洋大學教務長、海洋環境與生態研究所所長、國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心主任

| 前言 |

開啓臺灣海洋教育的新里程碑

海洋為地球生命之母，更是宇宙誕生後珍稀的產物。在漫長的地球演化史中，海洋的出現為各種奇蹟般的地球物理、化學、地質、生物現象提供了合理的解釋，也讓我們能了解地球在宇宙中為何如此獨特。伴隨著地球的恆星——太陽，提供地球源源不絕的能量，使大氣與海洋保持流動，平衡地表各處的氣候；除太陽之外，可能是天外飛來一筆的大撞擊所造成的月球，使地球的氣候逐漸從混亂轉而有序，促成了地球氣候的季節性與潮汐變化，生物得以尋覓企機不斷演化，構成生物多樣性的地球生態系。海水與岩石圈的交互作用，提供各式各樣的營養鹽給生物，是生物從光合作用一外最重要的營養來源；除此之外，海水也促成了地球的岩石圈不致冰冷僵硬，而是偶有動態演出，如火山作用、地震與海嘯等現象，讓人們時時保持警覺，趨吉避凶。

我們天性就愛親近海洋，除為了欣賞海洋無時無刻的變化之美與海風帶來的清新空氣外，更殷殷期盼著漁穫收成賞賜的海鮮，與一艘又一艘貨輪運自他方的生活所需與奇珍異寶。海洋是住在世界各地的人們最重要的物資運送帶，因而新的航海科技不斷孕育而生，讓我們能更安全有效的海運物資。海風吹動著一座又一座落成的離岸風車，與洋流帶動的一具又一具的浮游渦輪發電機，帶給我們擺脫化石燃料燃燒所造成的本世紀末史無前例全球暖化災難的一絲希望。然而，暗黑而不透明的海洋使我們無法徹頭徹尾的揭開其神秘面紗，僅能靠少許船測及潛浮標與衛星觀測，得知其真實的動態；或靠海洋鑽探，獲知海底其實藏有豐富的能源與資源，如石油

天然氣與稀土等。放眼未來，誰能掌握海洋科技，就如同掌握了打開藏寶箱的鑰匙，為我們的下一代的永續發展覓得先機。

本校為國內海洋科學教育與推廣的重鎮，考量海洋科學入門教學可能因不同背景基礎學生會遇到的困難，為避免僅介紹冷僻專業的海洋科學名詞與艱深的數理公式，並讓學生能與生活周遭發生的時事結合，了解海洋科學的原理與重要性，特與《國家地理》雜誌合作開發了這本兼具非海洋科學主修學生適用的教學與關心海洋的社會大眾的參考用書。本書的開發與編撰過程受本校張清風校長、莊季高副校長、張文哲教務長、龔國慶教授、共同教育中心、出版中心主任謝玉玲教授與陳怡伶小姐、海洋科學與資源學院邱奕伶小姐、地球科學研究所廖佳汝小姐的行政支持；當然，本書的完成完全有賴於本校海洋科學與資源學院教師在繁忙的教學研究中撥冗撰寫文稿與圖片收集，再由本人潤飾文稿與敲定使用的圖片，最後再由《國家地理》雜誌鄭靜琪副總編輯協助下，以更能讓一般大眾了解的表達方式與新增相關圖文資料的方式完成。本人很榮幸在本校張清風校長的信任下，擔任本書的總策劃，希望本書的出版，能開啟臺灣海洋科學教育的新里程碑，並能與未來海洋科技發展與時俱進，續創新頁。

國立臺灣海洋大學地球科學研究所教授、海洋科學與資源學院院長
《海洋科學概論暨其時代議題》總策劃

Chapter 1

海洋的基本性質

撰文 / 陳明德 教授



海洋是生命之母，而孕育海洋的地球是我們宇宙中的曠世珍寶。地球不僅具有獨一無二且適宜複雜生命繁衍的宇宙位置，而且它是由氣圈（atmosphere）、水圈（hydrosphere）、地圈（lithosphere）所組成，更是一個動態的複雜體系，各種物理、化學、生物作用時時刻刻在進行著，彼此互相影響，而具巧妙的動態平衡；地球系統中的各層圈互相作用，彼此依存，也相互流通、彼此制約。整體系統的表現是各個層圈彼此作用的結果。因此，我們要了解海洋，不僅要對各層圈的特性有所認識外，還要對它們之間的交互作用進行了解。氣圈、水圈、地圈特別的基本組成、結構與交互作用是構成我們地球生物圈（biosphere）與海洋穩定生態系（ecosystem）的基礎。

氣圈

夏季酷熱的午後，我們常可看到遠處天空高聳的雲朵，它究竟可以伸展到多高呢？由太空觀看地球，有時候也可看到颱風的螺旋式雲系（如下圖），這些現象都發生在氣圈的對流層內，主要是由空氣的上升運動造成的。大氣雖然摸不著、看不到，但依然有重量，由大氣重量產

生的壓力就是氣壓（air pressure）。愈往高處，造成氣壓的空氣柱愈短，所以氣壓愈低。氣壓的高低和空氣的密度有關，氣溫愈高，密度愈小，在地面所形成的壓力也愈小；反之，氣溫愈低，密度愈大，在地面所形成的壓力也愈大。一般而言，在海平面每平方公分的大氣壓力大約一公斤重。

整個固體地球被氣圈圍繞著，地表大量吸收太陽輻射而變得溫熱後，會對氣圈的底層加熱，造成接近地表的空氣受熱上升、較高層的冷空氣則下沉，產生對流運動。因此，大氣圈的底層又稱為對流層（troposphere）（見第 26 頁圖）。這就像在火爐上燒開水一般，壺底受熱的水向上騰升，而頂部較冷的水往下沉降，水壺中的水就產生了上下對流（convection）。

大氣中含有很多水氣，其中約有 80% 存在於對流層中。因為大氣的對流運動，使水氣飽和，產生雲、雨、雪等各種天氣現象。積雨雲與



▲ 大氣的對流運動，產生我們熟悉的雲、雨、雪、颱風等各種天氣現象。

氣圈的成層結構

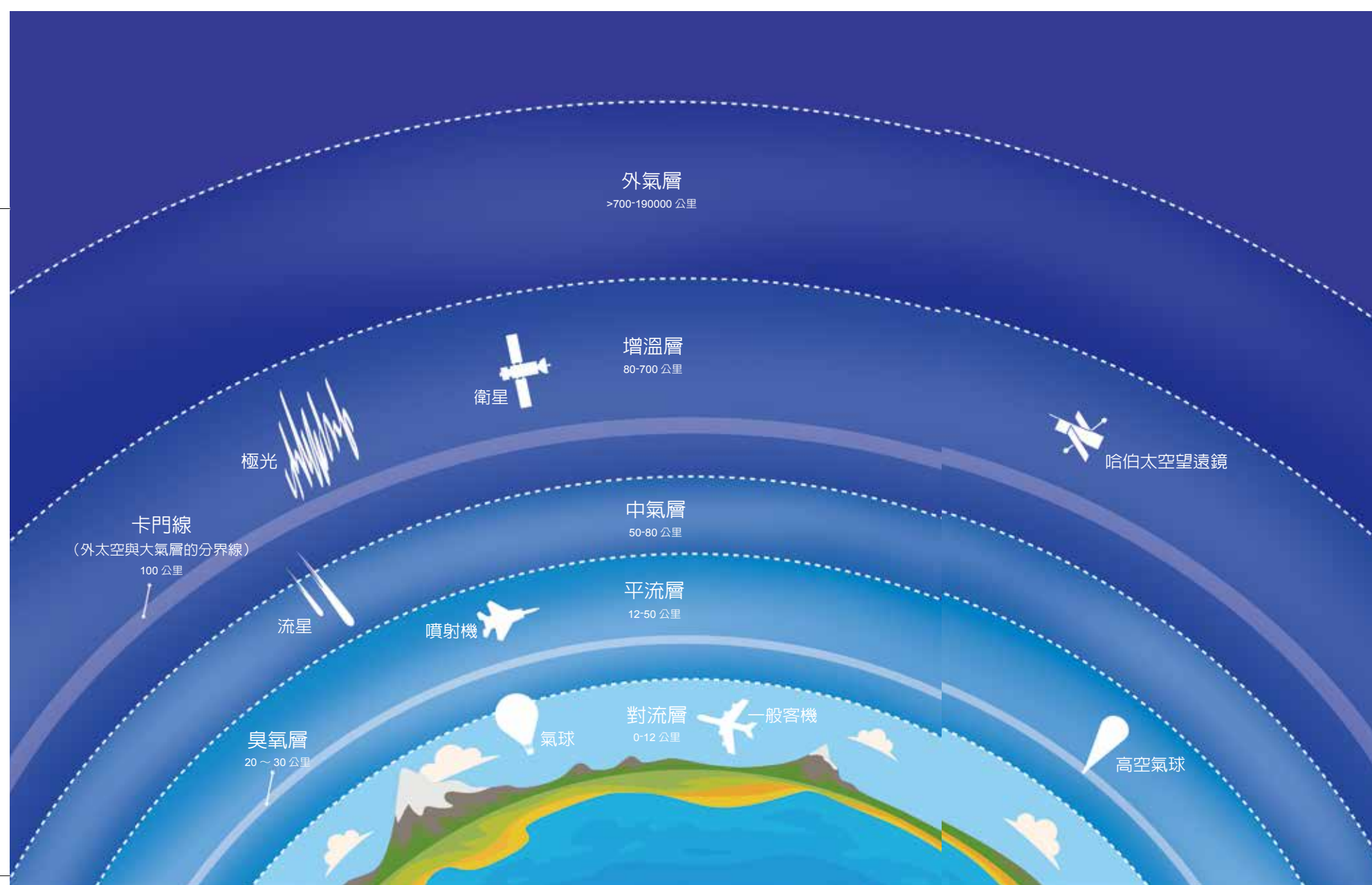
大氣層垂直結構大致可分為對流層、平流層、中氣層、增溫層及外氣層。對流層是對流最旺盛的區域，包含了大氣中大部分的水氣，因此雲、雨等天氣現象都發生在這裡。平流層包含了臭氧層，能吸收紫外線，保護地球上的生物不受強烈紫外線的侵襲。中氣層的主要成份包括臭氧、氧、二氧化碳、氮的氧化物，它們都是光化學作用的產物。增溫層的空氣非常稀薄，物質以離子形式存在，溫度極高。外氣層以外就是外太空，這裡只有最輕的兩種元素：氫及氦。

颱風雲系則大多只能發展到對流層頂的高度。

推動大氣對流及天氣變化的能量主要來自太陽輻射（solar radiation）的可見光波段。太陽光在進入地球

大氣後會被氣體分子、氣溶膠與雲吸收，並反射一部分回外太空，最後約只有一半的太陽輻射到達地表且被吸收，是為短波入輻射（short wave incoming radiation）。而地表則時時刻刻以紅外線形式向外輻射能量，但是大氣中的溫室氣體會將大部分地表輻射的紅外線吸收，所以地表輻射無法直接到達太空，是為長波反輻射（long-wave back radiation）。溫室氣體也會發散紅外線，這一部分的能量不僅會被地表吸收，也會逸散至太空中。此外，地表的能量也會以對流方式傳到大氣中，並達成熱收支平衡（heat budget balance）（見第 28 頁圖）。

在對流層內，高度愈高，氣溫愈低，每升高一公里約降低攝氏 6.5 度。地球表面的對流層厚度隨緯度的高低而變化，約在 8-16 公里間，主要是隨著地表加熱情形而變化，一般而言，加熱愈強厚度愈大，所以，赤道區域的對流層厚度大於高緯度區域，夏季對流層厚度大於冬季。





Chapter 2

海洋環境的災難

優養化讓海水無法呼吸與油汙染黑海洋

撰文 / 陳宏瑜 教授

過去我們總認為海洋是浩瀚的巨大水體，因此，一直以來總是將人類活動所產生的汙染，直接倒入海洋。但是，隨著汙染量的快速累積，這些汙染已經對海洋環境、尤其是近岸的海洋產生衝擊，我們稱為海洋汙染（marine pollution）。本章節主要是透過基本的海水組成介紹，進而探討海水的營養鹽物質循環和其影響；另外，海上油汙染事件頻傳，除了介紹海上除汙設備外，我們也將探討原油的組成和對海域環境生態的影響。

簡介

海洋汙染是指外界物質進入海洋後，對海洋造成有害或部分有害的影響，這些物質包括化學物質、顆粒體、工業農業或家庭廢水等，大部分都來自於陸地。為了解海洋受汙染程度，要先了解海水原本的化學組成，進而對海水進行化學成分分析，這就是海洋學中的海洋化學（marine chemistry）。海洋化學除了透過對海水成分的分析，了解物質在海水中的含量外，也結合其他物理、化學、生物與地質參數，以探討物質在海洋中的來源（source）、

匯（sink）和作用（process），也就是一般所說的物質循環（material cycle）。因此，在探討汙染物質對海洋造成的影響前，必須先了解物質在未受汙染海洋中的角色。

海水的主要成分

現今海水占據地球面積的 71%，以上，且占地球水體的 97%；海水含有的可溶性鹽類中，有 11 種占了全部的 99.9% 以上，稱為主要元素，包括氯化鈉、氯化鎂等，使得海水呈現鹼性，而海水中可溶性鹽類的多寡即為海水的鹽度（salinity）。



Information

海洋化學使用的單位

在海洋化學上，一般所採用的是國際單位制（international system of units：簡稱 SI，源於法語：système international d'unités）即所謂的公制（metric system）。公制中的七個基本測量單位採用一致單位制（右上），另外為了方便表現極大數目與微小數目，建立了 20 個國際單位前置字（SI prefixes，右中）。但在環境科學中，為了要表示極小的物質濃度，經常使用的是無量綱量（dimensionless quantity）濃度，無量綱量指的是像百分率（比率乘以 100）或千分率（比率乘以 1000）等。當濃度極低時，即可用更高的以十為底的幕次因子，較常使用的是百萬分率（part per million, ppm）和十億分率（part per billion, ppb）。因為水的密度是 1 g/cm³，再經過換算後，水體中物質的濃度 ppm 可以表示成 mg/L，而 ppb 則是 ng/L，意思是每公升水中所含物質（或汙染物）有多少 mg（ppm）或 ng（ppb）。

公制之基本測量單位

物理量	單位名稱	縮寫
長度（Length）	Meter（米）	m
質量（Mass）	Kilogram（公斤）	kg
時間（Time）	Second（秒）	s
溫度（Temperature）	Kelvin（凱氏）	K
物質質量（Amount of substance）	Mole（莫耳）	mol
電流（Electric current）	Ampere（安培）	A
發光強度（Luminous intensity）	Candela（燭光）	cd

較常使用之國際單位前置字前置字

前置字	縮寫	代表次方
tera-	T	10 ¹²
giga-	G	10 ⁹
mega-	M	10 ⁶
kilo-	k	10 ³
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
centi	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹
pico	p	10 ⁻¹²

海水鹽度 35‰ 時主要組成濃度

成分	濃度 (M)
Cl ⁻	0.546
Na ⁺	0.469
Mg ²⁺	0.0528
SO ₄ ²⁻	0.0282
Ca ²⁺	0.0103
K ⁺	0.0102

鹽度的定義是一公斤海水中所含可溶性鹽類的克數（單位千分率，符號‰），如鹽度 35‰ 是指 1 公斤海水中共含有 35 克可溶性鹽類；除了主要元素外，海水也包含少量的微量元素。

一般而言，海水主要元素的組成是成固定比例關係（見第 49 頁最下表），不因時間或海域不同而有差異，因此稱為守恆型（conservative type）。而微量元素因包含海洋生物生長必需的物質，故稱為營養鹽（nutrient），會因為海洋生物的利用和代謝作用，組成與濃度隨著時間與海域而有顯著的差異，稱為非守恆型（non-conservative type）。

大洋海水鹽度的空間分布和時間變化，主要受到環境因素和各種過程（降水、蒸發、熱液作用等）所影響。當降水大於蒸發，會使得海水被淡水稀釋、造成鹽度降低；相反的，當蒸發大於降水，則鹽度升

高。鹽度較高的洋流（如黑潮）流經海水鹽度較低的海域時，可使鹽度增加；反之可使鹽度降低。在高緯度海域，除受上述因素影響外，結冰和融冰也會影響當地的海水鹽度。一般而言，世界大洋表面鹽度變化介於 33-37‰ 之間。此外，在陸地的沿岸海域，因陸地河流的淡水注入使得海水鹽度降低，例如長

江口附近，在夏季時因長江淡水流量增加，沖淡海水，鹽度可降低到 11.5‰ 左右。

優養化

除了生物生長或延續生命需要仰賴氧氣外，大多數環境中的物質也需要靠氧氣才能進行化學作用。水

中的溶氧（dissolved oxygen, DO）為水質好壞的重要指標，影響溶氧的因素很多，如水溫、鹽度、生物質量、化學物濃度等。海水的氧氣來源，包括海水表面的空氣經由擴散作用，將大氣中的氧氣溶解於海水中，以及海洋性浮游植物行光合作用所產生的氧氣；這兩個過程都只發生在表層海水，因此表層海水的



► 藻類過度生長，形成湖泊優養化。



Chapter 3

海洋的文明病：海洋酸化

撰文 / 周文臣 教授

自從工業革命後，人類開始大量使用煤、石油、天然氣等化石燃料，同時為了滿足人口增長所需的糧食和居住需求，大規模開發森林和熱帶雨林，這些人為活動將原本儲存於地層和森林中的碳，快速釋放到大氣中，導致大氣中二氧化碳濃度快速的攀升，被認為是造成全球氣候變遷最主要的原因。而占地球表面積 71% 的海洋，透過海－氣交換作用和生活其中的浮游植物進行光合作用，每年大約可以吸收 25% 人為活動所排放的二氧化碳。因此，不難想見，若沒有海洋幫忙吸收二氧化碳，現今大氣二氧化碳濃度勢必增加得更快速，全球暖化也會更加嚴重。但海洋默默吸收人為二氧化碳的同時，卻也賠上了自己的健康。如今，它生病了，病名叫做海洋酸化（ocean acidification）。在這章中，我們將針對海洋酸化的病因、病症、可能的醫治方法，以及對人類生活可能的影響進行說明。

來自冰心的警訊

南極大陸是地球最冷的區域之一，氣溫極低，積雪終年不化，不斷堆疊，下層的雪被上層的雪壓實、壓密，年復一年，逐漸形成一層層的冰層，愈上層的年代愈新。冬季氣溫低，雪粒細而緊密；夏季氣溫高，雪粒粗而疏鬆；因此，冬夏季的冰層之間會出現顯著的層理，宛如樹

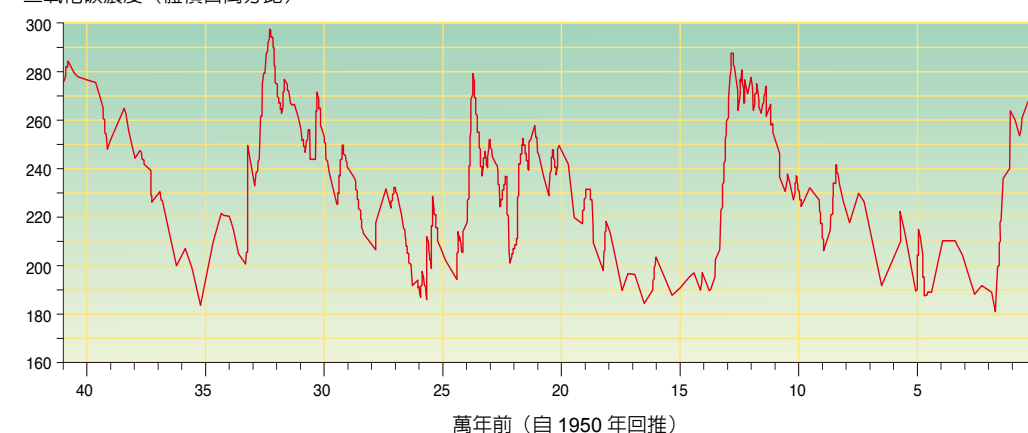
木的年輪一般。由南極冰原鑽取出來的冰心（ice core），可清楚標示出各冰層生成的年代。而冰層蘊含了豐富的訊息，讓科學家得以藉由分析冰心，來探究過去地球環境變化的情形。

冰層在生成時會留下微小的孔隙，保存了當時的大氣，猶如氣體化石一般。藉由分析封存於冰心中古大氣的成分，科學家可以得知過去大

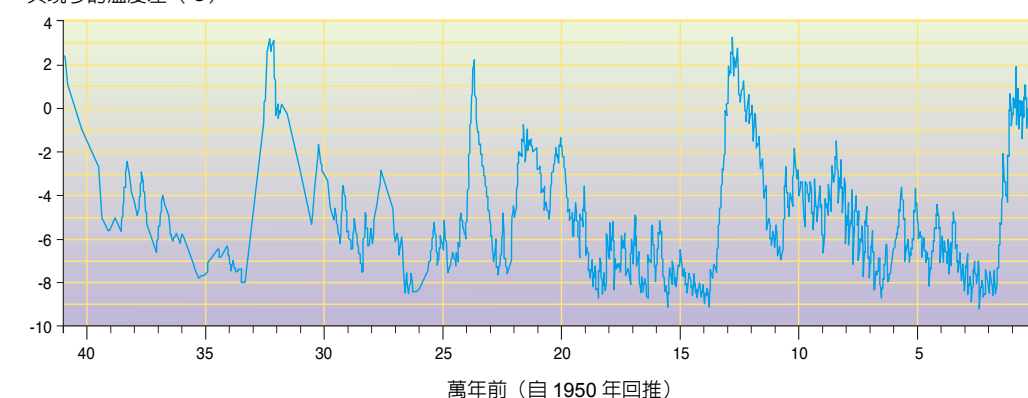
氣二氧化碳濃度的變化。此外，冰體中所含氧 -18 同位素的多寡與其生成時的溫度有關。因此，藉由冰體氧同位素組成的分析，科學家可以

回溯冰體生成時的環境溫度。利用上述方法，科學家重建了過去 40 萬年來大氣二氧化碳濃度與地表溫度變化的歷史，結果發現兩者之間存

二氧化碳濃度（體積百萬分比）



與現今的溫度差（°C）



過去 40 萬年來大氣二氧化碳濃度與地表溫度的變化

在過去 40 萬年中，地球的氣候一直不穩定，溫度變化非常大且快速，這代表氣候可能對內部或外部影響因素和反饋非常敏感。此圖顯示，大氣中二氧化碳含量與溫度之間存在很強的相關性。

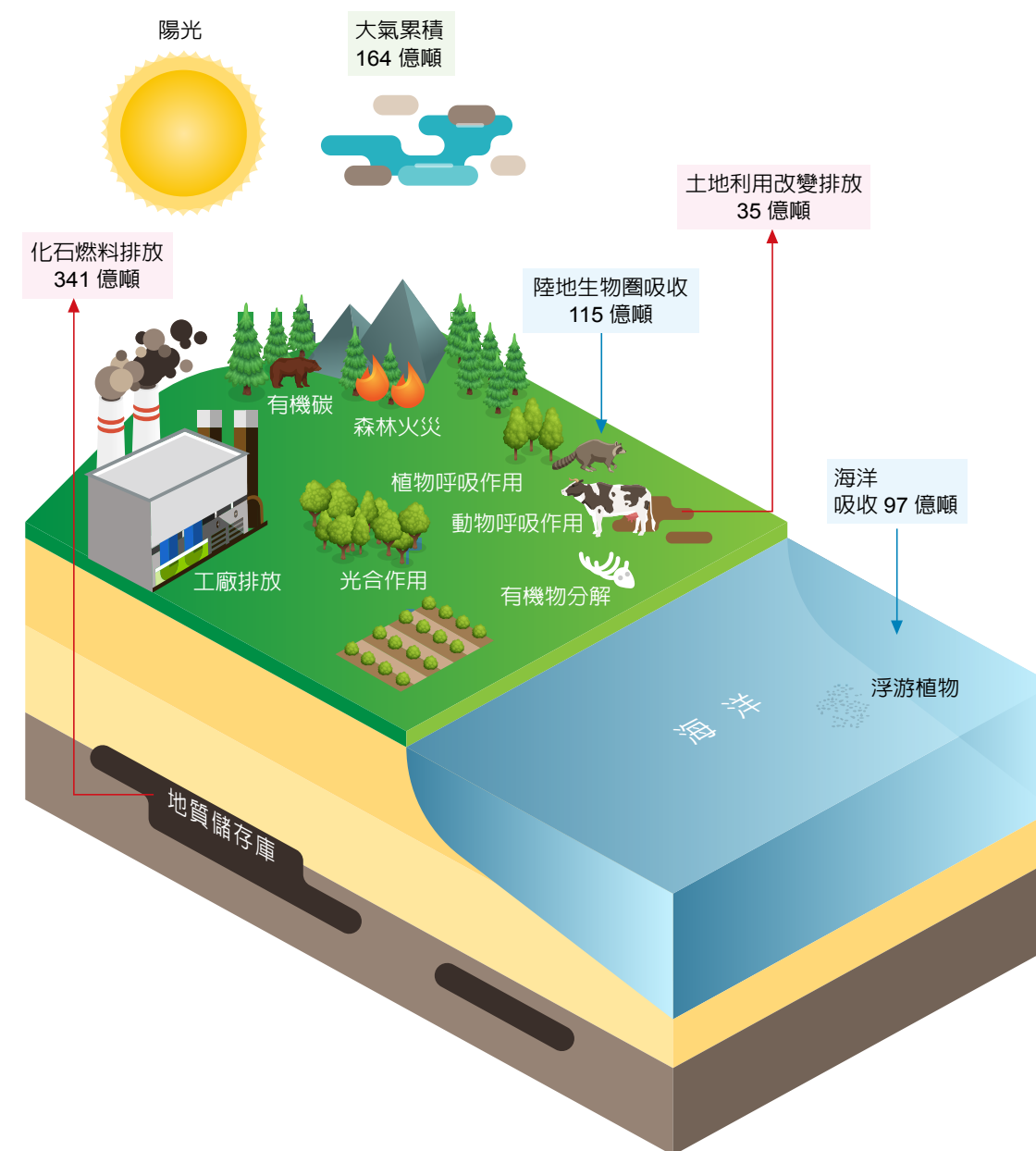
在著令人訝異的高度相關性（見第 75 頁圖）。在過去 45 萬年漫長的歷史中，地球總共歷經了四次冰期與間冰期的交替循環，每次循環的週期大約是十萬年。間冰期時，當地表溫度較高時，對應著二氧化碳濃度的高值，當地球進入冰期時，伴隨著溫度的下降，二氧化碳的濃度也同步的減少，兩者呈現近乎完美的同步變化。這種緊密的相關性，意味著大氣中二氧化碳濃度的變化，對於地表溫度的改變，可能扮演著關鍵性的角色。科學家由冰心的紀錄得知，過去 45 萬年來大氣二氧化碳濃度介於 180-280 ppm 之間上下波動，振幅大約是 100 ppm。這樣的振幅對應了地表溫度攝氏 10 度的變化。然而，自從工業革命後，在短短不到 200 年的時間裡，人為活動已經使大氣二氧化碳的濃度由工業革命前的 280 ppm，快速攀升到 2016 年時的 400 ppm，增幅超過了過去 45 萬年來自然界曾經出現過的變化幅度，增加的速度更是前所未

見！這個來自冰心的警訊，令科學家憂心忡忡，開始高度關注地球的氣候系統是否會因為人為活動所造成大氣二氧化碳濃度的快速增加，而產生劇烈的變化？

碳在地球系統中的循環

來自冰心的警訊，促使科學家開始探討二氧化碳在地球系統中的循環過程。唯有了解碳的循環過程，才可能預測未來大氣二氧化碳濃度的變化趨勢，進而模擬地球氣候系統（earth climate system）可能發生的變化。

大氣、海洋和陸地生物圈是千年尺度內，地球系統中最重要的三個碳儲存庫（reservoir）。透過各種不同的作用，二氧化碳可以在各儲存庫之間相互流通。例如，陸地上的生物透過光合作用與呼吸作用，可以使二氧化碳在大氣與陸地生物圈之間交換。而海洋中，除了光合作用與呼吸作用外，生物性碳酸鈣



2006 至 2015 年間全球二氧化碳收支情形

大氣中的二氧化碳會經由光合作用，進入植物體內，再隨之進入以植物為食的動物體內，動物死亡後，屍體會再分解出二氧化碳，釋放回大氣。部分二氧化碳會溶解於海洋，沉積在海底。隨著人類工業的發展，燃燒化石燃料排放出的二氧化碳影響了循環的平衡，增加了大氣中二氧化碳的濃度，形成溫室效應。



Chapter 4

太平島是「島」還是「礁」

撰文 / 陳明德 教授

對臺灣而言，在南海仲裁中，太平島是「島」還是「礁」為什麼如此重要？為何一個離臺灣相當遙遠且面積僅僅是 0.51 平方公里的小島，其定位會引起國際上的關注？在此章節，將藉由位於遙遠南海的國土——太平島的身世之謎，來了解海洋地質研究的重要性。本章並以副篇概述海洋沉積物的形成，以及如何藉由海洋鑽探（ocean drilling）獲得的海洋沉積物岩心（marine sedimentary core）了解地球長期氣候變化、地球環境變遷史與資源分布的重要性。

海洋的形成

地球表面有 71% 的面積是由海洋覆蓋（見第 99 頁圖），如此廣大的面積，使得人類在飛機發明之前，必須藉由海上航行來移動到另一個大陸尋找資源，而面積廣闊的海洋蘊藏著更豐富的資源，是人類除了陸地之外，最重要的資源開發地點。開發海洋資源（marine resource）的首要工作莫過於了解海洋的生成與海面下的面貌。因此，海洋地質學（marine geology）的知識就成為探索海洋不可或缺的重要工具了。

在宇宙中，地球是非常獨特的星球，因為地球是目前所發現唯一一個同時具有固相、氣相與液相水的星球，其中大量液態水（liquid water）的存在更是在其他星球中不曾見過的。依據目前的地質學與海洋地質學研究，地球在 46 億年前形成，而原始海洋（proto-ocean）則是約 40 億年前形成。剛形成的地球十分炙熱，卻為何能形成液態的原始海洋呢？科學界目前有兩派理論，一派理論是釋氣作用（outgassing）：由火山噴發與熱噴泉等地質活動中釋出水蒸氣，最後慢慢凝結成水，形



▲ 地球表面大部分被海洋所覆蓋。

成海洋。另一派理論是大撞擊（giant impact）（見第 100 頁圖）：帶有大量水與冰的隕石（meteorite）、彗星（comet）或小行星（asteroid）大規模的撞擊地球，這些天體所帶來的水與冰，冷卻了地球的溫度，再加上地球與太陽的距離適中，位於太陽系的適居帶（habitable zone），所以最後形成廣大的海洋。

海水為什麼是鹹的？

海洋是由大量的水組成，但為何海水嘗起來不像淡水，而是鹹的呢？海水的鹹是因為海水中含有大量的鈉、氯等離子，但這麼大量的離子又是從哪裡來的？傳統的科學研究認為海水與岩石不斷的交互作用，將岩石中的鈉、氯等元素溶入海水



▲ 有一派理論認為，海洋是由於外太空的隕石、彗星等撞擊而形成的。

中，導致海水變鹹。而最新的研究則持不同的看法，在元素表中氫、氧、鈉、氯等原子量輕的元素，在宇宙中其實是非常豐富的，當然也存在隕石、彗星或小行星等天體之中。這些元素隨著大撞擊來到地球，

與水一起形成海洋。

大撞擊後會殘存許多隕石碎片，其中有些碎片數十億年來保存在乾燥的沙漠或冰凍的南極中，逃過了快速風化的命運。科學家從這些隕石中，找出了最原始、變化最少的

隕石，發現隕石中有結晶水與鹽的成分，證明了大撞擊過程中，地球被富含水與鹽類的隕石反覆撞擊（約2600萬年週期），再經過多次的蒸發降雨後（自38億年前至8億年前）形成現今含有豐富鹽類的鹹鹹海洋。

動態的地球

海洋形成約40億年，占地球表面71%的面積，在這麼漫長的時間與廣闊的空間，人類根本無法長時間仔細的觀察並記錄海洋的形貌與變



Chapter 5

西北太平洋的颱風 與海難事件

撰文 / 陳惠芬 教授

熱帶氣旋（tropical cyclone）是一種發生在熱帶或副熱帶海洋上、具暖心結構的氣旋性渦旋，也稱為熱帶風暴（tropical storm）、颱風（typhoon）或颶風（Hurricane），在不同地區也有不同稱呼。全球受熱帶氣旋影響最大的區域為西北太平洋、西北大西洋和印度洋，其中又以西北太平洋地區的暖池最容易產生熱帶風暴，產生的熱帶氣旋數量也最多。西北太平洋生成熱帶氣旋的總數占全球的三分之一，是世界上熱帶氣旋活動最頻繁的區域，平均每年有 20 多個熱帶氣旋生成。根據 1993 年之前的統計，平均每年由西北太平洋誕生並侵襲中國東南沿海地區的熱帶氣旋多達 7 個，占西北太平洋熱帶氣旋的 37%。根據氣象研究結果顯示，西北太平洋此熱帶氣旋的活躍度深受北太平洋副熱帶高壓、沃克環流（Walker circulation）、低層跨赤道氣流等強弱變化的影響，因此更激起古氣候學者與海洋學者對於熱帶太平洋暖池和颱風研究的興趣。

熱帶氣旋造成的強風豪雨對於人類生存的威脅，以及破壞環境生態的力量，促使人類更進一步研究探討熱帶氣旋的形成與規律。它對於海洋能量的傳送、大氣的循環，都扮演著相當重要的角色，長期以來深受氣候與海洋學界關注，更引發我們試圖揭露歷史上的熱帶氣旋記錄。欲了解熱帶氣旋發展的變化，首先要對熱帶海洋形成熱帶氣旋的條件有所認識，如果能對熱帶氣旋的生成週期與路徑變化更了解，也許就能預測熱帶氣旋的發展與演變。自從工業革命以來，氣候日益暖化，熱帶氣旋的強度與頻率是否會更加增強呢？科學家觀測自公元 1880 年以來，隨著全球氣溫逐漸升高，大西洋西岸的強烈颶風數量也有增加的趨勢，顯示全球暖化的問題更升高了颶風的強度與數量。

颱風的形成和發源地

在熱帶海洋上的海水溫度高於攝氏 26 度以上時，就有利於海洋上的

濕暖空氣受熱膨脹，密度減小，發生向上的對流作用（convection），同時低空周圍有冷空氣流入補充，形成所謂的「熱帶低壓」（tropical

depression）。要構成熱帶氣旋，除了氣壓差的梯度必須夠大之外，也得有旋轉的強大風速配合，因此形成的地方一定在南北緯五度以上，因為這裡才有足夠的科氏力（Coriolis force）驅動氣流旋轉。綜合現今對於熱帶氣旋認知的構成要素如下：

- 1. 寬廣溫暖的洋面，其海水面溫度高於攝氏 26 度。
- 2. 緯度 5-20 度附近。
- 3. 有一封閉低壓呈氣旋式旋轉環流存在。

4. 高低對流層風速不可相差太大，即垂直風切（vertical wind shear）要小。

5. 低對流層輻合（convergence）、高對流層輻散（divergence）。

目前各國對於熱帶氣旋風速的定義和名稱略有不同，我國參考中央氣象局定義的蒲福風級（Beaufort wind force scale）。目前國際間通用的熱帶氣旋強度分級則來自日本氣象廳，最大風速每小時 62-88 公里稱熱帶風暴，89-117 公里稱強烈熱帶風暴（severe tropical storm），

各國颱風強度分類比較

風速 (km/h)	風速 (m/s)	蒲福風級	中華民國中央氣象局 (風速為 10 分鐘平均)	日本氣象廳 (風速為 10 分鐘平均)	美國國家颶風中心 (大西洋區及東北太平洋區) (風速為 1 分鐘平均)	美國聯合颱風警報中心 (西北太平洋區) (風速為 1 分鐘平均)
62-88	17.2-24.4	8-9	輕度颱風	熱帶風暴	熱帶風暴	熱帶風暴
89-117	24.5-32.6	10-11		強烈熱帶風暴		
118-153	32.7-42.5	12-15	中度颱風	颱風	1 級颶風	颱風
154-177	42.6-49.2				2 級颶風	
178-183	49.3-50.9				3 級颶風	
184-209	51.9-58.1	16 17	強烈颱風			
210-240	58.2-66.6	>17			4 級颶風	
241-249	66.7-69.2				5 級颶風	超級颱風 (super typhoon > 240km/h)
>250	>69.3					

大或等於 118 公里稱為颱風。美國則是以近中心附近最大一分鐘平均風速來劃分熱帶風暴的強度，風速每小時高於 118 公里以上稱為颶風（hurricane），並依照強度再細分為五級（見第 145 頁表格）。因此中央氣象局的強烈颱風，相當於美國

3-4 級以上的颶風，而美國稱的五級颶風可視為超級強烈颶風。

目前全球較常受熱帶氣旋侵襲的區域包含北太平洋西部及南海、大西洋西部、加勒比海及墨西哥、北印度洋、阿拉伯海及孟加拉灣、北太平洋東部、南印度洋、南太平洋

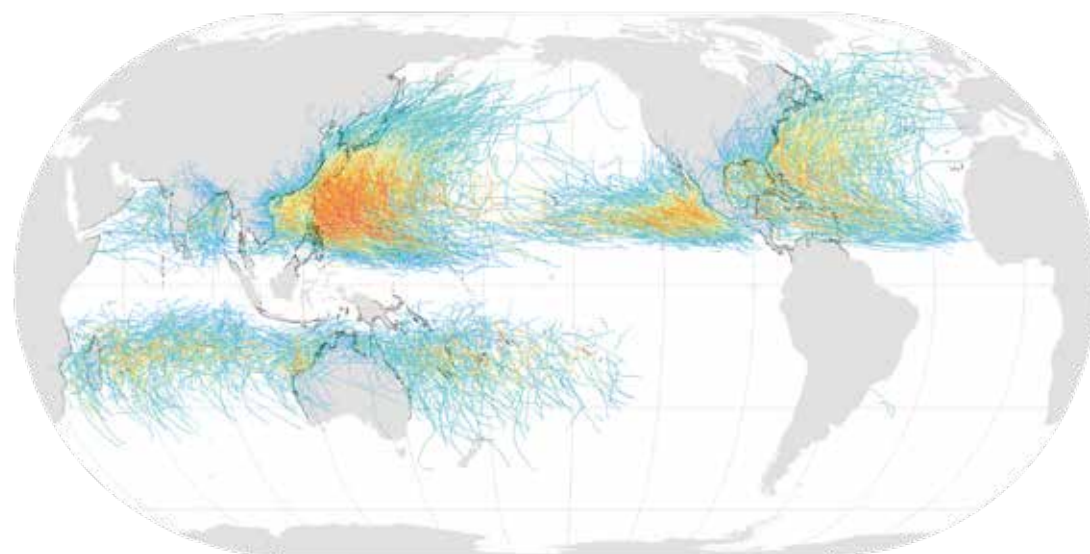
西部和澳洲西北部。

以上各地區發生的熱帶氣旋，雖同為一種的天氣系統，但各地的稱呼則有不同。發生於北太平洋西部及中國南海者稱為颱風；在大西洋、加勒比海、墨西哥灣和北太平洋東部者稱為颶風；在印度洋上稱為氣旋或旋風（cyclone）。臺灣所遇到的颱風大都是從北太平洋西部來的，發生的地點以加羅林群島附近至菲

律賓之間的熱帶海洋上最多。另外也有少部分颱風從南海過來，但次數不多，且威力也較小。

海洋和陸地最常發生的天然災害

熱帶氣旋對於海上航行的安全相當重要，也對於在陸地上生活的我們造成嚴重威脅，不僅造成暴風、洪水危及生命與財產安全，也造成沿海地區



薩菲爾 - 辛普森颶風風力等級

熱帶低氣壓 熱帶風暴 一級颶風 二級颶風 三級颶風 四級颶風 五級颶風

熱帶氣旋發展路徑

公元 1945-2006 年全球的熱帶氣旋發展路徑圖，不同顏色的路徑代表來自不同薩菲爾 - 辛普森颶風風力等級的氣旋，等級愈高，風速愈強。目前全球較常受熱帶氣旋侵襲的區域包含北太平洋西部及南海、大西洋西部、加勒比海及墨西哥、北印度洋、阿拉伯海及孟加拉灣、北太平洋東部、南印度洋、南太平洋西部和澳洲西北部，侵襲臺灣的颱風大都來自北太平洋西部。



▲ 颱風引發的洪水、土石流，造成嚴重災害，就連房屋也被沖毀。



Chapter 6

令人驚豔的海洋動物

撰文 / 廖正信 教授

海洋是生命起源之地，孕育豐富多樣的海洋生物，是地球珍貴的資產，在此章節，將藉由海洋動物之「最」來介紹繽紛多樣的海洋動物，以了解海洋生物多樣性（biodiversity）的意義與重要性。

地球為何能讓生物生存？

生物多樣性是指地球上紛繁多樣的生物（包括動物、植物、微生物等）及遺傳和變異等特性，也包括生物與環境（棲地）間形成的生態系，以及各種相關的生態系過程（ecosystem processes），因此生物多樣性主要是指遺傳（genetic）、物種（species）及棲地與生態系（habitat and ecosystem）三個層面的多樣性。

生物多樣性是地球最為珍貴且獨特的重要資產，因為就目前所知，在浩瀚無垠的宇宙中，只有我們居住的地球有生物存在，為什麼地球

能讓生物生存呢？生物賴以生存的四大要素是：陽光、空氣、養分及液態水，雖然科學家陸續在土星的二號及三號衛星上發現疑似有水的冰晶（固態水），但就太陽系八大行星而言，只有地球有液態水。

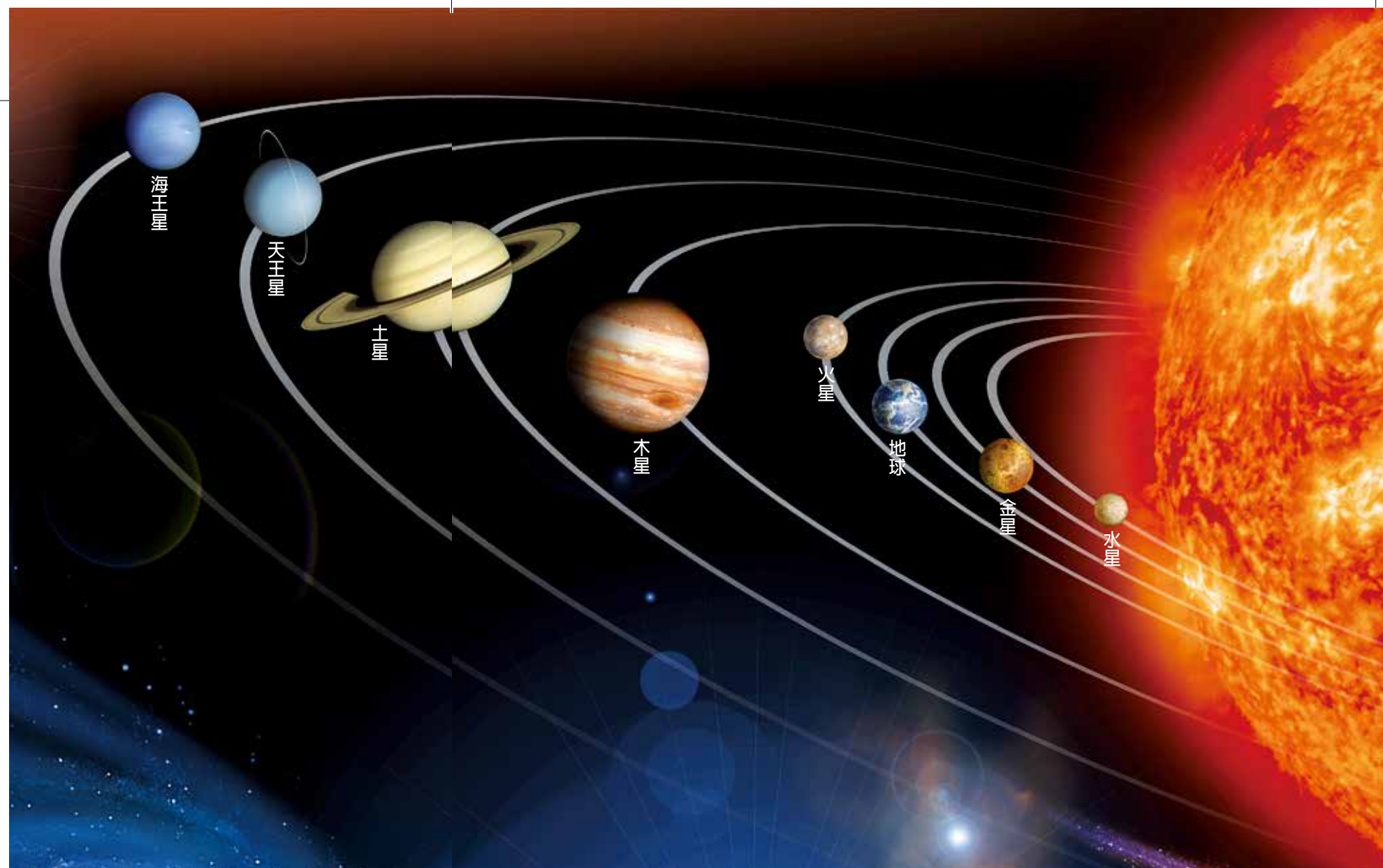
令人好奇的是，地球有什麼條件能使水呈液態狀呢？首先是地球的公

轉軌道與太陽的距離適當，如果地球更接近太陽，則會像金星（Venus）般太熱，導致水氣無法凝結降雨；如果地球離太陽更遠，就會像火星（Mars）般太冷，而只有固態冰存在。再加上地球自轉讓地球表面能均勻的接收太陽輻射，使地球在37億年來地表平均溫度維持在攝氏

10-20 度的適當溫度，而使地球的水呈液態。

除了液態水之外，地球上生命的形成還需要一些特殊條件，包括：

- 地球的大小適當，使地球的重力強大到足以留住海洋，但又不會壓垮地球上的生物。
- 地球內心的鐵鎳物質提供地球



▲ 太陽系八大行星的排列順序及相對大小。

磁場，保護生物免受太陽輻射的傷害。

- 唯一的衛星——月亮與太陽、地球的引力交互作用造成潮汐（tide），讓生物能離開海洋，定居陸地。
- 地球的大氣清澈，讓陽光能穿透抵達地表，並有足夠水氣以形成雨水和驅動氣流與洋流的風系。

- 大氣圈層中含有臭氧（ozone）層，保護地表的生物免於紫外線的傷害。

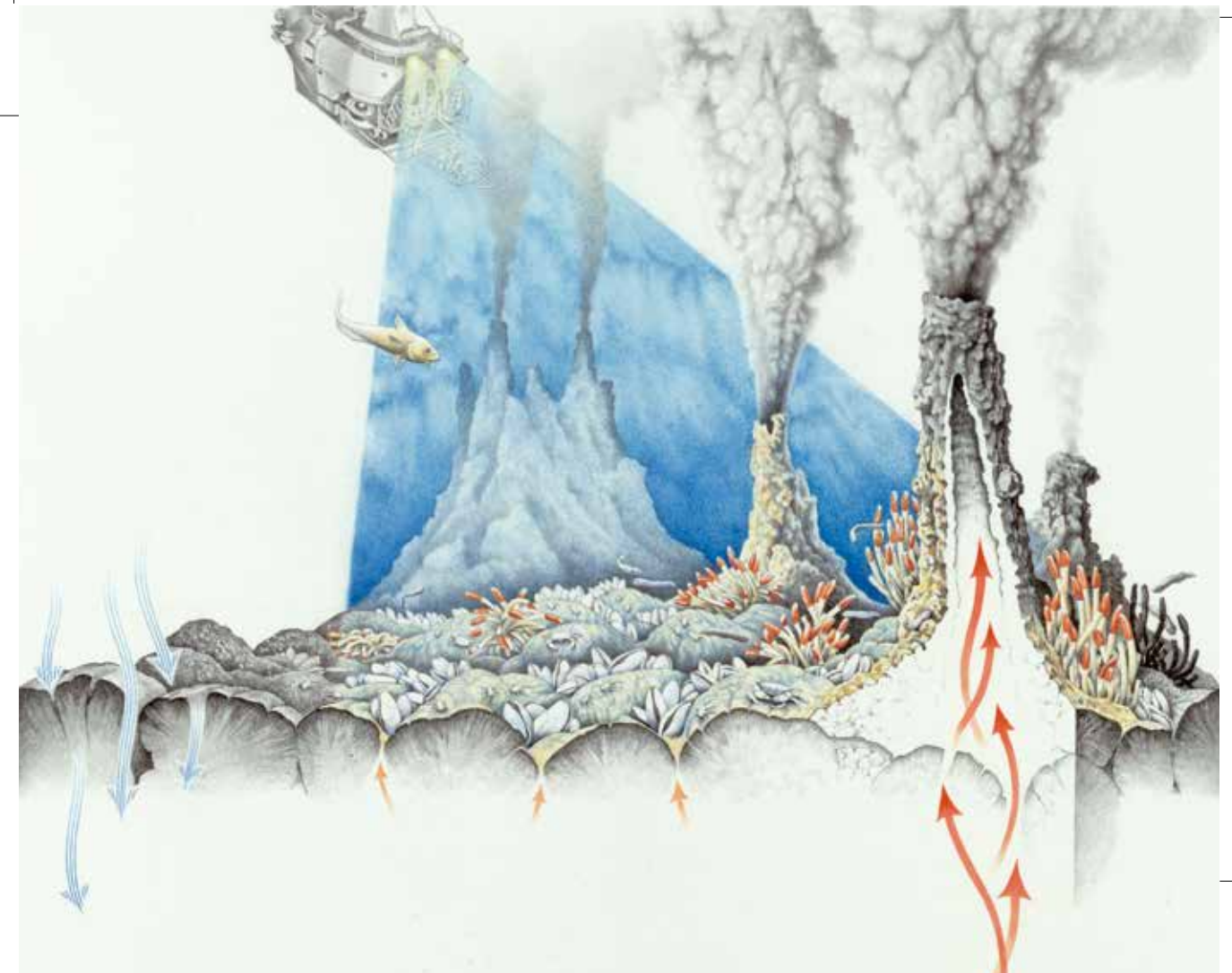
然而，在宇宙星系中要找到有上述條件的組合，似乎微乎其微！

地球的生命起源於海洋

科學研究顯示，地球上的生命幾乎可以肯定是從海洋中演化而來，



▲深海底富礦物的熱泉噴口。



因為所有生命形式的細胞仍沐浴在鹹鹹的液體中。中文「海」的結構是由「水」、「人」及「母」所構成，意思是「水是人類之母」，其意涵就是「海是生命之源」。

最早的生命可能出現在冰層深處，或是深海底富含礦物與高熱的熱泉噴口（hydrothermal vent）（見左頁圖），這裡像個黑煙囪，周圍廣布古細菌（化學合成細菌），它們極端嗜熱，可以生存於攝氏 350

海底溫泉孕育生命

黑色「煙囪」將充滿礦物質的水以約攝氏 400 度的溫度噴入海底生態系統。地殼內部的熱量和壓力使海水中的硫酸鹽轉化為硫化氫，硫化氫在上升時被構成生態系統食物鏈基礎的細菌當做養料使用。

度的極高溫熱水及深水環境中，是古老生命的孑遺。1993 年，美國的古生物學家舒賀夫（William Schopf）的研究小組在澳洲西北部的頂角燧石（Apex chert）類似頁岩



Chapter 7

漁業資源復育： 魚苗放流及追蹤方法

撰文 / 王佳惠 副教授

臺灣雖然具有得天獨厚的沿近海漁業環境，但在氣候變遷、海域生態環境遭受破壞，以及漁業資源過度利用等多重因素影響下，沿海、近海漁業資源逐漸衰退，許多經濟性魚種的漁獲量大幅下降，漁業永續利用出現危機，全球漁業資源恐將在 2050 年完全枯竭。近年來漁業資源的復育（restoration）工作逐漸受到重視，除了改善海洋環境以保護生物棲地外，實施魚苗放流（releasing）也是一種可行的方式，並且可以在執行時，同步以各種科學方式評估了解成效。

魚苗放流的目的

藉由野放（wild releasing）人工繁殖的魚苗到天然海域中，以增加漁獲量的方法，在國外已經行之有年，目的包括系群重建（restocking）、系群增殖（stock enhancement）以及建立可直接增加捕撈量的海洋牧場（sea ranching）等。其中系群增殖主要是為了增加或提高族群資源量，常被應用在經濟性物種上，牠的資源尚未枯竭，但由於棲地與孵育場受到汙染與破壞而導致這個物種的資源量減少。而系群重建主要則是

針對資源嚴重枯竭而有滅絕危機的保育物種，恢復並重建牠們的產卵群生物量（spawning biomass），期盼生物資源量能恢復至持續且穩定的水準。

不論以何種方式進行，除了控制捕撈量，以及保護或是復植棲地等方式外，放流魚苗成了第三種有效改善並使漁業永續的方法。近年來人工繁殖魚苗技術純熟，可提供大量的魚苗野放，所以魚苗野放後的評估方式也逐漸發展起來。其中成功的關鍵包括利用系群管理的模式來量化族群增加量，並加強管理；



◀魚苗放流是漁業資源復育的一種可行方式。

利用養殖育種方法，配合基因遺傳篩選，優化放流後存活率；利用標識技術追蹤放流後個體，了解野放後個體在野外的適應度及表現。

執行情形

漁業署自 2002 年起便計畫性大規模進行魚苗放流工作，歷年進行放流的物種約有 20 餘種，魚、貝及甲殼類種類繁多，包括日本真鱸（*Iteolabrax japonicas*）、四絲馬鮫（*Eleutheronema rhadinum*）、布氏鰺（*Trachinotus blochii*）、尖

吻鱸（*Lates calcarifer*）、赤鰭笛鯛（*Lutjanus erythropterus*）、白星笛鯛（*Lutjanus stellatus*）、銀紋笛鯛（*Lutjanus argentimaculatus*）、川紋笛鯛（*Lutjanus sebae*）、黃錫鯛（*Rhabdosargus sarba*）、黑鯛（*Acanthopagrus schlegelii*）、嘉鱾（*Pagrus major*）、點帶石斑（*Epinephelus coioides*）等，累積數量超過一億萬尾，放流的區域涵蓋全臺各縣市沿近海域。此外，也有許多民間團體舉辦放流活動，規模不下政府機關。儘管政府及民間團體長期投入可觀的人力及物力進行

放流活動，但由於缺乏後續追蹤機制，受到了諸多質疑，例如，這些經由人工繁殖後放流的種苗，在自然水域中的棲息適應情形、存活率、成長率，以及繁殖能力如何，尚未有過完整評估。而養殖場繁殖的放流種苗是否應該經過自然水域的中間育成階段，來觀察並設法提高魚苗在自然水域的適應及存活率。再者，放流的最適物種、地點及數量為何，也需要事前的評估。學術及政府單位應該先建立詳細的作業標準，以及後續評估方式，來取得上述的科學數據，如此一來不僅能提供給民間團體在放流時參考，政府及學術單位也能合理評估種苗放流為漁業資源復育帶來的真實資源及經濟效益。

有鑑於此，漁業署 2011 年訂定「水產動物增殖放流限制及應遵行事項」，規範水產動物增殖放流，只要是以流放、移植或放置等方式，於海洋、潮間帶及潟湖，投放經人工繁殖或飼養的水產動物親體、種

苗活體時，都必須遵守規定。增殖放流的水產動物物種，應該經過評估確認為本地種，且確保健康無病毒害、無藥物殘留。增殖放流的時間與地點需檢附相關文件並送中央主管機關備查，經中央主管機關同意後，才能放流。

魚苗標識方法

標識放流這種研究方法可以用於魚類族群的動態研究，例如分布、成長、洄游及加入等情形，也可用來評估放流種苗與野生群的混合率以及後續的放流效益。近年來，標識技術日趨成熟，使得科學家逐漸能夠藉由「標識－放流－再捕」，來評估增殖放流。其中最常用的方式就是在魚體外裝置人工標籤來進行標識，並後續追蹤，常見的標識方法有傳統 T 形標籤、標識天線（coded wire）、無線電或衛星標籤、植入性可見彈性標籤（visible-implant elastomer tags）等。但這些方法有

時在應用上有所限制，例如造成部分魚體的死亡、太小的魚苗難以進行標識，之後的標籤脫落與樣本回收皆是需要克服的難題。另外，也有使用化學藥劑在魚類組織上產生標記的方法，然而化學藥劑也容易造成魚體的死亡，並且對於食用這類魚體的人來說，會不會產生健康問題，也需要審慎評估及追蹤，所以

開發其他天然的標識方法，是大量放流及後續評估能否順利進行的重要關鍵。



▼►標識放流可用於研究魚類族群的分布、成長、洄游等情形，近年來科學家還利用「標識－放流－再捕」，來評估增殖放流。





Chapter 8

永續漁業

撰文 / 黃向文 教授

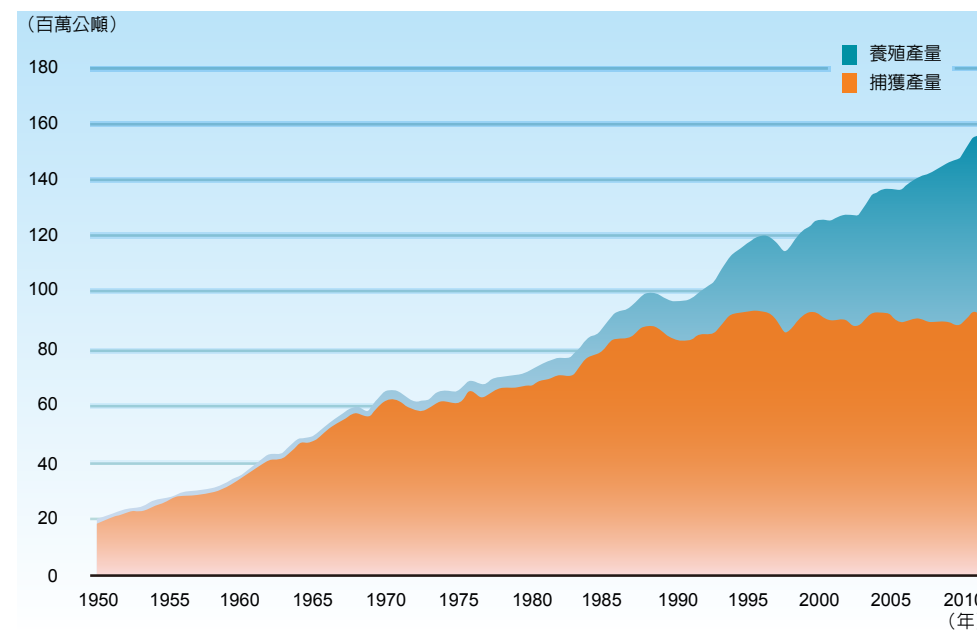
臺灣是世界排名領先各國的漁業大國。在世界各國都極重視永續漁業（sustainable fisheries）的今天，臺灣漁業管理的重點，在於將海洋漁業資源視為可再生資源（renewable resources），建立科學基礎取得正確的數據，以及制定與國際接軌的管理辦法，並落實管理，再依管理結果與時俱進，不斷修正管理辦法與科技，使臺灣成為地球村中一個負責任的漁業大國。

永續漁業的重要

你喜歡吃魚嗎？許多書籍、研究都表明，海鮮不僅富含蛋白質，還有各種維生素、礦物質，以及多元不飽和脂肪酸、葉酸等，對身體健康很有幫助，加上蝦、蟹、魚、貝類的各種獨特風味，使得海鮮被視為高級食材。依據聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）的資料，2014 年全球生產的水產品超過 1 億 6000 萬公噸（見右頁圖表），平均每人每年食用超過 20 公斤，而住在四周環海的臺灣，我們每人每年平

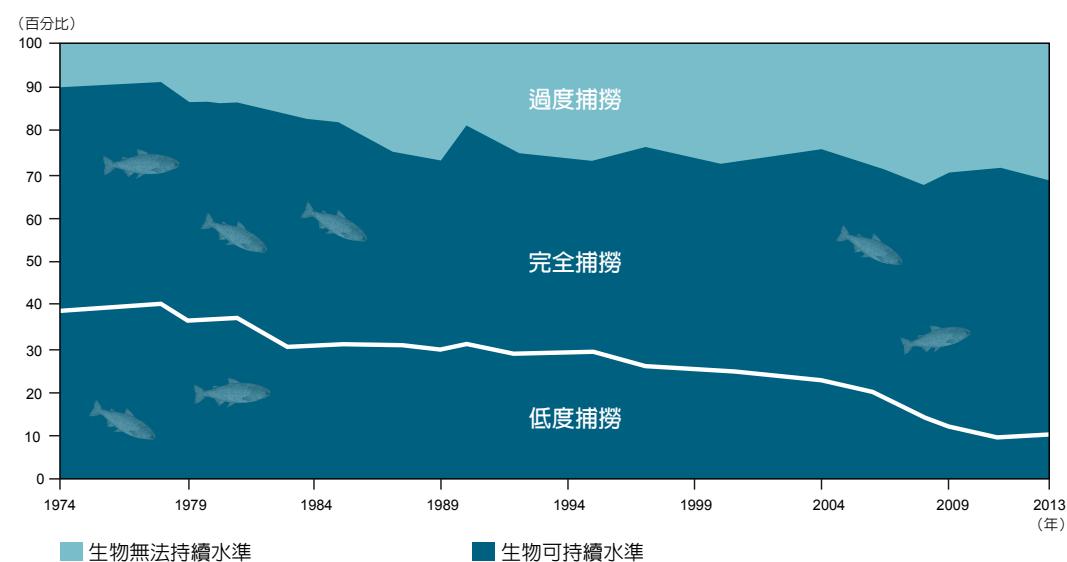
均食用水產品達到 33 公斤，約為全球平均的 1.6 倍。

大海浩瀚無垠，很難想像海底下有多少海洋生物的存在。全球海洋生物普查（Census of Marine Life, CoML）工作團隊歷經十年的探索，認為海洋生物至少有 25 萬種，新種仍在持續發現中。種類尚且難以把握，想掌握實際數量（生物量）更難。海洋漁業學家不斷嘗試利用各種資料與模式推估海洋當中的資源量，以及其數量變化趨勢。2006 年，一篇刊登在知名期刊《科學》（*Science*）的文章發出警訊，來自加拿大哥倫比亞大學的團隊告訴我



全球漁業生產量

根據聯合國糧食及農業組織（FAO）的統計資料，全球漁業生產量在 2014 年已超過 1 億 6000 萬公噸，其中養殖漁量不斷增加，然而從海裡捕獲的漁獲量自從約 1990 年起便不再有明顯增加。



全球海洋資源利用狀況

根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 的估計，2013 年所有魚類種群中被過度捕撈者占 31.4%，完全捕撈者占 58.1%，低度捕撈者占 10.5%。由趨勢圖可看出資源枯竭的物種將愈來愈多。

► 在日本築地市場上販售著冷凍鮭魚。

