

科學圖書大庫

# 普通海洋學

譯者 周俊謀

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

# 普通海洋學

譯者 周俊謀

徐氏基金會出版

# 我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

# 原序

本書的目的，在將海洋學的內容，介紹給一般讀者。書中盡量避免使海洋學顯得比實際更為神秘。深海探測船，海底寶藏，奇異的動物等等，雖然極為令人嚮往，但僅是海洋學中的一小部分。海洋學是將所有科學運用於海洋研究的學問。書中將海洋學中各分科的研究範圍及其相互間的關係，盡量加以說明。對海洋學的歷史，使用的工具和方法，也加以介紹。沒有人能對海洋的經濟潛力及海水污染的害處加以忽略，書中也予以討論。

作者於大學中講授海洋學導論時，很意外的，發現竟然沒有一適用的教科書。此種對基本海洋學書籍的不斷需求，使作者毅然執筆寫成此書。

於此，謹對賜助於完成本書諸君，深致謝意。（人名從略——譯者）。

大衛·羅斯 (David A. Ross)

木洞海洋研究所，麻省。

# 目 錄

## 第一章 緒論

- 第一節 海洋學的定義..... 2
- 第二節 術語及統計數字..... 6

## 第二章 地球，海洋及生物的起源

- 第一節 引言..... 10
- 第二節 使用放射性元素以測定年代的方法..... 10
- 第三節 地球的起源..... 11
- 第四節 月球的形成..... 12
- 第五節 海洋之形成..... 12
- 第六節 生命之來源..... 13
- 第七節 地質史..... 14

## 第三章 海洋學發展史

- 第一節 早期歷史..... 22
- 第二節 黑暗時期以後..... 24
- 第三節 近代海洋學..... 27

## 第四章 海洋觀測儀器與技術

- 第一節 引言..... 33
- 第二節 一般性儀器及技術... 33
- 第三節 特種儀器及技術..... 59

## 第五章 海洋化學

- 第一節 引言..... 80
- 第二節 海洋化學的歷史..... 80
- 第三節 目前研究的重點..... 82
- 第四節 海水的性質..... 85
- 第五節 海水的成分..... 89

- 第六節 影響海洋化學成分的反應..... 95
- 第七節 同位素海洋化學..... 100

## 第六章 海洋生物學

- 第一節 引言..... 106
- 第二節 海洋生物學的歷史... 106
- 第三節 海洋的生物環境..... 107
- 第四節 海洋生物..... 117
- 第五節 生物與海洋..... 141

## 第七章 海洋物理學

- 第一節 引言..... 169
- 第二節 海洋物理的歷史..... 169
- 第三節 現代研究的項目..... 170
- 第四節 海洋的一般物理性質 171
- 第五節 大氣及海洋的交互作用..... 176
- 第六節 波浪..... 184
- 第七節 潮汐..... 195
- 第八節 濁流..... 199
- 第九節 水中聲音..... 201
- 第十節 海水中的光線..... 203

## 第八章 海洋地質學

- 第一節 引言..... 206
- 第二節 海洋地質學的歷史... 206
- 第三節 大陸邊緣地區..... 207
- 第四節 海盆..... 232
- 第五節 緣海..... 247
- 第六節 深海沉積物..... 248

|     |            |     |
|-----|------------|-----|
| 第七節 | 地殼結構.....  | 257 |
| 第八節 | 海盆的起源..... | 260 |

|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 第一節 | 引言.....     | 270 |
| 第二節 | 各種資源.....   | 271 |
| 第三節 | 海洋學的未來..... | 283 |

## 第九章 海洋資源



# 第一章 緒 論

## 第一節 海洋學的定義

什麼是海洋學？這一門新的科學，爲什麼對國家及人類如此重要？海洋學有許多可用的定義，較爲簡要的是：「運用所有的科學於海洋現象的研究」。這裡要強調的是「所有」二字。因爲，要成爲一位良好的海洋學者，則必須對大部分的自然科學以及其對海洋的影響有所了解。爲了闡明此一含義，我人可引用一位先進的海洋學者，畢濟婁 (Henry Bryant Bigelow) 先生的一段話 \*來作爲參考：

「海洋學一向被解釋爲研究海面以下廣大領域的學科；其實其研究的對象應包括海洋與大氣相接觸的界域。根據現代的觀念，海洋學所研究的範疇包括所有海底，海洋之邊界，海水，以及存在於海水中所有物類等的性質的研究。因此，廣泛的包括地球物理、地球化學以及生物學等各種科學。正如同其他「新」科學一樣，是一種綜合性的科學；近代海洋學，正處於方興未艾的階段。在對海洋的研究上，物理、化學以及生物皆各佔一席之地。由於我人對海洋智識的日益增進，以上三者的相互影響也日益明顯。雖則此三者須由不同的學識來加以研究，但其相互間的關係却密切而不可分。每一海洋生物學家必須具有地球物理及地球化學的基本學識，而海洋化學或海洋物理學家則必須具備海洋生物方面的知識」。

由此可見，海洋學並非一孤立的科學，而係由各種不同的科學綜合而成。大多數海洋學家將海洋學分成四主要部分，即(1)海洋化學，(2)海洋生物，(3)海洋物理，及(4)海洋地質及地球物理。

海洋化學者研究海洋中及海床上的化學變化。海洋生物學家研究海洋中生物的發生以及分佈的情形。至於物理反應，如海水的運動及變換，則係海洋物理學家研究的範疇。海洋地質學家研究海床上的沉積物及地形。海床較

---

\*見畢濟婁所著：Oceanography: Its Scope, Problems, and Economic Importance. Boston: Houghton Mifflin Co., 1931.

深處之結構及物理性質則為海洋地球物理學家所研究。

雖然上述區分似可將海洋學分成嚴整的小部分，事實上則不然。舉例來說，一海洋地質學家於太平洋赤道地帶的海底取得一沉積物樣品，其主要成分，一定是很多死亡的微小生物的殼。因此，他所研究的是一種生物的沉澱。這些有機物並不生存在海底，而是生存在離海底二哩以上的海面水域中。如果沉積物樣品是從赤道帶以北或以南所取得，則生物外殼的數量會大大減少。這就是因為赤道帶有其特殊物理性質存在，於該地帶，海流和風力適當的配合使得海水攪動而混合。這種混合，又影響及海水的化學性質；生命循環所需的養分被帶至海面水域以供生物吸用。因此，海床上的沉積物，是很密切的受到其上面海水中的化學、物理及生物情況的影響。這個例子可說明將海洋學加以畫分成不同的部分是勉強而非必要的。正如同畢濟婁所說，一位海洋學家必須對所有各部分皆有深入的了解。海洋學的進步如此迅速，所以一位科學家要想樣樣精通幾乎是不可能的。大部分海洋學家僅就上述四部分中，選擇一或二項，加以專精研究。

給海洋學下一定義後，我人可考慮有關此一科學的一些問題。其中之一就是為什麼要研究海洋學。顯然，海洋對人類而言，是一不易克服的環境，其秘密也不易為人所探知。正由於這種神秘感以及冒險的氣氛，吸引了許多人來從事海洋學的研究。另一因素是，地球表面約百分之七十二被海水所涵蓋，人類對其環境一向深感興趣，對海洋的深幽的探討，自不例外。

對一位訓練有素的科學家來說，海洋對人類一些重要的問題，可能提供答案。於海床的沉澱層之中，記載著地球的地質史，於化石之中，則記載著生物史。無疑的，地球上的生物，是數十億年前，始生於海洋之中的，自該時起，歷經進化而形成今日海洋中數量龐大而種類繁多的生物。這些豐富的生物，多年以來即為人類食糧的重要來源。運用這些食物，也是解決糧食問題頗具希望的辦法。海洋中的生物產品如珍珠或死亡生物之軀殼皆具不同的用途，舉例來說，貝殼是特別有用的建築材料。海洋也是具商業價值、化學性資源的重要來源之一，包括碘、溴、鉀、鎂、錳以及其他元素。於世界上的乾燥地帶，對海水加以去鹽處理，已成為越來越重要的淡水來源。海床上堆積的礦物、如磷、錳、砂、礫石等，皆為極有價值者，將來必可更充分運用。海床下所聚積的石油及天然氣，已成為重要的天然資源。海洋對天氣與氣候的影響至為重要，但其影響的情況則尚未完全了解。

海洋對商業、交通及國防皆有密切關係。各國間的貿易大多靠船運，於海水之下，則設置有跨越大洋的海底電纜，構成許多國家的通信網。在人類

#### 4 普通海洋學

史上，海洋經常成為戰場，而現代對海洋的研究，也大部與國防有關。最後，就人類的康樂活動而言，海洋也是一很重要的場所；釣魚、操舟、滑水、水肺 (SCUBA) 潛水等，如同游泳一般，每年皆吸引大量人員從事此等活動。在此種種活動之中，人類却面臨一項重大的問題——污染。我們必須能控制並防止海洋的污染，才能使此等活動不致成為歷史上的陳迹。

現代的海洋學家的來源有二：一種是受過海洋學의 正式訓練的，一種是由其他有關科系轉習的。因為海洋學通常是研究所的課程，所以，要從事海洋學的研究，最好是先對大學中基本的自然科學，奠下良好的基礎，然後再專精於海洋學中某一項目的研究。

在美國，有許多很好的大學或研究所可從事海洋學的研究。最大的三個研究所是：史克利浦斯海洋研究所 (Scripps Institution of Oceanography)，木洞海洋研究所 (Woods Hole Oceanographic Institution) 以及拉蒙都赫提地質研究所 (Lamont-Doherty Geological Observatory)。Scripps (圖 1-1) 位於美國加州之拉左拉 (La Jolla, California)，於一九一二年與加州大學合併

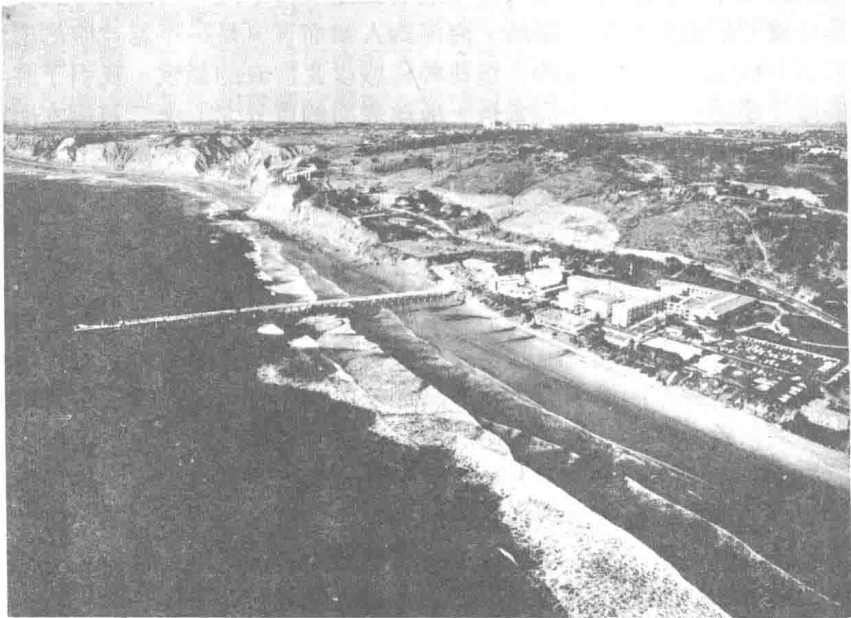


圖 1-1 史克利浦斯海洋研究所，位於美國加州拉左拉（校址位於圖之前方）。左後方為加州大學於聖地牙哥之校舍。

。自該時起，發展成爲美國最大的海洋研究所。Woods Hole（圖1-2）位於美國麻省木洞，於1930年獲准成立，爲一私立而非營利性質的研究機構

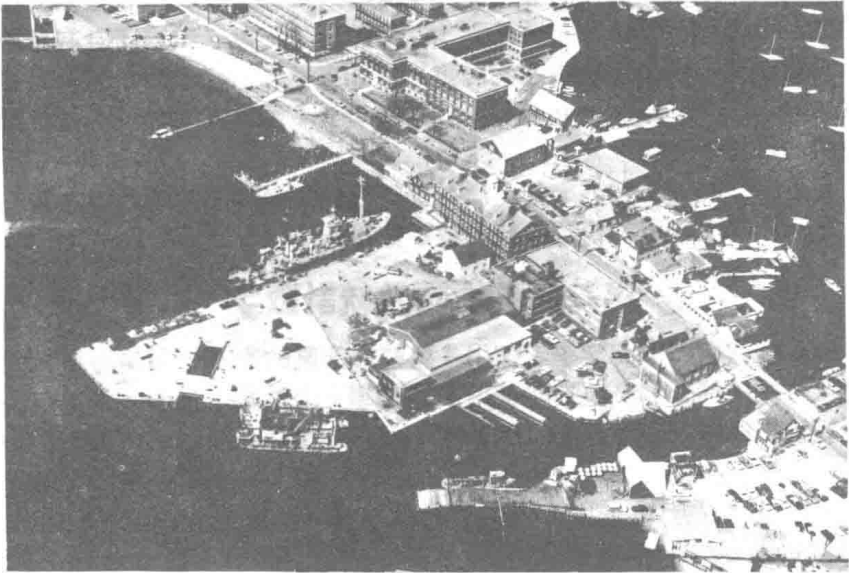


圖1-2 木洞海洋研究所（圖中）於圖之上方可見海洋生物實驗所的一部份。另於圖中可見研究船千恩號（CHAIN）及帶着深海研究船亞紋號（ALVIN）的雙身筏魯魯號（LULU）。

，於近年發展至可授予學位的研究所。Lamont-Doherty，位於紐約州之帕里沙底斯(Palisades, New York)，於一九四九年設立，屬哥倫比亞大學。這些大研究所以及其他各大學所屬的海洋系，如華盛頓大學，邁亞米大學，治德島大學，德州工藝學院以及州立奧立岡大學等，通常皆着重於深海研究。於較小規模的研究所，其研究的項目通常爲近岸及地區性的問題。

據估計，於一九七〇年，美國受過良好訓練的合格海洋學家僅有一千人，即約爲每二十萬人中佔一人，真是一很小的比數，特別是當考慮到，地球表面大部爲水所涵蓋，更顯得海洋學家太少了。

修得學士學位的海洋學者通常先做實驗或研究助理員。受過更高級訓練或具較多經驗者則可從事教學或研究工作。不論他們所專精的項目爲何，大部分海洋學家皆有一部分時間在海上工作。通常海洋科學研究的航行從爲時數日至數月不等。在海上的時間大部用於蒐集資料，時常在不利的情況下來工作的。

美國海洋學家由各大學及研究機構以及聯邦政府所聘用。美國聯邦政府有好幾個機構從事海洋研究工作如：漁業局、美國海軍海洋局、環境科學行政局，以及美國地質探測局等。海洋學者具有甚為良好的工作遠景。在美國，預期至一九七五年，每年將投資 150 億於海洋工業。美國政府有見於海洋學的日益重要，已擬定數項遠程計畫，例如自一九七〇年開始的國際海洋十年計畫 (International Oceanographic Decade)，即為其中之一。並且計畫擴張美國的海洋研究船隊。

在下一章討論海洋的來源，海洋學的歷史及海洋學的儀器等之前，先介紹一些海洋學上常用的術語及統計數字如後。

## 第二節 術語及統計數字

由於各種原因，海洋學者使用一些較為紊亂的術語來討論海洋。大部分科學家所採用的公制，僅有時使用於海洋學。公制為十進制，常使用於海洋學中的最小單位是百萬分之一 ( $\mu$ )，一千  $\mu$  等於一公釐 (mm)，十公釐等於一公分。一百公分等於一公尺 (m)，一千公尺為一公里 (Km)，約為 0.6 英里。(表 1-1 及 1-2)。

表 1-1 公制與英制之換算

| 公 制                 |         |        |           | 英 制    |       |         |
|---------------------|---------|--------|-----------|--------|-------|---------|
| 公 分                 | 公 尺     | 公 里    | 英 寸       | 英 尺    | 英 里   |         |
| 公分                  | 1       | 1/100  | 1/100,000 | 0.3937 | —     | —       |
| 公尺                  | 100     | 1      | 1/1,000   | 39.37  | 3.28  | —       |
| 公里                  | 100,000 | 1,000  | 1         | —      | 3,280 | 0.624   |
| 英寸                  | 2.54    | —      | —         | 1      | 1/12  | —       |
| 英尺                  | 30.48   | 0.3048 | —         | 12     | 1     | 1/5,280 |
| 英里                  | —       | 1,609  | 1.609     | —      | 5,280 | 1       |
| 1 平方公里 = 0.386 平方英里 |         |        |           |        |       |         |
| 1 立方公里 = 0.238 立方英里 |         |        |           |        |       |         |
| 克                   | 公 斤     |        | 英 兩       |        | 磅     |         |
| 1                   | 1/1,000 |        | 0.035     |        | —     |         |
| 1,000               | 1       |        | —         |        | 2.20  |         |
| 28.35               | —       |        | 1         |        | 1/16  |         |
| 453.54              | 0.453   |        | 16        |        | 1     |         |

表 1-2 海洋學中所用不同單位之轉換

| 由以下單位 |   | 換  | 成 | 乘                                    | 以      |
|-------|---|----|---|--------------------------------------|--------|
| 公     | 分 | 英  | 寸 |                                      | 0.3937 |
| 公     | 尺 | 英  | 尺 |                                      | 3.28   |
| 公     | 尺 | 公  | 分 |                                      | 100.0  |
| 公     | 尺 |    | 托 |                                      | 0.546  |
| 公     | 里 | 英  | 里 |                                      | 0.624  |
| 公     | 里 | 公  | 尺 |                                      | 1000.0 |
|       | 克 | 英  | 兩 |                                      | 0.035  |
| 公     | 斤 |    | 磅 |                                      | 2.2    |
| °C    |   | °F |   | $(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$ |        |

速度通常以節(Knot)來量度；一節等於每小時一海里(6,000呎)。於一般之運用上，一節約為每秒五十公分。

溫度以攝氏度數而量度。0°C等於32°F，(即水之凝結點)，20°C等於68°F(室溫)而100°C等於212°F(水之沸點)。

海洋各部分的平均面積及體積最近由孟納德(H.W. Menard)及史密斯(S.M. Smith)計算之如表1-3。海洋之總體積約為 $1.35 \times 10^6$ 立方公里( $\text{Km}^3$ )或約為 $318 \times 10^6$ 立方英里。

表 1-3 海洋之面積，體積及平均深度

(資料取自 MENARD AND SMITH, 1966)

| 大洋及近海   | 面 積<br>( $10^6 \text{Km}^2$ ) | 體 體<br>( $10^6 \text{Km}^3$ ) | 平均深度<br>(公尺) |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 大 平 洋   | 181.344                       | 714.410                       | 3940         |
| 大 西 洋   | 94.314                        | 337.210                       | 3575         |
| 印 度 洋   | 74.118                        | 284.608                       | 3840         |
| 北 冰 洋   | 12.257                        | 13.702                        | 1117         |
| 總計及平均深度 | 362.033                       | 1349.929                      | 3729         |

海洋之平均深度為3,729公尺，等於2,036托，12,216英尺，或2.3英里。

## 8 普通海洋學

全球地勢的高度分佈如圖 1-3 所示。此種表示法可稱之為測高曲線 (hypographic or hypsometric curve) 此曲線表示出表面之任何高度或深度之面積。自圖 1-3 可見二項重要之事實：

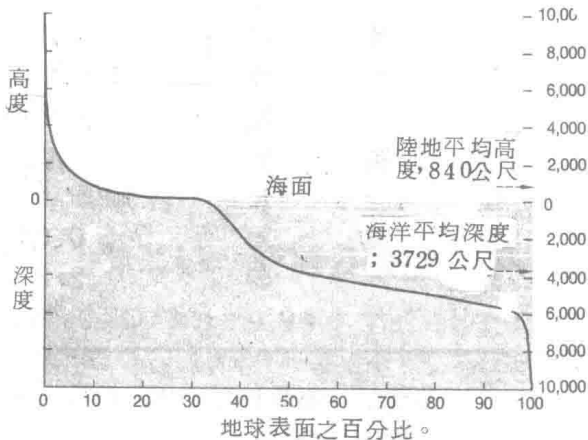


圖 1-3 測高曲線，示出地球表面高出某一高度或深度的百分比。

一、有二佔比例最大的高度，一係約於一百公尺高，一係約於五千公尺深。

二、在此二高度之間，其變化甚陡。

此二高度顯示出地殼二不同的部分即海床及於平面附近之陸地。中間急陡部分相當於大陸及海洋地區之遞變部分。而此部分曲線於海洋中即為大陸坡。(Continental Slope)。

地球大部分為水所涵蓋：約佔百分之七十二。也許我們所居住的行星，實應命名為「水星」！

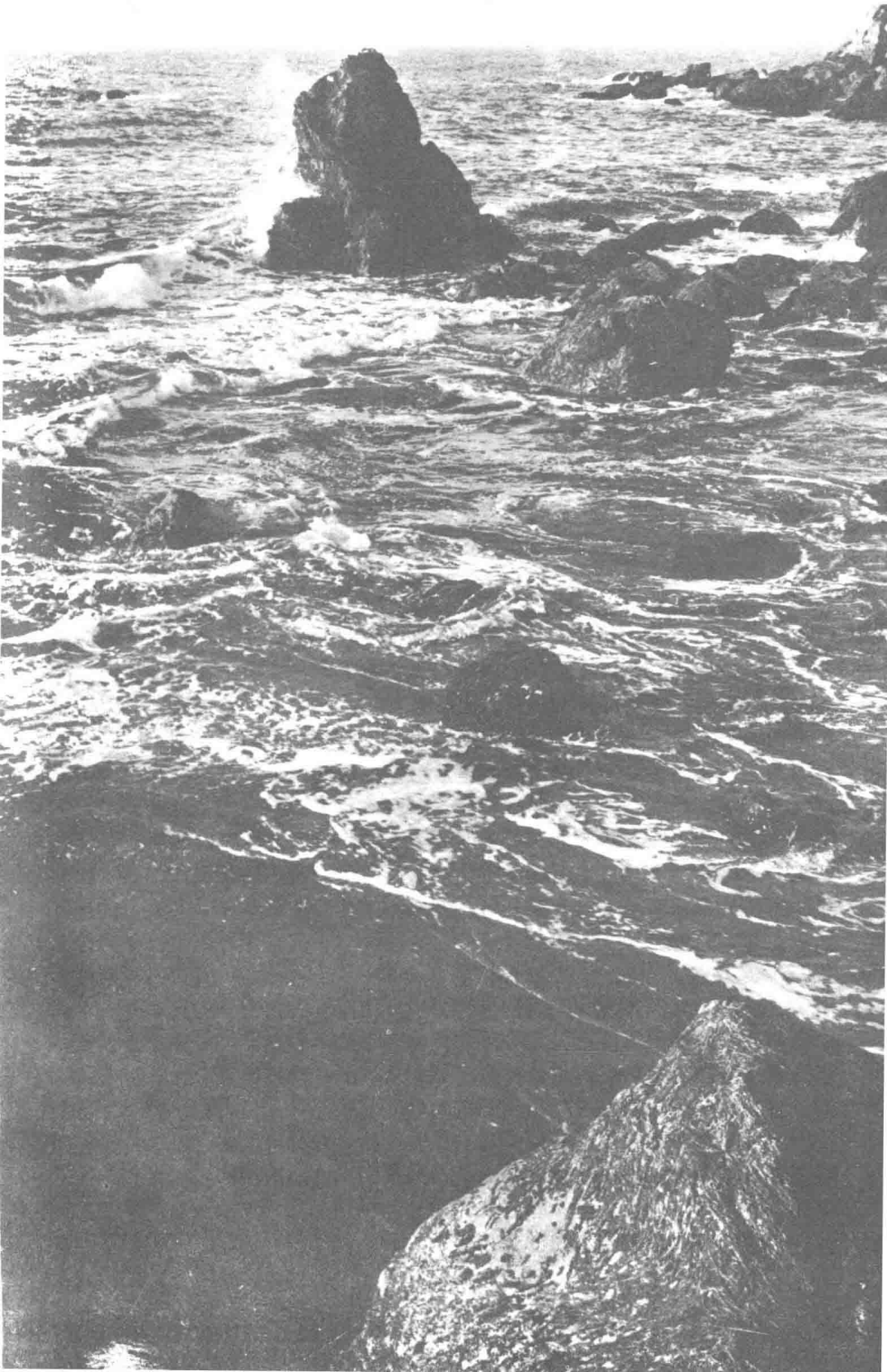
### 建議閱讀書籍：

Bigelow, H.B. Oceanography: Its scope, Problems, and Economic Importance.

Boston: Houghton. Mifflin, 1931.

Menard, H.W., and Smith, S.M. "Hypsometry of Ocean Basin Provinces." Journal of Geophysical Research. 71 (1966): 4305-4325.

Sverdrup, H.V., Johnson, M.W., and Flemring, R.H. The Oceans: Their Physics, Chemistry, and General Biology, New York: Prentice-Hall, 1942



## 第二章 地球、海洋及生物的起源

### 第一節 引言

有關地球起源的證據，通常顯示地球係於四十五或五十億年前所形成。因為此等證據主要是依據放射性元素的含量及其分佈的情況，因此，於考慮地球及海洋的起源及進化之前，對使用此等元素以作年代的測定方法，實有簡單予以討論的必要。

### 第二節 使用放射性元素以測定年代的方法

各種元素的原子可有數種型態而形成所謂「同位素」；比較稀少的同位素和正常型態的元素，其差別只是原子量有所不同，其化學性質則相似。原子量稍為不同的同位素，其沸點，凝固點以及擴散率也略有不同，因此可用以研究某些海洋現象。有些同位素是放射性而會變化，或蛻變，經由失去某部分原子結構而成為另一同位素或元素。舉例說，碳有三種型態：碳十二，碳十三及碳十四。十二，十三，十四等數字即表示各元素不同的原子量。此三型態之化學性質相似；但碳十四是放射性的，並將蛻變而為氮十四。原來的放射性元素被稱為「母元素」而所形成的同位素則為「子」元素（如果是放射性的則仍會蛻變）。放射性同位素的蛻變率，或稱半衰期，每一同位素皆為一定。而所謂半衰期即原放射性物質一半的分量蛻變為另一同位素所需的時間。舉例來說，假設在一岩石中，鉀四十與氬四十的比率是一，則該岩石的年齡是十三億年，此一時間是鉀四十的半衰期或即鉀四十含量的一半蛻變所需的時間。假如其比例是三，則岩石的年齡可能是二十六億年（鉀四十原來含量的四分之三已轉變為氬四十）。

因此，由量度母元素與子元素的相對含量，我們可測定岩石的年齡。實際上，所測得的年數，是岩石最後凝固的年數。此一方法的可靠性須依下列二假設而定：

1. 原來無該「子」同位素存在。