

學生科學叢書

地震與地震學

著譯者：蔡義本等



正中書局印行

地震與地震學

主編者：科學月刊社
編輯小組：周成功 曹亮吉 張昭鼎
 曾惠中 劉源俊
編選者：王正松
著譯者：鄧大量 許以祺 吳大銘
 金繼宇 蔡義本 徐明同
 余貴坤 趙 豐 劉昭民



版權所有

翻印必究

中華民國七十三年四月臺初版

學生
科學叢書 地震與地震學

全一冊 基本定價 一元四角

(外埠酌加運費函費)

主編者	科	學	月	刊	社
著譯者	蔡	義	本	等	
編選者	王	止	松		
發行人	蔣	廉	備		
發行印刷	止	中	書	局	

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第0199號(8022)

分類號碼：350.13 (1000) 詳

正 中 書 局

CHENG CHUNG BOOK COMPANY

地址：中華民國臺灣省台北市衡陽路二十號
 Address: 20 Heng Yang Road Taipei, Taiwan, Republic of China
 經理室電話：3821145 編審部電話：3821147
 業務部電話：3821153 門市部電話：3822214
 郵政劃撥：九九一四號

海 外 總 經 銷

OVERSEAS AGENCIES

香港總經銷：華成圖書公司
 地址：香港九龍油蔴地北荷街七號
 電話：3—886172—4

日本總經銷：海風書店
 地址：東京府千代田區神田神保町一丁目五六番地
 電話：291—4345

東海書店
 地址：京都市左京區田中門前町九八番地
 電話：791—6592

泰國總經銷：華成圖書公司
 地址：泰國曼谷暹羅力路233號

美國總經銷：華成圖書公司
 Address: 41 Division St., New York, N.Y. 10002 U.S.A.

歐洲總經銷：英華圖書公司
 Address: 14 Gerrard Street London W.L. England

加拿大總經銷：華成圖書公司
 Address: China Court, Suite 212, 208 Spadina Avenue Toronto
 Ontario, CANADA M5T 2C2

序 言

地震是一種深具破壞力的自然現象。地震所造成的災害除了無以計數的財物損失以外，全世界每年平均約有一萬四千人喪生。因此對此自然現象之了解一直是人類所企求的。有一門以此自然現象為主要研究對象的科學，即地震學，因此誕生。臺灣是地震頻繁的地區，地震及與其有關的知識與我們息息相關。因此本書收集科學月刊陸續刊載的十一篇介紹地震學的文章，希望讀者能藉此對地震學有一初步的了解。

本書第一篇深入淺出地介紹地震學的起源和近代地震學的發展。本篇有系統地說明了地震學的內涵，因此本書的書名取自本篇的篇名。地球內部構造的知識主要來自地震學的兩個領域：一是地震震波傳播的研究，一是震源機制（source mechanism）的研究。第二篇從這兩方面之研究結果介紹地球的構造。地震的分布和機制是板塊學說（Theory of Plate Tectonics）的主要證據。從另一方面來說，板塊運動是地震的主要根源。因此第三篇討論地震分布和機制與板塊學說之關係。第四篇進一步討論地震震波的特性和震源模式。第五篇討論如何以震波和震源之特性辨察地下核爆。地震災害之可怕在於無法預知地震發生的時間、地點和規模（magnitude，即大小），因此無法在事先採取適當的預防措施。因此第六篇簡要地介紹地震預測的研究情形。第七篇介紹地震學最新的一支，即地球的諧振。第一篇至第七

II 地震與地震學

篇所介紹的是地震學的一般內涵。

本書第八篇起所介紹的是比較區域性或特殊的題目。1976年於我國華北發生的唐山大地震一直是大家關心的，因此第八篇討論唐山大地震的前因後果。臺灣地區地震頻繁，且不乏造成災害的大地震，因此第九章檢討昔時臺灣西部強烈地震的情形。自從比較新穎的遙記式測震網於民國六十二年開始在臺灣地區正式運作以來，臺灣的地震研究已進入一個新紀元。第十篇以臺灣地區民國六十二年至六十九年間遙記測震網測定的三萬多次大小地震之時空分布討論臺灣地震活動的情形。我國的科技文明曾有一長時期領先其他國家，在地震研究方面也不例外。我們的祖先不僅創造了世界上最早的地震儀，而且在地震測報和防震、抗震的領域中有輝煌的成就。因此第十一篇介紹我國歷史上地震研究的情形。

所收集的每一篇文章都有其完整性。因此雖然文章內容常有小部分的重疊，編者仍盡可能不予更動，以免破壞文章的完整性。

編者 謹識

目 次

序 言	I
第一篇 地震與地震學.....	1
第二篇 地震與地球內部構造.....	17
第三篇 地震發生之機制.....	33
第四篇 地震波和震源.....	53
第五篇 地下核爆的辨察.....	63
第六篇 地震能否預測.....	67
第七篇 地球的音樂.....	77
第八篇 唐山大地震的前因後果.....	93
第九篇 二十世紀以前臺灣西部強烈地震之回顧.....	99
第十篇 談最近八年(1973~1981)臺灣地震活動情形.....	113
第十一篇 中國古代的地震測報和抗震.....	119

第一篇 地震與地震學

一、地震學之起源

假如和數學、物理及地質學比起來，地震學還是一門很年輕的科學。由產生到今天，只有一個多世紀的歷史。但是這些基本科學卻有助於它的發展，尤其是應用數學及物理學。不過在地震學誕生的初期，卻遭受到來自宗教方面的杯葛。譬如在 1775 年里斯本大地震後，繼之大火，全城幾毀，五萬多人喪生。教堂旋即頒布告示說：「摩西老早便警告信徒了，如果他們不虔誠奉祀的話，有一天大地就會咧開大口，連人帶畜以及房屋，統統吞到地獄的火窟裏去。」同時說：這次地震，就是天意懲罰那些為非作歹的里斯本教徒，同時也警告那些罪人——要把地獄中的煉火顯現在里斯本城裏給大家看看。」在些頗負盛名的「學者」的附會下，斷然地宣稱：「地震之發生，乃天意懲罰罪惡；企圖探究地震，本身就是一個罪惡。是故研究地震，必然招致更多的震災。」

儘管一開始便受到宗教方面無情的打擊，但地震學在羣路藍縷的艱苦環境下，經過一百多年的發展，終告大器晚成；不但變成地球物理學上的一個主支，而在學術上也有著重大的貢獻，對社會經濟更有長遠的影響。當初地震學以研究地震的成因、分布、震災及其預防為主

2 地震與地震學

。但到今天，它所涉及的範圍已從純學術研究擴大到應用的領域了，諸如地球內部構造的知識，月球內部甚至其他星球內部的構造等方面，這些都得力於對震波的研究。近十年來地球科學有一個大革命，從而誕生了海床擴張論（the theory of sea-floor spreading）（編注：見「科學月刊」第一卷第三期吳大銘先生「大陸漂移與海洋地殼的擴張」一文）。地震資料可以說是促成這學術上大革命的主力。在經濟發展上，地震學也提供非常重要的應用——尤其在油礦的探勘及開發、防震工程之設計、重大工程之選址，以及目前正致力於地震之預測與控制以求減免震災。這些應用與人們的生活息息相關。此外在國際間政治軍事的應用，特別是監視地下核爆及蒐集軍事情報上，更有其特殊的地位（見本書第五篇）。

地震學雖很年輕，但是人類史籍對地震之記載，則遠在兩千多年以前就有了。古來死傷最大的地震，於1556年（明世宗嘉靖三十五年），發生在我國陝西，八十餘萬人喪生。其次是1923年日本的關東大地震，東京橫濱一帶死了近二十五萬人。由於文明的進步，對地震的知識增加、防震工程與震後緊急措施並用，因而近年來由地震造成的死亡大為減少。（如1960年智利地震，死亡五千六百人，1964年阿拉斯加地震，死一百十四人。）但在較落後的國家，死傷上萬的地震仍時有所聞（如1970年秘魯地震，1973年的尼加拉瓜地震，及近年來土耳其、伊朗的幾次大地震）。

如同指南針、造紙及印刷術一樣，第一個科學化的地震儀也是出自中國，後漢（西元132年）的張衡便製造出來了（見圖1-1，詳見本書第十一篇）。該地震儀的八個方位各有一個口含明珠的龍頭，這個龍頭受到地震波來時的初動及地震儀中一重錘的慣性原理影響，便將那明珠吐到下面的蛤蟆口中。因此非但知道地震之發生，而且可以

推測出地震震央之方位。自十六世紀至十九世紀的一段期間，地震研究僅僅停留在社會人文方面的「震災紀實」階段，幾乎沒有任何進展，直到十九世紀中葉科學化的地震研究才開始起步。



圖 1-1. 後漢張衡發明之地震儀。

二、近代地震學之發展

地震研究進入科學化階段，始於 1857 年義大利那不勒斯大地震後，當時馬勒（Robert Mallet）以科學的方法作成有系統的報告，主張發展地震儀，普遍設於全球各地。本來地震學之發展要靠(1)地震儀及相關儀器之改進，(2)國際科學合作觀察與資料交換，以及(3)震波理論方面之進展。舉個簡單的例子就可了解地震學的方法了，譬如說我們中國人很善長挑西瓜。買瓜的人把瓜托在掌上，只要用指頭在瓜上輕輕彈敲幾下，就能斷定這個瓜熟不熟。地震學家也是用同樣的道理；托着瓜的手好比地震儀，敲瓜就如同引發地震。瓜被敲後發生的振動，就把瓜中的底細經由托瓜的手傳入大腦中心後判定出來了。但地震學家的本事畢竟要比這買瓜的人略高一著；因為他非但想確定這

個瓜是否熟透，瓜皮厚薄，甚至連瓜瓤裏有多少瓜子也都瞭如指掌。因此地震學在理論的基礎上以及在探測及記錄的儀器上就不得不好好的下一番功夫了。

三、震波理論之基礎

震波理論是基於彈性動力學。而彈性動力學之發展，早在1828年柯西（Cauchy）及帕松（Poisson）便已導出在彈性介質中振動時基本的微分方程。帕松並指出在彈性介質中可以有兩種截然不同的波型存在（即是後來在地震學上的P及S波；詳見本書第二篇）。嗣後司托克士（Stokes）、革忍（Green）、克希何夫（Kirchhoff）、克耳文（Kelvin）、達爾文（Darwin）及瑞立（Rayleigh）諸氏在彈性動力學上均有重大的貢獻。這些十九世紀的大科學家，雖然僅止於純學術上的研究，但在他們繼往開來的努力下，一套十分完整的震波學理論基礎便漸漸建立起來了。其中瑞立的貢獻尤多，因而地震波中兩種重要的表面波（surface waves）之一就叫做瑞立波。另一種表面波叫洛夫波，也是A. E. Love於本世紀初在彈性力學及地球動力學上的貢獻。

二十世紀以來，震波理論邁向更為專精的尖端發展，我們知道地震之發生主要是由於地球內岩石應力大過岩石能承受強度時，岩石發生錯動（dislocation）所致。這一錯動部分就是所謂的斷層面。從遠處看，這錯動斷層面可能成爲一點，於是便把它叫做震源。震源在地球表面上之垂直投影點叫做震央。地震發生時，自震源產生兩種體波（body waves）。第一種叫做P波，是爲縱波，速度最快（約每秒鐘走5至10公里）。第二種叫S波，是爲橫波，速度約爲P波的三

分之二。假如地球為一個遼瀛無邊的均一（homogeneous）固體，則 P 與 S 波皆以擴大的球面波向外運行，那整個地震學的題目便單純了。有趣的是地球物質並不均一，岩石又分成一層一層的，有時還不是固體（見本書第二篇之圖六）。再加上個球形的邊界面（即地球表面）。這邊界面就先引出來了兩種表面波，第一種叫做瑞立波，第二種叫做洛夫波。表面波的速度都比 S 波的速度小，且隨波長而異。再加上 P 及 S 球面波碰上地層層面時，按照折射反射定律，又衍生了一大堆「子子孫孫」的縱波及橫波，搞得人眼花繚亂，也造成那似乎難看的地震記錄（見圖 1-2），好像媽媽拆下來的一段舊毛線似的。可是，仔細想想，這一條彎彎曲曲的毛線，一曲一折都是寶貴的資料。只要有本事，這條舊毛線上含有的很多線索足供我們揭開地球內部之謎。從基本的數學觀點上看，這一羣使人眼花繚亂的波動，可以一絲不

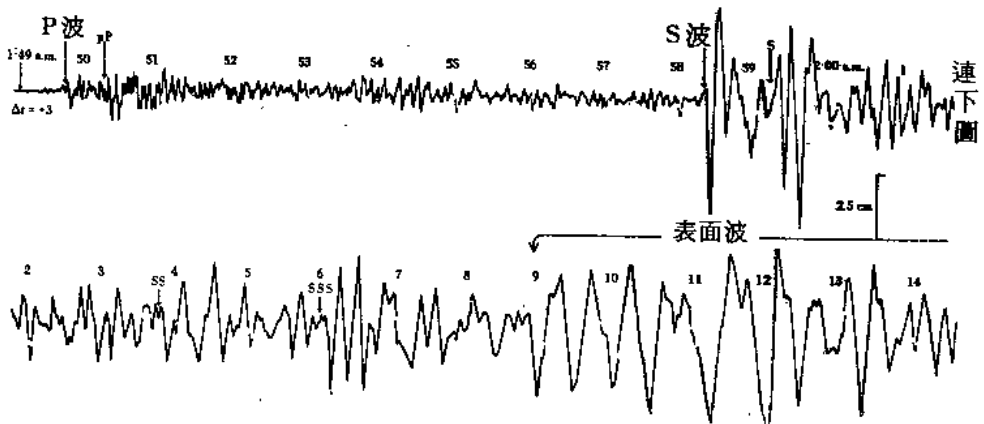


圖 1-2. 一張距震央 67 度的地震記錄。於 1 點 49 分 40 秒 P 波最先到，9 分鐘後 S 波到。再 11 分鐘後表面波到。萬里迢迢，地震波到達時間誤差常在一秒以下。

苟地用方程式表達出來，所以從基本觀點講震波理論是在解一條偏微分方程的起始邊界問題（initial boundary value problems of partial differential equations）。彈性力學的問題本來就比電磁學、熱學和光學來得複雜。由於地震震源、地球，及地層各有不同的幾何形狀夾雜在一起，將這個邊界問題弄得更繁複，因而反倒吸引了不少近代有名的理論物理學及應用數學家如藍姆（Lamb）、洛夫（Love）、傑夫瑞（Jeffereys）、Nakano、Sezawa 諸氏，紛紛對這問題大動干戈，卻也都頗有斬獲。但在許多幾何形狀下，這問題的解答畢竟還是太複雜了。直到進入六十年代電腦被廣泛應用後，科學家才真正能有效的利用這些解答，證諸於實際觀測而得到的記錄，從而得到有關地震成因及地球內部構造的新知。本世紀早期，美、日、英、德、俄諸國對地震的研究都很積極。尤其是近二十年來，因為電腦的發達及研究經費之充裕，美國已漸漸領先。加州理工學院、麻省理工學院、哥倫比亞大學及加州大學等都是在地震研究上有可觀成就的一流學府。美政府更於 1960 年設立美國國家地震研究中心，專司地震預測與控制之研究。人才輩出，濟濟一堂，大大地加速了近代地震學之發展。

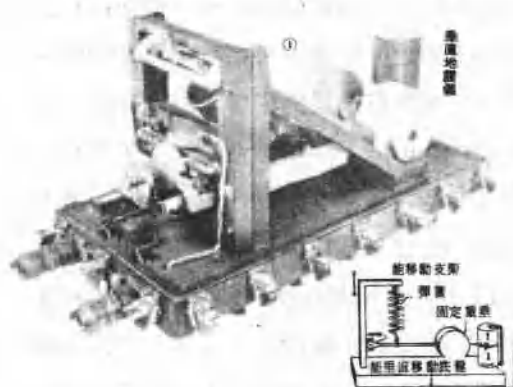
四、地震儀及相關儀器之發展

地震儀是用來記錄地震發生時，在地球上某一質點「運動史」的儀器。因為該質點的運動是一向量，故通常得用三部地震儀分別記錄該質點三分向量之運動。因為要記錄這運動「史」，故計時（timing）也特別重要。目前計時的絕對準確度在百分之一秒左右，相對準確度還要高一些。地震乃是一籠統的振動，要想準確地測定一質點的運

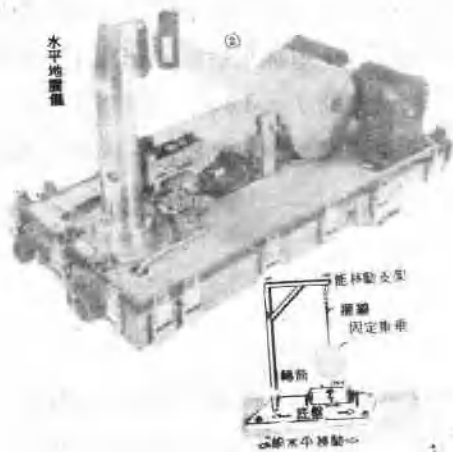
動史，和想在顛簸的汽車上寫蠅頭小楷同樣困難。但有一個方法可以欺天騙地；假如使用彈簧四面八方地把一張桌子吊在汽車車廂中間，如果彈簧夠軟的話，就可以減少許多汽車顛簸的影響。以此類推，如果將一重的質量、彈簧及阻尼（damping）做適當的安排，則在一籠統的震動環境中可「暫時地」產生一差不多不動的點。便可以此為基準點去測鄰近一動點的運動史。這就是地震儀構造的基本原理。在地震儀的發展史中，日本 Omori 型及德國 Wiechert 型是十九世紀末葉的重要機械式地震儀（在 1972 年以前，臺灣一直使用這些地震儀）。二十世紀初，俄人加立津（Galitzin）首創用電動轉換器（electromagnetic transducer）及電流計記錄（galvanometric reading），才大大地增進了地震儀的精敏度。在美國 1930 年以來本島夫（Benioff）益加改善加立津的設計：增加精敏度並拓寬了感應頻譜（response spectrum：包括較長週期）。1950 年間普萊士（Press）及埃溫（Ewing）完成了長週期地震儀之設計，因而清晰地記錄表面波（見圖 1-3 甲、乙）。

五、WWSSN

1957 至 1958 年的國際地球物理學年，經由國際合作而促成一項極為重要的發展：決定在全球設立世界標準的地震網（World-Wide Standardized Seismograph Network，簡寫成 WWSSN），用本島夫的短週期地震儀，普萊士-埃溫的長週期地震儀，並以精密的電子鐘計時（經無線電與世界標準報時校正）。WWSSN 到 1962 年已大致建造完成。約有一百多個站分布於全球各地（圖 1-4，臺灣大屯山鞍部即有一站）。這個由美國政府資助的國際科學合作



水平地震儀



水平地震儀



垂直地震儀

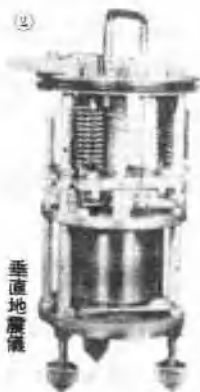


圖 1-3.(甲) 本島夫 (Benioff) 地震儀。

圖 1-3.(乙) 普萊士 (Press) — 埃
溫 (Ewing) 地震儀。

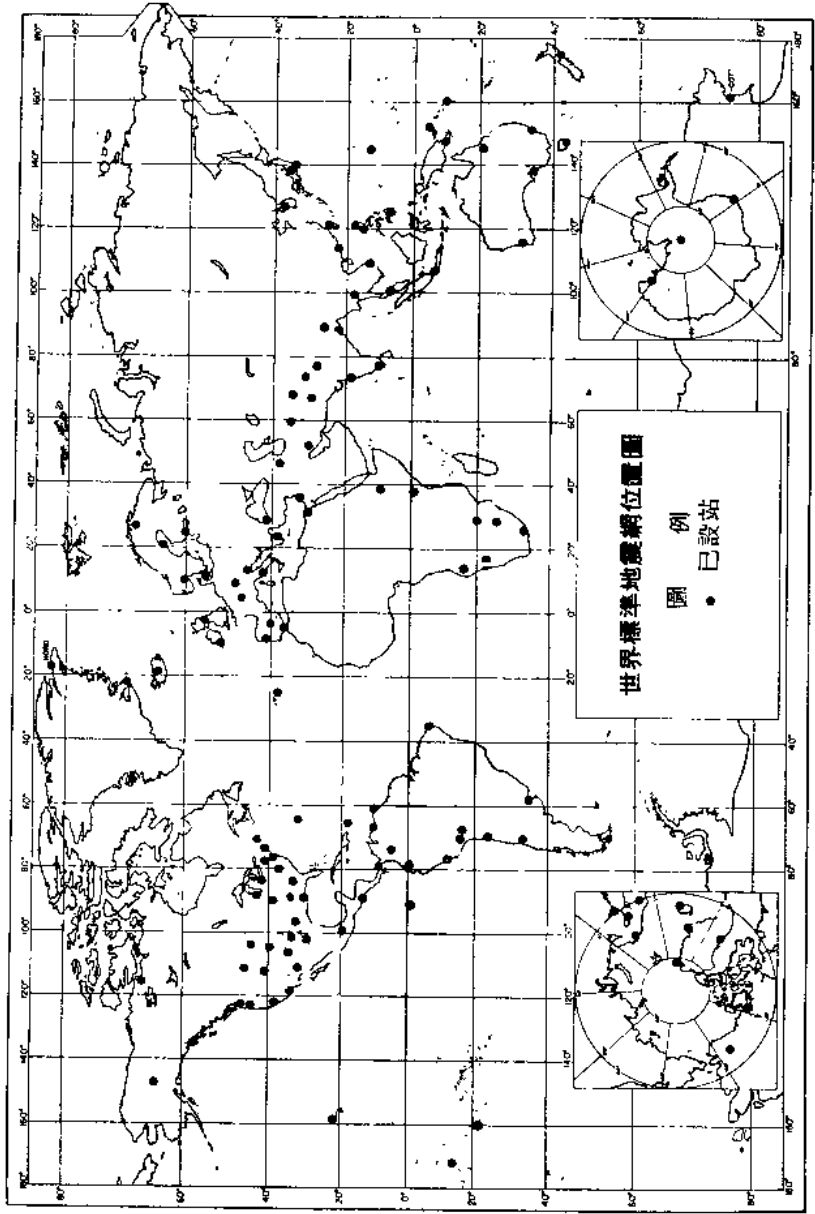


圖 1-4. 世界標準地震網位置圖

計畫。實施二十四小時作業，晝夜不停地監視世界核爆活動。因為1960年以來，美、蘇冷戰最激烈時，為避免一觸即發的核子戰爭，雙方都設法促成簽定「地下核爆條約」。地震網是唯一監督該條約的有效工具。這一百多個站在監視核爆上固有相當的收穫，同時對世界地震的分布、體波進行曲線及地球內部構造，也提供了前所未有的明確資料（見圖1-5，參閱本書第二篇）。由於長期地震儀所得來的表面波頻散（spectral dispersion）資料，使人們對於全世界地殼及上部地函（mantle）的結構有了清楚的認識。我們現在知道在海洋中地殼薄於陸地地殼十公里。後者的平均厚度約為三十公里。在喜馬拉亞山及西藏高原下面的地殼可厚達六、七十公里。從震波速度可測知其成分也各有不同。而WWSN最大的貢獻是在地球學上促成了一個劃時代的新理論——海床擴張論（Theory of Ocean Spreading 見科學月刊第一卷第三期吳大銘先生「大陸漂移與海洋地殼的擴張」一文）。

六、地球諧振及特長週期地震儀

每當地震發生時，其震波週期可短到幾百分之一秒（其實更短的震波也存在，只是由於地球本身並不是完全彈性（perfect elastic）介質，太短的波走了幾步就化散成熱能了），也可長到近一小時。設計一個能夠兼收長短波地震儀，仍是一個亟待解決的問題。WWSN只能有效的測出週期0.1秒至數百秒間的震波。洛夫（Love）在1911年所著「*Some Problems in Geodynamics*」一書中，曾推斷地球在大地震後可能會像洪鐘被敲後一樣發生諧振（harmonic vibration）其基譜方式（fundamental mode）週期約在六十分鐘



圖 1-5. 黑點為 WWSSN 測定之震央，將地球之板塊 (Plates) 都約畫了出來。
圖中粗線段為海底下脊，細長線為斷層破碎帶，虛線為古地磁資料。