

萬 有 文 庫

第二集七百種

王 雲 五 主 編

地 球

(上)

松 山 基 範 著

王 謨 譯

商 務 印 書 館 發 行



地 球

(上)

著 松 山 基 範
譯 王 謹

自然科學小學叢書

目次

第一章 地球之成因……………一

第一節 神造說……………一

第二節 星雲……………二

第三節 康德與拉普拉斯之星雲說……………六

第四節 對於星雲說之批評……………九

第五節 流星與渦卷星雲……………一二

第六節 張伯林等之微星說……………一四

第七節 新微星說……………一六

第二章 地之形狀及其大小……………一九

第一節 關於形狀推想之經過……………一九

第二節 地球之測量法……………二一

第三節 英法學者之爭執……………二六

第四節 標準橢圓體……………三三

第五節 地球之大小及形狀之測定……………三六

第六節 由重力而定地球之形……………四二

第七節 Geoid 與標準橢圓體之差……………四六

第八節 由重力推知 Geoid 之形……………五〇

第三章 地球之運動……………五三

第一節	地動說之起源	五三
第二節	自轉	五七
第三節	自轉與時間	六〇
第四節	公轉	六六
第五節	曆之基礎	七〇
第六節	自轉軸之運動	七七
第四章	地球之表面	八二
第一節	何爲地殼	八二
第二節	地殼表面之高低	八五
第三節	海陸之配置	九二
第五章	地磁	九九

第一節 地磁之要素……………九九

第二節 地磁之變動……………一〇五

第三節 磁狂……………一一〇

第四節 地表之地磁分布……………一一四

第五節 地磁現象之原因……………一二七

第六節 局部的地磁……………一二一

第六章 地殼之平衡……………一二五

第一節 地殼等壓說之起源……………一二五

第二節 鉛直線之偏倚與地球內部……………一三一

第三節 重力值之種類……………一三六

第四節 重力之偏倚與地殼之內部……………一四二

第五節 海上之重力……………一四九

第六節 等壓之程度……………一五三

第七章 浸蝕與堆積……………一六三

第一節 風化作用……………一六三

第二節 搬運作用……………一六九

第三節 浸蝕之速度……………一七三

第四節 堆積之速度……………一八〇

第五節 堆積與地球之年齡……………一八四

第六節 浸蝕堆積與地殼之平衡……………一八七

第七節 冰層之重量……………一九二

第八節 地殼之強度……………一九五

第八章 地殼之變形……………一一〇一

第一節 海岸之昇降……………二〇一

第二節 傾斜與移動……………二〇六

第三節 水成岩所表之地殼變動……………二〇九

第四節 過去之大變動……………二一四

第九章 地震之現象……………一二一〇

第一節 地震與地殼變化……………一二二〇

第二節 隨地震而起之土地昇降……………一二二五

第三節 地震時地面所起之變動……………一二二七

第四節 地震之發生地……………一二三〇

第五節 地震之發生時……………二三五

第六節 地震之調查……………二四二

第十章 地震之性質……………二五〇

第一節 地震計之記錄與地動……………二五〇

第二節 地震時之地動……………二五六

第三節 地殼之彈性波……………二六一

第四節 地震波傳達之經路……………二六七

第五節 震源之深度……………二七三

第十一章 地球內部之狀況……………二七九

第一節 地球之重量……………二七九

- 第二節 關於比重分布之重要主張……………二八八
- 第三節 隕石與地球之比較……………二九六
- 第四節 地震之傳播與地球之內部……………二九九
- 第五節 地球之彈性……………三〇六
- 第六節 黏性層……………三一三

第十二章 地熱……………三一六

- 第一節 太陽熱所及之範圍……………三一六
- 第二節 深度與溫度之關係……………三二〇
- 第三節 克爾文卿之地球冷卻說……………三二七
- 第四節 地球深度之溫度……………三三〇

第十三章 鐳與地球之年齡……………三三五

第一節	礦物中之量	三三五
第二節	岩石中之錳	三四一
第三節	錳與地球之年齡	三四六
第四節	地殼中錳之分布	三五二
第五節	地球冷卻說	三五七
第六節	錳與地殼之變動	三六〇
第七節	大陸漂移說	三六六

地球

第一章 地球之成因

第一節 神造說

地爲吾人之居所，無論何人，莫不欲知其所以成。故在人類開化之初，對於地之成因，卽有種種說明；其說明之巧拙，則視乎知識之高低，及觀察力之強弱而異。在人類知識幼稚，觀察力薄弱時代，其說多屬無稽；此時之人類對不知之事物，往往歸之於天生神造：如我國古時，以盤古爲開造天地萬物之祖，混沌之天地，由盤古始劃分之，然則盤古卽爲造地之神矣。西洋古時，亦以天地爲神所造，如舊約全書所謂：神最初造天地，繼於地上分而爲海陸是也。此外各民族在未開化時代，類於此之

臆說甚多，要之皆以天地爲神所開闢者也。迄人類知識漸進，觀察力漸強，其學說雖漸進步，然仍多虛渺無憑；如我國古時所謂輕清者上浮爲天，重濁者下沈爲地之說，卽其一例；斯語雖簡而難釋，然審其意，似謂輕清之氣體，環包地表而爲天，重而不透明之固體，則沈積爲地，此說猶稍含有科學的意義，惟未詳釋其理論而已。在西洋與此相類之學說，爲法國哲學者笛卡爾（Descartes）（1596-1650）之學說，此學說謂宇宙爲發光，透明，及不透明之三元素所充滿，此等元素中，發生旋動時，則發光素集中而成太陽及恆星，透明素及不透明素包於其周圍，一則成天，一則成地球及遊星。此說爲較前說尤近於科學之說明者，蓋因當時科學已發達，特以天文學已大有進步，如爲現時天文學上根本之刻卜勒定律（Kepler's Law）卽於此時出現者也。其後天文學之研究更進，且重力原理亦相繼發現，故對地球成因之解說愈詳；其著要之學說，卽爲星雲說（Nebular Hypothesis）是也。

第二節 星雲(Nebula)

吾人於隆冬之夜間八九時頃，仰觀東南天空，則見青光閃耀之三星，在此三星之南方，更有斜

列於一直線之三小星，居三小星中位之星，僅放朦朧之白光，其外觀似星而又非星，此卽有名之「獵戶座」(Orion)大星雲也。其朦朧不明之原因，蓋以其構造與普通之星異，乃由一團之白色雲狀物所成故也。此星雲以肉眼觀之，尙不明其真形，若以強力之望遠鏡窺之，則爲一團之朦朧雲狀物，形如蓑衣，其領部光強而境界明瞭，其下方則光漸薄，遂至消失。

同時吾人又觀天頂附近，在「天河」(Milky Way)西側，有殆成一直線而向東南方延長之四大星，此四星及其附近之星，卽所謂「仙女座」(Andromeda)也。



第一圖 獵戶座大星雲

從天河之側起算，在第二星之北方亦有朦朧之薄光星雲，此星雲「仙女座大星雲」(The Great Andromeda Nebula)用望遠鏡窺之，其形與上述之獵戶座大星雲不同，即獵戶座大星雲爲一團不規則星雲，而仙女座星雲則中央有光強之核，其周圍則由光較



第二圖 仙女座大星雲

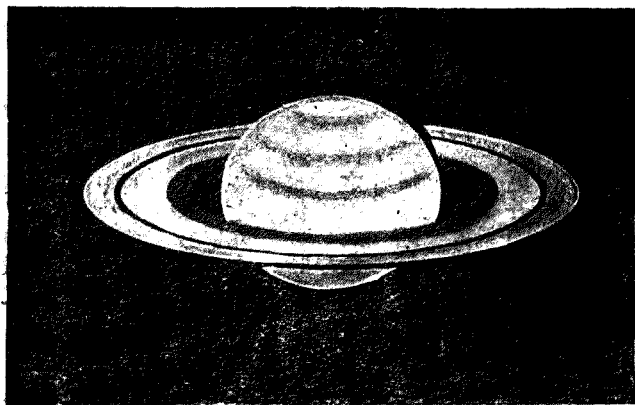
弱之旋渦狀雲卷團之，觀其正面雖呈旋渦狀，然其側面則呈凸靈視狀也。

獵戶座星雲與仙女座星雲，其本體究爲何物，在望遠鏡未發明以前，人咸僅以爲異星而已；後用望遠鏡觀察之結果，遂引起學者之注意。用望遠鏡觀星，始自意大利天文學家伽利略(Galileo)氏於十七紀初葉，卽一六〇九年發明望遠鏡，於一六一〇年用其所製之望遠鏡觀測木星，遂發現其四個之衛星(Satellite)；其後雖更有多數之重要發見，但對於星雲，則未顧及也。自一六一九年，瑞士人西薩氏始發見獵戶座大星雲；以後天文學者，對於星雲始大感興味。當時之人，對於星雲之形，固感興味，然對於其大小及其性質，亦覺驚奇；其後因對於星之知識漸增，知星辰之遠，在不可測知之距離，隔無限遠之星雲，而尙能見其如此之大，於是知其實體之大，非可以言表者矣。當時對於星雲之性質，雖別無研究之方法，但據從前伽利略用望遠鏡觀測之結果，已知星乳白色之天河，實由多數小星所集成。當時以望遠鏡所見之星雲，亦僅爲發白色光之集團，故人均以星雲爲氣體發光之所致。其時之天文學者中，有謂若望遠鏡進步時，恐亦能見星雲之內部，亦與天河同樣，爲多數之小星所集成。但經後日觀測之結果，始知星雲確爲一團之發光氣體也。

第三節 康德(Immanuel Kant)與拉普拉斯(Marquis de Laplace)之星雲說

康德之發表星雲說，在一七五五年，其說乃最初說明太陽系之起源及其經過者也。在當時，從前曾壓迫哥白尼(Nikolaus Copernicus)及伽利略地動說之宗教迷，已漸次覺醒，對於太陽系(Solar System)之情形，亦逐漸明瞭；惟存於火星(Mars)木星(Jupiter)間之小遊星(Planetoid)羣，及遠在土星(Saturn)軌道外側之天王星(Uranus)海王星(Neptune)等，尙未發見。當時僅知太陽之周圍，有水、金、地、火、木、土六星圍繞之，此等星之軌道，大概近於圓形，且軌道面幾同在一平面內，各遊星均圍繞太陽以同一之方向自西徂東而公轉(Revolution)，又居於中心之太陽，由西向東而行自轉(Rotation)，各遊星(Planet)亦以自西而東之方向行自轉。但太陽與各遊星之自轉軸，幾均直立於其軌道面，其傾斜均不甚大；尤爲奇異者，卽爲地球衛星之月，及當時初知之木星第四衛星，亦皆接近各遊星之軌道面而迴轉於其主星(木星)之周圍。至於土星，尙附有不可思議之環圍於其外側，且其環之面亦與遊星之軌道面相近。

康德根據此等事實，深加思考之結果，遂以太陽、遊星及各遊星之衛星，均爲由同一塊之物質所分出者也。即太陽系之最初，亦爲如獵戶座大星雲之高溫發光星雲，此星雲因引力之作用，漸次向中心團結時，內部遂起種種方向之運動，結果成全部之迴轉運動。在此氣體團中，密度大之部分，更集有多量之氣體，此等氣體，因迴轉運動之結果，遂成環狀，殘留於其周圍。斯時之狀況，恰如仙女座大星雲，呈旋渦狀，若再進步，則其形狀如土星之環。此環若仍繼續迴轉時，則其中密度大之部分，遂團結而成最外側之行星。如此依次團結而成內側之諸行星；吾人所居之地球，亦如是而成者也。迄最內側之水星成立後，殘留於中心之物質，更團結而成太陽。在行星未完



第三圖 土星

全團結以前，若附隨於行星之環，由其主遊星分離時，則其環更團結而成衛星；地球之月及各行星之衛星，卽由是而成者也。若其環未團結成衛星者，則仍留一環於主星之周圍。今日所見土星之環，乃其例也。太陽及各行星之所以有統一規律的運動，乃因太陽系爲如斯而成者故也。又星雲因引力之故，漸次向中心集中而發生高度之熱，太陽之熱及地球內部熱，乃由是而生者也。

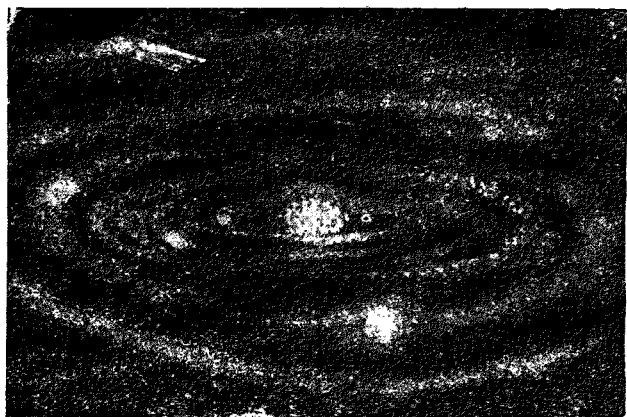
康德之發表此說，並未筆之於書，故暫時尙未廣播於世。拉普拉斯於一七九六年所發表之學說，雖與康德之學說酷似，然事前並不知康德之學說，乃完全獨創之學說也。但此時對於太陽系之知識，較康德發表星雲說時爲富；蓋在此十五年前，已發見天王星矣。據氏之說謂：太陽系之成也，最初有極稀薄之氣體圍於太陽之周圍，其範圍曾擴至今日之天王星軌道以外，此氣層並不甚厚，呈圓盤狀，含極高之熱而旋轉於太陽之周圍。此運動與熱，乃因引力之故，氣體漸次團結時所生者也。其後熱漸放散，迴轉速度亦漸加，周圍之物質遂順次成數個環，此等之環，更各團結而成星雲，其中央之主要部，遂成遊星，周圍之部，或成衛星，或成如土星之環。

在拉普拉斯發表學說後之五年，雖在火星與木星之軌道間，更發見有以一定之軌道而公轉

之小遊星，但拉普拉斯仍未改其說。

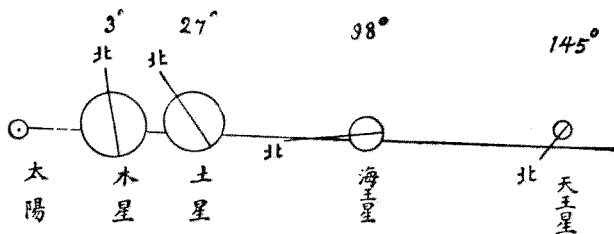
第四節 對於星雲說之批評

在星雲說出世時，因當時所有之天文學知識，僅適合於此學說，故一般人對於此說尙能滿足；但其後因星之觀測及力學理論之研究進步，當時所未知之新事實，亦逐漸明瞭；於是曾得人深信之星雲說，遂曝露許多不完備之點。其最顯著之一事，即太陽系之遊星，及其衛星之運動，並不一致是也。如木星之九個衛星中，其最外側之二衛星，逆轉於木星之周圍；土星之十個衛星中，其最外側之二衛星亦行逆轉；又天王星之四個衛星，均向天王星之自轉方向逆轉。不特此也，

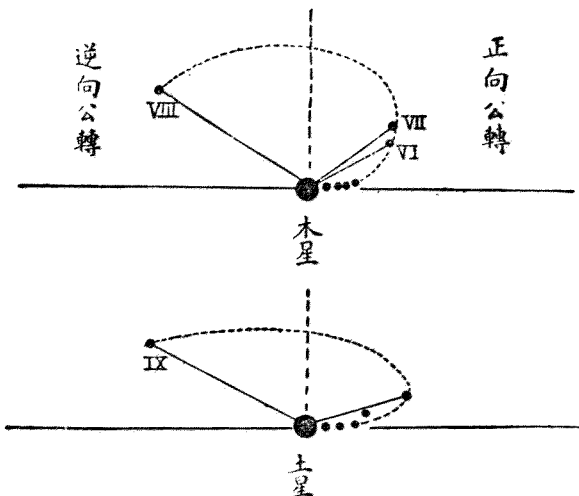


第四圖 星雲說解說太陽系之起源圖

其四個衛星之軌道面，又與天王星之赤道面，又與天王星之赤道面傾斜八二度。又天王星之赤道面，又與太陽系各遊星平均軌道面之傾斜極大，其傾角達九八度之多，故天王星之北極，反在各行星平均軌



第五圖 遊星自轉軸之傾斜圖



第六圖 衛星軌道面之傾斜圖

道面之南側。後又發見海王星，其獨一之衛星，亦行逆轉，其軌道面與海王星之赤道面傾斜五五度，而海王星本身之赤道面，又與行星之平均軌道面傾斜一四五度，其北極亦在各行星平均軌道面之南側。

如此，太陽系各行星運動，不一致之事實既知，則星雲說之所根據，自覺薄弱。對於各行星運動不一致之解釋，有謂距太陽太遠之行星，因受太陽引力之支配少，故經長年月，遂變其方向，如此解說，則其外非有能變更其運動之力不可；與其如此解說，毋寧謂各行星最初均行自由不規則之運動，其後因漸受太陽引力之支配，於是距太陽愈近者，其運動整齊一致，距太陽系愈遠者，則尙未一致之說爲適當也。

力學中有廻轉運動量不變之定律，此廻轉運動量爲何，卽一定量之物質，成一團而運動時，其中各部之質量，與運動之速度，及其距廻轉軸之距離之相乘積也。據力學所示，此一團之物質，無論如何配置，其全體運動量之和恆不變。吾人縱假想太陽及其周圍之行星爲一團星雲，且其質量之分布，及運動之速度等，均予拉普拉斯星雲說之解釋以充分之便宜；然若以此星雲之範圍擴大至

今日之海王星軌道以外，則其運動量亦當爲今日太陽系所有之運動量之三百倍。此種事實不合於力學之原則，故謂太陽系原爲星雲而擴於廣大之範圍一事，殊苦於解釋者也。

第五節 流星(Meteors)與渦卷星雲(Spiral Nebula)

吾人於清朗之夜，見天空有星遺白色之光尾而移動者，是爲流星。大概流星，至距地面一〇〇公里之高度，卽已消失，但其中之大者不盡消失，往往落於地面而成隕石(Meteorite)。落於地上之流星數，卽以一人觀察之，一小時內，亦有能見十四個內外之多者；其一晝夜落於地面之總數，恐有二千萬個。流星一粒之大小雖不甚詳，但平均約爲一〇〇尅。地面之上層空氣，常由西向東流動，而在其更上之氣層，反由東向西逆流，因此，流星落至此部，若以此部之空氣不隨地球轉動，則流星之平均重量可以算出；依此所計算之結果，則落於地面之流星，總量每日約有二百萬噸。

如此多量之流星，究由何而來乎？蓋以宇宙間，似尙有多數之流星存在；此等流星，乃被地球牽引而落於地面所致者也。流星又以一定之周期，一時出現極多之數，例如每隔三十三年出現於十

一月十四日之獅子座流星雨 (Meteoric Shower) 卽其一例；此外同樣之例尙多。此等流星羣之成因，恐係由彗星之崩壞，或其他之原因而來者也。此種流星羣，在宇宙間極多。又太陽之周圍，亦散布有多數之流星。當二三月頃，日沒後之西方地平線上，及九十月頃日出前之東方地平線上，均有朦朧之舌狀光，此卽所謂黃道光 (Zodiacal light)。關於黃道光之成因，據一般之解說，乃散在太陽周圍之流星，受日光之照，反射日光所致。此等流星，因受太陽之吸引，常繼續落於太陽表面之事實，吾人可以想見。太陽之表面，常有黑點 (Sun-spot)；觀測此等黑點之運動時，卽可知太陽自轉之速度；然不可思議者，卽太陽之赤道附近，較遠在南部或北部之自轉爲速一事也。若在太陽周圍之流星羣與太陽一同廻轉，則此等流星落於太陽之面時，太陽之自轉速度必因之加大，若愈近赤道，落下之流星愈多，則赤道附近之自轉速度亦必愈大也。

此外尙有流星之集合處，如彼美麗之土星環，乃由外中內三部而成。此三部各以相異之速度廻轉，卽在同一之環，其外側與內側廻轉之速度亦異。若將此事實詳加吟味，則知此等環乃全由小流星集合而成者也。

流星之分布於空間，究爲如何狀況，吾人實難想像。彼獵戶座大星雲，卽在今日，由其光之性質察之，乃應屬氣體。但近年因望遠鏡之進步，已發見多數之星雲，其大多數均呈渦卷形。其中央有光較強之部分，其外側大概有二手成渦卷狀，各處有放強光之部分。此渦卷星雲之形，乃暗示吾人，使吾人悟及地球與太陽系各行星成立經過之端緒者也。

第六節 張伯林等之微星說 (Planetary Hypothesis)

近來關於太陽系成立新學說之先驅，卽爲張伯林與莫爾頓 (Chamberlin and Moulton)



第七圖 渦卷星雲

共同研究所公布之微星說。此說謂先有一極小之遊星塊，周圍尙有未盡集合之小星片，瀰漫而成渦卷形。此渦卷之起源，乃二個星運動於宇宙間時，偶而非常接近，互相牽引而起潮汐作用；因此之故，其中之某星，外殼破裂，由內部向兩方噴出非常高熱之液體，此液體因星之廻轉運動而成渦卷云。但阿勒紐斯（Arrhenius）對於此渦卷之成因，又曾唱異說謂：二星不特互相接近而起潮汐，且其後又互相交遇而起衝突；因衝突之結果，發生高熱，同時從其相交遇之部分，向兩方噴出高熱之液體。由此交遇衝突之結果所成之新星，又因最初兩星之速力，開始廻轉而作渦卷之形。此二說雖稍有不同，但其共通之點，則均謂爲中央有一大塊，由其周圍伸出二手所成之渦卷形微星塊也。此種理想，蓋由聯想太空中存有無數之渦卷星雲而來者也。此種呈渦卷形之行星塊，其尾中時有稍密之部，此稍密部附近之物質，多集於該處而成遊星，其中央則殘大塊而成太陽；遊星在其團結之途中，又以同一之順序而構成其周圍之衛星。如此所成之太陽系，經時既久，逐漸冷卻；若其後更與他星衝突時，則亦當復原狀。

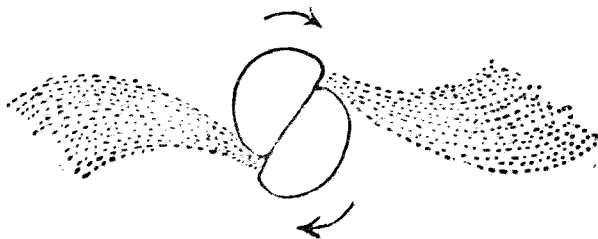
此微星說，亦有許多不完備之點。蓋在廣大之宇宙中，二星非常接近，甚至發生衝突之事，似屬

不可能；又星反覆經數次冷卻而能復原狀一事，亦與熱力學上之原理相反。近年因對於星之研究頗進步，此說又將有更改矣。

第七節 新微星說

新微星說，雖亦先設想有小行星之存在，但其最初之配置則與上述者異。即在宇宙中，有多數微星，平均散布於其間，此等小遊星，其最初不必一定運動；惟歷時既久，則因各微星間之引力開始種種方向之運動。此時間中，在各局部中心之周圍，團結成小塊而開始廻轉。據計算上，此種小塊，適與太陽系有同等之質量，其廻轉運動量，亦當與太陽系之廻轉運動量等。

在由他之宇宙分離而起一定廻轉運動之太陽系中，其中央大部分之物質，亦互相集合而成太陽；其各局部所集合之小塊亦成行

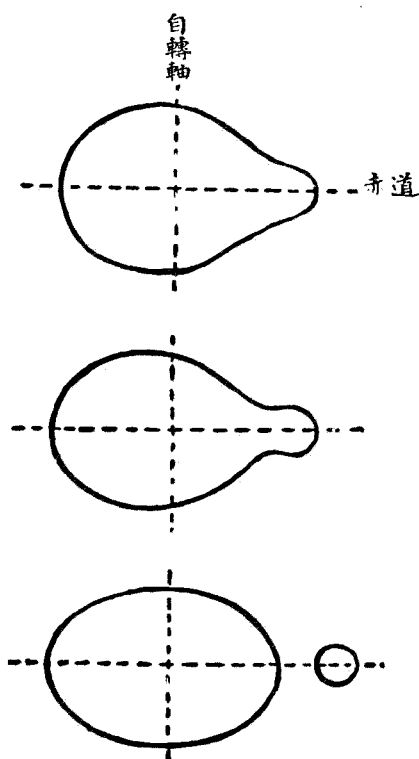


第八圖 二星衝突成渦卷星雲

星。此等行星繞太陽之運動，因係由太陽系最初之全體廻轉運動量之殘餘而來，故其軌道面大概一致。但其後因各局部爲單獨集合所成，故其廻轉則不必一致；惟後來漸受中央部之太陽引力之支配，由接近太陽之遊星以及於外側之遊星，漸漸依一定之定律而行運動。

行星之中，在木星以外之距太陽遠者，質量概大，由太陽分出亦甚早，且長久保其高熱

而不凝固，在此時間中，其周圍之衛星，恐亦依同一之經過而成立者也。但地球因其體積甚小故冷却較早而成液體，因其冷却收縮之結果，自轉速度亦因之而加大，據達爾文 (G. H. Darwin) 之



第九圖 月由地球分離之經過

說謂：地球因自轉速度之加大，於是赤道之一部突起而成橫臥之洋梨形，若其程度再進，則此突起部遂離開地球而成月云。

第二章 地之形狀及其大小

第一節 關於形狀推想之經過

吾人單在地上觀之，地之形究係如何，不可得而知也。任到何處，僅能見山、海、平地等種種之凸凹布於一平面上；此種平面之感受因極自然，故在人類之觀察力十分發達以後，亦均以地爲平坦面。在人智尙幼稚之時代，大概均以地爲極廣之平坦物，上方覆有圓穹之天，然此平坦之大地，究載於何物之上，圓穹之天，究爲何物所支持之一疑問，遂隨之而生。吾人又見天上無數之星，皆一齊由東向西運動；由海中向海岸行時，初見山頂，後見山腹，至於海岸，始見山麓，人類因注意於此等現象，遂覺大地非單純之平坦物，乃自然之勢也。在希臘哲學者中，亦曾有以地爲球形者，如畢達哥拉斯（Pythagorus）學派，於西歷紀元前四〇〇年頃，曾發表地爲球形之學說。

迄亞理斯多德(Aristoteles)時代，關於地球及其他天體之知識漸臻確實，故益知地爲球形。足以供吾人證明地爲球形之事實中，其最著而易知者，其一吾人愈登高處，則吾人之眼界愈廣，若地爲平坦物，則縱至如何高處，而視界之廣狹亦不致生出變化。其二在地上南北相距較遠之二地點，觀北極星時，在較北之地點，北極星較在南之地點所見者，距地平之角度爲高；又因地非真圓球形，故由南向北進行時，見北極星距地平之高度，較計算上之高度甚高。其三，當月蝕時，因地在日與月之間，地球投於月面之影爲弧形。由此三事實判之，即可斷定地爲球形矣。

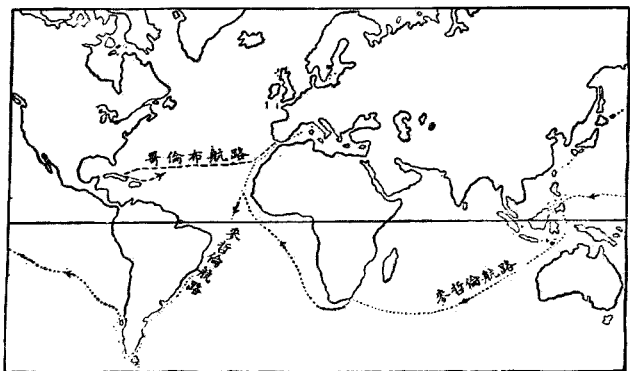
以上事實，雖爲證明地乃球形之確證；但一般人對於此等事實，仍不容易理會；而尤以固執之宗教家，常本其傳來之宗教思想，對於地爲球形之說，時加以反駁壓迫。迄十五世紀末葉，哥倫布氏(Columbus)主張向西行橫斷大西洋而可達東印度之思想，當亦由信地爲球形之觀念而起。據哥氏之意，與其向東行迂迴非洲之南，且通過陸地而至印度，不如由海路向西直航而達印度，則旅行較爲容易。對於此種意見，在當時多數人皆加嘲笑；蓋當時之人，以爲地若真係球形，則反對方面之人物，必倒懸於地上；若由反對方面以船渡來時，則其船必須常以側面臥於水上，如登山腹而來

之狀；此外尚有以種種滑稽荒唐之事實嘲笑哥氏者；但哥氏決不之顧，竟於一四九二年，實踐其志，橫斷大西洋向西前進，卒達西印度諸島。（註一）雖此諸島，雖非哥氏所豫期之地，然厥後葡萄牙人麥哲倫（Fernando Magellan）由一五一八年，經三年之久，周航世界之結果，始確實證明地爲球形。

（註一）哥氏最初所到之地，爲 San Salvador 島，此即今日 Bahama 諸島中之 Watling's Island 也。

第二節 地球之測量法

地既爲球形，則其大小如何，乃任何人所必欲知者也。最初測量地球大小者，爲埃及亞歷大里亞（Alexandria）



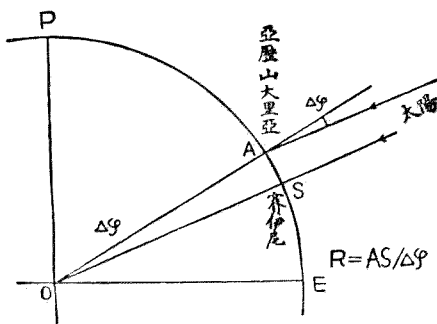
第一〇圖 哥倫布與麥哲倫之航路

市之圖書館長埃拉托色尼 (Eratosthenes) 於紀元前二二〇年，適值夏至日之正午，在賽伊尼市 (Syene [Asswan]) 中一深井之上方，待太陽達天頂照於井底時，同時更在其北方隔九二五公里之亞歷大里亞，以豎竿測得南中太陽光線與天頂之傾角為 $7^{\circ}6'30''$ ，凡角度若以圓弧之長與半徑之比表之，則到一八〇度，恰與圓周率 π 同值；由此則太陽光之方向與天頂間之角，當為 $\theta = 0.12406$ ，依此實測之材料計算赤道與北極間之地上距離，即子午線四分弧之長為：

$$E_p = A_s \frac{\frac{1}{2}\pi}{\theta} = 11562 \text{ 公里。}$$

A_s 之長，由實測可以知之，由此法計算之，則地球半徑之長為七三六〇公里，以之與吾人今日所知之長比較，約大一五%；但當時既已能測至此種程度，實可驚之事也。

其後在埃及及阿拉伯，亦屢用同一之方法，其所測得之值亦大略相同。在歐洲最初對於此事，



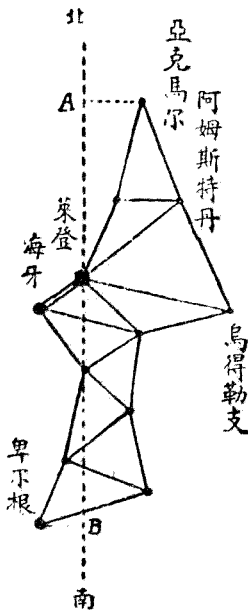
第一一圖 由太陽高度測地球之大小

僅曾加以理想或僅以數學計算而未重視實際之測量故對於地球大小之精確值未之知也迄十六世紀時始在法國實行測量，一五二五年，菲內爾（Jean Fernel）氏曾在巴黎及亞眠（Amiens）二地點，測南中太陽之高度，其所測得二地之距離較在埃及地方所測者甚精確。由此測量之結果，計算地球子午線四分弧之長爲一一〇〇公里與今日所知之值比較，約大 $\frac{1}{10}$ 。此後雖又有以同樣之方法測之者，但因用埃及及所傳來之方法測二地間之距離時，原不能得精確之值，故其結果亦不能謂爲十分精確也。當測距離時，二地點之位置，究在真正之南線上否，實有極大之關係，若不然，則須由實際之距離求出真正之南北距離方可，若其中差誤，則其距離較實際之距離爲長，由此所計算之子午線四分弧，亦必過長也。

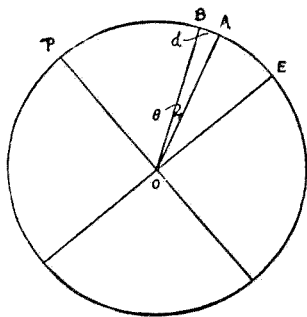
此時在荷蘭更有用較進步之方法測之者，其法與今日之三角測量法同。但當時因無望遠鏡，故測方向時，概用竿張線爲標。最初實行此法者，爲數學家斯內留斯（W. Snellius）氏於一五一五年因測定卑爾根（Bergen）與亞爾克瑪（Alkmaar）二地間之距離，先選定較短之距離，行精密之測定，作爲基線（Base-line），然後續行三角測量，結局將此二地之距離測量成功。與此同時，又

在二地點待同一之星到真南方或真北方時，實行測定此星之高度而決定其間之角度。其結果雖未行十分之精算而終，但據概算之結果，子午線四分弧之長，較今日所測者，僅短 $\frac{3}{100}$ 而已。

子午線四分弧之長，即沿子午線由赤道至北極或南極之距離也。此間之距離，若以緯度表之，則為九〇度，故以地為球形時，將子午線四分弧之長用九〇除之，則得緯度一度間之長矣。此時以前，僅以地為球形，故當時之目的，僅在測子午線四分弧之長，至於緯度一度間之長，則未計及也。但其後更漸進而欲測知子午線弧上一度之長矣。



第一二圖 斯內留斯子午線之測量



第一三圖 子午線弧之長與緯度差之關係

今在 A B 二地點，測某星通過該子午線時高度之差，即爲該二地之緯度差。此差角以 θ 角表之；今以二地間之南北距離爲 r 時，則 θ 之值可用三角測量法測出之。由是則子午線上一度之長 l ，可以次式計算之：

$$l = r \cdot \theta$$

子午線弧一度之長，既可由此式而算出；不意此式後來又爲從深研究地球形狀之基礎。

一六六六年，法國路易十四世，始集多數之學者，設立學士院；其後不久，此學士院曾有計畫精確測定地球子午線弧之舉。因在此時，測量上使用之望遠鏡及其他之器械多已成功，故其所測量之結果，較從前所得者遙精密。實行學士院之計畫者，爲皮伽爾 (Picard)；氏於一六六九年，先在巴黎附近，選平坦之地，精密測定一一公里長之基線，由此以三角測量法，測定亞眠與馬爾波波亞西 (Marboigne) 間之距離，更用星之觀測所決定二地點之緯度差而比較之結果，決定子午線弧一度之長爲一一一·一公里。

此後法國學士院之計畫，仍繼續實行，由一六八三年至一七一八年間，喀西尼 (Dominicus

Cassini) 及其子雅各 (Jacob Cassini) 沿通過巴黎之子午線，向南北將子午線各部精密測定之結果，發見極可驚異之事實，即若地爲真圓球形，則子午線上一度弧之長，無論何部均應相等；然而經略西尼父子測定之結果，知子午線一度弧之長，在南方者較在北方者爲長，由是可以證明地非真圓球形，乃一扁球形也。

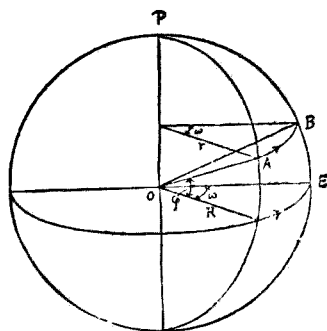
第三節 英法學者之爭執

依法國學士院測量之結果，知地球爲南北長之扁球形以來，當時該國之天文學家，亦多信此說，此乃十八世紀初葉事也。英國之牛頓 (Newton)，曾發表萬有引力說，此說出後，對於各天體及地球之研究，作成一重要之紀元。據牛頓之理論的主張，謂地球非爲南北平而赤道膨出之迴轉橢圓體不可，蓋地球在長年月間，沿一定之軸，以同等之速度，在二十四小時內，繼續迴轉一周，故由其迴轉所起之遠心力縱極微弱，然因繼續作用於長時間，故作成地球之岩石等，縱然堅硬，然經長時間後，亦必漸變其形也。恰與液體受外力之作用而變其形狀相同。例如有距迴轉軸之距離之物質

一克，在一秒間以 ϵ 角之速度廻轉時，則其物質所受之遠心力，可以 $\gamma \cos^2 \phi$ 表之，在地球上，於緯度為 ϕ 之地方，則其距廻轉軸之距離為 $r = R \cos \phi$ 。

R 乃地球之半徑；由此則遠心力為 $R \epsilon^2 \cos^2 \phi$ 此式中 R 及 ϵ ，無論採取何處均同；但 $\cos^2 \phi$ 之值，在緯度零度時為一，由此緯度漸高，則其值亦漸減小，至於九〇度，則為零矣。卽在地面遠心力之值，以赤道地方為最大，漸向極地進行，則當漸次減小；因此之故，地球之形，為赤道附近膨出，由此漸向南北，則其膨出之度漸小，卽地球全體之形，乃由南北壓扁之橢圓體也 (Spheroid or Oblate)。

此時又有法國天文學者李舍 (Richard) 於一六一二年至南美圭亞那之開恩 (Cayenne) 測量地圖時，由巴黎攜一振子鐘至該地，此鐘曾在巴黎將時間校準，但攜至該地時，每日竟遲二分半，不得已乃將其振子縮短，始與該地之時刻相符。其後，此鐘復攜回巴黎時，其進行反速，又非將振



第一四圖 緯度與遠心力之關係

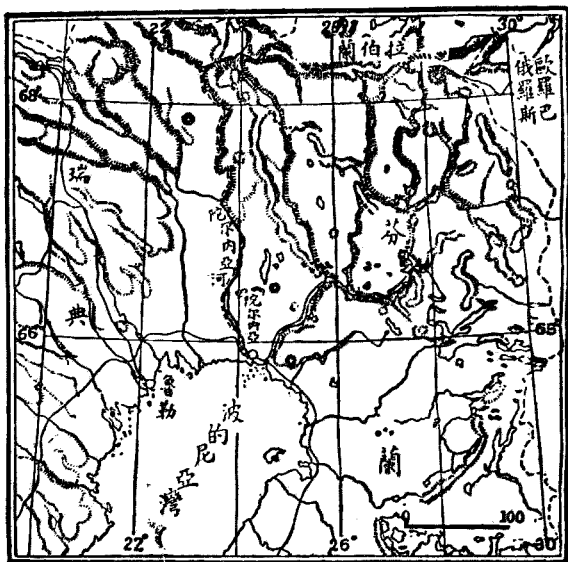
子伸長至原來之位置不可。自發見此事實後，頗引起一般學者之注意。原來振子一擺動所需之時間，簡單言之，乃由振子之長與使其擺動之力而定者也；今以振子之長爲 l ，以其一擺動所需之時間爲 T ，又以作用於振子之力即重力爲 g 時，則

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

巴黎在北緯四九度附近，開恩在北緯五度附近，此二地溫度之差極巨，即開恩之溫度，因較巴黎高，故振子伸長，其一擺動所需之時間增多，此鐘之時間遂較遲延，此其一因；又使振子擺動之力 g ，乃地球引力與地球自轉遠心力之差，而遠心力，因愈近赤道愈大，故由地球引力減去遠心力所得之 g ，開恩必較巴黎小；因此之故，在開恩擺動一次所需之時間，較在巴黎長，而致時間遲緩；此種使振子擺動遲緩之原因，乃 g 力中之地球引力，在赤道附近最弱，向兩極則加強所致。若地係真圓球形，則在地表之任何部，地球之引力亦不變，若地爲兩極扁平，赤道膨出，即所謂扁平橢圓體時，則在赤道附近之地面，距離心最遠，漸近兩極之地面，則漸接近地心。據牛頓之萬有引力說，則幾近於

真圓形之地球其表面之引力恰如地球全體之質量集於中心而引地表之物略同，其引力之強度當反比於其距離之自乘；故以地球之形爲扁平橢圓體時，則在赤道附近，引力最弱，漸向兩極，則漸加強，乃理之當然也。由此，則李舍所實驗之事實可以說明矣。

由此解釋，則牛頓之理論上的主張，在事實上亦可以證明；然在法國，從前據喀西尼父子所測量之結果，曾信地球爲南北長之橢圓體，故對於牛頓之主張，不易信用。但牛頓仍繼續進行其主張，以地

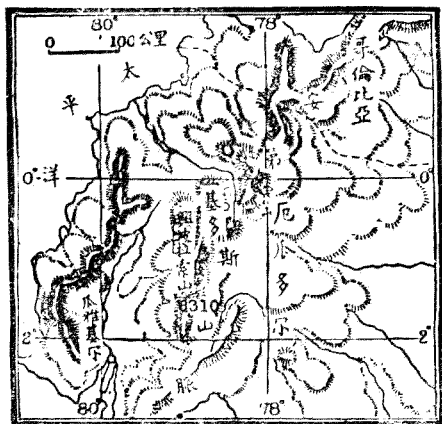


第一五圖 法國測量隊所到之地方(甲)陀爾內亞

球之內部爲與液體同性質之物，且以其中心之壓力爲平衡狀態，由此而算地球之扁平度，其結果知地球之南北半徑，較赤道半徑尤短 $\frac{1}{230}$ 許。此時在荷蘭又有海巨史 (Hugheens) 定地球之內部物質，幾皆集於中心而計算地表之形狀；其所算出之地球扁平度爲 $\frac{1}{578}$ 。

如此一方由理論上主張地球爲南北短之扁

平橢圓體；他方又由測量之結果，主張地球爲南北長之長橢圓體。但李舍之實驗，對於前說似較爲適合。又喀西尼之測量，在當時確爲偉績，但其主張，僅據法國南北之緯度弧一度而言，其差未免太小；或係測量上之差誤亦未可知。因之法國學士院，更欲十分精確測量，於是組織二測量隊：其一隊送往北方之拉伯蘭 (Lapland)，其他一隊，則送往南美赤道附近厄瓜多爾 (Ecuador) 北方之祕魯



第一六圖 法國測量隊所到之地方(乙)基多

(Peru) 以精密測量子午線一度之長往拉伯蘭之隊中有摩拍屠伊 (Maupertuis) 等由一七三六年至翌年，在陀爾內亞 (Tornea) 北方之北緯六〇度附近，共測量子午線弧五七分餘之長度，其長共百餘公里。又至南美之隊中，有部給 (Bougner) 空達民 (Condamine) 及哥當 (Godin) 等，由一七三五年至一七四三年，在基多 (Quito) 附近，共測量子午線弧三度，其長共三三〇公里。此二隊之測法，其測長度均以三角測量法定之，又其線兩端緯度之差異，乃用天文觀測法定之。當時所用之長單位，乃 Toise，與今日之公尺比較，約爲一·九四九四公尺，此二隊所測子午線弧一度之長，用表示之如次：

平均緯度	子午線弧一度之長
北 66°20'	57438 Toises
北 45°0'	57012 Toises
南 1°13'	56753 Toises

但此表中，緯度四五度附近之值，乃在法國內地所測定者也。觀此表，即知子午線弧一度之長，

在赤道附近最短，緯度增高則漸加長，此與從前喀西尼在法國關內所測之結果適相反對，此足證明地爲南北短之扁平橢圓體無疑。

法國遠征隊所作之事業，實有如此重大意義。到基多地方之隊，因誌紀其事業起見，於其所測定之基線兩端，各置小碑一，其位置無論何時均可確認，惟因其碑上所刻之碑銘不甚愜人意，故當時支配此地之西班牙政府，將此重要之紀念碑破壞。其後，西政府頗感後悔，遂又另作一碑，復置原處。後來此地獨立，成厄瓜多爾共和國；至十九世紀中葉，該國大總統視此爲紀念偉大事業之碑，因欲招人注意起見，將此碑移於基線之旁約三百公尺之地點；此地點雖能使人注目，但與原來之基線毫無關係。該大總統之此舉，因爲尊重偉業起見，然未能保存基線兩端之確實位置，亦屬憾事也。

由法國測量隊所測之結果，固亦能算出地球之扁平度，然不能十分得精確之值，蓋以當時測地術尙未十分進步，對於測地上之種種必須的修正法，尙不悉知故也。但地球之南北半徑，較赤道半徑約短 $\frac{1}{300}$ 一事，大概已知之矣。地球之南北半徑僅短 $\frac{1}{300}$ ，則畫半徑三百公尺之圓時，其赤道半徑僅膨出一耗；其與真圓相差極微，故吾人將地球作一真圓表之，亦無不可也。惟在研究關於地

球扁平之事項時始注意其爲扁平橢圓體而已

第四節 標準橢圓體

吾人論地球之大小及其形狀時，若細思之，則所謂地球之形，究何所指之一事，不能無疑？例如陸上有平地高山，海中又有水面水底之分別；吾人所謂地球之形，究指平地乎，指山頂乎，指海面乎，抑指海底乎，此不能不加以限定者也。據今日之所知，陸上之最高點，爲喜馬拉雅山脈（Himalaya Mountains）中之埃佛勒斯特峯（Mt. Everest），其距海之平均表面，約八八四〇公尺。又海底之深處，在菲律賓羣島中，岷達那峨島（Mindanao）之東北海中爲最深，約九七三〇公尺。又日本之海軍測量隊，於大地震後一九一四年，在日本太平洋岸中段，伊豆半島之東南海中，測得九九五〇公尺以上之深海。由此，則地殼表面高低之差，將近二十公里，殆與地球之南北半徑及赤道半徑之差相等。地球之表面，既有如此高低之差，然則論地球之形時，究以何處爲準乎；此不可不明白規定者也。

海之表面，在外觀上較爲規則，故卽以之作爲論地球形之標準。在海之部分，固然可以海面爲地球之表面，然在陸地之部分，因陸地面之凸凹不平，故假想將海面延至陸地中而作其表面。單謂將海面延入陸中尙不明瞭，吾人又可假想從海中引多數小溝渠於陸地下，此等溝渠中水之表面，卽陸地部分之球面也。但此處所謂小溝渠，乃限定陸地中之引力不變，溝中海水面之高低不變動而言者也。實際上作此種溝渠，爲事實所不能，且無作之必要，吾人僅假想有此種溝渠，將與海面同樣之水面延入陸地下部以表之足矣。吾人在陸地上行水準測量時，卽作爲海面延至陸地內部，以此海面之高爲準而比較實際陸地表面高低之差。如此在海中以海之表面爲地球之表面，在陸地則以所延入之海面爲地球之面，此真實之海面，與所假想之陸地下部海面所包成之球形面，卽所謂 Geoid 是也。此字現尙無一定之譯語，因此面所包之球形，既非真圓球形，又非真橢圓形，（譯註）乃地球特有之形，無名以譯之，暫譯之曰地球形。

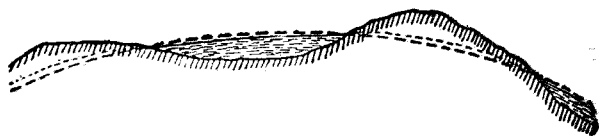
（譯註）海水距陸地近者，因受陸地之引力，水面較遠於陸地之大海中部爲高，又陸地有大小，其所引起之海水面高

低又不同，故海面之高低，實各地均不同也。各地之海面高低既不同，則由各地引入內部之海面亦自不同，故

將各地之不同海面引入陸地內部所作之 Geoid，實爲凹凸不規則之形也。

此 Geoid，因係極近似扁平橢圓體，故論地球之形狀時，若無精密論較之必要時，儘可以一種扁平橢圓體表之。Geoid 之面，在陸地之下，多較其橢圓體之表面稍爲凸出，而在海上，則較爲凹入。因此種之差異，於是地球之表面，呈不規則之形狀，處理處不方便，故吾人務使其差少，將全體定爲最近似 Geoid 面之橢圓體以表地球之形，此形即謂之曰標準橢圓體。

地球之形，既非球形而爲扁平橢圓體時，則地上某地緯度之意義，有二種之別：如就 Δ 地點設想，從 Δ 引直線至地心 O ，則此直線與赤道面所夾之角 ϕ ，可作爲 Δ 地點之緯度；又在 Δ 點取與橢圓體表面垂直之線，此線與赤道面相夾之角 ϕ' ，亦可作爲 Δ 地點之緯



地殼之表面
標準橢圓體之表面
地球形面

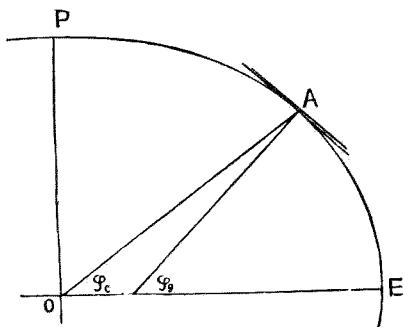
第一七圖 地殼表面地球形面及標準橢圓體之表面

度。如此由赤道至A點，即B A之距離，其距離雖相同，然其緯度亦則二種。吾人爲明白區別起見，呼前者(φ)爲地心緯度(Geocentric latitude)呼後者(φ_g)爲地理緯度(Geographical latitude)。

第五節 地球之大小及形狀之測定

欲知標準橢圓體之大小及形狀，如法國學士院之計畫，測定子午線弧一度之長，即可由此計算出赤道半徑及扁平度，普通赤道半徑以a表之，南北半徑以b表之，至於扁平度，則以赤道半徑其南北半徑之差，及赤道半徑之比表之。即扁平度爲：

$$e = \frac{a-b}{a}$$



第一八圖 地心緯度與地理緯度

今在一子午線上選極近之二地點此二地點間之距離 Δs 用三角測量法定之此外更在各地點測量之高度而可知其所在之緯度。觀測量之高度時常以水準儀為準而定其方向，水準儀即表示其地之 Geoid 面之方向者；以此為標準測量之高而定之緯度，即與地理緯度相當。此二地點之緯度既定，則緯度之差 $\Delta \phi$ 即可知矣。若此二地點相距較近，則以緯度之差 $\Delta \phi$ 除距離 Δs ，即得該地緯度一度之長；若以此二地點之平均緯度為 ϕ 則橢圓形有如下之關係：

$$\frac{\Delta s}{\Delta \phi} = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad \text{但 } e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

若為求最精確之值，則須測較長之距離；但在此時，須將此式積分後方可用之。

在此式中，左方為子午線一度弧之長，右方中之 ϕ 為緯度，均由測量而定者也。至赤道半徑 a ，與新用之 b ，則非測量所可知者也。但此數乃吾人所欲知者，今以上式為方程式，以 a 與 b 為未知數時，若其間有二個關係，則未知數即可以定；即在緯度不同之二地點，將子午線弧一度之長決定後，則即 a 與 b 即知矣。在實行時，務在緯度相差較多之地方測之，始能精確決定，其原理已如上所

述。既能知 ρ 與 σ 。則南北半徑 r ，亦容易算出，因之，扁平度 f 亦可知矣。

原理雖係如此，但實際測量時，則有種種之困難，因 ρ 與 σ 實際上與標準橢圓體不一致；故子午線弧一度之長，非就橢圓形，以數學的想法即可得之之簡單者，即行十分精密測量，然因對作比較之二地點之選擇方法不同，由此所算出地球之大小及形狀亦異。因此之故，務必測多數之地點，而後定與多數之測量結果相合之橢圓體。如前式所示，因未知數為 ρ 與 σ 之二者，若由多數之測量，作成多數之方程式時，則不均能滿足決定 ρ 與 σ 。在此時，不得已務決定其近於真之值；求此近似值乃誤差論之所示者也。今假設 ρ 與 σ 之近似值已定，則對於所測量之各緯度，將此 ρ 與 σ 之值用於上記方程式之右方，以計算子午線弧一定之長。此計算之值，與實際測量所得之值雖不全同，但作其差而求差之平方和，使其成最小數而選定 ρ 與 σ 時，則此數即成爲最近於真之值矣。

法國測量隊之行測量，乃在十八世紀之前半；其後至十九世紀初葉，因各度均曾行三角測量，故對於決定地球之大小及形狀之材料極多。實際上雖在同一緯度，然以經度不同，子午線弧之長度，亦生出多少之差異。惟其差極小，雖追究至極精密之處，亦不生甚大之影響，故大概均沿一定之

子午線而進行測量也。柏塞爾 (Bessel) 於一八四一年曾蒐集當時所測得之結果用最小自乘法決定地球之大小及形狀，稱之爲柏塞爾橢圓體，此乃最精確決定地球形狀大小之嚆矢也。其後拉克 (Clarke) 於一八六六年及一八八〇年，曾二回計算地球之大小及形，名之爲拉克一八六六年橢圓體，及一八八〇年橢圓體，此三個橢圓體之赤道半徑與扁平度如次：

扁平標準橢圓體

赤道半徑(公尺)

扁平度

柏塞爾橢圓體(1841)

6377397

1 : 299.2

拉克橢圓體(1866)

6378249

1 : 294.8

拉克橢圓體(1880)

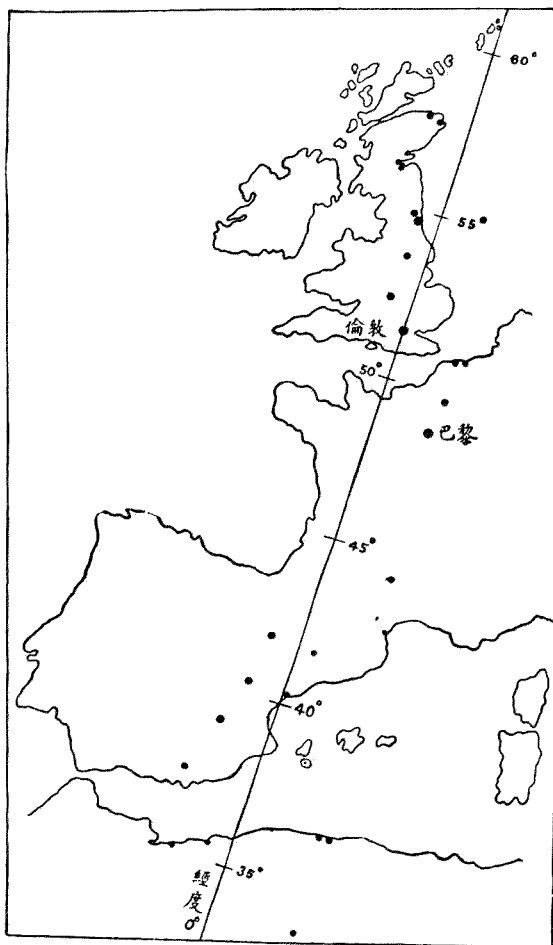
6378249

1 : 293.47

中之拉克橢圓體，今日在各國尚多以之爲測量之標準；例如美國與加拿大，均用其一八六六年之橢圓體爲標準是也。

其後測量之材料頗多；其一在一八一六——一八五〇年間，沿東經二五度二〇分子午線之測量，乃由挪威北部之北極海岸，經俄羅斯南下，達多瑙河行子午線弧五五度餘之大測量。其二，爲

沿東經一四度子午線之測量，由挪威之羅佛敦 (Lofoten Islands) 羣島，南至地中海之馬耳他島



第一九圖 西部歐羅巴子午線弧測點之分布圖

(Malta) 行子午線弧三二度之大測量，其三爲沿通巴黎之子午線北由蘇格蘭北方海中之設得蘭羣島 (Shetland Islands) 經倫敦 巴黎 等地至西班牙之東海岸，再越地中海至阿爾吉利亞 (Algeria) 行子午線弧二七度之大測量，此外在北美洲更行大規模之經緯度測量。又在非洲，北由開羅 (Cairo) 南至好望角 (Cape of Good Hope) 之測量殆亦完成。在亞洲方面，日本 印度 此時亦曾行大規模之測量。

其後赫麥爾特 (Helmert) 及赫佛爾得 (Hayford) 亦曾蒐集多數材料，計算地球之大小及形狀，其計算所得之結果如次：

橢圓體	赤道半徑(公尺)	扁平度
<u>赫麥爾特</u> (1907)	6378200	1 : 298.8
<u>赫佛爾得</u> (1909)	6378388	1 : 297.0

此中之赫麥爾特標準橢圓體，不獨使用最新之材料，且對於地中海之比重分布，亦特加注意而計算者，故在今日，乃最良之形也。因從來各國均使用不同之標準橢圓體以行測量之計算，在取

聯絡上，深感不便，故於一九二四年在西班牙所開之萬國測地學及地球物理學會中，決定今後各國通用赫麥爾特標準橢圓體。

第六節 由重力而定地球之形

如前所述牛頓對於在巴黎之準確鐘，攜至赤道地方時，則生出遲延一事，即以之歸諸地球之赤道部膨起，重力較弱之故；若逆推之，則覺在緯度不同之地，測定重力之強弱，互相比較，或者即由此而能推定地球之形亦未可知之感想以起。將重力與地球形狀間之關係，以正確之數學式表之者，始自克雷洛 (Clairaut)，地球之中，凡在外形，中心，及軸相同之橢圓體上，無論何處，比重均相同；但由表面漸近中心，比重漸大時，則重力 g 與地球扁平度 e 之間，成立如次之關係：

$$\frac{g_p - g_a}{g_a} + e = \frac{5}{2} \frac{a\omega^2}{g_a}$$

此式中之 g_a 與 g_p ，為在赤道與極點之重力強度， a 為赤道半徑， ω 為地球自轉之角速度，

此式稱之曰克雷洛之範式乃研究此方面之根本也原來在赤道測量重力一事或屬可能亦未可知；而在極地測量重力，則殆不可能。但重力 g ，依緯度 ϕ 而變化，若將其關係詳表之，則其式太繁，若將其小量略去之，則可書爲：

$$g = g_0(1 + \beta \sin^2\phi)$$

在緯度不同二個以上之地點測量重力時，則由此式即可決定 g_0 及 β ，因之 g_{sp} 之值亦可由計算而知；是以在克雷洛式中既知赤道半徑 a 之大小，最後亦可知扁平度 ϵ ，此方法雖不適於求赤道半徑 a ，但若於測量上已知之，則扁平度 ϵ 之值用此法求之，可得十分精確之數。

克雷洛氏，乃就地球中之比重分布，設一定之假定所作之公式。但自重位 (Potential) 之理想出現後，雖無此種假定，然亦能將地球上重力之分布詳細表出。所謂某點之重位，即由該點向某方向僅進行短距離時，其重位勢能所變化之度，恰如該方向重力分力所有之量。連結重位相同之各點時，則成等位面；在此面上，位置離變，而其位置勢能之值則不變。故在此面之方向，決無重力作用；即重力僅直角的作用於等位面者也。液體之表面，因係與此等位面一致而靜止者，故海面即表

地球之等位面；若將此面延入陸地，即成 Geoid 之面矣。

不問地球內部之比重如何，僅地球之表面為等位面，且具廻轉橢圓體之形時，則在緯度 ϕ 之地點，其重力 γ_0 可以次式表之。

$$\gamma_0 = (1 + \beta \sin^2 2\phi + \beta_2 \sin^2 2\phi)$$

$$\text{II} \beta = \epsilon - \frac{17}{14} \frac{\epsilon a \omega^2}{\gamma_a} + \frac{5}{2} \frac{a \omega^2}{\gamma_a}$$

$$\beta_2 = \frac{\epsilon}{\delta} \left(\epsilon - \frac{5a\omega^2}{\gamma_a} \right)$$

此時，亦須測定各地之重力，即能決定第一式中之 β 及 β_2 ，故知 δ 之值，即能求出 ϵ 、 β_2 ，因為極小之數，故普通均由 ϵ 及其他之略值以逆計之。赫麥爾特氏蒐集各國所測出之重力值，於一九〇一年作出次之範式：

$$\gamma_0 = 978.030(1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

但表示重力之單位為達 (Dyne)，即指力作用於質量一克之物體時，每秒時間使其速度增

加一種所要之力而言也。由赫麥爾特之式計算時，扁平度之值如次：

$$e = 1 : 297.3$$

但赫麥爾特所用之材料，對於地殼中比重之分布，毫未加以修正者也。近年對於地殼內比重之分布，如第六章中所述，已確認地殼隆起之部，其地下之比重小，而在低地部，其下部之比重反大。將此種事實，亦作為參考而計算者為赫佛爾特氏；其所計算之結果，已得如次之值：

$$e = 1 : 297.4$$

赫麥爾特氏，其後於一九一五年，更研究新材料；但此時不以地球之標準形為單依緯度而異之迴轉橢圓體，乃更認為依經度而異之三軸橢圓體以行計算，結果得式如次：

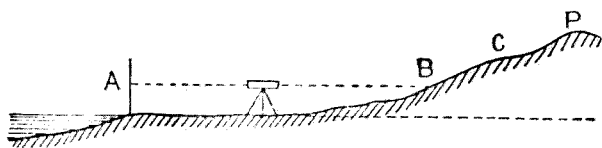
$$y_0 = 978.052 \left\{ 1 + 0.005285 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi + 0.000018 \cos^2 \phi \cos 2(\lambda + 17) \right\}$$

即赤道方面之切斷面，在西經一七度與東經一六三度之部膨出最大，在西經一〇七度與東經七三度之部膨出最小。

第七節 Geoid 與標準橢圓體之差

如前所述，在海中則依其水面，而在陸上，則將其附近之海面引入陸地之下，此真實之海面與假想引入陸地下方之海面所包成之全體球形，即 Geoid 也。但海面因種種之原因而有變化，如吾人常見之波潮等，其變動海面雖甚巨而頻繁，但取其稍長時間之平均，其平均水面，亦無十分大變化。此外尚有溫度，氣壓，風向，海流等之影響。但在各地海岸設置測量海面高低之檢潮器觀之，經相當長之年月，取其平均數而定海面之高度；又在同一地點，繼以水準測量時，亦可知海面之高度無顯著之差異。在法國，以前曾謂地中海岸之海面較大西洋岸之海面低一公尺，但據十分計算改正之結果，始知其為誤察，於是知海面之高度，決無差至可以測定之程度者也。

在海中或海岸，Geoid 之位置雖實現於各人之眼前；而在陸地內部，此面



第二〇圖 由水準測量而定 Geoid 之形

通過何處吾人不能目擊非行水準測量不可得而知也。今在海岸附近置一水準儀，先在岸望距海面 P 高之 A 點，次將水準儀在原位逆向，望陸地內部之 B 點，則 B 點距海面之高度爲 S ，然後將水準儀移置高度不同之他處，以同一之方法而測定 C 點與 D 點高度之差爲 T ，如此同樣繼續進行至 P 點時， P 點之高度，即爲 P_1, P_2, \dots 等之和。原來用水準儀所定之方向，因係該地點等位面之方向，與海面繼續部之 $Geoid$ 面，或者不完全平行亦未可知，但其差恐甚微也。又因空中有光線之曲折，此外更有多少測量上之差誤，故當測量某地點之高度時，因自海岸進行水準測量之路徑而有多少差異亦未可知；對於此差，須適當配分以處理之。如此所測得 B 點距海面上之高度，乃由 B 點至通過其下方之 $Geoid$ 之距離也。

決定 $Geoid$ 面與標準橢圓體之差，需要極煩難之手段，但又非完全不可能之事。今在標準橢圓體之上，就同子午線上之 A 與 B 二地點觀之，此二地點之緯度，雖可由觀測天體而決定，但此乃以 $Geoid$ 面爲標準而決定者也。用此方法所定之緯度，謂之天文緯度。又此二地點之距離，以三角測量法測定時，若以此二地點爲標準橢圓體上之二點，則由前節中之公式，即可以算出此二地點

緯度之差。原來行此計算，非知 Δ 或 B 之緯度不可，但用觀測恆星所定之天文緯度計算之，亦不至起錯誤也。

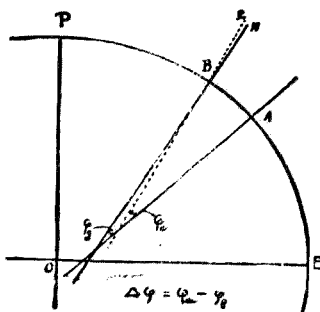
在此 Δ 點與 B 點，其地理緯度之差與天文緯度之差，不一定相等。其原因乃由標準橢圓體常與 Geoid 不一致而起；即標準橢圓體與 Geoid 之垂線，在子午線面內有傾斜；此種傾斜稱之曰沿直線之南北偏倚。普通以其中一地點之地理緯度與天文緯度作為一致，以 B 地點對於 Δ 地點之地理緯度差為 ϕ_2 ，以天文緯度之差為 ϕ_a 時，則沿直線之南北偏倚，可用次式表之：

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_g$$

同樣亦可算出鉛直線之東西偏倚；今以 λ 為經度，則可用次式表之：

$$\Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_g$$

既知此二方向之偏倚，則 Geoid 垂線，對於標準橢圓體面垂線之傾斜方向 ρ ，與傾斜角度 θ ，



第二一圖 鉛直線之偏倚

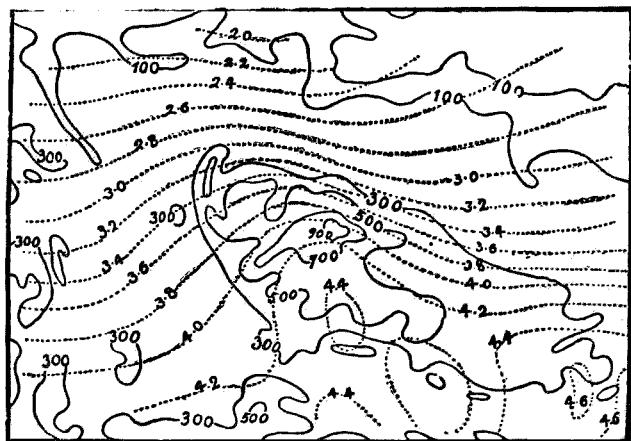
可由次式計算之：

$$\Delta \lambda = \theta \sin \alpha \sec \phi$$

$$\Delta \phi = \theta \cos \alpha$$

若在一地方行多數測量時，則可知其地方內鉛直線偏倚之分布，由此更可推知 Geoid 面距標準橢圓體之高度。依鉛直線之偏倚，詳細調查 Geoid 面與標準橢圓體之差者，為德國之哈疵山脈 (Harz Gebirge) 地方。在此山地之中央，有名之布洛懇 (Brocken) 山在焉；此山由花崗岩而成。觀此地方之 Geoid 面等高線時，大體雖係中央高，但以布洛懇山

第二章 地之形狀及其大小



四九

0 10 20 30 40 50 公里

—— 地形等高線
 Geoid 等高線

第二二圖 哈疵山地方之地形與 Geoid
 (數字為以公尺所表之高度)

與周圍比較，其高度雖高八〇〇公尺，而其 Geoid 則僅高四公尺。將此圖詳細與地形圖比較，大體雖仍相似，然實稍有差異。

第八節 由重力推知 Geoid 之形

由重力之值，可以知標準橢圓體之形一事，既如上所述；然則重力又從何而得知乎；今再述由重力推知 Geoid 形之法如次。在某地方測重力時，須擺動振子而測其一擺動所生之時間 T ，更知其振子之長 l 時，則可用次式算出重力 g ，即：

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

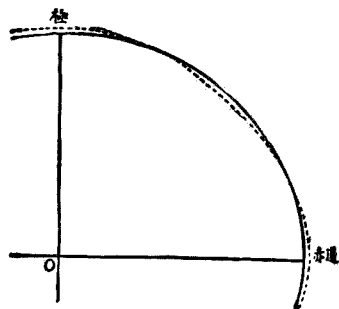
如此所得者，乃該測量地重力之值，更用水準測法觀測地之高度，加以對於高度之修正，則可知在 Geoid 面上重力之值矣。決定地球標準橢圓體之形時，須在各地測量此重力之值，務求得與標準橢圓體有相近之重力分布之橢圓體而後可。然此原係使用 Geoid 上之重力值，故標準橢圓

上之重力值，不定與之全同，於是從 Geoid 上所求之重力值 γ_0 減去標準橢圓體上之重力值 γ_0 所得之差，謂之重力之偏倚，用 Δg 表之，則爲：

$$\Delta g = \gamma_0 - \gamma_0$$

至求 γ_0 之式，已於第六節中述之。該式乃由集合實測之重力值所導成之式。詳言之，即該式非表真正標準橢圓體上之重力，乃表赤道與兩極稍膨出，及緯度四五度附近稍凹入形之等位角上之重力者也。但此面與標準橢圓體之面，其高度僅差數公尺而已。

重力之有偏倚，其一理由，實以 Geoid 面與上述等位面不一致之故。若單以此爲理由則高度差與重力偏倚間之關係，由等位面理論可以知之。就實際所測之偏倚計算之，Geoid 面之凸凹，似達五十公尺。但偏倚之原因，除此之外，對於地殼內部比重之分布，亦不可不加考慮。如後面第六章所述，近來對於此方面，研究漸深，偏倚之大部原因，實由此而起；實際之 Geoid 面與標準橢圓體之



第二三圖 標準橢圓體與全體之等位面

地 球

面，其差似更小也。

第三章 地球之運動

第一節 地動說之起源

至一般人之確信地非平坦而爲球形，已費去極長之歲月，與此同樣，一般人之對於地動一事，亦曾經過極長之時代始確信之，卽在今日，仍有尙全不信，或半信半疑者，卽或信之，而其理由尙有不明瞭者。居於地上之人類，其最初自然所得之感覺，卽以大地爲平坦不動。迄人類之觀察力稍進，注意觀察各天體（譯註）之運動時，卽疑惑若地爲平坦物，則太陽以及其他無數之星辰，自沒於西方後，再出於東方之時間中如何而通過大地之下乎？又如是其多之星辰，不論遠近，均以同一之時間，一齊出東沒西，此種運動，無甯謂爲地球自西向東廻轉之爲合理。惟太陽及行星等與恆星之運動則稍異耳。紀元二世紀時代，托勒密（Ptolemy）曾就上述各點中之第一點熟思之，而想像天體

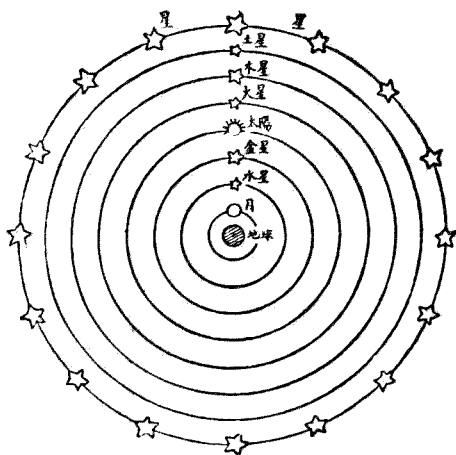
之配置。其想像卽以地球居於宇宙之中心，其周圍爲月、水星、金星、太陽及其他行星依次環繞之；至於恆星，則在距地最遠處與各行星同樣環繞地球之周圍。

(譯註) 天體 *Celestial or Heavenly Bodies*

凡在太空之星，無論其爲恆星或行星均稱之爲天體。

此理想會流行於極長之時間，當時之人，僅以地球居於宇宙之中心而支配全宇宙之事自誇，遂忘却忠實調查各天體之運動。但在極遠距

離之無數星辰，僅以二十四小時內，一齊環繞地球一周之事，細思之，實不合理；又行星之運動，有時逆行於恆星之間；若以地球居於中心，他之行星環繞其周圍時，則決不合理；由此等各點着想，在

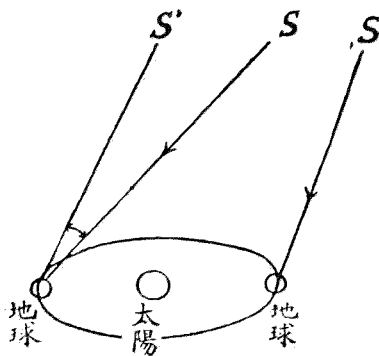


第二四圖 托勒密之宇宙

十五世紀初注意稍深者遂認托勒密之說爲不充分矣。若依托勒密之說明此等運動則感極大之困難；卽太陽與其他行星，必行極複雜之運動。十三世紀時，西班牙王亞封璜十世（Alfonso X）對於此事，曾謂余若生於神創造世界之當時，余必告紳再稍從簡創造云。對於此點，特爲注意者爲哥伯尼氏；此人生於波蘭，曾在意大利教授數學，研究天文，以托勒密之說說明天體之運動爲不充分，詳加思考之結果，創出有名之地動說。在希臘之奈栖塔（Nicotag）亦曾謂恆星之所以同於二十四小時內環繞地球一周者，乃地球沿自身之中軸廻轉使然也云。又匪羅勞（Philola）亦曾以地球環繞太陽之周圍而說明遊星之複雜運動。但此等意見，從來無人顧及，直至哥伯尼，此說始得真正之知己。當哥伯尼主張地球自轉時，人咸謂地若自轉，則住於地上之人應感覺之語以反對之；哥伯尼對於此反對亦曾謂吾人著外套而行，則外套決不遺於後方之理以解答之。氏更以地球不在中心，太陽乃占宇宙之中心；一切行星，均環繞於太陽之周圍；地球之位置，乃在金星火星軌道之間繞太陽而行者云。此種主張，深得當時青年學者之崇信，遂於一五四三年，將其學說出版，公布於世。但哥伯尼卽於其年死去。此學說出世後，曾相當受人之反對。乃意中事也。當時之人，咸謂地若公轉，

則在一年之中，每半年星之出現方向必不同。當時因尙不知有年視差之現象，故對於哥伯尼之學說，反對甚久。即哥氏自身，對於恆星亦未深加注意，似單以恆星之距離極遠，故不能見其視差一語說明之而已。又哥伯尼氏曾謂行星之軌道均爲圓形云。

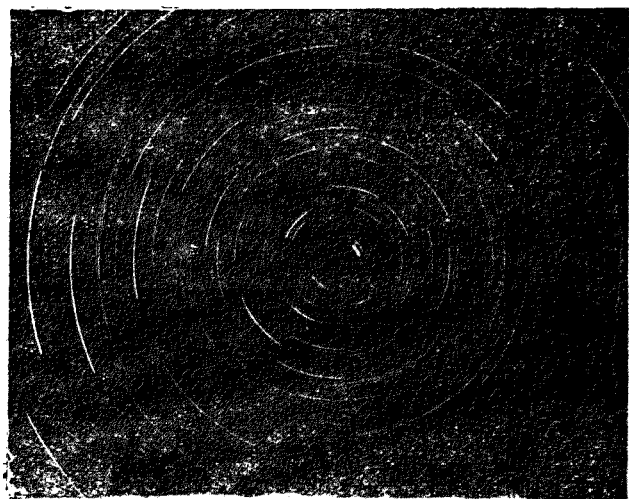
意大利之哲學者白魯諾 (Bruno) 欲將哥伯尼之地動說傳播於意大利，人以其爲有侮於神，遂被燒死。伽利略亦曾備受宗教家之攻擊。厥後由其所發明之望遠鏡，發見木星之衛星，環繞於木星之周圍，又發見金星有新月形，於是遂將哥氏之學說證明。此時一方又有德國之刻卜勒十分研究行星之運動狀況；其結果不獨證明哥氏之地動說，且進一步，更作出行星運動之定律。



第二五圖 年視差

第二節 自轉 (Rotation)

地球自轉之惟一證據，即無數之星辰，其距地雖極遠，然均僅於一晝夜內，一齊自東向西環繞地球一周，此現象若以地球沿其自身內部一定之軸，自西向東廻轉，則可簡單說明之。吾人欲證明地之自轉，須注意於天空各星之行動；即天空之各星中，以北半球言之：在南方，即在赤道附近天空之星，其自東向西之移動最速，漸至北方，則其移動漸緩；至於北極星 (Polaris or North Star) 則殆不動。若用照像器指此星拍照時，則見此星居於中心而成一點，其他各星，均沿此星

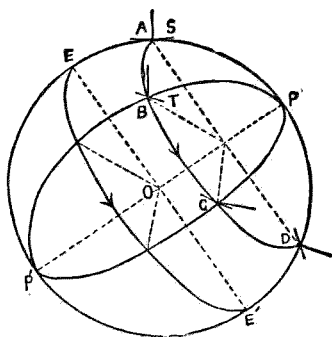


第二六圖 北極附近星之運動

周圍畫同一圓線：有如留聲機之唱片。愈遠此星者，其所畫之弧愈長，即其運動愈速。蓋因北極星，乃與地球之自轉軸幾同在一直線上故也。

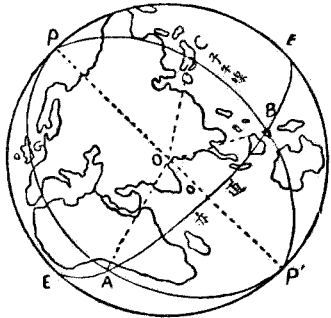
地之自轉，又可由實驗而證明；證明此事之最有名實驗，

即佛科之振子 (Foucault's Pendulum) 實驗，此振子係以長線繫一重錘，使之擺動於相當之長時間內；對於其最初擺動時，宜十分注意，務使其往復於一平面內，勿使畫橢圓；如此則振子必與其最初之方向平行，繼續擺動。如以在 Δ 點向 Δ 的方向開始擺動之振子，經若干時後，因地自轉之故， Δ 來至 B 時，則振子擺動於 $B\Gamma$ 方向；因受此影響之故，振子對於地球面，漸次變其擺動之方向。在緯度 ϕ 之地點，經 $24/\sin \phi$ 時間後，又漸取最初之方向而擺動。佛科氏曾在巴黎蓬退翁 (Pantheon) 禮拜堂之屋頂，懸六〇公尺長之線，繫以重錘，使之擺動，試驗其擺方向之變化，遂證明地球之有自轉云。



第二七圖 佛科振子運動方向之變化

地球因在自轉故吾人可得決定地上位置之標準，即在地上自轉速度等於零（不動）之點，乃地球之兩極，連結兩極而通過地心之直線，即地球之廻轉軸。通過地心而與廻轉軸成直角之平面，與地球表面相交所成之線，即為地之赤道。北赤道與赤道面平行之各面，切於地球面之各線，即地球之緯線，赤道亦緯線之一，乃屬大圓，除赤道而外，其他則成爲小圓也。含地球之自轉軸，即通過兩極及地心之事面，與地表相交之線，爲地球之子午線；凡子午線皆與赤道直交。例如表示一地點O之位置時，先設一標準子午線，以其與赤道相遇之處爲A，又以通過O點之子午線與赤道相遇之處爲B，則此AB弧稱曰經度，BO弧稱曰緯度；由此經度及緯度，則O點之位置以定。但精密言之，地球之形或爲真圓球，或爲橢圓體，抑或爲Geoid，其形有三種差別；於是言一地點之經緯度時，亦與此相應而有三種。此三種區別，即前所述之地心位置，天文位置，及地理位置是也。然實



第二八圖 赤道與子午線弧
AB爲經度 CB爲緯度

際因此三種經緯度之差甚小，故非在行特別詳細之研究時，雖不加區別，亦不生多大之錯誤。

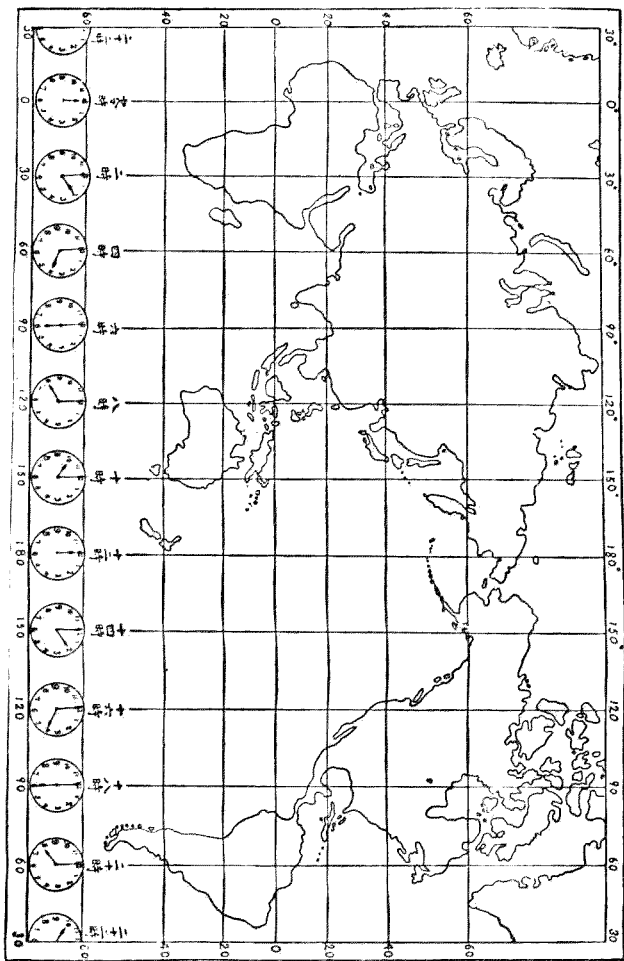
第三節 自轉與時間

地球因有自轉，於是時間之標準以定。人類之生活，與太陽有密切關係；即一晝夜之長，由太陽通過一子午線後，翌日再通過同一子午線之時間所定者也。吾人若作一種精確之測時器，將一日之長精密測之，則一日之長度，因季節而有差異。其原因蓋以地球環繞太陽公轉時，在軌道之各部位速度不同故也。一日之長短，既因季節而有差異，對於行事務上深感不便。於是假想地球在一年中，以同樣之速度公轉太陽；即假想太陽於第一次通過子午線後，第二次通過同一子午線間所費之時刻爲一晝夜；如此經平均後，一日之長度幾無變化。此外因地球之冷卻，潮汐摩擦，及其他之原因，時間雖有多少變化，但在實測上殆全不能感知。由此等原因所生之差，據推算上，在一百萬年間，似僅短一三秒許。

若將一日之始置於日中（正午），則雖在一日內，朝夕各異其日，對於行事務多感不便。故將一

日之始終置於夜中（半夜），卽以一日始於前夜之夜中，而終於次夜之夜中；更將此一日分爲二十四時，夜半卽爲零時，由此零時起算，作爲一時，二時，三時，……至太陽通過該地之子午線（日中）時，作爲十二時，其後則繼續作爲十三時，十四時，十五時，以至次夜之夜中爲二十四時，是爲一日之終。從前將正午以前之十二時作爲上午，或曰午前；正午以後之十二時作爲下午，或曰午後。近來因免錯誤起見，廢止此區分，將一晝夜直呼爲二十四時。此法在歐洲諸國雖已盛行，但一般因習慣難改，仍用原來之上午下午，呼一晝夜爲上午何時下午何時也。

此時間之定法，各地以各地之子午線爲基本，是以經度相異之各地，其時間亦各異。如北平與天津，其所隔之距離，雖尙不及經度一度，然其時間卽差三分餘；又如北平與瀋陽，其距離雖僅隔七度餘，然其時間已差二八分三〇秒。如此各地之時間，雖隔咫尺亦不同，於行事上多感不便。故在一定之域內，以其地域內適中子午線上之時刻爲準，作爲該區之公用時；凡屬該區內之各地，均用同一之時刻，此時卽所謂標準之時（Standard Time）也。至於各地點固有之地方時（Local Time），非因特別需要，一般均不用。因經度每隔一五度，則時間差一小時；全世界爲經度三六〇度，故將全



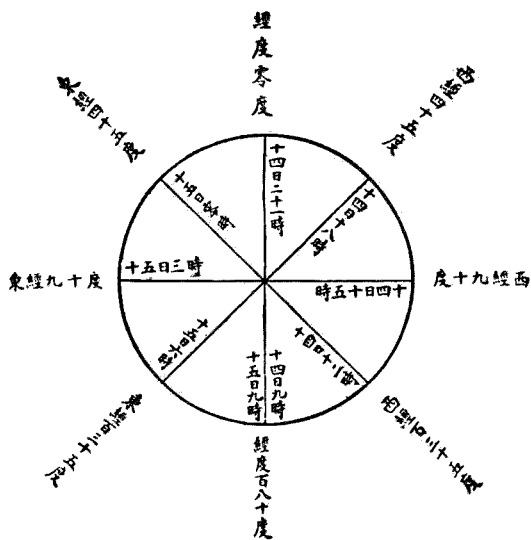
第一九圖 世界各地之標準時差

世界作爲二四個時區。此等時區之標準時，均以通過倫敦格林威池（Greenwich）天文臺之本初子午線（Prime Meridian）之時間爲起點。以此子午線爲中位之時區，即作爲第一時區，在此中位子午線以東以西各七度半之地域內，均用該本初子午線之時刻。如此，自此時區以東以西，均各設十二個標準時區，是爲國際標準時區。各相隣之二標準時區，其時間差一小時，但若其地域僅占一時區之半者，則相差僅半小時；是爲半時區。中國西部之西藏、新疆西部即爲一半時區，稱之曰崑崙時區，較格林威池之時間差五小時半。此半時區以東，即爲西藏時區，用東經九〇度之時刻，與格林威池之時間差六小時；西藏、新疆東部及川康、青海、甘肅、蒙古西部屬之，此乃萬國標準時區之第六時區。此區以東，爲隴蜀時區，西南各省，西北各省，及蒙古中部屬之，用東經一〇五度之時刻，與格林威池之時刻差七小時，乃全世界之第七時區也。此區以東，爲中原時區，又曰海關時區，以其初用於海關也；中原各省，沿海各省，蒙古東部，及黑龍江西部屬之，用東經一二〇度之時刻，與格林威池差八小時，爲全世界第八時區。此區以東，又爲一半時區，此即長白時區，與格林威池差八小時半，凡占經度廣之國家，均用數個標準時區。

每隔經度一五度既差一小時，則在東者時間常早於西，而在西者則常遲於東，故以火車或輪船行東西方向旅行時；由西向東者，因其所攜鐘表之時刻常遲，故非將其鐘表前進不可；如向東進行一五度，即越過一時區時，則須前進一小時；若行三六〇度，即越過二十四個時區，則當重加一日也。由東向西行時則反之。若在陸上以鐵道旅行，因各地均用其地固有之標準時，故到標準變換之地方，將吾人所攜之鐘表前進或後退一小時（或半小時）即可。但在海上，則不如是簡單；船在海上，其每日所在之位置，大概知之，其時間之變換，雖不若在陸地旅行之便利；但船上某日所用之時刻，乃使用與該船當日正午所在經度同經度之陸上之時刻。例如該船某日正午之位置恰在東經一二〇度子午線上，則該船於當日無論行至何處，均使用東經一二〇度時刻是也。實際航行於太平洋，印度洋，或大西洋等之大海時，船上於每夜均報告翌日鐘表之遲速，此乃推定該船當日正午所在之位置，而求得該子午線上之地方時也。但由此法所求之時刻，與陸上比較，概有多少差異；此舉在實際上無甚意味，且到一港時，仍有合其港中標準時之必要。若謂欲測太陽之高度，決定船之位置，需用該地正午之地方時，則船中自攜有時刻，亦無特別時刻之必要。正與天文臺觀測天文時，因

常備有星時計無特別測時之必要相同。

如上所述，吾人向東向西行時，因各地時刻之差異，吾人所攜帶之時刻，或遲或早，故有將吾人攜帶之時刻前進或後退之必要。時刻既須時變更，則一日之始，亦必須變更。上述之向東行則益一日，向西行則損一日，即此理也。欲說明此理，今假設吾人之位置恰在一八〇度子午線之西，又假定時刻恰為當日之九時，此時在一八〇度子午線雖為九時，但在東經一六五度（一八〇度之西側）則為八時，一五〇度則為七時，一三五度則為六



第三〇圖 在經度一八〇度兩側日曆差一日之理由

時，如此愈西則時刻愈遲。至西經一三五度，時間遲二小時，此時尙在前日之十二時；至西經一五〇度，則遲二小時，尙在前日之十一時；至西經一六五度，則遲三小時，尙在前日之十時；至於經度一八〇度線之東側，則恰遲一日，尙在前日之九時也。此種關係，無論自何子午線起算均同一樣，惟據公約，以一八〇度子午線爲國際日曆變更線 (The International Date Line)，此線恰在太平洋之中央，因通過之陸地頗少，故極便利。航海者通過此線時，由東向西者則減去一日（即前進一日），例如十五日通過此線時，其當日卽爲十六日，翌日爲十七日，在同一之日而改其日歷，殊覺不便，故普通將當日以原來十五日之日歷，用至日之終後，將十六日越過，翌日卽作爲十七日。若在十五日由西向東通過此線時，則由其日倒退，作爲十四日，翌日仍爲十五日也。

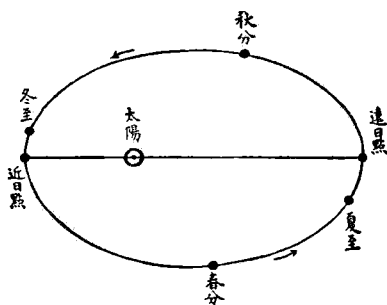
第四節 公轉

在地動說始行於世時，刻卜勒卽作成行星公轉之定律；地球之公轉運動，卽與此法則相符合者也。刻卜勒之作此定律，乃用當時所觀測之確實材料；其後牛頓由萬有引力之定律，依理論所推

想之地球公轉運動，亦完全得同一之結果。惟對於最接近太陽之水星運動，尙有不能完全在此定律之範圍內說明者；故對於近來所公布之相對性原理實感必要；但對於說明地球之運動，則不必要也。

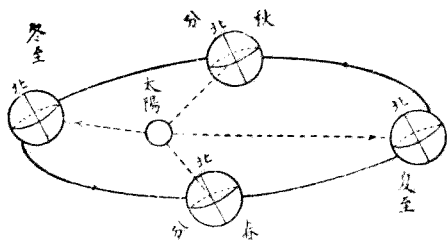
由地球上觀太陽時，則見太陽每日對於恆星，以少許之距離向東移動，經一年之後，始復原來之位置；其移動所經之道徑，在一平面內，此乃因地球運動所見之現象，非太陽本來之運動也。蓋以地球在一平面內環繞太陽，以一年爲一周期而行一次之公轉故也。此平面與地球赤道面，在今日相交約二三度二七分；但此交角，經年既久，亦稍生變動。

由地球所見太陽之大小，每日亦有多少變化；其原因蓋地球距太陽之遠近而來；地球距太陽遠則小，近則大。若由太陽之大小，將其距地球之距離變化程度每日逐記之；更將此變化與



第三一圖 地球之公轉軌道

方向同時描於圖中，則知地球之軌道成一橢圓形，且太陽恰居其橢圓軌道焦點之一。此軌道之橢圓率，約爲六十分之一。地球最近太陽時之位置，稱曰近日點 (Perihelion)，最遠太陽時之位置，曰遠日點 (Aphelion)；現今一月一日爲地球在近日點之時，七月二日爲地球在遠日點之時，在近日點之日爲太陽外觀最大之時，在遠日點之日則爲最小之時也。因此地球之赤道面與軌道面相交爲二、三度二七分，故一年之中，有時太陽照赤道之天頂上（春秋分時），有時照赤道之北，又有時照赤道之南。在近日點前約十日之十二月二十一日前後，太陽所直射之最南點，在南緯二三度二七分；但其直射之時間，精密言之，僅一瞬間耳。此時地球之位置，謂在冬至點，地球至冬至點之時刻，稱曰冬至 (Winter Solstice)。又太陽照最北之北緯二三度二七分時，地球之位置在夏至點；其時刻稱曰夏至 (Summer Solstice)，約在每年之六月二十二日頃。太陽直射赤道時，地球



第三二圖 四季區分之理由

之位置，稱之曰分點 (Equinox)，在冬至與夏至間之分點，稱曰春分點 (Vernal Equinox)；在夏至與冬至間之分點，稱曰秋分點 (Autumnal Equinox)。此二時太陽均照於赤道之頂上。春分約在三月二一日，秋分約在九月二十三日。

地球之公轉，直接影響於吾人之生活者，爲四季之區別及日之長短。冬季因地球接近太陽，地球全體因受太陽熱應最強；但此原因對於氣溫之影響，並不若日光射角大小之巨。蓋地球距日，由北半球觀之，冬至時太陽遙偏南方，距地面之角度甚小，通過之氣層頗厚，日光在途中被吸收者多；且其於地面之面積擴大，故溫度極低。又加以晝短夜長，夜間所失之熱尤超過晝間所得之熱，故氣溫遙低於夏季。但此時在南半球，太陽距地面之角較大，日光通過之氣層薄，其所照之面積較小；且其晝長夜短，晝間所得之熱較夜間所失之熱尤多，故氣溫高。至於夏至時，則與此相反，即此時北半球較熱，而南半球較冷也。

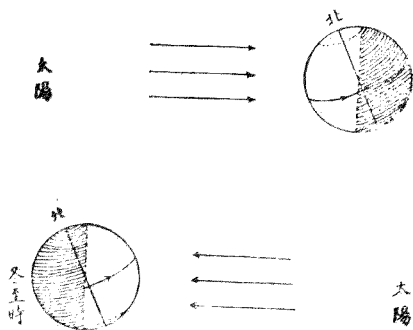
地球因自轉軸之傾斜及公轉之影響，冬至時南半球向日，北半球背日，日光所照之明暗界（即晝夜之界）與經線相交之角度甚大，故在北半球之各地，地球自轉時，因通過太陽所照明部

甚短，通過暗影部甚長，故夜長晝短。此時在北極地方，因全在暗影部，故常為夜間。在冬至時，則反之；即此時之北半球晝長夜短，此時在北極地方，因全在明部，終日太陽不沒，以東南西北之順序環繞於北平線上。而此時之南半球則與北半球相反也。

第五節 曆之基礎

地球之軌道為橢圓形，太陽在其近冬至點之焦點。地球在此軌道上之運動，受太陽之支配，常以一定不變之面積速度而運動。所謂面積速度，乃地球在單位時間，由A運動至B時，太陽與地球間之直線即動徑 Pa -

$Plus$ Vector PA SA B 所畫之面積 $\triangle PAB$ 是也。冬至時，地日之距離近，夏至時，地日之距離遠；若以面積速度終年不變，則地球冬日運動速，夏日運動緩；即 $\triangle PAB$ 之距離較 CD 長，而其所費之時間

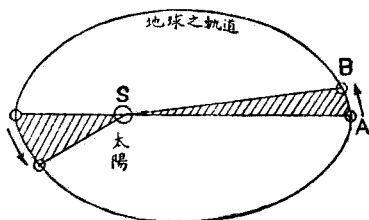


第三三圖 晝夜生出長短之理由

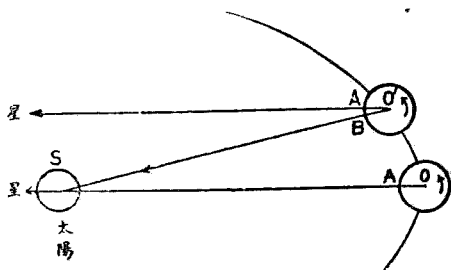
則同，故由A至B，較由C至D爲速也。

原來所謂地球自轉周期之長爲一定，乃以遠方之恆星爲準而言者也。例如A點向於某恆星，而自轉一周之後，再向某恆星時，其所費之時間，因恆星位置不變，故常一定。依恆星爲準之恆星日 (Sidereal Day) 其長雖常不變，但若以太陽爲準之太陽日 (Solar Day) 則其長常有變化。今以A點與

太陽及某恆星均相對，而經自轉一周之後，則A點與某恆星雖已相對，而與太陽則尙不能相對。蓋當地球自轉一周之時間中，地球已由C公轉至D，此時A點雖已正對某恆星，而尙未正對太陽，非再自轉至B不能與太陽相對也。AOB之角度，即與地球於一日中，在軌道上所公轉之角度OS



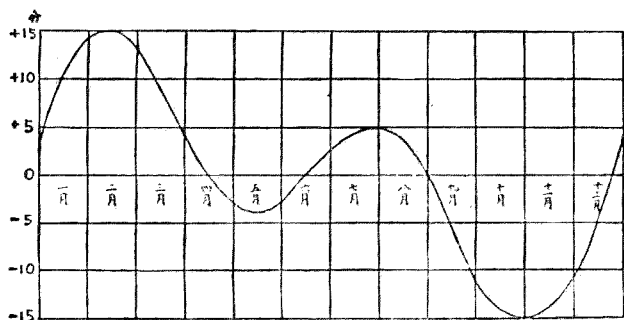
第三四圖 地球公轉運動其面積速度一定之理



第三五圖 恆星日與太陽日相差之理由

○相等；此角度之大小，即地球公轉速度之大小，因季節而有差異，即太陽因季節生長短，在實用上頗感不便。此外又因地球之軌道面（黃道面）與赤道面相交；即地球公轉之速度一定，而一日之長亦因季節而異。

今有一假想地球，與實際之地球同在近日點出發，其後在軌道上，每日以一定之角速進行，經一年之後，再與實際之地球同歸近日點。設更有第二之假想地球，當第一假想地球在春分點時，此第二假想地球亦在春分點上，其後常以能保太陽見於赤道上之狀況，以一定之角速公轉，經一年之後，再與第一之假想地球同歸春分點。如此則在第二之假想地球上所見之太陽運動，常常一定，其一日之長全然不變；此長短不變之日，即所謂平均太陽日（Mean Solar Day）者是也。吾人日常所用之時



第三六圖 時差曲線

間，即由此所作之平均太陽時 (Mean Solar Time) 也。由此平均太陽時減出真太陽時 (True Solar Time) 之差，稱之曰時差 (Equation of Time)。詳明之曆書上均載有之；在二月十一日頃，後於真太陽時一四分餘，在十二月三日頃，後於真太陽時一六分以上。

一年乃地球環太陽行一公轉所費之時間；此時間以平均太陽日表之，其長如次：

一年 = 365.2422 平均太陽日

一年之起點，乃取第二假想地球在春分點前八十度之點，此點或在晝間或在夜間，在此點之日，即定為一年之始日。今以假想之地球，於某年年始日之初，已到所約束之始點；但普通以一年為三六五日，若至翌年，則年之始點後於前年者〇・二四二二日，在第四年則後〇・九六八八日，即幾後一日，故將每四年之年作為閏年，長三六六日，則在次年之年始，假想地球又至約束之始點位置。但實際上〇・二四二二日，重四年僅為〇・九六八八日，與一日比之，尚短〇・〇三一二日，則經四〇〇年約短三日；故在每四〇〇年免閏三日，即在一〇〇、二〇〇、三〇〇等年免閏，在四〇〇年始行閏也。因四〇〇年僅長〇・一二日，故又以每四〇〇年行閏；但在四〇〇〇年後之事，無約束

之必要矣。閏年之二月爲二九日；西曆一九〇〇年不閏，其後每四年一閏，至二〇〇〇年仍爲閏年。太陽曆之月，全爲人工所作，無特別之意義；但在曆書上所載之季節，乃由第一假想地球之位置所定，與太陽之位置深有關係者也。此等季節之位置，乃以由春分點沿軌道所測之角距表之者，而此等軌道上之角距，天文學上稱曰太陽之赤經 (Right Ascension)。我國之二十四氣卽由太陽之赤經所定，其定法如次：

季節 赤經度

舊曆節中月 (釋註)

太陽曆日數

春				
穀雨	三〇	三月中	三月中	四月二十一日
清明	一五	三月節	三月節	四月五日
春分	〇	二月中	二月中	三月二十一日
驚蟄	三四五	二月節	二月節	三月六日
雨水	三三〇	正月中	正月中	二月十九日
立春	三一五	正月節	正月節	二月四日

秋						夏					
霜降	寒露	秋分	白露	處暑	立秋	大暑	小暑	夏至	芒種	小滿	立夏
二一〇	一九五	一八〇	一六五	一五〇	一三五	一二〇	一〇五	九〇	七五	六六	四五
九月中	九月節	八月中	八月節	七月中	七月節	六月中	六月節	五月中	五月節	四月中	四月節
十月二十四日	十月九日	九月二十四日	九月八日	八月二十四日	八月八日	七月二十三日	七月八日	六月二十二日	六月六日	五月二十二日	五月六日

		冬			
大寒	三〇〇	十二月	中	十一月	八日
小寒	二三五	十二月	節	十一月	二十三日
冬至	二一〇	十一月	中	十二月	八日
大雪	二五五	十一月	節	二月	二十三日
小雪	二四〇	十月	中		
立冬	二二五	十月	節		

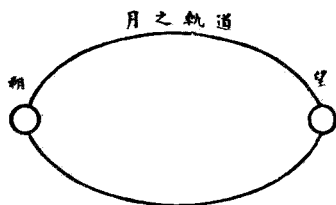
(譯註) 節與中爲舊曆中稱節氣之名，蓋每一節氣既相隔十五日，則一月之中必有二節氣，月初之節氣曰節，月中之節氣曰中，如立春爲一月節，雨水爲一月中，節之所在日份雖常有變更(因月大月小之故)而中必在一個月之內也。

節氣乃表太陽在黃道上所在之位置。二十四節氣中，每一節氣相隔赤經一五度，其相隔日數約一五日；太陽曆乃等分一太陽年所作成，節氣既相隔一五日，則用太陽曆時，節氣所在之日每年略同，記憶殊爲便利。

月環地球而廻轉，若轉至地日之間，則爲朔，轉至反對側，則爲望，陰曆之一月始於第一次朔而終於第二次朔之前日。此朔與朔間之長，爲二九·五三〇五九日；其月卽以朔與朔間之中間節氣之名名之。但中與中之間，長三〇·五八一三六日，較朔與朔間之周期長一〇·五〇七七日，故有時朔與朔之間，不含有中，此時則其月無名可稱，不得已作爲閏月，以前月之名稱之。此事每二二個月餘卽有一回（ $1.0577 \times 28 = 29.42156 \text{ H}$ ），卽每隔二年又四個月，須將次月之月分遲延一月；故如此所定之陰曆月日，與季節斷無符合之理也。

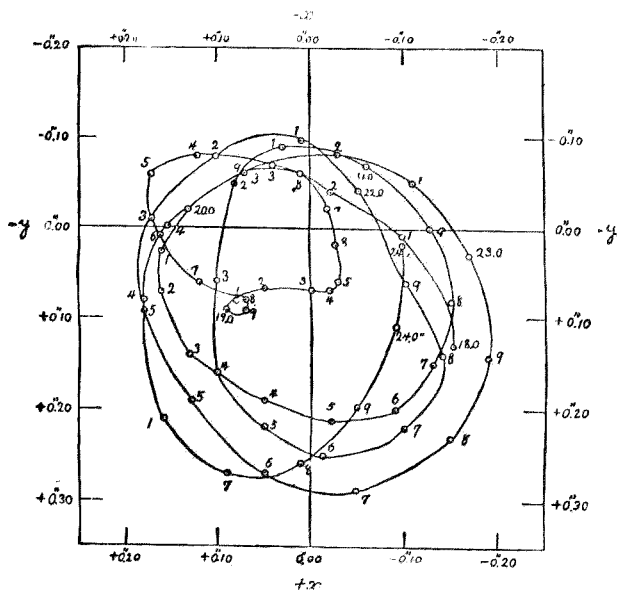
第六節 自轉軸 (Rotatory axis) 之運動

地球之自轉，沿一定之軸而轉動；又在公轉時，其自轉軸對於恆星之方向，普通雖謂不變，但詳細論之，此自轉軸在地球中，亦常多少



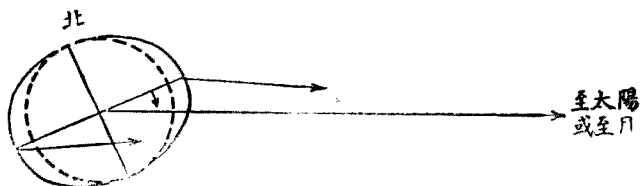
變其位置。又公轉時，其軸之方面，對於恆星亦常有輕微的變化者也。

自轉軸在地球中之變化，即南北極之位置對於地面之變位，因兩極對於北面變位之結果，於是地表各地點之緯度亦常起變動；據實測之結果，亦可知其有變位也。極之位置，乃沿半徑約一〇公尺之圓周而變動，但此圓周，絕非真圓，其半徑時大時小，約以十四個月為一週期而變化者也。兩極既生移動，則自轉軸對於地球亦生變位。



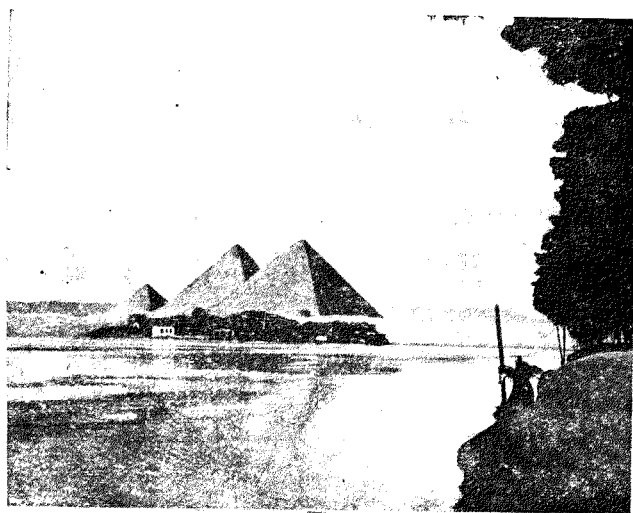
第三八圖 由一九一八年初至一九二四年二月初北極位置之變化（一秒為三〇·八公尺）

地軸不惟對於地球本身變位，且對於恆星亦變位。地球之赤道面，與軌道面相交成二三度二七分之角度；而地球之形，非真球形，乃一扁平橢圓體，故作用於赤道膨起部之日月引力，兩側之強弱不同；即接近日月之側強，反對之側則弱。因此之故，作用於軌道面方向之日月引力，常有將赤道面牽引而使與軌道面一致之勢。地球因一面受引力牽引，一面又行自轉，其結果地球恰如將倒之獨樂，其軸且自轉且畫一錐形之面而搖動；地球之此種搖動，稱之曰歲差（註一）運動。因此結果，遂生出分點之前進，即春分點之位置，常常由東向西移動，而地球則由西向東進行。故由太陽之位置所定之年，每年均稍稍短縮；其短縮之角度，每年約 $50''$ ，其短縮之時間，每年約二〇分二三秒。一年之長，詳細言之，因其長不一致，可分爲兩種：以春分點爲準，即地球由春分點出發，再歸春分點之周期，可作爲一年（回歸年）；又以恆星爲準，即由地球見太陽與某恆星相對之某種位置



第三九圖 歲差運動之原因

出發，更再回同一之周期，亦可作為一年（恆星年）。若春分點對恆星不動，則無論何年，其長均等；但春分點，乃由東向西常常移動，故由春分點所定之年，較由恆星所定之恆星年短；此二者之差，即前述二〇分二三秒也。北極星乃位於地軸方向之星，因地軸之方向由歲差運動而變化，故在外觀上，北極對於地軸之相對位置亦生變化。春分點移動之結果，時間既生出二〇分二三秒之差異，則對三六〇度之軌道，當移動五〇・二秒之角度；春分點每年既移動五〇・二秒，則移行一周復歸原位時，需二五八〇〇年。



第四〇圖 金字塔

(註一) 歲差即分點之前進 (Precession of Equinoxes)。

埃及之金字塔 (Pyramid) 中，由其中央之石室，向正南北開一真直之孔道以窺天上，其孔道傾於水平面者約二六——二八度，因其地約在北緯三〇度，若從孔道窺天時，則見北極星下方二——四度之處。此事由歲差運動想之，則在紀元前三五六〇——三二〇〇年之間，天龍座之 α 星，當在北極星下方二——四度之位置，金字塔爲何目的而作，雖不得知，但由其中之石室窺天時，恐係爲白晝觀星而作；此孔道於一年中，恐均能觀測北極星附近最光明之天龍座 α 星也。

第四章 地球之表面

第一節 何爲地殼 (Earth's Crust)

在地球之表面，吾人能直接覺見者，爲空氣、海水、岩石及生物等是，今暫置生物，僅就前數項分述之如次。

空氣在接近地面之下部，主由容積七八%之淡氣，二〇%之養氣而成；比重約〇·〇〇一三。空氣在海面之壓力，平均等於同面積大之水銀柱七六〇耗高之重量。水銀之比重約一三·六，平均與空氣之比重比較，若空氣之成分密度上下同一，則由水銀柱之重量所算出之空氣層厚度，當爲八〇〇〇公尺。但實際愈至上層，則空氣愈稀薄；又其成分，在接近地面之低層，雖以淡氣與養氣爲主，更混以少量之他元素；但在地面上約七〇公里之高層，則殆無養氣，淡氣亦開始急減，而同時

輕氣急增，若至九〇公里之上層，殆全爲輕氣矣。若再昇至五〇〇公里之高處，則有地面所不能見之地冠氣，（譯註）成非常稀薄之層而附於氣層之最外部，此恐像大氣層之最外臨界也。

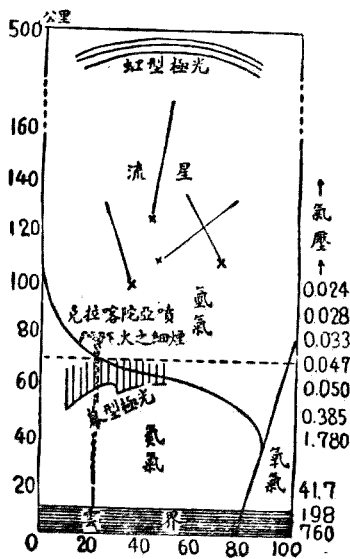
（譯註）地冠氣(Geocoronium)乃地

球最外層之輕薄氣體，形同太

陽最外層之日冠(Corona)。

海及湖等，乃地表之凹處停水所成，大海多達四〇〇〇公尺之深度，菲律賓羣島之岷達那峨島東方深海，深達一〇〇〇〇公尺以上，海水又有食鹽及其他之物質溶解於其中，其最平均約三五%。

除去空氣及水，而僅就地球之固體部觀之，現於表面之硬殼，即所謂地殼者是。地殼表面與水



第四一圖 空氣層

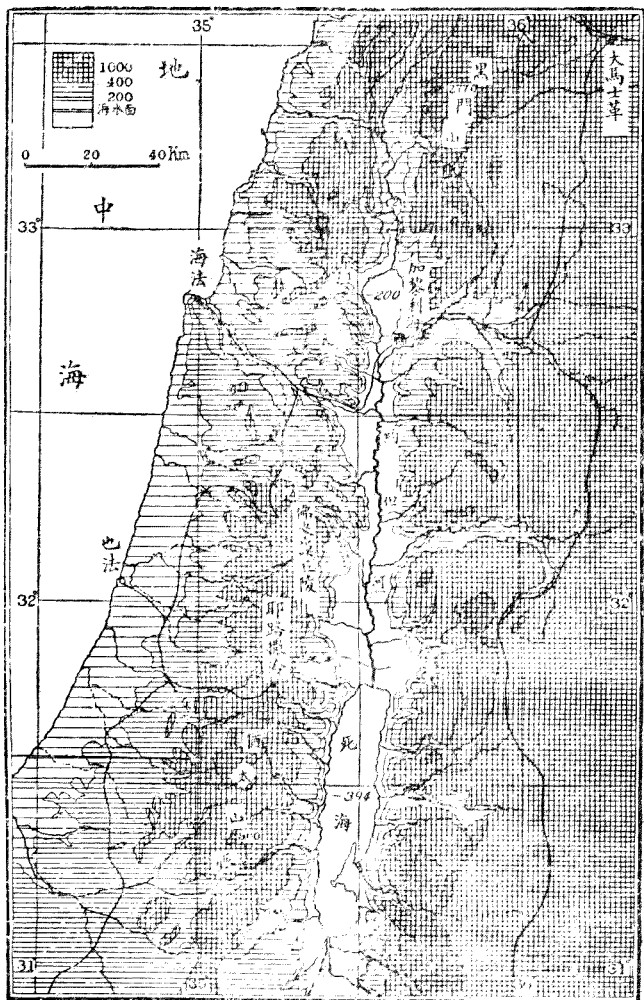
及氣之界雖較明瞭，但其下部，至何深度始爲其界，則尙未知也。若欲知之，非待地球內部狀況明瞭之後，不可達其目的。地殼之厚度，雖不能用精確之數字表之，但大概約距地面六七十里之深處，猶爲較堅硬之岩石；自此以下，至五六百公里之深度，似爲較軟之部分；由此再入下部，則又大增其堅硬度。由此思之，則由地表至六七十里之深度，亦可謂之爲地殼矣。

地球之內部溫度極高，由火山溫泉噴出之事實即可知之；即不在火山溫泉地，若掘地之深處，亦可見其溫度漸漸增高。如後面第十二章所述，在地面之近處，向下每進一〇〇公尺，溫度即昇高攝氏三度；再至深處，其增溫之速度雖不若是之大，但進至地下約五〇——一〇〇公里之深處，則遠可熔融普通岩石之溫度；自此以下，或更增高亦未可知。因此有謂地球內部，岩石熔融而爲液體者，亦有謂其溫度高而爲氣體者。對於內部雖有種種假說，但地球外部之地殼，則確指固體之部分而言。其後經種種研究，地球之內部，有在地上之鋼鐵二倍之剛性率，故知其非爲液體或氣體。即謂地殼之下，稍有柔軟之部分，柔軟之度亦極微，較之封蠟約硬一萬倍，因之，雖云地殼，然其與內部之界限，亦不如從前所想之明瞭。但普通對於地殼之深度，不明白定出，僅謂近於地面之固體部分即

可，有特別必要時，則臨時定之。

第二節 地殼表面之高低

論地球之形時，謂地球爲 Geoid，或謂地球爲標準橢圓體，但此乃指海面，或引海面於陸地內之形而言。至於地殼之表面與 Geoid 比較時，則有相當之高低差：較 Geoid 面高之部分，即陸地之最高部，爲喜馬拉雅山脈中之埃佛勒斯峯，超出海面八八四〇公尺；較 Geoid 低之部分，即海底最深處，爲菲律賓羣島，岷達那峨島東方恩登深淵 (Ender Deep)，深約一萬公尺。在陸上最高處與海底最低處之間，有種種高度及種種深度之起伏。即在陸地之內部，亦有多數低地；如死海 (Dead Sea) 之水面，低於海面者三九四公尺，其深約三五〇公尺，則其底當在海面下七四〇餘公尺。即連於此海之約但河 (R. Jordan) 谷，平均亦在海面下二〇〇——三〇〇公尺。但此種地方，與地球之總面積比較，其所占之面積極少。今以地球之形爲扁平橢圓體，以其赤道半徑爲 a ，南北半徑爲 b ，則地球之面積可用次式表之：



第四二圖 約旦河谷

$$\text{面積} = 2\pi a^2 + \frac{\pi b^2}{e} \log \frac{1+e}{1-e}$$

在地球之兩半徑中，更用第二章中所示之值計算之，其面積如次：

面積 = 510,100,800 平方公里

至陸地與海之面積，究爲如何之比例；若精密計之，則極繁難。欲知水陸之面積，須用面積真確之大比例尺世界地圖，就緯度每隔五度間之地帶，精密測定海與陸之面積；然後將各緯度帶之面積合計之，即可得其總面積。但地圖乃將球面變爲平面之擬似物，在一張圖上，欲使各部之面積均真，爲事實所不能，故務須選擇面積較真而較等之地圖測之。如用普通地圖，則須先測定各帶中之海陸面積，然後求夾成該帶之二緯線之真實長度，參照地圖上所表之長度計算之，始能得其真正之面積。曾測定地表水陸面積者頗多，但以一八九五年，瓦格涅爾（Wagner）所計算者較爲精確；但在當時，兩極地方之水陸面積尙不確知，故兩極地方之面積則不詳；即在今日，兩極地方之水陸面積猶不明瞭。瓦格涅爾先求得陸地之面積，然後用柏塞爾之橢圓體，計算地球全體之面積計；次

以所測得之陸地面積，由地球全面積中減出之，所得之差，即作爲海之面積；以此方法所算出之海陸面積如次：

陸地之面積 = 144,449,000 平方公里，占全面積 28.3%

海洋之面積 = 365,501,500 平方公里，占全面積 71.7%

此數之差誤，最多亦不致超過五〇〇〇〇平方公里以上。其後克輪麥爾 (Krimmel) 亦曾以同樣之方法測定海陸之面積，但其所測之陸地面積，較瓦格涅爾所測者，約大三%，今將其所測之結果示之如次：

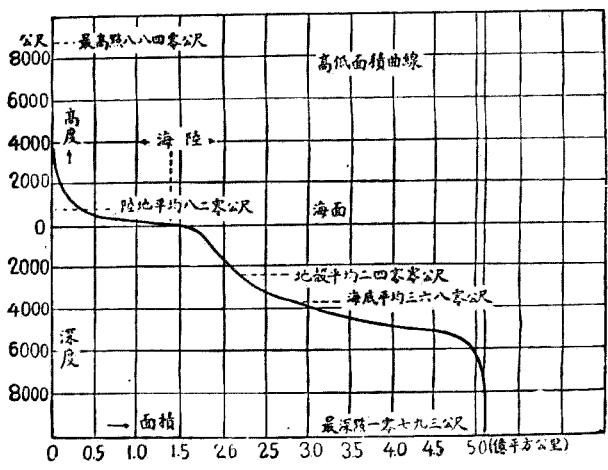
陸地之面積 = 148,822,000 平方公里，占全面積 29.2%

海洋之面積 = 361,128,000 平方公里，占全面積 70.8%

如此，因各人所用之材料及其所取之方法不同，其結果雖有多少差異，但平均陸地之面積，約占全面積二九%；海洋面積，則占七一%。

雖同爲陸地，或同爲海洋，然其高低深淺亦不同。前所述之陸地最高點，與海中最深點，其面積

雖至狹小，然其中間之種種高處及種種深處之面積，則極廣也。欲知種種高處及種種深處之面積，須先詳細調查陸上及海中之地形。在陸上以等高線（水平曲線），在海中則以等深線，表於圖上而作全世界之地形圖；圖成之後，則依前法，於每隔緯度五度之地帶中，先測定由八〇〇〇公尺以上至最高點之面積。各五度之緯度帶中，既加入此高度之面積時，於是全世界該高度地帶之面積以得。次更用同樣方法，測出七〇〇〇公尺以上各部分之全面積；如此更測至海面為止，遂將海面以上，即陸地全體之面積測出矣。此後更將由海面下一〇〇〇公尺之深度至陸上最高點間之面積測出，次又以



第四三圖 高低面積曲線

同樣方法，由海面下二〇〇〇，三〇〇〇公尺，以及海底最深處逐次將其面積加入，遂得地球全體之面積。如此將各高度及其面積之關係以圖表之，遂成意義極明瞭之高低曲線（或曰高低面積曲線 [Hypsographic Curve]）。此圖中之縱線表高度，其橫線則表各高度地帶之面積，將各高度與其面積連結之，遂成與地殼表面一般地形相類之高低曲線矣。

如普通之想法，當調查高度與面積間之關係時，不將各高度之面積依次加併，而將某高度與某高度間（例如三〇〇——六〇〇公尺）間之面積算出，即獨立記入以作圖；如此所作成之圖，因其面積不能表出其高度之連續函數，遂成一高低不規則之曲線。如上所述之高低曲線，不分別記算各高度之面積，而將某高度以上之面積與某高度以上之面積連續測算，如此所測得之面積，可以連續函數表之，此曲線既成，則由此可知某高度與某高度間之面積。其法即在圖中之縱線上，從某高度與某高度之二點，引與橫線平行之二線交於曲線；然後測此二平行線由縱線至曲線間之長度。此二平行線上，乃表示較此二高度尤高部分之全體面積；故求二直線長度之差，即得該二高度間之面積矣。就曲線之形而言：曲線之傾斜小，即與橫線略平行之部分，其面積極廣；而曲線之

傾斜大，即與縱線略平行之部分，則其面積極狹也。

觀高低曲線之形時，由陸上最高點之八八四〇公尺以下，至於一〇〇〇公尺之間，曲線傾斜甚急，其面積僅占全陸面六%；此部分即當於陸地內部特別高之山地部分。至一〇〇〇公尺以下之部分，曲線之傾斜極緩，此緩慢傾斜，繼續至二〇〇公尺，其面積占全陸面二八%，此部即與大陸之平地相當。而海面下繼續至二〇〇公尺之處，稱爲大陸架，或稱大陸裾 (Continental Shelf)，其傾度與陸岸約相等，形如大陸之終端。由海面下二〇〇公尺至三〇〇公尺之部分，其傾斜又較急，故此間之面積亦較狹，僅占全陸面九%；此乃表示由大陸架之終端急傾於深海之部分。自此以下至五〇〇〇公尺之深處，曲線之傾度又緩，此乃大洋之底部。自此更下，至最深處之九七八〇（或九九五〇）公尺之間，曲線之傾斜又甚急，此乃表示其面積頗小，如太平洋之深海溝，即當於此部。今更將此等高度與其面積用表示之如次：

高低區域	高度之範圍(公尺)	面積(百萬公里)	平均高深(公尺)
高陸地	+2000公尺以上之高地	31	+2200

低陸地	+ 200 至 0 公尺	}	144	+ 250
陸架	0—200			
海斜底	— 200 至 — 2300		46	— 1300
平海底	— 2300 至 — 5000		275	— 4100
深海底	— 5000 以下之深海		15	— 6000

由上表觀之：即占最廣之面積者，為平坦之海底及低陸地，此二者平均相差約四三五〇公尺。

第三節 海陸之配置

地殼表面之起伏雖雜，但大別為海陸二部觀之，則北半球多陸，南半球多海，北半球之陸地，由

歐亞大陸（註一）及北美洲二大塊而成。此二大塊，即占北半球之大部，此外更加入非洲最廣部之

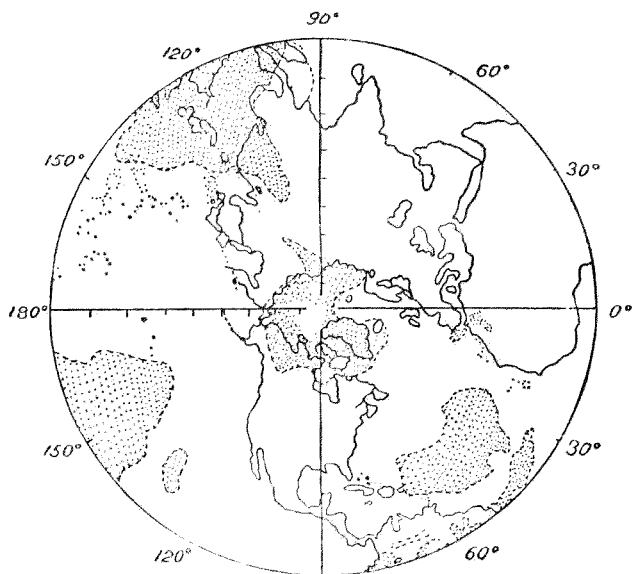
北非洲，其陸地之面積更廣矣，此等北半球大陸，均呈三角形，且其底邊均向北，頂端均向南，故漸向南，則其面積漸狹。此三角地形，不獨北半球之各大陸為然，即南半球之大部亦然。至於南半球之大

陸，除非洲、南美及澳洲而外，尙有南極大陸（Antarctica）。但此等南半球大陸，其面積均小，且因呈三角形之故，愈至南方，其面積愈狹。非洲分布於赤道兩側之等距離，以其面積言之，在北半球者，較在南半球者尤廣，宜乎應作爲北半球之大陸；然而普通以非洲全體均作爲南半球之大陸。陸地多分布於北半球，水多分布於南半球，乃極粗略之觀察。然細察之：水陸分布之極端界線，並不在分離南北兩半球之赤道；故單謂北半球多陸，南半球多水，其意義尙欠明瞭。是以地理學上，設定一線，將全地球分爲二半球：其一半球，務使容陸地最多；其他一半球，務使其容水最多。此陸多之半球，稱曰陸半球（Land Hemisphere）；其水多之半球，稱曰水半球（Water Hemisphere）。分此水陸二半球之界線，概言之，卽在地球儀上，由非洲南端海岸，引直線至中國東南海岸，更將此直線延長成一大圓，卽得陸半球之極，在法國西岸羅爾亞川（Loire）之南特（Nantes），水半球之極，在其對腳點之新西蘭（Newzealand）東方海中（註二）。

（註一）歐亞大陸（Eurasia）乃合歐洲及亞洲之總稱也。

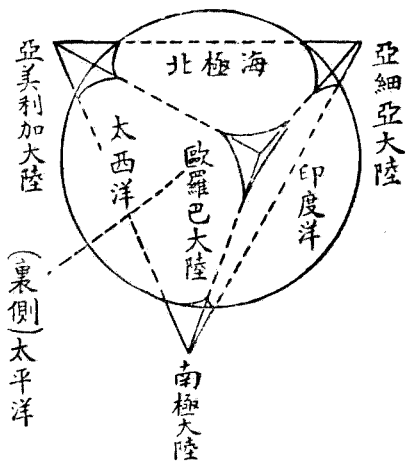
（註二）根據彭克氏（Albrecht Penck）之測定。

吾人觀察水陸之配置時，最足引起注意者有二事，其一即各大陸與各大洋均在對腳位置；其二，即各大陸之外輪，均呈三角形是也。所謂海陸均在對腳位置，即大陸之反對側均爲海，而海洋之反對側均爲大陸；例如亞洲澳洲之反對側爲大西洋，歐非二洲之反對側爲太平洋，北美洲之反對側爲印度洋，南極大陸之反對側爲北極海是也。各大陸均呈三角形，以南北美及非洲觀之固甚顯著；而以歐亞大陸觀之，則不甚明瞭，但若將澳洲及塔斯馬尼



第四四圖 海與陸之對腳關係

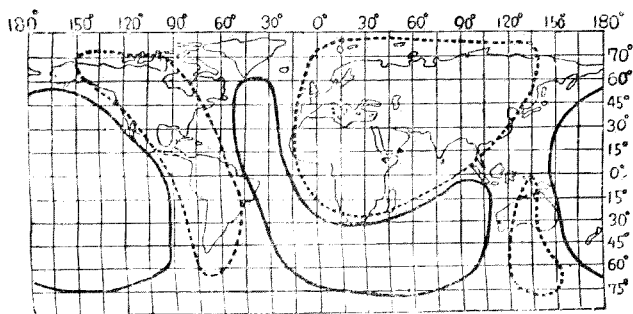
亞 (Tasmania) 加入觀之，則仍呈一大三角形，惟不甚規則耳。此海陸在對脚位及陸地呈三角形之二事實，究係何意義，據格林 (Tawthian Green) 氏之解說，謂：地球之固體部呈四面體，此四面體之四面瀦水而成海洋，海洋之表面成球形；至四面體之四角，則突出海面而成陸地，故陸與水相接之部分，均呈三角形也。原來四面體，乃正形多面體中之最簡單而最小者，凡球體收縮時，最易成此形。當地球冷却，表面成皮殼，其面積固定之後，其內部仍繼續冷却時，則漸漸變形而成四面體。格林氏曾用橡皮球，抽出內部之空氣，結果適成四面體，遂證明其說不誤。此說雖極簡單明瞭，但南美及澳洲與其北方相接續之陸地比較，十分向東偏倚；又非洲之南部，與北部比較，亦多呈此形勢。故對於格林氏之學說須加補充，即：地球之南半，對於北半稍向東扭也。



第四五圖 格林氏之四面體

此種想法，初聞之似覺有理，但細思之，則缺點頗多，故今日猶不能深信。其說之根據甚淺，理論亦復粗略，若注意細思之，即可知其不精確。又如後十三章所述，地球外部凝固後，地球內部始冷却之事亦屬疑問，即令內部冷却，而地球以極大之速度行自轉，亦能如橡皮球之實驗而收縮乎？

與此說比較，更近於物理學之解釋者，為拉貝（Lalbe）氏之學說。氏最先即由調查地表之水陸分布入手。原來調查球面上之配置時，使用所謂球面函數之數字，較為便利。此法即先設一軸，以此為基礎，恰如普通經緯度之分法，將球面上之配置，應其程度分別觀察之，其第一次之配置，即將球面分為兩半，而觀察其兩半示有反對之性質與否。此時之問題，即觀察陸與海分布於兩方之程度。對於尚不能完全表盡之殘



第四六圖 拉貝氏之海面配置

餘部，則作爲第二次之配置，更將兩半球各分爲二，仍如前觀察之，次更繼續進行第三次第四次之分別觀察；但若對於球面有一定關係之配置時，大概在第一次或第二次即可表其配置，其所餘則極少也。拉貝氏以此法調查地球上陸海分布之結果，遂知僅用第一次與第三次間之球面函數即已足；於是擬以重力的不安定而說明此原因云。

一般形態之平衡，在外力較其內部之分子力小時，乃屬安定；即以力稍變其形，然所施之力去後，必再復其原狀。今以地球最初爲熔融體，迄凝固之後，更行冷卻，即成今日之狀態。在此冷卻時間中，各部引力所作用之力，大體常成球形；但地球表面之某一部，因或種原因，其比重時有增大之事，因之，此部分遂生局部的引力中心，而牽引其周圍之各部。若全爲液體，因無局部比重增大之事，惟粘性十分增大時始有之。因有此局部引力，遂使他部變形，而集中引力中心之方向。又在十分凝固後，此種事實或亦不致發生；其發生之時期，乃在其前之某時期。因有此事實，於是在該部分物質集合益多，局部引力益強，結果變形亦愈甚。即地球在某時代爲重力不安定之狀況，因係在此重力不安定狀況之下十分凝固者，故今日猶殘留其形跡也。

以上各種理想，乃以現在之海陸分布爲基礎而言；但古時之海陸分布，亦如現在之分布乎，無多少疑問。據地史學上所述：在過去之各地質時代，海陸之分布及其形狀各異，即如大西洋與印度洋，有謂係古代（Paezoic Era）陸地之一部陷落而成者；又如後第十三章之末所述，衛格涅爾（Alfred Wegener）氏更謂古時之大陸，均團集於一處，其後漸次分離移動（譯註）結果遂成今日之配置。若海陸之分布古今果不同，則格林氏之四面體說，完全失其根據；但若果海之一部，曾爲古時之陸地，或陸地古時，曾集於一團，則用球面函數時，僅各次之項的程度變更，而第一次之項益見顯著；如此則對於重力不安定說，益形便利。

（註）Wegener 氏於一九一二年唱有名之大陸漂移（Theorie der Kontinentalverschiebung）謂地殼

爲浮於岩漿（Magma）層上之塊，常常流動。

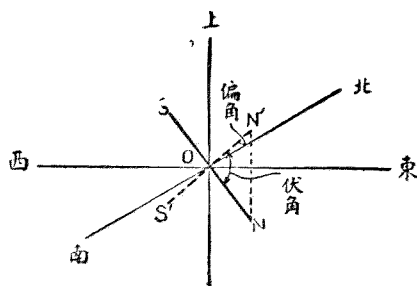
第五章 地磁

第一節 地磁(Terrestrial Magnetism)之要素

地球之有磁力，人皆熟知；又地表各地之磁石，均略指於南北方向，亦盡人皆知之事實。欲知各地磁力之狀況，僅此尙不能滿足，非再明白表磁力之狀況不可。先取一真直之普通鋼鐵針或棒，用絲線懸其中央，使成水平，此時因懸於針之重心，故將絲扭轉，則針在一水平面上自由轉動，隨處可以靜止。次將此針附以磁性作成磁石。至作磁石之法：或用有強磁性之磁石二條，以其相異之極，將鋼鐵棒由中央向兩端置之；或將鋼鐵棒置於電圈中，然後通電流時，亦成磁石。待磁石成後，復用絲懸其中央，則此時與前不同，不成水平而傾於一方。但普通之磁針，仍成水平而靜止者，蓋因在附磁力之後，始求其重心而支之，故其所支者，非真正之重心，乃重心旁之一點；此乃以反對方向之重力，

防有磁力所生之傾斜而使成水平者也。由實驗上求得重心而支持之磁針，其一端必因磁力之作用稍傾斜，決不致成水平；又縱將繫針之絲稍稍扭轉，因針受磁力之影響，亦不致偏常指一定方向。吾人欲將此方向精密表出，先設定包含磁針之垂直平面，以此垂直平面與水平面相會之線為 OA 。 OA 之方向雖亦有成正南者；但大概均偏東或偏西，其所偏之角度，稱曰磁力偏角 (Declination)。費通以磁針之北極對於真南北方向偏西者為正，偏東者為負。又磁針在垂直平面中，雖亦恰成水平而與 OA 線之方向一致；但大概均向上或向下傾斜，此向上向下之傾角，稱之曰伏角，或曰傾角 (Inclination)。在北半球言之，以磁針指北極之端傾於水平面下者為正，仰於水平面上者為負。

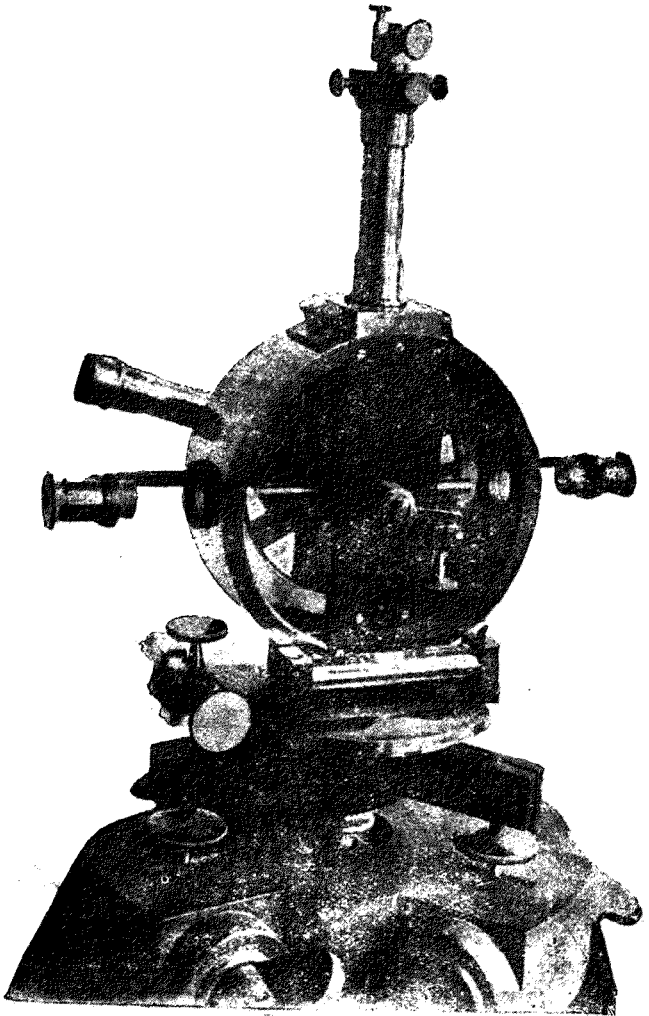
測定偏角與伏角時，各有特別之器械。測偏角時，將磁針支成水平，由刻有方位度數之水平圓



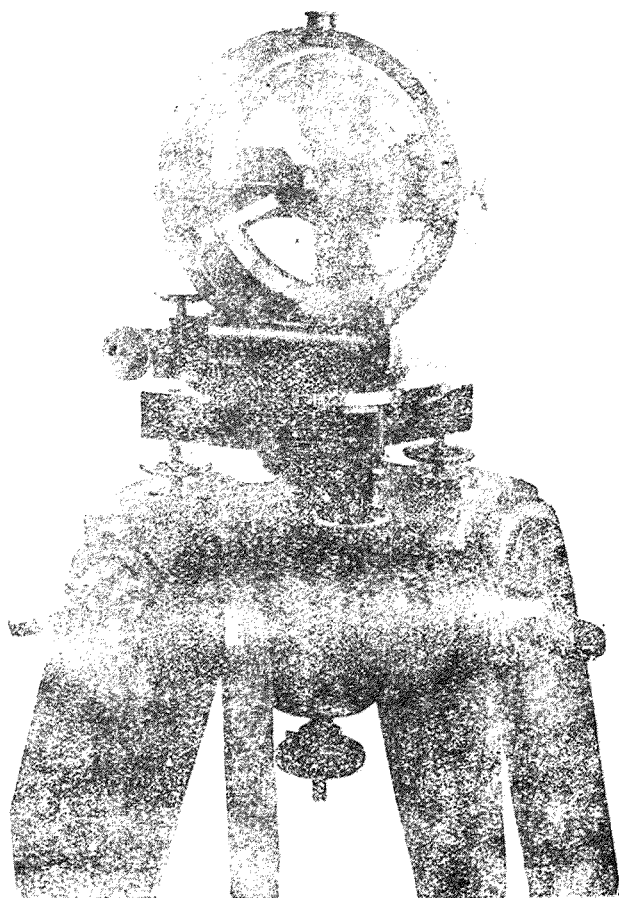
第四七圖 地磁之三要素

NS為地磁的實際方向及強度

N'S'為其水平分力



第四八圖 測地磁氣偏角之裝置



第四九圖 測地磁氣伏角之裝置

盤而可測知其所指之方向；又如用望遠鏡觀星或太陽，以測定真正南北方向而記於磁針之圓盤上，此真南北方向與磁針南北方向之差，即該地磁針之偏角。又測伏角時，乃將磁針支於量心，而記其所指之方向於垂直之分度圓盤上，然後用其上之水準儀，測知水平面之方向；此磁針所指之方向，與水平面之差角，即伏角也。原來垂直圓盤與磁針，均可沿與盤及針成直角之軸而迴轉；當實測時，務須將此二者轉動，以求其最大之傾度。無論測偏角或伏角，其方法原理雖甚簡單，但實行時，則極繁難，普通僅能精確測至角度一分以下之小數而已。

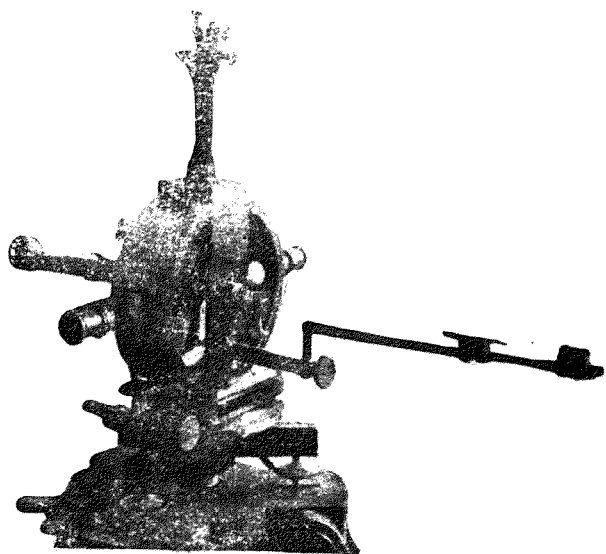
方向既定，對於磁力之強弱亦不能不測知。將磁針用絲懸吊後，以手推之，於是磁針暫時左右擺動。此擺動因係磁力之作用，故測定其一擺動之時間，由此即可知磁力之強弱。實測時，因磁針懸於水平位置，故作用於此磁針之力，非該地磁力全體之強度，乃僅作用於其水平方向之磁力；此水平方向之磁力，稱曰水平分力，一般均用 H 表之。懸於水平方向之磁針，其擺動之速度，不僅與水平分力有關係，且與由磁針之形而定之慣性能率 k ，及磁針之大小與磁力之強弱而定之磁性能率 α 有關係者也。可以次式定之：

$$T = \sqrt{\frac{K}{MH}}$$

式中 K 之積雖可知，而 H 則不能單獨知之。但此磁針之真東或真西，若將他磁石接近時，則稍偏倚；由此關係，則 H 之比可以決定， H 之值始可單獨知之。

表地球磁力之單位，均用 γ 單位，當於普通 1000γ 之力的單位一千分之一；實際測定時，僅能正確測至 γ 之十分之一以下。

若知偏角、伏角及水平分力，則地磁之狀況自明；但有時更將磁力大小之水



第五〇圖 測地磁水平分力之裝置

平分力，分爲東西與南北二種，其中又加入上下方向之分力；用此三種分力，亦可將某地之地磁狀況完全表出。但此乃理論上之研究時用之；至實測時，則常測前述之三要素而已。此三要素既知，則三個方向之分力自明。又三方向之分力既知，則偏角、伏角、水平分力三者亦可知也。

第二節 地磁之變動

地磁常以輕微之程度漸漸變動，其變動之狀況有種種，有依一定之周期而行規則之變動者；此規則之周期變動中，又有以一日爲周期之每日變動，及以一年爲周期之每年變動，更有以極緩之速度而漸漸變動者，但此種緩慢之變化，其大部分亦有周期，周期似頗長；此外更有於極短時間內起劇激之大變化者。

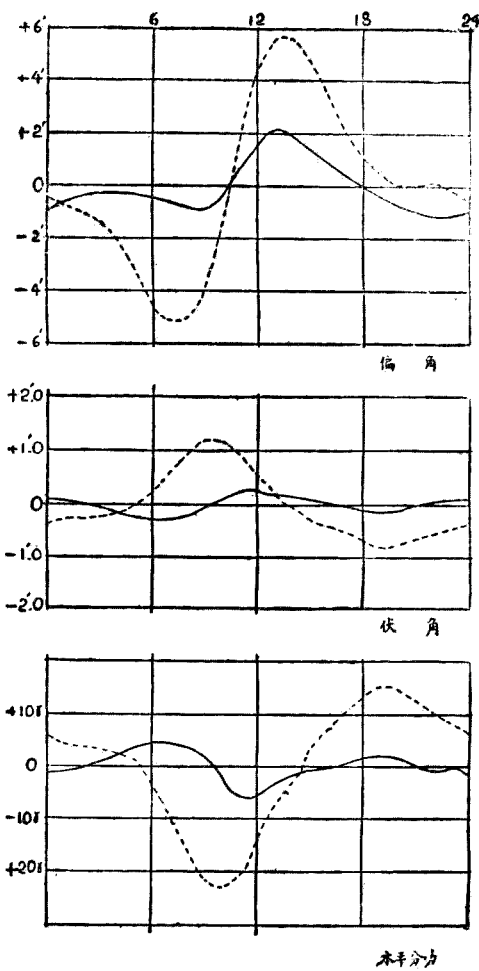
實際上之地磁狀況，乃由此等變動綜合而成，故其變動甚雜。欲分別此等變動，須經長時間之觀測而取其平均狀況方可。例如一日之變動，則須每時間皆加以觀測，或用攝影法觀測磁針之變動狀況均可；蓋僅由一次之觀測，則一日變化之有無；有時不可得而知也。若蒐集長時間所觀測之

結果，而作每日同時間之平均值，則可見其爲規則之變動；蓋一日變動以外之變動，恰起於同時刻者極少，故在平均時中，自然不能見之。凡從複雜現象中，僅調查某種關係時，概可用與此相似之方法。但若遇繼續行於長年間之變動，則在上述之平均法，其最初夜中之值與其第二十四時之值決不相同，（例如後之值大，）此時須將其差作爲二十四等分，對於十二時以前之各時間，加以相當之修正而加入於最初之值；對於十二時以後之各時間，則由最初之值減出之，如此則完成一日之周期變動。然實際上，時有意外之磁變動，此種意外之磁變動，稱曰磁狂（Magnetic Storm）；磁狂之變動較一日之變動頗大。因此，縱單取一日之平均，而一日之變動仍不能明，故普通均避磁狂日，而取穩靜日以求一日之變動也。

地磁之一日變動，因季節而不同；普通夏季較冬季之變動大。此外又因年而有差異。地磁常與太陽黑點之數有關係。因黑點之數，平均約隔一一年餘即多一次，其時地磁之每日變動亦劇。

對於地磁之觀測，從來行系統的研究者，爲倫敦近郊（Kew）丘觀測所之克里氏。氏於十一年間，僅就無磁狂之日觀測，其所得之平均值，如圖中所示之曲線，即夜間雖較穩靜，而在天明前，則忽

起變動，其最大之變動起於晝間，至夜間，復歸穩靜。其變化之範圍，夏季約為冬季之三倍。但在變動最大之六月，其偏角達一〇分，伏角達二〇分，水平分力達四〇。

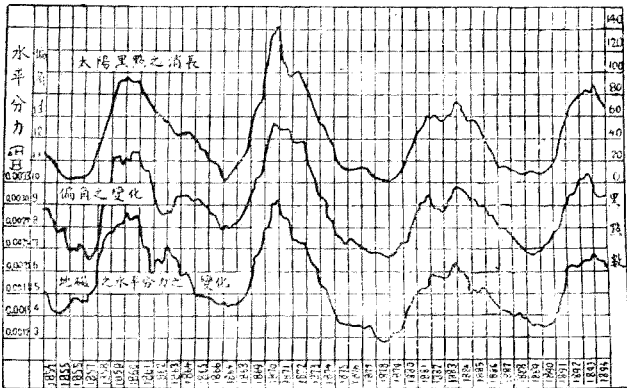


第五一圖 丘觀測所地磁氣要素之每日變化 (十二月至六月)

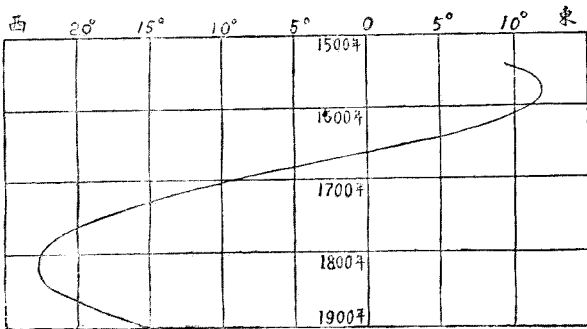
此變動因地方而有顯著之差異；自一般言之：接近南北極時，其一日變動之範圍亦大（在倫

敦約十一分，在南極約二七分。）如此一日變動之範圍，既因地方而有差異，又以一年為周期而漸次變動。此外尚有以十年餘為周期而變動者；拉孟氏（La Mont）曾於四十年間，調查此變動，結果認定此種變化，幾與太陽黑點數之變化相同。

地磁極長時間之



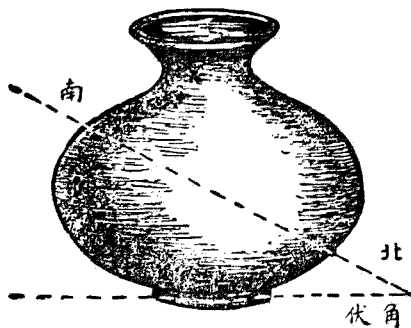
第五二圖 地磁變化與太陽黑點之關係



第五三圖 在巴黎偏角之永年變化

變動，在柏林附近，其偏角原爲四〇度半，但在最近二五年間，已減至七度半；其伏角初爲六六・五度，途中爲六六・二度，其後更復原來之度數。在巴黎由一六世紀中葉即觀測地磁，據其所觀測之材料：其偏角最初偏東，偏度漸次增加，至一五八〇年頃，遂達一一・五度；自此漸減，在一六六〇年，偏角全無，指正南北；其後更偏西，至一八一四年，偏西二二・五度；其後又開始減小；即其變動周期，似爲二三〇年，即在今日，每年仍繼續變動五分或六分云。

地球之永年變動，因無觀測之材料，故在極古年代之變動狀況，不可得而知也。直接之觀測材料雖無，但可用他方法知之；即陶器及火山熔岩等之含鐵物，一旦受熱而徐冷時，則因該地之磁力感應，遂帶微弱之磁性；其所帶磁力之方向，與該地當時之方向無異。故詳細檢查古墳中之陶器及火山熔岩等，決定陶器兩極之位置時，即可知當時之地磁狀況。又陶器在燒煉之當時，當然以其底置於平臺上而燒成；故知其磁

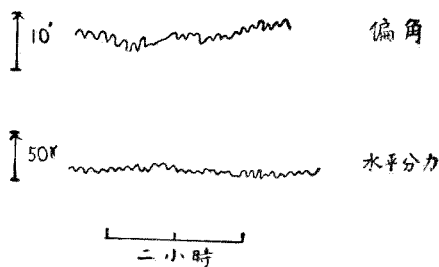


第五四圖 陶器之磁極

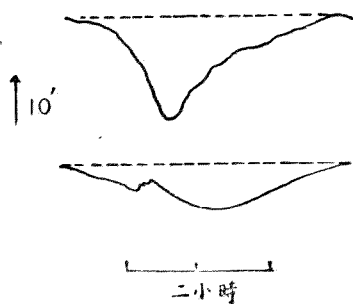
性之兩極，又可知其時代之伏角。佛爾格賴特爾氏，始著目於此研究，據其所得之結果：紀元前八世紀，在意大利之伏角，似殆為零又一世紀時，孟買地方之伏角，似較今日尤大云。

第三節 磁狂

如上所述，地磁之變動中，有以一日，一年，十年半，或數百年為周期等種種規則的變動，更有與此性質全不相同之不規則變動；此不規則之變動，通稱曰磁狂。磁狂中，又有種種形式；其變動之方法，亦各不同。最普通者，為變動小而擺動時間



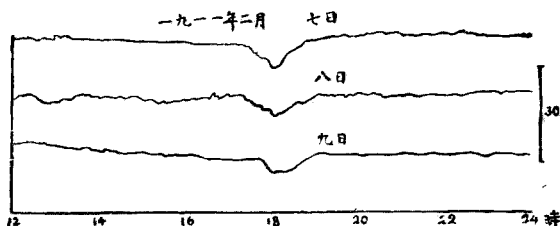
第五五圖 地磁之脈動



第五六圖 海灣式之磁狂

短之磁狂；其擺動時間，普通約二三分乃至十分。此種磁狂，稱之曰地磁之脈動；雖常現偏角及水平分力，而上下分力則不常現。此種變動，既經出現之後，繼續數小時或一日以上。又有一種變動，不若脈動時間之短，其變動起復，即繼續二三小時而徐徐變動。且其變動時，並非擺動，僅偏向一方，而後漸復原狀。此種變動曲線之形，猶如海灣，故稱之曰灣入式（海灣式）磁狂。此種變動發生時，概無脈動；又偏角雖甚著，其他則不明顯。灣入式磁狂，有時常連續起於每日之同時。據斯條亞（Stewart）氏之解釋謂：包圍地球之太空一部，此數日間特呈電離狀況，故地球因自轉，於每隔二十四小時向太陽則起電流；因此地球上之磁狂，起於每日之一定時刻也。

灣入式磁狂，又與起於南北極之磁狂有直接關係，由一九二〇年至翌年之間，挪威國向北極地方派探險隊，英國亦向南極地方派

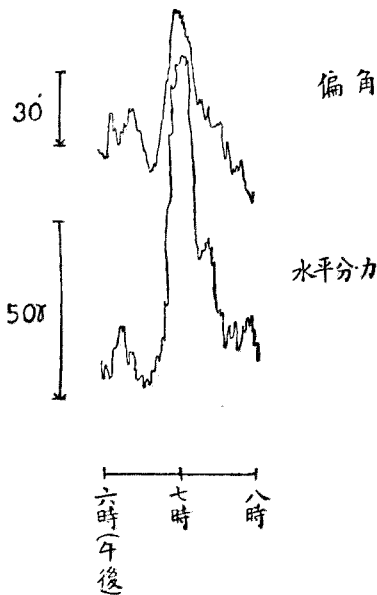


第五七圖 丘觀測所磁偏角之海灣式磁狂反覆發生之例

探險隊以測磁狂。蓋兩極地常起大磁狂；而其變動之時刻，據兩探險隊所觀測之記錄，兩極之磁狂均起於同時。且其繼續之時間均為一小時半至兩小時；其變動或向一方擺動而復原位，或稍偏於反對方向後而始復原位。與兩極地發生磁狂之同時，地球上各地亦起灣入式之磁狂；

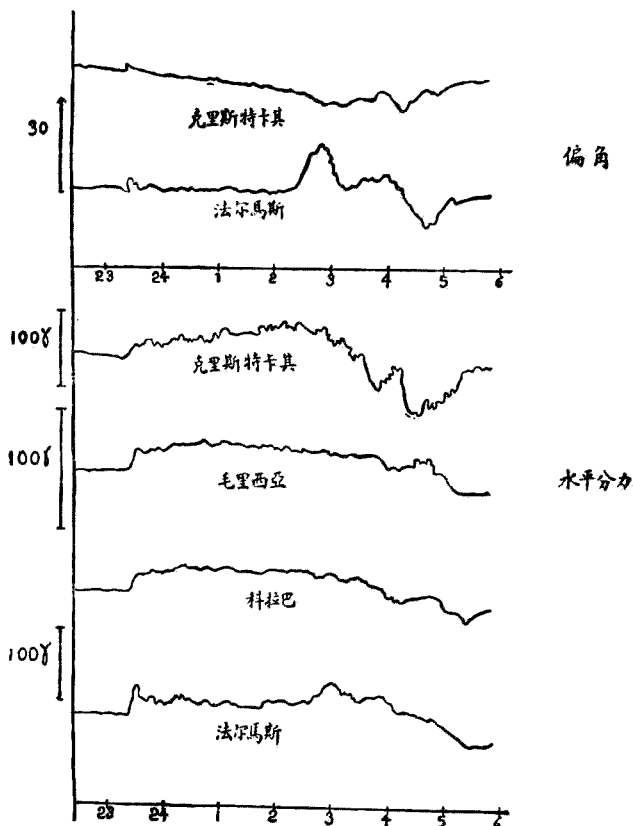
即新西蘭孟買毛里西亞島(Mauritius)及倫敦等地，均同時感有磁狂。

脈動與灣入式磁狂之外，尚有一種急起之磁狂，此種磁狂最多；其特色乃在地磁之各要素均極穩靜時，突然起顯著之變化，地磁計之曲線偏於一方，其繼續時間達三四小時之久。此外又有因時或因地方而起磁狂者；此種磁狂雖緩，但行大變動後，始復原狀。其繼續時間雖種種不同，但突然



第五八圖 南極地方之磁狂

開始，極其明瞭而起，乃大特色。因其發動於突然，其起始之時間可以確知，故在調查地球之磁狂或各地同時發生，抑或由一地漸進於他地時甚為便利。據此調查之結果，知相隔較遠



第五九圖 由一九〇三年四月五日至六日各地同時突然發生之磁狂

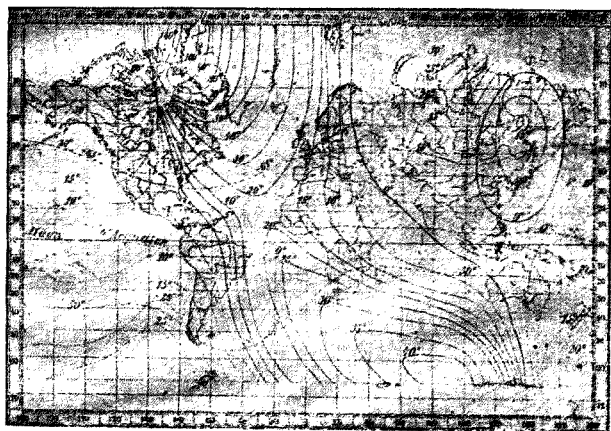
之地方，皆起於同時，且其進行之方向，各地均同。例如由一九〇三年四月五日之半夜至六日朝之磁狂，相隔較遠之新西蘭，毛里西亞島，孟買及英格蘭之法爾馬司（Falmouth）等地，幾均同時於午後十一時二十五分增加其偏角，水平分力亦開始增強，至二十九分，遂達最大；其偏角變動四分，水平分力變動一八至四一。即各地之時間及方向均同，變動之程度亦略相等。此時在南極探險隊之觀測，此種磁狂，亦極顯著，且其開始之時間亦全同；其變動極大，且起擺動。

第四節 地表之地磁分布

地方所有地磁之三要素，常起變動，周期的變動，若取其平均，即可作為無變動視之；狂亂的變動，因係一時，故可除外。惟在永年間之變動，因有極大之差異，故當比較各地之地磁狀況時，須設一定之時間，均改成同時之值而比較之。

求出各地磁三要素之值後，將偏角等值之各地，全部連繼所作之曲線，稱曰等偏角線。此中可依各種偏角值而作各種偏角線。在一地方，設一定之偏角差，將等偏角線之全部畫於圖上，則其中

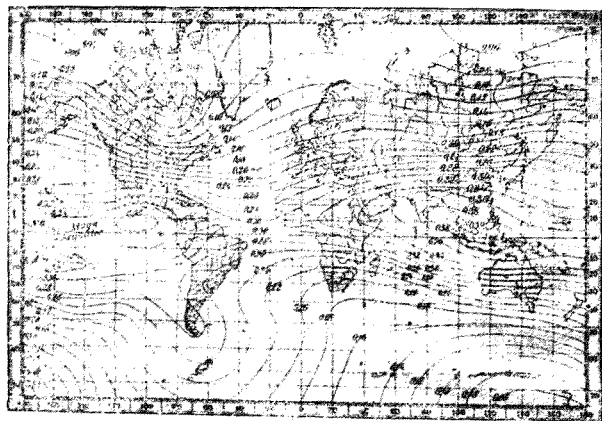
之偏角分布自明。以同樣方法，就伏角作等伏角線，就水平分力作等磁力線時，則此等線之分布一見明瞭。觀地表等偏角線之分布時，偏角等於零之線，由加拿大之哈得孫灣 (Hudson's Bay) 西岸，南經佛羅里達 (Florida) 半島之東，更通過巴西國 (Brazil) 之中央，南入大西洋。在南極附近，其位置雖不明，但再現於澳大利過南方之海中，北行縱走澳洲之西部，西行斜斷印度洋，經波斯灣，黑海，東部，再北行縱貫芬蘭及斯干的那維亞 (Scandinavia) 北部，向正北方通過北極附近，復至加拿大北部，在哈得孫灣相接。以此線為界，在大西洋方面者，其偏角概為正，其磁針之北端，由北稍偏於西。在太平洋方面者，殆均為負；但在



第六〇圖 磁圖 (甲)世界之等偏角線及等伏角線

中國之東半，日本及東部西伯利亞（但除東經約一六〇度以東之部分）等地，其偏角爲正。除此部分而外，在其他各地方，若作成等偏角線觀之：北方各線，均漸相會而集於坎拿大北方布別亞島（Boothia）西部之一點，此點稱曰地磁之北極。與此相對，地磁之南極，在南極大陸上。

等伏角線，自其全體之分布狀況觀之，大概與等偏角線成直角。其零度線，即將支於重心之磁針成水平位之各點連結所成之等伏角線，大概與赤道並行；惟在大西洋與南美稍向南偏；在非亞二洲，稍向北偏。此零度線，稱曰地磁之赤道。至於磁極，則磁針應與地面垂直。一八三一年，羅斯（Ross）至布別亞島時，曾親



第六〇圖 磁圖 (乙)世界之等磁力線

探查磁針成垂直之地點，結果知地磁之北極在北緯七〇度五分，西經九六度四三分；而在今日，似在西經一〇〇度。在南極地方，雖尚未確定磁針在何處垂直，但在南緯度七六度，東經一六八度之地點，磁針之伏角，已成八八度三七分，故知地磁之南極，當在此附近也。

等磁力線，亦如等伏角線，走於東西方向，在磁極附近，其分力極小，漸近赤道，則漸增大。最大之水平分力，在馬來半島之東方海上，超過三九〇〇〇之以上。

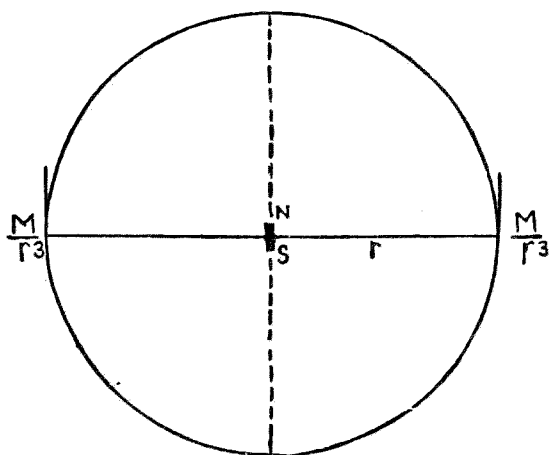
第五節 地磁現象之原因

觀地磁之分布，覺地球爲一大磁石；但細思之，地球果能謂之爲大磁石乎，是不能不深加考慮者也。關於此點，最初研究最有名者爲高斯(Gauss)氏。磁石之極，接近南北極時，則互相牽引；又同極相接近時，則互相排斥。今設有 α 強度之磁石極，更將具有單位強度之磁極，置於 α 之距離時，則此單位磁極所受之磁力爲 $\frac{1}{\alpha^2}$ ；如此則磁力作用於連結二極之線內。但在實際之磁石，因其二極不能完全分離，故兩極之影響相重；在通過磁石之中央，而與其軸成直角之平面上，則其磁力與軸

平行，其強弱由距離磁石之強度，及軸之長短而定。若磁力極之強度為 B ，其長為 l ，則其積 Bl 稱曰磁力之能率；普通以 M 表之。如此則由磁石隔 r 距離之磁力，可用 $\frac{M}{r^3}$ 表之。其單位即在某地對於一單位之磁極，以一達之力作用時，其地之磁力強度，稱為臯（高斯，）以 G 表之；前述地磁之強度單位 G ，為此數十萬分之一。

地球上之水平分力，在赤道附近雖最強，但猶僅變化於 0.3 與 0.39 臯之間；高斯氏由當時之觀測，曾將此數定為 0.3309 臯；其後所觀測之材料漸多，諾伊邁爾（Neumayer）氏

推定此數為 0.3324 ；由此以地球為磁石而計算其能率時，則成



第六一圖 由小磁石所生之磁力

$$0.3324 = \frac{M}{a^3}$$

$$M = 8.33 \times 10^{26} \text{ c. g. s.}$$

若更以地球全體爲一樣之磁石，則其單位容積之磁力能率，以容積除之即得。普通稱單位容積之磁力能率爲其物之磁性強度。地球之磁性強度爲 $0 \cdot 0 \cdot 077$ 單位。普通之鋼鐵等，可與以三 00 單位之強度。

高斯之研究，乃用在地表各地所觀測之結果，經過與此適合之數學手續而來；更由此計算得地球磁石軸之方向。據此計算之結果，地磁極之位置如次：

(I) 北緯 $73^{\circ}20'$

西經 $67^{\circ}17'$

(II) 南緯 $78^{\circ}20'$

東經 $112^{\circ}43'$

此雖與實際之位置稍異，但在極地，其經度之差，用實在距離計之，極屬有限；故高斯所得之結果，乃足以表地磁之現狀者也。

高斯之研究，乃將表現於地表之地磁石，假想在地球內部而定其能率；此完全爲數學的處理

法。但實際地球內部之磁石，究如何成立，是一至難之問題。若以地球內部有充分帶磁性之鋼鐵，而說明現在地磁之分布時，則集於地球中心之磁性體如以之爲鋼鐵球，其半徑有二三四公里即足矣。地球之內部，大部分由鐵所成一事，在今日爲人所公認。但地球內部之溫度甚高，而一般物質，一旦受熱，其磁性必失；故縱云地球內部有鐵，而亦不能即以此說明地球之磁力。地球內部，不惟溫度頗高，且同時又受強大之壓力，故溫度雖高，然亦因壓力之故，或能保其磁性亦未可知。但據從來之實驗的研究，此關係尙未明瞭。若以帶磁之鋼鐵，不集於地球中心，而散布於全地球內，則其容積一立方公尺中，必有四尅之帶磁性鋼鐵，此亦不近事實者也。近年對於地殼中有電流通一事，已漸明瞭；此電流之大部，在接近地表之部，而深處則極少。若謂地磁之大部，即由此電流而起，則此電流，須由東向西流，在由隔磁極 90° 角之地點，對於南北距離每一哩，其地下電流之強度，有 $0.8 \sin \theta$ 安 (Ampere) 即足；即在地磁之赤道上，南北距離每一哩，應有 0.8 安之電流也。

此流於地殼中之電流，雖尙不十分明瞭；但有以地磁之分布及其長年間之變動，大部分均可用此說明者。此外在空氣之上層亦有電流，在空中之極高處，因電解空氣之運動，於是水平垂直兩

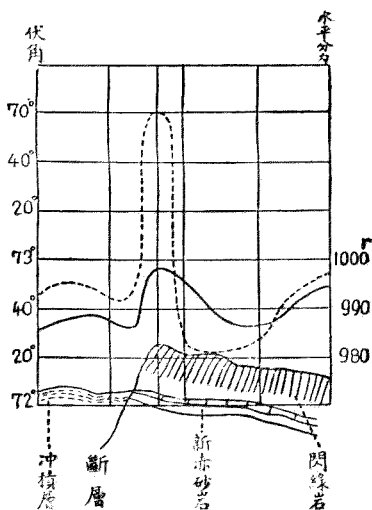
方均有電流流動，故亦多少發生地磁。但據斯密特 (Schmidt) 之計算，由此所生之磁力，約 300 γ ，僅占地表磁力全部約百分之一云。

地磁之狂亂及短周期之變動，其原因主來自地球以外。例如劇激之磁狂發生時，各地均起於同一時刻；又種種變動，均與太陽黑點之數有關係等，皆可作此說之論據。就太陽之黑點而言，凡地上種種現象，多與此有關係，尤以氣象學上之現象爲然。但其關係，有時甚不明瞭；又因處理方法及材料之範圍等而有顯着之差異。至於地磁之變化與太陽黑點之關係，則與此完全不同，其間乃有極顯明之關係者也。

第六節 局部的地磁

當研究廣範圍之地磁分布時，將所測得之材料集合而人於一定之範式，故在一小範圍內，縱與他方有不同處，然亦必被隱而不能見之。但局部之差異，實際上存於各地；此種地方的差異，在種種意義上，極爲必要。

凡異類岩石相接之部其地磁之分布，亦現特別形狀。例如有一斷層，其兩側各由性質不同之岩石而成時，則其兩側之地磁當亦生差異；此時偏角雖不大變，但伏角及強度則起相當之變化。原來一磁石之周圍，其磁力之分布狀況甚規則；但若使他物體接近時，則因其物體之性質，此原來規則之磁力分布遂被擾亂。若其物體為感應磁力者，則其物體中必感應磁力，與其所放置部分之力可相當；若以其強度為 H ，則可書為 $H \parallel H$ 。此比例係數之 k ，稱為該物質之帶磁性。此帶磁性，因物質而大有差異；最強者為軟鐵，置軟鐵於磁力強度一畢之磁場中，則其所賦之磁性，當為一六〇單位。岩石等之感應此磁力極少，但多少亦能感應。今列舉種種物質帶磁性之強度如次：



第六二圖 在斷層附近地磁偏向之例(瑞曼)

物質	帶磁率
軟鐵	1500以下
鎳	10—30
粗粒玄武岩(Dolerite)	434×10^{-6}
花崗岩	65"
耐火黏土	21.5"
玄武岩	12.5"
褐鐵鑛	10. "
黏板岩	6.1×10^{-6}
黏土	2×10^{-6}
白雲岩(Dolomite)	0.47"
石灰岩	0.38"

金剛石

-0.7×10^{-6}

鈹

$-14''$

如此因岩石之種類不同，而其帶磁性之強弱迥異；故謂岩石不同之各地，其地磁分布狀況亦不同之理想；不為無理也。

此理想有時應用以探查鑛床，得良好之結果；故近來漸漸注意。瑞典、美國及日本已應用此理想探查鑛床之分布，並已得相當之效果。近又有對於金屬鑛床測其地中電流之配置，以探知鑛床分布之方法。

第六章 地殼之平衡

第一節 地殼等壓說 (Isostasy) 之起源

因地球之 Geoid 與標準橢圓體面不全一致，故發生垂直線偏倚之現象，已於地球形狀章中述之。由該章中所述，利用此事實，可研究 Geoid 與標準橢圓體間之差異；因研究各地垂直線偏倚之結果，近年對於地殼平衡之狀況，更有重要之學說出現。其說謂地表隆起部之下方比重小，而低下部之下方比重反大；無論高低或比重大小，其所施於地殼下之壓力，則各處均同云。

在一七三五年至一七四三年間，法國所派之祕魯測量隊中，有部給氏，此人在行測量之時間中，特對於興波拉索 (Mt. Chimborazo) 山之引力，加以研究。曾在該山西南方之二地點，行觀星測量法，結果知二地緯度之差為一分二七秒；但此二地點南北之距離約九〇〇公尺，將其換算成



阿 爾 卑 斯 山 圖

角度時，則二地緯度之差，應爲三二秒；其間所差之五五秒，卽鉛直線向南北偏倚之度。其原因，當時卽以爲係與波拉索山之引力所致；於是部給氏更由該山之形而計算其引力，結果，知由此山之引力所起二地點鉛直線之南北偏倚，應爲一分三五秒。而實測之結果，僅五五秒；氏遂以爲此山因較地球之其他部分比重遙小，故起此種現象。但從表面觀之，此山之岩石，與他地方無甚差異；故氏當時又以爲此山之下，或有多數之巨大空隙亦未可知。原來當時僅知地球之平均比重爲四·九，氏計算此山時，亦以此山爲同一之比重而計算者也。因地球之外部，各處之比重均頗小，故部給氏得此結果，原不足怪；惟氏不知此，而以爲山下有多數空隙，乃當時之知識有限所致。但部給氏之想法，實爲後世地殼等壓說出現之淵源也。

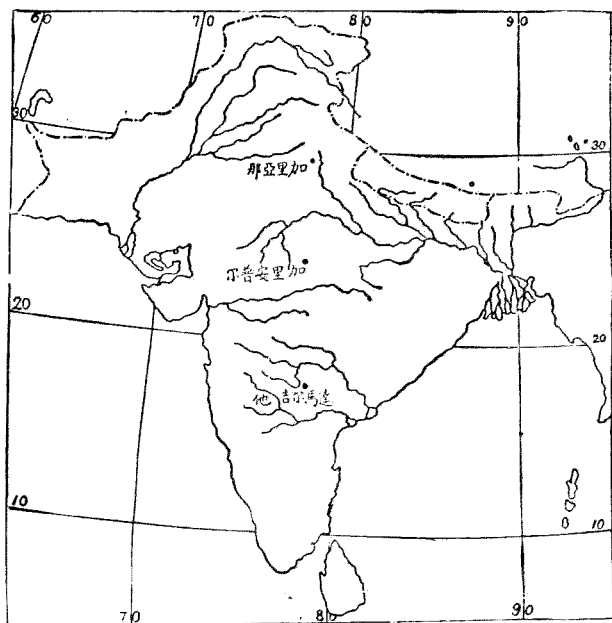
印度之行測量甚早；當其行測量時，亦曾有顯著之鉛直線偏倚，



第六三圖 興波拉索山地方之鉛直線偏倚

A與B之地理緯度差，以此等地點之地球曲率半徑除之即可得；但因興波拉索山引力之影響，B點之鉛直線較A點之鉛直線偏倚爲多，故生 NBN' 之偏倚也。

但最初未知其爲偏倚，乃認之爲差誤，以與其他測量相折衷；唯當時加爾各達 (Calcutta) 之副僧正普利特 (Pratt) 以爲此乃喜馬拉雅山之引力所致而行計算。當時在印度所測量之地方中，沿東經七七度四二分之子午線者，共有三個觀測所：其最與山相接近者，則爲加里亞那 (Kaliyana)；其南爲加里安普爾 (Kaliampur)；最南者達馬爾吉他 (Damalgita)。在最南之點，假定鉛直線與標準橢圓體之垂線一致時，



第六四圖 普利特所用之印度鉛直線測點

則在中間之點，其實際之鉛直線僅稍向南傾；至在其最北之點，則其線更傾向北。因說明此鉛直線之偏倚，普刺特氏曾以喜馬拉雅山之比重爲二·七而計算其引力；但由此引力所生之偏倚與實測之結果比較，其值頗大；其結果如次：

達馬爾吉他與加里安普爾 加里安普爾與加里亞那

天文緯度之差

6°3'55".974

5°23'37".058

地理緯度之差

3'54".105

23'42".294

鉛直線之偏倚

+1".868

-5".236

因山之引力所生之偏倚

-5.257

-15.981

由上表可知因喜馬拉雅山之引力所生鉛直線之偏倚，較實測者遙大，普刺特因懷疑此結果，遂於一八五五年，將此報告於倫敦之學士院，其時格林威池天文臺長厄力 (Airy)聞之，遂發其次之理想：即地殼約有二〇英里或其一倍之厚度，而浮於比重較地殼大之熔岩上山嶽等之聳起部，其地殼下亦突入熔岩中，現於地上之山，其所以有引力之影響者因其下方突入熔岩之部分，原

較熔岩之比重小，特以此作抵償 (Compensation) (或作償均) 亦未可知云。普拉特氏對厄力之理想未十分贊同，其意蓋謂地殼之厚度當不止此；加以地球因冷却之故，地殼恐不能成此形。因之普氏遂於一八五九年，將厄力之說稍加修正，謂在山脈等隆起部之下方，地殼中有比重小之部分，恰與現於地表部質量之餘量相抵償云。依此說，則究至何深度，其質量始能與餘量抵償完結，遂成問題。於是就喜馬拉雅山脈假定種種抵償深度，而計算其由此原因所起之偏倚，以此與實測之結果，比較如次：

實際所測之偏倚

+1".868

達馬爾吉他與加里安普爾

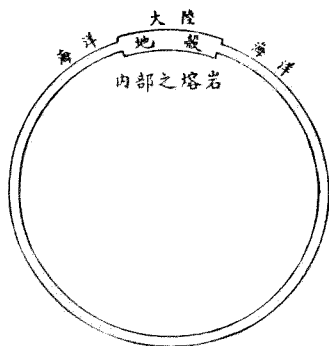
-5".236

加里安普爾與加里亞那

抵償之深度五〇〇英里時

-2.305

-8.487



第六五圖 厄力氏之地殼浮游圖

抵償之深度 1100 英里時 — 0.293

— 6.504

抵償之深度 1000 英里時 + 0.001

— 1.602

由此觀之，則地下之抵償深度，在 300 英里以上，其偏倚過大；至於 100 英里則又過小；在 200 至 250 英里之深度，則恰與實際所測之偏倚相同。

此種理想，遂成爲今日地殼等壓說之基礎，其有普刺特說之名者，蓋以此故。其後（一八八六年）美國之地質學者達頓（Dutton）氏，謂地殼表面之凹凸，與地下比重之大小相應，其所施於地殼下之壓力均成平衡狀態，稱之曰等壓。今日各國均沿用此語，將此說作爲等壓說。

第二節 鉛直線之偏倚與地球內部

關於地殼之平衡，雖已有一定之學說；但在普刺特之計算，對於印度洋等低地之影響，尙未加以考慮。又其說乃僅就二三點而言，故地殼之無論何處，均爲同樣之狀況與否，僅此尙不可確知。欲證實此說，尙須用多數之觀測，又非調查含有各種複雜地形之廣面積土地，不能謂爲充分。如合衆

國其國土甚廣，有海洋，有平地，有臺地，亦有山地，誠行此研究最便利之國也。故地殼平衡說之充分研究，均成功於此國，乃自然之結果。

至一九〇六年在美國測定二六七處之緯度偏倚，及二六四處之經度偏倚。赫佛爾得用此材料，對於各地，曾一一計算其由地形所生之影響；又應其地形，曾假定其地下有物質之抵償，抵償完全之深度，設為種種而計算其影響。此計算非若普刺特，僅限於一部顯著之地形而言，乃將一觀測點周圍之地形，無論遠至何距離，惟能感受其影響者，均全部入於計算中，其範圍幾涉及全球。在此點言之，不能不謂為完善之計算法，但其行計算時，曾經非常之困難云。

現於地殼表面之高低部，雖云係受地殼中比重差之抵償而安定；但其抵償之狀況，有種種式樣；當赫佛爾得行計算之先，曾將種種狀況明白定之如次：

(一) 因地殼有凹凸，致下壓力不平均，此不平均之值，由地下比重之大小完全相抵償。

(二) 地下之抵償，無論在地表何部，皆終於海面下同一之深度，此深度稱曰抵償之深度

(Depth of Compensation)。

(三) 對於陸地地下比重之不足部，皆平均分布於 *Geoid* 面與抵償面之間，又抵償海水與岩石比重差之海底下部比重餘量，皆平均分布於海底與抵償面之間。

如此設定之後，更以地表岩石之平均比重為

二·六七，海水之比重為一·〇二七，而變換各種

抵償深度以計算其影響，末復將此計算之結果，與

實際所測之結果比較之。在如此之計算，因觀測之

材料極多，故任取如何之抵償深度，然其所算出之

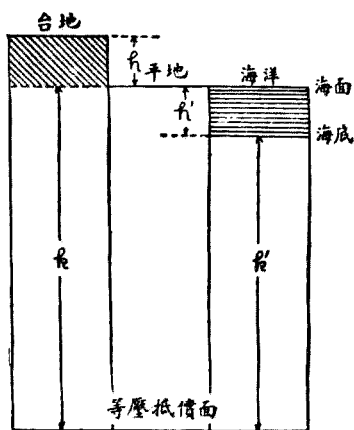
偏倚值，不能在任何觀測點，均能恰與所測之偏倚

值相等。故由各點所實測之值，減出所計算之值時，

均應有多少之差。然則最近於真之抵償深處，究應

如何而後可乎？據誤差論之所示，須將各差數作成平方，其總和最小之抵償深度，即為最近於真者

也。赫佛爾得對於美國內之鉛直線偏倚，曾費莫大之手續，行精密之計算；但其結果，僅對於地形及



第六六圖 赫佛爾得氏之等壓關係

種種抵償深度，求得以下各差數平方和之平均值：

地方	數	僅屬於地形者	162公里	113.7公里	0
東北部	118	112.46	16.21	15.81	27.46
東南部	105	41.57	13.02	13.11	15.09
中部	102	86.22	16.01	16.23	20.07
西部	182	214.32	22.18	20.78	46.57
全國	507	129.06	16.21	15.81	27.46

抵償深度之爲零，卽在海面之高度，其上方多餘之質量已被抵償，而水質量之不足，乃在海底抵償之。觀上表中，若將全國平均之，則其抵償深度，以在一一三·七公里時，其鉛直線偏倚差之平方和最小，故不能不以此爲最近於真之抵償深度。就各地方分別觀之，東北部及西部，均以一一三方和最小，故不能不以此爲最近於真之抵償深度。而在東南部及中部，則須更深至一六二公里方爲適宜。但此二地，其觀測之數，較他地尤小，又此二部均爲低平地較多之地方；因在平地，其地上多餘之質量較小，故無

論其他下有無抵償，皆不生顯著之大差。如此之地方，在精密決定其抵償深度時甚不方便。赫佛爾得氏將此等事實考慮之結果，對於地表地形之地下抵償深度，定一一三·七公里爲最正確；但此數如下所述，非稍加改正不可。

如上所述，其所以將地下抵償之關係加以假定者，蓋欲圖計算上之方便，不致生出無理而然也。但赫佛爾得所定之關係，尙有多少不合理之處；蓋赫氏之假定，謂抵償之深度，無論何處均同一樣；但事實上，寧謂在隆起之部分，其抵償之深度亦深；而低地之抵償深度則淺之爲愈也。又赫氏之假定，謂抵償面以上之部分，其比重上下均同一樣，對於此假定，又寧謂在上方大部分之抵償已完結，自此以漸至深處，漸行少許之抵償，至一定深處，遂完全終止之爲合理也。此外更有以地下抵償在地下已完全行之之說爲不當者；但在此種研究，若知其大體已行抵償，則以之爲已抵償完全而行計算，將其結果與實際比較，始可知不完全之程度；故此種批評，乃未十分了解其研究方法而來之誤評也。至於最初之二批評，雖有相當之意義，但從來對於此方面之事項，尙無充分之研究，故亦不能推翻赫氏之結果。然赫氏曾試驗此種不同之假定所生之影響，其結果仍確認自己之假定較

爲適直。

在印度方面，研究喜馬拉雅山所起鉛直線偏倚之結果，普刺特已成地殼等壓說之先驅一事，既如前述。美國此次精密研究鉛直線偏倚後，遂決定抵償深度以一一三·七公里爲最近於真。其後印度亦曾試行此種研究，即在一九一二年以前，印度地方，曾測定一一一處之緯度偏倚，測定一二處之經度偏倚，克羅斯衛特少佐，依赫佛爾得所研究之結果，定抵償之深度爲一一三·七公里。計算印度各觀察點之地形與其抵償之影響，而與其實測鉛直線之偏倚比較，其結果亦發現見實測與計算之相差仍極小。由是遂知相隔極遠，而地形及其他事項又不同之美國及印度，其地表之高低，均各以同一之狀況在地下相抵償也。此乃極有興味之事實，惜未將其差之平方和算出，僅簡單取其差之平均值而已。且在印度行測量時，最初即以其抵償深度與美國相同而直行測量，並未研究各地抵償深度之異同；又未用種種深度計算其中究以何者爲最近於真，殊覺可惜。

第三節 重力值之種類

研究地殼之平衡，其最初之研究方法，固爲鉛直線之偏倚，但重力之偏倚，對於地殼平衡之研究，亦頗重要；近來論及地殼等壓說時，卽有側重重力偏倚之勢。

測重力時，須擺動振子而精密測定其擺動之速度，又振子之長度若能精密測定，則由此卽可算得重力之強度。測振子擺動之速度時，須將振子之擺動速度與精確時計之進行相比較，且須使其在極長之時間內擺動，以求其平均數，始能測到必要之精確程度。但振子之長度則無法測定；蓋雖知其懸着點，然其下端究取至何處爲止，實不易知。因避此煩難起見，遂作出所謂可逆振子。此可逆振子，乃置重錘於長棒之一端；棒之上方與下方，均可吊此振子使其擺動，此振子無論吊於何點，須使其擺動之時間均同。此時若以其吊點時之距離爲振子之長，則可用普通振子之式而計算其重力。此中尙須加入種種修正，然後方可決定重力之值。但用此方法，欲得精確之值，須費非常多之手續及時間，故測各處之重力，乃極難之事也。

同一振子，由一地攜至他處，若其振子不生變化時，則在此二地之振子，一擺動之時間 T_1, T_2 ，與重力之強弱 g_1, g_2 間，有如次之簡單關係：

$$g_1 g_2 = T_2^2 : T_1^2$$

故知最初地方重力 g_1 ，則他地之重力 g_2 ，即可由此計算得之。

此法比較簡單，且可

得精確之結果。

奧地利亞人叔特爾

涅克特爲此目的及攜帶

便利起見，作成長二五厘

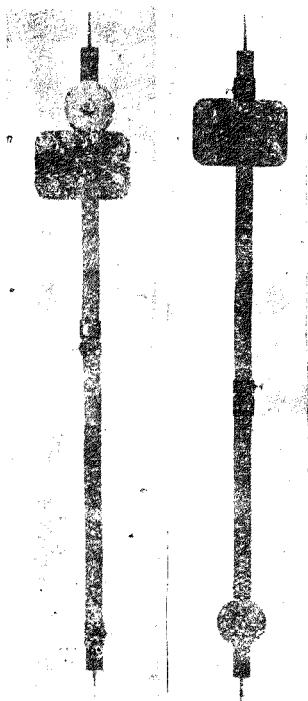
之振子，近來各國均使

用此振子，以德國波次但

(Potsdam)之重力爲標準而定各地之重力。波次但之重力，乃在一八九八——一九〇四年間，經

數回用可逆振子所測定之平均值，即作爲世界重力測定之標準，其值如次：

$$g \text{ (波次但) } = 981.274 \text{ 達}$$



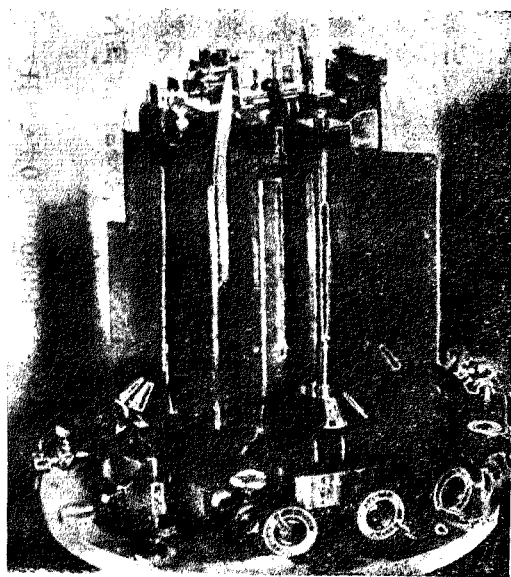
第六七圖 可逆振子

近年世界各地，均廣行重力之測定；但各地之重力，均以波次但之標準重力作比較而得。各地之重力，普通以 g 表之，此 g 之值，各地不同；如東方之日本，曾用叔特爾涅克振子，以波次但爲準，在其國之各地測量重力。結果測得東京之 $g = 979.801$ 達，京都（西京）之 $g = 979.723$ 達。

但重力又因距海面之高度，與其附近之地形等而異，故在比較各地所測得

之重力時，須加適當之修正方可，關於此修正，理論上雖亦有精密之研究，但普通所用者如次。

第一，因所觀測之各地點，距海面之高度均不同，故須先修正高度，均改爲海面之值；此值普通



第六八圖 叔特爾涅克振子

以 g_0 表之，今以觀測點僅距海面爲公尺，則由地心至海面，與由地心至觀測點間之距離，可爲地球半徑 R 與 $R + H$ ，故其關係如次：

$$g_0 = g \frac{(R+H)^2}{R^2} = g + \frac{2g}{R} H = g + 0.0003086H.$$

用此式所觀測之值，可改成海面高度之值，是謂高度之修正。

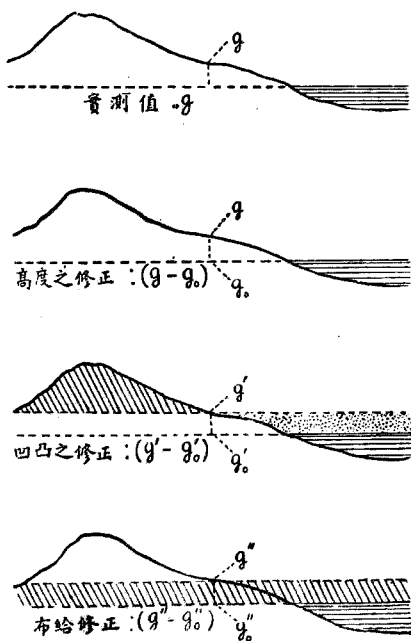
第二，在觀測地附近有較高之地，亦有較低之地。其在地，因有向上之引力，故重力稍小；又在低地，因岩石較不足，故重力仍小。今視觀測地如在同樣高度之平坦臺地上時，則實測得之重力值中，非稍增加不可。此時之重力值，以 g_2 表之，求此 g_2 值之修正，可稱爲凹凸之修正，此值更修正爲海面之值時，則以 g_3 表之。此凹凸之修正，雖須應實際之地面凹凸而定，但其值常極小，殆無修正之必要。

第三，由 Geoid 面至觀測點間之岩石層引力，由其高度與其岩石之比重而定。今實測之重力中，除去此引力之值，命爲 g_4 時，則其關係如次：

$$g'' = g - \frac{3}{2} g \frac{\rho}{\Delta} \cdot \frac{H}{R} \quad g = g - 0.00109 H.$$

此式中之 ∞ ，乃其附近岩石之比重， Δ 乃地球之平均比重。將此修正之結果，更修正為海面之值，以 g_0 表之，此修正稱曰地形之修正，又曰部給氏修正。

近來更以為地殼之凸凹，乃由地下比重之大小以抵償其質量之不均勻；由此抵償所及於重力之影響計算而加修正者，稱曰等壓修正，或曰赫佛爾得修正，以 g_0 或 g_0' 表之。此計算一一參照地形，行精密之計算，故所費之手



第六九圖 重力修正之種種意義

續極繁。

赫麥爾特於一九〇一年，蒐集世界各地所測得重力 g_0 之值，然後在 Geoid 上，應其緯度而作表示重力值之範式。用此式算出之重力值，普通以 g 表之，稱曰重力之標準值；亦有呼為理論上之值者，又有呼為計算之值者；但均不恰當，仍呼之為標準值可也。赫麥爾特之範式，已如前述。若重力之單位，以達表之，則其形如次：

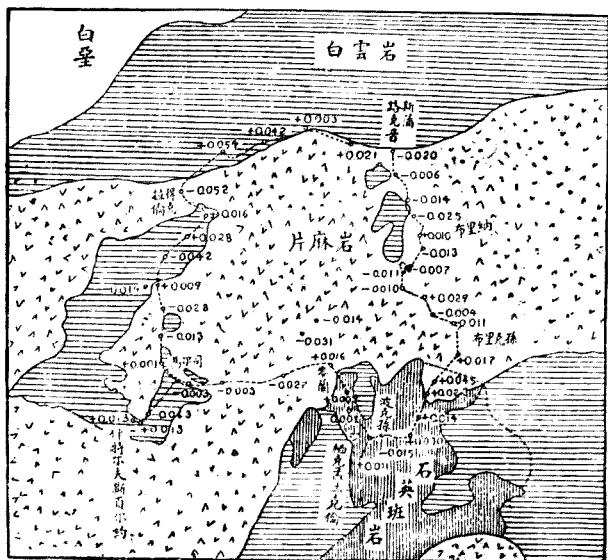
$$g_0 = 978.030(1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

用此式所計算 g_0 之值，與在同緯度所測之重力值而修正為海面之 g_0 ，或 g_0' ，比較，普通均有少許之差。由實測之值，減去標準值所得之差，稱曰重力之偏倚。

第四節 重力之偏倚與地殼之內部

地殼等壓說之成立與否，在山地及其他急傾斜地方最易知之。印度因倚大山脈，且地多傾斜，其為此說之發源地，亦屬理所當然。蓋以此事，乃由鉛垂直線偏倚之研究而來故也。最初注意重力

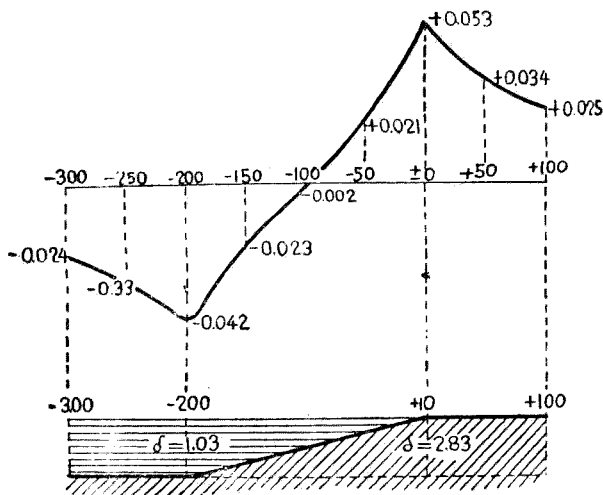
之偏倚而研究此關係者。爲赫麥爾特氏
 (一八九〇年) 氏在阿爾卑斯山地東
 部之提羅爾 (Tyrol) 就測定重力之結
 果會加研究。此地方之重力，其部給氏之
 偏倚，平均爲 $20'' - 170'' = -0.118$ 達；德國
 北部平地之值僅爲 $+0.003$ 達。山地之
 所以有如此其大之負偏倚，必因地殼中
 有比重小之部分無疑。因抵償此重力偏
 倚之故，若以 Geoid 面附近之比重，與表
 面岩石之比重同爲 2.4 ，且設其不足
 之質量與厚 0 公尺之岩層相當而計算
 時，則此厚度爲 1200 公尺。東阿爾卑



第七〇圖 提羅爾地方重力偏倚之分布

斯山地之平均高度，約一三三七公尺，故此地聳於 Geoid 面上之部分，幾全為地下之質量不足所抵償，其殘餘僅十分之一而已。據赫麥爾特氏之推想，謂此抵償不集於一處，恐係擴散於海面以下一〇〇公里之間云。

自此以後，各地重力測定之數非常增多，原來地殼之平衡，非僅限於一地方，全世界中，無論何處均應同一樣。調查此事項時，務必選擇其影響十分顯著之地方始可。赫麥爾特氏，以前既在提羅爾山地形重力偏倚之研究；至



第七一圖 海岸之重力偏倚

以海之深度為四〇〇〇公尺，海岸之傾斜度為五十分之一，又以等壓的抵償深度為一〇〇公里之計算。

一九〇九年，更利用世界各地之海岸傾斜影響以研究之。在海岸附近，若等壓的關係能成立，則海岸重力之偏倚最大，由此漸入陸地內部，則漸減小；但此偏倚，由抵償之深度而異。赫麥爾特氏，將在距海岸遠近不同各地點所測定者，分爲四組研究之，其關係如次：

組	數	距海之距離	傾斜	偏倚之平均
I	14	27公里	1 : 28	+0.051達
II	13	32公里	1 : 62	+0.039達
III	11	80公里	1 : 65	+0.038達
IV	13	150公里	1 : 50	+0.014達

氏於此以地球之平均比重爲五·五二，地表岩石之平均比重爲二·七三，以海之平均深度爲四〇〇〇公尺，又以抵償之深度爲一二八公里與六四公里，而計算與以上各組相當之重力影響，其結果無論何組，在一二八公里之深度，其影響均較實測之偏倚稍大；若以深度爲六四公里時，則又較實測者爲小；然則在此中間，必有與實測偏倚相同影響之深度。今綜合此計算之結果如次：

組	所測之偏倚	抵償之深度		推定之深度
		128公里	68公里	
I	+0.051	+0.057	+0.037	110公里
II	+0.039	+0.041	+0.023	121公里
III, IV	+0.026	+0.027	+0.014	123公里

取其平均數則爲一一八公里；但此結果，或差至二二公里亦未可知也。

此赫麥爾特之研究，其範圍廣涉世界各地；其所用者爲重力之偏倚；其處理法，爲依海岸之影響而來者也。以前赫佛爾得氏在美國所研究者，僅止於美國；其所用者爲鉛直線之偏倚，且將地形之影響，一一加以計算，然後確定地下有抵償，並將抵償之深度定爲一一四公里。如此二氏所行之範圍，所用之材料，及處理之方法等皆各不同，然而所得之結論殆全相同，乃極有興趣之事；惟其深度，如後面所述，非稍加以改正不可。

在美國於一九一二年以前，有赫佛爾得氏與部宜 (Bonilly)，曾共同對於國內所測定一一

四處之重力偏倚值，研究其地下抵償之影響。因以前已定抵償深度爲一三·七公里，故此次即
用此深度，就已行重力測定之各地，一一計算其地下抵償所起之偏倚，更將其結果由實測之偏倚
減去之，其所殘餘之平均爲 $+0.008$ 達。如在美國之廣大國土，且其已測定之數又相當的多，故其
平均數，儘可視爲與世界全體狀況相同。如此則可應用於世界全體之赫麥爾特範式若果爲正確，
則在該國時，亦非正確不可。因此範式爲標準，故在各觀測點之偏倚差，姑無論其爲何值，若平均
之，均非成零不可。但今日在此國，由其所測之重力偏倚，減出抵償之影響所得之差，平均之，不能成
零；此乃赫麥爾特範式之差誤，蓋赫麥爾特之範式，原由 0.000 之值所導出，對於抵償未行修正；故在
地下抵償已明瞭之今日，此式亦不能不加改正也。至其改正之法，僅於從前之範式前項，加 $+0.008$
 ∞ 達即足矣。

至一九一六年，在美國會行重力測定之地方已達二一九處，部宜氏即以此爲材料，用由修正
重力範式所計算之標準值，再改定抵償之深度，但其結果，較從來所信用之深度頗小，僅以五六·
九公里爲最近於真。

於是此後再用此抵償深度修正重力時，其結果赫麥爾特之範式，須改爲 $+0.009$ 達之數方可，即：

$$\gamma_0 = 978.039 (1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

反面思之：重力之標準值既如此修改，則以前赫麥爾特所研究者，多少亦應有修改之點。又如前段所述，據一九一五年赫麥爾特之研究，重力之標準值雖在同緯度，然亦因經度而異；在美國其重力之平均值與世界之重力值比較，僅小 0.007 達。即單就美國而言，除去其偏倚之數，亦非將 0.009 不可，故取較此國平均重力尤大 0.007 之世界全體平均值時，則重力之標準值，非改赫麥爾特一九〇一年之範式，而增大 $+0.016$ 達不可也。

若將重力之標準值如此更改，則直接受影響者，爲赫麥爾特利用海岸傾斜之研究。蓋當時所取之材料，涉及全世界，故重力標準值中，非用如上所改正之值不可。如此則所測之偏倚 $\gamma_0 - \gamma_0$ 之值，均恰小 0.016 達。因此則抵償之深度，亦必大變；即前所列之表，遂變化如次：

組 所測之偏倚

抵償深度

抵償深度

推定深度

I	+0.035	+0.057公里	+0.036公里	65公里
II	+0.023	+0.041公里	+0.023公里	68公里
III, IV	+0.010	+0.027公里	+0.014公里	48公里

若取其平均，則抵償之深度當爲六〇公里。

由是觀之，則當以五七公里或六〇公里爲最近於抵償深度之值也。最初赫麥爾特氏，利用海岸傾斜所測算之深度較此深度頗大之原因，蓋以其所用之標準值不正所致。由鉛直線偏倚所算出之抵償深度，亦近於一二〇公里，與現所述深度之二倍相當。但計算鉛直線偏倚時所用之標準橢圓體，乃克拉克之一八六六年橢圓體；此橢圓體，乃由測定子午線弧之結果所直接導出，並未施以地下抵償之修正；在今日，則非用曾加修正後所導出者爲標準不可。如此，則由鉛直線偏倚加以修正所導出之抵償深度，恐與赫麥爾特之研究相同，當較以前之深度頗小也。

第五節 海上之重力

在能得固定臺基之陸上行重力測量時，其吊振子之臺亦隨振子之擺動而共振，極其不便；若在海面上不能得堅固之臺基，故以振子擺動測重力時，其困難之點更多。因避此困難，遂有不用振子而測海上重力之考案；最初實行此案者爲赫刻（Hecker）氏。

測氣壓時，普通均用水銀氣壓計，水銀在真空管中上昇時，僅能昇至其重量與空氣壓力相等之高度，以與空氣之壓力平衡。但重量因重力而異，故氣壓雖同，然在重力大之地方，水銀所昇者低，而在重力小之地方，則所昇者高。今以水銀之高爲 h ，水銀之比重爲 ρ ，則空氣之壓力 P ，可以次式表之：

$$P = \rho gh$$

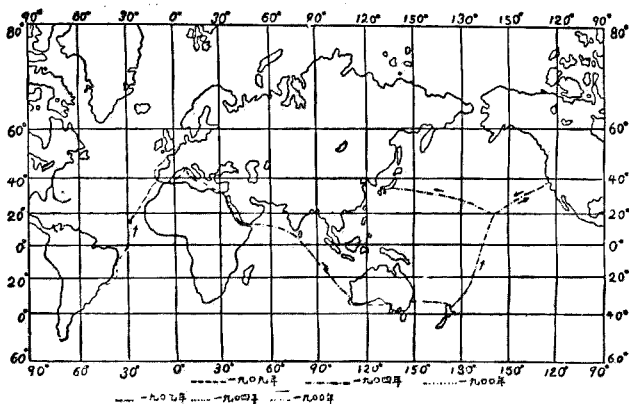
此時又熱蒸餾水，使其沸騰，精密測其沸騰點；至水之溫度與蒸氣張力之關係，已經精密研究，並作有詳密之表，故當時之水蒸氣張力，可由此表知之；沸騰時，恰爲此蒸氣張力與空氣壓力相等之時，故由此即可知 P ；因此可算出重力之強弱。

此乃赫刻氏所用方法之原理，但實際尙需種種精細之注意。用此方法，曾於一九〇一年，往來

大西洋而測定其重力；又於一九〇四年，由地中海出印度洋，更迂迴澳大利亞之南，出太平洋至舊金山(San Francisco)與橫濱之間，而測各海中之重力；一九〇九年更測定黑海之重力，由此結果，遂知凡海底之平坦部分，其海上重力之偏倚小。

從前已知在大洋中孤島上所測之重力，較標準值非常大；今舉數例如次：

島名	屬海	重力之偏倚
小笠原(Bonin Island)	太平洋	+0.339 達
喀羅林(Carolin)	太平洋	+0.314 達
百幕大(Bermudas)	大西洋	+0.289 達
聖赫勒那島(St. Helena)	大西洋	+0.273 達



第七二圖 赫刻氏在海上行重力測量時之航路

由此觀之，島之重力較標準值頗大，其原因，多數學者均以爲在大海中央之 *Coast* 面，較陸地下之 *Coast* 面低，且距地心近之故。若論陸地之引力，或係如此亦未可知；但計算上，重力增大 0.300 達，則高度須減低 1000 公尺；海之中央，竟如此其低，一見而知其解釋爲不合理。赫刻氏在海面上測量重力後，已略知其偏倚甚小，故知海面與標準橢圓體比較，仍不過低，其差僅 50 公尺上下。島上之重力特大之原因，蓋以其島由海底聳出甚高故也。

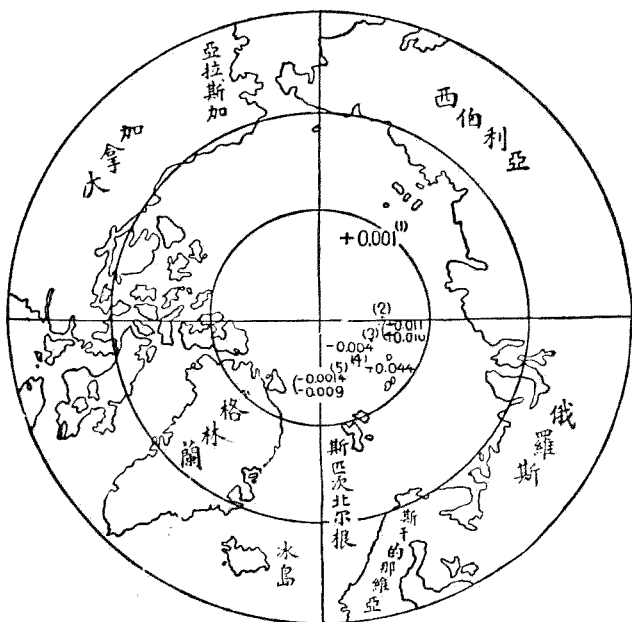
赫刻氏所測結果之另一意義，仍可作爲明白表示地殼抵償之關係。海水既較陸地輕，海中物質既缺，則其重力應較小；但實際則不然，蓋海水所減輕之量，可由海下地殼之較大比重以抵補之。依粗淺之理想，若海水所輕之量，在海底下抵償時，則至抵償面間，各部之質量即同，然與陸上之平地比較，因較距測重力之地面頗深，故重力似應小。但在廣布於各方時，全體之質量既同，則無論接近上部或在深處，而其在海之重力亦不變。惟質量有過或不足時，遂使重力加大或加小也。海岸，島嶼，及在海底深度急變之部分，凡在不廣平而地形不同之地方，其抵償之關係縱完全，然地殼之高度，其重力大，低處則重力小也。

赫刻氏所測之結果雖如此其重要，但細察之，其結果似不如在陸上測重力時之精確。關於此點，較赫刻氏之方法更進步者，爲邁涅斯氏，此人利用潛航艇，潛行至海面下一五公尺，其搖動極微時，在艇中用普通振子使之擺動，更因避免船之搖動影響，乃用振子二對，同時使之擺動而取其平均值。氏於一九二三年，由荷蘭出發過地中海紅海，更以東北方向渡北印度洋至蘇門塔臘，一一會測量其所經過海中之重力。此人所測之範圍雖狹，但其所測之結果，似較赫刻氏所測者尤精確。此人在地中海，紅海，印度洋所測之地方，多與以前赫刻氏所測之地方相同，而二人所得之結果，亦無大差異；故知赫刻氏之結果，非全不當也。

此外，在從前亦曾有人測量北極海（北冰洋）之重力，即由一八九三年至一八九七年之間，挪威之探險隊，出巡北極地方時，罕森（Hansen）氏曾在水上或被水所陷之船中，擺動振子而測定重力，其所測得之偏倚，平均爲 $0 \cdot 0006$ 達；故知其地，殆完全在海底下抵償矣。

第六節 等壓之程度

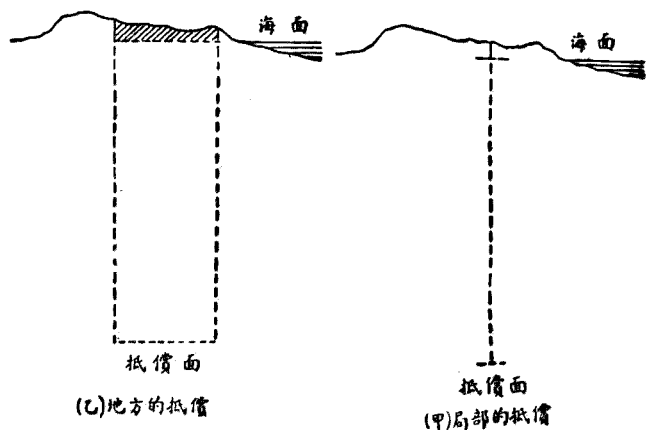
地球內部應地殼表面之凹凸而有抵償，即地殼內部之壓力，無論何處皆相等事，有傑赫麥爾特氏使用在全世界所測之材料以確定之者。又如在廣範圍之美國而行研究，亦可確定之。即如在提羅爾山地之面積亦可；又在瑞士對於阿爾卑斯山脈及朱辣山脈 (Tura Mts.) 等之地下，抵償略近完全一事，亦經研究。然則無論到如



第七三圖 罕森在北極海測量重力之位置

何狹小之面積，此關係果亦能成立乎？

今設地殼表面之地形，無論取如何狹小之面積，其局部與局部之地下均行抵償。又設在觀測重力之地點，以某距離為半徑之面積中，其地方之地形平均抵償完全；而用此局部的抵償與地方的抵償以修正實測之重力時，則其殘餘偏倚之大小，如次表所示，稍有差異：



第七四圖

半徑 全國平均

局部的抵償 0公里 — 0.002

18.8公里 — 0.001

地方的抵償 58.8公里 — 0.001

167.7公里 — 0.002

僅限於山地

+ 0.003

+ 0.003

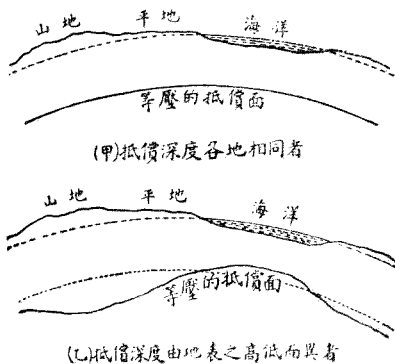
+ 0.000

— 0.010

觀此表，全國平均雖不能十分確定；但局部抵償可

謂之爲不適當。縱在地方的抵償內，若將其半徑作爲一六七公里，則又過大。單就山地而言，則知在半徑一九公里面積以內之地方的抵償最爲適宜。故在半徑較六〇公里尤小之面積，其地形未能一一完全抵償也明矣。

抵償之深度，無論在何處均爲一樣否亦重變之點也。如赫麥爾特氏用全世界所測之材料，或僅用美國內



第七五圖

之材料，其所計算得之抵償深度大概相同。又用其所得深度計算之，在印度或瑞士等國，其抵償之關係，略見完全成立。由此觀之，若取相當廣面積之平均值，則平均之抵償深度，無論何處，均似相同也。

部宜氏在研究美國之重力時，曾算出各地之抵償深度，由此則成如次之結果：

地方	數	抵償深度
全國	二一六	五七·一公里
東部		六二公里
西部		四八公里
山地全部	五六	九五公里
特高之山地	二〇	一二四公里

觀此表，則覺抵償之深度，各地互異；但部宜氏則謂各地之抵償深度均同。即據氏之理想，謂取廣大之範圍時，則在平地所測之數極多，故抵償深度，不能十分精確；若單用山地所測之結果，則抵

償深度，當能最正確以定之。據上表所得結果觀之，其深度爲九五公里，若單由特高山地之觀測而算出此深度時，則數較此更大；但其所測之數少，故不能過於重視也。由山地全體所算出之抵償深度，爲九五公里，但赫佛爾得由山地鉛直線偏倚所算出之深度爲九六公里，因此二結果十分一致，故取其平均數之九六公里，乃最近於真之值，此乃部宜氏之意見也。

但在高處與低處其地下抵償深度不同之理想，反較無論何處，均同一深度之理想尤爲自然。故如上表所示：平地之抵償深度約爲五〇公里上下；普通山地約九五公里；特高山地約一二〇餘公里之數，乃極重要之結果；今忽略此數，而反謂無論何處均同一深度之理想，稍覺不當也。

然因地方不同而地下之抵償有不完全者，非洲東部有廣大溝，此地溝中，有坦干伊喀 (Tanganyika)，尼亞薩 (Nyassa) 等多數之長形湖泊存於其間；其一部更與北方之紅海及約旦河 (Jordan) 裂谷 (Rift-Valley) 相連。在紅海附近，其北方之重力概不足，而其南方，則有重力過大之傾向，此係北方之地殼中物質不足，而南方之地殼中物質過多故也。

東非洲地溝附近，乃古地理學上所謂公得瓦那大陸 (Gondwana Land) 之殘留部；形成距

海面約一二〇〇公尺高之臺地，其中有深約三六〇公尺之地溝；一方又有由臺地面聳起六〇〇公尺之高地。測定此地之重力，加以部給修正，及施以對於地下抵償之修正後，所得偏倚如次：

	平均高度	80"-100"	801-1000"	岩層過不足
高地	1780公尺	-0.135	+0.020	過260公尺
臺地	1199公尺	-0.131	-0.007	不足60公尺
地溝	839公尺	-0.157	-0.018	不足100公尺

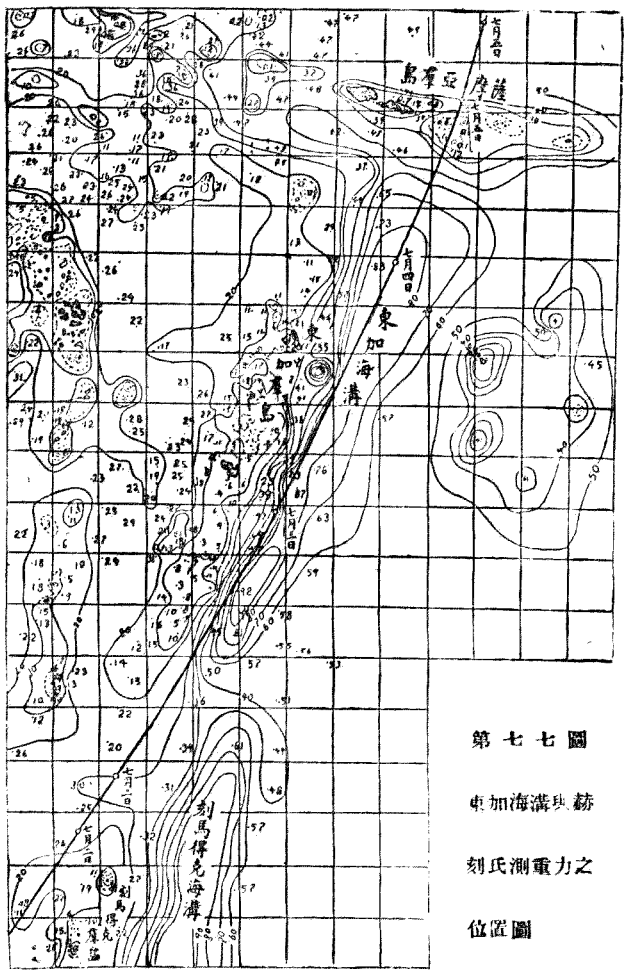
臺地部之地

下抵償，大約雖可完全；但高地下，則物質過多，而地溝物質又不足。此過與不足，若以地下



地溝湖 地溝谷

第七六圖 東阿非利加之地溝



第七七圖
 東加海溝與赫
 刻氏測重力之
 位置圖

岩層之厚度表之，則高地下約有二六〇公尺之過多岩層，而地溝下則有厚一〇〇公尺之不足也。

恰與此同一之狀況，海溝中亦能見之。在南太平洋中，新西蘭之北方，有所謂東加（Tonga）海溝，此海溝附近之海底，以東北方向之線為境界，此境界線以西之海，深度在二〇〇〇——三〇〇〇公尺之間，其以東之海竟深達五〇〇〇公尺。沿此境界線之東，北有東加海溝，南有刻馬得克（Kermadec）海溝，二溝之長均超過一〇〇〇公里，其幅之廣亦達一〇〇公里；其最深處在海面下九四〇〇公尺，與其附近之海底比較，尚低四〇〇〇公尺。一九〇四年，赫刻氏測太平洋之重力時，曾取道於東加海溝上，而測其南方海中臺地上，及此海溝上之重力，其所得之結果，與加以地下抵償之修正者如次：

深度	$g_1 - \gamma_0$	$g_1 - \gamma_0$
2700公尺	+0.213	+0.163
7300公尺	-0.235	-0.135
8500公尺	-0.245	-0.155

即在海底臺地上，縱行地殼內部抵償之修正，然亦尙殘餘十分之七；而在海溝，則尙不足者約十分之六。此海溝之底及臺地高度之差，約五〇〇〇公尺，因其在海水中，僅有岩石與海水比重差之影響，故改作地上岩石之厚度時，約與三〇〇〇公尺相當。其十分之六·五，即與二〇〇〇公尺厚岩石之相當，尙殘餘而未被抵償。即在海溝下，尙有與此相當之不足，而在其附近之臺地上，則有同程度之過剩也。

第七章 浸蝕與堆積

第一節 風化作用 (Weathering)

地殼所加於其內部之壓力，雖各處均成一樣而平衡；但地表有種種作用，常呈打破其平衡之狀。此等作用中，吾人最易覺知者，即地殼表面已崩壞之岩石，漸次由高處運積於低處之事實是也。構成地殼之岩石，無論其為火成岩或為水成岩，均相當的堅硬，此等堅硬岩石，不能以原形運積於他處，須先受風雨之浸蝕破壞後，始能被運積而分布於各地。此種岩石曝露於空氣中而分解崩壞之事，稱曰風化。風化作用，可分為化學的與機械的（物理的）二種。又動物及植物之生活力，亦能起風化作用；但其作用多屬化學作用，間亦有樹木之根入於岩石裂罅中，因其根長大，漸將岩石脹破，而成機械作用者。

化學的風化作用，例如岩石中之某種氧化鐵，更攝取空中之養氣而化合時，則此起化學變化之部分，遂分解而與他部分分離。又或因起化學變化之結果，一部被水溶去，岩石遂行崩壞。岩石中含量較多之長石類 (Feldspars)，亦常被氧化而成陶土，因之岩水各部，遂時有崩壞之事；尤其顯著者，則為岩鹽等物質，常常溶解而去。又石灰岩亦被含碳酸之雨水徐徐溶蝕，久之遂作巨大之裂罅空洞。在石灰洞中，由其洞頂滴下之含石灰水，因水蒸發，於是石灰再沈澱而結晶，成較純粹之方解石 (Calcite)；若經時久，沈澱加多，則由洞頂垂下而成鐘乳石；其滴於洞底而漸漸沈澱者，則成石筍，石筍與鐘乳石互相連接者，遂成石柱。如此由化學變化，將岩石之一部全體溶去，或使其一部變質，遂使岩石被壞。此種變化，因行於岩石之表面與水及空氣相接之部，故岩石若為一塊，且其表面平滑時，其變化雖緩；但若一部破壞，表面生凹凸時，則面積增加，其變化之速度遂增大。反之，巖石被破碎為角礫，其表面不平而多稜角部，即先行變化而成平滑之圓礫，但成圓礫後，則其變化之速度，遂不如前之大矣。

機械的變化，亦有種種，其最顯近之例即凍結作用。接近地面之縫隙中若容有水，則其水凍結



第七八圖 鐘乳石及石筍

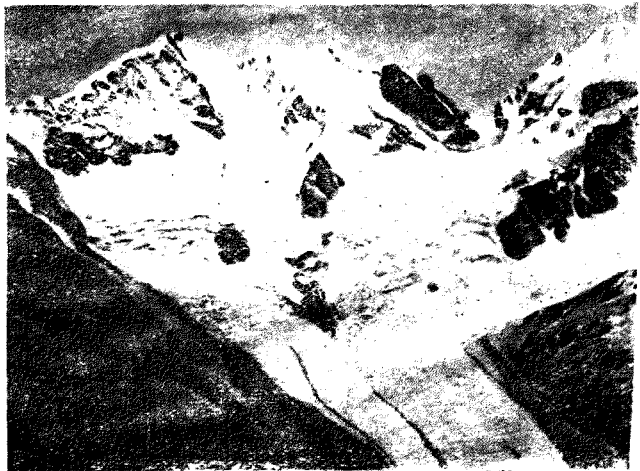
時，容積增大，岩石遂被破脹。又冰結晶時，常向與冷卻面（即地面）成直角之方向延長而成水柱；因此，故土之表皮遂被衝起而與下部分離，將行固結之崖面，遂漸被破壞。即堅硬之岩石，亦皆有多少細裂罅，若其中含水而結冰時，則因容積增加，壓力增大，遂致破壞。如此則地面或岩面遂成凸凹，凸凹既成，又易起化學變化；則是化學的及機械的二種作用，相輔並行而風化地面也。

溫度之助長風化，不僅凍冰而已，又岩石因溫度之增減而有脹縮，但岩石傳熱極緩，故僅受太陽熱之表皮部，其脹縮較著，稍至深處，則無此變化。因此外部與內部之伸縮程度不同，故岩石之形亦稍變；若溫度之變動劇烈，超過岩石之最大彈性時，則岩石之表皮崩壞而脫落。即不至崩壞之程度，其間亦成多數之裂罅，裂罅既成，則水浸入，風化之程度亦因之而進。彼花崗岩之表面，常剝落而現出新面一事，乃吾人所常見者也。構成岩石之各種礦物，因溫度變動，而伸縮之程度，皆有多少差異。故當溫度之變動劇烈時，各礦物容易分離，岩石之組織以鬆，此乃助長岩石風化及崩壞最有力之作用也。

又在風強之地方，岩石因風力而漸被消磨，岩石直接受風之磨消雖少，但若風吹走砂及小石，

時，則不獨砂石磨消岩面，且砂與石亦互相摩擦而漸消滅。在沙漠，高山，或海岸等之裸出地方，常受強烈之風吹，故岩石之表面受風蝕既甚，砂礫亦成光滑之形。

冰河之作用，亦與此相似，且其作用之時間更長；冰層之厚者，常達三〇〇〇公尺，如此厚重之冰層，徐徐滑動於地面時，其浸蝕力亦不可小視。且冰在途中，尚包入多數之石塊；此等石塊，受巨大之冰塊壓着而磨地面，則地面之土壤與軟地層等之被其蝕去，固不待言；即地殼面之硬岩石，與此等石塊亦漸漸削去。其磨削之細渣，則被運至冰河之終端，至冰融化時，其細渣固由冰水搬運以去，積於遠處



第七九圖 阿爾卑斯山之冰川

而成細土；而粗渣及礫石等，則留於水河之終端，此即所謂終堆石（Terminal Morain）也。

雨亦同樣有機械的作用，當雨滴落下時，因重力之故，以加速度而向地面落下，到地面時，小滴雖多少受下層濃厚空氣之抵抗，而稍減其



第 八 〇 圖 土 柱

落下速度，然大滴之速力仍大，因此之故，地面多少受其破壞而漸漸洗去；若地面有大石保護之下部，則仍存在，久之遂成一戴石之土柱。雨水之流於地面，集合而成河流，河水流於地面時，地面備受其機械的及化學的破壞。在河之上流，其中石塊雖多稜角，然漸被流走，則其稜角漸消而成圓石。又海岸之石，因常受波浪之輾轉磨礪，結果亦成圓形。此等石塊受水轉動時，固互相摩擦而致消損，但其對於川海之底或岸，常加以莫大之削磨而使其破壞也。

第二節 搬運作用

地表之岩石風化後，由種種力搬運而至他處；其搬運之狀有時隨處分散，有時將大部分全體搬運以去。搬運之力，普通可分水力及風力之二種；在說明此二種力之作用以前，須先附加說明重力之作用。水之流動，固亦係重力之作用，但此處所欲附言之重力，乃直接受重力之作用者也。

直接受重力作用之事項中，雖亦包含霜柱融解時之崖土落下及高山上土砂之自然落下等，但尤為大規模者，則為山崩(Land-Slide or Land-Sleep)與地流(Land Creep)。山崩之成因極其

簡單，主由重力之作用而來。一般山之傾斜，均成可以保持土砂之角度，故土砂不崩失；若其山斜面之一部，爲川河或人工切去時，則其上方之大量土砂，驟失支持，在平時尙可由摩擦力而保持其原位，若遇降雨或其他動力時，則突然崩落。

地流乃地盤因重力而行極緩之流動，不若山崩之急劇。此種流動，吾人不能立見，乃經長時間始能測知者也。欲知地流現象，僅可用其他方法間接證明之。足以證明地流之最著現象中：其一，爲樹木之傾斜或彎曲，蓋植物之生長，均沿垂線向上直伸，若無特別原因，決不傾斜或彎曲。若斜面地流動時，則其上之樹木，因變位而不能直向上伸，故其幹之方向亦變。在流動之速度小時，則樹木因生長之速度，



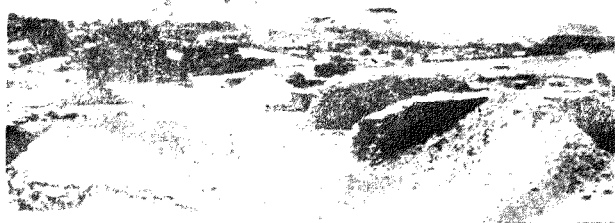
第八一圖 印地亞那之砂丘

尙可與流速競爭，而保其原來之狀況；但若流速增大，則樹幹一面受重力而變位，一面又因生長而上伸，故其幹稍彎曲；若其流速更大，生長之速度決不能與之競爭時，則其在流動地面內之樹木，均以同一之傾度向流動之方向傾斜也。其二，爲斜面地之波曲 (Warping)。蓋地面若流動，則因地中之抵抗及摩擦等防礙，其流動之速度不同，遂使地面生水波狀之波曲；波曲之小者，固僅現不平之狀態，至其大者，則成丘陵。又在終年凍結之兩極傾斜地方，因冰緩緩流動，地殼上部亦隨之而流動；故在此種地方，其地形常不一定，今日此處之丘，他日則爲他處之丘矣。

風之搬運土砂作用，在乾燥氣候之砂地，壠埠 (Loam) (壤土) 地，或海岸地最爲顯著。砂丘 (Sand-dune) 卽爲風所漸漸搬運，而向風之方移動者也。中國之戈壁新疆以及中亞細亞地方，均爲乾燥地，故風之搬運作用極盛。此等乾燥砂漠地方，概多砂丘，此砂丘因風吹送不息，常向風之吹向移動，故大都市及大森林等均被埋沒，中亞新疆戈壁及埃及地方，往往由砂丘下發見古代廢墟，蓋均由風之搬運土砂所致者也。中國之黃河流域，爲廣大之黃土 (卽此處所謂之壠埠) 層所覆，此黃土亦爲風由我國西部砂漠地方所送來之細砂；又如近年在埃及之開羅所發掘之舊街市，

亦往時爲砂丘所埋沒者也。

如此重力及風，雖均能搬運土砂，但均不若流水搬運之規模大。風化後之岩石，或破碎之細片，由雨水運入河流而搬運於海，其一部雖溶於水，變爲溶液而流去，但其大部，則由水力以原形狀而搬運至地處。其最粗大而最重者，則僅搬至近處即行堆積，故川河之上流，均爲石礫粗砂，其稍細而稍輕者，則被運於較遠之地方始能沈澱；故川河之中流，多爲細砂及泥土也。至於最細之細泥土，則被搬運最遠，往往堆積於下流地方；其成溶液者，則被搬運更遠，混入海水中。冰河之搬運力亦大，其搬運雖不若水之速，然無論分子之粗細，均一樣搬運，一樣堆積，乃其特徵也。



圖八二 羅開之出掘

第三節 浸蝕 (Erosion) 之速度

地表之岩石，風化而被流水搬運於他處者曰浸蝕。因浸蝕之故，地表遂漸減低；但水削磨地盤而搬運以去之力，因岩石之性質，構造，及其土地之傾斜而異，故浸蝕之程度，各處皆不同。某地若被水蝕而作谷形時，則水皆集於此，其質量既增，流速亦大，於是浸蝕亦愈盛，結果谷愈增大。如此因浸蝕之程度各處不同，故其速度亦不易定；但在一地方，其全體浸蝕之平均速度，則可以推定者也。

降於其地方之雨，大部均流入河中，其浸入地下或蒸發於空中者甚少。且流入地下者，終必成泉水而再流入川河。凡一地方，其水均流入於一河中者，其地方稱曰該河之流域。在地圖上，溯該川之本流及支流，至源盡之分水線，即可定其流域之境界；地理學上定河之大小，均以流域之面積為準。世界流域最廣之河流，爲南美洲之亞馬孫河 (Amazon)，其流域之面積，約爲七〇五〇〇〇〇方公里；非洲之剛果 (Congo) (三六九萬方公里) 及北美之密士失必 (Mississippi) (三二五萬方公里) 次之；至於我國之揚子江 (一七八萬方公里) 黃河 (九八萬方公里) 則頗小也。如

此既知川河之流域面積，若更知其在某時間內所溶去或搬運之物質，則其流域全部之平均浸蝕速度，亦可推知矣。

河水運搬土砂之能力，因其流速而顯有差異，故在流速大之上流，即粗礫石塊亦可被搬運，而至流速極小之下流（但如非洲之河下流反急）則僅能搬運極細之砂及黏土而已。普通河流，其一秒時間之流速約為五〇——一五〇厘，稍速者每秒約三〇〇厘，但在急湍處較此更速，每秒亦有達一〇公尺者。水之搬運力與速度之關係如次：

速度

能搬運之物質

一秒〇・〇七公尺

黏土

〇・二

細砂

〇・三

粗砂

〇・七

小礫

〇・九

稍大礫

河水所搬運之土砂石量，因山之量與速度而大有差異，若在多雨時，特以洪水時，僅一時即可搬運大量之土砂；故欲測河水搬運物質之量，須經長時間而取其平均方可。實行測量時，須先測定河底之橫斷地形；更由水準之高度，而測其水之橫斷面積，然後再用水速計，或適當漂流物而測定當時之水速；由此則在一秒時間所通過此橫斷面之水量可知矣。又將當時之水，取其一定容積，而測其中所浮物質之量；於是此河在一秒間所搬運物質之量亦可知之。接近水之表面，所浮者多係細物質，近川底者多係粗粒物質，故測定物質之量時，須從各種深度，取多次之水以測之。又各季所運搬物質之形及量亦不同，故每日須繼續測定，將一年所測之結果平均之，始得該川一年內在一個單位時間之平均水量及土砂量。得一年之平均數後，更用多年所測者平均之，則其河所搬運物質之量可以確知矣。今據從前用此法所測定之各川示例如次：

河名

流域面積（單位萬方公里）

一年中搬運之土砂量（單位億噸）

黃河

九八

六·七一五

密士失必河	三三五	三・〇四〇
揚子江	一七八	二・五八〇
拉巴拉他河	三一〇	〇・六二五
尼羅河	二八七	〇・五二〇
多瑙河	八二	〇・五〇四
羅尼河（倫河）	九	〇・三六〇
恆河	一〇〇	〇・二五六
波河（Po R.）	七	〇・一六三
烏拉圭河	三八	〇・一五〇

次則須定溶解於水而搬運以去之物質量；此乃用化學方法，將水中所溶解之礦物量測知後，即可用前法算出。因岩石礦物之溶去，所需時間相當長，故在洪水時，其含礦量反較平時少。即以來因河（Rhine）爲例觀之，亦可概見；在洪水時與少雨時，來因河之水一立方公尺中，所含溶解物質

固形物質之量，用克表之如次：

	溶解物質量	固形物質量
一八五一年三月之洪水	一一・二三克	二〇・五〇克
一八五二年三月之平水	一七・〇八	一・七三

此測量若行於相當長之年月而取其平均時，則亦可得一定之值。茲有可注意者：即用地表之岩石行風化實驗時，雖因岩石之種類而有差異，但取其平均觀之，其由化學作用而溶解之物質，與由機械作用而破碎之物質，大概有一定之比例，即約為三與七之比；實際上，就較著之河流，將其中所含之溶解物與固形物測定時，其比例仍與此近似。今就數河流，測出其溶解物與固形物之量，以與前表所示之同形物量比較，若以固形物對於全體搬運物質量（即溶解物與固形物兩方之總量）之比為 ω ，則大概之河流，其值均相近似；用表示之如次：

河名	一年間所運搬之溶解物	一年間所運搬之固形物	ω
密士失必	一・二二〇億噸	三・〇四億噸	〇・七一

尼羅河	○・二一〇	○・五二	○・七一
羅尼河	○・〇八五	○・三六	○・八一
烏拉圭河	○・〇七五	○・一五	○・六七

用上表平均計算，則固形物量，占全物質量之○・七二；溶解物量，則占全體中之○・二八；此比例或因河流而不同亦未可知，但作為平均值使用之，當無大差也。前表已將河水中之固形物質揭出，若用之除之，則可算出河流所搬運之物質全量。然此乃為重量，若依和謨茲（Holmes）之計算，用地表岩石之平均比重二・六，即可將此改為容積；若用各河流之流域面積除此容積，則在一定期間內，各河流域被浸蝕之平均厚度可以知之，由此，則各河流域在一千年間所浸蝕之厚度如下：

河名

浸蝕之厚度（浬）

黃河

四二・二

多瑙河

三・三

密士失必

五·〇

羅尼河

二一·五

揚子江

七·八

恆河

一·四

拉巴拉他

一·一

波河

一二·四

尼羅河

一·一

烏拉圭河

二·一

由是可知黃河流域之浸蝕，在各河中最速，其速之原因，當以其流域黃土層多故也。此外各川其浸蝕速度雖各有差異，但如此不易求得之僅小數值，其程度亦大概相同。

若以此等數而取其平均，以作陸地全體之浸蝕度時，恐亦不致有大差。但取平均時，不可取最後表中所示千年間浸蝕厚度之平均數，因計算之厚度所用之面積均不同，故須各項乘之，求出其

容積，然後將其和以全體面積之和除之，作爲平均之浸蝕度方可。如上表所記，河流所搬運物質之全體容積，在一千年均八〇四立方公里，流域之和爲一四三四萬平方公里，由此則各河流域全體，平均一千年間，被洗去五·六〇浬之厚度。此乃相當廣面積之平均，若就各部分而言，則其受浸蝕之度，亦有較此速者。

第四節 堆積之速度

溶解於水中之物質，大概均流入海，而不溶於水之固形物則不然。由急傾斜之山腹洗下之物質，因水之速度大，故其量多而粒粗，即巨大之石，亦能被搬運而去；至平地時，傾斜減小，水遂擴散，速度亦因而大減，故在山腹能搬運之土砂，於此已不能再搬，於是大部分土砂，均堆積而作鳩尾狀之扇形沖積地，又曰錐狀沖積地（Alluvial Fan or Cone）。又河流入湖海時，因其流速減緩，故其所搬來之土砂，均堆積於河口而作三角洲（Delta），因其形頗似希臘文之 Δ 故也。此三角洲亦與扇狀沖積地爲同一性質之物。凡搬運土砂量多之川流，流入浪靜之海中時，均作巨大之三角洲，如我

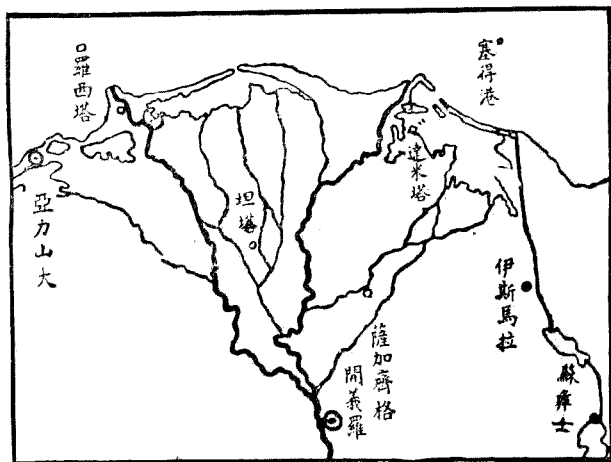
國之長江、黃河、非洲之尼羅、奈遮 (Niger) 北美之密士失必等，其最著者也。至在波浪大之海岸，川河雖搬來多量之土砂，然亦難成三角洲，蓋由海向陸進行之波浪將川河所送來之土砂反對向陸岸沖積，使川口淤塞，致川道不直入海，而水流與海岸平均。

對於三角洲之構造，有曾深掘地下，調查其土砂層之配置狀況而研究之者。在尼羅河三角洲距海岸一八〇公里之紮加濟格 (Zagazig)，今日發掘之結果，知此處厚一〇〇公尺，此三角洲距海岸一六公里內地之達米伊塔 (Damietta) 在一二四三年尚爲臨海之地，由此計算，則可知該處之海岸平均每百年間，向海中擴展二四公里。又意大利北方之波河之三角洲，每百年平均向海中擴展一三・六公里。



第八三圖 扇狀沖積地

構成三角洲之物質，主爲礫及砂，至於細泥，則遠散於海中始沈積。如揚子江等川河，其細泥遠達距河口二〇〇公里以上之海中，始行沈澱；其混細泥之黃水與清澄之海水，境界極其明瞭，在航海時，可以明白見之。黃河及其他川流所搬來之細泥，亦遠布於黃海。此等分布於遠海之細泥，大概均沈積於沿大陸附近二〇〇公尺以內之淺海底，至其最遠者，究達何種深度之海中，實難確定。黃河揚子江均搬運極豐富之土砂，除遺棄其一部於中流及下流，作成廣大之沖積平地外，其細土砂，則遠運於海岸及近海而成三角洲及淺砂洲；如今日黃河岸之低平地方，在歷史上無其名者，今日已成廣平之海



第八四圖 尼羅河之三角洲

岸平地。此等地方，其向海中擴展之速度雖未測知，徵已往之記錄，其擴展速度之大可以想像。

岩石中所含之鐳(Radium)與土砂同被搬運於海中，設堆積於淺海與深海中之泥及溶解於海水之各物質中，均含同量之鐳，則將淺海堆積物中之鐳量，及溶解於海水中之鐳量，由陸上岩石中所含之鐳量減出時，即可知深海堆積物中所含之鐳量；且由此亦可知其質量。據此種研究之結果，知深海所堆積之泥量，為搬運於海中全體泥量之3%，此鐳之分布，不僅存於所搬運泥中而已；溶解於水而流於海，再沈澱於海底之物質中亦含有之。此沈澱於海底之物質，大部為碳酸鈣，至於食鹽等可溶性鹽類，則常溶解於海水中，而不沈澱者也。

陸地之被浸蝕速度，平均一千年間約五·六〇厘，已如前述。此被蝕去之物質中，約5%為鹽分而溶於海水中；3%為入於深海之泥；其他部分，則沈澱於淺海而成水成岩。陸地之全面積，約一億五千萬平方公里，近海岸三〇〇公尺以下之大陸架（或稱大陸裾）面積約二千五百萬平方公里。依此，設大陸架上所堆積或沈澱之水成岩，其比重與已被浸蝕之陸地同為二·六，則於一千年間，當積成約三〇·九厘之厚層。

大陸架上所成之水成岩，以砂岩，泥板岩，及石灰岩爲主。若依河水所搬運之土砂，與其中所溶碳酸鈣之分量爲比例，而定此三種水成岩之量，則百分中，平均砂岩約爲七〇，泥板岩一六，石灰岩一四之比。由此則砂岩，泥板岩，及石灰岩，於一千年間所成之厚度，各爲二一·六呎，四·九呎，及四·三呎。

堆積於海中之物質，不僅由河搬運而來，海水浸蝕海岸所沖下之物質亦應加入。海岸被浸蝕之速度，雖由海岸之性質而異，但據基啓（Geitner）之推定，蘇格蘭之大西洋斜面，一千年間平均約蝕去三公尺。和謨茲氏曾假定全世界海岸，被浸蝕之度均與此相同。海岸之高度平均約四五公尺，海岸之總長約二〇萬公里而計算之，其結果若由海岸沖壞之物質，皆平均分布於淺海底上，則一千年間所積於海底之岩石，平均約厚〇·一呎。

第五節 堆積與地球之年齡

地球自成與今日相近似之狀況以來，究已歷若干年代，可用種種方法推定之。最初以數量推

定地球之年齡者，爲第十二章所述之英國物理學者克爾文卿 (Lord Kelvin [William Thomson]) 氏由地殼中之溫度分布研究之結果，決定地球自凝固以來，至今已歷二千萬至四千萬年；但一般人對此，尙覺過短。其後更以河水從陸地運於海中之物質爲材料，而決定地球之年齡，但此方法可分二種：

(1) 據一般所知，海水之比重平均爲 1.026 ，含有之鹽分約爲 3.5% ，鈉約占 1.08% 。至海水全體之量，據推定約爲 1.18×10^{24} 克，故今日海中所含鈉之全量，爲 1.27×10^{23} 克。地殼凝固，海洋成立時，海水中究有鹽分與否，不可得而知也。今假定最初全無鹽分，又以今日所含之鹽分，均爲河流從陸地洗來而漸漸嵩積於海中者，則以河水所運於海中之鈉量，即可定地球之年代。由河流洗於海中之鈉量，雖不易定；但據從來之精密研究，全世界一年間，約爲 1.56×10^4 克，若以此等之鹽分均集於海中，則海洋自成立以來，當已經過八十萬年矣。

此種理想，乃以河水搬運鹽分之速度，自始至今未變化，又以地殼全體之狀況，從來無著大之變更者也。但此外尤有不可不加考慮者數點，即運入海中之鈉，不永久存於水中，或成岩鹽，或含於

水成岩中，再現於陸上，因此之故，今日尙殘於海中之鹽量，較由陸地洗下之全量非少不可，此分量當爲 4.2×10^{20} 克，是以上所推定之年數，較實際上約短三百萬年。其次因海風而吹上之海水分量，亦有巨大之影響，故由雨水中之鹽分與降雨量推定之，則非加六百萬年不可。此外海水又溶解海岸之岩石而取其鹽分；若以此加入計算，則非從計算之年齡中，減去三百萬年不可。其他恐河水所含之鹽分中，一旦入海，更移於陸地上，再還於海亦未可知。若將此等各點注意計算之，則由海水所含鹽分以推定之，地球年齡，約九千萬年。

(2) 由河水所運之土砂及溶解之碳酸鈣而成水成岩一事，亦可作推定地球年齡之材料。如前所述，水成岩之成立速度，合砂岩、泥板岩、及石灰岩計之，約爲一千年與三〇・九裡之比例。由地質年代之初，以至今日堆積之水成岩，雖各時代所堆積之地方不同，但其所堆積之淺海面積，大概恐與今日無甚差異。如此，則合計各地質時代水成岩之厚，即爲最初至今日所成之總厚度。此推定雖爲難事，但依從來試推之結果，則從始原代以後所成之水成岩，全體約厚一〇一五〇〇公尺，若以水成岩之成立速度除之，則地球之年齡，由始原代至今，已歷三億三千餘萬年；與由海中鹽分

所定之年齡比較，則極長也。由此等種種方法，均不能確定地球之年齡，但如第十三章所述，自鐳之研究成功以來，知地球之年齡更長，約十六億年。

第六節 浸蝕堆積與地殼之平衡

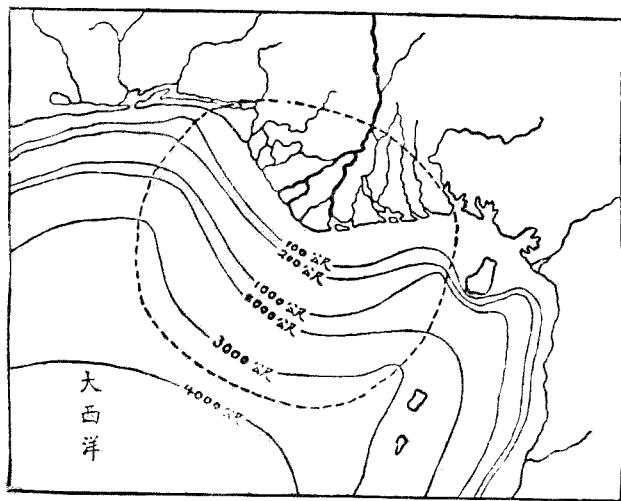
地殼所加於其內部之壓力，無論何處，均同一樣而歸於平衡一事，既述於前矣。然而在地球表面，往往有多量之物質，時而由一地洗去，時而又堆積於他處，因之地殼壓力遂生變化；若地殼若爲極薄弱之物，則必應此物質之變位而立卽起變動，但實際則未見之。原來隨浸蝕或堆積作用所起之地熱變化，及與此相伴之岩石膨脹等事，亦不能不加考慮；單由移動物質重量之機械的影響，其質量之分布雖相當變化，然地殼中亦不致生出與此相應之變化也。

浸蝕因地方而有顯著之差異一事，自勿論矣。在新成之谷中，雖以常狹隘之地方而行劇急之浸蝕作用，但在較廣之地面，則浸蝕速度反小。又海底泥之堆積或溶解物之沈澱，因行於相當廣之面積，其作用甚緩。如此地表物質緩慢移動時，地殼卽應之以行調節一事，殆無有也。若有之，則堆積

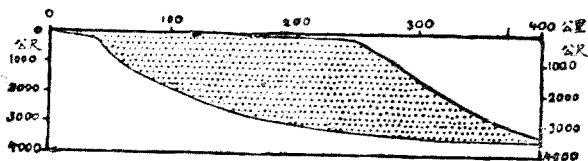
較速之三角洲地方，特有研究之價值也。對於此點，巴勒爾 (Barrell) 氏特有所研究。

三角洲中，如密士失必等川所堆積者固極大，且年年增加，但其形複雜，故暫置不論，而取其他較大者。

在非洲西岸，注入基尼灣 (Gulf of Guinea) 之奈遮川 (Niger)，其三



0 100 200 300 400 500 公里



第 八 五 圖 奈 遮 河 之 三 角 洲

角洲極大，即現於水上者已極廣，而其下部廣擴於海中。其附近海之深度，據測量結果，至三〇〇〇公尺之等深線，猶向外海突出，至四〇〇〇公尺之等深線，始反向陸地灣入，由是可知此三角洲之基部，已延至三五〇〇公尺之等深線處。三角洲所踞之海底地形，雖難直接知之，但以之與鄰接海底之地形相同，則無大差。如此則其面積及厚度等，亦可計算而知矣。三角洲因係新堆積物，若以其中有一〇%爲間隙，則此部若以水充之，其比重當較地殼之平均比重三·六七稍輕，故以其比重爲二·五〇較爲適當。因其平均比重一·〇三之海水中，故其所加於地殼之壓力，即與其差數一·四七相等。今就奈遮川之三角洲，用此比重而推定其種種數量如次：

全體之總面積

一九五〇〇〇平方公里

變爲圓面積之半徑

二五〇平方公里

平均厚度

一一〇〇公尺

與此相當之陸上岩石厚度

六一〇公尺

最厚處之厚度

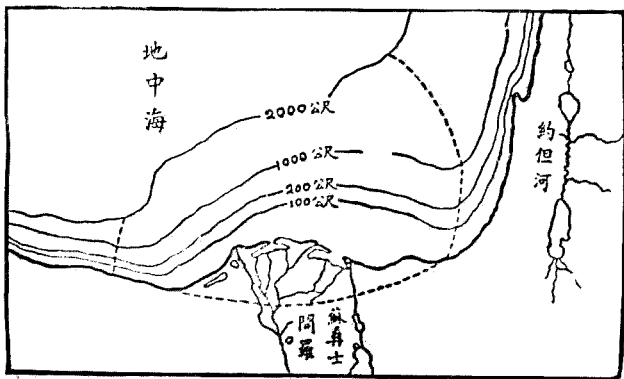
三〇〇〇公尺

與此相當之陸上岩石厚度

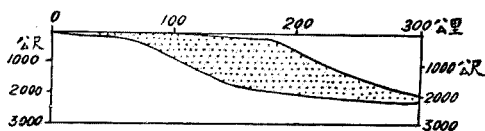
一六五〇公尺

此乃最大之三角洲，基尼灣雖成立於中生代 (Mesozoic Era)，

而奈遮川之三角洲，自地質上考察之，則似成立自第三紀末葉，以年代計之，即成立自二百五十萬年以前者也。在今日此三角洲尙增大與否，雖不可知，但因三角洲未成立以前之海岸，距今日之海岸，不足二百公里，故知其自開始成立以來，平均每百年，僅擴展八公尺；與上述一般三角洲發達速度比較，則非常緩慢；其



0 100 200 300 400 500 公里



第八六圖 尼羅河三角洲之延展部

原因恐係在成立最初，向海中擴進之速度甚速，而其後漸次增大，因重量增加，海底遂下沈，故在外觀上，幾不見其增長也。

此外尚有尼羅河之三角洲亦頗大，此三角洲，在今日每百年間，猶以二·四公里之速度向海中進行，其現在之數量的關係如次：

全體之總面積

七一〇〇〇平方公里

變為圓面積時之半徑

一七五平方公里

平均厚度

八四〇公尺

與此相當陸上岩石之速度

四六〇公尺

最厚處之厚度

二三〇〇公尺

與此相當之陸上岩石厚度

一二六〇公尺

此三角洲與奈遮三角洲比較，其規模雖小，但在今日，猶常增大；其增長雖不若波河三角洲之速，但其以相當之速度向海中進行一事，甚明瞭也。其所成立之地方，在地中海南岸，據荳斯 (Stross)

之說，此地乃極新之地質時代，由斷層落下所成，故知此三角洲之成立年代亦極新。

奈遮河三角洲下之地殼，已達其所能支重量之最大極限，故因新加土砂之重量，地盤日見下沈，是以此三角洲外觀上早已不見其再有增大。察此三角洲之附近，無顯著之地殼變動，故知其下沈，全由新加土砂之重量而來者也。

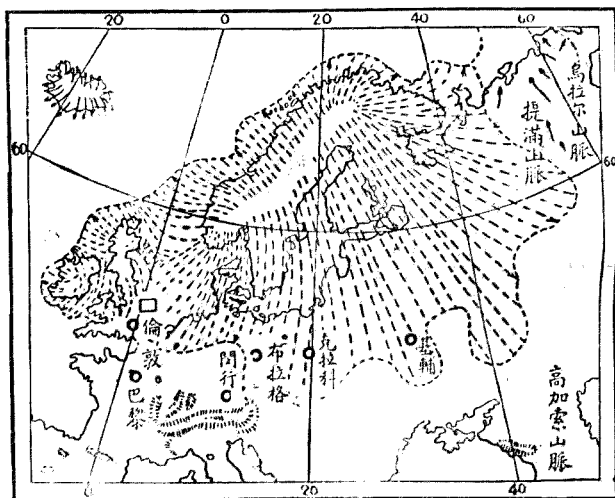
第七節 冰層之重量

與土砂堆積而地殼下沈相類似之現象，即爲冰層重量之影響。今日雖僅在高山或兩極地方有冰層，但在第四紀初，歐洲及北美之北部，廣大之面積，均爲大冰層所覆。當時冰層之厚度，據粗略之推定，似達一五〇〇至三〇〇〇公尺，若以冰之比重爲一·〇，岩石比重爲二·七，則此厚度之冰，與五〇〇至一一〇〇公尺厚之岩石層相當。冰河成立當時之狀況雖不詳知，但在其溶化後，陸地有漸次隆起之形跡，則爲明白之事實。

歐洲之冰河，由斯干的那維亞半島，南越波羅的海至德國北部，東及俄羅斯西部，其開始成立

之時代，乃在距今日約百萬年以前。

冰河之先端，因在溫暖地方，漸次融溶成水而流去；此水搬運冰中所含之泥，堆積而作黏土層；但冬季與夏季，因冰之融解速度不同，故各年中所堆積之黏土，成明瞭而易分辨之層；若算此層數，即可知其經過之年代。得幾爾 (De Geer) 氏對於此事注意研究；其結果知冰河開始消退，至斯干的那維亞半島南端之後，至完全消退所費之時間，已費去五千年。由斯干的那維亞半島至德國之間，隔有一海，故不十分明瞭，但據推測，此間亦約經過五千年，即冰河開始消退至完全消去時，共費去一萬



第八七圖 斯干的那維亞冰河之跡

年。

自冰層消去後，至今已歷若干年代雖不可知，但據冰河時代後所成地層之條痕推察，最少亦已經七千年，故知大冰層自開始消退以至今日，已歷一萬七千年以上，而事實上恐較此更古也。

如此，冰層既在極長年月間堆積於斯干的那維亞半島

地方，則地殼亦必應其重量而下沈。此時地殼深處，比較易動部分向他方移動，使地殼又開始上昇。今日此地方之隆起速度，尙可於相當期間測知之，如在斯德哥爾摩(Stockholm)附近，自一



第 八 八 圖 檢 查 黏 土 層 之 得 幾 爾

七七五年至一八七五年間，隆起約五〇哩。又冰河時代後，曾住於此地之原始人，至今猶遺留有穴居之跡及石鏃等。若蹤跡此等遺物之分布，則見最古之未磨石斧，分布於最高處，其後之新磨石器，（譯註）發見於低處。由此等海岸之蹤跡察之，此處隆起最高之部，已及於二七五公尺，就斯德哥爾摩而言，若以此速度而隆起，至達今日之高度，應費五萬年。重量雖已取去，而隆起尚繼續如此長之年月者，蓋岩石與液體不同，乃屬黏性故也。冰層完全消失之當時，土地尚受以前之影響而有繼續沈降之形蹤，其後土地開始隆起時，最初速度頗大，漸次乃減緩而繼續於長時間也。

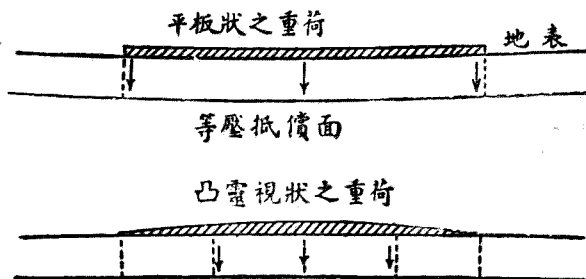
（譯註）石器時代之人類所作之石器，因其知識之進步與否，其製作之方法有巧拙之分，最幼稚者為打製，次進於鑿製，最後始進於磨製。

第八節 地殼之強度

地殼之表面，物質雖有移動，然地殼不應此而即變形。如斯干的那維亞地方，其地殼之變形，須經相當之長時間；且其變化之質量亦有限，又取去同程度之質量，或從新加上時，始起變形。即地殼

乃賦有某種程度之強力，對於外來之力，能維持其原形；此性質非彈性學上所謂之剛體，乃破壞時之強度也。斯干的那維亞半島在冰河消退後之隆起，亦非彈性上之變形；乃隨地殼廣大部分之變形所起之調節運動也。

地表普通岩石中之強硬者，對於其面積一平方裡，施以七〇〇——一〇〇〇妊之剪斷力即可破壞。所謂剪斷力，乃平行於物體中之某一平面作用，而依其平面之方向以變其形之力也。地表之物質，雖有如此強度，但地殼中之強度究有若干，不可得而知也。幸而由奈遮河之三角洲，已略知地殼強度之極限，故即可以此為材料而求之。若在以等壓的關係而平衡之地殼上，置有以 ρ 為半徑， H 為高度之圓盤狀岩層時，則其重量當為 $\rho \pi r^2 H$ ，乃岩石之比重，此重量若僅以地殼之厚度 ρ 支之，其下部容易變形時，則



第八九圖 地表之重荷作用於地殼之力

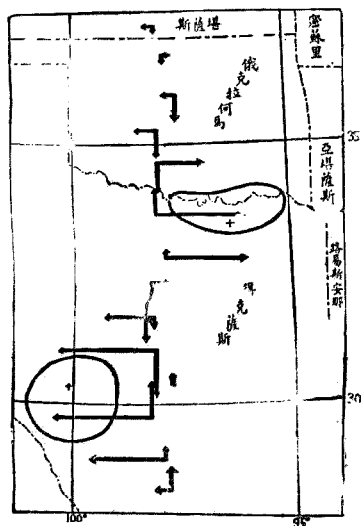
支此岩層者，爲沿其下圓筒周圍之強度，此圓筒面積爲 $2\pi r h$ ，故以上述之重量除之，則可得作用於單位面積之剪斷力。今就奈遮河之三角洲計算此力時，則地殼全部能堪此剪斷力之極限，一平方哩爲三四〇呎；此強度僅與地表岩石強度之 $\frac{1}{10}$ 相當而已。但三角洲之物質，中央厚而周圍薄，故此種想法不充分，因其最厚之處，僅一·六公里，半徑二五〇公里，故面積與厚度比較，亦覺過廣。若此厚度距中央愈遠而愈減，則剪斷力之最大部分在由中央至全半徑處，此處之剪斷力，一平方哩約爲九百呎，或可以之作地殼全部之強度歟。

地殼之內部，因深度不同而強度亦異之事實，亦不可不加以注意。關於此，則重力及鉛直線偏倚，即爲入手之導線；此方面之研究，爲巴勒爾氏所創始。在美國更就等壓的抵償而修正重力及鉛直線偏倚，觀其所得之餘數時，則見各處均有其局部規則的分布，直線之偏倚，約隔一一〇公里即現反對方面之顯著餘數；又重力方面，在正與負之餘數部分，其中央最大值中約 $\frac{1}{10}$ 之值，在美國東部，多在平均相隔四〇公里之地位。此種餘數之分布，究何所示，蓋即地殼中比重不平均之關係歟。

地殼中多餘之比重，若以之爲球形時，則由此所生之鉛直線偏倚，其最上部雖爲零，但由此點

至一·五二倍之深處，則達最大，較此更遠，則反減小。重力之影響，在球之直上最大，自此以至於一·三倍之深度，則減至一半。由此著想，因在鉛直線偏倚之反對方向，存有大數值之距離約一一〇公里，故知在地下約三六公里附近，必有比重之過不足。又從重力方面觀之，由重力最大處，隔四〇公里即成半分，則其處當在地下三〇公里附近。

在球形僅能定其深度與其全體之過剩或不足之質量而已，若在他種形狀，則其大小與比重，大概均能定之。依此種方法而調查地殼中比重過不足之深度，及其分布之範圍時，則有種種程度之數值。由此種不規則分布所起地殼內部剪斷力之分布狀況，若依達爾文就山脈所想者勉強推

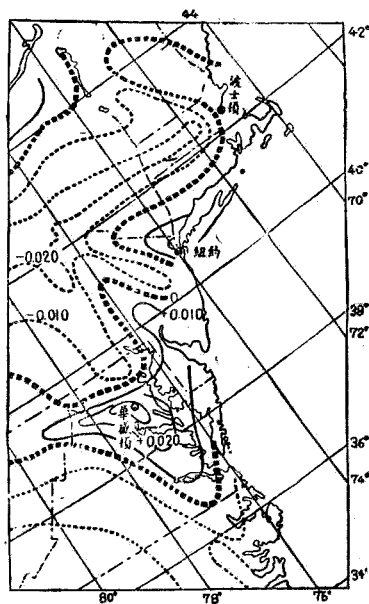


第九〇圖 修正後之關係等壓行
鉛直線偏倚差

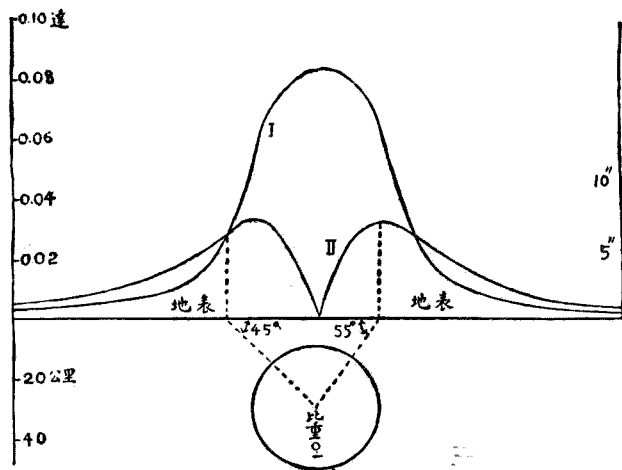
察之，則在此種過量比重半徑之約1附近，當現最大之剪斷力。由此等理想，就鉛直線之偏倚及重力之餘量充分吟味，而察現猶存於地殼中之剪斷力之分布時，則由此更可推測地殼中之強度，其結果如次。

深度	強度之比	深度	強度之比	深度	強度之比
〇	一〇〇	三〇	四〇〇	二〇〇	二〇〇
二〇	四〇〇	五〇	二五	三〇〇	三〇〇
二五	五〇〇	一〇〇	一七	四〇〇	四

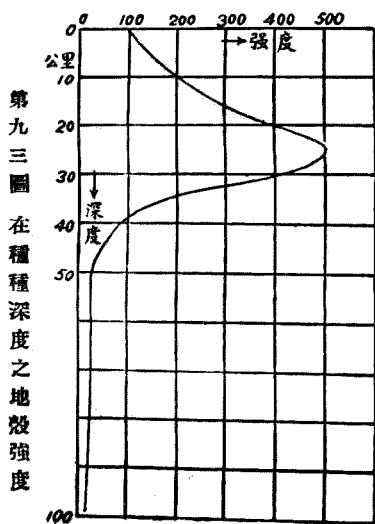
地表之岩石每一平方糎，平均雖有能堪剪斷力九〇〇〇妊之強度，而在深度三〇公里附近，地



第九一圖 行等壓的關係修正後之重力差



第九二圖 因地下之餘量比重所起之重力偏倚(I)及鉛直線偏倚(II)



第九三圖 在種種深度之地殼強度

殼最強約為地表之五倍，自此以下，其強度似急減小。地殼之等壓關係，在深度六〇公里附近雖已完全，但在其下，則非常弱。故地表若發生勝過地殼強度之不均時，則地殼必被變形而在此弱層中調節之。

