

天文學解説 (一)

理學士 本田 親二

緒言

天文學會の目的の一は天文學の普及といふことである。即ち天文學の知識なき人に其知識を傳へるといふ目的であつた。それで初號以來八年に亘つて天文月報は其目的の爲に努力した。執筆せられた諸先生より我等編輯の局に當るものに至るまで皆會員諸子の要求に一致する様に勉めた。而して其結果は如何であつたかといふに、或一部の人からは卑近に過ぐるとの評もあつたが、大多數の所謂専門家ならざる會員諸子よりは餘りに難解であると非難せられた。如何にして其非難を除くべきかといふ問題に就て我々は少からず苦心したが、其結果として出來た産物の一が即ち本編である。

私は自から天文學を解説する資格があるとは思つて居ない。只諸先生の補助を受けて從來蓄積した零碎な知識を常識的に述べて、全く天文學を知らなかつた人々の参考に供したい目的である。それで天文學の一般的知識及び專用語の解釋等に重きを置いて、高尚なる數學的研究の方面にはなるべく觸れない豫定である。けれども其結果の重要なるものは勿論述べることにはしやうと思ふ。月報は本篇の

爲に別に四頁を増刷することにしたが、此解説が何時まで繼續するかは會員諸子の要求によつて定まる問題である。私は種々の注文、批評、質問等を希望し、それによりて本篇を益々適切ならしむる様に努力したいと思ふ。

又本篇は一定の順序を追ふて天文學の諸問題に觸るゝ豫定であるから、今まで月報紙上に掲載せられた諸論文と重複する様な事になるかも知れないけれども、それは止むを得ない事であるから看過せられんことを希望する。

第一章 總論

一 天文學の範圍 天文學の實用的及び趣味的方面の效用其他に就ては特に初めに述べねば必要はあるまい。如何となれば本誌の讀者は天文學に對して十分の興味を持たれることは確かであるからである。けれども順序として先づ述べなければならぬことは、天文學の定義、研究の範圍及び其諸分科に就ての概略の説明である。

天文學の定義は人々によつて色々であるが結局は言語の相違に止まつて、實際の研究對象に就て疑問の起ることは殆んどない。

最も簡單にして要を得たる定義は、

「天文學は天體を研究する科學なり」

といふのであらふ。茲に天體と云ふのは太陽、惑星、衛星、彗星、流星、恒星、星雲、宇宙塵等の總稱であつて、我地球も惑星の一であると云ふ意味に於て天體である。是等の天體

は廣大なる空間に散布するものであるが、其空間は各種の力及びエネルギーを傳播するものであるから、所謂エーテルを充滿せる此空間の研究も天文學の範圍に入ることが出来る。それで天體間の空間の研究をも定義中に入れる人もある。

二 天文學の分科 天文學は前述の如く天體の研究をなすものであるが、其研究の目的及び方法等によりて其内に種々の分科がある。本篇に於ては其各分科に就て一々述べることは出來ないけれど、吾々は其名稱と一通りの意味だけは了解する必要があると思ふので茲に掲ぐることにした。

天文學の最初の需用は曆の構成であつた。其爲に昔の天文學者は天空に於ける太陽及び月の運行を精密に研究する必要があつた。其基礎として恒星の位置も定めなければならなかつた。斯の如き天體の位置は、夫れ等の距離が不明であるが爲に、單に方向によりて定められるものである。其爲に昔の學者は天球なるものを假定し、其球上を總ての天體が運行するものと考へて問題を簡單にした。従て球面上の天體の運行の研究が曆の構成に必要となつた。現今に於ては球面三角術の應用及び器械の精密の度の増加によつて此方面の研究も非常に精密となつてゐる。天文學の此分科を球面天文學と名づける。

ニウトンによりて天體運動の法則が明にな

つてから、其原則によつて力學的に天體の運行を研究する一分科の發達を見た。これは球面天文學其他天體の運行を基とする種々の應用方面の基礎となるので、天文學の甚重要な分科を構成し、天體力學と呼ばれて居る。

最近物理學及び化學の發達に供は、光度計、寫眞器及び分光器等を天體に應用して天體の物理學的及び化學的組成等の研究をなし得る様になつた。其爲に天體の實質に關する知識は非常に増加することになつた。此方面の研究を天體物理學と稱する。

以上の諸分科に亘りて皆其基となる材料は觀測によりて得るのであるが、其觀測を精確にする爲には、諸種の觀測器械の理論及び應用に通曉するを要する。又諸種の天文現象の觀測法及び其結果の整理法にも一定の知識を必要とする。其他天文學の應用的方面即ち、時の測定、經緯度の測定、航海者に關する必要な觀測等に就ても研究を要する。かゝる實際的方面の天文學を實地天文學と呼ぶのである。實地に對して其理論的方面の研究を理論天文學と呼ぶことがある。

又以上の諸方面の研究の結果によつて宇宙を全體として考へ、其内に於ける天體の分布の状態を研究する宇宙構造論と、過去現在未來に亘つて天體の變遷及び進化の状態を研究する宇宙發展論とは相合して宇宙論なる一分科を構成する。これが天文學の最深最奥なる

部分である。

天文學全般に關する邦文の參考書

1 通俗講義天文學(一戸直藏著)上(既刊)

下(印刷中)

2 宇宙の進化(蘆野敬三郎著) 全。

第二章 地球

三 天體としての地球 地球は太陽系に屬する一個の惑星であるから勿論天文學の研究の對象となるものである。けれども地球は吾人人類の住所であつて種々の方面から人類の生活に影響を及ぼすので、それ等の方面を分析し綜合して研究することになつて多數の科學を生じて居る。つまり地球に關する科學的研究は天文學以外の多くの科學によつて分擔せられてゐる。即ち地球上の生物の研究には生物學あり、礦物に關しては礦物學及び地質學あり、地球表面の人類棲息の状態に關しては地理學、地文學、社會學等あり、大氣に關しては氣象學がある。然らば地球に關する天文學の問題は如何なるものかといふに、是を二種に區別することが出来る様である。

第一は他の天體の研究上必要なる豫備知識である。地球は吾人が觸れ得る唯一の天體であるから、其研究が他の同様なる天體の研究に於て類推の基礎となり又は測定の單位となることが多い。其爲に吾人の知らざるべからざる事は地球の形狀、大さ、密度、剛性及び大氣の状態等に關する知識である。

第二は地球と他の天體との相互の影響の問題である。即ち地球の空間に於ける諸種の運動、太陽より受くる光と熱との作用、月の及ぼす潮汐作用の影響等は此種類に屬する。以下簡單に是等の問題を叙述しやうと思ふ。

四 地球は球形なり。今日地球が圓いといふことは三尺の童子も知れる事實であるが、如何にして其事實を證明し得べきかといふ點に就ては不十分なる知識を有する人が多い。最も普通に用ゐらるゝ證明法は、(一)地球は一周し得るものなること、(二)表面が凸形に見ゆること等である。第一は一五一九年より一五二二年に亘つてポルトガル人マガリ^ア・エンスの船が世界を周航して以來、實證せられたる事實で、地球が無限の平面にあらざること、を明にする十分なる證據である。第二の事實は西紀前三百年代の希臘の學者アリストテレスが既に其證據を列擧して居る。即ち高所に昇るに従つて地平線による視界の廣くなること、恒星の高度が緯度によつて變化すること、月食の際月面に映る地球の影の圓形なること等によつて、彼は地球の球形なることを主張したのである。けれども是等の證明法は地球が球に近い或種の立體であることを彷彿せしむるのみで、其眞の形が球であるか廻轉楕圓體であるかを精確に立證することは出来ない。

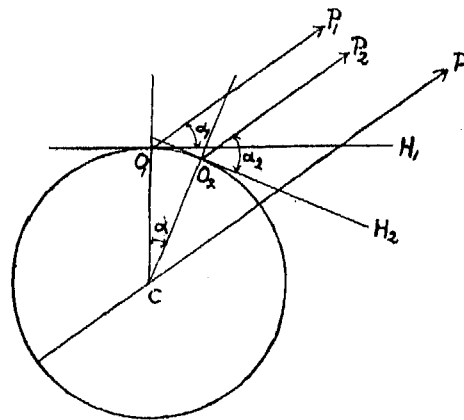
實際地球の形狀は山岳海洋等の起伏する爲

に凸凹極まりなき表面を現はして居るが、若し地球上の總ての陸地を平らかにして等しき深さの海で全體を蓋ふ様にすれば其海面は略ぼ所謂廻轉楕圓體となるものであらう。けれども地球の扁平の度は甚小で、球形との差は著しいものでないから、話の順序として先づ地球を完全なる球形なりと想像して其證明法を考へて見やう。

地球の球形なることの最簡單にして最確實なる證明法は下の如きものである。即ち、水平面或は鉛直線の方向が地球表面に沿ふて旅行する距離に正比例して其角度を變化すること、及び其變化の割合は出發點の位置、旅行の方向及び旅行の距離等によつて變ることがないといふことを證すればよいのである。今圖によつて若し地球が球形であれば以上の證明が必ず成立することを説明しやう。

第一圖に於て圓は地球を現はし其中心をCとする。觀測者が O_1 より子午線に沿ふて O_2 まで旅行すると考へよ。CPは地軸を延長せる線で、天空の極即ち北極(北極星の附近)の方向を指すものとする。所が天空の極の方向は地球の何所より見ても同一であるから、 O_1 及び O_2 より見たる北極の方向、即ち O_1P_1 及び O_2P_2 はCPと平行である。 O_1 に於ける地平面を O_1H_1 、 O_2 に於ける地平面を O_2H_2 とすれば、兩地に於ける北極の高度即ち北極の方向と地平面となす角は、圖に於ける α_1 及び α_2 である。

然るに α_1 と α_2 との差は全く地平面の方向が變化した爲であるから、つまり O_1H_1 と O_2H_2 となす角に等しい。又 O_1H_1 及び O_2H_2 は各地の鉛直線即ち O_1Q_1 及び O_2Q_2 と各々直角であるから、幾何學の定理によつて前者間の角は後者間の角即ち α_1 に等しい。故に地球が球形であれば二地點に於ける極の高度の差は、二地點間の弧が中心に於て張る角に等しい。而して



第一圖

圓の弧と夫れが中心に於て張る角とは常に正比例するもので、圓以外には斯の如き比例をなす曲線はない。それで旅行せる距離と地平面又は鉛直線の方向の變化とが如何なる場所にも等しき比例をなすときは、其表面が圓形で、全體が球であることは明である。圖に於ては北極星を利用して南北の方向の旅行に就て考へたが、任意の方向に就て考察するも

皆同様である。

歴史に就て考察すると、始めて地球の球形なることを稱へたのは西紀前六世紀の希臘の學者タールレスであるが、彼は何等の證明をも試みなかつたらしい。其後アリストタレスに至つて前述の如き説明を試みたが、今茲に圖解した證明法を實行して、地球の大きさを測定しやうと試みたのは希臘のエラトステネス(紀元前二七六一—一九五)を以て嚆矢とする。彼が埃及に於て太陽の高度が緯度によりて變化することを發見して、其實測をなし、夫れより地球の周圍を推算したのは有名な話である。彼の得たる結果も可なり精確なものであつた。

其後希臘及びアラビア等に於て同じ目的で觀測を試みた人もあつて、皆可なりの結果を出してゐるが、歐洲に於ける基督教の興隆は再び一般の人心をして天圓地平の迷説を信ぜしむる様になつた。其弊は第十五世紀の末まで文運の進歩を阻止したが、一四九二年に於けるコロンブスの太平洋航海は新氣運の初を作り、コペルニクス、ガリレオ等の研究を経て、地球球形説は一般の信用を得るの地歩を漸次獲得し、マガリアエンスの地球周航によって全く迷説を打破し得た。

(參照) 1、希臘の天文學(本田) 天文月報第壹卷第拾壹號、第貳卷第貳號、第五號。
2、亞利比亞の天文學(本田) 天文月報第貳卷第六號。

3、歐洲中世紀の天文學(本田) 天文月報 第貳卷第拾壹號。

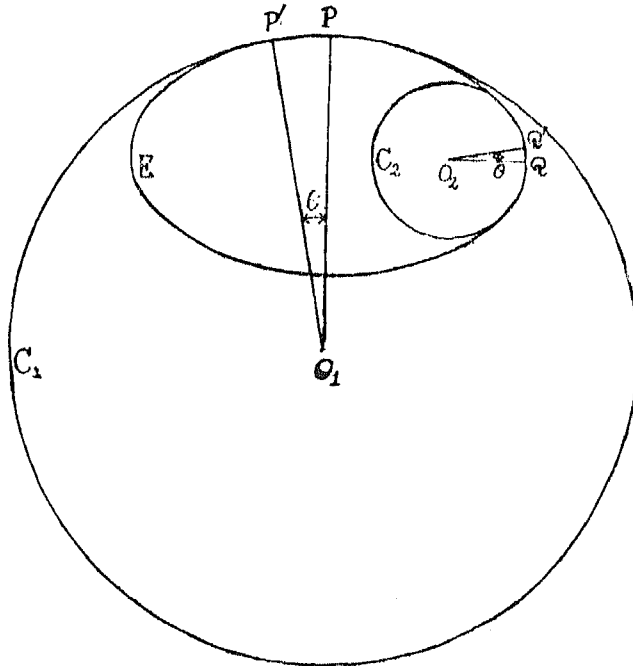
五 地球は少しく扁平なり。前節に地球が完全な球形であると假定して、夫れを證明する方法を述べたが、若し地球が完全な球形でないとするれば、以上の方法は異なる比例を現はすべき筈である。其比の各地に於ける異同によつて吾人は地球の眞形を推定することが出来るのである。數百年に亘れる數多の測定の結果によつて吾人の知り得たる地球の形狀は前に述べたるが如く大體廻轉橢圓體であることを知り得た。即ち地球は赤道の平面に平行な切口は圓で、兩極を含む切口は橢圓となるものである。先づ地球が斯の如き形狀のものであると假定して、其結果が觀測に如何に顯はるか云ふことを考察しやう。

第二圖に於て橢圓Eは地球の兩極を含む斷面を現はし、 O_1 を中心とする圓 O_1 は地球の極の部分と曲率即ち表面の屈曲の割合を同じくする圓を示し、 O_2 を中心とする圓 O_2 は地球の赤道部と曲率を同じくする圓を現はす。實際地球の曲率は圖に示すが如く甚しい差があるものではないが、別り易い爲に殊更に扁平の度を著しくして示したのである。又 θ にて現はせる角 PO_1P' 及び角 QO_2Q' は等しい。(こゝには十度とした)

今吾人が北極の附近に於て南北の方向に旅行する時には、つまり O_1 圓上を旅行すると同

じことであるから、鉛直線或は地平面の方向が十度變化する爲には $P'P$ の長さだけ旅行しなければならぬ。然るに赤道の近傍では鉛直線が十度變化する爲に小なる O_2 圓上の弧だけを行すればよろしい。即ち鉛直線の方向

第二圖



の差異に對して、異なる距離を旅行することを要する。圖に於て O_1 圓は O_2 圓よりも大であるから、其半徑に比例して $P'P$ と $Q'Q$ の長さは定まるであらう。それで若し地球が極に於て扁平なる橢圓體であるとすれば $P'P$ が $Q'Q$ より大でなければならぬ。これに反して鳥瓜

の如き赤道に扁平なる橢圓體であるとすれば $Q'Q$ が $P'P$ より大でなければならぬ。

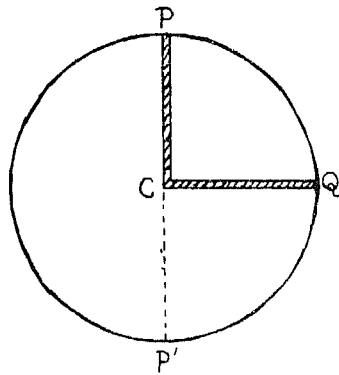
斯の如き見地によつて、地球の各地に於て、鉛直線の方向を一度だけ變ずるに必要なる南北の距離を測つて、其結果を綜合すれば、地球の形狀を明瞭に知ることが出来るのである。此方針によつて地球の實測を試みた最初の人は佛蘭西のカッシニ父子の天文學者で一六八三年から一七一八年までの年月を費して、巴里を通過する子午線に沿つて約八度半の距離を測定した。即ち鉛直線の差が八度半だけになる地球表面上の長さを定めたのである。若し地球が極に於て扁平であるとすれば北に赴くに從ひ一度の差に相當する地球表面上の距離が長くならなければならぬ筈である。所がカッシニの結果は不幸にも反對であった。即ち南に赴くに從つて少しづつ長くなる様な結果となつたのである。それを一般に眞とすれば地球の眞形は鳥瓜形となるべき筈である。佛人は此結果を信じて主張したが、英國人はニウトンの假説によつて地球が極に於て扁平なるべきを主張し、兩々相對峙して下らなかつたが、其原因はカッシニの測量が不精密であつた爲である。地球の扁平の度は繼續せる八度半の距離の兩端では其差を著しく現はす程ではないから、少しく誤差の大なる測量であれば反對の結果を見ないとも限らないのである。

天文學解說 (二)

理學士 本田 親一

英國人の信じたニウトンの假説は地球が扁平なる楕形のものであることを主張するもので、彼は有名なる「水道證明法」によつて其説明を試みた此方法は地球の重力と地球の自轉によりて生ずる遠心力との關係を別り易く説明しやうといふ目的で案出せられたものであつた。第三圖の圓を兩極を含む地球の斷面

第三圖



を現はすものとし、P'P'を地軸の位置、Cを地球の中心、Qを赤道表面上の一點とする。ニウトンは圖に現した様に地球の内部にP'Qなる水道を開鑿して、其中に水を満たした場合作を想像した。若し地球が静止せるものとすれば、CP及びCQなる二つの水柱は其長さが相等しき場合に等しき重力を受けて夫れ

等のCに於ける壓力が平均する譯である。けれども地球は回轉するから其生ずる遠心力を考ふる必要がある。CPなる水柱は地軸と一致するから、地球の回轉による遠心力の作用を受けないが、CQなる水柱内の水は、Cを離るれば離るゝ程大なる回轉の速度を有することになるから、其生ずる遠心力は重力と反對の方向に働いて、つまり水を外に飛び出させやうとする力となるから、其結果CQなる水道内の水の分子は幾分軽くなり、Cに於ける壓力を減ずることとなるべき筈である。それでP'Q'全體の水が平衡する爲には少しくCPの壓力を減じてCQの壓力を増さなければならぬ。つまりCPの水の高さが減じて、幾分CQの方に流れ込まなければならぬ。其結果はCQがCPより長くなければ平均しないと云ふことになる。其長さの比は地球の自轉の速度と重力の強さから計算し得べき量である。ニウトンはCQとCPとの比は二二〇と二二九との比に等しいと算定した。此考は地球が全部液態であつた場合に直ちに應用し得べきものであるが、過去に於て地球が斯の如き状態であつたと信ずべき理由があるから此結果は正當であらうと想像せられた、それでニウトンは此結果が實測によつて證明せらるべきことを豫言したのである。然るにカッシニの結果は反對であつたので一時爭論の種となつたが、其後一七三五年に

佛國政府はブーグエー、コンダミン、ゴードン等を南米ペルーに派遣して、赤道附近に於て三度の弧の長さを測定せしめ、又モウペルツアを北米ラブラントに派遣して北極圈附近に於て約一度の弧の長さを測定せしめた。一七四五年頃漸く是等の事業が完成したので結果を比較して見ると、赤道附近の一度に相當する弧の長さは極の附近に於けるよりも短かいことを發見したので、ニウトンの豫想通り極の方が扁平であることが立證せらるゝこととなつた。其後各地方に於ける實測の結果は皆同様であつた。

地球が極に於て扁平であることは赤道の部分が隆起して居る爲である。其赤道を中央にして隆起して居る部分を待に赤道隆起帯と名づける。即ち地球より赤道隆起帯を除けば残りは完全なる球形となる筈のものである。地球の扁平を證明する方法は尙數個ある。其一は地球表面の各地に於ける重力の測定によるものである。表面の重力は地球の中心より表面までの距離の二乗に反比例するから、赤道に於ては極に於けるよりも重力が小でなければならぬ。又重力の値は赤道に近づくに従ひ遠心力の強さを増す爲に幾分減少するから、赤道附近に於ては距離と遠心力とによつて二重の減少を來す譯である。重力の實測は明かに其結果を示すもので、それによりて地球の形狀を推測することが出来るのである。

る。此方法は物理學の範圍で、重力の測定には主として振子を用ゐ、其振動の週期と振子の長さを測定して重力を算出することになつて居る。

又月は地球の引力によつて其軌道上を廻轉するものであるが、地球の月に對する引力は、地球が完全なる球形である場合と赤道隆起帯のある場合とは少しく値を異にする。此計算は天體力學の精密なる研究によるもので、吾人が若し赤道隆起の量を知るときは月に對する引力の増加する量を算定し得るのである。引力の値が定めれば月の運行の状態を推定し、其結果と實際の月の運行の觀測とを比較して其當否を決定することが出来る。又逆に月の運行の實測を基として地球の赤道隆起帯の量をも決定することが出来得べき理である。地球の内部の比重が均一であり且つ表面が規則的に平滑であれば、是等の計算は比較的容易であるけれども、實際は種々の事情が以上の外にもあるので、此方法による精密なる測定は困難であるが、赤道隆起帯の存在することだけは明に立證せらるゝのである。

次に地球が扁平なる橢圓體であれば月の地球に及ぼす引力の影響も球形の場合とは異なる譯である。月の軌道の平面は地球の赤道の平面と一致して居ないから、月から見れば地球の赤道隆起帯を斜に見ることになる。それで月の赤道隆起帯に及ぼす引力は一種の偶力

となつて空間に於ける地軸の方向を變化せしむることとなるのである。これは分點の歳差といふ現象で後に地球の運動の節に於て詳述することにしやう。其結果より又赤道隆起帯の存在を逆に立證し得るのである。これはニウトンが始めて考へた方法である。

六 地球の眞形。前節に於て地球の形狀を測定する方法の大略を述べたが、其結果として吾人の到達したる地球の形狀は廻轉橢圓體であつた。けれども地球の眞形は決して正しき幾何學的の形狀ではなく、ヒマラヤの高峯は二萬九千七百七十尺の天空に屹立し、最近ブラネット號の發見せし南洋の深海は三萬二千二百七十尺に達する。地球の直徑に比較すれば是等の凹凸は極めて微小なものである。けれども、地球の形を精密に決定する場合には閉却することが出来ないものである。けれども大體の知識を得る爲には、斯の如き凹凸は別に必要はない。殊に天文學の範圍に於ては然りである。それで吾人は地球表面に凸凹を平均せる一種の面を作り、其形狀及大きさに就て論ずることにして居る。其面は**平均水準面**で地球上の海面の各所に於ける平均の高さを標準に取つた面である。陸地に於ては此の平均水準面の延長即ち海水を溝を掘つて陸地に引き入れた場合の假想的平均水準面を取ればよろしい。かく海陸を通じて考へた平均水準面を特に**ゼオイド**と呼ぶ。此のゼオイドの形が

地球の標準形と考へらるゝもので、其の精密なる測定は測地學及び地球物理學の問題である。

或人は地球の赤道に於ける切口も圓でなくして少しく橢圓狀をなすと云ふていふけれども精確に立證せられたとは云へない。ゼオイドの形狀は地球内部の質量の分布によつて幾分不規則となるものであるけれども、吾人は大體としては其凹凸を平均した廻轉橢圓體に就て大さ其他を算定すれば十分である。

七 地球の大小。地球表面上の弧の測定によつて吾人は地球の形狀を知るのみならず、又其大きさを決定することが出来る。數多の人が多くの測量の材料を用ゐて地球の大きさを算出して居るが、各人の材料の相違によつて結果も少しづゝ異なつて居る。それ等の結果を綜合して見ると地球の平均直徑は七千九百十三哩位であるらしい。

現今廣く使用せらるゝ値は一八六六年及び一八七八年に英國のクラーク氏の算出したものであるが、其大略の値は下の如きものである。

赤道直徑(2a)	7926.6哩
極直徑(2b)	7899.7哩
赤道周圍	24902.2哩
扁率 $\frac{a-b}{a}$	$\frac{1}{293.5}$

扁率の値は小數點以下の値の取り方によつ

て大に變ずるので、ベッセルの計算では二百九十九分の一となり、ヘイフォードの値は二百九十七分の一となつてゐる。けれども斯の如き詳細の點は餘り重要ではなく、又現今の測量の程度では決し得られないと考へなければならぬ。

是等の値によつて地球の各地に於ける緯度一度の幅を計算すれば次の表に示す値を得る。

赤道に於ける緯度一度の幅	……68,70哩
緯度 30° の地に於ける幅	……68,88哩
緯度 60° の地に於ける幅	……69,23哩
極に於ける幅	……69,41哩
次に經度一度の幅は其地の緯度によつて異なるものであるが、それを表示すれば次の様なものである。	
赤道に於ける幅	……69,65哩
緯度 30° の地に於ける幅	……59,96哩
緯度 40° の地に於ける幅	……53,43哩
緯度 60° の地に於ける幅	……34,91哩
極に於ける幅	0

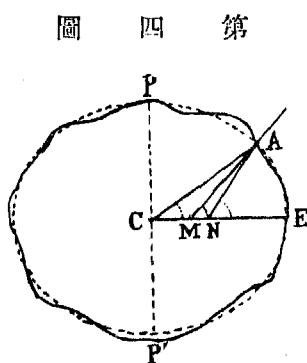
八 經度及び緯度 經度及び緯度に關する一般の概念は皆人の知つて居ること、日常是等を使用して地球上の各地の位置を定めて居る。けれども是等の値を測定するには天文觀測によらなければならぬから、先づ經度及び緯度の正しき意味を理解する必要がある。

地球の兩極と其表面上の一地點を通過する平面を其地點の子午面と名づけ、其子午面が地球の表面と交る線を其地點の子午線と名づける。地球表面の各地點を經過する子午線は皆同模で持に標準とすべきものがないから、便宜上任意の子午線を標準にして、其所の子午面と或地の子午面とのなす角を以て或地の位置を現はす經度とするのである。此標準となる子午線は本初子午線と呼ばれ、現今一般に採用せられて居るのは英國グリニッチ天文臺の天子午儀の中心を通過する子午線である。そして任意の地點の經度とは、其地の子午面とグリニッチの子午面とのなす角である。其角を測る方法は地球の自轉を利用するものであるから、後節に説明を譲ることにする。

次に緯度に就て考へて見やう。地球が完全なる球體であれば其表面に於ける鉛直線即ち水平面に直角なる線は孰れの地點に於ても地球の中心を通過すべき筈である。けれども地球は幾分扁平であるので、兩極及び赤道上の各地點の外に於ては、鉛直線が地球の中心を通過しない。又地球内部の密度は場所によつて著しい差違があるから、従つて重力の方向即ち鉛直線の方が地球の形狀より推定した方向と幾分相違することがある。以上の事實によつて緯度に三種の區別が出来ることになつた。

第一は天文緯度と稱するもので、或地點の

鉛直線と赤道の平面とのなす角を云ふのである。第四圖に於て實線にて現はせる PAE P' を地球の兩極を通ずる断面とし、 P, P' を兩極、 C を地球の中心、 E を赤道上の一點とすれば CE 線は赤道の平面と此圖の断面と交る線となるから、此断面上の任意の地點の緯度を測る基となる線と見てよろしい。今地球表面上の A なる地點の緯度を測る時に、其點の鉛直線 AM の方向を AM として現はすとすれば、其線と赤道の平面となす角は AME である。此角が即ち A 點の天文緯度である。圖に於て明なるが如く、 M は C 即ち地球の中心を通過しない。又 A が者し圖に現はした様に北方に高山を控えて居る時は鉛直線が高山の引力によつて幾分其方に傾くのは止むを得ないことである。斯の如く鉛直線を標準によれば其地方の地球の特殊の状態によつて、赤道からの距離は



第四圖

實際等しくても緯度の異なる場所が出来ることになつて地圖作製等の場合に困ることになる。それで地理學上の目的から別に地理緯度

なるものを定めて居る。其爲に先づ準據橢圓體なるものを定める必要がある前に述べたゼオイドの表面は場所によつて凸凹があるものであるから、其面となるべく一致する廻轉橢圓體を假想し、夫れを基として諸種の測定をなせば比較的理想的の値を得る譯である。斯の如き廻轉橢圓體を準據橢圓體と稱するもので、第四圖に於て其斷面を點線で現はして居いた。此準據橢圓體に對する垂直線と赤道面となす角が其地の地理緯度と云ふのである。第四圖に於てANは其垂直線を現はしたもので、從てA點の地理緯度は角ANEで現はされるのである。實際に於て天文緯度と地理緯度との差は二十秒位になることもある。第四圖は解り易い爲に特に誇大して畫いたのであるから、實際の差の數百倍となつて居るのである。

此二種の緯度の外に地心緯度と稱するものがある。それは地球の中心に基づくもので、第四圖に於ける角AOE即ち或地點と地球の中心とを結ぶ直線と赤道面とのなす角である。此緯度は場所によつては前二者とは數度の差を生ずるもので普通實際には用ゐられない。

天文緯度を測定するには其地の水平面と、其地と天空の北極とを連ぬる直線とのなす角即ち北極の高度を測ればよろしい(前號第一圖の α 及び β の如し)。これが緯度に等しいこ

とは幾何學の初歩で證明が出来る。如何となれば、鉛直線と水平面とは垂直であるし、又北極の方向と赤道面とも垂直であるから、互に直角なる二組の二線間の角は相等しいことになる。それで北極星の高度によつて大體其地の緯度を知ることが出来るのである。けれども精密な測定になれば更に複雑なる器械と方法とを使用するもので、其詳細は本編の範圍外であるから省略する。(天文月報第一卷第八號、緯度變化の觀測法(木村)參照。)

九 地球の比重。普通固體及び液體の比重を測るには攝氏四度に於ける最大密度を有せる。水の質量を標準とする、地球の比重を現はすにも同様に地球と等容積を有する攝氏四度の水の質量と地球の質量との比を以てするのである。吾人は既に地球の大きに關する種々の數値を知つて居るから地球の容積を計算するのは困難ではない。けれども地球の質量は直接に知ることが出来ないから、其點に於て比重の測定は面倒となるのである。

地球の表面に近い岩石等の比重は直接に採集して容易に決定することが出来る。けれども吾人の知れる最深い鑿井も約二哩の深さに過ぎないから、人類の直接知れる地球の部分は地球の半徑の二千分の一位の深さまでであつて、其内部の状態は只想像によりて、推定するのみである。其直接觀察し得る部分の地殻を構成せる岩石の比重は學者によつて多少其

値を異にするけれども、大抵二・六から二・八までの間の結果である。つまり表面に近き岩石の密度は水の三倍には達しない譯である。

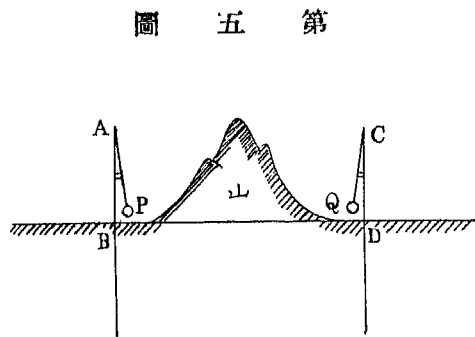
次に地球全體の比重は如何にして求められるかといふと、其方法は色々あるけれども其原理に至つては皆同一である。凡そ總ての天體の質量は既知の物體に對する其引力によりて見出すことが出来る。ニュートンの引力の法則によれば、二物體間に働く引力は夫れ等の物體の質量の相乗積に比例し、距離の二乗に反比例するものであるから、一物體の質量と二物體間の距離と其間に働く引力の強さとを知れば他の物體の質量を算出することが出来る筈である。實際に於ては質量、長さ及び力の單位の取り様によつて異なる比例常數を乘しなればならないから、單に一の物體に對する地球の引力のみから地球の質量を計算することは出来ない。(比例常數を他の方法で求めないと假定して)そこで問題が少しく複雑になるが、それに應じて巧妙なる數多の方法が案出せられて居る。

第一種の方法は、大なる質量を有する既知の物體Aと小なる質量を有する既知の物體Bとを用ゐ、AのBに對する引力と、地球のAに對する引力との比を實驗的に求め、それから地球の質量を計算する方法である。最初に此方法を提出したのはニュートンで、實行したのは佛のブーゲーであつた。

天文學解説 (三)

理學士 本田 親一

此方法は普通に山岳法と呼ばれて居る。此方法の原理を簡單に圖によつて説明して見やう。第五圖を地球表面の一部を現はすものとす。平地の中央に山岳が屹立せる場所であるとする。山の左方なるBなる地點に於て、錘



第五圖

を糸にて吊るす時は其鉛直線の方角は錘に働く全體の重力の合力の方角と一致すべき等である。然るに此地點に於ては右方の山が著しき重力の影響を及ぼす譯であるから、鉛直線は地球の中心に向ふ線よりも少しく山の方向に偏するのである。圖に於てA B線を地球の

中心の方向とすれば、鉛直線は山の引力と地球の引力との合力の方向即ちA Pの位置を取るのである。故に山の質量及び鉛直線の偏角即ちB A P角を知り、且山の重心とPとの距離及びPと地球の中心との距離を測定すれば、力の平行四邊形の法則を利用して容易に山の引力と地球の引力との比を知り、從て山の質量より地球の質量を推算し得ることになるのである。

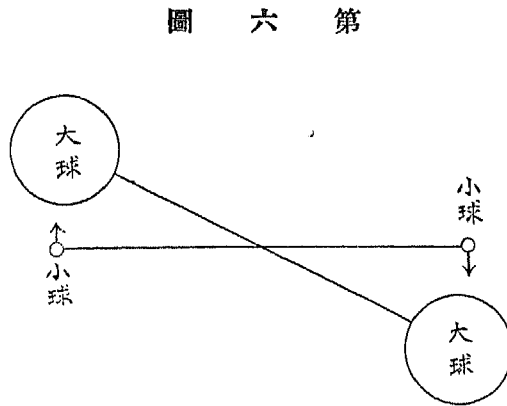
けれども此方法には種々の困難がある。第一、偏角B A Pを測ることが面倒である。A Pの方向は鉛直線によりて現はされるけれどもA Bの方向は直ちに知ることは出来ないから、從て偏角を直接に知る方法はない。此困難は、山に對してBの反對の側にDなる地點を選びて同様な測定をなす時は、これを除去することが出来る。如何となれば吾人は天體の觀測によつてP A線及びQ C線が天空の如何なる方向に向ふかといふことを測ることが出来るから、それによつてA PとQ Cとのなす角を推算し得るのである。A BとO Dとは共に地球の中心に向ふ線であるから、其間の角はB Dの距離から計算することが出来る。故にA PとO Qとのなす角は、二所に於ける偏角B A P及びQ C Dと、A BとO Dとのなす角との和に等しいことになる。山の重心よりP及びQに至る距離が相等しい場合には、二個所の偏角は等しいから、A PとO Q

とのなす角より、A BとO Dとのなす角を引いた残りの半分が偏角に等しいことになる。

第二の困難は山の質量を精算することである。山の内部の岩石の状態を知るには鑿道のある所でもなければ容易でない。又圖に現はした様な平地の中央に聳立せる山岳は實際甚稀であつて、山岳のある地方は一般に地殼が彎曲して居ることが多いから、内部の質量の分布が甚不平等であることが多い。夫れ等の影響によつても鉛直線の方角は多少變化するから、單に山の引力のみによつて偏角が出来ることは云へない。是等の關係を精密に計算することは現今の知識では到底不可能であるから、此方法より精密なる地球の質量を推算することは出来ない。此方法を大規模に試行したのは一七七四年に英國グリニチ天文臺長マスケリーンがスコットランドのシェハリエンに於てなしたる實測であつた。其結果として得たる鉛直線の偏角は十二秒で、地球の比重は約四・五となつた。それより一世紀前にニウトンが地球の比重は五と六との間であらうと推定して居たが、其後の測定によるとニウトンの結果が比較的正しいことが別つた。

地球の比重測定の第二種の方法は捻り秤を使用するものである。捻り秤は普通電磁氣の實驗に於て微弱な引力を測る爲に使用せらるゝものでクーロムの發明であるが、夫れとは全く獨立に英國人ジョン・ミチエルが地球の

質量測定のために同様の機械を工夫したけれども、成效しないで死んだ。其後此機械がキャヴェンディッシュの手に入つたので、一七九七年より八年にかけて有名なるキャヴェンディッシュの實驗を試みて、地球の重量測定に於ける最初の精確なる結果を得ることが出来た。其装置の主要部は中央を長い針金で吊した棒の兩



端に附けた直径二吋の二個の鉛球である。此装置が風の爲に動搖しない様に十分注意して後、直径各十二吋、重量三百五十磅の鉛球二個を前の小鉛球の各に同じ水平面上の反對の側から接近せしむる様に装置する。大球と小球との距離が十分短かくなると大球の引力によつて小球は幾分引寄せられる。其爲に小球の附着せる棒は幾分捻れるから、先づ其角を

精密に測定する。夫れ等の關係は第六圖に示す様なものである。次に力學の法則を應用して、小球を附せる棒を捻るに要する力を測定し、且つ大小二球間の距離を測れば、其間に働く引力と質量及び距離との關係を知ることが出来る。又大球に働く地球の引力は即ち大球の重量であつて既知の量である。故に、大球と小球との引力と、大球と地球との引力との比較より地球の質量を算出し得ることとなるのである。

此方法によつて數回精密に試みられたる實驗の結果、地球の比重は水の五・四四八倍といふ値を得た。

其後殆ど百年の間にキャヴェンディッシュの實驗は色々な人によつて數回繰返されたけれども別に新しい結果を得なかつた。一八九三年に至つてオクスフォードのポイス教授は從來よりも非常に精巧な装置を工夫して此實驗を繰返した。彼の試みた主要なる改良は鉛球を吊るす針金の代りに水晶の絲を使用したことであつた。水晶を熔かして適當な装置にて急に引延ばす時は直径僅に五千分の一吋位の細い水晶絲を得ることが出来る。此微細なる線は鋼鐵線よりも強く、又殆ど完全な弾性を有するので精細な力を測るに大に適當である。ポイス教授は水晶絲を利用してキャヴェンディッシュよりも小形の装置で同様な實驗を試みた。即ち小球の直径を四分の一吋とし、捻り

秤の棒の長さを十分の九吋とし、大球の直径は四吋四分の一と二吋四分の一との二組を以て實驗した。

此實驗の結果として得られたる最後の値は、地球の比重が水の五・五二七倍であるといふことである。又近頃ペーメンに於てマリアシヤインが同法で地球の比重を計算して、ポイス教授の結果の正しいことを再證した。

地球の比重を測定する第三種の方法は精密な天秤を使用するものである。此方法は實際の測定は前二法と同様に非常な注意を要するものであるが、原理は甚簡單である。先づ精巧なる天秤の皿の上に一定の分銅を置いて水平に平均せしめ、然る後に直径一米位の鉛塊又は其他の重き物體を天秤の一方の皿の直下に運ぶ時は、其物體の引力によつて一方の皿は幾分降下することになる。それを平均せしむる爲に他の皿に分銅を増す時は、其増しただけの重量は皿の下に持來した重い物體の引力によるものである。其物體の重量及び皿よりの距離を測れば、其物體の引力と地球の引力との比を知り得る譯である。實際の實驗に於ては天秤の皿を上下の二段に別けて行つたり、又は重き鉛塊の置き所を變化したり、色々實驗者によつて相違があるが、得た結果は大抵一致して居る。獨逸ミュンヘンのヨリーの行つた實驗では五・五六九と云ふ地球の比重の値を得、又伯林の近郊スパンダウに於てリ

ヒアルツ及びクリガール・メンツェルの試みた實驗では五・五〇五となつた。是等の人々は獨立に同じ原理で試みた英國のポインチングの實驗は非常に巧妙なものであつたが、其結果は五・四九三となつて居る。

以上各種の實驗中最精密なりと稱せられて居るボイス及びポインチングの結果は五・五二七及び五・四九三で其差甚少なく、其平均値五・五一〇はリヒアルツ等の結果ともよく一致するから、先づ地球の平均比重は五・五に近い數であることは明であらう。

地球表面の岩石の比重は前述の如く二・七五乃至三であるから、地球の内部は全體として表面の岩石よりも著しく密なものでなければならぬ。此結果を説明するに二通りの途がある。第一は、内部を構成せる材料の大部分が鐵其他の金屬の如き重い物質よりなることを考へるのである。第二は、内部に於ける巨大なる壓力の爲に普通の岩石の様な物も壓縮されて著しく比重を増したと考へるのである。

地球の内部の壓力は非常に大なるものである。水の一立方呎の重さは約七貫三百匁で、等容積の地球表面の岩石の重さは約二十一貫である。此立方形を底一平方呎の角柱に延長すると其高さは百四十四呎となる。つまり高さ百四十四呎の岩石が其底に及ぼす壓力は一平方呎毎に二十一貫となるのである。更に角柱の深さが一哩に達すれば其底に於ける一平

方呎毎に及ぼす壓力は八百貫となる。更に百哩の深さでは一平方呎毎に三百三十噸となる。然るに地球の中心は表面より三千哩以上の深さであるから、其附近に於ける壓力の大きさは到底想像することも出来まい。斯の如き巨大なる壓力が普通の物體を壓縮して平均五・五の比重を現はさしむることは決して不思議ではない。地球の内部の物質が表面と全然異なつて居るといふ直接の證據はないから、比重の差は壓力によると考へても差支へはない様である。けれども此點に關しては今日猶種々の異論があつて一定して居ない。

多くの學者は地球内部の比重の變化は徐々に起り、中心に赴くに從つて漸次大なる比重を有する様になることを假定して居る。ルジヤンドル及びラブラウスは別々に内部の比重分布の式を作り、ラブラウスは其式より地球の中心に於ける比重を一一・〇と算出した。ロシーヌは更に異なる假定より出發して同じく中心部の比重を一〇・四と定め、ヘルメルトは又別の假定を設けて一一・二二及び一一・三と云ふ二つの値を出した。是等の結果によると地球の中心附近の比重は一一に近い値を有する様である。

然るにウィーヘルトは地球内部の比重が徐々に増加するものであるといふ考に反對して居る。氏は地球が同様な物質より成立せるものと考へないで、全く質を異にする外殻と

内核との二つの部分から出来て居ると考へる方が正しいと思つた。それで氏は適當な半径を有する球で地球を内外の二部分に別ち、兩部分の比重を夫れ夫れ一定であると假定した。斯の如き地球が其軸の周りに廻轉せる場合の釣合の形は力學によつて計算が出来るのである。其結果として得られたる式によると若し地球の扁平度と外殻の比重とを知る時は、内核の比重と二部分の境界面の深さを知ることが出来る。扁平度は地球の大きさの所に述べた通りで既知の數である。次に外殻の比重には表面の岩石の比重を其儘用ゆることは出来ない。假へ等質の外殻でも内部に赴くに從ひ幾分壓縮せられて重くなるのは當然であらう。ウィーヘルトは月が昔は地球の一部分であつたと云ふ假説によつて、月の平均比重と地球の外殻の平均比重とが略ぼ同一であらうと假定して、三・四といふ値を採用して計算した。其結果は内核の平均比重が八・四五で、外殻の厚さが約一千哩となる。即ち内外二層の境界面は中心より半径の約四分の三の所にありと云ふことになつた。

内核の比重は鐵、ニッケル等の比重に近いのは面白い結果である。宇宙間に鐵が甚だ多いことは隕石及び太陽其他の恒星のスペクトル等によつても證せらるゝことである。それから地球が一大磁石であると云ふ事實も幾分此問題に興味を加ふるものである。けれども

地球内部に見るが如き高壓高温度の下に於て鐵が磁性を帯び得るや否やの問題は現今の物理學では未だ解決せられないらしい。又此二層説は地震波の傳播の有様から推定した外殼の厚さとよく一致するから其方面にも多くの贊成者がある。

要するに孰れの説が眞であるかを決定することは、證據不十分の爲に現今の學術の程度では不可能であると云はねばならない。

本節の所説に就ては特に、理學博士寺田寅彦氏著「地球物理學」に負ふ所が甚多い。故に詳細の知識を要せらるゝ人々は同書を參照せられんことを希望する。

十 地球内部の状態。地球表面の温度は晝夜及び四季によつて受くる太陽の熱量の變化によつて昇降するものであるが、地下五十尺乃至七十尺の深さに至れば年中一定の温度を有するものである。それより深く進めば地中の温度は漸次上昇する様になる。それで十九世紀の始め頃にフーリエーは地球の内部は非常なる高熱の爲に熔融して居るもので其熱が傳導せられて外部に現はるゝものであることを論じたのである。

實際深い鑿井又は鑛孔、墜道等の中で地中の温度を測定して見ると、大抵百尺乃至百五十尺位下降する毎に攝氏の一度づゝ温度が上昇する割合になつて居る。此割合は増温率と呼べ、場所によつて著しく相違することが

多い。其相違の理由の一是岩石の熱傳導率の差異の爲で、他は地下に特別の熱源の存在することに依るものである。殊に火山地方に於て増温率は甚大である。

假りに百尺下降する毎に攝氏一度づゝ増加するものとすれば、一哩に就て約五十三度、百哩の深さで五千三百度となる割合である。

地球表面に於ては五千度の温度は總ての物體を液化するのみならず、氣化するにも十分である。けれども地球の内部は非常なる壓力を有するから果して物體が熔融し得るや否やは疑問である。火山から噴出する熔岩は必ずしも内部の熔融状態の證據とはならない。如何となれば高壓の下に於て熔融し得ざる高壓の物體も一旦其壓力を減ずる時は急に融くるものであるからである。

けれども吾人が鑿井等に就て實測して得たる平均地下温度が、どれ位の深さまで應用することが出来るものであらうか。今日世界で最も深い鑿井は獨逸シレンアのツコフにあるもので約七千四百尺の深さである。此深さは地球の半徑の僅かに二千八百分の一に過ぎないから、夫れだけの知識では到底全體を推することは出来ない。

理論的に地球内部の温度を計算しやうと企てた人は多いが、其結果は皆異つて居る。或は地球の内部を固態なりとし、或は液態なりとし、或は氣態とし、或は空洞の存在を稱へ

た人もあるが、現今の學者は一般に固態説に傾いて居る様である。けれども此問題は地球生成の順序と密接なる關係がある。即ち地球が最初熔融せる状態より漸次凝固したものであるか、又は最初は冷却せるもので後に或原因によつて熱を得たものであるか。此兩説の一を取ることによつて内部の状態も異なる假定から出發しなければならぬことになる。けれども孰れにしても地球が一度は熔融の状態に居たものであることは事實らしいから、其所より考を起した人が多い。ロード・ケルヴェンは精細に此問題を論じ、地球が始め熔融せる状態から出發して漸次冷却し、遂に中心より凝固を始めて全部の凝固を終れるものと考へ、其凝固し終つた時の温度を約攝氏の七千度であつたと假定した。それより現今の状態まで冷却するに數億年を要せしものなることを計算した。其結果によれば地球中心の温度は華氏の七千度で増温率は中心に赴くに從て漸次減少するものである。

其後多數の學者の研究によつて、ケルヴェンの計算の基礎も漸やく疑はれる様になつたが、殊に近年ラジウム、トリウム等の如き放射性元素の發見によつて地熱の學説は根本的に改造しなければならぬ様になつた。

天文學解說 (四)

理學士 本田 親一

元素ラヂウムが α 、 β 、 γ の三線を放射してラヂウムエマナチオンとヘリウムとに變化し、ラヂウムエマナチオンは更に α 線を放射してラヂウムAとなり、是は更に α 線を放射してラヂウムBとなり、是は又 β 線を放射してラヂウムCとなり、是は更に α 、 β 、 γ 線を放射してラヂウムDとなり、是は其儘ラヂウムEとなり、次でラヂウムEに變じ、是は更に β 、 γ 線を放射してラヂウムFとなり、是は又 α 線を放射してラヂウムGとなる。ラヂウムGは鉛と同一物であるといふことになつて居る。 α 線を組成せる α 粒子は集まりてヘリウムとなるものであり、 β 線は陰電子の放射、 γ 線はX線と同じく一種の電磁波であるから、ラヂウムは其壊散によつてヘリウム及び鉛の二元素となり、外に幾分のエネルギーを放射することとなる。此壊散の間には常に多少の熱を放出するものであるが、ラヂウムがラヂウムエマナチオンに變化する際には殊に非常に多量の熱を絶えず放出するので、これが地熱の問題と交渉を有することとなるのである。

ラヂウムの一瓦が、ラヂウムエマナチオン

等の誘導體と相接觸して互に平衡の状態にある時に發する熱量は一時間に約一一八瓦カロリーで、一瓦の水を沸騰せしむるに十分なる熱量である。

次に地球内部に含有するラヂウムの總量を知る必要があるが、是を實測することは全く不可能である。それで表面に近い岩石中に含まるラヂウムの平均量を實測の結果から出して、略地球全體に含まる總量を知るより外に方法はない。けれども前の比重の問題と同じく、地殻の一部を以て全豹を察するのは非常に危険である。地球内部に於けるラヂウム分布の状態に就ては吾人の智識は皆無である。つまりラヂウムが地熱にどれだけ影響するかといふ精確なる數量を出すことは出來ない。けれども地熱の保存に大に効力があることは確實である。

地殻を構成する岩石中に含まるラヂウムの量に關するジョリーの實測によれば、各種の火成岩は各一噸毎に約百萬分の五乃至六瓦のラヂウムを含有し、水成岩は稍是等よりも少ない。斯の如く非常に微量のラヂウムであるけれども、岩石の生成以來數萬年乃至數千萬年の長きに亘つて絶えず熱を發生して居たものとすれば、其總量は著しいものとなるであらう。殊に地球内部の岩石の熱を傳導する割合は甚小であるから、地球以外に放散する熱は甚僅かの部分に止まり、大部分は内部に

蓄積せらるることになるので、尙其影響は著しくなる譯である。

ストラットの計算によれば、地球内部が皆一様な割合にラヂウムを含むものと假定すれば、岩石一立方メートル毎に千萬分の二瓦づゝのラヂウムを含有すれば、其發生する數量だけで、現在地球が外面の空間に向つて放散する熱量を十分補充することが出來ることになつて居る。けれども表面に近い地殻を構造せる岩石中には、此計算よりも數十倍多量のラヂウムを含むて居るから、若し内部の岩石も同じ割合であるとすれば、地球全體はラヂウムの發生する熱によつて漸次温度が高くなるなればならない。吾人は地球が現在に於て果して冷却しつゝあるか、又は熱せられつゝあるかといふ問題を決定することは出來ないが、少くとも過去に於て冷却を繼續して現在の状態に到達したと云ふ地質學上の證據を持つて居るから、ラヂウムが斯の如く多量に存在することは否定しなければならぬ。即ち地球の内部にはラヂウムは極めて微量しか存在しないだらうと考へなければならぬ。けれども是等の問題は更に長年月の研究を待たなければ、孰れとも決定することは出來ない。

それで地球中心の温度は、ラヂウムの影響を内輪に見積つても七千度乃至一萬度内外を下ることはあるまいと思はれる。斯くの如き

高温高壓の下に於て物體が如何なる状態になるであらうかといふ問題は現今の物理學では明言し得ないのである。けれども獨逸及び米國に於ては既に大任掛の實驗的研究を始めてゐるから、漸次吾人の智識を増加するであらう。

アレニウス及びギンテル等は、地球内部の高温高壓は物質の臨界温度以上であるから、地球の内部には氣體がなければならぬと考へた。臨界温度は物質が如何なる高壓の下に於ても必ず氣化するに必要な温度で、各物質に就て異なる値を持つてゐる。例へば窒素の臨界温度は百二十七度で、酸素の臨界温度は百五十五度である。即ち酸素は百五十五度以上の温度に於ては如何に高壓を加ふるも液化することは出来ないのである。けれども臨界温度の研究も地球内部の如き高壓の下で行はれたるのではないから、地球内部が直ちに氣態であると云ふことは出来ない。現に獨逸に於てタムマンの研究した所によれば、或物質は普通の臨界温度を遙に超越した温度に於ても、其壓力を増大して一定の價に達せしむれば、再び固態となつて結晶するといふ事實も別つてゐる。又地球内部の温度が總ての物質の臨界温度以上であるかどうかは未だ疑問であるから、此説も餘り信用することは出来ない様である。

若し地球内部に瓦斯があるとしても、夫れ

は非常なる高壓の結果として其比重は殆んど固體と同様になつてゐる筈であるけれども、既に氣體であれば固體の如き剛性を考ふることは出来まい。然るに他の力學的研究によりて算出した地球の平均剛性は鋼鐵の剛性よりも大なるものであるから、其結果と地球内部の大部分が氣體であると云ふ考とは一致しないことになる。此點から考へても氣體説の成立は困難である。

又剛性の關係から考へると、地球の内部が液態であるといふ考も餘程疑はしくなるのである。地球の剛性を決定する方法は色々あるが、其一は地震波の傳播の速度によるものである。地震波に三種の別がある。即ち第一初期微動を起す縦波と、第二初期微動を起す横波と、主要動を起すレリー波とである。縦波は音波と同じく彈性體中に疎密の状態が四方に傳播するもので、横波は物體内部の捻れた状態が四方に傳播するものであるが、縦波は横波よりも速度が少しく大である。此二波は媒質の密度が均一であれば直線の方向を取るものであるが、密度の差があるときは屈折するものである。第三のレリー波は地球表面に沿つて進行する波である。それで地球の内部の状態を知るには主として縦波及び横波の研究によるものである。是等の速度は媒質の密度と剛性に關するものであるから、逆に速度を知りて剛性及び密度を推定し得ること

となるのである。

現今に於ては非常に精巧な地震計があることで、地球上の一地點に於て各地の地震を計ることが出来る様になつた事は皆人の知る所である。従て地震波の傳播する距離と時間とを精密に決定して、波の速度を計算することが出来る。若し地球内部の比重が一定であれば、吾人は直ちに地球の剛性を知ることが出来るのであるが、實際に於て地球の比重は内部に赴くに從つて大となるらしいので問題は非常に複雑となるのである。最近に於てウイヘルト、ガイガー、ツエプリッツ等の研究の結果によると、縦波の速度は表面から深くなるに從て次第に増加し、丁度九百三十哩位の深さに達すれば毎秒約八哩の價に達し、それより或深さまでは殆んど同一の速度を有することとなつてゐる。此約九百哩の深さに於ける限界が比重の内外相異なる限界と考へられるのである。今此内核に於ける速度を基として、其剛性を定むれば、鋼鐵の七八倍に達する勘定となる。地球の表面には斯の如く大なる剛性を有する物體は存在しないけれども、内部の大壓は或はかゝる大剛性を與へるかも知れない。けれども此結果は内部の所々に液層又は剛性の小なる部分か散在して居ても同様になるらしいから、地球を全體と見て外核をも加へて平均すれば、其價は著しく小となるものらしい。又地震の波は地球の中心に近

い所を通過して來たらしいものが、殆んどない様であるから、或は地球中心の剛性が小であるか、又は中心に近い所に薄い液層が存在してゐるか、孰れかであらうと想像する人が多い。

兎に角地震の観測所は文明の地方のみに多く設けられてゐるので、未だ地球全體の記録を得ることが出来ないから、従て材料が不十分であつて精細なる決定を試みる時期に達しないが、追々種々の材料を得て正しい解決に近づきつゝあることは慥である。

地球の剛性を決定する他の一法は、月及び太陽の引力が地球に對して起す潮汐作用によるものである。地球が完全なる剛體であれば、潮汐作用を受けるものは海水のみに止まるから、月及び太陽の引力による理論的計算の値と實際の潮汐の現象とが一致すべき筈である。又地球が極めて薄き地殻を有するもので、内部が液態であると考ふれば、地球自身が潮汐作用の爲に伸縮して表面の海水と同じ様に起伏することになるから、地球表面上に住む吾人は海水の起伏を知ることが出来ない筈である。

潮汐の現象は非常に複雑なものであるから、實測の結果から直ちに理論的の値を導き出すことは出来ないが、色々の研究の結果によると、實際の潮汐は地球が完全なる剛體である場合よりも少しく小であることが別つ

た。其關係から地球の剛性を定めた人は色々あるが、其内代表的と見らるゝ獨逸ハイデルベルヒのシュワイダー、及び京都上加茂に於ける志田博士の結果によると、共に地球の平均剛性は鋼鐵の約二倍になつてゐる。

又地球の赤道隆起帯に對する月の引力によつて、地球の自轉に一種の變化を及ぼし、歳差等の現象を生ずるものであるが、其値も地球の剛性と明に關係するものである。若し地球の内部が液態であつて赤道隆起帯が内部で自由に迂り得るものとすれば、地球全體が固態で相互の移動がない場合と比較して、地球内部の運動が急激に變化すべき筈である。斯の如き極端な場合を假定して、各に於ける變化の割合を計算して見ると、實際の變化は地球が固態の割合と一致することが別る。けれども此結果からは直ちに地球の剛性を決定することは出来ない。

次に緯度變化の週期によつても地球の剛性を決定することが出来る。緯度變化の詳細は後節に譲ることとして、茲には只必要な部分だけを摘記しやう。地球が若し完全なる剛體であるとすれば、緯度變化の週期は約三百五日となるべき筈である。然るに實際の週期は木村博士の結果によると、二種あつて一は四百三十六日、一は三百六十五日である。此第一週期が主要なる週期であるが、かく理論的の値と實際の結果と一致しないのは、地球が

完全なる剛體でない爲に幾分變形する爲でなければならぬ。それによつて地球の剛性を決定し得ることとなるのであるが、地球内部の比重分布の假定の差によつて諸學者の結果に多少の相違はあるが大體鋼鐵の剛性の約二倍といふことになつて居り、潮汐現象から得た結果と一致する。

要するに地球の平均剛性は現今の研究では鋼鐵の約二倍と考へてよからうと思はれる。若し比重の分布をウィーヘルトに従つて内外二核によつて異なるものと考ふれば、外核の剛性は略ぼ鋼鐵と同じく、内核の剛性は鋼鐵の三倍乃至四倍に達するものらしい。此結果から考へると内部が氣態又は液態であるとは想像せられない。けれども前にも述べた様に所々に薄き液層が散在してゐる位のことには可能であるらしいが、力學的推論の結果は地下液層が存在するにしても非常に中心に近いが、或は餘程薄いものであらうと考へられてゐる。されば大體地球の内部は固態と考へて差支へない様であるが、精確なる結論を得るには尙數十年乃至數百年を要することであらう。

十一 地球の大氣の組成

大氣は地球を圍む氣體の包被である。吾人は部分的にこれを空氣と呼ぶから、大氣とは地球の空氣全體の名稱といふことが出来る。其組成は大抵世人の熟知する所であるが、

其詳細を摘記すれば

空氣一〇〇容中の組成分の割合

- | | |
|---------|----------|
| 1、窒素 | 七八・一 |
| 2、酸素 | 二一・〇 |
| 3、アルゴン | 〇・九 |
| 4、ネオン | 〇・〇〇一 |
| 5、クリプトン | 〇・〇〇〇五 |
| 6、ヘリウム | 〇・〇〇〇二 |
| 7、キセノン | 〇・〇〇〇〇〇五 |
| 8、水蒸氣 | 不 定 |
| 9、炭酸瓦斯 | 〇・〇三 |
| 10、塵埃 | 不 定 |
- 即ち1より3までが主成分たる元素で、4より7までは極めて微量であるから餘り吾人に關係のないものである。8より10までは化合物であるが、是等は皆必要な成分であることは後節に述べやうと思ふ。
- 以上の組成分を有する空氣が吾人が常に接觸して呼吸しつゝあるものであるが、空氣が高層に至るまで常に同じ組成分を有するや否やは疑問である。氣壓は海面よりの高さに比例して一定の法則で減少することは事實であるが、夫れに伴ふて幾分組成も變化することは種々の證據によつて吾人の知る所である。今其組成分の變化を述ぶる前に先づ大氣の高さを大體考察する事が必要である。

十二 地球の大氣の高さ。

登山の際又は氣球及び飛行機等にて空中に

上昇する時に、吾人は高度を増す毎に大氣の密度が絶えず減少することを發見するのである。從來地球上の各地に於て試みられたる數多の觀測の結果によれば、地球表面上三哩半の高さに於て大氣の密度は表面の約半分となることが別つた。更に三哩半上昇して約七哩の天空に於ては、大氣の密度は更に半分に減じて、地球表面の四分の一となるものである。氣球によりて觀測し得る約十二三哩位の高さまでは、三哩半毎に半減する法則が行はれる様である。此法則が無限に行はるゝものとすれば、二十八哩の高さでは地球表面の空氣の二百五十分の一の密度となる譯で、非常に稀薄ではあるが空氣の限界は無限であるといふことになる。

地球の大氣の終る所を精確に定むることは到底出來ない。それで吾人が高さの問題を論ずる時には、只吾人が何等かの方法によつて感知し得るだけの密度を有する大氣の高さを標準としなければならぬ。雲の最高のものは十哩乃至十二哩位で、氣球の到達し得る高さも大體同様である。それで水蒸氣又は氣球を保持する目的に對しては大氣の高さは約十二哩であると云へる。けれども尙稀薄なる大氣中にも色々な現象が存在するから、吾人の知る大氣の高さは尙遙に大なるものである。

大氣の高さを決定する第二の方法は流星の觀測によるものである。宇宙塵と稱せらるゝ

物體の小塊が太陽系内の空間には非常に多量に存在するが、是が地球に吸引せられて落下する時、地球の大氣中に突入すれば大氣との摩擦によつて熱を發し遂に發光して閃めくもので、其閃光が即ち流星である。流星の速度は大抵一秒に二十哩乃至三十哩で、普通は發光の爲に瞬間に燒盡せられて、空中に灰と瓦斯を残すものである。

地球上の相隔たれる二地點から二人の觀測者が同一の流星を觀測して其方向を決定すれば、流星の發光せる空中の一點の高さを簡單なる作圖又は計算によつて出すことが出来る。つまり三角形の底邊(二地點間の距離)と二角(流星の見えし方向の仰角)を知りて、其高さを算出する簡單なる三角法の問題である。流星は毎夜起る現象であるから此方法は餘り困難ではない。多數の觀測の結果によれば、流星の燃焼を始むる高さは約百哩である。而して大多數の流星は五十哩の高さに達する迄に燃え盡すものである。

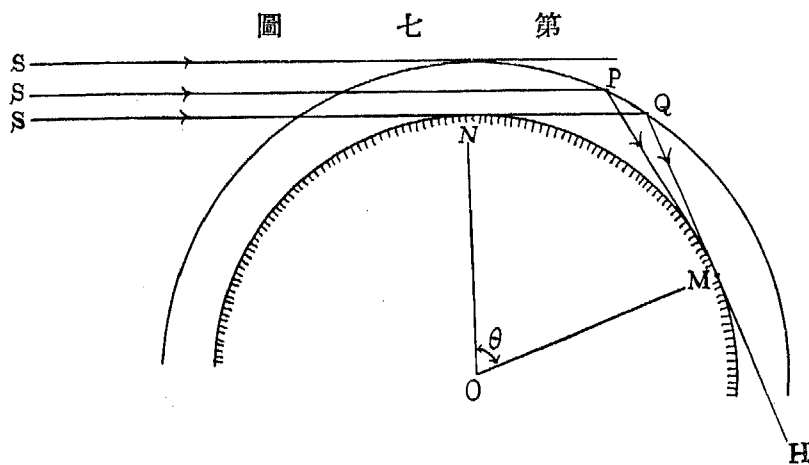
次に大氣の高さを定める第三の方法となるものは黄昏の持續時間によるものである。黄昏は太陽の没後猶西天の輝く現象で、太陽の光を大氣中の塵埃又は雲等が反射するによつて起るものである。つまり日光を反射し得る塵埃が高所にある程、遠くまで反射光が届くこととなり、從て黄昏が長く繼續することゝなるのである。

天文學解說 (五)

理學士 本田 親一

第七圖に於て、小圓を地球を東西に切つた断面と考へ、其外側の大圓を地球の大氣の日光を反射し得る限界と考へやう。今地球が左から右へと回轉して、太陽が漸次左方に没しつゝあると想像しやう。SP、SQ等を以て太陽の光線の方向を示せば、地上のN點に於て太陽は西の地平線上にあることとなる。其時太陽の光の照し得る大氣の限界はNQによつて現はされ、其線の右下の部分からは太陽を見ることは出来ない。然るにQに於て大氣は日光を反射してQMの方向に光を送るから地上のM點に於ては西の地平線上に黄昏の光を見得ることになる。NとMとの間の地點からは勿論西天に擴がれる黄昏光を見得るのである。けれどもMより右下の地點では其光を見る事が出来ない。つまり大氣の存在する爲にNM間の地點は太陽の没後も尙西天に黄昏光を見得るのである。大氣の高さが増せば増す程遠くまで黄昏光が見ゆることは圖によつて容易に想像することが出来る。

夫れ直角である。又角MON即ち θ は、Mの地平線上に太陽が没してから、此圖の位置に達するまでに地球が回轉したる角であるから日没の時刻と現在の時刻との差によつて計算することが出来る。(地球は一時間に十五度づつ回轉するから)。四邊形OMQNに於て二角N及びMは直角であるから、角NQ Mは θ の補角であるから容易に知られる。實際の觀測



によれば黄昏光は太陽が地平線下十五度乃至二十度の位置に達するまで繼續するものであるから、 θ は其角を現はし、Qの内角は百六十度乃至百六十五度となるであらう。かくてMQの長さも容易に求められ、從て大氣の高さを算出し得るとなるのである。此方法で得た結果は四十哩乃至六十哩となつてゐる。大氣の高さを決定する第四の方法は極光によるものである。極光は南北兩極の空に現はるゝ美しい輝光であるが、此現象は大氣に於ける極めて稀薄なる氣體内に於ける放電の現象であることが此頃明になつた。其電氣の源は太陽から放出する無数の電子が地球に達して、地球の南北の磁極附近の上空に集まつて遂に大規模の放電をなすものと想像せられてゐる。今地面上の二個所から同一の極光の上端を觀測すれば、流星の場合と同じく其高さを決定することが出来る。其結果によると極光は百哩乃至三百哩の高空に多く現はるゝものであるが、時には四百哩に及ぶものもあるらし。

かやうに種々の方法を用ゐて觀測した大氣の高さは一致してゐないけれども、其不一致の理由は勿論明瞭である。前に述べた通りに、孰れの場合に於ても特殊の現象を生ずるに必要なる程度の大氣の限界を定めたのであるから、一致しないのが當然である。つまり以上の結果を綜合すれば大氣は三百哩乃至四百哩

の上空まで擴延するものであるが、表面上百哩以内のみが比較的濃厚で、それ以上の部分は非常に稀薄であると想像すると出来る。

大氣全體の質量を大體計算して見ると地球全部の質量の約二十萬分の一である。

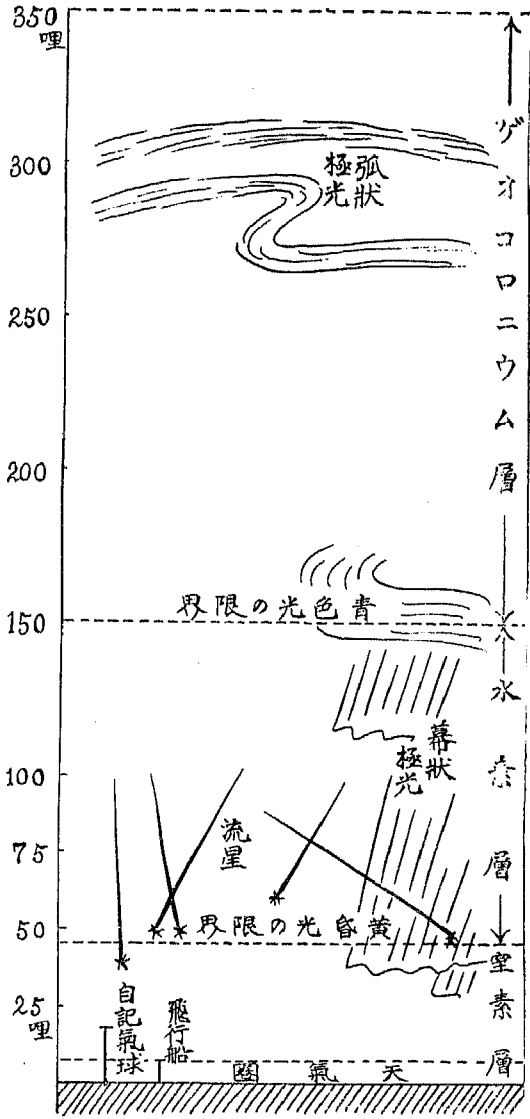
次に大氣の成分が高さによつて如何に變化するかを考ふる必要がある。これは氣象學乃至大氣物理學の問題で今日明白に決定せられたとは云はれない様であるが、まづ大體の結果のみを述べやうと思ふ。前に述べた如く、雲は十二哩以内にしかないもので、又吾人が地球表面上に於て感知し得る總ての天候の變化は、やはり十二哩以内の現象である。飛行船、飛行機等の達し得る限界も此範圍である。人の乗つて居ない氣球は十八哩位まで達した記録がある。其間の氣温の變化を調べて見ると、地表から約七哩の高さまでは温度は徐々に降下し遂に攝氏零度以下五十五度に達するけれども、それ以上十八哩の高さ即ち吾人の知り得る範圍内は温度が略一定して降下しない。それで七哩の高さが温度變化の限界であるから、其上下の氣圈を區別して呼ぶことになつてゐる。假りに下層を天氣圈、上層を恒溫圈とせやう。けれども恒溫の状態が何所まで續くかは別らない。

大氣の第二の限界は、高さ約四五十哩の所に現はるゝ黄昏光の限界であらう。此附近までは大氣の成分は稀薄ながらも地球表面の大

氣と同様なものと考へられてゐる。それで表面から約四十五哩までの氣層は窒素層と呼ぶ普通の空氣は窒素が主成分であるから、かく名付けたのである。けれども四十五哩以上に達すれば大氣の成分は著しく變化し、其主成分は水素であるらしい。それは極光の分析等から證明せられたのである。それで其氣層を水素層と名づける。

軽い一種の稀薄なる氣體が存在してゐるらしい。吾人は太陽の大氣の上層を構成せるコロナの成分として、水素よりも軽いコロニウムなる元素を假定してゐる。此コロニウムと類似せるものが地球の大氣の上層にもあるであらうと想像して、是をゲオコロニウム(ゲオは地球を意味す)と稱へ、其層が三四百哩の上部まで擴がると考へ、ゲオコロニウム層と

大氣の第八の斷面圖



水素層は約百五十哩の高さに於て盡きるものらしい。其限界が大氣の第三の限界となるものであつて、大空の青色光を生ずる微塵の反射は此邊を限界とするものらしい。それよりも上層に於ては水素も非常に稀薄になるらしいけれども、極光が其層に現はるゝ所から色々研究せられた結果によると、水素よりも

名づける。第八圖は大氣の斷面を示して、是等の層の割合を示したものである。左方の數字は地球表面よりの高さを哩で現はしたもので、水平の點線は各層の限界を示したものである。大氣全體の質量の四分の三は表面より約七哩の高さまでの間即ち天氣圈内にあることは注意すべき事實である。

十三 大氣の逸散。

一の物體を地球の表面から上方に投上ぐる場合に、其上昇し得る高さは、最初の速度に關係するものである。初速度大なれば大なる程、物體は高く上昇するに至り、遂に或一定の速度を以てすれば永久に地球を離るゝ様になるであらう。力學的に計算すれば、大氣の抵抗なき場合に、一の物體が地球表面を毎秒七哩以上の速度にて出發する時は永久に地球を逸散して再び還らないことが別る。

一秒に七哩といへば非常に大なる速度で、最も速い砲彈の砲口速度でも一秒一哩に達するものはないから、地上の普通の物體は到底地球外に逸散することは出来ない。けれども斯の如き高速度は氣體の分子に取つては必ずしも不可能のことではない。氣體の各分子は非常な高速度で任意の方向に突進するもので温度高き時は殊に其速度を増加し、一秒に七哩以上の速度を得ることは珍しくない。それで大氣の上層に於て其分子が毎秒七哩以上の速度で地球を離るゝ場合には、若し其分子が他の分子と衝突せざる限り永久に地球を去るであらう。斯の如くして地球は絶えず其大氣の分子の一部を失ひつゝある様である。

大氣の分子の動く速度は其個々の重量に關係するものである。水素の分子は常氣壓と攝氏零度の溫度に於て毎秒一哩餘の速度を以て運動する。大氣の主成分たる窒素及び酸素の

分子は各水素分子の十四倍及び十六倍の重さを有するから、平均して夫れ等の分子は水素分子の約四分の一の速度で運動する。是等の速度は毎秒七哩の速度よりも甚小であるから大氣が急速に逸散する様な危険はないことは明である。けれども大氣の上層が水素よりも軽いゲオコロニウムから成立つてるとすれば其分子は水素より尙速に動いて、機會ある毎に容易に逸散するであらう。それでゲオコロニウム及び水素は比較的危険なものであるが是等は吾人に直接必要のない氣體であるから逸散しても驚くに當らない。

かく地球の大氣は一面に於ては絶えず多少の逸散をなして其分子の一部を無限の空間に遊離せしむるらしいが、他面に於て是を補充する方法があるかないかといふことも考へなければならぬ。實際大氣の補充は種々の方法によつて行はれてゐる。第一は地球内部より火山及び温泉等を通じて瓦斯を放出することである。又岩石が水及び空氣の作用を受けて分解する時にも多量の瓦斯を放出することがある。けれども岩石の或種のものはずつて空中の炭酸瓦斯等を吸収するものもあるから、岩石の化學的變化は必ずしも大氣の補充とはならない。

第二の方法は流星によるものである。流星は地球以外の空間から地球の大氣内に突入して、大氣と摩擦する爲に熱を發して燃焼する

ものである。流星が燃へ盡くす時は跡に残るものは瓦斯と灰とである。即ち空氣と化合して其一部分は瓦斯となりて大氣に混じり、然らざるものは微細なる灰となりて大氣の上層に浮遊し、其大なるものは漸次地面に向つて降下するであらう。流星の数は毎日數千萬乃至數億に達するものであるから、其全量は可なり的大量となり、地球の大氣の損失を補充し得ることの外に又地球の質量をも漸次増加するであらう。

地球の大氣が逸散すると同様に太陽及び太陽系の諸惑星も大氣を有するものは多少の逸散をなすものと想像せらるゝから、是等の逸散分子は太陽系内の空間を浮遊するであらう。又孰れの星にも從來屬しなかつた氣體の分子もあるだらうと思はれる。此事は流星と比較して考ふれば不思議でない。それで地球が是等の浮遊分子の間を通過する時は、引力によつて是等を地球の大氣中に吸引して大氣の補充をなすことが出来る。

かく地球は其大氣を失ふ方法と得る方法とあることは明である。けれども其得失の孰れが大なるかを定むる精確なる方法はない。現今に於ては多分其得失は平衡の状態に達してゐるだらうと思はれる。地球が若し現今よりも遙に厚い大氣を有した時代が過去にあつたとすれば、其時の大氣の最上層は地球の表面から甚遠くなるから、其邊の大氣は容易に逸散

することが出来るが、他から補充分子を得る分量は現今よりも多いといふことは出来ない。それで失ふ所が得る所よりも大となり、漸次に大氣の總量を減じ、徐々に平衡の状態に近づくだらうと思はれる。

氣體の分子が地球から逸散するに必要な速度は一秒七哩であるが、これは地球の重力に關係せる量であつて、若し地球の大きさが今より小なるか又は密度が小であるとすれば、氣體の分子は七哩よりも小なる速度で逸散することが出来る。月は斯の如き世界の一例である。月の直徑は地球の約四分の一で、其質量は地球の約八十分の一である。其割合で計算すれば、物體が月の表面から永久に離るゝには一秒に一哩半の速度で十分である。大抵の瓦斯は適當な温度に於て是れ位の分子速度を有するものであるから、月は大氣を保有することが出来ないといふ結果になる。此結果は觀測によつて實證せられたる事實である。是に反して地球よりも大なる天體は大なる引力を有するものが多いから、其表面から逸散するにも大なる速度を要する筈である。木星の容積は地球の約千倍で、其質量は地球の約三百倍であるから、物體が其表面から逸散するには一秒に三十七哩以上の速度を要するのである。それで木星は地球よりも厚い大氣を保有し得べき筈であるが、此結果も實際の觀測と符合する。又太陽に就て此速度を計算

して見ると一秒に三百八十哩となる。而して實際太陽は非常に厚い大氣を有するのである。けれども太陽の大氣の最外端は其直徑の數倍の遠方に及ぶものであるから、其邊では種々の原因で逸散の機會が出来るらしい。

十四 大氣の氣候に及ぼす影響。

地球の氣候を決定する最大要因となるものは太陽の光熱であるが、それを受けて氣候變化の直接原因をなすものは大氣の状態である。地球の太陽に向ける半面即ち晝の部分に於ては、大氣は太陽の輻射の大部分を吸収して温度の急激に上昇するを防ぐ作用をする。其吸収の割合を精確に決定するのは甚困難であるが、概略の計算によると約二分の一は吸収せられるものらしい。大氣は吸収によつて太陽の光熱を遮斷するけれど、其吸収せられた熱は全く地球より失はれるものではない。夜に於て大氣は一面は空間に向ひ、一面は地球表面に向つて其吸収した熱を輻射するものである。つまり大氣は晝間に於ける太陽の過度の輻射熱を暫時保持して、夜間地球表面の冷ゆる頃に其貯蓄を放散し、幾分表面を暖むる役に立つものである。

大氣の効果の第二は、夜間に於ける地球表面からの熱の輻射を防ぐことである。地球の表面は周囲の空間に向つて絶えず其熱を輻射して冷却しつゝあるものであるけれども、晝間は太陽から受くる熱の方が大であるから温

度は漸次上昇する。然るに日没後は受くる熱がないから失ふ熱のみとなつて温度は漸次降下するのである。其失ふ輻射熱の一部分が大氣が又吸収して其内に保持し、再び地面に向けて輻射する。つまり大氣は温度の變化を調節して、晝は緩和し夜は保護する用をなすのである。

以上は地球上の一地方のみに就て考へたのであるが、更に地球全體に亘つての温度調節の作用をも大氣は營むものである。地球の赤道部は高緯度の部分よりも多くの光熱を太陽から受くるものであるが、其爲に其附近の大氣を膨脹せしめて上昇氣流を起し、温帯地方の大氣が其跡を襲ふので、熱氣流と冷氣流とを生ずる事となるのである。熱氣流は西南より東北に向ふ所謂貿易風を造るものである。それによつて低温の地を暖ため、同時に高緯度の地より來れる冷氣流は熱帯地方の氣候を涼しくするのである。即ち地球表面は全體として大氣の爲に其氣候を著しく平均せしめつつあるものである。氣流は更に潮流に影響して同様なる効果を更に顯著にするものである。

次に大氣の組成は著しく氣候に影響するものである。晴天の時と曇天の時とを比較すれば、晝は晴天の方が温度が高く、夜は曇天の方が温度が高い。これは空中の雲が熱の輻射を遮斷する爲に起る現象である。