

天文學解説(六)

理學士 本田 親一

大氣の組成分の内、水蒸氣及雲が熱を多く吸収して氣温保護に有效なることは明であるが、其外にも同様な効果を生ずるものがある。それは、炭酸瓦斯とオゾンと炭化水素とである。此中でオゾンと炭化水素とは餘り多く大氣中に存在して居ないから、殆んど効果がない。けれども炭酸瓦斯は僅かづつではあるが地球上の至る所に存在し、且つ熱の吸收力が最も強い。前に述べた通りに炭酸瓦斯の地球表面に近い空氣中に存在する量は一萬分の九に過ぎないけれども、夫れの温度に對する影響は著しいものである。現在の地球表面の平均氣温は約攝氏の十六度であるが、アレニウスの計算によれば、若し炭酸瓦斯の分量が現在の半分になれば、平均氣温は攝氏の四度だけ降るといふことである。更に分量が四分の一となれば、尙八分だけ降り、空中の炭酸瓦斯が全くなくなれば、約二十一度だけ降ることとなる。是に反して炭酸瓦斯が増加すると氣温は漸次増加する。即ち其量が現在の二倍となれば、氣温は四度だけ昇り、四倍となれば八度だけ昇る勘定となる。

所で實際地球表面上で炭酸瓦斯の増減の爲に温度の變化が起つたことがあるだらうか。

地質學の證明する所によれば、過去に於て現代よりも著しく暖かつた時代と寒かつた時代とがあつた事は明である。約四五十年前の地球の平均温度は今日よりも二度位高かつたことは其頃の植物の化石によつて推知せられてゐる。更に約百萬年を溯ると所謂氷河時代なる一時期に達する。此時代は數個の氷期より成立し、其間に温和なる氣候の時期が介在したらしい。其各氷期の長さは約十萬年位で其間北半球の温帶地方は大部分氷河によつて蓋はれたものらしい。此時期の温度は、アルプス地方の氷河の擴布の研究に基いて測定した所によれば、今日よりも約五度だけ低かつた様である。其時代より更に溯つて、第三紀の始新世に至れば、今日よりも八度位温度が高かつたことは植物の化石によつて推定せられてゐる。それよりも更に古い時代に於ても氣候に著しい變化があつたことは色々地質學上の證據がある。

是等の氣温變化の原因は何であらうか。昔は太陽の熱輻射量の變化に依るものであらうとか、又は地球の廻轉軸の黃道に對する傾斜が變化した爲であらうとか、色々な説を出した人もあつたが、現今に於ては空氣中に於ける炭酸瓦斯の分量の變化によるものであると考ふる學者が多い様である。然らば大氣中の炭酸瓦斯の分量は如何なる原因によつて増減するであらうか。

現代に於て最多く空中に炭酸瓦斯を供給するものは人類の燃料使用である。殊に石炭の使用は其最著しいもので、其生ずる炭酸瓦斯のみでも年々大氣中の現在量の七百分の一を増加しつゝある計算になつてゐる。けれども其六分の五は海洋の水に吸収されるから、大氣中の炭酸瓦斯の増加は極めて僅かではあるが、此勢で數千年を経過すれば、炭酸瓦斯の割合は餘程變化して氣候に影響を及ぼすに相違ない。又人類の發生以前に於ては、火山が最主要なる炭酸瓦斯の供給處となつてゐた。火山の噴出する瓦斯は主として水蒸氣と炭酸瓦斯とである。それで噴火の盛なる時代には大氣中の炭酸瓦斯は著しく増加し、噴火の衰へた時代には炭酸瓦斯の割合は減じたであらうと考へることが出来る。此推定は略事實と一致する。比較的高温度であつた第三紀の始新世及中新世に於ては火山の活動が頗る劇烈であつた。又氷河時代には火山の活動が殆んど消滅したことは地質學で證明せられてゐる。又其他の時代に於ても此關係の一致を認めることが出来る。

火山は絶えず炭酸瓦斯を空中に送つてゐるから、それは漸次蓄積して地球の温度は益々上昇するのみで降下することはなさうに思はれるが、實際は炭酸瓦斯を吸収して其量を調節するものが多い。其重なるものは、海水と礦物と植物とである。海水は單に炭酸瓦斯

を溶解する。礦物は炭酸瓦斯と化合する。殊にアルカリ類の礦物は其作用最著しく、石灰石中に含まるゝ炭酸の量は大氣中の炭酸瓦斯の總量の約三萬倍に達するといふことである。次に植物は同化作用によつて空中の炭酸瓦斯を吸収するもので、炭酸瓦斯の量が二倍になれば同化作用は三倍に増加する割合になつてゐる。

けれども斯の如く吸収せられた炭酸瓦斯は永久に地球の大氣から失はれたものではなくて、適當な機會があれば復歸することが出来る。吾人は石炭石油木炭薪等の燃焼によつて植物の吸収せる炭酸瓦斯を再び空中に歸しつゝある。又礦物の分解等から再び其内の炭酸瓦斯を取出すことも出来る。それで吸収と發散との割合の消長によつて其時期の温度が決定せらるであらう。現今の世界は前に述べた如く、人類は非常な勢で地中に蓄積せられたる炭素を消費しつゝあると共に、火山の勢も適度の活力を持つてゐるから、大氣中の炭酸瓦斯は益々増加しつゝあるが如き氣運に向つてゐる。それで吾人は石炭石油等の蓄積を憂ふるに及ばない。地中に於ける炭酸瓦斯の消失は、空中に於ける豊富を意味するものであるから、地球は益々温暖となつて生産力の増加を來すべく、吾人は一層安樂なる世界に住み得るとなるであらう。けれども地球の平均氣温が一度上昇するに今後幾千年を要するか

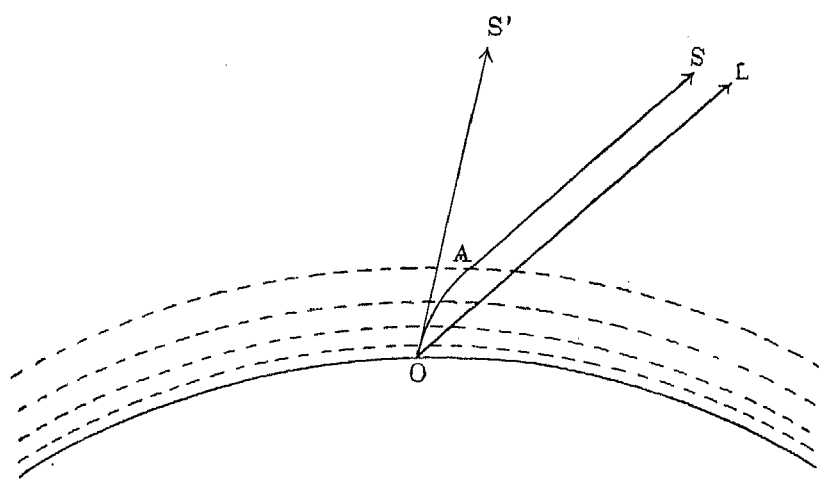
は適當に計算することが出来ない様である。斯の如く大氣の組成と氣候とは密接なる關係を有し、又氣候は生物の生存に密接なる關係を有するから、吾人が他の惑星等に生物が果して存在し得るや否やの問題を考察する場合に大氣の性質を先づ考慮する必要があることは明である。此問題は更に後節に於て詳述する機會があるであらう。

十五 大氣による光の屈折

光が疎なる媒質から密なる媒質に進むとき、其方向が二媒質の境界面に垂直でない場合には、光線の方向は其境界面に於て屈折して幾分其面の垂直線の方向に近づくものである。其屈折の量は二媒質の密度の差に關係するもので、差が大である程屈折は大である。又屈折は媒質の組成に依つても變化する量である。天體から來る光線が虚なる空間より地球の大氣中に進入する時には、其方向が鉛直線と一致せざる限り幾分の屈折を受ける。然るに大氣の密度は上層は殆んど零であつて、漸次下層に進むに従ひ連續的に増加するから、光線が急激に屈折する境界面はないが、絶えず連續的に其方向を變化することとなるのである。

第九圖に於てASの方向にあるSなる量より來る光線が大氣の最上層とAに於て相會すると考へやう。此光線の方向はAより大氣内(點線にて示す)に入るに従つて徐々に屈折し

て遂に地球表面上のO點に達する。Oに於け



る觀測者は其眼に光線の到達した方向に其星を見るものであるから、星はOS'の方向に見ゆることになる。星の距離を殆んど無限であると考へると、大氣なき場合にOより見たる星の方向はASに平行なるOLの方向であるべき筈である。然るに星はOS'の方向に見ゆ

るのであるから、眞の方向との差は角 $LO'S$ となる。此差角を其星の濃氣差と名づける。

圖に於ては濃氣差を非常に誇大して示したので、實際は甚小なる角である。天頂に見ゆる星に於ては光線の屈折がないから、勿論濃氣差は零であるが、地平に近づくに従つて漸次屈折の角を大にし、従つて濃氣差は大となる。最大値を取る地平に於ては約半度の値を取る。半度と云へば甚小なる値であるけれども、精密なる天體の觀測に於ては一秒の値も忽には出來ないから、濃氣差は無論省略する譯にはいかない。つまり一般に星は此影響の爲に其方向が高く見ゆる様になるのである。又濃氣差の値は其時の氣壓温度及び湿度等によつて多少の變化を受けるものである。

濃氣差の影響によつて、まだ地平線以上に昇らざる星の光も屈折せられて地平線に見ゆる様になる譯である。例へば太陽は實際地平線上に達せざる前に既に東天に見え、又西天に於ては地平線下に没して後暫時は猶見ゆるものである。つまり濃氣差によつて晝間は前後約四分間だけ延びることとなり、其爲に多くの太陽の光熱を得ることとなるけれども、大氣の吸収によつて實際到達する分量は僅かである。

濃氣差の値は地平線に近づくに従つて漸次増加する爲に面白い現象が起つてくる。太陽又は月が地平線上にある時は、其上端よりの

光線に比して少なく屈折せらるゝ譯であるから、下端は上端よりも多く高く見ゆる爲に上下の直徑が其差だけ縮小して見ゆる結果となる。左右の直徑は別に濃氣差の影響を受けなから、太陽又は月の形は上下に扁平になつて見ゆるのである。此現象は肉眼によつて明に觀察することが出来る。

天體の精密なる位置を定める爲には、各高度に於ける濃氣差の値を精密に定めて直接の觀測の結果を訂正しなければならぬ。其爲に濃氣差の表が出來てゐる。けれども大氣の狀態によつて濃氣差の値は多少變化するから表にある値は常に精密ではない。殊に地平線に近き天體に於ては濃氣差の値が大なるだけ變化も大であるから觀測が不精密になることが多い。それで精密なる觀測に於ては地平線に近い星を除いて、天頂に近い星に就て測定することになつてゐる。

晴れたる夜、殊に冬季の風ある夜には、恒星の光は瞬くが如く動搖して見ゆる。此現象は全く氣流が烈しい爲に太氣の密度が絶えず變化し、従つて濃氣差を絶えず變ずる爲に星の位置が定まらない結果として起るものである。此現象は星が地平線に近づくに従つて烈しくなるものである。

十六 天體の日週運動

太陽及び月が東天より出でて西天に没することは誰も知らぬ者はないが、殆んど總ての

星も同様に東より出でて天空を横ぎり遂に西に没するものである。此運動を精密に觀察すれば、總ての天體は皆一日の間に天空を一廻轉することを知らることが出来る。従て昨夜午後八時に正南に見えたる星は今夜の午後八時に正南の位置に來るのである。斯の如き星の運動を日週運動と名づける。

北半球に於て天空を眺むれば、南天に見ゆる星は皆出沒するけれども、北方の天に見ゆる一群の星は常に地平線上に於て運行し、嘗て地平線下に没しないものがある。是等の星は天空上の北極と稱する一點を中心とせる圓を毎日畫くものである。北極の附近に北極星がある。それで是等の星が北極星を中心として廻轉する様に見ゆる。斯の如き一群の星を**周極星**と呼ぶ。東京及び日本の各地に於て觀測せらるゝ周極星の重なるものは、北極星を首領とせる**小熊星座**の諸星**大熊星座**中の**北斗七星**及び**カシオペア星座**の諸星等である。

周極星も周極星以外の星も日週運動をなす事に就ては皆同様であつて、天空の北極と地球とを貫ぬく線上に中心を有する圓運動をなす様に見ゆる。此日週運動の原因は二様に説明することが出来る。第一は、實際總ての天體が地球を中心として廻轉すると考ふるもので、第二は地球が毎日西から東に廻轉すると考ふるものである。此二説の孰れが正しいかといふことは簡單なる觀察では決定すること

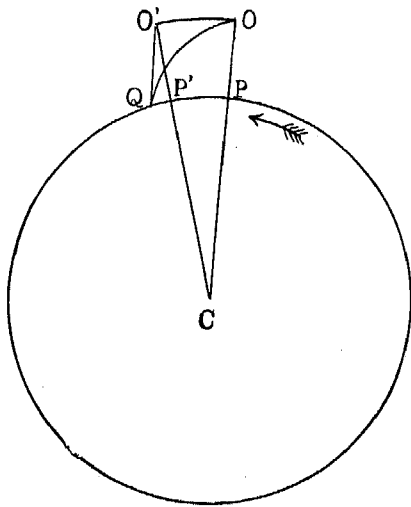
が出来ない。實際孰れの説を採用しても観測の事實とは矛盾しないのである。それで昔の學者は地球が固定して天空が其周圍を廻るものであると信じてゐたのである。吾人は今日第二の説を採用してゐるが、それは他の観測事實に基づいて定めたことで、天體の日週運動を説明するだけの目的では強て地球自轉説を取る必要はない。第二の説に對して第一の説は天球廻轉説といふことが出来る。

十七 地球の自轉の證明—落體の東方に偏倚すること

前節に於て星の日週運動は地球又は天球の廻轉説で説明せらるゝことを述べたが、第一の説は即ち地球が自轉することを現はすものである。實際天の諸星が一齊に運動するのはなくして地球の自轉によつて日週運動が起るものであるといふことは、單に説明が簡單であるといふことの外に正當なる證據がなければならぬ。本節に述ぶるのは其證明法の一である。

地球が自轉するものとすれば、其自轉の軸即ち地軸より遠き物體程急速に運動する筈である。つまり赤道の上の物體の速度が最大でなければならぬ。赤道に於ける地球の周圍は約二萬五千哩であるから、地球が一日に一廻轉するものとすれば、赤道に於ける地球表面の物體は一時間に約一千哩の割合で東方に運動しなければならぬ。又同じ地點でも高

い所程急速に運動する筈である。第十圖の圓を地軸に垂直なる地球の斷面を現はすものとし、 O を地軸上の一、 OP は OP' を地軸に垂直なる線と考へやう。 OP は P を基底とする高塔を現はすものとする。地球が矢の方向即ち $P'P$ の方向に自轉するものと假定し、 OP 線は單位時間の後に OP' 線の位置まで移動するものと考へやう。そうすれば塔の基底にある物體は $P'P$ の長さにて現は



さるゝ速度を有することになる。然るに塔の頂上 O に於ける物體の速度は $O'O$ なる長さで現はされるものであるから、明に P に於ける速度よりも大である。今 O より物體を落下せしめて地上に到達する迄の時間を單位として考ふれば、其落下の途は第十圖の OQ によつて現はさるゝこととなるであらう。如何とな

れば O 點から落下した物體は其始めの速度即ち $O'O$ を落下運動の爲に失ふものでないとは運動の法則によつて明であるから、單位時間の後には必ず CO に直角な方向に $O'O'$ と等しい長さだけ運動すべき筈である。即ち $O'O'$ の長さに等しく $P'Q$ を取れば、 Q が落下の地點でなければならぬ。然るに OP は單位時間の後には OP' に移動するから、塔内より眺むれば落體は $O'Q$ の途を取つて塔の基底よりも $P'Q$ だけ東方に落ちたことになるのである。つまり落體は自轉の爲に $P'Q$ だけ東方に偏倚することとなるのである。地球の自轉がない場合には、落體は正しく塔の基底に落ちなければならぬ。

此推論によつて吾人は地球が自轉する場合と、せざる場合との落體の状態を知ることが出来た。それで實驗によつて其中に孰れが真なるかといふことを決定すればよろしい。地球が自轉するものと假定して偏倚の量を計算して見ると、日本附近の緯度に於ては、五百呎の高さよりの落下に對して一時の東方偏倚があるに過ぎない。これ位の僅少なる偏倚は僅かの風の爲にも起り得るから、此實驗は非常に困難である。それで鑛山の堅坑を利用して其間の氣流を全然閉塞して實驗した結果だけが信用し得る値を示すのである。其結果は明に東方偏倚を示したので、地球の自轉は茲に實證せられたのである。

天文學解説(七)

理學士 本田 親二

十八 地球自轉の證明(二)―地球の形狀

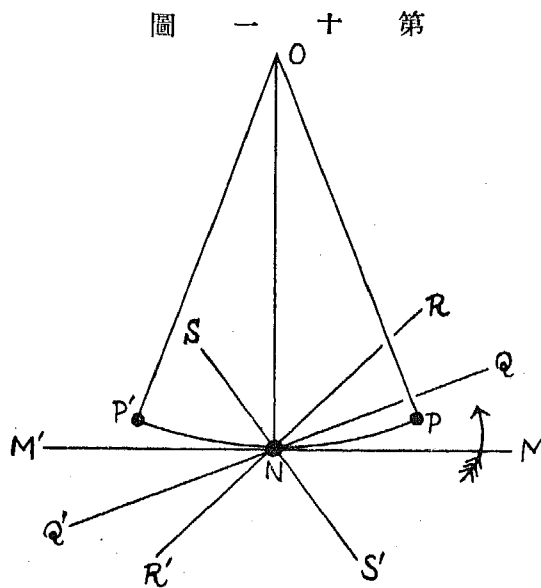
地球が若し自轉しないものとすれば其形狀は大體に於て球形となつて平均すべきもので、特に其一部分が隆起すべき理由はない。此事は地球が始め液態であつたと考ふれば、引力の法則及び運動の法則によつて證明し得べき結果である。けれども若し地球が自轉するものとすれば、遠心力の作用によつて、自轉の軸に最遠い赤道の部分は隆起することとなり、從て軸に近い兩極の部分は扁平となるべき筈である。此隆起の度は遠心力に比例し、遠心力は軸の廻轉速度及び軸よりの距離に比例するものである。それで地球を實測して赤道隆起の割合を知れば、逆に地球自轉の速度を大體決定することが出来る譯である。

前節に述べた通り、地球に赤道隆起帯のあることは實測の結果として明瞭なる事實であるから、逆に地球が自轉することを立證し得るのである。けれども此方法では、軸の位置及び廻轉の速度を知ることだけは出来るけれども、廻轉の方向が右廻りか左廻りかを定めることは出来ない。

十九 地球自轉の證明(三)―フーコーの振

子實驗

振子が一旦運動を始むる時は常に同一の平面内に其振動を繼續すべきものであることは力學の證する所である。今第十一圖に示すが如く、一の振子ONを地球の北極Nの眞上に吊し、MN'M'なる子午面に於てPNP'の如き振動をなさしめたと假定しやう。若し此振



子が地球の重力以外に力を受けないとすれば、常に同一平面内に其振動を續くべき筈である。即ち、假とへ地球が自轉しても其振動の平面は決して廻轉しない筈である。今假りに地球が西から東の方向へ圖に於ける矢に示すが如く自轉するものとしたなら

ば、此振子は如何なる運動をなす様に見ゆるだらうか。自轉の結果としてM'M'の子午面は廻轉して或時間の後にはQ'Q'の位置に進み、更にR'R', S'S'等の位置を経て、一晝夜の後には再びM'M'の位置に歸るであらう。始めMなる位置に立ちて此振子の運動を觀測する人は、地球と共に矢の方向に廻轉する譯であるけれども、自らは静止せりと感するのであるから、相對的に振子の振動の平面が圖の矢と反對の方向即ち東から西の方向に廻轉する様に見ゆる筈である。かくて一晝夜の後に振子は再び地球に對して同じ位置に歸るであらう。若し地球が自轉しないとすれば斯の如き運動は決して起らない譯である。

次に赤道の上に振子を吊るすときは、其鉛直線と地軸とは直角であるから、自轉の爲に振子の振動面は地球に對して變化しないこととなるのである。赤道の平面内に於ける振動を考ふれば、振動面の不變なることは容易に了解することが出来る。又赤道に直角なる方向の振動では振子全體が地球と同様に廻轉するので、其振動面の變化は地球の子午面の變化と一致するのである。つまり赤道に於ては地球自轉の爲に吾人は振子の振動面の變化を觀測によりて發見することは出来ない。

かく地球が自轉するものとすれば、振子は極に於ては二十四時間に一廻轉するが如く見え、赤道に於ては全く廻轉しない様に見ゆる

筈であるが、其中間の緯度の地點では中間の週期即ち二十四時以上の週期で廻轉する様に見ゆべき筈である。此週期は赤道に近づくに従つて益々大となるもので、緯度四十度位の地點では約三十六時間の週期となるべきである。(此證明は少し複雑であるから省略する)。それで此推論に基づいて、地球が孰れの方角に如何なる速度を以て廻轉するかを、實驗によつて決定することが出来る譯である。

一八五一年佛の物理學者フーコーはパリに於て始めて此方法を考案し實驗した。彼は二百呎の長さの鋼鐵の線條に重い鐵球を吊せる振子を作つた。先づ其鐵球を振子の最低點より一側に引寄せ、糸で結んで静止せしめた。次に外力の妨害のない様に其結べる糸に點火して焼き切り、鐵球をして自由に振動を始めしめた。又其下の床上には振動の方向を容易に認め得る様に度盛を刻して置いた。所が彼は時間の進むに従つて振動面が漸次西方に廻轉することを認むることが出来た。是は疑もなく地球の廻轉を證するものである。

此實驗は長さ堅坑の内て外力の妨害のない所では容易に實行することの出来るものである。それで其後も數回種々の人によつて試みられたが、其結果は皆同様であつた。

二十 一般に天體は自轉す

地球の自轉は決して珍奇な現象ではない。地球の近傍にある多くの天體は皆自轉しつゝ

ある。假へば最近の天體たる月は其表面の斑紋によつて一公轉と同時に一自轉することを知らるのである。其週期は約二十七日四分の一である。其他の星は肉眼では其自轉を認めることが出来ないけれども、近世の大望遠鏡によつて其表面に斑紋を認め得るものは皆自轉することが明になつて居る。太陽、火星、木星、土星等は皆其例である。殊に是等の太陽系に屬する諸天體は皆同一の方角に自轉するもので只其週期を異にするのみである。即ち皆北の方角より眺めて時計の針と反對な方向に廻轉するのである。地球がやはり其仲間であることは決して例外の不思議ではない。

太陽系以外の天體は遼遠の域にあるので其自轉を識別することは出来ないけれども、一の天體が他の天體の周圍を廻轉する運動は認められて居るから、太陽系の例より推して考ふれば、是等の天體も自轉するのが當然であつて、自轉しなければ餘程不思議と云はなければならぬ。力學の理論から云つても、空間に孤立せる天體が必ず自轉運動をなすべきことは正當なる歸結である。かく種々の方面から考へて見ると、地球の自轉は一般の天體の例に従つたもので決して例外でないことは明らかである。

二十一 地球は均整なる速度にて自轉す

運動の法則によつて考ふると、若し地球が外力の作用を受けず、又其大きさ及び形狀等を

少しも變化せざる完全なる剛體である時には、其自轉の速度は絶對的に均整であつて萬古不易であるべき譯である。けれども地球は種々の天體の引力を受けて居る。又地球は完全なる剛體ではないから其形狀及び大きさ等も極めて僅てはあるが變化するものである。それで地球の自轉の速度は絶對的に均整ではないことは明らかである。然らば其速度の變化はどれ位の範圍のものであらうか。

速度の變化を知るには、自轉の週期の變化を検出すればよろしい。其爲に吾人は標準となるべき絶對的均整なる運動を必要とするのである。けれども吾人は地球上の何處にも斯の如き運動を發見することが出来ない。普通時間測定の標準となるものは時計であるが、凡そ人間の製作し得る時計は如何に精巧なものであるも種々の外的影響の爲に多少の狂ひを生じないものはない。其進行の不規則の度は實際に於て地球自轉の不規則の度に比すれば比較を絶する程大なるものである。それで時計を以て地球の自轉の不規則の度を測らうと云ふことは全く不可能である。

既に地球上には標準となるものがないとすれば、其標準は他の天體に求めなければならぬ。けれども不幸にして吾人の知れる天體現象の内に斯の如き絶對的均整の速度を有するものを發見することが出来ない。されば吾人は絶對的に精確なる時間を知ることは出来

ないと云ふことになる。是は動かすべからざる事實である。恐らく未來もそうであらう。それで吾人は比較的に精確なる時間を得て測定の規準とせなければならぬ。其規準となるものは矢張り地球の自轉の速度である。吾人は是以上に精確なる標準を何所にも見出すことは出来ない。けれども地球の自轉の速度は多少變化し得べきものであることは明であるから、吾人は先づ其變化の原因を探求して其變化の度を知り、以て吾人の有する唯一の規準を更に精確にしなければならぬ。

地球の自轉を變化せしむる原因の第一は、地球の通過する空間の摩擦である。地球の周圍の空間には無數の流星、更に小なる宇宙塵或は逸散せる氣體の分子等が浮遊してゐる。それで地球が自轉する時は是等と摩擦して幾分自轉を阻碍することになるのである。其爲に自轉の週期は少しづつ延びることとなるであらう。けれども此抵抗は非常に小であるから、少し大きく見積つても百萬年の間に一秒以上自轉の週期を長くすることはなからうといふことである。

變化の第二の原因は、潮汐作用である。月と太陽とは其引力によつて地球の海面に潮汐の現象を生ずるものであるが、是等の天體は地球より見て東より西に向つて動くものであるから、潮汐の浪も其運動に従つて東より西へと地球の海面を進むのである。然るに地球の

自轉の方向は西より東に向ふものであるから潮汐の流れとは全く反對である。それで潮汐の浪は陸地の東岸に衝突して地球の自轉を阻止する作用を起すものである。此爲に自轉の週期が少しづつ延びることは明であるが、其量は甚小であつて別に重要な結果を生ずるものではない。是を精密に測定することは出来ないけれども、大體の見當は先づ五十萬年に一秒位週期を増加するだらうといふことになつてゐる。

變化の第三の原因は、地球の收縮である。地球内部の熱が現今上昇しつゝあるか下降しつゝあるかは明らかでないが、少くとも過去に於ては徐々に冷却したものであるとすれば將來も冷却を繼續するであらうと考へるのが適當である。地球が熱を失へば徐々に收縮する譯である。過去に於て斯の如き收縮が起つたことは地質學上の證據がある。凡そ廻轉體が收縮するときには慣性能率が小となるから、同じ廻轉運動量を有する爲には廻轉の速度を大にしなければならぬ。即ち物體は收縮すれば速く廻轉する様になるのである。其結果として自轉の週期は短くなるものである。けれども冷却による地球の收縮の割合は甚遅緩なるものであらうと思はれるから、約二千萬年の間に一秒位週期を短かくするであらうと想像せられてゐる。

以上の原因の外に地球表面上の物質の種々

の移動も幾分自轉に影響する譯である。即ち低緯度の地より高緯度の地に物體を運搬する時には、其物體の地軸よりの距離が減少するから地球が收縮したのと同じ事、自轉を速やかにするものである。又其反對の方向に運搬すれば自轉は遅くなる筈である。それで假へばミシシッピー河及び北上川の如きは前者の例で、信濃川、ニル河等は後者の例である。又赤道地方で蒸發した水が高緯度に於て雪となつて堆積する場合にも同様な結果を生ずる。けれども是等の結果は遅速相殺して、著しき影響を與へるものでないことは確かである。

以上の諸原因を通覽すれば、自轉の速度を増す原因と減する原因と二通りあるから、それ等を綜合して遅速孰れかを決定することは困難である。唯だ確實なることは其變化の割合が非常に緩慢であるから數百萬年を経過した後でなければ其變化を感じることが出来ないといふことである。けれども他の諸天體の自轉の狀態と、星辰發展の過程に關する考察の結果は、地球の自轉の週期が漸次公轉の週期に近づく様になりはしないかといふ疑を起させる。つまり一日の長さが漸次延びるだらうと想像させる。それで今後幾千億年の後には或は一日の長さが三十時間位になるかも知れない。一晝夜の長さが延びて困るのは晝と夜との温度の差が烈しくなるとであるが、吾人

は今からそんな心配をする必要もあるまい。それで吾人は地球の自轉が均整であると考へても何等の不都合もないといふ結果に到達したのである。實際吾人は地球の自轉を天體の日週運動によつて觀測し、それによつて時計の修正をなし、精確なる時間を得ることにして居るのである。

二十二 緯度の變化

地球は南北兩極を貫ぬく地軸の周りに自轉するものであるが、地軸なるものは特別の棒が地球を貫ぬいてゐるのではなく、只自轉の結果より想像したる一の直線に過ぎないのである。此地軸の位置は常に固定してゐるものであらうか。即ち南極又は北極なる地點は常に一定せるものであらうか。

地質學の證明する所によれば、昔地質時代に於て寒帶の地方が非常に温度が高くて植物の繁茂したこともあつたし、又温帶の地方が非常に寒くて氷で蓋はれたこともあつた。それで或地質學者は、是は地軸の位置の變化によつて極が移動した結果であらうと稱へたことがあつた。現代の力學の計算によれば地軸の位置は多少の變化をなすべきものであるけれども、北極が温帶地方まで移動する様なことは到底考へられない事で、地質時代の温度の變化は前にも述べた様に大氣の影響と考へる方が事實に近いだらうと思はれる。

地球の如き廻轉する物體に於て軸の位置の

變化の可能なることを最初に證明したのは、十八世紀の末葉に於ける獨逸の數學者オイレルであつた。彼の得た結果は、地軸の一端即ち極が平均の位置の周圍を小圓を畫いて進むもので、其一廻轉の週期は凡そ三百四日であるといふのであつた。けれども是は理論的に計算した結果で、實測によつて證明した譯ではなかつた。それで其後天文學者が直接の觀測から此變化を發見しやうと試みた人が多かつたけれども、器械の不完全な爲か誰も成功しなかつたが、遂に一八八五年に獨逸のキュストナーと米國のチャンドラーとが獨立に直接觀測によつて極の位置の變化を發見した。此地軸の位置の變化即ち極の變化は通常緯度變化と稱せられる。極が變化すれば經度も緯度も同時に變化するものであるけれども、其内で緯度の變化が最明瞭に現はれ且觀測も容易であるから、主として此方面から研究されることとなつてゐるので、自然一般的名稱となつたのである。

其後一八八九年に獨逸のベルリン、ポツダム、プラーグの三ヶ所で一一致して同時に緯度變化の觀測をやつた所が其三つの結果は殆んど同様であつたので、愈緯度變化は實際存在するものであることが確かめられた。けれども其結果は前にオイレルの豫言した變化とは頗る異なるもので、其變化の量も大きく、軌道も不規則なものであつた。それで此結果は

極の變化以外の要素が混入してゐる疑があつたので、も少し色々な方法で試驗する必要があると考へられた。其試験の方法として經度が百八十度だけ離れた二つの地點で同時に觀測することゝなつた。つまり此二つの地點は極に對して正反對の側にあるから、極が一方に近づけば他方に遠ざからなければならぬ。即ち一方の緯度が増せば、それと同じ量だけ他方の緯度が減じなければならぬ。其爲に獨逸と殆んど反對の子午線に位せる布哇のホルルに臨時緯度觀測所を設けて、一年に亘る觀測の結果を比較した所が、丁度獨逸と正反對の變化をなすことを發見したので、緯度變化は全然地軸の位置の變化に基づくものであることが立證せられたのである。其後各國の天文臺で此觀測を始むる様になつたが、我國に於ては一八九五年に東京天文臺に於て木村博士が此觀測を始めて以來、平山(清)博士、早乙女學士、關口學士、西學士等が此觀測に盡瘁せられた。

獨逸ポツダムのアルブレヒトは各國の天文臺で試みた緯度觀測の結果を集めて計算し、一八九八年と一九〇〇年に其結果を公にした。其結果によつて、各國で自由に勝手な機械と勝手な星とを使用して緯度變化を測つたのでは機械の誤差と星の位置の誤差とが違ふから精密な結果が得られないといふことが明になつた。(つゞく)

天文學解説(八)

理學士 本田 親 一一

そこでベルリン天文臺長フェルスターは、緯度が略ぼ等しくして經度をなるべく異にせる地點を地球の各地に撰んで、萬國共同の緯度觀測所を作り、同型の家屋内に同型の器械を据え付け、同じ星を使用して同一期間に觀測すれば甚便宜であると考へた。斯の如き共同觀測の結果を平均して、緯度變化を算出する時には、器械の差による系統的の誤差も、星の位置に關する誤差も皆一様であるから、緯度變化の結果に影響しないことになるのである。フェルスターは此考を一八九五年に開かれた萬國測地學協會の總會で述べて、各國の委員に諮つた所が、大多數の賛成を得ることになつた。次で一八九八年の總會に於て、愈々此計畫を實行することを決議した。

- 其決議の細條は下の様なことであつた。觀測の期間は一九〇〇年の始めから一九〇四年の末まで五ヶ年間繼續すること。觀測の場所は北緯三十九度八分の位置にある左の四地點とすること。
- 1、水澤(日本陸中國) 東經一四一度八分
 - 2、カローフォルト(伊太利サンピエトロ島) 東經 八度一九分
 - 3、ゲサーズブルク(米國メリーランド州)

- 4、ユーカイア(米國カリフォルニア州) 西經 七七度一二度
西經 一二三度一三分

器械の費用は萬國測地學協會で負擔し、緯度觀測用の天頂儀製造の専門家なる獨のワンシヤフに命じて、同型等大のものを造らしむること。觀測所の土地、建物等の設立費は其所在の國にて負擔すること。協會は經常費として、各觀測所に毎年四千圓を支出すること。五ヶ年の後は器械全部を其所在國へ無償にて讓與すること。觀測に使用する星の選擇は木村榮博士に囑託し、各所同星を測定すること等であつた。

其後同緯度に位する左の二地點に、其所屬の國立觀測所を設け、共同觀測に加入することになつた。そこで協會からは等の觀測所へも幾分補助することになつた。

- 5、チャルヂェイ(露領中亞細亞) 東經 六三度二九分
- 6、シンシナチ(米國シンシナチ州) 西經 八四度二五分

其後北半球許りてなく、南半球にも觀測所を設けたならば、或は異なる結果が出るかも知れないといふことになり、殊に木村博士の發見せられしZ項の研究上の必要から、同氏の提議によつて、左の二個所に觀測所を置き一九〇六年五月から共同觀測を初めることになつた。是等は共に南緯三十一度五十五分の

地點である。

- 7、ベースフラータ(濠洲西端) 東經一〇五度五四分
- 8、オンカライボ(アルヘンチナ國) 西經 六三度四二分

是等の觀測所の結果は毎月獨逸ポツダムにある萬國測地學協會中央局に郵送せられ、其所でアルブレヒト氏の主任の下に緯度變化の計算をなすことになつてゐた。其計算の方式は次の様なものであつた。

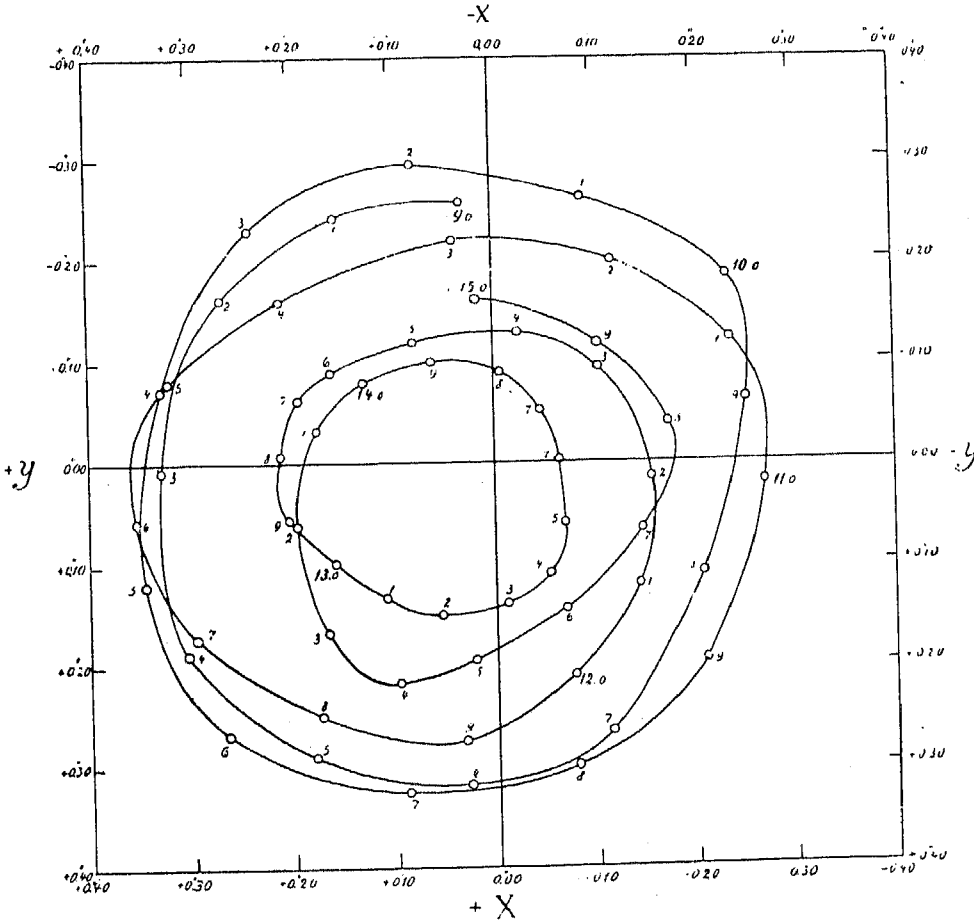
$$\Delta \varphi = K \cos \lambda + Y \sin \lambda$$

$\Delta \varphi$ は或觀測所に於ける緯度變化の量で、 λ は其經度を現はすものである。此式からの互に直角なる二軸x、yの方向に分解したる緯度變化の値X、Yを計算するのである。此x、yの軸は地球に對して固定せるもので、其交點は各時刻の北極の位置の平均の位置を撰んだもので平均極と呼ばれる。實際の極は平均極の周圍を廻轉するものであつて、平均極より約三十呎以内を循環してゐる。x軸は平均極からグリニチを通過する本初子午線と一致するもので、y軸はそれと九十度の角をなす經度線の方角と一致する。今アルブレヒトの計算により一九〇九年の初から一九一五年の初までの緯度變化の曲線を現はせば左圖の通りになる。中央に於て直交する二線はx、y軸で、其交點が平均極を現はす。平均極の周りの曲線は、實際の極の移動を示すものである。9.0

と記せる曲線の一端は一九〇九年の始に於ける極の位置で、極はそれから左廻りに移動する。次の1と記せる小圓の位置は一九〇九年の二月初めの極の位置で、一年を十等分したる最初の一分目即ち三十六・五日目の位置であるから二月六日に相當する。3、4以下同様で、最後の15.0は一九一五年の始の位置を示すものである。周囲の度盛は平均極からの經緯度の差で、一切りが〇・一秒で、普通の長さに換算すると、約一〇・二呎に相當する。つまり此圖の縦横の幅は約八十一呎餘となり、緯度の變化する幅は約六十呎となるであらう。

觀測の結果を比較して見ると、經度に無關係に一年の週期を以て變化する要素を含むもの

第二十圖



斯の如く極の位置はXYの二項で現はし、或は第十二圖の如く曲線を以て現はし得るものであるが、各地の

である。木村博士は一九〇〇年の共同觀測の結果から、此要素の存在を發見し、それをZ

項と名づけ、各地の觀測の結果を左の方程式で分解することを主張せられた。

$$\Delta\varphi = X \cos \lambda + Y \sin \lambda + Z$$

此者は他の學者の一致する所となり、Z項は其發見者の名によりて「木村項」とも呼ばれることゝなつた。

X及びY項は極の位置を二つの軸によつて現はす坐標で、つまり二軸から實際の極までの垂直距離を示すものであるが、Z項は實際の極の運動の如何なる部分にも相當しない。強いて地球に關係するものとすれば、地球の重心が一年を週期として南北に移動する爲であると説明せられぬこともない。けれども地球の重心の移動が實際起り得るかどうかは甚だ疑問である。それでZ項の發見後、其原因に就て種々の臆説が提出せらるゝこととなつた。木村博士が南半球に觀測所の設置を主張したのも、此Z項研究の爲であつた。所が、南半球の觀測の結果を見ると、Z項の値は北半球の場合も殆んど等しいといふことが發見せられたのである。

Z項の説明として挙げられた原因は十種許りある。即ち、

- 1、地球重心の移動
- 2、濃氣差の年變化。
- 3、空間の光屈折の年變化。
- 4、使用せる恒星の視差及び固有運動の値の誤差。

5、章動及び光行差の値の誤差。

6、計算法の誤謬。

7、短期の緯度變化。

8、天頂儀に附屬せる水準器の泡の不規則運動。

9、地殼の年週變動。

10、天頂儀の南北の位置に於ける温度による伸縮の差。

等である。此内第八は前號の雜報欄にある通り、早乙女理學士の最近の研究になるものであつて、有力な原因だらうと思はれる。けれどもまだ總ての學者が承認する原因となるまでには相當の時日を要するだらう。

X及びY項の値は圖に示すが如く、〇・三秒以下の値を取るものであるが、Z項も時により増減があるが〇・二秒以上になることは一般にない様である。是等の角度は極めて微細であるから、此觀測に著しい努力を要することも理解せらるゝであらう。水澤に於ては初め、木村博士及び中野理學士が此觀測に従事し、後中野理學士の代りに橋元理學士の就任を見、現今まで繼續してゐる。

緯度變化の觀測法及びそれに伴ふ種々の誤差等に就て興味ある問題も多いが、餘りに専門的になるから、茲には省略することとし直に結果の分析より得らるべき週期の問題を考へることにしやう。

極の位置の變化の週期は、圖によつて見る

と、多少規則的であることが別る。即ち實際の極は平均極の周りを大抵一年と二ヶ月内外で一廻轉する様に見える。此運行を更に數學的に分解して見ると、二個の週期の合成であることが別つて來た。第一の週期は一年で、第二の週期は約十四ヶ月(四百二十六日内外)である。此二週期の運行は共に楕圓の軌道を取るもので、其合成の結果が圖に示すが如き渦狀になるものである。又計算の方式等の差より、以上の二週期以外の短週期を假定する人もあるが、それは一般に承認せられない様である。又運行の軌道の形狀に就ても少々異論がある。次にZ項の週期は一年の週期のみで、他に小週期を二つ許り含むと考ふる人もあるが、それはまだ決定されたと云はれない様である。又極の變化の週期と地球の剛性との間に理論的關係あることは前に述べた通りである。其外に地球の磁力とも關係すると説く人もあるが、明確に證明することは困難である。

二十三 恒星に對する太陽の視運動

太陽が東から出て西に没する運行は誰も知らぬ人はない。恒星も同様な日週運動をなすことを前に述べて居いた。又太陽と他の恒星との相對的の位置は常に少しづつ變化するものである。恒星を固定せる標準と考ふれば、太陽は其間を縫ふて徐々に西より東に向ひ、一年の後には再び元の位置に歸るものである

普通此運行を知ることの困難なのは、太陽の近傍では其光輝の爲に恒星の光が見えない爲である。けれども此事實は間接には容易に證明することが出来るものであるから、太古の天文學者も精確に其測定をやつてゐる。

吾人が夜半に子午線上に見得る恒星は、太陽と百八十度を距てたる正反對の位置にあることは確かである。然るに其時より一ヶ月の後に、夜半に同じ恒星を見れば、最早子午線上にはなくて、それより三十度西方に發見せらるるものである。其時の恒星と太陽との角距離は百八十度から三十度だけ減じたる百五十度となつたのである。即ち太陽が一月の間に三十度だけ恒星の間を東に進んだことになつたのである。此割合て一年に三百六十度即ち天空を一廻轉するのである。此現象は太陽の近傍の恒星を大望遠鏡で觀測しても同様であることが證明せられる。

此現象は二様に説明することが出来る。第一の説明は地球中心説であつて、地球が中央に静止し、太陽が其周りに一年を週期として運行すると考ふるものである。第二の説明は太陽中心説で、太陽の周圍を地球が一年を週期とする軌道を畫くものとして説明するのである。吾人は宇宙に於て絕對運動を知ることが出来ない。吾人の見る運動は皆相對運動である。此相對的見地によれば、地球が太陽の周圍を廻轉するといふことも、太陽が地球の

周圍を廻轉するといふことも、同意義であつて、孰れにしても太陽の視運動の完全な説明となるのである。それで此二説中孰れか比較的都合がよいかといふことは他の現象に是等の説を常儀めて見て決定しなければならぬ。

希臘の初代には太陽中心説が信ぜられたけれどアリストテレス以後地球中心説と代つてしまつたが、基督教の信仰は更に地球中心説に勢を與へたので、第十六世紀にコペルニクス及びガリレオが出現するまでは太陽中心説は全く廢棄せられた。其後ニウトンの出現によつて太陽中心説は絶対の眞理と考へられる様になつたが、二十世紀に至りてアインシュタイン等の説ける相對律の原理によれば是等の二説は同價値のもので、只太陽中心説が他の現象を説明するに便宜だから採川するといふ意味しかないといふことになつた。けれども吾人の實用上の目的の爲には太陽中心説が他の諸現象を極めて簡單に説明し得る便宜があるので、是を眞と認めればよいのである。

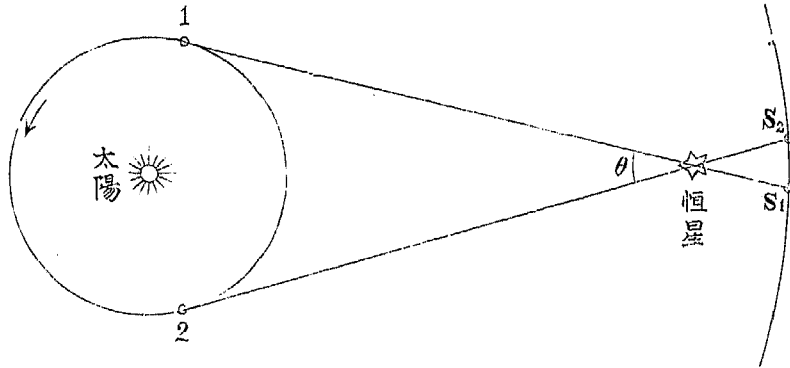
二十四 地球公轉の證明(一)——恒星の視差

これから太陽中心説によつて簡單に説明し得べき諸種の現象を擧げ、以て地球が太陽を中心として公轉することの相對的説明を試みようと思ふ。

まづ恒星を一個の固定せる物體と想像しよう(實際に於ては恒星も動くけれど其距離が遠い爲に、殆んど不動と見ゆるから、此節の證

明の爲には不動と假定して少しも差支ない)。若し地球が固定して、太陽が其周圍を運行するものとすれば、地球から見た恒星の方向は常に一定不變でなければならぬ。これに反

第三十圖



して、地球が固定せる太陽の周圍を運行するとすれば、季節によつて、恒星の見ゆる方向が異なる譯である。第十三圖に於て、地球が1の位置にある時、右方の恒星を見れば、天

球に投影せられてS₁の位置に見ゆべく、次に地球が約半年の後のS₂の位置に來た時は、同じ恒星がS₂の位置に見ゆる筈である。是等の二位置に於ける恒星の方向の差はθ角だけであつて、此角を恒星の視差と名づける。或は一年間の方向の變化の最大限であるから、年週視差と呼ぶ。視差は恒星の距離に關係するもので、距離が大となればなる程、視差が小となることは明らかである。

既に希臘時代に於てアリストテレスは太陽中心説を證するには恒星の視差を發見することが必要だと考へたが、其頃の器械では到底視差を見出すことが出来なかつたので、彼は地球中心説を主張する様になつた。コペルニクスもチホ・ブラーエもブラドリーも視差を發見せんとして失敗した。十九世紀になつてから望遠鏡の發達によつて漸次精密な觀測をなし得る様になつたので、遂に獨のベツセルは一八三九—四〇年の觀測によつて、白鳥座六十一と名づけられたる一恒星の視差を發見し得た。其値は〇・三一秒であつた。其後續々恒星の視差を發見する様になつたけれど、現今に於ても精密に視差の決定せられた恒星の數は五十位のもので、其外は不精密な値であるか、又は全く發見せられない。これ恒星の距離の極めて遼遠なる爲である。けれども唯一個だけでも恒星の精確なる視差が發見せらるれば地球の公轉の證明として十分である。

天文學解說(九)

理學士 本田親二

二十五 地球公轉の證明(二)——光行差

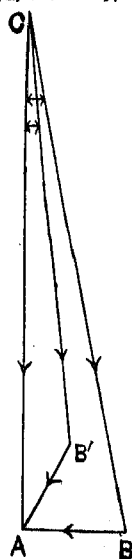
一七二八年に英國の天文學者ブラドリーは光行差の現象を發見した。此現象は地球の公轉を直接に證明するもので、他の種々の證明に先つて最も早く發見されたものである(本誌第八卷第壹號及び第四號の「十八世紀に於ける觀測的天文學」ブラドリーの節參照)。

風なき日に雨は鉛直に地面に向つて落下する。靜止せる人は雨が鉛直に落つると思ふが、雨中を疾駆する人は雨が其の顔面及び前方のみに當るので斜に降る様に感ずるであらう。走れる電車又は汽車から雨を眺めても同様である。實際電車の硝子窓に當る雨は、其進む方向から降つた様に斜に跡を引くものである。其の斜になる角度は、雨の落下の速度と車の進む速度とに比例するものである。即ち落下の速度を同一と考ふる時は、傾斜角は車の速度の大なる程大となるであらう。

雨の代りに光を考へても同様である。光は一定の速度を有するものであるから、若し吾人が光の來る方向と垂直な方向に運動する場合には、光の方向は少しく傾斜して、吾人の進む前方より來る様に見ゆる譯である。第十四圖に於てB Aを吾人の運動の方向及び速度を

現はすものとし、CAを吾人の運動の方向に垂直なる光の方向及び速度を現はすものとすれば、實際吾人に見ゆる光の方向はCBで現はさるゝ方向を取るものであつて、其傾斜の角はACB角で示さるゝものである。又吾人の運動の方向が光の方向と垂直でなくてB'Aの如く斜になつて居るときは、光がC'B'の方向を取る様に見ゆるであらう。其時の光の方向の差はA'C'B'角で示され、一般に垂直の場合

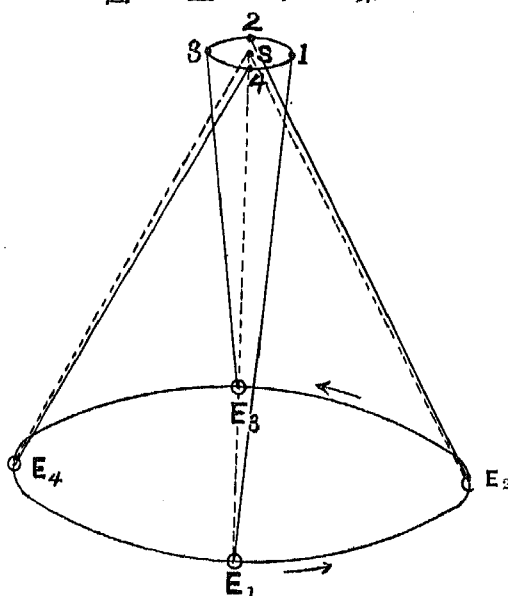
圖四十第



合よりも小である。若し吾人の運動の方向が光の方向と一致する場合には、斯の如き現象は起らない。此現象を光行差と名づける。

地球が靜止せるものとすれば、星の光は光行差の影響なく常に同一の方向に見ゆべき筈である。けれども地球が太陽の周りを公轉するものとすれば、其運動の爲に光行差を生じなければならぬ。而して光行差による恒星の方向即ち位置の變化は地球の運動の方向によつて異なるものであるから、或時刻より半年の後には反對の光行差を生じなければならぬ譯である。第十五圖に於てE₁E₂E₃E₄を地球の軌道上に於ける位置とし、Sを軌道面に垂直の方向に見ゆる一の恒星を現はすものと

圖五十第



やう。實際恒星の距離は地球の軌道の大きさに比較して非常に大なるものであるけれども、圖では便宜上近距離に畫いたのである。地球がE₁の位置に於て矢の方向に軌道上を進行する時は、恒星Sは其實際の方角(點線にて示す)よりも少しく前方即ち1の方向にある様に見ゆるであらう。次に地球がE₂に來たとき

は、恒星は2の方向に見え、以下順次に3、4の位置を取るであらう。つまり恒星は地球の公轉による光行差の爲に一年間に小なる楕圓(1234)を畫いて移動する様に見ゆるのである。而して地球の軌道上の位置と、それに相當する恒星の楕圓上の位置とは位相が九十度だけ異なつてゐる。此楕圓は光行差

橢圓と呼ばれるもので、ブラドリが發見したのは恒星の斯の如き位置の變化であつた。此橢圓の形狀は地球の軌道に對する恒星の方向によつて變ずるもので、地球の軌道面上にある恒星では扁平の極に達し、直線上を移動する様に見ゆる譯である。けれども光行差は恒星の距離とは無關係であるから、其橢圓の長徑は地球の軌道速度に比例するもので、總ての恒星に就て一定である。そして其長徑の長さは光行差常數と呼ばれ、其値は二〇・四七秒である。尤も現今採用せられてゐる此常數には多少の差異がある様であるが、其事はまだ精密に決定せられない。

要するに光行差の現象の存在は地球の公轉を直接に證明するものである。

二十六 地球公轉の證明(三)——分光器による證明

分光器は光を分析してスペクトルを生ずる器械である。其主要部は三稜玻璃又は鏡面に細線を密に平行に引ける格子よりなるものである。例へば太陽の光を分析すれば、赤より靑色に至る一連の色彩よりなる美しきスペクトルを現はし、其間に多數の黒線を含むを見るであらう。是等の黒線の位置は一定の波長の位置に相當するもので、光の波長が不變なる限り其位置を變ずることがない。けれども或原因によつて光の波長が變化する時には光の屈折の角を異にするから、黒線も全體の

スペクトルも共に一方或は他方に移動するであらう。スペクトルの色波中で赤は波長が最大で靑は波長が最小であるから、光の波長が全體として長くなる時にはスペクトルは赤の方向に移動することとなり、短くなる時には靑の方向に移動することとなるであらう。

吾人が汽笛を鳴らしつゝ接近する汽車の汽笛の音と、遠ざかり行く汽車の汽笛の音とを比較する時は、前者の音が後者よりも高く聞ゆることを經驗するであらう。發音體が吾人に接近しつゝある時には、相連續して發する音波間の距離が、静止せる場合よりも短くなるので高調の音となるものである。是に反して發する二音波間の隔たりは、静止の場合よりも大となるから、音波の波長を増し音調を低くするものである。此現象はドップラーが發見したもので、其法則を「ドップラーの原理」と呼ぶ。此現象は音のみならず、總ての波動の場合に存在するもので、光も其一である。發光體が吾人に近づきつゝある時には、其續々發する光波間の距離は、静止せる場合よりも小となるから光波の波長は短くなることとなる。又光源が吾人より遠ざかりつゝあるときには、波長は長くなりスペクトルは赤色の方向に移動することになる。其移動の割合は、光源の静止せるスペクトルと比較し

て定めることが出来る。其場合には明瞭に識別することの出来る黒線を撰んで、其移動の長さを寫眞に撮つて測定するのが普通である。又此結果は發光體が静止して、吾人が發光體の方向或は其反對の方向等に運動する場合にも同様であることは明である。

スペクトル中の黒線の移動の度を測定して波長の變化を知るときは發光體と吾人との視線の方向に於ける相對速度を簡單なる計算で出すことが出来る。此原理は直ちに地球の公轉の速度の計算に應用することが出来る。今地球の軌道面上にある數個の恒星を撰めば、或時季に地球は或恒星に近づきつゝあるべくそれより六ヶ月の後には其恒星より遠ざかりつゝあるであらう。そして是等の恒星のスペクトルを一年に亘りて觀測すれば、或時は黒線が赤の方に移動し或時は靑の方に移動するであらう。斯の如き兩極端の場合のスペクトルの移動の位置の差を取れば地球の公轉速度の二倍に相當する値が出て來る譯である。

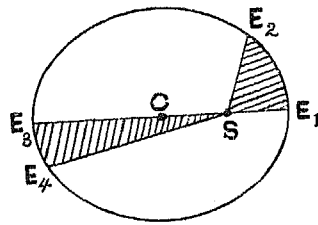
斯の如くして速度を計算すると、毎秒約十八哩半といふ値を得るので、地球の公轉は更に精確なる證明を得たものである。

二十七 地球の軌道の形狀

地球の公轉は以上の證明によつて明瞭なる事實となつたが、次に吾人は其公轉の軌道の形狀を明にしなければならぬ。ケプレルは火星の軌道を研究して其形が橢圓であること

を證し、他の惑星も同様なるべきことを想像した。次でニュートンが萬有引力の法則によつて惑星の軌道が皆橢圓なることを證明したので、軌道の性質は理論的には確定したのであつた。太陽は其橢圓の焦點の一に位するもので、第十六圖のSは其位置を現はしたのである。此軌道の形状は實測によつても容易に證明し得るのである。其爲には一年を通じて太陽の視直徑を觀測すればよろしい。太陽の視直

圖 六 十 第



徑は距離に逆比例して増減するから、吾人は太陽が小さく見ゆる時に太陽より遠ざかり、大きく見ゆる時に太陽に近づくことを知ることが出来る。其結果地球の種々の位置に於ける太陽までの距離の比を知ることが出来るから、それを適當な尺度で圖に現はせば地球の軌道の形状を知ることが出来るのである。

是等の結果によると地球の軌道は非常に圓に近い橢圓であることが分る。第十六圖は少しく其橢圓の性質を誇大して畫いたものであ

る。圓は橢圓の特殊の場合で、つまり橢圓の中心(C)と焦點(S)とが一致した場合に相當する。それで中心及焦點間の距離(CS)と橢圓の長徑(C_{E1}又はC_{E2})との比が小なれば小なる程橢圓は圓に近く、大なる程扁平な形状となる。此比を橢圓の離心率と呼ぶ。地球の軌道の場合には離心率(e)は左の値を取る。

$$e = \frac{CS}{CE_1} = 0.01677$$

此値は約六十分の一に近し。E₁は地球が最も太陽に近い位置で近日點と呼ばれ、E₂は最も遠い位置で遠日點と呼ばれる。其二距離の平均即ち橢圓の長徑の長さ(C_{E1}又はC_{E2})を平均距離と名づける。地球と太陽との平均距離は九千二百九十萬哩で、CSの距離は百五十六萬哩である。それで近日點と遠日點とでは太陽の距離が約三百萬哩の差がある譯である。現行の曆法によると近日點は一月の初めで、遠日點は七月の初めである。三百萬哩の差は太陽の全距離に比較して極めて小部分に過ぎないから、其爲に地球の温度の顯著なる影響を與ふことはない様である。

地球の軌道上の速度も太陽からの距離によつて變化する。太陽に近い時が最も速く、遠い時が最も遅い。地球と太陽とを結ぶ線を動徑と名づければ、其動徑は地球の運動につれて順次軌道面の面積を蓋ふてあらう。第十六圖に於て、地球がE₁よりE₂まで動く間に、動

徑はS E₁よりS E₂まで運動し、影にて示せる面積S E₁ E₂を蓋ふことになる。此面積をそれを蓋ふに要する時間で除したものを面積速度と名づける。地球の軌道上の運行は常に此面積速度が一定である様に動くものである。即ち、地球と太陽とを結ぶ直線は等時間に等面積を蓋ふものである。第十六圖に於て、S E₁ E₂とS E₃ E₄との面積を等しく畫けば、E₁ E₂を經過する時間と、E₃ E₄を經過する時間とは相等しいものである。此關係から、地球が太陽に近い時には速に運行し、遠い時には遅く運行することが分るであらう。

第三章 天球—地球の運動の投影

二十八 天球

觀測者の眼を中心とし、無限の長さの半徑を以て一の球を畫くときは、宇宙の總ての物質を皆其内に含ましむることが出来る。斯の如き球を天球と名づける。天球の半徑は無限であるから、其中心を有限の距離だけ動かしても天球其物には何等の變化もない。それで吾人は説明の便宜上、或時は中心を吾人の眼とし、或時は地球の中心とし、或時は太陽の中心とする。實際天球に比すれば地球も太陽系も一點と考へて差支へないのである。

吾人が天空を仰ぐときには、天空が半球形をなして吾人を蓋ふ様に思ふであらう。その半

球が即ち天球の半分を吾人に示すものと考ふればよろしい。吾人は夜に星を見る時、其距離は全く不明であるから、總て天球に投射して、天球上に輝く様に眺めるものである。其場合は吾人は星の位置を現はす量として、唯其方向を知るのみである。つまり天球上の位置は單に吾人よりの方向によつて定まるもので、天球上の二星の位置の差即ち視距離は、其位置を示す方向の差の角度によつて現はさるものである。そして其角度のみが天球上の距離等を測る唯一の要素であるから、其角度の關係を同様に現はす、有限の半徑の球で天球を模寫することが出来るものである。此點に於て地球と天球とは同様に考へられる。

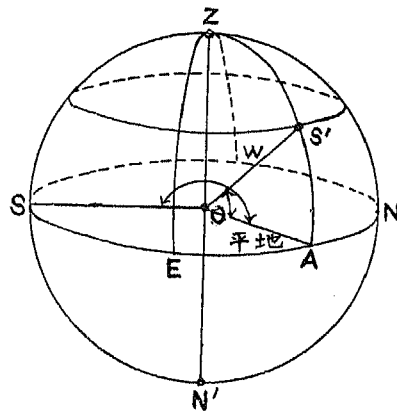
吾人が地球上の或地點の位置を定むるには、經度及び緯度を用ゐる、其原點は兩極であつた。即ち地軸といふものが地球内に存する唯一の特殊の方向であつた。それによつて赤道を定め緯度を決定し、次に兩極を通過する子午線によつて經度を決定してゐる。天球に於ても同様の方法を採るので、それには數種の方法がある。

二十九 地平系

觀測者が其觀測點に於て一の鉛直線を垂れ、其線を上下に無限に延長すれば天球と二點に於て會するであらう。吾人の頭上に於ける交點を天頂と名づけ、足下に於ける交點を天底と名づける。第十七圖に於てSZN'を

天球とし、Oを吾人の位置とすれば、鉛直線の方向はZO'N'を以て示され、Zは天頂、N'は天底を現はすのである。Oより鉛直線に垂直に一の平面を畫き、是を天球と交はらしむれば其交點は一の大圓となるであらう。圖のSE'NWは其大圓を示すもので、是を地平と名づける。つまり地平は天頂及び天底より九十度だけ離れたる位置にあるものである。此地平は天文學的地平と呼ばれる。實際吾人が

第十七圖



肉眼にて見る地平即ち水天相接する線とは少し異なることがあるかも知れない。つまり此二つは全く別と考へなければならぬ。

此天頂天底及地平を地球の兩極及び赤道に相當するものと考ふれば天球上の位置は容易に決定せられる。今S'を天球上に於ける一の恒星の位置を現はすしやう。S'OZを通じ一の平面を畫き地平とAに於て會するもの

とせよ、此平面が天球と會する大圓を垂、直圓又は垂、圓と名づける。角S'O Aは丁度地球の緯度に相當するもので、星の高度と名づける。高度の餘角即ち角Z O S'は天頂距離と名づけらる。次に吾人は地平に於ける諸方向を東西南北によつて測るものであるが、其方向をE(東)N(北)W(西)S(南)で現はさう。其内で南を基點とし西の方向に周つて垂、圓に至るまでの角即ちS O AをS'星の方位角或は單に方位と云ふ。これは地球の經度に相當する。高度の等しい星は同じ高度圈(圖に於ける上方の小圓)上に存在し、方位の等しい星は同じ垂、圓内に存在するであらう。それで吾人は或時刻に於ける任意の星の高度及び方位を知れば、容易に其星を發見することが出来る。

高度は地平より天頂までが+から+まで、地平より天底までが-から-まで、に別けて測ることにしてある。これは地球の緯度の測り方と同様である。けれども方位は零度から三百六十度まで測るので、第十七圖のS'の方位は約二百度である。これは地球の經度の測り方と異なるが其理由は單に便宜上のもので、星の日週運動の方向と一致させる爲である。星は日週運動の爲に皆東より西に動く様に見へ、つまり上の測り方で云へば方位角が漸次増加する。増加する方が減少するよりも測り易いから方位角の方向を星の運動と一致させたのである。

天文學解說(十)

理學士 本田親 一

地平系の便利な點は、星の高度及び方位が、簡單な器械で容易に測り得らるゝことである。船舶上で使用する六分儀セクスタン、又は普通の測量用に使ふ經緯儀等で星を觀測すれば、直ちに其度盛によつて、大體の高度と方位とを知ることが出来るのである。けれども此方法には不便な點も多い。第一に、總ての天體は其日週運動の爲に時々刻々に其位置を變ずる様に見ゆるので、其爲に天體の高度及び方位も絶えず變化する。それで、單に或天體の高度及び方位のみを知つても其時刻を知らなければ何等の意義をもなさない。つまり何年何月何日何時何分何秒の高度及び方位が幾何であるとは云はなければならぬ。次に地平系は地球上に於ける觀測者の位置によつて變化する。地球上の各地に於ける鉛直線の方向は平行でないから、地平も垂圈も皆異なることとなるのである。それで高度も方位も其觀測の地點を離れて意義をなさないこととなるのである。つまり觀測者の經度及び緯度を知らなければならぬ。以上を總括すれば一の天體の位置を確定する爲に、高度、方位、時刻、經度及び緯度の五要素を必要とするのである。陸地に於ける觀測では、其地の經度緯度は何時

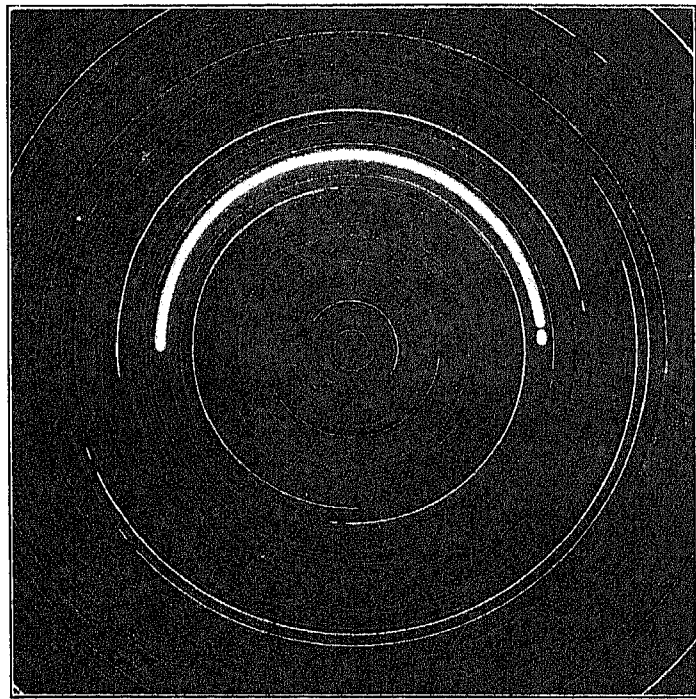
でも別つて居るけれども、海上に於て船中に測る場合に於ては、特に其船の位置を必要とするものである。

斯の如く時と處とによつて異なる座標を用ゐて星の位置を記録することは非常に不便であるから、何か永久的不變的な位置の決定法を求むる必要がある。以下の種々の座標法は皆此目的に殆ど適合するものである。

三十 赤道系

此體系の本となるものは天球の極である。天球の極とは地軸を無限に延長して天球を貫ぬく二つの點を稱するもので、北方にあるを北極といひ、南方にあるを南極といふ。丁度吾人が地球の北極の上に立てば、其所の天頂が天球の北極であつて、地球の兩極と天球の兩極とは、精密に相似の位置にあるものである。北半球に住める吾人は常に天球

第十圖



の北極を見ることが出来るけれども、南極は常に地平下に没して見ることが出来ない。天球の兩極を結ぶ直線は地軸と一致するから、總ての恒星の日週運動の軸である。つまり地球から見ると天球が此軸によつて一日に一廻轉する様に見ゆる。それで吾人が北方の天を注視すれば、其邊の恒星は皆北極を中心とせる圓を畫いて其日週運動をなす様に見ゆるのである。斯の如き圓の中心を求むれば吾人は容易に北極の位置を知り得る譯である。第十八圖は寫真機を北極の方向に向けた儘、十餘時間放置して得た寫真である。總ての恒星は其の間に日週運動の圓弧を畫くから、それ等の中心即ち北極の位置は容易に知ることが出来る。

天球の極は恒星に對して比較的不動に見ゆ

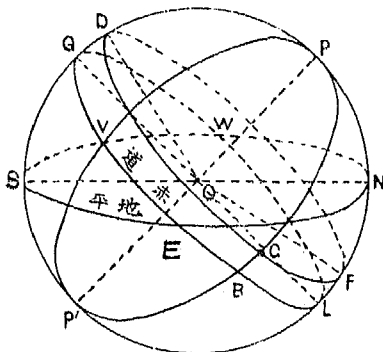
る點である。實際は極も地軸の方向が空間に於て徐々の運動をなすので(後に述べる)極めて僅かづつ變化するけれども、普通の目的では短年月の間に變化しないものと考へても差支ない。既に兩極が定まれば地球上の總ての點は兩極よりの位置の關係によつて定めることが出来る。其爲に先づ必要なものは地球の赤道に相當するものである。極の位置が地球と天球と相似であるから、赤道の位置も相似でなければならぬ。今吾人が地球の赤道の平面を無限に擴げて天球と交らしむれば、其交線は一の大圓となるであらう。是を天球の赤道と名づける。地球の赤道面は地軸と垂直であるから、天球の赤道面も同様で、極と赤道との距離は九十度である。極及び赤道と恒星との位置の關係は本誌の最後にある天圖を参照せらるれば容易に知ることが出来るであらう。

第十九圖に於てP S P' Nを以て天球を現はし、其中心Oを地球の位置と考へやう。又Pを北極、P'を南極の位置としやう。北半球に於ける吾人より見れば、地平(S E N W)と極との關係は圖の如きものとなるであらう。次に天球の赤道は圖の如くP O P'に直角なる大圓V E Bで現はされ、半分は地平上に現はれ、半分は地平下に隠れるであらう。赤道に平行なる天球上の小圓を赤緯の平行圈と名づける。圖のD C下がそれである。是は地球上

に於ける緯度の平行圈と相當するものである。

地球上の子午線に相當する天球上の大圓は極P P'を過ぎり赤道に直角に交はるものである。第十九圖のP V P'及びP C B P'は其現はれたる一側を示したものである。是等を時圈と名づける。地球の子午線に特に起點となるべきものなく、便宜上グリニチの子午線を經度の始めと定めたと同様に、天球の時圈

第十圖



も何か都合のよい起點を採用しなければ、其間の距離を現はすに困難である。其爲に定められた本初時圈は、天球上の一定點なる春分點(V)を通過するもので、第十九圖のP V P'は夫れを現はすものである。春分點は、天球上に於ける太陽の視運動の軌跡即ち黃道と赤道との二つの交叉點の内の一つであつて、太陽が赤道の南より北に向つて通過する點である。

春分點を通過する時圈を基として測つた、天球の經度に相當するものを赤經と名づける。其測り方は春分點より赤道に沿ふて東方に向ひ、所要の天體を通る時圈と赤道との交點に至るまでの角距離で現はすのである。第十九圖に於てCを一の天體の位置とすれば、Cを通る時圈と赤道との交點はBであるから、V Bの弧の長さがCの赤經を現はすものとなるであらう。地球の經度と異なる點は、經度の如く東經及び西經の區別がなくして、零度より三百六十度まで同一の方向に測るといふ點のみである。

次に地球の緯度に相當する赤緯は全く緯度と同様に赤道を基として南北に時圈に沿ふて測るもので、北方を正號にて現はし、南方を負號にて現はす。共にOから90°までである。第十九圖に於て、Cの赤緯は弧B Cに相當する角である。

總ての天體は地球の自轉の爲に、東より西に向て日週運動をなすものであるから、天體と天球とが固着してゐると想像すれば、天球が日週運動をなすと考へることが出来る。其結果として恒星の間に固定せる春分點(V)も毎日東天(E)より出て、天空を横ぎり西天(W)に没し、再び東天に歸るものである。Cにある星も毎日赤緯圈に沿ふて東より西に進みD及びFを過ぎて再びCに歸るものである。此星の高度の最大なる位置はDにある時

で、即ち観測者の子午線上に來た時である。観測者の緯度は其地點に於ける北極の高度に等しいものであるから、第十九圖の角NOPに等しい。次に子午線(PDG)上に於ける赤道の高度は、OPとOGとが垂直であるから、角SOGは緯度(ϕ)の餘角で($90 - \phi$)に等しい。次にDGは此星の赤緯であるから、赤道の子午線高度に赤緯を加へたるものが、此星の最大高度を現はすものである。此星の赤緯を δ にて現はせば、最大高度の式は、 $(90 - \phi + \delta)$ となる。

又此星の最低の高度に達するのはEに來た時である。其時の高度は直角POLから角PON即ち緯度を減じ、更に角EOL即ち赤緯を減じた残りの角NOEだけ地平下にあるから、 $-(90 - \phi - \delta)$ にて現はされる。

此式によつて北緯三十五度の地に於ける観測者の見得る太陽の最大高度を計算すれば、夏至の際に太陽が赤道以北二十三度半にある時には七十八度半であつて、最低高度は地平下三十一度半である。冬至の際、太陽が赤道以南二十三度半である時は、最大高度が三十一度半で、最低高度は地平下七十八度半である。子午線に相當する天球上の大圓を時圈と名づける理由は、是が日週運動の爲に空を横ぎつて東より西に動き、二十四時間で丁度一廻轉するからである。故に赤道を二十四等分して其一々の點を通る二十四本の時圈を引く時

は、其各個は一時間毎に吾人の子午線に來ることとなるであらう。其爲に赤緯は普通に度で計算することの代りに、時間で算へることになつて居る。即ち三百六十度を二十四時とするのであるから、一時は十五度に等しく、一時の分數たる一分は度の十五分に等しく、時の一秒は度の十五秒に等しい。零時の時圈は春分點を通過するもので、それから東に向つて計算するのである。誌末の天圖の時圈は一時毎に引いてあつて、赤道の上に其時數が書いてある。

春分點が観測者の子午線上に來た時に、時計を零時とし、春分點が一廻轉の後再び子午線上に來た時に時計も二十四時間を經過して再び零時となる様に調整すれば、此時計は恒星時の時計と呼ばれる。春分點は常に正午に子午線上に來るものでないから、普通の時計とは勿論違ふのである。斯の如き恒星時の時計の一時に、子午線上に一時の時圈が來ることになる。つまり時計と天球上の時圈とが精密に一致するのである。此時計によつて星の赤緯を容易に決定することが出来る。其爲には所要の星が正午線を經過する瞬間に於ける此時計の時刻を知れば、それが直ちに赤緯を現はす數となるであらう。星の子午線經過を精密に観測するには子午儀又は子午環と名づける器械を用ゐる。是等は共に子午線の平面内に動く望遠鏡を主要部とするもので、其望

遠鏡の視野の中央に星が來たときが、丁度子午線上にある様に調整して置けば、其時刻を適當な方法で測つて星の赤緯を定め、同時に望遠鏡の傾角によつて星の高度を知つて赤緯を計算することが出来る。尤も是等の精密な値を得るには、種々の注意と方法とを用ゐて數回の観測をなすことは勿論である。

是方法と反對に吾人が或恒星の赤緯の値を精密に知る時は、其子午線經過を觀測して時計の誤差を訂正することが出来る。現今に於ては數百年來の觀測の結果として位置の精細に決定せられた恒星が數千に達するから、其内に特に精確に位置の定まれる數百の恒星を標準星となし、時刻の決定に使用してゐる。

赤緯は普通に δ にて現はし赤緯は ϕ にて現はされる。又惑星の時圈と子午線との平面間の角を時角と呼ぶ。此時角は星の赤緯と子午線の赤緯との差であるから、赤緯と同様時で現はすのが普通である。或瞬間の星の位置は時角と赤緯とで現はされるが時角は刻々變化する量であるから、永久の目的には赤緯と赤緯を用ゐるのである。又赤緯の餘角即ち北極と天體との間の弧の張る角を北極距離と名づける。是を赤緯の代りに使用することもある。

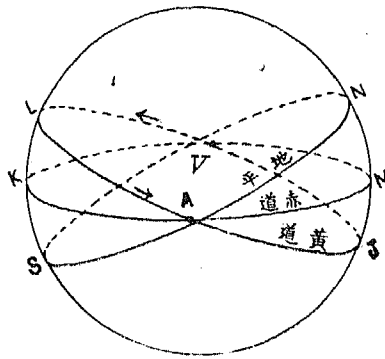
三十一 黃道系

前に第二十三節に述べた様に太陽は恒星の間を縫ふて一年間に天球上を一廻轉する様に見ゆるものである。此視運動の軌跡を天球上

に畫けば一個の大圓となる。此大圓を黃道と名づける。黃道と赤道とは春分點及び秋分點に於て交はり、兩者の平面間の角は約二十一度二十七分八秒である。夫れ等の諸恒星との位置の關係は誌末の天圖によつて容易に知ることが出来る。

第二十圖の天球に於てK A M Vは赤道を、L A J Vは黃道を、S Nは地平を現はすものである。黃道と赤道との交點はV及びAで、

第二十二圖



黃道上の矢の方向は太陽の進路の方向である。即ち太陽が南より北に向つて赤道を通過する點が春分點(V)で、北より南に向つて横ぎる點が秋分點(A)である。太陽が春分點より秋分點に至るまでの期間は其高度は常に赤道より高く、秋分點より春分點に至る間は常に赤道より低いことは明である。第二十圖は八月の中頃の午前に於ける赤道と黃道との關係を示すもので黃道は赤道に比較して著しく

高くなつてゐる。是等は日週運動の爲に地平に對して毎日一廻轉することは勿論である。

赤道の代りに黃道を基として天球上の位置を定めることも出来る。黃道より南北に九十度だけ距たれる二點を黃道の北極及び南極と呼び、其極を通り黃道に垂直に交はる大圓を天子午圈と名づける。惑星を通過する天子午圈に沿つて黃道より其星までの距離を現はす角を黃緯と呼ぶ。是も赤緯と同様に北方を正號、南方を負號にて現はし、各々零度から九十度までである。次に赤經に相當する黃經を測るには、同様に春分點を起點とするのである。即ち春分點を通る天子午圈を本初天子午圈として、それより東方に算へ、零度より三百六十度に至るのである。斯の如く黃道を基とし、黃經黃緯を用ゐて天球上の位置を定める坐標の體系を黃道系と名づける。

黃道は第二十圖に於て明であるが如く、三百六十度の内半分だけは赤道の北に、半分は赤道の南にある。天球は日週運動の結果として一廻轉するから、一日の中十二時間は、黃道は赤道よりも大なる高度で子午線を經過し他の十二時間は小なる高度で經過するであらう。つまり黃道は太陽が一年の間に子午線を經過する時に取る總ての高度を以て、二十四時間の内に子午線を切ることになるのである。月も殆んど黃道に沿つて運行するものであるから、太陽と面白い位置の對照をなすも

のである。満月の際には太陽と月とは天球上正反對の位置に来るものであるから、若し一方が赤道よりも大なる高度の位置にあれば他方は低き高度の位置にあるべきである。夏は太陽の位置が赤道以北の黃道の部分にあるから満月の高度は小であつて常に赤道以南にある。けれども冬は太陽が低い位置にあるから冬の満月は高く中天に懸るものである。又上弦或は下弦の場合は太陽と黃經九十度を距てるものであるから太陽の高度より推して月の大體の高度は天圖によりて知ることが出来る。

三十二 銀河系

牽牛と織女とを隔つる天の河即ち銀河は殊に夏の晴夜に於て吾人の注意を惹くものである。銀河は非常に遠隔の距離にある恒星の集團て其輪廓は甚だ不明瞭であるけれども、大體其中心線を連結すると一の大圓になるもので、是を銀河圈と名づける。銀河圈は人々によつて多少の差があるけれども大體一定してゐるもので、是と赤道との二個の交點中の一なる赤經六時半の點を起點として一の坐標系を作ることが出来る。

今銀河圈を赤道に相當するものとし、赤經六時半の點を春分點に相當するものと考ふれば、赤道系に於ける赤經及び赤緯と同様に、銀河系に於ける銀經及び銀緯を定めることが出来る、それ等によりて天球上の恒星の位置を定めることが出来るであらう。

天文學解説(十二)

理學士 本田 親一

三十三 各系の比較

地球上の位置を最簡單に現はすものは、地平系による高度及び方位であるが、是等は時と處によつて變化するから、永久的の記録には不都合である。殊に恒星の位置を列擧する星表を作る爲には、時と處によつて不變なる體系を撰むことが必要である。

赤道系は其基點及び基線が恒星の間に固定して居るのが特色である。即ち地球の兩極及び赤道は觀測者の位置に全く無關係に定まつてゐる。又赤道上の基點たる春分點も同様である。只歳差なる現象の爲、春分點は極めて僅小なる移動をなし、從て赤道及び極の位置も徐々に移動するけれども、此運動は微少な上に規則的であるから、此體系の固定性を損ずるとはしない。それで赤經及び赤緯は星表に於て恒星の位置を示す爲に常に使用せられ又星圖に於ても是等を使用してゐる。

かく赤道系の使用せらるゝ理由は其固定性の外に容易に赤經を測定し得るといふ點にある。即ち子午儀と恒星時計さへあれば、恒星の赤經及び赤緯を大略定めるのは難事でない。此便宜が歳差による多少の不便に拘らず此體系が昔から使用せられた理由である。

黃道系は赤道系に於ける歳差の様な現象がないから其固定性は完全である。從て永久的記録には好適のものであるけれども、只黃經及び黃緯が測定に不便な爲に廣く用ゐられない。是等は赤經等の如く直接に望遠鏡と時計とを用ゐて測ることが出来ないので多少複雑な計算を要する。それで此體系は黃道を離ること甚少なき星、即ち太陽、月、及び諸惑星等の位置を記述する爲に使用せらるゝのが重である。

銀河系も同じく固定せる體系であるが、是は重に宇宙の構造の研究に於て、星辰の地球上に於ける分布の關係を現はすに使用せらるゝ。吾人の宇宙系は銀河を外縁とせる一大星系であるらしいから、其中に於ける恒星及び星團、星雲等の分布も銀河との關係で定まることが多いので、それ等の關係は銀河系によりてのみ明瞭に現はされるのである。

要するに赤道系は總ての基をなすもので、他の各系は必要な場合に其補助として使用せらるゝものである。

三十四 赤經を簡易に知る方法

天空に見ゆる任意の恒星や惑星等の赤經を知るには、星圖によつて相當な位置を捜せば、容易に決定することが出来る。其爲には實際の天と、圖に現はされた星の位置とを精密に連絡せしむることが必要である。けれども星圖は常に吾人の座右にあるとは限らな

い、星圖もなく、著しき恒星の位置も知らない様な場合に器械を用ゐずして赤經の大體を知るのが本節の目的である。又此方法は赤經既知の星が何時頃によく見ゆるかといふ問題を決定するにも應用することが出来る。

此問題は任意の時刻に於ける子午線の赤經を定むる問題に歸着せしむることが出来る。子午線上の星の赤經が別れば、孰れの星も一日に一回は必ず子午線上に来るから、總ての星の、赤經が別るといふことになる。從て任意の赤經の星が何時頃子午線上に来るかといふ問題も解けることになる。

北半球に於ては天の南極附近の星を見ることは出来ない。東京附近即ち北緯三十五度位の所では、南極から三十五度距つた天空までは地平下に隠れて見えぬ。つまり吾人の見ゆる星は北極より赤道を越えて、赤緯負(南)六十度位までである。其間の星ならば適當な時期を選べば見ゆる譯である。

次に星は晝間に見ることが出来ない。即ち太陽の赤經と星の赤經との差が六時間以上にならなければ見えない。けれども太陽は地球上に固定して居ないで黃道に沿つて一年に地球を一廻轉するから季節によつて夜見える星が異なる。それで任意の時日に於ける太陽の赤經を大略知ることが出来れば、夫れから任意の時刻に於ける子午線上の星の赤經を知ることが出来る譯になる。例へば今日の太陽の

赤經が十二時であるとすれば、今夜の午後八時に於ける子午線上の星は、太陽との赤經の差が八時間であるから、十二に八を加へて二十時となるであらう。同様に午後九時の子午線の赤經は二十一時、午後十二時の子午線は二十四時となるであらう。

太陽が春分點にあるのは毎年三月廿一日(閏年の都合によつて廿二日となることもある)で、其時の赤經は零時である。それで其日の天空の赤經は吾人の時計と一致する。即ち午後八時の子午線の赤經は八時で午前一時の子午線の赤經は十三時となる。太陽は春分點を發して黃道に沿ひて進み、一年の後に再び春分點に返るものであるが、其間の速度は前に述べた様に面積速度の法則に従ふもので均整ではない。又黃道上を均整に運行しても、是を赤道に平行なる赤經の途に換算すれば多少の差を生ずる譯である。つまり太陽は赤道に斜に進んだり、平行に進んだりするから、等しき路程を進んでも其前後の赤經の差は常に等しくはないのである。けれども以上二種の差は甚僅少なもので大體の赤經を決定する目的の爲には省略しても差支ない。即ち太陽は一年中均整なる速度を以て赤道に沿ひて運行するものと假定しても大差はない。かく假定すれば太陽は十二ヶ月の間に二十四時間を運行することになるから、一月に二時づゝ赤經を増す譯である。此割合で勘定すれば太陽

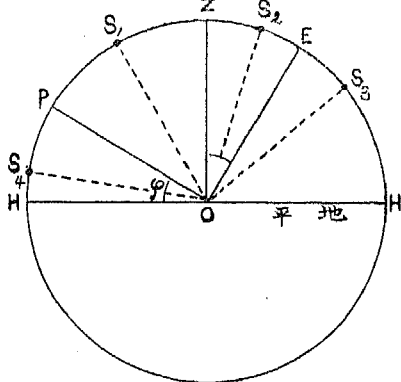
の大體の赤經は容易に別る。九月廿一日は春分より六ヶ月後であるから太陽の赤經は十二時である、又九月六日が約十一時であり、十月六日が約十三時であるから、其間の日の太陽の赤經の大體は容易に計算することが出来る。かく其日の太陽の赤經が別れば夜の各時刻に於ける子午線の赤經は、正午から其時刻まで時間を太陽の赤經に加へたものに等しいから、前述の様に算出することが出来る。以上は大體の赤經を知る方法であるが若し精密に決定する必要があるれば精巧なる器械を要するは勿論である。

三十五 星の赤緯と日週運動との關係

星の赤緯が異なれば其高度も異なるから、星の見ゆる位置其見ゆる時間の長さも異なることになる。子午線上に於ける星の高度と其赤緯との關係は第二十一圖によつて容易に理解することが出来る。圖に於てOを觀測者の位置、圓を其地の子午線に沿ふたる地球の断面とすれば、H H'が地平を連結する線とする。Pを北極、Zを天頂、Eを赤道と子午線との交點とする。角Z O H及び角P O Eは共に直角である。又角P O H (ϕ) 及び角Z O Eは互に相等しく共に其地の緯度を現はす。S₁ S₂ S₃ S₄を四個の恒星の子午線上に來た時の位置、夫れ等の赤緯を $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ としやう。S₁の高度は角S₁ O Hで、角H O E ($90^\circ + \delta_1$) から角S₁ O E (δ_1) を減じたものであるか

ら、是を式で現はせば、 $(90^\circ + \delta_1 - \delta_1)$ となる。是は天頂と北極との間に恒星がある場合である。次に天頂と赤道との間に恒星が來る場合、即ちS₂の高度は角S₂ O H'で、角E O H' ($90^\circ - \delta_2$) と角S₂ O E (δ_2) との和 $(90^\circ - \delta_2 + \delta_2)$ で現はされる。次に赤道以南の恒星S₃の場合には、其高度は角S₃ O H'で、角E O H'から角E O S₃ (δ_3) を減じたもの即ち $(90^\circ - \delta_3 - \delta_3)$ で

第十二圖



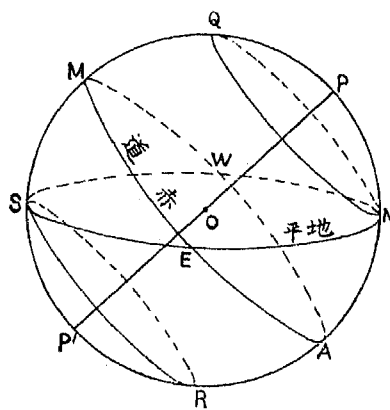
現はさるゝものであるが、赤道以南の赤緯は負號を取るから δ_3 の負號は變じて正號となりS₂とS₃は同式で高度が示さるゝこととなるものである。又北極附近の星は北極と天頂との間に於て子午線を切るのみならず、又北極と北の地平との間に於て交はることは、前號の第十八圖によつても明である。其位置をS₄とすれば、其高度は角S₄ O H'で、角P O H (ϕ) から角P O S₄ (北極距離 $90^\circ - \delta_4$) を引いた残であるから、 $(\phi + 90^\circ - \delta_4)$ で現はさるゝことゝな

る。此場合に ϕ と δ との和が 90° に等しい時には、星の高度は零となるから、地平に達して見えないことになる。赤緯が尙小となれば、北極下の子午線経過を見ることが出来ない。
次に赤道以南の星の場合に、其の赤緯が $(90 - \delta)$ よりも大となれば、全く地平下に隠れて見ることが出来ない。つまり其他の緯度が大となればなる程、南極に近い星が多く見えなくなるのである。此關係は第二十二圖によつて明にすることが出来る。

第二十二圖に於てOを吾人の位置圓を以て天球、Pを北極、P'を南極、S E N Wを地平とすれば、赤道はM E A Wにて示さるゝだらう。子午線をP M P'とすれば、赤道上の星は東方のEに於て地平上に現はれ、六時間の後子午線上のMに來り、十二時間の後西方のWに没するのであらう。赤道は地平と共に大圓であるから相互に二等分せられ、地平上と地平下の赤道の部分は相等しいから其上の日週運動は十二時間づつを要する。けれども赤道以北の星は其日週運動に於て、地平上の長さが地平下の長さよりも大であるから、十二時間以上地平上に見ゆる。更に北に進んでQ Nなる日週運動をなす星となれば地平下に没することなく二十四時間を通じて地平上にある。それより北極までの間に位せる恒星は皆同様で永久可視の範圍を作るものである。
之に反して赤道以南の恒星の日週運動の徑

は、地平上の長さが地平下に比して短かい。それにて地平上に現はれる時間は一日の中十二時間に達しない。次第に南極に近づいてS Rの小圓を畫く恒星に至れば、永久に地平上に現はれない。それより南極に至るまでの恒星は、北半球の吾人にとつては、永久不可視の範圍を作るものである。
若し吾人が旅して北極に達して天空を眺む

第二十二圖



れば、天球の北極は天頂と一致し、赤道は地平と一致するから、赤道以南の星は全く見えないだらう。けれども赤道以北の星の日週運動は地平に平行して永久に同一の高度を保ち、決して没することがないであらう。更に轉じて赤道の上に立ちて天空を觀れば、天の赤道は天頂を通過して東西に亘り、北極及び南極は共に南北の地平上にあるであらう。それにて總ての星は皆其日週運動の半分だけを地

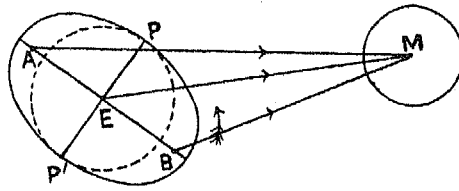
平上に現はすこととなり、皆一樣に十二時間の間見えて再び没するであらう。

三十六 分點の歳差

黄道は殆んど絶對的に天空に固定せる大圓である。黄道は前に述べた様に地球から見た太陽の視運動の路であるが、太陽を中心として考ふれば、地球の軌道の平面を無限に延長して天球と交はつた大圓が黄道となるのである。それで地球の軌道の平面が不変なる限り、黄道も不変な譯である。太陽系は全體として一定の速度を以て、ヘルクレス星座の方向に進むけれども、斯の如き直線運動は地球の軌道の平面の方向を變化しないから、無限の天球上の投影たる黄道に變化を及ぼさないけれども地球の軌道の平面の方面を多少なりとも廻轉せしむるものがあるれば、黄道は變化することとなるであらう。斯の如き變化は太陽系に屬する他の諸惑星が地球に及ぼす引力によつて起るのである。太陽系の各惑星は皆同一平面に廻轉して居ないから、地球を黄道の平面上方へ或は下方へ引く力を時々及ぼすものである。其結果として地球は幾分上下に振動するのである。其爲に實際黄道は其平均の位置より上下に振動するけれども、是は極めて微細なる變化であつて、且つ全體として黄道を移動せしむる程のものではないから其平均の位置を以て理論的黄道とすれば、其大圓は不変と考へても差支ない。

是に反して地球の赤道の平面は、地球の赤道隆起部に對する太陽及び月の引力の爲に、比較的急速に變化するものであるから、地球上の赤道は固定せるものではない。太陽及び月は地球の軌道の平面上にあるから、赤道の平面とは幾分の傾斜をなして居る。其爲に地球の赤道隆起部に對して一種の偶力を及ぼすこととなるのである。月は太陽よりも近距離

圖 三 十 二 第



にあるだけ其影響が著しいから、第二十三圖によつて其作用を略説しやう。Eを地球、Mを月とし、A及びBを月に最遠及び最近なる赤道隆起部の重心と考へやう。ABに直角な方向の赤道隆起部は軌道の平面上にあるから其影響がない。今月の地球に對する引力を中央の球部に對する引力と、A及びBの赤道隆起部に對する引力とに三分することが出来る

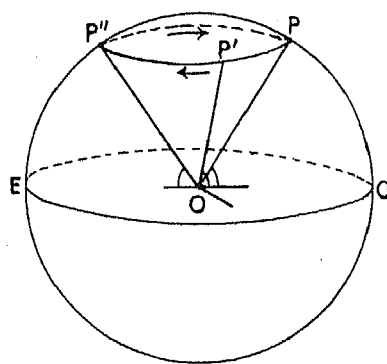
若しA及びBに對する二引力の合力が地球中心を通過すれば月の引力は地球を動搖させないこととなる。然るにA及びBの兩部分は質量は相等しいが、月からの距離が違つてゐる。引力は距離の二乗に逆比例するから、月のBに對する引力はAに對する引力よりも大となるものである。それで月の全體の引力は地球を矢の方向に廻轉せしめ、赤道と黄道との傾斜を小にしやうとする方向に働くことになる。

月の場合にはAMとBMとの差が、月と地球の距離に比較して著しく大であるから、此廻轉を起さんとする力、所謂歳差力は著しく大である。けれども太陽の場合には距離が大であるから、それに比してABの差は甚小であつて、歳差力も月に比して小である。

若し地球が静止せる物體であれば、斯の如き力の爲に、直ちに矢の方向の廻轉を始め、赤道面と黄道面と一致するに至つて止まるであらう。けれども地球は絶えず地軸の周りに廻轉しつゝあるので、斯の如き力によりて生ずる運動は静止の場合とは異なる。此例はデヤイロスコープで容易に實驗せられ、其結果起る運動は力の方向に直角である。自轉車が運轉の際容易に倒れないのも力の方向に直角に運動が起るので、横から來た僅かの衝突は縦の方向の運動になる爲である。地球も同様に太陽及月の赤道隆起部に對する引力の結果黄道と赤道との傾斜の角は其儘不變にして、

地軸の方向が圓錐形を畫いて廻轉する様になる。つまり月及太陽の引力は赤道に直角なる地軸を黄道にも直角にしやうとする方向に働くのであるが地球の廻轉の爲に、其結果は地軸と黄道との傾角を變じないで、地軸自身が力の方向と直角の方向に廻轉することとなるのである。第二十四圖は其状態を簡單に示したもので、Oを觀測者の位置、OPを地軸の方向、Pを北極、EOを黄道とすれば、OPは

圖 四 十 二 第



矢の方向に廻轉して遂にP'及P''に達し又逆に元に戻るもので、北極は時計の針と反對の方向に運行するものである。けれども其軌れの位置に於ても軸の方向と黄道の平面となす角は不變である。

此地軸の一廻轉に要する時間は約二萬五千八百年であるから、非常に遅緩な運動であることは想像せらるゝであらう。

天文學解說(十二)

理學士 本田 親一

斯の如く地球は恰も傾きつゝ廻轉する獨樂の様、其軸の空間に於ける方向を變ずるものであるが、其結果は天球の兩極を變ずるのみに止まらないうて、赤道の位置をも變ずることは明らかである。即ち、赤道と黄道との相對的位置は徐々に變化し、約二萬五千八百年の後に又前と同様な關係となるのであらう。赤道の黄道に對する運動は、二道の交點たる春分點若しくは秋分點の運動によつて現はすことが出来る。赤道は如何に動いても、其大圓たる性質を失ふことはないから、春分點と秋分點とは常に天球の正反對の側にあることは明であるので、一方だけの運動を考ふれば十分である。實測の結果によれば春分點は黄道上を東より西に向つて、一年に約五〇・二秒の速度を以て運動するものである。此割合で黄道上を三百六十度だけ運行して再び昔の位置に歸するには、簡單なる除算によつて約二萬五千八百年を要するといふ結果を得ることが出来る。斯の如き春分點若しくは秋分點の一年間に於ける位置の變化を分點の歳差と呼ぶのである。

此運動は非常に遅緩なものであるけれども既に二千年前に希臘の天文學者ピッパिकास

の發見したものである。氏は紀元前百三十四年に蝸座に新星が出現したのを見て、恒星の新表を作ることを企てた。其爲に氏は多數の恒星を觀測したが、其位置と其時より百五十年前にチモカリス及びアリスチラス等の觀測した位置とを比較して見ると、春分點からの距離、即ち赤經が變化して居ることを發見した。然るに恒星の赤緯は不變であつたから、氏は其原因を春分點が黄道上を移行する爲であると解釋し、其値を一年に少くとも三十六秒であると計算した。此値は實際より小であるけれども、兎に角斯の如き微細なる移動を發見し得たのは、ピッパिकास及び古代希臘の天文學の偉大なる貢獻であつた。

三十七 章動

前に月の軌道面は黄道面と一致するものとして考へて、歳差の現象を説明したけれども、實際此二平面は約五度の傾斜をなすものである。それで月によつて起される歳差は、黄道に對するものではなくて、月の軌道即ち白道に對するものである。然るに白道と黄道との交點は徐々に東より西に向つて動くものである。是は月の軌道の平面が黄道の平面との傾角を變えずして徐々に移動する結果で、約十八年七ヶ月で一廻轉するものである。月の地球に及ぼす歳差の量は、月の軌道上の位置によつて變化する譯であるから、つまり約十八年七ヶ月の週期を以て歳差は多少の動搖をな

すことになる。此現象を章動と呼ぶ。章動がなければ極は滑かな小圓を地球上に畫く譯であつたが、章動の結果として極は其平均の徑路より少しく南北の方向に動搖しつゝ進むものである。其動搖の最大値は九・二秒である。

章動の現象を發見したのは英國のブラドリで、氏の光行差の發見と同じ觀測から得たものであつた。けれども氏は其週期を確かむる爲に一七二七年から一七四七年まで連續して觀測を繼續し、一八・六年の週期を確立してから其結果を公表した。次で一七四九年に佛國の有名なる數學者ダランベルは歳差及び章動の現象を力學的に詳説した。

太陽も月と同じく一種の章動的作用を直接に地球に及ぼすものである。それは太陽の赤緯が季節によつて變化する爲に、其歳差力に差異を生ずる爲である。けれども此原因による章動は甚僅かなもので、最大値が約一・二秒に過ぎない。

歳差及び章動は共に極及び赤道を變化せしむるものであるから、恒星の赤經及び赤緯を變化せしむる原因となるのである。けれども黄道は其爲に變化するものでないから、黄緯は不變であるが黄經は春分點を本とせるものであるから、歳差の影響を受けるとになる。

第四章 時

三十八 時の意義

時とは何ぞや、と云ふ様な時の本質又は定義に關する問題は、哲學上の問題である。又時なる觀念が吾人の心中に發生する状態を研究するのは心理學上の問題である。天文學的に必要なる時の問題は、時の長さを如何にして測るかといふことである。

吾人は主觀的に時間の長短を知ることが出来る。けれども吾人が心中で感ずる時間の長短は客觀的の標準となる程、常に一致せるものではない。例へば吾人が約束した友人を待ち合せる場合に、十分位の遅延も普通の場合よりは非常に長く感ずるけれど、面白い遊戯や讀物や見物などに夢中になつてゐる時は、一時間位は直ぐに経過する様に思はれるものである。かく同じ時間を一方では長く感じ、一方では短かく感ずるのであるから、各人の意識に現はるゝ主觀的時間は普通の意味を有しないもので、只其時々経験の内容によつて著しく變化せらるゝものである。

普遍的な時間を知る爲には、何か規則的に變化するものを求めて其標準としなければならぬ。晝夜の循環は斯の如き週期を吾人に與ふるものである。其外に月の盈虧、四季の循環等も時の觀念を人類に印象せしめた著しいものであつた。更に細かな時間は、吾人の脈搏及び呼吸の週期が其役に立つた様である。是等の内で晝夜の週期は人類の生活に最根本

的の影響を有するものである。最普遍的であるが、一晝夜を通じての長さが季節に依つて多少變化する事實は、其差が比較的少であるので昔は餘り注意されなかつた。現代の人は時計といふ便利な機械を常に使用してゐるので直接に自然現象から時を知らうと云ふ考を失つてゐるが、時計のなかつた時代の人々は、晝に於ては太陽の運行、夜に於ては星座の運行を見て大體の時刻を知つたものである。

正確なる時間を測定するには、完全に等速運動をなす物體を求めて、夫れを觀測しなければならぬ。斯の如き物體は等しき時間に等しき距離を進むものであるから、長さの單位よりして等しき時間を測ることが出来るので時間の單位を得ることになるであらう。ニュートンの運動の法則の第一によると、等速運動をなす物體は、夫れに力が働かないものでなければならぬ。力が働けば必ず加速度が起る。然るに地上に於ては至る所に地球の重力が働いてゐるので、力の働かない空間はない。從て自然の運動には完全な等速運動はない。

然るに地球自身の廻轉運動即ち自轉の角速度は常に一定であることは、前に第二十一節に述べた通りである。(第二十六頁)尤も多少の力が働く爲に永久に均整であるかどうかは保證されないが、少くとも當分の處は此運動以外に更に完全に均整なる運動を得ることは出来ない。それで現今吾人の用ゐる時間の絶

對的標準は地球自轉の速度となつてゐる。前に述べた様に、吾人の要する程度の精確なる時間を知る目的に對しては、地球自轉の不規則性は全く顧慮するを要しない位に微小なのであるから、吾人は其結果に十分の信頼をなし得る譯である。

然らば地球の自轉の速度は如何にして測定すべきかといふ問題が次に起つてくる。其爲には地球以外にある不動なるものを標準にしなければならぬ。然るに地球は太陽の廻りを公轉するので、たとへ不動の星が空間にあるとしても、年週視差を生ずるであらう。けれども總ての恒星は皆固有の運動をなしてゐるので、自轉を測定する爲の完全なる標準は宇宙間に發見するとは出来ない。幸に恒星の距離は甚大なるものであるので、大抵の場合には視差も固有運動も短日月の間には到底檢出する事が出来ない位に小なるものである。それで實用的には恒星を不動と考へて差支はない。斯の如き標準の恒星が觀測者の子午線上に來た時から、再び來るまでの時間が地球の自轉の時間である。此時間を單位として吾人の要する總ての時が現はされるのである。

三十九 恒星時

恒星時とは地球の自轉を恒星を標準として測定して出した時をいふのである。一の恒星が或地の子午線上に來た時から、一廻轉して再び同じ子午線上に來るまでの時間を一恒

星日と名づける。即ち一恒星日は地球が完全に自轉するに要する時間であつて、前節に述べた通り一定不變と認め得べきものである。一恒星日を二十四等分した時間を一恒星時といふ。一恒星時は六十恒星分に等分せられ、一恒星分は六十恒星秒に等分せらる。

一恒星日の初まり即ち零時は、春分點が其地の子午線上に來た時刻を採用する。かくする時は前に赤道系の節に於て述べた様に、赤經を現はす時刻と、恒星時の時刻とが一致することになるものである。(第三十九頁)それで恒星の赤經を精密に測定して置けば、其恒星の子午線を經過する時刻を觀測することによつて、容易に恒星時を知ることが出来る。其爲に必要な装置は、恒星の子午線經過を觀測する爲に特に子午面内にのみ廻轉し得る望遠鏡を有する子午儀と、恒星時を現はす精巧なる時計とである。

四十 太陽時

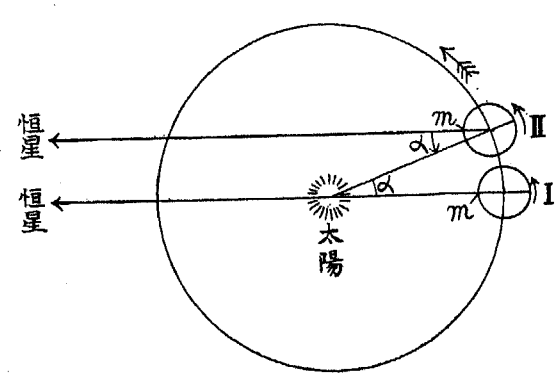
恒星時は其不變恒常なる性質と、直ちに恒星の觀測から精密に出し得る點と、恒星時の時刻と恒星の赤經とが一致する點とによつて時間の基礎となると同時に天體觀測の目的の爲に使用せらるゝものである。其爲に特に恒星時の時計が出来てゐるが、其現はす時は吾人の日常使用する時と同一ではない。吾人の活動の週期は晝夜によつて區分せらるゝものであつて、春分點の子午線經過の如

きは日常生活に何等の影響を起すものではない。即ち吾人の實用に適する時間は、太陽が地球を廻轉する視運動に基づいて定めなければならぬ。然るに太陽は前に述べた様に、其年週視運動(地球が太陽の周りを一年に一廻轉する運動の爲に、生ずる視運動)の爲に、毎日約一度づゝ恒星の間を縫ふて東方に動く様に見ゆる。其爲に太陽の赤經は毎日約一度づゝ増加することになるので、太陽に對する地球の自轉の角度は、不動の恒星に對する場合は異なるものであり。つまり一の恒星が子午線上に來た時から、再び子午線上に來る迄に地球は完全に一廻轉、即ち三百六十度だけ廻ればよいことになるが、太陽の場合には、それが子午線に來てから地球が三百六十度廻轉した時には、既に太陽の赤經は一度だけ増してゐるので、地球は更に一度だけ廻轉して約三百六十一度だけ廻轉した時に、漸く太陽を子午線に望むことが出来るのである。一太陽日は太陽が子午線上に來てから、再び子午線上に來るまでの時間、即ち正午から正午までの時間である。一太陽日と一恒星日との差は地球が約一度回轉する間の時間であるから、約二十四時間の三百六十分の一に相當する時間、即ち四分に近いものである。其關係は第二十五圖によつて十分に了解せらるゝであらう。

圖に於て太陽を中心とせる大圓は地球の軌

道を現はし、右方の二小圓I及びIIは地球を現はし、Iの位置より一日後の地球の位置をIIと假定しやう。Iの位置に於て、太陽を子午線上に望む地球上の一點をmとする。其時太陽と同じ子午線上に一の恒星が存在するものと考へやう。地球が自轉する間に、Iか

圖 五 十 二 第



らIIまで太陽の周りを廻轉せるものとすれば、IIの位置に於てmは三百六十度廻轉の後、圖の如く前と同じ恒星を左方に望み得る位置に達するであらう。此恒星が非常に遠隔せるもので、視差がないと考ふれば、Iの場合の恒星の方向と、IIの場合の恒星の方向とは圖の如く平行となるであらう。然るに太陽

をmの子午線上に望む爲には、地球は更に α 角だけ廻轉しなければならぬことは明である。其の角は地球がIからIIまで公轉せる角に等しい。地球は一年即ち約三百六十五日に一公轉するものであるから、一日の廻轉の角は三百六十五分の三百六十度であつて、約一度弱である。此地球の運動は吾人から見れば太陽の視運動となつて現はれるものである。

四十一 太陽日の長さの變動

恒星日の長さは不變であるが、太陽日の長さは季節によつて多少の變動がある。此變動は規則的のものであつて、二つの重要な原因の結果として起るものである。其原因の一は、地球が其軌道上を等速度を以て運行しないことである。其原因の二は、地軸が地球の軌道の平面に直角でないことである。

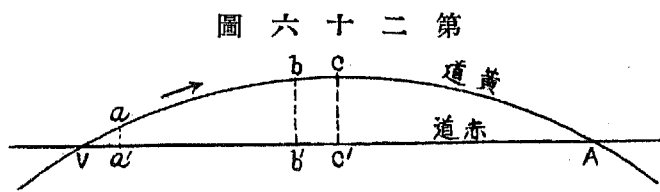
先づ第一の原因から考へやう。地球の軌道が橢圓形であつて、其軌道上の運行が面積速度の法則に従ふことは前に述べた通りである(第三五頁第十六圖參照)。つまり地球が太陽に近い時は、遠い時よりも等時間に大なる角距離を進むことになる。即ち第二十五圖に於ける α 角が大となるであらう。 α 角が大となれば、従て一太陽日の長さが増すとは明らかである。是を逆に地球から見ると、太陽の年週視運動の速度が除々に變動する様に見えることになる。一年中で地球が最も太陽に近き時は一月一日の附近であつて、最も遠い時は

七月一日附近である。それで此原因のみより一日の長さの變化を考ふれば、冬が最も長くして夏が最も短かいといふことになる。

第二の原因は地軸が軌道面に直角でない爲であるとしたが、地軸に直角なる平面は赤道の平面であるから、赤道面と軌道の平面即ち黄道面と一致しないが爲といふとが出来る。地球から視た視運動に就て考ふれば、太陽は赤道面上を西から東に向つて動かさずして、赤道に傾斜せる黄道面上を進むものである。即地球の自轉の平面に斜に太陽は進むといふことになる。然るに太陽の進む方向と赤道とのなす角は場所によつて差がある。其差の爲に第二十五圖の α 角に差が出来るといふ結果となり、一日の長さが異なることになる。今此原因のみによる影響を第二十六圖に依つて説明しやう。

第二十六圖は天球に於ける黄道と赤道との一部分を現はしたものである。Vを春分點、Aを秋分點とし、太陽は矢の方向に黄道面上を等しい速度(實際は第一の原因で異なるものであるが)で運行するものと假定しやう。C點は夏至點に相當する。前に第一の原因の所で述べた通りに、太陽が黄道面上を進むから、進んだだけの角を地球が三百六十度の上に廻轉しなければ一太陽日になれないのである。其角は假りに太陽が黄道面上を等速度を以て進んでも、黄道と赤道と一致しない爲に多少變化するものである。それは、太陽は黄道に沿ふ

て進むのに、地球の自轉は地軸に直角に赤道に沿ふて起るからである。圖に於て、春分點の附近で太陽が一日に運行する距離を Va とすれば、地球が太陽に面する爲に餘分に廻轉する角は、 Va の赤道に於ける投影即ち Va' である。 Va と Va' との差は赤道と黄道との傾角が大なる程著しい。次に太陽が夏至の附近に來た時には黄道が殆んど赤道と平行するから、其一日に運行する距離を b とすれば、其赤道上の投影 b' は殆んど b に等しい。それで Va' は b' より小であることになる。其結果は、春分に於ける一太陽日より夏至に於ける一太陽日に於て餘分に地球は廻轉しなければならぬことになる。秋分に於ては



春分と同じ關係となり、冬至は夏至と同じ關係になる。それで此原因の爲に太陽日は春分及び秋分に於て最短となり、夏至及び冬至に於て最長となるであらう。其中間に於ては、赤道と黄道との傾斜も中間であるから、日の長さも中間となるであらう。

實際の太陽日の長さの變遷は以上の二原因の結合せる結果である。

天文學解説(十三)

理學士 本田 親一

今一定不變なる恒星日と太陽日とを比較して、太陽日の長さの變動を略叙しやう。以上の二原因の結合によつて一年の内でも最も日の長いののは十二月二十二日(閏年の關係から一日位前後することもある)である。尤も其頃は晝間は非常に短かいけれども、一晝夜を通じて考へると最長となるものである。其時の太陽日の長さは一恒星日の長さとの差は四分二六・五秒(恒星時)である。十二月二十二日から翌年の三月二十六日まで太陽日の長さは徐々に短かくなつて、遂に恒星日との長さの差が三分三十八秒に減ずる。其後は徐々に長さを増加して、六月二十日には恒星日よりも四分九・五秒だけ長くなる。六月二十日以後は再び短くなつて、九月十七日に至れば一年中で最も短かい日となる。其日は恒星日よりも三分三五・二秒だけしか長くない。それから太陽日は漸次長さを増して十二月二十二日の最長日に達するのである。そして一年中の最長の日と最短の日との長さの差は約五一・三秒(恒星時)である。是は甚僅かであるけれども、其差が重なり合ふ時は可なり眼に付く様になるものである。其事は後節で述べることにしやう。

兎に角一日に五十一秒位の差は日常生活には全く關係のない位の時間である。殊に一太陽日と其次の太陽日との差は一秒に足らないものであるから、普通の目的には太陽日が不變と考へても差支ない。實際吾人の日常使用する時計では一分や二分の差は何とも思はないのが普通である。けれども天文學者が恒星の日週運動を觀測して地球の廻轉を精密に測る時には一秒の十分の一をも十分精度に知ることが出来る。それで數十秒に亘る差を閉却することが出来ない様になつたのである。

四十二 平均太陽時

太陽日は以上述べた通り、變化する單位であるから、精確な時間の單位とはならない、恒星日は不變の單位ではあるが、太陽と一致しないから日常生活には到底用ゐられない。そこで太陽を基として、しかも一定不變なる日の單位を作ることが必要となつて来る。平均太陽日は其要求に基づいて現はれたものである。簡単に云へば平均太陽日は一年に亘りて總ての太陽日を平均したものである。其長さを恒星時で現はせば二十四時三十分五十六秒五五六である。

總ての太陽日を平均すると云へば簡單であるが、一年は太陽日の整数倍ではない。後に詳述するが、一年は三百六十五日と三百六十六日との間の長さである。つまり日の小數が出来る。それで普通の方法では平均されない。

實際平均太陽日の長さを出すのは一層根本的な方法によるものである。

前節に太陽日の長さの變動の原因を二つ擧げたが、若し其二原因を除いた太陽の存在を假定すれば、其假想太陽に對する地球の廻轉が、一定なる太陽日即ち平均太陽日を現はすものとなるであらう。斯の如き假想的太陽を平均太陽と呼ぶ。太陽日の長さの變動の原因の一は、太陽が黄道上を運行するのに地球の廻轉は赤道に沿ふて起るといふことであつた。それで其原因を除く爲に平均太陽は赤道上を運行するものと假定するのである。又他の變動の原因は、太陽が黄道上を運行する速度が變化することである。それで此原因を除く爲に平均太陽は赤道上を等速度で運行しなければならぬ。平均太陽の性質は是で明らかであるが、それと實際の太陽即ち眞太陽との關係を付ける爲に次に假定するのである。即ち平均太陽とは眞太陽と同時に春分點を出發し、赤道を等速度にて運行し、是を一周して再び眞太陽と同時に春分點に歸るものである。此平均太陽が或地の子午線上に來てから再び來るまでの時間が平均太陽日である。一平均太陽日は二十四平均太陽時に別れる。此一時は六十分、一分は六十秒に等分せらるゝ。是が吾人の日常使用する時の單位である。普通の時計は成るべく此時間を精確に現はす様に造らるゝものである。

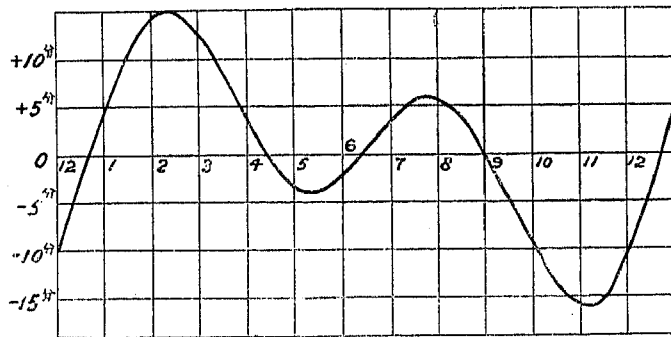
四十三 時差

平均太陽日の長さは前節によつて別るが、平均太陽なるものは假想的のものであるから、是を實際観測することは出来ない。それで吾々は先づ眞太陽時を観測して、それから平均太陽時を計算しなければならぬ。或時刻に於ける平均太陽時と眞太陽時との差を時差と名づける。時差は(+)或は(-)の符號を付けるが、それを其儘眞太陽時に加ふれば平均太陽時が出る様になつてゐる。

時差の變化は太陽日の長さの變化を生ずる二原因の結合であるから頗る複雑であるが、茲には只其結果のみを述べやう。時差が零となる時が一年に四回あつて、其間に極大になることが二回、極小になることが二回ある。十二月二十四日頃は時差が零で、それから漸次其値を増して二月十一日頃極大の値(+一四分三〇秒)に達し、其後漸次減少して四月十五日頃零となり、更に減少して五月十四日頃極小値(-三分五〇秒)となり、其後漸次増加して六月十四日頃零となり、七月二十六日頃には極大値(+六分一五秒)となり、更に減少して九月一日頃零となり、十一月二日頃極小値(-一六分二〇秒)に減じ、其後漸次増加して十二月二十四日頃の零の値となるものである。此關係を圖示すれば第二十七圖の様になる。圖に於て中央の横線に沿ふた数字は月の初めを現はしたもので、例へば

5の所の縦線は五月一日に相當し、其所の時差は約一三分である。是等の日附及び時差の値は、平年及び閏年によりて變じ、又地球の種々の不規則の運動によつて變化するから、

第二十七圖



其詳細は其年の天文曆を見て知らなければならぬ。

時差の影響は色々面白い結果を生ずるものである。例へば、十二月二十四日は時差が零

であるから、眞太陽日の正午と平均太陽日の正午と一致する。けれども其頃は眞太陽日の長さが平均太陽日より約三十秒長い季節であるから、翌日は眞太陽日の正午が平均太陽日の正午より三十秒後れることになる。此頃は冬至の附近で日の長さが極めて徐々に増加するから、日の出は僅づゝ早くなるけれども、正午も同時に早くなるので、午前の長さ(日出より正午まで)は午後の長さ(正午より日没まで)よりも漸次短かくなるのである。此差は毎日三十秒内外づゝ増加するので、一日の長さは増しても、午前の長さは減ずるといふ様な時期が暫時繼續する。かくて午前と午後との長さの差が半時間以上に達する様になることがある。是は二月の初めに起るが、十一月頃になると反對に午前が午後よりも長くなる。

四十四 標準時

或地の平均太陽時の時刻を其地方時と呼ぶ。同じ經度を有せる地方は同じ地方時を示すものであるが、經度の異なる地方は其地方時を異にするものである。子午線が違へば、平均太陽が其子午線を經過する時刻も異なることは明らかである。地球の赤道の周圍は約二萬五千哩であつて、其一周轉の時間の差は一日即ち二十四時間であるから、赤道上では約十七哩毎に地方時が一分だけ違ふことになる。東京附近の緯度に於ては東西に十三哩乃

至十四哩を距つる毎に一分の差を生ずるものである。

斯の如き僅少の差は、普通の生活には餘り重要な結果を起すものではない。けれども交通機關の發達は此差を大に顧慮する必要を生ぜしめたのである。殊に東西に延長せる大鐵道線の存在する國にあつては、數分の差が非常なる危険と混雜を招くことは明らかであらう。此紛擾を防ぐ爲に、或子午線の地方時から三十分以内の差を有する地方は皆其子午線の地方時を用ゐることに定めることになつてゐる。つまり同じ地方時を用ゐる地方の東西兩端の眞の地方時の差は一時間となるのである。東京附近の緯度に於ては其幅は約七百四十哩である。斯の如く或一地方の標準となるべき子午線を標準子午線と呼び、其地方時を標準時と名づける。つまり標準時を採用すれば、地方時が東西に進むに従て徐々に變化する代りに、標準時の境界の所て急に一時間づつ變化することゝなるものである。

現今文明の地方では大抵標準時を採用してゐる。其本となる子午線は、矢張り經度の本たるグリニチ天文臺を通過する子午線である。此子午線の標準時を用ゐる國は英國、白耳義、和蘭、佛國、西班牙、アルゼリア等である。次にグリニチより一時間早い標準時を有せる地方は瑞典、那威、丁抹、獨逸、奧洪國、瑞西、伊太利、獨領西南アフリカ等であ

る。次にグリニチより二時間早い標準時（東經三十度）を採用するは羅馬尼、勃牙利、埃及、英領南アフリカ等である。印度はグリニチより五時間半早い標準時を採用し、緬甸、暹羅、安南地方は六時間半早い標準時を用ひてゐる。支那の海岸地方、滿洲、臺灣、八重山群島、比律賓、濠洲の西部に通ずる標準時は臺灣と澎湖島との間を通過する東經百二十度を標準とするもので、グリニチとの差は八時間である。日本本國、朝鮮及び濠洲の中部に採用せらるゝ標準時は、播磨國の東部を通過する東經百三十五度の線を標準とするものでグリニチとの差は九時間である。我國では此標準時を中央標準時と呼び、臺灣附近の標準時を西部標準時と呼ぶ。さればグリニチの正午には我國は既に午後九時となつてゐるのである。又濠洲の東部は十時間早く、新西蘭は十一時間年早き標準時を用ひてゐる。

又グリニチより一時間遅き標準時を有する地方は、丁抹領アイストラッド、葡領マデイラ及び西領カナリー群島等で、二時間遅きは葡領アゾレス及びケープヴェルデ群島等である。更に四時間遅きは英領カナダの東端ノヴァスコシア、英領ギアナ等で、五時間遅きはカナダの東部、北米合衆國の東部標準時、西印度諸島、秘露、智利等である。六時間遅きはカナダ及び合衆國の中央標準時で七時間遅きはカナダの中央西部及び合衆國の山岳標準時と呼ばれるものである。更に八時間遅きはカナダ及び合衆國の太平洋標準時で、カナダのアラスカ境の地方は九時間遅れの標準時を使用する。布哇は十時間半遅れ、サモア群島は十一時間半遅れの標準時を採用する。

是等の標準時の間の境界は勿論便宜上のものであるから、鐵道の接續してゐる所では都合のよい大驛を境界とし又所領を異にせる島々は管轄の都合上適宜に分屬せしめてある。東京天文臺は東經九時十八分五十八秒であるから、中央標準時は東京の地方時よりも十八分五十八秒だけ遅い譯である。

四十五 時の配布

斯の如く標準時を確守する爲には、時刻を精確に決定して是を配布する中央機關が必要である。時刻を測定する方法は色々あるが、最普通に採用せらるゝ方法は前に述べた様に、精密な時計と子午儀とを以て恒星の子午線經過の時刻を觀測して先づ恒星時を測定し、それより一定の數式的方式を用ひて平均太陽時を計算し、それを更に標準時に換算するものである。太陽の子午線經過を測定すれば直ちに眞太陽時を得ることが出来るが、是を平均太陽時に換算するには恒星の場合と手數は同様であつて、其上太陽は一日一回しか子午線上に來ないし、又子午線を太陽の中心が通過する時刻を精密に測定することは餘程困難であるから、普通は數の多い恒星に依つ

て時刻を定めるのである。

我國に於て精密なる時の觀測をなす中央局は東京天文臺である。長崎及び仁川の觀測所でも其地方の時刻を配布する任に當つてゐる。天文臺から時を配布するには有線及び無線電信を使用する。其詳細は時々月報紙上に述べられたから省略しやう。兎に角電信の方法によつて全國に一秒の十分の一まで精確な時刻を送り得るのである。殊に無線電信によつて航海中の汽船に精確なる時を供給するを得る様になつたのは驚くべき進歩と云はなければならぬ。

四十六 日の始

日常使用せる一日の日附は平均太陽日の夜半に始まつて夜半に終るものである。つまり日附は人が最も活動しない時刻に變更することが便利であるので、其爲には夜半が一般に適當である。

けれども同じ日附の天文學上の日は、十二時間後れて正午に始まり、明るる日の正午に終るものである。蓋し天文學者は夜に重に働くので、仕事の最中に日附が變るのは大に不便であるからである。尤も太陽の觀測は晝間になすことを要するけれども、大抵の仕事は夜が重である。一天文日の時間も恒星日の時間と同様に零時から二十四時まで算えることになつてゐる。

四十七 日附の變る所

吾人が日本を出發して、西へ西へと旅して歐洲より米國を過ぎ、地球を一周して再び我國へ歸つたと考へやう。旅行の各日に於て、吾人は幾つかの子午線を西へ横ざるから太陽が吾人の子午線上に到達することが遅くなるであらう。従てかゝる旅人の一日は靜止せる人の一日よりも長くなるであらう。かくして地球を一周する時は、吾人は二十四時間だけ先に廻つた事になるから、日が一日途中で失はれたことに氣が付くであらう。勿論時間から云へば毎日が二十四時間以上であつた譯であるから損はない。

是に反して若し吾人が東へ東へと旅して地球を一周した場合を考へやう。其時は前と反對に吾人は太陽の出る方向に進むのであるから、靜止せる人よりも早く夜が明け、早く日が暮れる。つまり一日の長さが二十四時間より少なくなるであらう。それで完全に地球を一周すれば二十四時間だけ太陽を追ひ駆けた譯であるから、靜止せる人よりも一晝夜だけ多く過した結果となる。勿論此場合にも一晝夜の時間が短かいから、時間の總計は別に變りはないのである。

地球の一周といふことは今日に於ては日常の出來事である。それで、日を一日得し或は損する様に見ゆる人が續々出來ることになる。そこで何所か適當な所に關所を設けて、其所を東に通過する旅人は彼の一日を通行税

として棄てしめて、同じ日附を二回反覆せしむることとし、西に向つて通過する人には一日の日を與へて日附を一日飛ばす様にしなれば、靜止せる人間との釣合が取れない。此關所がつまり日附の生れる場所である。

此關所の位置は孰れの子午線を取つても吾人の勝手である。勝手であるとすれば、なるべく便利な所に設けた方がよい。其爲には住民の少ない海の中などが最も適當であらう。若し繁華な地方や大都會の附近などに此關所があると、其兩側で日附が一日異なる譯であるから、非常に混雜するであらう。

所が東經西經の一致する所即ちグリニチより經度百八十度を距てたる子午線は太平洋の中央を貫いて殆んど海面のみを經過するから、關所の位置としては最適當であると西洋人に定められてしまつた。日本から云へば太平洋の眞中を通る線にした方が近所に關所がなくして便利であるが、そう極つてしまつたから今更致方ない。其爲に日本からアメリカに往復する人は必ず此「月日の關所」の手に懸つて一日の收支をしなればならないことになつた。此百八十度の線も海の中とは云ふものの、時には或群島の中央を横ざることがあるので、其場合には關所を其群島の外れに設けるといふ様な姑息な手段をやつて居る爲に、凹凸極まりなき線となつてしまつた。其線の圖は次號に載せることとしやう。

天文學解説(十四)

理學士 本田 親二

第二十八圖は日附變更線の圖である。此圖に於て經度は十五度毎に引いて、一時間づきの時差を現はす様にして置いた。日附變更線は東經西經百八十度の線であるが、其線より離れてゐる所は、露領シベリアの東端が西の日に屬し、合衆國領アラスカの屬島アリユーンシヤンが東の日に屬し、フィジー群島等英領の諸島が所屬の關係上、オーストラリア等と同じ日に屬してゐる。

四十八 恒星年

日に恒星日と太陽日との區別がある様に、年にも三種の區別をなすことが出来る。其一は恒星年である。恒星年とは、太陽が黄道上の一點から出發して天球を一周し、再び其點に歸るまでに要する時間である。或は、實際の運動に就て云へば、地球が太陽の周圍を完全に三百六十度だけ廻轉するに要する時間である。其長さは平均太陽時で現はせば三百六十五日六時九分八秒九七であつて、三百六十五日四分の一より少し大である。

四十九 近點年

第二種の年は近點年である。近點年とは太陽が近地點(太陽と地球とが最接近せる時に太陽の位する黄道上の點)を出發して天球を

一周し、再び近地點に歸るまでの時間である。或は地球が近日點(太陽が近日點にある時の地球の軌道上の位置)を出發し太陽を一周して、再び近日點に歸るまでの時間である。若し近日點が固定せるものとすれば、近點年は恒星年と相等しい譯であるが、此點は地球の運行の方向に少しづつ動き、約十萬八

圖 八 十 二 第

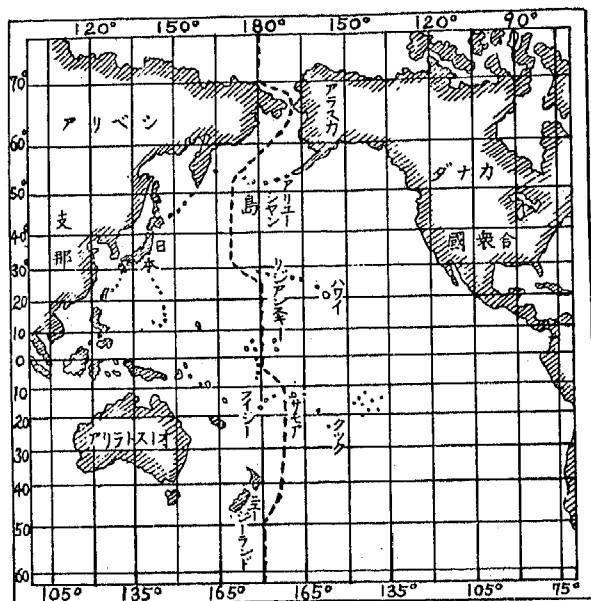


圖 の 線 更 變 附 日

千年の週期にて地球の軌道を一周するものであるから、其結果として近點年は恒星年よりも少し長いものとなる。近日點の運動を角度で現はせば、一年に約十二秒である。それで地球が約十二秒を運行する長さだけ、近點年が恒星年よりも長い。それを平均太陽時で現

はせば、三百六十五日六時十三分四十八秒〇九である。

五十 回歸年

第三種の年は回歸年である。これは太陽が春分點を出發して天球を一周し、再び春分點に歸るまでの時間である。春分點は歳差のために毎年約五〇・二五秒づつ後退するから、回歸年は恒星年よりも約二十分短かいものである。その長さを平均太陽時で現はせば、三百六十五日五時四十八分四十五秒五二である。今對照の便宜上是等の三種の年を列記すれば、

回歸年 = 365日6時 9分 8.97秒

近點年 = 365日6時 13分48.09秒

回歸年 = 365日5時 48分45.51秒

一年中の季節は分點に對する太陽の位置に關係するものである。それで年と季節とを精密に合せやうとするには回歸年を用ゐなければならぬ。吾人の普通使用する一年なる週期は常に回歸年を指すものである。

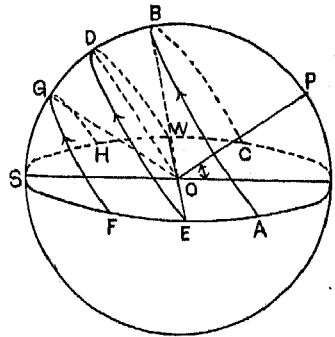
五十一 季節の生ずる原因

地球上の或地點の氣候が一定の變遷をなして、季節を形成する根本の原因となるものは、其地點に於て太陽より受くる光及び熱の量が毎日變化する爲である。夏は冬よりも晝間が長い爲に太陽の光を多く受くるのみならず、又夏の日に於ては冬よりも頭上に近く太陽が昇るので、比較的垂直に近く地面を照

すものである。今是等の關係を地球の運動により、或は太陽の視運動によつて説明しやうと思ふ。

第二十九圖の天球に於て、中心Oを觀測者

圖九十二第



の位置とし、N E S Wは地平で、北東南西の諸方向を現はすものとしやう。Pを北極の位置とすれば、PONは觀測者の緯度(北緯)を現はすものである。E D Wは地平上に現はれたる赤道の部分で、全體の半分に相當する。A B C、E F G Hは孰れも赤道に平行なる赤緯圈の地平上の部分だけを現はしたものである。

太陽は徐々に黄道に沿ふて動くものであるけれども、其視運動は一日に一度足らずの角であるから、殆んど眼に立たない。それで毎日の太陽の天空上の運動は、地球の自轉による視運動であつて、殆んど赤緯圈に沿ふて進むものである。それで若し太陽が春分點或は秋分點にある時には、是等は赤道上の點であ

るから、太陽は殆んど赤道に沿ふて東から西へと進むこととなる。其地平上の途は圖に於てE D Wで示すものである。然るにE D Wは大圓の半分であるから、其時の晝間の長さは二十四時間の半分即ち十二時間となり、晝夜の長さは相等しくなるであらう。

次に太陽が春分點より黄道上を運行して夏至點に進む時は、赤道以北二十一度半の距離に來るものであるから、其時の日週運動の途は、圖に於けるA B Cにて現はされることとなり、地平上の部分が地平下の部分よりも著しく長くなるものである。其時晝の最も長さ日に相當する。是に反して、冬至に於ては太陽が赤道以南二十一度半の距離にあるから、其日週運動の途は圖のF G Hの位置に當り、地平上の部分が甚少ないので、晝の最も短かい時である。又圖の如き北半球の位置にあつては、子午線上の太陽の高度が、夏至に於て最大で、冬至が最小であることも明らかである。南半球に於ては此關係は正反對になるものである。

此晝間の長さの變遷は季節の變化の要因の一であるが、緯度によつて長短の差は變化するものである。此差は極に近づく程大となる。東京に於ては夏至及び冬至の晝夜の長短は左表の通りである。

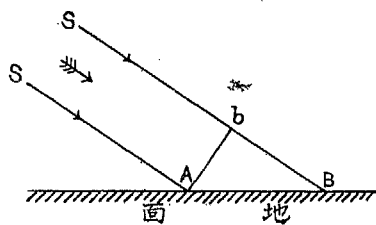
夏至	晝間	夜間
一四時三五分	九時二五分	

(五四)

冬至 九時四五分 一四時一五分
差 四時五〇分

季節變化の第二の原因は、太陽の高度の變化である。例へば正午に於ける太陽の高度を比較して見ると、第二十九圖に於て、冬至(G)、春分(D)、夏至(B)と進むに従つて漸次垂直に近く地面を照す様になることが明らかである。其時の太陽の高度は夫れ夫れ角S O G、角S O D、角S O Bで示さるゝ。總て平行光線は其照す面に直角に近く當る程其強度が大である。日光も平行光線と考へてもよいから、垂直に近く地面に當る程、等しい地面に多くの光熱を與へる。其關係は第三十圖

圖十三第



によつて明らかに示すことが出来る。圖に於てS A、S Bの間を日光が矢の方面に進みて地面に當るとしやう。其日光はA Bなる幅の地面に分配せらるゝであらう。若し同じ幅の光線が地面に垂直に當るとすればA bの幅に

當る譯である。A bはA Bよりも短かいことは明である。つまり日光が垂直に當る時は單位面積の受くる光熱の量が、斜に當る場合より多いといふことになる。それで夏至の正午に受くる日光の分量は、冬至の正午に受くる分量よりも大である。又朝夕は日光が斜になるから、地面の受くる光熱の量は正午に比して小である。

以上の説明は北半球の温帯及び寒帯全部に適用することが出来る。北半球の夏は南半球の冬であるから、南半球に於ては以上の關係が全く逆になる。次に熱帯地方に於ては、太陽の赤緯が其地點の緯度に等しき日に、垂直に頭上から照らされることになるから、最も多くの光熱を受くることになる。赤道の上に於ては、春分及び秋分に於て太陽は頭上に輝やくであらう。

五十二 緯度と日光の量との關係

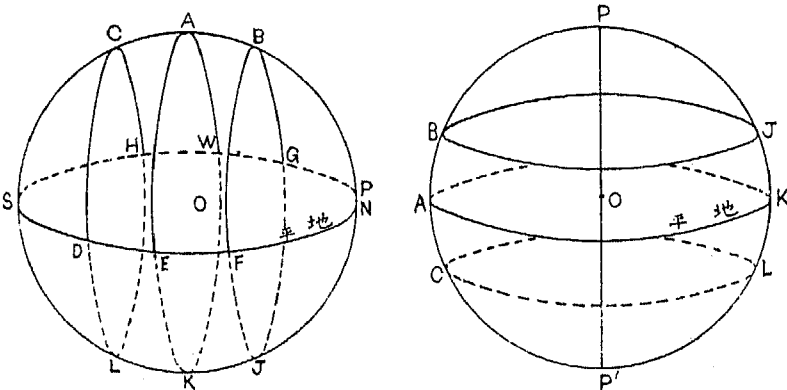
前節に於て、或一地點に於ける氣候の變動に基づく季節の生ずる原因を述べたが、地球上に於ける緯度を異にする諸地點は皆夫れに相當する氣候を有するものである。各地の氣候の異なる原因は、其地方の受くる日光の分量の多少が根本の原因となるものである。けれども日光を受くる時間は、一年を通じて考ふれば、地球の各部分に於て全く相等的いものである。赤道地方が最も熱いのは日光を受くる時間が他の地方よりも長い爲ではない。

前節に述べた様に、北半球に於ては夏に於て十二時間以上日光を受取るけれども、冬に十二時間以下の晝間を有するから、平均すれば略十二時間となるものである。前に挙げた東京に於ける夏至冬至の晝夜の時間の比較に於て、夏至の日の晝間が冬至の日の夜間よりも長くして、兩日の晝間を平均しても十二時間よりも少しく大であるのは濛氣差の影響である。即ち地球の大氣は日光を屈折するから、太陽がまだ地平線に達しない内に既に其光を吾人に送るものである。其爲に理論的に計算した日出時刻よりも實際の日出は五分位早いのである。又日没の時も同様の原因で、太陽が地平下に没しても猶暫時は見る事が出来るから、其兩方の時間を合して十分位晝が長くなる。その爲に一年中平均すれば、吾人は一日に十二時間と十分位日光を受くることになるものである。

地球上の各地點が一樣に同時間だけ日光を受取る事を説明する爲に、兩極端の場合即ち赤道と極とに觀測者がある場合を考へやう。第三十一圖の左方は觀測者が赤道にある場合の天球に於ける太陽の日週圓の位置を現はし、右方の圖は極にある場合の位置である。赤道に於ては北極は北方の地平上にあり、赤道は觀測者の頭上を通るA E K Wなる大圓にて現はされる。其内地平上にある部分にはE A Wであつて、全體の半分である。又太陽が赤

道の外にある時は、其日週圓はB F J Gの如く赤道に平行なる小圓にて現はさるゝが、其地平上の部分F B Gが全體の半分であることは明らかである。同様に太陽が赤道以南にあ

第三十一圖



る時の日週圓はO D L Hにて其關係は北にある場合と同様である。それで赤道に於ては一年中毎日十二時間づゝ日光を受くる譯である。尤も實際は濛氣差の影響によつて多少延長す

るのであらう。

次に観測者が地球の極にある場合には、第三十一圖の右方に示す様に、天球の極は頭の直上に位し、赤道は地平の一致するであらう。それで太陽の毎日晝く日週圓は常に地平と平行する。其爲に太陽が赤道の北にある時のみ、日光を受くることが出来る。即ち極に於ては一年の半分は絶えず太陽を地平線上に望み、他の半年は全く日光を受くることがない。此場合には濃氣差を考へに入れば、實際の晝間は半年より少しく延長するもので、其延長の割合は赤道に於けるよりも大である。

濃氣差の影響を除けば、一年中の日光照輝の時間は赤道に於ても極に於ても等しく半年である。其中間の緯度の地に於ても同様であることが證し得られる。けれども其分布の状態は甚だ異なるものである。赤道に於ては毎日等しき時間づゝ日光を受くるから、一年中の季節の變化が著しくない。けれども極に於ては半年の晝と半年の夜であるから、季節の變化は非常に著しく現はれるであらう。中間の緯度に於ては、季節の變化も赤道と極との中間に位し、赤道に近づく程變化少く、極に近づく程變化が多い。

次に地球の各地方に於て受くる日光の總量を比較すれば、照輝の時間は同一でも、其間に著しく分量の差があることを發見するであらう。赤道に於ては太陽は一年に二回天頂を過

ぎ、其他の日に於ても殆んど天頂に近き點に達する。それで毎日受くる日光の量は著しく大である。是に反して兩極の地方では、太陽は地平上二十三度半以上に達することがないのて、常に斜に日光を受け、其量は赤道に比較して著しく少ない。赤道に於て一年間に受くる日光の總量は、太陽が全年中絶えず地平線上十七度の所に静止せる場合と略等しい。然るに極に於ては太陽が全年中常に地平線上五度五分の所に静止せる場合と同様である。其量を比較すれば、赤道に於て一年中に受くる太陽の光熱の全量は、極に於ける場合の三倍以上に相當することが別る。

若し黄道と赤道とが傾斜して居ないものとすれば、地球の兩極に於ては太陽は常に地平線の所にあることになる(濃氣差の爲に多少地平上に見ゆる筈である)ので、極めて少量の日光を受くるに過ぎない。然るに黄道の傾斜あるが爲に、暫時でも少しく高さ空に太陽を見ることになるから、平均温度は傾斜のない場合よりも高くなる。けれども赤道に於ては、黄道の傾斜がない時は、太陽が絶えず頭上に照ることになるから、傾斜のある時よりも熱つくなるであらう。それで黄道の傾斜は全體として地球の氣候を平均に緩和せしめる働をなすものである。

是に關聯して面白い事實は、地球上で最も熱い所は何處であるかといふことである。實

際に於ては地勢上著しい變化がある譯であるが、理論的に考へると最高温度を示すのは赤道の上ではない。地球の赤道にある観測者の頭上に太陽が来るのは春分及秋分の時であるが、其時には太陽の赤緯の變化が最も大なる位置であるから(第二十六圖参照)、直ちに南或は北に外れてしまふことになるけれども赤道の南北に緯度の二十三度半を距てたる地點に於ては、夏至或は冬至の際に太陽が頭上に輝くことになるのであるが、其時には太陽の赤緯の變化が最も小であつて、數週間殆んど毎日天頂の附近を經過するのである。加ふるに晝間の長さも十二時間以上であるから、赤道に於けるよりも餘程多くの光熱を其期間に受けることになるであらう。それで理論的には、赤道より約二十三度半だけ距てたる南北の地帯の夏の温度が最高となる譯である。此地帯は熱帯と温帯との境界に位する所で、我領土に於ては臺灣の中部が所要の緯度を有するのである。けれども一年に亘りて考ふれば、此地帯が赤道附近よりも多くの光熱を受くるとは云へない。矢張り一年中に受くる全體の光熱の總和は赤道の部分が最大である。

天文學解説(十五)

理學士 本田 親一

五十三 季節の遷延

季節は地球の各地に於て太陽の光熱を受くる分量の變化によつて起るものであるから、地球の氣候が理想的に變轉するものとすれば、太陽の熱を最も多く受ける時が氣候も最も暑く、太陽の熱を最も少なく受ける時が氣候も最も寒くなければならない。けれども實際は種々の事情によつて太陽熱の分量と氣候とが正しく平行して變遷しない。北半球に於て、最も多くの太陽の熱を受くる日は、前に述べた通りに夏至の附近である。夏至は六月二十二日頃であるから、まだ最も暑い季節ではない。普通八月が最も暑い時であるから、地球の氣候は太陽の熱量の變化よりも一月以上後れることになる。又太陽の光熱を最も少なく受ける時は、冬至即ち十二月二十二日の附近であるが、最も寒いのは一月から二月にかけてであるから、此場合も一月以上遷延することになる。かくの如く太陽の熱量と夫れに相當する季節とが一致せずして一月以上後れる現象を季節の遷延と名づける。

以上は一年に亘る氣候變化に就て考へたのであるが、一日の中にも是と同様なる遷延が起るものである。一日の中で日光の最多量と

受くるのは正午であるが、温度が最高となるのは晴天の場合には一般に午後二時の附近である。斯の如き遷延は、地球が空間に向けて輻射することによつて失ふ熱量と、太陽より受くる熱量との割合によつて定まるものである。朝太陽が東天から出ると、其與ふる熱量は冷却せる地面の輻射量よりも大であるから、温度は漸次上昇する。温度が上昇すると地面から輻射によつて失はるゝ熱量も多くなるけれども、太陽の高度が大となつて、夫れより得る熱量の増す割合が更に大であるから、温度は漸次増加して遂に正午となる。午後になれば太陽の熱量は漸次減少するけれども、暫時の間は猶地球の輻射量よりも大であるから、熱は地球に蓄積せられて、温度は上昇を繼續する。けれども午後二時前後に達すれば、太陽より受くる熱量と、地球から輻射によつて放散する熱量とが等しくなる。かく兩方が平均すれば、温度は上昇を止めなければならぬ。其後は太陽の與ふる熱量が急激に減少するから、温度は漸次下降するのである。それで一日中の最高温度は午後二時の前に起るもので、正午から其時刻まで遷延することになるのである。日没後は太陽の光を受けないから温度は漸次下降し、朝の日出前に於て最低温度となるものである。

一年の季節に於ても同様である。春に於ては、日一日と太陽は其高度を増し、高度の増

加につれて晝の時間を長くするので、分量と時間との二原因の合成によつて、温度は漸次高くなる。北半球に於ては三月頃から、其放散する熱量よりも多くの熱量を太陽から受くることになるので、温度が上昇することになる。此状態を繼續しつゝ六月二十二日頃、即ち夏至の點に達する。此時北半球は最多量の日光を受くるもので、其後は漸次日光の分量を減ずるけれども、地球の放散する熱量と平均するまでは温度の上昇を起すので、八月に至つて酷暑の時期となるものである。

冬に於ても同様である。冬至即ち十二月二十二日の附近までは日光の分量が最少となるので、酷暑の頃から漸次温度が下降する。つまり地球が放散する熱量が、太陽より得る熱量よりも常に大である。冬至以後は日光の分量は漸次増加するけれど、冬の夜は永い爲に其間に失ふ熱量が大であつて、到底僅かの日光の増加では補充が出来ない。其爲に温度は下降を續けて二月に及ぶのである。二月の末頃になると、漸く日光の分量と地球の放散量とが平均することになり、温度の下降は止まり、其後は漸次温暖に向ふのである。

季節の遷延の主要なる原因となるものは、地球の大氣の存在である。若し大氣が全く存在しないものとすれば、太陽より受けた熱は直ちに輻射し盡されて、殆んど季節の遷延はないことになるであらう。

大氣が太陽より地球に來る光熱を多く吸収し、又地球から外方に輻射して放散する熱を多く防禦する程、季節の遷延は大となる譯である。それで一般に、高い乾燥せる高原上よりも、低い濕氣多き平地の方が、季節の遷延が大である。

五十四 地球の軌道の形狀と季節との關係
前節に述べた關係は、黃道と赤道との差に起因する氣候變化の結果であるが、次に地球の軌道の形狀も氣候に僅少なる影響を及ぼすものである。地球の軌道は殆んど圓に近い橢圓形である。太陽は其焦點の一に位するので、太陽に最も近い時と最も遠い時とは其距離に百分の三位の差がある。即ち、最も近い時の地球と太陽との距離を百とすれば、最も遠い時の距離は百三の割合となつて居る。太陽と地球との平均距離は九千二百九十萬哩であるから、最近と最遠との距離の差は約二百八十萬哩である。是は太陽の距離と比較して小なる數であるから、季節に對する影響は餘り著しくない。

地球が太陽に最も接近する時、即ち近日點に來るのは一月一日の附近で、最も遠い時即ち遠日點に來るのは七月一日の附近であるから、北半球に於ては冬に近く、夏に遠いといふことになり、多少氣候を緩和する效があるが、南半球に於ては其反對である。けれども南半球は水面の面積が廣いので、其爲に氣候

は著しく緩和される様である。

次に地球の運行の速度は太陽よりの距離によつて變化するものである。是は前に面積速度の法則として述べた通りである。其爲に夏の長さ冬冬の長さとの多少の差を生ずるものである。春夏秋冬に一年を區別すると問題が複雑になるから、茲では一年を二分し、太陽が赤道以北にある間を北半球の夏(南半球の冬)とし、赤道以南にある間を北半球の冬(南半球の夏)とせしやう。つまり北半球に於ては春分より夏至を過ぎて秋分までが夏で、秋分より冬至を過ぎて春分までを冬とせしやう。すると夏は三月二十一日頃(春分)より九月二十四日頃(秋分)に至る間で、約百八十六日四分の一の長さである。次に秋分から春分までの冬は百七十九日である。つまり地球の軌道が橢圓形であるが爲に北半球の夏は冬よりも七日四分の一だけ長いことになるのである。南半球では丁度其反對である。

此結果によると、北半球は夏が長いから、南半球よりも多くの光熱を受くる様に見えるけれども、實際はそうでない。北半球の夏は長いけれども、其時地球は太陽より遠いから、受くる光は幾分減少することとなり、太陽に近き南半球の夏と略同量の熱を受くる様になるのである。冬に於ても同様である。それで南北兩半球に於て同緯度の地は一年を通じて考ふれば、等しき光熱を受くるものである。

只北半球に於ては本節の最初に述べた様な多少の緩和作用が存在するのみである。

地球の軌道の形狀は常に一定せるものではない。他の諸惑星の引力によつて、地球の軌道の離心率(或は扁率)も變化し、又長軸の位置も變化する。離心率が小となれば圓に近づき、大となれば益々扁平となるのである。それで離心率が小となれば、南北兩半球の氣候の變化が殆んど同様となるし、又離心率が小となれば一の半球の氣候は大に緩和せらるるけれども、他の半球の氣候に夏冬の差が烈しくなるであらう。

長軸の位置の變化は、近日點及び遠日點の位置を變化せしむるものである。其外に分點の歳差もあるから、氣候分布の状態は多少づつ絶えず變化するものである。遠い未來を想像すると、約一萬年の後には、南北兩半球の状態が現在と正反對になるものらしい。其時には北半球の夏は冬よりも短かくて、南半球の夏よりも毎日多くの熱を受くることになるであらう。又數萬年の後には地球の軌道の離心率は現在よりも大となるものらしい。けれども現今は、離心率は極めて僅かづつ減少しつつある様である。

英國の地質學者クロールは離心率の變化によつて氷河時代の氣候を説明しやうと企てた。彼は離心率の最大なる時には、南北兩半球の孰れかに於て、長さ寒き冬と短かさ暑き夏

とが存在すべき筈であるから、其冬の間に世界の氷結を起し、短かき夏は是を融かすことは出来ないかと考へたのである。けれども離心率の最大なりし時を推算した結果と、氷河時代とは著しい差があるので、此説は正しくないことが明らかとなつた。(第十四節参照)

五十五 四季の區分

熱帯又は寒帯に於ては一年を二季に區分するのが普通であるけれども、文明人の棲息する温帯地方は古來東西共に一年を春夏秋冬の四季に區別してゐる。けれども其區分の標準は各國に於て必ずしも一様ではない。

支那に於ては、太陽の地球に與ふる熱量の變化に相當して其四季を定めてゐる。即ち、太陽の高度最大なる夏至の前後を夏とし、太陽の高度最小なる冬至の前後を冬とし、太陽が平均の位置即ち赤道上に位せる春分の前後を春、秋分の前後を秋とした。更に詳言すれば、春分に始まり春分に終る太陽の黄經三百六十度間の位置の變化を八等分して夫々の太陽の位置に名稱を附する。

黄經 季節の名稱(日附……本年のもの)

零 度	春分(三月二十一日)
四十五度	立夏(五月六日)
九十度	夏至(六月二十二日)
百三十五度	立秋(八月八日)
百八十度	秋分(九月二十四日)
二百二十五度	立冬(十一月八日)

二百七十度 冬至(十二月二十二日)
三百十五度 立春(二月四日)
三百六十度 春分(三月二十一日)
立春より春分を挾んで立夏に至る迄を春とし、立夏より立秋迄を夏、立秋より立冬迄を秋、立冬より立春迄を冬とするのである。

此區分法は太陽の運行の狀態と符合せる理想的のものであるけれども、前に述べた季節の遷延の現象があるので、實際の氣候と一致しない。例へば、夏は五月六日から八月八日迄であるが、五六月は未だ暑くなく、立秋を過ぎてからの殘暑の方が烈しいといふ様なこととなる。つまり支那の四季は全然天文學的で氣象學的ではない。我國でも古より此區分を採用してゐる。

明治になつてから氣象學上又は日常の統計等に、從來とは異なる四季を採用し始めた。それは三月より五月までを春、六月より八月までを夏、九月より十一月までを秋、十二月より二月までを冬と稱ふるものである。此區分法は太陽暦の月と一致せしめた爲に、統計上又は日常の種々の用途に便宜であるが、何等の天文學的根據もないもので、又氣候とも精密に一致しない。只從來の區分よりも多少氣候の週期と近づいたのみである。

若し春夏秋冬を氣候の區分とするならば、夏は最も暑く、冬は最も寒い時期でなければならぬ。其爲に最適當なる區分法は西洋の

四季である。それは、

春……春分より夏至まで(約九十三日)
夏……夏至より秋分まで(約九十三日)
秋……秋分より冬至まで(約九十日)
冬……冬至より春分まで(約八十九日)

とするもので、天文學的の根據と氣候の週期との一致とを兼備せるものである。又各季節の長さは茲に擧げた様に、春と夏が秋と冬よりも長い、中でも夏は春よりも長く、冬は秋よりも短かい。それは黄經を九十度づゝに別けた爲に起る當然の結果である。

五十六 太陽暦

月の盈虚は最著しい週期的現象であるから太古の人は大抵月によつて暦を作り、又宗教的の儀式を行ふ時を定めたのである。太陽は毎日同様に見ゆるから、是を標準にするには多少の知識を必要としたであらう。けれども氣候の週期たる一年は、太陽の運行と一致することも明となつたので、暦の單位として一年を取るの自然であるといふことが知られる様になつた。月を一つの標準に取ると一年は十二ヶ月と十三ヶ月の間にあるので、各月と氣候との關係は毎年變遷するものになつて、大に不便であるから、漸次此法は閉却せらるる運命となつた。月を標準とするものを太陰暦、太陽を標準とするものを太陽暦といふ。

前に述べた様に一回歸年の長さは三六五・二四二二日であるから實際吾人の使用する一

年の長さとしては日の端数を棄て、三六五日又は三六六日としなければ都合が悪い。夫て太陽曆に於ては三六五日の年即ち平年と三六六日の年即ち閏年との區別が起るのである。

太陽曆を比較的完全に創定したのは、羅馬のユリウス・ケーザルであつた。彼は西曆紀元前四六年にアレキサンドリアの天文學者ソシゲネスの補助によつて、從來の不完全な羅馬曆を改良した。此曆はユリウス曆と呼ばるゝ者で、平年の間に四年に一回宛閏年を交ゆるとに定めてある。それを平均すると一年の長さが三六五・二五日となる。けれども一回歸年の長さは其長さよりも〇・〇〇七八日(約十分一分)だけ短かいので、それが堆積すれば百二十八年毎に一日宛進むことになるであらう。ユリウス曆は紀元前四六年一月一日から公布せられたが、アウグスツスの時に曆官が規則の適用を間違つたのを訂正して以來、一五八二年まで其儘行はれた。それで實際との差は約十二日となつた譯である。最初ケーザルは三月二十五日に春分がある様に曆を作つて置いたのが、一五八二年には三月十一日に春分となつた。そこで當時の羅馬法王グレゴリオ十三世は改曆を斷行することになつた。彼は當時の天文學者クラヴィウスに曆法改正を命じたが、クラヴィウスは更にリリウスと相談して改曆案を作り、法王の採用する所となつた。其結果一五八二年十月十五日は十月四

日と改められて、十二日の剩餘を整理したのである。此引直しの爲に春分は三月二十一日となつた。斯の如く其當時の季節を復舊すると共に、將來季節の差の生ずるを防ぐ爲に、彼等は閏年の置き方を改正した。即ち西曆紀元年數を四にて整除し得るものを閏年とする規則(ユリウス曆の置閏法)の外に、紀元年數を百にて整除し得る年は平年とし、又四百にて整除し得る年は閏年とすることにした。つまり四百年の中に三個の閏年を省くことにしたのである。例へば西紀一七〇〇年、一八〇〇年、一九〇〇年はユリウス曆ならば閏年となるべき筈であつたけれども、此改正曆では平年となつたのである。此曆法は現今世界の文明國で採用せらるゝ太陽曆で、改正者の名によつてグレゴリオ曆と稱せらるゝ。

グレゴリオ曆の年を四百年に亘つて平均すれば三六五・二四二五となり、一回歸年との差が僅かに〇・〇〇〇三となるのである。即ち一日の一萬分の三であるから、三千年の後に漸やく一日となる者である。それで此差は其時になつてから處分すればよろしいので、現在は此曆法によつて十分精確であると云へる。現今我國で採用して居るのも此曆法である。

五十七 太陽曆の區分

一年は三百六十五日又は三百六十六日であるから、是を更に細分する方が實際上便利である。四季の區分も其一法であるが、更に細

分して月にするのが一般である。

羅馬に於ては、始めは一年が三百四日で十ヶ月に別るゝものとしたが、其後更に二ヶ月を加へ、一年を三百五十四日とした。ケーザルがユリウス曆を制定した時に、月の長さも改定した。即ち一月三月五月七月九月十一月の六ヶ月を三十一日とし、二月四月六月八月十月十二月の六ヶ月を三十日とした。かくする時は總計三百六十六日で閏年の場合であるから、平年には二月を二十九日とした。此配分法は現今の方法よりも均整なものであつたが、其後アウグスツスの治世に至つて、王の名を冠せる月即ち八月を三十一日に昇格したので、其補缺として二月の一日を奪つて二十八日となし、又九月が三十一日では大の月が三個連續するので九月と十一月とを三十日とし、十月十二月を三十一日と改めた。是が現行の區分法であるが、アウグスツスの個人的欲望の爲に著しく不均整になつたのは慨嘆すべきことである。

斯の如き不均整を除かんとして、區分法改良の聲が世界の各地に起つて居る。其詳細に關しては既に本誌上に於て屢々寺尾博士及び平山(清次)博士の論ぜられたことがあるから、茲に繰返す必要はあるまい。兎に角現今の世界は複雑であるので、各國民の改曆に關する要求の一致しない事が多い爲に容易に斷行が出来ないものらしい。