

天文學解説(十六)

理學士 本田 親二

五十八 七値

一年、一月、一日等の週期の外に、今日最も一般に用ゐられる週期は、一週である。一週は七日より成立し、是等の日を七値又は七曜と呼ぶ。

七値を最初に使用した民族は埃及人であるといふ説もあり、又カルデア人或は印度人であるともいはれる。孰れが先であるかは明でないが、兎に角古代の民族にも一般に用ゐられた週期であつたことは疑はれない。七と云ふ數の起原にも色々の説がある。第一、月の盈虚に於ける四個の重なる位相、即ち新月、上弦、満月、下弦の各の間隔が殆んど七日であるから一週といふ考が起つたといふ説もあり、第二、地球より見たる重なる天體、即ち恒星間を運行して人間の運命を司る様に見ゆる太陽、月、水星、火星、金星、木星、土星等で一日づゝを擧げた結果として七曜を生じたとも云ふ。第三、猶太教では舊約全書の創世紀中に神が世界創造をなす時、六日間に是を成就し七日目に休んだので、其紀念の爲、人類も六日働いて一日休む週期を繰返すといふのである。

以上の孰れが最初の起原であるかは明でない。

いが、日本で七曜を用ゐたのは西洋の眞似であつて、西洋の此習慣は基督教によるもので創世紀の傳説に基いたものである。けれども創世紀には七曜の名稱に關しては何等の案もないから、是は他の民族の信仰を其儘繼承したものであらう。支那では日月と五星とを總稱して七曜或は七政と呼ぶけれども、別に週期としては用ゐられなかつたのを、西洋の七曜を譯する場合に借用したのである、支那に於て週期的に用ゐられたのは寧ろ日月を省いた五星を五行として諸種の現象に配したものである。

次に七曜の順序を何故に日月火水木金土としたものであらうかといふ疑問が起る。是に就て一説がある。七曜の各星を、希臘古代の天文學者トレミーの宇宙系統によつて、地球から最も遠きものから順次に列べると、土星、木星、火星、太陽、金星、水星、月の順序となる。古代の星占術者は一日を二十四等分し、其各を順次に七曜の星に配して守護星としたやうである。すると第一日の第一時は土星で、第七時は月となり、更に二週轉して第二十一時は月となり。第二十四時は火星となる。そこで第二日の第一時は太陽に配せられる。第二十四時は水星となる。第三日の第一時は其次の月となる。斯の如き順序を進めば、第四日の第一時は火星、第五日の第一時は水星、第六日の第一時は木星、第七日の第一時は金

星となり、第八日には元に歸つて第一時が土星となる。そこで各日を第一時に配せられた守護星に依つて命名すれば、土日月火水木金の順序となる。是が今日の順序の起原だといふのである。

平年は三百六十五日であるから、五十二週と残り一日となり、閏年は残り二日となる、其結果として平年の時には前年の同じ日附の七曜と比較すれば一日後れとなり、閏年ならば三月以後は二日後れになる。一般に四年に一回の閏年があるから、四年の間に七曜が五日だけずれることになる。それで六年の後には七曜が一致することゝなるけれども、若し六年の内に閏年が二つある時には一致しない。そこで完全に七曜と一年の日附と一致する週期を求めれば、四年の倍數で又七の倍數でなければならぬから二十八日目といふことになる、四年に五日づゝずれるから、二十八年には三十五日即ち五週間ずれて、前と一致することゝなるのであらう。けれども西曆紀元の年數が百で整除せられて、四百で整除されない年、例へば千九百年の如き年が挿せると、閏年が一回脱けるから此週期は當筈らなくなる。それで斯の如き年を含まない部分のみに二十八年の週期は適用せらるゝものである。

五十九 干支

干支は支那の古代に出來たもので、河圖洛書に源を發し、陰陽五行の週期を配したもので

ださうである。干は幹にて、支は枝なり。木の幹と枝とが週期の樞軸となつて、十干十二支に別れ、合せて六十の週期となるものである。支那の古代は重に是を日に配したが、後には月にも年にも配する様になつた。

十干は木火土金水の五行を陰(弟)陽(兄)に別けたもので次の名稱で呼ばれる。

- 甲…木兄(きのえ) 乙…木弟(きのと)
 - 丙…火兄(ひのえ) 丁…火弟(ひのと)
 - 戊…土兄(つちのえ) 己…土弟(つちのと)
 - 庚…金兄(かのえ) 辛…金弟(かのと)
 - 壬…水兄(みづのえ) 癸…水弟(みづのと)
- 十二支は子(ね)丑(うし)寅(とら)卯(う)辰(たつ)巳(み)午(うま)未(ひつじ)申(さる)酉(とり)戌(いぬ)亥(わ)で、是は十二と云ふ數を基にして、それに動物を配したものでらして、十干と十二支とが獨立に週期的循環をなせば下の六十の週期となる。

- 甲子 乙丑 丙寅 丁卯 戊辰 己巳
- 庚午 辛未 壬申 癸酉 甲戌 乙亥
- 丙子 丁丑 戊寅 己卯 庚辰 辛巳
- 壬午 癸未 甲申 乙酉 丙戌 丁亥
- 戊子 己丑 庚寅 辛卯 壬辰 癸巳
- 甲午 乙未 丙申 丁酉 戊戌 己亥
- 庚子 辛丑 壬寅 癸卯 甲辰 乙巳
- 丙午 丁未 戊申 己酉 庚戌 辛亥
- 壬子 癸丑 甲寅 乙卯 丙辰 丁巳
- 戊午 己未 庚申 辛酉 壬戌 癸亥

又昔は一日を十二時に別ち、其各に十二支の名稱を附した。それを現今の時刻と對比すれば、

- 子(午前零時) 丑(午前二時) 寅(午前四時)
- 卯(午前六時) 辰(午前八時) 巳(午前十時)
- 午(正午) 未(午後二時) 申(午後四時)
- 酉(午後六時) 戌(午後八時) 亥(午後十時)

干支が特に便利であり、又實用的であるのは、歴史的の記録を調査する場合である。それに干支が曆法と全く無關係なる、單に六十を週期とせるものである爲である。つまり古代の曆法が不正確なものであつても、干支さへ別つて居れば、正しく其日の現代又は或精確に別つた日からの間隔を知ることが出来る譯である。

六十 二十四節氣

日本の現行曆には二十四節氣の各の時刻が記してある。今其意味を略叙しやう。

昔支那では冬至を起點とし、一年を二十四等分して二十四節とし、各節の始めに名稱を附し、氣候の關係を現はさうとした。又各節を更に節と中とに別ち、交互に十二の節と十二の中が来る様にし、一月は中を中心として兩方の節に及ぶものと考へた。

現行の曆に記載せる節氣も同じ起原であるが、只多少精密に定められてゐる。それは節氣の標準として太陽の黄道上の位置即ち黄經を採用した點にある。黄經を二十四等分し、

太陽が其各點に達した時刻を各節氣とするのである。各節氣の名稱、黄經、節中の別、及び本年の日附は下の通りである。

節氣	太陽の黄經	本年の日附
小寒	二八五度	十二月節 一月 六日
大寒	三〇〇度	十二月中 一月 二十日
立春	三二五度	正月節 二月 四日
雨水	三三〇度	正月中 二月 十九日
啓蟄	三四五度	二月節 三月 六日
春分	〇度	二月中 三月 二十一日
清明	一五度	三月節 四月 五日
穀雨	三〇度	三月中 四月 二十一日
立夏	四五度	四月節 五月 六日
小滿	六〇度	四月中 五月 二十二日
芒種	七五度	五月節 六月 六日
夏至	九〇度	五月中 六月 二十二日
小暑	一〇五度	六月節 七月 八日
大暑	一二〇度	六月中 七月 二十三日
立秋	一三五度	七月節 八月 八日
處暑	一五〇度	七月中 八月 二十四日
白露	一六五度	八月節 九月 八日
秋分	一八〇度	八月中 九月 二十四日
寒露	一九五度	九月節 十月 九日
霜降	二一〇度	九月中 十月 二十四日
立冬	二二五度	十月節 十一月 八日
小雪	二四〇度	十月中 十一月 二十三日
大雪	二五五度	十一月節 十二月 八日
冬至	二七〇度	十一月中 十二月 二十二日

各節氣の名稱は支那の原名を其儘襲用したもので、支那では氣候と一致する様に命名したのであつたらうけれども、我國には全く意味のないものや、時候外れの名稱なども多い。それで今は太陽の位置を現はす代名詞と考へなければならぬ。又節氣の日附も太陽曆に於ては毎年大抵一致してゐるけれども、閏年の關係で一日前後することもある。

六十一 雑節

二十四節氣の外に八個の氣節が雑節として現行の曆面に記載してある。それは、節分、八十八夜、入梅、半夏生、二百十日、土用、彼岸、社日等である。

1、節分 は立春の前日、本年は二月三日であつた。冬より春となる氣節の分岐點を意味するもので、元來は立春の時刻を指したものでらしい。けれども舊を掃ふて新を迎ふる關係上、特に立春の前日を選んだものであらう。豆撒きの俗は文武天皇の頃から始つたやうである。

2、八十八夜 は立春から八十八日目、本年は五月二日に當る。立夏は五月六日であるから、八十八夜は春の終り頃で、春霜の降るのは此夜限りと傳へられてゐる。農家に於ける播種の頃で、八十八を縮めて米の字となる所から附會した點もあるらしい。

3、入梅 は太陽の黄經が八十度となつた日、本年は六月十一日に當る。梅雨は大抵

此頃から始まるので特に記したものである。けれども精密に一致するものではない。芒種は六月六日であるから、約五日の後となつてゐる。昔は芒種後最初の壬(みづのえ)の日を入梅とし、夏至の後の最初の庚(かのえ)の日を出梅と稱へ、其間凡そ三週間位であつた。或は出梅を小暑の後の最初の壬の日として、其期間を約一ヶ月といふ説もある。今は出梅は曆面に記されない。

4、半夏生。昔は夏至の後十一日目から小暑の前日までの五日間を半夏生といひ、其頃に半夏と稱する毒草が生じ、地に陰毒ある時であるから、姪慾食慾を慎しむ様にしたやうである。現行の曆では太陽の黄經百度に達した日を云ふので、本年は七月二日である。農家では此頃を田植の終期としてゐる。

5、二百十日。立春から二百十日に當る日、本年は九月一日である。又其後十日を隔てたる二百二十日も俗間に重視せられてゐる。此氣節は支那から起つたものではなく、我國に於て貞享の初年に保井春海が嘗て一漁翁より此頃に暴風多きを聞き、自らも多年經驗して其事實を確かめ、遂に曆面に記する様になつたものであるやうだ。丁度其頃は早稲の花の出た頃で農家の最も注意を要する時節である。

6、土用 も支那の五行の説の副産物である。一年は春夏秋冬の四季に別るゝものでは

を五行に配するには一つ足りないから別に五等分する要がある。それで支那では一年を五等分せる七十三日餘宛を木火土金水が司ることにした。此五行の取り方を四季と別々にしない爲に、各四季の終より七十三日餘の四分の一即ち十八日餘を削つて、五行の中央たる土の司る所とした。其殘餘に就て春は木、夏は火、秋は金、冬は水に司らせたのである、それで土の支配は四季の終りに別れ別れになつてゐる。其範圍を土用と名づけたものである。それで現今の太陽曆と別に關係あるものではない。

曆面には土用の初の日を記してあるが、今は太陽の黄經二十七度を春土用の始(四月十七日)とし、黄經百十七度を夏土用の始(七月二十日)、黄經二百七度を秋土用の始(十月二十一日)、黄經二百九十七度を冬土用の始(二月十八日)とし、其各より黄經が十八度増す間即ち約十八日間を土用としてゐる。俗間では重に夏の土用のみを使用し、暑氣の甚しくなる時期と考へてゐる。

7、彼岸は佛教の語である。生死を此岸といひ、煩惱を中流といひ、成佛得脱の涅槃境を彼岸といふ。春分及び秋分の日を中日とし、其前後七日間彼岸會を行ふ。其彼岸會の初日は春分及び秋分の三日前に當る。本年は三月十八日及び九月二十一日である。此日が曆面に記してある。

8、社日 は支那の農業に關する祭日である。是は一年に二回あつて、春分及び秋分付近き戌(つちのえ)の日に當り、本年は三月十七日及び九月二十三日である。此日に春は五穀の種を祭り、秋は初穂を供へて農産の豊穰を祈つたといふことである。

以上は雑節の大體の説明であるが、是等の内八十八夜、半夏生、土用、彼岸、社日等は現在の曆には殆んど其必要を認め難い。又一般の世人から忘れられたものも多い。要するに骨董的遺物の域に達したものと云ふ事が出来る。是等の外俗間には曆に關する種々の迷信的事項があるけれども、餘りに煩雜で且天文學と直接の關係がないから省くことにしやう。

六十二、太陰陽曆

今日世界に於ける大多數の民族は我國の採用せる太陽曆を用ゐて居るけれども、露國の如く同じ太陽曆でもグレゴリオの訂正しない前のユリウス曆を其儘繼續して採用せる所もある。又太陽曆の外に太陰曆又は太陰陽曆を採用せる所もある。回教曆は純太陰曆の例で、希臘曆及び支那曆は太陰陽曆の例である。

回教曆は一年が三百五十四日又は三百五十五日より成立し、全く月の週期を基とし、太陽の運行とは全然無關係なものである。けれども希臘及び支那の太陰陽曆は其名の示す如く、太陽の週期として月を採用すると同時に太陽の週期たる年と調和せしめやうと企てた

ものである。我國の舊曆は支那曆の模倣である。(支那も民國になつて太陽曆を採用した。)

太陰陽曆の一年は十二ヶ月又は十三ヶ月より成立つものである。月の盈虚を週期とする一月即ち朔の日より次の朔の前日まで二十日或は三十日であつて、十二ヶ月の長さは三百五十四日或は三百五十五日となるので、一年との差が約十一日である。それで此差を償却する爲に、少くとも三年に一回閏月を挿入して、十三ヶ月の年を作らなければ太陽の週期と合はないこととなる。太陰陽曆の一月は月の週期で、何等の問題も起らないが、只面倒なのは閏月の置き方である。希臘ではメトン及びカリポスの定めた複雑な置閏の週期があるが、支那では前に述べた二十四節氣を用ゐて、巧妙なる置閏法を設けてゐる。我舊曆も同様である。

前に二十四節氣を各月の節と中とに區分したが、それが置閏法の標準となるものである。節氣は全く太陽の運行によるものであるから、是に依つて太陰曆を調節すれば、比較的簡單に太陰陽曆の趣旨を立て得る譯である。其爲に各月中に含まるゝ中の節氣によつて、其月を命名したのである。例へば、雨水則ち正月中の節氣を含む月を正月とし、春分即ち二月中を含む月を二月とするの類である。然るに或月の中から其次の中までの間隔は約三十日半であるから、時には其内に中を

含まない月が現はれる事がある。斯の如き月を閏月とし、其前月の名稱を附する。例へば朔が二月中と三月中との間に二度起る時は、其間の月は二月でも三月でもないから、前月の名を取つて閏二月と呼ぶのである。此方法によつて太陰の週期と太陽の週期とは十分に調和せられる。

此置閏法に於て唯一つの例外がある。それは、中の節氣と朔とが同日に起る場合である。若し中の節氣の時刻が、朔の時刻よりも後であれば、其日より初まる月に、中の節氣があるから別に問題は起らない。けれども朔の時刻よりも、其の節氣の時刻が前である時には嚴密に考へると、中の節氣は前の月に屬して後の月か閏月となるべきである。けれども舊曆法に於ては、月の始めを、朔を含める日の始めとし、朔の時刻からとしない習慣になつてゐるから、其日の内に中の節氣があれば後の月に屬するものとするのである。今年の穀雨即ち三月中は四月二十一日午前一時十八分で、朔は同日午後十一時一分である。即ち中が朔より前であるけれども、同日であるから後の朔の月に屬することとなり、舊曆三月は同日より始まり其前の月は中の節氣を含まないので、閏二月である。舊曆の日附は朔を一日とするものであるから、以上の法則を心得て月の名稱を定むれば、容易に太陽曆から舊曆を算出することが出来る。

天文學解説(十七)

理學士 本田 親一

第五章 月

六十三 月の視運動

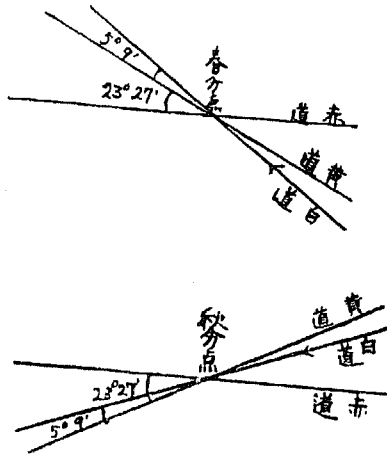
月は太陽や恒星等と同様に、毎日東から出て西に没する、此運動は地球の自轉に基づくものである。次に月と恒星との相對的の視運動を觀測すれば、月は恒星の間を繞りて西より東に動く様に見える。此變化は二晩繼いで月の位置を恒星に對して定めれば、容易に知ることが出来る。又此運動は毎晩約五十分位づゝ月の出る時刻が後れる事實によつても知ることが出来る。此視運動の結果として、月の赤經は毎日十二度位づゝ増加する。

月は單に東方に動くのみでなく、又南北の方向にも移動する。是等の運動による月の位置の變化の跡を地球上に畫けば、天球を一周する大圓となる。是が月の地球上に於ける軌道で、赤道及び黄道に對して白道と呼ばれる。白道は黄道と極めて接近せる位置にあるもので、兩者の平面間の角は約五度九分である。黄道の場合と同様に、白道も精密に云へば大圓ではないけれども、先づ月の平均の位置を取つて大圓と定めても差支ない。

黄道と白道との交點は二つある。月が東方に進みつゝ、南から北の側に黄道を横ぎる點

を昇交點と云ひ、北から南に横ぎる點を降交點と名づくる。是等の交點は黄道上に固定せるものではなくて、赤道に於ける分點の歳差と同様な現象が起るものである。即ち、交點は黄道上を東より西に少しづゝ移動するもので、約一八・六年の週期を以て、黄道を一周する。そこで交點の黄道上の位置によつて、月の毎日の見掛けの運動の状態を異にするもの

第三十二圖



である。若し昇交點が春分點と一致する時には、月の軌道即ち白道と赤道とは約二八度三六分(二三度二七分と五度九分との和)の傾角を有することとなるが、昇交點が秋分點と一致する時には、赤道との傾角は一八度一八分(二三度二七分と五度九分との差)となるのである。其關係は第三十二圖に示す通りである。

吾々が北緯三十五度の地で觀測するものとしやう。其地の子午線と赤道と交はる點の高度は五十五度である。若し月の軌道の昇交點が春分點にあるものとすれば、一月の内に月が占むる最大の高度は五十五度と二十八度三十六分との和、即ち八十三度三十六分となり、最小の高度は五十五度と二十八度三十六分との差、即ち二十六度二十四分となるであらう。此場合は前の上圖に現はした通りであるから、黄道が常に白道と赤道との間にあつて、白道は赤道の南に於ても北に於ても常に最も遠隔の位置を占むることとなるので、高度の差も最大となるのである。

是に反して、前の下圖の場合、即ち月の軌道の昇交點が秋分點と一致する時には、其月中の月の子午線上に於ける最大及び最小の高度は七十三度十八分(五十五度と十八度十八分との和)及び三十六度四十二分(五十五度と十八度十八分との差)となるのである。つまり此場合には白道は常に黄道と赤道との中間に位するので、赤道からの南北の差が最小である。

以上の二つの場合が兩極端の場合であるから、若し昇交點が分點以外にある場合には月の高度は以上の兩極端の中間にある譯である。觀測者が緯度の異なる地點にある場合には赤道の高度さへ算出すれば、他の關係は別に變らない。一般に満月は地球から見て太陽

と月とが正反對の位置に見ゆる時であるから兩者の黄經の差は百八十度である。そこで太陽が冬至點の附近にある時には満月は夏至點の附近にあることとなり、一般に高度が大である。これ冬の寒月が高く天心に懸かる所以である。夏の満月は其反對に冬至點の附近にある爲に、低く南に傾いて見える。又此結果は昇交點の位置によつて其影響を或は強め或は弱めることになるであらう。

六十四 朔望月と恒星月

朔望月と云ふのは、月が朔から朔まで、或は望から望まで運行する週期である。朔は地球から見て月と太陽とが同一子午線上に見ゆる時刻である。そこで朔の時刻又は望即ち満月の時刻を精密に測ることが出来れば、朔望月の長さは直ちに定まるのである。けれども此週期を最も精密に定める方法は古い日食の時刻を用ゐるものである。日食は月と太陽とが同一子午線上に來た時、即ち朔の時に起る現象であるから、日食の記録は朔の時刻を精密に與ふるものである。其時刻と今月の朔との間の時間を其間の月數で除すれば、朔望月は非常に精密に定まるのである。其結果は、
朔望月 二九日一二時四四分二秒八六

二九・五三〇五九日

此週期は月の盈虚の週期であつて、舊曆の一月は此週期に基づくものである。

次に恒星月は月が白道上を完全に一廻轉す

る週期で、つまり恒星に對して或位置から出發して再び同位置に歸る迄の時間である。是は直接の観測によつて定めることが出来る。恒星月の長さは朔望月よりも短かい。其理由は、太陽も月と同様に恒星の間を西から東に向つて動くから、月が三百六十度だけ地球上を旅したのみでは太陽に追ひ付くことが出来ない。三百六十度動く週期が恒星月で、太陽に追ひつく迄の週期が朔望月であるから、後者の長いのは明であらう。恒星月の長さは、
恒星月 二七日七時四三分一秒五五

二七・三二一六六日

以上の二週期は共に平均であつて、毎月精密に此値を取るものではないのである。月の運行は非常に不規則な點があるので、實際の一月の長さは平均よりも二時間以上違ふことがある。此變動は地球、太陽及び其他の惑星等の月に及ぼす引力の結果に基づくもので、一般に攝動と呼ばれるものである。

六十五 月の南中時刻の遅延

月は東方に向つて、太陽よりも速に移動するから、毎日子午線を經過する時刻が少しづつ後れることになる。一朔望月は月が太陽と同所より出發して地球を一周して後、再び太陽に追ひ付く迄の時間であるから、其週期で三百六十度を除すれば、平均一日に太陽を遠ざかる角を算出することが出来る。其結果は一日に十二度十一分四となる。地球は是だけ

の角を自轉するに約四十九分(時)を費すが、月は其間に角度の約二十五分だけ前進するから、地球が月に追ひ付くには猶二分餘の時間を費さなければならぬ。精密に計算すれば、月の南中時刻は毎日平均五〇・五分(時)だけ後れるものである。又月の出沒の時刻は、白道の傾斜の状態によつて大に變化するから、一概には云へないけれど、平均すれば矢張り南中時間の後れるだけ後れる譯である。

六十六 月の位相

月は自身に光がないので、只太陽の反射光によつてのみ輝く。従て太陽に而せる半面は明るく、他の半面は暗い。地球から見れば、是等の三體の相對的の位置によつて、種々の形相の月を見ることが出来るであらう。即ち月が地球と太陽との間に挟まる時は、地球からは月の暗黒面のみを見ることがとなり、新月となる。月と太陽とが九十度だけ離れた時には地球からは月の輝面の半分と暗面の半分とを見るから、上弦となる。次に地球が太陽と月との間に挟まつて一直線をなす時は、吾人は月の輝面のみを見るから、満月となる。更に月が廻轉して、太陽と直角をなす位置に來れば下弦となる。それから再び新月に歸るのである。斯の如き月の形の變化を位相と呼ぶ。新月と上弦との間に於て、月の暗面が薄き光で照らされる様に見ゆるのは、太陽の光を地球が反射して、更に月を照らす爲である。

此光の強さは満月の光が地面を照す強さの二十倍位であらうといふことである。

新月の時には、月と太陽とが合の位置にあるといふ。つまり同一の子午線上にあるといふ意味である。満月の時には、月と太陽とは衝の位置にあるといふ。つまり正反對即ち百八十度を距てた子午線上にあるといふ意味である。

六十七 日光と月光の分布

満月でなければ月の光は餘り役に立つものではないから、満月の附近のことのみを考へて見やう。

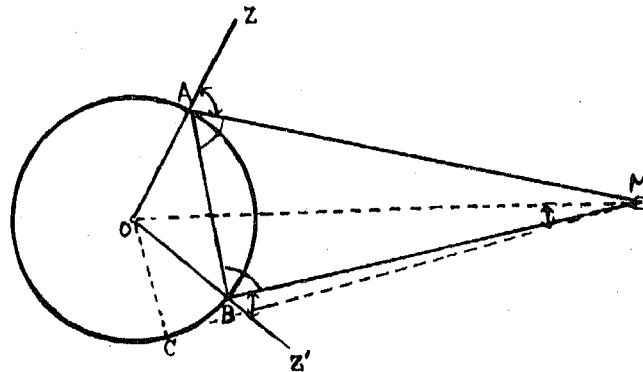
満月は太陽と月とが百八十度だけ距つてゐる場合であるから、太陽が没する時に月が出て、月が没する時に太陽が出る。つまり交代して地球を照すものである。殊に前に述べた様に、夏に於て太陽の高度の大なる時は、月の高度は小であり、冬に於ては月の高度が大になるといふことも二者の相互補充的事實である。特に北極又は南極の地方で、太陽が全く地平下に没して永久の夜に入つた時には、月は絶えず地平線上にあつて、極地の夜の陰鬱を多少なりとも緩和する役に立つのである。けれども満月の光も太陽の光に比すれば約六十萬分の一の強さに過ぎないものである。

六十八 月の距離

月と地球との距離は普通の三角測量と同じ

原理に基づく方法によつて測定することが出来る。先づ地球上の略ぼ経度の等しい場所の内て南北の距離がなるべく遠い二地點を選択する。圖のA及びBを地球上の北半球及び南半球に於ける同一子午線上の二地點であるとしやう。A及びBより同時に月(M)の天頂距

圖三十三第



離を觀測するのである。Aに於ける天頂の方向はAZの方向であるから、月のAに於ける天頂距離は角ZAMである。同様にBに於ける月の天頂距離は角Z'BMである。AB間の直線距離及び其方向は測地學によつて算定し

得べきものである。つまり直線ABの長さ及び角ZAB、角Z'BAは共に知ることが出来る。そこで以上の二角から觀測によつて得た月の天頂距離を減すれば、角BAM及び角ABMを算出することが出来る。かくて三角形ABMの一邊と二角とを知ることになるから、三角術によつて他の邊の長さを計算することが出来るのである。AM又はBMの長さが別れば、三角形OAMに於て、OAは地球の半徑で知れて居り、又角OAMも知ることが出来るから、それ等を用ゐて、OMの長さ即ち地球と月との距離を算出することが出来る。月の距離は時によつて多少變化するものであるが、其平均の値は二十三萬八千八百四十哩である。

次に月(M)から地球の表面に切線MCを引いたと假定すれば、其直線は半徑OCと垂直になる。其場合に地球の半徑OCが月に於て張る角即ち角OMCを月の地平視差と名づける。是は月がOに於て地平の方向に見ゆる場合に、Oと地球の中心Oより見たる月の方向の差即ち視差であるからである。視差は距離に比例して變化する量であるから、多少の増減はあるが、其平均の値は五十七分二秒である。

月の實際の軌道の一週の長さは百五十萬六千八百八十哩位である。月は一恒星月の間に此距離を運行するものであるから、其割合で平均

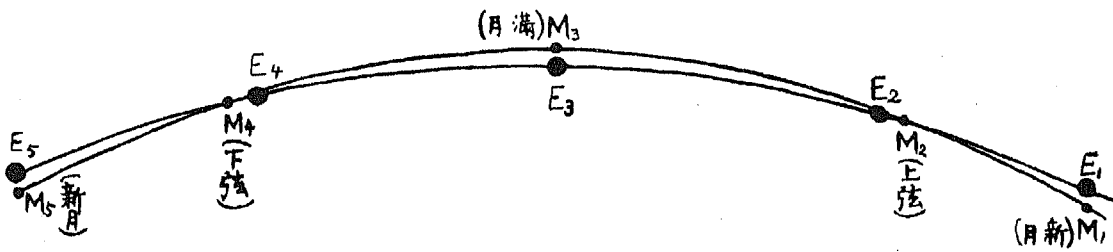
の軌道速度を計算すれば、毎時間二二八八哩六を走ることとなり、一秒に約八町半を進む割合である。

六十九 地球に對する月の軌道

地球と月との平均距離は前述の通りであるが、實際の月の距離は甚しき差異を生ずることが多い。其變化の範圍は、最も近い時が二十二萬一千六百哩で、最も遠い時が二十五萬二千九百七十哩である。其距離の變化に應じて月の見掛けの大きさ及び視差等に變化を生ずる。地球を静止せるものと假定し、それに對して月の軌道を畫けば略ぼ橢圓となつて、地球は其焦點の一に位することになる。又地球を中心とせる月の運行の面積速度は一定である。是等の運行は地球の公轉と同一の法則に従ふものであるが、太陽の引力は月の軌道を著しく變化せしめるので、實際は橢圓の軌道よりも著しく偏倚する結果となる。斯の如き月の不規則な運動は所謂攝動である。月の軌道中で地球に最も近い點を近地點と云ひ、最も遠い點を遠地點と呼ぶ。

七十 太陽に對する月の軌道

地球と太陽との距離は、地球と月との距離の約四百倍である。そこで月が地球の軌道の内外に移動する距離は太陽との距離に比較して非常に僅かで、到底正しく圖に現はすことは出来ない。地球の公轉の速度は月の地球に對する軌道速度に比して三十倍も速いから、



圖四十三第

外から眺むれば、月は地球から引ずられて太陽の周圍を運行する様に見える。而して月の太陽より見たる運行の途は略ぼ地球の軌道と近接せるもので、太陽に對して常に凹形を呈する。つまり太陽に對して月の軌道が凸形をなせる部分は無いのである。其狀態を圖で誇張して畫けば第三十四圖の様になる。圖は地球及び月の太陽に對する軌道の一部を示したもので、丁度一月の間に運行する狀態であるE₁E₂E₃E₄E₅は地球の位置でそれに相當する月の位置はM₁M₂M₃M₄M₅で現はされ、それ等を連絡する線

が各の軌道を現はすものである。太陽は圖の下方にあるもので、太陽から見れば地球の軌道も月の軌道も共に凹形になつてゐるのである。各の位置に於ける月の位相は圖に示せる通りで、地球から見ればM₁からM₅までの間に月が地球を一周した様に見ゆるであらう。

七十一 月の自轉

月は常に同じ面を地球に向けて居る。月は地球の周りを運行するものであるから、同じ面を地球に向くる爲には、自身の軸の周りに廻轉することが必要である。地球以外の點から月を見れば、月は一恒星月に一回自轉するものである。つまり地球の周圍を一公轉する週期と一自轉の週期とが相等しいのである。其自轉の方向は公轉の方向と同じく西より東に廻る。月の自轉軸に垂直なる月の赤道の平面は黃道面と約一度三十二分の傾斜をなし、其交線は常に月の昇交點と降交點とを連結せる直線と一致する。

月の一恒星日は其一恒星月と同じ長さであるが、それと同様に月の一太陽日は其一朔望月と同じ長さである。月は満月の度毎に地球に向けると同じ面を太陽に向ける。つまり地球に向ける面は一朔望月の週期を以て太陽に向くものであるから、其時間が月面の一太陽日に相當することは明らかであらう。

天文學解説(十八)

理學士 本田 親一

月世界の一日は前述の如く地球の約四週間に相當するから、晝が二週間繼いた後で夜が二週間繼くことになるので、晝夜の温度の差は非常に著しいものであらう。けれども月の赤道と白道との傾斜は極めて僅かであるから、季節の變化は殆んど認められない位であらう。

兎に角、月が始終精密に同じ面を地球に向けてゐるといふことは、非常に興味ある事實である。月が其生成の最初から此様な規律的な運動をして居つたものとはどうしても思はれない。そうすれば或一定の力が絶えず働いて、遂に月を今の様な有様に陥れたと考へなければなるまい。其力が何であるかは斷言することは出来ないかも知れないが、只今の所では潮汐作用によつて其説明が試みられてゐる。月が地球に潮汐作用を及ぼすことは哲人の知る所であるが、其反對に地球も月に對して著しい潮汐作用を及ぼす譯である。月が今の様に全く凝固したものであれば、潮汐作用の影響も極めて微小であらう。けれども、昔一度は月も高熱の爲に軟かい變形し易い状態であつたらうといふことは一般に信ぜられてゐる。其頃には必ず地球の潮汐作用の影響によ

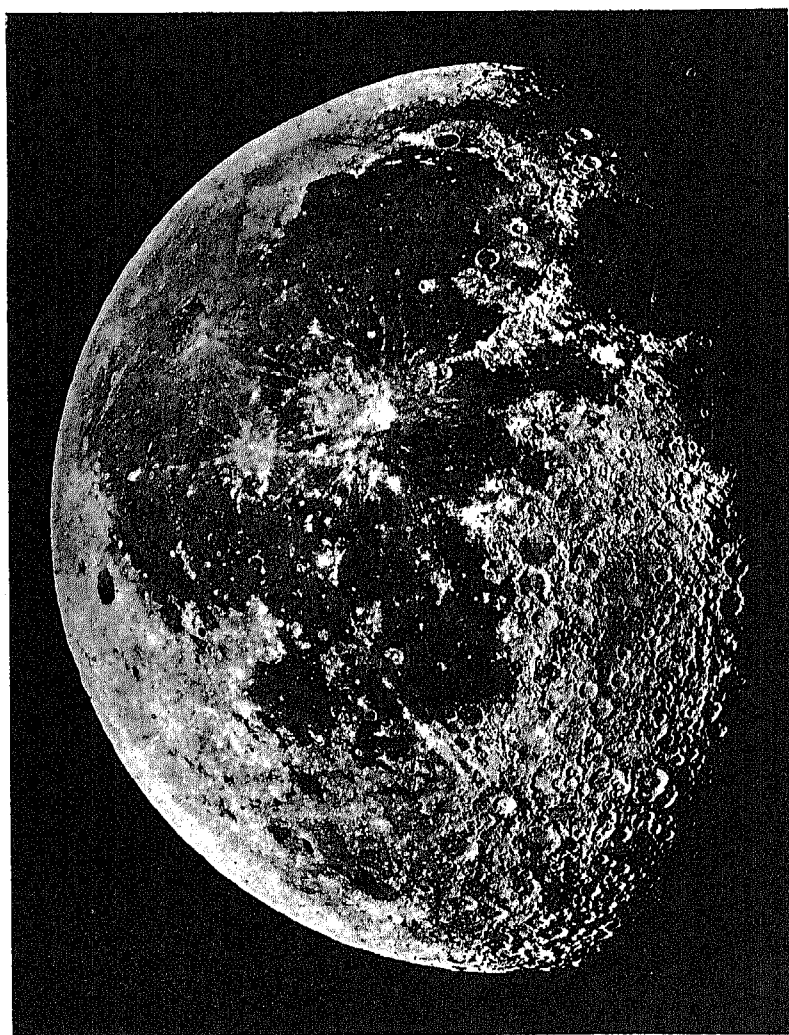
つて、月の表面が或は隆起し或は扁平になつたものであらう。潮汐作用の理論的研究の結果によれば、潮汐作用を受くる天體の自轉の

期になつたのであるといふことが出来る。

七十二 月の秤動

月が常に地球に同じ面を向けて居るといふ

第三十五圖



週期は、潮汐作用を及ぼす天體の周りの其公轉の週期と等しくなる傾向を有するものである。其理によつて、月の自轉と公轉とは等週

ことは、嚴密に云ふと眞ではない。月は種々の原因で多少は脊面が見ゆる様な位置を占むることがある。けれども斯の如き月の動搖は

一般に週期的のものであつて、平均の位置に變化を生ずることはないから、吾人が月の脊面の中央部を見ることは到底望まれない。此動搖を月の秤動と名づける。秤動は月自身が特に動搖する爲ではなく、月の一般的運動の間に、地球と月との相對的の位置が多少變化する爲に起る現象である。秤動の原因の重なるものは二つある。第一は白道の平面と月の赤道の平面とが一致して居ないことである。第二は月が其軌道上を等しき速さで運行しない爲である。

月の赤道面と白道面との傾斜は約六度四十一分である。地球に於ては赤道面と黄道面との間に傾斜がある爲に、太陽が半年は北極を重に照らし、半年は南極を重に照らす様になる。若し地球が太陽の様に輝くものであるとすれば、一ヶ月の間に半ヶ月は月の北極を越えて約六度四十一分の間を照らし、半ヶ月は月の南極の方を同じだけ廣く照らす譯である。實際吾人は太陽の反射光によつて、半ヶ月の間は月の北極の地方を平均の位置よりも廣く見、他の半ヶ月は南極の地方を廣く見ることが出来る。つまり月は半ヶ月毎に平均の位置より或は前に傾むいて北極の方を地球に向け、或は後に傾むいて南極の方を地球に向けることになる。此動搖は南北の方向即ち緯度の方向の動搖であるから緯秤動と名づけられる。

月の自轉の速さは全く均整で、到底其不規則な點を發見することは出来ない。是に反して月の公轉の速さは一樣ではない。それは月の軌道が地球に對しては楕圓であつて、月の運行の面積速度が一定である爲である。假りに月が近地點から運行を始めると考へよう。地球から見て月が近地點から九十度だけ公轉する時間は一恒星月の四分の一よりも少ない。そこで其間の月の自轉も四分の一即ち九十度よりも少ない。自轉が九十度に達しない内に公轉が九十度となるのであるから、其差だけ月の方向が違つて見ゆることになるであらう。自轉も公轉も共に西から東に、北から見て時計の針と反對の方向に廻轉するものであるから、自轉が後れた結果は、月が平均の位置よりも西の方を餘計見せて、東の方が少し隠れることになるものである。又其所から百八十度位廻轉した位置に於ては、公轉の方が自轉よりも後れることになつて、月面の西の方が隠れて、東の方が餘計に見ゆることとなる。此現象は東西の方向即ち經度の方向の動搖であるから經秤動と呼ばれる。

又吾人は月を地球の中心から見るのではなくして、表面から眺むるものであるから、多少見ゆる場所が違ふことになるであらう。月が地平線上にあるとき、吾人と月とを結ぶ直線と、地球の中心と月とを結ぶ直線とは約一度の角をなすものである。月が子午線に來た時

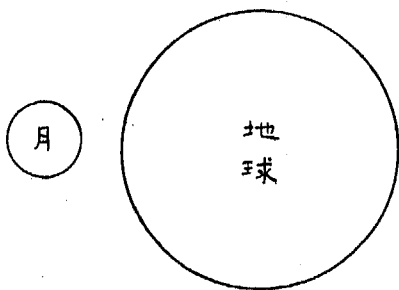
は、地球の表面から見ても、中心から見ても殆んど變りはない。そこで地平線上に見ゆる月は、子午線に見ゆる月よりも約一度位餘計な面が上の方に見ゆる譯である。此變化は一日中に起るものであるから、日週秤動と呼ばれる。

以上三種の秤動の結果として、全く吾人の見ることの出来ない月の表面は全體の四十一パーセントしかないと云ふことになる。残りの五十九パーセントの内、四十一パーセントは常に見ゆる部分で、其餘の十八パーセントは時に現はれ時に隠るゝ部分である。

七十三 月の大きさ

月と地球との距離は一定でないから、地球

第三十六圖



から見た月の視直径(月の直径が地球の中心に於て張る角)も時によつて二分以上の差を生ずるものである。其平均視直径は三十一分

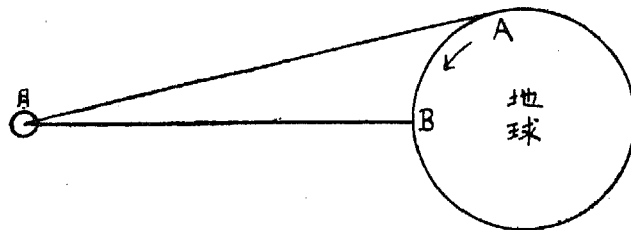
八秒である。月の距離は前に出してあるから、以上の材料によつて月の實際の直径を計算すれば二千六百六十三哩となる。地球の直径の約百分の二十七である。

月の表面積は直径の二乗に比例するものであるから、地球の表面積の約十四分の一である。又、體積は直径の三乗に比例するから、地球の體積の約五十分の一である。第三十六圖は地球と月とを同じ比例に畫いたもので、是によつて大きさを比較することが出来る。

月が子午線上に來た時、即ち中天にあるときと、地平線上にある時とを比較するに、中天の月は地平の月よりも約四千哩近いものである。第三十七圖に於て、地球上の一點點Aに於ては月を其地平上に見るが、地球が矢の方向に廻轉してAがBに來れば、月は中天に見ゆることになる。Aから月までの距離と、Bから月までの距離とは、圖で明らかである様に、略地球の半径だけBの方が月に近い。即ち約四千哩近いのである。そこで月は地平にある時よりも中天にある時の方が大きく見えなければならぬ筈である。實際望遠鏡で測定した結果は、子午線上の月の視直径が地平線上の月の視直径よりも大であることを示してゐる。其大きさの差は丁度距離の差に相應するものである。然し肉眼で見ると中天の月よりも地平の月の方が餘程大きく見える。つまり肉眼による判断は實際の事實と正反對である。

る。是は視覺の誤謬で、錯覺の一種である。月が中天にある時は其間に何等の遮るものがない爲に、吾人は月の距離を非常に近いものと思ひ違へるのである。吾人が物體の大きさを判断するのは二つの材料によるものである。

第三十七圖



甚だ小さく見ゆる。けれども非常に遠距離のものと思へると餘程大きなものと思はれるものである。例へば眼前の蜘蛛の絲は普通非常に細いものに見ゆるが、偶然の思ひ違ひで遠い所にある大きな針金の様に見ゆることがある。

第一は物體の見掛けの大きさ、即ち視直径である。第二は吾人と物體との距離の認識である。同じ視直径のものでも、非常に近距離のものとも考へると其大きさは

る。又眼の傍を飛ぶ小さな昆蟲を、遠い空を翔る驚か驚の様な大きな物と見違へることもある。月や其外の天體の實際の大きさを判断する場合にも、吾人の無意識的に判定する距離の遠近が非常な關係を持つことになるものである。月が中天にある場合には、何も距離の比較になるものがなく、直接に吾人と月と相對するので、餘程距離を近いものと思ふのである。そこで視直径は大であつても實際は小さいと判断するのである。然るに地平線上に月がある時には、家を越え森を越え野を越え山を越えた向ふの方に月が出るのであるから、無意識的に遠いと思ひ込んでしまふ。そこで視直径は小でも實際は大きいと判断するのである。

よく月の直径は一尺位あると云ふ人があるが、斯の如き叙述は少しも確實なる意味を有するものではない。只其人が月の距離をどれ位と想像したかを知る材料となるに過ぎない。計算によれば月の直径を一尺と考ふる人は、月が約十八間の向ふにあると想像する人である。

七十四 月の質量

月は地球に最も近い天體であるけれども、其質量の測定は他の遠隔の天體よりも却て面倒である。理論的に月の質量を計算するには、月の公轉の週期と軌道の長軸を測定して、是等をケプレルの法則に當嵌めて解く方

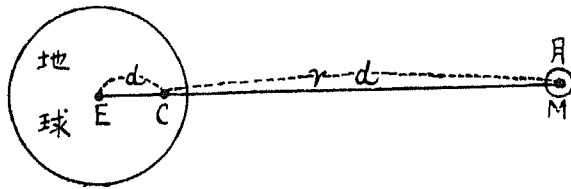
法がある。けれども、月の運行が著しく太陽の引力によつて攪亂せらるゝので、精密な値を出すことは甚困難である。そこで他の方法を必要とする。

凡そ二個の天體が相互の引力の作用によつて運行する場合には、各天體はそれ等の共通の重心の周りに、其の重心を焦點とする橢圓運動を畫くものである。地球と月との體系も同様である。地球と月との共同の重心が、二者を代表するもので、太陽の周りに殆んど橢圓形の軌道を畫くのも此重心であつて、地球だけの重心ではないのである。そこで地球は或時は此重心より前に進み、或時は後に退くであらう。つまり上弦の場合には(前號第三十四圖參照)月は地球の進む方向より後の方にあるから、兩者の重心は地球より後方にあることとなり、地球は此共同重心より先んずることになる。満月及び新月の時には太陽から見ると二天體は一直線上にあるから、共同重心も其線上にあることは明らかである。けれども下弦の時は、月が地球よりも前にあるから、地球の位置は共同の重心よりも後方にあることになる。地球はかく共同の重心の前後に動揺するものであるから、地球から見た太陽の位置が其動揺につれて平均の位置から前後に動揺することになる。此太陽の見掛けの動揺を精密なる觀測によつて測定した結果は約六・四秒と云ふ小さな値を得た。是

が地球の動揺を太陽の距離から見た大きさに相當する。此結果より計算すれば、地球と月との共同の重心と地球の中心との距離は二千八百八十六哩となる。

第三十八圖に於て、 E を地球の中心、 M を月の中心、 C を共同の重心とすれば、 EC の長さ d が二八八六哩である。 CM の長さは地球と月との

第三十八圖



の距離 (r) から d を引いた残りである。二つの物體の質量の比は共同の重心よりの距離に反比例するものであるから、 E 及

E を地球及び月の質量とすれば、 E が成立する。

$$E : M = (r - d) : d$$

或は

$$M = \frac{E \times d}{r - d}$$

然るに $d = 2886$ 哩

是等の値を前の式に代入すれば

$$M = \frac{E}{81.7}$$

となる。つまり地球の質量は月の約八十二倍となる。然るに地球の質量は既知の數であるから、それから月の質量を算出することが出来る。

又白道面と黄道面とは約五度九分の傾斜をなしてゐるから、地球は時には黄道面の北に、時には南に動揺することになる。此運動の爲に太陽が黄道の南北に多少動揺する様に見える。此動揺より前と同様に地球と月との質量の比を計算することが出来る。

七十五 月の比重及び表面の重力

月の體積は地球の體積の約五十分の一であるのに質量は約八十二分の一である。是等の値と地球の比重五・五とを用ゐて、月の比重を計算すれば、三・四といふ値を得るのである。

次に月の表面の重力の強さは月の質量に比例し月の中心よりの距離の二乗に反比例するものである。此關係から月の表面の重力と地球の表面の重力とを比較すれば、前者は後者の六分の一に過ぎないといふ結果を得る。此關係は普通の天秤を月面に持て行つたのでは別ならない。それは月面では分銅も同時に軽くなるからである。だから此力を測るにはゼンマイ秤の様なものに依らなければならぬ。

天文學解説(十九)

理學士 本田 親二

前述の如く月面の重力は地球表面の重力の約六分の一に過ぎないから、地球上で六貫目の物は、月面では一貫目となる譯である。つまり同じ力で地上に於けるよりも六倍も重い物體を投げ上げることが出来る。地球上で五尺の高跳びの出来る人は、月面では同じ力で三十尺跳べることになる。火山の様な爆發作用も、同じ力で月面では地球面よりも六倍の働をするようになる。一般に物が軽いから高く積んでも土臺が搖るがない。月面の山が比較的高くして且つ峻岨なのは、幾分此原因によるものらしい。

七十六 月の大氣

月面には大氣の存在を認めることが出来ない。若し月に大氣があるとしても、極めて稀薄で、到底吾人が感知することが出来ない位のものであらう。其證據は色々ある。第一に月の表面は常に著しく明瞭に見えて、少しも其表面に雲や霧の様なもの存在を認めることが出来ない。又風の爲に起る砂塵の様なものも見えない。是等は大氣が存在し、且つ水があれば必ず見ゆべき筈のものである。

第二に、日食の際に太陽を隠す月面の邊緣は極めて明瞭で、又完全に暗黒である、若し

月に大氣があれば、太陽の光を幾分屈折して多少邊緣に近き部分を照さなければならぬ筈である。金星の様に深い大氣を有するものが太陽面を經過する時は、其大氣の屈折は非常に著しいものである。

第三に、月が星の前方を運行して、それを掩蔽する場合を觀測すると、其時刻に達すれば星が急に見えなくなる。若し月が大氣を有するものとすれば、屈折の爲に掩蔽の後も暫時は薄い星の光が見えなければならぬ。是等の證據によつて月は現今は大氣を有しないだらうと想像せられる。

又月に大氣があるとすれば、多少表面の岩石を風化し侵蝕して、土壤を作る筈であるが月面には斯の如き作用の行はれた痕跡はない。月面は全部岩の表面から成立してゐるらしい。月の晝間は約二週間繼續するから、表面の岩石は其間に非常に熱せられて膨脹し、次の永い夜間の烈しい寒冷は、再び岩石を收缩させるから、月面の岩は其爲に至る所に龜裂を生じてゐるだらうと想像せられるが、そんな細かい所までは望遠鏡でも見えない。兎に角月面には火山灰の様なものは多少あるかも知れないけれども、土壤は全くない様である。

月の表面には水もない。若しあれば、永い二週間の晝間に全く蒸發して、大氣を構成しなければならぬ。殊に氣壓の少ない所では、

蒸發が速に行はれるから、月面の如き所では、非常に急速であるべき譯である、けれども斯の如き大氣の存在せる證據がないから、水もないと云はなければならぬ。嘗てビケリングは月面に雪、湖及び植物の存在を述べたことがあつたけれど、誰も信ずるものはなかつた。

然らば何故に月には大氣がないのであらうか。最初から月に大氣がなかつたものならば別に問題とはならない。けれども月の表面を見ると凹凸が非常に著しい。其中に噴火口と名づけられる圓形の凹所が澤山ある。是等は地球の火山とは餘程性質を異にしてゐるものらしいけれども、内部から瓦斯を噴出した跡であることは疑はれない。月面は殆んど至る所に噴火口があるから、それから噴出した瓦斯の量は非常に多量であらう。若し此事が事實であるとすれば、月は過去に於て多くの大氣を有した筈である。それが今全くないとすれば、其消失した原因がなければならぬ。

月面の大氣の消失する原因と認めらるべきものは二つある。第一は、月面の岩石が大氣を吸收することである。前に地球の章に於て述べた通り、岩石は種々の大氣の成分と化合することが多い。其爲に大氣の幾分は絶えず吸收せらるゝ譯である。けれども、岩石は又分解によつて、瓦斯を大氣中に放散する作用をも營むから、岩石の作用だけでは大氣が増

すか減ずるか解らない。そこで何か別に適當な原因を求めなければならぬ。

其原因として一般に信ぜられてゐるのは、月が大氣を保持するに充分なる重力を有しないといふことである。前に地球の章で、大氣の逸散を論じ、瓦斯の運動説の結果と地球の重力との關係を述べて置いた。つまり瓦斯體の分子は其温度及び種類によつて定められたる速度を以て、任意の方向に運動するものであるから、若し其分子に働く重力が小であれば、其分子は遂に重力の範圍外に飛散して復歸しないことになるであらう。月の重力は地球に比して甚だ小であるから、毎秒一・五哩の速度を有する瓦斯體の分子は月面より逸散することが出来るのである。此程度の速度は高温度の瓦斯の容易に達し得べき範圍である。月面の晝の温度は百度以上となることは疑ないから、其表面に若し瓦斯があるとすれば漸次逸散することは確かである。若し月が地球から別れたものとすれば、最初は地球と同様な大氣を持てゐたと想像することが出来る。そうすれば自身の分子の運動の爲に、月の表面から逸散するのは當然である。

七十七 月の光と熱

月と太陽との平均距離は、地球と太陽との平均距離と略等しいから、地球上の單位面積に受くる太陽の光熱と、月面の單位面積の受くる光熱は略等量であらう。其光熱を月面で

反射して、地球に與へるのであるが、其分量を大體計算して見やう。先づ満月の場合を標準とする。月の表面積は地球の表面積の約四分の一であるから、太陽から受くる光熱の量も地球の約四分の一である。太陽によつて照されたる月の半球は、其方面の半天のみならず、多少後方の空に向つても其反射光を送るであらう。けれども太陽に面した正面に向ふ反射が最も強いから、地球に送る反射の場合を考ふる時は、全天にのみ反射光を送るものと假定して計算しても相當な結果を得られる。月から見た地球の半徑は略一度である。それで月から見た地球の天球上に占むる面積は、半徑の二乗に圓周率を乗じて、約三・一平方度といふ結果を得る。次に半球の面積を度で計算すると約二〇六三〇平方度となる。そこで前の假定によると、地球は月が反射する光の二萬六千三百分の三・一即ち、約六千六百六十分の一の光を受けることになる。

月の面積は地球の面積の約四分の一であるから、若し月が太陽の光を總て反射すると假定しても、地球が受くる太陽の光に比すれば、月の地球に與へる光は、前述の割合の四分の一、即ち

$$\frac{1}{14} \times \frac{1}{6660} = \frac{1}{93240}$$

となるであらう。

所が月は太陽から受けた光の全部を反射す

るものでなく、大部分を吸収するので、上記の割合は更に減少する。ツオルナーの觀測によれば、月の反射率は〇・二七四で、約六分の一である。そこで吾人の受くる月光と日光との比は前式の値の六分の一、即ち約五十六萬分の一となるのである。

以上は理論的に計算したのであるが、直接の觀測によつて日光と月光とを比較することは困難である。色々な學者が測定した結果は皆多少異なつたものである。ツオルナーの結果は比較的中庸を得たもので、一般に用ゐられてゐるが、其値は満月の光は日光の六十一萬八千分の一となつてゐる。満月以外の場合は月の見ゆる面積に比例して減ずる譯であるから、一ヶ月の平均を取つて見れば、月より受くる光熱は太陽より受くる光熱の百萬分の一以下であらう。月が一年間に與ふる光の量よりも、太陽が三十秒間に與ふる光の量が多い。又全天を満月で埋めても日光の二十分の一に達しないだらう。

つまり月が全く消失するよりも、太陽が一分間位雲で蔽はれた方が、地球の氣候に影響する譯である。是等の關係から考ふれば、月の盈虚が天候に影響すると云ふことは全然迷信に過ぎないことが解るであらう。實際百年以上に亘つて月の位相と天候との關係を統計して見ても、何等の影響がないといふことになつてゐる。

七十八 月の温度

月が地球と同じ大氣を有し、同じ自轉の週期を有するものとすれば、太陽からの平均距離は地球と略等しいから、地球と同様な氣候

光に曝されて著しく高温度に達するであらうが、太陽に面しない夜の側は其反對に、大氣の保護がない爲に急速に熱を失つて、其温度は非常に低くなるであらう。

と一致するもので、地球の約二十九日半の長さである。かく自轉の週期の長いことは、月の温度の晝夜の差を著しくせしむる原因となる。晝間が十四日以上繼續して、絶えず烈日

圖 九 十 三 第

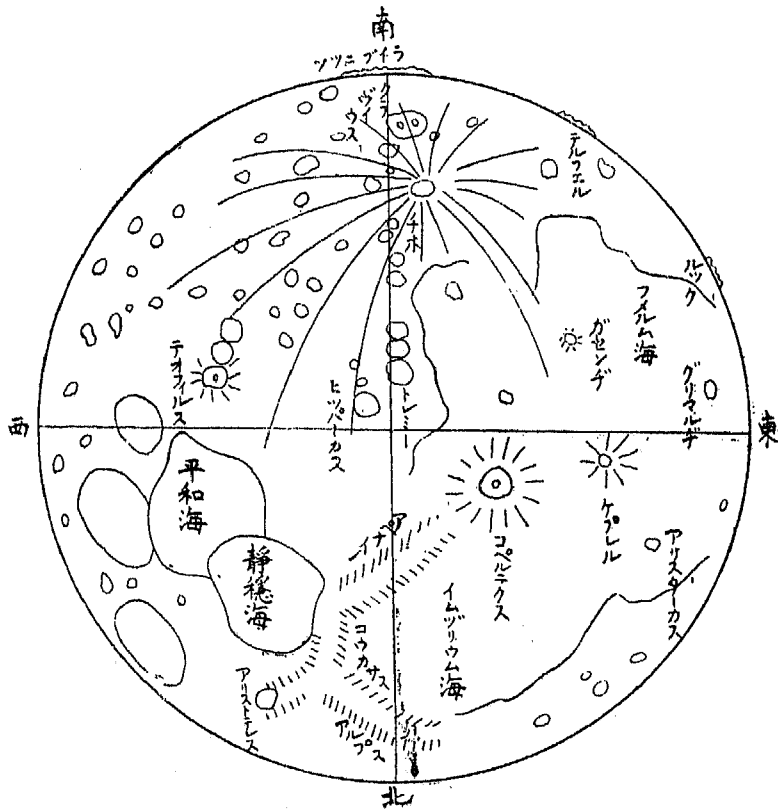
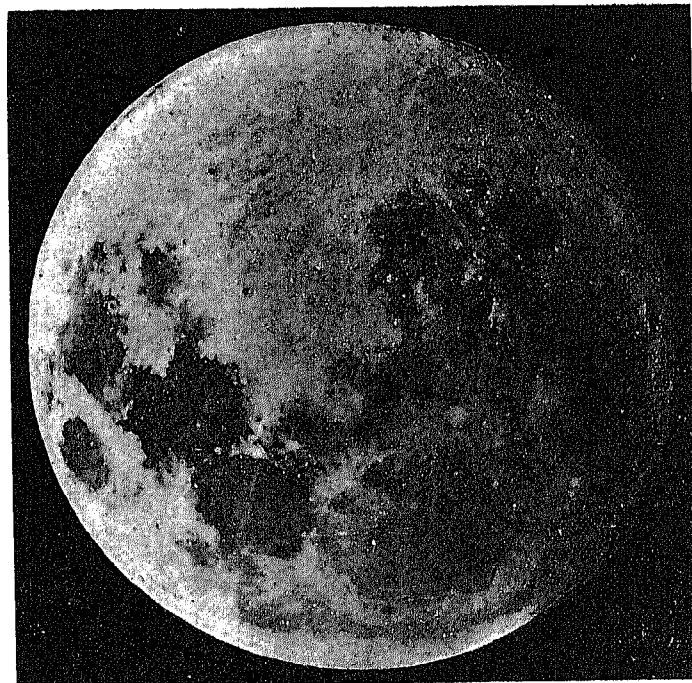


圖 十 四 第



を有しなければならぬ。然るに月は地球と違つて、大氣を有しないから、其關係で氣候が著しく異なるであらう。つまり月の太陽に面せる側は大氣又は雲に遮ぎられない烈日日

月は常に地球と同じ面を向けてゐるから、月の公轉の週期と自轉の週期が全く同一であることは前に説明して置いた。月の一日は太陽に對する光の關係で定まるから、一朔望月

に直接曝露せらるゝのであるから、表面の温度は熱の蓄積の爲に益上昇し、攝氏の百度以上には達するであらう。是に反して十四日以上繼續する夜間の温度の降下は著しいもので、

攝氏零度以下百三十度乃至百六十度位であらうと想像せられてゐる。地球の寒帯に於ける最低温度は攝氏零下六十八度といふのが記録である。

月面の温度を直接に測定することは大に困難である。現今微少なる輻射を測定し得る巧妙なる輻射計は色々ある。是等を用ゐて月の輻射量を測定することが出来るのであるが、此場合にも困難なことがある。それは月の輻射は、自身の熱の輻射と、太陽の光熱の單なる反射との混合であるからである。此二つを完全に分けることは出来ない。此區分さへ出来れば、月面の温度は非常に精密に解る筈である。

第十四圖



それをなす適當の機會は月食の際を利用することである。月食皆既の際には月は全く地球の陰影中に入るのだから、太陽の光を全く遮断せられる。陰影中に入る前は満月の際であるから、太陽の光を正面から受けて

ゐたのである。そこで地球の陰影中に月が入ると直に其輻射を測れば大體の温度の見當をつけることが出来るのである。所が月は太陽の光を受けないと、甚だ速に冷却するものである、月が地球の陰影を通過するには約二時

間を要するが、其間に月面の温度は非常に下降して、月食の終り頃には月の輻射熱を殆んど感ずることは出来ない様になる。

つまり月面の氣候は酷暑と酷寒との二期が交互に来るものであることは明らかである。

斯の如き世界には、地球上に繁殖せるが如き動物植物が生存し得ないことは疑を容れない。月は死せる世界である。未來にも復活する見込は到底あるまい。

七十九 月の表面

月の表面は空氣や水の爲に侵蝕されてゐないから、一般に凸凹が著しく、山も谷も頗る峻峻である、けれども所々に、昔の觀測者が海と名づけた廣い平滑な表面がある。是等は多少低い平地で、表面の色が他の部分よりも少し暗黒であるから、海の様な外觀を呈したものであるが、實際は水も何にもないのである。其重なるものは前頁の圖に示した通りである。此圖は満月の際の月の寫眞と、其重なる形象の説明である。普通の望遠鏡では倒さに見ゆるから、肉眼で見た場合と反對になつてゐる。俗に兎や蟹に譬へらるゝ部分が所謂海で、比較的平滑な面である。

月には山脈は甚だ少ない。圖の下方に示すアペニン山脈、アルプス山脈、コウカサス山脈等が著しいもので、皆歐洲の山脈の名を取つて付けたものである。其外に大小無数の噴火口がある。是等は皆有名なる科學者の名を付けてある。チホ、コペルニクス等は其内の最著しいものである。

天文學解説 (二〇)

理學士 本田 親二

八十 月の山

月面には大小合せて約十個の山脈がある。

是等の山は非常に峻嶒なもので、幅の割合には非常に高い。月には海面がないから、山麓の平地を標準にして

測るとそれから山頂までの高さが二萬尺以上に達する

山が少なくない。

地球上に同様な恰好の山を作つたら

海抜八萬尺以上になるであらう。

かく月の山が一般に高いのは、前に述べた様に、一は表面の重力の小なる爲と、一は空氣や水の侵蝕作用のない爲であらう。

二十四第 (圖の近附スルイブオテ)



月の山の高さは、その山麓の平地の上に投ずる影の長さによつて測定するのである。月の大きさは別つてゐるから、望遠鏡又は寫眞に現はるゝ山の影の長さを適當な尺度で現はすのは容易である。次に月の其部分に對する太陽の光線の傾角を、月の天空上の位置によつて計算すれば、山の高さは三角術で容易に求められる。月には空氣がないから、山の投

出した第四十一圖はアペナイン山脈の附近の月面の寫眞である。此圖は上が北で、第四十圖とは逆になつてゐる。中央の右方から、

影は其輪廓が非常に明瞭である。又地球の様に黄昏の現象がないから、夜と晝との境は判然と區別せられ、影の部分は完全に暗黒である。前號の終りに

左下方に向つて聳ゆる連峰がアペナインで、上方に少しく見ゆるはコウカサス山脈の一部である。此連峰は山麓の高原からの高さが二萬尺以上の高山が連續してゐる。圖に於ては日光は右方から照してゐるので左方に山の影がある。上方にある三つの噴火口の影も同様で、其長さによつて山の高さが解るのである。

八十一 月の噴火口

月の表面に於て最も著しい奇怪なものは所謂噴火口と稱せらるゝ圓形の凹所である。其數は月の半面に三萬以上あり、其直徑も小なるものは數千呎に過ぎないが、大なるものは百哩以上に達する。五六十哩の直徑のものは珍らしくない。月の中央に近きトレミー噴火口(第三十九圖參照)は直徑百十五哩に達する。左方にあるテオフィルスは直徑六十四哩、深さ壹萬六千呎乃至壹萬九千呎に達する。第四十二圖は其寫眞であるが、右方からの太陽の光が内部の凹所に邊緣の影を投じてゐるのが明瞭に見ゆる。又此噴火口の中央にある尖峰は月面に於ても頗る珍らしい峻嶒な山で、左方に投じた影によつて其形を察することが出来る。第四十三圖は月面上の最雄大なる噴火口コペルニクスの寫眞である。其直徑は約六十哩であるが、裾野は恰も熔岩の流の如く四方に廣がつて、満月の際にはチホと相對峙して著しく美觀を呈する。邊緣の底よりの高さは壹萬二千呎に達し、中央の小丘は

約二千呎の高さである。

是等の噴火口は皆一時に出来たものでなく、次々に生じた所もあるらしい。其證據には大きな噴火口の内部又は邊緣の部分に小噴火口が出来て居るものが所々にある。第四十四圖はクララ

イウス噴

火口の附

近の寫真

であるが

其内部に

九個、邊

縁に七個

の小噴火

口を認め

ることが

出来る。

是等の小

噴火口は

大噴火口

の出来た

後に生じ

たことは確かであらう。一般に新しい噴火口は、古い噴火口よりも底が深く、縁が峻しく高いものが多い。又大噴火口は其中央に非常に峻峻な尖峰を有するものが多い。第四十二圖のテオフィルス、第四十三圖のコペルニクス等の尖峰は、其影によつて峻峻なる形を推

第 四 十 三 圖 (コペルニクス附近の圖)



することが出来る。

月の噴火口なる名稱は只地球上の噴火口と多少類似の點があるから名づけたので、現在噴火してゐるのでもなく、又過去に噴火した證據がある譯でもない。月の噴火口には熔岩の流れた

痕跡も殆

どなく、

又中央に

尖峰を有

すること

も地球の

火山に類

のないと

ござる。

又月の噴

火口の内

部は深く

廣いので

到底邊緣

の隆起部

を崩して

入れても堆め盡くすことは出来さうもない。孰れにしても、地球の火山と同様な原因で生じたとは思はれない。

月の噴火口の起原の問題は只今でも確定したとは云はれない。けれども最有力なる假説は、瓦斯爆發説である。此説は月の内部にある

多量の瓦斯の集積が爆發した爲に、其跡が穴の様になつたと想像するのである。無論斯の如き爆發は近い過去の事ではない。遼遠なる過去、月が全く固態とならずして、高熱を有する液體を内部に保有した數十億年乃至數千億年の前の出来事である。其頃月が漸次温度を失ひて收縮する際に、内部に發生した多量の瓦斯が漸次表面に近づき、一定の壓力の深さに達すれば、月面の小重力に勝つて爆發し、表面に大穴を明けたと想像せられぬことはない。斯様な爆發の際には、其暴力に比例して周圍の岩石は高く廣く放出せらるゝてあらうが、其大部分は瓦斯の逸出した穴の附近に落ちるであらう。殊に月の表面が完全な固態でなく、高熱の爲に多少粘態の性質を持つて居たと考ふれば、其場合には爆發の爲に飛散する物質は少くして、只外縁に推しのけらるゝに止まるであらう。そうすると月の噴火口の様なものになるだらうと想像せられる。けれども噴火口の中央にある尖峰の起因は未だ明瞭でない。又此説はチホ及びコペルニクスの周圍に著しい放射線の存在によつてに於ても確かめられてゐる。此線に關しては、次節述べることにしやう。

此説の外に噴火口の起原に關する第二の説がある。是はギルバートの提出した説で、月面に落下した大流星の衝突の爲に噴火口が出来たといふのである。此方法で直徑百哩の大

噴火口を作る爲には、少くとも直径十哩内外の大流星の落下を必要とする。又此説に従へば、噴火口が凹所となることも、其縁を構成せる物體で内部を満たすことが出来ない理由も明らかである。けれども此假説に對して重大なる反對をなす

第十四圖 (クヱラウイヌウチホチ近附の圖)



事實は、噴火口の形が殆んど皆圓形であるといふことである。流星は必ずしも常に月面に垂直に落ちる者ではない、垂直に落ちた流星が圓い噴火口を穿つのは當然であるが、斜に月面を掠めた流星は圓穴の代りに、細長き楕圓形又は長き線條を月面に穿つべき筈である。けれども、其様なものは全く月面にない。又此説を眞とすれば、流星の衝突の際生ずる熱も、噴火口の特性を考ふる上に除外する

この出来ないものであらう。若し流星が地球の大氣に到達するのと同じ速度で月の表面に落下する者とすれば、其落下點附近の物體の一部を液化し、又は氣化するに十分なる熱を發生するであらう。其熱の爲に噴火口の内

部にある瓦斯の爆發を起して、中央の尖峰を隆起せしめたならうと考へることも出来る。若し月の噴火口が流星の衝突によつて出来たと説明すれば、

地球には何故に此種の噴火口が出来なかつたかと反問せられるかも知れない。地球と月とは其進化の期間を通じて常に接近してゐたものであるから、月が地球よりも多くの流星を受くることはあり得ない。それに地球上に流星の衝突の痕跡が残つてゐないのは、第一に

地球が大氣によつて保護せられる爲に、流星の大部分が其表面に達しないのと、第二に地球が其面積の四分の三を水で蓋ふてゐる爲とであらう。假とへ陸地に月に於けるが如き流星の衝突が起つたとしても、空氣と水とは表面の岩石を分解するから、數百萬年の後には其證據は全く埋滅せられるであらう。けれども月には大氣も水もないから、岩石の表面は最初形成せられた通りに、永久に永久に保存せられるだらう。

流星説も理窟を附けると、以上述べた通り色々あるけれど、多少牽強附會の點が多いから、一般には最初に述べた瓦斯の爆發説が採用せられてゐる。

八十二 月面の放射線と龜裂

満月の際に月面の大噴火口、殊にチホ及びコペルニクス等を中心として、四方に直線狀に放射せる線條を見ることが出来る(第三十九圖及び第四十圖参照)。殊にチホから出た放射線は殆んど一千哩の距離に達して、非常な壯觀を呈する。是等の放射線は山や谷や他の噴火口等によつて少しも妨げられないで、夫れ等を貫通して進んでゐる。此線には影がない所から考へると、線の兩側の岩の表面と同じ水平面上にあるものと考へなければならぬ。それで満月に近づくと、線は明瞭になる。半月の頃に見ると、チホはクラヴィウスの四分の一にも足りない小噴火口で(第四十四

圖)、放射線が見えない爲に、極めて平凡なものであるが、満月の際には周囲の同様な噴火口が皆其影を失つて不明瞭になるのに、チホのみは白色の著しい色を發して輝き、周囲の噴火口を貫通する放射線を出すのは餘程不思議である。

或人は此放射線を熔岩流であらうと想像した。なるほどコペルニクスの視野の放射線は、或は熔岩流として説明されるであらうが、チホの場合には、此説明は如何にも困難である。熔岩流とすれば、多くの凹凸ある噴火口を越えて一直線に放射することはない筈である。

第二の説は、噴火口の爆發の際、月の表面の岩石に生じた大龜裂が放射線を形成するものであるといふのである。けれども只龜裂だけでは深い谷となる譯で、影が生じなければならぬ。そこで谷底から白い熔岩が湧き出して谷を埋めて平たくしたのであると説明すれば一通りの理窟は附くが、詳しいことは何も解らない。

此外に月面には長い龜裂が澤山ある。是等は大抵一哩内外の幅で、深さは四分の一哩位、長さは時には百五十哩に達するものもある。是等の数は大小一千以上もあらう。地球上で強ひて類似したものを求むれば、先づ北米コロラド州にあるコロラド河の侵蝕作用によつて生じた大峽谷の様なものである。けれども月には水がないから、其龜裂とコロラド

の大峽谷とは其成因が全く異なるであらう。多分月面の龜裂は瓦斯の爆發作用か、又は表面の冷熱の差の餘りに烈しい爲に生じたものであらう。

放射線も龜裂も地球上に全く類のない珍奇な形象である。地球に最も近い、地球と其起原を同じくしてゐる月でさへ、こんなに根本的の相違があることから考へると、他の遼遠なる天體に就て想像し類推するのは、餘程僭越で、著しく危険なことであらう。

八十三 月面の變化

月の表面は、望遠鏡の發達以來、何等の著しい變化もない。けれども少しづつは漸次變つて行くだらうと想像されてゐる。今迄最も著しい變化と想像されたのは、靜穩海中の一小噴火口リンネに關するものである。約一世紀前までは此噴火口は圖に載せてあつた

が、一八六六年シュミットの觀測した際には全く見えなかつた。所が此頃は又、昔の様に見える様になつた。此變化は實際噴火口が消滅して、再び現はれたものではなからうかと一般に考へられてゐる。月の山の模様は日當りの具合で時々刻々に變化して行く。然るに一ヶ月は一日の整数倍ではないから、同じ陰曆三日の月でも、毎月多少位相の差がある。又月の軌道は黃道に對して絶えず動搖するものであるから、月が丁度同じ様に見えることは、餘程長い年月を経なければ、二度とあり得な

いことである。それで或時期に日當りの變化の爲に小さな噴火口が見えなくなることも別に不思議ではない。

現今の月は、太陽に面せる部分が一時的に熱せらるゝ外は全く冷却して、爆發作用なども全く止んでゐることは疑の餘地がない。又表面に空氣も水もないから、現今に於ける月の變化の原因は、前に述べた晝夜の氣候の變化によるものと、地球が月に及ぼす潮汐作用とであらう。潮汐作用と云ふのは、月の内で地球に近い部分と遠い部分とは、地球の及ぼす引力の強さが違ふので、其結果として月は前後に引延ばされる様な力を受くるのを指したのである。

けれども是等の原因も著しい變化を起すことは出来ない。月は全體として進化の過程を通り盡して枯死した天體である。大氣なく雲なき爲に、灼くが如く月面に落つる長い晝の日光と、完全なる暗黒と極端なる寒冷とに支配せられる長い夜との交代が、月面の變化の總てであらう。

天文學解説 (二)

理學士 本田 親一

八十四 月面の觀測に就て

望遠鏡に最も美しく現はれるものは月である。他の惑星や恒星は距離が甚だ大であるから、月の様に大きく見えない。太陽は略ぼ月と同じ大きさに見ゆるけれども、其表面は黒點以外に特に眼に付くものはない。けれども月には山脈や噴火口や平原などが望遠鏡によつて手に取る様に明瞭に見える。地球以外の別の世界の印象を最も明らかに腦裡に銘するものは月である。

普通の人が初めて望遠鏡で月を見た時に驚くのは、月の全體が餘り大きく見えないのに其表面の山などが非常に鮮明に見えるといふことである。望遠鏡に映ずる月が餘り大きく見えないのは、勿論吾人の眼の錯覺であつて、何も比較するものがないから、肉眼で見ると同様で考へて小さく思ひ違へる爲である。吾々は錯覺であることを知つて居るに關はず、矢張りそう大きく思へないのは甚だ興味あることである。五十倍の倍率の望遠鏡で見ても、それだけを見ると三四倍位にしか思へないものである。五十倍の倍率と云へば、長さが五十倍となるのであるから、面積は二千五百倍となるのである。實際望遠鏡の

像が大きいことを理解するには、一方の眼で望遠鏡を見ながら、他方の眼を開いて實際の月を望遠鏡の外から眺め、兩者を比較すれば其間に著しい差のあることが明瞭になる。

望遠鏡の倍率は其接眼鏡によつて自由にすることが出来る。よく此望遠鏡で見ると月がどれ位近く見えますか、と聞かれることがあるが、それも接眼鏡の倍率次第で定まるのである。つまり接眼鏡を取更へると倍率を大にし又は小にすることが出来るから、月が遠くも見え、又近くも見える。假へば直徑四吋位の筒口レンズを有する望遠鏡ならば五十倍乃至百倍位の倍率が丁度よろしい。筒口レンズの直徑に不相應な倍率の接眼鏡を用ゐると、像がぼんやりする。今百倍の接眼鏡を用ゐれば、月の距離は實際の百分の一に見ゆる譯で、つまり二千四百哩の所に月があるのと同様に見える。又大きな望遠鏡を使つて千倍の接眼鏡にすれば、二百四十哩の所まで月を引寄せることが出来る。けれども實際の月を二百四十哩の距離から見たのに比すれば、種々の原因によつて不明瞭になるのを免れることは出来ない。

實際に於て餘り望遠鏡の倍率を大にすると、月全體が一目に見えなくなるから、最も手頃の所は四五吋位の望遠鏡で五十倍乃至百倍の倍率を用ゐることである。百倍にしても月全體は一目に見互しにくい、それ以上の倍

率では一部分だけを精査するにはよからうけれど、月面の大觀を得る爲には不適當である。百倍の倍率でも、面積は其二乗即ち壹萬倍となるから、山脈でも噴火口でも細部までよく見える。

よく月を眺むるには満月の際が最もよからうと思ふ人が多いが、これは誤である。満月の際には地球に面せる月の表面を太陽が直上から照すので、山も谷も殆んど影がなくなつて、皆一様に輝く様になる。寫眞を撮つて見ると、影の價値がよく別るものであるが、人の面などは或は左右から光線を送つて一方を多少影にしないと引立たない。正面の光線で映ると、鼻が低く、顔が平たく寫るものである。月面も同様で満月の際は全體が平たく見え、山脈も噴火口も影がない爲に明瞭に見別けることが出来なくなる。それで最も適當な觀測の時節は上弦の前後である。つまり舊曆の七日頃から十二三日頃までの月が見頃である。其時には縁に近い山々は皆長い影を月面に投ずるから、全體が非常に明瞭に見える。けれども満月の際にだけに特に見ゆるものは放射線である。チホの放射線は十三日頃の月から漸次現はれて来る。

前號の第四十二圖は満月と下弦との間に寫したもので、丁度テオフィルス(圖の中央より少しく下にある大噴火口)の少し左の方まで太陽の光線が届いてゐて、山の影は右方よ

りの光線によつて左方に投ぜられてゐる。

第四十三圖は下弦の月の一部で、寫眞の右方から太陽の光線が来て、左方が陰影になつてゐる。此寫眞は比較的廣い範圍を含ましたので、比例尺は他に比較して小である。圖の中央より少しく左下にある大噴火口がコペルニクスで、其放射線の一部は中央より右上方及び右下方に見える。次に中央より右下にある小噴火口にはケブレルで、四方に放射線を發してゐる。又右下隅にある二つ重なつて白く見える噴火口は、アリストターカス及びペロドタスである。コペルニクスの左下方にあつて暗黒中に邊緣のみ白く現はれたのがエラトステネスで、コペルニクスの右上方にあるのがラインホルドである。

第四十四圖は舊曆九日頃の月の一部である。中央の上部にある楕圓形の最大なる噴火口がクラヴィウスで、太陽の光は左方から來てゐる。中央より少しく左下方にある、クラヴィウスの四分の一位の面積を有せる深い少し楕圓形になつた噴火口がチホである。チホの右上、クラヴィウスの右下にある大噴火口はロンゴモンタヌス、其下にあるのはウィルヘルム一世等である。

八十五 月の地球に及ぼす影響

月は太陽の光を反射して地球に與へる。次に月は其引力によつて地球の海面に潮汐の現象を起す(潮汐の現象は次の萬有引力の章で

述べることにする。)普通の人の觀察することの出来る影響は以上の二種に限る。此外に地球の位置を變化せしめて磁針の方向を少しく變化せしむる様な微細な影響はあるが、是等は極めて精密な装置を用ひなければ知ることが出来ない。

けれども俗間には種々の迷信がある。或は月の位相と雨と關係があるとか、或は西洋では或穀物は月の或位相の時に植えるとかよく實るとかいふ様な、科學的に説明の出来ない事を信ずるものが多い。前に述べた様に月が地球に與へる光熱の量は太陽の與へる量に比すると、殆んど取るに足らないものである。著しい氣候の變化を起す原因となることは出来ない。既に百年以上に亘れる天候の記録を調査しても、月の位相と天氣との間に何等の確實な關係もないといふことが證せられてゐる。

第六章 萬有引力

八十六 運動の法則

地球や月などの様な天體の運動を研究するには、先づ一般の物體の運動の法則を知ることが必要である。希臘の古代から種々の學者が運動の法則を研究したけれども、正確なる結果を得なかつた。十七世紀の初に伊太利のガリレオは大に物體の運動を研究し、從來の學說を變更した所が多かつた。けれどもまだ

運動の法則を一般的に完全な形で發見することとは出来なかつた。

然るにニュートンは偉大なる天才を以て、此問題を根本的に研究し、ガリレオが僅かに認められた途を完全に開拓した。ニュートンの完成せる運動の法則は三個より成り、彼の大著「プリンシピア」に於て最初に發表せられたものである。

第一法則。物體は外力の作用を受くるにあらざれば、静止又は直線上に沿へる等速運動の状態を繼續す。

第二法則。運動の變化の割合は與へられたる方に比例し、其變化の方向は作用せる力の方向と一致す。

第三法則。作用あれば必ず等しくして反對なる反作用あり。即ち二物體の相互作用は常に等しくして反對の方向に起る。

ニュートンは此三法則を公理と呼んだ。それは多分、以上の法則を更に簡單な原理から證明することは出来ないけれども、經驗によつて彼には自明の理であると信じた爲であらう。けれども此法則は、部分の和が全體に等しいといふ様な數學の公理と同様に考ふることは出来ない。斯の如き數學の公理は正常な精神を有する人ならば皆否定することの出来ないものである。けれども運動の法則に就ては、希臘以來ガリレオに至るまでの總ての學者が皆ニュートンの法則とは多少異なつた考を

抱いて居たのである。假へば、彼等は物體は力の作用を受けなくて落ちるものと信じ、又落體は一般に直線狀でなく圓形の途を取つて運動せんとするものであると信じてゐたのである。ニュートンの法則一度出て、是等の謬見は朝日に照らされた淡雪の如く消えた。蓋しニュートンの法則の貴重なるは、總ての天文學上の現象及び物理學上の現象が此法則を基礎として説明し得らるゝ點にある。

第一法則は明瞭ではあるが非常に抽象的法則である。第一に外力の意味を考へなければならぬ。一般に物理學で云ふ力の概念は此運動の法則から導かれるものである。第一法則は力なき場合の物體の運動の狀態を述べ、第二法則は力の働く場合の物體の運動の狀態を述べたものである。力といふものは抽象的なもので肉眼には見えない。見ゆるものは物體の運動だけである。そこで運動の法則は物體に力が働いてるかどうかといふことを見分ける方法を吾人に與ふるものである。力の定義も其の點から導かれる。即ち、**力とは静止せる物體を運動せしめ、運動せる物體の運動の方向又は速さを變ずるものなり。**と定義せられるのである。

第一法則の第二の難所は静止及び運動を決定する方法である。地球は毎日自轉しつつ公轉するから、地球に對して静止せるものは眞の静止とは云へまい。太陽系全體も毎秒十數

哩の速度で他の恒星に對して運動しつつある。總ての恒星も自身の運動を有しないものはない。宇宙の物は皆動いてゐる。つまり總ての恒星は相對的に運動してゐる。吾人は如何なる方法を以てするも其間に絶対静止の點を發見することは出来ない。絶対静止の點がなければ運動も静止も皆相對的のものとなつてしまふ。ニュートンは其心中では、運動の法則は絶対的の法則であるといふ自信を以てゐたので静止及運動を絶対静止の點を標準として考へたのである。けれども其考へは實際問題を取扱ふ場合には全く無意味である。そこで此問題は其後種々の議論があつたが、最近の相對律の概念は此法則が相對運動の場合にも適用せらるゝことを示した(多少の制限はあるが)ので實際の問題としては深く追及する必要がなくなつた。是等の問題の詳細は本稿の範圍外であると思ふから省略しやう。

第一の法則の第三の難點は等速運動の決定である。直線は幾何學で定まるとしても、直線に沿つて等速運動をなすには等時間に等距離を運動しなければならぬ。距離は人間の作つた長さの單位を用ゐて、物差で測れるが時間の方は困る。前に時の章に於て述べた通り等時間なるものは等速運動によつて定めるものである。時間が基で等速運動を定めたものでは無い。其點から考へると第一法則は等時間の定義をも與ふる基になることになる。

かく考へを進めると第一法則は非常に廣汎な關係を有するもので、實驗の結果から其儘導き出されたものではないことは明かである。ニュートンの理性は實驗の結果からして、結果以上の神秘の域に進んで宇宙の根本原理に觸れたと考へなければならぬ。

第二法則の「運動の變化の割合」と云ふのは現今の語では運動量の變化といふ方が適切である。運動量とは物體の質量と速度との積である。一般に質量が不變であるとするれば、或物體の運動量の變化は速度の變化に歸することとなる。速度の變化する割合は加速度であるから、其加速度が力に比例するといへばよろしい。又其加速度の方向は力の方向と一致するのである。速度や加速度を定めるにも時間を要するから、第一法則に就て述べた様な色々な問題が第二法則にも起る譯である。

第一及び第二法則は一物體が或力の作用を受けた場合の運動の有様を述べたものである。けれども第三法則は二つの物體が互に力を及ぼす場合の運動の法則である。力は一般に二物體間の作用として起ることが多いから、第三法則も決して特殊の場合の運動ではない。此法則によれば、一の物體が他の物體の運動の狀態を變化せしむる場合には、自分も必ず其運動の狀態を變化することを現はしてゐる。其變化の割合は、前に述べた運動量の變化に相當するのである。つまり兩物體の

運動量の變化は相等しくして、反對の方向に起るものである。實際に於ては、宇宙間の各物體は他の總ての物體から力を受けて居るので、二物體のみが相互作用を及ぼす場合はない。けれども相互作用のみが特に著しく現はるゝ場合に就て觀察すれば大體の見當はつのである。假へば二隻の小舟を並べて、一人の舟の人が他の舟を推して兩舟を離すとき、推される舟のみ動かないで、推す人の舟も同じだけ後退する様な場合である。

運動の法則は直接間接に幾多の實驗に由て確であることが證明せられた。最近に速度が著しく大なる物體に對する此法則の普通性は多少疑はれて來たが一般の運動に就ては十分精確で疑の餘地がない。相對律の研究は此法則の一種の革新ではあるが、此法則も多少意味を新しくして其儘使用せられる。一般の天體の運動及び地球上の諸物體の運動を説明するには此運動の法則は完全なものである。

八十七 ケプレルの法則

ケプレル(一五七二—一六三〇)に關しては前に月報に於て其傳を詳述したから、茲には彼の法則發見の次第だけを重複を厭はず、順序として記さうと思ふ。

ケプレルは獨逸の人であつたが、其當時の有名なる天文學者たる丁抹のチホ・プラーエの弟子になつた。チホは自己の觀測した火星の位置に關する數年分の記録をケプレルに托

して、火星の運行の法則を研究する様に彼に頼んだ。其後間もなくチホは死んだので、ケプレルはチホの殘した精確な火星の位置の觀測録の研究を始めた。ケプレルも始めは古來の傳説的説明法によつて離心圓の結合を用ゐて火星の運行を説かうとしたけれども、中々觀測の結果と合はなかつた。そこで色々考へた末に、火星の軌道は離心圓等の結合でなくして楕圓であらうと想像し、其假定の下に計算した所が、チホの觀測の結果と旨く合つたのである。太陽は其楕圓の焦點にあることも直に別つた。ケプレルは其結果を擴げて總ての惑星は太陽を焦點とせる楕圓を畫き、月は地球を焦點とする楕圓を畫くと述べた。彼は其證明はしなかつたけれども、後に至つて是等の事は觀測上證明せらるゝ様になつた。

次にケプレルは火星が其楕圓の軌道上を運行する法則を發見しやうとして非常に複雑な計算をやつた。其結果として火星と太陽とを結ぶ直線即ち動徑は其長さの伸縮に關はず、等時間に等面積を蓋ひつゝ進むものであることを發見した。(第二十五頁二七節參照)

以上の結果は八年間の計算の賜として生れたもので、一六〇九年に大きな書籍となつて出版された。此書には非常に詳細に、彼が以上の結果に到達した道程が述べてある。彼が幾多の假説を作り熱心と希望とを以て細詳なる計算をなし、其結果が實際と合はないうて廢

棄した次第が明瞭に書いてある。

一六一八年にケプレルは第三法則を發見した。是は調和の法則と呼ばれるもので、惑星の太陽からの距離と其週期との關係を述べたものである。以上の發見が、ケプレルの惑星運行の法則と呼べるゝもので、一般に左の形で知られてゐる。

第一法則 惑星の軌道は楕圓にして、太陽は其焦點の一にあり。

第二法則 各惑星は、夫れと太陽とを連結せる動徑が、其長さの大小に關はず、等時間に等面積を蓋ふが如き運行をなす。

第三法則 任意の二惑星の週期の平方の比は、夫れ等の太陽よりの平均距離の立方の比に等し。

此法則に就て一つ注意すべきことは、ケプレルの研究は全く相對運動に就てのものである、といふことである。ケプレルは太陽を總ての惑星の軌道の焦點としたが、なる程地球から見れば、地球以外の惑星の運行はそう見える。けれども地球が太陽の周りを運行すると考へても、太陽が地球の周りに、地球を焦點とする楕圓を畫くと考へても結果は全く同様である。そこでケプレルの研究の結果だけては、太陽を中心とせる太陽系の外に、地球を固定せるものとし、太陽が他の惑星を引率しながら、地球の周りを運行する様な系統を考へても差支ないことになるのである。

天文學解說(二二)

理學士 本田 親二

八十八 引力の法則の根據

總て自然界の法則は或自然現象の生起する條件及び繼續する状態を簡明に叙述するものであるから、それを樹立する爲には實驗及び觀測に基礎を求めなければならぬことは明らかである。萬有引力の法則も二種の別々な觀測及び實驗の結果から誘導せられたものである。第一に、是はケプレルの發見した惑星運行之法則に基づくものである。第二に、是はレオナルド・ダ・ヴィンチやガリレオなどから開拓せられ、ニュートンによつて大成された運動の法則に基づくものである。

是等の二法則は前二節に於て詳述した通り、數多の人々の多年の苦心の結晶であるが、更に是等の法則を根據として萬有引力の法則を導くには偉大なる獨創力と精密なる數學的練達との結合に依らなければならぬ。天は空前の大天才ニュートンを生んで、此事業を成就せしめた。ニュートンの詳細なる傳記は數年前の本誌に書いたけれども、萬有引力の法則の發見に關係ある部分だけは順序上再述することにしやう。

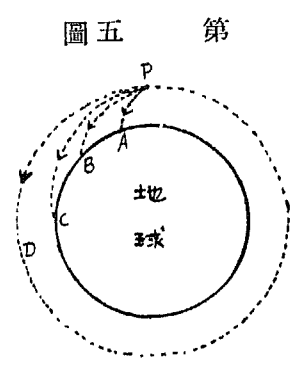
八十九 引力の法則の發見

アイザック・ニュートン (一六四三—一七二

七)は丁度其當時の曆で、ガリレオの死んだ年(一六四二)のクリスマスの日に生れた。(現今の曆法では翌年の一月四日に相當する。)一六六五年に彼はケンブリッジ大學を卒業したが、學生の時代から數學及び自然科學に於て異常なる才能を現はしてゐた。卒業後の彼は直に非常な知的活動を始めた。最初の二年の間に彼は二項定理を發見し、微積分法の基礎を定め、光の分析をなし、更に月が軌道上に支へらるゝ力は、物體を地球の表面に落下せしむる力と同じ性質のものではなからうかといふ考を起した。其頃英國では疫病が流行してゐたので、ニュートンはそれを避けて故郷のウールソルグに歸つてゐたが、彼は後年其當時を追懷して、故郷に於ける數年の生活は彼の生涯中の最大生産の時期であつたといふてゐる。

ニュートンは最初から運動の第一法則に對する確信を持てゐた様である。此法則だけは他と關係なく真先に發見したものでらしい。此法則を根據として彼の引力の法則發見の第一段が形成されたのである。運動の第一法則によると、力を受けない物體は直線上に等速運動をなさなければならぬから、月が外力の作用を受けて運動することは明らかである。地球を基として考ふれば月の運行の軌道は圓に近い楕圓である。地上の物體の運動と比較すれば、月の運動は抛射體の運動と似てゐる。

只月は速度が大である爲、何時までも地上に落下しないだけ異なるものらしいとニュートンは考へたのである。其關係は第四十五圖によつて説明される。



中央の圓を地球の表面とし、Pを表面より遙に上方の空中の一點と考へやう。

此所から物體を水平に左方に投射する場合を考ふるに、物體の初速度が小なる場合にはP Aの途を取りて落ち、初速度が稍大なる場合にはP Bの途を取り、或はP Cの途を進むてあらう。若し初速度が或程度以上に達すれば遂にP Dの如き途を取る様になつて、地面に落下しない様になるであらう。月の軌道は著しく地球から離れてゐるけれども、つまりP Dと同じ様な曲線であるから、抛射體と同様に考へられる。是れがニュートンの第一段の考で、今から思へば何でもない様なことであるが、初めて此點に氣付くのは天才でなければ困難なことであらう。

其頃ニュートンが庭にある林檎の樹の下に立つてゐた時に、熟した林檎が彼の面前に落ち

たのを見て、月が曲線の軌道を畫いて地球を廻るのも、林檎の落ちるのも同じ力の作用だらうと感付いた、といふ話がある。此説の眞偽は不明であるが、ニュートンの家の庭に林檎の樹があつたことは事實であるから、其實の落ちるのを眺めたニュートンの心に或種の共鳴を起した事だけは確かであらう。

斯の如く月が抛射體と同様に地球の及ぼす引力によつて運動するものと考ふれば、其次に研究すべきことは、其力が距離によつて如何に變化するかといふことである。若し月の軌道上の運行が地球の方に向ふ力によるものとすれば、惑星の軌道上の運行は太陽の方向に働く力の作用に依ると想像しなければならぬまい。ニュートンは此考に基づき、惑星の軌道を圓であると假定して、ケプレルの第三法則を數學的に變形することによつて、太陽から惑星の方向に働く力は其間の距離の二乗に反比例して變化するものであることを證明した。そこでニュートンは此結果を月に當拵めて見たのである。彼は地球表面に於ける重力の加速度は毎秒約三十二呎であること、及び月と地球との距離が約二十四萬哩であることを知つて居た。此外に月の週期と地球の大きさを知れば、地球表面に於ける地球の引力が、地球の中心よりの距離の二乗に反比例して月にも同様に働くかといふことを計算するのは容易である。所がニュートンが此計算をやる頃に

は地球の大きさが精密に測量されてゐなかつたので、其不確な材料を用ゐた結果は實際と一致しなかつた。そこで彼は此問題を放棄してしまつた。然るに其後十四年を経て佛國のピカールが地球の大きさを新しく測定した結果を得たので、ニュートンは再び前年の計算を繰返して、實際の値とよく一致することを確めることが出来た。

一六七九年に至つてニュートンは引力の法則に關する重要な證明をなすことが出来た。是は萬有引力發見史の第二期を劃する有力なる功績であつた。彼の證明した定理は下の如きものである。

常に一定點の方向に働く任意の力に依りて物體が運動するときは、其點と物體とを結ぶ動徑は等時間に等面積を蓋ふものなり。

彼は其逆定理も同時に證明した。即ち、一定點と物體とを結ぶ動徑が等時間に等面積を蓋ふが如き運動を物體がなすときは、其物體は其點の方向に常に働く力に依りて運動するものなり。

此結果によれば、ケプレルの第二法則は、惑星が常に太陽の方向に働く力に作用せらるゝことを示すことになる。斯の如く一定點に向つて常に働く力を向心力と名づける。引續いてニュートンは次の重要な結果を證明した。

一、物體が向心力の所在を焦點の一とせる

橢圓上を運動するときは、其軌道の各部に於ける力の大きさは其焦點よりの距離の二乗に反比例す。

此結果とケプレルの第一法則とから、總て惑星に働く力は、太陽よりの距離の二乗に反比例するものであることが別る。又ケプレルの第三法則は、前に述べた結果によつて、若し各惑星の太陽からの距離が皆等しければ、各の受くる加速度も等しいであらう、といふことを示してゐる。

ニュートンは以上の大發見に依つて名譽を博しやうといふやうな野心もなかつたので、直に結果を發表しなかつた。其頃フック、レン及びハリー等も向心力の問題を研究してゐた。所がハリーは遂に、ケプレルの第三法則から、惑星の軌道を圓と假定して、太陽に向ふ惑星と太陽との距離の二乗に反比例することを證明し得た。彼はフック及びレンに此結果を告げて、斯の如き向心力に作用せられて運動する物體の軌道は一般に如何なる形狀でなければならぬかといふことを研究したが、三人とも此問題を解くことが出来なかつた。それは一六八四年の事であつたが、其年の暮にハリーはニュートンを訪問して此事を話した所が、ニュートンは其問題の正しい答を彼に示した。そこでハリーはニュートンの偉大なる天才を認めて、彼の後半世をニュートンの發見した諸法則の實地的應用に捧げたのである。彼

はニュートンに勸めて、其発見の結果を著書にして出版させることにした。

ニュートンの大著「自然哲學の數學的原理」は其結果として世に現はれた。此書は普通略して「プリンシピア」と稱せらるゝもので、一六八五年から八六年にかけて漸く脱稿し、一六八七年七月に發行せられた。此書中に現はれた大発見の梗概を簡単に述べるのは中々難かしい。殊に至る所に散見するニュートンの偉大なる天才の閃きによつて照らされた思想は、それを略叙しては到底本來の妙味を現はすことは出来ない。

先づ約二十頁の緒言に於て、彼は質量、運動量、慣性、力、運動の法則等を定義して、それ等を確めた彼の實驗に就て述べてゐる。それから第一卷に於て、彼の運動の法則を基礎として、一般の物體を論じてゐる。其第十一章に天體力學中の最大難問の一たる月の運行論の基礎を論じた。後年グリニチ天文臺長エアリーは此章を評して、從來の物理的科學に關する論文中の最偉大なるものであると云つた。實際彼が幾何學方法によつて出した結果は、其後二百年の間殆んど發展しなかつたのである。第二卷に於て彼は抵抗ある空間内に於ける物體の運動及びそれに連關せる問題を論じた。

第三卷に於て彼は彼の得た數學的結果を太陽系の現象に當嵌めて論じた。彼は月が地球

に引かれ、諸惑星が太陽に引かれ、木星の諸衛星が木星に引かるゝことを示した後に、一般の萬有引力の法則を述べてゐる。即ち、太陽系内に於て各質點は總ての他の質點をそれ等の質量の相乗積に正比例し、其間の距離の二乗に反比例する力を以て吸引するものなり。

ニュートンは此引力の原因は別らなないと述べてゐる。是は今もよく別らない。相對律の研究によつて、萬有引力はエーテルの縦波動であらうといふことになつてゐるけれども、此説も尙議論の餘地が多いやうである。又ニュートンは太陽系に働く力として萬有引力を考へたけれども、今は太陽系以外の恒星系にも同様に於けるゝことは明に證明せられてゐる。

九十 引力の法則の價值

或一般原理の價值は二個の規準に依つて定めることが出来るやうである。第一は其原理の包攝し得る既知の現象の數が多いか少ないかといふことである。第二は其原理が未來の物質界の状態を如何なる範圍まで豫言し得るかといふことである。此二個の規準の孰れを考へて見ても、萬有引力の法則に匹敵するものは殆んどないといふことが出来る。ニュートンは「プリンシピア」の中で、太陽系中の總ての運動の現象、各星の形狀、及び潮汐の現象等は盡く引力の法則から誘導し得るものであることを示した。そこで彼の後繼者は此法則

を實地に應用するだけで種々の重要な発見をなし得たのである。吾人が太陽系の將來の進化を研究する時に、此法則に依らずしては各惑星の運動の將來を知ることが出来ない。萬有引力の法則の重要なことは、其當時及び以後の學者の批評によつても察することが出来る。有名なる獨逸の學者ライブニッツは哲學者として、又數學者として微分法を發見してニュートンと覇を争ふた人であるが、ニュートンの功績に就て「世界開關以來ニュートンの時代までの數學に就て者へると、ニュートンの成果は全體の半分以上である」と云ふた。天體力學の大家で、佛蘭西の偉大なる數學者の一人たるラグランジュは「ニュートンは空前の大天才で又最も幸運な人であつた。如何となれば吾人は世界の根本法則を一度以上發見することが出来ないからである」と云つた。英國の科學者で科學史の著者たるヒューエルは「萬有引力の法則は其中に含まるゝ發展の程度、其包攝する真理の範圍及び其真理の根本的に於て充足的なる點を吾人が考ふれば、比類を絶せる空前の最大なる科學的發見であることは疑なきことである」と述べてゐる。是等の讚辭とニュートン自身が其真理を得んが爲め努力を評價した語を比較して見ると甚興味がある。彼は次の如く述べてゐる。「世間の人が私がどう見えるか知らないが、私自身には私が海岸で遊んでゐる兒童の様にしか思へな

い。私は時々普通のものよりも滑かな小石や美しい貝殻を見出して楽しんで居るが、眞理の大洋は全く発見されないで私の前に横はつてゐる。是は蓋し既知の世界と未知の世界との大きさを比較したニュウトンの偉大なる精神の眞率なる告白であらう。

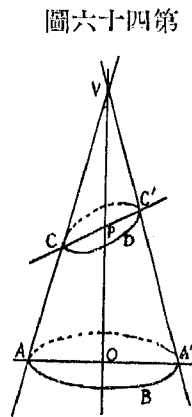
九十一 引力によりて運動する物體の軌道の特性

萬有引力の法則を諸天體に應用して其運行の狀態を豫測するには複雑な數學的計算を必要とするので、其次第は本編の範圍外である。斯の如き豫測の結果は、實際の觀測の結果と比較せられて、計算に使用せる材料及び根本法則の適不適が試験せられるのである。萬有引力の法則は幾萬の觀測の結果と相俟ちて益確實なものとなつた。

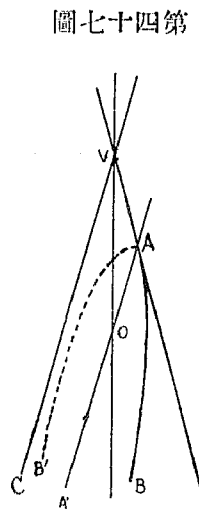
是に就て起る最初の問題は、萬有引力の作用によつて運動する物體の畫く軌道の一般の形はどんなものであるか、と云ふことである。ニュウトンは「プリンシピア」の中で其問題を解いてゐる。其結果によると、物體の最初の速度の大小如何に關はず、其軌道は常に圓錐曲線である。圓錐曲線は圓錐を任意の平面で切つた截斷面の邊の現はす曲線である。

最簡單なる圓錐曲線は圓である。是は圓錐と其軸に垂直なる平面との交線である。平面が少し圓錐の軸と斜に交はれば、其の交線は橢圓となる。若し平面が圓錐の一側に平行す

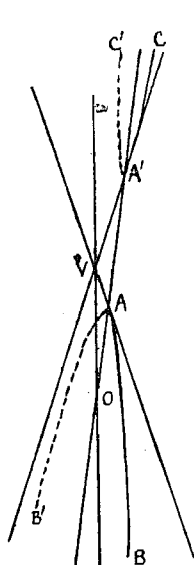
れば、其交線は拋物線となる。更に軸と平面との傾向が減少すると、交線は雙曲線となる。第四十六圖のA'VA'は圓錐で、OVは其軸で



圖六十四第



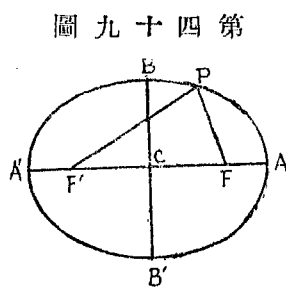
圖七十四第



圖八十四第

ある。Oに於て軸に垂直なる平面による切口はA'BA'なる圓となる。又Pに於て軸に斜なる平面との交線はO'D'C'の如き橢圓となる。

又第四十七圖に於て圓錐の一邊VCに平行なるA'A'なる直線を含む平面による交線は、B'A'B'の如き形となつて拋物線となる。次に第四十八圖に於て、A'A'の如く更に傾角の小なる直線を含む平面によつての圓錐の切口は、V即ち圓錐の頂點の下方に於て交るのみならず、又頂點の上方の圓錐の部分と交はるので、曲線は雙方に別れる。是が雙曲線である。



圖九十四第

とし、中心を通る直徑中最長なるA'A'を長徑と名づけ、それに垂直なるB'B'は最短なる直徑であるから短徑と名づけられる。F及びF'は焦點と呼ぶ、點で、橢圓上の任意の點Pと焦點とを連ぬる二直線FP、F'Pの和は常にA'A'の長さに等しいといふ性質を有する。

圓の性質は別に説明する程のこともないから、先づ橢圓の性質から説明しやう。

第四十九圖は橢圓の圖である。其中心をC

天文學解說 (二三)

理學士 本田 親二

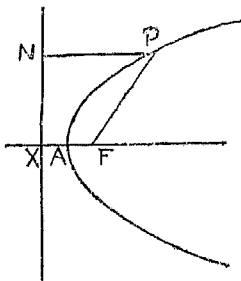
次に楕圓の離心率と呼ぶものは、 F 、 C と A との比である。是を長徑及び短徑の長さを以て表はせば下の様になる。

$$\text{離心率} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

離心率が大きである程、楕圓は扁平になるものである。反對に、離心率が小である程、楕圓は圓に近づくもので、離心率が零となれば全く圓となるのである。

次に拋物線は第五十圖に示す様な曲線である。 XAF の直線は楕圓の長軸に相當するもので、拋物線の軸と呼ばれる。其上の F は焦點である。又軸に垂直なる直線 N は準線、 X は準線と

第五十圖



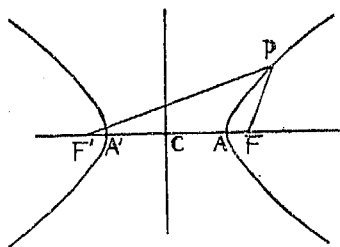
と呼ぶもので、拋物線上の任意の點 P より焦點までの距離 PF は常に其點と準線との距離

の、 P は焦點である。又軸に垂直なる直線 N は準線、 X は準線と

PN に等しいのが特性である。拋物線の二本の枝は上下共無限に廣がるものである。又拋物線は、楕圓の一の焦點が無限の遠方に去つた極限の場合である。考へてもよろしい。實際非常に細長い楕圓の一部は、拋物線と假定しても差支ない場合が多い。彗星の軌道は其一例である。

次に雙曲線は對稱の位置にある一對の曲線であつて、第五十一圖に示す様なものである。此曲線の四つの枝は無限に擴がるものである。ある A 、 C 、 A' は横軸と呼ばれ、其上に焦點 F 及び F' がある。雙

第五十一圖



曲線の四つの枝は無限に擴がるものである。ある A 、 C 、 A' は横軸と呼ばれ、其上に焦點 F 及び F' がある。雙

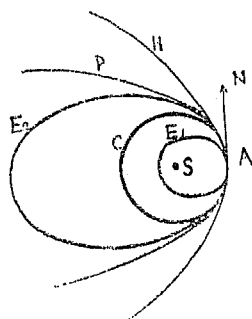
曲線上の任意の點 P より焦點までの距離、 P と P' との差は常に一定であるのが此曲線の特性である。 C は中心と呼ばれる。

九十二 軌道の形狀の各異なる理由

同じ太陽の引力によつて運行して居る惑星や彗星等の軌道が各多少の差異ある形狀を有するのは一定の理由がなければならぬ。一

般に斯の如き天體の軌道は其最初の位置、最初から持つて居た運動の方向及び速度に關係するものである。最初の運動とは、つまり太陽からの引力に關係なく、星自身に固有せる速度及び其方向を云ふのである。今其一例として一群の天體が太陽から一定の距離にあつて、太陽の方向と垂直なる方向に最初の運動の方向を有するものとし、其速度は大小種々であると假定して、其畫く軌道の形狀を考へやう。

第五十二圖



第五十二圖に於て、 S を太陽の位置とし、 A に最初一群の天體があつて皆 AN の方向即ち太陽の方向 AS と垂直な方向に一定の速度を有するものとしやう。天體の速度が或限度以下であるときには、 AN の様な楕圓を畫くであらう。更に初速度が大になつて、或特定の値に達すれば、天體は S を中心とする圓 C を畫くことになる。更に速度が大となれば、天

體は S を焦點とせる E_2 の様な楕圓の軌道を畫く様になる。更に初速度を増して或特定の値に達すれば遂に天體の軌道は S を焦點とせる拋物線 P を畫くことになる。其速度よりも大なる初速度では、軌道は H にて現はさるゝ様な雙曲線となるものである。

是等の軌道の焦點は皆太陽であつて、只初速度の差が軌道の形の差を生ずるものであるが、其速度の値の範圍は太陽からの距離 AS に比例して定まるものである。是等軌道の内で拋物線及び雙曲線を畫くものは、無限の遠方に飛び去つて再び太陽の近傍に歸することはない。又極端の場合として、天體の初速度が零である場合には、其天體は眞直に太陽に向つて落下するであらう。是は楕圓の短徑が零である場合である。次に初速度が殆んど無限に近い時には、物體は最初の方向即ち AN に沿ふて進むであらう。又物體の最初の速度の方向が、太陽の方向と垂直でない場合にも、軌道の形状は矢張り圓錐曲線で、其速度の大きさと形状との關係も前と同様である。

我太陽系に屬する總ての天體の軌道は皆圓錐曲線である。惑星の軌道は皆太陽を焦點とせる楕圓で、衛星の軌道は其所屬の惑星を焦點とせる楕圓である。彗星の軌道は細長い楕圓が多く、時には拋物線又は雙曲線らしいものもある。一般に惑星及び衛星の軌道は圓に近く、彗星の軌道は拋物線に近い形状を有す

る。かくニュウトンの引力の法則の結果は、實際の觀測と一致するものである。

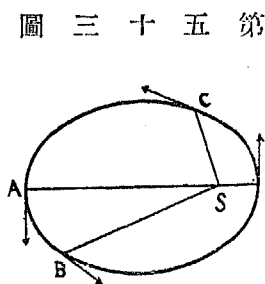
尤も太陽と惑星等との引力の作用と共に各惑星間にも引力があるから、惑星の軌道は完全なる楕圓ではない。昔は惑星の軌道は圓であつて、只惑星間の相互引力の結果楕圓となると信じてゐた人々があつたけれど、此考は勿論誤謬である。

又太陽系の平均は惑星相互間の引力に依るものであつて、若し其内の一惑星が或原因で消失すると、他の惑星は直に平均を失つて太陽に落下するだらうと想像する人がある。けれども此考も誤である。一の惑星が消失すれば、他の惑星の運行に多少の影響を及ぼすことは慥であるが、其影響は極めて僅かなものである。假へ地球以外の太陽系内の惑星が皆消失しても、天文學者以外の人々は地球の運行の變化を知ることが出来ないだらう。

九十三 軌道上の運行の状態

ケプレルの惑星運行の第二法則即ち所謂面積の法則なるものは、惑星の軌道の各部に於ける運行の状態を完全に説明するものである。けれども此法則は惑星の運行が萬有引力の法則に依るものであるといふことを現はして居ない。そこで其關係を説明しやうと思ふのであるが、此完全なる證明は少し高等な數學的知識を要するから、茲には大體の理由を述べるに止めやう。

面積の法則から直に出て來ることは、惑星が太陽に近い程速かに運行するといふことゝ、任意の點に於ける惑星の速度は、其點に於ける軌道の切線に太陽から下せる垂線の長さに反比例することである。此垂線の長さは面積を表はす三角形の高さに相當し、速さは底邊に相當するから、面積が一定であれば、高さは底邊に反比例することは明らかである。實際の速度が大なる場合には太陽を中心とせる角速度も亦大であることは明である。理論的計算の結果によれば、角速度は動徑の二乗に反比例して變化するものである。



第五十三圖

今一般に楕圓運動に就て太陽の引力の關係を考へて見やう。第五十三圖に於て、 S を太陽とし、 ABP を惑星の軌道と考へやう。

最初惑星が A にあるものとすれば、 A は太陽より最遠の點即ち遠日點と名づけらるゝ場所である。此點では惑星の運動の方向は、太陽の方向と垂直であるから、太陽の引力によつて惑星の速度の大きさは變化しないで其方向のみが變化を受ける。又此所では惑星の運行

によつて生ずる遠心力は太陽の引力よりも小であるから、惑星は漸次太陽に接近することになるものである。かくしてA Bの様な軌道を畫くことになる。所が惑星が進んでBの位置に來ると、既に惑星の進む方向は圖に示す様に太陽とを結ぶ半徑に垂直ではない。そこで太陽の引力が二種の働きのする様になる。

第一はAの場合と同じく運行の方向を變化する働きである。第二は惑星運行の速度を増加せしむる働きである。力の分解の法則を知つてゐる人は此二種の作用を容易に理解すること出来るであらう。即ちB Bの方向に働く太陽の引力を、Bに於ける惑星の速度の方向に垂直な方向と平行な方向とに分ければ、垂直な方向の分力は惑星運行の方向を變化し、平行な方向の分力は惑星運行の速度を増すに用ゐらるゝことは明らかである。此位置に於ては太陽の引力が二つの働に別れるのと、惑星の速度の増加によつて遠心力が大になる爲に、惑星の運行の方向を變化する力は小となるので、方向の變化は多少緩となるのである。是に反して、速度の大きさを變化せしむる作用は、太陽と惑星との距離が近くなる影響も加はつて、漸次大となるのである。

是等の影響は、惑星がBの附近より更に進んでも、暫時繼續するので、半徑と惑星運行の方向即ち軌道の切線とのなす角は益々小となる。けれども後には速度増加の爲に遠心力

が大になるので、此角は漸次大となる様になる。遂にPに達すれば此角は九十度となるが、速度は其點までは距離の減少の爲に益々増加する。

Pは太陽に最も接近せる點、即ち近日點である。此所では惑星の速度は甚だ大となつて、其爲に生ずる遠心力が、太陽の引力よりも大となるものである。そこで惑星は漸次太陽から遠ざかる様になる。其結果、半徑と速度の方向となす角は九十度以上になる。斯の如き位置(前圖Cの如き)では、太陽の引力の一部は惑星を後方に引き戻す様な作用をするから、惑星の速度は漸次減少することになる。惑星の速度が稍大なる間は、半徑と速度の方向となす角は漸次増大するけれども、後には遠心力も衰へるので漸次此角も小となり、遂にAに達すれば九十度に歸ることになる。理論的計算の結果によれば、惑星がAを出發する時の速度が大さ及び方向と、一周して再びAに歸つた時の速度の大さ及び方向は全く相等しいものである。又AからPまでの運行の状態はPからAまでの運行の状態の丁度逆であることも證明せられてゐる。

次に天體の軌道が拋物線である場合を考へて見やう。假りに前圖のPの位置を拋物線の焦點に最近き頂點即ち近日點であると考へやう。Pに於ける天體の速度は、それが楕圓の軌道を畫く場合よりも大なることは明らかである。實際近日點に於ける速度は、軌道が圓の場合が最小で、楕圓になると離心率が大になる程大となるものである。拋物線になると、圓の場合よりも速度が約一・四倍大となるので、其値を超えると雙曲線の軌道になるのである。

拋物線の場合には、太陽の引力によつて天體の運動の方向を曲げて再び自分の方に近づかすことが出来ない。其運動の方向は漸次變化して、遂に其天體の最初に來た方向即ち拋物線の軸の方向と平行する様になる。其速度は無限の遠方に行つた時には理論的に零となる譯である。雙曲線の場合には速度が尙大であるから、其運動の方向は拋物線程は曲げられない。計算の結果によれば、かゝる天體は無限の遠方に至るまで一定の速度で進むものである。

九十四 他の引力の法則によりて支配せらるるものとせば如何

若し引力の法則の形式が現在のものとは異なるものと假定すれば、世界の狀態は如何に變化するであらうか。例へば、引力が距離の三乗又は四乗に反比例するものであつたら、どうなるであらうか。數學的研究の結果に依ると、引力が距離の三乗以上の乗幂に反比例する場合には、物體は一般に螺旋狀の軌道を畫くものである。そこで各惑星は其速度の如何により、或は漸次太陽に吸引せられて其中に

熔融せられ、或は漸次太陽より隔たつて永久の寒冷と暗黒の世界に飛び去るであらう。だから此場合は明に世界の破滅である。

次に引力の大きさが、距離の二乗でなくて單に距離に反比例する時は多少模樣が違ふのである。此場合には各惑星の軌道は皆楕圓になる。けれども太陽の位置は楕圓の焦點ではなくして、中心にある様になる。それから惑星の公轉の週期は皆同一になるであらう。又月は現今の様に地球に附屬しない様になるだらう。それは太陽の及ぼす引力が、地球の及ぼす引力に比較して、今よりも大になるからである。地球表面の物體も、地球の重力が太陽の引力に對して比較的尠となる爲に、太陽に面せる場所では著しく軽くなり、容易に飛散する様になるであらう。遠隔の恒星の影響も度外視することが出来ない様になる。そこで現在の立場から考へると、此法則は、危険だといふことになる。要するに吾人は、距離の二乗に反比例する引力の下に發生した生物であるから、法則が變つて困るのは當り前の事て別に不思議はない。若し初めから、異なる法則が宇宙を支配するものとすれば、それに適應する様な生物が發生するかも知れない。何故に萬有引力は距離の二乗に反比例するのであらうか。此問題は萬有引力が音或は光の如く或媒質中に起る波動であると假定すれば容易に解決される問題である。音や光は其

源から四方に傳播する波動であるから、距離が二倍になると其二乗たる四倍の面積に擴がるので、強度は四分の一になる。つまり音や光の強度は距離の二乗に反比例して減ずるものである。嘗てラブラースは此問題を研究して、若し萬有引力が有限の速度を以て傳播するものとすれば、其速度は少くとも光の速度の六百萬倍に達するであらうと結論して居る。其後レーマン・フイーエも同様な結論に達した。けれども現今の相對律の方面からの研究は、萬有引力をエーテルの縦波動であると論じてゐる。アインシュタイン、アブラハム等は其理論を構成した。それによると、萬有別力の速度は、エーテルの横波動たる光の速度と等しきものである。又相對律によつて物質の質量も速度によつて變ずることが引つたから、引力の法則も質量變化の影響を被ることになる譯である。此理論は複雑で、種々の點に於て學者間に未だ十分の一致を見ることが出来ない様である。

九十五 恒星界の萬有引力

ニュートンの萬有引力の法則は宇宙全體に當拵まるものと一般に信ぜられて居る。我々もそう信じて居る。けれども恒星界に於ける引力の法則の確立に關する證明は、太陽系内に於ける證據の様に絶対に確實とは云はれない様である。

ニュートンは太陽系以外に於て此法則を證明

する材料を有しなかつたので、此法則を太陽系内に限つて述べたけれども、總ての恒星は太陽と同様なものであると考へられて居たので、他の恒星界にも同様な法則が行はるゝものであらうと信じて居た。分光器の發明によつて數多の恒星は太陽と同様な元素から成り立して居ることが實證せられたので、此考も益々力を得て來た。若し恒星の周圍の惑星が發見せられ其運行の狀態が精密に觀測せられる様になれば、太陽系に於けると同様に此法則が十分に證明せられるだらう。けれども恒星は非常な遠距離にあるので、其周圍に惑星があつても其發見は現今の機械では到底不可能である。

所が恒星の間に、聯星と名づくるものが多數發見されて居る。是は二個の恒星が比較的距離に存在して一系統を作り、夫れ等の重心の周圍を一定の軌道を通つて廻轉するものである。其軌道や週期を精密に測定することは困難であるが、兎に角從來研究された結果によれば、其運動はニュートンの法則を用ゐて十分説明し得るものである。つまり聯星間に萬有引力が働くと同様な結果を現はして居る。所が此運動は、恒星が其方向によりて變化し又相互間の距離によつて變化する様な力を受くと假定しても説明が出来る。

天文學解説(二四)

理學士 本田 親一

聯星の運動の説明が萬有引力で出来るものとすれば、何も別に殊更に異なる法則を工夫して其説明をやる必要はない。殊に前に述べた別の法則は方向によつて變化するといふ様な不思議なものであるから、合理的の説明が餘程困難である。そこで一般の天文學者はニウトンの法則が宇宙全體に行はるゝものであるといふことを疑はないのである。

九十六 内惑星の週期

太陽系の惑星は地球を境界として二大別することが出来る。地球よりも太陽に近きものを内惑星(Inferior planets)と名づけ、地球よりも太陽に遠きものを外惑星(Superior planets)と呼ぶ。内惑星に屬する惑星は水星及び金星の二個である。

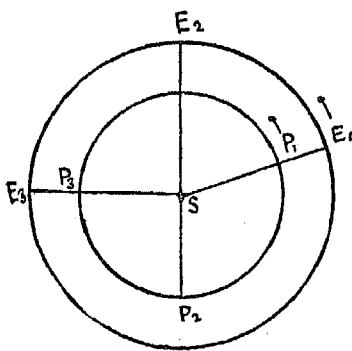
一般に惑星運行の週期は二種に區別して現はされる。第一は地球を中心として考へた週期で、地球から見て惑星と太陽とが或一定の相對的位置に來た時から、再び同様な位置に來るまでの週期である。其最も簡單な場合は太陽と惑星とが合(Conjunction)の位置に來た時から再び合となるまでの週期である。合とは太陽と惑星とが同一赤經線上にあることである。月の場合に於て、新月から新月までの

週期が丁度夫れと相應するものである。此週期を會合週期(Synodic period)と名づける。第二は惑星が太陽を真に一廻轉する週期で、太陽から見て惑星と或恒星とが合になつた時から、再び合になるまでの時間である。此の週期を恒星週期(Sidereal period)又は單に惑星公轉の週期と呼ぶのである。

恒星週期は惑星のみの運行の状態に關するものであるが、會合週期は地球の運行の状態が關係するので、可なり複雑なものである。然るに會合週期は觀測によつて容易に發見せらるゝけれども、恒星週期の方は直接觀測することは困難である。所が後者は前者の値を知れば計算によつて容易に出すことが出来る。

第五十四圖は内惑星(P)と其外側の地球

第五十四圖



(E)の軌道を示したもので、太陽の位置をSとする。今地球と惑星と太陽とかS、P、E₁にて現はされる様に一直線に並んだ場合から考へ

やう。斯様に地球と太陽との間に惑星が挟まる場合の合を退合(Inferior conjunction)と名づける。内惑星の速度は地球よりも大であるから、此位置に於て惑星は太陽を東から西に通る過ぎる様に見ゆる。數月の後、地球が矢の方向に軌道上を運行してE₂の位置に達した時に、惑星は其軌道を半周以上してP₂に來たとすれば、再び三者は一直線となり合の位置を取る。此合は前の場合と異なり惑星と地球との間に太陽が挟まるもので、此種の合を順合(Superior conjunction)と名づける。此時に惑星は太陽を西より東に向つて通過する様に見ゆる。次に地球がE₃の位置まで運行した時、惑星がP₃よりP₁を通り過ぎてP₁の位置まで來たとすれば、惑星は再び退合の位置を取ることになる。そこでE₁からE₃まで地球が運行する時間、或は惑星がP₁からP₂を経て一公轉して更にP₃まで來る時間が此惑星の會合週期となるのである。

今Eを以て地球の公轉の週期を現はすものとし、S及びPを以て同じ單位で現はした惑星の會合週期及び恒星週期を現はすものとしやう。今以上の週期の單位を日で現はすものとすれば、1/Eは地球が一日に運行する全廻轉の分數である。同様に1/Pは惑星が一日に運行する全廻轉の分數である。此二つの分數の差(1/E - 1/P)は一日の間の地球と惑星との廻轉の差である。所が會合週期の間に惑星は

地球よりも一廻轉だけ多く廻るものであるから、つまり上の差だけの速度で一廻轉したのが會合週期となるであらう。つまり $\frac{1}{S} - \frac{1}{P}$ なる廻轉の分數が以上の差に等しくなるであらう。故に、

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{P} = \frac{1}{E}$$

なる關係が得られる。此式が惑星の會合週期と恒星週期と一年との關係を現はすものである。そこで此内の二つの量を知れば、他の一つは直ちに計算することが出来る。例へば、一年の長さ及び會合週期を知りて恒星週期を求むるには、上式を P に對して解けば、次の様な關係となる。

$$P = \frac{S \times E}{S + E}$$

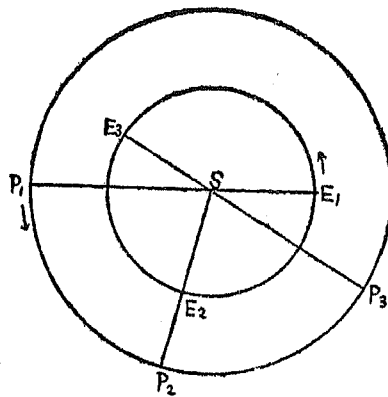
此式に S 及び E を當嵌むれば恒星週期を計算することが出来る。又恒星週期は他の方法でも求められる。それは惑星の軌道の平面と黄道の平面との多少の傾斜を利用して觀測する方法である。此傾斜あるが爲に惑星の軌道は黄道と二回交叉するのである。そこで例へば惑星が黄道を南から北へ通過する時刻を觀測し、次に惑星が一廻轉して再び同方向に通過する時刻までの長さを測れば、是が恒星週期となるであらう。けれども此方法も完全に精確ではない。其理由は惑星の軌道と黄道との地球上の交點が極めて徐々に移動するから

である。其原因は後節に述べることにしやう。

九十七 外惑星の週期

外惑星も内惑星と同様な意味の會合週期と恒星週期を持つてゐる。けれども太陽との合は一種しかない。第五十五圖に於て、地球が E_1 に、惑星が P_1 にある場合が太陽 S を中に挟む順合であるが、外惑星は地球と太陽との間に挟まることはないから、退合を生ずることはない。そこで外惑星の場合には順合と云はず

第五十五圖



して單に合と呼ぶのである。次に地球が E_2 に惑星が P_2 に来ると再び太陽と一直線になるが、此の場合には、地球から見て惑星と太陽とは正反對の位置にあつて、惑星は夜半に子午線上に見ゆるであらう。此の時惑星は衝 (Opposition) になると呼ぶ。此位置では地球と惑星との距離が最近となるので、觀測に最適な時期である。

地球が E_1 なる合の位置より進んで、 E_2 を經て一公轉し、更に E_3 に來た時に、惑星が P_2 を經て P_3 に達し、再び合となれば、其間の時間がか合週期となる。地球は外惑星よりも速く廻轉するから、其會合週期は常に一年よりも大である。又外惑星の恒星週期は勿論一年よりも大である。前節と同様に、 E を一年の日數、 P を外惑星の恒星週期の日數、 S を會合週期の日數とすれば、此三者の關係は下の式で現はされる。

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} + \frac{1}{P}$$

此内 E と S とを知つて P を求めるには、上式を P に對して解けばよろし。即ち

$$P = \frac{S \times E}{S - E}$$

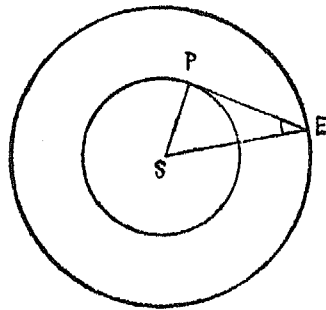
遠隔の距離にある外惑星の恒星週期は甚だ長いので、直接の觀測から知るのは容易なことはではない。例へば、木星は十一年餘、土星は二十九年餘、天王星は八十四年餘、海王星は百六十四年餘の恒星週期を持つてゐる。所が是等の惑星の會合週期は以上四個中の最長なる木星でも一年一ヶ月位のものである。そこで會合週期を觀測して、それから恒星週期を計算するのが便利である。けれども會合週期でも一年以上であるから、もつと短期間の觀測から週期を出す方法も案出せられてゐる。それは數日を隔て、三回別々に或惑星の視位置

を觀測した値を基として、巧妙なる數學的過程によつて軌道の形狀及び週期等を計算する方法で、獨逸の大數學者ガウスの工夫せるものである。

九十八 内惑星の相對距離

太陽系の總ての惑星と太陽との相對距離、即ち各の距離の比は實際の距離を知らなくても計算する方法がある。從て適當な比例尺を用ひて全太陽系の圖を畫くことが出来る。そこで若し其間の何れの二星間の距離でも實際測定することが出来る。

第五十六圖



ば、他の距離は容易に發見し得らるゝものである。

今次に内惑星の相對距離を發見する方法を述べやう。第五十六圖に於て、Sは太陽、Pは内惑星、Eは地球を現はすものとしやう。圖の位置に於ては地球より見たる惑星と太陽との角距離即ち角SEPが最大である。此位置を内惑星の最大離隔(Greatest Elongation)と呼ぶ。離隔とは角SEPにて現はさるゝ角距離を云ふものである。最大離隔の場合にはE

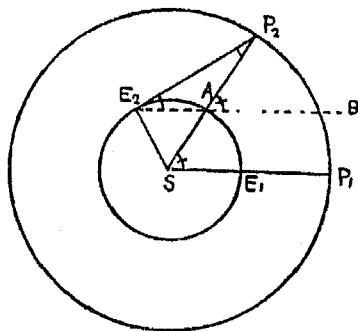
用ひて全太陽系の圖を畫くことが出来る。そこで若し其間の何れの二星間の距離でも實際測定することが出来る。

Pの線は内惑星の軌道に切線となるから、軌道の形を殆んど圓であると考ふれば、角SEPは直角となる。そこで最大離隔の角SEPを測定すれば、直角三角形SEPの内角は皆出て来るから、邊SPと邊SEとの比は三角法により、又は製圖によつて容易に知ることが出来る。假に地球と太陽との距離SEを單位として現はせば、SP即ち惑星と太陽との距離は分數で現はされる。若しEの角が三十分であればSPは二分の一となるであらう。

九十九 外惑星の相對距離

外惑星の相對距離を發見する方法も内惑星の場合と同じ原理によるものである。

第五十七圖



の場合と同じ原理によるものである。位置の關係が異なるので多少複雑になる。

第五十七圖に於て、Sを太陽、E₁E₂を地球、P₁P₂を外惑星の位置としやう。今地球がE₁にある時に惑星がP₁にある場合、即ち惑星の衝の時刻及び地球から見た惑星の方向を觀測する。次に或一定の時期の後惑星から見て地球が最大離隔に達する位置即ちE₂の位置を取れる時が来るであらう。其時には地球から見

ば、太陽と惑星との離隔の角P₂E₂Sは直角であるから、其時刻を決定することが出来る。

惑星の恒星週期が別つてゐるものとすれば、惑星がP₁からP₂まで運行する間の角P₁S P₂は其經過時間から計算することが出来る。地球から見れば惑星が其間に運行した角距離は角P₂E₂Aで現はさるゝものである。直線E₂A BはS E₁P₁に平行に引いたもので、最初E₁から見た惑星の方向を示すものである。次に角P₂S P₁は角P₂B Aと同位角であるから相等し。今三角形A E₂P₂に於て、外角P₂A Bと一つの内対角P₂E₂Aが別つたのであるから、他E₂P₂Aの内対角は上の二角の差として求めることが出来る。此角が別れば、直角三角形S E₂P₂の内角が皆別れるから、其二邊S E₂とS P₂との比を知ることが出来るであらう。つまり内惑星の場合と同じ結果となつたのである。是等の觀測によつて得た實際の數字は太陽系の各論の章で擧げることにしやう。

百 惑星の軌道要素

任意の時刻に於ける惑星の空間に於ける位置を知るには數個の量が必要である。それは惑星の軌道の位置、形狀及び大きさ、並びに軌道上の一定點假へば近日點から現在の位置まで到達するに要する時間等である。かく任意の時刻に於ける惑星の位置を計算するに必要な量を其軌道要素(The Elements of an Orbit)と名づける。

今一の惑星が太陽系内に於て運行する場合に、其軌道は惑星が出發せる點の位置及び其點に於ける運動の方向と速度とに關係するものである。其内の一つが變化しても軌道は全然別なものとなるであらう。然らば是だけの事柄を決定するには、何個の獨立の量が必要であるかといふことを先づ考へて見やう。第一に惑星の出發せる位置を定むるには三個の量が必要である。例へば、太陽から見た其位置の赤經、赤緯及び太陽からの距離の三量を知れば其點を決定することが出来る。次に惑星の運動の方向は一般の星の方向と同様に赤經及び赤緯の如き二要素によつて定められる。次に運動の速度は一個の量で定まる。そこで惑星の軌道を定めるには六個の量が必要である。然るに惑星の軌道上の各點は皆一個の出發點であると考へることが出来るからして、其位置は常に六個の獨立せる量に依つて定まるのである。故に惑星の軌道は六個の要素を有するものである。

以上の考へ方によつて要素の数が六個であることを決定し得たが、要素の種類は必ずしも上に述べた六個に限るものではない、吾人が種々の目的に便宜な六個の獨立の量を取れば、何時でも軌道は決定せらるゝものである。そこで次に一般に用ゐらるゝ六個の軌道要素を説明しやう。

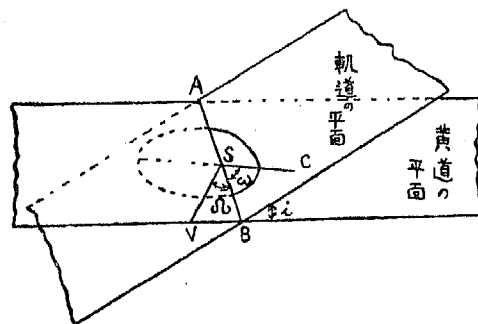
惑星の軌道の平面は、黄道の平面を標準と

して其位置を定めるものであるが、其關係を現はすに二個の量を用ゐる。一は二平面の交線で交點線 (Line of Nodes) と呼ばるゝものゝ位置で、他は二平面圖の角で軌道の傾角 (Inclination of the Orbit) と呼ばるゝものである。惑星の軌道と黄道との交點 (Nodes) は二個所にある。惑星が黄道を南から北に向つて横ぎる點を昇交點 (Ascending Node) と云ひ、 ω なる符號を用ゐる。又惑星が黄道を北から南に横ぎる交點を降交點 (Descending Node) と呼び、 ϕ なる符號を用ゐて現はすものである。此二點を連絡する直線が交點線であるから、其線の位置を知る爲には一つの交點の位置を知れば十分である。そこで要素として用ゐられてゐるものは、第一に昇交點の黄經である。これは黄道に沿つて測つた春分點から昇交點までの角距離であつて、 ω で現はされる。第二の要素は軌道の傾角で、 i なる符號で現はされる。

次に定むべきは惑星の橢圓軌道の長軸の方向を其軌道の平面内で定めることである。それは太陽から見たる昇交點の方向から惑星の軌道に沿つて惑星の運動の方向に測つて近日點に至るまでの角距離で現はされるものである。是が第二の要素の昇交點より測れる近日點の黄經 (Longitude of the Perihelion) と呼ばれ、 ω なる符號で現はされる。

第五十八圖に於て、A Bを兩平面の交線即

第五十八圖



ち交點線とし、中央の橢圓は惑星の軌道を、Sは太陽を現はし、S Vは太陽より春分點に向ふ線を現はすものとす。角V S Aは ω を現はし、角B S Cは ω を現はす。 i は圖の如く二平面間の角である。茲で注意すべきことは黄道面上で測

り、 ω は軌道面上で測るといふことである。時には ω の代りに π を用ゐることがある。 π は ω との和を現はす角である。

第四の要素は、橢圓軌道の長軸の半分で、 a にて現はされ、軌道の大きさを定めるものである。第五の要素は、軌道の形状を定むる離心率で、 e にて現はされる。第六の要素は惑星の軌道上に於ける位置を現はすもので、それは二種の方法がある。一は惑星が近日點に來る時刻を與へる方法で、是はTで現はされる。二は任意の時刻に於ける惑星の黄經を與ふる方法で、是は θ で現はされる。

天文學解説 (二五)

理學士 本田 親一

つまり惑星軌道の六要素は、 a 、 e 、 T (或は ω) である。此外に惑星の恒星週期を加へて七要素とすることも多し。又是等の要素に換るべき他の定値を取ることもある。茲に少しく注意すべきことは、惑星の運行が幾分か其質量に關係するといふことである。質量が小であれば餘り問題にならないけれども、大である場合には其引力によつて太陽も多少動かされる譯である。太陽が動揺すると惑星の軌道の焦點が狂ふことになる。そこで惑星の運行を非常に精密に定める爲には、質量の要素も必要だといふことになるであらう。

百一 攝動

若し惑星が太陽の引力だけに従つて運行するものとすれば、其軌道は正確に楕圓となるべき筈である。けれども惑星は太陽より引かれると同時に、他の惑星の引力をも受くるものである。此惑星相互の引力の結果として、其軌道は多少本來の楕圓よりも異なるものである。此軌道の偏倚を攝動 (Perturbation) と名づける。惑星ばかりでなく、月の如きも其地球を周廻する軌道が太陽の月に及ぼす引力の爲に非常に攪亂せらるゝものである。

惑星相互間の攝動や月の攝動等の問題は非常に困難な種類のものであつて、複雑な數學の力を極度まで應用しなければ、解決の緒を握むことが出来ない。其困難な原因の一は、

少し考へると容易に了解せらるゝことである。先づ二個の惑星甲及び乙を取つて、其相互作用を考へて見やう。甲乙が相互に攝動作用を及ぼさないとした場合の軌道は楕圓であつて、計算と観測とによつて其要素を知つて居るものとしやう。それから甲乙の或時刻の位置を出して、其時刻以後の攝動の様様を考へると、二者の間の引力の効果は其間の距離と方向とによつて異なるものであるから、其二量を計算しなければならぬ。所が攝動の爲に甲乙共に其軌道から外れるものであるから、最初楕圓軌道上を運行するものとして計算した攝動の結果は實際と合はないこととなるであらう。即ち攝動の爲に移つた新しい位置から、更に新しい引力を及ぼすことになるから、次々に新要素が加はることになる。つまり攝動の結果たる甲乙の位置が、更に新しい攝動を起して相互の位置の相對的變化を起し、それが又新しい攝動の原因となるものであるから、無限の連鎖的影響が相互間に起るであらう。

然るに我太陽系に於ては各惑星の質量が太陽の質量と比較すると非常に小であるので、攝動の問題は餘程簡單になる。太陽の引力は

惑星相互間の引力よりも非常に大であるので、惑星の運行は殆んど太陽の爲に制馭せられて自由の餘地が甚だ少ない。けれども第一次の攝動は計算に入れる必要があるが、其副作用たる第二次の攝動は惑星の場合には一般に省略しても 差支ない位の微細なものである。けれども月の場合には太陽が攝動の原動力であるので、第二次の攝動も亦それ以上の影響までも計算しなければならぬことがある。

惑星の内て最大なる木星すらも其質量は太陽の一千分の一に達しないが、若し各惑星の質量が太陽の二十分の一位の大きさのものであつたとすれば、其間の攝動は著しく大となり、ケプレルの法則も到底當筈らなくなるであらう。若しケプレルの法則がなかつたものならば、萬有引力の法則は其發見の基礎を失ふ譯であるから、ニュートンでも、其後に現はれた第一流の數學者でも、此複雑なる攝動を分析して天體運動の根本法則を抽出することが出来たかどうか餘程疑はしいといはなければならぬ。

嚴密に云へば惑星は楕圓の軌道を書くものでもなく、又簡單な曲線で其軌道を現はすことも出来ない。實際惑星は精密に同一の軌道を再び廻轉することは無い。斯の如く複雑な絶えず變化する軌道も少部分を取れば或楕圓軌道の一部であると考へることが出来る。そ

こて惑星は其位置、形状及び大きさが絶えず變化しつゝある橢圓軌道上を運行するものと考へることが出来る。此考は一般の説明にも、數學的の取扱にも便利である。そこで攝動の問題は此變化しつゝある橢圓軌道の各要素が時間的に如何様に變化するかを決定することに歸着するであらう。

百二 惑星の軌道要素の變化

二惑星間の距離は、太陽から見ると二星が合の位置に來た時に暫くの間、近くなるけれども、其他の位置に於ては長い期間に亘つて相互の距離が甚だ遠くなる。二惑星が最も接近した時に相互の攝動は最大となり、最も離れた場合に最小となる。そこで二惑星の接近及び隔離と云ふことが、相互の攝動の値に週期的變化を與ふることになる。此週期は二惑星の會合週期であつて、一般に惑星の廻轉の週期の數倍に過ぎないものであるから、此週期によつて變化する攝動を短期攝動(Short-period Perturbations)又は均差(Inequalities)と名づける。此攝動の値は餘り大でなく、又著しく減ずる時期が多いから惑星系に對する影響は重大なものではない。けれども是は軌道の總ての要素に影響する。萬有引力の法則に依つて此短期攝動の値を計算して、實際の觀測と比較すれば、よく一致するので、引力の法則の正確なることの證明に用ゐられる。

此外に長期差(Long-period Inequalities)と

呼ばれる一種の攝動がある。此影響は短期攝動と餘り變りはないけれども、只此場合には軌道要素の變化の方向が數百年乃至數千年に亘つて變らないのは特色である。是は二惑星が數公轉に要する間隔を以て、それ等の軌道の殆んど同じ部分で合になる場合に起るものである。太陽系に於て此種の攝動の最も著しき場合は木星と土星との間に起るもので、其週期は約九百年である。此現象を最初に發見したのはハリーであつたが、彼は其週期に就ては何も知らなかつた。一七八四年にラブラースが初めて此現象を説明した。此攝動の結果として生ずる木星の位置の偏倚は、地球から見て半度に達しないが、土星の全偏倚は約四分の三度に達する。

次に長年攝動(Seular Perturbations)と呼ばれるものがある。是は絶えず一の方向にのみ變化が繼續するものであるから、かく名づけたのである。けれども精密に分析して見ると、此種の攝動も非常に長い週期を有するものであることは十九世紀の末にラブラースやラグランジュなどが證明した所である。是に就て最も重要な結果は、惑星の軌道の長軸には長年攝動がないといふことである。其爲に惑星の公轉の週期も長年攝動がないといふことになるのである。

惑星の軌道の離心率も非常に長い週期で徐々に増減するものである。此増減の週期は各

惑星に於て著しく異なるもので、或惑星の軌道の離心率が増しつゝある時に他の惑星のものは減じつゝある様な事が多い。現今地球の軌道の離心率は 0.0168 であるが、是は徐々に減少しつゝある所であつて、約二萬四千年の後には 0.003 位の最小値を取るであらう。其後は約四萬年の間徐々に増加して 0.02 に達し、又減ずる方向に進むものらしい。

惑星の軌道の平面が黃道の平面に對する傾角も離心率と同じ様に増減するものであるが、此變化は甚だ小であつて、非常に長い週期のものである。

交點と近日點とは絶えず同じ方向に變化するものである。交點は總ての惑星に於て、其運行の方向と反對の方向に動くものである。然るに近日點は金星を除くの外皆運行の方向と同方向に動くものである。そこで此二者は一定の週期を以て軌道上を一周するであらう。其週期は非常に長いものである。交點の週期の最小なる天王星でも三萬八千年を要し、最大なる水星は十六萬六千年を要する。近日點の週期の最小なるは土星で六萬七千年を要し、最大なる海王星は五十四萬年を費すものである。

是等の結果を通覽すれば、惑星系が其一般の特性を維持する爲には是非或一定の範圍内に止まらなければ困る様な各要素は皆極めて

狭い範圍の動搖をなすことが別る。けれども如何に變化しても惑星系の現狀維持に餘り關係のない要素は無限に一の方向に變化するものである。實際變化しないからよいが、若し軌道の長軸が絶えず増加し又は減少するものとすれば、其結果は地球上の生命の滅亡を近づけるだらう。又若し離心率が無限に増加するものとすれば、近日點は漸次太陽に近づくこととなり、其結果は各惑星の軌道が交錯して衝突を起す様になるかも知れない。又傾角の變化が著しくなれば別に危険なことはないけれども、惑星間の相互關係が全く變化する様になるであらう。然るに以上の要素の變化が極めて小範圍であることは太陽系の現狀を維持する上に極めて都合のよい事である。交點と近日點の位置は軌道上を絶えず一の方向に進むものであるけれど、此二要素の位置の變化は太陽系の一般の性質に殆んど影響する所がない。

百三 月の軌道要素の變化

月の軌道の攝動は一般に惑星の場合と同様であるが、其爲に生ずる動搖は惑星よりも著しく大である。殊に月は地球に非常に近いので、僅かの動搖も容易に觀測せらるるものである。

惑星の場合には攝動を起すものが他の惑星であるので、其質量は太陽に比して著しく小であり、從て攝動も著しくなかつた。けれど

も月の場合には、月の橢圓軌道を保持する原動力は地球であつて、それに攝動を與へるものは太陽であるから、惑星の場合と事情が逆になるので、其影響が大であることを想像するのは容易であらう。只太陽と月との距離が、地球と月との距離に比較して著しく大であるから、比較的其影響が僅かである。それでも惑星の場合よりも著しく大であつて、惑星の場合に省略することが出来た二次的の攝動は勿論、更に高次の攝動までも計算に入れなければならぬ。

一 恒星月の長さは、太陽がないと假定した場合よりも約一時間長くされる。其他總ての軌道要素が短期の攝動を受ける。けれども近日點(惑星の場合の近日點に相當するもので、地球に最も近くなる月の軌道上の一點を云ふ)と交點との外は長年攝動を有するものがない。近日點は絶えず月の運行と同方向に動き、交點は絶えずそれと反對の方向に動くものである。近日點の一廻轉の週期は八・八五五年で、交點の週期は一八・六年である。月の攝動の影響は顯著であるので、其方面に應じて特殊の名稱を有するものがある。其一は二均差(Variation)と呼ばれるもので、一五九〇年頃チホ・プラーエが觀測によつて發見したものである。是は地球と太陽とを連結せる直線に垂直の方向に月の軌道が延長せらるゝ一種の影響である。其週期は一月で、月

の位置は其爲に四十分位移動するから、月の直徑よりも少しく大なる動搖を生ずる譯である。

次に月の種々の攝動の効果中で最大の影響を與ふるものは出差(Evection)と呼ばれるもので、月の軌道の離心率を動搖せしめ、二・八日の週期を有する。其影響の最大な時には月の黄經が一・二七度だけ移動する。是を最初に發見したのは希臘古代のピツバークアステ、トレミーは精密に其影響を觀測した。總て是等の攝動に於ては理論と觀測の結果とはよく一致してゐる。

以上の外に種々の小攝動があるが、大抵は二次的のもので、引力の法則によつて完全に證明せらるゝものである。其内で著しいものは年差(Annual Equation)である。前に月の地球を公轉する週期が太陽の爲に長めらるゝものであるといふことを述べた。此影響は地球が近日點附近にある時に最大であつて、地球と太陽との距離が變化するに連れて變化する。そこで一年中恒星月の長さは少しづつ變化することになる。此變化の週期は一年であるから年差と名づけるのである。

百四 惑星の引力による月の攝動

太陽が月の運行を攪亂すると同様に、諸惑星も微小なる攝動を月に與ふることは勿論である。所が是等の影響は餘り小であるので一般に觀測し得べき値に達しないが、唯一の金

星による攝動は二百七十三年の週期を有する
微細なる動搖を與ふることが測定せられて居
る。

所が此外に甚だ興味ある間接の効果を考へ
ることが出来る。他の惑星から見ると、地球
と月とは非常に接近して現はれる譯であるか
ら、惑星の引力の主要なる効果は先づ地球と
月とを一束にして引寄せやうといふ攝動作用
となつて現はれなければならぬ。地球と太陽
との距離が此作用によつて變化すれば、今度
は太陽の月に對する引力が變化することゝな
るであらう。其爲に月に新しい攝動が起るこ
とになるのであるが、是は直接には太陽に基
づくものであるけれども、間接に惑星が地球
を引いて月と太陽との距離を變化せしめた結
果である。そこで此現象の相互關係は甚だ複
雜で、理論的計算が大に困難となるのである。

百五 月の運動の長年加速度

前節に述べた攝動と同じ性質のもので、更
に複雑なものは、月の運動の長年加速度 (の
Orbit Acceleration) と名づくるものである。

十八世紀の始にハリーは、古代と近世との
月食を比較して、月の平均運動が徐々に速く
なることを發見した。けれども其原因を引力
の法則によつて説明することが出来なかつた
が、一七八七年に至つてラブラースが其理由
を證明することに成效した。此現象は矢張り
間接の攝動である。惑星の引力は地球の運行

を攪亂して其軌道の離心率を徐々に減じつゝ、
あることは前に述べた通りである。所が地球
の軌道の離心率が減小すれば、太陽の月に對
する平均攪亂作用は減小するものである。前
に月の公轉の週期は太陽の生ずる攝動によつ
て長くなるといふことを述べて居いた。そこ
で若し太陽攪亂作用が小となれば、月の公轉
の週期は漸次短かくなり、從て月の運動は其
速度を増すこととなるであらう。

此問題は實際非常に複雑である。先づ各惑
星の小さな不整な引力の影響の總和が、地球
の軌道の離心率を七八萬年の週期で増減させ
るのである。只今は離心率が減じつゝある時
期であるから、太陽の攪亂力の月の速度を増
加せしめつゝある。けれども今後二萬四千年
の後には地球軌道の離心率は更に増加する様
になるので、月の運行の速度は漸次遅くなる
であらう。此影響の爲に日食や月食の理論が
多少複雑になるが、萬有引力の法則は適當な
理論的解決を與ふるので、長い期間に亘つて
食の豫言が出来ることとなるのである。

百六 未決の現象

萬有引力の法則は幾多の太陽系の問題を亂
麻を斷つが如く解決したけれども、其中で二
三の不規則な運動で未だに完全に説明されな
い問題が残つて居る。

其中で最有名な例は、水星の軌道の近日點
の運動である。觀測によつて得たる實際の運

動の値と、攝動の理論から數學的に計算した
値との差は、一世紀に四十一秒に達する。此
不一致の原因が別らないのである。攝動の理
論に不完全な點があるか、或は攝動の要素に
未知なものがある爲か、或は水星の軌道に著
しい抵抗を與ふる流星群の様なもの存在し
てる爲か、或は萬有引力の法則に些少の缺點
がある爲か等と色々の考が呈出された。或人
は太陽と水星との間に未知の惑星を想像し
た。けれども惑星の假定や、抵抗流星群の假
定は他の副作用を生ずることゝなるので、實
際と一致させ難い。そこで引力の法則に缺點
があるのだらうと疑ふ人が多くなつて來た。

最近に發達した相對律の思想は此解決に一步
を進めたものである。從來は質量は絶對不變
と考へられて居たが、相對律では物體の速度
と質量とが一定の關係を持つことになつて居
る。萬有引力は質量の相乗積に比例するもの
であるから、質量が速度によつて變化するも
のとすれば、引力も速度によつて變化しなけ
ればならない。水星は惑星中で最も運行速度
の大なる星である。そこで水星が最も質量變
化の影響を強く受くべき理であるが、實際相
對的の質量によつて水星の軌道を計算する
と、實際の觀測と可なりよく一致する結果を
得たのである。けれども相對律に關しては、
まだ種々の問題が残つて居る様であるから、水
星の問題も完全に解決されたとは云へない。