

火星の運動

百濟教猷

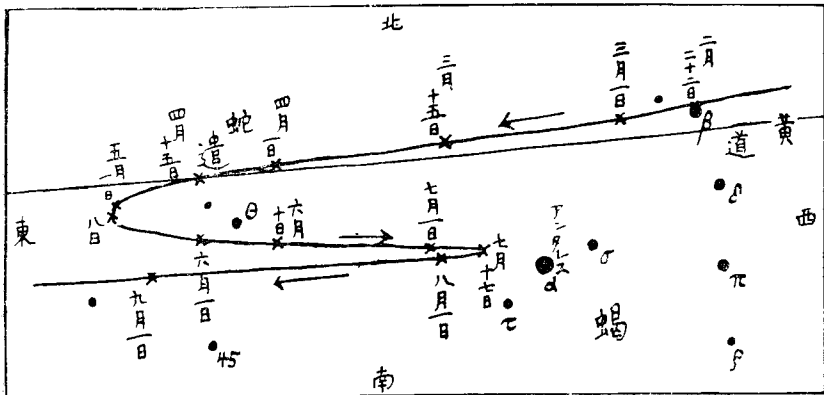
一、火星の視運動と衝

火星と接近して來ました。この一月一日には地球から六千七百萬里の遠方にあつて光度も一等半に見わるに過ぎなかつたのが、六月十九日午前七時過には最も近くて千七百四十萬里（○・四五六天文單位）に近づき光度は負二等星位に上るのです。それから後は又遠くなつて年末には五千八百萬里に退いてゆきます。

火星は其色が著しく赤いのと其運動とによつて大昔から知られて居た遊星であります、我々も試みに天の星の間をどんな風に動いてゆくか其視運動の様子を畫いてみると第一圖のやうになります。

即ち二月初には天秤座に居たのが、同月二十三日蝸座^{まがら}ベータ星の南一分の所を通り抜けて東へ順行を續け、四月十五日には黃道を南へ横ぎり（降交點通過）遂に五月八日午後三時留となり、それから逆行して七月十七日午前十一時又留となり以後引き返し

第一圖 火星の星路



火星の星位を指示す

て順行を續けて行く筈であります。

六月十日午後十一時は衝即ち太陽と殆ど正反對の方向に見わる位置に達します其前後はアンタレス星より遙に強く輝いて南天に偉觀を呈し、定めし望遠鏡觀測家の興味をそゝることでせう。しかし茲では私はそんな方面にはふ

れずに、もつとじみなことばかり述べる考であります。

火星が衝の位置に達する頃は地球との距離が近いので火星面上の模様を調べるのには好都合ですが、併し其點から云へば今年の衝よりも來る一九二四年八月下旬の方がもつと近づきます。これは御承知の通り火星の橢圓軌道の離心率($\odot \bullet \odot$ 九三)が少し大きいので、火星の近日點近くで衝になると非常に我々からの距離が近い筈で、八月頃衝が起ると丁度其場合になるからです。

近世の衝で右の大正十三年のに匹敵する位近づいたのは一八九二年八月四—六日頃で距離 $\odot \bullet$ 三七七天文單位即ち千四百四十萬里で火星の角直徑が二十五秒の大きさに見えたのでした。衝は平均七百八十日程隔て、起るものですが其頃地球から見て火星の視直徑はどれ位であるかを圖に作つた人があります。望遠鏡で火星表面を觀測する人にも一寸面白い參考になると思ひますから、私も第二圖にその流儀の表し方を企てました。

此圖は各衝の頃に於る火星の視直徑を點であらは

した者——曲線で各點を連いだしたのは深い意味でやつたものではありません——で例へば一八九二年八月や一九二四年八月の衝には火星の距離最も近い場合で視直徑二五秒に見え、又今年六月には二〇秒^{五厘}五位に見えるのだと云ふ様子が分りますし、同じく衝でも十四秒位にも見えぬ場合もあること等が知られます距離の方は角直徑と逆比例です。

二、火星の運動と古人の説明

さて、私はこれから火星と云ふものを通じて遊星運動論の歴史の一端を瞥見したいと考へるのであります、これはあながち無意味なことを繰返したいのではなくて實は火星の運動の研究が後年天體力學の出發點と或關係をもつやうになつた所迄續けて行きたいからであります。

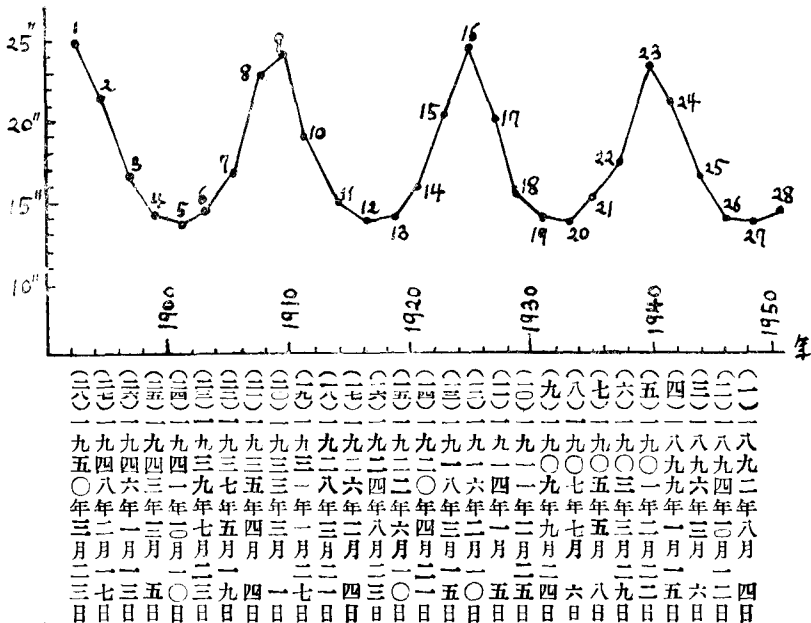
地球から見た火星の運動の有様は、第一圖に書いた今年の例でも分る通り變な道筋を通ります。プラトンは圓運動ばかりを組合せて之を説明せよと云ふ問題を弟子に呈示したさうです、しかし始めて系統的に惑星のかゝる運動を説明しやうと工夫したのは西紀前四百年頃のギリシャの天文學者ユウドクスス

でありました。

ユウドクスの所謂「同心球の説」では、日月五星は夫々地球から一定の距離にあることになります。火星に就て云へば、地球を中心とした或半徑の球甲の赤道上に火星が附着し、甲は自轉軸のまわりに或一定の等速回轉をする。これだけでは勿論中心の地球から眺めても第一圖に類した運動を表はしませんから更に違つた半徑の同心球乙を考へ、其球面上に甲の自轉軸が支へられ、乙は別の傾きの自轉軸を以て違つた等速回轉をやる。其時中心から見て甲に附着した火星の運動が實際空に見えるのと合はなければ、更に同様にして乙の軸を丙球で支へると云ふ風にして、都合五個の同心球に違つた回轉をさせてざつと火星の視運動を表はし得た次第でした。

火星も地球に近い時は負二等位になりますが遠方へ行つた時は北極星の輝位に迄減じますから、古人でもこれは距離が變化するためだと思付いたかも知れません。アポロニウスと云ふ人が西紀前二百數十年頃に出て「回轉圓の説」を立てました。此方の考によると(第三圖)地球Eのまわりを或半徑を以てC點

第 二 圖 衝の時分にええる火星の大さ

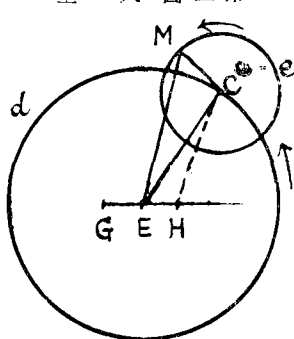


が等速圓運動をする、そのCの周圍を又違つた速さ
と半徑とでMが等速圓運動をする。Mが火星でCの
周圍を一年で廻り乍らCは六百八十七日でd圓の上
をころがつて行く。これでざつと第一圖に類した火
星の視運動が順行、留、逆行がEから見られ、且地
球からの距離EMも變化する次第であります。

ヒツバルクスは日

月の運動説明に「離
心圓説」を立てまし
たが、若し我々がそ
れを火星に適用する
ならば、アポロニウ
ス流では地球が中心
Eに居たのを少しは

第三圖 火星

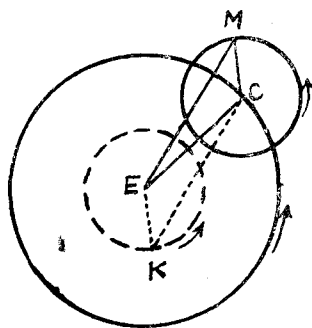


なれた所Gへ地球をもつて行てそこから火星Mの運
動を眺めると考へる事です。所が紀元後百五十年頃
出たトレミーが遊星運動にヒツバルクス説を採用し
た時は、更にGE線の延長上EからGE||EHなる
やうなHを取り、CはHから見て一樣な角速度をも
つやうにd圓上を動かせ、観測者はGに居るとしま

した。そしてd・eなどの圓の平面を少しづつ、黃道に
對して傾けることにより火星の運動は大方説明する
ことが出來たのであります。

追々觀測が精密に
なるにつれ運動の細
い不規則が分つてき
たので、昔の天文家
はそれと一致さすや
うにd圓・e圓の半徑
やGEの長さど方向
某時に於るMの位置
など——今日の言を使へば軌道の要素と云ふもの——
を加減して定め、尙不充分になると更にMを中
心とした第三の圓上に火星を動かせたりして次々と
回轉圓を重ねてゆきました。

第四圖



十六世紀にコペルニクスが出て、太陽中心説を唱
へ遊星の運動が複雑に見えるのは太陽のまわりをま
わつて居る地球から同様に動いて居る遊星を眺める
からだしました。しかし細いことを説明するには
矢張り遊星の軌道について回轉圓式の組合せをさせ

てゐたのです。

ヴェクトル加法を以て判斷せられる方は第四圖を見てすぐお分りでせうが、茲には丁寧に申しますと、EからMCに平行に等しい長さEKをとれば、Kから見たCの方向とEから見たMの方向とは平行であります。MがCの周圍をまわるとKもEの周圍を同じ一年間でまわる。Cが動きMがまわつてゆく時Eから見たMの運動と、Kから見たCの運動とは少しも違ひはない、故に我々はEを太陽と考へ、其周圍を地球Kが一年間でまわり、火星Cが六百八十七日でまわると考へれば、前に述べたアポロニウスの代りにKから見たCの運動も探てもよいわけであります。

もし此考に到着したならギリシア時代に既に太陽中心説が採用されて然るべきでした。トレミー一派は火星に就て第三圖

$$EC=1 \quad CM=0.658 \quad EG=0.10$$

の値を出して居ました。依て第四圖より

$$\frac{EC}{EK} = \frac{EC}{CM} = \frac{1}{0.658} = 1.52 \quad EC = 1.52 \times EK$$

一・五二は現今我々が知つて居る通り火星の太陽からの平均距離であります。即ち太陽系内の眞の大きさに關する量もトレミーの數字から引き出し得るわけでありました。(GEが○・一に對して楕圓とした火星軌道の離心率は現今○・○九三と知られて居ます)

其後丁抹に觀測天文學近古の大家チコブラへが出て、遊星は太陽を中心としてまわる、其太陽は地球のまわりを廻ると云ふ妙な地球中心説を出しました。私はチコの考へ始めは知りませんが視星運動論として、數學的にはコペルニクスの説と同じ視運動を與へる筈です。恐らく地球を中心に固定させて其頃恒星の年週視差が無いと思はれて居たことと一致させたのでせうか。

三、ケプレルとニュートン

ケプレルは若い時から遊星の運動を考へて居たやうです、そして自分の研究材料になる精密さの觀測はチコブラへ以外に求められないと思つて居た所、偶チコは丁抹を去てボヘミアのブラーグへ移て來たのです。

一六〇〇年二月ケプレルがチコの下へ行つた時火星は正しく衝にありました。チコは助手に色々仕事を分擔させた時、ケプレルには火星の運動の研究を與へたのでした——勿論其頃でも水星が一番厄介でしたが觀測が尠い、火星の運動は其次に位するが觀測が多いのであります。

ケプレルはチコの死後相變らずチコの觀測に合はせるため工夫し、随分あてすつぽに色々説明法を案出しましたが、チコの觀測が精密だつたのとケプレルがそれを信用して少しでも合はぬと説明法が悪いとして改めた御蔭で、遂に遊星運動に關して有名なケプレルの三定律を發見するやうになつたことはよく御存じのことと思ひます。

一、遊星は太陽の中心を通る一平面中に運動す。遊星は太陽焦點の一とする楕圓軌道を畫く(軌道の定律)

二、太陽と遊星とを結ぶ線は等しき時間に等しき面積を畫く(面積定律)

此法則は實に火星に就て初めて證明せられ、一六〇九年「火星運動註釋」と云ふ名著の中に發表されたものであります。其後凡ての惑星の運動をあらはす數量の間に何か關係はありはしないかと試みて遂に一

六一八年(一六一九年「世界の調和」)

三、遊星の太陽を通る週期の自乗は平均距離の三乗に比例す(調和の定律)

を發見したのです。(天界第九號
三七頁參照)

ケプレルの軌道決定法は今日のガウス軌道論と違つた趣のある、特種位置利用の法でありますが茲に夫れは略して置きます、兎に角古來圓運動ばかりにかじりついて居たのに、圓を捨て、楕圓を採用したのはケプレル研究の賜でありました。尤もケプレルは引力と云ふ考へには達しませぬでしたが、併し乍ら天體力學のでき上る道行きとして火星の運動とケプレルとは誠に縁故が深かつたわけであります。

ニュートン出でて宇宙引力の法則を發見し二天體の間には質量の相乗に比例し距離の自乗に逆比例する引力が働くことを以て、遊星が楕圓運動をすることが力學的に證明せられた次第であります。

四、火星の運動と天體力學

誠に平易なことのみに述べてきましたが、更に小々二三力學上の結果を申したいと思ひます。

太陽系には火星以外に澤山の遊星があります。此等の天體が相互引力を及ぼす結果としまして、太陽

と火星とだけ存在すればケプレルの橢圓運動をする筈の火星の運動が、少々攪亂されるのであります。此攪亂即ち「攝動」と呼ばれる者が火星の運動にはどういふ風にあらはれて居るかを述べませう。

第一種は「短週期攝動」なる者で、割に短い年月の間に火星がケプレルの橢圓運動によつて與へられる位置から、週期的に少しはなれるのです。此の中最も大きいのは、遊星の親玉である木星が火星を引つばることから起るので、日心黄經（即ち太陽の中心から見た火星の黄經）に就て週期四百日、八百日、一千日位の程度で夫々二十秒程おくれ又はす、ませる影響が現はれて居ます。次には地球の引力に影響されて週期七百八十日及び十六年位を以て何れも日心黄經に半振幅十秒程度の振動が起つて居ます。

次は金星の影響で、週期三十三年を以て六秒五の振動が起ります。一體水星、金星の如く衛星を持たぬ遊星の質量を定めるには、どうしてもそれが他の星に起す攝動から理論的に算出するより仕方ありません。金星の引力は太陽から見て火星の黄經を六秒半す、め又はおくれさす筈ですから範圍は十三秒と

なり、我々はそれを地球から觀測するので、火星は此三十三年頃のため最大三四十秒に達する前後動をやります。これを觀測でよく決めて、それだけの影響を起すためには金星の質量は如何程であればよいかと逆に計算して來るのです。

ニューコムは天文常數を求めた時、金星の質量を水星及び太陽（即ち地球）の運動から求めて居た様子でしたが、火星に起る右の金星影響からも金星の質量が定めらるべきであります。不幸にして何故か此様にして求めた金星の質量の精密さが左程でもないのは多少問題かも知れません。

土星天王星や他の遊星の影響は極少しあるだけです、又火星の日心黄緯も極少し變動し、太陽からの距離も少し振動するのであります。

第二の「長週期攝動」の面白い例として、私はルヴェリエーの發見した者を述べるに止めませう。夫は（多少不精密な言ひ表し方ではありますが）要するに地球木星火星相互間の複雑な引力關係から起るので千八百年と云ふ長い週期を以て、火星の經度が太陽から見て五十數秒迄おくれ又五十數秒迄す、むので

あります。これは第二次的の作用から起るにも拘はらず、かゝる著しい影響を與へて來ることは一寸面白いのであります。

最後に「長年攝動」、これはどんな者かと申しますと遊星の引力の影響の中惑星の軌道上の位置には無關係で、ただ太陽系内凡ての遊星の軌道の大きさ配置の具合に關係して火星が受ける軌道の變化でありまして、しばらくの間は時間に比例して段々變じて行くのであります、例へば火星軌道の離心率は現今〇・〇九三位でありますが、西紀前四千年の頃は〇・〇八八で將來紀元二千五百年頃には〇・〇九四と増加する様な變化であります。軌道の傾斜は現今減少しつつ、あり、昇交點は退行し近日點は前進して居るのであります。

元來水金地火四遊星の長年攝動に就て、學者の注意を惹いたのが三つありました。其中最も有名なのは、水星の近日點が計算よりも百年に四十三秒だけ進みすぎることでした。これはわけが分らぬので色々學者を苦めました、山本助教が述べられました如く(天界十五號 二十四頁參照) 近頃はやりもののアインシュタイン

の一般相對性原理の方から、兎に角説明がついたとして片附けられました。

次は金星の軌道の昇交點がざつと百年に十秒程逆行が足らぬ(即ち進む)ことです。これは計算も觀測も尙よく考へる必要がありますが、いくらアインシュタインが今の引力法則を振りまわはした所で、水星の近日點の前進を説きあかしたやうに簡単に、二體問題として片附けることはできないのです。どうしても多數の惑星間の引力を吟味しなければ分らないでせう。

最後に残つたのが、私が當面の問題として居る火星に就てであります。

ニュートンが計算した所、他の遊星との相互引力の結果長年攝動として、火星の近日點が百年に一五九五秒前進することとなつたのに、觀測からは一六〇三秒と出て差引百年に八秒だけ近日點が進みすぎることとなり原因不明でありました。六年前ニュートンの火星運動表を修正した學者がりましたが少し小さくなるかも知れませんが、兎に角五、六秒前進しさうです。アインシュタインの理論から火星近日

點は百年に僅一秒三五だけ前進すること出て來ました。尤も觀測から直接分るのは近日點の進行に離心率 $\odot \bullet \odot$ 九のかゝつた者ですから、これ位違てもよいのかも知れませんが、一般相對性原理の結果を検すのに火星はあまりに物足らぬことは明であります。

五、

火星の運動に就てあまり著しい問題は残つてゐないかも知れません。

それに引きかへ、ケプレルによつて古人を惱ました火星の運動が釋明されたと丁度同じ頃、望遠鏡の發明があり、其方が追々愛用されてきて、今の人々にどつてはむしろ火星表面の研究が興味を惹いて居るやうであります。(終)

火星の受ける日光の恵み

古川 龍城

彼の此の頃の晴れて綺麗な夜の空に、東の方にルビーを欺く鮮紅色に、群星を抜いて美しく輝くのは

言はずと知れた我が火星である。此の火星が其の軌道の遙かに遠い所から次第に軌つて地球に近寄り丁度太陽、地球、火星の順に一直線に列んだ時が衝である。此の衝は二箇年と五十日目に来るのであるから一年置いて二箇月弱遅れて起るものと合點すればよいのである。今や衝の近づくを機とし主として火星の世界の春夏秋冬の變化に就いて少し許り述べやうと思ふ。

地球が其の軸の周りにぐるりと一回轉するから天球面を諸の星が全部同一歩調を以つて、地球の自轉の方向と反對に東から西の方へ向け、同じく一回轉する。火星も矢張り我が地球に眞似して同じ様な事をする。今兩遊星の自轉周期を書き並べると

地球 二時 五十六分四・一秒
火星 二四時三十七分二・六秒

即ち火星の方は四十一分ばかり長い事になる。此の地球の一自轉周期の事を一恒星日と云ふ。處が普通の動かない恒星ならば子午線に入り、再び子午線に戻る迄は地球の一自轉周期に精密に一致するが、太陽の方は天球面上を少し宛東へ移動するので、太陽