

歳差及び章動

紀伊 小楨孝二郎

黄道十二宮が今の黄道の十二星座と一致した位置になく、白羊宮にあるべき春分點が魚座の中央に位してゐるご云ふ事は毎年春分點の天球上の位置が黄道に沿つて、一年に50.2秒づつ西へ西へ移動する歳差の現象に起因するごは既に周知の事ご思ひますが、これまで天界誌上にまごまつた説明が出て居ないので、貧弱な自分の身をかへり見ず、筆をさる事に致しました。

× × × × ×

一年の長さは昔、次の様な方法ではかられました。其の一つは俗に云ふ日時計(Gnomon)の針を觀測する方法で、これに依るご、針の影の最長なる時刻と最短なる時刻を見出し得るごごなります。即ち夏至及冬至、随つて春分及秋分の時刻を見出し、これに依つて一年の長さを見出したのであります。他の一つは太陽を其の近傍の恒星の位置に比較して(勿論日出、日入の場合に於て)、同じ關係的位置を繰返す週期を見出し、一年の長さを決定したのであります。

この二種の觀測結果を、長い期間を隔てたものについて比較し、ヒツバルカス(Hipparchus)は既に西曆紀元前約百二十年の頃、二つの結果が一致しない事を看破しました。最近の材料によれば、前者の一年即ち春分より春分までの期間は、後者の一年より20分23秒許り短いのであります。依つて分點(春分點及び秋分點)は、黄道上を西方へ向つて移動し、恰も毎年の回歸に太陽に會合しやうごする恰好ごなります。ヒツバルカスはこの運動を分點の歳星(Precession)と名付けました。

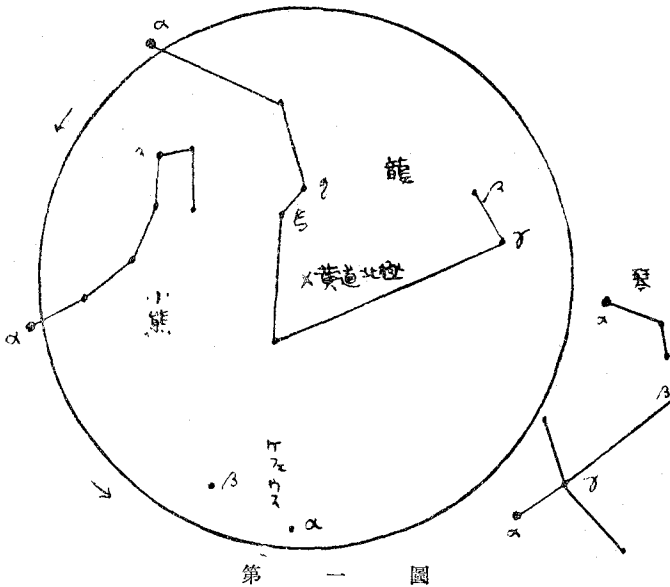
古代の天文學者の測つた恒星の緯度(黄緯を意味す)と、現今に於ける緯度とを比較するに、實に殆んど變つて居ないごごを知るごごが出来ます。従つて黄道そのものの位置は、感覺的には變じてゐないごごが知れます。これに反して恒星の經度は一年に約50.2秒の割で、規則的に増加して居るごごを見出しました。即ち最近2000年間に約30度だけ移動したごごを發見したのであります。恒星の經度は春分點(黄道と赤道との交點の一)より數へるので、黄道の不動より移動は赤道中にあるべき事を察知するを得、仍て恒星の赤緯赤經の常に變化せるごごを知り得るのであります。

次に、赤道の極が黄道の極を中心とて、圓形を畫きつゝ移動するごごについて話を進めませう。赤道の極と黄道の極との天球上の距離(角度)は、黄道の傾斜に等しく、これは殆んど一定に持續して來たものであります。従つて、赤道の極は黄道の極の周圍を圓形に辿つて、大約

$$360^\circ \div 50.2'' = 25800$$

により、25800年の周囲を持つて置くこととなります。即ち黄道の極は恒星との関係的位置を移動せず一點に固定して置りますが、赤道の極——即ち地球の北極南極、換言すれば地軸の延長と地球との交点——は時々刻々、その位置を恒星の間に變へて行くこととなります。現在の北極星の位置は、眞の北極より約 1.1 度即ち1度6分の距離にあるが、(詳しく云へば本年6月1日の位置をこる事として、グリニッチの上の子午線通過(Upper transit)に於て $1^\circ 5' 45.34''$ だけ離れて居ることとなります。)ヒツバルカスの時代の星表(Star Catalogue)には極より約 12° 距つて居り、来るべき二世紀の後には $30'$ 以内まで進み、其後は又遠ざかることとなります。

今天球上に黄道の極を中心としてコンパスをかけ、その周囲に半径23度半の圓を描く、赤道の極の地球上に於ける近似的経路を求める事が出来ます。その結果この圓周が琴座α星の極く近傍を通過することを知り得ます。同時に圓周の弧の長さより、琴座の星が近づくとは約12000年後なる事をも知り得ます。猶その時、北極星として、今の小熊座のかはりに、この星を用ふべき事をも推察する事が出来ます。同時にその反対の極、南極近傍にはからずともカノーパスが輝くべき事をも知り得る筈であります。圓周を逆の方向に辿れば約四千年前龍座α星が北極星として用ひられて居た事を知り得ます。



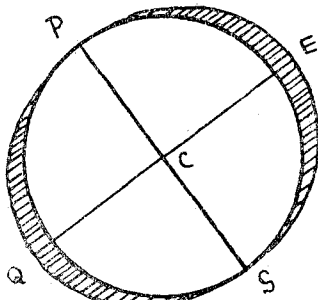
察する事が出来ます。同時にその反対の極、南極近傍にはからずともカノーパスが輝くべき事をも知り得る筈であります。圓周を逆の方向に辿れば約四千年前龍座α星が北極星として用ひられて居た事を知り得ます。

エジプトのピラミッドに存在する穴が正しく北極(地球の)に向ひ、其傾斜の度がピラミッドの建設當時その低い一端から、北極星の下の子午線經過(Lower Culmination)を觀測し得る様造られてゐる事は奇異な事であります。依つてこの通路が該星の經過(Culmination)を觀測する目的に用ひられたものだと考へる事は當然であります。

厳密に言へば黄道の位置は年々徐々に僅かづつ變つてゐるので、恒星間を極の辿る徑路は完全な圓形をなすものでなく、猶且その中心は固定されてゐないのであります。即ち黄道の變化は黄道と赤道との傾斜角に變化を與へて來ます。現今この傾斜角は2000年前のそれより約24分少く猶一年に約半秒の割合で減少して居ます。この減少は今後約一萬五千年繼續され、其の最も傾斜の小なる時に至れば $22^{\circ}\frac{1}{4}$ になるべき事を計算されてゐます。ジョン、ハーシェル (John Herschel) によれば、全變化は平均値の兩側一度二十分を超越することは不可能だ云はれてゐます。

× × × × ×

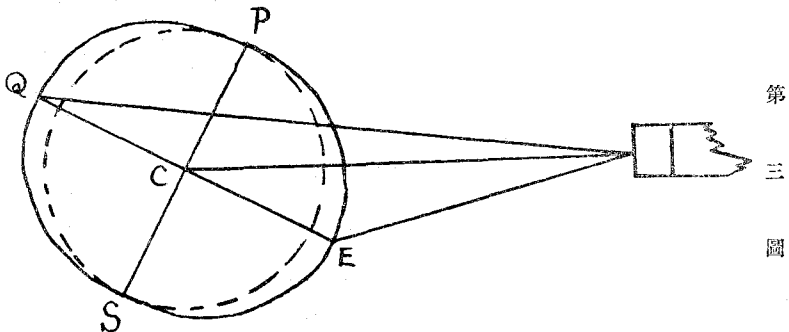
次に歳星の物理的原因も云ふべきものについて述べ様と思ひます。その原因として私等は次の事實を考へます。即ち地球それ自體が正しい球でなく、大體左圖の如き回轉階圓體であることに基づくのです。今地球より地球の中心を中心として、短軸の半径を半径とする球形のものを取り除いたを考へませう。然る時殘されたものは輪狀をなし、赤道部が最も突出したものとになります。この突出したる近き部分に、太陽及び月の引力が動き赤道面を黄道面と一致させやうとする傾向を與へます(一般に太陽及月の爲にかくなさるゝ歳星を日月歳星(Lunisolar precession)と呼び、惑星の引力が地球の軌道上に働いて、春分點を反對の方向に僅かだけ妨ぐる惑星歳星(Planetary precession)と區別します。惑星歳星の量は至つて少く年々約0.16秒に過ぎない。)



第二圖

大體左圖の如き回轉階圓體であることに基づくのです。今地球より地球の中心を中心として、短軸の半径を半径とする球形のものを取り除いたを考へませう。然る時殘されたものは輪狀をなし、赤道部が最も突出したものとになります。この突出したる近き部分に、太陽及び月の引力が動き赤道面を黄道面と一致させやうとする傾向を與へます(一般に太陽及月の爲にかくなさるゝ歳星を日月歳星(Lunisolar precession)と呼び、

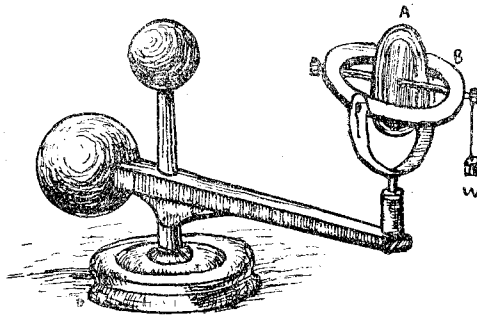
惑星の引力が地球の軌道上に働いて、春分點を反對の方向に僅かだけ妨ぐる惑星歳星(Planetary precession)と區別します。惑星歳星の量は至つて少く年々約0.16秒に過ぎない。)



第三圖

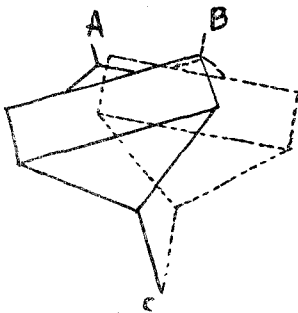
今この事實を明瞭にするため次の様な例をこる事にしませう。P E S Q を地球狀の鐵球とし、Mを磁石とします。P及びSは球の兩極Q Eは赤道部と定め

ませう。磁石Mは赤道面(QEの平面)をして磁極を球の中心をむすんだ線(CM)の方向に一致させやうとする傾向を持ちます。何故ならば赤道突出部の中の近き部分Eは、遠き部分Qより強く引く事になるからであります。今若し地球に自轉がなかつたならば、この引力は結局黄道赤道の二平面を同一平面に一致せしむる事になります。然るに地球はその軸の周圍を形大なる速度で回轉してゐる爲めその結果は軸の一端に錘を吊した回轉儀(Gyroscope)の車輪を



第 四 圖

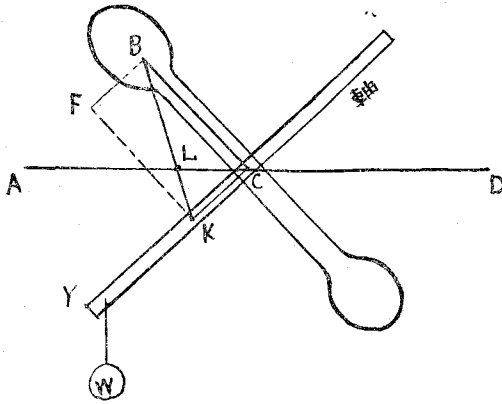
同一の結果になります。回轉儀は第四圖に示せる如く、Aなる車輪を回轉せしめて、一方に錘を吊せるB環に如何なる從屬的回轉が存在するやを研め得る様に造られたる器械であります。今Aなる回轉儀の車輪を時計の進む方向へ急に回轉せしむれば、軸の端の錘はその傾斜を變ずる事無くして徐々に時計の方向に反對に軸を回轉せしめることになります。若し回轉儀を通ずる水平面を黄道に見做し、回轉儀の直上——水平面を垂直に——の點を黄道の極を見做さば、車輪の軸を上方に延長したる即ち軸の延長の運動は、地軸の極が天空を畫くのと同一形式をります。速急なる車輪の回轉を緩徐なる軸の歳差的運動も地球の自轉を歳差によく對應してゐます。運動の大いさの比は吊されたる錘の輕重に起因するところは勿論であります。



第 五 圖

是は又子供の玩具に見らるゝ獨樂の回轉にも見られます。即ち第五圖に於けるACなる回轉軸が獨樂の回轉により軸に移動を來しAなる一端は圓形を畫きつゝ、Bに移動するのが見えます。即ち軸の傾斜は略々一定に持續しつゝも回轉軸はCの直上なる一點を中心としてめぐります。

この問題に關する充分なる説明は非常に複雑したものでありますので、簡單にアクションを起す経過を述べさせて戴きます。例によつて圖示することに致しませう。XYを回轉軸とし、車輪を横から見た切面として表はし、自分の眼を車輪の中心を等しい高さに置くにします。而してB點が觀測者(自分)の方向に來る如く回轉を與へませう。錘をY端に吊します。車輪に回轉を與へざれば、Bが四分の一回轉後Cに達する時間の中にF點に達する筈であります。今この二種の移動を結合すれば、B



第六圖

精密なる解析的方法を要し、且車軸上の各點の運動の考慮を要するのであります。

× × × × ×

次に歳差の緩徐なる理由を挙げ様と思ひます。これは次の三個の原因に歸する事が出來ます。

- I 尠大なる地球の回轉運動の爲め。赤道上の點は實に砲彈の速度に匹敵するものである。
- II 歳差を惹起する爲の地球の突出せる環狀部の質量が地球全質量に比して小なるこゝ。
- III 環を黃道に一致せしめんが爲の力の微小なるこゝ。この力は回轉儀の錘の如き恒常的固定的のものでなく變化し易きものであります。

× × × × ×

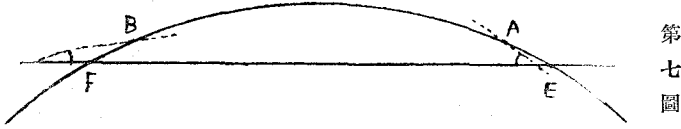
次に分點差(The Equation of the Equinox)について述べる事にします。太陽が春分點及秋分點に來れば赤道面内に入るが故に、其の度に太陽の歳差力(Precessional force)——歳差を起す攪亂偶力——は全然消滅し、地球の赤道をその似置外に引出さんとする傾向を失ふ、月は地球に接近せる爲その働きは、太陽のそれよりも平均二倍半だけ一層有力なものであります。而して月も太陽と同様一月の間に赤道を二回横ぎりその瞬間に歳差力を消滅する事になります。

尙月の引力による歳差的效果は次に述べる様な他の原因があります。已に周知の如く、月は黃道上を運行するものでなくて、黃道より5度の傾斜を持つ白道と稱する道を運行します。白道の黃道を切る點は交點(The Node)と呼び、昇交點(The Ascending Node)とは月が黃道を南より北へ横ぎる點であります。この交點は黃道を西へ西へ移動し、約十九年で一回りします。今月の軌道の昇交點が秋分點Fに近きB(第七圖)にあれば、その赤道へ對する傾斜より約五

は同時間中にLに於て水平面を横ぎり一點Kに來るべきこゝを知り得ます。

この結果は軸諸も全車輪をして後方への螺旋的運動を起さず事になります。これだけでは軸の傾斜が錘の爲に變らないこゝは勿論説明出來てゐません。單に車輪の平面が後退運動をなす極く小部分の證だけであります。この問題の完全なる取扱は前述の通り

度許り少なく、約18度に過ぎぬ。

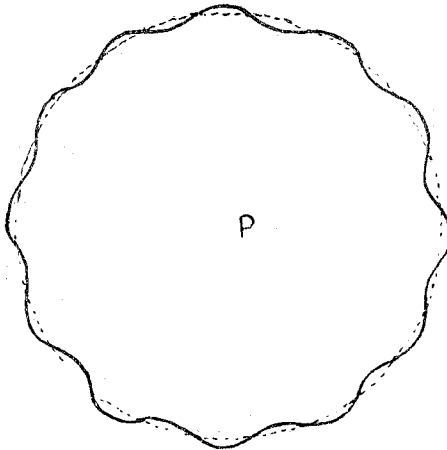


これに反して九年半の後交點が後退して春分點の近傍に到れば、月の軌道の傾斜は増大して約28度となります。交點がこの位置(A)に到れば、月がAにある場合よりも、歳差力は2倍近くに増大するところは判然します。

斯の如く歳差力、従つて歳差の量は一定せず、或る時は殆んど消滅し、又或時は急激なるものであります。この過程を名づけて分點差(The equation of the equinox)と呼びます。

× × × × ×

歳差についてはこゝで一先づ切上げて章動(Nutation)に移ることにします。只今述べた様に攪亂偶力(歳差力)の増大減小に伴ひ其の量を變づるものであるが、同時に極の歳差的運動を直接に加速或ひは減速せんとする横の方向への分力があります。これは第四圖にある回轉儀の錘Wを徐むろに水平の方向に引くことと同一の結果で、地球の赤道を攪亂する物體(月及び太陽)が大部分の位置に於てこの作用を起すのである。この結果を名付けて章動(Nutation)と呼びます。即ち地軸は黃道の極を中心として圓滑なる圓周をめぐるものでなく、少し内外にうねつて第八圖に似た波狀の曲線を描くこととなります。實際に於ては



二萬六千年で全圓周をめぐる期間に

$26000 \div 19 = 1400$ (主なる章動)
即ち1400の波をつくることとなります。章動には太陰章動を主要部分とするが他に二つの小章動があります。次に列記します。

A. 太陰章動(The Lunar Nutation) これは月の交點の移動に起因するものであつて、6798日餘(約19年)の週期をもち、章動の大いさは 9.2 秒に及びます。

B. 太陽章動(The Solar Nutation) 太陽が年二回(春分及び秋分)歳差力が消滅し他の二回(夏至、冬至)に極大に赴む事に起因するもので、半年を週期とするが故に半年週章動とも稱しその量は 1.2 秒に過ぎないのであります。

C. 毎月章動(The monthly Nutation) 月の赤緯の變化が太陽のそれと同様に歳差力に變化を致し、太陽章動の如き一種の章動を起します。月の赤緯の變化は一月を週期として、其の間二回赤道を通過する故章動週期は半月となります。依て又半月週章動とも呼び其の量は至つて微少であつて一秒の十分の一以下であります。

餘談ではあるがこの章動は西曆1728年ブラッドレー(Bradly)によつて發見されたが1748年まで充分な説明が與へられなかつた事を記して置きます。

× × × × ×

以上で一通りの通俗的説明を終へた事になりますが、其の數理的解明は期を改めて述べ様と思ひます。つまらぬ事で貴重な紙面を費さして頂いたことを深謝致します。 蜜柑の花香る有田川の河畔にて、(一九二六)

續 星 座 百 首 (其の二)

某 女

15 ヘルクレス座

ヘルクレス 西は冠 東 琴
南 蛇遣 北は龍なり。

16 獵犬座

獵犬の西は北は大熊座
南 髪 東 牛飼

17 髪座

髪は乙女、牛飼、獵犬や
獅子の星座に圍れてあり。

18 蛇座

蛇座 蛇遣座の西東
黄道 ちかく のそき見よかし。

19 蛇遣座

蛇遣めくるは 蛇座 ヘルクレス
天秤、蝸、射手の座としれ。

20 セフエウス座

セフエウス座 北極星にいさちかく
カシオペイヤの椅子ならひて

21 白鳥座

白鳥は 東 蜥蜴 西は琴
北 セフエウス 南小狐

22 琴座

名に高き琴座を圍る星の座は
龍、ヘルクレス、狐、白鳥

23 小狐座

小狐の北は白鳥 南は
小まき矢座と海豚なりけり。

24 トカゲ座

蜥蜴座を圍る白鳥 ケフエウス
アンドロメダにペカソスの座

25 ペカソス座

ペカソスはアンドロメダの西南
狐の東水瓶の北

26 鷲座

鷲座をば 矢、海豚、水瓶、蛇遣
蛇、橋、山羊に射手圍る。