

天 界

(第 六 卷)

第六十一號

大正十五年二月

太 陽 系 の 起 原 (二)

J. H. ジ ー ン ス

我々の太陽系は可成り明白なる特徴をもつて居る事に注目して議論(穿鑿)を進めてゆかう。

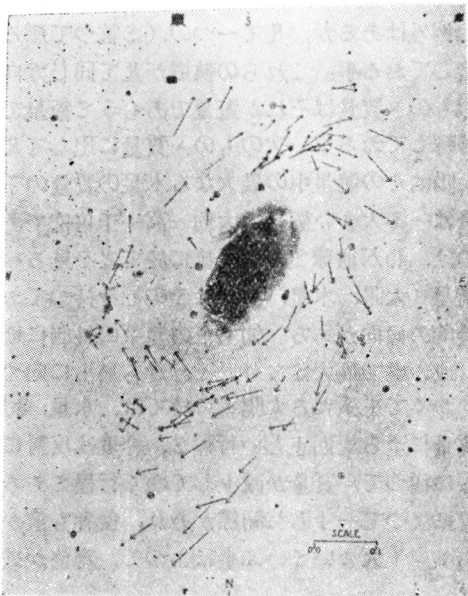
太陽系は恰も偶然に落ち合つたかの如く見える單なる物體の塊ではない。太陽及びその遊星より成る主系は明白に著しい特徴を有して居るのみならず、同じ特性が衛星族をつれておる木星及び土星より成る従系にも亦表はれたに違ひない。従つて一つの星系にあてはまる起原は同時に他の二つの星系にもあてはまらなくてはならない。従系たる小さな星系は主系たる太陽系の縮圖であるから、一つの星系にはあてはまるが他の星系には一寸具合がわるいといふ様なものでは、満足なものといふ譯には參らない。三つの星系に共通な主な特色は、三つの星系に於ける軌道が、二三の例外はあるが、凡て一つの、(と言つて惡るければ、殆んど一つの) 平面に密接しておる事。これらの軌道が凡て同じ方向に廻がかれて居る事。及び第二次のものゝ質量はそれが遊星であらうと衛星であらうと、其れらが其のまわりを廻轉しておる第一次のものゝ質量に比して凡て小さいといふ事である。そして太陽はその遊星中の最大なる木星の質量の千四十七倍に等しく、その木星の質量は一番大きい衛星の大約一萬一千倍位である質量に於て最小の差異を示すものは、わが地球と月の系統に於て之を見るべく其の比八〇對一である。澤山の衛星(太陽、木星、土星などの)を持つておる星系に於ては、質量に對して一般的の傾向がある。即ちその星系の外側にゆくに従つて、質量は漸次増加して、或る處で最大となり、それから最小に向つて減少してゆくといふ傾向がある。かくて主系たる太陽系に於ては、水星、金星、地球、火星を通つて木星の最大質量に至る規則正しい行程と、今度は反對に木星、土星、天王星、海王星に至るに従つて、質量が減少してゆく行程とある。前者に於ては火星の並外れた位置によつて一寸した間隙があり、後者も僅かに海王星が天王星よりも五、六パーセント大きいといふ事によつて、齊整が破れておる。

進化過程の本道は、收縮しつゝ廻轉しておる物質(星)の進化過程であるを考へてきた。即ち初めは瓦斯でそれから液體となり、それから固體となつて、そのまゝ、空間に残つたものであるといふ風に考へてきたのであつた。かゝる星

系にはその全生涯を通じて最も著しい特徴を示さなくてはならぬ。對稱平面即ち之れである。その初期に於て、即ちその星系が未だお互に無關係な分子の混沌として集まつておつた頃は、その平面は數學家の所謂その星系の不變平面(Invariable plane of the system)と合致するものである。それから物質が廻轉星雲の如き規則正しい形をみる様になつた時は、その平面は正に赤道面それ自身である。その平面内に引き續いて、うづまきの腕が表はれ、その軌道面内で星の密集が初まるのである。渦狀星雲がその赤道面に關して對稱であるといふ事から、渦狀星雲が廻轉體として、他から影響を受ける事なく今日の狀態にまで、發達してきたものであることの暗示を得るわけである。

既に、わが太陽系が他から影響を受けない廻轉體から發達したものである以上この場合も亦對稱平面が表はれなくてはならぬ、而も實際殆んゞ凡ての遊星及び衛星の軌道は、殆んゞ一つの平面内にある。これが對稱の平面である事は勿論の話である。併し太陽の廻轉軸は此の平面に垂直になつて居ない。そして太陽の對稱平面はその赤道であつて、これはその軌道面と七度の角をなしてゐる。

第 八 圖
渦狀星雲内の運動 (M 81.)



此の明白な二つの平面が存在するといふ事は、わが太陽系は單に他から影響を受けない廻轉體から發生したものではないといふ事を物語るものである。故に、わが太陽系の源をたづねるには廻轉からくる影響は當然の事として、之れに加ふるに何か他の影響に思を致さなくてはならぬ。大體をいへば、太陽の赤道は當然以前の星系の廻轉面を示しておるものであり、遊星の軌道面は何か不意の影響によつて生じたものであらう。

二つの分離した天體間相互の作用の内、重力による引力が最も勢力あるものゝ様である。

る。月は我が地球に及ぼす凡ての影響の源であること考へられてきたものである例へば、天候、運命、情緒、及び地球上の居住者の正氣、にさへ影響すること考へられたものである。併し科學的調査を必要とする影響は、半日週潮によつて

明らかなる月の引力である。二つの天體が正面衝突をやつたなら、單なる起潮力ごころの騒ぎじゃない、直ちに戲曲的結果を起すだらう。併しこゝで我々はそんな事件を考へてはならぬ。何故つて正面衝突なんて事は、極く極く稀れな事であるに違ひないからである。そしてもし正面衝突をやつたなら勿論進化過程の本道から外れて枝道の過程をさる様になるだらう。此の進化過程の枝道が我が太陽系の起原を含んでおることは考へられない。考へ得られる凡ての枝道を研究する事は、時間が之れを許さぬがゆゑに我々はひるがへつて早速太陽系の起原を最もよく表はして居さうなものについて考へよう。即ちはけしい潮汐作用が起つて枝道が進化過程の本道から分れ出たその枝道について考へてみよう

月は地球上に潮汐作用を起さしめる。その平均の高さは高潮の時で僅かに、二、三呎に過ぎない。此の高潮の高さ一之を我々は潮汐分度 (Tidal fraction) と呼んで居るが一は地球半径の一千萬分の一位にしかない。もしも月が質量でいつて、現今の十倍の大きさであるをすれば、そのタイダルフラクションは十倍となる。もしも現在の距離の半分のところに現在の月があるをすれば、そのタイダルフラクションは八倍となる。質量を測定するに、潮汐が起る方の物體 (地球のこゝ) の質量を一にこり、その物體の半径を長さの單位とする。するに、タイダルフラクションは、潮汐を起す物體 (月のこゝ) の質量を距離の三乗で割つたものに等しくなる。之れを $\frac{M}{R^3}$ としておく。此の公式を用ひるに我々に最も近い恒星のプロキシマ、ケンタウリは太陽上に無限小の潮汐を起さしめる事がわかる。タイダルフラクションは 10^{-26} で潮の實際の高さは 10^{-15} センチメートルで、まあざつと電子の半径の五十分の一にあたる。此の簡單な例からでも明らかなる如く、常態の場合、相隣る星の間の潮汐作用の影響は、全く微々たるものである。宇宙進化論上、我が一考を要する底の潮汐作用に對しては、その條件が並外れたものでなくてはならない。

目下のこゝろ太陽は、その近傍に特殊のものは持つて居ないけれども、或る時機に於て星の間を彷徨しておる間に、プロキシマケンタウリの距離より、非常に小さい距離だけ太陽が數多の星の間を運行したに違ひない。地球の年齢は最も信用すべき地質學及び放射學の方からいへば八億年から十一億年の間である。今太陽の年齢を十億年位と考へようではないか。此の十億年の間太陽及び凡ての星が、今日の如き速度を以て今日の如き平均距離だけへだゝつて運動してきたものかと思つてもみようではないか。これは眞理から餘りかけ離れたものである。此の十億年の間に太陽を、太陽に最も近きものの距離は、絶えず變化してきた筈で、星は相互に隣接者としての役目を果たした事勿論である。併し十億年間の或る時機には、太陽は今の最近隣接恒星 (センチウルスのプロキシマ) にもつと近接した時もあつたであらう。プロバビリティーの理論から計算したところによると、此最近距離は 7×10^{15} センチメートルの程度であつた

らうと思はれる。此の距離は我々プロキシマセントauriとの距離の六百分の一に過ぎないけれども、海王星の軌道の半径の十五倍にもあたるのである。たゞへ太陽が海王星の軌道のところまで擴がつた大さであつても、プロキシマ、セントauriとの接近に於けるタイダルフラクションはプロキシマが太陽位の大さであるとしても $\frac{1}{(15)^3}$ ie $\frac{1}{3375}$ で宇宙進化の見地からすれば、この潮の高さは太したものではない。今日の事情を全く變りないものである限りは、非常に接近した特別の場合の外は分離した星の間の潮汐作用は宇宙進化論的に何の興味もない事になる。

勿論わが太陽が例外的に近接したものの一つである事は可能である。かゝる出来事の假定に對しては、それが先天的に起りさうもない事なら格別、さうでない限りは、何も反對すべき條合のものではない。かゝる近接作用の結果我が太陽系に似た星系が色々な具合に創生せられるのである。

併し我々がやつたプロバビリティー及びインプロバビリティーの計算は次の假定の下にやつた。即ち十億年の間、星の状態が現今の状態に似ておつたといふ餘り正しいものは思はれぬ假定である。宇宙の過去の歴史に溯つて考へてみるに、今日の状態は非常に違つた時代に遭遇する。我々が既に考へた様に太陽が未だ今日の如き特徴を有しておらなかつた時代があるのです。即ち太陽は渦狀星雲の腕の中の如き密集状態にあつて、他の幾千に及ぶ相似の密集と共に解放された生活に向つておつたので、その密度は今日の密度よりも著しく低かつた。がそれだけに又今日よりも大さは大きかつた。亦隣接恒星もより近かつた、その幼年の時代にあつて隣接恒星より受ける潮汐作用は甚大なものであつた事は當然なことである。嚴密に之を數量的に考へてみよう。

一般に、一つの星が他の星の近くを通過する時には潮汐作用が起り、起潮力を有する星が遠のくに從つて潮汐作用はやんでしまふ。餘り近接した爲めに潮の高さが、たゞへ星の半径より大きくなつても、起潮力をもつた星が遠退けば起潮力を受けた方の星は又もこの状態に立ちかへる。併しこゝに一つの限界距離がある。そして起潮力をもつた星がこの限界を越えて近接する時は起潮力を受けた他の星がもこの状態に復歸する望みは絶たれてしまふ。その限界距離はもごもご起潮力を有する星の質量の如何によつてきまる。又この限界距離は大した程ではないが、起潮力を受ける方の第一の星の廻轉形及び密度の分布の如何にも關係しており、尙又この二つの星の相對速度の如何にも關係してゐる。第一の星が、想像上の球によつてよりこまれ、その想像上の球の半径が潮汐作用を與へる星の質量によつてのみきまるものとすれば、事件の進行について相應の概念が得られる。もしもこの起潮力を與へる星の質量が第一の星の質量に等しいならば、この想像上の球の半径は第一の星の半径の凡そ二倍半にあたる。もしも起潮力を與へる星が第一の星の八倍であるに、想像上の球は四倍半

の大きさなる。(今後起潮力を土産に第一の星を訪れてくる星の事を客星といつておく)。此の客星の中心がこの想像上の球の外にある限りは、潮汐が起つても客星が去るに共にタイド(潮)は治まるのであるが、客星が此の球の中に侵入してくるや否や、こゝに全く新しい現象が起るのである。

客星近接の初め、次第に潮汐が高まるにつれ最高潮點は星の中心から、重力による引力が次第々々に弱まる地方へ移動してゆく。同時に客星の引力が次第次第に強くなつてゆく事は勿論のこゝである。最後に、客星が限界球を正に横切らんとする時、引力は第一の星の引力と平衡する。この條件が限界球を定義するのである。客星が尙此の限界球中に侵入してゆく時は、最高潮點に於ける質點は第一星から抛出される。何となれば合成引力は今やキチンと客星の方へ向つておるからである。投げ出された物體は順次に次から次へ抛出される物質によつてこりかへられる……。かくてその結果、瓦斯體の一塊が最高潮點の處から抛出される事になる。この一塊の瓦斯體に於ける各質點は、第一星と第二星の引力の合力の下に運動しておる。而してその軌道を決定するのが所謂三體問題なのであるが不幸にして一般的には解決し得られないのである。併し一般の結果をいへばこの一塊の瓦斯體は、常に客星の軌道面内にあつて運動しつゝ色々な歪みを受けておるのである。

もしもかゝる一塊が、收縮について段々速くなる廻轉の爲め太陽から抛出されたと假定すれば、その引力は瓦斯膨脹力に抵抗し得ずして瓦斯體は急激に空間に飛散してしまうだらう。今の場合は條件が大いに違つて居る。そして本質的の差異は、放射による收縮は極く緩漫に、起潮力による分裂は急激に起るこゝいふ事である。星の廻轉の割合は變るには變つても、千年に極く僅かなのである。一方起潮力を有する星はこゝいふこゝ、第一の星に近づきその仕事をなして何處かへ逃げてゆくの十年もあれば充分なのである。單に、廻轉速度増加の爲め分離した一塊の瓦斯體は非常に稀薄であるに引きかへて起潮力的激變によつて分離した一塊の瓦斯體は、自身の引力によつて一體として率いてゆくに充分なのである。

もしも重力がそれ位の力を持つておる以上は、亦その塊を破壊して密集せしむるに足る力をも持つて居る筈である。丁度渦狀星雲の腕が破壊して密集してゆく様に。併しこゝに再び根本的の差異が考へられなくてはならぬ。渦狀星雲の密集は緩漫な永年の過程である。一年又一年一世紀又一世紀といふ様に、腕はその性質をかへる事なく、抛出されてゆき、その有様は丁度卷いた網をたぐり出すにも似ておる。併し星の潮汐作用による分裂は誠に急激なものである。二、三年の間に、うづまきの腕を出し初めすぐに最高に達し、それから減じ遂にやんでしまふ。即ちその有様は電光石火式である。そして中央は厚く兩端は細くなつて居る。かうした形の腕が、こはれて密集しても、もはや同じ様な質

量の一鎖ではなくて僅かばかりの不等の質量の一鎖である。この時先天的に考へて、當然物質の豊富な中心部からは、大きな質量のものが生じ、物質の少ない端の方からは、小さな質量のものが出来るのである。かゝる問題を先天的に推量を以て決めてしまう事は出来ないが、併し今の場合問題を正確に論ずればわかる事で、先天的の見解の方が正しい事がわかる。そして塊りの中心部に比較的豊富なる物體を考へる事によつて遊星系の中心近くに最も大きな木星、土星の現はれておる事の證明が出来る様である。

起潮力的激變を考へて、明らかに遊星の存在が説明がつく以上亦一般に考へて、これらの遊星の衛星存在の説明もつく筈である。何となれば例を木星にさつて、木星が生れすぐその後初めと同じ局面が縮圖になつてくり返へされるからである。するま木星は、太陽に割りあてられたと同じ役目をする。そして一方彷徨しておる星或は太陽それ自身或はこの星が組み合ひになつて潮汐作用を呈する役目をする。そして或は抛出された塊を生じ、或は密集が形式され或は最後に、その中心に最大なものをもつた一系の天體を得る。木星太陽及び潮汐作用を起す星々は皆同一平面即ち木星の軌道面内に運動しておるからには一度木星の衛星が形成された以上は、それらは、矢張りこの平面内に運動しておらなくてはならぬ、それは丁度観測によつて知られた事實とよく合つておる。

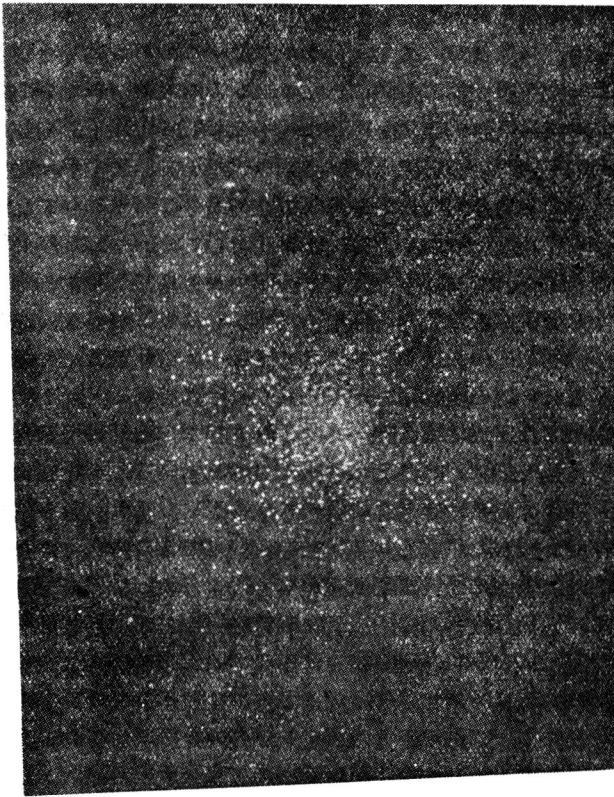
我々は單に一般の星について論及しておる間は同じプロセスが一代又一代と引き續いて起り、一族の衛星の各々が、又そのまわりに小さな衛星を作り、かくて同じ事が無限に起つてゆくかの様に思はれる。常識判斷でもわかる様にこのプロセスが、さういついつまでも無限に起るものではない。何處かに限界がなくてはならぬ。正確な計算によつて、常識的見解の正しい事が、たしかめられる。但し、我々が丁度述べた様な風に太陽系に於ける衛星の全部を説明せんと試みるならば、些か困つた事が起つてくる。それはこの限界を通り越えるといふ危険な目にあふといふ事である。

既に、私は渦状星雲の密集から生ずる天體の質量を計算する公式を書いた事がある。同じ公式を使つて太陽から抛出された一塊の瓦斯體から生じた、遊星の質量を計算する事が出来る。潮汐作用によつて分裂する時に、太陽の半徑が海王星の軌道の半徑に等しく従つて太陽の平均密度が 5.5×10^{-12} であつたと假定しよう。そして抛出された塊の中心の方の平均密度が此の十分の一即ち 5.5×10^{-13} であつたさうしよう。更に抛出された塊の温度が分子速度 4×10^4 に相當しておつたさうしよう。これは普通沸點に於ける水素或は酸素の分子速度の程度のものである。するま公式からして、塊の中心部から出来た、遊星の質量 10^{30} グラムで木星と土星の質量の中間にきておる。これ木星と土星は私どもが想像して出来たものさ考へて、數字的に毫も困難な點がないといふ事を示すに充分である。もしも遊星の誕生に關して潮汐のセオリーを認容したいさならば計算を

逆にして今日知られておる遊星の質量からして、遊星が出来た當時何の位の密度でなくてはならなかつたかを計算するここが出来る筈である。

勿論此の種の計算は木星及び土星の場合にのみには應用が出来ない、もしも潮汐説が正しいならば、凡ての遊星、凡ての衛星に應用されなくてはならない筈なのに。例へば土星の第五衛星までを計算するに 5×20^{23} グラムとなる。もし、これらの衛星が一塊の瓦斯體の密集して出来たものとするれば、此の計算に

第九圖
ヘルクレス座の球狀星團 (M. 13)



よつてこの一塊の瓦斯體は、鉛の密度の一倍から百萬倍迄の何かそんなものでなくてはならない事になる。かゝる結論は前後轉倒しておる。故に唯一の結論はさういへばこれらの衛星は瓦斯體の密集して出来たものではないさういふ事になる。

此の結論は驚くにもあたらなければ豫期に反した事ですらない。今でさへ、此れらの衛星はその質量が小なる爲め瓦斯状態を保持する能力がないのである

から瓦斯状態にては存在し得なかつた筈である。彼等衛星は液體又は固體として、生じたに違ひない。

かくて、衛星が限りなく生れくる可能性の實際的限界如何さういふ事になつてきた。出来たての衛星は重力によつて、一體となつてゆくには餘りに小さ過ぎる。併しそれが空間に飛散してしまはぬ内に凝結し、固體化する物質の可能性を考へるに、空間に飛散し去る恐れはない事になる。かゝる消息の間に遊星の凡ての衛星やその又も一つ小さな者までも存在する様になつたのではあるまい

か(?)といふのです。

凡ての遊星の内、就中我々の興味をそゝる地球はその現在の質量は純粹の瓦斯體から生じたものとては餘りに小さすぎるが、瓦斯體から生れた時その質量の大部分は空中に飛散し去り、現今の地球は嘗てはもつゝ質量の大きかつた遊星の殘物を表はしてゐるに過ぎない。この研究はその見當のつけ様もない。が研究にもつゝ見込みのつき易いのは地球の衛星、月である。遊星がその生れた當初、液體であればある程、未だ瓦斯狀の太陽から潮汐作用を受けて破壊される事は少ない。併し破壊が起るに際して、衛星とその親たる遊星の間に於ける質點の比は、その遊星が全く瓦斯である場合よりも一に近い筈である。かくて生れた當初瓦斯狀であつた遊星から全く液體であつた遊星に至るまで通觀すれば、比較的小さな衛星を澤山つれた遊星に初まり、比較的大きい衛星を少數連れた遊星の限界を通り遂に、全く衛星を持たぬ遊星に至る。これ正しく吾人が太陽系に見るところのものであつて、比較的小さい衛星を持つた、木星及び土星を後に見て、二つの衛星を有する火星を過ぎ比較的大きな衛星を有する地球に至り、やがて、一つの衛星をもたぬ金星、水星に至る。一方木星及び土星より進み小さな四つの衛星を有する天王星より比較的大なる衛星を有する海王星に至る。此の見方からすれば地球と月の系統は、明らかに或る境界を表はして居る。即ちもとも液體であつた遊星とも、もとも瓦斯狀であつた遊星とも境界を表はして居り、他の境界は之を海王星が表はして居る。かくて我々は、水星金星は、液體として或は固體として生れたもので、地球海王星は半ばは液體半ばは瓦斯體として生れ、火木土及び天王星は瓦斯體として生れたのだ、といひ得る。火星及び天王星は遊星系に於ける地位からいつて、餘りに小さい質量であつた事は既に述べた。もしも遊星が連續的に密度の變る一塊から生れたものとせば、生れたての火星の質量は、地球と木星の中間の質量を有つておらなくてはならぬ、同様に生れたての天王星の質量は海王星と土星の中間の質量を有しておらなくてはならぬ。併し我々は二つの並はづれの火星及び天王星は瓦斯狀態にて生れた二つの最小の遊星であると推定し得るを既に知つてゐる。ところで他の遊星よりも、更に多くの質量をその外方の層より失つたのだといふ事はありさうなことであるから、火星及び天王星は空中に飛散してその質量を大部分失つたものであると考へよう。即ちこの二つは、もとも、もつゝ大きな質量をもつておつたものゝ「かけら」であると考へよう。然らばこゝに問題は並外れた事柄の説明も出來、さながら光風霽月の感がある。

併し潮汐説が廣く行はれてよさうなものゝ、我が太陽系の起源を説明し得て充分なりと斷ずるは餘りに早計ではある。蓋し潮汐論と雖も打ち勝つ事の出來ぬ反對を有しそれに對して完全なる解答を與へる事が出來ないからである。

(終り)