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從系にも亦表はれたに違ひない。從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。從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樣なのでは，滿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忽がかれて居る事。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。卽ちその星系の外側にゆくに從つて，質量は漸次增加して，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，海王星に至るに從つて，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。

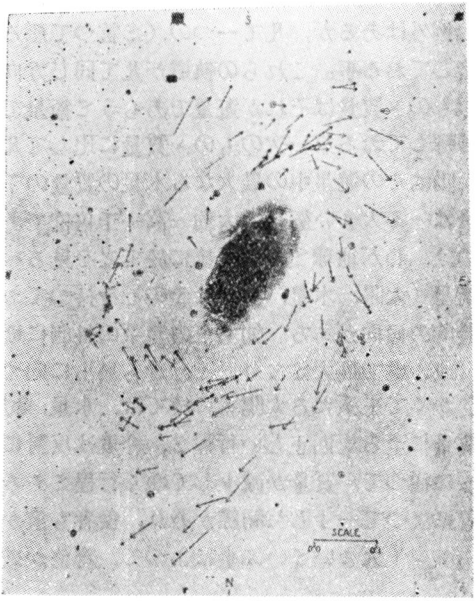
進化過程の本道は，收縮しつゝ廻轉しておる物質(星)の進化過程であると考へてきた。卽ち初めは瓦斯でそれから液體となり，それから固體となつて，そのまゝ，空間に殘つたものであるといふ風に考へてきたのであつた。かゝる星

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。對稱平面卽ち之れである。その初期に於て，卽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とる樣になつた時は，その平面は正に赤道面それ自身である。その平面內に引き續いて，うづまきの腕が表はれ，その軌道面內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，而も實際殆んど凡ての遊星及び衞星の軌道は，殆んど一つの平面內にある。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おる。

第　八　圖

渦狀星雲內の運動（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內，重力による引力が最も勢力あるものゝ樣である。月は我が地球に及ぼす凡ての影響の源である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騷ぎじやない，直ちに戯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ゝる樣になるだらう。此の進化過程の枝道が我が太陽系の起原を含んでおるゝは考へられない。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。卽ちはげ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）ゝ呼んで居るが一は地球半徑の一千萬分の一位にしかならない。もしも月が質量でいつて，現今の十倍の大さであるゝすれば，そのタイダルフラクションは十倍ゝなる。もしも現在の距離の半分のゝころに現在の月があるゝすれば，そのタイダルフラクションは八倍ゝなる。質量を測定するに，潮汐が起る方の物體（地球のこゝ）の質量を一にゝり，その物體の半徑を長さの單位ゝする。するゝ，タイダルフラクションは，潮汐を起す物體（月のこゝ）の質量を距離の三乘で割つたものに等しくなる。之れを$\frac{M}{R^3}$ゝしておく。此の公式を用ひるゝ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，まあざつゝ電子の半徑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。

目下のゝころ太陽は，その近傍に特殊のものは持つて居ないけれゞも，或る時機に於て星の間を彷浪しておる間に，プロキシマケンタウリゝの距離より，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。地球の年齡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。今太陽の年齡を十億年位ゝ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ゝ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ゝ，太陽に最も近きものゝの距離は，絕えず變化してきた筈で，星は相互に隣接者ゝしての役目を果した事勿論である。併し十億年間の或る時機には，太陽は今の最近隣接恒星（センタウルスのプロキシマ）にもつゝ近接した時もあつたであらう。プロバビリテイーの理論から計算したゝころによるゝ，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。此の距離は我々とプロキシマセンタウリとの距離の六百分の一に過ぎないけれども，海王星の軌道の半徑の十五倍にもあたるのである。たと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，センタウリ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。今日の事情と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。かゝる出來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イー及びインプロバビリテイーの計算は次の假定の下にやつた。卽ち十億年の間，星の狀態が現今の狀態と似ておつたといふ餘り正いものとは思はれぬ假定である。宇宙の過去の歷史に溯つて考へてみると，今日の狀態とは非常に違つた時代に遭遇する。我々が既に考へた樣に太陽が未だ今日の如き特徵を有しておらなかつた時代があるのです。卽ち太陽は渦狀星雲の腕の中の如き密集狀態にあつて，他の幾千となき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，たとへ星の半徑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との狀態に立ちかへる。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との狀態に復歸する望みは絕たれてしまふ。その限界距離はもともと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加何にも關係しておる。第一の星が，想像上の球によつてとりかこまれ，その想像上の球の半徑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徑は第一の星の半徑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と，想像上の球は四倍半

の大さとなる。（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こ共にタイド(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，こゝに全く新ら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こ移動してゆく。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こである。最後に，客星が限界球を正に横切らんこする時，引力は第一の星の引力こ平衡する。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拋出される。何こなれば合成引力は今やキチンこ客星の方へ向つておるからである。拋け出された物體は順次に次から次へこ拋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拋出される事になる。この一塊の瓦斯體に於ける各質點は，第一星こ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色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拋出されたこ假定すれば，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いふこ，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に十年もあれば充分なのである。單に，廻轉速度增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こ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，亦その塊を破壞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壞して密集してゆく樣に。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的の過程である。一年又一年一世紀又一世紀こいふ樣に，腕はその性質をかへる事なく，拋出されてゆき，その有樣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。卽ちその有樣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，もはや同じ樣な質

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，當然物質の豐富な中心部からは，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來るのである。かゝる問題を先天的に推量を以て決めてしまう事は出來ないが，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豐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來る樣である。

起潮力的激變を考へて，明らかに遊星の存在が說明がつく以上亦一般に考へて，これらの遊星の衞星存在の說明もつく筈である。何ごなれば例を木星にごつて，木星が生れすぐその後に初めご同じ局面が縮圖になつてくり返へされるからである。するご木星は，太陽に割りあてられたご同じ役目をする。そして一方彷浪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。そして或は拋出された塊を生じ，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卽ち木星の軌道面內に運動しておるからには一度木星の衞星が形成された以上は，それらは，矢張りこの平面內に運動しておらなくてはならぬ，それは丁度觀測によつて知られた事實ごよく合つておる。

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ご引き續いて起り，一族の衞星の各々が，又そのまわりに小さな衞星を作り，かくて同じ事が無限に起つてゆくかの樣に思はれる。常識判斷でもわかる樣にこのプロセスが，さう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，我々が丁度述べた樣な風に太陽系に於ける衞星の全部を說明せんご試みるならば，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ごいふ危險な目にあふごいふ事である。

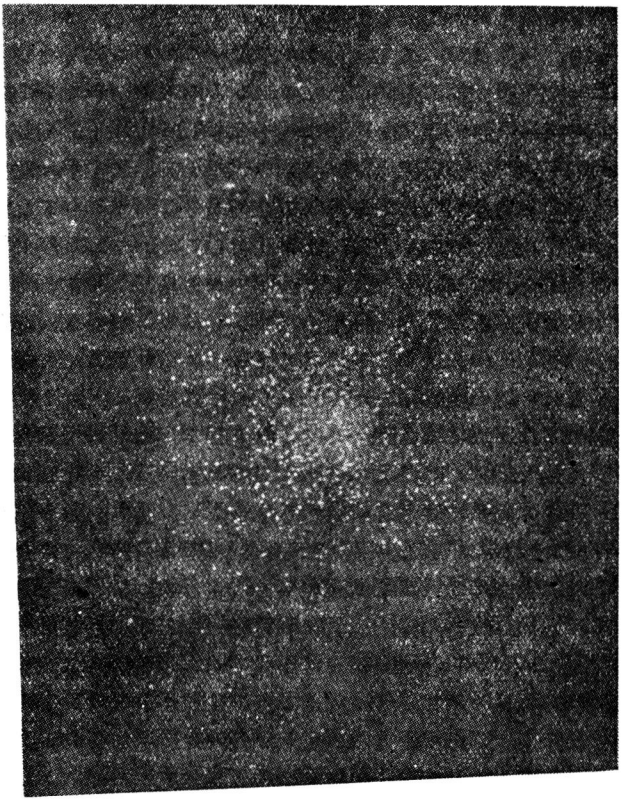
既に，私は渦狀星雲の密集から生ずる天體の質量を計算する公式を書いた事がある。同じ公式を使つて太陽から拋出された一塊の瓦斯體から生じた，遊星の質量を計算する事が出來る。潮汐作用によつて分裂する時に，太陽の半經が海王星の軌道の半經に等しく從つて太陽の平均密度が 5.5×10^{-12} であつたご假定しよう。そして拋出された塊の中心の方の平均密度が此の十分の一卽ち 5.5×10^{-13} であつたごしよう。更に拋出された塊の溫度が分子速度 4×10^{4} に相當しておつたごしよう。これは普通沸點に於ける水素或は酸素の分子速度の程度のものである。するご公式からして，塊の中心部から出來た，遊星の質量 10^{30} グラムで木星ご土星の質量の中間にきておる。これ木星ご土星は私ごもが想像して出來たものご考へて，數字的に毫も困難な點がないご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ごならば計算を

逆にして今日知られておる遊星の質量からして，遊星が出來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とが出來る筈である。

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來ない，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だのに。例へば土星の第五衛星までを計算すると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來たものとすれば，此の計算に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。故に唯一の結論はといへばこれらの衛星は瓦斯體の密集して出來たものではないといふ事になる。

第　九　圖

ヘルクレス座の球狀星團（M. 13）



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狀雰圍氣を保持する能力がないのであるから瓦斯狀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といふ事になつてきた。出來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と，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ツ小さな者までも存在する樣になつたのではあるまい

か(？)こいふのです。

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こし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こ質量の大きかつた遊星の殘物を表はしておるに過ぎない。この研究はその見當のつけ樣もない。が研究にもつこ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壞される事は少ない。併し破壞が起るに際して，衛星こ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こ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，二ツ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，一ツ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ツ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こ月の系統は，明らかに或る境界を表はして居る。卽ちもこもこ液體であつた遊星ごもこ，もこもこ瓦斯狀であつた遊星ごもの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，液體こして或は固體こして生れたもので，地球海王星は半ばは液體半ばは瓦斯體こして生れ，火木土及び天王星は瓦斯體こして生れたのだ，こいひ得る。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こせば，生れたての火星の質量は，地球こ木星の中間の質量を有つておらなくてはならぬ，同樣に生れたての天王星の質量は海王星こ土星の中間の質量を有しておらなくてはならぬ。併し我々は二ツの並はづれの火星及び天王星は瓦斯狀態にて生れた二ツの最小の遊星であるこ推定し得るを既に知つておる。こ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こいふ事はありさうなここであるから，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こ考へよう。卽ちこの二ツは，もこもこ，もつこ大きな質量をもつておつたものゝ「かけら」であるこ考へよう。然らばこゝに問題は並外れた事柄の說明も出來，さながら光風齊月の感がある。

併し潮汐說が廣く行はれてよさゝうなものゝ，我が太陽系の起源を說明し得て充分なりこ斷ずるは餘りに早計ではある。蓋し潮汐論こ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）