

天 界

第五十八號

(第五卷)

大正十四年十一月號

通俗天文講話 (第六講)

海王星發見物語

(附、天體力學の話)

荒 木 俊 馬

山本博士は本年七月末の岡山の講習會に於て天文學の歴史に就いて述べられたが、其の時代を分けて四期せられ、其の第二期をニュウトン、萬能の時代(數學者に號命された時代)とされた。此の時代別を私は非常に面白いと思ふのである。

前講に於て述べた様に、西曆千六百八十七年ニュウトンが萬有引力の法則を發表して以來、世界のすべての天文學者は此の法則を出發點として天體の運行の研究に没頭したと言つてもよい。此の法則に従つて太陽系の諸遊星が如何なる運動をなすか。そう言ふ研究は實際其の時代の總ての天文學者の頭腦を支配したのである。而して此の方面の理論的な研究を観測との一致は實に驚ろくべきものであつて、古來其の比を

見ないと言つてもよく天體力學の研究が燦然として榮えた時代は實に前世紀の末近くまで續いたのである。海王星の發見はその最も華々しい勝利である。

本講に於て海王星發見の轉末を述べやうと思ふがその前に少しく「天體力學」とは如何なる學問なるかに就いて話をう。

二

ニュウトンの萬有引力の法則によれば、すべて宇宙間の二物體は其の質量の相乗積に比例し其の距離の二乗に逆比例する力にて相引き合ふ。この原理に従つて空間に於ける各天體の運動やそれに關する法則を決定するのが、大體天體力學の定義と言つてよからう。

今空間に唯二つの天體があるとするならば、それ等は其の

重心のまわりに各々橢圓運動をする。この事は數學上の式から嚴密に決定出来る。又其の運動の速度や時間に對する位置なども嚴密に解く來が出来る。天體力學に於てこれを兩體問題 (Two body problem) と名づける。

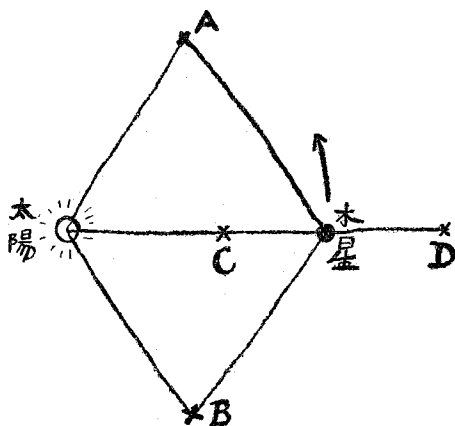
所が空間に三つ以上の天體が散在して居る。今最も簡單な場合として甲乙丙の三つの天體がある。こしやう。例へば、太陽、木星、土星の三つを考へて見る。こしやう。大體論から言へば太陽を焦點として木星と土星とは夫々別々の橢圓を運動をする。そしてその事は觀測の大體の値と一致するのであるが、然し實際非常に詳しい所に行く。こしやう簡單には行かないのである。太陽を焦點として木星と土星との各々が別々な橢圓運動をする。こしやうのは、木星の運動を考へる場合には土星を度外視し土星の運行を考へる場合には木星を度外視し各々を兩體問題として考へたのであつて、即ち各の場合に第三者の影響を考へに入れて居ないのである。實際木星も土星も太陽に比すれば、其の質量は非常に小さなものであるから、こしやう言ふ風に兩體問題として考へても大體の觀測の結果と一致するのであるが、然しニュウトンの萬有引力の法則によれば、宇宙間の如何なる二つの物體も互に相引き合ふのである。即ち木星の運動を考へる場合にも土星による引力を考察に入れなくてはならない。即ち木星に作用する力として太陽の引力と同時に土星の引力をも考へなくてはならない。

單にかく簡單に言つてしまへば讀者はそれは別に複雑な問題ではないであらう、太陽の外に今一つ引力を及ぼす天體がふえただけではないか。こしやうふかかも知れない。けれども此の問題は天體力學に於て最も困難な問題の一つであつて所謂「三體問題」と名づけるものである。

私は今何故に三體問題が困難であるかを少しく話そう。上に述べた例に従つて木星の運動を詳しく計算する。こしやう。先づ大體から見て木星も土星も太陽の廻りに橢圓運動をして居る。所で、太陽の引力のみによるならば、木星は嚴密に太陽を焦點とする橢圓運動をするであらう。所が、その外側に土星が、やはりそれ自身の橢圓軌道の上を動いて居て、これがやはり木星に引力を及ぼす。而も土星の位置は時々刻々に變化する。故に其の引力は時々刻々に變ずる。かくして木星は此の土星の引力の影響をうけて粹純の橢圓運動ではなく、正當な軌道から外れて來るのである。これを天體力學では攝動 (Perturbation) と言ふが、全く同じやうに木星は又土星に攝動作用を及ぼして土星の運動も正當な橢圓運動から少しく外れて來るのである。所が土星の運動に攝動を及ぼせば従つて外れただけそれだけ土星の木星に及ぼす引力にも又影響して來るのである。かくの如くして、土星の引力は木星の軌道運動に影響を及ぼしその結果が又原因となつて、外れただけの影響が又引力の少しの變化を來し、この嚴密な値は到底得る事

は出来ない。事實三體問題は一般的に嚴密にこれの解答を得る事が出来ないと言ふ事は佛蘭西の有名な數學者、理論物理學者、哲學者なるアンリ・ポアンカレ (Henri Poincaré) が數學的に證明した。三體問題に於て然りである。まして四つ以上ある場合はその困難なことは言ふまでもない。

第一圖



三體問題は一般的に嚴密に解くことは出来ない。けれども極く特種の場合には解くことが出来る。ラプラーズの解答の如きは其の例である。

ラプラーズの解答と言ふのは天體力學に於て有名なもので

あつて、具體的に説明する爲めに太陽と木星について考へるならば、第一圖に於て次の四つの位置に在る天體は安定に木星と同様太陽と同様完全な橢圓運動を持続する事が出来ると言ふのである。其の四つの位置と言ふのは、

一、太陽と木星を結び付ける線分を一邊とする二つの正三角形の第三の頂點A及びBにある天體、

二、太陽と木星を結ぶ直線上及其の延長上の二定點C及Dにある天體。而もこの二定點の太陽及木星からの距離の比は木星及土星の質量の比によりて決定される。

以上の四つの點については數學上の嚴密な式によりて表はす事が出来るのであるが、其の他の一般の場合は出来ないものである。圖中A及Bに相當する點には吾が太陽系に於ては小遊星の中にそれに相應する星が見出されて居る。

扱て三體問題の一般の解は嚴密に出来ない。故に太陽及土星の引力に作用せられる木星の眞の運動は嚴密な數學上の式によつては表す事は出来ない。然し實際の數字を入れた計算は非常に面倒な計算によつて近似的にこれをなす事が出来るのである。この近似的な方法は天體力學に於ては「攝動論」言ふ大きな部門をなして居るのである。

これは場合場合に應じて各々隨機應變に其の場合場合の最も適當な方向に依る計算法が研究されたのである。例へば太陽系の普通の遊星——此場合には軌道の離心率や傾斜角が非

常に小さな場合であるが——の場合、小遊星の場合、彗星の場合、或は更に同じ攝動にしても週期的攝動及永劫的攝動があり、又最も複雑な場合として天體其れ自身の形や大きさまでも計算の中に入れねばならぬ。月の運動に關する理論の如き、各方面に渡りて非常に莫大なる天體力學の一大體系を形成するのである、のみならず天體力學は其の研究の必要上幾多の數學上の發達をうながした。そしてこの理論の結果實際觀測の驚ろくべき一致は、ニュウトンの萬有引力の法則の大々的の勝利であり又人間の數學解析の力の如何に偉大なるかに驚嘆の聲を發せしめた所のものである。

山本博士の「ニュウトン萬能の時代即ち數學者に號命された時代」が第十九世紀まで續いた事は正に宜なる哉である。

この時代に於ける最も燦然たる發見、そしてニュウトンの萬有引力の法則の大勝利が即ちルベリエ及びアダムスの海王星の發見である。以下海王星發見の詳細について述べよう。

三

千七百八十一年の三月十三日であつた。天空探檢三昧に耽つて居た大ハーシエルは彼の望遠鏡内に異常な星を見留めた。それは普通の星のやうに點ではなくつて大きさをもちた小さな圓板に見える星であつた。この星を發見した時ハーシエルはびつくりした事は言ふまでもない。そして彼が「これは彗星にちがいない」と有頂天になつたのも無理はない。け

れども彼の發見した彗星は彗星でなかつたかわりに、彗星よりも更に重大な意味を有する星であつたのである。

その星は言ふまでもなく天空上を動いた。従つてその位置の變化の測定から大體の軌道を計算して見ることは思いがけもなく今まで知られなかつた遊星と同じ性質のものであつた。即今日の天王星がそれである。

所が此の大體の軌道からさかのほつて見るにこの星はすでに千六百九十年から千七百七十一年までの間にフラムスチー
ド (Flamsteed) ブラッドレー (Bradley) マイヤー (Mayer) 及
ルモニエー (Lomonier) によつて二十度も觀測せられて居る
ことがわかつた。勿論此等の人達はみな六等級の恒星として
それぞれの位置を其の觀測帳に記入して居たのである。千八
百二十年の頃ブーヴァール (Bouvard) はプラーヌの天體力
學から出發して此の新發見の遊星の木星及土星による攝動を
研究せんことを企てた。

ブーヴァールは千七百八十一年以後千八百二十年までの新しい規則的な觀測材料の前に述べた古い昔の人達の觀測帳から三つた飛び飛びの二十の觀測材料を整理した。勿論この昔の人達の觀測は正確さに於て缺ぐ所があるが、然しそれを取る事によつて可なり長い時代に渡る觀測を得る便利が得られたのである。ブーヴァールはかくして此等の材料からそれ以後約四分の一世紀の間天文學者が使用するに足る天王星の豫

測位置の表を作つたのであるが、彼はその研究中、さうしても昔の觀測ミ千七百八十一年から千九百二十年までの觀測材料ミが同じ式に調和しない。若し新舊の觀測を兩方ミも合ふ様にする爲めには二つの違つた式を用ひなくてはならないと言ふ事を見出した。所が二つの違つた式によつて一つの遊星の新舊の位置をあらはすミ言ふことは天體力學の法則に反するものであるので、ブーヴァールは思い切つて舊い方の觀測材料を捨て、しまつて豫測位置を作つたのである。そしてこの不一致が實際、昔の觀測の不正確に基因するのであるか或は何か未だ知らない外からの作用に基因するのであるかそれが判然決定するまではこの計算はこのまゝにほつたらかしておかねばならぬミ言ふ様なことを注意したのである。

然しこの疑問はやがて解決せられる時が來た。即ち其後二十五年を経て千八百四十五年には理論ミ觀測ミの食い違ひが非常に著しくなつて來て、ブーヴァールの計算した値ミ實際觀測の値ミが、緯度で約二分も違ふやうになつたのである。ブーヴァールが始め計算した時に昔の人達の觀測ミその時代の觀測ミが系の式で表す事が出来なかつたミ同じやうに、又新しい觀測は二十五年以前の觀測ミ合はないミ言ふ始末になつたのである。而もこの場合には觀測の正確さに優劣がない、從つて何か外部からの影響があるだらうミ言ふことが愈々判つて來たのである。

天王星の運動の不規則は今や當面の問題ミなつたのであつて、千八百四十五年の夏正に酣なる頃、佛蘭西の碩學アラゴ (Arago) は其時にまだ若き天文學者であつたルヴェリエー (Le Verrier) に此の事を非常に熱心に書き送つたのである。一世の天才ルヴェリエーが其の名を世界に赫々ミ輝した最初の大仕事はかくしてなされたのである。

然し天王星のこの問題は當時の何所の國の天文學者も好奇の限をみはつて研究して居たものであり、獨逸ではかの有名な數學及天文の大將ベツセル (Bessel) がフムボルト (Humboldt) に次の様な手紙を書き送つたのも丁度同じ頃であつた。曰く「天王星の謎の如き運行の解決が、未だ發見せられざる新しき一遊星の作用によりて成され可申候日は既に目前にせきり居り候事ミ小生は痛感仕候而して尙此の新遊星が土星に及ぼす影響を計算する事によりて更に確證を得るものミ愚考仕候」ミ。

又海を渡つた英吉利では千八百四十一年の頃から青年天文學者アダムス (Adams) がエアリー (Airy) の論文に刺戟せられて此の問題の研究に従事し居たのである。

四

扨てルヴェリエーはかくして彼の大仕事にきりかゝつたが、先ずブーヴァールの計算中の不正確な所を正し天王星の運行

に及ぼす木星及土星の攝動作用を完全に引き去つてしまつた。かくして彼は千七百八十一年から千八百四十五年迄になされた觀測について二百五十九個の式を出したのであるが、更に觀測から來る誤差を成る可く少くする爲めに、所謂「最

少自乘法」を名づける方法で、此等を十個つゝ適當な平均を取り、かくして得た二十六個の式から天王星の軌道上に於ける緯度の理論と觀測との違いを計算した。第一表に於けるAは各年代に於ける理論と實際の食い違いをあらはす。

第 一 表

年 代	A	B
1781—1782	+20".5	+ 2".3
1783—1784	+10.8	+ 0.1
1785—1788	+ 2.0	- 1.2
1789—1790	- 8.1	- 3.4
1791—1792	- 7.8	+ 0.3
1793—1794	-10.5	- 0.5
1795—1796	-10.1	- 1.0
1797—1801	- 6.7	+ 0.9
1802—1804	- 3.4	+ 0.8
1804—1806	- 0.4	+ 0.8
1807—1808	+ 3.1	+ 2.1
1808—1810	+ 3.8	+ 0.8
1811—1813	+ 4.4	- 0.5
1813—1815	+ 4.5	- 0.9
1816—1817	+ 6.0	+ 0.4
1818—1820	+ 3.8	+ 0.4
1821—1823	+ 1.7	+ 0.9
1824—1827	- 7.6	- 5.4
1828—1830	- 7.3	- 2.2
1835—1835	- 4.5	- 0.8
1835—1836	- 4.7	+ 2.3
1837—1838	- 2.1	+ 2.5
1839—1840	+ 0.7	+ 2.2
1841—1842	+ 1.5	- 0.2
1842—1844	+ 3.1	- 0.4
1844—1845	+ 6.5	- 0.3

ブーヴァールの計算と觀測との食い違いは約二分にも達したが、第一表Aに示したルヴェリエーの計算では、それが大分少さくなつて最大二〇・五秒である。約四分一に減少したのであるが、然しこの食い違いは觀測の不正確から來るものとしてではあまりに大きすぎるのである。又この食い違いが單に觀測の誤差のみから來るものであるならば、或場合には計算か

ら出した方が大きな値を出すであらうし、或場合には觀測の値の方が大きく出て來るであらうし、而も各年代を通じて此の大きすぎたり小さ過ぎたりする事は全く目茶苦茶におこらねばならぬ。第一表に於けるAは計算の値から觀測の値を引いたのであるが、このプラス及びマイナスが何等の規則正しい排列をもなさない筈である。所が表を一見すれば明らかな

如く此の排列は規則立つて居る。即ち始めの七年間ばかりは正であるが千七百八十九年頃から負になり、それからずつこ負で千八百六十七年頃から再び正となり千八百二十四から二十七年の頃又負になる言ふ様な有様である。かくの如き排列は決して故なくして起る事は出来ない。即ち何か原因がなくてはならないのである。

ルヴェリエーは此の規則的な計算を觀測との違ひは、未知の遊星による攝動だを考へた。

所でその未知の新遊星を理論的な計算によりて發見しやうと言ふのであるが、扨て計算しやうとすれば何から何まで未知ばかりで、その遊星の質量もわからなければ、太陽からの平均距離もわからない。又其の軌道面の赤道面に對する傾きは勿論の事離心率も近日點の位置もわからないのである。全く取り付く島もないやうな有様であつてそれ等を見出さうとするのは仲々容易な業ではない。で先づ大體の見當を付けてかゝつたのである。

で先づ火星、木星、土星、天王星などの軌道を見るに其の軌道面の傾きは皆非常に少く二度三十分以下である。で、未知の新遊星も恐らく黃道面に非常に近い軌道面をもつて居るを考へて差支へなからう。次に未知遊星は土星と天王星の間に廻つて居るものは考へられない。何となれば、若しそうであるとするならば、この遊星は土星にも大きな影響を及

ぼすべきである。で未知遊星は天王星の外側を運行して居るに違ひない。所で、ただ外側と言つてもどれ位の所か見當がつかないが、茲に都合のよい事はボーデの法則と言ふのがある。勿論此の法則は全く經驗の上から出した式で、何故にそうであるか今日でも理屈が判らない。然し、理屈は判らないにしても、太陽系のすべての既知遊星について此の法則が当てはまるものならば、大體の見當をつけるのに此の法則を用ひても差支へはなからう。

所でボーデの法則と言ふのは御存知の通り、各遊星の太陽からの平均距離は一定の數式によつて表はされる。即ち太陽の地球の平均距離を一〇とするに、金星を零番目地球を一番目の星として以下順々に番號をつけるに第 n 番目の遊星までの距離は

$$0.4 + n \times 0.3$$

であらはせる。各遊星についてその數を實際の値を示せば第二表のようになる、實際非常によく一致する。未知遊星は七番目にあたると。で前の式から計算すると三八八と言ふ數を得る。先づ天王星までの距離の二

第 二 表

遊 星	ボーデの數	實 例
水 星	$0 + 4 = 4$	3.9
金 星	$3 + 4 = 7$	7.2
地 球	$6 + 4 = 10$	10.0
火 星	$12 + 4 = 16$	15.2
小遊星	$24 + 4 = 28$	20—35
木 星	$48 + 4 = 52$	52.0
土 星	$96 + 4 = 100$	95.4
天王星	$192 + 4 = 196$	191.9

倍である。

又離心率に就いて言へば、木星、土星及天王星は三つとも極く似寄つた値をもつて居て大體 0.06 近くである。故に未知遊星についても大體此れ位のものであらう。

以上の様な大體の見當からルヴェリエーは詳しい長い計算をした結果、未知遊星は太陽の質量の約一萬分の一位で太陽からの平均距離は約三十六天文單位（太陽と地球との平均距離）軌道の離心率は約 0.108 近日點の緯度約二百八十四度と出した。そして此の未知遊星は千八百四十七年の一月一日には太陽からの距離は 33.06 軌道上の緯度が三百二十六度三十二分でなくてはならぬと計算した。そして此の未知遊星が天王星に及ぼす影響も考へに入れると天王星の運行の理論と實測の食い違いは著るしく減少して第一表におけるBの様になり最も大きな所で千八百二十四年から千八百二十七年までの五・四秒に過ぎなくなる。

五

千八百四十六年九月十八日、ルヴェリエーは此の未知遊星の位置をベルリンの天文學者ガルレ（Galle）に知らせた。ガルレは此の手紙を同日受け取つて早速未知遊星の搜索に従事したが、同月二十三日にルヴェリエーが知らせた天球上の位置から約五十二分離れた所に未知遊星を発見したのである。此れ即ち今日の海王星である。

前にも一寸述べた様にルヴェリエーと程んぎ同時代に、而もルヴェリエーよりも少し前に、英吉利の年若き天文學者アダムスは此問題の解答に研究を續けて居たのである。即ちエアリーに刺戟されて千八百四十一年から研究を始め千八百四十三年未知遊星に關する最初の論文を發表したが、天王星の觀測の材料が不充分であつた爲め色々不正確であつた。千八百四十四年二月天王星に關する總ての觀測材料がグリーニッチ天文臺に集まつたので、アダムスは再び計算してエアリー及びチャリスに提出したが、まだ充分に正確とは言へない様であつたので三度計算して此に始めて満足な計算の値を得たのである。其計算が出来上つたのは千九百四十六年の九月の始めであつた。即ちルヴェリエーより早き事数日である。

ルヴェリエーの知らせによつてガルレが、海王星を発見した爲めに、世に海王星の發見をルヴェリエーに歸するけれども、アダムスにも同様に發見者の榮譽を冠して良いと思ふ。唯不幸にしてアダムスの計算位置が實際の發見に用ひられなかつただけである。ルヴェリエーが居なかつたならば、必ずやアダムスの計算位置によつて誰かが海王星は發見したに違いないのである。ガルレが名をなしたのも又ルヴェリエーが世にあつた爲であらうか。

今比較の爲めにルヴェリエーとアダムスとの計算値と實測値とを合せ掲ぐれば次の如くなる。

観測 ムヂエリエー アダムス
 軌道の平均半徑 30.0867 36.1539 37.2474
 離心率 0.008719 0.107610 0.120615
 近日點 47° 12' 284° 6' 299° 11'
 實 量 0.000056 0.000107 0.000150

これによるムヂエリエーの値の方が極く少しだけ實際に合つて居るやうである。又アダムスの計算位置ミガルレの観測位置の違は二度二十七分であつた。

* * * * *

以上述べた様に海王星の發見は他の天文學上の發見の如く偶然的なものでないわけ華々しい。ルヴェリエーにせよアダムスにせよ其の明晰な頭腦から全く理論的な計算によつて嘗て前人の知らなかつた遠い大きな星を「創作」したのである。而も其の星は「實在」のものであつた。世に斯くも偉大な創作があるであらうか。宜なる哉、海王星の發見が、天文學史上の最も燦然たる事件として數へられる事。

ルヴェリエー及アダムスは理論によつて未知遊星を計算し出した。所が、その理論が實にニュートンが發見した萬有引力に基くことは言ふまでもない。世に海王星の發見がニュートンの萬有引力の法則の最も偉大なる勝利であると言ふ。盡し至言であると思ふ。(通俗天文講話完)

附言、永々貴重な紙面を費した此の講話に終りを宣する。勿論以上の講話は天文學の一部分を述べたに留まつて、或は此に天文講話と名づけるのは羊頭をかかけて狗肉を賣るの批難をまねがれぬかも知れない。然し此の講話の始めに「まえおき」として書いたやうに此の講話は舊來天文學と名づけ來りたる部分のみについて述べ今日非常に長足の進歩をした所謂宇宙物理學 (Astrophysik) の範圍には渡らない事にして居たので、筆者は先づ約束を履行したわけである。

又此の講義に於てはあまり専門的な事柄は略した。若し更に此の講話にしたやうな天文學の方面について詳しく知りたい讀者があるならば筆者は其の參考書として日本語の本で戸博士の「理論天文學」を擧げて置く。尙此の講話を始めから終りまで通讀される方があるならば第四講「天空の逍遙遊者」と第五講との間に天界第三卷(大正十二年)第三十二號第三十三號に山崎正光氏が書かれて居る「天體距離の測定法」を挿入して頂きたい。

通俗天文講話はこれで終りとする。尙其他書き漏した問題や宇宙物理學の問題に就ては今後時にふれて筆を執る機會があるかも知れない。

正誤、天界第五十三號十三頁「天空の逍遙遊者」中の下段左より三行目**ピサ**は私の記憶違いでした。**パツア** (Padua) の誤りですから訂正します。(荒本生)

豫告

荒本理學士の通俗天文講話は終りを告げたが來年から上田理學士が、通俗天文講話として主として球面天文學に關する方面をさかれる筈である。