



彗星の物理學的性質 (1)

(Some Physical Natures of Comets)

理學士 竹田 新一 郎

(内 容)

第一章 一般論

第二章 彗星のエンベロプと大きさ

第三章 彗星の光力

第四章 彗星の質量と密度

第五章 彗星の起原

第一章 一 般 論

何時の世に於ても、其の忽焉として去來する點に於て、又其の顯著なる形狀に於て、彗星は人類の好奇心を惹いた。勿論多くの無理からぬ想像がその中に混じり込んだのは言ふ迄もない。

遊星の運動は理論的にニュートンに依つて確立せられた。而して、彗星の運動も又萬有引力の一般法則に依つて説明せられた。故に天文學者の注意は主として彗星の他の遊星による擾亂運動に向けられ、従つて其の正確なる位置の觀測が必要であつた。

然しながら、彗星の物理學的性質の研究は寧ろ無視されて居た。彗星が頓星及び瓦斯の集團であると言ふ考へは、以前から可なり一般的に認められて居た事であるが、然らば、彗星内部に於て、それ等の物質が如何なる物理學的狀態に構成されて居るかに就いては、吾人の知る所甚だ少い。彗星の尾が最も著るしいものであり、又興味あるものである事は言ふ迄もない事であり、その點に就いては、多くの天文學者に依つてよく觀測もされ又研究もされて居る。

彗星の尾の物理學的性質に就いては、ブレデキン(Bredichin)に依つて、充分

に研究され且つ分類された。そして尾の出來方に關しては、多くの假説や説明がなされて居る。オルバース (Olbers) ベツセル (Bessel) J. ハーシエル (Herschel) グラハム (Graham) 及び其他の學者達は電氣的の反撥力に依るものであり、アレンius (Arrhenius) シュワルツシルド (Schwarzschild) 其他の人々は輻射壓に依るものと考へた。又バーナード (Barnard) は『空間には或種の disturbing medium が存在し、彗星がその mediumに出遇へば、その尾を粉碎したり歪めたりする』と言ふやうな暗示を與へて居る。然しながらアレンiusの輻射壓の理論が、現代物理學の充分なる研究を進歩をもつてすれば、多くの點に於て難點もあり又改正も必要とするけれども、最も一般に行はれて居り、又卓越して居るものゝやうに思はれる。彗星の尾を構成する物質の微粒子が、完全に反射するものと假定して、シュワルツシルト (1901) は『輻射壓が重力に優るのは、微粒子の半径の比較的狭い範圍内に於て ($0.07-1.5\mu$) 起り、此の範圍内に在りても、輻射壓は太陽引力の高々18倍にしかない』と言ふ事を證明した。ニコルソン (Nicholson) 及び其他の學者は光の舊力學的理論の立場からやはり同じやうな結果を得た。然し此の結論は寧ろ宇宙物理學的に要求される事には矛盾して居る。何となれば、分光學的觀測の立場から見て、彗星の尾や、太陽紅焰やコロナの中には或る光を放つ瓦斯 (分子の半径 10^{-8}cm) が存在してゐることを假定しなければならぬからである。且つ又、レベヂェウ (Lebedew) は、CO や、メタンやプロパン等のやうな吸収瓦斯の分子には輻射壓の存在する事を、實驗的に證明した (1910)。最近 (1923) ゲールラッハ及びゴールゼン (Gerlach and Golsen) は、彼等の正確なる實驗の結果を概括して『壓力が約 10^{-6} 乃至 10^{-7} mm. Hg の眞空中にありては、ラヂオメーターの一定の Restausschlag を發見するが、これは純粹なる輻射壓として説明出来る。此の Ausschlag はそこにやつて來る輻射エネルギーに比例し、その輻射の波長には關しない』と言つて居る。そこで今、この矛盾を避けるために、量子論の立場から簡単に輻射壓を考へて見よう。

各個の原子に作用する輻射壓は、色々な量子軌道の電子によつて吸收されるエネルギー生運動量の増加に等しいと言ふ事は今や一般に認められ來つた見解である。此の概念ははじめ印度の物理學者 メイ、ナド、サハ (Megh Nad Saha) によつて言はれたが、彼の最初の論文に於て (1819) 『振撃の段々積み重なつた影響は、原子をして太陽紅焰の頂點に於て放出して居るのを觀測する

やうな大きな速度をもたしめるに充分である』と言つて居る。

例へば、水素線 6563 を吸収するやうな原子を考へて見よう。この振動数を有する光の一量子の持つ運動量は $h\nu/c$ である。然る時は、光の一量子を吸収する毎に受ける水素原子の速度は

$$v = \frac{h\nu}{cm} = 60 \text{ cm per second}$$

である。この速度は、水素原子が引力にさからつて、輻射壓に依つて反撥されるには寧ろ小さすぎる。故に、これらの兩力が均合ふ爲めには毎秒非常に澤山の量子の吸収と再輻射とを必要とする。幸にも原子の再び形を整へる爲めに要する時間は 10^{-8} 秒程度のものと考へられて居る。この値は非常に大きな吸収係数を假定して得たものであつて、この吸収係数も色々の人の手で次第に明かにされつゝありは云へ末だ知る所少いのである。故に彗星の尾の成生に關して、サハが言ふやうな輻射壓の理論は、今日の所、未だ決定したものとは言ひ難い。

然しながら、兎も角、彗星の尾に關しては、かくも可成充分に研究されて居る。故に、以下彗星の物理を論ずるに當つて、彗星の尾に關する事項は、興味ある事ではあるが、省略する事にした。

彗星の他の物理學的性質に關しては、未だ何等定説がないと言ふも過言ではないやうに思ふ。彗星の密度がとても稀薄なものであると言ふ事は何等反對はないやうであるが、然らば彗星の眞の質量及び密度は如何？ 又何故にかくも稀薄なる物質が自分自身で光を發する事が出来るであらうか？ 此れ等の問題は、皆な問題として残されて居り、彗星が回轉して居るか否かに就いてすら、吾人は全くこれを知らないのである。これは一つには、充分に觀測し得る明るい星が長い期間連續的に觀測できない爲である。けれどもそれが光度やスペクトルに關する觀測材料はかなり豊富に蓄積されて居るので此れ等彗星の物理學的狀態の研究は非常に望ましい事であり。又思ふに多くの天體間に於ける微妙な關係を知るならば、それは非常に興味ある事であらう。

此の論文に於て、筆者はこれまでなされた彗星に關する觀測並びに理論的研究の結果を蒐集し、併せて彗星物理學に於ける當今の傾向を論ぜんとするので

ある。

物理學的性質による彗星の分類

天體の分類は、よしそれが観測の便利の爲めに設けられた一時的のものであつても、その根本的性質の重要な分類となつてゐる事が屢々ある。故に、茲に彗星の分類の二三に就いて極く簡単に述べるのも無駄ではなからうと思ふ。

(a) ブレデキンの尾の分類

- (1) 長くて眞直なもの。($1-\mu > 12$)
- (2) 曲線になつて居て、鳥の羽の様なもの。($1-\mu \div 2.2$ to 0.5)
- (3) 短い、肉太な曲つたブラツシ状のもの。($1-\mu \div 0.3$ to 0.1)

茲に $1-\mu$ は太陽からの斥力の引力に對する比である。これ等の尾の種類は一つの彗星に同時に見える事も屢々ある。ブレデキンはこれ等の尾の各型に對して、假りに化學的元素を附して居るが、今日その説は全く認められて居ないので、茲には引用しない。

(b) バーナードの週期的彗星の分類

(1) 第一種は長くて、丸みをもち、中央部に極く緩く光を増して居り、特に中央に光の強い所はなく、非常にぼんやりして居るもの。直徑は1分乃至五六分。核もなく、尾もない。D'Arrest 彗星、1880年のSwift 彗星等は此の型に屬する。

(2) 第二は比較的小さく、中央部に判然しない光の強い部分或は核を有する。又屢々灌木のやうな形をした尾を有する事がある。Faye 彗星、Finlay (1886 VII) 彗星等は之れに屬する。

(c) ホレチエツク (Holetchek) の分類

(1) 『核及尾のなき状態』1895 III, 1907 e 等

(2) 『核が出来つゝあり、その後ろに尾が成生しつゝあるもの』1907 d ($q=0.512$) Halley 彗星 ($q=0.587$) 等。

(3) 近日點距離小さく、非常に光強きもので、星のやうな核を有する。日中でも望遠鏡に依つて見る事が出来る。稀であるが、1853 III ($q=0.13$) 1847 I ($q=0.04$), 1910 a ($q=0.13$) は之れに屬する。

(4) 非常に稀なもので、わけて短かい近日點距離のもの。核及び尾の一

部分は日中でも肉眼で見える。1843 I ($q=0.0055$) 及 1882 II ($q=0.0077$) は此の例である。

ホレチエツクは、單に地球に近づくと言ふ事だけでは、彗星は第三或は第四のものとして分類せねばならぬ様には決してならぬ事を指適して居る。

(d) 此の外クリチングル (Kritinger) は、彗星が太陽に近づくに従つて光を増す、増し方に従つて、彗星を三種に分けた。然しこの事は詳細に第三章に於て述べるので茲には略して置く。

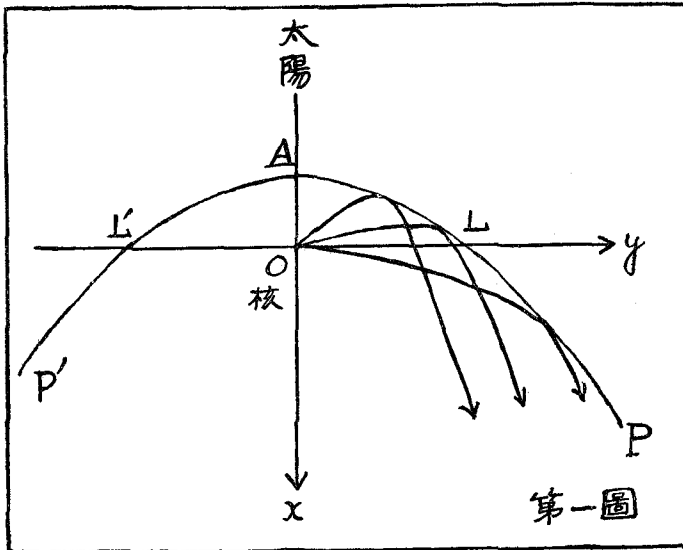
第二章 彗星のエンベロープと大きさ

§ 1. 彗星のエンベロープ

彗星が比較的太陽に近づく時には、其の頭部は屢々、一連の同心的球殻、即ちエンベロープを放出する事がある。『エンベロープ』と言ふ言葉は二つの異つた意味に用ひる事が出来る。即ち一は、境界面を意味し、其の外には殆んど或は全く物質が拗け出される事がない。他は物質の密度が特に大きな表面を意味する。Morchouse 彗星の場合のエンベロープは後者の意味で、Donati 彗星、Coggia 彗星、1910 a 彗星の如き場合には前者の意味で用ひられた。エツデントン (Eddington) は此の兩種のエンベロープを噴泉説 (Fountain Theory) で説明しやうと試みた (1910)。モアハウスの様な彗星の場合には、各々のはつきりして居るエンベロープは別々な放出に相當し、其他の彗星の場合では、放出が連続的に起こるのでたゞ、全體のおしなべた影響のみが観測されるものと思はれる。

扱て、此の噴泉説を假定し、エツデントンに従つて、其の放出の速度を計算し、太陽からの斥力に依る加速度を計算して見よう。放出が起る場合に、放出された物質がエンベロープを作るに必要な位置に達するには相當の時間を要する。更に又、エンベロープは皆な同じ瞬間に形作らるゝものではない。先づ其の向日點の部分が出來、次第にエンベロープは廣がつてついに太陽と反對の側に及ぶ。

今 V を放出の速度とし、 g を太陽からの斥力による加速度とする。第一圖に於て、座標の原點を核の中心に置き、 x 軸を太陽から O に結ぶ直線に置く。



然る時は ox 軸を $(180^\circ - \alpha)$ なる角度で放出された微粒子は、 t 時間の後には次の様な位置ををる。即ち

$$x = -Vt \cos \alpha + \frac{1}{2}gt^2$$

$$y = Vt \sin \alpha$$

此の兩式から α を追ひ出せば、

$$\frac{1}{2}gt^4 - (V^2 + gx)t^2 + x^2 + y^2 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

此の方程式が實根を有する爲めの條件は

$$y^2 < \frac{2V^2}{g} \left(x + \frac{V^2}{2g} \right)$$

かくしてエンベロープは次の方程式によつて與えられる拋物線となる。即ち

$$y^2 = 4a(x+a) \quad \text{茲に} \quad a = \frac{V^2}{2g}$$

(第一圖に於てこの拋物線は $PLAL'P'$ で表はしてあり $a = OA$ である。)

放出された物質がエンベロープ上の一點に達するに要する時間は(1)の式から出す事が出来る。エンベロープ上の點に對しては、其の方程式が等根を有すると言ふ事を考に入れれば、直ちに次の式を得る。

$$\frac{1}{2}gt^2 = \sqrt{x^2 + y^2} = x + 2a$$

$$\text{而して} \quad t = \sqrt{\frac{2}{g}} \sqrt[4]{x^2 + y^2} = \sqrt{\frac{2}{g}} \sqrt{x + 2a}$$

然し、 g 及び V を計算する此の方法は、物質の放出が定常の状態になつた時のみ應用が出来るので、若しそうでなかつたなら、エンベロープは回轉拋物體ではなくて、少しちがつて来る。

これ等の考察から、エツデントンは、モアハウス彗星について、寫眞板から a と x とを測定する事に依つて、そのエンベロープの物質に作用する太陽の斥力を計算した。彼に依れば、此の斥力の作用は ($\mu=10^2$ 乃至 10^3 程度のものであるが) 尾の物質に作用する斥力よりも 10 倍 乃至 100 倍大きい。此の彗星のエンベロープは、エツデントンが主張するやうに、非常に暫時のものゝやうに觀測された。然し斥力についてかくの如き事實を認める事は困難である。何となれば、エンベロープを尾と判然區別する事が出来るか否か明らかでない。實際エンベロープが段々發展して行くに従つて、漫然尾と混り合つて居るやうに見える。然し、必ずしも μ はエンベロープ及び尾に於て一定でないかも知れない。何となれば、此の兩者に於て物理學的状態は等しくないかも知れないからである。

放出される速度も又エツデントンに依つて計算されたが、毎秒 10 乃至 100 Kms の程度のものである。

ハレー彗星の場合の尾の中の “nuages” の運動を検査して、オルロフ (S. Orlov) は、斥力 $1-\mu=40$ 位であると言ふ事を發見した。これがグラフが描いた最も光の強いエンベロープに相當するものだからして、ヴセチエヅィヤトスキー (S. Vsechzvzjatsky) はエンベロープ II に對する最初の速度 V を次の如く見出した。即ち

$$V = 0.172 \text{ 乃至 } 5.12 \text{ Km/sec}$$

2. エンベロープの成生

(a) エンベロープの噴泉説

此の説に依るに、彗星の核から微粒子が、太陽の斥力の下に、太陽に向つた半球に於いてすべての方向に等速度を以て放出されるものと假定する。(太陽を反射側の半球はエンベロープを作るにあづからない。)そしてそれ等微粒子の軌道のエンベロープは回轉拋物體を構成し、その焦點が丁度彗星の核になつて居

る。此の説はベツセルやブレデキンやエツデントン其他の學者に依つて採用された。此の見界に従へば、相繼いだ瞬間に、異れる微粒子がエンベロープを作るものゝ考へねばならぬ。そして、一つのエンベロープの位置の變化は、その物質が移動すると言ふ事ではない。

エンベロープの噴泉説の證據として、エツデントンは次の様に説明して居る。即ち、先づ第一に、實際多くの場合に、太陽の方に向いた、物質の扇形の噴泉を見る事が出来るが、之れは此の説が要求する所のものである。第二に尾部では少しでも形のくづれ様にして居る時には、後に撮つた寫眞程明瞭を缺いて來るのに、エンベロープでは始めほんやりとして居たものが次第次第に濃くなり判然として來る。勿論之れは、『噴泉説』で言へば、エンベロープが收縮して來る當然の結果である。

然らば、如何なる原因に依り、又如何なる有様に、微粒子はエツデントンがモアハウス彗星の場合に計算したやうな大きな速度をもつて放出されるのであらうか。かくの如き速度が單に物理學的壓力のところで逃げて行く瓦斯中に生ずる事が出来ることは考へられないやうである。此の困難をさける爲めに、エツデントンは、或種の電氣的か或は放射能的作用を假定する事に傾いて居るやうに見える。

(b) Nichols 及び Hull の暗示 (1903)

彼等の考へによれば『彗星の頭部に輝けるエンベロープは、膨脹、冷却する事によつて凝結が起るやうな高さに形成されるものゝ考へられる。こゝでは太陽から受ける光壓は最大値に達し、エンベロープ内の微粒子は後方に追いやられて、尾を作るに至るであらう。』

核の物質が蒸發するのは、太陽から核が受けつた熱の一部分を費して起るものゝ考へられる。そして、核からエンベロープまでの蒸氣の一般上昇氣流はより強く熱せられた中心部からの對流に歸せられる。

此の暗示に對する難點は次のやうなものである。即ち、何故に凝結が殆んど瞬時々に回轉拋物中の表面に治うて起るか。そして又、特に、何故に、この凝結が太陽に反對の側に於ては、太陽の側よりも遙かに高い場所で起らねばならないのか。等々。

(c) Mache の Diffusion Theory (1924)

Mache の考へに依れば、『彗星が、太陽から非常に大きな速度をもつて流れ去つて居る瓦斯の中に入つて來るこ、彗星の核から成生される瓦斯は、共鳴をなすだけに、少くもそれに充分なだけ刺戟されないであらうから、太陽の方に引かれる事になる。先づ太陽から遠い距離に於て球形のエンベロープが成生される。段々太陽に近づくに従つて核に對しエンベロープの後方に除々に延びて、遂には斷面が核を焦點とする拋物線となる。そして此の場合には核の上方の斷面は次第に小さくなつて行く。』

此の diffusion の過程は Mache によつて、ブンゼン燈の炎の瓦斯の中に分散するソチウム蒸氣の場合について、數學的に證明された。然しながら、彗星の場合には事情が幾分異つて居る。何となれば、太陽から流れ出て行く瓦斯なるものが實際存在するか否か吾人は全く知る所がないからである。

之等の説の當否を決定するには、もつと細心な考察が必要であらう。然しそれは此の論文の主なる目的ではないので、此の方面の問題は他日にゆづる事にする。

§ 3. 彗星の大きさ

彗星の構造から豫期されるやうに、彗星の實際の大きさは非常に大きい。即ち、大きな核を有する例としては其の直徑：

1845 iii 彗星	8000 哩
1858 年の Donati 彗星	5900 哩
1815 年の彗星	5300 哩
1825 iv の彗星	5100 哩

小さな核を有する例としては其の直徑：

1798 i 彗星	28 哩
1806 i 彗星	30 哩
1798 ii 彗星	125 哩
1811 i 彗星	428 哩

コマの大きな例は(直徑)

1811 i 彗星	1,125,000 哩
Halley彗星	357,000 哩
Encke 彗星(1828)	312,000 哩

小さな例では

1847 v 彗星	18,000 哩
1847 i 彗星	25,000 哩
1849 ii 彗星	51,000 哩

§ 4. 彗星の大きさの變化

彗星が太陽に近づく時には、其大きさが收縮し、再び太陽より遠かるに従つて其の大きさが膨脹する事はよく知られて居る事實である。次の例は此の事實をよく證明する。

Donati 彗星

日	付	核の直徑
1858年	7月 19日	5''..... 9,020 軒
	8 30	6 7,500
	9 8	3 3,200
	9 23	3 2,060
	9 29	近日點通過
	10 5	1.5 640
	10 6	3.0 1,290
	10 8	4.4 1,800
	10 10	2.5 1,010

1807年の彗星

日	付	太陽からの距離	コマの直徑
1807年	9月 18日	0.68	近日點通過
	10 20	0.92	190,000 軒
	21	0.94	200,000
	22	0.94	215,000
	23	0.96	223,000
	25	0.99	252,000
	31	1.08	256,000
11	3	1.12	320,000

Encke 彗星

日	付	太陽からの距離	コマの直徑
1838年	10月 9日	1.42	453,000 軒

	25	1.19	194,000
11月	6	1.00	126,000
	13	0.88	119,000
	16	0.83	102,000
	20	0.76	90,000
	23	0.71	62,000
	24	0.69	48,000
12月	12	0.39	10,600
	14	0.36	8,800
	16	0.35	6,800
	17	0.34	4,800
	19		近日點通過

§ 5. 大きさの變化を如何に説明するか

扱て、彗星が太陽の近傍を去來するに當つて、其の直徑が收縮し膨脹する事は觀測に依りて確定された事實を考へてよい。然らば如何なる理由に依りて此の變化が起るか？之れに對する確定的解答は未だ與へられて居ない。ジョン・ハーシェル卿は之れに對して次の如き暗示を與へた。即ち、此の變化は實際の變化と言ふよりも寧ろ光學的現象であつて、即ち太陽の近傍に在りては、彗星物質の或一部分が、恐らく太陽熱の爲めに蒸發されて見えなくなる事、恰も霧が太陽の光に逢うて消失するか如くであらう。然し此の説は容易に承認する事は出来ない。

此の現象に關して新城教授は、太陽からの強い輻射熱によつて、彗星の頭部にある物質が急激に蒸發する、其の反作用として、此の現象を説明し得るであらうと考へられた。荒木助教授は、極く簡單な場合に就いて、此の考へを數學的解折に依つて證明 1926 年四月、東京に於ける日本數學物理學會總會に於て發表された。然し、それは可なり複雑な數式であり、又尙深い考察も必要とする點もあるこの事であるから、茲には省略する。

勿論斯くの如き解折は、多くの假定を含んで居り、又一層充分な研究をする爲めには、いくらか補正する必要もあるであらうが、然し、新城教授の根本概念は、彗星が太陽近くで收縮し、再び遠かるに従つて復舊すると言ふ事實を説明する唯一の合理的説明のやうに思はれる。

最後に注意すべきは、彗星の頭からの蒸發は、其の表面から一様に起るものではなく、幾分は彗星全體に太陽からの斥力の如く作用するかも知れない。従つて、太陽の引力の逆二乗の法則に極く小さい違いを生ずるかも知れない。若しそうであるとするならば非常に正確に彗星の運動を觀測する事に依つて、彗星の質量を計算する事が出来るかも知れない。然し此れを見出す事は非常に困難な事であり、加ふるに、反作用の如何程が、實際斥力或は收縮力となつて作用するかは、何等知る所がない。故に現在の狀態では、單に此の暗示に満足するに止まり、更に詳細な知識は今後の研究にまたねばならぬ。(續く)

ファウスト——天上の序言より (第一頁参照)

昔の儘の節博士で、同胞の星の群を、
日は合唱の音を立てゝゐる。
そして霹靂の歩みをして
極まつた軌道を行く所まで行く。
天使の中で誰一人その理を知つてはゐね
が、
それを見ただけで、天使は皆強みを覺
える。
天地のなりいでた日に較べても、不思議
な崇高な萬物は同じ莊嚴を保つて居る。

そして早く、不可思議に早く
美しい大地がみづから回轉してゐる。
天國のやうな明るさ
深い恐ろしい夜さが交代する。
巖石の疊み成せる深い底から
幅廣い潮流をなして海は泡立つ。
その巖も海も、永遠に早い軌道の歩に

引き入れられて、共に廻るのである。

そして海から陸へ、陸から海へ、
暴風は怒號して往き、怒號して返る。
その往いては邊り競争で、吹き過ぐる周
圍に深甚なる作用の連鎖が作られる。
さもすれば雷電の破壊の焰が
道の行くてに 燃え上がる。
然し、主よ、御身の使徒等は
御身の世の隠かなる推移を敬つてゐる。

天使の中で誰一人御身の心を知つては
ゐねが、
これを見ただけで、天使は皆強みを覺
える。
そして御身が造れる一切の崇高な萬物は
天地のなりいでた日と同じ莊嚴を保つて
ゐる。
一森鷗外譯一



オリオン星座にある著るしき暗黒星雲

見上げるオリオンの「三つ星」の左端、セータ星のすぐ星南に續いて、輝やく星雲と、暗黒の星雲とが、それぞれ、西と東とから押し合ひ、ひしめき合つて、宇宙成生の物凄い活劇を見せてゐる。——それは一千光年奥深い天の一隅で。

此の寫眞はキルソン山の「百吋」で撮つたものである。セータ星の◎やきが寫眞の上端を明るくしてゐる。中央に近く、明瞭な輪廓の曲線が明暗の境界を畫して、「蝕(むしば)まれた星雲」の奇形を見せてゐる。