

第 810 号 (第 73 卷)

天 界

1992 年 11 月号

THE HEAVENS

編 集 佐伯 恒夫・長谷川一郎・佐藤 明達・菊岡 秀多

Editorial Board: T. Saheki, I. Hasegawa, A. Satō, H. Kikuoka

天界11月号(第73巻, 第810号) 目次

表紙写真 スイフト・タートル彗星	我が星友録(3).....藪 保男...346
口絵写真 チェコで見た日時計	小惑星ニュース(1992年8月・9月)
小惑星1979 V Aとウイルソン・長谷川一郎...348
ハーリントン彗星.....長谷川一郎...331	【新刊紹介】.....350
天体力学入門講座(3).....井上 猛...335	太陽課月報No.263.....鈴木 美好...351
如法寺の星曼荼羅について	木・土星課月報.....宮崎・浅田...354
.....上門 貞弘...339	彗星課月報.....關 勉...355
チェコスロバキアで見た日時計	流星課月報.....藪・上田・鈴木・殿村・鈴木...356
.....長谷川一郎...341	支部例会報告.....松本・福井・山田...358
火星の模様とその名(29).....佐伯 恒夫...343	天界10月号の正誤表.....350, 358

Vol. 73, No. 810, Nov., 1992

天体力学入門講座(3)

(天界5月号第140頁のつづき)

理事 井上 猛 T. Inoue
(京都産大教授)

読者の中には、「今や、ニュートン力学はアインシュタインの一般相対性理論の近似理論でしか無いのであって、絶対空間とか絶対時間とかと、古い枠組の中で長々と論ずる事にどれ程の意味があるのでしょうか？」と疑問に思う人が居るかも知れない。こうした疑問には、今回のでも少しは答えた事になって居るし、更に先へ進めば一層明瞭な形で答えられる様になるであろう。逆に、そう云う人に問う「惑星運動を論ずる上で、一般相対性理論は本当に必要なのか？」と。

序 ニュートン力学と云うもの

「物体が運動する」と言う時には、運動が行なわれる為の空間が存在して居なければならない。更に、移動して行って居るのを認める為には、時間の経過なるものも必要である。運動の法則を書き表わし運動を論ずるには、その為の数学が必要になって来る。これが、外ならぬ微分学なのである。これは、ユークリッド幾何学が成立するユークリッド空間の中で、初めて有効に論ずる事が出来るもので

ある。この空間内での、二点間の距離は、これらを結ぶ直線の長さで与えられる。直角三角形の三辺の間に成立するピタゴラスの定理も基本的である。曲線の長さは、以上の事を基礎として、改めて定義する必要がある。

以上の事から、運動を論ずる空間も、ユークリッド的なものにならざるを得ない。ニュートンの運動の三法則を考えに入れる時は、この空間を絶対空間と呼ぶ。これに対応させて、時間の方も絶対時間と呼ぶ。これに、万有引力の法則を付加すれば、我々がこれから問題にしようとして居る惑星運動を論ずる為の完全なる力学体系が獲得される事になる。

絶対空間などと云った抽象的な概念も、素朴な日常経験から出発して、逐次的に意味内容を精選し、理想化して行った末に獲得されたものである。例えば「力が作用しなければ、初めこの空間に静止して居た物は、いつ迄も静止し続ける」と云う表現は、運動と時間と空間等の、相互関係を言い表わして居るのであるが、日常の経験を基本に据えずしては、到底、捉える事の出来ない意味内容のものである。逆に言えば、こうした素朴で日常的な表現で捉える事の出来るものが、我々の言う力学体系なのである。ここに於けるニュートンの力学は、極めて予報性に富み、実に多くの成果を齎してくれて来て居るのである。

絶対空間内に、不動の一点を考える。これを原点に選び、この点を通して互いに直交する三本の数直線を選ぶ。かくして空間座標系が設定された事になる。これと独立に、一本の数直線を用意して絶対時間の為の座標軸とする。この空間内の、物体が占める位置を、座標と呼ぶ。この座標の、時間に依る微分を、速度と呼ぶ。更に、速度の、時間に依る微分を、加速度と呼ぶ。ニュートンの運動法則を記述し、力関係を表現した運動方程式と呼ばれるものの中には、只今の加速度なるものが、座標や速度などと共に、不可避的に介入して来るのである。この事から、運動方程式は、微分方程式の形を取る。あとは、これを解きさえすれば過去・未来の別を問わず、長期に亘って、運動を余す処なく、予報する事が出来る仕組みになって居る。この様に、物理学と数学とが、天体力学なるものの中で一つに融け合って、独自の発展を遂げて来たのであった。

大成功を収め続けて来たニュートン力学も、その存亡に関わる程の危機に、幾度か直面する事になる。先ず、ハレーの発見になる月の永年加速の問題がある。これは、地球の自転角速度の減衰が原因と云う事で解決を見た。次に、ブーヴァール発見の、天王星の運動に於ける予報からのずれの問題がある。これは、ルヴェリエに依って、海王星の発見と云う形で、完全に解かれた。このルヴェリエが、水星の近日点の前進量に、既知の惑星の影響だけでは、どうしても説明出来ない部分のある事を発見した。これは難問であった。解決には、アインシュタインの一般相対性理論の出現を待たなければならなかった事になって居る。本小講では、この問題を、真正面から論じて行きたいと考えて居る。

冒頭にも記した通り，世は挙げて，一般相対性理論の世の中になって居る．海上保安庁水路部発行の天体位置表も，1985年以来，それ迄のニュートンの世界からアインシュタインの世界へと移行して行って居る．少々長くなるが，1985年版の P.423 から，関連する部分を抜き出してみよう．

「天体の運動は，一般相対性理論から導かれる運動方程式によって書き表される．近似的にはこの運動は Newton の運動方程式によって記述される．この場合には空間と時間は完全に分離され，空間は至るところで均質であり，時間はどこでも同じように一様に流れるとみなされる．したがって，Newton の運動方程式の独立変数である時間 t は原理的に一様であることが帰結され，太陽系の天体の位置を観測し，その位置を与えるような時刻を逆補間によって求めたものは，絶対的に一様な時刻系を定義することになる．この時刻系は暦表時という名で呼ばれ，1960年から1984年までの本書の基本的時刻引数として用いられてきた．

しかしながら，一般相対性理論によれば時間と空間とは分離することができず，複雑に関係し合っている．空間は至るところ均質ではなく，また時間も場所によって進み方が異なり，絶対的に一様な時間というものは存在しない．このため，例えば太陽系重心座標系における時間引数，地球座標系における時間引数というものが考えられ，それぞれ太陽系力学時 (TDB)，地球力学時 (TDT) と呼ぶ．このほかに観測地点における力学時というものも考えられる．太陽系力学時，地球力学時は天体の運動理論及び暦に用いる基本的な時刻系である．」

暫く，この流れに沿って見て行く事にしよう．1985年以来，天体位置表には，毎年，一般相対性理論に立脚して書いた，惑星運動に対する基本方程式が掲げられている．1992年版の場合は，P.457にある．この式は，1970年出版の，ミスナー等の著書¹⁾の P.1095 の (39. 64) 式と同じものである．更に，引用文献に従って遡って行けば，1938年のエディントン等の論文²⁾の P.471 の (6-1) 式と同じものであるのに気付く．そうして，1917年のドゥスイッターの論文³⁾の P.162 の (82) 式に行き着く事になる．

このドゥスイッターのものが，その後に広く引用されて行くものの初めのものと考えられるが，彼はこれを導き出すに際して，1916年の論文⁴⁾の P.705 で次の様な事を言って居る．The first approximation leads to ordinary Newton theory of gravitation, ... (一般相対性理論の第一近似は，良く知られたニュートンの万有引力法則を与える)．しかし，これは彼が，そうなる様に仮定した結果でしか無い．更に言うなら，彼は，P.704 で，For moderate velocities the differential coefficients \dot{x}_i for $i = 1, 2, 3$ are small on account of the denominator c .

(普通の惑星運動では，軌道速度は光の速さに比べて，極く小さなものでしか無い) として，一般相対性理論の式の計算に，近似表式を導入して行って居るので

ある。この軌道速度なるものは、ニュートン力学でのそれを知って居るから、大きいとか小さいとか言う事が出来て居るのである。

通常「ニュートン力学は、一般相対性理論の第一近似」と云う風に理解されて居るが、細かく見て来ると「一般相対性理論は、ニュートン力学あつてのもの」と云う事になる。ニュートン力学を第一近似とする限り、数々の「成功」を見るのは、何もアインシュタインの理論のみが、ひとり優れてこれを能くするものには無い。1895年のホールのもの⁵⁾、1898年のゲルベルのもの⁶⁾、1917年のスィルバースタインのもの⁷⁾、1925年のマネフのもの⁸⁾も、等しく、これを能くするものと考えられる。

一般相対性理論では、ニュートン力学でなら何の苦もなく書き下す事の出来る二体問題や三体問題の運動方程式が、現在に至るも書けない状態である。No solution of Einstein's equations has yet been found for a field with two singularities or particles. (二個の物体に対する、場の方程式は未だ解かれて居ない)。これは、エディントン⁹⁾が1923年に言った事である。この見方は、1938年になっても変わる事はない¹⁰⁾。It is well known that even the problem of two bodies has not been solved exactly in general relativity theory. (二体問題は、依然として解かれない儘である)。1991年になっても事態に進展はなく、ブルンベルグ¹¹⁾の言に依れば次の様である。Exact solutions of the field equations and the form of the rigorous equations of motion of the N-body problem are not known in general relativity theory even for N=2. (一般相対性理論では、場の方程式も運動方程式も、二体の場合でさえも解かれては居ない)。

この様に見て来ると、ニュートン力学と云うものを、謙虚に学んでみる事の意義も十分に諒解されるであろう。

(1992年9月5日)

【参考文献】

- 1) C. W. Misner et al. 「**Gravitation**」 W. H. Freeman and Company (1970)
- 2) A. S. Eddington and G. L. Clark 「**Proceedings of the Royal Society of London**」 volume 166 (1938)
- 3) W. de Sitter 「**Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**」 volume 77 (1917)
- 4) W. de Sitter 上に同じ volume 76 (1916)
- 5) A. Hall 「**The Astronomical Journal**」 volume 14 p.14 (1895)
- 6) P. Gerber 「**Zeitschrift für Mathematik und Physik**」 volume 43 p.93 (1898)
- 7) L. Silberstein 「**Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**」 volume 77 p.503 (1917)
- 8) G. Maneff 「**Zeitschrift für Physik**」 volume 31 p.786 (1925)
- 9) A. S. Eddington 「**The Mathematical Theory of Relativity**」 Chelsea p.95 (1975)
- 10) A. S. Eddington 上の2)の文献の p.466 (1938)
- 11) V. A. Brumberg 「**Essential Relativistic Celestial Mechanics**」 Adam Hilger p.116 (1991)

(つづく)