

楕円と慣性: (1) ガリレオとケプラーの交流と断絶¹

大井万紀人

専修大学自然科学研究所²

要 旨 ケプラーの法則はニュートンによって説明されたが、重力の法則だけではケプラーの法則を説明することはできない。慣性の法則、および運動を2つの自由度に分解するという考え方も必要で、これらはガリレオが解明した事柄である。ガリレオとケプラーは、ルネサンス期を生きた同時代の研究者であるから、もし二人が共同で研究を行っていたら素晴らしい発展が得られたのではないかと想像する人は多いはずである。実際、ケプラーとガリレオの間には手紙のやり取りによる交流があった。しかし、科学的な情報交換は行われず、共同研究に発展することはなかった。ガリレオとケプラーの間の科学的な意思疎通がどうしてうまくいかなかったのを科学史の観点から解き明かすことを最終的な目標として、この論文を起点に二人に関わる科学史を複数回に分けて考察していきたい。まず、今回はガリレオとケプラーの研究スタイルとの相違点について概観し、比較する。

1. 緒言

ガリレオは1564年2月15日に斜塔で有名なイタリアのピサで生まれた。その8年後の1571年12月27日にケプラーはドイツのシュツットガルト近郊のヴァイルという小さな町で生まれた。この二人はルネサンスという同時代に、天文学者、物理学者そして数学者として活躍した科学者だったが、研究に対する姿勢は対照的であった。

二人の研究スタイルの相違点を示唆するものとして、まずはその生まれや育ちといった背景について簡単にみてみたい。ガリレオは音楽家の父を持ち比較的裕福な名門家庭で育った¹。父はよく知られた弦楽器（リュート）の奏者であり、音楽教師でもあった。この家系は代々フィレンツェを拠点に生活していたが、14世紀後半頃の系譜にフィレンツェ大学で医学を教えた医者がいた[2]。この人物は、後にフィレンツェの立法や行政にも関わるほどの有力者となり、一族の繁栄の礎となった。この人物については後でまた考察する。

ケプラーの家系も「名門」ではあったが、貧困に足を踏み入れた「没落したかつての名門」の出身であった。ケプラーの祖父は市長まで務めた裕福な商人であったが、その息子である、ケプラーの父はその全てを食い潰した「犯罪者もどき」の人物であった。生活の拠点を変えながらなんとかやりくりしていたようだが、最後は傭兵として働き出したもののケプラーが17才の頃姿を消した。戦死したと言われているが正確なことはわからないらしい。ケプラーの母は魔女裁判にかけられそ

¹ “Ellipse and Inertia: Communications and neglects between Galileo and Kepler”

² Makito Oi, Institute of Natural Sciences, Senshu University

¹ 文献によっては「下級貴族の疲弊した子孫」という説明もある [1]

うになった薬草使いだったが、その母を育てたケプラーの叔母は魔女狩りのため火焙りで処刑されている。

二人が経験した「不幸の種類」も大きく異なっていて、その死も対照的であった。地動説をめぐる宗教裁判に破れ、フィレンツェの自宅に帰宅することを禁じられたガリレオは、フィレンツェ近郊のアルチェトリに保有していた大きな別宅で監視付きの軟禁生活を命じられた。そこに幽閉されたまま盲目となったガリレオが死去したのは、8歳近く年下のケプラーが未支払の俸給を皇帝に求めてレーゲンスブルグに向かう途中で客死した12年後のことであった。

研究に対する二人のアプローチの相違は、科学的知見を交換し、共有し、相互作用を通して共に高みを目指すことを（残念ながら）二人に許さなかった。ガリレオとケプラーの研究を融合したのは、ガリレオが死去した年に生まれたニュートンである。ニュートンは、ガリレオの慣性の法則を発展させて運動方程式を創案し、それを自身が解明した万有引力の法則に適応して解くことでケプラーの3つの法則の導出に成功した²。つまり、ガリレオとケプラーの業績を有機的に結合し、「統一的な宇宙の解釈」を可能にしたことで近代物理学の基礎を固めたのである。もし、ケプラーがガリレオの慣性の法則を理解し、ガリレオがケプラーの法則を熟考していたら、人類はニュートンを待つ必要がなかったかもしれないだろう。

ルネサンス期の偉大な二人の科学者の交流と断絶、そして科学に対する対照的な姿勢は詳細な分析に値する。それはニュートンによって確定した「近代科学」の誕生への産みの苦しみとして捉えることが可能であろう。この論文および続く論文では、ガリレオとケプラーが築いた「前近代科学」の本質について考察し、それがどのように近代科学（ニュートン力学）の成立に貢献したのか分析していく予定である。

2. ガリレオとケプラーの間に交わされた手紙

ガリレオとケプラーの研究はほぼ「断絶」された状態であったが、二人が書簡を交わしていたことは科学史ではよく知られており、度々その意味を巡って論文や著述などによって議論されてきた。二人の間の書簡はどちらかというとケプラーの「一方的な片思い」に近い状態であり、ガリレオはケプラーとの科学的な交流には消極的、無関心であった。二人の間の手紙の交換はそれぞれの著作が出版されるタイミングで2度行われていて、最初のやり取りは1596-1597年においてケプラーが「天体の神秘」[3]を発表したときであり、2度目（そして最後）のやり取りはガリレオが「星界の報告」[7]を出版した1610年のことである。

² ニュートンが著したプリンキピアにおける記述は解析学に基づいたものではなく、幾何学を利用したものになっている。これは微分積分の概念に馴染んでいない当時の学者に理解してもらえるように敢えて幾何学的な説明を採用したからだと言われている。

2.1 最初のやりとり (1596-1597)

ケプラーの最初の著作は 20 代の頃に書かれた「天体の神秘」である [3]。そこでは、正多面体の幾何学的な性質が太陽系の構造を記述するというアイデアに基づき、「調和した」宇宙の構造を明らかにしようとする試みが展開されている。その根幹にあったのは「中心に太陽を置くこと」、つまりコペルニクスの宇宙論であった。この時代、コペルニクスの説を支持する人は少数派であった。

アルキメデスが Eureka と叫んだように、正多面体のアイデアはケプラーが天文学の講義を大学で行っていた時に突如脳裏に閃いたという。若いケプラーは初めて湧いて出た自分自身の思い付きをひどく気に入ったようで、それを多くの科学者にいち早く伝え、その論評を受け取りたいと思ったらしい³。そこで自著をヨーロッパ中の天文学者に送りつけることにしたのである⁴。もちろん、ガリレオの名前はそのリストの中にあった。特にケプラーは「コペルニクスの宇宙論」の賛否についてガリレオがどう判断するのか知りたいと考えていたようである。

ガリレオは本を受け取るとすぐに返信をしたためた (1597 年 8 月 4 日)。その文面にはケプラーが期待していた通りのことが書かれていてケプラーを興奮させた、すなわち、ガリレオは若い頃より「コペルニクスの宇宙論」を肯定していたことを認めてくれたのである。ところが続く文章で「(コペルニクスの宇宙論を肯定しているという) この私見を公表せずに隠しておきたい」とガリレオが書いたことにケプラーは驚いた。

とはいえ、コペルニクスの考えに同調してくれる「仲間」が増えたことにケプラーは非常に喜び、ガリレオの手紙の 2 ヶ月後にケプラーは返信を書いた (1597 年 10 月 13 日)。そこで、ガリレオがコペルニクスの宇宙観を支持していることを勇気を持って公表すべきであると提案し、「同士と共に立ち上がろう」と勇気付けたつもりであった。ところが、「科学者の典型」ともいうべきナイーブなケプラーな文面は、政略的な性格を多分に持っていたガリレオを怒らせてしまう。ガリレオには「哲学的な真理を信念とせず、空気を読みながら自説をオブラートに包むお前は臆病者だ」と指摘されたように映った。

よき仲間に出会えたと勘違いしたケプラーは、「長い長いお手紙で返信してくださいね」と文面を締めくくったのだが、ガリレオからの返信はなかった。次に二人が手紙を交わすのは 13 年後の 1610 年である。この年、ガリレオは歴史上初の「望遠鏡を用いた天体観測」を行ない、その結果は「星界の報告」の出版によって報告された。

2.2 2 回目 (最後) のやりとり (1610)

³ 若い科学者が一度は経験するあの興奮であろう。

⁴ arXiv.org が登場する前は筆者もこれをやったものである。

1597年の手紙の往復は、ガリレオによる「無視」によって断絶したにもかかわらず、ケプラーがガリレオに対し否定的な感情を抱かなかったのはいささか不思議である。というのも、1610年のやりとりは、ケプラーがガリレオの著作に対する「肯定的な書評」を自発的に書いて公表したことから始まったのである。ケプラーの書評は「星からの使者との対談」[8]という題で1610年4月に出版されたが、それはガリレオの「星界の報告」の出版のわずか一月後のことである。頼まれもしないのに、自分を無視した相手を褒め称えるため、わざわざ時間を割いて論文形式の論評⁵を書き、出版したのである。ケプラーの書評が出るまでの間、ガリレオは様々な批判を受け窮地に立たされていたが、それをケプラーは救う形になった。ガリレオはケプラーの助け舟を非常に喜んで、事あるごとにケプラーの肯定を盾にして反対論者との論争を有利にしようと試みた。しかし、ケプラーに謝辞の手紙を送ることはしなかった⁶。

ガリレオに対するイタリアの学会の攻撃は執拗で、止まる気配を見せず、その矛先は「自分で望遠鏡を覗いて確認もせぬままガリレオの研究を容認した」ケプラーにも次第に及び始めた。ここに至って、ケプラーは自分でも望遠鏡による観測を行い、ガリレオの観測の追試を行う必要性を感じ始めたのである。そこで13年ぶりにガリレオに向けて手紙をしたため、望遠鏡を一台送ってこないかと懇願すると共に、ガリレオの研究成果の最新の進展についての情報提供を求めたのであった。ガリレオはこの手紙には即答し、ケプラーを「盟友」として認める旨は書いたが、その内容は建前や社交辞令で埋め尽くされており、ケプラーが期待していた科学的な情報はまったく含まれていなかった。結局、望遠鏡もケプラーのもとには届けられなかった。ガリレオは苦勞して作った望遠鏡を学問的な追究に使うのではなく、経済的なパトロンや政治家たちなど「政治的に役立ちそうな人々」だけに(袖の下として)贈答するのに忙しかったのだった。

ガリレオのこの手紙が2人の間の最後の手紙となった。

2.3 2人の書簡交換からわかること

この手紙のやり取りを通して、両者が「科学」に対してどう向き合っていたのか、その違いを浮き彫りにすることが可能である。ガリレオにとっての研究とは、自身の地位を高め、経済的な報償をえるための手段であったのに対し、ケプラーにとっての研究は人生そのものであり、心の平安をもたらすための精神的な探究の一環でもであった。

二人の人生の幕の下り方をみてもその違いは明らかである。ガリレオは宗教裁判にかけられ、地位と名誉をかけて闘うことになるが、自身の信念を通して敗北したというよりは、世間の荒波をなんとかかいくぐって泳ぎ切るためには自説を曲げることも厭わなかった。しかしながら、結局「出

⁵ 英訳された全文は E. Rosen によって出版されている [8]。

⁶ レントゲンとレナートの間のいざこざも謝辞の有無から始まっている [4]。

る釘」と見なされて、とどめを刺されることになった。金と地位をめぐる人間との争いの中で一生を終えたのである。

一方のケプラーは何があっても研究に邁進し、真理の探究を諦めなかった。家族の生活費の捻出に困窮しながらも、長年の貧乏生活に耐えながら研究を続けた。しかし、どうしても必要最低限の額だけは皇帝に支払ってもらわないと生活が立ち行かないところまでついに追い詰められるに至って、ようやく皇帝のいる街まで「取り立ての長旅」に出る決意をしたのだが、その途中で力尽きるのである。

ガリレオは運動の法則に関わる研究に従事し、慣性の法則などを発見するなどして数学、物理学の分野で一定の成功を収めつつも、望遠鏡の発明の報に際して一世一代のチャンスと見るや、それまでの研究を即座に打ち切って天文学の研究に躊躇なく鞍替えするのである。ガリレオによる望遠鏡を用いた史上初の天体観測は、木星の衛星の発見、金星の満ち欠け、太陽黒点⁷の研究など目新しいものを効率よく、次から次へと研究することで多彩な成果を天文学に残すと同時に、ガリレオに地位と名声と財産をもたらしたのであった。

ケプラーは、「皇帝付き数学者」という地位に就くことができたものの、その俸給は滞りがちで苦しい生活を余儀なくされた。それにもかかわらず、研究への執着には凄まじいものがあった。ティコの跡を継ぎ、その 30 年分の観測データを得たケプラーは、さらに 20 年近くを費やして、辛抱強くデータを分析し続ける。惑星の運動に関する 3 つのケプラーの法則のうち、第 1、第 2 法則はティコのデータを得てから 8 年後に、第 3 法則はその 12 年後に見つけ出した。さらに、皇帝からの要請を受け、自身が発見した法則に基づいて精密な数値計算を行い(手計算だが!)、未来の天体位置情報を集積した「ルドルフ表」⁸を死の直前まで執筆したりもした。辛抱と忍耐そして精密と独創に満ちた研究スタイルを貫いたケプラーの人生は、経済的に報われることはなく、ペストという感染症および戦争や宗教対立から逃げ回り、滞った俸給を求めて長旅に身をすり減らしながら、ドイツ、チェコ、オーストリアを巡る浮き草のような人生を生きたのであった。

3. 「太陽からの共通作用」が「万有引力の法則」になれなかった理由

上述したように、ケプラーの最初の著作は 20 代の頃に書かれた「天体の神秘」である。すでにこの段階で惑星の数が 6 である理由や、その軌道半径と周期の関係などに興味を持っていることがわ

⁷ 太陽黒点の観測の仕方からもガリレオの研究スタイルを窺い知ることが可能である。ガリレオは太陽の自転周期(約 25 日)を黒点の観測から導き出していたというから、少なくとも 1 ヶ月程度は観測したと思われる。実際ガリレオが残した観測ノートには 40 日分ほどのスケッチが残っている。一方、日本が誇る黒点観測のスペシャリストである小山ヒサ子氏は黒点観測だけを 1945 年から 1996 年までの 51 年間やり抜いた [5]。小山氏の観測は、ティコブラーエと並ぶ長期間観測の典型例として歴史に記録される偉業であろう。ティコや小山氏の観測スタイルが「天文学者」のそれだとすれば、ガリレオの観測スタイルとは軌を一にしていらないように思える。

⁸ 天文学のみならず、占星術にも利用された「ペストセラー」だという話である。

かる。ケプラーが目指したのは「調和する宇宙」の構造や法則であった。その研究の「建前上の動機」はギリシア人たちのそれと同じで、幾何学的な理由に基づいていたが、隠れた「真の動機」もあった。ケストラーによれば、それは「精神の病からくる調和への渴望、追究であった」という⁹。

ケプラーはその一生を費やして「調和する宇宙」の解明を試み、その結果ケプラーの法則と呼ばれる非自明な法則を3つ発見する。特に、「ケプラーの第3法則」として知られる、惑星運動の軌道半径 a と公転周期 T の間にユニバーサルな関係

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{惑星の種類によらない定数} \quad (1)$$

があることを見出したのは神がかりにみえるが、その導出には固い礎があって、すべてはその礎を忠実に守った結果として具現化した（実はそれだけでは不十分で、何年にも渡る長大な計算をやり抜いた驚くべき忍耐と、計算ミスと計算ミスが相殺して正しい答えが保持されるという奇跡も必要であった）。その礎とはコペルニクスの太陽中心説に基づく信念であり、「全ての惑星が同じ法則に従うのは、太陽から発せられる共通作用が存在するからだ」という発想であった。ケプラーの頭脳にはこの「共通作用」が逆二乗則に従って減衰することすら閃いていた。

それにもかかわらず、ケプラーは万有引力の法則の発見には至らなかった。「慣性の法則」を理解していなかったからである。ケプラーは 共通作用が働く方向の向き（動径方向）と、惑星が運動する方向（接線方向）の不一致を最後まで説明できず、苦しんだのである。Feynman の教科書 [6] でも、これと類似の問題が古典力学の初学者が陥る典型的な「落とし穴」として説明されている。宮沢賢治の「銀河鉄道の夜」の冒頭の場面を借りて、少し寓話っぽくアレンジしてみよう。

よく晴れた秋の始めの日、小学校の理科の時間で「リングが落ちるのはどうしてか」という授業があった。戸惑う学生達を前に先生は「リングと地球は重力で引き合っているからなんですよ」と説明したのである。次の週、重力の続きの授業で先生は追加の説明を行ない、今度は「みなさん、月が地球の周りを回っていて落ちてこないのは重力のせいなんですよ」と言ってしまった。授業に参加していた学生の一人がさっそく質問の手を挙げた：「先生、先週はリングが落ちるのは重力のせいだと説明しましたが、今日は月が落ちないのも重力のせいとおっしゃいました。いったい重力っていう代物は物を落とすものなのですか、それとも落とさないものなのですか」。

ニュートン以降の物理学者はこの学生の質問に答えることができる¹⁰が、ケプラーにはできなかつ

⁹ 天文学の枠組みの中で「調和」を求めたのは、魔女狩りの犠牲者も出しているケプラー一族の伝統、すなわち「占星術」やそれに類似のものへの親近感である。ケプラーは実際星占いを頻繁に行っており、自身の誕生の意味や死への行方などについても占っている。また、精神状態と調和との関係に関する古典的な例としては、Loius Wain の「猫」の絵シリーズにおける、猫の姿の変遷がよく知られているが、ケプラーの場合もそれに類似したものであらうと思われる。

¹⁰ 理学部の新入生が夏休み前に頭を悩ます中心力の典型的な問題の一つである。中心力は角運動量を保存しその運動が2

たはずである。もちろん、正解への鍵は慣性の法則にある。

慣性の法則の概念に最初に到達したのはガリレオである。しかしながら、ケプラーとは別の理由でガリレオは万有引力の法則にたどり着けなかった。ガリレオはケプラーの法則を知ってはいたが、その内容に無関心であった。特に、惑星が楕円軌道を描いて運動するというアイデアを受け入れられなかったという。天体の運動に関しては、ガリレオの頭は古代ギリシア時代と同等であって、そこに運動の法則を適用することを思いつかなかったようである。ガリレオが慣性の法則を見出したのは斜面を転がる球の運動の自由度を、水平方向と垂直方向に分解して考えることができたからなのに、それを天文学に持ち込むことには興味を持たなかったのは不思議にみえる。この理由に関しては別の機会に分析する。

4. ガリレオ・ガリレイという名前の由来

「ガリレオ・ガリレイ」という名前を聞いたとき、「名前と苗字がやけに似ている」と不思議に感じた人は多いはずである。名前と苗字が似ているケースはたしかに存在する。たとえば、最近大関に昇進した相撲取りの祖母は「正代正代」(しょうだい・まさよ)だというし(発音は違うが漢字表記は同じ)、佐倉桜さんとか、南美波さんなど、結婚相手の姓が偶然自分の名前と同じ発音だったという女性はそれなりにいるようである。しかし、男性の場合、わざわざ姓と名が同じになるように命名されるケースはかなり珍しいようである。理論的には堯隆史(たかし・たかし)さんとか、津吉剛(つよし・つよし)さんとかは可能な感じがするが、実際はあまり聞いたことがない¹¹。

ガリレオ・ガリレイの場合、なぜ苗字と名前が「同じ」なのかには理由がある。冒頭で紹介したガリレイ族の14世紀後半頃の系譜に現れた医者がある。彼の名前は「ガリレオ・ボナイウティ(Galileo Bonaiuti)」といった。1370年に生まれ、1450年に死去した医者であり、フィレンツェ大学で医学を教えた学者であり、フィレンツェの立法と行政に携わった政治家(現在の国会議員と同等の地位)であった[9]。ガリレオ・ガリレイの一族を名門へと引き上げたのはこの人物である。

つまり一族のもとの苗字は「ボナイウティ」であった。しかし、名門となった一族が「新生ボナイウティ」であることを強調するために、その「創始者」である「ガリレオ」にちなんだ性に変更したのであった¹²。

次元平面に拘束されることを示した後、運動の自由度を動径方向と接線方向に分解し、かたや重力に「引っ張られ」、こなた慣性の法則に従い等速でまっすぐ移動するという認識のもと、その2つの運動の比を計算すると円軌道となるのである。

¹¹ 自民党の議員だった「越智通雄」氏は惜しいことに回文系であり、釣りキチの「三平三平」は漢字表記は同じだが発音が異なる(みひら・さんべい)。

¹² 名前が苗字になるというのは奇妙な気がしないでもないが、私の周りでも似たようなことがあるので紹介したいと思う。私の生まれた村では同じ苗字の世帯が多く、苗字を伝えても個人の特定に何の役にも立たない。中国や韓国と似たような

ガリレオ・ガリレイの父ヴィンチェンツィオは名の知れた音楽家ではあったが、その収入は（フィレンツェのスタンダードからすると）普通であって、かつての「名門」の頃に比べると「落ち目」であったらしい。そこで生まれてきた最初の子供に、かつての栄光を築いた先祖と同じ名前を与え、「創始者ガリレオ」のように高名な医学者となって再び一家を高みへ上げてもらうようにと願ったのである。ガリレオ・ガリレイという名前は、最初のガリレオと二人目のガリレオを足したものであり、「新生ボナイウティ家＝ガリレイ家」最高の医者となることを願って与えられた名前なのである。したがってガリレオは医者になることが幼少の頃より義務付けられていた。

とはいえ、芸術家であった父は幼少期のガリレオに音楽や絵画などの芸術も教えた。特に絵画の

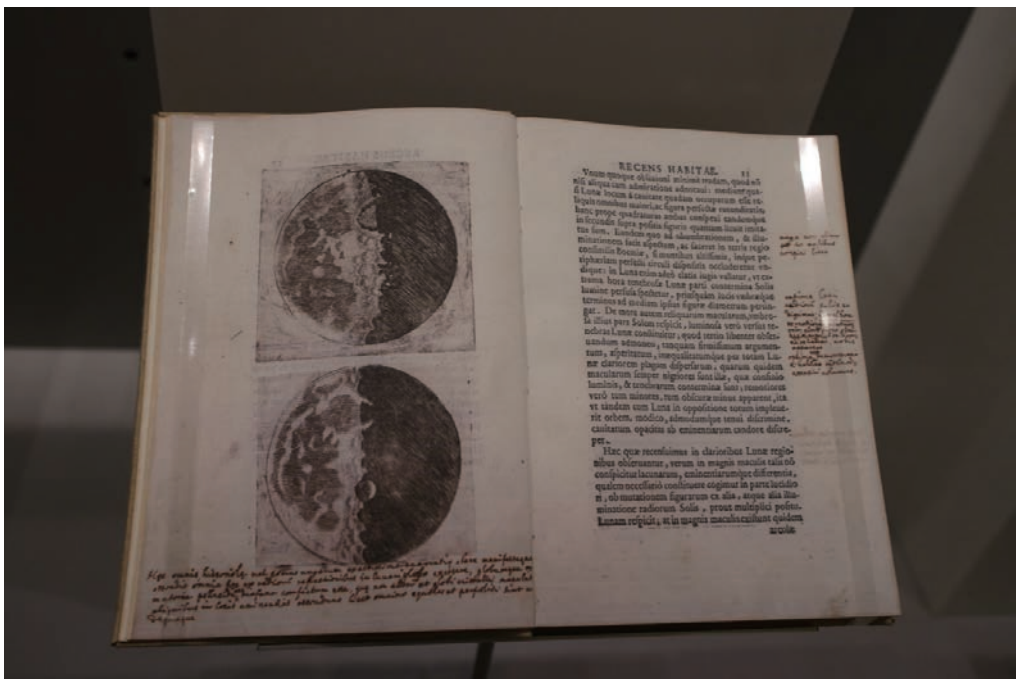


FIG. 1: ガリレオの「展開の報告」初版本の月面のスケッチ [画像データ出典: ガリレオ博物館（フィレンツェ）にて筆者撮影]

状況である。しかし、コミュニティの社会活動（祭りや寺社のしきたりなど）にまだ参加していない子供や若者たちは村人たちからまだ認知されていないので、フルネームで姓名を伝えたところで「どこのお坊ちゃんだね」と聞かれることになる。このとき使うのが一族の中でもっとも有名な祖先の名前である。その名前を伝えると、「あー、桶屋さんの」とか、「上州屋さんのとこかね」ということになって認識してもらえるのである。私の場合は、父や祖父の名前を伝えても認識してもらえない老人たちが近所に多かったため、江戸時代に寺子屋を開き、村人に漢文を教授していた「高三郎」という名前の曾祖父の家系だと伝えることが多かった。そうすると、「あー先生のところのね」とわかってもらえるのが常であった。（ちなみに、私は高三郎に会ったことも、その姿を絵や写真などでみたこともない。）したがって、名前が「苗字」の役割を果たしていたのである。もし高三郎の寺子屋が大成功し、「高三塾」などという名前で明治期に全国展開していたならば、維新の際に苗字が「高三（たかみ）」に変わっていたかも知れないと、ガリレオの歴史を調べながら思った次第である。

技能は、後にガリレオが「月のスケッチ」を描いた際に役立った。その絵によって名声を手に入れたといってもよいほどである。実際、フィレンツェのガリレオ博物館にある初版の「天界の報告」は月の絵のところを開いた状態で展示されている (Fig.1 参照)。くっきりした陰影により月面の「凸凹具合」が見事に表現されていて、ラテン語で書かれた内容がわからなくても、このスケッチを見るためだけにこの本を手に入れてもいいかなと思ってしまうほどである。

17 歳になった頃、ガリレオは親の意向に従い、地元のピサ大学に医学部生として入学する。ルネサンス期の医学部の教程は、ガレノス¹³の医学とアリストテレスの自然哲学から主に組み立てられていた。

大学の講義に出席し色々な学問に触れたガリレオは医学より面白いものに出会ってしまう。それはユークリッドの幾何学であった。熱心に勉強している息子の姿を知っている父は、大学から「落第する可能性があります」という通知に納得しなかったらしいが、ガリレオはユークリッドに没頭し、他の科目はほとんど勉強していなかったのだ、この通知は当然の結果であった。

一方、アリストテレスの「自然哲学」の勉強はある程度やっていたらしいが、それは「アリストテレスに対する敵意」に基づいていた。ガリレオが日常体験において観察し、見て知っている事柄とアリストテレスの学説が矛盾していたのだ。科学の探求とは、常識を疑うことであり、納得いかない定説への挑戦である点については、多くの同意が得られると思うが¹⁴、この意味では、ガリレオは模範的な「科学者」であった。例えば、アリストテレスの自然哲学では「大きな物体ほど落下速度は大きくなる」と説明されていたが、ガリレオが見た雹の落下ではその大小に関わらず同時に地面に落下していた。そのため、ガリレオは、アリストテレスの説明に対して挑戦したのである。

もし大小の雹が同じ場所で形成され、アリストテレスの説に従って落下するのであれば、最初に地表に降り注いでくるのは大きな雹ばかりのはずで、小さな雹が混じってくるのはしばらくしてからということになる。一方で、（ガリレオが観測した通りに）同じタイミングで大小の雹が地面に落ちることを認めるならば、大きな氷は小さな氷よりも随分上空で凝固し、地面寸前で小さな雹に追いつかねばならない。その描像はあまりにも不自然であるとガリレオは考えた。

絵画を通して身につけた自然観察の能力を備えたガリレオは、アリストテレスの「実際とは違う説明」に対し、強い不満を感じたのであろう。ガリレオが感じたこのような「文句」は、アリストテレスの教科書に書き込まれたものが残っているとのことである。

こうしてガリレオの興味は数学や自然哲学の探求に傾いていき、医学の勉強は停止してしまった。ガリレオは父に対して医学から数学に専攻を変えたいと願い出た。ガリレオの数学の才能を見抜い

¹³ ローマ帝国時代の医師

¹⁴ 例えば、平成 19 年度の東京大学入学式における総長式辞に「常識を疑う確かな力」という内容の考察がある [10]。残念ながら、この式辞で紹介されたガリレオの落体の実験の説明には誤解があると思われる。落体の実験については別の機会に議論する。

たりッチという数学者が、ガリレオの父を説得しようとしたこともあったようである。しかし、ガリレオの父はガリレオが医学の道から逸れることをどうしても許せなかった。話し合いの結果、1年間の猶予期間を設け、その間に自活の道を見つけるなど将来の方向性を決めることになった。しかし、医学の勉強を再開し単位だけでも取得するという具合には事は運ばなかった。

このようにして、高名な医学者となることを期待されて「ガリレオ・ガリレイ」と名付けられたこの学生は、入学から4年後に医学部を中退することになってしまったのである。

5. 「ケプラー」という名前の綴り

A. ケストラーの著書 [1] の書き出しに、ケプラーの性格について記した有名な箇所がある。

ケプラーは自分が生まれた「時」を3つの時間を使って記録している。まず、母親がケプラーを身ごもったのは”1571年5月16日午前4時37分”だったという。そして、胎内に”224日と9時間53分”存在し、“1571年12月27日午後2時30分”に誕生したのだという¹⁵。

一方、自分の名前(苗字)の綴りにはまったく無頓着であった。Keplerと書くことが多かったようだが、Kepplerと書いてみたり、KheplerあるいはKhepplerとしたときもあるようだ。また、ラテン語風に Keplerus と書くこともあった。

ケプラーという人間は、異常なまでの精確さと、あきれるほどの大雑把さが、常人には想像を絶するなんらかの方法で混じり合った人間なのである。これは彼の家系に流れる「魔女の血」のようなものが大きな影響を与えていると、ケストラーは述べている。一族には精神を病むものが多かったらしいし、魔女狩りで殺されたり殺されそうになった親族もいる。星占いはこの家系には必須の技能であり、生きていくためにどうしても必要なことであった。そのため、日付とそのときの天体の正確な位置についての情報に鋭敏に反応した。

ケプラー自身は躁状態と鬱状態の間の変遷が激しかったというが、躁状態における大胆な理論展開と(時には無謀ですらあった)、鬱状態における強迫的な緻密さが、周期的に彼の頭脳を制御したようである。

例えば、ケプラーはチュービンゲン大学の師ミヒャエル・メストリンを通して知ったコペルニクスの宇宙論については、大した検討もせず、興奮をもって無条件に受け入れたくせに、(古代ギリシアの)離心円理論にもとづく火星の軌道については、細かい字で900ページにも渡って行なった自らの計算結果が、ティコの観測結果と比べてわずか「8分の誤差」¹⁶が出たことには耐えられず「失敗」と断じて放棄するのである。

¹⁵ ケプラーがこのような細かい時間にこだわったのは、自身の運命を占星術で占うためであった。

¹⁶ 8分というのは $8/60 = 0.133\cdots$ 度に相当する小さな角度である。

途中で間違いを犯しても、まるで神か悪魔に操られているかのように、最終的には「正しい結論」にたどり着くのがケプラーの研究スタイルなのかもしれない¹⁷。

6. サイクロイドの研究

ピサ大学の数学教授に就任した直後、ガリレオはサイクロイドのなす面積についての考察を行った。サイクロイドというのは、直線を転がる円の周上に打たれた点が描く曲線のことである。円が一周すると、直線とサイクロイドによって囲まれた面積が、円の面積の3倍になることは積分計算によって確かめることができる。

しかし、積分が考案されていなかったガリレオの時代、これは難問であった。計算によって答えを算出できなかったガリレオは紙を切り抜いて実験的に面積比を求めようとしたが正解にはたどり着けなかった。この辺りは、ケプラーの法則にたどり着くまでに20年を要し、忍耐強く計算をおこなったケプラーと対照的である。ガリレオは理論家というよりは、実験家に近い感覚をもっていたように見えるが、無駄なく効率よく、勝ち目のある問題だけに注力する性格にも関係するだろう。

ちなみに、サイクロイドの面積も高校数学の範囲内であるから、現代の高校生は簡単に計算することができる。ここで確認しておこう。サイクロイドの軌跡 $P(x', y')$ は次の式で与えられる。

$$x' = a(\theta - \sin \theta) \quad (2)$$

$$y' = a(1 - \cos \theta) \quad (3)$$

したがって、サイクロイドと x 軸が囲む領域の面積は

$$S = \int_0^{2\pi} y' dx' = \int_0^{2\pi} a^2 (1 - \cos \theta)^2 d\theta = 3\pi a^2 \quad (4)$$

となって、基本円の面積の3倍であることがわかる。

7. 結語

ガリレオは生まれたときより、一族の栄華を復活させるべく、地位と財産と名誉を追求するように運命付けられていた（当初は医者として）。その才能は（医学ではなく）自然哲学や天文学の研究に注がれた。それはあくまで「踏み台」のようなものであって、学問そのものへの強い意識や知的な欲求があまり感じられない。ガリレオにとって大事だったのは、発見や発明の先取権に対する認定と、権威ある地位にのし上がるために必要な知性の獲得、および卓越した業績の承認であった。

¹⁷ 有名な逸話として、長い計算の途中で致命的なミスをしているのに、その終盤に子供でもやりそうもない単純な計算間違いを犯した結果、2つの間違いが相殺して結局正しい答えにたどり着く、といったようなことがケプラーの研究では複数回発生している。

一方、ケプラーも星の運命（さだめ）にしたがって生きていることを強く意識していたが、ガリレオとは随分違う側面からであった。地位や名誉や財産に対する欲求よりも、心が欲する「調和」への渴望の方が上回っていた。鷹揚さと神経質という通常は相容れないはずの 2 つの精神が周期的に現れて、神がかりな計算と大胆な論理の共存を可能にした。

同時代を生きた、異なる研究スタイルをもつ二人の対比は、その相違のために融合することを実現しなかったが、そこにはその時代特有の社会背景や歴史的な理由が存在している。ガリレオの場合はルネサンスのイタリアの中心フィレンツェそしてヴェネチアにいたということであり、ケプラーの場合は魔術や占いと、科学的な方法論との狭間に置かれた身の上であった。これらを加味した上で彼らの業績や研究手法を振り返ることにより、近代科学の誕生へのレールがどのように敷かれていったのかを知ることができる。

次の論文では、今回の考察を発展させ、ケプラーがニュートンになれなかった最大の理由である「慣性の法則」について、ガリレオはどのようにして見出し理解したのかについて考えてみたい。また、ピサの斜塔で知られる落体の実験についての考察も行う予定である。

参考文献

- [1] アーサー・ケストラー, 「ヨハネス・ケプラー: 近代宇宙観の夜明け」(小尾信彌/木村博訳, ちくま学芸文庫, 2008); the original publication by Aruthur Köstler, "The watershed" (1960).
- [2] S. ドレイク, 「ガリレオの生涯 - 第 1 巻 (全 3 巻)」(田中一郎訳, 共立出版, 1984); the original publication by Stillman Drake, "Galileo at work: the scientific biography"(University of Chicago Press, 1978).
- [3] J. Kepler, "*Mysterium Cosmographicum*" (1596).
- [4] 大井万紀人, 「レントゲンによる X 線の発見とその科学的背景」, 専修自然科学紀要第 51 号 (令和 2 年, 2020).
- [5] H. Hayakawa, et al., "Sunspot observations by Hisako Koyama: 1945-1996", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 492, 4513-4527 (2020, Oxford University Press).
- [6] R. Feynman, et al., "*The Feynman Lectures on Physics, Vol. I*" (1964).
- [7] G. Galilei, "*Sidereus Nuncius*" (1610); ガリレオ・ガリレイ, 「星界の報告」(山田慶児, 谷泰訳, 岩波文庫, 1976).
- [8] J. Kepler, "*Dissertatio cum Nuncio Sidereo*" (1610); English translation by E. Rosen (Jonson reprint co., 1965); Internet archive in Carnegie Mellon University (digialcollections.library.cmu.edu/awweb/awarchive?type=file&item=393654).
- [9] M Stokes, "*Galileo*" (Thomas Nelson, 2011).
- [10] 平成 19 年度東京大学総長式辞 (小宮山宏総長), <https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/>

[president/b_message19_02.html](#)

- [11] A. Einstein, “On the method of theoretical physics”, Phil. of Sci. 1, 163-169 (1934, The University of Chicago Press).