

古典力学の成り立ち ver.20230412

現代文明は、さまざまな学問の発展の上に成り立っている。特に、古代から数学、自然科学、科学技術がヒト社会を発展させてきた。それらがなかったら、ヒトという生物種はとうの昔に絶滅していたかも知れない。それらの学問分野における、人類史上最大とされる業績のひとつが、アイザック・ニュートン（グレゴリオ暦 1643-1727）による古典力学の確立である。大学を卒業する頃には、古典力学がほぼすべての現代科学技術の基礎をなしていることがわかるだろう。

狩猟生活をしていた頃の、人類の祖先における最大の死活問題は、食料である動植物の確保であったと考えられる。アフリカからヨーロッパ、アジアへと生活の場を広げていった祖先たちは、そのような食料の確保のしやすさが季節変動に依存することを本能的に知っていたであろう（渡り鳥ですら食料を求めて移動するのだから）。さらに農耕社会が始まって以降は、季節変動や台風・洪水などの自然災害を予知することは、人類が生き延びていくために必須の「情報技術」であった。

季節変動や周期的にやってくる自然災害を予知し、農作物の収穫や漁獲などを最大化するため、人類は星の動きをもとにして暦（こよみ）を作った。沖方丁の小説「天地明察」を読んでみてほしい。精確な暦の開発が当時の最先端の科学技術を駆使してなされたことがわかるだろう。精確な暦を持っているかどうか、国や社会の存亡に関わっていた時代もあったのである。

暦の他にも、星の動きの研究は神学と結びつき、星の動きと人間・社会のあり方を経験的に結びつける占星術を発展させた。神学においては、この世界は神が創造したものであるとされるため、規則正しい星の動きには神の意思が込められていると考えられた。神のメッセージを正しく受け取るため、教会の司祭たちは星の動きを追った。

そのような神学者・占星術師たちの頭を悩ませたのが、大多数の星の規則正しい動きに反する、星の「逆行」である。今でこそ火星などの外惑星がときどき見かけ上後戻りすることは小学生でも知っていることであるが、全知全能であるはずの神がなぜそのような不規則な動きをする星を、しかも数個だけに限って作ったのかが当時は大問題だったのである（planet の語源は古代ギリシャ語の πλανήτης「彷徨うもの」であり、日本語の「惑星」は文字通り「惑う星」である）。そのような、神の「不規則発言」の意味を説明する「理論」とは何か。

古代ギリシャから続く当時主流の天動説による「逆行」に対する説明は、それら惑星だけが（何故か理由は不明だが）（地球を周回する）周転円以外に従円と呼ばれる 2 つ目の円上を運動しているというものであった。しかしながら、この「理論」は「逆行」という定性的な惑星の振る舞いを説明することはできても、惑星の明るさの変動（太陽と惑星の距離の変動）、太陽と地球の距離の変動、地球と月の距離の変動など、星々の位置関係を定量的に予測することができなかった。

それに対して、発想を転換して「地球が太陽の周りを回っている」というシンプルな仮説に立脚することにより、神の「不規則発言」の謎が解けることを見出し、地動説を確立したのが、ポーランド出身のカトリック司祭・医師にして天文学者のニコラウス・コペルニクス（1473-1543）である。紀元前三世紀のサモスのアリストアルコスなど、コペルニクス以前にも地動説にたどり

着いていた古代の天文学者はいたが、天動説が解決できなかった上記の問題、すなわち太陽、惑星、月などの星々の位置関係やそれらの間の距離の変動を定量的に予測することに成功したのはコペルニクスが最初であり、そのためコペルニクスの理論は天文学史上最大の発見とされている。

もっとも、地球が高速度で自転し、さらに太陽の周りを高速度で周回しているということがあまりにも当時の人々の直感に反していたこと、また、地球が動いているならば星々は視差を示すはずであるがそれが観測されない理由（恒星は視差が観測できないほど遠方にある）がやはり当時の人々の直感に反するものであったため、コペルニクスの理論を真実と考える人はほとんどいなかったとされる。

その後ガリレオ・ガリレイ（ユリウス暦 1564-グレゴリオ暦 1642）がすでにオランダで発明されていた望遠鏡を自作して天体観測を行い、地動説を確信するに至った。ガリレオは（この授業でもあとで解説する）慣性の法則や物体の衝突に関する研究を行っており、合理主義哲学・近代哲学の祖として知られる哲学者・数学者ルネ・デカルト（1596-1650）とともにニュートンに影響を与えた重要な人物とされている。

同時期には、20年以上に渡って天体観測を行った、デンマークの天文学者・占星術師であるティコ・ブラーエ（1546-1601）が肉眼で達成可能な当時最高精度の惑星運行表を作成した。ティコから膨大なデータを託されたドイツの天文学者ヨハネス・ケプラー（1571-1630）は、惑星の運動が太陽を焦点のひとつとする楕円であること（ケプラーの第1法則）、太陽と惑星を結ぶ直線が単位時間に掃過する面積（面積速度）が一定であること（面積の原理、ケプラーの第2法則）、さらに惑星が太陽を周回する周期の2乗は楕円軌道の長半径の3乗に比例すること（ケプラーの第3法則）を発見するに至った。これらの法則に基づいてケプラーが作成した『ルドルフ星表』はそれまで使われていた『プロイセン星表』の30倍の精度を持ち、地動説が、従来の天動説よりも単純かつ高精度のものと認められるに至った。

ケプラーは幾何学的な議論を通してこれらの法則を数学的に導いたが、この講義ではニュートンが発見しその後の数学者たちが洗練させた微積分という数学的方法をもちいて、一気に巨人ケプラーの肩まで登る。ケプラーは「距離の2乗に反比例する引力が太陽と惑星の間に働いている」ことに気が付いており、「太陽と惑星の間に磁力のような力が存在する」と言ったとされている。授業では、惑星の運行を記述する方程式（ケプラーの方程式）はケプラーが完成させていたことを示す。

その後、ガリレオが亡くなった翌年に生まれたニュートンは、自身が発見した微積分学をもちいて、ケプラーの法則から万有引力の法則を導いた。この講義の後半では、ニュートンが発見した第1法則（慣性の法則）、第2法則（運動法則、運動方程式）、第3法則（作用・反作用の法則）について学び、それらの法則と万有引力の法則だけから、逆にケプラーの3法則と、惑星の運動を決定する方程式を導く。ニュートンは幾何学的な手法ももちいて『プリンキピア』を書き上げたが、この講義では微分方程式という現代的な数学的手法をもちいて一気に巨人ニュートンの肩に登攀する（高校物理を履修しなかった者も登り切れることを保証する）。

以上が、古典力学の成り立ちに関する歴史のつまみ食いである。実際は、古典力学という学問の発展は以上のような一本道のものではなく、他にもたくさんの研究者の貢献と失敗の枝葉が広がっている。歴史に興味のある人は、Wikipedia等に上記に登場するさまざまな学者の生涯が詳細に記録されているので、読んでみて欲しい。さらに、ニュートンが確立した古典力学は、アルベルト・アインシュタイン（1879-1955）の相対性理論により時間や空間の概念が修正

され、さらに古典電磁気学と統合され、古典論的な物理学の体系が完成したのである。

なお、このノートには、不正確な表現、間違い、タイポが含まれている可能性がある。それらを指摘してくれた人にはボーナス点を与えるので、積極的に「バグ取り」に協力してください。

参考文献

・和田澄夫, 「プリンキピアを読む」, BLUE BACKS, 講談社, 2009.