

中等教育研究開発室年報 第35号（2022年3月31日発行）別冊電子版
2021年度 授業実践事例

理科 高等学校第Ⅱ学年

万有引力の導出（逆2乗の法則に焦点化して）

授業者 梶山 耕成

（教育研究大会 公開授業）

広島大学附属中・高等学校

高等学校 理科（物理）学習指導案

指導者 梶山 耕成

日時 令和3年11月27日（土） 第1限（9:30～10:20）

場所 第1物理教室

学年・組 高等学校第2学年 選択 33人（男子20人，女子13人）

単元 様々な運動「万有引力」

- 目標
1. 物体にはたらく重力，及び等速円運動における向心力を示すことができる。（知識・技能）
 2. 地球が物体に及ぼす重力の大きさは距離の2乗に逆比例することを検証するための方法を理解し，理解した内容を他者と共有することができる。（思考・判断・表現）
 3. 与えられた資料から必要なデータを選択し，それらを活用することによって仮説を検証する態度と意欲を持つ。（学びに向かう力，人間性等）

指導計画（全10時間）

第一次	円運動	3時間
第二次	単振動	4時間
第三次	万有引力	3時間（本時2/3）

授業について

円運動や単振動といった基本的な運動について観察・実験を通して学習した後，これらの運動の具体的な例として人工衛星や惑星の運動といった内容を学習する。このとき，火星の観察から見出された惑星の逆行運動を例に引きながら，天動説から地動説への転換の過程を示し，後世においてクーンなどに代表される科学哲学者集団によって「パラダイムシフト」または「科学革命」と称されるダイナミズムが最も顕著に示されるのがこの単元の内容である。

こうした単元の特徴を踏まえたうえで万有引力の法則が導かれた過程を学習することは，科学史的な視点を取り入れた授業を実施する単元として，最もふさわしい内容ではないかと考える。特に物理量が距離の2乗に逆比例する事例は，今回取り上げる万有引力のみならず電磁気力その他きわめて多くの物理現象として現れる。その基本的な性質を任意の物理量が空間を伝わる，その空間の性質として捉え直すことで「場」の考え方のメタファーとすると共に，新たな視点から物理法則を再認識させることができると考えている。

生徒は，与えられた資料から必要なデータを「探し」，推論から法則に至る過程をニュートンその他先人の科学者たちが行ったであろう解析を追体験することによって「学び」直す。この学習活動を通して科学的思考の楽しさやダイナミズムを感得することが今回の授業の最大の狙いである。

題目 万有引力の導出（逆2乗の法則に焦点化して）

本時の目標

1. 重力が距離の2乗に逆比例するという仮説を月の公転運動に結びつけ検証する方法を理解し，他者と話し合うことを通して表現することができる。（思考・判断・表現）
2. 提示された資料から必要とされるデータを抽出し，活用することを通して「探す」活動から「学ぶ」活動に転換する態度をもつことができる。（学びに向かう力，人間性等）

3. 得られた結果を検証し考察することで、科学的思考の楽しさやダイナミズムを感じることができる。(学びに向かう力、人間性等)

本時の評価規準(観点/方法)

1. 科学史の視点から課題を捉えなおし、仮説の必然性や汎用性を理解する。(思考・判断・表現) / 課題に取り組む姿勢)
2. データを活用し、得られた結果を比較、考察することで科学の発展の過程を楽しむ。(主体的に学習に取り組む態度/個人・グループ学習活動への参加姿勢)

本時の学習指導過程

学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価
導入 光が空間を伝わるようすの観察	ろうそくや電灯の光が空間を伝わるようすを観察し、万有引力が伝わるようすと関連付けて興味をもたせる。	<ul style="list-style-type: none"> ・光が伝わる現象について、単位面積当たりの光の強度が距離の2乗に逆比例することを幾何学的なイメージとして捉えることができるように指導する。 ・空間を伝わる光と万有引力と関連付け、科学史的な視点から課題を捉えることができる。【主体的に学習に取り組む態度】
展開 地球が重力を及ぼす性質と月の公転運動との関係 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px 0;">見通す</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px 0;">試行錯誤する</div>	地球が月に及ぼす重力と、月の公転運動とを向心力の関係から説明し、どのようにこれらの関係を検証するか、その理論的な説明を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・重力や向心力について理解している。【知識・技能】 ・仮説とその検証方法を論理的に思考し、表現できる。【思考・判断・表現】 ・グループ内で話し合い、学習内容やデータを選択し活用する方法を他者と共有する活動を通して、自分の判断した内容を表現できる。【思考・判断・表現】
終結 得られた結果に対する物理的な探究 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px 0;">まとめる</div>	仮説の検証のための計算結果を吟味し、微小な誤差の範囲で仮説が成り立っていることを確認する。また検証した結果の物理的な意義や科学史的な位置づけを説明する。	<ul style="list-style-type: none"> ・得られた結果を検証し考察することで、科学的思考の楽しさやダイナミズムが感じられるように指導する。
備考 教科書：「物理（啓林館）」 副教材：理科年表 平成23年 準備物：計算用電卓		

引用・参考文献

- トーマス・クーン 中山茂訳 科学革命の構造 みすず書房 1971
 ファインマン、レイトン、サンズ、坪井忠二訳 ファインマン物理学 I 岩波書店 1967
 理科年表 東京天文台編 丸善出版 平成23年

生徒用資料

理科年表からの抜粋（編著者 自然科学研究機構 国立天文台，平成 23 年，丸善株式会社，天 1 (77)，天 6 (82)）

実践上の留意点

本授業で扱った万有引力の法則は、高等学校物理、力学単元のクライマックスであり、科学史としても重要な意味をもつ内容である。本授業を行うまでに、時間軸に沿って天体に関する科学史を追い、さまざまな人物の成果を最終的にまとめた人としてニュートンを取り上げた。万有引力の法則は、ケプラーの第3法則から導く方法が通例であるが、今回の授業では、これまでとは異なる方法で導出することを試みたものである。

プリンキピアを読むと、重力の大きさが距離の2乗に反比例するといった記述がある¹⁾。この点に着目しつつ、光が空間を伝わる様子と目に見えない引力のはたらきを結びつけることができないものかと考えた。また、地球の半径や月の公転半径距離といった実測値を用いることから、大きな数を扱う計算になるため、動機付けをいかに行えばよいか思案し、プリンキピアに書かれている「哲学における推理の規則」²⁾を導入に取り入れた。

研究主題でもある「探す」は、この授業のどこに位置付けるのが適切か。今後専門的な研究をするにしたがって、必要とするデータは鵜呑みにしないで一度ならず検討してみる、あるいは自分で改めて測定し直すといった場面に出会うことになるかもしれない。そうした経験を本授業で疑似的に体験させることも教育的な意味があるのではないかと考え、自分で必要なデータを得る活動を設定した。結果としては「探す」活動に時間を要し、全9班中2班が計算結果の検討まで行きついたところで、まとめの時間を十分確保できなかった。今後工夫する必要があると思われる。

本授業を通して感じてほしいことは、自然事象を式として表したものはすっきりとして簡潔であるが、そこに至るまでには人間臭い試行錯誤があるという点である。パラダイムシフトは、後世の時代から見れば劇的な変化として捉えられるが、当時としてはもう少し地道でゆっくりとした動きとしてシフトしていったものではないだろうか。前回私が行った研究授業では「科学は説明するものである」ことを提案したが、今回の研究授業では「お互いに、説明内容や導いたことをチェックしあったり、指摘しあったりすることも大切である。」ということをご提案したい。そして、この授業により、万有引力の法則はいろいろな自然現象を説明することのほかに、今回授業で行ったように、科学は仮説を立てて検証し、確かめ、そこから何が類推されるか、といった過程（探究の過程）の繰り返しであり、これこそが科学がたどってきた道、また今後たどる唯一の道であるということに気付かせたい。

引用・参考文献

- 1) 中野 猿人, 「プリンシピア」, 講談社, 昭和52年, 491-494
- 2) 同上 481

