

特集

ばねのおもちゃを使ったケプラーの第3法則

理解のための教材開発

磯合竜弥（和歌山大学）、富田晃彦（和歌山大学）

1. はじめに

ばねのおもちゃを使ったケプラーの第3法則理解のための教材開発と、作成した教材を使って高校1年生を対象に行った実践、実践後に授業に参加してくれた生徒を対象に聞き取り調査を行った。本原稿ではその報告を行う。

2. 実践の背景

ケプラーの第3法則を木星とその4つの衛星の写真データから体験的に理解する教材はすでに開発例が多く報告されている。例えば、2015年の鈴木・洞口らによる「デジカメ天文学」[1]では、複数の日付に渡って撮影された木星とその衛星が写った天体写真から、Windows上で動く画像処理ソフト「マカリ」を使って天体の位置を測定し、木星-衛星間の距離を求め、縦軸を木星からの距離、横軸を日付にとったグラフにデータ点として入力し、正弦波をフィッティングすることでケプラーの第3法則を示す方法が紹介されている。

その際に、データ点に正弦波をフィッティングする作業は、パソコンがあれば楽に正弦波の波長や振幅を変えることが出来るので簡単に終わることが出来る(図1参照)。しかし今回、パソコンを使った授業が実施できない状況となった。また高校1年生ではまだ対数を習っておらず、ケプラーの第3法則を確かめる際に両対数グラフを使うことが出来なかった。

以上を踏まえ、「①パソコンを使わずにフィッティングを簡単に行うことは可能か？」

「②高校1年生にも、ケプラーの第3法則があることを理解してもらえる教材は可能か？」の2点について検討してみることにした。

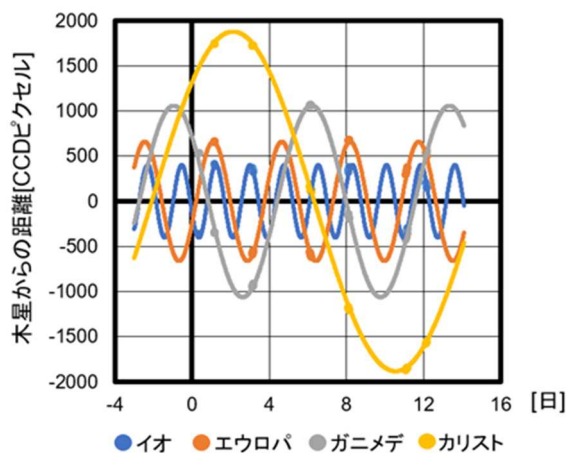


図1 パソコンを使ったフィッティング

3.1 作成した教材①

本実践ではパソコンを使ったフィッティングを再現するために、ばねのおもちゃを使うことにした。

具体的には、まず木星とその衛星の天体写真から距離測定した結果をあらかじめ記入したプリントを用意する。そして、プリントにばねのおもちゃを重ね、上からのぞき込むことで、疑似的にパソコンで行うフィッティング作業を再現する。その際に、ばねのおもちゃを左右にずらすことで位相を、引っ張ったり縮めたりすることで波長を調節する。パソコンで行うフィッティングであれば振幅も自由に変えられるのだが、ばねのおもちゃの場合は困難であることと、授業時間の関係上、今回の実践では事前に振幅を生徒に与えることで波長を求めてもらう作業に集中して取り組んでもらった。

図2が実際にばねのおもちゃを使ってフィッティングをしている様子である。この時、ばねの中心は正弦波の形に見えるが、ばねの端の部分は視差が出てしまうので波の形が崩

れてしまう。



図2 ばねを使ったフィッティングの様子

そのため、目の位置をスライドすることで常に真上から見る、あるいはカメラのアプリケーションのパノラマ撮影機能を使う、などの方法を取ることで視差を修正し、データ点とのフィッティングに取り組んでもらった(図3参照)。

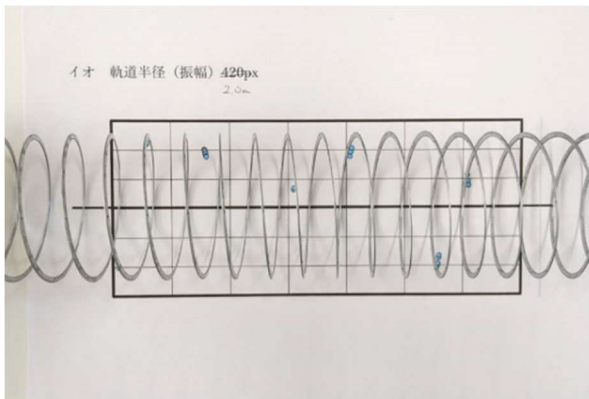


図3 パノラマ撮影の様子

3.2 作成した教材②

対数を習っていない高校1年生には両対数グラフを使った説明は出来ない。したがって、両対数グラフを使わずとも衛星の公転周期と軌道半径にはある関数に従った法則があることを示すことにした。また、ケプラーの第3法則が2乗と3乗に関する式なので、同じプリントに係数を揃えた「 $T = a^2$ 」と「 $T = a$ 」のグラフを書いてもらい、データ点を通る曲線がその間に来ることで、公転周期と軌道半径が比例の直線でも放物線でもない、ある関数に従っていることを確かめてもらうことにした(図4参照)。

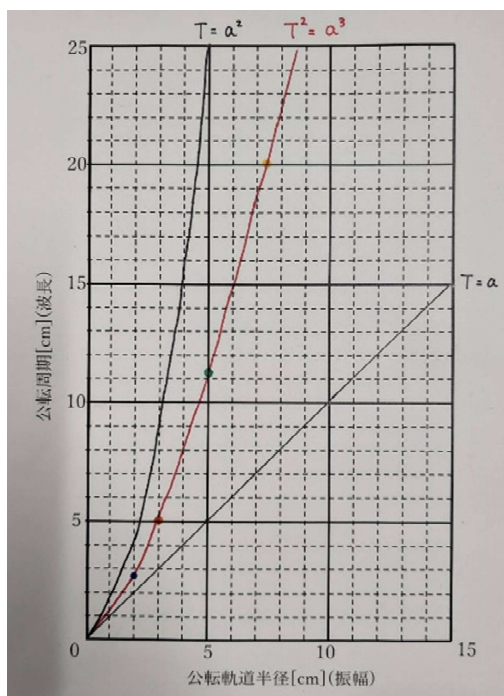


図4 波長(公転周期)と振幅(公転軌道半径)の間にある科学的関係があることを示すグラフ

4. 結果

授業は和歌山県のA高等学校のご厚意で実施できた。高校1年生39名を2グループに分け、それぞれで同じ実践を1回75分で行った。教材の評価は授業の生徒の様子や実践直後のアンケート結果から行った。また約1か月後に改めて生徒に聞き取り調査を行い、定着度や理解度の評価を実施した。

4.1 授業の様子やアンケート結果より

「①パソコンを使わずにフィッティングを簡単に行うことは可能か？」

『可能だが、正確な測定には多少の慣れが必要である。』

フィッティングは3~4人の班活動で実施してもらった。互いに協力しあいながらフィッティングに取り組んでいる姿が見られた。

ばねのおもちゃを使ったフィッティングは簡単で、かつ協働作業としての面白さを感じてもらえるものだったと言える(図5参照)。

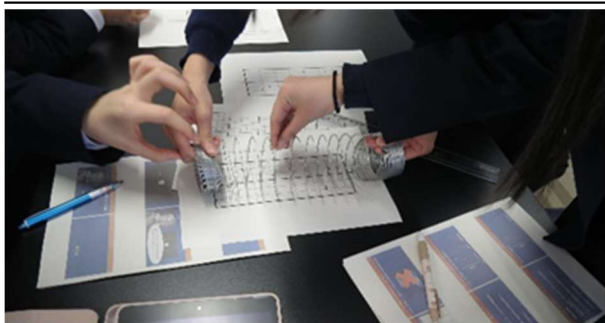


図5 フィッティングを行う生徒の様子

一方で、表1に示しているように測定結果には班ごとにばらつきがあった。加えて、授業実践では行わなかった両対数グラフをそれぞれの班の計測結果から作成し、傾きを計算したところ、ケプラーの第3法則を示す傾き1.5を示す結果が得られた班は少なかった。視差の修正には個人差があり、修正には慣れも必要であることが分かった。

表1 測定結果から傾きを求める

班	両対数グラフの傾き
1	1.960
2	1.459
3	1.374
4	1.529
5	1.865
6	1.729
7	1.107
8	1.286
9	1.661
10	1.601
11	1.732

「②高校1年生にも、ケプラーの第3法則があることを理解してもらえる教材は可能か？」
『公転周期と軌道半径には、ある関数に従った法則があることを示すグラフは書けた。一方で十分な理解に至った生徒は少数だった。』

図6は生徒の授業プリントである。記入例と同じように、全ての班がグラフを書くことができた。測定にばらつきはあったものの、公転周期と軌道半径にはある関数に従った法則があることを、グラフから確認できたと言える。

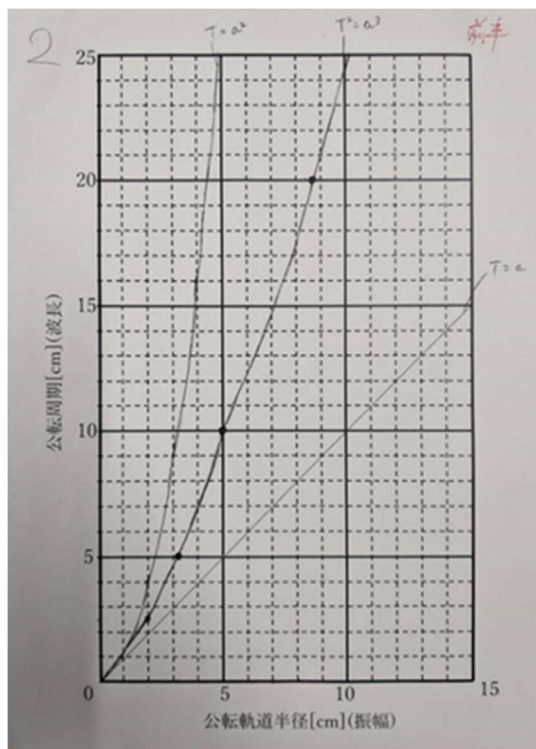


図6 生徒の授業プリント

図7は授業終了後に行ったアンケート記録である。縦軸が理解度に関する評価で上に行くほど理解が深まったこと、横軸は授業の面白さに関する評価で右に行くほど面白かったことを示している。

アンケート結果から、授業自体は面白かったという声は多くあった。一方で理解には至らなかった生徒も一定数いたことが分かった。机間巡視をしている際にも、「これってそもそも何をしているんですか？」「ばねを合わせた後はどうしたらいいんですか？」という質問がいくつも集まった。作業の意味をきちんと理解することができた生徒は少なかったように思われる。



図7 授業後のアンケート結果
(縦軸:理解度、横軸:面白さ)

4.2 聞き取り調査より

授業を実際に受けてもらった生徒14名を対象に、約1か月後に対面形式での聞き取り調査を実施させていただけることとなった。

聞き取り調査の結果から、ばねのおもちゃを使った作業は印象的で全員がその取り組みを覚えていた。

理解度に関しては、改めて授業実践で話した内容を生徒に大まかに伝えさせていただいた上で、学習内容について分からなかったところや疑問に残ったところについて聞き取り調査を行った。まず「公転周期＝波長」「軌道半径＝振幅」というような、天体の動きと正弦波の関連性については高校物理を履修しはじめている5名の生徒を除いて、よく分からなかったとの声をいただいた。授業実践の際には中学との連携を意識して、振り子の動

きと周期の話や、音の振動と波の話など、これまでの学習段階を想起させる指導が必要であると言える。

また、8名の生徒から「 $T^2 = ka^3$ 」が比例のグラフだと分からなかったとの声もいただいた。先生に話を聞くと、「グラフを苦手に行っている生徒が多い。特に比例のグラフは表で2倍、3倍...と示されると分かる生徒は多いが、式で見ただけではスムーズに理解に至らない場合がある。今回の実践でもケプラーの第3法則がすぐに2乗と3乗の値の間の比例であると分かった生徒は少なかったのではないかと」の意見をいただいた。

5. まとめ

ばねのおもちゃを使った正弦波フィッティングは、測定値のズレはあるものの、作業としては面白味があり、生徒に楽しんでもらえるものであった。一方で軌道半径・公転周期と波の関係性やグラフの読み取りは難しく、高校1年生には少し理解しづらい内容もあった実践だった。日本天文教育普及研究会近畿支部会の発表では様々ご指摘いただきましたので、これらのご指摘を参考にさらなる研究・分析を行っていきたい。

文 献

[1] 鈴木文二・洞口俊博(2015)「あなたもできるデジカメ天文学 “マカリ”パーフェクト・マニュアル」, pp.48-51



磯合 竜弥 (いそあいたつや)

富田 晃彦 (とみたあきひこ)