

平成22年度サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト
『レンズの物理：望遠鏡から重力レンズまで』活動報告

理科・物理 渡會 兼也

(要旨) 本稿は、平成22年度サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト『レンズの物理：望遠鏡から重力レンズまで』での活動報告である。この企画は2010年12月11日から12日にかけて本校で行われ、本校の1年生2人、2年生11人の合計13人の生徒が参加した。本稿では、この企画内容の概要を紹介する。

キーワード：物理教育，レンズ，宇宙物理

1. はじめに

アインシュタインの一般相対性理論によれば、質量がある物体の周りの空間は歪んでいる。この空間の歪みは、我々の日常生活ではほとんど観測できないが、星や銀河ほど大きな質量の天体では顕著になり、光の軌道が大きく曲げられる。このとき、天体は光を屈折するレンズのような役割を果たしているため、この現象は重力レンズ現象（以下、重力レンズ）と呼ばれている。実際に、1919年にエディントンらが日食中の観測によって、太陽の後ろにあるはずの天体が観測でき、その光の曲がり具合が驚くべき精度で一般相対性理論と一致したことで理論の検証となった話は有名である。

重力レンズによる天体の像は非常に興味深く、専門家・非専門家を問わず宇宙の神秘を感じさせてくれることから、重力レンズは科学イベントや大学のオープンキャンパスなどでしばしば紹介される題材である。筆者らは2005年、2006年に大阪市立科学館で開催された第6、7回ジオ・カーニバルに大阪教育大学の学生さんと重力レンズのブースを出展した経験があった[1, 2]。ブースでは、参加者に重力レンズシュミレーターやアクリル製重力レンズを使い、重力レンズによる像を見て楽しんでもらった。この

企画自体は好評で、参加者の興味・関心が喚起できたという実感はあった。しかし、筆者は「なぜ、重力レンズ現象がこんな奇妙な現象を引き起こすのか」という理屈が理解できればもっと科学の面白さが伝わるのではないかと感じていた。そこで、我々は重力レンズ現象の単なる関心・興味から、発展的な学習教材としての可能性を考えた。これが、今回のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(SPP)に申請した動機である。また、本校では地学が開講されていないため、生徒は宇宙・天文を学ぶことができない環境にある。理系を選択した生徒に対する宇宙・天文分野への興味を喚起という目的もあり、今回の企画を行った。

2. SPPとは？

サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(SPP)は文部科学省が平成14年度に始めた事業であり、現在は独立行政法人科学技術振興機構(JST)が行っている。この事業の趣旨は『児童生徒の科学技術、理科・数学に対する興味関心と知的好奇心等を育成することを目的として、学校等と大学・科学館等との連携により、科学技術、理科・数学に関する観察、実験、実習等の体験的・問題解決的な学習

活動に対して支援を行う』(抜粋) というものである。企画機関が他の機関と連携して行う教育活動、というのが重要なポイントである (図1)。

今回我々は、上の趣旨に沿うように図2のような企画を立案した。連携機関は京都産業大学理学部とし、重力レンズの専門家である米原厚憲氏と京都産業大の荒木望遠鏡 (口径1.3m) を使って観測をしている遠山裕貴氏に講師を依頼した。活動の流れは、レンズの物理をテーマに、最初の講義では望遠鏡や重力レンズの講義、後半はアクリル樹脂による重力レンズと同じ曲がり方をする光学レンズの作成と測定実験を行った。

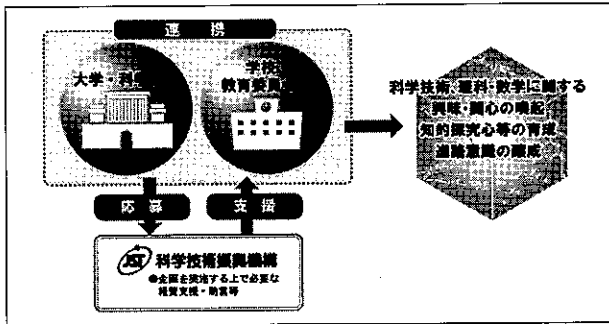


図1 SPPの概念図 (<http://spp.jst.go.jp/>)

SPPプログラム@金沢大附属高校	
■12月11日(土) 13:30~講座の諸注意 13:40~14:30: 講義「宇宙におけるレンズについて」 講師: 米原厚憲先生(40分) 14:30~14:50: 講義「望遠鏡の原理について」 講師: 遠山裕貴さん(20分) 休憩(10分) 15:00~15:15: アクリル製重力レンズの説明 米原先生 15:15~16:30: アクリル樹脂で重力レンズを作成	■12月12日(日) 9:00~10:00: 重力レンズの加工・修正・測定 10:00~11:30: 課題 11:30~12:00: まとめ&アンケート提出 講義 レンズ製作 測定 20名募集 ↓ 参加者 合計13名 1年2人 2年11人

図2 本校でのプログラム内容

3. レンズ製作

この章では、レンズ製作の流れを説明する (レンズ製作の詳細については文献 [3, 4, 5] を参照)。

1日目前半の米原氏の講義では、重力レンズ現象

だけでなく、望遠鏡での天体の観測方法についても学んだ。多くの天体写真の紹介と共に重力レンズの具体例が示された。休憩後の講義で重力レンズ現象を模擬する光学レンズの設計方法を学んだ。重力レンズは光が天体に近い場所を通ると曲げられる性質を持っている。それを光学レンズで再現するには、レンズの形状・厚みを変える必要がある。レンズの形状は、重力による光の曲がり角の関数形がわかれば、物理Iで学ぶスネルの法則と簡単な積分を使って導出できる。星のレンズの場合は、レンズの形状が対数関数的になり、銀河の場合は円錐型になる [5]。本校の高校2年生はまだ積分を学んでいなかったが、微分してこの関数になる関数を予想させると、多くの生徒が関数の形を予想できた。

講義の後にはアクリル樹脂によるレンズ作成である。まずは、シリコンゴムの型を作る作業である。星の場合の重力レンズの元型は、以前アクリルブロックの削り出しで作ったレンズを使用、銀河の場合は、100円ショップで売られている子ども用のコマを使用した。容器にこれらの元型を固定し、ブルーミックスソフト (図3) の2種のペーストを混ぜあわせると、シリコンの型ができる。あとは、その型にアクリル樹脂 (これも2液混合) を流し込み、半日ほど経過するとレンズが出来る。クリスタルレジ2スーパークリアーをゆっくり型に流しこむと、気

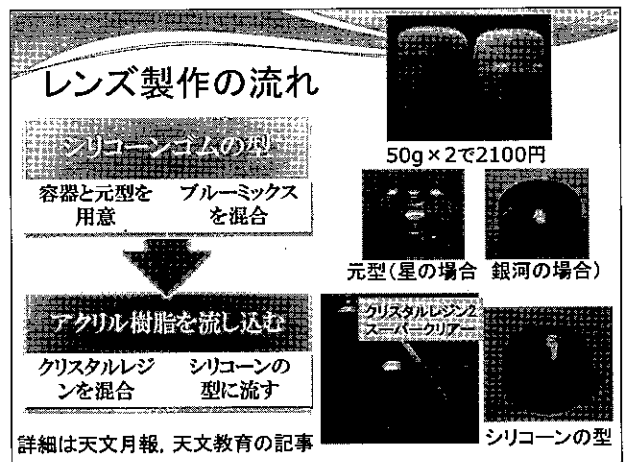


図3 レンズ製作の流れ

泡は殆ど入らず、綺麗なレンズができる。研磨はほとんど必要なかった。

4. 測定実験

測定は観測者から30cm離れた位置にある●を天体に見立て、その間にレンズを置いたの時の像の変化をデジタルカメラ（携帯電話）で記録する（図4）。デジタルカメラの画面にトレーシングペーパーを置



図4 実験風景

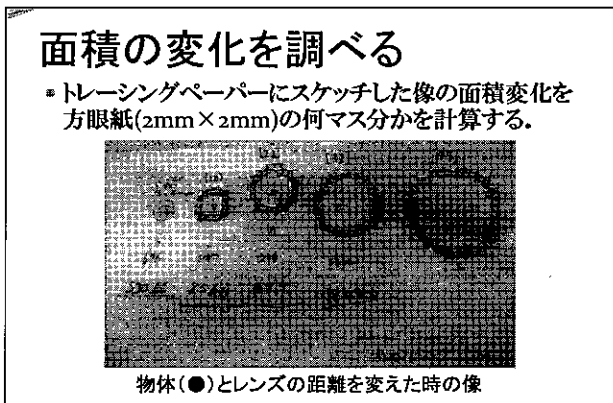


図5 面積変化

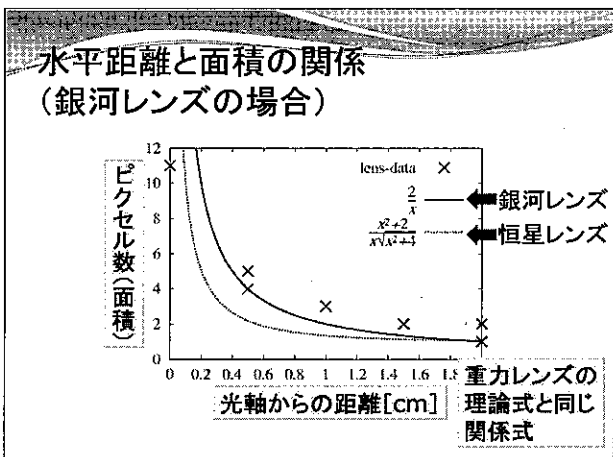


図6 データと理論曲線の比較

き、像をスケッチさせて、その後方眼紙何マス分になるかを数えると、レンズを置いた場所による像と面積の変化がわかる。実際にそれを調べたのが（図5）である。アクリル樹脂のレンズは重力レンズの解析解をほぼ再現している（図6）。

5. 感想

生徒の感想（抜粋）を見てみよう。

*重力レンズ現象について

- ◆重力で光が曲がるのはおもしろい
- ◆世の中が歪んで見えてきました。
- ◆目に見えているものと実際に起こっていることは違うこともあるんだなと思いました。
- ◆重力レンズを使って質量分布が測定できることに興味を覚えた。

◆重力レンズがあるから宇宙を観測する人は計算が大変だ。

◆恒星レンズと銀河レンズの違いがよくわかった。

*レンズ製作について

- ◆実験がとても楽しかった。レンズを通じて様々な姿が見れて感動しました！
- ◆容器製作が楽しかった。レンズをアクリル樹脂で作れるとは知りませんでした。
- ◆授業ではできないような実験ができて、天文分野により一層興味がわいた。
- ◆皆で協力してワイワイできてよかった。少人数でよかった。

感想を見ると、今回の企画の目的である、ある程度深い理解は達成されたようである。また、こういったレンズの製作実習自体も楽しかったという声が多かった。少人数で、実験道具を自由に使えることも満足度が高かった一因であろう。やはり、少し難しいという意見も数名あった。

6. まとめ

今回の活動を長期的に行うことも教育的であると考える。例えば、ハッブル宇宙望遠鏡で撮影された重力レンズの画像から地球とレンズ天体と光源との位置関係を割り出すような課題は、大学生の卒業研究やSSHのテーマとしても使えるのではなかろうか。また、アクリルによるレンズの設計そのものを課題にしてもよいかもしれない。

一般的に、日常生活の中で特殊・一般相対論が応用されていることを実感・体験することは困難である。GPS衛星で情報をやり取りする際に相対性理論が使われている、という例があるが、想像することは難しい。今回のアクリル製重力レンズは一般相対論による光の曲がりを実際に体験できる唯一のツールと言ってよいだろう。

正直に言えば、SPPは書類や消耗品購入の手続きが煩雑で、学校教員が1人で行うことが億劫になる事業である。これはSPPを経験された多くの方が感じていることであり、実際に学会誌等でも書類の煩雑さを嘆いた文章を何度か目にしたことがある。ただ、その書類の煩雑さは障害であるが、同時に生徒に『ホンモノの科学』を体験させるチャンスでもある。現実的に考えれば、採択率50%以上で、これほどの資金援助をしてくれる事業があるだろうか。また、終了後の生徒の感想を見ると、企画してよかったと感じている。今後、我々学校教員はこの制度をもっと有効に使うべきだと思う。

私は今回の経験から学校教員がSPP事業をスムーズに進める・継続するためのポイントは、①教員何人かのチーム、あるいは事務方を巻き込んだチームでの役割分担をはっきりさせる、②お金の使い方を簡単にする、の2点を挙げたい。これからも多くの教員がこの制度を使い、児童・生徒にホンモノを味わう機会を提供することを希望する。

謝辞

今回の企画にあたり、科学技術振興機構（JST）のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト事業に採択・支援していただき、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 西山普史, 福江純, 渡會兼也, 西村昌能, 2006, 天文月報, vol. 99, 381
- [2] 渡會兼也ほか, 2007, 天文月報, vol. 100, 234
- [3] 渡會兼也, 樫田豪利, 米原厚憲, 遠山裕貴, 2010, 天文月報, vol. 104, No.5, p257-263
- [4] 渡會兼也, 樫田豪利, 天文教育, 2011, vol. 23, No.2, p40-42
- [5] 渡會兼也, 物理教育, 2011, 第59巻, No. 3, p171-174