

# 宇宙の蜃気楼「重力レンズで見る世界」: 第7回こどものためのジオ・カーニバル 活動報告



渡會

渡會 兼也<sup>1,3</sup>, 川田 明寛<sup>2</sup>, 田中 謙一<sup>1</sup>,  
西山 晋史<sup>1</sup>, 秋月 千鶴<sup>1</sup>, 植野 健一<sup>1</sup>,  
松本 桂<sup>1</sup>, 福江 純<sup>1</sup>

〈<sup>1</sup> 大阪教育大学 〒582-8582 大阪府柏原市旭ヶ丘 4-698-1〉

e-mail: watarai@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

〈<sup>2</sup> 大谷中・高等学校 〒545-0041 大阪市阿倍野区共立通 2-8-4〉

〈<sup>3</sup> 日本学術振興会特別研究員〉

筆者らは、2006年11月11日、12日に大阪市立科学館で行われた第7回ジオ・カーニバルにおいて、重力レンズを題材にしたブース出展を行ったので、その活動内容を報告する。一般に、重力レンズ現象を科学の啓蒙活動に使うことは難しいように思われるが、方法を工夫すれば非常に面白い教材になるかもしれない。今回のジオ・カーニバルの活動報告・反省点を報告すると同時に、重力レンズを教材として扱う際の注意事項についても簡単に紹介する。

## 1. はじめに

2006年11月11-12日に「第7回こどものためのジオ・カーニバル」が大阪市立科学館で開催された。これは「21世紀の地学教育を考える大阪フォーラム」の子ども向け企画として2000年に始まり、2001年からは大阪市立科学館で毎年11月の第1または第2週の土日に開催されている。企画の目的は「将来を担う“こども”に実験や展示を通じて地学に関心を持ってもらうと同時に、現象を科学する姿勢を養う」ことである。昨年のこの企画への参加者は2日間で約3,000人。今年は約4,000人と、年々増加していることから、ジオ・カーニバルの関心と期待が高まっていることが伺える（昨年様子は文献1参照）。

われわれ大阪教育大学の天文学研究室と宇宙科学研究室では、毎年学生さんを中心に3-4のセミ

ナーやブースを出展し天文教育普及活動を行っているが、本稿では、筆者の一人（渡會）が仕切った企画についての報告を行う。

以下、第2節では今回の企画の動機と意図を簡単に説明し、第3・4節で実際にブースでの演示手順と注意点をまとめる。第5節で、アクリル製重力レンズの紹介をした後、第6節で子どもたちの反応について述べる。第7・8節では、今回の企画の反省点と今後の課題についてまとめを行う。

## 2. 企画の動機と意図

今回われわれが“重力レンズ”を題材に選んだ理由は二つある。

第一の理由は単純で、重力レンズの楽しさを子どもや一般の方にも感じてもらいたいからである。天文学研究にかかわる者にとって、重力レンズ現象は、現在でも遠方銀河の探査、宇宙論パラ

メーターの制限，ダークマターの質量を見積もるなど，多方面にわたって利用されており，その重要性は疑う余地がない．また，重力レンズ現象はアインシュタインの一般相対性理論が視覚的に検証できる数少ない現象で，物理学のすばらしさや自然・宇宙の神秘性をわれわれに感じさせてくれる．

この面白く・魅力的な現象を，もっと多くの方に知ってもらいたい，と思ったことが出展の動機である．最近ではインターネットで重力レンズ天体のギャラリーが閲覧できるほどサンプル数が増えたが，積極的な教育普及にまで至っていないと思われる（一般向けの解説書もまだ1冊しかない<sup>2)</sup>）．その理由は定かではないが，その重力レンズの本質を理解するためには，一般相対性理論の概念が必要であり，その説明が難しいという思い込みから，一般向けの紹介は敬遠されているのかもしれない（事実，そういった意見は筆者らの周りによく耳にする）．

もう一つの理由は，昨年ジョ・カーニバルにおいてもわれわれは重力レンズを扱ったブースを出展したが，そのときの反省点を生かして，もう一度同じテーマで挑戦したかったからである．昨年の企画は，参加者の写真をデジカメで撮影し，それをパソコンで取り込んだ画像を重力レンズシュミレーターにかけて遊んだ後，その画像をプリントアウトして配布する，というものだった<sup>3)</sup>．この企画は順番待ちの列ができるほど好評で，最終的には150枚ものL版を配布することになり，われわれも大いに喜んだ．しかし，一般の方はパソコンによるシミュレーション画像を見ただけでは『本物である！』という実感がわかないのではないかと？ 重力レンズでこちらが知ってほしいことが伝わっているのか？ などの疑問が生じた．

そこで今回の出展ではもう一度同じ題材を違う手法で扱うことにこだわってみた．今回は実際にアクリル製重力レンズ（第5節参照）を触って，覗いてもらうことで，レンズの面白さを体感して

もらおうと考えた．誰でもレンズを覗くという行為自体に楽しみがある．そこに重力レンズをプラスしてさらに楽しんでもらうのが狙いである．

そもそものこのジョ・カーニバルの目的は「体験を通じて地学の面白さを知ってもらう」ことである．重力レンズを教育するのではない．今回は上で挙げたような経緯もあり，昨年とは趣向を変えた．

### 3. 演示の手順

この章ではわれわれの行った企画ブースでの演示の手順をご紹介します．

- ①アクリル製重力レンズとルーペをブース参加者に渡して，適当に遊んでもらう．
- ②①によって，“なぜこのレンズは奇妙に写るのか？”という疑問が自然に生じるので説明を行う．
- ③説明後，プリントに印刷した点を使って，いろいろなパターン（リング，アーク，四つ葉）を作って遊んでもらう（図1, 2）．
- ④サポート情報として，説明ムービーの上映を行った（図3）．これは説明の際の補足と，待機している大人向けの説明とした．また，壁にも補足用の説明図を貼った．

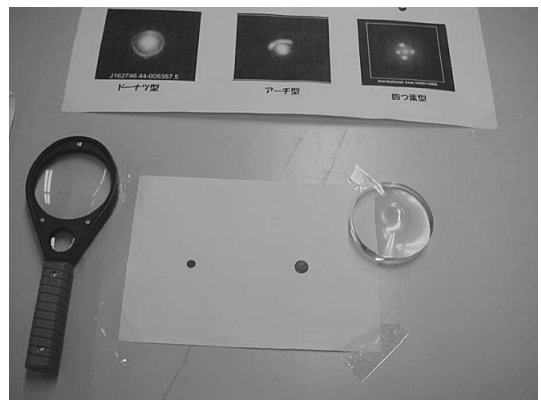


図1 こちらでルーペ（凸レンズ）とアクリル製重力レンズを用意．まずは適当に遊んでもらう．

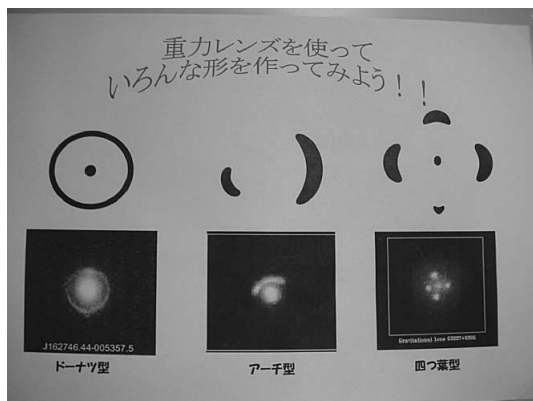


図2 アクリル製重力レンズを使って、机に書かれた黒い丸(図1参照)を覗いて、さまざまなパターンを作ってみる。

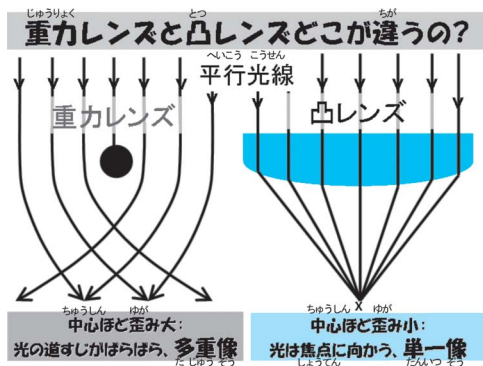


図5 説明の際に使ったパワーポイントのスライド。凸レンズとの違いから重力レンズの特徴を説明した。

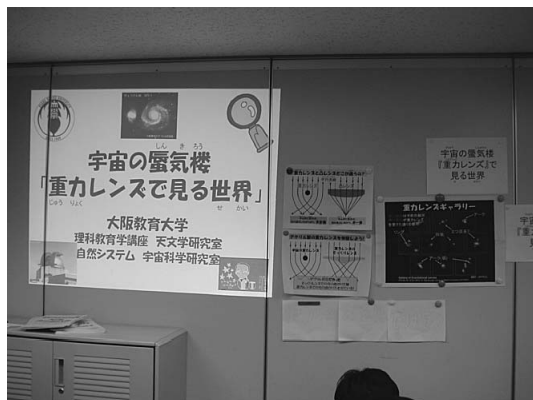


図3 補助説明用のパワーポイント。



図4 ブースでの風景。アクリル製重力レンズを使って参加者に遊んでもらう。

スタッフは常時3人待機し、少し込み入った質問については、渡會が対応した。

通常の凸レンズと重力レンズの違いを一言で言えば、光線を焦点に集めるか、集めないか、である。無限遠方からやってきた平行光線は、通常凸レンズに当たると焦点に向かって収束する。しかし、重力は天体に近づけば近づくほど強くなるために、天体の近傍を通る光線ほど強く曲げられてしまい、焦点が存在しなくなる(図5)。これさえわかっただけでも、現象論的にはあるが、中学生以上であれば重力レンズの像を理解できると考えた。これは小学生にとっては少し難しいが、通常のレンズは日常生活で経験的に知っている子どもも多い。スタッフはこのポイントを逃さないように説明することを徹底した。

#### 4. 演示上の注意

重力レンズは一般の人にとって、かなりマイナーな知識なので、話を聞いてもらうためには少し工夫が必要である。われわれは最初にアクリル製の重力レンズで遊んでもらうことで、なぜこんな風に不思議な像ができるのだろうか? という意識をもたせた後に説明を行うことにした。

あくまで、子どもに体験を通じて地学の面白さをわかってもらう企画なので、ブース企画が教育

に偏らないように注意した。当然であるが、説明には一般相対論、重力、時空などの用語も難しいので使わないように注意を払った。

これは手前みそかもしれないが、大阪教育大の学生さんは皆子どもの扱いになれていて、何気ない会話から子どもの学年を聞きだし、その学年に応じた説明を行うことができた。これは研究畑にいる人間は簡単に真似できないので、あらかじめ調べておく必要がある。当然であるが、話の中で相手の知識を確認しつつ、説明すると一般の方でもわかってもらえる。

以上の理由から、ブースでの説明はトークの技術が必要とされる。

### 5. アクリル製重力レンズ

今回使用したアクリルの重力レンズの原型は以前大阪教育大学の天文学研究室で作ったものである<sup>4)</sup>。今回、愛媛大学の寺島雄一助教授から重力レンズを量産するというお話を聞いたので、それに便乗して5個ほど作っていただいた（ありがとうございました）。

レンズにアクリル樹脂を使うメリットは以下のとおりである。

- 屈折率がガラスに近く、透過率も高いので、綺麗な像が見える（アクリルの屈折率は約1.49、透過率93%、一般的なガラスの屈折率は約1.5）。
- 加工しやすい。
- 安価で、容易に手に入れることができる。

などが挙げられる。

ここでアクリル製重力レンズの幾何学について少し説明しておく。

星（質点）における弱い重力場の近似では、質量  $M$  の質点の重力場によって光線の曲げられる角度  $\Delta\theta$  は、

$$\Delta\theta = \frac{4GM}{c^2 p}$$

で与えられる（図6）。ここで、 $G$  は万有引力定数、

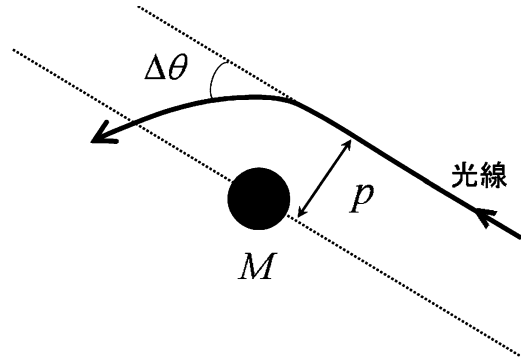


図6 重力レンズによる光線の曲がり

$c$  は光速、 $p$  は衝突パラメーターである。 $\Delta\theta$  が近レンズ点距離  $p$  に反比例するようなレンズの形状は、光軸からの距離を  $r$ 、レンズの厚みを  $z$ 、屈折率を  $n$  ( $=\sin \Phi/\sin \phi$ ; スネルの法則より) とすると

$$\frac{dz}{dr} = -\frac{4GM}{c^2(n-1)} \cdot \frac{1}{r}$$

と書ける（図7）。この式を積分して、レンズの形状を表す式

$$z = -\frac{4GM}{c^2} \cdot \frac{1}{(n-1)} \ln r + const.$$

が得られる。つまり、レンズの形状は中心に向かって対数的に厚くする必要がある。銀河のように質量分布がある場合のレンズの形状は円錐状になるが、これについては横尾武夫らの解説記事<sup>4)</sup>

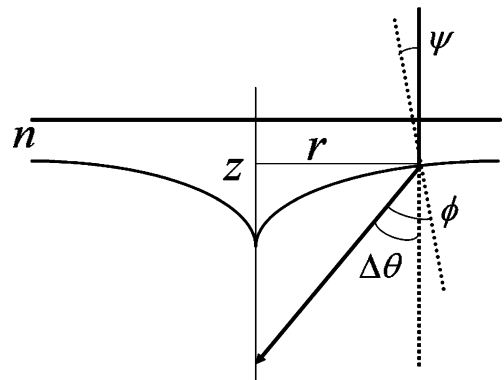


図7 等価レンズによる光線の曲がり

があるのでここでは割愛する。

実際、このアクリルのレンズは非常に人気があり、多くの方から作り方を聞かれた。なかでも、教育関係者からの要望が多く、1,000円くらいなら買いたい、という意見を数多くいただいた。アクリル本体はそれほど高価なものではなく、直径4cm高さ3cmのアクリル円柱で500円程度なので、作ろうと思えば自作も可能だが、手間と時間がかかかかる。しかし、もしレンズの大量生産が可能になれば新たな商売になるかもしれない。

## 6. 子どもの反応

アクリル製重力レンズをこどもに触らせて「なんやこれ？」と言わせたら、企画は半分成功したも同然である。いろいろなものを覗いてみて、グニャグニャと曲がる像を見ることは子どもだけでなく大人も楽しい。ちなみに、被写体として一番多かったのが「人の顔」だった。アーク状の像とリング状の像を作るのは比較的容易だが、四つの像を作るのは非常に難しい。四つの像を得るためには非球対称なポテンシャルに変える必要があるが、これはアクリルレンズを斜めにすることで擬似的に非球対称なポテンシャルをもつレンズができる。理論上は簡単だが、実際にレンズを覗くと四つの像に分かれるのは、角度、レンズ-ソース間の距離がうまく合ったときにしかできない。このため、四つ葉をあきらめるこどもが多かった。

実際、子どもたちにとって宇宙ははるかかなたのできごとなので、宇宙にはレンズの役割をしている天体がたくさんあるんだよ、と説明してもあまりピンとこないようだった。そこにあるレンズのイメージと宇宙とを結びつけることができたかどうかはやはり疑問であるし、それを評価することは非常に難しい。しかし、何人かの子どもから「宇宙にはわからんことがたくさんあるんやなぁ〜」という感想を聞くことができた。この言葉を聞いただけでもやった甲斐があったと思う。

余談だが、小学校低学年で「相対性理論」を理

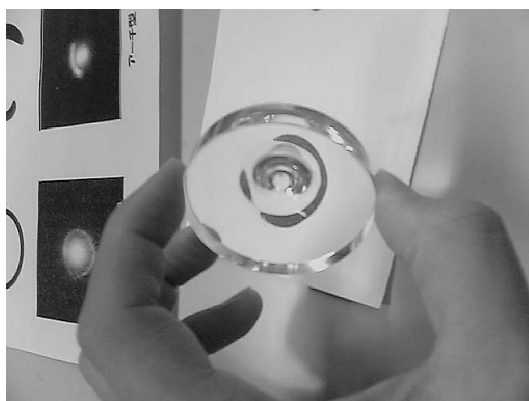


図8 アクリル重力レンズを使って得られる像。アーク状(上図)とリング状(中図)の像を作るのは簡単だが、四重像を作るのが難しい(下図)。ちなみに写真は、携帯のモバイルカメラで撮影した。

解していると主張する子どもがいた。どの程度理解できているかはわからないが、私が話した感じ

では、少なくとも特殊と一般の違いは説明できていた。なぜ知っているのか？と聞けば、子どもの雑誌で相対性理論を知り、あまりよくわからなかったので図書館で本を読んで調べた、とのこと。すごい小学生もいるもんやな……と感心した。

## 7. 反省点とアイデア

われわれの中にも「重力レンズ」は題材として難しいのではないかと不安と危惧があった。実際、子どもにとっては光の曲がり方を理解すること自体も難しかったようだ。しかし、アクリル製の重力レンズを手にとって遊ぶことで不思議な世界を体験させることはできたと自負している。以下、良かった点と反省点を箇条書きでまとめた。

〈良かった点〉

- 事前の作業の説明があった。
- 重力レンズの数が十分にあったので、子どもたちに満足いくまで触れさせることができた。
- パワーポイントによるアニメーションで補足説明ができた。
- 凸レンズとの対比ができた。

〈反省点〉

- 題材が難しいので、もう少し対象を絞って演示方法を考えたほうが良い。
- アインシュタインを知らない子が結構いたので、その紹介もほしかった。
- ブラックホールについても同様
- 前回は、写真というお土産があったが、今回はお土産がなかったので少し寂しかった。
- 子どもたちに宇宙の魅力を感じてもらえたかは、やはり疑問が残る。

今回の企画を反省する際に出てきたアイデアも挙げる。

〈アイデア〉

- ブースに宇宙の写真をはって、重力レンズと

宇宙の関係づけ（イメージ）を強くする（銀河の拡大写真を飾って、重力レンズで覗いてもらうなど）。

- 重力レンズによって歪んだ像が見えている観測写真の展示をメインにする。その現象を不思議に思った子どもにレンズを触ってもらうことで、宇宙に重点を置き、感覚的に宇宙とレンズによる歪みを連想させる。

これらの反省点やアイデアを今後の企画に活かすことができればよいと思っている。

## 8. 最後 に

筆者がジオ・カーニバルに参加するのは今回で2度目だが、天文教育や一般普及活動の難しさを感じると同時に楽しさも実感した。また、研究者が面白いと思っていることは、一般の人でも面白いであろうし、それをわかりやすく伝えることもこれからの研究者にとって重要な仕事であると感じている。

ただ、今回の企画を通じて不安を感じたのは、こういった企画は過去ノウハウ（例えば、集録や報告書）が重要であるにもかかわらず、そのノウハウが誰にでも手に入る情報として蓄積されていないことだ。研究者であれば自分の研究を論文にすることは当然の責務であり、その論文やレポートの積み重ねが後世の研究に役立つ。しかし、こういった教育関連の企画には過去の経験を活かす体制がほとんど見られない（ように見える）。もし、こういったノウハウの蓄積が行われないと、企画を反省することができず、極端な言い方をすれば、自己満足の企画で終わるかもしれない。教育関連の企画は往々にしてそういうことが起こりがちである。ゆえに、研究者はこういったノウハウを蓄積することにも努力を続けていかななくてはならない。

また、もっと多くの研究者が研究活動のほんの数パーセントの労力を教育普及に注ぐことができれば、すばらしい企画ができあがることは間違い

ない。一般の人は単なる教育的な教材よりも、最先端の科学に興味があるのだ。今後、こういった教育普及活動へ、もっと多くの研究者の参加・協力を期待したい。

### 謝 辞

アクリル製重力レンズの量産をしていただいた、愛媛大学理学部の寺島雄一さんに感謝いたします。今回の企画を行うにあたり、手伝っていただいた大阪教育大学天文学研究室・宇宙科学研究室の学生の皆様に感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) 西山晋史, 福江 純, 渡會兼也, 西村昌能, 2006, 天文月報 99, 381
- 2) 福江 純, 山田竜也, 1997, 『重力レンズで探る宇宙』岩波科学ライブラリー, 岩波書店, p. 47
- 3) 渡會兼也, 西山晋史, 川田明寛, 福江 純, 米原厚憲, 2006, 天文教育 18, 42
- 4) 横尾武夫, 加藤好博, 蜂屋正雄, 福江 純, 1998, 天文月報 91, 543

### The World Seen through the Gravitational Lens

**Ken-ya WATARAI, Akihiro KAWATA, Kenichi TANAKA, Shinji NISHIYAMA, Chizuru, AKIZUKI, Kenichi UENO, Katsura MATSUMOTO, Jun FUKUE**

*Astronomical Institute, Osaka Kyoiku University, 4-698-1 Asahigaoka, Kashiwara, Osaka 582-8582, Japan*

Abstract: We report on the result of the project “the gravitational lens” in the 7th Geo-carnival held in the Osaka Science Museum on November 11–12, 2006. In general, it seems to be difficult to use the gravitational lens phenomenon for the educational campaign of the science. However, if the method is devised, it is likely to become a very interesting teaching material. We briefly introduce notes when the gravitational lens is treated as a teaching material at the same time as reporting on the activity and the reflection of this Geo-carnival.