

# 重カレンズを通して見る不思議な世界

# - 重力レンズシミュレータの開発-

植野 健一、渡會 兼也、福江 純(大阪教育大学教育学部)

#### 1. 概要

筆者(植野)の卒業研究において重力レンズ シミュレータの開発を行いましたので、その 報告をします。これまでにも重力レンズシミ ュレータと称するプログラムを公開している 人は多数存在します。しかし、この卒業研究 では「より多くの人に重力レンズや宇宙に興 味を持ってもらい天文教育普及に貢献した い」という目的で、新しいシミュレータの開 発を行いました。ここでは、その研究の一部 をご紹介したいと思います。



図 1 重カレンズ(左)と凸レンズ(右)との光 線の軌道の違い。凸レンズは中心ほど屈折率 が小さいのに対し、重カレンズは重力源に近 いほど屈折率が大きくなる[1]。

## 2. 重力レンズの不思議

みなさんは、重力レンズ現象というものを 知っていますか?重力レンズ現象とは、簡単 に言えば、質量の大きい天体の重力による空 間の歪みによって、遠方の天体から到来した 光の軌道が曲げられ、レンズのように屈折を する現象です(図1)。そのため遠方の天体の 光が増光したり、歪んだ像に見えたりします [2]。この重力レンズ現象は実際の宇宙空間で は頻繁に起こっている現象で、重力レンズ現 象を受けている天体は、現在100個以上観測 されています。しかし、天文学研究に精通し ている方はともかく、一般の方でこの重力レ ンズ現象を知っている人は、おそらく少ない でしょう。実は、筆者(植野)も大学3回生の とき天文学研究室に分属するまで、用語さえ も知りませんでした。

この不思議なレンズは、背後にある天体を まるで万華鏡のように写し出すとても神秘的 で興味深い現象です(図2)。重力レンズ現象 は、アインシュタインの一般相対性理論を視 覚的に検証することのできる数少ない現象で す。さらに、これを利用することで遠方銀河 の探査、宇宙論パラメータの制限、ダークマ ターの質量見積もりなど、研究的視点から見 ても、多方面に渡ってその重要性が高いこと が知られています。

しかしながら、天文学的に重要な現象でも 日常ではほとんど関わることのできない現象 なので、ある程度の天文学の知識がある人で ないと想像するのが難しいのが現実でしょう [3]。また、重力レンズを本当に理解するには、 一般相対性理論という難解な知識を必要とし、 物理学や数学を苦手とする人にとっては、せ っかくの神秘的な現象であっても、魅力が色 あせてしまうかもしれません。

この不思議な現象の魅力を、一人でも多く の人に知ってもらい、宇宙の神秘に触れてほ しい。そのためには簡単には見ることができ ない宇宙で起こる現象を、実際の目で見て感

\_ 天文教育 2007 年 5 月号

じてもらうことが一番の方法ではないかと考 えました。そのような願いから誰でも簡単に、 この重力レンズ現象を視覚的に体感できるシ ミュレーション教材を作ろうと思ったのです。



図 2 実際に観測されている重カレンズ現象 を受けている天体。各画像の中央にあるぼや っとした天体はレンズ天体。レンズ天体の周 りに光源天体が複数写っていたり歪んだりし ているが、実際にはレンズ天体の背後に1つ しかない[4]。

#### 3. 新たなシミュレータを作る理由は?

以前からインターネット上には多くの重力 レンズシミュレータが存在します。しかし、 実際に使ってみると、使える画像に制限があ る、物理パラメータのインプットが意味不明、 操作が非常に難しい、などの問題点がありま した。

そこで我々は「多くの人が重力レンズについて理解し関心を持てる」という目的から考え、①好きな画像が使える、②操作が容易である、③色々なレンズを楽しめる、という点を重視し、新たな重力レンズシミュレータを開発することにしました。プログラム言語はActive Basic[5]と呼ばれるフリーの言語を使いました。これは C 言語や Java といったプ

ログラム言語に比べるとマイナーな言語です が、コーディングが容易でプログラム初心者 でも簡単に扱えます(著者(植野)は4回生の 11 月までプログラミング経験がありません でしたが、2ヶ月程度でソフトウェアを作る ことができました)。また、画像を処理するの に適していることや、プログラムをコンパイ ルして exe 形式という実行ファイルでソフト ウェアを提供できる、という理由から今回は この言語を選択しました。

### 4. 重力レンズシミュレータの使い方

製作した重力レンズシミュレータの使い方 を簡単に説明します。このシミュレータは Windows OS で使用するソフトです。

(1) 基本的な使用方法

i) シミュレータの起動

重力レンズシミュレータのアイコンをダブ ルクリックします。するとシミュレータのメ インウインドウと距離変更((2)で説明)の時 に使用する PROMPT 画面が表示されます。

ii)画像を選択

「画像選択」メニューの「開く」ボタンを左ク リックすると、「ファイルを開く」ウインドウ が開きます。ここからパソコン内に保存され ている任意のビットマップファイルの画像 (拡張子が bmp)を選び、左クリックします。 すると画像がシミュレータのメインウインド ウに表示されます (図 3 上)。

iii)レンズの位置を決定

次にレンズの位置を決めます。メインウイ ンドウ上の任意の場所を左クリックします。 そうすると、マウスでクリックした位置に重 カレンズがあるとした時のイメージが表示さ れます(図3下)。初期設定では画像の位置 から適当な距離にレンズがあるとしています。

Vol. 19 No. 3 \_



図3 クリックする前の画像(上)と、した後の 画像(下)。重カレンズイメージがシミュレー ションできる。

(2) 対象とレンズとの距離を変更

「変更」メニューの「距離を変更」ボタンを左 クリックすると PROMPT 画面に距離を設定 する説明文が出てきます。それに従って、レ ンズが画像のある位置から手前にどれだけ離 れているかを入力し、Enter ボタンを押しま す。後は基本的な操作方法と同じように画面 上の任意の位置を左クリックすると、先ほど と歪み方が異なるイメージ画像が表示されま す (図 4)。



図4 光源とレンズとの距離を初期設定の5倍 遠くした場合。距離を大きくするにつれて歪 み方も大きくなる。

## (3) レンズの種類を変更

「レンズ変更」メニューの4種類のレンズから1つ選びクリックします。後は基本的な使い方と同様で、画面の好きな位置を左クリックすると重力レンズのイメージが表示されます。レンズの種類には、

①重力レンズ(点レンズ)

- ②重力レンズ(横長)
- ③重力レンズ(縦長)
- ④凸レンズ

の4種類があります。このうち、①は恒星や ブラックホールなどの質量が大きくて、質量 分布が1点に集まるようなときの重力レンズ 現象を再現することができます。②、③は楕 円銀河など質量は大きいが質量分布が1点で はなく、縦または横へ楕円形に広がっている ような場合の重力レンズ現象を再現すること ができます(図5、図6)。また④は重力レン ズではありませんが、凸レンズで見るとどう なるかも再現することができます(図7)。



図5 a は重カレンズを受ける前の光源天体の イメージで、b は重カレンズ(点レンズ)を使 ってb'を再現したもの。 同様に、c は重カ レンズ(点レンズ)を使ってアインシュタイン リング c'を、d は重カレンズ(横長)を使って アインシュタインクロス d'を再現した。



図 6 福江教授の顔の前にレンズ天体がある とすると・・・下のようにすごい顔になって しまう。



図7 レンズを変更することで、凸レンズで拡 大した像も再現できる。

### 5. 改善点と今後の課題

誰にでも簡単に扱えて、かつ、分かりやす く重力レンズ現象を理解できることを念頭に おいてシミュレーションソフトを作成してき ました。製作したシミュレータは任意のビッ トマップ画像を読み込むことができ、操作は 非常に簡単になりました。

また、多くのシミュレータは重力レンズで も点レンズのみの現象しか再現していないも のが多かったのですが、この重力レンズシミ ュレータを使うと、点レンズ、質量分布が楕 円形に広がっている場合に起きる偏平な楕円 レンズ(横長、縦長)と、重力レンズだけでも 3種類が再現可能です。さらに凸レンズで見 ている場合も再現できるようにし、重力レン ズと凸レンズの見え方の違いもわかるよう工 夫しています。レンズと対象画像との距離を 変更して、近い場合と遠い場合など処理後の 画像に大きな変化を与えることができた点も 意義があると考えています。 しかし改善が必要な点もいくつか残ってい ます。1 つは、ピクセル数が多い画像ほど処 理速度が遅くなることです。最近のパソコン であれば、何十秒とかかることはありません が、もう少し短い時間で処理すべきであると 感じました。また重力レンズの方程式は弱い 重力場の近似を使っており、シミュレーショ ンの計算コードにも近似を使用して計算させ ています。これで大きなスケールは十分再現 できていますが、レンズの中心付近の曲がり 方は厳密ではありません。

さらに、重力レンズ現象を受けた像を得る ことについては成功しましたが、実際どのよ うな屈折をして光が届き像を結ぶかまでの手 順がないので、楽しんだだけで重力レンズ現 象について逆に見えづらいのではないかとい う疑問もでてきます。処理画像と平行して、 光の屈折の仕方が理解できるようなものを提 示すれば、より理解が深まると思われます。

課題を挙げればきりがありませんが、簡単 で天文教育に使えそうなシミュレータが完成 したと自負しています。しかし、作っただけ で満足していたら、目的は達成されません。 これを多くの人に使ってもらい宇宙の神秘に 触れてもらうのが最大の目的です。そのため には、簡単に取り扱えるように解説書を作り、 重力レンズシミュレータをウェブサイト上に 載せ、誰でも見られる形にすべきだと考えて います。

私の作った重力レンズシミュレータが、多 くの人の目にとまり、宇宙に関心を抱いても らえることを願っています。

## 参考文献

[1] 福江 純、2006、『ブラックホールを飼いならす!』、恒星社厚生閣
[2] 福江 純・山田 竜也、1997、『重力レンズでさぐる宇宙』、岩波書店
[3] 渡會 兼也ほか、2006、『天文教育』、Vol.18,

No.2, pp.42-46

[4] ハッブル宇宙望遠鏡ニュースセンター 1999年5月13日 http://hubblesite.org/ newscenter/archive/releases/1999/18

[5] Active Basic のホームページ

http://www.activebasic.com

植野 健一

渡會 兼也

福江 純