

宇宙の蜃気楼：重力レンズ

滝沢元和(山形大学理学部)

山形中央高校出張講義

2021.10.13

山形大学理学部の紹介

クリアファイルをご覧ください

山形大学理学部独自の実践力養成プログラム

講義だけじゃない、一人一人の「やりたい!」を伸ばす+αな理学部独自の各種プログラムが皆さんのスキルアップをサポートします。

研究探究力養成プログラム

一年生から研究室で活動することで世界最先端の装置・理論・学問に触れるだけでなく、その研究室の先輩・大学院生の学会活動や国際共同研究者との共同研究活動を近くで見えて実感することで、より実践的な研究探究力を養成します。



キャリア探究力養成プログラム

理学部・理工学研究科(理学系)で内定を獲得した先輩たちの経験談やアドバイスを聴いて、大学院進学の意味も理解したうえで企業研究を進めるなど、理学部卒業後のキャリアプランを考えるための実践力を養成します。



組織運営力養成プログラム

理学部では、在学生向け、保護者向け、学外者向けなどの各種イベントがあります。その各種イベントの企画・運営を教職員と一緒に進めるためのプログラムです。多様な人々と交わりを通じてコミュニケーション能力を高めるとともに、組織マネジメントに関する実践力を養成します。



国際力養成プログラム

理学部には、さくらサイエンスプログラムなどを利用した留学生が訪れます。そのような留学生との交流を通じて、他言語でのコミュニケーション能力を高めるとともに、異文化交流による多様性の理解を深めるなど、これからの時代を生き抜くための国際的実践力を養成します。



入試情報

- 理学部では多様な人材を受け入れるため、次の区分により選抜します。
- ① 一般選抜(前期日程、共通テスト+数・物・化・生・総合問題より1科目)
 - ② 一般選抜(後期日程、共通テストのみ)
 - ③ 学校推薦型選抜(面接(口頭試問を含みます)、調査書、推薦書及び志望理由書)
 - ④ 総合型選抜(共通テスト+面接(口頭試問を含みます))

山形大学理学部LINEアカウント

様々な情報を発信しています。ぜひ「友だち」に登録してください。

<https://line.me/R/ti/p/%40942bbyii>



詳細は理学部HPへ

<https://www.sci.yamagata-u.ac.jp/>



お問い合わせは

山形大学小白川キャンパス事務部総務課総務担当(理学部)
risoum@mj.kj.yamagata-u.ac.jp

山形大学理学部はSDGsを推進しています。

<https://sdgs.yamagata-u.ac.jp/project/faculty/1003.html>



山形大学理学部理学科の教育プログラム

1年次》基礎学修も先端研究も両立できる充実したスタート!

- 基礎共通教育**
 - ✓ 知識の幅を広げるとともに、プレゼン・語学・グループワークスキルを修得
 - ✓ 理学(数学・物理・化学・生物・地球科学・データサイエンス)のための基礎科目
- 英語教育**
 - ✓ 大学共通テストの結果に応じたクラス分けによる適切なレベル管理
 - ✓ TOEIC IPを利用して目標を具体化し、少人数講義による実践力向上
- キャリア教育**
 - ✓ 文部科学省のインターンシップ表彰で優秀賞(全国1位)を受賞したプログラム
 - ✓ 理学部卒業生の話を聞いてロールモデルに触れる「理学キャリア探検」
- 先端研究**
 - ✓ 1年次から先端研究に触れられる「理学ラボ探検」
 - ✓ 3年次から本格的に始まる卒業研究を先取りし、より実践的なスキルを修得

2年次》自身のキャリア目標に最適な学習プランを設計!

履修プログラム ✓ 自分の目標とするキャリアに合わせた履修プログラムを選択

スタンダードプログラム

科学の思考方法と課題解決能力を修得し、製造、情報通信、流通、出版、公共機関などの総合・技術職などへ

フロンティアプログラム

学部・大学院の一貫教育を通じて専門的知識と高度な技能を修得し、研究職、公共機関などの技術開発職などへ

サイエンスコミュニケータープログラム

科学の専門的内容と社会的意義を人々にわかりやすく伝える能力を修得し、教員、学芸員、学術・出版・メディアなどへ

コースカリキュラム ✓ 自分が高めたい専門性に合わせたコースカリキュラムを選択

【重要】入試時の受験分野・科目にかかわらず自由に選択可能

数学

代数学、幾何学、統計学、確率論、数値計算入門、微分積分、集合と包摂、演習など

物理学

力学、電磁気学、量子力学、熱・統計力学、物理解学、運動体力学、相対論、素粒子物理学など

化学

有機化学、分析化学、物理化学、有機化学、生物化学の講義・実験・演習など

生物学

細胞生物学、遺伝学、系統分類学、生態学、進化生物学、動物生理学、植物生理学、環境生物学など

地球科学

地球史科学、地球物理学、物質基礎科学、固体地球科学、野外遊学、演習など

データサイエンス

データ構造とアルゴリズム、情報科学、計算科学、組合せ論、最適化演習、何と何の符号の数など

3~4年次》いざ本番、実践的な研究の世界へ!

就職情報

理学部卒業生の就職先の業種、職種は多様化しており、製造業、情報通信業、教育・学習支援業、学術研究、専門技術サービス業、卸売小売業、金融保険業などにわたっています。進学者が約半数、企業・公務員・教員への就職者が約半数です。平成27年度から5年連続就職率100%です。

【業種別就職状況】

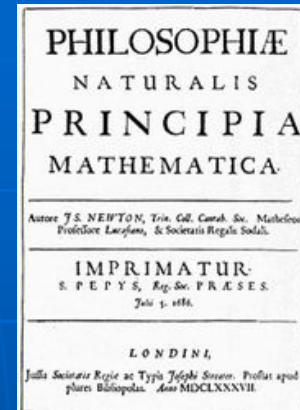
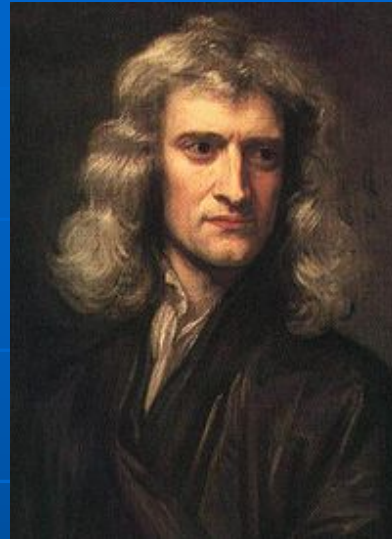


大学院情報

大学院理工学研究科(理学系)やフレックス大学院プログラム(博士課程5年一貫教育プログラム)など、大学院教育プログラムも充実。どの「履修プログラム」や「コースカリキュラム」を選択しても、大学院への進学が可能。

重力とは？（ニュートンの考え）

- 古典力学（ニュートン力学）では“質量”をもつ物体同士の間にはたらく“力”
- “重たい”物体のそばを通ると重力という力に引っ張られて曲げられる。
- 「引力」

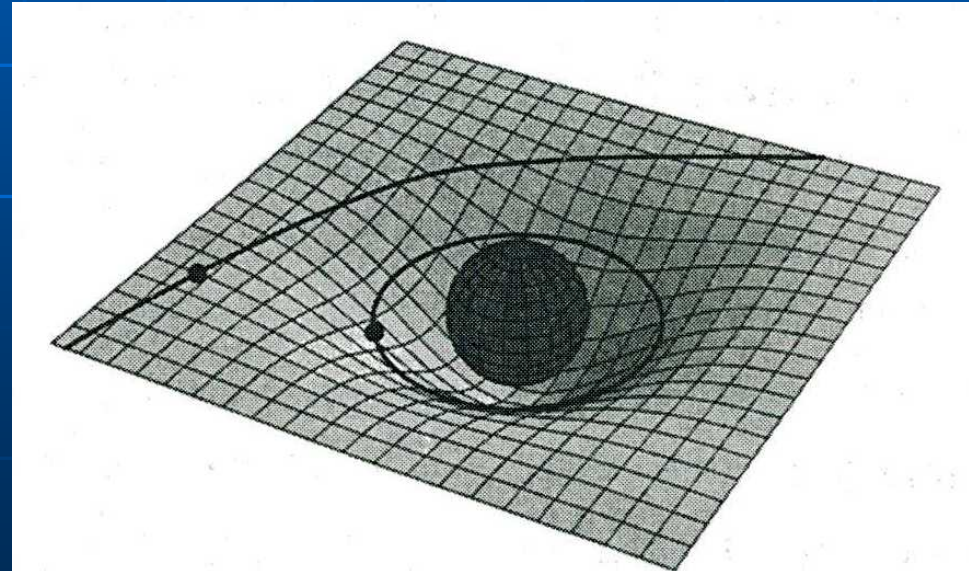
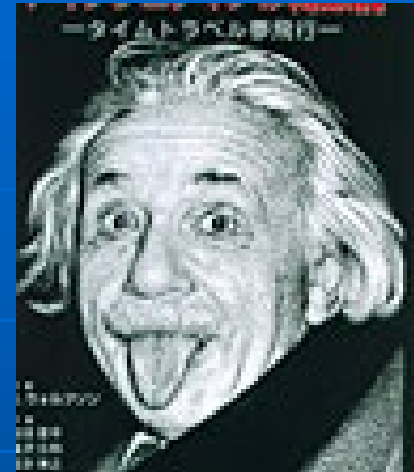


自然哲学の数学的諸原理(1687)



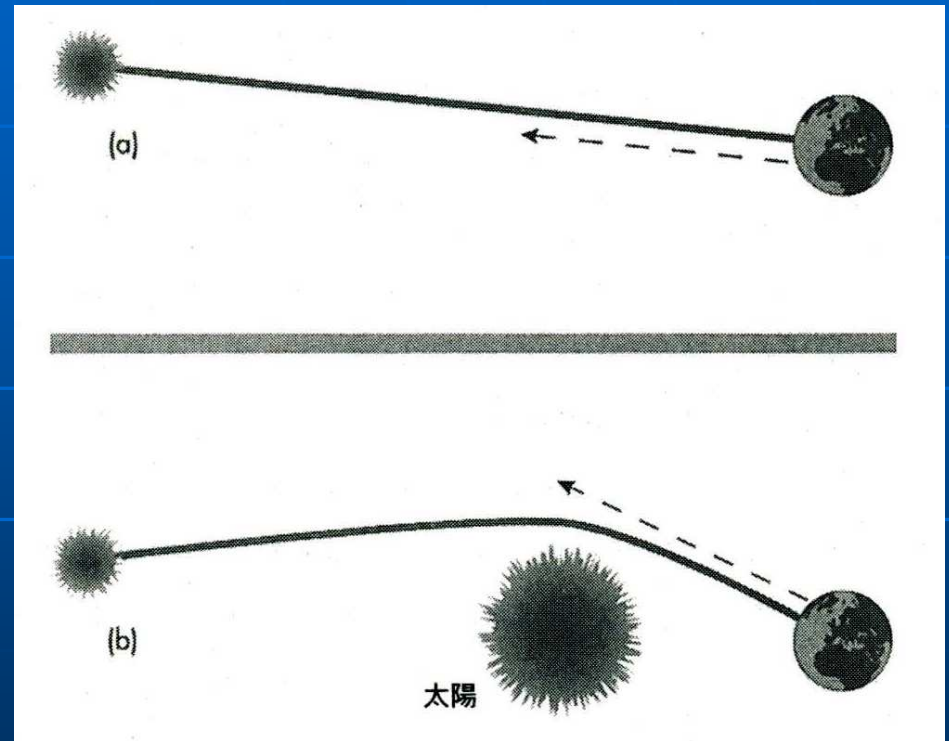
重力とは？（アインシュタインの考え）

- 一般相対論(1915-6年)では重力は時間空間のゆがみに。
- 質量やエネルギーがあると、その周りの時間・空間(時空)がゆがむ。
- ゆがんだ時空のなかを物体は“まっすぐ”すすむ。
- 離れたところから見ると曲がってすすむように見える。

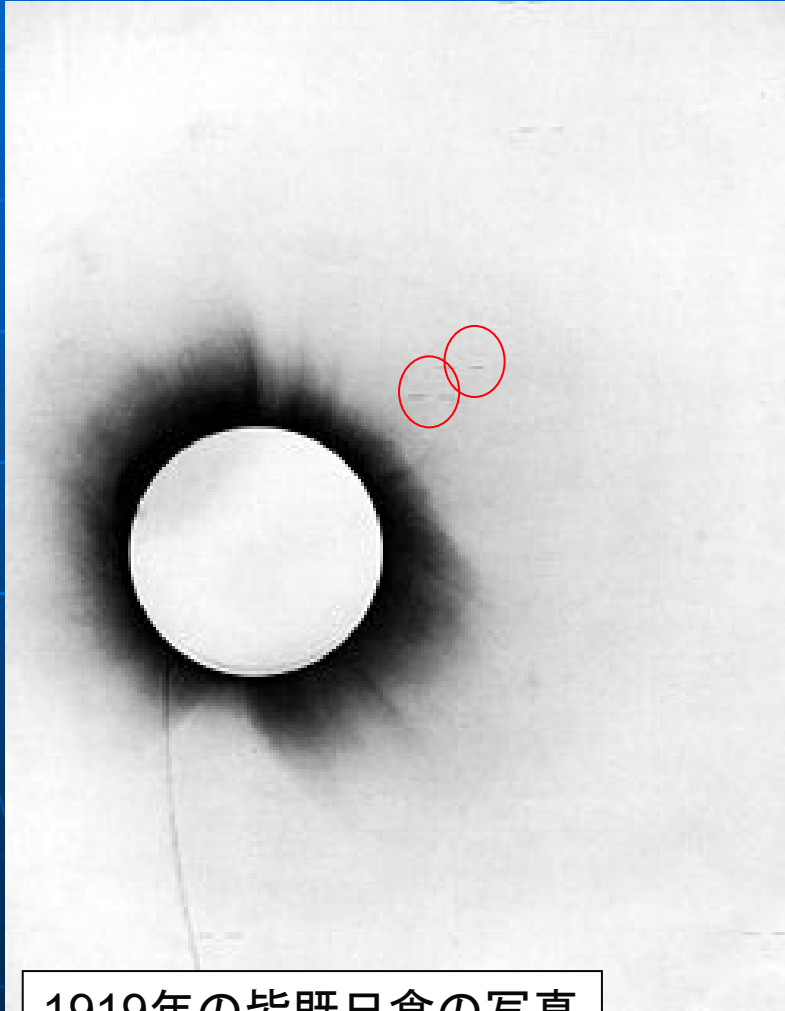


光も曲がるんじゃないか？

- 時間、空間がゆがんでいるなら、、物体じゃなくても“曲がる”んじゃないか？
- 光も曲がるんじゃないか？
- 詳しい計算によると太陽のそばを通る光は1.75秒角だけ曲がるはず。(1秒角 = $1/3600$ 度)
- 太陽のそば = 昼間なので星は見えない、、、どうやって確かめる？



日食の時の星の位置のずれ (一般相対論の実験的証明)



1919年の皆既日食の写真



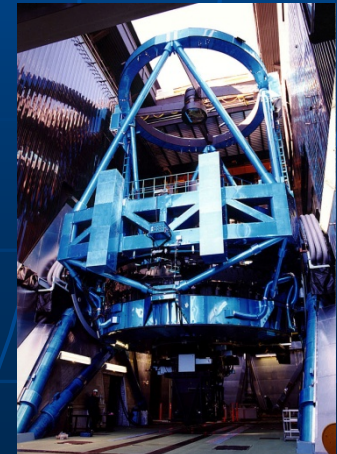
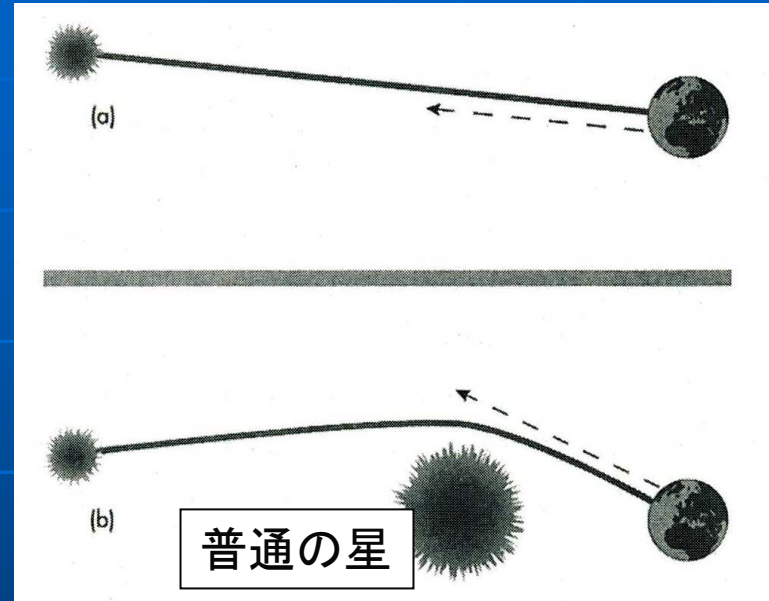
アーサー・エディントン

一般相対論による予測 1.75秒角
観測結果 1.63 ± 0.40 秒角

たしかに光は曲がっていた

普通の星のそばでも光が 曲がるはずだが、、、

- 太陽じゃなくて普通の星でも曲がるはず、、、
- ざっと計算してみると0.002秒角ぐらい曲がる、、、
- ほとんど観測不可能（すばる望遠鏡の分解能の約1／100）



銀河、銀河団による重力レンズ

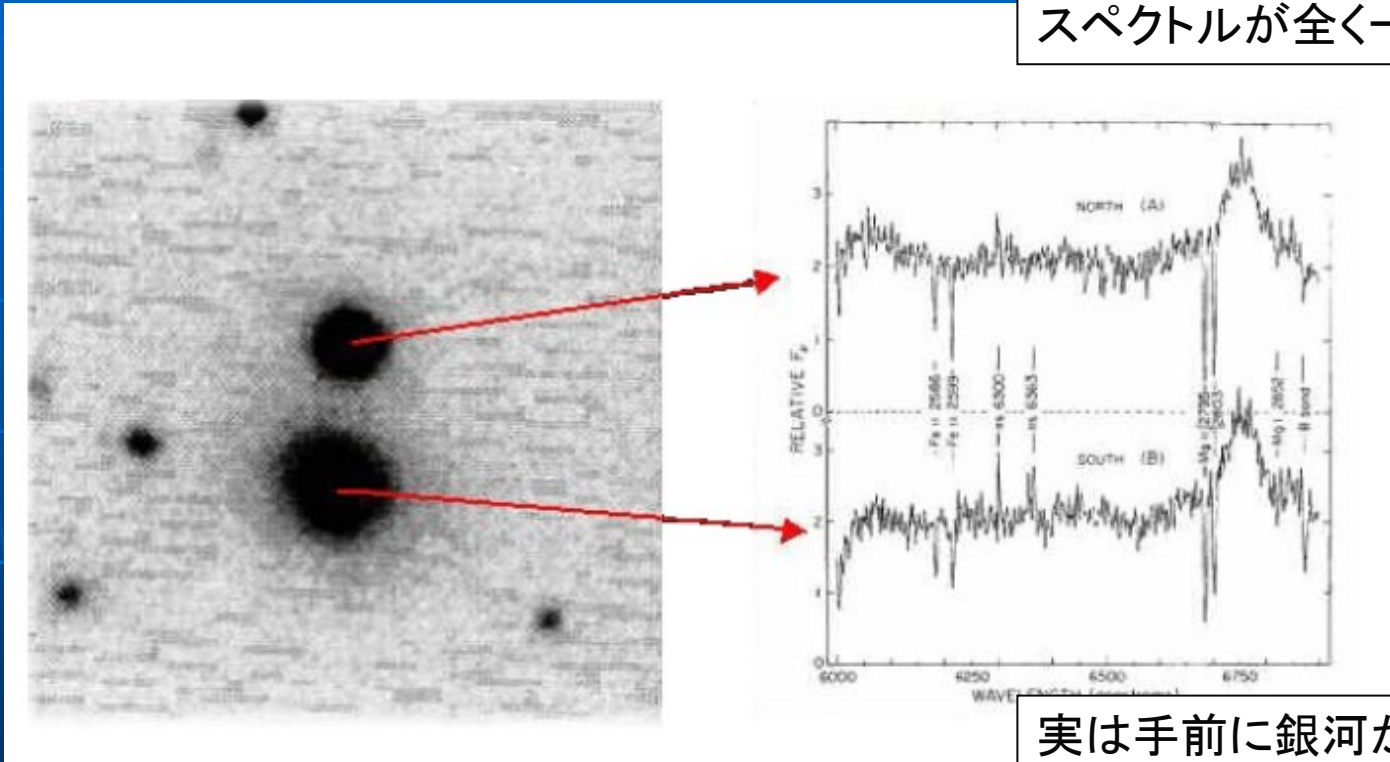


ツビッキー

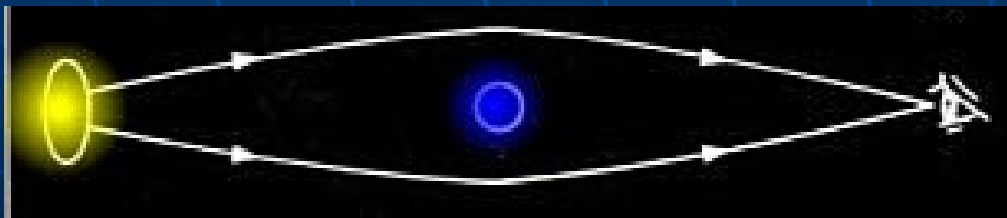
銀河のそばを通る
光だったら10秒角
ぐらい曲がるから
観測可能なんじゃ
ないか(1973年)

重力レンズ現象の発見(1979年)

双子のクエーサーQ0957+561A,B
スペクトルが全く一緒



実は手前に銀河があって、1つのクエーサーがレンズされて二つに見える





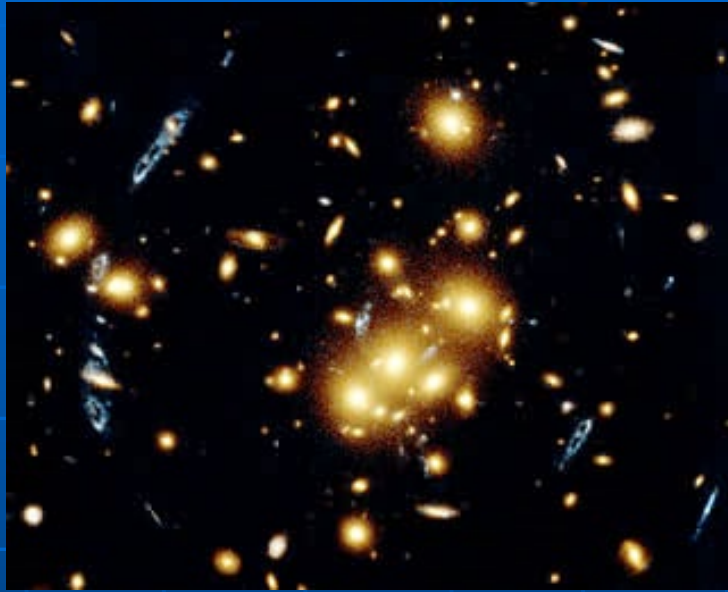
Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, STECF) • STScI-PRC00-08

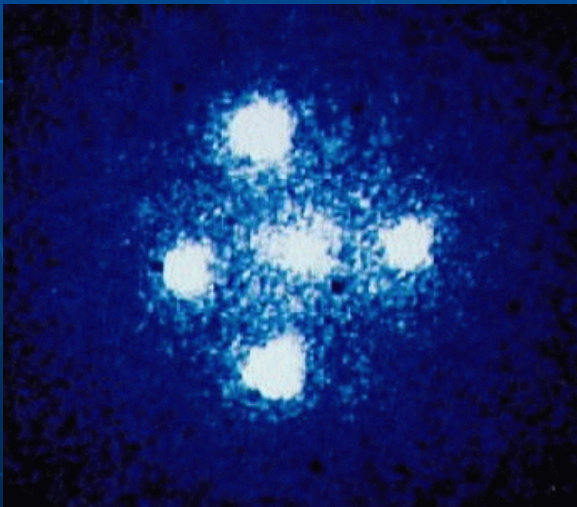
円弧状に見えているのは遠くにある銀河が重力レンズ効果を受けてゆがんで見えているもの

重力レンズと暗黒物質



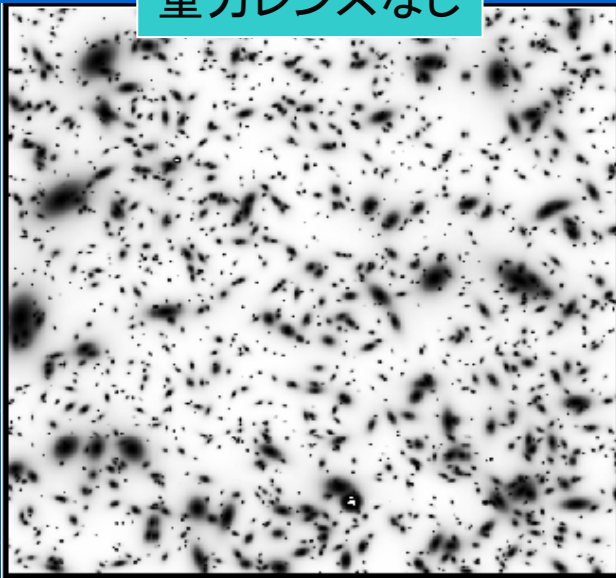
背景にある天体からの光が重力によって曲げられる。曲げられ方は手前にあるレンズ天体の質量で決まる。

詳しく調べることで光っていない物質（暗黒物質）まで含めた物質の量や分布がわかる



光っている物質の10倍程度の暗黒物質が必要

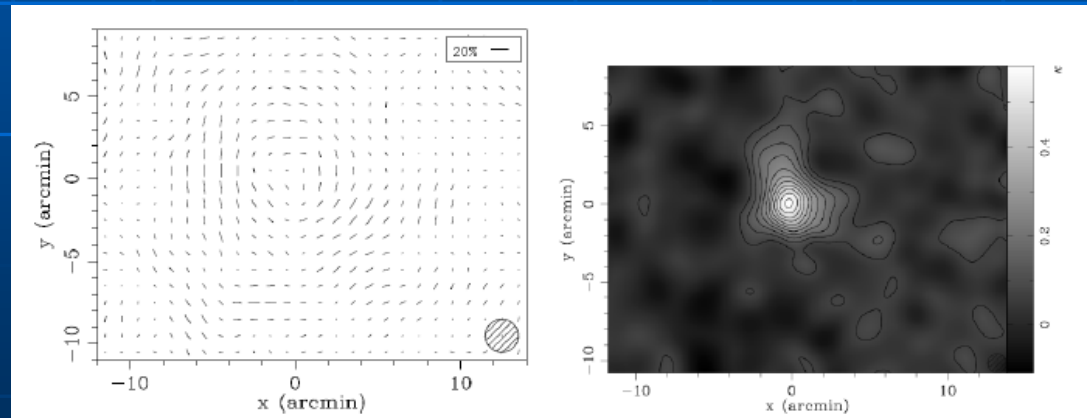
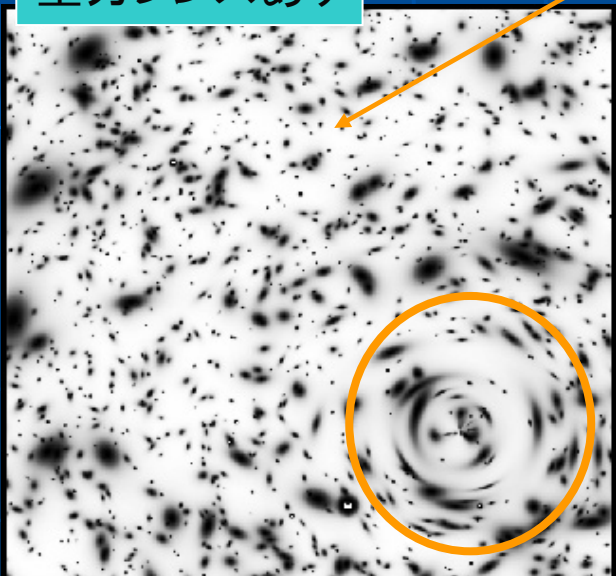
重カレンズなし



弱い重力レンズ効果

実はこのあたりにある銀河も重力レンズ効果をうけて少ずつゆがんでいる。
多数の銀河のゆがみ具合の平均をとることで、重力レンズ効果を検出できる

重カレンズあり



左: 銀河の平均的なゆがみ具合
右: それから再現した質量分布

重力レンズで暗黒物質を探ると



銀河団1E 0657-56。
高温ガス(ピンク)と
暗黒物質の分布(青)

高温ガス(X線で光っている物質)
と暗黒物質で分布の様子が違う

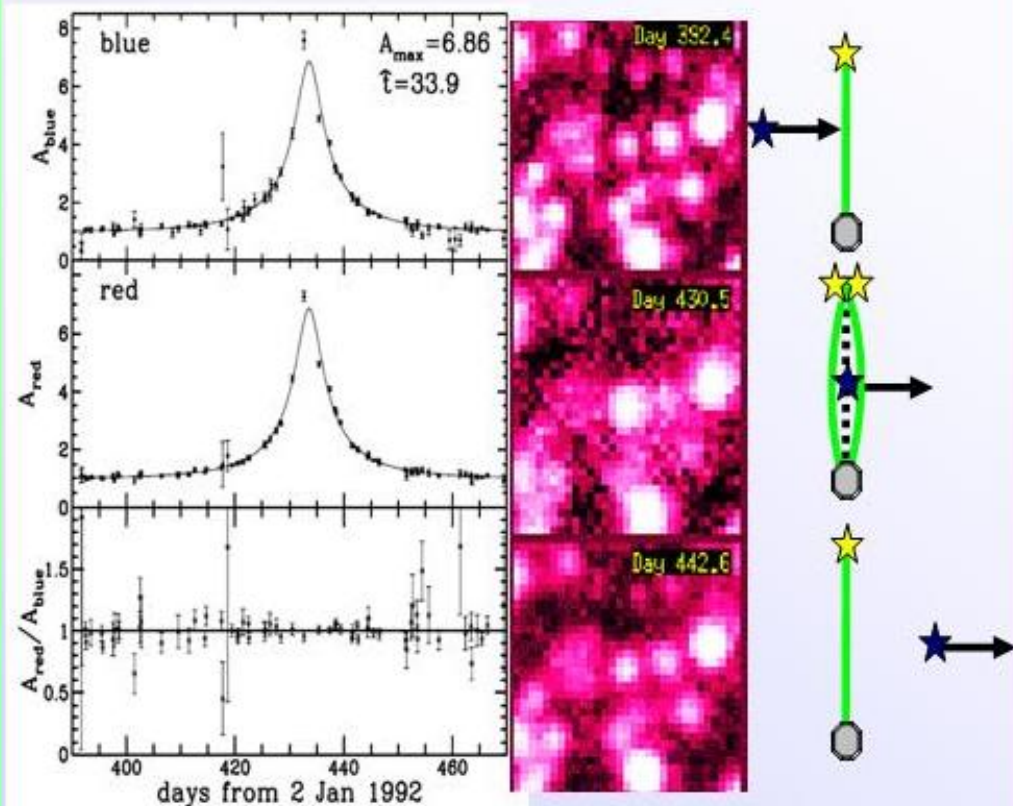
実は光っていない場所にたくさん
物がある。

マイクロレンズズ

- 多重像が空間的に分離できないと、見かけ上明るくなったように見える。
- 銀河系内の暗い星の探査
- 太陽系以外の惑星の探査にも
- ムービーもご覧ください。

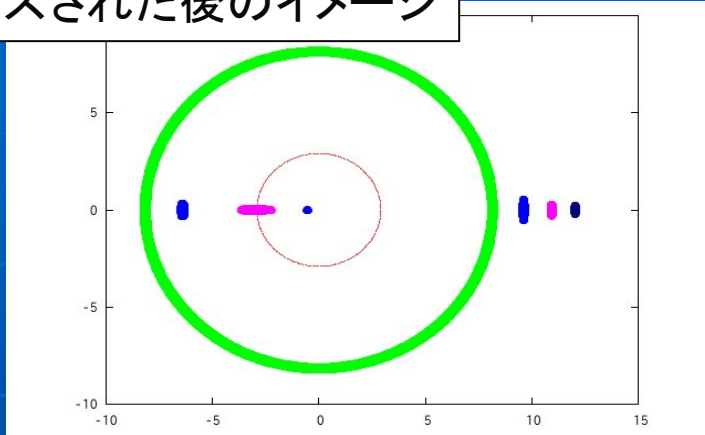
● Microlensing

● 見かけの明るさを大きくする

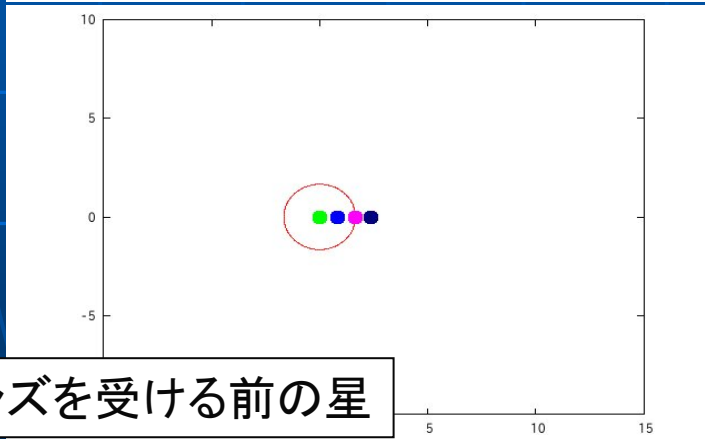


山形大学での研究の紹介

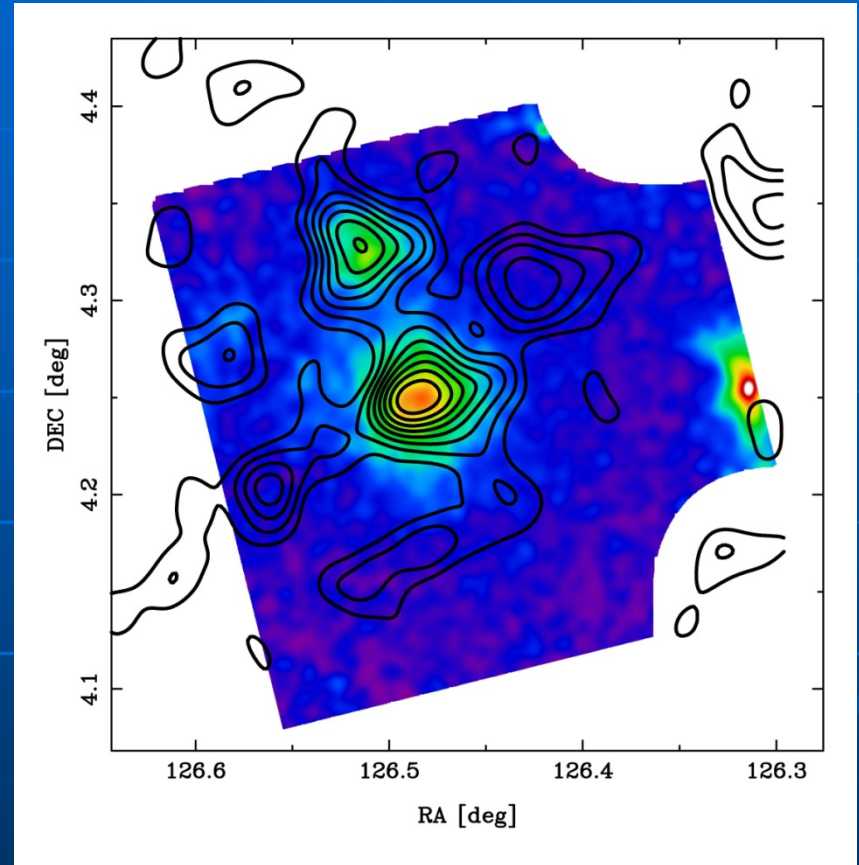
レンズされた後のイメージ



レンズを受ける前の星



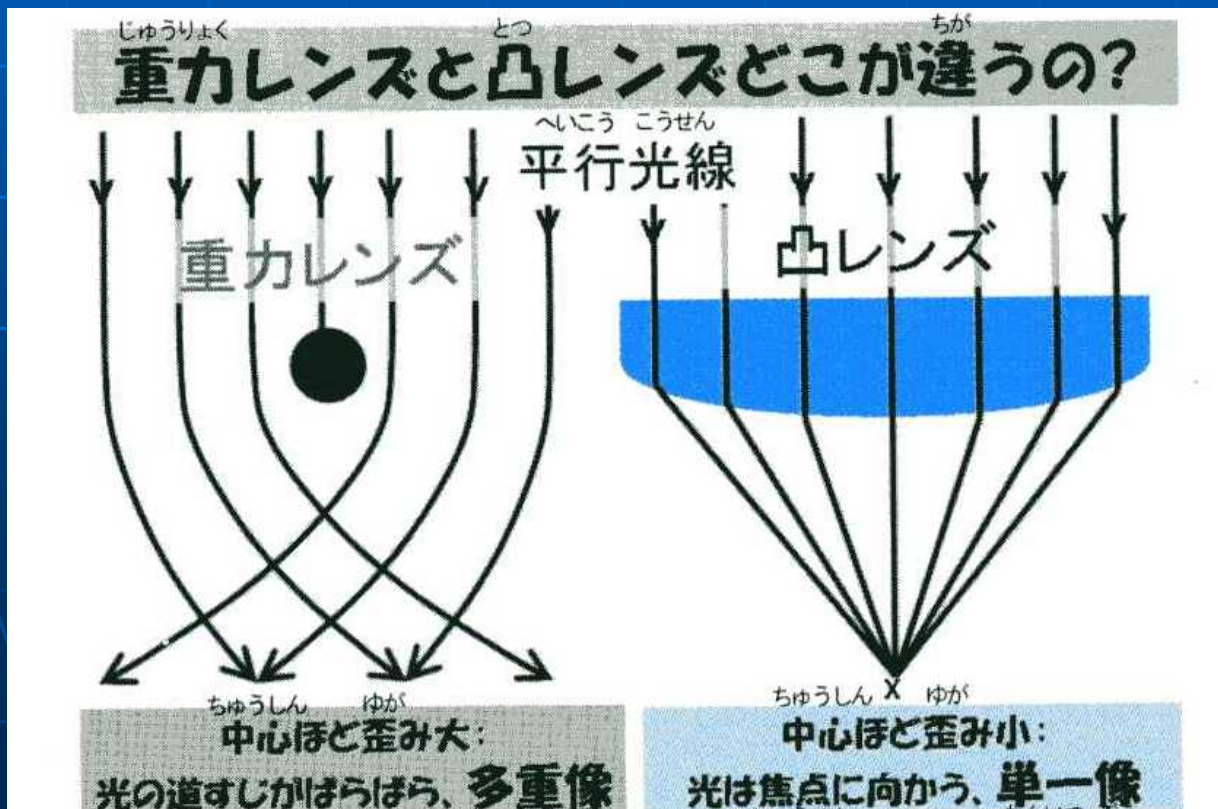
光内君(2008年度修了)
の修士論文より
重力レンズの理論計算



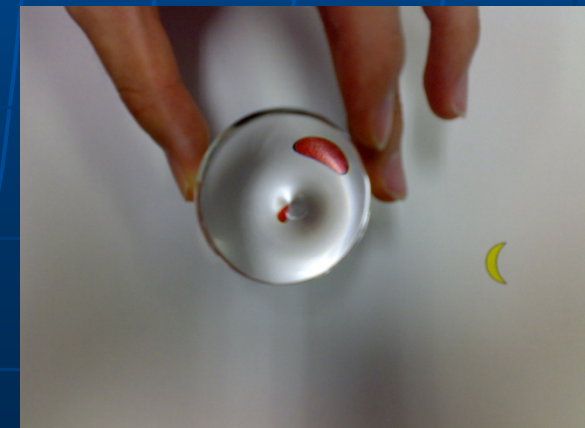
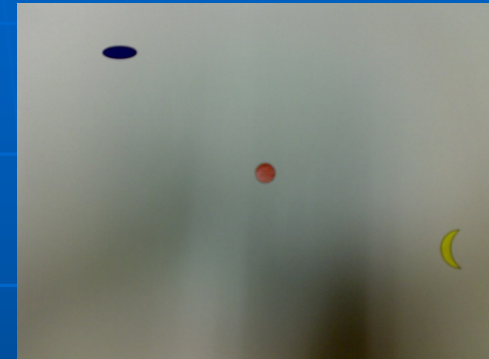
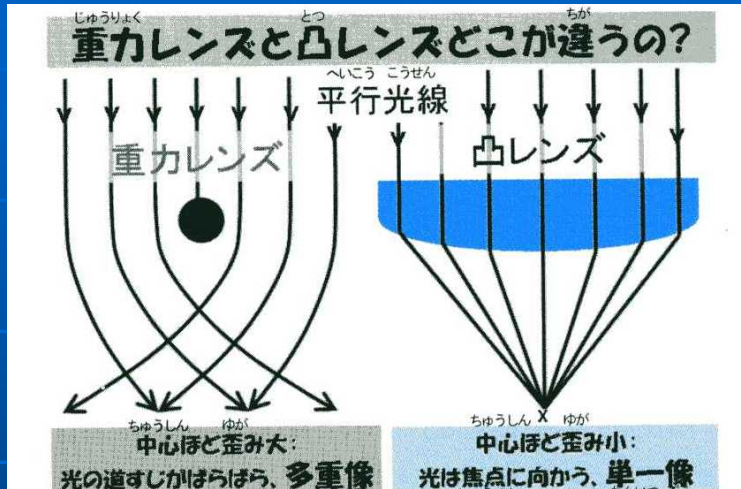
渡邊さん(2010年度修了)が解析した
観測データ
等高線: 暗黒物質の分布
カラー: X線で光っている物質の分布

「重力レンズ」レンズ？

- 普通のレンズを使って重力レンズ現象を再現できないか？
- そういうレンズを作っちゃえ！！！！



「重カレンズ」レンズ



まとめ

- 質量をもった物体のまわりでは時空がゆがむ。
- ゆがんだ時空の中を光は“まっすぐに”すすみ、結果として曲がる(重力レンズ)。
- 重力レンズ現象を調べることで、宇宙での暗黒物質までふくめた物質の分布がわかる。
- 暗黒物質は光っている物質の10倍くらいあるらしい。
- 暗黒物質と光っている物質の分布はいつも同じというわけではない。