

宇宙の蜃気楼：重力レンズ

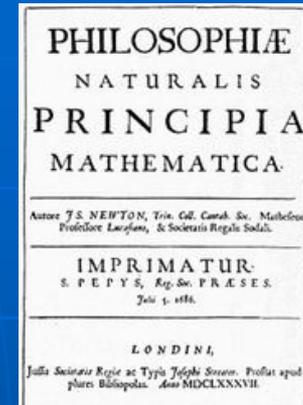
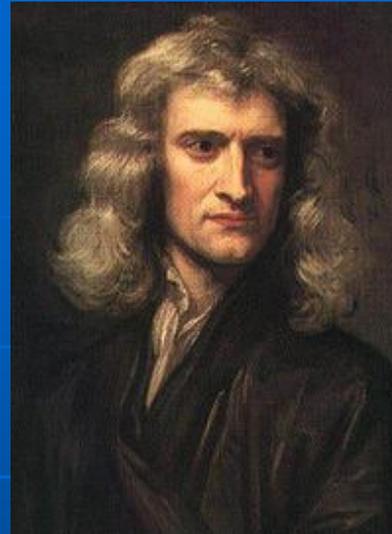
滝沢元和(山形大学理学部)

女性研究者裾野拡大セミナー

2022.11.29

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」

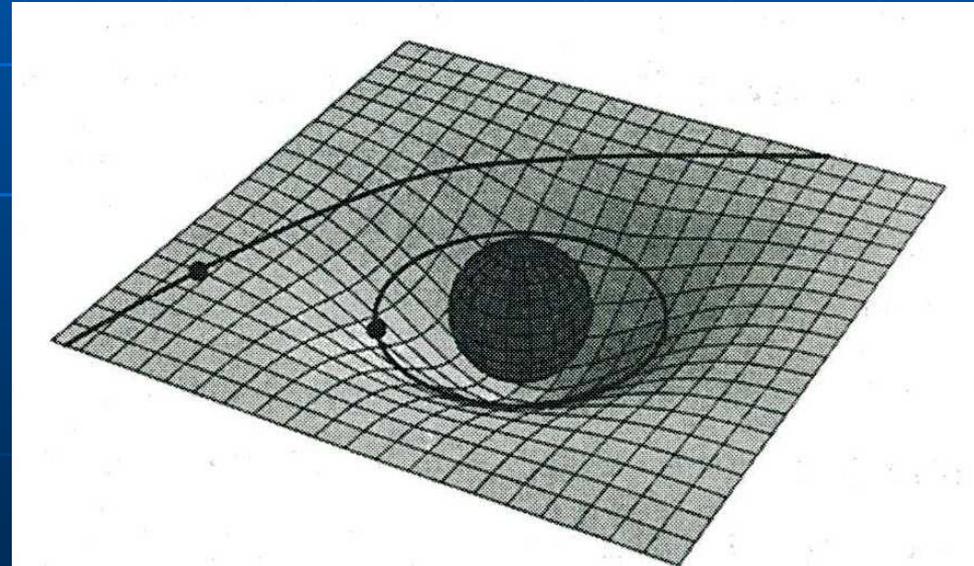
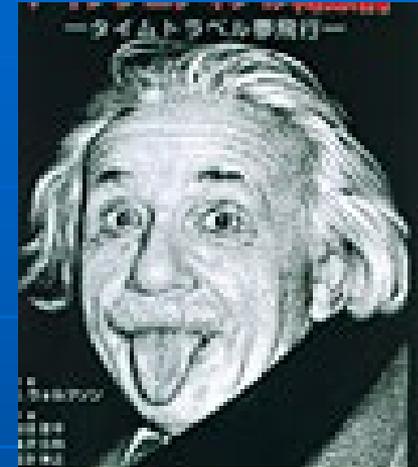


自然哲学の数学的諸原理(1687)



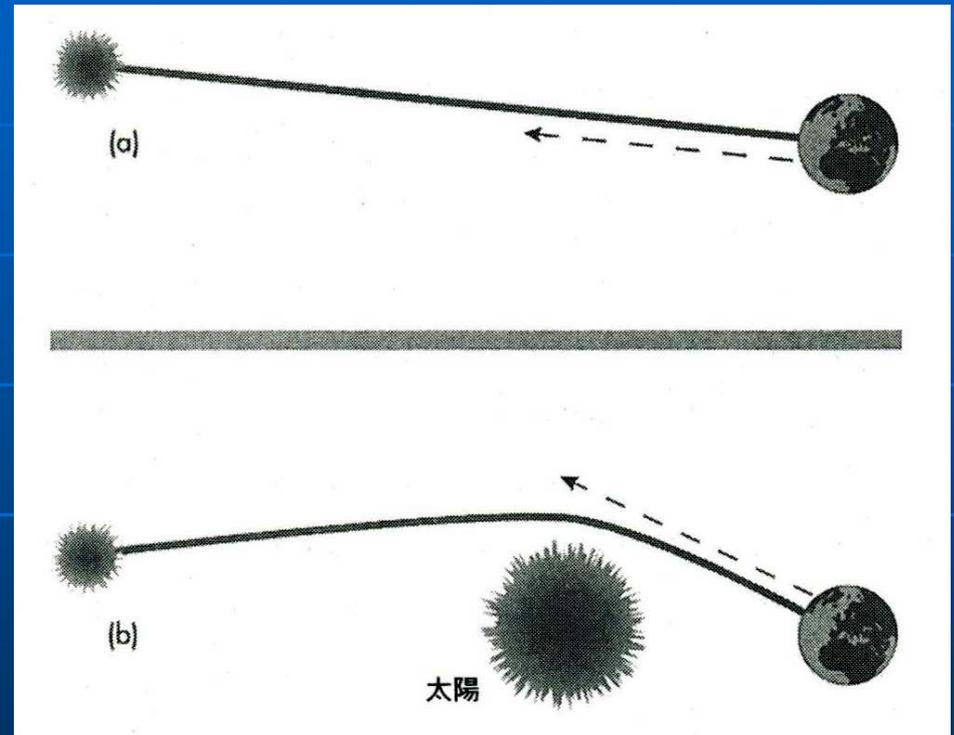
重力とは？（アインシュタインの考え）

- 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。

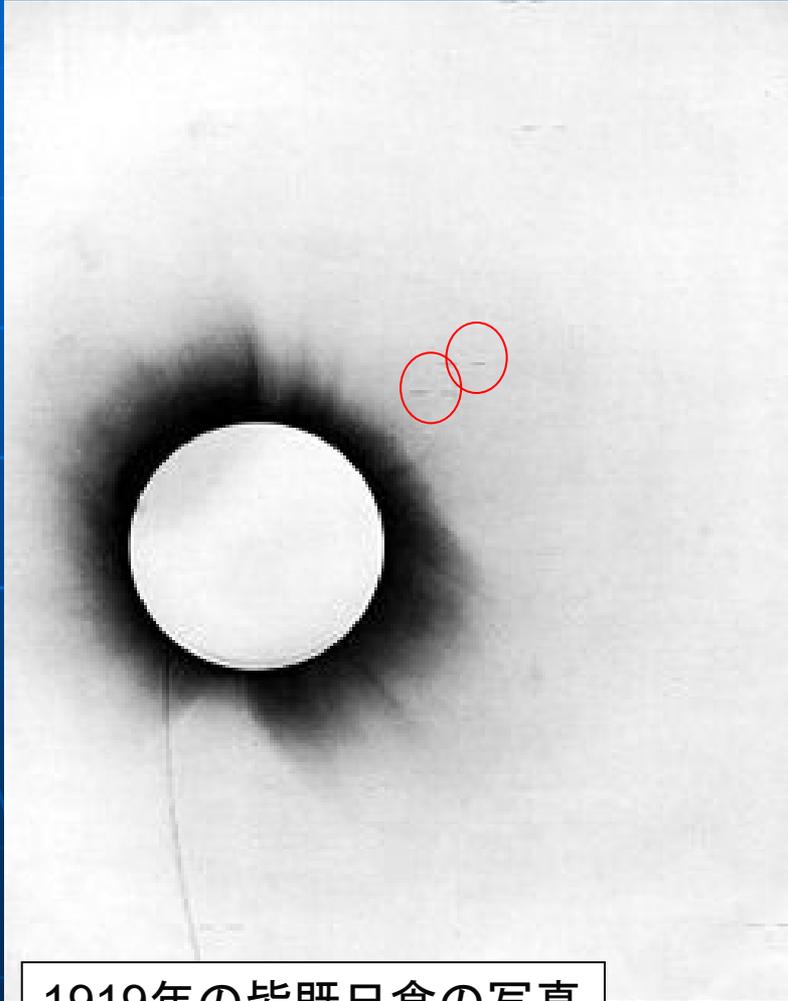


光も曲がるんじゃないか？

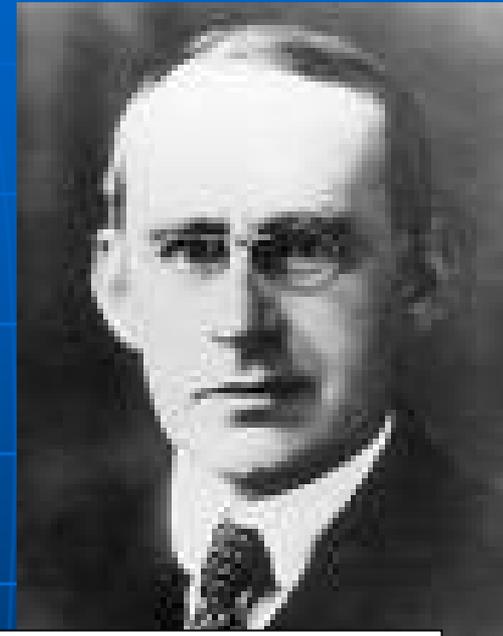
- 時間、空間がゆがんでいるなら、、物体じゃなくても“曲がる”んじゃないか？
- 光も曲がるんじゃないか？
- 詳しい計算によると太陽のそばを通る光は1.75秒角だけ曲がるはず。(1秒角 = $1/3600$ 度)
- 太陽のそば = 昼間なので星は見えない、、、どうやって確かめる？



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



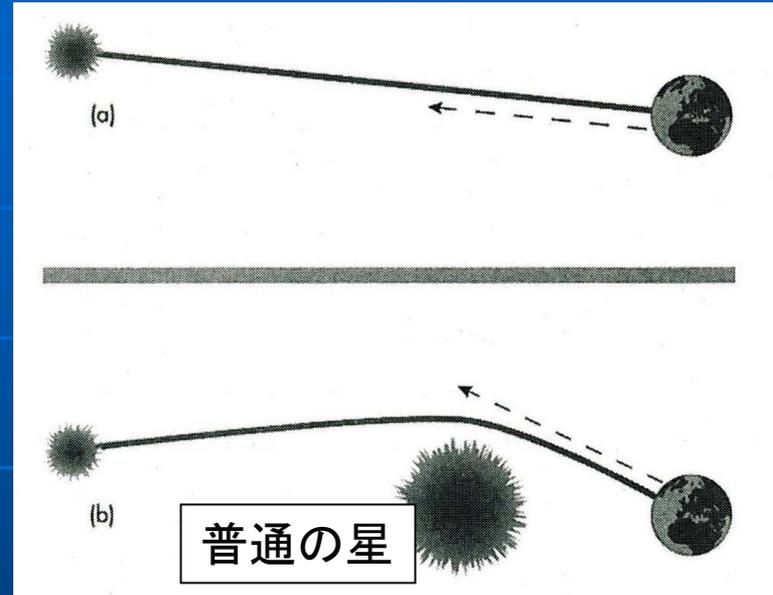
アーサー・エディントン

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

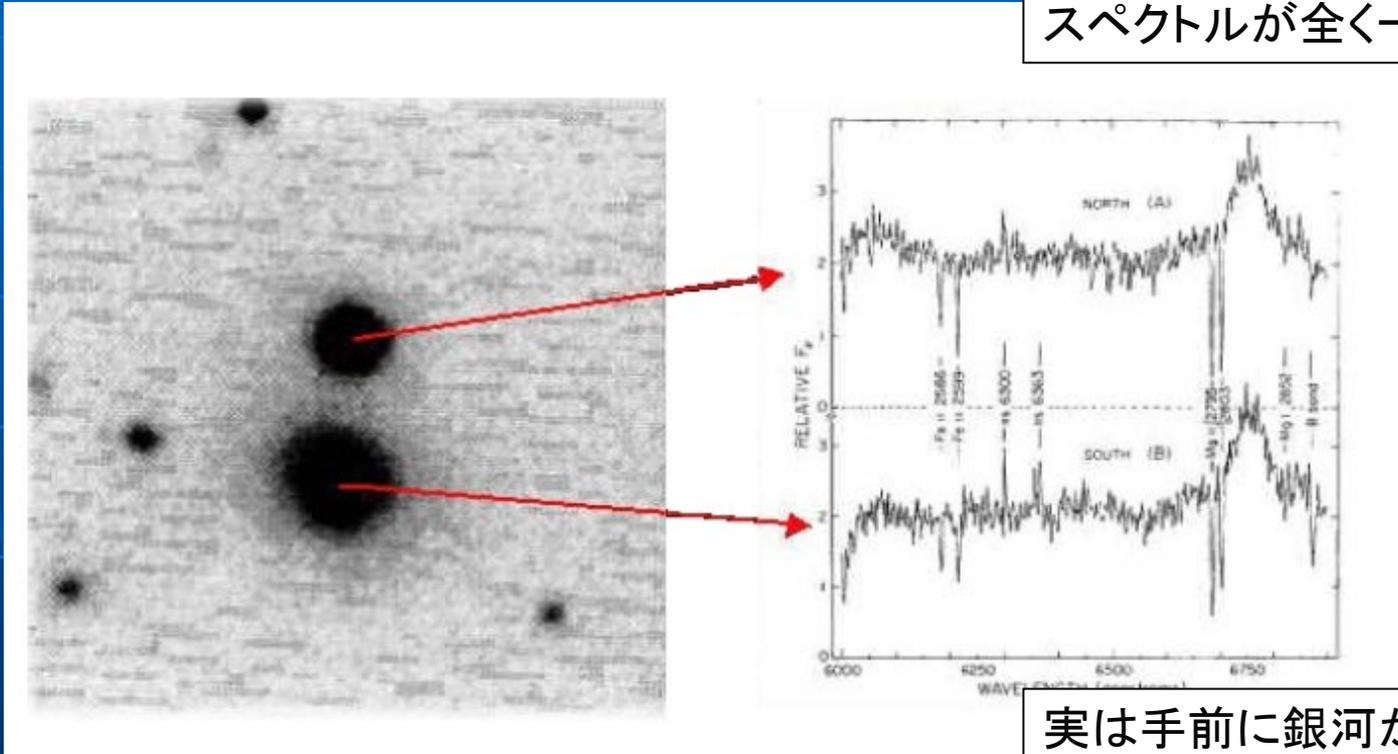


ツビッキー

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





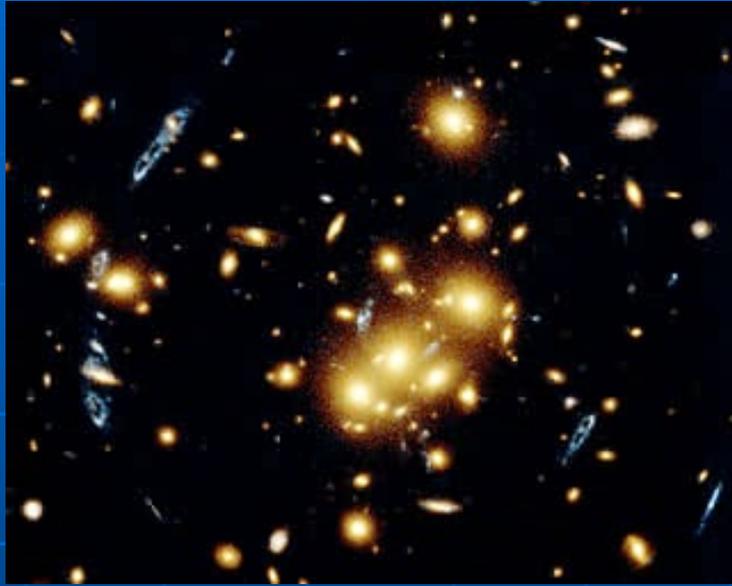
Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

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

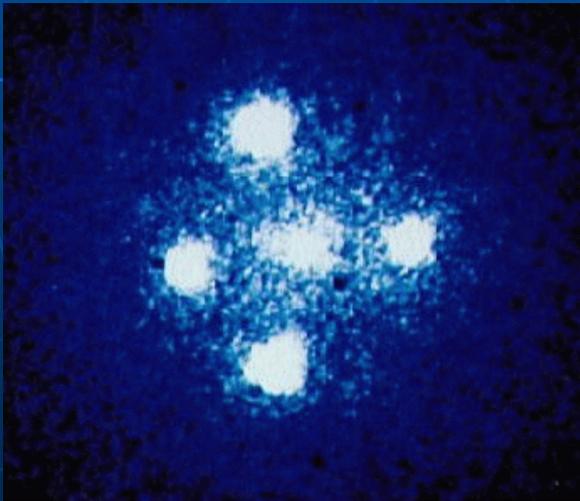
円弧状に見えているのは遠くにある銀河が重力レンズ効果を受けてゆがんで見えているもの

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

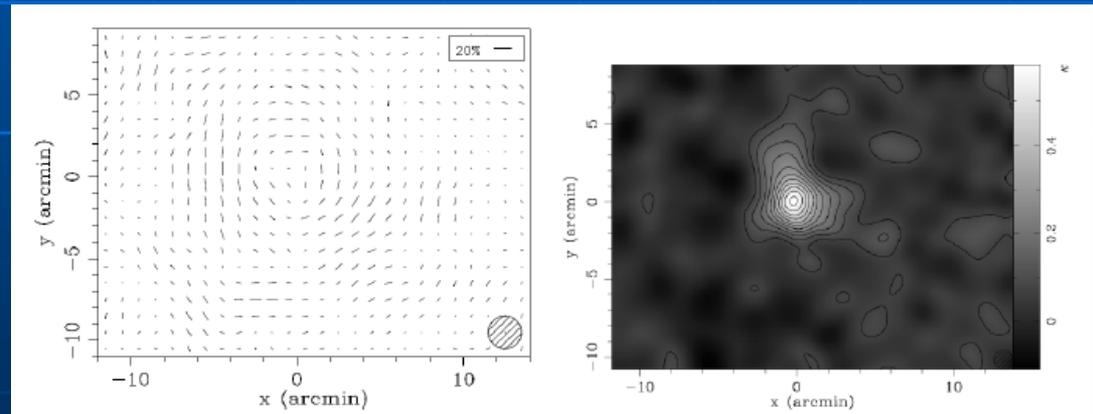
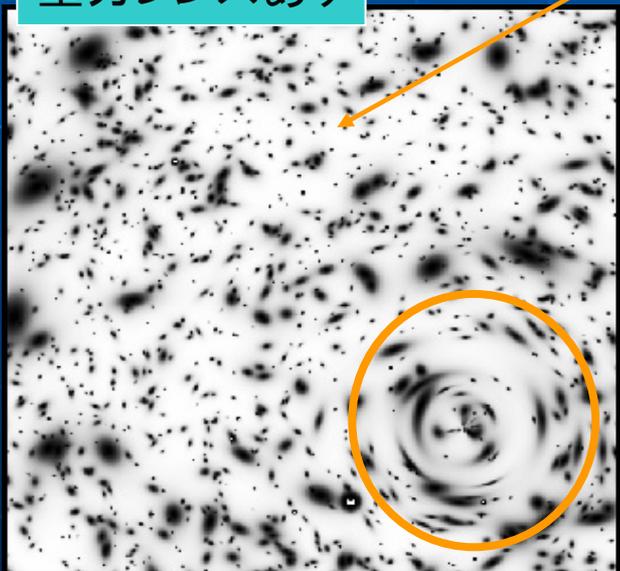
重カレンズなし



弱い重力レンズ効果

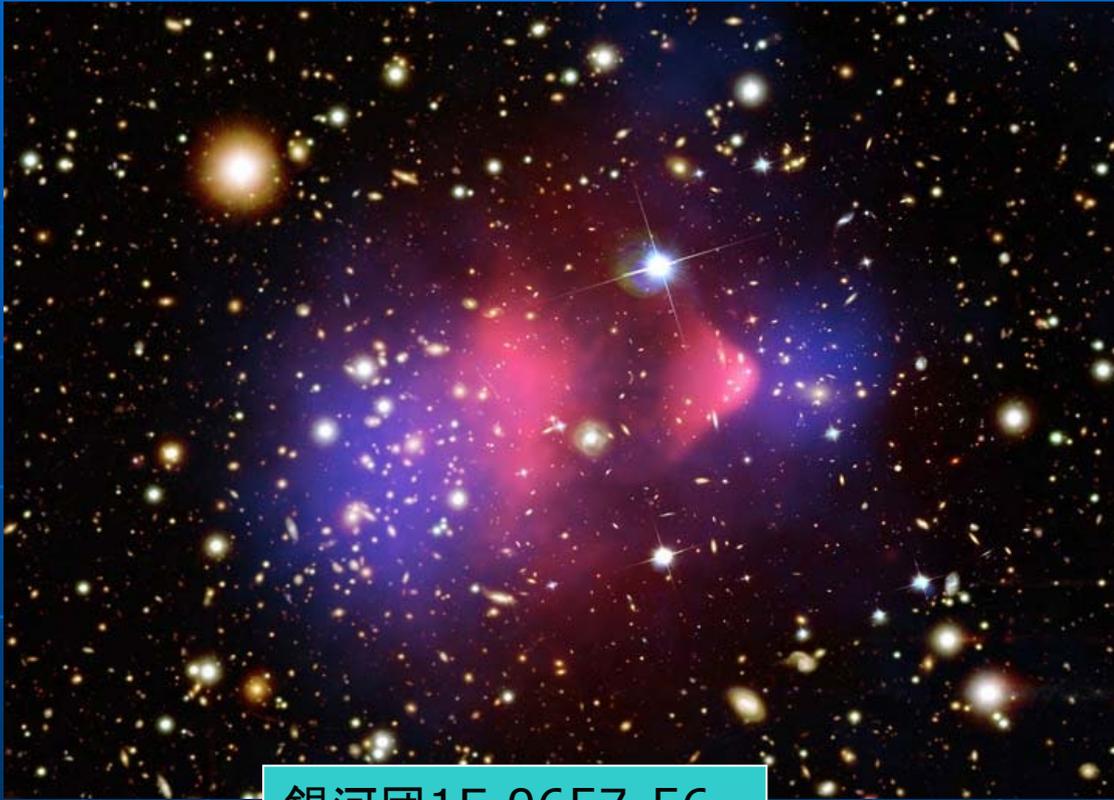
実はこのあたりにある銀河も重力レンズ効果をうけて少ずつゆがんでいる。
多数の銀河のゆがみ具合の平均をとることで、重力レンズ効果を検出できる

重力レンズあり



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

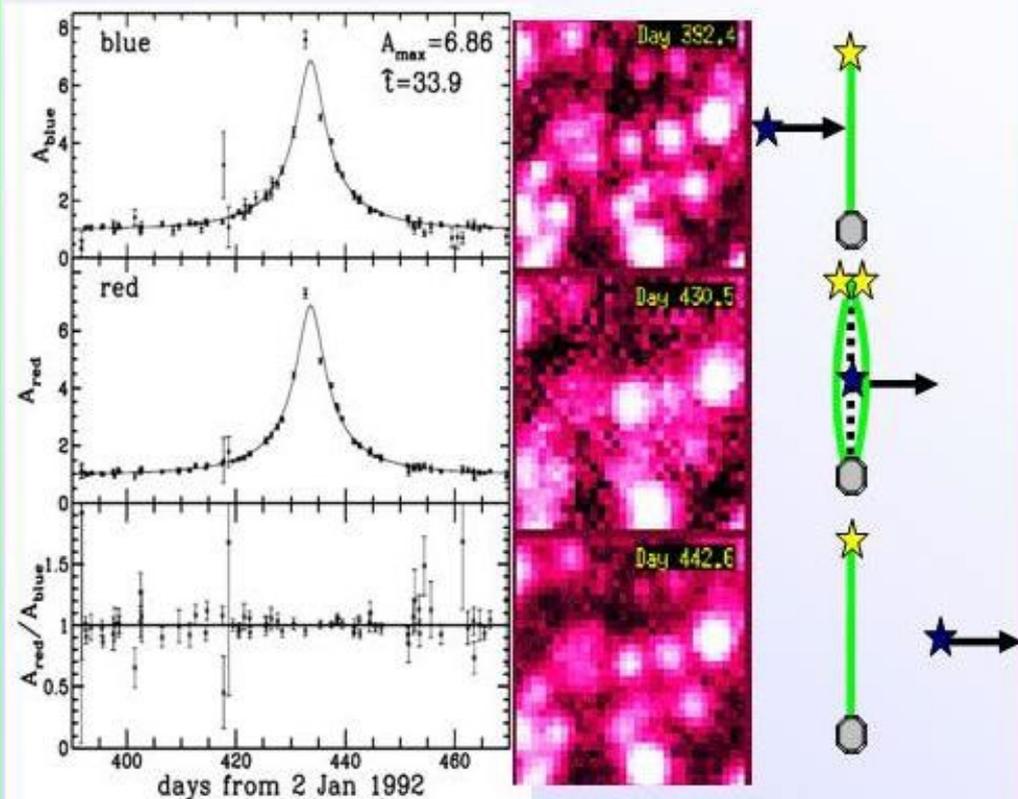
実は光っていない場所にたくさん
物がある。

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。

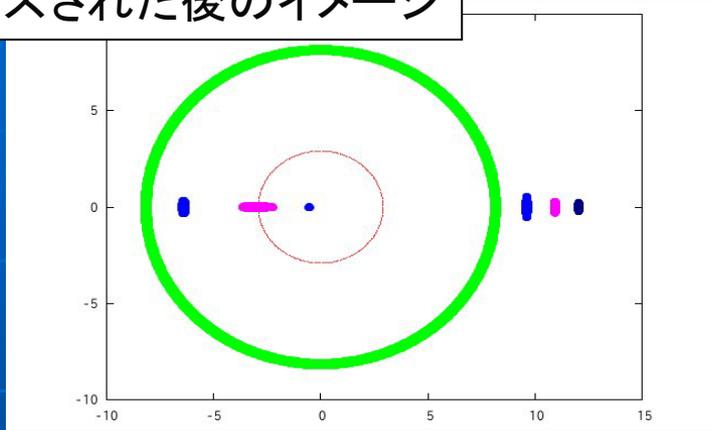
● Microlensing

● 見かけの明るさを大きくする

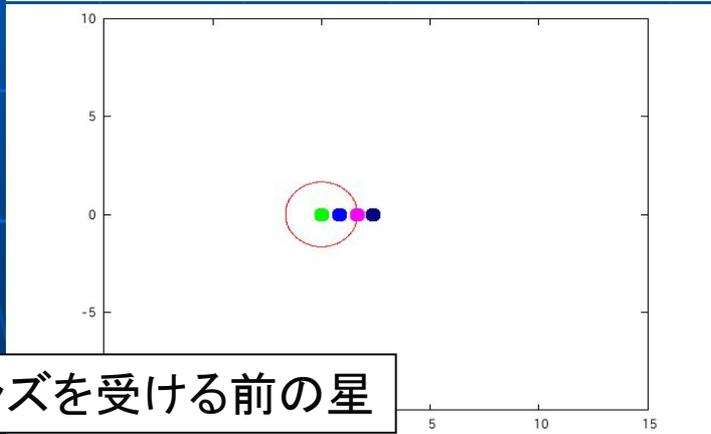


山形大学での研究の紹介

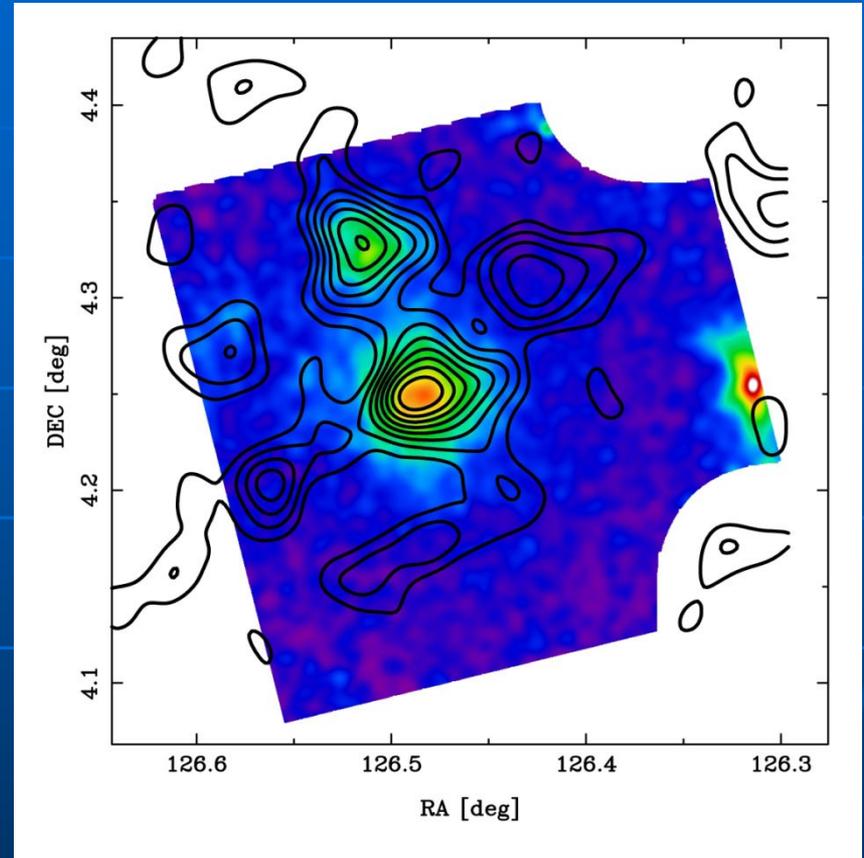
レンズされた後のイメージ



レンズを受ける前の星



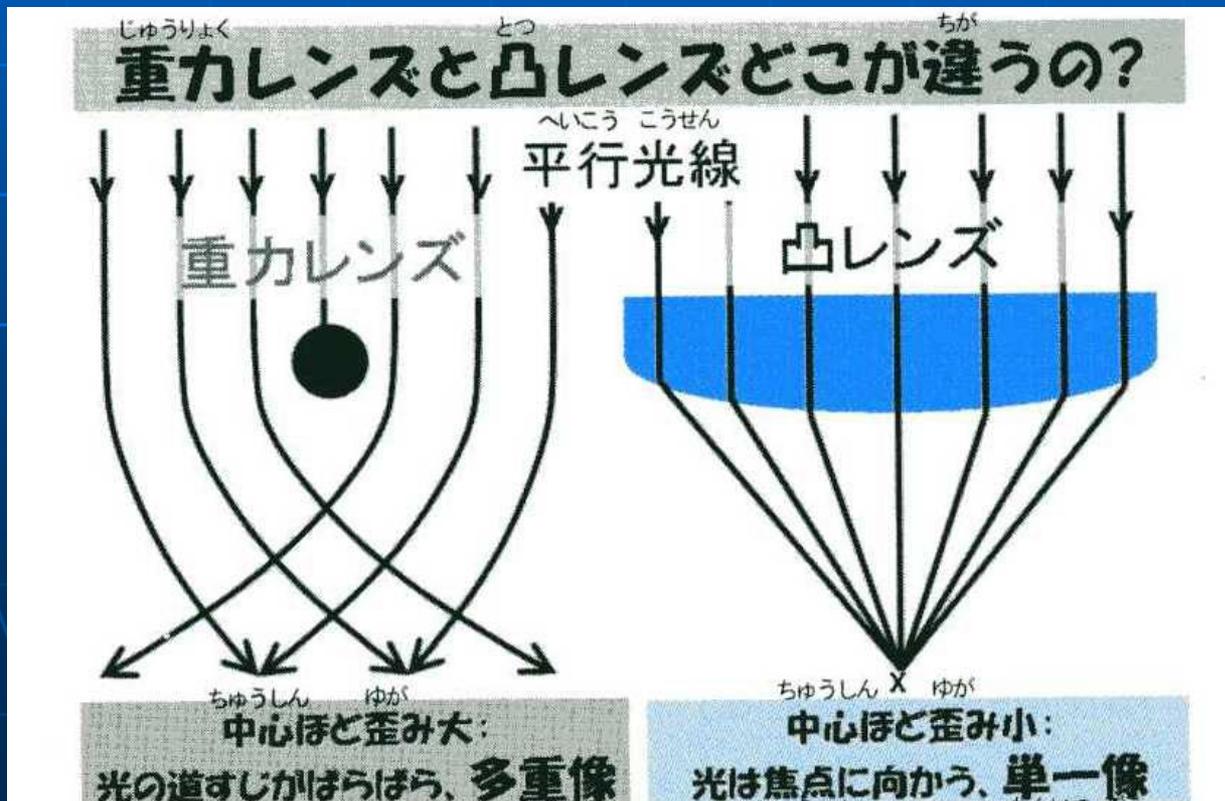
光内君(2008年度修了)
の修士論文より
重力レンズの理論計算



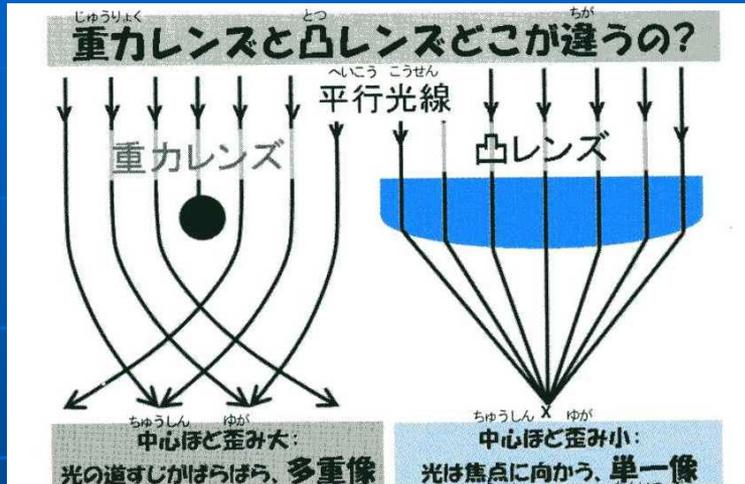
渡邊さん(2010年度修了)が解析した
観測データ
等高線: 暗黒物質の分布
カラー: X線で光っている物質の分布

「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。