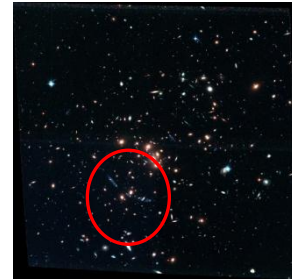


Introduction of Gravitational lensing

東北大学天文学専攻 M1 黒島利沙

・重力レンズ

光源から出た光は、観測者と光源間の質量天体による重力場を通過する際に軌道を曲げられ観測者に届く。その結果、光源が複数のイメージを持ったり、本来とは異なった歪んだ形状を持ったりして観測される。Einstein の一般相対論から、重力レンズが示唆され、1919 年には Eddington らによって太陽による光は 1" 7 曲がる事が観測された。また 1979 年には初めて重力レンズ現象として QSO0957+561 の多重像が発



見された。重力レンズの利点は、レンズの物質や組成などを仮定せずに質量分布が決められる事である。この重力レンズ効果は今日、観測的宇宙論分野において重要な役割を果たしている。

重力レンズの基本方程式となるレンズ方程式は $\vec{\beta} = \vec{\theta} - \vec{\alpha}$ で与えられる。

曲がりの角度 $\hat{\alpha}$ は

$$\hat{\alpha} = \frac{2}{c^2} \int \nabla_{\perp} \Phi dl$$

で表わせ、レンズ天体の質量分布は面密度 Σ としてレンズ面に 2 次的に投影される。レンズモデルには球対称な Point Mass・等温球モデルや非球対称な SIE モデルなどがあり、観測されるイメージや研究内容によって使い分けられている。

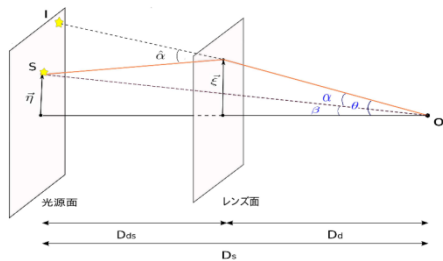
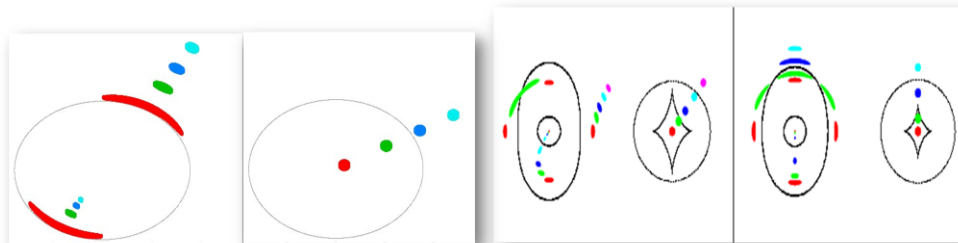


図:重力レンズの幾何的構造

以下の図はレンズモデルと光源に対するイメージのでき方を表わしている。

基本的に球対称モデルでは 2 つのイメージ、非球対称モデルでは複数のイメージができる。



Point Massの光源(右)に対するイメージのでき方(左)。中心に近いほどアーク状に増光される。

楕円モデルの光源(右)に対するイメージのでき方(左)。Caustics上でイメージはMergingし増光する。

・重力レンズの具体的な観測例

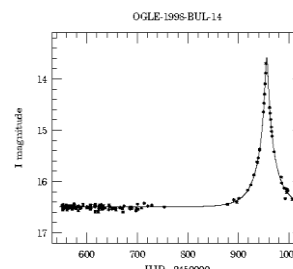
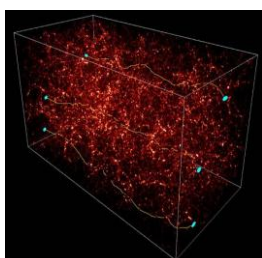
重力レンズ現象には大きく分けて、複数のイメージができる**強い重力レンズ**・組織的な歪みの効果である**弱い重力レンズ**・時間的な光の増光変化である**マイクロレンズ**の3種類がある。

Time delay・・・フェルマーの原理に基づいたイメージ同士の相対的 Time delay からハッブル定数 H_0 に制限を付ける。一般相対論に基づいていて、距離梯子や他の経験的法則を用いる必要がなく、必要な情報はレンズモデルのみなので、他の観測結果と組み合わせることでレンズモデルに制限をつける事ができる。

クェーサー統計・・・イメージセパレーションや、レンズ効果を受けたクェーサーの統計を取る事で、宇宙論パラメータ・レンズモデル・レンズ天体の数密度に強く依存するので、制限を付けることができる。

弱い重力レンズ・・・応用例の一つとして、宇宙の大規模構造による質量分布を反映した組織的な歪み(Cosmic shear)が挙げられる。シアの統計的観測によって質量分布についての情報が得られる。

マイクロレンズ・・・イメージセパレーションが 1mas 以下で分解出来ない程小さいため、増光率の時間変化として観測できる。Time scale を測定する事で MACHO の質量制限をする事ができる。マイクロレンズによる見積もりでは、ダークハロー質量を MACHO だけでは説明できないとされた。



強い重力レンズ効果により形成されるアインシュタインリング(左:HST.ACS).

大規模構造による Cosmic Shear のイメージ(中:TERAPIX).

時間的な増光率の変化を表わす増光曲線(右:OGLE).

・今後の展望

質量分布の決定にはよりの確なレンズモデルが必要となる。通常、レンズモデルの決定方法として、モデルの各パラメータをフィッティングさせ適切なモデルを構築していく。しかし、密度パラメータに大きく依存するため、モデルの構築は難しい。それに比べ、個々のレンズに対し、複数のイメージの情報があればパラメータを使うこと無しに(Non Parametric)、レンズモデルの質量分布やレンズポテンシャルを再構築することができる。今後の研究テーマとして Non Parametric なレンズモデルの構築を行っていく。