

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24654074

研究課題名(和文) ダークエネルギー探索の為にフーリエ変換を使った重力レンズ効果の精密測定

研究課題名(英文) precision measurement of gravitational lensing using Fourier transformation for dark energy search

研究代表者

片山 伸彦 (Katayama, Nobuhiko)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

研究者番号：50290854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は宇宙に存在するダークマター(DM)の分布を時間の関数として測定し、その変化から、宇宙の加速膨張のメカニズム(ダークエネルギー(DE))の本質に迫る事である。DMの分布を測定するためには、重力レンズ効果を用いる。これは、質量中を光が通って来ると光の経路が曲がる効果である。遠方にある銀河の形が、重力レンズ効果によって歪み、その歪みを測定する事によって途中にある質量の分布がわかる。ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した解像度の高い銀河のデータに、HSCで想定されるのノイズと星像のなまりを加え、歪みの値を仮定してモンテカルロシミュレーションを行って、入力した歪みの値を再現出来ることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to get to the bottom of the mystery of the dark energy by measuring the distribution of dark matter in the universe as a function of time. To measure the distribution of the dark matter we use gravitational lensing. The matter (such as a cluster of galaxies) between a distant source and an observer, is capable of bending the light from the source, as it travels towards the observer. The image of the source galaxies shear because of the matter. By measuring the shear, we can measure the distribution of the matter between the source and us (the observer). Using Monte Carlo simulation, we have confirmed that we can reproduce the values of input shears after measuring the shear from the images that are composed from high resolution images by Hubble Space Telescope by adding estimated noise and point spread function of the Hyper Suprime Cam camera.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：重力レンズ

1. 研究開始当初の背景

2011 年度のノーベル物理学賞は宇宙の加速膨張の発見に対して贈られた。この加速を引き起こすメカニズムはダークエネルギーと呼ばれている。DE は今、最も根源的な謎であり、複数の観測方法でその存在を確立し、性質を調べる必要がある。

その一つに来年度ハワイ・マウナケア山頂にあるすばる望遠鏡でファーストライトを予定している Hyper Suprime Cam (HSC) を使用して DE 探索等の為に広く深いサーベイを行う計画がある。

サーベイはすばる望遠鏡の戦略枠として 5 年間(300 夜) かけて行われ、1,500 平方度を観測し、一億個の銀河の形状を精密に測定する。これらの銀河の形状の歪みは、弱い重力レンズ効果により引き起こされたもので、(視線方向を含めて)3 次元で解析する事により DE の状態方程式 $p = w$ の時間依存性を測定する事が出来る。

サーベイの画像データ量は 150 TB にもなり、画像から銀河形状の精密測定まで複雑なデータ解析タスクが続く。特に高速で系統誤差が少なく効率的な形状測定法は、サイエンスの結果を迅速に得る為には必須である。

2. 研究の目的

本研究の目的は宇宙に存在するダークマター(DM) の分布を時間の関数として測定し、その変化から、宇宙の加速膨張のメカニズム(ダークエネルギー(DE))の本質に迫る事である。DM の分布を測定するためには、重力レンズ効果を用いる。これは、質量中を光が通って来ると光の経路が曲がる効果である。遠方にある銀河の形が、重力レンズ効果によって歪み、その歪みを測定する事によって途中にある質量の分布がわかる。より遠くの銀河を調べれば、より遠くの宇宙の質量分布がわかる。宇宙膨張はフリードマン方程式によって記述される。DM の分布を 3 次元的に再構成し、宇宙膨張の加速度が、時間の関数(遠い=早い)となっているかを調べ、DE の性質に迫る。

3. 研究の方法

本研究では、銀河の形状とその歪みを測定するために、銀河のモデルを使用しない方法を用いる。ハッブル以来銀河の形状の研究は多くある。銀河のモデルを使用すれば、銀河の形状は良くフィット出来、その歪みも精度良く測る事ができる。しかし、生成・衝突を繰り返して来た複雑な銀河の形状をモデル化出来る根拠はなく、また今回のサーベイで観測する非常に遠方の銀河に関しては、これまでの近傍の銀河を使用して作られたモデルが当てはまるという保証はない。もしモデルが正しくなければ銀河の形状が正しく測定

できず、したがってその歪みの測定にも大きな系統誤差が乗るのである。本研究で使用する方法で仮定するのは、ただ一つ、銀河のアンサンブル(多数の平均)が等方的であるという事だけであり、きわめて系統誤差の少ない測定法である。

本研究の課題は「沢山の遠方の銀河の画像の歪みを観測し、シアア場を求め、DM の質量分布を求める」という逆問題に帰結する。

レンズの効果は真ん中辺りにある質量が一番効くので、銀河の距離で分けてシアアを測定すれば、DM の質量の分布が 3 次元的に求まる。フリードマン方程式と状態方程式 $p = w$

から w を redshift z の関数として求める事が出来、DE の性質に迫る事が出来る。宇宙項なら z の値によらず $w = -1$ である。現在予定されている HSC のサーベイでは、誤差は非常に大きい、世界に先駆けての結果が得られる。

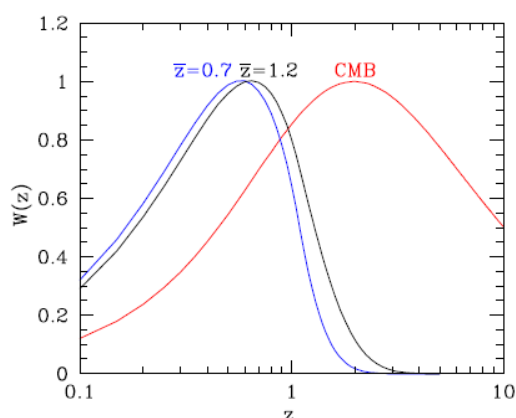
本研究では、画像のイメージをフーリエ変換し、フーリエ空間でのモーメントを計算することにより、シアアを測定する。本研究では、この方法を HSC 広域サーベイの銀河の画像に適用して、系統誤差の少ない質量の 3 次元分布を得、DE の本質に迫る。本研究による方法が、銀河形状の測定及び歪みの場の測定においてバイアスの少ない優れた方法である事が実証できれば、HSC だけでなく、近い将来の実験である LSST にも応用する事ができる。

4. 研究成果

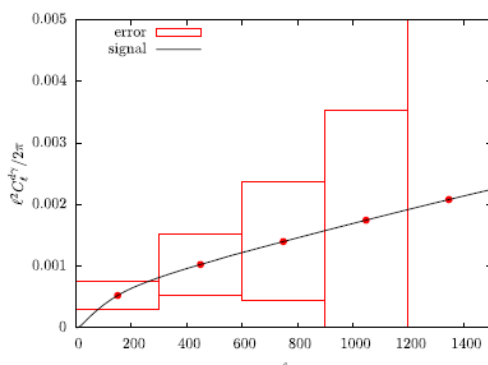
ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した、解像度の高い銀河のデータに、すばる望遠鏡に取り付けられた HSC で想定されるのノイズと星像のなまりをデータベース化し、それらを使って、様々なシアア(歪み)の値を仮定してモンテカルロシミュレーションを行って、入力したシアアの値を得ることが出来るかを確認した。得られた結果のシアアと入力したシアアとの差(誤差)を入力したシアアの大きさの関数として、プロットし、それを一次関数でフィットすることによって、測定方法の系統誤差が得られる。この系統誤差がどこから由来するかを知る為には、想定したノイズと星像のなまりを色々変えて、系統誤差がどのように変わるかを調べる事が有効であり、その研究を行ったところ、本研究の方法は非常に系統誤差が少ないことが分かった。

平成 25 年度には、すばる望遠鏡に HSC カメラを搭載して広く深い銀河のサーベイが開始されるはずであったが、真空漏れ、取り付け困難、などの理由でサーベイ開始がほぼ一年遅れ、結局 1.7 夜分のデータしか得られなかった。平成 24 年に最適化したシアア測定法を活用して、予定されていた約 100 平方度の深い多色のサーベイデータに適用するはずであったが、適わなかった。研究者が

参加している宇宙背景放射(CMB)偏光観測実験 POLARBEAR のデータと、HSC のデータとのクロスコリレーションを取ることにより重力レンズ効果が検証できるかと思いつき、現在 POLARBEAR 実験が持っているデータと HSC1 夜の観測でどれ位の有意性が得られるかを検討したところ、3.5 シグマの有意性を持って重力レンズ効果が検出できることがわかった。オープンコースに応募したが、元々のサーベイ領域と重なっているという理由で観測時間ももらえなかった。実際平成 26,7 年度において POLARBEAR の 4 つの観測領域のひとつの RA12 を、HSC で観測しており、現在複数の共同研究者を得て、解析を開始している。両実験のデータを使う解析のため、合意を得るプロセスを進めている。



CMB 実験と HSC の重み関数。これらが重なっていることにより、両測定に相関がある(クロスコリレーション)ことがわかる。



HSC と POLARBEAR のクロスコリレーションの有意性。クロスコリレーションの大きさとその誤差を角度の逆数(波数)の関数としてあらわしている。すべての角度領域の和を取ると 3.5 シグマの有意性があることがわかる。

また、フーリエ空間におけるモーメントを使用してシアを測定する方法に関しては、元々の方法の開発者の大学の学生が、2016 年秋から研究者の大学の大学院生として来日することになり、共同で研究を進めるよてい

である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 2 件)

発表者：片山伸彦

発表標題：HSC における弱い重力レンズ効果と POLARBEAR CMB 偏光観測における重力レンズ効果のクロスコリレーション

学会名：日本物理学会

発表年月日：2014 年 9 月 18 日～2014 年 9 月 21 日

発表場所：佐賀大学(佐賀県佐賀市)

発表者：入江郁也(横国大学生)、片山伸彦
発表標題：HSC における弱い重力レンズ効果と POLARBEAR CMB 偏光観測における重力レンズ効果のクロスコリレーション(II)

学会名：日本物理学会

発表年月日：2015 年 9 月 25 日～2014 年 9 月 28 日

発表場所：大阪市立大学(大阪府大阪市)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

片山伸彦 (KATAYAMA Nobuhiko)
研究者番号 : 50290854

(2)研究分担者
()

研究者番号 :

(3)連携研究者
()

研究者番号 :