

機関番号：62616

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740202

研究課題名（和文） 精密宇宙論時代に向けた高精度画像解析技術の開発

研究課題名（英文） Development of a high precision image analysis technique for the era of the precision cosmology

研究代表者

浜名 崇 (HAMANA TAKASHI)

国立天文台・理論研究部・助教

研究者番号：70399301

研究成果の概要（和文）：精密宇宙論時代に向けた高精度画像解析技術の開発を行った。宇宙論的構造形成と重力レンズの数値実験を行い擬似データを作成した。また大気乱流の数値シミュレーションプログラムを開発し、現実的な大気乱流モデルの下での数値シミュレーションを行った。この大気乱流の影響も取り入れた擬似撮像データを用いて大気乱流が weak lensing power spectrum 測定に及ぼす影響を評価した。

研究成果の概要（英文）：I have developed an advanced image analysis technique for an era of the precision cosmology. I performed numerical simulations of cosmological large-scale structure formation and gravitational lensing ray tracing and generated mock data. Also I have developed numerical simulation tools of light propagation in realistic atmospheric turbulences, and performed numerical simulations to generate mock data. Using the mock data set, I examined effects of atmospheric turbulences on the measurement of the weak lensing power spectrum.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学，素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：観測的宇宙論

1. 研究開始当初の背景

宇宙論的観測事実の蓄積により宇宙の加速膨張が明らかになった。このことは宇宙には実効的に斥力の働きをする未知の物質（いわゆる暗黒エネルギー）の存在、あるいは一般相対性理論に基づく重力理論が宇宙論スケールで破綻していることを示唆している。このことは高エネルギー物理学や、物理学の基礎原理解の進展にも大きな影響を与える

現在の物理学における最重要課題の一つである。

しかし加速膨張は宇宙論スケールでのみ観測しうる現象であるので、加速膨張の観測的制限、すなわち宇宙加速膨張の膨張率やその時間・空間変化の精密測定は天文学的手法でもってでしか実現出来ない。

Weak lensing power spectrum(重力レンズ効果によって生じる遠方天体のコヒーレン

トな歪みの power spectrum)測定は、宇宙膨張を含む宇宙の進化、すなわち宇宙の構成物質の量と進化を測定する有効な手段である。国内ではこの分野の研究はすばる望遠鏡を用いて活発に行われており、本研究提案者らにより世界的に重要な成果も得られている。また本研究提案者は、この分野の理論的研究の進展にも大きな寄与をしている。Hamana et al. (2003)によるすばるデータ(2平方度)の Weak lensing power spectrum 解析では、宇宙の物質密度と密度揺らぎの大きさ、そして宇宙の曲率に対する制限が得られたが観測面積が比較的小さかったため暗黒エネルギーに関する制限は得られなかった。暗黒エネルギーが weak lensing power spectrum に及ぼす影響は非常に小さいため、大量のデータを用いて統計的エラーを小さくした精密測定が必用とされるのである。本研究提案者は、この実現を目指し、2003年以來観測データの拡大を進めており申請時点では20倍程度のデータが得られている。

しかし、得られた観測データの詳細な解析を進めるうちに、現在の標準的画像解析技術では、暗黒エネルギーの制限を目指した weak lensing power spectrum 測定に要求される画像解析精度が達成されないことが本研究提案者の研究によって明らかになった。

具体的には、第2ピクセル化効果と呼ばれる現象により、weak lensing 解析にとって最も重要な要素である天体の形状測定に問題が生じることが明らかになった。第2ピクセル化効果により、測定された weak lensing power spectrum には数パーセント程度の系統的誤差が含まれてしまうことが分かったのである。一方、暗黒エネルギーの精密測定で要求される測定精度は数パーセント以下である。

2. 研究の目的

Weak lensing power spectrum 測定は、原理的には暗黒エネルギー研究の強力な手段である。そのためそれを用いた暗黒エネルギー探査は世界的にも注目されおり、weak lensing power spectrum 測定を主目的とした大規模観測プロジェクトやそれを実現する観測装置の開発が進んでいる。しかし、第2ピクセル化効果の影響のために現在の標準的画像解析手法を用いた方法では、weak lensing power spectrum でもって暗黒エネルギーを探求することは困難である。この問題を回避し銀河像の精密測定を実現する画像解析技術を開発することが本研究の第一の目的である。

また地上からの観測の場合、大気乱流によるいわゆる seeing により天体像がぼやけてしまうことは良く知られている。その際に天体像の変形も生じる。この変形を weak

lensing 効果による変形と区別することは weak lensing 効果を用いた研究において本質的に重要である。そのために大気乱流による天体像の歪みの大きさやその空間パターンなどの諸性質を数値シミュレーションによって解明し、その weak lensing パワースペクトラム測定に及ぼす影響を数値シミュレーションを用いて研究する事が本研究の第2の目的である。

3. 研究の方法

本研究の方法は以下の過程からなる。

(1) 現実的な重力レンズ効果および大気乱流など銀河像の形状測定に影響を及ぼす効果を組み込んだ撮像観測の擬似データを作成する。

(2) 擬似データを用いて大気乱流や第2ピクセル化効果が形状測定に及ぼす影響を及ぼすか定量的に評価する。

(3) (2)で得られた理解をもとに、銀河像を正しく測定する画像解析技術を開発する。

以下では研究方法の主要構成要素について記述する。

重力レンズ効果についてはまず宇宙論的構造形成のN体数値シミュレーションを行い現実的な大規模構造形成シナリオのもとで宇宙の疑似密度分布を作り、そこに光を伝搬させる数値実験をおこなうことにより疑似的な重力レンズ効果データベースを作った。この方法により5度×5度角の領域にわたる weak lensing shear のデータを作った。さらにこの数値シミュレーションを多数回繰り返し1000データセットを作成した。

このデータセットは様々な目的の重力レンズ研究に有効であるので、データを公開し多くの研究者に使用してもらい多様な成果を得た。

大気乱流については現在の大気乱流の理論的および観測的理解をもとに現実的な状況を再現する数値シミュレーションを行った。大気乱流はいわゆるコロモグロフ乱流をなしていると理論的、観測的に理解されおり、またコロモグロフ乱流を特徴付ける乱流パワースペクトラムの振幅とその高度依存性は観測によって測定されている。それら観測値を用いて現実的な大気乱流を数値シミュレーションでもって作った。さらにその大気乱流中での光の伝搬および光波面の乱れの計算を行った。このようにして大気乱流によって屈折率が空間的に変化して、光の速度が場所によって変わることによって天体からの波面が乱される現象の数値実験を行った。また光源として点光源を想定しそれが大気に平面波として入射して、大気乱流中を通過し、望遠鏡に届くまでにどのように波面が変形を受けるかを数値的に計算した。そして大気乱

流で乱された後望遠鏡に達した光は、理想的な光学系を通して焦点面で像を結ぶと仮定して焦点面で生じる point spread function を計算した。30分角 x 30分角にわたる視野全体において point spread function を計算しその大きさや空間変化を評価した。

4. 研究成果

宇宙論的構造形成と重力レンズの数値実験を行い擬似データを作成した。このデータを用いて weak lensing power spectrum の共分散を評価した。これは weak lensing power spectrum を用いて宇宙論パラメータを決定する際に必要となるデータであるが構造形成の非線形性により解析的に求めることはできなかった。本研究結果により正確な共分散を得ることが可能になった。

さらに weak lensing power spectrum のフーリエ変換成分である weak lensing 2点相関関数の共分散も評価した。Weak lensing 2点相関は weak lensing power spectrum と異なり実際の観測量から直接的に測定可能であるので、現在の観測研究ではより頻繁に測定されている量である。Weak lensing 2点相関の共分散は、weak lensing power spectrum よりも複雑なモードカップリングをすることが知られており、それを正確に予言する事は大変困難であったが高精度かつ多くの試行を行った数値シミュレーションの結果を利用する事により、良い精度で共分散の理論モデルを導出する事に成功した。

また大気乱流の数値シミュレーションプログラムを開発し、現実的な大気乱流モデルの下での数値シミュレーションを行った。この大気乱流の影響も取り入れた擬似撮像データを用いて大気乱流が weak lensing power spectrum 測定に及ぼす影響を評価した。この研究により大気乱流による銀河像のゆがみにより weak lensing power spectrum に対し数パーセント程度の系統誤差が生じることがわかった。これにより宇宙論パラメータの推定に系統的な誤差を生じさせることになるので適切な補正法を開発することが必要であるということが明らかになった。

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8件)

- ① M. Kajisawa, T. Ichikawa, I. Tanaka, T. Yamada, M. Akiyama, R. Suzuki, C. Tokoku, Y. Katsuno Uchimoto, M. Konishi, T. Yoshikawa, T. Nishimura, K. Omata, M. Ouchi, I. Iwata, T. Hamana, Onodera, Masato, “MOIRCS Deep Survey. IX. Deep Near-Infrared Imaging Data

and Source Catalog”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 2010, 63, 379、査読あり

- ② C. Hikage, M. Takada, T. Hamana, D. Spergel, “Shear power spectrum reconstruction using the pseudo-spectrum method”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2010, 412, 65、査読あり
- ③ A. J. Nishizawa, M. Takada, T. Hamana, H. Furusawa, “A Clipping Method to Mitigate the Impact of Catastrophic Photometric Redshift Errors On Weak Lensing Tomography”, The Astrophysical Journal, 2010, 718, 1252、査読あり
- ④ M. Kawaharada, N. Okabe, K. Umetsu, M. Takizawa, K. Matsushita, Y. Fukazawa, T. Hamana, S. Miyazaki, K. Nakazawa, T. Ohashi, “Suzaku Observation of A1689: Anisotropic Temperature and Entropy Distribution Associated with the Large-Scale Structure”, The Astrophysical Journal, 2010, 714, 423、査読あり
- ⑤ M. Kajisawa, T. Ichikawa, I. Tanaka, M. Konishi, T. Yamada, M. Akiyama, R. Suzuki, C. Tokoku, Y. K. Uchimoto, T. Yoshikawa, M. Ouchi, I. Iwata, T. Hamana, M. Onodera, The Astrophysical Journal, 2009, 702, 1393、査読あり
- ⑥ T. Hamana, S. Miyazaki, N. Kashikawa, R. S. Ellis, R. J. Massey, A. Refregier, J. E. Taylor, “Subaru Weak-Lensing Survey II: Multi-Object Spectroscopy and Cluster Masses”, Publication of the Astronomical Society of Japan, 2009, 61, 833、査読あり
- ⑦ M. Sato, T. Hamana, R. Takahashi, M. Takada, N. Yoshida, T. Matsubara, N. Sugiyama, “Simulations of Wide-Field Weak Lensing Surveys. I. Basic Statistics and Non-Gaussian Effects”, The Astrophysical Journal, 2009, 701, 945、査読あり
- ⑧ M. Kilbinger, K. Benabed, J. Guy, P. Astier, I. Tereno, L. Fu, D. Wraith, J. Coupon, Y. Mellier, C. Balland, F. R. Bouchet, T. Hamana, D. Hardin, H. J. McCracken, R. Pain, N. Regnault, M. Schultheis, H. Yahagi, “Dark-energy constraints and correlations with systematics from CFHTLS weak lensing, SNLS supernovae Ia and WMAP5”, Astronomy and Astrophysics, 2009, 497, 677、査読あり

〔学会発表〕（計 2 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://th.nao.ac.jp/~hamanatk/publications.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浜名 崇 (HAMANA TAKASHI)

国立天文台・理論研究部・助教

研究者番号：70399301

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし