

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740171

研究課題名(和文) 宇宙大規模構造・重力レンズ現象を用いた、重力理論の検証と構造形成初期条件への制限

研究課題名(英文) Constraining gravity theories and cosmological initial conditions using the large scale structure of the universe and the gravitational lenses

研究代表者

加用 一者 (KAYO, Issha)

東京工科大学・教養学環・講師

研究者番号：80377928

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：主に次の4つの成果をあげた：1. SDSS-IIIのクェーサーカタログから重力レンズクェーサーを13個発見し、SDSSから続く発見の世界記録を更新した。2. 近接クェーサー対の世界最大カタログ生成とクラスタリング解析に成功し、クェーサーの活動性には近接相互作用が重要であるという示唆を得た。3. すばる望遠鏡HSCサーベイにおける、弱い重力レンズ場バイスペクトルの効用を明確にした。パワースペクトルのみを用いた場合に比べ、サーベイ領域の約1.5倍の拡張に相当する効果がある。4. 広く複雑な形状をもつ銀河サーベイデータに対して、銀河の速度パワースペクトルを測定する方法を開発し、その初期成果を得た。

研究成果の概要(英文)：We have made following four major achievements: 1, Discovery of 13 gravitationally lensed quasar systems from the SDSS-III quasar catalogue. 2, Construction of the largest catalogue of physically associated quasar pairs and the measurement of clustering amplitude of the pairs. The measured clustering indicates the importance of the direct-interaction to stimulate the quasar activity. 3, Evaluation of effectiveness of the bispectrum measurements for the weak lensing field from the Subaru HSC survey. It is revealed that the amount of the cosmological information recovered by the bispectrum is equivalent with increasing the survey region with approximately 0.5 times larger area, over the power spectrum measurement only. 4, Development of a method to measure the velocity power spectrum for data with wide and complex survey geometry.

研究分野：観測的宇宙論

キーワード：宇宙大規模構造 重力レンズ

1. 研究開始当初の背景

天の4分の1を掃く掃天観測である Sloan Digital Sky Survey (SDSS) が大成功を収めて完了し、さらに深く、あるいは鮮明に宇宙を観測し尽くす諸計画が進んでいた。その中には、SDSS の設備を拡張して進められていた SDSS-III や、超広視野カメラ Hyper Suprime Camera (HSC) を新たに開発してすばる望遠鏡で観測を行う計画などがあり、大きな期待が寄せられていた。研究代表者は、SDSS のデータ解析における経験と実績を活かして、SDSS-III および日本の関連研究者をあげての計画である HSC サーベイを支えるべく、次にあげる大きく二つのテーマについて研究を推進することにした。

2. 研究の目的

大きく分けて二つのテーマを設定した。一つ目は、SDSS-III や HSC サーベイで得られる、広くて複雑な形状をした銀河分布データから、精度よく銀河分布のポワースペクトルを求める方法を開発することである。特に「赤方偏移ゆがみ」と呼ばれる効果(遠方銀河までの距離は、宇宙膨張に伴うスペクトルの赤方偏移を用いて測られるが、銀河そのものの動きも同じく赤方・青方偏移を起こすため、一般には両者を区別できない。結果的に、銀河の空間分布に、ある特徴的なゆがみが見られることになる効果のことである)を用いて、銀河の速度ポワースペクトルも測定し、宇宙論的議論を行うことを計画した。

二つ目は、SDSS から続けていた重力レンズクェーサー探査を、SDSS-III に拡張することである。我々が進めてきた重力レンズクェーサー探査は、そのカタログの統計性に大きな注意を払ってきたため、カタログを用いた統計的な宇宙論的議論を可能にする。特に、SDSS の重力レンズカタログからは、ダークエネルギーの存在、及びその量についての制限を与えることに成功し大きな注目を集めた。よって本研究においては、SDSS-III のデータへ探査を拡張し、サンプルを拡大して、制限をより強固なものにすることが目的であった。

3. 研究の方法

一つ目のテーマに関しては、SDSS-III のサーベイ形状を模擬したシミュレーションデータを大量に準備し、それを用いて、ポワースペクトルの測定法を開発した。そのために、本研究費を用いて PC クラスタを新造した。PC クラスタは自作することにより費用対効果を最大化した。

二つ目のテーマに関しては、SDSS-III のデータより選ばれた候補に対して根気強く丹念に追観測を行った。観測には、主にハワイ大学 UH88 望遠鏡およびすばる望遠鏡を用いた。

また、現在進行中のすばる望遠鏡 HSC サーベイを念頭に置き、「弱い重力レンズ」の

研究にもテーマを拡張し、取り組んだ。ここでは、一つ目のテーマのために本研究費で構築した PC クラスタの性能を活かした。

4. 研究成果

一つ目のテーマである速度ポワースペクトルの測定法の開発においては、模擬データの作成を順調に完了し、測定手法をほぼ確立し、模擬データに対して適用して初期成果を得た。この初期成果は測定するモード数を1/100程度に絞ったものであって、フルスペクトルの測定ではなかったが、道筋は見てきたところであった。しかし、本研究期間中頃の所属機関変更に伴い、エフォート率が大幅に減少し、研究を遂行することができなくなった。残念ながら、得られた初期成果をいくつかの研究会で発表するにとどまっている。テーマの重要度は現在でも依然として高く、今後も機会を見つけて取り組みたい。なお、速度ポワースペクトルの測定方法については、上記の方法とは別のアプローチも行い、雑誌論文[5]としてまとめている。

一方、重力レンズクェーサー探査においては、候補天体の追観測の結果、多くのシステムを発見した(雑誌論文[2, 4])。特に雑誌論文[2]においては、一挙に13個の発見を報告した。これまで人類が発見している重力レンズクェーサー系が150個程度であることを考えると、なかなか大きなインパクトであろう。また、すばる望遠鏡の補償光学系を用いて、我々が発見した重力レンズクェーサーを鮮明に撮像し、重力レンズシステムの性質を詳しく調査した(雑誌論文[1, 6])。この研究により、すばる望遠鏡の補償光学系の有用性を明確にすることにも成功した。SDSS-III データに基づいた探査は現在も継続中である。また、HSC サーベイの鮮明なデータも続々と生まれており、これに対して重力レンズクェーサー探査を行うことも重要なテーマである。今後取り組んでいく。

ところで、重力レンズクェーサー探査を行う過程では、追観測の結果重力レンズクェーサーではなかったものもたくさん生まれる。本来の目的においてはこれらはいわば「ゴミ」であるが、この中には、物理的に接近しているクェーサーの対も含まれていた。もとも我々は重力レンズクェーサーを狙っていたので、対の間隔が数秒角程度のものが多い。そのため、クェーサー対のカタログとして、今まで存在しなかった貴重なものが出来上がった。特に、元の重力レンズクェーサーカタログの統計性を明確にしていたので、このクェーサー対のカタログも統計性が大変良いと考えられる。この稀有な統計性の良いカタログの構築により、クェーサー対の小スケールにおけるクラスタリングを測定することに成功した(雑誌論文[8])。近接クェーサー対は強いクラスタリングを示しており、クェーサーの活動性には、近接していることが重要であることを示唆した結果になって

いる。クエーサーの活動性のトリガーは大きな謎であり多くの研究がなされているが、我々の「ゴミ」から生まれた研究が一つ新しい知見をもたらしたと考えている。

また、重力レンズクエーサーに代表される強い重力レンズだけではなく、HSC サーベイを想定した弱い重力レンズについても研究テーマを拡張した。これまでの研究では主に、弱い重力レンズ場のパワースペクトルを用いて、宇宙論的情報を引き出すことが行われてきた。宇宙の初期状態では、質量密度場はガウス統計に従うと考えられるので、パワースペクトルが最も簡単かつ重要な統計量となるからである。しかし、その後の重力による密度構造の進化は、非ガウス性を発生させる。そのため、宇宙論的情報は、パワースペクトルでは測定できないところにも漏れ出してしまふ。この漏れ出した情報を、パワースペクトルより高次の統計量であるバイスペクトルを用いて回復することが研究内容である。観測を模擬したシミュレーションデータと、本研究費で構築した PC クラスタを活用した。その結果、バイスペクトルを測定する効用は大きく、パワースペクトル単体の時に比べて、サーベイ領域の面積を実質 1.5 倍程度に増やした場合と同等の宇宙論的情報が得られることが判明した(雑誌論文[7])。サーベイ観測のコストは大変大きいので、そのデータの利用価値をさらに高めることは極めて重要である。

一方で、同時期に行われた独立の研究(Sato & Nishimichi, Physical Review D, 87, 123538, 2013)は、バイスペクトルの効果が我々の研究に比べてはるかに大きいとする結果を発表した。その他の点でも我々の研究と大きく食い違う点が見られた。この食い違いの原因は双方いずれもまだ見出していない。バイスペクトルの重要性とも相まって、今後解決しないといけな問題である。

その他、弱い重力レンズに関連して、観測領域の形状の影響についても調べた。サーベイ形状によって、情報の漏れ、回復の程度が大きく変化することがわかり、将来サーベイ観測を計画するにあたって考慮すべき重要な問題であることが明確になった(雑誌論文[3])。

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. Cristian E. Rusu, 他 14 名(内 6 番目), “Subaru Telescope adaptive optics observations of gravitationally lensed quasars in the Sloan Digital Sky Survey”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 458, 2-55, 2016, 査読あり, DOI: 10.1093/mnras/stw092

2. Anupreeta More, Masamune Oguri, Issha Kayo, 他 15 名, “The SDSS-III BOSS quasar lens survey: discovery of 13 gravitationally lensed quasars”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 456, 1595-1606, 2016, 査読あり, DOI: 10.1093/mnras/stv2814
3. Ryuichi Takahashi, Shunji Soma, Masahiro Takada, Issha Kayo, “An optimal survey geometry of weak lensing survey: minimizing supersample covariance”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 444, 3473-3487, 2014, 査読あり, DOI: 10.1093/mnras/stu1693
4. Naohisa Inada, Masamune Oguri, Cristian E. Rusu, Issha Kayo, Tomoki Morokuma, “Discovery of Four Doubly Imaged Quasar Lenses from the Sloan Digital Sky Survey”, The Astronomical Journal, 147, 153, 2014, 査読あり, DOI: 10.1088/0004-6256/147/6/153
5. Yong-Seon Song, Takahiro Nishimichi, Atsushi Taruya, Issha Kayo, “Chasing unbiased spectra of the Universe”, Physical Review D, 87, 123510, 2013, 査読あり, DOI: 10.1103/PhysRevD.87.123510
6. Cristian E. Rusu, Masamune Oguri, Masanori Iye, Naohisa Inada, Issha Kayo, Min-Su Shin, Dominique Sluse, Michael A. Strauss, “The Quasar-galaxy Cross SDSS J1320+1644: A Probable Large-separation Lensed Quasar”, The Astrophysical Journal, 765, 139, 2013, 査読あり, DOI: 10.1088/0004-637X/765/2/139
7. Issha Kayo, Masahiro Takada, Bhuvnesh Jain, “Information content of weak lensing power spectrum and bispectrum: including the non-Gaussian error covariance matrix”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 429, 344-371, 2013, 査読あり, DOI: 10.1093/mnras/sts340
8. Issha Kayo, Masamune Oguri, “Very small scale clustering of quasars from a complete quasar lens survey”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 424, 1363-1371,

2012, 査読あり, DOI:
10.1111/j.1365-2966.2012.21321.x

〔学会発表〕(計 8 件)

1. 加用一者, 「近接クエーサー対の環境」, 第 28 回理論懇シンポジウム, 2015 年 12 月 24~25 日, 大阪大学 (大阪府豊中市)
2. 加用一者, 大栗真宗 「近接クエーサー対の環境について」, 日本天文学会 2014 年秋季年会, 2014 年 9 月 13 日, 山形大学 (山形県山形市)
3. Issha Kayo, “ Small-scale AGN clustering measurements ”, AGN2014: Clustering Measurements of Active Galactic Nuclei, 2014 年 7 月 16 日, ミュンヘン (ドイツ)
4. 加用一者, 高田昌広, 「弱い重力レンズ場バイスペクトルの効用」, 日本天文学会 2014 年春季年会, 2014 年 3 月 20 日, 国際基督教大学 (東京都三鷹市)
5. 高橋龍一, 相馬俊二, 高田昌広, 加用一者, 「弱い重力レンズサーベイにおける観測領域の形状の影響について」, 日本天文学会 2014 年春季年会 2014 年 3 月 20 日, 国際基督教大学 (東京都三鷹市)
6. 加用一者, 高田昌広, 「弱い重力レンズ場バイスペクトルトモグラフィ」, 日本天文学会 2013 年春季年会, 2013 年 3 月 23 日, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市)
7. 相馬俊二, 高田昌広, 加用一者, 高橋龍一, 「HSC 弱い重力レンズによる観測領域の形状の影響について」, 日本天文学会 2013 年春季年会, 2013 年 3 月 23 日, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市)
8. 加用一者, 大栗真宗, 「SDSS クエーサーの小スケールにおけるクラスタリング」, 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 20 日, 大分大学 (大分県大分市)

〔その他〕

アウトリーチ活動

1. 科学技術館 科学ライブショーゲスト, 「干草の山に重力レンズを探す」, 2015 年 2 月 28 日
(<http://universe.chimons.org/weekly/000694.html>)
2. まるのうち宇宙塾, 「宇宙大規模構造に見える見えないもの」, 2012 年 5 月 22 日
(<http://www.tenpla.net/maru/>)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

加用 一者 (KAYO, Issha)
東京工科大学・教養学環・講師
研究者番号: 80377928