

2021年度の研究活動について

白崎 正人 統計思考院 助教

2021年度は、4編の主著論文を発表することができました。以下に論文の内容と研究活動で得た所感についてまとめたいと思います。

1 軽い暗黒物質候補の探索方法の提案

「Searching for eV-mass axionlike particles with cross correlations between line intensity and weak lensing maps」という題の論文(M. Shirasaki, Physical Review D, 103, 10, 2021)を書きました。

アキシオン様粒子 (Axionlike particles; ALPs) は、宇宙に存在する謎の物質である「暗黒物質」の候補粒子の一つです。ALPsは、超弦理論などの素粒子標準理論を超えた物理理論から割と普通に予言され、その粒子質量が電子質量の 10^{-6} 以下ととても軽いことが特徴です。もう一つのALPsの特徴は、時間が経つと自然に光へと変化する(崩壊する)性質があることです。ALPsがもし暗黒物質であるならば、光で観測した宇宙の地図と暗黒物質の地図は、似た形をしているはず(光の地図に暗黒物質の崩壊によるものが混ざるから)。このアイデアに基づき、将来の大型天文観測データを統計処理すると、ALPsの質量と崩壊率を制限できることを示しました。想定した観測データの一部は、SPHERExという赤外線宇宙からの光を観測する計画でした。SPHERExは、私が日本学術振興会海外特別研究員として、米国ジェット推進研究所に留学していたときに、同じラボの人が推進していた計画で、楽しそうな計画だったので、SPHERExを想定した研究をしてみたいとぼんやり考えていました。別の共同研究の一環で、SPHERExについて深く勉強するチャンスがあり、その過程で論文の核となるアイデアを思いつきました。

2 深層学習技術を用いた暗黒物質地図の作成

「Noise reduction for weak lensing mass mapping: an application of generative adversarial networks to Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data」という題の論文(M. Shirasaki et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 504, 2, 2021)を書きました。

重力レンズ現象と呼ばれる面白い天文現象があります。これは、遠く離れた銀河などの天体と観測者の間にある重力源がレンズの様に働くことで、天体の像が変化する現象です。この現象を使えば、光を発することのない暗黒物質の地図を描くことも可能です。しかし、現実には、遠方銀河の元々の形がわからないことで、観測で得られる暗黒物質の地図にはノイズが含まれることがわかっていました。我々は、敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Networks; GANs) を用いて、暗黒物質の地図のノイズを取り除く研究を2018年ごろから進めています。2019年に数値シミュレーションをもちいて、GANsによるノイズ除去がうまくいく感触を得ていました(M. Shirasaki, N. Yoshida, S. Ikeda, Physical Review D, 100, 4, 2019)。これに味をしめて、次にすばる望遠鏡で得られた実際の観測データに適用できるGANsの研究を進めました。ネットワークの訓練時に調整することがたくさんあったので、試行錯誤しているうちに、解析を始めて1年以上たってしまいました。論文の形にするまで、かなり時間を要しましたが、実際の観測データにGANsを適用し結果が得られた日はとにかく感激したのを覚えています。ネットワークの訓練はさながら育成ゲームのようで、我が子の成長を感じる親も似たようなものを感じるのかなと思いました。

3 銀河団を使った万有引力定数の測定

「Stacked phase-space density of galaxies around massive clusters: comparison of dynamical and lensing masses」という題の論文(M. Shirasaki et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 506, 3, 2021)を書きました。

ニュートン力学の運動方程式には、重力の強さを決める「重力質量」と、物質の動きにくさを決める「慣性質量」があります。重力質量と慣性質量は異なる意味を持つ物理量なのですが、両者を同じ値にとると、いろんな物体の運動を正確に予言できます。我々は、重力質量と慣性質量が本当にどこでも同じなのかに興味を持ち、天文学の範囲で検証できないかを考えました。検証に使う天体は、銀河団と呼ばれる宇宙最大の天体を使いました。銀河団は、わりと狭い範囲に1000程度の銀河が密集することでできる天体です。先に述べた重力レンズ現象によって、銀河団の重力の強さを調べることができ、銀河団の中の銀河の運動を調べること、慣性質量がわかります。このアイデアを使って、銀河団で重力質量と慣性質量がどこまで一致するのかを、実際の33個の銀河団を解析して調べました。解析してみると、20-30%程度の正確さで、重力質量と慣性質量は銀河団内部でも一致していることがわかりました。この結果は、数百万光年という超巨大なスケールでも、私たちの知っている力学理論がよく成り立っていることを示しています。人類の凄さを感じます。

4 暗黒物質で覆われた自己重力系の存在量

「Virial Halo Mass Function in the Planck Cosmology」という題の論文(M. Shirasaki, T. Ishiyama, S. Ando, The Astrophysical Journal, 922, 1, 2021)を書きました。

現在の標準的な理解では、我々が観測できる銀河ができるには、(1)暗黒物質が局所的に密集することで、準平衡状態になる(2)密集した暗黒物質にガスが降り積もる(3)ガスの加熱と冷却反応によって星ができる、というプロセスが必要になります。プロセス(1)でできる暗黒物質の塊は、ダークマターハローと呼ばれ、銀河形成理論の要となっています。我々は、超高解像度数値シミュレーションを複数使うことで、ダークマターハローの存在量を予言できる物理モデルを構築しました。我々の物理モデルは、ダークマターハローの質量が、太陽質量の $10^{8.5}$ から 10^{15} 倍にいたるおよそ6桁の範囲でシミュレーション結果を説明できます。また、我々の物理モデルは、宇宙誕生後7.5億年から137億年の現在まで幅広く適用できます。広く知られている準解析モデルより、我々のモデルは宇宙誕生後8億年という非常に若い宇宙におけるダークマターハローの存在量を20-30%程度正確に予言できることを発見しました。さらに、若い宇宙での銀河の存在量がダークマターハローの存在量を超えてはいけないという制約から、熱速度を持つような暗黒物質の粒子質量について独立な制限を得ました。共同研究者の安藤さん(アムステルダム大学)からお話を頂いた当初、すぐに論文が書けそうだなと思ったのですが、シミュレーションデータが予想以上に大量で、シミュレーション結果を尽く説明できるモデルを見つけるのに大変苦労しました。とある研究者に近況を聞かれたときに、ダークマターハローの存在量のモデルを作っていることを話すと、「small things」と言われたことも強烈に覚えています。他人から見ると些細なことでも、実際にやってみると案外大変であることを学びました。