

受付 ID	15a-16
分野	宇宙

現実的な宇宙大規模構造模擬カタログの高速生成

Rapid generation of realistic mock large-scale structure of the universe

西道 啓博

東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構

1. 研究目的

宇宙において物質がどのように分布しているかという情報は宇宙の進化を探る上で重要な手がかりとなる。宇宙項 Λ と冷たいダークマターCDMを主成分とする Λ CDMモデルが複数の観測を統合的に説明し、モデルパラメタが高精度に決定された今、モデルに内在するこれらの現象論的要素の本質に迫るためには、次世代大規模観測によりモデルの限界を探ることが肝要となる。来たる大統計観測の時代を前に、高精度観測データとの比較に耐えられる理論予言を用意することが大きな課題となっている。本研究では宇宙の物質分布を探るプローブとして弱い重力レンズ効果と熱的スニャエフ=ゼルドビッチ効果 (tSZ 効果) に着目した。前者は背景銀河の像の微小な歪みを統計的に処理することで、手前に広がる物質分布を明らかにする手法で、見えないダークマターを含めたあらゆる物質の宇宙地図を明らかにできる。一方、後者は宇宙背景放射の光子が宇宙に存在する高温ガスに散乱され、宇宙背景放射の温度分布に異方性が生じる現象である。この効果は宇宙の密度ゆらぎの振幅に極めて強く依存することが知られている。この効果自身は極めて微弱であるが、最近の宇宙背景放射の観測の発達により実際に観測することが可能になった。本研究の目的はこれらの効果を数値シミュレーションから精密に予言することである。

2. 研究成果の内容

宇宙大規模構造を正確かつ高速に再現するため、従来のN体シミュレーションと摂動理論を組み合わせた新しい計算方法を開発した。十分に大きいスケールでは揺らぎは小さいとした摂動展開が有効であるため、摂動解からシミュレーション粒子に実効的にかかる力を導き、小スケールのツリー法による力と組み合わせる方法を開発した。摂動解は初期条件空間で一度のみ計算すればよいから、従来のN体シミュレーションに比べて短時間での計算が可能となる。保守的な設定では、2つの力を接続するスケールを20~30メガパーセク程度と長めに設定すると、2点統計量の予言精度約5%を保ったまま15%ほどの時間短縮が可能になることを確認した。逆に例えば巨大な銀河団を適切に解像すれば十分な場合などは接続スケールを数メガパーセクに取れば十分であり、この場合は計算の規模により最大10倍程度まで高速化が可能となることが分か

った。また、tSZ 効果の理論予測には、宇宙におけるガス分布の進化を解く必要があるが、ガス分布は非線形な物理過程によって時間発展するため、極めて取り扱いが困難であった。本研究では重力が支配的で数値シミュレーションを高速に行うことが可能なダークマターのためのシミュレーションを用いて、密度分布と速度分布を組み合わせ、ダークマターのためのシミュレーションからガス分布を再現する手法を開発した。

3. 学際共同利用として実施した意義

大規模な観測に見合ったシミュレーションデータを生成するためには大規模な計算資源が必須であった。宇宙論を目的とした宇宙の大域的構造の計算には、解像度よりも大きな計算領域を確保することの方が重要であり、計算時間の制約よりも物理メモリの制約の方がシビアである。進行中のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の観測データに見合った計算のためには、学際共同利用を通じて利用可能な COMA 32 ノードないし 64 ノードの計算が求められた。そのような大規模並列環境でもそれなりにスケールする計算コードを開発し、本格運用に向けた良い準備をすることができた。

4. 今後の展望

本研究で開発した手法を用いて、大規模シミュレーションから弱い重力レンズ効果及び tSZ 効果の理論テンプレートを作成する。宇宙論パラメータを変化させ、多数回計算を行うことで、宇宙論パラメータの関数として観測量を予言し、最終的には実際の観測データと比較することで、宇宙論的な情報を引き出す研究を行う予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

“Investigating the σ_8 tension by the cross-correlation of tSZ and cosmic shear”, Ken Osato, Masato Shirasaki, and Naoki Yoshida, Theoretical and Observational Progress on Large-scale Structure of the Universe, European Southern Observatory, Munich, 2015/07/20-24

「摂動理論と N 体計算を組み合わせた宇宙の大規模構造高速計算法の開発」、西道啓博、吉田直紀、白崎正人、大里健、第 7 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム -多分野に広がる計算科学の発展と将来像-、筑波大学計算科学研究センター、2015 年 10 月 20 日

「大規模 N 体シミュレーション群を用いた宇宙大規模構造の精密理論モデルの構築」、西道啓博、第 4 回観測的宇宙論ワークショップ、京都大学基礎物理学研究所、2015 年 11 月 18 日

「大規模シミュレーション群に基づく銀河-銀河レンズ効果のエミュレータ」、西道啓博、高田昌広、吉田直紀、大里健、大栗真宗、白崎正人、浜名崇、高橋龍一、日本天文学会 2016 年春季年会、首都大学東京南大沢キャンパス、2016 年 3 月 16 日

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース※
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2101 時間
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		