

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18740164
 研究課題名 (和文) 宇宙論的非線形ダイナミクスとダークエネルギー・ダークマター問題
 研究課題名 (英文) Cosmological nonlinear dynamics and problems of Dark Energy and Dark Matter
 研究代表者
 森田 正亮 (MORITA MASAOKI)
 沖縄工業高等専門学校・総合科学科・准教授
 研究者番号：50390563

研究成果の概要： 遠方の Ia 型超新星と呼ばれる天体の観測から、宇宙にはダークエネルギーと呼ばれる、宇宙膨張を加速させる未知の成分が存在すると考えられている。このダークエネルギーの物理的実体を明らかにするために、宇宙膨張だけでなく非一様性の進化にも着目し、モデルによって非一様性にどのような違いが現れるかを明らかにした。また、非一様性の進化の度合いを表すエントロピーについて考察し、この量が宇宙の進化とともに時間的に増大するかどうかについて調べ、その条件を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	270,000	3,670,000

研究分野：宇宙物理学

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：宇宙物理, 理論天文学

1. 研究開始当初の背景

現在の標準的宇宙論では、宇宙の物質分布は大域的に一様・等方であり、いわゆる FLRW 宇宙モデルによって良く記述されると考えられている。この FLRW 宇宙モデルを特徴づける宇宙パラメータは近年の高精度な宇宙論的観測により、かなり精密に測定されるようになってきた。その結果、宇宙に含まれる物質の大半は、ダークエネルギーと呼ばれる、宇宙膨張を加速させる「真空のエ

ネルギー」に相当するものと、ダークマターと呼ばれる重力でのみ相互作用し光を発しない物質で構成される、とされている。

しかし、これらダークエネルギーもダークマターも、その物理的実体は分かっていない。つまり、FLRW 宇宙モデルでは高々数個の宇宙パラメータでほとんどの観測結果をうまく説明できるものの、宇宙を構成する物質の大半は正体不明のままなのである。さらに、ダークエネルギーとダークマターの密度は

その時間的進化が全く異なるにも関わらず、現在は同じオーダーであるという謎がある。このオーダーの一致問題を通じてダークエネルギー・ダークマターの物理的実体を解明することが、現在の宇宙論の最も重要な研究テーマの一つであると言える。

以上の議論は、宇宙の大域的な一様・等方性という仮定に基づいているが、現実の宇宙は様々なスケールでの非一様性を有している。この非一様性を考慮すると問題の状況は大きく変わる可能性があり、その効果については宇宙論研究者の間で様々な議論がある。あるいは、非一様性の効果を差し引いてもなおダークエネルギー・ダークマターは存在する、という可能性もあるが、その場合、非一様性の進化やパターンがダークエネルギー・ダークマターに関する何らかの情報をもたらしていると考えられる。このような背景から、宇宙の非一様性とダークエネルギー・ダークマター問題の関連について取り組むに至った。

2. 研究の目的

本研究では、宇宙のダークエネルギー・ダークマターの物理的実体やオーダーの一致問題を解明する上で、宇宙の非一様構造の線形および非線形進化がいかに寄与するかを考察する。標準的宇宙論では宇宙の大域的な一様・等方性を仮定し、その結果ダークエネルギー・ダークマターの存在が示唆されるが、現実の宇宙は銀河団もしくはそれ以上のスケールに至るまで非一様である。仮に大域的には一様だとしても、小さいスケールの非一様構造をならして平均化した宇宙が FLRW 宇宙モデルと一致するとは限らない。したがって、現実的な非一様宇宙において測定された宇宙パラメータに相当する物理量は一般に FLRW 宇宙モデルのそれとは異なると考えられる。その差はどの程度なのか、さらにはダークエネルギー・ダークマターの物理的実体やオーダーの一致を非一様性に求めることは可能なかどうかを解明することが当初の目的である。

3. 研究の方法

本研究の特色の一つとして、重力の非線形性を宇宙論的状况において取り扱うことが挙げられる。重力に対する非線形アプローチはこれまで多くの人によって成されてきたが、それぞれに一長一短がある。例えば、その一つとして行われてきた一様・等方宇宙モデルの摂動論では、摂動が時間的に成長し、

摂動が摂動ではなくなってしまう、適切ではない場合がある。線形摂動を含め、これら宇宙の非一様性の進化に対するアプローチの整理・検討を行った。

また、重力の非局所性を採り入れるという目標のために、過去になされている重力を局所的に扱ったアプローチについても検討し、それらのアプローチを基に重力の非局所性を採り入れるための方法を考察した。

さらに、ダークエネルギーとダークマターを統一的に記述できるボーズ・アインシュタイン凝縮に基づいた宇宙モデルに関する研究も継続し、このモデルに関してこれまでに明らかになっている問題点の検討とモデルの改善を試みた。

この種の研究は、東工大の細谷暁夫氏のグループ、お茶の水女子大の森川雅博氏のグループなど東京近郊の研究グループ、および英国ポーツマス大の Maartens 氏のグループ、フランス・リヨン大の Buchert 氏のグループおよびイタリア・パドバ大の Matarrese 氏のグループなど、欧州のグループで精力的に行われている。このため、夏季休業期間等を利用して主に東京近郊と欧州に数週間から一ヶ月程度滞在し、集中的に議論・意見交換を行った。また、上記テーマに関連した国際会議やセミナーに参加し、それらを通じて議論・意見交換・情報収集を行った。

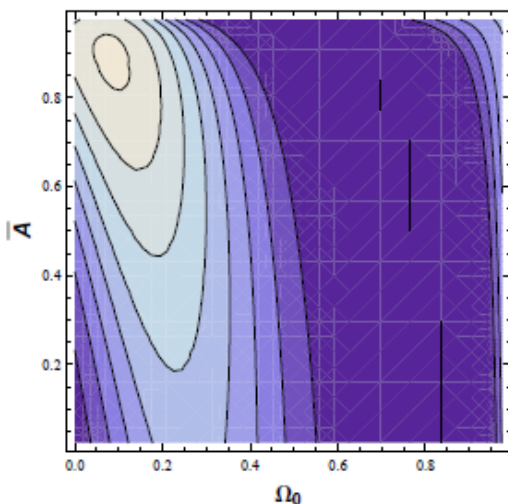
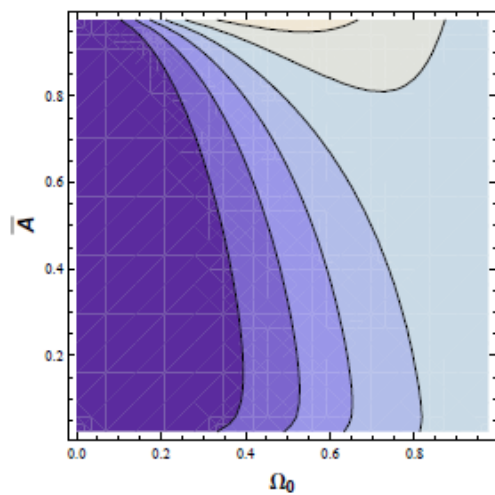
4. 研究成果

本研究の目的は、宇宙のダークエネルギー・ダークマターの物理的実体やオーダーの一致問題を解明する上で、宇宙の非一様構造の非線形進化がいかに寄与するか、を定量的に考察することにある。そのために、まずある種のダークエネルギーモデルにおける非一様性の線形進化について考察した。

宇宙のダークエネルギーに関して、現在までに非常にたくさんの理論上可能なモデルが提案されている。これらの多くは、宇宙の一様な成分のみを考え、この一様成分による宇宙膨張が観測的に無矛盾であるように構築されているが、その一方、現実の宇宙は大規模構造などの非一様性を有している。仮に、あるモデルの一様成分のダイナミクスが観測的に無矛盾であったとしても、非一様性においても無矛盾であるとは限らない。そこで、ダークエネルギーモデルとして、スカラー場によるものと流体によるものと考え、これらが同等な宇宙膨張を与える場合に、非一様性の線形進化にどのような違いが現れるかを考察した。その結果、その違いは主に非一

様性が伝播する際の音速に相当する部分に現れること、また宇宙膨張による摩擦項等にも微妙な違いが現れることが示された。したがって大規模構造などの非一様性の観測から、ダークエネルギーのモデルをより絞り込める可能性が示唆される。

特に、Chaplygin gas と呼ばれるダークエネルギーを流体的に記述するモデルについて考察し、流体的な記述では大規模構造の観測から強い制限を受けてしまうが、同様の宇宙膨張を与えるスカラー場による記述では、様相が標準宇宙モデルに近づき、さほど制限を受けないことが分かった。以下に、その二次元的な確率分布を示す。



上段: Chaplygin gas モデルを流体的に記述した場合の確率分布

下段: Chaplygin gas モデルをスカラー場により記述した場合の確率分布

図の縦軸: Chaplygin gas の音速に相当するパラメータ

図の横軸: ダークマターの量を表すパラメータ

これらの点に関して、お茶の水女子大学の森川雅博教授、フランス・モンペリエ第二大学の David Polarski 教授、イタリア・ローマ天文台の Luca Amendola 教授、フランス・パリ天体物理学研究所 (IAP) の Julio Fabris 教授と議論・意見交換を行った。また、これらの研究成果を、2006年9月上旬にスペイン・マヨルカ島パルマにおいて開催された Spanish Relativity Meeting および2006年10月下旬に米国ハワイ州ホノルルにおいて開催された太平洋地区合同物理学会において口頭発表した。また、2008年にはその後の進展についてフランス・IAP とスペイン・バスク大学においてセミナー講演した。

次に、宇宙の非一様性の進化を定量的に表す上で有用な「相対情報エントロピー」について、主にその時間発展について考察した。宇宙の非一様性を定量的に調べるためには、非一様性の度合いを表すパラメータが必要である。そこで、情報理論においてよく用いられる Kullback-Leibler 情報量をヒントにして、宇宙論における「相対情報エントロピー」を提案した。この量は性質上、時間的に増大することが期待されるが、そのことは必ずしも明らかではないため、いくつかの例示計算により、その時間的増大性を示した。また、一時的にエントロピーが減少する場合もあるが、それは稀な条件の下でのみ起こり、増大が一般的であることを示した。

これらの点に関して、東京工業大学の細谷暁夫教授、フランス・リヨン第一大学の Thomas Buchert 教授と議論・意見交換を行った。また、東京工業大学および琉球大学においてセミナー講演した。以上の成果を現在論文にまとめており、学術雑誌への投稿を準備中である。また、2009年6月にパリで開催予定の国際会議「Invisible Universe」において発表される予定である。

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1件)

① C.E.M. Batista, J.C. Fabris, M. Morita, Power spectrum in the Chaplygin gas model: tachyonic, fluid and scalar field representations, *General Relativity and Gravitation*, 掲載決定・印刷中, 査読有

〔学会発表〕（計2件）

① Masaaki Morita, Exploring dark energy models with perturbation dynamics, Joint Meeting of the Pacific Region Particle Physics Communities (Honolulu, Hawaii) 2006年10月30日

② Masaaki Morita, Exploring dark energy models with perturbation dynamics, XXIXth Spanish Relativity Meeting E. R. E. 2006 (Palma de Mallorca, Spain) 2006年9月6日

〔その他〕

ホームページ等

雑誌論文①を閲覧できる web ページ

<http://arxiv.org/abs/0904.3949>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 正亮 (MORITA MASA AKI)

沖縄工業高等専門学校・総合科学科・准教授

研究者番号： 50390563