

平成 22年 5月 1日現在

研究種目： 基盤研究(C)  
 研究期間： 2007 ～ 2009  
 課題番号： 19540279  
 研究課題名 (和文) 非一様宇宙モデルを用いた宇宙論シナリオの研究  
 研究課題名 (英文) Cosmological scenario based on inhomogeneous models

研究代表者  
 南部 保貞 ( NAMBU YASUSADA )  
 名古屋大学・大学院理学研究科・准教授  
 研究者番号： 40212112

## 研究成果の概要 (和文)：

非一様ボイドモデルはダークエネルギーなしで宇宙の加速膨張を説明しうる。標準的なボイドモデルの拡張として、非等方性を持つ状況を考え距離赤方偏移関係における角度方向平均を行なった。光学スカラーに対する発展方程式 (距離方程式) に対して角度平均を実行した結果、得られた方程式はLTB時空中での距離方程式に対していわゆるDyerRoerder的な拡張を行なったものと一致した。得られた方程式を数値的に解くことで、Type Ia超新星の観測データと比較し、非等方性の存在はより小さいサイズのボイドとより大きい値の物質の密度パラメーターを許しうる事が明らかとなった。

## 研究成果の概要 (英文)：

Void models provide a possible explanation of the “accelerated expansion” of the Universe without dark energy. To make the conventional void models more realistic, we allow the void, an under-dense region around us, to be anisotropic and consider an average of the distance-redshift relations over the solid angle subtended at the observer. We first show that after taking the average of a form of the optical scalar equation (distance equation), the effective distance equation we obtain coincides with the one for the Lemaître-Tolman-Bondi universe with a Dyer-Roeder-like extension. We then numerically solve the equation to compare with observational data of Type Ia supernovae. We find that anisotropy allows smaller size of void and larger  $\Omega_m$ .

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：非一様宇宙, 平均化ボイド, 光度距離, ダークエネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

近年の観測技術の向上によるデータの蓄積により、我々の宇宙の姿が明らかになりつつある。現在の宇宙論では宇宙全体を一様等方なフリードマン宇宙モデルで表現する。最近の観測結果は我々の宇宙は物質成分が3割、正体不明の暗黒エネルギー (dark energy) と呼ばれる成分が7割を占める空間的に平坦なフリードマン宇宙モデルに一致することを示している。暗黒エネルギーは負の圧力を持つエネルギー成分であり、その存在は現在の宇宙が加速膨張しているという驚くべき結論をもたらす。しかしながら、その起源や正体は現時点では明らかではなく、多くの研究者がその謎の解明に取り組んでいる。

主流な立場としては、暗黒エネルギーは素粒子論的な起源であり、その正体は真空のエネルギー(宇宙項)や何らかのエキゾチックな場であるとするものである。この立場では、暗黒エネルギーは現象論的な場として導入され、その本当の正体の解明は統一理論などの素粒子論の進展を待たなければならない。それに対して、保守的ではあるが我々がすでに知っている物理法則のみを用いてこの問題を解明しようという立場がある。その1つの試みが宇宙の非一様性を通じて暗黒エネルギー及び宇宙の加速膨張を説明しようとするものである。我々の宇宙には銀河団、超銀河団などの構造があり、厳密な意味では一様等方宇宙から大きくずれている。これらの構造を空間的に平均化した結果として、宇宙全体は一様等方なフリードマン宇宙モデルで記述することができる。ところが重力の基礎方程式であるアインシュタイン方程式の持つ非線形性のため、この平均化操作を通じて非一様性に起因する影響が、一様等方宇宙の進化を表すフリードマン方程式の中に現れる(非一様性による反作用の効果)。この反作用の影響が暗黒エネルギーと同じように宇宙を加速させる効果をもたらすならば、宇宙の非一様性を用いた暗黒エネルギーの説明が可能であると結論づけられる。

## 2. 研究の目的

本研究課題は、以上のアイデアを進展さ

せてそれに基づく新しい宇宙論のシナリオを構築することを目的とし、以下のような問題点を中心に研究を遂行してゆく計画であった。

- アインシュタイン方程式の球対称厳密解であるTolman-Bondi時空を用いて、平均化された宇宙が加速膨張する条件、一般性を定量的に解析する。
- 摂動論的に基づく反作用の解析において加速膨張の兆候が得られなかった理由を厳密解と比較しながら解析する。そして非一様性の非摂動的効果がどのように宇宙の加速膨張に関与しているかを明らかにする。
- 平均化された場合に加速膨張を示す非一様宇宙の上で“距離”の測定を行い、非一様時空での観測量を具体的に構成する。そしてそれらの平均量と実際の観測データとの対応関係を考察することで、平均化された宇宙が加速膨張していることと、宇宙論的な観測量との関係を明らかにする。
- 本研究課題で用いる宇宙の加速膨張のメカニズムが、構造形成のシナリオと両立するかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

非一様宇宙における平均化ならびに反作用問題の具体的な解析を行なう上で、まず、球対称なTolman-Bondi時空上での光の伝播の構造を詳しく解析した(M. Tanimoto and Y. Nambu 2007)。これはFRWにおける距離と非一様宇宙における距離の関係を具体的に対応づけて把握するためである。非一様な宇宙モデルにおいても、観測者の十分近傍では一様等方なFRW宇宙における距離にfitさせることが必ずできる。観測者の場所における計量の正則性を考慮することで、非一様性の効果がFRWの距離に対するどのような補正の形で取入れられかを解析する。

つぎに球対称からのずれ(非等方性)が存在する場合に、その影響が光度距離にどのような影響を与えるかを理解するために、一般的な光の伝播方程式に対して角度方向の平均化操作を行い、非等方性の

効果が球対称時空での光の伝播方程式中  
どのような形で取り込まれるかを考察した  
(M. Tanimoto, Y. Nambu and K. Iwata,  
2009).

#### 4. 研究成果

Tolman-Bondi時空中での光度距離を赤方  
偏移のべき展開として3次までの精度で求  
めた。その結果、原点における正則性を要  
求した場合には、展開式の2次までは、一  
様等方なFRW宇宙での距離と完全に一致  
することが明らかとなった。非一様性の効  
果は展開の3次から現れる。また原点にお  
ける正則性を要求しない場合には、光度距  
離の振舞いに見かけの加速膨張が現れるこ  
とを確認した。

非等方性を平均操作によって取り込む解  
析に関しては、得られた光度距離に対する  
微分方程式中にて非等方性の効果は有効的  
な物質密度の値をリスケールする形で取り  
込まれることが明らかとなった。これは形  
式的には非一様時空における重力レンズ効  
果の解析で用いられてきたDyer-Roeder距  
離の従う微分方程式と同じである。つま  
り、非一様性あるいは非等方性の距離に対  
する効果は、物質密度をスケールする自由  
度の形に繰り込むことができる。また、得  
られた距離方程式をTolman-Bondi時空中  
で具体的に数値積分することにより、ボイ  
ド的な非一様性の形状依存性を解析し、観  
測データ(光度距離, CMB)と矛盾せず許  
されうる非等方性の大きさがどの程度にな  
るかを評価した。この解析の問題点として  
は距離方程式の導出にあたって、shearの  
効果が無視できるという仮定を行なってい  
る点である。十分大きなスケールにおいて  
はこの仮定は妥当であると考えられるが、  
基礎方程式を用いた議論を行なって、この  
仮定を正当化するのが残されている課題で  
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2件)

① K.Iwata , Y.Nambu and M.Tanimoto,  
“The distance-redshift relation for the  
inhomogeneous and anisotropic  
universe”, Proc. 18th workshop of  
general relativity and gravitation (2008),  
p241-244

② M.Tanimoto and Y.Nambu,  
“Luminosity distance-redshift relation for  
the LTB solution near the center”, Class.  
Quantum Grav. 24 (2007)p3843-3857  
査読有

〔学会発表〕 (計2件)

① K.Iwata , Y.Nambu and M.Tanimoto,  
“ボイドモデルにおける非等方性の効果”,日  
本物理学会, 2009年3月30日 (立教大学)

② K.Iwata , Y.Nambu and M.Tanimoto,  
“The distance-redshift relation for the  
inhomogeneous and anisotropic  
universe”,18th workshop of general  
relativity and gravitation, 2007年11月17  
日 (広島大学)

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

[プレプリント]

M. Tanimoto and Y. Nambu and K. Iwata  
“The role of anisotropy in the void models  
without dark energy”  
arXiv:0906.4857 [astro-ph.CO] (2009)

[他大学でのセミナー]

東京工業大学宇宙理論グループセミナー  
“The role of anisotropy in the void models  
without dark energy”  
2009年5月12日  
講演者：南部保貞

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

南部 保貞 (NAMBU YASUSADA )  
名古屋大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：40212112

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：