

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540255

研究課題名（和文） 宇宙に於けるエネルギー収支の型録化と相互作用の試験

研究課題名（英文） The Cosmic Energy Inventory: Construction and Consistency Investigations

研究代表者

福来 正孝 (FUKUGITA MASATAKA)

東京大学・宇宙線研究所・教授

研究者番号：40100820

研究成果の概要（和文）：当課題の下に爲された研究の中最も意味の大きいものの一は、銀河の質量分布は銀河の重力束縛半径内に閉じてゐるのでは無く限りなく遠く迄、即ち隣の銀河の裾野迄広がってゐることを、大規模銀河サンプルに含まれる弱重力レンズ効果より導かれる面質量密度の分布を、観測データで束縛された数値シミュレーションを用ひて成分分解することによって示したことである。この解析により銀河の重力束縛内に存する物質は 25%に過ぎず、残りは銀河間空間に存し、宇宙の物質分布は銀河を中心とする組織だった分布を持って宇宙全體に隙間無く広がってをり、その頂点を銀河と呼んでゐるのであると云ふ事を示した。もう一つの重要な結果は宇宙塵は従来考えられてゐた様に銀河平面内のみ分布するのではなく、銀河平面内の宇宙塵と等質量が銀河ハロー、更にハローを越へて銀河間空間に広がってゐる事をクェーサーの明るさと銀河の相関を大規模サンプルのデータを解析する事により示した。更に銀河系外の宇宙塵と銀河円盤内の宇宙塵の和は銀河内の星生成に伴って銀河形成以後現在に至る迄に生成されたであろう宇宙塵の総量と矛盾しない事が示された。即、銀河内の星に因り生成された宇宙塵は銀河外に輸送され、宇宙年齢と同じオーダーの有効時間の間存在し続ける事になる。

此の結果は宇宙エネルギー目録の矛盾点の探求の結果であり、目録の項目間に存在してゐた矛盾を解消する。

研究成果の概要（英文）：The two noteworthy findings, among others, are that (i) the mass of galaxies is distributed far away to the distance beyond the gravitational binding radius (virial radius), and (ii) a significant amount of dust is present outside galaxies, i. e., dust produced in stars in galaxies is blown out even to the distance beyond the galactic haloes. These mean that the universe is not empty anywhere.

Weak gravitational lensing, when applied to large galaxy-quasar samples, leads us to estimate the column mass density. When plotted as a function of the distance from galaxies, it gives us mass distribution of galaxies as a function of the distance with the aid of N body simulations (dark matter only) which are constrained by the observed mass distribution. The result is that the mass associated with galaxies is extended to the middle to the neighbouring galaxy, far beyond the virial radius, and the mass contained in the virial radius is only 25% of the total. This result applies both dark matter that is the main component of the galaxy and baryons. This also explains the discrepancy between the two mass density estimates, one using the luminosity density times the average mass-to-light ratio of galaxies and the other the global estimate using such as the cosmic

microwave background fluctuation.

The other conspicuous result is that dust is present not only in HI regions of galactic discs but also outside the galaxy, even beyond the virial radius, while dust is supposed to be produced by stars in galactic discs. The integrated amount of dust present outside galactic discs is as much as, or even more than, that in galactic discs. When added both component the amount of dust in the universe becomes consistent with the accumulated amount expected from the star formation history over the cosmic time. The extragalactic component accounts for missing dust in the cosmic energy inventory and it now closes.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
年度			
年度			
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：宇宙物理（理論）、宇宙論

#### 1. 研究開始当初の背景

宇宙の大局的様相に関しては既に正しいと考へられる理解を得てゐる。云はば外枠に対する理解は得た譯であるが、これから問題にされるべきなのは銀河他の宇宙物質の存在形態と発展の様相である。此點に関しては萬人が同意するような理論がある譯ではなく、多くの人が畧正しいであらうと考へてゐる見方・理論より、特定の人が提唱した丈でありその実際の正しさは全く不分明なもの迄が混在してゐる状況である。

此發展形態を理解すると云ふ目的を以て(2)項に示すプロジェクトを2002年頃より始め初期的な結果は2004年 Fukugita & Peebles, *The Cosmic Energy Inventory* として發表されてゐる。但し茲に提出したエネルギー目録では各所に矛盾、缺落が明らかであり、これは此方法の有効性を示すものであると共に更なる検討を加へる必要がある事は最初の段階で既に明らかであった。

#### 2. 研究の目的

宇宙の中味の様相・發展形態を我々が何の程度理解してゐるかに就ての判断基準を得る事を第一義の目的として、宇宙の發展を制御する上で最も重要な因子であると思はれるエネルギーに関して、それが宇宙空間の如何様な場所に如何なる形で分布してゐるかに就いて、云はばエネルギーの「戸籍計帳」

を作る事を目的とする。更にこの戸籍計帳に登録された各項目間の整合性を検定する事により我々の理解の何處に見落としがあるのか、そして天體物理現象の理解に缺落があるのかを明らかにする事を目指す。若し矛盾、見落とし點が修復出来れば大いに結構であると云へる。

#### 3. 研究の方法

各項目に關與する觀測、解析を精査し妥當性を検査する事、理論に關しても詳細を必要とするものは出来る限り避け大局的無矛盾性を検討する事である。指導原理となるのは「部分の和=全體」になってゐる事の検討でありエネルギー保存則を金科玉條とする。

この研究で最も重要なデータベースは Sloan Digital Sky Survey より導出された結果であり、プロジェクトに依って導出された型録を用ひる他に問題に應じて特殊な見方からのデータ解析を行ふ。但し必要に應じて他のサーヴェイの結果も援用すると共に新に觀測を行ったものもある。

#### 4. 研究成果

本研究で知る事が出来た知見の内最も重要なものは(1)銀河の質量は銀河の重力束縛半径内に閉じてゐるのではなく限りなく遠く迄、即ち隣の銀河の裾野迄広がってゐる

事、及び(2)宇宙塵は銀河円盤内にのみ分布するのではなく銀河のハロー、更に銀河ハローの重力束縛半徑を大きく越えて広がっている事、の二点である。これは孰れも宇宙のエネルギー目録が矛盾なく書けると云ふ要請に導かれ観測解析データを検討した結果、より精密な再検討の必要性が浮上し、大規模データを用いた解析の結果、明らかにされた知見であり、従來の考へ方とは全く異なる結果である。此結果は銀河は宇宙の真空中に置かれた孤立系なのではなく、宇宙は物質で満ちてをり真空の空間と云うものはどこにも存在せず、銀河はその周囲の物質と常に關係を保っている事を意味してゐる。

銀河の近傍を通過する光は銀河の重力の影響を受け増幅効果を受け増幅量は通過光路に存在する物質密度に比例する。この効果(弱重力レンズ)は元來微少な量であり特に銀河中心より遠く離れた距離に於ては物質密度が小さい故に効果は極めて小さいがSDSS観測(Abazajian et al, 2009論文[15]、Schneider et al, 2010[論文7])にあつては測光を高い精度で行つてゐる爲(Fukugita et al, 2011[論文4])に多くの銀河を重合させる事により誤差を統計的に小さくする事が出来、隣同士の銀河の中間点を越へる距離に到る迄平均質量密度を算出することが可能である。此處では2000萬個の銀河影像を平均する事により10Mpcの距離(平均銀河間距離の約2倍)に至る迄の質量密度を精度よく求めてゐる(Ménard, Scranton, Fukugita, Richards, 2010[論文12])。

斯様にして得られた質量密度は一ケの銀河丈による輪郭ではなく複数個の銀河の裾野の寄與を含んでゐる。この質量密度輪郭を各銀河成分に分解する爲にその信頼度が既に確立してをり、且つ實際のデータによって束縛を受けてゐる、バリオンを扱はなシミュレーションを利用する。此結果一ケの銀河の質量輪郭が重力束縛半徑を越えて滑らかに延びてゐる事が示されると共に重力束縛半徑内に入っている物質量は總量の1/4に過ぎない事が明らかとなった(Masaki, Fukugita, Yoshida, 2012[論文1])。

従來宇宙の質量密度を求める方法として(光學密度)×(質量光度比)と云ふ見積りが爲されてゐたがこの見積りは宇宙背景放射のゆらぎより求めた大局的質量密度の40%に過ぎない。上で求められた質量輪郭に観測條件を正確に考慮する事により60%の缺損が示され、質量目録に現はれてゐた矛盾は解消する。

此結果は暗黒物質丈でなくバリオンに対しても成立する事が容易に予想され「missing baryon」の問題への有効な手掛りとなる。Fukugita-Peebles(2006)の仕事で解決に苦勞した困難は自働的に解消する事が

見込まれる。

もう一つの問題は「missing dust」である。宇宙エネルギー目録では「観測された」宇宙塵の量は宇宙初期から現在に至る迄に生成された筈の宇宙塵量の1/3乃至1/4に過ぎない。一つの可能性として生成された宇宙塵が観測が容易でない場所——例へば銀河外空間——に輸送されてゐる云ふ場合が考えられる。記者は銀河近傍を通過する光が波長に依存する減光を受けてゐる可能性を調べたが、データは確かに波長依存性を示す減光を示し其波長依存性は宇宙塵に因る散亂を示してゐる事を示した。此は銀河内で星によって作られた宇宙塵が銀河系外に飛ばされてゐる事を意味する。(Ménard et al, 2010[論文13])

観測された銀河外の宇宙塵密度の輪郭を用ひて銀河系外に存在が予想された宇宙塵の總量を見積ると銀河円盤内で観測されてゐる宇宙塵量の2倍となり、兩者を合はせると星によって存在が予期される量と丁度合致し茲でも宇宙エネルギー目録に現れたmissing dust問題は解消する(Fukugita, 2011, arXiv 1103.4191(2011))。

此處では最も有意と考へられる二つの成果を述べてきたが、此等の成果はSDSSの測光精度の検定(Doi et al, 2010[論文8]、Fukugita et al, 2011[論文16])、I型超新星頻度の測定(Yasuda & Fukugita, 2011[論文11]、Graur et al, 2010[論文2])、銀河の円盤・バルヂ分解による各成分毎の質量密度の算出(Oohama et al, 2009[論文13])他に支へられてゐる事を記録しておく。

## 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21件)

1. S. Masaki, M. Fukugita and N. Yoshida, Matter distribution around galaxies, 査読有, DOI:10.1088/0004-637X/746/1/38 Astrophys. J., 746, 38 (2012)

2. O. Graur, D. Poznanski, D. Maoz, N. Yasuda, T. Totani, M. Fukugita, A. V. Filippenko, R. J. Foley, J. M. Silverman, A. Gal-Yam, A. Horesh and B. T. Januzzi, Supernovae in the Subaru Deep Field: the rate and delay-time distribution of Type Ia supernovae out to redshift 2, 査読有, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19287.x, Mon. Not. Roy. astr. Soc., 417, 916 (2011)

3. K. Ichikawa and M. Fukugita Microwave emission from the

- Edgeworth-Kuiper Belt and the Asteroid Belt constrained from WMAP, 査読有, DOI: 10.1088/0004-637X/736/2/122 *Astrophys. J.*, 736, 122 (2011)
4. M. Fukugita, N. Yasuda, M. Doi, J. E. Gunn and D. G. York, Characterisation of Sloan Digital Sky Survey stellar photometry, 査読有, DOI:10.1088/0004-6256/141/2/47 *Astron. J.*, 141, 47 (2011)
5. N. Inada, M. Oguri, M. S. Shin, I. Kayo, M. A. Strauss, J. F. Hannawi, T. Morokuma, R. H. Becker, R. L. White, C. S. Kochanek, M. D. Gregg, K. Chiu, D. E. Johnston, A. Clocchiatti, G. T. Richards, D. P. Schneider, J. A. Frieman, M. Fukugita, R. J. Gott, P. B. Hall, D. G. York, F. J. Castander, N. A. Bahcall, The Sloan Digital Sky Survey quasar lens search. IV: Statistical lens sample from the fifth data release, 査読有, DOI:10.1088/0004-6256/140/2/403 *Astron. J.*, 140, 403 (2010)
6. N. A. Bond et al. The Milky Way tomography with SDSS: III. Stellar kinematics, 査読有, DOI:10.1088/0004-637X/716/1/1 *Astrophys. J.*, 716, 1 (2010)
7. D. P. Schneider et al. The Sloan Digital Sky Survey quasar catalog V. Seventh data release, 査読有, DOI:10.1088/0004-6256/139/6/2360 *Astron. J.*, 139, 2360 (2010)
8. M. Doi, M. Tanaka, M. Fukugita, J. E. Gunn, N. Yasuda, Željko Ivezić, J. Brinkmann, E. de Haars, S. J. Kleinman, J. Krzesinski and R. French Leger, Photometric response functions of the Sloan Digital Sky Survey imager, 査読有, DOI:10.1088/0004-6256/139/4/1628 *Astron. J.*, 139, 1628 (2010)
9. W. J. Percival, B. A. Reid, D. J. Eisenstein, N. A. Bahcall, T. Budavari, J. A. Frieman, M. Fukugita, J. E. Gunn, Željko Ivezić, G. R. Knapp, R. G. Kron, J. Loveday, R. H. Lupton, T. A. McKay, A. Meiksin, R. C. Nichol, A. C. Pope, D. J. Schlegel, D. P. Schneider, D. N. Spergel, C. Stoughton, M. A. Strauss, A. S. Szalay, M. Tegmark, M. S. Vogeley, D. H. Weinberg, D. G. York, I. Zehavi, Baryon acoustic oscillation in the Sloan Digital Sky Survey data release 7 galaxy sample, 査読有, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2009.15812.x *Mon. Not. Roy. astr. Soc.*, 401, 2148 (2010)
10. B. A. Reid, W. J. Percival, D. J. Eisenstein, L. Verde, D. N. Spergel, R. A. Skibba, N. A. Bahcall, T. Budavari, J. A. Frieman, M. Fukugita, J. R. Gott, J. E. Gunn, Željko Ivezić, G. R. Knapp, R. G. Kron, R. H. Lupton, T. A. McKay, A. Meiksin, R. C. Nichol, A. C. Pope, D. J. Schlegel, D. P. Schneider, C. Stoughton, M. A. Strauss, A. S. Szalay, M. Tegmark, M. S. Vogeley, D. H. Weinberg, D. G. York, I. Zehavi, Cosmological constraints from the clustering of the Sloan Digital Sky Survey DR 7 luminous red galaxies, 査読有, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.16276.x *Mon. Not. Roy. astr. Soc.*, 404, 60 (2010)
11. N. Yasuda and M. Fukugita, Luminosity functions of Type Ia supernovae and their host galaxies from the Sloan Digital Sky Survey, 査読有, DOI: 10.1088/0004-6256/139/1/39 *Astron. J.*, 139, 39 (2010)
12. B. Ménard, R. Scranton, M. Fukugita and G. Richards, Measuring the galaxy-mass and galaxy-dust correlations through magnification and reddening, 査読有, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.16486.x *Mon. Not. Roy. astr. Soc.*, 405, 1025 (2010).
13. N. Oohama, S. Okamura, M. Fukugita, N. Yasuda and O. Nakamura, Properties of disks and bulges of spiral and lenticular galaxies in the Sloan Digital Sky Survey, 査読有, DOI: 10.1088/0004-637X/705/1/245 *Astrophys. J.*, 705, 245 (2009)
14. K. Bundy, M. Fukugita, R. S. Ellis, T. A. Targett, S. Belli and T. Kodama, The greater impact of mergers on the growth of massive galaxies: implications for mass assembly and evolution since  $z \sim 1$ , 査読有, DOI: 10.1088/0004-637X/697/2/1369 *Astrophys. J.*, 697, 1369 (2009)
15. K. N. Abazajian et al. The seventh data release of the Sloan

Digital Sky Survey, 査読有,  
DOI: 10.1088/0067-0049/182/2/543  
Astrophys. J. Suppl., 182, 543 (2009).

16. E. S. Sheldon, D. E. Johnston, R. Scranton, B. P. Koester, T. A. McKay, H. Oyaizu, C. Cunha, M. Lima, H. Lin, J. A. Frieman, R. H. Wechsler, J. Annis, R. Mandelbaum and N. A. Bahcall, M. Fukugita, Cross-correlation weak lensing of SDSS galaxy clusters I: measurements, 査読有,  
DOI: 10.1088/0004-637X/703/2/2217  
Astrophys. J., 703, 2217 (2009)

17. R. J. Cool, D. J. Eisenstein, X. Fan, M. Fukugita, L. Jiang, C. Maraston, A. Meiksin, D. P. Schneider, D. A. Wake, Luminosity function constraints on the evolution of massive red galaxies since  $z \sim 0.9$ , 査読有, DOI: 10.1086/589642  
Astrophys. J., 682, 919 (2008)

18. Željko Ivezić, et al.  
The Milky Way tomography with SDSS: II. Stellar metallicity, 査読有,  
DOI: 10.1086/589678  
Astrophys. J., 684, 287 (2008)

19. J. K. Adelman-McCarthy et al.  
The sixth data release of the Sloan Digital Sky Survey, 査読有, DOI:10.1086/524984  
Astrophys. J. Supple., 175, 297 (2008).

20. M. Oguri et al.,  
The Sloan Digital Sky Survey quasar lens search. III: Constraints on dark energy from the third data release quasar lens catalog, 査読有,  
DOI: 10.1088/0004-6256/135/2/512  
Astron. J., 135, 512 (2008)

21. N. Inada et al.,  
The Sloan Digital Sky Survey quasar lens search. II: Statistical lens sample from the third data release, 査読有, DOI: 10.1088/0004-6256/135/2/496  
Astron. J., 135, 496 (2008)

[学会発表] (計 1 件)

M. Fukugita,  
Effects of massive neutrinos on the structure formation of the universe,  
International Workshop on Nuclear Physics, 31st course, 16-24, Sep, 2009, Erice, Italy.

内容を下記論文に掲載

DOI: 10.1016/j.pnpnp.2009.12.048

Prog. in Particle and Nucl. Phys., 64, 360 (2010)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福来 正孝 (FUKUGITA MASATAKA)

東京大学・宇宙線研究所・教授

研究者番号: 40100820

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: