

# GCOE 国際会議 報告書

2009年 5月 28日

文責：氏名 田中貴浩

開催会議名：Non-Linear Cosmological Perturbation

開催日時：自 2009年 4月 13日 ～ 至 2009年 4月 24日

開催場所：京都大学基礎物理学研究所

主催：GCOE と京都大学基礎物理学研究所

後援：英国 Royal Society

実行委員会メンバー：

小山和哉(ポーツマス大、STFC/Academic Fellow)

高橋史宜(IPMU、助教)

向山信治(IPMU、准教授)

佐々木節(京大基研、教授)

田中貴浩(京大基研、教授)

国別出席者数 (計 26名)：

英国(5名) フランス(1名) フィンランド(1名) コロンビア(1名)

カナダ(1名) 米国(1名) 日本(16名)

## 会議の意義、内容、成果等の概要

現在、マイクロ波宇宙背景放射やバリオン振動などの宇宙論的観測が進んでおり、今後も精密宇宙論の益々の進展が期待されている。これらの観測は宇宙の構造形成の種となった初期密度ゆらぎを観測するものであり、その密度ゆらぎは宇宙初期の加速膨張期(インフレーション)中にインフレーションを起こす場の量子ゆらぎを起源として生成されたものであると考えられている。したがって、これらの精密宇宙論の発展はインフレーション期やそれ以降の宇宙論のシナリオを絞り込む上で重要な情報をもたらす。これまで、一般的には宇宙の大域的密度ゆらぎの進化を議論する宇宙論的摂動論においては線形理論で十分であると考えられていた。しかし、観測の進展によってインフレーション中の非線形ダイナミクスをもゆらぎの統計性に含まれる非ガウス性として検出できる可能性が広がってきている。実際、非ガウス性を既に観測したかもしれないという主張もあり、WMAP衛星チームの公式見解でも $2\sigma$ レベルでようやくガウスのなゆらぎの仮定と矛盾しないという状況である。非ガウス性の観測は、宇宙背景放射から様々なインフレーションのモデルを区別する重要な情報のひとつとして注目されている。インフレーションにおける非ガウス性の生成の問題について、現状はいくつかのモデルに対する部分的な計算がおこなわれている段階で、今なお多くの問題が未解決である。非ガウス性はインフレーション中の非線形相互作用の結果として生じるわけだが、線形摂動の問題に比べて比較にならないほど複雑であり、さらに、重力系特有の問題も加わる。また、バリオン振動とよばれる物質が重力的に収縮しようとする力と輻射圧が拮抗して振動を起こすようすが、宇宙背景放射のみならず、物質密度のゆらぎとしても観測されている。このような観測を理論と比較する局面においても非線形のゆらぎの成長を理解することが必要とされている。また、宇宙の原初磁場の生成という問題に対しても、高次の摂動から磁場をつくるという議論や原初磁場の存在自体を重力波のような磁場以外の別の観測と結びつけようというような議論もすすんでおり、このような文脈においても高次の宇宙論的摂動を考えることの重要性が近年注目を集めている。その意味で、宇宙論的摂動論の非線形効果に関する研究が現在急速に進展しつつある。

このような時期に関心を持つ研究者が密に意見を交換する機会を作ることができればと考え本国際モレキュール型研究会は企画された。小山和哉氏の賛同も得てポーツマスからの参加者の渡航費、および一部滞在費には Royal Society からの補助金を充当した。会議は、一日に最大2つ程度のセミナーを企画し、フリーな議論をおこなう coffee break を一日2回持つという形で十分に活発な議論をリアルタイムに計算をしながらできるような雰囲気を作り上げることができた。会議は長期滞在にもかかわらず招待参加者に加えて、多くの研究者に自己資金で参加してもらうことができた。結果として基研の平常時に受け入れ可能なキャパシティの限界に近い参加者が集まった。本GCOEとの関係という意味では、本研究会テーマは正に、「極限天体・最遠方天体の探査研究と新しい宇宙像の構築」において近年最も研究の進んでいる

内容であり、また、多数の著名な国外からの研究者も招き、研究・教育の国際化という本GCOEの理念にも合致するものである。

研究会では、各研究グループを代表するような研究者の興味深い発表があった。個々の発表の内容について言及することは難しいが、この分野の研究は詳細な研究が進んでいる側面がある一方で、まだまだ今後の観測と理論を比較する上で不十分な理解しか得られていないという点が多く残されていることも明らかになった。実際に観測と理論を比較するためにはインフレーション中やインフレーション後の物理だけではなく、現在に近い時期における非線形効果をよく理解する必要がある。このような研究も大きく進んできていることが報告されたが、完全なものとなるには、さらなる研究が必要であることが確認された。また、宇宙背景放射の観測には様々な特異な兆候が見え隠れしている。そのなかにボイドとクラスターの間非対称性が指摘されているが、そのような非対称性が重力の非線形効果で見事に説明されるというような研究の発表もあった。一方、初期宇宙における非線形現象としては、新たな重力波生成機構が紹介されたり、素粒子論模型に対して非ガウス性を介して違った側面からモデルに制限がつくという議論などが活発になされた。また、原理的な問題として量子論的な非線形摂動を重力が入った系をどのように取り扱うのか、あるいは古典論の範囲においてもゲージ不変な摂動を高次へ拡張する場合の問題点などについての議論もあった。加えて、会議期間中や直後に新しい論文を発表する参加者が出るなど、非常に発展が目覚ましい分野であることがあらためて確認されたといえる。当初予定していた期待される成果として、「本研究会で新しい非線形宇宙摂動に対する統一的なアイデアやアプローチが鮮明になることもさることながら、この間、日本で進められてきている本テーマでの研究の発展の意義を世界の一流の研究者に正しく伝えることもできると考える」、としていたが、そのような目的は十分に達成されたと考える。本研究会に補助を頂き感謝の意を表します。

## 参加者リスト

### 氏名・出身・所属・身分

Marco Bruni イギリス・Portsmouth大・Reader

Robert G. Crittenden イギリス・Portsmouth大・Reader

Andrei Frolov カナダ・Simon Fraser大・Assistant Professor

Takashi Hiramatsu 東大宇宙線研・研究員

Kiyotomo Ichiki 名古屋大学・助教

Tsutomu Kobayashi 早稲田大学・研究員

Kazunori Kohri イギリス・ランカスター大学・研究員

Kazuya Koyama イギリス・Portsmouth大・STFC/Academic Fellow

Roy Maartens イギリス・Portsmouth大・Marie Curie Excellence Team Leader

Shinji Mukohyama IPMU・准教授

Kouji Nakamura 総研大・研究員

Yuji Osumi 名古屋大学・

Gerasimos Rigopoulos フィンランド・ヘルシンキ大・研究員

Yeinzon Rodriguez コロンビア・サンダンダー産業大学

Misao Sasaki 京都大学基礎物理学研究所・教授

Fuminobu Takahashi IPMU・助教

Keitaro Takahashi 名古屋大学・助教

Tomo Takahashi 佐賀大学・准教授

Takahiro Tanaka 京都大学基礎物理学研究所・教授

Kenji Tomita 京都大学・名誉教授

Yuko Urakawa 早稲田大学・D3

Filippo Vernizzi フランス・CEA・CNRS研究員

Kent Yagi 京都大学・D1

Masahide Yamaguchi 青山学院大学・准教授

Shuichiro Yokoyama 名古屋大学・研究員

Yuki Watanabe アメリカ・Texas大・大学院生

## 会議プログラム

13(Mon)

11:00-12:00 Robert G. Crittenden  
Looking for non-Gaussianity going beyond  $f_{NL}$

16:00-17:00 Shuichiro Yokoyama  
Gravitino Dark Matter and Non-Gaussianity

18:30~ Welcome dinner

14(Tue)

11:00-12:00 Roy Maartens  
Vector modes, vorticity and magnetic fields

16:00-17:00 Andrei Frolov  
Primordial Non-Gaussianity from Preheating

16(Thu)

11:00-12:00 Gerasimos Rigopoulos  
Path integral for inflationary perturbations with uniform inflaton

16:00-17:00 Kazunori Kohri  
Non-gaussianity of the curvature perturbation from preheating

20(Mon)

11:00-12:00 Yeinzon Rodriguez  
Statistical anisotropy of the spectrum and bispectrum of  $\zeta$  from  
vector field perturbations

16:00-17:00 Filippo Vernizzi  
Sachs-Wolfe effect at second order

21(Tue)

9:30-10:20 Kazuya Koyama  
Non-Gaussianity from multi-field inflation with non-standard kinetic  
terms.

10:50-11:40 Fuminobu Takahashi  
Non-Gaussianity as a probe into the early universe

11:40-12:40 Yuko Urakawa  
Influence on observation from IR/UV divergence during inflation

13:40-14:30 Shinji Mukohyama  
Higgs phase of gravity and non-Gaussianity from ghost inflation

14:30-15:30 Takashi Hiramatsu

Non-linear evolution of matter power spectrum in a closure theory

16:00-17:00 Kouji Nakamura

Gauge-invariant formulation of the second-order cosmological  
perturbation: Single scalar field case

17:00-18:00 Kenji Tomita

Relativistic second-order nonlinear perturbations and CMB anisotropies  
in flat cosmological models

18:30~ Conference dinner

22(Wed)

11:00-12:00 Marco Bruni

Issues in non-linear cosmological dynamics

23(Thu)

11:00-12:00 Tomo Takahashi

Non-Gaussianity in models with isocurvature fluctuations and current  
limits

16:00-17:00 Kiyotomo Ichiki

Constraints on neutrino masses from weak lensing and future CMB  
lensing - galaxy correlations

Time table on every working day except for 21(Tue)

Discussion with morning coffee 10:30~

Lunch 12:30~

Discussion with afternoon coffee 15:00~

Supper 18:30~