

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82118

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21111001

研究課題名(和文)背景放射で拓く宇宙創成の物理 研究の総括

研究課題名(英文)The Physical Origin of the Universe viewed through the Cosmic Background Radiation - Management of Research -

研究代表者

羽澄 昌史(Hazumi, Masashi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：20263197

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 45,500,000円、(間接経費) 13,650,000円

研究成果の概要(和文)：領域の振興と研究進捗管理のために、約三ヶ月に一度、合計二十回に及び総括班戦略会議を開催した。平成25年6月に世界のCMB研究者を招き、Cosmic Microwave Background 2013(CMB2013)国際会議を沖縄にて開催した。世界で進行中・計画中の約30のCMBプロジェクトの研究者および理論研究者が一堂に会する画期的な国際会議となった。発表スライドはウェブで公開しており、CMBプロジェクトを総括するものとして世界的に見ても網羅的な価値があるものである。研究者向けと一般向けの二種類の領域ウェブページ、テレビ番組出演、一般講演、学生教育プログラム等で、情報発信にもつとめた。

研究成果の概要(英文)：We had head-quarter meetings approximately every three months, or in total twenty times, where we discussed promotion of the research area and management of the research programs. We hosted an international workshop named the Cosmic Microwave Background 2013 (CMB2013) in Okinawa in June 2013. It was an epoch-making workshop in that we had experimental cosmologists from about 30 CMB projects in the world, and theoretical cosmologists. Presentation slides shown at CMB2013, which are available public on the web, are the most comprehensive set of information on CMB projects available to date. We also maintained web pages both for researchers and the general public. We were also active in outreach activities with TV programs, public lectures, and student education programs etc.

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：宇宙背景放射 宇宙創成 インフレーション ダークエイジ

1. 研究開始当初の背景

宇宙はどのように始まったのか? どのような物理法則が宇宙を創り, 進化させたのか? 宇宙マイクロ波背景放射(以下 CMB と略す) 観測はこれらの問いに答えるための最も重要な手段である. CMB 温度観測衛星 COBE や WMAP は晴れ上がり時の宇宙を観測し, 素晴らしい成果をもたらした. しかし, 晴れ上がり以前の宇宙は光に対し完全に不透明で, CMB の温度観測でそれより過去の宇宙を直接見ることはできない. このため, CMB の温度観測から超高エネルギー状態の初期宇宙について確実な情報を得ることは不可能に見える. 例えば WMAP の観測はインフレーションのモデルにある程度の制限を課すことに成功したが, インフレーションがいつ終わったかさえ決定できなかった.

この限界を打ち破る最良の方法が, CMB の偏光 B モード測定である. インフレーションは量子ゆらぎを起源として, 密度ゆらぎとともに原始重力波を生成する. この原始重力波は物質の影響をほとんど受けずに現在まで残り, 我々に宇宙誕生時を直接見通す目を提供してくれる. 原始重力波は微弱で直接検出は不可能だが, CMB の偏光空間分布に渦状の痕跡(電磁気学における磁場との対比から「B モード」と称す)を残す. 多くのインフレーションモデルでこの成分が検出可能と予言されている. B モードの視野角ごとのパワースペクトルの発見・決定は, 原始重力波の発見となり, 種々の微視的理論に基づくインフレーションモデルの選別, ひいては超弦理論など背後にある究極理論の候補の直接検証を可能とする. さらに, CMB 偏光 B モードの小角度の揺らぎを見る事により, 原始重力波とは異なる重力レンズ効果を観測でき, その情報からニュートリノ質量についての情報が得られる.

インフレーションの密度揺らぎは如何にして星や銀河へと進化したか? その解明には宇宙誕生後 1 億年頃の「暗黒時代(ダークエイジ)」の観測が重要である. 本領域ではダークエイジの天体をひとまとめに宇宙赤外線背景放射(Cosmic Infra-Red Background, 以下 CIRB と略す)として観測するというユニークな方法で, このインフレーションと密接に関連した天文学の重要課題に取り組むことをめざした. 赤外線天文学の手法は CMB 観測と多くの共通点を持つため, インフレーションからダークエイジを領域の対象とすることにより, 我が国における技術力, ノウハウ, 経験を結集でき, 大きな相乗効果が得られる.

2. 研究の目的

宇宙はどのように始まったのだろうか? どのような基礎物理法則が宇宙を創り, 進化させたのだろうか? 本領域は, 我が国の宇宙・天文・超伝導デバイス関連の実験および理論研究者がこれまでに例のない規模の共

同研究を立ち上げ, 新学術領域を創成してこれらの問いに挑戦するものである. 特にインフレーションからダークエイジまでの探究に最適とされるミリ波から赤外線にわたる宇宙背景放射に着目し, 最新の観測手段と理論的手段を駆使してこれを精査することにより, 宇宙創成の真の姿を明らかにすることを目的とする. さらに観測結果を究極理論(超弦理論など)の予言と比較することにより, 加速器実験では到底到達できない超高エネルギーの物理を探ることが本領域の最終目標である.

総括班は本領域の計画研究全般を統括するとともに, 領域の推進に必要な調整を行う. また, 公募研究を実施し, 挑戦的・萌芽的研究や計画研究でカバーできない諸問題の研究を振興する. さらに, 国際型研究会等を開催して, 国内外の関連研究分野の研究者コミュニティとの情報交換を積極的に行い人材育成にも努めるほか, 一般市民に向けたアウトリーチ活動によって研究成果の社会一般への還元も行う.

3. 研究の方法

- (1) 領域が採択された時点で, 各計画研究のすべての研究メンバーを加えて立ち上げ会議を開催し, 領域参加者の相互理解を図り全体としての方針確認を行う.
- (2) 各計画研究の代表者と主要分担者が各計画の進行状況を把握し, 問題点への対処とより有効な研究方法を検討するための定例戦略会議をもつ. この会議は当学術領域を有効に運営する上での中核となる.
- (3) 宇宙マイクロ波背景放射(CMB)観測衛星計画を諸外国の CMB 衛星計画検討グループと情報を交換しながら推進する. また計画研究 A01 における CMB 衛星デザイン検討に対して, 他の計画研究で得られた知識を有効に反映させる. WMAP の解析で実績のある小松英一郎が各計画研究代表者との接点となって, 上記 2 点を総括班の中で担当する.
- (4) 公募研究の募集, 審査, 採用決定を担当する. 各研究項目のバランスに配慮しつつ, 戦略的・野心的な研究テーマを積極的に採用する.
- (5) 市民向け講演会の開催等のアウトリーチ活動も積極的に推進する. 当領域についての情報はホームページを通して発信する.

4. 研究成果

本領域の成果は, 「宇宙創成の解明」と「物質の根本法則の解明」という物理学のグランドチャレンジに関する新しい時代の到来をもたらす, 物理学全体に大きなインパクトを与えている. BICEP2 実験の発表を契機として,

POLARBEAR/POLARBEAR-2 による観測がますます重要な状況となっており、当該学問分野を超えて世界的な注目を集めている。本領域の成果は天文学分野にも刺激を与え、素粒子・宇宙・天文が交差する新たな共同研究を産み出す場を提供している。衛星観測に向けた技術開発の成果は、宇宙・天文分野にとどまらず、産業応用までも視野に入れた今後の展開を可能にした。

本研究課題は総括班であるため研究そのものは行わない。したがって、研究実績ではなく、活動報告を以下に記す。20回(2009年9月以降約3カ月に一度)、合計150時間を超える「領域戦略会議」を開催した。ここでは多くの連携研究のアイデアが生まれ、会議が大変有効に機能した。連携を促すために毎年1回の領域シンポジウムを実施した。また、総括班では、研究者向けと一般向けの二種類の領域ウェブページ開設や「ゆらぎ」と名付けた領域の統一的テーマの広報誌作成、異分野の研究者が合同で行う一般講演会開催、テレビ番組出演、学生教育プログラムなど、アウトリーチ活動でも中心的な役割を果たした。

平成25年6月に世界のCMB研究者を招き、Cosmic Microwave Background 2013(CMB2013)国際会議を沖縄にて開催した。世界で進行中・計画中の約30のプロジェクトの研究者および理論研究者が一堂に会する画期的な国際会議となった。参加者は120名を超えた。ここでの発表スライドは、現在でもCMBプロジェクトを総括するものとしてもっとも網羅的な価値があるものとなっている。

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0件)

本研究課題は総括班であるため研究そのものは行わない。したがって、雑誌論文はない。

[学会発表](計0件)

本研究課題は総括班であるため研究そのものは行わない。したがって、学会発表はない。

[その他]

ホームページ等

1. <http://cbr.kek.jp/>
2. <http://cmb.kek.jp/>
3. <http://quiet.kek.jp/>
4. <http://cmb.kek.jp/polarbear/>
5. <http://cmb.kek.jp/cmbcamera/>
6. <http://litebird.jp/>

【報道発表等】

1. 記者会見 “「ガリレオ衛星が「月食」中に謎の発光？すばる望遠鏡などで観測” 2014年 於 学術総合センター 東北大・宇宙研・東工大・北大 津村(東北大)ほか

2. 報道発表 “何も無い空を光らせるもの:「あかり」が空の赤外線成分の分離に成功” 2013年 於 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 津村ほか,

<http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/PR131227/pr131227.html>

3. BSジャパン「咲くシーズン: #008 宇宙観測がもたらす未来」にて羽澄が出演し、研究内容が紹介される。2013年5月25日放送

<http://www.bs-j.co.jp/sakuseeds/08.html>

4. サイエンスチャンネル・サイエンスニュース「ヒッグス粒子発見後の宇宙物理学研究」、羽澄のインタビューを放映、2013年4月10日配信、

<http://sc-smn.jst.go.jp/M120001/detail/M120001030.html>

5. 報道発表 “「あかり」が捉えた宇宙最初の光” 2011年 於 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 松本, 松浦ほか, 読売新聞, 産経 MSN, 日経新聞, Yahoo ニュース, マイコミジャーナル等にて報道、<http://thyme.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/PR111021/pr111021.html>

6. 報道発表 “「あかり」宇宙からの謎の遠赤外線放射を検出!” 2011年, 於 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 松浦, Yahoo ニュース, マイコミジャーナル, アストロアーツ, 天文ガイド等にて報道、<http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/ADFS110810/adfs110810.html>

7. 科学雑誌「日経サイエンス」2011年10月号「Front Runner 挑む」で羽澄の研究を紹介。

8. プレス・リリース “宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光観測によるインフレーション宇宙の探求に道筋”, 2011年8月24日, 高エネルギー加速器研究機構, 問い合わせ先 羽澄,

<http://legacy.kek.jp/ja/news/press/2011/08241301/>

9. NHKサイエンスZERO 宇宙の進化を解き明かせ～赤外線で見える星と銀河の神秘～, 2010年11月20日(土)[教育]午後10:00～午後10:35, あかりの成果を紹介のため出演、

<http://www.nhk.or.jp/zero/schedule/index.html>

10. 竹内薫著「ブレイクスルーの科学者たち」(PHP新書)第8章「素粒子と宇宙のあいだ」で羽澄の研究が紹介される。

11. 報道発表“初期宇宙に大量のモンスター銀河発見” 2010年 於 東京大学 廿日出, 河野, 川辺, 松浦, 新聞各紙(神戸, 日経, 産経, 毎日, 読売, 佐賀, 山陰中央新報, 京都, 山形, 北陸中日, 岐阜, 北國, 岩手日報, 北日本, 東京, 日刊県民福井, 上毛, 新潟日報, 信濃毎日, 秋田魁新報, 静岡, サンケイエクスプレス, 公明, 朝日小学生)にて報道、

http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press-2010-39_pre20100929_61ba4bf4.html

12. 科学雑誌「日経サイエンス」2010年6月号記事「総力戦で初期宇宙に迫る」でQUIET実験が紹介された。

【アウトリーチ活動】

1. サイエンス・アゴラ WS7 (2013.11.10) 日本科学 未来館「のぞくかがく」にて、郡和範が小学生以上の一般の方々を対象に、宇宙に銀河が存在するためには、ダークマターが必要だということを丁寧に解説した。

2. 2009年から2013年(9月上旬)にかけて、KEK 一般公開で宇宙背景放射観測を紹介する展示を5回にわたって公開。アンケートに回答した人数だけでも1046人を得た。約7割の人が面白かったと回答。

3. JAXA 宇宙科学研究所では常時一般公開があり、申込みば閲覧可能である。また、毎年7月最終週の金土曜日の2日間は、特別公開として全研究部門が研究内容をポスターやデモ実験などで紹介。毎年2万人を超える来場者。宇宙科学や宇宙開発に関して直接対話する機会が多くある。2010年は、はやぶさの回収カプセル公開で来場者が多く、宇宙科学・技術への強い関心が寄せられた。

4. KEK サマーチャレンジという大学3年生向け合宿プログラムにて”宇宙の温度を測る”というCMB観測実験プログラムを2009年8月、2010年8月、2011年8月、2012年8月、2013年8月、の5度にわたり主催。

5. JAXA 宇宙科学研究所の大学・研究機関連携室ではインターン生を受入れ教育している。2013年は、文系学部の大學生が宇宙研究者の仕事ぶり調査のため、松浦周二と新井俊明のインタビューを行い、記事としてまとめた。

6. 東京国際科学フェスティバルサイエンスカフェ、2013年10月、東京、津村耕司「小さなロケット望遠鏡で宇宙の一番星を探る」、<http://kokucheese.com/event/index/103634/>

7. 全国同時七夕講演会 2013 (2013.07.07)にて、郡和範と松村知岳が小中高生を対象に、「昔むかしの宇宙のお話」について講演を行った。宇宙の始まりの理論と観測の研究についてわかりやすく解説した。

8. KEK caravan (2013.05.24) 茨城県立古河中等教育学校にて、郡和範が中学1年生を対象に、「宇宙のはじまり」、「宇宙の博士になるためには?」について講演をおこなった。インフレーション宇宙論の解説と、理論宇宙物理学者になるためのキャリアパスを紹介した。

9. JAXA 宇宙科学研究所では、「宇宙学校」として各地で一般向け講演会を開催している。2013年は、東大・駒場に於いて松浦周二がA03に関する研究内容を紹介した。

10. ハートピア安八主催「天文講演会」、2013年3月岐阜、津村耕司「宇宙のはじま

りをさぐれ」、

<http://www.town.anpachi.gifu.jp/wp-content/uploads/2013/02/5baa688ccd210c5f074bdca949d6ffb7.jpg>

11. 天文学普及プロジェクト天プラ主催「まるのうち宇宙塾」、2012年12月東京、津村耕司「宇宙の一番星の探査」、

<http://www.tenpla.net/maru/>

12. JAXA 主催「宇宙学校みずなみ」、2012年12月岐阜、津村耕司「宇宙望遠鏡で探る現在の宇宙の姿」、

http://www.isas.jaxa.jp/j/topics/event/2012/1202_mizunami.shtml

13. 大阪大学第28回湯川記念講演会 (2012.10.7)にて羽澄が「観測で探る宇宙の起源 -膨張する宇宙の謎をめぐって-」と題して講演。

14. 新宿ロフトプラスワン・マツドサイエンティスト・ナイト「ウは宇宙論のウ」(2012.09.30)に羽澄、松村知岳、片山伸彦が出演し、CMB観測について語る。

15. 全国同時七夕講演会 2012 (2012.07.07)にて、郡和範が「私は誰の子? 宇宙の子 -宇宙のはじまりと未来のひみつ-」について講演を行った。小中高生を対象に、宇宙初期や星の中で起こる元素合成について解説した。

16. KEK 公開講座 2012 (2012.06.30)にて、郡和範が一般の方々を対象に、「宇宙のダークエネルギーとはなにか?」について丁寧に解説した。

17. 文部科学省主催 Science Cafe Tokyo「目指せ!木星」2012年4月東京、津村耕司「木星から宇宙の果てを探る」、<http://cafesci-portal.seesaa.net/article/259661203.html>

18. KEK caravan (2012.01.06)大分県立日田高校にて、郡和範が高校2年生を対象に、「宇宙のはじまり・光速を超えるニュートリノ・霧箱実験」と言うタイトルで、インフレーション宇宙論について解説。また、霧箱実験を行って、放射線についての正しい理解の必要性を講演した。

19. 2011年12月23日、昭和女子大学クリスマスレクチャー「激動する宇宙」にて羽澄が「ビッグバン以前の宇宙はみえるか? -宇宙電波研究の最前線」と題して講演。

20. KEK caravan (2011.09.23)大分県立大分舞鶴高校にて、郡和範が一般公募した中学3年生を対象に、インフレーション宇宙論と、理論宇宙物理学者になるためのキャリアパスを紹介した。

21. 2011年6月17日 東北大学全学教育科目地球と宇宙の科学 担当3コマの内1コマで科研費の研究活動に関わる内容を講義(講義タイトル“宇宙の創成と深化を探る)。講師 服部 誠、受講者69名(東北大1年生47名)。

22. 2011年度 理化学研究所 和光本所 一般公開(2011年4月23日)ポスター展示「未

来の光テラヘルツ光の魅力」, サイエンスカフェ「テラヘルツテクノロジー<見えないものを見せる力>」

23. 2010年11月13日 大阪大学「最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics」にて羽澄が「宇宙への旅立ち ビッグバン以前を見る」と題して講演.

24. 2010年度 理化学研究所 仙台支所 一般公開「オドロキいっぱい! テラヘルツっておもしろい!」(2010年7月31日)ポスター展示「テラヘルツセンシングとイメージング」, と超伝導コースターのデモを行った.

25. 2010年度 理化学研究所 和光本所 一般公開(2010年4月17日)ポスター展示

26. 2010年度宙博にCMB観測装置を展示. 宙博には3日間で約3万1千人の入場者があった.

27. 大阪大学 Saturday Afternoon Physics 2010 という高校生向けプログラムに講師として羽澄昌史が講演(2010年11月13日). 参加者141名. アンケートによると, 内容の難易度は適切であったとの回答が最も多かった.

28. 2010年度 国立天文台 一般公開(2010年10月23日)

計画研究A02で開発した超伝導デバイスを用いた検出器デモ実験を実施し好評を博す.

29. JAXA宇宙科学研究所では, 一般読者向けにISASメールマガジンを発行し, 宇宙科学にまつわる研究や研究者の雑感を紹介. A03の研究内容を310号(津村耕司)と344号(松浦周二)で紹介した.

(<http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmaga/index.shtml>).

30. JAXA宇宙科学研究所・宇宙教育センターでは, 学校等から申込などにより研究者と直接対話する機会を設けている. 松浦周二は, 研究という仕事について中学生と対話した. 当人が対話内容について中学校の授業での研究レポートとして発表し, 多くの興味をひいた.

31. 2010年7月28-29日 東北大理学部オープンキャンパスにて体験授業実施. 講師 服部 誠, 授業タイトル”ビッグバン以前を観る”, 受講者数 100名(高校生85名, 大学生 13名, 保護者2名, 男女比6:4), 分かり易かった・素敵だった・情報量が多かった等の声を聞く.

32. 2010年7月2日 東北大全学教育科目地球と宇宙の科学 担当3コマの内1コマで科研費の研究活動に関わる内容を講義(宇宙の創成と深化を探る). 講師 服部 誠, 受講者69名, アンケートでは高校生が将来の進路選択に大きな影響を受けたと回答するなど大きな反響あり.

33. 2009年11月20日 KEK 公開講座にて羽澄昌史が「ビッグバンの前を探る新しい宇宙観測」と題して講演をおこなった. 10代から70代まで分布する参加者120名を得た. アンケートでは, わかりやすかったとの回答が

83%.

34. 2009年度 理化学研究所 仙台支所 一般公開「見えない光のサイエンス~テラヘルツ~」(2009年8月1日)ポスター展示「テラヘルツセンシングとイメージング」, 超伝導コースター等のデモをおこなった.

35. 2009年10月15日 宮城県立角田高校にて大学出張講義, 講師 服部 誠, 授業名 “宇宙の構造形成の標準モデルとその観測的検証の現状”, 受講者数27名(高校生25名, 教員2名, 男女比7:3), ビッグバンより前があるとは知らなかった等新しい知識が得られて良かったとの回答多数

36. 2009年11月10日 東北大全学教育科目天文学概論にて講義, 講師 服部 誠, 講義タイトル “宇宙論研究の最前線”, 受講者数 250名(東北大1年生, 経・文・法・医・歯・教育学部, 男女比6:4), 今まで受けた授業で最も良かった等絶賛される.

6. 研究組織

(1)研究代表者

羽澄 昌史 (HAZUMI, Masashi)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
研究者番号: 20263197

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

大谷 知行 (OTANI, Chiko)
理化学研究所・テラヘルツイメージング研究チーム・チームリーダー
研究者番号: 50281663

松浦 周二 (MATSUURA, Shuji)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
研究者番号: 10321572

服部 誠 (HATTORI, Makoto)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 90281964

小玉 英雄 (KODAMA, Hideo)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
研究者番号: 40161947

樋口 岳雄 (HIGUCHI, Takeo)
東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・准教授
研究者番号: 40353370

田島 治 (TAJIMA, Osamu)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子

核研究所・准教授
研究者番号：80391704

関本 裕太郎 (SEKIMOTO, Yutaro)
国立天文台・先端技術センター・准教授
研究者番号：70262152