

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2012

課題番号：20520002

研究課題名（和文）量子揺動の論理 - 圏論による記述：時空の起源からの考察

 研究課題名（英文）Logic of Quantum Fluctuation Described in Terms of Category Theory :
Investigation of the Origin of Space-Time

研究代表者

中戸川 孝治 (NAKATOGAWA KOJI)

北海道大学・大学院文学研究科・教授

研究者番号：20237316

研究成果の概要（和文）：

宇宙方程式の特殊解であるゲーデル回転宇宙解と、COBE、WMAP による観測データとの両立は困難であり、彼の宇宙モデルは観測データによりほぼ否定される。従って、ゲーデルが回転宇宙解を導出するときに用いたゲーデル実在論による哲学的議論の成立余地も僅少となる。ゲーデル不完全性定理と命題 0906 との間に類似関係が成立する。指数関数的膨張を説明する巴構造の進行過程の記述には、高階圏論が応用可能である。

研究成果の概要（英文）：

Goedel derived his rotating solution of Einstein's equation of the universe from the philosophical assumption, called Goedel's platonism (with the lower case 'p'). The observational data obtained by COBE and WMAP, however, make it almost impossible to hold the Goedel model, and therefore make it difficult to hold Goedel's philosophical view of realism. It is shown that there is a certain analogical relation between Goedel Incompleteness Theorems and Proposition 0906. One can apply Higher-Order Category Theory to describe 'Tomoe' Structure (a swirl-like ternary structure), which explains how an exponentially rapped expansion process occurs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	400,000	120,000	520,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：哲学 哲学・倫理学

キーワード：哲学, 国際研究者交流, 圏論, 宇宙物理, 宇宙論, 時空, 部分構造論理, 量子力学の基礎, 量子論理

1. 研究開始当初の背景

部分構造論理の代数構造は *residua lattice* であり、*quantale* もその一例である。この種の論理が適用できる領域は、COBE, WMAP により観測データの得られた現象の

発生を説明するインフレーション・モデルの発生以前の過程に求めることができるであろう、という田中一博士の提案がなされた。非標準的な論理法則の適用できる領域がどこにあるか、数学と物理の届く範囲の境界領

域を探索するとき、哲学にも何らかの役割の要請があると考えた。

2. 研究の目的

(1) 哲学的主張と物理理論・観測との関係の実例を探し、物理学の哲学における具体的な成果を求める。

(2) 理論物理と数学(とりわけ圏論)との関係について、最先端で活躍する研究者を招聘し、どこまで研究が到達しているかをフォローし、圏論によるアプローチを先へと進める。

(3) LHC のデータを踏まえ、宇宙の起源について理論と観測との成果を突き合わせたとき、サイエンスのはてるところが那邊にあるか、時空の起源の観点から突き止める。

3. 研究の方法

(1) アインシュタイン宇宙方程式の特殊解をゲーデルが与えたとき、ゲーデル自身はパルメニデスを例に引き、ある種の実在論を提唱した。この哲学的主張と宇宙物理学における諸成果との関係を探る。

(2) 1975 年に F.W.Lawvere が圏の一つとして定義したトポスを Icham-Doering は量子力学に応用した。A.Doering を招聘し最新状況をフォローする。さらに、Icham の下で学位を取得した J.Vicary を招聘し、調和振動子の dagger closed category による記述について教示をうける。フェルミオン等の場の演算子の構造はどのような圏論で記述するのが適切か研究を進める。

(3) LHC の Epistemology Group による報告を分析し、LHC のような大規模な装置で得られた観測データとはどのような特徴をもつか、また、予想と実際の観測データとの関係を考察する。

4. 研究成果

(1) ゲーデル特殊解の成立はほぼ不可能であることを、COBE, WMAP から得られる観測データにより示した(羽部)。ゲーデルの哲学的主張である実在論から導かれた宇宙方程式の解としての回転宇宙モデルは、観測データによりその成立する余地はほぼないことが示された。ゲーデル不完全性定理と田中一博士の導入した命題 0906 との間の類似関係の成立を示した(長田)。この類似関係から現在の量子力学理論が究極の理論ではないことが導かれ、さらに、自然を記述する物理理論の階層性が示唆される。

(2) 海外から招聘した研究者から、量子力学のトポス解釈、monoidal closed category, dagger closed category 等の物理への応用等について研究の現状について理解を深めた。当該プロジェクトで研究討議を続け、量子場の演算子の代数構造と Grassmann 代数の

構造との類似性が指摘された。即ち、これは、1995 年にハリファックスで開催された圏論国際研究会で F.W.Lawvere が提唱したテーゼ、グラスマンの数学こそ次世紀の数学の中心主題になる、というテーゼの実例の一つとなるとの知見をえた。さらに、インフレーション過程を引き起こす可能性のある構造として、田中一博士により巴構造が提唱された。これは、2 つのものの照応(あるいは合一)ではなく、一つが他へと媒介される過程の繰り返しによる無限階梯でもなく、むしろ、二つの項が別の一つの項へと進行する過程が(いわば螺旋的に)繰り返される巴型の構造である。この巴構造の進行過程を記述する一つの方途として、高階圏論による記述が適切であるとの知見が得られた。

(3) LHC の実験遂行とデータ集計・確認が、当初の計画より遅延したため、当該プロジェクトではこの成果が物理の哲学にどのような意義をもつか、十分に検討する時間が得られたとはいえない。125GeV あたりでの Higgs 粒子の確認は結束というより、始めにすぎない。500GeV から上に SUSY 粒子の存在を予測する理論が展開されており、ダークマターの候補となる物質の探究が進行している状況であり、今後の展開に予断は許されない。しかし、時空の成り立ちを考えるときにおいても、物理、数学等をふくめあらゆる合理的思考の包括的発動と、試行錯誤による経験領域の拡大により科学的知識が拡張していくという科学の哲学における一つの見取り図は堅持できるとの知見を得た。

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 27 件)

- ① Yutaka Komiya, Asao Habe, Takuma Suda, Masayuki Y. Fujimoto, Formation history of metal-poor halo stars with the hierarchical model and the effect of interstellar matter accretion on the most metal-poor stars, *The Astrophysical Journal*, 査読有, Vol. 717, 542 - 561, 2010
- ② 藤本忠、ランベルトの学的認識について - 『新オルガノン』を中心に、龍谷大学論集、査読無、第 474・475 合併号、251-271、2010
- ③ Asao Arai, Necessary and sufficient conditions for a Hamiltonian with discrete eigenvalues to have time operator, *Letters in Mathematical Physics*, 査読有, Vol. 87, 67-80, 2009
- ④ 田中一、量子揺動の論理 - 量子力学と元始量子論、素粒子論研究、査読無、Vol. 117、

- 2009
- ⑤ Michael Beany, Chen Bo, Koji Nakatogawa, Frege, his logic and his philosophy, Journal of the Graduate School of Letters, 査読有, Vol. 5, 1-25, 2009

[学会発表] (計 36 件)

- ① Hajime Tanaka, Koji Nakatogawa, Hiroyuki Nagata, A proposition called T0906 and Goedel's incompleteness theorems, 14th Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, July 19-26 2011, Nancy University, France
- ② 中戸川孝治, 元始宇宙の進化, 2011 年度科学基礎論学会講演会 (ワークショップ・オーガナイザー), 2011 年 6 月 4 日～5 日, 愛媛大学城北キャンパス
- ③ 羽部朝男, 中戸川孝治, 宇宙方程式のゲーデル解について, 2011 年度科学基礎論学会講演会, 2011 年 6 月 4 日～5 日, 愛媛大学城北キャンパス
- ④ 山澤大輔, 羽部朝男, 小笹隆司, 野沢貴也, 平下博之, ダストのサイズ分布進化を考慮した初代銀河形成モデルと宇宙再電離過程, 日本天文学会 2010 年秋期年会, 2010 年 9 月 22 日～24 日, 金沢大学
- ⑤ 白旗優, Toward a categorical NCI, CSCAT 2010: Workshop on Computer Science and Category Theory, 2010 年 3 月 19 日, キャンパスプラザ京都
- ⑥ 藤本忠, 時空を中心とした元始宇宙の考察 - 哲学的・数学的側面から, 元始の会夏期研究会, 2009 年 7 月 31 日, 北大
- ⑦ 中戸川孝治, 圏論の応用と哲学: 研究の現状の概要と方法論的反省, 2009 年度科学基礎論学会講演会 (ワークショップ・オーガナイザー), 2009 年 6 月 14 日, 大阪市立大学
- ⑧ Koji Nakatogawa, On some philosophical problems in the foundations of logic: Clues obtained from substructural logics, Invited lecture, March 18 2009, the philosophy department, Peking University, China
- ⑨ 新井朝男, 準交換関係の非ヴァイル型表現と時間作用素の理論, 日本数学会秋季分科会, 函数解析分科会, 特別講演, 2008 年 9 月 24 日, 東京工業大学, 東京

[図書] (計 11 件)

- ① Hajime Tanaka, Koji Nakatogawa, Hiroyasu Nagata, A proposition called T0906 and Goedel's incompleteness theorem, Peter Lang, Aspekte des Konstruktiven Realismus (Friedrich G.

Wallner, Fengli Lan, Andreas Schulz (Hrsg.)), 2012, 247-267

- ② 新井朝男, 共立出版, 量子数理物理学における汎関数積分法, 2010, 411 頁
- ③ 藤本忠, 自然科学的世界観と宗教的世界観の間 - 物理学の理論をめぐる哲学的解釈を軸に, 法蔵館, 人間・科学・宗教 ORC 研究叢書 9 核の時代における宗教と平和 科学技術のゆくえ (武田龍精・編), 2010, 131 頁
- ④ 長田博泰, 中戸川孝治, 羽部朝男, 田中二他, 北海道大学大学院文学研究科西洋哲学・倫理学研究室, インフレーション過程の誕生はどの程度ドラスティックか: 平成 21 年度元始の会夏期研究会報告集, 2009, 131 頁
- ⑤ 新井朝男, 日本評論社, 物理の中の対称性, 2008, 308 頁
- ⑥ 新井朝男, 共立出版, 量子統計力学の数理, 2008, 366 頁

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

研究会記録:

<http://logic.iic.hokudai.ac.jp/seminars.html>

海外からの招聘者の講演ビデオ記録:

<http://logic.let.hokudai.ac.jp/~koji/duncantalk2010/201002091015.wmv>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中戸川 孝治 (NAKATOGAWA KOJI)
北海道大学・大学院文学研究科・教授
研究者番号: 20237316

(2) 研究分担者

田中 一 (TANAKA HAJIME)
北海道大学・名誉教授
研究者番号: 50000716

新井 朝雄 (ARAI ASAO)
北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 80134807

羽部 朝男 (HABE ASAO)
北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 90180926

長田 博泰 (NAGATA HIROYASU)
札幌学院大学・総合研究所・客員研究員
研究者番号：70000875
(2010年度まで連携研究者)

加藤 幾芳 (KATO KIYOSHI)
北海道大学・名誉教授
研究者番号：20109416
(2012年度)

(3)連携研究者

白旗 優 (SHIRAHATA MASARU)
慶應義塾大学・商学部・准教授
研究者番号：00286618

藤本 忠 (FUJIMOTO TADASHI)
龍谷大学・文学部・講師
研究者番号：40411277

内井 惣七 (UCHII SOSHICHI)
京都大学・名誉教授
研究者番号：60027539