

ゼロの探求

「無区別状態」という宇宙論的前提について

目次

- 無区別状態とは
- 前提の論理構造の整理
- 既存の科学理論との対応関係
- 科学的考察としての位置づけ・限界
- 「最初の区別」はどう生まれるか
- 認知という視点の導入
- 測度論的定式化（叩き台）
- 圏論的定式化（叩き台）
- 今後深掘りする方向
- 参考文献

1. 無区別状態とは

「無区別状態」とは、宇宙が生まれる前の状態を指す独自の前提である。以下の特徴を持つ。

- エネルギー量がゼロなのか否か、判別できない
- そもそも「エネルギー」という概念が存在しない
- エネルギーという特定（同定）ができない
- 空間があるのかないのか判別できない
- 「遠い」「近い」の区別もない
- 時間もない

重要なのは、これが単に「エネルギーや時空の値がゼロである」という主張ではなく、「有」と「無」を区別する述語（predicate）そのものが機能しない状態を指している点である。

2. 前提の論理構造の整理

無区別状態の設定を分解すると、次のような論理的特徴が浮かび上がる。

- 「エネルギー = 0」は明確な**命題**であり、真偽が定まる
- 「エネルギーが 0 か否か判別できない」は**命題の真偽自体が定まらない**、あるいは「エネルギー」という述語自体が対象に適用できない状態を意味する

つまりこれは物理量の値の問題ではなく、物理量という概念（カテゴリー）が対象に適用可能かどうかという、一段メタなレベルの主張である。数学的に言えば、集合論的宇宙が構築される前の、述語論理の言語そのものが未確立な段階、と表現できる。

3. 既存の科学理論との対応関係

(a) 物理学：量子真空からの宇宙創生

トライオン（Edward Tryon）は「宇宙は真空の量子ゆらぎではないか」と提起し、ヴィレンキン（Alexander Vilenkin）はトンネル効果によって「無」から時空自体が生成される量子宇宙論を定式化した。ただしこれらの理論の「無」は、量子力学の形式（波動関数、ポテンシャル、ハミルトニアン）を前提にした「物理量が定義されているが値がゼロに近い／ゆらいでいる」状態である。「無区別状態」はこれよりさらに手前——量子力学という枠組み自体が存在するかどうかとも判別できない段階を指していると考えられる。

(b) 時間の消失問題（Wheeler–DeWitt 方程式）

正準量子重力理論では、宇宙全体の波動関数 Ψ に対する Wheeler–DeWitt 方程式 $\hat{H}\Psi = 0$ には時間変数 t が明示的に現れない。これは「時間の問題（Problem of Time）」として知られ、量子重力の基礎的な難問である。ジュリアン・バーバー（Julian Barbour）はこれを推し進め、時間は基礎的存在ではなく相対的配置間の関係から創発するものだとして論じている。これは「無区別状態には時間がない」という前提と構造的に一致する。

(c) 空間的な近さ・遠さの欠如

「遠い、近いの区別もない」という設定は、距離という概念が計量（metric）に依存することを踏まえると自然である。無区別状態とは、台となる点集合すら定義されていない、あるいは定義されていても計量構造が入っていない状態と解釈できる。ハートル＝ホーキングの「無境界仮説」も、時空の始まりに境界も特異点もない滑らかな状態を数学的に扱っており、近い発想である。

(d) 数学基礎論：空集合と不可識別者同一の原理

これは空集合 $\emptyset$ の哲学的先行状態とも読める。集合論では $\emptyset$ は「要素を持たない集合」として明確に定義された対象だが、無区別状態はそれよりも手前、「集合という概念（外延性・要素関係）自体が成立するかどうか分からない」段階である。ライプニッツの「不可識別者同一の原理」を裏返すと、区別する性質が一つも存在しない状態では「対象が一つある」とも「複数ある」とも「ゼロ個である」とも言えなくなる。

4. 科学的考察としての位置づけ・限界

率直に言うと、これは厳密には反証可能な科学理論ではなく、**形而上学的前提**である（カール・ポパーの反証可能性基準）。理由は次の二点による。

1. 「無区別状態」を観測・測定する手段が原理的に存在しない（観測とは区別を生成する行為そのものだから）
2. この状態から現在の宇宙への遷移メカニズムを定式化しない限り、予言能力を持たない

とはいえ、これは弱点というより出発点として妥当である。ヴィレンキンやハートル＝ホーキングの理論も、最終的には「無からどう区別が発生したか」を数学的模型で記述することで科学理論に格上げされた。

5. 「最初の区別」はどう生まれるか

(A) 対称性の自発的破れ

場の理論では、ポテンシャル $V(\phi)$ 自体は対称（ $\phi \rightarrow -\phi$ で不変）でも、エネルギー最小の真空状態がその対称性を破ることがある。

$$V(\phi) = -\mu^2 \phi^2 + \lambda \phi^4 \quad (\mu^2, \lambda > 0)$$

$\phi = 0$ は対称だが不安定な極大点で、真の基底状態は $\phi = \pm\sqrt{\mu^2/2\lambda}$ という非対称な2点のどちらかに落ちる。方程式自体は対称なのに、実現される解は非対称——これが「区別が生まれる」ことの最初の数学的モデルになる。ただしこれは、すでに「場・ポテンシャル」という構造がある状態からの破れであり、無区別状態そのものからの発生ではない。

(B) 量子測定・デコヒーレンス

ツレック（Wojciech Zurek）のデコヒーレンス理論は、系が環境と相互作用することで干渉項が急速に消え、特定の「好ましい基底（pointer basis）」が選択的に生き残る（einselection）と説明する。「区別」を、環境との相互作用によって重ね合わせが破れ、識別可能な古典的状态が浮かび上がるプロセスとして定式化する立場である。

(C) 情報理論：“It from Bit”

ホイーラー（John Archibald Wheeler）は「すべての物理量は、突き詰めれば装置から引き出された yes/no の答え、すなわちビットに由来する」という立場を “It from Bit” と呼んだ。ベイトソン（Gregory Bateson）も情報を “a difference that makes a difference”（違いを生む違い）と定義した。

統合モデル：インフレーション理論における「量子ゆらぎの古典化」

インフレーション宇宙論では、①量子的な真空ゆらぎが指数関数的膨張によって引き伸ばされ、②デコヒーレンスによって古典的な確率分布へと転化し、③その古典的な密度ゆらぎが銀河・大規模構造という「区別された構造」の種になる。この構造は「無区別→デコヒーレンス（区別の発生）→対称性の破れ（区別の固定・増幅）」という三段階モデルとして、叩き台になる。

6. 認知という視点の導入

「無区別状態には"何でもあり"の自由度があり、そこからどんな区別状態を部分的に作ってもよい」という前提に立つと、人間の認知は「無区別状態の中から特定のものだけを認知するシステム」、より具体的には時空間という枠組みのみを認知し、無区別状態から時空間をえぐり取るような働きだと捉えられる。認知を生み出す脳や肉体自体も、時空間という枠組み内の視点から宇宙を観察している状態にすぎない、という推論である。

この発想は独立に複数の学術的系譜と強く共鳴する。

- カント：『純粋理性批判』で、空間と時間は物自体の性質ではなく、人間の認識が世界に持ち込む「アプリアリな直観形式」だと論じた。
- ドナルド・ホフマンのInterface Theory of Perception：知覚は実在をありのまま映すのではなく、生存に有利な情報だけを見せる「インターフェース」だとする理論。進化ゲーム理論を用い、真実を見る知覚戦略よりインターフェース的戦略の方が適応度で勝ることを示した（Fitness-Beats-Truth定理）。
- カルロ・ロヴェッリのRelational Quantum Mechanics：物理量は観測者との関係においてのみ値を持つという立場。

7. 測度論的定式化（叩き台）

無区別状態を台集合 Ω （あらゆる可能な区別の「材料」だが、まだ構造を持たない集合）とし、そこには自明な σ -代数 $\{\emptyset, \Omega\}$ しかない、つまり一切の事象を区別できないとする。

ここで認知を、 Ω 上に特定の σ -代数 $F_{\text{cog}} \subset 2^\Omega$ を生成する操作として定式化する。 F_{cog} は「時空間的に区別可能な事象」だけを含む部分 σ -代数である。要点は次の通り。

- Ω 上には F_{cog} 以外にも無数の非自明な σ -代数が定義可能（＝「どんな区別状態を作ってもいい」という自由度に対応）
- 認知はそのうちの一つだけを実現・固定する選択操作である
- これは確率論の条件付き期待値 $E[X | F_{\text{cog}}]$ の構造に類比できる

「認知 = Ω 上の全体情報を F_{cog} というフィルタで条件づけて取り出す作用素」という定式化になる。人間の脳・身体自体も Ω の中の要素である以上、 F_{cog} によって時空間的に区別された「対象」として、認知作用の内側から現れる、という点まで表現できる。

今後厳密化すべき点： Ω に最低限どのような構造を仮定するか、 F_{cog} をどの生成元から構成するか。

8. 圏論的定式化（叩き台）

無区別状態を、対象・射がまだ確定していない始源的な圏 C_0 （あるいは「あらゆる構造を持ちうる自由な圏」）として捉える。

認知を、 C_0 から時空間的構造を持つ圏 D （例：距離空間の圏 **Met**、あるいは因果的順序を持つ半順序集合の圏 **Poset**）への関手

$$F_{\text{cog}} : C_0 \rightarrow D$$

として定式化する。ポイントは、この関手が「忘却関手」ではなく、**選択的構成（selective construction）**だという点——無数にありうる構造化の可能性のうち、時空間という特定の構造だけを C_0 の中から浮かび上がらせる働きをする。異なる認知が存在すれば、別の関手 $F' : C_0 \rightarrow D'$ が別の「切り口」を実現しうる。

補足として、量子論理のトポスの定式化（Döring & Isham）は、観測の「文脈（context）」に応じて異なる論理構造が立ち現れることを圏論で扱っており、参照できる。

今後厳密化すべき点： C_0 の具体的な公理、 D （時空間の圏）の定義、関手 F_{cog} が満たすべき条件（連続性、因果律の保存など）。

9. 今後深掘りする方向

- 測度論的定式化の $\Omega \cdot F_{\text{cog}}$ の生成過程を具体的に書き下す
- 圏論的定式化の $C_0 \cdot D \cdot \text{関手 } F_{\text{cog}}$ の公理を具体的に書き下す
- 対称性の破れ／デコヒーレンス／情報理論の三段階モデルを、測度論・圏論いずれかの言語で統一的に記述する
- 数学検定準1級の学習内容（測度論・線形代数・集合論など）と対応づけながら、扱える数学的道具を広げる

10. 参考文献

1. Edward P. Tryon, "Is the Universe a Vacuum Fluctuation?", *Nature* 246, 396–397 (1973)
2. Alexander Vilenkin, "Creation of Universes from Nothing", *Physics Letters B* 117, 25–28 (1982)
3. Bryce S. DeWitt, "Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory", *Physical Review* 160, 1113–1148 (1967)
4. James B. Hartle and Stephen W. Hawking, "Wave Function of the Universe", *Physical Review D* 28, 2960 (1983)
5. Julian Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics*, Oxford University Press (1999)
6. Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson (1959) (原著: *Logik der Forschung*, 1934)
7. G. W. Leibniz, 不可識別者同一の原理 (*Discourse on Metaphysics*, 1686 ほか)
8. Wojciech H. Zurek, "Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical", *Reviews of Modern Physics* 75, 715 (2003)
9. Jonathan J. Halliwell, "Decoherence in quantum cosmology", *Physical Review D* 39, 2912 (1989)
10. John A. Wheeler, "Information, Physics, Quantum: The Search for Links", in *Complexity, Entropy, and the Physics of Information* (1990)
11. Gregory Bateson, *Steps to an Ecology of Mind*, University of Chicago Press (1972)
12. Andrei Linde, "Particle Physics and Inflationary Cosmology", Harwood Academic Publishers (1990)
13. Claus Kiefer and David Polarski, "Why do cosmological perturbations look classical to us?", *Advanced Science Letters* 2, 164–173 (2009)
14. Immanuel Kant, *Kritik der reinen Vernunft* (『純粹理性批判』) (1781/1787)
15. Carlo Rovelli, "Relational Quantum Mechanics", *International Journal of Theoretical Physics* 35, 1637–1678 (1996)
16. Donald D. Hoffman, *The Case Against Reality: Why Evolution Hid the Truth from Our Eyes*, W. W. Norton (2019)
17. Donald D. Hoffman and Chetan Prakash, "Objects of Consciousness", *Frontiers in Psychology* 5, 577 (2014)
18. Andreas Döring and Chris J. Isham, "A Topos Foundation for Theories of Physics" I–IV, *Journal of Mathematical Physics* 49 (2008)