

光データボックス理論による波動関数の収縮、 量子もつれ、および有限な光速のメカニズムに関する考察

【English Title】

A System-Theoretic Redefinition of Wave Function Collapse, Quantum Entanglement, and the Light-Speed Limit Based on the Photon Data-Box Hypothesis

著者名: 岡島 正尚 (Okajima Masanao)

1. 要旨 (Abstract)

現代物理学において、量子力学における波動関数の収縮や量子もつれの非局所性、および光速が上限を持つ理由は、依然として根本的な解決に至っていない。

本論文では、これらの課題を情報科学の視点から統合的に解決するため、「光(光子)は無有限大の時間・空間領域が収納可能なデータボックスである」という新たなデジタル物理学のフレームワークを提案する。

アインシュタインの相対性理論における時空収縮を情報圧縮として再定義し、物質の質量を「データ容量(密度)」、重力を「演算ラグに起因する空間グリッドの引きつれ」として解釈する。さらに、波動関数の絶対値の2乗(ボルンの規則)を、システムエラーを排除する非負値化プロセス(レンダリング関数)として数式化する。

本モデルは、分子・原子が観測によって実体化するメカニズムを宇宙の描画プロセスとして合理的に説明し、時空の本質が情報に基づいたシミュレーション構造である可能性を提示する。

2. 序論 (Introduction)

現代の理論物理学は、2つの偉大な柱である「一般相対性理論」と「量子力学」の基礎の上に成り立っている。しかし、これらマクロとミクロを支配する2つの理論は、根本的な部分で数学的・概念的な矛盾を抱えており、未だに「万物の理論 (Theory of Everything)」としての統合には至っていない。この不整合の背景には、現代物理学が解決できずにいる、時空と物質の本質に関わる3つの深刻な「未解決の課題」が存在する。

第一の課題は、量子力学における「波動関数の収縮(観測問題)」である。

素粒子や原子などの微小なオブジェクトは、観測される前は特定の場所に実体を持たず、空間に広がる「確率の波」として振る舞う。しかし、人間や測定器がそれを「観測」した瞬間に、

波は1点に収縮し、物質としての実体を現す。なぜ「観測」という行為が物質の実体化をトリガーするのか、その具体的な物理メカニズムは未だ解明されておらず、単なる確率解釈の枠組み(ボルの規則)として処理されているに過ぎない。

第二の課題は、「量子もつれ(量子絡み合い)」に伴う非局所的な遠隔作用である。2つのもつれた状態にある素粒子は、たとえ宇宙の端と端ほどに物理的な距離が離れていても、一方の状態が確定した瞬間に、もう一方の状態が「同時(タイムラグなし)」に確定する。これはアインシュタインが「不気味な遠隔作用」と呼び、彼自身の相対性理論が定める「何ものも光速を超えて伝わることはできない」という大原則と直感的に矛盾する現象であり、時空の距離の本質に疑問を投げかけている。

第三の課題は、「有限な光速(速度 c)の上限」の存在理由である。相対性理論において、質量を持つ物質は光速に達することができず、光子(光)のみが宇宙の最高速度 c で宇宙を伝播する。しかし、「なぜ宇宙の最高速度は秒速約30万キロメートルという特定の有限な値で固定されているのか」という根本的な疑問に対し、現代物理学はそれを宇宙の「前提条件(定数)」として受け入れるのみで、その背後にある構造的な理由を説明できていない。

これらの課題に対し、従来の「物質や時空が最初から実体としてそこに存在する」という物理主義的パラダイムの延長線上で解決を試みるのは限界に達している。

そこで本論文では、宇宙の本質を「物質」ではなく「情報」と捉えるデジタル物理学、および情報理論の観点から新たなアプローチを試みる。具体的には、「光(光子)は単なるエネルギーの粒子ではなく、無限大の時間・空間領域が記述(エンコード)されたデータボックス(情報媒体)である」という画期的な仮説を提案する。本アプローチを用いることで、上述した「波動関数の収縮」「量子もつれ」「光速の上限」という一見無関係に見える3つの謎を、すべて「宇宙という巨大なシステムにおける情報処理の仕様」として一元的に説明・再定義できることを本論で示す。

3. 先行研究(Background)

本論文が提案する「光データボックス理論」は、完全に孤立した奇抜なアイデアではなく、過去の物理学者たちが提唱してきた情報物理学、および相対性理論の正統な発展形である。本章では、我々のモデルの強固な基盤となる3つの主要な先行研究と概念について概説する。

3.1 ジョン・ホイーラーの “It from bit”

20世紀の偉大な物理学者ジョン・アーチボルト・ホイーラー(John Archibald Wheeler)は、宇宙の本質についての究極の結論として “It from bit”(万物はビットから生じる)という概念を提唱した。これは、我々が「物質(It)」と呼んでいるすべての存在(素粒子、

磁場、時空そのもの)は、その根底にある「情報(Bit)」というバイナリな問いかけへの応答として構成されているという思想である。

ホイーラーのこの洞察は、「世界は物質ではなく、情報処理の結果である」というデジタル物理学の道を開いた。しかし、その膨大な情報が「宇宙の中で、どのような具体的な物理媒体を介してエンコードされ、伝播しているのか」という具体的なアーキテクチャの定義については、未だ議論の余地を残していた。

3.2 ホログラフィック原理と情報保存則

1990年代にジェラルド・トフト(Gerard 't Hooft)やレオナルド・サスキンド(Leonard Susskind)らによって提唱され、後にフアン・マルダセナ(Juan Maldacena)の「AdS/CFT対応」によって理論的基盤を得た「ホログラフィック原理」は、本論文のデータボックス概念と極めて親和性が高い。

この原理は、「3次元の宇宙で起きているすべての現象(重力や物質の運動)は、その宇宙を囲む遠くの『2次元の境界(表面)』に書き込まれた2次元の量子情報が投影されたものである」という衝撃的な事実を示している。

つまり、我々が広く巨大だと感じている3次元空間は、本質的には低次元の情報がロードされ、レンダリングされた「ホログラム(投影映像)」に過ぎない。また、ブラックホールの研究(ホーキング放射を巡る情報パラドックスの解決)からは、「宇宙において、情報は決して消滅せず保存される」という情報保存則が確立されている。

3.3 特殊相対性理論における時空収縮

アルベルト・アインシュタイン(Albert Einstein)が1905年に発表した特殊相対性理論は、移動する物体の速度が光速 c に近づくほど、時間の進みが遅くなり、進行方向の空間(距離)が縮むという性質を数学的に証明した。

特に、質量を持たない光子(光)自身のローレンツ因子を計算した場合、理論上、光子の視点における時間は完全に停止し、全宇宙の進行方向の距離は完全にゼロへと収縮する。これは、光の視点からは「あらゆる空間の隔たりが存在しない1点」になっていることを物理数理として意味している。しかし、従来の物理学はこの現象を「光速の特性」として片付けるのみで、「空間が1点に収縮しているのなら、光そのものが全宇宙の情報を内包した超高密度のデータ媒体(ポインタ)として機能しているのではないか」という、逆方向の情報科学的アプローチには踏み込んでいなかった。

以上の先行研究(ホイーラーの情報の優位性、ホログラフィック原理の投影論、相対性理論の時空収縮)は、それぞれ「宇宙の本質が情報であること」や「時空が圧縮可能であること」を個別に示唆している。本論文は、これら散らばっていた

天才たちのパズルのピースを、「光子を全時空領域の情報媒体(データボックス)として一元化する」というアプローチによって、初めてシームレスに統合するものである。

4. 提案仮説(Proposed Model)

本論文では、宇宙を「物質的な実体」ではなく、高度な演算処理によって描画される「量子情報シミュレーションシステム」と仮定し、その中核を担う情報媒体として「光(光子)データボックス仮説」を提案する。本モデルにおいて、光子は単なるエネルギーの量子ではなく、無限大の時間・空間領域のソースコードが記述(エンコード)された超軽量の情報ストレージ(または背景データベースへのアクセスキー・ポインタ)として再定義される。

本章では、容量を持たない光子がなぜ無限の情報を内包できるのか、そのシステム論的アーキテクチャについて、数理的アプローチを交えて3つの要因から定義する。

4.1 アナログな位相・波動情報によるエンコード

物理的なハードディスクや半導体メモリは、データを物質(原子)の磁気や電荷で記録するため、容量を増やすには物理的な構造の拡大(体積)を必要とする。

しかし、光子には質量も体積も存在しない。光子が情報を保持する媒体は、物質ではなく、光子が固有に持つ「波としての性質(周波数、位相、偏光)」である。

周波数や位相(波のズレ)は、デジタルな「0」と「1」のマス目ではなく、連続的な「アナログ値(グラデーション)」である。数学的に、任意の2つの数値の間には無限に分割可能な実数が存在するのと同様に、光子の波の極微な位相差のパターンの中には、無限の階層を持つ時空データをコード(数式)として折りたたみ、記述することが可能である。物理物質に依存しない情報記述方式であるからこそ、光子は「データ容量制限」という物理的制約から完全に解放されている。

4.2 光速における時空の完全収縮とデータの一括収納

特殊相対性理論が示す通り、光速 c で移動する光子の視点(固有時)においては、ローレンツ収縮により「全宇宙の進行方向の距離(空間)」はゼロになり、「時間の経過」も停止する。

我々観測者のマクロな視点からは、宇宙はあまりにも広大(無限の空間)に見えるため、「1つの光子が全宇宙のデータを保持すること」は不可能であるように直感される。しかし、光子のローレンツ座標系においては、最初から全宇宙の「過去・現在・未来」のすべての時空座標が、距離ゼロの「1つの点(特異点)」に完全に収縮・重なり合って存在している。

したがって、光子が内包する情報量は、3次元空間の体積ではなく、時間軸も含めた「4次元時空体積」として一括収納されていると定義するのが妥当である。

この関係性は、情報理論とプランク単位系を用いて以下の数式(式1)で表現される。

$$V_{4D} = I \cdot V_{p4D} \quad \text{— (式1)}$$

ここで、 I は光子にエンコードされた総情報量(bits)であり、 V_{p4D} は宇宙のシステムにおける情報記述の最小1ピクセルおよび1フレームに対応する「4次元プランク体積($\approx 2.27 \times 10^{-14} \text{ m}^3 \cdot \text{秒}$)」である。

本モデルにおいて、光子が「無限大のデータボックス」であるならば、内包する総情報量 I は無限大 ($I \rightarrow \infty$) に向かう。これにより、式1が示す4次元時空体積 V_{4D} もまた無限大となり、光子が宇宙の全時空領域をデータとして完全に網羅・内包できることが数学的に証明される。

4.3 宇宙背景ネットワークへのアクセスキー(ポインタ)としての機能

光子が無限の情報を処理できる第3の要因は、データの実体が光子という「粒の内部」に局所的に存在しているのではなく、「宇宙のシステム(背景の量子情報場)側」に非局所的に保存されているというアーキテクチャに起因する。

これは、現代のコンピューティングにおける「ポインタ(参照アドレス)」や「クラウドコンピューティング」の仕組みと同一である。クライアント端末(我々の3次元スクリーン)に表示されるオブジェクト自体は軽量であっても、それがサーバー上の巨大なデータベース(宇宙の全情報)の特定のメモリアドレスを参照する「鍵(ポインタ)」として機能していれば、そのオブジェクトを介して無限のデータ空間にアクセスできる。

すなわち、光子はデータを物理的に持ち歩く「携帯メモリ」なのではなく、宇宙のメインサーバーに格納された無限の時空データを、我々の現実世界に呼び出し、ロードするための「超軽量の検索ショートカットキー」として機能している。

この非局所的なデータ管理構造により、光子は自身の容量を「ゼロ」に保ったまま、無限の時空情報を現実世界に展開(レンダリング)することを可能にしている。

5. 考察・謎の解明(Discussion)

本章では、第4章で提案した「光データボックス仮説」を用い、現代物理学の未解決問題である「波動関数の収縮(観測問題)」「量子もつれ」「光速の上限」の3つの謎を解明する。

さらに、本理論を支持する具体的な思考実験(マクロ静止観測実験)について考察を行う。

5.1 波動関数の収縮の説明:宇宙シミュレーション装置による局所レンダリング

量子力学において、分子や原子などの素粒子が観測前に「確率の波(波動関数)」として存在し、観測の瞬間に「点(実体)」に収縮する現象は、本モデルにおいて宇宙シミュレーション装置のメインプロセッサ(演算処理装置)による「レンダリング(描画)プロセスの進行」として完全に説明される。

未観測の素粒子が形を持たないのは、システムが計算資源(メモリや電力)を節約するために、プレイヤー(観測者)の画面に映っていない領域のデータを確率関数のままバックグラウンドで保持しているため(遅延評価)である。

観測者が視線を向ける、あるいは測定器(光子)を衝突させた瞬間、システムは以下のレンダリング関数Rを実行する。

$$R(\psi) \xrightarrow{\text{観測}} \delta(x - x_0) \quad \text{--- (式2)}$$

ここで $\delta(x - x_0)$ はディラックのデルタ関数であり、特定の座標 x_0 に100%の実体がパッと現れる描画コマンドを意味する。この際、波動関数が「絶対値の2乗(ボルンの規則: $P(x) = |\psi(x)|^2$)」で処理される理由は、情報科学的観点において「負の確率」という演算エラー(バグ)を排除するための非負値化プロセスであり、同時にオブジェクトの総数を維持するための「情報保存のフレームワーク」に他ならない。

5.2 量子もつれの説明:ポインタの共有と距離のロード

どれほど離れていても2つの粒子が瞬時に同期する「量子もつれ」の非局所性は、3次元空間の距離が「実在の障壁」ではなく、システムが後から生成している「描画エフェクト」に過ぎないことを示している。

第4.3節で述べた通り、光速の座標系(宇宙のソースコード層)においては、全宇宙の距離はゼロに圧縮されている。もつれ状態にある2つの粒子は、3次元の画面上では「宇宙の端と端」に離れて配置されているように見えても、バックグラウンドのメモリ(サーバー側)においては同じメモリアドレス(情報ソース)を共有している同一のオブジェクトである。したがって、一方の粒子へのアクセス(観測)は、距離を介した通信(シグナル伝達)を必要とせず、サーバー上の共有データを直接書き換えるため、タイムラグ「ゼロ」での同期(非局所性)が実現する。

5.3 光速が上限を持つ理由の解明:プロセッサ(演算処理装置)のクロック周波数

アインシュタインの相対性理論において、なぜ光速 c が宇宙の絶対的な最高速度として固定されているのか。それは、この宇宙というシミュレーションシステムを駆動しているメインプロセッサ(演算処理装置)の最大演算速度(クロック周波数)限界だからである。

光子は無限大の時空情報を内包するデータボックスであり、光が空間を伝播する行為は、時空データベースから3次元世界へ現実を順番に「デコード(展開)」していく処理に相当する。システムが1秒間に処理できる限界値が c であるため、情報はそれ以上の速度で画面に描画されることはない。この描画速度は、経路上のデータ密度(質量・エネルギー M)によって以下のように処理落ち(演算ラグ)を起こす。

$$R(t) = \int_0^t c \left(1 - \frac{2GM}{r \cdot c^2} \right) dt \quad \text{--- (式3)}$$

データ容量(M)が極端に過密な領域(ブラックホールの特異点など)においては、演算負荷が限界に達し、括弧内がゼロとなることで光(データボックス)の展開速度は完全に凍結される。これが「重力による光の赤方偏移および幽閉」の正体である。

5.4 本理論を支持するケーススタディ:マクロ静止観測における画像の非対称性

本理論の「世界は固定された物質ではなく、光を介してその都度計算(ロード)されている」という描画特性を検証するアプローチとして、以下のマクロ静止観測実験を挙げる。

床面にセロハンテープ等でスマートフォン(高倍率観測装置)を完全に固定し、画面角の物理的ブレを極限まで排除した環境を構築する。この状態で、「点灯(観測中)」「消灯(暗転環境による描画一時停止)」「再点灯(再観測)」のプロセスを行い、消灯前後の静止画データをピクセル(ビット情報)レベルで比較する。

物理主義的パラダイムにおいては、装置が完全に固定されているならば、出力される画像は理論上100%同一(対称)であるべきである。しかし実際の観測においては、極小(マクロ)レベルのノイズパターンや光電素子のキャッチする情報に必ず微小な「差異(非対称性)」が生じる。

本理論においてこの現象は以下のように解釈される。

- 1 消灯時(暗転):当該エリアの光子(アクセスキー)が途絶えたため、システムは

計算資源を節約すべく、セロハンテープ接着面や床の微細な分子構造のグラフィック描画を一時停止(キャッシュ化)し、波動関数の確率の波へと差し戻す。

- 2 再点灯時:再び光子が空間を満たした瞬間、システムは式2(レンダリング関数)を再実行し、確率データを2乗して実体化(ポップイン)させる。この際、量子力学的な確率の揺らぎが再計算されるため、完全に同一の座標ではなく、微小なドットのズレやノイズの差として、再描画の足跡が画像データに刻まれる。

この実験結果は、世界が静的に固定された「物質の連続体」ではなく、光のスイッチをトリガーとしてその都度バックグラウンドで動的に再計算されている情報構造体であることの極めて強力な傍証となる。

6. 結論 (Conclusion)

本論文では、現代物理学における3つの巨大な未解決パラドックスである「波動関数の収縮(観測問題)」「量子もつれの非局所性」「有限な光速の上限」に対し、宇宙の本質を情報処理プロセスとして捉えるデジタル物理学のアプローチからアプローチし、その解決策として「光(光子)データボックス仮説」を提案した。

本モデルの結論として、光子は質量や体積(物理的容量)を一切持たないにもかかわらず、アナログな位相情報によるエンコード、および光速移動に伴う時空の完全なローレンツ収縮によって、時間軸を含む4次元時空体積の全ソースコードを内包・記述できる極限の情報媒体であることを数学的・システム論的に証明した。さらに、光子はデータそのものを局所的に内包するだけでなく、背景にある宇宙の量子情報ネットワークへの「ポインタ(参照アドレス)」として機能しているという非局所的なデータ管理アーキテクチャを提示した。

この仮説に基づけば、未観測の素粒子が確率的に存在し、観測の瞬間に実体化する現象(ボルンの規則)は、計算資源を節約するための遅延評価と、光子の接触をトリガーとした宇宙エンジンによる動的な局所レンダリングプロセスとして完璧に合理化される。また、量子もつれにおける瞬時の同期はサーバー上のメモリアドレスの共有として、光速の上限 c はシステムを駆動するプロセッサのクロック周波数限界としてそれぞれ一元的に説明される。スマートフォンを用いたマクロ静止観測実験における消灯・点灯前後の画像の非対称性は、この世界が固定された物質の連続体ではなく、光を介してその都度バックグラウンドで動的に再計算(ロード)されているシミュレーション構造であること的有力な実証的足跡を示している。

「万物はビットから生じる(It from bit)」というホイーラーの洞察から数十年が経過した現在、我々は物質主義的なアプローチの限界に直面している。本論文が提示した光データボックス理論は、物質や時空を「客観的に実在する舞台」としてではなく、光という究極の情報媒体を介して

動的に描画されるスクリーン上の映像として再定義するものである。

本理論は、相対性理論と量子力学の数学的・概念的矛盾を「情報のレイヤー」において見事に調停し、21世紀の物理学を真のデジタル・パラダイムへと導くための強力な理論的礎石となることを確信する。

7. 参考文献(References)

- 1 Wheeler, J. A. (1989). Information, Physics, Quantum: The Search for Links. Proceedings of the 3rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo, 354-368.
- 2 t Hooft, G. (1993). Dimensional Reduction in Quantum Gravity. arXiv:gr-qc/9310026.
- 3 Susskind, L. (1995). The World as a Hologram. Journal of Mathematical Physics, 36(11), 6377-6396.
- 4 Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper [On the Electrodynamics of Moving Bodies]. Annalen der Physik, 17, 891-921.