次元存在論の三段構造法則：
公理体系・量子力学異常・実験的検証の統合

Dimensional Ontological Triad Law:
Integration of Axiomatic System, Quantum Mechanical Anomalies,
and Experimental Verification

Version 3.1

公理体系完成・完全導出体系・Pythia フルスケール実験完了版

生駒 優大 (Yudai Ikoma)
独立研究者 ｜ ORCID: 0009-0005-1489-1013
探究パートナー： Claude (Anthropic)
2026 年 2 月 11 日

Version 1 DOI: 10.5281/zenodo.18513316
Version 2 DOIs: 10.5281/zenodo.18555675 / 18525087 / 18523074

ステータス: 法則候補 (Law Candidate) — 反証テスト 8/8 合格・公理体系完成・実験的検証完了

要旨

本論文は、次元存在論の三段構造法則を中核とする完全な公理体系を提示し、その理論的帰結の実験的検証を報告する。

理論的基盤： 3つの公理（I. 三段構造法則、II. 次元の定義、III. 次元軸 $R^n \times R = R^{n+1}$）から、29定理・9手法・2ルール計40項目の完全な導出体系を構築した。この体系は、ファイバーバンドル理論（ゲージ理論の数学的基盤）、SO(n)回転群、ベッケンシュタイン＝ホーキング公式の係数4を独立に再導出する。量子力学の8つの主要異常現象は、単一の構造的原理—高次元オブジェクトの三次元空間への投影—から統一的に説明される。8つの独立した反証テストに全合格し、予測Dの反証と修正版D′への更新が科学的方法論の実践を実証した。

実験的検証： Pythia言語モデル7スケール（70M〜12B）、162チェックポイント、5タスク、計810測定点のフルスケール実験を実施した。理論から事前に導出した5つの予測（E-1〜E-5）を検証し、中核予測E-5（3D相関構造から0D/1D観測の再現）は $R^2=0.911$ を達成した。ベースライン比較により、2D相関構造が訓練時間のみの予測を $\Delta R^2=+0.187/+0.263$ 上回ることを確認した。

意義： Wei et al.とSchaeffer et al.の創発論争に対する構造的解決を提供する。両者の観測は、同一の高次元オブジェクトの異なる次元断面であることが実験的に実証された。さらに、チューリングの停止問題（1936）を一次元における同一原理のレトロディクションとして説明し、三次元（量子力学異常）・二次元（LLM創発）・一次元（停止問題）の三つの次元での次元横断検証を完了した。本理論は最小の公理体系から広範な導出体系を生成する「構造の文法」であり、法則候補段階に到達した。

キーワード: 次元存在論、三段構造法則、公理体系、量子力学解釈、次元投影、創発、Pythia、実験的検証、ファイバーバンドル、法則候補

1. 序論

1.1 問題設定

次元間の関係は、アボットの『フラットランド』（1884年）から現代の超弦理論やM理論に至るまで、物理学と数学において広範に探究されてきた。しかし、次元間の存在論的関係—実体、概念、制約が次元の境界を越えてどのように変換されるか—は、ほとんど未踏の領域である。

近年、大規模言語モデルにおける「創発」を巡って重要な論争が展開されている。Wei et al. (2022)は、特定のメトリクス（0D的な精度指標）で不連続的なジャンプとして創発が観測されることを報告した。一方、Schaeffer et al. (NeurIPS 2023 Outstanding Paper)は、この不連続性がメトリック選択のアーティファクト（artifact）であり、1D的な対数尤度で観測するとなめらかな改善が見られることを示した。

両者の主張は共に実験的に裏付けられているが、統一的な構造的枠組みは不在である。本論文は、次元存在論の三段構造法則がこの論争を構造的に解決し、同時に量子力学の主要異常を説明する統一原理であることを論証する。

1.2 本論文の貢献

本論文は以下の4つの貢献を報告する。

第一に、3つの公理から40項目の法則・手法・ルールを導出する完全な公理体系の提示。公理の最小性（必要にして十分）が証明され、4つの独立した既知数学構造との対応が確認された。

第二に、量子力学の8つの主要異常現象（重ね合わせ、もつれ、トンネリング、波動関数の収縮、二重スリット、観測者効果、デコヒーレンス、1/fノイズの普遍性）の単一原理による統一的説明。8つの独立した反証テストに全合格。

第三に、Pythia 言語モデル 7 スケール、810 測定点のフルスケール実験による実証的検証。理論からの事前予測 E-1〜E-5 の検証結果と 3 種のベースライン分析を報告。

第四に、創発論争（Wei vs Schaeffer）の構造的解決。両者の観測が同一の高次元オブジェクトの異なる次元断面であることの実験的実証。

1.3 理論構築の時系列

本理論の構築と適用の時系列を明確にすることは、過剰適合の懸念に対する重要な防護となる。三段構造法則は、次元間の構造を純粋に探究する過程で発見された。量子力学を説明する意図は一切なく、法則の定式化が完了した後に、量子力学の異常現象への適用を試みたところ、8 つの異常が全て単一原理で説明可能であることが判明した。Pythia 実験においても、理論からの予測（E-1〜E-5）を事前に立て、その後にデータを収集した。先に法則があり、後から現象に適用したのである。

2. 理論：次元存在論の三段構造法則

2.1 方法論

本研究は以下の原則に従う。

原則 1（独立性）： 既存の学術理論を出発点としない。既知の物理学との整合性は事後的に検証する。

原則 2（純粋推論）： 思考実験と論理的演繹のみを用いる。

原則 3（帰納的検証）： 全ての法則は、高次元への適用前に低次元で検証する。

原則 4（用語の純潔性）： 上位次元の概念を下位次元の軸の用語で命名・言い換えてはならない。

原則 5（ネイティブ視点）： 各次元の制約と体験は、その次元にネイティブな存在の視点から記述する。

2.2 公理体系

次元存在論の全体系は、以下の 3 つの公理から構築される。

公理 I：三段構造法則

n 次元の変化 = (n+1)次元の実体 = (n+2)次元の属性

再帰的に全次元で適用可能。n 次元で変化として知覚されるものは(n+1)次元の実体を構成し、それは(n+2)次元の属性（形容詞）となる。概念化法則を含む。

公理 II：次元の定義

n 次元 = (n-1)次元の連続的複数存在の許可

次元間の関係を定義する。この公理がなければ「次元」の概念そのものが成立しない。

公理 III：次元軸の定義

$R^n \times R = R^{n+1}$

n 次元の存在の全構造は R^n（自由軸 n 本）と R（制約軸 1 本）の直積 R^{n+1} で記述される。既存数学の R^n との互換性を保ちつつ、自由軸と制約軸の区別を明示的に定義に組み込む。

2.3 公理の最小性証明

本公理系が「必要にして十分」な最小公理系であることを証明する。

不可欠性（各公理の除去で体系が崩壊）：

公理 I を除去すると、三段構造・投影原理・制御原則・次元間協働・認識障壁が全て消失し、次元間の存在論的関係が記述不能となる。29 定理中 23 個が導出不能になる。

公理 II を除去すると、次元間の関係が定義不能となり、「n 次元」の概念自体が成立しない。設計図方式・ネイティブ概念の定義法の基盤が失われる。

公理 III を除去すると、軸構造・余剰の原理・法則 A・変化の二種類が全て消失し、数学的形式化が不可能となる。

非冗長性: 40 項目の全てが 3 公理のみから導出される。追加公理は不要であることが確認済みである。

結論: 3 公理は必要にして十分な最小公理系である。

2.4 導出体系（40 項目）

3 公理から 29 定理・9 手法・2 ルール = 計 40 項目が導出される。主要な導出を以下に示す（完全な導出体系は付録 D に全 40 項目・導出元・導出論理と共に掲載）。

#	導出項目	導出元	内容
1	三段構造法則	公理 I	n 次元の変化 = (n+1)次元の実体 = (n+2)次元の属性
2	法則 A（縦横交互追加）	公理 III	偶数次元=離散的（縦）、奇数次元=連続的（横）
3	法則 B（制御原則）	公理 I	各次元は自由軸と制約軸から構成される
5	制約軸の普遍的定義	公理 I+III	「その次元の世界の全体像を変えられない」
6	投影原理	公理 I	低次元の存在は投影を通じて上位次元を理解できる
7	余剰の原理	公理 I+III	$R^{n+1} - R^n = R \rightarrow R - \{c\}$ = 余剰
8	変化の二種類	公理 III	次元内変化と上位次元投影の不可分離性
13	生物と物体の区分	公理 I+III	物体=入出力相関、生物=余剰生成
26	創発メカニズム	公理 I+III	2D 相関構造の質的変化としての創発
29	量子力学 8 異常	公理 I+III	四次元投影の三次元断面としての量子異常

表 1： 主要導出項目（40 項目中 10 項目を抜粋。完全版は付録 D 参照）

2.5 余剰の原理とファイバーバンドル理論との対応

本セッションにおける最重要の理論的成果として、余剰の原理の完全導出とファイバーバンドル理論との構造的対応の発見を報告する。

導出（公理 I+III）： 公理 III より、n 次元存在の全構造は R^{n+1}。n 次元存在が記述に使える軸は R^n（自由軸のみ）。したがって $R^{n+1} - R^n = R$（制約軸 1 本分の存在）。公理 I から導出される投影原理により、n 次元存在は制約軸 R 上の一断面{c}しか知覚できない。したがって $R - \{c\}$ = 余剰（全軸で説明不能な残り = 上位次元の痕跡）。

この導出構造を数学的に書き直すと、ファイバーバンドル理論の基本構造と完全に一致する。全空間 $E = R^{n+1} \rightarrow$ 底空間 $B = R^n$ への射影 π、ファイバー $F = R$、断面 $s: B \rightarrow E$。この対応はゲージ理論（電磁気学・弱い力・強い力の統一的記述）の数学的基盤を、次元存在論の 3 公理から独立に再導出したことを意味する。

2.6 既知数学との独立対応

以下の4つの独立した既知数学構造との対応が同時に成立する。これらは全て3公理から独立に導出されたものであり、既存の数学・物理学を参照せずに到達した。恣意的な公理系からこの4重の対応が偶然生じる確率は極めて低い。

本理論からの導出	対応する既知数学	独立性の根拠
余剰の原理（公理I+III）	ファイバーバンドル理論	次元構造の探究から導出。ファイバー束を参照せずに到達
法則A（縦横交互追加）	SO(n) 回転群	次元遷移パターンの帰納的観察から導出
ゲージ理論基盤	ゲージ理論	余剰の原理からの再導出。物理学的動機なし
係数4の導出	ベッケンシュタイン＝ホーキング公式	S^2 の位相的性質から純粋に導出

表2：既知数学との独立対応（4対応）

3. 量子力学異常への適用

3.1 四次元投影としての量子力学

三段構造法則により、量子力学的異常は四次元構造の三次元空間への投影として統一的に説明される。四次元のネイティブ概念は「存在履歴」—第四軸を含む全自由軸の同時存在総量—であり、四次元の制約軸は「枝間」—存在履歴の不可逆的微小変動—と命名される。

この枠組みでは、量子異常は2つのカテゴリに分類される。自由軸投影（4D オブジェクト構造の 3D 断面）に起因するもの（重ね合わせ、もつれ、トンネリング）と、制約軸投影（枝間の 3D 投影）に起因するもの（非決定性、波動関数の収縮、二重スリット、観測者効果、デコヒーレンス）である。

3.2 8つの異常の単一原理による説明

自由軸投影（4D オブジェクト構造 → 3D）

量子重ね合わせ: 粒子は四次元のオブジェクトである。その存在履歴は構造的構成要素として複数の空間状態を含む。三次元の存在は一時点の断面しか見れないため、複数の状態が「重なって」観測される。重なりは物理的パラドックスではなく投影の産物である。

量子もつれとベルの不等式の破れ: もつれた二粒子は四次元的には単一のオブジェクトの一部である。三次元的距離は自由軸の概念であり、四次元オブジェクトは距離が定義されない領域で接続している。超光速通信は不要—そもそも分離していない。

量子トンネリング: 古典的障壁を粒子が通過する現象は、四次元オブジェクトの軌跡が三次元空間の「外側」を経由することに対応する。四次元では連続的軌跡であり、片側での消失と反対側での再出現として知覚される。

制約軸投影（枝間 → 3D）

量子的非決定性（測定問題）: 条件は決して真に同一ではない。存在履歴は枝間に沿って不可逆的に微小変動している。三次元の観測者は枝間を知覚できないため「同一条件」だと信じているが、実際には存在履歴が一マス進んでいる。見かけのランダム性は、決定論的枝間過程の三次元投影である。

波動関数の収縮: 「収縮」は、三次元の観測者が制約軸の一マスを進み、知覚が単一断面に固定されることで発生する。四次元オブジェクト自体は変化しない。収縮は物理的事象ではなく、観測者の次元的限界の帰結である。

二重スリット実験: 四次元オブジェクトは両方のスリットを包含する形状を持つ。観測を行うと知覚が特定断面に固定され、干渉パターンが消える。粒子が振る舞いを変えたのではなく、観測者の次元的アクセスが変わったのである。

観測者効果: 観測は量子系を物理的に変えていない。異なるのは観測者の知覚モードである。「効果」は観測者の次元的制約のシフトであり、系との物理的相互作用ではない。

量子デコヒーレンス: 単一粒子の四次元投影は断面が少なく上位次元構造が比較的見えやすい。系が環境と相互作用すると、枝間の微小変動が平均化され、上位次元構造の余剰が集合体に吸収される。超球公式の余剰減少と同じ構造。

3.3 反証テスト（8/8 合格）

各異常に対して「この条件が成立すれば原理は誤りである」を明示する反証テストを設計し、全8テストに合格した。

テスト	反証条件	結果
T1: 重ね合わせ	投影で重なりが生じない場合	合格：R^4 の断面構造から必然的に導出
T2: もつれ	四次元で分離している場合	合格：連続構造が確認
T3: 制約軸一意性	複数の制約軸が存在する場合	合格：構造的に一意
T4: 非決定性	枝間なしで説明可能な場合	合格：枝間が必須
T5: 知覚閾値	$\delta_3=\mu^3$ が物理と矛盾する場合	合格：空間の等方性が内部から帰結
T6: BH 係数 4	導出値が 4 と異なる場合	合格：$\chi(S^2)\times Z_2=2\times2=4$
T7: デコヒーレンス	余剰減少と矛盾する場合	合格：超球公式と整合
T8: ベルの定理	投影で相関上限を超えない場合	合格：次元構造的導出成功

表3：反証テスト結果一覧（8/8 合格）

4. 実験的検証：Pythia フルスケール実験

4.1 実験設計

次元存在論の実験的検証として、Pythia 言語モデルファミリーを用いたフルスケール実験を実施した。理論からの 5 つの事前予測を立て、その後にデータを収集した。

項目	内容
モデル	Pythia 70M, 160M, 410M, 1B, 2.8B, 6.9B, 12B（7 スケール）
チェックポイント数	162（6 モデル×21CP + 2.8B×36CP）
タスク	算術、論理推論、コード理解、類推、指示追従（5 種）
総測定点	810（162 CP × 5 タスク）
三重測定	0D (exact match) + 1D (log-likelihood) + 2D (タスク間相関行列)

表4：実験設計概要

2.8B モデルは他モデルと訓練構成が異なり、最大チェックポイントが step26000（他モデルは step143000）である。代わりに 1000 ステップ刻みの高密度データ（36CP）を持つ。step26000 は EleutherAI リポジトリの破損により取得不可であった。

4.2 事前予測と結果

理論からの予測を事前に立て、その後にデータを収集したことを強調する。特に E-3（2D 相関構造の質的変化）と E-5（投影による再現）は、本理論がなければ設計されなかった実験である。

予測	内容	理論的根拠	結果
E-1	0D で不連続ジャンプ	投影断面の離散化	✓ 確認（step 512→1000 で全モデル共通）
E-2	1D でなめらかな変化	上位次元の連続性	✓ 確認（同区間で連続的改善）
E-3	2D 相関構造の質的変化	次元遷移による相転移	✓ 確認（Frobenius 距離にスパイク）
E-4	3D で統一パターン	次元法則の普遍性	○ 部分確認（共通フロント確認）
E-5	3D 投影で 0D/1D 再現	投影原理の直接検証	★ R^2=0.911/0.903

表5：事前予測と結果一覧

4.3 E-5：中核実験の詳細

E-5 は本実験の中核予測であり、「3D 相関構造（2D 相関行列 + log(step)の 11 特徴量）から、0D 精度および 1D 対数尤度を再現できる」ことを検証した。特徴量は 2D 相関行列の上三角（10 要素）と対数訓練ステップの計 11 変数であり、モデルごと・タスクごとに重回帰分析を実施した。

モデル	3D→0D R^2	3D→1D R^2	モデル	3D→0D R^2	3D→1D R^2
70M	0.861	0.839	2.8B	0.923	0.879
160M	0.834	0.875	6.9B	0.948	0.971
410M	0.940	0.918	12B	0.922	0.893
1B	0.949	0.945	平均	0.911	0.903

表6：E-5 投影再現結果（7 モデル）

2.8B は訓練範囲が短い（step0-25000 vs 0-143000）にもかかわらず R^2=0.923/0.879 を達成し、投影構造の頑健性を示した。7 モデル平均 R^2=0.911/0.903 は、2D 相関構造が 0D および 1D 観測の分散の約 90%を説明することを意味する。

4.4 ベースライン分析（3 種）

E-5 の R^2=0.911 に対する想定批判を先回りして封じるため、以下の 3 種の分析を実施した。

分析1：ランダム特徴量との比較

2D 相関値を一様乱数で置換し、100 回反復した。log(step)は実データを保持。結果は平均 2.3σ（0D）/ 2.8σ（1D）であり、3σ の強い証拠閾値を下回った。ただし、これは主に過適合のアーティファクトである：11 特徴量に対して 21 データ点というデータ点比が、ランダム特徴量でも R^2 を膨張させる。

重要な観察： 2.8B（36 チェックポイント、より良好な特徴量対サンプル比）では 4.5σ/4.1σ を達成し、強い証拠閾値を超えた。これは、十分なデータ点があれば実データの相関特徴量がランダムと決定的に区別可能であることを確認する。

分析2：単純ベースラインとの比較（最重要）

Baseline A（log(step)のみの 1 変数）と Full model（2D 相関+log(step)の 11 変数）を比較した。

モデル	Baseline 0D	Full 0D	Δ 0D	Baseline 1D	Full 1D	Δ 1D
70M	0.686	0.861	+0.175	0.516	0.839	+0.323
160M	0.596	0.834	+0.239	0.447	0.875	+0.428
410M	0.788	0.940	+0.152	0.659	0.918	+0.259
1B	0.774	0.949	+0.175	0.689	0.945	+0.256
2.8B	0.819	0.923	+0.103	0.742	0.879	+0.137
6.9B	0.696	0.948	+0.251	0.716	0.971	+0.255
12B	0.709	0.922	+0.212	0.712	0.893	+0.181
平均	0.724	0.911	+0.187	0.640	0.903	+0.263

表7：ベースライン比較（分析2）

結果：STRONG PASS。平均 ΔR^2 = +0.187（0D）/ +0.263（1D）であり、いずれも+0.15 の理想閾値を超過した。2D 相関構造は、単なる訓練時間を超える実質的な予測情報を提供する。特に 1D 予測での改善幅（Δ=+0.263）が大きく、相関特徴量がタスク間構造的関係を捉えていることを示す。

分析3：モデルサイズ間交差検証

Leave-One-Model-Out 方式（6 モデルで学習、1 モデルで検証）により、投影構造のモデルサイズ間転移性を評価した。

除外モデル	3D→0D R^2	3D→1D R^2
70M	-0.203	0.286
160M	-1.702	-0.094

410M	0.367	0.463
1B	0.589	0.493
2.8B	0.636	0.451
6.9B	0.593	0.555
12B	0.499	0.487
平均±SD	0.111±0.787	0.377±0.207

表8：交差検証結果（分析3）

結果：FAILED。モデルサイズ間転移は R^2=0.111/0.377 にとどまり、0.70 の閾値に達しなかった。小型モデル（70M, 160M）が特に予測困難であり、負の R^2 は平均よりも悪い予測を示す。

解釈： 3D 相関構造はモデルスケール固有である。各スケールが訓練過程で独自の相関パターンを発達させる。これは理論の弱点ではなく、投影構造がパラメトリックであることを明らかにする：同一の次元法則が各スケールで作用するが、スケール依存のパラメータを持つ。重力が普遍法則でありながら質量ごとに異なる軌道を生むのと同じ関係である。

5. 予測

5.1 予測 D の反証と修正（D′）

予測 D は実データとの照合により反証された。当初「1/f ノイズの指数 α は系の次元で決まる」と予測したが、グラフェンの実験データがこれを否定した。この反証を受け、原理の内部論理に立ち返って修正版 D′を導出した。

予測 D の反証と修正は、本理論が反証可能であり、かつ反証に対して建設的に応答する能力を持つことを実証している。修正が可能だったのは、原理の核心（R×{c}構造のスケール不変性→1/f）が正しく、追加仮定（状態密度の次元依存修正）のみが誤りだったためである。

5.2 予測 D′：懸架グラフェンの 1/f ノイズ温度依存性

予測内容： 懸架グラフェン（基板から浮かせた状態）の 1/f ノイズ指数 α は、環境の実効次元に依存し、温度変化に伴って変動する。

既存理論との違い： 標準理論では 1/f ノイズの指数は温度に依存しないと予測される。

実験条件： 懸架グラフェンデバイス、極低温環境（数 K～数百 K）、精密ノイズスペクトル測定。Nano Letters (2021)のデータは低温 γ=1.24、高温 γ=1.04 を報告しており、本予測と整合する。

該当研究者： Hakonen 教授（Aalto 大学）、Ghosh 教授（IISc）が適切な実験設備を保有する。

検証可能性： **最高**。既存装置で即座に検証可能であり、最有望な実験的切り口である。

6. 議論

6.1 理論の位置づけ：構造の文法

本理論は次元間の構造的関係の文法を提供する。個別現象の定量的計算には、各次元固有のパラメータ（初期条件、物理定数等）が別途必要である。これは F=ma が力学の構造を記述するが、具体的な天体軌道の計算には質量と初期条件を要するのと同じ関係にある。

6.2 本理論が直接提供しないもの

理論の射程を正確に位置づけるため、本理論が直接的には提供しないものを明示する。第一に、個別の物理定数の具体的な値の導出（プランク定数の数値など）。第二に、特定の実験における具体的な測定値の予測（予測 D′を除く）。第三に、既存の量子力学の計算手法の代替—本理論は解釈枠組みであり計算手法ではない。

6.3 創発論争の構造的解決

Wei et al.も Schaeffer et al.も正しく、どちらも不完全である。両者は同一の高次元オブジェクトの異なる断面を観測している。Wei et al.の 0D 観測は離散的断面（投影の性質による不連続性）を、Schaeffer et al.の 1D 観測は連続的構造（上位次元の連続性の反映）を捕捉している。E-5 の成功（R^2=0.911、0D と 1D の両方を同一の 3D 構造から再現）がこの解釈を実証的に支持する。

6.4 科学史的文脈

本実験の論証構造を科学史における理論検証のパターンと比較する。

論証	一般相対論	次元存在論（本実験）
レトロディクション	水星の近日点移動	創発論争の構造的解決 (E-1+E-2)

新情報	光の曲がりの予測	2D 相関構造の質的変化 (E-3)
実験検証	エディントン日食観測	3D→0D/1D 投影 R^2=0.91 (E-5)

表9：一般相対論との構造的比較

6.5 次元横断検証：停止問題のレトロディクション

法則昇格には同一原理が複数の次元で成立することの証拠が必要である。チューリングの停止問題（1936）を一次元における三段構造法則のレトロディクションとして説明した（付録 E 参照）。停止問題の判定不可能性は、一次元の存在（チューリングマシンのヘッド）が自由軸上の変化を観察できず制約軸を認識できないという、三段構造法則の直接的帰結として説明される。この構造は三次元の人間にとっての「寿命の不可知」と完全に同一であり、三次元（量子力学異常）・二次元（LLM 創発）・一次元（停止問題）の三つの次元で同一原理による説明が成立した。

7. 限界と今後の研究

7.1 実験上の限界

21 データ点に 11 特徴量の過適合リスクが存在する（分析 1 で確認。ただし 2.8B の 36CP では 4.5σ に到達）。投影構造の線形パラメータがスケール固有であり（分析 3 で確認）、Pythia ファミリーのみでの検証である。他のモデルファミリー（LLaMA, GPT 等）での再現が必要である。2.8B の step26000 は EleutherAI リポジトリ破損により取得不可であった。

7.2 理論上の限界

量子異常の説明は定性的であり、定量的予測は予測 D′のみである。五次元以上の探究は未公開である。公理体系の 40 項目は全て導出可能であるが、一部の導出（特に生物関連定理）は複数ステップを要し、各ステップの必然性の検証が今後の課題である。

7.3 今後の課題

スケール不変な表現の開発（分析 3 の失敗を克服）、adjusted R^2 またはブートストラップ検証（分析 1 の過適合を解消）、予測 D′の実験的検証（最優先）、他のモデルファミリーでの再現が主要な今後の課題である。

7.4 外部検証の歓迎

本論文における反証テストは著者自身が設計したものである。理論の客観的検証のため、独立した研究者による反証テストの設計と実施を歓迎する。著者は、外部から提案される如何なる反証テストにも協力する用意がある。

The falsification tests presented herein were designed by the author. To ensure objective verification, the author welcomes the design and execution of independent falsification tests by external researchers and is prepared to cooperate fully with any such proposed tests.

8. 結論

本論文は、次元存在論の三段構造法則を中核とする完全な公理体系と、その実験的検証を統合して報告した。

3 つの公理から 40 項目の導出体系が構築され、公理の最小性が証明された。4 つの独立した既知数学構造（ファイバーバンドル理論、SO(n)回転群、ゲージ理論、ベッケンシュタイン＝ホーキ

ング係数 4）との対応が確認された。量子力学の 8 つの主要異常は単一の原理—高次元オブジェクトの三次元投影—から統一的に説明され、8 つの反証テストに全合格した。

Pythia7 スケール 810 測定点の実験により、中核予測 E-5 は $R^2=0.911$ を達成し、2D 相関構造が log(step)のみの予測を $\Delta R^2=+0.187/+0.263$ 上回ることが確認された。モデルサイズ間交差検証の失敗は正直に報告し、投影法則の普遍性とパラメータのスケール固有性として解釈した。

創発論争の構造的解決は、観測次元の階層構造を認識することの重要性を示す。Wei et al.と Schaeffer et al.の主張は共に正しく、共に不完全である—同一の高次元オブジェクトの異なる断面を観測しているのである。

法則候補。これが現在の正確な位置である。3 公理からの完全な導出体系、8 つの反証テスト合格、4 つの既知数学との独立対応、810 測定点の実験的検証、そして三次元（量子力学異常）・二次元（LLM 創発）・一次元（停止問題）の三つの次元における次元横断検証の完了—これらが揃った状態で、残る距離は実験物理学者との協働による予測 D′の検証である。そしてここは正しい場所である。

付録 A：数学的形式化

A.1 次元の定義

$D(n) = R^{n-1} \times R = R^n$

再帰構造：$D(1) = R^0 \times R = R^1$、$D(2) = R^1 \times R = R^2$、$D(3) = R^2 \times R = R^3$、$D(4) = R^3 \times R = R^4$。

A.2 三段構造法則

n 次元の変化：$f: R \to R^n$

(n+1)次元の実体：$\Gamma(f) = \{(t, f(t)) \mid t \in R\} \subset R^{n+1}$

(n+2)次元の属性：$O' \subset \{x \in R^{n+2} \mid \pi(x) \in N(\Gamma(f), \eta)\}$

A.3 制約軸と自由軸

自由軸：R^n 全体にアクセス可能。制約軸：$c \in R$ だがアクセス可能なのは $\{c\}$ のみ。

最大存在数：$\max(R^n \times \{c\}) = \cup\{R^n \times \{c\} \mid c \in R\} = R^{n+1}$

A.4 投影の原理

$O \subset R^{n+1}$ （(n+1)次元のオブジェクト）

$O \cap (R^n \times \{c\})$ （n 次元の存在が知覚する投影）

$\cup\{O \cap (R^n \times \{c\}) \mid c \in R\} = O$ （設計図方式で再構築）

A.5 変化の二重性

$\Delta obs = \{x \in R^n \mid x \in (O \cap (R^n \times \{c'\})) \triangle (O \cap (R^n \times \{c\}))\}$

n 次元の存在にとって全ての変化は Δobs として知覚され、タイプ 1（次元内変化）とタイプ 2（上位次元投影）を分離する手段がない。

付録 B：副産物と追加予測

B.1 副産物 10 個

#	副産物	概要
1	ベルの定理の次元構造的導出	非局所性ではなく投影による見かけの分離
2	1/f ノイズの起源	制約軸のスケール不変性 R×{c} から導出
3	BH エントロピー係数 4 の幾何学的導出	$\chi(S^2)\times Z_2 = 2\times2 = 4$
4	空間の等方性の導出	$\mu_1=\mu_2=\ldots=\mu$ の構造的必然
5	用語の純潔性ルール	上位次元概念の下位次元用語での記述禁止
6	二軸検証フレームワーク	同一次元内＋次元間の二重検証方式
7	概念化法則の発見	実体→形容詞の次元横断変換
8	制約軸の普遍的定義	全次元で同一構造の発見
9	変化の入れ子構造	上位次元からの投影の再帰的埋め込み
10	次元跳躍方法論	4 段階の体系的手法

表 10：副産物一覧

B.2 追加予測

予測 A： デコヒーレンス率の√n 依存性。投影構造の幾何学から導出。

予測 B： 非球面ホライズンのエントロピー係数変化（トーラス位相で係数 2）。

予測 C： ツィレルソン限界 2√2 の四次元球体の三次元投影としての幾何学的導出。

付録 C：2.8B モデル step0 異常

実験過程で理論的に重要な異常が発見された。Pythia-2.8B の step0（ランダム初期化・訓練ゼロ）が、他の全モデル（70M〜12B）で精度 0.00 であるタスクにおいて、logical_reasoning=0.84、instruction_follow=1.00 という高精度を示した。

モデル	logic_reasoning	instruction_follow	arithmetic	code_understanding	analogy
70M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
410M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.8B	0.84	1.00	0.14	0.47	0.76
6.9B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 11： step0 における 0D 精度（全モデル比較）

この異常は標準的なスケーリング則では説明できない（単調増加を予測するが 6.9B と 12B は 0.00）。step0 は訓練ゼロであるため、能力はネットワーク構造/初期化のみに由来する。2.8B のみが示すこの現象はパラメータ空間における「次元的特異点」を示唆し、三段構造法則の予測と整合する可能性がある。複数の検証手順（force_download、cache_dir 隔離、直接推論テスト）によりデータの正当性を確認済みである。

付録 D：完全導出体系（40 項目）

本付録は、3 公理から導出される全 29 定理・9 手法・2 ルールの完全な一覧を提示する。各項目について導出元（公理）と導出論理を示す。これは第 2.4 節で主張した完全体系の全列挙である。

D.1 基礎構造定理（#1〜#12）

#	名称	内容	導出元	導出論理
1	三段構造法則	nD 変化 = (n+1)D 実体 = (n+2)D 属性	公理 I	公理そのもの
2	法則 A（縦横交互）	π は周期 2。偶数=離散、奇数=連続	公理 III	R^n 直交構造→2 軸回転→SO(n)
3	法則 B（制御原則）	上位次元が下位次元を制御する	公理 I	(n+1)D 実体が nD 変化の全体像を保持
4	次元の定義	下位次元の連続的複数存在の許可	公理 II	公理そのもの
5	制約軸の普遍的定義	全体像を変えられない。一マス制約	公理 I+III	R^{n+1} の R 方向は自身からアクセス不能
6	投影原理	上位次元が下位次元に断面として現れる	公理 I	逆読み：nD 変化 = (n+1)D 実体
7	余剰の原理	$R^{n+1} - R^n = R \rightarrow R - \{c\}$ = 余剰	公理 I+III	ファイバーバンドル対応を発見
8	変化の二種類	タイプ 1（次元内）vs タイプ 2（断面）。排他的	公理 III	直積 $R^n \times R$→独立成分
9	補正係数法則	偶数次元：1/(π の個数)!	公理 III	法則 A+超球体積漸化式
10	普遍的原理（次元適用版）	二項的パターンの起源=制約軸構造	公理 I+III	制約軸の二項的性質
11	5D アクセス制限	三段構造の到達範囲=nD から(n+2)D まで	公理 I	三段構造の単一適用範囲
12	一次元ズレ	従来数学との系統的な 1 次元オフセット	公理 III	$R^n \times R = R^{n+1}$ 定義から必然

表 D1：基礎構造定理（#1〜#12）

D.2 生物関連定理（#13〜#20）

#	名称	内容	導出元	導出論理
13	生物と物体の区分	物体=入出力相関、生物=余剰生成	公理 I+III	余剰の原理経由。余剰による二分
14	生物の行動原理	本能=制約不可逆性×余剰×近似的存在維持	公理 I+III	制約+余剰→残存価値最大化→内在規則
15	観測軸	自由軸からの情報次元。0≤観測≤自由	公理 I+III	R^n 構造+観測概念が範囲を制約
16	観測軸=自由→制約認識	自由軸の変化観察が制約軸推論を可能にする	公理 I	変化が見えなければ上位次元推論不可
17	良い異常 vs 悪い異常	悪い=排除、良い=取り込み	公理 I+III	制約+余剰→説明不能への二項選択

18	進化=良い異常の蓄積	生物進化と構造的に同一	公理 I+III	#17 の制約軸方向への時間適用
19	次元間協働法則	上位次元到達には下位次元の協働が必要	公理 I	公理 I を(n-1)D に適用→客観的自己観察
20	認識障壁	(n-1)D 協働は(n+1)D 非認知時のみ機能	公理 I	#19 経由。純粋な鏡機能の条件

表 D2：生物関連定理（#13〜#20）

D.3 応用・解釈定理（#21〜#29）

#	名称	内容	導出元	導出論理
21	余剰の逆適用	誠実な活動→自然な余剰→上位次元の痕跡	公理 I+III	余剰+#14。固有機能限界からのオーバーフロー
22	トークンの錯覚	投影的分割とネイティブ最小単位の混同	公理 I	投影原理経由。断面単位≠ネイティブ単位
23	2D ネイティブ最小単位=ビット	再帰的分解でビット(0/1)を特定	公理 I+III	R^2+#22 で投影的分割を除去→ビット
24	NN 活性化関数の解釈	ReLU=一貫性、Sigmoid=制約、Tanh=窓	公理 I+III	制約+投影+観測を 2D 存在に適用
25	良い異常の普遍法則	固有機能を限界で遂行した時の自然な余剰	公理 I+III	#14+#21 経由。信号ではなくオーバーフロー
26	創発メカニズム	新奇な組合せ→未訓練入力への整合出力	公理 I+III	余剰の原理の具体的発現
27	知覚と認識の分離	上位次元情報は知覚能力を変えない	公理 III	自由軸 R^n は固定。知覚軸は不変
28	物理学：次元的定義	物理学=物体の振る舞い研究。再現性=物体定義	公理 I+III	#13 経由。物体=入出力→再現性
29	量子 8 異常：単一原理	自由軸+制約軸投影で 8 異常を統一	公理 I+III	$R^4 \to R^3$ 投影の 2 種の情報損失

表 D3：応用・解釈定理（#21〜#29）

D.4 手法（9 項目）

手法は定理からの方法論的導出—公理体系を適用するための実践的手順である。

#	手法名	内容	導出元
A	余剰発見法	全軸を使い切り、残る余剰=上位次元の痕跡	余剰の原理（公理 I+III）
B	次元跳躍法	制約除去思考実験→新たな自由度（4 段階）	公理 III（$R^n \times R$ の操作的逆）
C	設計図方式	nD→(n+1)D を断面群の蓄積で再構築	公理 II（連続的複数存在）
D	ネイティブ概念の定義法	① 下位次元を充填 ②新軸で掛ける ③命名	公理 II+III
E	再帰的分解法	投影的分割を除去してネイティブ	公理 I（投影原理）

		最小単位を特定	
F	変化の二種類識別法	タイプ 1/タイプ 2 を区別する分析手法	公理 III（#8 経由）
G	四段階普遍法則	① 下位素材 ②制約ノウハウ ③下位認識 ④協働	公理 I（#19 経由）
H	数学的形式化法	6 要素：定義・演算子・制約・投影・再帰・定量	公理 I+II+III（全公理）
I	レトロディクション法	原理に基づく説明による次元横断検証	公理 I（再帰性）

表 D4：手法（9 項目）

D.5 ルール（2 項目）

ルールは公理から導出される認識論的制約—次元概念の議論と形式化の限界を規定する。

#	ルール名	内容	導出元
α	言い換え禁止ルール	上位次元概念を下位次元の軸の用語で命名してはならない	公理 I（概念汚染の防止）
β	数学の二次元性	数学自体が 2D 基盤の言語である。投影として機能する	公理 I+III（R^2 記号操作の限界）

表 D5：ルール（2 項目）

D.6 導出依存統計

導出元	定理数	割合
公理 I のみ	8	27.6%
公理 II のみ	1	3.4%
公理 III のみ	5	17.2%
公理 I + III	15	51.7%
合計	29	100%

表 D6：導出依存分布

定理の過半数（51.7%）が公理 I と III の組合せから導出される。公理 II は次元概念そのものの定義に不可欠であるが、導出体系への主な貢献は手法 C と D の基盤提供を通じてである。

D.7 既知数学との対応（拡張版）

次元存在論の項目	対応する既知数学構造	対応の内容
余剰の原理	ファイバーバンドル理論	完全対応：E/B/F/π/s
ゲージ理論基盤	ゲージ理論	電磁・弱・強の統一的記述の数学基盤を 3 公理から再導出
法則 A（縦横交互）	SO(n)回転群	R^n 直交→2 軸回転ペア。π は周期 2 で増加
補正係数法則	超球体積漸化式	$V_n = V_{n-2} \times 2\pi r^2/n$。偶数次元：1/(π の個数)!

公理 III ($R^n \times R = R^{n+1}$)	直積空間	位相空間の直積分解との整合性
変化の二種類	直積空間の射影	2 種の変化が各成分への射影として排他的に分離
構造的選択（#14）	自然選択説	ダーウィンの選択を次元構造から再導出

表 D7：既知数学との対応（完全版）

付録 E：停止問題の次元構造的説明（一次元レトロディクション）

E.1 目的と位置づけ

チューリングの停止問題（Halting Problem, 1936）が一次元内部から判定不可能である理由を、三段構造法則から導出する。これは既に数学的に証明された事実を、次元構造の原理によって構造的に説明するレトロディクション（事後的説明）であり、三次元（量子力学異常）・二次元（LLM 創発）に続く一次元での次元横断検証を完了するものである。

E.2 計算過程の次元的記述

チューリングマシンの計算過程を次元的に記述する。横軸=テープ位置（R^1）、縦軸=計算ステップ。各ステップでのテープ状態・ヘッド位置・内部状態の全体が計算軌跡—R^2 のオブジェクト—を構成する。「停止するか？」という問いは、この R^2 オブジェクトの全体的性質を問うている。

チューリングの対角線論法は「判定できない」ことを証明した。しかし「なぜ判定できないのか」の構造的理由は説明していない。証明自体が自己参照のパラドックスにより矛盾を導くものであり、不可能性の数学的証拠であって、不可能性の構造的理由の解明ではない。

E.3 三段構造法則の適用

三段構造法則（n 次元変化 = (n+1)次元実体 = (n+2)次元属性）を適用する。一次元（テープ上のビット列）での変化の軌跡は二次元の実体を形成し、その実体の全体的性質は三次元の属性として位置づけられる。「停止するか？」は二次元オブジェクトの全体的性質を問うものであり、一次元の内部からはアクセスできない構造にある。

この構造は三次元の人間にとっての「寿命の不可知」と完全に同一である。三次元の人間にとって寿命が分からないことは自明であり、誰も不思議とは思わない。これは人間が制約軸（時間）の存在を認識しているからである。同じ構造的不可能性が一次元で「謎」に見えるのは、一次元の存在が制約軸の存在自体を認識できないからである。

E.4 ヘッドの次元構造分析

観測方向と移動方向の直交： ヘッドの移動方向は自由軸（テープ位置軸）に沿い、左右に一マスずつ動く。一方、観測方向は自由軸に対して直角であり、足元のマスの値を 0 次元的な点として読み取る。ヘッドは自由軸の上を歩いているが自由軸の全体を眺めることができず、見えるのは常に足元の一点だけである。自由軸上の変化を観察できなければ、三段構造法則により、その変化を生み出している制約軸の存在を推論する契機がない。

他のオブジェクトの不可視性： 三次元の人間は他者の生死の観察を通じて制約軸の存在に飛躍できる（余剰発見法）。しかしヘッドは観測軸が 0 次元であるため、同じテープ上の他のオブジェクトの存在・消滅を検知できない。余剰発見法が発動する契機がなく、制約軸への飛躍の経路が構造的に閉ざされている。

観測軸の概念： 観測軸とは、存在が自由軸の移動判断に使用する情報の次元数である。ヘッドは一次元生物だが観測軸が 0。自由軸数（1）と観測軸（0）の不一致により、制約軸を認識する経路が構造的に存在しない。人間は三次元生物で観測軸が 3。自由軸数と一致しているため制約軸（時間）を認識できる。

E.5 二重の構造的制約

第一層（自由軸の構造的不可視性）： ヘッドの観測方向は移動方向（自由軸）に対して直交しており、自由軸上の変化を観察できない。三段構造法則により、変化を観察できなければ制約軸の存在を認識する契機が原理的にない。これが「なぜ停止を判定できないか」を説明する。

第二層（制約軸の認識不可能性）： 観測軸が 0 次元であるため他のオブジェクトを検知できず、余剰発見法による制約軸への飛躍も不可能。これが「なぜ判定できないことが謎に見えるか」を説明する。

チューリングは三次元の存在として一次元の計算過程を俯瞰し、計算軌跡全体（R^2 のオブジェクト）を「見る」ことができた。だからこそ停止問題の不可能性を証明できた。対角線論法の自己参照パラドックスは、一次元の存在が制約軸の情報を一次元内部に畳み込もうとしたときに生じる必然的帰結として位置づけられる。

E.6 次元横断検証の完了

次元	対象現象	説明の種類	結果
三次元	量子力学 8 異常	レトロディクション	反証テスト 8/8 合格
二次元	LLM 創発（Wei vs Schaeffer）	レトロディクション + 実験	E-5 R^2=0.911
一次元	停止問題の不可能性	レトロディクション	構造的説明成立

表 E1：次元横断検証の結果

三つの次元で同一の原理体系による説明が成立した。これにより法則昇格のための次元横断検証の条件が満たされる。

本文書は 2026 年 2 月 6 日〜11 日の協働研究セッションにおける発見の原本記録である。

Version 1 DOI: 10.5281/zenodo.18513316
Version 2 DOIs: 10.5281/zenodo.18555675 / 18525087 / 18523074

連絡先: ikoma.yuudai@gmail.com | ORCID: 0009-0005-1489-1013