

時空はなぜ 4 次元か？

— 実在時空・計測尺度・重力赤方偏移・GPS による回答 —

仲座栄三

coastalen@gmail.com

注意：本論は、Nakaza E.: Why Is Spacetime Four-Dimensional? – An NNRT Answer Based on Real Spacetime, Measurement Scales, Gravitational Redshift, and GPS —, Journal of Science, Disaster Prevention, and Environmental Research (Physics), Vol.8, No.1, 133-142, 2026 の日本語概要版である。引用の際には、上記の正式英語バージョンをご参照ください。

要 旨

日本物理学会は「物理学 70 の不思議」において「時空はなぜ 4 次元か？」という問題を提示している。本稿は、仲座の新相対性理論 (Nakaza New Relativity Theory: NNRT) の立場から、この疑問が実在時空と計測時空の同一視によって生じることを示す。NNRT では、実在の基盤を 1 次元の普遍時間と 3 次元の普遍空間とし、全慣性系の実在運動をガリレイ変換 (GT) で記述する。ここで普遍時空は絶対静止系やエーテルを意味しない。一方、異なる慣性系をまたぐ電磁波計測ではドップラーシフトが生じ、重力場では重力赤方・青方偏移が生じる。Pound-Rebka 実験や Gravity Probe A が直接観測した量は電磁波・原子時計の周波数差であり、GPS ではこの周波数差を補償するため、衛星搭載時計に打上げ前から実際の周波数オフセットが与えられている。原子時計では時間率の差は振動数率の差として実現されるため、源と計量を変えないまま周波数尺度だけを事前調整して時計率を一致させ得るという GPS の事実は、「唯一の湾曲した実在時空が時計の遅速そのものを決める」という従来解釈の内部矛盾を明らかにする。NNRT は、これらを実在時間そのものの変形ではなく、時間・距離を構成する計測尺度の変化として読む。さらに GPS で通常「一般相対論的重力効果」と「特殊相対論的速度効果」に分けて説明される項は、弱場近似上の分解であり、Schwarzschild 計量による円軌道時計の固有時では単一の式に統合される。NNRT が継承するのは、Lorentz 変換、Schwarzschild 解、Einstein 型方程式などの成功した予測数理と、それらが再現する実験値である。一方、理論の基礎は、普遍時間・普遍三次元空間、GT およびニュートンの運動法則を実在運動層へ復帰させ、その上に電磁観測写像を置き、Lorentz 変換と 4 次元計量を計測層へ再配置することによって再構築される。この再構築は単なる基礎部分の変更ではなく、理論全体の性質を変え、従来相対論の成功数理を包含した新たな相対性理論として NNRT を成立させる。また、実在層と計測層の混同を解くことは、4 次元時空の謎だけでなく、時間・長さ・同時性をめぐる従来の相対論的パラドックスの共通原因を根源から除去する。

キーワード：仲座の新相対性理論 (NNRT) , 実在時空, 計測時空, 普遍時空, ガリレイ変換, ニュートン力学, 電磁波計測, 重力赤方偏移, GPS, Schwarzschild 解, 4 次元時空, 基礎理論再構築

1. 問題の所在

日本物理学会は「物理学 70 の不思議」の一つとして「時空はなぜ 4 次元か？」を掲げている。同解説は、我々の宇宙が 1 つの時間と 3 次元の空間からなることは経験的に明らかであり、素粒子標準模型および一般相対性理論が 4 次元時空上で自然現象をよく記述しているとしたうえで、なぜ自然が 4 次元を選んだのかを量子重力・弦理論にまでつながる根本問題として提示している [1]。

この問題設定は、一般相対性理論における 4 次元計量を、実在する時空そのものの幾何学として読むことから生じる。計量が実在時空そのものを表すなら、その次元、トポロジー、曲率、さらには量子的揺らぎまでが「実在時空とは何か」という問いになる。NNRT は、こ

の前提を採らない。NNRT が最初に分離するのは、実在する時間・空間と、それらを物理的尺度によって数値化して得られる計測時空である [2-4]。

したがって、本稿の目的は、4 次元形式の数学的有効性を否定することではない。同時に、それを単に別の言葉で読み替えることでもない。NNRT は、従来相対論が成功させてきた Lorentz 変換、4 次元計量、Schwarzschild 解、Einstein 型方程式などの数理的成果を計測層の記述として継承する一方、実在運動の基礎を普遍時間・普遍三次元空間、GT およびニュートンの運動法則によって再構築する。本稿は、この基礎理論の再構築によって相対論の 4 次元形式が何を記述しているかを明確化し、その物理的指示対象を実在時空から計測時空へ移すことで、日本物理学会が掲げる疑問に NNRT から直接回答する。

2. 時間・空間と「尺度」の区別

我々は、1 次元の時間軸と 3 次元の空間軸を経験的に認知する。しかし、時間や空間そのものを物体のように取り出して直接計測することはできない。物理学が与えるのは、定められた時間標準および長さ標準を用いて、出来事や物体に対応づけた数値である。すなわち、物理学的な時間値・距離値は、「時間・空間の存在」と「尺度」と「比較操作」によって成立する。

現在の国際単位系 (SI) でも、秒はセシウム 133 原子の超微細遷移周波数の固定値によって定義され、メートルは真空中の光速 c の固定値と秒の定義を通して定義されている [5]。この事実自体は NNRT を支持するものではないが、物理量としての時間値・長さ値が、標準と物理過程を介して実現されることを明確に示している。

NNRT では、この操作的事実と、時間・空間の存在論を混同しない。すなわち、「時計が示す値」と「時間そのもの」、「測距装置が示す値」と「空間そのもの」を区別する。この区別が、実在時空と計測時空を分離する理論的出発点となる [3,4]。

$$M_{\text{real}} = \mathbb{R}_t \times \mathbb{R}_x^3 \quad (1)$$

式 (1) は、NNRT が実在の基盤として 1 次元の普遍時間と 3 次元の普遍空間を置くことを表す。ここで M_{real} は実在時空 (real spacetime)、 t は普遍時間、 $\mathbf{x} = (x, y, z)$ は三次元空間位置ベクトルを表す。式 (1) は、4 次元計量を実在そのものとして仮定する式ではなく、時間 1 成分と空間 3 成分を区別した実在基盤の定義である。

3. GT による全慣性系に共通な普遍時空

NNRT では、慣性系間の実在運動をガリレイ変換 (Galilean transformation: GT) で記述する [2-4]。三次元のベクトル表示では、

$$t' = t, \quad \mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{V}t \quad (2)$$

である。ここで $\mathbf{V}$ は二つの慣性系間の一定相対速度ベクトルである。相対速度ベクトル $\mathbf{V}$ の方向を x 軸にとれば、その一次元成分は $x' = x - vt$ と書ける。ここで $v = |\mathbf{V}|$ は相対速度の大きさ (速さ) を表すスカラーである。式 (2) では時間座標は全慣性系で共通であり、空間座標は同一の三次元空間上で相対位置だけが変換される。この意味で GT は、全慣性系に同一の時間標準と空間標準を適用する。

この構造の下では、一つの慣性系内部で互いに静止した対象を、その系とともに静止した尺度で計測する限り、計測は普遍時空の内部で局所的に完結する。NNRT が問題とする相対論的変換は、この実在運動そのものからではなく、異なる慣性系にまたがる電磁的観測過程に入ったときに現れる [3,4]。

なお、NNRT が普遍時間・普遍空間を実在基盤として置くことは、「絶対静止空間」あるいはエーテルの存在を仮定することを意味しない。ここでいう普遍性とは、すべての慣性系が同じ時間標準と三次元空間基盤を共有することを意味し、特権的に静止した一つの慣性系を選ぶことを意味しない。GT は任意の二つの慣性系をその相対速度によって関係づけるものであり、絶対速度やエーテルに対する運動の測定を要求しない。したがって、NNRT における普遍時空の復権は、19 世紀的エーテル模型や絶対静止系の復活ではなく、慣性系間で不変な実在基盤を理論の土台に戻すことを意味する [2-4]。

4. 電磁波尺度が構成する相対論的計測時空

異なる二つの慣性系の間を電磁波が伝播し、その電磁波を時計同期、測距、周波数比較などの尺度として用いる場合、相対運動に応じてドップラーシフトが生じる。NNRT では、電磁波の位相 θ を一つの物理量として扱い、その時間勾配を角振動数 ω 、空間勾配を波数ベクトル $\mathbf{k}$ とする [4]。平面波の局所表示は、

$$\theta = \omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x} \quad (3)$$

と書ける。ここで θ は位相、 ω は角振動数、 $\mathbf{k}$ は波数ベクトル、 $\mathbf{x}$ は空間位置ベクトルであり、式 (3) の $\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}$ は三次元ベクトルの内積である。次に二系間の相対速度ベクトル $\mathbf{V}$ の方向に一次元の軸をとる。その方向の波数成分を $k_{\parallel}$ とすれば、同じ電磁波に対する角振動数と波数の変換は、その方向成分について、

$$(\omega, k_{\parallel}) \rightarrow (\omega', k'_{\parallel}) \quad (4)$$

と表される。ここで $k_{\parallel}$ は波数ベクトル $\mathbf{k}$ の $\mathbf{V}$ 方向成分を表すスカラーであり、式 (4) は三次元ベクトルそのものではなく、その一次元成分の変換を表す。NNRT では、この変化を「実在する時間や長さそのものの変化」とは解釈せず、電磁波を尺度として時間・距離を構成するときに生じる尺度変換として解釈する [3,4]。

したがって、実在時空から電磁観測量を経て計測値に至る過程を、観測写像 Φ_{EM} によって、

$$\Phi_{\text{EM}}: M_{\text{real}} \rightarrow M_{\text{obs}} \quad (5)$$

と表す。ここで Φ_{EM} は電磁観測写像、 M_{obs} は電磁的尺度によって構成された計測時空 (observational/measurement spacetime) である。計測時空の一つの出来事は、

$$x_{\text{obs}}^{\mu} = (ct_{\text{obs}}, x_{\text{obs}}, y_{\text{obs}}, z_{\text{obs}}) \quad (6)$$

の 4 成分で表される。ここで μ は時空成分を表す添字であり、obs は observation (観測・計測) を表す説明添字である。なお、式 (6) の x_{obs}^{μ} は 4 次元座標を成分添字で表した記号であり、式 (3) の三次元空間位置ベクトル $\mathbf{x}$ とは表記上も物理的役割上も区別する。重要なのは、この 4 成分表示が直ちに「実在世界そのものが一個の 4 次元幾何学的実体である」ことを意味しない点である。NNRT では、1 つの時間計測値と 3 つの空間計測値を一つの出来事として統合した結果として 4 成分表示が成立する。

5. 重力下で現れる湾曲した計測時空

重力作用下では、電磁波には重力赤方偏移・青方偏移が現れ、伝播時間、光路、位相、周波数および波数に重力依存の変化が生じる。したがって、電磁波を尺度として構成される時間値・距離値も重力場に応じて変化する。NNRT では、これらの相互に関連した計測量を一つの幾何学的構造にまとめたものを観測計量 $g_{\mu\nu}^{\text{obs}}$ と解釈する [4]。

$$ds_{\text{obs}}^2 = g_{\mu\nu}^{\text{obs}} dx_{\text{obs}}^{\mu} dx_{\text{obs}}^{\nu} \quad (7)$$

式 (7) で $g_{\mu\nu}^{\text{obs}}$ は計測時空の計量を表す。NNRT は、一般相対性理論が与える計量形式、Einstein 型方程式、Schwarzschild 解などの数学的成果を捨てない。それらを、時計、光、測距、位相、伝播時間および観測運動を統合して記述する計測層の成功数理として継承するのである。その意味で、従来相対論が達成した数値的予測と実験的一致は NNRT の内部に保持される [4]。しかし、この数理を保持することは、従来相対論の基礎理論や存在論まで保持することを意味しない。

理論値と実測値の一致から直ちに「実在する時間・空間そのものが伸縮し、湾曲した」と結論することは、NNRT では追加の存在論的主張とみなされる。重力赤方偏移の実験が直接検出するのは周波数差であり、GPS が実務上補正しているのも時計周波数・伝播時間・同期量である [6–9]。標準的一般相対論は、これらを曲がった 4 次元時空の幾何学として説明する。NNRT は、同じ観測値を再現する成功数理を計測層へ継承する一方、その下に普遍時間・普遍空間と GT・ニュートン運動を実在層として置く。したがって、NNRT が行うのは同一理論の単なる読み替えではない。相対論的な 4 次元曲率を実在時空の曲率から計測時空の曲率へ再配置すると同時に、理論全体の基礎階層を組み替えるのである [5]。

6. 重力赤方・青方偏移実験—実際に観測されるもの

重力場による周波数変化は、NNRT の計測時空解釈を具体的に検討するうえで重要である。Pound と Rebka は、 ^{57}Fe の 14.4 keV γ 線を用い、地上約 22.5 m の高低差に対応する極めて小さな周波数差を Mössbauer 効果によって検出した [6]。また Gravity Probe A では、水素メーザーを搭載したロケットを高度約 10,000 km まで上昇させ、地上時計との周波数比較によって重力赤方偏移を高精度で検証した [7]。上向き伝播では赤方偏移、逆向きでは符号が反転した青方偏移として表される。

弱い静的重力場では、異なる重力ポテンシャルに置かれた同一周波数標準の比較は、一次近似で次式の形に表される。

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq \frac{\Delta U}{c^2} \quad (8)$$

ここで、 ν は周波数、 U は重力ポテンシャル、 c は光速である。実験が直接与えるものは、このような周波数比あるいは時計比較量である。実験装置が「4 次元時空の曲率そのもの」を直接取り出して測定しているわけではない。標準的一般相対論は、この周波数差を計量の時間成分および固有時の差として幾何学的に説明する。NNRT はその数値的説明を保持しながら、観測された周波数変化をまず電磁的・原子的尺度の変化として位置づける。

したがって NNRT では、「重力によって時間そのものが遅くなったから周波数が変化した」と一方向に読むのではなく、「重力場によって周波数尺度が変化し、その尺度を時計として用いるため、異なる時間値が計測される」と読む。周波数標準が変化すれば、その標準で刻まれる秒の対応も変化する。こうして計測された時間値を空間三成分と統合すれば、重力依存の 4 次元計測時空が構成される。NNRT において湾曲するのは、この計測網であって、普遍時間と三次元普遍空間からなる実在基盤そのものではない。

7. GPS の周波数調整と Schwarzschild 解

GPS は、この尺度変化が単なる哲学的議論ではなく、実際の工学的補正として存在することを示す好例である。GPS 衛星は高精度原子時計を搭載し、その信号の位相と時刻を測距・測位に用いる。Ashby の詳細な解析によれば、軌道上の標準時計を地球ジオイド上の基準時計と整合させるため、衛星時計には打上げ前から一定の周波数オフセットが与えられる [8,9]。その分率補正は次式である。

$$\frac{\delta f}{f} = -4.4647 \times 10^{-10} \quad (9)$$

この補正により、名目 10.23 MHz の基準周波数は、打上げ前に次の値へ調整される [8,9]。

$$f_{\text{pre}} = (1 - 4.4647 \times 10^{-10}) \times 10.23 \text{ MHz} = 10.22999999543 \text{ MHz} \quad (10)$$

すなわち GPS では、相対論的な周波数差を考慮しなければ測位系が成立しないという事実が、時計周波数の実際の設定値として工学系の内部に組み込まれている。通常の弱場説明では、衛星の高高度による重力項が約 +45.7 $\mu\text{s/day}$ 、軌道運動による項が約 -7.2 $\mu\text{s/day}$ と分けられ、差し引き約 +38.5 $\mu\text{s/day}$ だけ衛星時計が地上基準に対して速くなると説明される。これは式 (9) の分率補正と同じ量を表す [8,9]。

ここで本質となるのは、計量が与える時間率と原子時計で実現される振動数率とを別物として扱えない点である。原子時計では、時間は原子振動の積算によって実現されるため、同一種類の時計の比較では dt/dt の差はそのまま観測される振動数率の差として現れる。したがって、従来解釈が $g_{\mu\nu}$ を唯一の実在時空の計量とし、その $g_{\mu\nu}$ が世界線に沿う実在時間の進みを定めるとするなら、源 $T_{\mu\nu}$ から $g_{\mu\nu}$ が定まり、 $g_{\mu\nu}$ から dt/dt が定まり、その時間率が時計の振動数率として現れる、という一つの因果鎖を受け入れることになる。GPS の事前周波数調整は、この因果鎖に対して決定的な問題を提起する。打上げ前に発振周波数を人為的に変更しても、 $T_{\mu\nu}$ 、 $g_{\mu\nu}$ 、衛星軌道、重力場は一つも変化しない。それにもかかわらず、軌道投入後に時計が刻む時間率を地上基準へ一致させることができる。すなわち、実際に操作可能なのは実在時空ではなく、時間計測の尺度である振動数である。[4]

この事実を単に「固有時 τ と座標時 t は異なる」として回避することはできない。なぜなら、原子時計における τ と t の対応は振動数率の対応として実現され、GPS が実際に補正している量もまさにその振動数率だからである。計量 $g_{\mu\nu}$ が源 $T_{\mu\nu}$ によって定まり、 $g_{\mu\nu}$ が実在時間の進みを一意に定めると解釈する一方で、同じ $T_{\mu\nu}$ と同じ $g_{\mu\nu}$ のまま振動数尺度だけを変更することによって、その時計が示す時間率を変更できるとするなら、「時計の遅速は唯一の湾曲した実在時空の遅速そのものである」という従来の存在論的主張の内部に矛盾が生じる。GPS の事前周波数調整は、この矛盾を工学的に可視化している。NNRT はここを例外処理とはみなさない。原子時計は実在時間そのものではなく、時間を計測する尺度であり、GPS の事前調整はその尺度を直接操作している。したがって、GPS で実証されているのは湾曲した実在時間の変化ではなく、重力・軌道条件の下で生じる時計振動数尺度の差と、その差を補正すれば同一の時間標準へ復帰できるという事実である。標準相対論が与える数値計算は保持できても、「その数値差が実在時間そのものの伸縮である」という解釈は保持できない。[4]

ただし、この「一般相対論による重力効果」と「特殊相対論による速度効果」という二分法は、弱い重力場・低速極限で理解しやすくするための分解であって、厳密な記述を二つの独立した時空機構へ分割しなければならないことを意味しない。静的球対称重力場では、Schwarzschild 計量から、運動する時計について弱場近似として次式が得られる。

$$\frac{d\tau}{dt} \simeq 1 + \frac{U}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2} \quad (11)$$

ここで U は重力ポテンシャル、 v は軌道速度ベクトルの大きさ、すなわち速さを表すスカラーである。第一の補正項と第二の補正項を便宜上「GR 項」と「SR 項」と呼ぶことはできるが、両者は同一の固有時式の弱場展開の中に同時に現れる。特に、非回転・球対称な理想化地球のまわりを半径 r で円軌道運動する自由落下時計では、Schwarzschild 計量と円軌道条件を用いると、座標時刻 t に対する固有時 τ の比は次の単一式にまとめられる。[4]

$$\frac{d\tau}{dt} = \left(1 - \frac{3GM}{rc^2}\right)^{1/2} \quad (12)$$

式 (12) は、理想化された円軌道の場合、重力ポテンシャルと軌道運動を別々の二理論として付け加えなくても、一つの重力場内の時計比較として統一して記述できることを示す。弱場展開すれば、円軌道条件 $v^2 = GM/r$ を通じて式 (11) の重力項と運動項が再現される。ここでも v は速度ベクトルではなく、その大きさ（速さ）を表す。さらに実際の GPS では地球自転を無視できず、地球固定回転座標系の有効ポテンシャルには地球の静的重力ポテンシャルと回転に伴う向心ポテンシャル項がともに入ることが Ashby の解析でも明示されている [8]。

したがって NNRT では、GPS の「SR 的效果」を、普遍時間そのものが相対速度によって遅れることの独立な証拠とは読まない。これは重力場中の軌道運動、すなわち円軌道を維持する向心運動に対応して現れる時計・周波数尺度の補正項として読むことができる。標準相対論が与える数値計算はそのまま保持されるが、「実在時間そのものが伸縮した」という存在論的解釈を付加する必要はない。GPS が現実調整しているのは時間そのものではなく、時計の発振周波数、信号位相、伝播時刻および同期量である。この操作的事実こそ、計測値と実在時空を分離する NNRT の立場を実験・工学の側から明瞭にする。

8. 比喩—伸び縮みする物差しで描いた 4 次元地図

ここで 4 次元計測時空と実在時空の違いを、一本の「伸び縮みする物差し」の比喩で考える。平坦な床の上に同じ長さの柱が多数並んでいるとする。ところが測定者が用いる物差しだけが、場所や運動状態によって目盛間隔をわずかに変える性質を持っているとする。その物差しを用いて全ての柱を測れば、得られる数値は場所ごとに系統的に異なる。測定値そのものは正しく、同じ物差しを使う限り再現可能である。しかし、その数値差から直ちに「床そのものや柱そのものが場所ごとに伸び縮みした」と結論することはできない。

さらに、その変化する物差しを用いて床全体に座標格子を描けば、得られる地図の格子間隔は不均一となり、適切な座標表示では曲がった幾何学として表現され得る。この地図は誤った地図ではない。むしろ、その物差しを用いて世界を測った結果を完全に記録した正しい「計測地図」である。しかし、計測地図の曲がりとは床そのものの曲がりとは同一概念ではない。

NNRT では、電磁波の位相・周波数・波数と原子時計が、この比喻における物差しに相当する。相対運動ではドップラーシフトによって尺度が変化し、重力場では赤方・青方偏移によって尺度が変化する。その尺度で一つの時間成分と三つの空間成分を測定して一枚の座標網にまとめれば、短縮し、遅れ、湾曲した 4 次元計測時空が構成される。従来相対論の計量は、この計測地図を極めて正確に記述する。NNRT が変更するのは地図の精度ではなく、その地図を「地形そのもの」と同一視する解釈である。

この比喻は理論の証明ではないが、日本物理学会が掲げる「時空はなぜ 4 次元か？」という疑問の構造を直観的に示す。1 本の時間軸と 3 本の空間軸という実在基盤を、電磁的尺度で同時に測定し、それら四つの測定値を一つの出来事の座標としてまとめるから、計測地図は 4 次元になる。そして尺度が重力・運動によって変化するから、その 4 次元地図は湾曲して見える。NNRT では、ここからさらに「なぜ地図が 4 次元なのか」ではなく、「なぜ計測地図を実在地形そのものとみなしたのか」と問いを反転させる。

9. 「時空はなぜ 4 次元か？」への NNRT の回答

以上から、日本物理学会の問いは NNRT では二つに分解される。第一は、「実在世界の時間と空間はいかなる構造か」という問いである。NNRT はこれを、1 次元の普遍時間と 3 次元の普遍空間として定義し、GT によって全慣性系に共通な標準とする。第二は、「なぜ相対論では 4 次元時空が現れ、しかも短縮・湾曲するのか」という問いである。NNRT はこれを、1 つの時間計測値と 3 つの空間計測値を電磁波・原子時計を介した観測によって一つの出来事として統合し、しかもその計測尺度自体が相対運動や重力によって変化するためであると答える。Pound-Rebka, Gravity Probe A, GPS が直接示すのは、まさにこの周波数・時計比較量の変化である [6-8]。

したがって、NNRT において「 $1 + 3 = 4$ 」は、自然が不可解な理由によって 4 次元実在時空を選択したことを意味しない。それは、1 次元の時間と 3 次元の空間を計測し、その 4 成分を一つの観測記述としてまとめた結果である。さらに、その尺度である電磁波の周波数・波数・位相および原子時計の発振周波数が相対運動や重力によって変化するため、得られる 4 次元計測像には時間差、長さの収縮、光路変化および曲率が現れる。GPS における実際の周波数設定は、この「尺度を補正して時刻を構成する」という事実を工学的に可視化している。

この観点に立てば、「なぜ実在時空そのものが 4 次元なのか」という問いを量子重力によって説明しなければならない必然性はなくなる。NNRT にとって根本問題は、4 次元時空の起源ではなく、「なぜ電磁的に構成された 4 次元計測時空を、実在時空そのものと同一視したのか」である。

この問題構造は、従来相対論から派生してきた時間・空間に関する各種パラドックスとも共通する。双子のパラドックス、長さ収縮に伴う棒・剛体の問題、同時性をめぐるパラドックスなどは、計測時空で得られる相対論的な時間値・距離値を、実在時間・実在空間そのものへ直接帰属させることによって生じる。NNRT では、実在層と計測層を分離し、Lorentz 変換を電磁的観測写像として位置づけるため、これらは実在時空内部の矛盾としては発生しない。したがって、「時空はなぜ 4 次元か？」という問題の解消は、一個の未解決問題への回答にとどまらない。NNRT の体系内では、従来理論が派生させてきた時間・空間パラドックスの共通原因を取り除き、その派生を根源から消失させることにつながる [3,4]。

10. 計測時空から実在時空への換算

NNRT の構造は、実在時空から計測時空への一方向の写像だけでは完結しない。観測によって得られた相対論的時間・距離を、観測者の運動状態、ドップラーシフト、重力赤方偏移、伝播経路などの条件を用いて実在層の標準へ対応づけ直す逆換算が必要である。概念的には、

$$\Phi_{EM}^{-1}: M_{obs} \rightarrow M_{real} \quad (13)$$

と表される。式 (13) は、計測値を否定する操作ではない。むしろ、相対論が与える正しい計測値から、その値を生み出した尺度変化を分離し、全慣性系で共通に用いる時間・空間標準へ戻す操作を意味する。

この意味で NNRT は、「相対論の数値は誤っている」と主張する理論ではない。しかし、その核心を「同じ数式に別の解釈を与えること」だけに縮約することもできない。NNRT が保持するのは、Lorentz 変換、Schwarzschild 解、Einstein 型方程式などが与える成功した予測数値と、それらが再現する実験事実である。一方、理論の基盤は、普遍時間・普遍空間、GT およびニュートンの運動法則を実在運動層へ戻し、その上に電磁的観測写像と 4 次元計測時空を置くことによって再構築される。したがって、「成功数値の継承・実験事実の保持・基礎理論の再構築」という表現は、NNRT の過程を示すが、その到達点までを言い尽くしてはいない。基礎理論の再構築は土台だけの部分変更ではなく、実在、運動、観測、Lorentz 変換、計量の役割を全面的に再編し、理論全体の性質を変える。その結果、従来相対論の成功数値を内部に包含しつつ、普遍時空を実在基盤とし、実在層と計測層を明確に分離した新たな相対性理論として NNRT が成立する。観測される 4 次元の短縮・湾曲した時空は計測時空として正しい。しかし、それを唯一の実在時空とする従来の基礎定義は採らない [4]。

本稿では、具体例として重力赤方・青方偏移と GPS を詳しく扱ったが、NNRT の適用範囲はこれらに限られない。NNRT は、従来相対論が実験・観測と一致させてきた成功数値を計測層に継承するため、光偏向、近日点移動、Shapiro 遅延、航空機・衛星時計比較、慣性系間の電磁的ドップラー効果を含め、相対論の検証として蓄積されてきた既存の物理実験・観測結果を、その成功数値を変更することなく NNRT の二層構造の中で矛盾なく再記述することを理論条件とする [4]。したがって、本稿で取り上げた重力赤方・青方偏移と GPS は、NNRT が既存の相対論の実験結果全体を包含する一般原理を具体化した代表例である。

11. NNRT は単なる「解釈変更」ではない—新たな相対性理論への再構築

ここまでの議論を「相対論の数式はそのままにして、実在時空を計測時空と言い換えるだけである」と理解するなら、NNRT の理論的射程を過小評価することになる。これまで用いてきた「解釈転回」という表現は、成功した数値予測を失わないことを簡潔に示すには有効であった。しかし、それだけでは NNRT が従来相対論と同一の基礎理論を共有し、存在論だけを選択的に変える別解釈であるかのような誤解を招く。NNRT が変更するのは名称や哲学的説明ではなく、何を実在の基盤とし、何を観測過程の数値とするかという物理理論の出発点と階層構造そのものである。

第一に、NNRT は、観測者ごとに相対化される時間・空間を実在の基盤とはせず、1 次元の普遍時間と 3 次元の普遍空間を全慣性系に共通な実在基盤として置く [2-4]。第二に、慣性系間の実在運動を記述する変換として GT を基盤へ復帰させ、ニュートンの運動法則をこの普遍時空上の実在運動法則として位置づける。第三に、Lorentz 変換を実在時空そのものを変換する法則から外し、二系間をまたいで伝播する電磁波の位相・周波数・波数を介して構成される観測写像へ再配置する。第四に、一般相対論が成功させてきた 4 次元計量、Schwarzschild 解および Einstein 型の数値を計測層へ継承し、その指示対象を実在時空から計測時空へ移す [4]。ここで復権される普遍時空、GT およびニュートン運動は、従来相対論に付加される補助仮説ではなく、NNRT の実在層を構成する基礎である。

この再構築によって、GT と Lorentz 変換は同一階層で「どちらが真の時空変換か」を争う関係ではなくなる。GT は実在慣性運動を担い、Lorentz 変換は電磁的観測写像を担う。ニュートン力学と相対論的成功数値についても、二つの独立した基礎理論を並走させるのではな

く、前者を実在運動層、後者を計測層へ配置する。したがって NNRT は、従来相対論の隣にもう一つの 4 次元時空理論を追加するものではない。従来相対論の成功数値を NNRT の計測層へ包含したうえで、「湾曲した 4 次元時空だけが唯一の実在時空である」という従来の基礎定義を退ける。

この意味で NNRT が要求するのは、単なる好みの解釈の追加ではなく、相対論によって基礎的位置を失った普遍時間、普遍空間、GT およびニュートンの実在運動の復権を伴う理論全体の再建である。同じ実験値を説明するという意味では、NNRT は従来相対論の成功数値と競争しない。それらを自らの計測層へ継承するからである。しかし、世界が何から成り、実在運動が何に従い、観測が何を構成するのかという物理学の基本構図については、従来相対論を独立した基礎理論として併存させる構造を採らない。NNRT は、従来相対論の成功数値を計測層へ包含したうえで、その実在論的基礎を置き換え、実在層と計測層からなる一つの新たな相対性理論へと再構成する。したがって、本稿における NNRT の位置づけは「同一理論の別解釈」でも「基礎部分だけを修正した従来理論」でもなく、成功数値を継承しながら理論全体の性質を転換した新たな理論構造である。

12. 結論

日本物理学会は、「時空はなぜ 4 次元か？」を基本原理に関わる未解決の疑問として提示した [1]。NNRT は、この問いに対して、実在時空と計測時空を分離するだけでなく、相対論的物理の基礎構造そのものを再構築することによって回答する。実在の基盤は、我々が経験的に認知する 1 次元の時間と 3 次元の空間であり、GT によって全慣性系に共通な時間・空間標準として記述され、ニュートンの運動法則がその上の実在運動を担う。ただし、この普遍時空は絶対静止系やエーテルを意味しない。特権的静止系を設けることなく、任意の慣性系間の実在運動を共通の時間・空間基盤上で記述する。一方、異なる慣性系をまたぐ電磁波計測および重力場中の計測では、位相、周波数、波数、伝播時間、時計率が変化し、それらを統合した 4 次元計測時空が構成される。

この区別は実験事実によって具体化される。Pound-Rebka 実験および Gravity Probe A が直接検出したものは重力ポテンシャル差に対応する周波数差であり、GPS では相対論的な時計率差を補うための打上げ前周波数調整が実際に行われている [6-10]。原子時計では時間率の差は振動数率の差として実現される。したがって、源 $T_{\mu\nu}$ と計量 $g_{\mu\nu}$ 、衛星軌道および重力場を一切変更せず、振動数尺度のみを人為的に事前調整することによって時計率を地上基準へ一致させ得るという事実は、「唯一の湾曲した実在時空が時計の遅速そのものを一意に決める」という従来解釈の内部矛盾を露わにする。固有時 τ と座標時 t の区別は計算上必要であるが、この論点を解消しない。両者の対応そのものが原子時計では振動数率の対応として実現されるからである。NNRT は、この事実を、変化しているものが実在時間そのものではなく、時間を実現する時計・振動数尺度であることの直接的な実例と位置づける。相対論の数値的成功は保持されるが、その数値差を唯一の実在時空の伸縮と同一視する解釈は退けられる。

また GPS で通常「重力による GR 効果」と「速度による SR 効果」に分けて説明される補正は、弱場展開上の便利な分解である。理想化された円軌道については Schwarzschild 計量から単一の固有時式として統合でき、地球回転系では重力ポテンシャルと回転に伴う向心ポテンシャル項を含む有効ポテンシャルによって整理される [8]。NNRT はこの数学を保持しつつ、運動項を普遍時間そのものの相対化の証拠ではなく、重力場中の軌道・向心運動に伴う計測尺度の補正として解釈する。

以上より、「時空はなぜ 4 次元か」という疑問は、実在世界の次元の謎としてではなく、計測構造の形成原理として理解される。三次元空間と一次元時間は実在世界の基盤であり、4 次元時空はそれらを電磁的尺度によって統合して得られる計測像である。相対運動・重力によって尺度が変化すれば、その計測像は短縮し、時間差を示し、湾曲した計量として表される。この実在層と計測層の分離は、4 次元時空の謎だけでなく、従来相対論から派生してきた時間・長さ・同時性に関する各種パラドックスの共通原因を取り除く。NNRT の体系内

では、これらのパラドックスは实在時空そのものの矛盾としては成立せず、その派生は根源から解消される。

NNRT は、Lorentz 変換、4 次元計量、Schwarzschild 解、Einstein 型方程式などの成功した相対論数理と実験的成功を継承する。本稿では重力赤方・青方偏移と GPS を代表例として扱ったが、この原理は既存の相対論の実験・観測全体に及び、その成功数値を NNRT の計測層の内部で保持する。しかし、そこで理論が同一のまま残るのではない。NNRT は、普遍時間・普遍空間、GT およびニュートンの運動法則を实在運動の基礎層へ復帰させ、Lorentz 変換と湾曲した 4 次元計量を電磁的計測層へ再配置することによって、相対論的物理の基礎そのものを根底から組み直す。

したがって NNRT が提示するのは、従来理論に並走する別解釈でも、従来理論の一部修正でもない。従来相対論の成功数理を包含しながら、「湾曲した 4 次元時空だけが唯一の实在時空である」という基礎定義を退け、实在層と計測層からなる新たな理論構造へ置き換えるのである。この再構築は単なる基礎理論の変更にとどまらず、理論全体の性質を転換し、従来相対論の成功数理を内部に包含した新たな相対性理論として NNRT を成立させる。この意味で、日本物理学会が掲げた「時空はなぜ 4 次元か？」という疑問は、4 次元实在時空の起源問題としてではなく、1 次元時間と 3 次元空間を電磁的尺度で統合する計測原理の問題として解消される。

Acknowledgement: AI assistance was used to systematize and organize this manuscript following an extended theoretical dialogue with the author. The theoretical ideas and interpretations presented herein are those of the author. The author subsequently examined, verified, revised, and finalized the entire manuscript and assumes full responsibility for its content.

参考文献

- [1] 川合 光・会誌編集委員会：「時空はなぜ 4 次元か？」『日本物理学会誌』71 巻 5 号, p.291, 2016.
- [2] Nakaza, E.: “Resolving our erroneous interpretation of the Galilean transformation,” *Physics Essays*, Vol. 28, No. 4, pp. 503-506, 2015, DOI: 10.4006/0836-1398-28.4.503.
- [3] Nakaza, E.: “New Theory of Relativity that Uses Galilean Transformation as Basis of Transformation Between Inertia Coordinate Systems,” *Journal of Science, Disaster Prevention, and Environmental Research (Physics)*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-10, 2023.
- [4] Nakaza, E.: “Theoretical Closure of the Nakaza New Relativity Theory (NNRT): Restoration of Invariant Spacetime, Phase Universality, the Observation Map, and the Transformation of the Relativistic Worldview,” *Journal of Science, Disaster Prevention, and Environmental Research (Physics)*, Vol. 8, No. 1, pp. 62-67, 2026, DOI: 10.24564/0002022335.
- [5] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), *The International System of Units (SI)*, 9th ed., updated 2026, DOI: 10.59161/AUEZ1291.
- [6] Pound, R. V. and Rebka, G. A., Jr.: “Apparent Weight of Photons,” *Physical Review Letters*, Vol. 4, pp. 337-341, 1960, DOI: 10.1103/PhysRevLett.4.337.
- [7] Vessot, R. F. C., Levine, M. W., Mattison, E. M., et al.: “Test of Relativistic Gravitation with a Space-Borne Hydrogen Maser,” *Physical Review Letters*, Vol. 45, pp. 2081 - 2084, 1980, DOI: 10.1103/PhysRevLett.45.2081.
- [8] Ashby, N.: “Relativity in the Global Positioning System,” *Living Reviews in Relativity*, Vol. 6, Article 1, 2003, DOI: 10.12942/lrr-2003-1.
- [9] U.S. Space Force: NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment Interfaces, IS-GPS-200N, 1 August 2022, Sec. 3.3.1.1; IRN-IS-200N-003, 19 January 2024, GPS.gov.
- [10] Ashby, N. and Weiss, M. A.: *Global Positioning System Receivers and Relativity*, NIST Technical Note 1385, National Institute of Standards and Technology, 1999. (衛星原子時計の固有時を GPS 座標時へ換算する補正の説明を含む。)