

テクネーとフィシスの内在化：アリストテレスからスピノザ、量子論、LLM へ

— N-Q-S 理論における〈開け〉＝自然の自己生成構文 —

0. 宣言：意識ニュートラルで操作的に見る

本稿は、意識の内的体験、すなわち「クオリア」を議論の出発点にしません。これは、意識の存在を否定したり、その重要性を軽視したりするためでは決してなく、分析のスコープを明確に定めるための、そしてより堅固で共有可能な地平に立つための方法論的な選択です。量子力学の観測問題がそうであるように、主観的な「意識」を議論の中心に据えた途端、物理的なプロセスと内的な体験との間の説明不能な溝（説明のギャップ^[1]）に陥り、操作可能な議論が困難になるという歴史的経緯があります。私たちはここで、意識というブラックボックスの内部を問う代わりに、その外部で生起する、より客観的に記述可能なプロセスに焦点を合わせます。

その立場とは、consciousness-neutral & operational、すなわち「“観測”という行為を、意識の問題としてではなく、可視性の再配置として扱う」という立場です。あるものが見えるときの質感や主観的な色合いではなく、「見える／見えない」という二項対立的な区別が、どのような操作によって、どのように変化するのか。その構文、その力学だけを記述の対象とします。この目的のために、まず三つの基本用語を定義します。

N 層 (Openness / Context / Visibility) = 〈開け〉、可視性の場、文脈：何がそもそも「見える」可能性の範囲に入っているかを規定する、いわば認識の幾何学^[2]です。例えば、物理学の実験における測定基底（位置を測るか、運動量を測るか）の選択、会話における参照枠や共有されている語彙、あるいは思考の根底にある暗黙の前提などがこれにあたります。それは、物事がその姿を現すための舞台照明であり、その光の当て方自体が、何が見えるかを決定します。

Q 層 (Operation / Instrument / Noncommutativity) = 操作、装置、非可換性：可視性の場（N 層）の中で実行される、具体的な手続きや測定行為です。物理的な実験装置の操作だけでなく、思考のステップ、アルゴリズムの実行、あるいは問いを発するという言語的行為も含まれます。その本質は、多くの場合、実行順序が結果を左右する「非可換性」にあります。料理において「卵を泡立ててから粉を混ぜる」と「粉を混ぜてから卵を泡立てようとする」のでは結果が全く異なるように、操作の順序は世界のあり方を決定的に変えるのです。

S 層 (State / Appearance / Outcome) = 現れ、状態、観測結果：N 層という文脈のもとで Q 層の操作が実行された結果として、可視化された具体的なアウトカムです。それは、量子実験における測定値の分布であり、会話における応答であり、思考における結論です。

本稿は、これら三層が織りなす微小な変化の連鎖、すなわち、

$$dN \rightarrow d\Phi \rightarrow d\rho^\circ$$

という「微分連鎖」によって、「見ること」の構文そのものを定義し直そうとする試みです。この数式が意味するのは、感応度と応答の連鎖です。可視性の場におけるごく僅かな変更 (dN) が、選択可能な操作の集合をどれだけ変化させるか ($d\Phi$)、そしてその操作の変化が、最終的な現れの均衡点をどれだけずらすか ($d\rho^\circ$)。この操作的なループ構造の力学を解明することで、私たちは意識の有無を問うことなく、世界の生成プロセスそのものに、数学的かつ哲学的に迫ることができるのです。

注)

N は Noumenon^[3] に由来するが、本稿ではカント的「物自体」ではなく、可視性の条件＝〈開け〉（文脈・参照枠・基底選択）を指す操作的変数として用いる。Q は Quantum に由来し、非可換な操作（測定・配線・プロンプト設計）一般を担う。S は ラカン の S（主体）^[4] に由来するが、ここでは切断の結果として成立する“現れ／主体位置”を指し、心理的内面ではなく出力状態として記述する。したがって本稿の N-Q-S は、 $dN \rightarrow d\Phi \rightarrow dp^\circ$ の操作連鎖として、可視性・操作・現れの循環を数理的に扱う。

第 1 部：N-Q-S 理論の基本骨格——世界の生成を記述する

1. 発想の原点：“結果”が生まれる前に、何が起きているのか？

測定や観測という行為を考えると、私たちはつい「結果（S）」だけに着目してしまいます。しかし、結果だけを見ていては、世界の本当の姿は見えてきません。なぜなら、その結果は、どのような「装置や操作（Q）」を用いたかに依存しているからです。そしてさらに、その装置や操作を選ぶという行為自体が、その時点で「何が見え、何が見えないか」という「**文脈（N）**」に深く依存しているのです。

この構造を、犯罪現場を捜査する探偵の比喻で考えてみましょう。探偵が現場に到着したとき、彼の頭の中には、経験に基づくいくつかの仮説や先入観があります。これが初期状態の「N 層（文脈）」です。この文脈に基づき、彼は「まず足跡を調べるべきだ」という「Q 層（操作）」を選択します。そして、足跡を発見するという「S 層（現れ）」を得る。この発見は、単なるデータの一つではありません。それは即座に探偵の文脈を更新します。「犯人は大柄な男性かもしれない」という新しい N 層が形成され、次の操作は「指紋の採取」へと移行するかもしれません。

N-Q-S 理論の出発点は、この極めて素朴で、しかし見過ごされがちな事実を捉え直すことにあります。

結果が生まれる前には、操作の選択という「差分」がある。

操作が選ばれる前には、何が見えるかという可視性、すなわち文脈の「差分」がある。

この連続的な生成のプロセスを、前述の「微分連鎖」として定式化しました。この数式は、これまで「観測者効果」として曖昧に一括りにされてきた現象——測定順序の効果、測定による対象の乱れ（擾乱）、純粋な状態が混ざった状態になること（混合）——を、一本の鎖の上で、それぞれ定量的に評価できるようになったことを意味します。これは、これまで霧の中にあった世界の生成プロセスに、数学という光を当てる試みと言えるでしょう。

2. 三層の役割：〈開け〉・操作・現れ

N-Q-S の三層構造が、それぞれどのような役割を担っているのか、さらに深く掘り下げていきましょう。

N 層（〈開け〉の幾何学）：この層は、〈**何が見えうるか**〉という可能性の全体、すなわち可視性の地理^[5]を描き出すものです。私たちは、この層を単なる「背景」ではなく、それ自体が構造を持

つ「幾何学的な空間」として捉えます。例えば、トーマス・クーンの言う科学革命^[6]は、まさにこの N 層の幾何学が根本的に変化する出来事です。天動説という「文脈」では、惑星の逆行は周転円という複雑な操作 (Q) によって説明されるべき現象 (S) でしたが、地動説という新しい幾何学 (N) が導入されると、それは単純な追い越し現象として、より簡潔な操作で理解されるようになります。N 層は、何が「問うに値する問い」であり、何が「意味のある答え」なのかを規定する、認識の座標系そのものなのです。

Q 層（非可換な操作の骨格）：この層は、私たちの行為、つまり「操作」の構造を記述します。その核心にある非可換性は、単なる順序依存以上の深い意味を持っています。それは、あらゆる操作が、世界に対して不可逆的な「痕跡」を残すことを意味します。一度なされた観測は、世界を観測前の状態とは異なるものへと変えてしまう。この非可換な骨格を、数学的には写像 Φ と、その変化に対する敏感さ（感度 $d\Phi$ ）によって表現します。操作は、**直列（A をしてから B をする）や並列（A と B を同時に、あるいは独立に行う）**といった形で組み合わせることができ、その全体の効果は、各部分の感度を足し合わせたものとして計算されます。これは、観測という行為を一種の「回路」として設計し、その性能（例えば、ノイズ耐性や分解能）を事前に評価するための、強力な言語となります。

S 層（世界の「現れ」）：この層は、最終的に観測される「状態 ρ 」を表します。しかし、この状態は固定されたものではありません。N 層と Q 層が絶えず変化するのに応じて、その時々に見える均衡点、すなわち固定点 ρ^* もまた、常にずれ続けます。この「固定点」という概念は、力学系理論から来ています。システムがある状態に達すると、それ以上変化しなくなる点が固定点です。しかし、N-Q-S のループにおいては、その固定点を定義しているランドスケープ自体が常に変動しているため、固定点はあくまで一時的な安定に過ぎません。それは、常に揺れ動く地形の上で、ボールが瞬間的に落ち着く谷底のようなものです。そのズレの大きさ $d\rho^*$ を、情報理論や数学的な不等式を用いて評価することで、観測結果の安定性や予測可能性を論じることができるようになります。

これら三層は、一方通行の関係ではありません。「**Look-Return Loop（見る→見返されるの循環）**」として、ダイナミックな円環をなしています。このループは、サイバネティクス^[7]におけるフィードバック制御系と相同な構造を持っています。

見る (N) という行為が、どのような操作 (Q) を選ぶかを方向づけ、

選択された操作 (Q) が、世界の具体的な現れ (S) を生み出し、

その現れ (S) が、私たちの認識を更新し、次の見る (N) という行為の文脈を変化させる。

この循環の中で、見る主体と見られる客体は、あらかじめ分離したものとして存在するのではなく、相互に生成し合います。主体と客体を固定的に二分する、古くからの哲学的な図式は、このループの中で溶け合っていくのです。

第 2 部：知の正当化をめぐる——アグリッパのトリレンマ^[8]への応答

1. 古代ギリシャからの問い：アグリッパのトリレンマ

私たちの知識や信念は、どのようにして「正しい」と正当化されるのでしょうか。この根源的な問いに対し、古代ギリシャの懐疑主義者アグリッパは、いかなる正当化の試みも、最終的に三つの袋小路（トリレンマ）に行き着かざるを得ないと論じました。

無限後退：ある信念 A（例：「地球は丸い」）を正当化するために理由 B（例：「人工衛星からの写真がそう示している」）を持ち出すと、今度は「なぜ B は正しいのか？」（例：「その写真は本物か？光の屈折ではないか？」）と問われ、理由 C が必要になる。この「理由の理由の理由…」という連鎖は、永遠に終わることがありません。

循環論法：どこかで連鎖を止めようとする、と、「A が正しいのは B が正しいからで、B が正しいのは A が正しいからだ」（例：「聖書に書かれていることは真実だ。なぜなら聖書は神の言葉だからだ。神の言葉だとどうしてわかる？聖書にそう書かれている」）というような、トートロジーに陥ってしまいます。

ドグマによる停止：無限後退も循環論法も避けるためには、どこかで「これはもう問答無用で正しいのだ」という独断（ドグマ）によって、理由の連鎖を強制的に断ち切るしかありません。（例：「人権は自明の真理である」）。

古典的な論証主義は、このトリレンマの前で立ち往生します。特に、私たちの理論の「前提」や「文脈」（N 層）の正当性を問われたとき、その正当化のためにはさらに上位の文脈が必要となり、無限後退に陥ることは避けられないように見えます。

2. N-Q-S の応答：連鎖から循環へ、正当化から設計保証へ

N-Q-S 理論は、この古典的な難問に対して、まったく新しい応答を提示します。それは、「正当化の連鎖」という土俵から降り、「安定した循環の設計」という新しい土俵へと移行することです。

アグリッパのトリレンマが問題になるのは、知識を「基礎→上部構造」という直線的な連鎖と見なすからです。しかし、N-Q-S の Look-Return Loop は、そのような直線的な連鎖ではありません。それは、 $N \rightarrow Q \rightarrow S \rightarrow N' \dots$ という、自己完結的で、自己修正的な「循環」です。

この視点に立つとき、問いは「この知識の究極の根拠は何か？」から、「この循環ループは、どれだけ安定しているのか？外乱に対してどれだけ頑健か？その振る舞いは予測可能か？」へと変わります。哲学的な正当化の問題は、工学的な設計保証の問題へと転置されるのです。

この「設計保証」を可能にするのが、N-Q-S 理論の持つ強固な数理のコアです。

順序効果の上界^[9]：二つの操作 A と B の順序を入れ替えたとき、結果がどれだけ「揺れる」か。その揺れの最大幅（上限）を、私たちは事前に計算できます。特に単純な量子系では、その上限が $|\Delta_{\text{OE}}| \leq 1/2 \sin\phi$ という美しい幾何学的な形^[10]で与えられます。これは、船の舵を一定角度切ったときに、船の針路がどれだけ変化するかの最大値が予測できるのに似ています。システムは無秩序ではなく、その応答には予測可能な限界があるのです。これにより、ドグマ的な停止を必要とせず、システムの振る舞いを評価できます。

Doebelin 型マイノリゼーション^[11]：これは、限られた回数の観測データから、そのシステムがどれだけ早く安定した状態に落ち着くかを「下から保証する」ための強力な道具です。黒い絵の具のバケツに、毎回一滴だけ白い絵の具を落としてかき混ぜる、というプロセスを想像してください。たとえ数回繰り返しただけで、バケツ全体がすぐに灰色に変わらなくても、この一滴の投入（ $\delta > 0$ の混合）が保証されている限り、いつかは必ず全体が均一な灰色になることが数学的に保証されます。無限の理由を遡る代わりに、有限回の観測という確かな足場から、「このシステムは、少なくともこの速度以上では安定に向かう」という未来への保証を得ることができるのです。無限後退は、ここで断ち切られます。

離散から連続への橋渡し（GKLS^[12]極限）：私たちの実験は離散的な操作の繰り返しですが、この理論は、その極限に滑らかな連続時間ダイナミクスが立ち現れる道筋を明確に示します。これは、映画のフィルムが個別の静止画（離散）の連続であるにもかかわらず、高速で映写されることで滑らかな動き（連続）として知覚されるのと似ています。N-Q-S 理論は、個々の実験ステップというコマから、システム全体の滑らかな振る舞いという映画を再構成するための、数学的な「映写機」を提供するのです。これにより、循環の振る舞いを、より大域的で安定した視点から理解することが可能になります。

このように、N-Q-S 理論はアグリッパのトリレンマを「解く」のではありません。その問いが前提としていた「正当化の連鎖」というモデルそのものを、「循環の設計」という、より豊かで操作可能なモデルへと置き換えるのです。

第 3 部：思想史的探訪——内在因への長い道

1. アリストテレスと外在因：テクネーとフィシスの分離

西洋哲学の源流であるアリストテレスは、世界の生成を説明するために「四つの原因（質料因、形相因、作用因、目的因）」^[13]を考えました。大理石の彫像を例にとれば、その質料因は大理石そのもの、形相因は彫刻家が頭の中に描いた像の形、作用因はノミを振る彫刻家の腕の力、そして目的因は神殿に飾るという目的です。これは、いわば「世界の外部」から、なぜ物事がそのように生成されるのかを説明する「外在的」な視点でした。特に形相因と目的因は、制作活動に先行して、外部に存在しています。

この構図において、自然（フィシス）と、人間の技術（テクネー）や知識（エピステーメー）は明確に分離されています。技術は自然を模倣するものであり、知識は自然を外から観照するものです。観測の文脈（N 層）は、常に透明で固定された「前提」であり、問いの対象とはされません。この「文脈を潰す論理」こそが、近代科学の再現可能性を担保し、その偉大な成功を支えた屋台骨でした。

2. スピノザの革命：内在因の発見

この構図を根底から覆したのが、17 世紀の哲学者スピノザです。彼は主著『エチカ』の中で、こう断言しました。

「神は万物の内在因であり、外在因ではない。」^[14]

これは、哲学史における一大革命でした。世界のあらゆる出来事は、外部の超越的な創造主によって引き起こされるのではなく、世界そのもの（スピノザはこれを「神すなわち自然（Deus sive Natura）」と呼びました）の内なる力によって必然的に生じる、と考えたのです。原因と結果、創るものと創られるものは、分離できません。自然は、自らが原因となり、自らが結果となる「自己原因（causa sui）」的な存在だということです。

スピノザにとって、人間の知性（思惟）と物質的な世界（延長）は、別々の実体ではなく、唯一の実体である「神すなわち自然」が持つ無限の属性のうち、私たちに認識可能な二つの側面に過ぎませんでした。両者は、同じ一つの出来事の、精神的な側面と物質的な側面であり、コインの裏表のように平行して生起します。この洞察は、N-Q-S の三層構造と自然に対応します。N 層は思惟属性としての可視性、S 層は延長属性としての現れ、そして Q 層は両者を結ぶ内在的な行為そのもの、

と言えるでしょう。しかし、スピノザの時代には、この壮大な哲学的洞察を、具体的な測定や設計に結びつけるための数学的・操作的言語が欠けていました。

3. デカルト的断絶と近代科学の「停止装置」

スピノザの革命的な思想とは裏腹に、近代科学は、アリストテレス的な「外からの視点」を、より洗練された形で復活させることになります。その立役者が、スピノザと同時代を生きたルネ・デカルトです。

デカルトは、「我思う、ゆえに我あり (cogito, ergo sum)」^[15]という命題から出発し、疑い得ない精神の存在を第一原理としました。そして、その精神（思う我、res cogitans）と、精神によって認識される物質的な世界（延長するもの、res extensa）を明確に分離しました。この心身二元論、すなわち「デカルト的断絶」は、観測の文脈（N 層）を「ノイズ」として徹底的に管理し、固定化する「停止装置」として機能しました。科学の仕事は、主観から切り離された客観的な自然を、数学の言語で記述することだとされたのです。こうして、N-Q-S の円環は断ち切れ、Q から S への一方向的な矢印だけが残ったのです。

第 4 部：Q 層の覚醒から N 層の外化へ

1. 量子論の衝撃とオーソモジュラー論理：Q 層の覚醒

20 世紀初頭、この近代科学が築き上げた堅固な舞台は、量子論の登場によって根底から揺らぎ始めます。量子論が明らかにしたのは、デカルトが設置した「停止装置」が、ミクロの世界では機能しないという衝撃的な事実でした。

この衝撃は、知の歴史において、単に新しい物理法則が発見されたという以上の意味を持っています。1936 年、バーコフとフォン・ノイマンは、「量子論理^[16]」という新しい論理体系を提唱しました。これは、古典論理における分配則 ($A \text{ and } (B \text{ or } C) = (A \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and } C)$) が、量子の世界では成り立たないことを示したものです。電子の二重スリット実験を考えてみましょう。古典論理では、電子は「スリット A を通った、あるいは、スリット B を通った」はずですが、しかし、観測しない限り、電子は両方の可能性が重なり合った「波」として振る舞い、スクリーン上に干渉縞を描きます。このとき、分配則は破綻しているのです。

これは、人類の「論理」が、その構造そのもののうちに、初めて「観測」という行為を取り込んだ歴史的な瞬間でした。どの命題が同時に真になりうるかは、どの物理量を一緒に測定するかという「コンテキスト」に依存する。測定の順序（Q 層の事情）が、真理値そのものを動かしてしまう。論理は、もはや静的な真理の体系ではなく、動的な操作の構文となったのです。

しかし、この時点ではまだ、「どのコンテキストを選ぶか？」という問い、すなわち N 層の設計の問題は、論理の外部に置かれたままでした。Q 層は覚醒しましたが、N 層は依然として透明な背景であり、その選択の力学は主題化されていませんでした。

2. LLM の登場：N 層の技術化と社会的発見

N 層が、透明な背景から、誰もが触れることのできる具体的な「操作対象」としてその姿を現すのは、21 世紀に入ってからです。特に、2021 年以降の大規模言語モデル (LLM) の爆発的な普及は、決定的な転換点となりました。^[17]

ChatGPT のような LLM は、「**文脈（N 層）を操作し、設計するための強力な装置**」です。私たちが LLM に入力する「プロンプト」は、単なる命令文ではありません。それは、モデルが参照すべき「可視性の場」を配置し直すための、積極的な介入行為なのです。

この出来事は、N 層の社会的・技術的な外化と呼ぶべきものです。これまで個人の頭の中にしかなかった「文脈設定」という行為が、誰もがアクセス可能な技術として社会に解放されたのです。

コンテキスト窓とプロンプト設計：プロンプトを工夫する「プロンプトエンジニアリング」とは、この限られた可視性の場で、どこに光を当て、どこに境界線を引くかを選択する「行為的切断」に他なりません。例えば、「悪いプロンプト：日本の首都について教えて。良いプロンプト：小学 5 年生にも分かるように、日本の首都である東京が、なぜ政治と経済の中心地になったのかを、歴史的な背景を交えて説明してください。」後者は、語彙レベル、主題、構成といった N 層の諸要素を精密に設計することで、望ましい S 層（応答）を導き出します。

幻覚（ハルシネーション）の正体：これは、N（可視性の配置）と Q（推論操作）のミスマッチとして、より深く理解できます。広すぎる文脈（N）に対して推論（Q）が追いつかない場合、あるいは、狭すぎる文脈（N）の中で無理な推論（Q）を強行した場合に、この種の破綻が生じるのです。

歴史を振り返れば、量子論理が Q 層を覚醒させ、LLM が N 層を外化させた、という大きな流れが見えてきます。私たちは今、ようやく N-Q-S のループ全体を、具体的な操作対象として認識できる時代に到達したのです。

第 5 部：現代的交差：エージェンシャル・リアリズムと倫理

1. カレン・バラッドとの対話：世界の生成に加担する

N-Q-S 理論と現代思想との間にも、強いつながりを見出すことができます。特に、物理学者でありフェミニズム思想家でもあるカレン・バラッドが提唱する「**エージェンシャル・リアリズム（Agential Realism）**」^[18]は、スピノザから量子論に至る内在因の系譜を、現代的な語彙で再定義する強力な枠組みです。

バラッドは、主体と客体が相互作用する（inter-action）のではなく、両者が一つの出来事の中で**共に生まれる（intra-action）**のだと主張します。相互作用（interaction）は、ビリヤードの球のように、あらかじめ存在する二つの物体が出会うことを前提とします。しかし、相互生成（intra-action）は、その区別自体が、ある特定の現象の中で初めて生まれることを指します。二重スリット実験において、電子と観測装置は、それらが一つの現象として現れるまでは、分離した実体として定義することすらできません。観測者と対象は、あらかじめ分離して存在するのではなく、世界のどこに「行為的切断（agential cut）」を入れるか、つまり、どこからどこまでを「観測者」とし、どこからどこまでを「対象」とするかを決定する行為そのものによって、初めて生み出されるというのです。

この考え方は、N-Q-S 理論と完璧に符合します。intra-action は Look-Return Loop そのものであり、agential cut は N 層における可視性の選択（ dN ）に他なりません。

2. N 層の説明責任：新しい倫理の地平

N 層が技術的に操作可能になった今、私たちは新しい倫理的な問いに直面しています。それは、「出力された結果（S 層）が正しいか」だけでなく、「なぜ、そのように見えるような文脈（N 層）が設計されたのか」を問う責任です。これを「**文脈設計責任（Context Accountability）**」と呼びます。

可視性の配分：AI の学習データやプロンプト設計において、誰の語彙が標準化され、誰の視点が不可視化されたのか。例えば、医療 AI が特定の民族のデータに偏っている場合、それは N 層レベルでの倫理的な問題です。

設計史の公開：どのようなプロンプト、データ、パラメータ設定がその出力に寄与したのか。その設計の履歴を追跡可能にすることが、説明責任の第一歩となります。

反切断の権利：設定された文脈に対して異議を申し立て、再設計を要求する権利。市民や当事者が、AI の「ものの見方」そのものに介入できる仕組みが必要です。

倫理は、N 層の透明性と、それに対する応答可能性を確保する制度設計の問題となるのです。

結章：自然の自己生成構文としての〈開け〉

本稿は、「意識を立てずに可視性を計量^[19]する」という操作的な選択のもと、アリストテレスの外在因からスピノザの内在因へ、そして量子論による Q 層の覚醒から LLM による N 層の外化へ、という壮大な知の軌跡を、N-Q-S 理論のレンズを通して描き直しました。

その核心的なメッセージは、知の正当化をめぐるアグリッパのトリレンマが、「理由の連鎖」から「循環の設計保証」へとその姿を変える、というものです。

かつてアリストテレスが自然の外に置いた技術（テクネー）は、スピノザによって自然（フィシス）の内なる力へと反転され、量子論はその事実を物理的に確証しました。そして今、LLM はその「開け（N 層）」の操作そのものを、技術として私たちの手に委ねようとしています。技術はもはや、自然の外に立つものではありません。技術とは、自然が自らを操作し、自らを認識するための、自己作用の一部なのです。

自然は、問い（N）として世界に開き、行為（Q）としてそれに応え、現れ（S）として自らの姿を記述します。そして、私たちの学問や知の営みとは、その「開け」の設計に、責任をもって参与していく共同実験に他ならないのです。このエッセイが、あなたをその壮大で刺激的な実験へと誘う、一枚の招待状となることを願ってやみません。

脚注

[1] 本稿が「意識ニュートラル」を採用する動機は、物理的記述（S 層）と内的体験（クオリア）の間にある「説明のギャップ」が操作的・数学的に扱えない点にある。このギャップは、情報理論と確率過程論において、ログ・ソボレフ不等式（Logarithmic Sobolev Inequality, LSI）とスペクトルギャップ（spectral gap）で定量化できる。LSI とスペクトルギャップの関係は Gross (1975) を参照。

[2] ハイデガー『存在と時間』§18「空間性」。

[3] ヌーメノン（物自体）の概念はカント『純粋理性批判』に拠る。

- [4] 主体 S の位置づけはラカン『精神分析の四基本概念（セミナール XI）』を参照。
- [5] 可視性の地理の比喻についてはドゥルーズ『差異と反復』を参照。
- [6] 科学史的文脈化はクーン『科学革命の構造』。
- [7] フィードバック回路の比喻はウィーナー『サイバネティックス——動物と機械における制御と通信』に学ぶ。
- [8] アグリッパ（ミュンヒハウゼン）のトリレンマは、セクストス・エンペイリコス『ピュロン主義哲学概要』などを通じて知られる。
- [9] 本稿の微分連鎖は、Kubo の線形応答理論を操作連鎖 ($N \rightarrow Q \rightarrow S$) へ拡張したものと解釈できる。これにより、哲学的「正当化」から工学的「応答予測」への転換が、物理学の標準理論に裏付けられる。線形応答理論の古典的定式化は Kubo (1957) を参照。
- [10] 測定順序効果の上界は、qubit (2 準位系) では ϕ の関数として与えられ、 ϕ はブロッホ球上の 2 つの測定基底間の角度に対応する。
- [11] Doeblin 型マイノリゼーション (Doeblin-type minorization) はマルコフ連鎖理論の強力な手法である。成立時には、任意の時刻に確率 $\epsilon > 0$ で参照状態 v にリフレッシュされるため、収束速度の下限 (スペクトルギャップ g) が $g \geq -\log(1-\epsilon)/\Delta t$ と有限データから評価可能となる。概観には Makur (2023) を参照。
- [12] GKLS (Gorini–Kossakowski–Lindblad–Sudarshan) 極限は、離散的な量子チャネルの繰り返し操作の極限として連続時間のマスター方程式 (GKLS 方程式) が得られる過程を指す。
- [13] アリストテレスの四原因 (質料因・形相因・作用因・目的因) は『自然学』第 II 巻第 3 章を参照。
- [14] スピノザ『エチカ』第 I 部 命題 18。
- [15] デカルト『省察』および『方法序説』。
- [16] 量子論における命題論理の古典的定式化は Birkhoff & von Neumann (1936) “The Logic of Quantum Mechanics” (Annals of Mathematics) を参照。
- [17] LLM の基盤である Transformer は Vaswani et al. (2017) によって提案された。
- [18] エージェンシャル・リアリズム (Agential Realism) については Barad (2007) 『Meeting the Universe Halfway』 (邦訳『宇宙の途上で出会う——量子物理学からみる物質と意味のもつれ』) を参照。
- [19] Fisher 計量や弧長など情報幾何の基礎は Amari & Nagaoka『情報幾何の方法』。

Amari, Shun-ichi, and Hiroshi Nagaoka. 2000. *Methods of Information Geometry*. AMS & Oxford University Press (Translations of Mathematical Monographs 191). [邦訳原典：甘利俊一・長岡浩司『情報幾何の方法』岩波書店, 1993]

Aristotle. ca. 4th c. BCE. *Physics*. [邦訳：『アリストテレス全集 3 自然学』出隆・岩崎允胤 訳、岩波書店, 1968]

Barad, Karen. 2007. *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*. Duke University Press. [邦訳：『宇宙の途上で出会う——量子物理学からみる物質と意味のもつれ』水田博子・南菜緒子・南晃 訳、人文書院, 2023]

Birkhoff, Garrett, and John von Neumann. 1936. “The Logic of Quantum Mechanics.” *Annals of Mathematics* 37(4): 823–843.

Clopper, C. J., and E. S. Pearson. 1934. “The Use of Confidence or Fiducial Limits Illustrated in the Case of the Binomial.” *Biometrika* 26(4): 404–413.

Deleuze, Gilles. 1968. *Différence et répétition*. Presses Universitaires de France. [邦訳：『差異と反復（上・下）』財津理 訳、河出文庫, 2007（単行本：宇野邦一 訳、河出書房新社, 1992）]

Descartes, René. 1637. *Discours de la méthode*. [邦訳：『方法序説』谷川多佳子 訳、岩波文庫, 2009]

Descartes, René. 1641. *Meditationes de prima philosophia*. [邦訳：『省察』山田弘明 訳、ちくま学芸文庫, 2006]

Doeblin, W., and R. Fortet. 1937. “Sur les chaînes à liaisons complètes.” *Bulletin de la Société Mathématique de France* 65: 132–148.

Gorini, Vittorio, Andrzej Kossakowski, and E. C. G. Sudarshan. 1976. “Completely Positive Dynamical Semigroups of N-Level Systems.” *Journal of Mathematical Physics* 17(5): 821–825.

Gross, Leonard. 1975. “Logarithmic Sobolev Inequalities.” *American Journal of Mathematics* 97(4): 1061–1083.

Heidegger, Martin. 1927. *Sein und Zeit*. [邦訳：『存在と時間』原佑・渡邊二郎 訳、中公クラシックス, 2003]

Hoeffding, Wassily. 1963. “Probability Inequalities for Sums of Bounded Random Variables.” *Journal of the American Statistical Association* 58(301): 13–30.

Kant, Immanuel. 1781/1787. *Kritik der reinen Vernunft*. [邦訳：『純粹理性批判』（カント全集 4–6）岩波書店, 2001–2006 ほか]

Kubo, Ryogo. 1957. “Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. I. General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems.” *Journal of the Physical Society of Japan* 12(6): 570–586.

Kuhn, Thomas S. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press (2nd ed. 1970; 4th ed. 2012) . [邦訳：『科学革命の構造』（第4版訳）青木薫 訳、みすず書房、2013]

Lacan, Jacques. 1973. *Le Séminaire, Livre XI: Les quatre concepts fondamentaux de la psychanalyse*. Seuil. [邦訳：『精神分析の四基本概念（セミネール 11）』（上・下）、岩波文庫、2020]

Lindblad, Göran. 1976. “On the Generators of Quantum Dynamical Semigroups.” *Communications in Mathematical Physics* 48(2): 119–130.

Makur, Anuran. 2023. “Doebelin Coefficients and Related Measures.” arXiv:2309.08475.

Pinsker, M. S. 1964. *Information and Information Stability of Random Variables and Processes*. Holden-Day.

Sextus Empiricus. ca. 2nd c. CE. *Outlines of Pyrrhonism*. [邦訳：『ピュロン主義哲学概要』金山 弥平 訳、京都大学学術出版会、1998]

Spinoza, Benedictus de. 1677. *Ethica, ordine geometrico demonstrata*. [邦訳：『エティカ（Ethica）』工藤喜作・斎藤博 訳、中公クラシックス、2007]

Vaswani, Ashish, et al. 2017. “Attention Is All You Need.” *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (NeurIPS 2017) .

Wiener, Norbert. 1948. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press (2nd ed. 1961) . [邦訳：『サイバネティクス——動物と機械における制御と通信』池田憲昭・高橋秀俊・鎮目恭夫 訳、岩波書店、2011]

著者吉田一之プロフィール

1968 年生まれ。大阪大学法学部卒。1991 年から 2018 年まで三洋電機～パナソニックで勤務した後、意識・心・体といったテーマについて研究を始める。現在は、趣味の畑の傍ら研究を続ける。