再現性評価の前提としての問題同一性

——構造同型による DTC 条件の定式化——

K. Nabeya

プレプリント．本稿は査読を経ていない．

2026 年 *3* 月 *22* 日

要旨

本稿は，再現性評価が問題同一性を前提とすることを論じ，この前提の失敗を診断するための形式的枠組みを提示する．問題空間は $M = (S, \tau, \Gamma)$ として定義され，状態・遷移・可容制約からなる．問題同一性はこれらの成分間の構造同型として定義され，三つの保存条件を与える：D（差異保持），T（遷移保持），C（制約保持）．Condition E——存在論的制約とは独立した，保存表現への方法論的制約——のもとで，DTC 条件の同時成立が再構成可能性に十分となる．この区別は既存の議論において形式的に確立されていない．DTC 分解は，報告された再現性の失敗が実際には問題同一性の失敗に起因する場合を診断する体系的基準を与える——この誤分類は，問題同一性を分解可能な条件として明示的に表現していない既存の枠組みには検出する構造的手段がなく，それゆえ DTC 分解はこれらを構造的に異なる二種類の失敗として再分類することを可能にする．この区別は直接的な方法論的含意を持つ：再現性の失敗として扱われてきた事例の一部は，問題同一性の失敗として再診断される必要があり，それに応じて異なる対処戦略が要求される．

キーワード： 問題同一性，再現性，構造同型，DTC 条件，科学哲学

1　再現性議論の隠れた前提——「同じ問題」とは何か

本節は，再現性議論が問題同一性を前提としながらもこの前提を一切明示しないことを示す．これを明示することが本稿全体の論証の出発点となる．

1.1 再現性概念の多義性

Leonelli（2018）は再現性概念の多義性を明らかにし，直接的・分析的・概念的再現性の三水準を区別した．直接的再現性は同一条件での結果の一致を，分析的再現性はデータ再解析による結果の一致を，概念的再現性は異なるアプローチによる同一知見の確認を指す．各水準はそれぞれ固有の基準と評価条件を持つ．

しかし Leonelli の分析において，各水準の再現性評価が「同じ問題を扱っている」という前提のもとで成立していることは明示されていない．概念的再現性における「同一知見」の判定は，そもそも同一の問いに答えているかどうかという判定を前提とするが，この前提がいかなる構造条件を含意するかは分析の対象となっていない．

1.2 再現性危機における問題同一性の暗黙性

Ioannidis（2005）は発表済み研究における系統的失敗——独立した研究間で再現されない結果——を指摘した．その分析は統計的検出力の不足，選択的報告，p 値ハッキングといった統計的要因に焦点を当てる．しかしそこには先行条件が暗黙のままに置かれている：比較される研究が同一の問題空間において同一の仮説を検証しているという条件である．

「同じ問いを検証しているか」という条件は統計的失敗とは独立した問いであるにもかかわらず，両者は区別されないまま論じられている．Ioannidis が問題にするのは**再現性の失敗**，すなわち同じ問題に対して異なる結果が得られることである．しかし「同じ問題を扱っているか」という問い——問題同一性——は再現性評価の**前提条件**として機能しており，それ自体は評価の対象となっていない．

1.3 本節の帰結

> **命題（本節の帰結）：再現性評価は問題同一性を前提とする．**

再現性の失敗（同じ問題に対して異なる結果が得られること）と問題同一性の失敗（そもそも同じ問題を扱っていないこと）は概念的に異なる．前者を評価するためには後者が成立していることが前提となる．既存の枠組みが問題同一性を構造的条件として明示する手段を持たないために，

この区別は見落とされてきた．

再現性の失敗と問題同一性の失敗は既存の議論において形式的に区別されてこなかった．本稿はこの区別を形式的に確立し，再現性の失敗として報告されてきた事例の一部が実際には問題同一性の失敗であることを診断可能にする．この診断可能性こそが，Structural Reconstructability Framework（SRF）が既存の再現性議論に加える実質的な貢献であり，単一の現象として扱われてきた失敗を構造的に異なる二種類の失敗として再分類することを可能にする．この区別は直接的な方法論的含意を持つ：再現性危機において再現性の失敗として扱われてきた失敗の一部は，問題同一性の失敗として再評価される必要があり，異なる診断と対処が求められる．

SRF は四つの立場を退けることで理論的輪郭を得る．第一に，同じ手続きは問題同一性の十分条件ではない（same $\tau \neq$ same problem）．第二に，同じ結果も問題同一性の十分条件ではない（same outcome $\neq$ same problem）．第三に，近似的問題同一性は完全同型という理想基準なしに定義できない．第四に，問題同一性は問題が内在的に持つものではなく，問題空間の間の構造保存関係として成立する（関係的同一性）．

しかし，この区別を概念的に指摘するだけでは十分でない．次章で示すように，自然言語による記述はこの区別を体系的に扱う手段を持たない．

2 自然言語による問題同一性の記述はなぜ失敗するのか

本節は,「同じデータ」「同じ方法」「同じ結果」という記述が問題同一性の条件を保証しないことを示し，形式的枠組みの必要性を形式化の前段階で確立する．

2.1 「同じデータ」の不充分性

実験データが名目上同一であっても，そのデータが何の状態を表現しているか（状態集合 S の解釈）が異なれば，同一の問題を扱っていることにはならない．問題空間における状態集合 S は常に特定の理論的・方法論的観点から解釈されており，その観点は研究間で暗黙のうちに変化しうる．

これは単なる理論的懸念にとどまらない．機械学習における実験データの共有を具体例として

考える．同一のデータセットを用いていても，前処理の手順・欠損値の扱い・正規化の方法が異なれば，実質的に異なる状態空間を対象としている可能性がある．「同じデータ」という記述はこの差異を捉えず，したがって研究間での S の同一性を保証しない．

2.2 「同じ方法」の不充分性

手続きの記述が一致していても，その手続きが問題空間のどの遷移構造（τ）に対応するかが特定されていなければ，問題同一性は保証されない．自然言語による方法の記述はそれが実現する遷移を決定せず，異なる実現が構造的に異なる問題に対応しうる．

統計量への圧縮はこの失敗の典型例である．実験データを平均値・分散のみに圧縮して保存する場合，データ生成過程の遷移系列と測定制約が回復不能なかたちで失われる．「同じ統計的方法を適用している」という記述は遷移構造の同一性を含意せず，τ を未決定のままにする．

2.3 「同じ結果」の不充分性

結果の一致は問題同一性の証拠ではなく，問題同一性が成立している場合にのみ再現性の証拠として機能する——しかしそれはまさに問われていることである．したがって結果の一致を用いて問題同一性を確立しようとすることは循環である．

この循環は実践的帰結を持つ．ブラックボックス化したシミュレーションを例にとる．最終出力が一致していても，パラメータ変更履歴・実行環境条件・初期条件の選択根拠が失われている場合，問題空間の境界条件（Γ）が確定しない．「同じ結果」という記述は問題境界条件の保存を含意しない．

2.4 手続き再現と問題再現の区別

上記の三例は単一の診断的論点に収束する．**手続き再現**（同じ手順を繰り返すこと）と**問題再現**（同じ問題空間を再構成すること）は異なる達成であり，自然言語記述はこの二つを系統的に混同する．

自然言語記述は D・T・C のどれが崩壊しているかを体系的に分類できず，問題同一性の失敗と再現性の失敗を明確に区別する手段を持たない．この区別を扱可能にするために形式的枠組み

が必要である．

同一の問題記述 P が複数の構造 (S, τ, Γ) と整合する場合がある．この事実は SRF に対する反証ではなく，問題が構造的に一意に特定されていないことを示す指標である．SRF の目的は，与えられた記述が単一の問題構造を指定しているか，それとも複数の構造と整合する未確定な記述であるかを判定する形式条件を与えることにある．

2.5 本節の結論

> **結論：問題同一性を扱うには形式的枠組みが必要である．**

次節以降で構築する Structural Reconstructability Framework（SRF）はこの必要性に応える枠組みとして提案される．SRF が可能にするのは，D・T・C のいずれかがいつ S・τ・Γ のどの成分で崩壊しているかを体系的に特定することである．

3 問題空間の構造的定式化

本節は三成分構造 $M = (S, \tau, \Gamma)$ を導入し，各成分の必要性と独立性を論じ，先行形式的枠組みに対して SRF を位置づける．

3.1 観点固定

問題同一性を構造として定式化するためには，分析範囲を限定する必要がある．**観点固定**とは，どの状態および遷移が問題空間の構成要素として扱われるかがあらかじめ定まっている状況を指す．この条件のもとで，状態集合 S は当該観点において区別可能な状態の全体として一意に定まる．

観点が変動する場合には再記述や翻訳の問題が生じるが（Kuhn 1962；Quine 1960），それらの検討は本稿の射程外である（注 1）．SRF は S の要素が理論中立的な観察であることも，純粋に理論によって構成されることも要求しない．S は観察者の理論的・方法論的観点に相対して定義される状態集合であるが，観点が固定されれば S は当該問題空間の外部条件として扱うことができる．

遷移関係 τ は状態間の構造的連関の形式的表現であり，それが因果的関係であるか法則的関係であるかモデル的操作であるかについて SRF は中立である（**存在論的中立性**）．この中立性により，SRF は特定の科学哲学的立場に依存せず広く適用可能な枠組みとなる．

3.2 問題空間の定義

三成分構造の動機は単純な観察から確認できる．同一のデータ（S）に同一の操作（τ）を適用しても，被験者選択基準や除外条件が異なれば異なる問題が成立する．この境界条件を形式化する成分が Γ（可容構造族）である．

定義 1 (問題空間)**.**

$$M = (S,\ \tau,\ \Gamma)$$

S：状態集合

- $\tau \subseteq S \times S$：遷移関係
- $\Gamma \subseteq \mathcal{P}(S) \times \mathcal{P}(\tau)$：可容構造族

ここで $\mathcal{P}(X)$ は X のべき集合を表す．

Γ は S や τ と比べて特別に恣意的なわけではない．三成分はいずれも固定された観点に相対して理論負荷的であり，Γ の理論負荷性はそれを独立成分として含めることへの特別な反論とはならない．SRF の診断的価値は Γ を一意に決定することにあるのではなく，Γ が明示されていない箇所を DTC 崩壊として特定することにある．Γ の非明示性は枠組みの欠陥ではなく，SRF が照射しようとする現象そのものである．

この非明示性は偶然ではない．それは科学的実践の構造的特徴に由来する：問題の境界条件は実践者間で暗黙的に共有される．Γ は共有されているがゆえに記述されず，記述されないがゆえにその崩壊が検出されない．SRF が照射するのはこの**構造的不可視性**である．

本稿は特定の事例において Γ を同定する手続きを提供することを目的としない．しかし各事例研究における DTC 診断（第 7 章）は，Γ が暗黙的に課している制約を部分的に可視化し，その手続きがいかに進行しうるかを例示する．Γ の同定は本稿の射程外であるが，射程外であること

は未解決を意味しない——それは三部作の第二論文が問題変換理論において，観点変動下での Γ の変化として定式化する課題である．

なお，Γ の同定は科学的実践における方法論的慣習・理論的コミットメントの析出によって行われるものであり，その手続き自体は SRF の適用問題として位置づけられる（本稿は Γ が与えられたもとで問題同一性に何が言えるかを扱う）．

3.3 三成分の役割と独立性

SRF の三成分 (S, τ, Γ) は恣意的な分解ではない．この三成分は科学的実践における三つの独立した操作に対応する：S は対象領域の設定，τ は状態間の構造的関係またはメカニズムの記述，Γ は問題として許容される説明範囲を規定する制約条件である．以下の三段階論証は，(S, τ, Γ) が本稿の目的に対する最小十分構造であることを示す．

1. **第一段階：S のみでは不十分．** 問題に関与する状態の集合を特定しても，それらの間にいかなる関係が成立するかが未規定のままでは，何が問題として「解かれた」状態かを定めることができない．
2. **第二段階：(S, τ) のみでは不十分．** 状態集合と遷移関係を特定しても，「どの部分構造が当該問題として許容されるか」という境界条件が未規定のままでは，問題の同一性を確定できない．
3. **第三段階：(S, τ, Γ) で十分．** Γ を付加することで境界条件が確定し，問題の同一性を構造同型として定義できる．

したがって D，T，C は**最小**の独立した分解である．それぞれは他と独立して崩壊しうる（§4.3–4.4 参照）．定義 2 の同型条件を厳密に粗くした分割でこの相互独立性を保持するものは存在しない（注 2）．

3.4 Γ の哲学的位置づけ

Γ は S と τ を特定の科学的問題として個体化する制約条件である．同一の状態集合と構造を共有していても，許容される説明の範囲が異なれば，それらは異なる問題として個体化される．

この意味で Γ は問題空間の境界条件であるだけでなく，問題を問題として成立させる**個体化条**

件（individuation condition）である（Fine 1994 の意味で）．Γ なしでは S と τ が同一であっても異なる問題を区別することができない．

第 7 章で C 崩壊が四事例すべてに共通して観察されるのは，Γ が問題個体化において担うこの中心的役割を反映している．ただし Γ のみでは科学的問題は成立しない．Γ は問題の**型**（type）を規定するが，具体的な問題**事例**（token）は (S, τ) によって与えられる．個体化は常に三成分の共同産物である．

3.5 先行研究との形式的位置づけ

■Nickles（1981）との関係． Nickles の問題還元論は問題を「問い＋制約条件」として捉え，問題の境界条件（本稿の Γ に対応）を明示的に扱う点で接続するが，三成分への分解と構造同型による再同定の定義は行っていない．

■Suppes（2002）との比較． Suppes の表現定理が問うのは**表現**（representation）の問い——理論的構造はいかにして経験的モデルに表現されるか——であり，この目的に対して準同型写像は十分な道具である．これに対し SRF が問うのは**再構成**（reconstruction）の問い——保存された表現から元の問題空間を一意に復元できるか——である．再構成においては，異なる問題空間が同一の表現に写されないことが不可欠であり，この一意性は Suppes 的な準同型では保証されない．単射性の要求はこの再構成目的から必然的に導かれる条件であり，Suppes の枠組みへの付加的制約ではなく，異なる問いへの応答として独立に設計された条件である．

■Klir（1985）との比較． Klir の Reconstructability Analysis における再構成は「統計的近似として何が復元できるか」という確率的問いであり，完全な構造同型を要求しない．SRF における再構成可能性 R は同型論的概念であり，近似を認めない．問題同一性を程度概念として扱う立場に対しては Klir 的枠組みの方が適合的である可能性があり，これは SRF の射程限界として明示する（SRF-g；第 9 節の Future Directions を参照）．

■問題論（erotetic logic）との位置づけ． Hintikka（1976）の問いの意味論（erotetic logic）は，問いの**内容**——いかなる応答が問いへの適切な答えとなるか——を分析する．SRF が問うのは問題の**同一性条件**——いかなる構造的条件のもとで二つの問題が同一であるといえるか——であ

る．両者は相補的であり，競合しない．

4　構造同型としての問題同一性

本節は問題同一性を構造同型 $M_1 \cong M_2$ として定義し，DTC 三条件を命名し，それらの相互論理的独立性を証明する．

4.1　再同定の定義

定義 2 (構造同型・再同定　（Hodges 1993 に準拠）)**.** 二つの問題空間 $M_1 = (S_1, \tau_1, \Gamma_1)$, $M_2 = (S_2, \tau_2, \Gamma_2)$ に対し，**再同定**が成立するとは，ある写像 $\varphi : S_1 \to S_2$ が存在して以下を満たすことをいう．

1. φ は全単射である．
2. $(s, t) \in \tau_1 \iff (\varphi(s), \varphi(t)) \in \tau_2$
3. $(S', \tau') \in \Gamma_1 \iff (\varphi[S'], \varphi[\tau']) \in \Gamma_2$

このとき $M_1 \cong M_2$ と書く．ここで $\varphi[A]$ は集合 A の φ による点ごとの像を表す．集合像に括弧記法 $\varphi[A]$ を，点適用に括弧記法 $\varphi(s)$ を用いることで型の違いを明示する．

本定義は Hodges（1993）のモデル同型の標準的定式化に準拠する．数学的新規性は主張しない．

構造同型（≅）を問題同一性の条件として採用することには方法論的理由がある．SRF の目的は，問題同一性の理想的基準――すなわち，問題同一性が完全に成立する場合の最小構造条件――を明示することである．完全同型が理想基準として明示されて初めて，「何がどの程度崩壊しているか」という部分的失敗の診断が可能になる．第 7 章の DTC 崩壊分析（✓ / △ / × の三値記法を使用）はこの診断的用途の実践であり，完全同型からの逸脱を記述するために完全同型の基準が必要である．

4.2　DTC 三条件の定義的整理

以下の整理 1〜3 は，定義 2 から直接読み取れる保存条件の体系的な名称化である．これらは新規の独立した定理ではなく，定義 2 の各条件が何を意味するかを明示化したものである（注 3)．

整理 1 (差異保持 D)**.** φ の全単射性（条件 (1)）は，状態の区別可能性が S_1 から S_2 へ保存されることを意味する．これを**差異保持（D）**と呼ぶ.

整理 2 (遷移保持 T)**.** 条件 (2) は，遷移関係が双方向に保存されることを意味する．これを**遷移保持（T）**と呼ぶ.

整理 3 (制約保持 C)**.** 条件 (3) は，可容構造族が双方向に保存されることを意味する．これを**制約保持（C）**と呼ぶ.

4.3 Γ の独立性命題

命題 1 (可容構造族の独立性)**.** 同一の S および τ を持つ二つの問題空間 $M_1 = (S, \tau, \Gamma_1)$, $M_2 = (S, \tau, \Gamma_2)$ について，$\Gamma_1 \neq \Gamma_2$ ならば $M_1 \ncong M_2$ である.

Proof. $M_1 \cong M_2$ が成立すると仮定する．S と τ は M_1・M_2 に共通であるから，恒等写像 $\mathrm{id} : S \to S$ が条件 (1)(2) を満たす．しかし $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$ であるから，ある (S', τ') が存在して $(S', \tau') \in \Gamma_1$ かつ $(S', \tau') \notin \Gamma_2$ となる．（ここで φ として恒等写像を用いるので $\varphi[S'] = S'$, $\varphi[\tau'] = \tau'$ である.）このとき条件 (3) が満たされない．したがって $M_1 \ncong M_2$ となる. □

命題 1 により，C は D と T から論理的に導出できないことが保証される．この独立性は，第 2 節で示した「同じ方法・同じ結果では不充分」という直観の形式的根拠である.

4.4 D・T の相互独立性

以下では，整理 1〜3 によって導入された D・T・C が互いに論理的に独立であることを示す.

■D の T からの独立性． $\tau = \emptyset$ の場合，T は空虚に成立する．しかし φ が単射でなければ D は成立しない. 反例：$S = \{s_1, s_2\}$, $\tau = \emptyset$, $U = \{u_1\}$ を任意の単元集合として $\varphi(s_1) = \varphi(s_2) = u_1$ とすると，T 保持は空虚に成立するが D は不成立. $T \wedge C \Rightarrow D$ は一般には成立しない.

■T の D からの独立性． この独立性を示すために，第 5 節で定式化される補助表現空間 E への写像を考える．$S = \{s_1, s_2\}$，$\tau = \{(s_1, s_2)\}$，$E_S = \{e_1, e_2\}$，$E_\tau = \emptyset$ とする．$\iota_S(s_1) = e_1$,

$\iota_S(s_2) = e_2$ と設定することで D が成立する．しかし ι_τ の整合条件は $\iota_\tau(s_1, s_2) = (e_1, e_2) \in E_\tau$ を要求するが，$E_\tau = \emptyset$ のためこれを満たせない（T 不成立）．したがって $D \wedge C \Rightarrow T$ は一般には成立しない．

以上より，D・T・C の三条件は互いに論理的に独立であり，各条件が問題同一性の成立に独立に寄与する．

4.5 本節の結論

> **結論：問題同一性は構造保存として理解できる．** $M_1 \cong M_2$ の成立は，D・T・C の三条件の同時成立と同値であり，いずれか一つの崩壊が問題同一性の失敗をもたらす．

5 保存表現と問題空間の再構成可能性

本節は保存表現のための *Condition E* を導入し, 再構成操作 $\Pi(E)$ を定義し, *DTC* と *Condition E* が合わさって再構成可能性に十分（*DTC* 十分性），かつ各条件が個別に必要（*DTC* 最小性）であることを証明する．

5.1 Condition E の動機付け

DTC 条件は問題空間 M 自体の構造保存条件であり，保存表現 E が再構成の成功に必要な形式的性質を備えているかどうかについては何も言わない．DTC 条件が成立しても，保存表現 E 自体が再構成操作を一意に定める性質を持つとは限らない．Condition E はこのギャップを埋める独立の条件として必要である．

> **Condition E の哲学的地位．** Condition E は存在論的条件ではなく方法論的条件である．問題空間 $M = (S, \tau, \Gamma)$ の存在論的個体化条件は定義 2（構造同型）によって与えられる．Condition E はこれとは独立に，再構成操作 Π の健全性——すなわち $\Pi(E)$ が M の構造を忠実に復元すること——を保証する技術的条件として機能する．Condition E は問題の存在論を制約するのではなく，保存表現の認識論的適切性を規定する．

5.2　保存表現の定義（Condition E 付き）

定義 3 (保存表現・Condition E)**.** $E = (E_S, E_\tau, E_\Gamma)$ は以下を満たす：

- E_S：集合，$E_\tau \subseteq E_S \times E_S$，$E_\Gamma \subseteq \mathcal{P}(E_S) \times \mathcal{P}(E_\tau)$

【Condition E】

- **(E1) 有限生成性：**$|E_S| < \infty$
- **(E2) 構造的閉包性：**任意の $(e, e') \in E_\tau$ について $e, e' \in E_S$；任意の $(A, B) \in E_\Gamma$ について $A \subseteq E_S$ かつ $B \subseteq E_\tau$.

5.3　DTC 三条件の形式的定義

定義 4 (差異保持 D)**.** $\iota_S : S \hookrightarrow E_S$　（単射）

定義 5 (遷移保持 T)**.** $\iota_\tau : \tau \hookrightarrow E_\tau$（単射）かつ $\iota_\tau(s,t) = (\iota_S(s),\, \iota_S(t))$（整合条件）

定義 6 (制約保持 C)**.** $\iota_\Gamma : \Gamma \hookrightarrow E_\Gamma$（単射）かつ $\iota_\Gamma(S', \tau') = (\iota_S[S'],\, \iota_\tau[\tau'])$（整合条件）

5.4　再構成操作と再構成可能性

定義 7 (再構成操作)**.**

$$\Pi(E) := (S^*,\, \tau^*,\, \Gamma^*),$$

$$\text{ただし}\quad S^* := \mathrm{Im}(\iota_S),\ \tau^* := \mathrm{Im}(\iota_\tau),\ \Gamma^* := \mathrm{Im}(\iota_\Gamma).$$

定義 8 (再構成可能性)**.**

$$R(S, \tau, \Gamma) := \exists E = (E_S, E_\tau, E_\Gamma) \text{ が Condition E を満たし，かつ } \Pi(E) \cong (S, \tau, \Gamma)$$

5.5　Condition E 違反時の病的ケース

命題 2 の非自明性は，Condition E を満たさない保存表現のもとでは DTC 三条件が成立しても $R(S, \tau, \Gamma)$ が成立しないケースを構成することで確認される．

$M = (S, \tau, \Gamma)$ を $S = \{s_1, s_2\}$，$\tau = \{(s_1, s_2)\}$，$\Gamma = \big\{\big(\{s_1, s_2\}, \{(s_1, s_2)\}\big)\big\}$ とする．保存表現 $E = (E_S, E_\tau, E_\Gamma)$ を $E_S = \{e_1, e_2, e_3\}$，$E_\tau = \{(e_1, e_2), (e_1, e_3)\}$，$E_\Gamma = \big\{\big(\{e_1, e_2\}, \{(e_1, e_2)\}\big)\big\}$ と設定する．

写像 $\iota_S(s_i) = e_i$（$i = 1, 2$），$\iota_\tau(s_1, s_2) = (e_1, e_2)$，および対応する ι_Γ のもとで，D・T・C の三条件はすべて成立する．

しかし E は (E2) に違反する：E_τ に含まれる余分な遷移 (e_1, e_3) は M のいかなる遷移の像でもない．同一の E から余分な遷移を持つ別の問題空間 M' も再構成候補として生じうるため，E は M を一意にコード化しない．Condition E が成立しない場合，$\Pi(E)$ は一意の問題空間を指定せず，定義 8 が要求する $\Pi(E) \cong (S, \tau, \Gamma)$ の保証が失われる．この構成は Condition E なしには DTC のみでは再構成可能性に十分でないことを確立し，命題 2 の非自明性を示す． □

5.6 DTC 十分性

命題 2 (DTC 十分性)**.** D・T・C が成立し，かつ保存表現 E が Condition E を満たすならば，$R(S, \tau, \Gamma)$ が成立する：

$$(D \wedge T \wedge C \wedge \mathrm{CondE}) \Rightarrow R(S, \tau, \Gamma)$$

Proof. $\varphi : S \to S^*$ を $\varphi(s) := \iota_S(s)$ と定義する．ι_S の単射性より φ は単射；$\mathrm{Im}(\iota_S) = S^*$ より全射；したがって全単射．遷移保存：T の整合条件より $\iota_\tau(s, t) = (\iota_S(s), \iota_S(t)) \in \tau^*$；Condition E (E2) により余分な遷移の混入が防がれる（E_τ の任意の元は保存された状態の対として閉じている）．制約保存：C の整合条件より $\varphi[S'] = \iota_S[S']$，$\varphi[\tau'] = \iota_\tau[\tau']$．以上より φ は $(S, \tau, \Gamma) \cong (S^*, \tau^*, \Gamma^*)$ を証明し，$R(S, \tau, \Gamma)$ が成立する． □

5.7 DTC 最小性

命題 3 (DTC 最小性)**.** $\neg D \Rightarrow \neg R, \quad \neg T \Rightarrow \neg R, \quad \neg C \Rightarrow \neg R$

Proof. 反例による．$\neg D$：φ が単射でなければ $|S^*| < |S|$ となり全単射が存在しない．$\neg T$：$\tau \neq \emptyset$ とする．$E_\tau = \emptyset$ のとき $\tau^* = \emptyset \neq \mathrm{Im}(\iota_\tau)$ となり $\Pi(E) \ncong M$．$\neg C$：命題 1 より $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$ のとき

$M_1 \ncong M_2$. □

5.8 接続命題

接続命題（問題同一性から再構成可能性へ）

問題空間 $M = (S, \tau, \Gamma)$ に対して，再同定（$M_1 \cong M_2$）が定義されるならば，その定義から読み取れる DTC 三条件が成立し，かつ保存表現 E が Condition E を満たすとき，再構成可能性 R が保証される．問題同一性の構造条件は，Condition E のもとで，再構成可能性の十分条件である．

本稿は十分条件のみを確立する．必要条件（$R \Rightarrow$ DTC）の一般的証明は射程外であり，Condition E を外した場合の等価性分析は SRF の自然な拡張課題である．

5.9 SRF の存在論的含意

本小節は *SRF* の存在論的解釈を *Structural Problem Ontology*（*SPO*）として明示し，本稿の主目的との関係においてその射程を限定する．

SRF は問題を (S, τ, Γ) という構造として個体化する形式的枠組みである．この枠組みは問題同一性の条件が単なる方法論的規則ではなく，問題という対象の個体化条件を与えるという意味において，存在論的含意を持つ．問題の同一性は観察者の個別的判断によって決まるものではなく，$M = (S, \tau, \Gamma)$ という構造の保存によって与えられる．

観点が固定された範囲内において，この構造が保存される限り同一の問題として扱われる．この立場は Worrall（1989）の構造的実在論を問題の領域に適用したものとして位置づけることができ，**Structural Problem Ontology（SPO）**と呼ぶことができる．SPO は問題がいかなる内在的・非関係的本質によってではなく，その構造によって個体化されるという立場である．

ただし本稿の目的は SPO の存在論的詳細を展開することではなく，問題同一性の形式条件を提示することにある．問題の存在様式，問題粒度の存在論，科学的変化における問題同一性の持続と消滅については，SPO を主題とする今後の研究に委ねる．本稿において SPO は，SRF の形式的帰結として示唆される存在論的解釈として位置づけられる．

6　再現性失敗の SRF 分析

本節は SRF を現代科学から引いた四事例に適用し，各事例において自然言語分析では失敗の構造的源泉を特定できないのに対し DTC 分析では可能であることを示す．事例は構造的多様性のために選択されており，代表性や頻度的主張は行わない．

DTC 条件の成立度を示すために，△（部分的崩壊）の記法を ×（完全崩壊）および ✓（保持）とともに使用する．これらは構造崩壊の診断的指標であり，厳密な同型判定ではない．

事例分析は DTC 崩壊パターンの構造的例示（illustration）として機能し，経験的分布の証拠としてではない．第 9 節で引き出される構造的含意は枠組みの形式的性質に基づくのであって，ここで検討した事例の頻度に基づくのではない．

6.1　事例 1：心理学的再現性危機（Open Science Collaboration 2015）

Open Science Collaboration（2015）は 100 本の心理学論文の再現試行を実施し，約 36% のみが有意な結果を再現したと報告した．この事例は通常「統計的検出力の問題」「p 値ハッキング」として論じられるが，SRF 分析はさらなる構造的層を明示する．

状態保持（D）：元研究と再現試行は被験者集団を異にする．多くの場合 D は形式上保持されているが，個体差・文化的背景・時代的文脈によって S の解釈が暗黙に変化している．

遷移保持（T）：実験手続きは記述されていても，実験者効果・文脈効果・手順の微細な変化が τ に影響する．手続き記述が τ を決定しないため，T 崩壊が最も頻繁に生じている成分である．

制約保持（C）：元研究が暗黙に設定していた被験者選択基準・除外基準・測定の許容範囲（Γ）が明示されていない．再現試行はこれを復元できないため，C 崩壊が構造的に起きている．

> **SRF 診断：**D 保持，T 崩壊，C 崩壊　（D✓　T×　C×）

自然言語分析は「手続きは同じだが結果が違う」としか言えないが，SRF 分析は T・C 崩壊として問題同一性の失敗の構造を特定する．Ioannidis が「統計的失敗」と呼んだものの一部は，実際には問題同一性の失敗である．文脈依存性（context dependency）は Γ の暗黙的変化（C 崩壊）

に，実験者効果は τ の部分的変化（T 崩壊）に対応し，SRF 分析はこれらの記述的指摘を問題同一性の構造的失敗として統一的に位置づける．

6.2　事例 2：大規模言語モデルの学習再現（GPT 系モデル）

大規模言語モデルの学習過程は原理上再現可能とされるが，実際には同一アーキテクチャ・同一データセット・同一ハイパーパラメータを用いても学習結果が再現されないことが報告されている（Bouthillier et al. 2021）．この事例は，再現性の表面的条件が満たされているにもかかわらず失敗が生じるという点で構造的に不可解である．

状態保持（D）： 最終パラメータ集合（重み行列）は S の対応物として保存される．D 形式上保持．

遷移保持（T）： 学習過程における勾配更新履歴，ランダムシード依存のミニバッチ選択順序，データ並列処理の非決定的実行順序が τ に相当する遷移系列を構成する．これらは通常記録・保存されない．T 崩壊．

制約保持（C）： ハイパーパラメータのスケジューリング根拠，アーキテクチャ設計上の選択の許容範囲，収束判定基準（Γ）が部分的にしか明示されない．C 崩壊．

> **SRF 診断：** D 保持，T 崩壊，C 崩壊　（D✓　T×　C×）

「異なる結果」の一部は再現性の失敗ではなく問題同一性の失敗として記述すべきである．二つの診断は異なる対処を求める：再現性の改善はランダムシードの固定と実行順序の記録（T）を求め，問題同一性への対処は Γ の明示化（C）を求める．

6.3　事例 3：統計再解析と圧縮保存（Begley & Ellis 2012）

Begley & Ellis（2012）は，癌研究における 53 本の「画期的」論文のうち 6 本しか再現できなかったと報告した．この事例において特徴的なのは，多くの研究でデータが統計量（平均値・分散・p 値）に圧縮されて保存されていたことである．

状態保持（D）： 統計量への圧縮により，個別観測値の区別可能性（D）が失われている．D 部分的崩壊（D△）．

遷移保持（T）： データ生成過程（実験操作の系列）が τ に対応するが，生データが失われている

ため τ の復元が不可能．T 崩壊．

制約保持（C）： 実験条件の選択根拠・測定許容範囲・除外基準（Γ）が報告されていない．C 崩壊．

> **SRF 診断：** D 部分崩壊，T 崩壊，C 崩壊　（D△　T×　C×）

SRF 分析は，再解析の失敗がデータ保存の段階での D 崩壊に起因することを明示し，「何を保存すべきか」という問いに構造的な答えを与える．答えは：区別可能性を保存するのに十分な生データ（S），完全なデータ生成系列（τ），そして研究の境界条件（Γ）である．

6.4　事例 4：気候シミュレーションモデルの再現（CMIP 系モデル）

気候変動予測モデル（CMIP：Coupled Model Intercomparison Project）において，複数の研究グループが「同じ物理方程式」を実装したモデルを用いても，長期シミュレーションの結果に有意な差異が生じることが知られている．この事例は，物理理論への表面的な合意が，シミュレーション結果の系統的乖離と共存するという点で哲学的に重要である．

状態保持（D）： 初期条件として設定された状態（気温・気圧・海水温等）は S として保存される．D 保持．

遷移保持（T）： 数値積分スキームの選択・空間離散化の方法・パラメータ化スキームの実装が τ の変動をもたらす．「同じ物理方程式」は τ の同一性を保証しない．T 部分的崩壊（T△）．

制約保持（C）： モデルが「現実の気候系」として扱う許容可能な部分構造の範囲（Γ）——例えば雲のパラメータ化の許容範囲・海洋循環モデルとの結合条件——が研究グループ間で異なる．C 崩壊．

> **SRF 診断：** D 保持，T 部分崩壊，C 崩壊　（D✓　T△　C×）

「同じ物理系をモデル化している」という主張は，Γ が一致していない限り問題同一性を保証しない．気候モデルの許容範囲内にどの物理過程が含まれるかについての不一致は物理方程式についての不一致ではなく，Γ についての不一致である．

6.5 四事例の比較と SRF の方法論的含意

四事例では C 崩壊が共通して観察される．この観察は四例からの帰納的一般化を主張するものではない．それは Γ という成分の定義的非明示性（第 3 節）の帰結として理解される：Γ は科学的実践において最も明示化されにくい成分であり，「何が問題として許容されるか」は方法論的慣習・理論的コミットメントに暗黙に依存しており，S（データの記録）や τ（手続きの記述）とは異なり，Γ の共有は研究者間で意識的に行われにくい．

この観察は SRF の方法論的含意を与える：再現性の向上のために最も優先されるべきは Γ の明示化である．データの保存（D）や手続きの記録（T）は既存の再現性向上策でも論じられてきたが，Γ の明示化は「何を問題として扱っているか」の境界条件の共有として，既存の議論では体系的に扱われてこなかった．

この診断的機能こそが，SRF を単なる記述的枠組みではなく，問題同一性の失敗に対して構造的説明制約を課す枠組みとして位置づける根拠である．

7 再現性の失敗と問題同一性の失敗

本節は中心的な区別命題を述べ，それを支える形式的連鎖を辿り，先行議論と対比し，全体的結論を導く．

7.1 区別命題

> **区別命題**
>
> 再現性の失敗（同じ問題に対して異なる結果が得られること）と問題同一性の失敗（そもそも同じ問題を扱っていないこと）は形式的に区別可能であり，後者は前者の前提条件である．問題同一性の失敗は DTC 条件の崩壊として特定され，再現性の評価は問題同一性が成立していることを前提として初めて意味をなす．

この区別命題は，第 1 節で確認した「問題同一性の暗黙の前提」を，定義 2・命題 1・命題 3 によって形式的に確立し，第 7 節の事例分析によってその適用可能性を実証したものである．既存

文献では，この区別は概念的に示唆されるにとどまり，形式条件として定式化された例は存在しない（Hintikka 1976・Sintonen 1984 を含む問題論的枠組みにおいても，問題同一性を構造保存条件として定義した例は確認されない）．本稿の貢献はこの直観を形式条件として定式化した点にある．

7.2 区別命題を支える理論的連鎖

命題は形式的結果の厳密な連鎖に支えられている．定義 2（構造同型）によって「同じ問題であること」は $M_1 \cong M_2$ として定義される．整理 1〜3 によって，この同型の成立が D・T・C の成立と定義的に同値である．命題 1（Γ の独立性）によって，D・T が成立しても C が成立しない場合が問題同一性の失敗をもたらすことが形式的に確立される．命題 3（DTC 最小性）によって，D・T・C はそれぞれ独立に不可欠であり，いずれか一つの崩壊が問題同一性の失敗を引き起こす．

第 6 章（第 5 節最終小節）で示した SRF の存在論的含意は，この理論的連鎖に存在論的背景を与える．問題同一性の失敗は単なる記述の失敗ではなく，問題という対象の個体化条件の崩壊として理解できる．第 7 節の事例分析は，この崩壊が自然言語記述では捉えられない構造として現代科学の再現性問題に実際に生じていることを示した．

7.3 先行議論との対比

Leonelli（2018）は再現性概念を直接的・分析的・概念的の三水準に区別したが，各水準において「同じ問題を扱っている」という同一性がいかなる構造条件を含意するかは定式化されていない．SRF はこの欠落を DTC 三条件として補填し，Leonelli の分類の下に欠けていた形式的層を供給する．

Ioannidis（2005）において問題空間の同一性は暗黙の前提として機能している．SRF はこの循環的前提を DTC 条件として形式化し，問題同一性を再現性評価の先行条件として位置づける．その効果は，暗黙かつ未検討の仮定を診断可能な構造的要件へと変換することである．

既存の再現性議論が「再現性の失敗」として一括していたものは，実際には二種類の異なる失敗を含んでいる．第一は真の再現性の失敗——同一の問題に対して異なる結果が得られること

——であり，第二は問題同一性の失敗——そもそも同一の問題を扱っていないこと——である．第 7 節の四事例は，後者が再現性議論において実際に生じており，かつ自然言語分析では識別不可能であることを示した．

7.4 本節の結論

> **中心命題．中心命題（本稿全体の帰結）：再現性評価は問題同一性を前提とする．**
>
> 問題同一性は DTC 三条件の同時成立として定義され，いずれか一つの崩壊が問題同一性の失敗をもたらす．再現性の失敗と問題同一性の失敗は，SRF の形式的枠組みによって体系的に区別可能であり，SPO はその区別に存在論的基盤を与える．

8 結論

8.1 本稿の論証構造

本稿は以下の 8 ステップの線形論証として構成される．

1. 再現性議論（Leonelli 2018；Ioannidis 2005）は問題同一性を前提とするが，この前提は明示されていない．（§1）
2. 自然言語的記述（同じデータ・方法・結果）は問題同一性の条件を保証できない．（§2）
3. 問題は $M = (S, \tau, \Gamma)$ として構造的に定式化できる．（§3）
4. 問題同一性は $M_1 \cong M_2$ として定義され，DTC 三条件の同時成立と同値である．（§4）
5. DTC 三条件と Condition E のもとで R が保証される．（§5）
6. SRF は SPO として解釈しうる存在論的含意を持つ．（§5，最終小節）
7. 四事例において SRF 分析が問題同一性失敗の構造的特定を実現した．（§7）
8. 再現性の失敗と問題同一性の失敗は形式的に区別可能であり，後者は前者の前提条件である．（§8）

以上の論証が示す通り，SRF の役割は理想的な問題同一性を提示することではなく，問題同一性が失敗する構造的要因を診断する点にある．D・T・C 崩壊はこの構造的破綻の類型を示すもの

であり，SRF は問題同一性の失敗に対して構造的説明制約を課す枠組みとして位置づけられる．

8.2 学術的位置づけ

数学的内容についてはモデル理論における構造同型の標準的枠組み（Hodges 1993）の適用であり，数学的新規性は主張しない．哲学的貢献は以下の 4 点である．

1. **Structural Problem Ontology の提案．** 問題を構造によって個体化される存在者として位置づけることで，Nickles・Bromberger が概念的に論じた問題論に形式的な存在論的基盤を与えた．これは問題の個体化条件・粒度・科学的変化における持続と消滅を形式的に記述する枠組みを初めて提供するものである．
2. **接続命題の確立．** 問題同一性の構造条件が Condition E（実際の保存媒体の自然な制約）のもとで再構成可能性を十分条件として保証するという形式的連鎖は，既存の議論において明示化されていない．
3. **区別命題の析出とその構造的例示．**「再現性の失敗」と「問題同一性の失敗」の形式的区別を再現性議論において確立し，四事例の SRF 分析によってこの区別が現代科学の再現性問題に実際に適用可能であることを示した．
4. **SRF の説明制約と構造的含意の確立．** 再現性の失敗を説明する試みは，Γ の分岐可能性を考慮しなければ不十分である（説明制約）．再現性の失敗は DTC 崩壊の有限パターンに分類可能である（構造的含意）．

8.3 今後の展望

1. **DTC 必要条件の証明．** $R \Rightarrow$ DTC の一般的証明は SRF の自然な拡張課題である．
2. **程度的同一性への拡張（SRF-g）．** 完全同型という二値的定義を緩め，構造的近似を許容する枠組みは Klir 的アプローチとの接続として追求可能である．
3. **時間軸への拡張（SRF-t）．** τ に半順序構造を付与し，保存と再構成の時間的分離を形式的対象として扱う拡張が可能である．
4. **Structural Problem Ontology と Fine 的本質主義の接続．** Γ を Fine の本質的真理と

して定式化する試みは，SPO の存在論的基盤をより精緻化する課題である．

5. **観点固定の解除．** 観点変更を含む再同定条件の分析は別個の課題を構成する（注 1）．

注

注 1： 観点固定は「実践において観点が常に固定されている」という主張ではない．問題同一性の形式的条件を純粋に析出するための方法論的措置であり，本稿の射程はこの条件に限定される．観点変動下の問題同一性は weak structural similarity の導入によって拡張される次の研究課題であり，本研究プログラムの第二論文がこれを主題として扱う予定である．

注 2： 本稿は $M = (S, \tau, \Gamma)$ が唯一可能な分解であると主張しない．たとえば確率的遷移を組み込んだ $M' = (S, \tau, p, \Gamma)$ は別の目的に有効でありうる．本稿の立場は，三成分が本稿の目的に対して十分かつ相互独立な枠組みを提供するというものに限定される．

注 3： 整理 1〜3 は「定義 2 から読み取れる保存条件の名称化」として提示する．これらは新規の独立した定理ではなく，第 5 節の接続命題への橋渡しとして機能する定義的整理である．

参考文献

[1] Begley, C. G., & Ellis, L. M. (2012). Drug development: Raise standards for preclinical cancer research. *Nature*, *483*(7391), 531–533.

[2] Bouthillier, X., Delaunay, P., Bronzi, M., Trofimov, A., Nichyporuk, B., Szeto, J., Mohammadi, S., Beckers, N., Kahou, S. E., & Vincent, P. (2021). Accounting for variance in machine learning benchmarks. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, *3*, 747–769.

[3] Bromberger, S. (1966). Why-questions. In R. Colodny (Ed.), *Mind and Cosmos* (pp. 86–111). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

[4] Fine, K. (1994). Essence and modality. *Philosophical Perspectives*, *8*, 1–16.

[5] Hendrycks, D., Burns, C., Basart, S., Zou, A., Mazeika, M., Song, D., & Steinhardt, J. (2021). Measuring massive multitask language understanding. *International Conference on Learning Representations*.

[6] Hintikka, J. (1976). *The Semantics of Questions and the Questions of Semantics*. Amsterdam: North-Holland.

[7] Hodges, W. (1993). *Model Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

[8] Ioannidis, J. P. A. (2005). Why most published research findings are false. *PLoS Medicine*, *2*(8), e124.

[9] Klir, G. J. (1985). *Architecture of Systems Problem Solving*. New York: Plenum Press.

[10] Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

[11] Leonelli, S. (2018). Rethinking reproducibility as a criterion for research quality. *Philosophy of Science*, *85*(5), 1295–1307.

[12] Nickles, T. (1981). What is a problem that we may solve it? *Synthese*, *47*(1), 85–118.

[13] Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, *349*(6251), aac4716.

[14] Quine, W. V. O. (1960). *Word and Object*. Cambridge, MA: MIT Press.

[15] Sintonen, M. (1984). *The Pragmatics of Scientific Explanation*. Helsinki: Finnish Society for Philosophy.

[16] Suppes, P. (2002). *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford: CSLI Publications.

[17] van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.

[18] Worrall, J. (1989). Structural realism: The best of both worlds? *Dialectica*, *43*(1–2), 99–124.