

現代時空論と不完全決定性の問題

中 釜 浩 一

序

時間空間論は現代科学哲学の重要な一分野であるが、それは、他の分野に対していくつかの際立った特徴を持っている。そうした特徴の一つは、時間空間論が、いわゆる「経験的データによる理論の不完全決定性」underdetermination of theories by the empirical data の問題の、典型的一事例とみなされることである。一般にどの科学理論も、実験観察によって検証あるいは反証されうる言明以上の内容を含んでいるように見え、それ故、複数の互いに論理的に両立しない理論が、同一の経験的証拠によって支えられる、という事態が成立しうるように見える。これが「理論の不完全決定性」であるが、このとき、それらの諸理論のなかからどれか一つの理論が実際に選ばれるとき、その選択は、それらの理論の含む経験的内容以外の基準によるのでなければならない。科学理論に関する実在論（科学的実在論）と反実在論のひとつの対立点は、この経験以外の基準をいかに解釈するかに関わっているといつてよい。時間空間に関する諸理論は、このような不完全決定性が成立する最も明らかなケースであるといえる。

我々はまず、不完全決定性がいかなる哲学的問題であるのかを一般的に概観し、次に、それが現代時空論においてどのような形で現れるかを二三の例を通して見、それに対する哲学的な反応に関して、簡潔に論評する。

1. 不完全決定性

上でみたように、不完全決定性は、複数の互いに論理的に両立しない理論が同様に経験的証拠によって支えられるという事態を指すのだから、それが問題として成り立

つためには、複数の理論が同一の観察・経験を共有しうること、また、それらの観察・経験が一義的に決定しないような「理論的上部構造」を観察・経験のレベルから区別できること、がさしあたって前提とされている。

各理論がそれぞれ固有の経験内容を持ち、一つの理論の観察語彙（言明）が他の理論の観察語彙（言明）に翻訳できないとすれば、複数の理論の間に矛盾と言う論理的関係も成立し得ない。これはいわゆる「通約不可能性」の問題であって、不完全決定性の問題とは区別される。以下の例においても理論間の観察・経験レベルの共有は前提されている。しかし、もちろん、不完全決定性の問題と見られたものが、分析を通じて実は「通約不可能性」の問題であることが判明する可能性もある。

観察・経験レベル「理論的上部構造」との区別のあいまいさ（線引きの恣意性）はしばしば主張される場所である。しかし、各理論が（直観的に理解される）経験的言明の成立のための必要十分な条件であり、それ故理論が観察言明に完全に還元可能であると考えるのでないかぎり、上述の区別は直観的になされている、と言いうるのであろう。

この線引きの恣意性という点を考慮して、Newton-Smith は不完全決定性の問題を次のように定式化している。「観察的なものと理論的なものとを分かち点をどこに固定するにしても、（この点をスペクトルのどちらかの端におくのでないかぎり）、その点の観察的なものの側にある命題の真理値の配分については一致するが、その点の理論的なものの側にある命題の真理値の付値については一致しないような、複数の理論が存在しうる。⁽¹⁾」

しかし、このように観察・経験レベルと「理論的上部構造」の区別を相対化し、それによって不完全決定性のテーゼを一般化するだけでは、その含む哲学的問題が十分に明らかにならない。そこで、この区別を言明のクラスの区別としてではなく、理論のモデルとその部分という仕方で見ようとする van Fraassen の立場を参考にしよう⁽²⁾。

van Fraassen の「構成的経験論」では、科学の目的は真理の追及ではなく、「経験的に完全な」empirically adequate 理論を提出することである。このような構成的経験論の立場では、不完全決定的な複数の理論の存在の可能性を示すことが、その主張の一つの要である。van Fraassen は理論的言明（観察不能な対象に関する言明）を字義通り解釈する（それに真理値を認める）ことを主張し、かつ、それらの言明がどちら

の真理値をとるかに関しては不可知論をとるのであるから、そのためには、理論的主張が経験的主張にとって十分であるが必要でないことが言えなければならない。もしも理論的主張が経験的主張にとって十分であるばかりでなく必要であれば、経験によって理論のすべての言明は一義的に真理値が定まることになる。さらに、van Fraassen は「経験」そのものは理論独立であることを主張するので（従って通約不可能性を否定するので）、理論が経験的言明にとって必要であれば、正しい理論は経験によって一義的に定まることになる。すなわち、理論が経験的に完全であることが、その理論が真であるための必要十分な条件となって、経験的完全性という概念と真理の概念には区別がなくなってしまう。

そこで、van Fraassen の立場から不完全決定性が構成される仕方は、大雑把に言って次のようになるであろう。理論 T は言明の集合としてでなく、その提出するモデルによって同定される。 T は、その一つのモデルのうちに、観察可能なものに関する下部構造を自ら特定する。すなわち、理論のモデルのどの部分が観察可能なものに対応するかを決めるのは理論自身である。この下部構造が T の経験的意味内容である。 T と別の理論 T' との経験的意味内容が互いに同型 isomorphic であれば、 T と T' とは互いに経験的に等価 empirically equivalent である。 T の経験的意味内容が、すべての現実に観察可能なものと同型対応がつけば、 T は経験的に完全である。 T と T' が経験的に等価で、かつ、 T が経験的に完全であれば、 T' も経験的に完全である。すなわち、 T と T' とは不完全決定的である。

このような van Fraassen の定式化によれば、複数の不完全決定的な理論は観察可能なものを同様に良く説明する。それでは、それらの理論の中からひとつを選択することによってどのような違いがもたらされるのだろうか。

経験的内容は同一であっても論理的に異なった理論を取ることによって、将来の研究の方向付けや、また、他の理論との接続の仕方等に違いが出てくるだろうが、しかし、最も大きな違いは説明の枠組みが変わるということであろう。これは単に、同一の現象について複数の理論が異なった説明を与える、ということばかりでなく、何が説明を要する現象であるかが理論ごとに異なる、ということをも意味する。仮にアリストテレスの物理学がニュートンのそれと同様に良く観察可能なものを説明するとしても、それらのもたらす説明は両者で全く異なるだろう。例えば、等速直線運動は前者にとっては物理的説明を要する事象であるが後者にとってはそうではない。

このように見てくるとき、不完全決定性の問題が時間空間論の問題と結びつきやすい理由の一つが理解できる。時間空間それ自身は因果作用を持たないと考えられるから、時間空間そのものは知覚されることはない。知覚されるのは、特定の時間空間的關係にある事象のみである。従って、ある物理理論がある時間空間構造を指定するとき、それによって観察可能なもののクラスが増やされるわけではなく、むしろ観察可能なものに対する当の物理理論の説明の枠組みが定まるのである。端的に言えば、ある物理理論は特定の時間空間構造を仮定することによって、どの事象が説明を要する物理的变化であり、どの事象がそうでないかを定めるのである。上の van Fraassen の定式を参照すれば、時間空間は典型的に理論的上部構造に属するものと言いうる。従って逆にいえば、異なった時間空間構造を仮定することによって、観察可能なもののクラス（経験的下部構造）に違いは生じないのである。こうして時間空間に関する異なった理論は不完全決定性の典型的事例と見なされるのである。

次に不完全決定性に対する一つの反応として規約主義の立場を見よう。

2. 規約主義

Poincaré は幾何学の選択に関して次のように論じた。ユークリッド幾何学も非ユークリッド幾何学も論理的に無矛盾であり、かつ、どちらも我々の感覚経験の法則的構造を同様に良く説明できる。したがって、我々の世界を記述するために、どの幾何学を選ぶかは、取り決めまたは規約 convention によって決められるしかない。そして我々は常に最も単純な幾何学としてユークリッド幾何学を選ぶ。

以上のような Poincaré の規約主義に対して、Reichenbach は、規約的なのはどの幾何学を選ぶかではなくて、どの幾何学+物理学を選ぶかだ、という³⁾。すなわち、規約に係わるのは、幾何学の選択の場面ではなく、幾何学と物理学とを結びつける対応的定義 coordinative definition に関してである。一度対応的定義が決められれば、物理世界の現実の正しい幾何学はどれかが一意的に決まる。対応的定義は、具体的には、空間的に離れた位置にある、二つの長さの合同関係をいかに定めるかにある。通常我々は物差し rigid motion によって得られる関係を空間的に離れた位置での合同関係として定義する。しかし、この定義が妥当であるのは、我々がさらに普遍力 universal force=0 という規約を置くことによってである。

すなわち、Poincaré が、どの整合的な幾何学 G も、物理学 P に適当な修正を加えれば、救い出すことができる（すなわち、どの整合的な幾何学も不完全決定的である）というのにたいして、Reichenbach は全体的な理論 $G_0 + P_0$ と $G_1 + P_1$ が経験内容を共有するときには、 G_0 と G_1 とが不完全決定的な二つの幾何学なのではなく、同音の語句（例えば直線）に異なった意味（対応的定義）を与える、同一の理論の異なった表現にすぎない、と言うのである。 G_0 と G_1 との相違は、実質的な経験内容に係わるのではなく、単に表現の違いにすぎない。例えば、同じ質点の運動に関して、その方程式を直交座標において与えるか、極座標において与えるかで、形は全く異なるが、その記述する内容は同一であるのと同じ事である。したがって、幾何学の選択という問題をそれだけ取り出せば、それは有意味な（真偽を確定できる）問題ではなく、まさに規約の問題であるが、そのことによって、物理空間の幾何学と言う概念自身が恣意的、規約的なものとなるわけではない。

このような Reichenbach の立場では、時間空間に関して不完全決定性の問題は原理的に存在し得ない。不完全決定的にみえる複数の理論があるとすれば、それらがどれほど異なった形をしているとしても、それは異なった理論ではなくて、同一の理論なのである。それらの間の選択は、理論言明の真理に係わるのではなく、単に実在を記述する上での記述的単純性に係わるにすぎない。

それならば、現実の物理学（例えば一般相対性理論）は、なぜ実在の記述として最も単純なユークリッド幾何学を選ばないのか、という問いに対しては、物理学に係わるのはどの幾何学がより単純かという問題ではなく、その対応的定義がより単純かという問題だ、と答えられる。

Reichenbach が不完全決定性を否定しうるのは、言葉の使用法に関する規約を別にすれば、理論的言明の実質の意味はその含意する経験的言明で表されるものに尽きるという、実証主義的な意味の理論を取るからである。換言すれば、言葉の使用に関する取り決め以外には、理論的上部構造と呼ばれうるものは存在しないのである。従って van Fraassen の言う意味での経験的に等値な理論は、Reichenbach にとっては端的に同一の理論となるのである。

このように、規約主義の立場では、時間空間の不完全決定性の問題それ自身を消去するということかたちでこの問題に答えられる。それは一つの可能な解答ではあるが、時間空間の規約主義的な解釈には別の点で多くの問題が生じてくると思われる。それ

は、理論語句の意味の同一性と、その適用の基準に係わってくる。例えば、Putnam が「規約主義論駁」で展開した議論をまとめれば次のようになるであろう⁴⁾。

二つの理論 T, T' が同一の理論語句 a に対して、相矛盾する理論的言明を含むとき、 a がどちらの理論においても同一の指示をもつ (trans-theoretical である) なら、少なくとも一方の理論は偽であり、同一の指示を持たなければ (intra-theoretical である) なら、 a は同一の語ではなく単なる同音異義語である。「距離」という語に対して、我々が現に使用している距離という語と全く違う指示を与える理論は、たとえその「距離」が距離の公理を満たすとしても、なにか別のことを語っているのである。言い換えれば、 T' における「距離」を T における距離に翻訳するのは正しい翻訳ではない。したがって、我々の理論形成 (理論選択) になんらかの規約が役割を果たすとしても、それは、ある概念にどの音を配するかという、trivial なものにすぎない。

Friedman も同様に、理論語句の使用が単に規約的に定まるのではないことを指摘する⁵⁾。Reichenbach の対応的定義の規約性は、科学理論を解釈されない計算とみなし、その解釈が多義的でありうるという、モデル理論的な見解を提出していると見なせるが、これは科学に対する誤った見方である。例えば「長さ」という語句の意味は、科学以前のその語句の使用に由来する意味を受け継いでいるのであり、科学の発展によりその意味にある程度の修正はあるにせよ、前科学的な意味と全く切り離された使用は、「長さ」と言う語句の誤った使用である。

以上のような反規約主義者の反論は正当であると思われる。我々の常識的前科学的な時間空間的概念と科学的な時間空間概念との間に、少なくとも大雑把な形で、タイプごとの対応がついていなければ——例えば、距離という語が、科学的世界と常識的世界とではほぼ同じ関係を指示するでなければ——、科学を経験の説明に用いることすら困難となるだろう。

しかし、このような反規約主義者の主張は、不完全決定性の問題に対してなんらかの解決を示唆するだろうか。そうは思われない。

反規約主義者が、経験的に等価な理論の選択に関して主張する非規約性の根拠のひとつは、科学理論が前科学的な幾何学や物理学に対してもつ接続性である。しかし、前科学的な幾何学や物理学の概念はきわめて曖昧である。そしてこの曖昧さは、単に日常的な観察が曖昧であるというのではなく、概念の意味内容の曖昧さなのである。

例えば直線という概念は、二点を結ぶ最短の線という意味と、方向を変えない線という意味とを含んでおり、日常的にはこれらは区別されない。しかしある幾何学的構造においてはこれらは異なった指示を持つのである。同様に、同じ出発点から出発して、元の曖昧な語句（言明）の意味を別の仕方でも明晰化していくような複数の理論がありうるだろう。前科学的な信念を、より正確な科学的な信念の対象と同一の対象に関する不正確な信念であるとする、一種の寛容原理 *charity principle* を満たすような科学的発展は一通りとは限らないだろう。このような枝別れしていく理論のなかで、不完全決定性の問題は生じてくるのである。van Fraassen が想定していたのはこのようなケースであったと考えられる。このとき、経験的下部構造との論理的関係を異にする理論的上部構造が複数存在し、それら理論的上部構造の間の違いは単なる言葉の違いでなく、実質的な違いである。

規約主義の立場を取らず、理論的上部構造が実質的主張を含むと認めるとき、不完全決定性に対してどのような対処の仕方があるだろうか。そのような可能な一つの立場として、次に、理論の真偽を決定するための経験によらない基準が存在しうるとする、アプリオリズムの立場を検討する。

3. アプリオリズム

ここでアプリオリズムというのは、時間空間の構造が我々の側の認識条件によっていっさいの経験から独立に事実一意的に定まっている、というカント流のアプリオリズムを指すのではない。むしろ Sklar にならって⁶⁾、時間空間の構造に関して、どの理論が真であるかを決定するための(経験によらない)アプリオリな証拠が存在する、と主張する立場を指すことにする。したがってこの立場では経験的証拠によって決められない不完全決定的な複数の理論があった場合に、1) それらが異なった主張であることを認め、かつ 2) それらのなかから経験以外の根拠によって正しい理論を選び出せる、と言うのである。時間空間に関するアプリオリな主張としては、伝統的に、時間空間の同質性 *homogeneity*、空間の等方性 *isotropy*、等があげられる。同質性とは、物理法則が時間空間のどの点においても同様の仕方でも成立していることであり、等方性とは、ある点から見てどの方向も物理的に特別な意味を持たないことである。すなわち、物理的系を平行移動したり回転したりすることによって、その系の

物理的過程には何の違いもないということである。もし記述の違い以外の実質的な違いが現れるなら、それは時空的位置や方向の違いその物によるのではなくて、なんらかの物理的影響によるとされる。

例えば、特殊相対論においては、他の仮定に加えて、次のようなアприオリな前提があるように見える⁷⁾。1) 任意の慣性系において静止している計測装置の使用によってなされる空間的時間的測定は、できごとの間の実在的な時間空間的關係を正しく示す。2) 一つの慣性系に相対的に存在する時空的距離 space and time separation は、異なった慣性系に存在する同一のできごとの間の時空的距離と、慣性系間の相對運動とのみの関数である（したがって、それらのできごとの各慣性系における位置に依存しない）。3) 光の速度は、すべての慣性的観察者にとって、すべての方向において同一である。

仮定1) は、どの慣性系も物理的には同等の身分を持つという、いわゆる相対性の原理である。2) は物理的に有意な量が、ある慣性系内の座標的位置に係わらないという点で、同質性の主張の一例であるとみなせる。3) は明らかに等方性の例に見える。

しかし規約主義者は、アприオリストがアприオリな原理の適用をみるその場所に、規約の役割しか見ないのである。最もよく論じられてきたのは3) の仮定である。光の速度がどの慣性的観察者にとってもすべての方向で一定である、というのは、規約主義者にとっては、なんらかのアприオリな原理の帰結ではなく、空間的に離れた出来事の同時性に関する規約に基づくのであって、なんら物理的事実を述べたものではないのである。空間的に離れた二点 PQ における出来事の同時関係を定めるとき、P における信号（光）の発信を E_1 、Q におけるその反射を E_2 、P におけるその受信を E_3 とする。P における E_1 と E_3 との間どの出来事が E_2 と同時的であるか否かは、信号の速度が有限であるから、観察可能なものによっては一意的に決まらない。すなわち、P に固定された時計で、 E_1 、 E_3 の時間座標を t_1 、 t_3 とすると、その時間座標が $t = t_1 + \epsilon(t_1 - t_1)$ 、 $0 < \epsilon < 1$ をみたとす、P におけるどの出来事を E_2 と同時的と考えても矛盾は存在しない。

アインシュタインは $\epsilon = 1/2$ という「規約」をとった。この値はしかし特別の意味を持つように見える。この値のもとでは、光の速度はすべての方向で一定となり、同時性は、ある慣性系に相対的に、等値関係となる。特に光の行きの速度と帰りの速度

が、往復距離を往復時間で割った平均速度と等しくなる。 ϵ を $1/2$ 以外の定数、あるいは、方向の関数とすれば、このことは成り立たない。例えば、正三角形の各頂点に鏡を置き、一つの頂点から発信された光がその鏡で反射してもとの点に戻ってくるような装置を作る。出発点において光が発信されてから受信されるまでに要する時間は直接観察可能であるが、他の頂点で反射する時刻はそうではない。 $\epsilon=1/2$ とすれば、一つの頂点から次の頂点に達するために光が要する時間はどの辺に関しても同じとなる。しかし、 ϵ に $1/2$ 以外の値を与えると、光の速度は、ある一辺と他の一辺とは異なり、しかもその速度の増減には何の物理的原因もない。このような想定は不合理であり、それが不合理である理由は、経験的データにあわないということではなく、空間の等方性、および、いかなる変化の原因も物理的に与えられるのでなければならない、というアприオリな原理に基づくのではない。

これに対して規約主義者、例えば Grünbaum は、 $\epsilon=1/2$ という値はあくまで規約であって、それが選ばれる理由は、記述的単純性以上のものではない、とする⁸⁾。上の例について言えば、空間的に離れた点における同時性が規約である以上、光の片道の速度という概念自身も規約的要因を含むのであって、その変化を現実の物理的变化と混同してはならない。すなわち、各辺での光の速度の変化は、その原因の説明を要するものではなく、単に我々の側の記述の仕方が変わったことによるのである。

このような反論が可能である以上、アприオリズムは単にいくつかの原理をアприオリなものとして挙げるだけでなく、その必然性をさらに基本的な原理から説明しなければならないであろう。Lucas にみられるのは、そのような試みであると解釈できる⁹⁾。

Lucas は、空間の同質性、等方性等の原理を、因果関係に関する我々の帰納の手続きが成立するための必然的要請である「時間空間の因果的無効力性の原理」the principle of causal inefficacy of space and time に由来すると考える。すなわち、我々が原因についての推理をなすとき、我々の目指すのは、単に事象の因果的な十分条件ではなく、その最小十分条件である。よって我々は原因の探究に際して、どの要因が無関係であるのかに関する一種の排除の原理（無関連性の原理）を持たなければならない。そのような無関連性の原理はまず第一に時間空間に向けられる。単なる時刻や空間的位置の違いは、それ自身は、因果関係にとって無関係である。この原理無しでは、科学が繰り返し可能な事象に係わることや、科学的発見には必ず追試が必要であ

ること等も、成り立たなくなる。したがって、空間の同質性等平方性等の原理は、それ無しでは、科学の営みそれ自身が成り立たなくなる無関連性の原理に由来するという意味で、アприオリな原理なのである。

この議論に論評を加える余裕は本稿ではないので、アприオリズム一般に対する問題を挙げておきたい。それは、アприオリズムが、時空の構造が一切の経験に先立って一意的に決まっているという主張から、時空の構造決定に関して経験によらないアприオリな証拠が存在すると言う主張へと、主張を弱めるのにもなって、その証拠と真理との関係が明確でなくなるという点である。すなわち、不完全決定的な複数の理論から一つを選択するアприオリな合理的な基準があるとしても、その合理性が理論の真理性といかに関わるかが明らかではないのである。事情は理論の単純性に関する場合と同じである。複数の理論が同一の経験内容を持つとき、仮に単純性に関する合理的基準が存在し、我々が常により単純な理論を選ぶとしても、その単純性が理論の真理性といかなる関わりがあるのかは、自明ではない。上の Lucas の議論にしても、我々の合理的な認識上の選択は真理へ導く、という暗黙の前提が無ければ説得力を持ち得ないであろう。しかしこの前提自身を規約主義者は認めないのである。規約主義者にとっては我々の合理的な認識上の選択とは、理論の記述上の便宜に関わる実践上の合理性であって真理とは関係しないのである。

よって、アприオリストは単に幾つかの原理をアприオリなものとして挙げるだけでなく、その真理性をも（規約主義者にも納得のいくかたちで）論証しなければならない。このことはアприオリストの議論を、ある原理からより一般的な原理へという無限遡行へと巻き込む可能性がある。カント的なアприオリズムを取ることなく、この無限遡行を断ち切ることは困難であると考えられる。

結 語

我々は、時間空間に関わる幾つかの問題を通して、不完全決定性と、それに対する規約主義とアприオリズムという二つの反応を検討した。そしてそのいずれの反応にも困難が伴うことを見出した。

規約主義は、言葉の使用法に関する極めて trivial な主張となる可能性があり、我々の理論的主張の解釈の仕方に対する誤った理解に基づいている。アприオリズムへ

の我々の批判は、たとえアприオリな原理が存在するとしても、それが真理へ導く証拠となる理由が明らかでないという点である。我々が無意識に採用している原理があるとしても、それは常に規約と解釈される可能性があり、それに対して自らの立場を擁護するためにアприオリズムは、より基本的な原理へと遡って行かなければならない。これは無限遡行の問題を引き起こしうる。

不完全決定性の問題は現代科学哲学上の大問題であって、この小論で結論を出せるようなものではない。現在のところは上のような消極的な結論で満足せざるをえない。(了)

註

- (1) W. H. Newton-Smith, *The Structure of Time* (Routledge & Kegan Paul) 1980, p 71
- (2) Bas C. van Fraassen, *The Scientific Image* (Clarendon Press) 1980, ch. 3
- (3) H. Reichenbach, *The Philosophy of Space & Time* (Dover) 1958, ch. 1
- (4) H. Putnam, *The Refutation of Conventionalism*, in his *Philosophical Papers Vol. 2* (Cambridge Univ. Press) 1975
- (5) M. Friedman, *Grünbaum on the Conventionality of Geometry*, in *Space, Time and Geometry*, ed. by P. Suppes (Reidel) 1973
- (6) L. Sklar, *Space, Time, and Spacetime* (Univ. of California Press) 1974, p 129ff.
- (7) *ibid*, p 290ff.
- (8) A. Grünbaum, *Philosophical Problems of Space and Time*, 2nd edition (Reidel) 1973 ch. 12.
- (9) J. R. Lucas, *Space, Time, and Causality* (Oxford Univ. Press) 1984, ch. 5, ch. 8

(本稿は昭和63・平成1年度文部省科学研究費補助金(奨励研究A)による研究成果の一部である)

〔日本学術振興会 特別研究員〕

Space Time Theory and Underdetermination

Koichi NAKAGAMA

Space and Time theories can be regarded as a typical case of “underdetermination of theories by the empirical data.” This paper aims to clarify the problem of underdetermination through some concrete examples of space and time theory and to examine two main responses to the problem, namely conventionalism and a priorism.

First, underdetermination is defined after the way of van Fraassen. Two theories T and T' are underdetermined if T and T' are empirically equivalent and both empirically adequate.

Second, Reichenbach's conventionalism is discussed. According to Reichenbach, when two theories seem to be underdeterminate, they are in fact one identical theory and the difference of them is only in the manner of description of a theory. But we find that this position is based upon a wrong interpretation of scientific theories.

Third, a prioristic approach is examined. We understand a priorism as the position that there are some a priori evidences which can select one theory as true among the underdeterminate theories. But we argue that the a prioristic approach will be involved in the infinite regress.

We conclude that both conventionalism and a priorism are insufficient to solve the problem of underdetermination.