

## 概要

前年度の「第23回 3/15（月）地球科学の哲学1」に引き続き

Fritz Allhoff, ed, *Philosophies of the Sciences: A Guide*(2010)、

*Philosophy of Earth Science* の戸田山さんによるサーヴェイ。

[著者は Maarten G. Kleinbans, Chris J.J. Buskes, and Henk W. de Regt

p.225 4.から。前半については第23回の議事録をご参照下さい。]

## <P.4>

### §4 地球科学における説明

・どんな科学も、単なる記述を超えた説明を目指しているのはたしかだが、地球科学的説明の本質は何という問題が残っている。地球科学における説明は物理学や化学の説明とは区別される独特の地位をもつのか。

・地球科学の理論は、観察できない（過去の）出来事についての仮説あるいは偶然的な一般化

・このような記述的歴史的性質を持つ理論がいかにして説明を与えうるのか、また、地球科学的説明をつくるという営みの障害になる決定不全性の問題を論じる

・地球科学が説明多元主義をとっていることは明らか

#### 4.1 歴史物語は説明するか？

・歴史物語が説明できるのか、できるとしたらいかにかについて、意見は割れている

・進化生物学と同じように、地球科学は一部歴史記述である。しかし、その物語はたんなる記述以上のものであり、過去の出来事を再構成して説明しようとするものである。

(1) 歴史物語アプローチは2種類の説明を与える (Sterelny 1996) [生物学の哲学]

①ロバストプロセス説明 (robust-process explanation) 現象の根底にある (ロバストな) 原因を特定する

②実連鎖説明 (actual-sequence explanation) 出来事の因果連鎖を特定する

同じ出来事にたいしても両方の説明がそれぞれ重要。異なった情報をもたらすから

例) 大きな土石流ないし地滑りがあつたとせよ

戸：歴史物語を描いている中で、これが起きてこれが起きてこうなりました、と言う

(年表) だけではなく、それを実際には起こらなかったが起こり得た事柄の中に置いている。そのことが説明力を与えている

その中で何が偶然的で何が必然的かも分かってくる

[Sterelny 別論文より]第一次世界大戦がなぜ起きたか。

オーストリア皇太子暗殺事件があったから。

歴史科学はその動機やそれが与えたインパクトを研究する。これは②実連鎖説明。

もう一つの説明は当時のヨーロッパの軍事同盟の状況や経済状況を挙げる。

他の因果連鎖でも起きていた。可能な歴史。①ロバストプロセス説明

現実が少し違っていたとしてもどのみち起きていただろうという意味でロバスト。

### <P.5>

観察された流れを物理モデルを使って詳細にモデル化することにより、特定の時間と場所ではじまった地滑りは、たとえば大雨によって説明できる (②)。

実連鎖説明は、或る量の泥やがれきが斜面崩壊寸前の状態でたまっている、地滑りが起こるのを待っていたというようなことは除外する。

しかし、この特定の大雨がその地滑りを起こさなかったとしても、別の大雨あるいは融雪、地震があれば起きていたろう。というわけで、①ロバストプロセス説明では、物理モデルで地滑りをモデル化するだけでなく、地滑りの起こりやすい地域をマップすることも含まれる。

戸：実際には中生代の大量絶滅は隕石で起こったが、別のでも起きたらどう、など。

渡：生命と環境のシステムがヤバイ状況になっているならば、火山でも起きる。

熊：二つに分けているが他にもファクターがあるのではないか。

戸：単なる年代記ではなく普遍性をとらえている、ロバストな構造の中におくことで情報が増している、といったことをもう少しうまく言えればよい。

そうすればシナリオをつくるのがれっきとした科学的説明だと言える。

渡：システムという視点も大事。ある見方では隕石はシステム外部のもの（地球外）だが、視点を広げるとシステムの中の登場人物（太陽系の軌道）。

小説がずっといる人で完結するか異邦人がかき回す話かでは印象が全然違う。

熊：ユカタン半島の隕石の話も地球惑星の人からすればあたりまえだが、地質の人からすれば神の意志のような *perturbation* だった

渡：システム外からくるものは予測もできず実連鎖説明しかしようがないが、それをシステムに属させることでロバストに語る視座も開けると思う。

(2) 説明的であるために、物語は物理的因果法則型説明に還元される必要はない

- ・存在論的には依存するが説明的には自律的であってよい
- ・歴史物語では、出来事は一般化に包摂されることによって説明されるのではない。組織化された全体 (organized whole) に統合されることによって説明される (Hull 1989)

例) 大陸移動というアイデアがそういう役割を果たした

造山、地震、火山、古地磁気、化石の分布、大陸の形、岩石の年代などが組織化された全体に統合された

すべての一つの共通の原因=PT を示唆している

#### 4.2 地球科学における決定不全性

歴史物語は説明的になれるとは言うものの、決定不全性という大きな問題がある

##### ①弱い (実践的な) 決定不全性

一つの理論をライバルより選ぶのに十分な証拠が利用可能でない

##### ②強い (論理的な) 決定不全性

どれだけ証拠があっても一つの理論を選べない

(1) 地球科学は弱い決定不全性に直面しやすい→典型的な決定不全性の事例 (Turner 2005)

①地球科学が扱うプロセスはゆっくりしている→観察者の時間スケールで観察したことがらを過去に外挿するときの問題

②地球科学が扱うプロセスには観察できないものがある

例：マントル深部の対流。浸食、洪水、造山運動による証拠の破壊。観測テクニックが観測されるプロセスをかき乱す。

③地球科学が扱うプロセスの多くがカオス的であり初期条件に感受性高い

出来事や現象が複雑すぎて理論的には無数の可能な法則と初期条件がありうるので、地質学的記録からの過去の出来事の「本当のところ」の再構成は非常に難しい仕事になる。水文学では「equifinality」と呼ばれる<sup>1</sup>。

熊：証拠が足りない中で議論するのではなく、どの証拠があれば決着がつくかを考え、それを探してくることが大事

戸：弱い決定不全は証拠が増えれば決着がつくとと言えるし、強い決定不全はあたりまえのことだと思う

---

<sup>1</sup> 同じような地形がかなり異なったセットの結果として生じうること。2つのモデルは同じ結果を導けば equifinal。

(2) 弱い決定不全性にもかかわらず物語的説明は可能<sup>2</sup>

・完全な DN 的な因果的説明はきわめて決定不全になるだろうが、物語的説明は他の可能性を排除するほど詳細な観察と初期条件を要求しない。

・このようなやり方は、実際的なだけでなく、正当化できる。例えば、長さのスケールと時間のスケールは相関しているので、大きな対象の進化を小さな時間スケールで研究する（あるいはその逆）必要はない

戸：物語的説明は細部がなくても説明になる。ロバストの話と関係。

林モデルが細部がぬけていても説明力を持つ。

渡：なぜそれが可能なのかを分析する必要がある。

ここで言う物語説明は私の言うシナリオとよく似ている。

ただシナリオは完結したものではなく、作業仮説的な部分もある。

全体像としてあるシナリオを提示して、そこにモデルを貼り合わせていく。

モデルと合わないところがあれば、シナリオを変更することもある。

林モデル[シナリオ]も 70 年代に提唱されたものとは違っている。

戸：著者たちのより渡邊さんので考えた方がよいと思う。

ロバストな説明と言うとシナリオの役割は説明に限定されてしまうが、

シナリオは作業仮説として研究の方向性を示したり、モデルを貼り合わせていくための土台を提供したり、どんなモデルでなければならないかという制約条件を与えたり、説明をしたり、いろいろな役割を同時に果たしている。

#### <P.6>

一時間で山脈全体に重要な変化は起こらない。大きな現象を小さな時間スケールで研究するのは無用だし、小さな現象を大きな時間スケールに外挿するのも無用。

### 4.3 決定不全性と説明

戸：この節はいろいろなことを言っていて散漫

(1) 決定不全性がいかにして完全な因果的説明の不可能性と物語的説明の有効性につながるかという問い

---

<sup>2</sup> この箇所、決定不全だから物語的説明でがまんするしかない、なのか、物語的説明なら決定不全性問題が回避できる、なのか曖昧。

例) ライン川のここ一万年間の流路を記述し説明する研究計画

ライン川がオランダにずっとあったという仮説は現実にはほとんど揺るがない。しかし、地球科学者にとってこれは始まりにすぎない。他の比較可能な環境での比較可能な現象へ一般化できるような出来事の成り行きの記述と説明がほしい。

- ・そのような説明のために、対立説に白黒をつけるためのもっと詳細な証拠が必要
- ・だが、あつまる経験的データは、広範囲の異なる両立不可能な仮説の余地を残す
- ・これらの仮説は経験的には同値だが、論理的に同値ではないので一緒に真になれない→決定不全性

(2) 有力な方法論=アブダクティブな物語と因果説明の組み合わせ

- ・現象(結果)にたいして、様々な対立説明(原因)を定式化し、「動かぬ証拠 (smoking gun)」を探すことによってそれらに白黒つけたい

ライン川の流れについての手に入る証拠に対する因果的説明の候補は、初期条件の記述+システムのダイナミクスを支配する因果法則、という形をとる

①法則は物理と化学からとってくる

②問題は初期条件の選択。それが「原因」になるわけだが、この初期条件は完全に特定されない

- ・したがって、地球科学の説明は、アブダクティブな物語と因果説明の組み合わせになる。物語が説明力のほとんどをもたらす

(3) 因果説明としてのコンピュータモデリングとその問題点

- ・因果説明パートはしばしばコンピュータモデルになる

しかしながら問題がある

①因果説明における法則はこれまで想定してきたようには、予め与えられたものでも決定的なものでもない。どの物理法則が当てはまるのかは予め明らかではない。

②物理法則は、それが観察結果を説明するかをチェックするために、じかに初期条件に適用できることはめったにない。したがって、モデルの結果と観察とのずれが、モデル化の際に必然的に伴う単純化と数値的テクニックのせいではない、と確実に言い切ることはできないため、決定不全性は解消されない

③初期条件と境界条件は決定不全: equifinality 問題があるので、モデルは、過去からのデータで **calibrate** しないかぎりシステムを **hindcast** したり **forecast** するのに使えない。しかし、後者の場合、データが説明ウエイトの一部を担うので、本当の「物理的」モデルについて語ることはできない。

石: ②は原理的な問題ではなく、③が重要であるように思う。

(4) それでもモデリングから大きな利益を得ることができる

①人間の心は、方程式の複雑な集合がある初期条件のもとでとる帰結を理解することはできないが、モデルは理解可能な結果を出してくれる

②科学者は自然や実験室では不可能な仕方でモデルを操作できるため、**what-if question** をサーベイでき、さまざまな仮想的なシナリオを調べられる。

こうしてシナリオは、説明を広げる反事実的想定として、ロバストプロセス説明において重要な役割を果たす。

③モデルをいろいろ走らせると、ある仮説がそもそも可能かどうか、あるいは物理法則や数学的制約に反しないかどうかはわかる。この意味でのモデリングは物語的なロバストプロセス説明のテストとして使える。

④同じ現象についてのさまざまな異なるモデルの比較はモデルのロバスト性を示す。モデル化された現象が、異なるモデルにおいても似ていれば、そこで示された現象はモデルの **schematization** とある程度独立。

<P.7>

(5) 歴史物語と因果説明の相補性

歴史物語と因果説明は地球科学ではどちらも必要であり二つは相補的

- ・因果説明は小さな時空的スケールで採用でき、より大きなスケールでの物語的説明にヒントを与える
- ・物語説明は特定の因果プロセスに洞察を与える
- ・二つの境界線は曖昧

#### 4.4 最良の説明への推論

現実には、地球科学者たちは説明をもたらしている。どのようにしてこうした説明に到達しているのか？

(1) 地球科学的説明のほとんどはアブダクティブな推論の結果

- ・最良の説明への推論+演繹的因果推論（モデリング）による支持→地球科学的説明
- ・最良の説明への推論は、さらに Chamberlin (1890) によって、「複数作業仮説の方法 (the method of multiple working hypotheses)」へと拡張されている

・複数作業仮説の方法：

- ①観察を説明する潜在性のあるいくつもの仮説を立てる。すなわち、(両立できない) たくさんの仮説を対比してテストすることによって、確証のバイアスを防ぐ
- ②仮説は、観察からすぐにわかるプロセスでも良いし、「過去に起きたが今は見られない」とか「物理法則に対立するように見える」、驚くべき仮説 (outrageous hypothesis) であつ

てもよい。

③仮説は、いろいろな種類のしかけやコンピュータモデルをつかって、できれば広範囲にわたって、テスト可能な帰結を予言する

④こうした様々なデータとモデルシナリオがすべて同じ（背景的）説明あるいは共通原因を示唆するならば、この説明が暫定的に正しいと受け入れられる。

この仮説の組み合わせがいまのところ一番よい説明だと考える→これって最良の説明への推論

(2) 最良の説明への推論はアブダクションの一種であり限界がある

・アブダクションは仮説を選ぶための方法であり、結論的な説明を選ぶことはできない。

つまり、われわれは最良の説明が唯一正しい説明であることをおそらく知りえない

・地質学的過去の出来事や現象はたった一度のものも多いため、それを説明する仮説はわれわれの現在の観点からは「驚くべき」ものにならざるをえない。事実、大陸移動や氷河による地形の形成は驚くべき仮説だった。

・時がたつと、それらはさらなる証拠によって支持されるようになり、仮説を拡張し、因果説明のスケッチを付け加えることによってロバストプロセス説明が形成される。ロバストプロセス説明は、典型的には数理物理的モデルを用いることによってつくられる

・しかし、4.3 で論じたように、これらのモデルも決定不全性に悩まされる

・物語が増加する証拠に照らしたテストを生き延びるなら、多くの場合仮説は最良の説明としてコンセンサスにより受け入れられる

戸：最良の説明への推論は  $H \rightarrow C, C$  したがって  $H$  という推論で演繹的には正当化されない。問題はどのような場合にそれを使ってよいかということ  
ベイズ推論という考え方もある。科学哲学者は長年、量的に  $H$  の確か度を評価できる理論をつくらうとしてきたがなかなかうまくいかない

渡：論理学中心主義に陥っているのではないか。

論理学は  $H$  とか  $C$  とかの内容を問わないでものを言う。

そこは科学者にとっては面白くない部分。そうでない部分を科学はやっている。

科学が持っている構造が論理を指定してくるところもある。

科学者に最良の説明への推論を使わせている科学の構造とは何か、

その推論を許す科学の性格はどういうものを問うべき。

戸：演繹論理もわれわれの日常的な推論を抽出し体系化したもの。

ベイジアン、帰納論理をやっている人も同じようなことをやりたいのだと思う。

形式化して理論化したい。

渡：内容とセットでやってほしい。論理は整理されてでてくるもの

戸：ミルは科学の方法を広げようと System of Logic という本を書いた

科学の方法を広げるような論理学であるべきだと思う

熊：主観確率という考え方で科学をとらえるというのは興味深い

戸：Howson と Urbach の本とかがある。昔ゼミで読んだんだけど。

[Scientific Reasoning: The Bayesian Approach]

## §5 結論

(1) 地球科学の目的は地球と地球のような惑星における現象の記述と説明、できれば予言を与えること

(2) 地球科学は還元主義的営みと見ることができる

①地球科学の理論は、DN モデルが想定するように、普遍的で例外のない規則性という伝統的な意味での法則は含んでいない。物理学、化学とは異なり、むしろ生物学に近い。

②地球科学の理論の重要部分は、自然の偶然な状態の記述に存する。

### <P.8>

③にもかかわらず、地球科学の理論はローカルには還元可能である。それらは、あますところなく物理的ないし化学的用語に翻訳できるから。

④地球科学は創発の多くの事例を与えるが、還元的モデリングの最近の試みは多くの創発現象は近い将来、物理法則によって説明可能だということを示唆している。

(3) 地球科学的説明は、弱い決定不全性にひどく悩まされる。しかし、決定不全性は完全な因果的説明の不可能性は帰結するが、それでも物語的説明は可能である。なぜなら、物語的説明は他の可能性を排除するほど詳細な観察と初期条件とを要求しないから。(むしろ、関心の的となる時間と長さのスケールへのレファレンスが、必要な詳細さの限界を暗黙の内に定めている)。

(4) 地球科学における理論ないし物語は、説明を与える。それはロバストプロセス説明と実連鎖説明、観察、背景理論とを統合することによってである。どちらの説明においても物語が、ほとんどの説明力を持ち込む。

①因果説明の部分は、仮説が物理法則あるいはコンピュータモデリングから得られるシナリオ・反事実的想定と矛盾しないかをテストするが、弱い決定不全性問題により、因果説明部分の最終的なテストは不可能である

②したがって、複数作業仮説の方法と最良の仮説への推論という2つの戦略が生じる。増加する証拠に照らして物語が生き残れば、仮説は、コンセンサスにより最良の説明として受け入れられる。