

第六回(2009/7/24)「惑星科学におけるモデル」

(発表者)渡邊、(担当)青木

今回は、渡邊さんが惑星科学における「モデル」と「シナリオ」についてプレゼンしました。

○問題関心

「モデルのパッチワーク」と言うが、モデルはどのように相互関係しているのか？

→モデルとシナリオ

”歴史構築型”科学が共通に持つ特徴とは何か？

→再構築としての科学の見方

○科学の2型

・要素還元型科学:何からできているか？

ー素粒子・原子に立脚した物質科学・化学[QED、ひも理論など]

ーDNA・細胞に立脚した分子生物学[どうやってタンパク質を合成するか etc.]

ー星・銀河に立脚した宇宙物理学

* 終焉? ...対応策としてのシステム科学の限界(要素間の相互作用を特定するのが困難)

↓

”歴史構築型”科学:どうできていったか? [要素還元型科学の基盤の上に]

ー(生命)進化論

ービッグバン宇宙論(宇宙進化論)

ー汎惑星形成/進化論

* 一回きりの歴史を理解する

○歴史構築型科学の構造...ラウダンの網状モデルへの付会

観測:Aims→Driving Forces(予想外の発見)

・観察、分析、測定

・リモートセンシング[画像を通じて全体を見れる点で、直接観察より優れる]

電磁波、音波、地震波、ミュオン etc.

理論:Facts(Theory)

・要素還元型科学の基盤上に素過程を理論化→モデル構築

・パラメタ空間への射影

”惑星空間”の中の地球[core,mantleの成分比較→地球はどの位置にあるのか]

シミュレーション: Methodology

• 模擬実験

高圧実験[岩石がどう相転移するのか等]、衝突破壊 etc.

• 計算機シミュレーション

GCM[general circulation model←流体方程式]、シンプルモデル etc.

→モデルの改善・拡大・統合

○歴史構築型科学: シナリオとモデル

• シナリオ(⇔パラダイム): Aims

—貫したストーリー(システムの時系列変化)

—全体の証明は存在せず、観測による部分検証

—構成要素であるモデルに制約(選択基準)を付与

• モデル(or ステージ): Facts

—シナリオを構成するパーツ

—素過程に立脚した確固たる基盤上に記述

—初期条件・パラメタの選択、近似はシナリオから

—シミュレーション: モデルを改善・拡大させる役割

○「シナリオとモデル」の概念図

[下の図、上側]

* 矢印の筋が重要。筋をたどると、時系的ストーリー(=シナリオ)になる。

研究の進展により---(ad hoc なもの)から→(確定的なもの)に変わったりする。

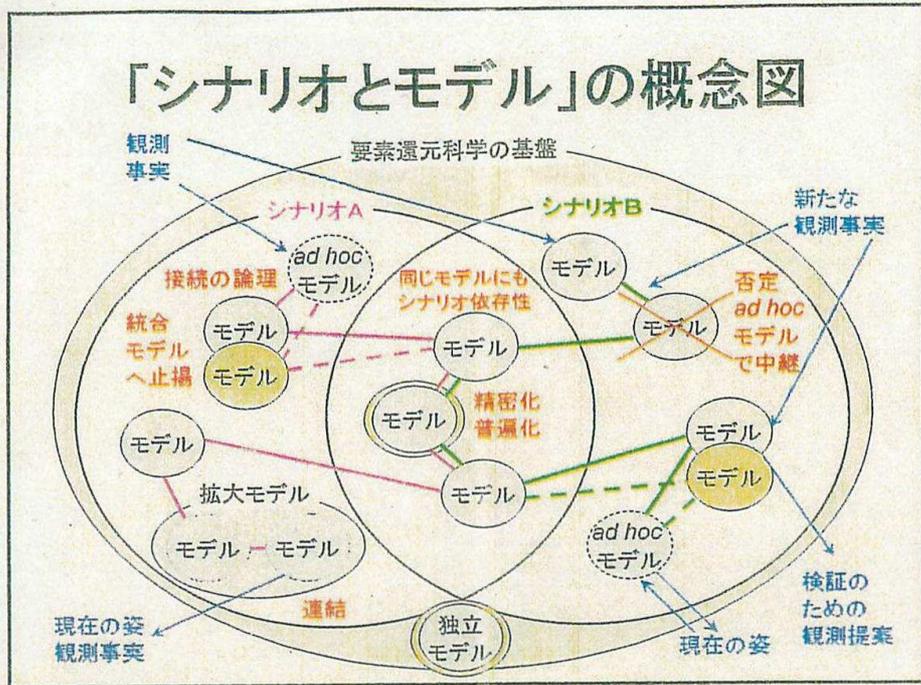
* これらのモデルからなるシナリオは、要素還元科学の基盤[制約]の上に成り立つ。

* 上の driving forces にもあったように、モデルを付け加えたり変更したりする原因になるのは観測事実。

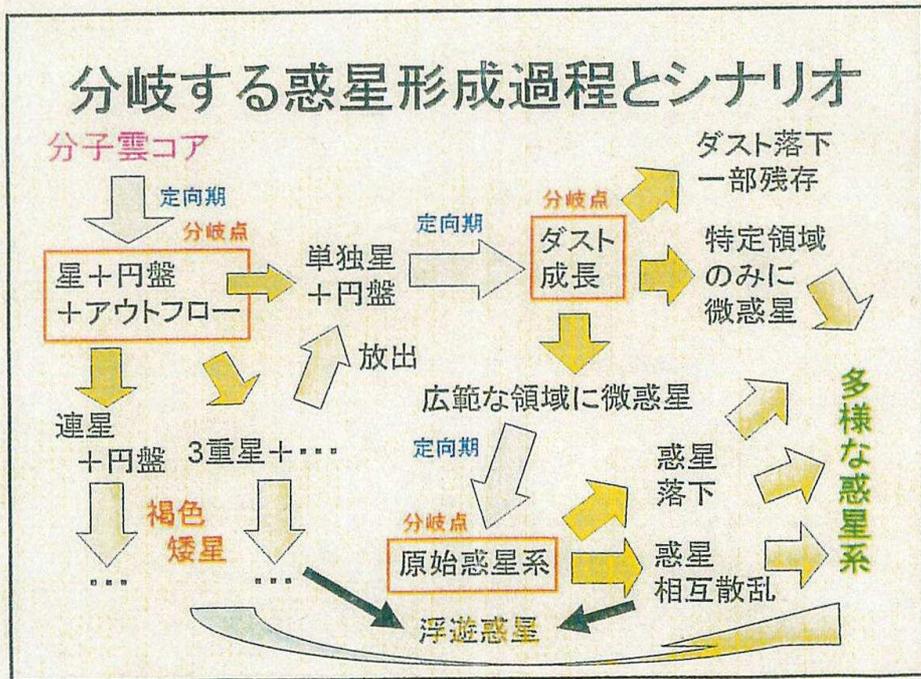
* シナリオ上の同じ位置にある2つの競合するモデル[例: 熱対流 vs 磁場の回転]から、それぞれ検証のための観察提案がなされる。

* 同じモデルでのシナリオへの依存性がある。例) モデル[c]→[d]→[e] これらの[確立された]モデルは、さらに精緻化・普遍化されていく。

「シナリオとモデル」の概念図



分岐する惑星形成過程とシナリオ



○太陽系形成の”標準”シナリオ

[1970年代前半、アメリカ+ロシア(サフラノフ)+京都(林) ←独立に提唱。科学史的に興味深い]

原始惑星系円盤(ガス+ダスト)	↓
ダスト→微惑星の形成	↓
微惑星の合体成長	↓
地球型惑星形成	↓
木星型惑星形成	↓
円盤消失、太陽系の完成	↓

[時系列]

○モデル変遷の例:太陽系星雲(円盤)の角運動量輸送モデル

・星の成長、円盤の角運動量(J)輸送が不可欠[回りにあるものに角運動量をわたさないといけない。それを満たすモデル構築へ]

・ α モデル(ad hoc):乱流ストレステンソル $\text{Tr}\tau = \alpha P$ [←アドホックな仮定。×要素還元型科学]

Shakua & Sunyaev '73, Lunden-Bell Pringle '74 [引用数がすごかった。 α の値を決定するようにみんな進んだ]

→降着円盤という見方(80年代に「観測」される)

①熱対流不安定による乱流説(70年代～)[α がマイナスになってしまっ×]

②磁気回転不安定による乱流説(90年代～)[α が0.01~0.001に収まったが Dead Zone 問題による困難]

③渦による角運動量輸送(2000年代～)[現在の我々の vision]

○系外惑星系の発見—標準シナリオの見直し[←決定的にシナリオを崩す!]

・惑星系の普遍性

—太陽のような星の15%以上に惑星が存在

・太陽系と異なる多様な姿

—ホットジュピター [写真:公転する系外惑星。南のうお座で今は10コくらい知られている。リングはダストが多いので光っているもの。木星くらいの大きさだろう。でも撮影でしか分からないので質量が分からない]

—エキセントリック・プラネット

—褐色矮星?

・シナリオの見直し

—汎惑星系形成論へ

[熊: 太陽系のシナリオ (個性) は、物理学と大きく異なる]

○分岐する惑星形成過程とシナリオ

[上の図、下側]

[* 昔は太陽系の path にならないと教官に怒られた。しかし現在では多様なシナリオが認められている]

○シナリオと科学革命

- ・シナリオは同時期に複数共存する
 - ー構成要素のモデルの良し悪しのみでなく、モデル間の接続性、シナリオの一貫性も重視される
- ・通常科学期にはシナリオが保存され、モデルのみが改良／置換／拡大／統合される
 - ーアドホックなモデルによる暫定構築 (シナリオからの分離) [←シナリオ先行型]
 - ーある意味でシナリオ全体を単一モデル化する方向へ?
- ・新発見 [ホットジュピターなど] → 新シナリオの確立 → 科学革命
- ・シナリオ色の弱い”独立”モデルも多く存在
 - ー強力なモデルに誘発される革命もある: プレートテクトニクス
 - [→非常に強い説明力があるモデル ・移動量が計算できる ・実際の観測に合う]

○科学の自己正当化プロセス

- ・短期的にはぶれても、長期的にはうまくいく
- ・発見の手続きと後付け説明のギャップ
 - ー捏造問題 (Mark Spector 事件 etc.) との比較
- ・自己正当化過程を包含: 合理的再構成
 - ー論文は研究過程を合理的に再構成
 - ーレビュー・教科書は科学史を合理的に再構成
 - ー科学は自らが合理的に進歩したかのように見事に装う
- ・モデルが同じでもシナリオ変更により再構成される
- ・歴史構築型科学 = 「自然史の合理的再構成」

[戸: 長期的にうまくいくところが興味深い。科学が自然をしっかり捉えているからでは?

捏造などは必要悪とも言えないか。後で他の仕方で検証されたからこそ、科学が進歩した]

[熊: ミスを許しつつ、success もあるから]

[掲示板より]

メモについての (青木)

疑問点&コメントです。

・「要素還元型科学の基盤上に」とありますが、これは、要素還元型科学が可能なシナリオやモデルに制約をかける、という意味で理解したのですが適当でしょうか？

・「付会」ですが、ちょっと分かりづらかったです。(渡邊さんを非難しているわけではありません) ラウダンの主張をもっと詳しく理解した上で、地球惑星科学の現状にマッチした枠組みなのかを検討してみたいですね。

・太陽系形成の標準シナリオ、というところで 1970 年代前半にアメリカ、ロシア、日本で独立にシナリオが提出されたので科学史的に興味深い、という話がありました。元ネタ、あるいは参考文献を教えてくださいませんか？

・その標準シナリオの図で、下向きの↓がありますが、これはサイズ(小→大)の話なのでしょう、それとも時系列(古→新)なのか、正確にわかりませんでした。補足していただけないでしょうか。

・「シナリオとモデル」の概念図、モデル変遷の例、ともに大変興味深く読ませていただきました。ですが、とくに後者について(難しい話なので)理解不足感が否めません。もう少し、説明していただけないでしょうか……。 (あるいは、参考文献などを紹介していただけないでしょうか)

・むかし、渡邊さんは「科学革命が起こったかどうかは、当事者グループがどう評価するか」という基準を述べていました。その上で、

－アドホックなモデルの暫定構築、シナリオ全体の単一モデル化などの、<モデル>レベルでの変革は科学革命とは呼べないのでしょうか。

－逆に、新発見→新シナリオの確立→科学革命という流れで出てくる<科学革命>観を支える直観(あるいは理論的根拠のようなもの)は何なのでしょう。言い直しますと、新シナリオの出現を科学革命と言いたくなる理由は、どのようなものなのでしょう。

・最後の、科学の自己正当化プロセスのところも科学哲学の観点からしても大変本質的な問題提起と受け取りました。しかしいずれの論点も、スタンダードな科哲の教科書では扱われていないので、こういった論点を正當に扱える科哲が必要だな、と感じた次第です。