

## 地球惑星科学における モデルとシナリオ

渡邊 誠一郎  
名古屋大学 環境学研究科

## (自然)科学とは何か

- 科学の本源
  - 哲学?的: 实在論 vs モデル依存リアリティ
  - 生物学的: (環境センサー→情報処理→行動)系の1つ
  - 社会学的: 研究者集団のダイナミクスとして捉える
- 人の他の営み(宗教, 芸術, 人文学...)との違い
  - なぜかうまくいく, 発展的に進化, 多様性は少ない
  - 自然の美しさ・老獪さへの発見的接近
  - 学説が新説に置き換えられても, ともに「科学」
  - 再構築を通じて継承される: 原典ではなく教科書
- 科学の分類
  - 要素還元型科学 vs 歴史構築型科学

## 問題意識

- 「地球科学 → 地球惑星科学」により改善
  - 惑星の1つとしての地球: 地球から地球たちへ
- 「物語的説明」と「因果的説明」はどうつなぎ合わせられ, 総体として機能しているのか?
  - 「シナリオとモデル」説
  - 惑星形成論における その実例
  - ウェブ・“モデル”: 自然を覆う網
- 地球惑星科学は「切手収集」なのか?
  - 「再構築としての科学」のいう見方

## 科学の型: 1つの見方

- 要素還元型科学**: 何からできているか?
  - 「素粒子・原子」に立脚: 物質科学
  - 「DNA・細胞」に立脚: 分子生物学
  - 「星・銀河」に立脚: 宇宙物理学

階層性

要素と相互作用

観測者と対象の分離

\* 要素からいかに全体を構築するかが大問題
- 歴史構築型科学**: いかにかできていったか?
  - ビッグバン宇宙論(宇宙進化論)
  - (生命)進化論 → 「地球と生命の共進化」
  - 地球惑星進化論(宇宙と生命をつなぐ役割)

因果関係と進化

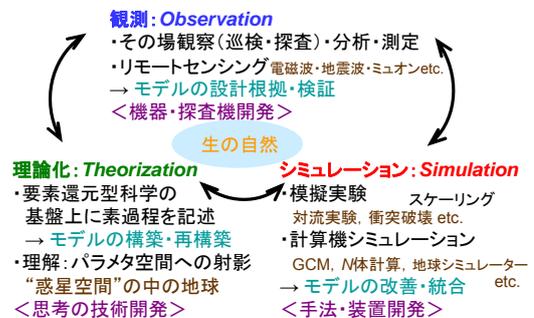
\* 一回きりの歴史を再構築: 多世界的見方

進化の帰結としての観測者

## 歴史構築型科学

- 絶対時間の上への定位
  - あるいは, 絶対時間の構成
  - ビッグバンから現在まで
  - 相対時間, 循環時間との橋渡し
- モデル(相対時間)とシナリオ(絶対時間)
  - モデルは要素還元型科学に裏打ち
- 可能態としての<地球>: あり得た歴史
- 不確定な過去

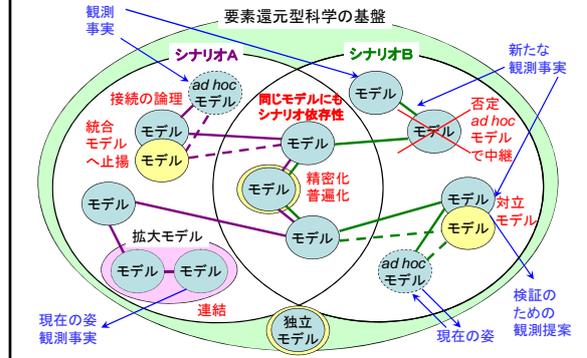
## 歴史構築型科学の方法論



## 歴史構築型科学を支えるのは シナリオとモデル

- **シナリオ** (⇔ **パラダイム**) 都城の複合構造理論との対比
  - 一貫した物語のプロット(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
  - 構成要素のモデルに制約(選択基準)を付与
- **モデル** (or **ステージ**) 観測・理論化・シミュレーションで構成
  - シナリオを構成するパーツ(定向的進化ステージ)
  - 素過程(物理法則)に基づいた**因果の説明**
  - 初期条件・パラメタの選択や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



## 太陽系形成の“標準”シナリオ

これに対しガス円盤重力不安定シナリオも

林“モデル”  
= 林シナリオ  
(京都“モデル”)  
1981

林忠四郎  
1920~2010  
京大名誉教授

70年代に出た  
太陽系形成に  
関わる複数の  
モデルの総合と  
して提出された。



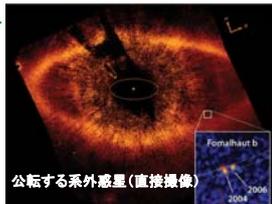
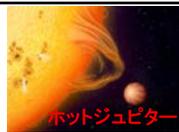
## モデル変遷の例:

### 原始惑星系円盤の角運動量輸送モデル

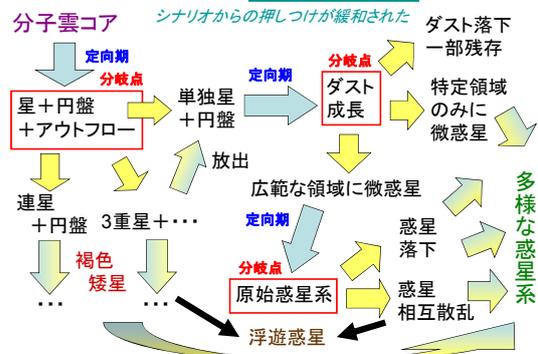
- 星の成長 ← 円盤での角運動量( $J$ ) 外向き輸送
- **$\alpha$ モデル**: *ad hoc*: 乱流ストレステンソル:  $T_{r\phi} = \alpha P$   
Shakura & Sunyaev '73, Lynden-Bell & Pringle '74  
→ 「降着円盤」という見方('80年代に「観測」される)
- **熱対流モデル**: 対流不安定による乱流('70年代~)
- **磁気乱流モデル**: 磁気回転不安定(MRI) ('91~)  
Balbus & Hawley '91; (Chandrasekhar '60)
- **熱対流モデルの否定**( $J$ を内向きに運んでしまう): '92~
- **磁気乱流モデル困難**(Dead zone 問題): Gammie '96
- **大規模渦モデル**:  $J$ 輸送+惑星形成(2000年代~)

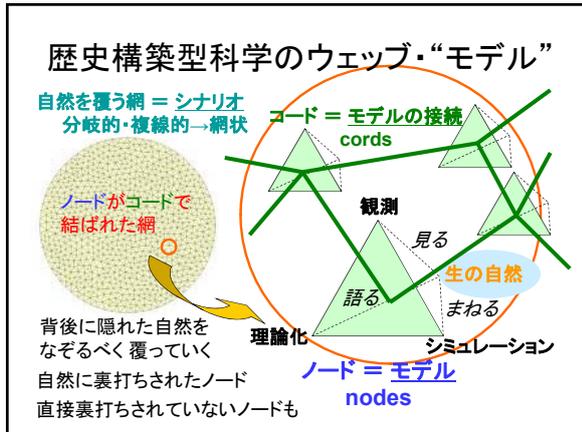
## 系外惑星系の発見 標準シナリオの見直し

- 惑星系の普遍性
  - 太陽質量程度の星の15%以上に惑星が存在
- 太陽系とは異なる多様な姿
  - **ホットジュピター**
  - **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
  - 単線的シナリオから
  - 分岐的・複線的シナリオへ
  - 葬られたモデルの復権



## 汎惑星系形成論: 分岐的複線のシナリオ





- ### シナリオと科学革命
- シナリオは同時期に複数共存することが多い
    - 構成要素のモデル自体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は保持され、モデルのみが改良／置換／拡大／統合される
    - アドホックなモデルによる暫定構築
      - ある意味でシナリオ全体を単一モデル化する方向へ
  - 科学革命: 新発見 → 独立モデルの散発的提案 → 「新シナリオの確立」 → モデルの追加・改良
  - 前科学からパラダイムの成立までつなぐ「シナリオ」

- ### §5 再構築としての科学
- 歴史構築型科学 = 自然史の合理的再構築
    - モデルが同じでもシナリオ変更により再構築される
    - 自然が合理的進化を遂げてきたように記述する
  - 科学哲学 = 科学史の合理的再構築?
    - 地球惑星科学(歴史構築型科学)と科学哲学の相似性
  - そもそも科学は自らを再構築してゆく営みでは?
    - 論文は研究経過を合理的に再構成して書くもの
    - レビュー・教科書は科学(史)を合理的に再構築したもの
    - 科学は自らが合理的に進歩したかに見事に装う
    - 短期的にはぶれても、長期的には概ねうまくいく
    - 発見の手続きと再構築された説明の間にはギャップ
      - ただし捏造(Mark Spector事件 etc)とは決定的に違う!