

## 地球惑星科学におけるモデル

### Model, where earth science and the philosophy of science meets

吉田 茂生<sup>1\*</sup>, 中尾 央<sup>2</sup>, 熊澤 峰夫<sup>2</sup>, 戸田山 和久<sup>2</sup>

YOSHIDA, Shigeo<sup>1\*</sup>, NAKAO, Hisashi<sup>2</sup>, KUMAZAWA, Mineo<sup>2</sup>, TODAYAMA, Kazuhisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>名古屋大学

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Nagoya University

私たちは10年余り前に「全地球史解説」と称した研究運動を行った。「全地球史解説」においては、科学の誕生と発展を地球史第七事件と位置付けたので、その一つの延長としては、科学の地球史的な位置づけをより深く考えるということがある。一方で、科学を人類の知として考える研究分野に科学哲学がある。そこで、私たちは科学と科学哲学との融合を目指す活動を始めた。

しかしながら、実際に地球科学の人々と科学哲学の人々とが付きあってみると、接点を見出すのが困難なことに気付いた。それは、現代的な科学哲学の源流が、数学の論理化や量子力学の誕生にあるために、科学の理論の論理的再構成や物理的対象の存在論などが科学哲学の関心の対象の中心となっていたからであった。このような問題は、地球惑星科学と距離がある。とはいえ、科学哲学の世界も従来路線から大きく転向しつつあり、その中に地球科学との接点がさまざまあることがわかってきた。その一つの問題に「モデル」の問題がある。

モデルは、地球科学における説明の中心的役割を果たしている。一方、科学哲学の世界では「科学理論の意味論的とらえ方」という文脈において、モデルを世界の表象として特徴づけようという試みがなされている。ところが、モデルは多様であるので、特徴づけは一筋縄ではいかないことが明らかにされた(Nakao, 2011)。そこで、私たちは地球科学におけるモデルを題材にして、科学にも科学哲学にも役立つやり方でモデルを分類することを試みた。私たちは、モデルを「現実表象型」「理想化型」「仮説型」の3類型に分類し、さらにそのうちで地球科学で多い「現実表象型」のモデルを「予測型」と「因果的説明型」に分けた。このことによって、モデルの多様性を性格付けることを試み、そのことによって地球科学における説明の特徴づけを試みる。

キーワード: モデル, 分類, 地球惑星科学

Keywords: model, classification, earth and planetary sciences

## Model, where earth science and the philosophy of science meets

YOSHIDA, Shigeo<sup>1\*</sup>, NAKAO, Hisashi<sup>2</sup>, KUMAZAWA, Mineo<sup>2</sup>, TODAYAMA, Kazuhisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Nagoya University

We carried out a project called "Decoding the Whole Earth History", in which we identified the birth and development of science as the seventh big event in the Earth's history. A natural extension will be to locate science in the Earth's history through a more intensive investigation. On the other hand, philosophy of science is also trying to locate science in a broader perspective of human intellect. Having this aim of locating science in a broad perspective in common, we have organized a group of scientists and philosophers.

Nevertheless, we have realized difficulties in finding topics with common interest. Since modern philosophy of science originates from logical reconstruction of mathematics and the advent of quantum mechanics, the main theme of philosophy of science has been the logical reconstruction of the logic of science and the ontology of physical object. These topics are distant from the interest of earth sciences. However, with the recent turn of philosophy toward naturalization, we have found various common topics, one of which is the problem of scientific models.

In earth sciences, models play a central role in explaining various natural phenomena. On the other hand, in the philosophy of science, semantic conception of scientific theories tries to characterize models as representations of the world. However, the characterization has been found difficult due to the diversity of scientific models (Nakao, 2011). We have thus tried to classify scientific models from the viewpoints of both science and philosophy, with examples taken from earth sciences. We classify models into three categories: reality-representing type, idealization type, and hypothesis type. We further classify the reality-representing type into prediction type and causal-explanation type. With these classifications, we explore the diversity of models, thereby trying to characterize explanations in earth sciences.

Keywords: model, classification, earth and planetary sciences

# 地球惑星科学におけるモデル

吉田茂生（九州大学）、中尾央、熊澤峰夫、戸田山和久（名古屋大学）

## 研究の内容

- 地球惑星科学におけるモデルの使い方を調べて分類する。

## 研究の目的

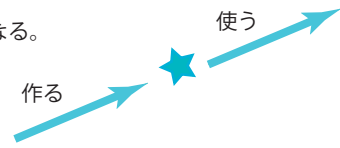
- モデルの多様性を明らかにすることによって、研究やその評価の指針を作りたい。
- モデルが科学研究において果たしている役割の整理をする。
- 地球惑星科学の特徴を明らかにする。

## 私たちの立場

- 地球惑星科学で実際に「モデル」と称されているものを調べる。あらかじめモデルとはかくあるべきだというような立場を取らない。
- モデルと現実の表象的關係や、モデルがいかなる存在者かといったような意味論的・存在論的問題には立ち入らない。
- 従来の科学哲学の議論は、物理学に偏っているために、基本法則や理論と対比してモデルが語られることが多かった。地球惑星科学においては、理論がはっきりしないことが多く、むしろモデルが主役だと考えられることが多い。このことを念頭に置く。

## モデルのとらえ方（作る人と使う人）

- ある一つのモデルには、作る人と使う人の両方がいることが多く、どちらの立場から見るかで役割が異なる。
- モデルは、使う人と作る人を結び結ぶ点であるとみられる（使う人と作る人が同じであることもある）。
- モデルを大きく2種類に分ける。
  - (A) モデルが、現実世界そのものの表象となっているもの [具象型]
  - (B) モデルは、現実世界の構造を表象し、何かの操作をすることで現実世界の理解を深めるのに役立つと考えられるもの [構造型]
- モデルは現実世界そのものではなく、何かを欠いている。



## 具象型モデル

- 地球惑星科学においては、「直接観測されない現実世界のありかたは然々である」という表象（言明や数値や図など）がモデルと呼ばれる。直接観測されなくて不確実な部分があるのでモデルと呼ばれる。
- 現実世界のあり方を述べることは、地球惑星科学の目標の一つである（したがって、研究の結果である）一方で、それを使ってさらに研究を進めることもある。
- 観測されることがさらに整合的になるように作るものである。
- ほかの研究の出発点となることを初めから意図しているものもあるし、意図しなくても誘発するものもある。

例	将来の研究に使われることを意識している度合	作り方	使われ方
三宅島の地殻変動のクラックや圧力源によるモデリング	小	地殻変動データに合うようにデータフィッティング (定量的)	他の側面の研究との比較
プレートテクトニクスのテープレコーダモデル	↑	磁気の分布を合理的に説明する (定性的)	これから予想される帰結を研究
地球内部地震波速度構造モデルPREM	↓	地震波データに合うようにデータフィッティング (定量的)	・より精密な速度構造モデルの出発点 ・地球内部物質モデルの制約
太陽系形成論の林モデル	大	現在の太陽系のあり方を合理的に説明する (定性的)	太陽系起源理論研究の出発点

## 構造型モデル

- 現実世界の背後にある法則や境界条件の一セットがモデルと呼ばれる。
- 法則や境界条件などが網羅できるわけではないから、モデルと呼ばれる。
- 法則だけでは何が起こるかかわからないから、シミュレーションなどを行うことにより具体的な世界の表象や諸量の関係などを出すことが研究となる。
- 定量的な予測を目指すものと、現象にたいする因果的な説明を与えることを目指すものがある。これにほぼ対応して、モデルの複雑化を目指す方向と単純化を目指す方向とがある。
- モデルが複雑であれば、そのモデルを作る人、そのさらなるパーツを作る人などもいて研究の構造が入れ子になる。

### それ自体として独立しているモデル

例	目的	作り方	使われ方
大気大循環モデル	定量的予測	知られていて計算できるあらゆるプロセスを記述	天気予報、気候予測、過去の気候の説明など
熱水循環のパイプモデル	因果的説明	知られているプロセスを単純化して記述	熱水に関連した諸量の関係を求める
大気の大規模な1次元対流放射モデル	因果的説明	知られているプロセスを単純化して記述	大気の大規模な温度構造を求め、条件が変わった時それがどう変わるかを知る

### 他のモデルのパーツになっているモデル

例	作り方	使われ方
乱流 Large Eddy Simulation の Smagorinsky モデル	物理的考察	流体シミュレーションの一部
地殻変動の茂木モデル	物理的考察	具象型モデルを作るための道具

## 今後の課題

- 系統的にデータを収集すること。
- モデルの研究に対する位置づけをより明確にすることで、なぜモデルが多様なのかを説明すること。
- 他分野とモデルの使われ方を比較することにより、地球惑星科学の特質を調べること。
- モデルの役割の変遷を調べること。(a) 個別のモデルの役割の変化 (b) 科学の中でモデルが果たしている役割の変化