

計算天文学の現在

計算天文学，すなわち計算機シミュレーションによる天文学研究はほぼ150年の歴史をもつ。2000年の歴史をもつ天文学の中では依然新興の分野である。驚くべきことに，この150年間の間に計算機の能力は 10^{20} 倍に進化した。1950年頃の計算機の速度を人の歩く速さ程度とすると，現在の計算機の速度は光速の 3×10^{11} 倍であり，1秒で銀河中心までいける程度の速度である。

この速度の向上は，基本的には半導体の微細化，高性能化と，計算機アーキテクチャー，設計技術のそれに対応した進化によってもたらされた。100年ほど前に期待されていた量子コンピュータは，いくつかの限られた応用以外ではいまだ実用には至っていない。しかし，単一電子トランジスターに至るスイッチング当たりの電荷移動量の減少と動作電圧の低減により，スイッチング当たりの消費電力は2000年頃の 10^{-9} まで低下した。

計算機の計算能力は，原理的にはトランジスター数と動作速度の積で与えられるが，実際には回路設計の効率性が問題になる。実際，2030年頃までは上の積で与えられるデバイスの潜在的な能力の進歩と，実現された計算機の計算速度の進歩には大きな乖離があった。しかし，2020年頃から実用化が始まった進化的自己組織化回路形成技術により，原理的には消費電力に関する限り単一電子トランジスターの理論限界まで下げていくことが可能になった。2010年頃から計算機の能力は回路規模ではなく消費電力でリミットされるようになっており，その結果，演算のための必要最小限のトランジスターだけを動作させる回路技術，回路構成技術が計算速度を制限するようになった。

自己組織化回路形成技術では，実際に解くべき問題に応じて最適な計算法とそのための回路が自動的に形成される。このために，標準的な計算法

であれば研究者はプログラムを書く必要はなくなっている。2030年頃に開発が始まった「宇宙シミュレーター」プログラムは，宇宙のあらゆるスケールでのあらゆる現象を，階層化された構造の必要に応じて上位・下位のスケールとの相互作用を取り込んでシミュレーションすることを目標にした。これは，2000年頃から少しずつ進んできた，複数階層を同時に扱うシミュレーションプログラムの究極の形というべきものである。

このようなプログラムの開発には，その意義を疑問視する意見も多かった。特に，シミュレーション研究は物事の本質をとらえ，その部分を計算することで「理解」に到達することが目標であり，あらゆる物理過程を入れてしまっただけでは結果が理解できない，という主張には一定の説得力があると考えられてきた。2020年頃までのシミュレーションモデルのように，第一原理からではなく現象論的パラメーターが多数あり，それらを観測結果を再現するようにチューニングする，というやり方に対してはそのような批判があてはまる面はあったと考えられる。

しかし，「宇宙シミュレーター」プログラムが実際に利用可能になると，全く別の問題が起こってきた。それは，「第一原理からのシミュレーションが現実の現象を再現しているのに，なぜそうなるかわからない」というものである。21世紀初頭には，第一原理からの理論計算と「現実」が整合しているような現象は極めて限られていた。星形成，惑星形成，銀河形成と，どのスケールをとっても，基礎方程式から現象を再現できてはいなかった。しかし，現在では，ほとんどの問題で基礎方程式と多階層性の適切な利用によって現象を再現できている。さらには，与えられた初期条件からできる「宇宙」がどのようなものであるかについても，シミュレーションプログラムは「ほぼ

確か」な予言をすることができる。つまり、再現や予言ができる、という意味ではわれわれはほとんどの天体现象を「理解」している。しかし、ではそれはわれわれ人間が「理解」しているといえるのか？ という問題が生じた。つまり、現象を「理解」しているのは計算機やプログラムであってすでに人間ではないのではないか？ という問題である。

この状況を、「天体物理学の天体力学化」という人もいる。計算機の発明以前には、惑星や人工天体の軌道を長期にわたって予言することは、現実的な重要性があったが容易ではなかった。このため、現実的な手間で計算するための洗練された手法が研究されてきており、それが伝統的な天文学の重要な部分、すなわち天体力学であった。しかし、計算機がある程度高速になると、そのような洗練された手法を使うまでもなく軌道計算が可能になり、手法の研究は現実的な重要性を失うことになる。21世紀にも続いた計算機、計算法の進歩は、皮肉なことに天文学の全領域でそれらの研究の重要性を失わせる結果になったのである。

もっとも、このような問題は、計算機シミュレーションの極めて初期の段階ですでに発生していた。当時問題になっていたのは「カオス」であり、自由度が小さい、すなわち当時の計算機でも「確実に正しい」予言ができるような系の振舞いが、「理解」可能ではない、というものである。計算機の能力向上と、計算方法の進歩によって、われわれは大抵の問題に対して「確実に正しい」計算ができるところまで到達した。しかし、そこで何が起きているかを理解するための方法論はい

まだ確立していない。

2070年代になって、「理解すること」自体を計算機に行わせる試みが始まった。最初の試みは、過去の天文学研究自体をシミュレーションできるプログラムを構築することにより、研究活動自体を計算機に行わせる、というものであった。人間は依然宇宙よりもはるかに複雑であり、第一原理的なシミュレーションはできていない。しかし「研究活動」は人間活動全般よりもはるかに単純なものであり、モデル化が可能ではないか？ という仮定がこの試みの背景には存在した。

この試みは、当初大きな成功を収めた。シミュレートされた研究活動は当時の研究レベルを再現したばかりでなく、その先に進んだ研究成果をもたらしたのである。しかし、同時に判明したことは、研究活動自体が極めて「カオス的」なものであるということであった。数カ月先までは予言可能だが、それ以上の時間スケールでは与えた初期データや乱数系列のわずかな違いから全く異なる方向に進んでいく。しかも、その方向のほとんどすべては、無価値としか思えない論文を大量に生産するものであった。

しかし、短期的には予言可能であるため、結局2090年代には研究活動そのものは計算機によって行われており、人間の研究者の活動はその評価、資源配分が主体となりつつある。このような方向が長期的にどのような結果をもたらすのかは現在のところ予測不可能である。

研究エージェントプログラム
「かたみ」Version 0.200.1