

## 天文学的リズムを用いた古第三紀まで遡る新たな地質学的時計の確立

1日や1年のサイクルは、天体としての地球の自転や公転運動の結果であり、私たちはこうした天文学的リズムに支配されて日々の生活を送っている。地球の気候も同様に、温暖化や寒冷化といった地球環境の変化に、天文学的リズムが刻まれているものがある。ハワイ大学の R.E. ジーベと L.J. ロウレンスは、過去 5800 万年まで遡って、こうした天文学的リズムが記録された地層を読み取り、得られたデータに基づいて天体力学的計算の精度を高め、さらなる過去まで遡っても使える天文学的時計を確立した[1]。

地球の堆積物の縞模様や氷期 - 間氷期サイクルが、天文学的リズムに支配されているという理論は、ユーゴスラビアの地球物理学者 M. ミランコビッチによって確立されたものである。天文学的リズムは、天体力学的計算によって求められるので、こうしたリズムが気候変動や地層の縞模様で読み取ることができれば、地質学者は新たな時計を手にしたことになり、地球史の解読に高時間分解能な解析を可能にする。問題は、天体力学的計算を過去に向かって遡ると、誤差が蓄積して計算精度が落ちてしまい、時計として使えなくなるという問題があった。その限界は研究の進展とともに乗り越えられてきたが、さまざまなモデル計算の結果が一致するのは 5000 万年前までであった。

ジーベとロウレンスは、南大西洋で掘削された海底堆積物コア（ODP site 1262）について、深度 110 メートルから 170 メートルまでを詳細に解析した。この区間は地球の歴史で 5800 万年前から 5300 万年前に対応する。彼らはこの堆積物コアの色反射率や鉄の信号強度を岩相の指標として用い、モデル年代を与えて時系列データを求めた。さらに、そのスペクトル解析を行って 40.5 万年周期の地球の軌道要素の離心率変動に対応する変動を読み取った。

この記録と、天文学的計算による時計と比較したところ、5500 万年前の始新世 - 暁新世の突発的温暖化事件のところで、地層の堆積が一様でなかったことがわかり、その補正を加えた堆積サイクルモデルを求め、天文学的計算との比較を行った。その結果、彼らが ZB18a と名づけた計算結果が、堆積物の岩相変化のリズムとびたりと一致した。すなわち、ZB18a は、古第三紀にまで遡っても使える天文学的時計であることが示された。

この時計で、始新世 - 暁新世の突発的温暖化事件の年代論を再検討すると、その始まりは 56010 年前であり、温暖化の継続した期間が 17 万年であったと推定された。また、始新世 - 暁新世の突発的温暖化が離心率変動曲線の極大期に対応しており、この温暖化に天文学的リズムも影響していることが示唆された。

さらに、彼らは ZB18a の計算結果をもとに、軌道要素から計算される変数を計算し、その周波数解析を行っている。その結果によると、5000 万年前ごろに軌道要素に見られる共鳴周期が時間変化しており、それ以前には 150 万年周期の変調があったが、それ以後には 240 万年周期の変調に変わったことを示し、堆積物コアの記録にも 150 万年周期の変調があることを確かめている。こうした振幅変調の周期の時間変化は、太陽系の天体の運動がカオス的であることを裏づける新たな証拠である。

[1] Zeebe, R. E. and L. J. Lourens (2019) Solar system chaos and the Paleocene-Eocene boundary age constrained by geology and astronomy. *Science*, 365, 926-929.