

水の再分配に伴う原始惑星系円盤の酸素同位体組成進化

Oxygen isotopic evolution of protoplanetary disks associated with redistribution of H₂O

福井 隆 [1]; 倉本 圭 [1]

Takashi Fukui[1]; Kiyoshi Kuramoto[1]

[1] 北大・理・宇宙

[1] CosmoSci., Hokkaido Univ.

コンドライトの構成物質である CAI やコンドリュールは、原始惑星系円盤が力学的にのみならず組成的にも進化していたことを示唆する。この組成進化を考える上で、元素存在度が大きく、円盤環境下で様々な形態で存在可能な酸素は特に重要である。コンドライト構成物質の示す酸素同位体組成のパターンは蒸発・凝縮や化学反応に伴う質量依存分別では説明出来ず、原始惑星系円盤に存在した ^{17,18}O に富むものと乏しいもの、2種の酸素リザーバの機械的混合の結果形成されたと考えられる。さらに、CAI 及びコンドリュールの形成年代を合わせて考えると、円盤の内側領域の酸素同位体組成はまず CAI 形成時の ^{17,18}O に乏しい組成から 1 Myr 程度の間 ^{17,18}O に富む方向へ大きく変化し、それに続くコンドリュール形成期 (CAI 形成後 1–2.5 Myr) には時間・空間的にかなり均質に保たれていたことが示唆される。

近年、分子雲や原始惑星系円盤における CO ガスの自己遮蔽効果により、^{17,18}O に乏しい CO ガスと ^{17,18}O に富む水氷が形成されることが示唆されているが、それらの機械的混合過程は詳しく調べられていない。本研究ではこのような過程として、円盤の力学的進化の研究から示唆されるダストとガスの動径分別に着目する。すなわち、ダスト粒子の運動が円盤ガスのそれと完全に一致しないために、ダスト濃度が円盤の力学的進化と共に時間・空間的に変動する。これにより ^{17,18}O に富む H₂O の濃度が変化すれば、円盤の酸素同位体組成も変化すると考えられる。

本研究では、主に H₂O の固・気両相における輸送を数値的に解き、この過程に伴う円盤酸素同位体組成の進化を調べた。円盤の半径、面密度分布、降着率の変化などは実際の T-Tauri 円盤の観測結果に基づいて与えた。また、ダストの動径速度に強く影響を与えるダストサイズは衝突破壊により決定されると仮定し解析的に求めた。得られた H₂O 濃度分布を、太陽系元素存在度および初期同位体分別の大きさから酸素同位体組成に焼き直し、コンドライト構成物質との比較を行った。

得られた H₂O 濃度および酸素同位体組成の進化は次のようなものである。最初、snow line より内側の H₂O 濃度は時間とともに増大する。これは、円盤ガスの降着が減衰するにつれ水氷の内側領域への供給が相対的に卓越すること、また円盤の外側領域に十分な量の水氷が保存されているためである。これに伴い円盤酸素同位体組成は次第に ^{17,18}O に富むようになり、CAI およびコンドリュールの示唆する進化の様式と合致する。また H₂O 濃度は最大で太陽組成の数倍から数十倍となり、H₂O の初期分別が理論的見積りの下限程度であっても CAI とコンドリュールの酸素同位体組成差は再現可能である。やがて外側円盤の水氷量が減少し内側円盤への H₂O 供給が追いつかなくなると、それ以上 H₂O 濃度は増加しなくなり、その後減少に転じる。この段階では、円盤の酸素同位体組成はあまり変化せず、その継続期間は軽く広い円盤ほど長く (> 1 Myr) なる。これとコンドリュールの形成期間を比較することで、原始太陽系星雲の質量や大きさに制約を加えられる可能性がある。