

太陽組成問題の解明：惑星形成が及ぼす影響の調査

國友 正信 (久留米大学)

利用カテゴリ 計算サーバ

本研究では、「**太陽の組成問題**」を解明するために、**惑星形成の影響を調査**した。これは Asplund et al. (2009) が最新の分光観測と non-LTE の最新の三次元大気モデルを用いて、太陽表面は従来考えられていたよりも金属量 Z が小さいことを明らかにした一方で、低金属量では日震学による観測量（音速分布など）と合致しなくなったことである。この問題に対し、本研究では惑星形成が影響している可能性を追求した。惑星を形成する際に、原始太陽系星雲の固体成分が選択的に惑星に取り込まれ、星雲ガスは初期に比べ難揮発性成分に欠乏することになる。そのようなガスが原始太陽に降着すると、太陽表面が難揮発性成分に欠乏することになる。そのため、太陽内部に組成勾配が生じた可能性がある。このことで「**分光観測に合致する金属量に欠乏した太陽表面**」と「**日震学観測に合致する金属量に富む太陽内部**」の構造を持ちうるのかを検証する、ということを本研究課題の具体的な目的とした。

計算手法

本研究では星形成段階から主系列段階までを自己無撞着に計算し、観測量との比較を行う必要がある。そのため、本研究では準静的な恒星進化計算を行った。計算コードはオープンコード MESA (version 12115; Paxton et al., 2011, 2013, 2015, 2018, 2019) を使用し、コードに降着の効果を組み込み計算を行った。降着の効果はすでに Kunitomo et al., (2017, 2018) にてすでに開発済みであったが、以下のように Simplex 法を効率的に行うためのコードの改良を行った。

インプットパラメータとして、(a) 降着ガスによる熱注入過程 (Kunitomo et al. 2017), (b) 降着ガスの組成進化 (Guillot et al. 2014), (c) 初期組成 (X, Y, Z), (d) 混合距離パラメータ α (Cox & Giuli, 1968), (e) 対流過貫入のパラメータ (Herwig 2000) の 5 種類があり、本研究では特に (b) の影響を調査した。

まずあるインプットパラメータの設定下で星形成期から現在の年齢 (4.567 Gyr) まで進化計算を行う。これを 1 ランとする。1 ラン毎に観測量と比較し、 χ^2 検定を用いて結果を判定する：日震学観測による (i) 音速分布 (Basu et al. 2009) と (ii) 対流層・輻射層境界 ($0.713 R_{\odot}$; Bahcall et al. 2005), (iii) 分光観測による現在の太陽表面組成 (X, Y, Z ; Asplund et al. 2009). χ^2 検定の結果をもとに、Simplex 法 (Nelder & Mead, 1965) を用いて、次のインプットパラメータを設定し、再び進化計算を行う。これをインプットパラメータ、 χ^2 値などの結果が収束するまで行った。

計算結果

2019年11月15日に申請し、11月21日より計算機を使用させていただいた。まず降着がない場合のテスト計算を行い、先行研究 (Serenelli et al. 2009) と整合的な結果を得た。その後、降着がある場合の計算のためコードの改良を行い、2019年度終わり頃 (3月中旬頃) より本計算を実行している。

結果の一例を図1に示した。120ラン程度で収束しており、表面の組成や対流層・輻射層境界半径は観測と整合的なものの、音速分布は先行研究と同様、観測量と1%程度の大きな誤差が存在することがわかった。詳細は省くが、これ以外の結果でも定性的には同じ結果となっており、現時点では本研究の問い「惑星形成によって太陽組成問題を解決できるか？」に対して否定的な結果が得られた。結果の解釈として、原始太陽の対流層が厚く、降着物質の影響が限定的であることが考えられる。

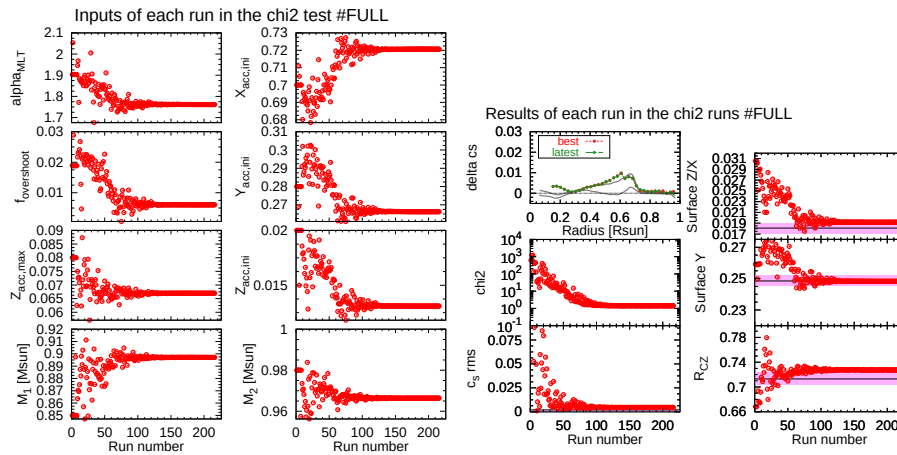


図 1: 降着を考慮しない場合の χ^2 検定の結果の一例。左がインプットパラメータ、右が 4.567Gyr での結果を示す。マゼンタの領域が観測による制約を示す。

今後

今後、原始太陽は低エントロピーな降着により形成し、対流層が薄いような進化を辿った可能性を追求する (Kunitomo et al., 2017)。このような進化は10%以下のまれな現象であると考えられているが (Kunitomo et al., 2017), 太陽が極端な進化を辿った可能性についても調査し、それでも問題を解決できないのであれば、本研究のアイデアは現実的ではないと結論づける予定である。

幸い 2020 年度も計算サーバへの申請を採択していただいております。本報告書時点でも引き続き計算を行っている。上記の極端な場合や、別の可能性 (鉄のオパシティの不定性の影響) の調査も行った上で、2020 年度中に論文を出版できるよう全力を尽くしているところである。