Statistics of the Chemical Composition of Solar Analog Stars and Links to Planet Formation : Nibauer+21 (ApJ, 907, 116; arXiv:2010.07241)

GAゼミ@20210607石垣

【アブスト】 太陽は凝縮温度（T_c）の高いrefractory（難揮発性）元素が周囲の太陽型星に比べて欠乏（"Depleted"）していることが知られており、惑星形成の痕跡ではないかと考えられている。欠乏の度合いは非常に小さく、検証には非常に高精度、高波長分解能の恒星分光データを用いるのが一般的だ。本件研究ではこれまでにない規模のサンプル（太陽類似星1700天体）を使った統計解析により、組成とT_cの相関を調べた。その結果、太陽と同様のrefractory元素欠乏を示す星が高い割合で存在することを示した。

【ゴール】 銀河系の化学進化と惑星形成　**【オリジナリティ】** APOGEE(R~22500)による太陽類似星の大規模分光データ(>1000天体)

（先行研究ではe.g., Bedell+18: R~110000, S/N~ 800, ~80天体）

【ロジック】

I. 背景:

- 太陽では周囲の太陽類似星に比べてrefractory元素（図1）が欠乏する特徴的な元素組成パターン見られることが知られている。
- 元素の凝縮温度（T_c）が高いほど組成が低い傾向の原因
  - ① refractory元素が岩石惑星の材料となった
  - ② 巨大ガス惑星ができることで、原始惑星系円盤に間隙が作られ、refractory元素が親星に降着するのが妨げられる。
- 元素組成とT_cの相関を検証するには、高精度（<0.05 dex）の組成解析が必要　➡ < 100未満のサンプルについての相対解析を実施するのが普通

II. データ: APOGEE-2 で得られた太陽類似星（<350pc、Teff, log g, [Fe/H]が太陽と近い星）　1556天体。Mg, Al, Si, Ca, Ni の元素組成比（[X/Fe]）を使用（図2）

III. モデル:

- [X/Fe] = m T_c + b　(m: 傾き、b: 切片)
- m, b の異なる2つのグループ（"Depleted", "Not-Depleted"）が存在すると仮定し、"Depleted"の割合（f）をパラメータのひとつとする
- [X/Fe]の本来のばらつき、観測誤差を考慮
- Likelihood function（尤度関数）を構築し、事前分布は一様として、事後分布を求める（図3）

IV. 結果: 図4:　Depleted とNot-Depleted とで、[X/Fe]のTcに対する傾きが有意に異なる、図5:　Depleted の割合は84%、組成比を一つずつ取り除いて同様の解析をしても結果は大きく変わらない

VI. 議論:

- 太陽と同様にdepleted の組成パターンを持つ星が高い割合で存在する　➡ Depleted パターンが岩石惑星の形成によって生じるとすると、多くの恒星で岩石惑星が見つかっていることと 整合する。

太陽はDepletedグループの平均より大きいDepleted パターンを示す➡ 太陽のような巨大惑星＋岩石惑星を持つ星でより顕著になるとすると、巨大惑星形成とも関連しているかもしれない

【コメント】

- Depletion の傾向が他の要素（年齢、金属量、軌道）とも関連するかどうか、GALAH等のデータを使って検証できないか

図4

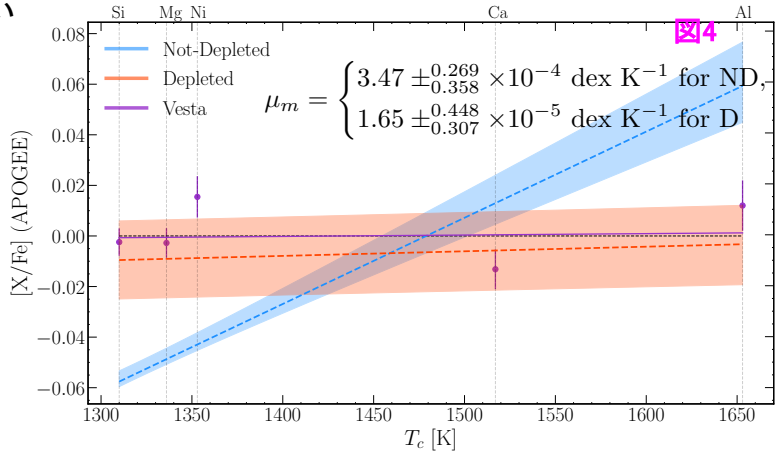


図5

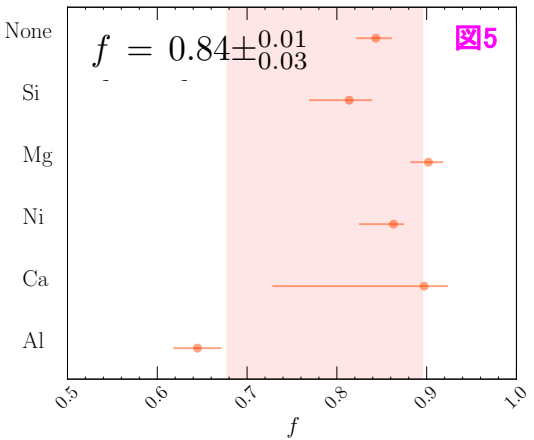


図1

https://en.wikipedia.org/wiki/Refractory_(planetary_science)

Category	Condensation temperatures	Elements
Super-refractory	higher than 1700 K	Re, Os, W, Zr and Hf
Refractory	between 1500 and 1700 K	Al, Sc, Ca, Ti, Th, Lu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Ir, Ru, Mo, U, Sm, Nd and La
Moderately refractory	1300 to 1500 K	Nb, Be, V, Ce, Yb, Pt, Fe, Co, Ni, Pd, Mg, Eu, Si, Cr
Moderately volatile	1100–1300 K	Au, P, Li, Sr, Mn, Cu and Ba
Volatile	700–1100 K	Rb, Cs, K, Ag, Na, B, Ga, Sn, Se and S
Very volatile	less than 700 K	Zn, Pb, In, Bi and Tl

図2

青：APOGEE footprint

オレンジ：本研究のサンプル

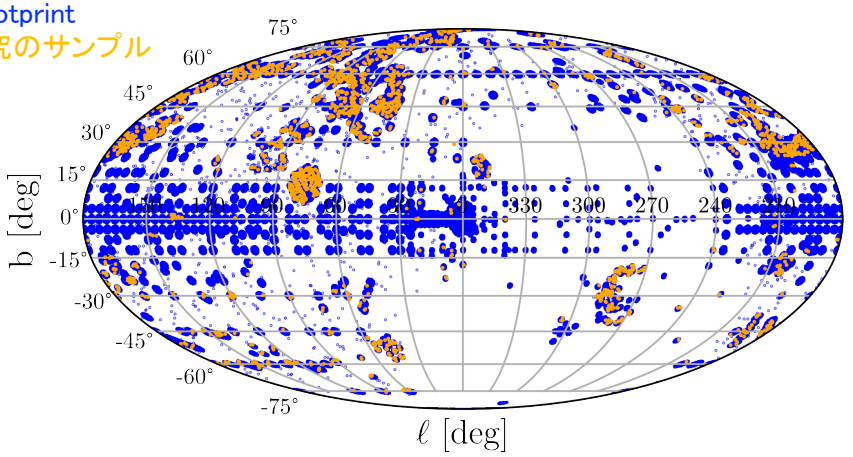


図3 Depletedの割合（青：本研究、緑：Bedell+18）

