

## 銀河系シミュレーションで探る隕石中の短寿命放射性核種の起源と

### 初期太陽系の形成環境

#### **Milky-Way simulations for the origins of short-lived radioisotopes in meteorites and the birth environment of the Solar system**

藤本裕輔

Carnegie Institution for Science

#### 1. 研究目的

誕生時の太陽系に存在した短寿命放射性核種の起源を明らかにすることがこの研究の目的である。これにより、銀河系内における太陽系の形成環境の理解、そして太陽系外の惑星形成の理解を深く進展させることができるという広い分野に渡る大きな意義を持つ。

隕石中に含まれる太陽系最古の固体物質の同位体分析により、初期太陽系には複数の短寿命放射性核種 (short-lived radioisotope: SLR) が存在したことが確認されている。代表的な SLR には  $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 、 $^{53}\text{Mn}$ 、 $^{60}\text{Fe}$  などがあり、数 Myr ほどの非常に短い半減期を持つ。これら SLR は放射性崩壊する前に太陽系に辿り着き、太陽系形成初期の固体物質に幸運にも取り込まれた。そしてそれら SLR の放射性崩壊は原始惑星系円盤の進化において主要な加熱源の一つとして重要な働きをすることになる。(Adams 2010)

隕石分析から見積もられている初期太陽系の SLR 存在比は、ガンマ線観測や元素合成モデルから見積もられている星間空間中の平均存在比に比べて桁違いに大きいことが問題になっている。初期太陽系はいかにして大量の SLR を得ることができたのか？(Lee et al. 1976; Tachibana et al. 2006; Diehl et al. 2006)

主要な SLR である  $^{26}\text{Al}$  と  $^{60}\text{Fe}$  の主な起源は大質量星による元素合成であることはわかっている。特に II 型超新星爆発によって広く星間空間に分配される。(Huss et al. 2009)

では初期太陽系はいかにして超新星爆発などから SLR を得たのか？これは太陽系の銀河系内における形成環境の理解のための重要な課題である。

銀河スケールでの SLR 分布のシミュレーションはこれまで全く行われてこなかった。2018年、我々は世界で初めて天の川銀河の SLR シミュレーションを行った。そして、銀河スケールの星間ガス運動とそれに伴う星形成とフィードバックによって初期太陽系の SLR 汚染が起こったことを明らかにした (Fujimoto, Krumholz & Tachibana 2018)。銀河内の星形成は星間空間中でランダムに起きるのではなく、銀河ガスダイナミクスに沿って階層的に起きていることが近年明らかにされつつある (Efremov & Elmegreen 1998; Inutsuka et al. 2015)。つまり、前世代の超新星爆発などで吹き飛ばさ

れた SLR が銀河内の広い領域 (kpc スケール) の原子ガスを汚染し、この汚染された原子ガスから分子雲が生まれ、そして太陽系を含む次世代の星形成に繋がっていると我々は考えている。

我々の天の川銀河シミュレーションをさらに発展させるため、我々の先行研究では外場ポテンシャルを用いていた銀河モデルを、本年度は星やダークマターを N 体粒子で取り扱ういわゆる Live disc 銀河モデルに改良した。こうすることで、分子雲形成にとって重要である渦状腕などの銀河構造をより現実的に考慮するようになった。

この新しい天の川銀河シミュレーションを使い、海底堆積物から発見されている SLR や、ガンマ線、X 線での銀河観測結果との詳細比較を行なった。

## 2. 研究成果の内容

隕石中の SLR はすでに放射性崩壊し娘核種になっているが、海底堆積物や南極氷層、月面岩石からは放射性崩壊していない<sup>14</sup>C が発見されている。これは太陽系近傍において数 Myr 以内に超新星爆発が起きたこと、そしてそれによって星間空間に放出された SLR が地球や月に降り注いできたことを示している。また、X 線やガンマ線観測によって示された銀河面上空に広がる高温ガスと <sup>26</sup>Al の空間分布も、太陽系近傍における大質量星形成とそれに伴って形成された巨大な高温ガス <sup>26</sup>Al バブルの存在を示唆している (Pleintinger et al. 2019, Fujimoto, Krumholz & Inutsuka 2020)。今回、これら観測量と私の銀河系シミュレーションを比較することで、現在の太陽系は銀河渦状腕上に位置していること、そしてさらに、その渦状腕での大規模な星形成活動で形成された巨大な SLR/高温ガスバブルの内側、もしくは近傍に太陽系は位置していることを定量的に示した。そのような環境にいる確率は 2%のみであることも初めて明らかにした (Fujimoto et al. 2020)。これは日本、オーストラリア、アメリカの 3 カ国に及ぶ国際共同研究である。

## 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究課題の実行者は海外の研究機関に所属する任期付研究員、いわゆるポスドクである。これまで、オーストラリアやアメリカを渡り歩いてきたが、このように数年という短期間で所属や居住国を変える若手研究者にとって、研究環境 (スーパーコンピュータなどの計算資源) の安定的な確保は、所属が変わった際の円滑な研究継続と次の職に繋げるための研究実績の積み上げにとって非常に重要である。本学際共同利用は海外の研究機関に所属していても利用可能であるため、海外で活動する若手研究者にも安定的な計算資源を提供している。これにより、研究環境や計算資源に不安を感じることなく、安心して海外で活動することができている。この場を借りて感謝を申し上げます。

## 4. 今後の展望

銀河モデルだけでなく、星形成とフィードバックのモデルの改良も行う予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Formation and evolution of the local interstellar environment: combined constraints from nucleosynthetic and X-ray data, Fujimoto, Yusuke; Krumholz, Mark R.; Inutsuka, Shu-ichiro; Boss, Alan P.; Nittler, Larry R., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 498, Issue 4, pp.5532-5540, November 2020

(2) 学会発表

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	172800	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			