Evolution of lithium in the disc of the Galaxy and the role of novae

GAゼミ　2024/10/31　山口未沙

Sviatoslav Borisov, Nikos Prantzos, Corinne Charbonnel (October 4, 2024) https://arxiv.org/abs/2410.01880

【アブスト】

Li の主な供給源は恒星だと考えられているが、その主な生産源がどういった恒星なのかは議論の余地がある。そこで、近年の理論と観測の結果を踏まえて、MWでの Li enrichment に寄与するとされる2つの候補天体、AGB星と新星の役割を調査した。その結果、AGB星では太陽形成時のLi量(隕石のLi含有量)を十分に生成できないが、新星では太陽形成時から現在に至るまでそれが可能であり、恒星のLi生成源として有望であることが分かった。更に、銀河内のLi進化において、SN Iaと新星の遅延時間分布 (DTD) の違いが果たす役割を明らかにした。

【ゴール】

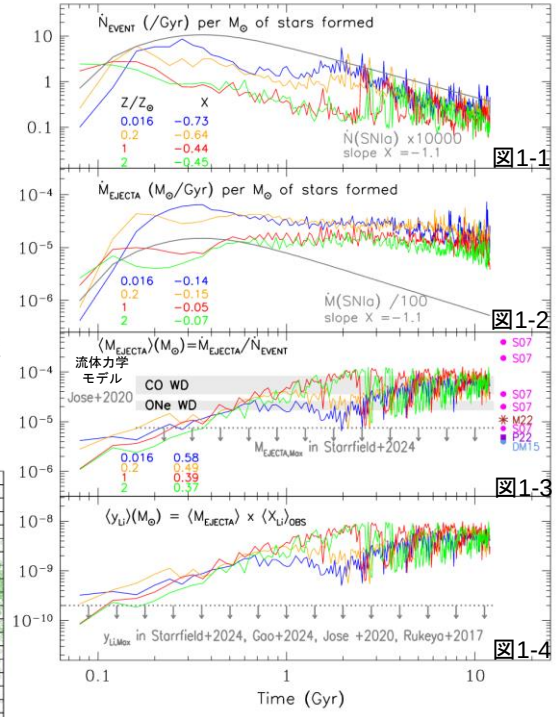
未だ謎に包まれているLi元素の銀河中における進化を解明すると共に、先行研究のMWの化学進化モデルを評価する。

【オリジナリティ】

銀河の化学進化モデルを評価する上で、Li abundanceの進化を考慮した。

【ロジック】

ワンゾーン銀河化学進化モデル(結果：図1,2,3)を用いて、AGB 星と新星のLi の生産源としての可能性を評価した。AGB 星については最近の理論上の Li イールドを使用し、新星については観測により推定された Li イールドと、初めて理論的に導出されたKemp (2022) の遅延時間分布 (DTD, 図1) を使った。更に、動径方向の星の移流を考慮したマルチゾーンモデル(結果:図4,5)を用いて、MW円盤全体にわたるLi、Fe、 α 元素の時空間進化を調査し、その結果をfield星や散開星団の観測データと比較



-図1. 各金属量(色線の別)で1$M_\odot$の星が形成された場合の、新星の発生頻度(1-1)、質量放出率(1-2)、Kemp et al. (2022a)の平均質量放出率(1-3)、図1-3と観測されている平均Li質量割合を仮定した場合の平均Liイールド(1-4)。1-1, 1-2のグレー実線は、t=0.3Gyr以降X=-1.1でfitしたSN IaのDTD。

-図2. Karakas & Lugaro (2016) のAGB星の平均LiイールドX_{Li}。ダッシュ線[Fe/H]=0におけるLiイールドにはどれも及ばないのでLi生成源としては不適。各色線は初期条件の星の金属量の別。

-図3. ビッグバン核融合(BBN,青)、^{7}Li(橙)・^{6}Li(赤)からの銀河宇宙線(GCR)、新星(緑)、これらのTotal(黒)によるLi abundance(上)とcontributuin(下)の[Fe/H]に対する進化。現在では新星が支配的。

-図4. [Fe/H](上)とLi abundance(下)の各銀河中心距離(色線の別)の時間進化。太陽は4.56Gyr前に$R_{GC}=6$kpcで形成され、現在のR_{GC}~8kpcまで移動してきたことが支持される。
ある[Fe/H]の時のLi abundanceは、超新星爆発によるmetal enrichmentとBBNの寄与のために、銀河円盤の内側よりも外側で多くなっていることが他の元素との大きな違い(詳細は元論文Fig. 8参照)。緑丸はGALAH DR3 star、星形は散開星団の観測結果。

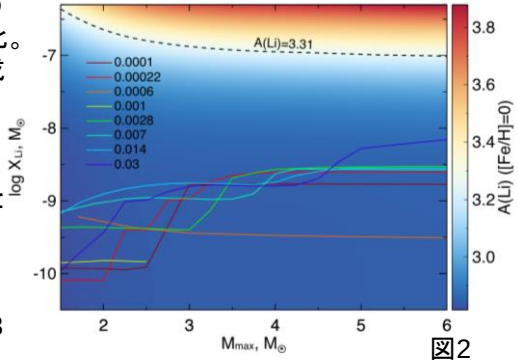


図2

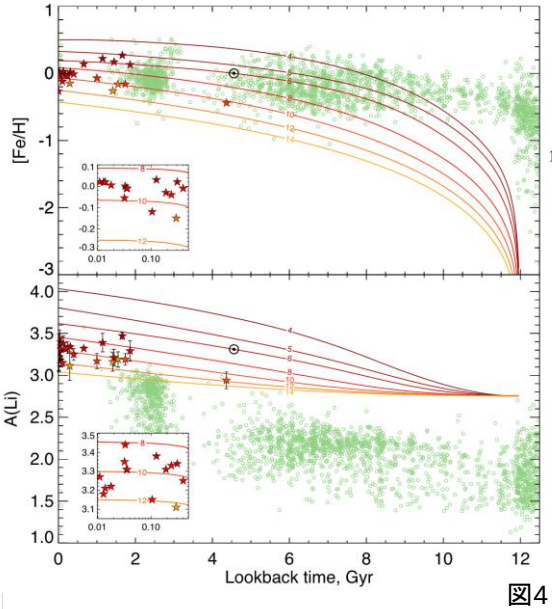


図4

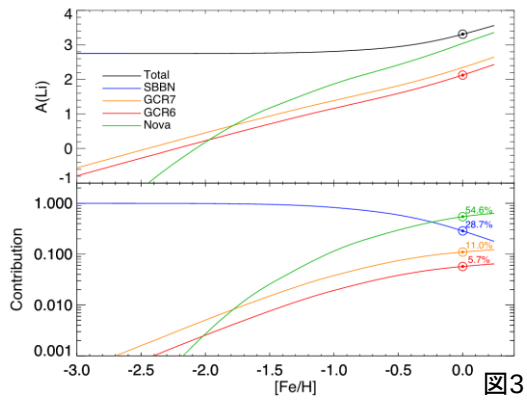
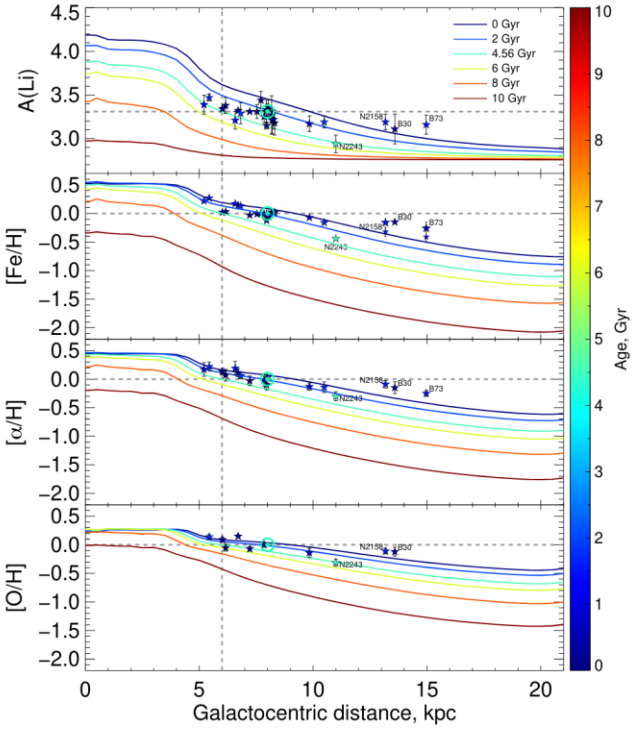


図3

【コメント】比較的単純な原子核構造のLi進化がこんなにも複雑だとは驚き。Liの恒星内での物理が明らかにならないとこのモデルの確証を得るは難しそう。



-図5. Li abundance, [Fe/H], [α/Fe], [O/H] の時刻別の銀河ガスの動径profile。大きい星形はRomano et al. (2021) の散開星団。
小さい星形はNetopil et al. (2016) のMWの外の方にある散開星団Berkeley 73 と NGC 2158の観測結果。
NGC 2243は最も古い散開星団。
灰色の破線は太陽の誕生半径と存在量を示し、太陽のシンボルは現在の位置でのabundance。

図4, 5の Li abundance が、他の元素のabundanceと比較して現在の観測結果がモデル予測値よりも低くなっているのは、時間が経つと恒星の外縁部で枯渇するからではないか？という推測。
しかし、これを理論的に確証付ける恒星の物理は未だに確立されていない。

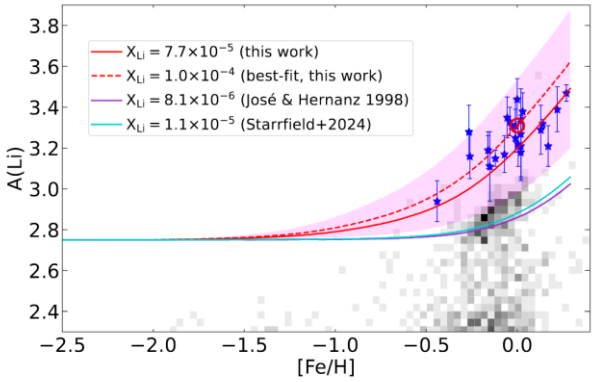


Fig. 4. Li abundance as a function of [Fe/H] with nova as a sole stellar source and with different mass fractions of Li in the nova ejecta. Our "best-fit" value (red dashed line) is slightly higher than the mean value of the observational analysis of Molaro et al. (2022) (red solid line), and the pinkish shaded area corresponds to the dispersion of X_{Li} around that mean value. The theoretical nova Li yields of José & Hernanz (1998) and Starrfield et al. (2024) are also used (purple and cyan curves, respectively). The five-pointed stars show the abundance of the open clusters, while the underlying number density plot represents the GALAH sample. The solar symbol indicates the meteoritic value.

ワンゾーンモデル

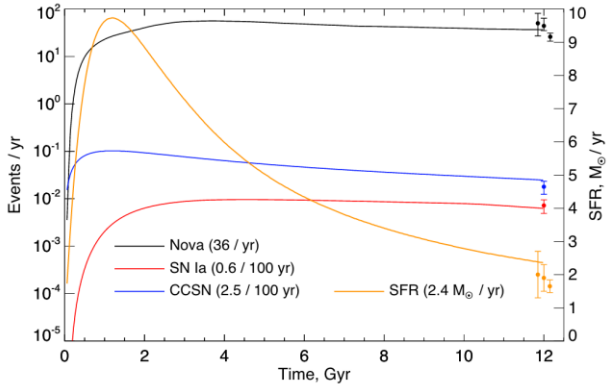


Fig. 6. Evolution of total rates of star formation (SFR, orange), novae (black), SN Ia (red), and CCSN (blue) in the Milky Way predicted by our model. In the legend, the final model values (at 12 Gyr) are indicated. The SFR values are on the right axis (linear scale). Points with error bars show the present-day estimated values (see Sec. 4.1 for references).

マルチゾーンモデル

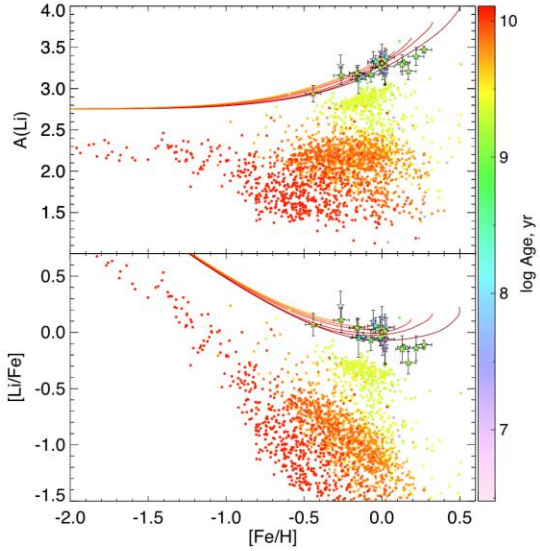


Fig. 8. A(Li) and [Li/Fe] as a function of [Fe/H] (*top* and *bottom* panels respectively) for GALAH DR3 stars (circles) and open clusters from Romano et al. (2021) (five-pointed stars). The age of stars and open clusters is colour-coded. In both panels, the solid curves show model A(Li) in different radial zones (4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 kpc from bottom to top, colours from dark red to orange as in Fig. 7).

マルチゾーンモデル