

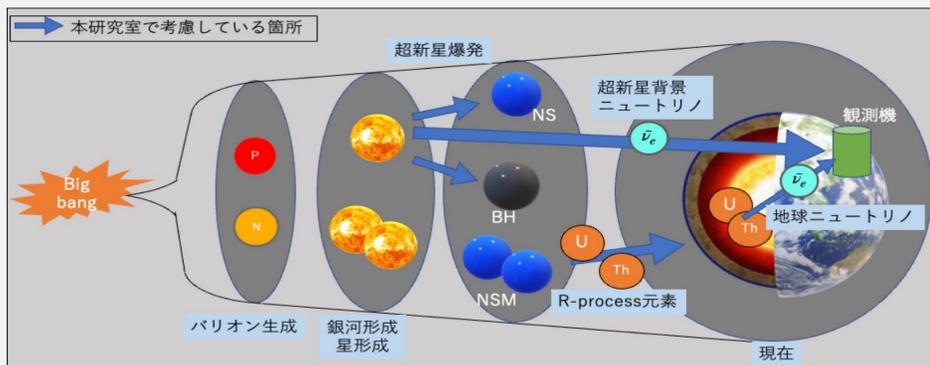
種族合成計算に向けた

中性子星合体によるr-process元素合成の研究

東京理科大学 萩亮太 鈴木英之 加藤ちなみ

1. 研究背景・目的

自然に存在する重元素の半分を合成するr-process元素合成は重力波GW170817とそれに伴うキロノヴァにより、中性子星合体NSMで起こることが示され、理論的予測に劇的な進歩が見られた。また、地球内部ではTh, Uといった放射性元素の崩壊によるニュートリノ放出反応が起き、日本のKamLANDなどで地球ニュートリノとして観測されている(下図)。



本研究では星の集団の進化を計算する種族合成法にNSMからのr-process元素放出量の見積もりを組み込む手法を開発しようと試みた。

NSMからのイジェクタ(dynamical ejecta & post merger ejecta)の物理条件や放出量は合体前の中性子星質量 M_1, M_2 によって決まる。そのため、任意の M_1, M_2 についてNSMから放出されるr-process元素合成を系統的に開発することが目的である。

2. 手法

計算コード: r-Java, SkyNet

Input
初期エントロピー s ,
密度変化タイムスケール
初期電子分率 Y_{e0} , など

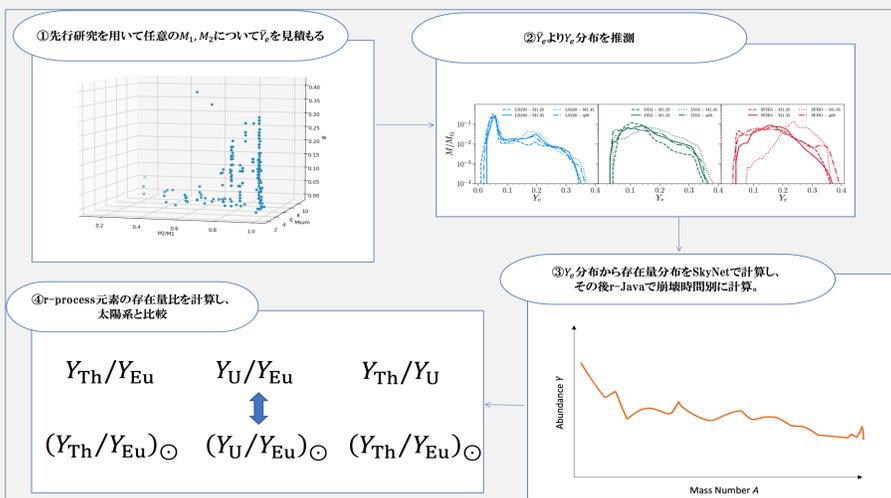


Output
存在量分布の時間変化
各パラメータの時間変化
最終組成 など

a. Y_e が最終組成に強い依存性を持つため、 Y_e 以外のパラメータをイジェクタにおいて最も支配的な値に固定し、 Y_e の質量分布のみで組成を見積もり先行研究を再現する。

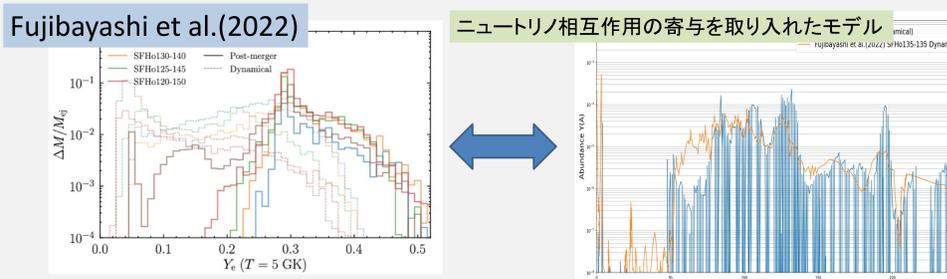
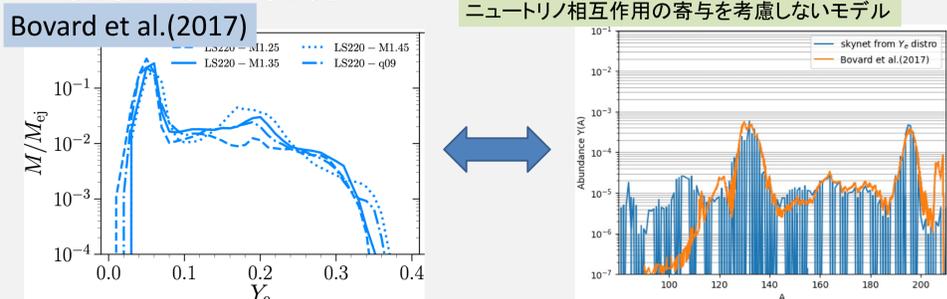
初期温度 $T_0 = 5\text{GK}$, エントロピー $s/k_B = 10$,
崩壊時間 $1.440 \times 10^{17}\text{sec}$ (太陽系年齢),
密度変化タイムスケール $\tau = 1.0\text{ms}$

b. さまざまな先行研究を用いて $M_{sum} = M_1 + M_2, M_2/M_1$ に対する平均電子分率 \bar{Y}_e を評価し、最終存在量分布を推定する。



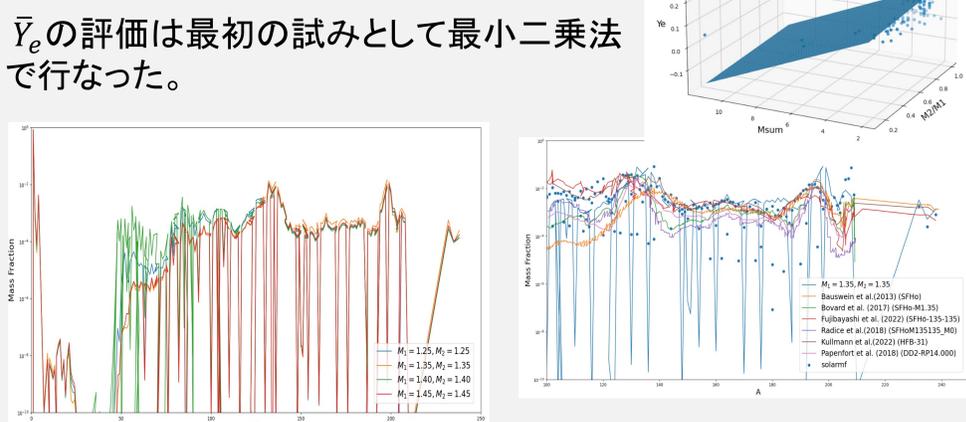
3. 結果

a. 先行研究の再現

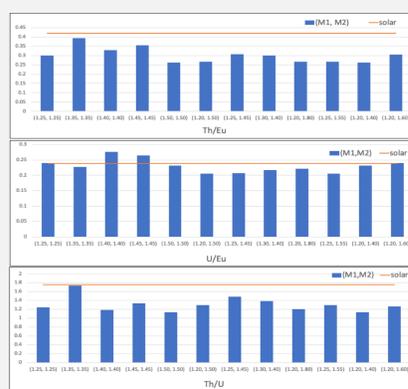


ニュートリノの寄与を含まないモデルの再現は示せた。

b. \bar{Y}_e の評価と最終存在量分布の再現



対称系の存在量分布の M_{sum} に対する変化と先行研究との比較図。対称系では \bar{Y}_e の幅が広いため先行研究にばらつきはあるが、比較的似ている分布を取ることができた。



定量的な評価の方法として、純r-process元素の存在量比を比較した。太陽系はこれらモデルの重ね合わせであるため、Uの再現はうまくいったが、Thの再現には少し足りない結果となった。原因は Y_e の評価が低く見積もられたため。

4. まとめ・展望

NSMにおける中性子星質量 M_1, M_2 からr-process元素量を見積もる方法を開発した。先行研究の再現はニュートリノの寄与を含まないモデルでは再現ができた。 M_1, M_2 に対する最終存在量分布の見積もりの手法は \bar{Y}_e を最小二乗法で評価し、太陽系や先行研究と似た分布を得ることができた。定量的な評価として、太陽系のEu, Th, Uの存在量比と比較し、Uの再現には十分であったがThの再現には少し足りない結果となった。 \bar{Y}_e の評価の改善方法としては下図のようにイジェクタ別に分類することで改善が見込まれる。

