Delay time distribution and heavy element abundances of Type Ia supernova using population synthesis calculations

◎Tomohito Nagahori、Chinami Kato、Hideyuki Suzuki(Tokyo University of Science)

Background

◎Heavy element

・ Emitted during supernova and used in star formation

A comprehensive understanding of the history of the universe (star formation, chemical evolution)

Moreover

In the process of causing a supernova explosion and releasing heavy elements, there are heavy elements that are mainly released from **Type Ia supernova**, so this time we will focus on **Type Ia supernova**.

◎Type Ia supernova

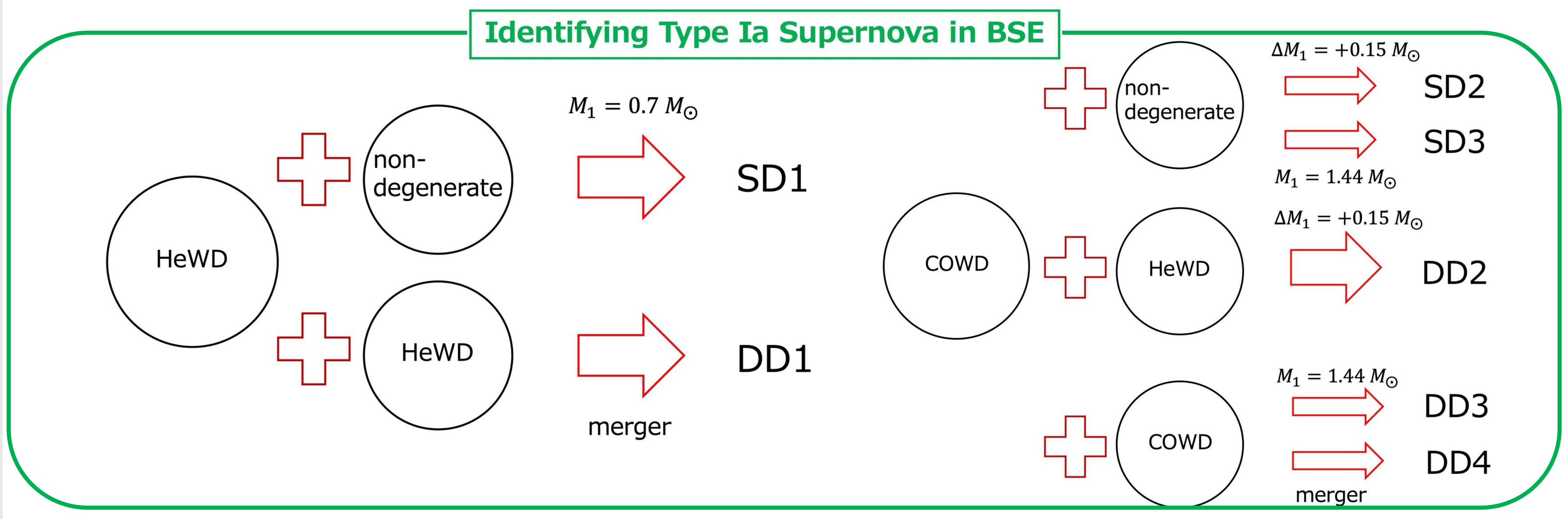
・It takes a long time (0.1~10 billion years) for a star to explode after it is formed, and the time it takes to explode must be taken into account when considering the history of the universe.

⇨ **Delay time**

・And we need to know the distribution of that time.

⇨ **Delay time distribution(DTD)**

Identifying Type Ia Supernova in BSE



◎Research Objective

・Evaluating the **chemical evolution** by Type Ia supernova taking into account the amount of **heavy elements** released by the explosion

Method

◎Calculation code used

・An improved version of the population synthesis code BSE (Hurley et al. (2002)[1]).

Features : ex)$M(t), M_c(t)$

・It is based on fitting formulae obtained from detailed computational codes, so star populations can be derived quickly.

・The calculation accuracy is low because fitting formulas are used.

The model adopted this time

◎Multiplicity frequency

・The ratio of single stars to binary stars is 1:1

◎Calculation range

・Primary initial mass M_1 $0.1\sim100\ M_\odot, \Delta M = 1\ M_\odot(0.1\ M_\odot$by $10M_\odot)$

・Using the **IMF** of M_1 from Kroupa(2001[2])

・mass ratio q $0.0125\sim1, \Delta q = 0.0125$(flat)

・Period P $3\sim3\times10^5$ days,$\Delta \log P = 0.025$(log flat)

・Metallicity Z 0.02(solor metallicity)

・Eccentricity $e = 0.0$ only

Sum: Calculation for 3039120 models

◎Star formation

・Assume that a starburst forms $M_t = 10^{11}\ M_\odot$ at $t = 0$

◎Improvements

・Estimation of heavy element release amount $M_{\rm ej}$

$$M_{\rm ej} = M_{\rm CO}$$

$M_{\rm CO}$:CO core mass before explosion estimated by fitting fomulae based on MESA(Paxton et al.(2011)[3])

・Derivation of Delay time $t_{\rm delay}$

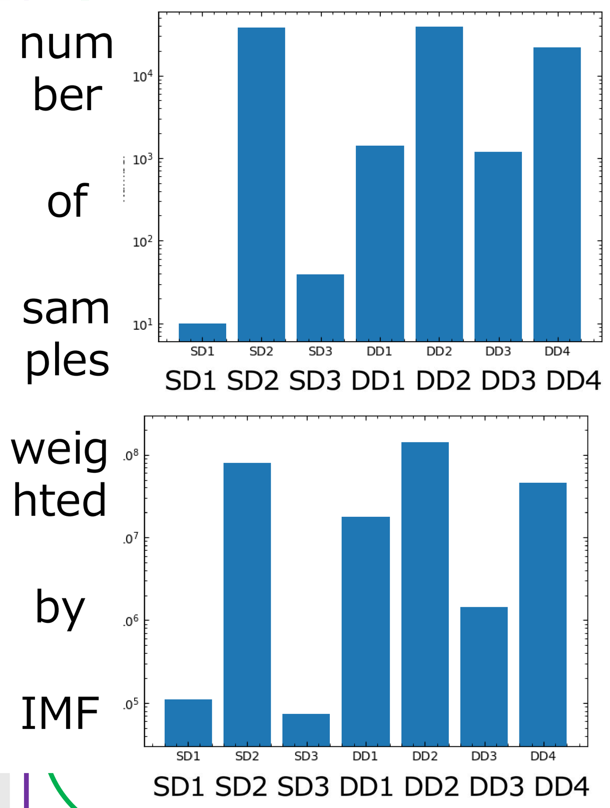
The time of supernova explosion $t_{\rm SN}$ minus the time of star formation t_0

$$t_{\rm delay} = t_{\rm SN} - t_0$$

Results and Discussion

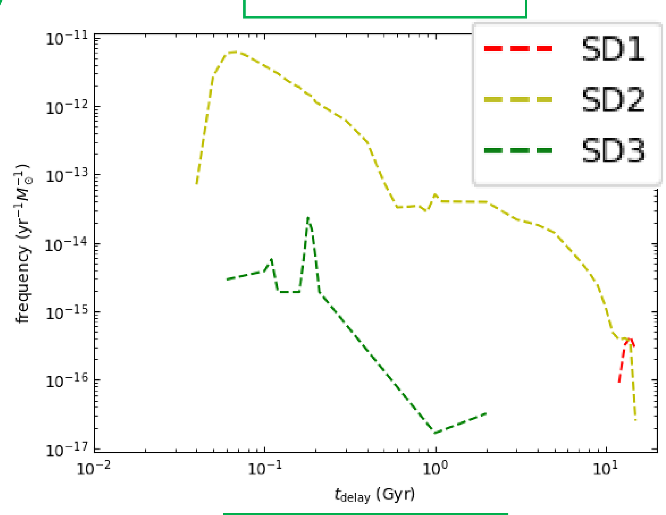
◎Each Type Ia supernova model

We calculated 3039120 models and classified the number of Type Ia supernova by the IMF model as follows:



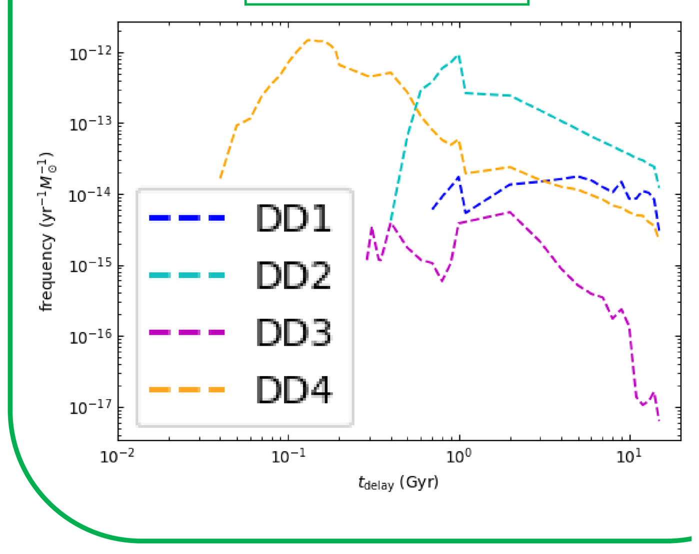
DTD

SD model



SD2 model is widely distributed.

DD model

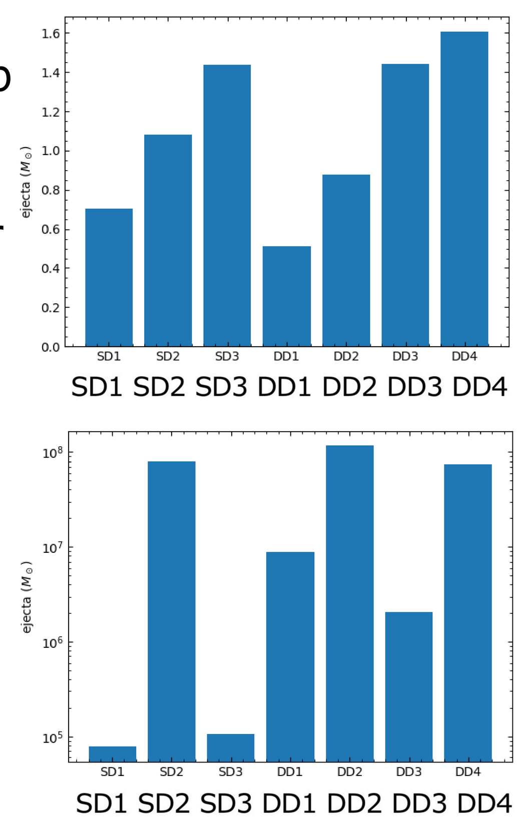


the DD4 model is prevalent up to 0.3 Gyr, and then the DD2 model is prevalent after that.

・SD model
SD1:Model where HeWD explodes at sub-Chandra($M = 0.7\ M_\odot$)
SD2:Model where COWD explodes at sub-Chandra($\Delta M = 0.15\ M_\odot$)
SD3:Model where COWD explodes at Chandra ($M = 1.44\ M_\odot$)
・DD model
DD1:Model that explode in the HeWD-HeWD merger
DD2:Model where COWD-HeWD explodes at sub-Chandra ($\Delta M = 0.15\ M_\odot$)
DD3:Model of explosion caused by COWD-COWD mass-transfer (Chandra)
DD4: Model that explode in the COWD-COWD merger

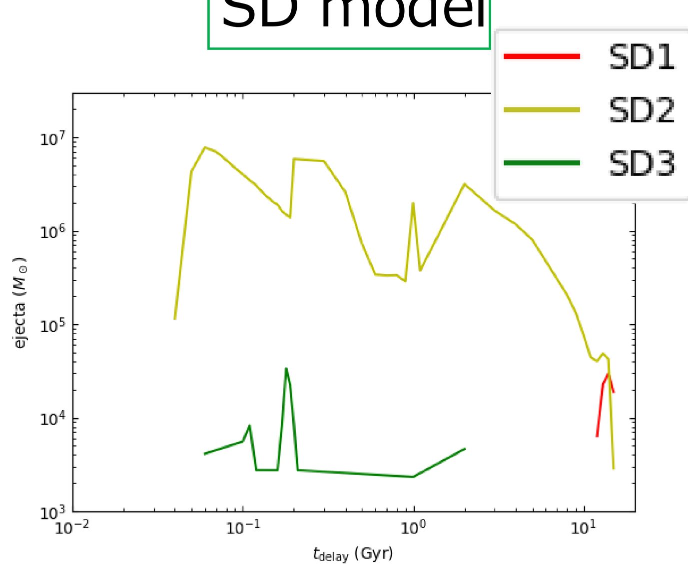
On the BSE, the delay time depends heavily on the MS lifetime of the companion star, so models with a large initial mass of the companion star explode with a short delay time.

the amounts of heavy elements :

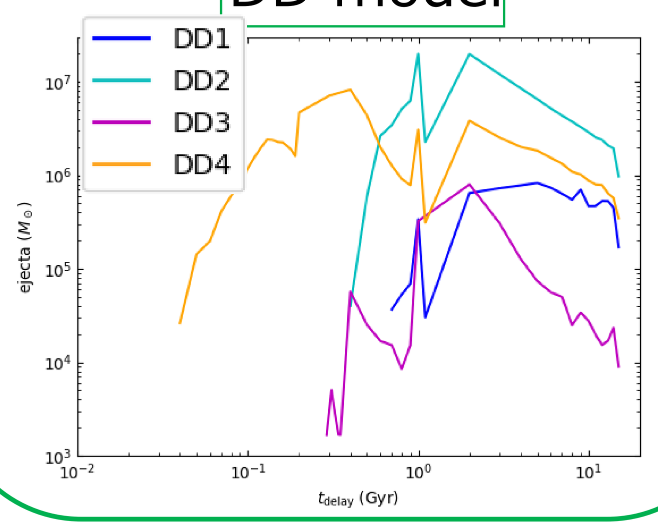


DTD

SD model



DD model



・SD model
SD1:Model where HeWD explodes at sub-Chandra($M = 0.7\ M_\odot$)
SD2:Model where COWD explodes at sub-Chandra($\Delta M = 0.15\ M_\odot$)
SD3:Model where COWD explodes at Chandra ($M = 1.44\ M_\odot$)
・DD model
DD1:Model that explode in the HeWD-HeWD merger
DD2:Model where COWD-HeWD explodes at sub-Chandra ($\Delta M = 0.15\ M_\odot$)
DD3:Model of explosion caused by COWD-COWD mass-transfer (Chandra)
DD4: Model that explode in the COWD-COWD merger

The amount of heavy elements released from each model was found to depend greatly on SN frequency.

Conclusion and Future plan

◎Conclusion

We were able to classify the Type Ia supernova models in the BSE into seven types, and derive the amount of heavy elements emitted and the DTD for each model.

◎Future plan

In the future, we will aim to evaluate the chemical evolution by taking into account the effects of eccentricity and other types of supernova explosions.

[References]

[1] Hurley J.R.,Tout C.A.,Pols O.R., MNRAS, 2002, vol.329, pp.897-928

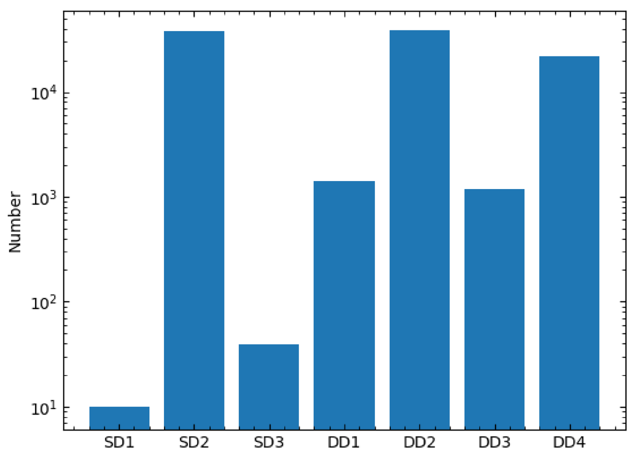
[2] Kroupa P., 2001, MNRAS, 322, 231

[3] Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., et al. 2011, ApJS, 192, 3

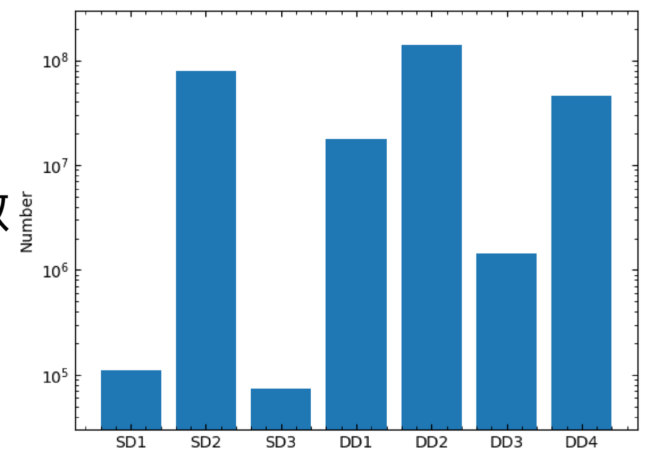
◎モデル毎のIa型超新星爆発

離心率eを0.0で固定して3039120モデルを計算し、モデル別に
Ia型超新星爆発の数を以下の様に分類した。

モデル数



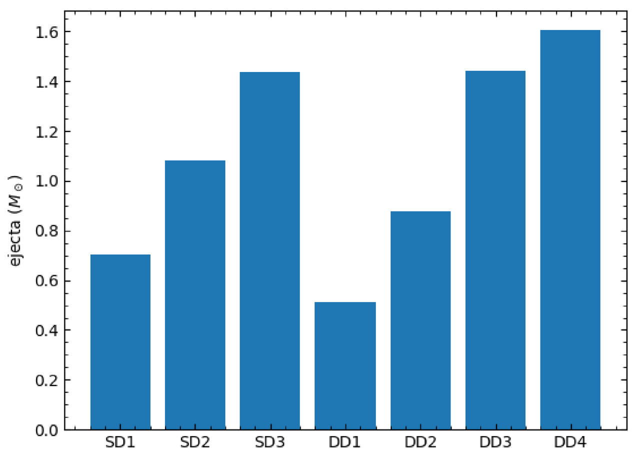
数



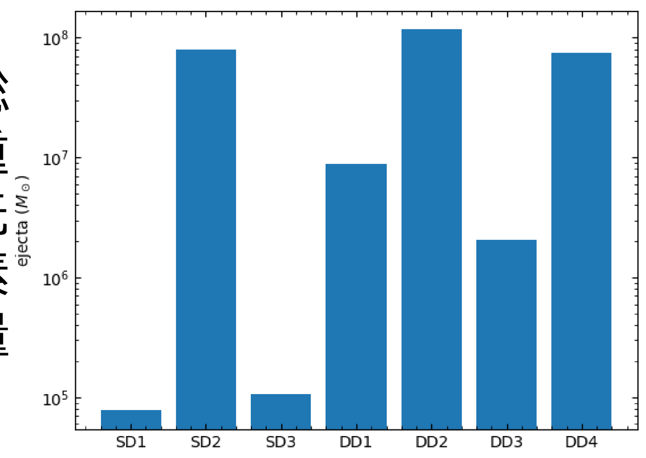
・SDモデル
SD1:HeWDがsub-Chandra(M = 0.7 $M_\odot$)で爆発するモデル
SD2:COWDがsub-Chandra(ΔM = 0.15 $M_\odot$)で爆発するモデル
SD3:COWDがChandra (M = 1.44 $M_\odot$)で爆発するモデル
・DDモデル
DD1:HeWD-HeWDのmergerで爆発するモデル
DD2:COWD-HeWDのsub-Chandra(ΔM = 0.15 $M_\odot$)で爆発するモデル
DD3:COWD-COWDのmass-transfer(Chandra)で爆発するモデル
DD4:COWD-COWDのmergerで爆発するモデル

モデル別に放出される重元素量を以下の様に分類した。

平均重元素量



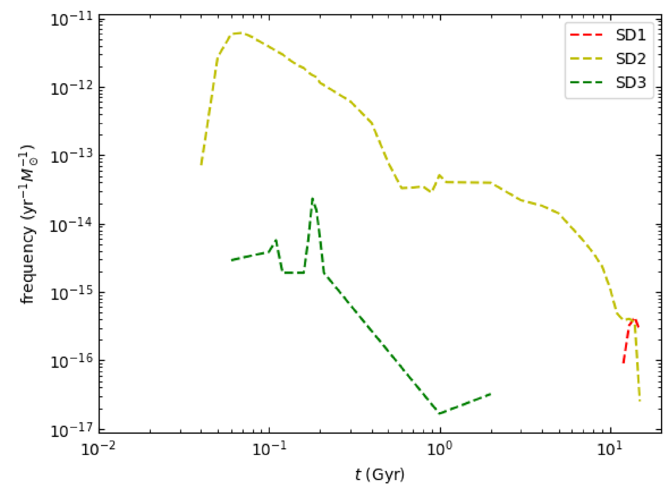
総重元素量



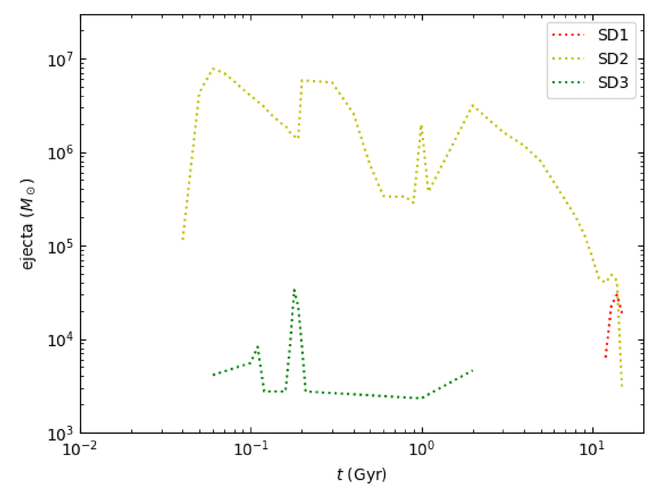
weighted by IMF

◎遅延時間分布(DTD)

SDモデル

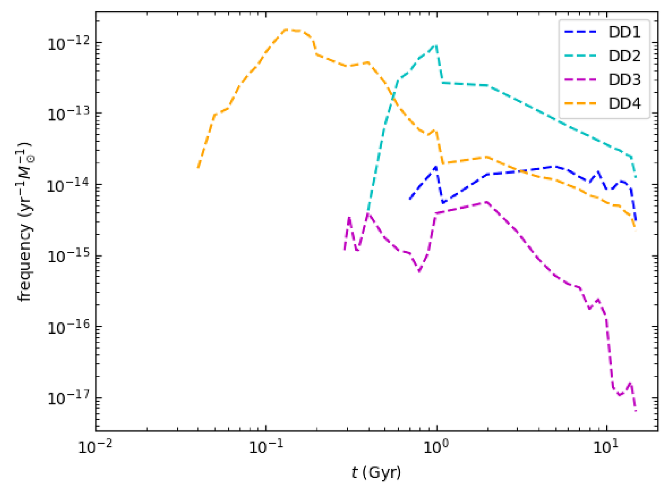


SDモデル

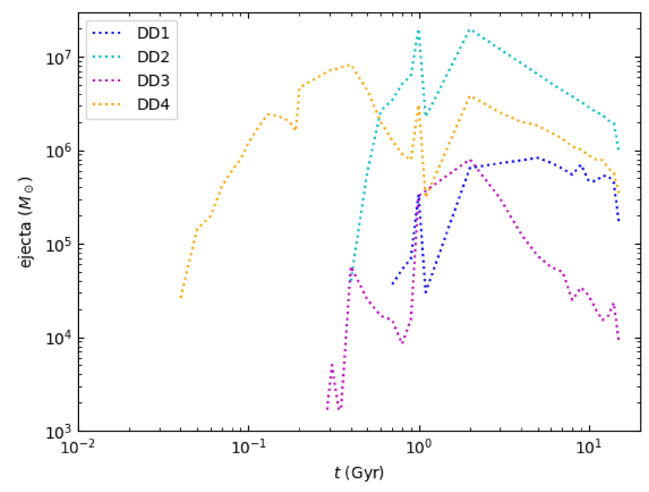


左図から、SD2モデルが広範囲に分布され、
数多く分布されていることが分かる。
それに伴って、右図においてSD2モデルが
重元素放出量多く放出している。

DDモデル



DDモデル



左図から、
0.3 Gyrまで
DD4モデルが
多く分布され、
それ以降は
DD4モデルが
多く分布され
ていることが
分かる。

左図から、SD2モデルが
広範囲に分布され、数多く分布
されていることが分かる。

遅延時間(delay time)は、BSE上では伴星のMS lifetimeに
大きく依存するので、伴星の初期質量が大きいモデルが短い遅延時間で爆発する。

各モデルから放出される重元素量はそれぞれの数に大きく依存する結果となった。

◎**Conclusion**

We were able to classify the Type Ia supernova models in the BSE into seven types, and derive the amount of heavy

◎**Future plan**

In the future, we will aim to evaluate the chemical evolution by taking into account the effects of eccentricity and oth

◎重元素

・星が超新星爆発を起こすことによって、
放出されるH,Heより重い元素
・星形成時に使われる

宇宙の歴史(星形成史、化学進化)を
総合的に理解できる！

超新星爆発を起こして、重元素を放出する
過程のうち、主にIa型超新星爆発から出てくる
重元素があるためIa型超新星爆発に着目

その上で

◎Ia型超新星爆発

・星が形成されてから爆発するまでの
時間が長く(1~100億年)、宇宙の歴史を
考える上で爆発するまでの時間を考慮する
必要がある。
⇨　遅延時間(delay time)
そして、時間と共にその発生率を知る必要がある。
⇨　遅延時間分布(delay time distribution)

◎種族合成計算

◎研究目標

**・Ia型超新星爆発によってばら撒かれる重元素量を
考慮して、Ia型超新星爆発の化学進化を評価**

◎使用した計算コード

・種族合成計算コードであるBSEコード(Hurley et al.(2002)[1])に
改良を加えたもの

特徴：
・詳細な計算コードから得たfitting fomulaeを基に
構成されているので早く導出できる
・fitting fomulaeを用いているので、計算精度が荒い

◎改良した点

・重元素放出量M_{ej}の見積もり

$$M_{\mathrm{ej}} = M_{\mathrm{CO}} - M_{\mathrm{NS}}$$

M_{CO}:MESAによって、見積られた 爆発前のCOコア質量
M_{NS}:Muellarらの一次元超新星モデルを取り入れて見積られた
中性子星質量(残骸を残さない場合やBHは$M_{\mathrm{NS}} = 0\ M_{\odot}$)

・遅延時間tの導出
星が形成された時間t_0から超新星爆発を起こすまでの時間t_{SN}の差

$$t = t_{\mathrm{SN}} - t_0$$

ex)$M(t), M_{\mathrm{c}}(t)$

◎計算範囲

・主星の初期質量M_1 $0.1{\sim}100\ M_{\odot}, \Delta M = 1\ M_{\odot}$($10M_{\odot}$までは$0.1\ M_{\odot}$)
・質量比q $0.0125{\sim}1, \Delta q = 0.0125$(flat)
・周期P $3{\sim}3\times10^5$ days,$\Delta \log P = 0.025$(log flat)
・金属量Z 0.02(solor metallicity)
・離心率e $0.0,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,0.95$(7つのモデル)

合計:7×3039120モデルについて計算

◎IMF
・Kroupa(2001[3])のIMFを使用
◎連星頻度
・全ての質量範囲で単独星と連星系が1:1
◎星形成
・スターバーストにより$t=0$で$M_t = 10^{11}\ M_{\odot}$形成される

・SD model
SD1:Model where HeWD explodes at sub-Chandra($\mathrm{M} = 0.7\ M_{\odot}$)
SD2:Model where COWD explodes at sub-Chandra($\Delta M = 0.15\ M_{\odot}$)
SD3:Model where COWD explodes at Chandra ($\mathrm{M} = 1.44\ M_{\odot}$)
・DD model
DD1:Model that explode in the HeWD-HeWD merger
DD2:Model where COWD-HeWD explodes at sub-Chandra
($\Delta M = 0.15\ M_{\odot}$)
DD3:Model of explosion caused by COWD-COWD
mass-transfer (Chandra)
DD4: Model that explode in the COWD-COWD merger

図を作る