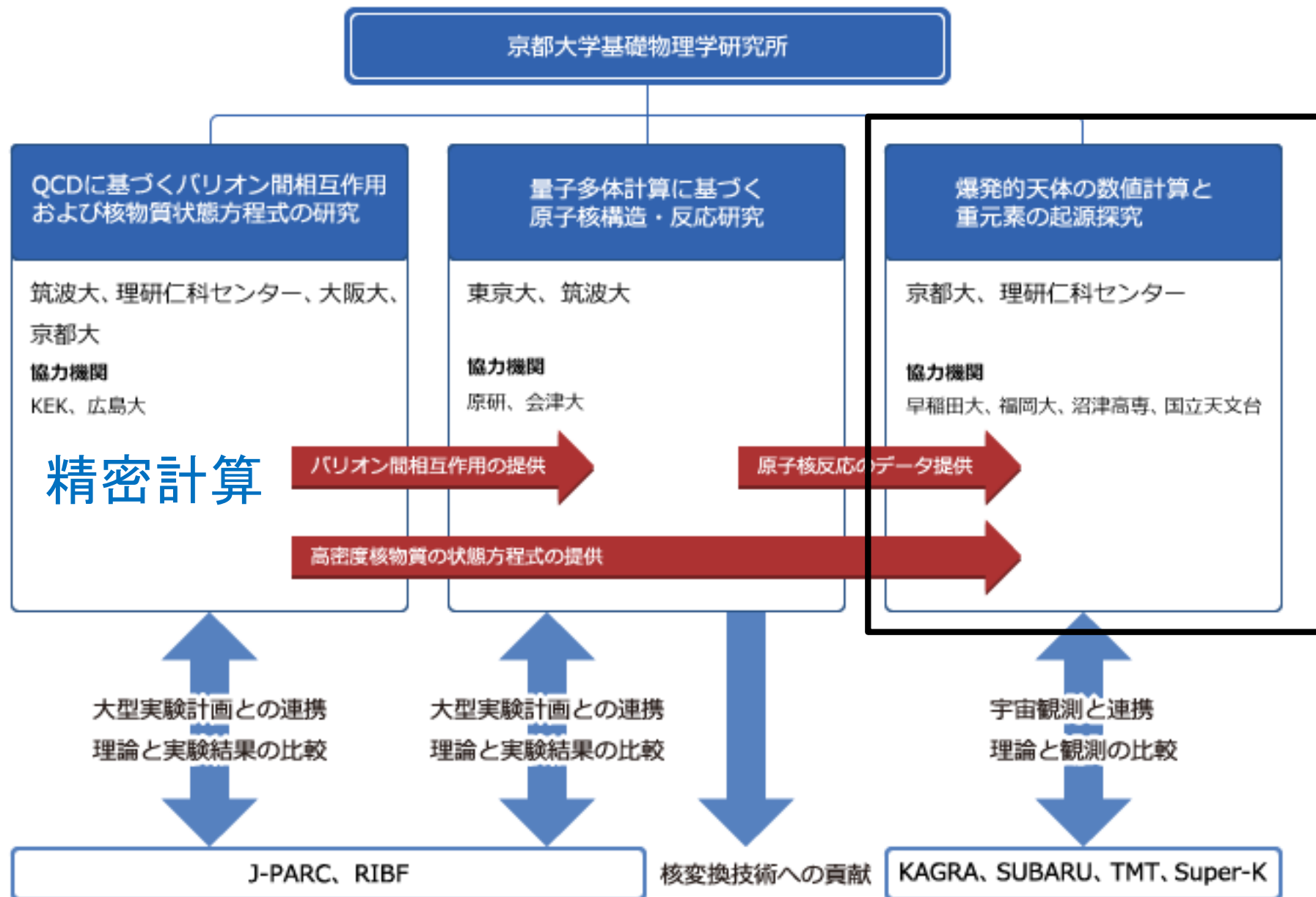


精密計算と長時間計算で迫る超新星爆発

滝脇知也

国立天文台

サブ課題B 物質創成史の解明と物質変換



サブ課題B 物質創成史の解明と物質変換

京都大学基礎物理学研究所

赤色巨星の模式図

超新星は星が最期に起こす大爆発です。
太陽の10倍以上重い星は進化し、
赤色超巨星という明るくて赤い星になります。
超新星爆発はこの段階で起こります。

爆発的天体の数値計算と
重元素の起源探究

京都大、理研仁科センター

協力機関

早稲田大、福岡大、沼津高専、国立天文台

データ提供

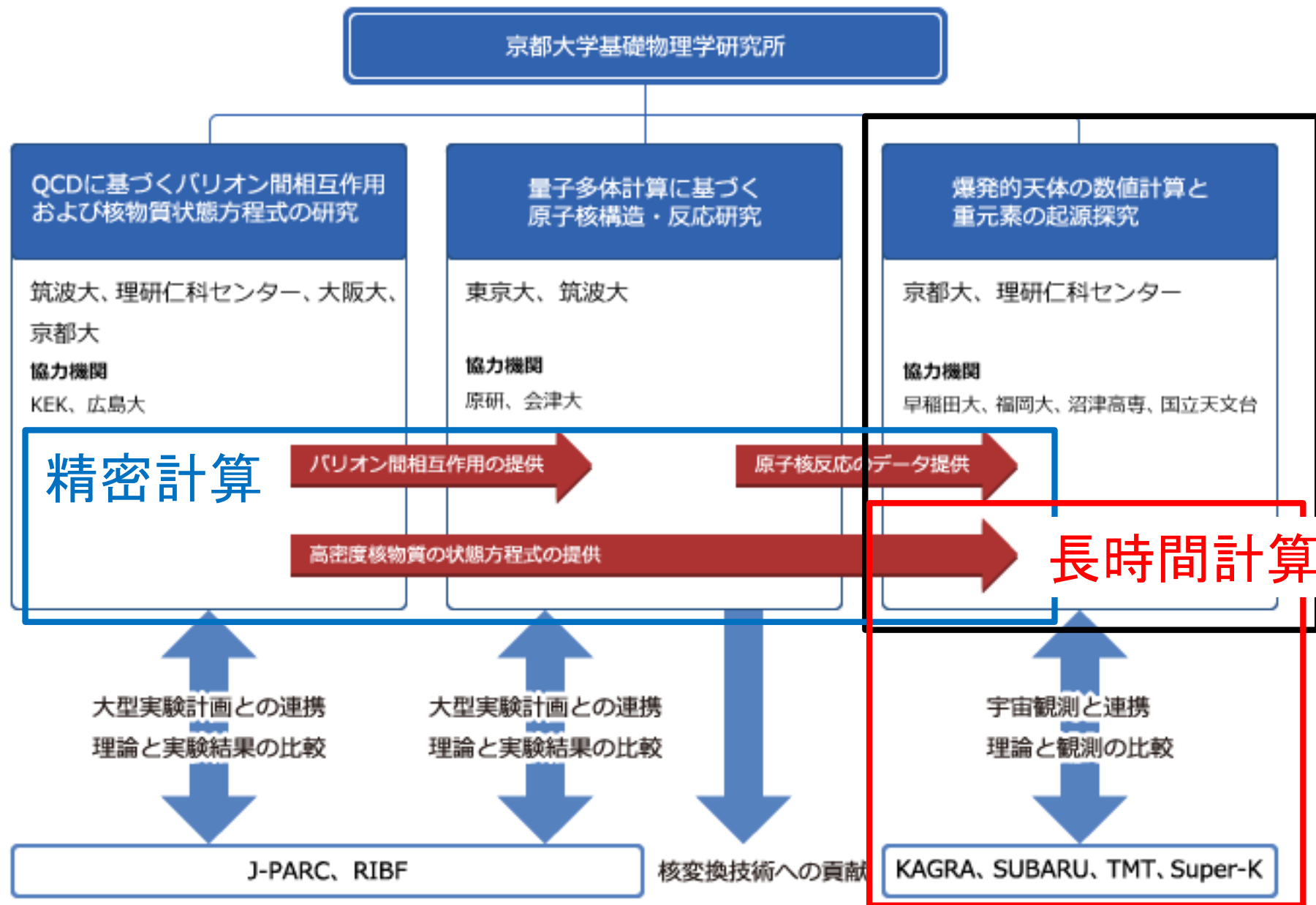
宇宙観測と連携
理論と観測の比較

J-PARC、RIBF

核変換技術への貢献

KAGRA、SUBARU、TMT、Super-K

サブ課題B 物質創成史の解明と物質変換



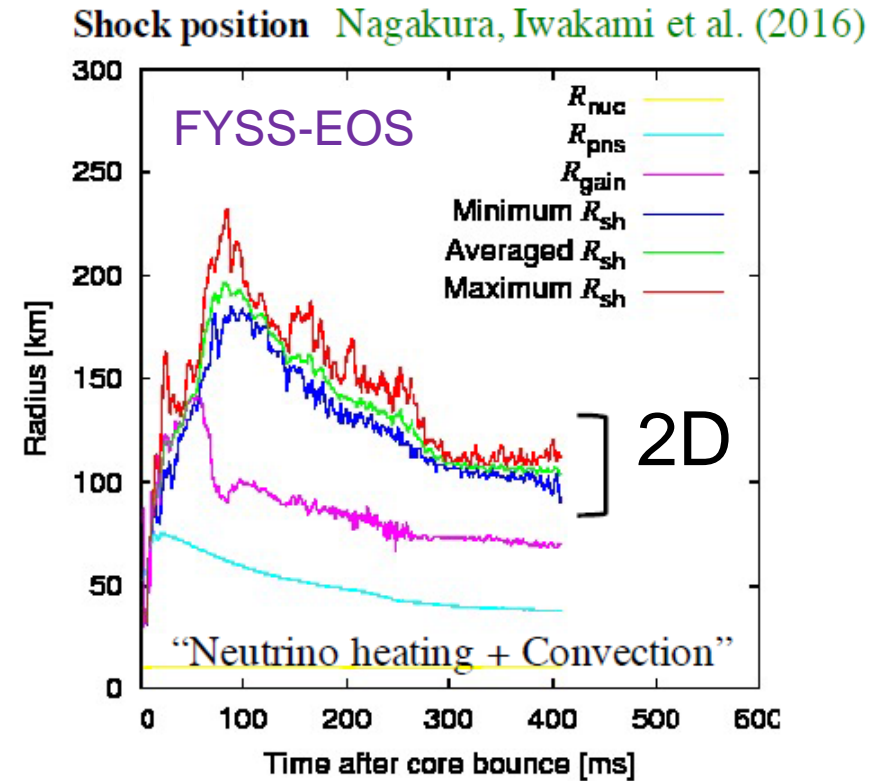
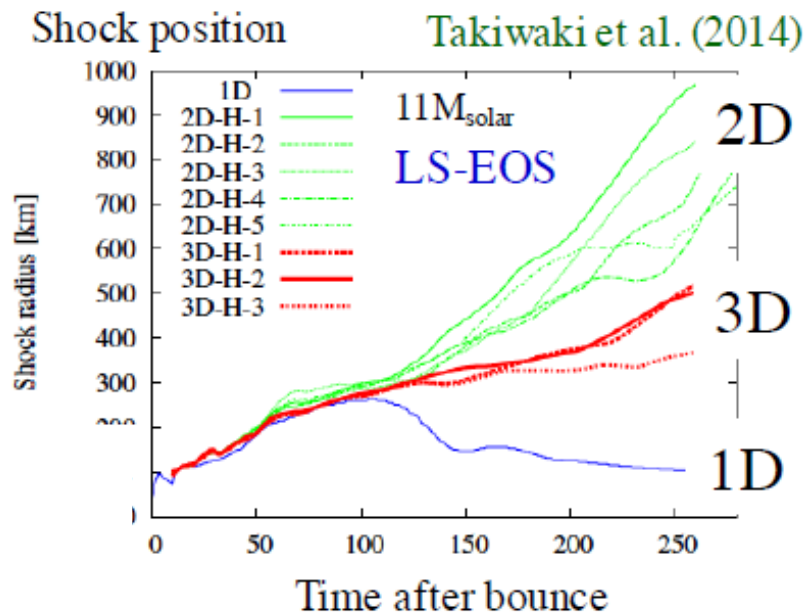
目次

- 精密計算
 - (1) コード比較
 - (2) 重陽子のニュートリノ反応の導入
- 長時間計算
 - (3) 極付近の粗視化による長時間計算

目次

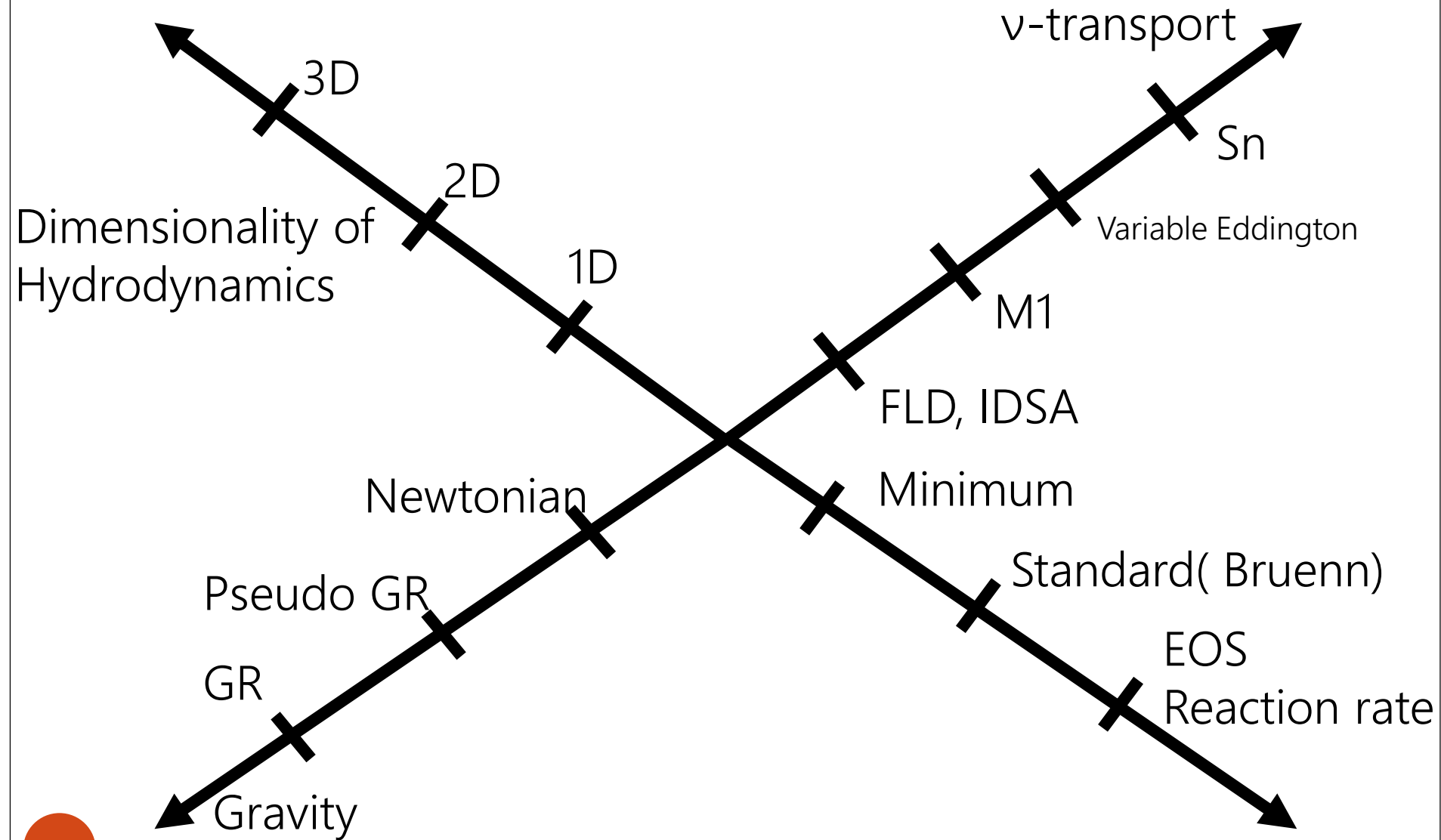
- 精密計算
 - (1) コード比較
 - (2) 重陽子のニュートリノ反応の導入
- 長時間計算
 - (3) 極付近の粗視化による長時間計算

分野5 課題3の宿題

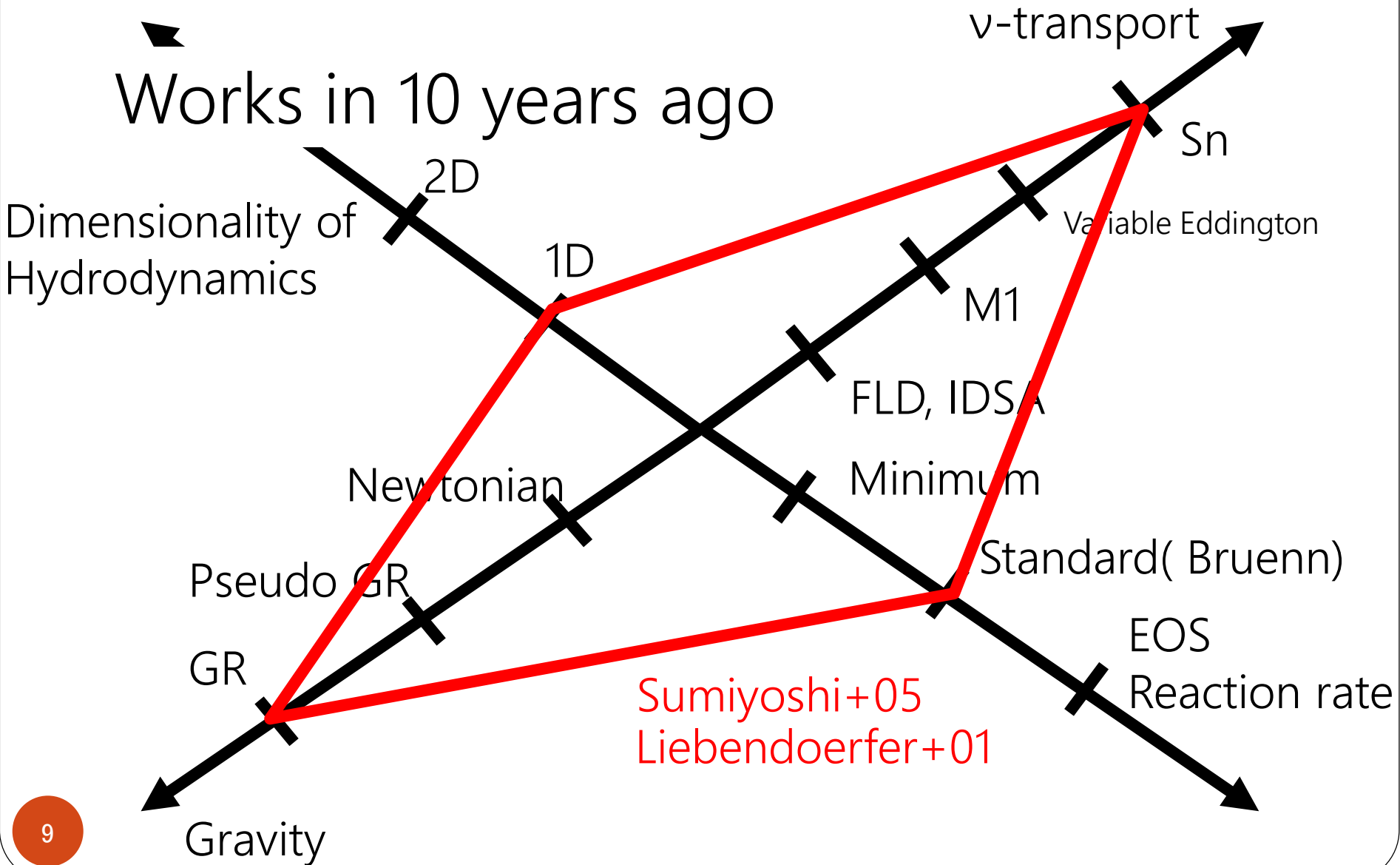


超新星班では同じ親星に対して違う結果を出してしまった…。
なぜこんなことが起こるのか？

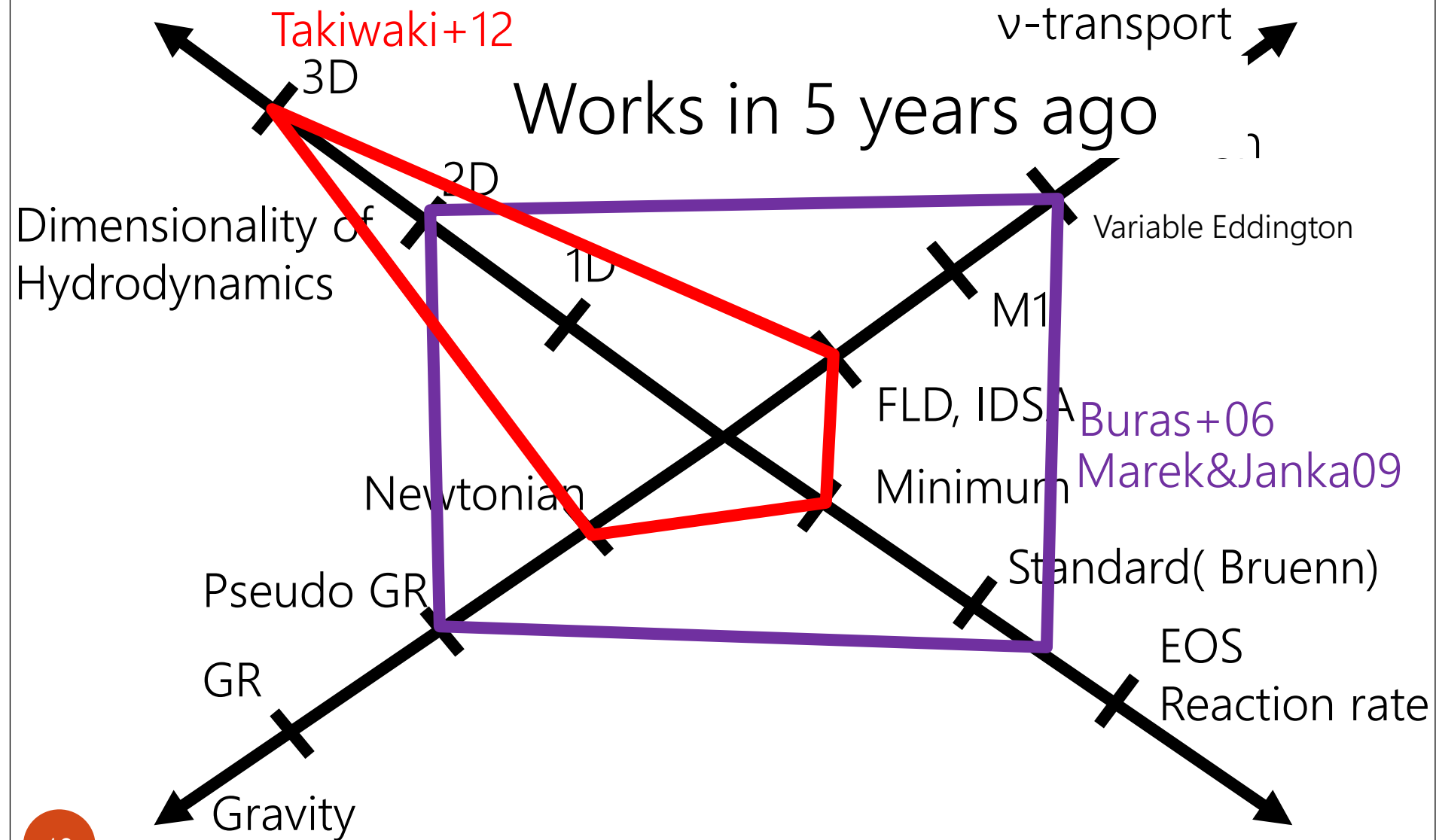
Evaluation and Comparison of the simulations



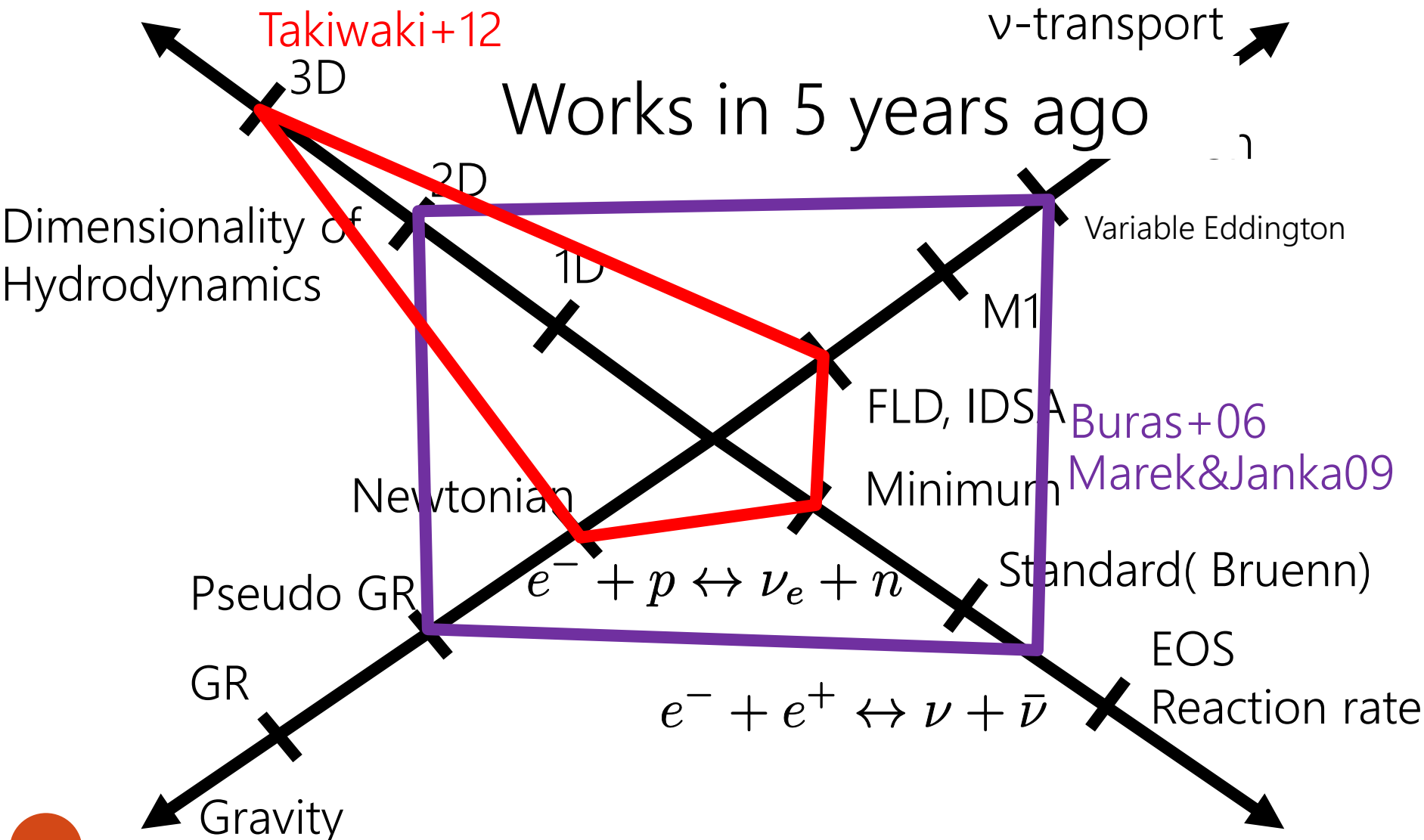
How realistic are the simulations?



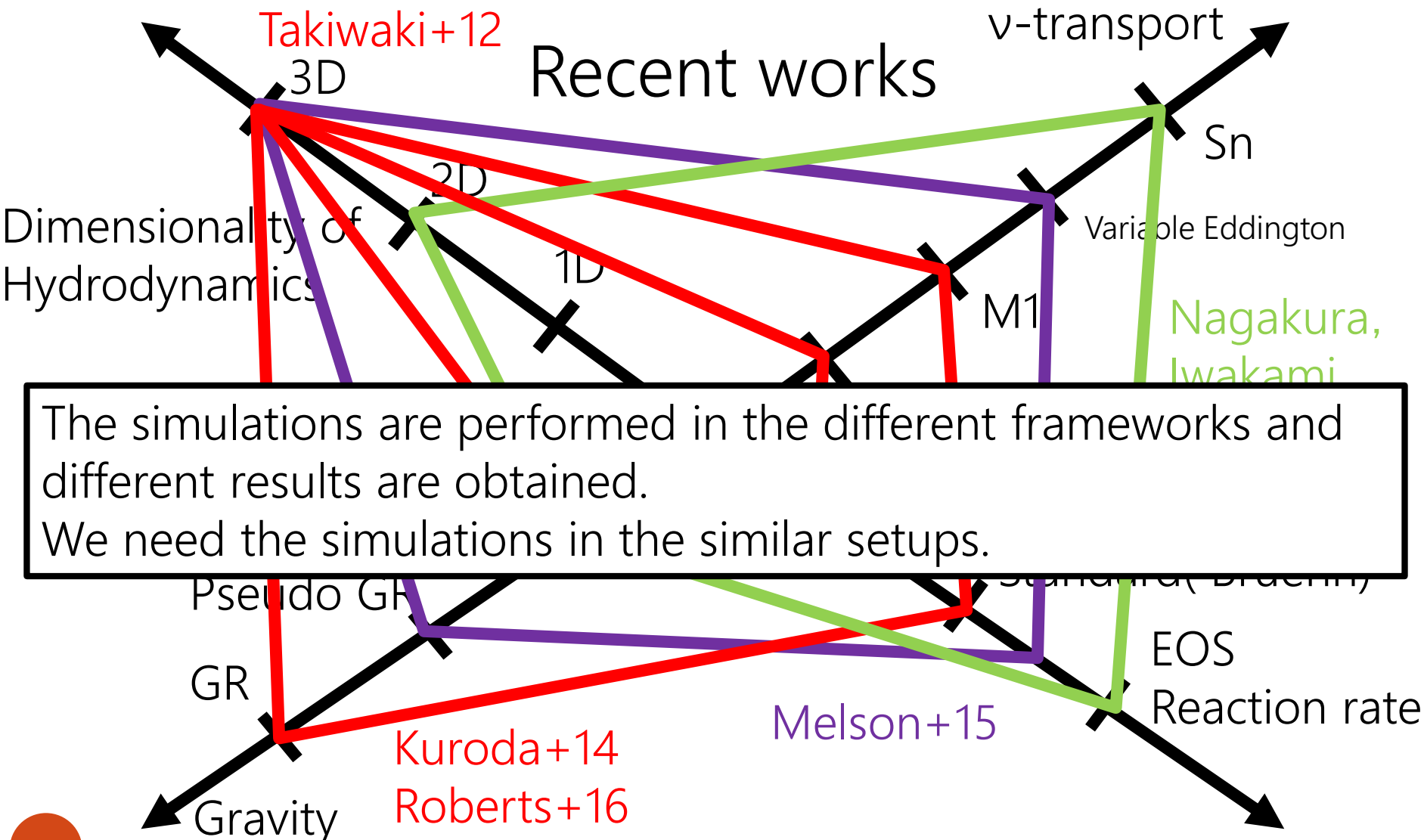
Evaluation and Comparison of the simulations



Evaluation and Comparison of the simulations

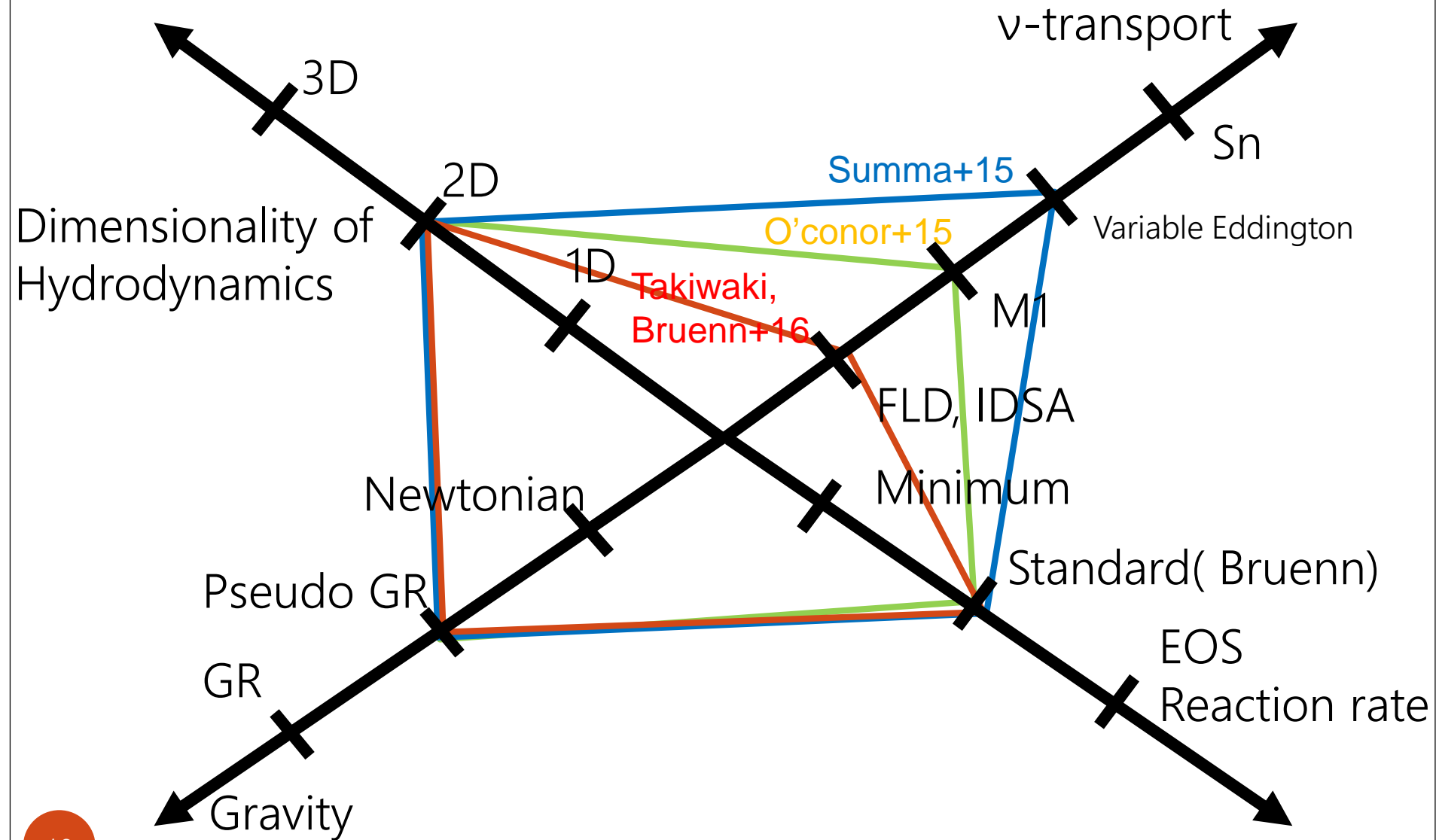


Evaluation and Comparison of the simulations

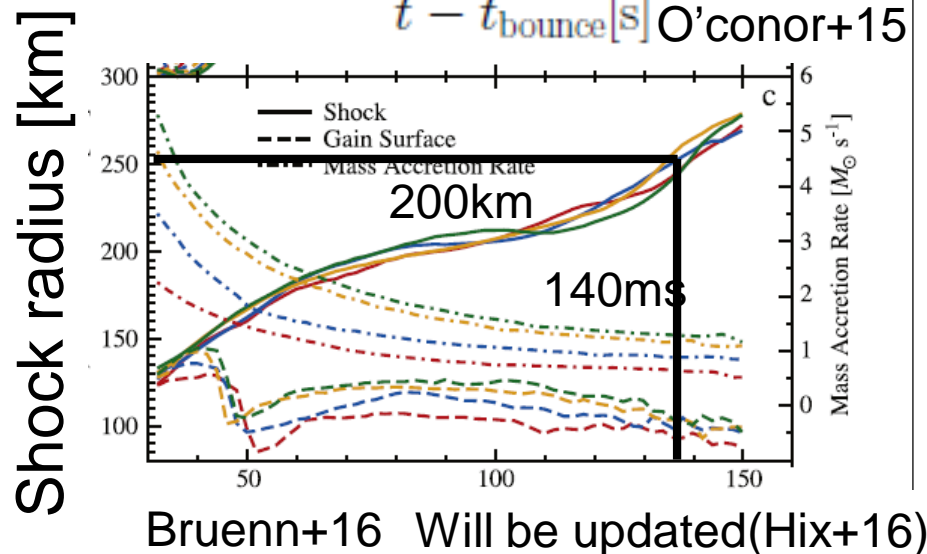
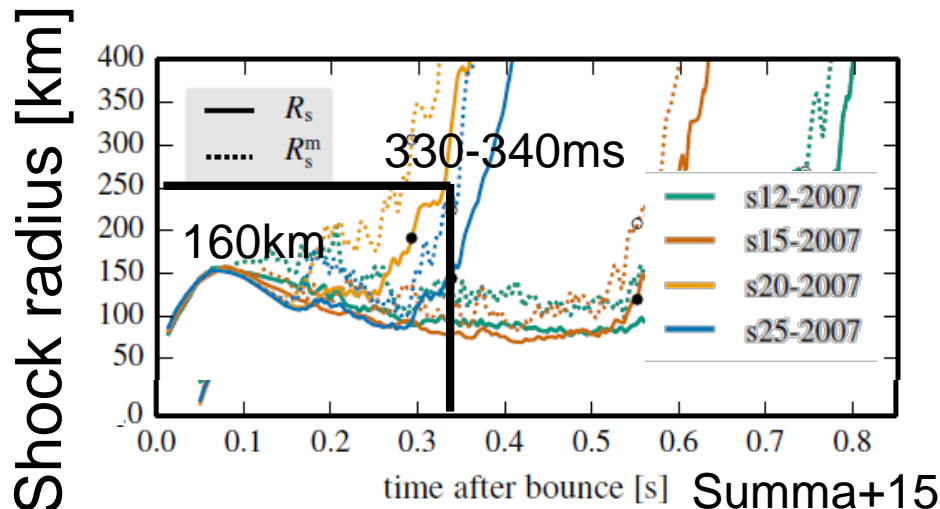
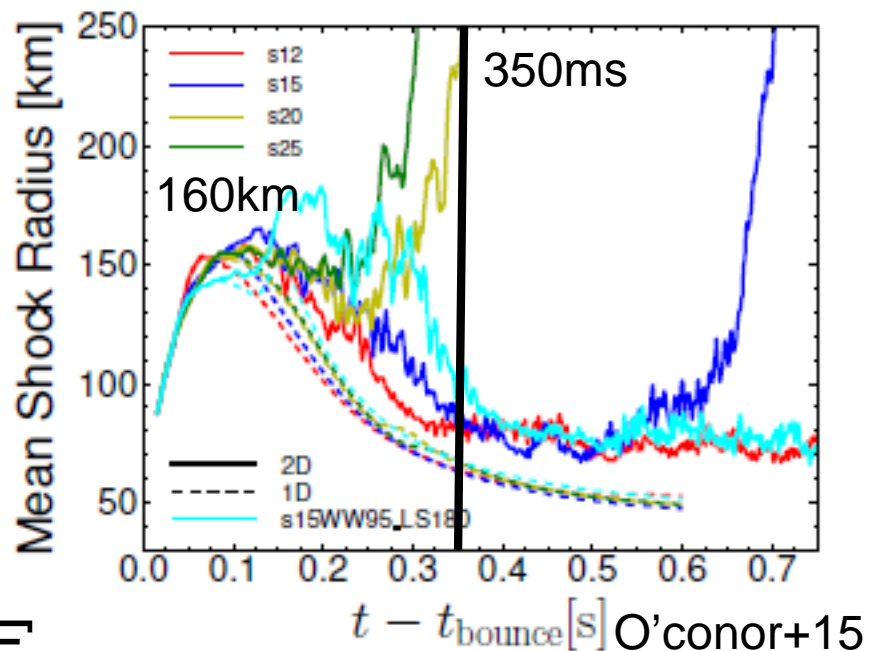
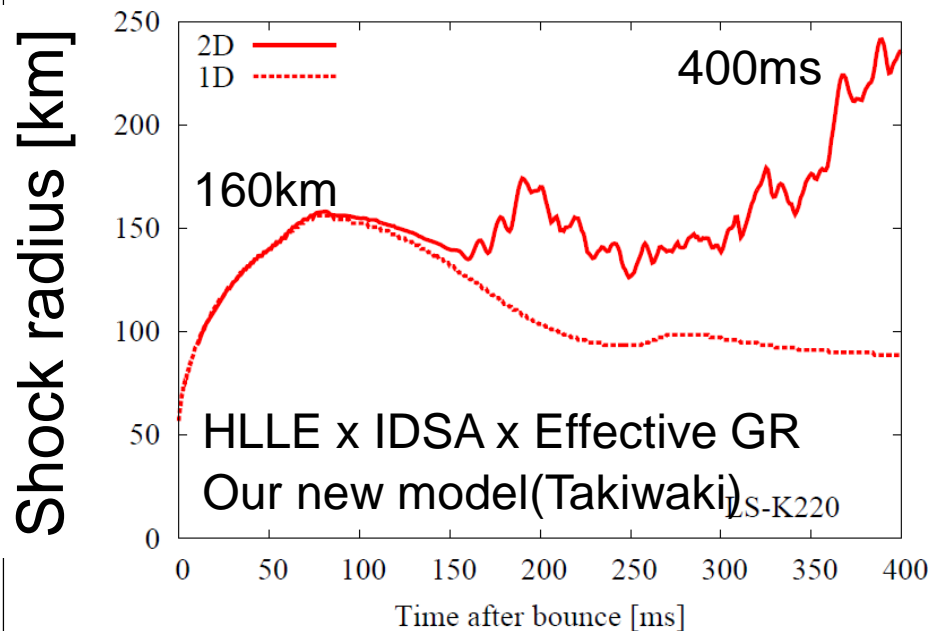


The simulations are performed in the different frameworks and different results are obtained.
We need the simulations in the similar setups.

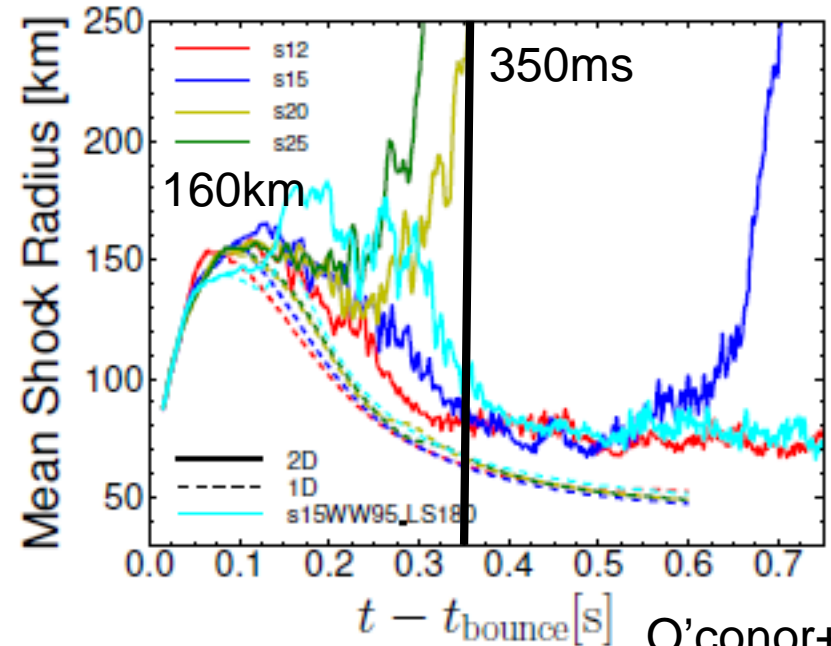
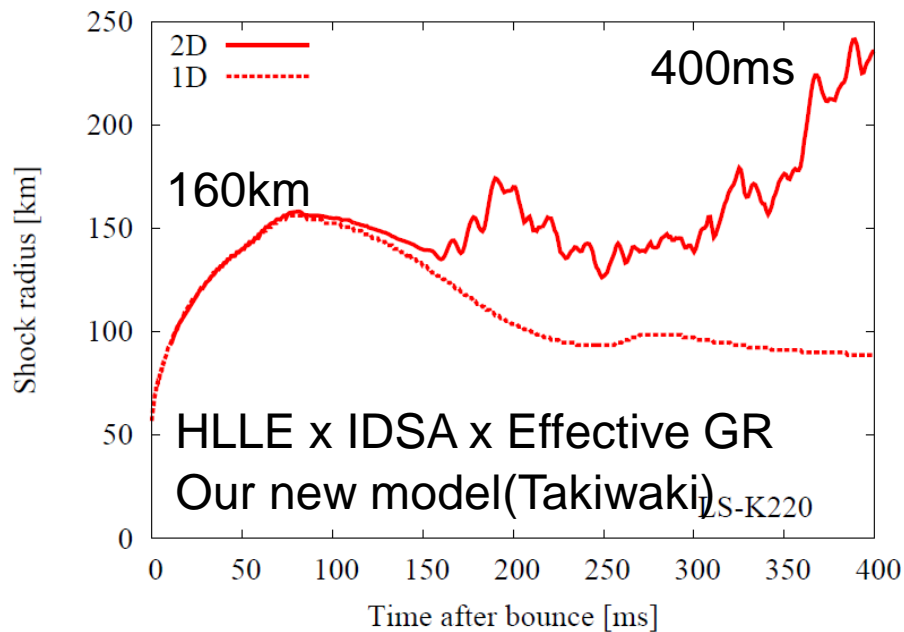
Evaluation and Comparison of the simulations



2D Comparisons@ 20M_s(WH07)



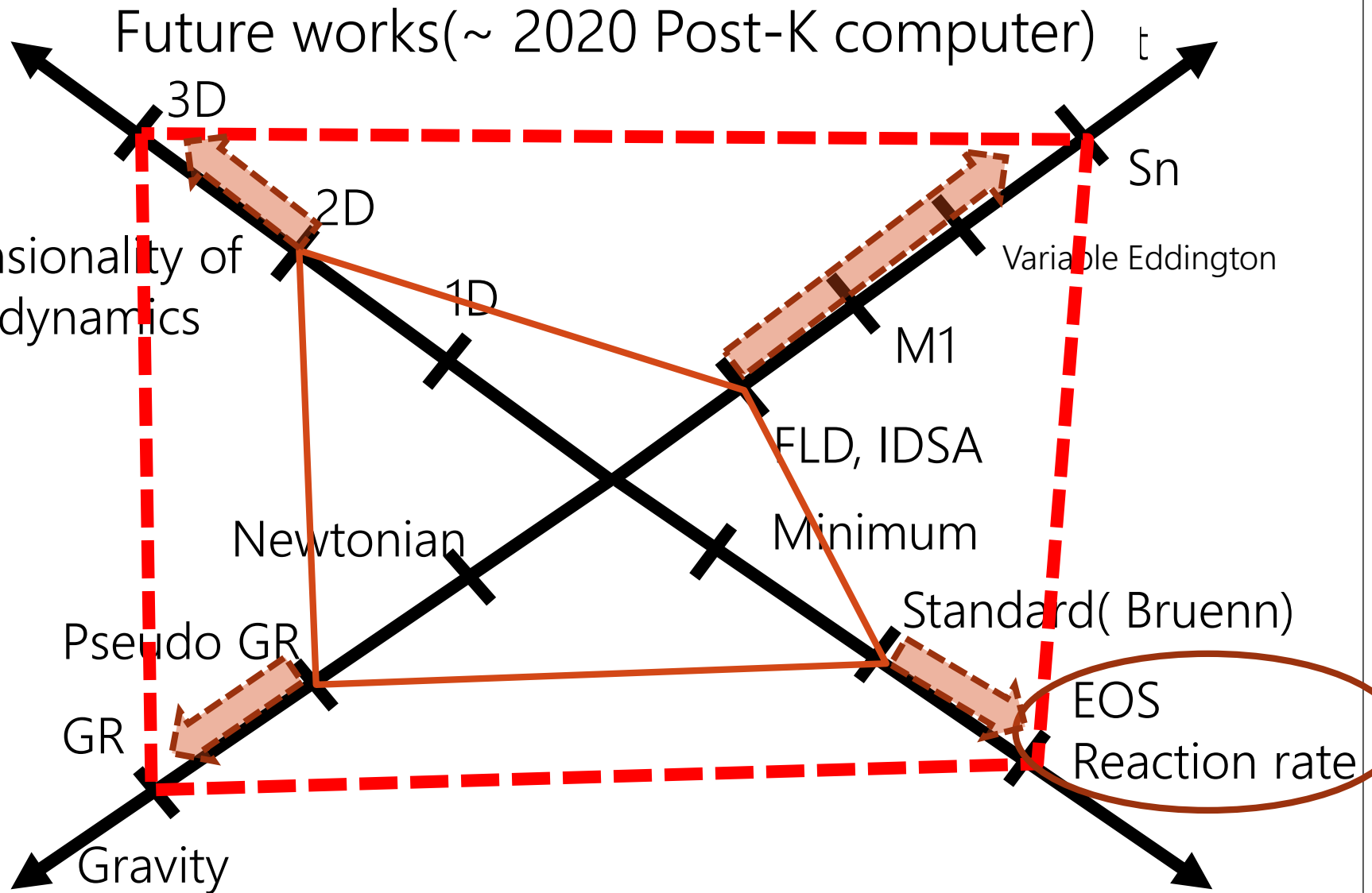
2D Comparisons@ 20M_s(WH07)



We can conclude that we obtain same results if we employ same input physics.

- × Numerical Treatments
- Input Physics

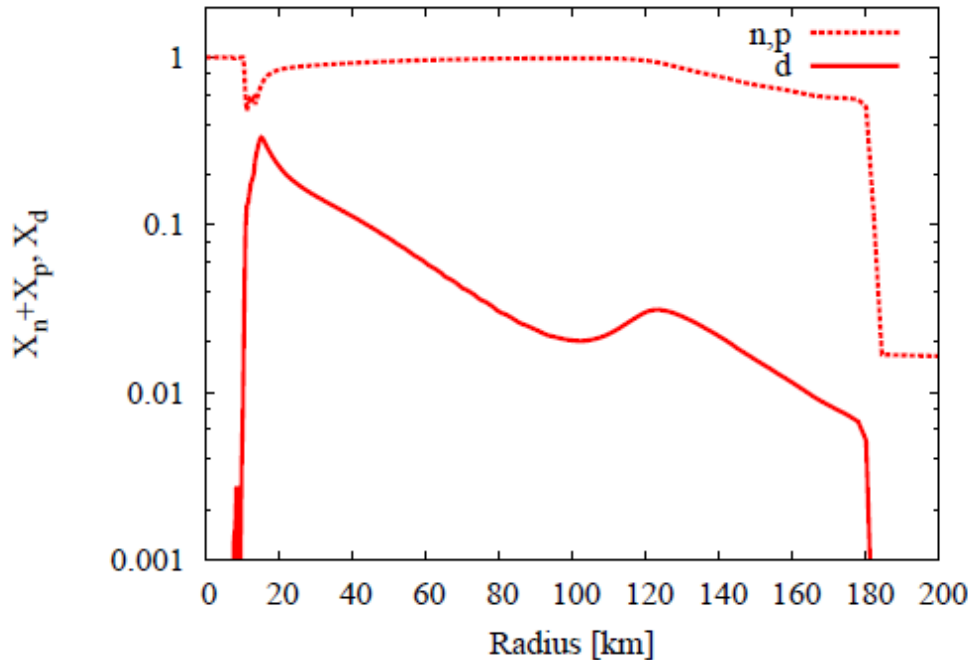
Blueprint of the Future Work



目次

- 精密計算
 - (1) コード比較
 - (2) 重陽子のニュートリノ反応の導入
- 長時間計算
 - (3) 極付近の粗視化による長時間計算

Updating Microphysics



EOS: STOS \Rightarrow FYSS

Single nuclei

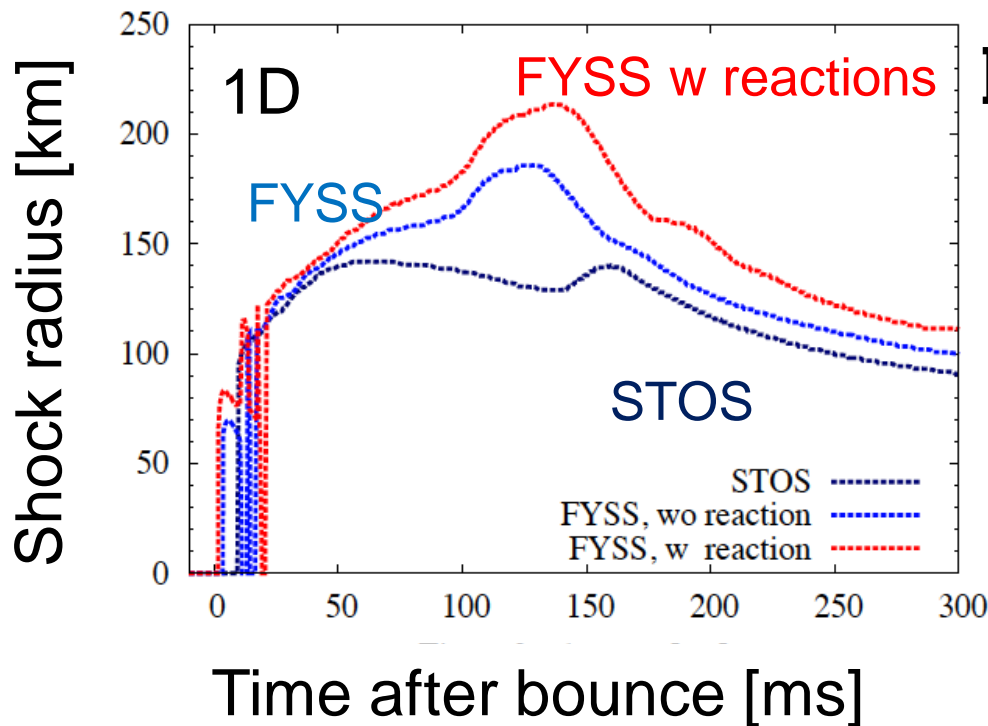
\Rightarrow Multiple nuclei

including lots of light elements

最大で30%も重陽子が出てくる。

爆発領域ではほとんど1%以上ある。

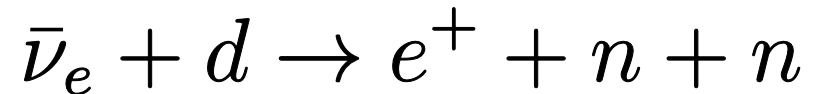
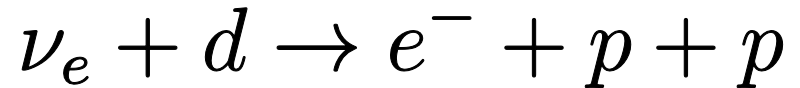
Updating Microphysics



Include reaction rates of



Based on Nasu+2015



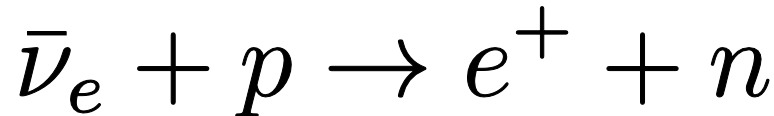
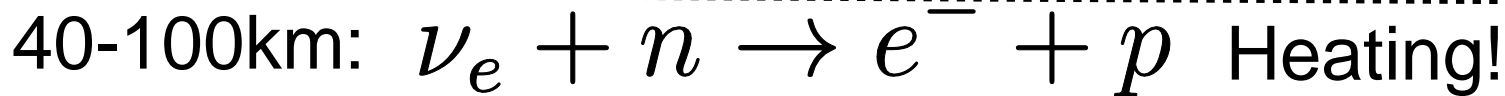
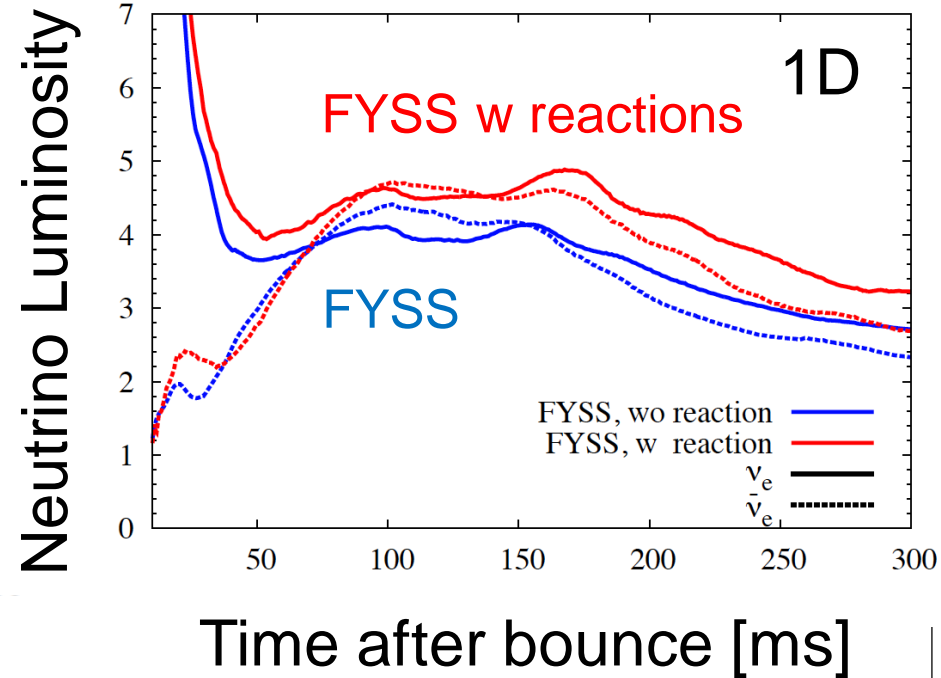
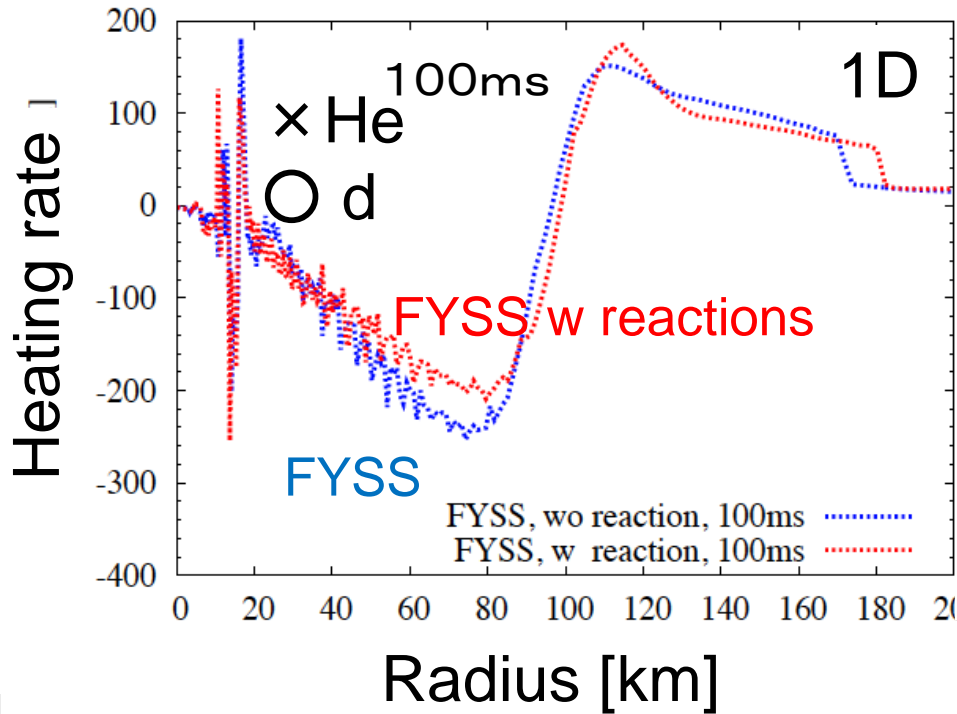
Nakamura+2009

Red: Reaction for deuteron is included.

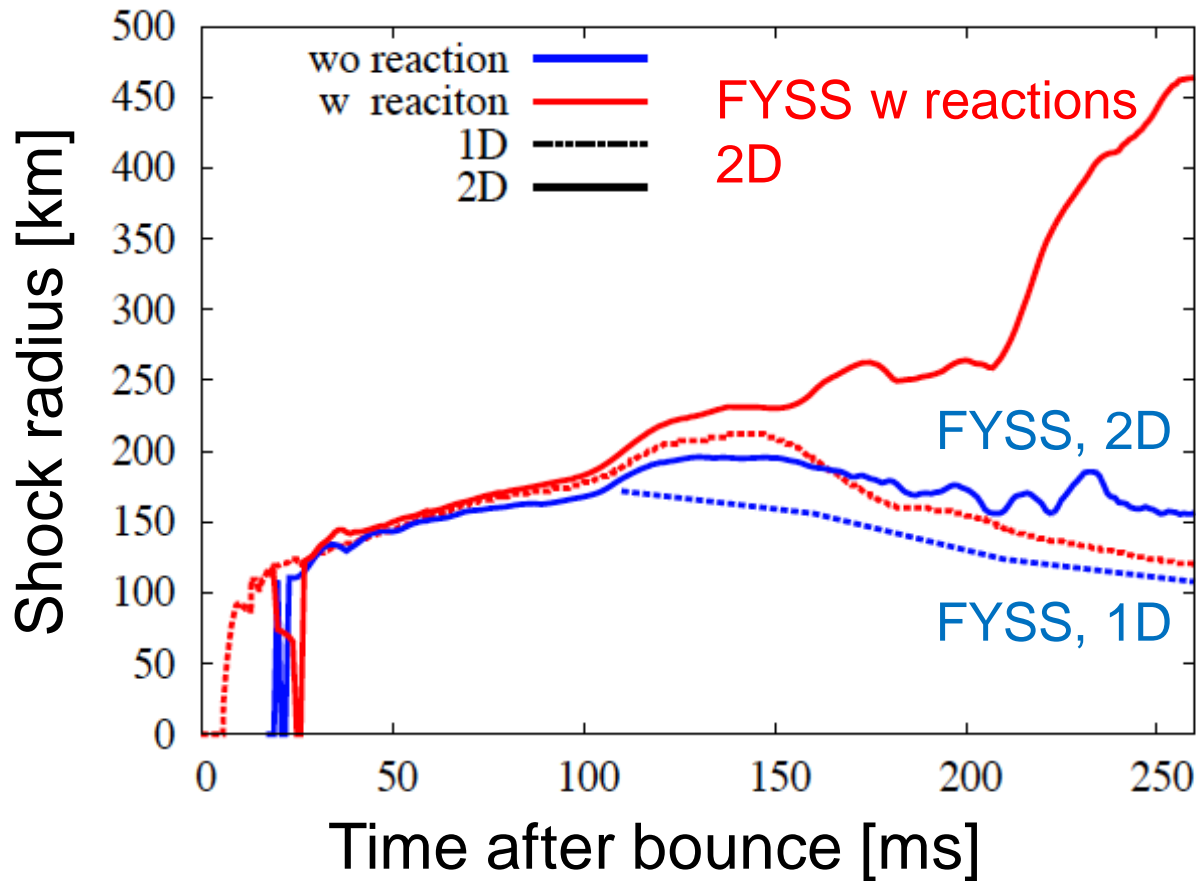
Navy: Previous frame work.

New framework shows larger shock radius
(energetic shock wave).

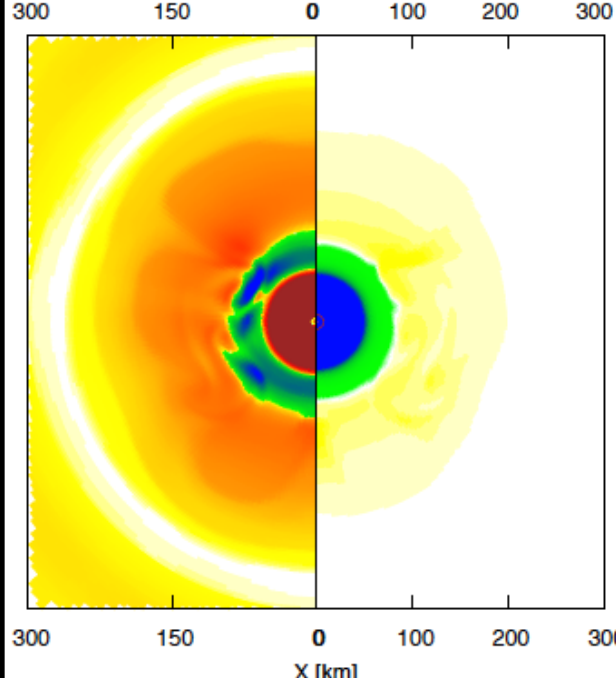
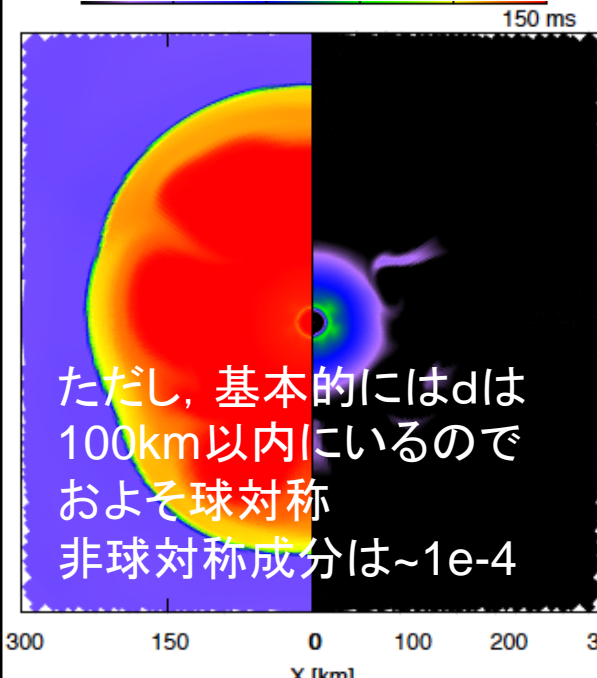
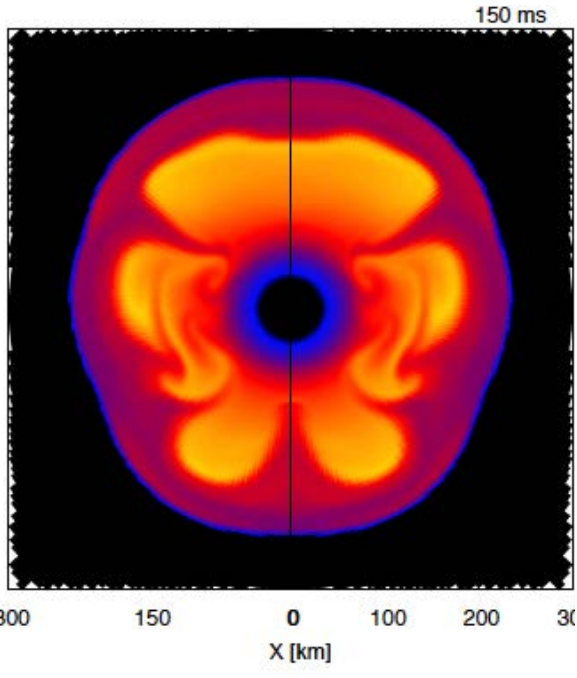
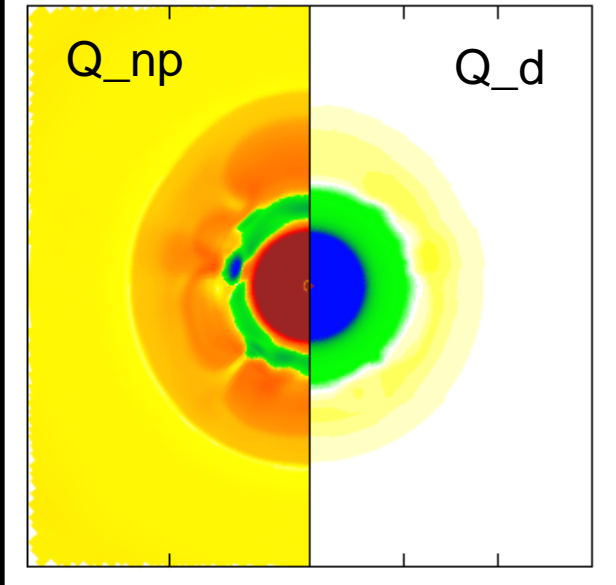
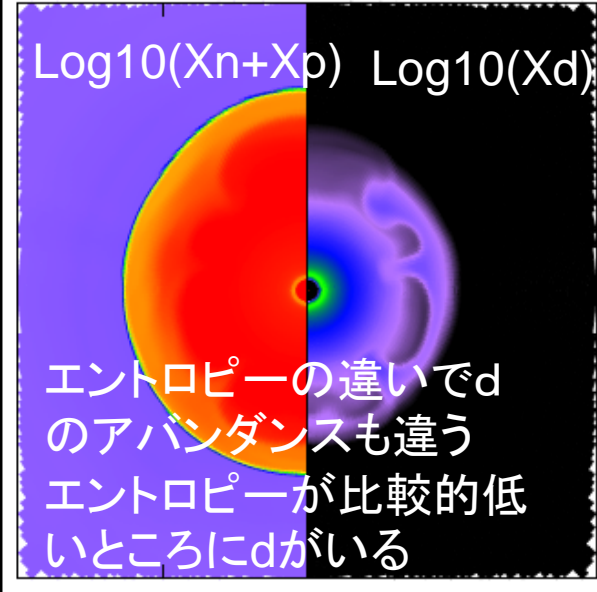
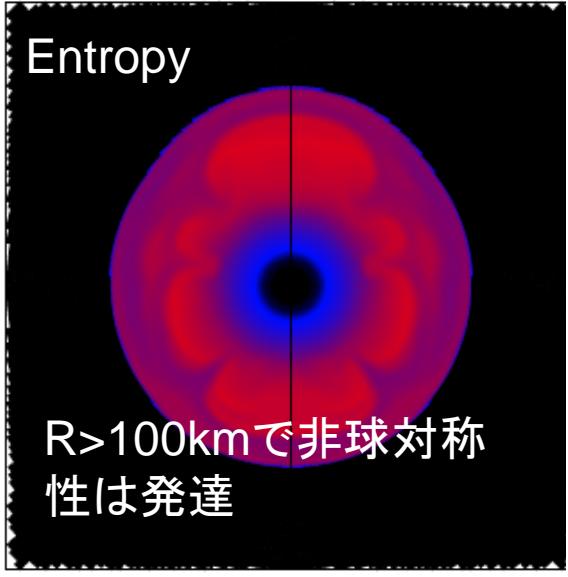
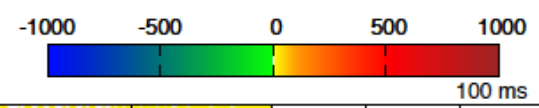
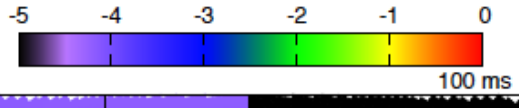
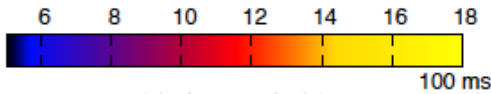
Why deuteron facilitates ν -heating

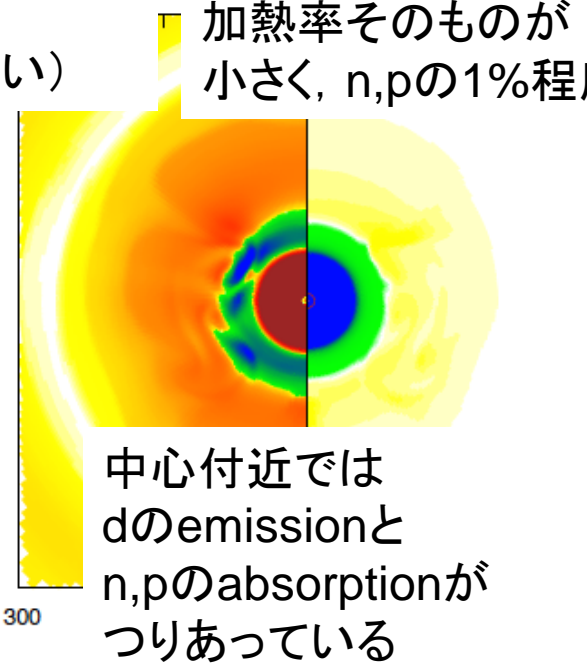
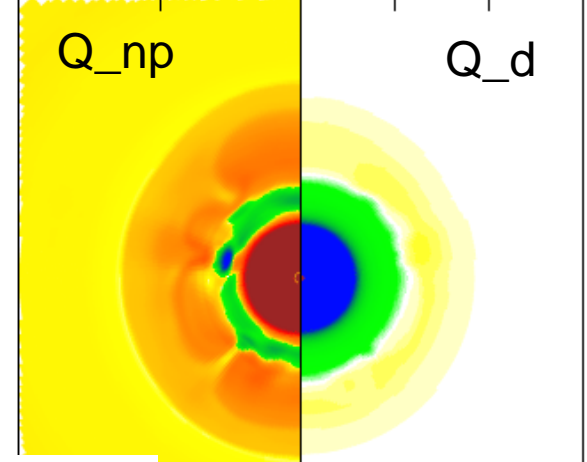
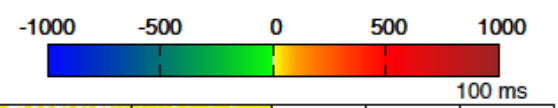
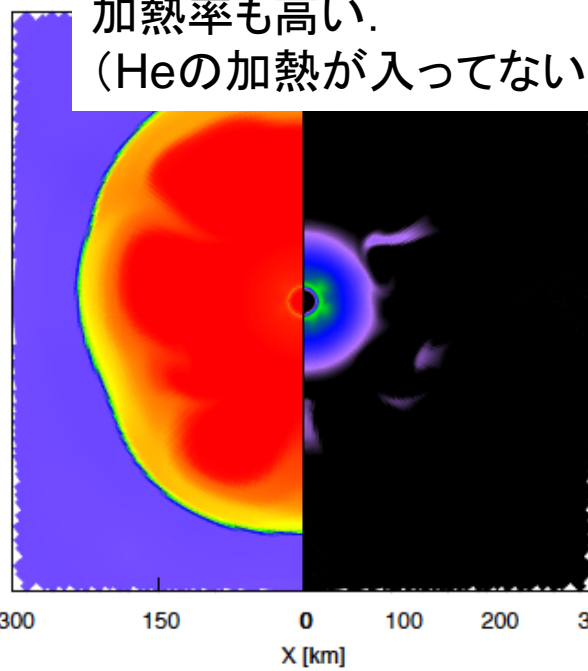
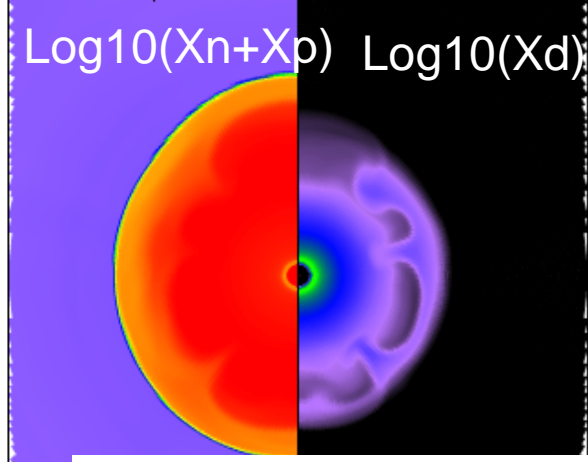
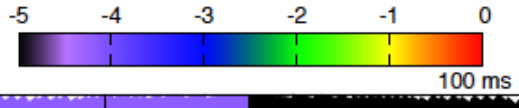
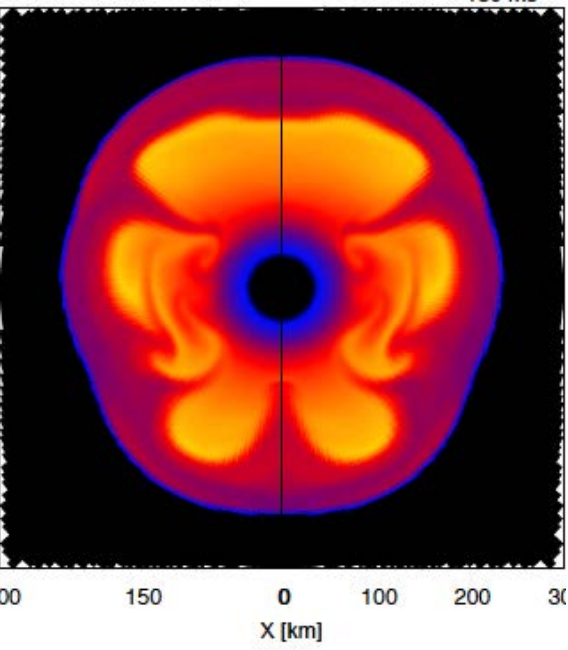
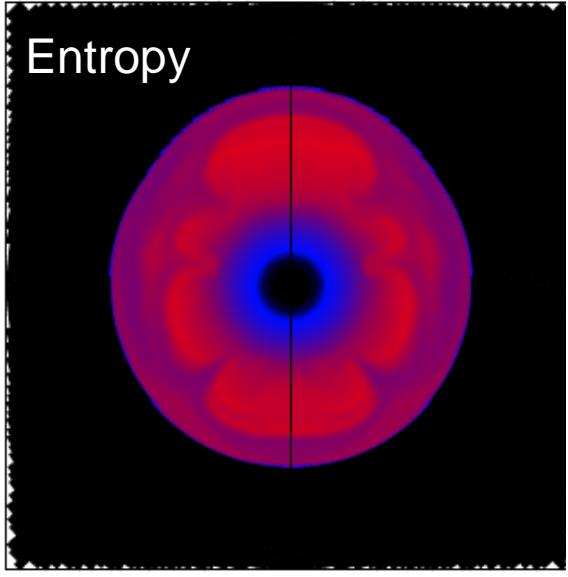
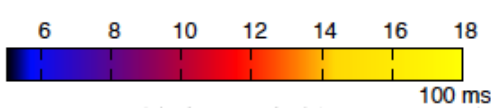


2D simulations and impact of deuteron



In this particular model, inclusion of reaction of deuteron determines whether shock revive or not.





加熱率はアバダンスに比例
熱いところにはn,pが多く
加熱率も高い。
(Heの加熱が入ってないせい)

dによる加熱率も
異方性はあるが、
加熱率そのものが
小さく、n,pの1%程度

中心付近では
dのemissionと
n,pのabsorptionが
つりあっている

目次

- 精密計算
 - (1) コード比較
 - (2) 重陽子のニュートリノ反応の導入
- 長時間計算
 - (3) 極付近の粗視化による長時間計算

長時間計算

3次元計算はおよそ500msしかやられてない.

○爆発エネルギーが決まらない！

○爆発的元素合成も中途半端

3s-10sやれば、次の道が開ける

○爆発エネルギーが決まり、次の計算に初期条件として渡せる

○ちゃんとした $Y_{e,T}$ で元素合成ができ、観測との比較にいける

計算の工夫

○球座標

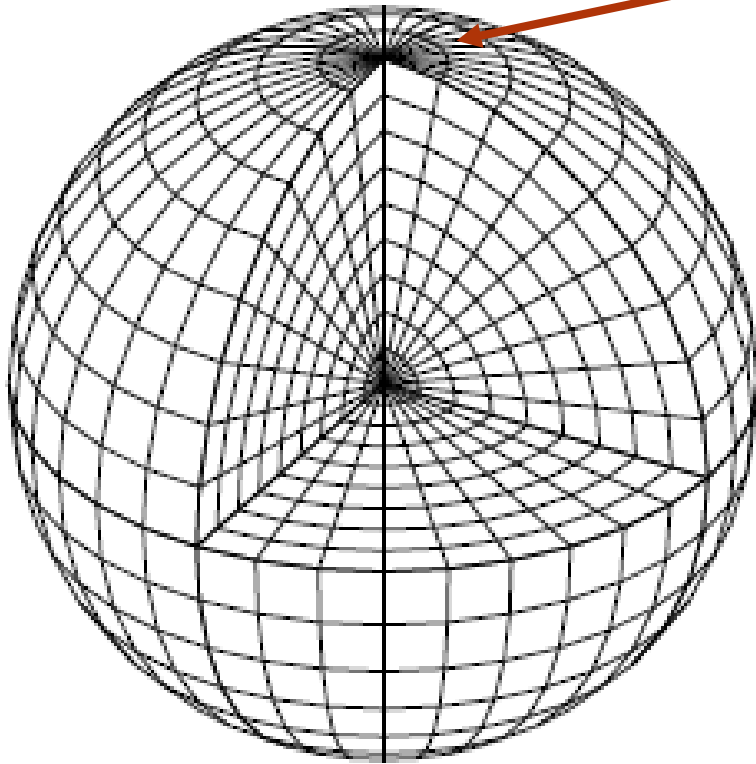
極のクーラン条件がきつい

$$L \sim r \Delta\theta \Delta\phi$$

Cartesianではクーランコンディションはグリッド数の1乗で厳しくなるが、球座標では2乗で苦しくなる。

$$\Delta t \sim L / c_s$$

1stepの時間が短いため、step数が大きく、長時間計算がしにくい。



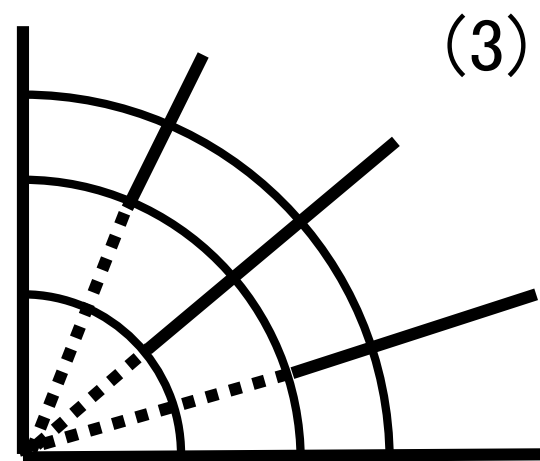
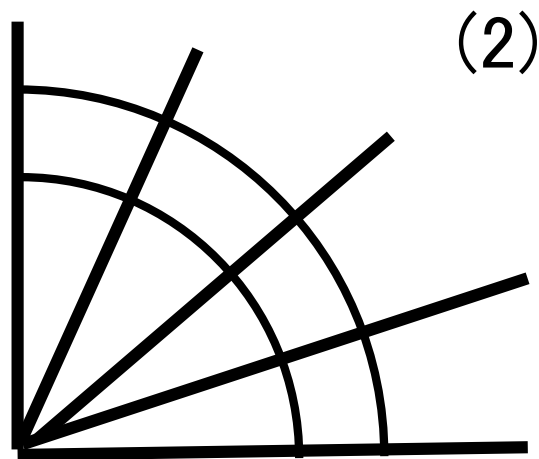
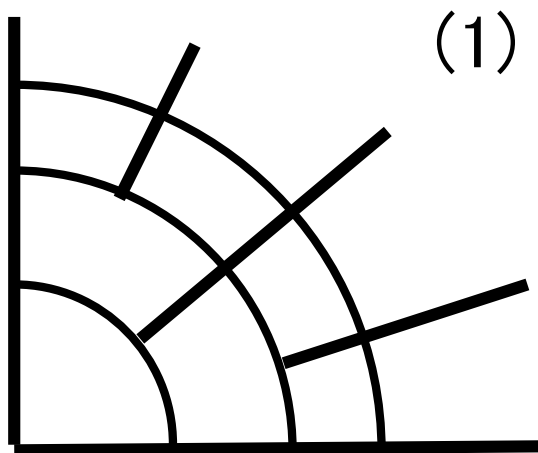
計算の工夫

極付近で荒いメッシュをはる

(1)将来的にFMR(AMR)

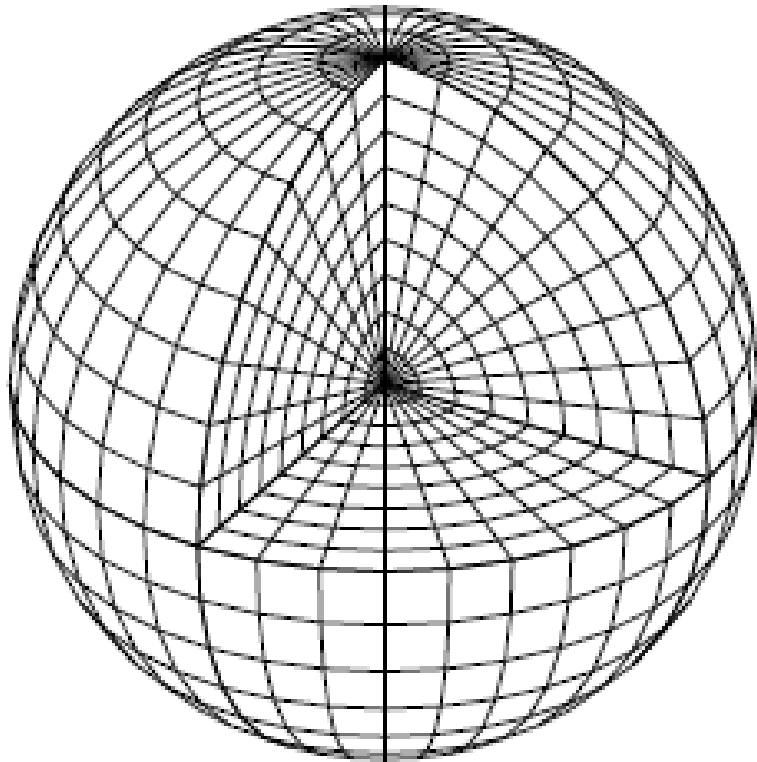
(2)現状は1D化

(3)今回できたのは粗視平均化



計算の工夫

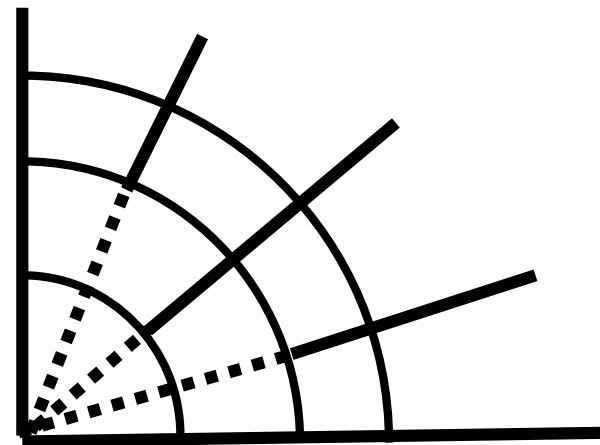
○球座標



(3)の粗視平均化

想定通り10倍のdtで計算で計算できるようになった。

細かいメッシュの時とそれほど結果が変わらないかをテスト中。



まとめ

重点9課題 サブ課題B 超新星班の進捗報告

分野5課題3の3次元の超新星爆発の結果を精密計算と長時間計算の方向に拡張する。

=>精密計算(1)

同じ手法で他のグループの結果と比較してほぼ一致！

=>精密計算(2)

多核種状態方程式と重陽子とニュートリノの反応を追加！
爆発を強める方向

=>長時間計算

メッシュの粗視平均化で計算コストが1/10に！テスト中。