

原始中性子星における 有限温度非一様状態の 核物質

東理大理工 中里 健一郎

共同研究者：富樫 甫（理研）、鷹野正利（早大）
竹原裕太、山室早智子、鈴木英之（東理大）

2015年3月12日－14日 @ 新学術「中性子星核物質」研究会（基研）

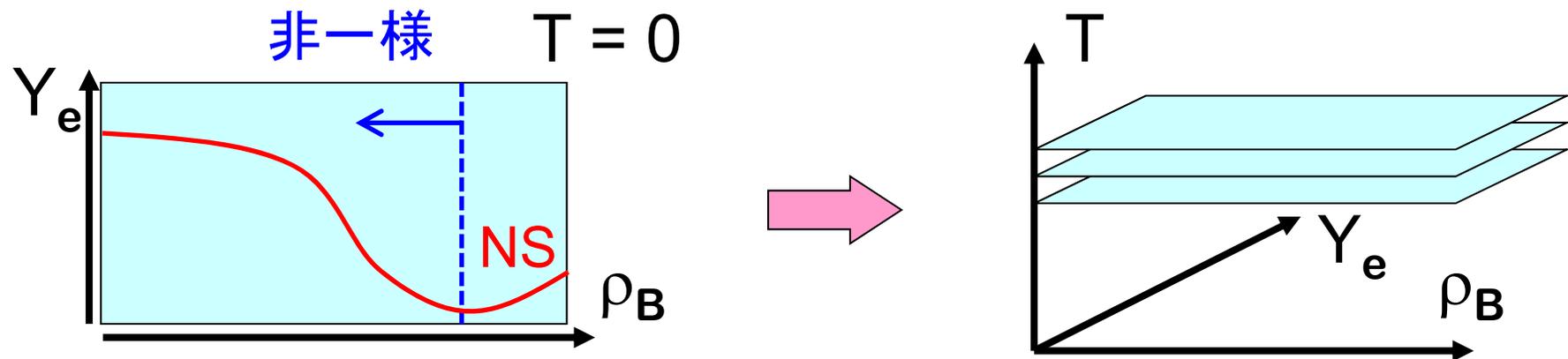
めざすもの

- 新しい超新星状態方程式を作ろう！
(project leader: H. Togashi)

- クラスタ変分法に基づく核物質状態方程式

- **有限温度・非対称・非一様**

(ニュートリノトラップのため電子フラクシオンに自由度)

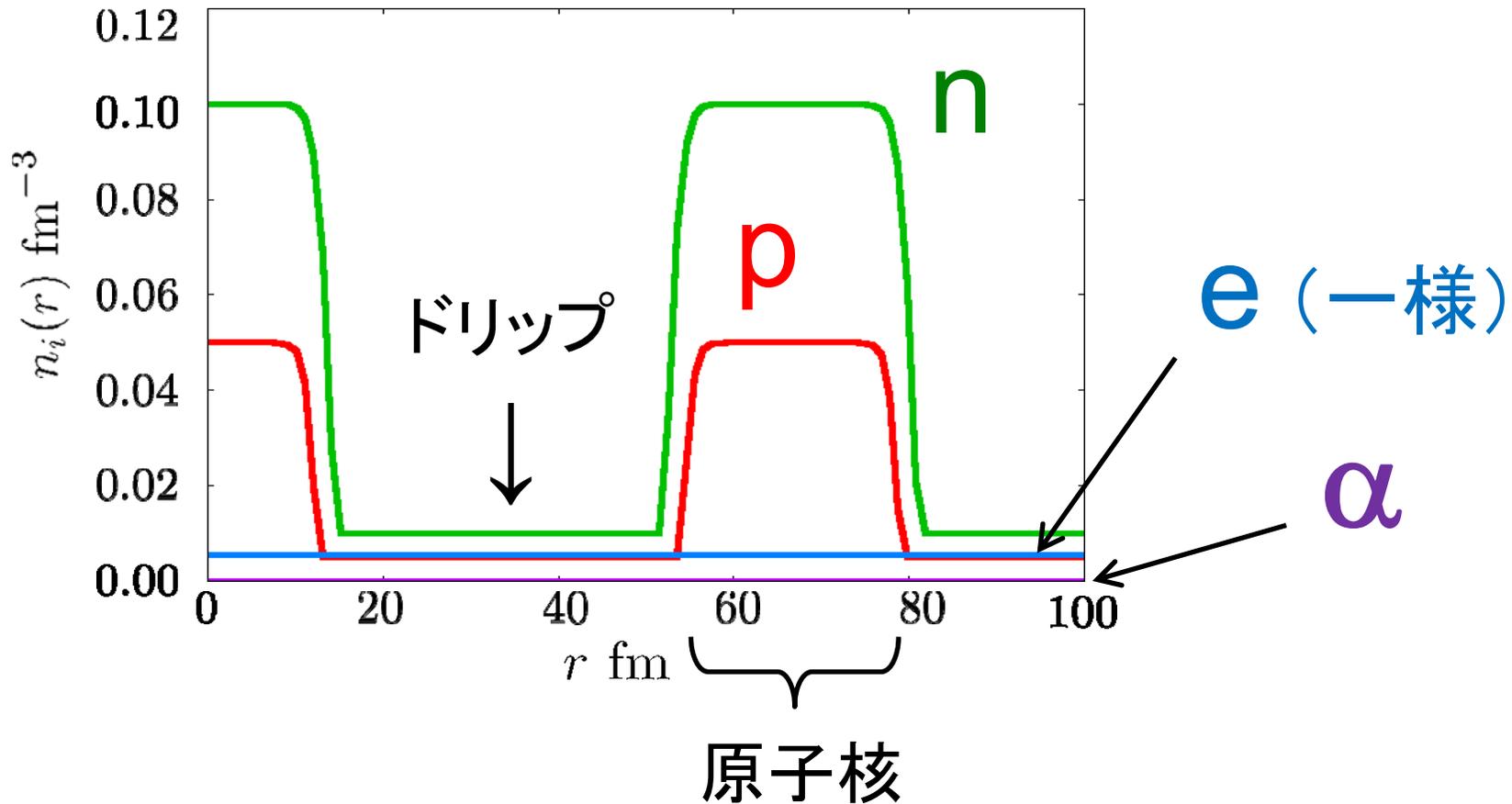


今回の発表

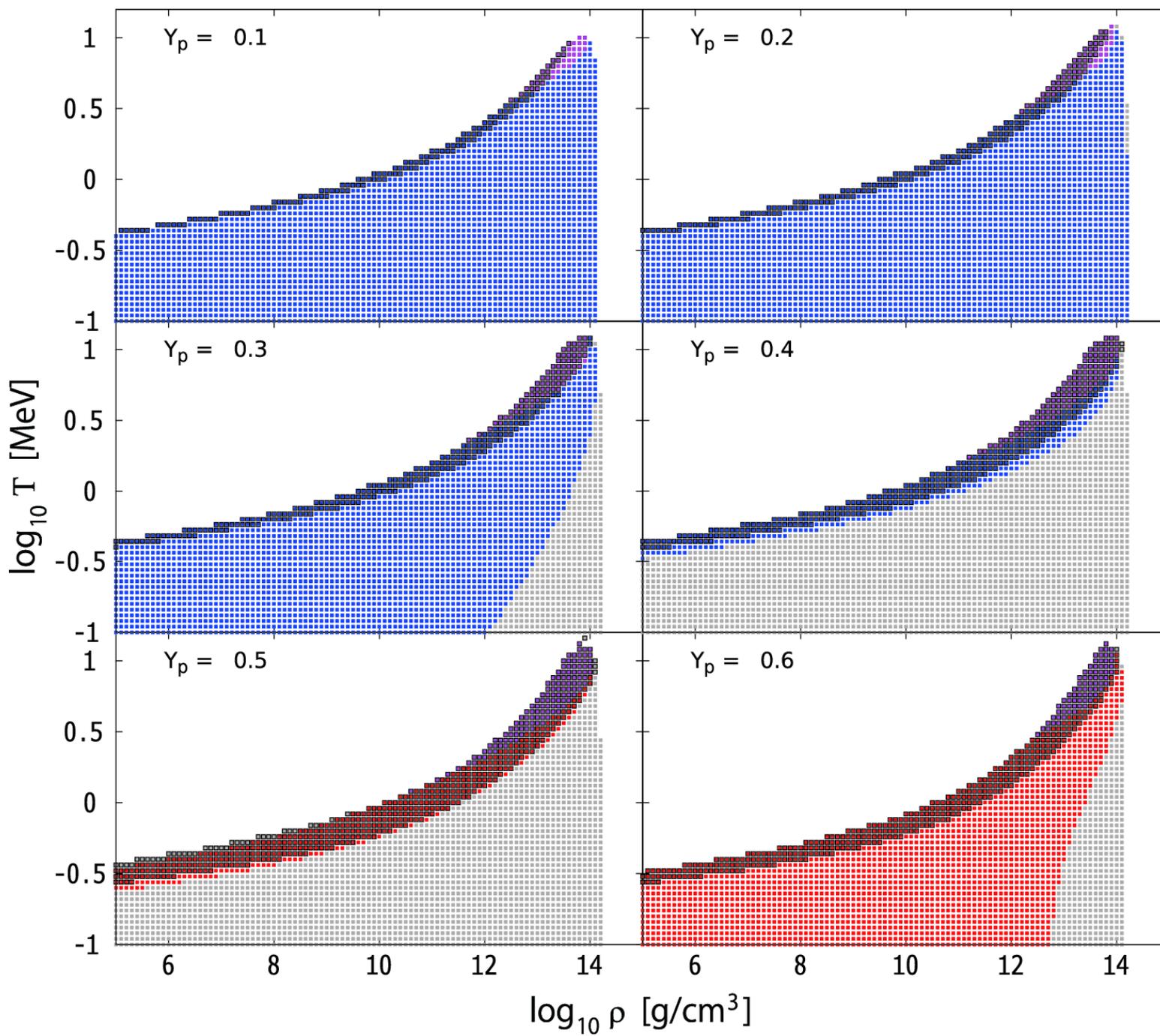
- 有限温度・非一様相の状態方程式が出来たので Shen EOS と比較してみる。
 - Thomas-Fermi 模型 (Oyamatsu 1993)
 - パスタ相は考えない (e.g. Watanabe, Sonoda,,)
- 対称エネルギーの差により、両者にどのような違いが現れるか考察する。
 - ゼロ温度 (i.e. 中性子星クラスト) の場合
 - Oyamatsu & Iida (2007)
 - 原始中性子星の内部では？

Thomas-Fermi 模型

- エネルギー密度を最小にするような粒子数分布を求める。→ 一様 or 非一様？ ドリップ？

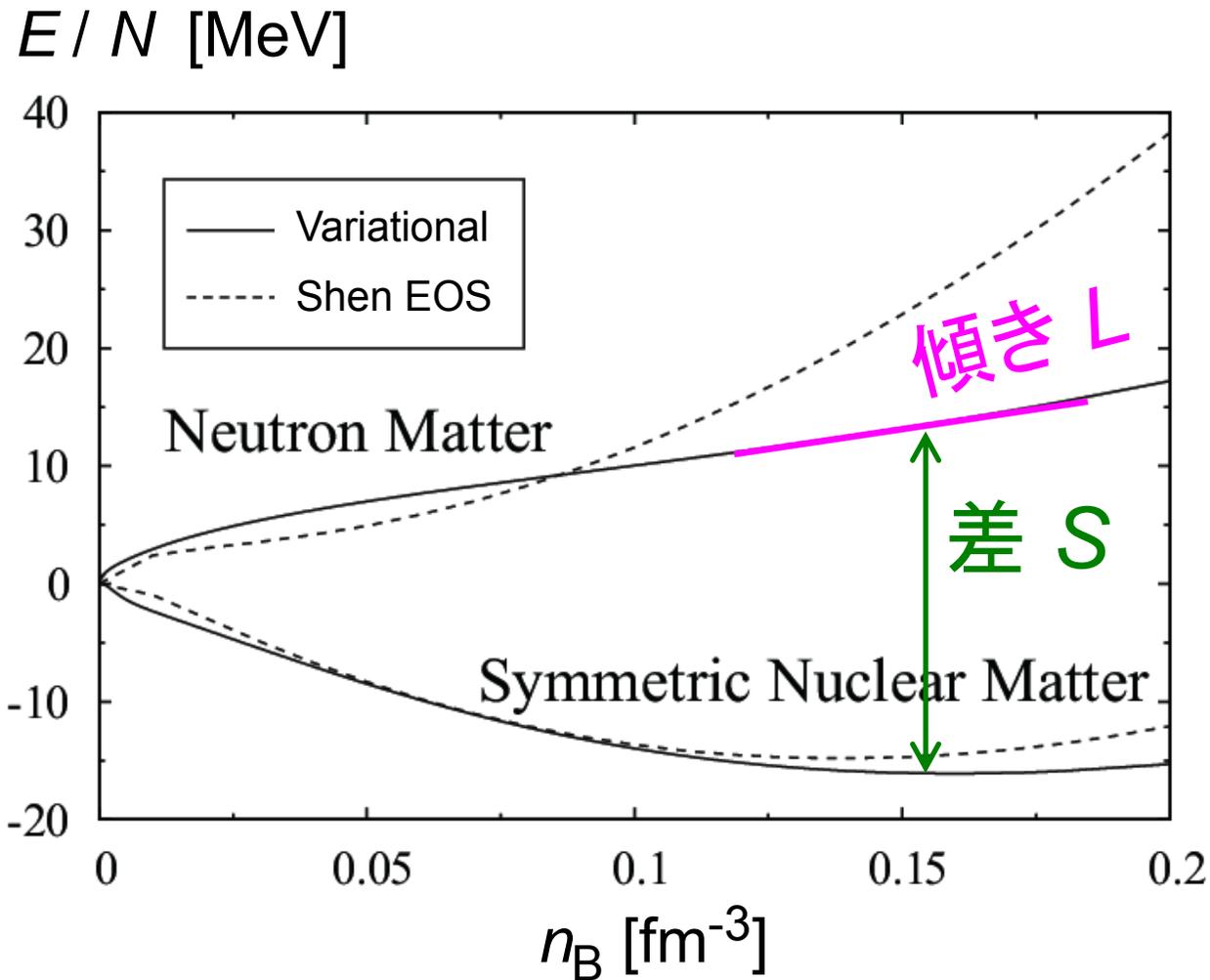


計算結果：相図



対称エネルギー

- 一様対称核物質と中性子物質のエネルギー差



Our EOS
(Variational)

$$S = 30 \text{ MeV}$$

$$L = 35 \text{ MeV}$$

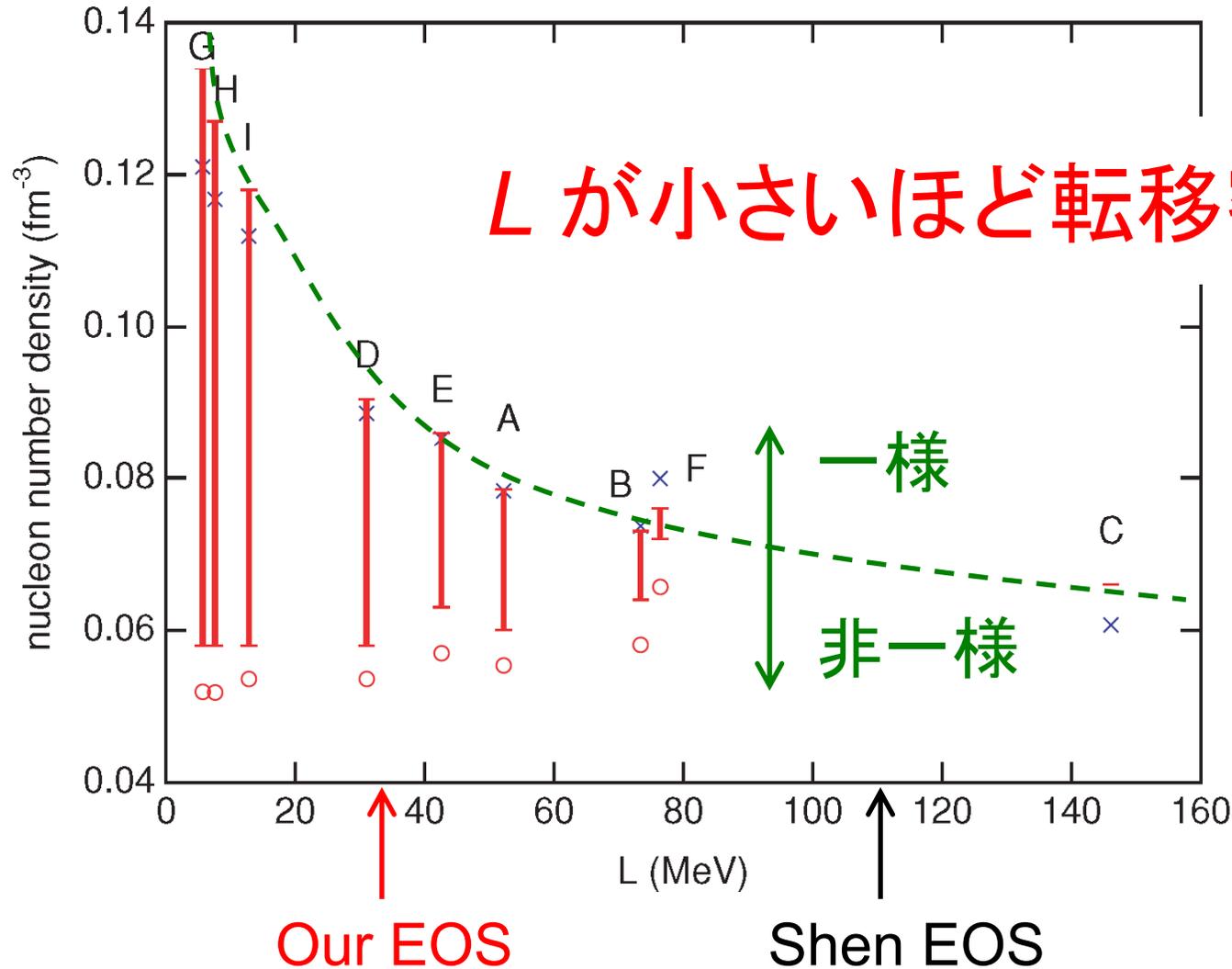
Shen EOS

$$S = 37 \text{ MeV}$$

$$L = 111 \text{ MeV}$$

ゼロ温度（中性子星クラスト）①

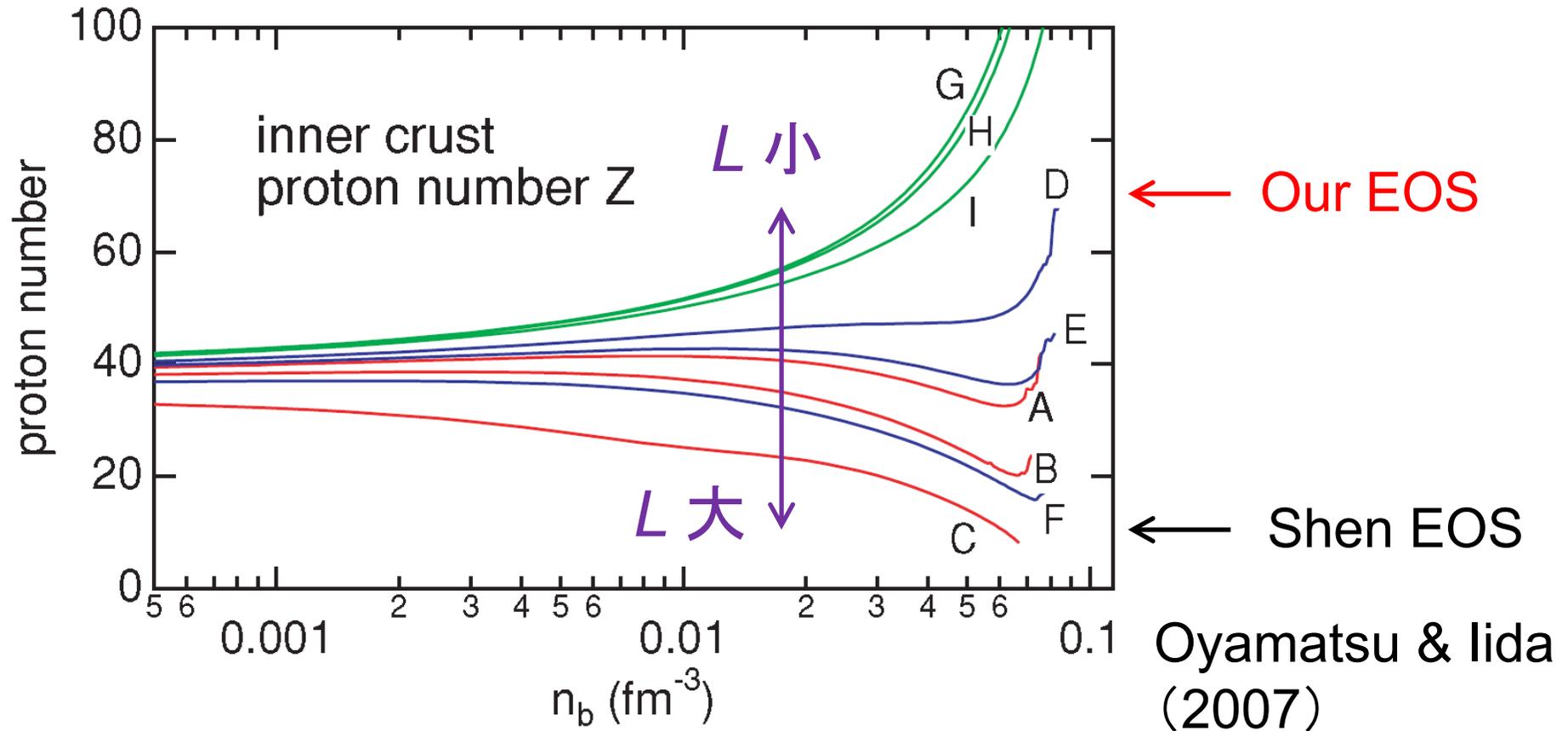
- 一様相への転移密度の L 依存性



Oyamatsu & Iida
(2007)

ゼロ温度（中性子星クラスト）②

- 原子核の陽子数（サイズ）の L 依存性



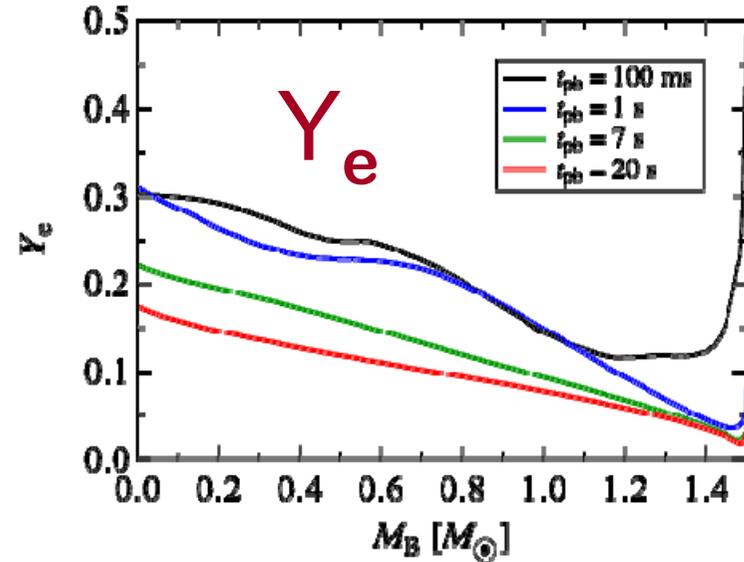
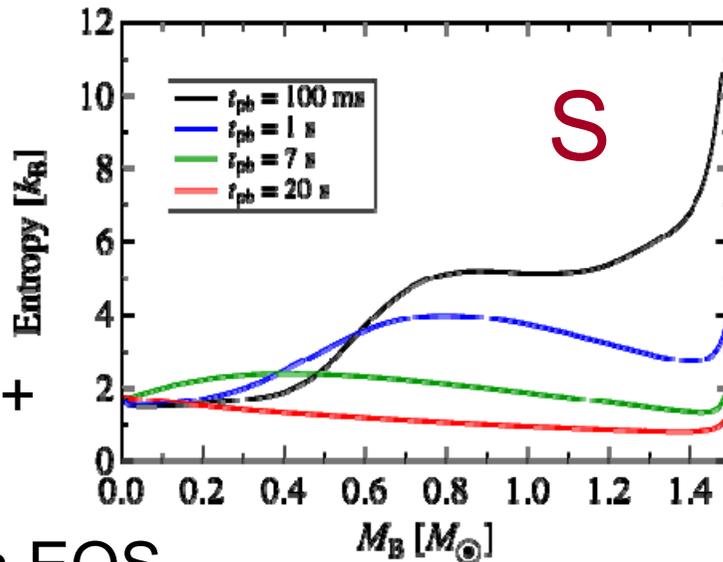
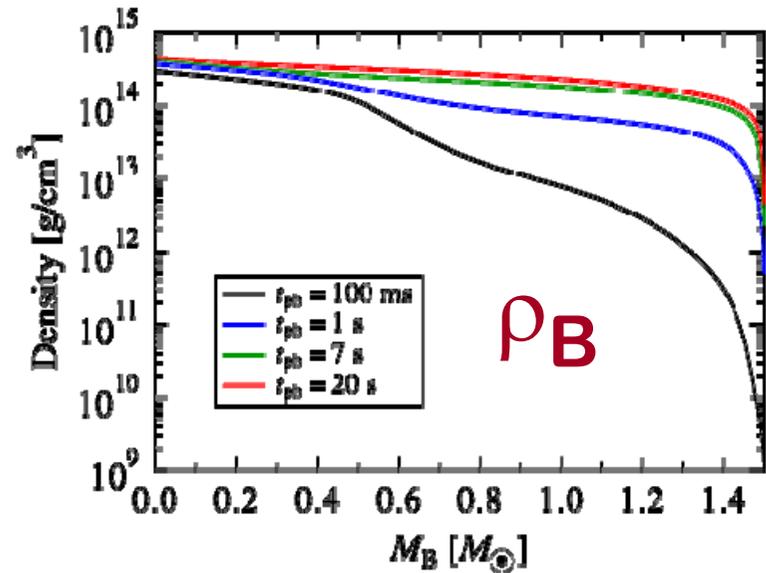
L が小さいほど原子核サイズは大きい

有限温度の非一様状態相

- 超新星爆発ののち原始中性子星が冷却される過程で現れる。→ クラストの形成
- ゼロ温度(中性子星クラスト)では、 L の値によって転移密度や原子核のサイズに違いがみられた。有限温度(原始中性子星)の場合は？
- 原始中性子星冷却シミュレーションより得られた密度・エントロピー・電子フラクションのプロファイルのスナップショットを用いて比較する。

原始中性子星プロフィール

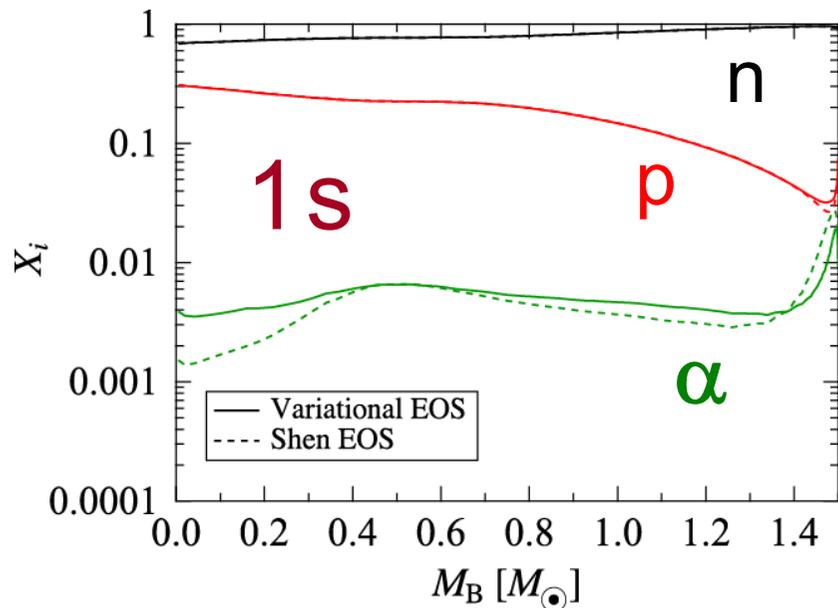
- ニュートリノ輸送を考慮。
- 時間とともに冷却(エントロピーの減少)と中性子化(電子フラクションの減少)がみられる。



Nakazato+
(2013)

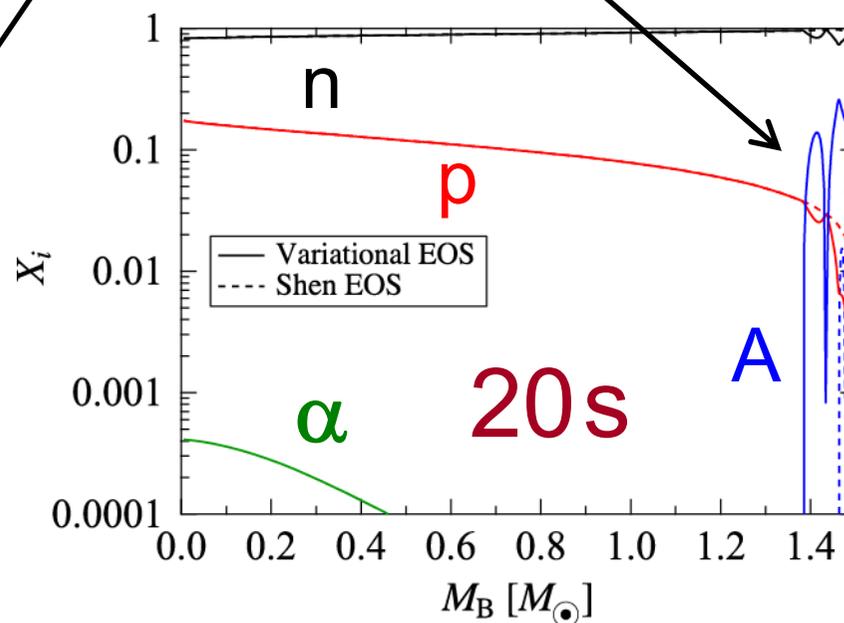
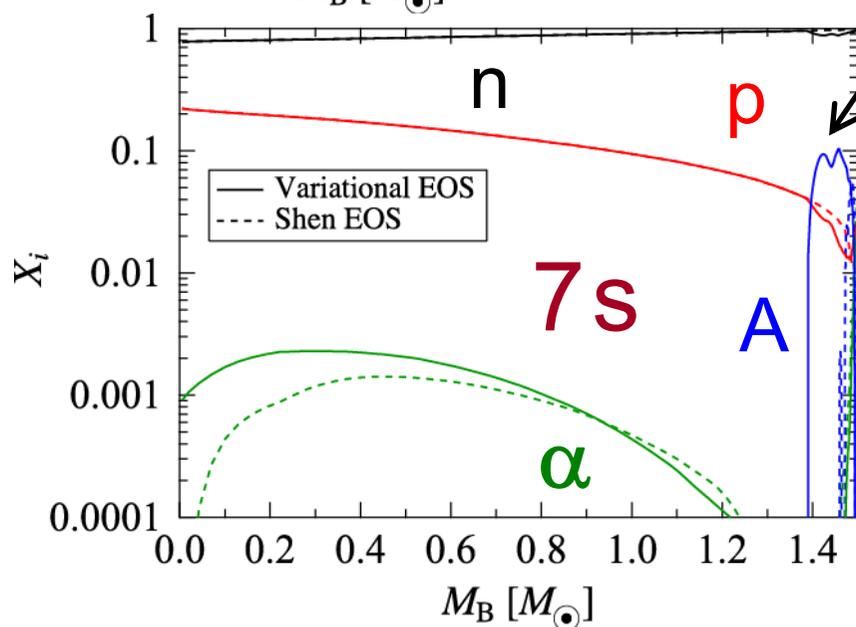
with Shen EOS

原始中性子星内部の状態



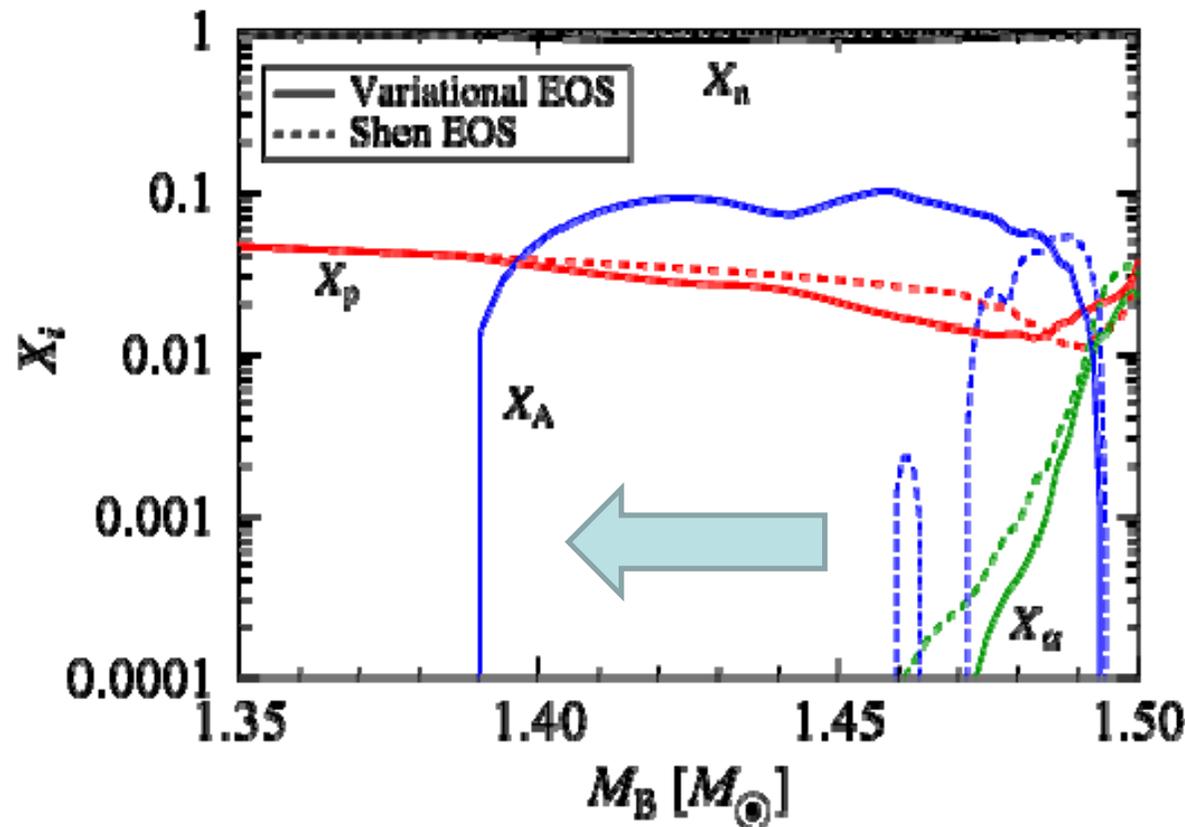
- 外側に非一様相 (クラスト) が形成される。

非一様相の出現



非一様領域の大きさ

- 今回の状態方程式の方が、Shen EOS より内側まで非一様相が広がっている。



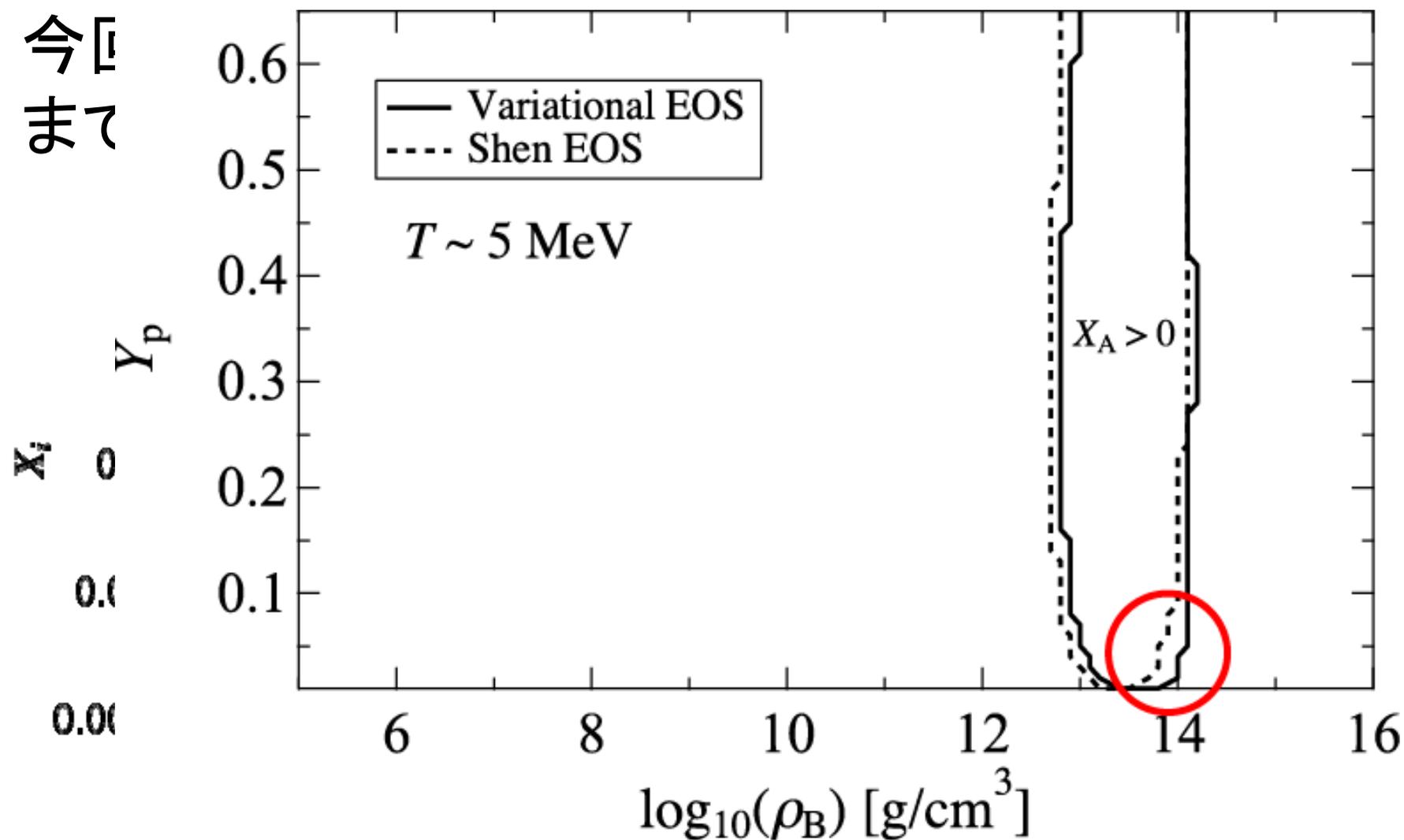
Our EOS
(Variational)
 $L = 35 \text{ MeV}$

Shen EOS
 $L = 111 \text{ MeV}$

→ 転移密度が高いため

非一様領域の大きさ

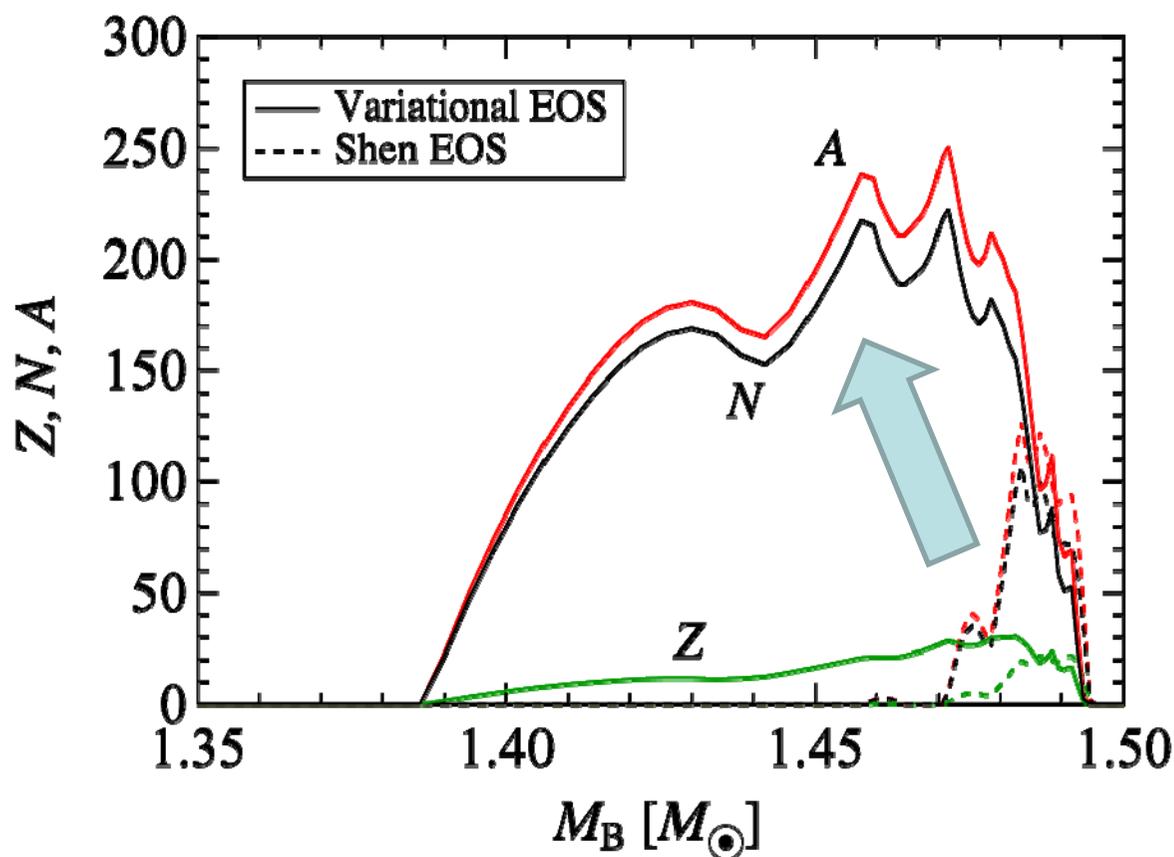
- 今回
まで



→ 転移密度が高いため

原子核サイズの大きさ

- 今回の状態方程式の方が、Shen EOS より原子核サイズが大きい。



Our EOS
(Variational)
 $L = 35 \text{ MeV}$

Shen EOS
 $L = 111 \text{ MeV}$

→ ゼロ温度と同じ傾向 (L が小さいことによる)

まとめと議論

- 新しい有限温度・非一様核物質の状態方程式 (超新星 EOS) を作った。
- Shen EOS と比べて L の値が小さいため、原始中性子星内部で非一様相が広く、原子核サイズも大きいことがわかった。
- 原子核によるニュートリノ散乱のため、原始中性子星の冷却過程に影響が現れると考えられる。
(今後、数値シミュレーションによる検証が必要)

$$\sigma \propto A^2$$

ロードマップ

