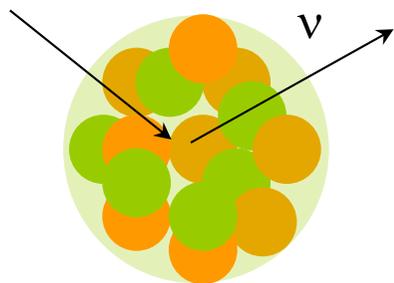
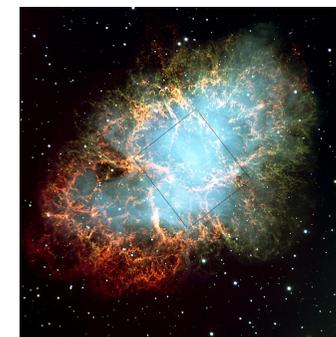


高温高密度物質を探る—大西さんの思い出



住吉光介
沼津工業高等専門学校

かに星雲 (SN1054)



hubblesite.org

- 大西さんの幅広い探求
- 宇宙・天体現象とのつながり

昔の話から

大西さんとの関わり

- 同世代で気楽に話せる仲間
 - 共同研究者・同志・競争相手?
- 出会い
 - 大学院生時代 (若手夏の学校?)
 - 京大基研1990年3月QCD閉じ込め研究会
 - 住吉: 修論テーマ: 初期宇宙QCD相転移
 - 都立大から参加 独り?で心細い
 - 京都の原子核グループの錚々たるメンバー
- すぐに親しく交流する
 - 気軽に声をかけてくれて会話の輪に入れた
 - 心配り、会話の面白さ、人を惹きつける魅力

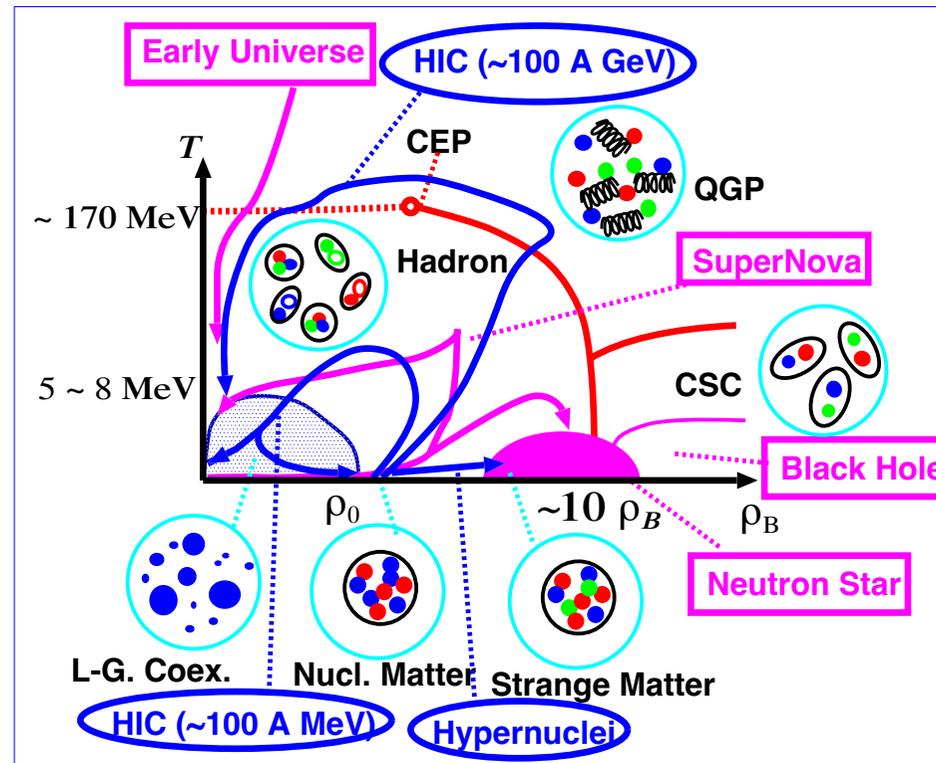
大西さんとの関わり

- **機会あるごとに会うと楽しく話す**
 - 柔らかい話から固い話まで
- **学会・研究会のコーヒブレーク・懇親会**
 - 発表にまつわる疑問・豊富なアイデア
 - 冗談を言い合う、関西人 (vs 東京人)
- **物理学会の核理論懇談会後**
 - 原子核物理の現在・今後について真剣に語る
 - 業界の裏話、家族や札幌の話、などなど
- **雑談から色々なアイデアが湧き出る**
 - 楽しい話題が先行、共同研究が生まれる

大西さんの幅広い探求

- 高温高密度での極限物質を探る
 - 原子核・ハドロン・クォークを俯瞰する
 - 実験・理論・観測をすべて活かす

大西さんの頭に
常に入っている



住吉は
宇宙・天体物理との
繋がりでお手伝い

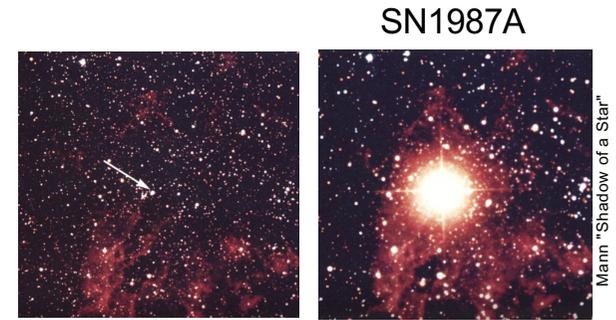
科研費基盤C報告書(大西2008)より

重力崩壊型超新星爆発

- 大質量星($>10M_{\text{sun}}$)の最期
- 中性子星・ブラックホールの誕生
- 自然界での元素の起源
- 爆発メカニズムの問題

高温高密度物質の性質は？

Equation of State (EOS)



Before

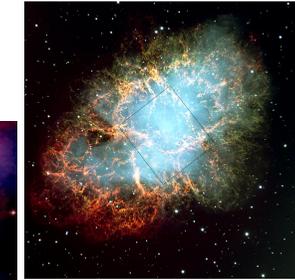
After

かに星雲 (SN1054)

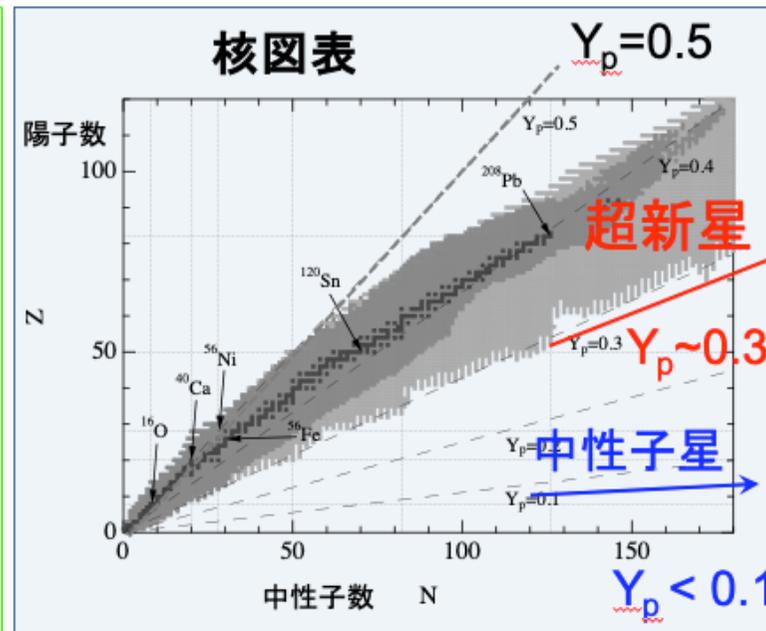
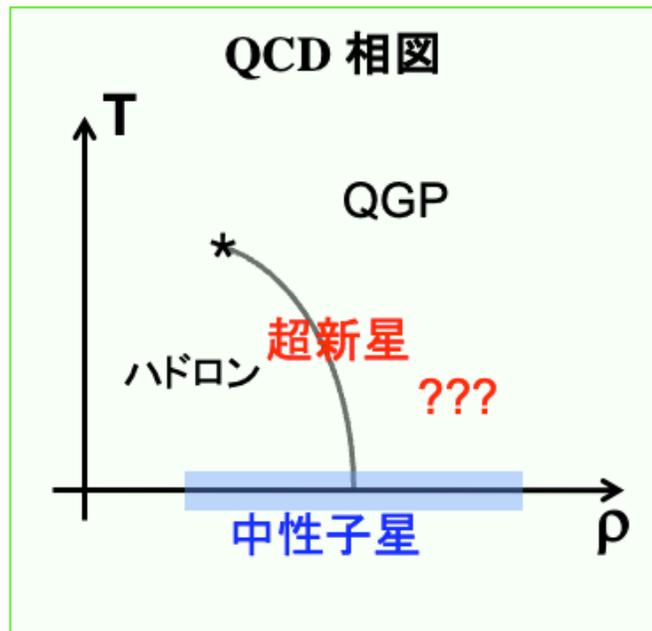
かにパルサー



中性子星



超新星残骸



中性子星よりさらに極限的？

ca. 1991年~

爆発時にどの領域に達する？

新たな粒子が出現する？

北大時代の大西さんとの仕事

ca. 2000年~

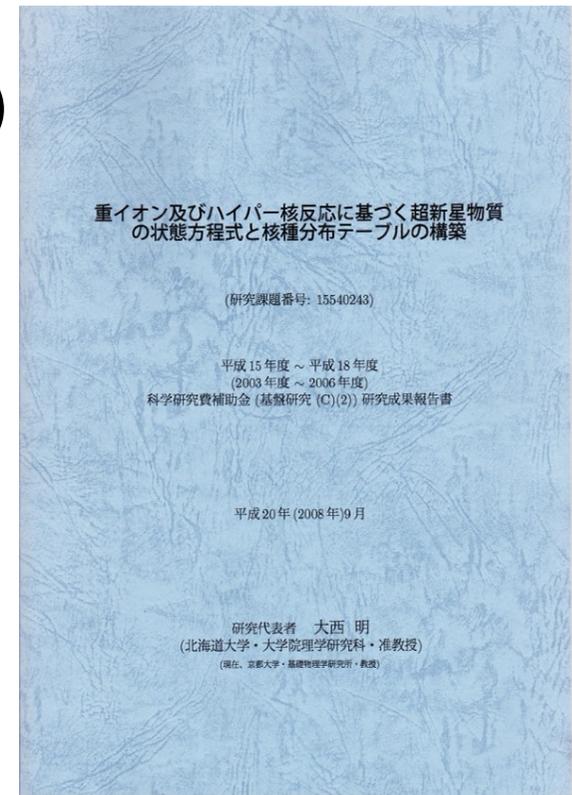
- 高温高密度における原子核の混合組成
 - ストレンジネスを含む超新星状態方程式
- 科研費基盤C (2003年度~2006年度)

- 重イオン及びハイパー核反応に基づく超新星物質の状態方程式と核種分布テーブルの構築

– (代表者:大西明, 分担者:住吉光介)

始まり?

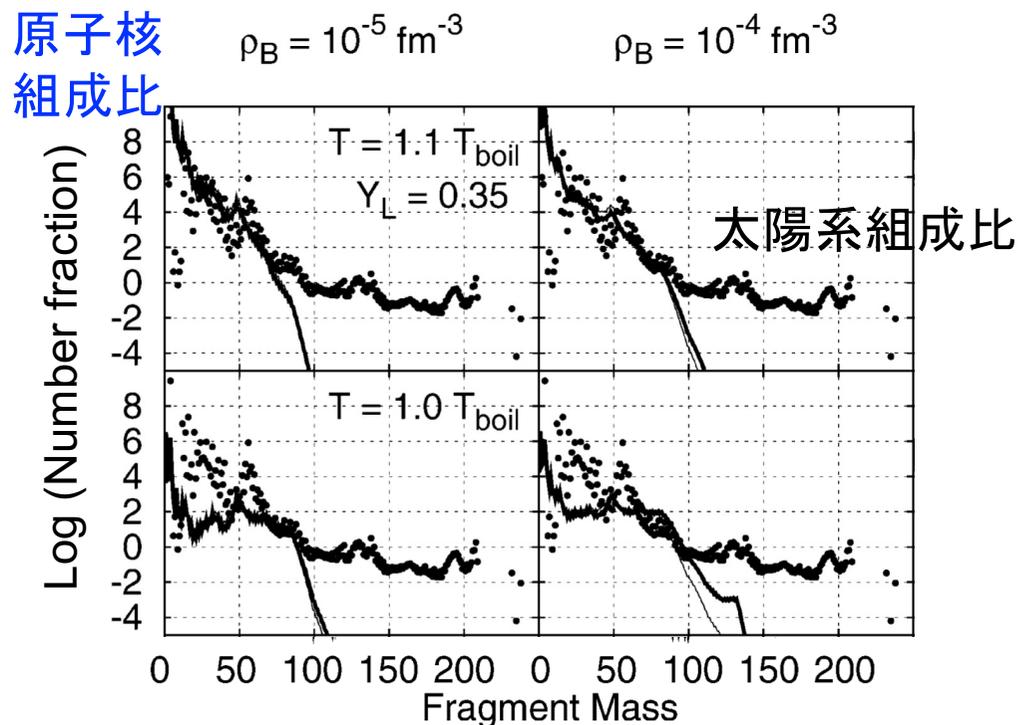
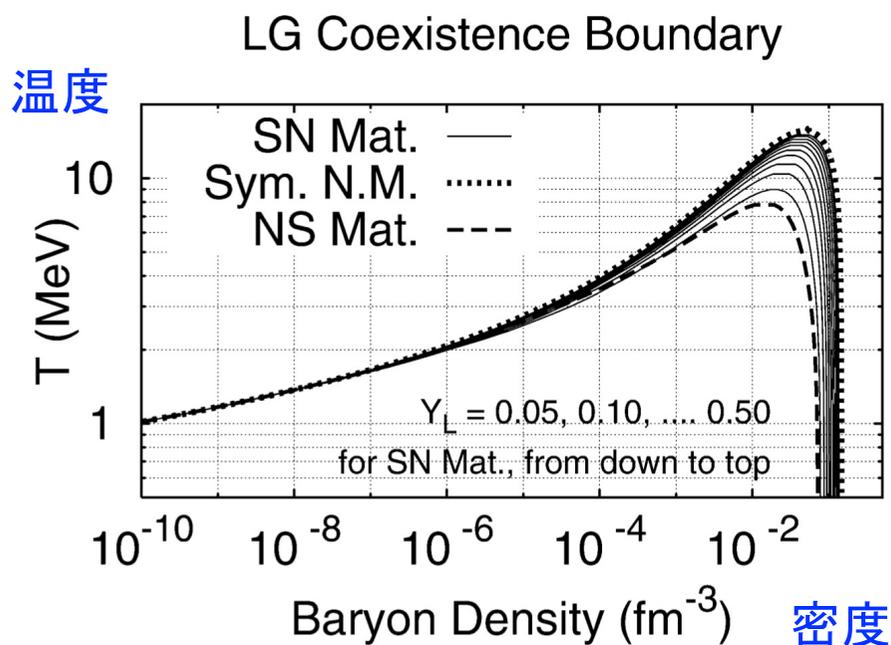
1999年3月研究会@原研東海のあと、メールやり取り



高温高密度での原子核の混合組成

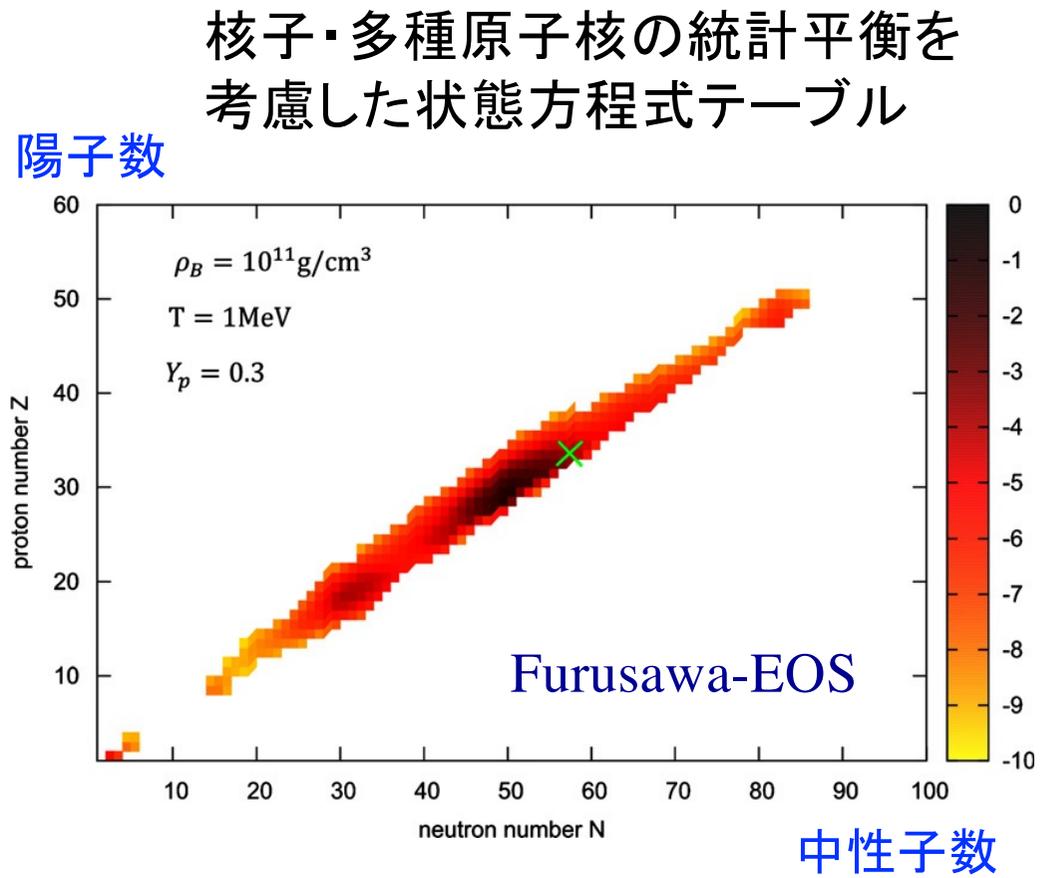
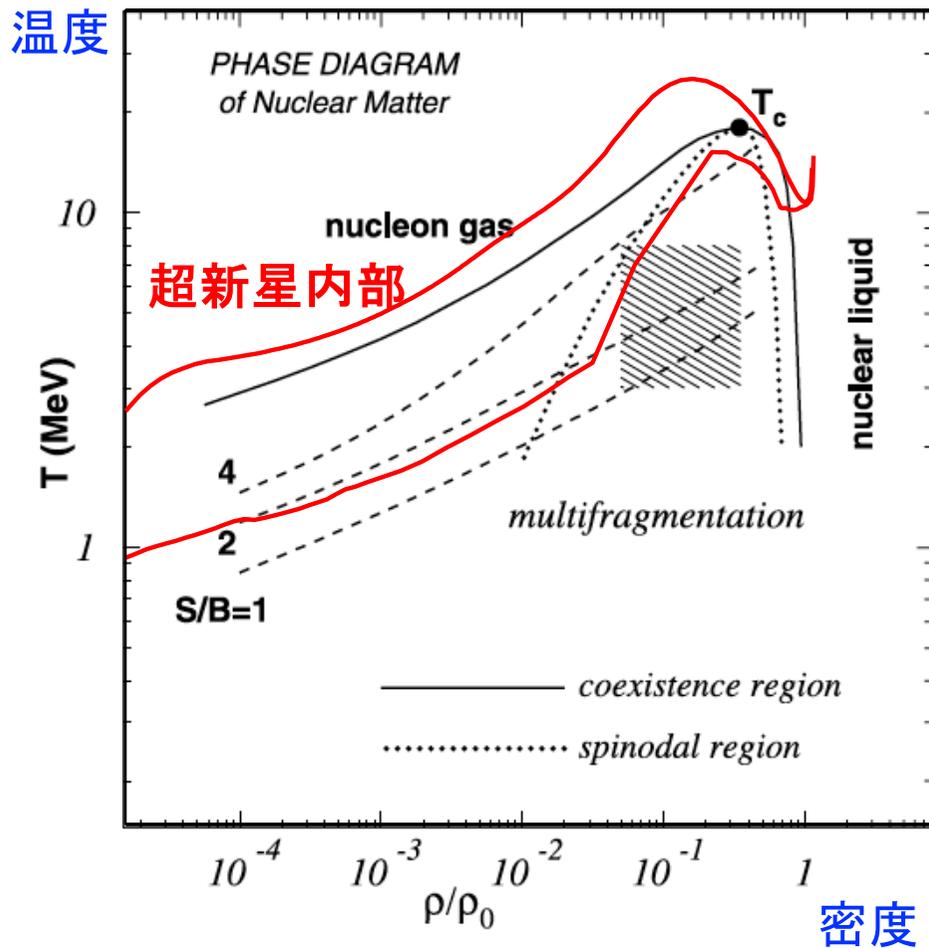
ca. 2000年~

- 大西さんの質問
 - 超新星爆発で重元素を一気に作れないか？
- 高温高密度で多様な原子核が現れる条件
 - 核物質の液相・気相相転移(重イオン衝突を念頭)



原子核混合組成の研究 その後

- 超新星の内部で原子核組成の考慮は重要
 - 爆発ダイナミクスに影響を及ぼしうる ex. Harada et al. ApJ (2020)



Botvina-Mishustin NPA (2010)

Buyukcizmeci NPA (2013)

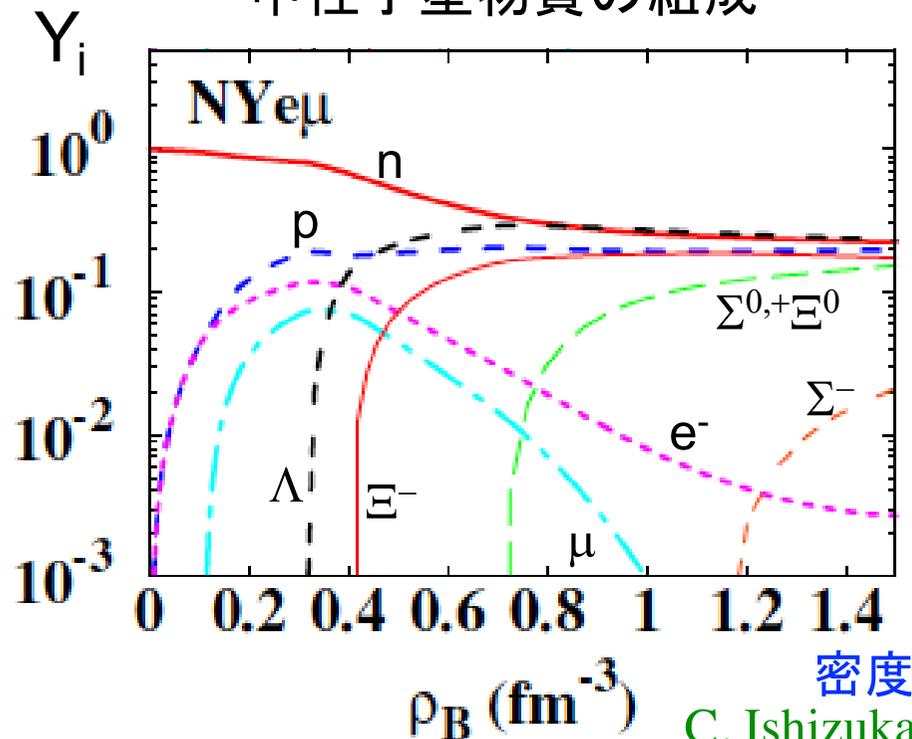
Furusawa, Yamada, Sumiyoshi & Suzuki ApJ (2011, 2013, 2017) 8

高温高密度でのハイペロン混合組成

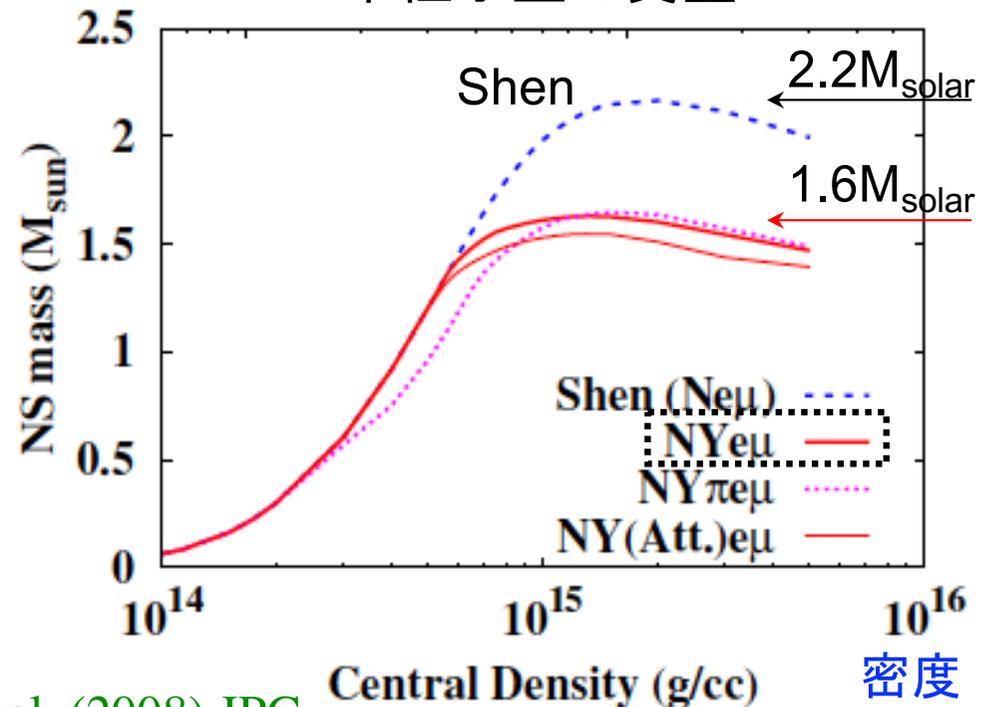
ca. 2006年~

- 住吉: ハイペロンなどの出現可能性
 - 超新星状態方程式 Shen EOS table (1998)を拡張
- 大西さん: ハイパー核のデータ重視
 - RMF theoryの拡張と相互作用を吟味

中性子星物質の組成



中性子星の質量



C. Ishizuka et al. (2008) JPG

超新星の状態方程式 with strangeness

- 広い密度・温度・組成をカバーする ca. 2008年~
- データテーブルとして公開 (石塚さん代表作)
- EOSDB: 状態方程式拡張・ツール公開の先駆け

C. Ishizuka et al. (2015) PASJ

<http://asphwww.ph.noda.tus.ac.jp/eos-gate/index.html>

The screenshot shows the EOSDB website interface. At the top, there is a navigation bar with links: EOSDB Top, Search and Plot, Entry Info., For Developers, and About Us. Below this is a "Contents Menu" and "About EOSDB" section. The main content area features the "CompOSE" logo, which includes a stylized spiral and the text "CompOSE". To the right of the logo, it says "CompStar Online Supernovae Equations of State" and provides the URL <https://compose.obspm.fr>. Below the logo, there are two buttons: "Prev" and "Next". The search result displayed is "IOTSY(TM1Y30) Sigma potential 30 MeV". To the left of the search result, there is a vertical list of links: EO, Sea, Ent, For, Abc, U, JIN, NA, ND, SA. At the bottom right, there is a small box showing "Nparam = 3" and "Particles = npeaNRBs".

ワークショップ@北大 2004年8月

- “Supernova explosion and nuclear EOS”
 - P. Danielewicz, K. Sumiyoshi



- ゲスト・家族への細かな心づかい
 - バーベキュー、エクスカーション(小樽, 羊ヶ丘)

ワークショップ@沼津高専 2007年3月

- “Numazu workshop on supernova EOS”



- 手弁当での集まり
 - 駆けつけてくれた
 - 自由に活発な議論

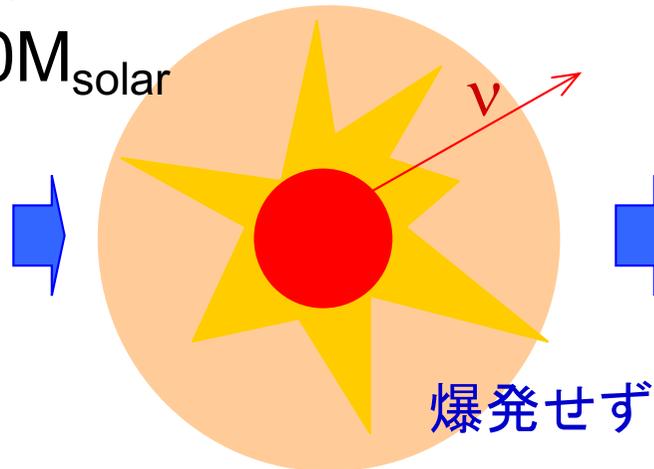


ブラックホール誕生における影響 大西さん基研

- Hyperon EOS tableをシミュレーションへ応用

親星鉄コア

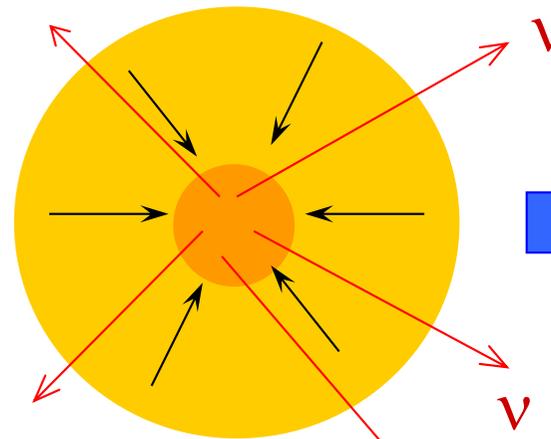
ex. $40M_{\text{solar}}$



重力崩壊

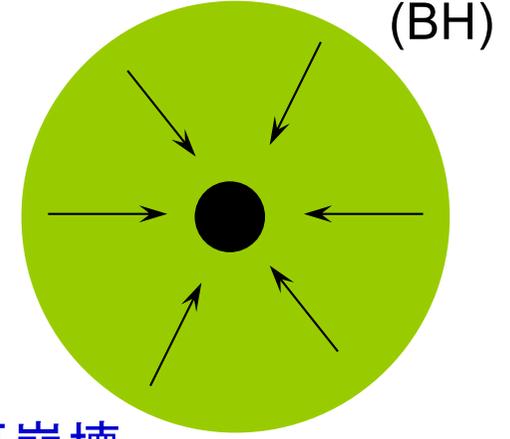
バウンス

原始中性子星



質量降着

ブラックホール (BH)

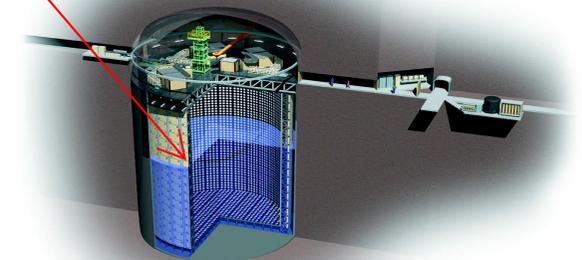


再崩壊

- 原始中性子星の質量増加/再崩壊
- BH誕生: ニュートリノ放出が止まる
- 状態方程式の固さに依存

高温高密度でハイペロン出現→軟化

Super-Kamiokande

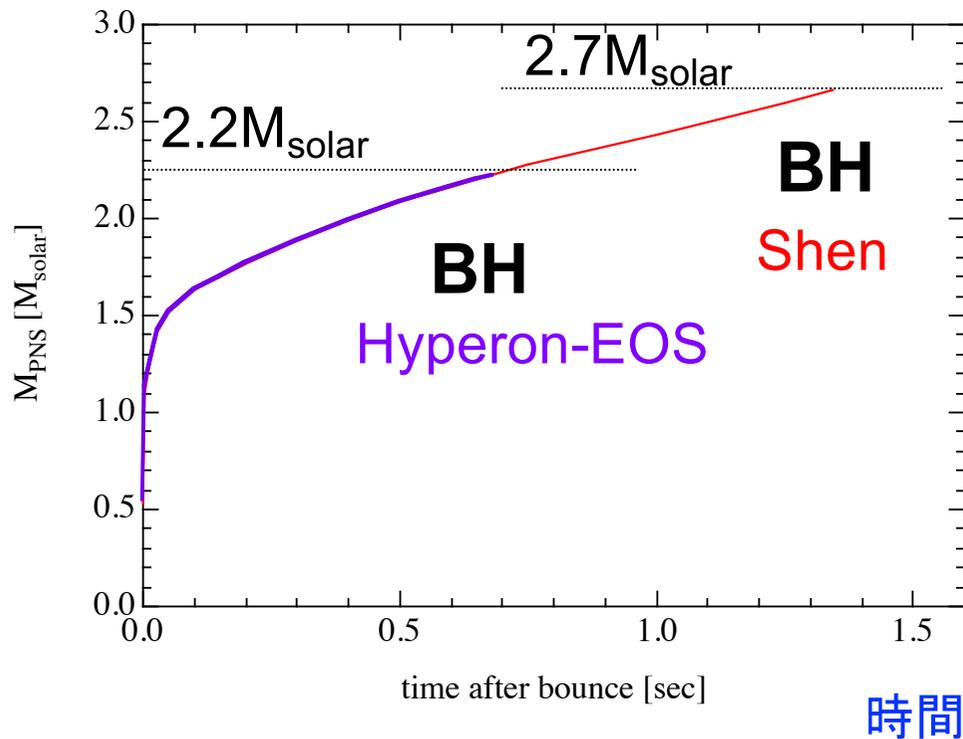


ニュートリノ検出実験

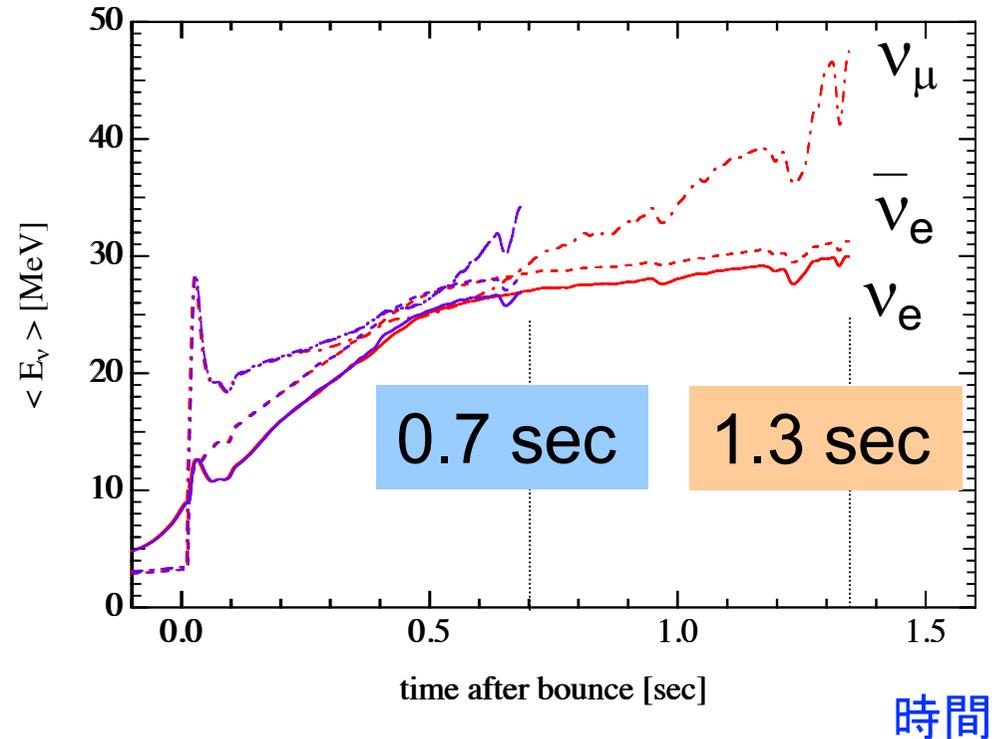
ハイペロン混入による違い

- 状態方程式軟化により、再崩壊が早くなる
- ニュートリノ放出時間が短くなる

原始中性子星質量の増加



ニュートリノ平均エネルギー

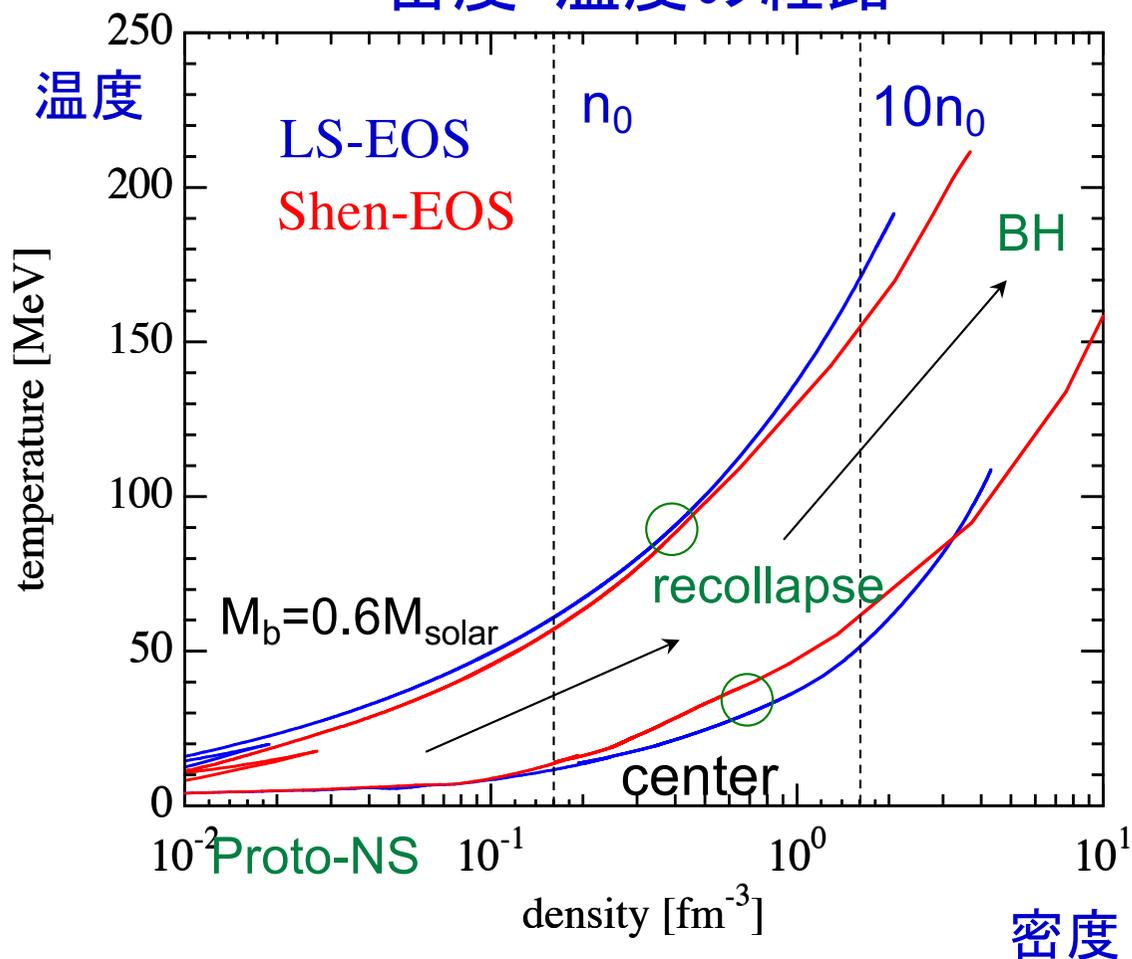


→ 観測から内部組成を探る手段

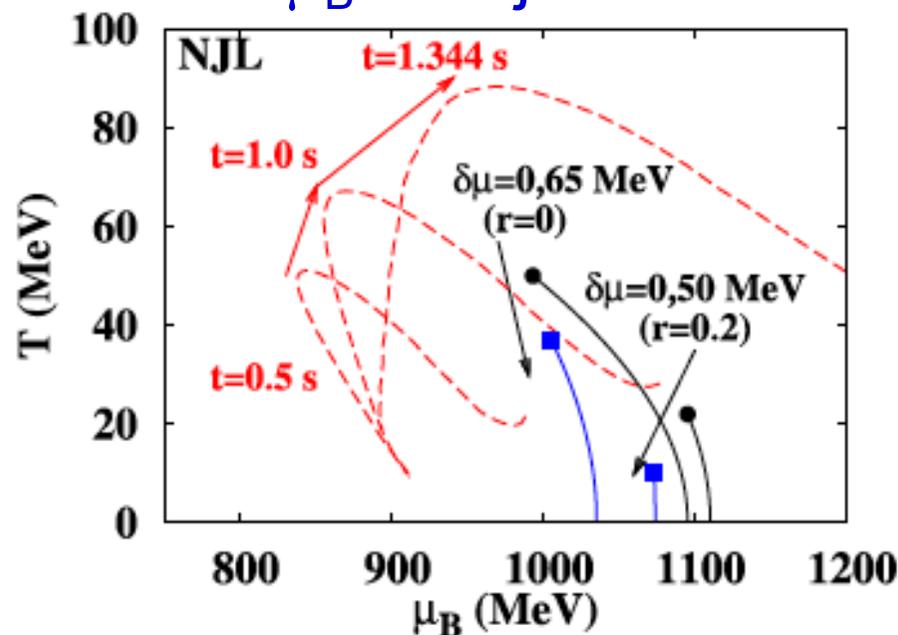
ブラックホール誕生時の極限物質を探る

- 大西: 相転移の境界線を探れないか?

密度・温度の経路



μ_B -T trajectories

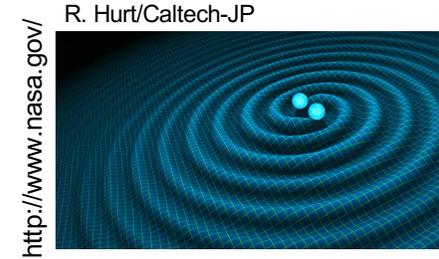


- Critical point sweep?

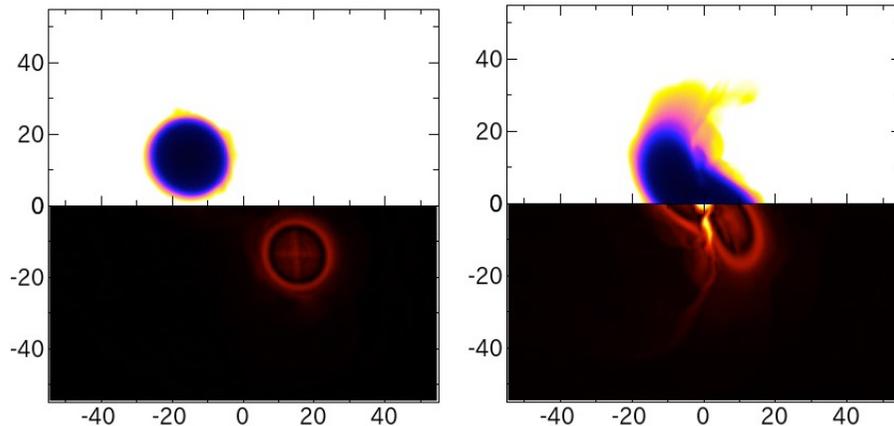
中性子星連星の合体での環境

ca. 2015年~

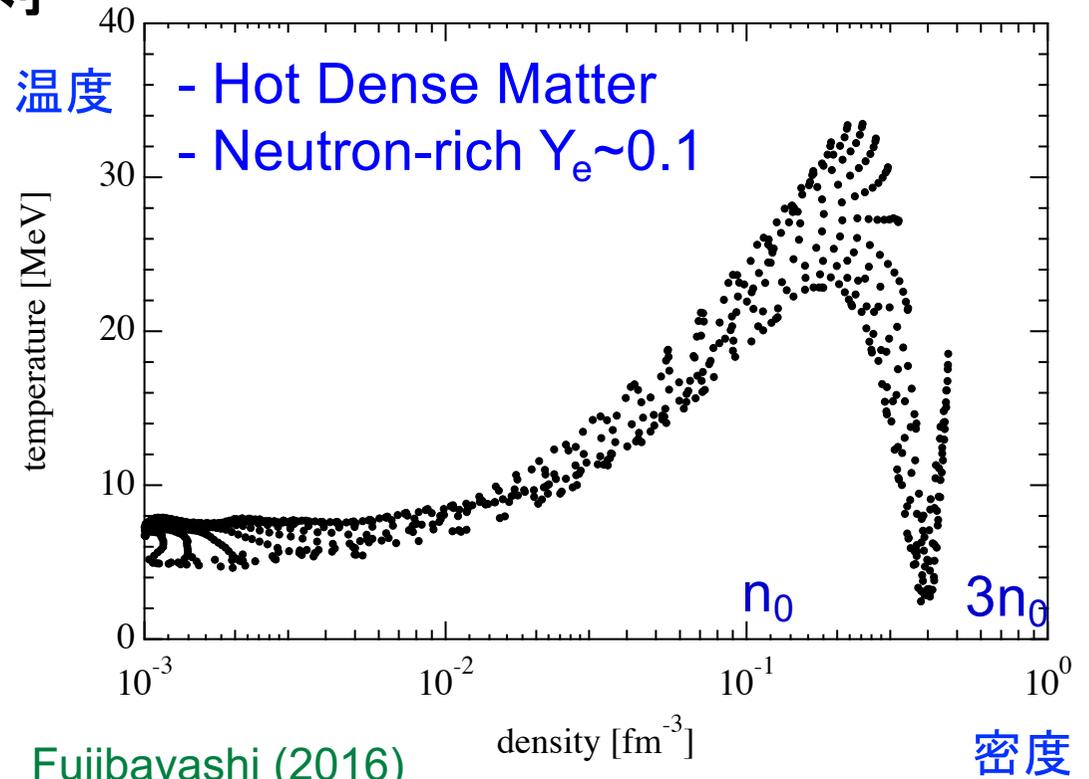
- 極限的な環境、重力波観測
– 高密度・中性子過剰



数値相対論: 大質量中性子星誕生



Sekiguchi et al. PRD (2015)



Fujibayashi (2016)

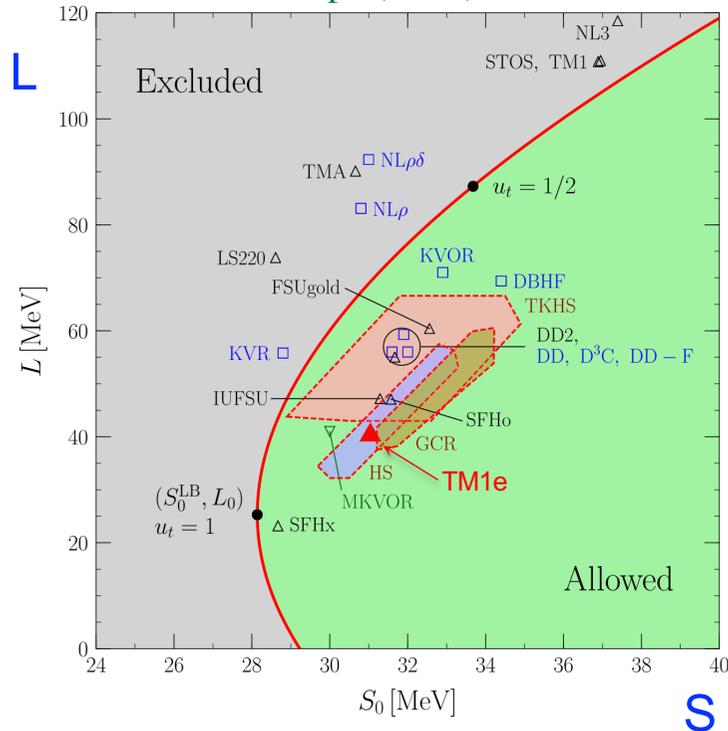
- HadronからQuarkへ相転移

大西さんにもっと聞きたかった

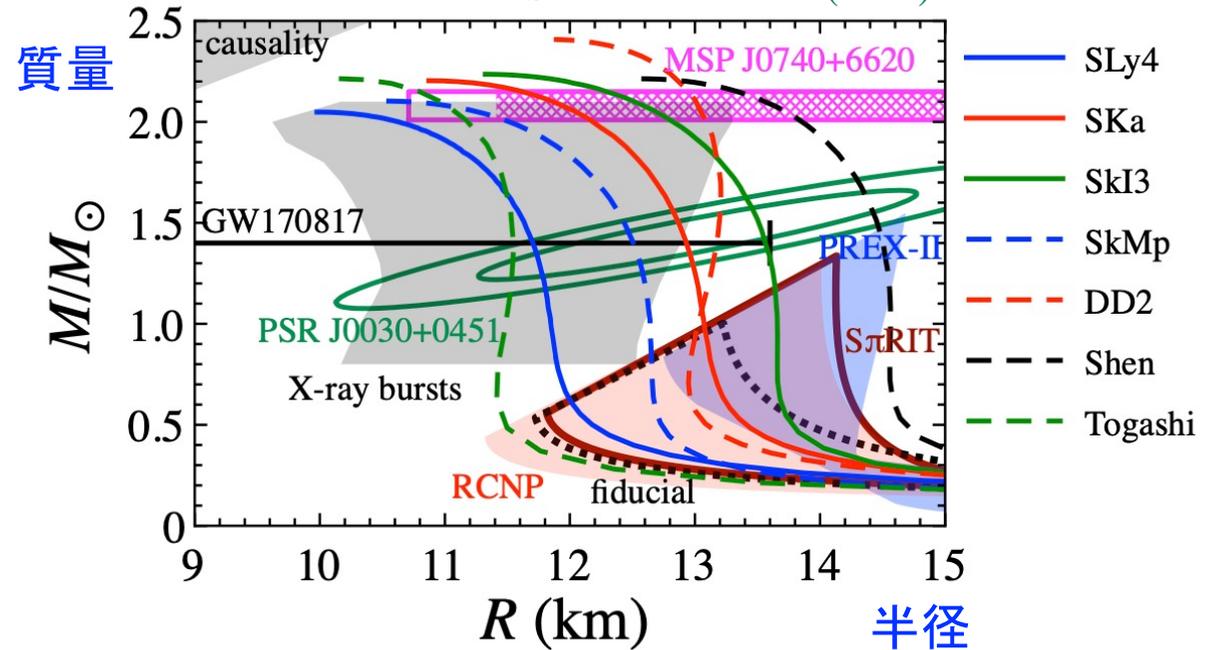
中性子星の状態方程式へ制限

- 原子物理, 原子核実験, 重力波・X線観測...

Tews et al. ApJ (2017)



Sotani et al. PTEP (2022)

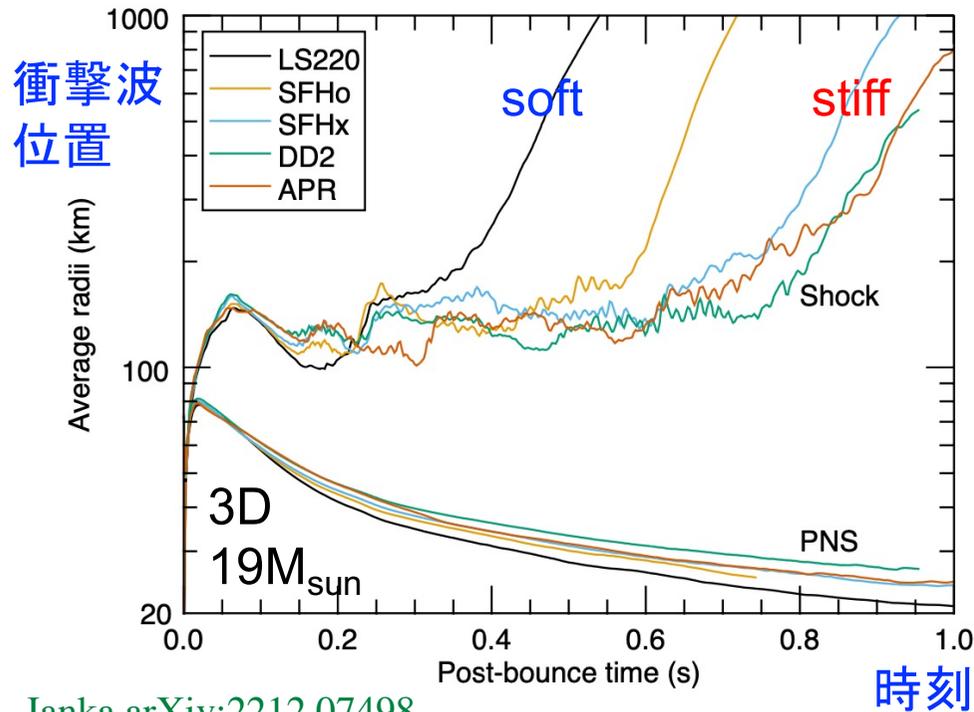
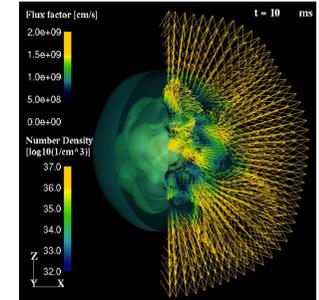


- Shen EOS (TM1 → TM1eへ改良)
- Hyperon混入 ($2M_{\text{sun}}$ 問題)

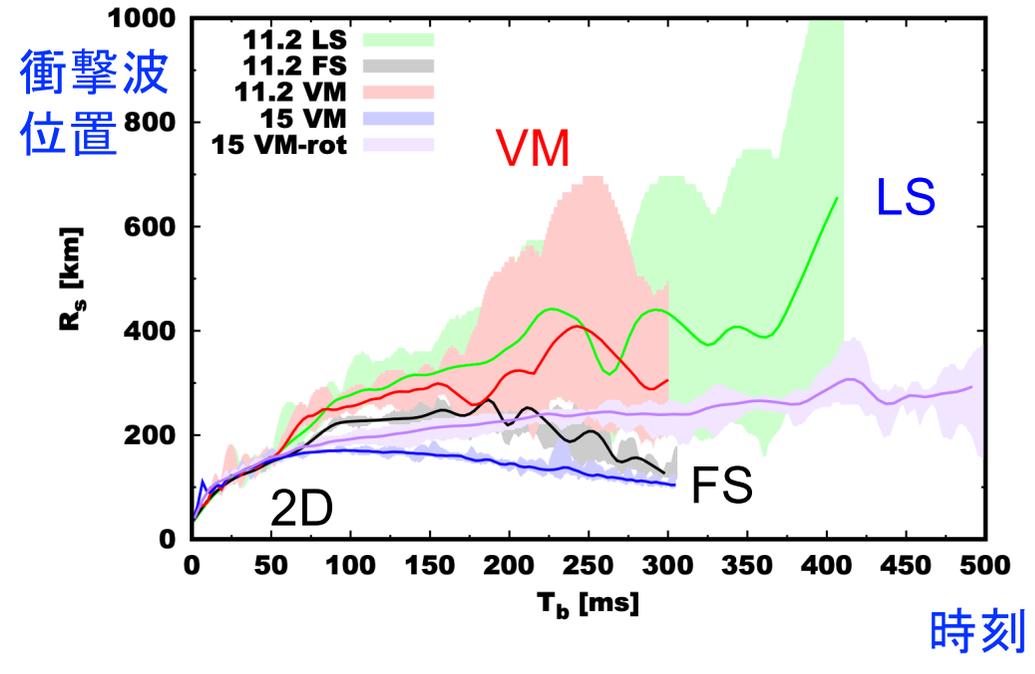
大西さんにもっと聞いたかった

超新星爆発シミュレーションの現況

- 2D/3D計算で爆発の解明が進む



Janka arXiv:2212.07498

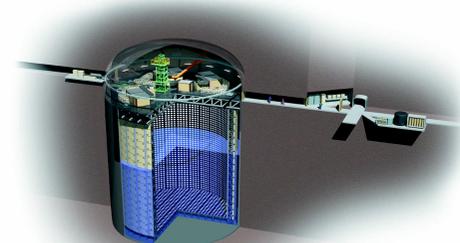


Yamada et al. Proc. JA (2023)

- ニュートリノ・重力波同時観測

- 核物理が再脚光

full GR Boltzmann-hydro



Super-Kamiokande



KAGRA

大西さんの仕事:クォーク・ハドロンと天体現象

- 高温高密度物質をいち早く探求
- 中性子星・超新星現象における極限環境
 - 原子核からハドロン・クォークまで網羅
 - 理論、実験と観測を総動員
- のちに天体における核物理の基礎となった
 - シミュレーションへの応用、データツールの公開
- 観測・シミュレーションでの核物理の重要性

CSQCD (Compact Stars in QCD phase diagram)

2024.10.7-11 at YITP, Kyoto

科研費を通じての共同研究

1. 文部科学省・科研費基盤研究C

「重イオン及びハイパー核反応に基づく超新星物質の状態方程式と核種分布テーブルの構築」

研究分担者（研究代表者：大西明）

平成15年度～18年度

課題番号：15540243

2. 文部科学省・科研費基盤研究C（一般）

「原子核・ハドロン・クォークの3階層状態方程式とコンパクト天体現象」

研究分担者（研究代表者：大西明）

平成19年度～21年度

課題番号：19540252

A. 文部科学省・新学術領域研究

「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」領域代表：田村裕和

計画研究「中性子星と核物質の理論研究」

連携研究者（研究代表者：大西明）

平成24年度～28年度

課題番号：24105008

大西さんとの共著査読論文リスト

1. Liquid-gas phase transition of supernova matter and its relation to nucleosynthesis, C. Ishizuka, A. Ohnishi and K. Sumiyoshi, Nuclear Physics A723 (2003) 517-543.
2. Tables of hyperonic matter equation of state for core-collapse supernovae, C. Ishizuka, A. Ohnishi, K. Tsubakihara, K. Sumiyoshi and S. Yamada, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 35 (2008) 085201 (19 pages).
3. Emergence of hyperons in failed supernovae: trigger of the black hole formation, K. Sumiyoshi, C. Ishizuka, A. Ohnishi, S. Yamada and H. Suzuki, Astrophysical Journal 690 (2009) L43-L46.
4. Possibility of the QCD critical point sweep during the black hole formation, A. Ohnishi, H. Ueda, T. Z. Nakano, M. Ruggieri and K. Sumiyoshi, Physics Letters B 704 (2011) 284-290.
5. Hyperon matter and black hole formation in failed supernovae, K. Nakazato, K. Sumiyoshi, A. Ohnishi, S. Yamada and H. Suzuki, Astrophysical Journal 745 (2012) 197 (10 pages).
6. QCD phase diagram at finite baryon and isospin chemical potentials in Polyakov loop extended quark meson model with vector interaction, H. Ueda, T. Z. Nakano, A. Ohnishi, M. Ruggieri, and K. Sumiyoshi, Phys. Rev. D88 (2013) 074006 (9 pages).
7. EOSDB: The database for nuclear EoS, C. Ishizuka, T. Suda, H. Suzuki, A. Ohnishi, K. Sumiyoshi and H. Toki, Publications of the Astronomical Society of Japan 67 (2015) 13 (17 pages).