

高速回転重力崩壊からの 重力波とニュートリノ

arXiv:1909.09730

柴垣 翔太 (福岡大学)

黒田 仰生 (ダルムシュタット工科大学)

固武 慶 (福岡大学)

滝脇 知也 (国立天文台)

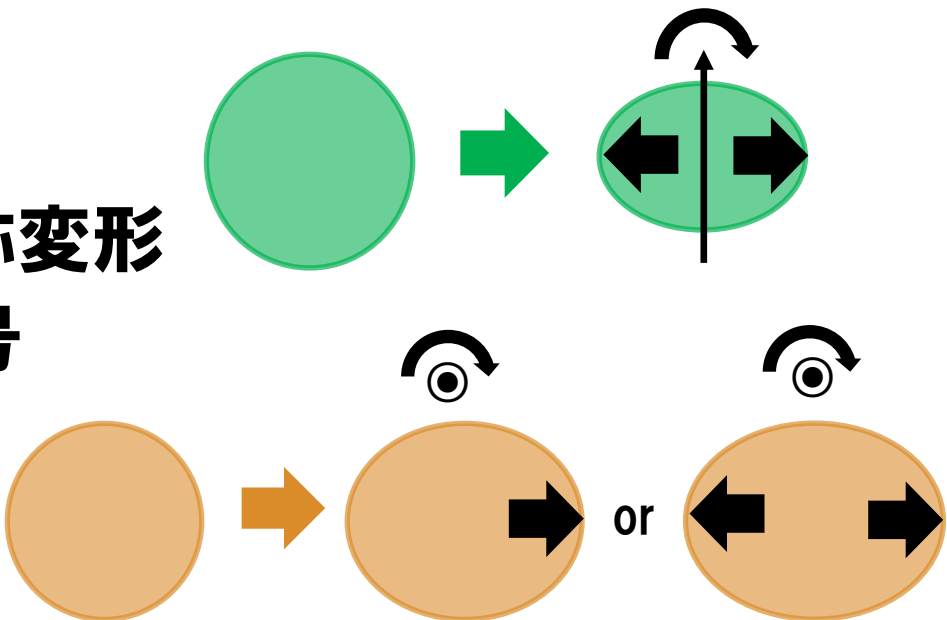
回転重力崩壊からの重力波

- **type I 波形**

バウンス時のコアの軸対称変形

⇒バースト的な重力波信号

(e.g. Dimmelmeier+ 2007)

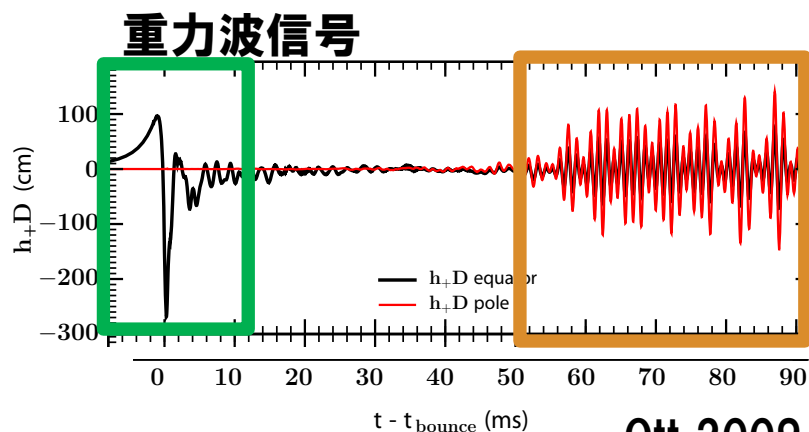


- **low T/|W| 不安定**

⇒ 原始中性子星の変形を
引き起こす非軸対称な流体
不安定

⇒準周期的な重力波信号

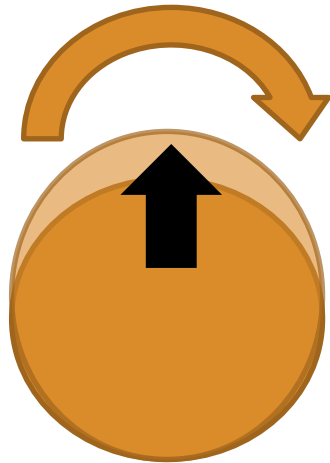
(e.g. Ott+ 2007)



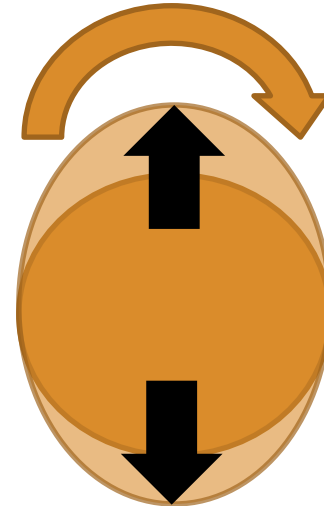
low $T/|W|$ 不安定

原始中性子星の変形を引き起こす非軸対称な流体不安定

1方向への変形



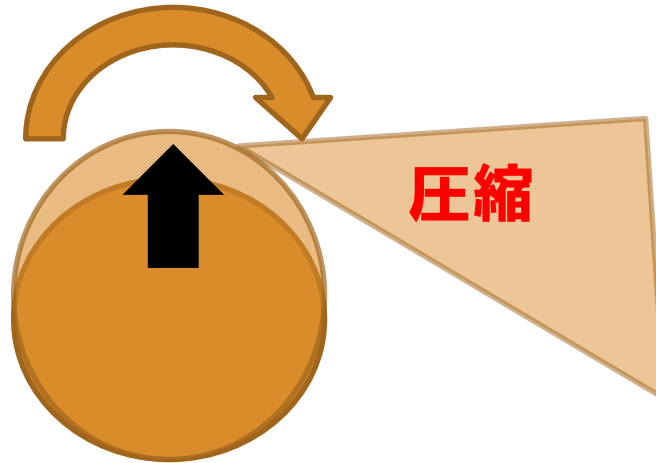
2方向への変形



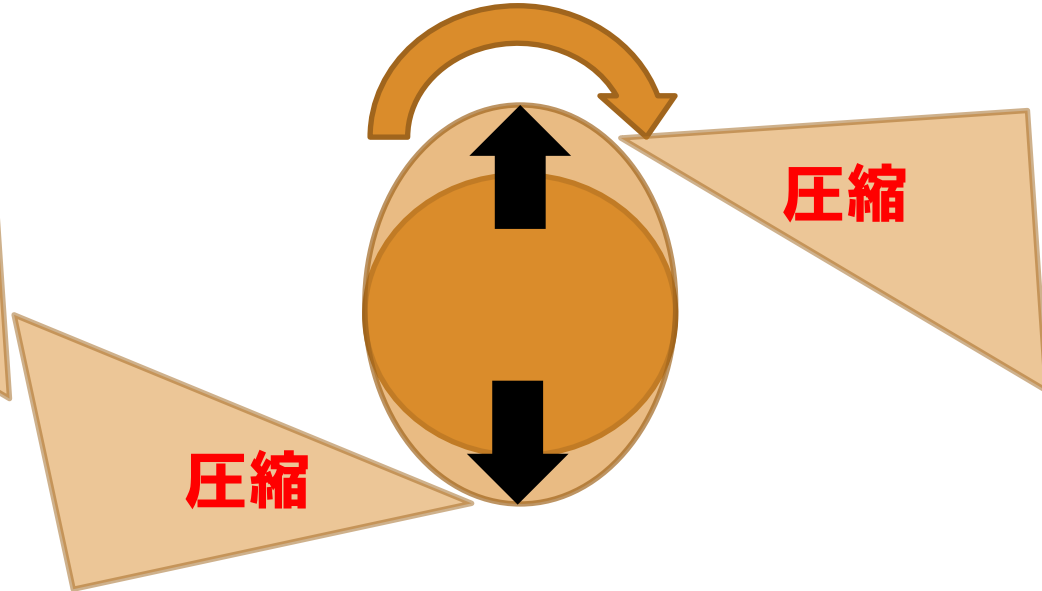
low $T/|W|$ 不安定

原始中性子星の変形を引き起こす非軸対称な流体不安定

1方向への変形

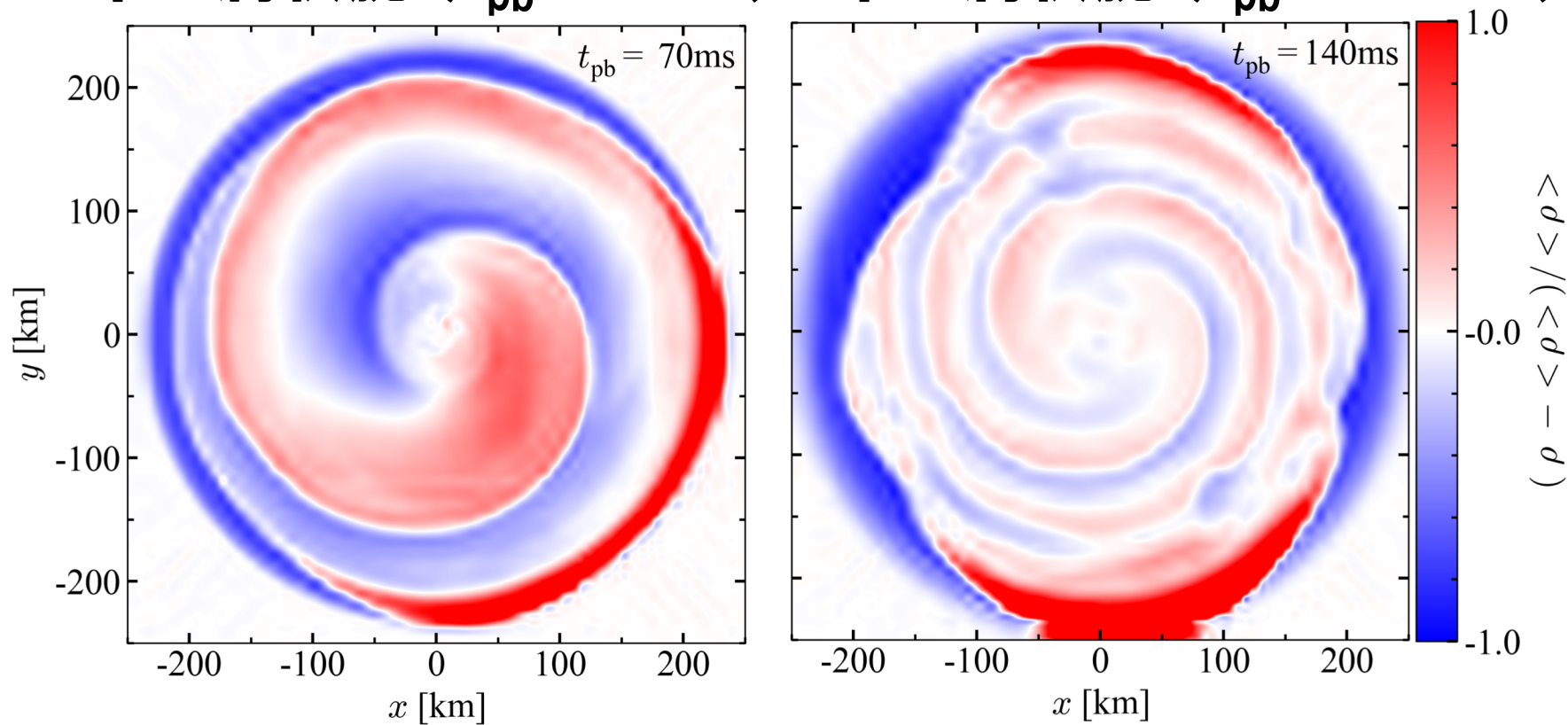


2方向への変形



密度分布

1本の渦状腕 ($t_{pb} = 70\text{ms}$) 2本の渦状腕 ($t_{pb} = 140\text{ms}$)



先行研究との比較

- 非軸対称運動 ⇒ 3次元計算が必須
- low $T/|W|$ 不安定は差動回転が必要
⇒ ニュートリノ輸送 & GRが重要

	Ott+07	Takiwaki+16	本研究
ニュートリノ	X	○	◎
GR	○	△	○

高速回転重力崩壊からの重力波とニュートリノ

柴垣翔太¹ 黒田仰生² 固武慶¹ 滝脇知也³

¹福岡大学 ²ダルムシュタット工科大学 ³国立天文台



要旨

高速回転する70太陽質量星の重力崩壊を3次元一般相対論的ニュートリノ輻射流体シミュレーションを行って調べた。バウンス後、low-T/|W|不安定という流体不安定によって原始中性子星が変形し、原始中性子星のまわりに渦状腕が現れるのを確認した。変形した原始中性子星と渦状腕から準周期的な重力波が放出され、そのピーク振動数が時間とともに増加するのを発見した。ニュートリノ光度にも準周期的な振動が見られた。この振動のピーク振動数は渦状腕の本数と重力波のピーク振動数によって説明でき、重力波の振動とニュートリノ光度の振動に強い相関があることがわかった。

1 背景

大質量星の重力崩壊は主要な重力波・ニュートリノ源のひとつであり、将来マルチメッセンジャー観測が期待される。大質量星の重力崩壊のうち、高速回転を伴う星の重力崩壊は、原始中性子星の強い差動回転がlow-T/|W|不安定と呼ばれる非軸対称流体不安定を起こし、原始中性子星の変形と渦状腕の形成を引き起こす。この回転重力崩壊固有のダイナミクスは、放出される重力波やニュートリノに影響を及ぼす。一方で、low-T/|W|不安定は原始中性子星がどれくらい小さいかに影響を受けるため、ニュートリノ輻射輸送と一般相対論的な輻射流体計算の両方取り入れた数値計算が重力波やニュートリノの定量的な予測のために重要になるが、そのような計算は行われてこなかった。

2 手法

3次元一般相対論的ニュートリノ輻射流体シミュレーションコード(Kuroda et al. 2016)を用いて、大質量星の重力崩壊の進化を計算した。

- 一般相対論:BSSNフォーマリズム
- ニュートリノ輻射輸送:M1法を用いたエネルギー依存ニュートリノ輻射輸送
- Nested grid法(最小グリッド幅=458m)
- Lattimer&Swesty状態方程式(K = 220 MeV)
- 70太陽質量初代星モデル(Takahashi et al. 2014)
- 初期中心回転角速度: 2.0 rad/s

3 計算結果

3.1 重力波 (arXiv:1909.09730)

図1が赤道方向(左)・極方向(右)からみた重力波波形(h)とそのスペクトル進化(スペクトログラム)である。準周期振動の振動数が増加しているのがわかる。 $t_{pb} \sim 70\text{ms}$ の重力波が強くなっているとき、原始中性子星まわりには1本の渦状腕が現れ(図2左)、 $t_{pb} \sim 100\text{ms}$ 以降の重力波が強くなっている頃には、原始中性子星まわりには2本の渦状腕が現れた(図2右)。この重力波は次世代重力波検出器であれば、Mpcスケールまで検出が期待できる(図3)。

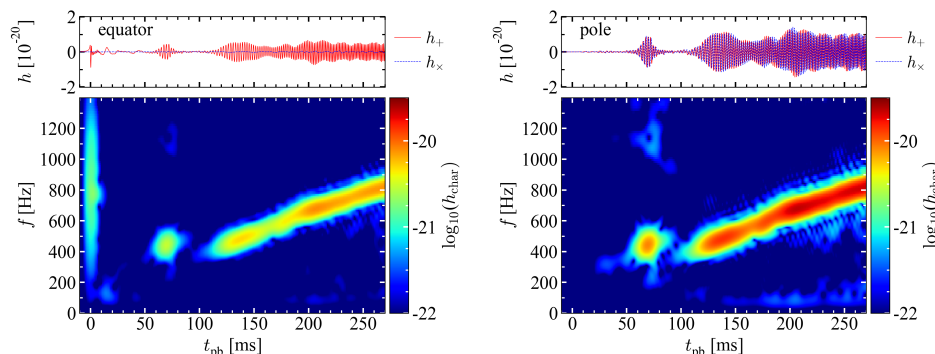


図1. 赤道方向・極方向からみた重力波波形とそのスペクトル進化

