

Abstract

世界初の重力波観測をめざし各国では次世代検出器の開発が行われており、日本でも2018年からKAGRAによる本格的観測が始まる。メインターゲットとして最も期待されているのがブラックホール、中性子星からなるコンパクト連星からの重力波である。近接したコンパクト連星は強い重力波を発生してエネルギーを失うことで互いに近づいていき、連星合体を起こす。この際に発生される重力波が地上観測で検出されると期待されている。よって、コンパクト連星合体がどれだけ起こるかを見積もることができれば検出される重力波のイベントレートを計算できる。本研究では、連星の進化計算から、コンパクト連星がどれだけ形成されるかをシミュレーションし、宇宙年齢以内に連星がいくつ合体するかを計算することで重力波のイベントレートを算出することが目的である。

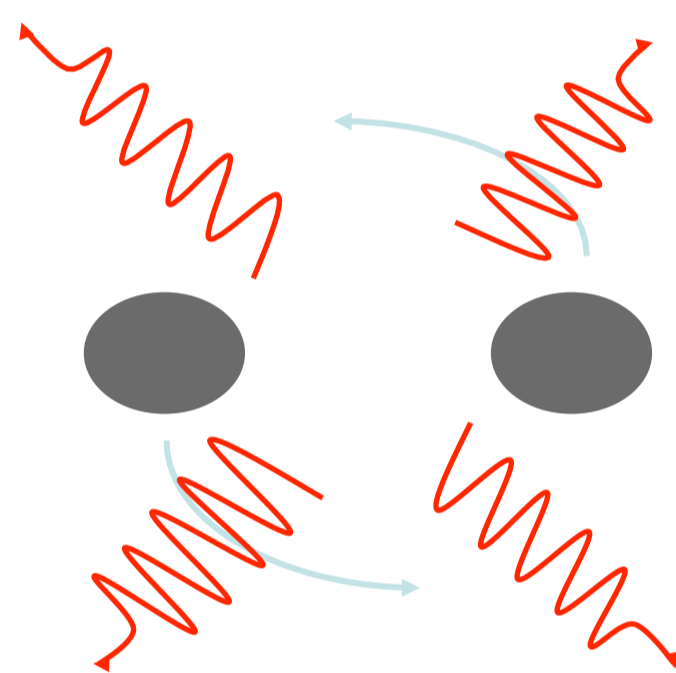
重力波天文学の幕開け



各国が世界初の重力波検出に向けて第二世代検出器を建築している。日本では大型干渉計重力波望遠鏡であるKAGRAが2018年ごろからの本格的な観測を予定している。

■重力波観測のメインターゲット

- コンパクト連星の公転
- コンパクト連星合体



コンパクト連星の合体レートを評価することで重力波のイベントレートを見積もることができる

コンパクト連星の合体レートを評価するためには以下の二つが重要となる

- 連星間相互作用の考察
- 連星進化のモンテカルロシミュレーション

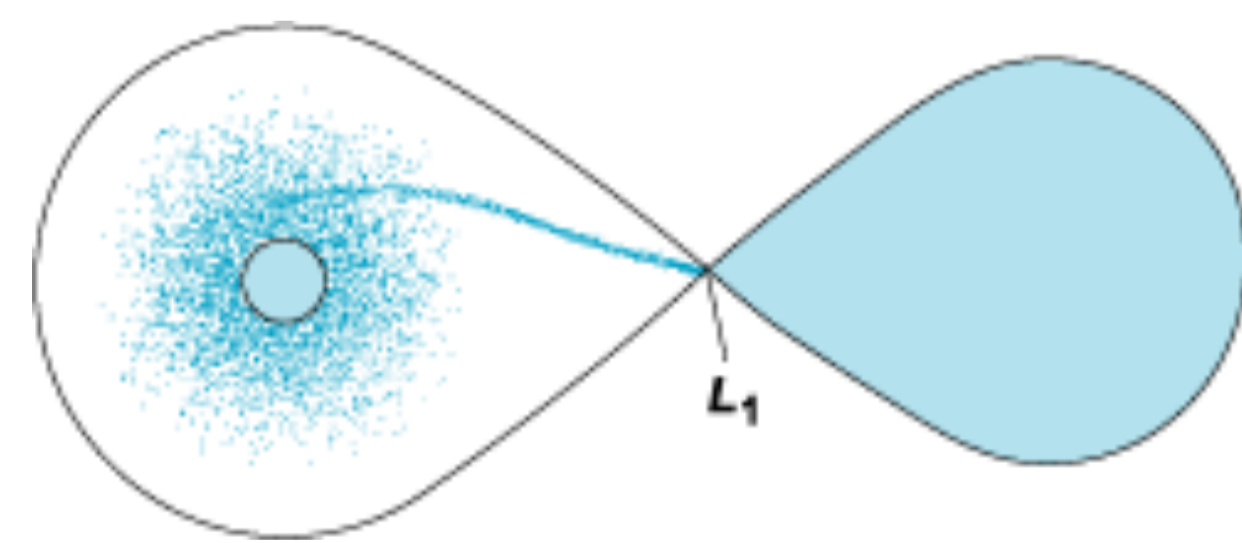
連星の進化計算

連星の進化を考えるうえで単独星の場合と異なり、連星間相互作用を考える必要がある。主なものとして以下の二つがある。

■Roche lobe over flow

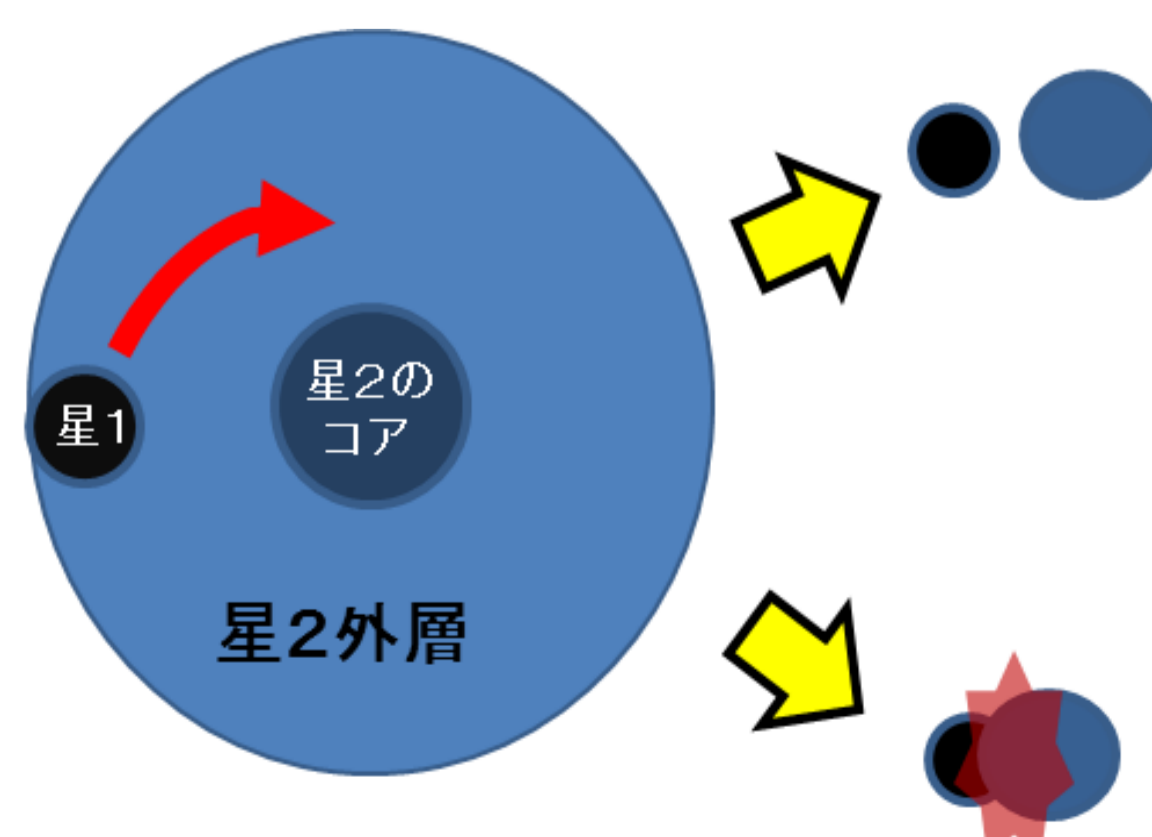
回転系での連星系ポテンシャルを、Rocheポテンシャルという。Rocheポテンシャルの8の字型の等ポテンシャル面をRoche lobe といい、星の半径がRoche lobeを越えると伴星への質量降着が起きる。

$$R \geq R_L \equiv \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1+q^{1/3})} A$$



■Common envelope

主星の半径が膨張し、伴星が主星の外層に突入している状態。伴星は主星の外層により摩擦を受けて角運動量を失い、外層は吹き飛ばされ軌道は小さくなる。その結果、近接連星ができるか連星合体が起こる。



$$\alpha_{ce} \left(\frac{GM_{don}^f M_{acc}}{2A_f} - \frac{GM_{don}^i M_{acc}}{2A_i} \right) = \frac{GM_{don}^i M_{don,env}}{\lambda R_{don,rl}}$$

モンテカルロシミュレーション

- モンテカルロ法を用いて連星パラメータを決定

例: Mass
 $\Phi(M): IMF$
 $X \in [0, 1]: \text{乱数}$

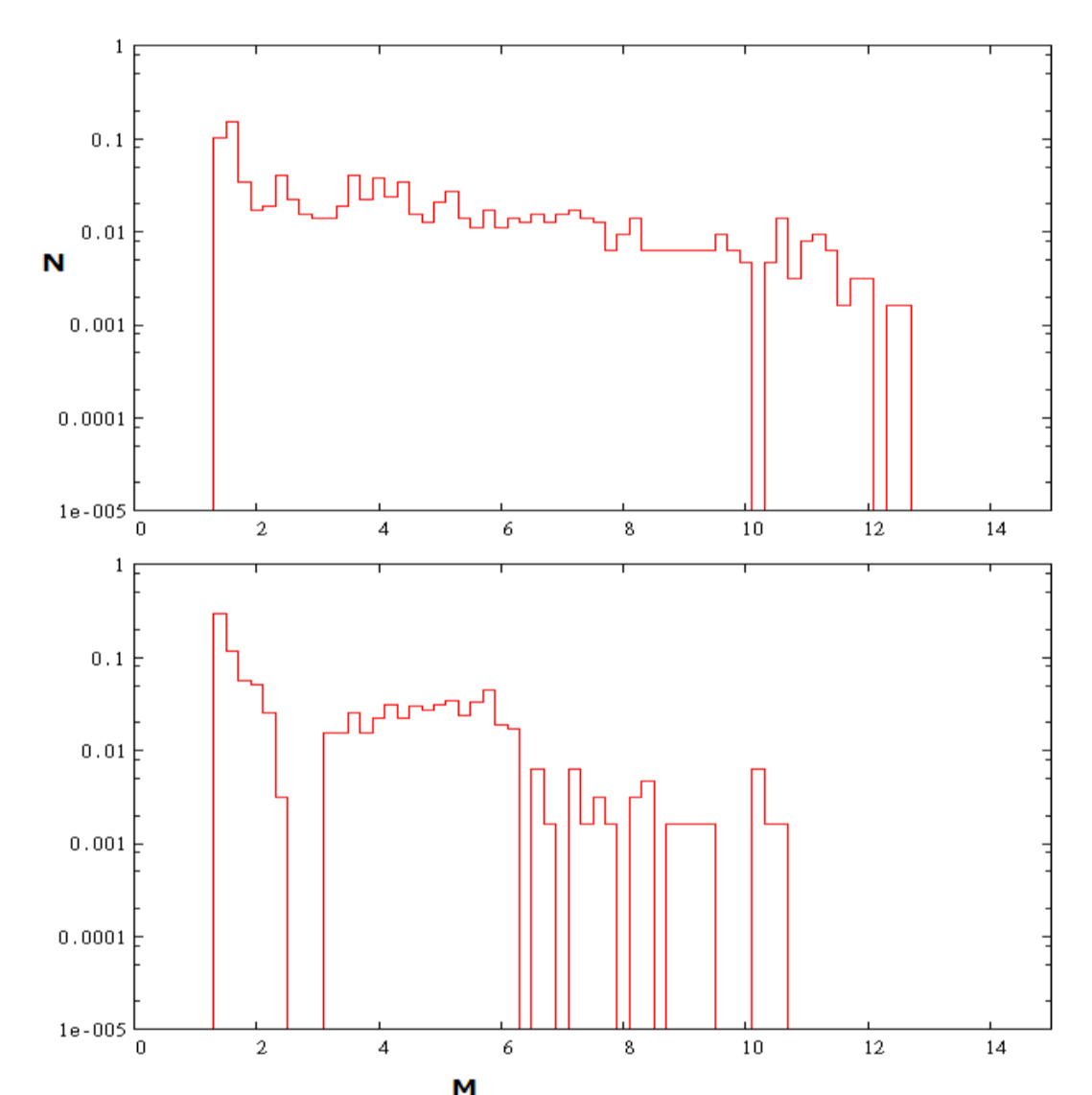
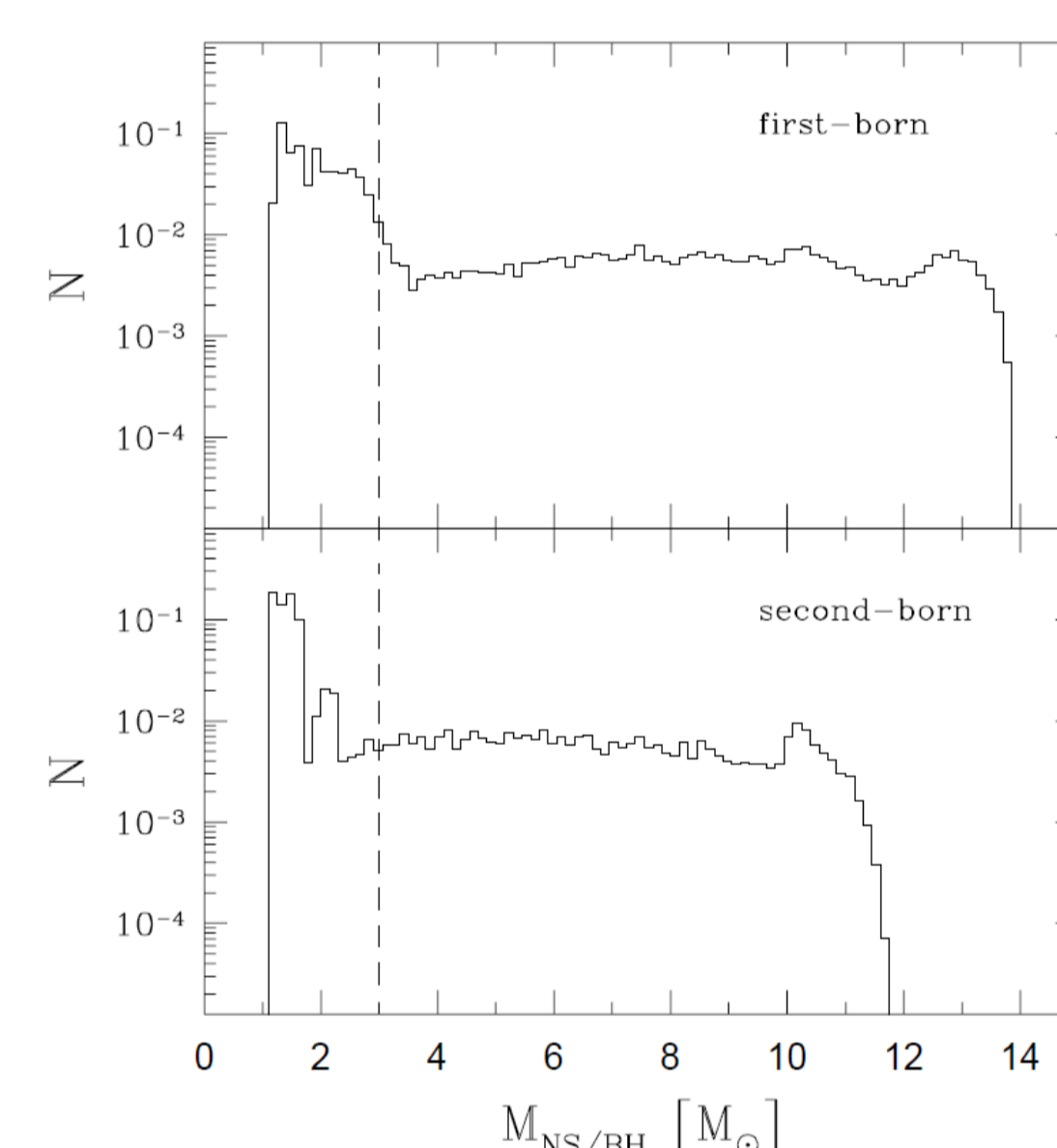
$$X = \frac{\int_{M_{min}}^M \Phi(M) dM}{\int_{M_{min}}^{M_{max}} \Phi(M) dM} \rightarrow M$$

- 10⁶個の連星を用意して個々に進化計算
- 近接コンパクト連星になったものは宇宙年齢以内に合体するかを評価

$$t_{\text{merg}} = a_0^4 / (4\beta) \quad \text{for a circular orbit}$$

- 連星合体を起こすコンパクト連星がいくつあるかを評価

計算結果



先行研究Belczynski+(2002)の計算結果
 総連星数 N_{total} = 10⁷

我々の計算結果
 N_{total} = 10⁶

N = [宇宙年齢以内に合体するmass Mの連星の数] / [全コンパクト連星の数]

結論と今後の課題

- 計算の個数はまだ少ないが、連星のうち中性子連星が多いという傾向とその割合は先行研究と一致している。
- 今後、星形成率と合わせることで、各コンパクト連星の合体レート及び重力波のイベントレートを計算する。
- 金属量が少ないと星の進化は半径が小さくなる分Common envelopeが起こりにくくなると考えられる。このような効果を考慮し初代星起源の連星ではどうなるかを計算する。

reference

1. Belczynski, Kalogera, Bulik APJ 574.407(2002)
2. Hurley, Pols, Tout MNRAS 315.543(2000)
3. Hurley, Tout, Pols MNRAS 329.897(2002)