

イータカリーナを取り巻く星雲の起源

平井 遼介

Monash University

共同研究者:

Philipp Podsiadlowski (Oxford/Bonn)

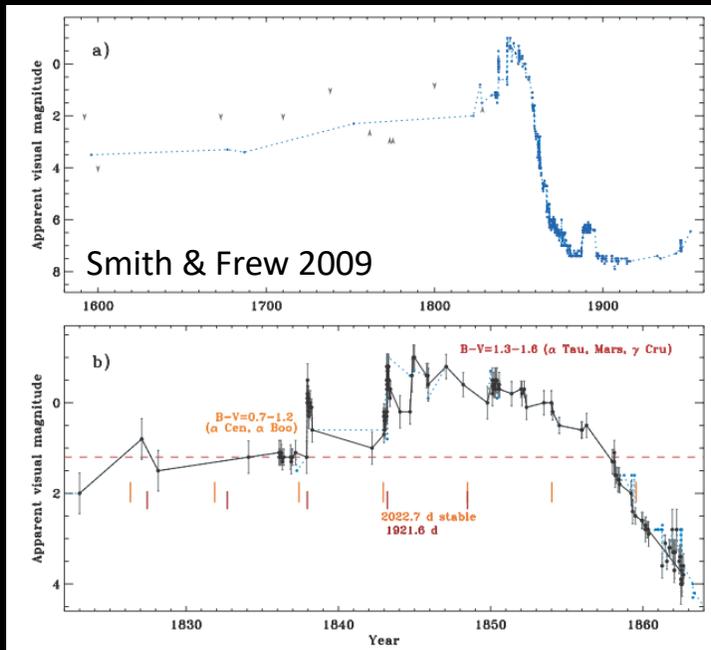
Stan Owocki (Delaware)

Fabian Schneider (Heidelberg/HITS)

Nathan Smith (Arizona)

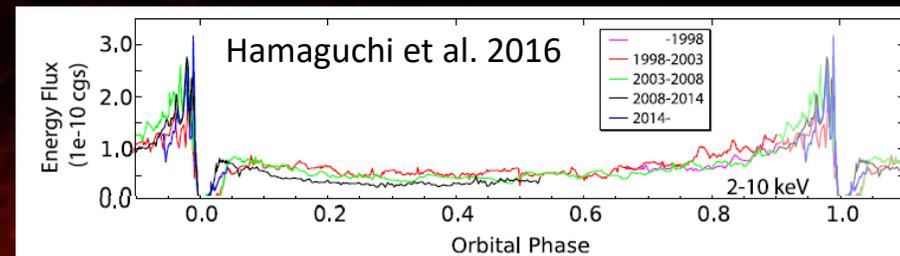


1844年に大爆発

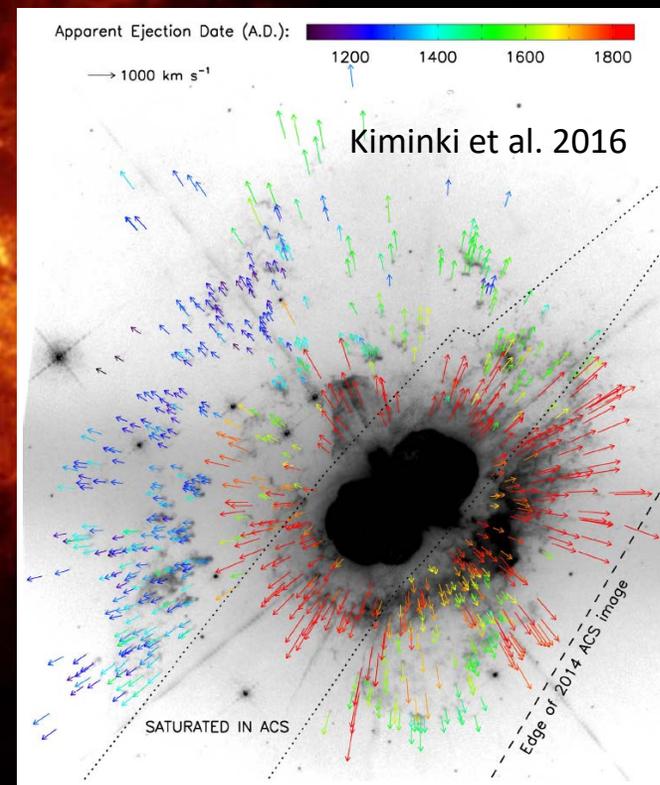


人形星雲

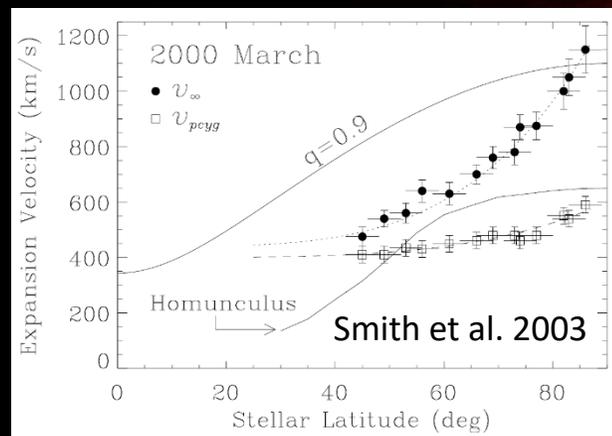
高離心率の連星系



人形星雲外部にも構造



強い双極恒星風



高輝度青色変光星 (LBV)

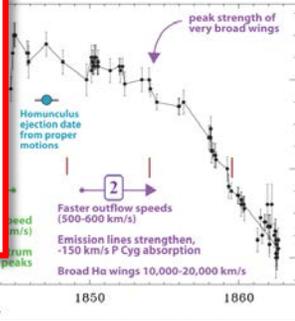


観測事実のまとめ

この星の形成を語る上で、以下の全ての観測的制限を満たすシナリオを考える必要がある

大爆発 (Great Eruption)

- 爆発の原因は？
- $E_{\text{exp}} \sim 10^{50} \text{erg}$, $M_{\text{ej}} \sim 10M_{\odot}$
- 軸対称、バイポーラ
- 150-20,000km/sという広い速度分布



伴星

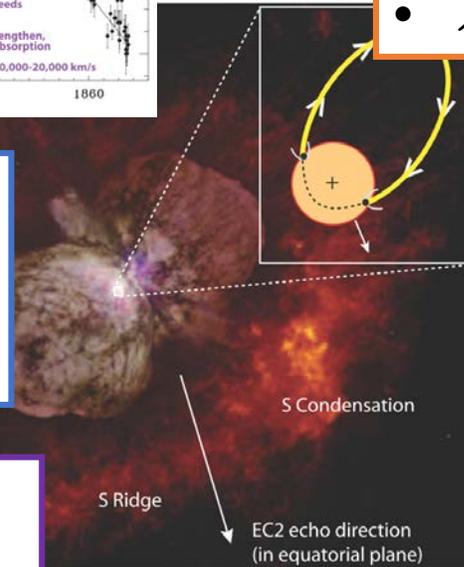
- 高い質量放出率
- $M_2 \sim 30M_{\odot}$
- 離心率 0.85-0.95
- 人形星雲の赤道面と軌道面は一致

中心星

- $M_1 \sim 100-200M_{\odot}$
- 記録的な質量放出率のバイポーラな恒星風
- $\dot{M} \sim 10^{-3}M_{\odot}/\text{yr}$

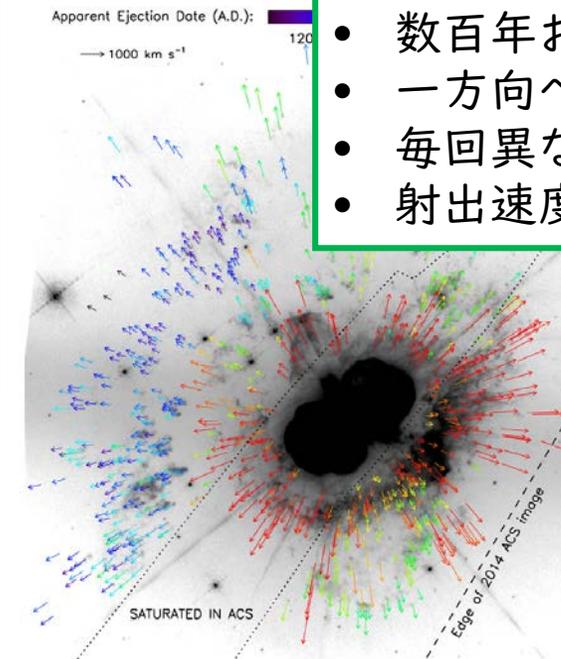
その他

- 外部エジェクタの位置からX線
- Nが豊富なエジェクタ
- 赤道面に「スカート」のような構造
- 大爆発以前にも小爆発を数回
- 等々...



外部エジェクタ

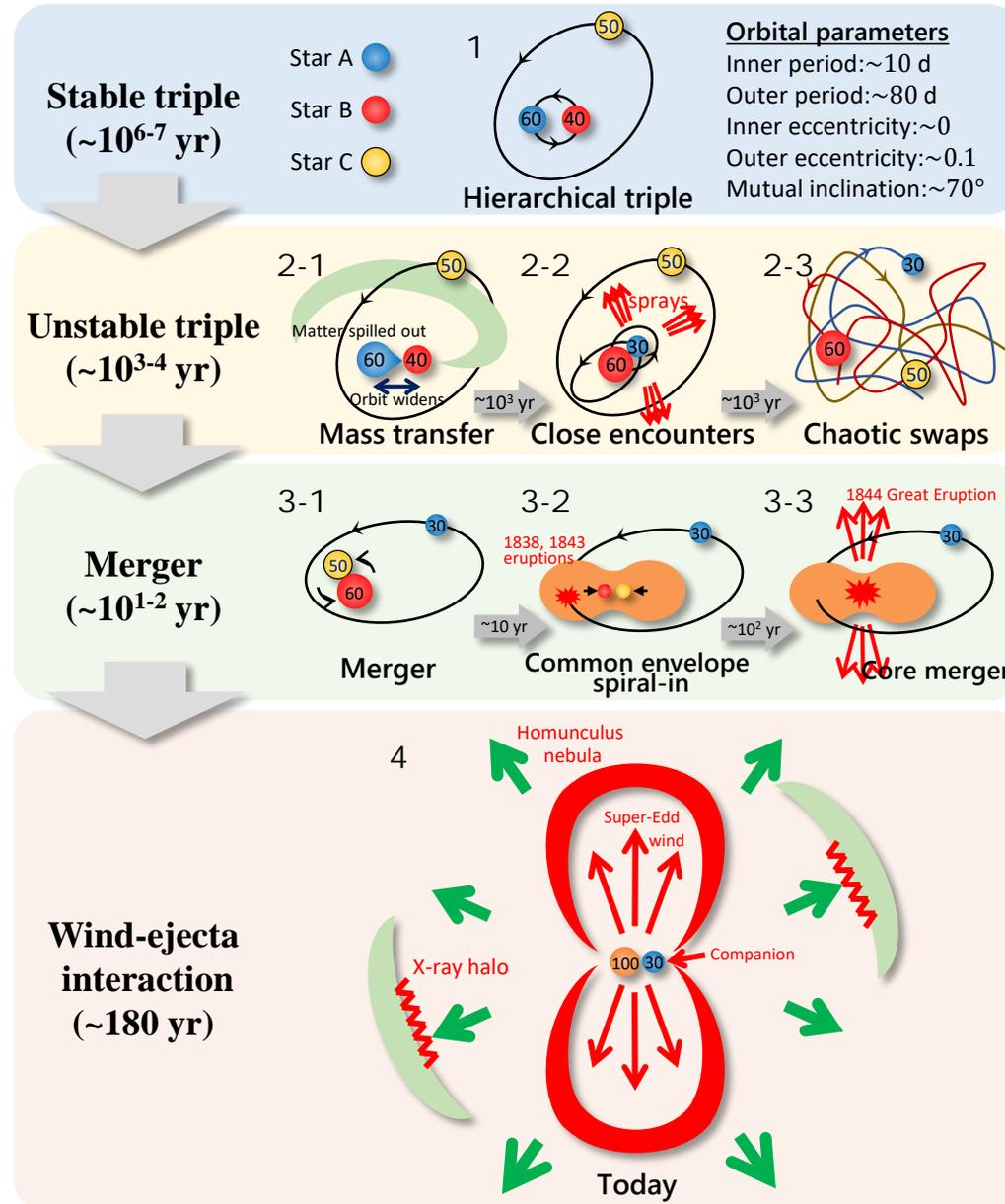
- 数百年おきに質量放出
- 一方向への射出
- 毎回異なる方向
- 射出速度 300-600km/s



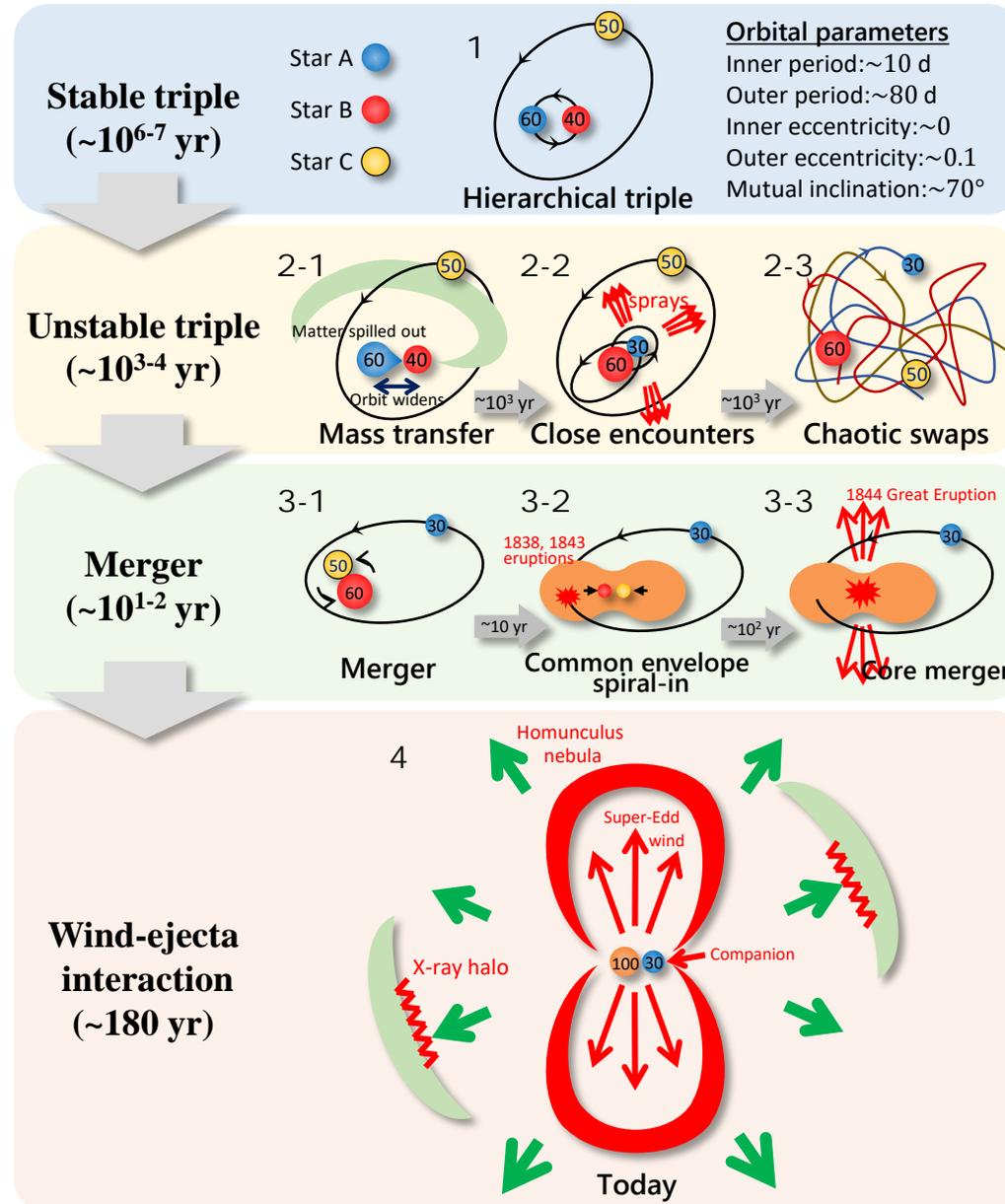
以下の点を手掛かりに起源を考える

- ▶ 外部エジェクタ
三体系で
- ▶ 19世紀の大爆発
連星合体
- ▶ 人形星雲の形状
が起きた名残

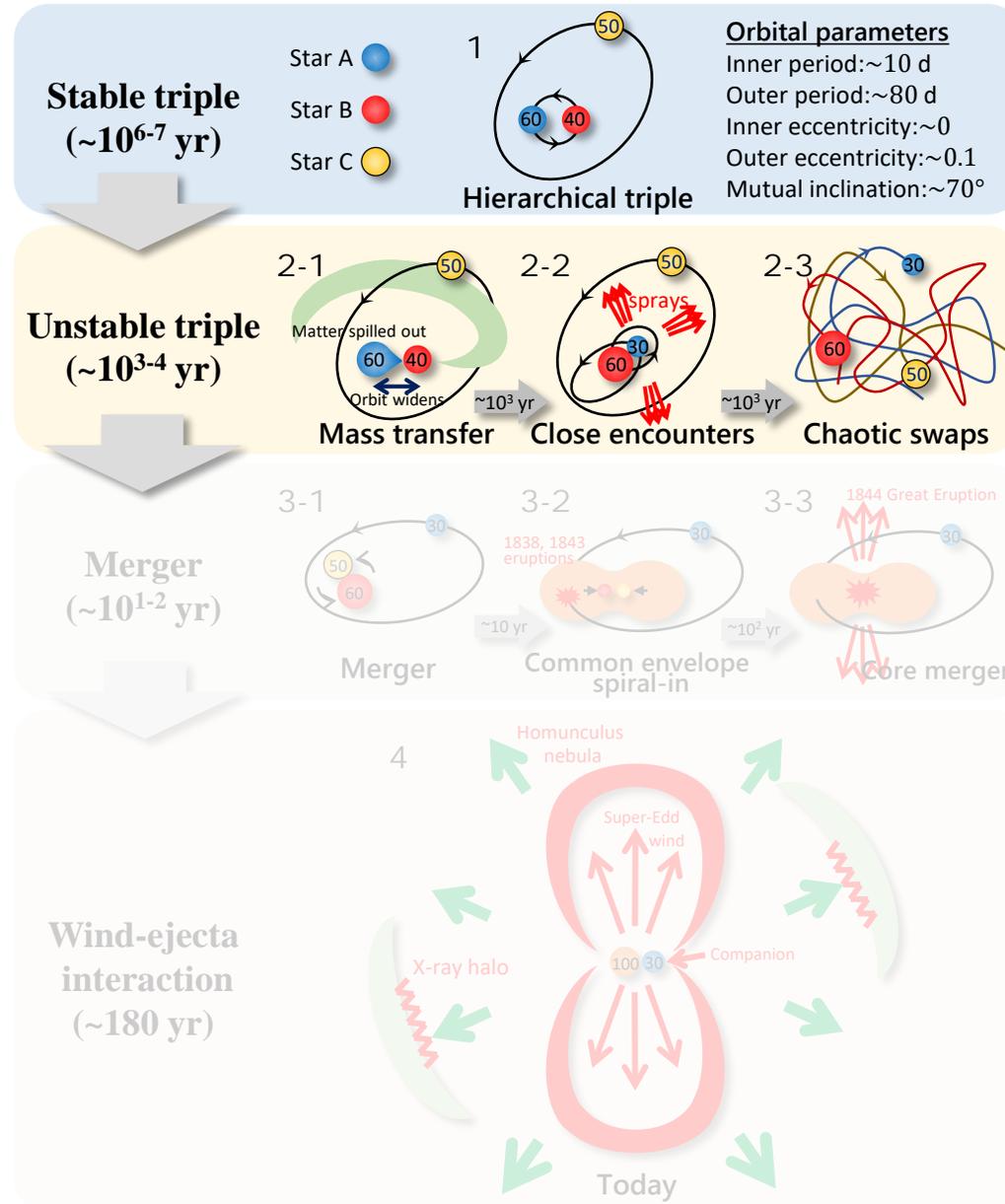
今回提唱する形成シナリオ



今回提唱する形成シナリオ

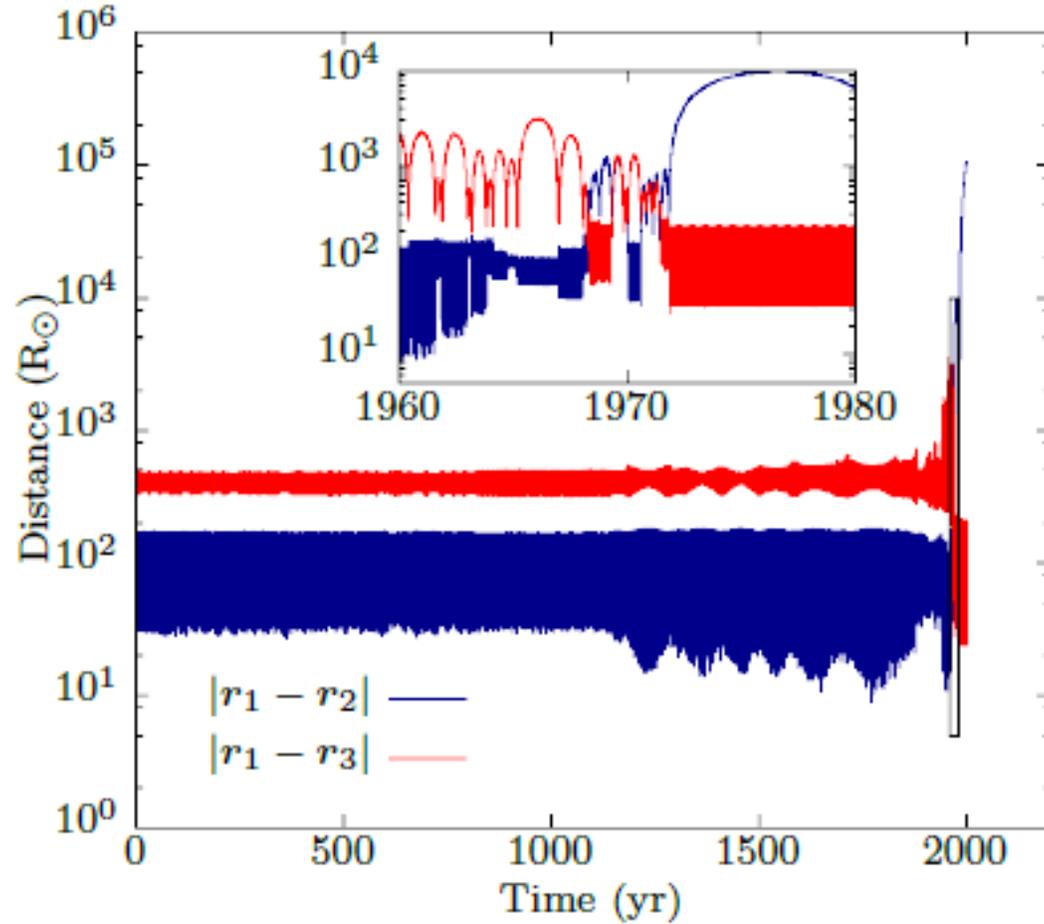


今回提唱する形成シナリオ



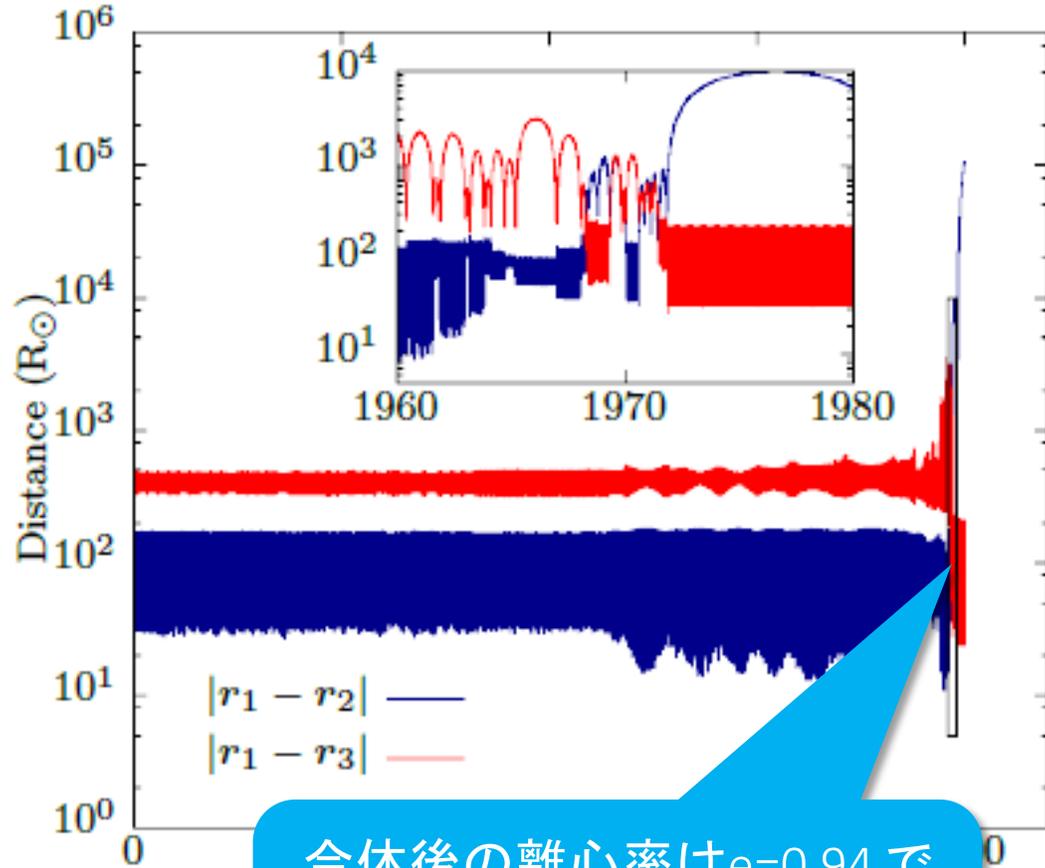
恒星合体に至る三体系の軌道進化

質量輸送で軌道が広がったことにより、不安定軌道に突入した時点からの軌道進化を追った

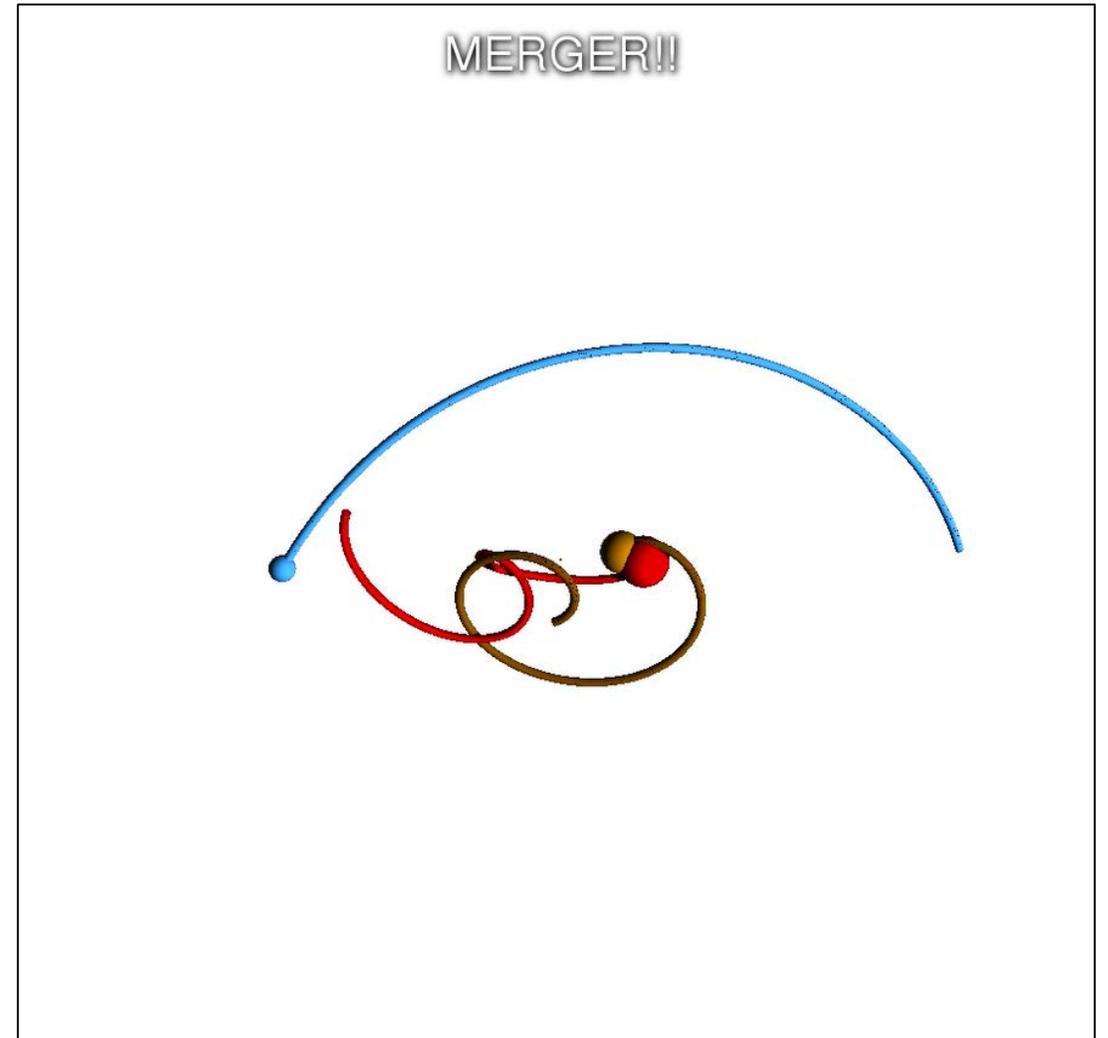


恒星合体に至る三体系の軌道進化

質量輸送で軌道が広がったことにより、不安定軌道に突入した時点からの軌道進化を追った

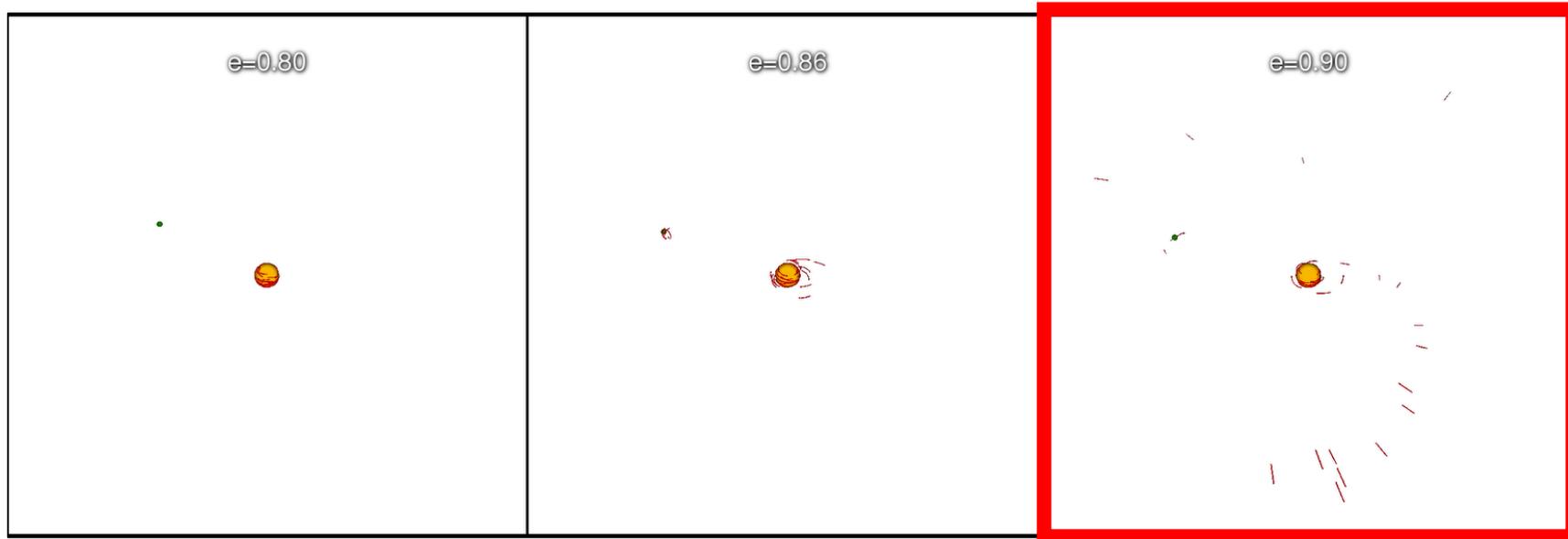


合体後の離心率は $e=0.94$ で
軌道周期は7年であった
(観測値は $e \sim 0.9$ & $P=5.5\text{yr}$)

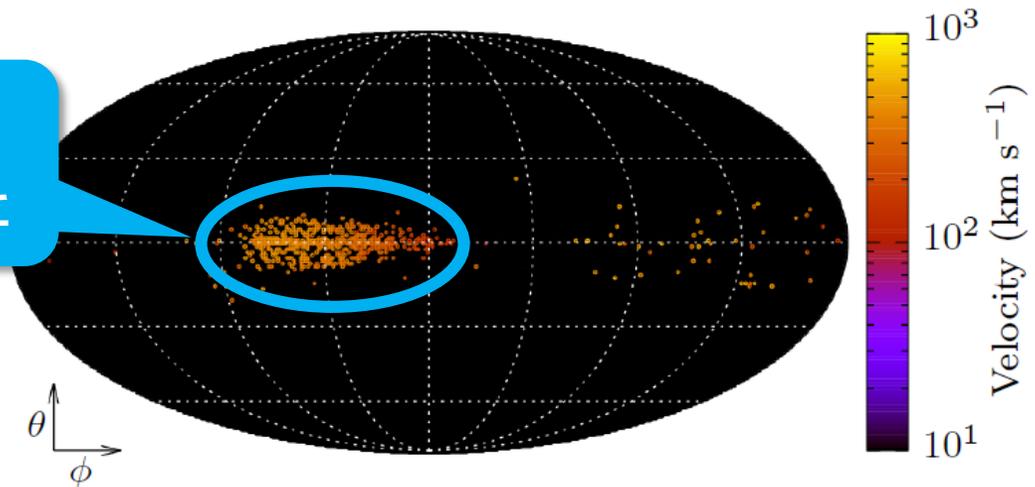


高偏心軌道からの質量放出

高偏心軌道で近点で接近する際の重力相互作用でどのような質量放出が起きうるかを計算した

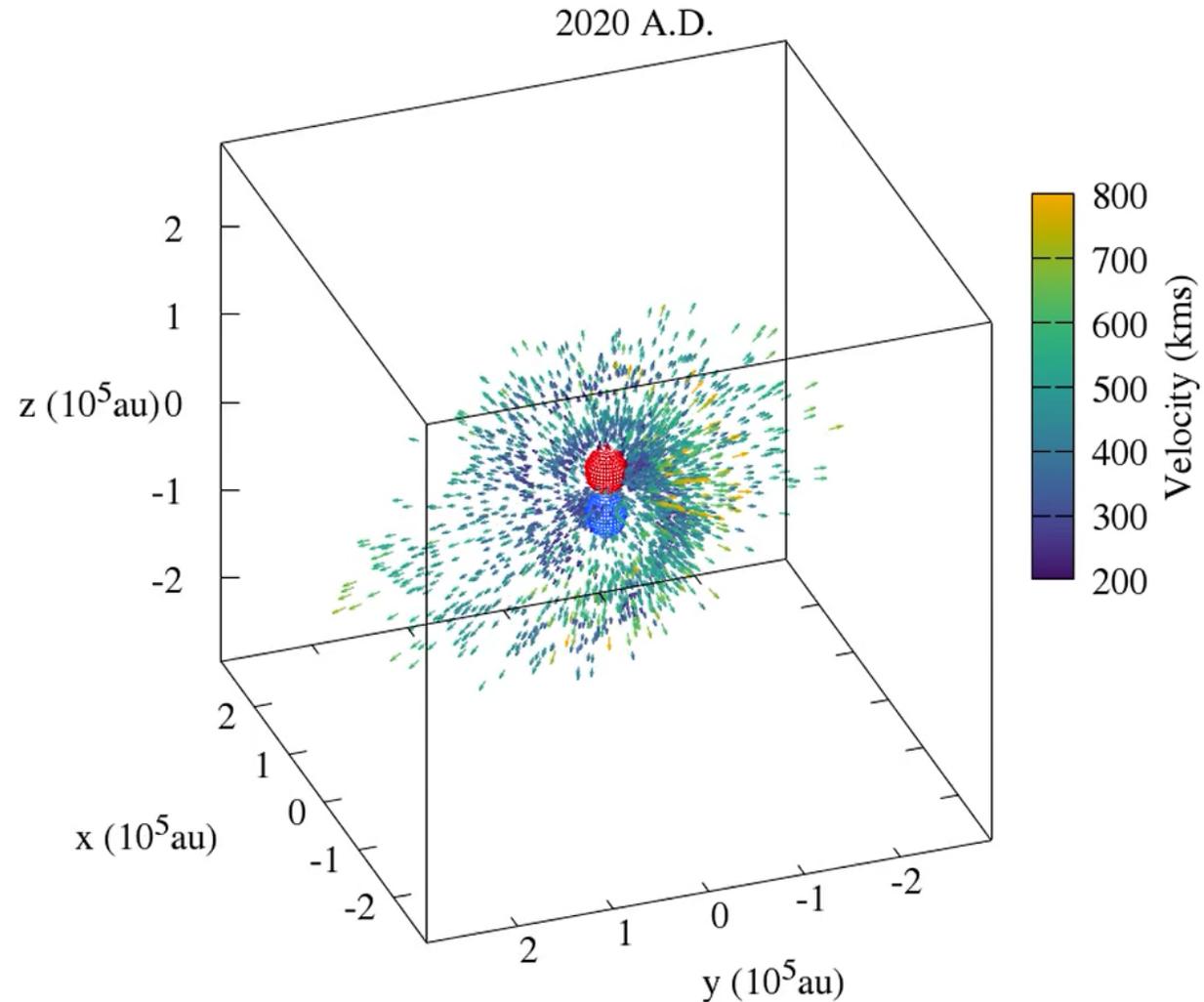


開き角が ~ 90 度で一方向への質量放出が見られた



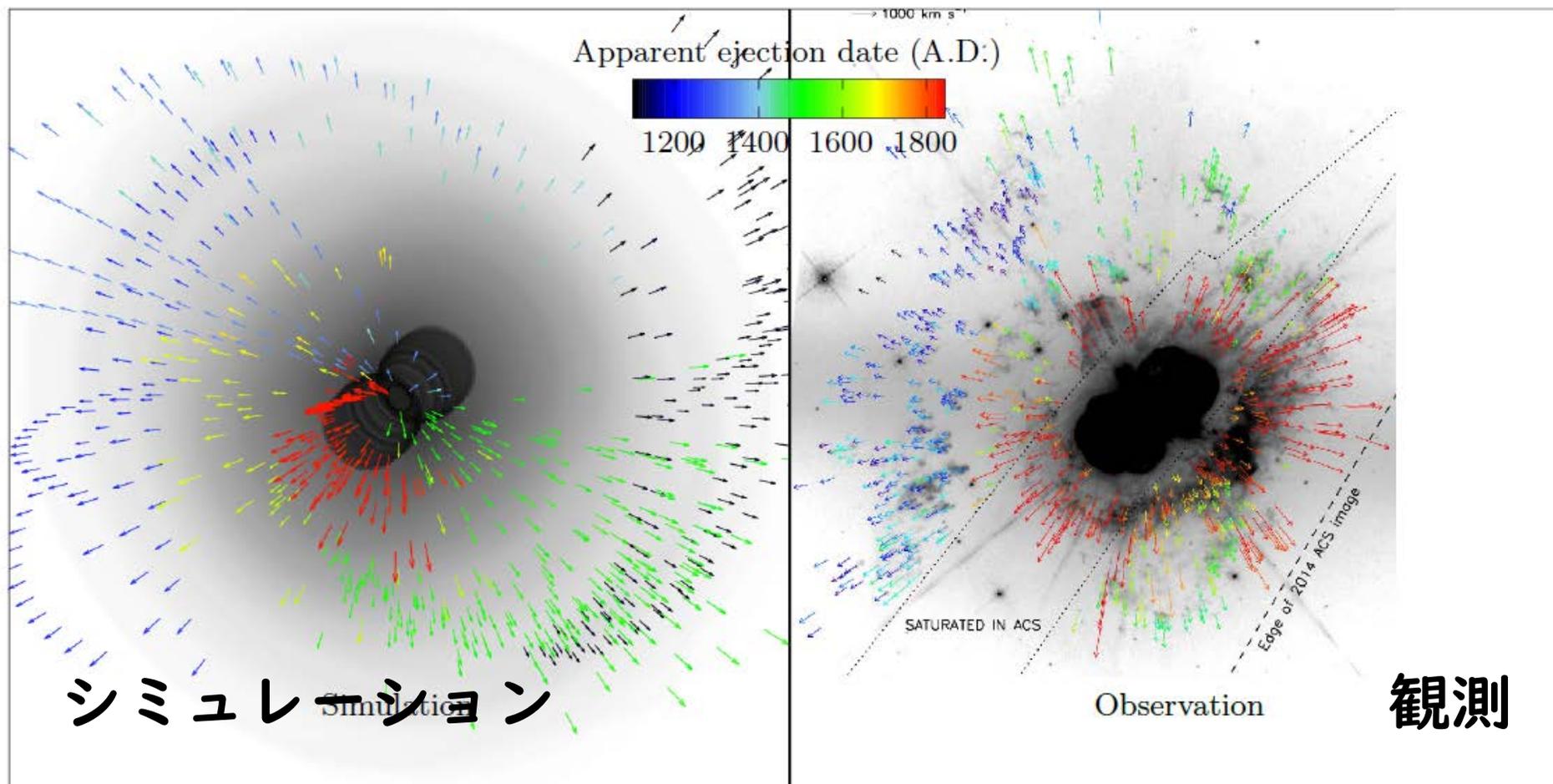
外部エジェクタの空間分布

三体の軌道進化及び近点相互作用の計算結果を組み合わせることで噴出物の空間分布を計算



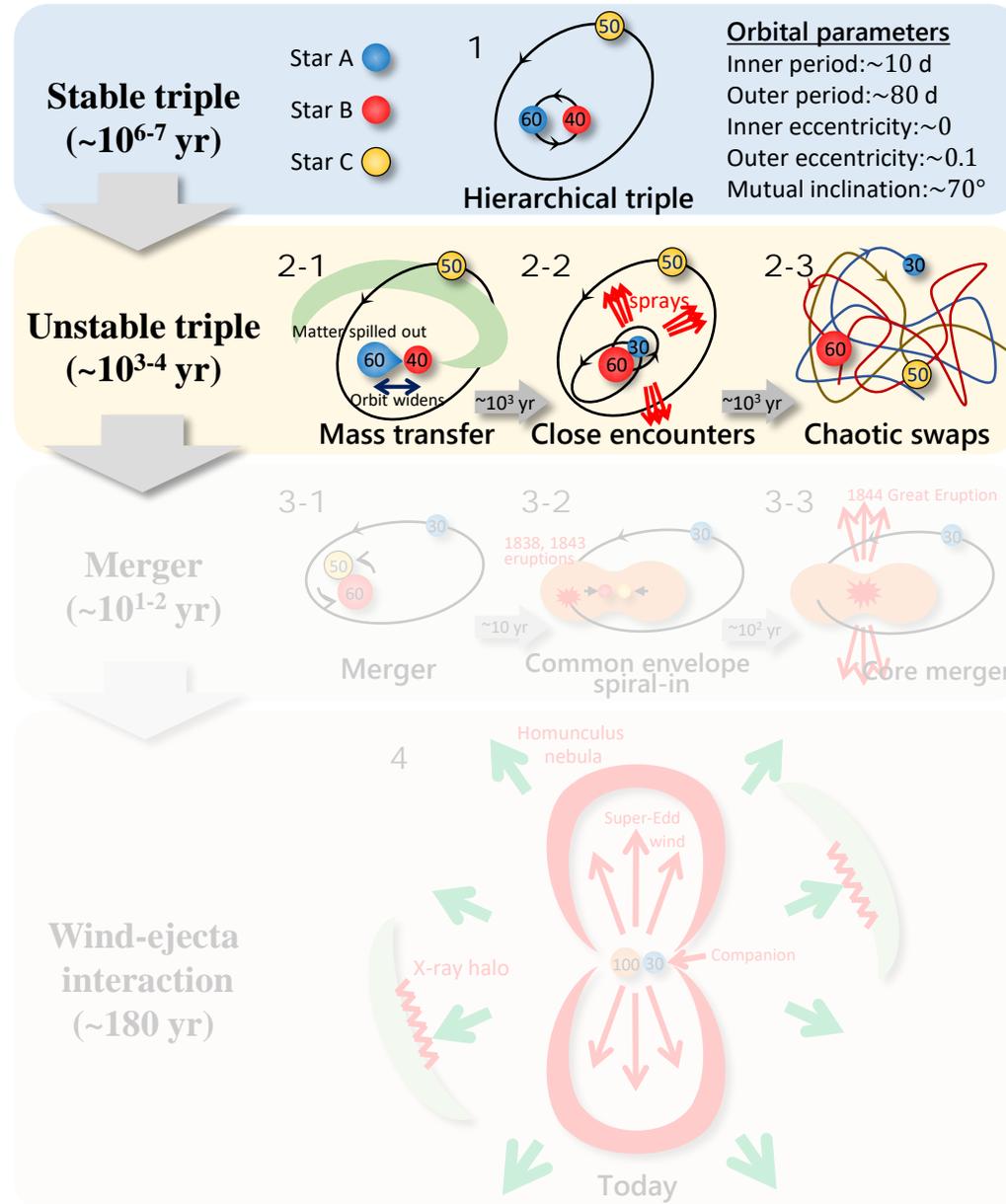
観測された外部エジェクタとの比較

人形星雲が合体時の軌道面に垂直にできたと仮定して、観測されている角度から見た図

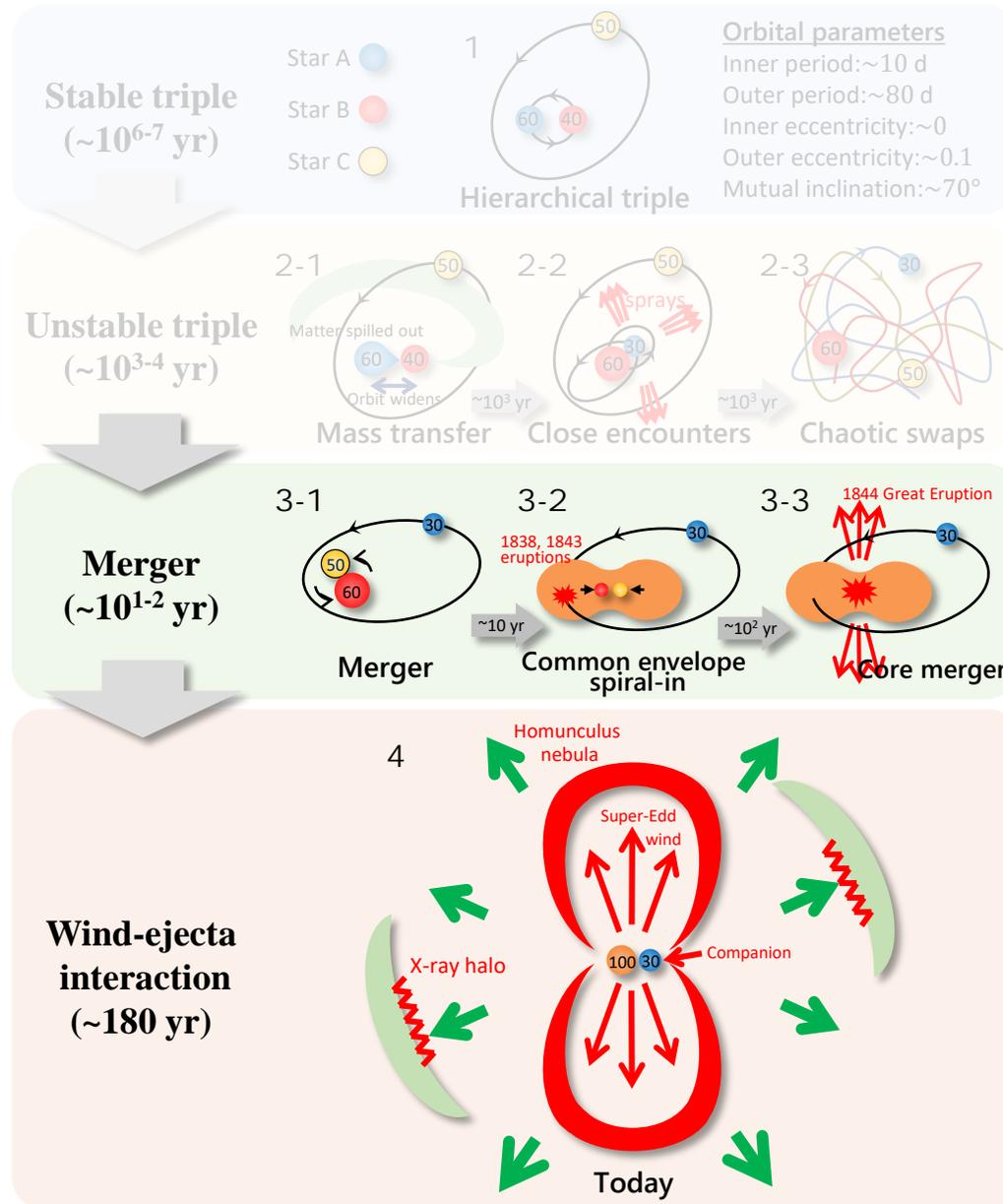


定性的に空間分布の形は似ている

今回提唱する形成シナリオ

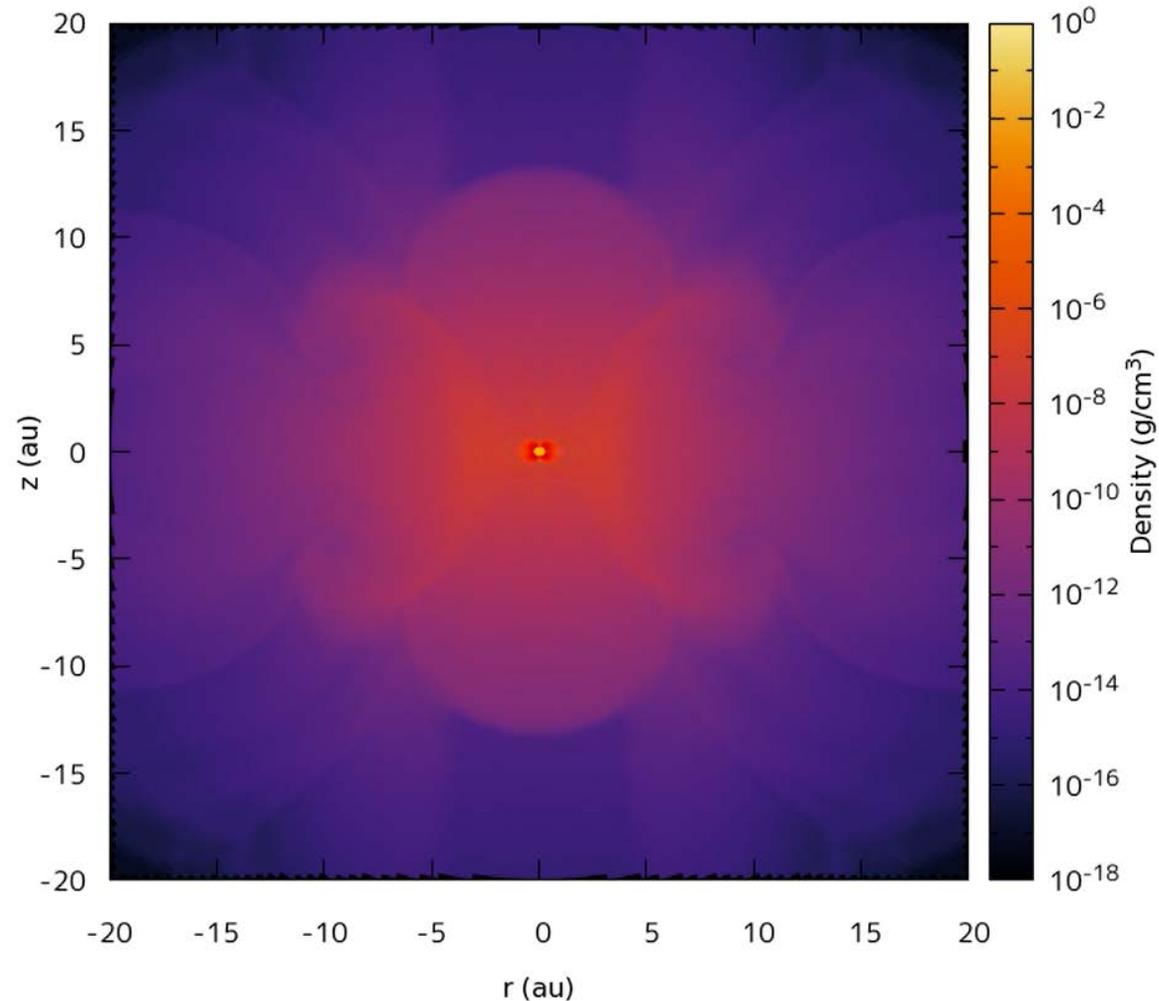


今回提唱する形成シナリオ



連星合体の疑似シミュレーション

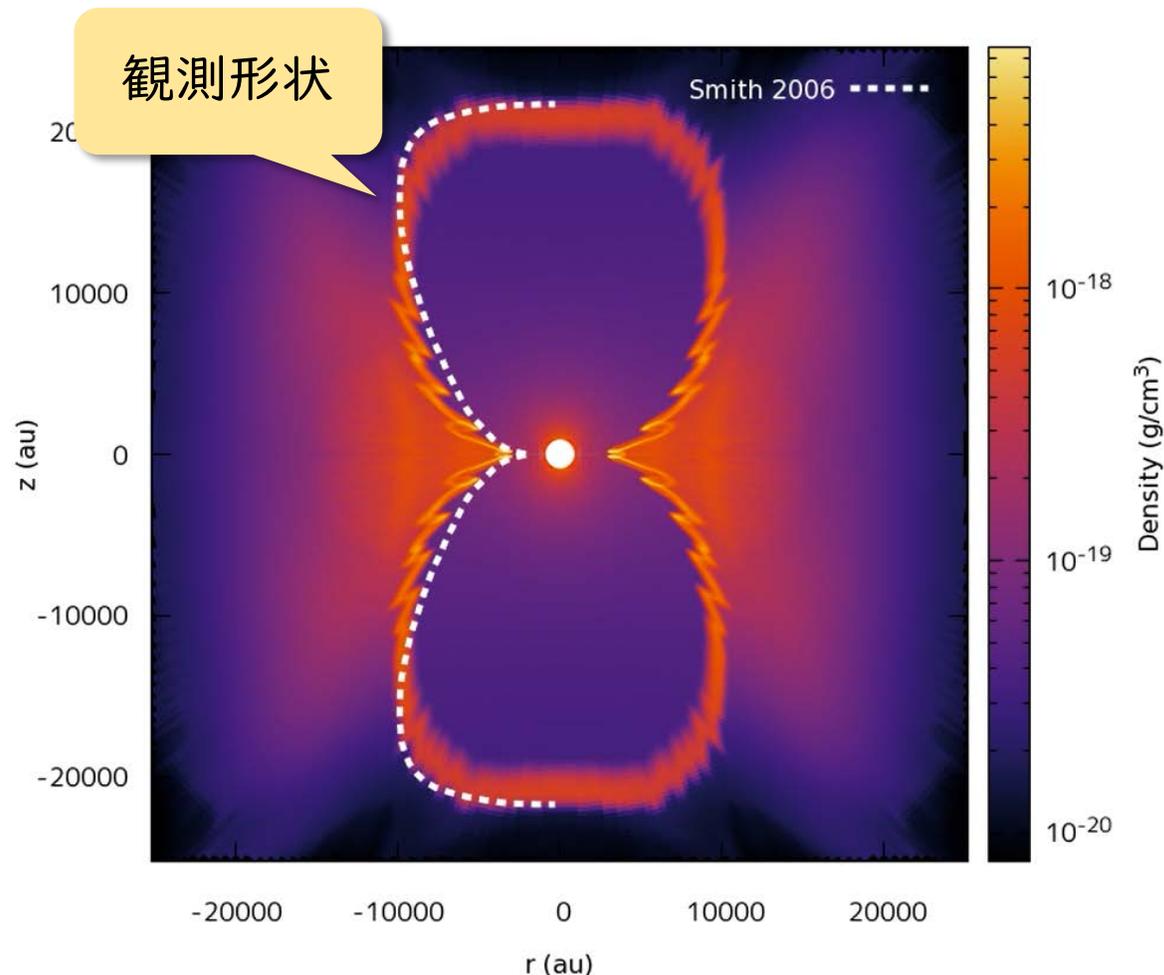
12.00 days



連星合体による爆発を再現するような軸対称2次元シミュレーションを行った

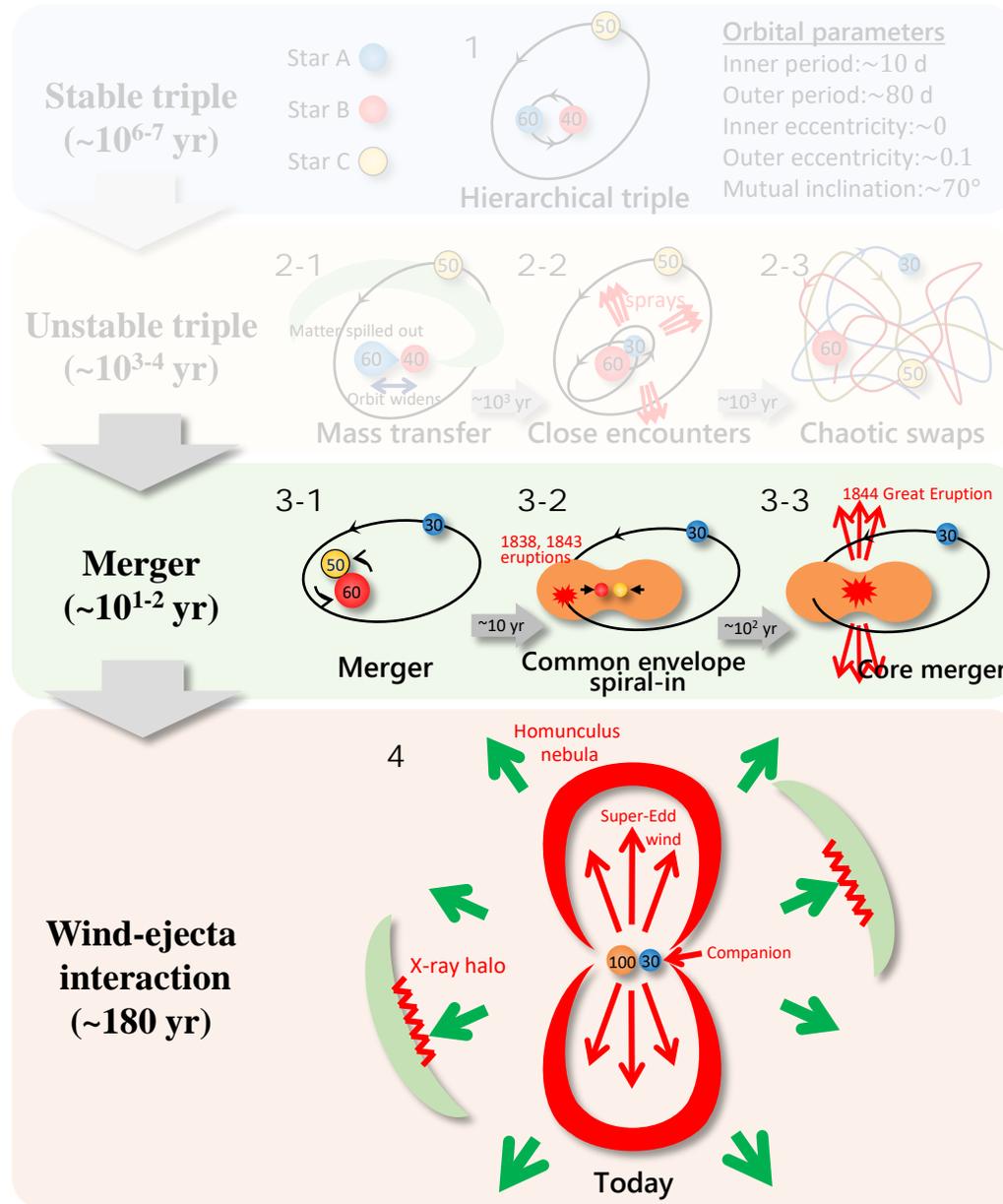
恒星風によるエジェクタの掃き集め

160.0 years



合体生成物は軌道から持ち込まれたエネルギーと角運動量が大量に残存しており、高い輻射エネルギーと高速回転によって強い恒星風が駆動される

今回提唱する形成シナリオ



以下の点に絞って起源を考える

▶ 外部エジェクタ

不安定な三体系は時に非常に偏心した軌道に至ることがあり、近点での重力相互作用で質量放出を起こす

▶ 19世紀の大爆発

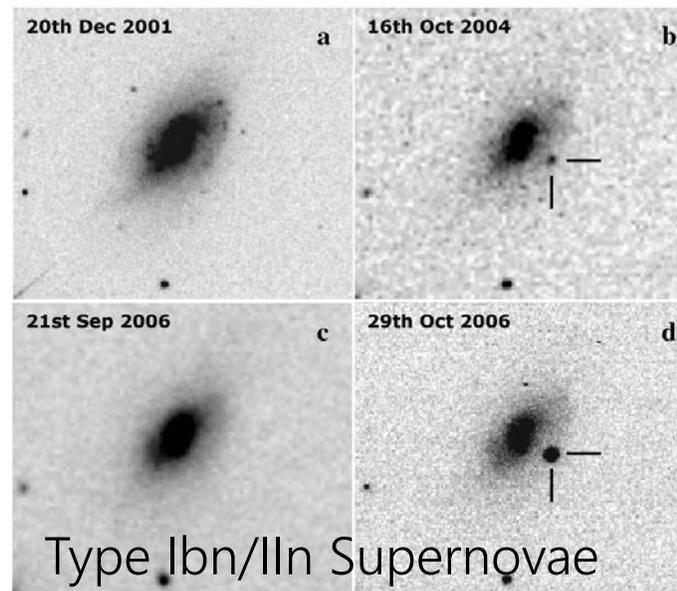
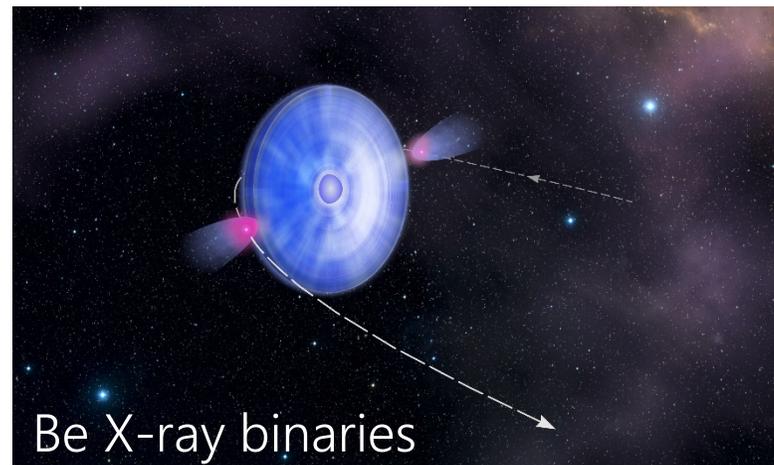
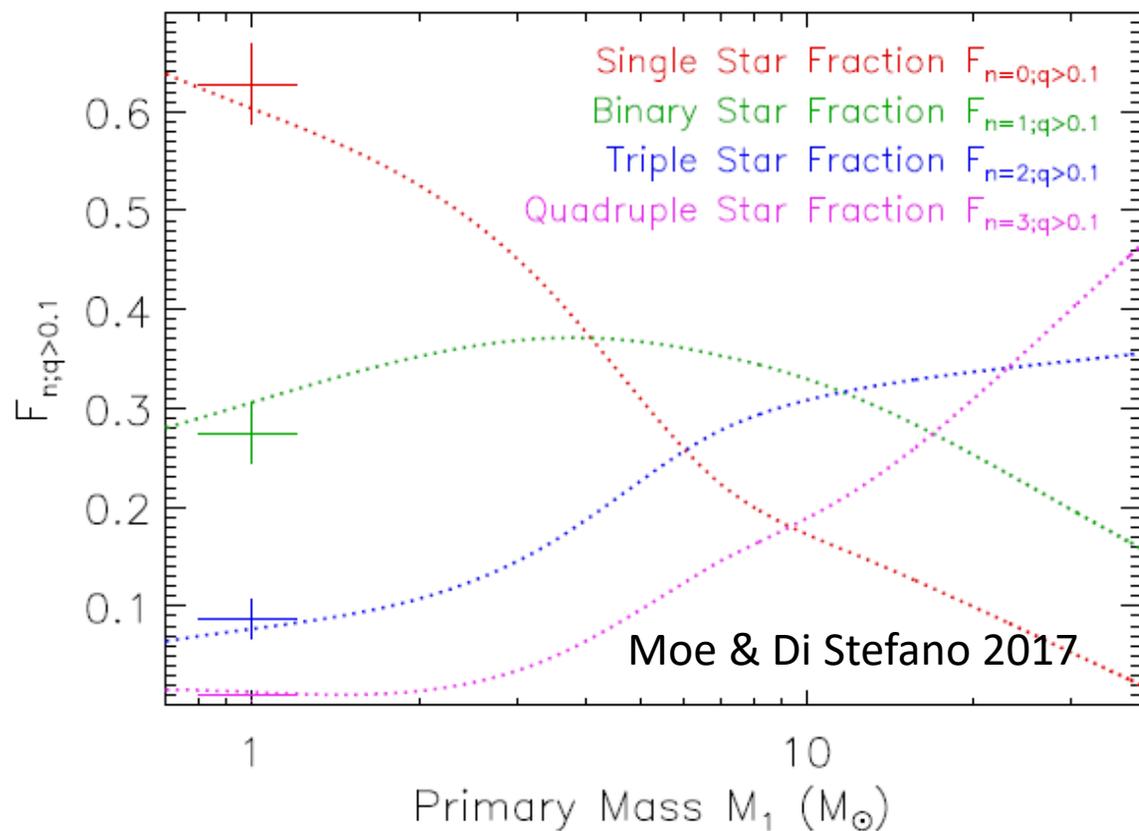
いずれ二つの星は合体に至り、大量のエネルギーと角運動量が解放されることで爆発が起きる

▶ 人形星雲形状

合体生成物には大量のエネルギーと角運動量が残存しているためそれを双極的な恒星風として解放する。爆発噴出物が恒星風に掃き集められ人形星雲の形状を作る

イータカリーナは珍しいのか

イータカリーナのような系はおそらく珍しいが、三体系中の連星合体は頻繁に起きてる可能性も



大質量星の大半は連星系どころかそれ以上の多重連星系に属している

まとめ

特異な星イータカリーナの形成シナリオとして不安定な三体系内での連星合体を提唱した

- 三体時代に内側の連星が接近して互いの表面をかすめることで一方向的な質量放出を起こす
- さらに軌道が不安定化すると3つの星のうち2つが衝突に近い合体現象を起こす
- 合体の際のエネルギー解放で爆発を起こす
- 残存エネルギーが恒星風を駆動し、エジェクタを掃き集めて人形星雲を形作る

軸対称2次元流体シミュレーションにより、イータカリーナの爆発及びその後の恒星風によるエジェクタの掃き集めを再現した。人形星雲に極めて近い形状の星雲を再現することに成功した。

多体計算により連星合体に至るまでの不安定な三体系の軌道進化を追った。また、恒星が接近した際に起きうる質量放出も疑似的に再現する計算を行った。観測される外部エジェクタの形状を定性的に再現できた。

豊富な観測があるイータカリーナから得られる知見を使って他の天体の起源も探れる可能性