

## Resolving the core of R136 in the optical

Kalari<sup>1</sup> et al. <sup>1</sup> Gemini Observatory/NSF's NOIRLab

## Abstract

- ・大マゼラン雲の30Doradus星形成領域の中心に位置する大質量星団**R136**コアの最もシャープな**Optical Imaging**観測。
- ・R136a1を含む中心核メンバーを特定。
- ・Gemini Speckle Imager Zorro



- ・R136a1とa3のcompanionを検出 → mid O dwarf
- ・WN5hの質量 = **150-200 M<sub>⊙</sub>**
- ・Mass Function
- ・IMFのupper massへのヒントになりうる (か?)

## Observation ~ Speckle Imaging

## ● Instrument

- ・Zorro : Speckle Imager
- ・Gemini South 8.1m @ Cerro Pachon, Chile
- ・700nm dichoric → red/blue CCD
- ・FoV ~ 2.5' x 2.5'



## ● Observation

- ・31 October 2021
- ・60msの露光を1000フレーム x 40データセット → 総積分時間40分
- ・フィルター : EO466, EO562, EO716, EO832 (BVR)
- ・Seeing ~ 0.6"-0.7" FWHM
- ・HR1960, HR1964, HR2221 for Speckle Transfer function

## ● Data Reduction

- ・R136と点光源のスペックルフレームの平均自己相関関数を計算
- ・角分解能 : 20-30mas
- ・V < 16magの天体はすべて検出 (@ 2" x 2")

## ● Photometry

- ・スペックル画像で最も明るい天体 (R136a1) との相対測光
- ・絶対校正 : spectrophotometric standard EG21を同じフィルターセットで観測
- ・データ処理はいたって普通

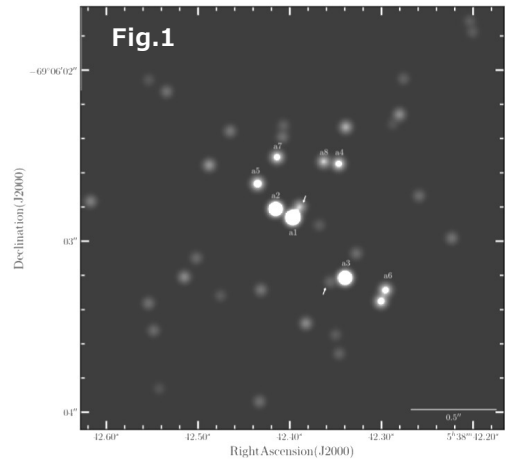
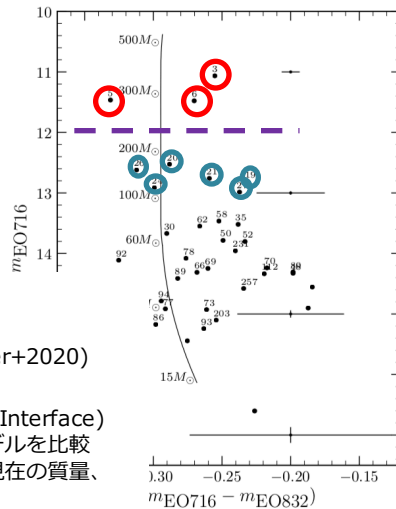


Figure 1. Zorro EO832 imaging of R136. R136 resolved stars from Weigelt & Baier (1985) are marked. Arrows mark the resolved companions to the WN5h stars R136a1, and a3. North is up and east is to the left

## Results

## ● Color-Magnitude diagram

- ・[mEO716 - mEO832] vs mEO716
- ・#34を除く全てが>15M
- ・300Mあたりの3つが**WN5h**
- ・70-150Mあたりの**early O**がいくつか
- ・これらの間に**ギャップ**がある...



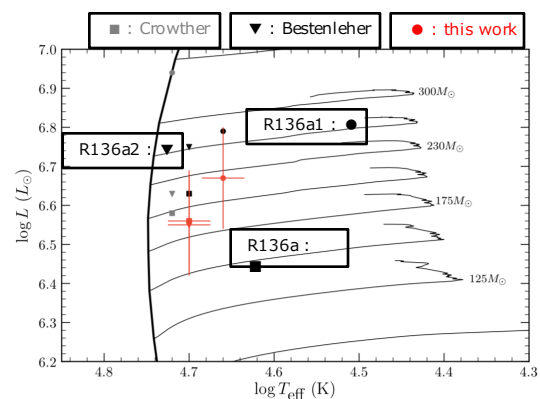
## ● WN5hのInitial mass

- ・Luminosity (table.3)
- + Effective temperature (Bestenlehner+2020)
- + BONNSAI

## #BONNSAI (BONN Stellar Astrophysics Interface)

- ・観測された恒星パラメータと恒星進化モデルを比較
- ・恒星の基本パラメータ (初期恒星質量、現在の質量、年齢など) のベイズ型確率分布から提供。
- ・パラメータ : luminosity, 有効温度、mass loss rate, 回転速度、ヘリウムのアバundance

## ● HR diagram



## Initial Massについて

- ・経験的には150M<sub>⊙</sub>が上限? (Figer2005, Weidner & Kroupa 2004)
- ・Crowther+2010 : initial mass of R136a1-3 ~150M<sub>⊙</sub>
- ・大質量星の合体? (Banerjee+2012, Banerjee & Kroupa 2012, Oh & Kroupa 2018)
- ・Optical & UV+PoWR model : 256M (Heinich+2010)
- ・HST/STIS & WFC3/UVIS + BONNSAI : 325M<sub>⊙</sub> (initial), 315M<sub>⊙</sub> (current) (Crowther et al. 2016)

## Other Issues (本当にこんな質量の星はあるのか?)

- ・これはzero metallicityの場合。
- ・大質量星の場合、mass loss rateが過小評価されている可能性。
- ・mass loss rateが大きくなれば、初期質量の上限はさらに大きくなる。
- ・LMCの場合はlow metallicity環境なので、それが実現できる?
- ・こんな星があると140~260M<sub>⊙</sub>の間で仮説とされるPair-Instability Supernova (PISN) (Heger & Woosley 2002) を説明できる。→ BH、重力波イベント、<sup>56</sup>Ni、etc...
- ・候補天体はまだ観測されていない...
- ・SN2007bi → もっと低質量星でも説明できそう...

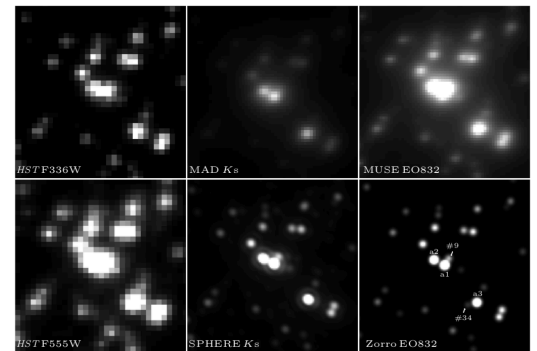


Table 3. Luminosities and masses of the central WN5h stars

WB85 <sup>a</sup>	log L (L <sub>⊙</sub> )	Mass (M <sub>⊙</sub> )	Reference <sup>b</sup>
R136 a1	6.67±0.13	196 <sup>+34</sup> <sub>-27</sub>	This work
	6.79±0.1	251 <sup>+48</sup> <sub>-31</sub>	Bestenlehner et al. (2020)
	6.94±0.09	315 <sup>+60</sup> <sub>-50</sub>	Crowther et al. (2016)
R136 a2	6.55±0.13	151 <sup>+27</sup> <sub>-16</sub>	This work
	6.75±0.1	211 <sup>+31</sup> <sub>-32</sub>	Bestenlehner et al. (2020)
	6.63±0.09	195 <sup>+35</sup> <sub>-30</sub>	Crowther et al. (2016)
R136 a3	6.56±0.13	155 <sup>+25</sup> <sub>-18</sub>	This work
	6.63±0.1	181 <sup>+29</sup> <sub>-31</sub>	Bestenlehner et al. (2020)
	6.58±0.09	180±30	Crowther et al. (2016)

## Caveats

- 多天体系では質量見積りのためには**luminosityが不正確**
- ・今回の結果でも、>2000AU
- ・Crowther+2010 : X線から近接連星 (<200AU) を否定
- ・Schnurr+2009 : 分光観測からbinaryがないという結果

- **進化モデルへの依存性**が大きい
- ・radiation-driven windsを適切に扱う必要がある。
- ・ex1 : Schneider+2014では、mass-loss rateを最大で2倍過少評価
- ・ex2 : Vink+2018 : 大質量星ではmass-loss rateの時間依存性も考慮する必要あり