ひまわり衛星を用いたベテルギウスの 可視赤外多色撮像モニタリング —ベテルギウスはなぜ大減光したのか?—

<mark>谷口大輔</mark>,山崎一哉,宇野慎介

東京大学

2021 年 1 月 29 日 連星系・変光星研究会 2020 @ Zoom

目次

💿 観測データ:ひまわり衛星アーカイブの可視赤外 16 バンド画像

③ データ解析:測光と SED fitting

④ 結果と議論:ベテルギウスはなぜ大減光したのか?

2 観測データ:ひまわり衛星アーカイブの可視赤外 16 バンド画像

③ データ解析:測光と SED fitting

4 結果と議論:ベテルギウスはなぜ大減光したのか?

ベテルギウス―最も近くにある赤色超巨星

- 明るい: $\log(L/L_{\odot}) = 4.91^{+0.14}_{-0.13}$
- 冷たい: $T_{\rm eff} = 3611 \pm 38 \, {
 m K}$
- 近い : D = 0.153^{+0.02}_{-0.02} kpc

(Taniguchi et al. 2021, in press; arXiv: 2012.07856)





谷口大輔 (東京大学)

ひまわり衛星でのベテルギウスのモニタリング 2021-01-29, 連星系・変光星 2020

4/21

ベテルギウス―最も近くにある赤色超巨星

- 明るい: $\log(L/L_{\odot}) = 4.91^{+0.14}_{-0.13}$
- 冷たい: $T_{\rm eff} = 3611 \pm 38 \, {
 m K}$
- 近い : D = 0.153^{+0.02}_{-0.02} kpc

(Taniguchi et al. 2021, in press; arXiv: 2012.07856)





(c) 東京大学/木下真一郎



ベテルギウスの大減光(2019-20年)

- 2019 年末~2020 年初頭にかけての可視光での大減光.
- 通常の~388日周期の減光と同じタイミングだったが、 観測史上最も暗くなった。



大減光の理由1---星周ダスト増加説

- Levesque+20:可視低分散スペクトルをモデル比較. → 通常の減光則に従わないダスト減光が主因だと推定。
- Safonov+20: <mark>偏光強度</mark>を測定. → 大減光後に偏光強度が増加,ダスト放出を示唆,



でのベテルギウスのモニタリング 2021-01-29. 連星系・変光星 2020 6/21

大減光の理由 2—有効温度低下説

- Harper+20:可視近赤外の狭帯域測光をモデル比較.
 → 二温度成分のモデルでの温度低下で観測を説明.
- Dharmawardena+20:サブミリ波で測光観測.
 → サブミリも 20% 減光,大気外層で 20% の温度低下を示唆.



谷口大輔 (東京大学)

ひまわり衛星でのベテルギウスのモニタリング 2021-01-29, 連星系・変光星 2020 7 / 21

大減光の理由—ダスト増加 vs 温度低下

目的:多波長高頻度測光により大減光の謎に迫る!

星周ダスト増加説		有効温度低下説	
$\Delta A(V) \sim 1.2 { m mag}$	変化量	$ $ $\Delta T_{ m eff} \sim 230$	Κ
赤くなる 変化なし 変化なし <mark>強くなる?</mark>	SED TiO 分子 H ₂ O 分子 ダスト放射	赤くなる <mark>強くなる</mark> 強くなる? 変化無し?	
(c) NASA/ESA/E. Wheatley(STScl) www.cfa.harvard.edu/news/2020-17		Jan 2019 Der (c) ESO/M. Montarg www.eso.org/public/news	2019 gès et al. /eso2003/

谷口大輔 (東京大学)

💿 観測データ:ひまわり衛星アーカイブの可視赤外 16 バンド画像

③ データ解析:測光と SED fitting

4 結果と議論:ベテルギウスはなぜ大減光したのか?

ひまわり衛星が見たベテルギウス

狭い宇宙空間に恒星も写り込んでいる!



谷口大輔 (東京大学)

ひまわり衛星の観測範囲

- 赤道 ±8.8 deg の一等星を毎日測光可能!
 - 早期型星:リゲル(B supergiant), プロキオン(F dwarf)
 - 晚期型星: Alphard, del Oph (KM giant),
 - ベテルギウス(赤色超巨星), ミラ(ミラ型変光星)



ひまわり衛星/AHI の観測波長

- 可視光~中間赤外までの幅広い波長域に16バンド.
- 全体の SED・各分子バンド・ダスト放射等を網羅的に測光可能.
- 宇宙観測なので、H₂O 分子バンドや中間赤外線に利点.



2 観測データ:ひまわり衛星アーカイブの可視赤外 16 バンド画像

③ データ解析:測光と SED fitting

4 結果と議論:ベテルギウスはなぜ大減光したのか?

ひまわり衛星の 16 バンド画像の測光

- 一次処理済データが気象庁から配布されている。
 - フラックス較正済:カウント ↔ 放射照度 変換のテーブル有り.
 - 幾何学画像変換済:衛星から見た角度の座標系.
 - 2.9 arcsec/pix @可視, 11.5 arcsec/pix @赤外.
- PSF ~ $2 pix \rightarrow 7 \times 7 pix^2$ で開口測光.





14 / 21

ベテルギウスの 5.5 年間のライトカーブ

- 可視・近赤外:十分高い精度(S/N~5-20)
- 赤外:S/N ~ 1, 複数観測日のデータを平均すれば使用可能



10 バンド測光データの SED fitting

- 一次元光球(NextGen) + ダスト減光(Cardelli's law)のモデル.
- 0.5-8µm (ダスト放射無し)をフィット.
- 10μm にシリケイトのダスト放射.



2 観測データ:ひまわり衛星アーカイブの可視赤外 16 バンド画像

③ データ解析:測光と SED fitting

④ 結果と議論:ベテルギウスはなぜ大減光したのか?

- 大減光(1.2 mag)の原因は
 星周ダスト減光(0.6 mag)
 有効温度低下(0.5 mag)
 の両方だった!
- ダスト放出は大減光の半年前に 開始していた?
- 日頃から温度変化とダスト減光の間にはタイムラグがある?
- 結果は強くモデル依存するので
 絶対値はバイアスを含む.



- 大減光(1.2 mag)の原因は
 星周ダスト減光(0.6 mag)
 有効温度低下(0.5 mag)
 の両方だった!
- ダスト放出は大減光の半年前に 開始していた?
- 日頃から温度変化とダスト減光の間にはタイムラグがある?
- 結果は強くモデル依存するので
 絶対値はバイアスを含む.



- 大減光(1.2 mag)の原因は
 星周ダスト減光(0.6 mag)
 有効温度低下(0.5 mag)
 の両方だった!
- ダスト放出は大減光の半年前に 開始していた?
- 日頃から温度変化とダスト減光の間にはタイムラグがある?
- 結果は強くモデル依存するので
 絶対値はバイアスを含む.



- 大減光(1.2 mag)の原因は
 星周ダスト減光(0.6 mag)
 有効温度低下(0.5 mag)
 の両方だった!
- ダスト放出は大減光の半年前に 開始していた?
- 日頃から温度変化とダスト減光の間にはタイムラグがある?
- 結果は強くモデル依存するので
 絶対値はバイアスを含む.



9.64µm のダスト放射の時間変化

- 平常時:有効温度低下と同時に ダスト放射も減少? →ダスト温度の低下を反映?

 大減光:ダスト放射も微増?
 - → 大量のダスト放出を示唆?



3700

3600

3550

er [K]

6.24 μm の H₂O 分子バンドの相転移???

- 2019年4月上旬に同時に:
 - 温度が急低下,急停止.
 - 減光の増加開始.
 - H₂O 分子バンドが吸収線から 輝線に転移.
- MOLsphereの形成に関連???





谷口大輔 (東京大学)

まとめと今後の展望

- 気象衛星ひまわり8号でベテルギウスを測光した.
 - 16 バンド、0.45–13.5 μm
 - 5.5年間・間断無し・平均して2日に1回程度
- NextGen モデルで SED fitting を行った.
 - 大減光の原因は、星周ダスト減光(0.6 mag) と有効温度低下(0.5 mag)の両方.
 - ダスト放出は大減光の半年前に開始していた。
 同時に水分子が吸収線から輝線へ転移した?
 - 10 μm のダスト放射は大減光時に微増した.
 大量のダスト放出を示唆.
- モデルの不完全さ(一次元・一温度)が重大な課題.
- 他の波長・装置との同時モニタリングが肝要.
 - 可視光低分散分光: TiO 分子強度
 - 高分散分光:原子吸収線を用いた表面温度

