

中間赤外線で大きく増光した天体について

小野里 宏樹 (東北大学大学院 理学研究科)

Abstract

私は、IRAS、AKARI、WISE というの中間赤外線全天サーベイを行った人工衛星のカタログデータを用いて、恒星やその周りに大規模な変化が起こったと考えられる大きく変光した天体を探した。その結果、恒星進化上で重要である大規模構造の変化が起こした候補となる天体を全天で 11 天体発見した。これらの天体について先行研究がほとんどなされておらず、正体が不明である。そのため、岡山天体物理観測所から観測可能な天体については、岡山近赤外撮像・分光装置 (ISLE) を用いて撮像・分光観測を行いその正体を探った。また、南アフリカ赤外線天体観測所 (IRSF) から観測可能な天体については、近赤外 3 色同時サーベイ用カメラ (SIRIUS) を用いて撮像モニター観測を行い、その正体を探っている。これらの観測から、いくつかの天体についてはその正体が明らかになってきている。

1 Introduction

宇宙において、中間赤外線の主な放射源は温度が数百 K 程度のダストである。生誕期や終末期にある恒星の周辺にはしばしば大量のガスやダストが存在し、それは恒星の進化、銀河内の物質循環、化学進化の重要な要素である。これまでの研究で、中間赤外線の光度の時間変化は、晩期型星の脈動や原始星の間欠的増光に付随して起こりうるということがわかっている。晩期型星の周りの比較的定常な状態のダストに関しては様々な研究が行われ、大きな成果が上げられてきた。

しかしながら、晩期型星内部の熱パルス、原始星周りの降着円盤の不安定性などが原因となる恒星の大規模構造の変化は数年から数百年という天文学的には非常に短期間に生じると考えられている (Habing 2004; Hartmann 2009 など)。そのような恒星進化の決定的な場面を直接観測することはその物理的背景を明らかにするためにきわめて重要であるが、時間スケールが恒星の寿命と比較し非常に短いため、一部の例外 (Duerbeck & Benetti 1996; Gandhi et al. 2012) を除きそのような天体は観測されていない。

そこで、IRAS、AKARI、WISE という中間赤外線全天サーベイを行った人工衛星のカタログデータを用いてそのような非常にまれな天体を検出できないかを調べることにした。IRAS、AKARI、WISE はそれぞれ 1983 年、2006 年、2009 年に打ち上げら

れたため、IRAS とその他の衛星の観測時期には 20 数年の間隔がある。この時間間隔は恒星の内部構造の急激な変化と再調整が外部への質量放出や増光として反映される最小の時間間隔に相当すると考えられる。そのため、これら 3 つのカタログを比較することにより、恒星自身や星周環境に重大な変化が起こったと考えられる中間赤外線大きく増光した天体を発見できると考えた。

2 ターゲット天体の選出

以下の手順で上記のような恒星や星周環境に大きな変化が起こったと考えられる中間赤外線大きく増光した天体を探した。まず、AKARI の全天 point source catalog (PSC, version 1.0) と WISE の全天 PSC を比較し、AKARI の座標から 5" 以内の WISE 天体を同一天体を見なし、AKARI-WISE catalog を作成した。このとき複数の WISE 天体が存在した場合には、もっとも近い天体が同一天体であると見なした。その後 AKARI-WISE catalog と IRAS の全天 PSC (version 2.0) を比較し、同じく AKARI の座標から半径 5" 以内の IRAS 天体を同一天体と見なした。以上の手順で 3 つのカタログすべてで検出されている天体のうち、次の条件を満たすものを今回のサンプル天体とした。

- 増光を調べる波長帯の IRAS の flux density

quality¹ が 3

- 増光を調べる波長帯の IRAS、AKARI、WISE の S/N 比が 3 以上

このようにして作ったサンプルのうち、以下の条件のうち 1 つ以上を満たすものをターゲットとした。

1. $\frac{F_{\nu, \text{AKARI S9W}}}{F_{\nu, \text{IRAS 12}}} > 10$
2. $\frac{F_{\nu, \text{WISE W3}}}{F_{\nu, \text{IRAS 12}}} > 10$
3. $\frac{F_{\nu, \text{AKARI L18W}}}{F_{\nu, \text{IRAS 25}}} > \sqrt{10} \sim 3.16$
4. $\frac{F_{\nu, \text{WISE W4}}}{F_{\nu, \text{IRAS 25}}} > \sqrt{10} \sim 3.16$

なお、今回は増光した天体のみを扱い、減光した天体については扱わない。なぜなら、IRAS は AKARI や WISE に比べて空間分解能が非常に悪く、AKARI や WISE では独立して検出できた天体を 1 つの天体だと見なし、天体を明るく見積もってしまったために減光したように見えるということが考えられるからである。以上のように条件を設定し、IRAS の PSC の 245889 天体、AKARI-WISE の PSC の 864306 天体の中から 11 天体を選出した。しかしながら、これらの天体について先行研究で得られている情報はほとんどなかった。そのため、現在様々な観測所で正体を探るための観測を行なっている。以下では、岡山天体物理観測所で ISLE を用いて観測を行った天体について述べる。

3 観測とデータ解析

今回選出した天体のうち、北半球から観測できる 4 天体については岡山天体物理観測所の近赤外撮像・分光装置 (ISLE) を用いて撮像・分光観測を行った。なお 4 天体のうちの 1 天体 (IRAS 22343+7501) は、Rosvick and Davidge (1995) や Kun et al. (2009) と今回の観測を行なっている際に 4 つの星 (2MASS J22352345+7517076、2MASS J22352442+7517037、[RD95] C、2MASS J22352497+7517113) の集まりである

¹IRAS の flux density quality は 1-3 まであり、3 は high quality のデータ、2 は moderate quality のデータ、1 はデータが上限値であることを表す。

ことが判明した。撮像観測は JHKs-band で、分光観測は低分散 (R ~ 510、350、410、それぞれ J、H、K) と中分散 (R ~ 2400、3600、2000、それぞれ J、H、K) で行った。波長較正のために Ar と Xe のランプを、また感度ムラやフリッジの補正のためにドームフラットを取得した。また、検出器の効率や大気の透過率を補正するために A0 型星を大気標準星として取得した。

撮像データはダーク (バイアスを含む) やスカイを引き、フラットで割るといった標準的な方法で 1 次処理を行った。IRAS 19574+4941、V2494 Cyg、V583 Cas については開口測光を行い、2MASS J22352345+7517076、2MASS J22352442+7517037、[RD95] C、2MASS J22352497+7517113 については PSF fitting 測光を行った。機械等級から見かけの等級に直す際は、2MASS のカタログを利用した。ターゲット以外の視野内の天体について 2MASS の等級と機械等級を比較し、その差について 2MASS と機械等級の測光誤差で重み付き平均を取り、それをターゲットの機械等級に足すことでターゲットの等級と誤差を求めた。

分光データも、スカイを引き (ダークとバイアス引きを含む)、フラットで割り、波長較正を行うという標準的な方法で処理を行った。検出器の効率や大気の透過率は次のように補正した。A0 型星の本来のスペクトルが水素の吸収線を除くと 10000 K の黒体であると仮定し、水素の吸収線を Gaussian fitting して取り除き、それで 10000 K の黒体のスペクトルをわり、感度曲線を求めた。それをターゲットのスペクトルにかけることにより、検出器の効率や大気の透過率を補正した。

4 結果と議論

4.1 IRAS 19574+4941

今回選出した天体の中では比較的小さいが、全体で 2-3 倍の増光が見られた。

ISLE での撮像観測の結果、近赤外線では 2MASS から大きな変光は見られなかった。また、分光観測の結果、弱い TiO の吸収が 1.104 μm と 1.242 μm の

表 1: 選出した天体のそれぞれの波長における flux 密度の比

	$\frac{F_{\nu, \text{AKARI S9W}}}{F_{\nu, \text{IRAS 12}}}$	$\frac{F_{\nu, \text{WISE W3}}}{F_{\nu, \text{IRAS 12}}}$	$\frac{F_{\nu, \text{AKARI L18W}}}{F_{\nu, \text{IRAS 25}}}$	$\frac{F_{\nu, \text{WISE W4}}}{F_{\nu, \text{IRAS 25}}}$
IRAS 19574+4941	2.407 ± 0.097	2.436 ± 0.098	3.190 ± 0.192	3.291 ± 0.199
V2494 Cyg	25.39 ± 1.55	54.45 ± 3.31	7.907 ± 0.423	11.27 ± 0.57
IRAS 22343+7501	3.323 ± 0.641	12.09 ± 0.49	1.298 ± 0.183	3.068 ± 0.153
V583 Cas	5.224 ± 0.598	3.978 ± 0.282	5.106 ± 0.464	3.935 ± 0.331

表 2: 測光結果の一部

天体名	Band	ISLE 等級	系統誤差	偶然誤差	2MASS 等級	2MASS 誤差
2MASS J22352345+7517076	J	15.029	0.009	0.007	14.230	上限値
	H	10.658	0.004	0.006	12.030	上限値
	Ks	7.581	0.009	0.008	11.590	0.054

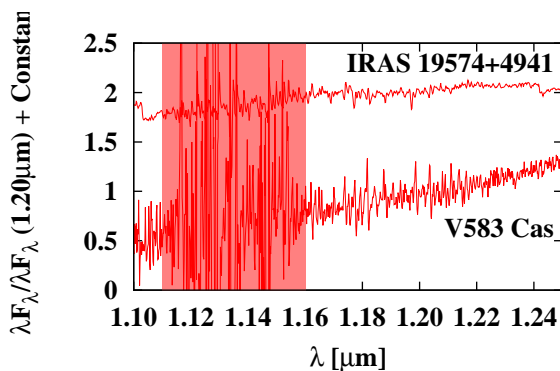


図 1: ISLE の J-band の中分散のスペクトル

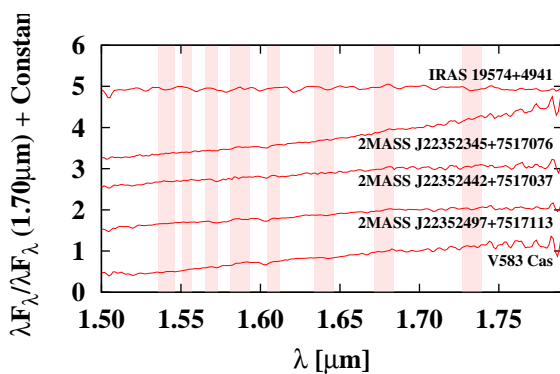


図 2: ISLE の H-band の低分散のスペクトル

付近に見られた。また、H-band と K-band のスペクトルには CO の吸収が見られた。これらのスペクトルの特徴と、この天体が既知の星形成領域に属して

いないことから、この天体の正体は M 型の AGB 星であると考えられる。

中間赤外線線の増光の原因としては、恒星の脈動による変光と、質量放出によるダストの増加が原因として考えられる。

4.2 V24949 Cyg

中間赤外線線で全天の中で最も大きな増光が見られた天体である。興味深いことに、遠赤外線でも大きな増光が見られた ($F_{\nu, \text{AKARI N60}}/F_{\nu, \text{IRAS 60}} = 6.921$ and $F_{\nu, \text{AKARI WIDE-S}}/F_{\nu, \text{IRAS 100}} = 5.676$)。Reipurth & Aspin (1997) や Greene, Aspin, & Reipurth (2008) などから、この天体はオリオン座 FU 型星² という種類の変光星であることが知られている。中間赤外線や遠赤外線での増光の原因は、降着により開放された重力エネルギーが光として放出され、その光が恒星の周りの降着円盤や外層を暖めたことにより、それらからの放射量が増加したという事が考えられる。可視光線での増光は既に知られていたが、中間赤外線や遠赤外線での増光は、今回初めて発見されたことである。

²突然に強い増光 (最大 6 等) が見られる前主系列星。突然の増光は、降着円盤からの大量の質量降着 ($\approx 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) が原因であると考えられている (Herbig 1977)。

4.3 IRAS 22343+7501

WISE の W4 band で IRAS 12 から大きな増光が見られた。しかしながら、IRAS、AKARI、WISE では 4 天体を分離できていないため、増光した天体を突き止めることはできなかった。

2MASS J22352442+7517037 と 2MASS J22352497+7517113 については Kun et al. (2009) からその正体が古典的 T Tauri 型星であることがわかっている。今回の撮像観測で、2MASS J22352345+7517076 は Ks で 2MASS から 4 等もの変光を示した。近赤外線でこれほど大きな変光を示す天体として考えられるのは young stellar object (YSO) である。近赤外線のスペクトルで特徴が見られないのも、恒星の周りの円盤によって恒星が隠されているためであることが考えられるため、その正体が YSO であることと矛盾しない。さらにこの恒星が Cepheus flare region という星形成領域に属すること、周りに nebula が見られることも、この天体が YSO であることを支持する。

4.4 V583 Cas

中間赤外全体 IRAS からで 4-5 倍という大きな増光が見られた。

この恒星は先行研究で、M 型星に分類するものと、炭素星に分類するものの両方が存在する。しかしながら、どちらも根拠となるデータを示しておらず、データから確認することができなかった。今回の観測で得られた近赤外線のスペクトルを見ると、 $1.52 \mu\text{m}$ に HCN と C_2H_2 の吸収が見られる。これは非常に低温の炭素星に見られる特徴である。しかしながら、普通の炭素星では $1.77 \mu\text{m}$ に C_2 の吸収が見られるはずであるが、この天体には見えていない。低温の恒星では 2 原子分子が減り、多原子分子が増えることが考えられるので、その結果が現れている可能性があるが、それと比較できる H-band のスペクトルが低温の炭素星 (例えば CW Leo、C9,5e 型) が現在までに取得されていないため、残念ながら天体の正体に結論を下すことはできない。おそらくは非常に低温の炭素星である。その場合、非常に大量に質量放出をしていることが考えられるため、大量のダ

ストが放出されたことにより、中間赤外線が増光したという事が考えられる。

5 まとめ

中間赤外線ですくく増光した天体を探した結果、全天に 11 天体を見つけた。これらの天体についての先行研究がほとんどなされていなかったため、現在様々な観測所でその正体を探る観測を行なっている。今回はその中の岡山天体物理観測所の結果について報告した。岡山天体物理観測所での観測の結果、2 天体についてその正体に迫ることができた。今後は北半球からは観測出来ない天体についても分光観測を行いその正体を探りたい。また、今回 IRAS と AKARI-WISE の PSC を比較する際、matching の精度を上げるため、狭い半径で matching を行なっている。そのため、本当は同一天体であるが、matching できていない天体も一定数存在しているものと思われる。今後はそのような天体についても調べていきたいと思う。

Reference

- Duerbeck, H.W. & Benetti, S. 1996, ApJ, 468, L111
- Gandhi, P., Yamamura, I., & Takita, S. 2012, ApJ, 751, L1
- Green, T.P., Aspin, C., & Reipurth, B. 2008, AJ, 135, 1421
- Habing, H.J. 2004, Obs, 124, 393
- Hartmann, L. 2009, Accretion Processes in Star Formation (2nd ed.; Cambridge Univ. Press)
- Herbig, G.H. 1977, ApJ, 135, 1421
- Ita, Y., et al. 2010, A&A, 514, A2
- Kun, M., Balog, Z., Kenyon, S. J., Mamajek, E. E., & Gutermuth, R. A. 2009, ApJ, 185, 451
- Reipurth, B. & Aspin, C. 1997, AJ, 114, 2700
- Rosvick, J.M. & Davidge, T.J. 1995, PASP, 107, 49