

銀河面における前主系列星の広域探査観測

竹内媛香, 大朝由美子(埼玉大学), 伊藤洋一, 本田敏志(兵庫県立大学), 高木悠平(国立天文台), 橋本修(ぐんま天文台)



1. 研究背景

1.1 分子雲密度と星形成

星形成はガス・ダスト密度の高い分子雲で活発

分子ガス密度が低い領域では？

高銀緯分子雲(銀緯 $>30^\circ$)などの低密度環境においてもわずかに星形成が起きている(平塚 2017 修士論文)

→観測例が少なく、低密度領域の星形成はよくわかっていない

- ・低密度領域でどのような星形成が起きているのか？
- ・分子雲から孤立したTTSは、低密度環境で形成されたのか、あるいは高密度環境で形成後に移動したのか？

1.2 銀河面

- ・様々なガス・ダスト密度の領域が存在(大部分は高密度)
- ・光赤外域から電波域の様々なサーベイ観測が行われている

1.3 前主系列星(PMS)

原始惑星系円盤を伴い質量降着が起きている段階。

- ・ **Tタウリ型星(TTS)...**低質量($2M_\odot$ 未満)の前主系列星
 - ・スペクトル型はF~M型で、 $H\alpha$ 輝線や赤外超過などの特徴を示す
 - ・ $H\alpha$ 輝線等価幅 $\geq 10\text{ \AA}$: 古典的TTS、 $< 10\text{ \AA}$: 弱輝線TTSに分類
- ・ **Herbig Ae/Be 型星...**中質量($2\sim 10M_\odot$)の前主系列星
 - ・スペクトル型はB型、A型で $H\alpha$ 輝線などを伴う
 - ・進化が早く天体数が少ない

1.4 研究目的

銀河面におけるPMSの無バイアスな分光探査観測を行い、異なる分子雲のガス・ダスト密度における星形成の相違を調べる

- ・分子雲密度の低い領域における星形成を探る
- ・分子雲から孤立したPMSの形成への理解を深める

1.5 研究対象領域

IPHAS(Drew et al. 2005)とFUGIN(Umemoto et al. 2017)の共通領域を中心に観測

銀経: $180^\circ \sim 216^\circ$ 、銀緯: $-1^\circ \sim +1^\circ$

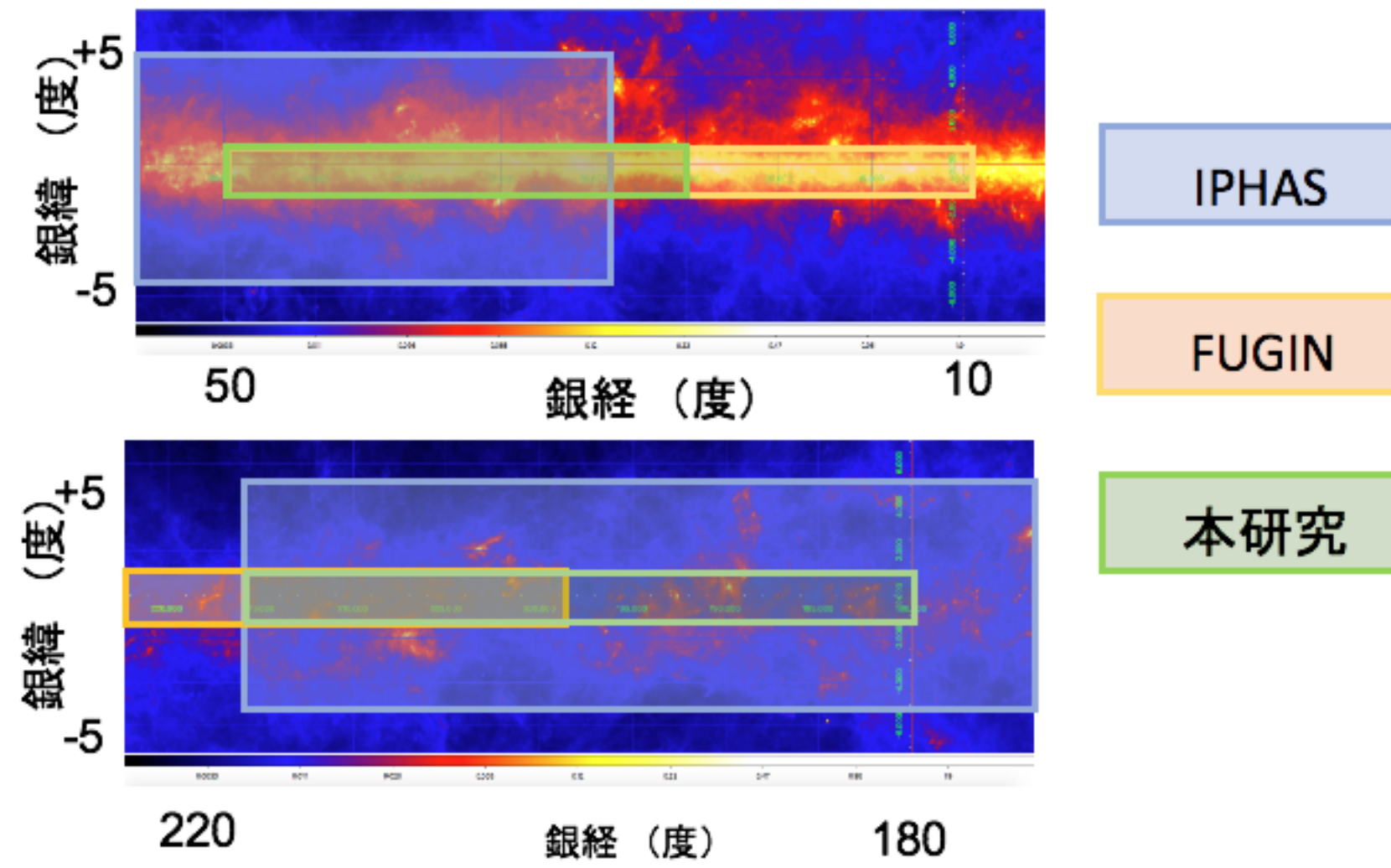


図1. 研究領域

表1. IPHAS(The Isaac Newton Telescope Photometric H-Alpha Survey)

望遠鏡	Isaac Newton Telescope (2.5m)
フィルター	$r', i', H\alpha$
観測領域	銀経: $29^\circ < l < 216^\circ$ 銀緯: $-5^\circ < b < +5^\circ$

表2. FUGIN(FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with the Nobeyama 45 m telescope)

望遠鏡	国立天文台野辺山電波観測所 45 m電波望遠鏡
観測輝線	$^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$
観測領域	銀経: $10^\circ < l < 50^\circ$, $198^\circ < l < 236^\circ$ 銀緯: $-1^\circ < b < +1^\circ$

3. 観測と解析

3.1 観測 SINBADで既知のYSOに分類されていない天体を優先して観測した。

表3. 観測概要

望遠鏡	兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡 (口径: 2.0m)	ぐんま天文台150cm望遠鏡
観測日	2017年 6晩、2018年 8晩、 2019年 6晩、2020年 7晩	2019年 2晩、2020年 14晩
観測装置	可視光中低分散分光器(MALLS) ・グレーティング(150 本/mm) ・オーダーカット(GG475, WG320)	低分散分光・撮像装置(GLOWS) ・グリズム
波長分解能	$\sim 700(\text{slit}=0.8'')$ 、 $\sim 600(\text{slit}=1.2'')$	400-500
スリット幅	0.8'', 1.2''	1.8''
波長域	4000~9000 $\text{\AA}$	4000~8000 $\text{\AA}$
観測領域	銀経: $29^\circ < l < 50^\circ$ 、 $180^\circ < l < 216^\circ$ 銀緯: $-1^\circ < b < +1^\circ$	銀経: $180^\circ < l < 216^\circ$ 銀緯: $-1^\circ < b < +1^\circ$
観測天体数	291天体	28天体
r' 等級	11-17 mag	13-16 mag
積分時間	1天体あたり240 s~2700 s	1天体あたり1800 s~5400 s

3.2 解析

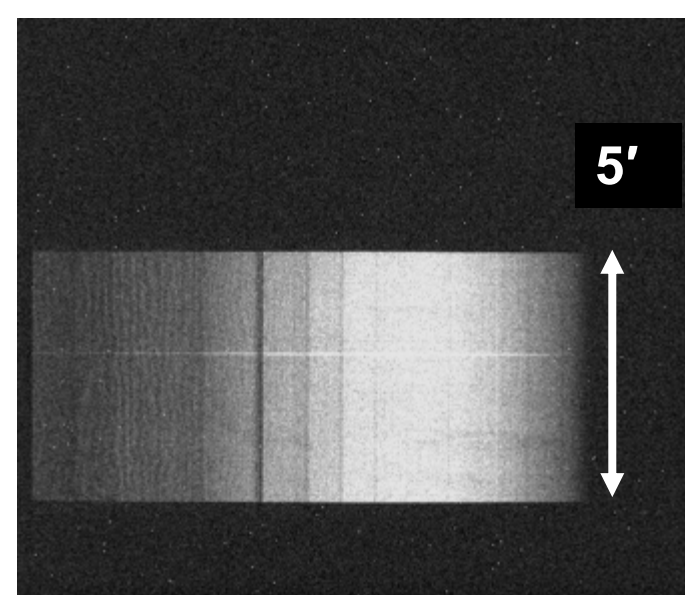


図3. 解析前のオブジェクトフレーム

NOAO(National Optical Astronomy Observatories)が開発した画像処理ソフト IRAF(Imaging Reduction Analysis Facility)を用いた。



289天体を解析し、 $H\alpha$ 輝線等価幅を測定
157天体で $H\alpha$ 輝線を検出

表4. グループ別の天体数

分類	候補天体数	観測天体数
Group1	285	149
Group2	69	27
Group3	1603	34
その他 PMS 候補天体 (中村 2016、 木内 2018)	—	107
計	1957	317

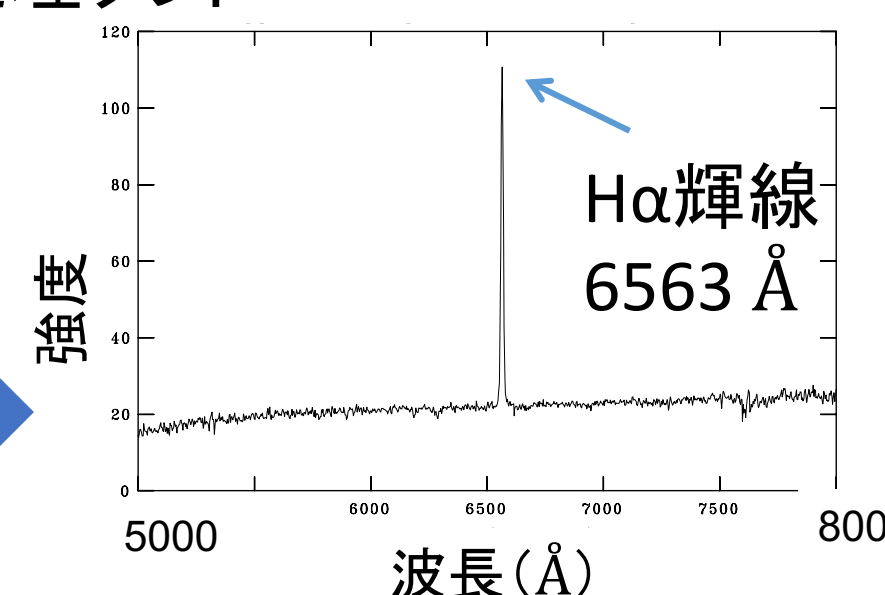


図4. 解析後の天体スペクトルの一例。6563 $\text{\AA}$ で $H\alpha$ 輝線が見られる。

4. 結果と考察

4.1 選別方法の有効性の検証

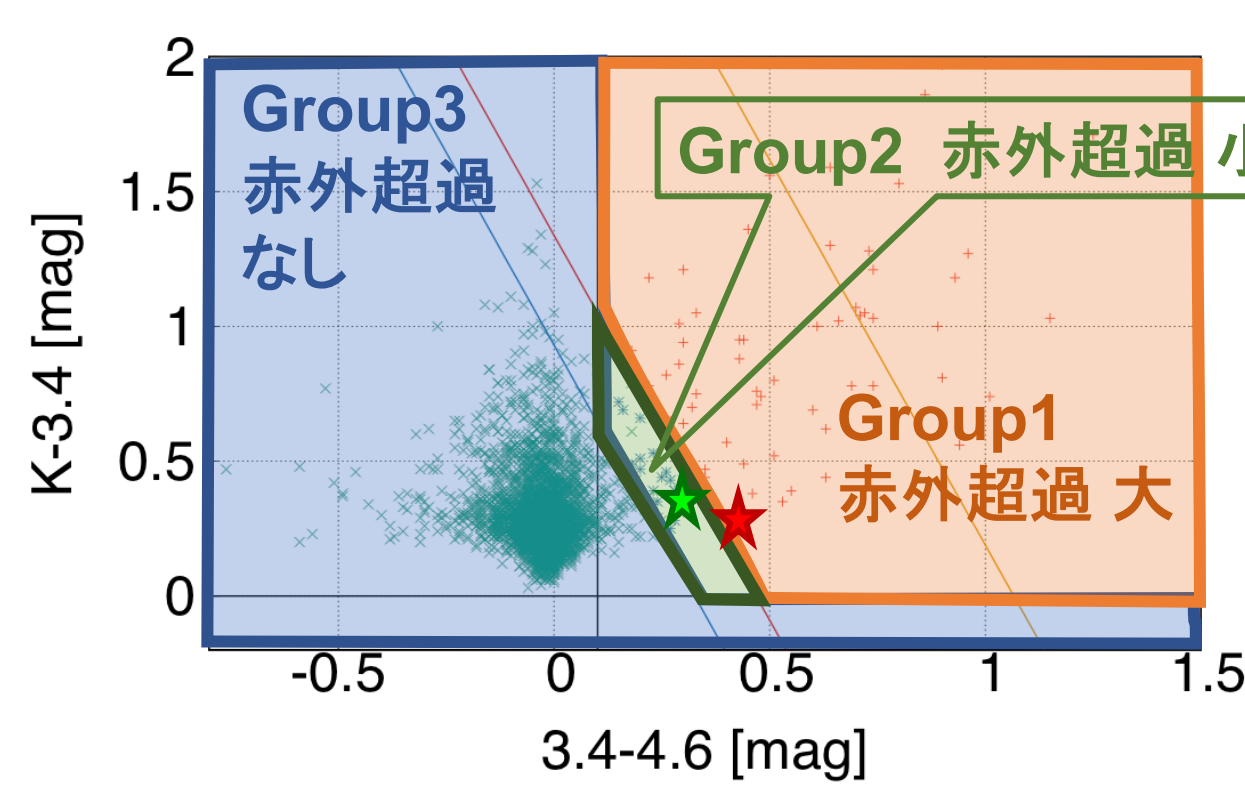


図5. K_s , [3.4], [4.6]二色図での赤外超過の大きさによるGroup1, 2, 3の分類。星印は $H\alpha$ 輝線が検出された天体の例。

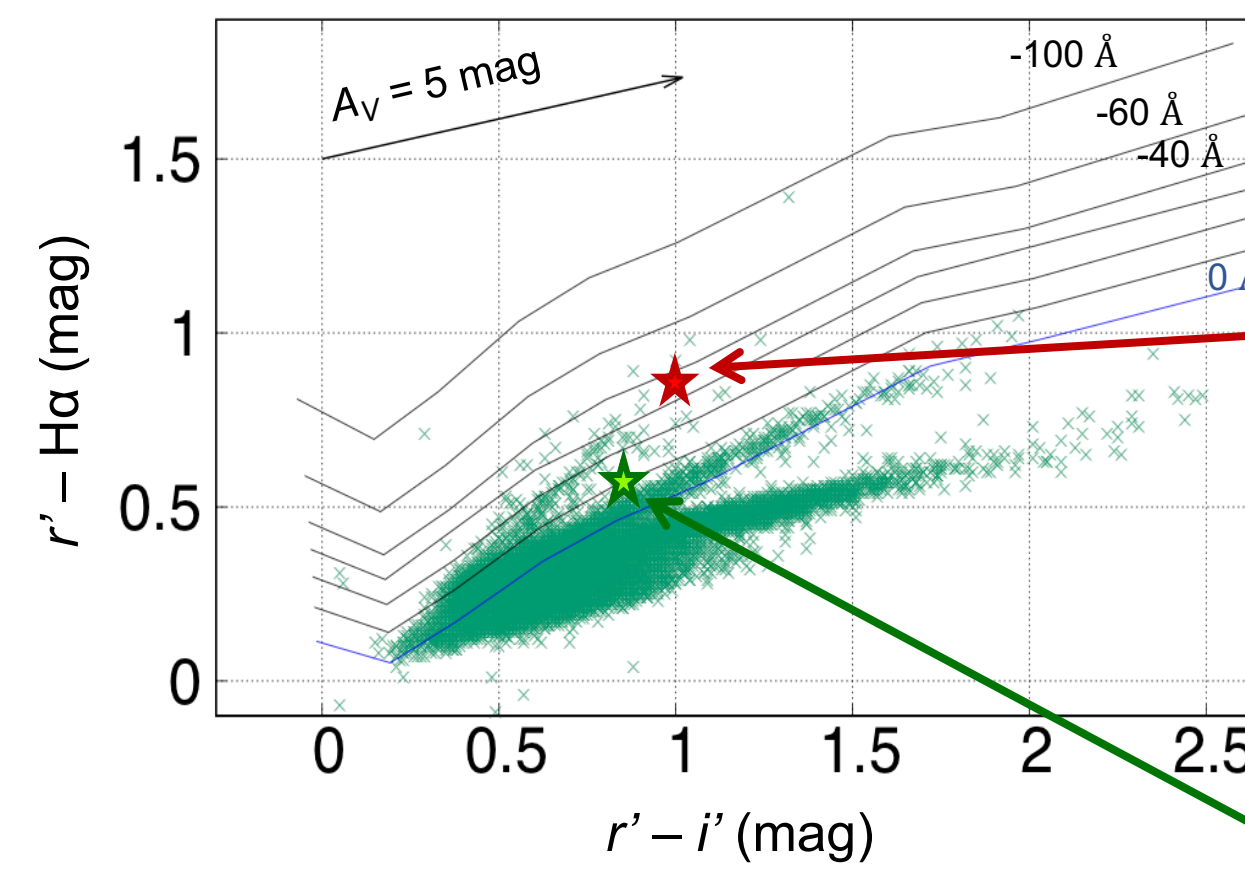


図6. $r'-i'$ vs $H\alpha$ 二色図による $H\alpha$ 線等価幅の予測と、スペクトルの一例。星印はそれぞれ図5と同じ天体。 $H\alpha$ 線等価幅予測値: (赤星)-35 $\text{\AA}$ 、(緑星)-9.7 $\text{\AA}$

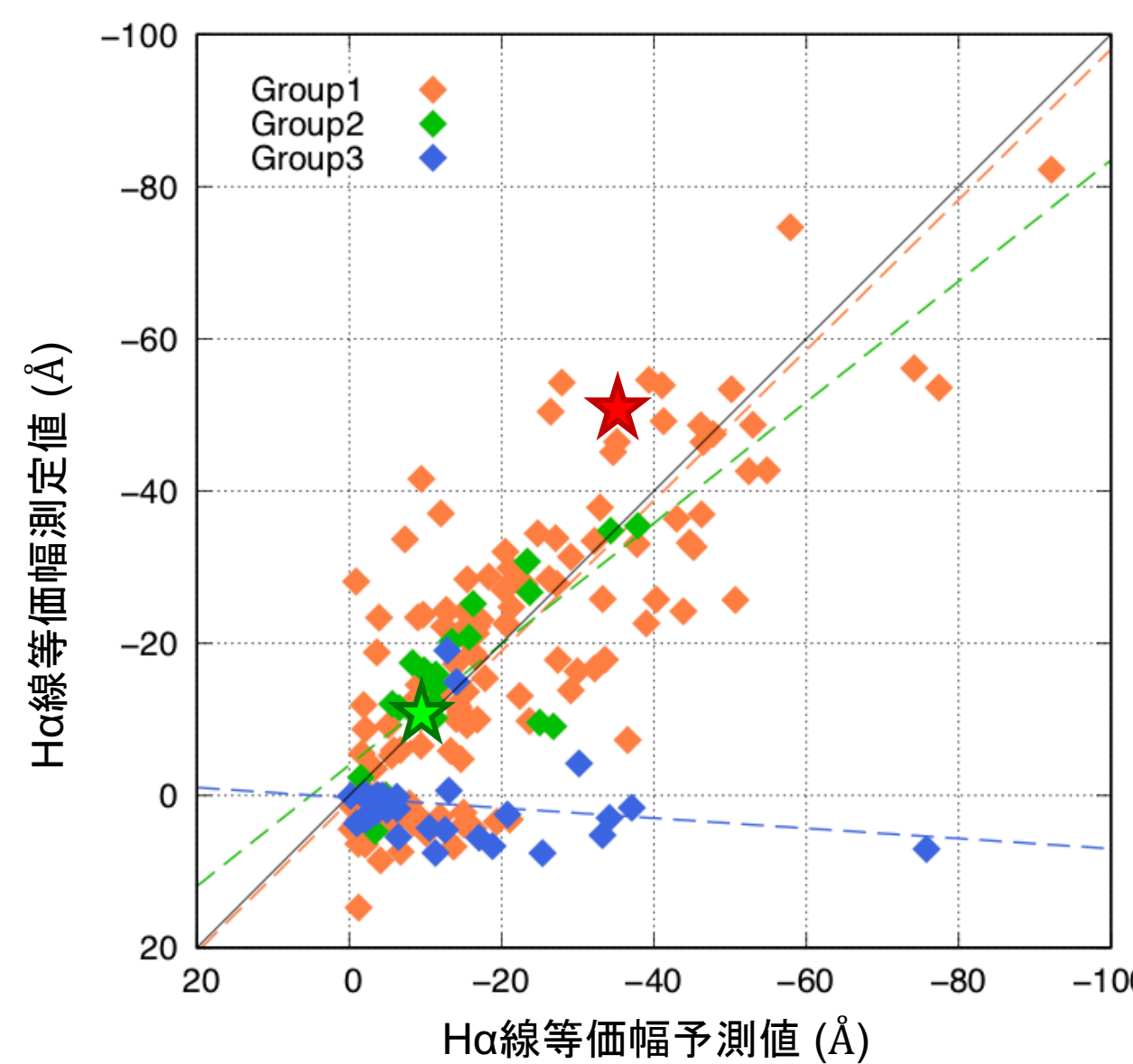


図7. $H\alpha$ 線等価幅の予測値と測定値との比較。星印は図5、図6と同じ天体。

$H\alpha$ 輝線等価幅について

図4から求めたの予測値と、観測スペクトルから測定した値

Group1, Group2 → 正の相関あり
Group3 → $H\alpha$ 輝線候補33天体中、4天体のみ輝線検出

Group1, Group2による
 $H\alpha$ 輝線天体の選別
は有効

4.2 SEDによる赤外超過の確認と温度の導出

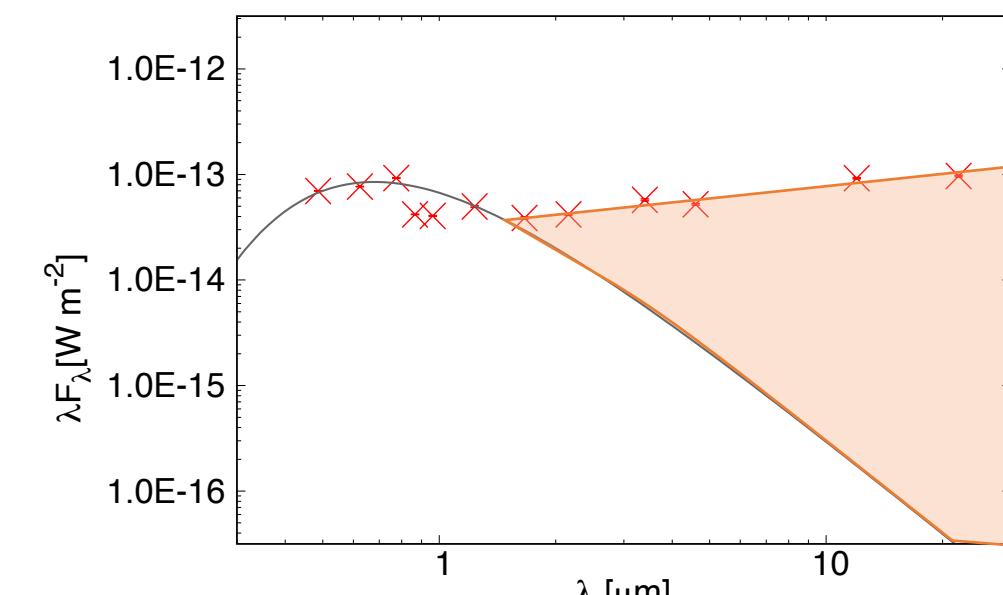


図9. CTTSとみられる、赤外超過の大きい天体の一例。 $A_V = 0.6\text{ mag}$ 、温度: 5400 K

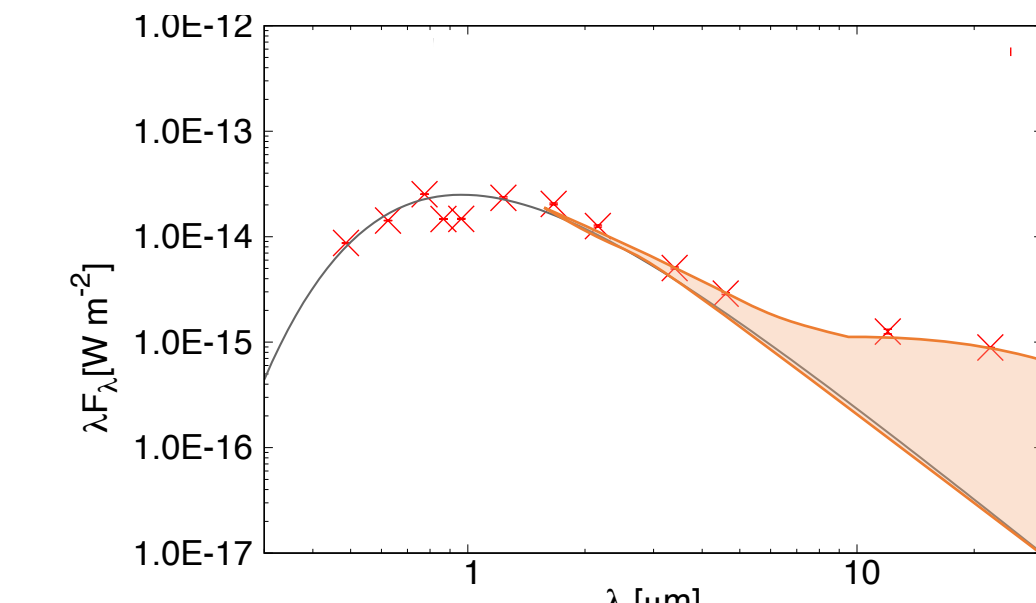


図10. WTTSとみられる、赤外超過の小さい天体の一例。 $A_V = 0.6\text{ mag}$ 、温度: 3800 K

$H\alpha$ 輝線が検出された89天体について

Pan-STARRS、IPHAS、2MASS、WISEのアーカイブデータ($0.5\sim 12\text{ }\mu\text{m}$)を黒体放射でフィット

➢ 有効温度を決定

88天体で、SEDでも有意な赤外超過が見られた
➢ PMSと同定

今後、紫外超過の有無についても調査する

4.3 スペクトル型の決定

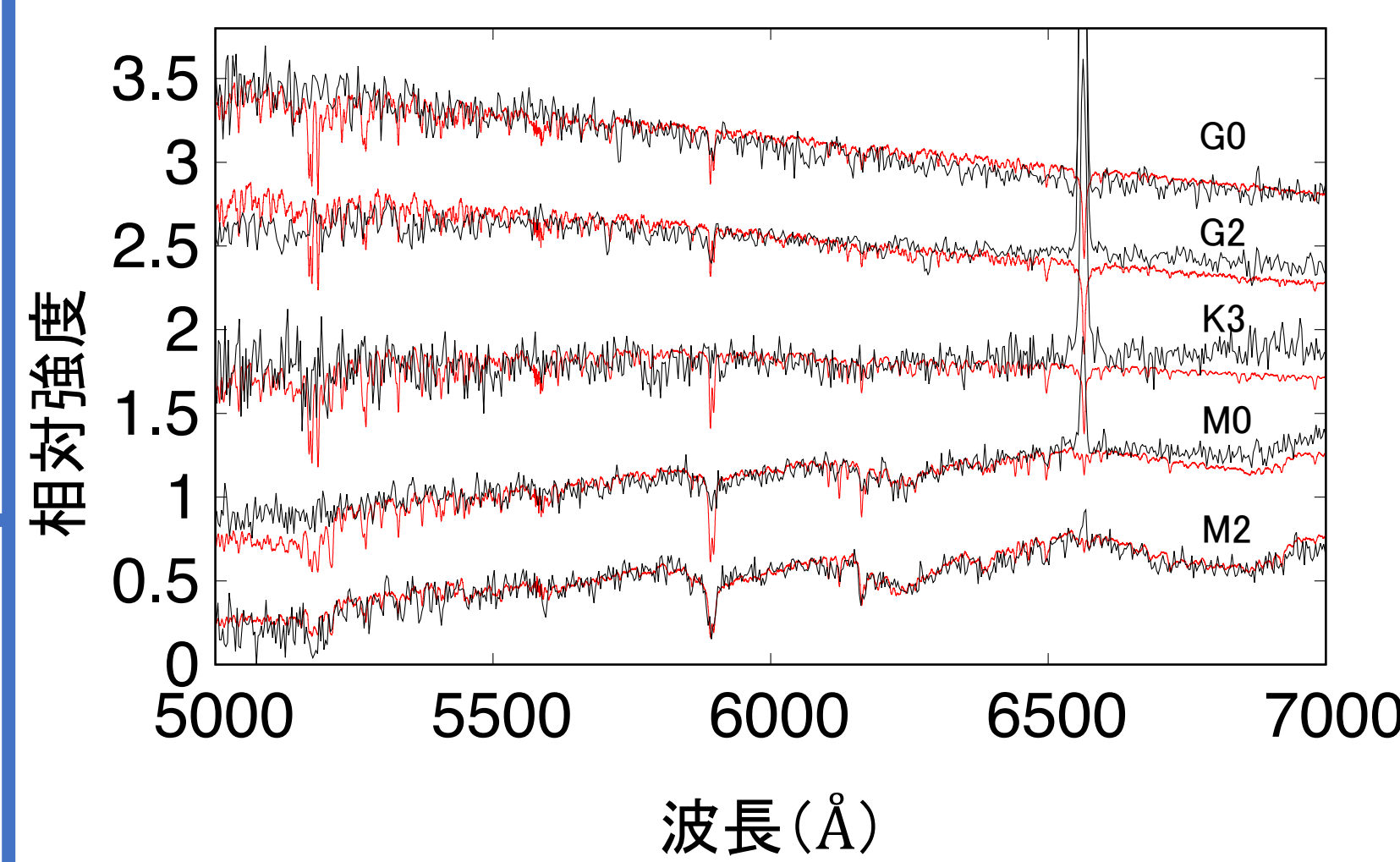


図11. 黒線: 8000 $\text{\AA}$ で規格化した観測天体のスペクトルの例。赤線: スペクトル型テンプレート(Kessel et al. 2017)。

下の(1)~(4)の手順でスペクトル型を求めた。

- (1) r', i' , $H\alpha$ 二色図、 JHK 二色図から減光量(A_V 等級)を見積もり、スペクトルとSEDを補正
- (2) のSEDから求めた有効温度に近いスペクトル型のテンプレート(Kessel et al. 2017)と、(2)のスペクトルとの比較
- (3) スペクトル型テンプレートとの χ^2 フィッティングの結果と比較
- (4) A_V 等級を変化させながら(1)~(3)を繰り返す

5. まとめ

- ・銀河面において、可視赤外アーカイブデータを用いてPMS候補天体を選別し、可視分光観測を実施した。
- ・289天体を解析し、157天体で $H\alpha$ 輝線を検出した。
- ・少なくとも88天体で、SEDでも有意な赤外超過が見られ、PMSと同定した。

6. 今後の課題

- ・HR図を作成し、各天体の年齢を導出する。
- ・同定したPMS天体について、Gaiaの視差データから距離を求める。
- ・Dendrogramを用いて、FUGINデータから分子雲を同定する。

同定したPMSと分子雲のガス・ダスト密度との比較を行い、環境による星形成の差異を探っていく。

2. PMS 候補天体の選別と $H\alpha$ 輝線等価幅の予測

- ・ 2MASSのph_qualAAA
- ・ WISEのph_qual A***orB***
- ・ 1.0"以内で2MASSとIPHASの一致
- ・ 2.0"以内でWISEとIPHASの一致
- ・ KバンドのS/N >10
- ・ $r < 17\text{ mag}$

JHKL、 K_s [3.4][4.6]、 $r'i'H\alpha$ の3種類の二色図を用いてPMS候補天体を選別
木内 2018, 大朝2019 から改良

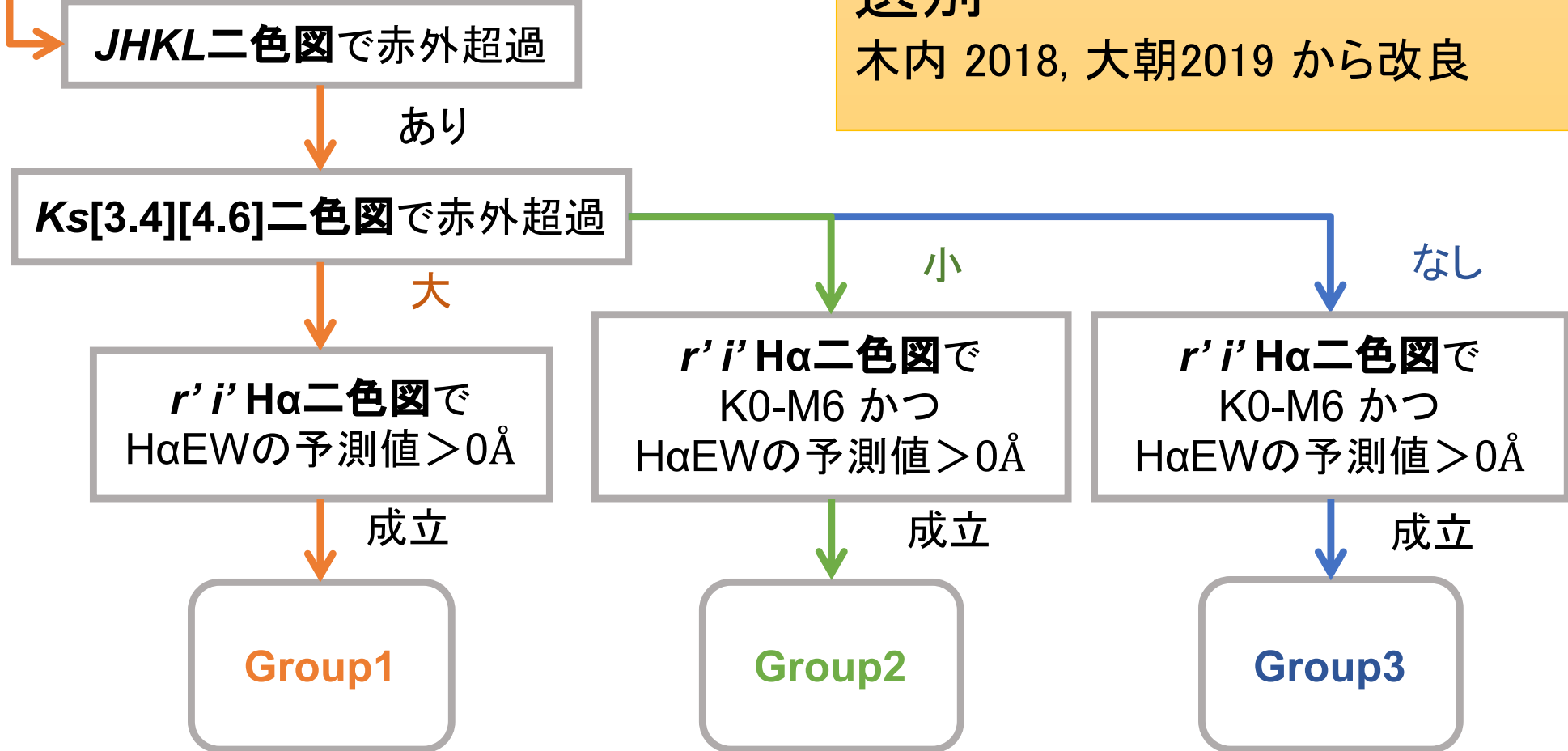


図2. PMS候補天体選別のフローチャート。Group1, 2, 3の順に、 K_s , [3.4], [4.6]二色図での赤外超過が大きくなっている。