

大質量星クラスターの近赤外狭帯域フィルター撮像観測

奥村真一郎 (日本スペースガード協会)、高橋英則、田中培生 (東京大学) ほか TAO グループ

1. はじめに

大質量星は内部で多くの元素を作り出し、その進化過程において大量のガス、ダストを形成し宇宙空間に放出する。従って大質量星の進化過程を明らかにすることは、銀河における物質の循環に関するプロセスを明らかにすることに密接に関係し、銀河の化学的進化の研究にとって非常に重要である。大質量星は分子雲内部で誕生し、その後主系列星、Luminous Blue Variable (LBV)星、Wolf-Rayet (WR)星等の過程を経て超新星爆発に至る。超新星爆発については理論・観測共に詳細な研究が進んでいるが、超新星爆発直前の大質量星の進化については謎が多い。なぜなら、大質量星は進化が早く、しかもその寿命のかなりの期間を分子雲に埋もれた状態で過ごすため、可視光での観測が困難であったためである。

銀河系内には、約3000-6000個のWR星が存在すると考えられているが(文献1, 2, 3)、可視光を中心とした探索では300個程度しか検出されていない(4)。最近の赤外線による探索(5, 6, 7)により、200個ほどが新たに発見されているがそれをトータルしても500個程度である。また、WR星の寿命を40-50万年とすると、銀河系内には100年で3個ほどの超新星が予想されるにもかかわらず、確認されているのはこの1000年間で5個 (Ia型3個、II型2個) のみであり、Ib型、Ic型超新星に至っては一つも検出されていない。このように、WR星や超新星の検出数が予想される数より少ないのは、減光の大きな領域での探索が十分でないためと考えられる。実際これまでに見つかったWR星は太陽から5~6kpc以内の範囲に分布が集中している(4)。つまり、ほとんどのWR星が未だ発見されずに埋もれている可能性が高い。未発見のWR星を検出し、銀河系全体におけるWR星の分布を把握することは大質量星の進化や銀河進化の研究に対して様々な貢献をすることとなる。

われわれのグループでは、WC型WR星を効率的に検出できる狭帯域フィルターを製作し、これとKsフィルター、Pa α フィルターを合わせた3色のフィルターを用いた大質量星形成領域の観測を実施している。減光が大きく探索が十分にいきわたっていない分子雲内部に埋もれたWR星やLBV星等大質量星の探索を進めるとともに、大質量星クラスターにおける質量関数や星形成史を明らかにすることが目的である。以下、その手法といくつかの領域 (銀河中心領域、Westerlund領域) について観測した結果について紹介する。

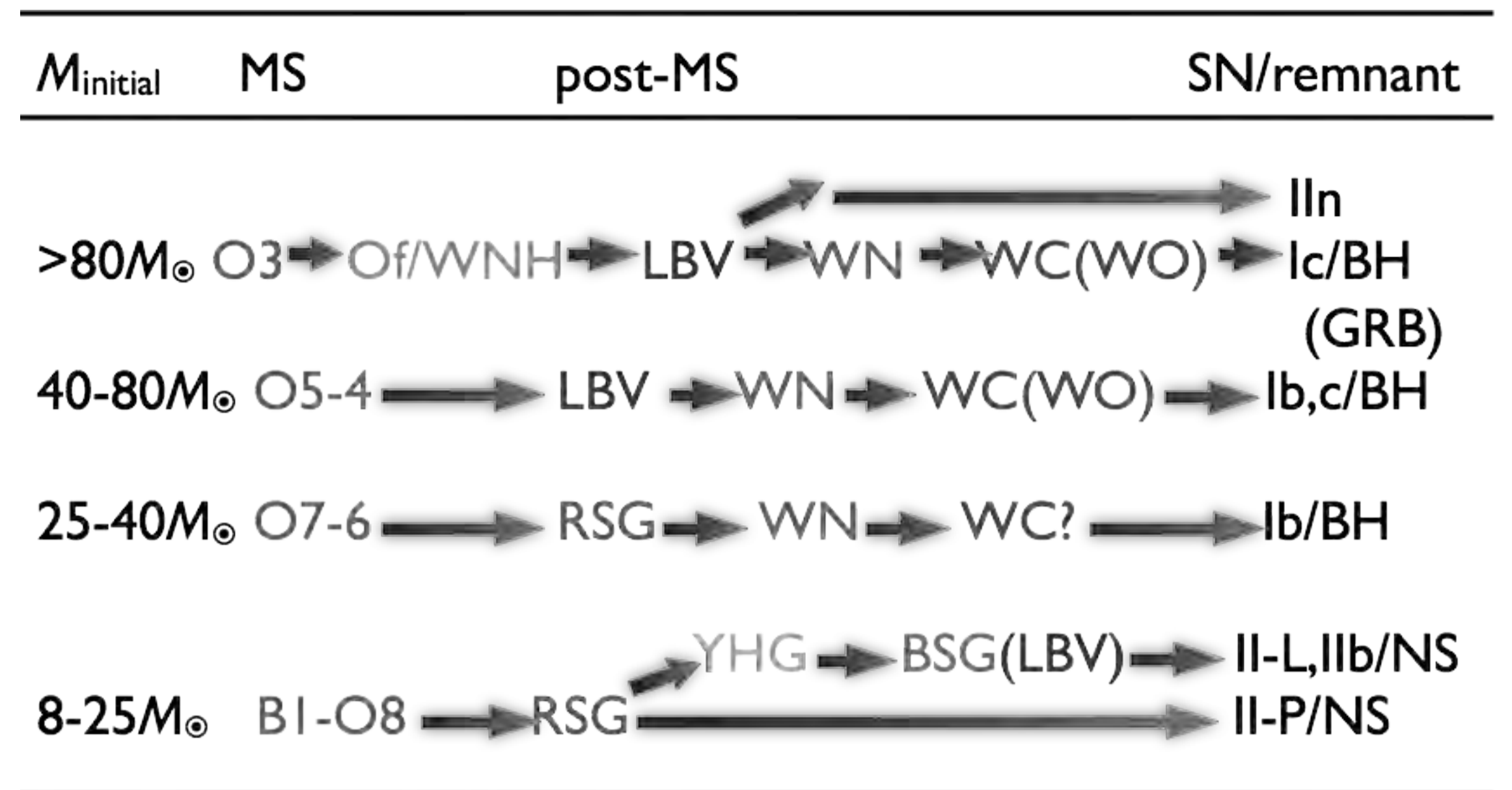


図1 大質量星の進化に関する「Contiのシナリオ」(文献8, 9, 10)

2. 解析手法

観測に用いるフィルターは2.07 μ m、1.875 μ mの狭帯域フィルターとKsである(図2)。2.07 μ mフィルターはサブクラスWC4~WC8型WR星の特徴である2.07 μ mのCIV 3d-3p輝線の検出に特化したもの、一方1.875 μ mフィルターはHバンドとKバンドの狭間にあり通常では地上からほとんど観測できない波長であるが、高地で水蒸気量の少ないアタカマでは観測が可能であることから水素原子の再結合線であるPa α 輝線観測用としてmini-TAO/ANIR(11)に備えられているものである。1.875 μ mフィルターはPa α だけでなく、WN型WR星などに見られる波長幅の広がったHell輝線(1.864 μ m、1.876 μ m)をもとらえることができる。2.07 μ mフィルターでのフラックス強度とKsフィルターでの強度比(207/Ks)を考えた時、この比はWC型WR星の指標となり、一方で1.875 μ mのフィルターとKsとの強度比(187/Ks)はHell輝線の強いWN型WR星、もしくはPa α の強いLBVなどの指標となる。また3種のフィルターは中心波長が異なるため、(207/Ks)と(187/Ks)の値はその天体までの減光量による赤化を受ける。これらについてまとめたのが図3の2色図である。

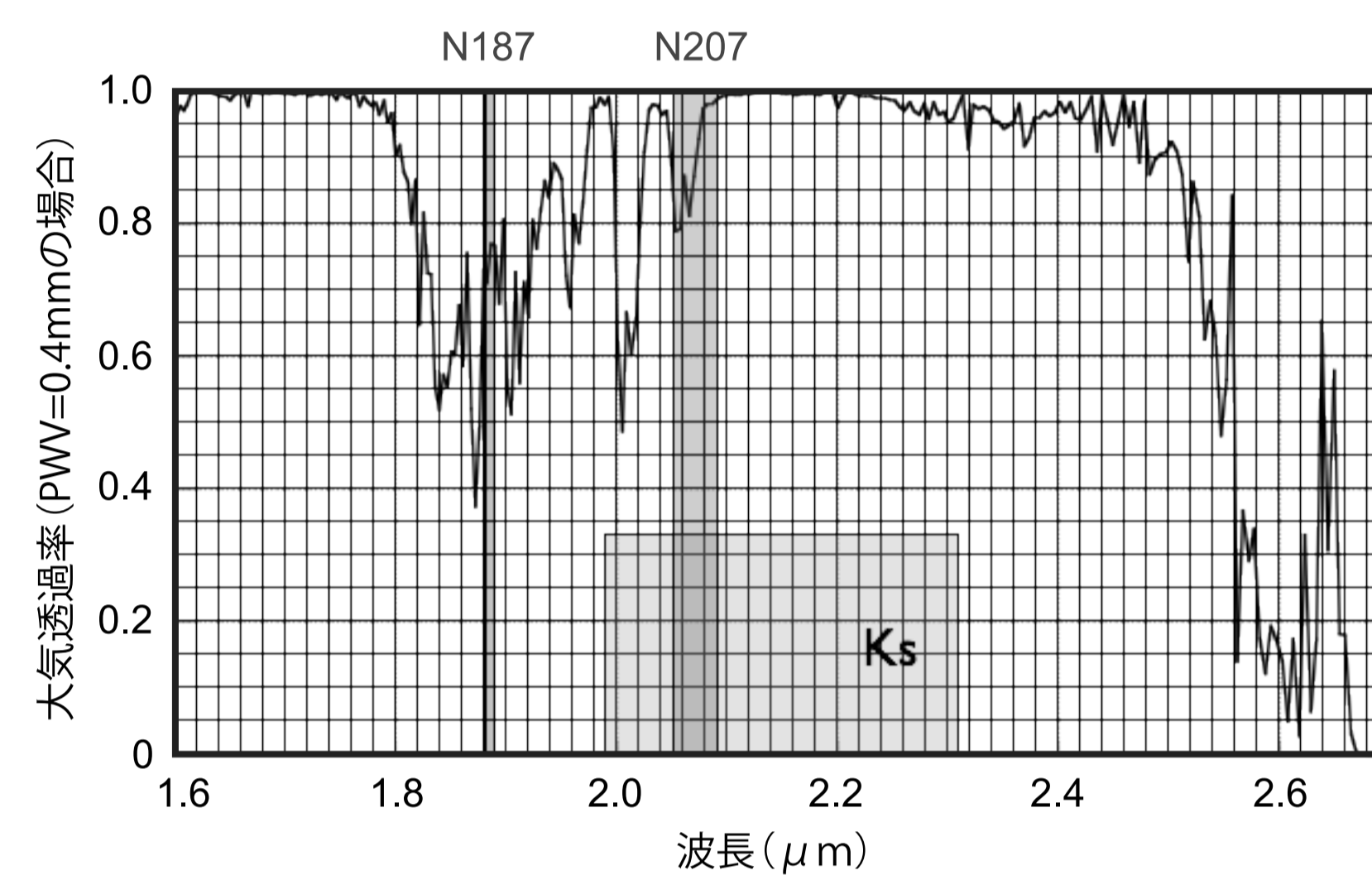


図2 使用するフィルター

図3において、横軸は標準的な高温の黒体放射における(207/Ks)比(=0.130)で規格化した(207/Ks)値 (以下、n207) の対数、縦軸は同様に観測時における1.875 μ mでの大気透過率に相当する値で規格化した(187/Ks)値 (以下、n187) である。原点は減光や輝線がない場合の黒体放射、つまり減光と輝線がない高温大質量星の位置を示す。減光を受けた黒体放射は赤い実線に沿って減光が大きくなるに従って左下へ移動する。破線の交点(●印)はA_{Ks}=3magの場合の「原点」に相当する「基準点」(輝線のない星の位置)を示す。Pa α 輝線の強いLBVやHell輝線のあるWN型WR星は基準点より上に、WC型WR星はCIV輝線が強く、Hell輝線もあるため右上に位置する。同時にミラ型星のように非常に赤い天体や大きく減光を受けた天体もこの図から判別する事が出来る。

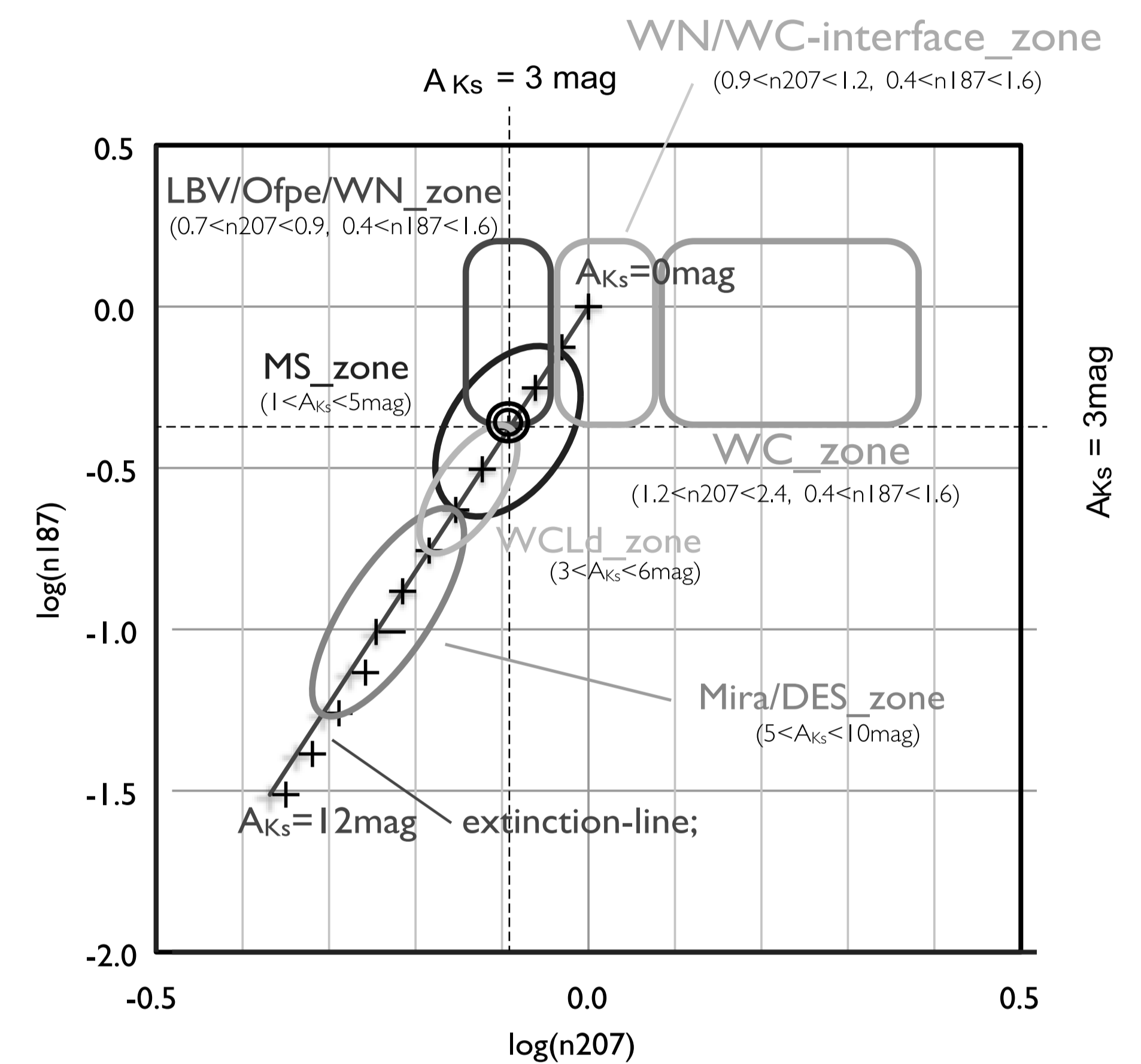


図3 (187/Ks)比と(207/Ks)比の2色図。

3. これまでの観測結果と考察

銀河中心領域の3クラスター (SgrA*, Quintuplet, Arches) とWesterlund領域、LMC/30Dorの各クラスターについて、miniTAO/ANIRにより3種類のフィルターで観測を実施した。図4はSgrA*のグレースケールイメージである。ここでは特にQuintupletクラスターとWesterlund1クラスターの結果について紹介する。

視野内に写って測光の出来た6728個(Quintuplet)、6652個(Westerlund 1の2領域)の星のうち、十分なS/Nのある明るさの天体 (Quintupletについては13mag、Westerlundについては11.5magより明るいもの) について(187/Ks)比と(207/Ks)比の2色図を作成したものが図5である。どちらの領域とも、既知のWR星やLBV星が予想される位置に来ることが確認されている。

Quintupletには新たなWR星候補は見つからなかったが、WesterlundではWN型WR星候補が2つ、WC型WR星候補が1つ検出された(図中●印)。また、(大質量)前主系列天体(原始星天体やUCHII天体)の可能性のある、未同定の非常に赤い天体を複数検出している。

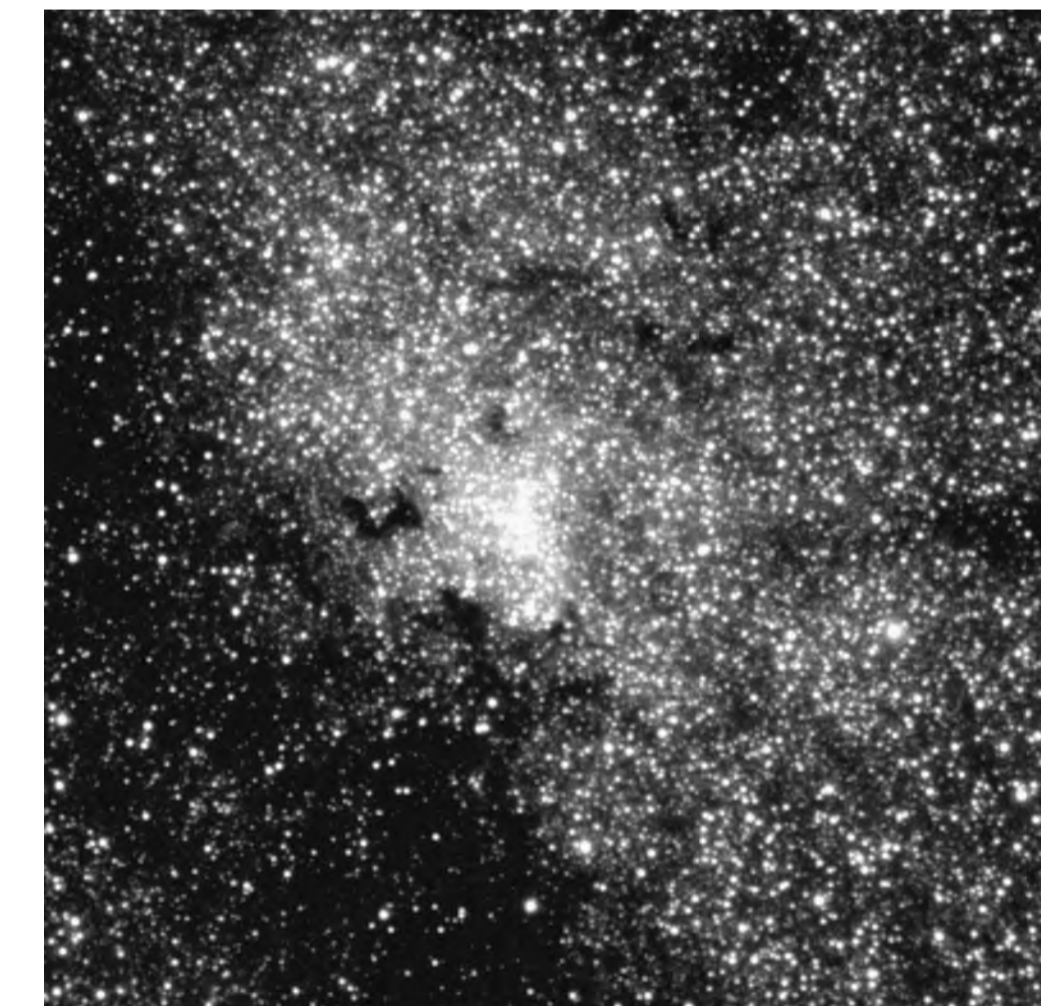


図4 miniTAO/ANIRによる銀河中心SgrA*クラスター領域のグレースケールイメージ。Pa α (青)、Ks(緑)、2.07 μ m(赤)3色合成イメージをグレースケールにしたもの。視野は5.3'x5.3'。

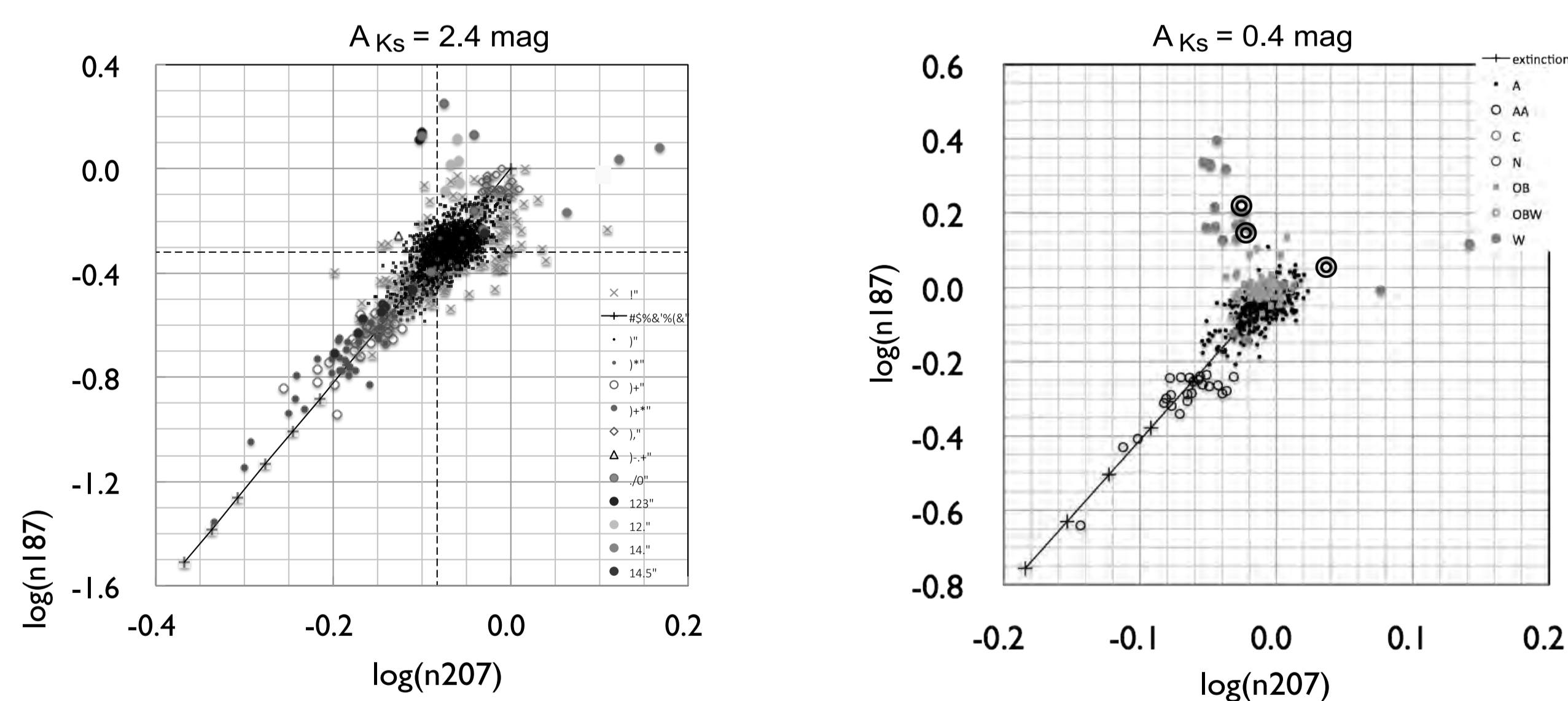


図5 (187/Ks)vs(207/Ks)2色図。左: Quintupletクラスター、右: Westerlund1クラスター。

図6は187フィルターによる「強度超過量」とKsバンドの絶対等級 (いずれも減光量、距離補正済み) をグラフにしたものであり、銀河中心3領域とWesterlund領域の既知の星をプロットしたものである。187超過=0の時のKs絶対等級を、LBV, Ofpe/WN9: -7.0 mag, WNL: -4.5 ~ -5.0 mag, WNE: -3.5 magとした時、傾きの同じ直線に沿って各天体がならぶ事が明らかとなった。恒星風(質量放出)によりfree-freeの成分が強くなることで左方向への移動、Pa α またはHellが強くなることで上方向へ移動する要因と考えられる。いずれにせよ大質量星の質量放出現象と深く関係する事象であると思われるので、さらに深い考察を進めている。

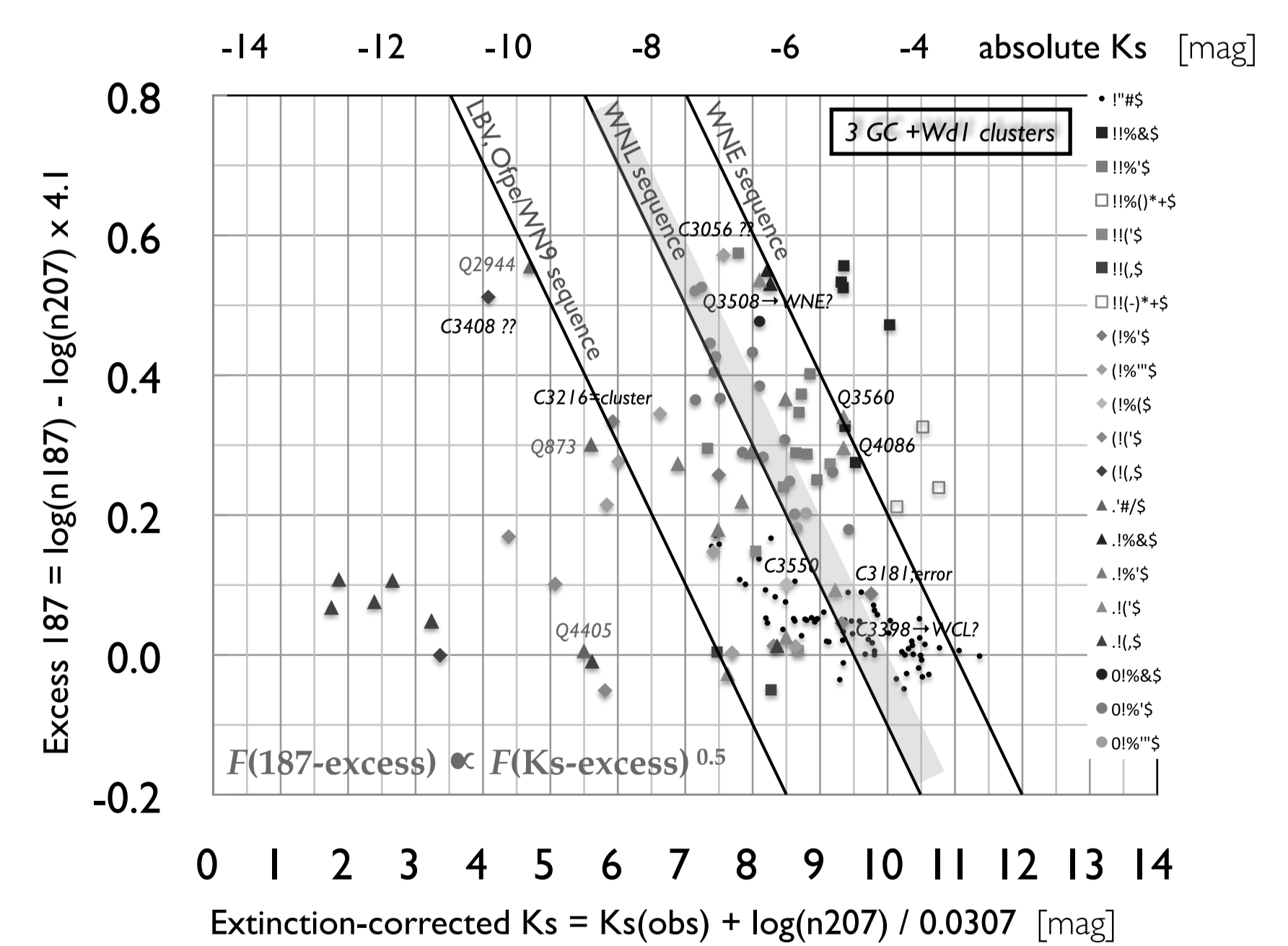


図6 187フィルター強度の超過対Ks絶対等級図。

4. 今後の観測計画

miniTAOによりSMC領域など南天の観測を進める一方でW51、W49、W3など北天の大質量星形成領域についても探索を進める。アタカマ以外のサイトでは1.87 μ mでの観測が出来ないため代替として2.181 μ mのフィルターを用意し、2.189 μ mのHell輝線とBr γ をカバーすることによりPa α フィルターと同等の効果をねらう。望遠鏡はぐんま天文台1.5m鏡、OAOWFC等を用いることを検討している。

5. 参考文献

- 1) Shara et al. 1999, AJ, 118, 390
- 2) Homeier et al. 2003, A&A, 397, 585
- 3) Hadfield et al. 2005, A&A, 439, 265
- 4) van der Hucht 2006, A&A, 458, 453
- 5) Mauerhan et al. 2011, AJ, 142, 40
- 6) Shara et al. 2009, AJ, 138, 402
- 7) Shara et al. 2011, AJ, 143, 149
- 8) Conti 1976, Proc. 20th Colloq. Int. Astrophys., Liège p.193
- 9) Crowther 2007, ARA&A, 45, 177
- 10) Smartt 2009, ARA&A, 47, 63
- 11) Konishi et al. 2014 (to be appeared in PASJ)