

Extremely-low mass white dwarf stars (ELMs) are $M < 0.3 M_{\odot}$ helium-core white dwarfs born either as a result of a common-envelope phase or after a stable Roche-lobe overflow episode in a multiple system. **The Universe is not old enough for ELMs to have formed through single-star evolution channels.** As remnants of binary evolution, ELMs can shed light onto the poorly understood phase of common-envelope evolution and provide constraints to the physics of mass accretion. Most known ELMs will merge in less than a Hubble time, providing an important contribution to the signal to be detected by upcoming space-based gravitational wave detectors. There are currently less than 150 known ELMs; most were selected by colour, focusing on hot objects, in a magnitude-limited survey of the Northern hemisphere only. Recent theoretical models have predicted a much larger spacial density for ELMs than estimated observationally based on this limited sample. In order to perform meaningful comparisons with theoretical models and test their predictions, a larger well-defined sample is required. In this work, we present a catalogue of ELM candidates selected from the second data release of *Gaia* (DR2). We have used predictions from theoretical models and analysed the properties of the known sample to map the space spanned by ELMs in the *Gaia* Hertzsprung-Russell diagram. **Defining a set of colour cuts and quality flags, we have obtained a final sample of 5762 ELM candidates down to $T_{\text{eff}} \approx 5000$ K.**

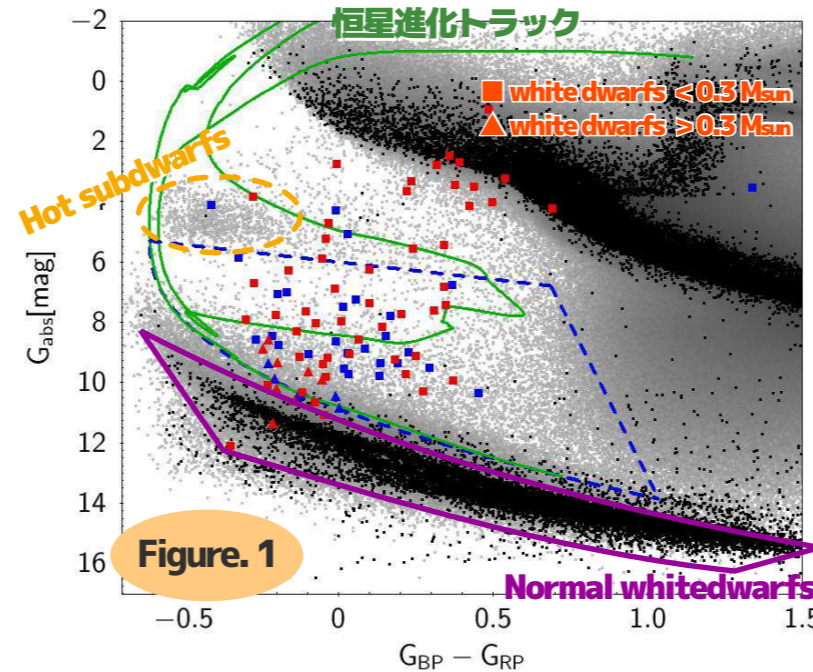


Figure. 1

Table. 3	
Selection on <i>Gaia</i> data	
$\text{parallax_over_error} > 5$	距離の精度が 20% 以上の天体に限る
$F_{BP}/\sigma_{BP} > 10$	Blue-band の S/N が 10 以上
$F_{RP}/\sigma_{RP} > 10$	Red-band の S/N が 10 以上
$E > 1.0 + 0.015(G_{BP} - G_{RP} + 0.61)^2$	以下の 3 式は uncertainty に関する経験式
$E < 1.45 + 0.06(G_{BP} - G_{RP} + 0.61)^2$	
$u < 1.2 \max(1, \exp(-0.2(G - 19.5)))$	
Selection in the <i>Gaia</i> observational HR diagram	
$G_{abs} < 5.25 + 6.94(G_{BP} - G_{RP} + 0.61)^{1/2.32}$	normal white dwarfs を除外する
$G_{abs} > 1.15(G_{BP} - G_{RP}) + 6.0$	hot subdwarfs を除外する
$G_{abs} > -42.2(G_{BP} - G_{RP})^2 + 83.8(G_{BP} - G_{RP}) - 20.1$	scattered MS stars を除外する
Further colour selections	
$W_1 - W_2 < 0.0375$	主に Cataclysmic variables を除外
$(g - r) > 1.5(r - i) - 0.1$	CV, WD+MS systems を除外
$(r - i) > 1.8(i - z) - 0.1$	CV, WD+MS systems を除外
$(i - z) < -1.3(z - y) + 0.2$	CV, WD+MS systems を除外

Theme/Motivation

多くの星 (特に大質量星) は連星系で生まれるとされている。連星系の進化を理解することは重要だが不十分である。質量が $0.3 M_{\text{sun}}$ 以下の white dwarfs は単一の星の進化では説明できない (恒星進化に時間がかかりすぎる)。こうした天体は連星での質量交換を経て形成された可能性が高い。連星進化を解明する鍵となりうる。現在のところ Extremely-low mass white dwarfs (ELMs) は北天の SDSS 領域に 140 天体ほどしか見つかっていない。Gaia によって星までの距離がわかるようになったので candidate の数を大きく増やす良い機会である。

Observations

Gaia DR2 catalog + 2MASS + WISE + SDSS/Pan-STARRS/SkyMapper + Master X-ray catalog

Calculation/Discussion

ELMs を抜き出す方針は概ね以下の通り (Table 3).

- ① 信頼できるデータを集める / ② 色等級図上で抜き出す / ③ 二色図上で混入天体を除く / ④ 既知の X-線天体を除く。

最終的に生き残った候補天体数は 5762 となった (全天に広く分布している Figure 11).

SDSS, SIMBAD 等で素性がわかっている天体の帰属を調べたところ contamination は 9% 程度ありそう。

候補天体数を決めているのは主に Gaia DR2 の parallax の精度 ($S/N > 5$ で切らないと QSO と MS が混入する)。

parallax $S/N > 5$ を満たす ELMs までの距離を考えるとおよそ 500 pc までは complete に近いと考えられる。

ただし WD + millisecond pulsar system や WD + MS system は意図的に排除しているので注意が必要。

太陽近傍での ELMs 密度は $> 275 \text{ kpc}^{-3}$ であり先行研究の見積もり (160 kpc^{-3}) より少し多いが桁では変わらない。

一方で理論的な連星進化計算と種族合成では 1500 kpc^{-3} 程度が期待される (Li et al., 2019) ので全然合わない。

今回のカタログはあくまで候補天体なので分光フォローアップが必要 (WEAVE, 4MOST, DESI, SDSS-V)。

Comments

SkyMapper の精度が悪い (?) ので南天の候補天体には contamination が多いかもしれない。

5000 obj./sky \sim 0.1 obj./ \square , $G \sim 16.5$ mag. でそこそこの高分散が必要 \Rightarrow PFS のターゲットになりうる?

可視近赤外での excess がある天体は除外されているがより長波長ではどうか? (remnant が見えるだろうか)

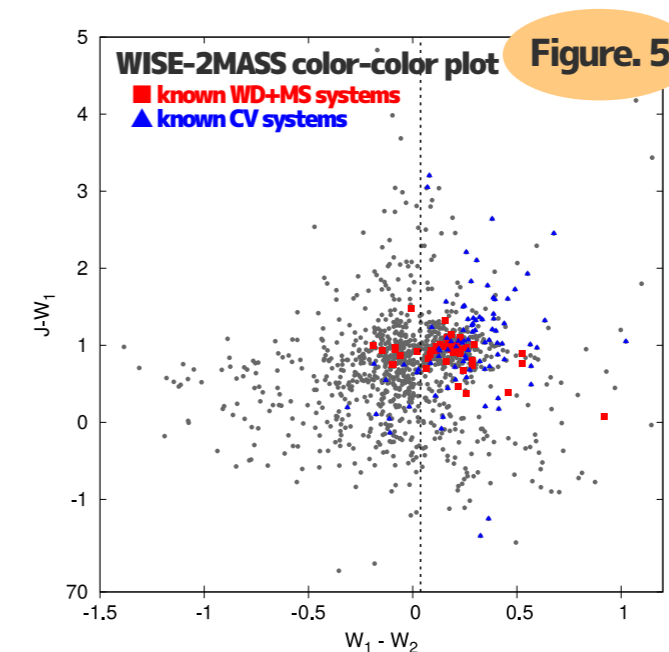


Figure. 5

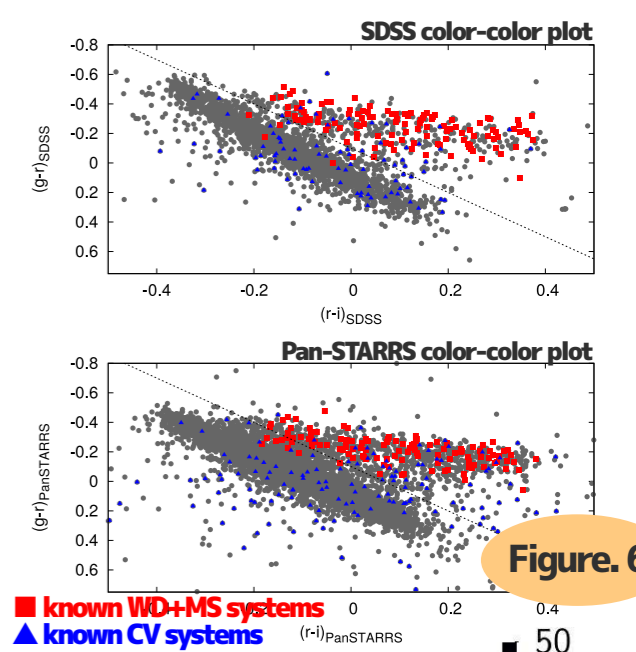
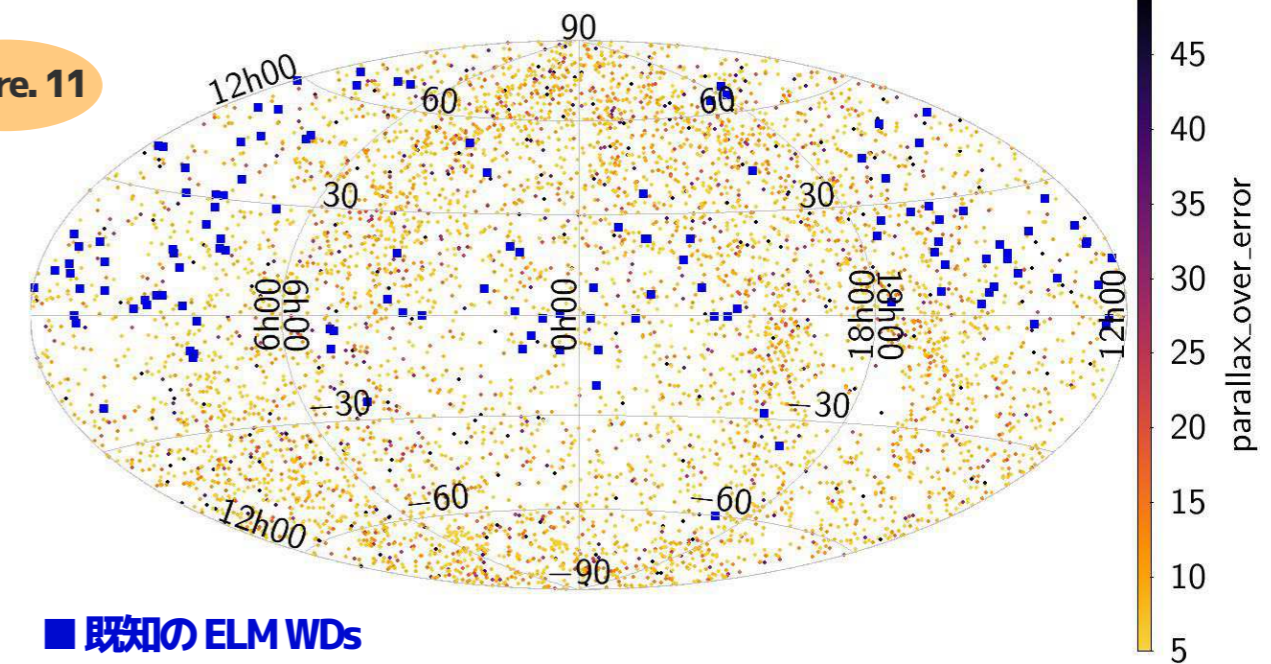


Figure. 6

Figure. 11



■ 既知の ELM WDs