



Application of The Wind-Driven Model to A Sample of Tidal Disruption Events

Published in ApJL (doi: 10.3847/2041-8213/abca32)

宇野 孔起 (Kohki Uno)¹ (k.uno@kusastro.kyoto-u.ac.jp)

共同研究者：前田 啓一¹

¹ 京都大学宇宙物理学教室



Abstract

超巨大ブラックホールによる潮汐破壊現象(Tidal Disruption Event; TDE)の可視光・紫外線の放射機構はこれまで様々なモデルが提唱されているが、統一的理解には至っていない。我々は、Uno&Maeda(2020a)で提示した恒星風のような質量放出により突発天体を説明する'Wind-Driven Model'をこれまで観測されている21個のTDEへ適用し、その統計的性質の解明を試みた。

1. Introduction

Tidal Disruption Event (TDE)

恒星が超巨大BHの近傍を通過する際、潮汐力により破壊される現象

典型的描像

- ▶ accretionによる重力エネルギーの解放
- ▶ X線で明るい (e.g. Komossa 2020)
- ▶ $L \propto t^{-5/3}$

ASAS-SNやZTFなどの次世代サーベイ観測

Optical/UVで明るいTDEが多数発見

Optical/UV TDEの特徴

- ▶ 急速に減光するライトカーブ
- ▶ 後退する光球
- ▶ ほぼ一定な光球温度
- ▶ 青い連続光成分
- ▶ broadなH, N, or He 輝線

放射機構が不明

- ✕ 円盤からの直接放射
- 光学的に厚いwindからの放射

図1: TDE模式図 (Rees 1988)

This Study

Motivation	What is the origin of the Optical/UV radiation ?
Suggestion	optically thick outflow forms photosphere ?
Method	Applying the 'Wind-Driven Model' (KU&Maeda2020a)

2. Wind-Driven Model (KU&Maeda2020a)

mass-loss rate $\dot{M}$, 速度 v で半径 R_{eq} から吹き出すwindを考える

Input (v_{wind} , L , T_{ph})

▶ 連続の式

$$\dot{M} = 4\pi r^2 \rho v$$

▶ adiabatic & diffusion cooling

$$p \propto \rho^\gamma, \quad L(r) = \text{const.}$$

▶ Luminosity

$$L(r) = -\frac{4\pi r^2 ac}{3\kappa_s \rho} \frac{\partial}{\partial r} T^4$$

Output (R_{eq} , R_{ph} , $\dot{M}$)

▶ 温度・密度構造

$$\rho \propto r^{-2}, \quad T(r) \propto r^{-2/3}, \quad r^{-3/4}$$

▶ 典型的長さスケール

$$\text{e.g., } \tau_{\text{eff}} = \int \kappa_{\text{eff}} \rho(r) dr = 1 \rightarrow R_{ph}$$

▶ mass-loss rate

$$\text{e.g., } \dot{M} \propto L^{4/5} T_{ph}^{-11/10} v$$

典型的半径

@ R_{eq} (wind-launched半径)

$$\downarrow \text{adiabatic cooling } T(r) = T_{eq} \left(\frac{r}{R_{eq}} \right)^{-2/3}$$

@ R_{ad} (光子捕獲半径): $\tau_s(R_{ad}) = c/v$

$$\downarrow \text{diffusion cooling } T(r) = T_{ad} \left(\frac{r}{R_{ad}} \right)^{-3/4}$$

@ R_c (color半径): $\tau_{\text{eff}}(R_c) = 1$

$$\downarrow \text{diffusion cooling } T(r) = T_{ad} \left(\frac{r}{R_{ad}} \right)^{-3/4}$$

@ R_c (recombination半径)

@ $R_{\tau_{H\alpha}=1}$ (line forming半径)

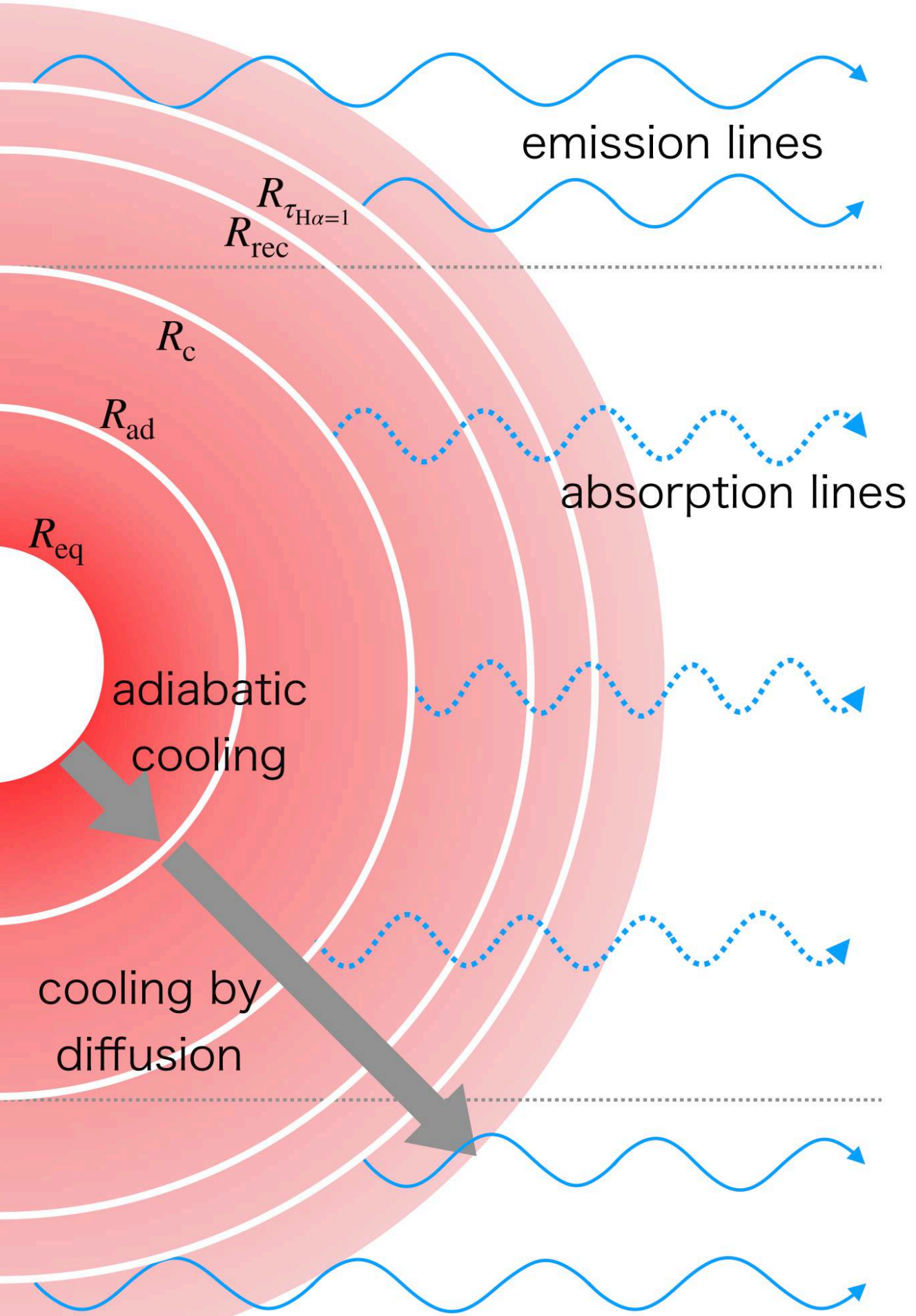


図2: Wind-Driven model模式図 (KU&Maeda2020a)

このモデルをこれまで観測された21個のTDEへ適用する

3. Results

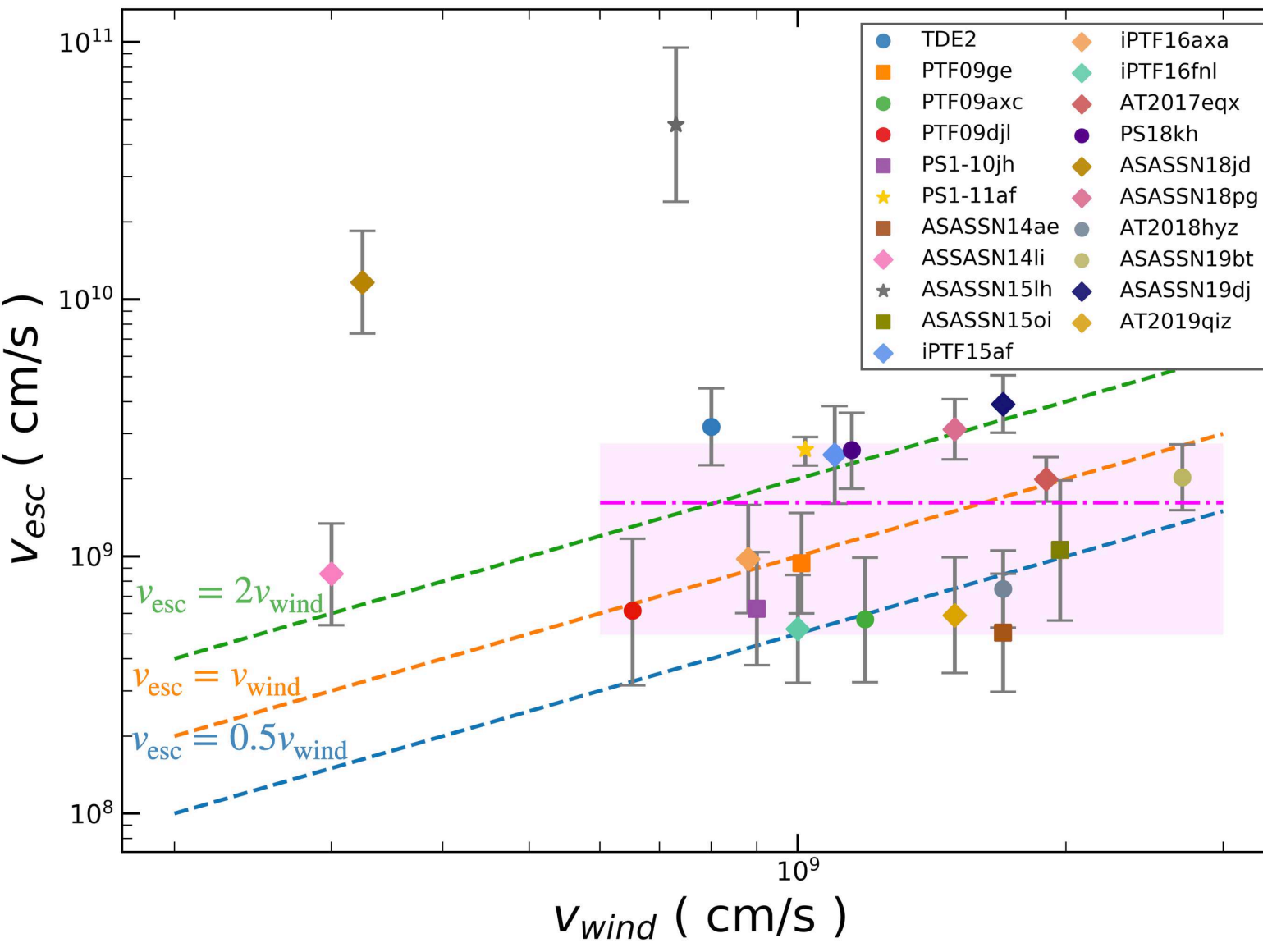


図3: wind velocityとescape velocityの比較

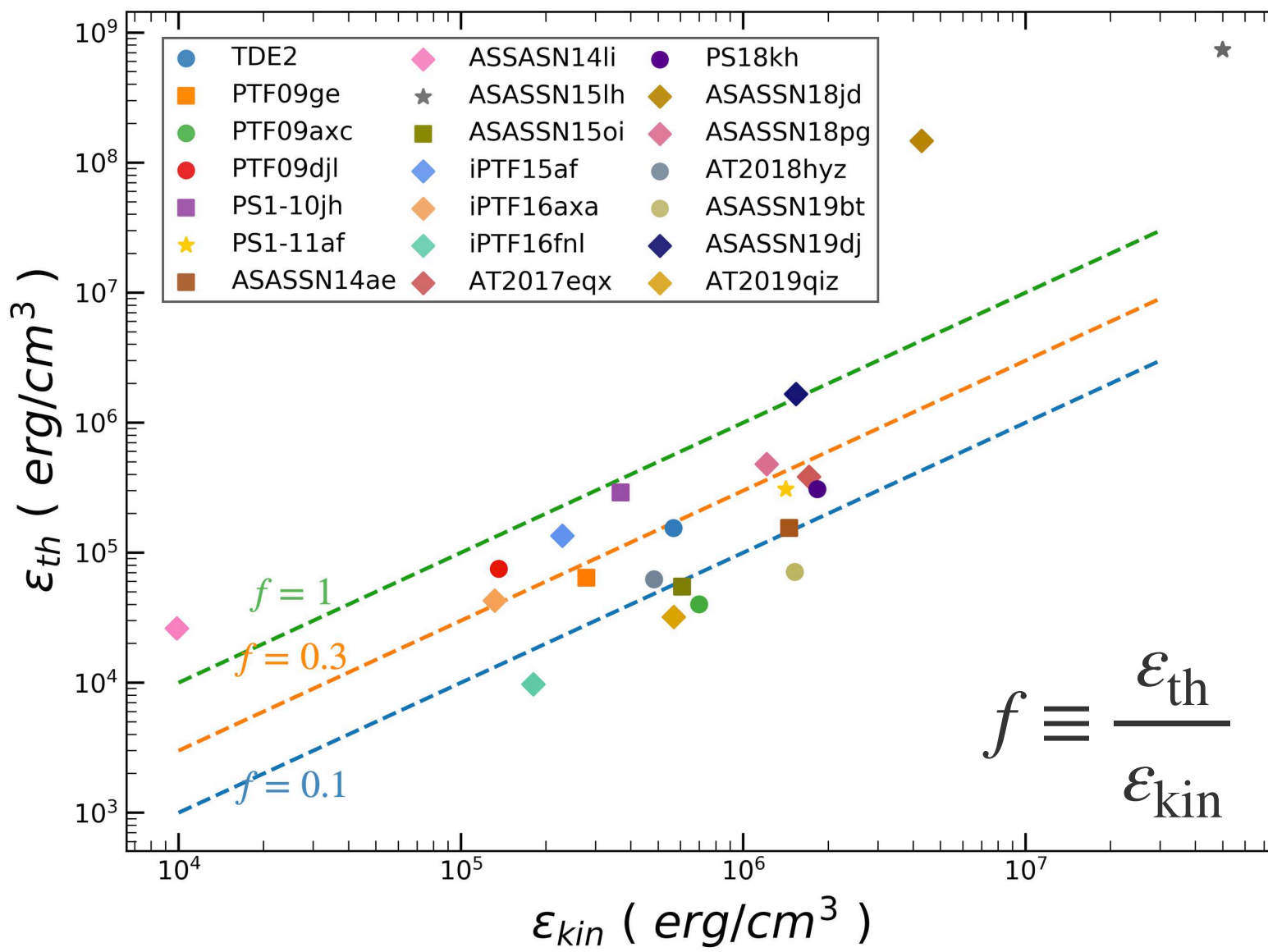


図4: R_{SI} での単位質量あたりの運動エネルギーと熱エネルギーの比較

- ▶ v_{wind} と v_{esc} はfactor 2の範囲でconsistent
 v_{wind} : TDEの輝線のFWHMから見積もられたwind velocity
 v_{esc} : TDEの特徴的半径の一つであるself-interaction半径(R_{SI})での脱出速度

SMBHの潮汐力により引き延ばされたstellar debris同士が一般相対論的效果による歳差運動によって衝突する半径

- ▶ R_{SI} での運動エネルギー(ϵ_{kin})と熱エネルギー(ϵ_{th})はコンパラ

self-interaction半径からwindが吹き出す

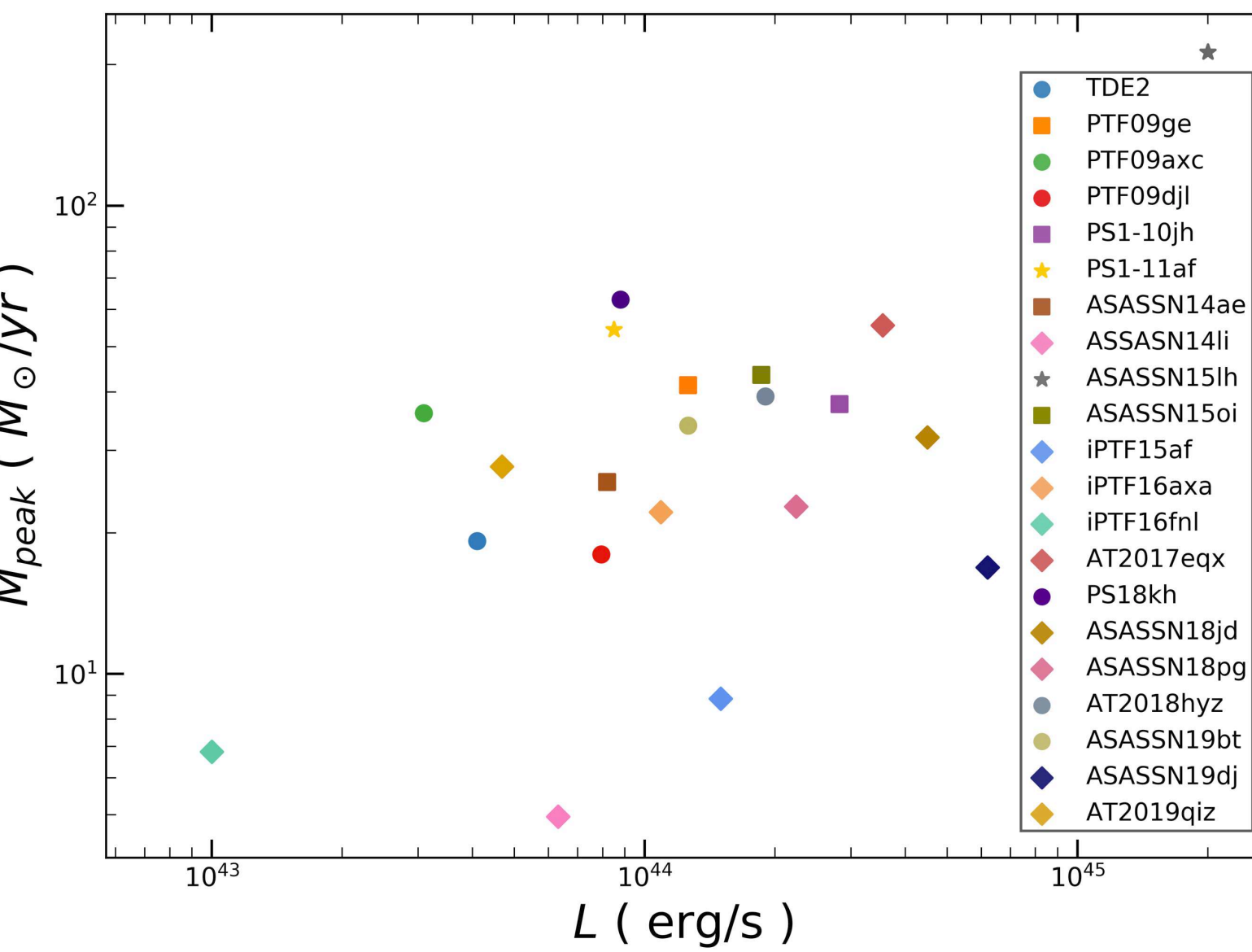


図5: Wind-Driven Modelによるmass-loss rateの見積もり

- ※2つのoutlier(15lh & 18jd)はモデルの適用範囲外か?
15lh: $M_{BH} > 10^8 M_\odot$
18jd: AGN, unknown transient?

Wind-Driven Modelの適用結果

$$\dot{M}_{\text{peak}} \gtrsim 10 M_\odot/\text{yr}$$

Optical/UV TDEは爆発的質量放出により駆動される突発天体の可能性

4. Discussion

- ▶ TDEはpeak時に爆発的質量放出
⇒Stone+(2013)ではpeak時に大きな質量降着率が予想されている

$$\frac{\dot{M}_{fb}}{\dot{M}_{Edd}} \approx 130 \frac{\eta}{0.1} \left(\frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot} \right)^{-3/2} \left(\frac{M_\star}{M_\odot} \right)^2 \left(\frac{R_\star}{R_\odot} \right)^{-3/2}$$

→Super-Eddingtonのため、大部分が放出されるか？

- ▶ mass-loss rateをTDEの典型的タイムスケールで積分
・TDEの典型的タイムスケールとしては~a few months

$$M_{\text{total}} \sim \text{a few } M_\odot$$

・類似の研究(Matsumoto&Piran2020)ともconsistentな結果

- ▶ 今回得られたパラメータの典型値を用いた他天体の物理量の制限
e.g. AT2018cow

$$\text{Perley+(2019): Mosfit} \rightarrow M_{BH} \approx 1.9 \times 10^4 M_\odot$$

$$\text{Wind-Driven Model} \rightarrow M_{BH} \approx 2.5 \times 10^4 M_\odot$$

5. Conclusion

Motivation What is the origin of the Optical/UV radiation ?

Method Applying the 'Wind-Driven Model' (KU&Maeda2020a)

Results Outflow is launched from the self-interaction radius. TDEs have high mass-loss rates at the peak luminosity. Application the framework to other transients