

MAXIで明らかにした超巨大ブラックホールによる星潮汐破壊現象の硬X線光度関数



川 室 太 希

〈日本学術振興会特別研究員，国立天文台 光赤外研究部 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉
e-mail: taiki.kawamuro@nao.ac.jp

星が超巨大ブラックホール（SMBH: Supermassive Black Hole）に近づいた際に、潮汐力により破壊される現象を星潮汐破壊現象（TDE: Tidal Disruption Event）という。また、破壊された星が SMBH に質量降着することで、急激に増光しピークに達した後、数カ月の時間スケールで減光していくことが示唆されている。国際宇宙ステーションに取り付けられている全天X線監視装置 MAXI は 2009 年の 8 月から全天を 92 分周期でモニタリング観測しており、突発的に明るくなる現象をこれまで多数検出してきた。そして、この観測特性は TDE の系統的なサーベイにも極めて有用である。筆者らは、運用開始から 37 カ月間の硬 X 線（4–10 keV）データをもとに、TDE とは数カ月スケールで 5 倍以上もの急増光を示し、 $-5/3$ のべき乗則で減光するものという仮定で、4 つの TDE 候補を検出できた。そして、ピーク光度を基準にピーク光度関数（単位体積，単位光度，単位時間当たりにかかる TDE の数）をモデリングし、今回の検出結果を再現するように最尤法を用いて制限することに成功した。この結果をもとに、活動銀河核と TDE のどちらがより SMBH 成長に寄与してきたのかを調査したところ、赤方偏移 $z < 1.5$ では TDE の影響はほとんどないという結果が得られた。

1. 超巨大ブラックホールの質量成長

さまざまな銀河の中心には太陽質量の 100 万倍以上にもなる超巨大ブラックホール（SMBH: Supermassive Black Hole）の存在が確認されている。そして、その SMBH 質量と母銀河バルジの性質との間に良い相関が示されて以来¹⁾、SMBH と母銀河は互いに影響を及ぼしながら成長してきたのではないかと考えられてきている。つまり、SMBH の成長はそれだけでも興味深い研究項目でありながら、銀河進化を考えるうえでも極めて重要である。

SMBH がどのように成長してきたかは、これまで特に活動銀河核（AGN: Active Galactic Nucleus）を中心にして議論されてきた。AGN とは

まさに SMBH へ質量が降着している現場であり、その降着物質の重力エネルギーを開放することで明るく輝いている。とくに質量降着率に伴って光度が増加すると考えると、明るいほど SMBH はより急激に成長していることが示唆される。そこで、単位体積，単位光度当たりの AGN の数（光度関数）が SMBH の成長を議論する上で基本的な観測量になり、精力的に求められてきた。結果、近傍（赤方偏移 $z < 1$ ）の SMBH の質量関数（単位体積，単位質量当たりの SMBH の数）は AGN で説明できるだろうという可能性が示唆されてきている²⁾。

2. SMBH による星潮汐破壊現象

AGN は確かに SMBH 成長を説明するうえで欠

かせない現象だと考えられるが、ほかにもさまざまな成長過程が考えられる。その一つが星潮汐破壊現象 (TDE: Tidal Disruption Event) である。TDEとは、星がブラックホールに近づいたとき、潮汐力が星の自己重力を凌駕し破壊する現象のことをいう。また、それに伴い質量降着が起こることで急激に明るくなり、ピーク光度に達したあと典型的に時間の $-5/3$ のべき乗則で減光することが理論と観測の両面から報告されている^{3), 4)}。そして、観測的には、相対論的なジェットを伴うTDE候補の存在も報告されている⁵⁾。ただ、ブラックホール質量が十分に大きい場合には、落ちてきた星が破壊されない場合がある。星の半径(R_*)と質量(M_*)の関係を仮定することで⁶⁾、あるブラックホール質量(M_{BH})に対してTDEが起こる半径

$$R_{TDE} = R_* (M_{BH}/M_*)^{1/3} \quad (1)$$

が決まる。そして、これがSchwarzschild半径 $R_{Sch} = 2GM_{BH}/c^2$ (ここで G そして c は、それぞれ重力定数と光速。)よりも小さくなった場合には、星は破壊されずそのままブラックホールに飲み込まれると期待される。例えば、太陽質量程度の星を考えた場合、1億倍太陽質量かそれ以上のSMBHだと $R_{TDE} < R_{Sch}$ となりTDEは起こらない。

上記のようにTDEはAGNと同様にまさにSMBHが成長する現場である。しかし、TDEの発生頻度や性質を調べようにも、いつどこで発生するかを予測することは難しく、見つけるのさえたいへんである。そこで、その検出に活躍してきたのが(全天)サーベイ観測である。知る限り、ROSATによる軟X線全天サーベイ観測を皮切りに、TDE候補^{*1}が見つけられてきた⁸⁾。近年では可視光サーベイによって多数の候補が検出されてきている。

TDEがどれだけSMBHの成長に効いてくるか

を見積もるためには、TDEもAGNの光度関数と類似の関数が重要になってくる。ただし、決定的な違いがあり、AGNはまさにその個数を数えるのに対して、TDEの場合は母体となるSMBHがどれだけあり、どのような頻度でTDEを起こすかといった考え方をするので、単位体積、単位光度、そして“単位時間”あたりのTDEが光度関数に相当する。筆者が今回の研究をしていた当時は、単位体積(もしくは銀河1個当たり)、単位時間あたりのTDEの発生頻度については議論されていたが^{9), 10)}、その光度依存性についてはほとんど議論されていなかった。その一つの要因として、TDE候補を検出したとしても増光の始まりから減光していくまでを抑えられているとは限らず、基準となる光度が得られていなかったことが挙げられる。そこで筆者らは、全天X線監視装置MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) の特性を活かすことで、TDEの光度曲線を抑え、そのピーク光度を基準とし、初めてTDEの硬X線(4-10 keV)ピーク光度関数を導出した¹¹⁾。

3. MAXIを用いたTDE候補の検出

MAXIはまさにTDEを検出するのにうってつけの装置である。国際宇宙ステーションに設置されたMAXIは、Gas Slit Camera (GSC)により、進行方向とおおよそ垂直方向にスリット状の視野を二つもっている。そして、国際宇宙ステーションと同期して地球を約92分で一周することで、全天の95%を1日で網羅できる¹²⁾。これまでの観測的な事実から、TDEは数カ月の時間スケールで時間変動することが知られており、MAXIはほぼ見逃すことなくTDEを検出することが期待される。また、GSCは透過力の高い硬X線(4-10 keV)に感度をもつため、極端に濃い吸収体がある場合を除いて、無バイアスにTDEを探索できるという利点もある。

*1 候補としているのは、TDEと断定するのが困難なためである。事実、過去にTDEだと思われていた天体(IC 3599)が再びX線フレアを起こし、TDEによるものではないと議論されている⁷⁾。

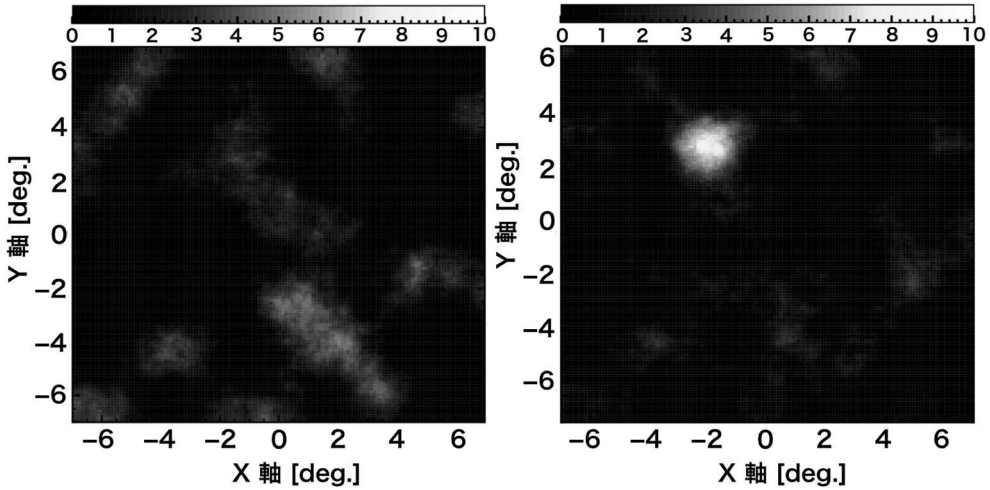


図1 全天のある一部を平面に射影した14度×14度の4-10 keVにおける有意度マップ。左右はそれぞれ37カ月もしくはある30日間だけのデータを用いた場合に得られた結果である。上部のスケールバーは色と有意度の対応を表している。白い領域ほどそこに天体がいる可能性が高いことを示唆する。見てわかるように、30日間のイメージの左上でのみ高い有意度で天体（TDE候補Swift J1644+57）が検出される。

TDEのサンプルを構築するため、まず、突発的に明るくなるイベントを系統的に探査した。これまで、37カ月といった長期間のデータをすべて積算し、高い感度のもとでX線源カタログが作成されてきたが¹³⁾、一時的にだけ明るくなるTDEのほとんどは、未検出である可能性が十分にあった。そこで同様の37カ月間（2009年9月23日から2012年10月15日）を、TDEの変動の時間スケールを考慮して、30日もしくは90日ごとに分割し、その各期間のX線積算イメージを系統的に調査した。突発的に明るくなったX線源（ここでは、TDE候補：Swift J1644+57）の検出の一例が図1に示されている。MAXIの37カ月の全データをすべて足し合わせてしまうと、一時的に明るいTDEの検出が困難であることがわかる。結果、37カ月カタログには載っていない10個もの一時的に明るい天体現象を発見することに成功した。

TDEかどうか同定するのに、まず過去の研究

で報告されているTDE候補天体と空間相関をとった。念のためMAXI/GSC 37カ月カタログ記載の全500天体も含めた。結果、すでに報告されているが、4つのTDE候補が筆者らの解析で検出できていることがわかった。それらの光度曲線の特徴として、30日もしくは90日ビンで5倍以上の急増光を示し、 $-5/3$ のべき乗の減光則を示すこともわかった（図2）。そこで、これらの特徴を満たすが、いまだ報告されていないTDE候補がないか残りのMAXI天体の光度曲線を精査したが、たいへん残念ながら1つとして未報告なTDE候補天体は出てこなかった。結果、4つのTDE候補が筆者らのサンプルとなった。

サンプルのTDE候補は追観測されており、母銀河の赤方偏移 (z) が求まっている。それをもとに見かけ^{*2}のピーク光度 ($L_{4-10\text{keV}}$) を見積もることができる（これ以降、基本的のみかけの光度についてのみ言及するため、断りがない限りピーク光度はみかけのものをいうことにする）。結

*2 TDEの光度が、ジェットのパワーによって増光されている可能性があるため、“みかけ”とした。

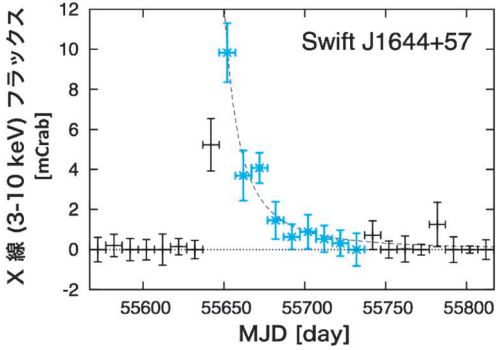


図2 TDE候補天体 (Swift J1644+57) の硬X線 (4-10 keV) の10日ビン光度曲線. X線の標準光源であるカニ星雲のフラックスの1000分の1に対する相対値 (mCrab単位) で表されている. 青はべき関数 (鎖線) でフィットしたデータ点. 得られたべき $(-1.94^{+0.39}_{-0.48})$ は誤差の範囲内で予測 $-5/3$ と無矛盾である.

果, $z \sim 0-1.2$ や $\log L_{4-10\text{keV}}/\text{erg s}^{-1} \sim 42-48$ と広い範囲をカバーしたサンプルになった. また, 半数は視線方向の吸収体の水素柱密度が $\log N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2} > 22$ となる吸収を受けたTDEであった.

4. 硬X線ピーク光度関数の制限

先の4つのTDEを用いてピーク光度関数の制限を試みた. その際に重要な事柄として, まず, その関数は赤方偏移 (z) と光度 ($L_{4-10\text{keV}}$) の二つの変数を持ち, サーベイ体積, 光度, あとは観測期間で積分すれば, TDEの検出数が求まるということ. また, その関数形に応じてどの z や $L_{4-10\text{keV}}$ のTDEが受かりやすいかが変化するということも挙げられる. そして今回は, ある z と $L_{4-10\text{keV}}$ をもつ筆者らのTDE候補サンプルの検出確率が最大となるようにして (いわゆる最尤法にて), 最も確からしいピーク光度関数を決めた.

今回のサンプル数は極めて小さいため, 単純な関数で結果を再現することもできる. しかし, ここではできるだけTDEの発生機構や既存研究に即した関数を採用した. 実際に以下の6つの仮定を

した^{*3}.

まず, なにはともあれTDEを起こすのはSMBHなので, その質量関数 (単位体積, 単位質量あたりのSMBH数) がベースとなった. これは過去の研究からおおよその形が求められている. 2つ目に, これまでの理論的研究から提案されている, 星が落ちる頻度はSMBH質量のべき関数 ($\propto M_{\text{BH}}^{0.4}$) に比例するという結果を採用した¹⁴⁾. ただ, その絶対値には不定性があるとし, フリーパラメータとして扱った. そして, SMBH質量関数にかけ合わせることで, 単位体積, 単位質量, 単位時間あたりのTDEの数を導ける. さらに, 2章で述べたように, SMBHのすべてがTDEを起こすわけではない. そこで3つ目に, 各SMBH質量について, 単純に星の初期質量関数¹⁵⁾ に従って星が落ちた際に, TDEが起こるか否かの判断をし, 重み付けを行った. 上限の星質量として太陽質量まで考慮した. ここで, SMBH質量の関数からピーク光度の関数に変換するため, TDEはピーク時にエディントン光度 ($\lambda_{\text{Edd}}=1$) で光るという仮定を4つ目にした. 光った際のスペクトルは降着物質からの黒体放射とX線放射コロナからのべき成分の2つのみからなるという仮定を5つ目においた (例えば, 図3). ただ, 観測的に相対論的なジェットを伴うTDE候補も報告されているため, その場合にはジェットからの放射も考慮した. スペクトルを仮定したことで, 任意の帯域, ここではMAXI/GSCのサーベイ帯域 4-10 keVでの光度を推定できる. またここで留意すべき重要な点は, 筆者らはジェットをもつTDEともたないTDEの2つのピーク光度関数を考えたということである. そして, これですら最終で, 発生頻度が赤方偏移に依存する可能性も考えた. これまでそのような制限は得られていないので, 統計的に棄却されない範囲で極端な2通りを考慮した. 1つは全く赤方偏移進化がな

*3 ここでは概略だけにとどめ, より詳細 (例えば, パラメータごとの不定性) についてはKawamuro et al.¹¹⁾ を参照していただきたい.

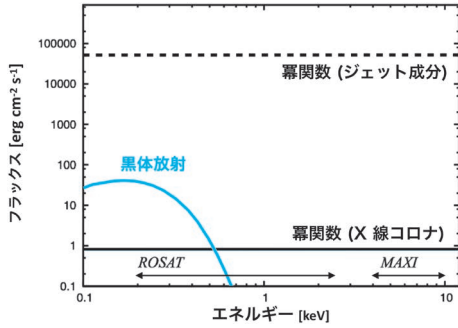


図3 仮定した、TDEがピーク光度に達した際のスペクトルモデルの一例。縦軸は、任意単位である。矢印は、今回着目したMAXIとROSATの観測帯域を表す。

い場合（つまり、 $(1+z)^p$ に比例する場合 $p=0$ ）。2つ目には、星形成率が高いほどTDEが起きやすいという考えのもと、星形成率密度の赤方偏移進化になぞらえた $p=4$ という極端な場合を考えた。以上の仮定により、フリーパラメータとして全体の絶対値（もしくは、星が落ちる頻度の絶対値）とジェットをもつTDEともたないTDEの関数の比（ f_{jet} ）の二つだけが残る、4天体でも制限が付く形となった。

サンプルのTDE候補の検出率が最も高くなるようにして決めた、硬X線ピーク光度関数が図4の実線である。ジェットをもつTDEの割合（ f_{jet} ）が光度依存性を決定するかたちとなっている。また、絶対値は最尤法では決まらないので、実際のTDEの検出数とモデルからの予測値が一致するようにして決めている。各光度ピンのデータ点は、モデルから予測されるTDEの数に対する実際の検出数（もしくはそのポアソン誤差）の比をピーク光度関数（実線）にかけた値として表されている。TDE候補が検出されていない $\log L_{4-10\text{keV}}/\text{erg s}^{-1}=43-46$ では、90%信頼区間の上限値2.3天体¹⁶⁾に相当するデータが示されている。

特に頻度は低いが高光度なTDE候補はジェッ

トを伴うTDEの関数によって説明され、一方、低光度側（ $\log L_{4-10\text{keV}}/\text{erg s}^{-1} \leq 44$ ）は、ジェットを斜めや横から見込んだ場合の寄与に加えて、ジェットを伴わないTDEの関数の重ね合わせで説明される。ざっと銀河の個数密度を適当に仮定すると、 $\log L_{4-10\text{keV}}/\text{erg s}^{-1} > 42$ で頻度は $\sim 1 \times 10^{-4} \text{ galaxy}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ くらいになる。だいたい既存研究と矛盾はない。また、ジェットを伴うTDEの割合は、不定性は大きいものの $f_{jet}=0.0007-34\%$ 程度であるとわかった。AGNの中でもジェットをもつと目される電波で明るい天体は、ざっと10%だと言われており、今回の割合と無矛盾である。もしかしたら、何か同じ要因があるのかもしれない。

5. ROSATによる観測結果との比較

筆者らが求めたピーク光度関数がROSATのTDE検出数を再現するという自然な条件を課すことで、確かにTDEはエディントン限界降着近くまで達している可能性を支持できる。これまでに、ROSATのデータから系統的にTDE候補を探索したところ、(本当にTDEなのかの信憑性にもより) 2-3天体検出したという報告がある¹⁷⁾。ただ、この結果について気をつけなければならないのは、TDE候補は必ずしもピーク光度で検出されていないという点である。実際、ROSATの全天サーベイとポインティング観測のデータを比較して、突発的な増光イベントをTDE候補として検出しているだけなので、TDEが起こってからのある瞬間的な光度をもとに計数をしている。

そこで、筆者らもROSATのスナップショット的な観測に合わせるためにピーク光度関数を、TDEの光度曲線を仮定してなました光度関数を導出した^{*4)}。そして、ROSATサーベイの仕様（例えば、観測帯域や感度）のもとで検出数を計算し、実際の数を比較した。ただし、ROSATは軟X線（ $\leq 2 \text{ keV}$ ）にしか感度がなく、吸収によ

*4 具体的に書けば、TDEの光度曲線（ $L_x(t) \propto t^{-5/3}$ ）から推定されるある時刻 t での光度において、そもそのピーク光度での頻度をポアソン分布に応じて重み付けして計算したものをすべて足し合わせた関数。

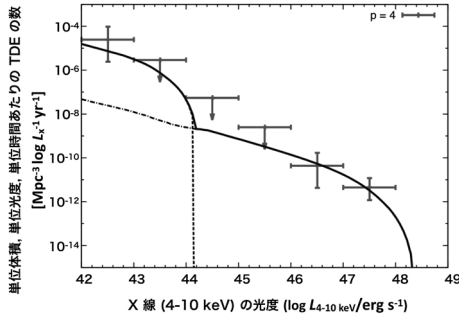


図4 赤方偏移 $z=0.75$ でのTDEの硬X線(4-10 keV)ピーク光度関数(実線)。鎖線そして一点鎖線はそれぞれ、ジェットを伴わないTDEそして伴うTDEの関数を表す。ここでは、 $p=4$ と急激にTDEの頻度が赤方偏移に対して増加する場合を示している。 $p=0$ でも似たような結果が得られている。

りいくつか見逃している可能性がある。そのため、MAXIの結果から吸収を受けたTDEの割合は半分であるということ considering 比較を行った。結果、エディントン光度 ($\lambda_{\text{Edd}}=1.0$) を仮定したピーク光度関数では、ROSATの検出数を再現できる一方で、エディントン光度以下 ($\lambda_{\text{Edd}}=0.1$) では、下回る結果になり、間接的にはあるが、TDEがエディントン限界に近い降着率がピーク時には達成することが示唆された。

6. TDEとAGNの比較

TDEとAGNのどちらもがSMBH成長の現場であり、どちらの寄与のほうが大きいのかについての比較はこれまでほとんどされてこなかった。TDEのピーク光度関数が得られている今、それを定量的に議論できる。1回のイベントでの質量降着量は、TDEのピーク光度(ただしここでは、ビーミングを補正した見かけではない本来のピーク光度)とその光度曲線から推定され、ピーク光度の関数として表される。そして、見かけではない本来のピーク光度関数と組み合わせ、時間と光度について積分する。結果、得られる単位体積あたりのSMBH質量の赤方偏移進化を示したの

が図5である。AGNに関しては、Ueda et al.²⁾ からとってきた。この結果を見れば、AGNに比べてSMBH全体への寄与はほとんどないと考えられる。AGN屋さんにとってはうれしい話である。

しかし、一つだけ言わせてもらえれば、100万倍太陽質量のSMBHくらいならTDEの寄与も重要かもしれない。例えば、TDEの発生頻度が $(1+z)^4$ で増加し遠方で活発に起こるのであれば、 $z \sim 2$ での頻度は、 $\sim 10^{-2} \text{ galaxy}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ にもなる。1億年といった期間の中で、100万倍太陽質量のSMBHまでもっていくことがTDEだけで可能であるという、少し過激かもしれない予測になる。もちろん、赤方偏移への依存性に制限は得られていないので、強くは言えない。が、もし将来的に高赤方偏移におけるTDEのサンプルを増加させる、もしくは、どのような銀河でTDEが起こりやすいのかというヒントが得られれば、より固い議論ができるようになるだろう。

もう一つ重要な知見として、AGNと思われていた天体が実はTDEであるという可能性について、光度関数を用いて検討できる。それを示したのが、図6である。5章で求めていたスナップショット的にTDEを見た場合に予測される光度関数がAGNの光度関数と比較してある。注意として $z \approx 1.1$ かつ $\log L_{2-10 \text{ keV}} / \text{erg s}^{-1} < 47$ なTDEは今回の筆者らのサンプルに含まれておらず、直接的に制限がついていないので、点線で表されている。赤方偏移の進化にもよるが、おおまかに、高光度 $\log L_{2-10 \text{ keV}} / \text{erg s}^{-1} \sim 45-46$ 程度では、100個に一つはもしかしたらTDEかもしれない可能性があり、少し驚きの結果であった。

7. 研究のまとめ

今回、筆者らはMAXIの特性を活かすことで系統的にTDEの探索を行い、4つのTDE候補を検出した。サンプルは極めて小さいながらも、TDEの硬X線(4-10 keV)ピーク光度関数(単位体積, 単位光度, 単位時間あたりのTDEの数)

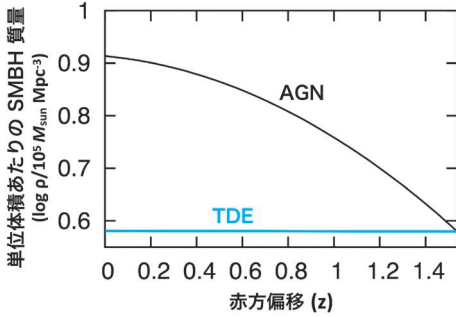


図5 $z=1.5$ を起点に、TDE (青)とAGN (黒) それぞれだけを考えた場合に予測される単位体積あたりのSMBH質量の赤方偏移進化。

を制限することに成功し、さまざまな知見を得た。関数は、ジェットの有無に応じた2種類からなり、ジェットをもつTDEの割合 ($f_{jet}=0.0007-34\%$)も制限することができた。また、過去のROSATの結果と比較することで、TDEがピーク時にはエディントン光度に到達する可能性まで議論できた。最後に、TDEのSMBH質量成長への寄与を計算したところ、AGNと比較してその寄与は $z<1.5$ では、ほとんど無視できる程度であった。

8. さいごに：TDE研究の展望

おそらく2019年の内に、eROSITAというX線全天サーベイを目的とした衛星が打ち上げられる。類似のROSATと比較して20倍の感度向上が見込まれており¹⁸⁾、報告によれば数千個単位でのTDE検出が期待されている¹⁹⁾。そのため、近い将来より大きなサンプルでTDEの統計的な議論が進むと期待される。

また、6章でも少し述べたが、TDEがどのような銀河で起こりやすいのかというのは、SMBH成長の観点からとても興味深いトピックである。近年、爆発的な星形成の後であったり、星の中心集中度が高い銀河ほどTDEが発見されやすいといった報告がされている^{20), 21)}。が、まだまだサンプルは小さく、議論の余地が残されているよう

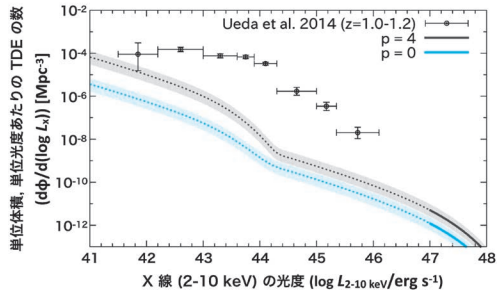
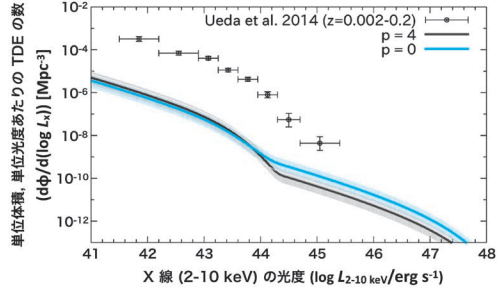


図6 TDE (線もしくは、点線とあみかけ) のスナップショット的に見た光度関数 (単位体積, 単位光度当たりのTDEの数). 上部と下部は、それぞれ $z=0.1$ と $z=1.1$ での場合を表す。青は、赤方偏移進化しない場合で、黒が $(1+z)^4$ で進化する場合に相当する。また、Ueda et al.²⁾ より、単位体積, 単位光度当たりのAGNの数がデータ点として示されている。

に思う。eROSITAの観測とともに研究が進めば、より妥当な赤方偏移進化の仮定のもと、SMBH成長を議論できるのではと期待している。

最後に、TDEはAGNと違ってもともと活動的でないSMBHがどのような環境下にいるのかを研究する上で有用のように思う。これまで、TDE発生からの追観測により、さまざまな発見、議論がなされている。例えば、TDEの発生から数カ月、数年後に近赤外線のフレアが検出されており、ダストが(サブ)pcスケールに存在する可能性を示唆している²²⁾。また、可視光では電離輝線が検出されており、それをもとに周辺の星間物質について議論がなされている²³⁾。そして、広がった輝線も確認されており²⁴⁾、これが壊された星自身の性質を反映していると考えれば、どのような星が周りがあるのかについての議論が

きる。このようにダスト，ガス，星といった銀河の基本的な要素が調査できる。これらについて，AGN周りの環境と比較できれば，何が活動性の違いを生むのかといった興味深いテーマを議論できるかもしれない。このようにTDEは興味深い天体現象であり，本当にこれからの研究が楽しみである。

謝 辞

この研究は京都大学大学院の宇宙物理学教室で行ったもので，2016年度の筆者の博士論文の一部です。TDEの光度関数を求めるというのは，恐らく世界初でなかなか苦労した研究でした。その中で，京都大学の上田佳宏准教授には，おはこの一つである光度関数導出について熱心に指導して，そして長きに議論に付き合っていたいただいたことにたいへん感謝しています。また，MAXIのデータ解析や，TDEの議論に長い間付き合っていたいただいたMAXIチームの皆さまにも深く感謝したいと思います。そして，編集委員である山田真也氏には，本稿の改定に熱心に尽力していただいたことに御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Magorrian, J., et al., 1998, AJ, 115, 2285
- 2) Ueda, Y., et al., 2014, ApJ, 786, 104
- 3) Komossa, S., Bade, N., 1999, A&A, 343, 775
- 4) Phinney, E. S., 1989, The Center of the Galaxy, 136, 543
- 5) Burrows, D. N., et al., 2011, Nature, 476, 421
- 6) Kippenhahn, R., Weigert, A., 1990, Stellar Structure and Evolution (Berlin: Springer-Verlag)
- 7) Grupe, D., et al., 2015, ApJ, 803, L28
- 8) Brandt, W. N., et al., 1995, MNRAS, 273, L47
- 9) Esquej, P., et al., 2008, A&A, 489, 543
- 10) Maksym, W. P., et al., 2010, ApJ, 722, 1035
- 11) Kawamuro, T., et al., 2016, PASJ, 68, 58
- 12) Sugizaki, M., et al., 2011, PASJ, 63, S635
- 13) Hiroi, K., et al., 2013, ApJS, 207, S36
- 14) Stone, N. C., & Metzger, B. D., 2016, MNRAS, 455,

859

- 15) Chabrier, G., 2003, PASP, 115, 763
- 16) Gehrels, N., 1986, ApJ, 303, 336
- 17) Donley, J. L., et al., 2002, AJ, 124, 1308
- 18) Merloni, A., et al., 2012, arXiv:1209.3114
- 19) Khabibullin, I., et al., 2014, MNRAS, 437, 327
- 20) French, K. D., et al., 2016, ApJ, 818, L21
- 21) French, K. D., et al., 2017, ApJ, 835, 176
- 22) Dou, L., et al., 2017, ApJ, 841, L8
- 23) Komossa, S., et al., 2008, ApJ, 678, L13
- 24) Gezari, S., et al., 2012, Nature, 485, 217

Hard X-Ray Luminosity Function of Tidal Disruption Events Constrained by MAXI

Taiki KAWAMURO

National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: A star can be destructed by the tidal force of a supermassive black hole (SMBH) when the star gets close to the SMBH sufficiently, so called the tidal disruption event (TDE). The subsequent mass accretion onto the SMBH produces an abrupt, luminous flare, and after it peaks the TDE fades out on the scale of months. Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) onboard the International Space Station has been scanning all the sky every 92 minutes since August 2009, and detected transient events. This unique feature is highly useful for the TDE detection as well. We systematically searched the MAXI 4–10 keV data taken in the first 37 months, and successfully identified four TDE candidates under the assumptions: the TDE shows (1) a large flux amplitude by a factor larger than 5 on the scale of months and (2) characteristic decay that follows a powerlaw with an index of $-5/3$. We modeled a peak X-ray luminosity function (XLF) of the TDE (the occurrence rate per unit volume and peak luminosity), and constrained it based on the maximum likelihood method. Then, we calculated the accreted mass onto the SMBH by the TDE as a function of redshift, and found that the contribution to the SMBH mass density is negligible at redshifts < 1.5 , compared with that by the active galactic nucleus.