

ポスター

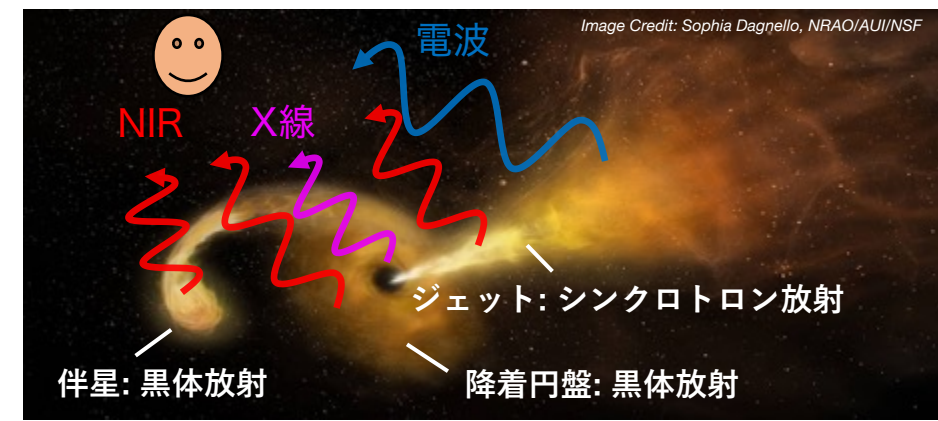
低質量X線連星 GRS 1915+105の
近赤外線の短時間変動について

広島大学

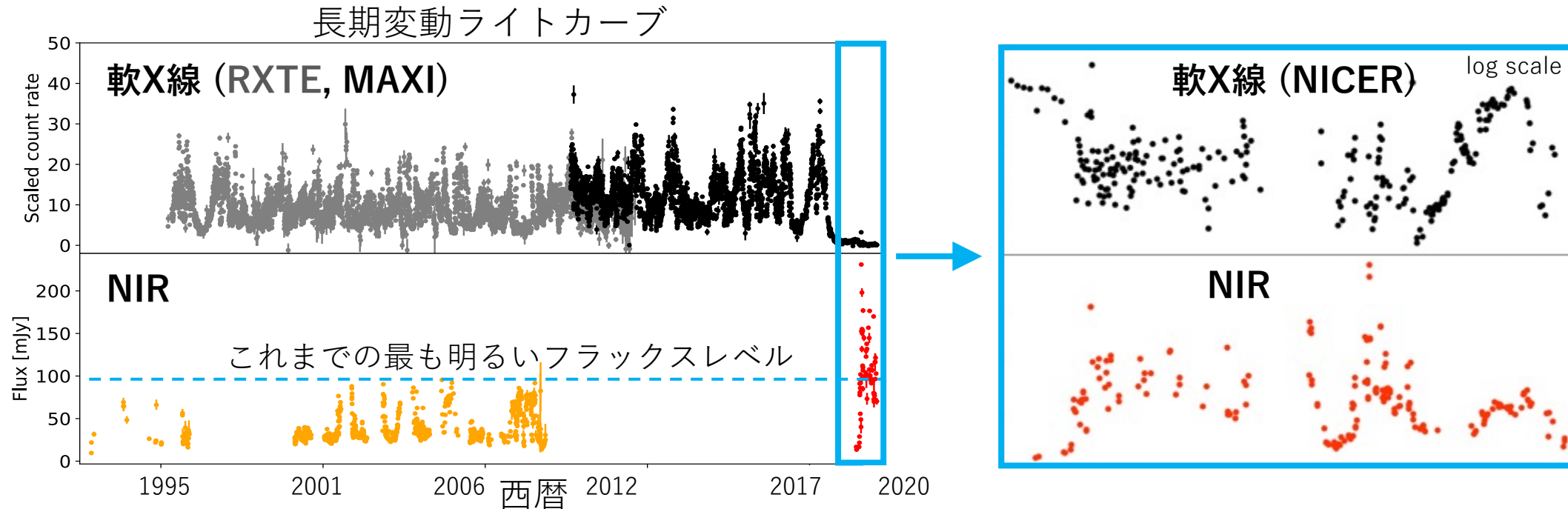
今里郁弥、笹田真人

GRS 1915+105 について

1. 低質量X線連星. ブラックホール質量: $14 \pm 4.4 M_{\odot}$ *1
2. 伴星はK giant ($0.8 M_{\odot}$) で公転周期は ~ 33.9 日 *2
3. 星間吸収 ($A_v \sim 12.2-19.6$) *3,4 がきつく可視光は観測が難しい
4. 発見以来 X線で3年前から突然暗くなった.*4 現在も暗いまま
5. 2年前に近赤外線(NIR)で歴史的増光. X線遮蔽体のNIR放射が原因の可能性 *5
6. NIR増光イベントの前後で短期変動報告はATelに1例(1晩分)だけ.*6 変動の特徴や起源は分かっていない

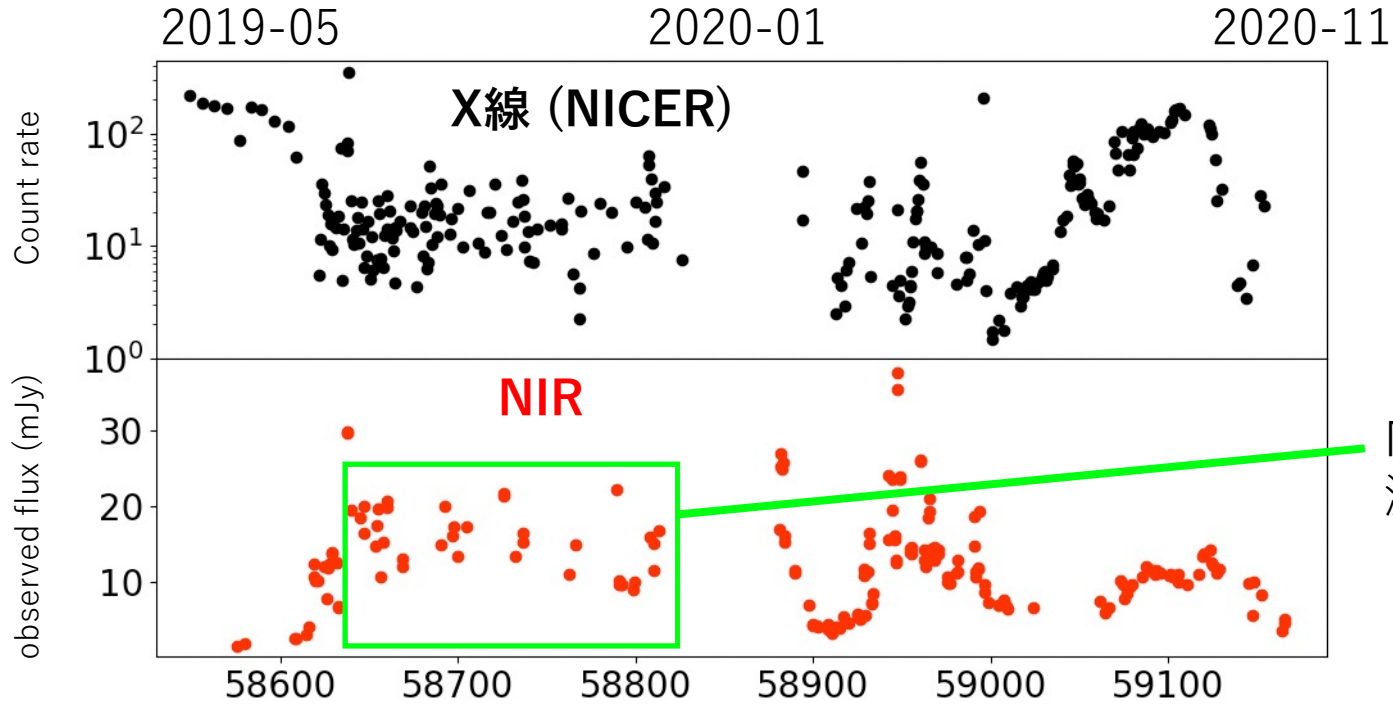


低質量X線連星の放射



*1 Harlaft & Greiner 2004
 *2 Steeghs et al. 2013
 *3 Chapuis & Corbel 2004
 *4 Negoro et al. 2018
 *5 Imazato et al. 2021
 *6 Murata et al. 2019

本研究の目的



NIRの長期的な増光成分は ジェット or X線遮蔽体.
減光補正值の不定性が大きい($A_v \sim 12.2-19.6$)ため
どっちなのか分からない

短時間変動を調べる目的

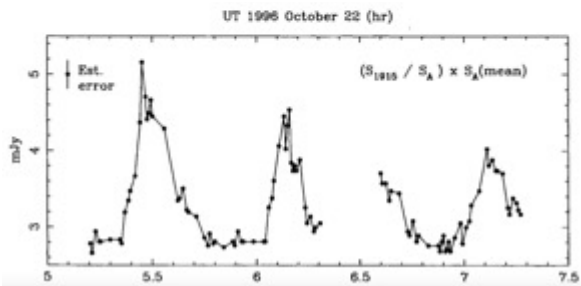
NIR短期変動の特徴を調べ, 2019年5月以降の変動起源を調査

- ジェットの光度変動タイムスケール: 10-50分 (過去の結果. 次のページ)
- X線遮蔽体の光度変動タイムスケール: light crossing time ~ 30 sec (円盤外縁程度のサイズの場合)

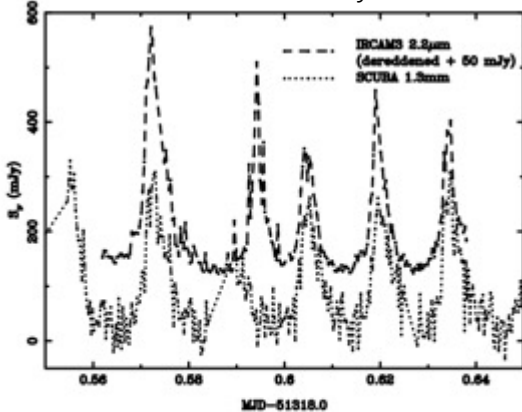
緑枠期間のNIRの長期的な増光成分の新たな手がかりが得られたら嬉しい

(先行研究) NIRの1日以内の短期変動のまとめ

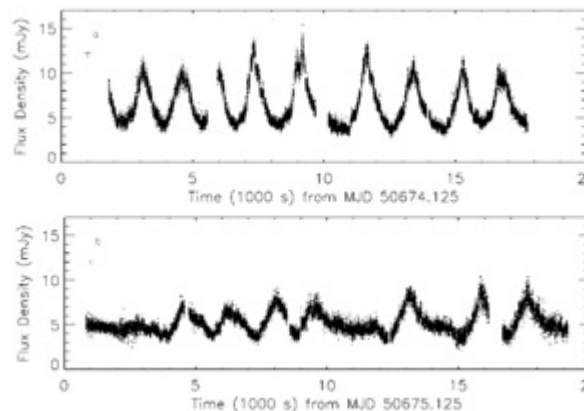
Fender et al. 1997



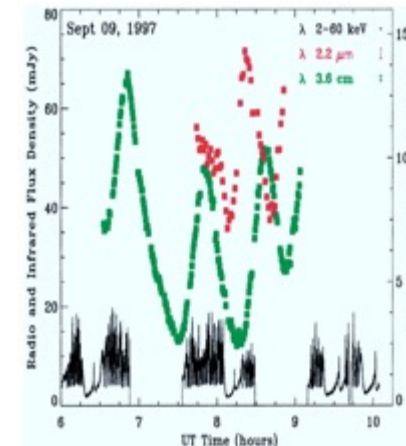
Fender & Pooley 2000



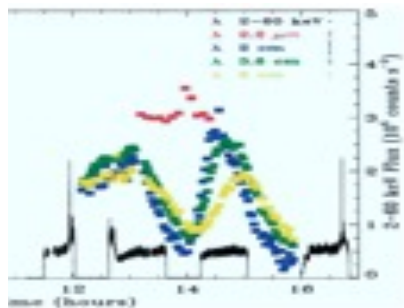
Eikenberry et al. 1998



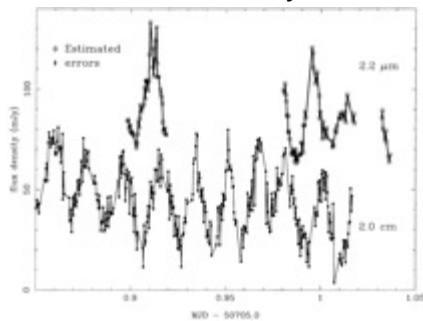
Mirabel et al. 1998



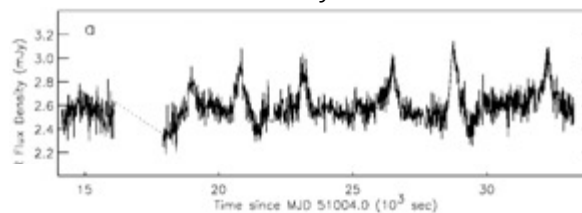
Mirabel et al. 1998



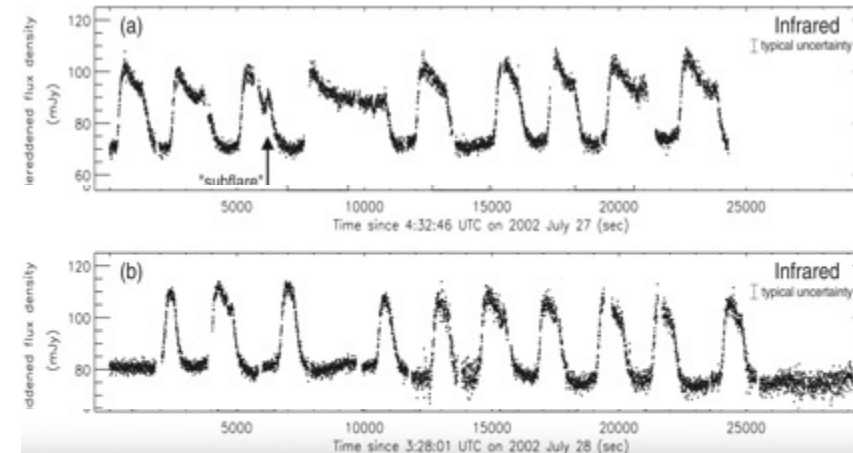
Fender & Pooley 1998



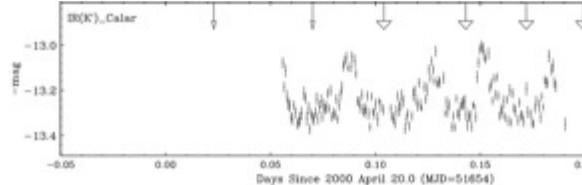
Eikenberry et al. 2000



Rothstein et al. 2005



Ueda et al. 2002

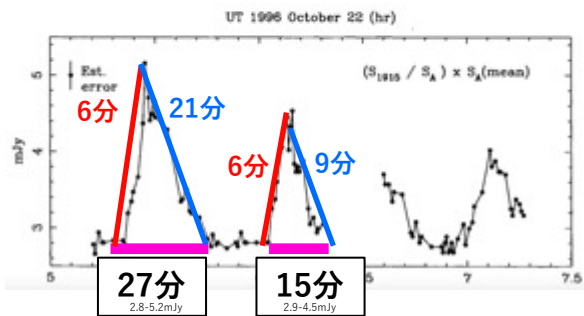


過去の論文では全て1日以内で変動している。

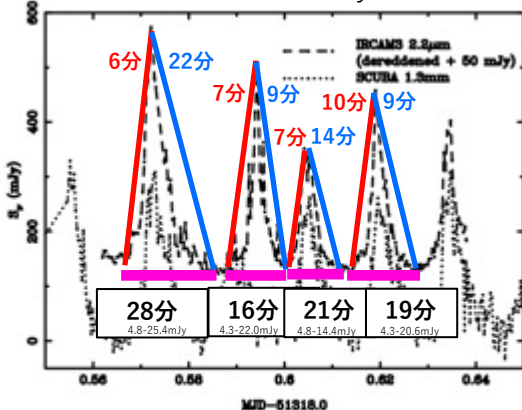
電波やX線の情報からこれらの変動は全てジェット由来の変動だと考えられている。

(先行研究) NIRの1日以内の短期変動のまとめ

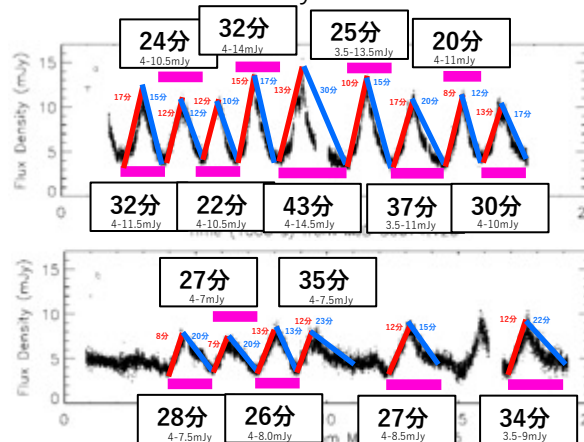
Fender et al. 1997



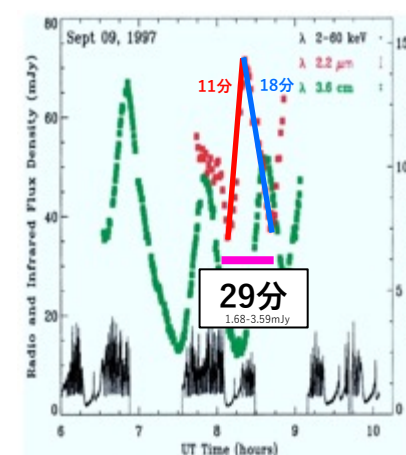
Fender & Pooley 2000



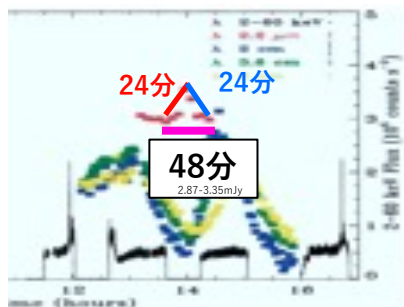
Eikenberry et al. 1998



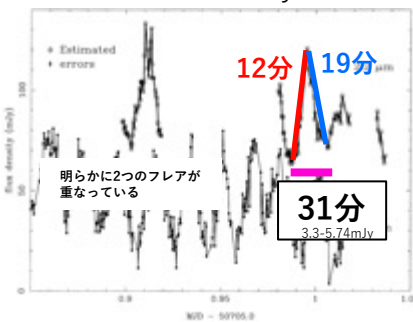
Mirabel et al. 1998



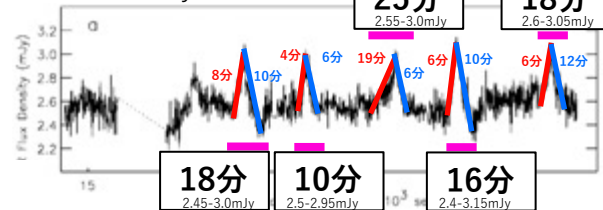
Mirabel et al. 1998



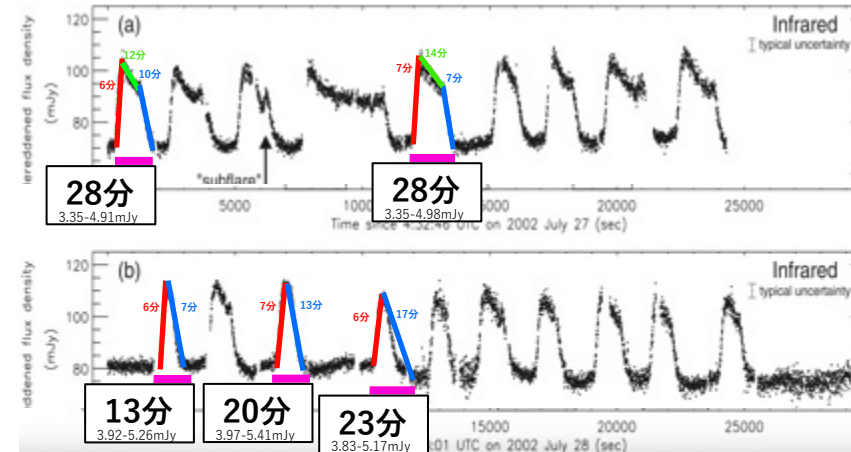
Fender & Pooley 1998



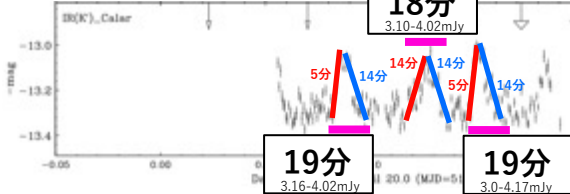
Eikenberry et al. 2000



Rothstein et al. 2005



Ueda et al. 2002

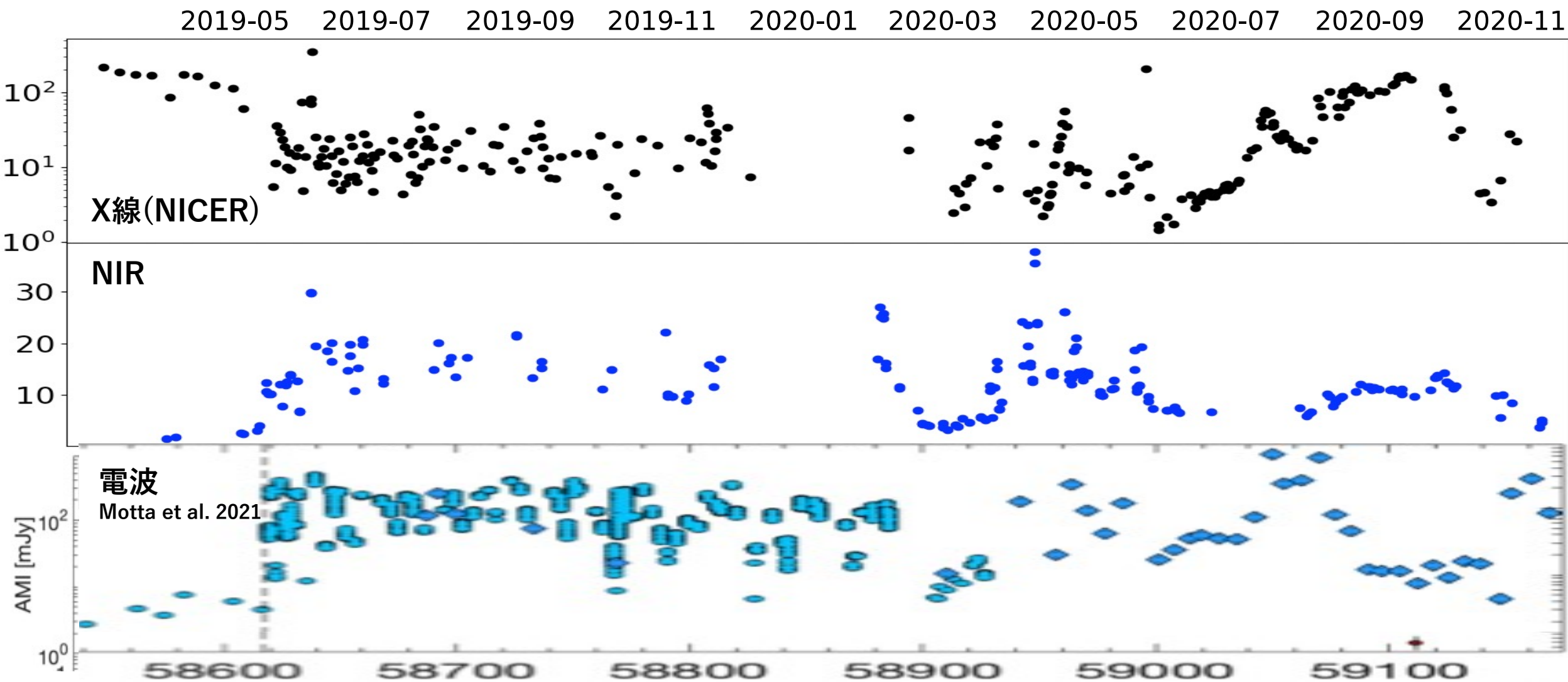


数十分のオーダー。

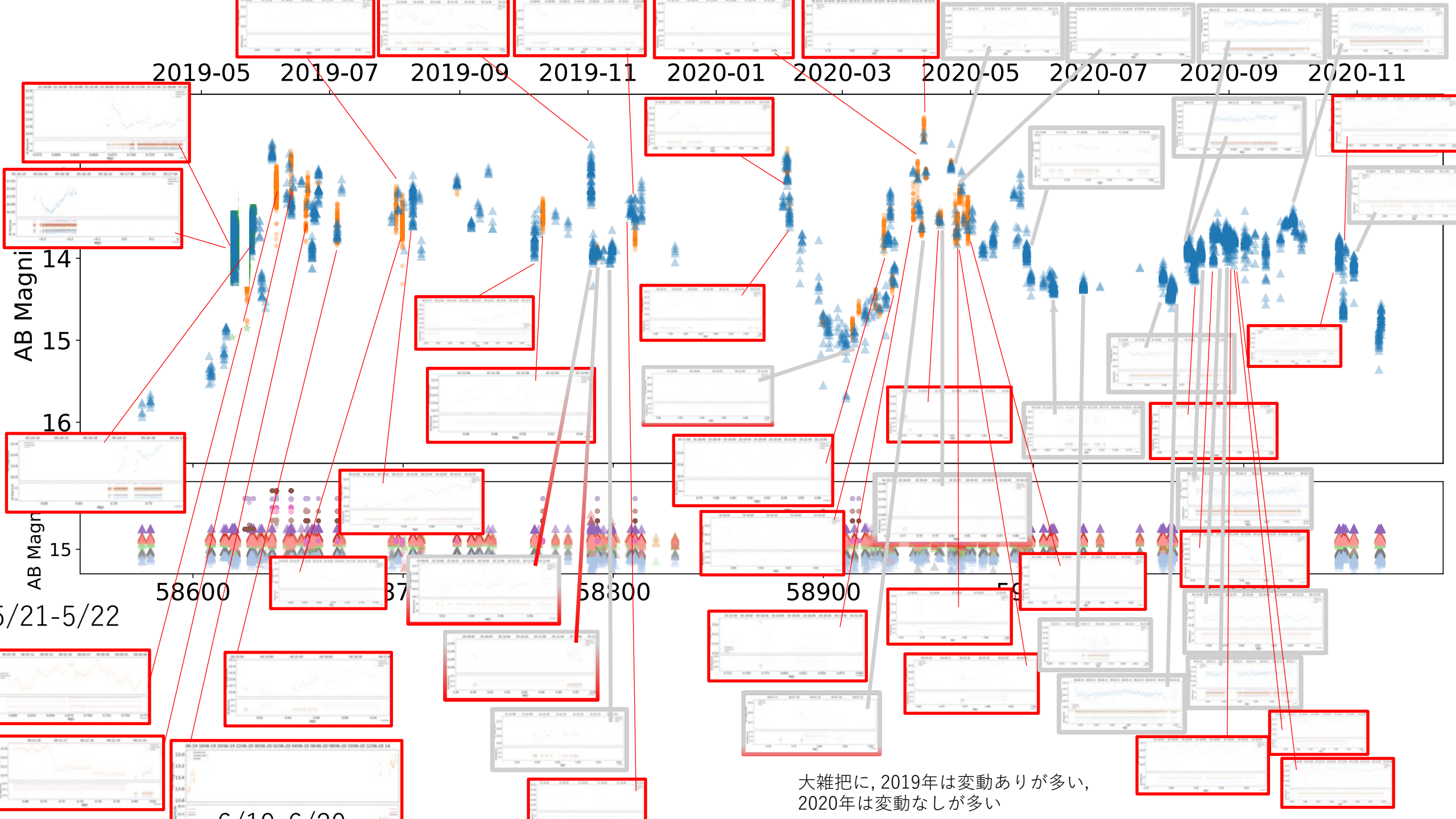
過去の論文では全て1日以内で変動している。

電波やX線の情報からこれらの変動は全てジェット由来の変動だと考えられている。

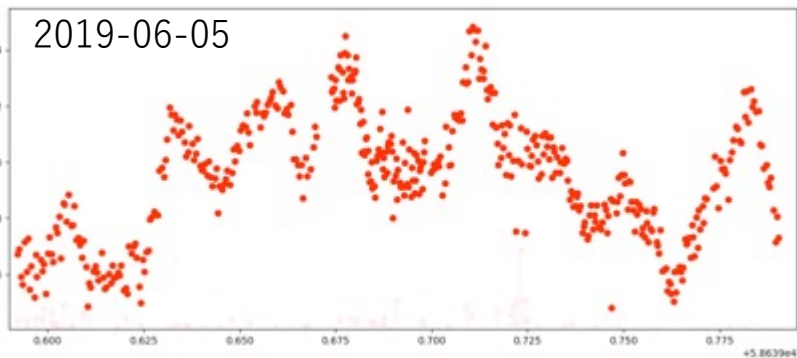
結果: 2019-2020のNIRの1日以内の変動




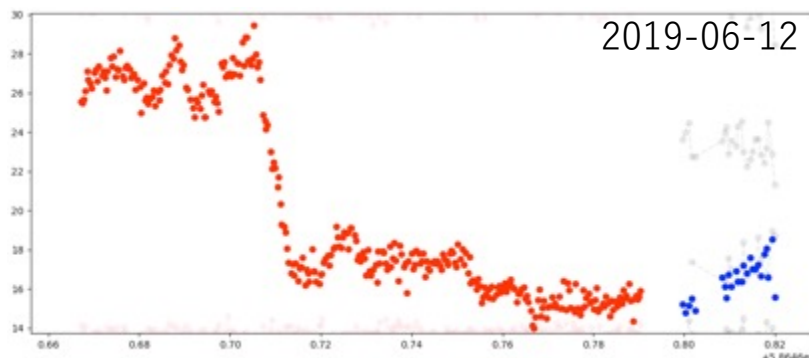
全期間のNIRの短時間変動を目視でチェックし, 時期によって変動があるか無いか調査 (次ページ)
2019年は2020年よりも変動を示す日が多い印象. 電波フラックスが高い (≥ 20 mJy) 期間では短期変動多い?




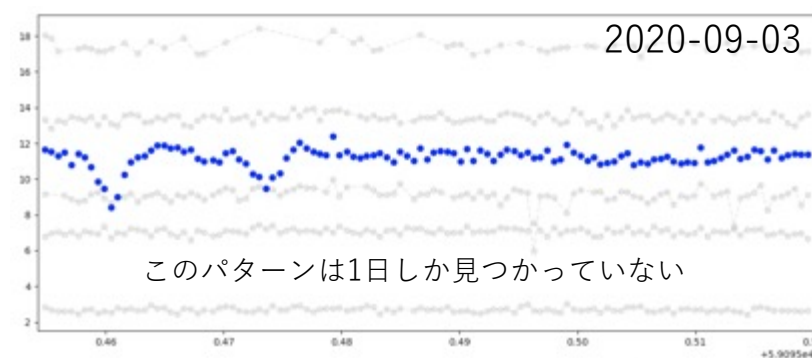
結果: 2019-2020の短時間変動のパターン




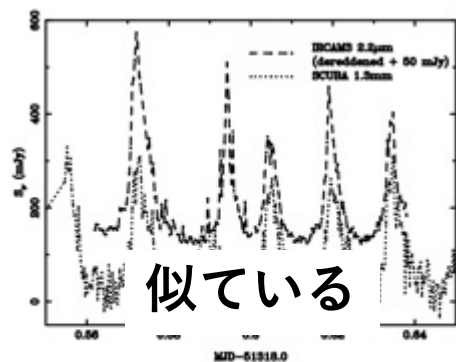
変動パターン  ~35分



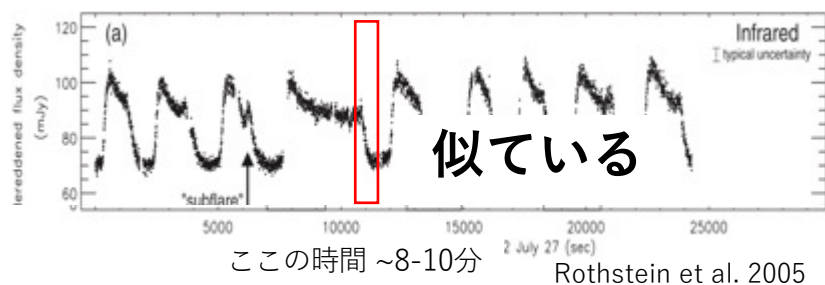
変動パターン  ~15分



変動パターン  ~7分



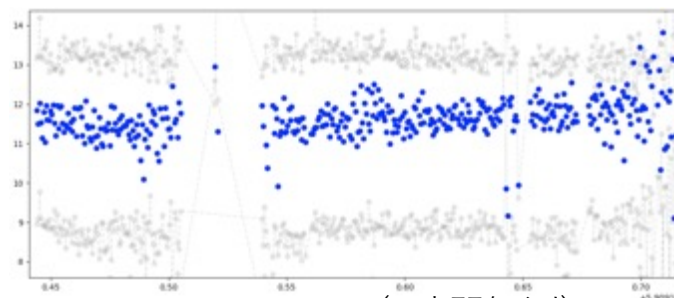
Fender & Pooley 2000
1個のフレアの継続時間~30分



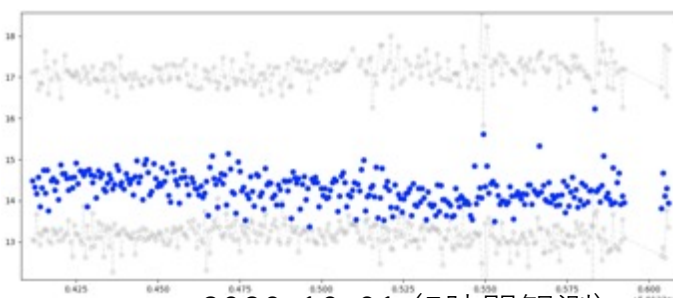
この時間 ~8-10分 Rothstein et al. 2005

似ているものなし

明らかな変動がない日



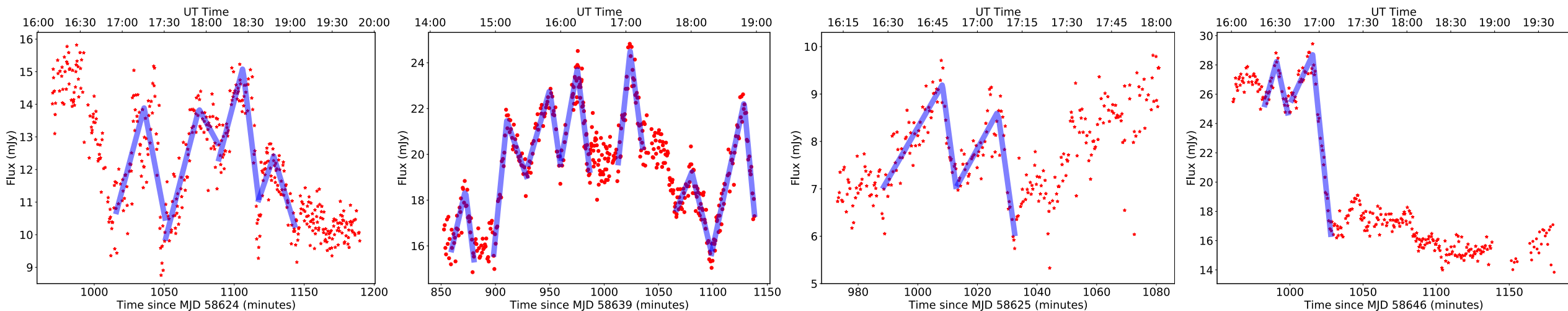
2020-08-30 (6時間観測)



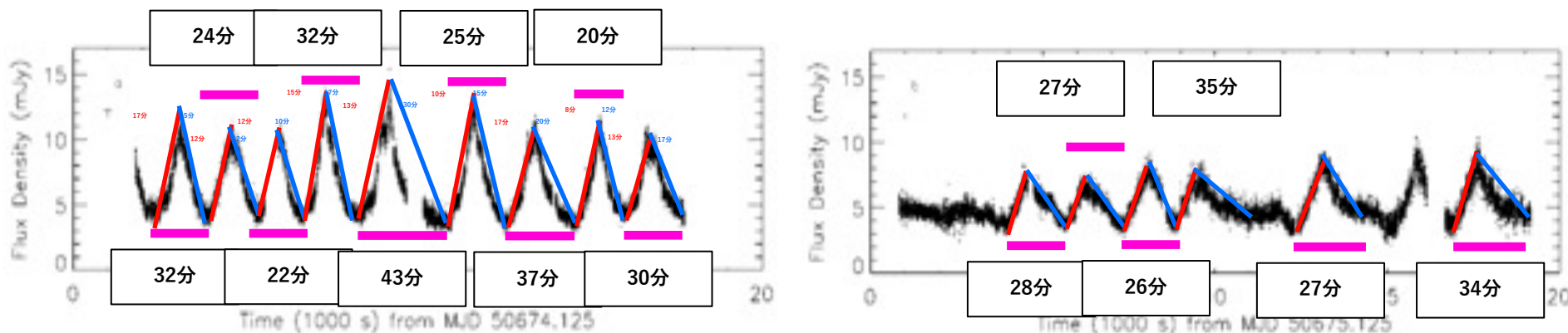
2020-10-01 (5時間観測)

短時間変動の特徴を抽出

2019-2020の短時間変動を直線でフィットして特徴抽出

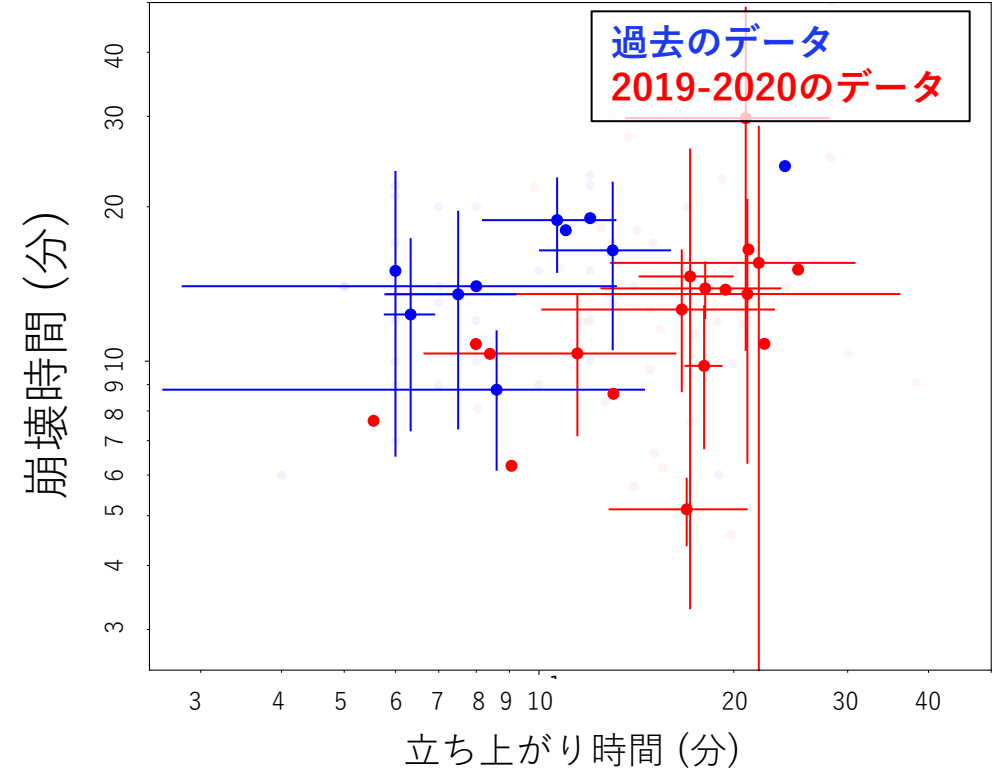
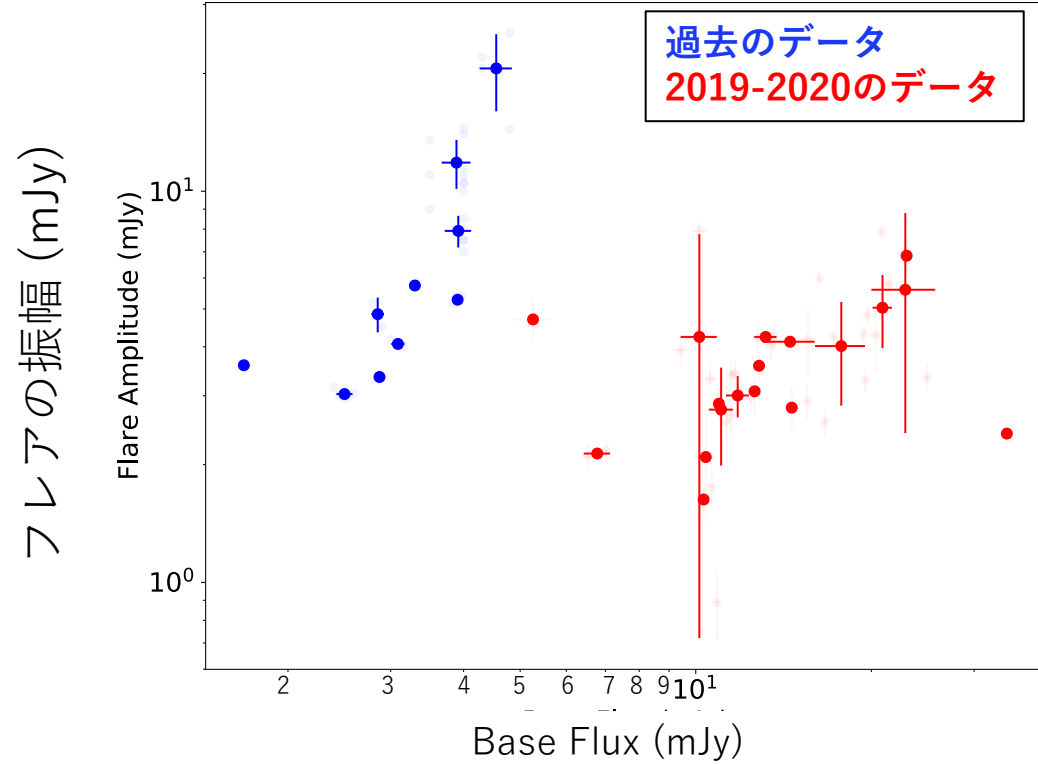


過去のデータの短時間変動を直線で目視で当てはめて特徴抽出



Eikenberry et al. 1998

短時間変動の特徴を比較



過去と比べて2019-2020年のデータはBase Fluxが明らかに高い。
一方で、フレアの振幅や立ち上がり時間, 崩壊時間では明らかな違いは見られなかった。

短時間変動は変動成分と定常成分の2つに分かれていると考える。

- ・ 変動成分の特徴が過去と今回で大きく変わらない：2019-2020の変動成分は従来通りジェット。
NIR短時間変動が電波フラックスが高い時に起こる結果(P6-7)とも無矛盾。
- ・ 定常成分(base flux)の寄与が過去よりも今回の方が強い：長期変動で増光したと考えられるX線遮蔽体の影響？

2019-2020のNIR短時間変動のまとめ

- 電波フラックスが期間は短期変動が多い印象.
- 過去に報告された変動パターンが多い. 報告例の無いパターンや変動を示さない日もある.
- Base fluxが過去と比べて明らかに高い

今後やること

IRSFの3色データ解析 (東工大・村田さん提供)

短時間変動の変動起源を知ることができる。減光補正值も求めることができる。

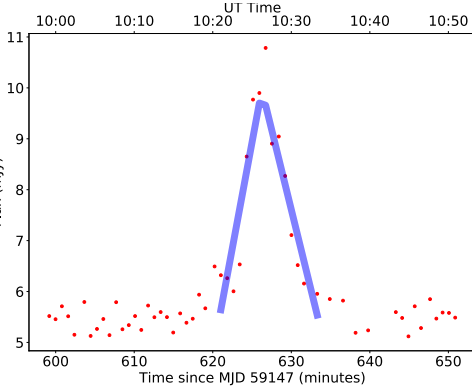
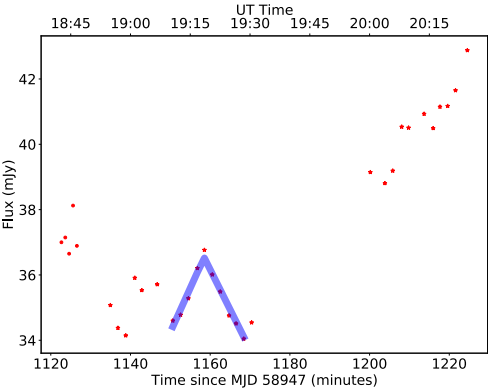
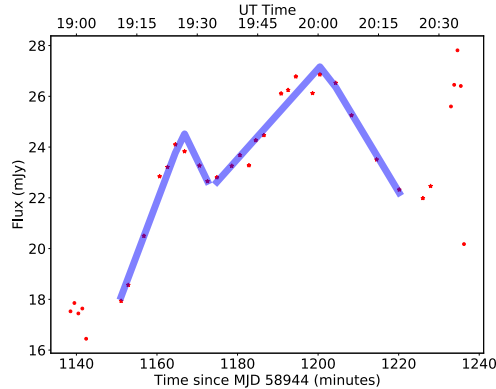
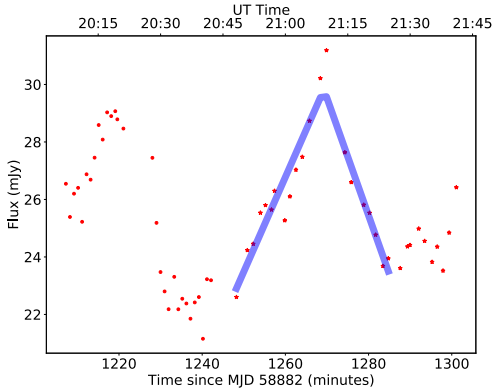
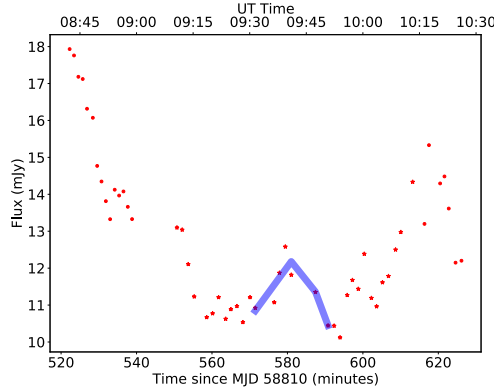
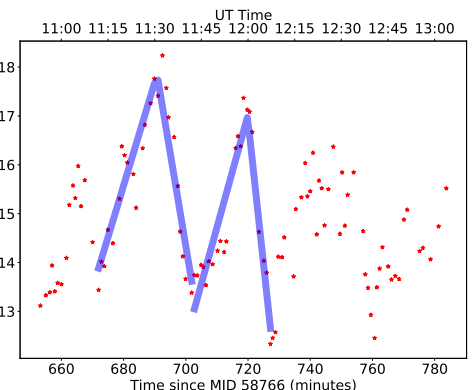
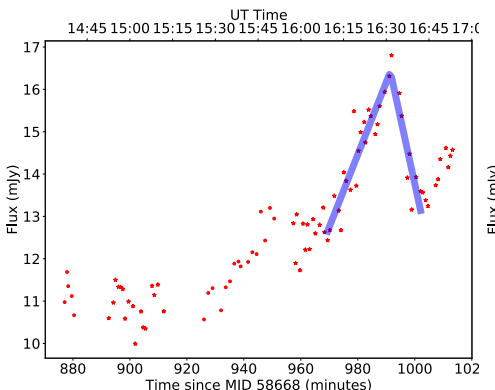
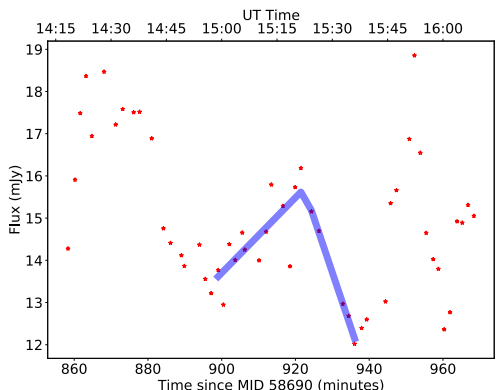
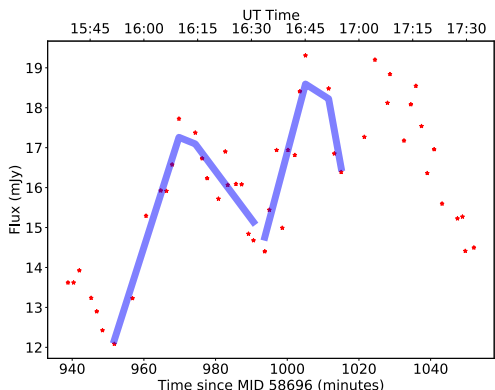
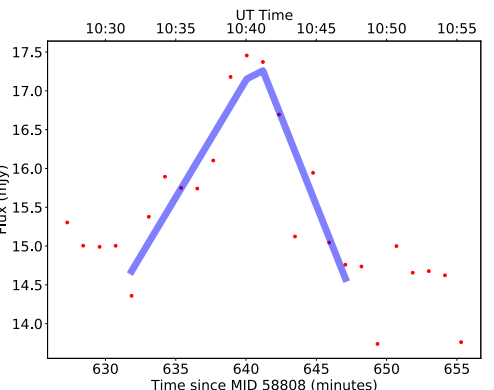
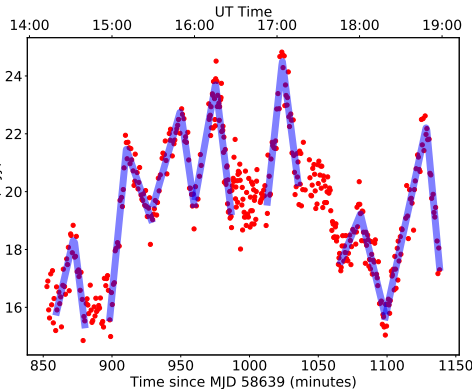
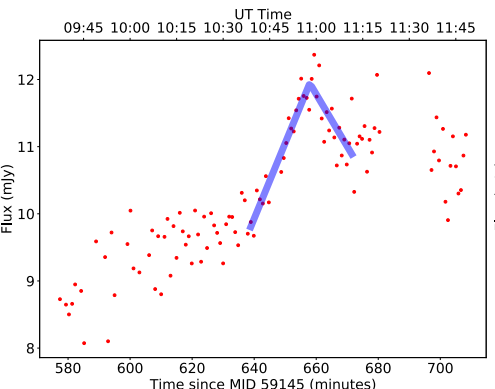
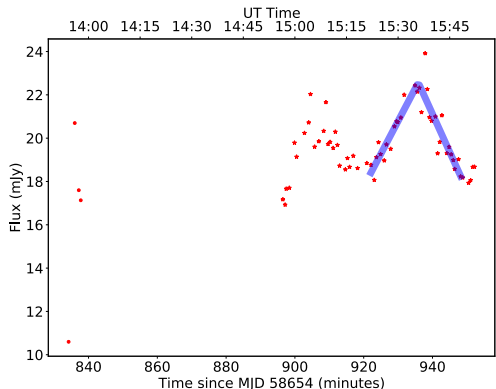
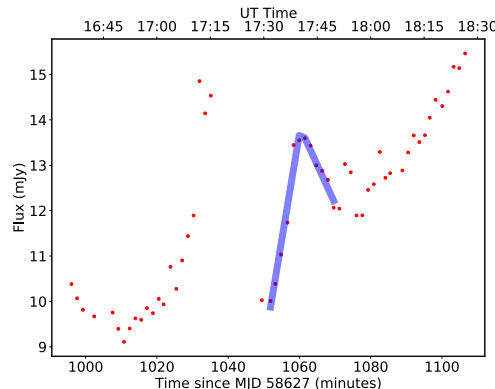
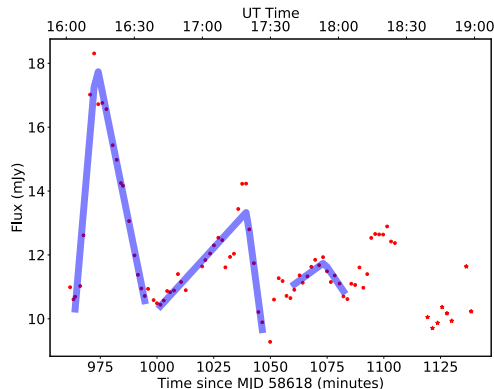
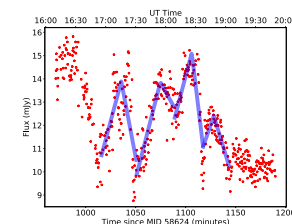
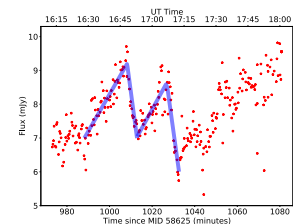
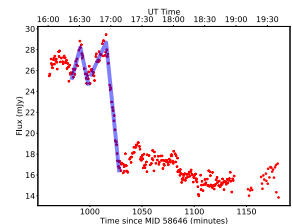
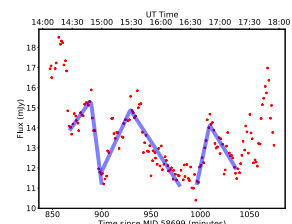
GRS 1915+105の減光補正值 A_v は長らく 19.6 だと考えられていた。

しかし最近のextinctionの論文結果から減光補正值を計算し直すと $A_v: 19.6 \rightarrow 12.2$ となる。

どちらが正しいのか分からないため、上記2手法とは独立な手法から減光補正值求める。

予備スライド

フレアの直線フィットの様子



過去のNIRの短時間変動の報告 1

Fender & Pooley 2000

<https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2000.03847.x>

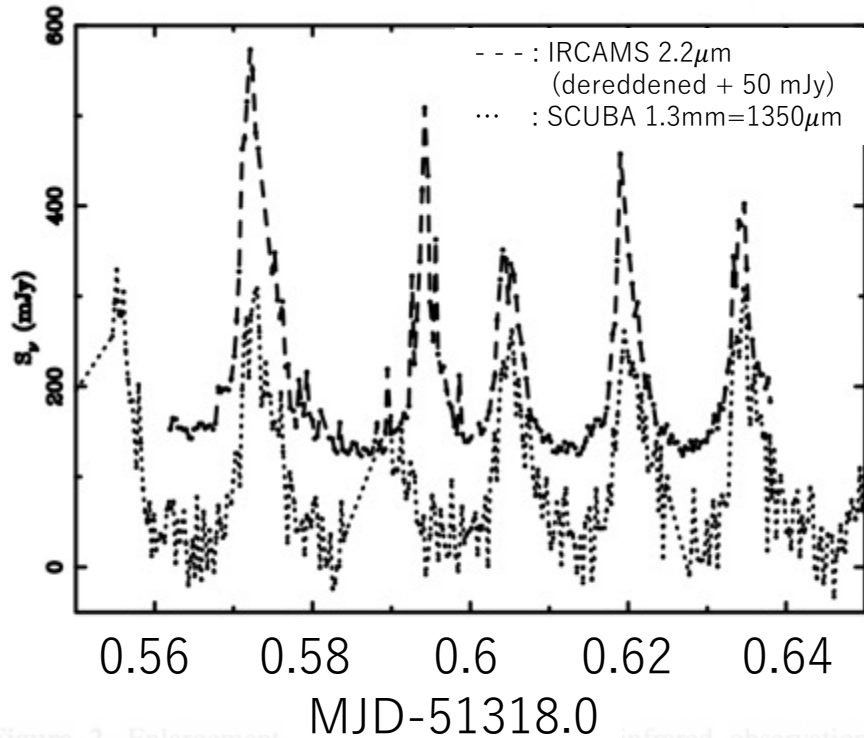


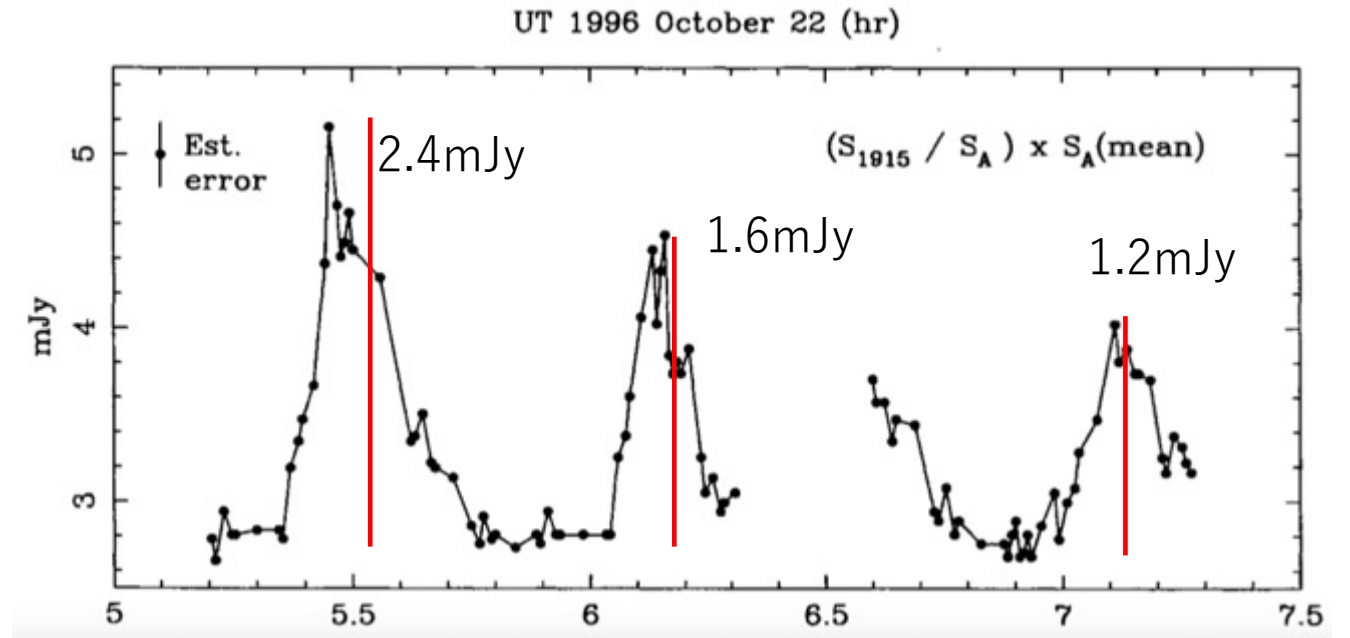
Figure 2. Enlargement of infrared observations.

1999-05-20のNIRとmmのライトカーブ ($A_k=3.3$)。Radio-NIRスペクトルも考慮してNIRはジェット放射と解釈可能。Sub-mmとK bandでも明らかなdelayはなく、断熱膨張で説明可能。

NIR flare Amp 14-17 mJy (減光補正前). ただし図からは9.57-20.58mJy
 NIR flareは~23分周期 (多分ピーク同士の時間間隔)
 (図から推定) K bandのbase fluxは~4.79mJy.
 (図から推定) Kのriseとdecayの時間はどちらも~14分

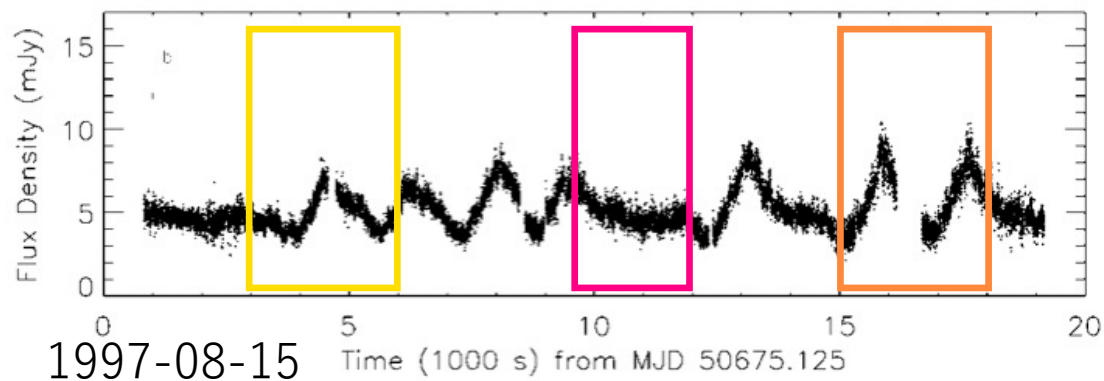
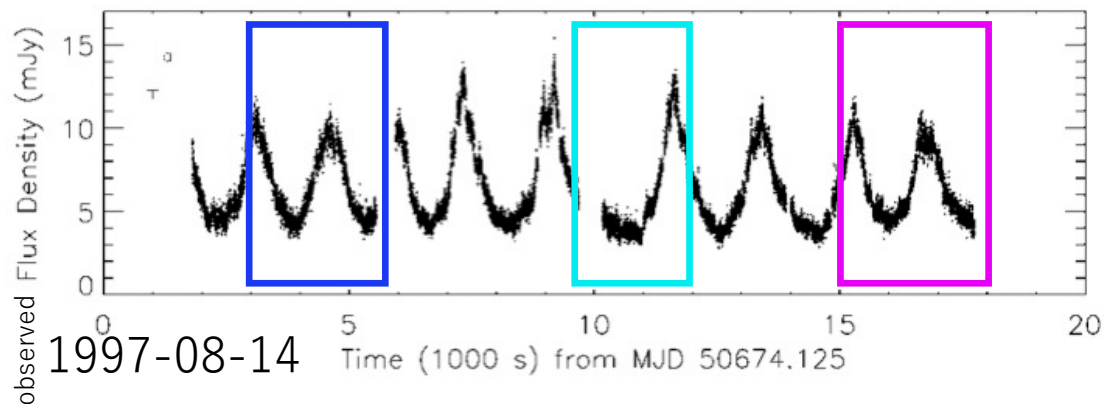
Fender et al. 1997

[10.1093/mnras/290.4.L65](https://doi.org/10.1093/mnras/290.4.L65)



K band ライトカーブ(おそらく reddened)。
 K bandと数時間後の電波のdecay time-scaleが同じぐらいなので、周波数依存しないsmall ejectionの断熱膨張による変動が見えているのでは。
 ※ Synchrotron lossやinverse Compton lossではdecay timescaleが波長依存する。 $\nu^{0.5}$
 (図から推定) 立ち上がり時間は ~6分, decay時間は ~12-18分
 (図から推定) Base fluxは~2.8mJy
 (図から推定) ピーク同士の時間間隔は~40分

過去のNIRの短時間変動の報告 2



NIRフレア Amp~5-10mJy

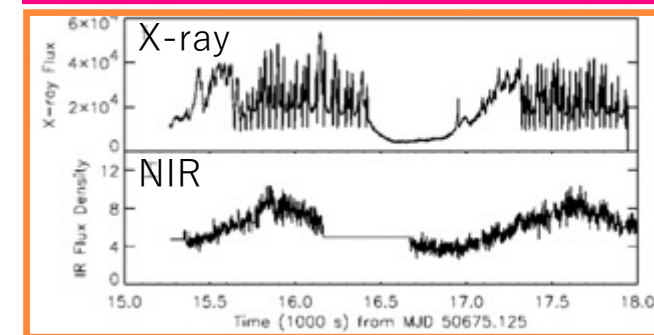
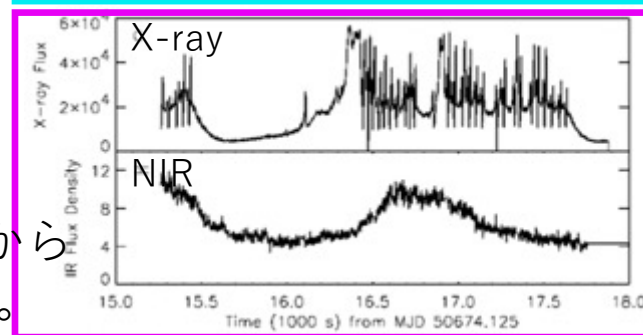
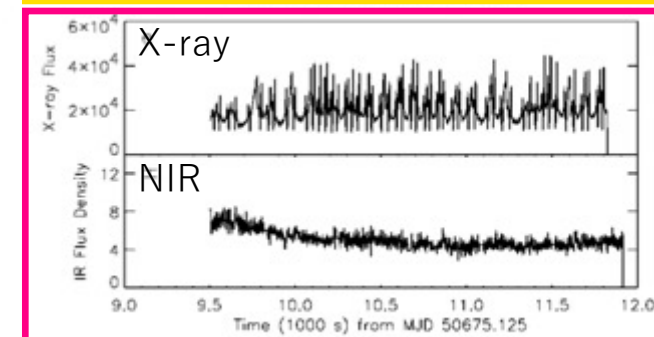
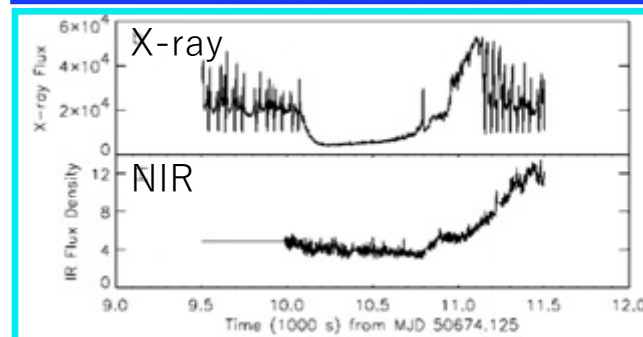
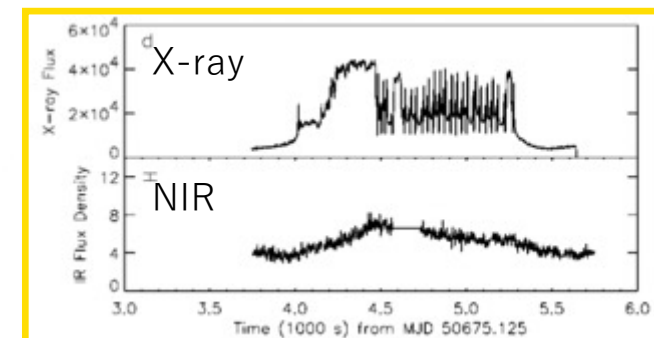
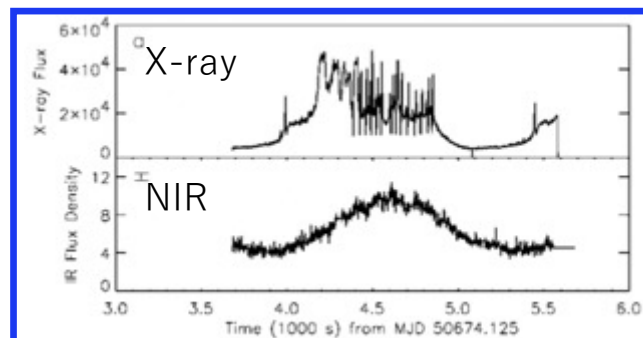
X線フレアとNIRフレアが1対1対応。
 詳細に見ると、X線のフレア中にNIRがdecayしている
 ので、NIR放射はreprocessingではない。
 Fender+97で電波&NIRのdecay timescaleが似ているから
 NIR放射はJetでは(coolingはadiabatic expansionでは)。

NIRフレアのピークの間隔は~30分

(図から推定) NIR flare amp ~4-10 mJy

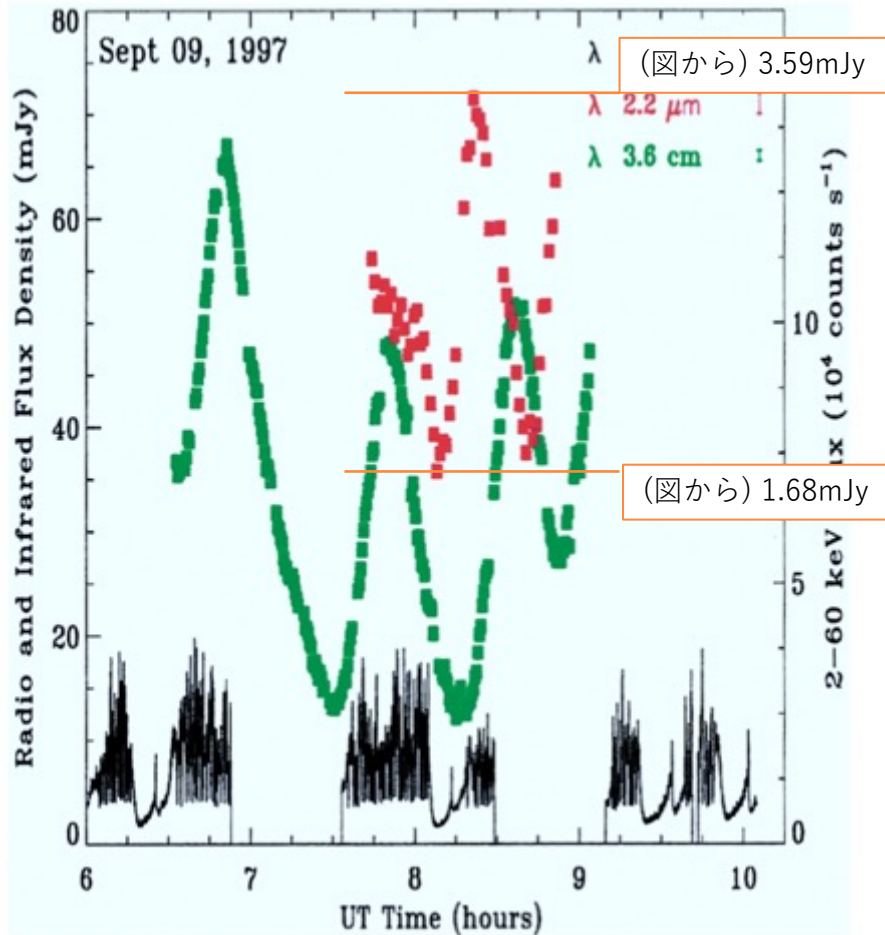
(図から推定) NIR flareの立ち上がりからbase fluxまで~15-30分

色付き枠期間の拡大



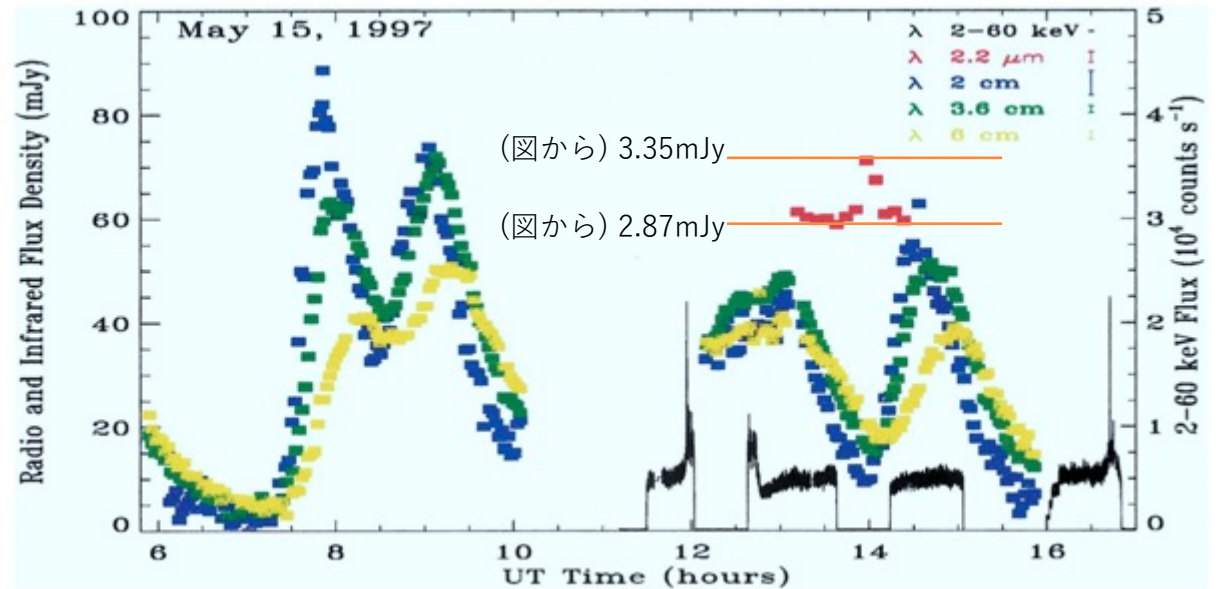
過去のNIRの短時間変動の報告 3

Mirabel et al. 1998
 Bibcode: [1998A&A...330L...9M](#)



(図から) Amp~1.91mJy
 (図から) NIR flareの立ち上がりから終わりまで ~30分

(図から) Amp~0.48mJy
 (図から) NIR flareの立ち上がりから終わりまで ~90分

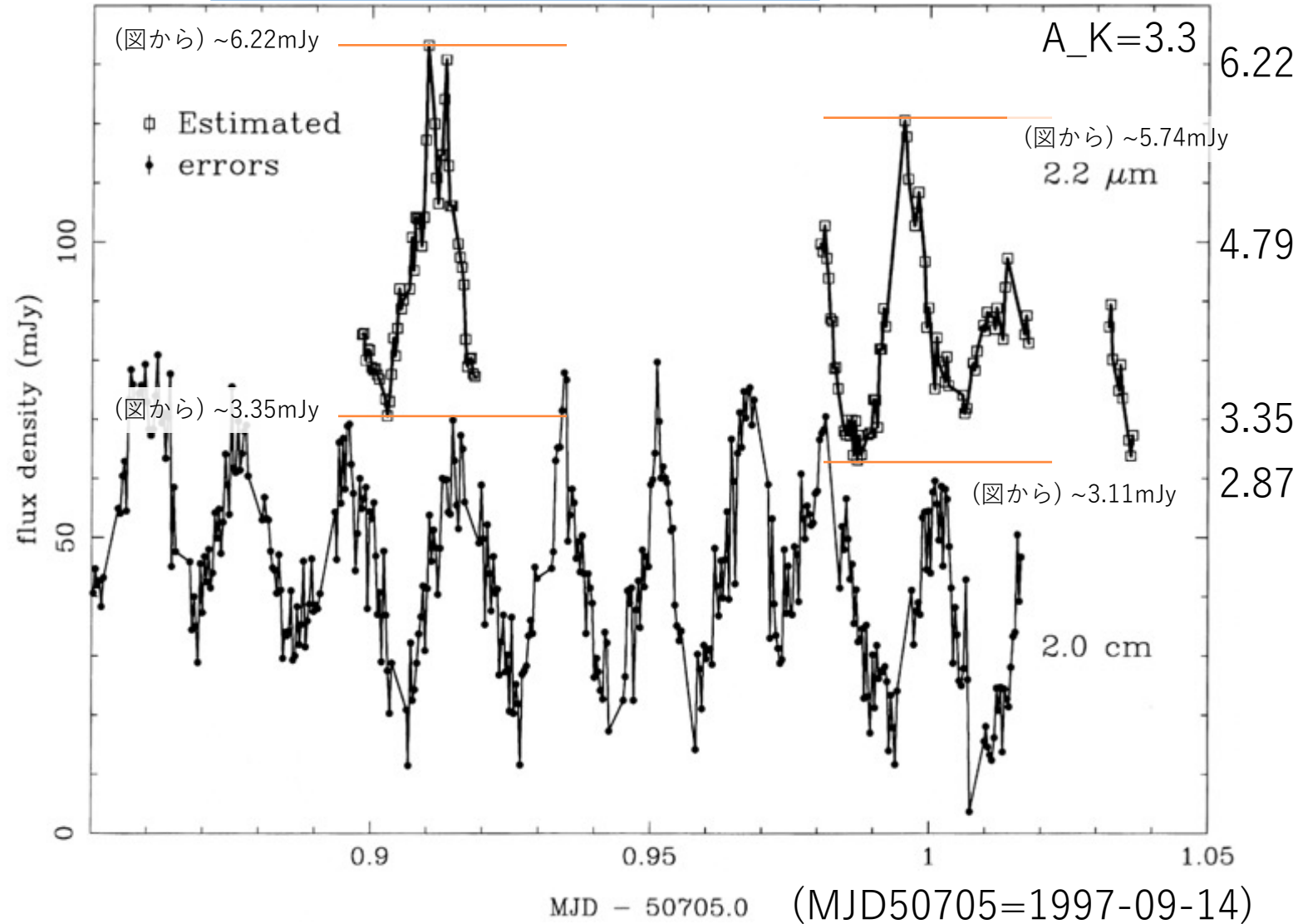


電波とNIRのピークのズレがジェットの断熱膨張モデルを仮定すると理論と一致。NIRはジェット。
 ただしピークのズレの推定で使われている $t_{\max,\lambda} \propto \lambda^{(p+4)/(4p+6)}$ がどうやって導出されたか不明。

過去のNIRの短時間変動の報告 4

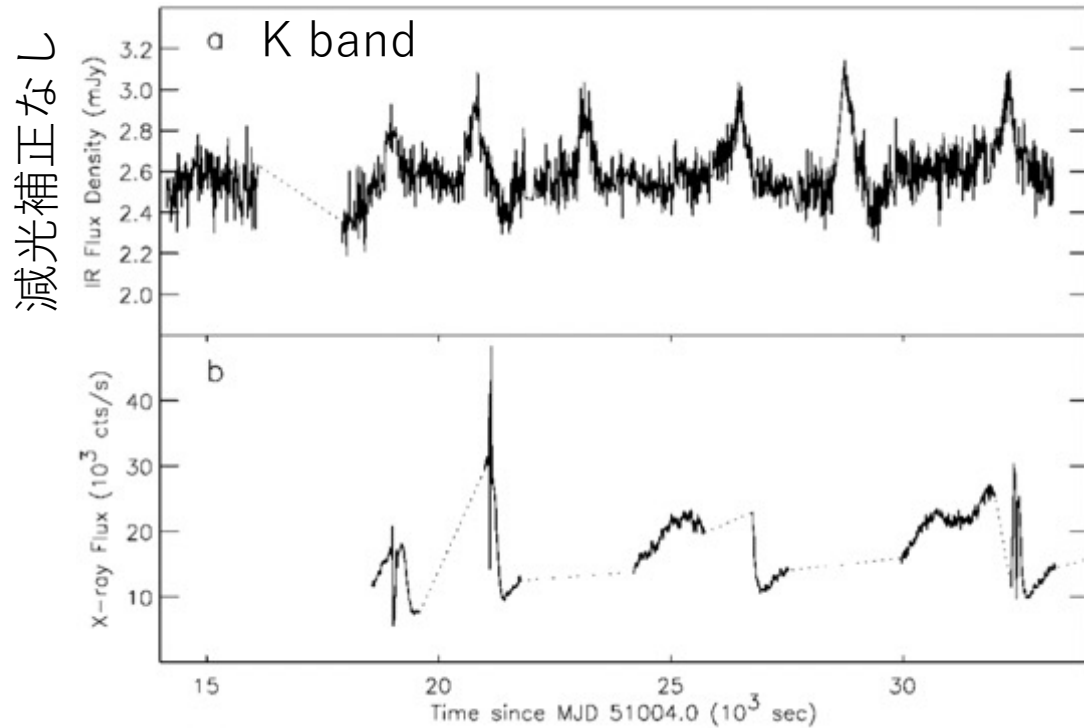
Fender & Pooley 1998

DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1998.01921.x>



Amp ~2.87mJy, ~2.63mJy
NIR flareの立ち上がりから終わりまで ~20分

過去のNIRの短時間変動の報告 5



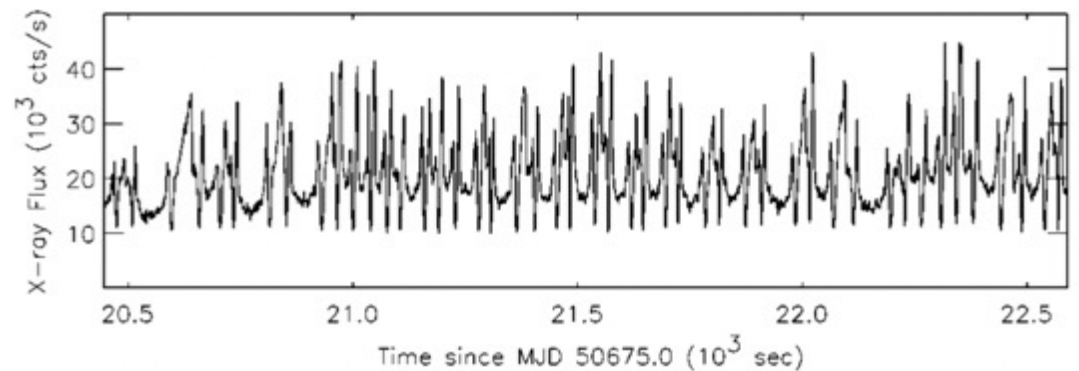
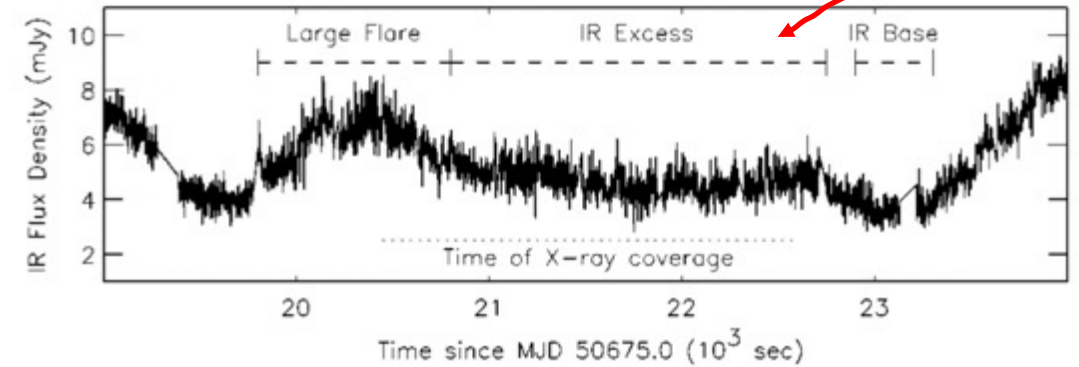
1998-07-10

NIRのFaint flare. Amplitude 0.3-0.6mJy.
Typical duration ~500s. Roughly symmetric flare.
フレアは~30 to 60 minutesでリピート.

(図から) NIR base flux ~2.5mJy

(この時期のX線のフラックスやスペクトルの進化がFreroci+99のX-ray/radio observationと似ている。電波フレアがX-ray eventの1000sごとに電波フレアピークがあるらしい。)

彼らはNIR faint flareがあるclass C eventは複数の解釈ができると言っている。Including magnetic reconnection events in the outer disk or reverse shocks propagating through a continuous jet medium.と言っている。



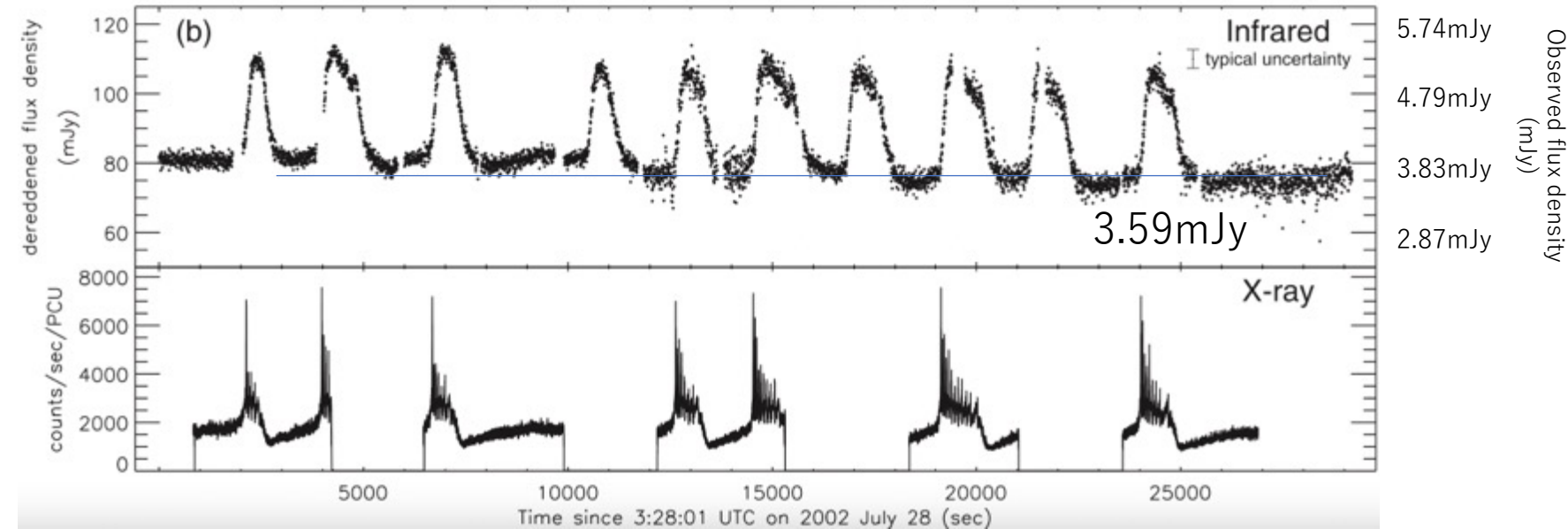
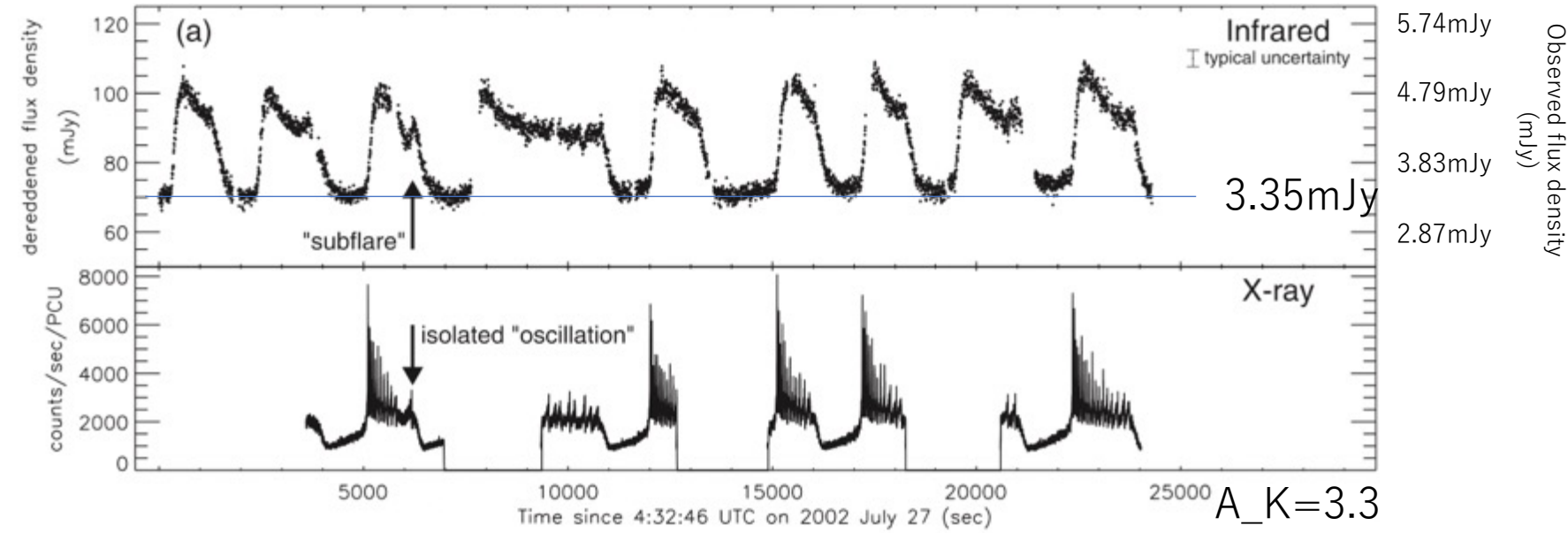
※ ↑ P3(Eikenberry+98)の赤枠期間辺り

1997-08-15

この部分をQuasi-steady IR excessと定義して議論。
IR Baseのフラックスより高い。
彼らは左の期間のfaint flare(amplitude ~0.3mJy)の重ね合わせではと示唆。
高さ0.3mJy, FWHM 160s(左期間のfaint flareとconsistent)のgaussianを
X線フレアごとに置いて重ね合わせたらIR Excessのexcess fluxと大体一致。

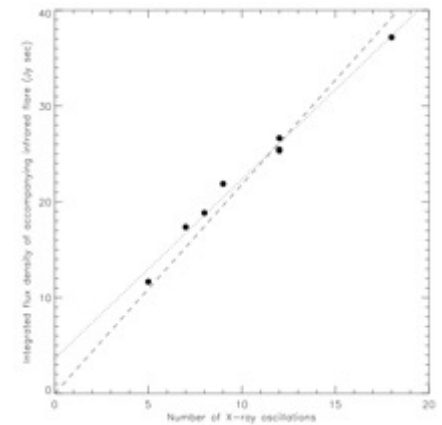
過去のNIRの短時間変動の報告 6

Rothstein et al. 2005
DOI: [10.1086/429217](https://doi.org/10.1086/429217)



NIRフレアの継続時間は15-30分
30-60分で繰り返している
NIRフレアの立ち上がり時間は~200-300s.
NIRフレアの振幅~1.5mJy (減光補正前)
数時間前の電波観測でも似たフレアが見えたことからこのNIRフレアもジェットでは。
30分毎のX線の振動の数と積分NIRフラックスが正の相関。NIRフレアはX線振動に対応した多数の暗いNIRフレアの重ね合わせでは。

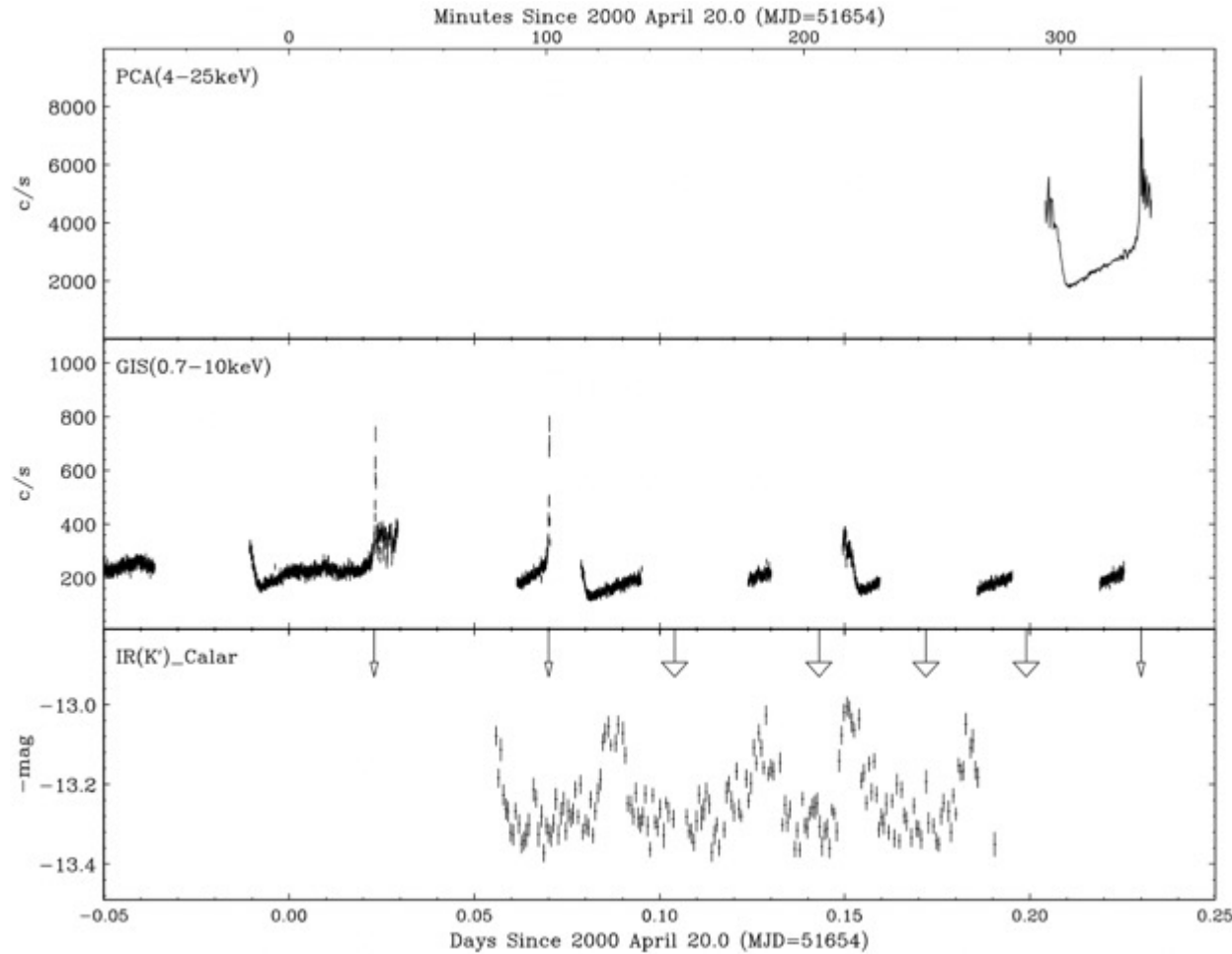
Integrated flux density of accompanying infrared flare (Jy sec)



Number of X-ray oscillations

過去のNIRの短時間変動の報告 7

Ueda et al. 2002
DOI: [10.1086/340061](https://doi.org/10.1086/340061)

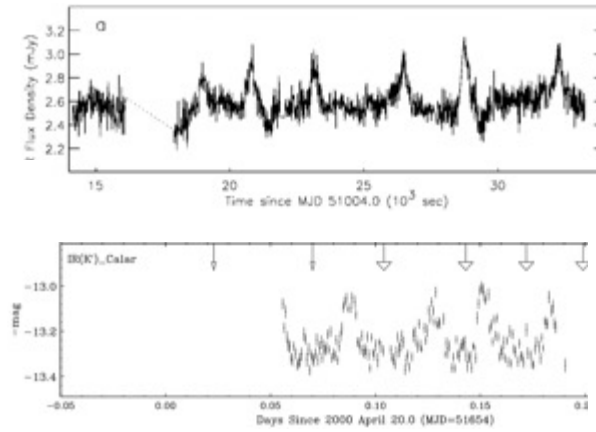
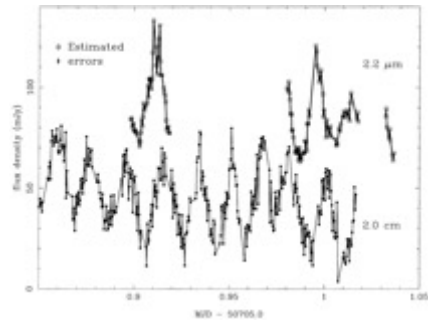
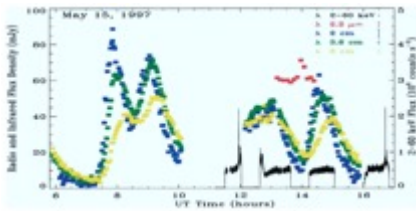
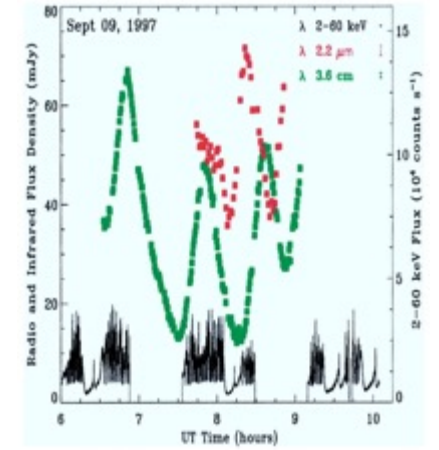
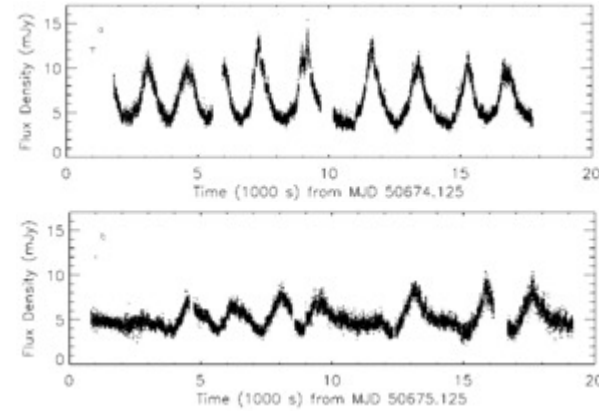
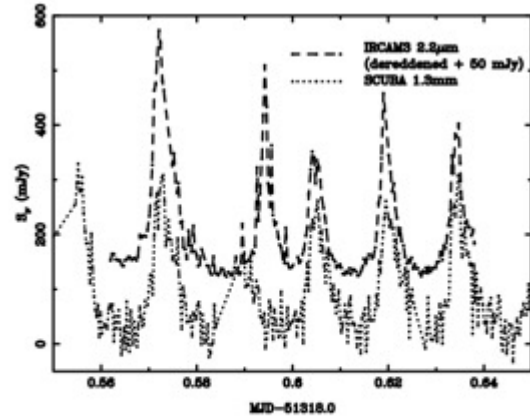
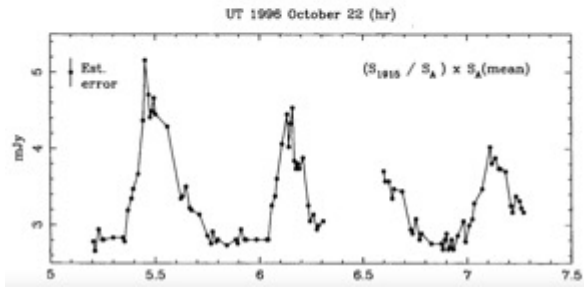


NIR flare Amplitude 10-20 mJy (おそらく $A_K=3.0$ で)
減光補正なしでは NIR flare amp $\sim 0.6-1.3$ mJy
Rise time typically ~ 1 minute
Decay timescale ~ 10 minutes
(図から) NIR base flux ~ 3.02 mJy

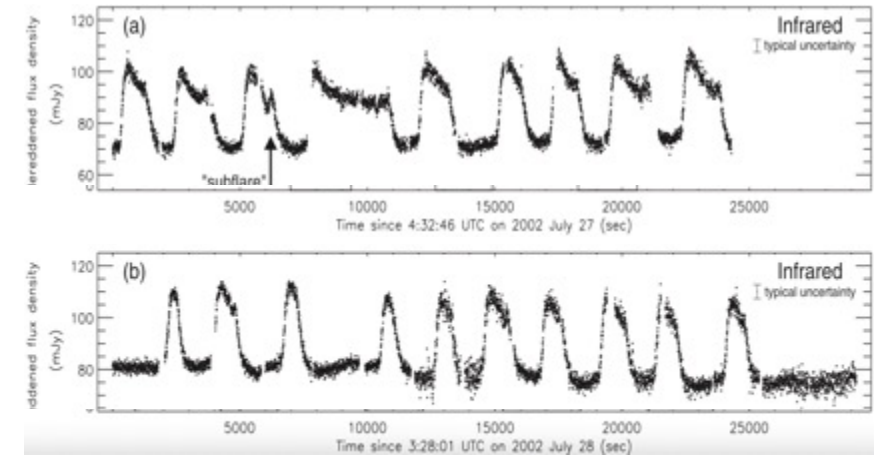
(図から) Peak-to-peak ~ 37 分

明言されていないが縦軸は恐らく減光補正前の vega magnitude.
これを想定すると記述通りフレアが ~ 20 mJy の振幅になる。

これまでのNIRの短時間変動 まとめ

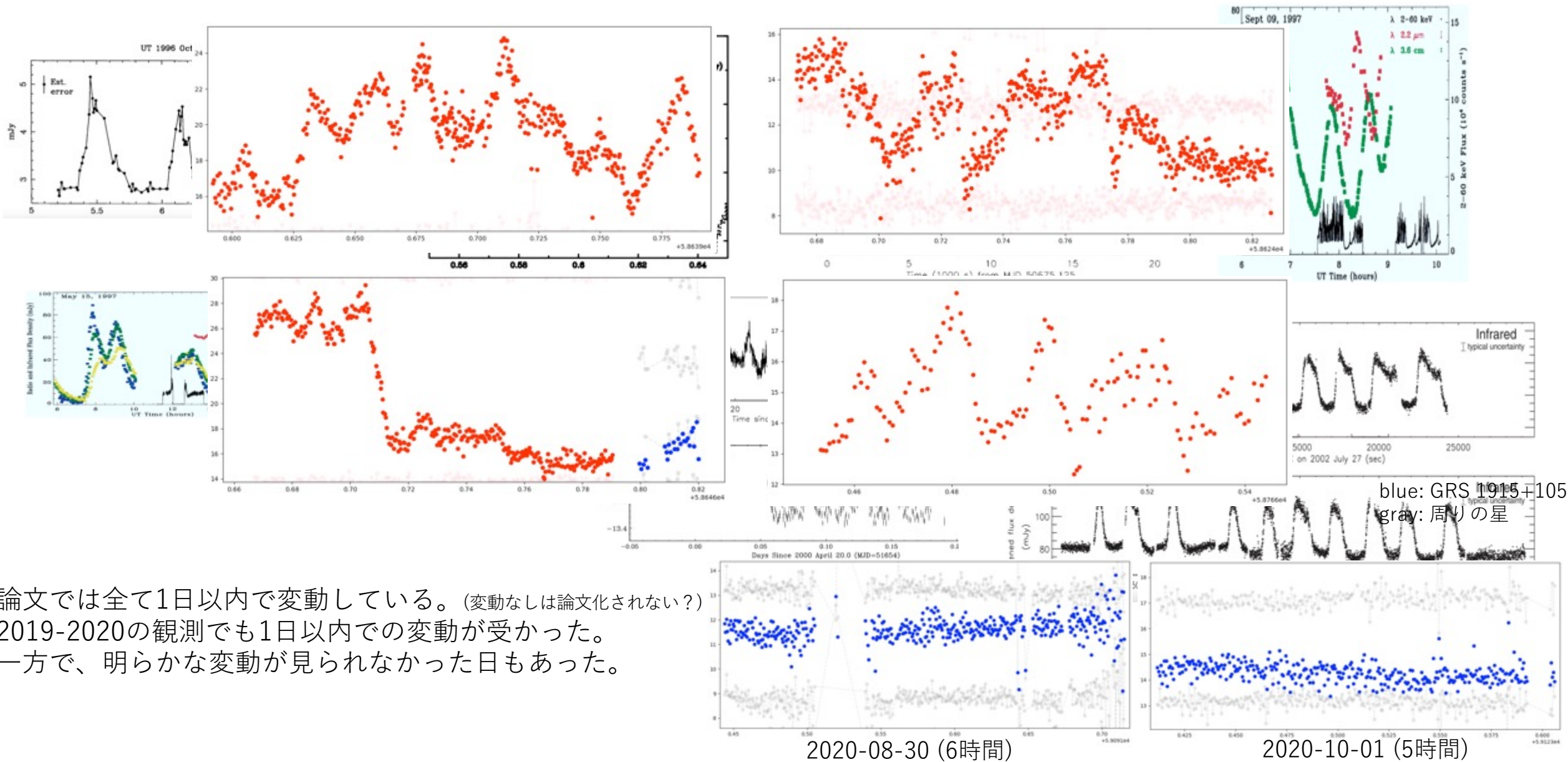


Rothstein et al. 2005



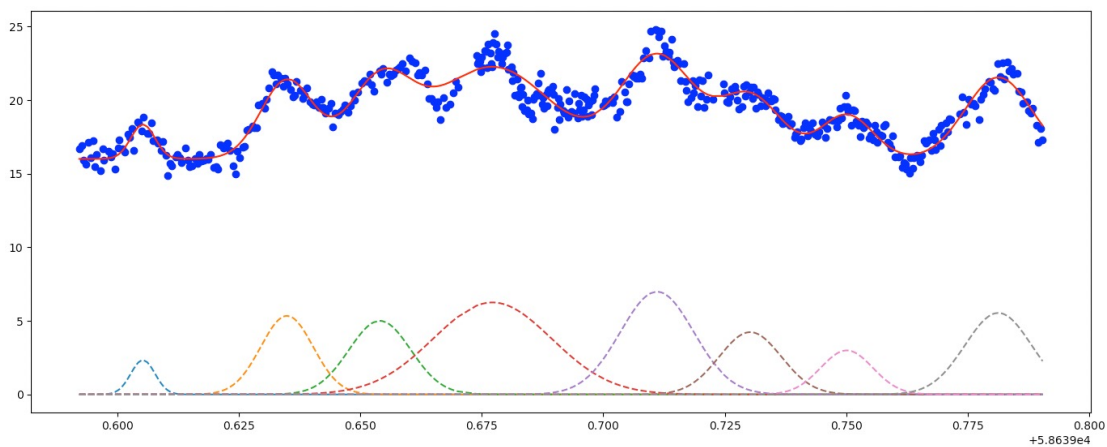
論文では全て1日以内で変動している。(変動なしは論文化されない?)

NIR短時間変動のライトカーブまとめ

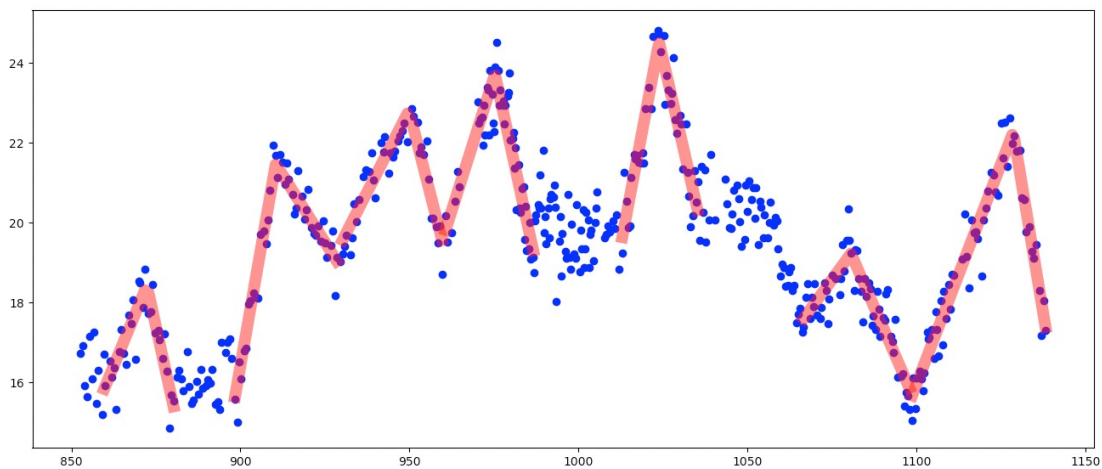


論文では全て1日以内で変動している。(変動なしは論文化されない?)
 2019-2020の観測でも1日以内での変動が受かった。
 一方で、明らかな変動が見られなかった日もあった。

直線じゃなくて正規分布でフィット



正規分布x8 + 定数 で一気にフィットしてみた。
Ampが正確に分からない。
非対称なフレアに対応できなさそう(左から3番目とか)



フレア1個1個に対して目視で開始時刻・終了時刻を決めて直線フィット。
上手くいっていきそう。