

Tomo-e Gozenを用いた 高速電波バーストの可視光追観測

間所 捺(東京大学 修士1年)
新納 悠,小林 尚人(東京大学)

木曾シュミットシンポジウム 2025/5/27

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

高速電波バースト(Fast Radio Burst)とは

- 2007年に初発見された、**高エネルギー天体現象**
- 数ミリ秒だけ電波帯で輝くパルスを放射する
- FRBを起こす天体は2025年5月までに約800個確認されている
- カナダのCHIMEがFRB検出に最も貢献している(FRB全体の**95%以上**)



Image:Andre Renard,Dunlap Institute; CHIME

電波干渉計(CHIME)



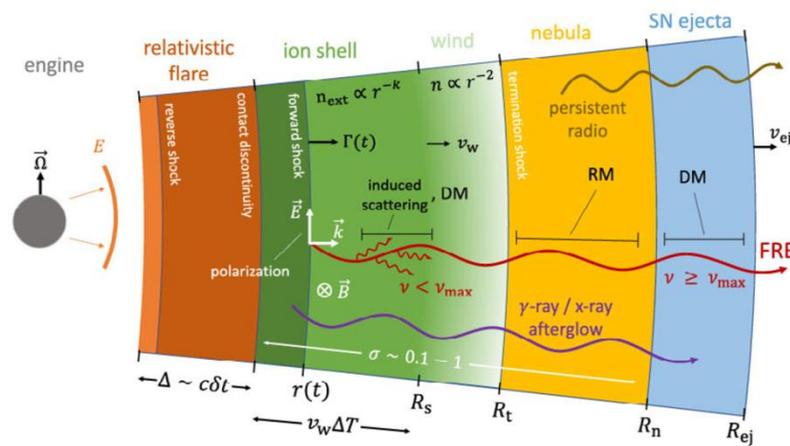
© 2024 Souichi Takahashi

FRB現象のイメージ図

高速電波バースト(FRB)とは

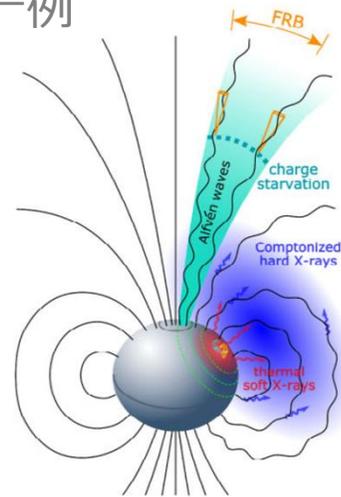
- FRBは主に銀河系外の現象(1例だけ銀河系内でも確認されている)
- FRB源の天体モデルや、FRB放射機構モデルの観測的検証はいまだ乏しい

FRB放射機構のモデル一例



a Shock models

天体磁気圏から離れたショックモデル



b Magnetospheric models

天体磁気圏モデル

Metzger et al.(2019)

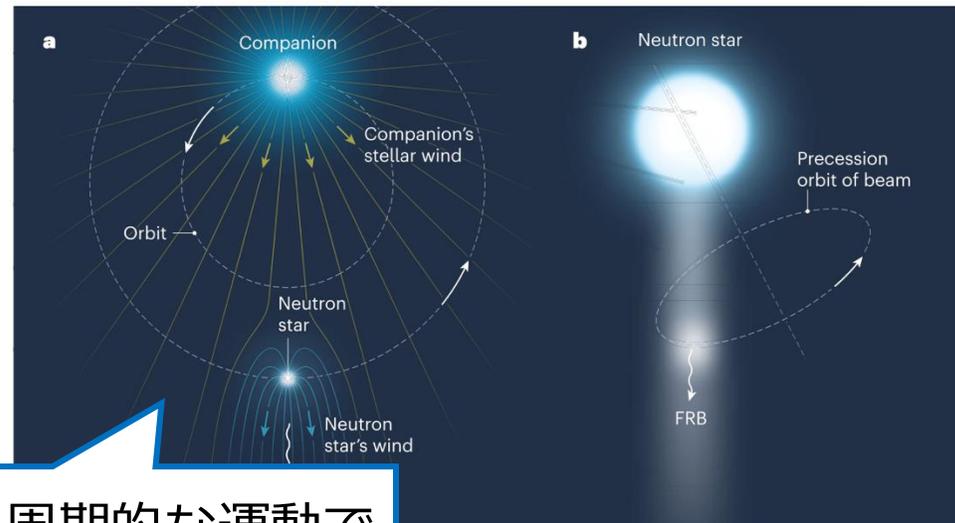
Lu et al.(2020)

マグネター(強力な磁場を持つ中性子星)が1つの有力な天体候補

- 銀河系内(X線と電波成分が同時に検出された)を除き、電波帯以外の放射は一切見つかっていない
→ 様々な観測機関の多波長観測によって電波以外の放射を探している

高速電波バースト(FRB)とは

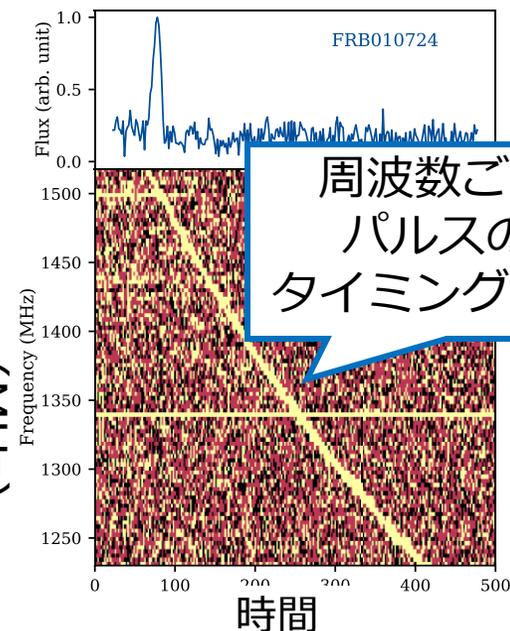
- FRB天体のうち、観測史上で1回しかバーストを起こさないものと、複数回起こすリピーターがある
- FRB電波には、Dispersion Measure(DM)という星間プラズマ密度由来であるとされる値が含まれている



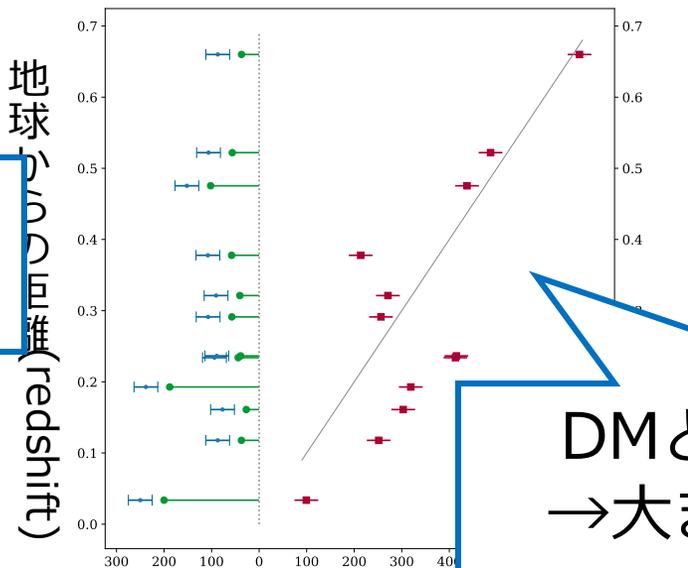
周期的な運動で放射される？

リピーターのモデル(一例)

Zhang(2020)



周波数ごとに、パルスの到達タイミングが異なる



DMと距離に直線関係あり
→大まかな距離推定が可能

Shannon et al. (2018)

McQuinn (2014)

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

FRB現象の解明のためにやること

電波の観測者たちが進めること

- 電波観測でカバーできる視野を増やし、FRBの新検出を増やす
→理論的には1日に全天で約1000回FRBが起きている(現在は1日に1~2回検出)
- 干渉計を用いてFRB位置決定精度の向上を目指す
- 3GHzを超える電波や、ミリ秒未満の時間構造を調べる

電波以外の観測者たちが進めること

- 電波以外の放射(可視光やX線、ニュートリノなど)がともなうFRBモデルが広く支持されているため、マルチメッセンジャー観測を行い電波以外の放射成分を探す
→放射の時間スケールには多様な説があるため、長期・即時観測どちらも重要
- FRB母銀河を特定して、FRBの発生環境を解明する(可視光観測が強力)

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究できる2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探究していくこと

2, 観測手法

3, 結果

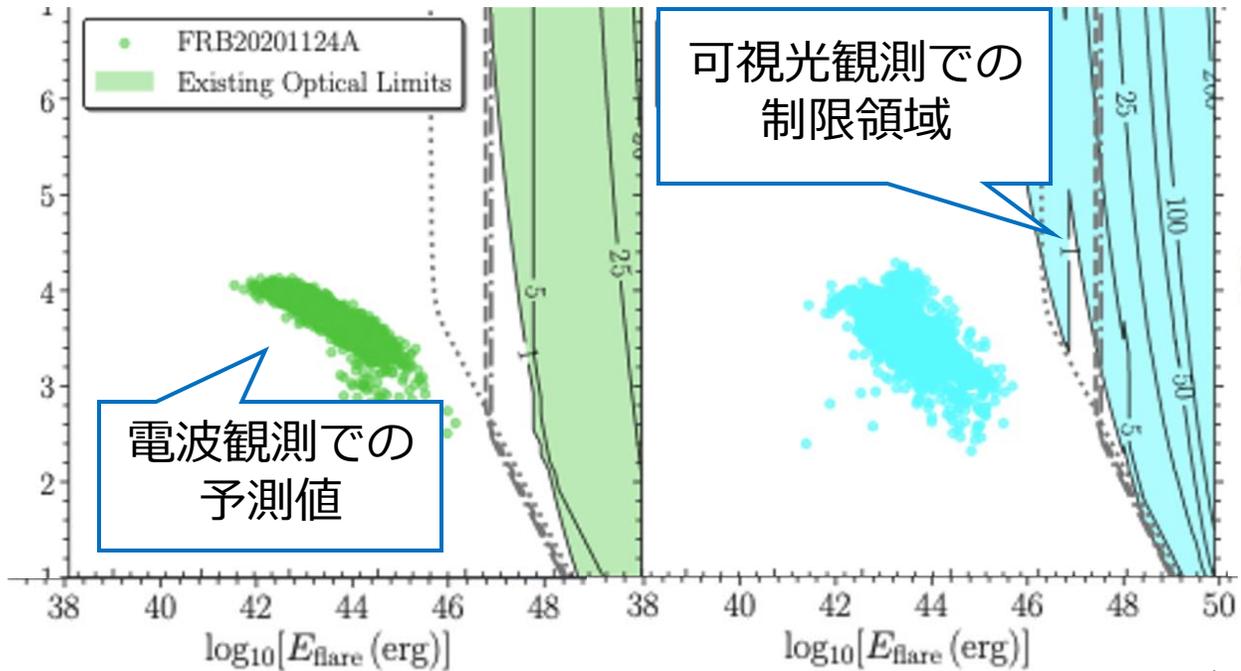
4, 議論

5, まとめと今後

①可視光によるFRB放射機構モデルの調査

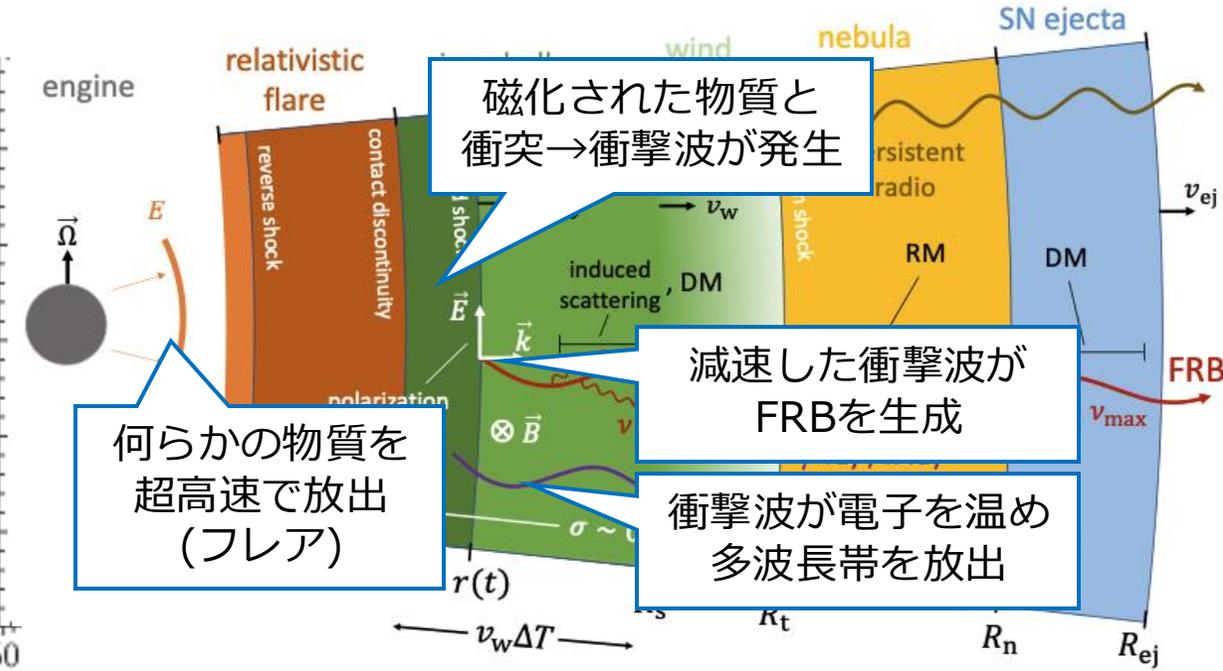
- FRB可視光追観測による、放射モデルの制限を進めた研究の一例を紹介
- 一例として**磁気圏外ショックモデル**では、電波以外の放射が**二次的に**発生する予想がされている
→可視光追観測による放射モデルの検証を行った

磁気圏外部のガス密度



天体のフレアエネルギー

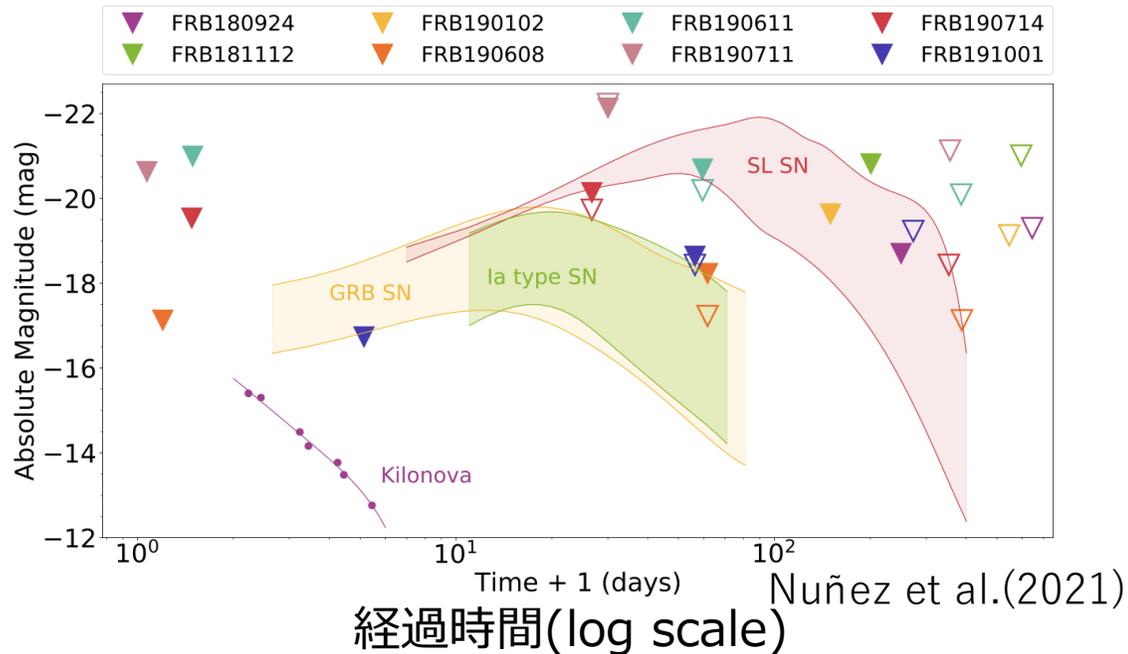
Hiramatsu et al.(2022)



磁気圏外ショックモデル Metzger et al.(2019)

②可視光による他の突発現象との関連性調査

- ガンマ線バーストと超新星の関連性は知られているように、FRBもコンパクト天体合体や超新星などに関連している可能性がある
- 可視光ピークは必ずしも発生直後には現れない
→FRBとその他突発現象間の時間関係は様々な説あり



- 突発現象の種類により、可視光ピークにいたる時間間隔は異なる
- FRB可視光上限等級を図に打ってある

絶対等級

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
 - ・ 母銀河の調査
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

Tomo-e Gozenでやっていくこと

FRB可視光追観測の現状において、Tomo-e Gozenならではの研究テーマは？

→FRBと他の突発天体との関連性を探究する。

この研究テーマにおいて、Tomo-e Gozenが持つ独自の強み：

- ①CHIMEから通知されるFRB座標誤差(通常、数十分角四方以上)をカバーできる
- ②大学所有望遠鏡ならではの自由度の高さを活かし、FRBから予想される様々な可視光現象を、多様な時間スケールで網羅的に探索できる

Tomo-e GozenはFRB関連現象探査に対して強い競争力を持っている

試験観測の動機

- 今後の本格的なFRB可視光追観測をスムーズに行うため、観測方法や解析手法の理解を目指して行った(卒業研究)
- 大学では天文学系の授業は存在しなかったため、これが天文学領域への最初の一步(大学卒業研究の指導教員は素粒子理論(超弦理論)の先生…)
- 本研究では最初のトライアルとしてFRB 20250130の可視光カウンターパートの探査を行った

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

試験観測(データ解析)の諸元

1. FRB 20250130の可視光追観測

- FRB発生後、約24時間後に60秒露光観測を連続して5回繰り返す

2. 観測データ解析

- 60秒露光の画像同士を合成して、300秒露光分のデータにする(python:stenv)
- 300秒露光画像とプレートとの差分画像を作成(c:hotpants)
- FWHMや背景ノイズの評価を行い、カウント値と等級の関係式を導出する(python:photutils)
- 新発光を探し、ない場合は上限等級を結論づける

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

4, 議論

5, まとめと今後

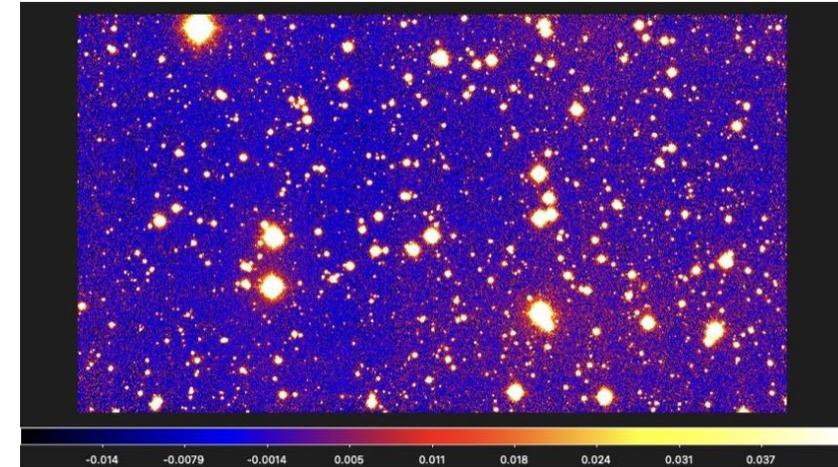
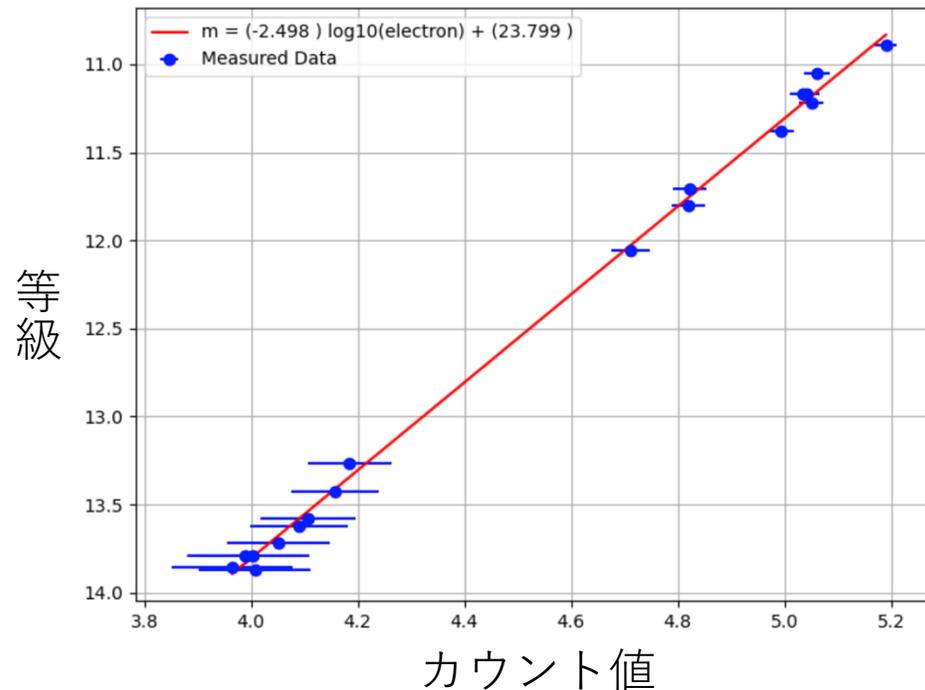
試験観測の結果

- 解析できた範囲では可視光放射は検知されなかった

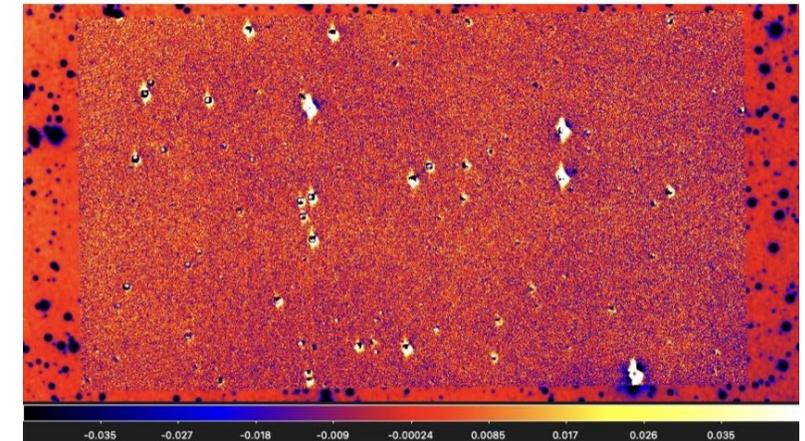
- ピークのカウント値と等級の一次関係式

$$m = -2.498 \log_{10}(C_e) + 23.799$$

- 星のFWHMは約10秒角、限界等級は17.8等であった



観測画像(60秒露光)



テンプレート-観測画像(300秒)

目次

1, イントロダクション

- ・ 高速電波バースト(FRB)とは
- ・ FRB現象の解明のためにやること
- ・ 可視光追観測で探究する2種類の研究紹介
 - ・ 放射機構モデルの探究
 - ・ 他の突発現象との関連性の探究
- ・ Tomo-e Gozenで探求していくこと

2, 観測手法

3, 結果

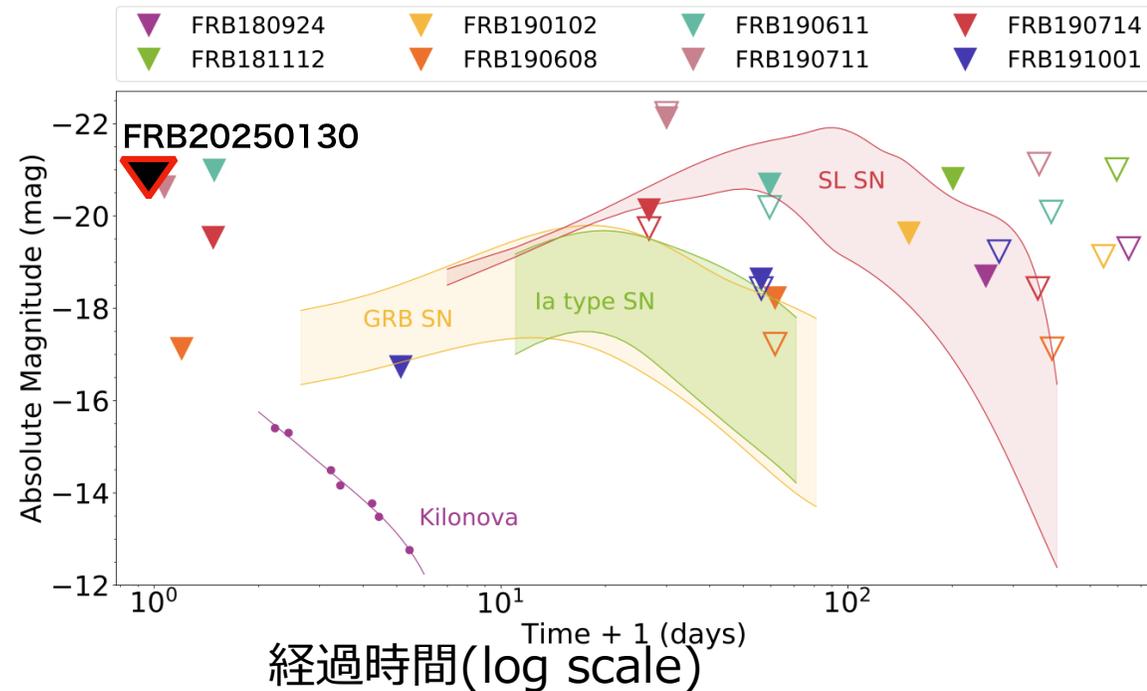
4, 議論

5, まとめと今後

議論

- 自ら行った解析によって、可視光上限等級を出すことに成功した
- FRB発生24時間後の絶対等級-21.2等級の領域にはFRBに伴う突発現象は見られない一定の制限がかかった
- FWHMが10秒角もあるのは、
観測夜の環境が悪かったため(卒研のため急いでいた)
- 限界等級を算出する部分については解析技術の疎さにより、
不完全な箇所がある(厳密な背景ノイズの評価など)
- CHIMEのFRB座標誤差をカバーしきれていない。
(画像上下に約1.5倍視野が必要)

絶対等級



Nuñez et al.(2021)の図を改変

まとめと今後

- FRB天体モデルや放射機構には多様な説があり、追観測による検証が期待されている中で、今回は可視光観測での探究に注目して紹介した
- 試験観測では、今後のための観測の流れや解析手法を[天文学未履修の状態から学ぶことができた](#)
- 今後はFRBと他の突発現象の関連性に注目して追観測を実施していく
- FRBアラートを受け取ったら自動で観測できるようなシステムを開発する
- 近い距離のFRBや母銀河の探査をするときは、他観測機関とも連携して観測を進める