

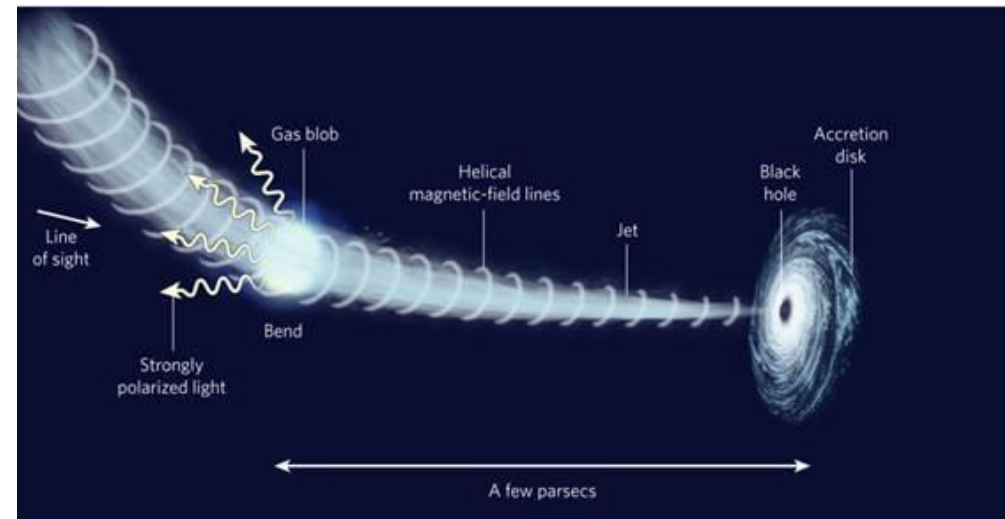
多バンド連続観測による ブレーザーの短時間変動研究

笹田 真人

(京都大学 宇宙物理学教室)

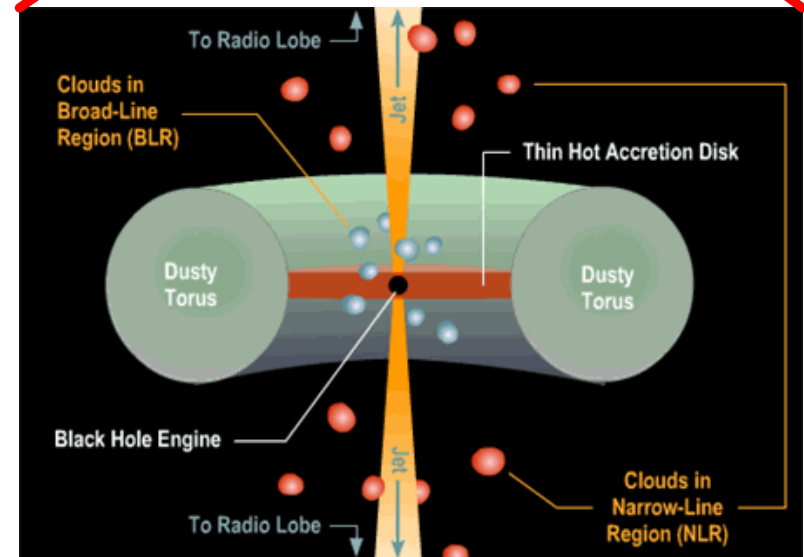
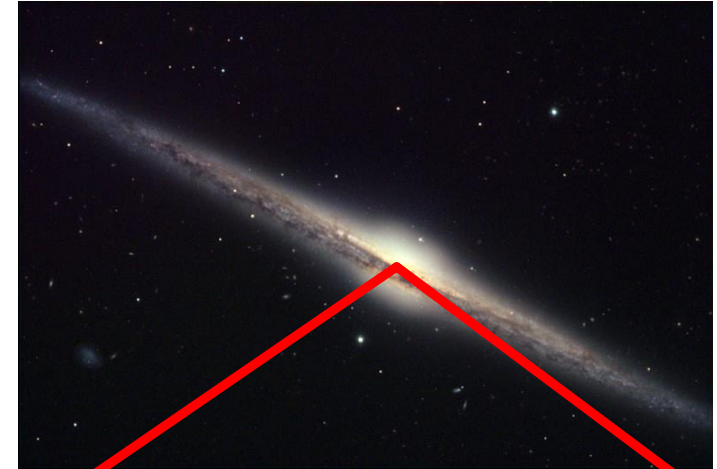
目次

- ブレーザーとは
- 短時間変動観測
 - 可視、電波、ガンマ線での観測
 - 変動の色変化
 - Kepler衛星による変動観測
- 南極望遠鏡を用いた短時間変動観測
 - 南極望遠鏡によるメリット
 - テラヘルツ望遠鏡との連携観測の提案



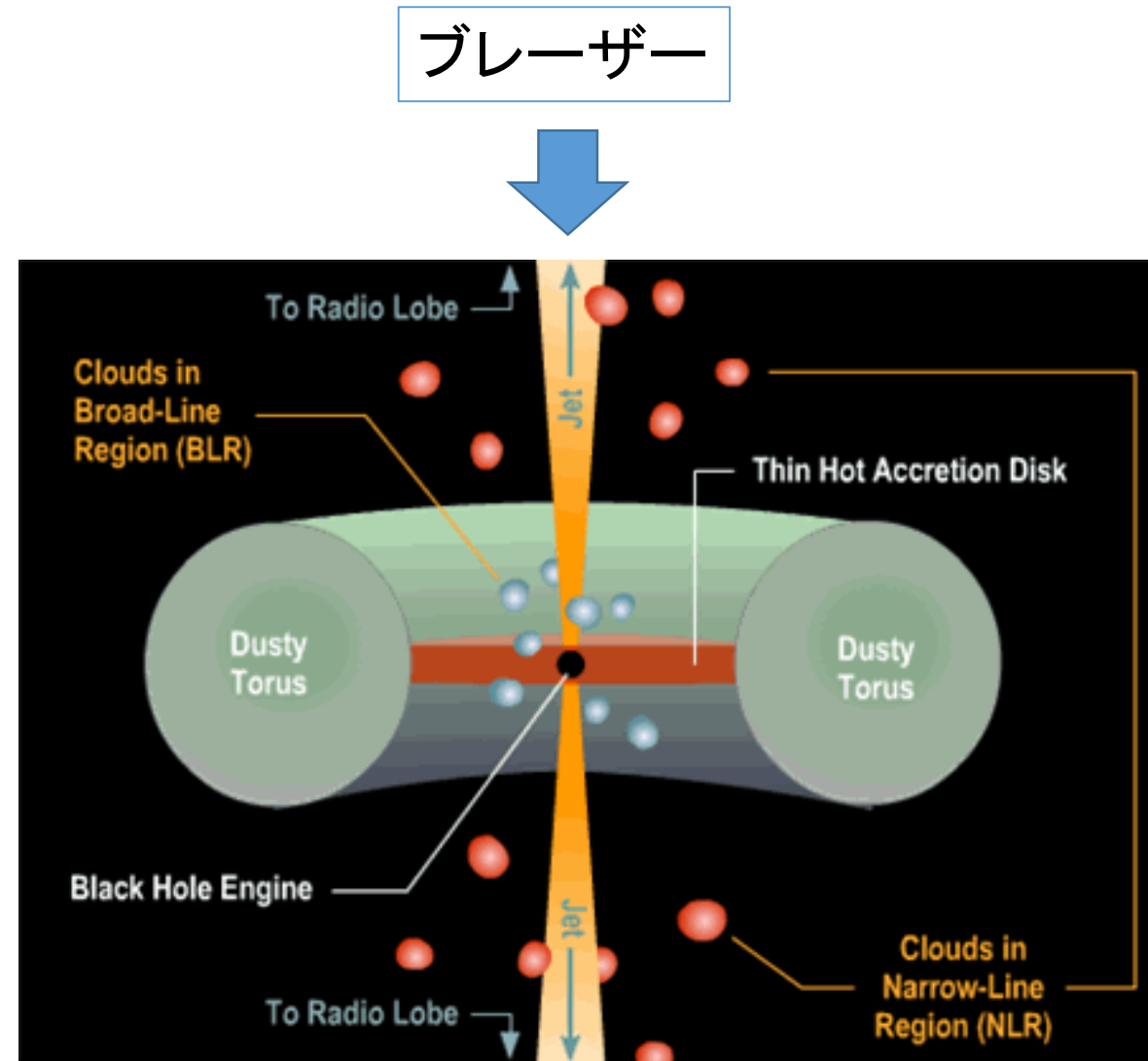
活動銀河核

- 銀河の中心核
 - 中心に巨大なブラックホール
- 複雑な構造
 - **ジェット**
 - 降着円盤
 - 分子トーラス等
- 見た角度によって種類が異なる



ブレイザーとは

- 活動銀河核ジェット
- ジェットを真正面から見ている天体
 - 相対論的効果によって様々な特徴(ローレンツ因子 ~ 10)
- 可視光は中心核から1光年付近で放射
- ジェットの機構を研究する上で重要な天体

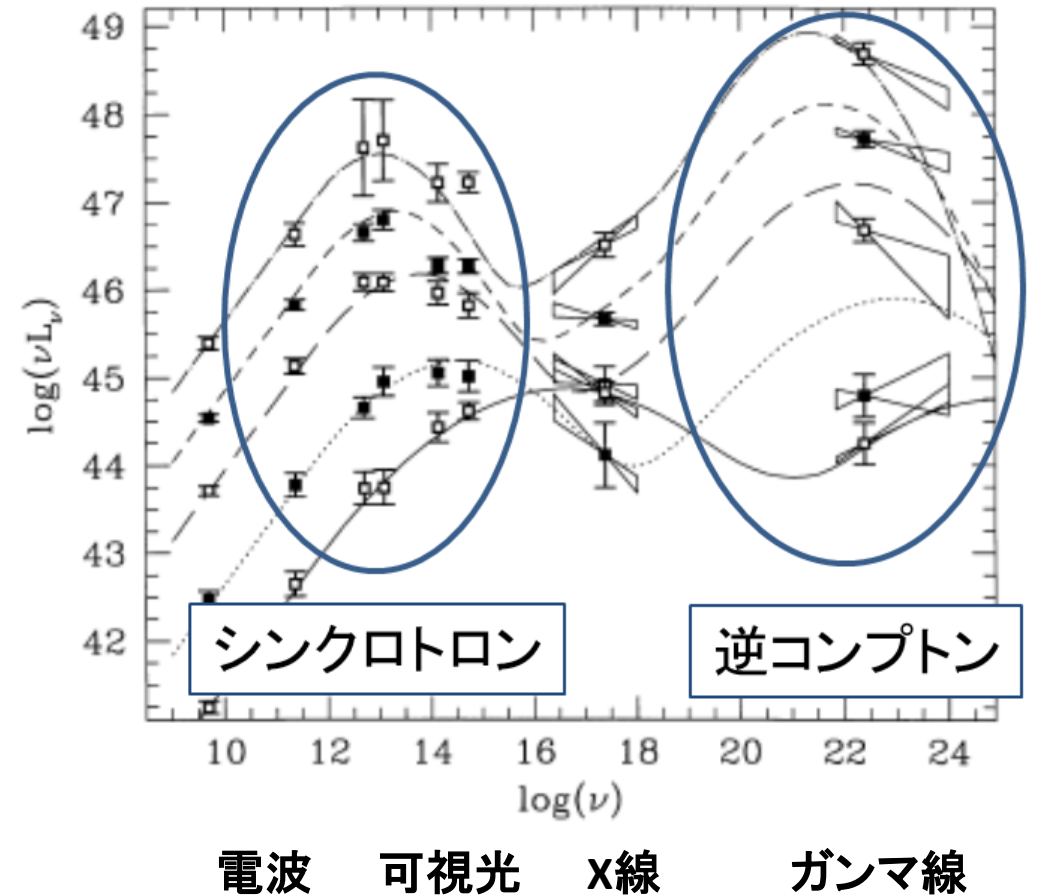


観測的特徴

- 速く激しい光度変動
 - 分から年スケールの変動
 - 100倍以上光度が変動する場合も
- 広帯域における放射
 - 低エネルギー: シンクロトロン放射
 - 高エネルギー: 逆コンプトン散乱放射

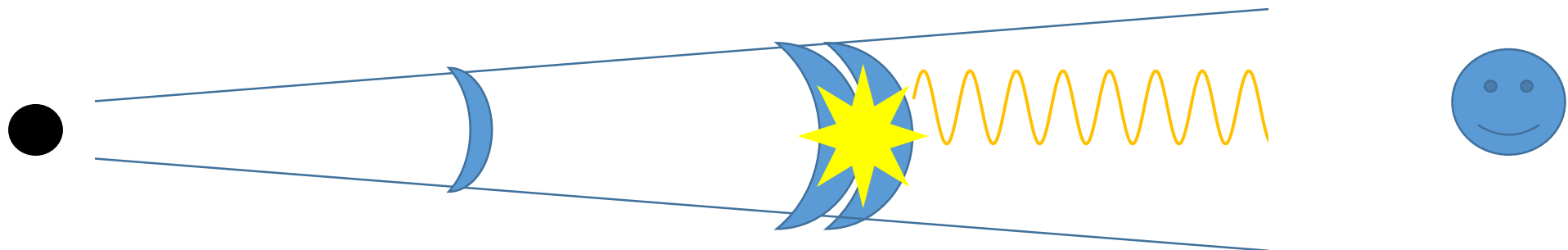
Fossati+ 1998

SED : Spectral Energy Distribution



変動メカニズム候補

- ブレーザーの変動メカニズムの候補
 1. 衝撃波による1次Fermi加速により高エネルギー電子が生成され、シンクロトロン放射が増光
 2. ジェットの傾斜角度が変化し、ビーミング因子が変化することにより、見かけの明るさが変化
 3. 磁場のリコネクションにより電子が加速され、放射が増光



短時間変動研究の意義

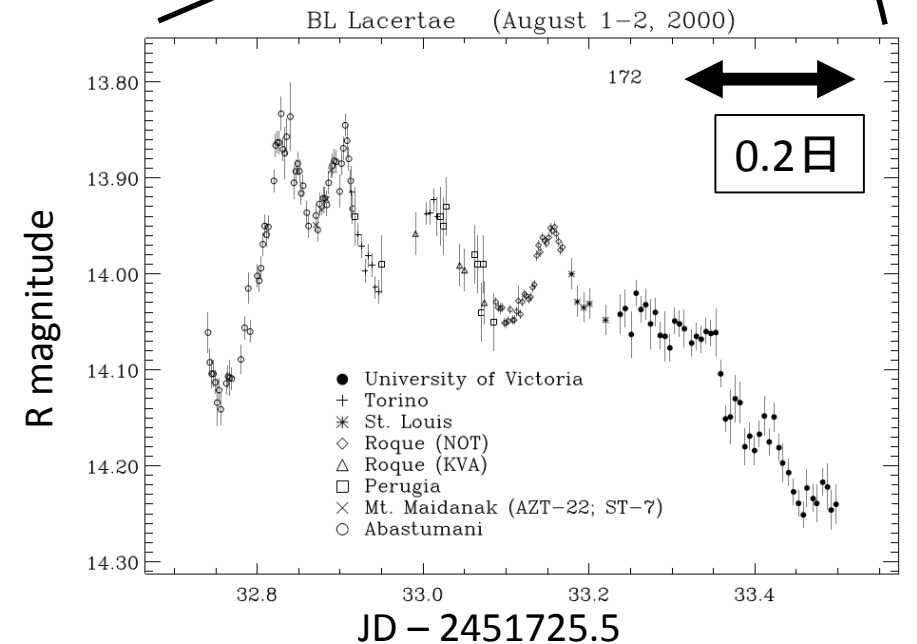
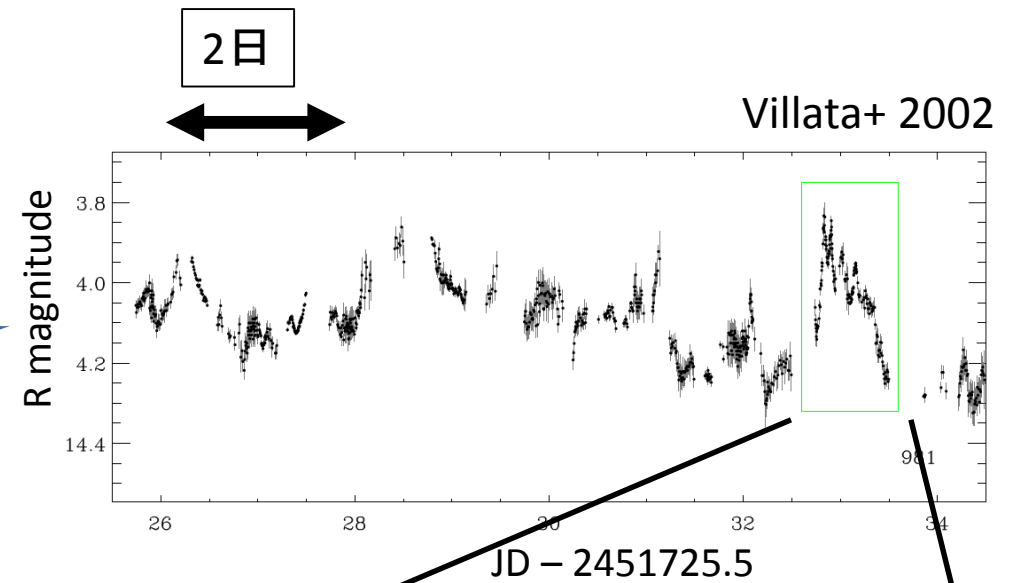
- 変動のプロファイルはジェット中の電子の加速、冷却過程を見ている
- タイムスケールの長い変動中にはさまざまな他の変動が混在
 - 短時間変動は他の変動と切り分けることができる
- 最小タイムスケールの変動はもっとも小さい領域からの放射
 - 最小領域はシュバルツシルト半径に比例
- 最小変動のスペクトル変化から加速、冷却メカニズムを推定する

変動タイムスケールから放射領域のサイズ等の重要なパラメータを推定

短時間変動①; 可視光

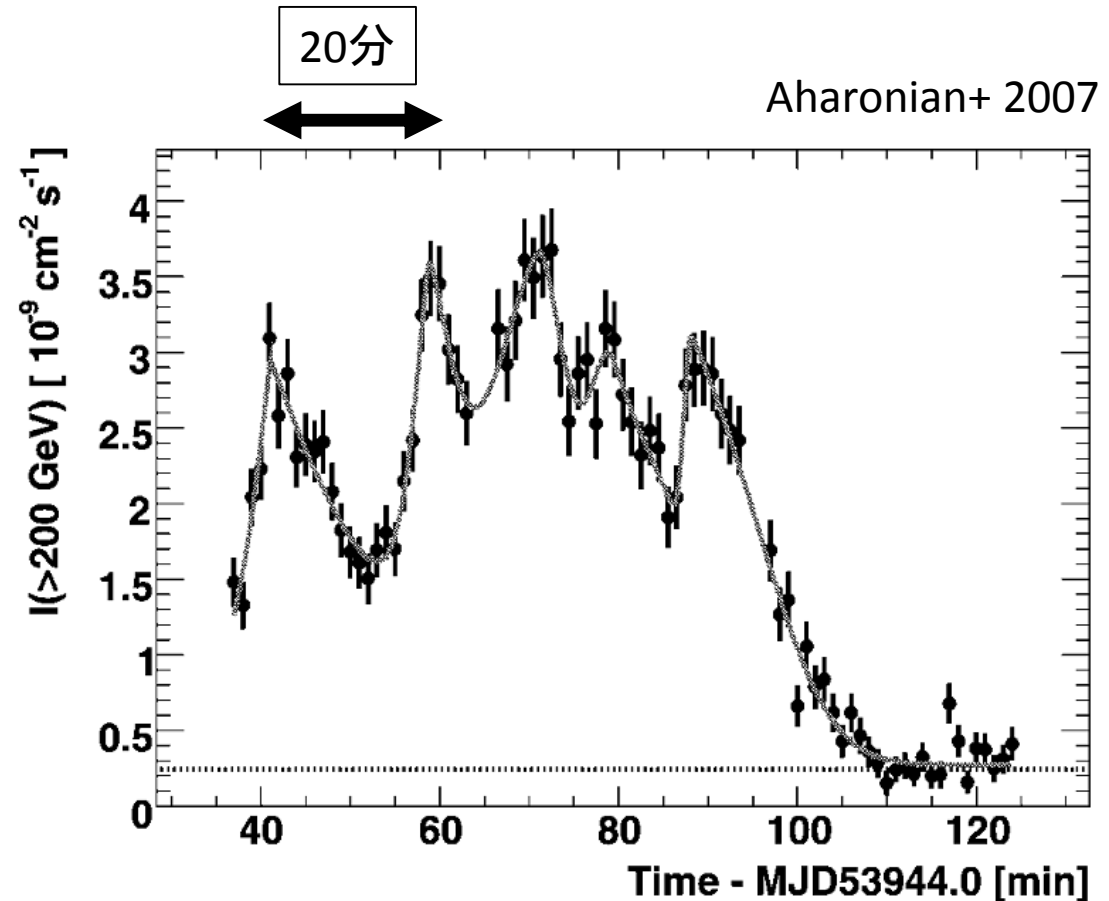
多地点の望遠鏡が連携して観測

- 1～10日スケールの変動が存在
- 1日スケールの変動を細かく見るとさらに細かい変動が存在
- 数日スケールの変動振幅は大きい
- 時間スケールの変動振幅は小さい傾向にある



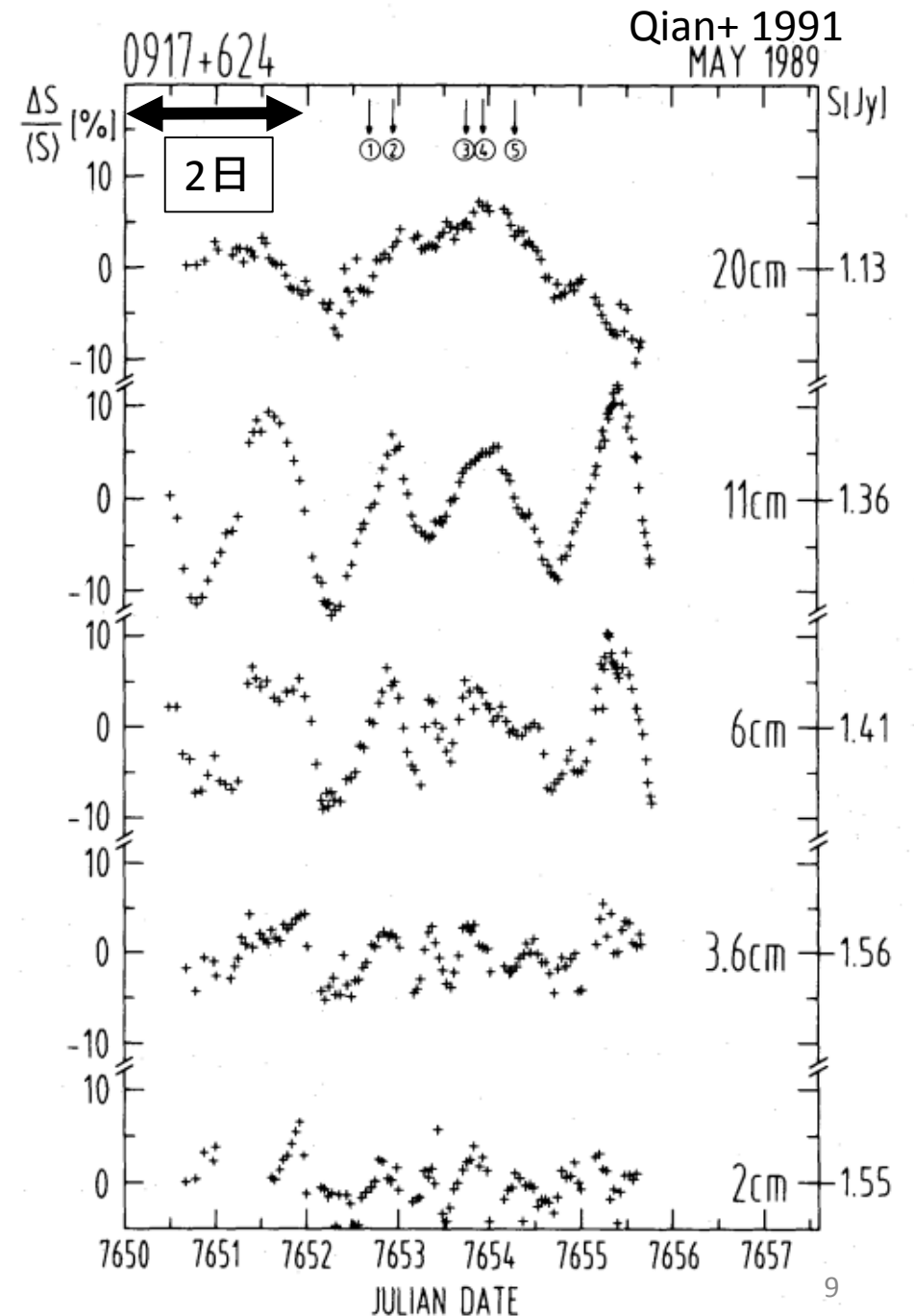
短時間変動②;ガンマ線

- TeVガンマ線帯域において激しい変動が検出
- 10分以下のタイムスケールで増減光を引き起こす
- フーリエ解析による最小タイムスケールは2分
- 変動タイムスケールからローレンツ因子 $\delta > 50$ を示唆
($\Delta t_{\text{obs}} = \delta \times \Delta t_{\text{rest}}$)



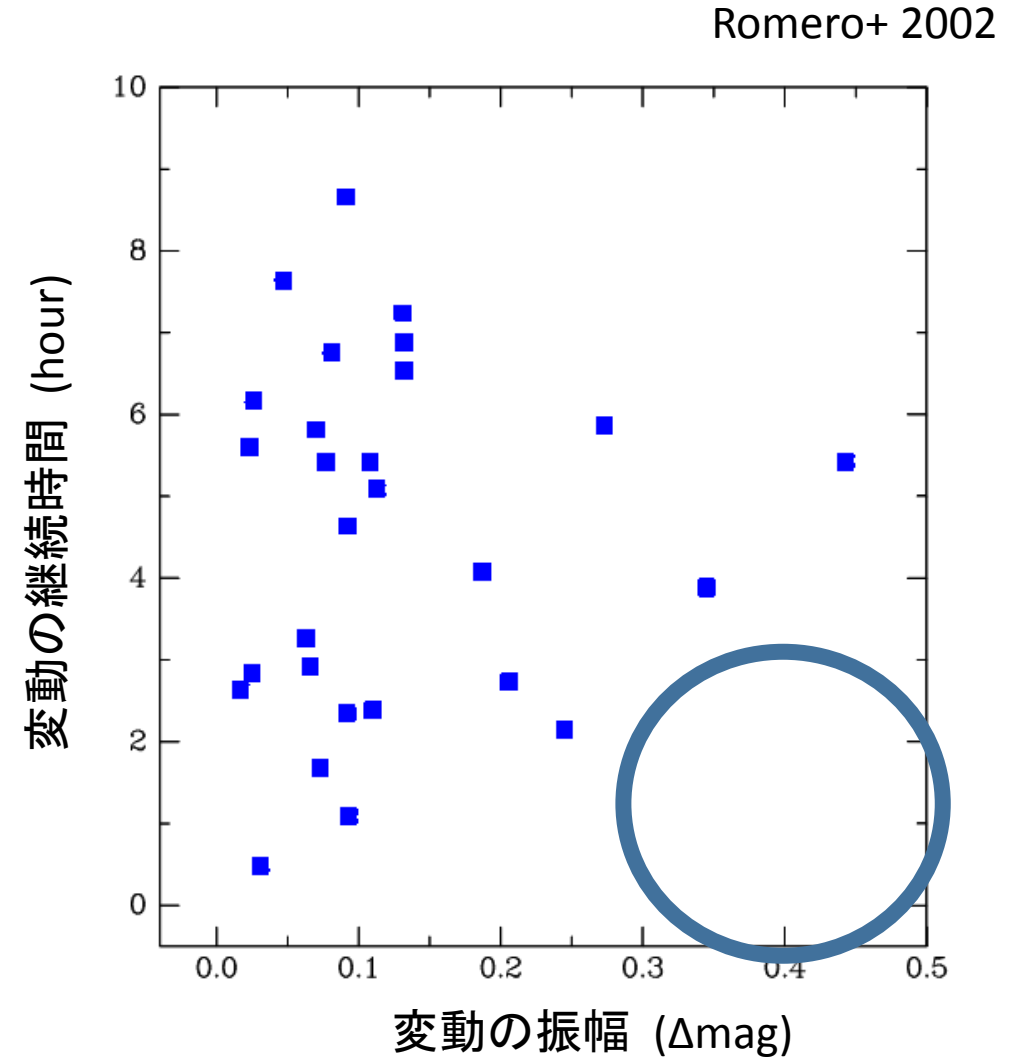
短時間変動③; 電波

- 低周波数帯域の変動タイムスケールは長い
- 2cm帯域はノイズ的に激しく変動している。
- 変動タイムスケールは周波数に依存
- 増減光の傾向は波長間で同じ



変動振幅と継続時間

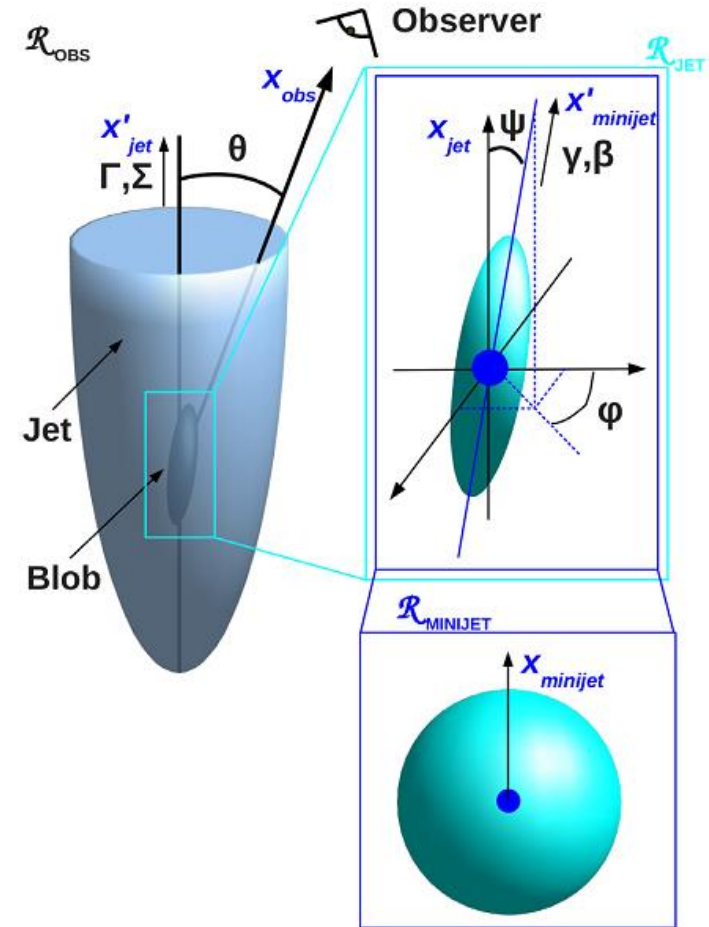
- 可視光(Vバンド)での変動の振幅と継続時間の相関図
- 変動振幅と継続時間はさまざま
- 振幅が小さく継続時間が長い変動は存在
- 変動振幅が大きく、継続時間が短い変動は存在しない



ジェット中のミニジェット

Biteau+ 2012

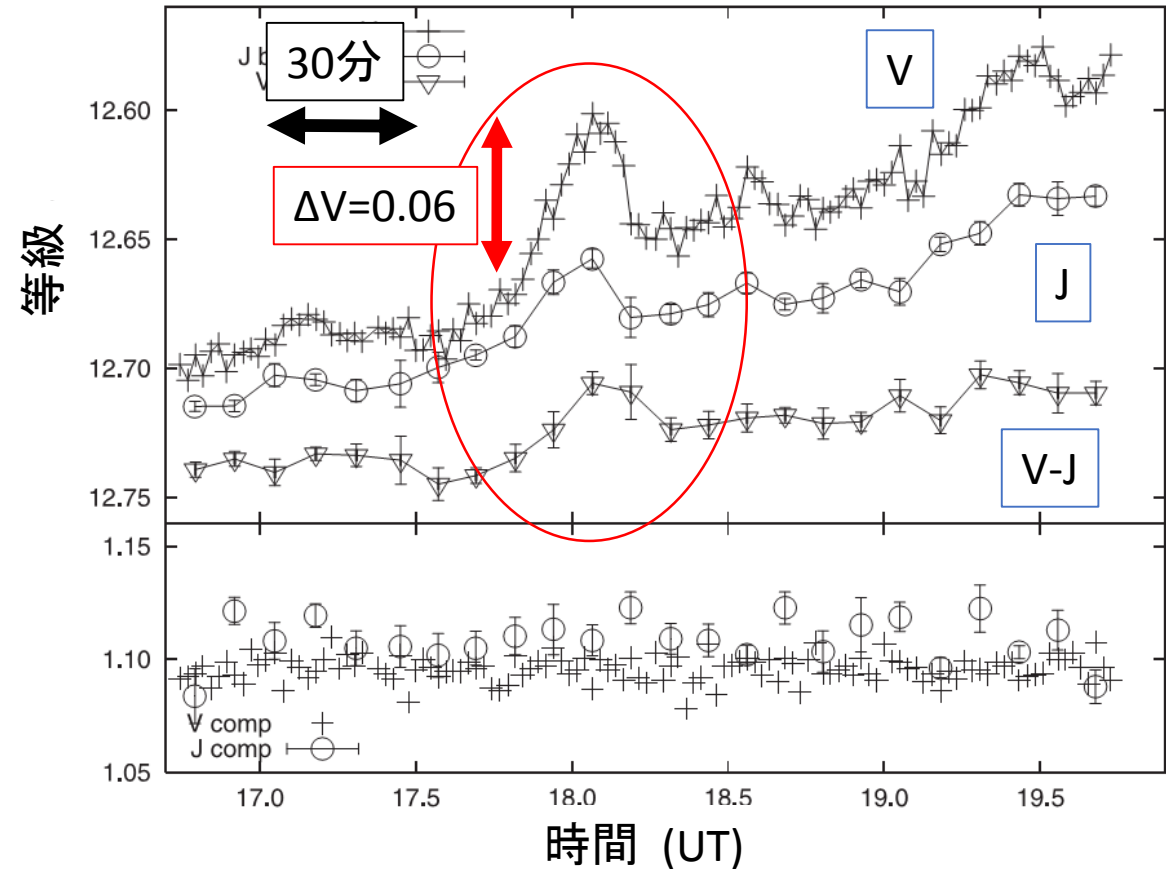
- ジェットのバルクなローレンツ因子 Γ は、電波によるジェットの移動速度や多波長スペクトルから $\Gamma \sim 10$
- 一方で短時間変動から非常に大きなローレンツ因子を要請
- ジェット内にミニジェットのような放射領域があらゆる方向に噴出
- 観測者方向に向いたミニジェットではローレンツ因子が増大



短時間変動の色変化

Sasada+ 2008

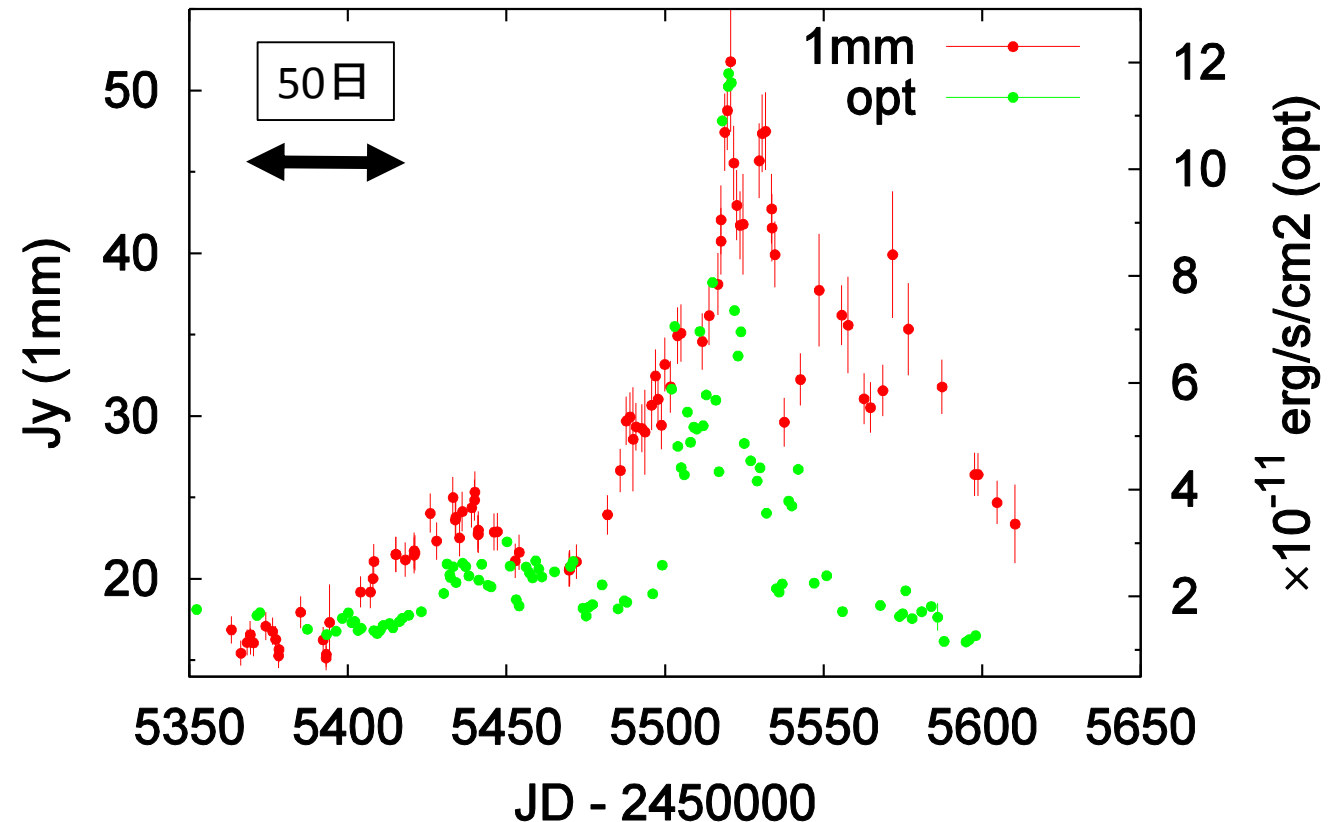
- 広島大学かなた望遠鏡によりブレーザーの短時間変動を検出
- 10分以下の変動タイムスケールの変動を検出
- V, Jバンド同時観測により同時にV-Jの色変化を取得
- 短時間変動時に色が青くなることを発見
 - 加速された電子が増加することにより増光している可能性を示唆
- 中心質量を $M = 10^9 M_{\odot}$ と仮定した場合、ローレンツ因子 $\delta > 20$



可視光とミリ波帯域の同期性

- かなた望遠鏡による1日1点の観測とSMAによるミリ波帯域のモニター観測
- ブレーザー3C 454.3のアウトバースト(光度が10倍以上増光)において、可視とミリ波の光度が同期して上昇
- ミリ波の方が変動が若干緩やか

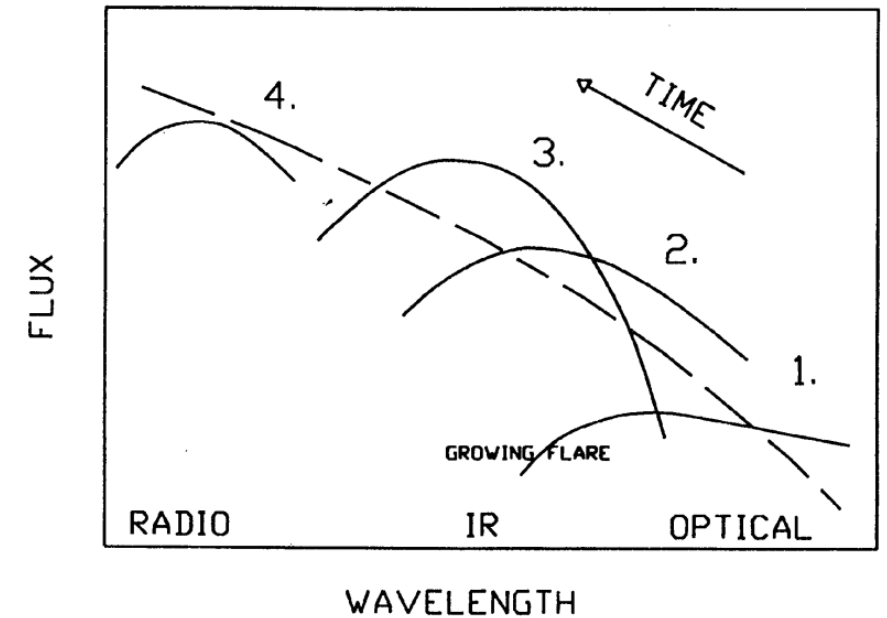
ブレーザー3C 454.3の2010年度アウトバースト



多バンド同時観測の利点

- 衝撃波の発生により電子が加速される
- 高エネルギー電子からのシンクロトロン放射により可視側で増光
- エネルギーを失った電子により、シンクロトロン放射スペクトルが低エネルギー側へ移行
- 各周波数での増光にラグが出現
- ◆ 短時間変動が衝撃波由来の場合、変動時にスペクトルが変化

衝撃波発生後のスペクトル変化



Valtaoja+ 1991

ブレーザーの短時間変動観測の難しさ

- 短時間変動研究での難しさ
 - 変動が不規則(予想が困難)
 - 変動振幅に伴って変動タイムスケールが増加
 - スペクトル変化を追うことが難しい
 - 各変動プロファイルは個性があり、統一的な議論が難しい
- ◆ 連続的に長期間観測
- ◆ 広帯域を多バンドで同時観測
 - 周波数帯毎の増光の違いを検出し、変動を多数検出することで、変動メカニズムを統一的に調べる

南極望遠鏡の利点と狙うサイエンス

- 南極望遠鏡の強み

1. 24時間、最大5ヶ月の連続観測が可能
2. 3バンド同時観測
3. 赤外L', M'バンド帯まで観測可能

- ◆ 24時間連続観測により、複数の変動を同一観測により検出

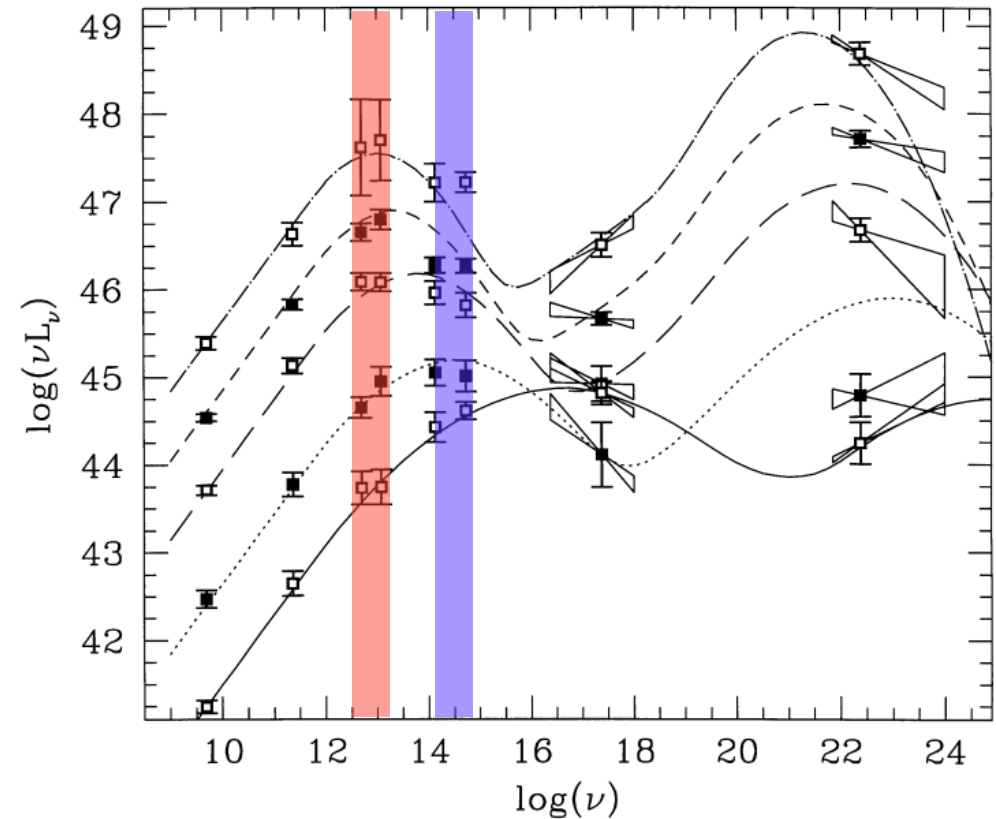
- 個性のある各変動の統一的な研究が可能

- ◆ 3バンド同時かつ1~5ミクロンの広帯域をカバー

- 変動のスペクトル変化から放射メカニズムを決定

赤外とテラヘルツ帯域の連携観測

- スペクトルの時間変化は変動メカニズムの重要な情報
- 観測波長が長い場合、スペクトルの変化及びラグの検出が容易
- テラヘルツから可視まではシンクロトン放射ピークのため明るい
- 可視、赤外からテラヘルツ帯までのスペクトルを統一的に調査
 - シンクロトン放射による電子の冷却過程を精密に調査できる
- 大変動時に連携して観測(ToO観測)



まとめ

- ブレーザーの変動からジェットの基礎的かつ重要なパラメータ(サイズなど)を調べることができる
- ブレーザーの変動タイムスケールは年以上から分スケールまで存在
- 変動はすべての波長で観測
- 変動のスペクトル変化が重要
 - スペクトルから変動メカニズムを決定
- 変動を統計的に検出するためには、長時間連続的に多色モニターする必要がある
- 南極赤外望遠鏡とテラヘルツ望遠鏡の連携観測