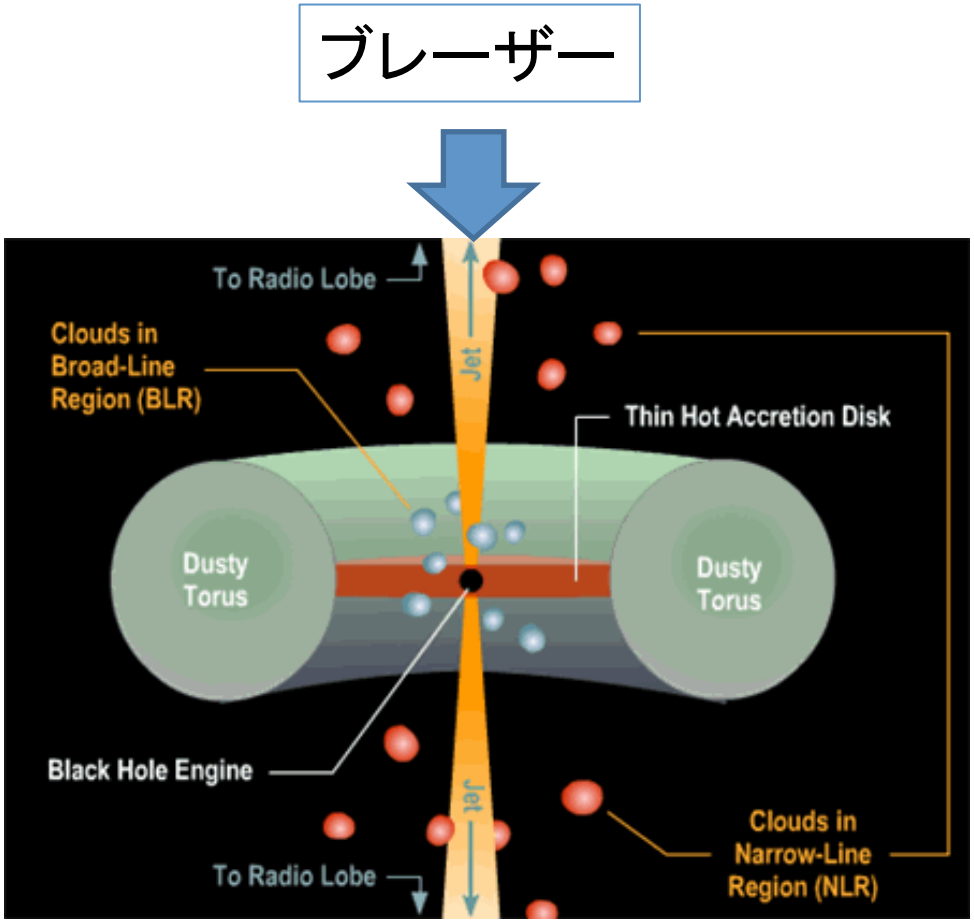
可視偏光モニターによるブレーザーの変動機構研究

笹田　真人
（広島大学　→　京都大学）

ブレーザー

- 活動銀河核の一種
- 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
- ジェットの機構を研究する上で重要な天体

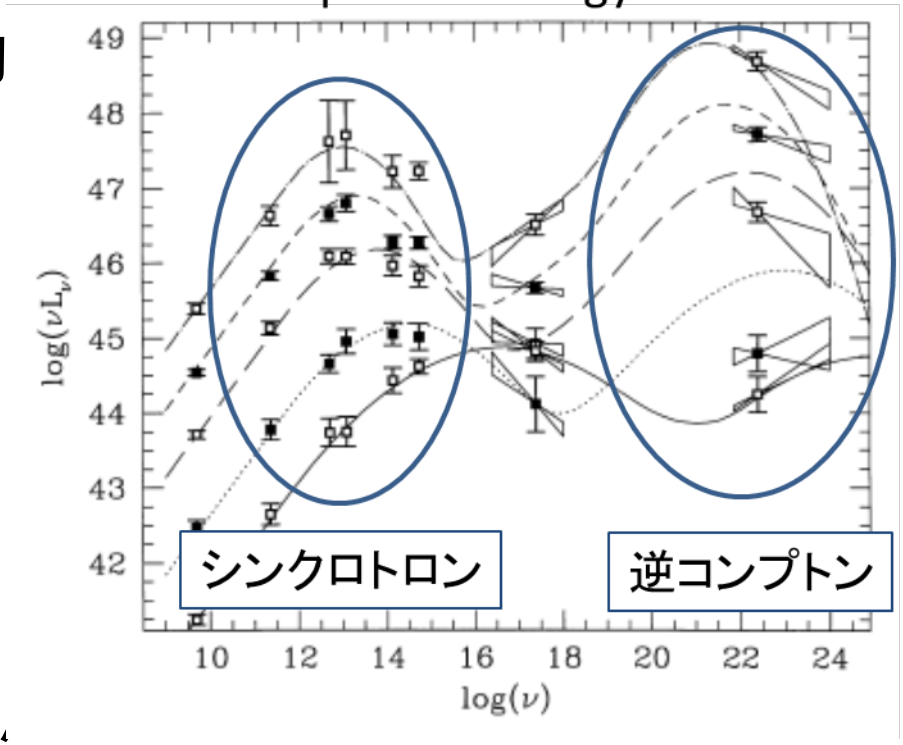


ブレーザーの観測的特徴

- <u>速く激しい光度変動</u>
  - 分から年スケールの変動
  - 光度が10倍以上変動
- <u>広帯域における放射</u>
  - シンクロトロン放射
  - 逆コンプトン散乱放射
- <u>高い偏光とその変動</u>
  - 磁場に垂直な方向へ偏光

Fossati+ 1998

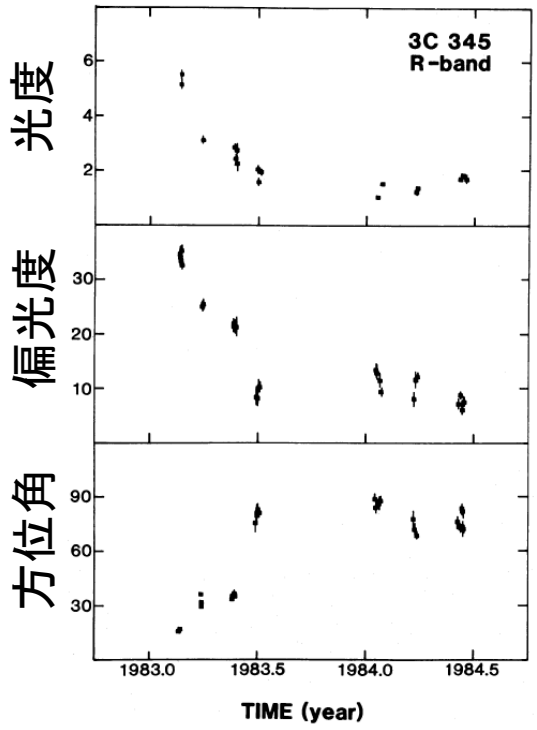
SED：Spectral Energy Distribution



電波　可視光　　X線　　ガンマ線

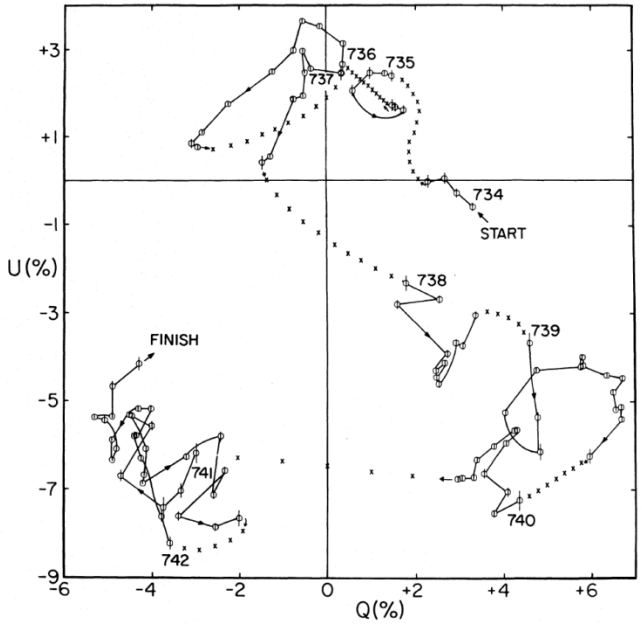
偏光の挙動

Smith+ 1986



QU平面

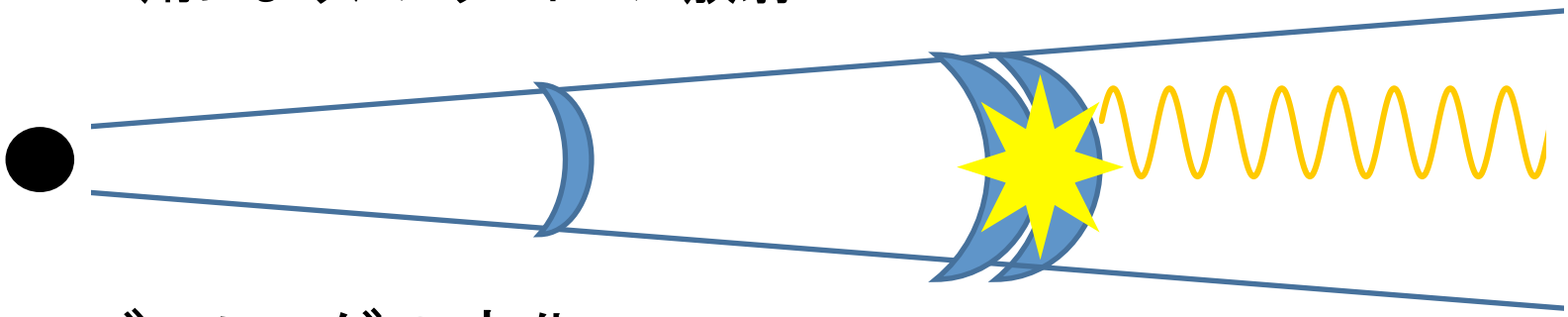
Moore+ 1982



- 光度と偏光度には正の相関 (Smith+ 1986)
- 偏光を表すQU平面上でランダムな軌道 (Moore+ 1982)
- 近年長期的な偏光観測から、偏光には速く変動する成分とゆっくり変動する成分の二つが存在 (Villforth+ 2010)

ブレーザーの変動起源

1. 内部衝撃波モデル
   - ジェットから噴出したブロッブが衝突し衝撃波を形成
   - １次Fermi加速により高エネルギー粒子が増加し、磁場と相互作用によりシンクロトロン放射



2. ビーミングの変化
   - 放射領域の移動、ジェット軸の微細な変化等により視線方向とジェットのなす角が変化
   - ビーミング因子が変化することにより観測される光度が変化

ジェットを形成している磁場の構造
と変動の関係はわかっていない

研究目的

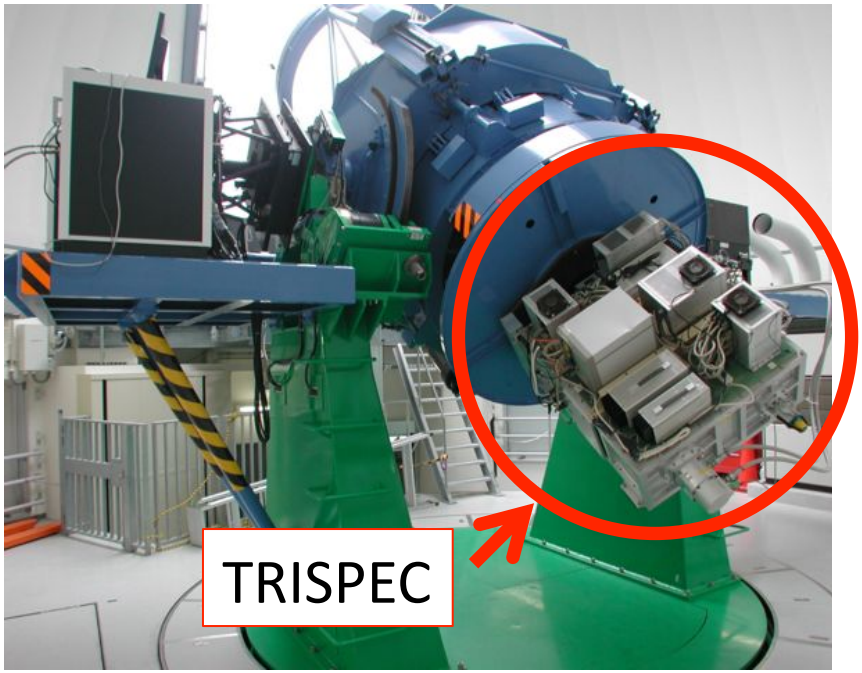
- ブレーザーの変動機構と磁場構造の関係はわかっていない
- ブレーザーの偏光からジェットの磁場構造の情報を取得
- 偏光観測装置の希少さにより、ブレーザーの連続的な偏光観測例は少ない

ブレーザーを長期で連続的に偏光観測し、変動機構と磁場構造の関係を明らかにする

観測機器

- かなた望遠鏡
  - 東広島天文台
  - 大学付設により占有可能

    → 連続的なモニター観測
- TRISPEC
  - 可視光、近赤外観測
  - 偏光撮像観測モード



かなた望遠鏡/TRISPECを用いて、
多数のブレーザーの偏光モニターを実施

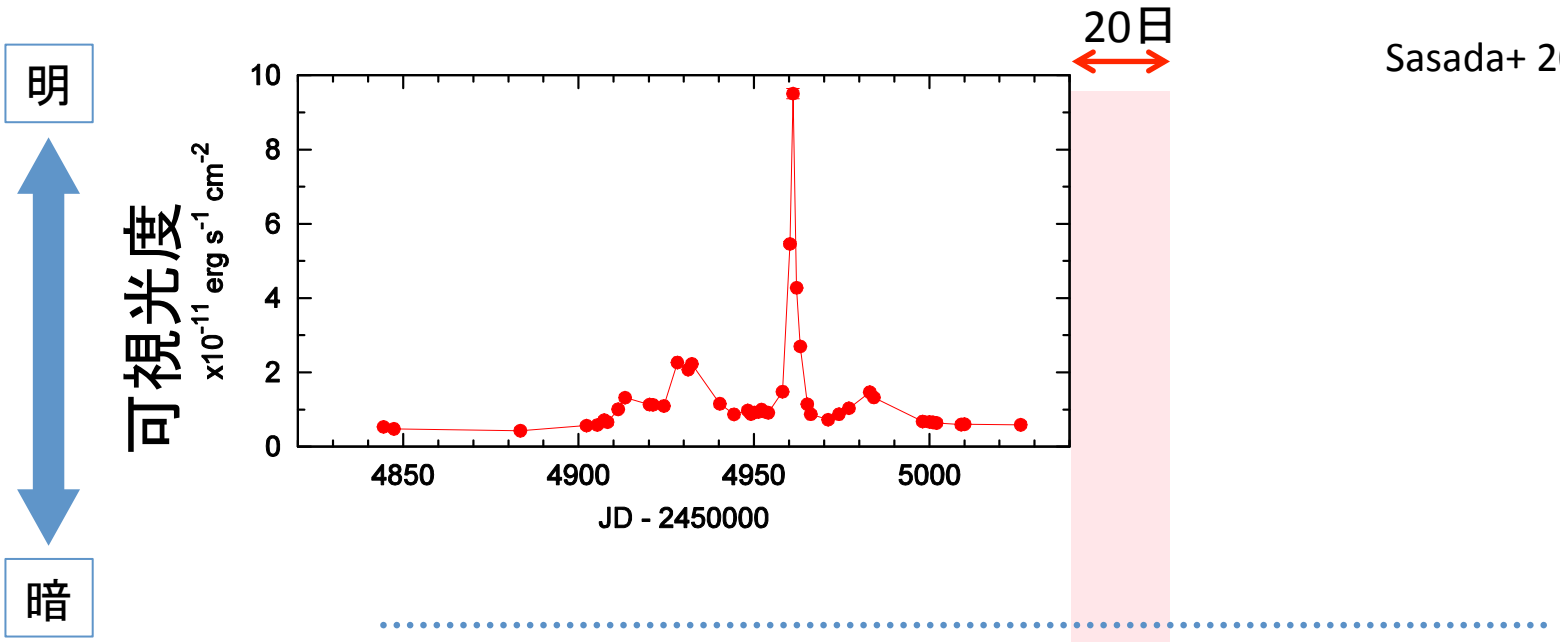
個別天体

観測天体

- **PKS 1510-089**
  - PKS 1510-089 ; 高い偏光が報告
  - 過去に光度と偏光の連続的な観測はなし
  - 2009年に増光

→　偏光撮像モニターを実施

PKS 1510-089；光度

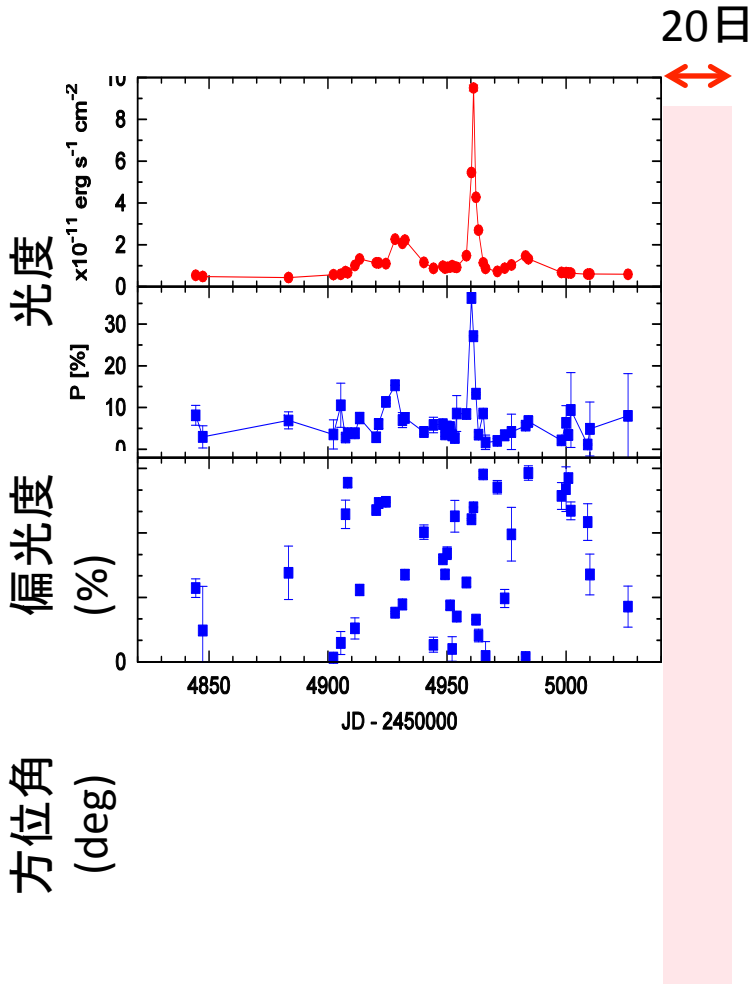


Sasada+ 2011

- 20日以内で光度が10倍増光する大フレアが存在
- 長期的に変動する成分が存在

PKS 1510-089 ; 偏光

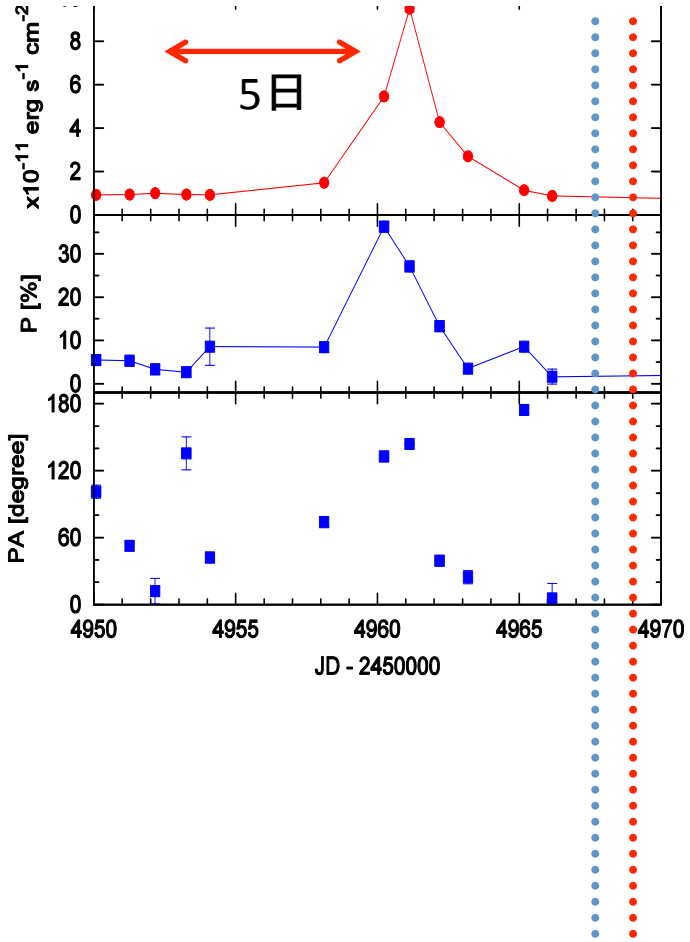
- フレアに相関して偏光度が上昇
  - 最大38%
- 光度と偏光度の相関係数;
  $+0.79^{+0.05}_{-0.07}$



Sasada+ 2011

PKS 1510-089 ; フレア

- フレアに相関して偏光度が上昇
- 光度と偏光度のピークは一致しない
  - 光度のピークは偏光度に比べ遅れる



フレア中の光度と偏光度

- 20日以内に変動するフレアに伴って偏光度が上昇

仮説

短期間のフレアにおいて光度と
偏光は普遍的に相関して変化する

検証

多数の天体に対しての偏光モニター観測から、
フレアの光度と偏光度の変動を系統的に調べる

普遍的なフレアの特質

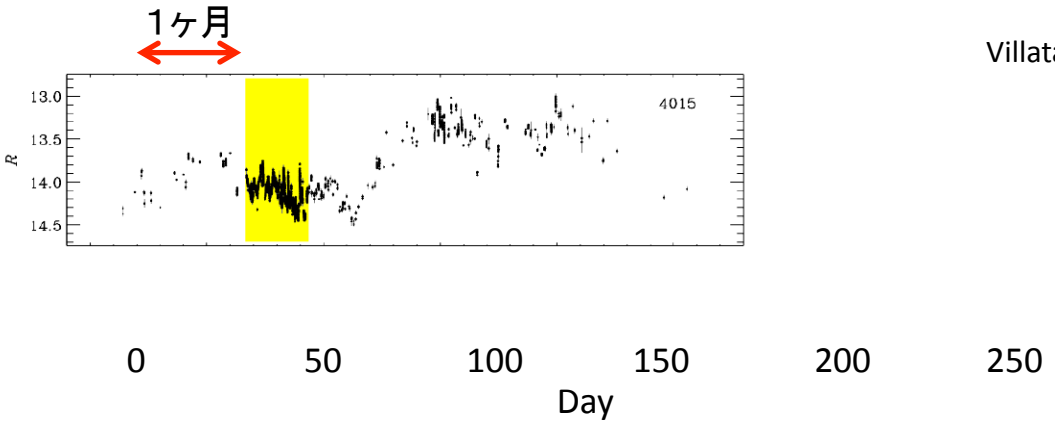
ブレーザーのフレア

- ブレーザーの変動タイムスケールは数分から数ヶ月、年にわたる

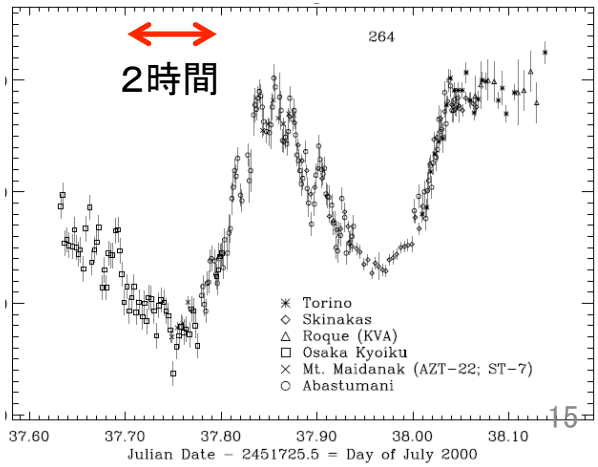
  → 20日以内で変動するフレアに注目

- フレアは様々な形を成す

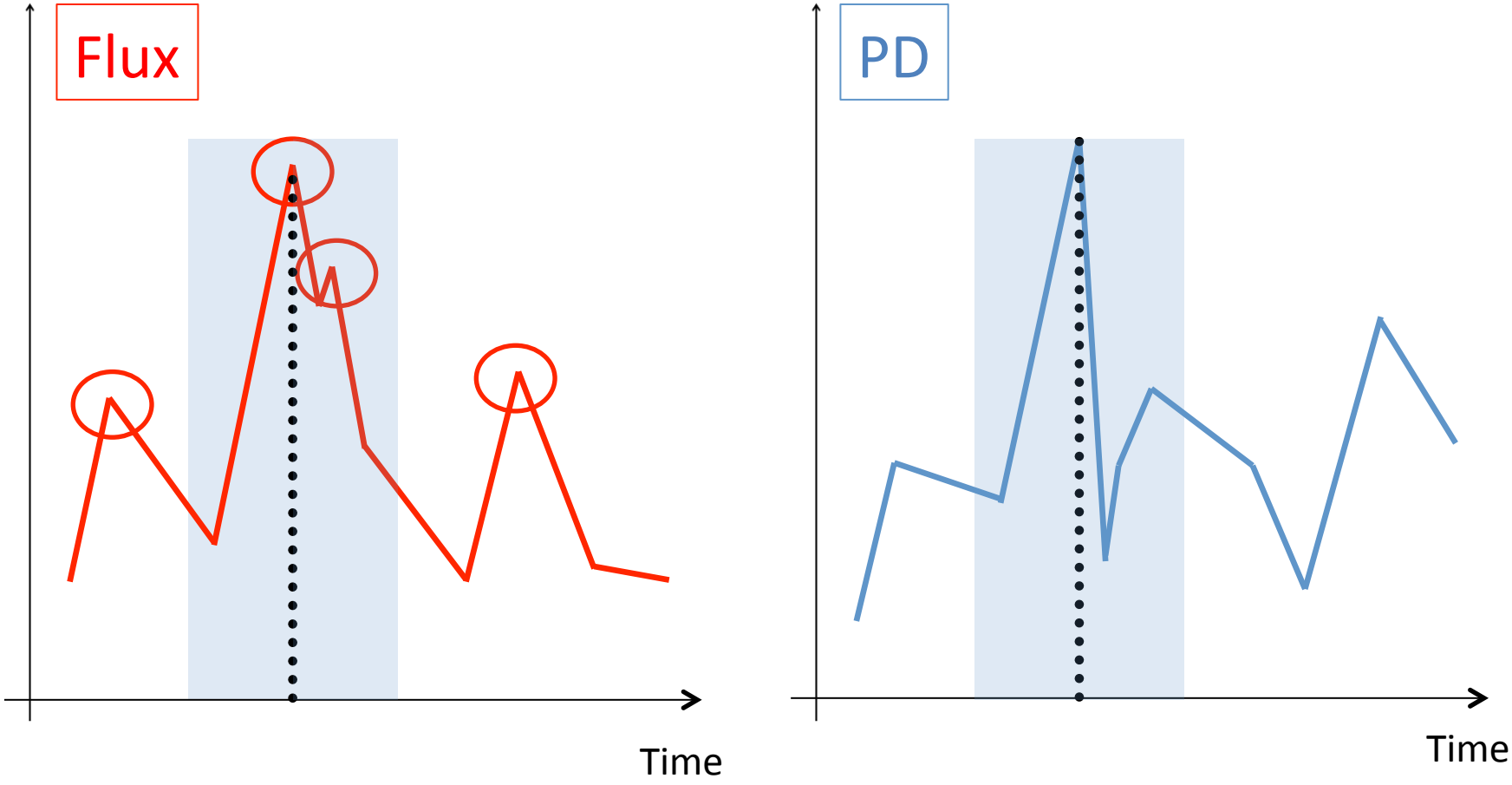
  → フレアを定義し合致する変動を検出



Villata+ 2002



フレアの検出



3. もしピーク範囲において検出したピークがもっとも高い場合、フレアのピークとして定義

観測天体と期間

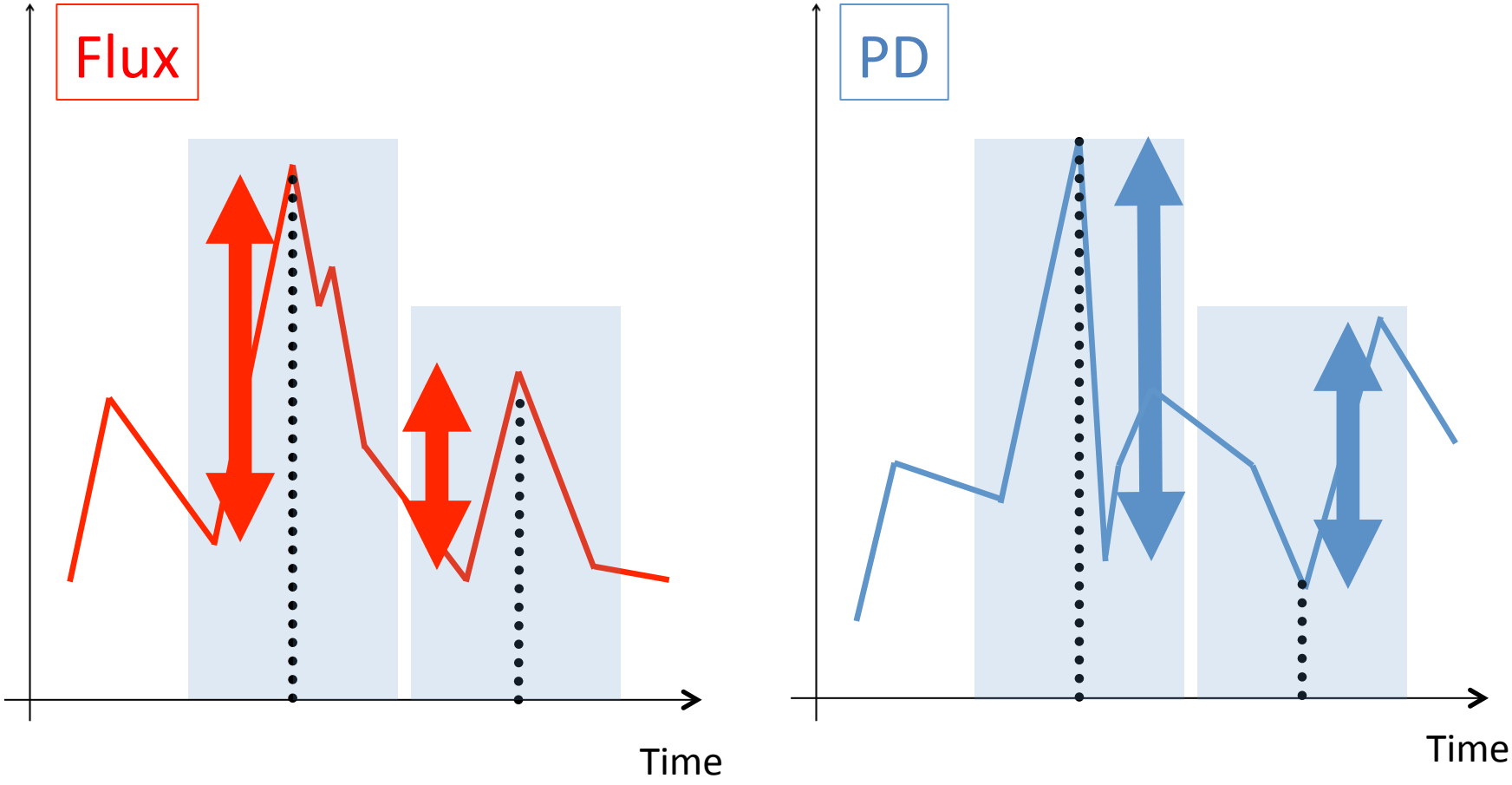
- ブレーザー44天体のモニター観測
- 観測期間：2008年5月～2010年12月

1ES 0323+022	4C 14.23	ON 325	PKS 1749+096
1ES 0647+250	4C 49.22	OQ 530	PKS 2155-304
1ES 0806+524	AO 0235+164	PG 1424+240	QSO 0324+341
1ES 1959+650	BL Lacertae	PG 1553+113	QSO 0454-234
1ES 2344+514	H 1722+119	PKS 0048-097	QSO 0954+550
1H 0323+342	Mis V1436	PKS 0215+015	QSO 1239+044
3C 273	Mrk 421	PKS 0422+004	RX J1542.8+6129
3C 279	Mrk 501	PKS 0754+100	S2 0109+224
3C 371	OJ 287	PKS 1222+216	S4 0954+65
3C 454.3	OJ 49	PKS 1502+106	S5 0716+714
3C 66A	ON 231	PKS 1510-089	S5 1803+784

検出したフレア

- 観測天体数　44天体
- 総フレア数　166個
- フレア検出天体　29天体
- 光度が二倍以上変化した大フレア　28個
- 大フレアを検出した天体　12天体
- 大フレアの光度と偏光度の相関（相関係数で判断）
  （正，負，有意な相関なし）=（13，5，10）

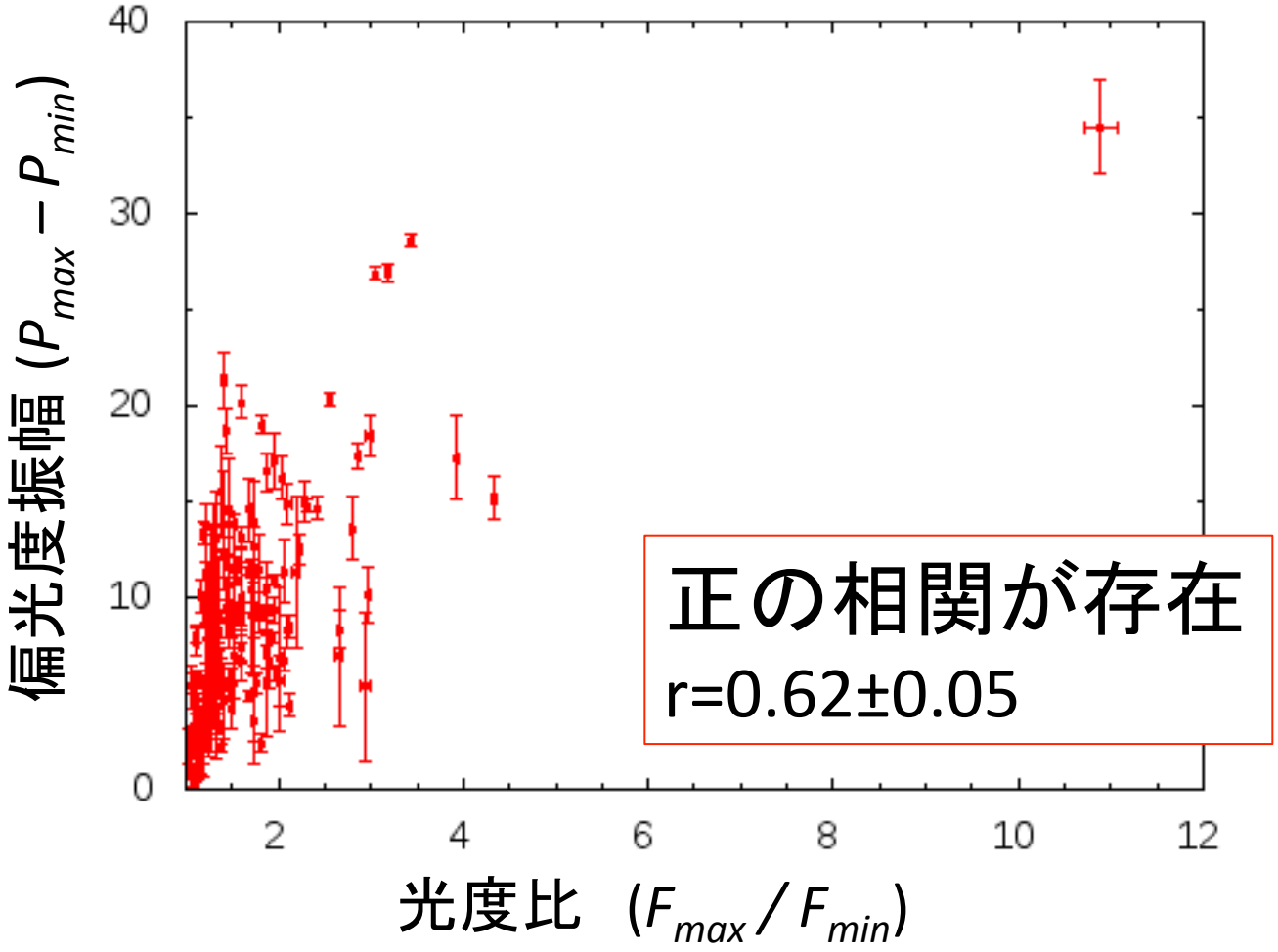
フレアの振幅



光度と偏光度の最大と最小の比と差を振幅とする

- 長期的に変動する成分を差し引く

光度と偏光度振幅の相関



フレアの特徴

- 小さな振幅のフレアの発生頻度は高く、大きな振幅のフレアは低い
- フレアの光度と偏光度の振幅には正の相関

  → フレアによって偏光が変化

各フレアが固有の偏光ベクトルを持つ

放射領域の磁場構造①

得られた示唆

- フレアは固有の偏光ベクトルを持つ

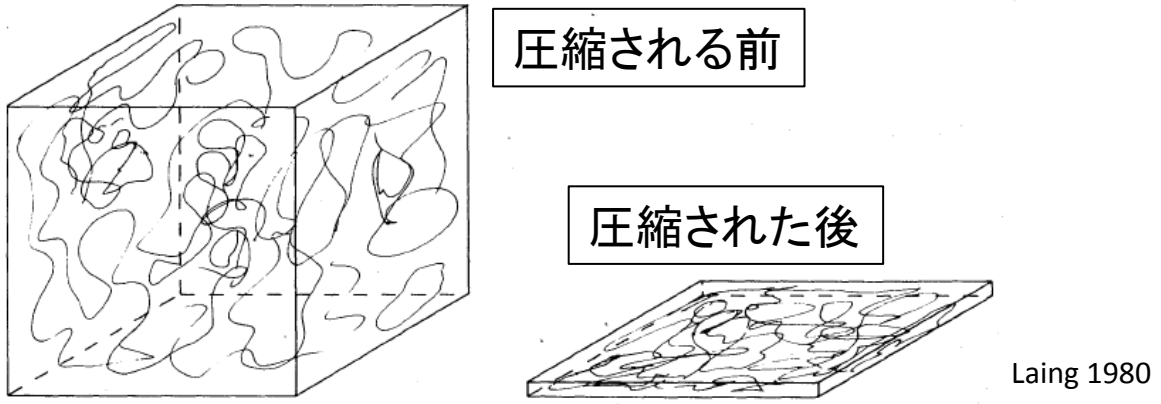
→ フレアの発生領域での磁場は揃っている

考えられる状況
- フレアによって磁場が揃う
- 磁場が揃っている領域でフレアが発生

放射領域の磁場構造②

1. 発生した衝撃波によって圧縮された磁場が揃う

圧縮による磁場
構造の変化



Laing 1980

衝撃波により
空間が圧縮

圧縮により
磁場が揃う

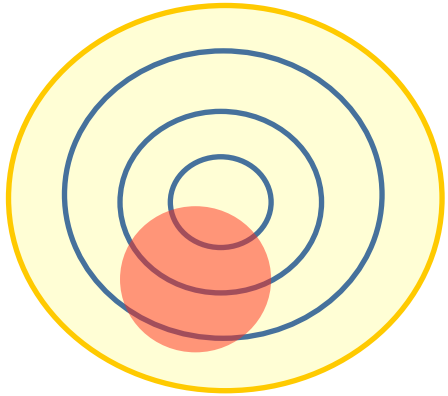
放射領域の
磁場が揃う

- 観測される偏光度から圧縮度を計算 （Hagen-Thorn+ 2008）

放射領域の磁場構造③

2. 磁場の揃った局所からの放射

局所的に見ると磁場は揃っている



変動起源が
局所的に発生

局所においては
磁場は揃っている

放射領域の
磁場が揃う

- 分スケール変動の偏光度の上昇 （Sasada+ 2008）
- ビーミングにより局所のみが見えることによる偏光の変化
  (Abdo+ 2010)

まとめ

- PKS 1510-089の偏光モニターを実施
  - 長期的な変動成分と短期的な変動成分のフレアを検出
  - 20日以内のフレアに偏光が相関
- ブレーザー44天体に偏光モニター観測を実施
  - 44天体のデータから166個のフレアを検出
  - フレアは光度と偏光度の振幅に正の相関を持つ

→　放射領域の磁場は揃っている