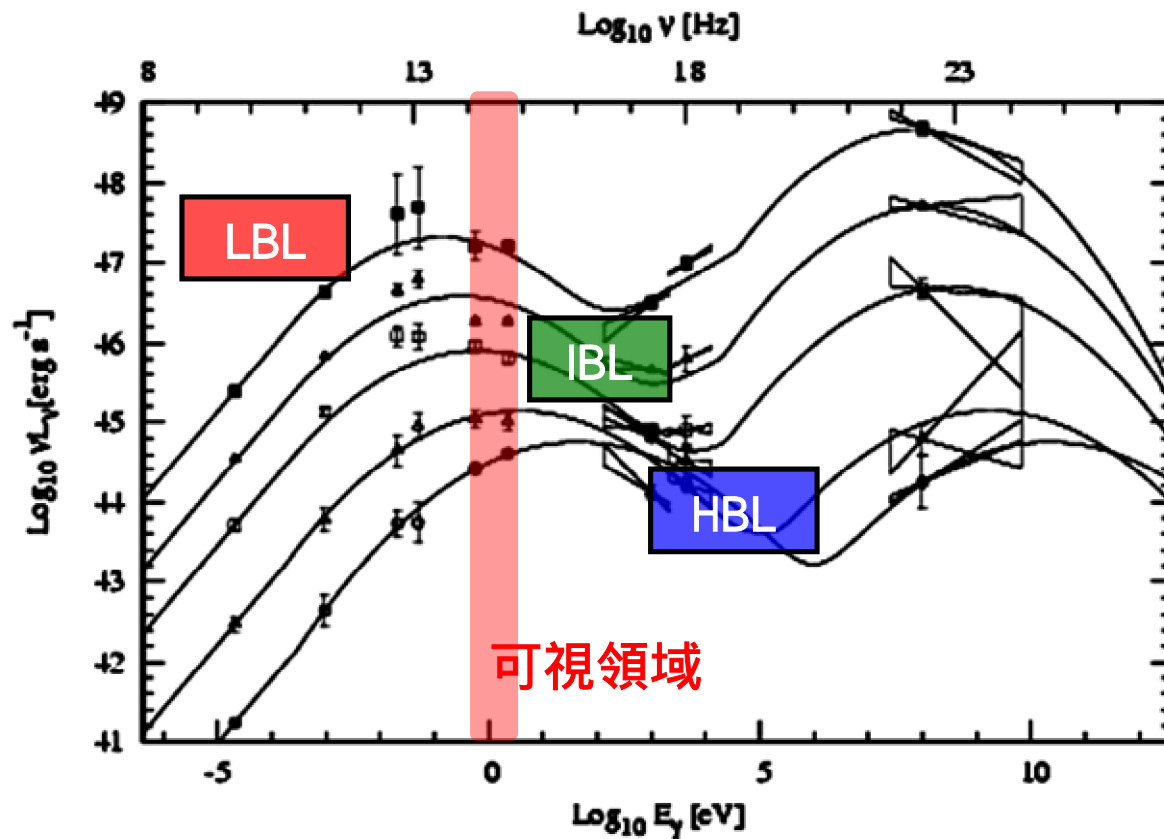


可視領域における ブレーザーの光度変動に伴う 色、偏光変動の系統的調査

池尻祐輝、植村誠、笹田真人、先本清志、伊藤亮介、山
中雅之、新井彰、深澤泰司、大杉節、川端弘治(広島大)、
佐藤修二、木野勝(名古屋大)

ブレーザーの種類別



シンクロトロン放射の
ピーク位置により
LBL,IBL,HBLと分類

Inoue et al. 2009

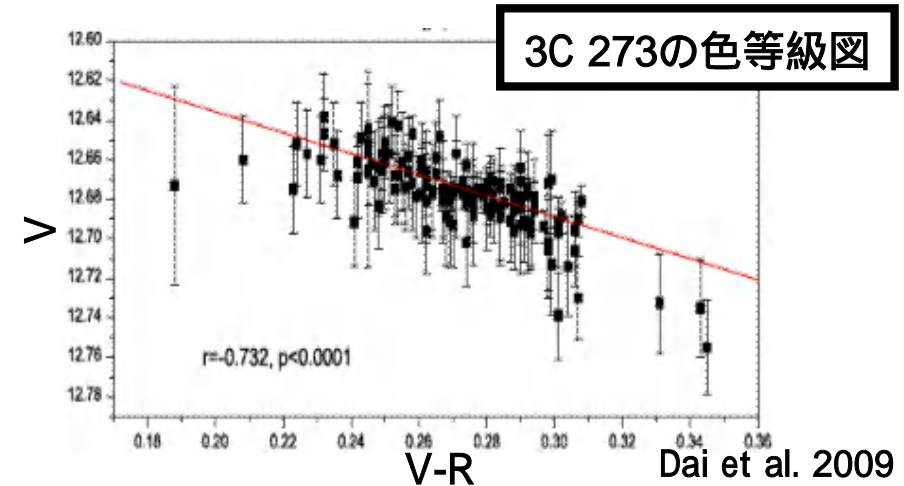
シンクロトロン放射のピークエネルギーが...

可視領域より低い	LBL (Low-energy peaked BL Lac object)
可視領域	IBL (Intermediate-energy peaked BL Lac object)
可視領域より高い	HBL (High-energy peaked BL Lac object)

色と偏光についてこれまでの研究

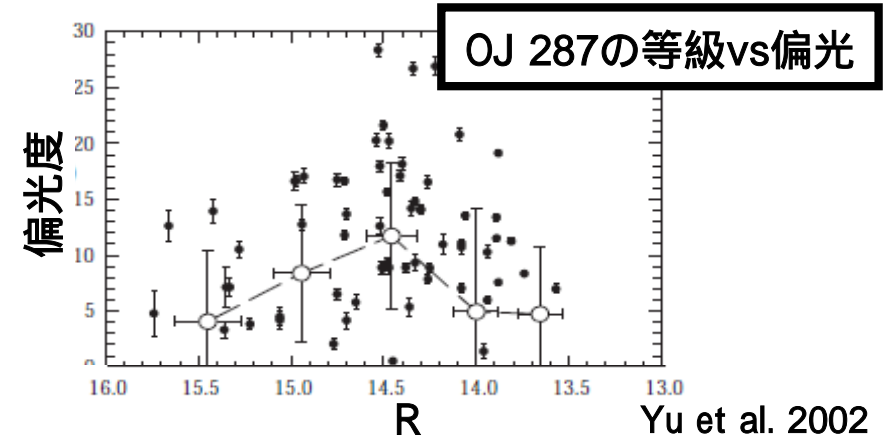
等級と色の関係

明るくなると青くなるbluer-when-brighterの傾向
高エネルギー電子の注入により
光度が変動する
レーザーにおいてどの程度
一般的なのかは分からない・・・??



等級と偏光度の関係

これまで光度と偏光度が
相関した例は少ない
そもそも偏光データ自体が非常に希少



かなた望遠鏡、TRISPECを用いて
色と偏光についてこれまでにない程のデータを取得
それぞれの光度との相関を系統的に調査

観測天体(season off含め)

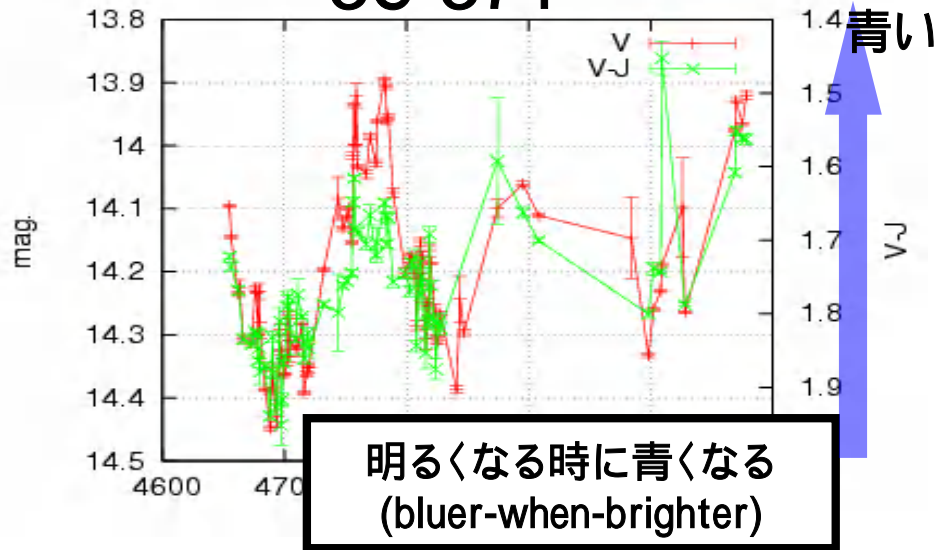
全天体数:41

1ES 0323+022	MisV 1436	PKS 1502+106
1ES 0647+250	Mrk 421	PKS 1510-089
1ES 0806+524	Mrk 501	PKS 1749+096
1ES 1959+650	OJ 287	PKS 2155-304
1ES 2344+514	OJ 49	QSO 0324+341
3C 371	ON 231	QSO 0454-234
3C 454.3	ON 325	QSO 0948+002
3C 66A	OQ 530	QSO 1239+044
3C 273	PG 1553+113	RX J1542.8+612
3C 279	PKS 0048-097	S2 0109+22
3EG 1052+571	PKS 0215+015	S4 0954+65
AO 0235+164	PKS 0422+004	S5 0716+7143
BL Lac	PKS 0754+100	S5 1803+78
H 1722+119	PKS 1222+216	

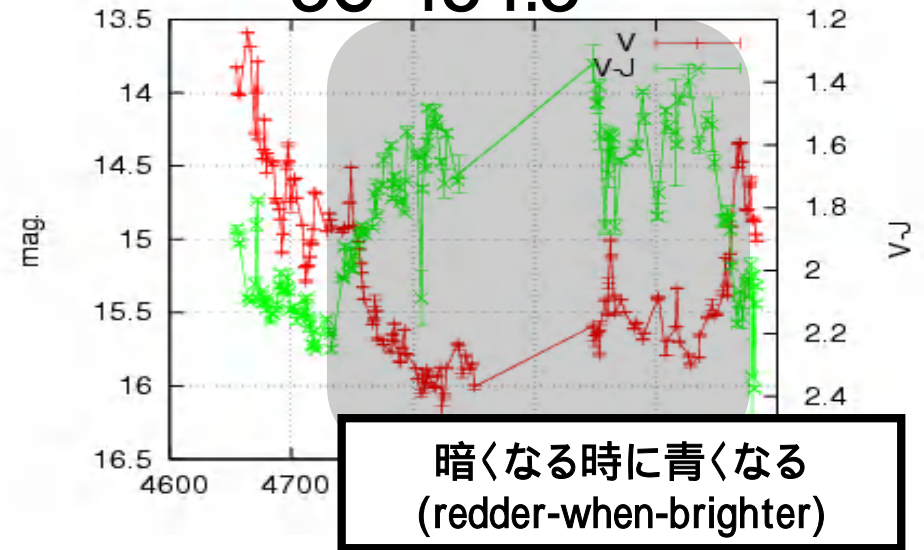
等級 vs 色(V - J)

典型的なライトカーブ

3C 371



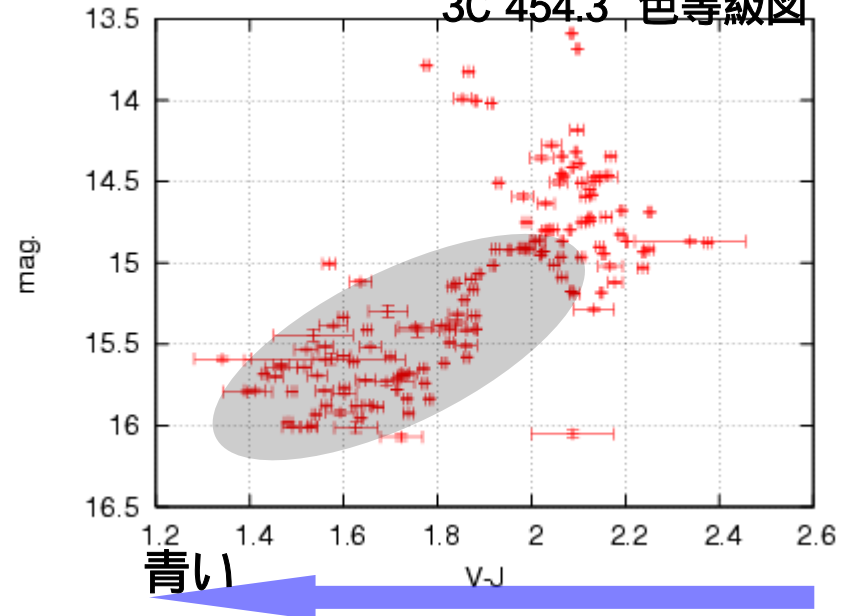
3C 454.3



ジェットの放射が弱くなり
降着円盤による放射が
見えてきている

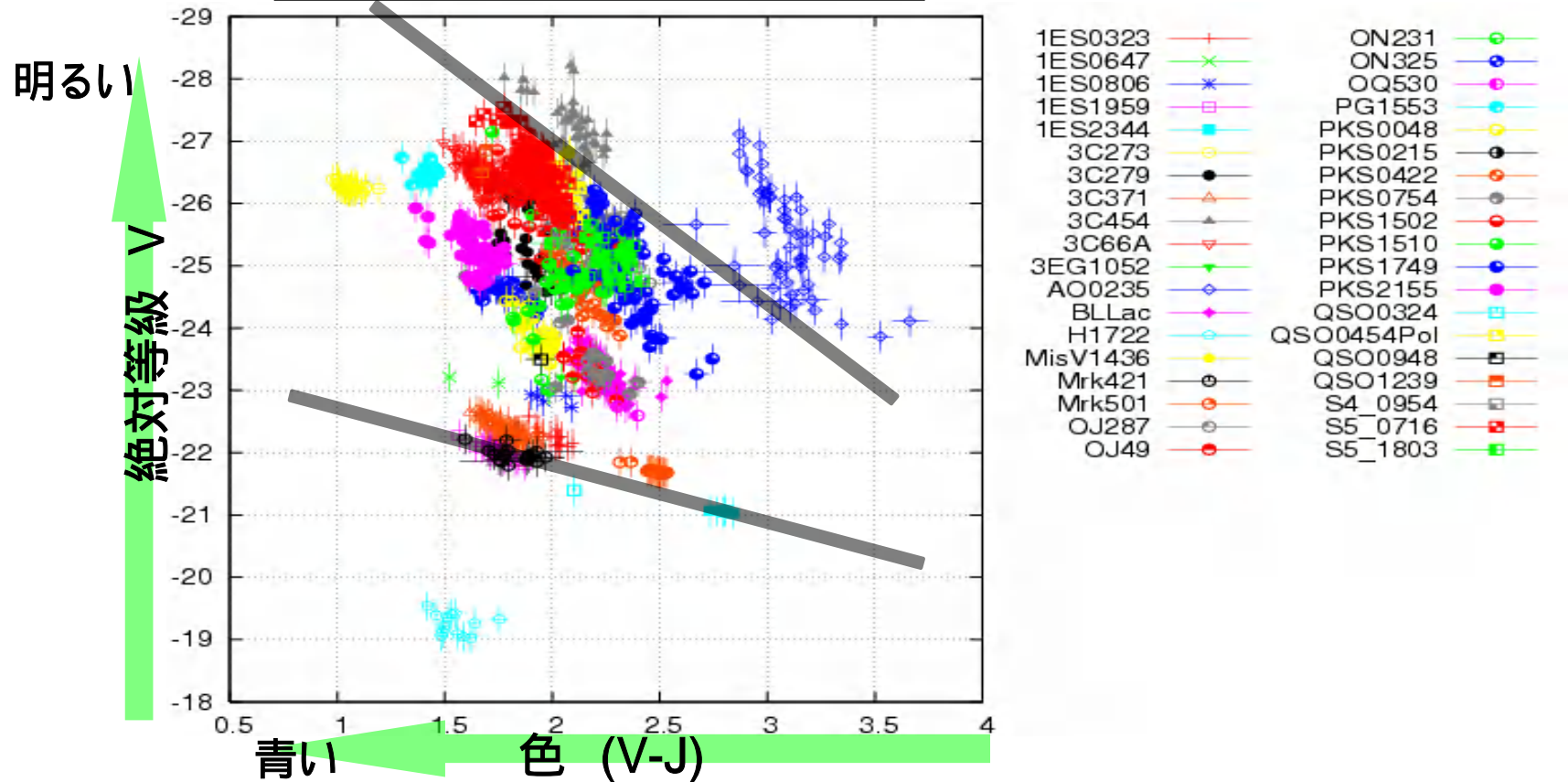
- ・3C 454.3
- ・PKS 1510-089
(S20a 笹田の発表で詳細)
- ・QSO 0454-234
の3天体で確認

3C 454.3 色等級図



Mag. vs color(V-J)

全天体を色等級図でプロット

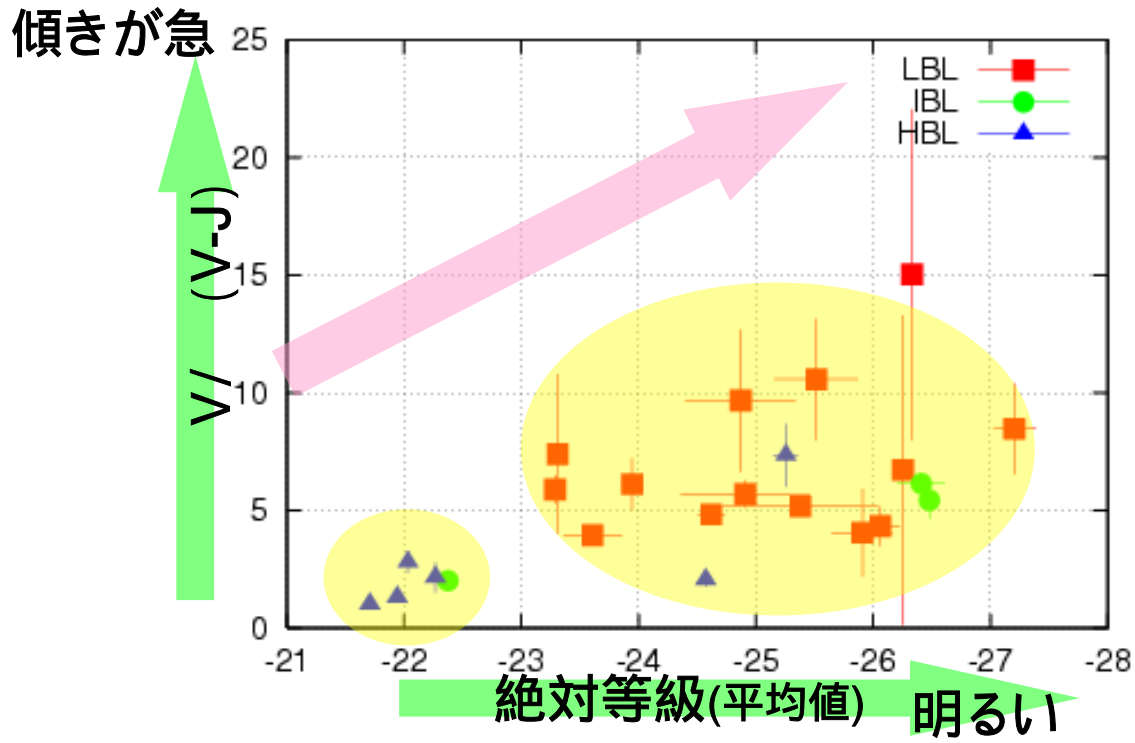


41天体中24天体でbluer-when-brighterの傾向

傾き $V / (V-J)$ が天体によって違う??
複数の傾きがあるかもしれない

Mag. vs $V/$ ($V-J$)

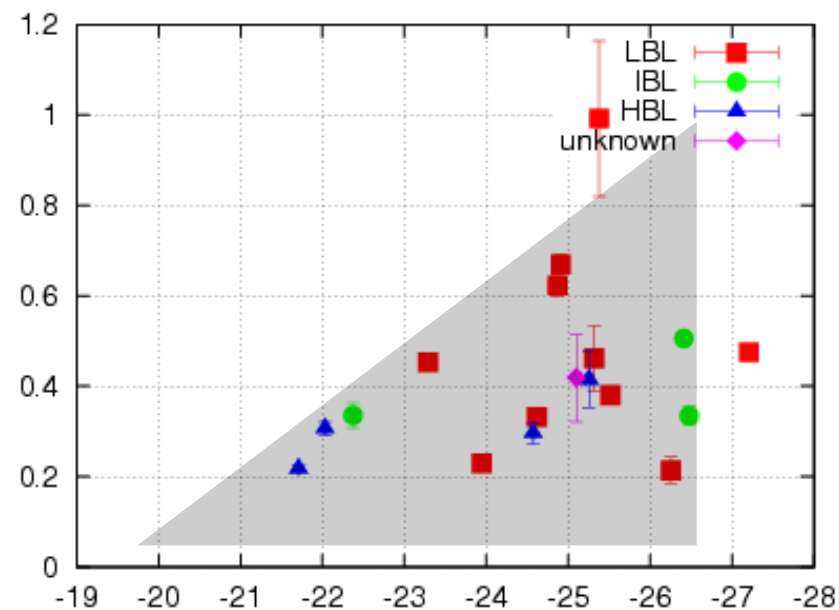
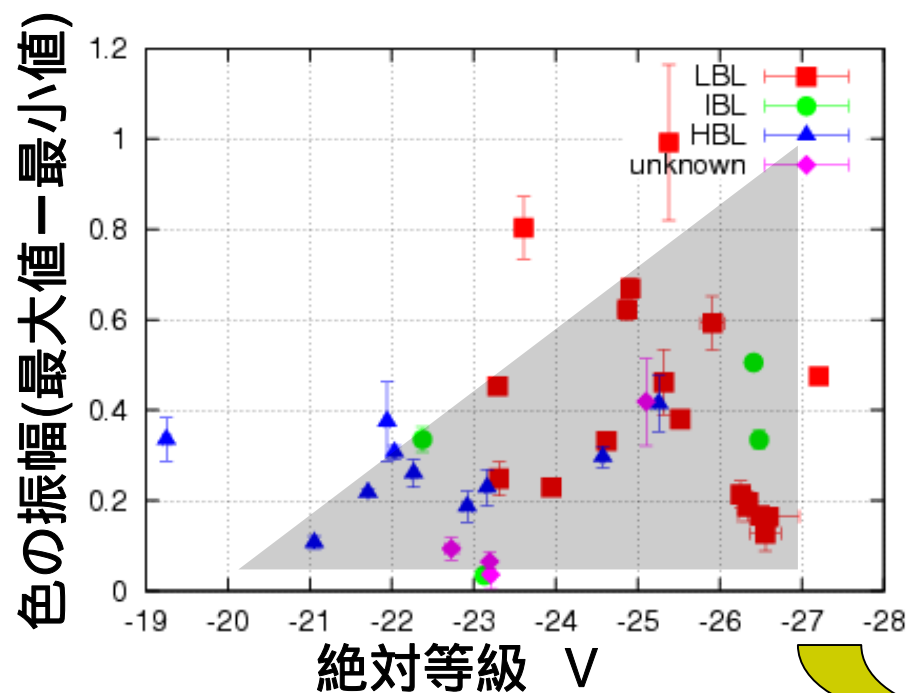
明るさ(絶対等級)と色等級図の傾きをプロット



bluer-when-brighterの傾向がある天体のみ

- ・明るいほど、傾きが大きくなる傾向？
 - ・種別により違う傾向？ HBLは明るさが暗く、傾きが小さい
- 色の変化に対して等級の変化が小さい傾向がある**
- 色等級図上で色はどの程度激しく変動しているのか??
- 色の振幅をみってみる必要あり

Mag. vs (V-J)



観測日数が20夜以上のものだけ

- ・暗い天体は色の振幅が小さい
- ・明るい天体は振幅が大きくなりうる

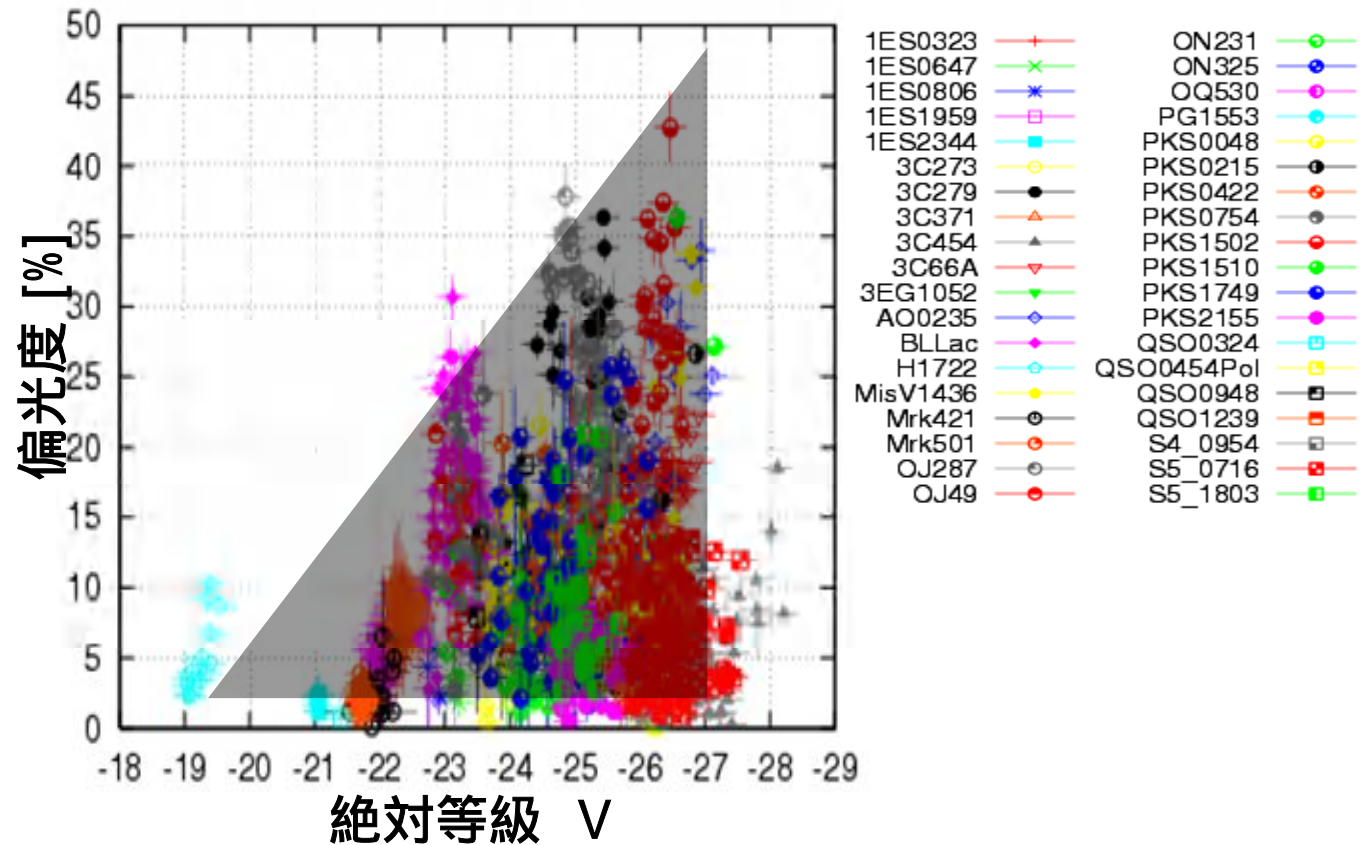
HBL等の暗い天体は等級、色ともに変動が小さい

等級 vs 偏光度

Mag. vs P.D

全天体の絶対等級と偏光度をプロット

- ・偏光度が常に高い天体はあまりなく、ほとんどが静穏時で基本的に数%
- ・暗い天体は偏光度が高くはない



41天体中14天体が光度と偏光度に相関あり
色に対して相関のある天体は少ない

物理描像

bluer-when-brighterを示す天体に着目

観測結果

- ・暗い天体には、HBLが多い
- ・暗い天体は、等級も色もあまり変動しない
- ・明るい天体は、等級も色もあまり変動しないものから激しく変動するものまである

可視領域で観測されるのは
それぞれのピークより相対的に

LBL:高エネルギーな光子

HBL:低エネルギーな光子

光度変動の要因

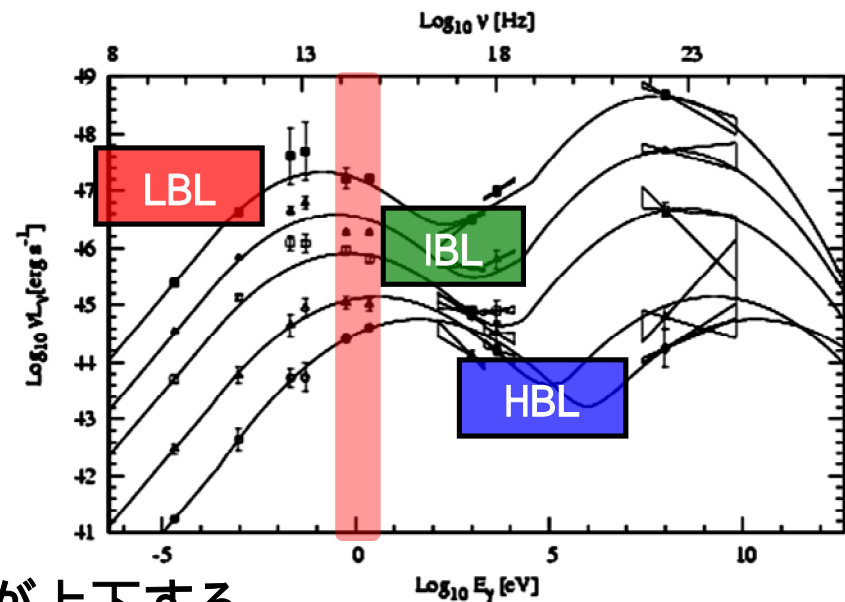
beaming factor

高エネルギー電子の注入

だと・・・天体種別に関係なく、SED自体が上下する

だと・・・LBLは大きく影響を受けるが、

HBLは影響を受けず変動も小さくなる



高エネルギー電子の注入による変動が多数を占めている

まとめ

色について

- 24/41がbluer-when-brighterの傾向
- 色等級図での傾き
 - 絶対等級で明るいほど急 or 種別により違う傾向
 - HBLは暗く、色の変化に対して
 - 等級の変化が小さい傾向がある
- 色の振幅
 - HBL等の暗い天体は色の変動が小さい

偏光度について

- 14/41が光度と偏光度に相関がある
- 明るい天体は偏光度が高くなる事があるが、暗い天体は高くない

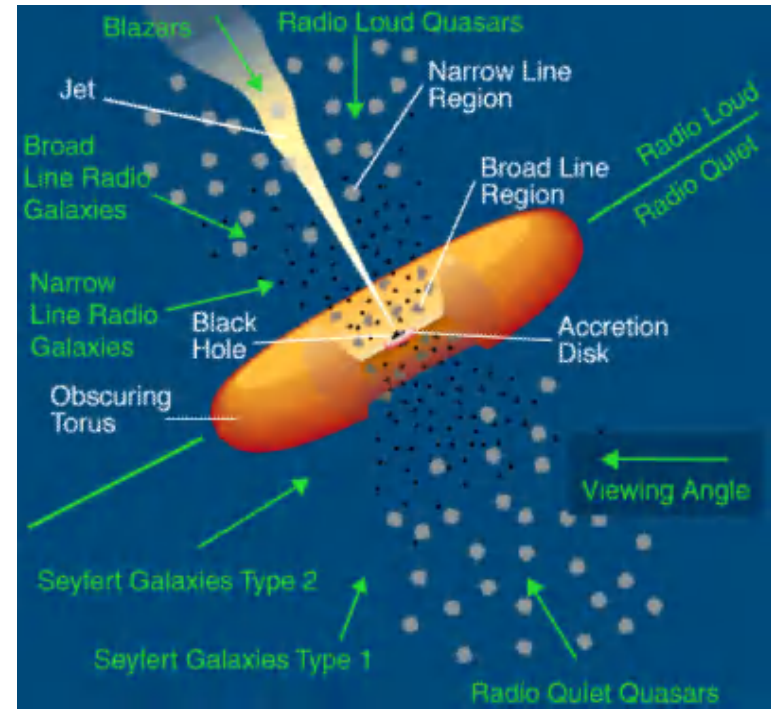
予備トラペ

ブレーザーとは・・・

活動銀河核の一種で
ジェットを軸方向から観測

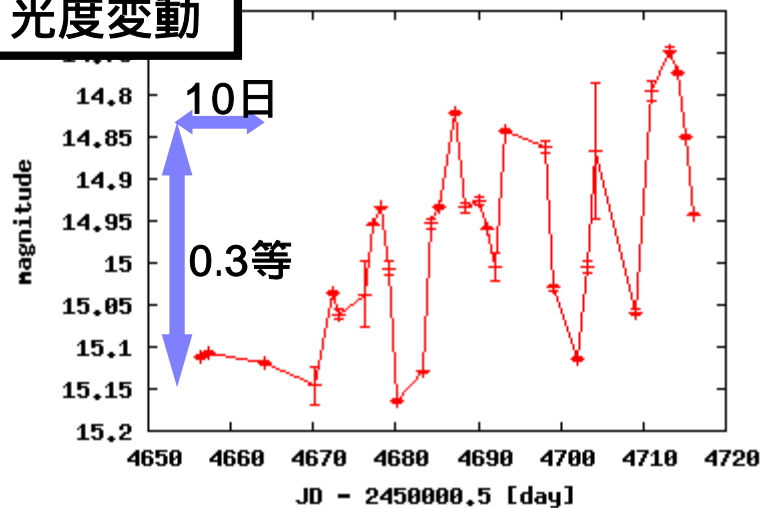
観測的特徴

- 激しい光度変動
- 高い偏光度



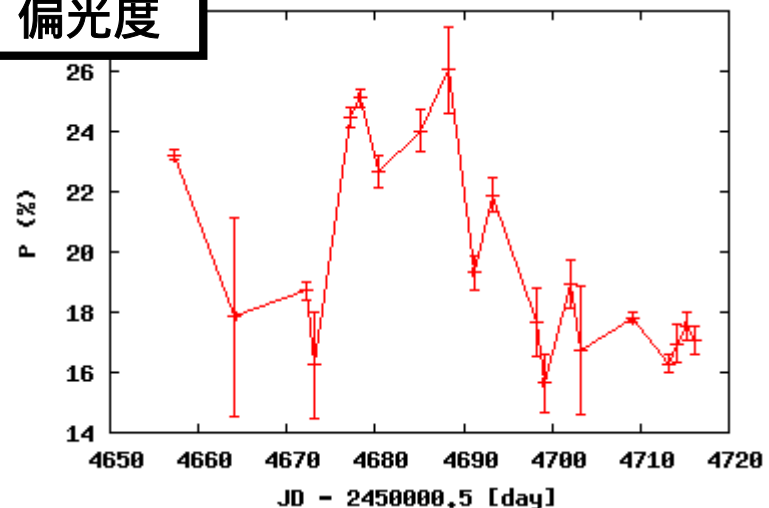
ブレーザー-BL Lac

光度変動



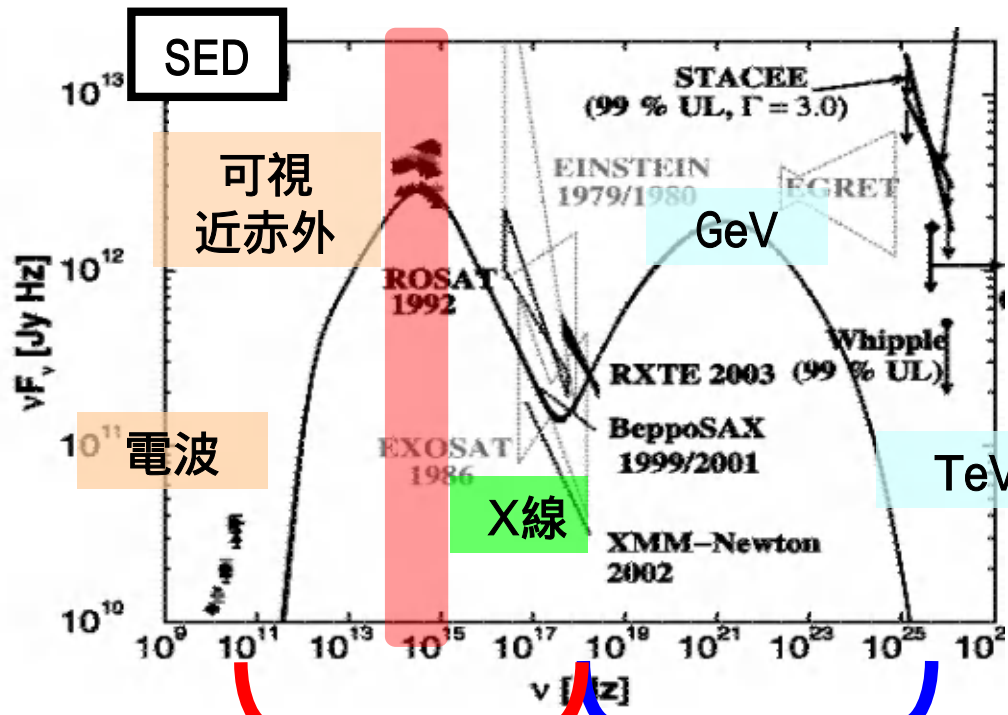
0.3等以上の変化
数時間の短時間変動も

偏光度



15~30%
>30%のブレーザーも

ブレーザーとは・・・



ブレーザー-3C 66A
Joshi et al. 2007

ジェットの放射機構や
放射領域の磁場構造が謎

強度的にピーク付近である可視～近赤
外での偏光観測が重要!!

シンクロトロン放射
(偏光成分)

逆コンプトン散乱

but 偏光観測の例は過去にあまりなく、
偏光情報自体が貴重なデータ

08年夏からかなた望遠鏡を用いて
ブレーザーの集中モニターを開始
ブレーザーの統一的理解を深める

かなた望遠鏡

広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台
口径1.5mの反射望遠鏡
大学所有の望遠鏡としては
日本最大級



- 大学所有で、比較的自由的な観測が可能
同じ天体を長期に渡り、密な観測が出来る
- 機動性に優れている
突発天体等の即時観測に有利

世界でも稀

検出器:TRISPEC

- 可視1(V)、近赤外2(J,Ks)の3バンド同時の偏光測光観測が可能
多波長の光度、偏光情報に対応

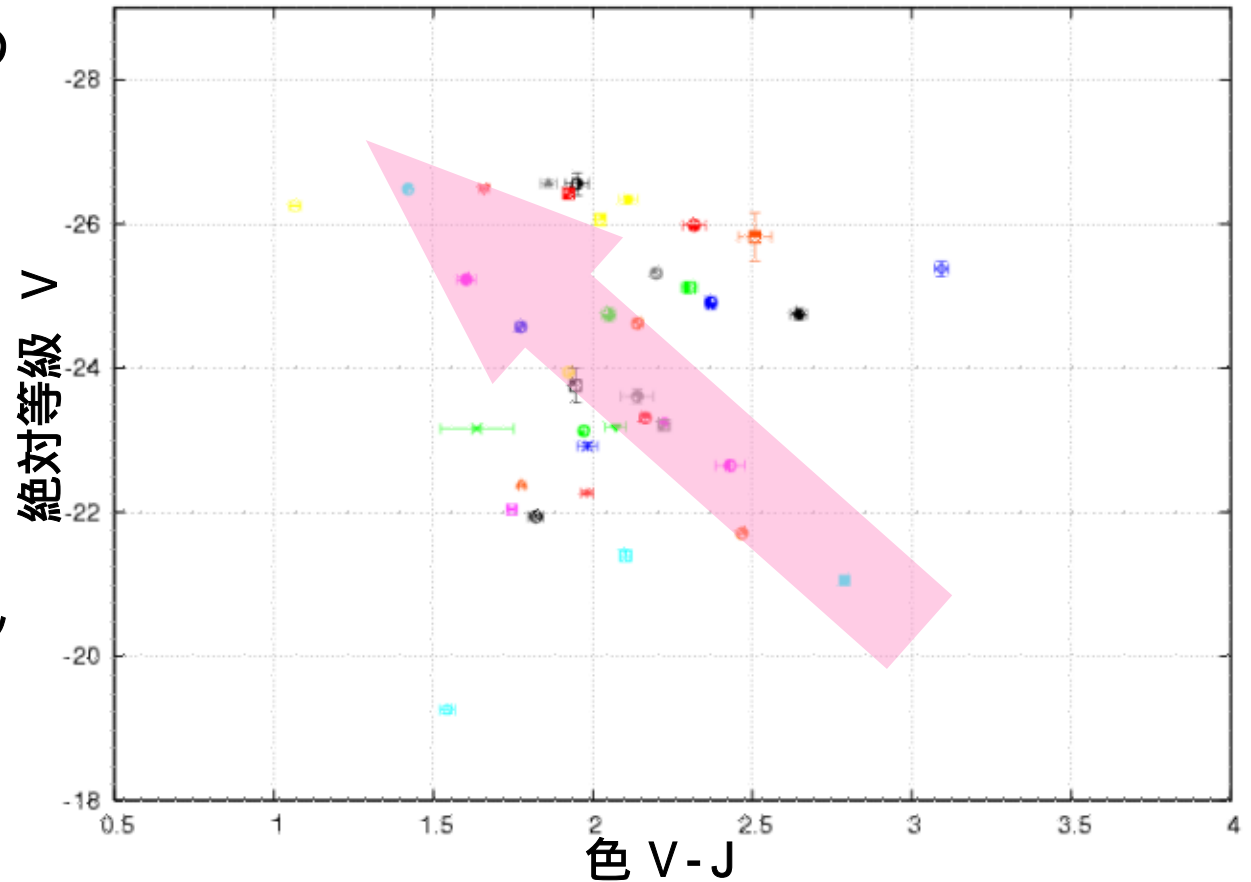
ブレーザーのシンクロトロン放射成分の
観測に最適

Mag. vs Color (V - J)

全天体においてもbluer - when - brighterの傾向??

全天体の等級と色の
平均値をプロット

相関係数 $r=0.186$
相関なし

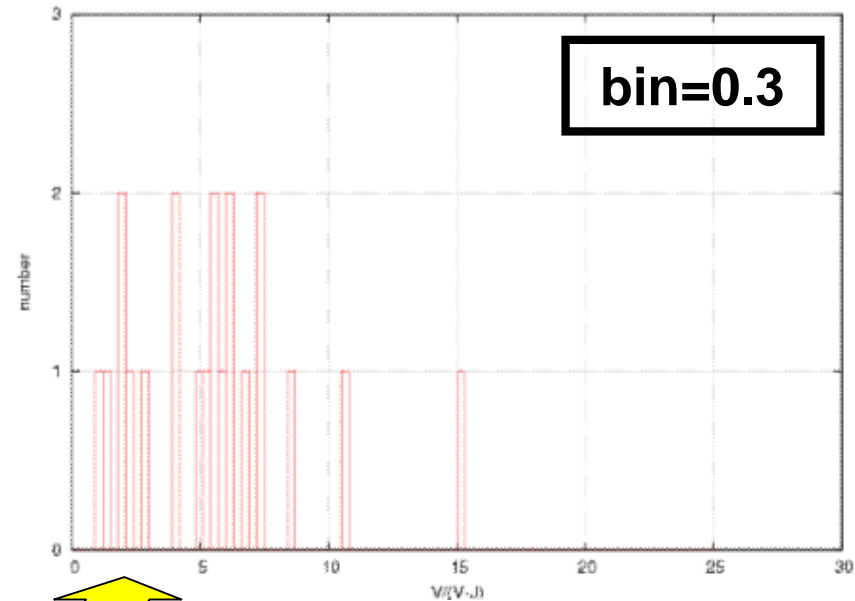
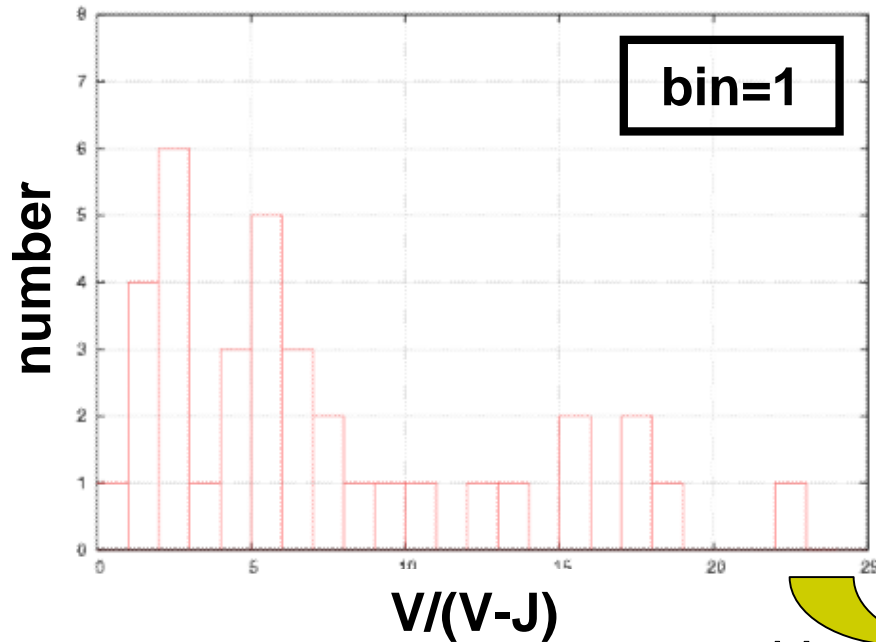


全天体において
bluer - when - brighterの傾向があるとはいえない

Mag. vs Color (V - J)

色等級図に複数の傾きが存在??

それぞれの傾きをヒストグラム化



bluer - when - brighterの傾向があるものだけ

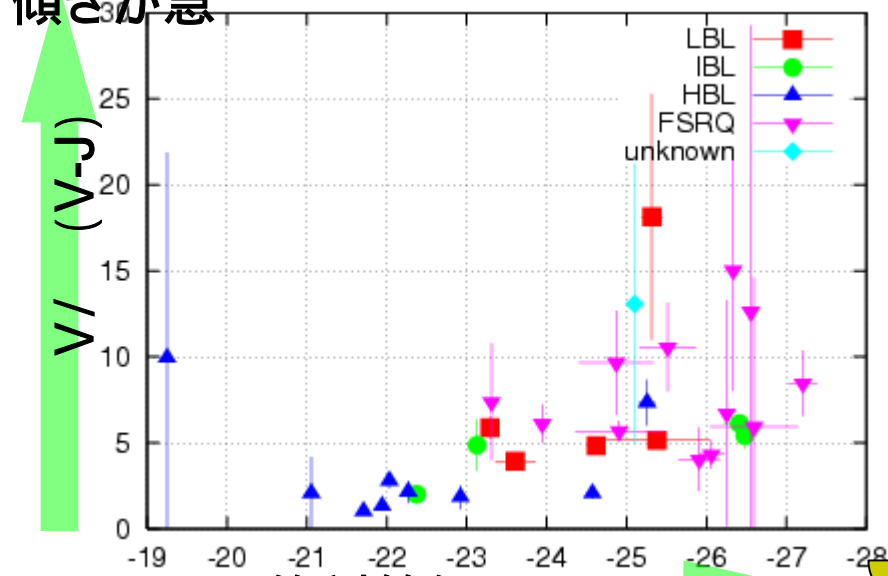
二極化orそれ以上にはキレイにわかれな

複数の傾きがあるわけではなく、
明るさにより連続的に変化するのでは??

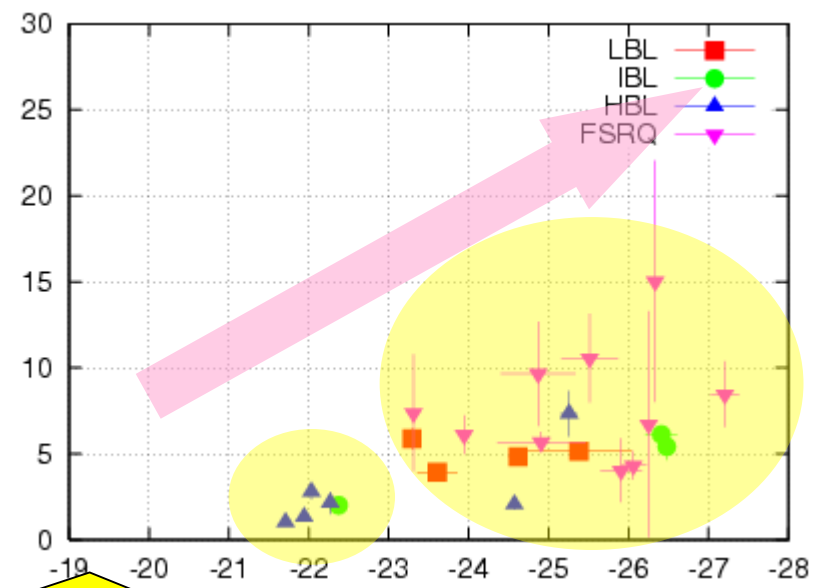
Mag. vs $V / (V-J)$

明るさ(絶対等級)と色等級図の傾きをプロット

傾きが急



絶対等級(平均値) 明るい



bluer-when-brighterの傾向があるものだけ

- ・明るいほど、傾きが大きくなる傾向？
- ・分類により違う傾向？ HBLは明るさが暗く、傾きが小さい

色の变化に対して等級の変化が小さい傾向がある

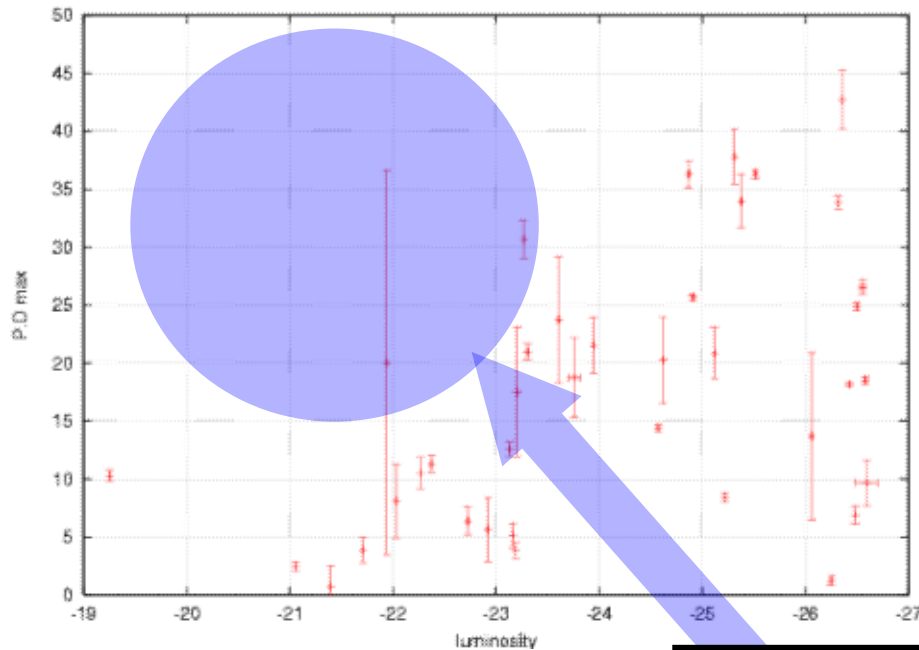
色等級図上で色はどの程度激しく変動しているのか??
色の振幅をみてもみる必要あり

Mag. vs P.D

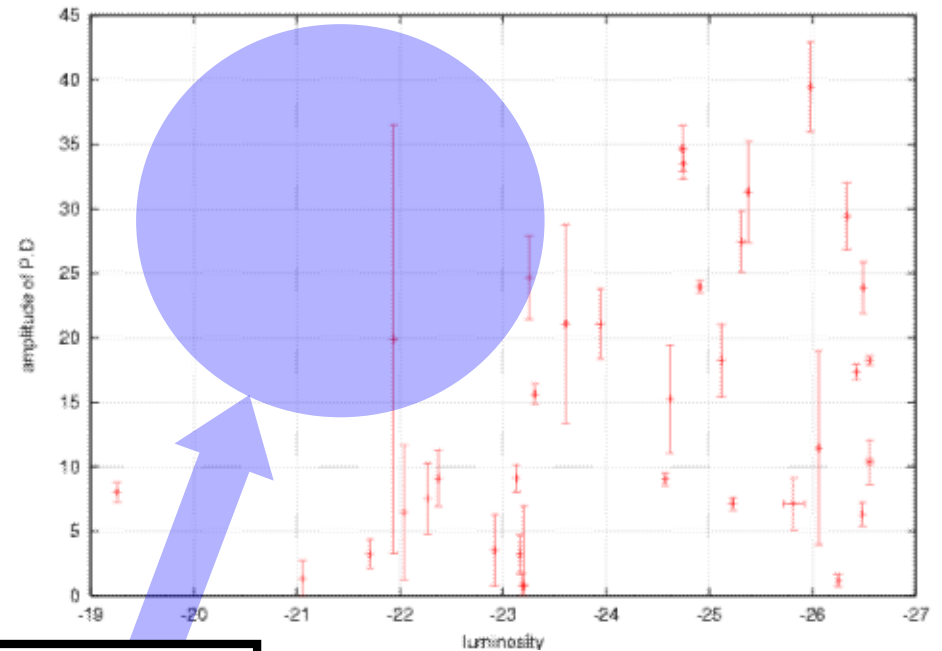
このトラペ入れるか入れるまあか・・・??

横軸に明るさ(絶対等級)、縦軸にP.Dの最大値or振幅(最大値 - 最小値)

P.D最大値



P.D振幅



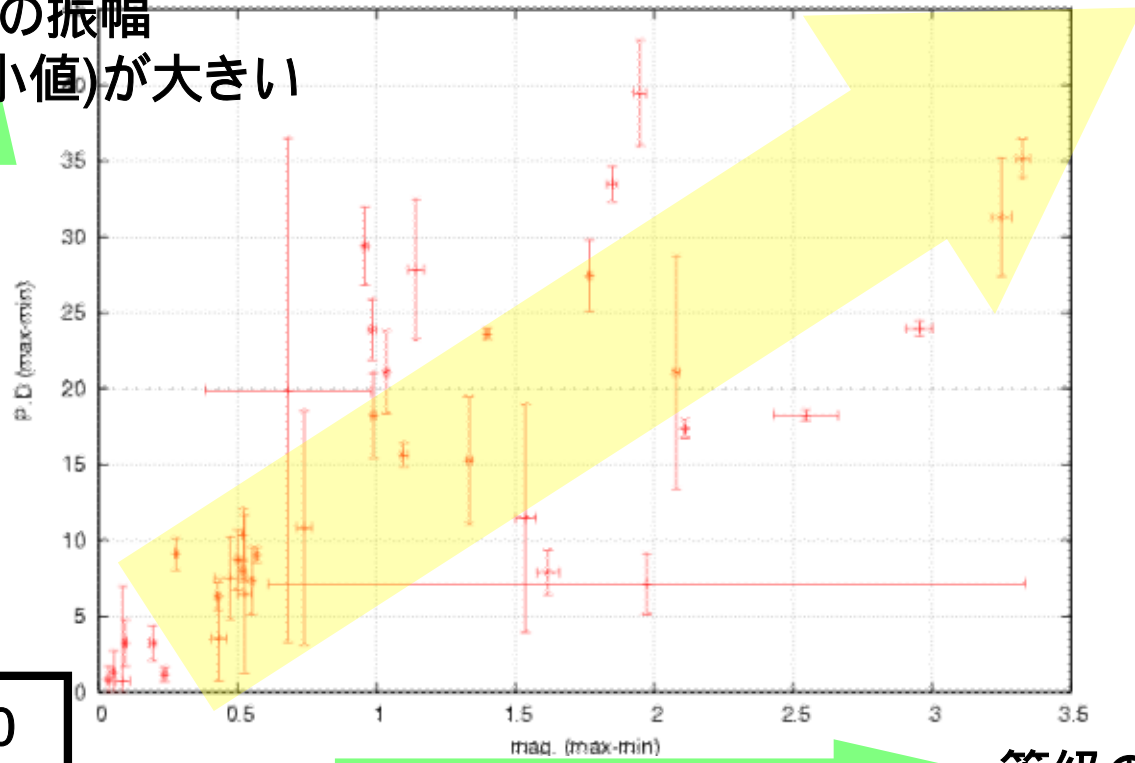
暗い天体は偏光度も
高くはない

絶対等級が明るい程、偏光度も高くなりうる

Mag. vs P.D

等級の振幅とP.Dの振幅

偏光度の振幅
(最大値 - 最小値)が大きい



$r=0.73250$
相関あり!!

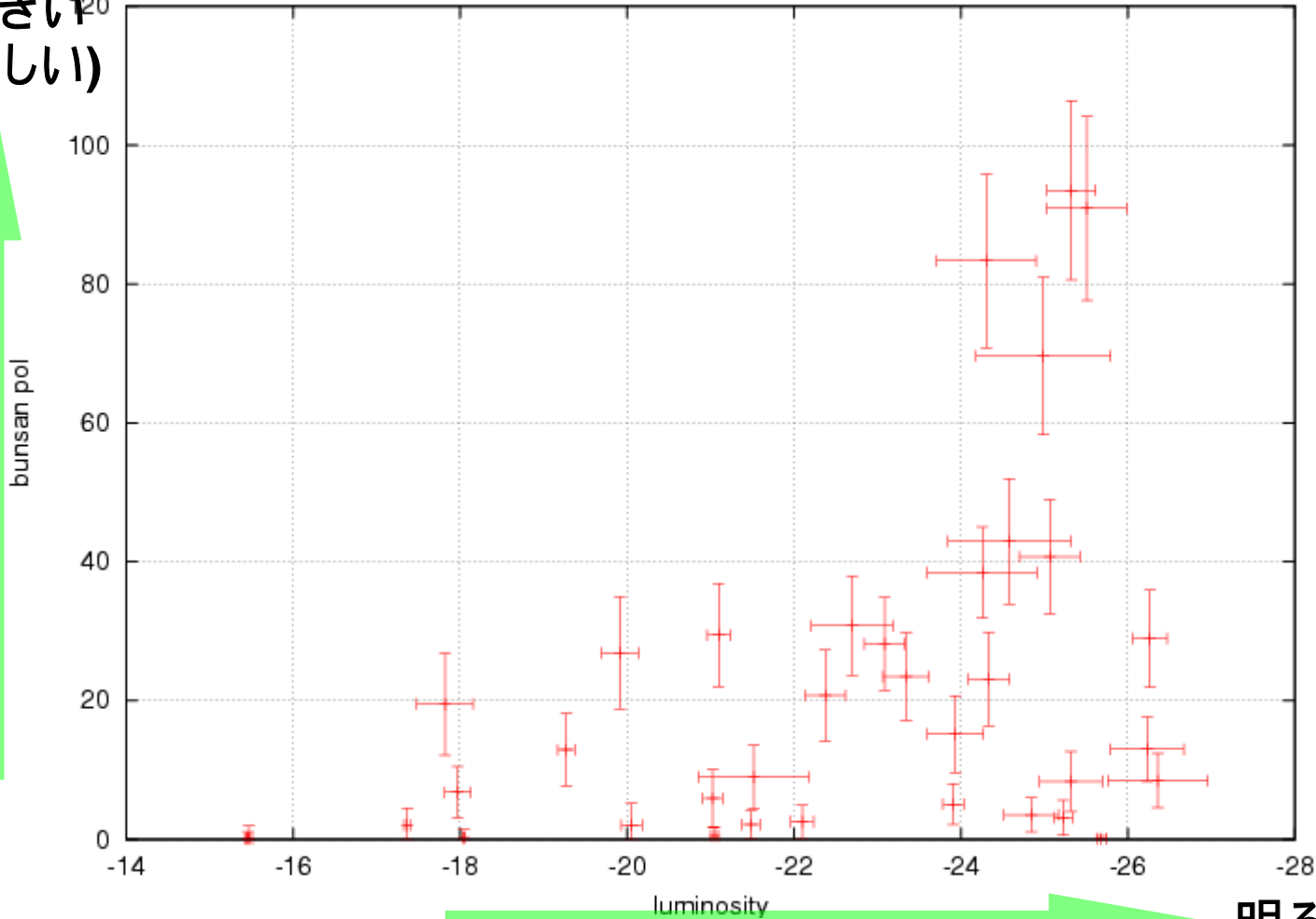


等級の振幅
(最大値 - 最小値)が大きい

明るさの振幅が大きい程、偏光度も大きくなりうる

明るさと偏光度の分散

分散が大きい¹⁰
(変動が激しい)



明るい

検定方法

標本の相関係数が、ゼロに対して統計的に有意な差をもつかを検定したい

studentsのt 検定

$$\text{相関係数 } r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

検定統計量

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2}$$

n=観測夜数

自由度n-2のt分布に従い検定

この検定を用いて、
明るさと色、偏光度などの相関を検定

各天体の観測夜数

- 100夜以上 5
- 50夜以上 8
- 30夜以上 10
- 10夜以上 6
- 5夜以上 5
- 5夜未満 7

計41天体

等級と色、偏光度の相関

等級 vs V-J

24 / 41

等級 vs P.D

14 / 41 (4天体は負の相関)

等級 vs P.A

8 / 41

V-J vs P.D

9 / 41

1ES 0323+022**OJ 49****1ES 1959+650****ON 325****3C 273****PKS 0048-097****3C 279****PKS 0422+004****3C 371****PKS 0754+100****3C 454.3****PKS 1502+106****3C 66A****PKS 1510-089****AO 0235+164****PKS 1749+096****BL Lac****PKS 2155-304****Mis V1436****QSO 0454-234****Mrk 421****S2 0109+224****Mrk 501****S5 0716+714**

等級 vs 偏光度

14 / 41

1ES 0323+022

OJ 287

3C 273

OJ 49

3C 279

ON 325

3C 454.3

PG 1553+113

AO 0235+164

PKS 1502+106

H 1722+119

PKS 1510-089

Mis V1436

QSO 0454-234

下線は負の相関(暗いと偏光度大)