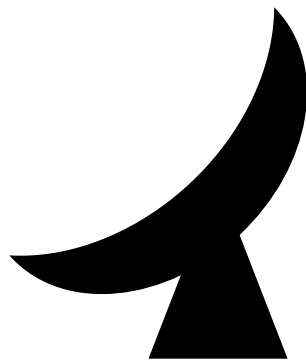
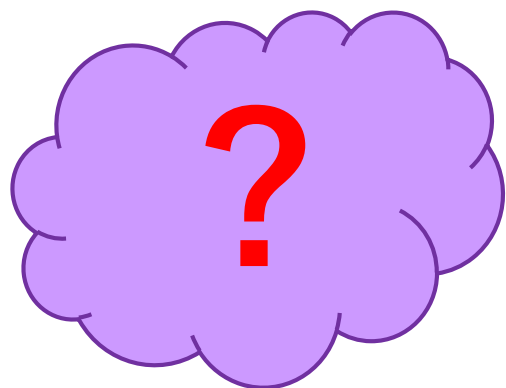


大質量星形成領域に付随する 6.7GHzメタノールメーザーの 強度変動の相関関係について



2019/11/23

山口大学

山口大学

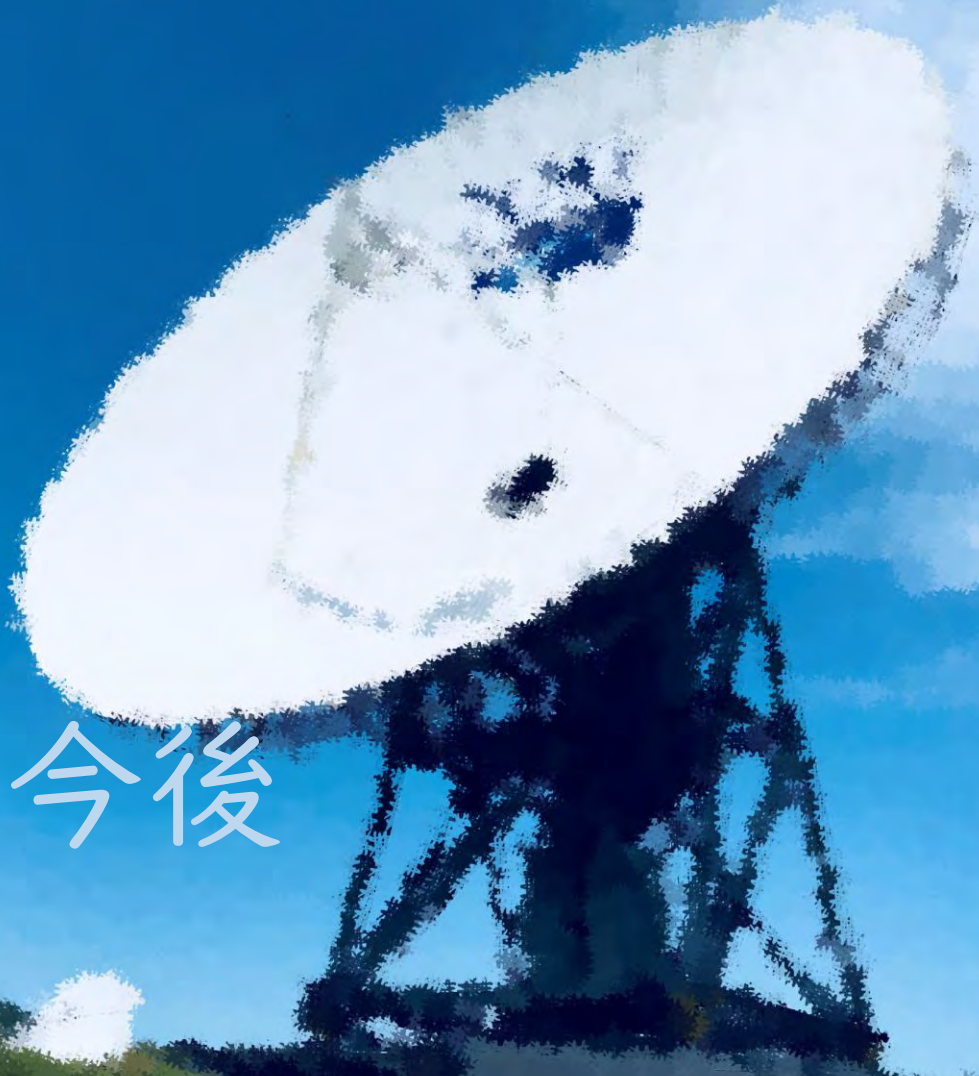
茨城大学

今泉 有加里

藤沢 健太

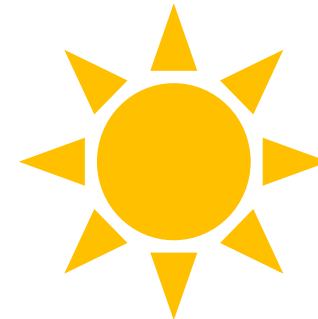
米倉 覚則

- 研究目的
- 解析手法
- 結果
- 考察 & 今後



研究目的

「6.7GHzメタノールレーザーの
励起機構・性質について調べる」



大質量星の形成メカニズムはいまだよくわかっていない



6.7GHzメタノールレーザー ……大質量星の形成過程を調べるトレーサー

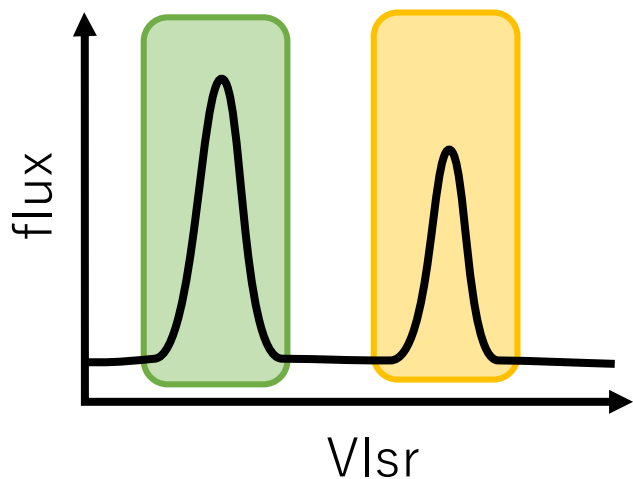
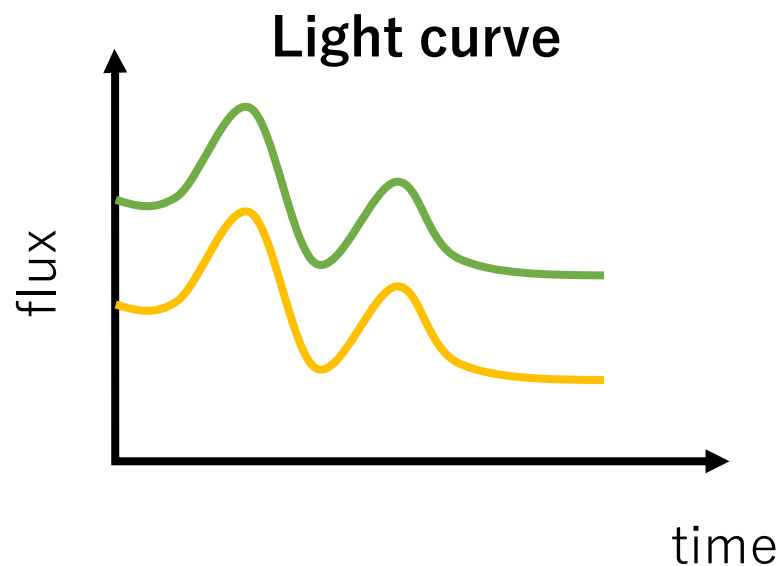
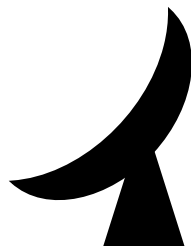
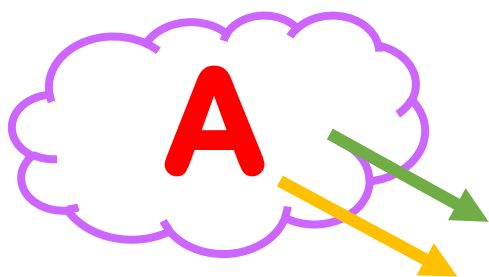


まずはトレーサーのことをよく知ることが大切

研究目的

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！

～励起源が1つの場合～

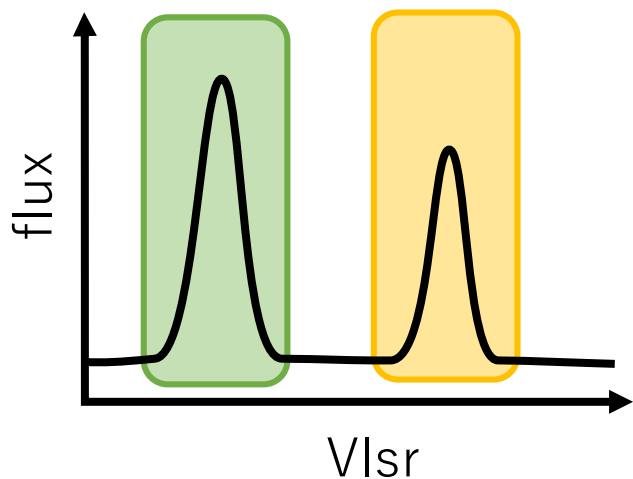
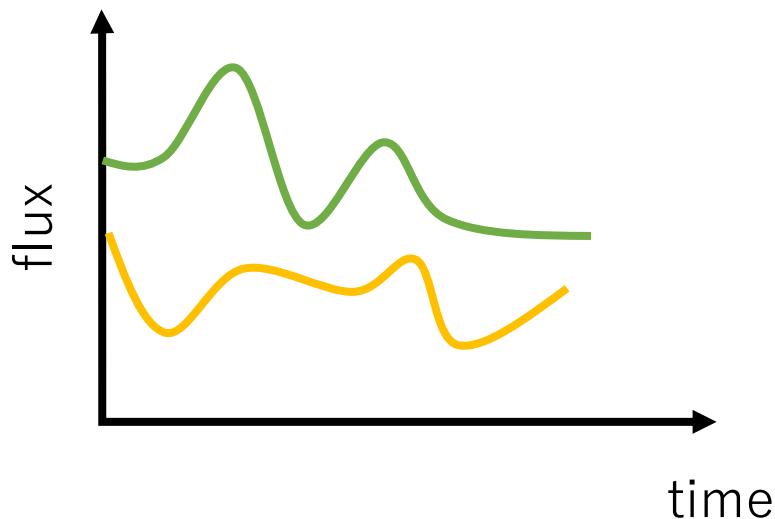
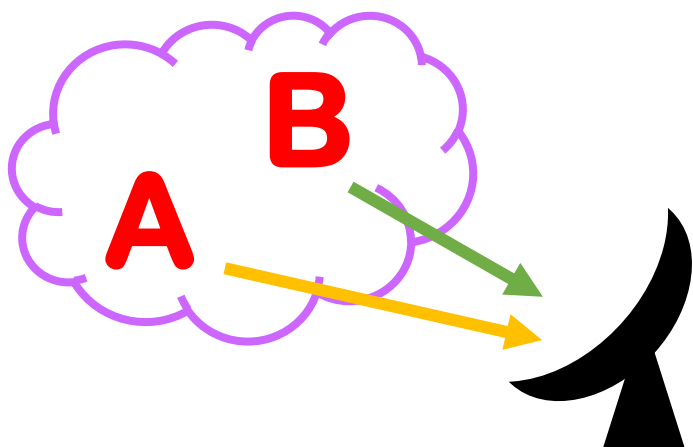


励起源が1つなら
強度変動が一致
→ **相関がある**

研究目的

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！

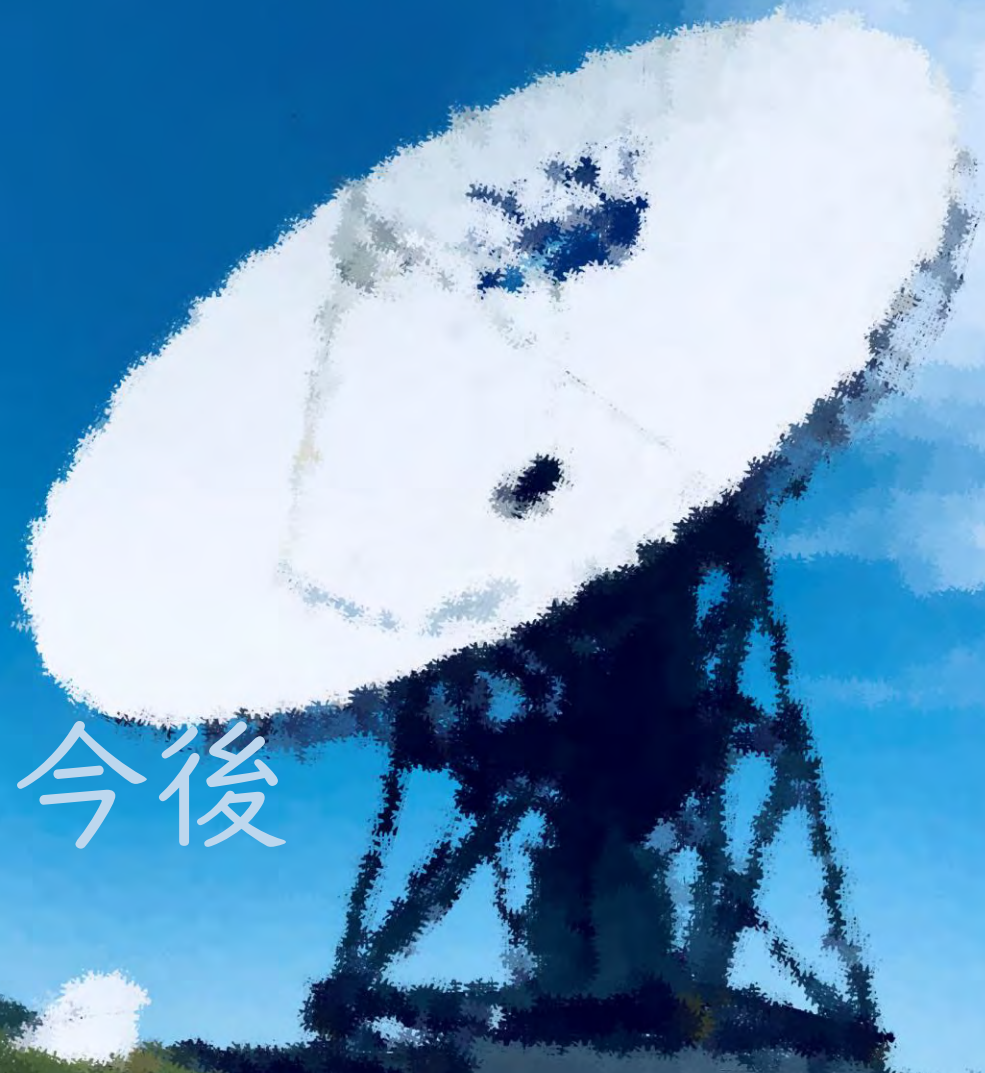
～励起源が複数の場合～



励起源が複数存在するなら
強度変動が一致しない
(励起源に依存する)

→ **相関がない**

- 研究目的
- 方法
- 結果
- 考察 & 今後



方法

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！



- 各成分を独立させて考える

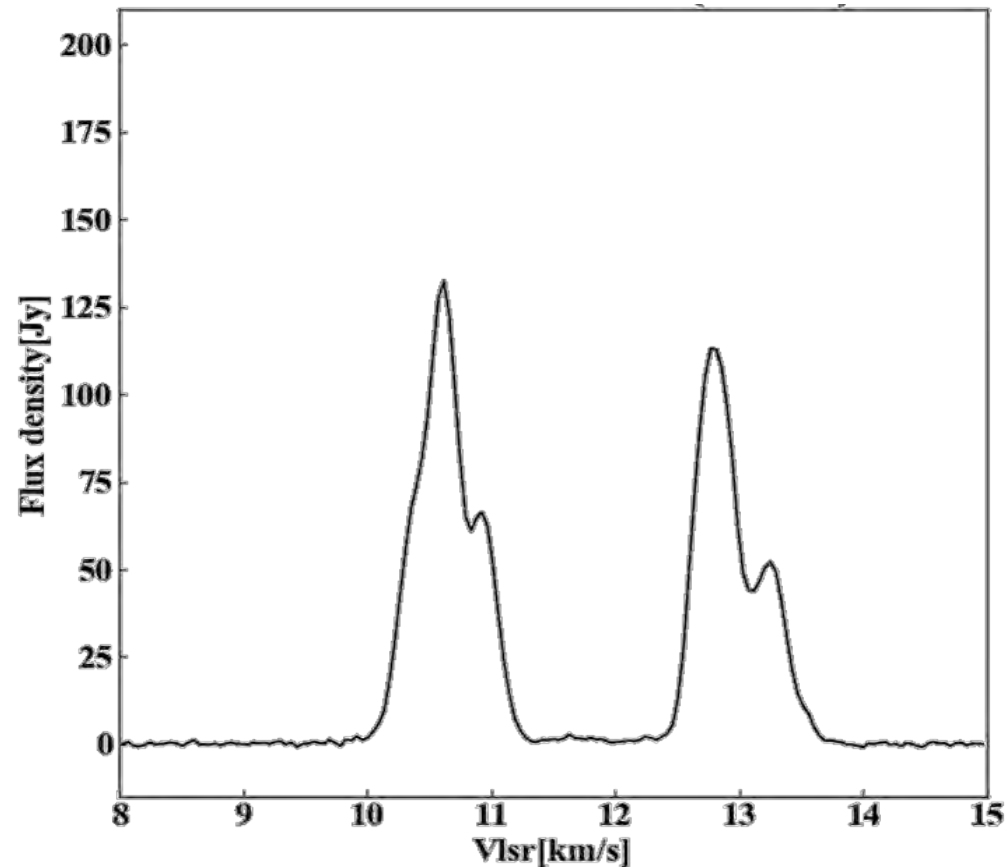
成分分離

- 類似性を数値化

相関係数

- 時間差を考慮した類似性

相関関数



方法

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！



- 各成分を独立させて考える

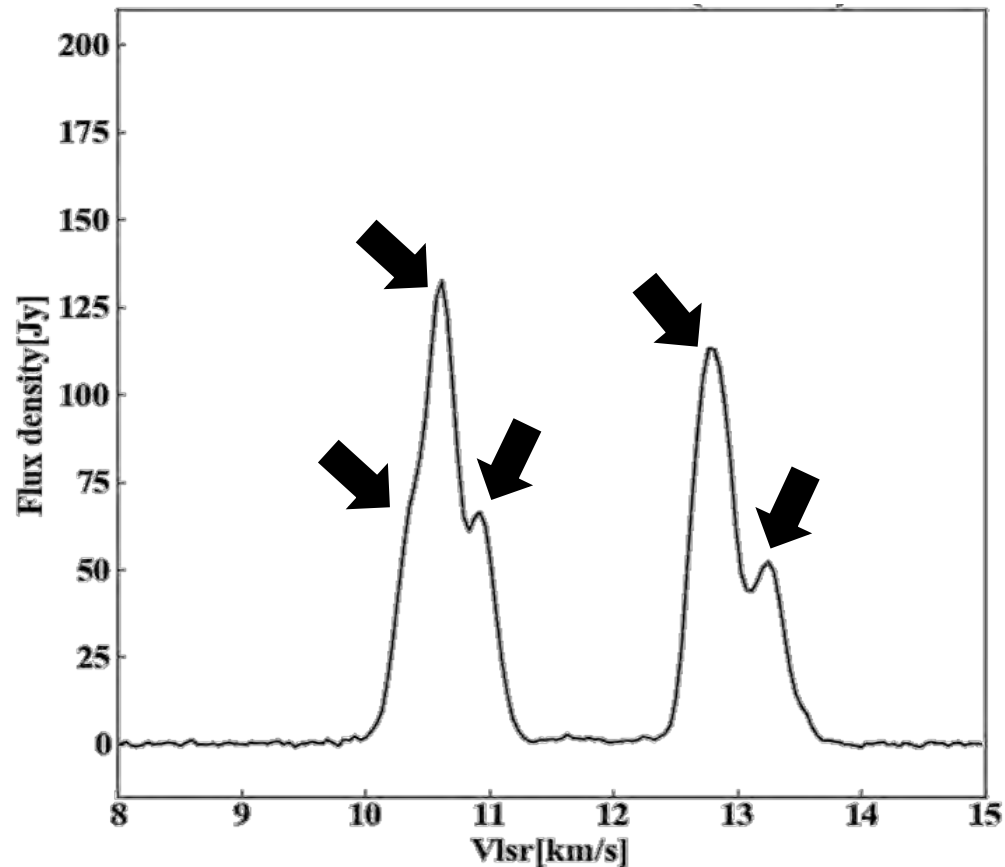
成分分離

- 類似性を数値化

相関係数

- 時間差を考慮した類似性

相関関数



方法

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！

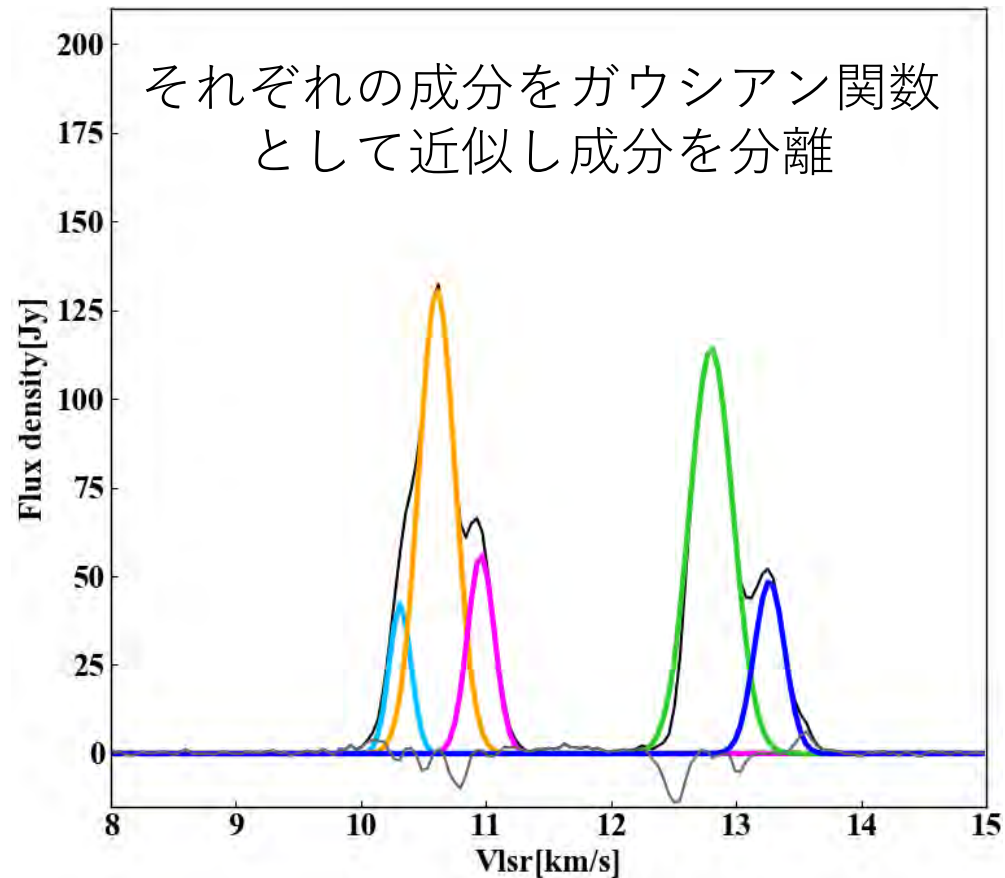


- 各成分を独立させて考える

成分分離

- 類似性を数値化
相関係数

- 時間差を考慮した類似性
相関関数



方法

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！



- 各成分を独立させて考える

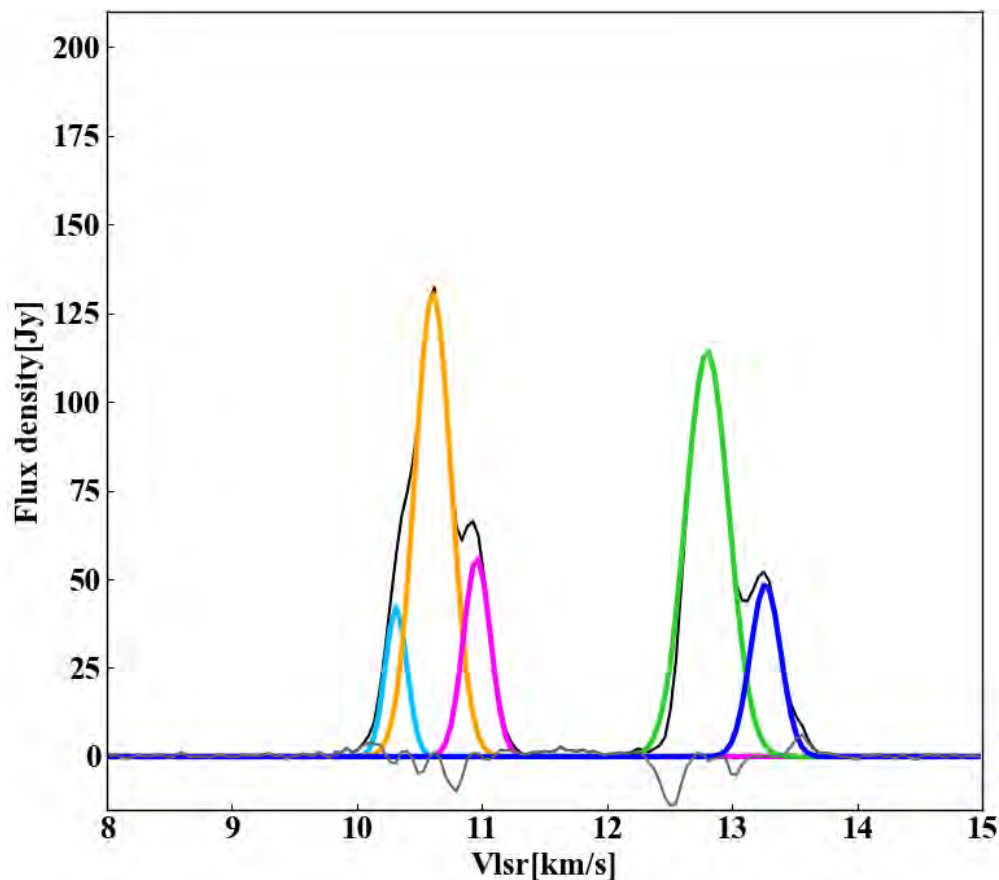
成分分離

- 類似性を数値化

相関係数

- 時間差を考慮した類似性

相関関数



方法

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

n データの総数
 x_i, y_i 2つの変数データ
 \bar{x}, \bar{y} x, y の平均値

相関の判断基準

$$1 \geq r \geq 0.8$$

強い相関あり

$$0.8 > r \geq 0.5$$

相関あり

$$0.5 > r \geq -0.5$$

相関なし

$$-0.5 > r \geq -0.8$$

逆相関あり

$$-0.8 > r \geq -1$$

強い逆相関あり

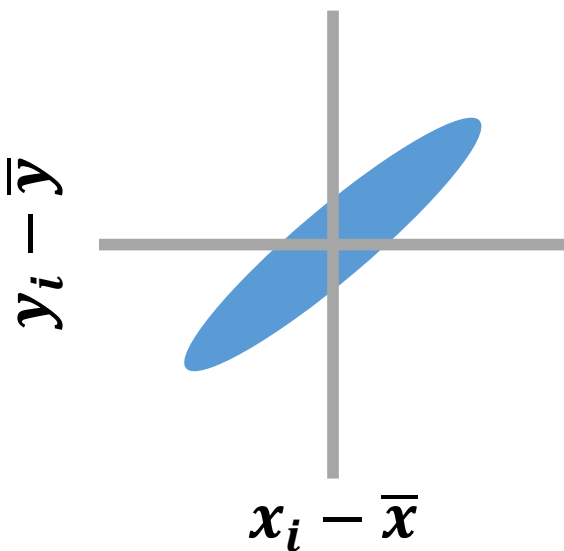
方法

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

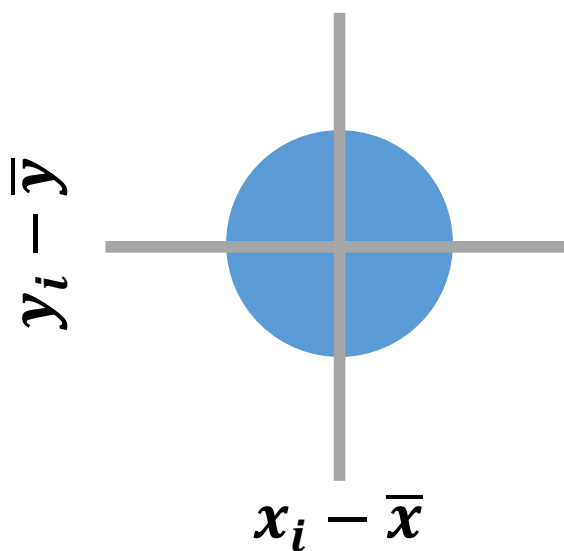
n データの総数
 x_i, y_i 2つの変数データ
 \bar{x}, \bar{y} x, y の平均値

～散布図～

相関あり



相関なし



方法

スペクトル上の成分の強度変動の振る舞いの**類似性**に着目！



- 各成分を独立させて考える

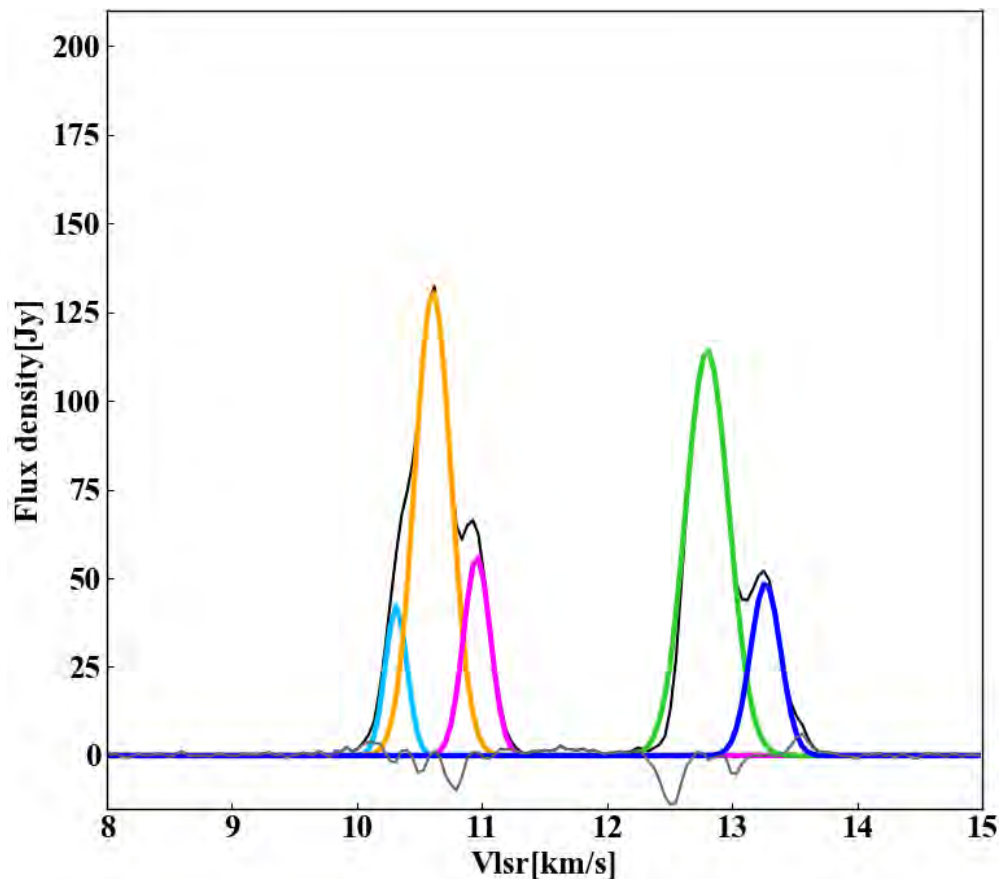
成分分離

- 類似性を数値化

相関係数

- 時間差を考慮した類似性

相関関数



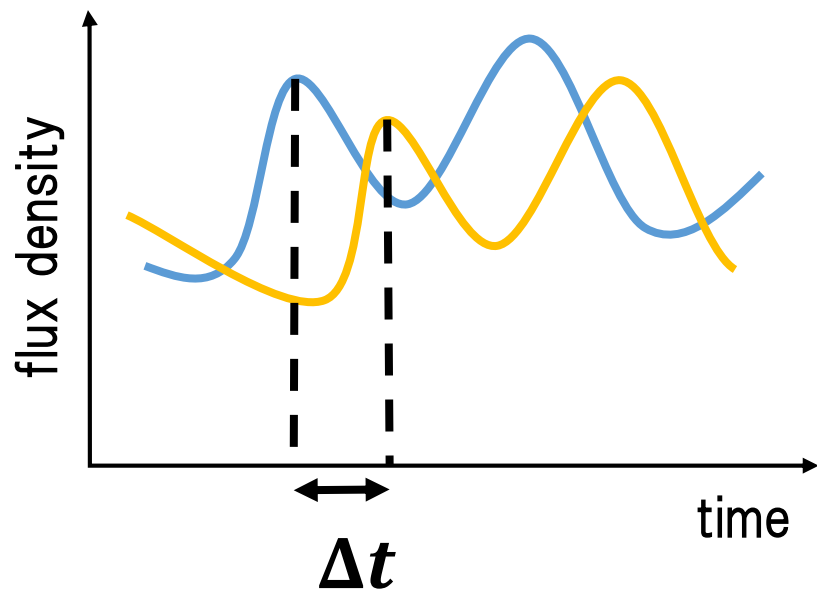
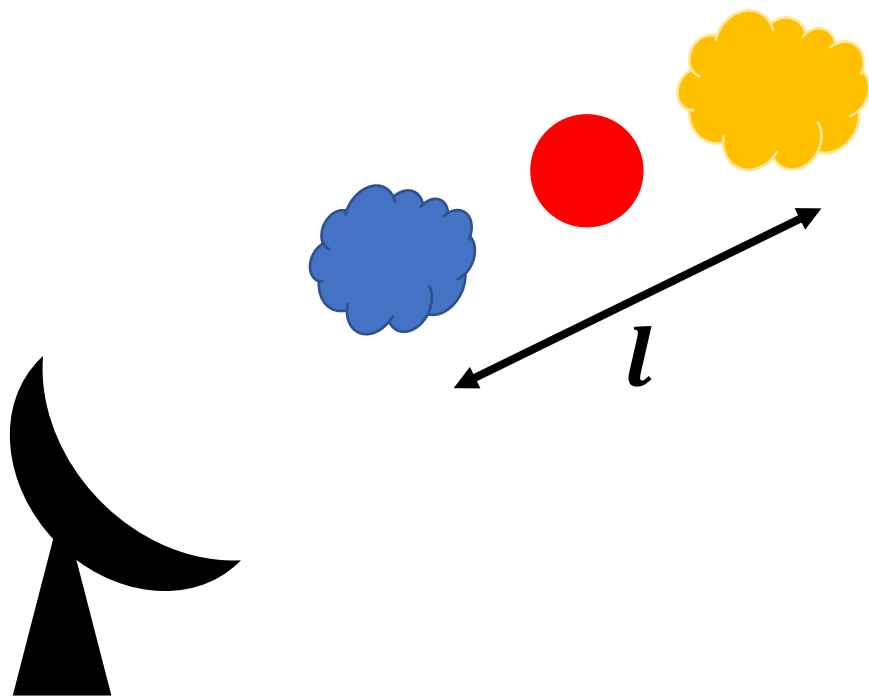
方法

- ・ 同一励起源
- ・ 奥行方向に l 離れている



$$\Delta t = l / c$$

の遅延を持ち相関がある



方法

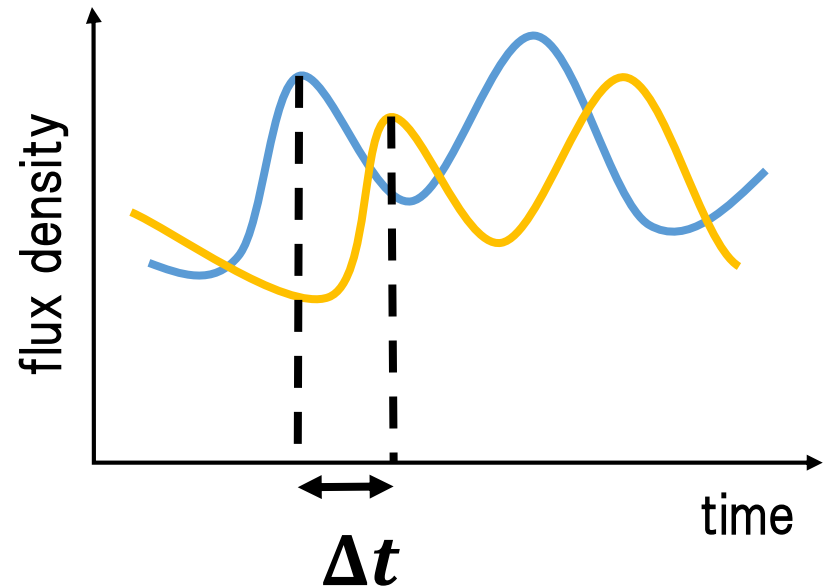
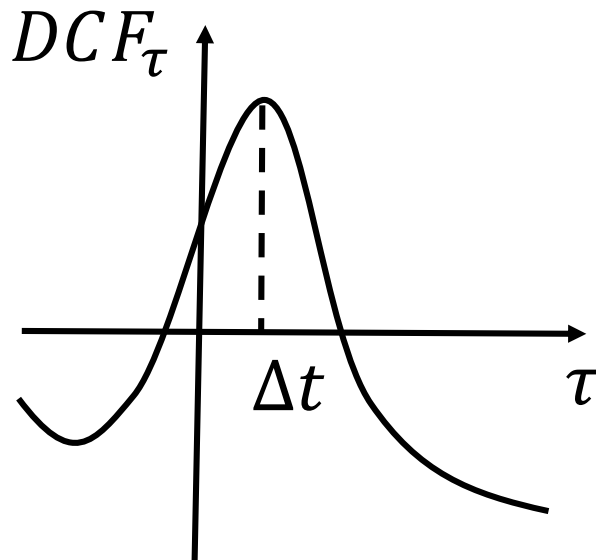
離散的相関関数(Discrete Correlation Function)

$$UDCF_{ij} = \frac{(a_i - \bar{a})(b_j - \bar{b})}{\sigma_a \sigma_b}$$

$$DCF_{(\tau)} = \frac{1}{M} \sum UDCF_{ij}$$

a_i, b_i 各成分のデータ
 \bar{a}, \bar{b} 各成分の平均値
 σ_a, σ_b 各成分の標準偏差
 M データの個数
 $\tau = t_i - t_j$

R.A.Edelson and J.H.Hrolik 1998



方法

強度変動の多様なパターンを知りたい → 複数天体

日立局で観測している6.7GHzメタノールレーザーのうち条件に合う天体を選出

①長期モニタリング観測を行っている
(2013~2019年にかけて250回以上)

②SNRが80以上のピークが3つ以上

選出した16天体

G9.62+0.20

G30.76-0.05

G35.20-0.74

G59.78+0.10

NGC7538

G12.68-0.18

G32.04+0.10

G35.20-1.74

W75N

S252

G13.66-0.60

G33.641-0.23

W51

Cep A

S255

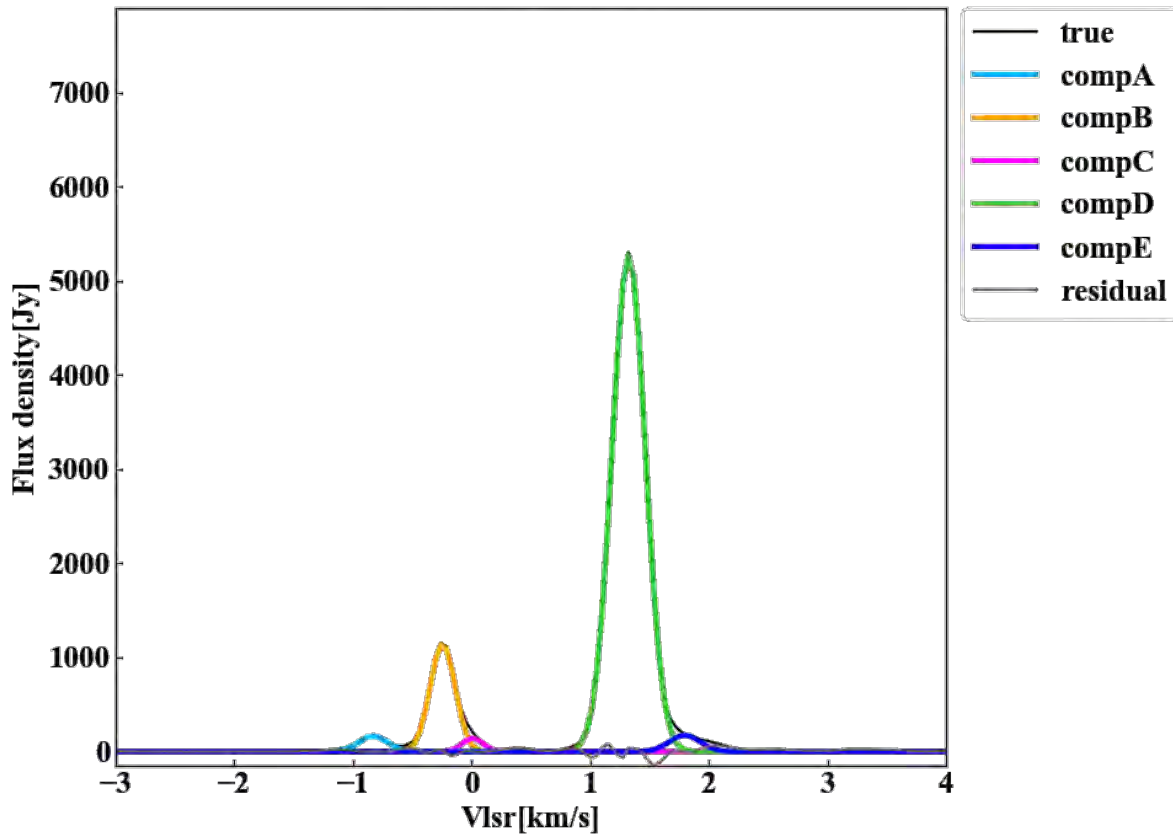
Mon R2

- 研究目的
- 解析手法
- 結果
- 考察 & 今後

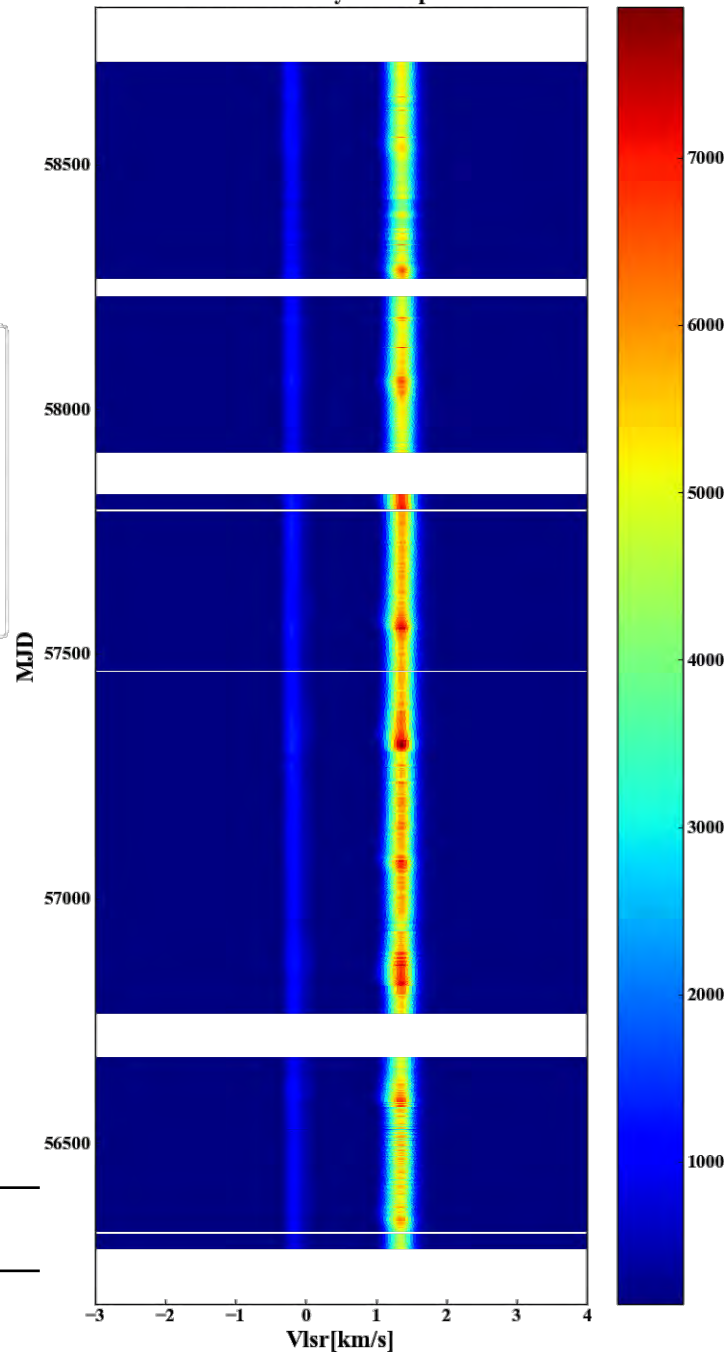


結果 (G9.62+0.20)

58701 G9.621+0.196



G9.621+0.196 Dynamic spectrum



天体名

RA(h m s)

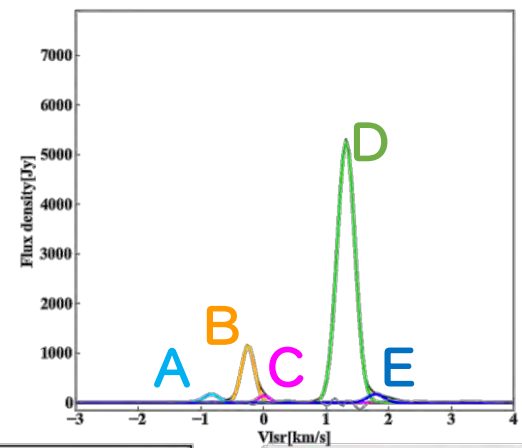
Dec(d m s)

G9.62+0.20

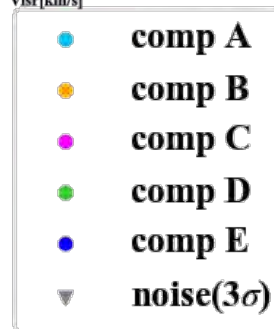
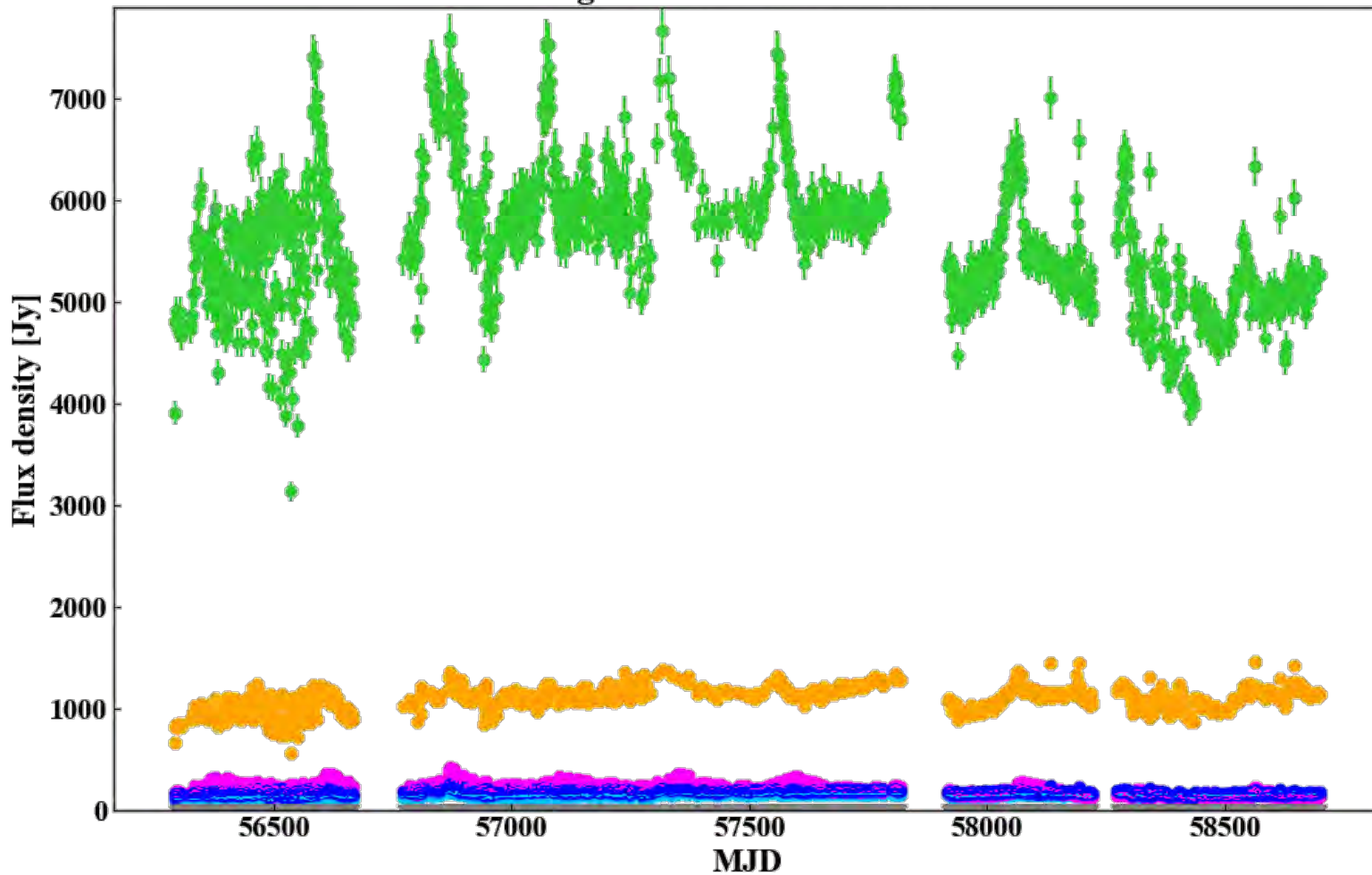
18h06m14.7s

-20d31m32s

結果 (G9.62+0.20)

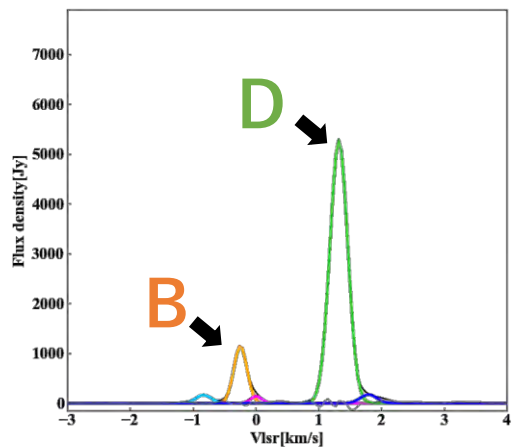


Light curve G9.621+0.196

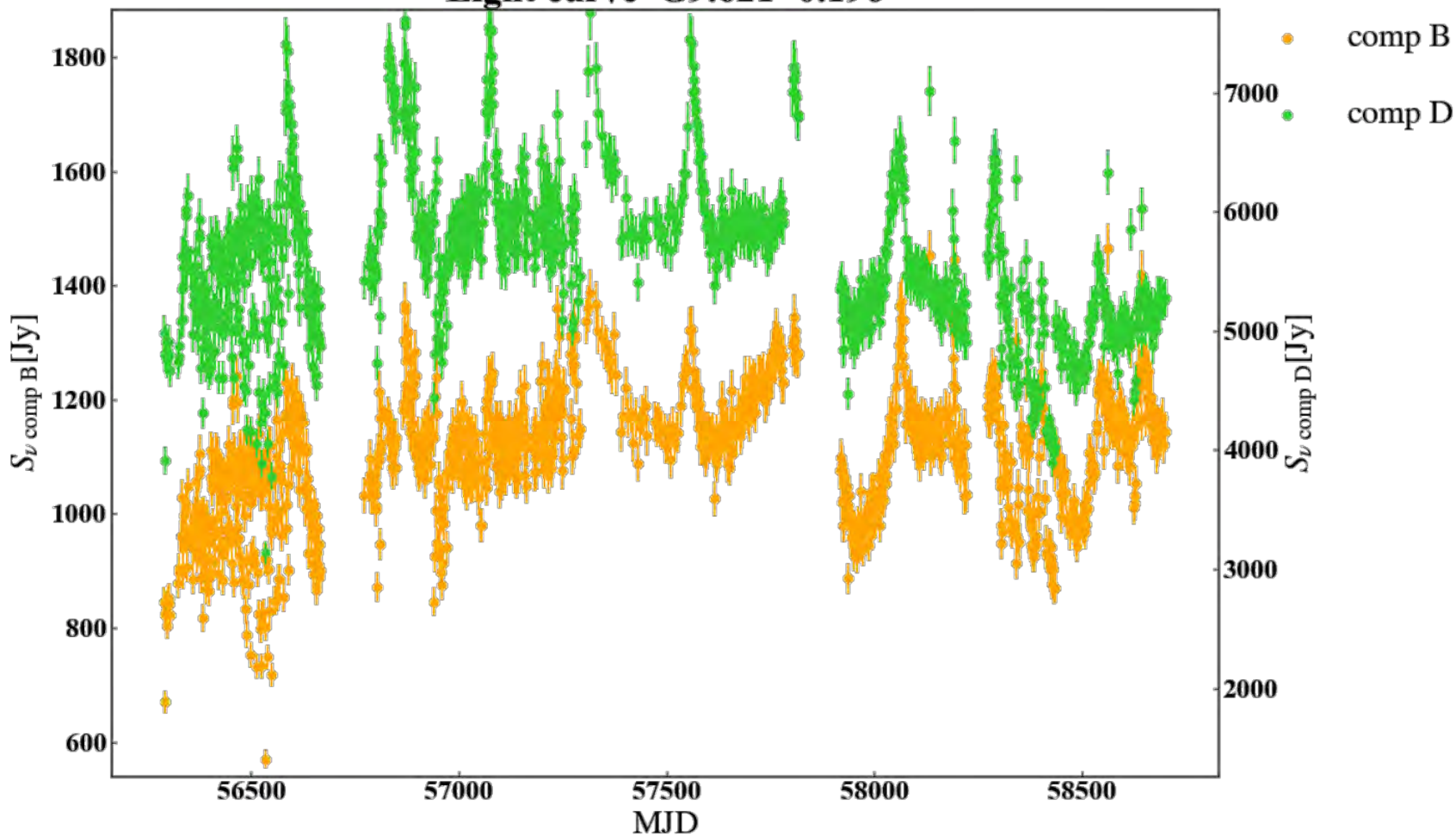


結果 (G9.62+0.20)

B - D

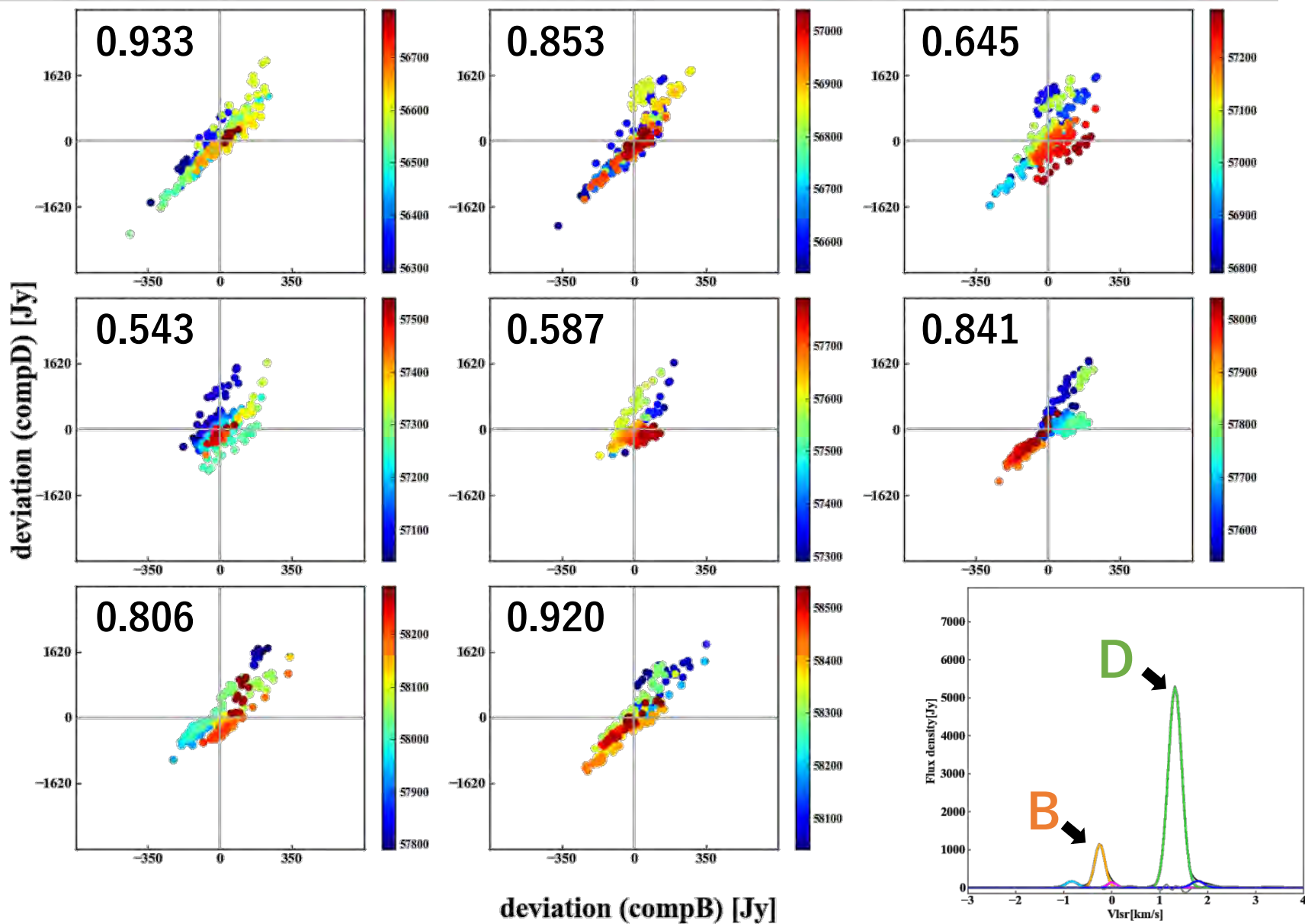


Light curve G9.621+0.196



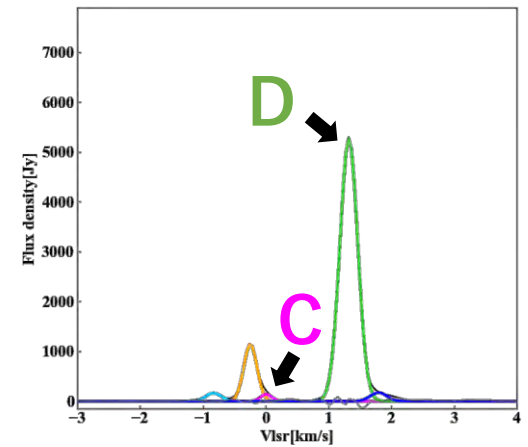
結果 (G9.62+0.20)

B - D

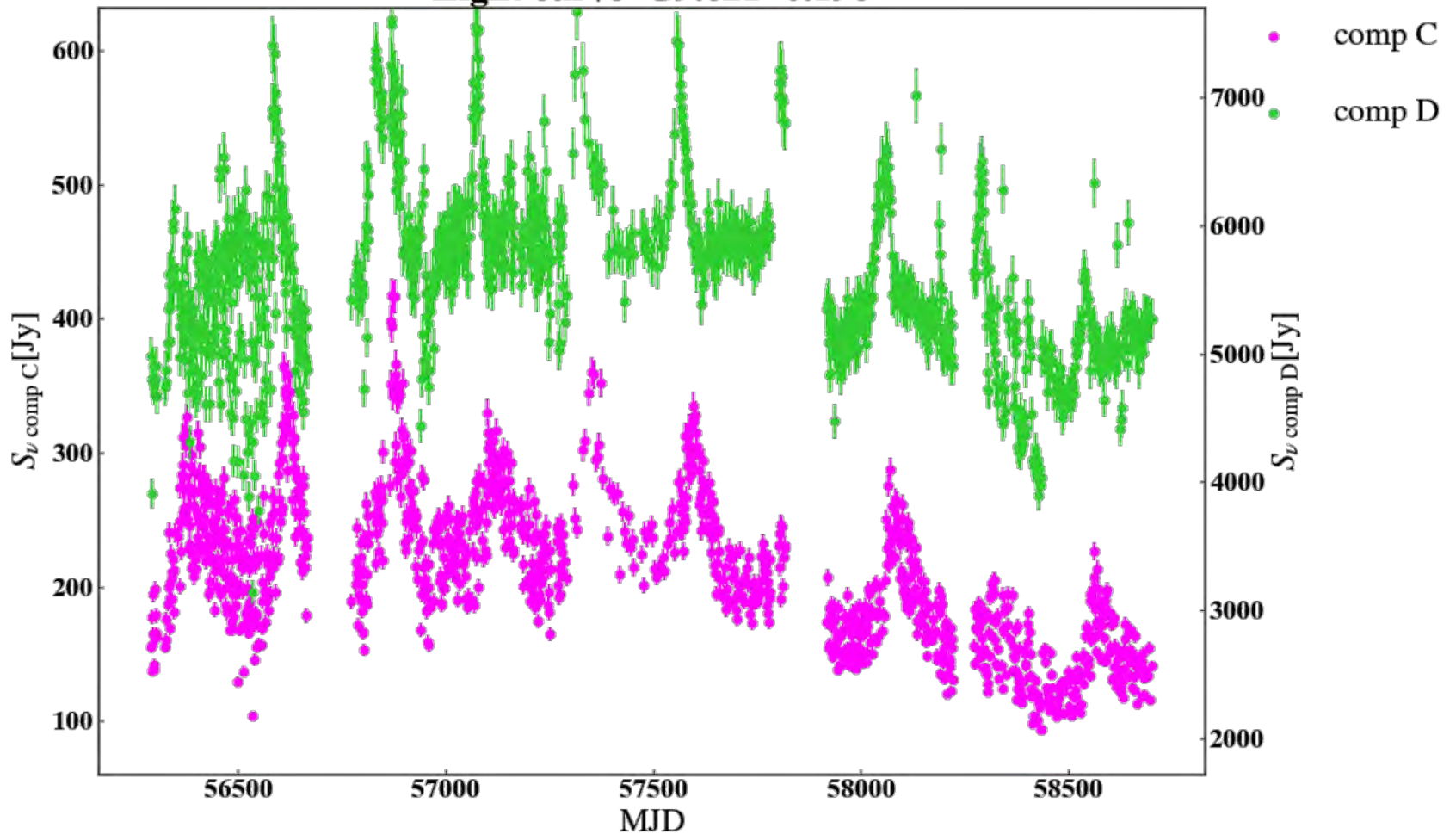


結果 (G9.62+0.20)

C - D

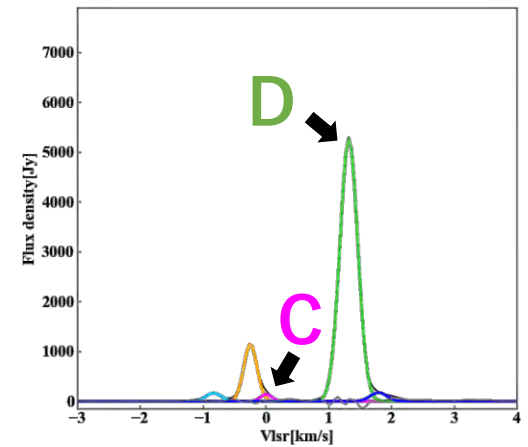


Light curve G9.621+0.196

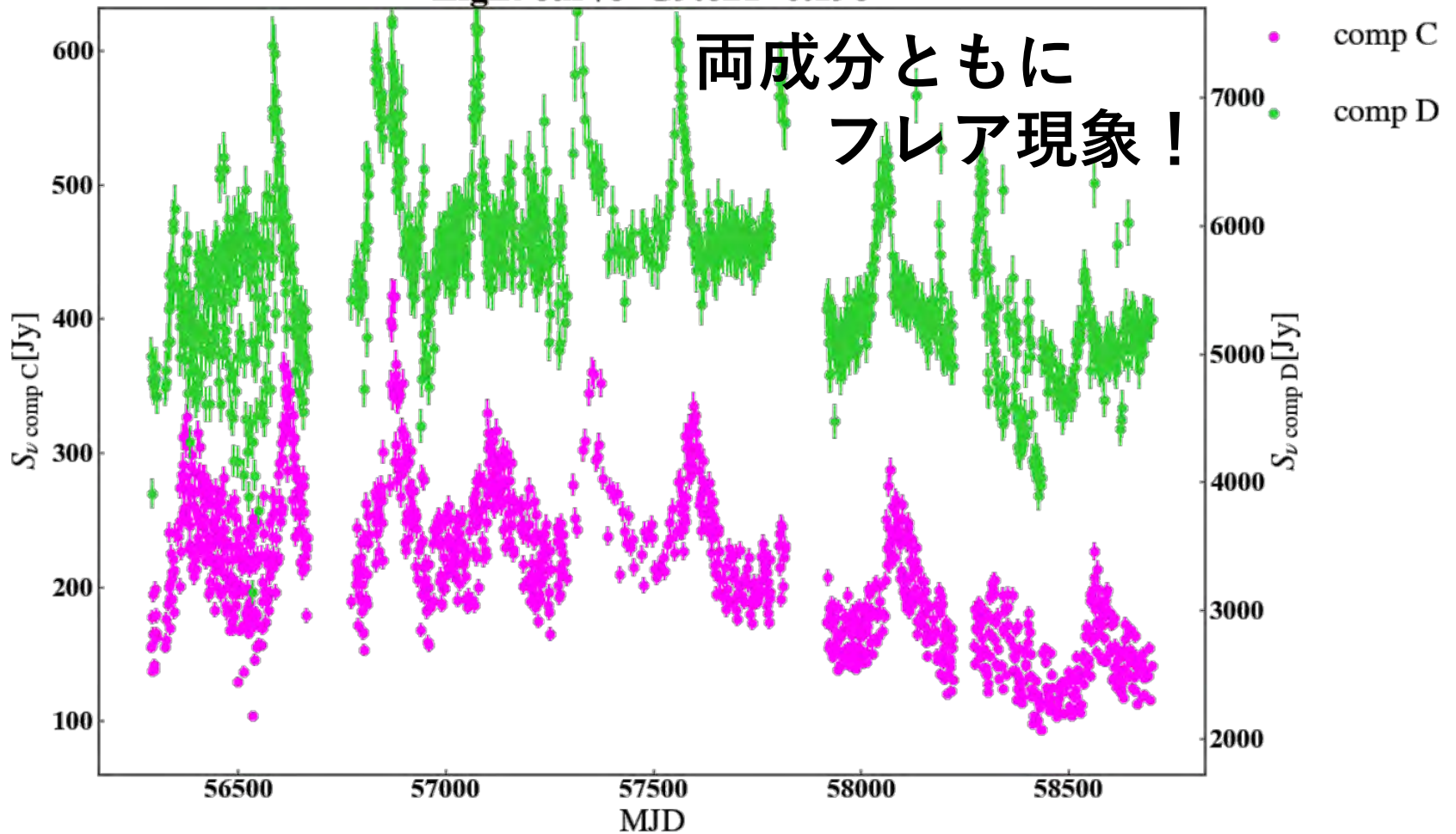


結果 (G9.62+0.20)

C - D

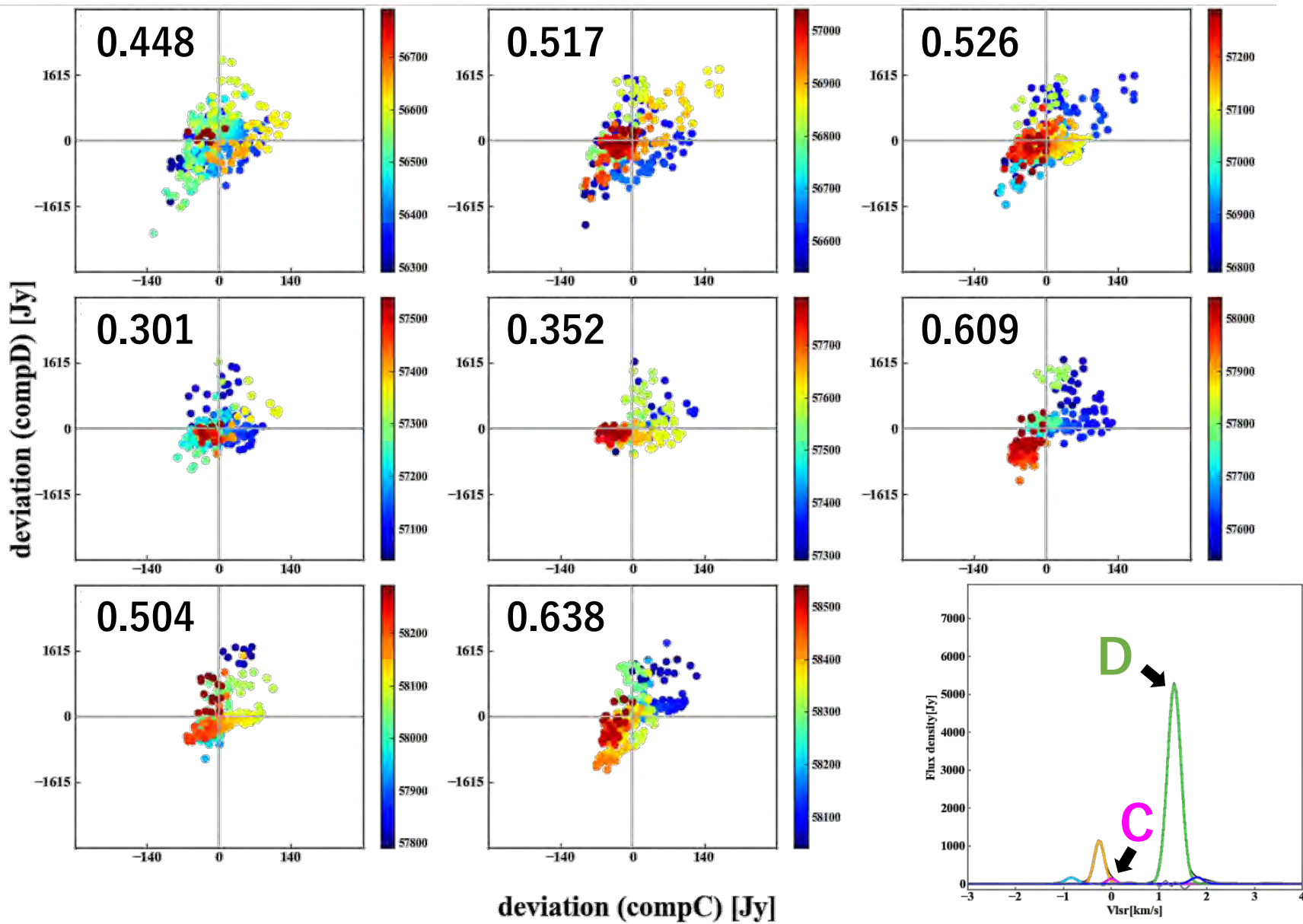


Light curve G9.621+0.196



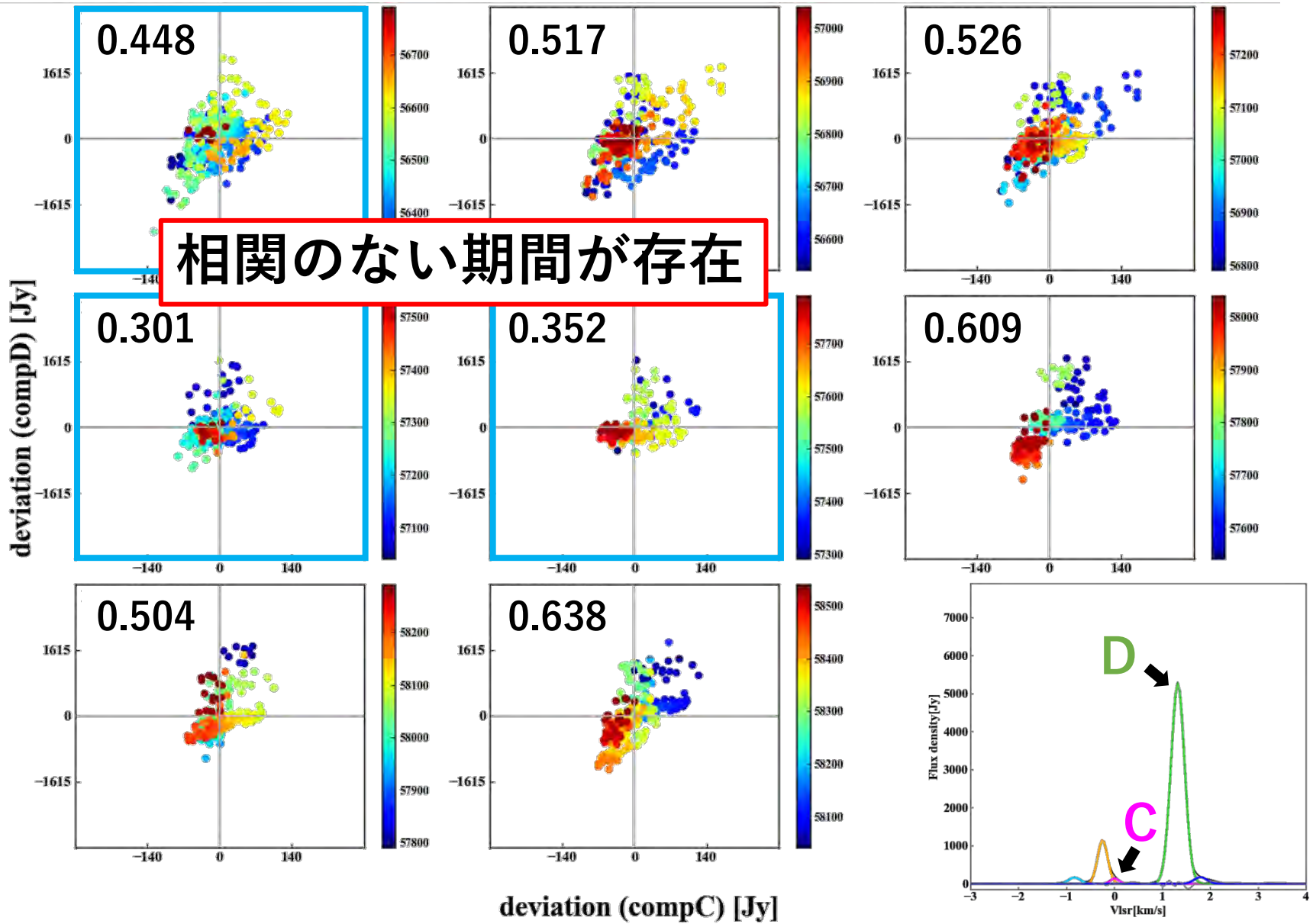
結果 (G9.62+0.20)

C - D



結果 (G9.62+0.20)

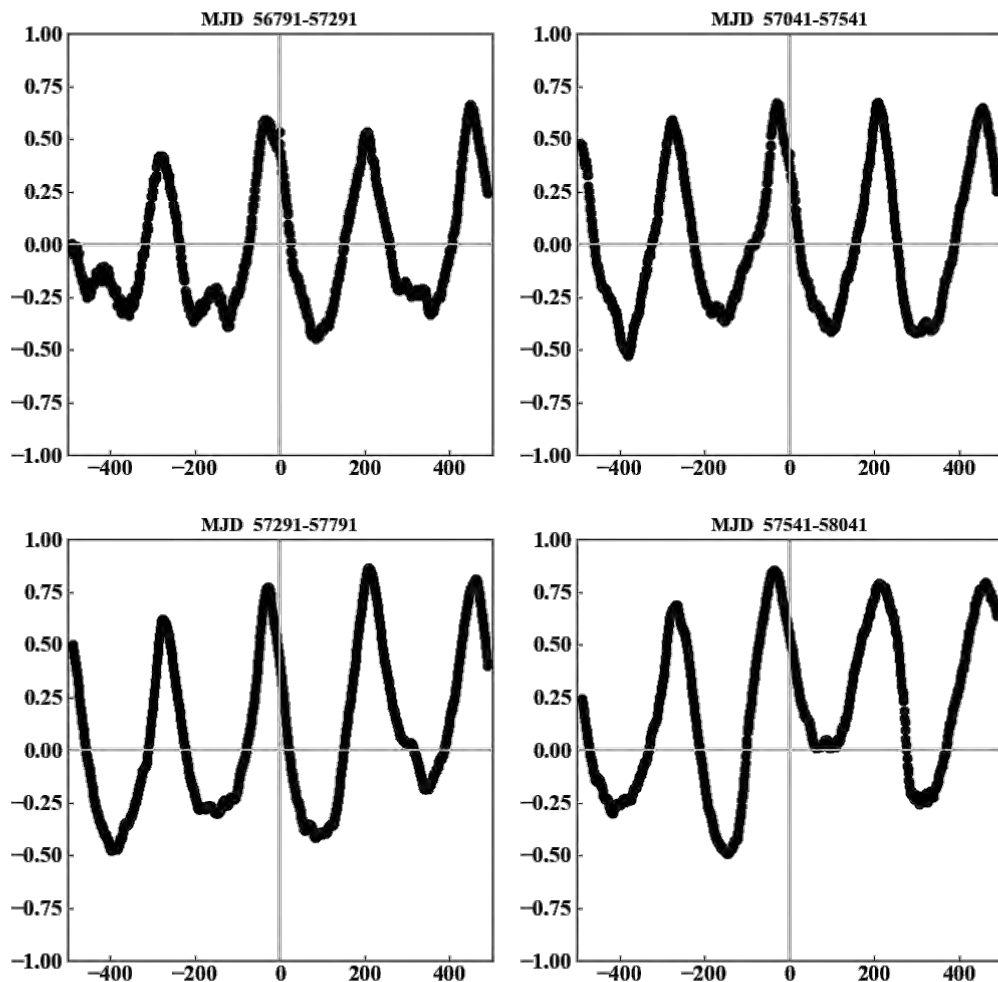
C - D



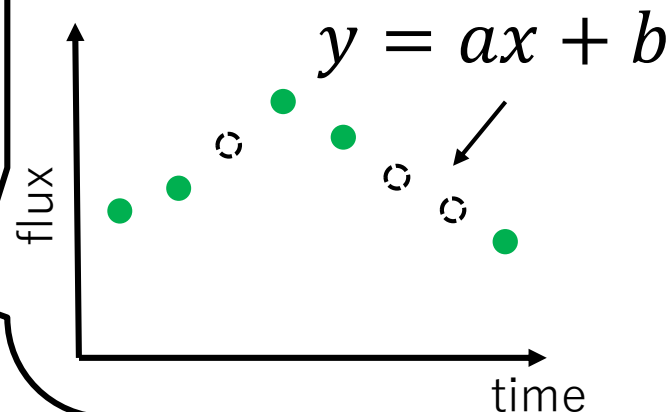
結果 (G9.62+0.20)

DCF (C-D)

Discrete Correlation Function G9.621+0.196 compC-compD



前後2点からない部分を補完して計算

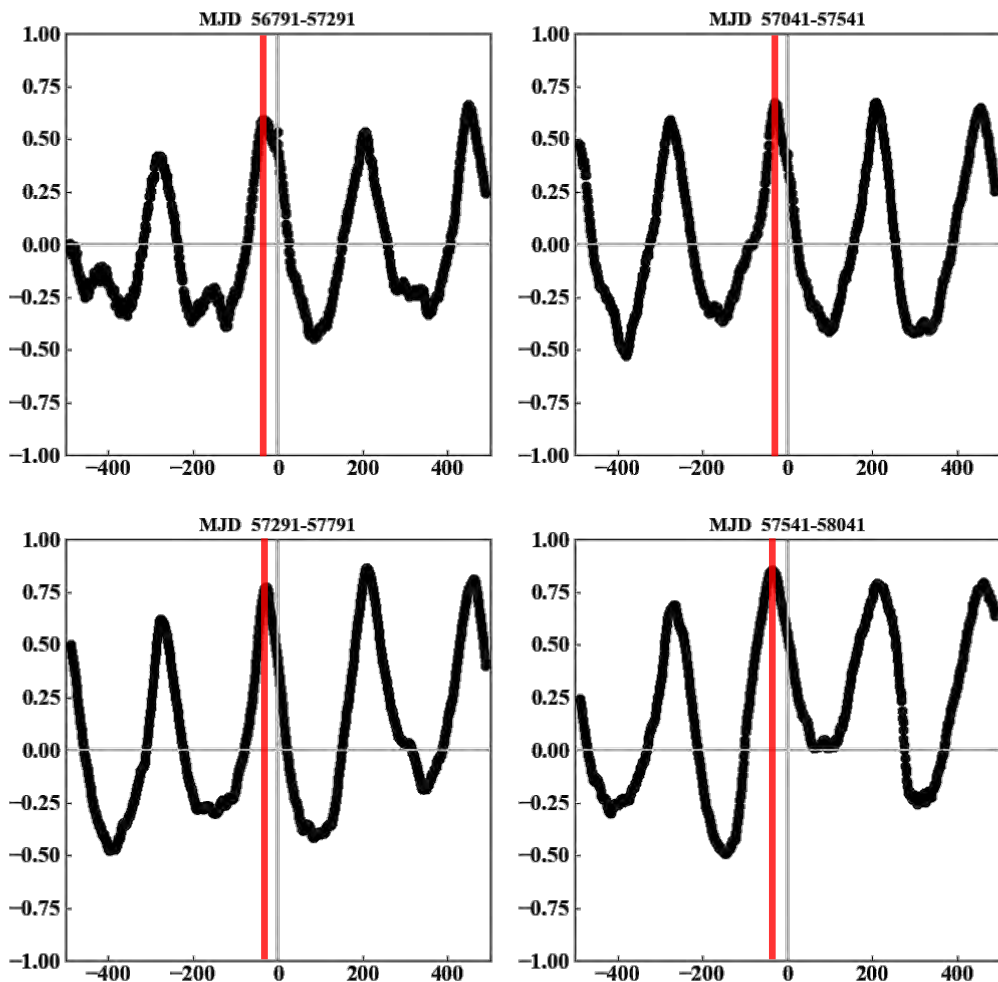


τ

結果 (G9.62+0.20)

DCF (C-D)

Discrete Correlation Function G9.621+0.196 compC-compD



約30日の遅延時間を
伴って相関している

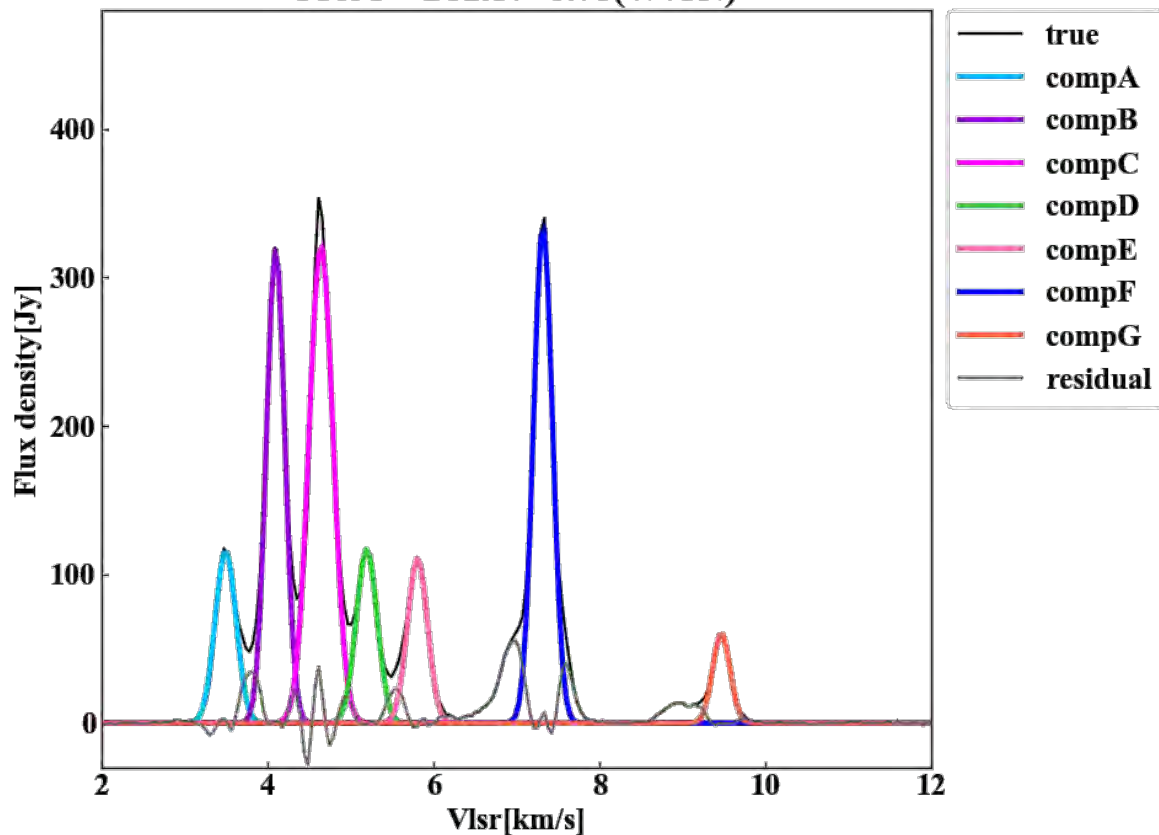
30days \times light speed
~5000AU

期間(MJD)	τ (correlation)
56791-57291	-35 (0.588)
57041-77541	-29 (0.673)
57291-57791	-29 (0.773)
57541-58041	-30 (0.838)

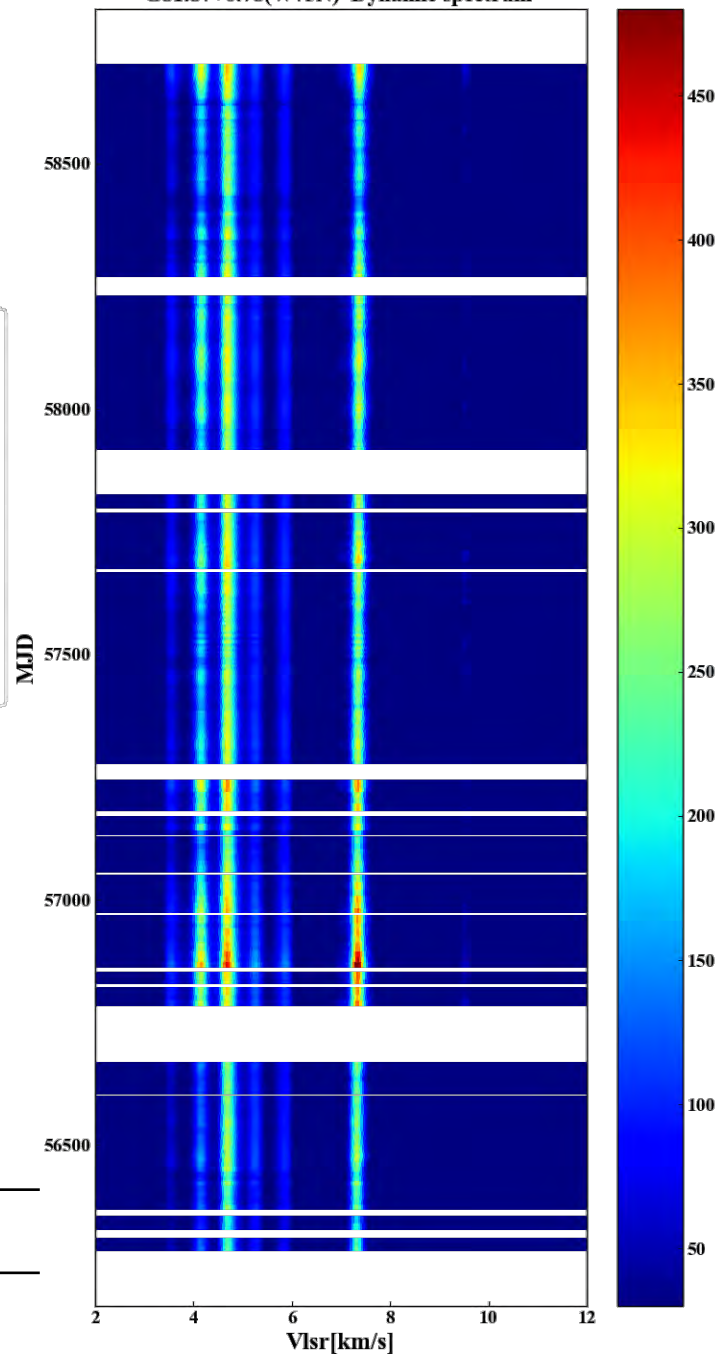
τ

結果 (W75N)

58695 G81.87+0.78(W75N)



G81.87+0.78(W75N) Dynamic spectrum



天体名

RA(h m s)

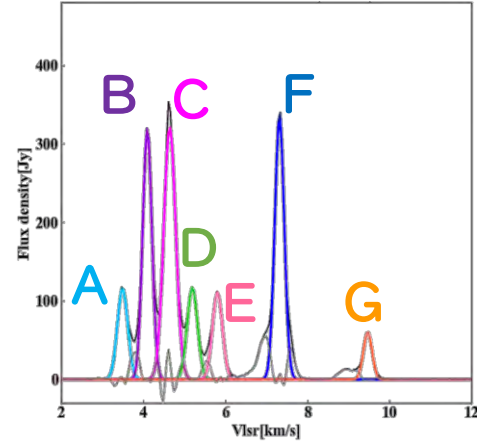
Dec(d m s)

W75N

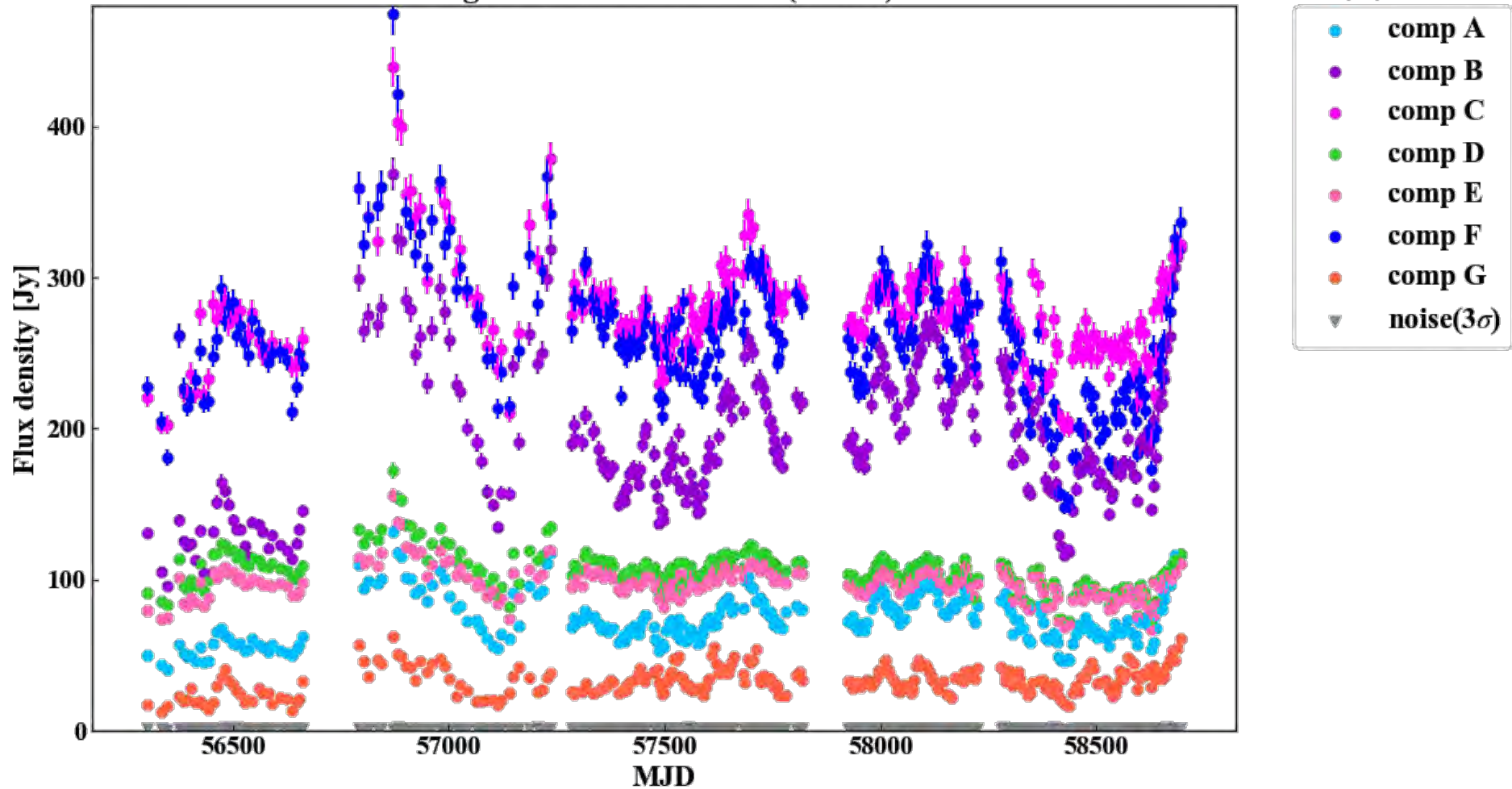
20h38m36.8s

42d37m59s

結果 (W75N)

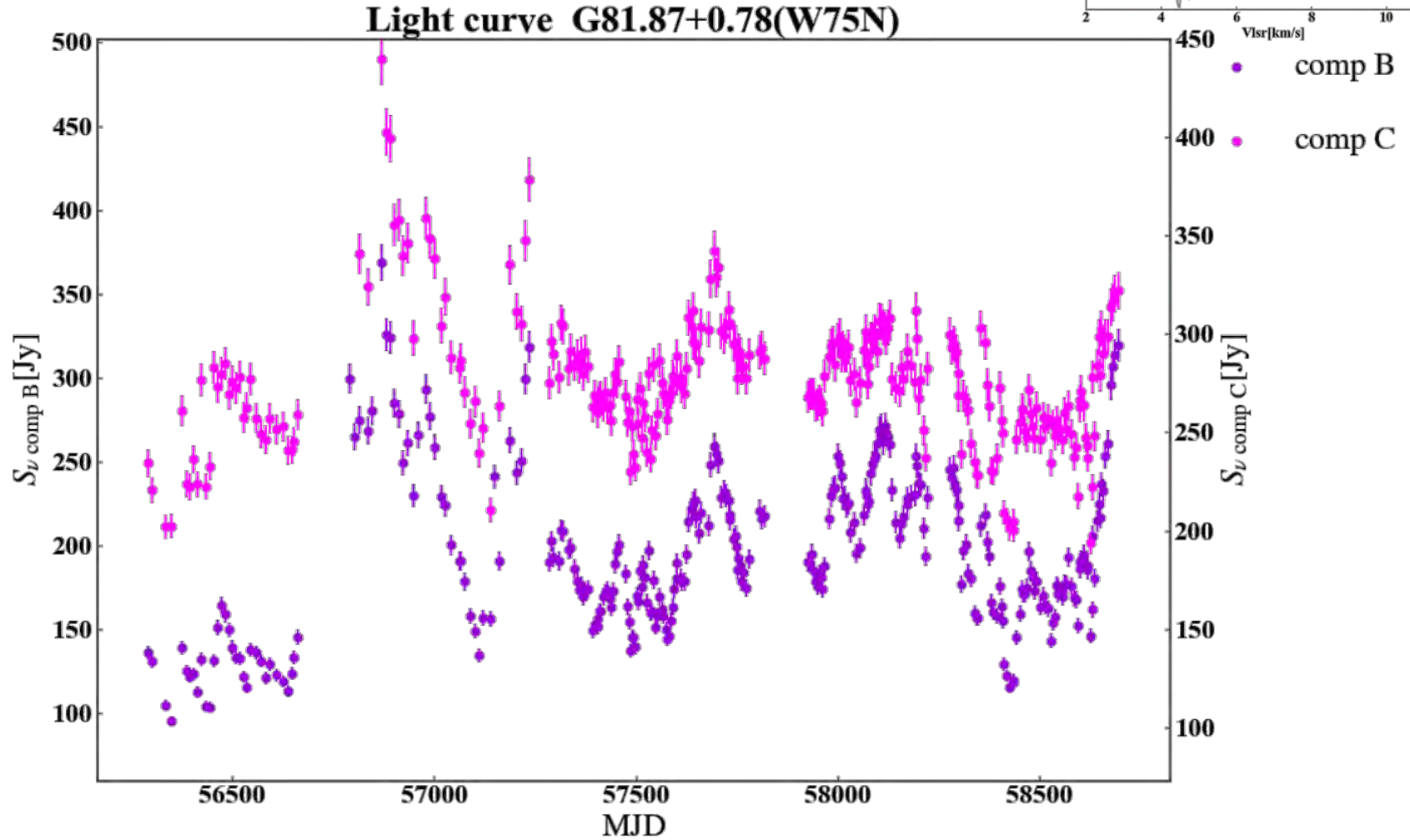
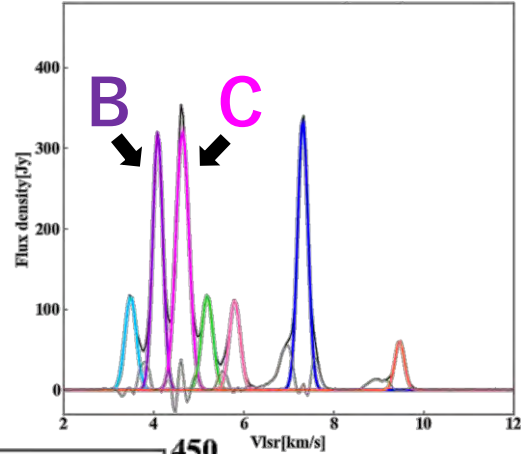


Light curve G81.87+0.78(W75N)



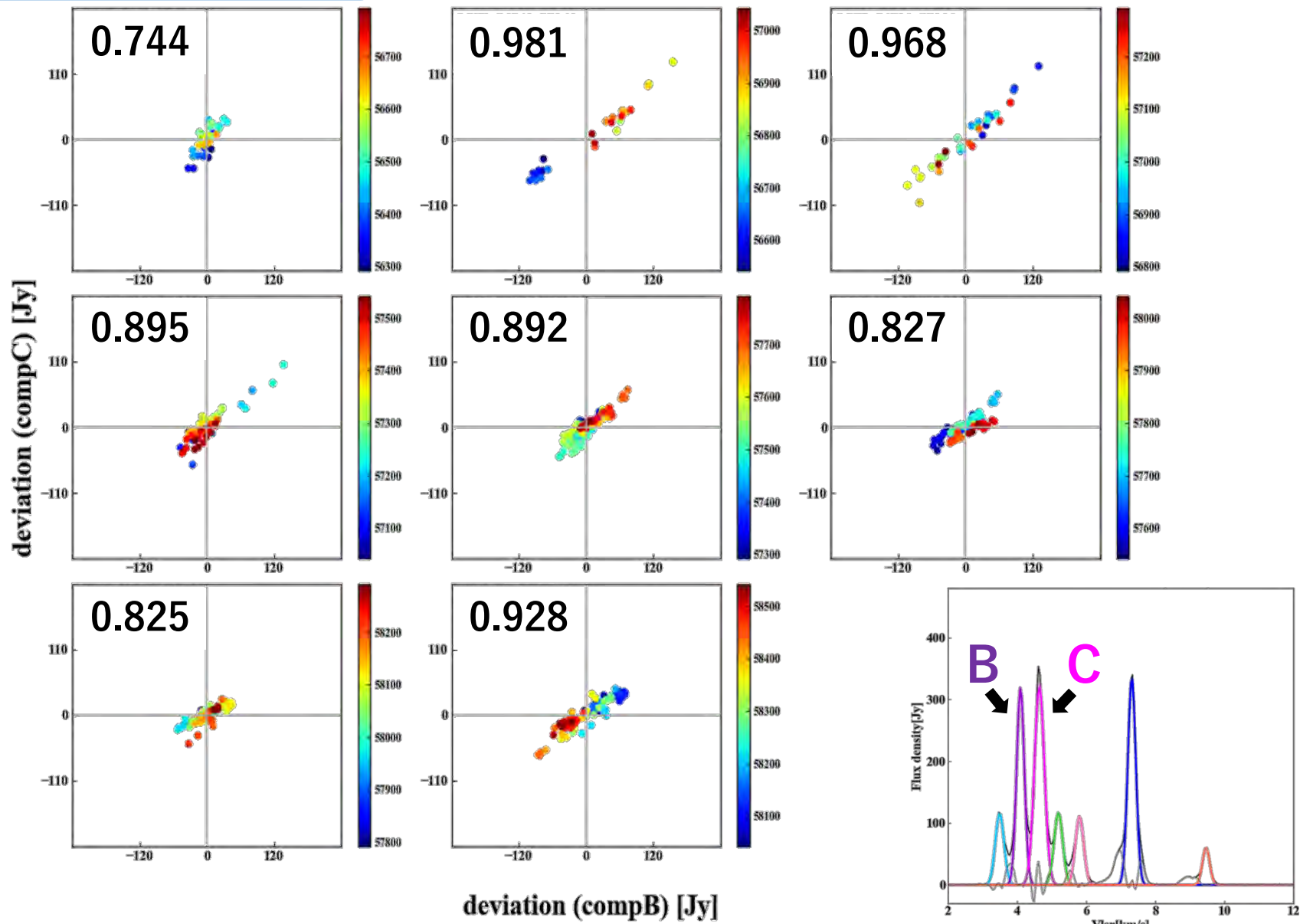
結果 (W75N)

B - C



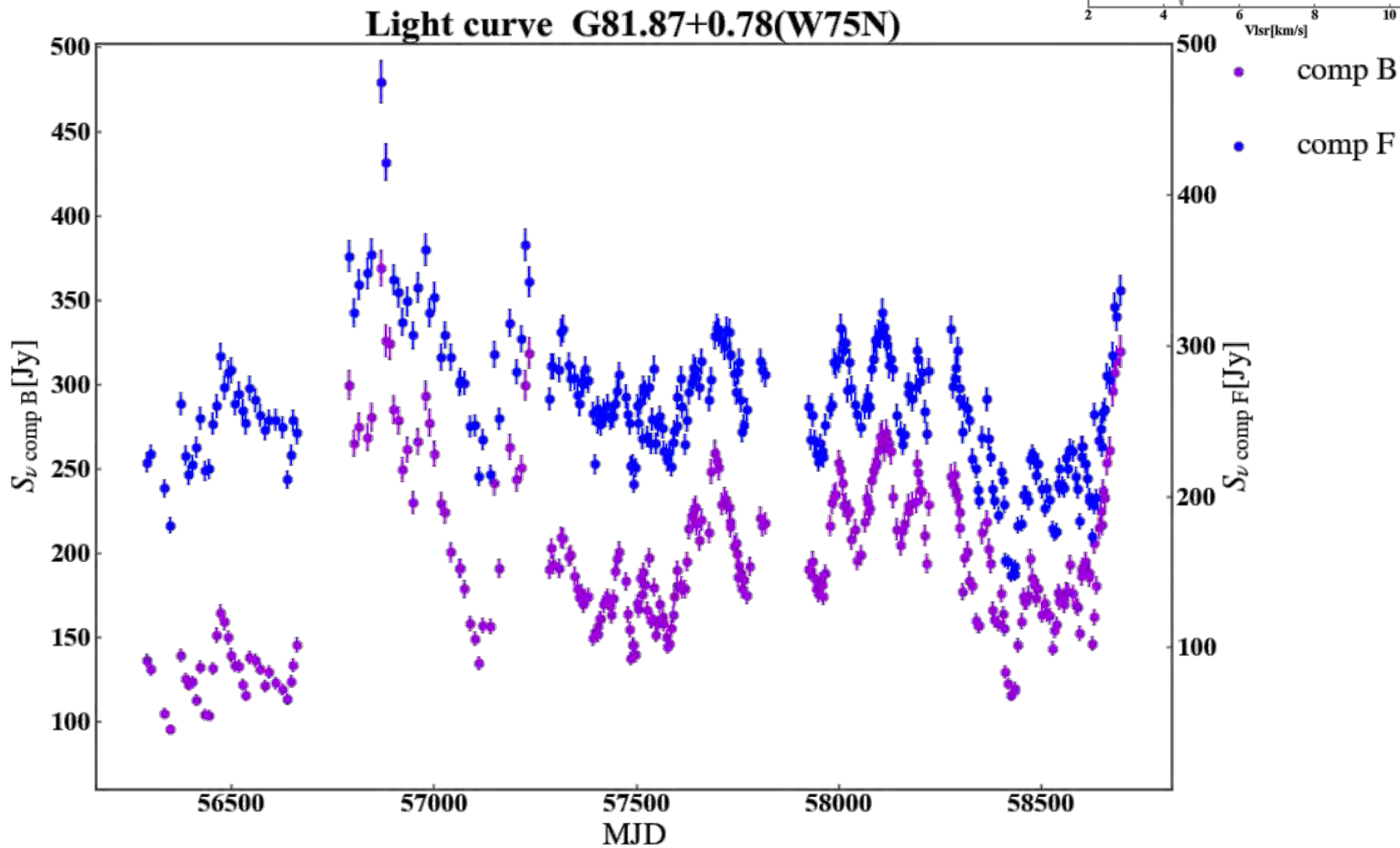
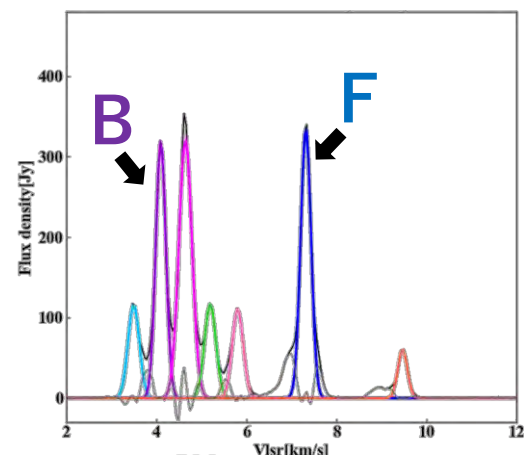
結果 (W75N)

B - C



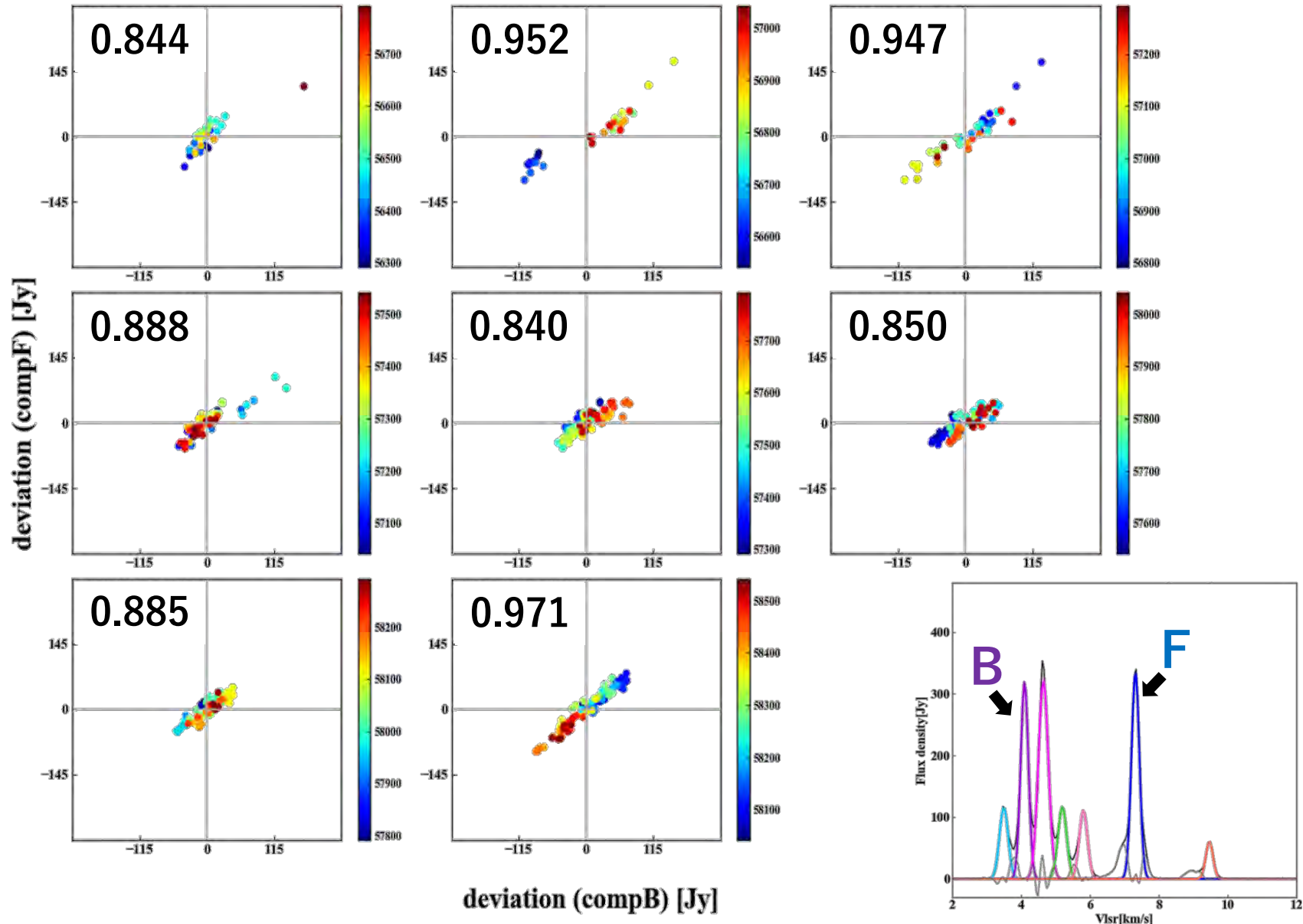
結果 (W75N)

B - F



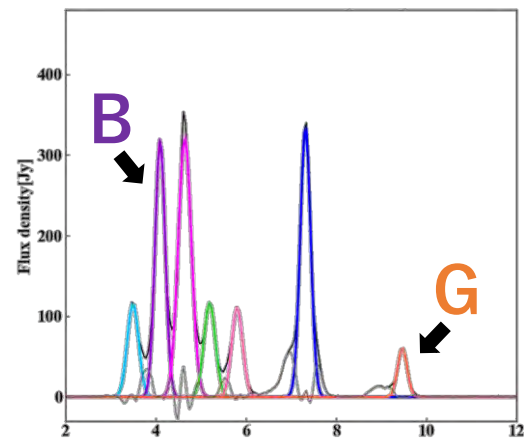
結果 (W75N)

B - F

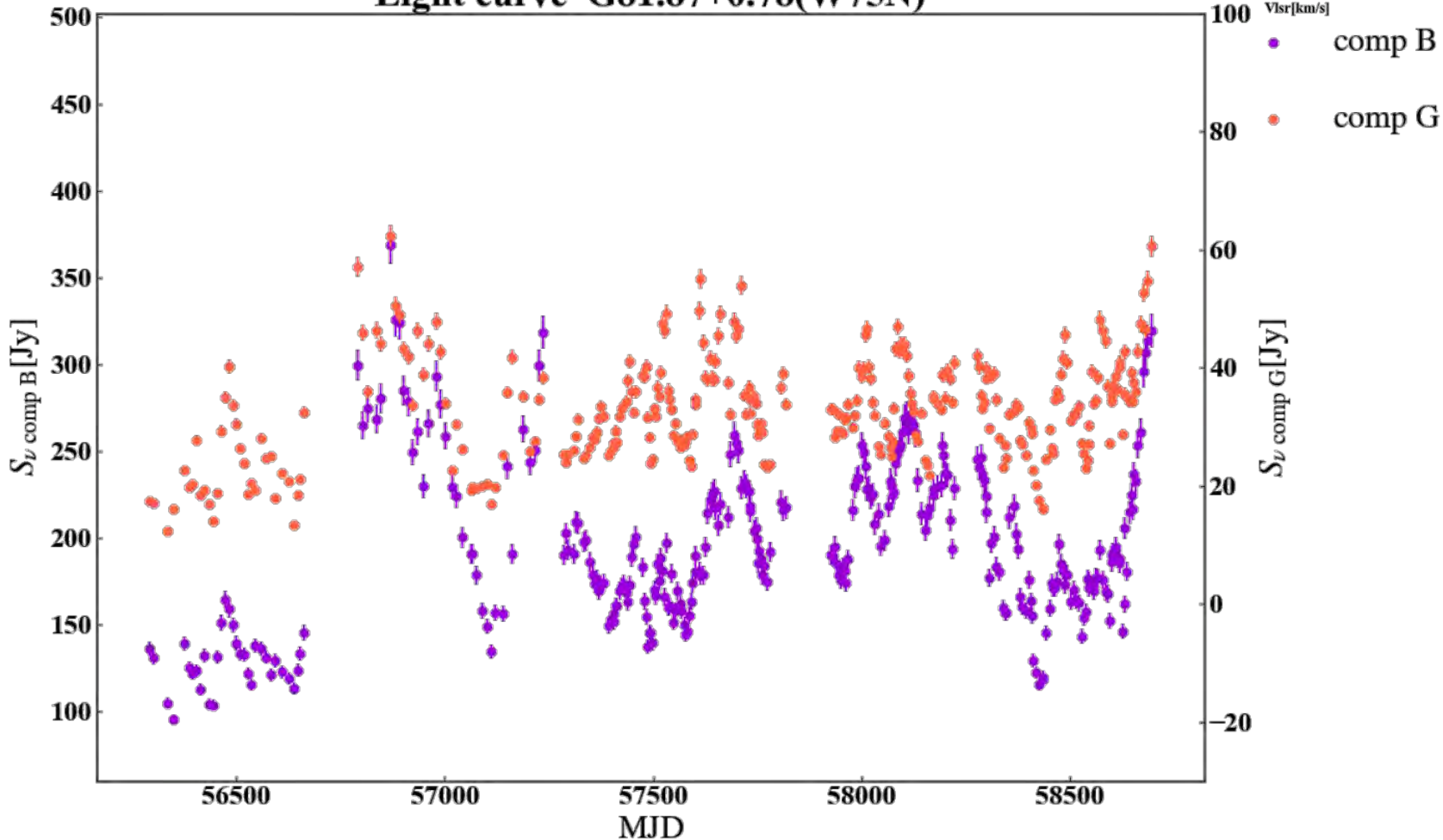


結果 (W75N)

B - G

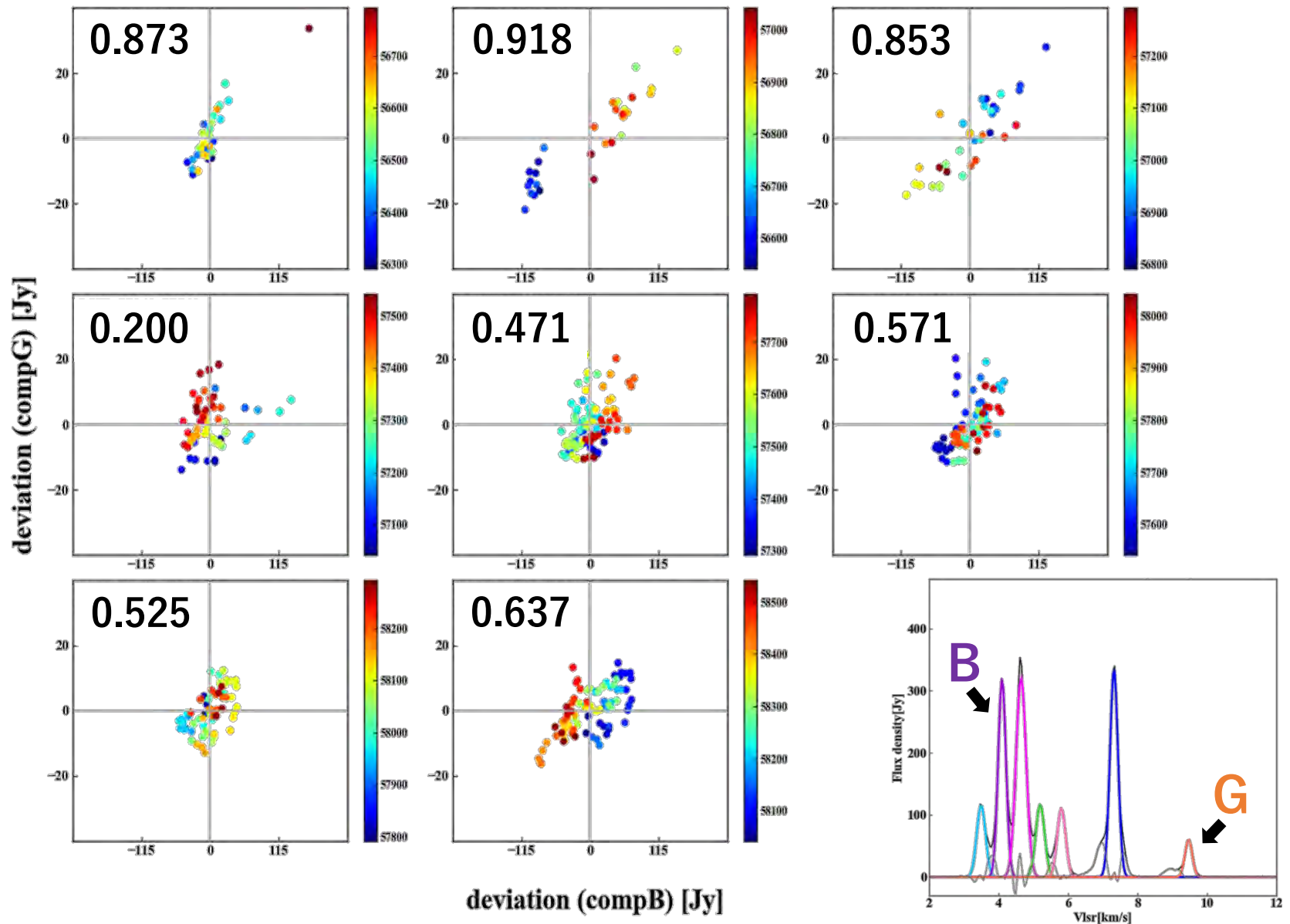


Light curve G81.87+0.78(W75N)



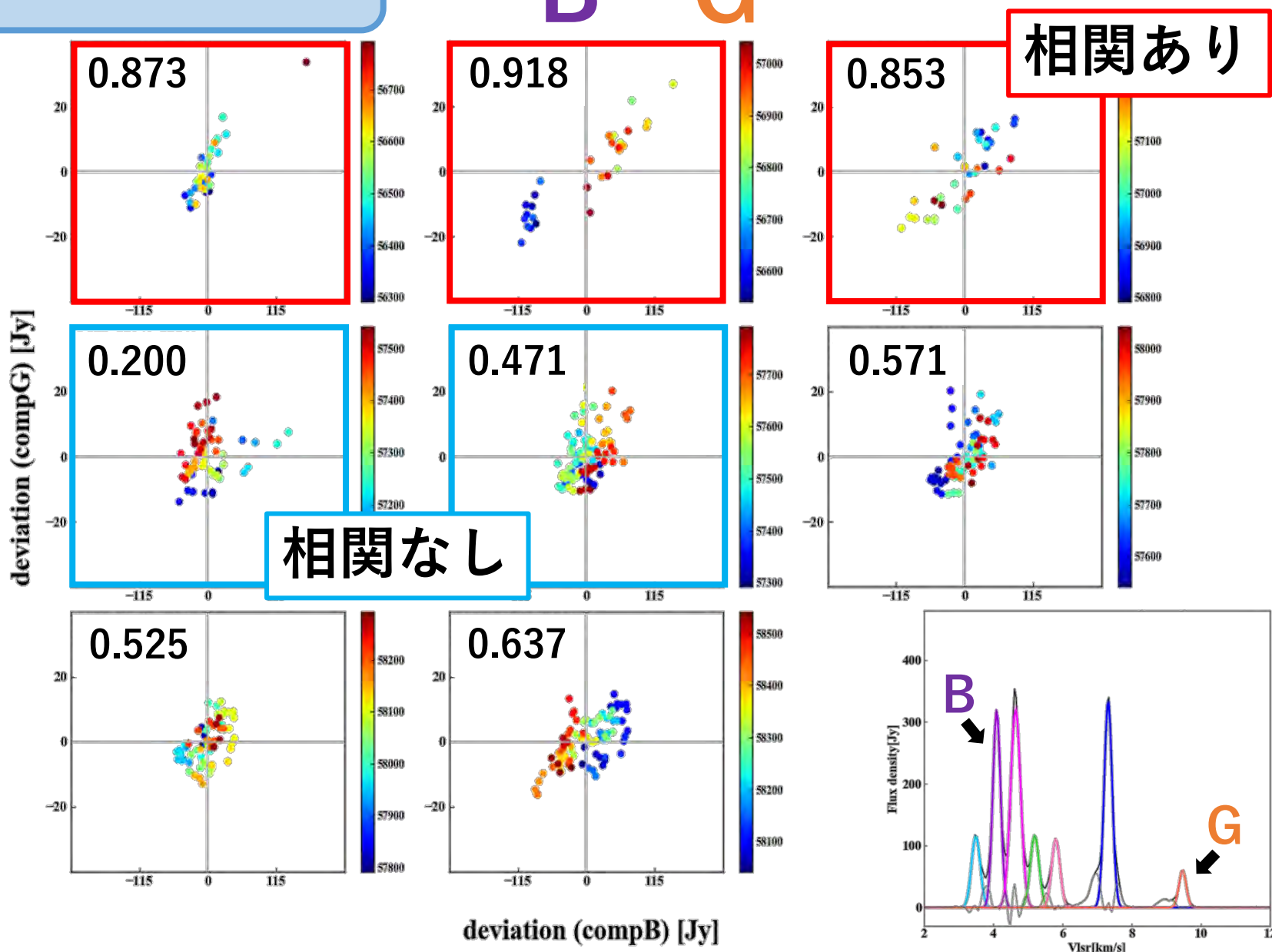
結果 (W75N)

B - G



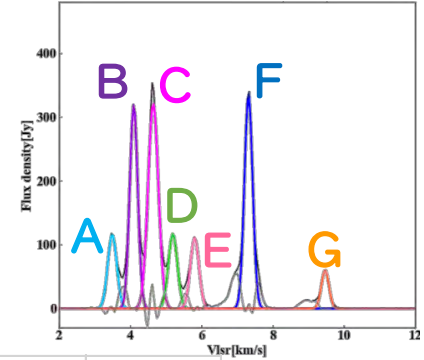
結果 (W75N)

B - G



結果 (W75N)

$|r| \geq 0.8$
 $0.8 > r \geq 0.5$
 $0.5 > r \geq -0.5$



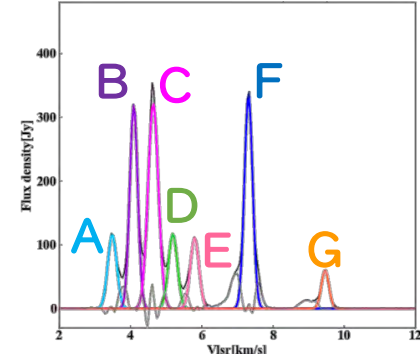
各成分ごとの相関係数(500日間 250日間隔)

period(MJD)	A-B	A-C	B-C	A-D	B-D	C-D	A-E	B-E	C-E	D-E
56292-56792	0.982	0.861	0.744	0.776	0.691	0.970	0.731	0.639	0.967	0.991
56542-57042	0.997	0.985	0.981	0.921	0.903	0.962	0.910	0.898	0.966	0.994
56792-57292	0.995	0.959	0.968	0.944	0.954	0.987	0.921	0.933	0.982	0.996
57042-57542	0.992	0.890	0.895	0.852	0.853	0.954	0.768	0.769	0.914	0.981
57292-57792	0.983	0.893	0.892	0.864	0.882	0.937	0.798	0.823	0.915	0.975
57542-58042	0.978	0.855	0.827	0.779	0.753	0.897	0.692	0.689	0.853	0.973
57792-58292	0.982	0.817	0.825	0.804	0.807	0.908	0.759	0.788	0.885	0.957
58042-58542	0.992	0.937	0.928	0.959	0.957	0.983	0.924	0.927	0.974	0.986

period(MJD)	A-F	B-F	C-F	D-F	E-F	A-G	B-G	C-G	D-G	E-G	F-G
56292-56792	0.886	0.844	0.881	0.920	0.888	0.869	0.873	0.620	0.754	0.722	0.823
56542-57042	0.963	0.952	0.970	0.967	0.958	0.931	0.918	0.910	0.869	0.850	0.906
56792-57292	0.936	0.947	0.958	0.979	0.971	0.844	0.858	0.832	0.837	0.812	0.837
57042-57542	0.875	0.888	0.916	0.936	0.890	0.202	0.200	0.043	0.185	0.205	0.137
57292-57792	0.782	0.840	0.803	0.878	0.831	0.447	0.471	0.255	0.383	0.352	0.362
57542-58042	0.812	0.850	0.798	0.870	0.854	0.557	0.571	0.480	0.628	0.588	0.584
57792-58292	0.857	0.885	0.778	0.885	0.871	0.504	0.525	0.431	0.612	0.599	0.703
58042-58542	0.948	0.971	0.885	0.931	0.914	0.625	0.637	0.603	0.669	0.696	0.680

結果 (W75N)

$|r| \geq 0.8$
 $0.8 > |r| \geq 0.5$
 $0.5 > |r| \geq -0.5$



各成分ごとの相関係数(500日間 250日間隔)

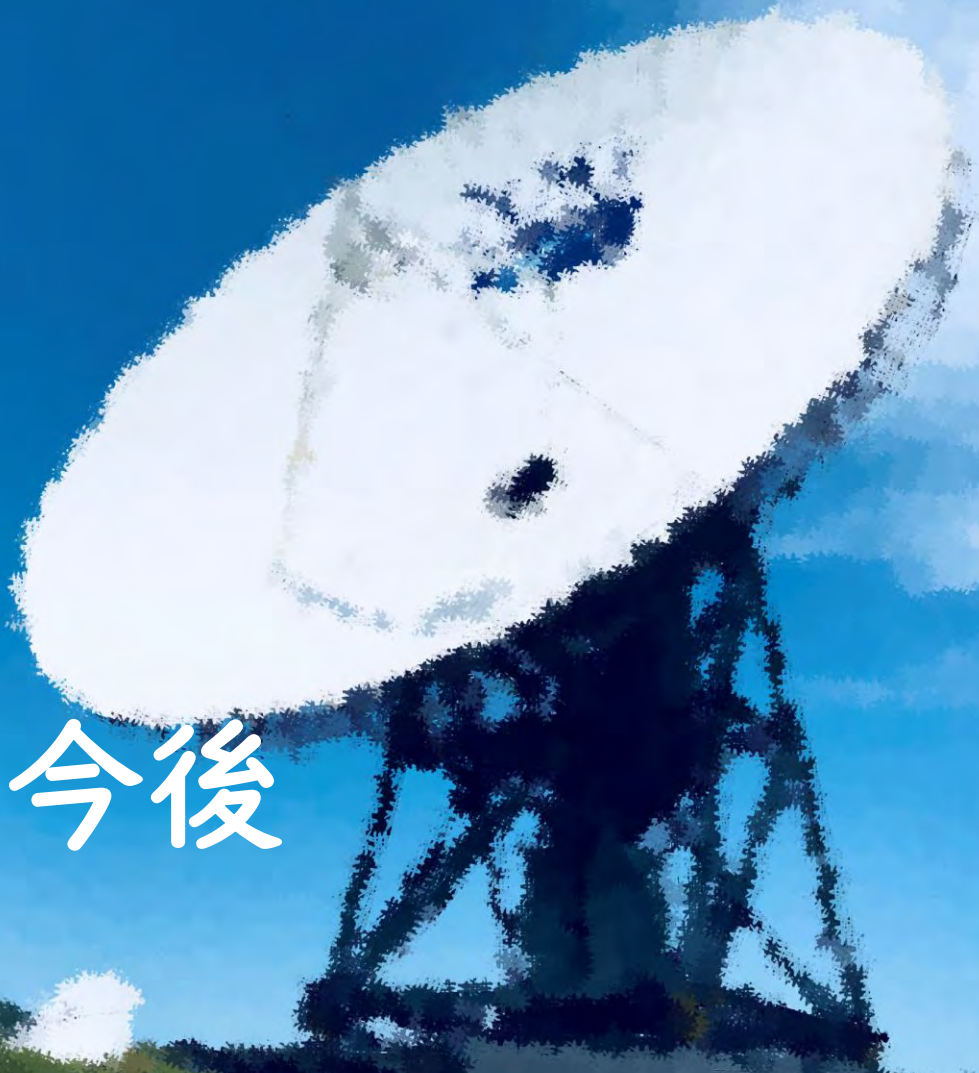
period(MJD)	A-B	A-C	B-C	A-D	B-D	C-D	A-E	B-E	C-E	D-E
56292-56792	0.982	0.861	0.744	0.776	0.691	0.970	0.731	0.639	0.967	0.991
56542-57042	0.997	0.985	0.981	0.921	0.903	0.962	0.910	0.898	0.966	0.994
56792-57292	0.995	0.959	0.968	0.944	0.954	0.987	0.921	0.933	0.982	0.996
57042-57542	0.992	0.952	0.982	0.952	0.938	0.974	0.769	0.769	0.914	0.981
57292-57792	0.983	0.893	0.892	0.864	0.882	0.937	0.798	0.823	0.915	0.975
57542-58042	0.978	0.855	0.827	0.779	0.753	0.907	0.692	0.689	0.853	0.973
57792-58292	0.982	0.817	0.825	0.804	0.807	0.927	0.759	0.788	0.885	0.957
58042-58542	0.992	0.937	0.928	0.959	0.957	0.924	0.924	0.927	0.974	0.986

相関関係が時間と共に変化



period(MJD)	A-F	B-F	C-F	D-F	E-F	A-G	B-G	C-G	D-G	E-G	F-G
56292-56792	0.886	0.844	0.881	0.920	0.888	0.869	0.873	0.620	0.754	0.722	0.823
56542-57042	0.963	0.952	0.970	0.967	0.958	0.931	0.918	0.910	0.869	0.850	0.906
56792-57292	0.936	0.947	0.958	0.979	0.971	0.844	0.858	0.832	0.837	0.812	0.837
57042-57542	0.875	0.888	0.916	0.936	0.890	0.202	0.200	0.043	0.185	0.205	0.137
57292-57792	0.782	0.840	0.803	0.878	0.831	0.447	0.471	0.255	0.383	0.352	0.362
57542-58042	0.812	0.850	0.798	0.870	0.854	0.557	0.571	0.480	0.628	0.588	0.584
57792-58292	0.857	0.885	0.778	0.885	0.871	0.504	0.525	0.431	0.612	0.599	0.703
58042-58542	0.948	0.971	0.885	0.931	0.914	0.625	0.637	0.603	0.669	0.696	0.680

- 研究目的
- 解析手法
- 結果
- 考察 & 今後



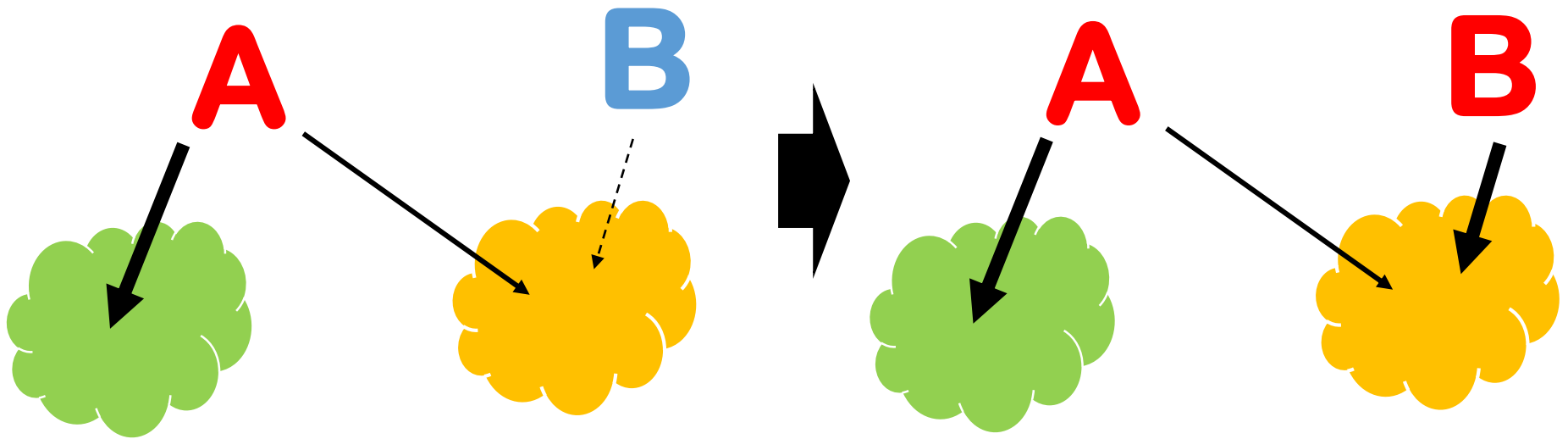
考察

～相関関係が時間変化することについて～

①それぞれのメーカー雲に影響する励起源の明るさが変化

相関あり

相関なし



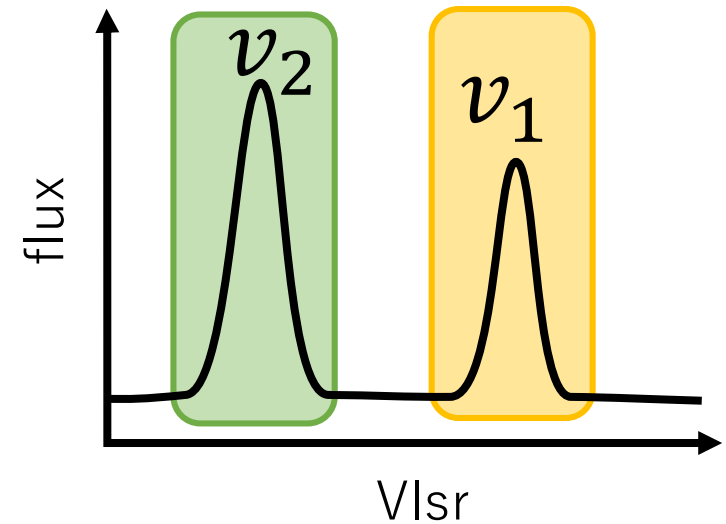
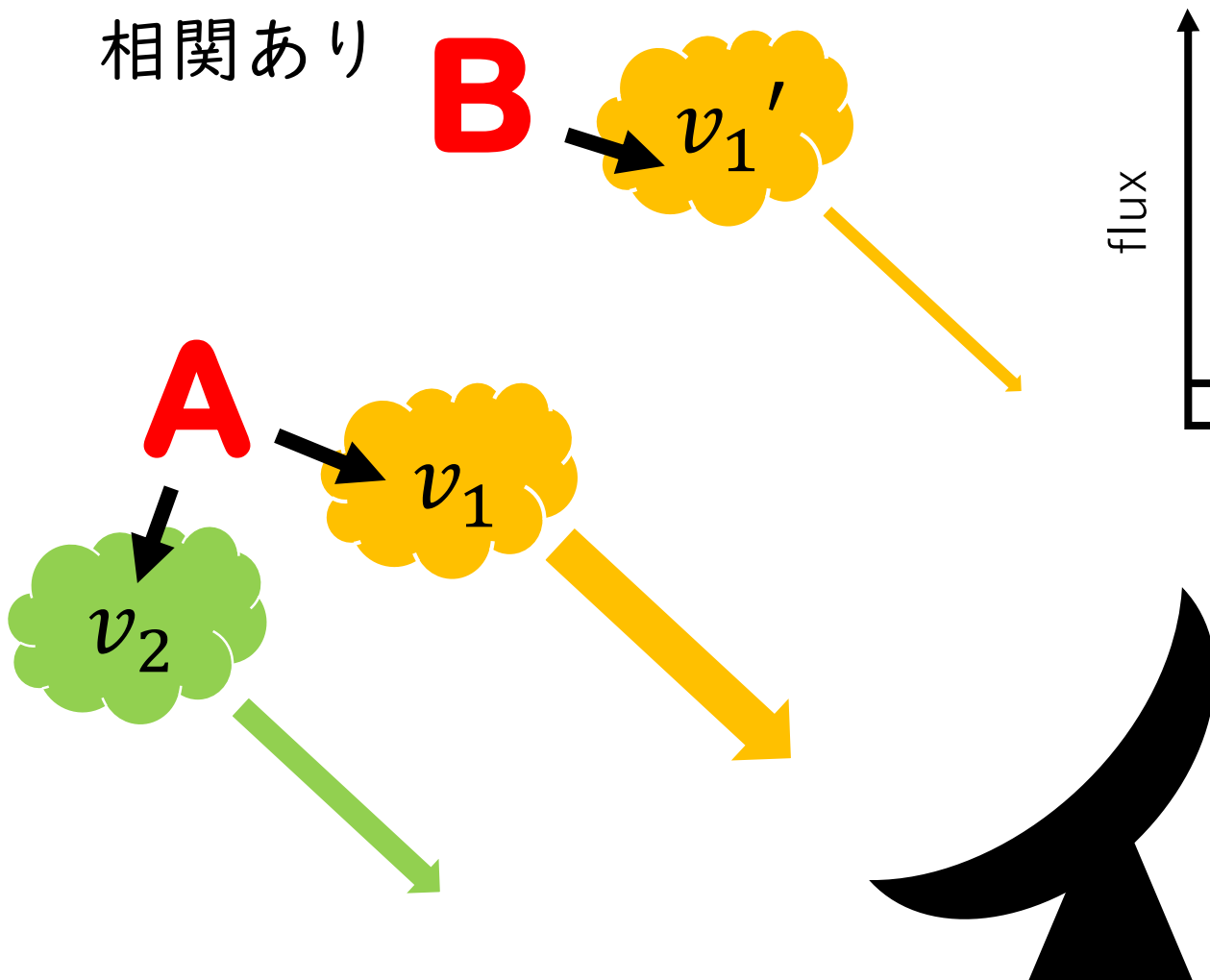
スペクトル上で大きな変化はない
&
相関関係は変化

考察

～相関関係が時間変化することについて～

②同じスペクトル成分に空間的に離れている成分が存在する

相関あり

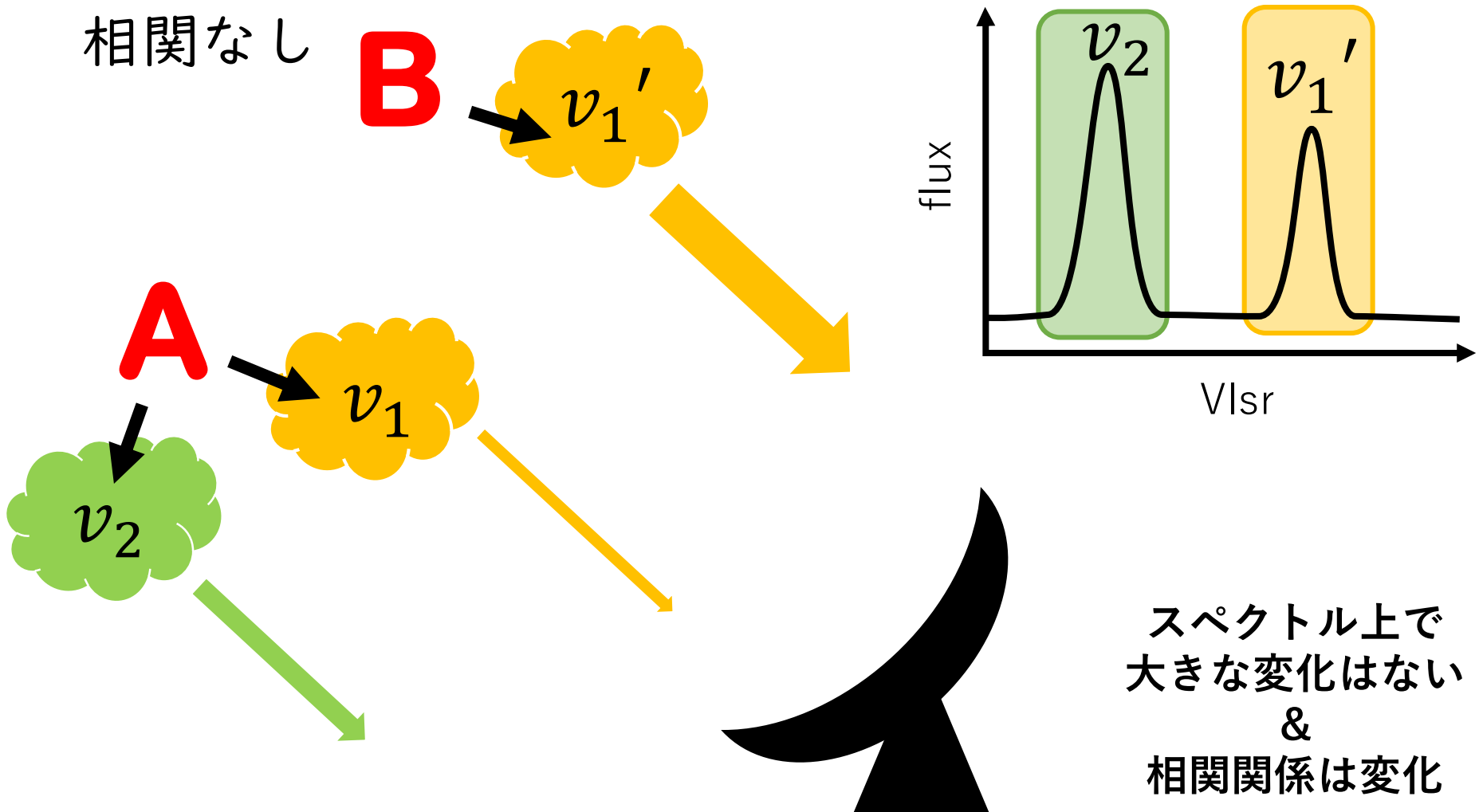


考察

～相関関係が時間変化することについて～

②同じスペクトル成分に空間的に離れている成分が存在する

相関なし



今後の展望

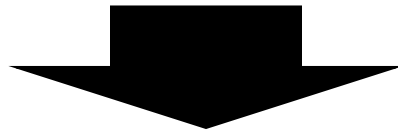
相関関係が変化することに対する仮説

- ①それぞれのメーザー雲に影響する励起源の明るさが変化
or
- ②同じスペクトル成分に空間的に離れている成分が存在する

今後の展望

相関関係が変化することに対する仮説

- ①それぞれのメーザー雲に影響する励起源の明るさが変化
or
- ②同じスペクトル成分に空間的に離れている成分が存在する



VLBIによる空間分布の長期モニタリング観測
+
単一鏡による高頻度長期モニタリング観測

まとめ

「6.7GHzメタノールレーザーの励起機構・性質について調べる」

方法

強度変動の相関関係を調べる

結果 (G9.62+0.20)

相関がある成分、時間差があり相関のある成分が存在

結果 (W75N)

相関関係が時間とともに変化する成分が存在

考察

複数の励起源が存在し
それぞれのレーザー雲に影響する励起源の明るさが変化
または
同じスペクトル成分に空間的に離れている成分が存在

VLBIによる空間分布の長期モニタリング観測

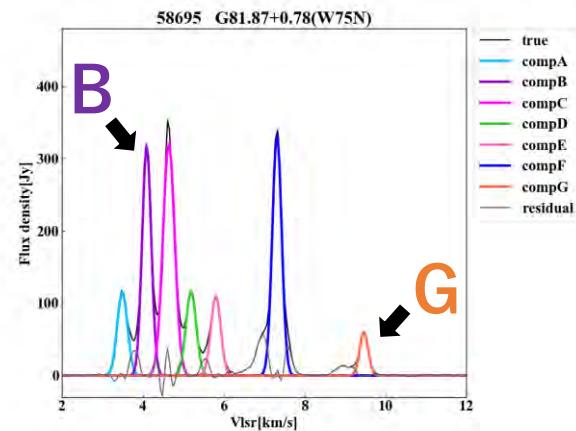
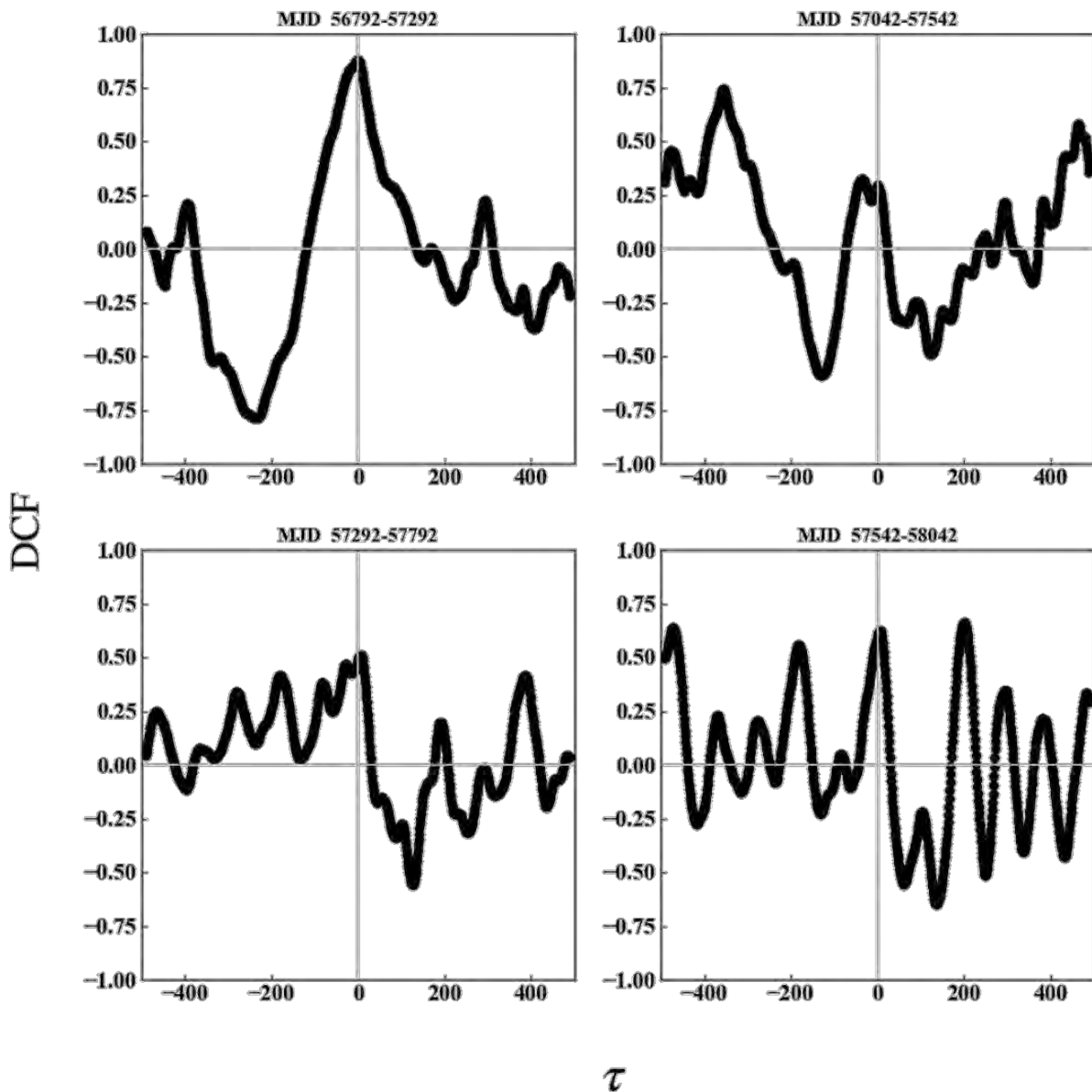
+

単一鏡による高頻度長期モニタリング観測

が必要

補足 (W75N)

DCF (B - G)



補足 (W75N)

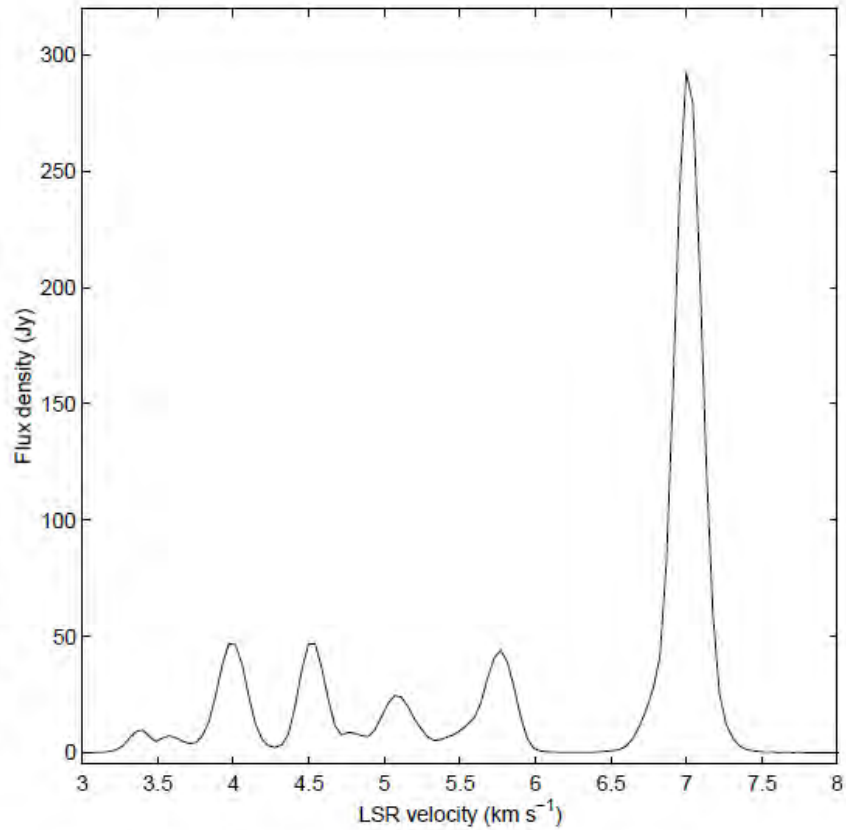
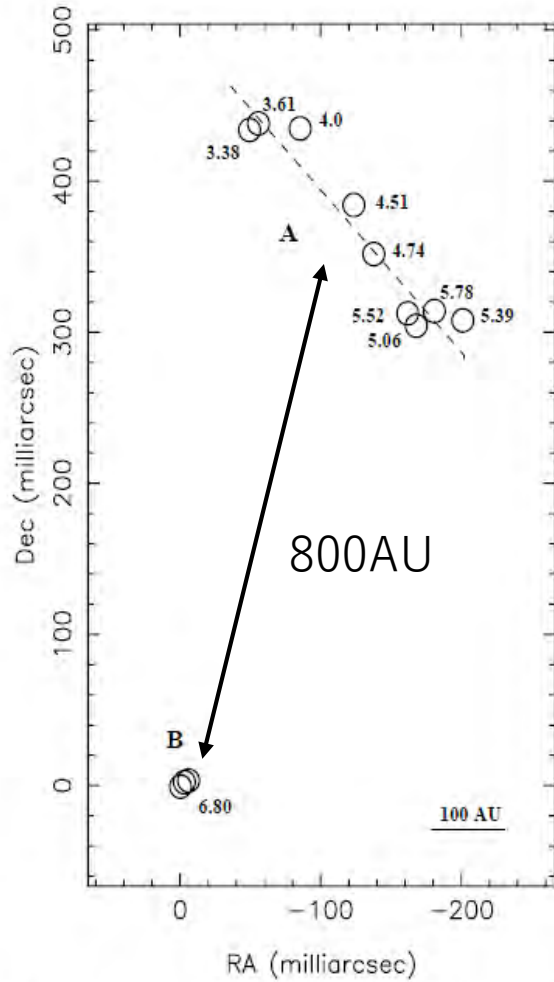


Fig. 5. W 75N: Map of 6.7 GHz methanol masers (circles) and spectrum at 6.7 GHz (full line)