

大質量星形成領域Mon R2の 成分間の相関の変化

～6.7GHzメタノールレーザーのモニタリング観測から～

山口大学
創成科学研究科 M1
今泉 有加里

共同研究者 藤沢健太

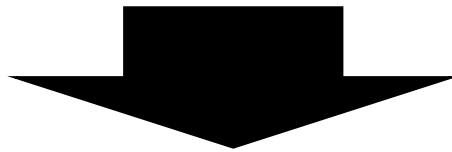
研究概要

6.7GHzメタノールメーザー

- ・ $5_1 \rightarrow 6_0 A^+$ 遷移での放射
- ・ class II に分類される(赤外線励起が優勢)

特徴

- ・ メタノールメーザーの中で最も明るい
- ・ 大質量星形成領域周辺からのみ観測
- ・ 原始星周囲の星周円盤と関係があると考えられている
- ・ 高温(100-200K)かつ高密度($10^4 - 10^9 \text{cm}^{-3}$)の領域
- ・ 寿命が $10^4 - 10^5 \text{yr}$ と短い(原始星から主系列星になるまでの間)



6.7GHzメタノールメーザーは大質量星の形成過程を知る手段となる

&

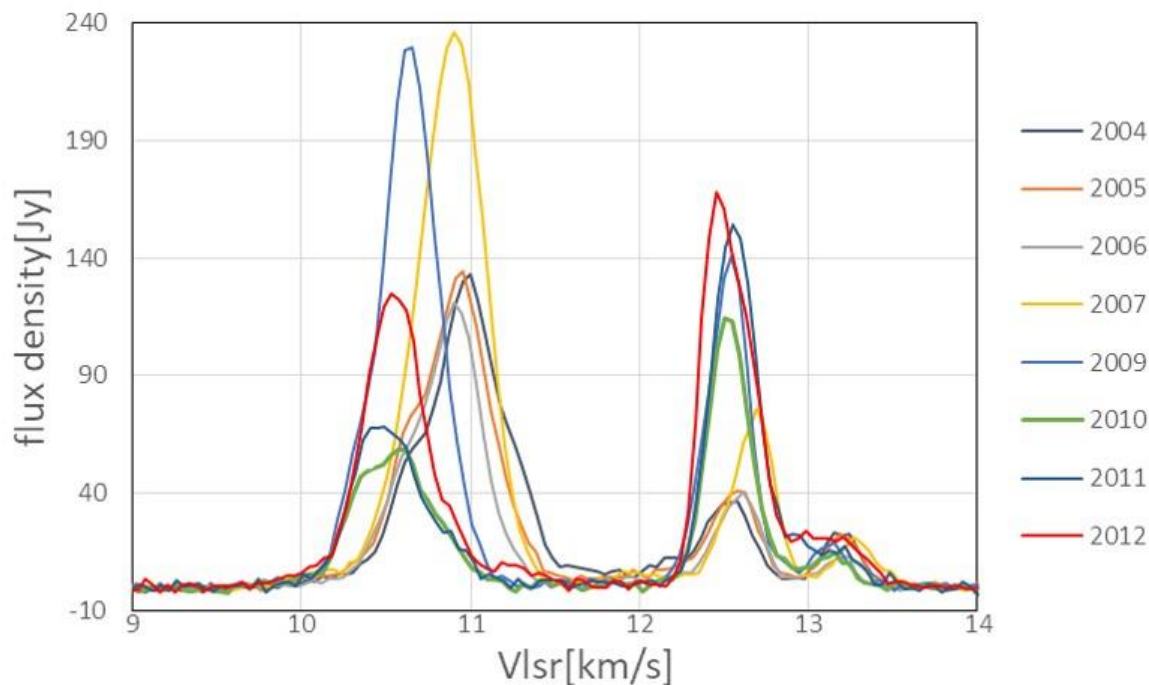
6.7GHzメタノールメーザーの励起機構・放射機構を知る必要がある

Monoceros R2 (Mon R2)

太陽から比較的**近い場所**に
位置する大質量星形成領域
距離 830pc



可視光で見たMon R2



Mon R2の6.7GHzメタノールメーザーのスペクトルの変化

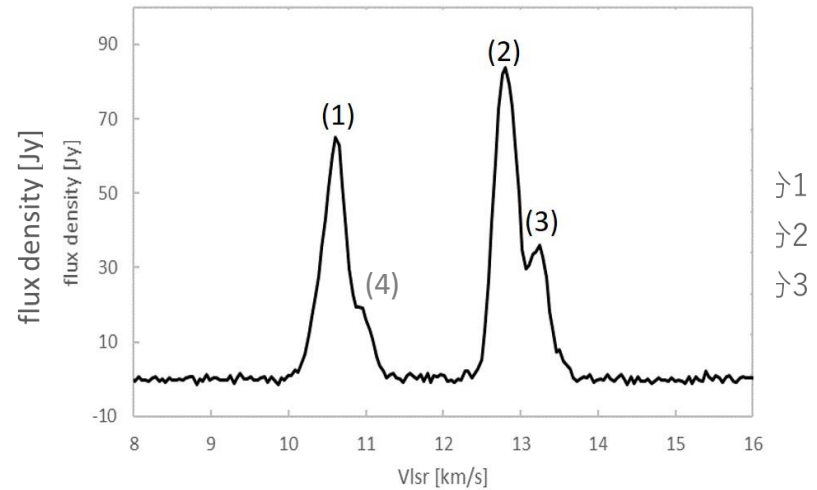
- 特徴
- 6.7GHzメタノールメーザーのスペクトルが比較的短い時間で変化
 - outflowが強い天体である。

天体名	赤経(J2000)	赤緯(J2000)
MonR2	06h 07m 47.86s	-06d 22m 56.54s

先行研究

先行研究(Sugitani et al.(2016))では98日間の観測から強度変動の周期を求めた

- 成分1 20.9 ± 0.6 day
- 成分2 20.7 ± 0.8 day
- 成分3 22.5 ± 1.3 day



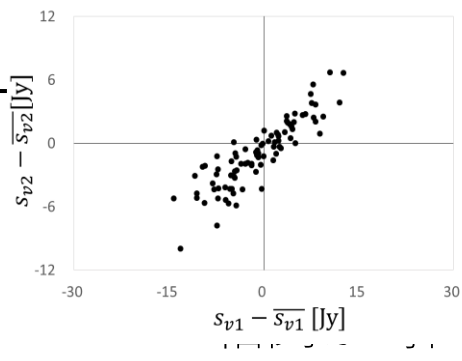
2016年のスペクトル

周期が類似していることから**励起源が同一**と考えられる。



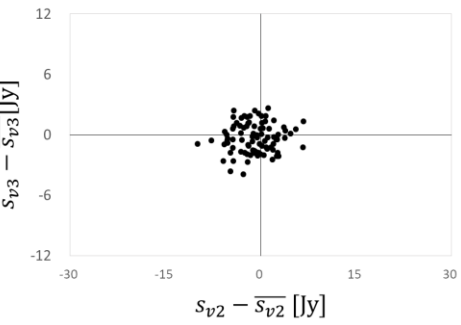
もし励起源が同一なら各成分の強度変動には相関があるはず

	2014	2015	2017~
成分1-成分2	0.883	0.623	0.641
成分1-成分3	-0.115	0.523	0.367
成分1-成分4	—	—	0.782
成分2-成分3	0.071	0.809	0.721
成分2-成分4	—	—	0.658
成分3-成分4	—	—	0.432



成分1と成分2(2014)

成分
変
が



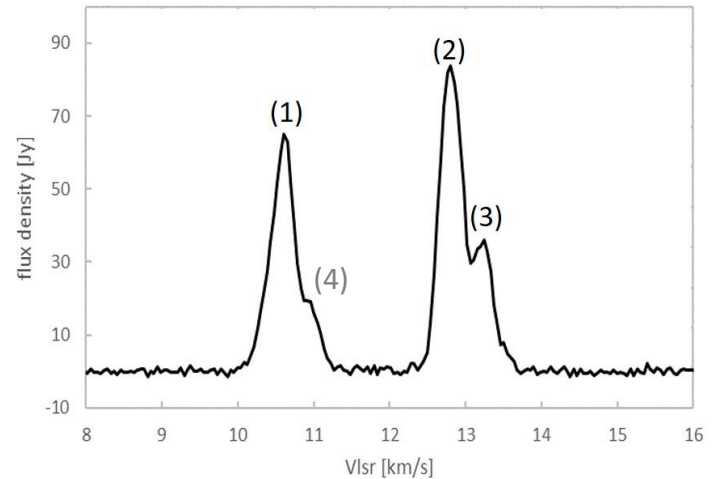
成分2と成分3(2014)

研究目的

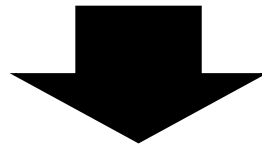
過去の研究では3つの成分の周期性の類似から同一の励起源(中心星)を持つと結論づけられていた。しかしそれぞれの成分の強度変動の相関を考えると同一励起源とは考えにくい



相関の有無・相関の時間変化
が真の変化であるか確かめる。



2016年のスペクトル



メタノールメーザーの励起機構 & 放射機構について調べる。
大質量星形成領域から放射される6.7GHzメタノールメーザーの性質について調べる。

観測手法

本観測では山口第一アンテナを使い単一鏡観測で5点法で行っている。

観測パラメータ

アンテナ口径	32 m
角度分解能	~4分角
受信偏波	両円偏波
アンテナ有効開口能率	~60%
観測周波数	6664-6672 MHz
帯域幅	8 MHz
分光点数	8192点
速度分解能	0.046 km/s
積分時間	180 s

メタノールメーザーの周波数
6668.5192MHz

(H. S. P. Müller et al.(2004))

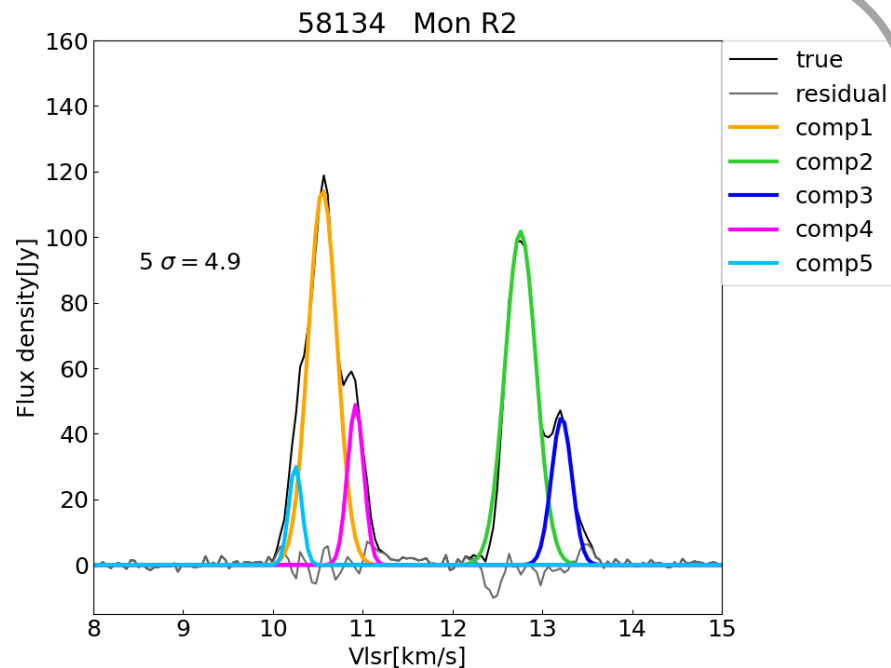
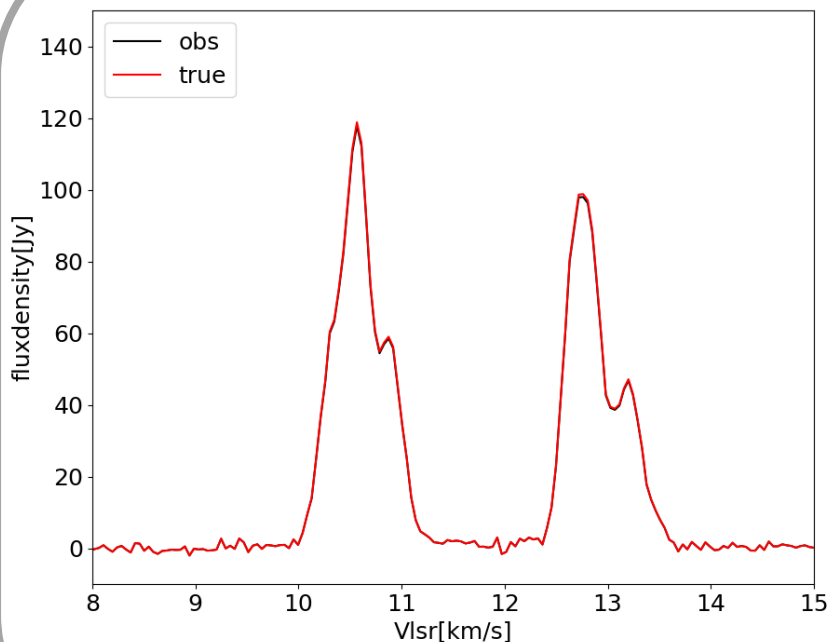


スペクトルの成分分離

正確な成分間の強度変動の相関を見るためにはそれぞれの成分を独立させて考えることが必要不可欠



それぞれの成分をガウシアン関数として近似し成分を分離



2018.1.16日のスペクトル

相関係数の導出方法

相関係数の求め方

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

n

x_i, y_i

\bar{x}, \bar{y}

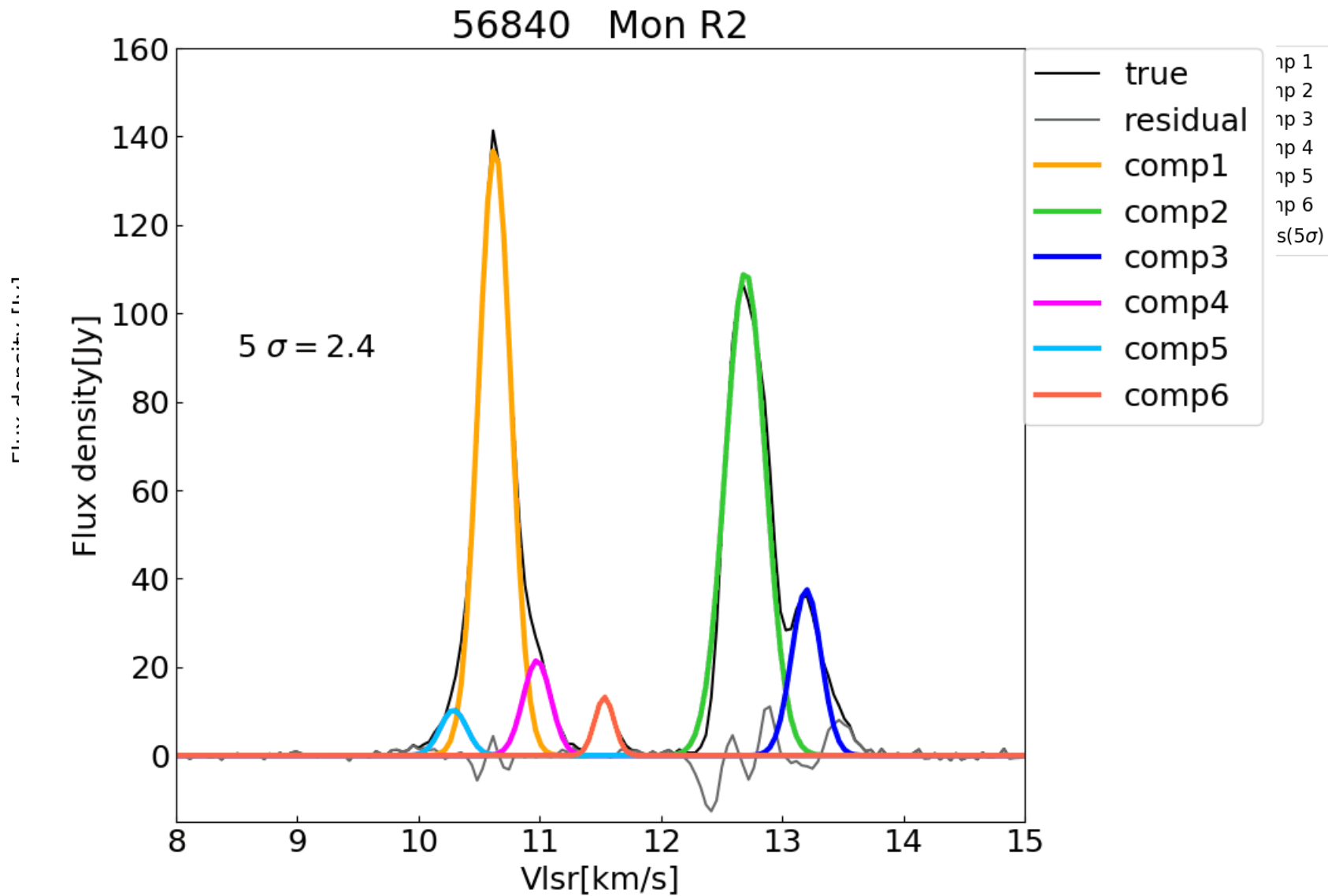
異なる2つの変数データの総数
2つの変数データの個々の数値
 x, y のそれぞれの平均値

ここで使用するデータ
は成分分離後の強度

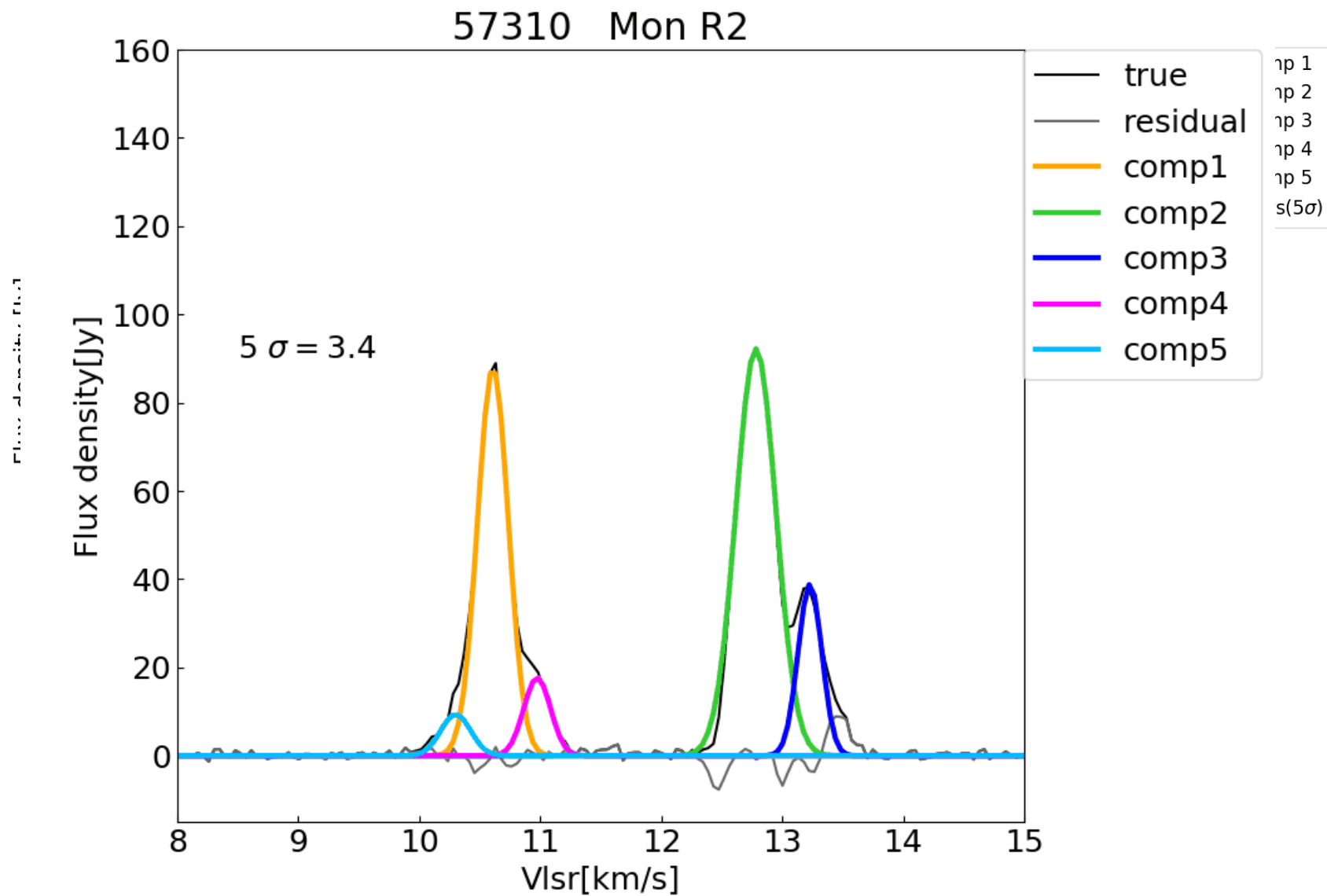
相関の判断基準

$r \geq 0.8$	かなり強い相関がある
$0.8 > r \geq 0.5$	やや相関あり
$0.5 > r \geq 0.2$	弱い相関あり
$0.2 > r$	相関なし

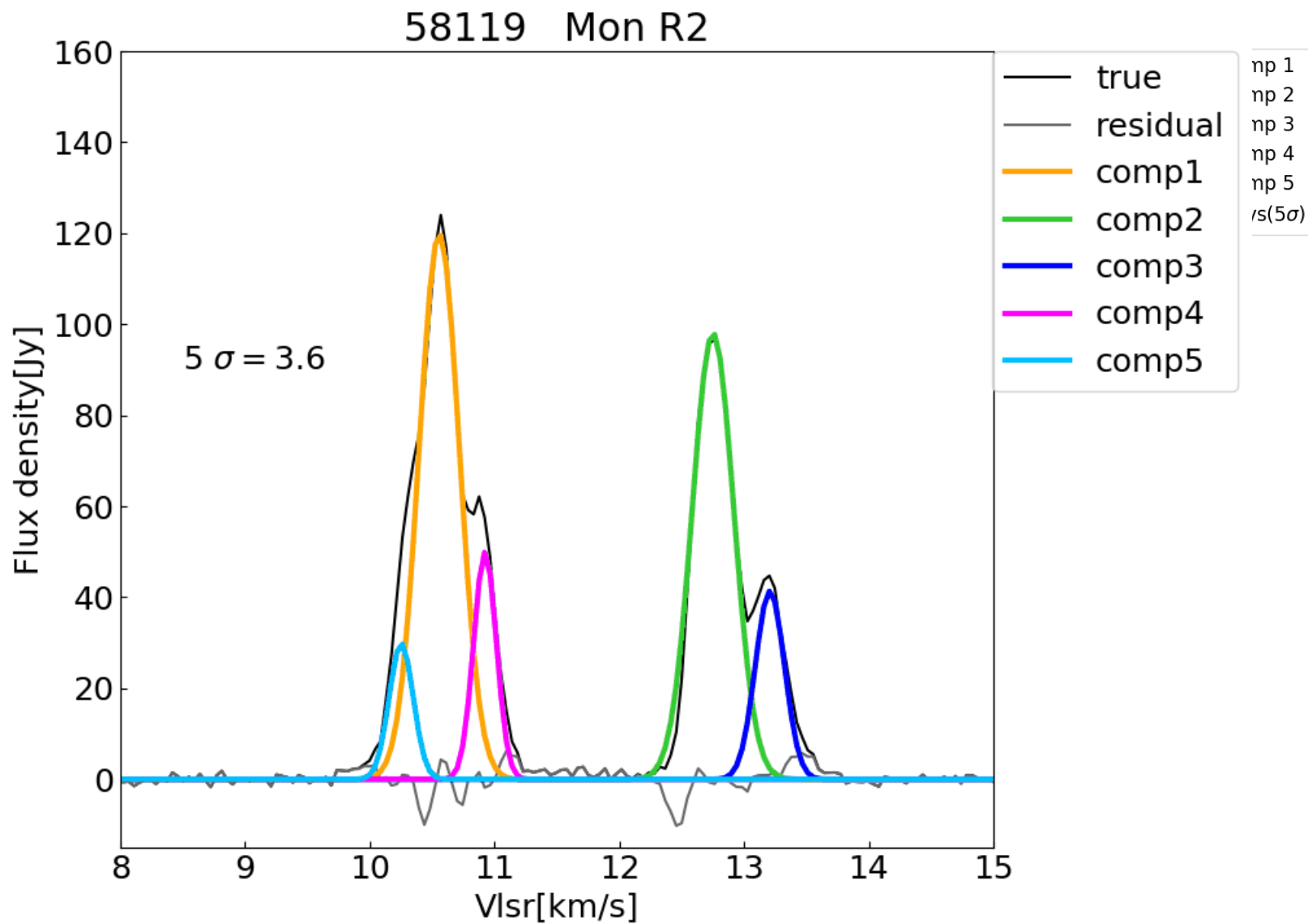
結果(2014)



結果(2015)

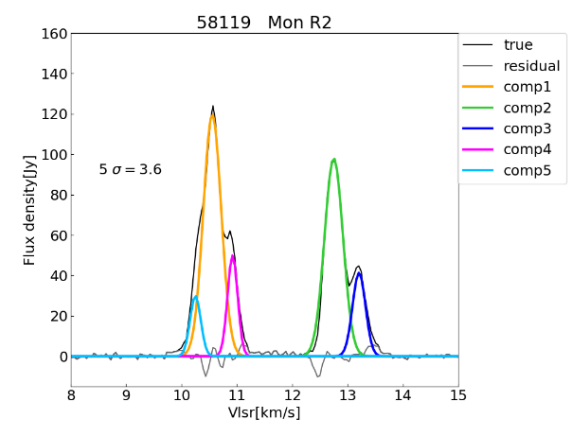
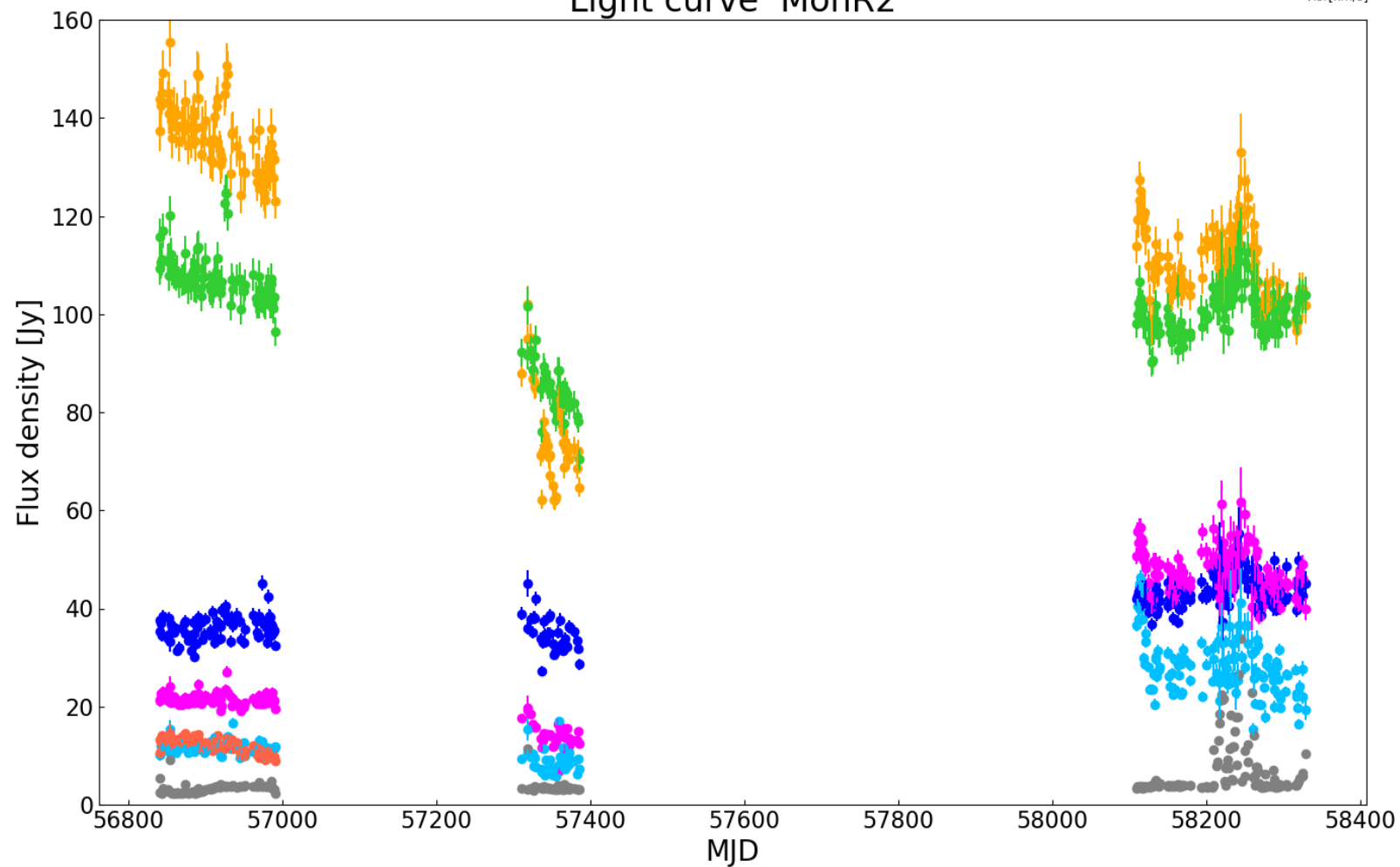


結果(2018)



4年間のlight curve

Light curve MonR2



- comp 1
- comp 2
- comp 3
- comp 4
- comp 5
- comp 6
- Tsys(5σ)

相関係数の時間変化

MJD	1_2	1_3	1_4	1_5	1_6	2_3	2_4	2_5	2_6	3_4	3_5	3_6	4_5	4_6	5_6	number of date
56841-56940	0.844	0.197	0.729	0.425	0.490	0.406	0.730	0.335	0.133	0.306	0.114	-0.236	0.438	0.294	0.130	54
56851-56950	0.838	0.215	0.771	0.490	0.640	0.418	0.755	0.400	0.270	0.294	0.078	-0.145	0.469	0.423	0.160	53
56861-56961	0.825	0.299	0.772	0.457	0.613	0.491	0.763	0.326	0.213	0.364	0.136	-0.101	0.451	0.396	0.122	47
56871-56971	0.843	0.314	0.775	0.446	0.687	0.491	0.766	0.328	0.339	0.362	0.121	-0.045	0.479	0.459	0.096	49
56881-56981	0.848	0.110	0.715	0.487	0.761	0.315	0.738	0.345	0.434	0.171	0.069	-0.156	0.421	0.446	0.205	51
56891-56991	0.880	0.230	0.744	0.524	0.731	0.368	0.702	0.348	0.535	0.160	0.029	0.082	0.384	0.423	0.326	51
56901-57001	0.884	0.236	0.727	0.540	0.701	0.373	0.689	0.346	0.509	0.132	0.015	0.094	0.379	0.389	0.340	46
56911-57011	0.887	0.256	0.728	0.551	0.721	0.385	0.689	0.352	0.543	0.148	0.029	0.145	0.381	0.405	0.351	42
57288-57387	0.851	0.479	0.706	0.576		0.578	0.628	0.488		0.763	-0.014		0.141			40
58120-58219	0.752	0.556	0.729	0.545		0.651	0.536	0.262		0.486	0.204		0.416			46
58130-58229	0.792	0.465	0.612	0.487		0.532	0.511	0.316		0.545	0.221		0.458			49
58140-58239	0.815	0.570	0.569	0.498		0.634	0.467	0.327		0.508	0.277		0.428			49
58150-58250	0.861	0.675	0.676	0.574		0.714	0.567	0.421		0.561	0.391		0.513			54
58160-58261	0.856	0.577	0.671	0.616		0.667	0.537	0.436		0.414	0.294		0.544			52
58170-58271	0.821	0.542	0.691	0.588		0.629	0.518	0.404		0.418	0.312		0.538			51
58180-58281	0.848	0.580	0.718	0.638		0.649	0.554	0.479		0.439	0.369		0.604			55
58190-58291	0.842	0.579	0.728	0.627		0.639	0.559	0.462		0.421	0.331		0.620			61
58200-58301	0.854	0.465	0.765	0.638		0.496	0.628	0.477		0.358	0.236		0.675			65
58210-58311	0.875	0.465	0.768	0.655		0.478	0.646	0.501		0.363	0.249		0.682			64
58220-58321	0.871	0.430	0.778	0.689		0.479	0.677	0.525		0.329	0.245		0.722			64
58230-58331	0.881	0.445	0.824	0.696		0.495	0.695	0.515		0.291	0.234		0.738			58



$r \geq 0.8$



$0.5 > r \geq 0.2$

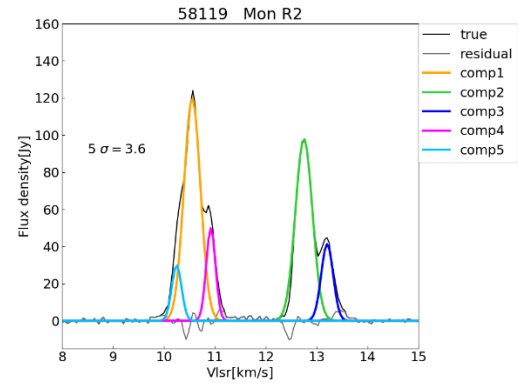
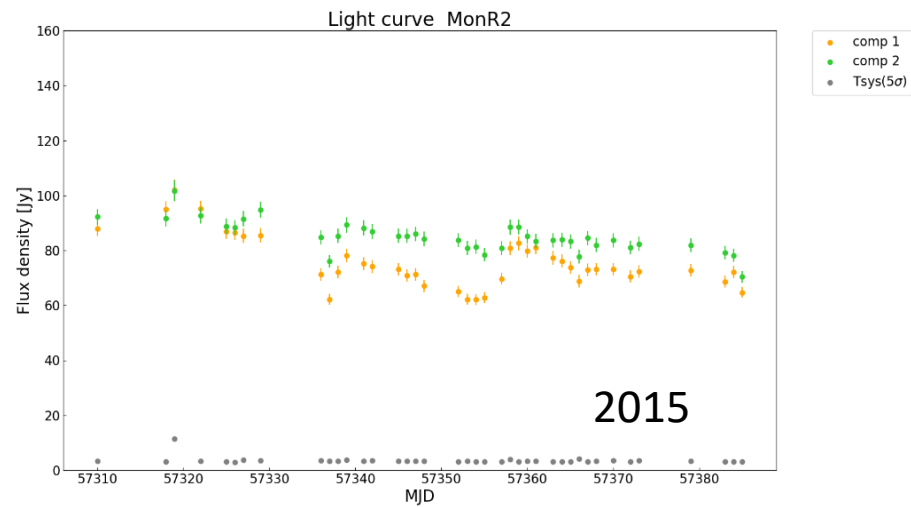
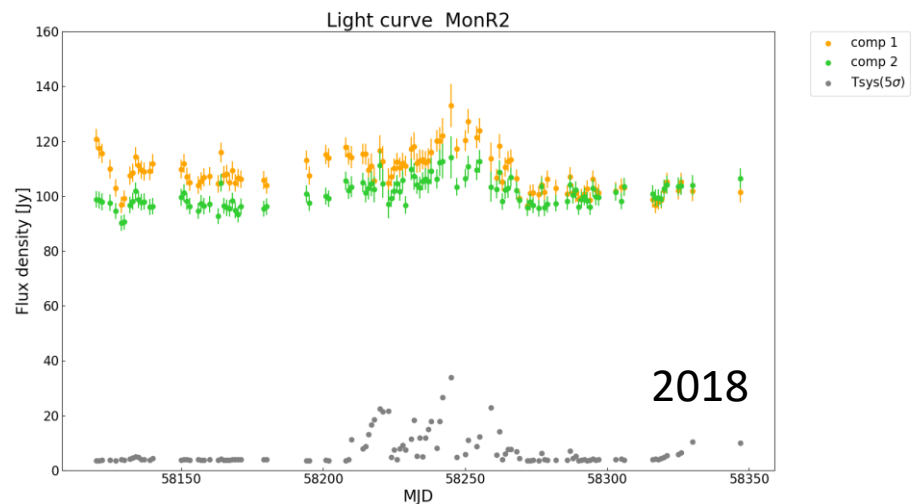
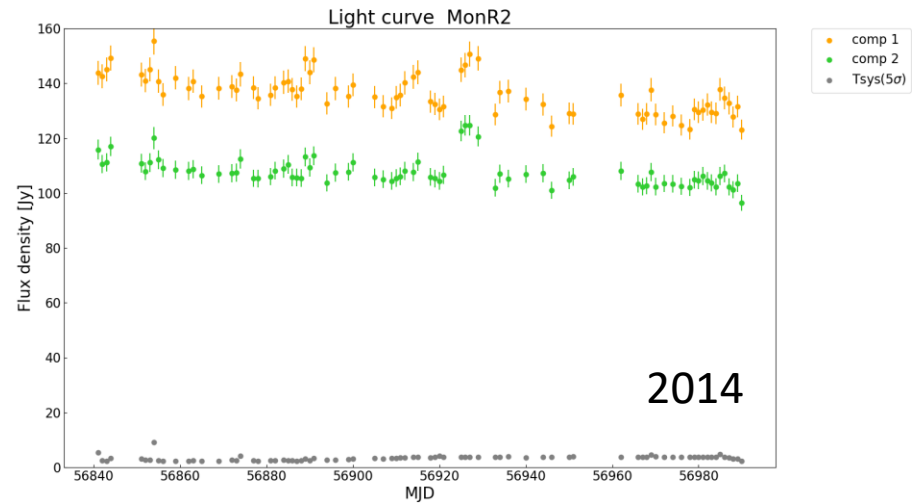


$0.8 > r \geq 0.5$



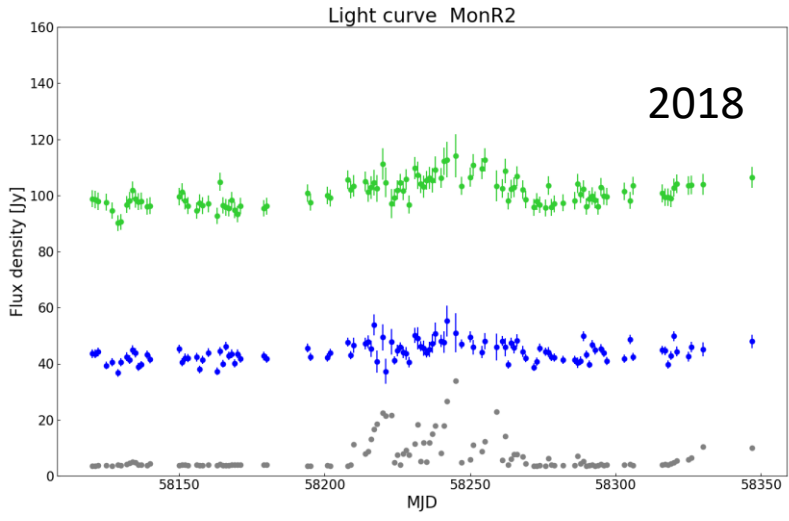
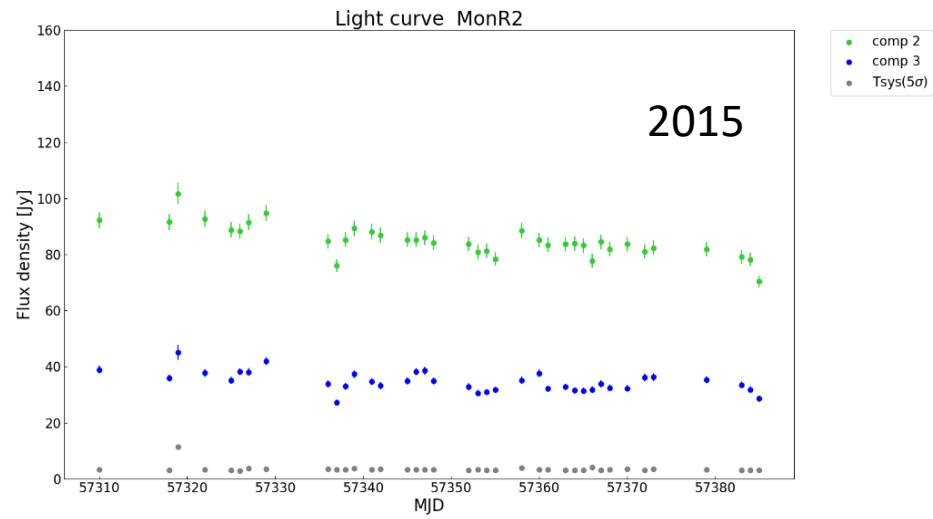
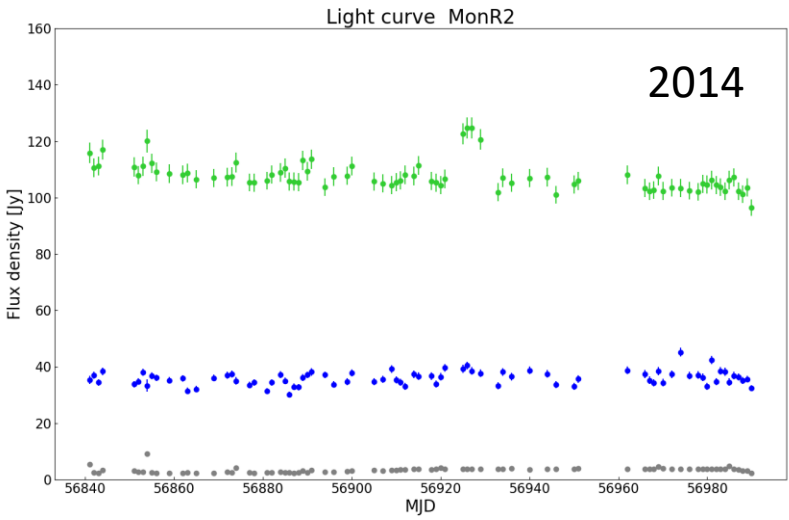
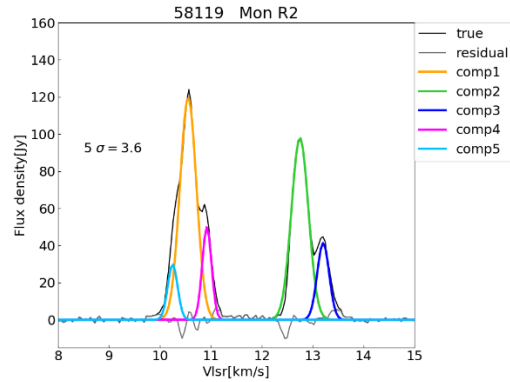
$0.2 > r$

正の相関があるcomp1-comp2



観測年度	各年の相関係数
2014	0.871
2015	0.851
2018	0.693

相関が変化したcomp2-comp3



観測年度	各年の相関係数
2014	0.241
2015	0.578
2018	0.508

考察

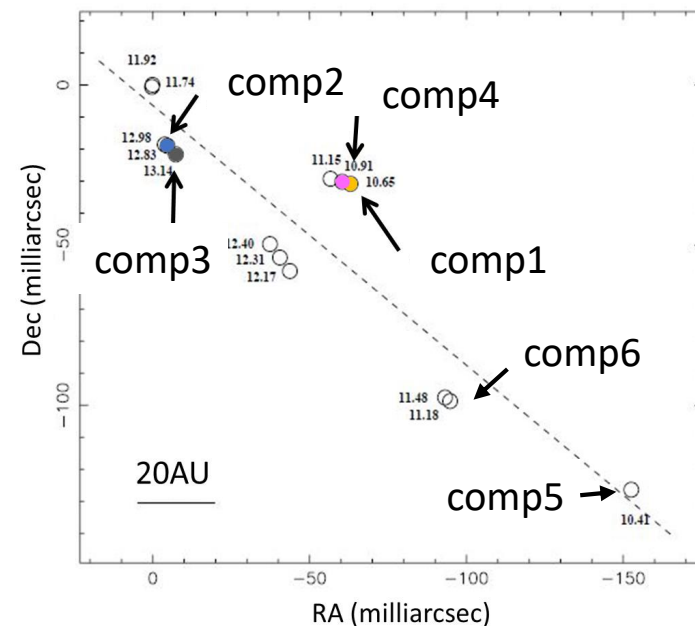
相関のある成分

同一の励起源を持つ可能性が高いと考えられる。
装置起因のノイズを見ている可能性もある。

相関のない成分

異なる励起源を持つ可能性が高い
(MonR2のメーザー放射領域は130AU程度。)

原始星からの赤外線起因で起こるメーザーと
outflow起因で起こるメーザーが混在している
可能性がある。

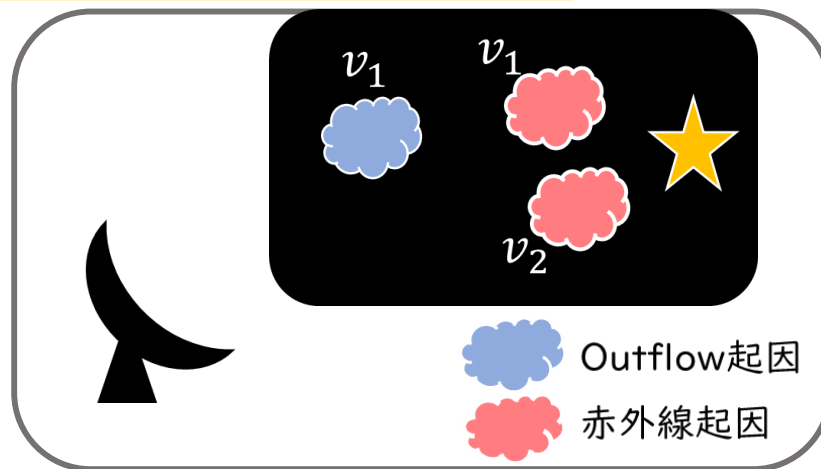
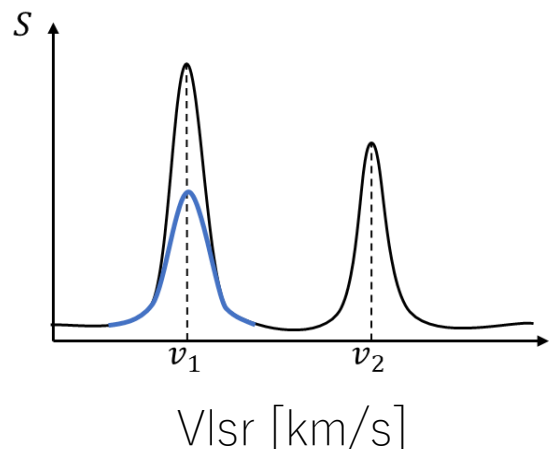


Mon R2のメーザースポットMAP
(1998に観測 Minier 2000)

考察

相関が時間変化する成分

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



赤外線起因の放射の方がoutflow起因の放射より強い場合

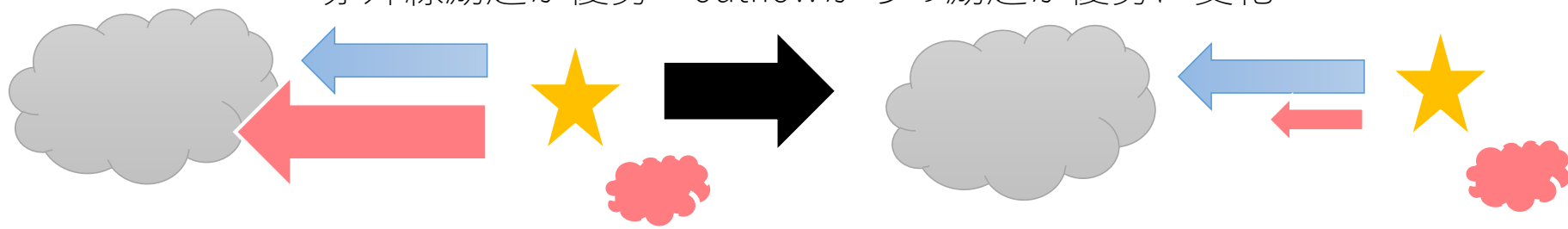
→**相関あり**

赤外線起因の放射の方がoutflow起因の放射より弱い場合

→**相関なし**

影響を受ける励起源の優劣が変化した

赤外線励起が優勢→outflowからの励起が優勢に変化

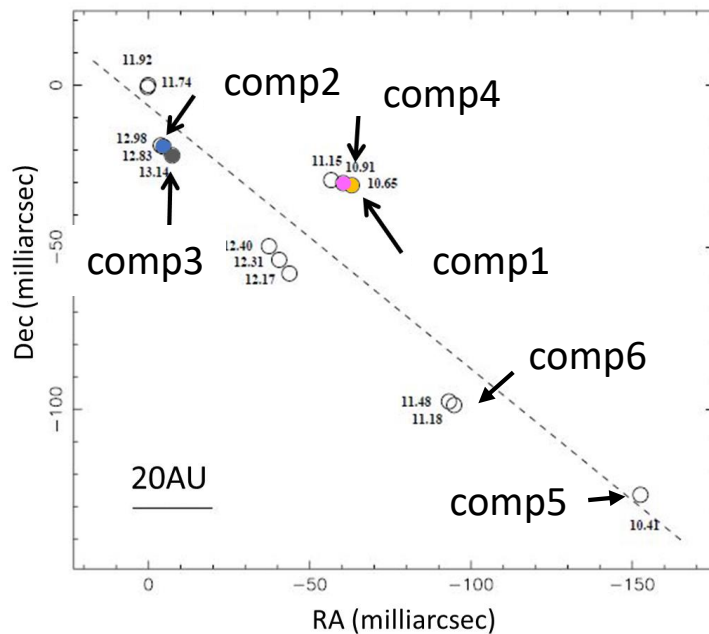


今後

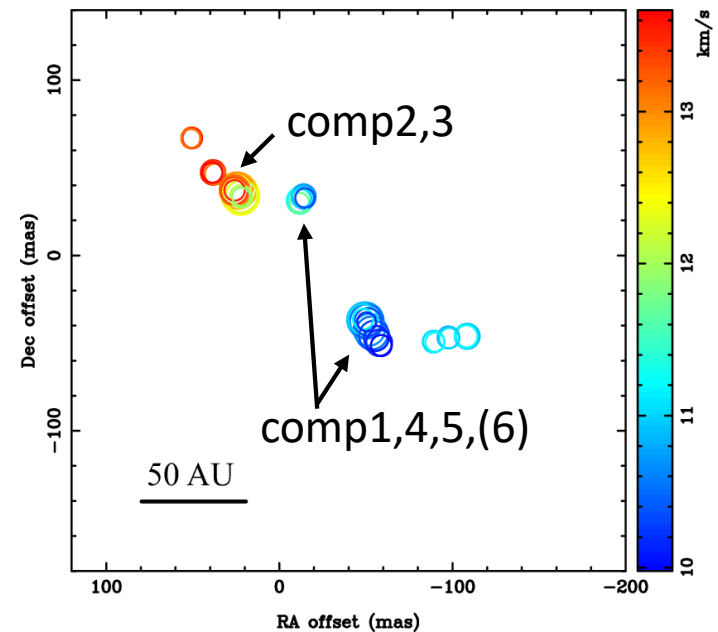
相関の変化する成分の位置関係を調べることで仮説を確かめる。

→VLBIを使って空間分布をとり単一鏡で得られたスペクトルと比較

VLBI観測と単一鏡でのモニター観測を組み合わせた観測を行う



Mon R2のメーザースポットMAP
(1998に観測 Minier 2000)



Mon R2のメーザースポットMAP
(2009に観測 Sugiyama)

まとめ

- ・ Monoceros R2のモニタリング観測
- ・ 成分間の強度変動の相関について研究
- ・ 成分ごとの強度変動を正確に調べる必要がある→スペクトルを成分分離
 - ・ 6成分を分離・同定
- ・ 強度変動に相関のある成分・ない成分・相関が時間変化する成分が存在
 - ・ 成分1 - 2 強い相関 (0.871→0.851→0.693)
 - ・ 成分2 - 3 弱い相関→やや相関あり(0.241→0.578→0.508)
- ・ 相関の有無や相関の時間変化からMon R2には6.7GHzメタノールレーザーの励起源が複数あると考えられる。
 - ・ 130AUという狭い空間→赤外線起因とoutflow起因の混在
- ・ 強度変動&相関の時間変化と空間分布の時間変化を比較していきたいため今後VLBI観測を行いMon R2の空間分布をとる予定である。