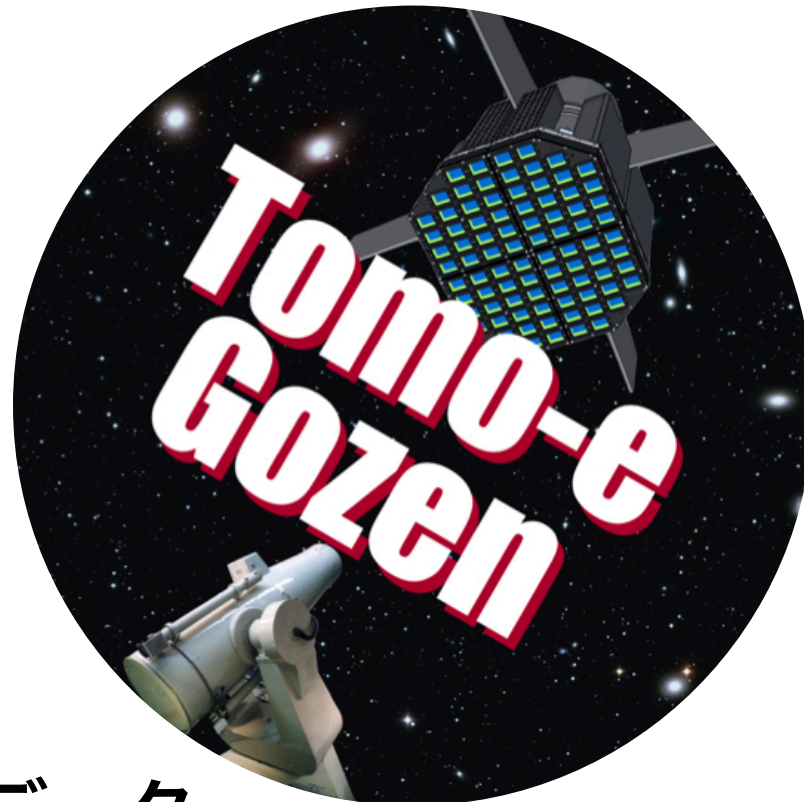


# Deloitte.

デロイト トーマツ



## Tomo-e Gozen 2Hz 測光データ を用いたSeeing Danceの調査

Seeing dance analysis with 2-Hz photometry data

Kazuma Mitsuda (Deloitte Tohmatsu Risk Advisory)

木曾シュミットシンポジウム, 20230530

MAKING AN  
IMPACT THAT  
MATTERS

since 1845

# デロイトは2020年から東京大学と産学共同研究を実施しています

産学共同研究のメンバー

Academic-industrial collaboration research



The University of Tokyo



Deloitte



Shigeyuki Sako

- The University of Tokyo
- Institute of Astronomy, School of Science
- Associate Professor



Kazuma Mitsuda

- Deloitte Tohmatsu Risk Advisory, Co. Ltd.
- New Business Development
- Manager
- Ph.D. in Astronomy



Tomo-e Gozen Project

**Deloitte.**  
デロイトトーマツ

Deloitte Members

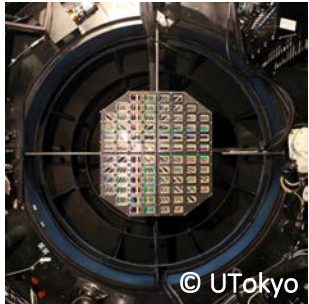


# 本共同研究ではTomoe Gozenの観測データからスペースデブリや人工衛星などの人工天体を検出し、カタログ化する取り組みを行っています

## 産学共同研究の概要



Tomoe-e Gozen's scientific data



- Optical
- 1.05-m Schmidt telescope
- Wide FoV (20 deg<sup>2</sup>)
- Video (2 fps) observation



- > 1000 artificial objects are detected per night
- Debris data are useless garbage for scientists



Algorithm & Solution by Deloitte



Kazuma Mitsuda

- Data scientist in Deloitte
- Observational astronomer
- Development member of Tomoe-e Gozen

Space debris risk services  
for sustainable development of space

The University of Tokyo and Deloitte has carried out collaboration research for more than 2 years

# 12フレームの測光データを用いて、Seeing Danceの影響を調査し、Seeing Danceを補正する方法を検討しました

## Outline

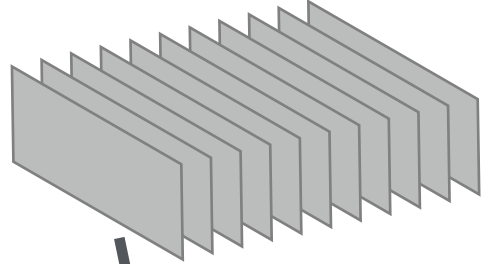


# 背景: Tomo-e Gozen 2HzデータのSeeing Dance

# NEO候補の大部分がseeing danceによるコンタミとなっている。このコンタミを削減し、速度の遅い天体の検出、ゴミデータの削減を実現したい

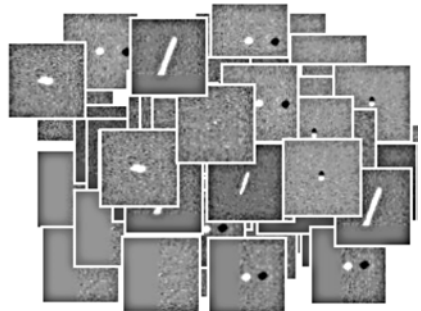
## NEO Detection Algorithm and Artificial Objects in Tomo-e Gozen's Observation

Raw Frames



Simple detection

Moving objects ( $v > 1''/s$ )



Kojima, Sako 2019

~  $10^6$  events / night

Random Forest Classifier

Tuned to detect NEOs



True

False

NEO candidates

~ 3500 events /night\*1

Fast moving objects

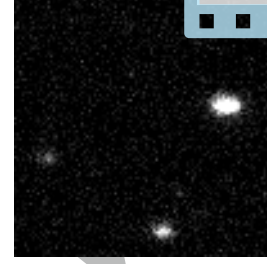
~ 1200 events /night

Majority is seeing dance

Seeing Danceによるコンタミを減らしたい

- $v < 3''/s$  の移動天体検知
- ゴミデータの削減

動画 ▶



Catalogued artificial objects

~ 700 events /night

Yes

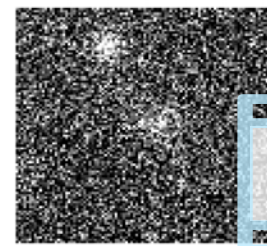
Correlated with Catalogue\*2?

No

Uncatalogued artificial objects

~ 500 events /night

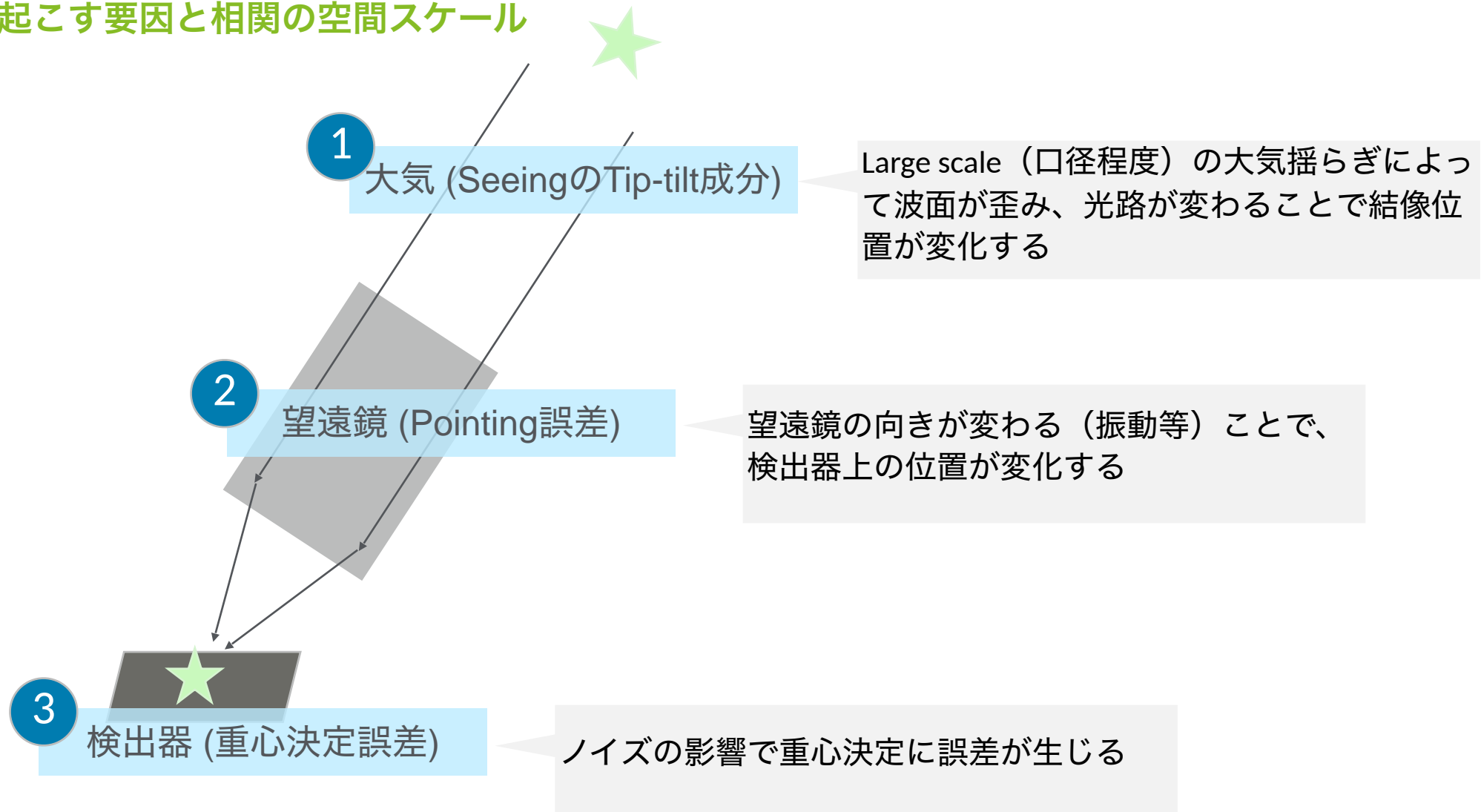
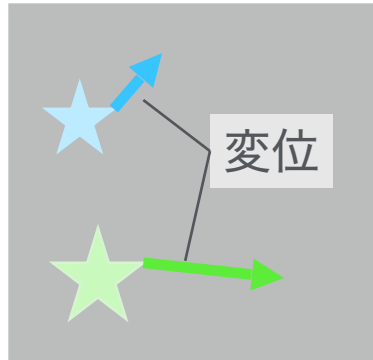
動画 ▶



\*1: Average of 12 nights (20200614 to 20200617, 20201107 to 20201111, 20220329, 20220330, and 20220401); \*2: Space Track (<https://www.space-track.org/>)

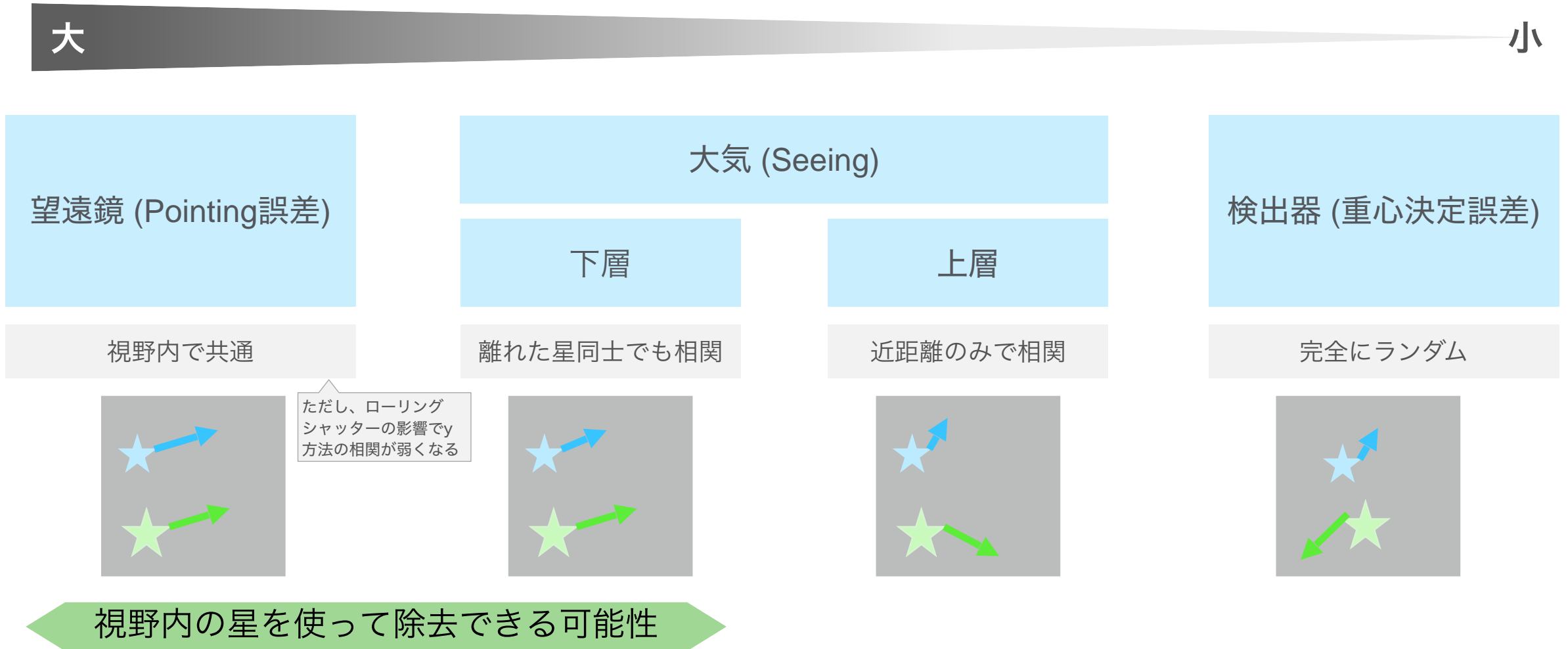
## 2 Hz動画データにおける測光点の変位は、Seeing(Tip-tilt)、Pointing誤差、重心決定誤差に起因する

### 測光点の変位を引き起こす要因と相関の空間スケール



# 変位の要因となる成分ごとに、変位が相関する空間スケールが異なる。相関の空間スケールが大きな成分(Seeing, Pointing誤差)は除去できる可能性がある

## 測光点の変位を引き起こす要因と相関の空間スケール



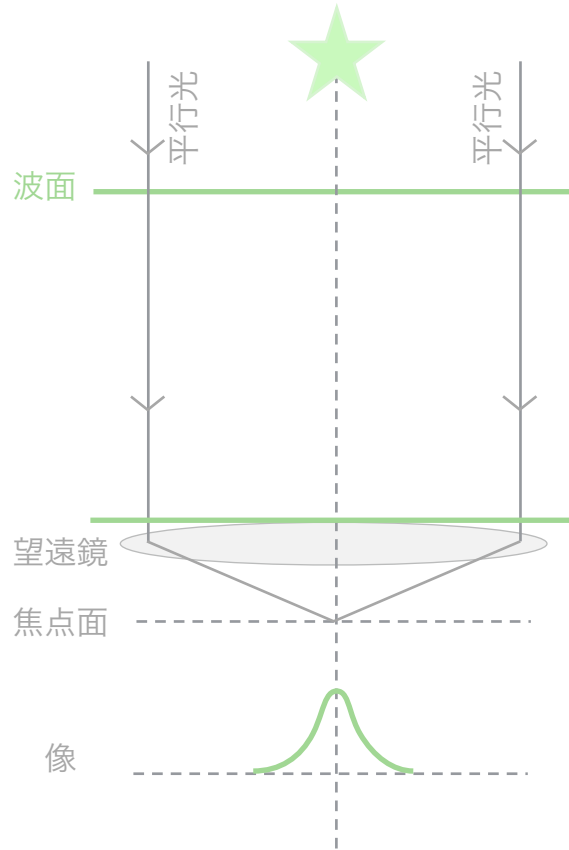


# Seeingのtip-tilt成分は望遠鏡口径スケールの大気揺らぎによって引き起こされる

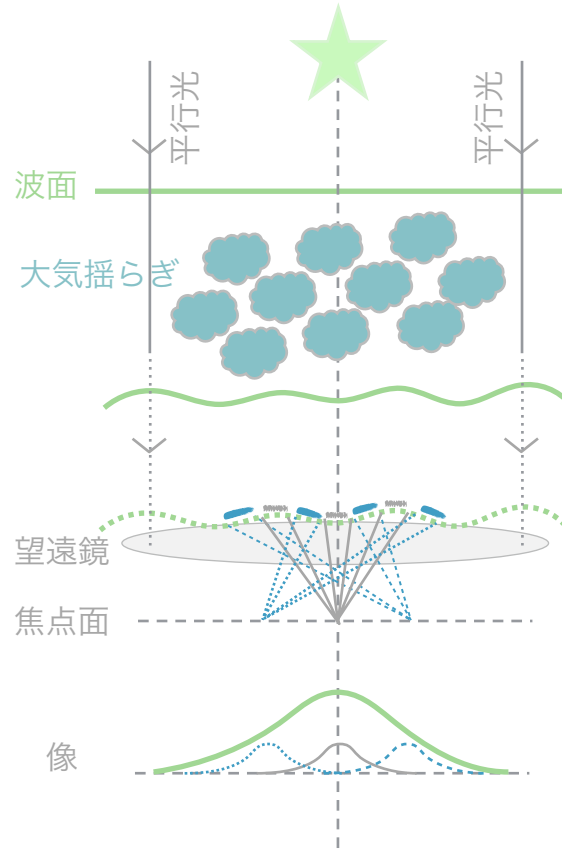
## Seeingとそのtip-tilt成分

Tip-tilt成分

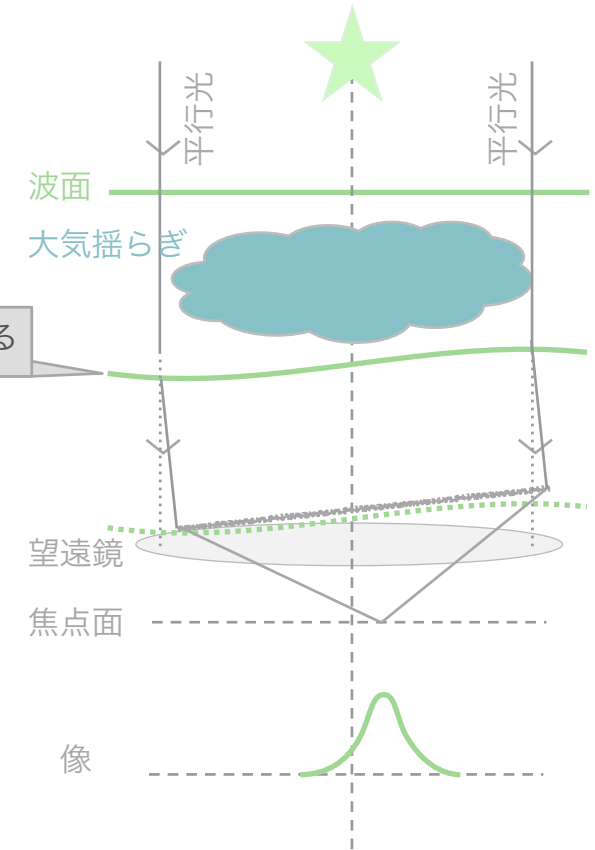
大気の影響なし



Small scaleの大気擾乱  
(結像サイズに影響)

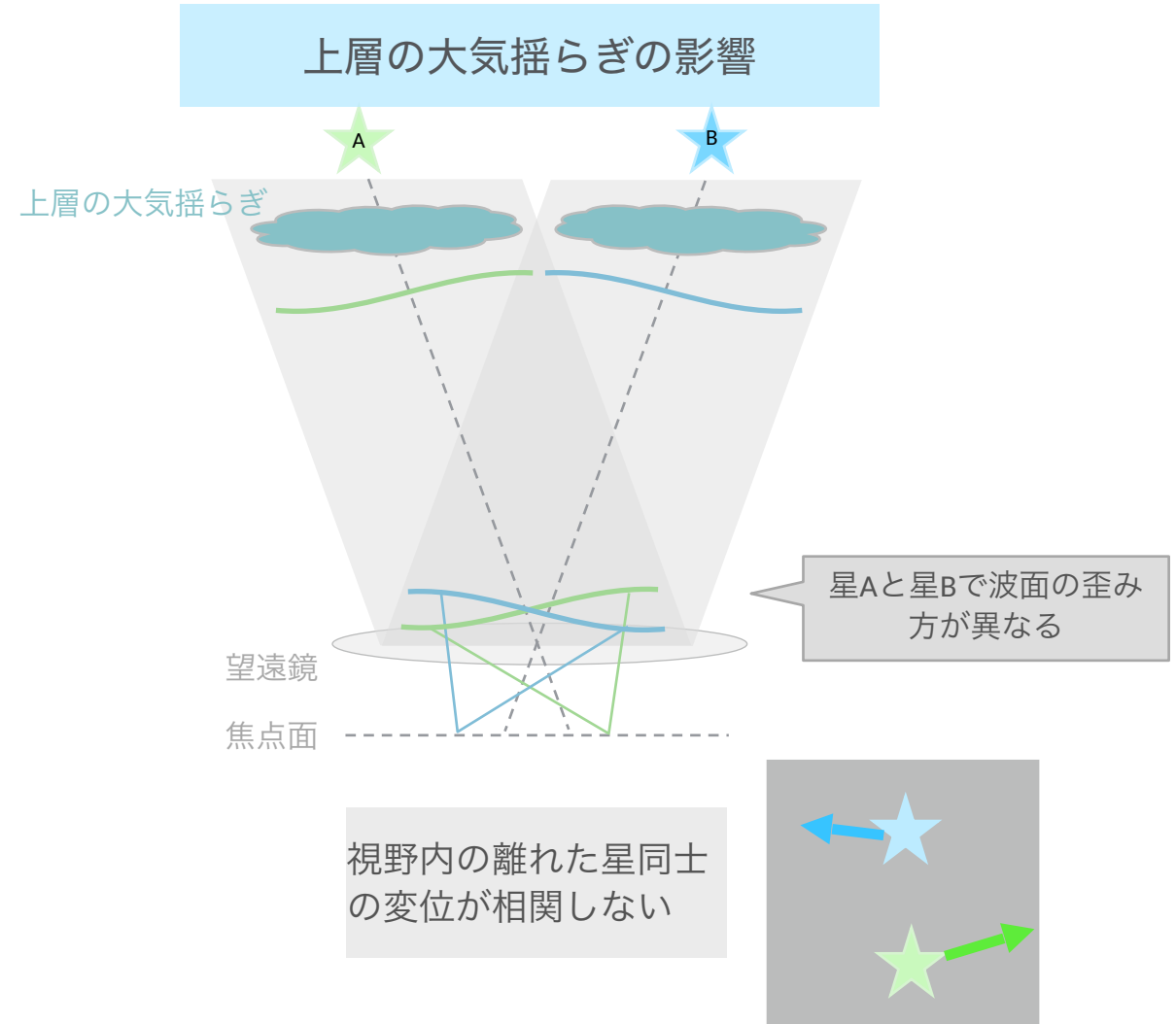
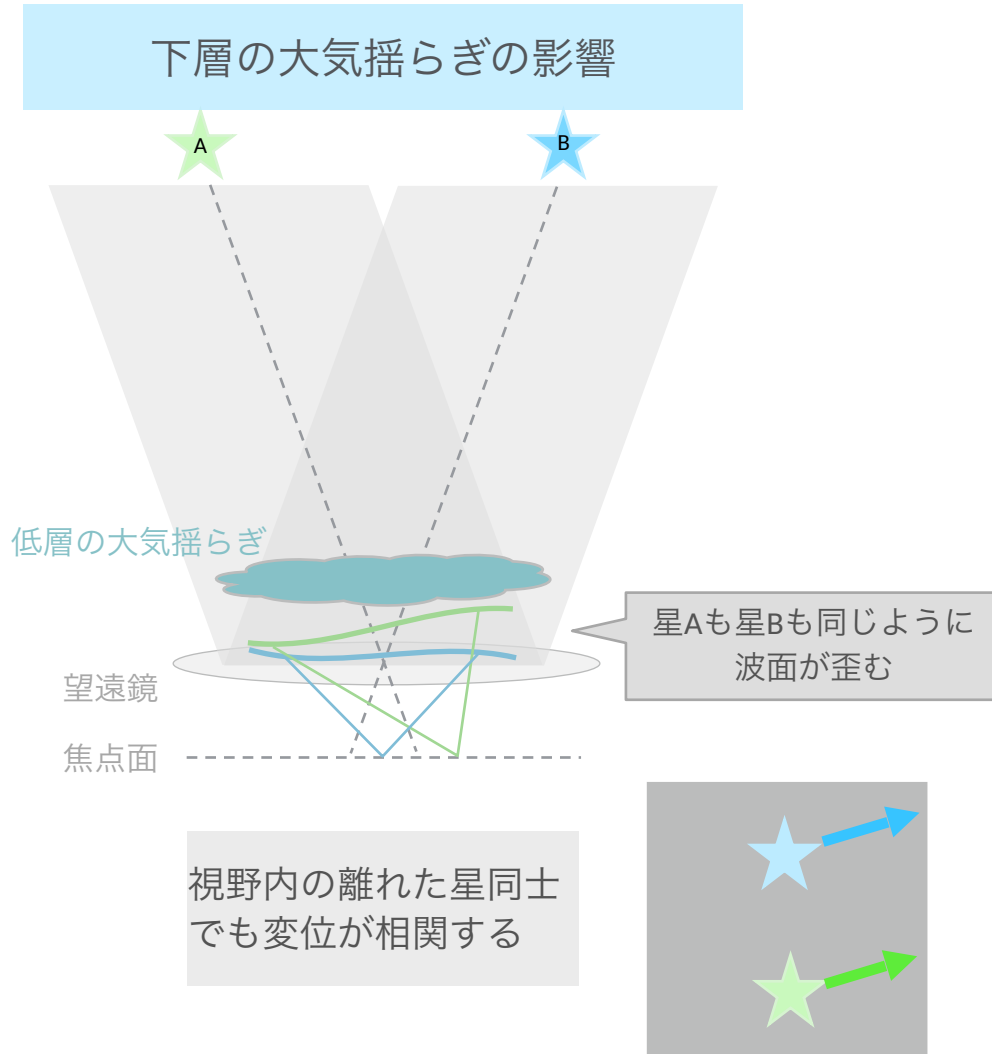


Large scaleの大気擾乱  
(結像位置に影響)



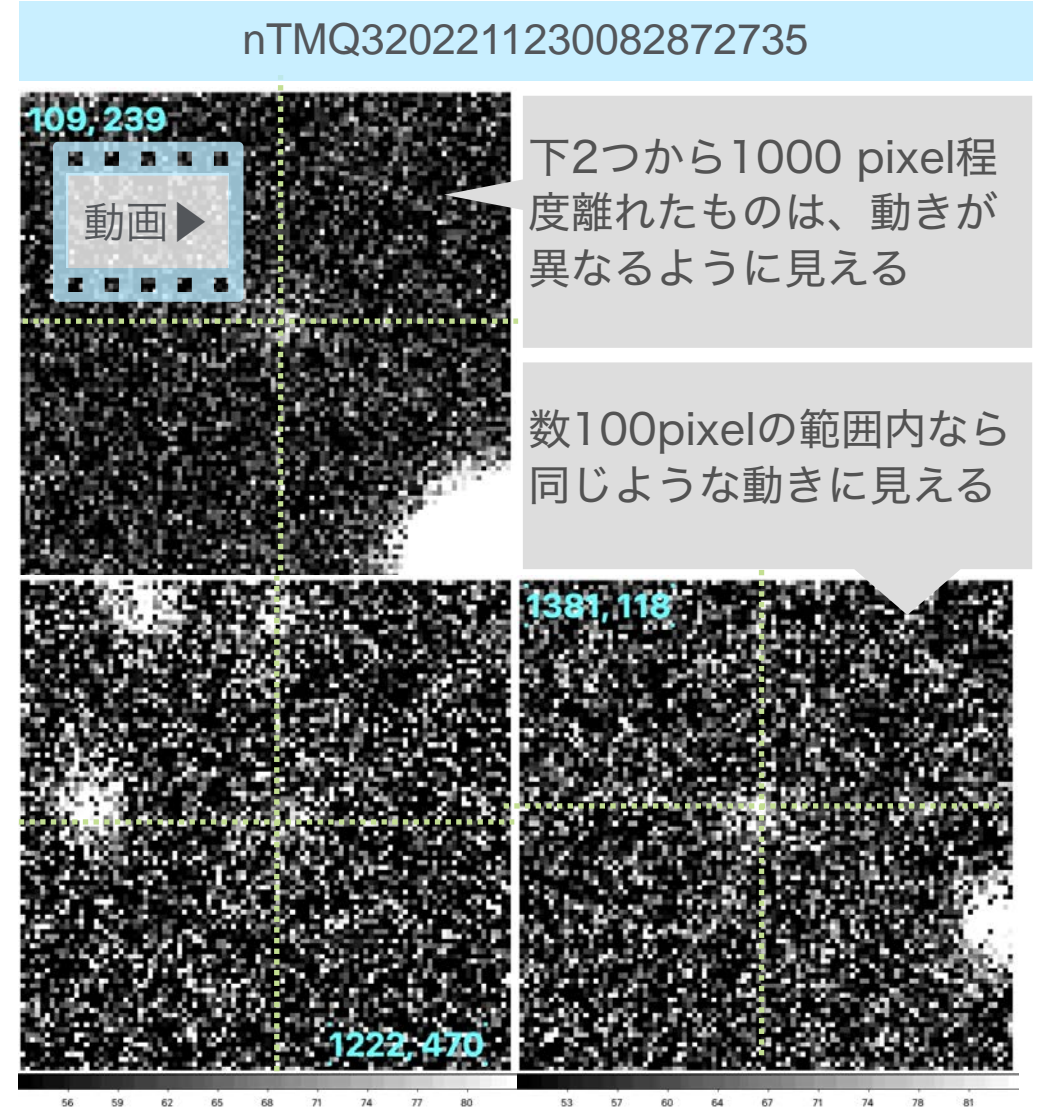
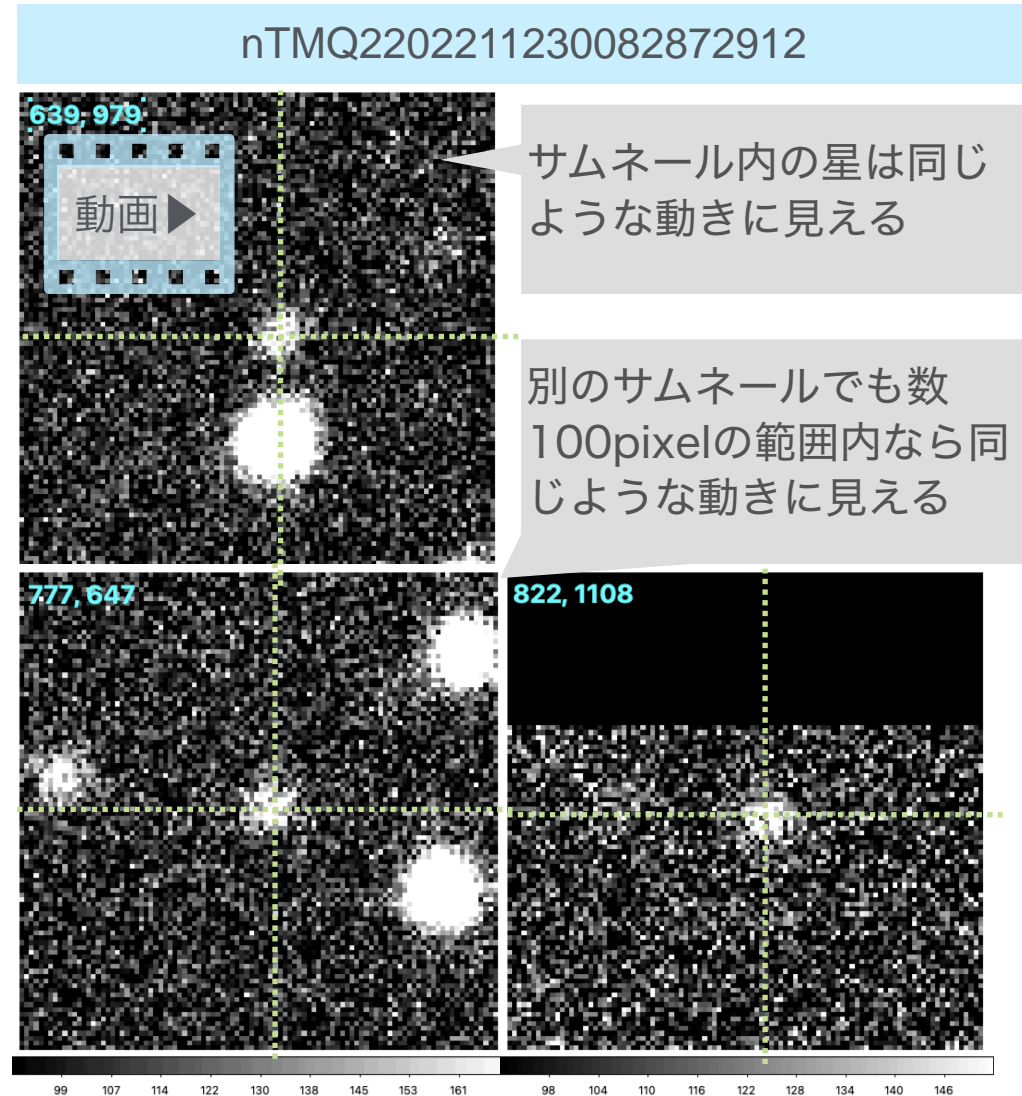
# Seeingのtip-tilt成分が下層大気に起因する場合、測光点の変位は広い視野内で相関する。一方、上層大気に起因する場合、相関の空間スケールは小さくなる

## 大気揺らぎの高度と視野内の相関



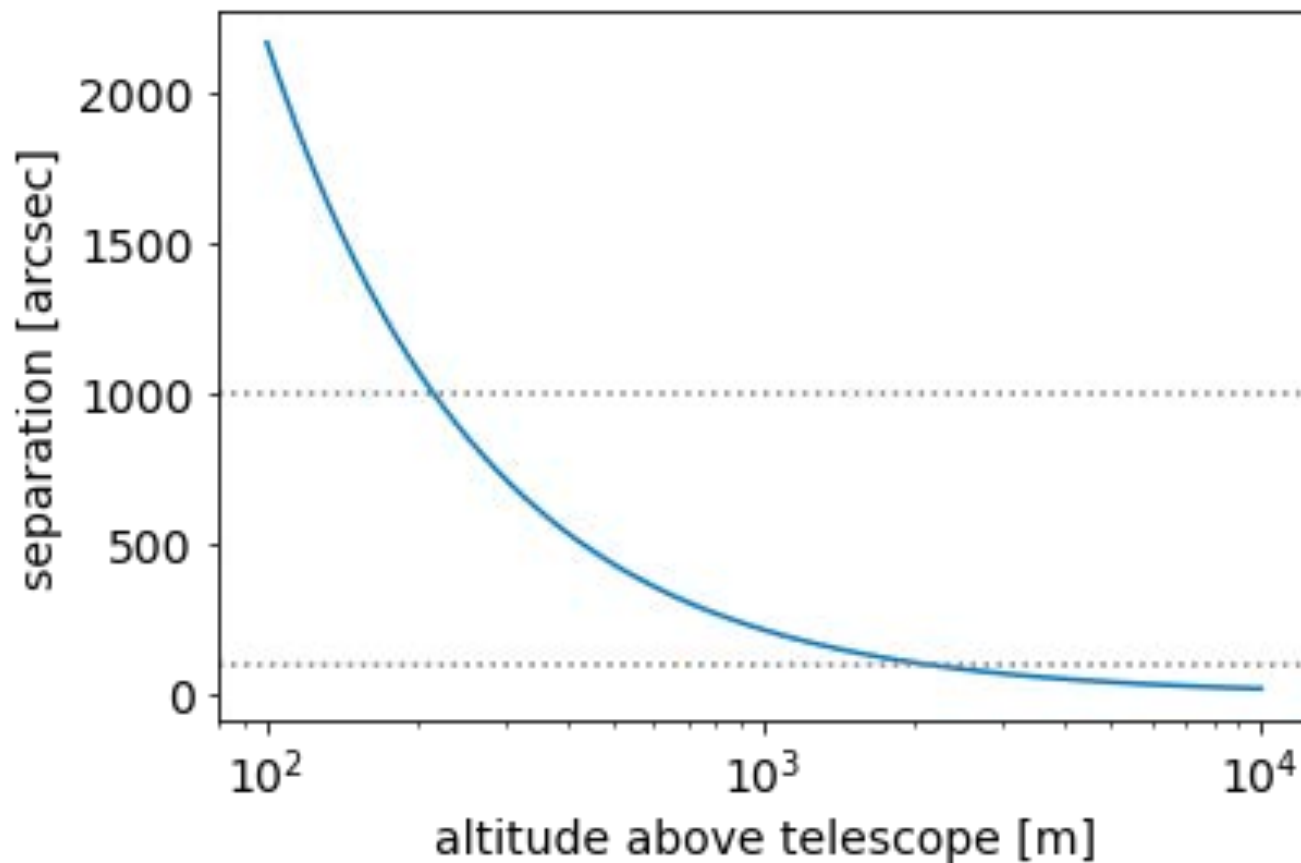
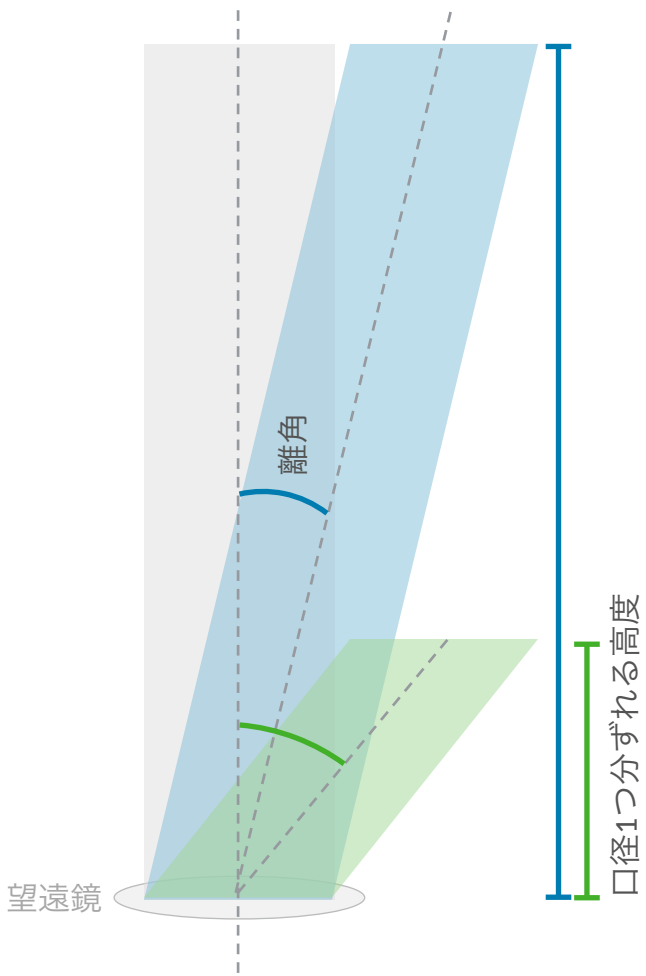
100 pixel (サムネイル内) から数100 pixelの範囲では変位が相関しているように見える。  
 一方で、1000 pixel程度離れたものでは相関していないように見える

Tomo-e Gozenのデータ例



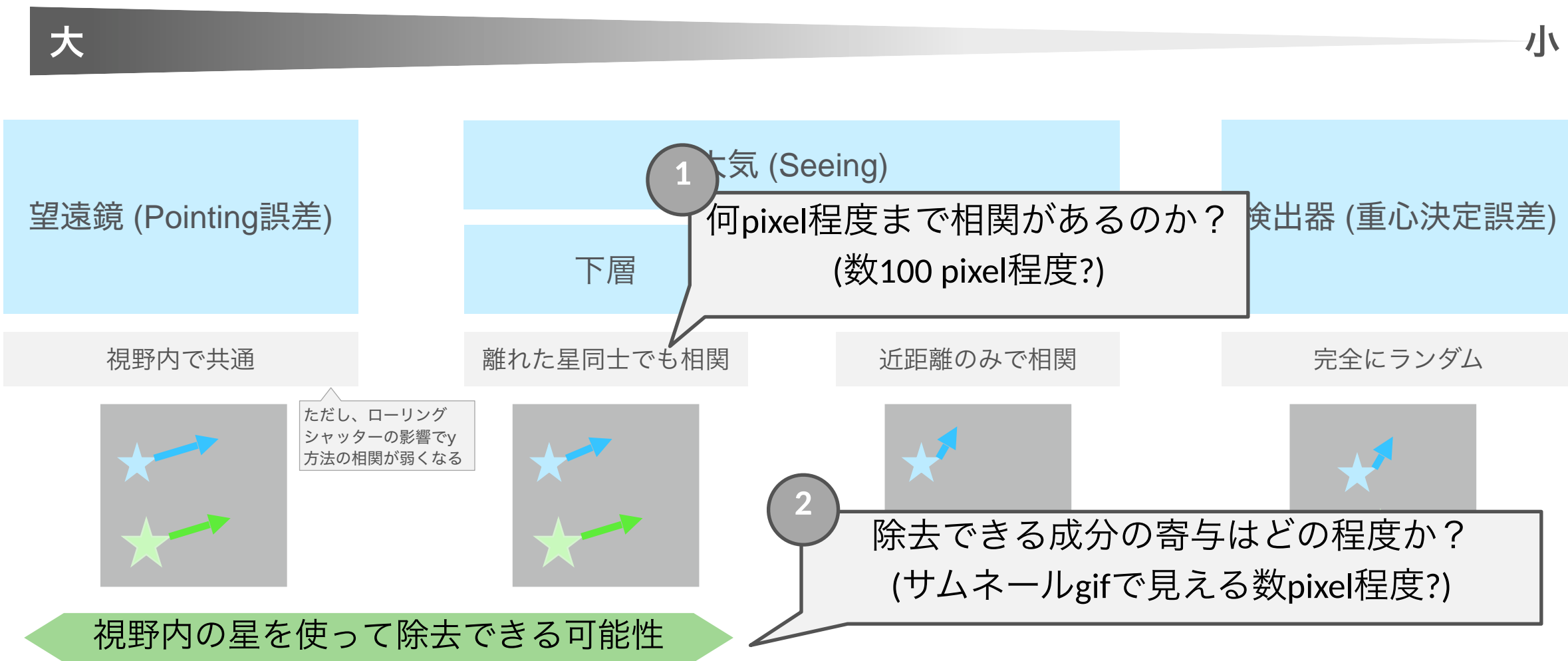
口径1mの場合、tip-tiltの原因となる大気揺らぎが高度2000m以下(望遠鏡から)に存在するならば、変位の相関の空間スケールは100 秒角程度となる

相関の空間スケールと大気揺らぎの高度



# 変位の要因となる成分ごとに、変位が相関する空間スケールが異なる。相関の空間スケールが大きな成分(Seeing, Pointing誤差)は除去できる可能性がある

## 測光点の変位を引き起こす要因と相関の空間スケール

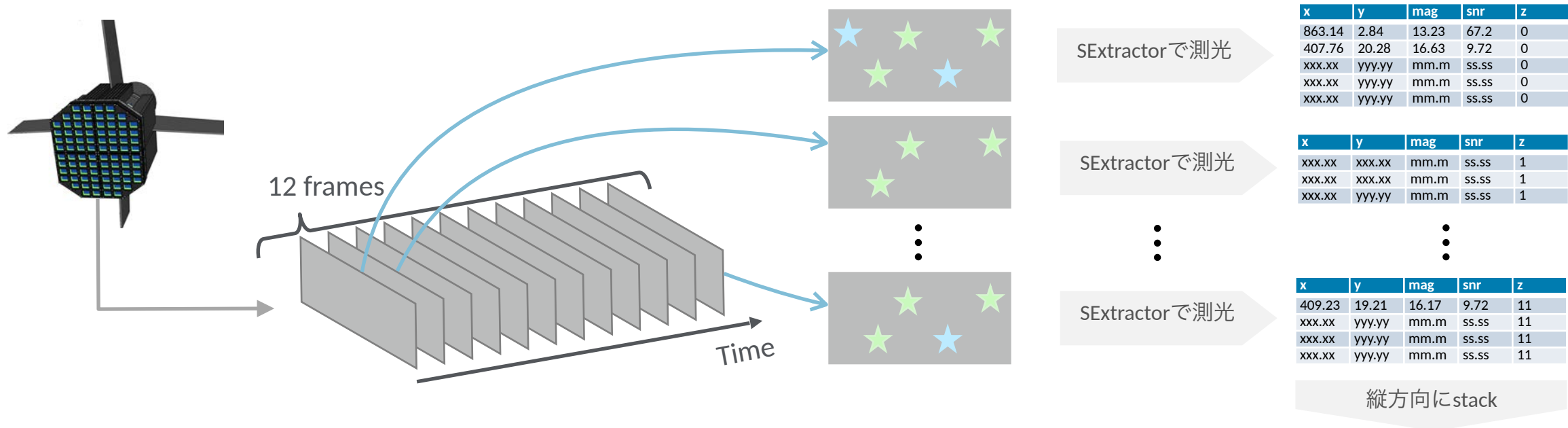


# データ: Tomo-e Gozenの2 Hz測光データ



# 1チップごとの12フレームそれぞれにSExtractorを適用した測光データを使用。ただし、フレーム間の天体の同定はされていない

## 12 frameの測光データ

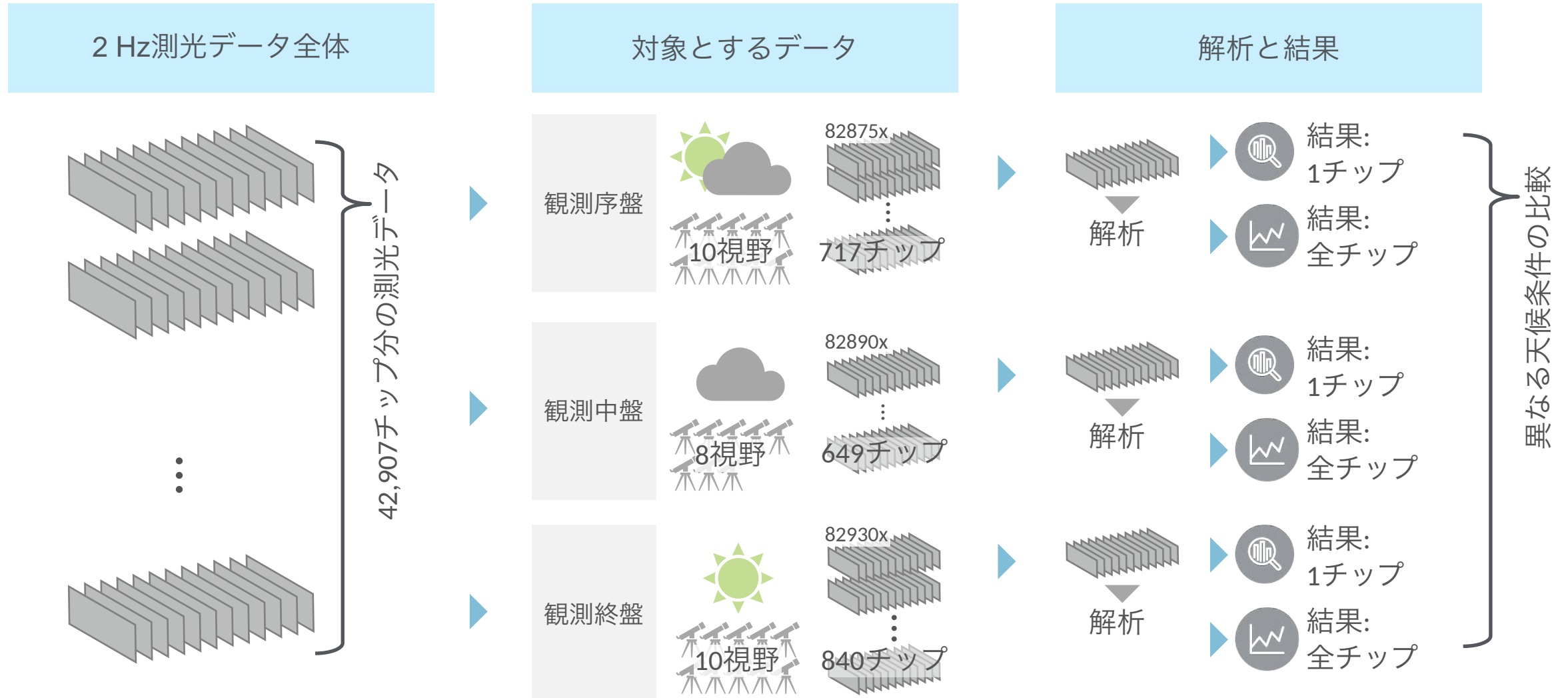


npix	x	y	xpeak	ypeak	x0	y0	x2	y2	xy	a	b	theta	e	fwhm	radius	iso	threshold	peak	fop	flux	ferr	mag	merr	snr	timeshift	flag	z	bg_level		
0	276.0	863.138444	2.842680	864.0	1.0	863.135551	3.567538	25.639925	8.352956	-0.290634	5.064071	2.889303	-0.016806	0.821263	9.007497	3.825132	4.968564	33.615196	679.484619	74.895370	50890.251884	757.174951	13.233413	0.016035	67.210691	0.000000	16.0	0.0	95.6518	
1	15.0	407.759147	20.278899	408.0	17.0	407.181827	18.734302	0.544162	2.806932	0.329657	1.689373	0.705063	1.429034	0.908745	2.570008	1.091382	3.154940	33.615196	96.519470	23.065923	2226.310646	228.840103	16.631036	0.106231	9.728673	0.006636	0.0	0.0	95.6518	
2	152.0	904.226148	17.415719	903.0	17.0	904.175685	17.462312	9.600686	13.212445	-0.664377	3.651134	3.079343	-1.394532	0.537296	7.895881	3.353072	6.158519	33.615196	134.295868	100.264771	13465.144444	672.144023	14.676972	0.052888	20.033124	0.006636	0.0	0.0	95.6518	
3	3.0	842.949362	26.575282	844.0	27.0	843.720727	26.707834	0.201279	0.206805	-0.081594	0.534493	0.349859	-0.802322	0.756008	1.018299	0.432432	0.557612	33.615196	384.881226	1.148067	441.869278	89.150084	18.386765	0.199541	4.956465	0.009954	0.0	0.0	95.6518	
4	362.0	1438.954955	18.351933	1438.0	18.0	1438.889026	18.126647	20.788110	21.616900	0.613543	4.684323	4.523509	1.082415	0.259773	10.839739	4.603213	6.933976	33.615196	268.446350	151.534150	40678.789406	944.998053	13.476580	0.024934	43.046427	0.006636	16.0	0.0	95.6518	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2677	24.0	460.590313	1116.026022	461.0	1116.0	460.910358	1116.472026	2.212597	3.420847	-0.710577	1.936337	1.372605	-1.137700	0.705342	3.839025	1.630284	3.872673	33.499615	99.568893	35.868683	3571.405045	328.328514	16.117902	0.095490	10.877535	0.462861	0.0	11.0	95.1123	
2678	66.0	1262.164721	1121.880730	1261.0	1126.0	1261.726956	1121.966190	4.719905	4.995925	-0.135825	2.247566	2.159694	-1.182088	0.276883	5.188120	2.203192	4.345097	33.499615	127.566635	47.224262	6024.240154	405.401792	15.550244	0.070711	14.859925	0.464520	16.0	11.0	95.1123	
2679	598.0	111.663675	1123.759786	113.0	1126.0	111.577255	1122.592879	31.721727	12.760054	-0.232003	5.632456	3.571724	-0.012233	0.773224	10.561986	4.485263	5.043200	33.499615	3908.849609	90.991425	355671.797493	1423.100405	11.122376	0.004336	249.927409	0.464520	16.0	11.0	95.1123	
2680	507.0	200.190313	1115.623536	202.0	1116.0	200.039000	1115.626257	25.013357	23.444838	-1.786426	5.116649	4.719968	-0.578559	0.386063	11.572310	4.914308	6.354603	33.499615	525.140625	154.642430	81209.022110	1019.991501	12.725989	0.013552	79.617352	0.461202	16.0	11.0	95.1123	
2681	70.0	1506.318969	1124.266524	1504.0	1127.0	1506.321442	1124.368566	7.159503	3.322257	0.493203	2.687356	1.805514	0.125807	0.740683	5.187053	2.202739	3.906134	33.499615	156.630539	43.033386	6740.342430	391.151989	15.428295	0.061246	17.232029	0.466179	16.0	11.0	95.1123	

# 1チップごとにサンプル天体の抽出・同定から変位の解析を実施する。

## 全チップをまとめた結果や天候条件の異なる時間帯の結果の比較も行う

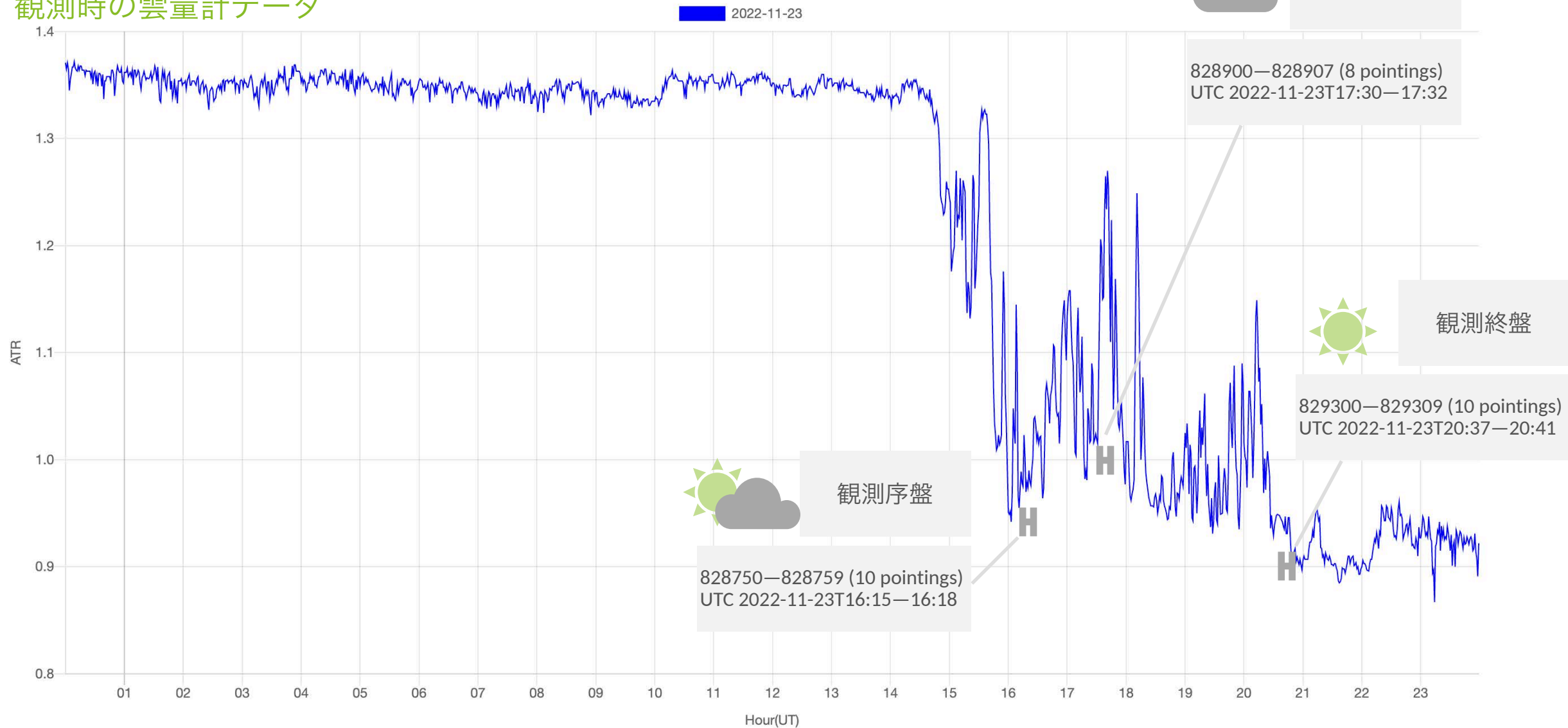
### 解析の方針





# 天候条件が異なる3つの時間帯のデータを解析する

## 観測時の雲量計データ



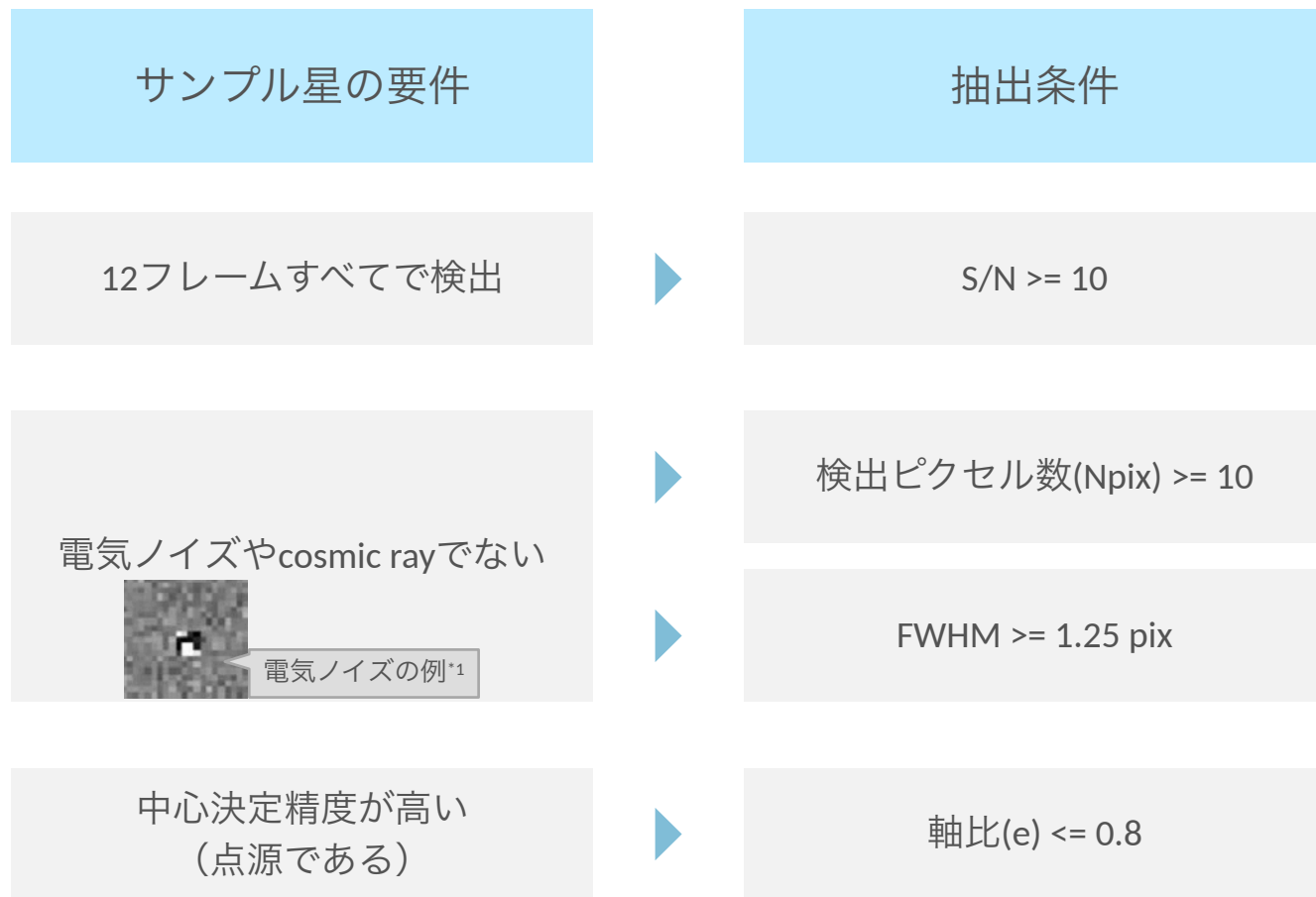
**サンプル&方法:**

**変位を測定する星の抽出・同定、変位量の測定**

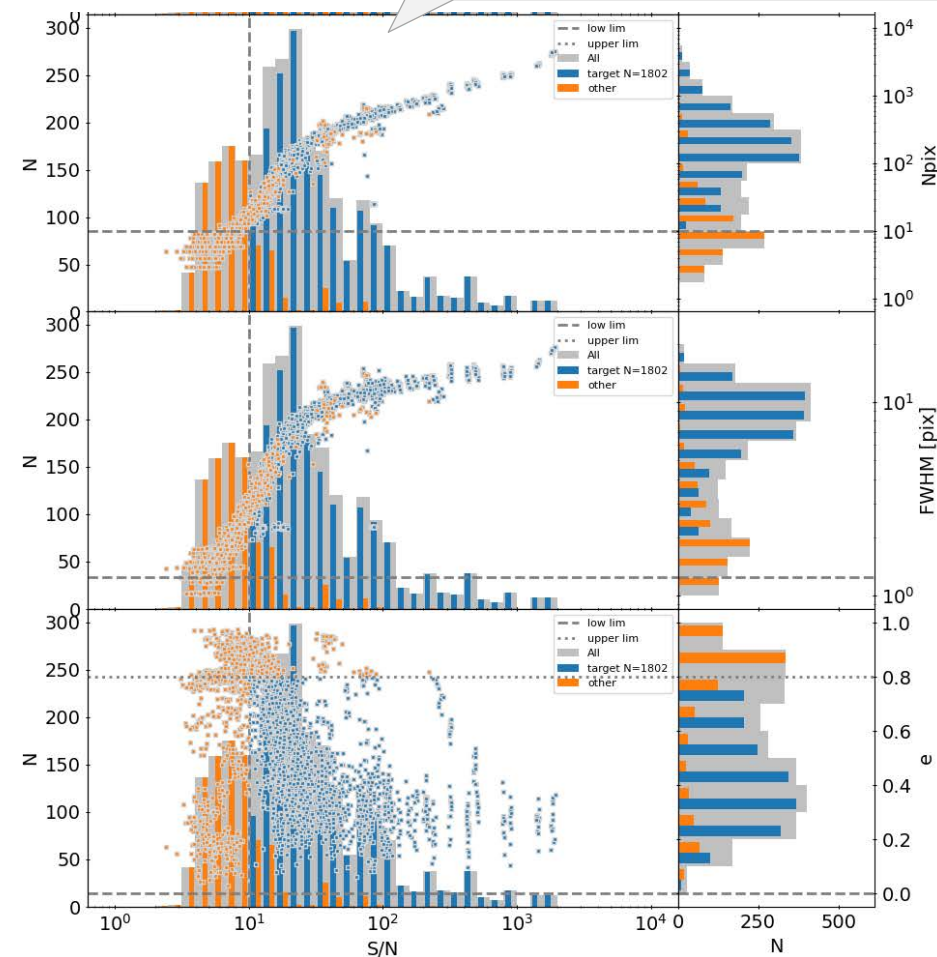
# 測光データのみから変位を測定する星を抽出する。

## 12フレームで天体の同定ができ、変位を測定できる天体を抽出する

### サンプルの抽出方法



実際にはS/Nのリミットが効いている。広がった天体は少ないので軸比はあまり効いていない

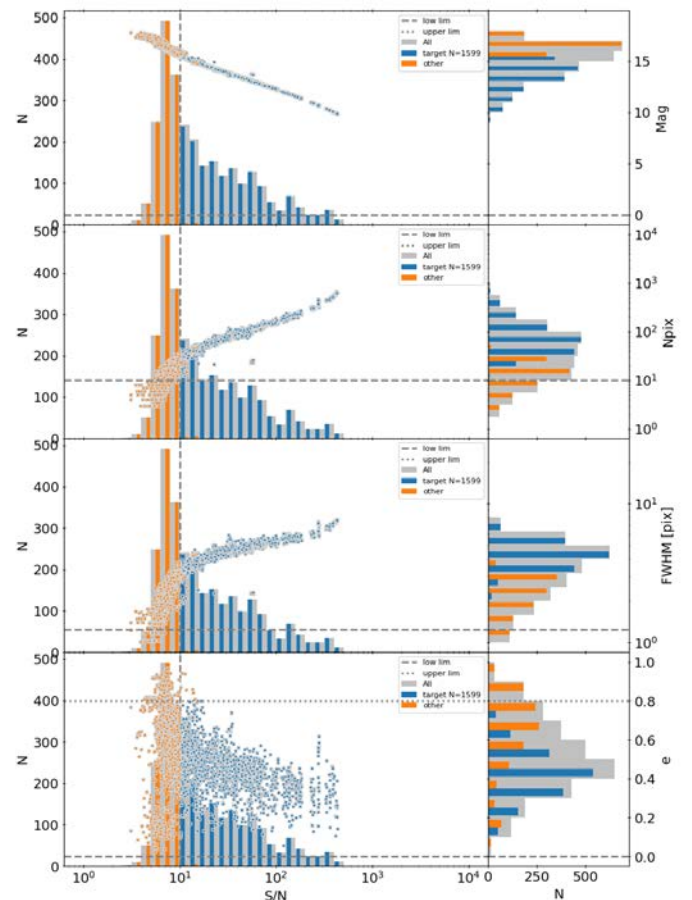
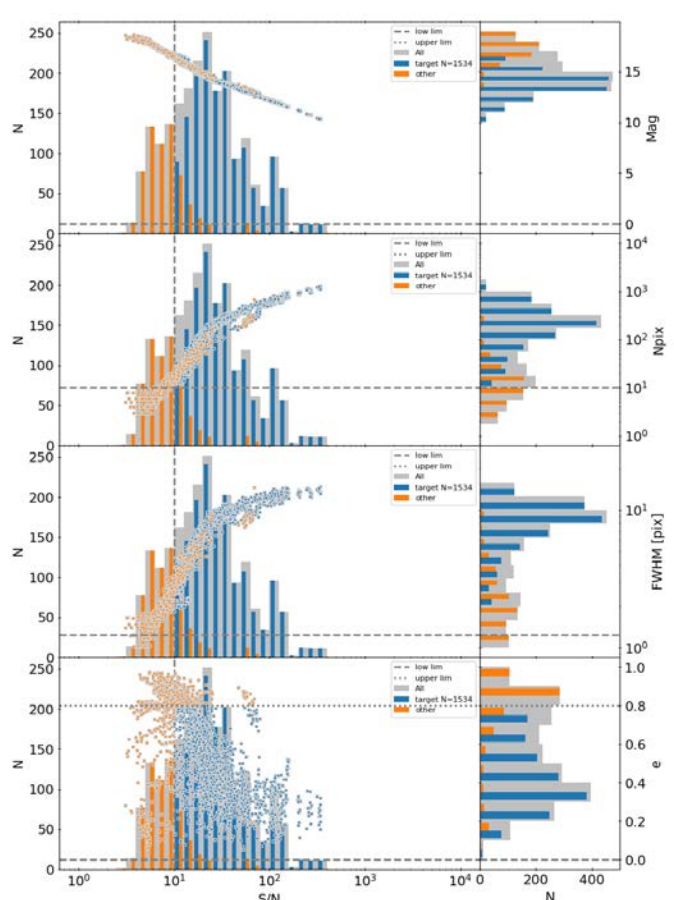
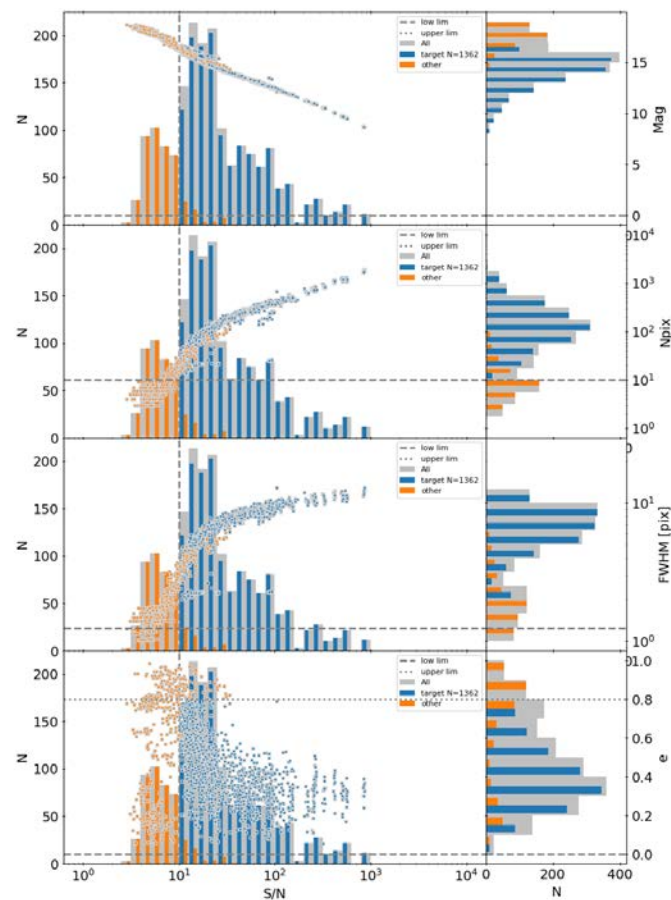
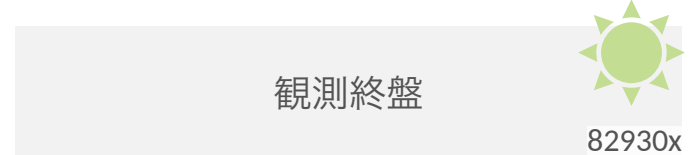
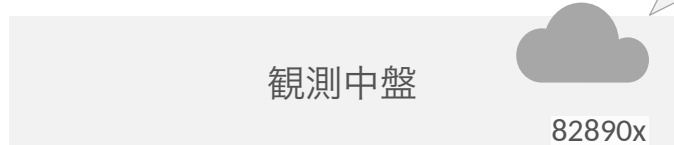
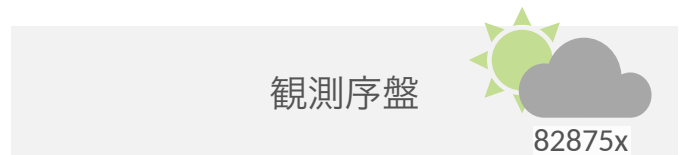


\*1: Kikuchi 2016 (修士論文)

# 天候によって、Npix, FWHM, eなどの分布が変化するものの、 $S/N \geq 10$ で抽出される天体の傾向は変わらない

## サンプル抽出の例

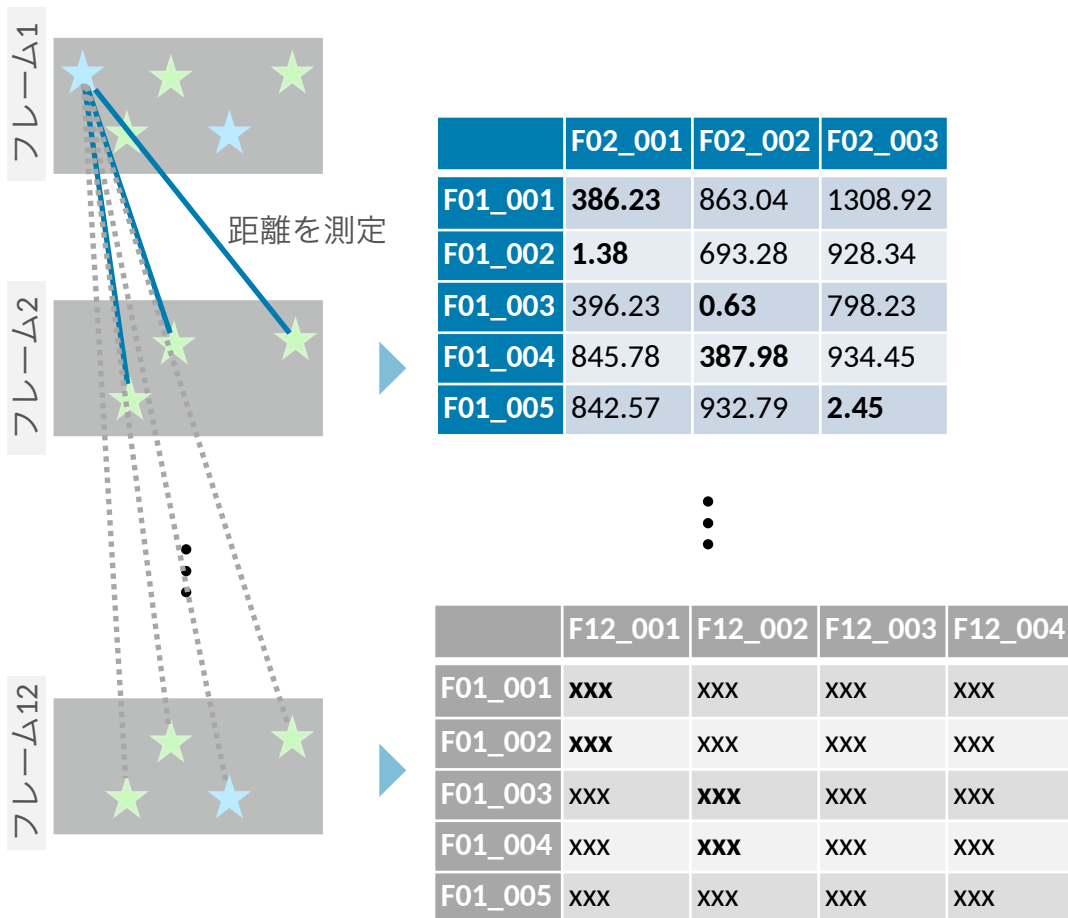
天気が悪いと、Npix, FWHM, eが増加する傾向がある。大気の影響で星像が歪むと考えられる。



# 1フレーム目の天体と2フレーム目以降の各フレームの天体同士で距離が近いものを同一天体とする。ただし距離が一定の閾値以上となるフレームがあれば、その天体を除外する

## フレーム間での天体の同定

### 星同士の距離の測定



一番近いものを抽出

### 天体の同定

	F02	F03	...	F12
F01_001	001 (386.23)	003 (xxx)	...	001 (xxx)
F01_002	<b>001</b> <b>(1.38)</b>	001 (xxx)	...	001 (xxx)
F01_003	<b>002</b> <b>(0.63)</b>	002 (xxx)	...	002 (xxx)
F01_004	002 (387.98)	003 (xxx)	...	003 (xxx)
F01_005	<b>003</b> <b>(2.45)</b>	004 (xxx)	...	004 (xxx)

距離のmedian,  $\sigma$

<b>median</b>	2.45	xxx	...	xxx
<b><math>\sigma</math></b>	1.02	xxx	...	xxx

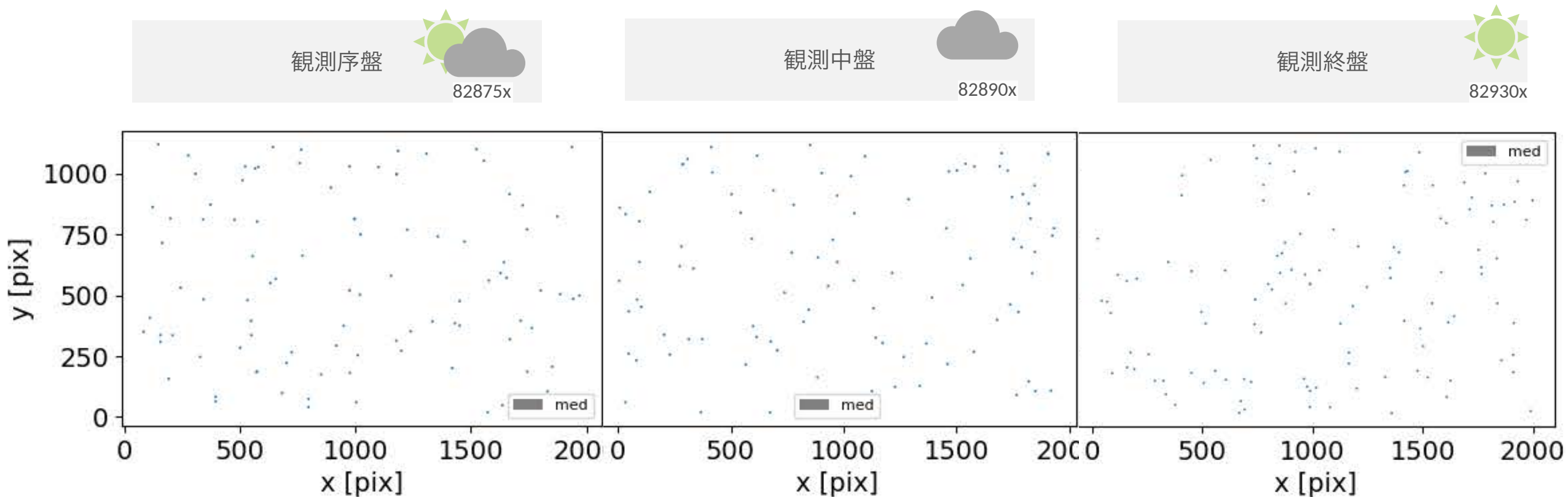
median + 4 $\sigma$ 以内?



変位測定の対象サンプル

# 1チップあたり100から200程度の星がサンプルとして抽出される

あるチップでのサンプルの星の分布の例

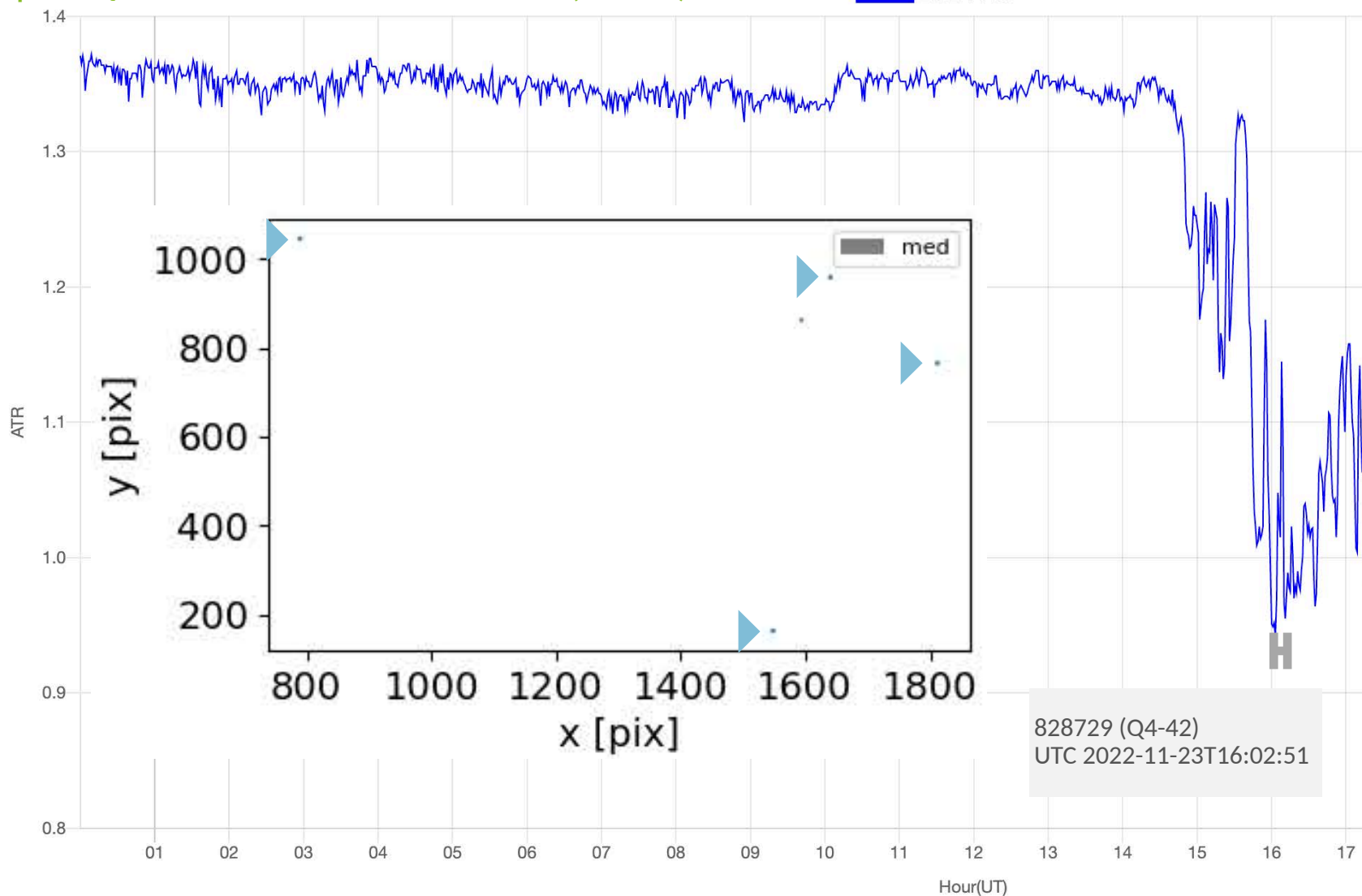




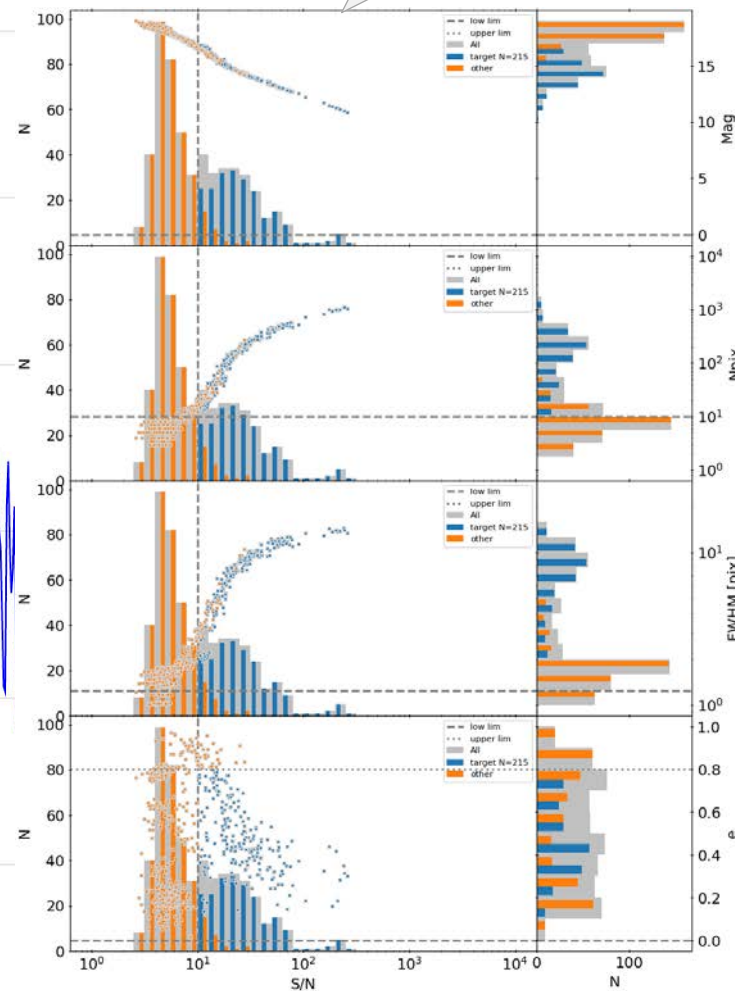
# 天候によってはサンプルが少ない場合もある

pTMQ4202211230082872942の例(4天体)

2022-11-23



そもそもS/N高く検出される天体が少ない



# 結果1: 星の変位量



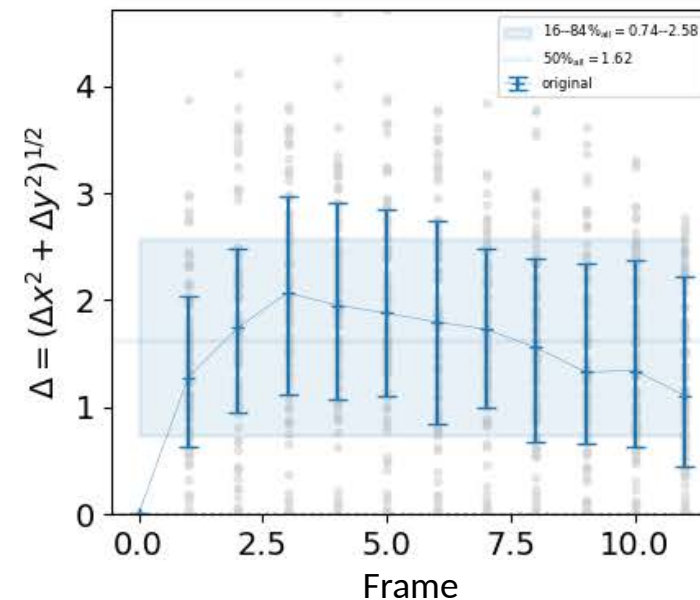
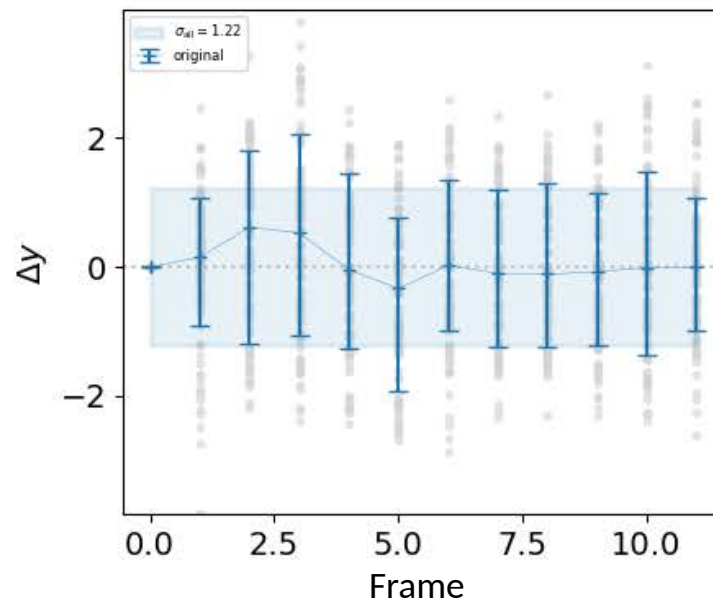
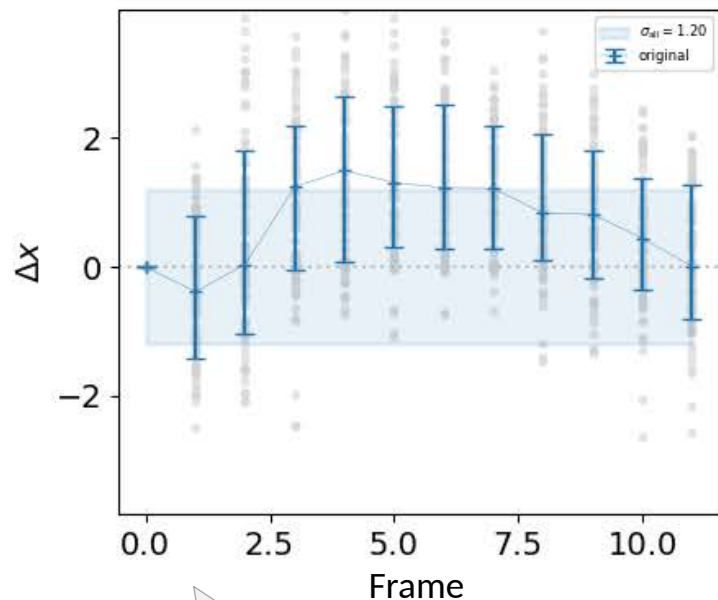
# 各フレームのmedianでも+/- 1pix程度変位する場合がある (1/3)

x方向, y方向の変位, スカラー量の分布(1チップの例)

観測序盤



82875x



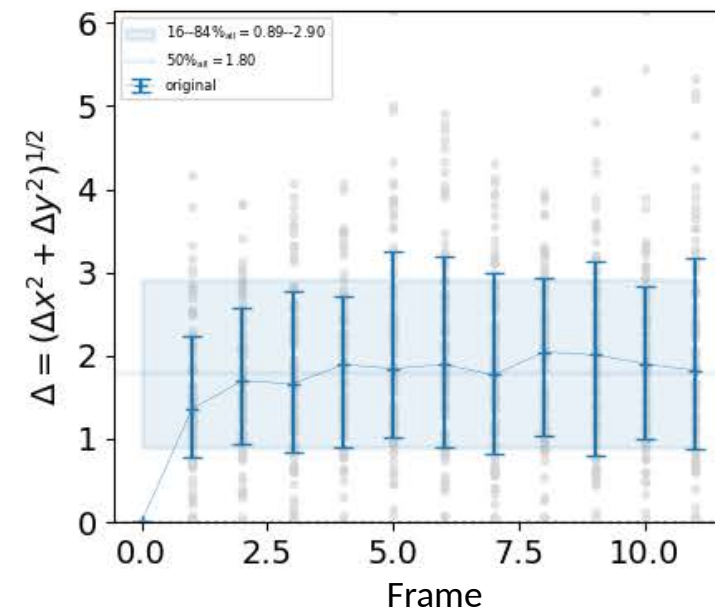
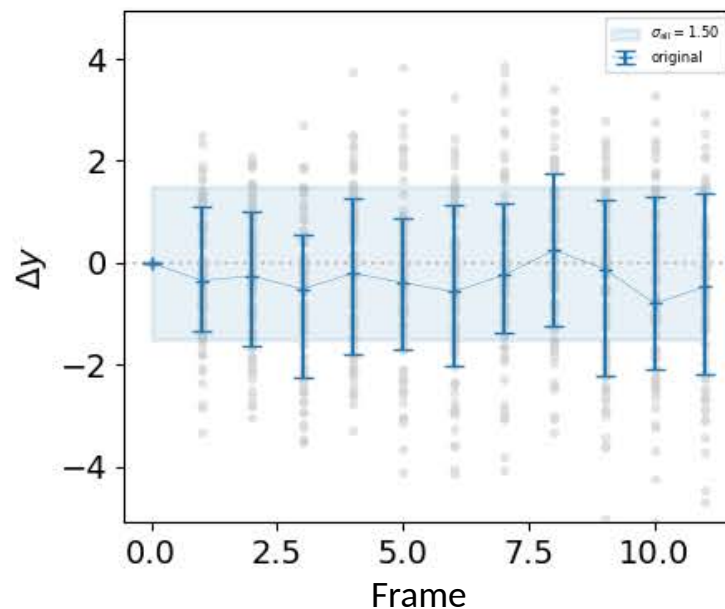
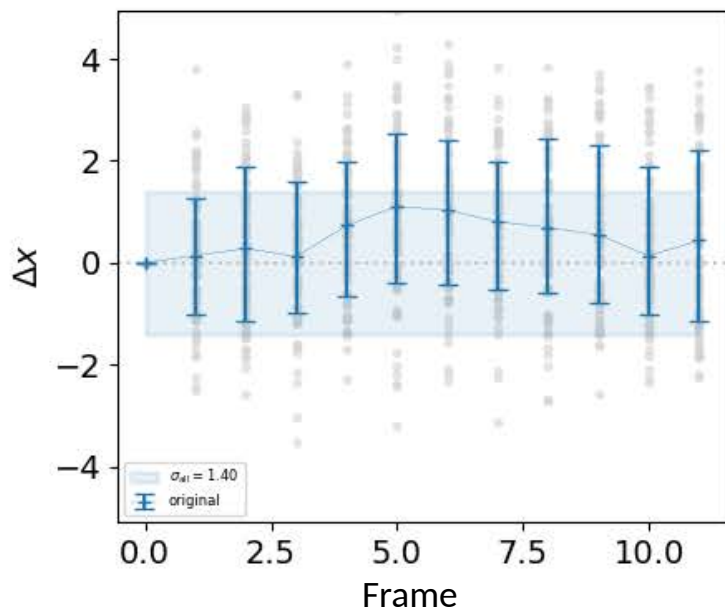
サンプルそれぞれについての、1frame目からの変位量 (grey scatter)。  
青いエラーバーは16, 50, 84 %tile。  
青いシェードは全フレームを合わせた分布の+/-1σ。

# 各フレームのmedianでも+/- 1pix程度変位する場合がある (2/3)

x方向, y方向の変位, スカラー量の分布(1チップの例)

観測中盤

82890x



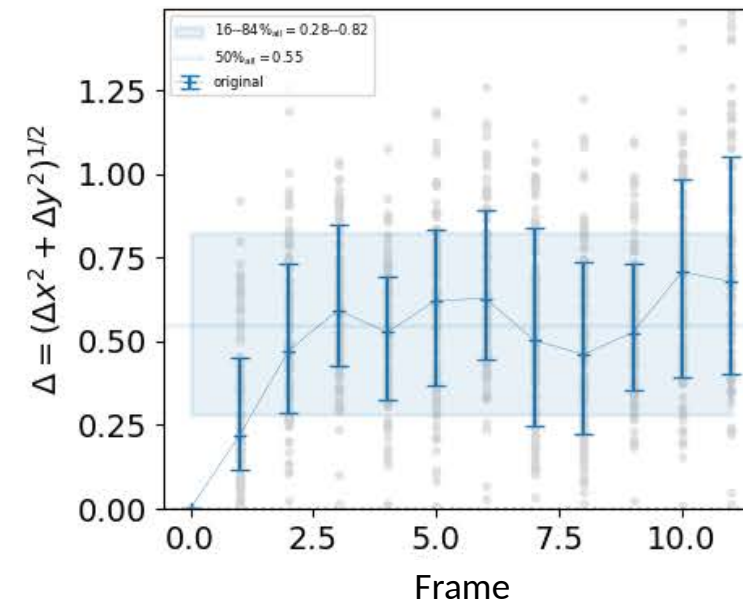
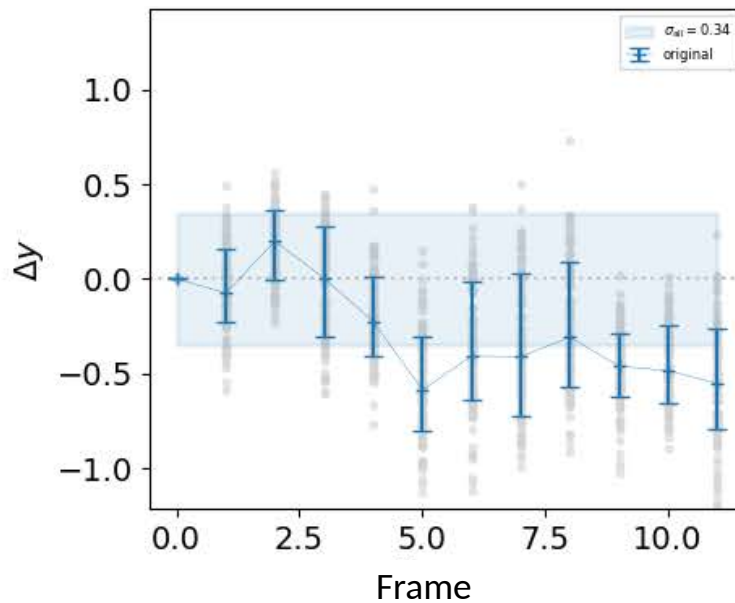
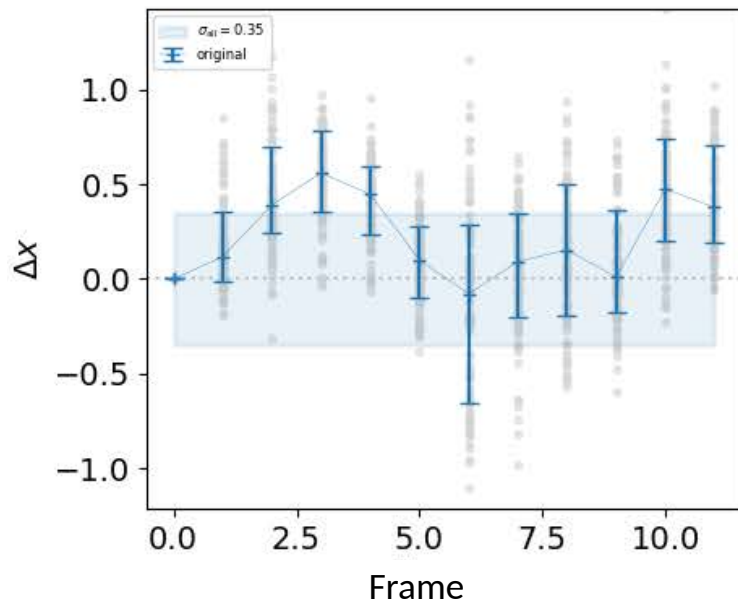
# 各フレームのmedianでも+/- 1pix程度変位する場合がある (3/3)

x方向, y方向の変位, スカラー量の分布(1チップの例)



観測終盤

82930x



天気が良いときは変位も少ない (y軸のスケールに注目)

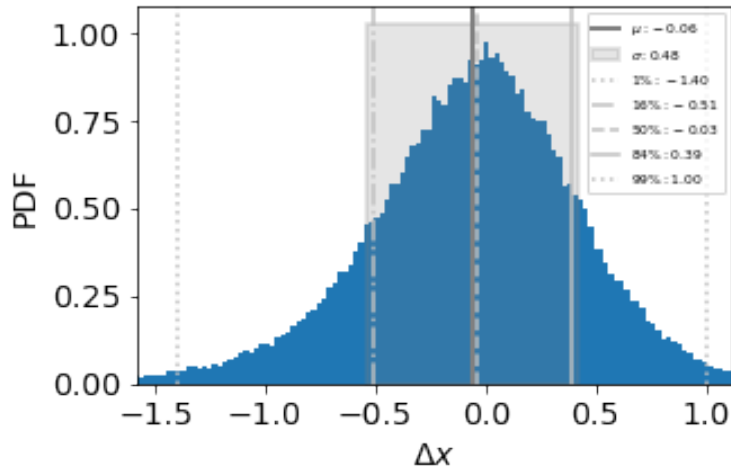
# 天気が良い場合であっても、12フレーム平均で平均しているにも関わらず、Seeing Dance によってmedianで1.2"/s, 99 percentileでは4.1"/s程度に及ぶ移動速度が生じる

12フレームの平均変位の分布(全チップ)

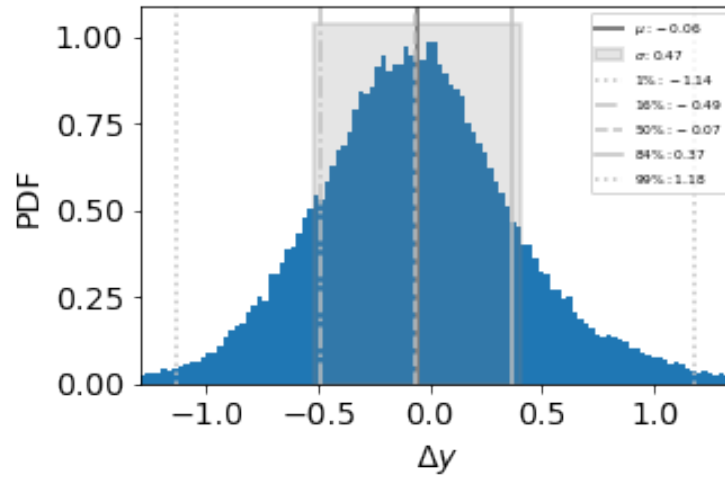
観測終盤



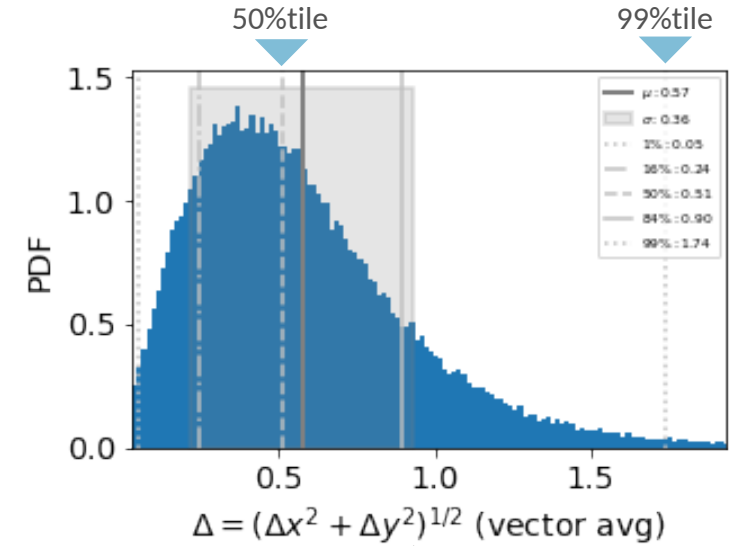
82930x



V\_RAのようなもの。  
ただし単位はpix/frameなので、 $1.19 \times 2 = 2.38$ 倍すると"/sになる。



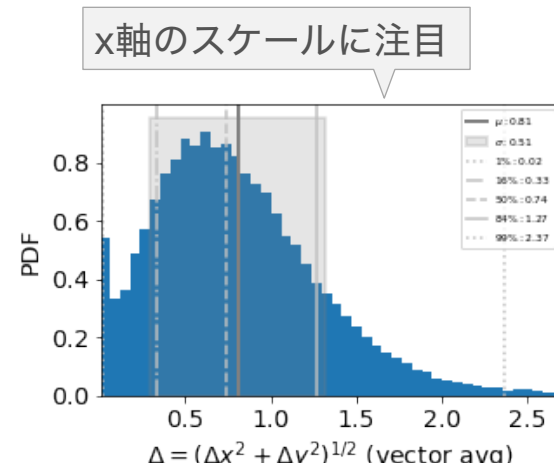
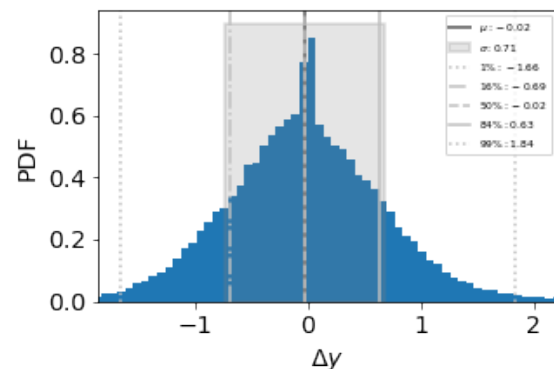
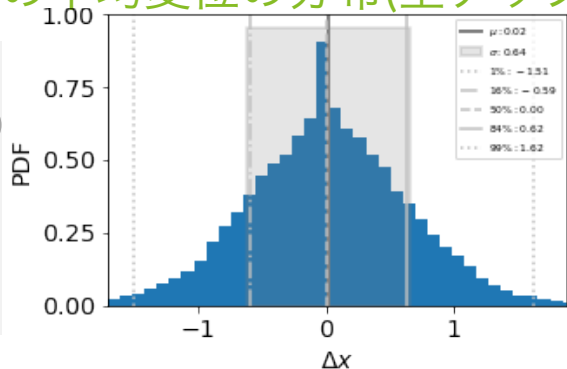
V\_DECのようなもの。  
ただし単位はpix/frameなので、 $1.19 \times 2 = 2.38$ 倍すると"/sになる。



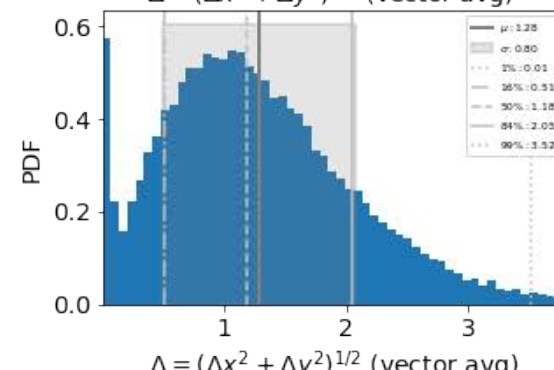
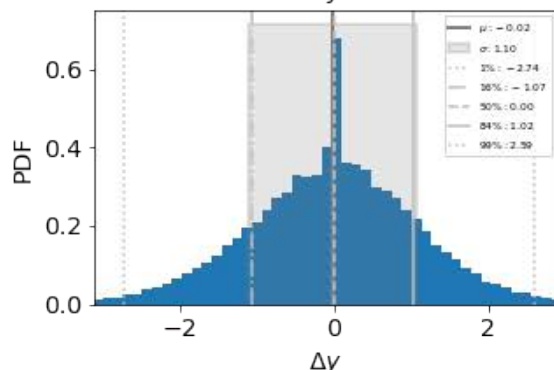
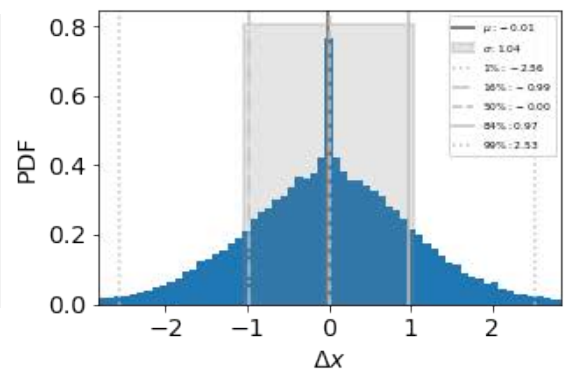
V\_MEANのようなもの。  
ベクトルで平均してからスカラー化。  
単位はpix/frameなので、 $1.19 \times 2 = 2.38$ 倍すると"/sになる。

# 天気が悪いほどSeeing Danceで生じる平均移動速度が大きいいため、移動天体として誤検出されやすくなる。Medianが~1-3"/s, 99percentileは~4-8"/sである

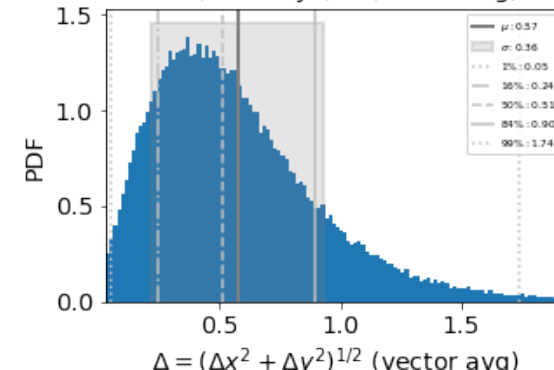
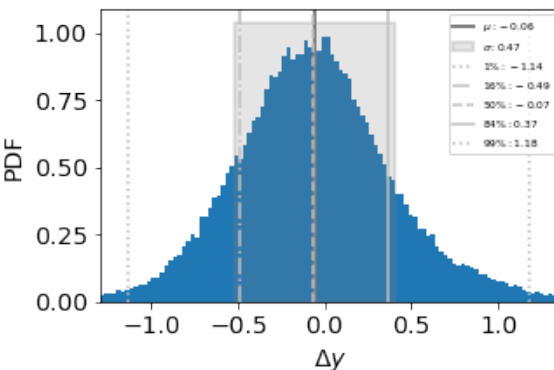
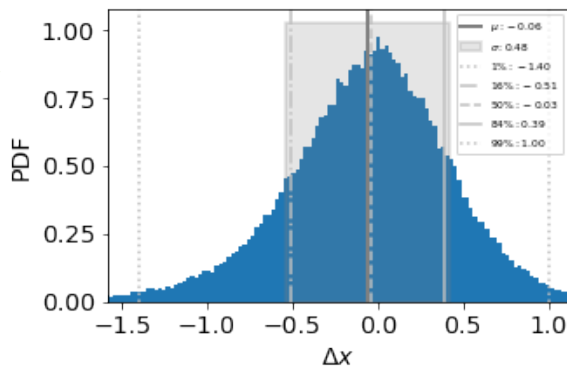
## 12フレームの平均変位の分布(全チップ)



	"/s
50%tile	1.8
99%tile	5.6



	"/s
50%tile	2.8
99%tile	8.4



	"/s
50%tile	1.2
99%tile	4.1

## 結果2: 星の変位量の空間的な相関



数100 pixel程度のスケールで局所的には変位ベクトルの向きや大きさが似ている。

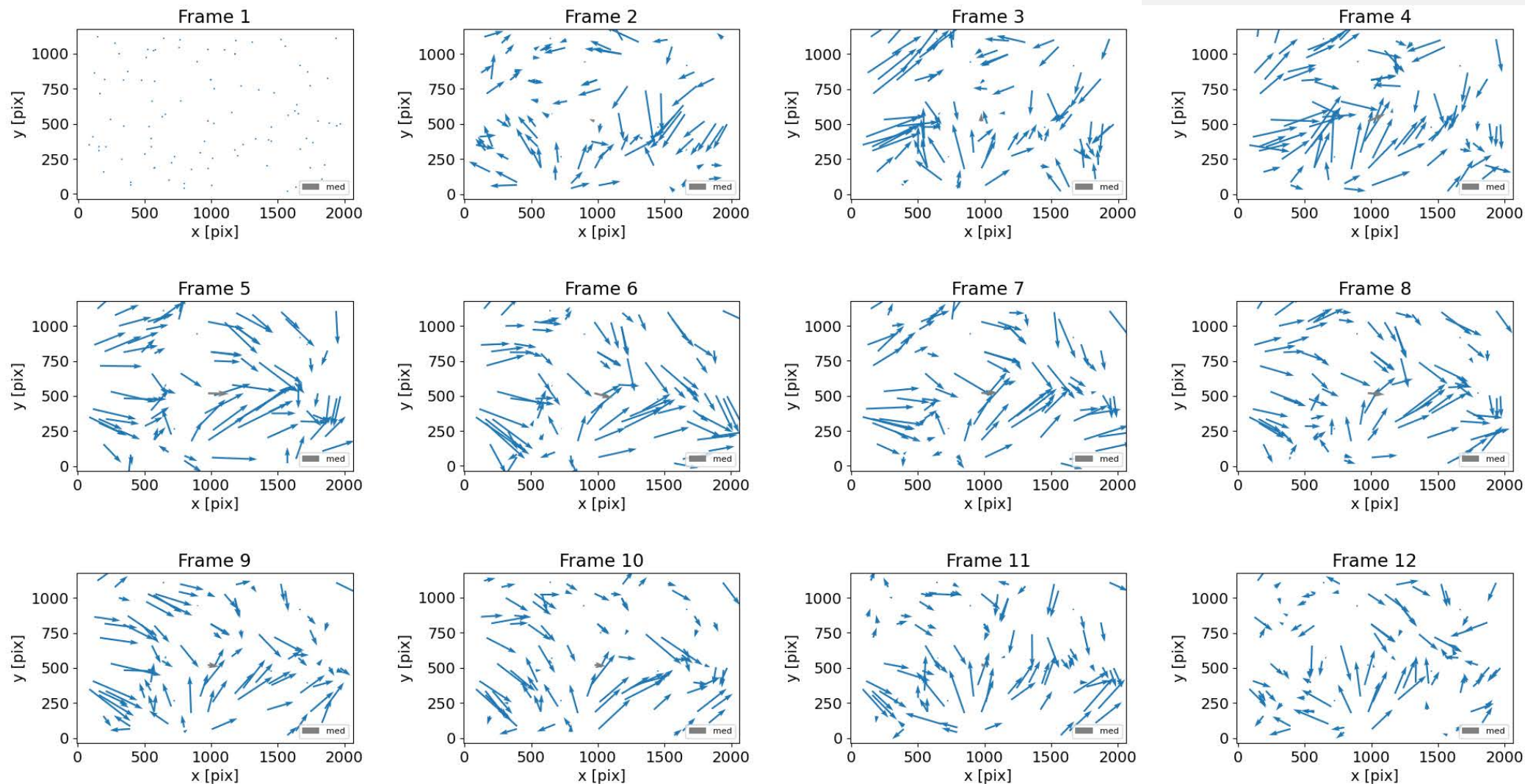
チップの端と端ぐらいのスケールでは相関は弱い (1/2)

変位ベクトルの分布の例(1チップ)

観測序盤



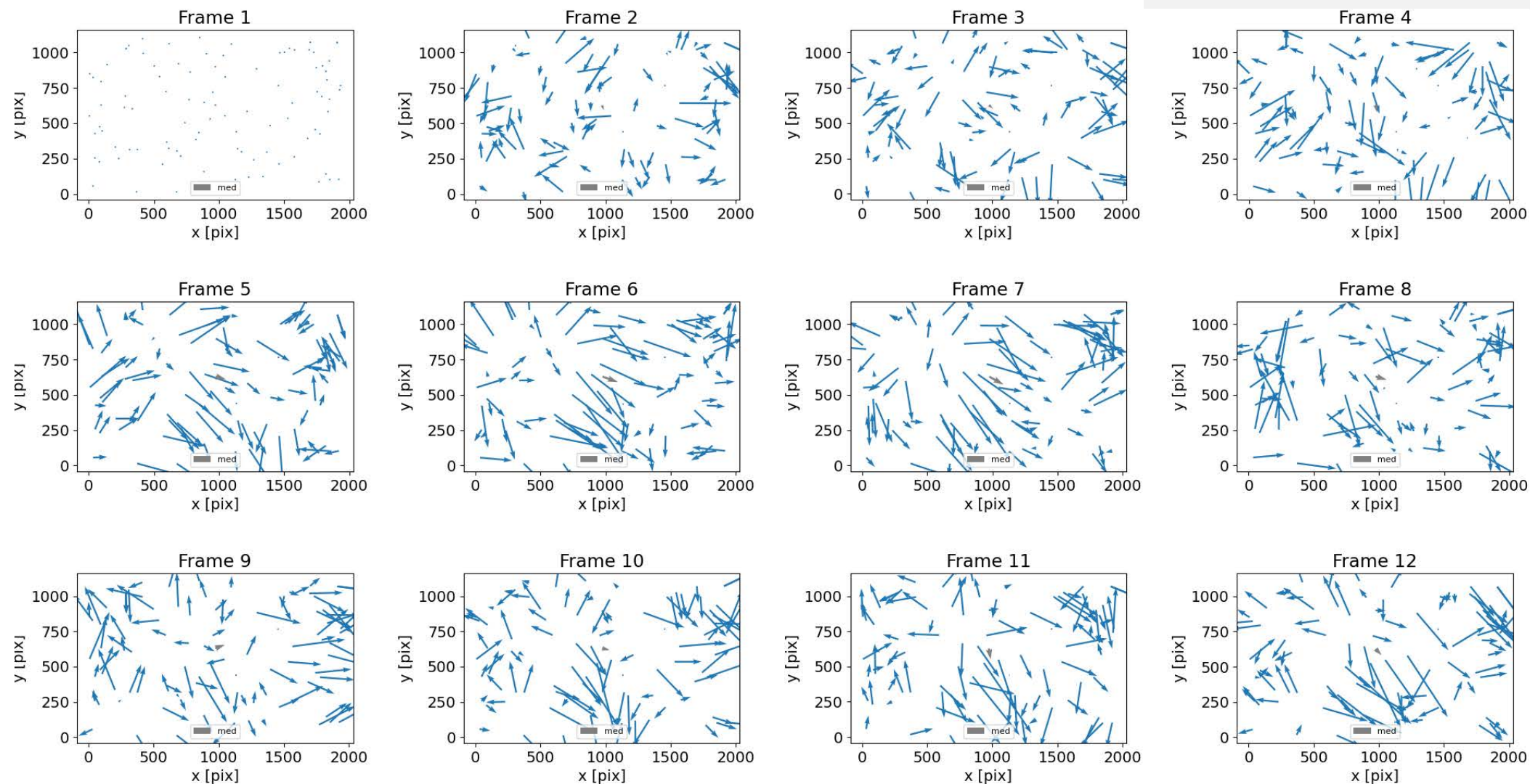
82875x



数100 pixel程度のスケールで局所的には変位ベクトルの向きや大きさが似ている。

チップの端と端ぐらいのスケールでは相関は弱い (2/2)

変位ベクトルの分布の例(1チップ)





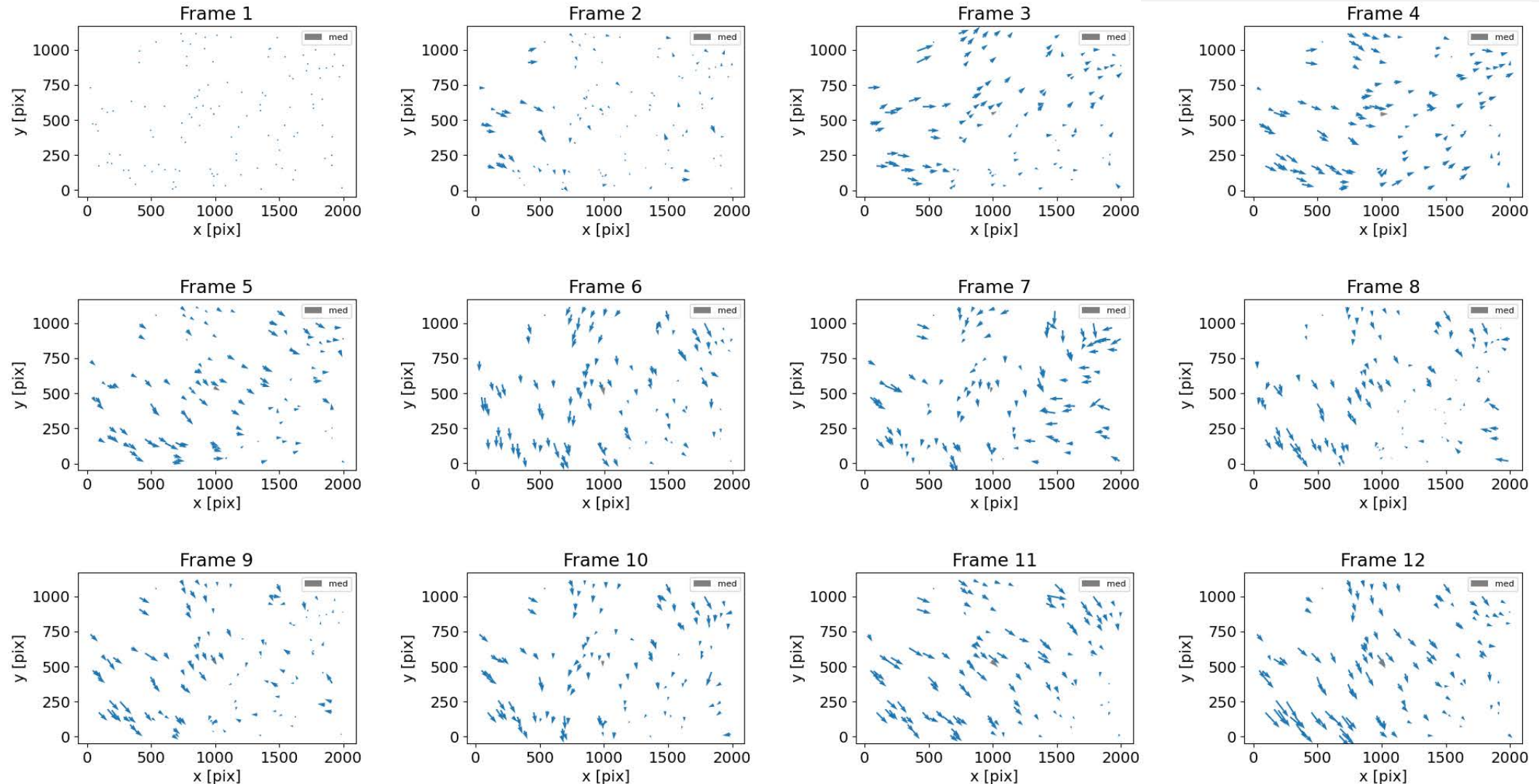
# 天気が良い場合、変位の量が小さく、変位ベクトルの向きと大きさがチップ内で揃っている。 相関の空間スケールが数100から1000 pix程度まで大きくなるように見える

変位ベクトルの分布の例(1チップ)

観測終盤



82930x



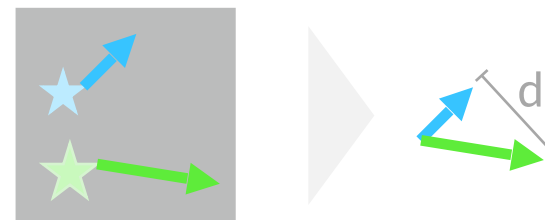
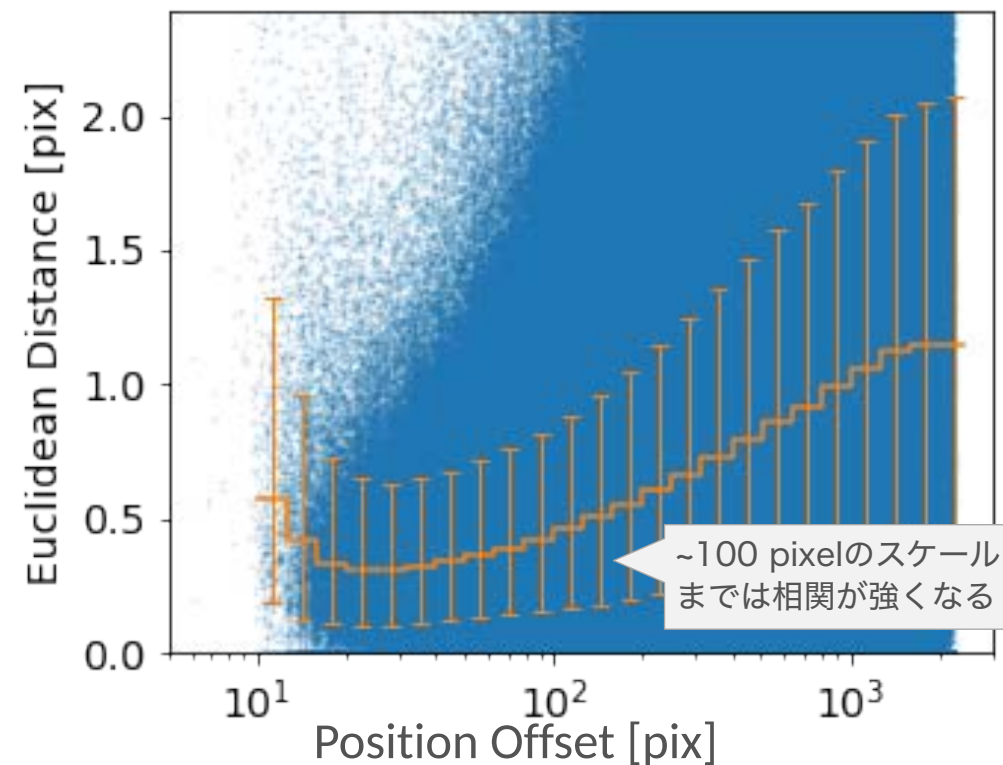
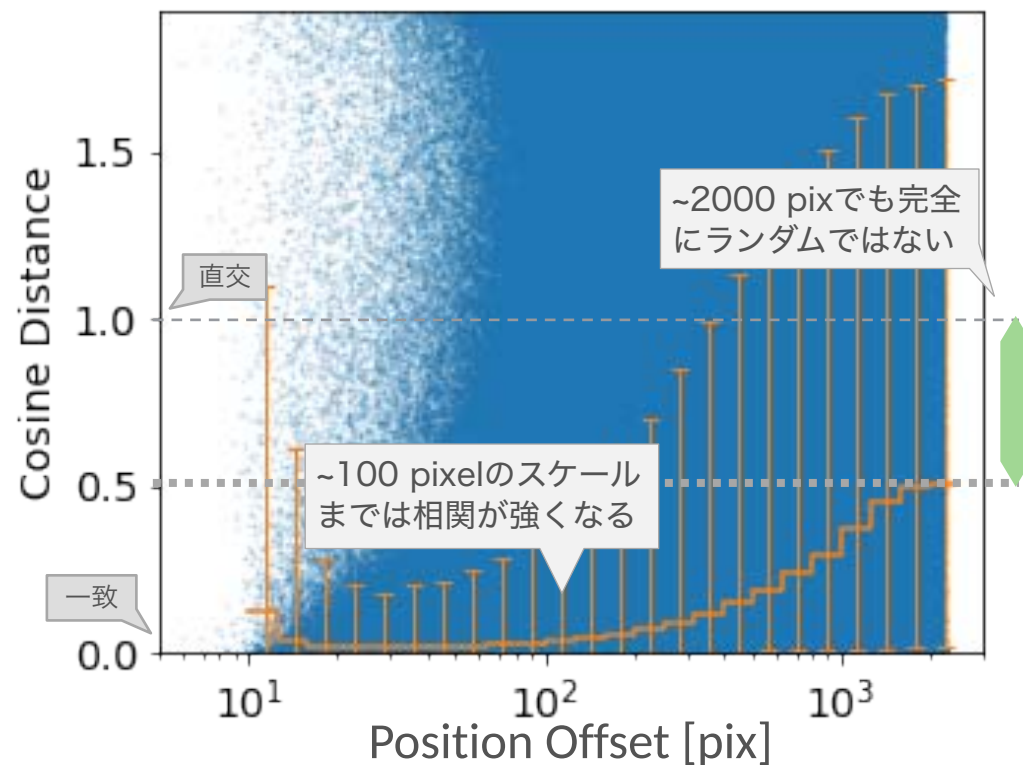
# 変位ベクトルの類似度の距離依存性から相関の空間スケールについて考察する

変位ベクトルの類似度の距離依存性(全チップ)

観測序盤



82875x

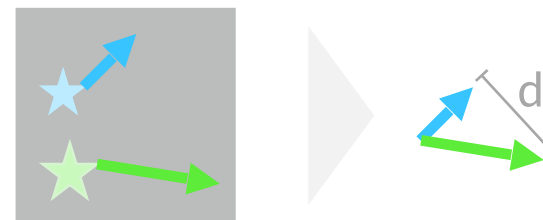
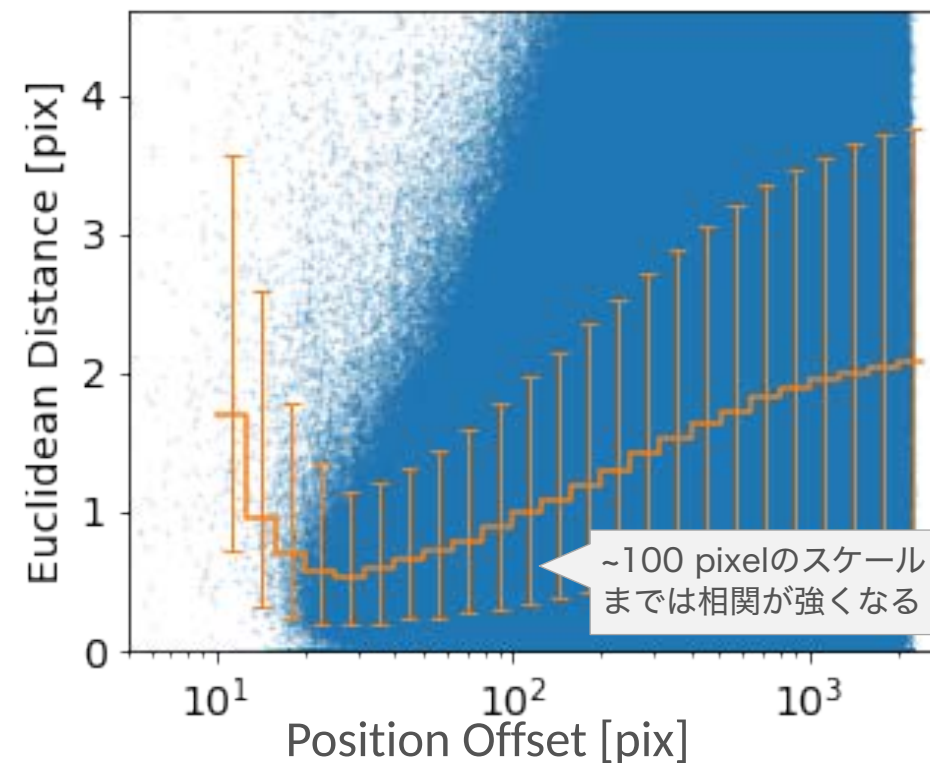
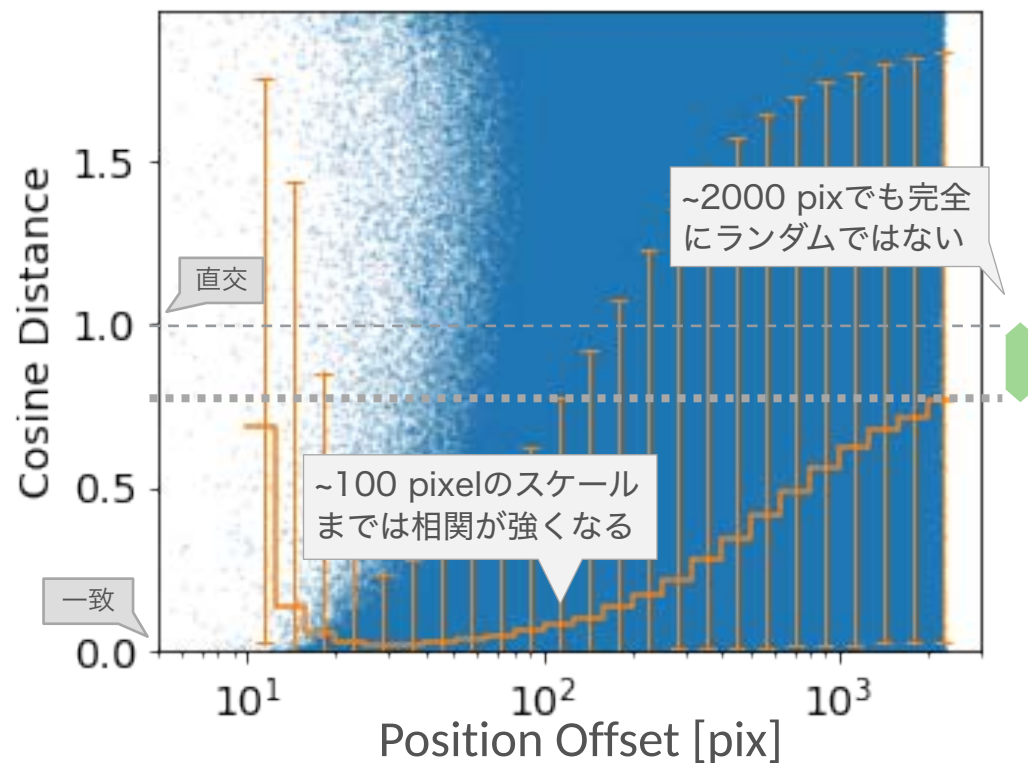


# 天気が悪い場合、相関の空間スケールは小さくなる。小さい空間スケールでの変位ベクトルの類似度も低い(Euclidean距離~0.5 pix @~30pix)

変位ベクトルの類似度の距離依存性(全チップ)

観測中盤

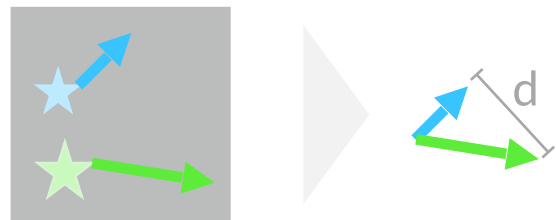
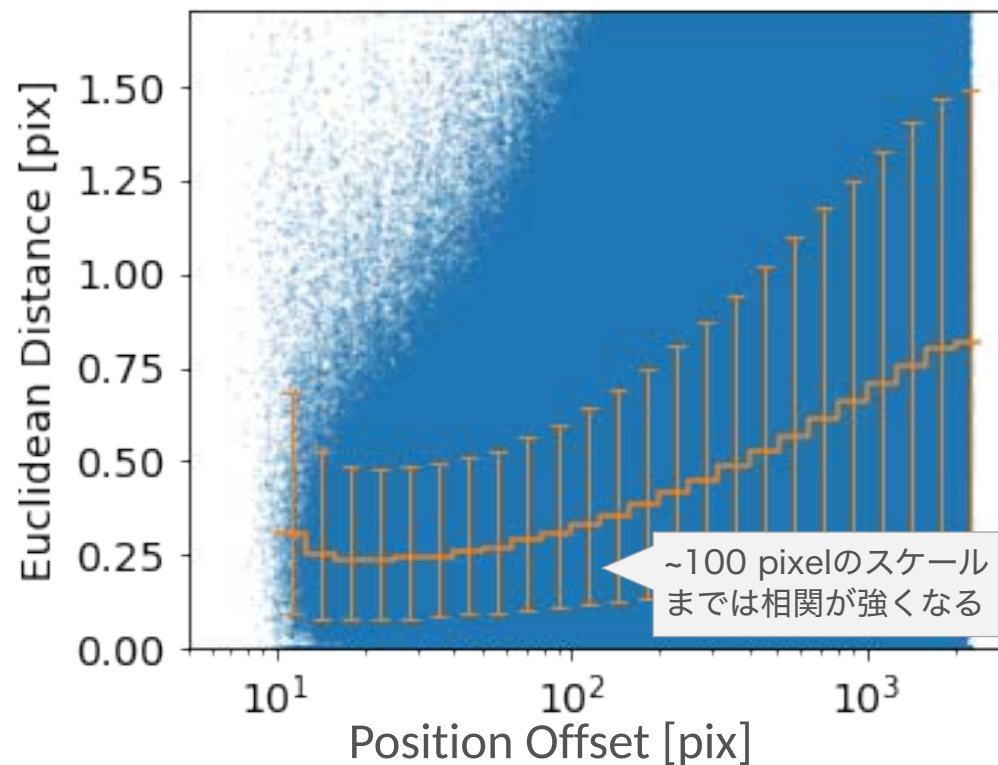
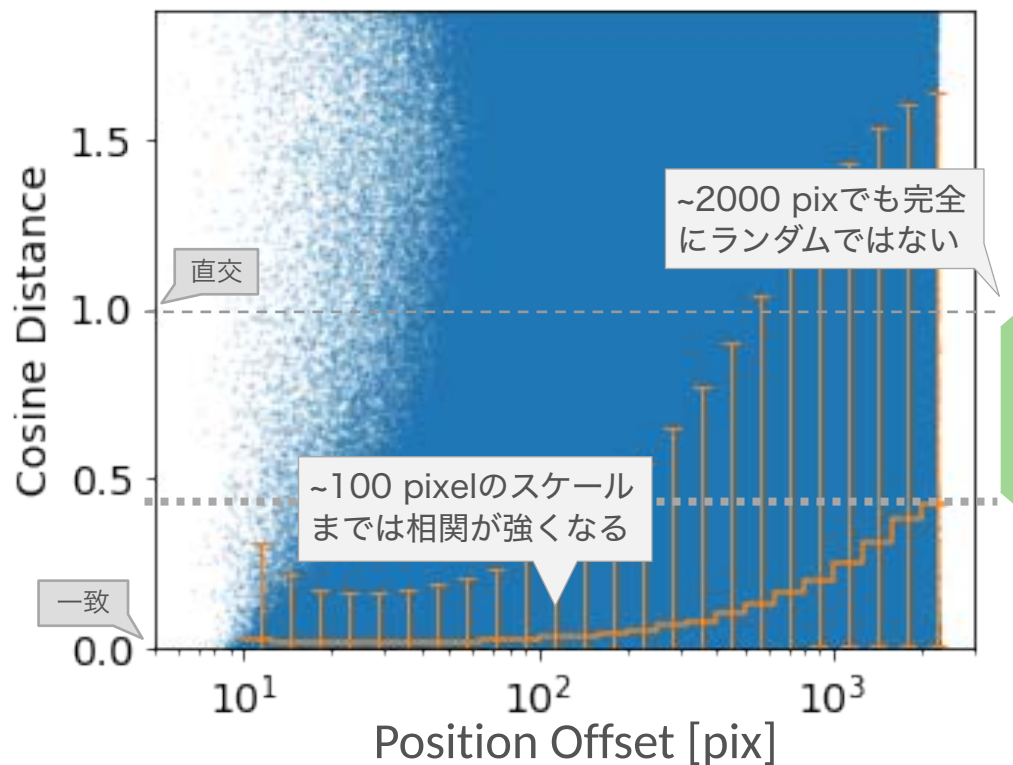
82890x





# 天気が良い場合、相関の空間スケールは大きくなる。小さい空間スケールでの変位ベクトルの類似度も高い(Euclidean距離~0.3 pix@20pix)

変位ベクトルの類似度の距離依存性(全チップ)



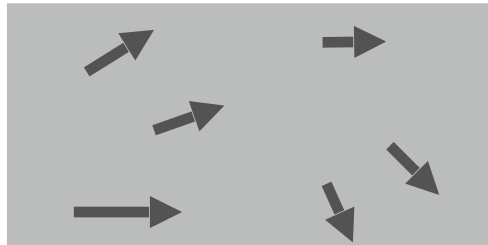
# 補正方法の検討

Seeing Danceの補正方法を3通り検討する。それぞれ考えている空間スケールが異なり、~2000 pix, ~1000 pix, ~100 pix程度のスケールを見ていることになる。

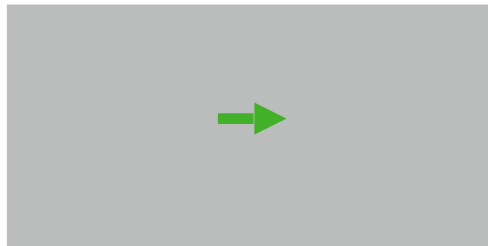
## Seeing Danceの補正方法

0次モデル

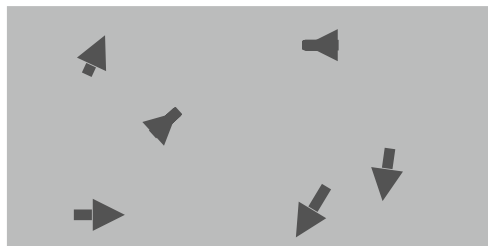
フレームのmedianを差し引く



I

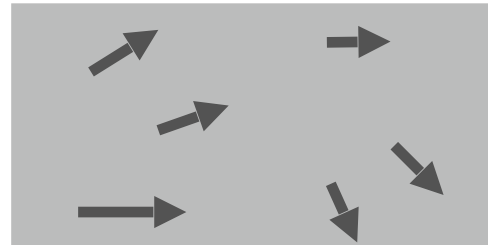


II

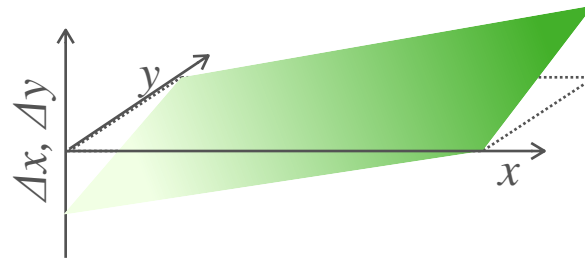


1次モデル

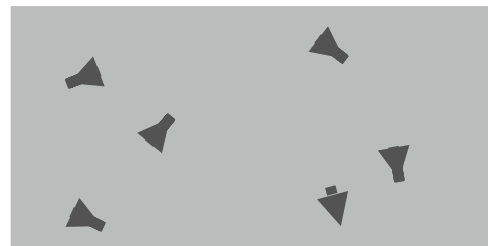
2D平面を差し引く



I

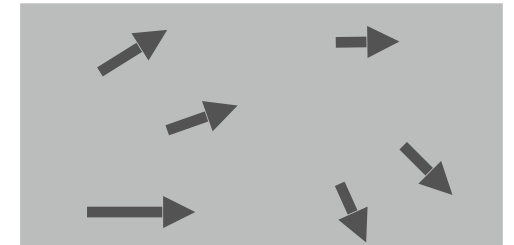


II

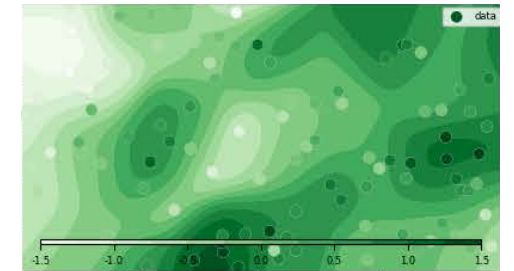


n次モデル

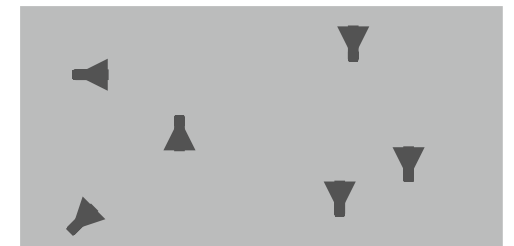
局所平均を差し引く



I



II



# 局所平均モデルでは、近くの星の平均を取って差し引く。評価点からそれぞれの星までの距離を用いてGaussianで重みをつける

n次モデル: 局所平均モデルの例(1チップの例)

観測終盤

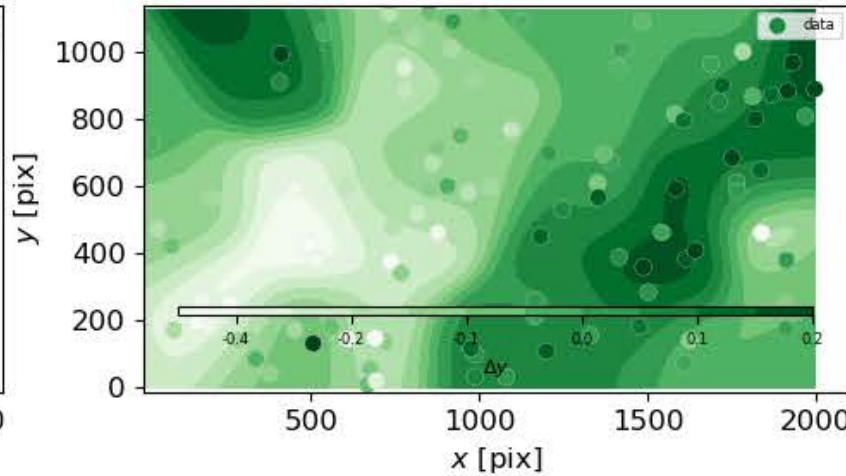
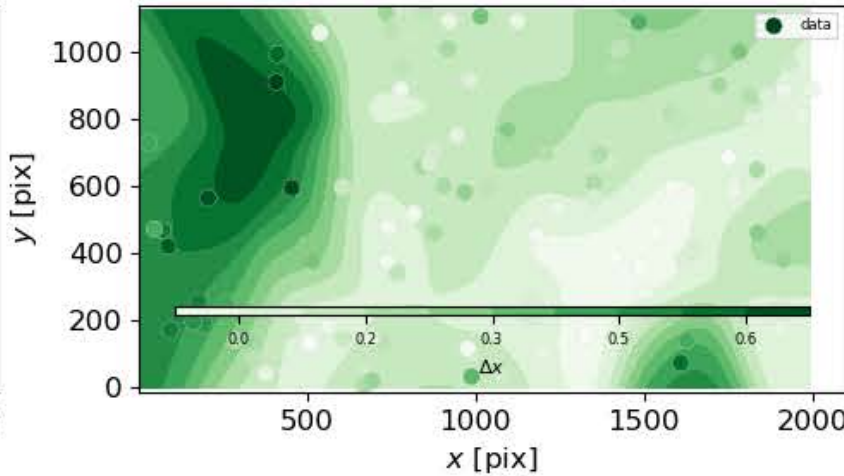
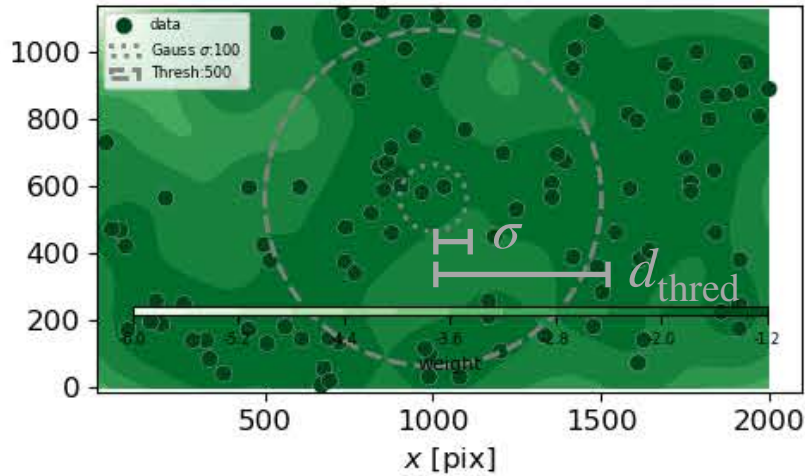


82930x

Frame 2 weight

Frame 2  $\Delta x$

Frame 2  $\Delta y$



変位

重み関数:  $w_i$

$$\Delta x(x, y) = \sum \Delta x_i w_i(x, y)$$

$$\Delta y(x, y) = \sum \Delta y_i w_i(x, y)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

$$d_i \leq d_{\text{thred}} \rightarrow$$

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{d_i^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$d_i > d_{\text{thred}} \rightarrow$$

$$w_i = 0$$

今回は  
 $\sigma = 100$  pix  
 $d_{\text{thred}} = 500$  pix  
 とした

# 補正結果



# どのモデルの補正にも効果があることが確認できる。中程度の天気の場合、n次モデルではV\_MEANのmedianが7割、99 percentileが4割程度減少する

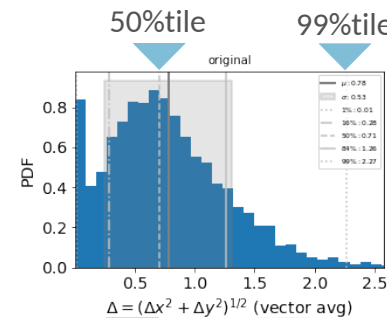
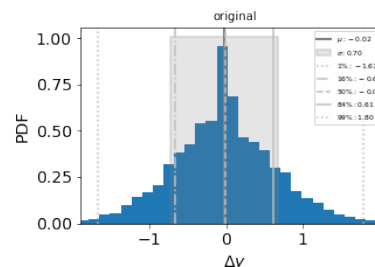
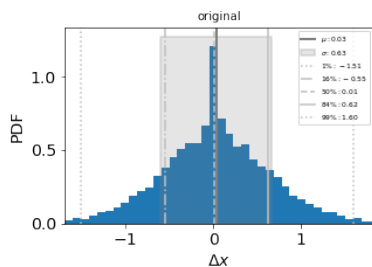
変位の補正結果(全チップの例, Test Sample)

観測序盤



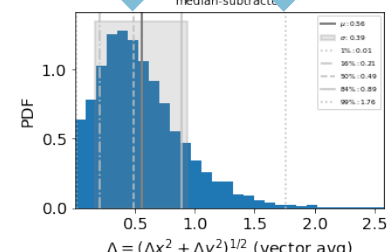
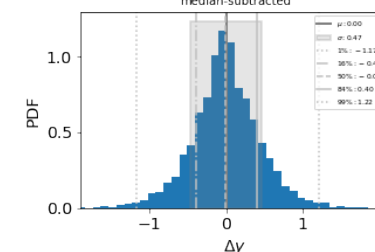
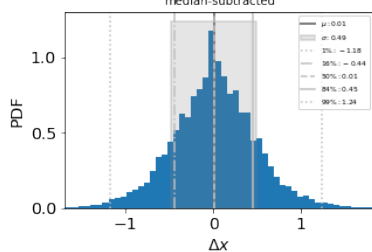
82875x

補正なし



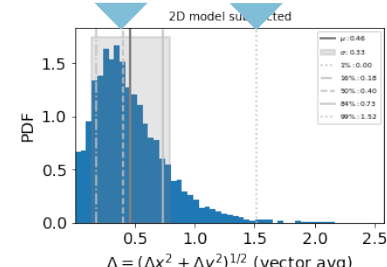
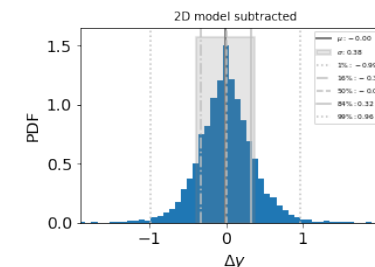
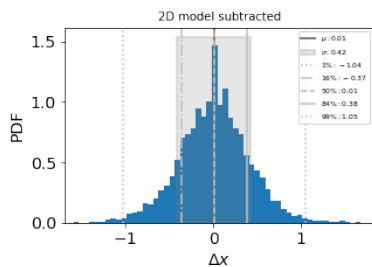
"/s	
50%tile	1.7
99%tile	5.4

0次モデル  
(median subtraction)



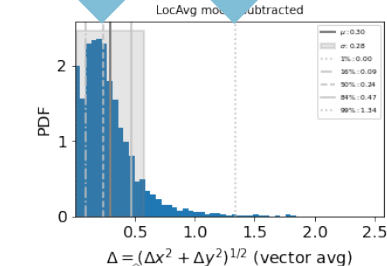
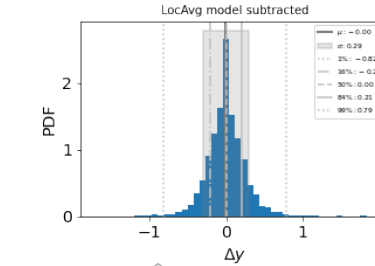
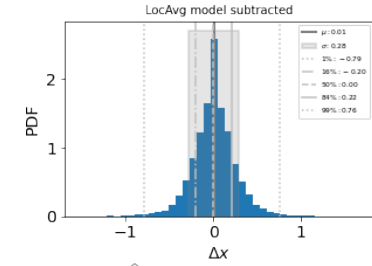
"/s	
50%tile	1.2
99%tile	4.2

1次モデル  
(2D平面近似)



"/s	
50%tile	1.0
99%tile	3.6

n次モデル  
(局所平均近似)



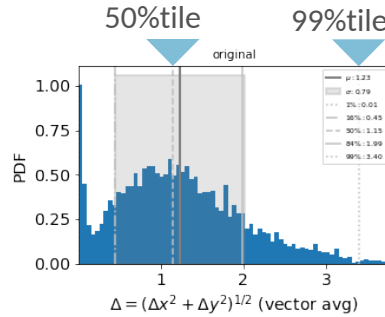
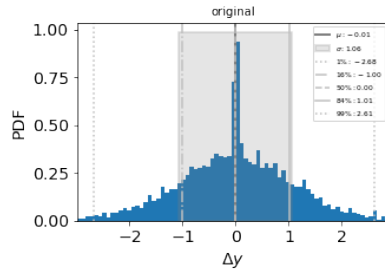
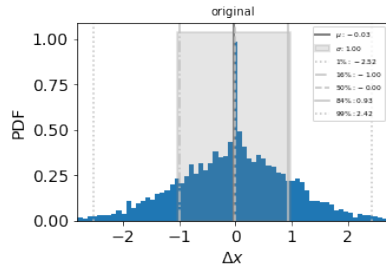
"/s	
50%tile	0.6
99%tile	3.2

median: ~7割減  
99 percentile: ~4割減

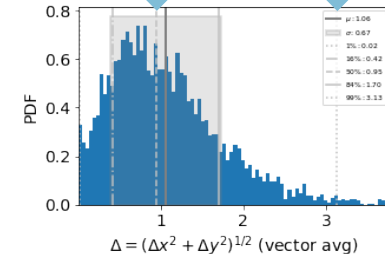
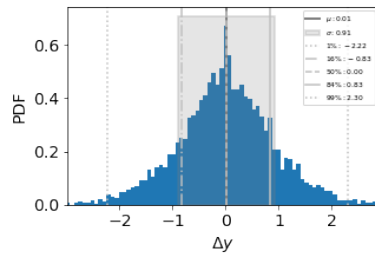
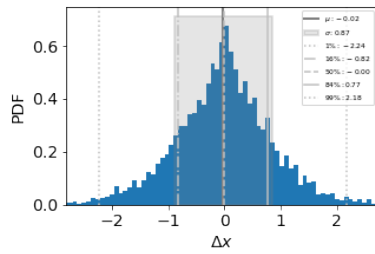
# どのモデルの補正にも効果があることが確認できる。天気が悪い場合、n次モデルではV\_MEANのmedianが4割、99 percentileが3割程度減少する

変位の補正結果(全チップの例, Test Sample)

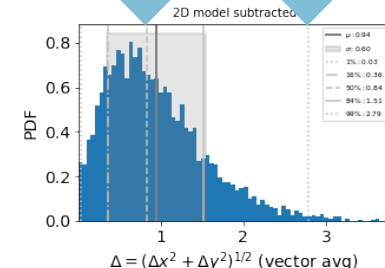
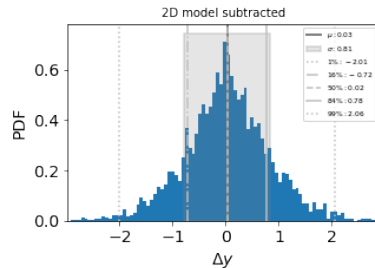
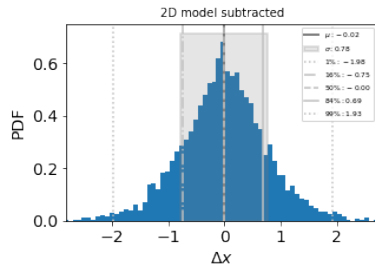
補正なし



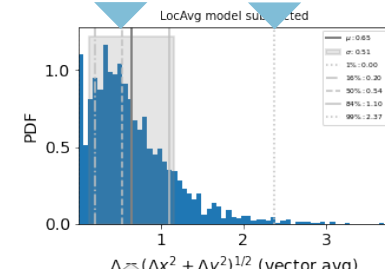
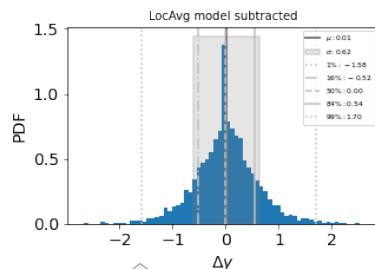
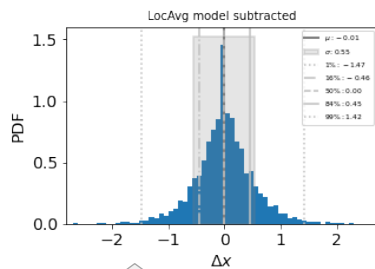
0次モデル  
(median subtraction)



1次モデル  
(2D平面近似)



n次モデル  
(局所平均近似)



観測中盤 82890x

"/s	
50%tile	2.3
99%tile	8.1

"/s	
50%tile	2.3
99%tile	7.4

"/s	
50%tile	2.0
99%tile	6.6

"/s	
50%tile	1.3
99%tile	5.6

median: ~4割減  
99 percentile: ~3割減

~V\_RA [pix/frame]

~V\_DEC [pix/frame]

~V\_MEAN [pix/frame]

# どのモデルの補正にも効果があることが確認できる。天気が良い場合、n次モデルではV\_MEANのmedianが7割、99 percentileが6割程度減少する

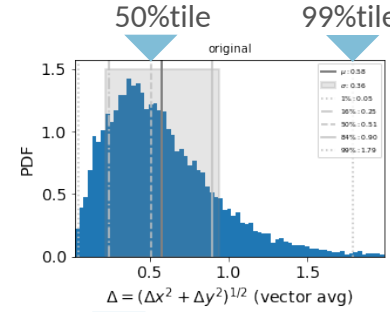
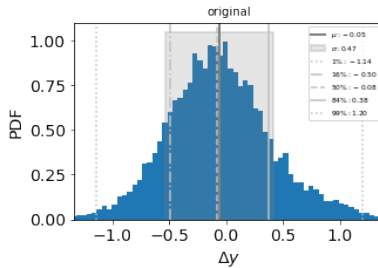
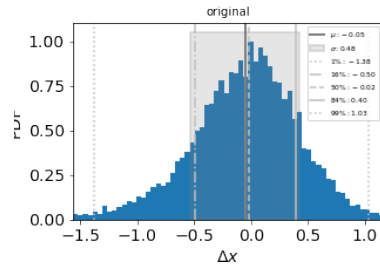
## 変位の補正結果(全チップの例, Test Sample)



観測終盤

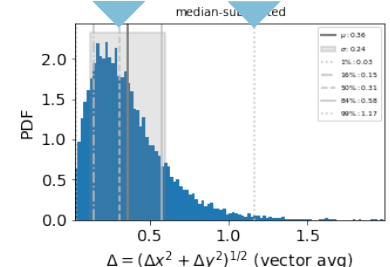
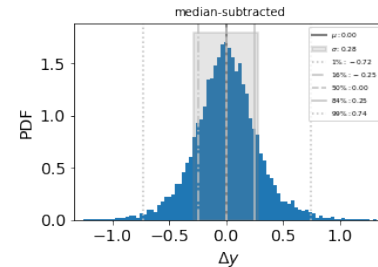
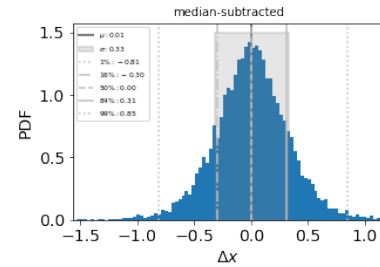
82930x

補正なし



"/s	
50%tile	1.2
99%tile	4.3

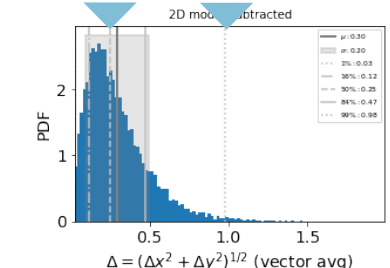
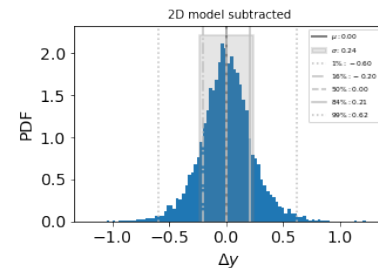
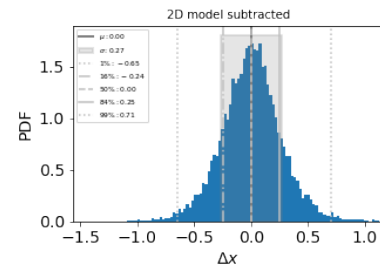
0次モデル  
(median subtraction)



"/s	
50%tile	0.74
99%tile	2.8

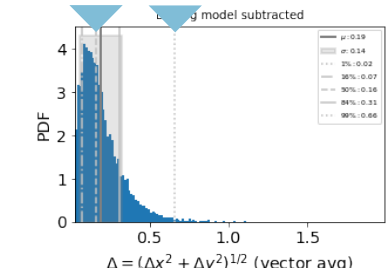
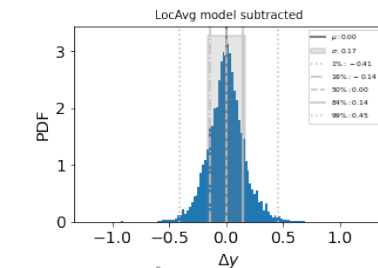
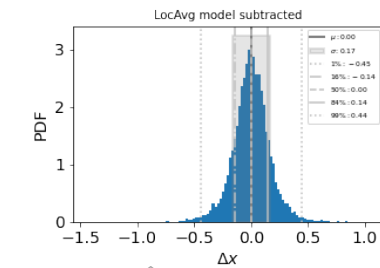
median: ~7割減  
99 percentile: ~6割減

1次モデル  
(2D平面近似)



"/s	
50%tile	0.60
99%tile	2.3

n次モデル  
(局所平均近似)



"/s	
50%tile	0.38
99%tile	1.6

43 Tomo-e Gozen 2Hz 測光データを用いたSeeing ~V\_RA [pix/frame]

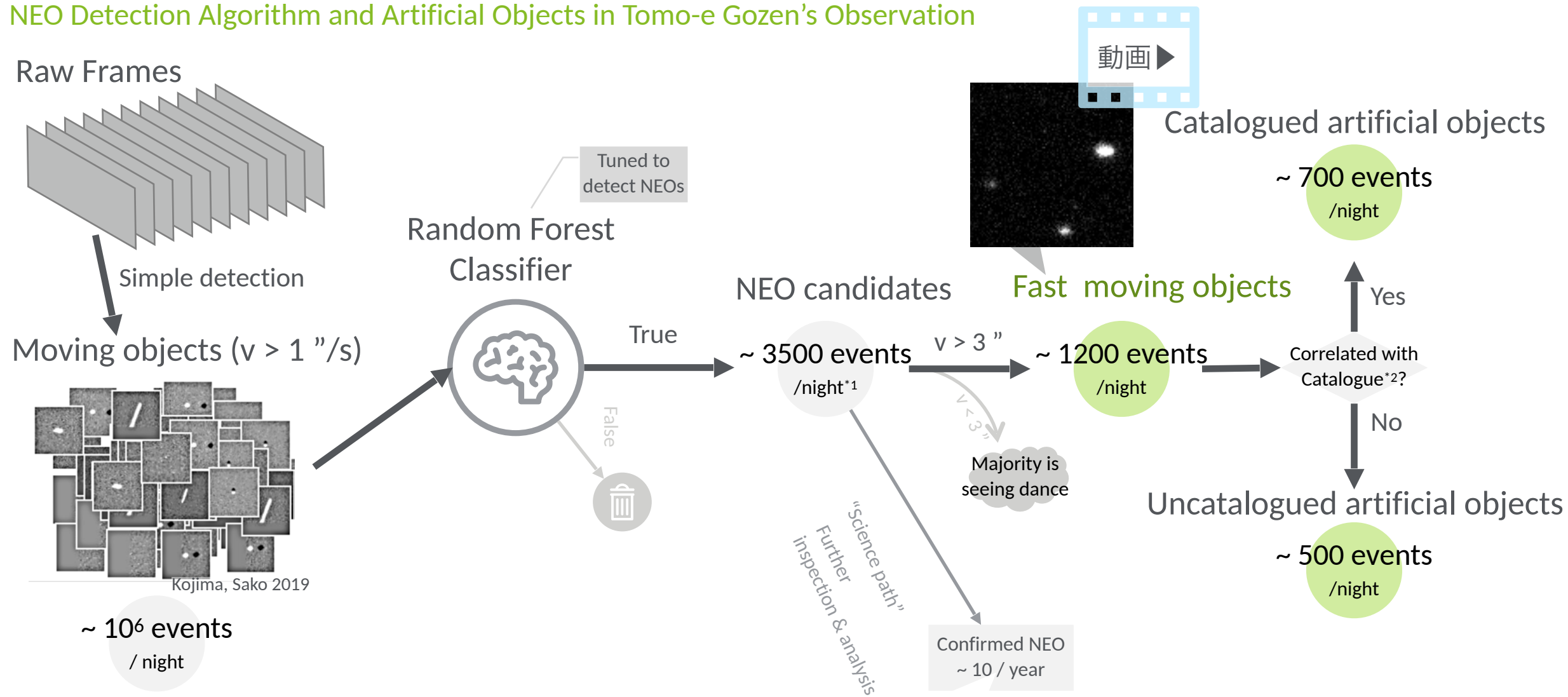
~V\_DEC [pix/frame]

~V\_MEAN [pix/frame]

# 議論1: Seeing Dance補正の有用性

# 現状では3"/sより遅い移動天体の検出の大半はSeeing Danceによるコンタミ

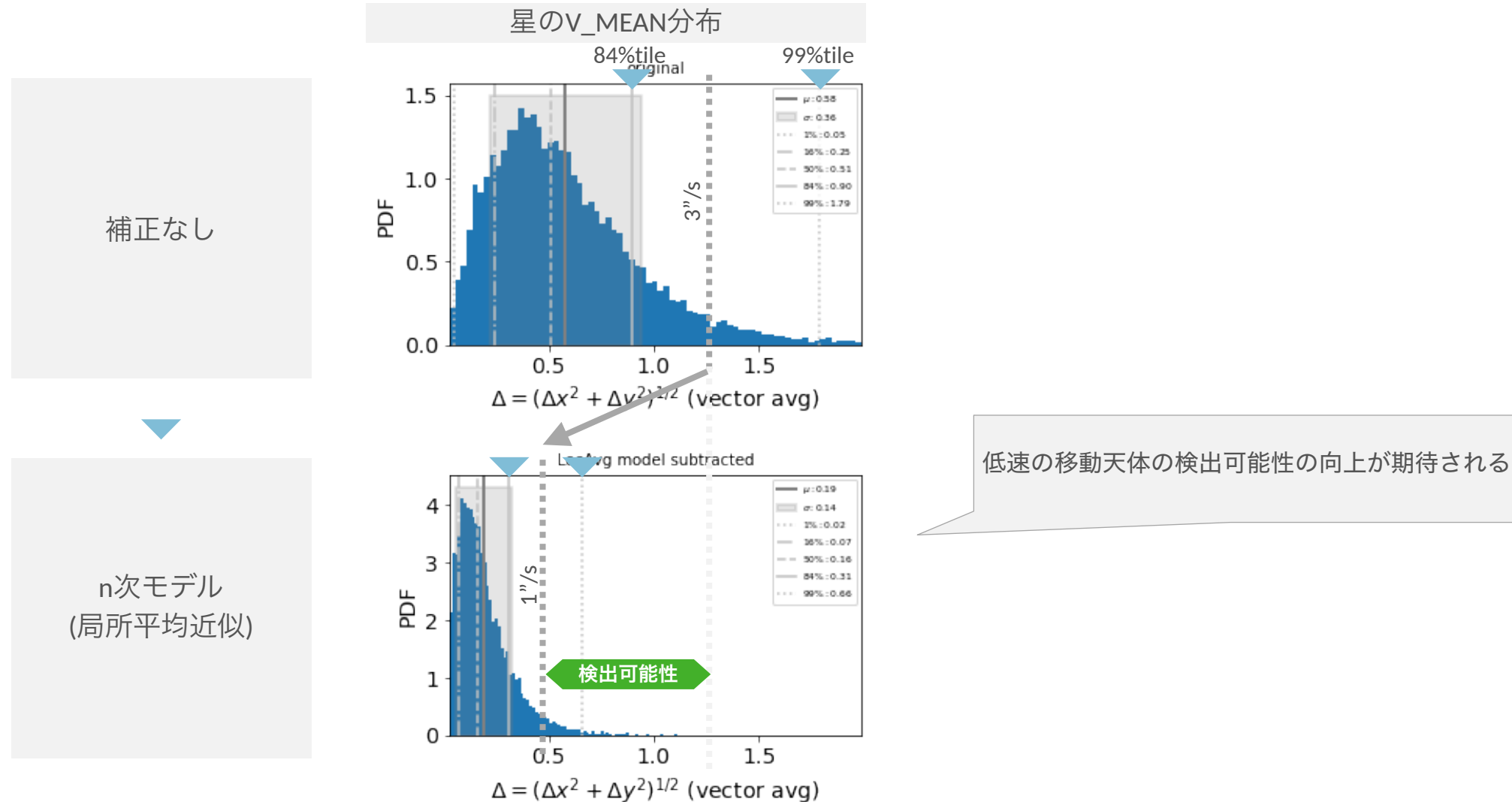
## NEO Detection Algorithm and Artificial Objects in Tomo-e Gozen's Observation



\*1: Average of 12 nights (20200614 to 20200617, 20201107 to 20201111, 20220329, 20220330, and 20220401); \*2: Space Track (<https://www.space-track.org/>)

# Seeing Danceの補正を行うことで、 $v < 3''/s$ の移動天体のコンタミを減らし検出率を向上させられるかもしれない

Seeing Dance補正で期待される効果

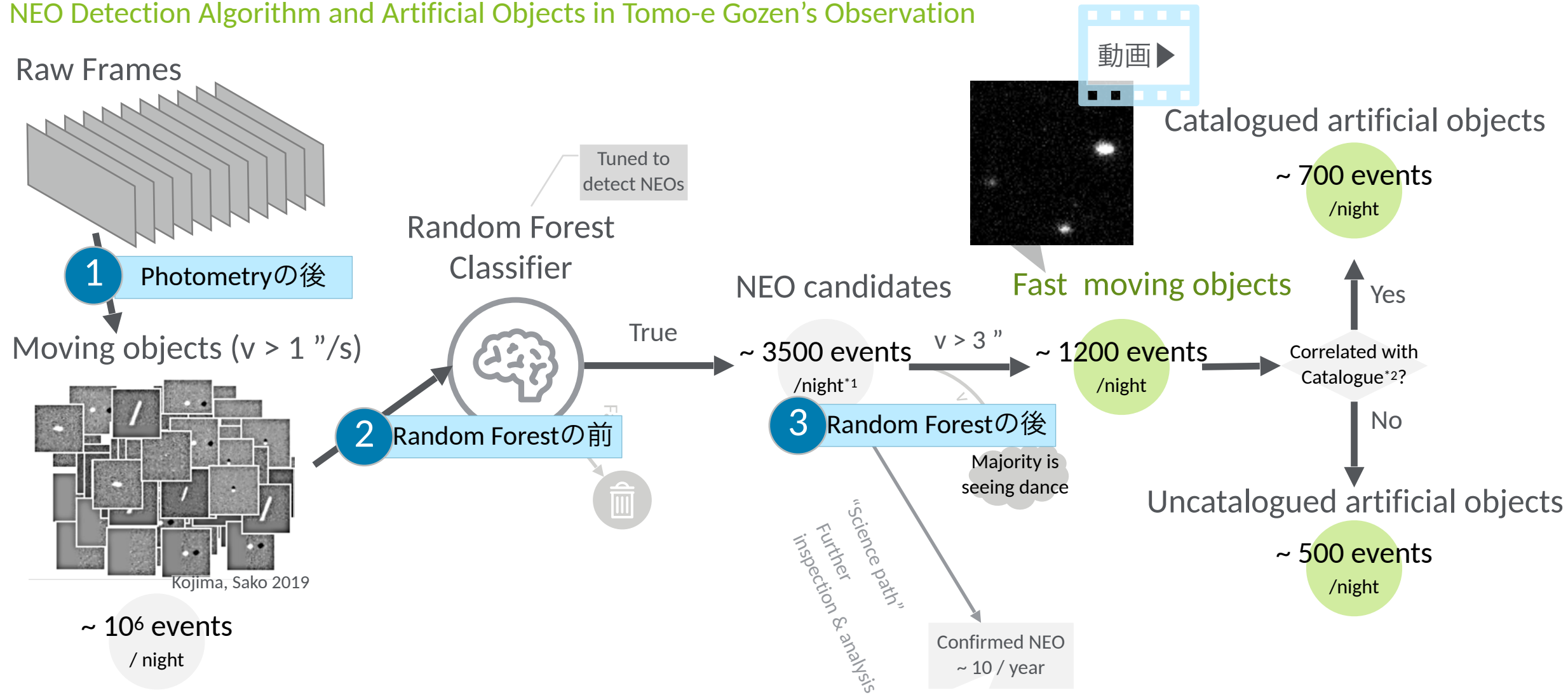




## 議論2: NEO検出への適用方法

# 実際のNEOデータにSeeing Dance補正を適用する方法を考える。補正のタイミングは3つ考えられるが、今回はRandom Forestの（NEO候補抽出）後に適用する

## NEO Detection Algorithm and Artificial Objects in Tomo-e Gozen's Observation



\*1: Average of 12 nights (20200614 to 20200617, 20201107 to 20201111, 20220329, 20220330, and 20220401); \*2: Space Track (<https://www.space-track.org/>)

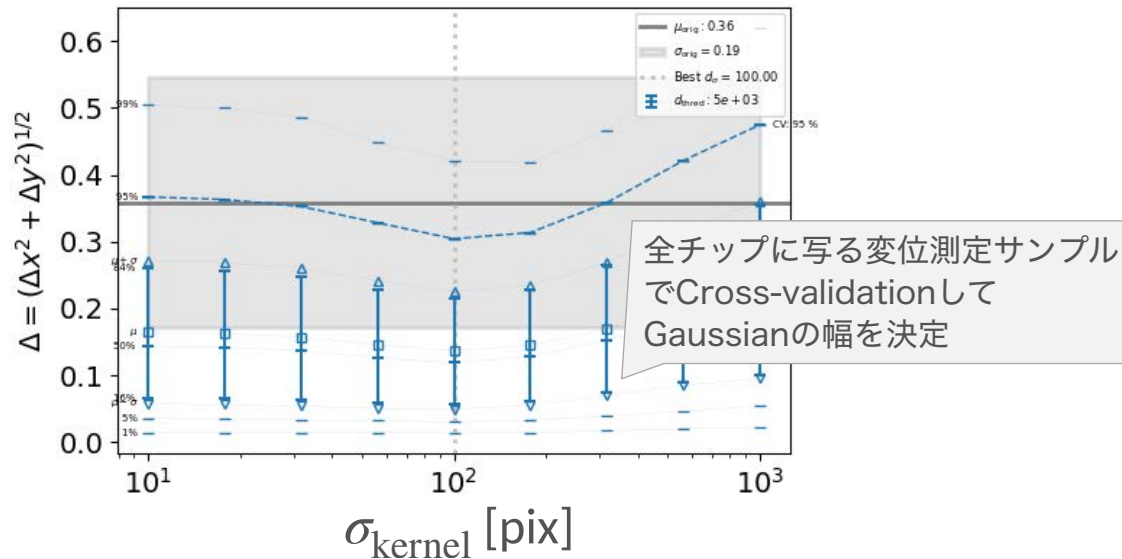
# 実際のNEOデータに適用する方法を考える。1ポインティング内の全チップの測光データからハイパーパラメータ(Gaussianの幅)を決定してから対象のNEOデータを補正する

## 補正手順



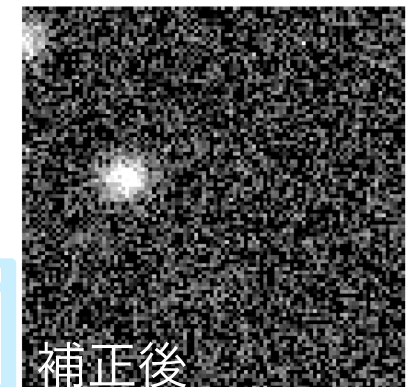
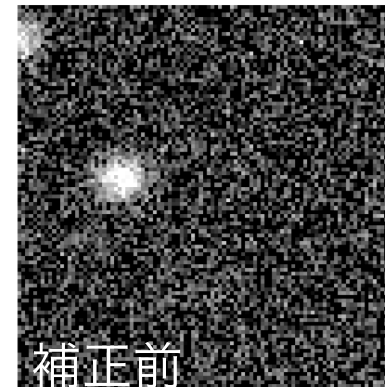
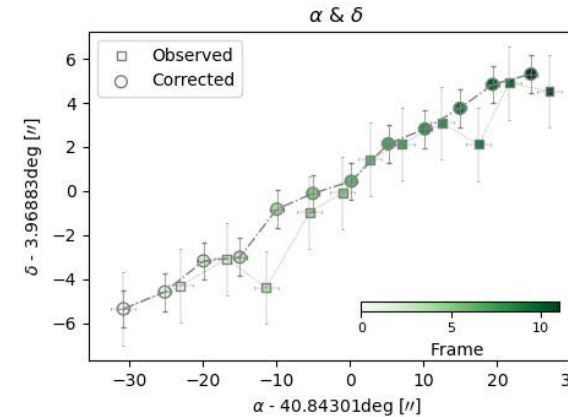
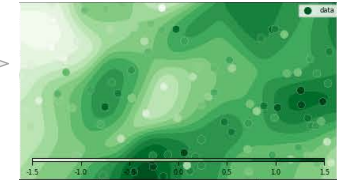
移動天体が検出されたポインティング

### ① 全チップでGaussianの幅を決定



### ② 局所平均モデルで補正

全チップで決定されたGaussianの幅を使って局所平均モデルを作成して差し引く



動画 ▶

# 12フレームの測光データを用いて、Seeing Danceの影響を調査。現状ではSeeing Danceによって中央値で~1–3”の平均移動速度が生じるが、補正により半分程度まで抑制できる

## まとめ



### 目的: Seeing Danceの影響を調査する

- 移動天体のコンタミの大部分はSeeing Dance
- Seeing Danceによる移動速度はどの程度か?
- Seeing Danceは補正できるか?



### データ: 12フレーム測光データ

- ある1晩の2 Hz観測の各フレームで測光
- フレーム間の同一天体の特定は未実施



### 方法: 星々の変位ベクトルを測定

- フレーム間の同一天体を同定
- 1フレーム目からの変位ベクトル(=Seeing Danceによる星の移動)を測定



### 結果1: Seeing Danceによる移動速度

- Seeing Danceは天候に依存する
- Seeing Danceによって、星であっても中央値で~1–3”/s (99%-ileで~4–8”/s) の平均移動速度が生じる



### 結果2: Seeing Danceの空間相関

- 2000 pixel程度のスケールでも空間相関がある
- 100 pixel程度のスケールまで相関が増大する



### 議論: Seeing Danceの補正

- 12フレーム測光データから星の変位ベクトルの局所平均マップを作成して差し引く
- 星の平均移動速度は0.4–1.3”/s (99%-ileで~2–6”/s) まで縮小する
- 低速度のNEOの検出効率向上が期待される

# Deloitte.

## デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザー合同会社、デロイト トーマツ 税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ コーポレート ソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約1万7千名の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト（[www.deloitte.com/jp](http://www.deloitte.com/jp)）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作爲および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作爲および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は[www.deloitte.com/jp/about](http://www.deloitte.com/jp/about) をご覧ください。

デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、リスクアドバイザー、税務、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約415,000名の人材の活動の詳細については、（[www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト・ネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。



IS 669126 / ISO 27001



BCMS 764479 / ISO 22301