

流星の偏光観測

2021年8末・9月の偏光観測報告

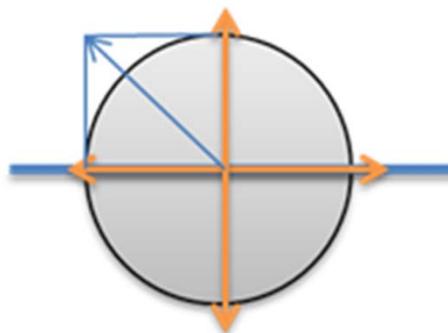
8月末から偏光観測を始めました。今回は8月末と9月の解析を手探りですが始めてみました。

2021年12月6日

平塚市博物館流星分科会 永井和男

実施した偏光観測の方法・解析

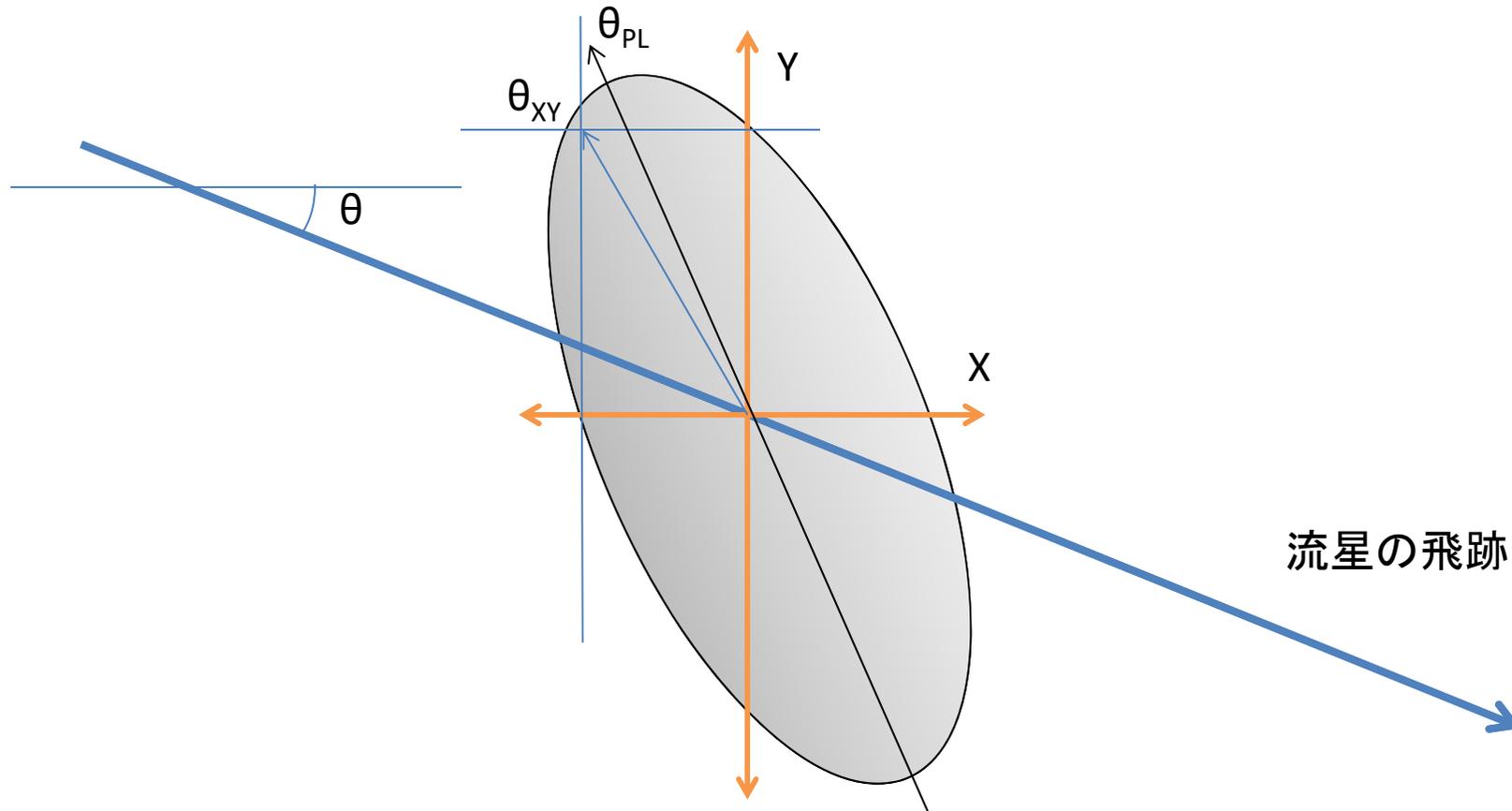
- 偏光フィルターを付けた同じハードウェアのカメラを2台用います。(WATEC902H2U, 6mm)
- 一方のフィルターの偏光方向を対地に対して垂直にする、これを垂直偏光カメラとしました。水平にしたものは水平偏光カメラです。
- 無偏光の光はフィルターによって方向をセレクションされるため偏光角を求めると45度になります。(無偏光は45度)



右の2台が
偏光カメラ
左の1台は
分光カメラ

- UFOAnalyzerV2はフレーム毎に等級を求めてくれますが2台のカメラは同期していないのでHとVでフレーム数が違う場合があります。これの数を揃えるプログラムを作りました。
- 偏向標準星は使っていません。UFOAnalyzerV2の求めた等級を使用しました。
- 偏光角を求める際には等級を光度に変換してから行っています。
- 偏光度が測定出来ない事から偏光度を一定と仮定して解析しました。

注意点：垂直と水平だけでは正しく偏光角を求められない



- 長軸の角度 θ_{PL} と $\theta_{XY}=\tan^{-1}(y/x)$ では角度が異なる(偏光度が異なっても同様)
- 飛跡と垂直・水平でないとは偏光角を正しく測れない
- しかし、(偏光度が同じならば) θ_{XY} でも偏光角が変化した事はわかります

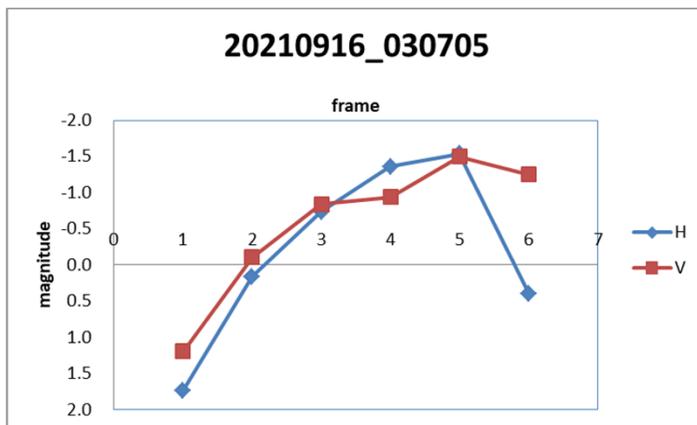
2021年8・9月の観測結果

流星が上から下・右から左に飛んでいる場合は飛んでいる方向の記述をしていません

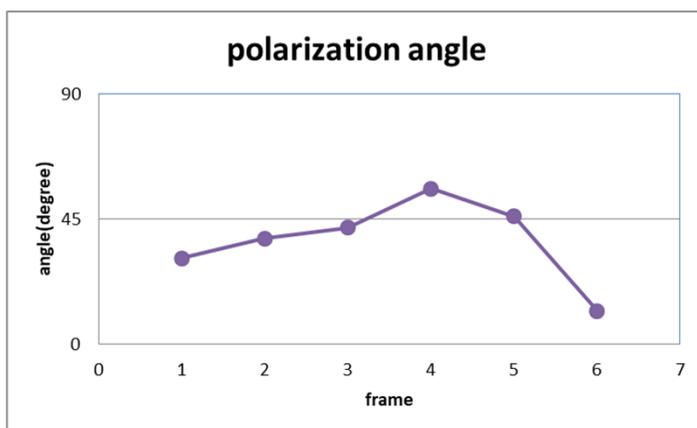
date	time	単点	Amag	Vg	stream	duration	H1	H2	速い	高い	長い	明暗	最初の偏光のまま	徐々に偏光	増光偏光	変化大	増光	月	雲	角度	remarks
2021/8/19	20210819 193439		-1.8	23.8	J5 kCg	0.68	96.0	80.3						有り	有り	大	有			斜め	画面端、バースト後に偏光あり、回転の様子らしきものが見える、フレーム毎に増減しているのでフレームと同じ周期で回転か？
	20210819 200502		-0.2	35.8	spo	0.35	90.4	80.5						有り					雲	斜め	薄曇り、始点で回転力を得てゆっくりと回転を始める
	20210820 011804		-0.4	21.4	J5 kCg	0.50	92.3	83.9							有り	有	有			垂直	画面端、最後にゆっくりと増光。増光が終わると偏光。それ以外は無偏光。これは回転していない物か
	20210820 013543		-2.2	64.3	spo	0.93	115.8	91.7	速	高	長			有り	有り	大	有			水平	画面下端、水平飛跡、明るい、緩やかに変化、最後に緩やかな増光、その後偏光
	20210820 024433		0.0	56.6	J5 Per	0.22	107.2	97.5	速	高		暗				大				斜め	暗いので評価しない
	20210820 031332		-0.9	55.7	J5 Per	0.40	109.1	90.3	速	高				有り	有り	大	有			斜め	斜め45度の流星、ゆっくりと偏光角が変化し、緩やかな増光後に大きな偏光をしている
	20210820 041540		-2.0	69.2	spo	0.37	115.5	90.7	速	高			有り	有り	大	有				垂直	画面左下、明るい増光あり、最初から偏光を持っている、増光中は変化なし、増光が終わってから偏光角に変化有り
2021/8/22	20210822 191712		-0.7	25.0	spo	0.60	100.4	87.3						有り	有り	大	有			斜め	あまり明るくない、最初から偏光有、変化ないまま、短い増光あり、その後、徐々に偏光角が変化
2021/8/23	20210824 004941	単点	-1.2		spo	0.20								有り	有り			有		垂直	近くに明るい月あり、徐々に明るくなり暗くなり始めると偏光がある
2021/8/25	20210825 202331		-1.6	24.2	J5 kCg	0.65	95.3	79.0							有り	有	有			斜め	画面端、やや曇り、斜め45度の角度、低速か？、徐々に偏光角が増えて行き、光度が下がりだすと偏光角が減ってゆく、最後にも増
	20210826 003006		-2.1	57.1	J5 Per	0.78	113.3	89.9	速	高	長			有り	有り			有		斜め	画面端で切れている、そのため終点は評価できない、斜め45度の角度、低速流星か？、ゆっくりと偏光角が減っている
	20210826 022930	単点	-1.0		spo	0.17								有り				有		水平	水平飛跡、月有り、高速？、短経路、偏光角の変化は無いように思われる
2021/8/26	20210827 021641	単点	-2.7		spo	0.20												有		水平	月有り、画面端、ほぼ水平、高速か？、おそらく偏光角の変化は無し
2021/8/27	20210828 035831		0.3	49.7	spo	0.30	104.4	89.1			高	暗						有		垂直	垂直、月と非常に近い、短経路、偏光なしか、あるいは、僅かな増光を境に偏光角が変化し、暗い流星
2021/8/28	20210828 214405		0.9	14.3	spo	1.00	89.7	75.8				暗		有り						斜め	斜め45度の角度、下から上に飛んでいる、かなり高速か？、偏光が僅かな偏光
	20210829 001512	単点	-0.3		spo	0.13														垂直	垂直、画面端で始点が切れている、偏光なし
	20210829 005515		0.1	26.7	spo	0.60	91.1	78.3				暗			有り					斜め	斜め45度の角度、下から上に飛んでいる、緩やかに明るくなる暗くなっている、偏向は徐々に変化している
	20210829 023610		0.2	24.2	spo	1.03	92.5	77.2			長	暗			有り		有			水平	水平、近くに月あり、右から左に飛んでいる、増光のタイミングがHとVで違う
	20210829 042253		-2.1	42.5	spo	0.65	107.5	86.3		高			有り		有り		有			垂直	垂直、終点は切れている、月有り、ただし初期から偏光角あり
2021/8/31	20210901 042612	単点	-2.9		spo	0.40									有り				雲	垂直	垂直、曇り有り、最大等級以降は偏光角が徐々に減少している
2021/9/5	20210905 211929	単点	0.2		spo	0.07						暗								垂直	暗くて短経路、評価しない
	20210905 220403	単点	0.2		spo	1.34						暗		有り					雲	水平	雲が濃く、激しい偏光角の変化、暗いので評価しない
2021/9/6	20210906 222940		0.4	19.2	spo	0.80	94.7	80.1			長	暗							雲	斜め	薄曇り、暗いので評価しない
2021/9/7	20210908 032607		-0.3	41.5	spo	0.20	90.3	85.9						有り	有り	大				斜め	下から上に流れている、始点から終点まで偏光角が変化し続けている
	20210908 035310		-1.0	29.8	spo	0.77	93.2	80.3			長			有り	有り					斜め	右から左に流れている、始点から終点まで偏光角が変化し続けている
2021/9/9	20210909 233346		0.0	37.3	spo	0.40	96.3	84.9				暗								斜め	短い、変化なし、しかし、緩やかな光度変化と偏光角の緩やかな変化の例と思われる
2021/9/13	20210914 015249		-1.3	67.2	spo	0.43	115.2	95.3	速	高				有り						水平	緩やかな変化、最後に大きな変化をしているがRealでは無いかも知れない(補間処理)
	20210914 015642		-2.0	65.3	spo	0.65	110.1	89.4	速	高										斜め	変化なし、最後に欠けている
	20210914 021017		-3.0	64.9	spo	0.93	111.9	93.9	速	高	長				有り	有	有			水平	増光に急変
	20210914 022835	単点	-3.9		J5 sPe	0.30								有り	有り		有			斜め	ゆっくりと変化し、光度もゆっくりと変化し暗くなったら逆向きに変化している
	20210914 025022		-0.9	45.8	spo	0.10	91.3	87.0					有り						雲	斜め	変化なし、短い、しかし、緩やかな光度変化と偏光角の緩やかな変化の例と思われる
2021/9/15	20210916 030705	単点	-1.5		spo	0.17									有り	大				垂直	明るくなるにつれて徐々に変化し、暗くなると急に逆方向に変化する
	20210916 041234		-1.5	68.2	spo	0.33	117.8	95.7	速	高					有り					斜め	明るくなくても変化しない、暗くなくても変化しないm
	20210916 043116	単点	-1.3		spo	0.30														斜め	ゆっくりと明るくなって、ゆっくりと暗くなる、偏光角も同様な変化、全般にゆっくりと減少している
2021/9/16	20210917 041658		-1.4	65.6	spo	0.31	113.8	93.9	速	高										垂直	高速、短経路、変化なし
2021/9/19	20210920 001420		-0.7	22.7	spo	1.24	90.9	66.0				長	有り					有		垂直	最初から偏光して、ずっと変化なし
	20210920 021513	単点	-0.3		spo	0.70									有り					水平	左から右に流れている、徐々に変化している
	20210920 022759		-1.6	62.1	J5 sPe	0.30	111.5	92.5	速	高					有り					垂直	最後が切れている、正しく測定されていない
	20210920 040212		-1.8	50.9	spo	0.40	110.3	89.9	速	高			有り		有り		有			垂直	徐々に減るパターンか、変化のないまま増光し、その後減少する
2021/9/20	20210920 220523		-0.4	41.8	spo	0.70	102.7	80.1				暗	有り	有り				有		垂直	最後が切れている、Vだけ変化している、徐々に変化している
	20210920 225557		-0.9	62.0	spo	0.43	107.7	89.9	速	高			有り	有り				有		斜め	ゆっくりと変化、等級も緩やかな変化、月があっても偏光に影響ないようだ、雲も流星が明るければ偏光に影響は無さそうだ
2021/9/21	20210922 024857	単点	-1.4		spo	0.30													雲	斜め	変化なし、Vが1等明るい、雲の影響か？
2021/9/25	20210926 022358	単点	-2.6		J5 sTa	1.17					長							有	雲	斜め	左から右に流れている、徐々に変化しているは変化していない
2021/9/26	20210926 212347	単点	0.7		J5 oCt	0.20						暗	有り							垂直	最後が切れている、最後が切れている、変化なし
	20210926 232346		-1.5	67.2	J5 Ori	0.63	105.4	91.6	速	高			有り	有り	有り					水平	緩やかな変化、等級も緩やかな変化
	20210927 010957		-1.2	56.4	spo	0.37	111.9	94.5	速	高					有り	大				斜め	大変奇妙な変化をしています、特異な例
	20210927 011558		-0.4	52.2	spo	0.40	105.5	92.5	速	高			有り							垂直	高速、短経路、変化なし
	20210927 030224		-2.6	65.8	spo	0.60	123.3	91.1	速	高					有り		有			斜め	最後が切れている、緩やかな変化、等級も同様な変化
	20210927 042641	単点	-0.9		spo	0.10							有り	有り		有	有			斜め	右から左に流れている、一定の変化量
2021/9/27	20210927 233932		-0.2	15.7	spo	1.60	94.8	70.5				長	有り						雲	斜め	最後が切れていて正しく測れていないようだ、右から左に流れている、変化なし
	20210928 002356		-1.0	43.7	spo	0.27	90.5	78.3												垂直	変化なし
	20210928 020512		-0.1	40.4	spo	0.40	98.9	84.6				暗			有り					垂直	緩やかな変化、等級も緩やかな変化、最後付近で変化が増えている
	20210928 021415	単点	0.1		spo	0.10						暗								斜め	経路が短すぎる、おそらく変化していない
	20210928 022416		-0.9	29.8	spo	0.83	100.2	77.1		高	長				有り		有			垂直	ゆっくりと明るさが変わっているが、偏光角は変化していない、最後に急に暗くなる場所で偏光角が変化している
	20210928 023601		-1.2	61.5	spo	0.17	106.3	96.6	速	高							有			垂直	ゆっくりと明るさが変わっているが、偏光角は変化していない
	20210928 030318		0.7	30.8	spo	0.63	95.0	81.2				暗					有			水平	右から左に流れている、おそらく変化していない、暗い時の変化は暗いので上手く測れていない
	20210928 040800		-0.5	65.2	spo	0.20	113.9	99.2	速	高					有り		有			垂直	始めはゆっくりと変わって、最後に大き目の変化、最初の所は回転か？
2021/9/28	20210928 224012		0.3	25.2	J5 sTa	0.90	99.3	81.1			長	暗								水平	変化はしていない様だ
	20210928 230611		-1.7	9.6	spo	0.40	90.9	86.8												斜め	変化はしていない様だ
	20210928 235531		-0.5	62.8	spo	0.33	112.2	98.9	速	高			有り							水平	最初と最後だけ角度が違う、他は一定
	20210929 015533		0.3	61.5	spo	0.27	107.1	92.0	速	高		暗								垂直	変化はしていない様だ
2021/9/29	20210930 030348		-1.0	62.0	spo	0.33	112.6	95.5	速	高				有り						斜め	徐々に変化している

解析例の説明

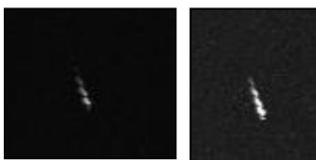
一つの流星に対してこの様なグラフを作りました



水平偏光(H)と垂直偏光(V)カメラが観測した流星の等級の変化
横軸はフレームです



偏光角のフレーム毎の変化です
45度が無偏光です

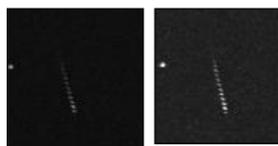
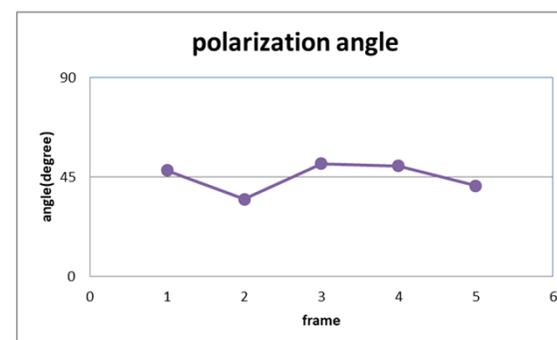
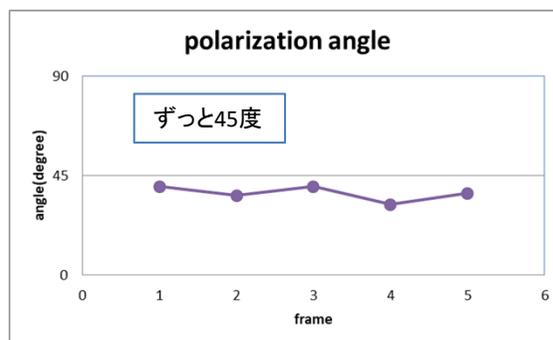
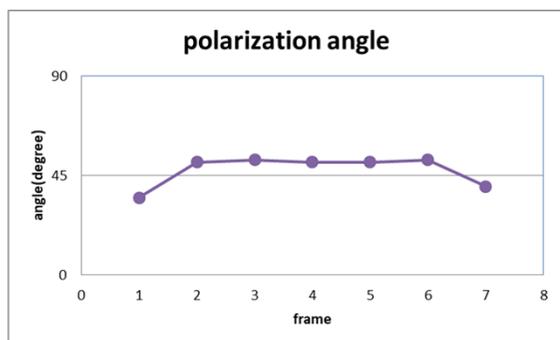
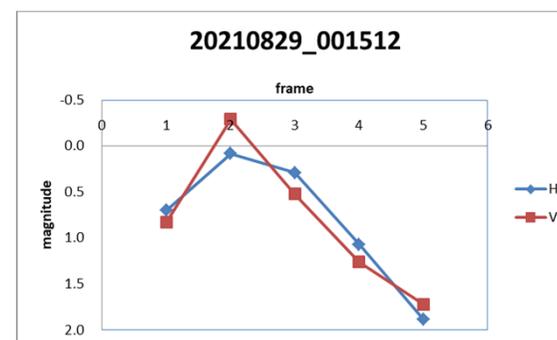
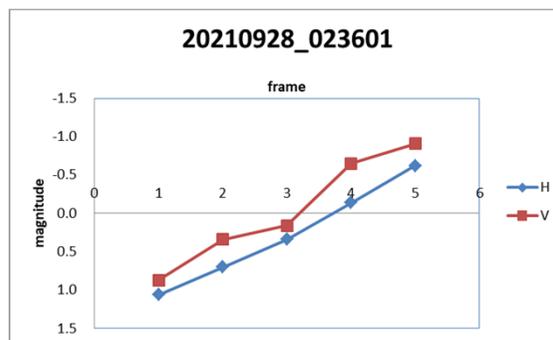
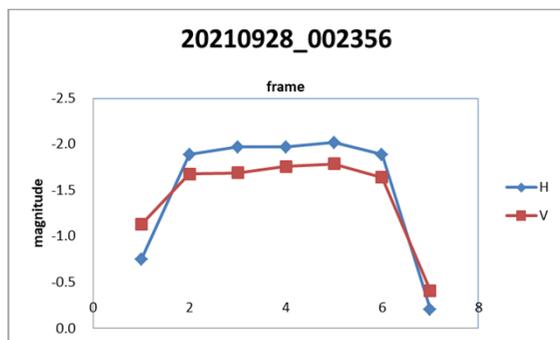


流星の写真です。左は水平・右は垂直です
水平カメラの方が暗めに画像処理されていますが明るさの測定は星でキャリブレーションされます

次ページ以降で
特徴的なサンプルを紹介します

始点から終点まで無偏光の例

※Polarization angleのグラフを見て下さい



月有り



Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.01	43.7	spo	0.267	90.5	78.3

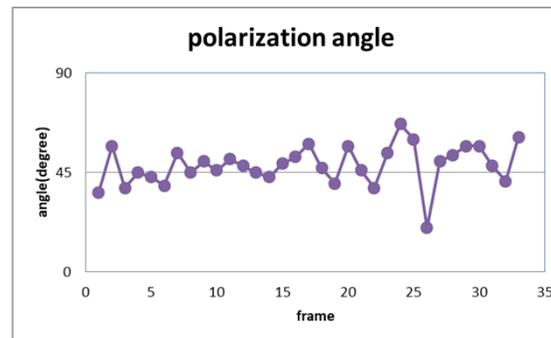
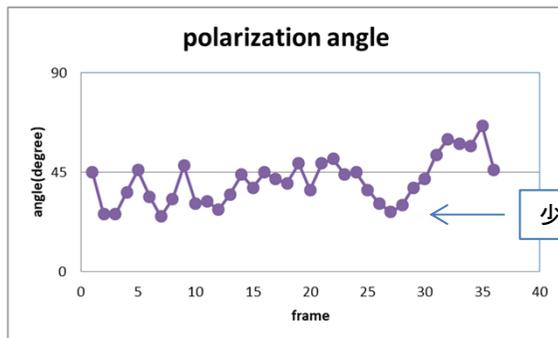
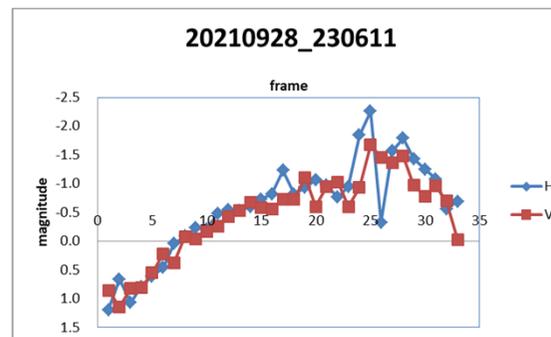
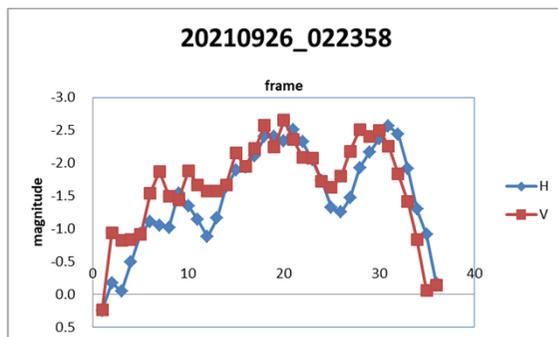
Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.22	61.5	spo	0.16659	106.3	96.6

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-0.3		spo	0.133		

これらは偏光角が45度で変化が無い例です。短経路の流星です。

始点から終点までほぼ無偏光の例

長経路のサンプル



← 少し雲の影響あり

月有り
曇り

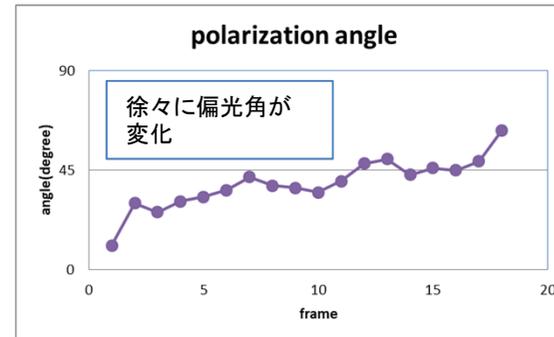
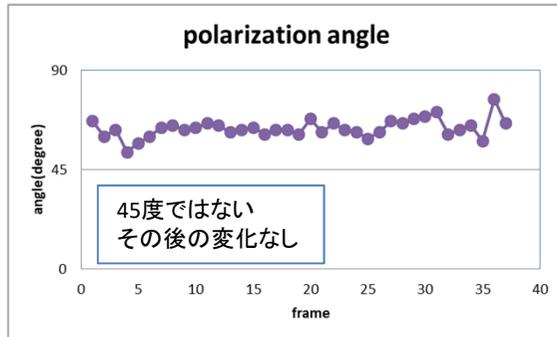
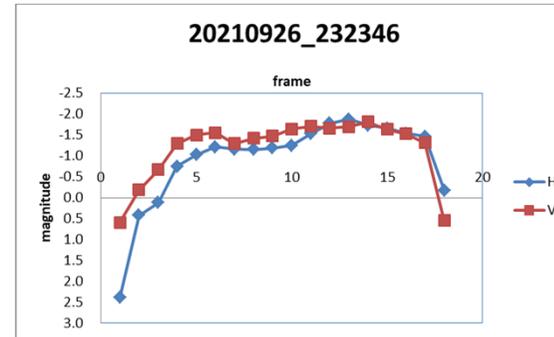
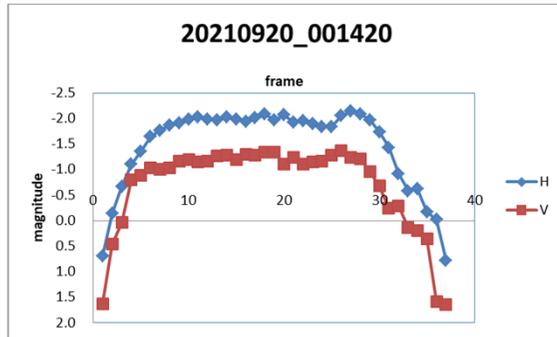


Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-2.6		J5_sTa	1.168		

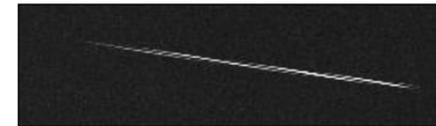
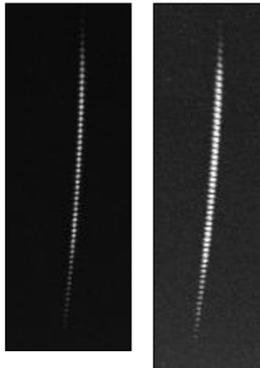
Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.7	9.64	spo	0.4	90.9	86.8

この例も偏光角の変化が無い例です、経路の長いものです

最初から偏光していて一定なまま消滅する例と
 徐々に偏光角が変化しながら消滅する例
 (回転していない例とゆっくりと回転している例か?)



月有り



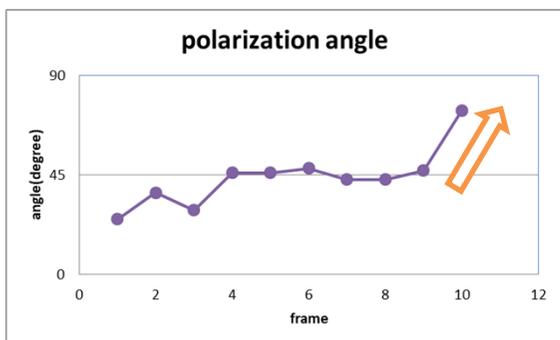
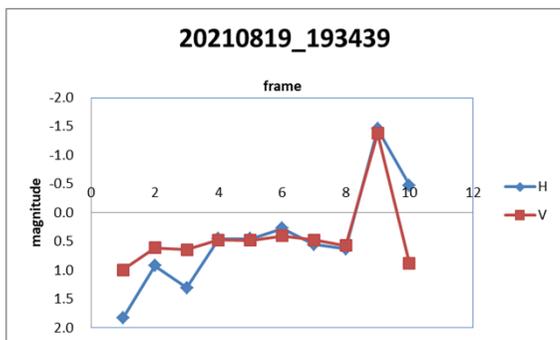
Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-0.7	22.7	_spo	1.235	90.9	66.0

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.5	67.2	_J5_Ori	0.634	105.4	91.6

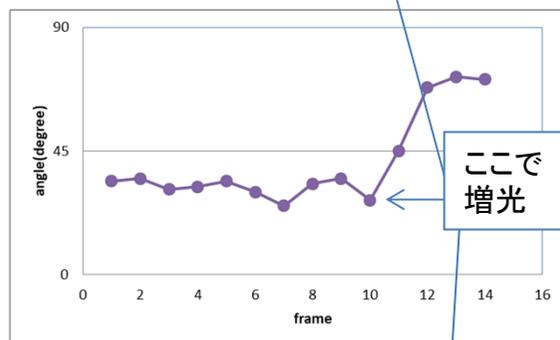
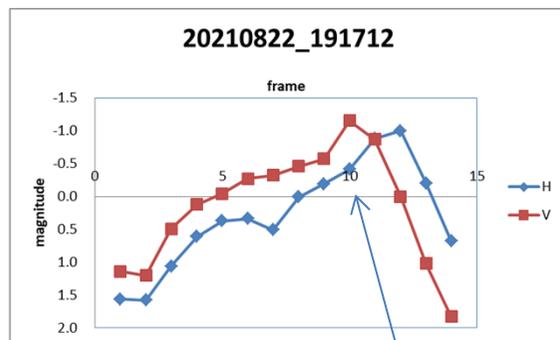
これらは発光点から偏光している例です、左はそのまま変化していません、右は回転しているのか徐々に偏光角が変化しています

増光・バースト後に偏光角が急変する例

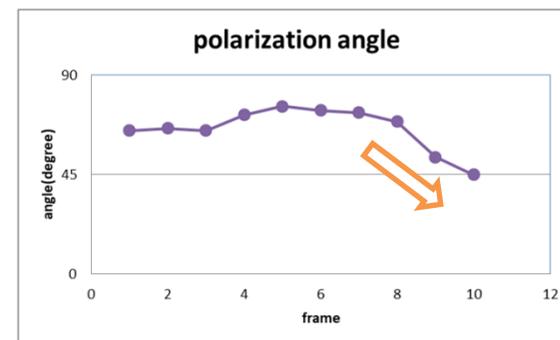
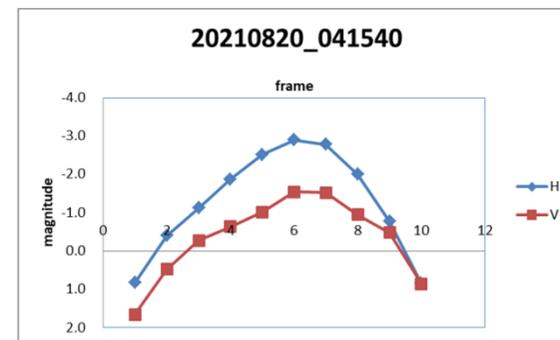
(この様に明るくなってから急に偏光角が変化した流星はとて多いです)



Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.8	23.8	J5_kCg	0.67987	96.0	80.3



Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-0.7	25	_spo	0.601	100.4	87.3

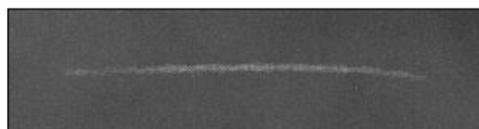
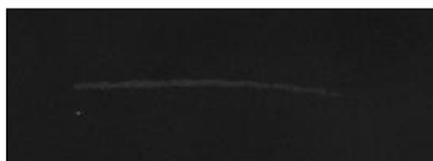
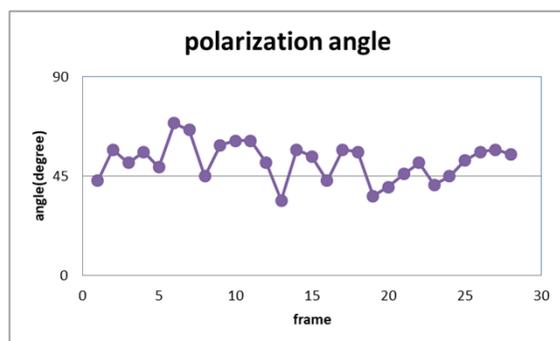
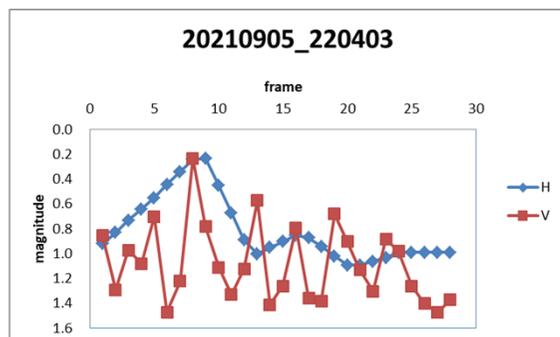


Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-2.0	69.2	_spo	0.37223	115.5	90.7

増光後に偏光角が変化する例は多いです

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-2.0	69.2	_spo	0.37223	115.5	90.7

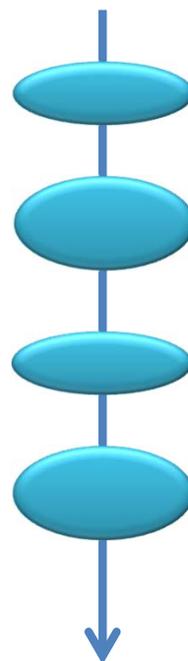
偏光度変化か？



曇り

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
0.2		spo	1.335		

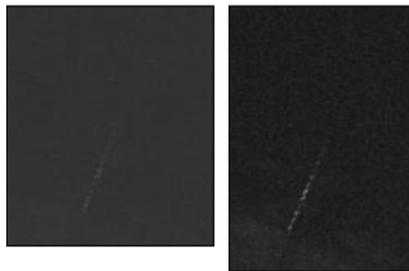
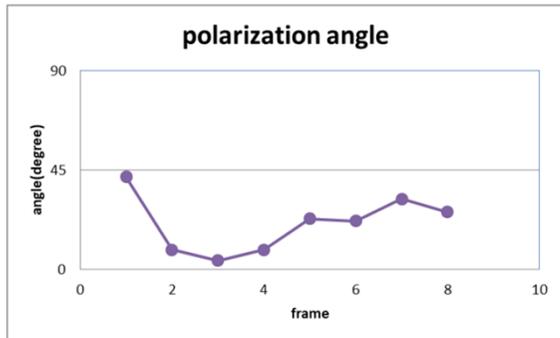
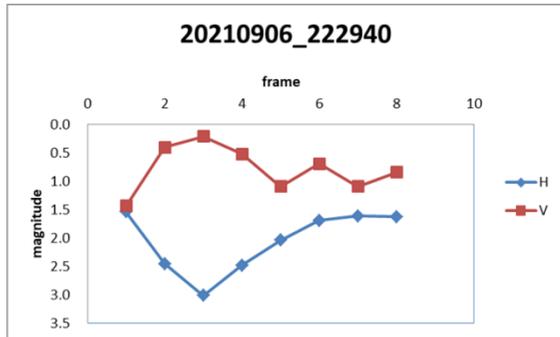
Vの不規則な変化



V方向だけが変わっているサンプルか。
偏光度の変化か？

Vだけの变化ですが高速な回転かも知れません。流星痕にチューブ状の物がありそうですが形成過程を見ているのかも知れません。

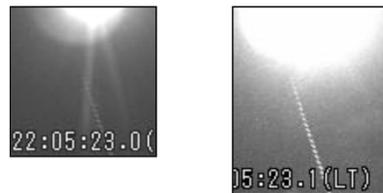
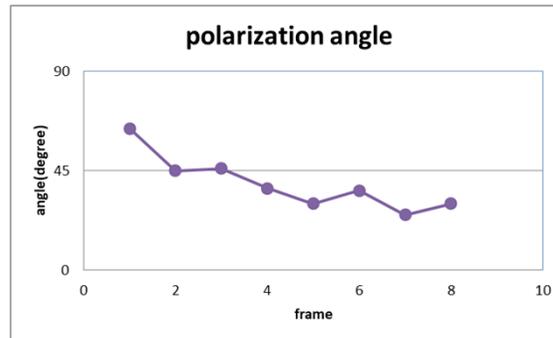
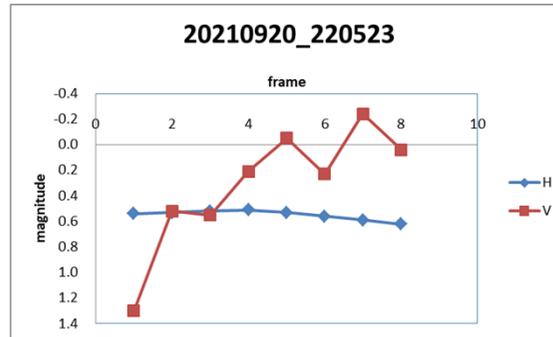
特異な例



曇り

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
0.4	19.2	spo	0.801	94.7	80.1

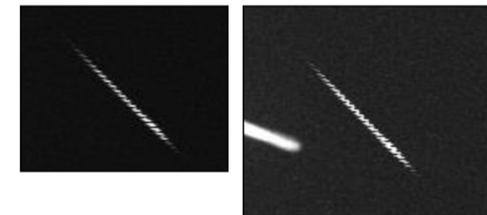
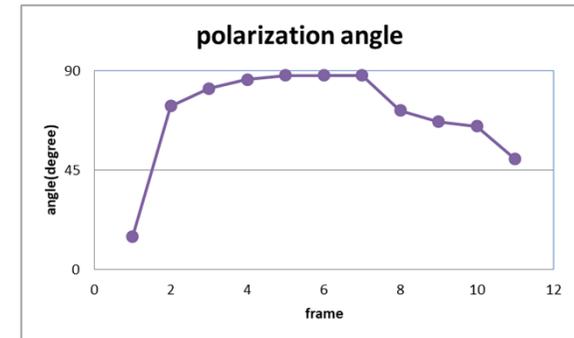
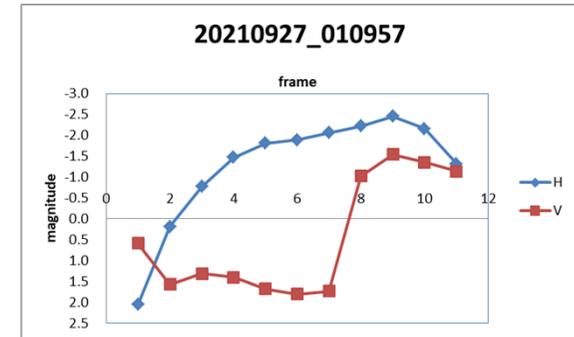
H・Vの逆向き変化



月有り

Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-0.4	41.8	spo	0.701	102.7	80.1

Vだけが変化

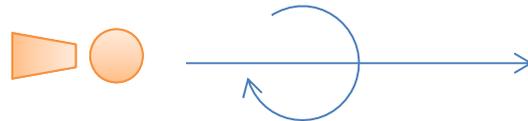


Amag	Vg	stream	duration	H1	H2
-1.2	56.4	spo	0.367	111.9	94.5

今回の最も得意な例です

解析のまとめ

- 月や雲の影響は無い或少なかった
- 偏光角がゆっくりと変化する物は回転偏光の可能性が有ります



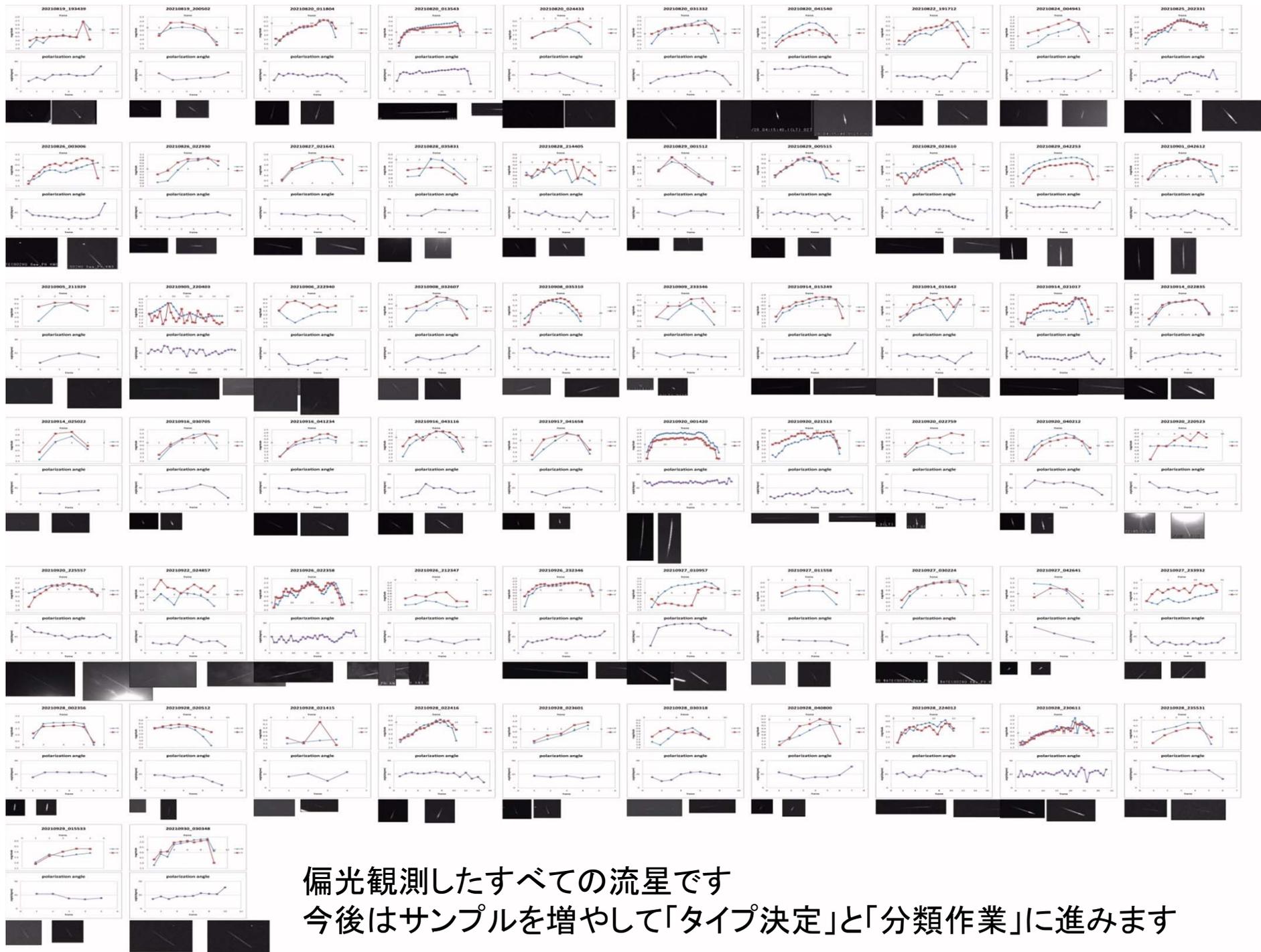
- 急な偏光角の変化は急激な非対称の分裂に関連しそうです、その多くがバースト直後に急な変化をしてる事で予想できます



- 始点から偏光角が有るもので変化しないまま終点まで流れる物があります、これは流星発光が始まった時点で偏光を起こす状態が出来て、そのままの状態です消えてゆくのかも知れません



- これらは**憶測**です、より多くの観測と解析を行う事で解決できると信じています
- この観測は偏光度が一定と言う仮定が必要なため解釈を難しくしています



偏光観測したすべての流星です
 今後はサンプルを増やして「タイプ決定」と「分類作業」に進みます

まとめと今後の展望

- 偏光角の変化を解釈するには、まだまだサンプルが少ないです
 - 9月以降の画像も同様な解析をする必要があります
- 暫定で良いので偏光角変化の「タイプ」を決めて
- そのタイプに基づいた「分類作業」を行う
- これにより偏光角の変化を解釈出来るようになると期待しています
- 偏光度が測定出来ない理由はカメラを増やす必要があるからです(予算不足)
 - ハードが異なる古いカメラがあるのでこれが使えるかテスト観測してみようと思います