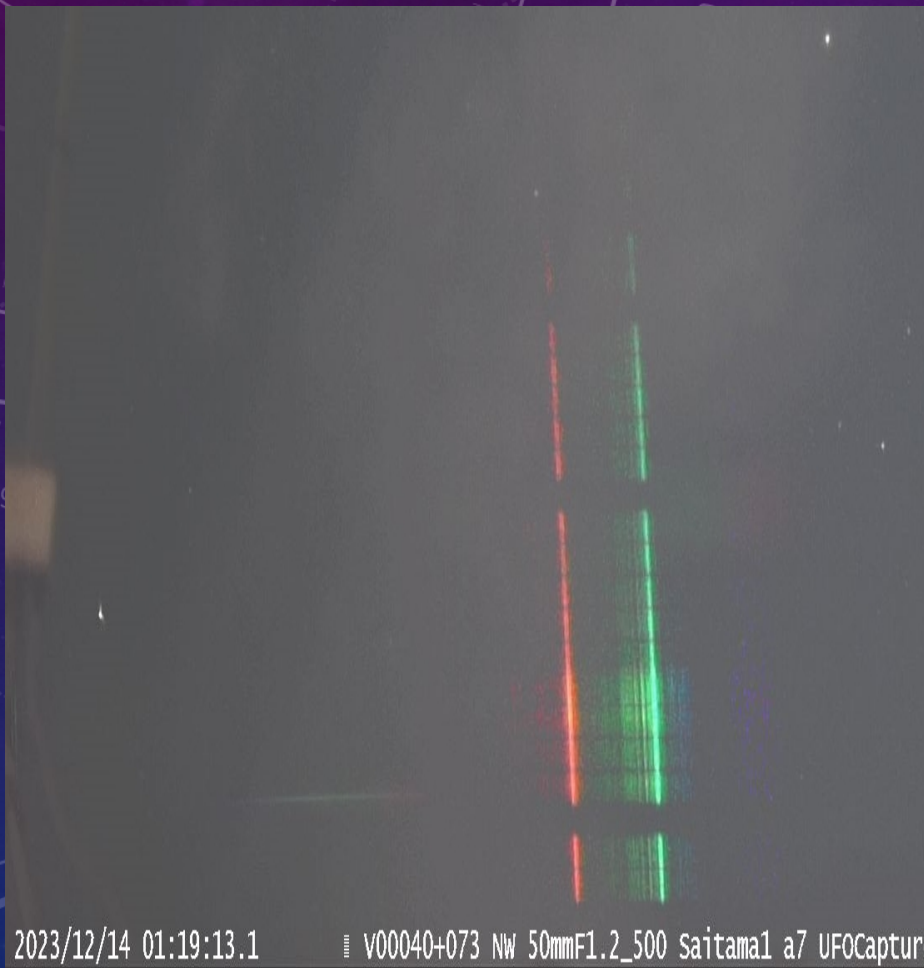


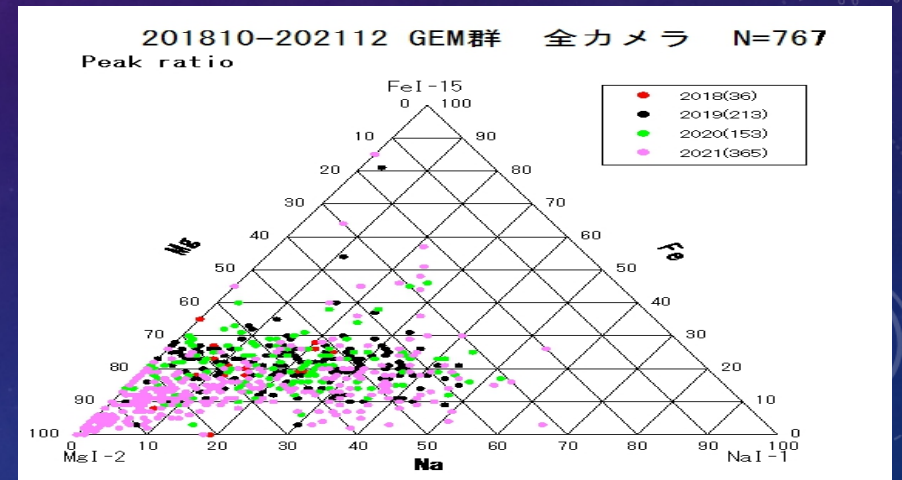
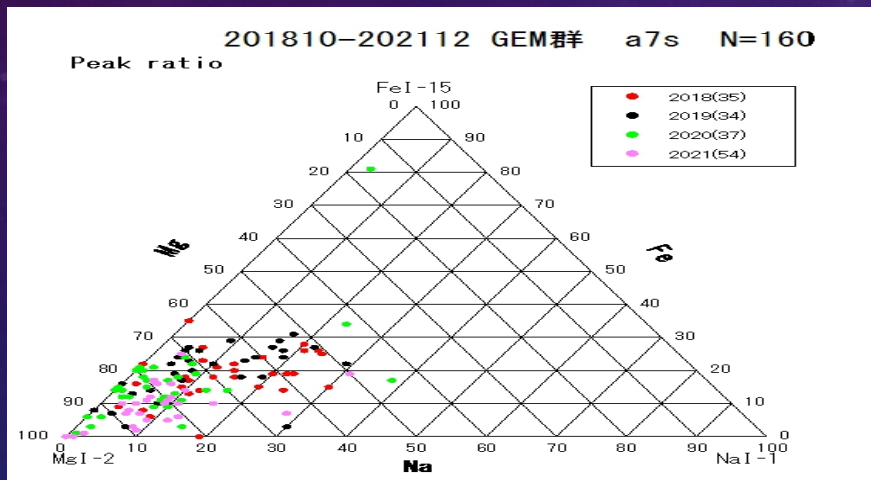
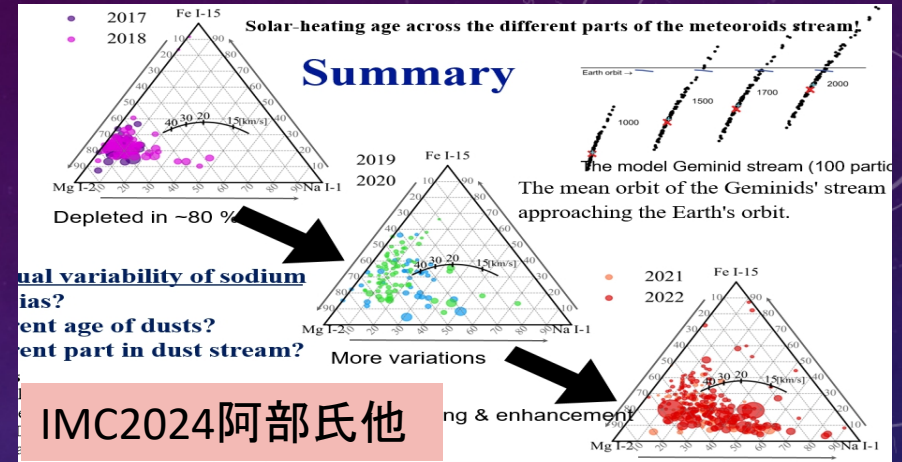
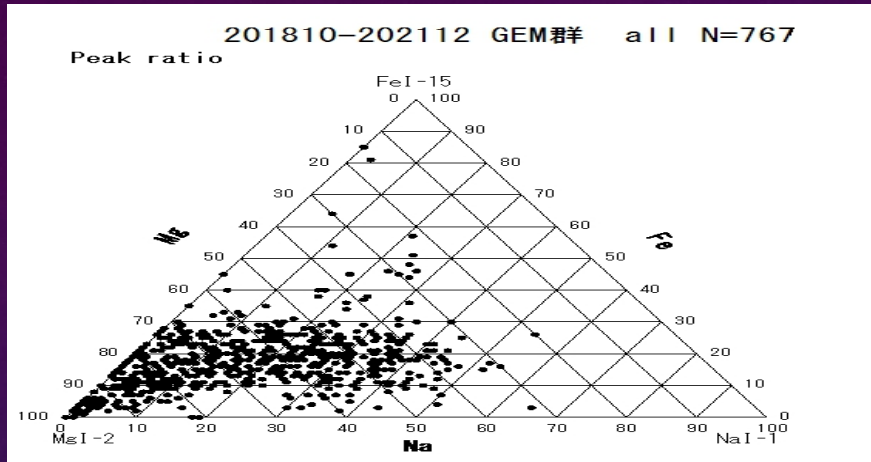
オンライン流星物理セミナー発表資料

関口 孝志 20241016

2018年12月から2021年12月までのふたご群 のスペクトルの解析結果と考察等

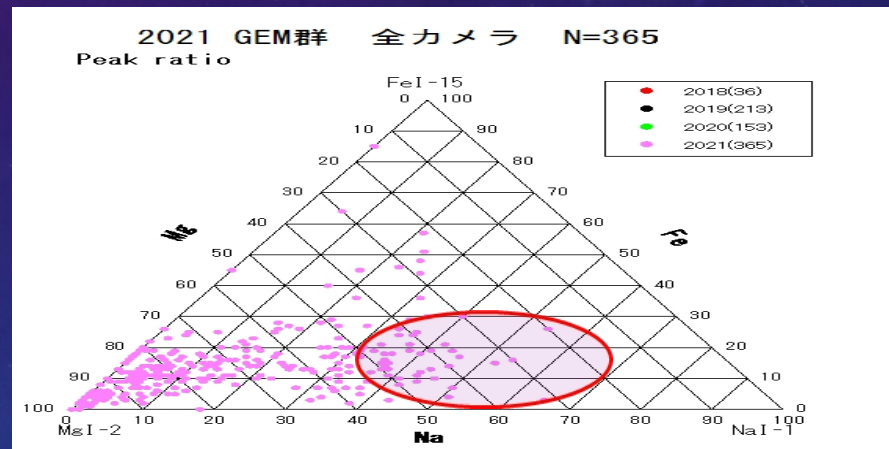
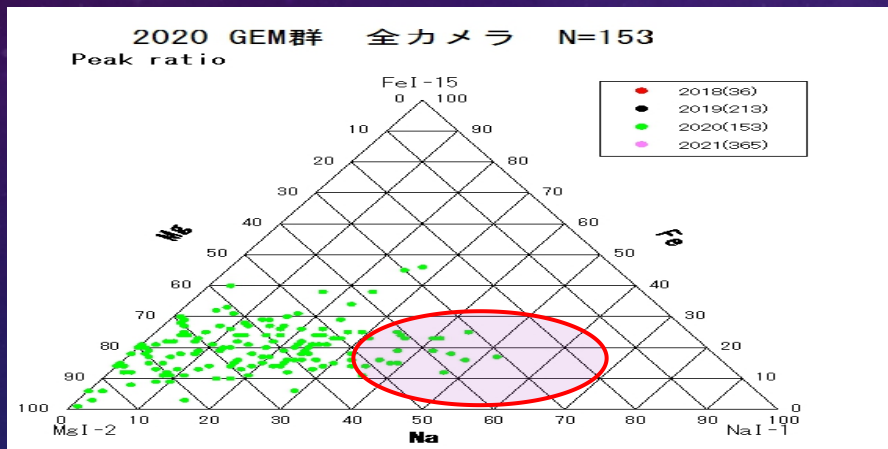
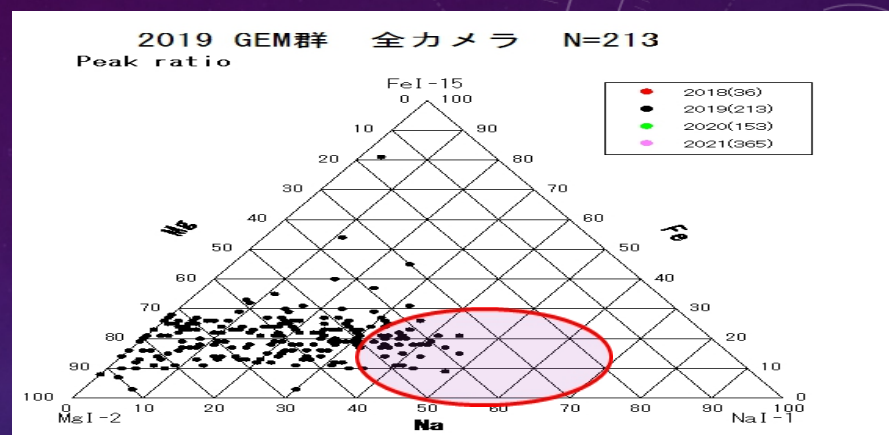
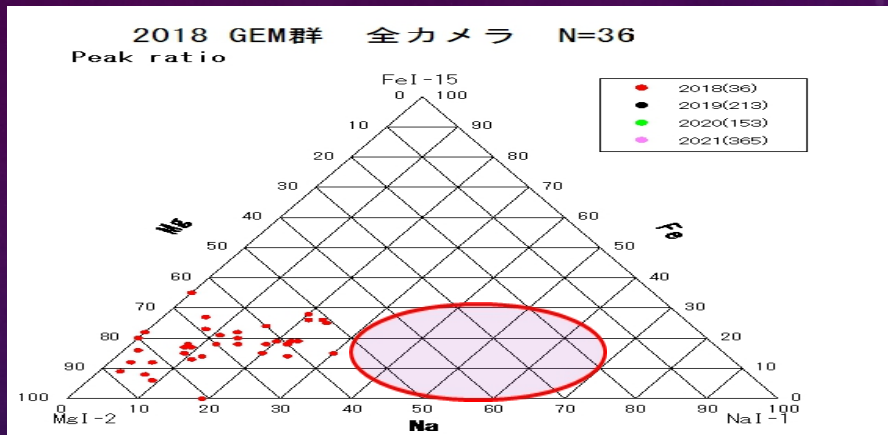


流星スペクトルの得られた全Gem群の三角比



上の左は、2018年から2021年のふたご群の全流星のスペクトルの三角図です。三角図の中央から左側によっています。Naの割合が0から40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-30%に集中しています。鉄流星が2個撮影できています。左下は、a7sの50mmレンズのみの結果で4年分を分けています。右下は、全カメラの4年分を分けています。2018年は、赤点。2019年は、黒点。2020年は、緑点です。2021年は、ピンクです。A7s(50mm)のみと全カメラでは、ともに年によって分布の仕方が違います。全カメラは、6mmが多いので明るい流星も多く広い範囲に広がってます。左上は、IMC2024の阿部氏等の結果です。年によって違うことと年々Naが増えている傾向があり、似た傾向が見られました。

流星スペクトルの得られたGem群の年別の三角比

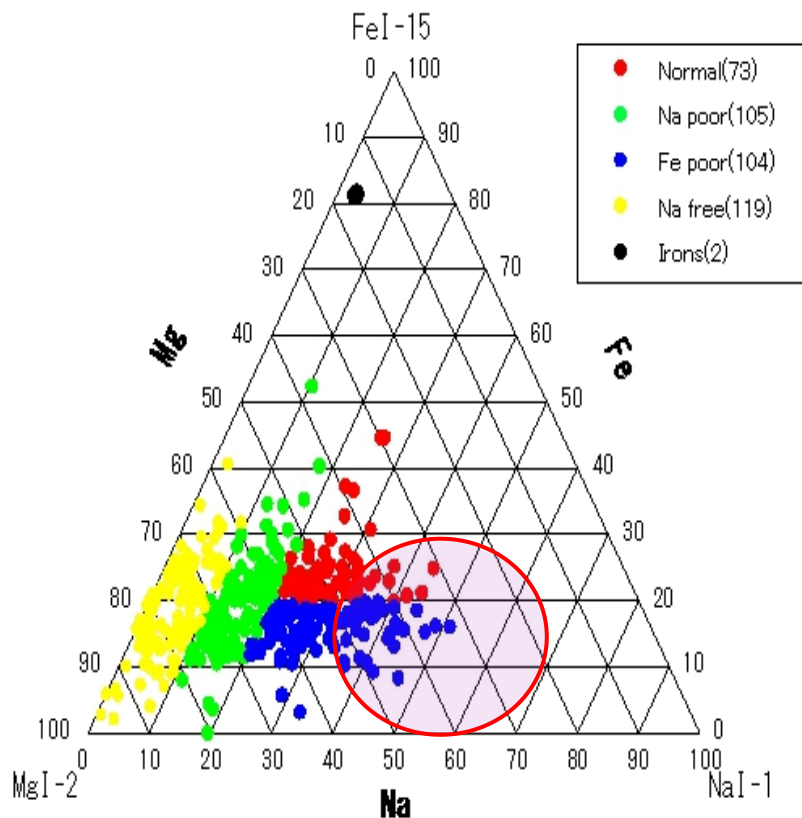


前のスライドの上の全部のふたご群のグラフを年毎に分けました。左上は、2018年のa7sのみの結果です。Naは、30%以下です。右上は、2019年の全カメラによるふたご群の結果です。極大付近の明るいものが焦点距離の短いレンズでたくさん撮影され、Naの20-40%に集中が見られます。左下は、2020年の全カメラのふたご群のスペクトルの結果です。2020年の方は、Naの割合が30-40%に集中が見られないで、0-30%に集中しています。右下は、2021年でNaの割合が10-20%と30-40%に集中していて60%以上が4個見られました。年によって分布の集中の違いが見られますがNaが年々増えていて、これからも阿部さんと同様の結果が得られました。Feの分布の範囲は、10-30%と似た傾向があります。2021年は、暗い流星が多く、Feが10%以下が他の年より多かったです。

流星スペクトルの得られたGem群のタイプ別の三角比

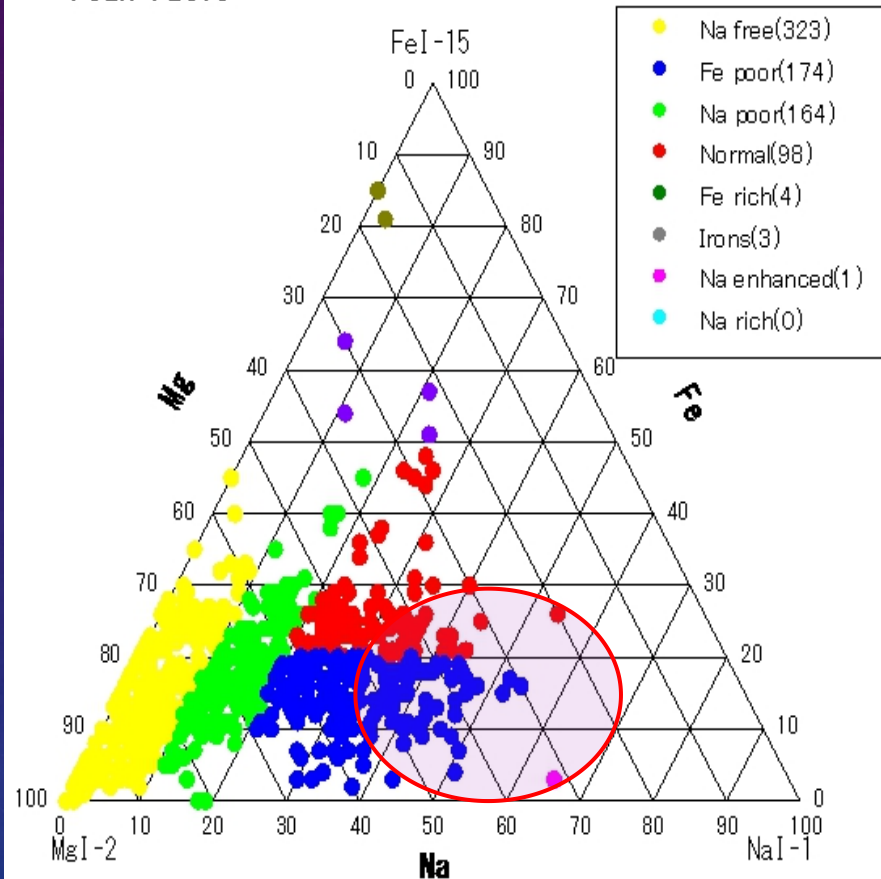
2018-2020 Gem N=403

Peak after sensitivity correction



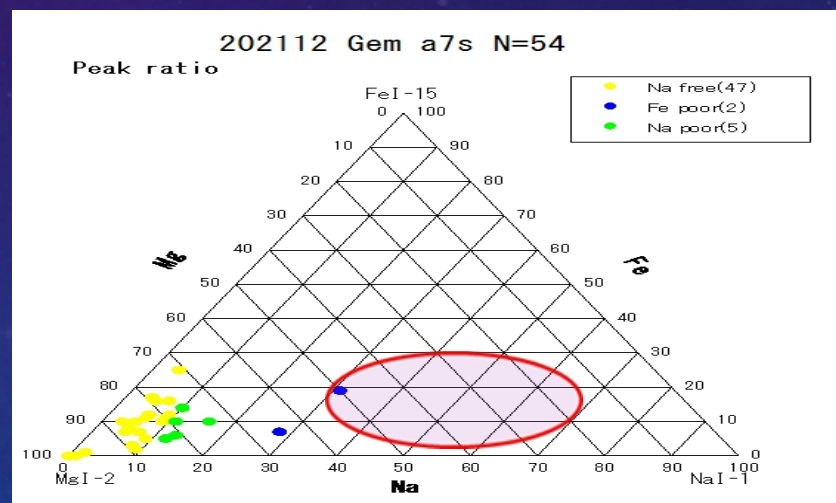
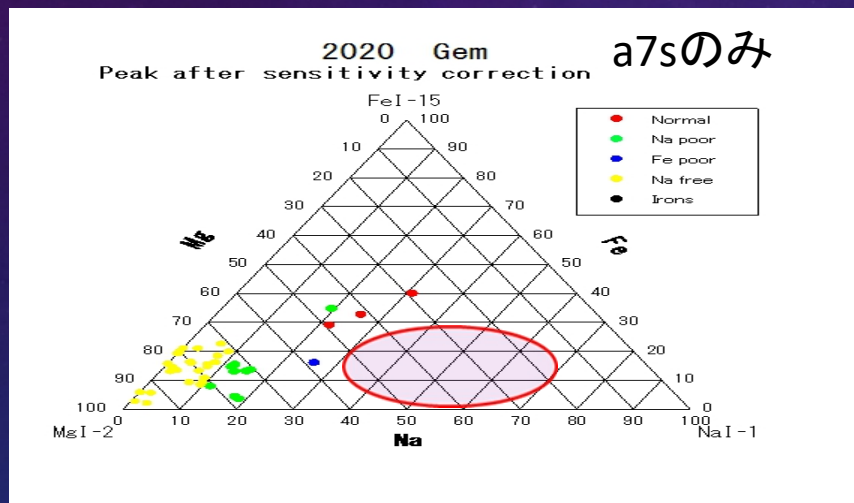
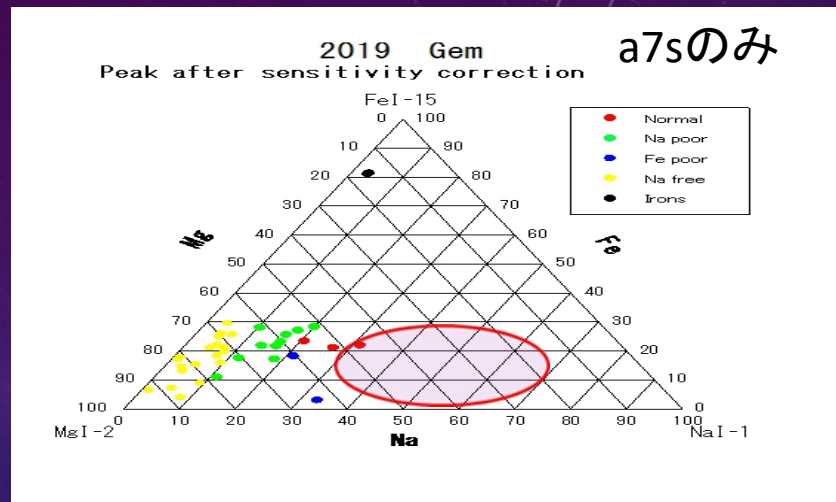
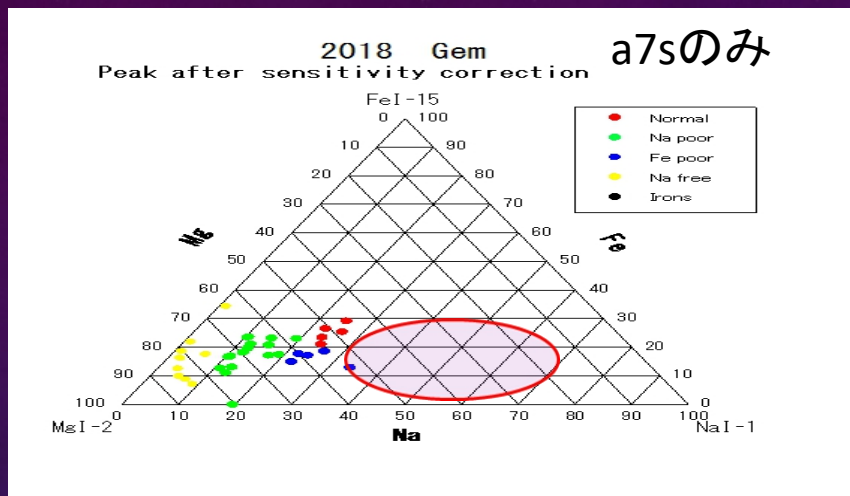
201812-202112 Gem all N=767

Peak ratio



左は、2020年までの全カメラのタイプ別三角図です。4つのタイプが大体同じですが、Na poor とNa FreeとFe poorがやや多くなっています。右は、2021年も含めたものです。Normal は、少なく、Na free とNa poorが年によってばらつきが見られます。**2021年は、暗い流星のスペクトルが多く撮影され左下に集中が見られます。Fe richとNa enhancedがありました。**

流星スペクトルの得られたGem群のタイプ別の三角比

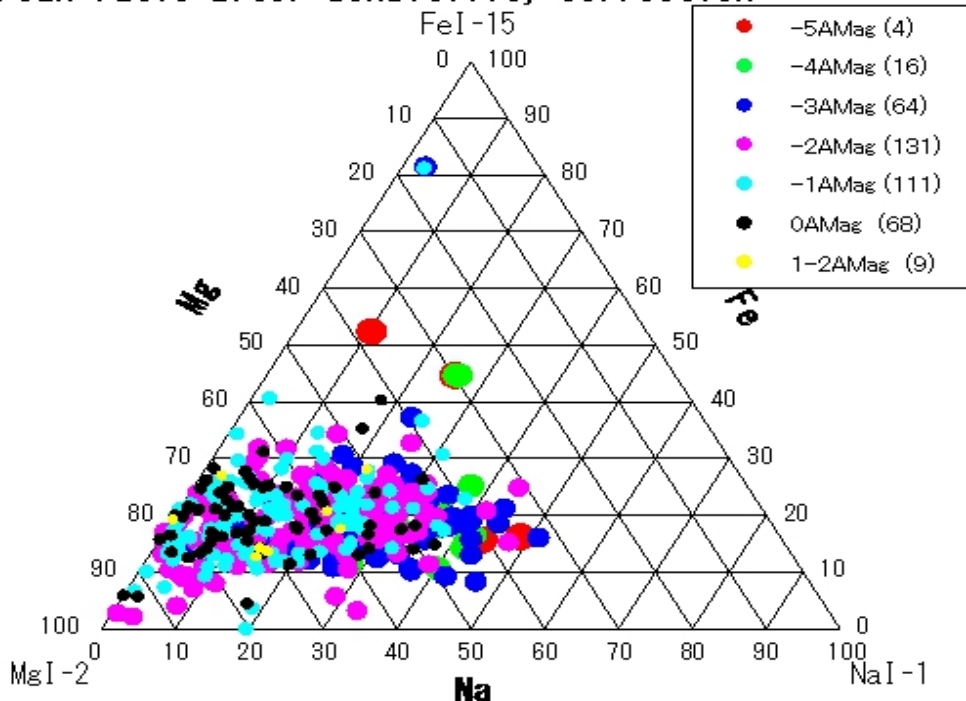


この図は、a7sの50mmレンズのみのふたご群全部の年別のタイプ別です。年によるタイプ別の割合の違いが見られます。Normalは、少なく、Na free とNa poorが年によってばらつきが見られます。2018年は、Na poorがやや多かったですが、2020年と2021年は、Na Freeの方が多かったです。2021年には、Normalが1個もありませんでした。

スペクトルの得られたGem群の絶対光度別の三角比

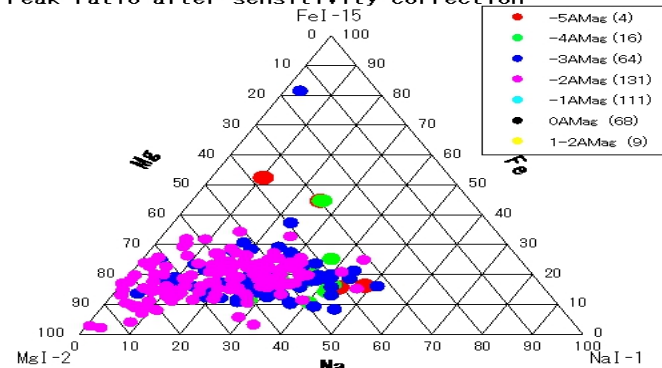
2018-2020 Geminids (N=403)

Peak ratio after sensitivity correction



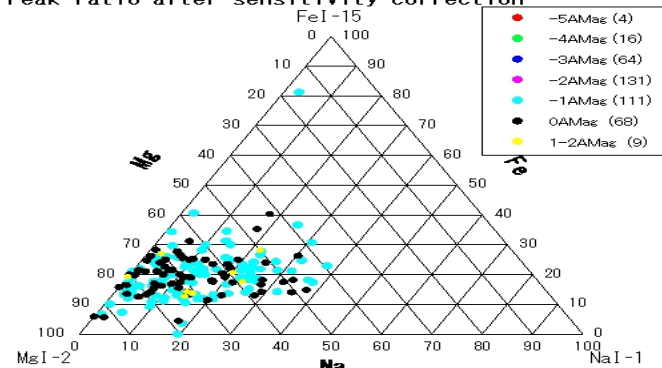
2018-2020 Geminids (N=403)

Peak ratio after sensitivity correction



2018-2020 Geminids (N=403)

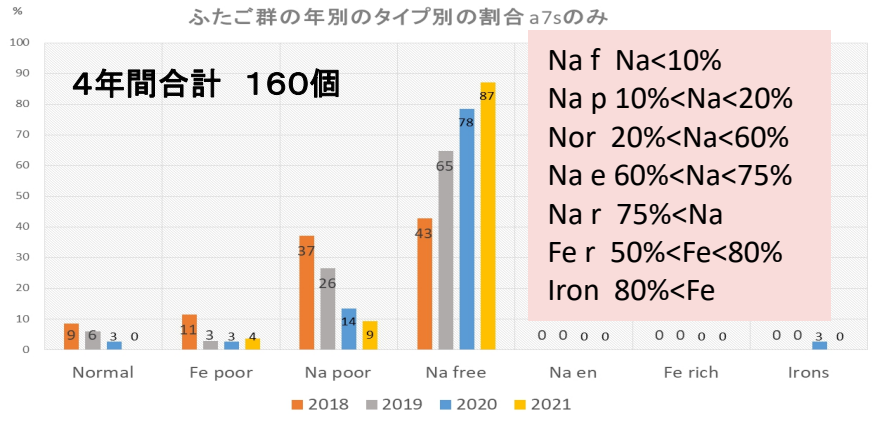
Peak ratio after sensitivity correction



左は、2018年から2020年の全カメラによるふたご群の全絶対光度別の三角比です。中央に明るいものが左に暗いものが集中しています。重なりが多いので2つに分けました。右上は、絶対等級-5等から-2等までの明るい流星の分布です。右下は、絶対等級-1等から2等までの暗い流星の分布です。-2等から-1等は、やや広がりが大きいですが、集中部のずれは、10%程度あります。0等から2等は、左の0-10%の範囲が多くなっています。暗い流星は、Naの量が少ないので、暗い流星ほどNaの枯渇が起きやすいと考えられます。

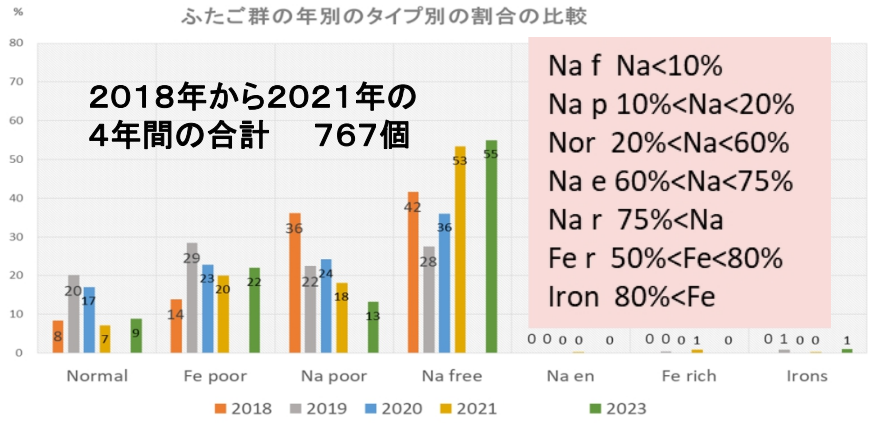
Gem群のカメラごとの年によるタイプ別の割合

ふたご群の年別のタイプ別の割合 a7sのみ

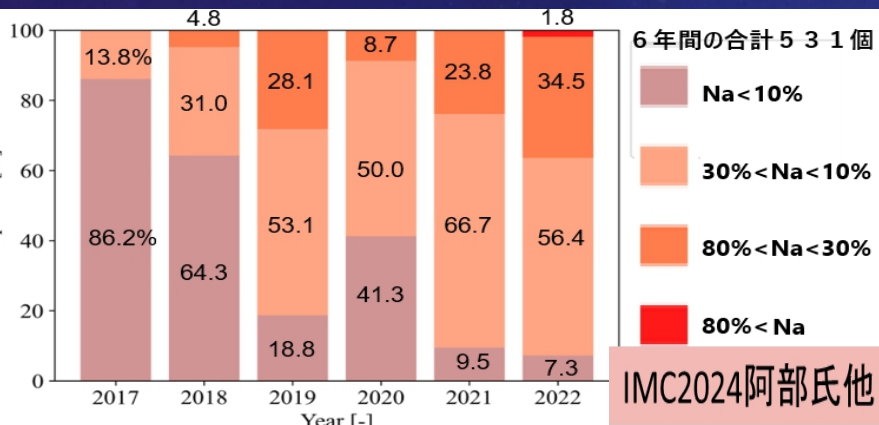


左上は、**a7sの50mm レンズのみ**のふたご群のタイプ別の割合の年による変化です。年によって割合の違いが見られます。**NormalとFe poorが少なく、Na free とNa poorが多い**ですが年によってばらつきが見られます。Na Freeが、毎年割合が増えていて他の3つは逆に毎年減っています。2021年は、Normalタイプが1個もありませんでした。

ふたご群の年別のタイプ別の割合の比較



左中は、**全カメラ**の結果です。2023年だけの簡易結果です。こちら、年によってタイプが一番多いものは、違います。2018年だけは、a7sだけなのでやや傾向が違います。2022年は、未解析です。**2019年だけがNormalタイプとFe poorが他の年より多かった**ことがわかります。2018年と2020年の方は、反対にNa free とNa poorが多かったことがわかります。A7sと同様にNa Freeが、毎年割合が増えていて他の3つは逆に毎年減っている傾向は似ています。右の3つのタイプは、だいぶ少ないのがわかります。



左下は、IMC2024の阿部氏等の結果です。タイプの分類基準が違っているので注意してください。こちら、年によってタイプが一番多いものは、違います。2018年と2019年は、Na poorが多いですが、2021年と2022年は、**NormalタイプとNa enhancedが他の年より多かった**ことがわかります。Na poor が、毎年割合が大きく減っている傾向は、私の解析結果とよく似ています。

2022年の極大期のGem群の鉄流星

Spectrum of a -2 magnitude Geminid meteor on December 14, 2022

Takashi Sekiguchi

Nippon Meteor Society
SonotaCo network

ts0078mtj.biglobe.ne.jp

On December 14, 2022, the SonotaCo Network in Japan recorded a Geminid meteor with a radiant position at $\alpha = 114.3^\circ$ and $\delta = +31.6^\circ$ with a geocentric velocity $v_g = 33.7$ km/s (Equinox J2000). The parent body is Phaethon and the spectrum of the meteor shows dominance of iron. The ratio of iron meteors to all meteors during the recording period on the same camera was 2.6 %.

1 Observations

The SonotaCo Network in Japan has recorded the spectrum of a -2 magnitude meteor of the Geminids*.

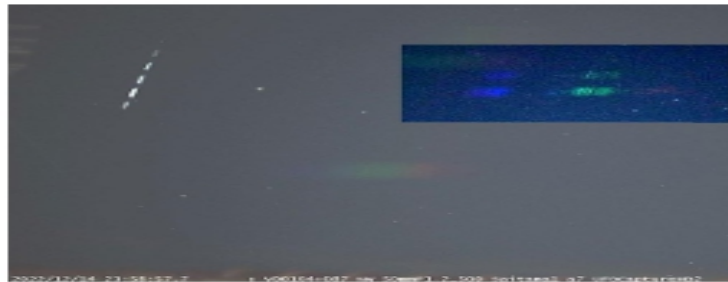


Figure 1 – Spectrum of a -2 magnitude meteor of the Geminids.

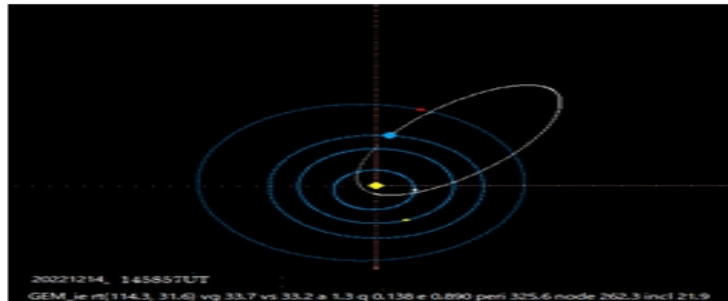


Figure 2 – Orbit of the Geminid meteor with the spectrum.

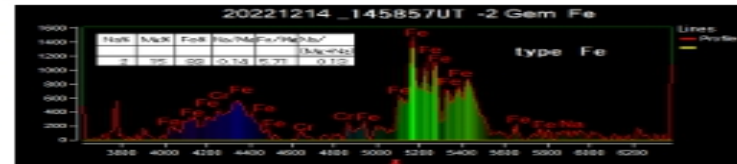


Figure 3 – Result of the spectrum analysis.

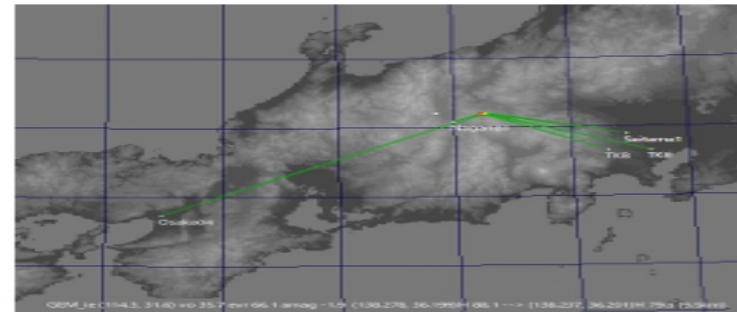


Figure 4 – The trajectory in the atmosphere and the ground track.

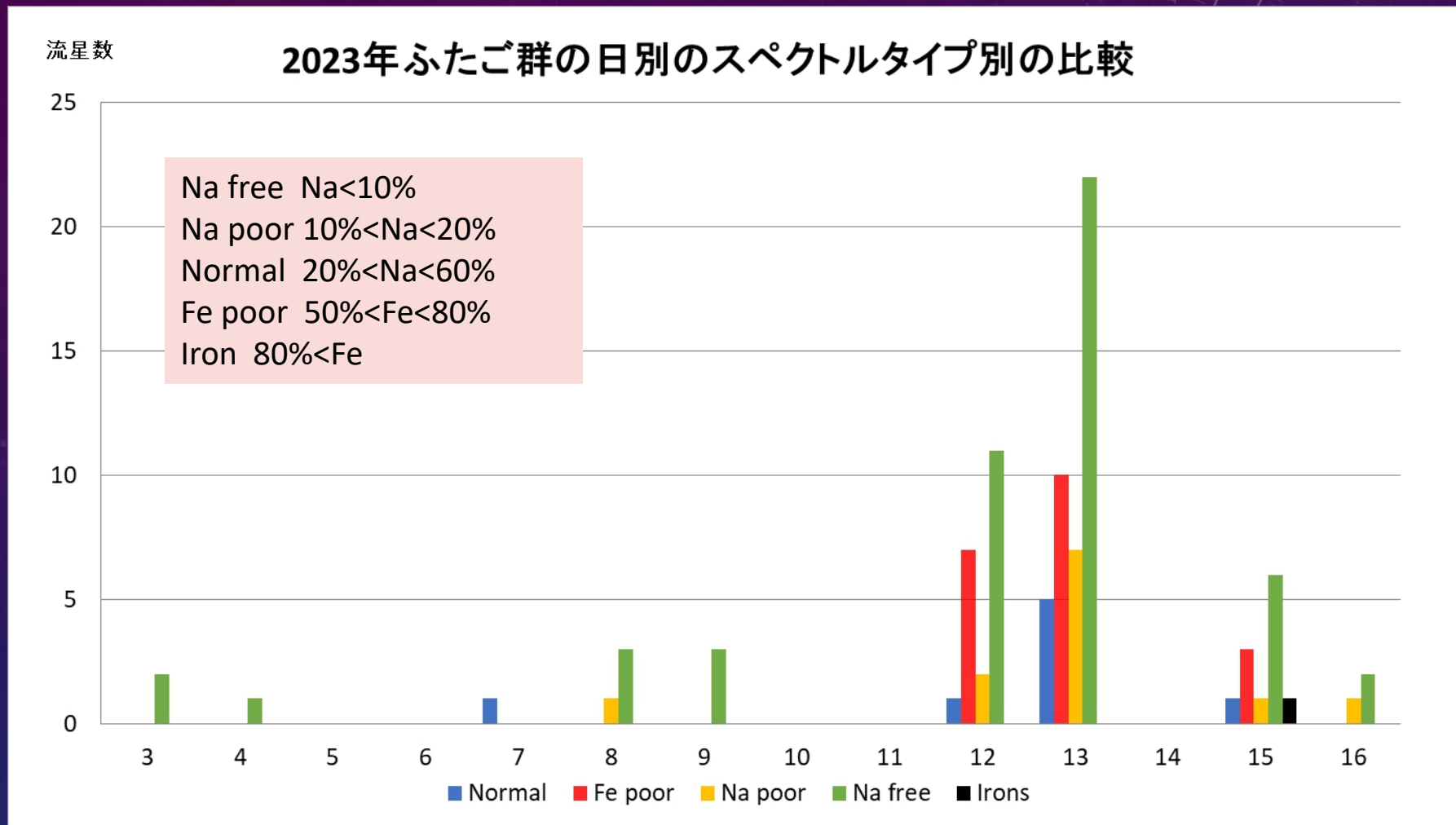
Table 1 – Comparing the orbits with parent body.

	a (AU)	e	q (AU)	i ($^\circ$)	ω ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)	D_{100}	T (yr)
Meteor	1.25	0.890	0.138	21.9	325.6	262.30	0.00	4.56
Phaethon	1.27	0.890	0.140	22.3	322.2	265.22	0.02	4.50
Geminids	1.31	0.889	0.145	22.9	324.3	261.70	0.03	4.4

* <https://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=5311>

これは、2022年のふたご群の極大期の鉄流星の論文です。Meteor newsに投稿し掲載されました。まだ、2022年度分の解析は、殆ど終わっていませんが、毎年1個程度の出現です。6年間で7つのすべてのタイプが観測されました。

2023年のGem群のタイプ別の日別の流星数



全カメラの2023年だけの簡易結果です。日によってタイプのばらつきが見られます。一番多いものは、Na freeです。極大の14日が観測できていないので、はっきりしませんが、**2023年**もNormalタイプが少なかったです。

全Gem群のタイプ別の輝線の割合の平均の比較

2018年から2021年の4年間のGEMの合計

Class	流星数	NaI(%)	±	MgI(%)	±	FeI(%)	±
Na free	324	3.6	2.8	84.2	8.9	12.2	7.8
Na poor	165	15.1	2.4	66.7	6.8	18.3	6.1
Fe poor	174	32.3	6.4	53.2	6.7	14.5	3.3
Normal	100	29.0	5.2	44.6	6.8	26.5	5.1
Irons	3	2.0	1.0	15.7	0.4	82.3	1.3
Na enhan	1	66.0	0.0	31.0	0.0	3.0	0.0

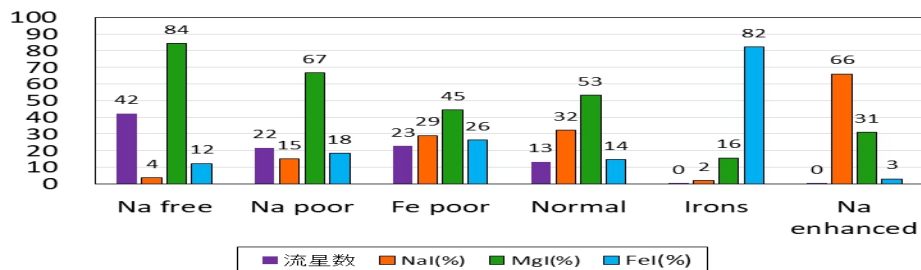
2018年から2020年の3年間のGEMの合計

Class	流星数	NaI(%)		MgI(%)		FeI(%)	
Na free	119	4.7	±2.6	76.6	±6.1	18.8	±5.5
Na poor	105	14.9	±2.4	66.0	±6.3	20.0	±5.7
Fe poor	104	30.6	±6.1	53.8	±6.4	15.7	±2.5
Normal	73	27.8	±4.4	47.7	±5.6	24.6	±3.4
Irons	2	3.1	±0.0	15.6	±0.2	81.4	±0.1

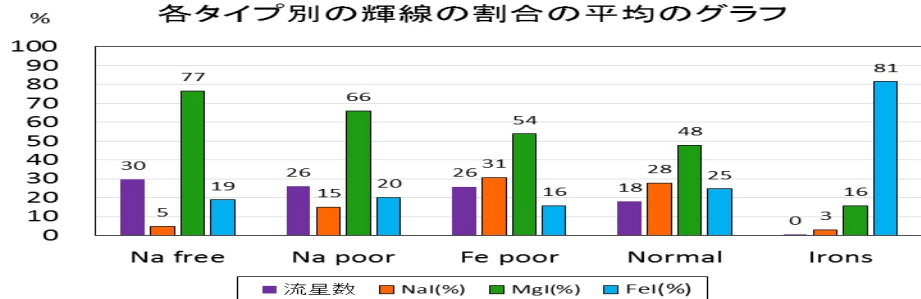
第3回スペクトル研究会資料 阿部氏 2017年と2018年のGemの合計

Class	流星数	NaI(%)		MgI(%)		FeI(%)	
Na free	114	3.7	±2.6	75.1	±6.4	21.2	±6.0
Na poor	24	12.8	±1.7	70.0	±4.6	17.6	±4.6
Fe poor	9	31.8	±9.6	52.1	±9.7	16.1	±2.9
Irons	3	0.37	±0.3	12.1	±6.0	87.6	±5.7

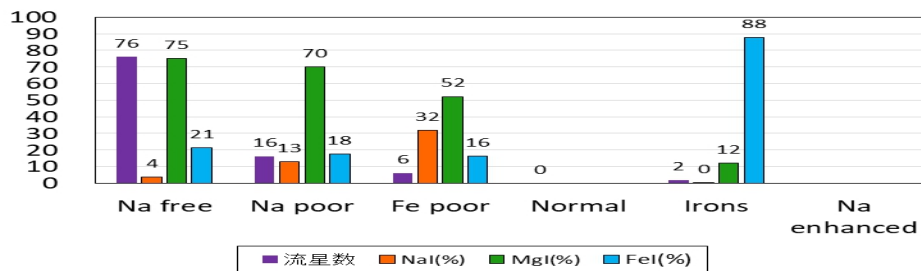
各タイプ別の輝線の割合の平均のグラフ



各タイプ別の輝線の割合の平均のグラフ

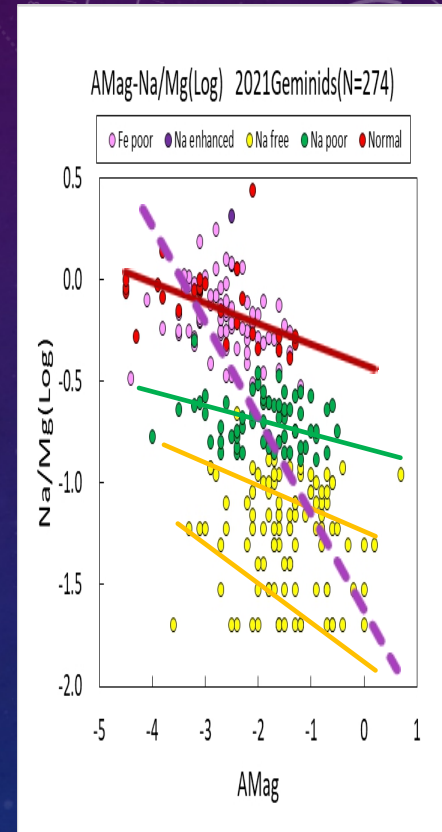
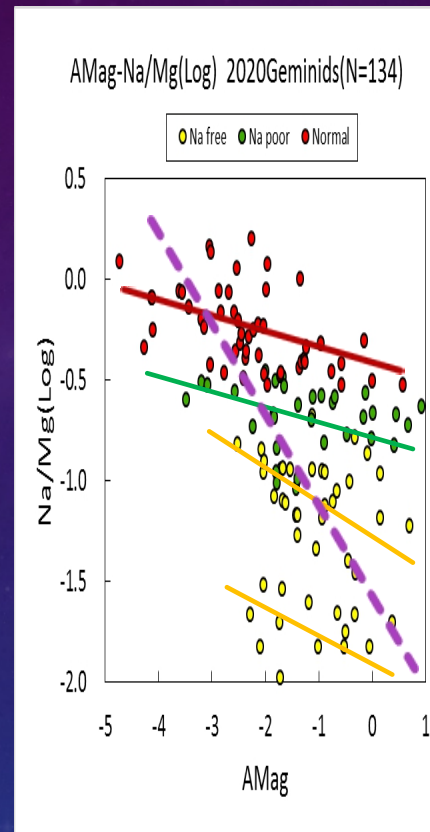
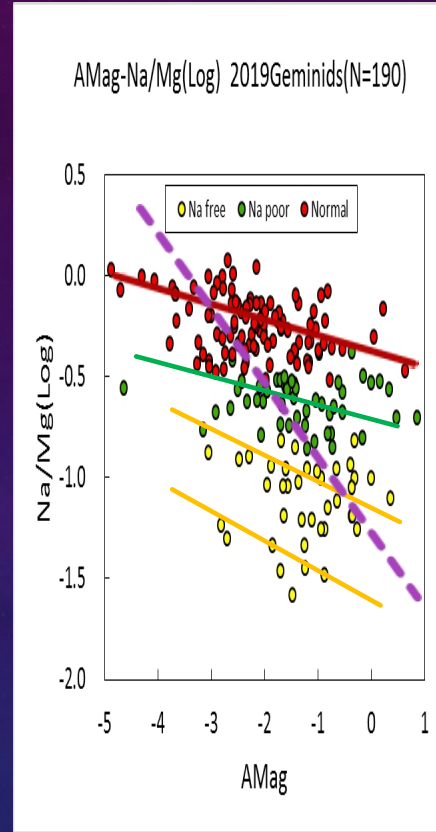
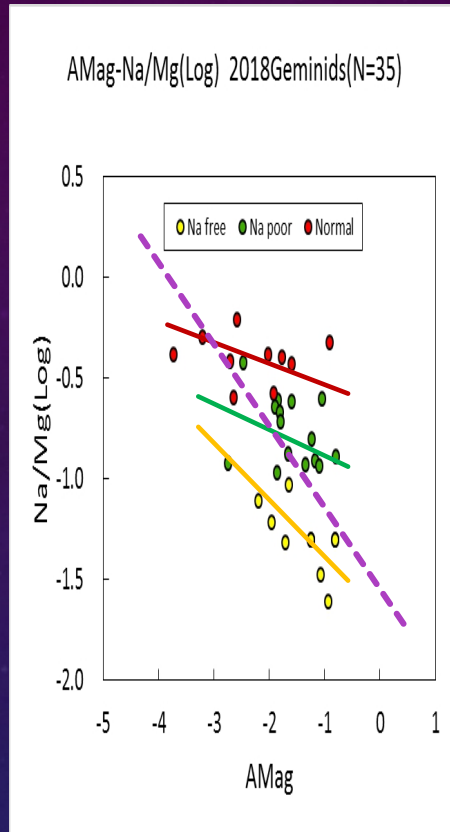


各タイプ別の輝線の割合の平均のグラフ



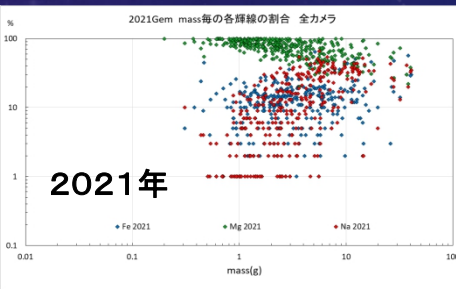
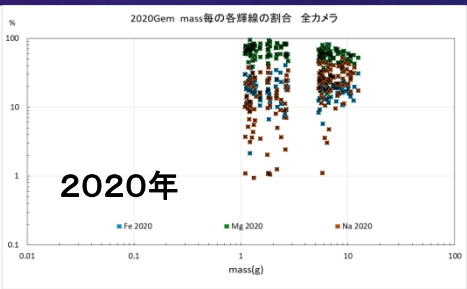
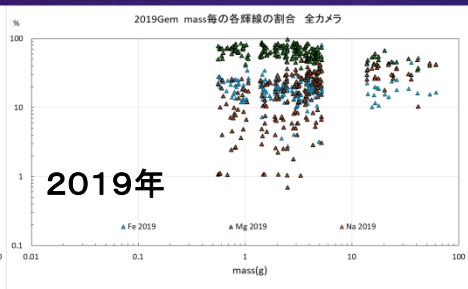
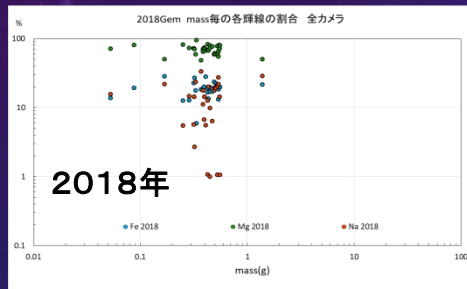
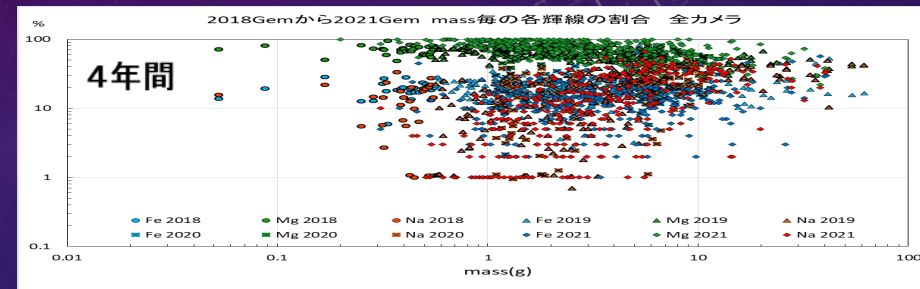
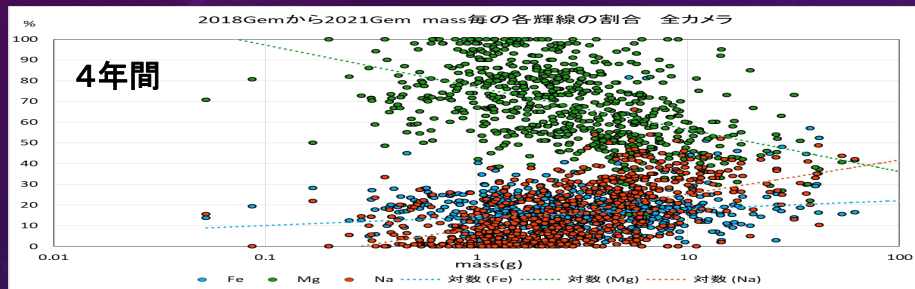
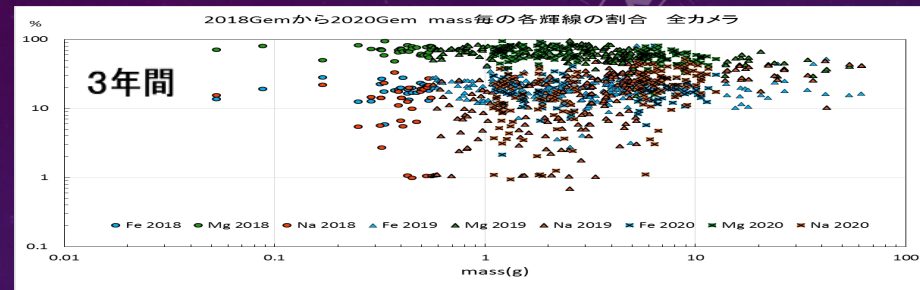
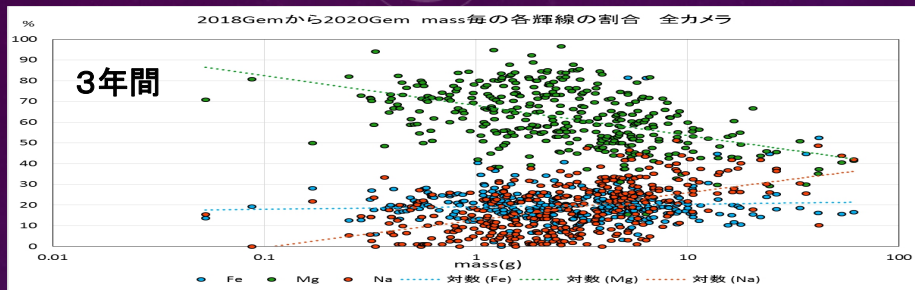
左は、全カメラのふたご群のタイプ別の輝線の割合の表です。上の2つが私の結果で、下が阿部さんの結果です(第三回スペクトル研究会資料参照)。タイプによって輝線の割合の違いが見られます。ともに、Na freeが一番多くNaの枯渇がわかります。タイプ別の輝線の割合も大体似た傾向になっています。右は、左の表をグラフにしたものです。Feは、Ironsを除くとタイプ別でも大体同じ割合ですが、Mgは、タイプによって減っています。Naは、逆に増えています。このことからふたご群は、Na freeが多いのでNaの枯渇が起きていることがわかります。2021年には、Na enhancedが1個捉えることができました。

全Gem群の各年のAMagとNa/Mg(Log)の関係



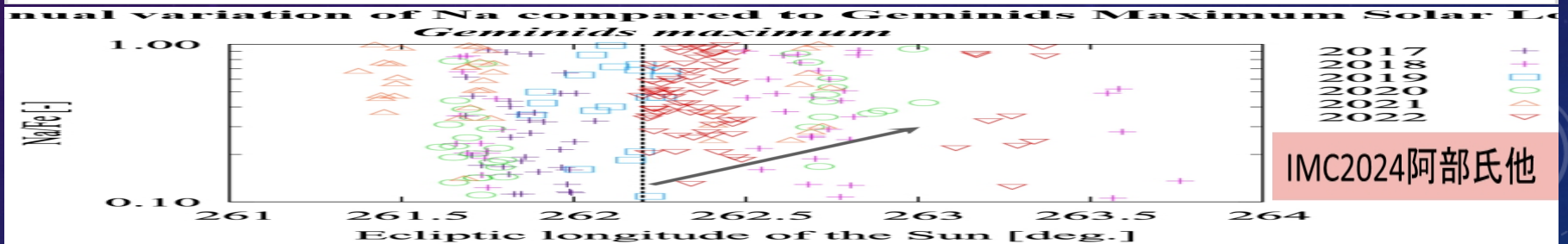
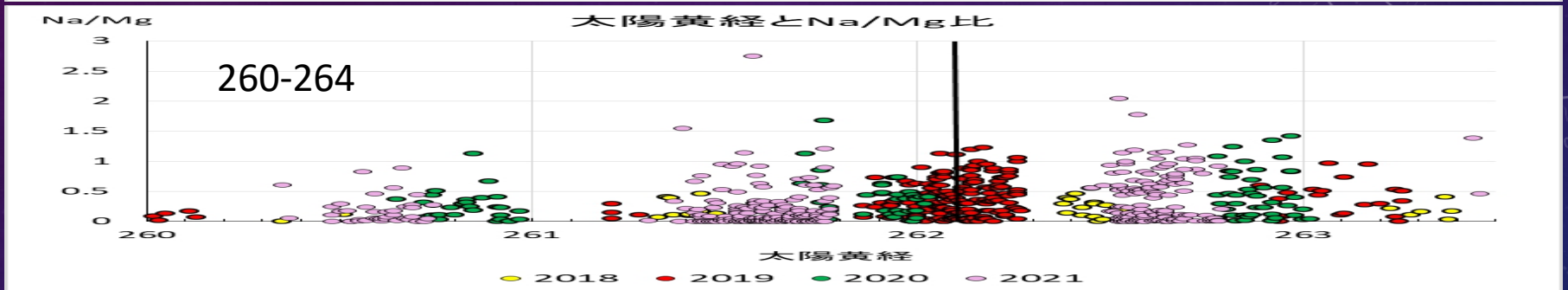
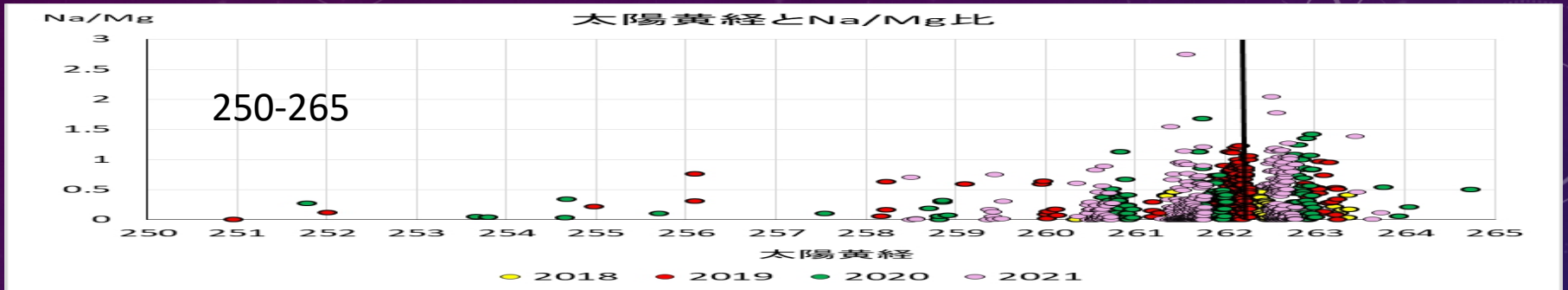
左は、2018年の a7sの50mm レンズのみのでたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log)の関係のグラフです。3つのタイプともAMagが小さくなるとNa/Mg(Log)の値も小さくなっています。真ん中は、2019年のふたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log) の関係のグラフです。右が2020年のふたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log) の関係のグラフです。**4年間とも3つのタイプで似たような直線の傾き**になっています。2019年から2021年は、2018年よりもNaのばらつきが大きくNa Freeが2つのグループに分かれているように見えます。**暗い流星ほどNaが少なくなっている**のでNaの枯渇が見られていることがわかりやすくなったと思われます。

全Gem群のNaとMgとFeそれぞれの割合とMassの関係



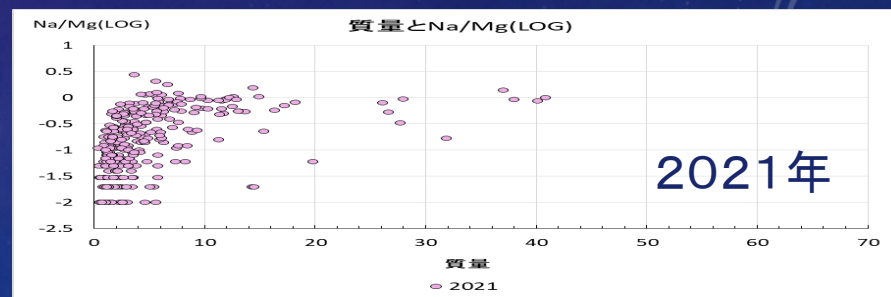
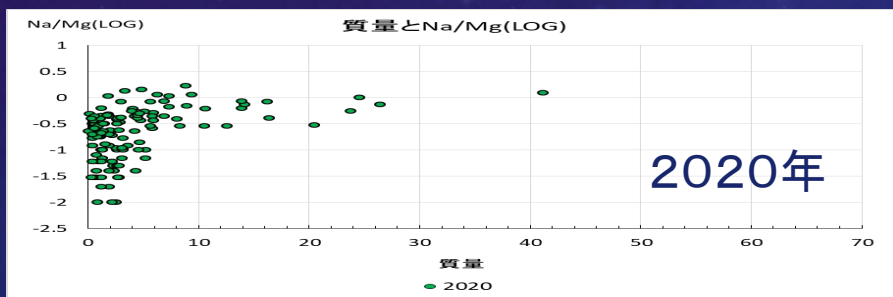
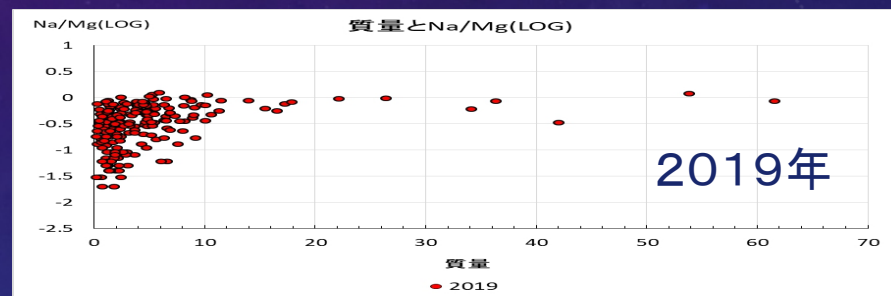
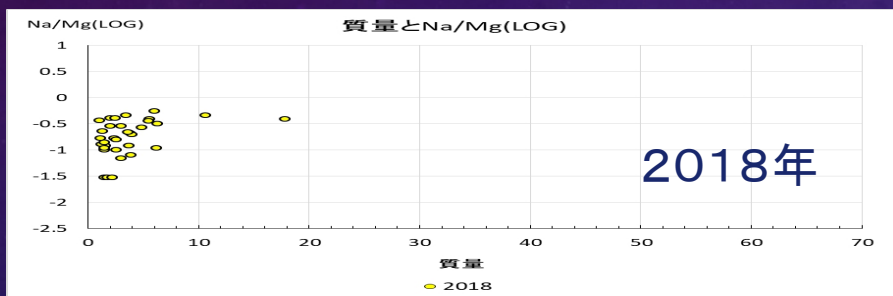
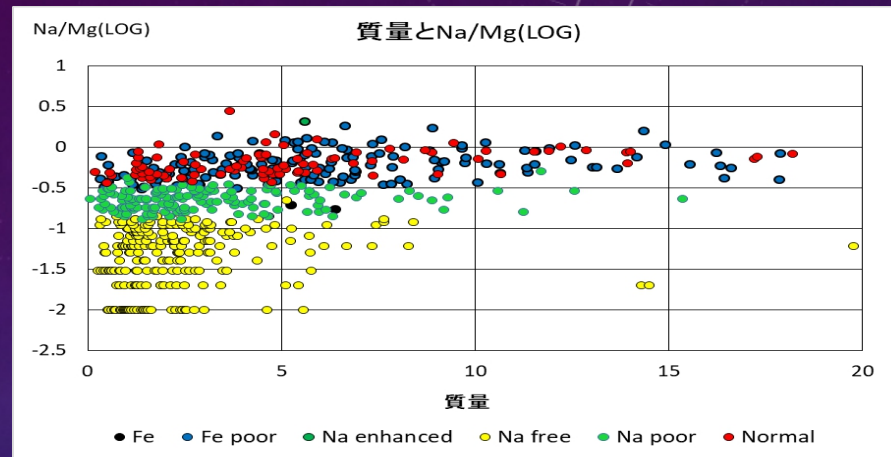
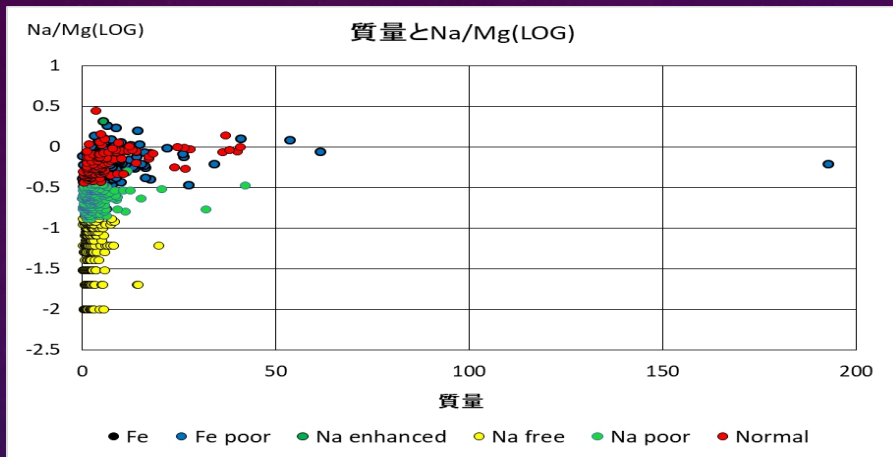
上の二つは、2018年から2020年までの3年間のふたご群の全流星のNaとMgとFeそれぞれの割合とMassの関係のグラフです。真ん中の二つは、2018年から2021年までの4年間です。質量の小さいほどMgの割合が多くなっています。Feは、殆ど変わりません。Naは、質量の小さいほど割合が少なくなっています。このことから、Naのみ質量に依存して変動や枯渇していると言えます。右の二つのグラフは、縦軸を対数にしてあります。また、年ごとにマークを変えています。MgやFeに比べて、Naの広がり大きいことがわかります。年よっての質量の違いも見られます。2018年は、0.1gから1gに集中しています。2019年は、0.6gから6gと幅広く分布し、15gから70gまでの重いものもあります。明るい流星が多かったことからもうなづけます。2020年と2021年は、1から10gに集中しています。また、一番下のグラフは、真ん中のグラフを各年ごとに分けたものです。年よって分布の違いがよく分かります。2021年は、スペクトル専用カメラを1台増やしたことでより暗い流星まで撮影でき幅広くとらえているのがわかります。2018年から2020年にとところどころ空域が見れるのは、天気によるものと思われます。

全Gem群の年別の太陽黄経とNa/Mgの関係



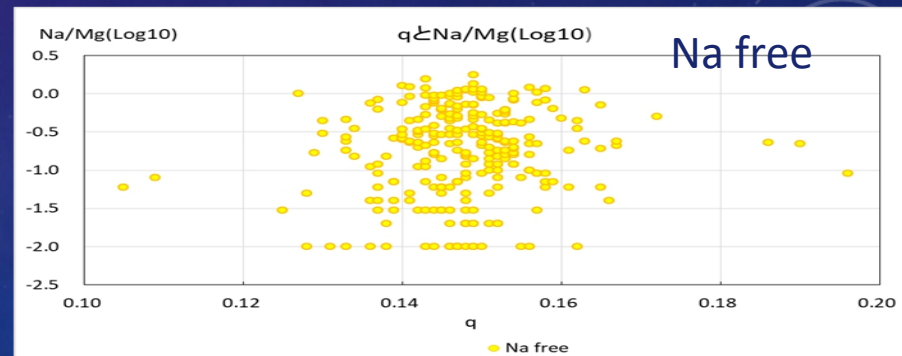
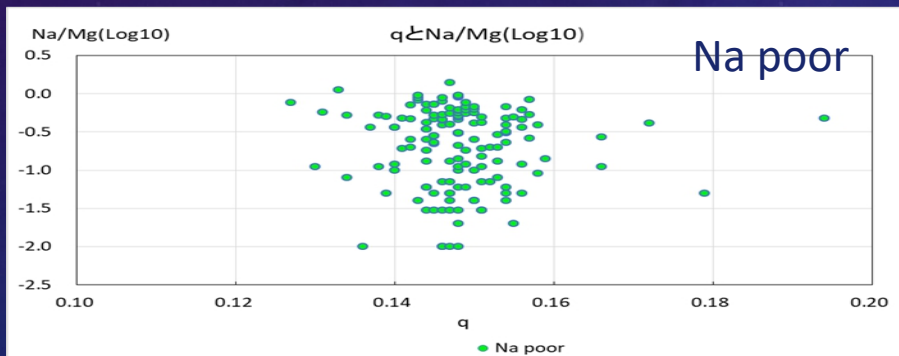
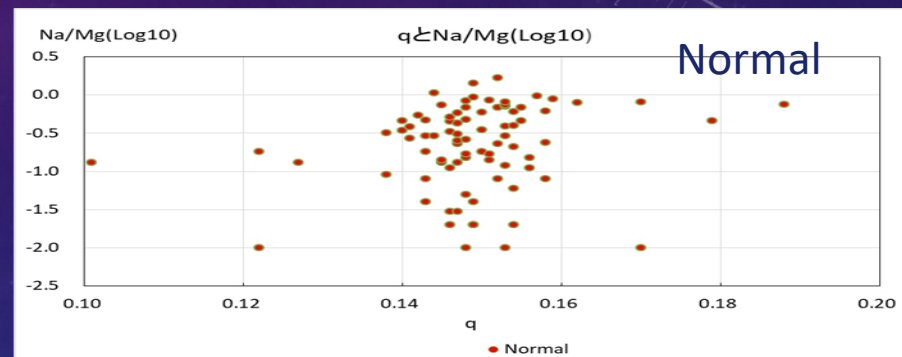
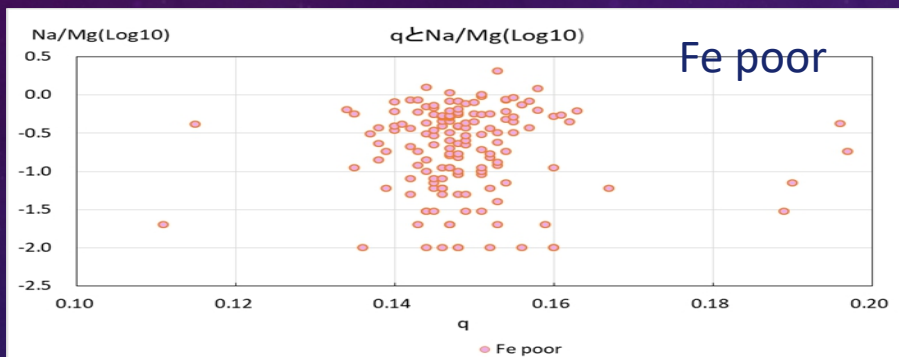
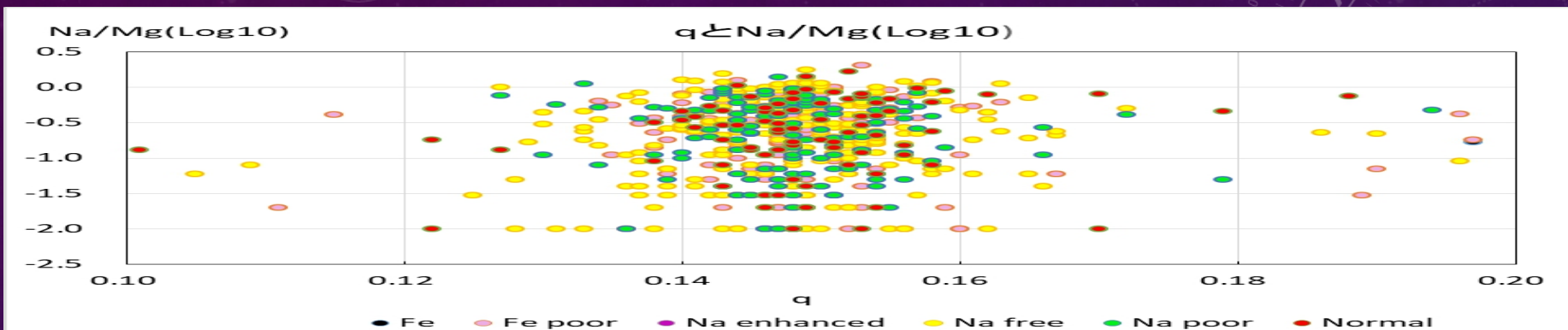
全カメラの4年分のふたご群の年別の太陽黄経とNa/Mg比です。太陽黄経の範囲は、250-265です。真ん中は、260-264です。極大は、2019年の262.1度付近としました。これを見ると、2018年と2020年と2021年が極大後に少しNa/Mg比が多くなっています。2019年は、ほぼ極大で極大前と比べると極大後の方が約2倍近く多くなっています。天候が悪かったので、もう少し多かったものと思われます。このことから、ダストレイルの分布は、太陽黄経によってNa量の分布が異なると考えられます。前のスライドと合わせるとNaが多いほど質量が大きいという結果から、小さい流星ほどポインティング・ロバートソン効果が大きく効き、極大前に小さい流星が観測されやすいと考えられ今までの先行研究と似た結果になりました。また、下は、IMC2024の阿部氏の結果です。2019年は、極大の前、2020年は、極大後で、この2年間は、ダストの濃い部分に遭遇し明るい流星が多くNaが多めのものが観測されたと思われ、私の解析結果と同様に極大付近でNaが多く観測されたことと一致しています。

全Gem群の質量とNa/Mg(LOG)の関係



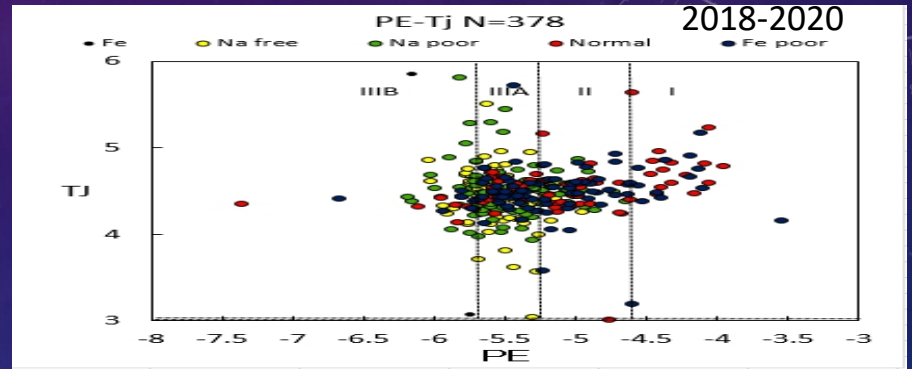
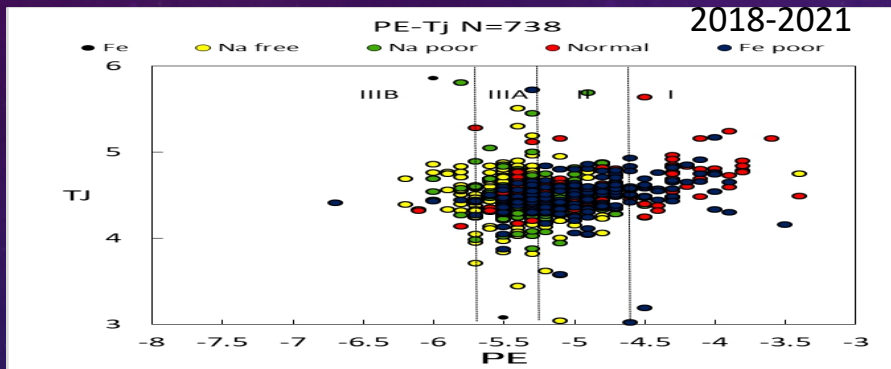
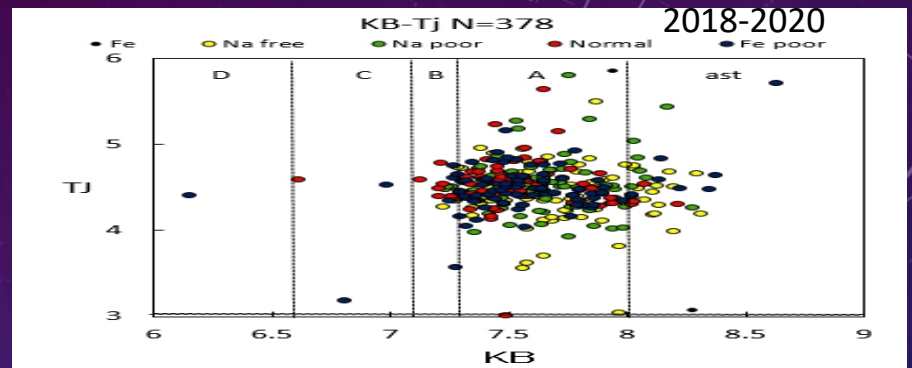
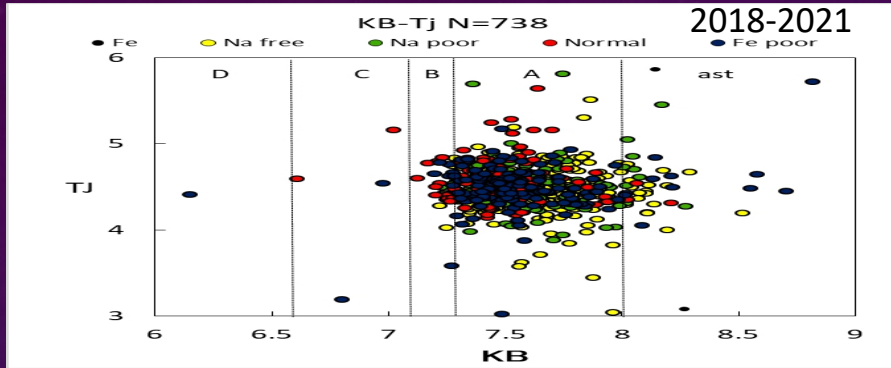
全カメラの4年分のふたご群の年別の質量とNa/Mg(LOG)です。これを見ると、ふたご群の質量は、殆どか50g以下です。5~20gでは、Normalタイプが多いですが、5g以下では、Na freeとNa poorが多くなっています。各年ごとにまとめました。これから2019年と2021年は、質量の大き目のものが多いことがわかります。年によって出現のムラがみられるようです。

全Gem群のqとNa/Mg(LOG)の関係



一番上のは、4年分のふたご群のqとNa/Mg(LOG)です。これを見ると、ふたご群のqは、殆ど0.13から0.17です。0.14~0.16には、NormalとFe poorとNa poorとNa freeタイプが集中して多いです。特に、0.15付近が多いです。下の4つは、タイプ別に見たものです。鉄が多めのNormalは、少なく、Na freeが多いです。どのグラフも左右の広がりが大きいのは、極大から離れたものと思われる。

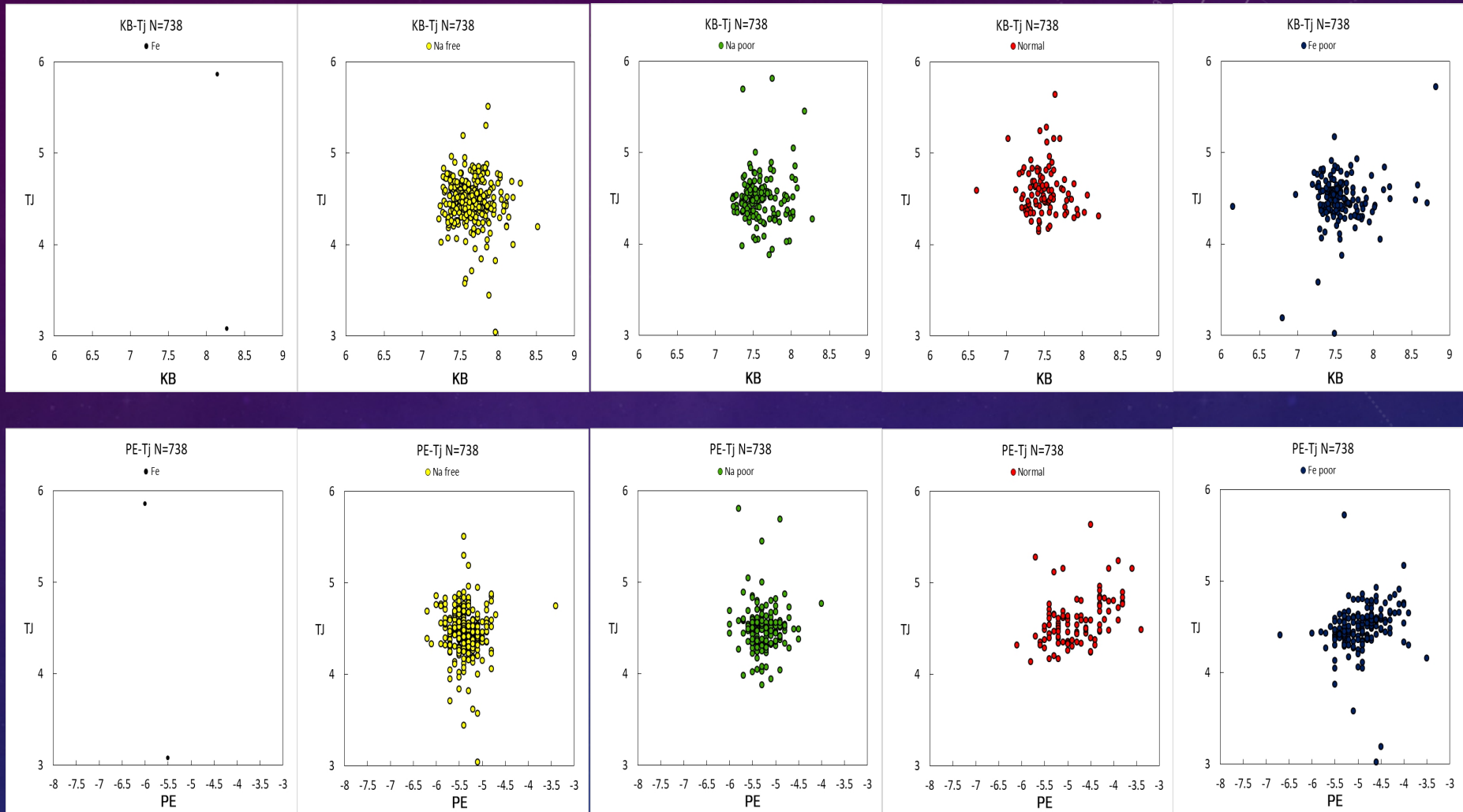
軌道の求まったGem群のTJとKBとTjとPEの変化



左上は、2018年から2021年までの4年間の軌道の求まったふたご群の全流星のKBとTjの関係のグラフです。ふたご群は、Tjでは、小惑星とコンドライトA-Cタイプです。KBのタイプでは、astタイプには、Fe poorとNa poorとNa freeが見られます。Aタイプには、殆どのタイプがTj4-5に集中しています。特にNormalとFe poorが多いです。Na poorとNa freeは、ややばらけています。CとDタイプは、殆どありません。左下は、PEとTjの関係のグラフです。PEのタイプでは、Iのタイプは、NormalとFe poorだけです。IIのタイプもNormalとFe poorが殆どで、Na poorとNa freeが少し見られます。IIIAタイプには、殆どのタイプがTj 4-5に集中しています。Na poorとNa freeが多く中央に集中していますがやや広がりもあります。このIIIAタイプが一番多いです。IIIBは、Na poorとNa freeが多くNormalとFe poorは、ほんの少しです。

右上は、2018年から2020年までの3年間の軌道の求まったふたご群の全流星のKBとTjの関係のグラフです。右下は、PEとTjの関係のグラフです。3年間と4年間を比較すると、KBのタイプでは、Aタイプに増加が見られています。PEのタイプでは、IIのタイプとIIIAタイプが増加しています。

軌道の求まったGem群のTJとKBとTjとPEのタイプ別



上は、2018年から2021年までの4年間の軌道の求まったふたご群の全流星のKBとTjの関係のタイプ別のグラフです。下は、PEとTjの関係のグラフです。**KBのタイプでは、どのタイプも中央に集中が見られ周りの分布は、上下にややばらつきが見られます。PEのタイプでは、中央の集中とやや左右にばらけた集中が見られます。上下のばらつきは、KBと似てます。タイプによって分布の仕方の違いが見られています。**

流星スペクトルの解析のまとめ

- 解析結果を元にGem群の三角図を作成し考察しました。今回は、ふたご群の4年間の年とカメラによる三角比やタイプ別の割合等を比べました。ふたご群の年やカメラやタイプ別等によって違いが見られました。また、色々な方法でNaの枯渇が見えてきました。また、2022年には、極大期に鉄流星が同時観測されていました。
- 2019年の流星会議の自動観測によるスペクトル観測と結果「2018年から2019年3月まで」の結果は、以下に公開しています。
<https://www.web-nms.com/app/download/13829249327/%EF%BC%A8%EF%BC%B0%E7%89%88%E9%9B%86%E9%8C%B2-5.pdf?t=1572683438>
- オンライン流星物理セミナーに2018年10月から2020年8月までの詳細の結果を以下に公開しています。
<http://msswg.net/msonline/MSS19-spectrum-20201125-Sekiguchi-2018to20.pdf>
- オンライン流星物理セミナーに2018年10月から2021年2月までの詳細の結果を以下に公開しています。
<https://msswg.net/msonline/MSS19-spectrum-20211103-Sekiguchi-2018to21.pdf>
- 今回のデータで軌道計算をするにあたっては、[SonotaCo Network Japan Forum](#)からデータをダウンロードしています。観測された方の情報提供に感謝いたします。