

回折格子を用いた流星の分光観測

宮城県古川黎明中学校・高等学校 三野正太郎(高2) 佐藤優衣(高1)

[目的]

- 流星の分光観測を行い、分光画像の輝線から流星に含まれる元素を推測する。
- 多地点同時観測を行うことにより、流星の発光高度を推測する。

[仮説]

- 流星の発光は、複数の元素が起因しており、流星群によって母天体が異なるため、流星群毎に流星物質に含まれる元素の種類や割合は異なる。
- 多地点同時観測により高度を推測し、かつ、酸素禁制線(558nm)が推測できれば、酸素禁制線発光がどの高度まで行われているの分かる。

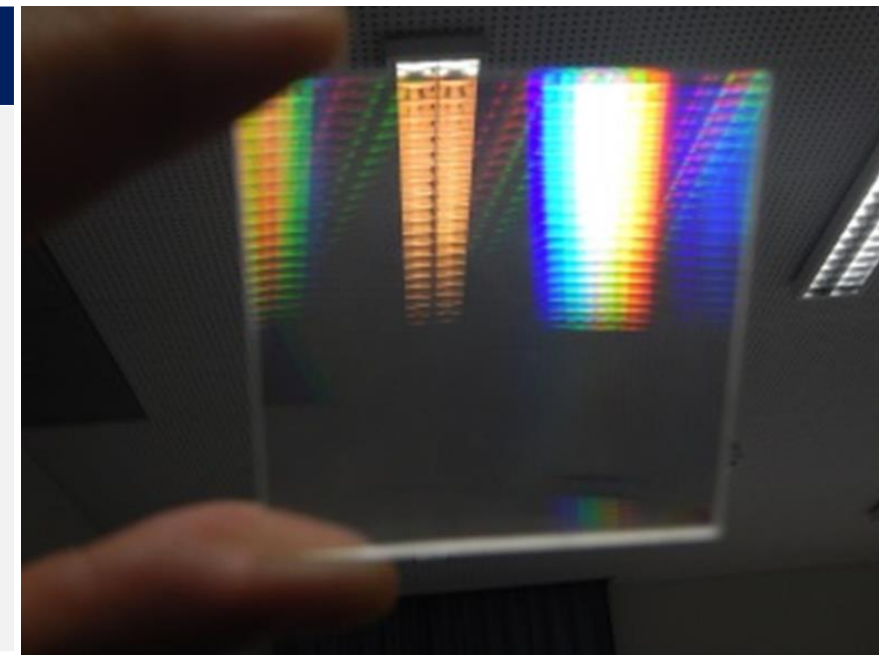
[観測方法・解析方法]

○観測機材

表1: 観測機材一覧

| 機材番号 | デジタル一眼レフカメラ | レンズ | 撮影視野 | 回折格子 |
|------|-------------------|-------|------------|---------|
| ① | Canon EOSKiss x8i | SIGMA | | 透過型ブ |
| ② | Canon EOSKiss x4 | DC | 40.7×27.8 | レーズド回 |
| ③ | Canon EOSKiss x5 | F1.4 | (対角 48.1°) | 折格子(格 |
| ④ | Canon EOSKiss x5 | HSM | | 子数:300本 |
| | | | | /mm) |

画像1: 回折格子



○観測方法

ブレード回折格子(画像1)を用いて製作した分光装置をデジタル一眼レフカメラに取り付ける(画像2)。

流星群の活動時期に、流星がカメラの画角に対して縦に写るようにカメラを設置し、連続撮影を行う。

画像2: 分光器とカメラ

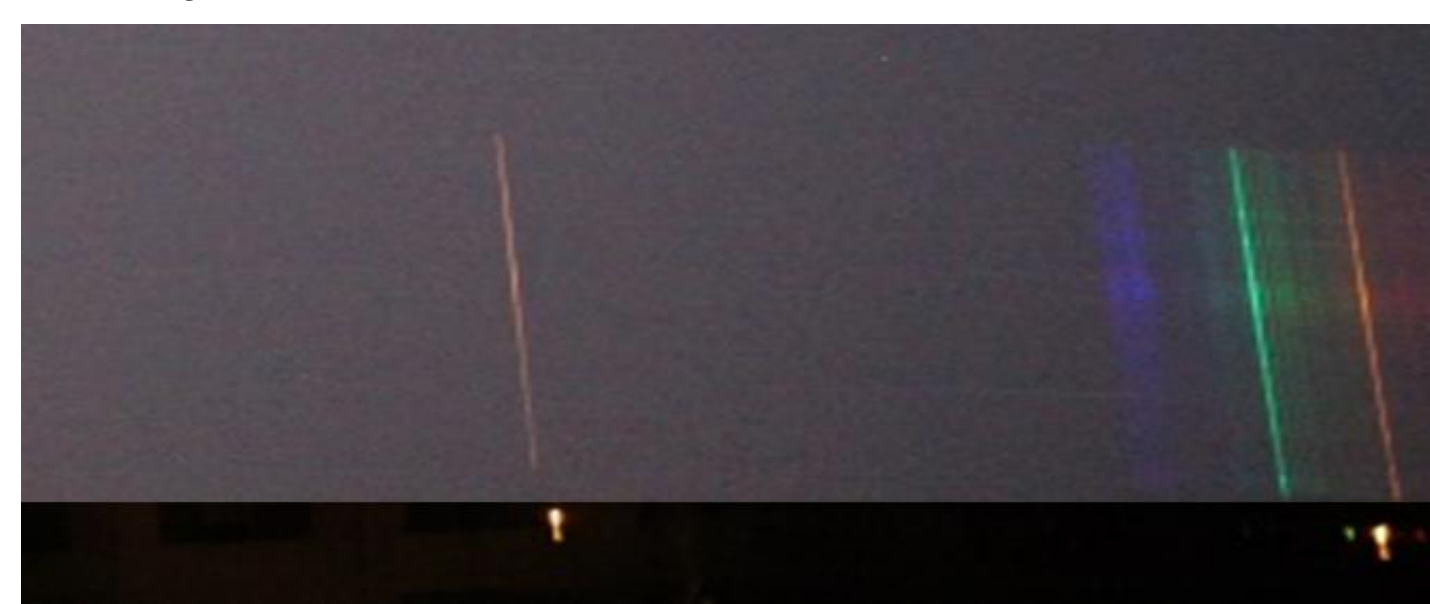


図1: 観測地

○解析方法

1: 校正

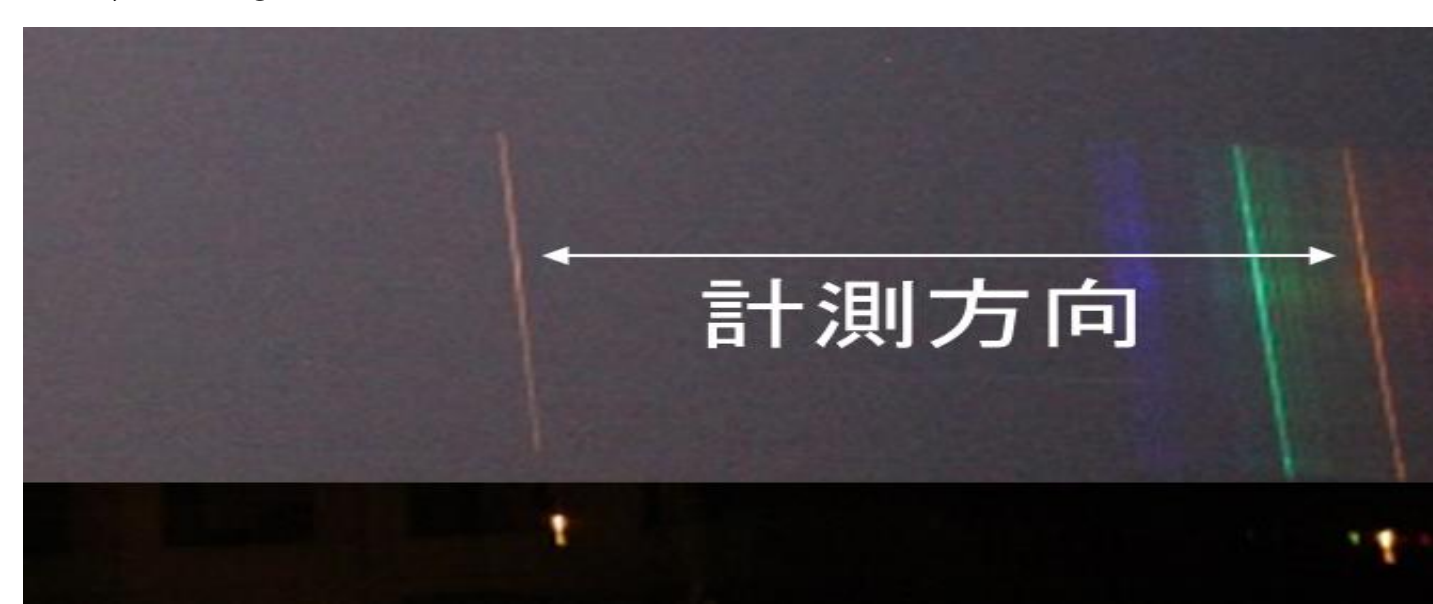
画像上で流星と同じ位置に特定の元素を発光させ、1pixあたり何ナノメートルか求める。



画像3: 校正

2: 元素の推測

校正で得た数値を基準に、流星画像での輝線の波長を求め、元素を推測する。



画像4: pixの測定

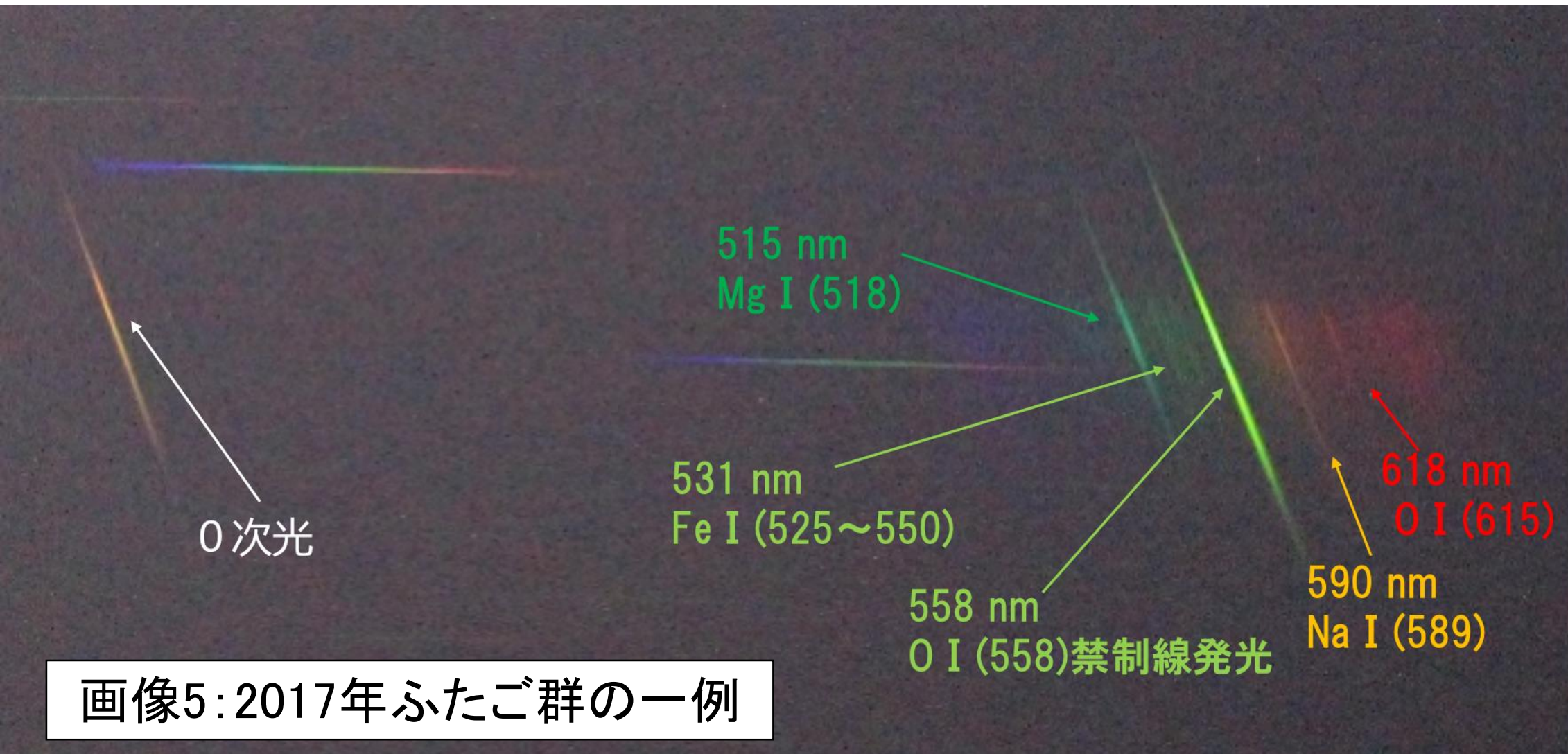
[観測結果]

表2: 観測結果抜粋

| 流星群名 | 観測日 | 観測地 | 撮影枚数 | 成功数 |
|--------------|------------------|------------|----------|----------|
| ペルセウス(2016) | 2016/08/12~13 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約25000枚 | 1枚(群) |
| しし(2017) | 2017/11/17~19 | 宮城県大崎市 | 約39000枚 | 2枚(群&別群) |
| ふたご(2017) | 2017/12/13~15 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約42000枚 | 28枚(群) |
| ペルセウス(2018) | 2018/08/11~14 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約45000枚 | 12枚(群) |
| オリオン(2018) | 2018/10/21~23 | 宮城県大崎市 | 約21000枚 | 6枚(群) |
| しぶんぎ(2019) | 2019/01/03~04 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約7000枚 | 0枚 |
| こと(2019) | 2019/04/21~24 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約27000枚 | 1枚(群) |
| みずがめη(2019) | 2019/05/03~8 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約24000枚 | 0枚 |
| みずがめθ南(2019) | 2019/07/31~08/02 | 宮城県大崎市・栗原市 | 約24000枚 | 0枚 |
| ペルセウス(2019) | 2019/08/12~14 | 宮城県大崎市 | 約20000枚 | 0枚 |
| りゅう(2019) | 2019/10/9~10 | 宮城県大崎市 | 約7000枚 | 0枚 |
| しし(2019) | 2019/11/20 | 宮城県大崎市 | 約10000枚 | 0枚 |
| ふたご(2019) | 2019/12/16 | 宮城県大崎市 | 約11000枚 | 0枚 |
| しぶんぎ(2020) | 2020/1/5 | 宮城県大崎市 | 約13500枚 | 1枚(群) |
| 計32群 | 57晩 | | 約503900枚 | 49枚 |

2017年のふたご群では、28枚の分光画像が得られた。

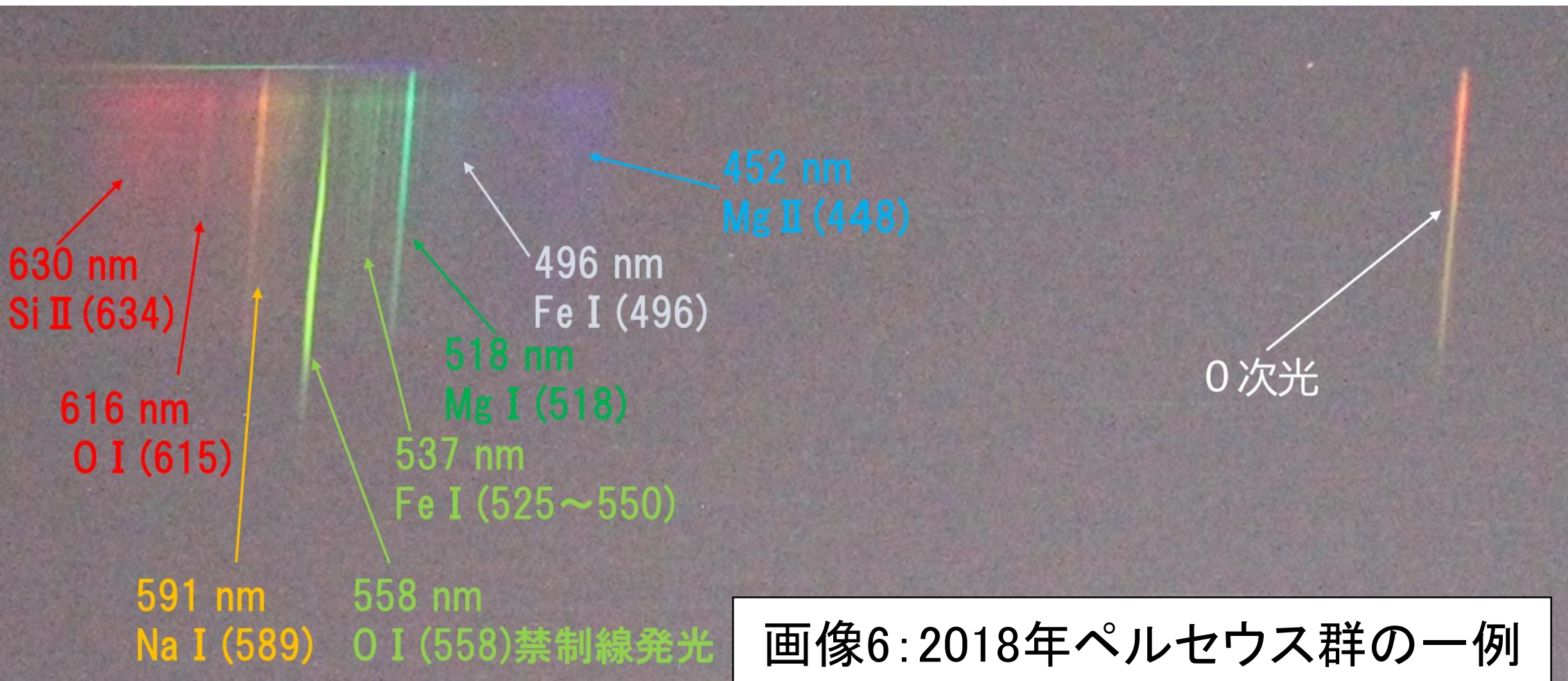
その内、画像6では、5種類の元素を推測することができ、流星痕も確認できた。



画像5: 2017年ふたご群の一例

2018年のペルセウス群では、10枚の分光画像が得られた。

その内、画像7では、8種類の元素を推測することができ、流星痕も確認できた。



画像6: 2018年ペルセウス群の一例

[考察]

表3: 各流星群から推測できた元素一覧

| | ふたご群(28枚) 2017/12/1 | ペルセウス群(10枚) 2018/8/1 | オリオン群(5枚) 2018/10/1 | こと群(1枚) 2019/4/1 |
|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| Ca II (396 nm) | ○(1枚) | | | |
| Mg II (448 nm) | ○(6枚) | ○(1枚) | | |
| Fe I (496 nm) | ○(2枚) | ○(1枚) | | |
| Mg I (518 nm) | ○(27枚) | ○(4枚) | ○(4枚) | ○ |
| Fe I (525~550 nm) | ○(6枚) | ○(1枚) | | |
| O I (558 nm) 禁制線 発光 | ○(11枚) | ○(9枚) | ○(5枚) | ○ |
| Na I (589 nm) | ○(18枚) | ○(4枚) | ○(1枚) | ○ |
| O I (615 nm) | ○(5枚) | ○(2枚) | | |
| Si II (634 nm) | ○(3枚) | ○(1枚) | | |
| N I (648 nm) | ○(2枚) | | | |

1) 表3から、2017年のふたご群の観測で推測された元素では、Mg I よりNa I が少ないことが分かる。このことから、ふたご群の流星物質は、他の群の流星物質と比べてNaが減少しており、Naは揮発性元素のため、ふたご群の流星物質が生成された時期は、他の流星群の流星物質が生成された時期よりも時間が経過していると考えられる。

表4: 主な流星群の対地速度一覧

| 流星群名 | 対地速度(km/s) |
|--------|------------|
| しぶんぎ | 40.5 |
| こと | 47.1 |
| みずがめη | 65.3 |
| みずがめθ南 | 38.4 |
| ペルセウス | 58.6 |
| おうし南 | 29.6 |
| オリオン | 64.5 |
| おうし北 | 29.6 |
| ふたご | 32.9 |
| りゅう | 19.3 |
| しし | 70.4 |

2) ペルセウス群とオリオン群の多く流星から酸素禁制線の輝線を推測できた。

酸素禁制線発光は他の発光と比べて多くのエネルギーが必要なため、発光の条件が限られ、流星の対地速度が速いこと、大気の密度が薄いこと等がある。

酸素禁制線の輝線が多く推測できたのは、これらの流星群が、他の流星群と比べて流星の対地速度が速いからだと考えられる。



画像7: 同時に撮られた流星1(古川)



画像8: 同時に撮られた流星2(美里町)

3) 発光高度を推測した結果、この流星は95km以上で発光しており、95km以上では酸素禁制線発光が行われることが分かった。また、図2より、95km付近には酸素原子が存在しているため、発光には大気中、流星物質、その両方の酸素が発光に使われた可能性がある。

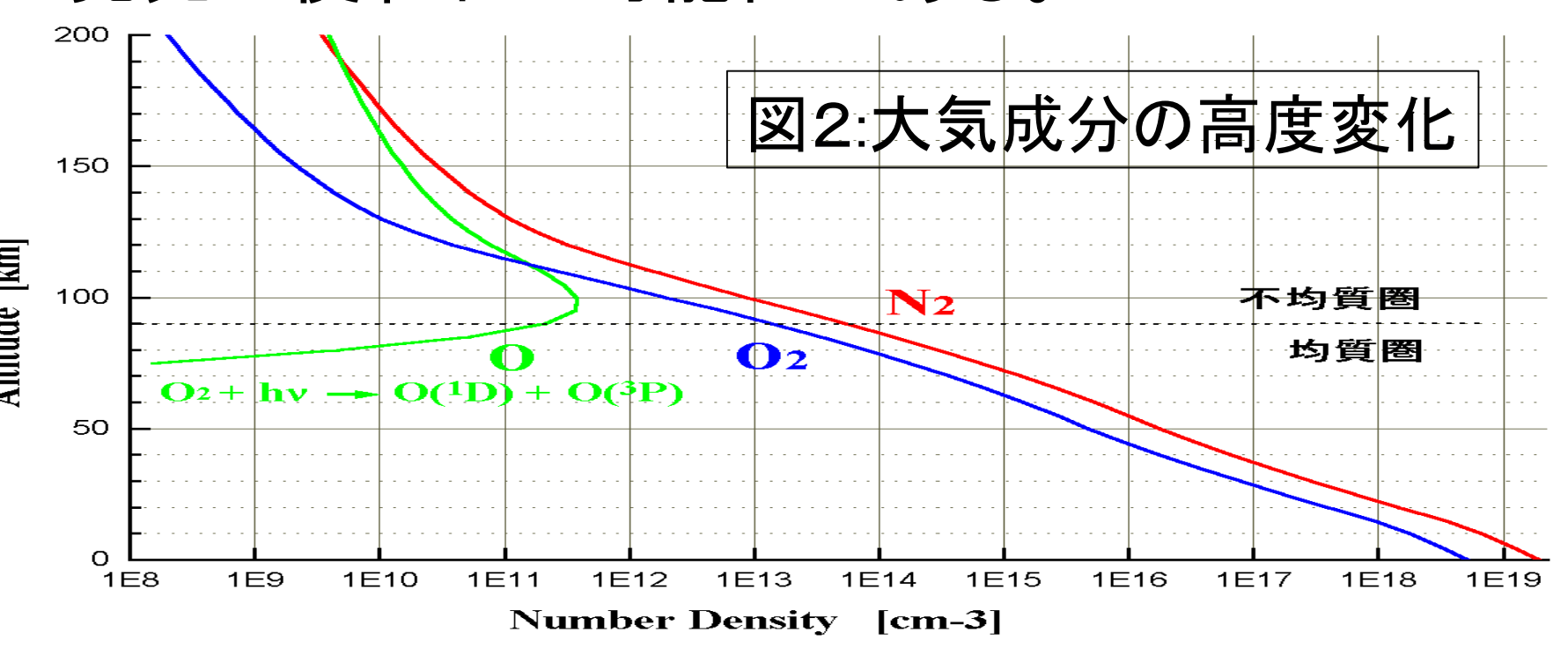
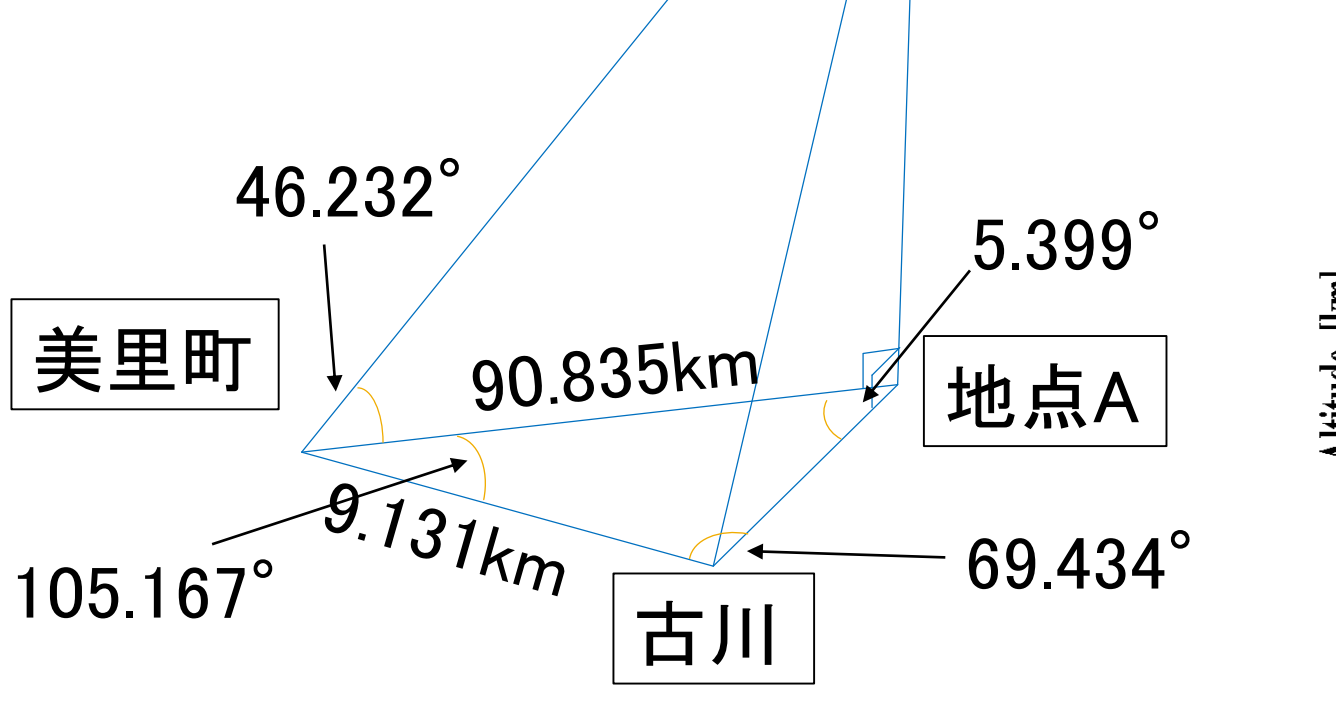


図2: 大気成分の高度変化

[展望]

・撮影できた各流星の分光画像から発光に由来する元素を推測することができた。今後も観測を継続してデータを増やし、流星群毎の元素の傾向を調べ、母天体等について考察する。

・2017年のふたご群の結果からファエトンについて考察をしたが、そもそもファエトン自体にはNaが少ない可能性もあり、今後もふたご群の観測を継続し、検証していく。

・2地点同時観測を行うことにより、流星の発光高度を推測することができた。データが少ないため、今後も継続して高度の推測を行い、データを集め、酸素禁制線発光と高度の関係を追究したい。

[謝辞]

本研究を行うにあたり、ご指導していただいた高知工科大学 教授 山本 真行先生、茨城大学理学部理学科4年 鈴木 湧平様に厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 長沢工(1997):「流星と流星群」地人書館
- 国立天文台(2014):「理科年表 平成 27 年」丸善出版
- 春日敏測:「流星の発光メカニズム」
<http://www.perc.itciba.ac.jp/~kasuga/papers/meteor.pdf> (2017/03/30 参照)
- 鈴木湧平(2017):「流星による熱圏・電離層の観測」日本天文学会 2017 年春季年会ジュニアセッション
- 藤井旭(2017):「藤井旭の天文年鑑 2017 年版」誠文堂新光社
- 春日敏測:「流星科学の最前線 流星・彗星、小惑星の熱的進化に迫る」日本惑星 科学会誌 Vol.15No.3(2006 年)
- 国立天文台(2019):「理科年表 平成 31 年」丸善出版