

ISSの色変化から探る成層圏中のオゾン量測定

曾根原颯樹¹，黒岩理玖¹，廣瀬智悠¹

¹長野県飯山高等学校自然科学部

Development of Ozone Concentration Measurement Methods Based
on International Space Station Color Change Observations

S. Sonehara¹, R. Kuroiwa¹, T. Hirose¹

¹Nagano Prefecture Iiyama Senior High School Science Club

A. 活動紹介

1. はじめに

ISSは国際宇宙ステーションのことで、条件が合えば、日の出前、日の入後に数分間、肉眼で見ることができ、ISSの出没時に色変化を観察できる。没入時の場合、減光しながら白→赤へと変化することを目視できる。高田ら（2016 飯山高校）、松井（2017）、中村ら（2018）により、白→赤の間に画像解析結果として青が強くなることが示されていて、その原因は「オゾン層が赤色を吸収し、その光がISSに映るため」としている。Button, C. et al. (2013)にはオゾン層にシャピユイ帯と呼ばれる赤色吸収帯の存在が示されていて、それが根拠となっている。石村ら（2019 飯山高校）が「ISSの出没時に映る青い光は、オゾン量が多いほど青色が濃くなる」と仮説を立てて研究し、私たちはこの研究を引き続き研究している。成功すれば、高校生の使える機材で、地球環境問題であるオゾン層について観測できることになる。

2. オゾン層について

オゾン層とは、高度10～50kmにある成層圏のオゾン濃度が高い部分のことである。太陽光はオゾン層を通過するとき赤い光が吸収され、青い光が観測されるといわれている。松井（2017）によれば、ISS没入時の減光とともに白→青→赤への色変化が確認でき、赤い部分は対流圏で太陽光のうち青色光が吸収された光、青い部分は太陽光が成層圏のオゾン層通過によって赤色が吸収された光、それらによって色変化が見られたと記載されている（図1）。気象庁では、月平均オゾン全量の世界分布図（図2・3）を発表している。

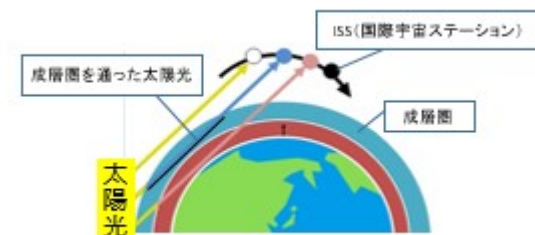


図1：太陽光のオゾン層通過時模式図

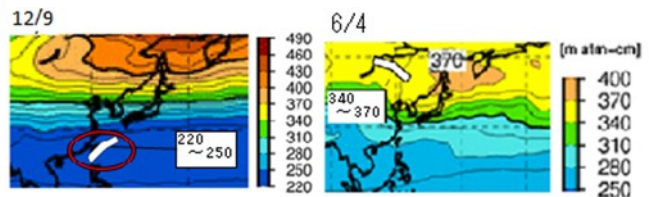


図2・3：ISSに映った光の成層圏を通過位置とオゾン濃度

白抜き部：成層圏を通った太陽光位置

3. 研究

(1) 検証1「オゾン濃度が高いときにISS光跡の青色は強いのか？」

オゾン全量分布（図2，3）を季節ごとに比較すると、夏は日本付近の全域において平均的に少なく、冬～初夏は北側で多く、南側で特に少ないという傾向が見られる。また太陽光は、初夏には北側から入射し、冬には南側から入射する。つまり、初夏は太陽光が北側から射してオゾン量の多い領域を通過した光がISSに映り、冬は太陽光が南側から射してオゾン量の多い領域を通過した光がISS

Sに映る，ということである。それを利用してオゾン量の変化と ISS の色変化の関係を観測できると考えた。

(2) 検証2 「ISSが軌道上で、オゾン層を通過した太陽光を映している時に青色が強いか？」

ISS 出没時の青色が強くなる原因が本当にオゾン層であれば，理論的に計算したオゾン層通過光の位置でISSが青くなっているはずである。

- ①対流圏・オゾン層の高度をもとに，ISS の青色の色変化が予想される部分と赤色の色変化が予想される部分を，幾何学的に算出する。
- ②想定される青色帯・赤色帯を地図上に表す。(図6，10)(対流圏透過光：赤 成層圏透過光：青)
- ③想定される青色・赤色の色変化をする部分が実際の画像および解析グラフの変化と一致するかを確認する。

4. 観測

(1) 撮影方法

ISS の出現没入高度が高い時に実施することで，色変化する場所が観測点から近い時に撮影できる。2019年1月20日 2019年6月4日，2019年12月9日，2020年1月20日に観測を行った。

- ・使用機材：カメラ「Canon EOS kissX5」
- ・ISO：1600 F値：5.6 シャッタースピード2秒で連写

(2) 解析方法

- ・画像解析ソフト「Makalii」で，ISS の光跡のRGB値を測定する。(R:red G:green B:blue)
- ・RGB値から青色の指標として「B/R値」を算出する

5. 結果

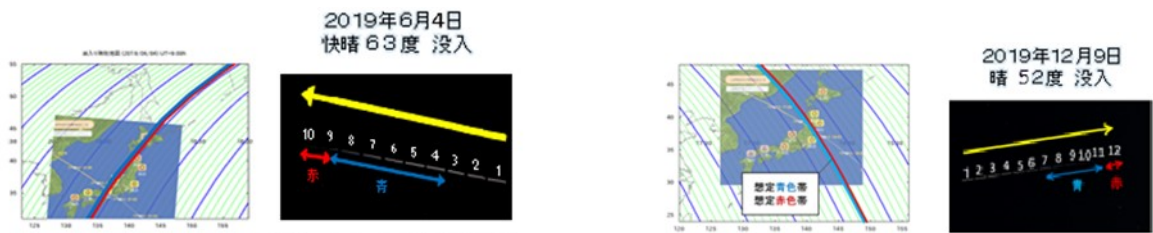


図6：想定される青色帯・赤色帯 図7：ISSの連続写真 図10：想定される青色帯・赤色帯 図11：ISSの連続写真



図8：各観測データのR/B値 図9：観測データのRGB値 図12：各観測データのR/B値 図13：観測データのRGB値

注) 図7-9, 11-13：矢印について

- ↔ (blue)：青色の色変化が想定される部分 (想定青色帯に対応)
- ↔ (red)：赤色の色変化が想定される部分 (想定赤色帯に対応)
- (yellow)：ISSの移動方向

表1 観測結果

観測日	6/4	12/9	1/20
B/R 最大値	1.3	1.3	1.3
オゾン濃度 (m atm cm)	340~ 370	220~ 250	220~ 250

- ・ 検証1：今回の観測では、オゾン濃度と B/R 値についての正の相関は見られない
- ・ 検証2：ISSの色は日照から日陰に向かって白→青→赤と変化するが、幾何学的に想定された赤・青色帯とは、概ね一致しているが、ピーク位置は微妙にずれている。

6. 考察

検証1の結果では「ISS 出没時に映る青い光は、オゾン濃度が多いほど青色が強くなる」という仮説は肯定されない。现阶段ではISS観測からオゾン量の測定は難しい。今回、オゾン全量が大いことをオゾン濃度が高いと考えて検証を行ったが、「濃さ」なのか「濃さは同じで厚さが違うのか」について調査検討する必要がある。

また検証2において、想定位置と観測位置も完全には一致していない、しかし、今回は光の屈折を考慮していないので課題となっている。

7. 参考文献

- ・ 気象庁 月平均オゾン全量の世界分布図
- ・ HEAVENS ABOVE Hosted by DLR
- ・ JAXA「きぼう」を見よう (<http://kibo.tksc.jaxa.jp/>)
- ・ 高田ら(2016) 飯山高校課題研究「ターコイズフリンジをISSでとらえる」
- ・ 松井聡(2017)「人工衛星の光跡を利用した地球高層大気物質分布モデルの推定」
- ・ 長野工業高等専門学校天文部(中村ら)(2018)「ISSの色変化から生命の星「地球」を検出」
- ・ 石村ら(2019)自然科学部研究「ISSの色変化から探る大気の性質」
- ・ ウェブ地図 (<https://user.numazu-ct.ac.jp/~tsato/webmap/>)
- ・ Button, C. et al. (Atmospheric extinction properties above Mauna Kea from the Nearby Supernova Factory spectro-photometric data set “) *Astron. Astrophys.* 549 (2013) A8

B. 課題と改善案

飯山高校自然科学部では、ISSの出没時における色変化について代々研究を継続してきている。この研究が、実は世界規模の環境問題である「オゾン層の破壊」について高校生の技術レベルで、それを監視できる可能性を秘めている。この研究は、2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標であるSDGsとも関連が深い。SDGsの17の目標の内、「9：産業と技術革新の基盤をつくろう」「12：つくる責任 つかう責任」の2つに関わりがあります。

そのために、今後も以下の課題克服に向けて研究していきます。

- ・ 各観測でISSは日陰→日照時に赤→青への変化は確認されている。その要因について引き続き検討する。
- ・ オゾン全量が大いということの主要因が濃度なのか厚さなのかを調査する。
- ・ 大気圏による光の屈折を考慮して計算することが適切か検討する。
- ・ ISS→カメラに至る大気の影響を検討する。



謝辞

本研究に当たり、長野県上田染谷丘高等学校教諭 松井聡先生から多くのご協力をいただきました。また、本校教諭 黒岩寛明先生から指導助言を頂きました。関係していただいた方々に深く感謝の意を表します。