第２３回日本物理学会 Jr.セッション（2027）（オンライン開催）
＊記入上の注意（青字）は、レポート提出時に削除してください。

研究テーマ　　極域におけるオーロラ発生メカニズムの研究
＊タイトルは内容を正確に反映する表現であること。

研究者名　　＊＊＊、＊＊＊、＊＊＊
＊本研究の着想、実験・観測、解析、考察、レポート作成等に主体的に取り組んだメンバーの氏名を“、”で区切って並べて書く。研究上の助言、指導、添削等を行った教員・研究者・外部指導者は研究者名に含めず、「代表・共同研究者以外の方が関わっている場合の役割」または「謝辞」に記載する。

研究者所属　　＊＊県立　＊＊高等学校　物理部
〒000-0000 ＊＊県　＊＊市　＊＊１－１－１

発表歴
1. 発表を行った大会名　：第＊＊回＊＊研究発表会
2. 当時のテーマ　　：＊＊＊＊＊＊＊＊＊（あるいは「現在と同じ」）
3. 以前の発表からの進展：（あれば簡潔に）

＊研究テーマ・研究者名・研究者所属・発表歴は応募フォームに入力する内容と相違の無いようにすること

要旨
＊今回の研究内容をまとめる。要旨を見て内容が正確に伝わるように書く。ユニークでアピールしたいところをうまく強調する。

本研究では、高緯度におけるオーロラの発光スペクトルと運動パターンを地上からカメラにより観測し、発光と運動を制御するメカニズムについて考察を行った。オーロラの明るさ、およびパターンは激しく変動するので、我々が考案した＊＊＊の方法を適用することで時々刻々と変化する＊＊＊を正確にとらえることができた。このとき測定された＊＊＊について、モデルを考案し、パソコンを用いて計算したところ、ある程度説明がつくことがわかり、オーロラ発光のメカニズムは＊＊＊であることが分かった。

この研究の独自な点、各研究者のそれぞれの役割
＊この研究の独自な点、各研究者（研究レポートに代表・共同研究者として名前のある生徒全員）のそれぞれの役割（研究の発案、着想、実験の実施など）などを記載する。

＊＊＊の方法に基づく高速分光装置によるオーロラの発光スペクトルの高速時系列観測、およびパターンの解析方法、モデルは我々が考案した新しい独自なものである。それを用いて明らかになったオーロラの発光メカニズムも新たに判明したものである。研究代表者と A が解析方法を考案し、実際に解析を行った。研究代表者と共同研究者で手分けして観測を行った。レポートの作成はおもに研究代表者と C,D が行った。

代表・共同研究者以外の方が関わっている場合の役割

＊教員、研究者の方（共同研究者を除く）が関わっている場合はその方々の氏名・所属と役割を記載する。大学等の研究機関が主催するサイエンス・プログラム等を利用した研究の場合、そのプログラム名称と実施機関名、実際の指導に当たられた方々の氏名・所属と役割を記載する。）

＊＊＊大学＊＊＊先生にはこれまでのオーロラの発光メカニズムの研究についてご教示頂いた。さらに観測・解析終了後コメントをもらい、レポートの構成等を改善した。本校の＊＊＊先生には我々の書いたレポートの初稿にご意見をいただいた。また、＊＊大学を実施機関とする＊＊＊プログラムに参加し、＊＊大学大学院 博士課程＊年の＊＊さんに、＊＊の解析に関してご指導いただいた。

序論

＊序論として研究の目的あるいは背景､必要性など､さらにこれまでの研究の経過などを記述し、“今回の実験では＊＊＊を行ったのでその詳細を説明する”、あるいは“今回は＊＊＊の実験を行った”、などで締めくくる。参考にした資料などは引用する箇所に、引用される順番で番号を付け、最後に参考文献として箇条書きでまとめる。

極域で出現するオーロラ現象については、その発光原因や運動メカニズムについて 100 年以上に渡って研究が行われてきた[1--4：これは参考文献の番号]。オーロラの発光は高速で飛来する電子によるものとされていて、詳細な発光メカニズムは発光スペクトルを詳細に調べることで明らかになると考えられる[1]。しかしながら、従来の測定方法では激しく変動するスペクトルを正確に測定することはできなかった。前回我々はカラーフィルターを装着した CCD カメラを用いてオーロラの運動を色に分けて測定したが[5]、今回＊＊＊の方法に基づく高速分光装置を製作し、冬期休暇を利用して米国アラスカ州フェアバンクス市においてオーロラのスペクトル観測を行った。実測されたスペクトルに基づき発光メカニズムについて考察したのでその結果を報告する。

実験方法

＊実験の方法や手順などを図あるいは表を用いて説明する。装置開発の場合は装置図を、実験の場合は実験配置図、理論計算だけの場合は実験方法の代わりに理論とかモデル計算とかにする。ユニークなポイントあるいはアピールしたいポイントをはっきり書く。実験装置図では実験に用いたコンポーネントごとにＡとかＬなどのイニシャルを付け、本文中での説明に用いる。図や表にはタイトルと簡単な説明を付け、本文を読まなくても図の意味が分かるようにする。

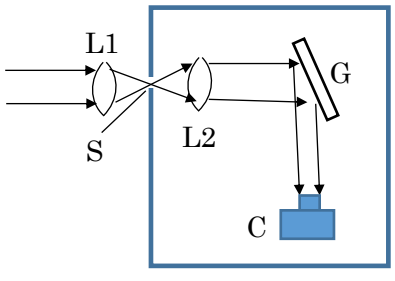

図 1 高速分光装置 L1: 集光レンズ、L2: コリメートレンズ、S: スリット、G: 回折格子、C: CCD カメラ

今回は光スペクトルを測定するための回折格子および CCD カメラで構成される高速分光装置を開発し、高速で変化する発光スペクトルを時間刻みで精度よく測定することに成功した。図 1 に実験装置の構成を示す。ここで、オーロラからの光を鏡で受けてレンズ L_1 でスリット S に集光し、スリットを抜けた光をレンズ L_2 で平行光線に直して回折格子 G に当てる。回折格子からの波長ごとに分かれた光を CCD カメラ C で撮影する。カメラからの画像を動画としてパソコンにとりこみ、パソコン画面上にＣＣＤからの画像を表示する。この表示画面はオーロラからの発光スペクトル分布を示す。パソコンには 1 TB のハードディスクメモリが接続されていて、33 ミリ秒（ｍｓ）の時間間隔でスペクトル画像を連続して計測し、保存でき

る。極寒の環境での計測に耐えられるように分光装置は保温箱に収納されている。

結果

＊ここでは得られた結果の説明をおこなう。新奇な現象、あるいはユニークな発見を印象付けるように表現する。前回発表した結果、あるいは従来から知られている結果と新規の結果を比較して見せる方法もある。データおよび結果が図や表にまとめられている場合は、図や表について記述する。

我々は今回開発した装置で天頂および水平線方向に発生するオーロラからの光を測定した。図2は2015年12月1日に発生したオーロラ光スペクトルの測定例である。

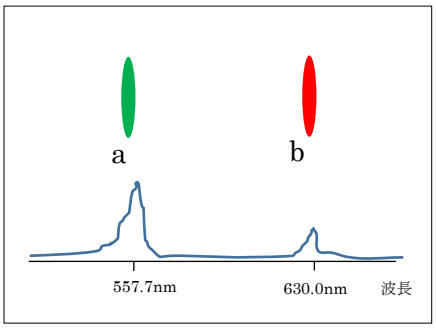

図2 スペクトル画像、スペクトルプロファイル
a、b: 酸素原子スペクトル

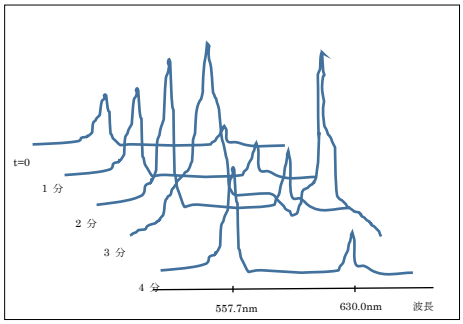

図3 スペクトルの時系列変化

パソコンのモニター画面上に表示されるスペクトル画像の横軸は波長であり、明るさはスペクトルの強度を示す。この画像を画面上下方向に画素ごとに加算し、横軸に波長を縦軸に強度をとって同図にプロットしてある。この画像解析ではEXCELを用いた。解析の詳細はAppendixに示す。この測定から、オーロラ光の主成分は557.7ナノメートル(nm)（図中a）の緑色および630.0 nm（b）の赤色であることがわかる。さらに図3には33 msごとに記録されたスペクトルを1分ごとに並べて表示してある。この結果が示す様に、スペクトルは時々刻々と変化し、3分目に幅の広いスペクトルが赤から紫にかけて現れている。

考察

＊ここでは、得られた結果について考察する。データなどの解釈と、データに現れる新奇な現象について語り、その原因とメカニズムを議論する。議論の途中でモデルを用いた計算結果、あるいはデータを解析して得られるグラフなどを示して議論する場合もある。新奇な発見、ユニークな結果などについて詳しく議論する。考察が短い場合は考察および結論として結論まで含める場合もある。

今回は33 msごとに発光スペクトルを測定記録できるシステムを開発し、高速に発光状態が変化するオーロラのスペクトル測定に成功した。図3に見られるスペクトルから、オーロラ光の主成分は557.7 nmおよび630.0 nmであり、また特に輝きが強いときはオーロラ下部にピンク色の発光が見られ、赤から紫にかけての幅の広いスペクトルが観測されることが分かった（同図の3分目）。文献＊＊によれば[3,4]、557.7 nmと630.0 nmの発光は酸素原子によるものとされ、幅の広いスペクトルは窒素分子によるものとされる。これらの発光線の相対的な強度比はこのモデルによれば高層大気に飛来する電子のエネルギーを反映していて、電子エネルギーEは次式で与えられる[3,4]。

$$E = at^2 + b\,t + c \qquad (1)$$

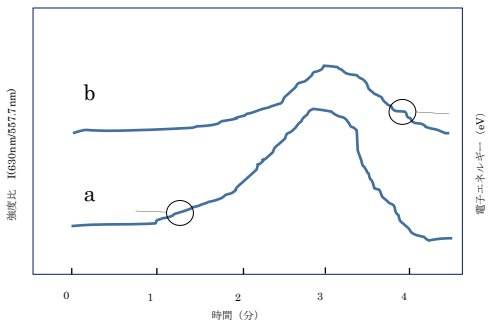

図 4　スペクトル線 557.7 nm および 630.0 nm 強度比、および電子エネルギーの時系列変化　a: 強度比　b: 電子エネルギー

このモデルに基づき、文献[6]の空気成分のデータを用いた電子エネルギーの計算結果を図 4 に示す。図中の a は相対的な強度比を、また b はモデルから得られた電子エネルギーの時間変化を示す。この結果から、今回のオーロラ現象では高層大気に飛来する電子のエネルギーが平均で＊＊＊電子ボルト（eV）であることが分かった。また、ピンク色の輝きが増大するときは、電子のエネルギーが大きく増大し、＊＊＊eV を超える場合もあることも明らかとなった。

結論

＊ここでは、今回の研究で得られたユニークな結果などの成果を簡潔に書く。

今回開発した分光装置で従来から知られているオーロラスペクトルを確認し、さらに比較的変化が激しい発光現象のスペクトル測定に適用できた。本装置によるオーロラ観測により発光の原因はエネルギーが＊＊＊eV 以上で飛来する電子であることが分かった。

謝辞

＊研究を行ううえで指導をいただいた方、あるいは実験費用をサポートしていただいた方々への感謝を表します。申し込み画面では、単なる装置借用などは指導教員に含めず、こちらの謝辞欄に記載するようにしてください。

本研究を行うにあたり、＊＊＊高校物理部顧問＊＊先生、＊＊＊大学＊＊＊先生の指導を受けました。また、本研究は＊＊＊基金からの支援を受けて行われました。感謝いたします。なお、本研究では〇〇に関する情報収集について生成系 AI を利用しました。観測データの解析にあたっては、＊＊大学＊＊研究室の計算機環境を使用させていただきました。使用にあたってお世話になりました＊＊先生に感謝いたします。

参考文献

＊レポートで参照している文献、インターネットの URL、＊＊＊先生からのコメントなどを引用順に番号を付けて箇条書きにする。

1. 木下是雄『理科系の作文技術』（中央公論、1981 年）。
2. 湯川振一郎「オーロラ」日本オーロラ学会『オーロラ』**55**(2005)120-125。
3. ＊＊＊大学＊＊＊先生よりのコメント。
4. 王路羅次郎　「オーロラ発光のしくみ」http//:WWW*******　2015 年。
5. 20**年度　日本物理学会 第＊＊回 Jr.セッション。
6. 国立天文台編『理科年表　平成 26 年』（丸善出版、2013 年）。

Appendix

＊補足説明、あるいは付録で示す必要がある場合

式（1）の導出は***のモデルに基づき[3]、次のようにして行った。

＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊

あるいは、画像解析は EXCEL を用いて次のようにして行った。

＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊

等々。