

オーロラを題材とした高等学校物理教材の作成

林 壮 一（立教新座中学・高等学校）

1. はじめに

本校では、2013年度から教科主催の海外研修旅行を実施している。筆者の専門教科である理科では、高校生を対象として「オーロラを見よう！」という海外研修旅行を企画したところ、2013年度は15名、2014年度は13名の参加者が集まった。この企画の目的は、「地球規模の自然現象を実際に自分の目で観察し、体験すること」、「科学技術が発達した現在でも、説明のできない現象や解明されていない現象があり、そのような研究について知ること」、「普段の生活では出会うことのできない現象を体験できることが、生徒達のやる気や積極性を引き出し、世界に目を向けるチャンスになること」等である。

オーロラをテーマとしたこと理由はいくつかあるが、大きな理由として、本校理科が行ってきた立教大学理学部との連携、特に、大学を退職された先生方に本校の非常勤講師として、特色ある選択科目を担当していただいていたことがあげられる。具体的には、高層大気をご専門として研究されてきた山本博聖立教大学名誉教授（現 本校非常勤講師）に、オーロラの発生メカニズムの講義を引き受けいただいた。また、南極観測隊員として南極でのオーロラの観測などを経験された立教大学田口真教授、立教大学理学部物理学科OBで、株式会社ニコンの元専属カメラマン（現 フリー山岳カメラマン）の菊池哲男氏、山本博聖名誉教授に紹介していただいたスウェーデン王立宇宙物理研究所（IRF）二穴喜文研究員らとの出会いによって、この企画を実現することができた。

本稿では、この企画に参加した生徒達が経験できた多くのことを、参加できなかった生徒と共有できるように整理・提示し、中学や高校での理科学習の題材としてオーロラを取り上げていく試みと実践について考察することが目的である。

2. オーロラ発生のメカニズム

オーロラは、太陽から放出されているプラズマ粒子（太陽風）が、地球の極地の高層大気に衝突して発光する、一種の放電現象であると説明することができる。具体的には、太陽風が、地上から100km～500kmの酸素原子や窒素分子と衝突すると、原子や分子が励起する。その後、これらの励起した原子や分子が、基底状態に戻る際に放出する光が、オーロラの光である。高層にある酸素原子は赤い光を放出し、中層にある酸素原子は緑白色の光を放出し、それより低層にある窒素分子と衝突すると青色や紫色を放出するため、オーロラには赤や青、緑白色などの色が観察される。

地球上の北極周辺や南極周辺でしかオーロラが見られないのは、北極上空や南極上空には磁力線が集中する部分があり、その磁力線に沿って太陽風のプラズマ粒子が移動するため、その地域の上空の大気と衝突して発光するためである。この範囲は、北極や南極の中心を取り囲むようなドーナツ状であり、これをオーロラ・オーバルという。また、オーロラをよく観察できる



図1 2015年1月13日の太陽（埼玉で撮影）

地域を連ねた部分をオーロラベルトという。

オーロラの発生の原因である太陽風は、太陽の活動に関係している。太陽の活動は約 11 年周期であり、2013 年が極大期と考えられていたが、極大期のタイミングはずれているようである。ただ、極大期とそうでない時を比較しても、オーロラ発生数は 1～2 割程度の差しかないと言われている。ちなみに、太陽の活動が活発な時期には、黒点の数が増えることが知られている。黒点の数とオーロラの発生状況の間には、間接的にせよ相関があることが予想される。太陽の黒点については日本でも観測可能であり、オーロラの発生状況は、

Aurora Service (<http://www.aurora-service.eu/aurora-forecast/>) のようなインターネットを使ったオーロラ予報の WEB を利用すれば、ほぼリアルタイムでオーロラの状況を把握でき、日本にいなからオーロラ研究の一端を担えるかもしれない。

このように、オーロラ発生の概略は説明できるが、まだ、わかっていないこと、研究途上であることなども多数ある。たとえば、太陽から飛んでくるプラズマ粒子は、北極や南極の上空の磁力線が集まる周辺で一端溜まり、その後地球に流れ込んでいくが、何をきっかけにしてプラズマ粒子が流れ込むのか、なぜその周辺で溜まるのかなど、その詳しい仕組みはわかっていないし、ブレイクアップといわれるオーロラが激しく動きながら一気に広がっていく現象も、何をきっかけにブレイクアップが起こるのかなどについても、まだ研究者の間で納得できる共通の説明はない。

3. オーロラ観察の旅

2013 年と 2014 年の 12 月末に、オーロラを見よう！という企画を実行した。観察の場所としては、スウェーデンの北部の町キルナで、この地域は北緯 67 度 51 分にあるため、我々の訪問時期であるこの期間は、太陽は地平線より上がってこない、いわゆる極夜である。右の行程表は、2014 年度に実施した企画の行程表である。2013 年度の企画では、前述したスウェーデン王立宇宙物理研究所訪問と二穴喜文先生の講演を実施した。2014 年度では、日程の調整ができなかったこともあり、スカンジナビア半島北部、ラップランドの先住民であるサーミの人

表 1 オーロラを見よう！2014 の旅程表

日次	月日曜	発着地/滞在地	発着現地時間	交通機関名	摘要	食事
1	12月23日 (火)	成田空港 発 キルナ空港 着 ホテル	9:40 12:10 13:55 16:00	SK-984 専用バス	成田空港第1ターミナル 集合 (飛行時間 約10時間) 入国審査後ホテルへ チェックインなど ホテルにて夕食 オーロラ観察①	朝 × 機内食 2回 夕 ○
2	12月24日 (火)	キルナ	午後 夜	専用バス	午前 ホテル滞在 午後 犬ぞり体験 ホテルにて夕食 オーロラ観察②	朝 ○ 昼 × 夕 ○
3	12月25日 (火)	キルナ	午前 夜	徒歩	午前 キルナ教会でクリスマスミサ ミサ後、交流会 ホテルにて夕食 オーロラ観察③	朝 ○ 昼 × 夕 ○
4	12月26日 (火)	キルナ	10:00~ 13:00 夜	専用バス	アイスホテル見学 ホテルにて夕食 オーロラ観察④	朝 ○ 昼 × 夕 ○
5	12月27日 (火)	キルナ	午後 夜	専用バス	サーミ人の文化体験 ホテルにて夕食 オーロラ観察⑤	朝 ○ 昼 × 夕 ○
6	12月28日 (火)	ルーレオ空港 ストックホルム空港着 ストックホルム	6:30 12:45 14:05	専用バス SK-009 専用バス	キルナ出発 ルーレオ空港(約500km移動) 飛行機でストックホルムへ 市内観光 ノーベル博物館、散策、他 ホテルにて夕食	朝 ○ 昼 × 夕 ○
7	12月29日 (火)	ストックホルム空港発 コペンハーゲン空港着 コペンハーゲン空港発	9:30 13:30 14:40 15:45	専用バス SK-1421 SK-983	ストックホルム空港へ ストックホルム空港発 コペンハーゲン空港着 コペンハーゲン空港発	朝 ○ 機内食 2回
8	12月30日 (火)	成田空港 着			入国・通関後、解散	

たちの文化体験の企画を行った。また、オーロラ観察は夜間に限られるので、移動日を除き昼間は、犬ぞり、アイスホテル見学、クリスマスミサなどのアクティビティを体験できるようにした。ただし、極夜のために明るい時間帯は10時頃～15時頃であり、アクティビティが可能なのは、その時間帯に限られている。往路の飛行機は、いわゆるチャーター便であり、日本からキルナへの直行便である。1日目～5日目までのオーロラ観察は、町の中心にある我々が宿泊していたホテルから徒歩10分程のところにあるリゾートホテル(リパン ホテル)敷地内でオーロラ観察場所として一般開放されているところで行った。非常に明るいオーロラは、町明かりがあっても観察可能だが、暗いオーロラは、周囲がかなり暗くないと観察することが不可能である。キルナは田舎の町とはいえ、夜間の家の窓の明かりや照明、街路灯などの光があり、どこでも観察できるという状況ではなかった。

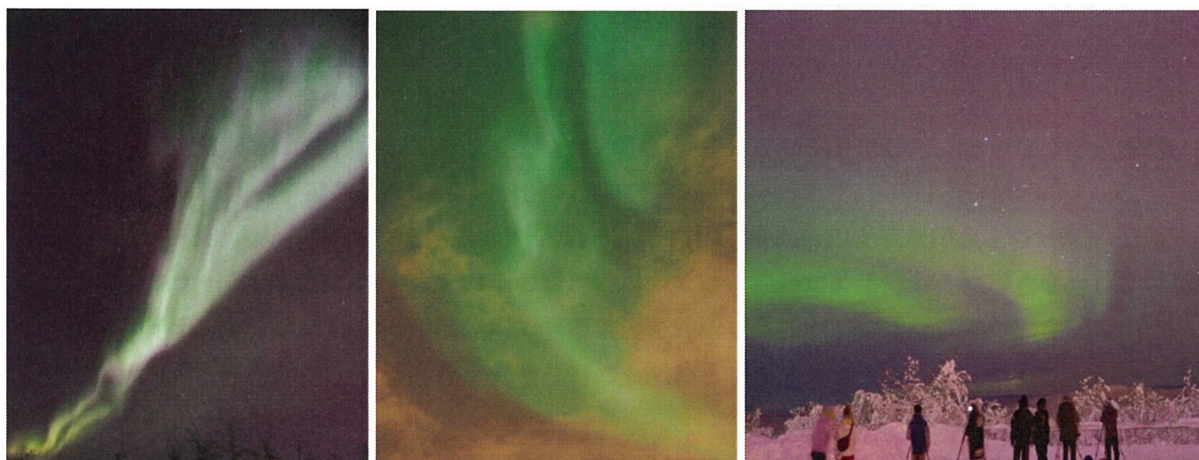


図2 実際に観察したオーロラの写真

4. オーロラに関する教材作成（プリントの作成と実践による検証）

筆者は、立教大学の兼任講師として理科教育法の講座も担当している。この講座の中で、「中学生や高校生が理科に興味を持てるようなプリントを作成する」という課題を課したところ、ある学生が「オーロラ」のプリントを作成する企画を考えた。そこで、学生の目線で、「中学生や高校生が興味を持って読めるようなプリント」を作成させた。この学生は、高校を卒業する前に高校での卒業発表で、自

高校1年生向け!!

オーロラ

きれいな自然現象として知られるオーロラですが、その名称はギリシア神話の女神ヘラに由来しているといわれています。皆さん！ぜひ科学を体験して、科学的視点で「どこで、何が、どうやって光っているのか」オーロラを考えましょう!

5. どうやって光っているのか?

オーロラが光る原理は主に3つに分かれます。順にみてみましょう!

④ 衝突
空分子中の原子は、互いの様にボーアの原子構造(原子核の周りを軌道として電子が回っている構造)であることを学びました。地球には宇宙から太陽風(ガス)が流れてきます。その太陽風に当たって地球にやってくる宇宙の電子は、高温の為に原子と電子が分離してしまった粒子なので、空気中の酸素原子や窒素分子の電子に衝突しエネルギーを与えます。

⑤ 励起状態(いきじょうたい)
空気中の電子は④の衝突によって与えられたエネルギーによって、衝突前(軌道1)よりも外側の軌道(軌道2)を回るようになります。電子が回る軌道は物質によって決まっています。その軌道に電子が乗っているものが、物質にとって一番安定している状態でしたよね!そのため今はとても不安定な状態です。

⑥ 発光
⑤で述べたように励起状態はとても不安定なので、時間がたつと物質を安定した状態にするため、電子は元の軌道に戻ろうとします。この時エネルギーを放出するから発光現象が起きます。

(※) 皆さんオーロラの原理はわかりましたか?太陽風に乗ってきた電子が空気中の電子にぶつかるとどうこうとは、動いているもの同士がぶつかりますね。このことからオーロラが面白い現象もわかりますね!

6. 何が光っているのか?

先に書くと、オーロラは酸素や窒素が光っています!オーロラの光の色は酸素や窒素と深い関係があります。赤と緑は酸素原子、ピンクは窒素分子、と長色反応のように、それぞれが光る色を決めています。では何故酸素原子は赤と緑があるのでしょうか。それは、高さも色にも関係しているからです。高ければ赤、低ければ緑になります。

7. どこで光っているのか?

なんとなく皆さんは、高いところにオーロラが存在しているのは知っているのではないのでしょうか。では、どれくらい高いのか、と言うとなんと高さ「100~400キロメートル」のところでオーロラは光っています。宇宙の項目は大体100キロメートル、宇宙ステーションやスペースシャトルがあるのは100キロメートルなので、オーロラは宇宙で光っているのと同じ高さです!1階からも、飛行機や雲が100キロメートルなのですごく高いところにあることが分かりますね!

<図1>

<図2>

次にオーロラの光る場所について話したいと思います。オーロラを帯びてくると考えられる寒い地域を想像しますよね?実際オーロラを見ることは出来るのは、カナダやノルウェー、スウェーデン、など北極圏や南極圏です。図2のように、北極圏と南極圏に環状にオーロラは現れます。では、何故北極圏と南極圏にだけオーロラは現れるのでしょうか。その秘密は地球にあります。地球は大きな磁石です。地球のまわりには磁場が巻いています。地球の周りの磁場は図3のような形をしています。オーロラが光る理由である、太陽風に当たってやってくるプラズマは、電気を帯びている粒子なので、図の線に沿って進みます。そのため、プラズマは地球の北極圏と南極圏にだけやってくれます。

<図3>

オーロラはプラズマがないと現れませんか?そのため北極圏と南極圏にだけ現れます。

8. 最後に、オーロラは役割とは?

オーロラの原理で出てきた「太陽風」は、太陽から出てきた、電気を帯びたプラズマ(高温の為に陽子と電子が分離してしまった粒子)が地球に流れてくることだと前記しました。実は、この太陽風、なんと地球付近で10万度なのです!この太陽風が地球に直接突き付けられ、どんなことが起こるといいますか?まず、大気はすべて宇宙に吹き飛ばされてしまうでしょう。では大気が無くなると何が起きますか?太陽系には2つ大気がない惑星があります。火星と金星です。地球と合わせてこれらの星の特徴を比べてみましょう。

地球	火星	金星
水がある	水がない	水がない
酸素がある	酸素がない	酸素がない
適度な温度	灼熱地獄	冷寒地獄

大気が無くなってしまったら、地球も火星や金星のように、寒すぎたり、暑すぎたり、呼吸ができなくなってしまうので、私たち人間は地球で生き続けることが出来なくなってしまいます。大気を吹き飛ばしてしまう太陽風のエネルギーを光にして地球を守ってくれているのがオーロラです。オーロラはきれいなだけでなく私たちを守ってくれて、と考えることが出来ますね!

図3 学生が作成した生徒向けのオーロラのプリント

分の進路に関連する事項を研究発表する機会があり、そのときに、「高校の授業でオーロラについて習う機会がなかったので、テーマにオーロラを選んだ」という理由から、オーロラのプリントを作るように決めたと言っていた。

このプリントを7名の高校3年生に見せ、無記名の記述式のアンケートを行ったところ、次のような意見を集めることができた。

- 興味を持てた点
- ・オーロラが光る原理
 - ・絵を使ってうまく説明している
 - ・図があって、文章もわかりやすく、テーマも親しみやすい
 - ・オーロラが好き

- 印象に残っていること
- ・オーロラの役割
 - ・宇宙ステーションとオーロラが同じ高さだったこと
- その他
- ・オーロラの発生の方法や、解説だけではなく、オーロラが私たちに与える影響も書いてあってオーロラへの興味を一層深める事になった。
 - ・理科がよくわかっていなくても、わかりやすいプリントでした。オーロラの位置が、飛行機や宇宙ステーションと比べていて、面白かったです。
 - ・絵がメインなので高校生向けというよりは中学生向けの印象を受けた。

以上のアンケートの結果より、オーロラの原理については、理科が苦手でも、物理を履修していなくても、図やイラストがあればある程度理解できることを確認することができた。また、オーロラがどのようなものなのかについて、よくわかっていないにも関わらず、オーロラに対しては親しみや好印象を持っていることもわかった。

中学各分野や高校理科諸分野の各単元とオーロラの関係は、図4のように整理できる。この図を見ると、オーロラは、中学校や高校の各科目や多くの単元に関係しており、理科の探求学習の題材として相応しいことがわかる。2014年度の高校生に対する教材の作成には間に合わなかったが、現在まで撮り貯めたオーロラの写真や太陽の写真、放射線のデータなどの素材を集めることができ、新しいテーマでの探求学習を準備することができた。

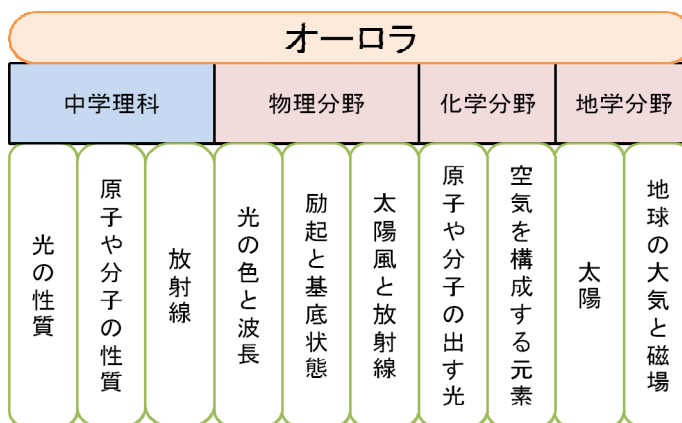


図4 高校理科分野の単元とオーロラの関係

オーロラは、容易に観察できないこと、非常に高度が高いためデータの測定が困難であること、発生の予想が難しいこと、等、必ずしも探求学習のテーマとして適切ではないかもしれない。しかし、オーロラのようなオーブレンドな研究テーマは、「研究」としては普通であっても、学校教育の場面では扱われることは少ない。今後も、オーロラのような研究の前線を垣間見ることのできるようなテーマは、「研究に対する態度」を学ぶ良い機会につながるため、必要になっていくと思われる。

参考文献

林壮一、山本博聖、川村康文 オーロラを題材とした高等学校物理教材の作成に向けて 日本理科教育学会第64回全国大会 第64回全国大会論文集 pp.263 (2014年8月23日発表)