

投稿

手作りオーロラのスペクトル

牧田 里美、長谷川千桂、山出 果歩(埼玉県立春日部女子高校・地球科学部 1 年)

鈴木 文二(埼玉県立春日部女子高校)

0. はじめに

楽しいことをやる。誰もやっていないことに挑戦する。オーロラは流星より高度が高い現象なので、天文分野に入れてもらおう。木星型惑星には、オーロラが見えることも理由としてあげよう。2011 年夏、名古屋での年会発表の事後報告である。(顧問)

1. 研究の動機

5 月のある日、理科総合 B の授業でオーロラの映像を見た。宇宙に関する部活(地球科学部)に入ったからには、オーロラを実際に見たいと思い、オーロラを見るための方法を考えた。はじめに思いついたのは、映像に出てきた北極に、実際に行くということだ。しかし、いくらなんでもそれは無理なので、自分たちで作ることはできないかと、オーロラについての情報を、本やインターネットで調べてみた。調べていくうちに、科学技術館のオーロラ発生装置のサイトを見つけた。そのサイトを見てみると、高度な技術や機械がなくても、オーロラ発生装置が作れそうだった。

2. オーロラ発生装置のしくみ

オーロラは、高さ 100 km 以上の南極や北極の上空の大気(酸素原子や窒素分子等)に電子等の粒子が衝突して起きる発光現象である。科学技術館の装置(図 1)は宇宙規模で起きるオーロラ現象を、約 1 億分の 1 に縮小したミニモデルで、宇宙規模で見たオーロラの発生現象を観察することができる。真空ポンプで空気を抜いたガラスケースの中に、約 1 億分の 1 の地球(直径 12 cm の磁石の球)を入れてあり、高電圧をかけた電極から電子

を放出している。電気をもつ粒子は磁力線に引かれ、円を描いて発光する。

100 km 以上の高層の大気は 0.3 Pa 以下なので、真空ポンプが必要なこと、電圧は 500 V から 1000 V 以上かけること、ネオジウム磁石などの強力磁石が必要なこと、私たちが得た情報はこの三つである。

3. 実験装置の製作

私たちの学校は創立 101 年目になる。新しい備品を買う予算はほとんどないそうだが、伝統ある学校には古い装置が眠っている。今回の実験装置は物理室の片隅にあったものを借用した。50 年前の真空ガラス容器、電源装置である。



図 1 科学技術館のオーロラ発生装置

3.1 真空ガラス容器(図 2)

最初は本当に真空状態を保てるのかわからなかったもので、まず使えるかどうかをペットボトルを使ってテストした。使えることがわかったところで、真空度を上げるために真空ポンプとの接続部分、水銀マンオメーターとの接続部分を掃除し、真空グリースを塗った。容器内の圧力は水銀マンオメーターで読み取る

が、真空ポンプを 10 分以上回しても、オーロラが発生する気圧の 1000 倍も大きい 1.2hPa 程度をさすだけで、結局使えなかった。私たちの実験は、圧力を確認する方法はなかった。



図 2 真空ガラス容器

3.2 真空ポンプ (図 3)

はじめに、古い真空ポンプを分解し、オイルを入れ替えたり、ホースを新調した。実験に支障はなく動きだしたが、途中で物理の予算で、新しい真空ポンプが購入されたので、お借りした。カタログによると、このポンプは、2 Pa まで圧力を下げることがあるそう。今回の実験で使用した備品なかでは、唯一の新品であり、今年度の理科の備品予算は、これだけという噂だった。



図 3 真空ポンプ

3.3 電源装置 (図 4)

真空管用電源装置という名前がつけられている。高圧電流がしっかり流れるか確かめるために、テスターを使ってテストした。ダイヤル部分を何度も回して刺激を与えないと、反応がにぶいという個性的な装置だ。メーターの表示を信用すると、650 V 程度まで出せる器械であった。



図 4 真空管用電源装置

3.4 リング状ネオジウム磁石

リング状のオーロラを作るため、磁石を用意（新規購入）したが、実験の途中でキュリーポイント（310 °C）を超えてしまい、磁力を失ってしまった。真空ガラス容器の中が、とても高温になっていることがわかった。結局、途中から磁石を使うことなく実験を行った。

3.5 電極

真空ガラス容器を改造することは難しいので、できるだけそのままの形で利用することにした。その結果、マイナス極は三本の足を含めた装置の下の部分全体、プラス極は上端につける栓の穴の部分となった。

マイナス極は、カーテン状のオーロラに近づけるため、アルミのアングルを組み合わせ角柱を作り、装置の下部に取り付けた。プラス極はゴム栓に穴をあけて、直径 5 mm の

銅製の棒を差し込んだ。最初は電子がシャワー状に飛び出すように、銅の棒に剣山をとりつけた。

3.6 分光器 (図 5)

これも古いものである。顧問の先生がハレー彗星のスペクトルを撮影するために製作したものだそう (25 年前?)。当時はフィルムを使うカメラを付けていたそうだが、今回はデジカメになっている。望遠鏡の架台にとりつけて使用する。望遠レンズを使い、オーロラだけの光を効率よく分光することができる。得られたデータはデジタル画像なので、簡単に画像処理ソフトで解析することができる。



図 5 分光器

4. 実験方法

オーロラを発生させるための実験方法は以下のとおりである。

- (1) 真空グリースを接続箇所丁寧に塗る。
→ 実験のたびに行わないと、古い器械なので空気漏れがある。
- (2) 真空ポンプを真空ガラス容器につなぎ、数分間動かす。
→ ポンプの能力を最大限まで活用し、実験中も動かし続ける。
- (3) 電源を入れ、最高電圧 (650 V) にセットする。
→ すぐにオーロラが現れるのではなく、数分かかる。

科学技術館の装置のように、最初はマイナス極とプラス極を 20 cm くらい離して実験を

したが、まったくオーロラは見えなかった。私たちは、真空ガラス容器の密閉性、電圧不足の 2 点を疑った。前者は実験中、ずっとポンプを動かすこと、真空グリースを丁寧に塗ることで対応した。後者は電極を近づけることで対応した。20 cm どころか、1 cm 程度まで近づけてみた。そして、ついに図 6 のようなオーロラを再現させることに成功した。このとき、電源装置のメーターは 375 V を示した。つまり、37500 V/m という高電位差となって、初めて発光したわけだ。薄紫の光の中に包まれて、電極の近くに、緑、赤の光がパチパチとついたり消えたりする様子が見えた。この「手作りオーロラ」は文化祭で実演し、大好評を得た。

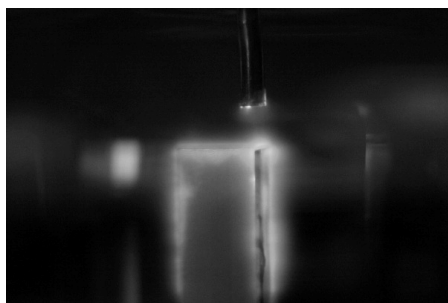


図 6 発生したオーロラ

装置が似ていて、光の色が似ていたとしても、オーロラと同じ発光かどうかは、酸素原子、窒素分子などの光が出ていることを確かめなくては確定しない。そこで、図 7 のように実験装置を配置して分光測定を行った。

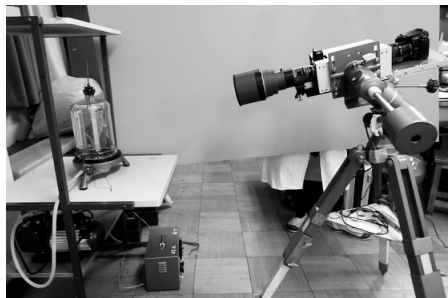


図 7 分光測定

オーロラの分光測定は、まず蛍光灯を使ってカメラレンズと分光器の対物レンズのピントを合わせ、蛍光灯の光を撮影し、続けてオーロラを撮影した。蛍光灯には水銀の輝線があり、これを基準に波長を測定することができる。この分光器では図8のように、波長と画像上の距離（ピクセル単位）に直線的な関係がある。測定には、国立天文台で公開・配布している「マカリィ」という天体画像処理ソフトを使用した。

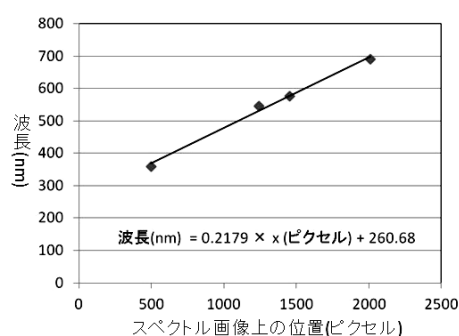


図8 波長 (nm) と距離 (ピクセル) の関係

5. 研究結果

理科年表によると、オーロラに現れる輝線は、次のとおりである。

- ・酸素原子
557.7 nm (緑)、630.0~636.3 nm (赤)
- ・窒素分子
646.9~687.5 nm (赤)
- ・窒素分子イオン
391.4 nm、427.8 nm (青)

私たちが再現したオーロラの分光測定結果は、図9のとおりである。蛍光灯のスペクトルも波長を合わせて示したので、違いがよくわかると思う。

「手作りオーロラ」には、酸素原子、窒素分子、窒素分子イオンとも、すべて現れている。酸素の輝線が弱いのは、この輝線が250km くらいの高層で現れるため、つまり、もっと真空度が上がらなければダメだと言うことだろう。

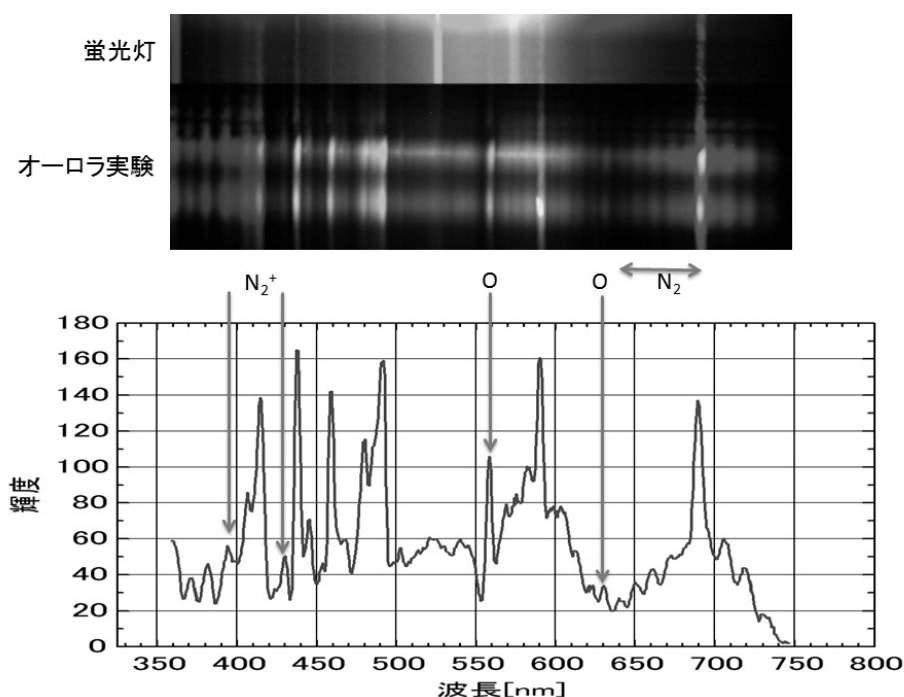
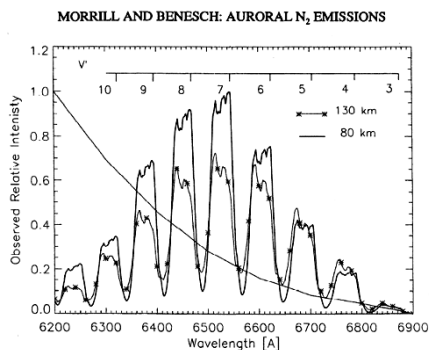


図9 オーロラ分光の結果

しかし、興味深いことは、窒素分子、窒素分子イオンの輝線近くに、飛び飛びに規則正しく現れる輝線の群れがあることだ。これは、図 10 に示した Morrill という研究者が 1996 年に発表した論文に N_2 のバンドスペクトルというものに一致している。この図の 80 km と 130 km のバンドの出方を見ると、130 km の方にスペクトルが近いことが分かる。電子の速度が自然のオーロラと同じならば、理科年表によると、130 km の大気圧は、0.00012 Pa である。真空ポンプの能力は、2 Pa 程度であり、これは 70 km 程度の高層大気の大気圧である。したがって、高電位差にしたことから、130 km の高さに相当するオーロラが現れたのだと考えている。この装置は、低空に現れる窒素オーロラの研究に、ちょうどよい実験装置になるかも知れない。また、その他の未知の輝線は、現在調査中である。

蛍光灯の光の中には、オーロラ実験で見られた酸素と同じ位置に、極めて弱い輝線が見られる。蛍光灯にも、わずかな酸素の発光があるようだ。

図 10 Morrill による N_2 バンドスペクトル



6. 今後の発展と展開

今回の実験は簡単に言えば、空気が薄い状態にして真空放電を見ているということに過ぎないかも知れない。しかし、オーロラとは実際そういう現象である。

性能の良い真空ガラス容器を使って実験したかった。真空度が低いために電極の間隔を縮めなくては、オーロラを発生させることができなかった。真空度が上がり、もっと電極を離れた状態で実験ができれば、今回の結果に加えてもっと多くの情報を集められたと思う。酸素の緑色光を再現してみたかった。

他の惑星で起こるオーロラを再現してみたい。理科年表には、さまざまな惑星で現れるオーロラが載っている。今回は地球の大気の成分でオーロラを発生させたが、木星でもオーロラは発生するそうなので、ぜひ木星と同じ環境を真空ガラスポンプの中に再現してみたいと思った。

文献

- [1] 理科年表, 丸善, 2011.
- [2] 名古屋大学太陽地球環境研究所 (2003), 『オーロラってなんだ!?』.
- [3] Morrill and Benesch (1996), "Auroral N_2 emissions and the effect collisional processes on N_2 triplet state vibration populations", JGR 101.



地球科学部 1,2 年生部員
鈴木文二.