



本会記事

■第12回高校生シンポジウム「核融合エネルギー研究開発の最前線～世界最先端を体感」報告

原子力機構 草間義紀 (本学会理事・広報委員長)

本学会では、平成15年度より「高校生の、高校生による、高校生のためのシンポジウム」をモットーに高校生シンポジウムを主催してきましたが、2014年8月8日(金)に、第12回高校生シンポジウムを原子力機構那珂核融合研究所(以下、「那珂研」という。)で開催しました。今回は、「核融合エネルギー研究開発の最前線～世界最先端を体感」をテーマに、那珂研で行っている核融合研究開発の施設見学を組み込み、以下のプログラムで開催しました。

- 9:30-10:00 受付
 10:00-10:10 はじめに
 主催者挨拶 本学会会長 二宮博正
 開催者挨拶 那珂研所長 森 雅博
 10:10-11:50 研究口頭発表 (10件)
 11:50-12:40 研究ポスター発表 (13件)
 12:40-13:30 休憩 (昼食)
 13:30-14:00 『エネルギーを生み出すプラズマのひみつ』
 那珂研副所長 栗原研一
 14:10-15:25 構内施設見学 (JT-60SA 中央制御室,
 超伝導磁石研究施設, 遠隔保守装置 他)
 15:35-16:00 講評・表彰 (本学会会長 二宮博正)

参加者は86名で、内訳は、高校生および引率の教諭が63名、その他23名でした。本学会からは二宮会長、永津副会長、安藤企画委員長、事務局・石山さんが参加しました。また、筑波大学・坂本瑞樹先生、慶應大学・畑山明聖先生、原子力機構から坂本慶司氏、河野康則氏には発表の審査者として参加していただきました。紙面をお借りし、感謝申し上げます。高校生および教諭の参加については、参加事前調査の段階で110名を超える参加が見込まれていましたが、正式申込みの段階で参加の取り止め、参加人数の大幅減などがあり、参加者は事前調査の半数強に留まりました。なお、開催日は横浜で開催されたスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の全国大会の翌日に設定しましたが、一部の高校からは時期をずらしてほしいとの意見がありました。今後の参考にしていただければ幸いです。

高校生による発表は、口頭発表が10件、ポスター発表が13件あり、詳細を表1に示します。口頭発表の希望が予想以上に多く、1件当たり質疑応答を含めて10分に制限せざるを得ませんでした。しかし、どの発表もよくまとまっており、また、複数の発表者による発表など、工夫された発表もありました。高校生同士の質疑応答に加え、本学会関係者や審査者からの厳しい質問にも熱心に回答する姿が印象的でした。ポスター発表もきれいにまとめられているもの

が多く、また、実験機材を持ち込んで説明するなど、自分の研究を理解してもらおうという熱意が感じられ、加えて、高校生同士が積極的に議論しようとする姿勢が伺えました。また、本学会関係者や審査者から、研究に関する助言などもあり、参加した高校生の皆さんには大変良い刺激となったものと思います。

口頭発表、ポスター発表終了後、7名の審査者による厳正な審査を行ない、口頭発表最優秀賞には茨城県立日立第一高等学校の「ヨウ素欠乏とカエルの幼生の変態」を、ポスター発表最優秀賞には茨城県立水戸第二高等学校の「オーロラの形成と実験機の製作」を選出しました。また、口頭発表優秀賞3件、口頭発表奨励賞3件、ポスター発表優秀賞3件、ポスター発表奨励賞4件を選びました。これらに対して、シンポジウムの最後を締めくくり、二宮会長から賞状を授与しました。

今回のシンポジウムでは、栗原那珂研副所長による核融合や那珂研での研究開発に関する講演の後、ITER機器の開発・試験施設並びに超伝導化改造を進めているJT-60SAの建設現場や関連施設を見学してもらいました。「普段ならば絶対に見ることのできないものをたくさん見学させていただきました」、「本当に働いている人なのでいろいろな話を聞いて楽しかった」など、装置や建設現場を実際に見ることにより「世界最先端を体感」する機会を提供できたのではないかと考えている次第です。

なお、今回のシンポジウムにおいても、参加の動機、発表についての感想、開催時期、講演などについてアンケートを実施し、高校生・教諭の約9割から回答を得ることができました。アンケートの詳細は述べませんが、シンポジウムについては、「このようなシンポジウムを引き続き開催していただけることを願っております」、「どの学校も素晴らしい発表だった。もし全発表数が今回と同じであれば全て口頭発表でもよいかもしれない」、「時間を延ばしてほしい」、「たくさんの学校の方々と情報交換ができました」、「とても興味深かったです。貴重な体験になりました」など、本学会および開催者側の一員として、今後の活動の糧となる意見が多く寄せられたことは意味があると考えています。一方、「核融合について何か知っていますか?」の問いには、「多少知っていた」、「よく知っていた」を合わせて45%という結果でした。茨城県内からの参加者が46%であったこととよく符合しており、県外からの参加者はどうだったのかとってしまうのは杞憂でしょうか。学会としてのアウトリーチのあり方など、今後の検討課題として受け止めたいと思います。

最後に、今回の開催にあたり、準備や当日の運営、施設見学等に対応いただいた那珂研の皆さんに感謝申し上げます。

なお、次回高校生シンポジウムは大阪大学で開催する予定です。

表1 発表一覧.

発表区別	学校名	題目
A+P	茨城県立日立第一高等学校	ヨウ素欠乏とカエルの幼生の変態
A+P	静岡北高等学校	新しい放射性物質吸着剤の開発
A+P	茨城県立水戸第二高等学校	オーロラの形成と実験機の製作
A+P	東海大学付属高輪台高等学校	Y系超伝導体の製作と特性を用いた研究
A+P	宮城県立仙台第三高等学校	イオンクラフトの推進力向上を目指して
A+P	宮城県立仙台第三高等学校	巨大空気砲の応用利用について
A+P	宮城県立仙台第三高等学校	宮城県内における空間放射線量について
A	茨城県立日立第一高等学校	津波の被害をのりこえたヒカリモの能力を探る研究
A	茨城県立水戸第一高等学校	グルコース／グリシン系におけるメイラード反応の反応速度定数の算出
A	横浜市立横浜サイエンスフロンティア高校	物質との相互作用による荷電粒子の減速
P	茨城県立日立第一高等学校	六角高層ビルのトリオタワーズ構造
P	茨城県立日立第一高等学校	多重振り子の運動解析
P	茨城県立日立第一高等学校	気管の結晶生成と気象条件との関係
P	神奈川大学附属高等学校	いろいろなものに放射線を照射した時の変化
P	茨城県立水戸第一高等学校	新規色つき糊の製作に関する研究
P	福島県立福島高等学校	プラズマの発生とらせん運動

A+P：口頭発表とポスター発表，A：口頭発表，P：ポスター発表



写真1：口頭発表での質疑応答の様子。



写真2：ITER用ロボットの開発施設を見学する高校生。

■口頭発表最優秀賞

ヨウ素欠乏とカエルの幼生の変態

茨城県立日立第一高等学校 鷲尾輝美

1. はじめに

カエルなどの両生類は幼生と成体の外形が大きく異なる。これは脊椎動物の中では特徴的なことであり、幼生から成体への変化を変態と呼ぶ。この変態には甲状腺ホルモン（チロキシン： $C_{15}H_{11}I_4NO_4$ ，トリヨードチロニン： $C_{15}H_{12}I_3NO_4$ ）が必要であるとされ、これらにはヨウ素Iが含まれる。そこで両生類の幼生にヨウ素を与えずヨウ素が欠乏した状態で飼育したら、甲状腺ホルモンが作り出せず変態に影響があるのではないかと考え、研究を始めた。今回は幼生が入手しやすく変態が観察しやすいカエルの幼生を用い実験を行った。ヨウ素を多く摂取できる環境で育てた個体から変態がはやいという仮説を立てて検証した。

2. 実験方法

実験A：ヨウ素含有量の異なる4種類の餌を与えてアズマヒキガエル幼生を飼育し、変態の速さを観察した。使用した餌はヨウ素含有量の大きい順にひじき（可食部あたり

470 $\mu\text{g/g}$ ）、ポテトチップ（2.6 $\mu\text{g/g}$ ）、カシューナッツ（0 $\mu\text{g/g}$ ）であり、市販の餌を対象として用いた。

実験B：ヨウ化カリウムの水溶液中でアズマヒキガエル幼生を飼育し、変態の速さを観察した。使用した飼育液はヨウ素濃度の高い順にかん水レベル（1.0 mmol/L）、海水レベル（0.45 $\mu\text{mol/L}$ ）、蒸留水（0 mol/L）である。

仮説

実験A：ヨウ素含有量の大きい餌を与えた個体で変態が早い。

実験B：ヨウ素濃度の高い飼育液で飼育した個体で変態が早い。

3. 結果

実験A ヨウ素含有量の異なる餌で飼育

(1) 写真による比較

実体顕微鏡下で写真を撮影した。表は写真に対応した成長の進行を示し、それぞれの項目ごとにみられなかった場合は×、完全ではないがみられた場合は△、完全にみられた場合は○とした。

【ひじきを与えた個体】

撮影日	5/10	5/18	5/27	5/28	5/30	5/31
写真						
後肢	×	△	○	○	○	○
前肢	×	×	○	○	○	○
縮み	×	×	×	△	△	○

【市販の餌を与えた個体】

撮影日	5/10	5/18	5/27	5/28	5/30	5/31
写真						
後肢	×	△	○	○	○	○
前肢	×	×	○	○	○	○
縮み	×	×	×	×	△	○

【ポテトチップを与えた個体】

撮影日	5/10	5/18	5/27	5/28	5/30	5/31
写真						
後肢	×	△	○	○	○	○
前肢	×	×	×	×	○	○
縮み	×	×	×	×	×	×

【カシューナッツを与えた個体】

撮影日	5/10	5/18	5/27	5/28	5/30	5/31
写真						
後肢	×	△	○	○	○	○
前肢	×	×	×	×	○	○
縮み	×	×	×	×	×	×

図1

図1より、ひじきを与えた個体の変態が最も早く、次に市販の餌を与えた個体、最後にポテトチップを与えた個体、カシューナッツを与えた個体という順に変態が起こったといえる。仮説通りヨウ素含有量の大きい餌を与えた個体から変態がはやかったと考えられる。

(2) 変態率による比較

観察結果から変態率を求めた。自発的に水中から出た個体を変態に成功した個体と定義し、その日までに変態に成功した個体数を変態に成功した全個体数で割った値を変態率と定義した。グラフにすると図2のようになり、変態の順序をわかりやすく示すことができた。また、ポテトチップを与えた個体とカシューナッツを与えた個体の間に差はなかったといえる。

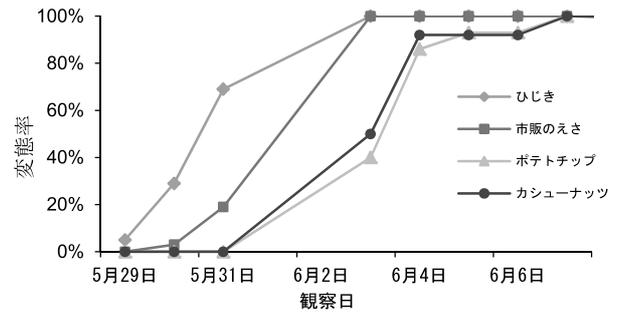


図2

(3) 変態に成功した成体の質量による比較

個体の成長について調べるため、変態に成功した個体の質量を餌ごとに2個体ずつ計測し平均を出した(図3)。ひじきを与えた個体の質量が最も小さかった。理由として、ひじきを与えた個体では多量のヨウ素が原因で変態がはやすぎたことや変態以外の成長が抑制されたこと、並びに幼生が必要とする栄養素のバランスがよくなかったことが原因としてあげられる。また、ポテトチップを与えた個体とカシューナッツを与えた個体は市販の餌を与えた個体よりも幼生でいた期間が長かったのにも関わらず質量が小さかったことから、栄養素のバランスがよくなかったものと考えられる。

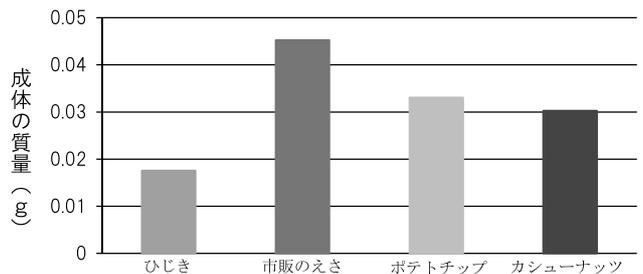


図3

(4) まとめと課題

以上よりヨウ素含有量の大きい餌を与えた個体ほど変態が早いといえる。また、ヨウ素含有量が大きすぎると変態以外の成長を抑制してしまう可能性がある。ヨウ素含有量0μg/gとされるカシューナッツを与えた個体も見られたため、カシューナッツに微量のヨウ素が含まれていたことや飼育液として用いたカルキ抜きをした水道水に微量のヨウ素が含まれていたことなどの原因が考えられた。そこで実験Bでは餌をヨウ素含有量0μg/gの Pasta に統一し、さまざまな濃度のヨウ化カリウム水溶液を飼育液として用いた。

実験B ヨウ化カリウム水溶液による飼育

(1) 死亡率

本実験では成体になる前に死亡した個体が多かったので死亡率も求めた。死亡率はその日までに死亡した幼生の数を全個体数で割ったものとした(次のグラフ)。かん水レベル(KI 1.0 mmol/L)で飼育した個体において最終的な死亡率が最も高く、死亡率の上昇も最も速かった。次に海水レベル(0.45 μmol/L)で飼育した個体、蒸留水で飼育した個体という順であった(図4)。

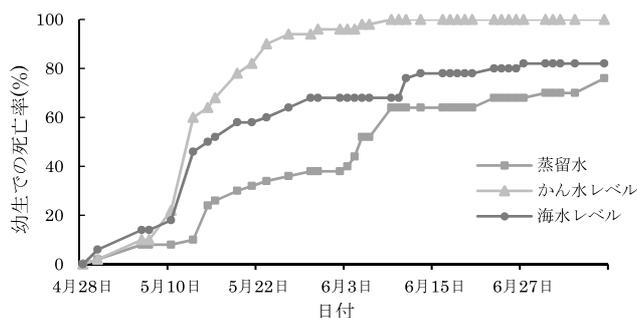


図 4

(2) 変態率

実験 A と同じ定義で変態率を求めた。本実験では幼生の死亡率が高かったため、変態率は信頼性のある値とはいえない（ただし蒸留水飼育個体と海水レベル溶液飼育個体の変態率に顕著な差はなかった）（図 5）。

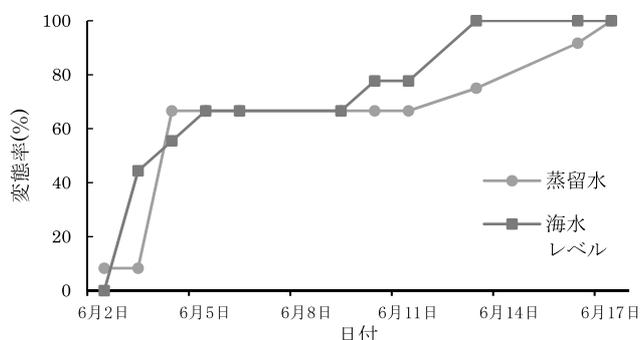


図 5

(3) まとめと課題

飼育液中のヨウ化カリウムの影響で、かん水レベルにおいて幼生が多数死亡した。高濃度のヨウ化カリウムが毒性をもったと考えられる。また今回もヨウ素含有量 $0 \mu\text{g/g}$ の pasta を餌として用いた個体に変態が起きた。pasta 自体に微量のヨウ素が含まれていたことなどが原因となったと考えられる。ヨウ素量を適切に制御する方法を確立するため実験手法を改善していきたい。

4. 全体のまとめと今後の課題

ヨウ素を餌から多く摂取できる環境下で飼育した個体の方がはやく変態したことから、ヨウ素の摂取量に変態に影響を及ぼしたといえる。また、ヨウ素が多い餌により成長と変態のタイミングが影響を受けたと考えられる。ヨウ素を飼育液から多量に与えると生命活動に支障があり、変態が進まないこともわかった。今後は適切な範囲でヨウ素量を様々に変化させて変態の実験を行い、変態とヨウ素摂取量の関係をより精密に調べていきたい。

参考文献

- [1] ヨウ素含有量 (食品) : <http://wholefoodcatalog.com/nutrient/%E3%83%A8%E3%82%A6%E7%B4%A0/>
- [2] 日本化学物質辞書 Web : http://nikkajiweb.jst.go.jp/nikkaji_web/pages/top.html
- [3] アフリカツメガエルの発生 : <http://morita.la.coocan.jp/a/omnis18.htm>

■ポスター発表最優秀賞 オーロラの形成と実験機の製作

茨城県立水戸第二高等学校 丸山理彩, 田口千晶
指導教諭 鈴木 秀

1. はじめに

オーロラとは太陽風と地球磁場、大気分子の相互作用で、太陽風の荷電粒子が熱圏の分子に衝突し励起されて起こる発光現象です。高緯度地域の 100 km 以上の高さに現れ、カーテンタイプ・コロナタイプなど様々な形があり、オーロラを宇宙から眺めると、北極、南極上にリング状になっています（図 1）。

オーロラを実際に見ることは難しいので、実験室で作って見ることはできないかという好奇心から研究が始まりました。

2. 実験

高校の物理実験室にある排気盤内に剣山（とがっているほうが放電しやすい）と模擬地球（アルミ製のボールにネオジウム磁石が付けてある）を置き、上から真空放電によって放出される電子を太陽風と見立てて、オーロラを再現させることにしました。模擬地球に正極、剣山に負極をつなぎ、放電させるのですが、本校の排気盤は電極を上部からしか入れられません。電圧をかけてみると剣山と模擬地球で放電は起きず、2本のエナメル線が一番近いところ（排気盤上部の引き込み線部分）で放電がおこってしまい、模擬地球に電子が届きません。これを何とかするのが最初の課題でした。

(1) 実験 1

図 2 のように、排気盤の下にアルミホイルを敷き、そこから正極をとりました。剣山から模擬地球に放電は起こったのですが、太陽風ではなく、雷のような極めて細い放電となってしまいました。

次に剣山の代わりに電球のフィラメント（これも電子が放出しやすい）に変えて実験しました。フィラメントにした理由は、プラズマボール（真空放電でプラズマを発生させる玩具）の仕組みを調べ、フィラメントが使われていることがわかったからです。しかし、結果はあまり変わりま



図 1 宇宙からながめたオーロラ

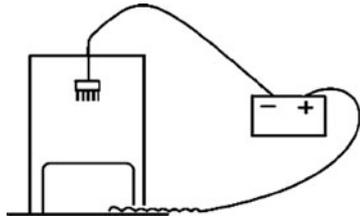


図2 排気盤の下にアルミホイルを敷いて電極をとった。

せんでした。

この原因は真空度であると予想しました。アルミホイルがはさんであるため、どうしてもそこから空気が入ってしまい、真空度が上がらないのが原因と考えたのです。

(2) 実験2

アルミホイルが真空度の妨げになるならと、図3のように大胆にもアルミホイルを外して実験を試みました。誘導コイルは直流(脈流)ですので電流は流れるはずはありません。しかしその予想と反し、電流が流れ、放電が occurred。これについてはあとで述べますが、原因は不明です。

この実験では、真空度が高く保たれたままで実験ができました。剣山、フィラメントどちらも試しましたが、剣山よりフィラメントのほうが帯のように広がる放電が見られました。一定方向に地球に降り注ぐ放電がほしかったので、これらの実験から剣山よりフィラメントを使用するほうが適していることがわかりました。しかし、写真のように、リング状のオーロラは見られませんでした。図4のように、降り注ぐ電子に比べて模擬地球が大きすぎることが原因だと思われました。

(3) 実験3

実験2の結果を受けて、模擬地球の改良を試みました。調べた結果、実験室内でのオーロラの発生は、半球を使って真上から放電させることが多かったもので、それに習い、

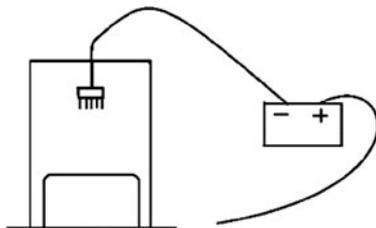


図3 アルミホイルをはずしたところ。



図4 降りそそぐ電子に比べて模擬地球が大きすぎるため、リング状のオーロラは発生しない。

半球で実験をしてきました。しかし実際のオーロラは、図5のように地球の横から太陽風が降り注ぎます。

そこで、実験機の模擬地球を作り直す際、ただ小さくするのではなく向きも90°変えました。金属の茶こし2つを張り合わせて球状にし、左右に北極、南極に見立てた磁石を入れ、横向きにしました。図6の赤青になっているのが棒磁石で、磁力を強めるためにネオジウム磁石が両極に張り付けてあります。これが北極と南極です。もちろん、誘導コイルの正極には何もつないでいません。

模擬地球をかなり小さく(アルミボールの時の1/4程度)したので、以前よりは模擬地球全体に放電が降り注ぐようになりました。しかし、納得のいくような放電ではなく、極のリングもみられませんでした。

(4) 実験4

ここで、フィラメントを直線状であったものを円形状にしてみても実験をしました。円形にすれば降り注ぐ面積も広がり、うまくいくのではないかと考えたからです。

結果は図7の写真のとおりです。北極、南極の両極にリング状のオーロラがみられました。生徒たちはこの実験の結果で、一応の成功の形としました。

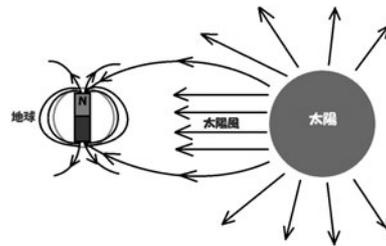


図5 太陽から地球に向かって降り注ぐ太陽風。

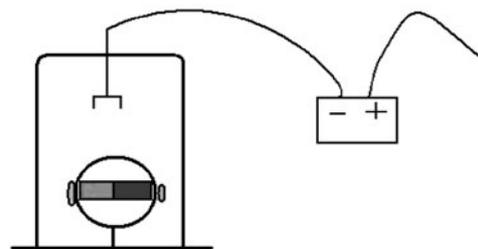


図6 実験機の模擬地球の赤道方向からプラズマがふりそそぐように作り直した。



図7 模擬地球の両極にリング上のオーロラがみられた。

3. 残された疑問

彼女たちの研究で、2つの疑問が残りました。ひとつはオーロラの色です。上には書きませんでしたが、荷電粒子が酸素にぶつくと緑か赤、窒素にぶつくと青に発光することがわかっています。はじめは空気を薄くして実験をし、写真のような薄紫色になりました。上には書きませんでしたが、中の気体を酸素、窒素にしてから真空ポンプで引き、実験をしたのですが、どちらも空気とおなじ薄紫色になってしまいました。気体の種類に関係なく同じ色になってしまう原因は何なのでしょう？

もうひとつは、実験2以降の回路で、正極がつながっていないにもかかわらず、なぜ放電がおこるのかということです。図8のようにアルミホイルを敷き正極をつなげば、回路が閉じていますので放電はおこります。しかし、生徒たちはこのアルミホイルを取ってしまいました。フィラメントから放出された電子は、どのような経路で誘導コイルの正極に戻るのでしょうか？

どちらの疑問も、これからの研究テーマの一つになります。

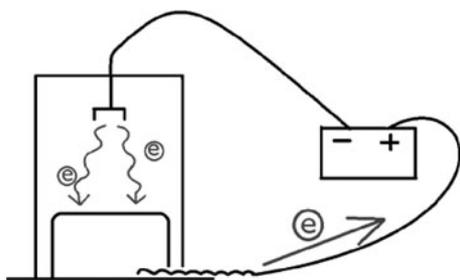


図8 アルミホイルを敷いて正極をつなげば放電がおきる。

す。なにかご指導いただける機会がありましたら、その時はよろしくお願いします。

4. おわりに

結論として、オーロラ実験機は、①剣山よりフィラメントを使用するほうが適している、②アルミホイルを挟まなくても放電は起こる、③フィラメントは直線状よりも円状にしたほうが降り注ぐ放電が起こりやすい、ということがわかり、今回の発表に至りました。

研究に際し、高校生の数々の発想や工夫には感心します。特に、正極を外してみるという試みは、電気回路の知識がありすぎる大人では思いつかないのではないのでしょうか？（もちろん非常に危険なことなので、感電には十分注意させて実験を行いました。）その工夫ばかりでなく、他にもいろいろな試行錯誤の結果、高校3年の6月（引退直前）に一応の結果が出せました。

また、プラズマ・核融合学会様には8月にこのような発表の場を与えていただき、さらに、最優秀ポスター賞までいただき、本当にありがとうございました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 田中達也：How beautiful the Northern Lights オーロラの本（株学習研究社，2004）。
- [2] 上出洋介：宇宙の神秘に迫るオーロラウォッチングガイド（JTBパブリッシング，2008）。
- [3] 平成23年度青森県立八戸北高等学校課題研究報告書。
- [4] 生徒体験型オーロラ実験に関する教材開発報告書。