

人工オーロラ発生実験

名列番号 072 氏 名 尾崎 光紀

1．まえがき

オーロラは、地球上で体験できる最も美しく、神秘的な現象である。しかし、オーロラについてはその発生メカニズムなど詳細なことは、まだまだ解明されていない。このオーロラが、もっと身近に体験することができたら、どんなにすばらしいことだろうか。そこで、今回の研究では、オーロラを人工的に発生させ、オーロラとはこういったものを学ぶこととする。

2．研究課題

オーロラについて、その構造、振る舞い、発生原理などを理解し、これを発生させる環境のモデル化を図り、人口的にオーロラを発生させることを目的とする。また、モデル化の際、オーロラは、太陽から常時吹き付ける太陽風、地球磁気圏の相互作用による自然発電機の放電現象とみなせるのだが、これを実現するため、気体放電の知識を深めることも同時に必要とされる。

3．研究方法

まず、オーロラがこういった構造になっているのかを調べた。(表 1)

表 1：オーロラの構造

下端の高さ	100～115キロメートル
上端の高さ	400～500キロメートル
南北の幅	500メートル～1キロメートル
東西の長さ	数千キロメートル
枚数	1～10枚
ひだの大きさ	5～200キロメートル
環の平均的半径	2200～2500キロメートル

また、オーロラが発生する地上 100 キロメートル上空の気圧を知るために、気圧 P と上空の高さ z に関する運動方程式を導き、それを解くことで、式(1)のような関係があることが分かった。

$$P(z) = P_0 e^{-\frac{z}{H}} \tag{1}$$

但し、 P_0 は、地表における気圧、 $H = (kT)/(m_m g)$ ：スケールハイト、 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ ：ボルツマン定数、 $T [K]$ ：温度、 $m_m [kg]$ ：分子質量、 g ：重力加速度である。

そして、気体分子中の電子の平均自由行程（電子が 1 回衝突してから、次の衝突を行うまでに空間を飛行する平均距離）を導いた。式(2)

$$L_e = \frac{4kT}{\pi \sigma^2 P} \tag{2}$$

$\sigma [m]$ ：気体分子の直径

これより、気体分子との衝突回数がもとまり、気体分子の励起、電離のエネルギー準位をかけることで、発光に必要な電子のエネルギーを求めることができる。

4．実験と考察

実験は、内径約 2 センチ程度のガラス管内の気圧を数 Torr まで下げ、陽極 - 陰極間（陽極から陰極までは 9 センチ）に直流高電圧を印加し、管内に発光が生じるか実験を試みた。図 1 参照。

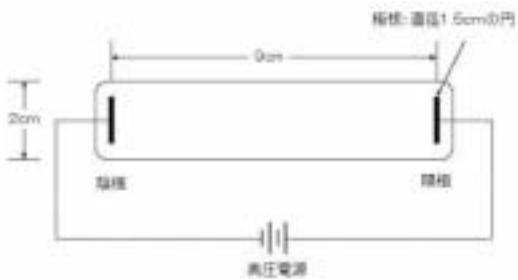


図 1：実験回路

実験に際して、上空 100 キロメートルの気圧を式(1)より求めると、

$$P(z) = P_0 e^{-\frac{z}{H}} \approx 0.357 [\text{torr}]$$

但し、上空 100 キロの空気を窒素分子対酸素

分子が 8 対 2 の割合の気体とみなした。これを実現するために、真空ポンプで、管内の気圧を下げた。そして、空気の平均自由行程より、励起させるために必要な電子のエネルギーは、数キロ[eV]となったので、これをテレビの高圧電源部を用いて実現した。

これらのことを考慮して、実験したところ、図 2 のような発光現象が確認できた。また、管内の気圧を変えて、陽極 - 陰極間の電位差を測定した結果を図 3 に示す。



図 2：ガラス管内の様子（左：陽極、右：陰極）
管内気圧 0.6[torr]、電位差 500[V]

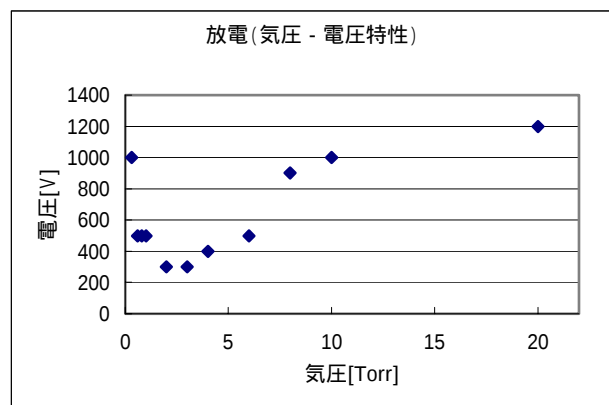


図 3：気圧 - 電圧特性

実験より、確かに低気圧空間内で、高エネルギーの電子を気体分子に衝突させると、発光現象が生じることが確かめられた。また、このことより、上空 100 キロメートルで、数キロ[eV]のエネルギーを持った電子が存在していることもいえそうである。

5．まとめと今後の課題

オーロラは、高度 100 キロメートルより上空で発生する、超高層大気と荷電粒子の衝突による連続

的な放電現象であることがわかった。そして、その連続的な放電のために、電力を供給するのは、電気伝導体の役割をする太陽風の磁気圏での運動によるものであった。オーロラを発生する放電による発光現象とは、気体分子に高エネルギーの電子が衝突することによって、気体分子を構成する原子の周りの電子が、高いエネルギー状態に引き上げられ、そこからもとのエネルギーの低い状態に戻る際に放出される、余分なエネルギーである光子の放出によるものである。これらのことから、人工的なオーロラのために、低気圧中の空間での、平行平面電極間に大電圧を加えることで、それを実現することを目指した。その結果、グロー放電という現象を確認できた。

今回の実験では、強電界による電子の放出を採用したが、実際のオーロラ発生機構により近い、荷電粒子ビームによる電子の発生で、発光の実験が行えなかったのが残念であった。(しかし、荷電粒子ビームによる電子の発生は、タングステンの過熱など多くの問題もある。) また、分光器による発光スペクトルを確認できなかったのも残された課題となった。

参考文献

- [1] 赤祖父 俊一 「オーロラへの招待」 中央公論社 1995
- [2] 赤祖父 俊一 「オーロラ」 中央公論社 1975
- [3] 上出 洋介 「オーロラと宇宙の神秘」 サイエンス社 1981
- [4] 和田 正信 「電子工学基礎論」 近代科学社 1995
- [5] 本多 侃士 「気体放電現象」 東京電気大学出版局 1988
- [6] 電気学会 「気体放電」 電気学会大学講座 1951
- [7] 大山 松次郎 「電灯照明講義案」 オーム社 1963
- [8] 堺 孝夫 「放電現象演習」 朝倉書店 1985