

1 「多点観測より推定した高高度発光現象『エルブス』の発生条件と形状」

1 研究の動機と目的

私たちは昨年、高高度発光現象である「スプライト」を発見し、これを研究した。スプライトの観測中の2007年12月20日、偶然スプライトと同じ発光現象である「エルブス」を発見した。エルブスは、発生のメカニズムなど多くの点においてスプライト以上に未知の現象である。

そこで今回は、その実体に迫りたいと思い、スプライトと並行して高感度ビデオカメラを用いて観測し、エルブスについても研究することにした。研究の目的は以下の4つである。

- ①発見したエルブスの観測データを用いて、発生した地点や高度を推定する。
- ②エルブスの発光の輝度分布・形状を求める。
- ③エルブスの規模やその発生するメカニズムを推定する。
- ④天気図や衛星写真などの気象データと照らし合わせて、エルブスの発生する気象条件を明らかにする。

2 「エルブス」とは？

「エルブス」とは、“小妖精達”という意味で、地上の雷に連動して、上空の中間圏と熱圏の境付近で発生するドーナツ状の発光現象である(図2-1参照)。エルブスは1995年に東北大学の研究グループが観測時に偶然発見したのが始まりである。エルブスは発光が弱く、発生時間も短いため、高感度CCDカメラでも観測は難しい。そのため、昨年度研究したスプライトよりも研究が進んでいない現象である。

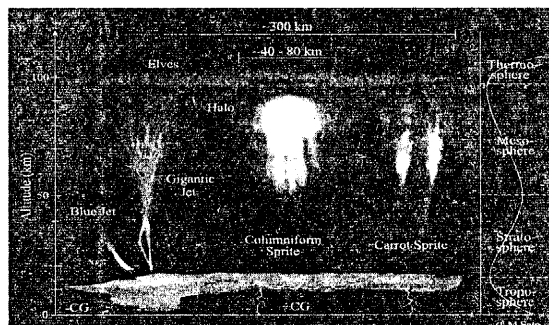


図 2-1 様々な高高度発光現象

東北大学スプライト研究グループより引用

3 観測機材

- ① Watec 高感度 CCD ビデオカメラ/FUJINON レンズ(カメラ C1)/CBC レンズ(カメラ C2)
(図3-1, 2参照)

スプライト・エルブスは微弱な光を瞬間的に発生させる発光現象なので、これをとらえるには高感度ビデオカメラが必要である。このカメラとして Watec 100N 高感度 CCD ビデオカメラが最適であることが分かった。また、2007年12月から、2台目のカメラとして視野方向を北に向けて屋上にもカメラを設置し観測を始めた。(図3-3参照)



図 3-1 Watec 高感度 CCD ビデオカメラ(C1)

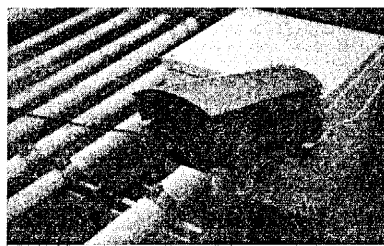


図 3-2 Watec 高感度 CCD ビデオカメラ(C2)

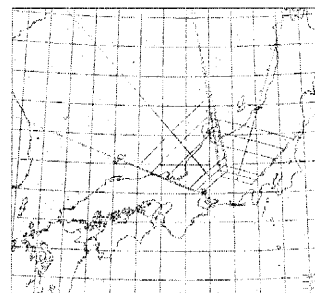


図 3-3 カメラの視野方向

<カメラの主な仕様>

カメラ形式：「WAT-100N(EIA)」
撮像素子：1/2 Interline transfer
CCD image sensor
総画素数：811(H)×508(V)
解像度(水平)：570TV lines
最低被写体照度：0.001lx. F1.4
S/N Ratio: 50dB (AGC OFF)
寸法：42(W)×44(H)×54(D)

<レンズ C1 の仕様>

レンズ形式：「FUJINON DF6HA-1B」
用途：1/2 フォーマットカラーカメラ
焦点距離：6mm
最大口径比：1：1.2
絞り範囲：F1.2-F16
画面寸法：φ8mm(6.4mm4.8mm)
画角：(水平)56° 09' / (垂直)43° 36'
/ (対角)67° 23'
質量：55g

<レンズ C2 の仕様>

レンズ形式：「CBC HG0608AFCS-HSP」
用途：1/2 フォーマットカラーカメラ
焦点距離：6mm
最大口径比：1：1.25
絞り範囲：F0.8-360
画面寸法：φ8mm(6.4mm4.8mm)
画角：(水平)56° 7' / (垂直)43° 4' /
(対角)68° 5'
質量：150g

② UFO Capture V2.21

スプライト・エルブスは、発生時刻が決まっているわけではないので、一晩中常時観測を続けなくてはならない。これを検出するためには、動いた対象のみを記録する動体検出ソフト UFO Capture を用いた。(図3-4 参照)これをビデオカメラと組み合わせて使用し、高高度発光現象の観測を行った。

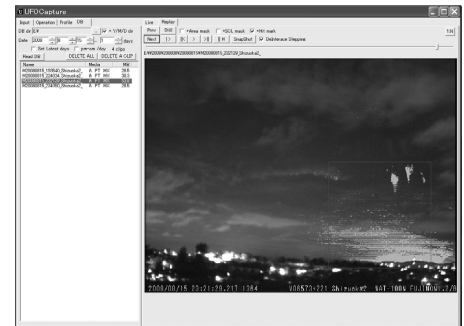


図 3-4 UFOCapture 動作画面

4 エルブスの観測

今回、主な研究の対象となったのは、2008年2月4日午前3時28分04秒に本校、高知小津高校、三本松高校の3校で同時観測されたエルブスである。

このエルブスは、鳥取県沖の日本海上で発生し、中心付近には3つのスプライトが発生している。図4-1で本校の観測画像の左下に見られるのが、このエルブスとスプライトの発生に関与したと思われる雷の発光である。また、図4-2の高知小津高校の観測画像では、エルブスの下部に明るい部分があるが、これはガラスの反射の映り込みであり、落雷ではない。図4-3の三本松高校の観測画像は全体的に映りが鮮明でないため、今回は正確な解析の対象とはしなかった。



図 4-1 本校で観測されたエルブス



図 4-2 高知小津高校で観測されたエルブス



図 4-3 三本松高校で観測されたエルブス

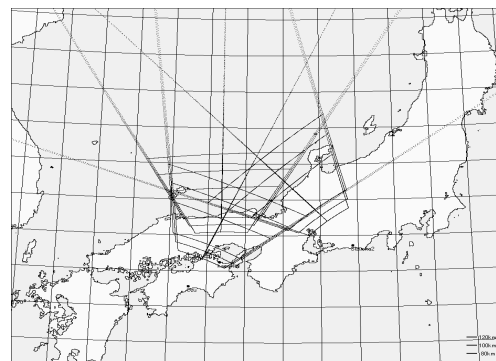


図 4-4 3校の視野の重なり

5 エルブスの発生地点・高度の推定

私たちは、この3点同時観測されたエルブスの発生地点を知るために、本校と小津高校がそれぞれ観測したエルブスの中心の方位角を地図上に表し、延長して交点(発生地点)を求めた。その結果、このエルブスは、鳥取県沖の北緯 35.8°、東経 134.1° で発生したことが分かった。



図 5-1 本校からのエルブス



図 5-2 高知小津高校からのエルブス

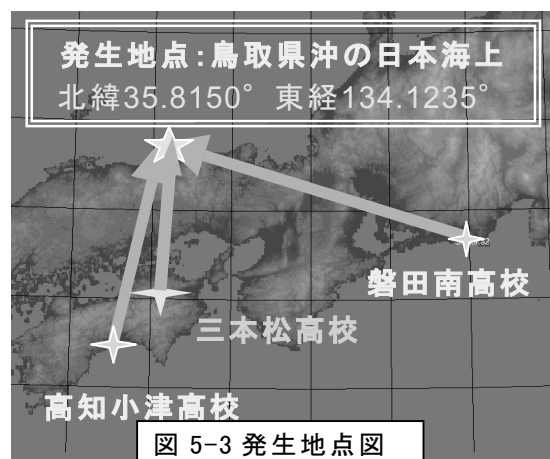


図 5-3 発生地点図

次に、私たちは発生地点の緯度経度から三角測量によるエルブスの発生高度の推定を行った。

エルブス発生地点と観測地点との距離が大きいため、地球を球と見なし、下図より正弦定理を用いて式をたてた。そして、式に下の表の値を代入し、発生高度を求めた。式は以下の通りである。この結果、2月4日に発生したエルブスの高度は89.72kmとなり、一般的に知られているエルブスの高度と一致した。

	緯度(ϕ)	経度(λ)
A (磐田南高校)	北緯 34.3472°	東経 137.8508°
発生地点の地上 B	北緯 35.8150°	東経 134.1235°

地球の半径: R	6371km
2月4日の仰角: Y	11.07°
2θ	3.139°

$$H = \{R \sin(90^\circ + Y) / \sin(90^\circ - 2\theta - Y)\} - R$$

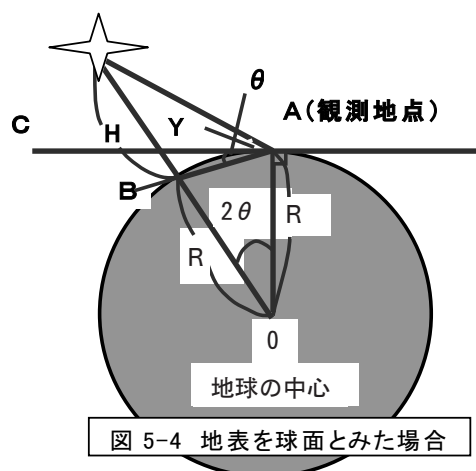


図 5-4 地表を球面とみた場合

6 エルブスの明るさ(輝度)

次に私たちは、エルブスの明るさはどのように変化しているのかということに興味を持ち、調べることにした。

明るさを調べるにあたり、まず、CCD カメラには明るさの特性があることを考慮しなければならない。そのままでは本当の明るさは分からないので、私たちは積分球を製作し、CCD カメラの明るさの補正をすることにした。積分球とは、内部で光を拡散反射して、明るさを均一にするための球である。

私たちは、制作した積分球で撮った画像に等値線を引き、その部分の輝度の値を調べた。その結果、CCD カメラには、中心から外側に行くにつれてだんだん暗くなっていくという特性があることが分かった。次に、2月4日のエルブスの画像に計測線A-Oを引き、輝度

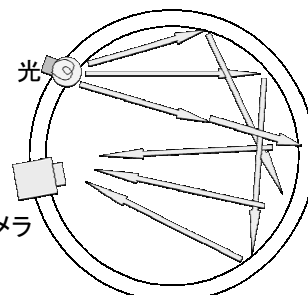


図 6-1 積分球の構造

度の値を調べた。同様に、積分球の最も明るい中心の輝度の値との差をとり、エルブスの輝度の値に足す補正をした。この結果、エルブスの本当の明るさは、内周に接した時が最も明るく、その後はだんだん暗くなっていくということが分かった。

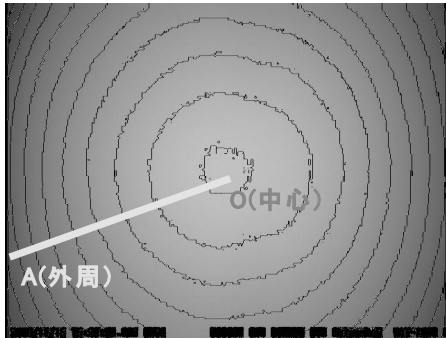


図 6-2 積分球内部+等値線+計測線

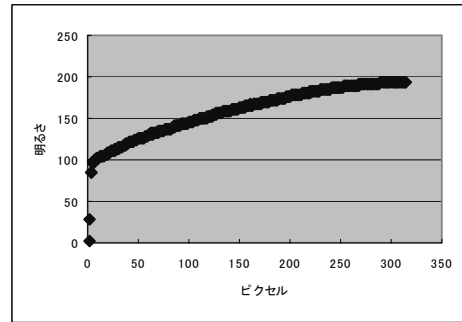


図 6-3 積分球内部のグラフ

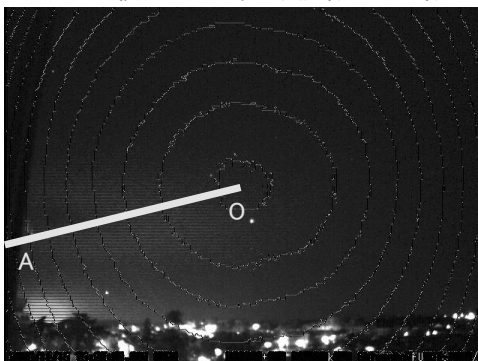


図 6-4 エルブス+等値線+計測線

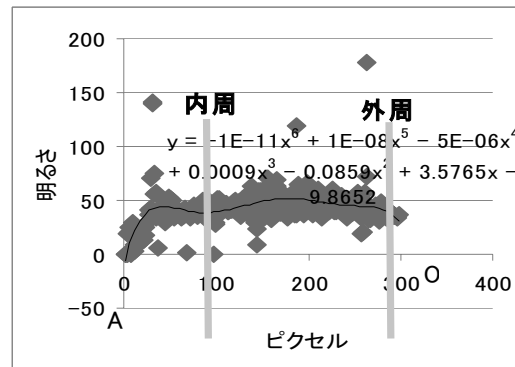


図 6-5 エルブス(補正前)のグラフ



図 6-6 エルブスの画像(補正後)

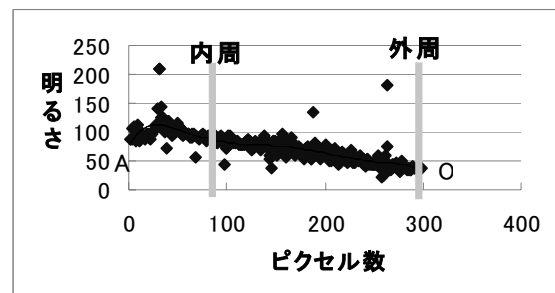


図 6-7 エルブス(補正後)のグラフ

7 エルブスの形状

私たちは、3点同時観測をした2月4日のエルブスの形状を知るために、まず、エルブスの広がり在地図上に表し、エルブスの実際の形状を調べた。その方法として、高度計算で求めたエルブスの高度、89.72kmを基準とし、エルブスの内周と外周に沿って一定間隔で測定点を、本校のエルブスは12個、高知小津高校のエルブスは15個取った。そして、解析ソフトで地図上に各点の位置を投影し、線で滑らかに結んだ。この結果、エルブスは北東-南西方向に内周の直径の平均値が約79.78km、外周の直径の平均値が約260.34kmの長軸を持つ楕円形であることが分かった。

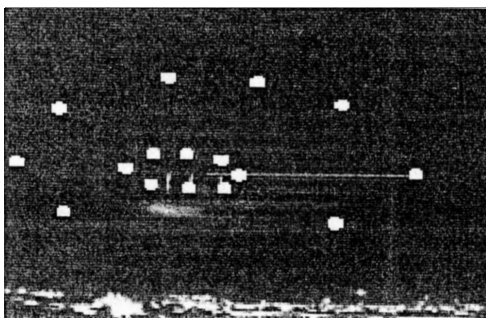
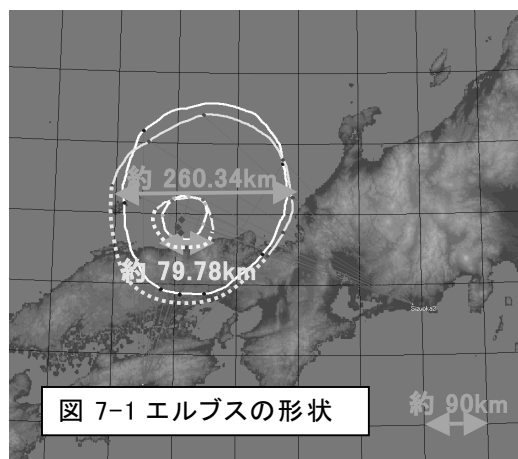


図 7-3 小津高校の測定点



図 7-2 本校の測定点



赤・ピンクの点・黄色の線が磐田南高校のデータによるエルブスの形状 青・水色・白の線が高知小津高校のデータによるエルブスの形状 ◇印はスプライトの発生位置点線部は本校で観測できなかったエルブスの左半分の推定形状

8 エルブス発生と気象条件

本年度に発生した主なエルブスの発生と気象条件との関係について、様々な気象データを用いて調べた。ここでは2008年2月4日の1件と8月21日の5件のイベントについて検証した。この結果、エルブスは、低気圧や前線に伴って発生した雷雲中の落雷によってできることが多いということが分かった。図8-1はこの関係を示したものである。

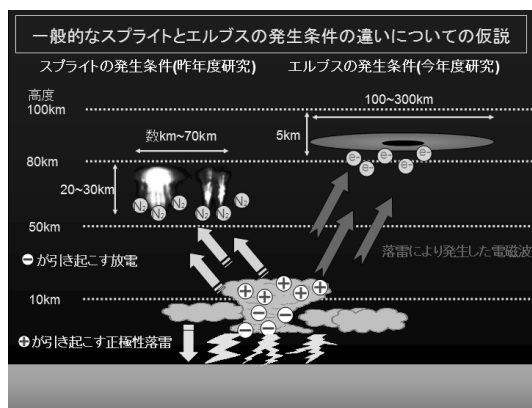


図 8-1 スプライトとエルブスの発生条件の違いについての仮説

9 結論

- (1) 2008年2月4日のエルブスは鳥取県沖の北緯35.8150° 東経134.1235° 付近を中心に発生したということが分かった。
- (2) エルブスの高度は、三角測量の結果、89.72kmと求められた。これは、一般に知られているエルブスの平均発生高度と一致した。
- (3) エルブスの本当の明るさは、積分球を用いた補正により内側境界に接した時が最も明るく、その後はだんだん暗くなっていくということが分かった。
- (4) エルブスの形は常に完全な同心円のドーナツ構造ではなく、北東-南西方向に内周の直径の平均値が約79.78km、外周の直径の平均値が約260.34kmの長軸をもつ楕円型であることが分かった。
- (5) エルブスの発生条件は、圧や前線が、大気が不安定になり、雷雲の層を作り、その中で発生する落雷がエルブスを引き起こしていることが多い。

10 今後の課題

- (1) 発生高度に誤差が出たので、観測点の高度も考慮した正確な式を立てる。
- (2) エルブスの観測数を増やし、エルブスの発生条件について考察する。
- (3) 電波観測により、スプライト・エルブスの発生と、落雷からの電波との関連性について考察する。

11 参考文献・HP

- ・CBC- <http://www.cbc.co.jp/jp/opt/tec.html#f>
- ・SonotaCo Home <http://sonotaco.sub.jp/>
- ・Tohoku University Science Cafe <http://cafe.tohoku.ac.jp/html/answer/answer01.html>
- ・高知大学一保存書庫 <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/wiki/archive>
- ・東京電力 雨量・雷観測情報 <http://thunder.tepco.co.jp/>
- ・雷情報—中部電力 <http://www.chuden.co.jp/kisyo/index.html>