

## オーロラの立体視

—南極・北極科学館のVR展示について—

片岡 龍峰<sup>\*, \*\*, 1</sup>

(2016年1月6日受付)

## Stereoscopy of Aurora

—VR Exhibition at Polar Science Museum—

Ryuho KATAOKA<sup>\*, \*\*, 1</sup>

(Received January 6, 2016)

## 1. はじめに

本稿は、国立極地研究所の南極・北極科学館で2014年10月から常設された、オーロラのVR立体映像展示に関する報告である。まずは、この新しい展示を実現するにあたって、ご尽力頂いた広報室と科学館スタッフの方々、特に、無理な相談にも快く乗って下さった小濱広美さんと、実際の立ち上げから運用方法まで懇切丁寧に助けて下さった今井恵美さんには、この場を借りてお礼を述べたい。おかげさまで、頭を向けた方向のオーロラが立体視で観察できる「3D オーロラ展示」は、常設開始後から1年が経過した今でも、子供から大人まで好評を博し続けている。

オーロラを立体視して観察できたら面白そうだ、という発想は、もともと私には無かった。2009年の理化学研究所の計算宇宙物理研究室での戎崎俊一さんの一言「オーロラも立体視できるだろ？」から始まったことである。同研究室の同僚だった高幣俊之さんの斬新な全天周3Dドーム映像投影技術に感動するばかりの私は、大学院からオーロラの物理学を専門とはしていたものの、オーロラの観測経験はゼロ、一眼レフカメラには触れたこともなかった。

本稿で紹介する3DオーロラのVR展示というのは、

そんな状況から生まれ、結晶した奇跡の作品の一つであり、愛着がある。オーロラの3D撮影と3D投影をやってみようという3Dオーロラプロジェクトを実現させるにあたっては、放送文化基金から2年間の助成を頂き、オーロラ観測に必要な機材の多くはNikonから提供して頂いた。

この静電気学会誌の特集「科学館・博物館における放電の紹介」というテーマに従い、第2章では、まずオーロラと放電の物理的なことについて概説する。それから、第3章では、撮影方法について、第4章では投影方法について、第5章ではVR展示について、と順を追って解説を行う。

## 2. オーロラと放電について

「オーロラは放電現象の一種と思われる」という科学的な説明を試みるオーロラの展示として、真空を引いたガスに高電圧をかけて発光させる機材を、国内の博物館や科学館で見かけたことがある。オーロラに似た形状にするべく、地磁気を模した磁石で発光を整える工夫がなされているものが多い。

この種の機材の原点は言うまでもなく、約100年前にオーロラの科学が始まるマイルストーンとしても有名な、ビルケランドのテレラだろう。現地のお札にも印刷されているほど歴史的な作品である。今でもノルウェーの博物館で実際に動いているテレラに感銘を受ける人は多いと聞く。

オーロラを作るには「高電圧」と「磁場」と「真空に近いガス」が必要ということが、テレラ的な多くの教材の教えてくれるところだろう。オーロラの光の中では、たしかに、普段から私たちが吸っている窒素8割、酸素2割の空気から真空を引き、放電させることで光る窒素分子イオンのファーストネガティブバンドは明るい。ガ

キーワード：立体視, VR, オーロラ, アラスカ, デジタルカメラ

\* 国立極地研究所

(〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3)

National Institute of Polar Research, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo, 190-8518 Japan

\*\* 総合研究大学院大学

(〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3)

SOKENDAI, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo, 190-8518 Japan

<sup>1</sup> kataoka.ryuho@nipr.ac.jp

スの種類を変えれば、より自然のオーロラと似た色を作り出すことができる。カナダのシュラムとマクレナンが、酸素原子のガスにヘリウムを加えることで、オーロラの基本色である緑色が酸素原子の色であるという事実を90年前に解明したこともまた、オーロラ科学の歴史の重要なステップであった。

オーロラは、流れるように発電し、流れるように放電する。電磁気学と流体力学が融合した、プラズマ流のマクロな保存則「磁気流体力学」に従って、太陽風を受け止める地磁気が、オーロラ放電に必要な発電を起しているのである。この発電は10-100 kV、1-10 MAのオーダーなので、10-1000 GWほどの出力がある。この天然の宇宙発電所で作られた電流は、地磁気を送電線のように伝わることで、地球の高度100-200 kmを膜のように覆っている電離した大気へと立体的に流れ込む。

この宇宙と地球をつなぐ電流は「ビルケランド電流」と呼ばれており、電離した大気に流れ込む直前の数千km高度で極端に集中し、激しいプラズマの流れとともに極限的に薄く潰れている。そのようなフィラメント化を起こしたプラズマでは、もうマクロな磁気流体力学は成り立たない。磁場に沿って10 kVオーダーの高電圧がかかり、その電圧によって電子が加速され、その電子は宇宙と大気を接続するビルケランド電流の最後の運び屋となる。ビルケランド電流の終着点周辺では、電離した大気が磁場と垂直方向に激しく流れており、その中性大気との速度差はジュール熱を生み出し、発電された電力の一部を熱として消費している。高電圧で無理に加速した電子が大気原子や分子と衝突し、オーロラの光として放射するエネルギーというのは、このジュール熱よりも小さいものである。

オーロラの美しさは、この磁気流体力学を超えた、流れるような放電である、と言ってもいいだろう。薄いカーテンは電流のフィラメント化の現れであり、そのカーテンの移り変わりが、そのビルケランド電流周辺の極限的なプラズマの流れるような放電なのである。アラスカの現地で、極寒白銀の世界に立ち尽くし、流れるようなオーロラを見上げながら肉眼で一晩中、根気よく観察することにも匹敵するような、そんな展示ができないだろうか。

### 3. 撮影方法

オーロラが、いかに流れるように放電しているか、という様子は、いま人間の目の限界を超えて観察できつつある。たとえば、高感度カメラによるオーロラ高速撮像では、スローモーションとして、目にもとまらぬ速さで

流れるオーロラを観察できるようになってきている<sup>1)</sup>。プラズマ流の極限状態やプラズマ波動と電子の共鳴模様が観察できて、とてつもなく面白そうなのであるが、やや専門的すぎるためか、一般講演などで熱心に紹介しても、あまり受けた試しはない。

近年の技術的な発展が著しく、かつ極めて人気の高い、人間の目の限界を超えたオーロラの観察方法といえば、高速撮像の真逆、低速度のインターバル撮影だろう。例えば10秒ごとに撮影して撮り続けたオーロラ写真のスライドショーを、毎秒10枚程度のペースで見ると、つまり100倍速早送り再生することによって、数時間のオーロラの流れを、たった数分の動画として観察できる。オーロラの美しい写真を撮影するには、数秒間シャッターを開けて露出することが基本なので都合もよい。

インターバル撮影の弱点は、シャッター回数が非常に多いため、普通の一眼レフカメラを使っていると、すぐに壊れてしまうことである。実際これは今も問題で、私の撮影によって、ここ数年で10台くらいの一見レフカメラが力尽きている。ちなみに、私が使ってきたカメラは、Nikon D90からはじまり、D3S、D3X、D4、D800Eとなっている。今後の対策は単純で、シャッター回数制限のないカメラを用いた観測をすべし。

レンズには、空全体を一度に撮影できる円周魚眼レンズ（例えばNIKKOR 8mm F2.8）を使う。どこからオーロラが現れ、どこに消えていったか、という様子がよくわかる。後述するプラネタリウム・ドーム投影との相性も抜群という特徴もある。もし、空全体を覆う画素数を増やす必要があれば、複数台のカメラに広角レンズを取り付けて撮影し、あとから合成するという方法も有効である<sup>2)</sup>。

ここまで紹介した、魚眼インターバル撮影なら、何年も前から誰でもやっていることである。「立体視」によって、さらに人間の目の限界を超えた観察に挑戦することに意義がある。オーロラの流れも奥行きを感じながら観察することで新たな発見もあるだろう、という期待もあった。オーロラの発光高度は100 kmと遠いので、5-8 kmほど離れた2か所に同じカメラを設置し、同時にインターバル撮影する。試行錯誤の末、私が長期間の美しい3Dオーロラ観測に成功したのは、南北に8 km離れた2地点（オーロラ・ボリヤレス・ロッジとポーカーフラット実験場）での撮影である。PC制御による疲れ知らずのロボット観測を導入することで、これまで100万枚を超える3Dオーロラ映像を取得してきた。

長期間、連続的に撮影することは、さまざまなオーロラ映像を記録に残す上で重要である。特に、磁気嵐と呼

ばれる、一晩中オーロラが荒れ狂う一日の映像は圧巻で、展示物としては最適だろう。我々の長期間の3Dオーロラ観測の中にも、磁気嵐の活発なオーロラが荒れ狂う晴天の一晩があり、そのチャンピオン・データを詳しく処理することにした。その他さまざまな関連情報は、著書「オーロラ！」<sup>1)</sup>を参考にしたい。

#### 4. 投影方法

「シンラドーム」と名付けられた直径10mのプラネタリウムが科学技術館の4階にある。3Dメガネをかけて、右目と左目で視差のある映像を見て楽しめるデジタルプラネタリウムである。まずは、ここに3Dオーロラ映像を投影することに挑戦した。科学技術館の関係者の方々には、夜な夜な試行錯誤の繰り返しという、最先端施設の実験的な利用に関して大目に見て頂き、本当にアットホームに対応して頂いた。その対応あつての作品である。

撮影した3Dオーロラのデータは、2地点で同時に撮影したとはいえ、まったく同じ方向を向いているわけではないため、単に投影だけでは立体視できない。そこで、オーロラと一緒に写っている星を一致させ、2地点の魚眼写真を、まったく同じ方向を向いた写真に座標変換した。採用したフォーマットは、正方形の画角で、内接する円が視野180度となり、中心からの距離と天頂角が比例する「ドームマスター」と呼ばれるもので、画像中心を地理的な天頂、画面上方を地理的な北としている。磁気嵐の一晩について、左目用のドームマスター、右目用のドームマスターが揃った(図1)。こうして、高幣さんの開発した「アマテラス・メディア・プレイヤー」で左右のドームマスターを読み込んで、シンラドームへ3Dオーロラを投影する、という試みは、2013年の冬の時点で成功した。

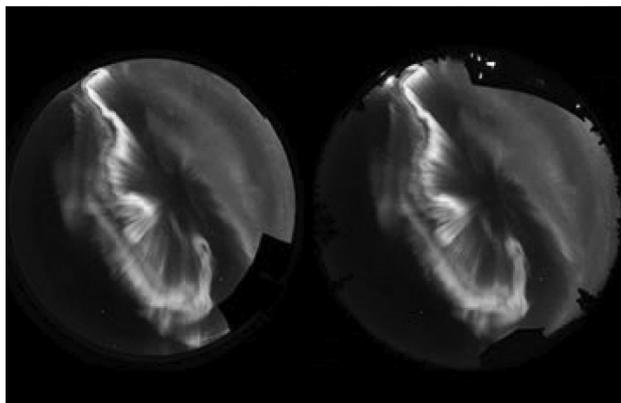


図1 2013年3月17日にアラスカ・フェアバンクス近くのポーカーフラット実験場(左)とオーロラロッジ(右)で撮影したオーロラのドームマスター。それぞれ左目用、右目用の映像として展示に使用。

オーロラ業界では、「地理座標変換」と呼ばれる伝統的な解析手法がある。オーロラの発光層の高さを仮定し、球面三角公式を用いてドームマスター上のオーロラ分布を地理緯度経度の座標にマッピングする手法である。この手法と、3Dオーロラのデータを組み合わせることで、オーロラの発光高度を細かく同定できることも明らかになり、高額な専門的なカメラではなく、デジカメを使った新たな研究手法としても世界的に広く注目された<sup>2)</sup>。高速カメラに、同手法を適応させてオーロラの高さを求める研究にも発展している<sup>3)</sup>。

#### 5. 3DオーロラのVR展示

「オキュラスリフト DK2 (DKは開発キットの略。製品版は未発売)」というヘッドマウントディスプレイが面白いですよ、ということで、高幣さんが実験している仕事場に、私が遊びに行って体感させてもらう、という偶然があった。私が国立極地研究所に異動してから間もなくのことである。サンプル映像のジェットコースターは、バランスを崩して転びそうになるような迫力があって驚いた。このゴーグル型のVR装置の仕組みは単純明快である。頭の向きを読み取るセンサーと同期させて、その方向の映像を、ゴーグル内のディスプレイに右目と左目の映像を別々に表示する。このディスプレイはスマートフォンに利用される高品質で低価格な液晶パネルを凸レンズのシンプルな光学系で拡大しながら見るだけのものだが、それに伴う歪みや色収差を昨今進歩の著しい



図2 国立極地研究所 南極・北極科学館での3DオーロラVR展示

リアルタイムグラフィックスのハードウェアに任せてしまうというのが新しい。このオキュラスリフトがブレイクスルーとなり、昨今のVRブームに火をつける発端となった。

場所をとらないし、斬新で将来性の高い展示のようだと、私は直観した。子供から大人までワクワクするだろうから、さっそく3Dでオーロラが見られるように工夫して、国立極地研究所の南極・北極科学館にも導入してみたい！と高幣さんに相談したところ、シンラドームの投影で使っていたアマテラス・メディア・プレイヤーはオキュラスリフトにも即対応可能と教えて頂いた。つまり、このゴーグル型のVR装置を装着し、斜め上を向けば斜め上の、後ろを向けば後ろの視野に対応する視野のオーロラ映像をドームマスターからリアルタイムに切り出す、というような要領で、3DオーロラのVR展示を実現できるのである。

2014年の真夏のこと、国立極地研究所の一般公開の一日、オリハルコンテクノロジーズ社（代表取締役：高幣俊之）との共同開発として、オキュラスリフトDK2を貸し出して頂き、初めて3Dオーロラの仮設VR展示を実現した。一般公開のアンケート結果では、数ある展示

の中でも最も人気の高い展示物の一つとなったが、汗や化粧でゴーグルが汚れる、メガネの方が苦勞する、短時間で多くの方々に楽しんでもらうことは困難で行列ができてしまう、などの問題点もはっきりした。これらの問題を踏まえて、2014年の10月に、南極・北極科学館での常設展示が始まった（図2）。

展示スペースとしては、小さなテーブルの上にオキュラスリフトDK2の楽しみ方の説明シート（図3）を用意し、まずは自由にかぶって頂くようにオキュラスリフトDK2が置いてある（図4）。テーブルの下には、制御PCを隠してある。展示の横には、「オーロラは100-400kmで光っているので、右目と左目を8kmくらい離すと立体に見えて面白いから見てみよう」という簡単な説明書きが置いてある（図5）。希望に応じて予備の一式を郵送して、持ち運び型の展示も行っている。

その後、オキュラスリフトDK2の簡易版として、制御PCを必要とせず、ゴーグルとそれに組み込むスマートフォンだけで完結するGearVRという製品が2015年末に一般販売された。2016年3月にはオキュラスリフトの一般販売が始まり、家庭用ゲーム機PlayStation4用にも同様のヘッドセットがソニーから販売される予定だ。

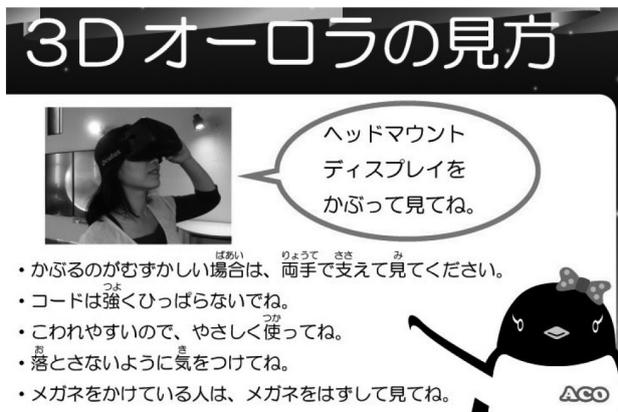


図3 オキュラスリフトDK2の装着説明シート



図4 3DオーロラVR展示品装着の様子



図5 3Dオーロラ説明ポスター

より簡易なものとしては、Google社が凸レンズ付きの段ボールケースとスマートフォンの組み合わせによるGoogle Cardboardという仕組みを発表し、2,000円以下という価格で入手できるようになっている。VR元年と言われる2016年には、こうした全天周映像の視聴環境が一気にパーソナルなものとして普及すると言われている。

3Dオーロラはこうした新しい視聴デバイスを活用した科学教育コンテンツの明快な実現例であると言える。これを科学館・博物館などで体験させるとともに、これでオーロラに興味を持った来場者に付帯展示でしっかりした科学的な知識も身に付けさせる。さらには家や教室に帰ってからも、パーソナルなVRヘッドセットとインターネット上に公開された映像によってさらに最新のオーロラ映像をじっくり楽しむことができる。こうした科学館・博物館での展示体験と、そのあとの継続学習を実現できる枠組みが、いままさに実現しつつある。

非常に複雑な宇宙発電と大気へのエネルギー消費を可

視化しているオーロラの正体について、そのダイナミックで美しい大自然の姿を、VR展示を通して人間の目の限界を超えてリアルに観察することで、宇宙と地球のつながりについて多くの方に興味を持って頂ければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) 片岡龍峰：オーロラ！，岩波科学ライブラリー（2015）
- 2) R. Kataoka, Y. Miyoshi, K. Shigematsu, D. Hampton, Y. Mori, T. Kubo, A. Yamashita, M. Tanaka, T. Takahei, T. Nakai, H. Miyahara and K. Shiokawa: Stereoscopic determination of all-sky altitude map of aurora using two ground-based Nikon DSLR cameras. *Ann. Geophys.*, **31** (2013) 1543-1548
- 3) R. Kataoka, Y. Fukuda, H. A. Uchida, H. Yamada, Y. Miyoshi, Y. Ebihara, H. Dahlgren and D. Hampton: High-speed stereoscopy of aurora. *AnGEO Communicates*, accepted (2015)