

# 魚眼ステレオカメラで取得したオーロラ動画の3次元計測と可視化

○久保 堯之<sup>1</sup> 山下 淳<sup>1</sup> 藤井 浩光<sup>1</sup> 田中 正行<sup>2</sup> 片岡 龍峰<sup>3</sup> 三好 由純<sup>4</sup> 奥富 正敏<sup>2</sup> 浅間 一<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 東京大学 <sup>2</sup> 東京工業大学 <sup>3</sup> 国立極地研究所 <sup>4</sup> 名古屋大学

3D Measurement of Aurora Movie Photographed by Stereo Fish-eye Camera

Takayuki KUBO<sup>1</sup>, Atsushi YAMASHITA<sup>1</sup>, Hiromitsu FUJI<sup>1</sup>, Masayuki TANAKA<sup>2</sup>, Ryuho KATAOKA<sup>3</sup>,  
Yoshizumi MIYOSHI<sup>4</sup>, Masatoshi OKUTOMI<sup>2</sup>, and Hajime ASAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research, <sup>4</sup>Nagoya University

Abstract— 3D measurement of aurora is essential technology to analyze electromagnetic field in the universe because aurora reflects electromagnetic relationship between the sun and the earth. Therefore, a method to obtain huge number of 3D aurora data easily and precisely is in demand. This paper proposes a method for 3D measurement and visualization of aurora. This method enables us to measure 3D position, shape and movement of aurora movie photographed by stereo fish-eye camera, and visualizes the measurement result. 3D measurement process is automated by constrained SIFT matching method for aurora. Moreover, 3D visualization method of aurora movie is developed. it makes possible to verify the 3D measurement result.

## 1. 序論

オーロラとは、太陽風と地球の磁場のせめぎあいにより地上から約 100-500km 上空にてプラズマ粒子が大気圏に流入する際に発光する現象である。オーロラの色や高度、発生メカニズムはプラズマのエネルギー分布や太陽フレア、磁気嵐等を反映する。よって、オーロラの正確な 3 次元計測は、それら宇宙空間の磁場の解釈に有効であり、近年の電磁波を用いた技術の発展に貢献する重要な技術である。

しかし、オーロラは発光粒子の集まりであるため、不規則で連続的な動きをする。さらに画像上では特徴点の少ない半透明被写体となり、その計測は困難を極める。ロケットによる宇宙空間からの観測や、多地点 TV カメラ画像によるトモグラフィー解析<sup>1)</sup>も行われているが計測可能範囲が狭く、コストも莫大なものとなるため大量のデータを得ることは困難である。そこで、十分な時間的・空間的分解能で大量のデータを得るため、地上より 2 台の魚眼カメラを用いて計測する手法を提案した<sup>2)</sup>。しかし、対応点検出を自動で行っていないため、オーロラ動画の各フレーム画像を 3 次元計測し、オーロラ動画を可視化することが困難であった。

本研究では、先行研究に対して対応点検出の自動化手法を適用し、オーロラ動画の 3 次元計測と可視化を行う。対応点検出の自動化は、エピソード拘束、オーロラ特有の拘束条件を適用した SIFT マッチングを行うことにより実現する。

## 2. 提案手法

まず、Mori らの方法を用いて星を用いたキャリブレーションにより、外部パラメータ、内部パラメータを求める<sup>3)</sup>。その後、各フレーム画像対を平行ステレオで撮影された画像へと変換する。次に、各フレーム画像対において、SIFT マッチングにより自動対応点検出、3 次元計測を行う。この際、補正面展開、エピソード拘束を適用した SIFT マッチング、三角測量の原理に従い 3 次元計測<sup>4)</sup>、および外れ値の除去を行う。

最後に、算出された 3 次元特徴点座標から三角形メッシュを作成、テクスチャマッピングを行うことで計測結果の可視化を行

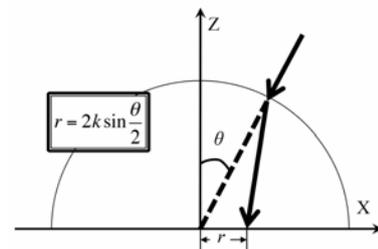


Fig. 1 等立体角射影方式の魚眼レンズ

う。これらの操作を撮影されたオーロラ動画の各フレームに適用していくことで、オーロラ動画の 3 次元計測、可視化を行う。

### 2.1 補正面展開

まず始めに、魚眼レンズで取得された画像から魚眼レンズ特有の歪みを除去する。この操作を補正面展開と呼ぶ。補正面展開を行うことで、次に記すエピソード拘束のための計算量を減らすことができる。本研究では等立体角射影方式の魚眼レンズを用いる (Fig. 1)。ゆえに、図中の魚眼レンズによる投影式の逆計算をすることにより、歪みを除去した画像を生成することができる。Fig. 2 が補正面展開前の入力画像、Fig. 3 が画角 70° の範囲で補正面展開を行った画像である。



Fig. 2 補正面展開前

Fig. 3 補正面展開後

### 2.2 エピソード拘束を用いた SIFT 対応点探索

ステレオ計測では、エピソード拘束と呼ばれる物理的拘束があるため、探索範囲の制限が可能である。本手法において、画

像は補正面展開を行っているため、エビポーラ線は直線となる。エビポーラ拘束で制限された範囲内のみで SIFT マッチングを行うことで、マッチング精度の向上を可能にする。

### 2.3 3次元計測

得られた対応点座標を、ステレオ魚眼光学系で決まる3次元計算式に入力することにより特徴点の3次元位置を求める<sup>4)</sup>。

### 2.4 外れ値の除去

本手法では、画角70°にて補正面展開を行っている。ゆえに、計測された点は天頂を中心に画角70°内に存在する。また、Kataokaらの調査によると、緑色のオーロラは50-200km内に存在するとされる<sup>5)</sup>。そこで、前述の2つの条件を満たさない点に関しては外れ値として除去する。

## 3. 実験

本研究では、オーロラ3Dプロジェクト(aurora3d.jp)によって、アラスカ州フェアバンクスにて画像を撮影した。使用された入力画像対の例(Fig. 4-5)、各種パラメータ(Table 1)を記す。

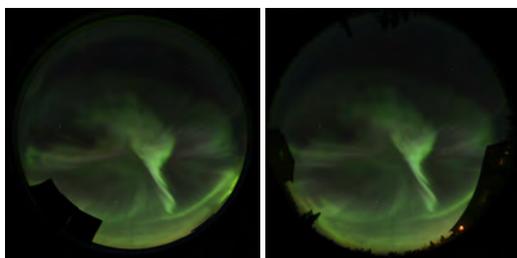


Fig. 4 入力画像 A

Fig. 5 入力画像 B

Table 1 撮影条件

日時	2013/03/17 11:31-11:46
カメラ	NIKON D4
レンズ	NIKKOR 8mm F2.8 circular fisheye
解像度	4928 × 3280 pixel
露光時間	2s
撮影フレーム間隔	10s
カメラ間距離	8.099km

提案手法により、撮影されたオーロラ動画の3次元計測、その可視化を行った。Fig. 6はその自動対応点検出の結果である。Fig. 7は73フレーム目の、Fig. 8は20s後の75フレーム目のオーロラを3次元空間上に可視化したものである。Fig. 7ではカーテン状だったオーロラがブレイクアップにより分離していく様子が示されている。オーロラ研究家により、復元されたオーロラと実際のオーロラとの形状が近いことが確認された。

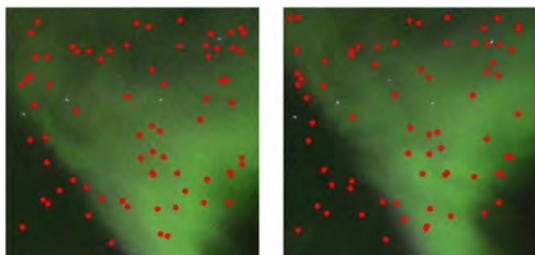


Fig. 6 自動対応点検出結果

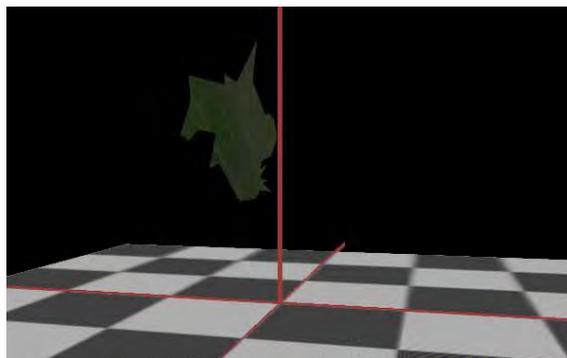


Fig. 7 可視化されたオーロラ

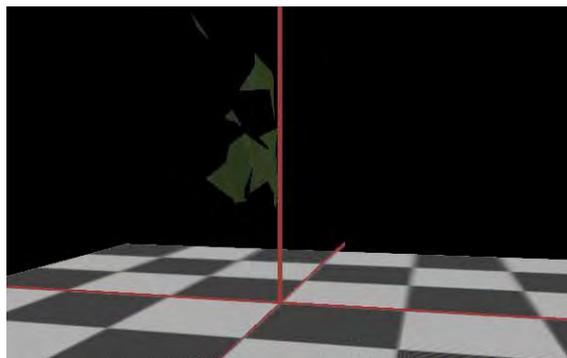


Fig. 8 可視化されたオーロラ (20s 後)

## 4. 結論

本研究では、各フレームにおける特徴点マッチングを自動化したことで、オーロラ動画に対する3次元計測、可視化を容易に行う手法を確立した。可視化されたオーロラ動画より、手法の妥当性も確認された。今後、さらなる高精度でのオーロラの3次元計測のために、カメラ台数を増やすことにより3次元計測の精度向上を行っていくことが必要である。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費挑戦的萌芽研究 25540114 の援助を受けた。

## 参考文献

- 1) Y.-M. Tanaka, T. Aso, B. Gustavsson, K. Tanabe, Y. Ogawa, A. Kadokura, H. Miyaoka, T. Sergienko, U. Brändström, and I. Sandahl: "Feasibility study on Generalized-Aurora Computed Tomography", *Annales Geophysicae*, Vol. 29, pp. 551-562, 2011.
- 2) 久保 亮之, 山下 淳, 田中 正行, 片岡 龍峰, 三好 由純, 奥富 正敏, 浅間 一: "魚眼ステレオカメラを用いたオーロラの3次元計測と可視化", 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2013), pp.1111-1114, 2013.
- 3) Yoshiki Mori, Atsushi Yamashita, Masayuki Tanaka, Ryuho Kataoka, Yoshizumi Miyoshi, Toru Kaneko, Masatoshi Okutomi and Hajime Asama: "Calibration of Fish-Eye Stereo Camera for Aurora Observation", *Proceedings of the International Workshop on Advanced Image Technology 2013 (IWAIT2013)*, pp. 729-734, 2013.
- 4) 西本 武志, 安藤 武実, 山口 順: "魚眼ステレオ視覚を用いた三次元計測", 第13回画像センシングシンポジウム予稿集, IN2-13, pp. 1-6, 2007.
- 5) Ryuho Kataoka, Yoshizumi Miyoshi, Kai Shigematsu, Donald Hampton, Yoshiki Mori, Takayuki Kubo, Atsushi Yamashita, Masayuki Tanaka, Toshiyuki Takahei, Taro Nakai, Hiroko Miyahara and Kazuo Shiokawa: "Stereoscopic Determination of All-sky Altitude Map of Aurora Using Two Ground-based Nikon DSLR Cameras", *Annales Geophysicae*, Vol. 31, No. 9, pp. 1543-1548, 2013.