

魚眼 CCD カメラを用いた雲観測システム

柴崎 悠馬¹, 富田 孝幸², 山崎 勝也³, 中村 凌¹, 吉岡 翼¹

¹信州大学大学院総合理工学研究科 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

²信州大学学術研究員工学系 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

³中部大学工学部 (〒487-8501 愛知県春日井市松元町 1200)

Cloud monitoring system using fisheye CCD camera

Yuma SHIBASAKI¹, Takayuki TOMIDA², Katsuya YAMAZAKI³,
Ryo NAKAMURA¹, and Tsubasa Yoshioka¹

¹ Graduate school of Science and Technology, Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

² Institute of Engineering, Academic Assembly, Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

³ Faculty of Engineering, Chubu Univ., 1200 Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi 487-8501

Abstract: TA experiment uses the fluorescence detector as telescope to observe cosmic rays. It is necessary to judge the weather conditions in order to protect the telescope for cosmic ray observation and to make accurate observations. Therefore, we developed the cloud observation system using the fisheye CCD camera, which can uniformly evaluate the weather conditions. We have also developed the system that allows cosmic ray observers to know the analysis results in real time. It is expected that this system can assist in observations.

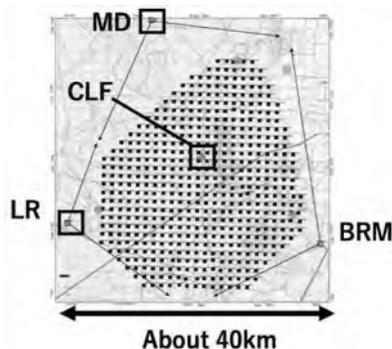
Key Words: CCD camera, Cloud, night sky monitoring

1. はじめに

Telescope Array(TA)実験は、平均標高 1400m の米国砂漠地帯で大気蛍光望遠鏡(FD)を用いて、 10^{18} eV を超える超高エネルギー宇宙線を観測している。宇宙線によって生じる大気蛍光の光量は非常に小さいため、観測は月の出ていない夜に実施する。宇宙線と望遠鏡の間に雲がある場合、雲により大気蛍光が遮られたり、減衰したりするため、正確なデータを取得できないことがある。また、雨が降った際には望遠鏡保護の観点から観測を行わないことが望ましい。そのため、局所的な天候を知ることが重要である。そこで、天候判断を行うために、CCDカメラで撮影した画像を解析する。本稿では、我々が開発した夜間雲観測システムの開発状況について報告する。

2. 雲観測システム

雲観測システムは、TA 実験の CCD カメラで撮影された画像を用いる。CCD カメラは、FD が置かれている Black Rock Mesa(BRM), Long Ridge(LR), 大気透明度測定のための Central Leaser Facility(CLF)の 3 箇所に設置されている(Fig.1)。本システムは、魚眼レンズ、CCD カメラ、ハウジングドーム、画像サーバーで構成されており、50 万円以下で構築が可能である。CCD カメラに魚眼レンズ(視野角:水平 185° ×垂直 154°)を装着し、ハウジングドームに格納してアクリルカバーをつけることで、長期的な撮影を可能としている。(Fig.2)



(a) Overall view of the TA site



(b) In the BRM station, Twelve FDs are stored. When not in use, the shutters are closed to protect the telescope.

Fig.1 TA experiment to observe ultra-high energy cosmic rays



Fig.2 The cloud observation system takes a picture of the night sky every minute.
The CCD camera and fisheye lens are housed in the housing dome and acrylic cover.

撮影は星の光が映るように1分間に1度8秒間露光で実施する。実際に撮影された晴れの画像と、部分的に曇りの画像、曇りの画像をそれぞれ示す(Fig.3)。晴れの画像では星が見えるのに対し、曇りの画像では、星が見えないのが確認できる。そこで画像から星を検出することで、星のある方向の雲の有無を確認して、天候判定を行う。



(a) Clear (2012/10/22 10:00)

(b) Partly cloudy (2012/10/22 11:35)

(c) Overcast (2012/10/22 12:15)

Fig.3 example of night condition

3. 解析手法

3.1 星候補クラスタの検出

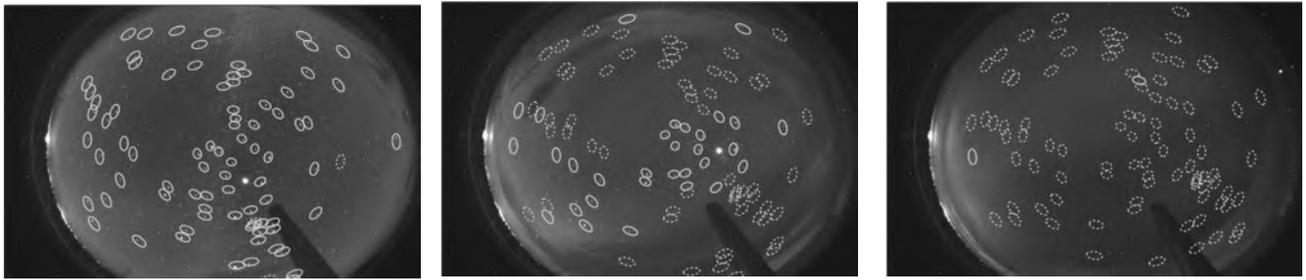
CCD画像に星が見えているかを判断するため、星候補となる明るいクラスタの検出を行う。ただし、画像にはノイズや街明かり等の星検出に使えないピクセルが存在するため、これらは事前に除去しておく。その後、画像から明るいピクセルを見つけ、その明るいピクセルを基準に輪郭を検出する。そして、輪郭と内部のピクセルを合わせて1つのクラスタと認識する。ただし、検出した明るいクラスタの中には、飛行機の軌跡の様な扁平な形や、構成数が基準と一致しない場合がある。それらは星である可能性が低いため星とは認識せずに、残った明るいクラスタを星候補クラスタとして検出する。

3.2 天体カタログとの比較

検出した星候補クラスタが星であるかを判断するため、天体カタログとの比較を行う。天体カタログは、9等級までの恒星が赤道座標で表現されており、3.5等級までの明るい星を利用する。ただし、カタログの星とCCD画像の星候補クラスタは座標系が異なるため、直接比較ができない。そこで、CCDカメラの設置地点と画像の撮影時間を利用して、カタログの星を画面座標に変換する。天球面上におけるカタログの星の位置に対して、開き角 2° 以内に星候補クラスタが存在すれば星が見えたと判断する。すなわち、その方向には雲が存在しないと判断する。一方で、星が見えていなければ、その方向に雲が存在すると判断する。Fig.3に示したサンプルを天体カタログと比較した結果をFig.4に示す。

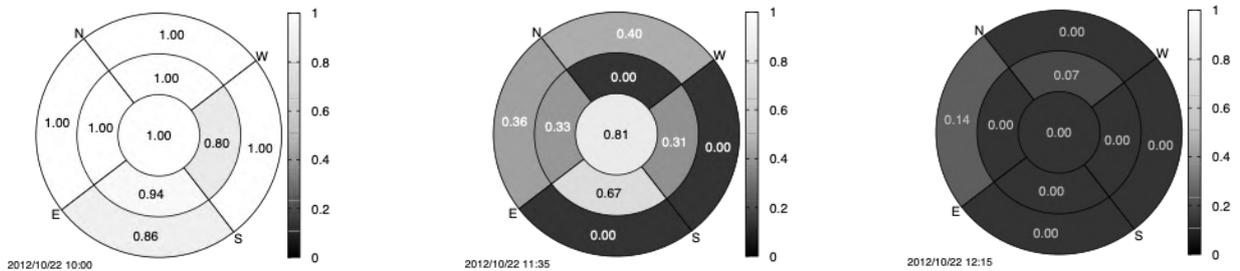
3.3 星の見えた割合

天候を可視化するため、CCDの撮影領域を仰角 30° 、方位角 90° 毎に分割し、星の見えた割合を求めた。各領域の星の見えた割合は、式(1)を用いて、領域内の星が見えた数を想定されるカタログ数で割ることで求める。Fig.4に示した比較結果を領域毎に可視化したものをFig.5に示す。方向毎の分割により、より詳細な天候が確認できるようになった。Fig.5(b)の場合は、南の仰角 $0\sim 30$ 度、北西の仰角 $30\sim 60$ 度に雲があり、天頂方向は雲が少ないことがわかる。雲の方向を判定することで、FDの視野方向に雲が無ければ、観測者が観測の継続等を判断できると考えられる。



(a) Clear (2012/10/22 10:00) (b) Partly cloudy (2012/10/22 11:35) (c) Overcast (2012/10/22 12:15)

Fig.4 Comparison result of star candidates in the catalog and CCD images in each night condition. The solid circles show the positions of the matched catalogs, and the dotted circles show the positions of the unmatched catalogs.



(a) Clear (2012/10/22 10:00) (b) Partly cloudy (2012/10/22 11:35) (c) Overcast (2012/10/22 12:15)

Fig.5 The image in Fig. 4 was divided into nine regions and the results quantified using Eq. (1). The number in each area represents the match rate.

$$R = \frac{N_m}{N_c} \quad \begin{array}{l} R : \text{Clearness} \\ N_m: \text{Num. of matched stars} \\ N_c : \text{Num. of expected stars} \end{array} \quad (1)$$

3.4 星の見た割合の1日の時間変化

星の見た割合の推移を確認するため、仰角 30° から 90° の1日の時間変化の割合を確認した(Fig.6). これにより、天候の変化が可視化された. 10時頃(Fig.6の①)は星の見た割合が高かったが、11時半頃(Fig.6の②)は約半減し、12時過ぎ(Fig.6の③)は、星が殆ど見えなくなったことを確認できる. 観測者が星の見た割合の時間変化をリアルタイムで確認できれば、Fig.6の②のように曇ってきた際に、観測者が注意を払いながら観測作業を行えると考えられる.

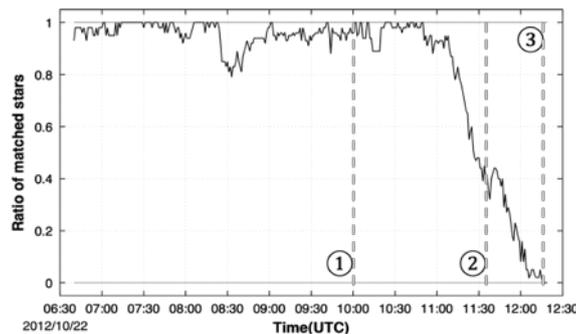


Fig.6 Time variation of the ratio of matched stars in a day. (elevation angle of 30 degree or more)

4. リアルタイムでの情報提供

観測者は望遠鏡保護のために、リアルタイムで天候を知る必要がある。そのため、HTMLで撮影画像の解析結果が表示されるページ (Fig.7) を作成した。ページ上では、撮影画像、領域毎の星の見える割合、仰角毎の星の見える割合の時間変化が表示される。従って、目視で星をカウントせずに、天候を評価できるようになった。また、観測者の負担も軽減できたと考えられる。近年は、FDを日本から遠隔で操作する試みが進められており、リアルタイムで現地の天候を判断する有用性が高まっている。本システムは現在、望遠鏡観測時に補助システムとして運用されている。

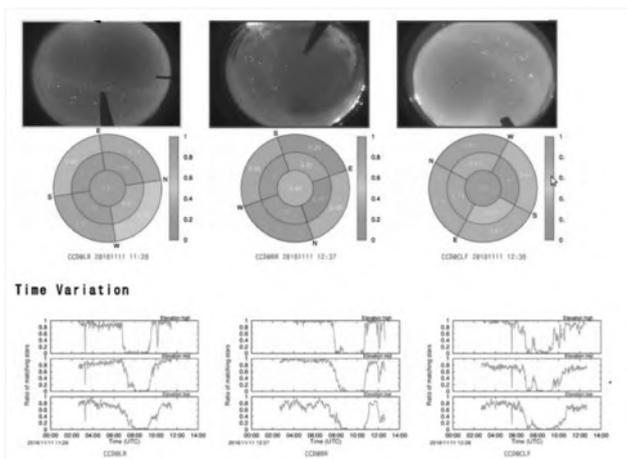


Fig.7 live Information HTML Page of local weather.

From the top, the image taken, the ratio of matched in each area, and the time variation of the ratio of matched stars are displayed.

From left to right, results of weather judgment for LR, BR, and CLF are displayed.

5. まとめ・今後の展望

CCDカメラで夜間に撮影した画像から、星とみられるクラスターを検出し、天体カタログの星と比較することで間接的に雲の有無を判断した。そして、撮影画像から天候を一律評価できることを示し、解析情報をリアルタイムで観測者へ提供するシステムを構築した。

今後、解析結果の晴れ、曇り等の基準を明確化することにより、観測者の負担がさらに減ることが期待される。

謝 辞

夜間天候モニタリングのための CCD カメラが TA 実験に設置され、長期間稼働されていることを、TA 実験の共同研究者に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村 凌, 齊藤 保典, 富田 孝幸, 山崎 勝也, 第 34 回レーザセンシングシンポジウム 予稿集(2016)pp. 32-35.