

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月1日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740154

研究課題名（和文） 最高エネルギー宇宙線観測のための複眼広視野雲モニターの開発

研究課題名（英文） Wide field of view cloud monitors used for experiment of ultra high energy cosmic rays

研究代表者

得能 久生（TOKUNO HISAO）

東京工業大学・大学院理工学研究科・特任助教

研究者番号：50431771

研究成果の概要（和文）：最高エネルギー宇宙線を起源とする空気シャワーが発する蛍光を大気蛍光望遠鏡で観測する際、同時に大気の状態をモニタすることは重要である。大気の状態は測定データの質に大きく影響する。そこで、魚眼レンズ付き CCD カメラによる雲モニタを開発した。これを大気蛍光望遠鏡施設に設置し、運用を開始した。2年間の運用で、99% 以上の稼働率で動作しており、今後も安定して動作することが期待できる。雲の評価方法についても検討した。

研究成果の概要（英文）：

The Telescope Array experiment has been measuring air fluorescence lights emitted from extensive air showers (EASs) produced by ultra high energy cosmic rays. Since atmospheric condition affects measurement accuracies of EAS, atmospheric monitoring is important. For the atmospheric monitoring, cloud monitors equipped CCD cameras with fisheye-lens were developed, and were installed at the top of buildings of the fluorescence light detector. In the first 2 years operation, availability ratio of 99% was achieved. This ratio will be been keeping beyond the end of this budget. We studied a cloud finding algorithm from obtained pictures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総 計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：数学系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：最高エネルギー宇宙線・大気蛍光望遠鏡・大気モニタ・雲モニタ

1. 研究開始当初の背景

宇宙背景放射との相互作用によって超高エネルギー宇宙線はエネルギーを失うため、その伝播距離には強い制限を受け、存在したとしても 10^{20}eV 付近のエネルギースペクト

ルにカットオフが現れることが予想されている。しかし、そのカットオフエネルギー領域の宇宙線の到来頻度は極めて低く、それぞれの実験では統計的な不定性が大きい。また、それぞれの観測結果には系統的な差異もあり、最高エネルギー宇宙線の精密なエネルギー

ースペクトルを得ることはこの研究分野における最重要課題の一つである。この領域の一次宇宙線エネルギーを高精度で測定し、精密なエネルギースペクトルを得て、その情報を基に最高エネルギー宇宙線の起源を解明することが最大の研究テーマとして存在している。

2. 研究の目的

大気蛍光法による一次宇宙線エネルギーの測定は原理的にはカロリメトリックなエネルギー推定方法である。宇宙線望遠鏡実験では約 35 km 離れて設置された大気蛍光望遠鏡の間に入射した空気シャワーが発する蛍光を横から撮像し、空気シャワーの縦方向発達を得ている。その際、望遠鏡と空気シャワーの間に雲が存在すると望遠鏡で測定される大気蛍光量が減少してしまうため、雲の有無も同時にモニタしている。研究開始当初から第一ステーションに赤外線雲モニタを設置し運用している。それによると観測中のおよそ 50%の時間でなんらかの雲が望遠鏡の視線方向にあることがわかっている。しかし、このうち大部分の雲は、望遠鏡間に存在するのではなく遠方の山脈上級に存在するものであり大気蛍光観測には影響を及ぼさない。望遠鏡視線方向における雲の有無のみによって観測データを取捨選択すると、本来使用可能なデータを最大 50% 捨ててしまうことになる。雲の温度情報から雲の高度を推定することが試みられたが、地表面の温度に大きく影響され、有効な高度情報は現在のところ得られていない。簡便な方法によって望遠鏡間に存在する雲のみを正確に検出することが強く望まれていた。そこで本申請研究では全方位をカバーする雲モニタを 4 か所（大気望遠鏡施設 3 か所、中央レーザー光射出施設 1 か所）に配置し、これらの雲モニタの画像から雲の有無を特定する。

3. 研究の方法

実際の設置場所は、米国ユタ州であり、修理調整のためだけに出張することはできない。そのため、メンテナンスフリーで、壊れにくい機器を選定することが必要であった。可動部分があるものは砂漠気候のなかでの長期間の使用で不具合を生じやすい。気温が 1 年間の間で、冬季-20 度から夏季 20 度まで差があるため、レーザーなどの屋内での使用を前提とした光学機器を使用することは控えることにした。これらのことから、魚眼レンズ付きの CCD カメラを用いて、1 分間に 1 枚の画像を取得することにした。雲の様子は 10 分程度の時間間隔で変化しているため、1 分に一度は十分な時間間隔である。CCD カメラのハウジングには、防犯用として市販されて

いるハウジングを用いることで、開発時間の短縮を図った。

使用した機器は下記のとおりである。
CCD カメラ 1/2" WAT-120N+ (Watec)
魚眼レンズ FE185C057HA-1 (Fujinon)
ビデオコンバータ ADV110 (Grass valley)
屋外ドームハウジング (ネクステージ)
PC optiplex 380 (Dell)
OS linux Ubuntu
画像取得用ソフトウェア dvgrab, transcade

先行して 2 か所に、2010 年 8 月にこれらの CCD カメラを導入した(図 1、2)。CCD カメラのフォーカスを CCD カメラに備わっている 3 か所のネジで微調整することが可能であるが、再現性がないためこれで調整は行わないことにした。その代わり、0.5mm 厚の調整リングを複数製作(ミスミ)し、これを必要数 CCD カメラと魚眼レンズの間に入れることで、フォーカスの調整を行った。

導入から 1 年間に生じた不具合は以下のとおりである。

- (1) 2010 年 10 月に CCD カメラ、魚眼レンズが雨にぬれたために壊れ、画像が取得できなくなった。これらをカバーしていたアクリルドームはおよそ 30m 先の地面に落ちていた。強風によって生じる振動によってアクリルドームのはめ込みに緩みが生じ、最終的にアクリルドームが強風により吹き飛んだことが原因だと考えられる。アクリルドームを固定するジグの固定箇所のネジ部分に、シリコン製シールテープを入れ接合の改善を図った。
- (2) 冬季に、画像に星が映らなくなる不具合が生じた。目視では晴天にも関わらず、画像上に星が見えない現象が生じた際に機器を確認したところ、アクリルドーム面上に着霜していることが分かった。屋外用ドームハウジングに元々備え付けられているヒーターの能力は氷点下 20 度相対湿度 90%の環境下では不足であることが分かった。そこで、シリコンラバーヒーター (60W) を、摂氏 5 度以下になると自動的に通電するスイッチとともに導入した。これを導入したのは、この不具合は起きていない(図 3)。
- (3) 予期しないほどの大雨が発生し、屋外用ハウジング内に漏水が生じた。それが、ドーム内側で、夜間気温が下がると結露することによって、取得画像が乱れるという不具合が生じた。これに対しては、隙間をシリコンで 2 重に埋める対策を講じた。
- (4) 一定期間が経過すると Linux のソフト



図 1 大気蛍光望遠鏡施設屋上に設置された CCD カメラ遠景

ウェアがハングアップする不具合が生じた。その都度、日本からリモートログインして、ソフトウェアの再起動を行った。担当者がすぐに対応できない場合は画像の欠損につながった。これについては、後述する画像記録用の産業用 PC に置き換えることで、長期間の安定稼働を実現した。

- (5) PC ハードディスクの容量を超えてしまい、新規画像を取得できないという不具合が、2 度生じた。これは、現地でのバックアップ頻度を上げることとハードディスクを増設することで回避した。

30 km 離れた大気蛍光望遠鏡施設の中間に位置するレーザー光射出施設への導入を検討した。太陽光発電パネルで供給される電力量で機器を動作することが求められた。そのため、通常の PC で画像を取得することの代わりに、画像記録用の産業用 PC (mmeye-S ブレインズ社) を導入することとした。この産業用 PC は画像記録用に特化した製品であり、不要なソフトウェアが入っておらず、動作が極めて安定している。この画像記録用 PC を導入してから、特に問題は生じていない。このため、他の大気蛍光望遠鏡施設において使用していた Dell 製 PC もこの画像記録用 PC に置き換えた。以後こちらも特に問題なく動作している。これらの改善により、2 年目にはさらに安定的に稼働した。本科研費研究期間終了後に関しても、相当期間安定稼働することが期待できる。

4. 研究成果

大気蛍光望遠鏡施設において 2010 年から画像の取得を開始した。1 分毎の画像を記録した。2011 年 12 月には、中央レーザー光源施設にも魚眼レンズつき CCD カメラを設置した。設置後の稼働率(大気蛍光望遠鏡の観測期間中で、良好な画像が取得された割合)、99%以



図 2 防犯カメラ用のハウジング内に設置された CCD カメラ



図 3 厳冬期の着霜のようす。霜の降りるこのような期間でもアクリルドームの可視性は確保されている。上である。

雲を判定するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、曇天においては、雲によって星光が遮られるため、画像が暗くなる。この程度を数値化し、適切な閾値を与えることで、曇天と晴天を区別する。同時期に、IR カメラで得られた画像を用いた雲の有無に関する解析結果と、CCD カメラで得られた画像に関する解析結果を比較した。

その結果、92% で IR カメラから得られた解析結果と、CCD カメラで得られた解析結果が一致した。解析結果に不一致の見られる 8% の内訳を調査したところ、主に次の 2 つのご判定が発生していることが分かった。

- (1) アクリルドームに着霜がある場合で良好な画像が取得できていない場合に晴天を曇天と判定してしまう場合
- (2) 雷の影響によって、空が明るく光った画像を解析したことによって、曇

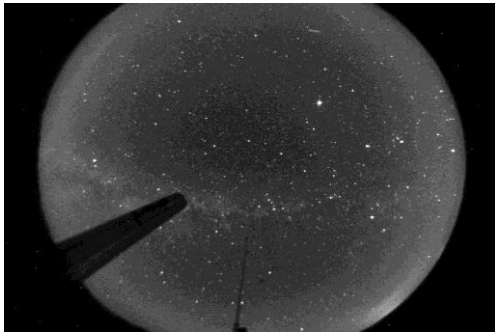


図 4 取得画像の例 2011 年 10 月 31 日
5 時 UTC 左端から中央に向かって写り
こんでいるのは設置用のポールである。

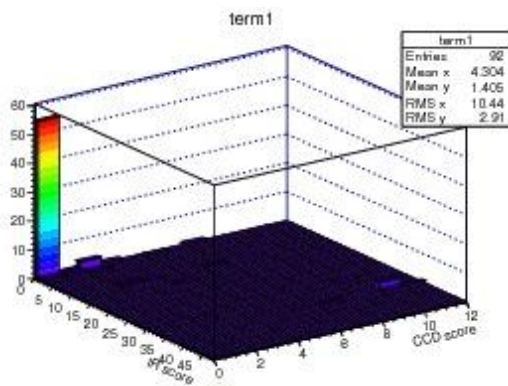


図 5 CCD カメラで取得したデータから得
られたスコアと、IR カメラで取得したデー
タから得られたスコアを比較した。

天であるにも関わらず、明るい雷が
写りこんでいるため晴天と誤判定す
る場合

これら 2 つの原因に関しての対策を講じる
必要があることが分かった。アクリルドーム
への着霜は前述のヒーターを追加すること
によって 2 年目の冬季には発生しなかった。
今後に関しても発生しないことが期待され
る。また、雷に関しては、現在、この雷の影
響が入った画像を使わないためのフィルタ
ーを作成中である。雷による画像は、大面積
に高光量が記録されているため、高確率で判
別することが可能であると考えられる。この
フィルターを作成したのち、大気蛍光望遠鏡
観測期間中の雲のデータベースを作成し、大
気蛍光望遠鏡の解析に使用する日時の最適
化を行う。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

〔学会発表〕(計 1 件)

T.Tomida, H.Tokuno et. al. Atmospheric

monitor for Telescope Array experiment
2012/02/14 Cern Geneva International
Symposium on Future Directions in
UHECR Physics

〔その他〕

ホームページ等

<http://wwwcr.phys.titech.ac.jp/kakilab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得能 久生 (TOKUNO HISAO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・特任
助教

研究者番号 : 50431771

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

小倉 潤 (OGURA JUN)

東京工業大学・理学部 4 年生 (平成 23
年度)