

平成21年 5月 29日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500742
 研究課題名（和文） デジタルプラネタリウムを使った本物の星空を投影するシステムの開発とその教育実践
 研究課題名（英文） Development of method projecting starry sky to digital planetarium and an educational practice
 研究代表者
 小澤 友彦（OZAWA TOMOHIKO）
 和歌山大学・生涯学習教育研究センター・客員准教授
 研究者番号：00423252

研究成果の概要：

夜の星空から昼の青空まで非常に大きく明るさが異なる空の様子を1台のデジタル一眼レフカメラを用いて連続撮影する手法を確立した。そして、ここで得られた映像にノイズ低減や天球座標展開などの処理を施す方法を構築した。また、デジタルプラネタリウムにおいて高い臨場感を持ちながら滑らかに映し出すソフトウェアを製作し、実際にデジタルプラネタリウムで投影すると共にその教育的な効果について調査した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：天文教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、科学教育

キーワード：デジタルカメラ、微速度撮影法、デジタルプラネタリウム、天文教育、自然科学教育

1. 研究開始当初の背景

(1) 学校教育において、天体の日周運動の単元は、生徒だけでなく、教える側の教師にとっても苦手意識が高く、大きな問題となっている。天体観測が昼間の授業中に行えないこと、そして長時間の継続観察が必要なことから家庭学習になることが多く、指導者不在の観察になることから高い教育効果は期待できない。

(2) また都市部における星空観察では、街灯などの光害（ひかりがい）に影響され、自

然本来の星空の美しさを体感的に認識することは困難である。自然の星空が持つ美しさを高いリアリティを持って学習することは、強い印象を与え高い教育効果を持つと考えられる。

(3) 近年、これまでのプラネタリウムに変わりデジタルプラネタリウムが普及している。デジタルプラネタリウムは、コンピュータの画面をプロジェクターで投影するもので、星だけでなく様々な映像が投影できる。しかし、これまでの星空の映像はCGによる

ものが多く、実物の星空の映像は少ない。実物の星空が持つ高いリアリティを保ったままデジタルプラネタリウムを用いて投影することは、高い教育効果をもたらすと考える。

2. 研究の目的

(1) 実際の夜空を高いリアリティのまま、全天カメラにて撮影する方法を開発する。具体的には、ドーム映像として使用可能な解像度を持ち、昼の青空から夜の星空という明るさの大きな違いを一台のカメラで両立し、昼夜を連続し映像を得る。これにより実際の空を眺め過ぎゆく時間、その風景をそのままの姿で映し出すことを目指す。

(2) 高いリアリティを維持したままドームへ投影する手段を確立する。ドーム投影では、コントラストが低下する傾向にある。コントラストを上げて表示する際、画像上にあるノイズ（撮影時にカメラによって含まれる）が映像の臨場感を低下させる。よって、画像上のノイズ除去をはじめとした映像の品質向上の手法を確立する。

(3) その映像の投影から授業実践を行い、実際の夜空の投影による教育効果を確認したい。

3. 研究の方法

(1) カメラは、ドームに全周投影した際にも解像度が不足しないために、ビデオではなく大きなフォーマットのデジタルカメラを用い、微速度撮影法で撮影する。撮影の環境適応性（温度、湿度、気圧など）に関して、さまざまな環境で撮影を実施し試験する。具体的な場所としては、ハワイ・マウナケア山頂（標高 4200m、0.6 気圧）とオーストラリア・ピナクルズ（砂漠地帯）とする。低湿度から来る静電気などによる動作不安定性や、電源等インフラのない環境での安定的な撮影手法の確立などに取り組む。また撮影される映像の現実感の向上として、昼夜連続した撮影手法の確立を目指す。具体的には、屋外における昼間の日差しと、夜間の星空という明るさの違いを 1 台の撮影機材で両立すると共に、明るさが激変する薄明時に露出の制御を追随させる手法を確立する。

(2) プロジェクター等による投影では映像のコントラストが一般的ディスプレイに比べ低くなる。明瞭な星空を映し出すためにコントラストを上げると同時に画像に含まれ

るノイズも強調される。動画として投影することを目的とするため、撮影された個々のフレーム上にてノイズを除去する必要がある。個々のフレームに写し出されたイメージサークル外の暗部を、画像全域でのノイズ除去の情報として利用することを検討する。

(3) 実際に撮影された映像をデジタルプラネタリウムに投影する。ここで撮影地の環境や映像上に実際に映るものを説明しながら、現地環境を実感して頂く。投影の事後においてアンケートを取り、現地の様子や星の動きなどの理解の程度について調べる。

4. 研究成果

(1) 撮影手法の確立

① カメラ制御

撮影には市販されるデジタル一眼レフカメラ（Nikon D3、4.2k x 2.8k pixel）に魚眼レンズ（SIGMA Circular Fisheye 8mm/F3.5）を用いた。これを Vine Linux 上で動作する gphoto2 と呼ばれるフリーウェアを用いて制御した。これにより PC から露出開始、露出量などの制御が行うことができ、一定間隔で長時間撮影を繰り返し連続することで昼夜連続した撮影手法の基礎が確立されたこととなる。

② 撮影環境への適応

観測は、オーストラリア・ピナクルズおよびハワイ・マウナケア山頂において行った。

オーストラリア・ピナクルズは、砂漠地帯で電源などインフラを確保できない。電源は車両からインバーターを用いて確保し、昼夜安定して電源供給された。また、オーストラリア・ピナクルズは国立公園であるため、現地公園事務所から事前に許諾を得て、撮影を実施した。

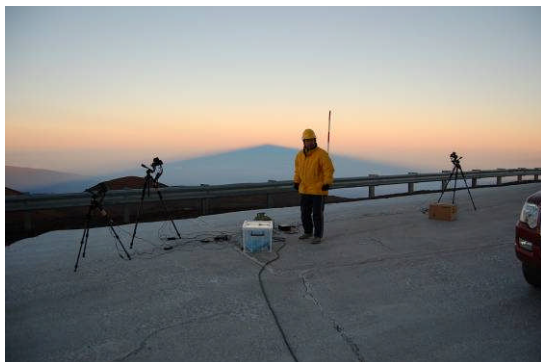
【写真】オーストラリア・ピナクルズでの撮影の様子



ハワイ・マウナケア山頂は、標高 4200m の高地で、それに伴い、気圧は 0.6 気圧、気温

は-1.5度（夜間）、湿度は30%という環境であった。気圧および気温による機器への障害は見られなかった。一方、撮影（夜間、屋外）を安全に完了するに於いて、0.6気圧で-1.5度の環境は人の体には非常に厳しく、体調管理が非常に重要であることを改めて確認した。また低湿度から来る静電気などの影響に考慮し、撮影データを冗長に保存するなどの対策の結果、問題なく映像を取得できた。加えて、ハワイ・マウナケア山頂は現地の聖地として位置づけられる。事前に現地協力者である国立天文台・ハワイ観測所の布施氏と十分な協議を行い、ハワイ観測所の協力のもと、当局（Office of Mauna Kea Managementならびにハワイ州）の理解を得て、許諾のもと撮影を行った。

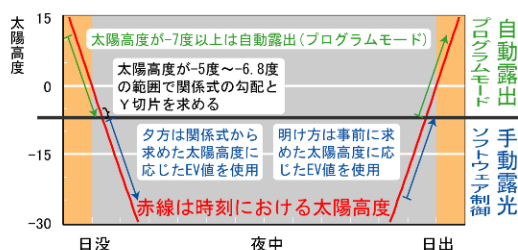
【写真】ハワイ・マウナケア山頂での撮影の様子



③ 昼夜連続撮影

デジタルカメラが本体機能として持つ露光量の制御（オートやプログラムと呼ばれるモード）は、非常に高性能となっており、十分に光量の確保できる日中においては、有効な方法である。しかし、星空のような光量が不十分な撮影対象では、天の川を写す適当な露光量を決めることが困難である。そこで、夜間の星空に対しては手動露光、昼間の青空に対しては自動露光と切り替えて撮影することとした。また朝夕の薄明時における劇的な明るさの変化への対応は、太陽高度に連動し露出量（EV値）の制御を行った。

【図】露光量制御の変化と太陽高度の関係



今回、得られた太陽高度とEV値との関係

（明け方）は、以下の式であらわされる。

$$EV \text{ 値} = 1.876 \times \text{太陽高度} + 12.735$$

ただし、夕方の明るさの変化は、太陽高度-7度となるまでの自動露光によって得られた画像から計算し求める。なお、EV値は、以下の式で示される。

$$EV \text{ 値} = \log_2 F^2 - \log_2 T - \log_2 (ISO/100)$$

F : レンズの絞り値

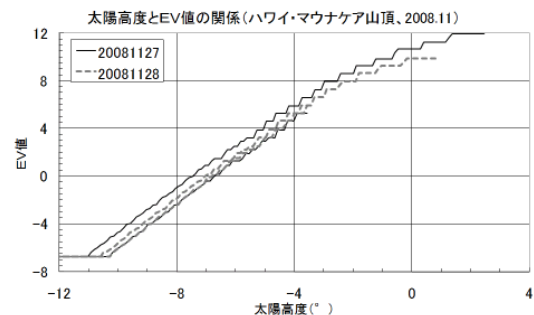
T : シャッタースピード（秒）

ISO : ISO感度

以上で得られた画像の太陽高度とEV値との関係を以下に示す。

【図】ハワイ・マウナケア山頂で得られた画像のEV値と太陽高度の関係

自動露光（太陽高度-7度以上）と手動（太陽高度-7度未満）とのつなぎ目が滑らかながわかる



(2) 投影方法の確立

デジタルプラネタリウムは、プロジェクター同様の機能があるため、PCの画面を表示させることができ、その機能により星空をドームに映し出せる。

今回撮影された映像は、非常に暗い星空を対象として捉えているため、デジタルカメラが持つノイズが画像上に含まれている。プロ

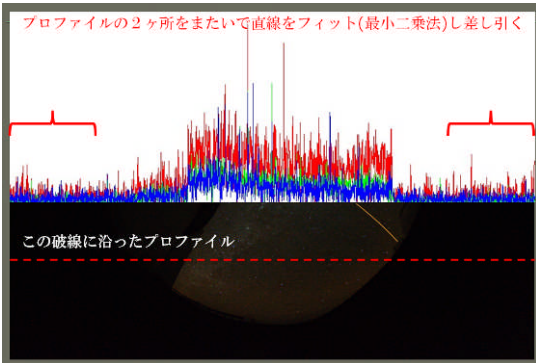
【図】ノイズ処理に用いる左右の暗い部分



ジェクターなどの投影装置は、一般的なディスプレイに比べコントラストが弱く、星空を投影する上でコントラストを高めて投影する必要がある。この際、デジタルカメラによって含まれたノイズが強調され、映像の臨場感を下げることとなる。今回問題となったノイズは、主に画面に対して横にわたる縞模様である。またここで扱う映像は、動画である。よって天体画像の処理に一般的に用いられるコンポジット合成は用いることができない。そこで個々のフレームでノイズを除去する手法を検討した。

【図】最小二乗法フィッティング

下部、赤い点線に沿った赤、緑、青の明るさを上部のグラフとして示す。左右の部分の明るさ（グラフの上下動）に合わせて直線フィッティングを行い、画像から差し引く処理を施す。



具体的には、各画像の映像の映らない左右の黒い部分を使ってライン毎に信号の強度に合わせて最小二乗法を用いてフィッティングする。この強度を元の画像から差し引く処理を施す。処理前の画像ならびに処理を施した画像は以下のとおりである。

【写真】ノイズ未処理画像（コントラストを高めに表示している）



【写真】ノイズ処理済み（コントラストを高めに表示している）

上の画像と比べると上部に見える横縞が弱くなっているのがわかる



これらの映像をデジタルプラネタリウムへ動画として投影する。ノイズ処理と並行に画像の解像度（ピクセル数）を投影するデジタルプラネタリウムの機器に合わせるように処理を施す。処理済みの画像は、JPEG形式の多数枚（1晩あたり約 1440 枚）の画像ファイルとなる。これを自作の Java プログラムにて表示する。プログラムでは、動画としての描画を滑らかにするよう画像の配列に対して、事前読み出しを行うなどの手法を組み込んだ。これにより 1 k × 1 k ほどの画像解像度で 10 コマ/秒のスピードでの描写を実現できた。

(3) 教育実践

和歌山県教育研修センター学びの丘で実施された県教員研修にて投影を行う機会を得た。ハワイ・マウナケア山頂の映像ならびにオーストラリア・ピナクルズの映像を教員の方々にご覧頂き、事後においてアンケートを取った。アンケートは現在集約中である。

また和歌山大学観光学部に納品されたデジタルプラネタリウムならびに紀美野町みさと天文台のデジタルプラネタリウム（2009 年秋調達予定）において、学生・生徒・児童および一般の方々へご覧頂く機会を設ける。そこで年代（学年）などの違いにおいて、教育的な効果がどのように異なるのか今後継続的に調査する。

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)

[雑誌論文] (計1件)

小澤友彦, 矢動丸泰, 布施哲治, 吉住千亜紀, 尾久土正己, 風景映像の昼夜連続撮影のための露出補正制御、和歌山大学観光学部観光学会誌、査読有、創刊号、2009 (受理)、21-27

[学会発表] (計3件)

・小澤友彦、デジタルカメラを用いた星空の動画撮影、日本天文学会、2009年3月24日、大阪府立大学

・小澤友彦、デジタルカメラを用いた星空の動画撮影、日本天文学会、2008年9月11日、岡山理科大学

・小澤友彦、デジタル一眼を使った星空撮影における露出補正制御、天網の会、2009年2月28日、長岡技術科学大学

[その他]

ホームページ

<http://oz.obs.jp/realuniverse>
(2009年7月開設予定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小澤 友彦 (OZAWA TOMOHIKO)
和歌山大学・生涯学習教育研究センター・
客員准教授
研究者番号：00423252

(2) 研究分担者

尾久土 正己 (OKYUDO MASAMI)
和歌山大学・観光学部・教授
研究者番号：90362855

矢動丸 泰 (YADOUMARU YASUSHI)
和歌山大学・生涯学習教育研究センター・
客員教授
研究者番号：80423250

吉住 千亜紀 (YOSHIZUMI CHIAKI)
和歌山大学・観光学部・研究支援員
研究者番号：70516442