

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18560411  
 研究課題名(和文) 遠距離における高精度位置計測システムの製作と自然現象計測への応用  
 研究課題名(英文) Production of high-precision position measurement system at long-distance and its applications on observation of natural phenomena  
 研究代表者  
 橋本 岳 (HASHIMOTO TAKESHI)  
 静岡大学・工学部・准教授  
 研究者番号：60228418

## 研究成果の概要：

遠距離における高精度位置計測システムを製作し、その自然現象計測への応用として、2006年から2008年まで各年の12月～翌年1月の約3週間、アルゼンチンのペリト・モレノ氷河の計測を実施した。その結果、高精度計測システムの自然現象計測における有効性の確認、および、従来にない詳細な氷河移動の計測に成功した。この氷河は非常に移動速度が速く地球温暖化に関連する有益な情報を提供できると期待されており、今後の継続的な計測が必要である。また、雲の3次元位置計測を行った結果、太陽光発電の瞬時電力変動を予測のための地上風と雲の動きの関連に関する知見を得ることができた。

## 交付額：

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 1,300,000 | 0       | 1,300,000 |
| 2007年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2008年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 総計     | 3,400,000 | 630,000 | 4,030,000 |

## 研究分野：画像処理、画像計測

科研費の分科・細目：(分科) 電気電子工学 (細目) 計測工学

キーワード：画像計測，高精度3次元計測，リモートセンシング，氷河計測，雲計測，太陽光発電

## 1. 研究開始当初の背景

## 既存距離計測システムの課題

氷河計測のような自然現象計測において高精度な位置計測システムが存在していないのが現状であった。例えば、氷河を対象とした場合、これまでにGPS計測および写真測量が試みられているものの、それぞれに次のような課題がある(もちろん、メリットも多い)。

GPS計測の場合には、平均処理後の計測誤差が1m程度であること、GPS設置位置のみの計測が可能であること。もちろん、GPSの

場合には、1年を通しての長いスパンでの計測が可能であるというメリットがある(光学計測では長期の計測が不可能であり、また気象条件、昼間の計測に限定されるなど課題がある。このため、併用が望ましいと考えられる)。

従来の写真測量の場合にも精度の課題があった。つまり、氷河の計測域付近の幅は4km程度であり、少なくとも、カメラと計測対象までの距離が1km以上となる。一般に、距離方向の計測誤差は距離の1%を目安ともいわれる。これに対して、氷河の移動が約

1.6m/dayであることを考えると、計測誤差は可能な限り小さいことが望ましい。

なお、遠距離における高精度計測を実現できる方法としては、土木建築などで使用されるレーザー計測が唯一である。しかし、レーザー計測は写真測量のように多数点の同時計測は不可能であり、特定点の計測のみ、かつ、時系列データを自動的に追跡することができない。

つまり、自然計測での課題は、カメラ等計測装置から計測対象までの距離が長く、それに伴い計測精度が十分ではないことが挙げられる。

#### 遠距離における高精度位置計測システムの有効性

橋本がこれまでに提案してきた複数カメラを用いる高精度計測法を自然現象計測について適用できるかについて実験等により検証した結果、遠距離において大きな問題となる量子化誤差を減少させ、高精度計測を実現できることがわかった。

#### 氷河計測の実施可能性

2004年にカメラ1台を用いた予備的氷河計測を行った結果、氷河ピークを計測点として追跡し移動計測を行うことができた。このことより、カメラを用いた画像計測が有効であることを確認した。

また、対象とするペリト・モレノ氷河の移動速度は約1.6m/dayであり、これまでの計測であるGPSおよび写真測量では精度が不十分であった。

なお、本研究は計測を海外にて行う国際的研究であり、2004年から予備的計測を行っており本研究期間中にも実施可能と考えられた。

#### 自然計測特有の課題

その他、自然計測特有の課題として次を挙げられる。

自動的な定点計測：カメラへのアクセスも容易ではなく、また、カメラのキャリブレーションを考えるとカメラに触れずに定点計測の実施が不可欠である。

計測地までの搬送に伴う困難さ：重量制限、コスト、さらに、ペリト・モレノ氷河は世界遺産に登録されていることもあり、様々な制限がある。またこれに関連して、確実な動作であることが不可欠であり、パソコン駆動の計測システムは現実的な解ではない。

#### 太陽光発電のための雲計測

太陽光発電の瞬時電力変動を予測することを目的とした上空の雲の移動計測を行い、瞬時電力の予測に成功している。同時に、瞬時電力の予測精度を向上させるためには、雲の動きの3次元的な計測が必要であることが明確になっていた。

現在、太陽光発電が自然エネルギー活用の代表として注目されている。それに伴い、大

規模発電システムの計画が進んでいる。また、発電密度の向上にともない、雲が太陽光発電を覆うことによる瞬時電力変動が大きくなりつつある。その結果、瞬時電力の変動により、協調運転が必要であるとともに、電力系統の不安定化の原因となりつつある。以上より、本研究の遂行が不可欠と考えられる。

## 2. 研究の目的

この研究の目的は、遠距離における高精度位置計測の実証と有効性の確認と、理学・環境学的な計測データの取得である。

具体的には次を研究目的とした。

目的1：遠距離高精度位置計測システムの実機を製作すること。計測距離1kmにて計測誤差（「分解能」に相当）0.3m以下を実現する。

目的2：上記方法を自然現象計測に応用すること。具体的には、南米チリのパタゴニア氷河等あるいは太陽光発電電力予測のための気象計測等において、上記装置を使った計測を実施すること。期限内には次のスペックの位置計測装置を作成、本計測装置を氷河計測に適用する。

対象とするペリト・モレノ氷河は約1.6m/dayと移動速度が速く、“生きている氷河”とも呼ばれる。またパタゴニア地方の多数の氷河の中でも、現在のところ縮退が行っていない稀な氷河であり、その原因はわかっていない。これらのことより、この対象氷河の計測からは、地球温暖化に関連する有益な情報を提供できると期待されている。

さらに、本高精度位置計測システムの有効性が明らかになるにつれ、自然計測における計測に適用できるシステムへの展開も目的とした。

## 3. 研究の方法

遠距離における高精度位置計測システムを製作し、その有効性を国内実験で検証した後、氷河計測へ応用した。以下、その方法を詳述する。

#### 装置の製作

理論的検証はコンピュータシミュレーションおよび実験にてほぼ完了している。このため、実際の計測装置の設計・製作を行った。装置の製作は可能な限り大学で製作した。将来の汎用性を考えて、できるだけ市販品を活用した。

#### 実証実験

製作した装置の計測精度を実験により確認した。1kmという計測距離が必要であるため、大学近くの湖の対岸において、実際の氷河計測と類似した状況（模擬ターゲット、カメラ配置等）を設定して、計測精度を検証した。このとき、前年度までの予備実験における氷河の状況を調べておいたことが役立つ

た。その結果、計測距離 1,000m にて計測誤差±0.10m 以下を検証できた。

#### カメラキャリブレーション

模擬ターゲットを使った検証試験を実施して、問題点の洗い出しとその検討を行った。その結果、カメラ座標および複数のターゲット座標をトータルステーションにより高精度に計測することでキャリブレーションを実行できることがわかった。また、カメラを望遠側に設定して、レンズ歪みが十分少ないことを確認した。

#### 計測機材

計測機材は、カメラ 12 台～20 台（予備メモリカード、予備バッテリーを含む）、カメラ保持器具（雲台等）、防水用品、キャリブレーション用計測機（他計測目的機を使用）、パソコン等である。その中で主要な計測機材はカメラであり、カメラの条件は次の通りである。

- ・ インターバル撮影が可能であること。連続して（無充電で）1 週間程度の計測が可能であり、撮影枚数は 100 枚以上、撮影間隔は 60 分以下であること。
- ・ レンズ分解能が高いこと。レンズ分解能について十分検証を行った。なぜなら、ターゲットとする氷河ピークは数画素のサイズになるためである。
- ・ 可搬性を考慮して小型であること。
- ・ 防水機能を備えていることが望ましい。

具体的には次のカメラを用いた：  
CAMEDIA C-70 ZOOM, CAMEDIA SP-350, CAMEDIA SP-560 UZ（以上、オリンパス社製）、Optio W-60（ペンタックス社製）。

#### カメラ設置

氷河計測現場におけるカメラの設置にはついてはかなり制約がある。まず、氷河を十分見渡すことができ、かつ、ステレオ計測ができる範囲が広いことが不可欠である。同時に、氷河ピークを明確に見つけることが必要である。また、次に述べるようにカメラの振動を補正するために遠方の山等も写り込むようにし、かつ可能な限りしっかりと設置しなければならない。

カメラ設置においては、重量の関係から雲台だけを持参し、現地の針金等で岩に設置する必要があった。世界遺産であるので、現状復帰が必要である。また、設置場所として、野牛等の影響も考慮する必要がある。

#### カメラの振動

アルゼンチン南部のパタゴニア地方は世界的に強風で有名である。このため、カメラが微妙に振動していることがわかった。3 年度の計測では、この対策として、小型防水カメラを用いた。それでも、微妙な振動が発生している。このことについては、背景の山や雪渓等を利用してカメラの補正を行った。

#### 氷河ピークの自動追跡プログラム

計測した氷河の解析を行う上で、課題となったのが氷河ピークの追跡である。当初は手動で追い込んだ後自動的にピークを探索した。現在、エビポーラ拘束を利用してある程度自動化を行っている。

計測点としては、氷河ピークからある領域の重心を求めている。このことにより、いわゆるサブピクセルの効果で精度を向上させている。なお、上記の実証実験で用いたターゲットは氷河ピークに比べてはるかに小さくサブピクセルの効果は少ない。このため、計測誤差は維持できていると考えている。

また、数時間では氷河の溶融がみられないものの、2 週間の間には氷河ピークの形状はかなり大きく変化している。むしろ、この氷河の溶融状態を直接観測できることは、カメラを使った観測のメリットと考えている。

カメラの配置では、対象を異なる位置から見ることによる対応点探索が困難な場合があった。このため、3 年度には、ステレオのカメラの間にもカメラを設置した。

#### 計測データの検証

本計測データと他の計測データ等との比較検討を行った。その結果、流速について、下流域と中流域の流速の変動および側壁方向への流速の変化について、他の論文と矛盾がないことを確かめた。

#### 4. 研究成果

研究期間中には、遠距離高精度 3 次元計測システムについてソフトウェアを含めた実機を試作し、それを氷河および雲計測へ適用した。その結果、以下のような研究成果を挙げることができた。以上より、研究目的を達成したものと考えられる。

以下、研究成果をまとめる。

##### (1) 氷河計測の実施と計測結果

遠距離高精度 3 次元計測システムの自然現象計測への応用として、2006 年～2008 年の毎年 12 月～翌年 1 月の各約 3 週間（計約 9 週間）、アルゼンチンのペリト・モレノ氷河

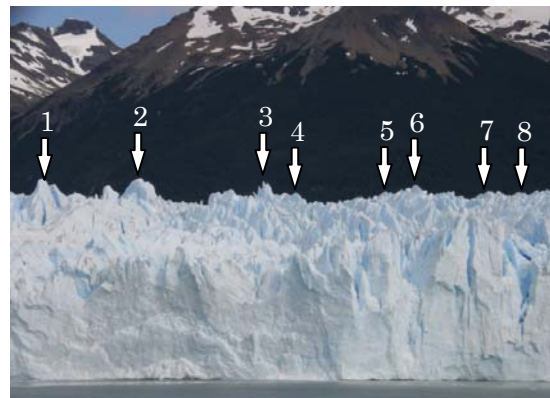


図 1 計測対象とした氷河ピークの例

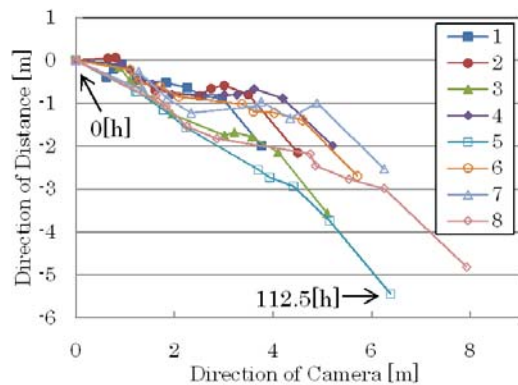


図2 計測結果の例

の計測を実施した。計測画像を解析した結果、氷河の移動について従来にない詳細な計測データの取得に成功した。これらの研究成果を、国際会議等にて研究発表を行った。また、今後も詳細な解析を行い、発表を続ける予定である。

図1に対象とした氷河ピーク、図2に計測例を示す。

次に、年度ごとの成果をまとめる。

1年度：氷河ピークの詳細な移動を世界で初めて計測できた。従って、高精度位置計測システムが有効であることを確認した。

2年度：下流域および中流域の2カ所での計測を実施した。下流域では氷河中央から側壁方向の変化を調べることができた。さらに、氷河溶融の状況を直接観測できることがわかった。

3年度：2年度の計測を踏襲し、より詳細な変化を調べた。特に、ステレオカメラの間にも計測カメラを設置し、より多くの氷河ピークの動きを計測した。

## (2) 自然計測に適した遠距離高精度3次元計測システムの開発

計測距離1kmにて計測誤差±0.10m以下を実現し、自然計測にて活用できる画像計測を開発した。

氷河計測および国内での実験に基づき高精度3次元計測システムを改良した。特に、パタゴニア地方特有の強風によるカメラの振動を減少させるために小型・防水カメラを導入した。

## (3) 雲の3次元位置計測

自然現象計測の例として、雲の3次元位置計測を行った。この計測の目的は、雲の移動の計測により、太陽光発電の瞬時電力変動を予測することである。太陽光発電の面積密度の向上により瞬時電力変動が大きくなりつつあり本研究が不可欠と考えられる。本研究では、地上風と雲の動きの関連に関する一定の知見を得た。

## (4) まとめ

現在、氷河計測のような自然現象計測において高精度な距離計測システムが存在しないため、本システムの今後の改良と活用が期待される。

また、経年変化を捉えるため、氷河計測の継続実施が重要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) 橋本 岳, 3次元高精度リアルタイム画像計測, 光技術コンタクト, 査読無(招待論文), Vol.47, No.4, 2009, pp.177-182.

〔学会発表〕(計3件)

(1) 松本, 磯野, 馬場, 橋本, 福田, 安仁屋, 内藤, Skvarca, 高精度三次元位置計測の氷河観測への応用に関する研究, 平成20年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御研究発表会, 平成20年12月20日, 静岡大学.

(2) 夜久, 曾根, 橋本, 山本, 太陽光発電の瞬時発電電力予測のための雲の3次元位置計測, 平成20年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御研究発表会, 平成20年12月20日, 静岡大学.

(3) Matsumoto, Hashimoto, Fukuda, Aniya, Naito, Skvarca, High-precision observation of Perito Moreno glacier at two observation points by stereo camera system, The 7th International Conference on Global Research and Education, Inter-Academia 2008, September 15, 2008, Hungary.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

橋本 岳 (HASHIMOTO TAKESHI)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号: 60228418

### (2) 研究分担者

福田 明 (FUKUDA AKIRA)

静岡大学・創造科学技術大学院・教授

研究者番号: 10022237

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

上杉 孝弘 (UESUGI TAKAHIRO)

静岡大学・大学院工学研究科

松本 将 (MATSUMOTO SHO)  
静岡大学・大学院工学研究科

磯野 真滋 (ISONO SHINJI)  
静岡大学・大学院工学研究科