

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 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560416

研究課題名（和文）自然観測へ応用できる超高精度 3 次元計測システム

研究課題名（英文）High Precision 3D measurement system for Naturalistic observation

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（和文）：

自然現象の観測に特有な課題を解決し、自然観測に有用な 3 次元計測システムの実現が研究目標である。その中でも、自然観測に適用できる「超高精度 3 次元計測システムの実現と応用」を目的として研究を実施した。具体的な研究テーマとして、氷河観測、雲観測、防災を取り上げた。これらはいずれも、屋外・遠距離での計測が共通であり、これまで有効な計測法が存在していなかった。各テーマに対して理論的検討および屋外計測実験を行い、計測システムの有効性の確認を行った。自然観測へ応用した結果、従来計測されていない画期的な計測結果を得ることができた。さらに、3 次元計測システムが防災研究にも有効であることが判明したため、鋭意研究を続行する計画である。

研究成果の概要（英文）：

We aim to realize the useful 3D measurement system to be able to apply on the natural phenomenon observation with solving its peculiar problems. Particularly, the purpose of this research is to make the high precision 3D measurement system for the natural observation and to apply the system on the observations. Concrete research themes are the glacier observation, the cloud observation and the disaster prevention. The common conditions of these themes are the outdoor and long distance measurements. The effective measurement method in these conditions does not exist. For these themes, the theoretical approach and the experimental verification of the measurement system were carried out. As a result, the applications of the measurement systems could reach the unique results. Furthermore, the research on the disaster prevention needs an immediate progress.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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、氷河計測、雲計測、防災応用、リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

(1) 計測技術について

画像を用いる 3 次元計測においてステ

レオ計測は基本かつ重要である。しかし、ステレオ計測には、対応点誤差、量子化誤差、キャリブレーション誤差などの計

測誤差があり、既存システムでは遠距離における計測精度が不十分とはいえない。つまり、ステレオ3次元計測では、「カメラ-対象間距離」/「カメラ-カメラ間距離」という比が計測精度に強く関係し、この比が大きくなる（例えば、カメラ-対象間距離が長く）になると計測精度が低下してしまう。これに対し、橋本が開発した技術では、この比が20倍程度でも従来技術より一桁以上の高精度を実現できている。

(2) 観測対象について

自然現象観測として、氷河観測、雲観測、防災応用を取り上げた。

氷河観測として、アルゼンチンのペリト・モレノ氷河を対象とし、氷河ピークの移動を計測する。この氷河観測はその特異さから様々な研究が報告されている。例えば、GPSを使った方法でも成果が挙げられている。広範囲・非接触・連続観測という点で画像観測が優位であると考えられる。しかし、カメラと対象までの距離が数百mから1km以上、カメラ配置の制限が厳しいこと等から、過去に行われた画像観測では計測精度が不十分であった。

雲観測とは、雲の移動を計測することで太陽光発電瞬時発電電力を予測するという橋本が取り組んできたテーマである。この場合も、雲の3次元座標から移動方向を推定することで発電電力の変動をより精度良く予測できる。

さらに、防災・測量という観点から、屋外にある自然物の計測に関する研究を開始していた。

(3) 着想に至った経緯

コアとなる高精度3次元計測技術は、パッシブ方式のステレオ計測の計測精度を向上させるものであり、自然観測に適している。なぜなら、一般に実用化されている3次元計測技術（光切断法、TOF等）は補助光を対象に投射する必要があるため、屋外・遠距離では計測困難だからである（唯一、レーザ距離計測が遠距離計測に用いられるものの、無人で動きのある広範囲の計測には不向きかつ高価である）。

例えば氷河の場合、対象とするペリト・モレノ氷河の幅は約4km、氷河の移動速度は約1.5m/dayであるため、この氷河の数時間ごとの精密な移動計測を行うには0.1m程度の計測分解能が必要である。これに対して、本計測技術は、1km先における計測誤差（距離方向最大誤差）が約0.06mという精度を実証しており、

氷河観測の条件を最も効率的に満たす観測手段である（高精度化の理由は、ステレオ計測の“量子化誤差”，つまり空間方向のサンプリング誤差を減少出来るためである）。

2. 研究の目的

研究目的は「自然観測に適用できる、超高精度3次元計測技術の実現と応用」である。

自然観測（氷河、雲、山海等、遠方にある対象の計測）において対象の位置・形状変化を高精度に計測したいという強いニーズがあるものの、有用な計測装置が存在していなかった。そこで研究期間中には、高精度計測技術を自然観測へ適用するために、設置位置の汎用化、対応点探索・振動対策、小型かつ高精度化について研究することを計画した。つまり、観測地の地形・動植物等から機器設置位置への制限が強いこと、氷河観測では計測対象であるピーク形状の変化（溶融等に起因）および雲観測では雲の透明性・不定形による計測対象の形状変化、（屋外観測なので）気象等の影響への対応である。これらの課題に対して、3次元計測技術の改善により対応方法を検討・実現していく。

まとめると、次の課題に関する計測システムを作成する計画である。

- ・ 観測機器設置位置の汎用化：必要な計測精度を実現できる設置位置の自由度を高めること。小型かつ高精度計測（例：距離1,000mで誤差0.10m）を可能な限り小型システムで実現。
- ・ 観測のための画像計測における次の課題へ対応：計測点（対応点）探索、観測機器の振動対策、カメラ移動条件での高精度計測の実現。

そして、製作した計測装置を自然現象観測に適用することを目的とする。

3. 研究の方法

次の各テーマについて、高精度計測の理論から解決方法を検討し、観測システムの設計・製作を行い、製作した装置を観測に適用して性能検証を行った。

- (1) 小型かつ高精度の実現：観測機器の小型化、かつ、計測目的に対する十分な精度実現の研究を行った（これは(2)とも連携して取り組んだ）。

具体的に、計測装置は複数のカメラから構成されるため、カメラ相互の最適な配置を検討した。また、カメラ群の分解・組立前後およびカメラ移動においても十分な高精度を維持できるアルゴリズムを検討した。

- (2) 設置位置の汎用化：自然現象の観測では

観測装置の設置位置の自由度を高めることが不可欠である。この課題の解決法として、シーズである高精度計測のコア技術に基づいて、観測の模擬環境でのシミュレーションおよび実験を行い、カメラ配置と計測精度との関係を綿密に調べた。具体的には、遠距離で最大誤差 0.1m である計測領域を実現するための最適条件（カメラ台数、カメラ同士の相対位置・相対方向）を明確にした。

(3) 対応点探索，観測領域の拡大：

- ① 観測対象に適した対応点探索方法の研究を行った。氷河ピークおよび雲を対象とする対応点探索方法に対して、これまでの研究を踏まえ、画像コントラストの調整、エッジ抜き出しの高機能化、サブピクセルの活用、エピポーラ拘束等多方面から検討した。
- ② 観測機器の振動対策を検討した。これは気象条件（例えば、強風）により、カメラ方向が変化してしまうためである。また、カメラの振動に加えて、観測領域の拡大について検討を行った。具体的には、観測機器移動時の計測に対しても検討を行った。これは上の(1)および(2)とも連携して取り組んだ。
- ③ 防災目的の3次元計測へ本高精度技術を応用したいというニーズが高まっている。このニーズは屋外かつ自然観測という本研究の目的とも合致することから、防災の3次元計測も視野に入れた研究にも取り組んだ。具体的には、数十m程度の距離にあるブロック擁壁の計測を行った。

4. 研究成果

本研究で解決する課題は、上述のように、観測地の地形・動植物等から観測装置の設置位置の制限が強いこと、計測対象抽出に関する画像処理手法、その他気象の影響等への対応である。これらの課題に対して、高精度3次元画像計測技術を適用して解決法の検討・実現に取り組んだ。

最終的に、当初目的をほぼ達成し、さらに防災という重要なテーマに関する研究にも取り組むことができた。

具体的には、次の研究テーマについて理論的検討を進め、屋外計測実験にて有効性の確認を行った。

- (1) 設置位置の汎用化：自然現象観測における観測装置の設置位置の自由度を高めるために、高精度計測のコア技術に基づくシミュレーションおよび屋外計測実験を行い、カメラ配置と計測精度との関係を綿密に調べた。その結果、中距離～遠距離にて最大誤差 0.1m である計測領域を

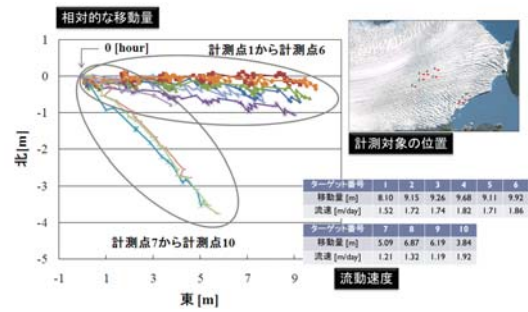


図1 ペリト・モレノ氷河の観測例

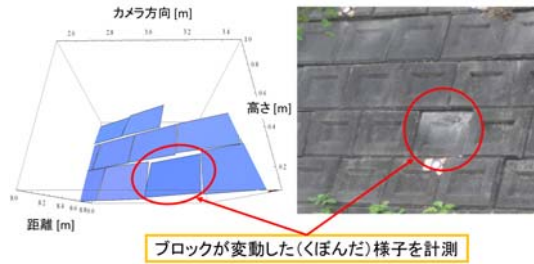


図2 ブロック擁壁の形状変化の計測例

拡大するための観測装置の設置位置の汎用化を実現した。

(2) 対応点探索，観測領域の拡大：

- ① 観測対象に適した対応点探索方法に関する研究を行った。氷河ピークおよび雲を計測対象とする対応点探索方法に対して、画像処理による重心抜き出し等の取り組みに加えて、対象のマッチングによる対応点探索方法の検討を行い、その有効性を確認した。
- ② 観測機器の振動対策について高精度画像マッチング法を用いることにより解決した。
- ③ 観測領域の拡大について検討を行った。具体的には、観測機器を移動させた場合の計測実験を行い、高精度計測が可能であることを確認できた。

- (3) 小型かつ高精度の実現：上の研究テーマ(1)、(2)の成果を受け、観測機器の設置・運搬・移動を考慮して、小型で計測目的に対する十分な計測精度実現を実現できる計測システムを試作した。

- (4) 特筆すべきこととして、防災目的の3次元計測への本高精度技術の応用を挙げる。日本が直面する重要な課題に防災があり、画像計測を防災へ適用することについて強い要請がある。このニーズは屋外かつ自然観測という本研究の目的とも合致することから、これまでの研究成果を受けて、防災応用の基礎研究としての屋外対

象の計測を実施し、その有効性を検証した。今後も防災の3次元計測も視野に入れた研究にも積極的に取り組んでいく計画である。

- (5) 高精度計測技術の応用に関して、次の研究成果を得た。
- リアルタイムかつ高精度な形状計測システムを実現できた。
 - ラウンドエッジ誤差低減について検討した。
- これらの研究の応用範囲は広いと考えられ、今後も鋭意研究を続ける予定である。

以下に、観測結果例を挙げる。

- 図1は、アルゼンチンのペリト・モレノ氷河の下流域の氷河ピークの動きを追跡した計測例である。この氷河は“生きている氷河”と言われるほど移動速度が速く、かつ、周辺20程度の氷河の中で縮退傾向が見られない特異な氷河である。この氷河の観測は地球温暖化研究に繋がると考えられ、様々な観点から研究が行われている。
 - 図1において、氷河の部位により、氷河の移動方向が異なることが明確に示されている。また、氷河の移動速度も高精度に計測されている。3次元計測であるため、図1以外にも様々な有益な結果を得ることができた。例えば、氷河の鉛直方向の動きも計測できた。これらの結果を得るために様々な方向から詳細な検討を行った。例えば、カメラの振動に関して画像マッチング技術を始め詳細な検討を行ったところ、予測以上の強風によりカメラの振動が発生していることが分かりその対応を行った。
 - このようなカメラを使った高精度計測結果は国内外で他に例が無いユニークな成果である。
 - 図2は防災目的としてブロック擁壁を計測した結果である。小型簡易な画像計測システムを用いて、画像計測の特長である広範囲同時計測、かつ、ブロック凹凸の正確な計測が実現出来ていることがわかる。
- 今後、この高精度計測技術を応用した連続計測システムを作製することで、ブロック擁壁や様々な警戒対象の異常な動きに対して警報を発するシステムの早期実用化が強く望まれる。さらに、本技術を様々な防災関連計測へ応用することが考えられる。例えば、土砂災害の原因となる、河川上流域での堆積土砂の体積の連続計測等についても鋭意研究を進める予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- (1) Takeshi Hashimoto, Hidemichi Aoshima, András Rövid, Takayuki Suzuki: “Real-Time High Precision 3D Shape Measurement Method”, Acta Polytechnica Hungarica, 査読有, (in press), 2013
- (2) Takeshi Hashimoto, Mitsuo Kaneko, András Rövid, Hiroaki Ohta, Akira Fukuda, Masamu Aniya, Nozomu Naito, Hiroyuki Enomoto, Pedro Skvarca: “Applications of High-precise Three-dimensional Measurement System”, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.222, pp.62-65, 2011

[学会発表] (計8件)

- (1) Naoki Hiraoka, Takeshi Hashimoto, András Rövid: “Multi-Camera Based Round Edge Measurement”, QCAV2013, 2013年5月30日, Kyushu University
- (2) 高村 修平, 木村 諭史, 鈴木 崇之, 平岡 直祈, 橋本 岳: “ステレオ計測による遠距離計測の建築物測量への応用”, 動的画像処理実用化ワークショップ2013, 2013年03月07日, 静岡大学浜松キャンパス
- (3) 木村 諭史, 高村 修平, 橋本 岳: “防災への応用を目指したブロック擁壁の変位計測に関する実験的研究”, 平成24年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御研究会終了企画, 2012年12月22日, 静岡大学浜松キャンパス
- (4) 高村 修平, 鈴木 崇之, 橋本 岳: “ステレオ計測を用いた地理情報の高頻度更新に関する基礎的研究”, ロボティクス・メカトロニクス講演会2012, 2012年5月28日, アクティシティ浜松
- (5) 橋本 公樹, 長倉 陽平, 橋本 岳: “太陽光発電への応用を目指した雲の三次元位置計測”, 第54回自動制御連合講演会, 2011年11月20日, 豊橋技術科学大学
- (6) 太田 裕章, 橋本 岳, 福田 明, 他: “複数カメラを用いた遠距離位置計測システムの氷河流動観測への応用”, 第54回自動制御連合講演会, 2011年11月20日, 豊橋技術科学大学
- (7) Hiroaki Ota, Takeshi Hashimoto, et al.: “Application to Glacier Observation of High-precision Three-dimensional Position Measurement Using Cameras”, The 13th International Conference on Human and Computers, 2010年12月

08日、静岡大学浜松キャンパス(会津大学, Düsseldorf 大学ともネットワーク中継)

- (8) 太田 裕章, 高村 修平, 橋本 岳, 他:
“画像を用いた高精度 3 次元位置計測の氷河観測への応用”, 第 31 回バイオメカニズム学術講演会, 2010 年 11 月 07 日, 静岡大学浜松キャンパス

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

(3) 連携研究者

太田 裕章 (OTA HIROAKI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号:

高村 修平 (TAKAMURA SHUHEI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号:

長倉 陽平 (NAGAKURA YOUHEI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号:

橋本 公樹 (HASHIMOTO KOUKI)

静岡大学工学部

研究者番号:

木村 諭史 (KIMURA SATOSHI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号:

鈴木 崇之 (SUZUKI TAKAYUKI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号:

平岡 直祈 (HIRAOKA NAOKI)

静岡大学大学院工学研究科

研究者番号: