

高速移動体（マスマーブメント）の三次元動態計測を目指した 同期立体写真撮影システムの開発について

藤井幸泰¹・堀伸三郎²

¹ 深田地質研究所

² 防災技術株式会社

Development of Shutter Sync Stereo Camera for 3D Modeling and Visualization of Fast Mass Movement, based on Digital Images

FUJII Yukiyasu¹ and HORI Shinzaburo²

¹ Fukada Geological Institute

² Disaster Prevention Technology

要旨：2台のカメラを用いて、立体写真を同期撮影行える装置の開発を試みた。装置①はカメラの機能をできる限り手動設定に切り替え、リレーを中継して同期精度の向上を試みた。装置②は公開されているプログラムを利用して同期精度の向上を試みた。その結果、どちらの装置も1/1000秒以下の同期撮影が行えるようになった。またこの装置を利用し、室内水路実験における地形変化の記録を撮影したところ、精度よく侵食地形を記録することに成功した。

キーワード：デジタルカメラ、立体写真、同期撮影

Abstract: Shutter Sync Stereo Cameras were developed. An experimental instrument is composed of two digital SLR cameras with a relay and wired remote switch. Another one is composed of two compact digital cameras with a remote switch and internal programs. The sync of shutter is less than 1/1000 seconds for both instruments. The instruments were applied to the mini indoor channel experiment. It was recorded that topography around the drainage was being eroded.

Keywords: Digital camera, Stereo-photograph, Synchronized shutter

1. はじめに

万物は流転する、あるいは諸行無常と言われるとおり、地質や地形の対象物も常に変化を生じている。人類の生活圏に関連する地質事象としては、地すべりや崩壊などのマスマーブメントを挙げるができる。吉澤や宮澤らは写真測量を利用し、撮影時期の異なる航空写真を用いて地すべり体の移動量計測などを行っている

(吉澤ほか, 1991, 吉澤ほか, 1994, 宮澤ほか, 2000)。欧米では写真測量を地形学へ応用した事例が比較的古くから存在し、林・小口(2002)にまとめられている。また最近航空レーザ測量の発達により、時期の異なる計測結果の比較(差分)から、侵食量の計算などが盛んに行われている(土志田, 2010)。また、藤井ほか(2009)は遺跡構造物を対象に時期の異なる立体写真を撮影し、崩壊による形状の変化を三次元で捉え

ることに成功している。上述の報告や研究成果は比較的長期の地形変化を三次元的に捕捉した例といえる。

先述のマスムーブメントにおいて、実際の崩落現場などに立ち会う機会があれば、これを三次元計測できればそのメカニズム解明に大きく寄与できることは間違いない。実際の現場に立ち会うことは難しくとも、再現実験などを時系列に三次元計測できれば、そのメリットは大きい。しかし比較的高速に移動する対象物の四次元データ（複数時刻の三次元データ）を写真測量で取得するには、同期撮影した立体写真の取得が必須となる。そこでこの報告では、2台のカメラを1つのレリーズで繋いだ同期撮影装置を開発し、その同期検証を行った。

なお同期撮影装置に関しては、市販の機器なども存在する。例えば Rob Crockett 氏の SLR Shepherd (<http://www.ledametrix.com/>) はストロボ入出力を利用して同期を実現したものである。しかし時間と共に生じる同期のズレを、手動で調整する必要がある。また東京プロカラーラボ (<http://www.to-pro.com/>) が製品化した同調機も存在するが、こちらもダイヤルによる手動調性が必要である。また、どちらの装置も手軽な値段とはいえない。さらに動態計測といえば、撮影した動画から三次元データを復元する手法も存在する。しかし静止画に比べると画素が低く、高精度の計測には向かない。本報告では静止画、特にデジタルカメラを利用した同期撮影システム開発について紹介する。

2. 同期撮影装置の開発

デジタル一眼カメラを利用した装置①をはじめに紹介する。その後、StereoData Maker (SDM) というプログラムとコンパクトデジタルカメラ

を利用した装置②を紹介する。どちらの装置も同期検証には、ブラウン管モニターを利用した。この方法も後述する。

2.1 装置① デジタル一眼カメラ

図1に示すように、リモートスイッチからケーブルを伸ばし、途中でリレーを中継してケーブルを二股に伸ばし、2台のデジタル一眼カメラ（Canon EOS 50D）に接続した。リレーの中継により、2台のカメラに同時に撮影信号を送れるようにした。またカメラ側についてはフォーカスも露出もマニュアル設定とし、リモートシャッターからの信号が届いたら、すぐに撮影できるように用意した。

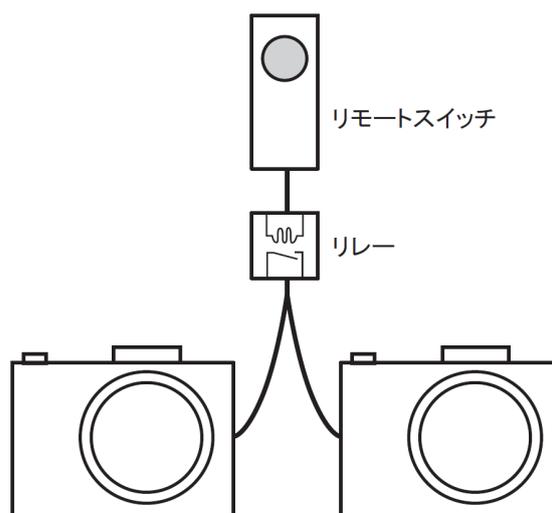


図1 装置①デジタル一眼カメラによる同期立体撮影装置

リモートスイッチからケーブルを伸ばし、リレーを中継してから二股に分けてそれぞれのカメラに接続する。

最近ではシャッター幕を持たないデジタル一眼カメラも多い。Canon EOS 50Dはフィルムカメラに比較的構造が似ており、シャッター幕による同期撮影が行いやすいと考え、この機種を選択した。

2.2 装置② コンパクトデジタルカメラ

図2に示すように、リモートシャッターからケーブルを二股に伸ばし、2台のコンパクトデジタルカメラ（Canon IXY 910IS）に接続した。それぞれのカメラにはフラッシュメモリー（SDカード）から Stereo Data Maker（SDM）プログラムを起動し、A：リモートシャッターの半押しでフォーカスと露出の決定→B：リモートシャッターの全押しで待機状態→C：リモートシャッターの開放と同時に同期撮影，という動作

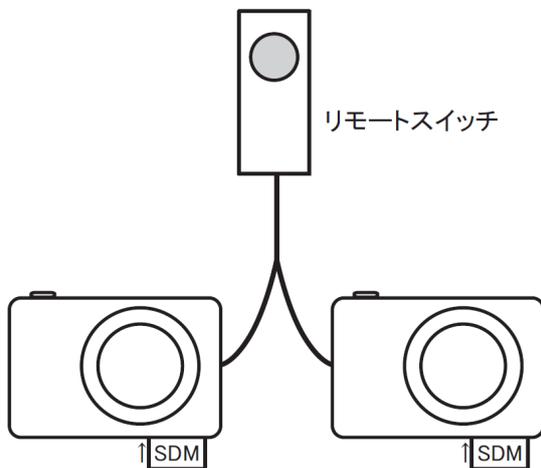


図2 装置②コンパクトデジタルカメラによる同期立体撮影装置

リモートスイッチからケーブルを二股に分けて伸ばし、それぞれのカメラに接続する。カメラにはSDカードからSDMプログラムを起動する。

を行うよう確認した。

なお SDM は Canon Hack Development Kit（CHDK）を基に、ステレオ同期撮影を行うために開発されたプログラムである（<http://stereo.jpn.org/jpn/sdm/sdm.htm>）。CHDKは通称‘ロシアンファーム’と言われるファームウェアで、キャノンのデジタルカメラエンジン「Digic」のコンパクトカメラ用制御を開放するプログラムである。このプログラムは個人責任の範囲内で利用するようにと注意書きがある。しかしフラッシュメモリーを取り外せば基の状態に戻る。著者らの利用範囲内では、今のところ問題は生じていない。

2.3 カメラの同期試験

1/1000 秒以下の同期精度を検証するため、ブラウン管式モニターの走査線を利用した（図3）。画面解像度 1024×768 ピクセルのモニターを利用し、水平走査周波数（ディスプレイが1秒間に描画する水平方向のライン数）が 46 kHz とすると、垂直走査周波数（ディスプレイが画面を1秒間に更新する回数、リフレッシュレートとも呼ばれる）は 60 Hz となる。この場合、768本のうちの1ラインの周期は 1/46 ms となり、1/1000 s 以下の精度確認が十分可能である。な



図3 カメラ同期試験の立体写真
左右モニタ上の目盛りを比較して同期精度を検証する。

お走査線の計測のため、Camera Sync Tester プログラム (<http://www.3dtv.at/>) を利用した (図 3)。

独自の計測機を用いた同期精度の検証報告もあるが (<http://www.crystalcanyons.net/>)、ここではサイトの紹介にとどめる。

図 4 に装置①の同期検証結果を示す。撮影間隔を 5 秒とした場合が a、撮影間隔を 4 秒以下とした場合が b である。また c は装置②の同期検証結果である。これも撮影間隔を 5 秒以上空けた結果である。

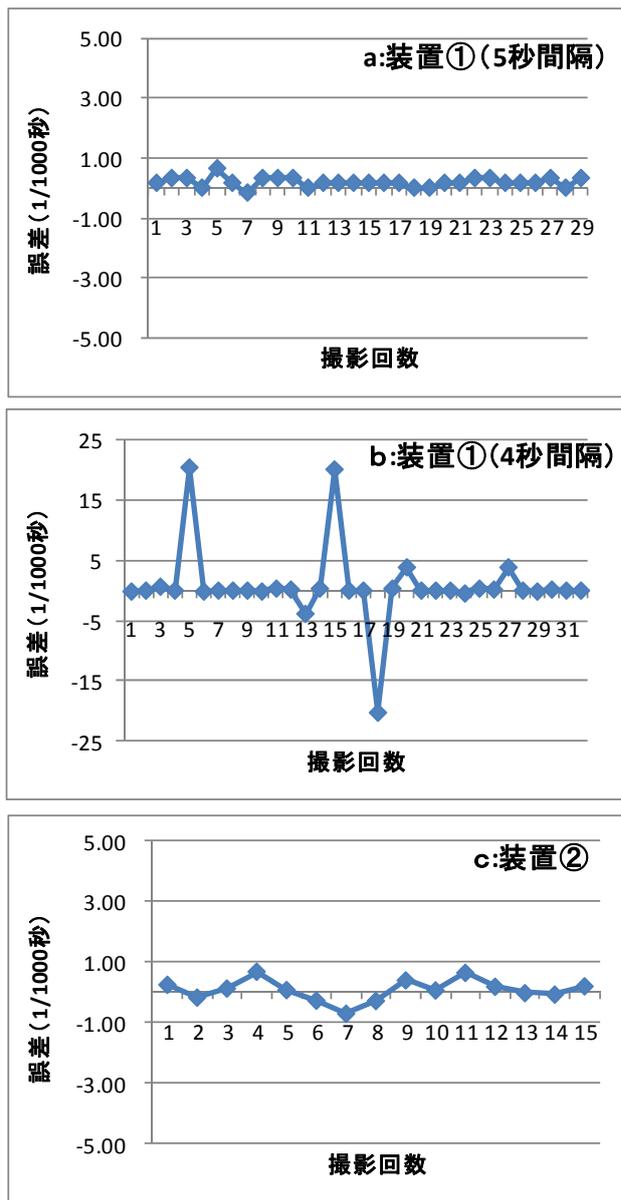


図 4 同期試験の結果

左カメラの撮影時間を 0 とした場合、右カメラの撮影時間の誤差を図 3 から測定した。プラスは右カメラの撮影が早く、マイナスは右カメラの撮影が遅いことを示す。

3. 同期試験結果の考察

装置①および装置②とも、各撮影の時間間隔を 5 秒以上あけた場合は、ほぼ 1/1000 秒以下の同期精度が得られた。これに対して、装置①において撮影間隔を 4 秒にしたところ、10 回に 2 回程度、1/200～1/50 秒の同期誤差が確認された。なお装置②においては撮影間隔を 4 秒以下にして計測は行わなかったが、A→B→C の動作には 5 秒程度の間隔が必要であり、これ以下の時間間隔では 1/1000 秒以下の精度保持は難しいと考えられる。さらに装置①で撮影間隔を 3 秒以下としたところ、常に 1/200～1/50 秒の同期誤差が生じた。

1/200～1/50 秒の同期誤差の原因は不明であるが、カメラ内部の要因と考えられる。撮影した画像の処理にかかる時間、フラッシュメモリへの書き込み時間、複雑な電子回路中に残った電流の影響など様々な要因が考えられる。ここで言えることは、2 台のカメラを繋いで立体写真同期撮影を行う場合、5 秒以上の間隔での連続撮影であれば、1/1000 秒以下の同期精度が保持できる。

4. 室内実験への適用

4.1 実験の概要

図 5 に示す卓上水路実験装置を対象に、装置②を用いて、河川地形の変化を捉える試みを行った。卓上水路実験装置の幅は 300mm で

長さは1800mmである。このうち計測範囲の対象を500mm×500mm程度とした(図5の重複範囲)。実験時に使用したのは左官砂(粒径5mm以下)であり、水を流すのに利用したポンプは100ml/sec程度の流量をもつ。卓上水路の表面流速は150~500mm/sec、砂の移動速度は~100mm/sec程度であり、1/1000秒以下の同期精度で十分に計測可能である。

4.2 デジタル写真測量による三次元化

写真測量は写真上で対象物の計測を行う技術である。1枚の写真は二次元情報をもっている。同一対象物を異なる場所から撮影した2枚の写真、すなわち1組の立体写真は三次元情報を含んでいる(Linder, 2003)。立体写真撮影時の左右のカメラ位置と撮影方向が決まれば、左右画像間の視差から対象物の三次元情報を取得可能である。撮影時の左右カメラ位置と方向の計算を行うため、「標定点」と呼ばれる座標が既知のポイントを破断面と同時に写しこむ必要がある。

水路から高さ(H)約700mmから撮影を行った。また左右写真間隔(B)は140mm、カメラの焦点距離(c)は4.6mmで、CCDは800万画素で解像度は0.0017mmである。これらの情報から写真測量の分解能は以下のように計算できる。

$$\text{水平分解能 } \sigma_{xy} = (H/c) \delta_{\text{CCD}} = \underline{0.2 \text{ mm}}$$

$$\text{垂直分解能 } \sigma_z = (H/B) \sigma_{xy} = \underline{1 \text{ mm}}$$

しかしカメラ位置計算時のRMS(二乗根平均誤差)は約2mm程度となった。これは図5に写し込んだ木製標定点の座標の計測精度が反映されたためと考えられる。標定点は黒色の5mm四方の中心に直径2mmの白い円を描いたシールを利用し、木製角柱の上に張り付けた。特定の位置に張り付けたのであるが、およそ±1mm程度のばらつきを持ったようである。

4.3 実験の結果

図5に水路実験実行時の同期立体写真を示す。実験は30分ほど継続して行われたが、図5に示すのはそのうちの10組の立体写真である。11時21分14秒から27分36秒の間の6分22秒間の変化を、およそ30秒~60秒間隔で撮影したものである。10組の立体写真を利用して、それぞれの時間における地形の三次元モデルを作成した。図6にはそれぞれの時間の三次元モデルから作成した断面線を示している。時間の経過とともに、中洲のような地形が浸食されていく様子を正確にとらえられている。特に図6の右側の終始変化のなかった部分はほぼ同一の断面線となっており、同期撮影された立体写真から計測されたモデルの精確さがよみとれる。

5. まとめ

一台の一眼レフデジタルカメラとリレー中継したひとつのリモートシャッター、あるいは2台のコンパクトデジタルカメラにひとつのリモートシャッターをとりつけてSDMプログラムを利用する場合、5秒以上の撮影間隔であれば、1/1000秒以下の同期撮影が可能である。またこの装置を、室内水路実験における河川地形変化の時系列三次元形状記録(四次元データ取得)に利用したところ、河川で侵食される地形を精度よく記録することができた。

謝辞

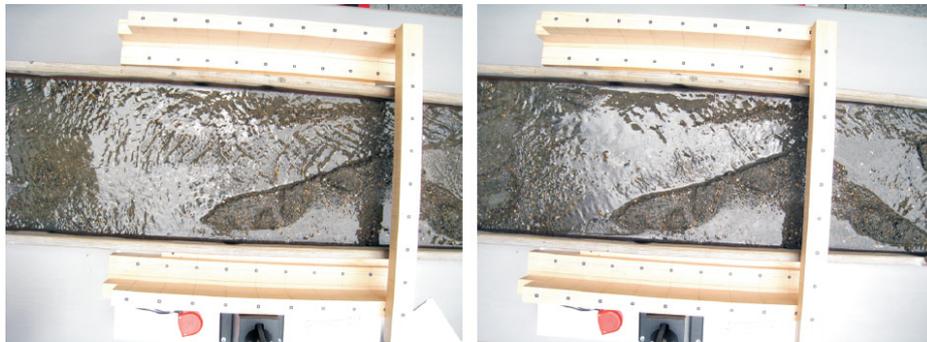
室内水路実験の実施に当たっては、池田宏博士のお世話になった。またその記録や解析に当たっては、埼玉大学の渡辺邦夫教授と張寒冰氏の助けを得た。ここに感謝を記します。



11時21分14秒



11時21分54秒



11時22分56秒



11時24分00秒

図5 水路実験の同期立体写真1 (左上写真中の線は図6の断面線位置)

同期立体写真撮影システムの開発



11時24分32秒



11時24分58秒



11時25分36秒



11時26分32秒

図5 水路実験の同期立体写真2



図5 水路実験の同期立体写真3

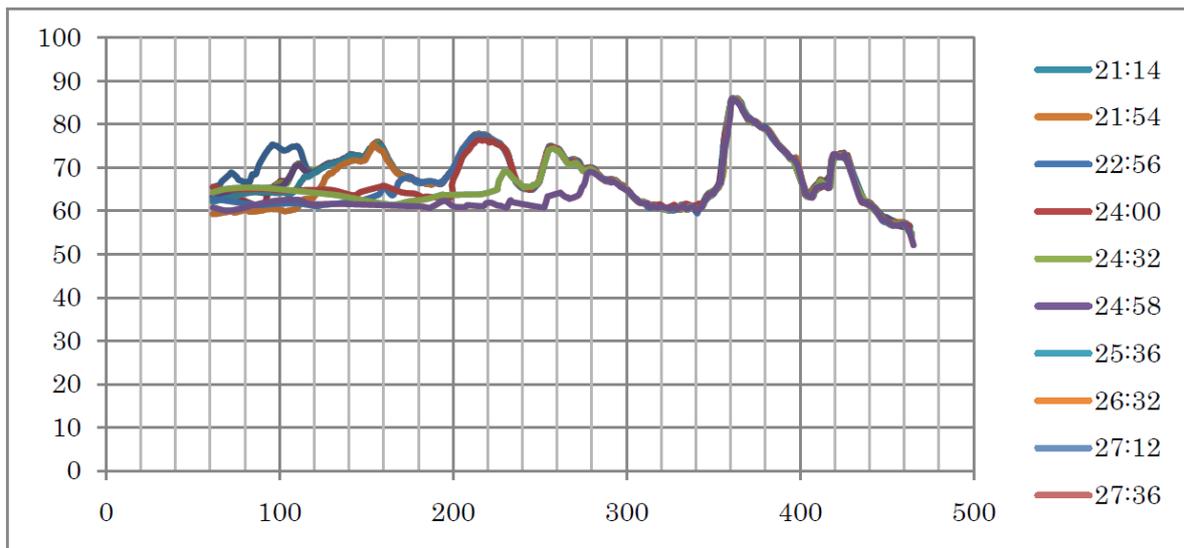


図6 卓上水路実験による河川地形の変化の断面線
縦横軸の単位はmm. 凡例の時間は実験開始時からの経過時間(分:秒)

参考文献

- 土志田正二(編集), GIS Landslide 研究集会 要旨集, 2010, 20p.
- Fujii, Y., Fodde, E., Watanabe, K. and Murakami K., Digital Photogrammetry for the Documentation of Structural Damage in Earthen Archaeological Sites: the case of Ajina Tepa, Tajikistan, 2009, Engineering Geology, Vol. 105, 124-133.
- Linder W., Digital photogrammetry theory and applications. Berlin, Springer, 2003, p. 189.
- 林 舟, 小口 高, 地形学における写真測量法の応用—欧米の事例を中心に—, 地学雑誌, 2002, 111, 1-15.
- 宮澤圭, 吉澤孝和, 小野塚良三 & 久松文男 時間差空中写真測量による地すべり解析システム—八幡平澄川地すべり地の変位計測データを利用した地下すべり面の推定— 写真測量とリモートセンシング, 2000, 39, 39-4.
- 吉澤孝和, 丸山昌義, 長雄勲, 村瀬孝三, 西澤茂高, 三澤敏雄, 根岸六郎, 空中写真測量による地すべり情報の提供とすべり2面の解析—長野市広瀬地区に発生した地すべり地への応用—, 地すべり, 1991, 27, 9~17.
- 吉澤孝和, 酒井輝雄, 宮野尾文夫, 根岸六郎, 関貴幸, 空中写真測量による地下すべり面形状解析システム, 写真測量とリモートセンシング, 1994, 33, 17-32.