

写真計測技術を活用した 斜面点検手法

1. 地上デジタル撮影における
背景差分法による変化箇所把握手法
2. UAV空中撮影における
背景差分法の適用拡大検討

土木研究所 寒地土木研究所
防災地質チーム

日外 勝仁

検討手法の概要

カルテ点検時に撮影される斜面写真に対し、撮影時期の異なる2枚の写真を比較することで、

背景差分法；崩壊等の変状箇所抽出

写真計測法；斜面形状の把握・崩壊土量の算出

対象を絞ることなく、数多くの斜面を広範囲に安く捕捉できる簡便な手法の構築を目標としている。

- ・斜面の変状箇所を客観的に漏れなく抽出
- ・定期的に比較することで経年変化を把握
- ・3D地形モデル作成により詳細な斜面形状を把握

背景差分の作業手順

元画像 準備

元画像の撮影状況をExif情報から取得

【情報】カメラ名, 撮影位置座標(GPS), 焦点距離, 解像度

今画像 撮影

使用カメラが同じなら, 撮影条件を同じくして撮影

【条件】撮影位置座標, 撮影方向, 焦点距離, 解像度

重ね 合わせ

今画像を変形・回転させて, 元画像と重ね合わせる

【方法】PhotoshopのPhotomerge機能など(パノラマ写真作成の要領)

差分

2画像の色調を補正して, 差分をとる

変化がなければ黒く表示されるため, 白っぽい箇所を判別

- ① 二重映りなど, 変形重ね合わせの失敗によるもの → やり直し
- ② 植生や日当たりなど, 斜面自体の変化以外によるもの → 除外
- ③ 上記以外の白っぽい箇所 → 崩壊などの斜面の変化

時期の異なる点検写真の差分抽出手法

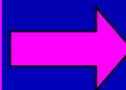


背景画像 (H18.11撮影)



評価画像 (H19.11撮影)

- ・歪正規化
- ・色調整



重ね合わせ
背景差分抽出

背景をネガ化し、透過率50%で重ね合わせることにより、輝度の差分を画素単位で計測することで、変化のあった箇所を抽出する。

変化がない箇所は黒く表示される



背景差分画像

手法検討概要

日常的に実施されている斜面点検の高度化を目的としているため、防災点検時の斜面写真撮影の実施状況調査(アンケート・聞き取り)を行い、以下の点に留意して手法の検討を行った。

- ① 高価な資機材を必要としない
- ② 高度な技術や経験を必要としない
- ③ 特許等により特定の事業者に絞られない
- ④ 現場作業時間の著しい増加を招かない

手法検討概要

現在、道路防災カルテ点検ではデジタルカメラを用いて調査していることが多いことから、「写真点検」に際しては、以下の方向性を決定した。

- ① 2名以内の人員で実施可能である
- ② デジタルカメラの利用を前提とする
- ③ 撮影箇所のマーキングを前提とする
- ④ 1台のカメラで実施可能である
- ⑤ 点検毎に同一のカメラの使用を推奨する
- ⑥ コンパクト、一眼の両方のカメラに適用可能である
- ⑦ 撮影時の諸条件について明記する

検討手法として「背景差分法」を用い、撮影時期の異なる2枚の写真を比較し、変化のあった箇所の抽出を試みた。

背景差分法による検討

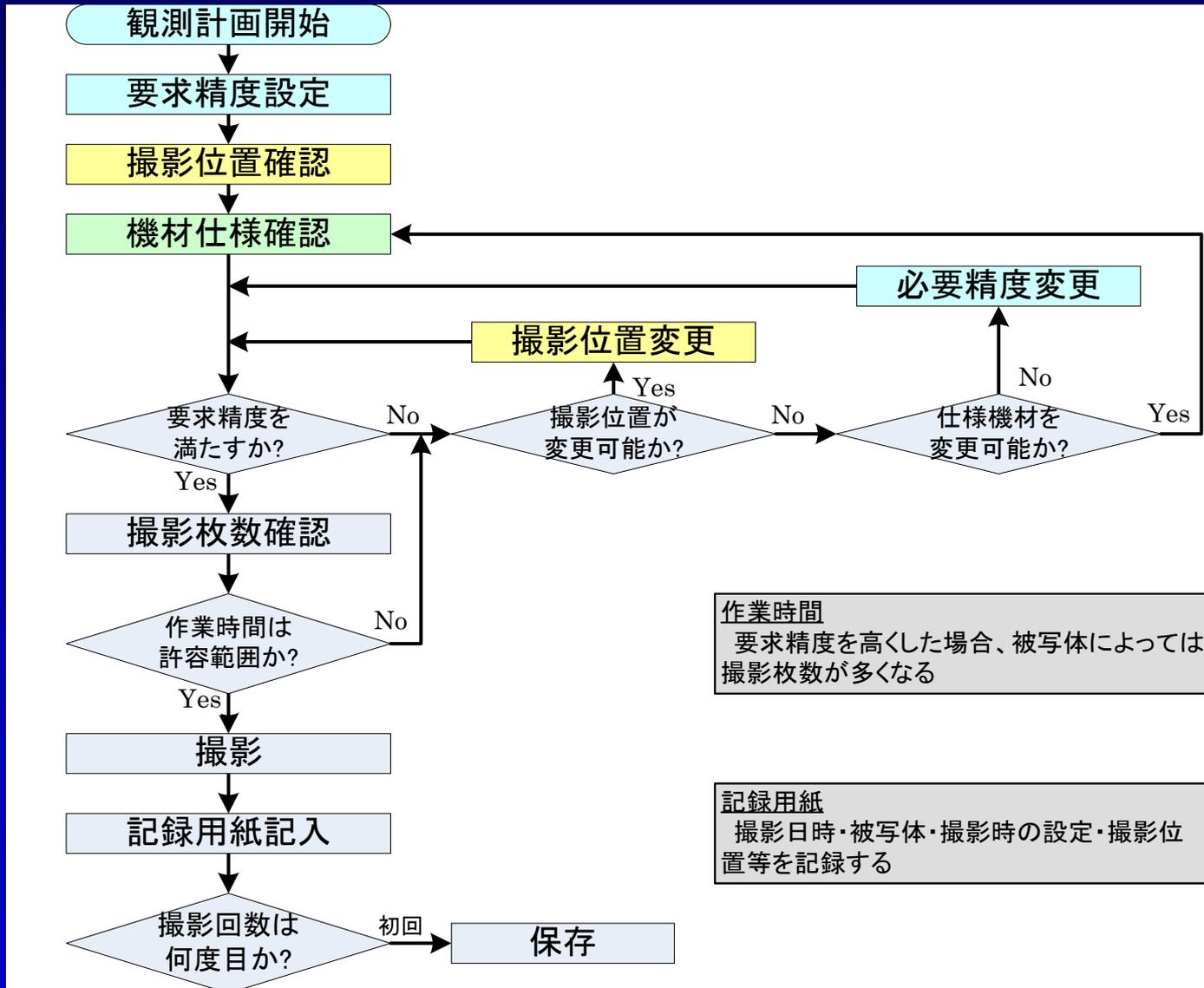
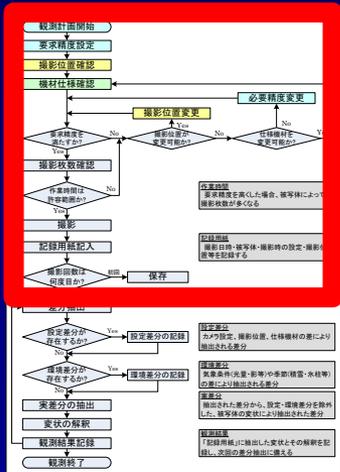
背景差分法とは、本来ITV等の固定カメラで撮影された動画変化を検知する手法であり、デジタルカメラを用いた斜面点検に適用するには以下のような問題点が想定される。

- ① 気象条件による差異(明るさ・影)
- ② 撮影画像の差異(撮影位置・撮影範囲)
- ③ デジタルカメラの機種・設定による差異
(レンズ[焦点距離]・画質[圧縮率]・画素数[画像サイズ])

入手容易な一般的画像処理ソフトウェアを利用し、背景差分に供する画像処理が可能かどうか検討を行った。

- ① [画像色調補正][画像正規化]等の画像処理検討
→ PhotoshopのPhotomerge等のパノラマ用の写真合成機能
- ② 撮影状況の差異による差分抽出精度(撮影条件・分解能)
- ③ [写真点検]の作業フローと運用案
- ④ 斜面の実変化の捕捉(事例;抽出差分の種類)

写真点検作業フロー(前半部)

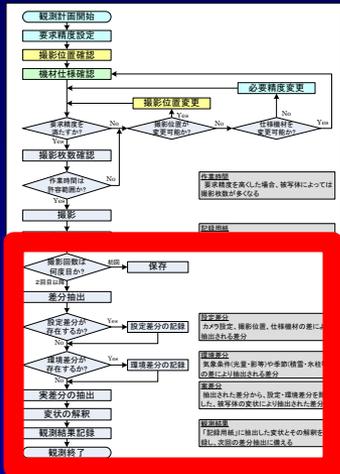


作業時間
 要求精度を高くした場合、被写体によっては撮影枚数が多くなる

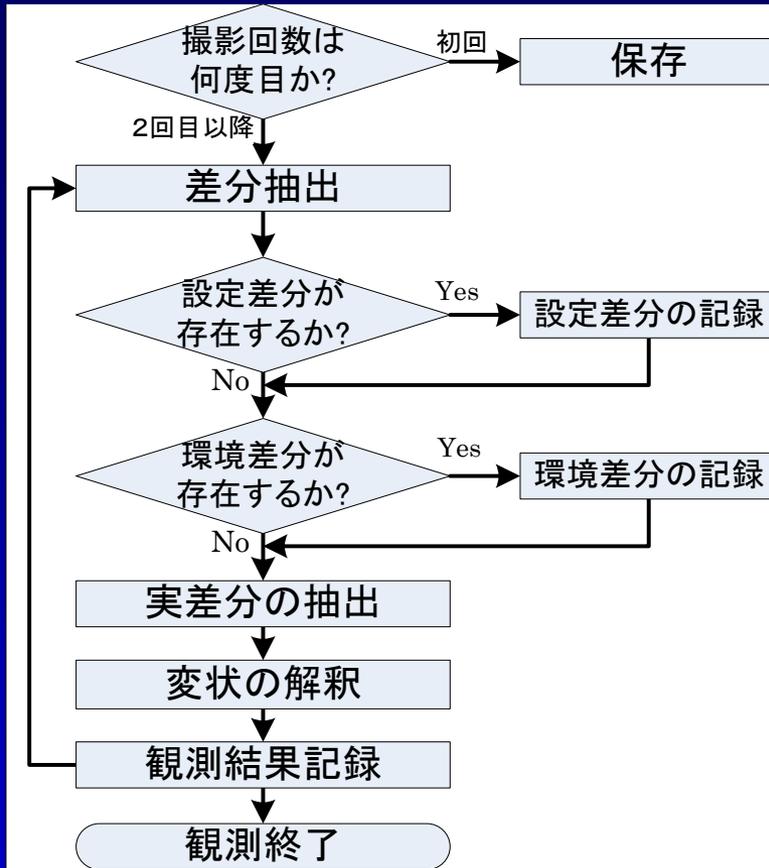
記録用紙
 撮影日時・被写体・撮影時の設定・撮影位置等を記録する

観察したい対象の大きさ(落石なのか崩壊なのか)や、対象物までの撮影距離や仰角等、そして使用するカメラの焦点距離・解像度等々によって、1枚の写真の撮影範囲及び必要枚数が定まる。

写真点検作業フロー(後半部)



また、その撮影が比較のための2回目以降の撮影であれば、初回の撮影設定に可能な範囲で合わせることも必要となる。



設定差分
カメラ設定、撮影位置、仕様機材の差により抽出される差分

環境差分
気象条件(光量・影等)や季節(積雪・氷柱等)の差により抽出される差分

実差分
抽出された差分から、設定・環境差分を除外した、被写体の変状により抽出された差分

観測結果
「記録用紙」に抽出した変状とその解釈を記録し、次回の差分抽出に備える

抽出される差分①

設定差分



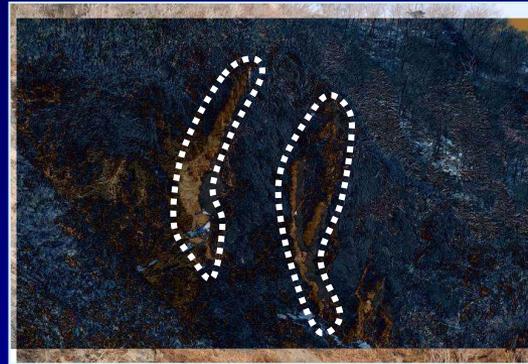
焦点距離35mm(緑枠)と焦点距離70mm(赤枠) 設定の異なる画像比較における歪みの抽出

撮影時の焦点距離が異なるため、**レンズによる画像の歪み**が2つの画像で異なる。画像の歪みはレンズの性質上、画像の中心から画像の外縁にむけて大きくなる。背景差分法の実施時にはレンズの歪みを補正するため**正規化**を行っているが、完全には補正しきれていない。そのため**物体の輪郭に沿う形状の差分**が抽出されている。

抽出される差分②

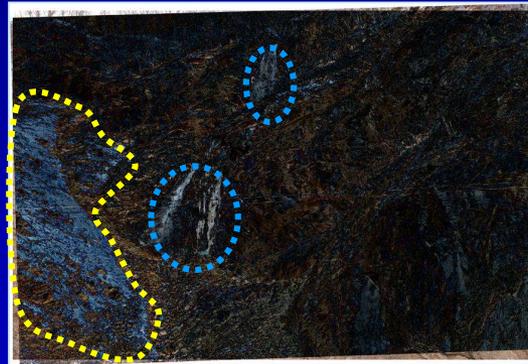
環境差分

日照条件 (陰影・ハレーション)



白点線の範囲は、太陽の位置や天候の差により影の位置・強弱・範囲が異なっており、輝度が異なるため差分として抽出されている。

季節変化 (積雪・氷)



青点線の範囲は、流水・氷柱の有無が差分となって抽出されており、黄点線の範囲は積雪の有無が差分として抽出されている。

植生・流水



緑点線の範囲のように植生の差異がそのまま差分として抽出されるため、夏季などの繁茂期においては、今回比較した秋季・冬季以上の差分が生じるとと思われる。

抽出される差分③ 実差分 ← コレが知りたい

崩壊(大)



変状(崩落)箇所における形状や色調の違いが差分画像として明確に抽出できている。

落石(小)



差分画像には大きな落石や崩落, 広範な剥離といった変状は認められない。小規模な岩石崩落痕と見られる箇所については差分として抽出されている。

礫・土砂



斜面上部より流出・流下した礫を多く含む土砂の堆積が差分画像として抽出されている。小さな転石・散岩の分布も差分として認識することができる。

事例① 崩壊箇所抽出と崩壊土量推定

撮影距離=79m
カメラ:NikonCoolPixsS2
焦点距離:f=5.8mm
分解能:30mm
サイズ:W=2592,H=1944



道路上の転石や構造物損傷などの**明確な変化**があれば、崩壊**発生源**を意識して探すだろうが、**実際は複数箇所**で**変状**が発生しているかもしれない。

ほぼ同構図の
斜面点検写真



差分画像

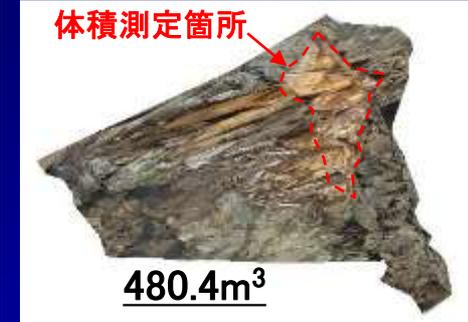
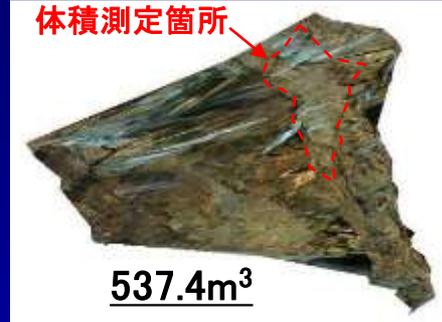
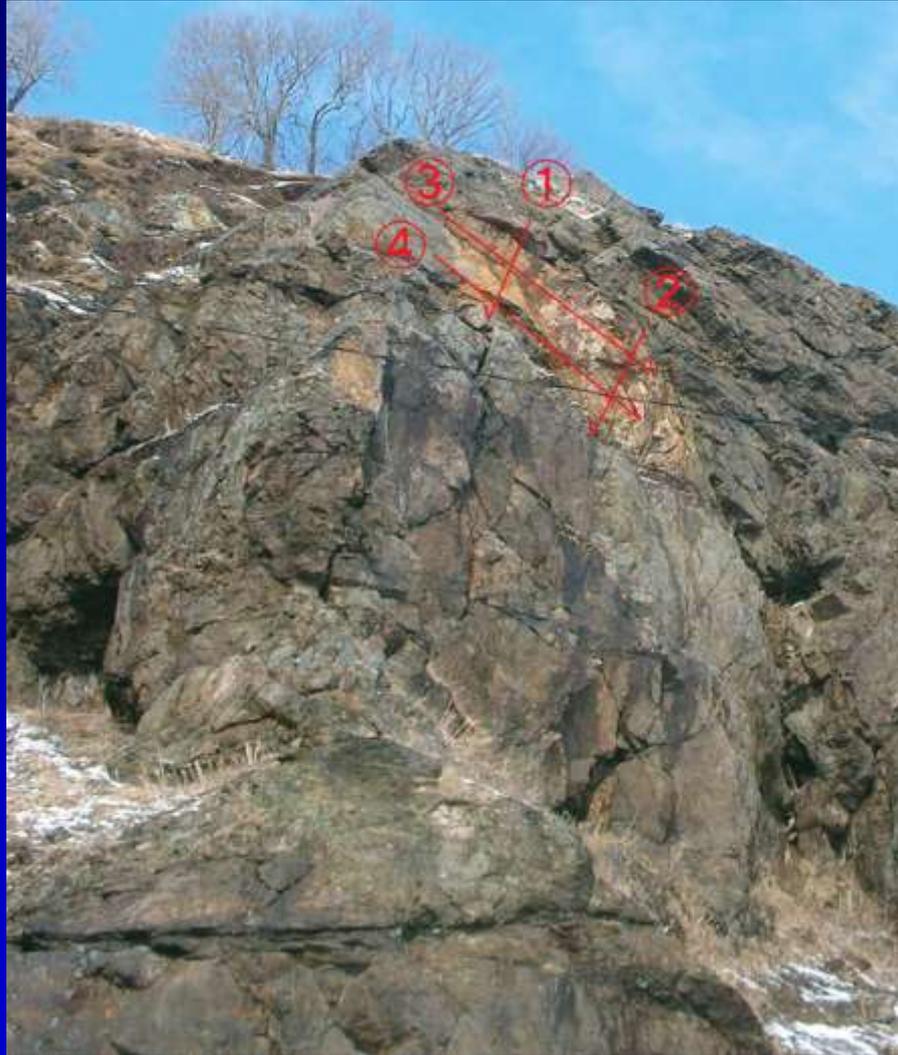


変化箇所の抽出

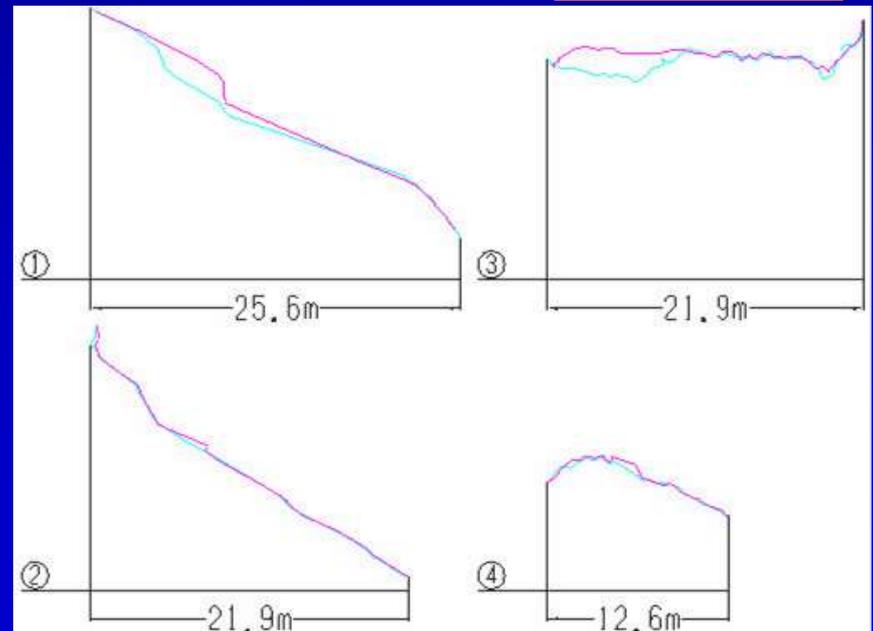
同地点で撮影時期の異なる2画像の一方をネガポジ反転した後に重ね合わせることで、**変化箇所が白っぽく抽出**される。

事例① 崩壊箇所抽出と崩壊土量推定

Kuravesを用いて、崩壊前後の地形モデルを2つ作成し、その差分から崩壊土量の算出を試みた。



算出崩壊土量 57.0m³



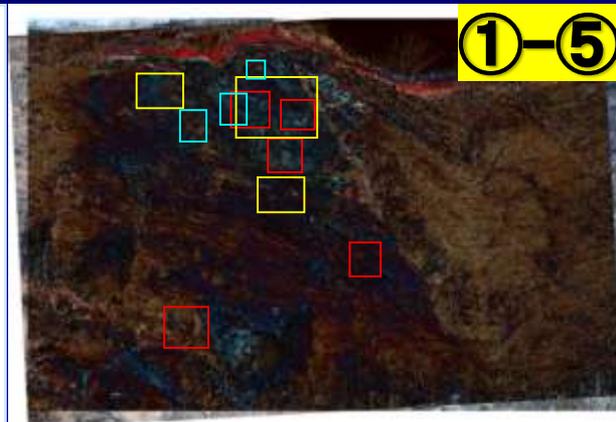
事例② 落石頻発斜面における発生源特定



落石頻発斜面(旧道)において2年3ヶ月間に5回の写真撮影を行い、背景差分をとることで、落石発生状況を解析した。

背景差分画像

同地点で撮影時期の異なる2画像の一方をネガポジ反転した後に重ね合わせることで、変化箇所が白っぽく抽出される。



2006.11.17~2009.2.15
27ヶ月比較
落石;11箇所



ほぼ同構図の斜面点検写真を比較し、変化箇所を抽出

人の目で判別しづらい細かな変化が抽出可能となり、落石発生源評価につながる!!



2006.11.17~2007.12.4
13ヶ月比較
落石;5箇所



2007.12.4~2008.1.30
1ヶ月比較
落石;なし



2008.1.30~2009.1.21
12ヶ月比較
落石;3箇所



2009.1.21~2009.2.15
1ヶ月比較
落石;3箇所

写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル(案)

写真計測技術を活用した
斜面点検マニュアル(案)

**【地上撮影編】
として改訂中**

平成 22 年 3 月

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

**【UAV撮影編】
をとりまとめ中**

**以降のスライドで
概要を紹介します**

1. 総則.....	1	3.8. 撮影の記録(共通編).....	24
1.1. 本マニュアルの目的.....	1	3.9. 変状箇所の抽出(共通編).....	25
1.2. 写真計測技術の概要.....	1	3.9.1. 使用する機材.....	26
1.2.1. 背景差分法の概要.....	2	3.9.2. 差分検出結果の解釈.....	27
1.2.2. 変動量計測法の概要.....	3	3.9.3. 差分検出結果の記録.....	35
2. 点検計画.....	5	3.9.4. 撮影地点の復元について.....	36
2.1. 点検箇所の抽出.....	5	4. 変動量計測法.....	37
2.2. 点検ポイントの選定.....	7	4.1. 変動量計測法の特徴.....	37
3. 背景差分法実施方法.....	8	4.2. 変動量計測法の流れ.....	39
3.1. 背景差分法の特徴.....	8	4.3. 変動量計測の方法.....	40
3.2. 背景差分法の流れ.....	9	4.3.1. カメラキャリブレーションの取得..	40
3.3. 分解能について.....	10	4.3.2. 現地作業で使用する機材.....	41
3.4. 使用する機材.....	12	4.3.3. 撮影地点の設定.....	42
3.5. 撮影方法(共通編).....	13	4.3.4. 撮影方法.....	44
3.5.1. 撮影対象の決定と準備.....	13	4.3.4.1. 撮影機材・設定の検討.....	44
3.5.2. 撮影時期の違い.....	14	4.3.4.2. 画角の設定.....	48
3.5.3. カメラの設定.....	15	4.3.4.3. 撮影.....	48
3.5.4. 撮影時の注意点.....	16	4.3.4.4. 基準の計測.....	49
3.6. 撮影地点の設定(斜面編).....	17	4.3.5. 標定点の設定.....	51
3.7. 撮影地点の設定(構造物編).....	21	4.3.6. 撮影の記録.....	53

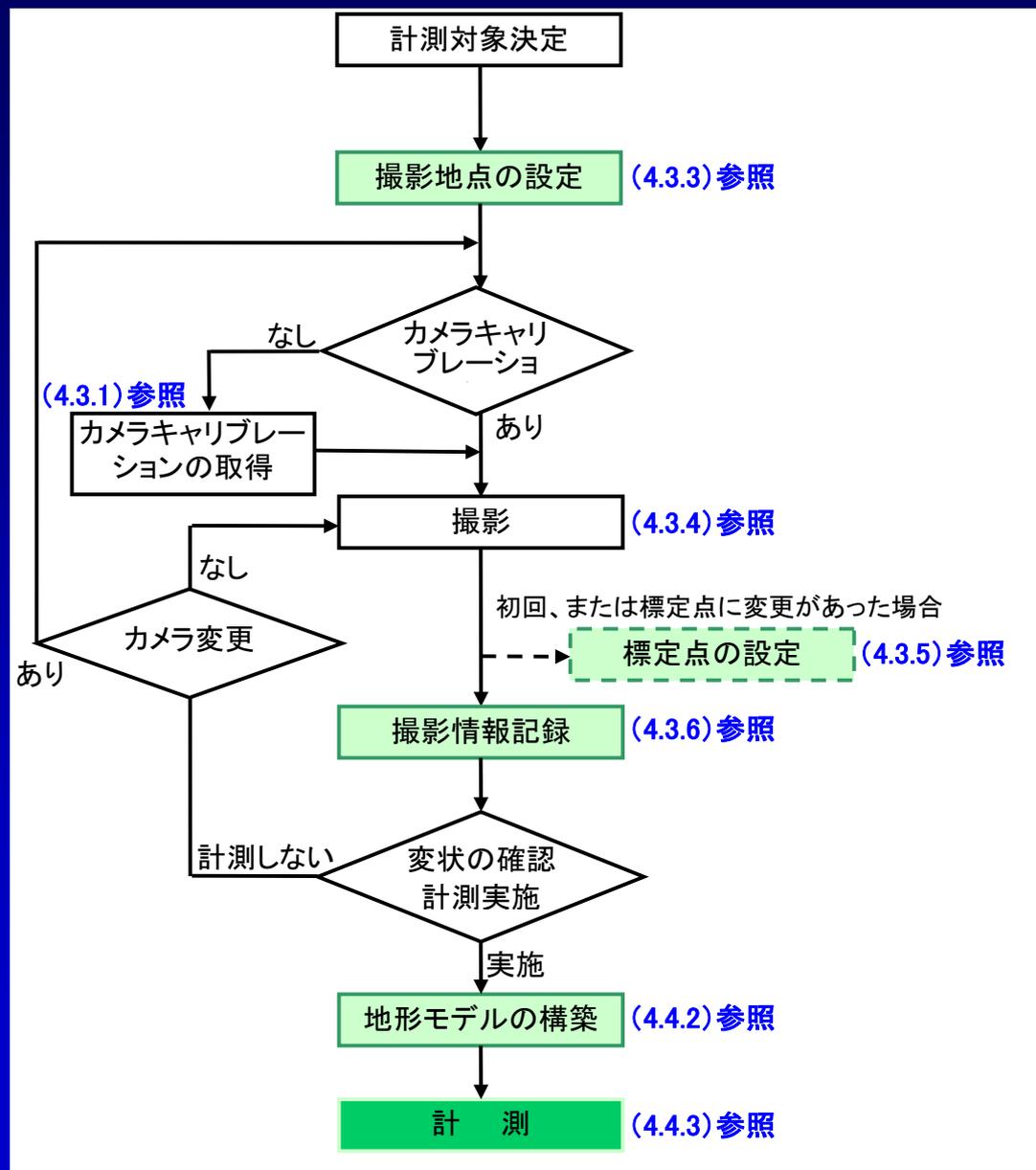
写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル(案)

写真計測技術を活用した
斜面点検マニュアル(案)

**【地上撮影編】
として改訂中**

平成 22 年 3 月

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所



写真計測技術を活用した斜面点検手法

1. 地上デジタル撮影における 背景差分法による変化箇所把握手法

→ マニュアル公開済み

2. UAV空中撮影における 背景差分法の適用拡大検討

→ マニュアルとりまとめ中，一部を紹介

検証試験に用いたUAVの例

無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV), ドローンとか

機体名称	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
プロペラ数	4枚(クアッドコプター)	4枚(クアッドコプター)	8枚(オクトコプター)
対角寸法	350mm	605mm	1045mm
合計重量	1388g	3440g	約4400g
最大飛行時間	約 30 分	約 23 分	約15分
GPS/GLONASS	姿勢制御+画像埋込	姿勢制御+画像埋込	姿勢制御と位置誘導
カメラ	FC6310(備え付け)	Zenmuse X5S	Canon EOS5D Mark III
有効画素数	約2000万画素	約2080万画素	約2230万画素
最大解像度	5472 × 3648	5280 × 3956	5760 × 3840
レンズ	(備え付け)	DJI MFT 15mm/1.7ASPH	EF24mm F2.8 IS USM
焦点距離	2.8-11mm [9mm]	15mm	24mm
センササイズ	1型(13.2 × 8.8mm)	4/3型(17.3 × 13mm)	フルサイズ(36 × 24mm)
動画記録サイズ	4096 × 2160 (4K)	4096 × 2160 (4K)	1920 × 1080 (Full HD)



- | | | | |
|---------|--------|--------|---------|
| ・機体 | 小型 | 中型 | 大型 |
| ・カメラ | 小型/固定 | 中型/選択式 | 大型/変更自由 |
| ・機体/カメラ | 連動して | 連動して | 非連動なので |
| 撮影GPS座標 | 画像埋め込み | 画像埋め込み | 時刻読み取り |

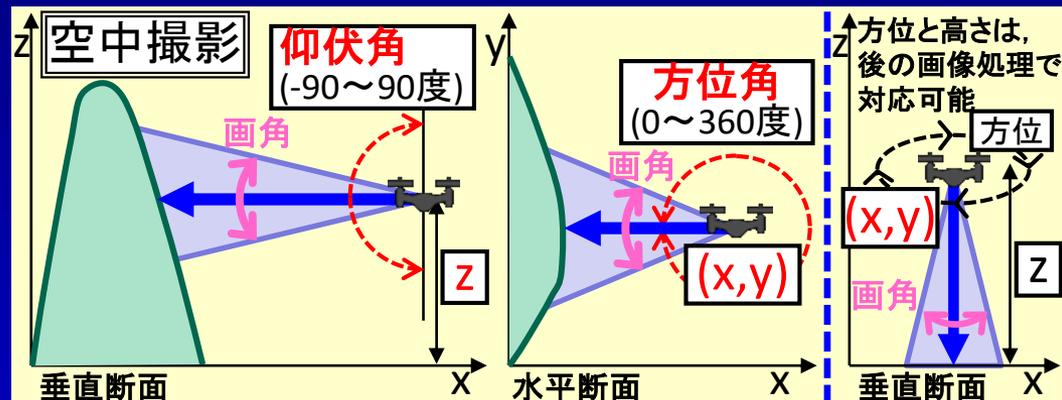
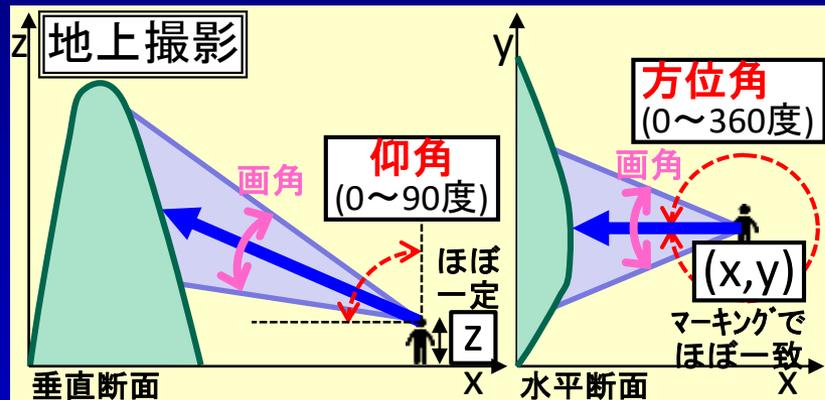
同じ構図の写真を撮影するために

背景差分法は、従来、**固定カメラ画像の変化把握**を目的としており、デジタルカメラで同じ構図の(中心投影)画像を撮影するためには、

同じ、**カメラ(レンズ)と撮影設定(画角←焦点距離)**
撮影位置と撮影方向

による撮影が必要!!

⇒ **カメラ(同/異)と撮影方向(鉛直/水平)の条件について検証を行う。**



撮影位置は、 z はほぼ同一で、 x, y についても、マーキング等で一致できる。

撮影位置が同じとなれば、撮影方向は画像を見比べることで、一致できる。

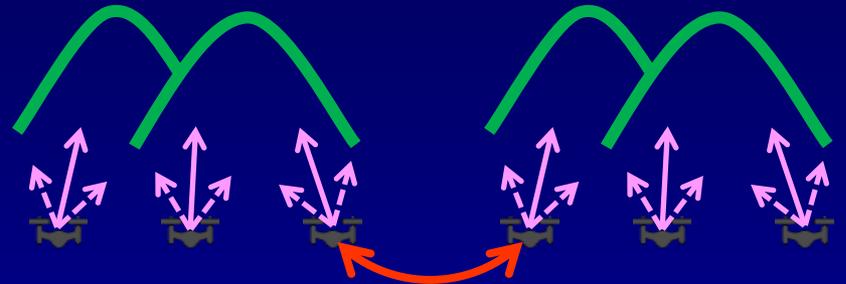
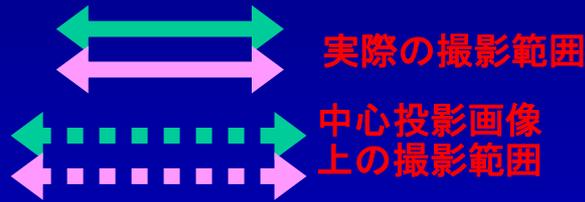
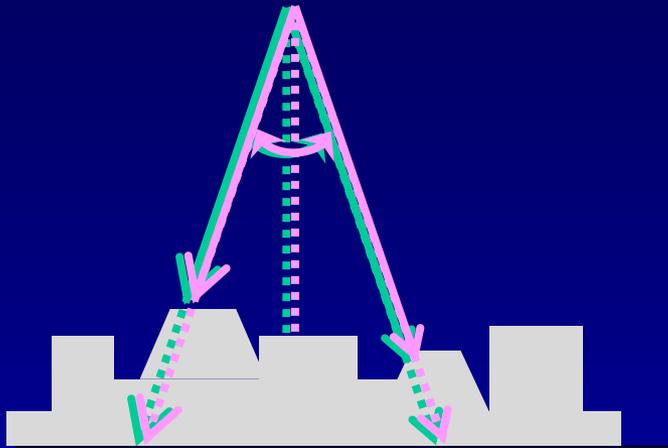
撮影位置は、画像のExif情報のGPS記録から xyz 座標を把握でき、UAV自動航行プログラムにより、位置座標・撮影向き再現はある程度可能である。

ただし、GPS(高度)等の精度に課題があり、変数も多いため、画像比較による調整にも限界がある。

データ引き渡しや位置調整に手間がかかる。

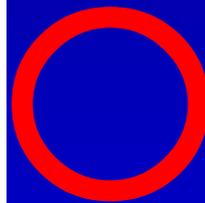
⇒ **手間がかからず高精度な別の方法を検討**

同じカメラで構図の同じ写真を撮るために



同じ位置と方向で撮影

カメラが同じなら、
同じ位置、同じ方向で
同じ設定で撮影すれば、
構図の同じ写真となる



同じ位置・方向から撮影するために、

画像のEXIF情報から、撮影位置のGPS座標データを読み取り、UAVの自動航行プログラムで同じ位置から撮影する。

GPSの高度情報は精度が悪いため、高度と撮影方向は、前回の画像と見比べながら現地で微調整する。

構図の一致率は、あまりよくない

同じカメラで座標入力航行撮影による背景差分

同じUAV(Phantom4 Pro)で1年後に撮影。
(a)画像のExifから取得した[緯度]・[経度]・[高度]情報をUAVに入力航行して撮影。



山の輪郭がズれるほど重ね合わせられていない



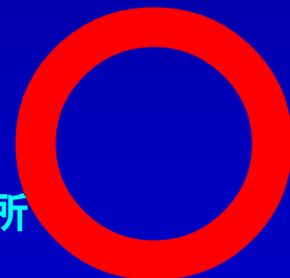
[高さ]と[撮影角度]の精度が悪く、構図がズレ、背景差分の変形重ね合わせが不可となった。

方法修正

同じUAV(Phantom4 Pro)で1年後に撮影。
(c)画像のExifから取得した[緯度]・[経度]情報をUAVに入力航行して、(c)画像とモニタとを見比べながら、[高さ]と[撮影角度]を微調整後に撮影。



山の輪郭のズレも僅かである



[高さ]と[撮影角度]を目視で微調整したことで、背景差分の変形重ね合わせが可能となった。

GPSによる位置座標やUAV航行ログ情報のみから、撮影の位置と方向の自動設定には限界があり、高さや撮影方向の微調整は必要。

同じカメラによる背景差分適用可能条件



斜面からの距離: 20m
撮影水平移動距離: 3m
算出ラップ率: 89.8%



斜面からの距離: 50m
撮影水平移動距離: 6m
算出ラップ率: 91.8%



焦点距離: 9mm
センサ横幅: 13.2mm

ラップ率: 89.8%



斜面からの距離: 20m
撮影水平移動距離: 5m
算出ラップ率: 83.0%

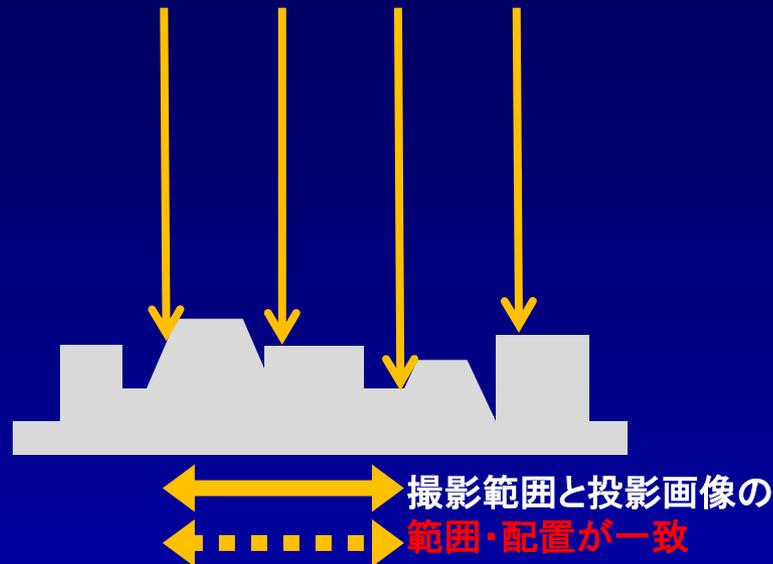
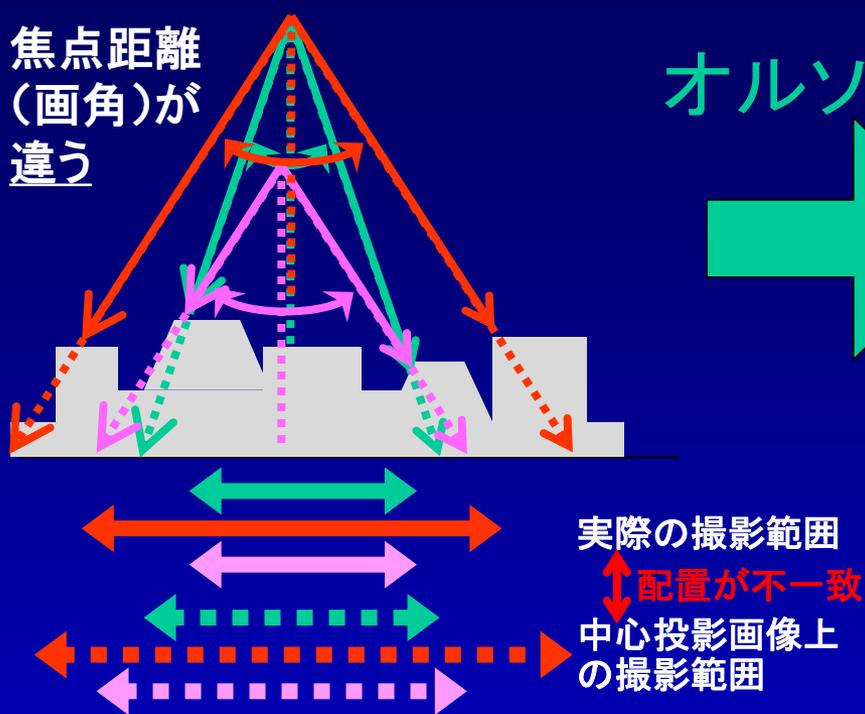


斜面からの距離: 50m
撮影水平移動距離: 12m
算出ラップ率: 83.6%



背景差分の抽出が可能となる撮影条件は、UAVの斜面からの距離と撮影水平移動距離から算出される2画像のラップ率が90%以上である

違うカメラで構図の同じ写真を撮るために

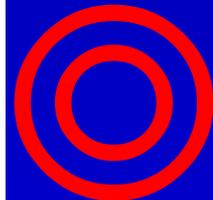


SfM技術により、写真から構築した
三次元地形モデルを活用することで、
カメラ撮影したままの中心投影画像
を正射投影画像にオルソ変換する

カメラが異なると、
同じ位置から撮影しても、
構図は同じ写真とならない
撮影範囲が等しくなるよ
うに撮影位置を調整しても、
中心投影画像であるため、
対象物の形状(高さ)によっ
て、構図はズレてしまう。



正射投影の軸さえ一致す
れば、カメラや撮影位置に
よらず、同じ構図の画像を
切り出すことが可能となる。



オルソ画像で背景差分を行うためには

① 死角がないように撮影

撮影位置・方向を前回撮影時と一致させる必要は無い

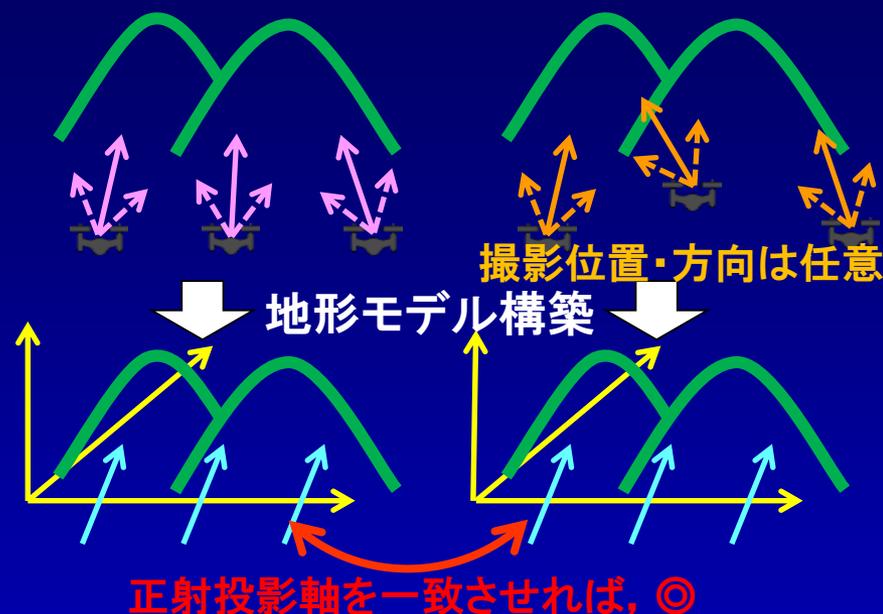
オーバーハング部などで死角がないように高ラップで撮影する

② 写真から地形モデルを作成

金網施工斜面では、分解能が10mm以下となる撮影が望ましい

③ 軸を揃えたオルソ画像を作成し、背景差分を抽出

精度良く細かな変化箇所が抽出可能となる



・撮影の位置と方向は任意

撮影位置のGPS座標データを埋め込んだ画像から三次元地形モデルを構築し、**オルソ投影軸を一致**させた疑似オルソ画像の構築が必要

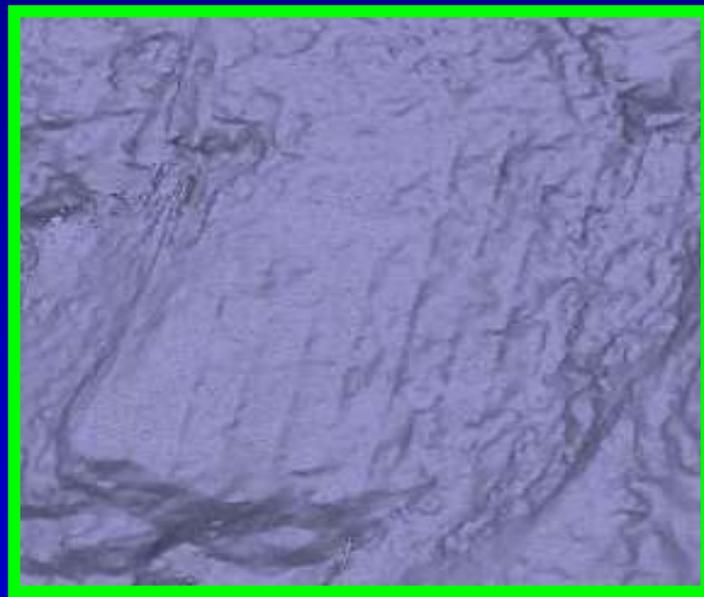
背景差分の精度は極めて良い

金網施工箇所 of 三次元地形モデル作成時の課題



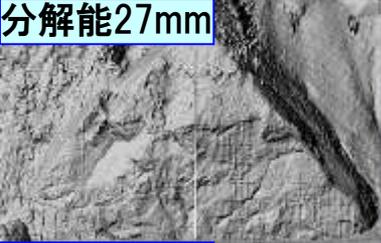
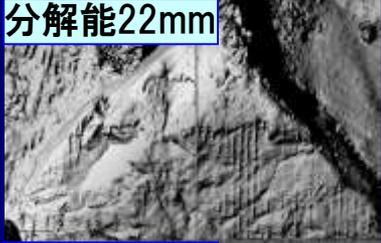
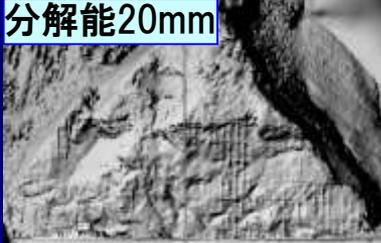
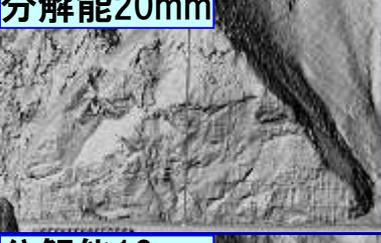
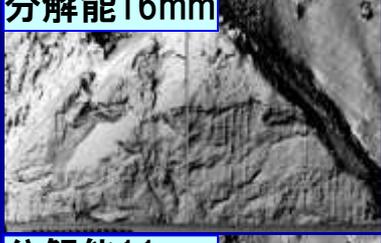
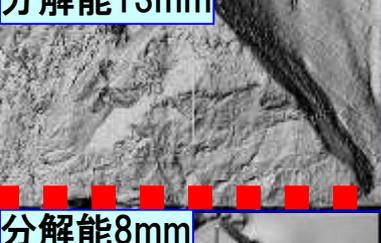
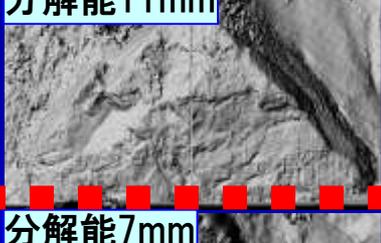
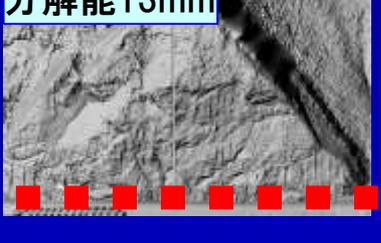
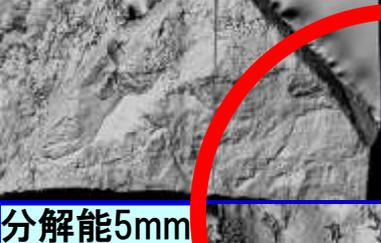
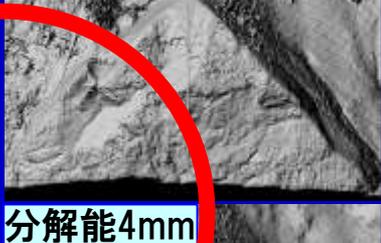
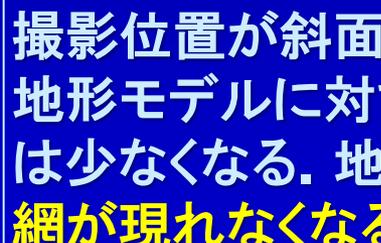
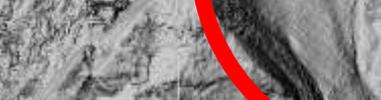
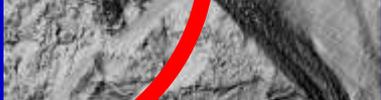
SfM技術で写真から構築した三次元地形モデルの表面に写真を貼り付けたテクスチャーモデル

支尾根の末端部が切土され、全面に金網が施工されている。



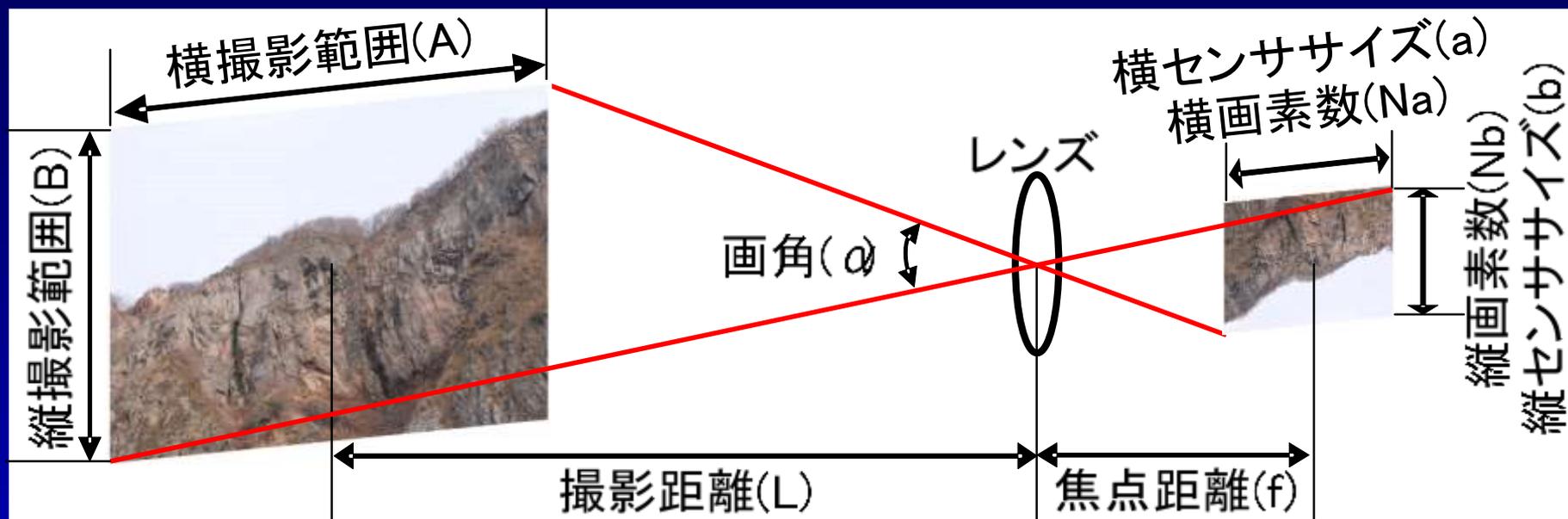
落石対策で金網の施工箇所では、岩盤ではなく、**金網の表面がモデル化**され、金網のワイヤーが縦に筋状に認められる。

機種と撮影距離の違いによる地形モデルの差異

	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
撮影距離: 100m	分解能27mm 	分解能22mm 	分解能20mm 
撮影距離: 75m	分解能20mm 	分解能16mm 	
撮影距離: 50m	分解能13mm 	分解能11mm 	分解能13mm 
撮影距離: 30m	分解能8mm 	分解能7mm 	分解能10mm 
撮影距離: 20m	分解能5mm 	分解能4mm 	

撮影位置が斜面に近づくにつれ、地形モデルに対する金網の影響は少なくなる。地形モデル上で金網が現れなくなる閾値は、撮影距離や機材に係わらず、**分解能で約10mm程度**である。

【参考】デジタルカメラの仕様と撮影画像の関係



〔横方向の撮影範囲〕

$$A = L \times \frac{a}{f}$$

〔横方向の分解能〕

$$\text{横分解能} = \frac{\text{横撮影範囲}(A)}{\text{横画素数}(N_a)}$$

〔横方向の画角〕

$$\alpha_a = 2 \tan^{-1} \frac{a}{2f}$$

〔縦方向の撮影範囲〕

$$B = L \times \frac{b}{f}$$

〔縦方向の分解能〕

$$\text{縦分解能} = \frac{\text{縦撮影範囲}(B)}{\text{縦画素数}(N_b)}$$

〔縦方向の画角〕

$$\alpha_b = 2 \tan^{-1} \frac{b}{2f}$$

1画素に映り込む対象物の大きさである「**分解能**」が重要！

違うカメラの垂直オルソ画像の背景差分

2016年
オルソ画像
Phantom4
18枚(1コース)



2017年
オルソ画像
Phantom4Pro
34枚(2コース)



2016年オルソ
切出し画像



2017年オルソ
切出し画像



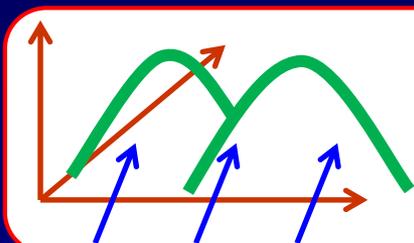
違いは堆雪部分のみ

オルソ切出し重ね合わせ画像

異なる機材で、1年の撮影間隔にもかかわらず、堆雪部のみが変化箇所として抽出されるという、極めて画像一致率の高い結果となった。

この1年間に変状箇所はないと判断される。

違うカメラの水平オルソ画像の背景差分



地形モデルの座標軸とオルソの正射投影軸が比較2ケースでズレないように標定点を設定して地形モデルを構築した

改善

露岩部で変化がないにも拘わらず白っぽく見えていた部分が黒に改善。

局所的に日当たりが違った部分

全体的な白っぽさが軽減されている

草の変化で見えていた白っぽさも軽減された

疑似オルソ画像の欠損部分

背景差分画像(軸調整あり)

背景差分画像(軸調整なし)

2017年
疑似オルソ画像

2018年
疑似オルソ画像

、全体的に白っぽさが減り、植生や日照の違いと、処理に用いた地形モデル自体の欠損部のみが差分として抽出される極めて良い結果となった。

同じカメラの水平オルソ画像の背景差分



輪郭には僅かにズレが見られるものの、内部はほぼ一致した変形重ね合わせとなった。
前後の色調が異なるため、全体が変化箇所として白く表示されている。

色調補正



2枚のオルソ画像の色調を等しく調整した後に、重ね合わせを行った。
背景差分抽出では、雪や植生の異なる箇所の他、以前の崩壊跡の拡大部分などが、白っぽい表意となる変化箇所として抽出できた。

撮影の位置・方向ズレの影響を受けない正射投影オルソ画像を色調補正して背景差分をとることで、精度良い変化箇所の把握が可能。

【まとめ】UAVで背景差分を可能とする方法

①撮影画像をそのまま比較



【カメラが同じ場合】

撮影位置・方向を一致させれば、○

【カメラが異なる場合】

撮影位置・方向を一致させても、×

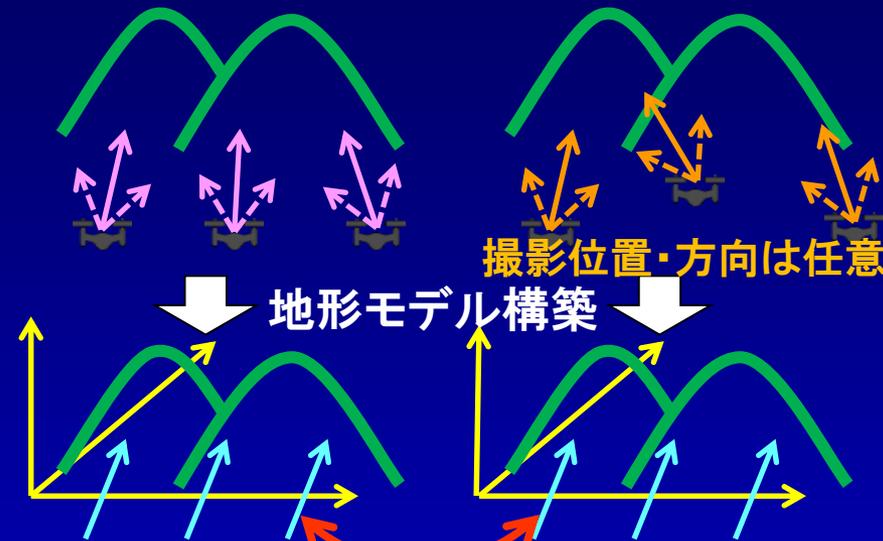
・同じカメラで撮影の位置・方向を一致

撮影位置のGPS座標データが埋め込まれた画像が必要

撮影位置をプログラム飛行させ、高度と撮影方向は、画像を見比べて90%以上がラップするように現地微調整する。

背景差分の精度はあまりよくない

②オルソ画像変換して比較



正射投影軸を一致させたオルソ画像であれば、○

・撮影の位置と方向は任意

撮影位置のGPS座標データを埋め込んだ画像から三次元地形モデルを構築し、**オルソ投影軸を一致させた疑似オルソ画像の構築が必要**

背景差分の精度は極めて良い

最後に

斜面の維持管理・点検においては、斜面崩壊の引き金となるような兆候を見逃さずに捉えることが重要である。

デジタル画像処理, 写真測量技術, UAVといった新しい技術や手法を活用し, 人の目で見落としがちな些細な変化を漏れなく経年的に把握することで, 斜面災害の防止に繋がることを期待する。