



日本写真測量学会関西支部
テクニカルセミナー第110回空間情報話題交換会

空中写真測量の現状と将来の展望

2021年12月3日

アジア航測株式会社 久保学



自己紹介

- アジア航測株式会社
空間情報技術センター 東日本空間情報部
東日本空間情報一課 に所属
(入社から昨年2020年まで、関西で業務に従事)
- 専門：空中写真測量全般



出典：2010年 第14回近畿地方測量技術発表会より



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

本話題提供につきまして

- 空中写真測量は、土木分野等から、枯れた技術の様に思われています。
- しかし、空中写真測量の技術は着実に進歩しており、多くの分野での活用が期待できます。
- 本日は、空中写真測量の現状と将来の展望について話題提供させていただきます。

話題提供

1. 空中写真測量の現状
2. 活用事例
3. 将来の展望

1.1 空中写真測量とは

公共測量作業規定の準則より

第3節 地形及び写真測量

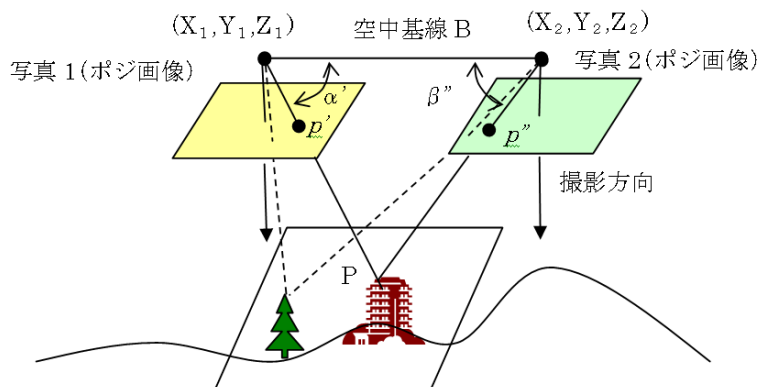
第6章 第1節 要旨（要旨）

第250条

「空中写真測量」とは、空中写真を用いて
数値地形図データを作成する作業をいう。

1.1 空中写真測量とは

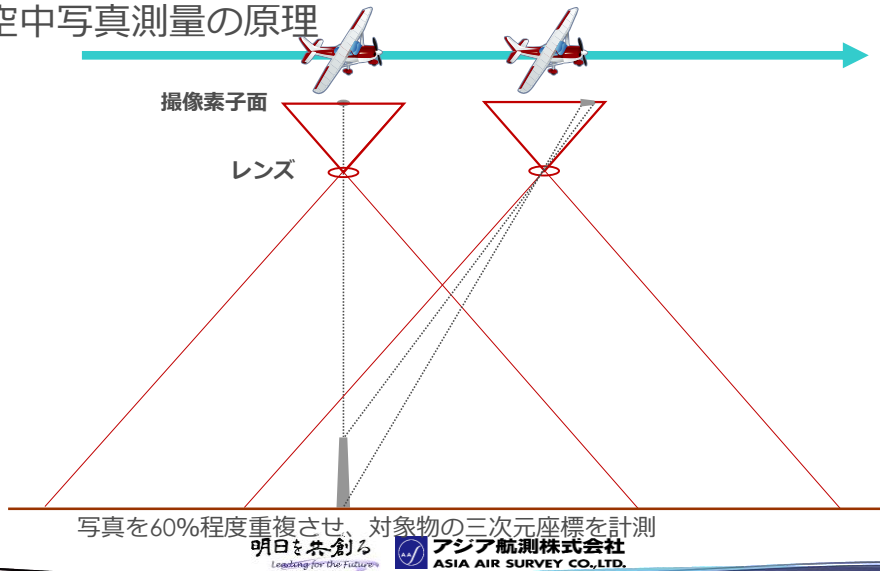
空中写真測量の原理



カメラと写真（ポジ画像）による立体三角測量（立体写真測量）の原理

1.1 空中写真測量とは

空中写真測量の原理



7

1.2 工程別作業について

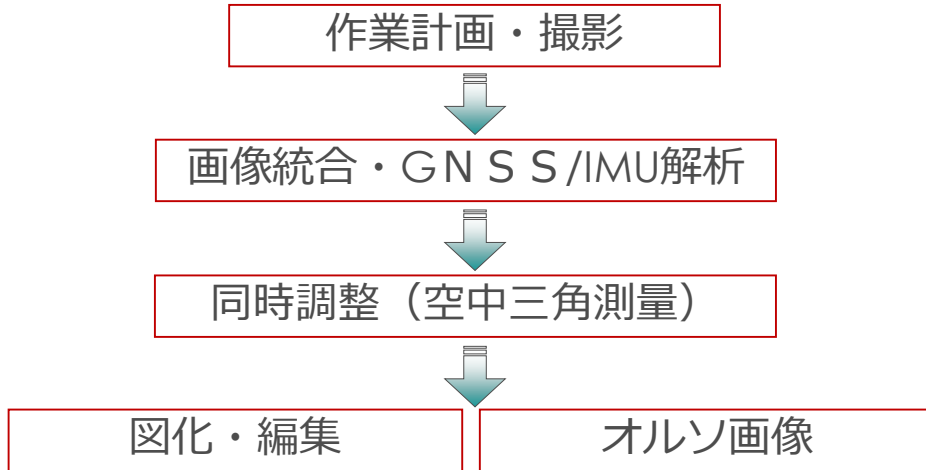
公共測量作業規定の準則

第252条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。

- 一 作業計画、二 標定点の設置、三 対空標識の設置
- 四 撮影、五 同時調整、六 現地調査、七 数値図化
- 八 数値編集、九 補測編集、十 数値地形図データ
- ファイルの作成、十一 品質評価、十二 成果等の整理

1.2 工程別作業について

空中写真測量のフロー



明日を共創る
Leading for the Future

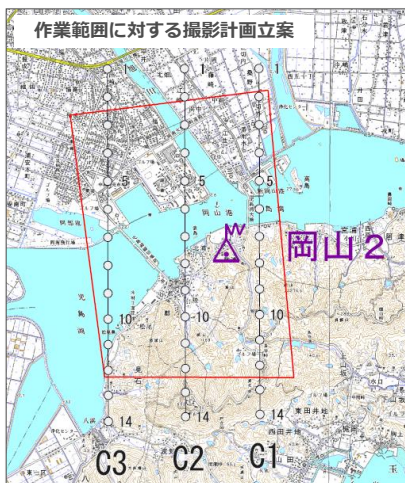


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

9

1.2 工程別作業について

(1) 作業計画（重要）



明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

10

1.2 工程別作業について

(1) 作業計画（目的に合わせた計画が重要）



河川を対象とした事例

- ・河川管理のためオルソ画像作成が目的の場合は河川直上の1測線等で計画するが多い

対象範囲 測線 フットプリント

1.2 工程別作業について

(1) 作業計画（目的に合わせた計画が重要）



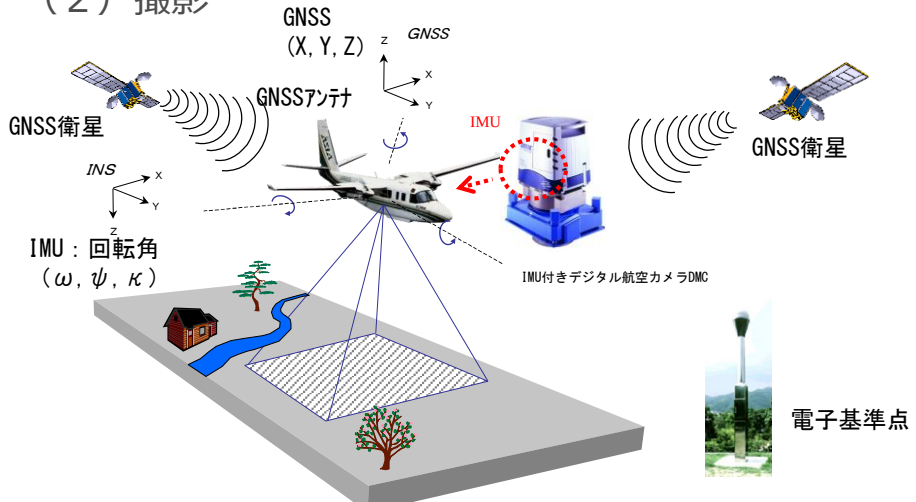
河川を対象とした事例

- ・河川平面図で、堰堤の改修計画等も考慮した図化を目的とする場合は、対象の地形等も考慮し、堰堤の直上で2測線での計画を行う場合もあります。

対象範囲 測線 フットプリント

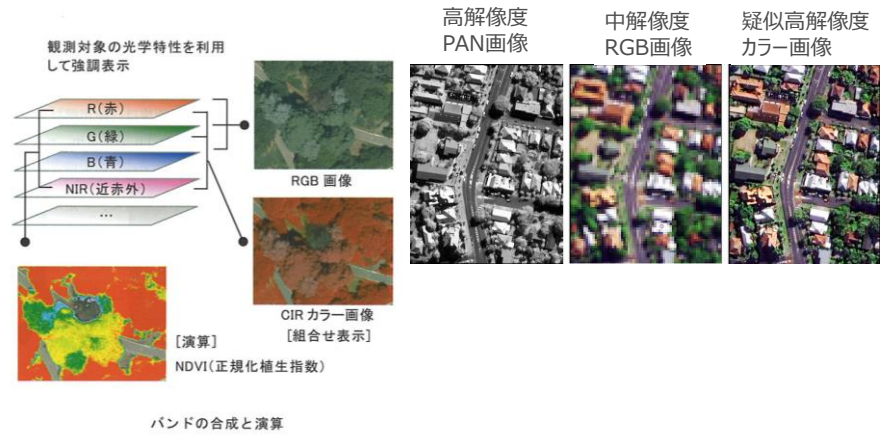
1.2 工程別作業について

(2) 撮影



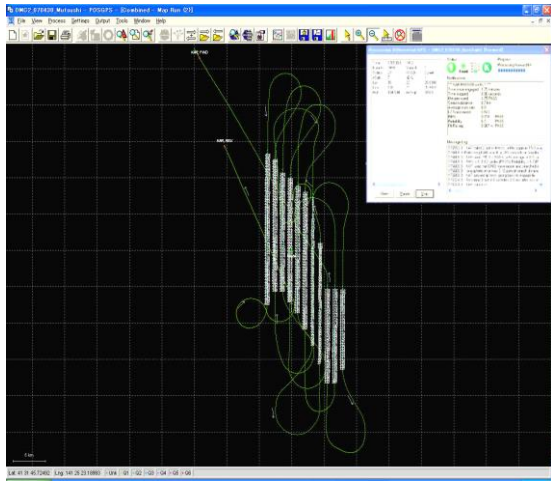
1.2 工程別作業について

(2) 撮影 (画像統合 : パンシャープン処理)



1.2 工程別作業について

(4) GNSS/IMU解析



飛行機側の
GNSS/IMUデータと
地上側の電子基準点
データを用いて解析

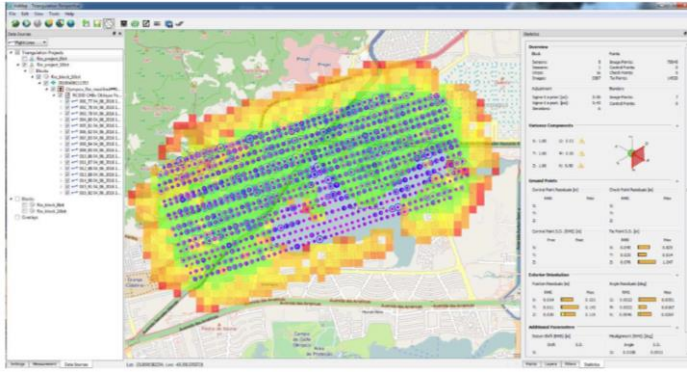


電子基準点

1.2 工程別作業について

(5) 同時調整

撮影データ（数値写真とGNSS/IMU解析データ）及び
と基準点測量成果から解析を行う。



出典：ライカジオシステムズ資料

1.2 工程別作業について

(5) 同時調整

図化名人

異なる写真で同一箇所を取得する

写真の投影中心をとる複数本の共線が対応する点(バスポイント・タイポイント)において1点で交わることを条件に調整する手法のこと。

航空写真上ステレオで確認できる
明瞭な地物をGNSSで観測

GNSS測量による三次元座標値
X= 61547.827
Y= 42520.185
Z= 19.958

現地計測を実施する

写真の投影中心、撮影方向

タイポイント

バスポイント

基準点

共線条件

明日を共創る
Leading for the Future

アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

・GNSS/IMU解析結果
・バスポイント
・検証点

↓

図化やオルソ作成が可能な外部標準要素を作成(同時調整成果を作成)

17

1.2 工程別作業について

(5) 同時調整

撮影だけの案件であっても、利活用を考慮して、可能な限り実施することが重要(予算もあるが・・・)

公共測量の場合は、国土地理院の助言で実施する様に指導される事例が多い

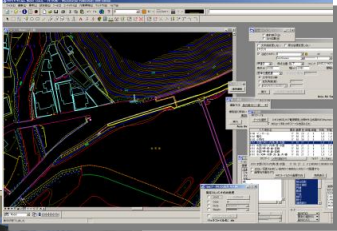
同時調整に使用する基準点測量も目的に合わせて実施することが重要

(高さが重要な河川図化等が目的の場合は、GNSS測量のスタティック法や水準測量が必要)

1.2 工程別作業について

(5) 図化・編集

デジタルステレオ図化機で図化を行い、CADで編集を実施



モニターによるステレオ観測
等高線はLPデータを活用する
事例も増えている

三次元観測作業

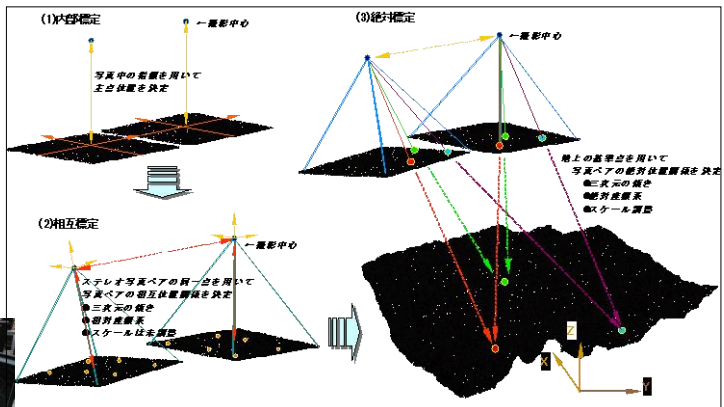
明日を共創る
Leading for the Future

アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

19

1.2 工程別作業について

(5) 図化・編集



(1)内部補正
写真中の歪みを用いて
主点位置を決定

(2)相対補正
ステレオ写真ペアの同一点を
用いて
写真ペアの相互位置関係を決定
二次元の補正
外部位置関係
主点位置は未知

(3)絶対補正
地上の基準点を用いて
写真ペアの絶対位置関係を決定
三次元の補正
外部位置関係
主点位置は未知

明日を共創る
Leading for the Future

アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

20

1.2 工程別作業について

(5) 図化・編集

CADを用いてデータを編集



明日を共創る
Leading for the Future

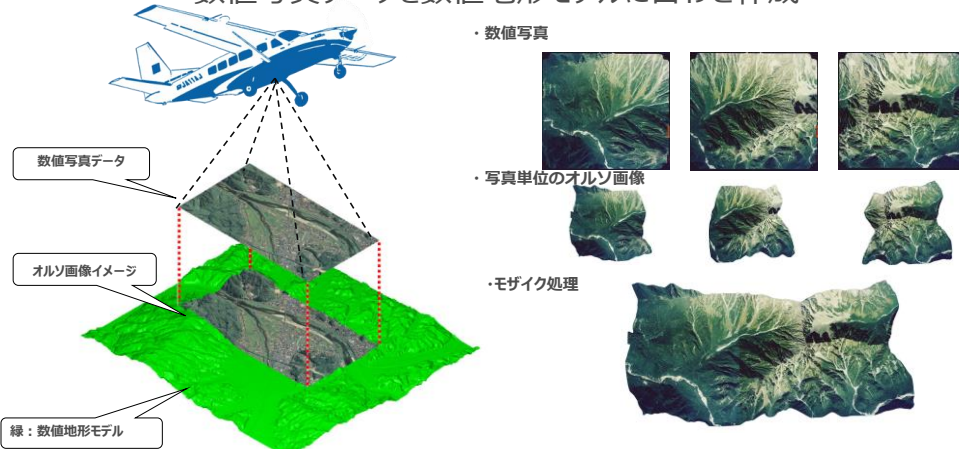
アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

21

1.2 工程別作業について

(6) オルソ

数値写真データを数値地形モデルに合わせ作成



明日を共創る
Leading for the Future

アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

22

1.3 空中写真測量の現状（デジタル航空カメラ）

デジタル航空カメラについて

・ラインセンサ型（ADS）



ADS80

(12,000pixel×∞)



ADS100

(20,000pixel×∞)



・フレームセンサ型（UltraCam、DMC）



UCX_p
(196M)



UCE
(262M)



UCEprime
(340M)



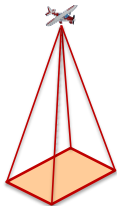
UCEmk3
(340M)



DMC II e230
(230M)



DMCIII
(375M)



明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

23

1.3 空中写真測量の現状（デジタル航空カメラ）

デジタル航空カメラについて

操作装置、カメラ本体、カメラ架台で構成される



操作装置

カメラ本体
(レンズ、GNSS/IMU含む)

カメラ架台

項目	諸元
製品名	Leica DMC III
画素数	391 MP CMOS (25728 x 14592 pixel)
画角	57°FOV
撮像素子 シャッター	グローバルシャッター
GSD例	4 cm GSD from 1000m AGL

明日を共創る
Leading for the Future

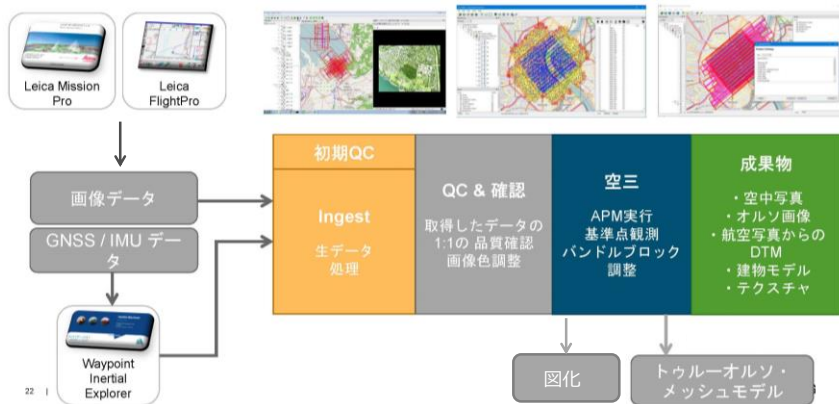


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

24

1.3 空中写真測量の現状（処理ソフトウェア）

計画からオルソ作成まで一貫処理を行う



出典：ライカジオシステムズ資料（一部加筆）

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

25

2.1 全般的な活用事例

空中写真測量

- ・ 図化

地方自治体の道路、都市計画

河川、砂防等の管理図面

電力、鉄道等の管理図面

- ・ 判読

砂防、斜面、森林等の立体判読

（近年は立体判読技術者が減少）

明日を共創る
Leading for the Future

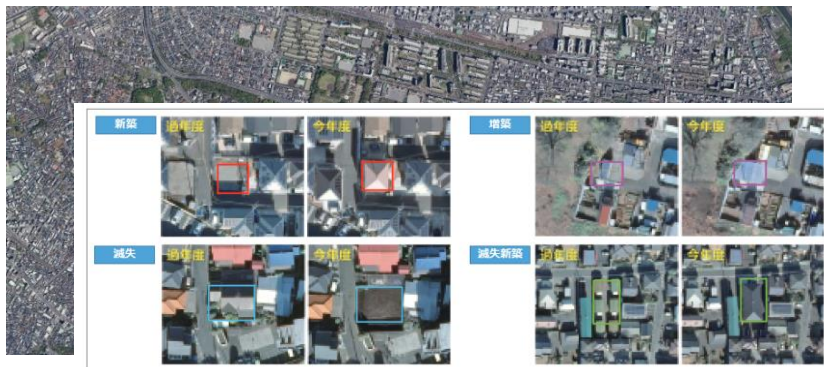


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

26

2.2 オルソ画像の活用事例

オルソ画像は、都市・河川・砂防・海岸等の状況把握や固定資產業務の異動判読等で活用されている



明日を共創る
Leading for the Future

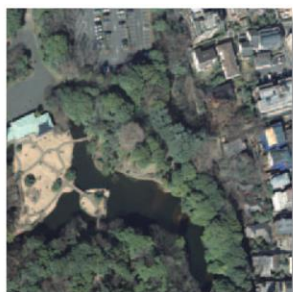


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

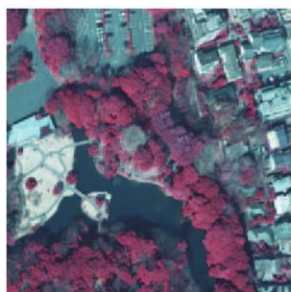
27

2.2 オルソ画像の活用事例

近赤外画像のオルソ画像は、市街地の緑被率調査や森林の活性度把握、河道内樹木の把握等に活用されている



RGB 画像



近赤外画像



土地被覆分類

明日を共創る
Leading for the Future



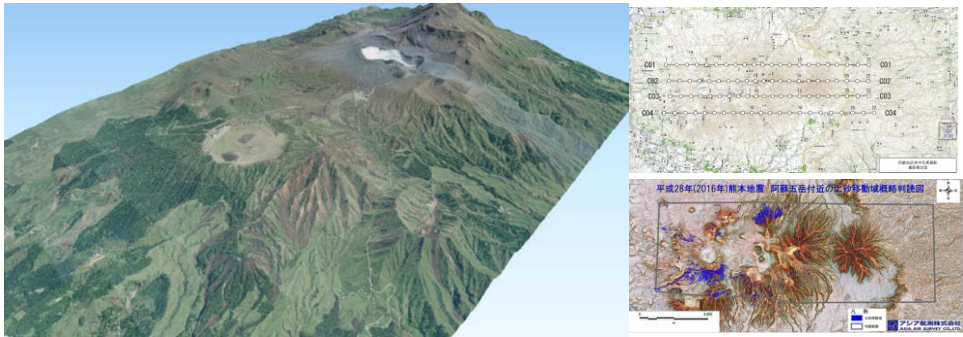
アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

28

2.2 オルソ画像の活用事例

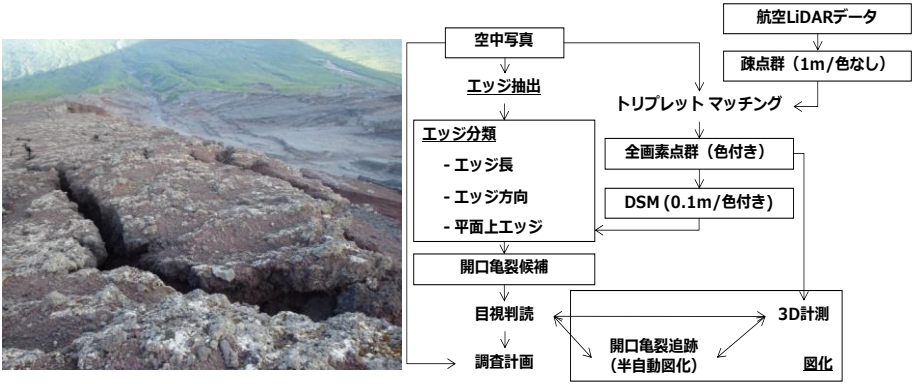
オルソ画像は、平常時や災害時の河川、道路、森林等の状況把握や判読等に活用されている

平成28年（2016年）熊本地震 阿蘇五岳の事例



2.3 砂防業務への新たな活用事例

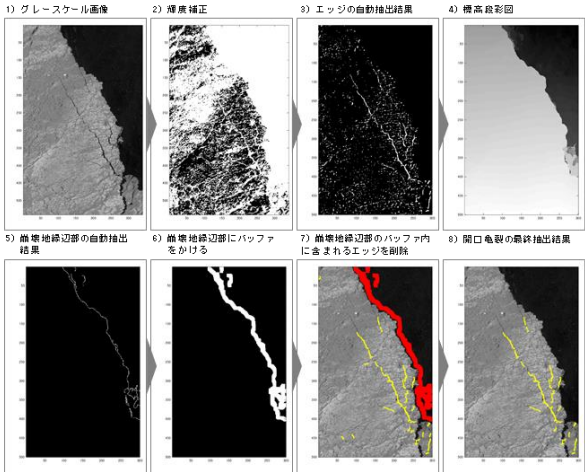
崩壊地の開口亀裂の自動抽出



出典：2021年砂防学会研究発表会概要集(Web) 航空計測技術を活用した富士山大沢崩れにおける開口亀裂の自動抽出

2. 3 砂防業務への新たな活用事例

開口亀裂の自動抽出結果例



出典：2021年砂防学会研究発表会概要集(Web) 航空計測技術を活用した富士山大沢崩れにおける開口亀裂の自動抽出

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

31

3. 1 空中写真測量技術の将来展望

小型デジタル航空カメラの登場

(UAVや航空レーザへの搭載が進みつつある)



機種名	Phaseone iXM-RS150F
画像サイズ	53.4×40 mm
記録画素数	約1億5,000万 (14204×10652) 画素
連続撮影可能枚数	最大1コマ/秒
データサイズ	RAW形式：131.7MB

明日を共創る
Leading for the Future

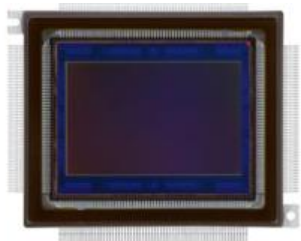


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

32

3. 1 空中写真測量技術の将来展望

CMOSセンサ：2.5億画素まで製品化
（8Kビデオカメラ用、グローバルシャッター機能は搭載されていない）



機種名	LI8020SAC（カラー） LI8020SAM（モノクロ）
画像サイズ	29.4×18.9 mm
記録画素数	約2億5,000万 （19,568×10652）画素
連続撮影可能枚数	最大1コマ／秒
データサイズ	RAW形式：131.7MB

出典：Canon HP より

3. 1 空中写真測量技術の将来展望

CMOSセンサ：グローバルシャッター機能の重要性
（CMOSセンサは、構造上、電子シャッター高速移動物体を撮影すると取得画像が歪む問題がある）



3. 1 空中写真測量技術の将来展望

CMOSセンサ：グローバルシャッター機能の重要性
(CMOSセンサは、レンズのメカニカルシャッターで歪み影響を抑えている)



電子シャッター 1/10,000秒

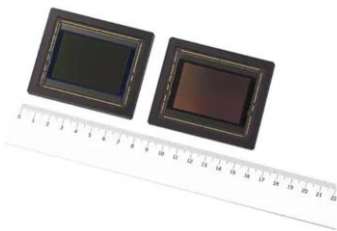


メカニカルシャッター 1/4,000秒

レンズシャッター (10~30万回での交換必要)

3. 1 空中写真測量技術の将来展望

最新のCMOSセンサ：グローバルシャッター機能搭載
(レンズのメカニカルシャッター不要)



項目	諸元
製品名	IMX661
画素数	1億2,768万画素
イメージサイズ	13,400 (H) × 9,528 (V)
シャッター	対角 56.73mm (3.6型)
グローバルシャッター	グローバルシャッター
フレームレート	14bit : 12.9fps (従来型の4倍)

出典：ソニーセミコンダクタソリューションズグループHPより

3.1 空中写真測量技術の将来展望

小型デジタル航空カメラについて

- ・ 空中写真撮影システムとしての総合的に判断する必要がある（解像度が高い＝精度向上では無い）
- ・ GNSS/IMUの機材精度、マウント補正機能、同時調整、基準点計測の観測精度も含めた総合判断が必要
- ・ デジタル航空カメラは広域（単位： km^2 ）、UAV等に搭載される小型デジタル航空カメラは狭域（単位： m^2 ）での活用が想定される

出典：ソニーセミコンダクタソリューションズグループHPより

明日を共創る
Leading for the Future

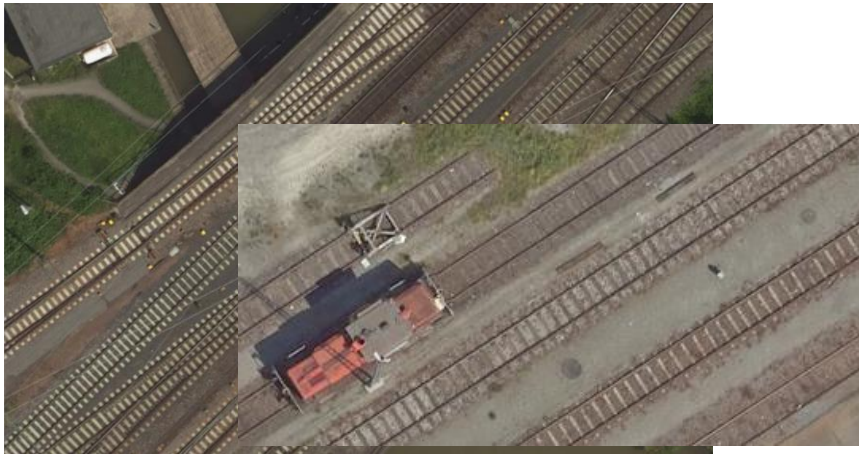


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

37

3.2 DXへの活用展望

空中写真撮影の高解像度化（GSD5cm）



出典：ライカジオシステムズ

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

38

3.2 DXへの活用展望

空中写真撮影（GSD5cm）の自動マッチング例



30 | hexagon.com

手動修正無し

出典：ライカジオシステムズ

HEXAGON

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

39

3.2 DXへの活用展望

都市モデル（DX）のLOD1, LOD2への活用の可能性 高精度な自動三次元計測技術が重要



明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

40

3.3 SfM技術の活用可能性について

SfM（Structure from Motion）技術を用いた、都市部の自動三次元計測の可能性を検討した。



Pix4Dmapper

数値写真と同時調整成果を用いたSfM処理が可能

出典：Pix4D社 HPより

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

41

3.3 SfM技術の活用可能性について

撮影諸元

- 撮影日時：2020年3月20日
- 地上画素寸法：7.5cm
- コース数：10コース（コース図次ページ参照）
- 撮影枚数：264枚
- ラップ率：オーバーラップ＝80%

サイドラップ＝90%

明日を共創る
Leading for the Future

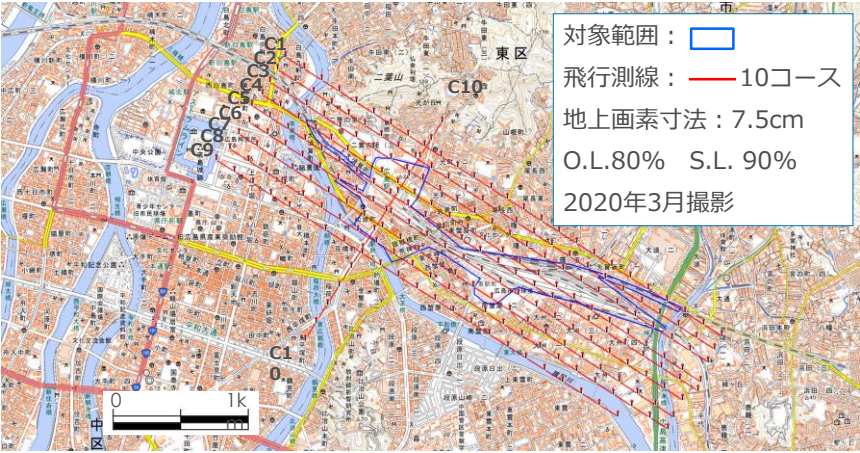


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

42

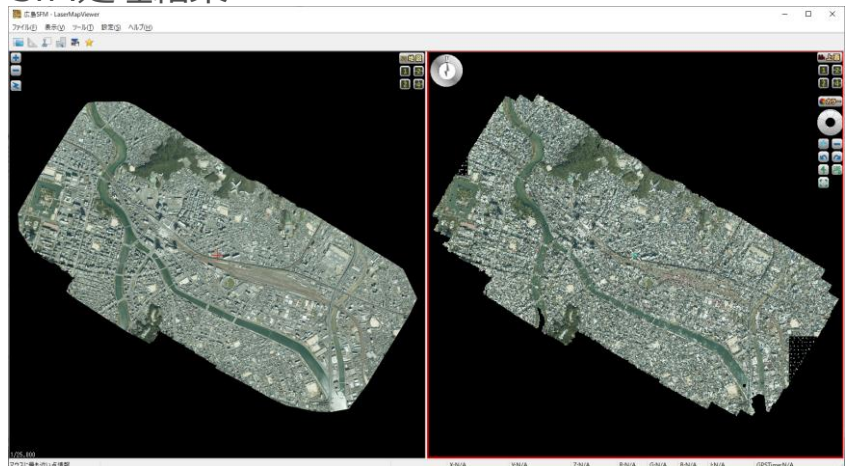
3.3 SfM技術の活用可能性について

広島市広島駅周辺で高ラップ撮影を実施



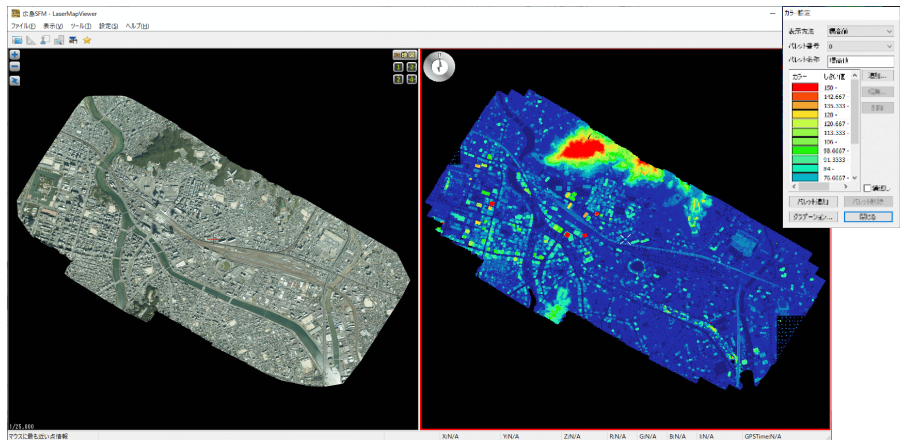
3.3 SfM技術の活用可能性について

SfM処理結果



3.3 SfM技術の活用可能性について

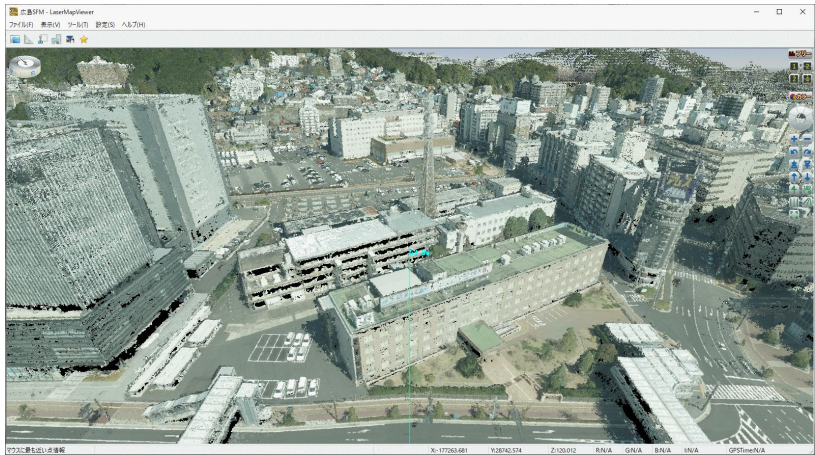
SfM処理結果



自動オルソ（解像度7.5cm） 点群（標高40m～150m）

3.3 SfM技術の活用可能性について

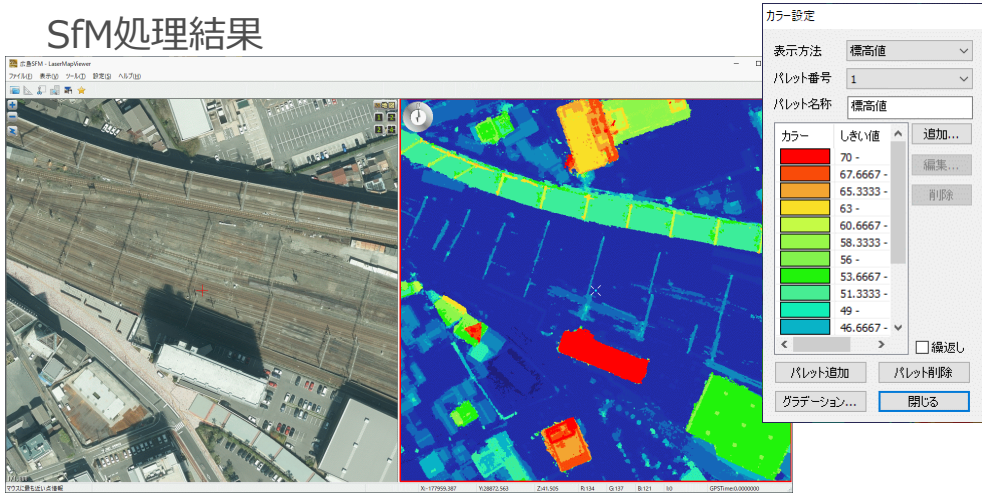
SfM処理結果



3次元点群データ（RGB色）
明日を共創る  アジア航測株式会社
Leading for the Future ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

3.3 SfM技術の活用可能性について

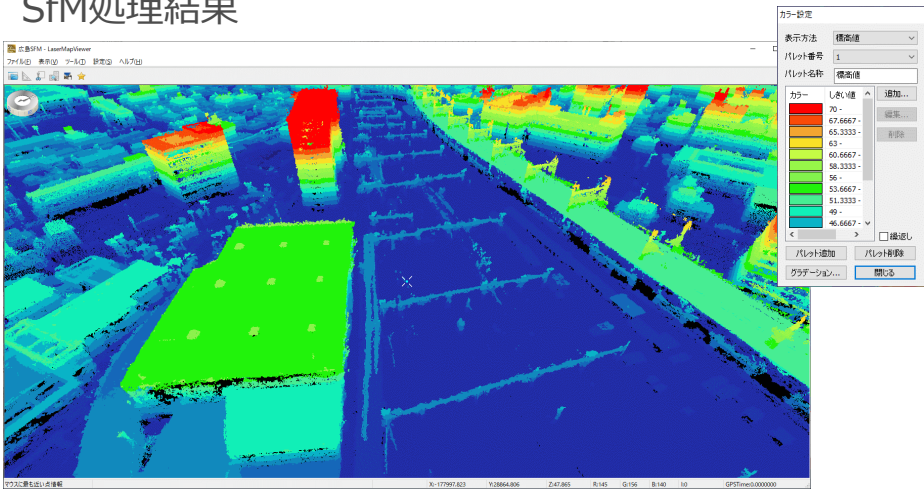
SfM処理結果



3次元点群データ (RGB色)
明日を共創る  アジア航測株式会社
Leading for the Future ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

3.3 SfM技術の活用可能性について

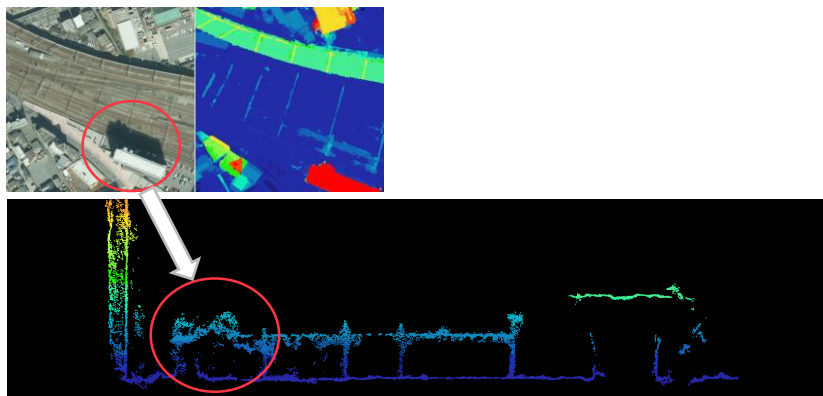
SfM処理結果



3次元点群データ (RGB色)
明日を共創る  アジア航測株式会社
Leading for the Future ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

3.3 SfM技術の活用可能性について

SfM処理結果



影の部分はマッチングエラーを確認

明日を共創る
Leading for the Future

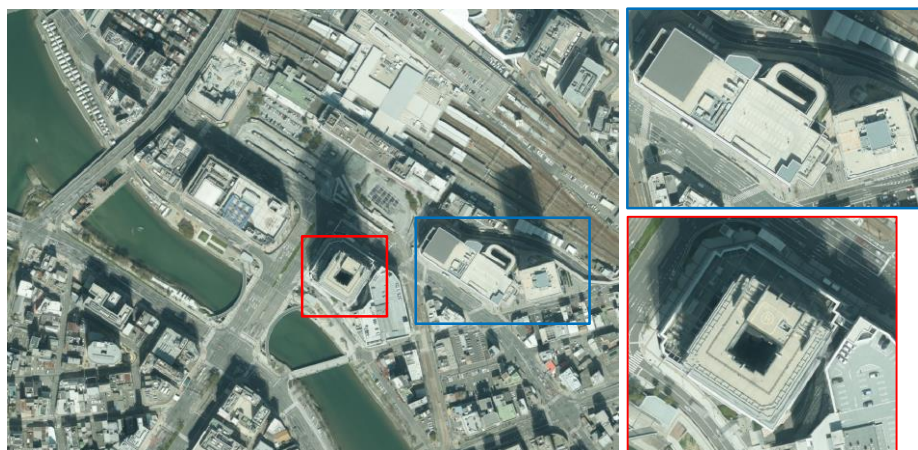


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

49

3.3 SfM技術の活用可能性について

SfM処理結果（マッチングソフトと同レベル）



未修整

明日を共創る
Leading for the Future

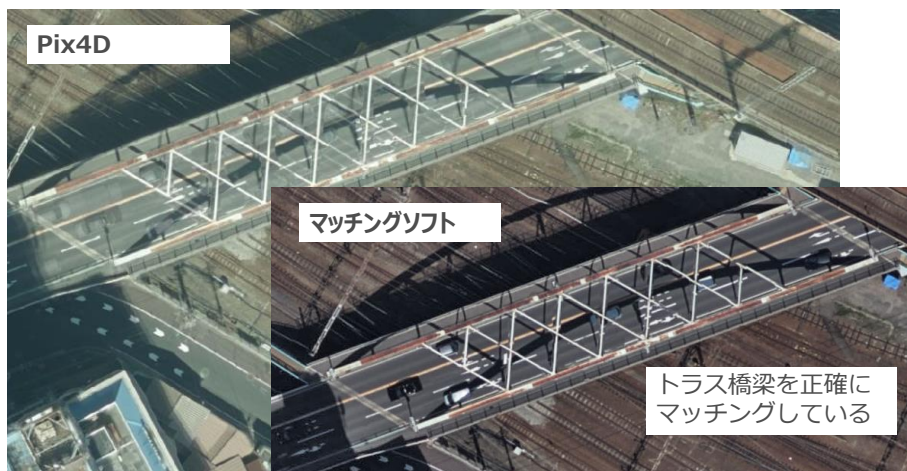


アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

50

3.3 SfM技術の活用可能性について

- 跨線橋などのトラス橋梁はミスマッチングが発生



明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

51

3.3 SfM技術の活用可能性について

- 高さ精度に関する推定

$$\text{水平精度} = \frac{H}{f} \sigma_p$$

$$\text{高さ精度} = \frac{H}{f} \frac{H}{L} \sigma_p$$

焦点距離：f (mm)
被写体までの距離：H (m)
基線：L (m)
座標測定精度： σ_p (μm)
(撮像素子の大きさ)

明日を共創る
Leading for the Future



アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

52

3.3 SfM技術の活用可能性について

- 高さ精度に関する推定

- ・ SfM (Structure from Motion) は、 SIFTなどの画像局所特徴量を利用した対応点探索による画像をマッチングを行っており、ラップ率を高くする必要がある。

しかし、写真測量の高さ精度計算では、ラップ率が大きくなると基線長 (L) の値が小さくなり、高さの計測精度が悪くなる。

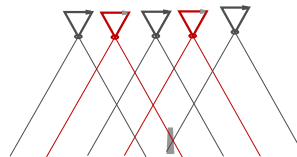
3.3 SfM技術の活用可能性について

- 高さ精度に関する推定

- ・ 本検討を含め、一部のSfMソフトウェアでは、高さ精度が理論精度であり、理論と矛盾する。

- ・ モデルの中で一番精度が良いものを抽出している可能性がある？

- ・ 継続検証予定



まとめ

- ・空中写真測量は、デジタル航空カメラのGNSS/IMU、カメラマウント性能の向上により、傾きの少ない高品質な撮影が可能となり、空中写真測量成果は、図化成果に加え、オルソ画像に活用されている。
- ・デジタル航空カメラは広域、UAV等に搭載のベイヤ配列型の小型デジタル航空カメラは狭域での活用に棲み分けが進むと想定される
- ・都市モデル（DX）への活用には、精密オルソ技術が重要であり、SfM技術も活用できる可能性がある

最後に

- 空中写真測量は決して枯れた技術ではありません。
- 多くの可能性を残す技術であり、空中写真測量の周辺技術も含め、着実に進歩しています。
- 理論面でも多くの研究要素があると思います。

写真測量学会関西支部のますますの発展を期待します



ご清聴ありがとうございました

