

# 高解像度地形情報シンポジウム

「地形情報のすべて」

[http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/140808\\_kashiwa.html](http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/140808_kashiwa.html)

**日時：** 平成26（2014）年8月8日（金）～9日（土）

**テーマ：** 高解像度地形情報に関する技術の概観とその活用

**目的：** 近年急速に発展・普及が進む航空LiDAR, 地上LiDAR (TLS), SfM-MVS, 衛星SAR, 写真測量, GNSSなどの高解像度地形情報の取得技術について, これらの手法, 難易度, ソフトウェア, プロセス, 精度, 利点欠点などを網羅的に概観する. ここから, 地形情報の活用と可能性について包括的な議論を行う.

**主催：** 東京大学CSIS, 独立行政法人防災科学技術研究所

**日程：** 8月8日（金） 10:00-16:30 シンポジウム「地形情報のすべて」

8月9日（土） 10:00-17:00 TLS/UAV/SfM/GNSS総合ハンズオン&レクチャー

**場所：** 8月8日（金） 東京大学 柏の葉キャンパス駅前サテライト 1F 大ホール

8月9日（土） 東京大学 柏キャンパス総合研究棟 6F 大会議室

**講演者：** 佐藤 浩（日本大学）／衛星SAR

横尾泰広（国際航業株式会社）／航空LiDAR

新井場公德（消防研究所）／地上LiDAR (TLS)

早川裕弐（東京大学）／GNSS & TLS

神谷 泉（国土地理院）／Photogrammetry（写真測量）

内山庄一郎（防災科学技術研究所）／SfM: Structure from Motion

満上育久（大阪大学産業科学研究所）／CV: Computer Vision

加藤 顕（千葉大学）／TLS & 航空LiDAR

小花和宏之（千葉大学）／UAV & SfM & TLS

山村 充（国土防災技術株式会社）／UAV & SfM

井上 公（防災科学技術研究所）／UAV: Unmanned Aerial Vehicle

小口 高（東京大学）／DEMとその活用の歴史

**対象者：** 地形学, 地質学, 防災・減災, 自然災害研究, 地図製作等に関連する技術者, 研究者, 大学院生, 学生等. 最大100名程度

**事務局：** 内山庄一郎（防災科研）, 早川裕弐（東京大学）

**連絡先：** [gis-landslide@bosai.go.jp](mailto:gis-landslide@bosai.go.jp)

スケジュール： 8月8日（金） 10:00-16:30 シンポジウム「地形情報のすべて」

会場： 東京大学 柏の葉キャンパス駅前サテライト 1F 大ホール

（つくばエクスプレス柏の葉キャンパス駅より徒歩1分）

9:30 開場

10:00 開会・挨拶・趣旨説明（早川裕弐）

【セッション1：高解像度地形情報の取得技術】（講演・質疑応答，各22分）

10:15～11:43（座長：内山庄一郎）

佐藤 浩（日本大学）／衛星SAR

横尾泰広（国際航業株式会社）／航空LiDAR

新井場公德（消防研究所）／地上LiDAR (TLS)

早川裕弐（東京大学）／GNSS & TLS

11:46～12:30（座長：早川裕弐）

神谷 泉（国土地理院）／Photogrammetry（写真測量）

内山庄一郎（防災科学技術研究所）／SfM: Structure from Motion

13:30 昼休み

【特別セッション：CV技術の理解と応用】（講演・質疑応答，37分）

13:30～14:07（司会：内山庄一郎）

満上育久（大阪大学産業科学研究所）／CV: Computer Vision

【セッション2：高解像度地形情報の活用】（講演・質疑応答，各22分）

14:07～15:35（座長：早川裕弐）

加藤 顕（千葉大学）／TLS & 航空LiDAR

小花和宏之（千葉大学）／UAV & SfM & TLS

山村 充（国土防災技術株式会社）／UAV & SfM

井上 公（防災科学技術研究所）／UAV: Unmanned Aerial Vehicle

【セッション3：高解像度地形情報の可能性】（講演・質疑応答，25分）

15:35～16:30（司会：早川裕弐）

小口 高（東京大学）／DEMとその活用の歴史

総合討論（30分）

16:30 閉会

17:00 意見交換会（有志）

スケジュール：8月9日（土） 10:00-17:00 TLS/UAV/SfM/GNSS総合ハンズオン&レクチャー

会場：東京大学 柏キャンパス総合研究棟 4F 470会議室

募集人数：30名

参加費：無料

参加条件：ノートPCを持参

講師：早川裕弐 & 内山庄一郎

予約・申し込み先：gis-landslide@bosai.go.jp（担当：内山）

9:30 開場

10:00 開始

【実機デモ：TLS & UAV & GNSS】

10:00～12:30

13:30 昼休み

【ハンズオン：TLS】

13:30～15:00

【ハンズオン：SfM】

15:00～16:30

【データハンドリングデモ：TLS vs SfM】

16:30～17:00

17:00～17:30 まとめ・閉会

## SAR 干渉画像で検出した 2008 年岩手・宮城内陸地震における 地すべり性地表変動

佐藤 浩（日本大学）・宮原伐折羅（国土地理院）

### 要旨：

合成開口レーダー（SAR: synthetic aperture radar）は、マイクロ波を使って地表画像を得る技術である。2008年岩手・宮城内陸地震では荒砥沢などで地すべりが多発し、空中写真等の判読や現地調査による多数の先行研究でその全容が明らかになっている。しかし、人工衛星「だいち」（ALOS: Advanced Land Observing Satellite）に搭載のPALSAR（Phased Array type L-band SAR）で観測されたSAR干渉画像を判読すると、荒砥沢南西の花山カルデラに相当する付近で、先行研究では報告されていない局所の微小な地すべり性地表変動を検出していることが判った。また、ALOSの北行軌道からと南行軌道からのPALSARデータから生成されたSAR干渉画像を組み合わせて東西成分と上下成分の変動を調べたところ、その付近で東向きかつ沈降するような変動が生じた可能性のあることが分かった。本地震による地殻変動を説明するモデル断層面の挙動では説明が難しい局所の微小な変動は、地すべり性の地表変動が関与していることを示唆した。

## 航空 LiDAR による地形データ取得の実際とその工夫点

横尾泰広（国際航業株式会社）

### 要旨：

航空LiDARによる地形データは、平成16年ごろから整備が始まった。今では国土の50%以上が整備され、さまざまな分野で利用されている。その理由として、航空LiDARは高精度かつ高密度なデータが面的に取得できる点にある。精度管理は、公共測量作業規程の準則に準拠した手法が用いられている。さらに、利用目的に応じた品質を担保するため、さまざまな作業の工夫を行っている。

そこで本発表は、航空LiDARを概説するとともに、品質担保の工夫点を解説する。具体的には、計測時期によるDEMデータの品質の変化、プラットフォーム（固定翼と回転翼）の比較、フィルタリング作業の工夫点などを紹介する。

## 地上型レーザースキャナの災害対応への活用

～大規模な土砂災害後の地形の把握及び小規模な斜面崩壊における変形の監視～

新井場公德（消防研究所）

要旨：

土砂災害現場における応急対応に活用することを目的として、地上設置型レーザースキャナを用いて地形情報を収集し分析する方法について検討した2つの内容について紹介する。

一つは、大規模な土砂災害地において災害後の地形を把握する目的で行うもので、2006年フィリピン南レイテ州における岩屑なだれの現場での調査事例について述べる。この調査では、地形状況や崩壊深さ、堆積深さなどを明らかにしたが、計測及び解析において、人手、時間及び工夫を要するなどの課題も明らかになった。

もう一つは、小規模な斜面崩壊（おおよそ幅100m程度以下）を対象として崩壊直前（おおよそ1時間程度）の変形を検知するために開発しているもので、その方法について述べる。人工的な斜面崩壊実験において前兆変形を検出できるが、実際の災害現場で用いるためには、測定距離、死角及びレーザースキャナの傾斜に対する対策が必要であることが明らかになった。

## 現地調査における地形情報取得のための GNSS と TLS

早川裕弐（東京大学）

### 要旨：

機材の高度化にともない、GNSS（全地球航法衛星システム）やLRF（レーザ距離計）、TLS（地上レーザスキャナ）による地形情報の取得は高精度化・高解像度化に向けて近年めざましい発展を遂げている。一方、機材の高価格化やデータ処理の複雑化は、それらを専門に使用しない各分野の研究者にとっては敷居の高いものと認識される原因の一つにもなっていると考えられる。そこで、まずGNSS測位やレーザ測量の原理について概説し、次に地形学や地考古学の現場におけるそれらの活用事例をいくつか紹介しつつ、対象物の規模や形状、現象解明に必要な解像度、求める精度等、各種条件によってどのような測量手法が適当であるのか、あるいはどのような組み合わせが最適であるのか、実例を通して考察する。

## 写真測量による地形計測

神谷 泉（国土地理院）

### 要旨：

写真測量は、伝統的な地形図作成方法であり、写真測量により描画された地形図は、地形分類や、斜面崩壊、地すべり等の状況の把握に活用されてきた。本講演では、より踏み込んで、岩手・宮城内陸地震における前後の対応点の座標を図化機で直接計測し、地殻変動を検出した事例を紹介する。詳細な変位の分布とともに、100～200m程度の距離での2m程度の高低差を検出した。また、国土地理院が行った UAV による西之島の撮影とその処理についても紹介する。処理のティップスとともに、2時期のDEMの差分をとることにより、地表に現れなかった溶岩流出口と予想される陥没を発見した。

## 自然災害研究への小型 UAV および SfM の活用

内山庄一郎（防災科学技術研究所）

### 要旨：

SfM（Structure from Motion）とは、複数枚の写真から撮影位置を推定し、撮影対象の三次元形状を復元する技術である。またここでの小型UAV（small Unmanned Aerial Vehicle）とは、価格が10万円未満、装備品の積載重量（ペイロード）が数百グラム、飛行時間が十数分、総重量が1～2kg程度の電動ラジコンヘリ等を指す。

SfMは写真測量をベースとしたコンピュータビジョンの技術だが、特に近年、GUIを持つSfMアプリケーションが登場した。これにより、プログラマでなくともSfMを研究に活用できる道筋が開けた。SfMアプリケーションの利用者は、二枚以上の空中写真やデジタルカメラの写真と、地上基準点（GCP: Ground Control Point）の情報を用意することで、簡単に三次元モデルを作成できる。また、数値地表面モデル（DSM: Digital Surface Model）やオルソモザイク画像（正射画像）を生成することが可能なアプリケーションも存在する。

SfMと一般的なデジタルカメラを搭載した小型UAVとを組み合わせることで、必要な範囲の高精度地形情報を研究者自身で容易にかつ安価に作成し、さらにGIS上で既存の地理空間情報を統合して活用することができる。ここでは、様々なフィールドにおける小型UAVとSfMの多数の応用例を紹介する。

## 多視点画像からの三次元形状復元

満上育久（大阪大学産業科学研究所）

### 要旨：

多視点画像群（多地点に設置されたカメラによる撮影画像群あるいは1台の移動カメラで連続的に撮影された画像群）からシーンの三次元形状を復元とカメラ位置・姿勢を同時に推定するStructure from Motionは、コンピュータビジョン分野において古くから研究が行われているトピックである。近年、店舗や観光地の検索やナビゲーションあるいは災害地の状況把握などの目的で、三次元地図情報・地形情報に対するニーズが高まっており、大量・広範囲の車載カメラ画像や空撮画像からシーンの三次元形状を復元するための技術として、特に注目を集めている。本講演では、このStructure from Motionの解法について述べるとともに、Multi-view Stereoなど関連技術についても解説する。また、これらの技術を容易に利用できるソフトウェア・ライブラリについても述べる。さらに、講演者が行っているStructure from Motion関連の研究についても簡単に紹介する。

## 地上レーザによる地形図作成と航空機データへのデータ融合

加藤 顕（千葉大学）

### 要旨：

地形情報は、森林分野にとって重要である。樹高計測には正確な地形図が必要である。広域の地形情報を得るために、空中写真による写真測量技術を用いて3次元データを作成してきた。そこに、航空機レーザの地面からの反射点を用いて、正確な地形図を作成し、樹高計測ができるようになった。近年では可搬性に優れた地上レーザでも地形図が作成できるため、長距離型地上レーザを用いることで、航空機レーザよりも安価で広域の地形図が作成できる。地上レーザを活用するために、航空機やUAVによって得られるデータとデータ融合することで、新たな地形情報収集の方法をご紹介したい。

## ほぼ誰でもできる航空測量

小花和宏之（千葉大学）

### 要旨：

一般的に、小型UAVを用いた測量では高精度なGNSS地上測量（相対測位）を同時に行い、それらの座標既知点をGCPとして3Dモデルを作成する。本研究では、小型UAV測量手法の更なる簡易化を目指し、カメラ搭載GNSSで取得した座標データのみを位置情報ソースとして様々な環境下で測量を実施し、測量精度、フィールド適応性、コスト優位性を検討した。本手法により得られた地形データにおいて、オルソ画像における見かけの凹凸と等高線図で表現された起伏はよく一致しており、本手法による地形起伏の再現性は高いと考えられる。ただし、基盤地図情報の5m DEMと比較したところ、裸地においても全体的に鉛直方向に±10m程度のずれが生じており、その差はカメラ搭載単独測位GNSSの精度に起因すると考えられる。野外調査時に必要な機材は軽量（総重量約2 kg）かつコンパクトであり、機材一式をバックパックに入れて一人で移動・運搬することは容易である。車でアクセスすることが困難な場所への適用も可能であり、フィールド適応性は高い。今回用いたUAV・カメラ・ソフトウェア一式の価格は約30万円、計算用PCの価格は約27万円、ランニングコストはほぼ0円であり、従来の測量手法に比べて導入・運用コスト面で有利である。以上より、本手法は簡易的な空撮・地図作成に適しており、既存資料の少ない途上国等も含めて様々な分野での活用が期待される。

## UAV 空撮画像と SfM で構築した地形モデルの

### 精度評価と適応事例

山村 充（国土防災技術株式会社）

#### 要旨：

UAV空撮画像とSfMから構築される地形モデル（DSM）の斜面防災分野における利活用を視野に入れ、福島県内の地すべり地を対象として作成したDSMの精度について検証した。地すべり地内で実施したトータルステーション測量値とDSM標高値とを比較した結果、裸地における差分は小さく、災害発生当初の調査段階では十分実用的なものであることが示唆された。

将来的にDSMの差分抽出が可能となれば、台風や大雨等の気象イベント前後の空撮画像を用いることによって、対象地の土塊の移動あるいは土砂の流入・流出量を捉えることができるものと期待される。今回試験的ではあるが、えん堤堆砂物の空撮画像DSMと、既存のH23・H25年のLPデータを比較した結果について紹介する。

## 地形測量のためのマルチコプター

選び方・飛ばし方・危険性

井上 公（防災科学技術研究所）

要旨：

地形測量をはじめとする各種野外調査の手段として、マルチコプター（マルチローター電動ラジコンヘリコプター）が急速に普及しつつある。市場には様々な製品が出回っており、選択に迷う。最近のマルチコプターはどれも、姿勢制御機構に加えてGPSによる位置制御機構を備えており、初心者でも簡単に飛ばすことができる。Waypoint機能を備えた機種も高価ではなくなり、インターバル撮影のできる小型軽量のカメラを取り付けて飛ばせば、高解像度地形測量に必要な、多数の空中写真がたちどころに撮影できる。

一方マルチコプターは空飛ぶ凶器でもある。機体や飛行制御装置の不具合・操縦者の操縦ミス・プログラムミス・判断ミスなどの様々な原因により墜落する。多くの機体は、墜落時の衝突安全性は考慮されていない。機体とカメラを失うだけで済めばよいが、万一尖った機体が人に当たれば取り返しのつかない事態にもなり得る。

本講演では、これからマルチコプター空撮を始めようという方々のために、機種を選び方・飛ばし方を紹介するとともに、安全運用のためのノウハウを、我々の経験してきた事故例・ヒヤリハット例とともに紹介する。

## 地形数値情報の歴史

小口 高（東京大学）

### 要旨：

高解像度地形情報が世界的なブームになっており、データの取得方法の多様化や解像度の飛躍的な向上といった技術的な進歩にはめざましいものがある。しかし、このブームが学問としての地形学を大きく進歩させているのかは判然としない。少なくとも今の段階では、20世紀中頃に生じた地形図を用いた手動の地形計測の発展や、グリッドDEMを用いた初期の実験の方が、地形学において革命的だったといえるだろう。換言すれば、高解像度地形情報を活用することによる地形学の学術的な革命を、若手は今後なし遂げる必要がある。本発表では、近世から現在における地形数値情報の歴史を概観する。目的は、アラフィーの研究者が若手に「温故知新」のための情報を提供することにある。