

# 犬の移動軌跡と地形データから土砂堆積高の推定

## Estimating the Height of Sediment from Dog Trajectory and Ground Shape

学 星達也 (東北大) ○正 大野和則 (東北大・理研 AIP)  
 学 西野間洋之 学 Beokhaimook Chayapol 正 濱田龍之介 (東北大)  
 正 鈴木太郎 (早稲田大) 正 田所諭 (東北大)

Tasutya HOSHI, Tohoku University, Kazunori OHNO, Tohoku University, Riken AIP  
 Hiroyuki NISHINOMA, Chayapol BEOKHAIMOOK, Ryunosuke HAMADA, Tohoku University  
 Taro SUZUKI, Waseda University, Satoshi TADOKORO, Tohoku University

We aim to develop a method to measure the height of sedimentary sand from dog's moving trajectory and ground shape data. In sediment-related disasters, it is important to grasp the height of sedimentary sand for the search of victims. If we can visualize the search trajectory of rescue dog three-dimensionally, we can measure the sedimentary sand accumulated place and the depth of it comparing with the topographic map before the disaster. Therefore, we estimate the search trajectory of SAR dogs in three dimensions using the sensors, such as IMU and GNSS, which is mounted on dog. From the result of experiment, we can estimate the height of sedimentary sand from dog's running 3D trajectory.

**Key Words:** Measurement of animal behavior, trajectory estimation, ground shape measurement

### 1. 緒言

土砂災害の現場では、被災者が埋もれていそうな場所を集中して探すことで効率的に被災者を発見することができる。探索の際は土砂の堆積高の把握が重要である。堆積高が多い場所は土砂の下流であり、要救助者が流されて埋もれている可能性が高い。そのため、救助犬の捜索中の反応の情報と土砂の堆積高の情報を利用できれば、より早期の被災者の発見につながることを期待できる。

著者らは、要救助者がいる可能性がある土砂が堆積した場所と堆積物の深さを計測する方法の開発を目指している。救助犬が土砂災害の現場で被災者を捜索する際に、救助犬の探索軌跡を3次元的に可視化し、災害前の地形図と比較することで土砂の堆積した場所と深さを計測する(図1)。軌跡の推定は、救助犬に慣性センサ(Inertial Measurement Unit; IMU)とGNSS(Global Navigation Satellite System)を搭載したハーネスを着用し(図2)、慣性航法とGNSSを利用することで行う[1, 2]。

本稿では犬の軌跡を利用した土砂の計測の実験と結果について報告する。YouTubeに動画も掲載している[3]。

### 2. 関連研究

衛星リモートセンシング技術により土砂災害の崩落地の抽出を行った研究がある[4]。この研究では災害状況把握を目的の一つとした日本の陸域観測衛星ALOSで得られた災害前と後の画像を比較することで、崩落地の抽出を行っている。著者らは、国土地理院で得られた基盤情報地図の標高情報[5]を災害前の情報、犬の軌跡によって得られた標高を災害後の情報として利用し、堆積している土砂の高さを計測する。

ドローンで上空からSfMを利用して土砂災害発生場所の3次元モデルや地形モデル、オルソフォトを作成する研究がある[6]、広域をある程度の時間をかけて高精度で計測可能なこの手法と、犬が移動するのみで短時間で計測が可能な本研究の手法を組み合わせることで情報を共有することで連携が可能だと考えられる。

### 3. 犬の移動軌跡による土砂堆積高計測手法

犬の軌跡から土砂堆積高を計測する手法について述べる。イヌに搭載したセンサを利用し、慣性航法とGNSSを利用し

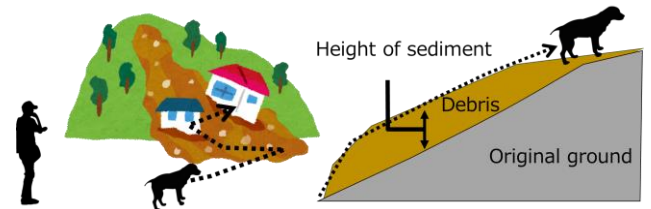


Fig.1 Measurement of sediment height information from dog trajectory and ground shape.



Fig.2 Cyber-enhanced rescue canine suit equipped with an IMU sensor, a GNSS receiver, and a camera with microphone.

て推定を行う。慣性航法で推定したイヌの速度の推定誤差は、対地速度とイヌの速度ゼロ時点(Zero Velocity Point; ZVP)を利用して補正する。ZVPはイヌの歩容から検出する方法を利用する[1,2]。慣性航法(Inertial Navigation System; INS)で推定した位置と、RTK-GNSSを利用することで地形の計測を行う。今回は、慣性航法のみを利用して軌跡の推定を行った。

また、スーツの装置の情報を表1に記載する。記録用の小型PCやバッテリーはハーネスのポケットに収納され、センサを駆動、データを記録することができる。小型で軽量なIMUとGNSSを利用することで災害救助犬の本来の動きを妨げずにデータを計測することが可能である[7]。

Table 1 Specifications of cyber-enhanced rescue canine suit

Weight	1.25kg
Battery	1100mAh x 2
Operable Time	>2.0h
IMU	3-axis gyroscope (2000deg/s, 200Hz)
	3-axis accelerometer (16g, 200Hz)
	3-axis magnetometer (8G, 200Hz)
GNSS	ublox-m8t (~10Hz)



Fig.3 Experimental condition of measuring the height of the sedimentary sand from dog's trajectory

#### 4. 犬の移動軌跡による土砂堆積高計測実験

##### 4.1 実験内容

屋外での砂利山を移動する犬の軌跡から土砂堆積高を計測する実験を行った。図3のように、高さ1.42m、斜度30度、幅6.6mの砂利山を用意し、土砂災害における堆積物を模擬した。山の前で10秒間静止後、砂利山を走行（ギャロップ）で上り下りしてもらった。犬は、体高54cm、体長67cm、体重24kgのオーストラリアンシェパードを利用した。実験の都合上、イヌを拘束しないよう長いリードをイヌにつけて、ハンドラーはイヌの横を同時に走行した。センサデータから、犬は最大加速度38m/s<sup>2</sup>、最大速度4.65m/sで、約2.5秒で山を移動した。また、誤差の計算のため、図3に示すように、ピンク色のテープを釘で固定しその上をイヌに走行してもらった。高精度RTK-GNSSを利用して、図3において×で示すテープ状の5点について真値を計測し、その値との差を計算することで平均絶対誤差を算出した。

##### 4.2 提案手法による計測結果

搭載センサから推定された犬の軌跡は図4のようになった。青色が軌跡の推定結果、赤色がRTK-GNSSで計測した真の値である。平均絶対誤差（標準偏差）の数値は、x, y, z軸方向で(0.12m(0.22m), 0.78m(0.20m), 0.21m(0.22m))となった。測定する場所付近について、国土地理院(GSI)が提供している基盤地図情報[5]（数値標高モデル）の5mメッシュの標高を観察すると、高度が10cm単位では変わらない平らな地形であることがわかっている（図5）。そのため、この3次元の軌跡が砂利山の高さを直接表していることがわかる。スタート地点の高さを基準にすると、3次元の軌跡から、砂利山の高さを1.32mであると推定することができた。山の最大高さの推定誤差は0.10mだった。

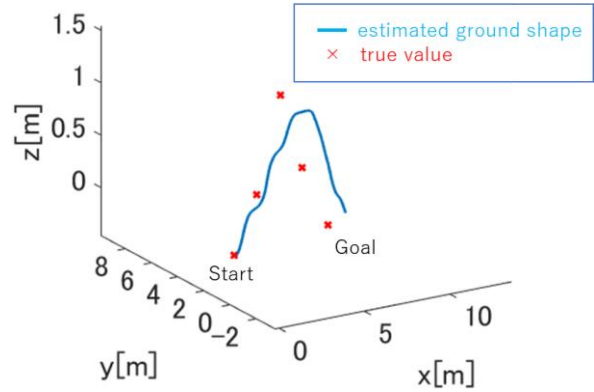


Fig.4 Ground shape measurement result from trajectory estimation of dog's running on the sedimentary sand

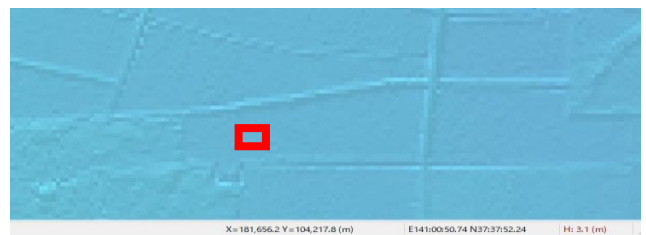


Fig.5 Ground height data of Geospatial Information Authority of Japan [5]: red area is the rough area we used for experiment.

#### 5. 結言

犬の移動軌跡と地形データから土砂堆積高の推定を行った。犬が堆積した砂利山の上を走行する軌跡を、犬に搭載した小型センサを利用して推定し元の地形データと比較することで、土砂堆積高を推定することができた。

#### 謝辞

本研究は、ImPACT タフロボティクスチャレンジの支援を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] 星達也, 大野和則, 濱田龍之介, 山口竣平, 鈴木高宏, 田所論, “イヌの移動軌跡推定のための歩容とIMUを用いた速度推定”, ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 2A1-Q01(2017)
- [2] 星達也, 大野和則, 濱田龍之介, 西野間洋之, 田所論, “屋外での高精度な地形計測に向けたイヌの歩容と慣性航法による軌跡推定”, 第19回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, IC4-07, 2018
- [3] YouTube, “Estimation of Debris Depth from Canine's Trajectory” <<https://youtu.be/Nv870cBDgGE>>2019年2月17日アクセス
- [4] 水野正樹, 林真一郎, 清水孝一, 小山内信智, “衛星リモートセンシング技術の土砂災害への応用”, 土木技術学会資料, 53-1, 2011
- [5] 国土交通省国土地理院 “国土交通省国土地理院基盤地図情報とは” <<http://www.gsi.go.jp/kiban/towa.html>>2019年2月14日アクセス
- [6] 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子, “SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究”, 防災科学技術研究所研究報告, 第81号, 2014年2月
- [7] Satoshi Tadokoro et al., “Disaster Robotics”, Springer, pp.150-157, 2019