Vol.2018-IS-145 No.1
2018/9/7

社会基盤施設を対象とする 3 次元センシング技術の適用

窪田 諭[†1]

概要：道路や河川等の社会基盤施設においては，無人化施工，維持管理業務，災害後の迅速な復旧・復興等でレーダ，レーザやカメラ等の高性能な計測機器による 3 次元センシング技術の発現効果が極めて大きい．筆者らは，社会基盤の 3 次元化とその利用者であるヒト・モノ・コトの計測と活用を包括する「社会空間情報」の研究に取り組んでいる．本稿では，3 次元センシング技術による社会基盤施設の情報整備の研究と，関西大学の社会空間情報科学研究の取り組みを紹介する．

Application of Three-dimensional Sensing Technology for Civil Infrastructures

SATOSHI KUBOTA[†1]

1. はじめに

我が国の道路や河川などの社会基盤施設においては，無人化施工，維持管理業務，災害後の迅速な復旧・復興などでレーダ，レーザやカメラなどの高性能な計測機器による 3 次元センシング技術の発現効果が極めて大きい．社会基盤施設は災害対策，災害発生時の応急・復旧対策，破損防止や補修強化などの理由から，維持管理を効率的かつ高度に実施する必要がある．従来までは 2 次元データの利用が主流であったが，それでは点検や補修の箇所などを管理するためには不十分である．近年の地上設置型レーザスキャナ（TLS : Terrestrial Laser Scanner）や MMS（Mobile Mapping System）などの計測機の技術発展により，これらで計測した 3 次元点群データを用いて，社会基盤施設の維持管理の高度化に期待できる[1]．筆者らは，社会基盤施設の 3 次元化とその利用者であるヒト・モノ・コトの計測と活用を包括する「社会空間情報」の研究に取り組んでいる．本稿では，3 次元センシング技術による社会基盤施設の情報整備について報告する．特に，道路構造物の 3 次元維持管理を実現するために，実現場にて 3 次元点群データを計測し，計測機器を現場に適用するための留意事項を整理する．そして，点検の記録や写真を 3 次元データ上の正確な位置で管理する維持管理システムを検討する．そして，関西大学における社会空間情報の研究を紹介する．

2. 社会基盤施設の 3 次元センシング

2.1 道路舗装面の計測と 3 次元データの生成

本研究では，道路構造物の 3 次元データの取得方法として，MMS による 3 次元点群データが存在する場合にはそれを利用し，MMS 計測の時間間隔がある場合や局所的なデータを所得する場合には TLS を，小規模災害時には TLS と UAV（Unmanned Aerial Vehicle）を併用することを提案する．舗装面の老朽化による亀裂やポットホールなどの狭域のデータが必要な場合に，TLS は有効であると考える．また，土砂崩れなどが起きた際，TLS ではレーザの入射角の問題で路面から斜面の上部を計測することが困難である．そこで，TLS と UAV を併用し，TLS による点群データと斜面の上部を計測した UAV の点群データとを組み合わせて斜面全体の詳細なデータを取得する．

本研究では点群データを計測するため，長野県北佐久郡軽井沢町の民間管理道路である白糸ハイランドウェイにおいて，TLS と UAV を用いて計測を行った．TLS には FARO 社の Focus3D X330 を，UAV の空中写真測量には DJI 社の Inspire2 を用いた．斜面上部をカメラ搭載 UAV で計測して SfM（Structure from Motion）処理により点群データを生成し，TLS による点群データと組み合わせた結果を図 1 に示す．点群データ編集ソフト Cloud Compare を使い，特徴点 50,000 点を抽出して結合し一つの 3 次元データを構築した．構築した点群データの点数は，11,255,300 点である．クラック幅を計測できる箇所では，約 0.0077m のクラックを計測できた．

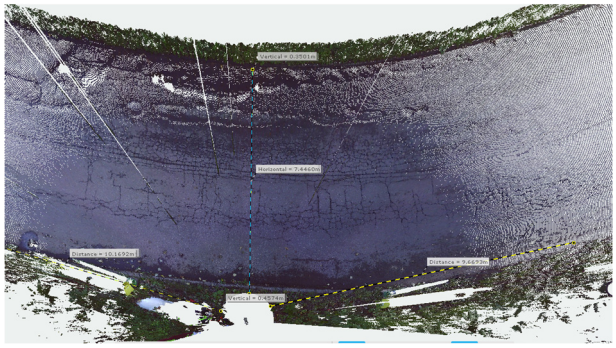
TLS による計測を実施した結果，二つの制約条件が明らかになった．一点目は，現場の環境による制約である．計測中に自動車や歩行者などの通行があるとともに，山道では路肩がなく，地面の勾配が高いため，計測機器を設置する箇所が限られ，複数回の計測が困難なことがある．そのため，計測者と機器の安全確保，データ取得範囲や精度に留意が必要である．二点目は，計測機器のスペックによる舗装面の計測可能範囲の制約である．TLS が舗装面を高密度で計測できる範囲は，半径約 10mであることがわかった（図 2）．舗装面のデータを広範囲に取得するためには，計測範囲である 10m を目安に移動して，複数回作業すること

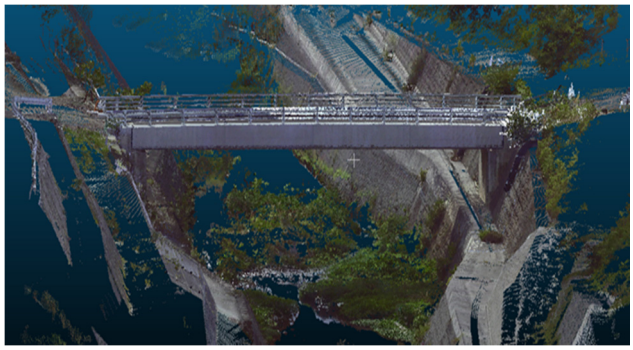
†1 関西大学　環境都市工学部
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan



図 1　斜面部における TLS と UAV のデータの組合せ


図 2　路面の点群データ


図 3　童子畑橋の結合データ

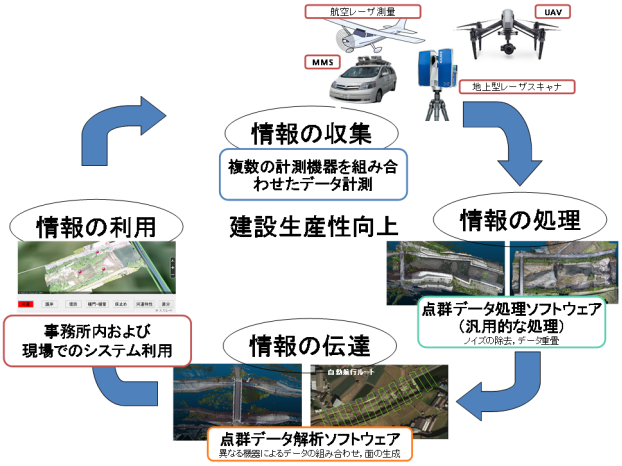


図 4　道路維持管理システムの定義

が必要である．

2.2 橋梁の計測と精度評価

橋梁の上下部工の 3 次元データを構築するため，2017 年 11 月に大阪府南部の樫井川（泉佐野市）と金熊寺川（泉南市）を対象に UAV 空中写真測量と TLS による計測を行った．UAV 空中写真測量では，高度 30m で飛行し，撮影した動画を写真に変換し，PhotoScan で SfM 処理を行い，3 次元データを構築した．樫井川の河川空間の SfM データの精度を評価するために，基準点としてターゲット 3 点に GNSS 測量による絶対座標を与え，検証点を 4 点用いた．その結果，RMSE（Root Mean Squared Error）は *xy* 方向 0.272m，*z* 方向 0.261m であった．計測時に風が強かったため，機体とカメラが安定しなかったことが精度に影響を与えた．一方，TLS では，樫井川の女形橋と金熊寺川の童子畑橋を対象に，女形橋は 6 箇所から，童子畑橋は 5 箇所から計測した複数の点群データの特徴点を合わせて，間引き処理を施し，一つのデータにした．

SfM による 3 次元点群データは，上空からの計測であり，橋梁側面や下部工の 3 次元データを構築できないため，SfM データと TLS データとを結合した．そこでは，TLS データの精度が SfM データより高いため，重複する SfM データは，結合前に削除する．Cloud Compare により，各データの特徴点 50,000 点を基準に結合し，UAV 空中写真測量では取得できなかった橋梁の側面や下部工を 3 次元データとして表現できた（図 3）．3 次元データの精度を検証するため，童子畑橋の結合した点群データと設計条件とを比較する．設計条件における橋長は 22.20m，有効幅員は 4.00m であり，点群データの橋長は 22.212m，有効幅員は 4.019m である．したがって，誤差は橋長が 12mm、有効幅員が 19mm であり，3 次元点群データは橋梁の構造を高精度に表現できる．

2.3 道路分野における情報システムの考察

道路を計測して得られる点群データを用いた道路維持管理システムを検討するために，これを情報システムの定義[2]に基づいて考察する（図 4）．

(1) 情報の収集

道路構造物の情報収集とは，TLS による点群データ，カメラ搭載 UAV による空中写真を取得することと定義する．

(2) 情報の処理

TLS による点群データには，道路上の不要な移動体や周辺の樹木，植生などのノイズが含まれるため，これらを除去する．また，TLS の計測範囲は，機器を設置可能な箇所からの可視範囲であり，死角箇所のデータを取得できないため，機器を移動して複数回計測する．特徴点を基準にこれらの計測データを重ね合わせる処理もある．一方，UAV による空中写真では，SfM ソフトウェアにより点群データを生成する処理を施す．また，可視化のために，点群データに色を付与する．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

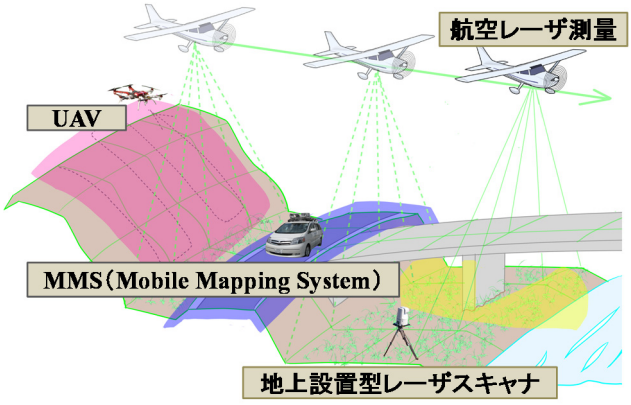


図 5　社会基盤に関する 3 次元センシング技術

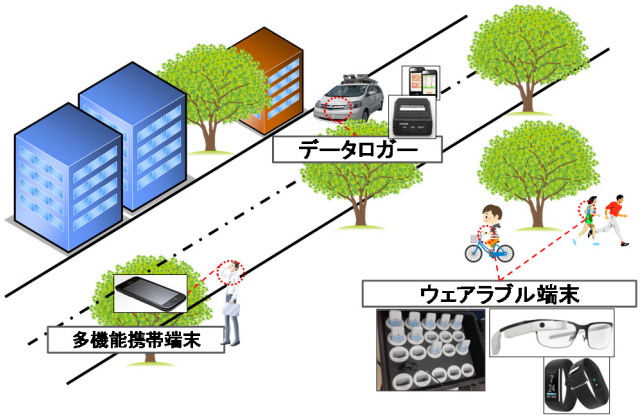


図 6　社会活動に関するセンシング技術

(3)　情報の伝達

TLS と UAV は計測時間，範囲，測距精度，点密度などの特性が異なるため，これらを組み合わせて利用することにより，広域かつ高精度な 3 次元データを構築できる．また，利用目的に応じて，点群データから構造部材を抽出することや面を生成する．さらに，時間軸により，異なる二時期のデータを重ね合わせ分析することも可能である．

(4)　情報の利用

本研究では地方道路でも 3 次元データを用いた業務を実現するために，処理した点群データをそのまま利用する．道路維持管理システムでは，点群データからの亀裂などの把握，現場で撮影した写真の重ね合わせなどの機能を提案する．また，現場でのスマートデバイスにおいて 2 次元地図上の事象を点群データに反映することも要求される．

道路舗装面と橋梁の 3 次元点群データを用いることにより，点検結果や補修情報を 3 次元上に蓄積，参照する道路維持管理システムに展開できる．システムでは，3 次元データの「計測」，ノイズ除去等の「処理」，複数の計測機器データの組合せによる「伝達」，業務での「利用」という情報システムの定義に沿ったプロセスが実施され，3 次元空間の任意の箇所に補修すべき座標や備考，写真などを点群データと関連づけて管理できる．

3.　社会空間情報科学に係わる研究

3.1　社会空間情報科学の定義

レーダ，レーザやカメラなどのセンサに代表される高性能な計測機器及びその解析技術の発展に伴い，社会・空間に纏わるデータ，情報，そして知識の利活用に関心が高まっている．「社会基盤」施設においては，これまで述べたように 3 次元センシング技術および 3 次元データの活用効果が大きい．また，多様かつ高機能な計測機器を実装したモバイル端末が私たちの生活必需品として定着したことにより，「社会活動」におけるヒト・モノ・コトが計測されたプローブデータの分析とその利活用にも関心が高まってきた．これはコミュニティの動向分析やマーケティング戦略のみならず，スポーツ科学分野では，健康管理，状況判断，戦術分析などにおいて新たなビジネスの創出が大いに期待できる．関西大学では，社会空間情報科学を新たな学問領域として，1）社会空間情報の計測・集積・管理技術の開発，2）計測により得られる膨大なデータを効率的に処理するためのビッグデータ解析技術や，有用な知見を抽出するためのデータマイニング技術の開発，3）社会空間情報を活用した新たなサービスを提供するためのシステム開発，および 4）社会空間計測技術と社会空間情報サービスの運用規程の策定に取り組んでいる．

3.2　社会基盤情報

社会基盤分野では，図 5 に示す様々な空間計測技術に係わる計測技術研究，社会基盤を計測して得られた点群データの解析と処理に係わる解析技術研究，およびそれによって生成された精緻な 3 次元データを社会基盤の計画，調査，設計，施工，維持管理に活用するサービス展開を図る活用展開研究に取り組む．さらに，これらの技術を特に建設事業に取り入れるための運用規程や仕様を策定する運用基盤研究を実施する．

3.3　社会活動情報

我々の日常生活では，図 6 に示すように，スマートフォンやタブレット端末などの多機能携帯端末が必需品となり，それらには，加速度センサ，ジャイロセンサ，GNSS などの各種センサが内蔵され，プローブ調査や動線解析への利用が期待される．また，スマートウォッチやスマートグラスに代表されるウェアラブルデバイスの種類が豊富になり，身につけて持ち歩くことが可能であるため，GNSS による位置情報だけでなく，心拍や体温などの生体信号を記録することができる．さらに，モノやコトの各種データを収集できる装置（データロガー）をネットワークに接続（IoT）すれば，エネルギー使用量や家電製品の挙動から顧客行動の分析・マーケティング戦略の策定が可能である．具体的には，CAN ロガーによる車載データロギング，振動計による構造モニタリング，環境モニタリングなどに利用され，例えば自動車のワイパーの動きをネットワーク経由で収集

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

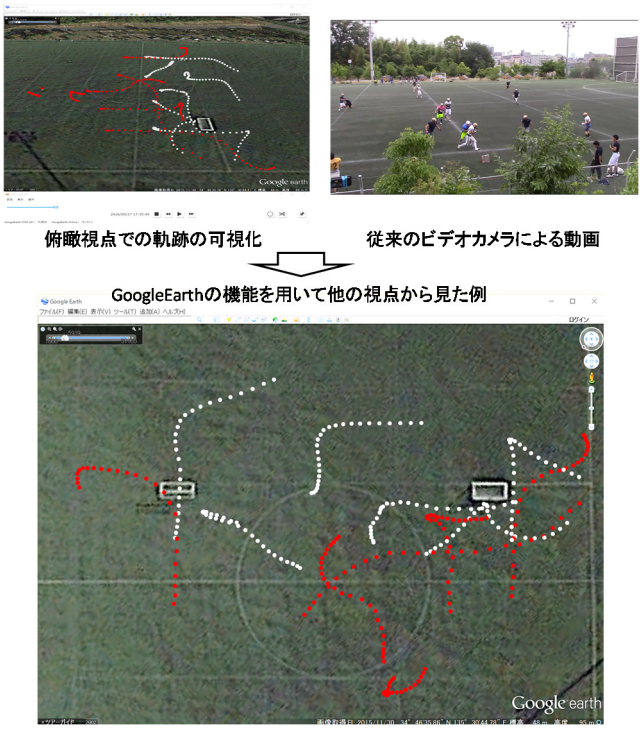


図 7　スポーツにおける選手の可視化例

し，降水地を見つけ出すことができるようになる．

以上のように，関西大学では，ヒト・モノ・コトを計測し，そのデータを活用する社会活動分野の研究開発を推進しており，ヒト・モノ・コトの流動に係わるデータの計測・集積技術の開発，プローブデータの高度利用のための解析技術研究，超スマート社会の実現に向けた新たなアウェアネスサービスの開発，および社会への普及促進のための運用モデルの提案に取り組んでいる．

3.4 スポーツ情報

我々が社会活動分野で特に注目するのが「スポーツ情報学」である．各種センサを内蔵したスポーツ用機器が開発され，前述のスマートウォッチやスマートグラスに加え，スマートウェアや Skycam[2]のような施設設置型デバイス，個々の選手の生体情報や動きを計測するための機器（例えば，GPSports[3]），球技のボールに内蔵するセンサなどが利用されている．これらの GNSS，IC タグ，心拍，加速度，ジャイロ，気圧，気温などの様々なセンサ情報を Wifi，Bluetooth、有線接続などで転送して端末に蓄積し，情報を統合的に解析することにより，スポーツの戦略分析に役立つ形に加工して提供し，選手あるいはチームがリアルタイムに利用するサービスを実現できる．また，選手の競技能力向上のための練習メニューに反映することも可能である．図 7 は，関西大学アメリカンフットボール部の練習における選手の動きを可視化した例である．空間計測技術と画像処理技術を組み合わせることにより，選手の軌跡を俯瞰視点で可視化するとともに，3 次元空間で様々な視点での分析に活かすことができる．

4. おわりに

本稿では，社会基盤施設の 3 次元データをその維持管理に利用することを目的として，地上設置型レーザスキャナと UAV により現場での道路舗装面と橋梁のデータ計測を実施した．その結果，現場条件と計測機器のスペックによる制約条件を明らかにした．そして，TLS と UAV 空中写真測量の成果を結合したデータの精度検証を行った．そして，社会基盤施設の 3 次元センシング技術および 3 次元データの発展として，ヒト・モノ・コトを計測する社会活動情報とスポーツ情報について考察した．

謝辞　本研究の一部は，関西大学先端科学技術推進機構研究グループ研究費により行ったものである．

参考文献

[1] 田中成典，辻光宏，伊藤俊秀，窪田諭，今井龍一，中村健二：レーザスキャナと UAV 等の計測機器を用いた社会基盤施設の 3 次元データの計測と活用に関する研究，情報処理学会研究報告，Vol. 2017-IS-142，No.3，pp.1-5，2017.
[2] 情報システムと社会環境研究会：情報システム，IS ディジタル辞典-重要用語の基礎知識-，https://ipsj-is.jp/isdic/1095/，2012.（2018.8.3 入手）
[3] Skycam：http://www.skycam.tv/（2018.8.3 入手）
[4] GPSports：http://gpsports.com/（2018.8.3 入手）

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan