

研究報告書

「機械学習や3次元点群処理技術が切り拓く植物計測の技術革新」

研究期間：2018年10月～2020年3月
研究者番号：50164
研究者：板倉 健太

1. 研究のねらい

産業革命以降、大気汚染や地球温暖化の問題が深刻化し環境悪化や生物多様性の喪失などが生じ、それらの問題は人間の健康被害や生活環境悪化を引き起こし、将来の我々の生活が危ぶまれています。そこで、発展の著しい情報工学の技術を利用した植物の機能の抽出がその解決策になりうるのではないかと考えました。なぜなら、都市植物や森林における植物は大気浄化やヒートアイランド現象の緩和、二酸化炭素固定、生態系の維持など様々な環境浄化機能を有することが知られているからです(大政ら、リモートセンシング学会、2002)。そこでその環境浄化機能をうまく活用するためには、1)植物の環境浄化機能を適切にモニタリングし、評価することや、2)将来の有効活用に向けたプランニングをすることが必要なのではないかと考えました。それらの第一歩として、環境浄化機能と関連のある植物構造と生理に関する情報取得が不可欠です。既往のモニタリング手法では多大な労力を伴う現地調査や、衛星画像解析などが行われてきました。申請者らは車やドローン等の移動体に搭載した3次元(3D)センサーやデジタルカメラから高精度な植物の構造計測を準備実験として行ってきました。地上での移動体からの計測を行うことで、短時間で、労力を要さず、広域な計測が可能です。

本研究の狙いとしましては、移動体に搭載された3Dセンサー等により植物の3Dセンシングし、さらに機械学習や3次元点群処理等の情報工学的手法を駆使することで、自動で、精度のよい植物機能モニタリングが実現することです。そこでは、ライダーとよばれる、3Dスキャナーやカメラなどを用います。樹木計測においては、それぞれの場面で適切なセンサーや解析手法も異なってくるため、研究期間内では多くの方法を試し、最善の手法を探索していきたいと考えています。

2. 研究成果

(1) 概要

図1にACT-Iでの研究概要を示します。

- 2つのレンズを持ち、対象の3D画像も計測できるカメラ(ステレオカメラ)やライダーを自動車の屋根に搭載(GPSも同時に用いて位置を特定)⇒移動しながら、植物の画像を取得。
+ドローンによる上空から植物の3D計測(SfMを利用)⇒欠落のない3D画像を取得。
- 深層学習(AI)や3次元点群画像処理(研究業績1-1-(1))を用い、3D画像において植物を自動認識(図1(c))し、さらに植物が存在する場合、その樹種を判別
- 個々の植物や樹種に分離した3D画像より植物のエッジや最高点を抽出し、対象木の幹直径、樹高、バイオマスを推定

4. 2.で自動分離した植物の 3D 画像に対し分光情報や熱画像を 3D 画像にマッピング⇒
 分光情報や化学分析により得られた植物の構造情報・生理情報との関連性を検討
 ⇒環境浄化機能の推定方法の開発(こちらは予定していたものの未到達)

ACT-I 研究期間の主な成果は c)での樹木の自動的な検知および e),f)での、画像からの植物生理に関わる情報の推定である。ここで、ライダーと呼ばれる、3 次元(3D)スキャナーを用いて計測した樹木の自動検知の結果を図 2 に示す。それぞれの樹木が異なる色で塗られており、枝葉の部分も含めて精度よく分離できていることがわかる。さらに、ポールなどといった、従来の方法では樹木と誤認識しやすい物体も正しく除外することができており、精度の高い樹木の自動検知方法を開発することに成功した。申請者は、樹木に特化した3D 画像からの樹木の自動検知方法の開発に成功しており、その解析結果から、樹木の位置や、寸法、枝葉の形などの形状の情報を自動的に取得することができる。この成果のための、基礎的な検討や、他の手法・センサーによる樹木のモニタリング手法の開発も行ってきた。例えば、3D スキャナー(ライダー)の代替手法として、全方位(360 度)撮影可能なカメラを用いて、樹木を計測し、物体検出や写真測量の手法により図 2 と同様の結果を得るための手法の開発も行った。適用する場所(例:森林分野)では低コスト・低重量のセンサーが望まれ、対象場所やコストなどを踏まえて、複数の手法が利用可能となった。

さらに、樹木の葉の角度や葉のクロロフィルの推定方法の推定にも成功した。本研究は、樹木の構造だけでなく、生理的な情報も統合的に把握することを目標にしている。葉の密度や角度情報、クロロフィル量などから、二酸化炭素の吸収量などの生理情報を見積もることができる可能性があり、それらのための基礎検討についてはおおよそ完了することができました。

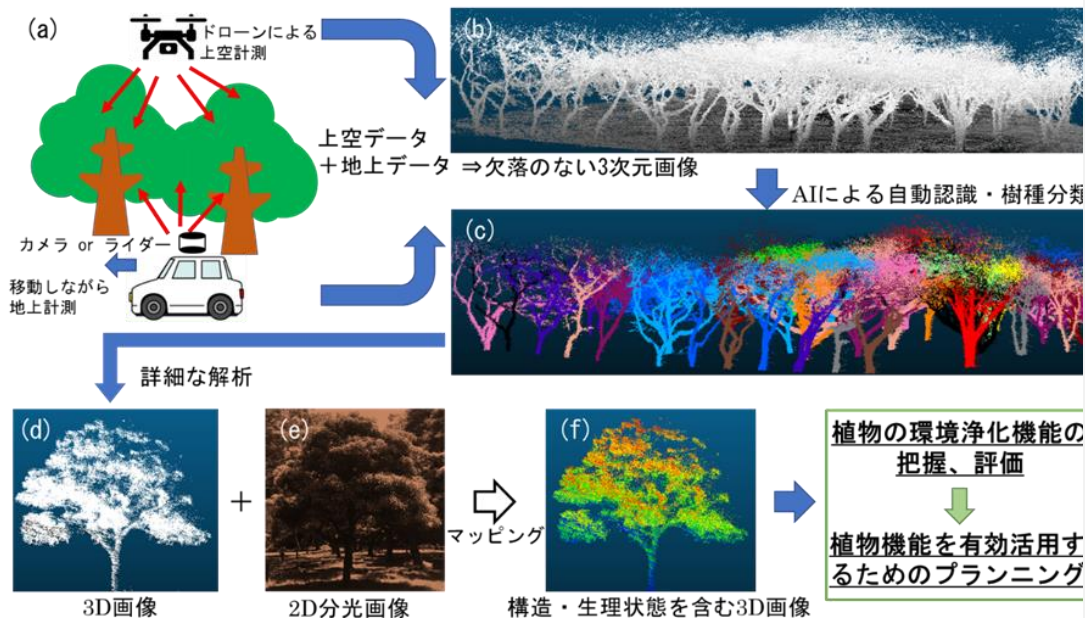


図 1 : ACT-I にて掲げる研究概要

(2) 詳細

研究テーマ A「3次元画像中からの樹木の自動検出」

ライダーと呼ばれる、3次元(3D)スキャナーを用いて計測した樹木の自動検知の結果を図2に示す。それぞれの樹木が異なる色で塗られており、枝葉の部分も含めて精度よく分離できていることがわかる。また、自動的に検知された地面は茶色で塗られ、その他の色は白で塗られている。ポールなどの樹木と形状が似ている物体も正しく、白色で示されていることがわかる。高い精度で樹木とその他の分類を行うことができた。ここでの検出対象は樹木であり、それ以外の物体は同カテゴリでよい。3次元ディープラーニングなどの手法も考えられるが、ここでは、樹木のみを関心の対象としており、それに特化した方法を取ることでこのような精度のよい結果を得ることができた。

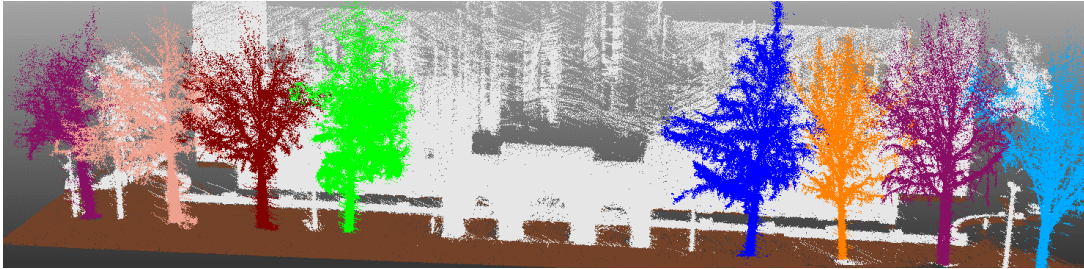


図2: 3次元センサー(ライダー)から取得した3次元画像からの樹木の自動的な検知の結果
それぞれの樹木がそれぞれ異なる色で塗られている。

研究テーマB「全方位カメラからの樹木の自動検出」

図3のように、全方位カメラ(リコー,シータ)を用いて樹木の画像を取得し、さらに、深層学習の物体検知の手法を利用することで樹木をその中から自動的に検知することができました。図2のような3次元スキャナーを用いた計測も有用ですが、コストが高かったり、また、重量があるため、山などでそれをもって長時間歩き回るといことは少し難しいという欠点がありました。そこで、研究テーマBでは、安価かつ軽量の全方位カメラを用いて、同様の目的を果たす、ということを行いました。全方位カメラでは、通常のカメラとは異なり、全方位の画像を取得することができます。特に樹木は高さの高いものも多く、通常のカメラでは、木の頂点まで映らないことも多いです。また、樹木は進行方向の左右に生えていることも多く、通常のカメラでは左右の両方を撮影していく必要があり、あまり効率的ではありません。一方、全方位カメラでは、進行方向の左右の樹木が撮影可能なほか、樹木の高い部分も撮影が可能で、樹木画像の取得には適していることがわかりました。



図3: 全方位カメラから樹木を自動検知した時の図

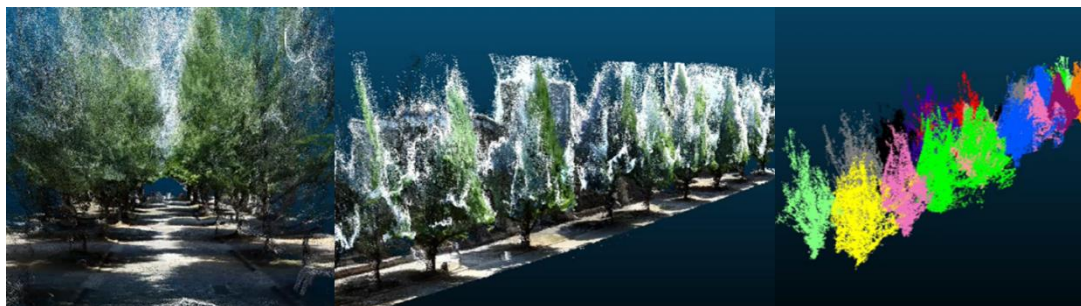


図4: 全方位カメラから3次元画像を再構成し、その中の樹木を自動検知した時の図

研究テーマ C「日本以外での対象や需要の調査」

研究成果に加えて、海外との連携関係を築くことができたことも ACT-I 研究期間の大きな成果です。日本のみならず、海外での応用展開も視野に入れて研究することを目標に、まず、私はシンガポール国立大に留学し、シンガポールでの先進的な樹木管理の可能性を探りました。そこでは、多くの研究者と議論を交わし、本研究の有用性や応用展開を模索しました。その結果、シンガポール科学技術庁(国立研究所)にて今後も継続して研究を進めることとなりました。シンガポールは樹木の多くを輸入に頼っており、かつ樹木の特性(耐久性、実を落とさないか、成長速度など)も重要視する。そのため樹木の確保にコストがかかる。そこで、本研究での都心の樹木に対する 3D 情報の取得および自動的な解析が直接的に利用でき、シンガポールでの実応用と非常に親和性が高いことがわかりました。このことは、ACT-I 研究の将来の応用展開につながるだけでなく、自分自身が主体的に、海外での展開を議論し、活動することは ACT-I のテーマである、「個の確立」に大きく寄与したと考えています。

3. 今後の展開

今後の展開としましては、都市の樹木のモデリングにつながる手法を開発していきたいと考えています。3次元スキャナーで都市部の樹木を計測することで、現在ある樹木の形状や位置などを知ることができます。その情報をもとに、樹木のモデリングにて計算すると、将来、樹木がどのように成長するかなどをシミュレーションすることができます。つまり、現在の都市部の樹木の3次元情報から、未来の樹木の3次元情報を予測します。特に先進国の都市部では、樹木や緑による街のデザインも非常に重要です。景観のよさは、その住人や観光者の精神環境にも多大な影響を与えます。現在、日本ではあまり樹木の計測をし、将来のモデリングをすることはあまり多くはありませんが、その取り組みをシンガポールにて学ぶことができました。このシンガポールでの学習は本 ACT-I での支援によるものです。ただ、その予測においては、非常に詳細な3次元情報の解析が必要となります。例えば、樹木の枝をそれぞれ3次元上で分離し、第一に分岐した枝、第二に分岐した枝、などと自動的に解析することが重要だそうです。現在は、そのような解析を精度よく行うことはできておらず、今後、それらに取り組んでいく予定です。

4. 自己評価

・研究目的の達成状況

当初の目標はおおよそ達成できました。例えば、3次元スキャナーから取得した画像中から樹木のみを精度よく抽出したり、植物の3次元画像を得るために、3次元スキャナーのほか、デジタルカメラや全方位カメラなどを用いたことなどです。さらに、カメラ画像から樹種を推定したり、幹直径を簡単に推定するなど、当初の目標にしていた情報や指標などはおおよそ取得できるようになったのではないかと考えています。しかし、植物の生理的な(例:健康の指標)情報と3次元スキャナーの情報を統合して解析する、ということができませんでした。

・研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)

研究体制は、多くの場合、実験や解析などは個人で行っており、また週に2回ほどのペースで指導教員の先生と議論をし、また先生からアドバイスをいただき、進めるという形をとってきました。また、定期的開催されるサイトビジットや領域会議の場では、他の採択者の先生方からアドバイスをいただいたり、助言をいただきました。そこでは、非常に高度な解析技術や進め方のコツなどを教えていただき、非常にためになりました。農学分野や解析の基本的な部分は、自身の指導教員の先生や研究室内のゼミ活動にて議論をして、深めてきたとともに、解析の高度な部分は、ACT-I のミーティングにて議論することができ、研究の進め方としては非常に良かったと考えています。

・研究成果の科学技術及び学術・産業・社会・文化への波及効果

本研究課題は環境や農業などと関連しており、特に社会や文化への影響が大きいと考えています。ACT-I 期間中にお世話になったシンガポールでは特に環境や農業、食生活への関心が高く、本研究課題は非常に親和性が高いように感じました。今後、IT 技術がどんどん社会に溶け込むようになると、そこでのセンサー情報などをいかして、精密な管理が可能になります。例えば、3次元センサーやそれを利用した自動走行などが広く流通すれば本研究での環境モニタリングがより広い範囲で適用可能となります。また環境モニタリングがより詳細に行うことができれば、未来の都市をモデリングし、よりよい景観や、都市の環境浄化機能を有する都市を形成するだけでなく、人々の環境に対する関心も高められると考えられます。そのように、本研究の技術は今後ますます高技術化する社会にて非常に大きな役割を果たすもので、今後の社会への波及効果は大きいと考えられます。

・研究課題の独創性・挑戦性

樹木の計測・解析手法は多分野に比べるとまだまだ成熟しておらず、改良の余地がまだまだ残されていると考えています。樹木は規格が定まっておらず多種多様な形状をもつものが知られています。また、同じ樹種(木の種類)でも、その地域や樹木の年齢によって大きく異なっていたりするなど、他の工業的な対象と比べて多様性が大きい場合も少なくありません。一方、樹木特有の制約条件や性質などもあり、それらをうまく考慮して、手法開発していくことも必要です。今後は、樹木という対象をうまく理解し、その性質をうまく生かしながら手法の開発などを行っていきたいと考えています。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Itakura K, Hosoi F, 2019: Automated tree detection from 3D lidar images using image processing and machine learning, Applied Optics. 58 (14), 3807–3811.
2. Itakura K, Hosoi F, 2019: Automatic method for segmenting leaves by combining 2D and 3D image-processing techniques, Applied Optics, accepted.
3. Itakura K, Hosoi F, 2019: Simple and effective tool for estimating tree trunk diameters and tree species classification, Applied Optics, accepted.