

ドローン空撮写真を利用したモモ樹の整枝・剪定効果の評価

郭威*、穆悦*、高田太輔**、本多潔***

*東京大学農学生命科学研究科、**福島大学、***中部大学国際 GIS センター

1. はじめに

モモの整枝・剪定とは、冬季や夏季を中心に枝を切り戻し、誘引などにより枝の適正な空間配置を人為的に調節することで、作業性の向上（摘蕾・摘果など）を図ることが目的である。JA や県などの振興機関では、新規就農者を指導するために剪定手法やその効果を図面として提供しているが、3次元に配置されている枝の位置などを2次元に落とし込んだ、樹形概念図としてのイメージにしかなっておらず、指導がうまく伝わらないことがある。また、中堅以上の農家に対しても、樹冠面積や樹相を着果量や施肥量の目安にすべきであるが、各農家の栽培樹の状況が個々で異なり、既存の樹冠面積の推定式が当てはまりにくい形状の樹も現地には多く存在するため、状況ごとに対処した指導を行っているものの、体系付けた指導を行うことが難しい。そこで、本研究では、モモ樹を対象にドローン空撮写真を撮影・解析することにより、開花前、夏季の着果の様相、収穫期、夏季剪定後、落葉期にモモ樹の三次元視覚化及び具体化とその生育（樹冠面積、主枝、亜主枝の太さ及び角度など）を定量的に推計することを最終目標とした。2017年度の目標では、2016年で確立されたデータ収集方法と解析パイプライン（ドローン飛行方法、写真撮影方法、3次元化およびオルソ化方法）を利用したうえ、2016年度と同圃場で収集した画像を対象に、複雑な背景から樹冠の抽出、樹冠形状と樹冠面積を計測する手法を開発するとともに樹冠の定量化評価を経時的に行い、樹体間差をみることにした。これらの目標を達成するためには、画像から樹木それぞれを独立した形で抜き出すことが課題としてあげられる。しかしながら、果樹における樹冠形成は、単位面積あたりの生産の最適化を目的としているため、複雑な形に入り組む。特に、生育期間中に葉が茂っている状態では、前記空撮写真において、果樹それぞれの樹冠は重なり合っているため、既存の計算手法では個々の樹冠を抽出することが困難である。そこで、本研究では、画像から果樹個体の個々の樹冠を分割する新たな解析手法を提案した。

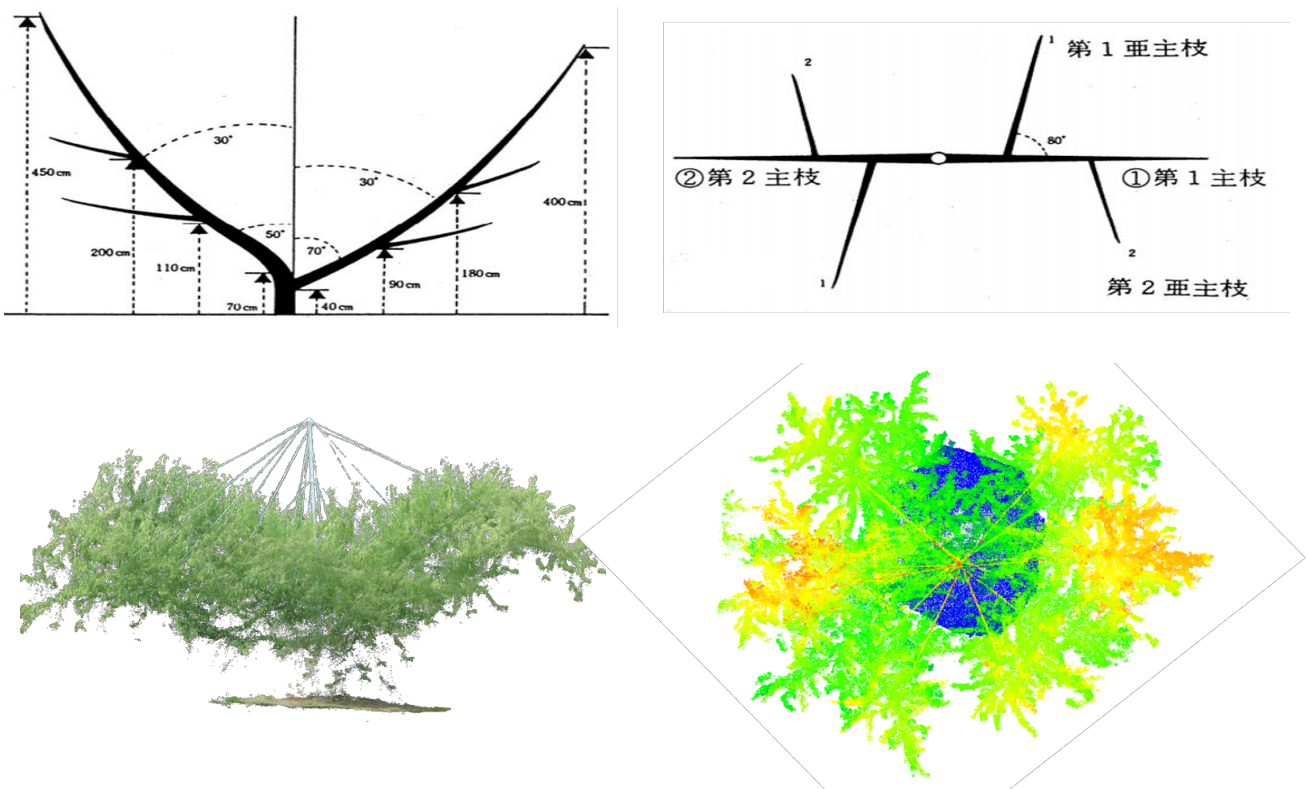


図1. JA や県の普及センターにおいて使用される剪定指導図の一例（上）

および岡山県の樹形作りの一例（下）

2. 方法

岡山県の農業総合センター農業試験場内の圃場において、10年生のモモ樹12本をターゲットとした。ドローンによる撮影を2月冬季剪定後（落葉期）、5月摘果後、7月モモ果実発育第2期、9月夏期剪定後に行った。UAVの機種をInspire1ProとカメラX5を利用、飛行高度を30mでWaypoint設計（Heading direction統一、Overlap率80%）により自動飛行が一番効率がよいと考えた。空撮画像を三次元マッピングし、解析用の点群データ、オルソモザイクやDSMデータを生成するには、Structure from Motion (SfM)/Multi View Stereo (MVS)手法が有効であることを検証した。なお、本研究で使用したソフトウェアは、SfM/MVSの実装はPix4D (Pix4D, Switzerland) である。それぞれの飛行に対して、解析用の点群データ、オルソモザイクやDSMデータを生成した。最後に、樹木を背景から抜き出すとともに樹冠分離を行う。樹木を背景から抜き出すについては、2016年で提案した三次元情報を利用することで解決した。重なっている樹冠の分離については、岡山の樹形作り（V型やOpen-center型、一つの樹木が複数の局所最高点が存在する、図1）に適応する手法がなく、本研究では時系列情報を利用する画像分割手法を提案した。具体的には、落葉期の画像をベースにして、複数の果樹個体に対して、樹冠候補領域を抽出し、それぞれの領域の重心マーキングを行い、そして、他の生育期の画像に対して、前記の樹冠候補領域および重心を照合し、果樹個体のそれぞれについて樹冠の分割を行った（図2）。

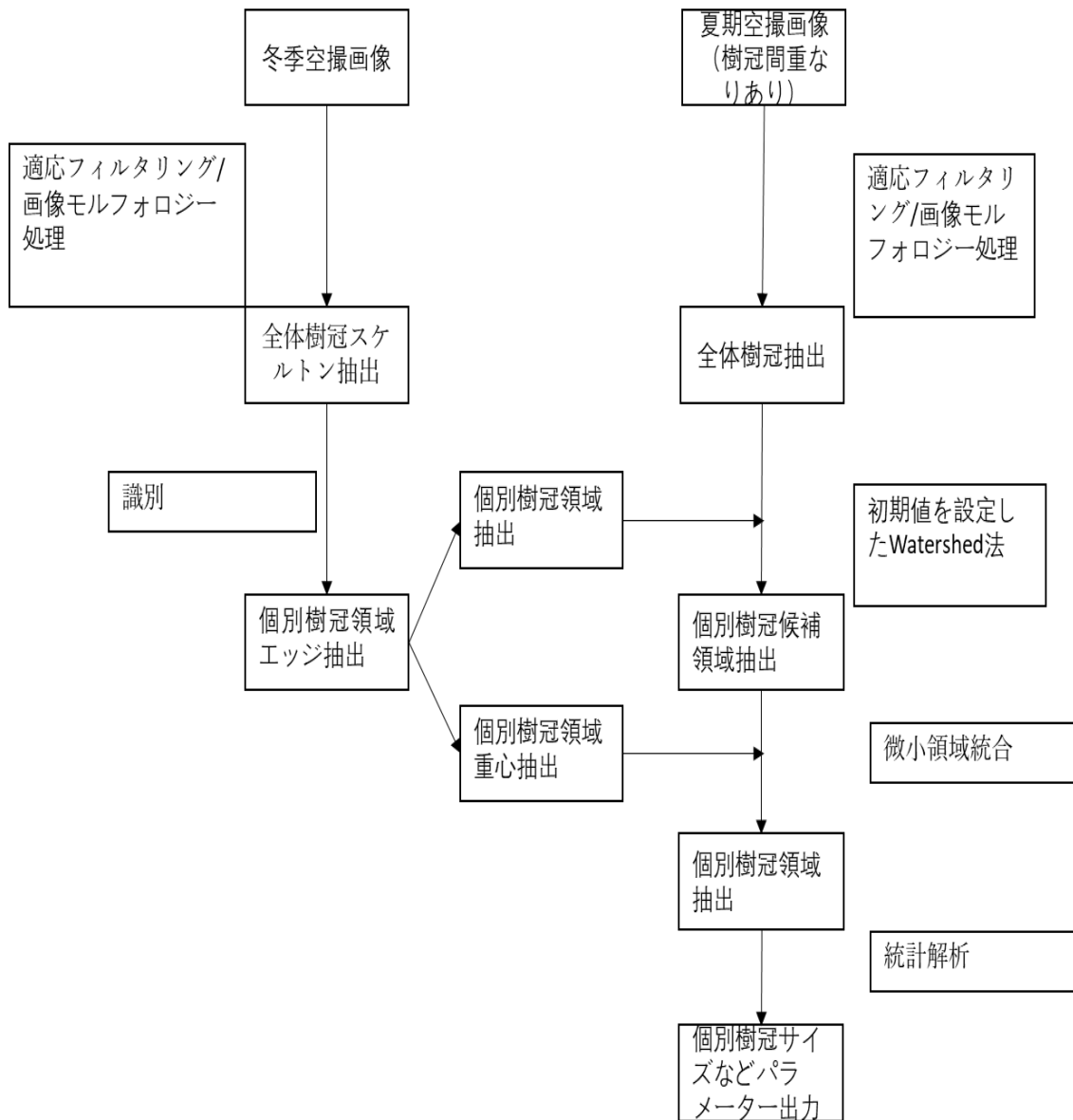


図2. 提案した画像から重なっている樹冠の分離手法

3. 結果

2つの検証データセット、マニュアルで画像から計算し、実際に職員が圃場で計測した圃場樹冠の直径と面積を利用して提案手法を評価した。12本の木を対象に、提案手法が長短軸の圃場測量値との相関が $R^2=0.74$ 、 $R^2=0.90$ 、マニュアル画像計測値との相関が $R^2=0.96$ 、 $R^2=0.97$ の計測精度を示した。

さらに、既存の手法との比較も行った結果、提案した手法によって樹冠サイズと樹冠面積の計測精度が向上することができた。(表1)

表1 既存手法との比較

Feature	R^2	R-RMSE (%)	Ground resolution (cm/pixel)	Study
Crown size	0.63	14.29	5	Panagiotidis et al.
	0.85	18.56		
	0.58	18.83	8	Díaz-Varela et al.
	0.92	~9.85 ^a	<1 ^b	Patrick and Li
	0.95	2.79	0.8	proposed method
	0.85	2.19		
Crown	0.7 ^c	-	<1 ^b	Patrick and Li
projection area	0.82	13.18	0.8	proposed method

さらに、異なる計測時期に渡って樹冠の定量化評価も行った。こちらの評価を利用することで、樹体ごとに過去の生育状況を詳細に把握することが可能になると示唆された(図3)。現状では、果樹の生育判断は、個々の新梢の成長や、展葉数などをランダムに抜き出し、測定することで、樹冠成長の様相を把握してきた。本試験のような樹冠の計測により、モモ樹体の生育段階ごとの状況判断を簡便にしかも、樹体生長量の総量と関係づけて把握することが可能となる。この結果は現在の果樹栽培においては、施肥の年間体系として、施肥のタイミングは1または2回などに限られているが、成長の状況に応じて、個々の樹体に対して、施肥を行ういわゆる“分施”の可能性が高まることを示唆している。“分施”を行う事は、1年生作物などでは、適切なタイミングでの施肥による省コスト化や窒素過多による環境負荷を防ぐ目的で徐々に導入されている。しかしながら、果樹では、1樹体が長大なことも相まって、なかなか進んでいないのが現状であり、本技術が推進されることで、果樹などの永年性作物でも、“分施”による、施肥量のコントロールが簡便となる可能性がある。

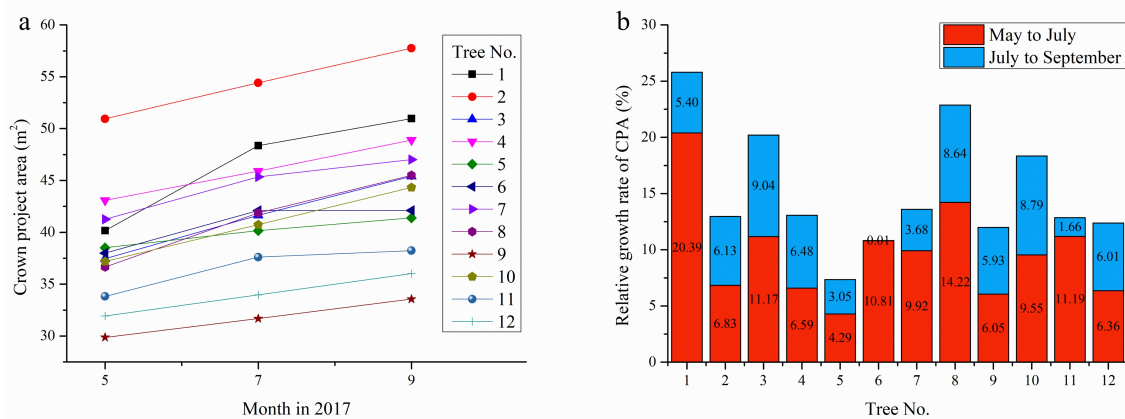


図3. 時間軸に沿って各樹冠面積の変化及び生育量の定量化評価

4. 考察とまとめ

2017年度では、2016年度に確立したデータ取得パイプラインを活用して、目標果樹園の画像データを安定的に収集できた。さらに、これらの画像データから果樹それぞれの樹冠に関する表現型を抽出するために、新たに画像解析手法を提案した。提案した手法を利用することで、より良い精度で簡便に、果樹個体のそれぞれについて樹冠の同定を行うことができ、生育期間中の樹体ごとの詳細な生育状況を把握できることを示唆された。このようなデータ情報の蓄積により将来的に精密な営農指導に貢献することが可能となると思われる。なお、今後は発展的なデータ収集規模の拡大化と対象の多様化が必須である。

6. 謝辞

本研究では、藤井雄一郎氏（岡山県農林水産総合センター農業研究所 果樹研究室）の多大なご支援とご協力を頂きました。本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201702 の助成を受けたものです。

参考文献・データ

1. 高田大輔, 福田文夫, 久保田尚浩 (2008) : 栽培管理法の違いがモモ‘紅清水’の赤肉果発生と果実発育に及ぼす影響. 園芸学研究, 7 : 367-373.
2. Sato, Mamoru, Daisuke Takata, Keitaro Tanoi, Tsutomu Ohtsuki, Yasuyuki Muramatsu, Y. (2015): Radiocesium transfer into the fruit of deciduous fruit trees contaminated during dormancy. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(1):37-41.
3. Torres-Sánchez, J. et al., 2017. Assessing UAV-collected image overlap influence on computation time and digital surface model accuracy in olive orchards. *Precision Agriculture*, pp.1-19. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-017-9502-0>.
4. Torres-Sánchez, J. et al., 2015. High-Throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology. *Plos One*, 10(6), p.e0130479. Available at: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0130479>.
5. Patrick A, Li C. High Throughput Phenotyping of Blueberry Bush Morphological Traits Using Unmanned Aerial Systems. *Remote Sens* 2017; 9: 1250.
6. Díaz-Varela RA, de la Rosa R, León L, Zarco-Tejada PJ. High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials. *Remote Sens* 2015; 7: 4213-4232.
7. Panagiotidis D, Abdollahnejad A, Surový P, Chiteculo V. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *Int J Remote Sens* 2017; 38: 2392-2410.
8. Patrick A, Li C. High Throughput Phenotyping of blueberry bush morphological traits using unmanned aerial systems. *Remote Sens* 2017; 9: 1250.