

直接計測法や間接推定法に基づいた 高収量ハウスマカン群落構造の特徴について

矢野 拓

(大分県農林水産研究指導センター)

1. はじめに

このたび、Taku Yano, Daisuke Yasutake and Yoshinobu Kiyosue, 2022: Characterization of canopy structure for the high yield performance of greenhouse-grown satsuma mandarins using direct measurements and indirect estimations. *Journal of Agricultural Meteorology* **78(1)**, 19–30 に対して、伝統ある日本農業気象学会の論文賞を賜りましたこと、大変光栄に存じます。本稿では、論文の概要や補足事項等につきまして若干紹介させていただきます。

2. 論文概要

2.1 ハウスマカンの収量は葉面積指数 LAI で大きく決まる

盆需要に対応したハウスマカン(早生温州ミカンの促成栽培)を対象に、慣行である開心自然形仕立て樹と垣根仕立て樹を用い、仕立て法が異なっても高収量が説明できる普遍的な指標は、葉面積指数 LAI であることを明らかにしました。

2.2 葉面積指数 LAI の推定について

実際の圃場において、葉面積指数 LAI を正確に算出するのは大変な作業です。先行研究では、イネの葉面積指数(丸山ら, 2005)やカンキツの1樹葉面積(岩屋ら, 2007)がプラントキャノピーアナライザで概ね推定可能とされています。そこで、県内のハウスマカン栽培園において、このプラントキャノピーアナライザの有用性をまず検討しました。使用した機種は Li-cor の LAI-2000 です。

手始めに予備調査として、場内のハウスに植栽されていた早生温州ミカン樹を材料に、樹冠の葉の摘葉と計測を繰り返し、最後は幹と枝だけの裸樹の状態にして、破壊調査によりプラントキャノピーアナライザの基本性能を確認することから始めました。破壊調査の結果はまずまずでした。しかし現地調査をすすめていくと、この間接的なプラントキャノピーアナライザによる LAI 推定値が、園地によって、直接的な方法で求めた LAI と隔たりがあることがわかりました。ここで、直接的な LAI 算出方法とは、摘葉して一枚一枚葉面積計を通した方法や、樹の葉数をカウントし、個葉の面積を乗じた方法、および葉の比葉面積 SLA (Specific Leaf Area) と葉の乾物重から求める方法を指します。厳密には、これら3つの方法で得られる値は全く同じとは言えません。しかし、園地の生産ポテンシャルである葉面積指数を求めるにはいずれも十分な精度を有する方法と考えられます。た

だし労力を要する大変な作業です。

プラントキャノピーアナライザによる間接的な LAI 推定値(論文中で PAI と表記したので以下 PAI とします)と直接的な LAI 値との隔たりについては、森林等を対象としたリモートセンシングの分野では周知の事実のようです。Clumping index という、単純に言うと「枝葉の重なりを表す指標」が定義されており、群落構造によってこの数値が異なるとする先行研究があります (Bréda, 2003; Chen *et al.*, 2005)。

2.3 仕立て法の違いと Clumping index

今回の研究では、2種類の仕立てが異なるハウスマカン群落を調査対象としています。ひとつは、開心自然形の名称で呼ばれる、カンキツでは慣行の丸っこい樹姿で、どちらかという疎植大木を目指す栽培法です。樹のかたちは公園の桜と似たもの、と思っていたら良いです。

もうひとつは、大分県が 2005 年から取り組んでいる垣根樹形で、開心自然形と異なり密植で植栽本数が多く、直線的な作業通路が確保され、高収量と省力・機械化の両立を目指す栽培法です。群落構造は施設栽培のトマトやピーマン等に似ていると思います。

慣行のハウスマカン栽培は、コストを要する集約型の農業体系なので、実際の経済栽培園で高収益をあげている開心自然形の園地は、ハウス内の空間をめいっぱい利用し、空間全体に枝葉を配置して多収を目指す特徴があります。

Clumping index は間接的な PAI と直接的な LAI 推定値との比とされています。一般的に、植物群落の地上部は、同化器官である葉と非同化器官である木部で構成されており、葉面積の繁茂具合を光学的な手法で評価する場合は、非同化器官である木部の存在が多かれ少なかれ影響します。特に、植物群落の上部や下部から光の透過量を計測する場合は、木部で遮蔽された光量が葉の量としてカウントされ、葉面積は過大評価され Clumping index は1以上の値を示します。また、ある空間に枝葉が密集して存在するとき、枝葉の重なりによって葉面積は過小評価され Clumping index は1未満の値を示します。

今回の研究における2種類の仕立て法のうち、ハウス内の空間をめいっぱい利用する開心自然形樹の群落では、樹冠を地面からセンサーで見上げるスタイルで計測するプラントキャノピーアナライザで LAI を過大評価していました。一方、樹冠と通路が空間的に区別されている(枝葉が密集する)垣根樹形の群落では、プラントキャノピーアナライザは逆に LAI を過小評価していました。すなわち、疎植大木で木部の割合が多い樹形では木部が葉と誤認され、密植で枝葉の重なりが大きい樹形では全ての葉を認識できない、という単純な結果です。この結果は、先

行研究で定義されている Clumping index で説明することができました。しかし、これは単に説明できただけ、と解釈することもできます。シビアな見方をすれば、今回のような間接的な非破壊計測方法において、今後解決すべき課題を示すものでもありません。

2.4 群落の吸光係数について

群落の吸光係数について若干触れたいと思います。作物の群落機能の定量化や、群落構造の質的評価といった場面で、この吸光係数は非常に重要です。光の物質による吸収を定式化した Beer の法則をもとに、植物群落に吸光係数が定義・導入されたのは今から 70 年以上前です (Monsi and Saeki, 1953)。この場では詳細な解説は行いませんが、一般的に吸光係数の値が小さいイネ型の草姿を持つ群落で受光態勢が良好で、吸光係数の値が大きいダイズ型の草姿を持つ群落で受光態勢が不良とされています。過去、露地カンキツでこの吸光係数を求めた報告 (小野, 1982) がありますが、葉面積指数の算出における分母が圃場面積なのか、樹冠占有面積なのか記載にあいまいな点があり、実際はどれくらいの値なのか、明らかにしたい思いがありました。

Monsi and Saeki の時代では、現在のようにハイスペックな光量子センサーなどなく、群落の受光量は曇天日のような散乱光に富む条件で、主に照度計などで計測されていたようです。また現在は、Monsi and Saeki モデルをさらに発展させた、いくつかの群落光合成モデルが報告されています。今回の研究では、Monsi and Saeki モデルにならない、散乱光に富む条件下で光量子センサーを使用して吸光係数を求めました。供試した 2 種類の仕立て法の受光態勢の優劣を評価する目的であれば、散乱光条件で算出した吸光係数でも十分だろうという考えです。しかし一方で、光合成は、光強度の強い直達光によるところが大きいので、今後、果樹の群落光合成の定量化等まで踏み込む場合は、散乱光だけでなく直達光も考慮したモデルや計測手法について十分議論する必要があります。

厳密に言えば、Monsi and Saeki モデルでは、群落の吸光係数を算出する前提として、「群落が閉じていること」や「葉が空間内でランダムに分布していること」等、数学的な条件が付与されています。ここらあたりの深い議論は著者の理解が及ばないこともあり、今回の論文ではおさなりにしている感は否めません。結果的に、ちからわざで色々な係数を求めて論文化まで至ってしまいましたが、これが果たして研究者として良かったのかどうか、自分の中ではまだ完全に決着はついていません。

3. その後のとりくみと展望

近年の研究ニーズのひとつに、環境に配慮したかん水量や施肥量の適正化があります。多くの場面で、群落構造の定量化や葉面積指数 LAI 推定の重要性を感じます。論文執筆後、アロメトリー関係 (生物の体の大きさにかかわらず、2 つの指標の間に成立する量的関係) を利用して、幹のサイズと葉面積の関係を算出しました (未定稿)。苗を植えて樹をどんどん大きくしていく過程では、幹のサイズ計測で概ね葉面積の推定は可能です。しかし、樹のサイズが目標に達し、維持管理のため毎年バ

サバサ剪定するようになり、群落構造に対し人間の介入が大きくなってくると、誤差が増大して、幹サイズから正確に葉面積を推定することが困難になります。アロメトリー関係による普遍的な LAI 推定は厳しいか? と感じています。色々と試行錯誤が必要かもしれませんが、より簡単に正確な葉面積指数 LAI の推定が誰でもできるようになれば、今よりもっと精密な農業が実現できるのでは、と考えます。

仕立て法については、カンキツ垣根樹形の研究対象はハウスミカンに限定されていましたが、施設中晩柑や露地カンキツ等にも拡大し、最終的にはカンキツ全般でこの仕立て法が普及し、産地のアップデートがすすむことを期待します。

4. 謝辞

この場をお借りして、共著者の安武大輔氏 (九州大学・気象環境学研究室) との清末義信氏 (大分県農林水産研究指導センター (当時)) に改めて心より感謝申し上げます。論文執筆にあたっては、木村健介氏 (農研機構・農業環境研究部門)、野村浩一氏 (高知大学・IOP 研究室)、安永円理子氏 (東京大学 (当時)) から暖かいご協力と有意義なアドバイスを頂きました。また、恩師である北野雅治先生 (九州大学名誉教授) には、これまで数多くのご指導・ご鞭撻を頂いただけでなく、本学会への入会もリードして頂いた経緯があります。他にも、ハウスミカンの現地調査や場内の圃場管理、研究補助など、本当に多くの方々にご協力頂いて本研究を行うことができました。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 丸山篤志・桑形恒男・大場和彦, 2005: プラントキャノピーアナライザによる植物面積指数の測定誤差とその葉群傾斜角への依存性. *Journal of Agricultural Meteorology* **61**, 229–233.
- 岩谷潔・山本晴彦・土谷安司, 2007: プラントキャノピーアナライザによる樹冠葉面積の計測. 農業技術体系果樹追録 22. 一般社団法人 農山漁村文化協会, pp.20–23.
- Bréda NJJ, 2003: Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* **54**, 2403–2417.
- Chen JM, Menges CH, Leblanc SG, 2005: Global mapping of foliage clumping index using multi-angular satellite data. *Remote Sensing of Environment* **97**, 447–457.
- Monsi M, Saeki T, 1953: Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* **14**, 22–52. (Monsi M, Saeki T, 2005: On the factor light in plant communities and its importance for matter production. *Annals of Botany* **95**, 549–567.)
- 小野祐幸, 1982: 温州ミカンの光合成作用および生産構造に関する研究. 第 5 報 解体調査からみた開心自然形仕立ての幼木と若木の生産構造. 四国農試報 **40**, 78–91.