

## 篤農家技術への挑戦

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者	高倉, 直
巻/号	86巻5号
掲載ページ	p. 514-517
発行年月	2011年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 篤農家技術への挑戦

一匠の技はコンピュータで誰でも再現できるのかー

高倉 直\*

〔キーワード〕: SPA, エキスパート・システム, 水切り, 画像処理

## はじめに

コンピュータは作物栽培の匠になれるか。一言で言えば、今の状況では、答えはノーである。3つの異なった手法に関する研究経験からその状況を説明したい。

実験科学の進め方はまず現場で問題点を見つけることであるということから、学生時代から作物栽培現場へ出かける機会は多く、そのような機会を通して、何人かの篤農家と言われる匠の技の持ち主とも知り合いになった。60年代後半にポストドクとして米国に留学する機会があり、当時、コンピュータ利用技術では圧倒的に我が国より進んでいた米国の実態にふれ、何とかそれを会得し、我が国でもコンピュータを利用した技術を発展させたいと思っていた。たまたま帰国直後、東大で、当時としては大変高額な研究費を獲得でき、その実施を任せられることとなり、篤農家技術のコンピュータ化を目指した。

## スピーキング・プラント・アプローチ (SPA)

研究の全容は Takakura 1973, Takakura ら 1974, Takakura 1975, Takakura ら 1975, Takakura ら 1976, Takakura ら 1978 に詳しく報告されている。

実験の中心となるコンピュータに関しては、国産のミニコンピュータ (演算速度、記憶容量・装置、入出力装置のすべてに於いて、現在のパソコンコンピュータに遠く及ばないものであった) が出始めた頃で、当然まず国産を検討したが、プロセス制御として 24 時間稼働させるのは無理であることがわかり、米国でも使っていた DEC 社の PDP-8 を輸入することにした。当時コンピュータの輸入は規制されており、かなり苦勞した。選定の理由は、まず連続運転に耐えること、インターフェースの一部と制御用プログラムを自作するためハードとソフトの全容が公開されていることが絶対条件であった。

大型研究費であるため、その研究用の建物建設費用も付加されたので、まず一定の光条件での実験をするため室内の人工光のもとでの実験用キャスター付きグロースキャビネットを設計し、自然光での実験は隣接するベランダへこれを移動させて行えるような建物とした。

篤農家が植物の葉の色や形の変化を見ながら栽

電子計算機は篤農家になりうる？

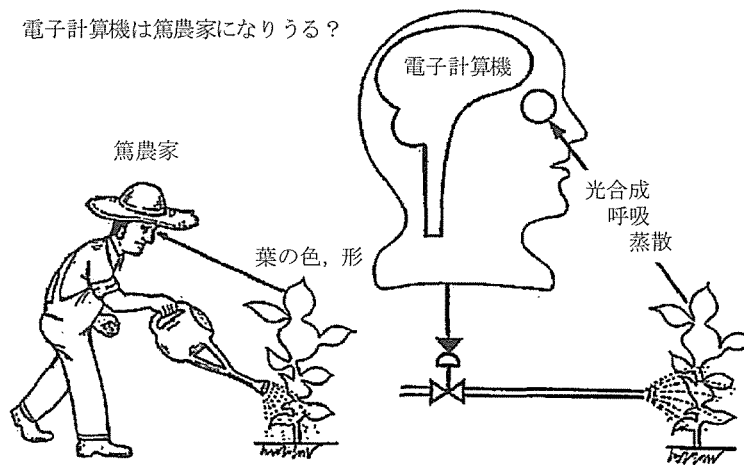


図1 考え方の基本 (高倉 1975a, b)

培管理を行うことから、それらの情報より、早い段階での情報、光合成を最大にするような環境条件を見つけて、よりはやく定量的データに基づいて栽培できることを目指した。

制御方式は、山登り法と言われるもので、植物の光合成が最大になるように環境条件（とりあえず、温度と二酸化炭素濃度）を変化させるものである。室内において人工光下でレタスを栽培するという、当時としてはかなり珍しい実験であり、またこの分野では世界でも初めてのコンピュータ制御ということもあり、1973年2月の朝日新聞に、「まるで宇宙の菜園のよう」、「コンピュータ野菜」と紹介され、その後、人工光植物工場を手がけたほとんどの企業が見学に来た。

確かに、植物の生長に光合成が欠かせないが、光合成だけで生長が決まるわけではない。その後、千葉大学でも同様な大型研究費を獲得できたので、最初から自然光下での実験として、同型のグロースチャンバーを2台製作し、通常の制御を行う対照区も設けた。作物は、レタスでなく、キュウリとトマトを用い、夜間の呼吸制御も試みた。光合成の場合、生長とは正の相関があり、光合成が大きいほど生長が盛んになるとみなせる。ところが呼吸の場合は、維持呼吸と生長呼吸があり、前者は小さい方が、後者は大きい方が生長に寄与する割合が大きいと考えられたが、この呼吸の識別は難しく、論理的な制御ロジックは作ることが出来ず、ある程度の仮想的なモデルによるしかなかった。

また、通常の植物生理学の教科書には出てないが、光合成や呼吸はダイナミックに変化することがわかり、従来の定常的なデータは使えないことも判明した。

この研究は篤農家のまねが出来ないかという発想からであったが、1978年、この分野で我が国で最初の国際シンポジウムを企画したおりに、オランダから参加した研究者が、我々の実験を例に、これが植物から情報をとりながら制御するという SPA と命名してくれた (Udink ten Cate ら 1978)。ただ、SPA とは植物にしゃべらせる、すなわち、植物から情報を直接取るということであり、篤農家の匠の技術に他ならない。その後、このネーミングの良さから、我が国でも似たような研究が行われはじめたが、われわれにとって、この年はこの研究の転機の年で

もあった。すでにミニコンピュータからマイコンの時代となっており、手軽にマイコンでの制御器を作ることが可能となったし、この研究を通して、制御用プログラムをアセンブリ言語（ほぼ機械語に等しい言語）で製作することに習熟していたので、温室の環境制御器としてのマイコン利用に研究の方向をシフトさせて、我が国で最初の温室環境制御用マイクロコンピュータ制御器の開発となった（高倉 1975, 高倉ら 1979, Takakura ら 1980, 高倉ら 1980）。その後、(株) ESD が OEM として商品化し、一時期、市場のほとんどを占有した（図2参照）。



図2 コンピュータ制御装置

### エキスパート・システム

我々は SPA 手法に行き詰まりを感じて、医学で話題になっていたコンピュータによる支援システムの開発を試みた（高倉ら 1983, Takakura ら 1984）。ほぼ同じ頃、千葉大学でも同様な開発が行われていた。

コンピュータに知識データベースを構築し、それに照らし合わせて、栽培管理動作の支援をするものである。例えば、植物葉の斑点の色や形状から、病

名を推論するというものである。当然、基本となる知識データベースが正確かつ詳細なものでなければならぬが、ここに篤農家のノウハウを蓄積することは不可能に近かった。通常の教科書に頼れば、初心者用のテキスト代わりのもにしかならず、意味がない。また、当時の推論方式はどうしても数式に頼るものであり、まず、篤農家の判断基準を数式化する必要があり、さらに推論の方式においても、篤農家の判断を再現する手法は見つからなかった。その後、推論にニューラルネット方式が取り入れられたが、簡単な場合とはかく、現実の作物栽培となると、推論を導き出す知識データベースが膨大となり、その内容から、とうてい篤農家のレベルには達しえないと判断した。

### 画像判定

篤農家が植物の葉の色や形の変化から栽培管理を行うことから、あらためて植物からの情報収集手法を比較検討し (Takakura 1992), エキスパート・システムほどの大規模なものでなく、ある1つの重要な栽培管理の支援を画像判定で行うことを試みた (Okamura ら 2001)。温室メロンで有名な地域では、農協が温室メロンの糖度を一定以上に保証するため、1本の木に1個の果実しか付けさせない方式

を採用している。したがって、苗を農協から購入した段階で、収穫可能な最大個数が決まり、収益を上げるためには1個の価格が高いメロンを作ることにつぎ。そのため温室メロンの栽培では2度の水切りが重要である。最初の水切りは、根を十分に張らせるためのもので、2度目は果実のマスク発生と糖度を高めるためのものである。直接篤農家から情報を得ることは出来なかったので、篤農家のところに研修生として住み込み、その技術を習得したある大学教授の支援を得て、最初の水切りを実験した。まずこのような専門家がどこに着目しているかを教えてもらい、それに基づいて、対象となるメロンの特定な葉の色の变化をカメラで撮影し、カメラの画像を RGB 要素に関して解析し、篤農家の判断と一致するレベルを求めた。太陽光による色の变化を防ぐために、日傘を用意してカメラ撮影した。

代表的な実験結果を図3に示す。この場合は RGB 要素の G 色度値が経時的に低下する状況を見ており、確実に専門家の判断時期と同じレベルになる時刻を比較している。カメラのデータには細かい変動はあるものの、専門家の判断と機械の判断がほぼ一致するレベルの判定が出来、その誤差もわずかで、判定の時間差も10分と問題ないレベルである。この実験は2年間行ったが、残念ながら、2年目はこ

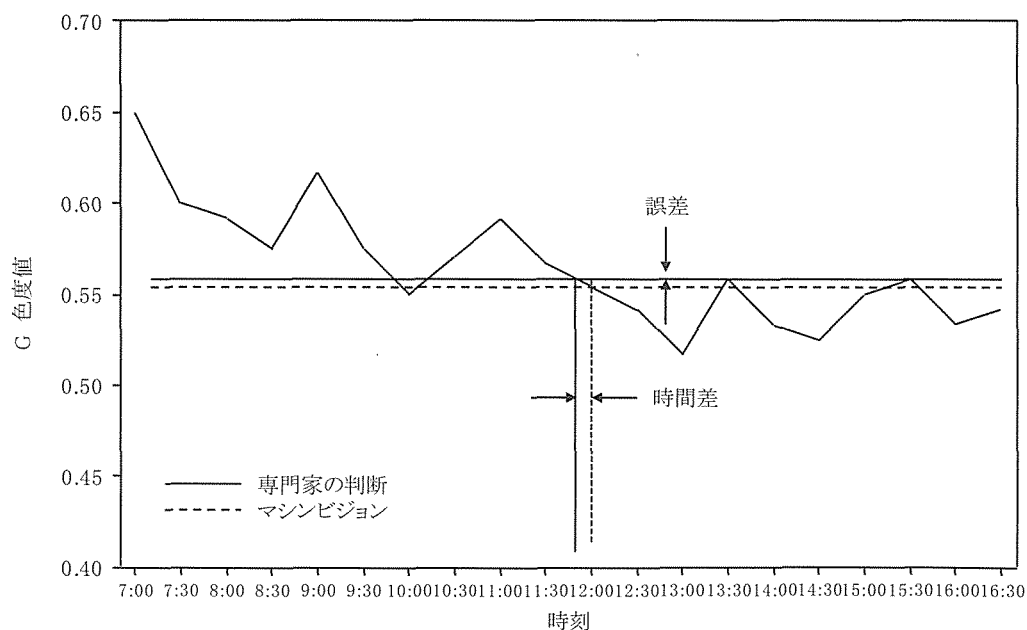


図3 専門家との判断時期の比較 (Okamura ら 2001)

のような明確な結果は得られずに、この判断基準だけでは不十分であると結論せざるをえなかった。

その原因は、人間の眼（緑色付近の比視感度が最も高い）とカメラによる画像処理での緑の分解能のちがいが、太陽光による色の違い、専門家の判断には特定の葉だけでなく、気が付いていないけれども、他の要素も含まれている可能性があること、などが考えられた。

### おわりに

篤農家という場合、どうしても医業における名医といわれる存在を意識せざるを得ない。農業（作物栽培）と医業を比較してみよう。医業の場合はもちろん個人の医院もあるが、大規模な公立病院もあり、大学の教員は大学病院での臨床で患者と直接接する機会がある。作物栽培の場合とかなり異なった構成である。また、医業では一般的には病気というある一時期の現象に集中した対応を必要とするが、作物栽培の場合は時間スケールが遙かに長く、人間で言えば、ほぼその一生の面倒を見る形である。また、検査にしても、既に述べたように、作物栽培の場合は主として、葉の形、木のしげり方、色や形状のちがいなどほとんど画像情報だけで判断するのが現状である。

植物栽培における匠の技を数量化し、かつ共同化する場合の問題点を整理すると2つある。第1は、その情報の多くが現在のコンピュータでも解析が困難な画像情報であることであり、第2は、個々の栽培農家はいわば企業にあたり、独自のノウハウを公にすることは経営上不利になることである。この状況は我々が研究を始めた40年前からほとんど変わっていない。また、我々が最初に試みたように、匠の技よりもっと植物生理に基づく栽培管理を目指す場合、植物の生長と少なくとも光合成、呼吸、蒸散さらに転流のメカニズムがダイナミックに解明されてなくてはならない。いくつかのモデルも開発されているが、いずれもダイナミックな制御に適するものではないし、そのようなモデルを用いることで大勢の匠が生まれたという話も聞かない。

最近、植物工場に大型予算が付き、全国的に研究が進められていることは喜ばしいが、過去の研究を十分に調査研究してないところも散見される。作物栽培管理の難しさを認識し、「農学栄えて農業減ぶ」

（横井時敬）ということにならないような研究の展開を期待したい。

### 引用文献

- Okamura, N.K., Kurata, K., and Takakura, T. 2001. Analysis of color changes in leaves of muskmelon plants under water stress. *Environ. Control in Biology* 39: 27-34.
- Takakura, T. 1973. Plant growth optimization. Proc. VII Inter. Cong. of Cybernetics pp.501-505.
- Takakura, T., Kozai, T., Tachibana, K. and Jordan, K.A. 1974. Direct digital control of plant growth. I. Design and operation of the system. *Trans. ASAE*. 17: 1150-1154.
- Takakura, T. 1975. Plant growth optimization using a small computer. *Acta Horticulturae* 46: 147-156.
- Takakura, T., Ohara, G., Kurata, K. and Tachibana, K. 1975. Plant growth optimization under natural light condition. *Phytotronics III Phytotronics in agricultural and horticultural research* (ed. by P. Chouard and N. de Bilderling), Gauthier-villars, Paris. pp.80-88.
- 高倉 直 1975a. 栽培工場のシステム制御. 計測と制御 14 : 460-471.
- 高倉 直 1975b. 電子計算機による作物環境の最適化制御. 農業および園芸 50 : 973-978.
- Takakura, T., and Ohara, G., 1976. Direct digital control of plant growth II. Physiological analysis of cucumber plants. *J. Agr. Met.* 32: 107-115.
- Takakura, T., Ohara, G. and Nakamura, Y. 1978. Direct digital control of plant growth. III. Analysis of the growth and development of tomato plants. *Acta Horticulturae* 87: 257-264.
- 高倉 直・岡田益己・島地英夫・奈良 誠 1979. 温室の複合制御用マイクロコンピュータシステムの試作. 農業気象 35 : 97-102.
- Takakura, T., Taniwaki, K. and Shimaji, H. 1980. Microcomputer systems for multivariable control of greenhouses and for measurement and control in the field experiment. Technical Note 101. Lab. of Environ. Eng., Dept. of Ag. Eng., Univ. of Tokyo. pp. 242.
- 高倉 直・谷脇 憲・島地英夫・奈良 誠 1980. 圃場での計測と制御のための EEL BASIC (マイクロコンピュータ) システムの開発. 農業および園芸 55 : 493-498.
- 高倉 直・庄野浩資・本条 毅 1983. 知識工学的手法による栽培管理のシステム化 (1) 促成トマトの栽培管理システム. 農業気象 39 : 113-116.
- Takakura, T., Shono, H. and Honjo, T. 1984. Crop management by intelligent computer systems. *Acta Hort.* 148 (1): 317-318.
- Takakura, T., 1992. Sensors in controlled environment agriculture (CEA): Measuring growth and development. *Acta Hort.* 304: 99-102.
- Udink ten Cate, A.J., Bot, G.P.A. and van Dixhoorn, J.J. 1978. Computer control of greenhouse climates. *Acta Hort.* 87: 265-272.

本稿に関する問い合わせはこちらまで

E-mail : takakura@nagasaki-u.ac.jp