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

高倉 直・庄野浩資・本條 毅

(東京大学農学部)

Application of knowledge engineering to crop cultivation.
(1) Consultation system for the management of tomato crops
in greenhouses

Tadashi TAKAKURA, Hiroshi SHONO and Tsuyoshi HONJO

(Faculty of Agriculture, University of Tokyo)
Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

1. はじめに

医学や農業のように生物を対象とする分野においては、現象が多面的かつ複雑であるから、それだけにその技術の中には経験や勘に頼る部分が多い。技術開発が進むにつれ、このようなあいまいな部分の解明も進みつつあるが、現実には名医や篤農家の存在は否定できない。農業における栽培技術の向上のために各種の栽培比較試験などが行われてきたが、このように分析的あるいは統計的な実験手法だけでなく、篤農家の技術の分析と、その組立てという直感的かつ発見的手法の導入を目的として知識工学の手法を用いることを試みた。

個々の農家の栽培技術の違いにより生産量、品質などに大きな差が生じていることは周知の事実である。今後、農業の合理化を行うためには、この差を縮めるため篤農家の栽培技術を普及させることが重要であり、篤農家の栽培技術をシステム化し、誰でもが技術をマスターできるようにすることが必要であると考えられる。

栽培技術は知的体系であり、主に言語で表現されるような性質のものである。このような知的体系を扱うには近年著しく発達した知識工学的手法が適している。そこで今回、比較的栽培技術が確立しており、かつ収量や品質に差のある施設園芸トマトの栽培管理を例にとり、篤農家、一般農家及び試験場において栽培実習やテープレコーダを用いた聞き取り調査などを行い、これらの資料

をもとに知識工学的手法によって施設トマトの水管理を主とした栽培管理システムの開発を試みたのでここに報告する。

2. 知識工学の農業への利用

2.1 知識工学とは

篤農家に限らず種々の分野の専門家と呼ばれる人々の技術は、専門的知識の蓄積の上に成り立っている。その中でも、いわゆる勘と言われるような経験的知識が非常に重要な役割を果たすことが多い。専門家は、この経験的知識に基づいて、知的情報処理を日常的に行いさまざまな判断を下していると言える。これと同等の働きを行うシステムを設計するのが知識工学の目的である。医学の分野では、Shortliffe (1976) の MYCIN, Weiss ら (1978) の CASNET など限られた分野で名医の域に達するものがすでに作成されている。また工学、教育の分野でも実用化されつつある (田中, 1981)。

このようなシステムは、大きく分けて図1のように2

Fig. 1. Structure of a knowledge engineering system.

つの部分に分れる。第1は、専門家の知識をコンピュータで処理できるルールの形で表現する部分である。この部分が専門家の知識をいかに忠実に表現しているかによりシステムの性能が決定される。第2は、それらのルールを使用して推論を行う部分である。この推論を行う部分では、限られた情報からまず結果を想定し、それを検証するために質問を行うといった人間の思考プロセスに近い情報処理が行われる。

2.2 農業での知識工学の必要性

岩手県のある農協のデータによれば、米作が主体とはいいながら、1地区の単位面積あたりの露地トマトの生産額に5倍以上の開きがある。また静岡県温室メロンの専業農家の場合にも約5倍程度の開きがあるといわれている。もちろんこの開きのすべてが栽培技術の格差によるものではないことは明らかである。しかし今回栽培技術の個別調査を行った神奈川平塚市においても、収量に約1.5倍の差がみられる(Fig. 2)。施設栽培トマトは露地栽培に比較して、気候変動の影響も受けにくく、また温室メロン栽培はほど高度な栽培技術が必要としない。しかし主として栽培技術の差が原因でこのような収量に差が生じ、品質も加味すればその差はさらに開くことが予想される。

このような技術格差は、一見縮めるのは容易にみえるが、実際には技術情報の交流の閉鎖性のためなどから縮めるのは困難である。しかし、システムのルールに今まで見落されていた篤農家のノウハウを含めれば、平均以下の農家の技術を平均レベルに引き上げることも可能になると思われる。

数理モデルを使用する栽培管理の実用化は、センサーの不備、モデル化の難しさなどから当面は不可能である。この点、知識工学的モデルでは、植物のような複雑な生

体を扱える唯一のセンサーである人間の目を積極的に利用できる。また、数理的に明らかでない経験的な法則をシステムに組み入れることも容易である。

以上のように、現段階で農家の生産技術の向上を考えた場合、知識工学的手法を用いた栽培管理システムの利用範囲は大きいと言える。

3. トマト栽培管理システムの開発

3.1 栽培管理プロダクションルールの収集

今回製作したシステムの基本となるデータベースにおいては(Fig. 1 参照)、栽培家の知識を「もし〜ならば〜せよ」というようなルールの集合としてとらえている。このようなルールの形式をプロダクションルールと言い、前述のMYCIN, CASNETなどもこの形式を採用している。

トマト栽培におけるルールの収集にあたっては実施調査を重視した。調査対象としたのは、神奈川県平塚市の収量の異なる3戸の施設園芸農家で、栽培作物は播種日がほぼ同じ促成栽培トマトである。これらの農家を約一ヶ月間隔で定植直後から収穫にわたる各生育ステージについて3回の調査を行うのと並行して、神奈川県園芸試験場において、移植、ずらし、定植、収穫のすべての生育ステージにわたり調査を行った。

この調査の結果をもとに、それらを補完するためにトマト栽培の専門書(農山漁村文化協会編, 1976)を参考にしてプロダクションルールを作成していった。ルールの作成にあたっては、水管理に重点を置き、作業時期の決定や重要な作業についてのルールを中心とした。このようにして、42個のプロダクションルールを収集しプログラム化した。

3.2 栽培管理システムの構成

知識工学では、記号操作、推論制御に優れたLISP, PROLOGなどの言語が主に使用されるが、現在これらでは日本語が扱えない。今回試作したシステムでは使用者の便を考慮し、プログラム言語に日本語での表示機能のあるBASICを用いた。

Fig. 3は本システムの構成図である。システムの中心となるのは図中央にあるMAIN CONTROL BLOCK (MCB)である。MCBは栽培家であるUSERに情報入力进行を促したり、外部記憶装置に記録された情報を読み込むといった情報の流れを制御する機能と、システム内のルールを使って推論を行う機能の両方を合わせ持っている。USERからの情報の入力は推論過程で随時MCBが行うが、得られた情報は図上部に示すDYNAMIC DATA BASE (DDB)に記録される。このうち比較的变化の少ない情報はSTATIC DATA BASE (STB)

Fig. 2. Relation between the yield of tomato and the area of cultivation. (1981.11 - 1982.6)

Fig. 3. Diagram of the system.

に移される。

システムで最も重要な部分を占めるのが、今回実地で収集したルールである。本システムではルールを大きく2つに分割している。その1つは図下部に示すSEASONAL RULES (SR)であり、もう1つはGENERAL RULES (GR)である。SRではトマトの栽培管理を通じて特に重要な生育ステージを、播種、移植、ずらし、定植、収穫の5つに分け、それぞれのステージに関連したルールを集めた。GRは作物の生育ステージの変化によらない一般的な栽培管理に関するルールである。

まずシステムが起動されるとMCBは播種からの経過日数によりSR中のいずれかのルール群の参照を開始する。例えば、ずらしが終了し、一定日数経過している場合は、図下部のTEISHOKUの部分のルールの参照を行う。参照途中で、展開葉の枚数といった未確認な変数に到ると、MCBはUSERにデータの入力促す。その入力を受けMCBはさらに次のルールの参照へ進む。

こうして得られた推論結果は、RESULTS OF CONSULTATIONの部分で、逐次USERに示される。推論過程で得られるUSERの入力データはコンサルテーションの終了と共にDDBへ記録され、次のコンサルテーションで参照される。

3.3 システムの実行例

システムからのメッセージ出力には質問、作業指示、警告の3種があり、マイコンのCRTディスプレイ上に色わけされ、また出力行頭にもその種類が明示される。質問の場合は、出力メッセージの後に疑問符が出力され、USERはこれに答えてデータの入力を行う。

Fig. 4はコンサルテーションの実例を示している。対象となる生育ステージは定植直前を想定している。この例では、まずシステムが定植に備えて圃場の準備を終えているかどうか問い合わせている。USERはn (NO)と答えたため、システムは圃場の準備を促し、その際の作業上の注意点を5行にわたり出力している。

次の2つの質問は、当日の作物の生育ステージが定植

Fig. 4. An example of the interactive consultation on a CRT display.

適期であるかどうか判定するためのものである。最初の質問は、定植開始の第一条件である第一花房の開花の有無を問うものであり、次の質問はその時の第三花房が分化完了しているかどうか確認するものである。この例では、第一花房が開花し、かつ第三花房が分化完了しているとUSERが答えているので、定植開始の時期的条件がすべて満足されていることになる。

次の質問は土壌水分に関するものである。文中にある乾き具合というのは、USERがテンシオメータを所有していない場合にのみ使われる言葉で、所有している場合はpF値を問い合わせる。この例の場合では、USERが主観的に水分状態を6として入力しているが、システムはこのあいまいさを含む値からある幅を持ったpF値を推定し、ルール中の適正値と比較してUSERに適当と思われる指示、警告を出力する。例では適正pF値が2.2と算出され、土壌水分が不足していると警告している。

次の2つの作業メッセージは、USERに定植適期であることを示し、さらに定植作業上の注意事項を出力している。

次の質問では、システムの適期判定を受けてUSERが定植を行うかどうか決定することができる。このため、定植適期であってもUSERの都合により作業開始を延期することができる。この例では、USERが定植作業を行うと答えているので、システムは作業開始までに注意しておくべき事項を2項目にわたり出力している。

4. 今後の展望

今回試作したシステムで知識工学の農業への応用の可能性を示したが、本格的な実用化にはいくつかの課題がある。

まず、使用したプログラム言語がBASICであるため、システムのルール記述や推論機能の複雑化が困難であっ

た。このため、ある結論を導き出すため参照すべきルール数が1, 2個と少なく高度な推論は行えない。解決策としては、LISP, PROLOGなどの記号操作や推論制御に優れたプログラム言語の使用があるが、今後これらの言語の日本語処理機能が向上すれば可能であろう。

また、前述のようにシステムの性能の良否は、経験ルールに依存しているが、今回のような数回にわたる数戸の農家の実地調査では、いわゆる篤農家の勘のような高度な経験ルールの抽出は難しい。プログラム作成者自身が篤農家になればよいが、その実現はかなり困難である。今後、システムの性能向上のためには、より農家に密着した調査や、篤農家から直接ルールを引き出せるようなマンマシンインタフェースの作成も必要と思われる。

今回のシステムは16 bit マイクロコンピュータで作製したが、システムの性能を向上させるには、スピード、メモリ容量の点から、現在の中・大型コンピュータ程度の使用が望ましい。今後、農村情報システムが発達してくれば、各農家の端末からホストの大型コンピュータを呼び出してコンサルテーションを受けることも可能であろう。そうすれば、気象情報や市場情報を組み入れた栽培管理システムも可能となり、システムの性能は大幅に向上する。また、温室の環境制御にこのような知識工学的手法を応用することにより、従来の固定的な制御方式

では不可能であった作物生育の最適制御も行えるようになると思われる。

謝 辞

今回の実地調査において御指導いただいた神奈川県園芸試験場板木利隆場長、金目武男専門研究員、平塚農業改良普及所要司主査、御協力いただいた農家の方々並びに卒業論文として調査及びプログラム作成に協力した専攻生村上克介氏に感謝したい。また、実際の農家における収量調査には、花巻地域農業管理センター及び平塚農業改良普及所、静岡県温室農業協同組合から資料提供の御便宜を図って頂いた。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 農山漁村文化協会編, 1976: 新野菜全書「トマト」基礎生理と応用技術, 275~294.
- 2) Shortliffe, E. H., 1981: 診療コンピュータシステム(神沼, 倉科共訳), 文光堂, 271 pp.
- 3) 田中幸吉, 1981: 人工知能から知識工学への展開, 数理科学, **4**, 7~10.
- 4) Weiss, S. M., Kulikowski, C. A. and Amarel, S., 1978: A model-based method for computer-aided medical decision-making. *Artificial Intelligence*, **11**, 145-172.