熟練トラクタオペレータのあいまいさ

米川智司・坂井直樹・春原 亘

Uncertainty on Tractor Operation of Human Experts

Satoshi YONEKAWA, Naoki SAKAI and
Wataru SUNOHARA

1 緒 言

農作業者の技術や作業能率を高めることは、農作業の機械化等とともに、農業生産を高める大きな要因である。最近では、農業者を対象としたエキスパートシステムの開発・研究も行われている¹⁵⁾。このシステムは、卓越した熟練者の助言をコンピュータを通して利用者に提供しようというものであるが、制限ある質疑応答の過程及び熟練者の回答にも幾分のあいまいさを含むと考えられる^{5) 6)}。なおここでは、ある事象の内容を明確に一義的に決定できない性質という意味で、あいまいさという言葉を用いている¹⁾。

ところで、農作業は、作業対象が規則的に並んでいないこと等、微視的には作業環境が一定していないことが特徴である。この様な環境下では、予備知識を持たない思考回路による単純な認知方式で、作業対象を正確に捕らえることは困難であるといえる。つまり、熟練度を増すのに経験・学習の占める割合が高いといえる。一方、農作業の内容としては、目標に対して必ずしも高い精度を要求されない場合が多く、巨視的には単純で一般的な作業で構成されているともいえる。つまり、作業者ととも農作業それ自体にもあいまいさがあるといえる。

よって、熟練者が作業対象をどのような思考によって認知し、行動に移しているかを把握し、熟練者と非熟練者の相違の生じる原因と熟練者自身のあいまいさ、作業自体のあいまいさを明らかにすることは、エキスパートシステムの構成や、農業機械のフェジィ制御方法の開発等にも有益であ

ると考えられる^{2) 4) 9) 10) 11) 12) 14)}。

そこで本研究では、この試みの手始めとして、作業対象を圃場でのトラクタの運転として、熟練度や習熟度が異なるオペレータの相違点を実験から明らかにし、作業者と作業のあいまいさについて考察するとともに、結果の応用例として自動作業機械の制御方法に関しても触れた。

2 実験方法

実験においては、ロータリ耕うん後わだちがつかないようにトラクタで踏み固めた平坦な圃場で、トラクタを遠方の目標に向かって可能な限り直進させていくという状況を設定し、熟練者と非熟練者のオペレータがそれぞれどのような操作の違いをみせるのかを調べた。直進という作業は一見単純ではあるが、圃場でのトラクタ作業のなかでは最も頻繁に行う基本動作の1つである。実験に用

図1 実験の概略

いたトラクタはMassey-Ferguson社製MF135で、エンジン回転速度は1300 rpm、変速ギアはH1速（平均速度約 1.2 m/s ）で走行させた。

測定項目と方法は以下の通りである（図1参照）。オペレータが操作したトラクタのステアリング角度とクラッチの開度の変化をポテンショメータ（日本サーボ、EP-45）により検出し、トラクタ搭載のデータレコーダ（TEAC、MR-30）に記録した。また、その時のトラクタの加速度と速度の変化もひずみゲージ式三軸加速度変換器（共和電業、AS-10 TB）により検出し、ストレインアンプ（共和電業、DPM-8 H）を通してデータレコーダに記録した。

つぎに、トラクタの姿勢の変化を追尾するためにレーザビーム（NEC、GLG5350）の光点の変化を搭載のビデオカメラ（SONY、XC-38）で撮影して、ビデオレコーダ（松下、NV-8480）に記録した。これは図1に示すように、レーザビームを基準ライン（目標）として背後からトラクタオペレータの後部に設置した黑板（計測板）に照射し、その光点の変化をビデオカメラで撮影することにより、トラクタの基準ラインからのずれを計測しようとするものである。

図2は実験の様子を模式的に示したものである。発進地点から目標点（ポールを立てた）までの距離を約50 mとし、あらかじめ発進地点後方に設置したレーザビームがこの目標点に照射するように調整しておいてから、トラクタを所定の発進地点（レーザビームが黑板の中心点にあたる位置）に置く、この場合、オペレータからはレーザビームは見えない。この状態から仮にトラクタが理想的に直進したとすると、黑板に写るレーザ光点の垂直位置は圃場のプロフィールによって多少変化するものの、水平位置はまったく変化しないことになる。しかし実際には、図2に示すように多少の蛇行を繰り返しながら目標に向かって進んでいくと予想できるので、この目標に対するずれの度合（黑板に写るレーザ光点の中心点からのずれ）が、熟練度や習熟度によってどう変化するか、そのときオペレータはどのような行動をとっていたか等を同時に計測し、解析した。

さらには、直進途中に設けた仮想の目標線上に停止させるという実験も行い、停止目標線と実際の停止位置とのずれや、この動作を付加すること

図2 模式的な実験の様子

により直進走行そのものがどう変化するのかということも調べた。なお、仮想の目標線とは走行路に対して直角方向に左右5～30 mの間隔を持つ2本のポールを結んだ仮想的な直線のことで、オペレータは2本のポールを交互にみて目標線を想像し、頭の中で修正しながら停止することになる。

以上のようにして収録されたデータや画像は、コンピュータ波形・画像処理システム（NEC、PC9801 V 他）で処理し、要因間の相互関係を解析し、作業者や作業のあいまいさを推定した。

結果に示す被験者には東京大学農場の職員2名

図3 進行方向加速度，ステアリング回転角，クラッチ位置の熟練者と非熟練者との比較

が当たったが、そのうちの1名はトラクタオペレータとして30年余りの経験を有する熟練者で、ほかの1名は過去に数回のトラクタ運転の経験があるが、当該機種種のトラクタの運転は初めてという非熟練者である。これら2名ともに普通自動車運転免許証は所有している。このことは、トラクタ運転の熟練度の違いを検証するという本研究の目的からすると、全く運転経験がないものと熟練者との比較をすることはあまり意味がないと考えたからである。

3 実験結果及び考察

図3は、直進運転のみを行った実験（実験1）における進行方向の加速度，ステアリングの切り方，及びクラッチペダルの踏み方の違いを、非熟練者と熟練者との比較で示したものである。

発進時については、非熟練者はクラッチを断続的に接続しながらステアリングを動かしているために、振動を起こしながら発進しており、加速度のピーク値は約0.2Gであった。一方、熟練者は短時間の間に半クラッチを介して接続を行っており、その間ステアリングはほとんど動かしていない。トラクタはもともと目標に向かってまっすぐに置かれており、発進時にステアリングを動かす

必要はないはずである。すなわち、非熟練者はクラッチに集中しながら無意識のうちにステアリングを動かし、それに気づきすぐにステアリングを逆方向に切ったものと考えられる。しかし、熟練者の発進時の加速度のピーク値は、約0.3Gと非熟練者の場合より高い値を示した。いわゆる乗り心地ということに言及すれば、この加速度のピーク値の違いは顕著な差とはいえない。一般には、加速度の向きの変化が短時間に繰り返して起こることが乗り心地を悪くすると考えられる。乗り心地と作業負荷の関係を除けば、通常の作業ではいわゆるスムーズな発進が求められているのでなく、いわゆるエンストを起こすようなクラッチの接続さえ避ければそれで十分であると考えられる。従って発進に関しては、機械的な一定動作でクラッチを接続するだけでよく、動作自体にあいまいさはないといえるが、発進してもよい状態かどうかを見きわめることにはあいまいさが潜在すると考えられる。つまり、目標に対して現在のトラクタの状態を認知し、発進後のトラクタの状態を予測し、それが目標に対して許容限度内の誤差に収まるか、または、その誤差が制御可能な領域に収まっているかの情報を発進前の現在のトラクタの状態にフィードバックする必要がある。そして、目標までのルート、及びそのルートの幅にあいまいさがあるといえる。

この許容限度は、作業評価の構成要素によって決定されるが、必ずしも各要素独立に決定されないと考えられる。例えば、畝を作るとき、畝の直線性、平行性、畝間の一定性の3要素を考えると、理想的には、畝は直線で、互いに平行であり、よって畝間は一定となる。しかし、ある畝が曲がったとする。このとき、次の畝を平行にして畝間を一定に保ってもよいし、徐々に畝が直線になるように畝間を調整していてもよい。つまり、許容限度が作業結果と制御方法によって、その取り得る範囲が変化すると考えられる。

次にクラッチが完全に接続され、クラッチペダルから足が離れた状態で、目標に向かってほぼ等速で直進している時は、前後の振動は両被験者に顕著な差は生じていないが、ステアリングの切れ角は非熟練者の方が大きくなっている。直進という動作を考慮すれば、非熟練者は無用に大きくステアリングを動かし、その動作を補完するために

図4 ステアリング回転角から求めたトラクタ進行横方向位置とレーザ光点から求めたトラクタ進行横方向位置の熟練者と非熟練者との比較

再び大きな動作をするといった、いわば悪循環を最後まで繰り返しているようであった。しかし、非熟練者の作業結果が特に悪いということでもなかった。つまり、ステアリング動作及び求められる作業精度にあいまいさが潜在していると考えられる。さらに、目標情報をオペレータが認知する過程においてもあいまいさが潜在しているといえる。よってここでは、目標と走行中のトラクタの位置関係にあいまいさのある許容限度が存在し、かつ、その許容範囲から逸脱した場合に復帰を完了する期間にもあいまいさがあるといえる。また同時に、目標と現在位置との関係を確認する時間間隔にもあいまいさがあると考えられる。

図4は、トラクタが等速運動をし、かつタイヤの滑りがなくと仮定してステアリングの切れ角の変化から求めたトラクタ進行横方向の位置と、レーザ光点の水平方向の動きから求めたトラクタ進行横方向の位置を、非熟練者と熟練者の比較で示したものである。ここではトラクタが等速になっ

た時間を0にしているの、図3の時間とはずれがある。この図より、ステアリングから求めた位置は、レーザ光点の動きから求めた位置と似た傾向を示しており、特に切れ角の小さい熟練者の場合は両グラフがほぼ一致していることが分かる。このことより、この実験条件の設定では、ステアリングの切れ角と速度からトラクタの位置をほぼ推定できるといえる。

また図より目標とのずれの最大値は、非熟練者が右側へ30 cmと、熟練者の左側へ10 cmに比べ大きな値をとっていることが分かる。しかしこのことは、オペレータが目標を自分の座っている位置との関係においてどう認識したかの違いであるとも考えられ、むしろ、目標と自分の位置との状態を認識するまでの時間と認識したところへかに早く到達しているかの方が作業にとっては重要であると考えられる。この点においても、熟練者の方が非熟練者の約 $\frac{1}{2}$ の時間で目標に到達していることが分かる。つまり、初期段階で迅速に目標を認識し、行動を完了することが重要であると考えられ、判断に使用する情報の制限や、思考過程の制限等にあいまいさが潜在すると考えられる。よって、発進直後には、頻繁に目標と現在位置との関係を確認し、位置の補正をする制御動作が必要であるが、一旦許容範囲内に収まれば、あいまいさの強い時間間隔での確認動作でも十分であるとえられる。

停止動作については、非熟練者に比べて熟練者の方が短時間に動作を終結させていることが分かる。これは発進の場合と同様に、機械的な一定動作のみを行えばよく、行動そのものでなく停止時期の判断過程にあいまいさが潜在すると考えられる。

図5は、仮想の目標線と実際に停止した位置とのずれを両被験者についてみたものである。仮想の目標線を決める目標のボールの間隔は、左から30 m、10 m、5 mでこの順に実験を行った(実験2, 3, 4)。熟練者のずれは順に -0.45 m、 -0.25 m、 $+0.25$ mであったのに対し、非熟練者のずれは -2.00 m、 $+1.65$ m、 $+0.45$ mであった。いずれも目標の間隔が狭くなるにつれて目標とのずれが小さくなっていた。特に、非熟練者の場合は実験の繰り返しのなかで慣れも加わったと考えられる。また停止後には、オペレータ自身もこのず

図5 仮想目標線での停止動作における目標とのずれの比較

れを認識できていた。この結果をみると、障害物の出現等で停止するという緊急の場合以外、仮想の目標線上にある程度のずれを許容して停止できれば作業上は問題がないと考えられる。この場合は、目標の決定及び伝達方法にあいまいさが潜在するとともに、求められる作業精度にもあいまいさが明らかに潜在すると指摘しておきたい。また停止動作の場合には、目標より手前での停止のみあいまいさが許される衝突回避と、単純な停止とを区別する必要がある。

図6、7は仮想目標線上で停止するという動作を加えた直進の4つの実験において、クラッチとステアリングの動作を非熟練者と熟練者とで比較したものである。図6に示した熟練者に関しては、いずれもほぼ一定の動作を行っており、目標点停止という動作が加わったことでの変化は特に起きていない。熟練者については、知覚や認知等の違いを除けば、作業自体は一定動作を迅速に行うというさわめて機械的な動作を行っているものといえよう。一方、図7に示した非熟練者については、発進・直進・停止のどの動作にも習熟が見られているものの、熟練者のレベルには達していない。

以上のように、オペレータの動作には、あいまいさが薄いものと高いものがあることが分かった。また、熟練者と非熟練者との相違点も明らか

になった。つまり、クラッチやブレーキを踏む動作は、ある一定の動作を行うことによって、ほぼ一定の結果が得られ、あいまいさの要因が薄いと考えられる。よってこれらの動作は、動作のみを習熟させるか、一定動作を行う制御回路を構成すれば十分であると考えられる。一方、ステアリング操作のように、ある一定の動作を行うと必ずしも一定の結果を得にくい、もしくは一定の結果を得るために必ずしも一定の動作が要求されないというあいまいさを含む動作がある。この場合は、あいまいさの度合いの履歴や調和を考慮する必要性がある。

よって、例えばトラクタを直進させることを行うロボット、あるいは無人走行トラクタを開発していく過程において、制御目標値を熟練者の経験から得ることや、熟練者の行動パターンを予め初心者に教育しておくことは、有効なことであると考えられる^{3) 7) 8) 13) 16) 17)}。また、ロボット等の制御方法については、ファジィ制御と単なる一定動作の組合せで構成し、目標を知覚し、認知する過程にはファジィ推論過程が適していると思われる。また、知覚・認知系と目標伝達以降の制御系とを分離して開発を進めることが有効であると考えられ、特に認知系の知識ベースの充実等がシステム全体のレベルを向上させることに有効であると考え

図6 熟練者のステアリング回転角とクラッチ位置の4実験での比較

えられる。

以上、少数の被検者から得たデータをもとにした考察で、基礎的なあいまいさの有無の検討を行ったが、この概念を実際に応用する際には、さらなるデータの検証が望ましいと考える。

〔謝辞〕本実験において、本学職員の高塚清一、小泉元三、及び塚本一文の三氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。また、本研究の経費の一部は、文部省科学研究費補助金（奨励研究(A)）によるものである。あわせて感謝の意を表する。

4 摘 要

農業者が作業対象をどのように認知しているかを把握するための研究の初歩として、圃場でのトラクタ運転についての実験を行った。実験では、熟練者と非熟練者のトラクタ運転にともなう、三軸加速度、トラクタ位置、ステアリング角、及びクラッチ操作の変化を測定した。その結果、作業自体のあいまいさを考慮にいと、熟練オペレータの動作にも、クラッチの操作のように機械的であいまいさが薄いものと、ステアリングの操作のようにあいまいさが高いものがあることが分

図7 非熟練者のステアリング回転角とクラッチ位置の4実験での比較

かった。本研究のように、熟練者と非熟練者の相違点を明らかにし、熟練者の認知方法から得たデータを制御目標値としてエキスパートシステムや、農業機械のファジィ制御等に応用することは有効であると考えることができた。

引 用 文 献

- 1) Chen, Y. and T. C. Tsao (1989) A Description of the Dynamical Behavior of Fuzzy Systems. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19 (4), 745-755.
- 2) Dubois, D. and H. Prade (1989) Processing Fuzzy Temporal Knowledge. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19(4), 729-744.
- 3) Fujimura, K. and H. Samet (1989) A Hierarchical Strategy for Path Planning Among Moving Obstacles. IEEE Trans. Robotics and Automation, 5(1), 61-69.
- 4) Gil, M. A. and et al (1989) The Li-

- kelihood Ratio Test for Goodness of Fit with Fuzzy Experimental Observations. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19(4), 771-779.
- 5) Grimson, W. E. L. and R. S. Patil (1987) AI in the 1980s and Beyond. MIT Press.
- 6) Hall, L. O. and et al (1988) On the Validation and Testing of Fuzzy Expert Systems. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 18(6), 1023-1027.
- 7) Isik, C. and A. M. Meystel (1988) Pilot Level of a Hierarchical Controller for an Unmanned Mobile Robot. IEEE J. Robotics and Automation, 4(3), 241-255.
- 8) Kanayama, Y. and S. Yuta (1988) Vehicle Path Specification by a Sequence of Straight Lines. IEEE J. Robotics and Automation, 4(3), 265-276.
- 9) Keller, J. M. and et al (1987) Fuzzy Confidence Measures in Midlevel Vision. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-17(4), 676-683.
- 10) Levi, K. (1989) Expert System Should be More Accurate than Human Experts: Evaluation Procedures from Human Judgement and Decisionmaking. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19(3), 647-657.
- 11) McCoy, M. S. and R. R. Levary (1988) Augmenting Knowledge Acquisition Processes of Expert Systems with Human Performance Modeling Techniques. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 18(3), 467-472.
- 12) Mendel, M. S. and T. B. Sheridan (1989) Filtering Information from Human Experts. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19(1), 6-16.
- 13) Moigne, J. L. (1988) Domain-Dependent Reasoning for Visual Navigation of Roadways. IEEE J. Robotics and Automation, 4(5), 419-427.
- 14) Mullin, T. M. (1989) Experts' Estimation of Uncertain Quantities and its Implications for Knowledge Acquisition. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 19(3), 616-625.
- 15) 農林水産省 農林水産技術会議事務局監修 (1986) 人工知能と農業. 農林統計協会
- 16) Sharma, U. K. and L. S. Davis (1988) Road Boundary Detection in Range Imagery for an Autonomous Robot. IEEE J. Robotics and Automation, 4(5), 515-523.
- 17) Waxman, A. M. and et al (1987) A Visual Navigation System for Autonomous Land Vehicles. IEEE J. Robotics and Automation, RA-3(2), 124-141.

Summary

A series of experiments on tractor operation which was a simple model of studies on judgment and decision behavior for problem solving in farm work were done. 3-axial acceleration, location of tractor, angle of steering, and motion of a clutch pedal which were operated by both human experts and nonexperts were investigated. In consideration of uncertainty of desired performances, there was uncertainty, even experts, on controlling steering, but there was scarcely uncertainty on treading on the clutch pedal. These studies will contribute to develop expert systems and fuzzy systems for farm work.