

交通制御エキスパートシステムについての考察

Study on An Expert System for Traffic Control

秋山 孝正*, 堀田 徹哉**

By Takamasa AKIYAMA and Tetsuya HOTTA

Recently, much attention has been paid to expert system which is useful for solving ill-defined problem. Since the urban expressway having many vehicles, effective traffic control method is necessary to keep traffic flow in good condition. The expert system for traffic control is proposed in this study. The pilot system was implemented as a knowledge base system based on traffic control patterns for Hanshin expressway. Additionally, improvement of rule-base and a new system on micro-computer were also investigated. Keywords: Expert System, Traffic Control, Urban Expressway

1. はじめに

都市高速道路の快適性と円滑性を保つための交通管制が日常的に行われている。そして実際の交通管制においては、正確な道路交通状態を把握し適切な判断に基づいて交通管制を行う必要があり、このための情報の収集と処理は重要な課題となっている。

近年各種の情報収集機器あるいは光ファイバー等の情報伝達手段は飛躍的に進歩をとげたことから、このような新しい通信手段を導入することで、都市高速道路における交通管制システムも整備充実されている¹⁾。これに対して、現在は情報化社会であり、各分野において、多くの情報収集とその効率的運用の方法がソフト面から具体的に検討されている。

この交通管制の現状を考えて交通制御意志決定時の情報の収集と効率的運用について検討することが本研究の目的である。これまでに交通管制の効率的運用を目指して交通制御内容を記述する試みが、いくつかなされてきた。すでに提案されたファジィ推論による交通制御方法はその一つであり、制御内容記述のひとつの方法論を示している²⁾。

この研究の問題点の一つとして、複数路線対象の一般的なモデルの作成の必要性が挙げられており、その解決には、多くのルールを系統的に処理できる方法の検討が必要であるとされていた³⁾。この点を特に重視し、また実際の交通制御の判断プロセスを生かした方法を求めるため、近年多くの研究が行われている知識工学的な方法についての検討を行う。

一般に知識工学の具体的方法として、エキスパートシステムがあるが、これにより交通制御時におこなっている判断を計算機に代替的に行わせ、知識ベースとして、これを保存しておくことで、さらに有効な交通制御ルールを構築することができる。

* 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 (株) 間組 東京支店 光ヶ丘作業所 (〒176 東京都練馬区旭町2の42の6)

本研究においては、まず第2章において、エキスパートシステムの基本的な考え方を概説しその有用性を検討する。つぎに、第3章で、実際の複数路線対象の交通制御エキスパートシステムの基本システムを構築した。さらに、第4章で、このシステムの改良として、制御判断ルール群の記述の変更および、大型計算機からパーソナルコンピュータ上へのシステムの移行についても具体的な検討を行った。

2. エキスパートシステムの概要

2.1 知識工学について

知的な判断を計算機に委ねようとする動きは各分野からの要請でもあり、近年、特に知識工学的な方法論の研究およびその応用について研究が進んでいる。知識工学は知識を利用して知的問題解決を実現するための工学で、応用人工知能とも呼ばれる。知識の表現、知識の利用、知識の獲得が主なテーマとなっている^{4), 5)}。知識工学(KE: knowledge engineering)という言葉は正確には米国、スタンフォード大学のファイゲンバウム教授が1977年 MITの人工知能会議において提案したものを端緒とする。

またエキスパートシステムは知識工学における具体的な産物であり、各種の定義ができるが、ふつう「特定の問題領域のエキスパートの専門知識を利用して複雑な問題に関してエキスパートと同等の問題解決能力をもつようにした知的プログラム」とされる。すなわち実際には、診断、監視、制御、設計などの問題解決のために作成されたコンピュータ用の知的プログラムであるといえる⁶⁾。

なかでも、中心的なものは特定分野の専門家の知識をベースとして、多数のルール群を構成することによって人間的な判断を行わせようとする、ルールベース(知識ベース)システムとしてのエキスパートシステム作成は著名な方法の一つである⁷⁾。

こうした研究は、これまで専門家に委ねられていた判断を計算機に任すことで、利用範囲の大きい汎用的な判断システム作成を目指したものである。

このような知識工学的な考え方は、交通制御の分野においても実際問題への適用が可能であり、特に各種情報の効率的処理といった立場から、益々重要視されるものと思われ、詳細な研究が望まれる。

2.2 プロダクションシステム

エキスパートシステム構築の方法には、プロダクションシステム、ブラックボードモデル、フレームモデルなど、いくつかの代表的なものがある。

なかでもプロダクションシステムは、近年多くの研究がなされている知識工学の一方法であり、各方面で用いられているものである。

最も基本的なプロダクションシステムの構成は図-1に示すようである。

(プロダクションシステム)

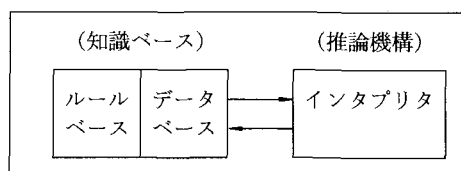


図-1 プロダクションシステムの構成

本図からもわかるようにプロダクションシステムは、

(1)ルールベース

(2)データベース(ワーキングメモリ)

(3)インタプリタ(推論機構)

から構成されるのが一般的である^{6), 7)}。そして、ルールベースとデータベースを併せて「知識ベース」と考えることができる。

ルールベースは、ルール形式で記述された知識を格納する知識ベースであり、(IF 条件 THEN 結論/行動)の形をしたプロダクションルールの集合からなる。このプロダクションルールは、具体的には、次のように書くことができる

IF 条件1 & 条件2 & --- & 条件n

THEN 結論1, 結論2, ---, 結論m

ここで、IF 以下の条件部の条件1, 条件2, --- 条件nのすべてがデータベース(作業記憶)中のデータと一致すれば、THEN 以下に示された結論部(あるいは動作部)の結論1, 結論2, ---, 結論mを順次実行するものである⁸⁾。

データベースは事実の集合からなり、プロダクシ

ョンシステムの状態を保持する記憶領域であり、判断の材料、判断結果、中間の情報などを保存する領域である。したがって、ルールの基本的働きは、データベース内の事実に対して、ルールの条件部を満たしていれば、結論部の動作を実行することである。

インタプリタはルールを適用して推論を行うためのプログラムである。したがって、ルールの選択、適用、ゴールの生成などを行い、プロダクションシステム全体の挙動を制御するものであるといえる。

このような、プロダクション規則を持つ推論システムは、以下のような特徴があるとされている。

- ・ルール群を構成し知識の変更、追加が容易である。
- ・システム内の知識を容易に知ることができる。
- ・「IF THEN」形式であるから、個々のルールにおける論理関係が明確である。
- ・ルール数の増加が処理速度の増大をもたらす。
- ・一連の手続きを直接的に表現することができない。
- ・人間の知識構造が「IF THEN」形式ですべて表現

できるとはいえない。

以上のように、長所と短所が存在するが、一般に小規模なシステムであれば、長所が生かされ有効であるとされている^{4)・6)}。

以下では、こうしたエキスパートシステムの特徴を生かし、その具体的なエキスパートシステムの作成を交通制御への応用を考慮して検討する。

3. 交通制御エキスパートシステムの作成

3.1 基本的検討

都市高速道路の交通制御のひとつとして、阪神高速道路を取り上げる。ここでは、特に複数路線を対象とした交通制御の例として、実際に用いられている交通管制パターンを記述することを検討する。「交通管制パターン」とは、表-1に示すように交通管制が、渋滞長の変化を考慮し渋滞延伸に対して、オンランプにおける流入制御に対応するため、各制

表-1 交通管制パターン表の例

路 線	入 路	通常 開口 バス数	管制パターン				
			①	②	③	④	⑤
環 状 線	堂 島	2					
	高麗橋	2					
	長 堀	1					
	夕陽ヶ丘	1					
	えびす町	2	1	1	1	1	1
	湊 町	2	1	1	1	1	1
	四ッ橋	2	1	1	1	1	1
	信濃橋	2					
守 口 線 上	高 津	2	1	1	1	1	1
	守口集約	5					3
	森小路	2					1
	都 島	1					
松 原 線 上	長 柄	1					
	松原集約	5		4	4	3	4
	喜連瓜破	2		1	1	1	1
	駒 川	2		1	1	1	1
堺 線 上	阿倍野	2		1	1	1	1
	堺集約	5		3	3	4	4
	住之江	2		1	A0	1	1
玉 出	玉 出	2		1	B0	1	1

管制パターン	①	②	③	④	⑤
管制 パターン図 渋滞延伸区間					

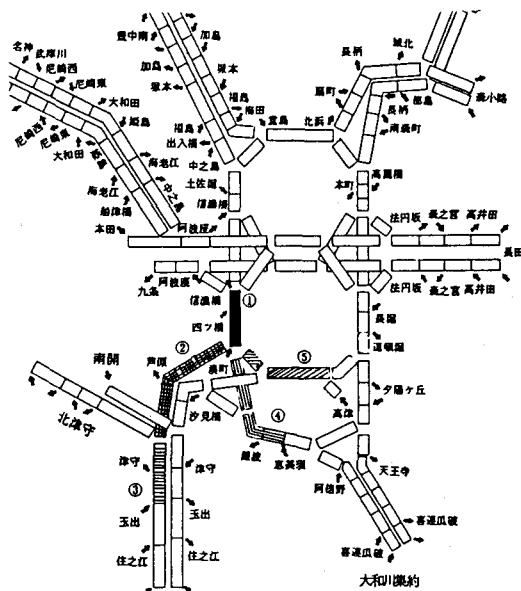


図-2 交通管制パターンの例

御対象オンランプの開閉状態を判断するものである。

これらは、実際には現場における交通管制上の各種制約、管制実績等から効率的な交通制御が実施可能となるように検討され、作成されたものである。具体的には、表－1と図－2を一对として用いる。つまり、図－2の各区間の渋滞状況を入力としてこの時の各関連オンランプの必要開口数を表－1より抽出するものとなっている⁹⁾。

このときの判断手順は以下のようなものである。

- ①高速道路全線に対して、渋滞状況のデータが入手される。実際には各区間の渋滞という形をとる。
- ②管制パターン図の渋滞区間に対応して、制御すべきオンランプとそれぞれの開口ブース数が管制パターン表より知られる（表－1）。
- ③以上の結果、一般に複数の管制パターンが必要となるが、この場合これらのパターンの組合せとして、最終的に各オンランプのブース数を決定する。このように、本例のようなひとつの交通管制パターンに対して、上記の手順で判断が行われる。したがって、実際の交通管制パターンは、代表的な渋滞先頭区間と、その延伸の方向によって大別され、本例と同型式の図表が10数枚で構成されている。このため、現状の判断では、これらの複数の管制パターンが一体的に運用され、それぞれに独立した判断内容を持つことになっている。

本研究では、すべてのパターンを取り上げることは煩雑であり、また実用的モデルの検討の初期段階とするために図－2に対応する、判断をエキスパートシステムとしてモデル化することにした。

3. 2 エキスパートシステムの作成

(1) インタプリタの作成

すでに述べたように、プロダクション型のエキスパートシステムでは、インタプリタがシステム全体の挙動、とくに推論過程を決定するため重要である。

本研究では、推論インタプリタとして、最も基本的なパターンマッチングの方法を用いて作成した。その特徴について、以下に簡単にまとめる。

- ①推論は前向き推論を行う。したがってデータ・ベースの条件部を持つルールを選び、その結論部をデータ・ベースに対して実行する。これを繰り返

して結論にいたるものである。

- ②ルールの競合の処理は、ファーストマッチの方法をとるものとする。したがって、あるデータに対して、複数のルールがマッチングした場合には、最初に適合したものとする。（すなわちルール群の上位に記されているものが採用される。）
- ③知識の曖昧さあるいは信頼度を表す確信度（certainty factor）は、問題の性質上必要としないと考え、本システムでは用いないものとする。

このプログラミングにおいては、記号処理、集合演算などに有効なコンピュータ言語 LISP のひとつであるUTILISPによって作成した¹⁰⁾。本研究で用いたUTILISPは、京都大学大型計算機センターで運用され、端末機上からの操作が可能なるものである。

また特に、ここで開発されたインタプリタは、ほぼ同様の形で構造工学等の分野で、既に用いられているものを参考にして作成している¹¹⁾。また本研究のインタプリタをもとに、交通情報板の表示項目の制御問題をルールベースとして、エキスパートシステムを作成した例もあり¹²⁾、この意味で、ある程度汎用性を持つ推論機構が作成されたといえる。

```
(RULE1-1
  IF
    (LINK-1 JAM)
  THEN
    (*WRITE PATTERN1-IS-ADOPTED)
    (*TERPRI)
    (*DEPOSIT(' (PATTERN-1 ADOPTED)))
    (*DELETE (' (LINK-1 JAM)))
)
(RULE1-2
  IF
    (PATTERN-1 ADOPTED)
    (LINK-2 JAM)
  THEN
    (*DEPOSIT (' (PATTERN-2 ADOPTED)))
    (*DELETE (' (LINK-2 JAM)))
    (*WRITE PATTERN2-IS-ADOPTED)
    (*TERPRI).
)
(RULE1-02
  IF
    (PATTERN-2 ADOPTED)
  THEN
    (*TERPRI)
    (*WRITE EBISUCHO----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE MINATOMACHI---->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE YOTUBASI----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE KOZU----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE MATUBARA----->4-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE KIREURIWARI---->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE ABENO----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE KOMAGAWA----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE SAKAI----->3-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE SUMINOE----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*WRITE TAMADE----->1-BOOTH)(*TERPRI)
    (*STOP)
```

図－3 プログラムの例

(2) 入出力の説明

実際のプログラムの一部を図-3に示す。これは、ルールベース部に含まれる、LISP表現を持つものであるが、各ルールが「IF THEN」型に表現されていることがわかる。また実際の入出力もこの例からわかる。このルール中で用いられる変数は区間を示す、LINK-1(四ッ橋-湊町)からLINK-5(環状合流一千日前)と、制御のパターンを示す、PATTERN-1からPATTERN-5である。またこれらに対して、その状態を示す変数は、JAM(渋滞中である。)と、ADOPTED(あるパターンが採用されている。)が用いられている。またルールベース中の各作業である、deposit(データ登録)、delete(データ削除)などの命令は、インタプリタ上で定義されているものである。

(3) プログラムの説明

システムの内部ではインタプリタによって定義されている関数を用いてパターンマッチングおよび判断をおこなう。たとえば、データベースに

(LINK-1 JAM) & (LINK-2 JAM)、つまり
{リンクー1が渋滞中かつリンクー2が渋滞中}
という交通状況が与えられたとする。

この場合には、図-3でまずRULE1-1がマッチングし、この結果(PATTERN-1 ADOPTED)がデータベースに加えられる。さらにこの結論と(LINK-2 JAM)からRULE1-2がマッチングし、(PATTERN-2 ADOPTED)が得られることから制御パターンは2となる。さらにRULE1-02より制御パターン2を採用した場合に制御すべき各オンランプの開口状態が書き出されるわけである。したがって、この例の場合には3段階の推論によって最終的な結論が得られたことになる¹³⁾。

3. 3 システムの挙動

ここで、作成されたシステムでは、交通状態を入力することでシステムを稼働させることが、可能となっている。具体的には、まずインタプリタと必要なルールベースをロードし、これに対して、判断の材料となるデータベースを与える。

具体的には、データベースには、その時点での高速道路の交通状態等を与えられる。実際の命令は、(DATABASE '(入力情報))の形式によって行われる。

つぎに(START)命令を与えることによって推論が実行される。この結果最終結論が得られ、出力されるとプログラムはSTOPするように制御されている。本研究では、実際にシステムを実行させた場合にどのような結論が出力されるかを計算例として示す。

(計算例1)

「リンクー1が渋滞中、リンクー5で渋滞が発生」
この時は、入力情報が渋滞区間に関するものみの場合である。この時には管制パターン表を参照してもわかるように、リンクー1すなわち四ッ橋付近から渋滞が延伸し、さらに渡り線(リンクー5)の方向に渋滞が延伸している場合である。この場合は、表-1の管制パターン表から知られるように、管制パターン5が採用されることになる。この制御パターンは環状線への影響を予防的に減少させるために、特に守口線方面のランプ閉鎖が実施される場合である。したがってシステムからの出力としてはパターン5の具体的なブース閉鎖の状態が出力されている。

```
>_(DATABASE '((LINK-1 JAM)(LINK-5 JAM)))
((LINK-1 JAM) (LINK-5 JAM))
>_(START)

PATTERN1-IS-ADOPTED
PATTERN5-IS-ADOPTED

EBISUCHO----->1-BOOTH
MINATOMACHI---->1-BOOTH
YOTUBASI----->1-BOOTH
KOZU----->1-BOOTH
MORIGUTI----->3-BOOTH
MORISHOJI----->1-BOOTH
MATUBARA----->4-BOOTH
KIREURIWARI---->1-BOOTH
KOMAGAWA----->1-BOOTH
ABENO----->1-BOOTH
SAKAI----->4-BOOTH
SUMINOE----->1-BOOTH
TAMADE----->1-BOOTH
***STOP***NIL
```

図-4 出力の例(その1)

この例では最終的に、環状線4箇所、守口線2箇所、松原線4箇所、堺線3箇所、合計13箇所のブース制限を示していることがわかる。

(計算例2)

「すでにパターンー2が採用されておりリンクー3が渋滞が発生」

この時は、リンクー1に関する情報はなく、四ッ

橋先頭の渋滞であるかどうかすぐには判定できない場合である。しかし、すでに何等かの制御が実施されており、これが管制パターン２に対応する場合である。システムに判断にもとめるデータは、これに加えてリンクー３が渋滞した場合である。

これを、リンクに関する情報として捉えるならば、結果的には四ッ橋から堺線上りの本線上に属するリンクー１からリンクー３までの全区間が渋滞した場合に等しい。したがって、表－２からもわかるように、制御パターン３が採用され、これに対する具体的なブース閉鎖の状態が出力されている。

```
>_(DATABASE '((PATTERN-2 ADOPTED)(LINK-3 JAM)))
((PATTERN-2 ADOPTED) (LINK-3 JAM))
>_(START)

PATTERN3-IS-ADOPTED

EBISUCHO----->1-BOOTH
MINATOMACHI---->1-BOOTH
YOTUBASI----->1-BOOTH
KOZU----->1-BOOTH
MATUBARA----->4-BOOTH
KIREURIWARI---->1-BOOTH
KOMAGAWA----->1-BOOTH
ABENO----->1-BOOTH
SAKAI----->3-BOOTH
SUMINOE----->1-BOOTH:0-BOOTH
TAMADE----->0-BOOTH:1-BOOTH
***STOP***NIL
```

図－５ 出力例（その２）

この例では、堺線のオンランプに対し、1-Booth:0-Boothあるいは、0-Booth:1-Boothの表示がなされているが、これは実際の制御においては、住之江オンランプと堺のオンランプを約30分ごとに交互にいずれかを閉鎖することをあらわしたものである。この制御方法は「管制パターン３では管制パターン２にくらべてさらに流入を抑制する。したがって堺線上でランプ閉鎖を実施する。」また「特定オンランプを長時間にわたって閉鎖しない。」という判断ルールを考えるための知識、いわゆるメタ知識にもとづいてのものであるといえる。

以上に示したように、本研究でのプロダクションシステムは入力情報として、①各リンクの渋滞・非渋滞の情報、②これまでの制御状態とあらたな渋滞区間についての情報の２種類の入力が可能であり、最終的には、各オンランプの開口ブース数が提案される。上記以外の数ケースについても、同様の出力状態の確認を行ったが、いずれも妥当な判断結果を

与えることが確認され、基本システムが作成された。

４．エキスパートシステムの改良

ここでは、さきに作成された、エキスパートシステムの改良を考え、大別して、①判断ルールの改良、②システムとしての改良をおこなった。これらについての具体的な検討結果を以下に示す。

４．１ 判断ルールの改良

前章までに、渋滞情報、過去の制御状態などをもとに、流入制御を複数関連路線について判断できるモデルが構築された。したがって、同様な方法でさらに記述を拡張することが可能である。

エキスパートシステムでは、前述したように、基本的なシステム構成を変更することなく、ルールベースの改良によって新たな判断を実行可能なものとするができる。そこで本研究では、新たなルール群を検討した。旧ルール群と比較して表－２に示す形とした。すなわち、実際の対象とできる渋滞区間の組合せが増加したことが基本的な改良である。

表－２ ルール群の比較

ルール	旧ルール群	新ルール群
ルール数	18	29
入力情報	・渋滞状況 (四ッ橋先頭) ・制御状況	・渋滞状況 (各関連区間) ・制御状況
出力情報	・開口ブース数 (各パターン)	・開口ブース数 (関連ランプ)

具体的には、従前のルールでは、つねに四ッ橋先頭の区間（リンクー１）の渋滞に対応して制御する場合を想定しており、たとえば、他区間リンクー２とリンクー３のみの渋滞といった場合には、該当するルールが存在しない。したがって、システムからは、No-production（該当ルールなし）の判断が出力される。しかし、現実には先頭区間リンクー１が渋滞を生じていなくても、渋滞当該区間下流のオンランプでは、オンランプの制御を行う必要がある。

そこで、この場合の判断も可能なものとした。

したがって、知識ベースとして「表-2の管制パターン表のうち、渋滞区間より下流に存在するオンランプの制御のみを実施する。」という、実用上の知識が追加されたものと考えることができる。この新ルール群における出力例を以下に示す。

```
>_(DATABASE '((LINK-2 JAM)(LINK-3 JAM)))
((LINK-2 JAM) (LINK-3 JAM))
>_(START)
```

```
SAKAI----->3-BOOTH
SUMINOE---->1-BOOTH
TAMADE----->1-BOOTH
***STOP***NIL
```

図-6 出力例(その3)

この例は、さきにものべたように、リンク-1は渋滞せず、リンク-2とリンク-3のみ渋滞が発生している場合である。これらは、いずれも堺線上に属するリンクであり、この場合、環状線への影響は考慮されない。したがって、制御パターン3のうち堺線上に存在する、堺集約、住之江、玉出の3箇所のランプ制御のみが出力されている。

以上のように、プロダクションシステムとして記述することによって、ルールの変更が比較的容易に行え、新たな制御行動の判断を追加的に保存することが可能であることがわかった。

4. 2 システムとしての改良

ここで述べたエキスパートシステムは、プログラム言語として、UTILISP を用い、大型計算機センタにおける専用端末として稼働するものであった。したがって、この環境下のみで、システムが稼働するため、汎用性に乏しいものとなっていた。そこで、

- ①実際のエキスパートシステム使用に当たって、編集作業やシステムの操作が容易であること。
- ②巨大な記憶容量を必要とする大型専用計算機に対して、一般OA機器として用いられる程度の計算機上で稼働可能なものとする。

といった点から、一般のパーソナルコンピュータ上で同様の計算を行うための検討を行った。

具体的には、使用言語として、前システムと同じくLISPのうち、パーソナルコンピュータ用に開発され

たGCLISP(Golden Common LISP)を用いた¹⁴⁾。従来LISPには、標準言語がなく移植性に乏しいとされたが、このCommon LISP は、これまでのLISPを統合的に取り扱っているため、計算機上の命令等に若干の相違は存在するが、基本的には従前のプログラムをほぼ変更なしに用いることが可能であった。

実際には、図-7に示すように、パーソナルコンピュータNEC-PC9801 VX2上のシステムとして開発した。本図からもわかるように、本機器と同等以上のの演算機能を持つ計算機であれば、前述のシステムと同様に実用可能である。

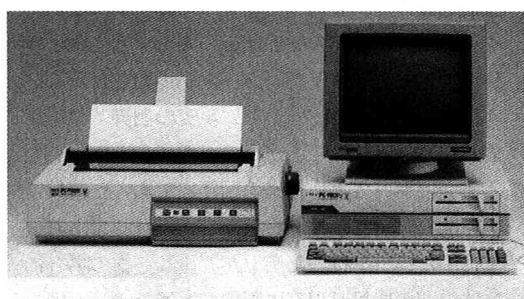


図-7 パーソナルコンピュータの概形

具体的には、インタプリタと前節でのべた改良されたルールベースを基本プログラムとして保存し、同様な命令群で推論を実行する形となった。

これは、小型化されたシステムであり大型機に比べて、演算時間等の点で若干の問題点はあるが、この点も現在のルール数程度の推論の場合実用的には、全く同様の判断が可能であることがわかった。

また、パーソナルコンピュータの長所である操作の容易性から、ルールの変更、プログラム作成など、いわゆるデータ編集の利便性が向上している。

5. 結 論

本研究では、都市高速道路での交通制御に対して、知識工学的な方法を用いることを検討した。

ここでは、とくに実際の交通制御を考えるために、阪神高速道路で行われている複数路線の交通制御の記述のための方法を検討するために、プロダクションシステムを用いた交通制御記述方法について検討した。ここでは、知識工学の基本的考え方とその具体的な例を示した。とくに、一般のプロダクション

システムの基本形式に忠実にシステム構築をおこない、ユーザーインタフェース等是不十分であるが、原理的な面で参考となるものが作成された。

特に実際に行われている交通管制パターン表をプロダクションシステムとしてモデル化することでその実際のモデル挙動について検討した。この結果、LISP等の言語を用いて比較的簡単にモデル化を行うことが可能であり、またルール構成を十分に吟味することでより実用的なモデルを得ることができることがわかった。以下これらの結果をもとに今後の検討課題について述べる。

①交通管制のモデル化に対して、知識工学的な検討を行ったが、現在の交通管制の実際を考えると本研究で示した交通管制パターンが出力されるモデルは実用的である。しかし、現実の制御への実用的利用を検討することが今後重要である。

②本研究においては、従来の問題点であった複数路線に関して新たな改良を行うことが目的であり、具体的な検討を行った。しかし複数路線の場合には路線間の情報が相互に影響し複雑なルール構成となると思われる。ルールの詳細な評価整備方法が検討されるべきである。

③本研究で作成したモデルは、プロダクションシステムといっても基本的な小規模のものである。今後、実用的見地からは、情報のファジィ性を考慮し、さらに多くの要因を加味した汎用性の高いものを構築することが望まれる¹⁵⁾。

最後に、本研究は多くの方に御教示いただいた。特に交通管制方法に関して京都大学工学部佐佐木綱教授、飯田恭敬教授、井上矩之助教授、システムの構築にあたって京都大学工学部古田均講師、大阪大学大型計算機センタ馬野元秀助手、各種資料収集について阪神高速道路公団の皆様に御協力いただいた。ここに記し感謝の意を表する次第である。

なお本研究は、昭和62年度文部省科学研究助成奨励研究(A)の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団・(財) 高速道路調査会：阪神高速道路の交通管制に関する研究報告書，1983，1986。
- 2) Tsuna Sasaki and Takamasa Akiyama: Development of Fuzzy Traffic Control System on Urban Expressway, Proc. of the 5th IFAC/IFIP/IFORS International Conference in Transportation Systems, pp.215-220, 1987.
- 3) Tsuna Sasaki and Takamasa Akiyama : Fuzzy On-ramp Control Model on Urban Expressway and Its Extension, Proc. of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.377-396, 1987.
- 4) 白井良明・辻井潤一：人工知能，岩波講座 情報科学22，岩波書店，1986。
- 5) 上野晴樹：知識の表現と推論の制御，知識工学のシステム制御への応用，pp.23-37，日本自動制御協会，1986。
- 6) 上野晴樹：知識工学入門，オーム社，1985。
- 7) 大須賀節雄編著：知識ベース入門，オーム社，1986。
- 8) 馬野元秀：あいまいな知識の表現と利用，大阪大学計算機センタニュース，vol.15，No.2，pp.55-65，1985。
- 9) 阪神高速道路公団・(社) 交通工学研究会：阪神高速道路公団の交通渋滞対策に関する調査研究報告書，昭和56年，1981。
- 10) 安西祐一郎ら：LISPで学ぶ認知心理学1，2，東京大学出版会，1983。
- 11) 白石成人・古田均ら：プロダクションシステムを用いた構造物の健全度評価，第7回信頼性工学シンポジウム前刷集，日本材料学会，pp.164-169，1985。
- 12) 秋山孝正・堀田徹哉：エキスパートシステムの交通情報提供への適用，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，IV-13-1～2，1987。
- 13) 佐佐木綱・秋山孝正：プロダクションシステムによる交通管制の記述についての検討，第41回土木学会年次学術講演会講演概要集 4，pp.265-266，1986。
- 14) 湯浅太一・萩谷昌己：Common Lisp 入門，岩波書店，1986。
- 15) 馬野元秀：ファジィ集合と人工知能，第2回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.74-81，1986。