数理解析研究所講究録
第 591 巻 1986 年 165-174

動的変化を伴う知識構造の論理モデル

名古屋大学工学部　外山　勝彦　(Katsuhiko Toyama)
名古屋大学工学部　稲垣　康善　(Yasuyoshi Inagaki)

1．はじめに

最近，高度な情報処理のために知識を活用することが注目され，盛んに研究され，知識ベースシステム，あるいはエキスパートシステムと呼ばれる数多くのシステムが開発されてきている．

知識を利用する情報処理のためには，知識の表現，利用（推論），獲得，管理の四つの観点からの研究が必要である．本研究は知識管理の観点から知識ベースシステムの本質的な機能を知識の挿入と削除であると捉え，それを状態変化として記述することを試みた．さらに，ある制限された知識の削除に関してグラフ理論を用いて考察した．このような考え方は知識管理の概念についての基礎を与えるために有用であろう．

2．知識ベースシステムの構築と運用における知識管理

知識エンジニアが知識ベースシステムの知識ベースを新しく構築するときには，次のような順序で行う．知識エンジニアは，まず，エキスパートから収集した知識をあらかじめ定めた表現方法によって表現する．これを知識ベースに挿入し，知識ベースシステムのプロトタイプをつくる．次に，知識エンジニアはいろいろな例のテスト運用を行ってみて，システムが推論を行った結果を検討する．知識エンジニアにとって不本意な推論結果に関しては，そのような推論が行われないようにしたい．そのために，その原因を調べ，不適当な知識を削除する．挿入された知識，およびそれを基に推論して得られた知識の中に矛盾が発生したときにも同様なことを行う．そして，その代わりに別の知識を挿入し，知識ベースを更新し，さらにテスト運用を続ける．また知識エンジニアは，すでに挿入した知識が誤っていたことや，不要になったことを発見したときには，その知識を削除することもある．

一方，知識ベースシステムの知識を利用して問題解決を行うときには，一般ユーザーや，このシステムと同じ環境内にある別のシステム（たとえば，データベースシステムや，センサーなどを主体としたデータ獲得システム）とのインターラクションが行われる．このとき，ユーザーの主張や別のシステムからのデータは，知識として取り扱われて知識ベースに挿入される．また，この知識とそれを基に推論して得られた知識に関して，矛盾が生じているならば，矛盾解消のために知識の削除が行われなければならない．また，結果が不本意ならば，ユーザーはそのような推論が行われないようにしたいので，知識を削除する．さらに，挿入した知識を単独に削除することもある．

すなわち，知識ベースを構築するとき，そして知識ベースを運用するときには，知識ベースに知識を挿入したり，削除したりする操作が常に繰り返し行われる．

ここで，推論の結果として得た知識の削除の際には，推論の経過まで考え，根拠となる知識を消去し，この不都合な知識の推論が行われないようにすることが必要になる．しかし，このためには知識ベースの内容の全体を把握している必要があり，普通は知識ベースの外側からは困難である．そこで，推論の経過をさかのぼることもシステム側の仕事としておくことがよい．

3．知識管理の観点から見た知識ベースシステムの構成

以上の考察から，知識ベースを管理するという観点に基づけば，知識ベースシステムは図1のような構成であると捉えることができる．

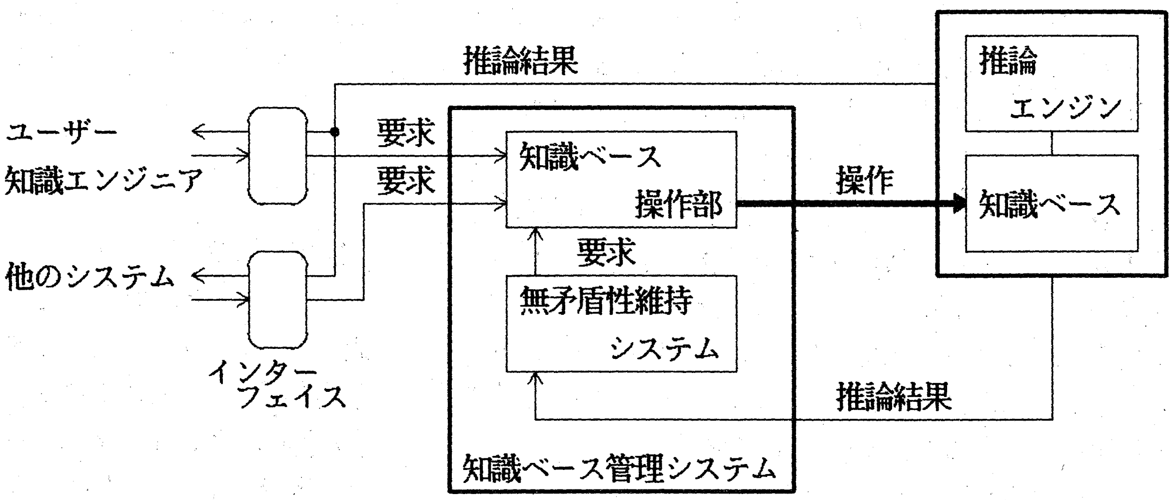

図1．知識管理の観点から見た知識ベースシステムの構成

知識ベースシステムの中核は，知識ベースと推論エンジンである．知識ベースの知識に関して，推論エンジンは常にすみやかにすべての推論を行うと考える．この知識ベースシステムには，一般ユーザーや知識エンジニアとのインターフェイスと，他のシステムとのインターフェイスがある．これらのインターフェイスを通じて，一般ユーザーや知識エンジニア，そして他のシステムは，知識の挿入，削除の要求を知識ベースシステムに送る．また，知識ベース管理システムは，サブシステムとして無矛盾性維持システムを持っている．無矛盾性維持システムは，知識ベースを常に監視し，推論結果を受け取っており，もしも矛盾が発生したならば，矛盾した知識を削除するように知識ベース管理システムに要求する．知識ベース管理システムは，このサブシステムやシステム外から発せられた知識の挿入，削除の要求を受け取って，これを知識ベースに対する操作と解釈して実行する．

4．動的変化を伴う知識ベースシステムのモデル

知識の挿入，削除という知識ベースに対する二つの基本操作が，知識管理の観点から知識ベースを記述するために必要な要素である．そこで，この二つの操作を状態変化として記述する．ただし，これらの操作がどこから発生した要求に基づくものであるかは問題にしない．

4．1　知識の表現方法

これまでに多くの方法が知識の表現方法として提案されてきた．しかし，形式的取り扱いに耐えうることや，意味論の明確さに関して優れているのは，形式論理学的手法に基づく方法である．また，この方法は公理系における推論規則をそのまま知識の推論方法として用いることができる．そこで，これらの理由により本研究でもこの方法を採用する．

すなわち，個々の知識とは一つの論理式であり，知識ベースとは論理式の集合であるとする．なお当面は命題論理のみ扱う．論理式は素命題と二つの論理記号$\neg$，$\supset$からなるとし，推論規則は modus ponens である．公理は通常のものである．以下の議論では，すべての論理式のからなる集合を$\mathcal{F}$とし，$\mathcal{F}$上の変数としてφ，ϕなどの文字を用いる．任意の論理式の集合Γからφが導かれることを$\Gamma\vdash\varphi$と書くこととし，特に，Γが空集合のときはこれを$\vdash\varphi$と書く．また，$\Gamma\cup\{\phi\}\vdash\varphi$を$\Gamma,\phi\vdash\varphi$と書く．

4．2　モデル

本研究で提案する動的変化を伴う知識ベースシステムのモデルは３項組

$$(\mathcal{S},\ \mathrm{GET},\ \mathrm{CANCEL})$$

である．以下，各要素について定義する．

【定義１】$\mathcal{S}$は状態の集合である．状態とは，任意の論理式の集合であって，その論理式から導かれるすべての論理式を意味する．

すなわち，状態とはある時点での知識ベースと，その中の知識を基に推論して得られるすべての知識に対応する．

【定義２】GETは$\mathcal{S}\times\mathcal{F}$から$\mathcal{S}$への関数であって，次のように定義する．$S\in\mathcal{S}$，$\varphi\in\mathcal{F}$に対して，$\mathrm{GET}(S,\ \varphi)=S\cup\{\varphi\}$．

GETは知識ベースへの知識の挿入という操作に対応する．

【定義３】CANCELは$\mathcal{S}\times\mathcal{F}$から$\mathcal{S}$のべき集合への関数であって，次のように定義する．$S\in\mathcal{S}$，$\varphi\in\mathcal{F}$に対して，

$$\mathrm{CANCEL}(S,\ \varphi)=\begin{cases}\{S\} & (\vdash\varphi\text{であるとき}),\\ \text{すべての}S\text{の}\varphi\text{－極大部分集合からなる集合} & \\ \qquad(\text{その他のとき}).\end{cases}$$

ここで，状態Sのφ－極大部分集合とは，次の定義による．

【定義４】状態Sと論理式φに対して，Sのφ－極大部分集合とは，Sの部分集合Σのう

ち，$\Sigma \nvdash \varphi$，かつすべての$\phi \in S-\Sigma$について，$\Sigma, \phi \vdash \varphi$となるものをいう．

すなわち，Ｓからφを推論できないようにＳの要素である論理式を取り除いて得られるが，しかし，取り除いた論理式のどの一つでもΣに加えると，再びφが推論できるようになる論理式の集合である．

ＣＡＮＣＥＬは知識ベースからの知識の削除という操作に対応する．この場合，推論の経過をさかのぼり，推論の前提となる知識を削除する．なお，恒真式はいつでも推論できるから，これを削除することはできない．

また，知識の削除の際に，一般に取り除く知識の選び方は一意であるとは限らない．すなわち，Ｓのφ－極大部分集合は一つであるとは限らない．しかし，そのうちのどれを考えても差し支えない．したがって，知識を削除した後に遷移する状態は非決定的である．

４．３　無矛盾性の維持

知識ベースが矛盾した場合を考える．例えば，φ，$\neg\varphi$がともに知識ベースから推論できる場合である．このとき，矛盾を解消するためには，φまたは$\neg\varphi$を推論できないようにすればよい．すなわち，φを削除するか，または$\neg\varphi$を削除すればよい．

５．モデルの変形

５．１　最小変化の知識ベース

知識の削除の際，知識ベースの変化をできるだけ小さくするならば，取り除く知識を最小にすることとなる．この場合は，Ｓのφ－極大部分集合の中から要素数最大のものだけを遷移先とすればよい．

５．２　前提型知識と仮定型知識

知識を明確な知識である前提型知識と，不明確な知識である仮定型知識に分類することがある．一般には知識に重みを付けることになるが，この要因として，知識自体の確信度や，獲得したときの獲得源の信頼度，知識の履歴（獲得されてからの時間経過，使用頻度）などがある．しかし，これらの中には数量化しにくいものもあり，かつ総合的に評価する関数の決定は困難である．そこで，獲得源の信頼度，知識の履歴は平等であるとして考慮せず，また，確信度は連続的ではないとし，前提型知識と仮定型知識だけに分類する．

仮定型知識は削除のときに取り除く対象となる可能性があるが，前提型知識はそうでない．

【定義５】状態Ｓにおいて，関数$f: S \rightarrow \{\text{premise}, \text{assumption}\}$を考える．このとき，$\varphi \in S$，$f(\varphi) = \text{premise}$である$\varphi$をＳの前提型知識といい，それら全体からなる集合を$\Sigma_{premise}$で表す．また，$\varphi \in S$，$f(\varphi) = \text{assumption}$である$\varphi$をＳの仮定型知識といい，それら全体の集合を$\Sigma_{assumption}$で表す．

すなわち，$\Sigma_{premise} \cup \Sigma_{assumption} = S$，$\Sigma_{premise} \cap \Sigma_{assumption} = \phi$である．

この定義に基づき，極大部分集合の定義などを変更する．

【定義６】状態Ｓと論理式φ，およびＳの前提型知識の集合$\Sigma_{premise}$に対して，Ｓのφ－極大部分集合とは，Ｓの部分集合Σのうち，$\Sigma_{premise} \subseteq \Sigma$，$\Sigma \nvdash \varphi$，かつすべての$\phi \in S-\Sigma$について，$\Sigma, \phi \vdash \varphi$となるものをいう．

【定義７】ＣＡＮＣＥＬは$\mathcal{S} \times \mathcal{F}$から$\mathcal{S}$のべき集合への関数であって，次のように定義する．$S \in \mathcal{S}$，$\varphi \in \mathcal{F}$に対して，

$$\mathrm{CANCEL}(S, \varphi) = \begin{cases} \{S\} & (\vdash \varphi \text{であるとき}), \\ \{S\} & (S\text{の}\varphi\text{－極大部分集合が存在しないとき}), \\ \text{すべての}S\text{の}\varphi\text{－極大部分集合からなる集合} & \\ \quad (\text{その他のとき}). & \end{cases}$$

６．例題

新幹線の座席予約に関するシステムがあるとする．このシステムは，客の要望や座席データベースからの情報を知識として扱う．いまこのシステムには，「東京へ行くならばひかり号を利用する」という知識があらかじめあったとする．すなわち初期状態は，

$S_0 = \{ \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{take(hikari)} \}$．

次に，客から「東京へ行く」という要望が出されたとする．システムはこの要望が出されたことを，知識ベースへの知識の挿入と解釈する．このときの状態遷移は，

$$\mathrm{GET}(S_0, \mathrm{go(tokyo)}) = \{ \mathrm{go(tokyo)}, \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{take(hikari)} \}$$

と表せる．さらに，客から「ひかり号を利用するならば指定席を利用する」，「東京へ行くならば一人で行く」，「一人で行くならば指定席を利用する」という要望が次々と出されたとする．この結果，遷移した先の状態は，

$$S_1 = \{ \mathrm{go(tokyo)}, \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{take(hikari)}, \mathrm{take(hikari)} \supset \mathrm{use(reserved\text{-}seat)}, \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{no.\text{-}of\text{-}person(one)}, \mathrm{no.\text{-}of\text{-}person(one)} \supset \mathrm{use(reserved\text{-}seat)} \}$$

となる．この状態では，「指定席を利用する」ということを２通りの方法で推論できる．

ここで，客が「ひかり号を利用するならば指定席を利用する」という要望を取り消せば，このときの状態遷移は，

$$\mathrm{CANCEL}(S_1, \mathrm{take(hikari)} \supset \mathrm{use(reserved\text{-}seat)}) = \{ \{ \mathrm{go(tokyo)}, \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{take(hikari)}, \mathrm{go(tokyo)} \supset \mathrm{no.\text{-}of\text{-}person(one)}, \mathrm{no.\text{-}of\text{-}person(one)} \supset \mathrm{use(reserved\text{-}seat)} \} \}$$

と表せる．

さて，先程の状態S_1で座席データベースからの情報により，「指定席は満員で利用できない」ということが分かったならば，システムはこれを知識ベースに挿入する．このとき遷移した先の状態は，

S_2 = { go(tokyo), go(tokyo)⊃take(hikari), take(hikari)⊃use(reserved-seat), go(tokyo)⊃no.-of-person(one), no.-of-person(one)⊃use(reserved-seat), ¬use(reserved-seat) } .

ここで，S_2 は矛盾であるので，無矛盾性維持システムによって知識の削除が要求される．すなわち，次のように表せる．

CANCEL (S_2 ,use(reserved-seat)) = {S_3, S_4, S_5, S_6, S_7} .

ただし，

S_3 = { go(tokyo)⊃take(hikari), take(hikari)⊃use(reserved-seat), go(tokyo)⊃no.-of-person(one), no.-of-person(one)⊃use(reserved-seat), ¬use(reserved-seat) } ,

S_4 = { go(tokyo), take(hikari)⊃use(reserved-seat), no.-of-person(one)⊃use(reserved-seat), ¬use(reserved-seat) } ,

S_5 = { go(tokyo), go(tokyo)⊃take(hikari), no.-of-person(one)⊃use(reserved-seat), ¬use(reserved-seat) } ,

S_6 = { go(tokyo), take(hikari)⊃use(reserved-seat), go(tokyo)⊃no.-of-person(one), ¬use(reserved-seat) } ,

S_7 = { go(tokyo), go(tokyo)⊃take(hikari), go(tokyo)⊃no.-of-person(one), ¬use(reserved-seat) } .

ここで，S_3, S_4, S_5, S_6, S_7 が S_2 の極大部分集合である．

もしも，要素数最大の極大部分集合だけをとるならば，次のようになる．

CANCEL (S_2 ,use(reserved-seat)) = {S_3} .

また，go(tokyo)，take(hikari)⊃use(reserved-seat) がともに前提型知識であるときは

CANCEL (S_2 ,use(reserved-seat)) = {S_4, S_6}

である．

7．グラフ理論による考察

知識の削除に関して，論理式などを制限したときの極大部分集合をグラフを用いて求めることができることを示す．

【定義８】状態の要素である論理式として次のものだけを考える．

(1) 素命題．

(2) $p \supset q$ （ただし，p，q は素命題）．

なお，以下の議論ではすべての素命題からなる集合を$\mathcal{P}$とする．

次に，証明の定義を制限する．

【定義９】状態Sにおける論理式 φ_n の証明とは，論理式の有限系列 $\varphi_1, \cdots, \varphi_n$ であって，各 i （$i = 1, \cdots, n$）について，次のいずれかが成立する．

(1) φ_i はSの要素である.

(2) φ_i はφ_j, φ_k (j,k<i) から modus ponens によって導かれた.

なお，Sからφ_n が導かれることを$S \vdash \varphi_n$ と書く.

Sのφ_n －極大部分集合の定義は，ここで制限した証明の定義を用いて読み替える.

次に，関数CANCELの引数を素命題に制限する.

【定義10】CANCELは$\mathcal{S} \times \mathcal{P}$から$\mathcal{S}$のべき集合への関数であって，次のように定義する．$S \in \mathcal{S}$，$p \in \mathcal{P}$に対して，

CANCEL（S，p）＝「すべてのSのp－極大部分集合からなる集合」.

ここでは，以上のように制限を加えたときの状態をグラフで表すことを試みる.

【定義11】状態Sに対して，有向グラフ$G_S = (X_S, U_S)$ をSの状態グラフという．ここで，X_S は節点の集合であって，Sに現れるすべての素命題と true からなる集合である．また，U_S は有向辺の集合であって，$p_i \supset p_j \in S$のとき，かつそのときに限り，$(p_i, p_j) \in U_S$ とし，また，$p_i \in S$のとき，かつそのときに限り，$(\mathrm{true}, p_i) \in U_S$ として得られる集合である.

状態グラフの有向辺は挿入された知識に相当し，節点は推論によって得られた知識に相当する.

【命題1】状態Sの状態グラフ$G_S = (X_S, U_S)$ に節点 true から節点p_n への elementary path があるときは，状態Sにおける素命題p_n の証明があるとき，かつそのときに限る.

（証明）

この elementary path を$(\mathrm{true}, p_1), (p_1, p_2), \cdots, (p_i, p_j), \cdots, (p_{n-1}, p_n)$ とする．これをp_1 から順にたどると，有向辺と節点からなる系列$p_1, (p_1, p_2), p_2, \cdots, p_i, (p_i, p_j), p_j, \cdots, p_{n-1}, (p_{n-1}, p_n), p_n$ が得られる.

定義より，有向辺(p_i, p_j) にはSの要素の論理式$p_i \supset p_j$ が対応している．これを論理式$p_i \supset p_j$ で置き換えれば，論理式の有限系列$p_1, p_1 \supset p_2, p_2, \cdots, p_i, p_i \supset p_j, p_j, \cdots, p_{n-1}, p_{n-1} \supset p_n, p_n$ が得られる．これはSにおけるp_n の証明である.

逆にSにおけるp_n の証明があるときは，証明の長さに関する帰納法を用いる.

(basis)　証明の長さが1のとき，p_n の証明はp_n である．このとき$p_n \in S$であるから，有向辺(true, p_n) がある.

(induction step)　証明の長さがnのときは，証明の中のp_n より前に，$p_i \supset p_n$ とp_i が存在する．帰納法の仮定より，節点 true から節点p_i への elementary path がある．の elementary path の上に節点p_n があれば，節点 true から節点p_n への elementary path がある．そうでないときは，$p_i \supset p_n \in S$だから有向辺(p_i, p_n) があり，結局，節点 true から節点p_n への elementary path がある．□

状態Sのp_n －極大部分集合は，Sから論理式を取り除いてp_n の証明が存在しないよう

にして得られる．しかし，取り除いた論理式をどの一つでも加えれば，再びp_nの証明ができるようになる．ゆえに，Ｓの状態グラフで節点 true から節点p_nへの elementary path がなくなるように，有向辺を取り除けばよい．しかし，取り除いた有向辺をどの一つでも付ければ，再び elementary path ができるようにする必要がある．

ところで，状態Ｓのp_n－極大部分集合に必ず属する論理式がある．このような論理式は取り除く対象からはずす．

【定義12】状態Ｓの状態グラフ$G_S=(X_S, U_S)$と素命題p_nに対して，有向グラフ$G_{pn}=(X_{pn}, U_{pn})$をＳのp_n－可到達グラフという．ここで，X_{pn}，U_{pn}はそれぞれ節点 true から節点p_nへのすべての elementary path 上にある節点の集合と有向辺の集合である．

有向辺の取り除き方に関して，次の命題が成立する．

【命題２】状態Ｓの状態グラフを$G_S=(X_S, U_S)$，p_n－可到達グラフを$G_{pn}=(X_{pn}, U_{pn})$とする．また，G_{pn}の節点 true と節点p_nを分ける切断をＣとする．このとき，U_S-Cに対応する論理式の集合Σはｓのp_n－極大部分集合である．

(証明)

① $U_S-C\subseteq U_S$である．U_Sに対応する論理式の集合はＳであるから，$\Sigma\subseteq S$となる．

② グラフ$G_S'=(X_S, U_S-C)$において，節点 true から節点p_nへの elementary path は存在しない．ゆえに，論理式p_nはΣから証明できない．

いま，このような elementary path があると仮定する．この elementary path 上の節点について，すべてがX_{pn}の要素であるときは，切断の定義に矛盾する．また，ある節点がX_S-X_{pn}の要素であるときは，G_{pn}の定義に矛盾する．

③ U_S-Cにある$u\in C$を付け加えると，切断の定義により，節点 true から節点p_nへの elementary path ができる．これは任意のｕについて成立する．すなわち，すべての$p_i\supset p_j\in S-\Sigma$について，$\Sigma, p_i\supset p_j\vdash p_n$である．

以上から，ΣはＳのp_n－極大部分集合である．□

この命題から，状態Ｓのp_n－極大部分集合を求めるためには，p_n－可到達グラフG_{pn}の切断に相当する論理式をＳから取り除けばよいことが分かる．

8．変形したモデルに対するグラフ理論的考察

先に述べた変形したモデルに対して，同様にグラフを用いて考察する．

8．1　最小変化の知識ベース

状態Ｓのp_n－極大部分集合を求めるときに，要素数最大のp_n－極大部分集合だけをを求める場合について考察する．

このときは，命題２において，切断Ｃのうち要素数最小のものだけを考慮すればよい．あ

るいは，G_{pn}のすべての有向辺に容量1を付けて，最小切断を求めればよい．なぜならば，Cの容量は$|C|$に等しく，$|C|$は最小であるから，$|U_S - C|$は最大であり，$|\Sigma|$は最大となるからである．

8.2　前提型知識と仮定型知識

【命題3】状態Sの状態グラフを$G_S = (X_S, U_S)$，Sのp_n－可到達グラフを$G_{pn} = (X_{pn}, U_{pn})$，また，Sの前提型知識の集合を$\Sigma_{premise}$とする．そして，有向辺$u = (p_i, p_j) \in U_{pn}$に対し，容量 c(u) を次のように定める．すなわち，$p_i \supset p_j \in \Sigma_{primise}$ ならば　$c(u) = \infty$とし，$p_i \supset p_j \notin \Sigma_{premise}$ ならば　$c(u) = 1$とする．さらに，G_{pn}の節点 true と節点p_nを分ける容量が∞でない切断Cを考える．

このとき，$U_S - C$に対応する論理式の集合ΣはSのp_n－極大部分集合である．

(証明)

① 命題2の証明①と同様に，$\Sigma \subseteq S$となる．また，$\Sigma_{premise}$の要素に対応するG_{pn}の有向辺は容量が∞であるから，すべてCの要素にはならない．すなわち，$U_S - C$の要素である．ゆえに，$\Sigma_{premise} \subseteq \Sigma$となる．

② 命題2の証明②，③と同様に，$\Sigma \nvdash p_n$であり，すべての$p_i \supset p_j \in S - \Sigma$について，$\Sigma, p_i \supset p_j \vdash p_n$である．

以上から，ΣはSのp_n－極大部分集合である．□

9．例題

S＝｛go(tokyo)，go(tokyo)⊃take(hikari)，take(hikari)⊃use(reserved-seat)，
　　use(non-smoking-car)，go(tokyo)⊃no.-of-person(one)，
　　no.-of-person(one)⊃use(reserved-seat)｝

としたとき，CANCEL（S,use(reserved-seat)）の結果は次のようになる．

まず，Sの状態グラフ$G_S = (X_S, U_S)$は図2のようになる．

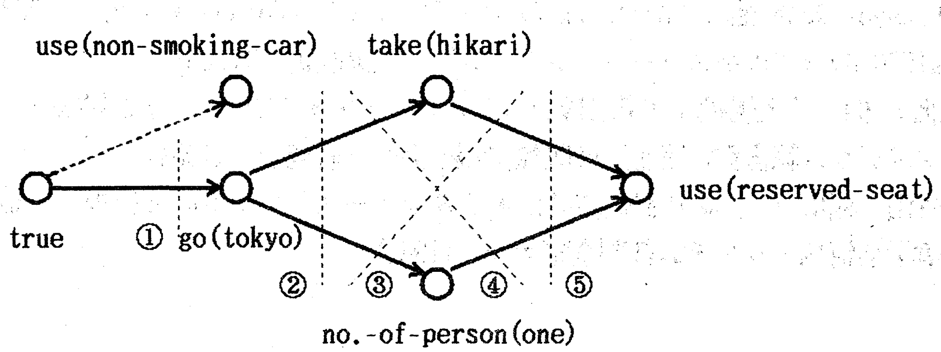

図2．状態グラフ

ここで，このグラフから可到達グラフを作れば，それはこのグラフから有向辺(true, use(non-smoking-car))を除いたものである．（図2において点線の有向辺を取り除く.）そして切断①～⑤を考え，その要素である有向辺をU_sから取り除けば，得られる有向辺の集合に相当する論理式の集合が求める極大部分集合である．

もしも，要素数の最大極大部分集合を考えるならば，切断は①のみである．

また，go(tokyo)，take(hikari)⊃use(reserved-seat) をともに前提型知識とするときは，切断は②と④のみである．

10. まとめと課題

本研究は知識管理の観点から，知識ベースシステムの本質的な機能を知識の挿入と削除であると捉え，それを状態変化として記述した．特に，推論によって得られた知識の削除は，推論の前提となる知識を削除する．これは，知識ベースに実際に存在している知識を単に削除，消去する機能より強い．しかし，このような機能は知識ベースの無矛盾性維持や，知識ベースの全体像を把握できない場合には有効である．また，極大部分集合の考え方は知識の証明が複数ある場合に有効である．

さらに，制限された知識の削除に関してグラフ理論を使って考察した．これによって，知識の削除の方法が分かり易くなった．しかし，切断をすべて見つけるよい手法を開発しなければならない．また現状では制限が強いので，論理式を拡張した場合について検討を要する．

謝辞　日頃御指導下さる豊橋技術科学大学本多波雄学長，名古屋大学福村晃夫教授，並びに御討論下さる名古屋大学阿曽弘具助教授，三重大学坂部俊樹助教授をはじめ，研究室の皆様に感謝致します．

参考文献

(1) F.Hayes-Roth 他 : "Building Expert Systems", Addison-Wesley (1983) ; AIUEO 訳 : "エキスパート・システム"， 産業図書 (1985).

(2) 北上 他 : "大規模な知識管理システムのアーキテクチャ"， 知識理解システム・夏期シンポジウム報告書，富士通㈱国際情報社会科学研究所 (1984).

(3) 外山，稲垣 : "知識の動的変化がある知識ベースシステムのモデル"， 昭和60年度電子通信学会情報・システム部門全国大会 (1985).