

## 不完全情報を用いた関係モデルにおける 新たな更新操作の提案

那須 紀雄 石井 直宏

名古屋工業大学知能情報システム学科

E-mail: nasu@egg.ics.nitech.ac.jp

### 概要

知識ベースの変更はいろいろな論理を用いて研究されている。特に命題論理を用いたものでは4つの変更に対して公理が与えられており、その相違は解釈における順序関係を用いて明確に特徴づけられている。またそのうちの二つの変更は、空値と論理和で表現される不完全情報を用いて拡張した関係モデルに対する関係演算として提案されている。しかし残りの二つの変更を明確には記述できておらず、このままでは4つの変更を明確に区別することができない。そこで本研究では拡張関係モデルにおける関係演算をそれぞれの変更に対して特殊化することでその相違を明確にする。また残りの二つの変更に対しても関係演算を定義し、4つの変更に対する関係演算が公理を満たすことを示す。

## An Approach to Update a Knowledge Base with Incomplete Information

Norio NASU Naohiro ISHII

Department of Intelligence and Computer Science, Nagoya Institute of Technology

E-mail: nasu@egg.ics.nitech.ac.jp

### Abstract

The existing modifications to a knowledge base are distinguished in terms of orderings among their interpretations. Among them, update and revision are usually defined and utilized as the operations on relational databases with incomplete information (null values and disjunction). However, the difference between these two operations is not clearly identified, so as to cause difficulty to combine them with the other modifications. In this paper, we distinguish them by specializing the existing relational operations. Therefore it is possible to combine them with the others. Some more update operations on the extended relational databases are also proposed.

## 1 はじめに

知識ベースの変更はいろいろな論理を用いて提案されている。特に命題論理を用いて提案された変更では、更新 (update)、翻意 (revision)、削除 (erasure)、省略 (contraction) の4つに対して公理が与えられており、解釈における順序関係を導入することでその変更に対する相違は明確に示されている。一方でこの変更を実際に利用するためにモデル上の操作として提案されているものはほとんどない。Keller と Winslett は更新と翻意について拡張関係モデルに対する関係演算として提案している [1] が、残りの二つの変更に対して相違は明確にされていない。

そこで本研究では拡張関係モデルにおける関係演算を実行するための条件を限定することで、この二つの変更に対してその相違を明確にする。さらに残りの二つの変更に対しても関係演算を割り当て、4つの変更に対する関係演算がその公理を満たすことを示す。

## 2 命題論理を用いた変更の定義

Katsuno と Mendelzon は命題論理によって表現された知識ベースへの変更について基本的な相違を示した [2]。知識ベースに知識を取り入れる変更として更新と翻意を、知識を取り除く変更として削除と省略を定義している。本研究では拡張関係モデルに対して提案された関係演算を拡張することで4つの変更に対する関係演算を定義する。そこでまず本節ではこの変更に対して公理を示し、それぞれの変更の相違について考察する。

### 2.1 更新

知識ベース  $\psi$  を文  $\mu$  で更新した結果を  $\psi \circ \mu$  と表す。更新は以下の8つの公理を満たす。

(U1)  $\psi \circ \mu$  は  $\mu$  を含意する。

(U2)  $\psi$  が  $\mu$  を含意するならば、 $\psi \circ \mu$  は  $\psi$  と等価である。

(U3)  $\psi$  と  $\mu$  が充足可能ならば、 $\psi \circ \mu$  も充足可能である。

(U4)  $\psi_1 \equiv \psi_2$  かつ  $\mu_1 \equiv \mu_2$  ならば、 $\psi_1 \circ \mu_1 \equiv \psi_2 \circ \mu_2$  である。

(U5)  $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$  は  $\psi \circ (\mu \wedge \phi)$  を含意する。

(U6)  $\psi \circ \mu_1$  が  $\mu_2$  を含意し、かつ  $\psi \circ \mu_2$  が  $\mu_1$  を含意するならば、 $\psi \circ \mu_1 \equiv \psi \circ \mu_2$  である。

(U7)  $\psi$  が完全ならば、 $(\psi \circ \mu_1) \wedge (\psi \circ \mu_2)$  は  $\psi \circ (\mu_1 \vee \mu_2)$  を含意する。

(U8)  $(\psi_1 \vee \psi_2) \circ \mu \equiv (\psi_1 \circ \mu) \vee (\psi_2 \circ \mu)$  である。

(U2) は新しい文が知識ベースから導出できるときには更新は知識ベースに影響を及ぼさないことを意味している。つまり更新では知識ベースに常に新しい知識を取り入れることがわかる。また (U8) は論理和規則という重要な性質である。この公理は知識ベースの可能世界はそれぞれ独立して操作を与えられることを意味している。

ここで命題論理を用いた更新の例を示す。“本が机の上にある”ことを  $A$  とし、“雑誌が机の上にある”ことを  $B$  とする。知識ベース  $\psi$  は“本か雑誌のどちらかが机の上にある”とし、これを  $\psi = (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B)$  と表現する。また文  $\mu$  は“本が机の上にある”とし、これは  $A$  である。

$$\begin{aligned}\psi \circ \mu &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \circ A \\ &= (A \wedge \neg B) \vee (A \wedge B)\end{aligned}$$

更新した結果は“本は机の上にあり、雑誌は机の上にあるかもしれない”となる。

### 2.2 翻意

知識ベース  $\psi$  を文  $\mu$  で翻意した結果を  $\psi \circ \mu$  と表す。翻意は以下の6つの公理を満たす。

(R1)  $\psi \circ \mu$  は  $\mu$  を含意する。

(R2)  $\psi \wedge \mu$  が充足可能ならば、 $\psi \circ \mu \equiv \psi \wedge \mu$  である。

(R3)  $\mu$  が充足可能ならば、 $\psi \circ \mu$  も充足可能である。

(R4)  $\psi_1 \equiv \psi_2$  かつ  $\mu_1 \equiv \mu_2$  ならば、 $\psi_1 \circ \mu_1 \equiv \psi_2 \circ \mu_2$  である。

(R5)  $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$  は  $\psi \circ (\mu \wedge \phi)$  を含意する。

(R6)  $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$  が充足可能ならば、 $\psi \circ (\mu \wedge \phi)$  は  $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$  を含意する。

(R2) は新しい文が知識ベースに矛盾しないとき、新しい知識は知識ベースに単に挿入されることを意味する。この公理は  $\psi$  が充足可能であるときに公理 (U2) よりも強い。また更新で用いた論理和規則は翻意では適用されない。

ここで更新と同一の例を用いて翻意を示す。

$$\begin{aligned}\psi \circ \mu &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \circ A \\ &= (A \wedge \neg B)\end{aligned}$$

翻意した結果は“本は机の上にあるが、雑誌は机の上にはない”となる。

### 2.3 削除

知識ベース  $\psi$  から文  $\mu$  を削除した結果を  $\psi \diamond \mu$  と表す。削除と更新は密接な関係にあり、更新から以下のように削除を定義することができる。

$$\psi \diamond \mu \equiv \psi \vee (\psi \circ \neg \mu) \quad (U \rightarrow E)$$

$$\psi \circ \mu \equiv (\psi \diamond \neg \mu) \wedge \mu \quad (E \rightarrow U)$$

削除は更新に対応した以下の公理を満たす。

(E1)  $\psi$  は  $\psi \diamond \mu$  を含意する。

(E2)  $\psi$  が  $\neg \mu$  を含意するならば、 $\psi \diamond \mu$  は  $\psi$  と等価である。

(E3)  $\psi$  が充足可能かつ  $\mu$  が恒真論理式でないならば、 $\psi \diamond \mu$  は  $\mu$  を含意しない。

(E4)  $\psi_1 \equiv \psi_2$  かつ  $\mu_1 \equiv \mu_2$  ならば、 $\psi_1 \diamond \mu_1 \equiv \psi_2 \diamond \mu_2$  である。

(E5)  $(\psi \diamond \mu) \wedge \mu$  は  $\psi$  を含意する。

(E8)  $(\psi_1 \vee \psi_2) \diamond \mu \equiv (\psi_1 \diamond \mu) \vee (\psi_2 \diamond \mu)$  である。

文を削除することはその文が偽となるモデルを加えることで、真ではなくなるように変更することを意味する。(E2) は文の否定が知識ベースから導出されないときに削除は実行されることを表している。また (E8) は論理和規則であり、削除では更新と同様に知識ベースのそれぞれの可能世界を独立に変更する。

ここで更新と同一の例を用いて削除を示す。

$$\begin{aligned}\psi \diamond \mu &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \bullet A \\ &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \vee (\neg A \wedge \neg B)\end{aligned}$$

削除した結果は“本と雑誌の両方が机の上にあることはない”となる。

### 2.4 省略

知識ベース  $\psi$  から文  $\mu$  を省略した結果を  $\psi \bullet \mu$  と表す。翻意と省略には以下の関係がある。

$$\psi \bullet \mu \equiv \psi \vee (\psi \circ \neg \mu) \quad (R \rightarrow C)$$

$$\psi \circ \mu \equiv (\psi \bullet \neg \mu) \wedge \mu \quad (C \rightarrow R)$$

省略は翻意に対応した以下の公理を満たす。

(C1)  $\psi$  は  $\psi \bullet \mu$  を含意する。

(C2)  $\psi$  が  $\mu$  を含意しないならば、 $\psi \bullet \mu$  は  $\psi$  と等価である。

(C3)  $\mu$  が恒真論理式でないならば、 $\psi \bullet \mu$  は  $\psi$  と等価である。

(C3)  $\mu$  が恒真論理式でないならば、 $\psi \bullet \mu$  は  $\mu$  を含意しない。

(C4)  $\psi_1 \equiv \psi_2$  かつ  $\mu_1 \equiv \mu_2$  ならば、 $\psi_1 \bullet \mu_1 \equiv \psi_2 \bullet \mu_2$  である。

(C5)  $(\psi \bullet \mu) \wedge \mu$  は  $\psi$  を含意する。

(C2) は知識ベースから省略する文が導出されないときに省略は元の知識ベースに影響を及ぼさないことを意味する。この公理は知識ベースから文の否定が導出されないときに公理 (E2) よりも強い。また論理和規則は省略では適用されない。

ここで更新と同一の例を用いて省略を示す。

$$\begin{aligned}\psi \bullet \mu &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \bullet A \\ &= (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B)\end{aligned}$$

省略する文がこの知識ベースでは常に真とはならないために省略を行うことはできない。つまり知識ベースは変更されない。

## 3 不完全性と拡張関係モデル

### 3.1 不完全情報と拡張閉世界仮説

本研究で用いる拡張関係モデルの背景となる拡張閉世界仮説について説明する。

まず知識を構成する文を分類するためにその真偽について示す。完全情報を用いたときにはすべての文は真か偽となる。しかし不完全情報のみで文の真偽を決定するためにはそれぞれの世界に対

してその文を評価しなくてはならない。文は仮説によって最終的に明確にされたり間違いを証明されない限り、その真偽は世界によって異なる。これにより文は以下の三つに分類される。(本研究ではそれぞれの文を真、偽、不確定という。)

- すべての世界で真となる。
- すべての世界で偽となる。
- ある世界では真となるが他では偽となる。

次にデータベースにおける仮説である開世界仮説と閉世界仮説について説明する。開世界仮説では仮説は正確であるが必ずしも完全であるとは限らない。文の否定が仮説から論理的に導出されるときにはその文はすべての世界で偽となる。また閉世界仮説ではデータベースにすべての情報が与えられている。文が仮説から導出されないときにはその文の否定が適用されると仮定できる。閉世界仮説のもとではただ一つのモデルのみが存在しており不確定の文は存在しない。これにより論理和を含むデータベースは閉世界仮説と矛盾する。

本研究で用いる拡張閉世界仮説では、仮説はその知識が不完全であることを明確に記述することができる。拡張閉世界仮説のもとでは、仮説の中で明示された論理和に含まれるか、もしくはその論理和から導出できるときにのみ文は真となる。またいくつかの論理和から導出できない文はすべて偽となる。

### 3.2 関係モデルの拡張

拡張閉世界仮説では情報が不完全であることを明確に記述することができるので、論理和を記述するために従来のモデルを拡張する。論理和を表現するためにその属性値に対して括弧を用いる。ここで関数従属性や一貫性制約によってこの論理和に含まれる値のうちただ一つの値しか真とはなりえないことに注意が必要である。

例えば前述の物・位置関係は以下のように表現することができる。

物	位置
本	机
雑誌	{ 机, 本棚 }

このとき雑誌の組は変数を用いることで以下の論理式で表現することができる。

$$R(\text{雑誌}, x_1) \wedge ((x_1 = \text{机}) \vee (x_1 = \text{本棚}))$$

この論理式では等号の性質により雑誌が机の上と本棚に同時に存在することを許さない。つまり論理和の一つが真となることは、その他すべての値が偽となることを意味する。

さらに情報が正しいかどうかかわからない不確定の状態を表現するためにモデルを拡張する。状態付き関係を用いるが、これは文に新しく状態を表す属性を付加することで表す。

例えば“雑誌は机の上か本棚のどちらかにあるが、論文集は机の上にあるかもしれない”という文は以下のモデルで表現することができる。

物	位置	状態
雑誌	{ 机, 本棚 }	真
論文集	机	可能

付加した属性には可能という状態が与えられ、モデルの残りの部分からは独立している。また常に正しい文には真という状態が付加される。

最後にモデル上に存在する論理和を分割するためにモデルを拡張する。ここでは印付き空を取り入れる。状態を表す属性以外の領域で属性値に添字を付けることで印を表現する。前の関係は以下のように印付けされる。

物	位置	状態
{ 雑誌 } <sub>1</sub>	{ 机 } <sub>2</sub>	可能
{ 雑誌 } <sub>1</sub>	{ 本棚 } <sub>2</sub>	可能
{ 論文集 } <sub>3</sub>	{ 机 } <sub>4</sub>	可能

論文集が机の上にあるという関係にも印付けが行われるが、異なる印となっているので雑誌とは独立していることがわかる。印が同一の値となるときには同時に存在することはできない。このモデルでは雑誌は机の上と本棚のどちらかにしか存在しない。

### 3.3 分割と簡素化

更新と削除では論理和規則が適用されており、この規則にしたがって完全な情報のみで記述されたモデルに分割する必要がある。

例えば“本か雑誌のどちらかが机の上にある”という知識ベースは以下の拡張関係モデルによって表現することができる。

物	位置	状態
{本} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能
{雑誌} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能

このモデルを完全情報のみで表すと、以下の拡張関係モデルで表現することができる。また元の知識ベースはその論理和として表される。

物	位置	状態
本	机	真
雑誌	机	真

拡張関係モデルが冗長であるときにその部分を取り除くための簡素化について説明する。以下に示す二つの場合で適用される。

拡張関係モデルにまったく同一の要素から成る組が存在するときに適用される。例えば以下のモデルはこの状態であり、明らかに冗長である。

物	位置	状態
本	机	真
本	机	真

この場合の簡素化は同一の要素から成る組の一つを除いて残りすべてを取り除く。簡素化を適用することで以下のモデルに置き換えられる。

物	位置	状態
本	机	真

もう一つは印付けされた拡張関係モデルで冗長な組が生成されたときである。これは同一の印を用いた組の一つが可能から真に置き換えられることによって生じる。

物	位置	状態
{本} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	真
{雑誌} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能

このモデルでは“本が机の上にある”という組が真となっているが、同一の印付けをされている組が存在している。印付けの条件により“雑誌が机の上にある”という組は真とはならないため、この文は明らかに冗長である。そこで簡素化を用いてこの組を取り除くと以下ようになる。

物	位置	状態
本	机	真

拡張関係モデル上のすべての組が独立しているときには印付けは必要でないため、このモデルのように印を取り除かなくてはならない。

## 4 拡張関係モデルにおける変更

[1]では拡張関係モデル上で変更に対して関係演算を提案している。その中で更新に対する関係演算として INSERT と DELETE を、翻意に対して ASSERT と DENY をそれぞれ用いている。しかし更新と翻意は知識ベースに新しい知識を組み込む変更であるため、拡張関係モデルの組を取り除く関係演算である DENY と DELETE は必要ではない。また後者の二つの演算はその性質により削除と省略を割り当てることができる。そこでこの4つの関係演算を特定の状態でのみ利用できるようにその条件を制限する。

### 4.1 更新

更新は新しい文が知識ベースから導出できないときに実行される。つまり知識ベースに記述されていない知識は新しく挿入する必要がある。挿入する文に可能という状態の属性を付加して拡張関係モデルに挿入する関係演算として INSERT を定義する。さらに挿入した文はすべての世界で真とならなくてはならない。その文を可能から真にする関係演算として ASSERT を定義する。更新ではこの二つの関係演算を一組として取り扱う。

### 4.2 翻意

翻意は新しい文が知識ベースに矛盾しないときに実行される。知識ベースは拡張閉世界仮説を満たしているので、翻意したい文が知識ベースに矛盾するのは知識ベースにその文に関する記述がないときである。そこで翻意の操作は組み込みたい文が可能もしくは真であるときに真に置き換えられることになる。真の文を真にすることはその知識

ベースに影響を及ぼさないので、翻意の操作は更新に対して定義した ASSERT で表される。

### 4.3 削除

削除は取り除きたい文の否定が知識ベースで常には成り立たないときに実行される。この条件を満たすのは文が知識ベースに記述されているときである。また削除には論理和規則が適用されるので分割した拡張関係モデルに対して実行される。分割したモデルでは記述されているすべての文が真である。さらに削除は新しくモデルを加える変更なので、元の知識ベースに記述されている文を取り除いてはならない。この三つの条件により削除は取り除きたい文を真から可能に置き換える操作と表すことができる。この操作に対する拡張関係モデル上の演算として DELETE を定義する。

### 4.4 省略

省略は取り除きたい文が知識ベースにおいて常に真のときに実行される。また削除とは異なり知識ベースから文を完全に取り除く。つまり省略する文の状態を真から偽に置き換える操作として表すことができ、これを DENY と定義する。

### 4.5 演算例

ここからは本節で定義した関係演算を以下の拡張関係モデル上で実行したときの例を示す。

物	位置	状態
本	机	真

以下の関係演算を順に実行する。

INSERT (物 = 雑誌) AND (位置 = 本棚)

ASSERT (物 = 雑誌) AND (位置 = 本棚)

DELETE (物 = 雑誌) AND (位置 = 本棚)

DENY (物 = 本) AND (位置 = 机)

まず INSERT により“雑誌が本棚にある”という文がモデルに挿入される。

物	位置	状態
本	机	真
雑誌	本棚	可能

次に ASSERT により“雑誌が本棚にある”という文が可能から真と置き換わる。

物	位置	状態
本	机	真
雑誌	本棚	真

さらに DELETE を実行することでこのモデルに存在する“雑誌が本棚にある”という文を真から可能に置き換える。

物	位置	状態
本	机	真
雑誌	本棚	可能

最後に DENY を実行することで“本が机にある”という文を知識ベースから取り除く。

物	位置	状態
雑誌	本棚	可能

このように DENY を実行することで知識ベースから雑誌に関する文が完全に取り除かれてしまうことに注意が必要である。

## 5 操作例

本節では拡張関係モデル上で定義した関係演算の例を示す。

ここでは命題論理で用いた知識ベースと文を用いる。知識ベースは“本か雑誌のどちらかのみが机の上にある”であり、拡張関係モデルを用いて以下のように表現できる。

物	位置	状態
{本} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能
{雑誌} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能

それぞれの変更はこの関係モデルに対する関係演算として示す。ただし省略はこの例では実行できないため、この例とは異なる知識ベースを用いることにする。

### 5.1 更新

この拡張関係モデルにおいて更新したい文は真ではないので更新を実行することができる。

更新は論理和規則を満たしているため、まずこの規則を適用して拡張関係モデルを分割する。以

下の二つのモデルに分割することができる。

物	位置	状態
本	机	真

(U<sub>1</sub>)

物	位置	状態
雑誌	机	真

(U<sub>2</sub>)

次に (U<sub>1</sub>)、(U<sub>2</sub>) に対して別々に操作を行う。更新する文は“本は机の上にある”であるので、これを知識ベースに取り入れるために以下の関係演算を行う必要がある。

INSERT (物 = 本) AND (位置 = 机)

ASSERT (物 = 本) AND (位置 = 机)

まず (U<sub>2</sub>) に INSERT を実行する。

物	位置	状態
雑誌	机	真

(U'<sub>2</sub>)

さらに ASSERT を実行する。

物	位置	状態
雑誌	机	真
本	机	真

(U''<sub>2</sub>)

これと同様にして (U<sub>1</sub>) に操作を適用すると以下のモデルになる。

物	位置	状態
本	机	真
本	机	真

(U'<sub>1</sub>)

(U'<sub>1</sub>) は (まったく同一の要素から成る) 冗長な組を含んでいるので簡素化する必要がある。簡素化することで以下のように冗長な組を取り除くことができる。

物	位置	状態
本	机	真

(U''<sub>1</sub>)

(U''<sub>1</sub>) には雑誌に関する記述がないので、拡張閉世界仮説によって“雑誌は机の上にはない”と仮定することができる。

つまり更新によって知識ベースは“本が机の上”にあり、雑誌が机の上にはない”(U''<sub>1</sub>) と“本と雑誌の両方が机の上にある”(U''<sub>2</sub>) の二つのモデルになる。さらに論理和規則によってこの二つのモデルをまとめると、“本は机の上”にあり、雑誌は机の上にあるかもしれない”となる。この結果は命題論理に対して示した更新の例と一致する。

## 5.2 翻意

この拡張関係モデルに翻意したい文が記述されているので翻意を実行することができる。

翻意では論理和規則は成り立たないので拡張関係モデルを分割する必要はない。そこで元の知識ベースに対して以下の操作を行う。

ASSERT (物 = 本) AND (位置 = 机)

すると知識ベースは以下のモデルに書き換えられる。

物	位置	状態
{本} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	真
{雑誌} <sub>1</sub>	{机} <sub>2</sub>	可能

(R')

このモデルでは同一の印付けがされており、さらにそのうちの二組は状態が真となっている。冗長な部分を取り除くために簡素化を行うことで以下のモデルになる。

物	位置	状態
本	机	真

(R'')

知識ベースを翻意した結果はこの拡張関係モデルによって表される。ここでも更新と同様に雑誌に関する記述はないので、拡張閉世界仮説によって“雑誌は机の上にはない”と仮定することができる。

つまり翻意によって知識ベースは“本は机の上”にあるが、雑誌は机の上にはない”というモデルになり、これは命題論理に対して示した翻意の例と一致する。

## 5.3 削除

この拡張関係モデルにおいて削除したい文に関する記述が存在している。つまり“本が机の上にある”可能性があるため削除を実行することができる。

更新と同様に、まず論理和規則を適用して拡張関係モデルを分割する。すると (U<sub>1</sub>)、(U<sub>2</sub>) と同様のモデルである (E<sub>1</sub>)、(E<sub>2</sub>) が生成される。それぞれのモデルに対して以下の操作を行う。

DELETE (物 = 本) AND (位置 = 机)

(E<sub>2</sub>) は“本が机の上にある”という文を含まな

いのでこの操作の影響を受けず、“本は机の上にはないが、雑誌は机の上にある”のままである。

(E<sub>1</sub>) に対して DELETE を実行する。

物	位置	状態	
本	机	可能	(E' <sub>1</sub> )

(E'<sub>1</sub>) には雑誌に関する記述がないので、拡張閉世界仮説によって“雑誌は机の上にはない”と仮定できる。つまり“本は机の上にあるかもしれないが、雑誌は机の上にはない”ということを意味する。

知識ベースから削除した結果は (E'<sub>1</sub>) と (E<sub>2</sub>) の論理和となるので“本と雑誌の両方ともが机の上にあることはない”ことがわかる。この拡張関係モデルも他の変更と同様に命題論理を用いて示した削除の例と一致する。

#### 5.4 省略

この拡張関係モデルにおいて省略したい文は真ではないため省略の実行条件を満たさない。つまりこの拡張関係モデルでは省略の操作を行うことはできない。

そこで省略を実行できる知識ベースとして以下の拡張関係モデルを用いて省略の例を示す。

物	位置	状態	
本	机	真	(C <sub>1</sub> )
雑誌	机	可能	

この拡張関係モデルは“本は机の上にはあり、雑誌は机の上にあるかもしれない”ことを意味している。“本は机の上にある”という文を省略するために以下の関係演算を用いる。

DENY (物 = 本) AND (位置 = 机)

このモデルにおいて省略したい文は常に真であるので、この演算を適用すると以下のモデルに書き換えられる。

物	位置	状態	
雑誌	机	可能	(C' <sub>1</sub> )

このモデルには本に関する記述がないので、拡張閉世界仮説によって“本は机の上にはない”と仮定することができる。

知識ベースから省略した結果は“本は机の上にはないが、雑誌は机の上にあるかもしれない”となる。

よって省略したい文が知識ベースにおいて常に真となるときには正しく取り除かれることがわかる。

## 6 まとめ

本研究では拡張関係モデルにおいて提案された関係演算を拡張することで、命題論理を用いて定義された4つの変更に対する関係演算を明確に区別した。これによりこの変更を組み合わせて利用することが可能になる。

[3]ではさらに新しい変更が提案されている。本研究で定義していないこれらの変更に対してもさらに検討が必要である。また[1]では不完全情報としていくつかの型を定義している。いろいろな不完全情報に対して変更を適用できるようにここで提案した関係演算を拡張することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Arthur M. Keller and Marianne Winslett Wilkins. On the use of an extended relational model to handle changing incomplete information. *IEEE Trans. on Software Engineering*, SE-11:7, pages 620-633, 1985
- [2] Hirofumi Katsuno and Alberto O. Mendelzon. On the difference between updating a knowledge base and revising it. In *Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pages 387-394, 1991
- [3] Peter Z. Revesz. On the semantics of theory change: Arbitration between old and new information. In *Proceedings of the twelfth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database System*, pages 71-82, 1993