

Title	時間論理とその情報科学への応用
Author(s)	今井, 英明
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1529
Rights	
Description	Supervisor:小野 寛晰, 情報科学研究科, 修士

時間論理とその情報科学への応用

今井 英明 (910012)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2002年2月15日

キーワード: 様相論理, 時間論理, 認識論理, 完全性, 有限モデル性.

1 はじめに

1950年代に A.Prior は哲学的論理学の立場から、英語などの文にあらわれる現在・過去・未来・完了などの時制の論理的性質を分析するために時制論理 (*tense logic*) の研究を始めた。その研究は自然言語の解析や、自然言語の意味論の研究に影響を与えた。1980年代になってから、並列プログラムの正当性の検証においてその仕様の記述に時制論理の枠組が有効であることが認識されるようになった。しかし、具体的な問題の記述のためには *next* や *until* のような新たな様相演算が必要になる。また、情報科学への応用面からの要請でさらに記述力を強めて述語論理に拡張し、時間的区間や実時間を扱うことが出来るようにした体系の研究も行われている。これらの体系を総称して時間論理 (*temporal logic*) という。

時間の概念を扱うことの出来る時間論理は、並列プログラムの仕様検証、VLSI の設計、自然言語処理、人工知能など、情報科学の様々な分野に応用されている。その基礎となる体系はいくつかの時間演算を持つ命題論理であるが、扱われる問題によっては実時間が表現可能な多種述語論理などの複雑な体系が用いられる。しかし、記述力や表現力を強めると、その一方では元々の時制論理が持っていた決定可能性のような好ましい論理的性質が失われてしまう。とはいえ、実際に扱われる問題の種類によってはさほど複雑な論理体系を必要としない場合も多い。

本研究では、基本的な時間論理の持つ好ましい性質を保持しつつ、その記述力や表現力の向上を意図して時間論理と他の様相論理を組み合わせた論理について議論する。組み合わせる論理としては認識論理を考え、特に知識の論理と呼ばれる演算との組み合わせについて議論を行う。

2 時間論理と認識論理

時間論理と認識論理は様相論理の枠組みの中で研究されており、それらはいずれも、複数の様相演算を持つ多様相論理として形式化されている。

時間論理 K_t

公理

(a) CL (古典論理の公理)

(b) $G(p \rightarrow q) \rightarrow (Gp \rightarrow Gq)$ $H(p \rightarrow q) \rightarrow (Hp \rightarrow Hq)$

(c) $q \rightarrow GPq$ $q \rightarrow HFq$

(d) $Gp \rightarrow GGp$ $Hp \rightarrow HHp$

推論規則

(e) $\frac{A}{GA}, \frac{A}{HA}$ (f) $\frac{A \quad A \rightarrow B}{B}$

認識論理 K_K

公理

CL

$K_\alpha(p \rightarrow q) \rightarrow (K_\alpha p \rightarrow K_\alpha q)$

$K_\alpha p \rightarrow p$

$K_\alpha p \rightarrow K_\alpha K_\alpha p$

$\neg K_\alpha p \rightarrow K_\alpha \neg K_\alpha p$

推論規則

Generalization $\frac{A}{K_\alpha A}$

Modus ponens $\frac{A \quad A \rightarrow B}{B}$

3 認識時間論理

認識時間論理 $K_t K_\alpha$ は時間論理 K_t と認識論理 K_K を含む最小の様相論理として定義される。これは様相演算間に互いに依存関係がない。実際の応用面を考慮すると、各エージェント間に依存関係を持たせることや、時間演算と認識演算の間に相関をもたせることが自然に考えられる。

そこで、エージェント間に依存関係を持たせた論理と時間と認識演算の間に依存関係を持たせた論理を考える。

1) $K_\alpha p \rightarrow K_\beta p$

2) $K_\alpha p \rightarrow GK_\alpha p$

認識時間論理 K_tK_α に公理 1) を加えた論理を $K_tK_{\alpha\beta}$ と表す。

認識時間論理 K_tK_α に公理 2) を加えた論理を $K_tK_\alpha I_2$ と表す。

本論文ではこれらの認識時間論理 K_tK_α 、 $K_tK_{\alpha\beta}$ 、 $K_tK_\alpha I_2$ に関してそれぞれ完全性と有限モデル性を証明している。

定理 (完全性と有限モデル性)

- (1) 認識時間論理 L は認識時間論理 L のフレーム全体のクラスに関して完全である。
- (2) 認識時間論理 L は有限モデル性を持つ。

4 結論

認識時間論理の三つの体系について考察し、その完全性と有限モデル性を示すことができた。これにより、当初の目的であった記述力や表現力を強めつつも、本来の好ましい性質を保持するという小規模ながらも実現できたと考える。

この研究の今後進む方向として考えられるのは、まずは信念の論理に関することであろう。本研究においては時間論理と知識の論理の組み合わせを重視したのであるが、継続性を持つ信念の論理との組み合わせを考えることで、さらなる記述力、表現力の向上、あるいは異なった可能性への道が開けるものと信ずる。

また、本研究ではエージェントが一人、ないしは二人の場合についてのみ議論したが、認識時間論理を実際に何らかの問題に応用することを考えると、 n 人のエージェントが存在する場合についての体系へと拡張することが必要であろう。

参考文献

1. J.P.Burgess, 1984, Handbook of Philosophical Logic, Vol.2: Extensions of Classical Logic, in: Gabbay & Guenther, eds., Kluwer Academic Publisher, 89-133.
2. J.van Benthem, The Logic of Time, Kluwer Academic Publishers, 1983.
3. R.Goldblatt, Logics of Time and Computation, CSLI Leland Stanford Junior University, 1992.
4. D.Gabbay, I.Hodkinson, M.Reynolds, Temporal Logic, Mathematical Foundations and Computational Aspects, Clarendon Press, 1994.
5. B.Richards, I.Bethke, J.van der Does, J.Oberlander, Temporal Representation and Inference, Academic Press, 1989.