

氏名	佐藤 雅彦 さとう まさひこ
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第562号
学位授与の日付	昭和52年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	A Study of Kripke-type models for some modal logics by Gentzen's sequential method (いくつかの様相論理に対するクリプケ模型のゲンツェンシーク ェント法による研究)

論文調査委員 (主査) 教授 一松 信 教授 高須 達 教授 佐藤 幹夫

論文内容の要旨

本申請論文は、(1)人工知能論のうち特に人間が自分の知識を用いて判断を行なう過程の論理的解析方法の展開と、(2)様相論理およびそれと類似の論理系に対する証明論と意味論の展開と、それらの間の相補性の提示という二つの目的をもっている。

本論文の第1章では、McCarthy が知識の公理化のために導入した Hilbert 型の論理系 KTi ($i = 3, 4, 5$) に対して同等な Gentzen 型の論理系 GTi を与えている。第2章はやや他の章と独立であって、このような論理系の式全体の集合の部分集合族に位相を導入して、論理系の syntactic な性質を位相的性質によって特徴付けることを試みている。

第3章では、各論理系 KTi に対応する Kripke 型のモデルとして KTi -モデルを定義し、その上で、部分式に関して閉じているような任意の式の集合 Ω に対して、 KTi -モデル $Ui(\Omega)$ を定義している。このモデル $Ui(\Omega)$ は universal model とよばれ、その構造は Gentzen 型の論理系 GTi を自然な形で反映するものになっている。さらにこの universal model に関して「基本定理」を証明し、universal model $Ui(\Omega)$ の Ω を適当にとることによって、その系として、(1)完全性定理、(2)コンパクト性定理、(3)決定可能性定理のような重要な定理を一度に得ることができる。

第4章では、前章の基本定理を用いて、 KTi -モデルの作るカテゴリー $Ki(\Omega)$ が定義される。このカテゴリーの中で universal model $Ui(\Omega)$ は、terminal object として特徴付けられ、また、 GTi という論理系の証明論と意味論との相補性も明かにされる。

第5章と第6章は上記の一般論の応用である。第5章では有限個の命題変数の上で様相論理 $S5$ を考え、対応する universal model の構造が決定されている。第6章では、McCarthy が彼の論理系を導入する際の動機となった二つのパズルが扱われている。最初のパズルは「3人の賢者」の問題で、これについてモデル論的な解を与えている。二つ目のパズルは「40人の不貞の妻」の問題である。このパズルを上記の体系で形式化するとき、次の2点が問題になる。ひとつは王様の宣告がその中で、その宣告自身を引用

している self-reference の問題であり、もうひとつはある人の知識全体をどうとらえるかという点である。これら二点を解消するために、まず knowledge base および knowledge set という概念を導入し、その上で、王様の宣告および各人の knowledge base に関する方程式系を考え、その方程式系の解を通じてパズルの解答を与えている。

参考論文は6編ある。1は学部学生時代の労作で、有限決定的ゲームの必勝法を論ずるのに利用される Grundy 関数の意味づけを与えたもの、2は修士論文であって、擬似 Boole 代数が、線型順序集合の直積と「貼り合せ操作」とで尽くされることを示した画期的なものである。3、4は整数論に関する実験並びに理論的裏づけ、5は対称群のある同値類の最大数の評価、6は Scott のある問題の解決である。これらはいずれも関連諸分野における問題であり、申請者の多彩な才能を遺憾なく発揮したものである。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は次の二つの目的を同時に解決している：(1)人工知能論のうち、特に、人間が知識を用いて判断を行う過程の論理的分析方法の確立。(2)様相論理およびそれと類似の論理系に対する証明論と意味論の展開とそれらの相互間の相補性の提示。

人工知能論は、人間の思考過程の数学的モデルの定式化と、それに関する数学的理論の展開を目標としており、その例としては、人間の数学的思考過程を述語論理と推論規則によって定式化した数学基礎論がある。このような形での人工知能論を情報科学の中で最初に提唱したのは、Stanford 大学の J. McCarthy 教授であり、1975年共同利用研究所外国人研究員として来日された際には、人間が知識を用いて判断する過程の定式化として、新しい公理論的な論理系を提示した。申請者は、この論理系および知識の時間的変化を考慮した論理系が従来から知られていた様相論理の拡張になっているとの認識の下に、命題論理、様相論理、McCarthy の論理等合計13個の論理系を統一的に取り扱い、証明論および Kripke 型意味論、さらには、それらの間の相補性についての理論をあます所なく展開している。そして最後に McCarthy が、自分の公理系で解析できるとの見通しを持っていたパズル（3人の賢者の問題と40人の不貞の妻の問題）における思考過程の解析を以上のような理論を援用して完全に解決している。

以上が人工知能論の立場からみた申請論文の内容と評価であるが、数学的な立場から見た内容としては、(1) McCarthy 型論理系の Gentzen の方法に基く証明体系の定式化、(2)様相論理において知られていた Kripke 型モデルの McCarthy 型論理への拡張、(3)カテゴリー論を援用しての universal model の提示、(4) universal model に関する基本定理とその応用としての完全性定理、決定可能性定理の証明、(5)様相論理の universal model の構造決定、(6)不貞の妻の問題の解決にあたって提案した knowledge base の概念と、knowledge base に関する方程式系とその解法など、いずれも豊かな数学的内容をもつものであって、申請者の独創性を示すものである。

この論文に若干の批判がある。それはこの定式化が余りに人間の知識を理想化しすぎているという点と、応用例が少ないという点とである。しかしそれはこの研究の価値を損ずるものではなく、むしろその発展性を暗示するものであろう。とくにこの考え方は、今後計算機ネットワークの知能の研究に基礎的な役割りを果たすことが期待されている。

参考論文 6 編は、いずれも関連諸分野の興味深い研究であり、申請者の多彩な才能を遺憾なく発揮したものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。