

二国間交流事業 共同研究報告書

平成23年 4 月 1 日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 京都大学・数理解析研究所

職・氏名 ^(ふりがな) 准教授・照井 一成 ^{てるい かずしげ}

1. 事業名 相手国(チェコ)との共同研究 振興会対応機関(ASCR)

2. 研究課題名 ファジイ数学の基礎としてのファジイ集合論

3. 全採用期間

平成21年4月1日～平成23年3月31日 (2年0ヶ月)

4. 研究経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 4,993 千円

初年度経費2,493 千円、2年度経費2,500 千円、3年度経費0 千円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 250.4 千円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
小野寛晰	北陸先端科学技術大学院大学・特別招聘教授	部分構造論理
古森雄一	千葉大学・教授	部分構造論理・ファジィ論理
相馬大輔	独立行政法人産業技術総合研究所・特別研究員	部分構造論理の代数的意味論
高村博紀	独立行政法人産業技術総合研究所・特別研究員	非古典数学の展開
矢田部俊介	独立行政法人産業技術総合研究所・第二号職員 (産業技術総合研究所特別研究員)	ファジィ集合論
木原 均	金沢工業高等専門学校・講師	部分構造論理の証明論・代数的意味論
佐藤憲太郎	神戸大学・日本学術振興会特別研究員 (PD)	部分構造論理・ファジィ論理
丸山善宏	京都大学・修士課程学生	圏論的双対性に基づくファジィ論理 へのアプローチ

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 チェコ科学アカデミー (ASCR) 計算機科学研究所・教授・HAJEK, Peter

(3) 相手国参加者 (代表者の氏名の前に○印を付すこと)

氏名	所属・職名 (国名)	研究協力テーマ
○HAJEK, Peter	ASCR・Professor (チェコ)	ファジィ論理・ファジィ数学全般
CINTULA, Petr	ASCR・Researcher (チェコ)	ファジィ論理・ファジィ数学全般
HORCIK, Rostislav	ASCR・Researcher (チェコ)	部分構造論理の代数的意味論
HANIKOVA, Zuzana	ASCR・Researcher (チェコ)	ファジィ集合論
BEHOUNEK, Libor	ASCR・Graduate Student (チェコ)	ファジィ集合論
BILKOVA, Marta	Charles University・Assistant Professor (チェコ)	ファジィ論理への余代数的アプローチ

6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

ファジィ数学とは「あいまい性」の理解を目指す数学理論である。通常、真か偽かの二分法に従って進められる論証にあいまい性を認めたら何が起こるのかを数理的に探究する。ファジィ数学は、かつて工学的応用の可能性が大いに注目を集めたが、現時点においてその潜在的可能性が十分に実現されつくしているとは言い難い。その一因としては、各種応用ばかりに目が向きすぎ、その背後にあるべき基礎理論が未発達なことが挙げられる。

このような状況のもとで、本研究はファジィ数学の基礎理論の深化を目指して進められた。いわば「あいまい性」の背後に「厳密性」を見出す試みである。具体的には、ファジィ数学の最先端を行くチェコの研究グループと、非古典数学一般をより広い観点から捉える日本のグループが、両者の特性を活かしつつ緊密な共同研究・交流活動を行った。本研究は論理学・集合論の二分野からなり、それぞれにおける主な研究成果は以下の通りである。

1. 論理学部門

(1-1) Horcik と照井は(ファジィ論理を包摂する)部分構造論理に基づく推論の計算論的複雑さを分析した。それにより「ある種の論理的性質(選言特性)を満たす体系においては、推論は常に PSPACE 困難である」という非常に一般的な結果を得た(論文近刊)。

(1-2) 丸山と Bilkova は Jiri Velebil 氏(プラハ工科大学)との連携によって、余代数的様相論理の枠組みにおいて様相ファジィ論理を捉えるための基礎となる結果を得た。特に、ファジィ論理で用いられる真理値束に値をとる関手から生じる随伴のモナドの代数をその束の作用を持つある種の加群構造として同定した(論文準備中)。

2. 集合論部門

(2-1) 矢田部はファジィ集合論に関し Hajek, Behounek らと議論を重ね、双模倣性のアイデアを用いた新しい種類の算術の展開可能性についての結果を得た。また、外延性と算術の展開可能性の関係についても、基礎となる結果を得た(論文準備中)。

(2-2) 照井は、カントール=ウカシェヴィチ集合論の無矛盾性を“証明”したファジィ集合論の基本論文(White 1979)中に致命的な誤りのあることを発見した。この発見により既存のファジィ集合論基礎に疑義がさしはさまれることとなったため、その影響について Behounek, Cintula, Hajek, Hanikova, 古森、矢田部らと慎重に検討した。その後、ウカシェヴィチ論理よりも弱い論理 MTL に基づくカントール集合論の無矛盾性を示すことにより、ファジィ集合論の最低限の安全性を保証することに成功した(論文準備中)。

(1-1), (1-2), (2-1)は、それぞれファジィ数学の計算的側面、意味的側面、展開可能性に関わるものであり、基礎的でありつつ工学的応用も視野に入れた幅広い適用範囲を持つものである。(2-2)は否定的な結果であるが、その修正をめぐる却って当該分野を活性化する作用があり、現にファジィ集合論の再構築を巡って新たな論議が巻き起こっている。

また、学界への貢献として、非古典数学会議(Hejice, 2009年6月)、代数・部分構造論理会議(能美市、2010年6月)、および「論理・代数・真理度」国際会議(Prague, 2010年9月)といった国際学会の開催に協力し、日本側メンバーによる招待講演が複数回行われた。中でも最後のものはファジィ論理分野における大規模な国際会議であることを付記しておく。