

## 2016年度学院留学 研究成果概要

種 別：学院留学（長期）  
所属・職・氏名：理工学部・教授・高橋 和子  
研究課題：Study on future trend of qualitative spatial reasoning  
留学期間：2016年4月1日～2017年3月31日  
留学先：国・都市 ドイツ・ブレーメン  
研究機関 University of Bremen

研究成果概要（日本文（全角）の場合は3,000字（A4、2ページ）程度）

この留学期間に定性空間推論（Qualitative Spatial Reasoning, QSR）の今後の動向や他の研究分野との関係を調査検討するとともに、報告者がこれまで行ってきた研究成果について意見交換を行った。

QSR は人工知能の一分野だが、計算機科学、計算幾何学、地質学、認知科学、心理学など多くの分野にかかわりがある。本留学では University of Bremen の Spatial Cognition Center に属する Cognitive Systems Group (CoSy) に客員研究員として1年間滞在した。ここでは Christian Freksa 教授が中心となって20年以上 QSR の研究を行っており、多くのすぐれた成果を出している。また、分野横断的な研究をめざし、数学・論理学を基盤とする専門家、空間認識の専門家、認知科学の専門家など幅広い分野の研究者が集結し、研究者の往来もさかんである。Freksa 教授は国際交流事業に積極的で、タイやラオスとの共同プロジェクトも手がけており、学生のインターンシップも頻繁に行っている。グループメンバーも国外研究者を多く含む。

主として取り組んだのは、報告者が10年以上取り組んできた QSR システムの1つ PLCA と他の QSR システムとの比較統合や PLCA の応用に関する研究である。QSR は空間データを、オブジェクト同士の相対的位置、大きさ、方向など、ユーザの着目する定性的な性質のみに着目して、数値や座標を使わずに記号表現し、その表現上で推論をする手法である。中でもオブジェクト同士の相対的位置関係に着目した手法は代表的な QSR の体系として表現の粒度によって多くのバリエーションを生んでいる。PLCA もその1つであり、オブジェクト同士の接続パターンを区別できるような表現となっている。多くの QSR がオブジェクト同士の関係を2項関係として定性計算で表しているのに対して、PLCA はオブジェクトを構成する点、線、閉路、範囲という部品とそれらの包含関係で表す表現形式をとっている。そのため、PLCA 表現は位相構造のみに着目した表面分割と見なすことができる。これは計算幾何学における combinatorial map という記述方法と非常に関係が深い。報告者は、PLCA を構成的に作成し、得られたものが有限平面の領域分割になっていることを示した。形式化およびその証明は証明支援系 Coq を使って行った。この研究は以前から継続しているもので、計算機科学や定理証明の分野と QSR を橋渡しするものである。まとめたものを6月の国際学会 ADG (Automated Deduction in Geometry) で発表した。ADG は小規模ながらも同様のテーマに深い関心をもつメンバーが集まっていたため、有用なコメントを多くもらった。また、主催地である Strasbourg University の研究者たちとつながりができたのも非常に有益であった。

次に、新たな研究として PLCA と他の QSR との関係について考察し、PLCA の特徴を明確にした。最近では複数の QSR の表現を比較する研究が多く見られ、CoSy グループの研究者たちは、その発展としてそれらを統合する新しい仕組みを提案している。これらは非常に興味ある研究だが、彼らは PLCA のような定性計算とは異なる手法による表現については触れていない。報告者は、2つの関係について考察した。1つは combinatorial map から派生した maptree との記述力の比較であり、ある制約条件をはずした PLCA が maptree と記述力は一致することを示し、両者の変換プログラムも与えた。もう1つは定性計算を用いた記述への変換であり、PLCA から定性計算による記述を半自動的に推論する方法を与えた。この件については Bamberg University の Wolter 教授との議論が非常に参考になった。これらを論文としてまとめ、1件を査読付き国際学会に投稿中、1件は4月に投稿予定である。

その他、矩形の重ね合わせシステムについてもまとめたものを学会発表した。

CoSy グループから派生した Bhatt 教授の研究グループでは、空間データを使ったデザイン関係の研究が多い。このグループでは論理プログラミングで表現する統括的システムを提供しており、動画からイベント推論という現実的な応用を示している。Bhatt 教授をはじめ何人かの研究者からは動画のデータセットやそれに適する画像処理ツールの紹介を受けた。また、学生が実験的にプログラムを実装し実験結果を得た。この経験をいかして今後実験データを集めたいと考える。

QSR 全般については分野横断的な研究が推奨されており、報告者の今後の研究テーマとして以下の2つを考えている。1つはこれまでも行ってきた定理証明などの計算機科学との融合、もう1つは認知的視点の取り組みである。前者については前述の ADG 以外に、同大学や近くの研究者を訪問し、具体的な取り組みについて調査するとともにソフトウェアの紹介を受けた。認知的視点については、Freksa 教授が「強い空間認識」と題してこれまでとは異なるパラダイムで空間推論を扱う仕組みをつくらうとしている。これは、論理的手法やニューラルネットによる手法とも異なる形で、インタラクティブあるいはリアクティブに空間データを使用したり空間に関係する問題を解決することをめざす方法である。アフォーダンス理論と関係が深いものだが、空間のとらえ方として非常に興味深い考え方で、今後重要なパラダイムシフトの可能性もある。これをテーマに CoSy グループで2017年1月から意見交換セミナーが6回開催された。セミナーでは毎回2時間程度、発表者は1-2人で参考論文をもとに既存の研究との相違や空間認識の解釈について熱い議論がかわされた。このセミナーは、報告者が今後空間推論をとらえていく1つの新しい切り口として非常に有用であった。特に、ロボティクスや認知科学の専門家の意見は非常に参考になった。

CoSy グループの共同研究プロジェクトとして Mahidol 大学(Thailand)から研究者(教授、博士学生、その他)が約半年滞在していた。彼らのテーマの1つが歯科措置方法の教育システムであり、ビデオを使った空間的なデータの認識や表現方法について検討していた。この研究は、報告者が空間データあるいはマルチモーダリティを加味した議論システムを考えるきっかけとなり、彼らとは何度か議論を重ねた。残念ながらまだ論文の形にまではなっていないが、今後の研究テーマとして考えたい。空間データを使った議論システムはこれまでにほとんど提案されておらず、空間推論システムの新しい応用分野として開拓できる可能性がある。

この機会に Bremen 大学の研究者をはじめとして多くの研究者との接点が多かった。これを基盤として国際的な共同研究の立ち上げを考えたい。また、Bremen 大学では International Office が整備されており、そこの所長や担当者となつなかりができたことも大きな収穫である。