

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12113

研究課題名（和文）不完全情報下での質疑によるエージェントの知識・信念更新：証明論的研究

研究課題名（英文）Proof-Theoretic Study of Doxastic and Epistemic Updates via Questions

研究代表者

佐野 勝彦（Sano, Katsuhiko）

北海道大学・文学研究院・教授

研究者番号：20456809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：情報が完全に得られない状況下でエージェントが質疑を行いながら自身の知識・信念を如何に更新するかを論理的帰結関係を推論単位とする推件計算の観点から研究を行った。質疑を扱う点に関して、疑問文と平叙文を同一設定で扱うinquisitive logicの述語論理拡張の推件計算を整備し、不完全状況下での推論を扱う点については、直観主義論理上の認識論理やその動的拡張の推件計算を整備した。特に、複数エージェントの知識の組み合わせに関わる分散的知識概念について集中的に研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、不完全情報下で「なぜ」「どうして」といった質疑によってエージェントの知識・信念の更新がどのようになされるかを、疑問文を伴う推論の側面から証明論的に探究し、環境から情報を手に入れながら自律的に動作するロボットの制御、質問により嘘・矛盾を見抜く対話システムの設計に、論理的基盤を与えることに貢献する。証明論的手法は、環境について部分的情報しか知り得ない不完全情報下では、モデルの完全記述が必要なモデル理論的手法より利点がある。

研究成果の概要（英文）：This study examines how agents update their knowledge and beliefs through inquiries (i.e., making questions) in situations where complete information is not available. We do this from the perspective of proof theory, in particular a sequent calculus whose unit of inference is a consequence relation. To handle questions, we developed a proof theory for a fragment of a first-order expansion of inquisitive logic, which treats both interrogative and declarative sentences within the same framework. We have established proof theories for epistemic logic on intuitionistic logic and its dynamic expansions to address reasoning under incomplete information. In particular, we focused on the concept of distributed knowledge concerning the combination of knowledge among multiple agents.

研究分野：論理学

キーワード：認識論理 信念の論理 疑問文 動的認識論理 証明論 分散知識

1. 研究開始当初の背景

疑問文の意味をフレーゲ以降の現代論理学の枠組みの中で最初に形式的に扱おうとしたのは Hamblin (1973) である。彼によれば疑問文は平叙文とは異なり真理条件を持たず(いつ真になるか言えない) その意味は疑問文への網羅的(どれかが成立)かつ排他的(二つ同時に成立することはない)な回答の集合と分析される。その後の Belnap and Steel (1976), Hintikka (1979), Groenendijk and Stokhof (1982, 1984) らの研究を経て、Groenendijk, Roelofsen と Ciardelli ら(2007, 2009, 2013) によって提案されたのが Inquisitive Semantics である。Inquisitive Semantics の特徴は、疑問文と平叙文の間に構文論的な型(平叙文か疑問文か)の違いを設けない点と疑問文の意味は網羅的な回答の集合(排他性は不要)と分析される点にある。例えば、条件付き疑問文「太郎が来たら花子は喜ぶか?」の意味は回答「太郎が来たら花子は喜ぶ」と「太郎が来ても花子は喜ばない」からなる集合となるが、これは命題「太郎が来る」が偽なら両方の回答が真となるため排他的ではない。また、この意味論は、会話への参加者が質問への選んだ回答を合意し受け入れていくことで、無知な状態(命題の情報が確定していない状態)から情報を確定していくかを、直観主義論理のクリプキ意味論(理想的な数学者の知識状態の発展)に類比的に説明する。この点から Inquisitive Semantics は直観主義論理の拡張となる。

上述の疑問文や依存関係に関する既存研究は意味論・モデル理論中心になされてきた。しかし、環境について部分的情報しか知り得ない不完全情報下では、モデルの完全記述が必要なモデル理論的手法よりも証明論的手法の方が適しているにもかかわらず、疑問文を伴う推論についての証明論的研究はこれまで盛んにはなされてこなかった。例えば、疑問文の回答になり得る平叙文を計算する過程や、新たな情報を得ることで当初もっていた疑問から別のより具体的な疑問が生じる過程も、疑問文を伴う推論とみなすことができる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、エージェントが不完全情報下で環境と相互作用しながら質疑・応答により、知識・信念を形成する側面に厳密な形式化を与えることである。そのために、本研究は、疑問文を伴う推論を適切に扱う推論システムを構築し、不完全情報下でエージェントが質疑により自身の知識・信念をどのように変えるのかを証明論的に探求する。この目的のために次の二つの課題に取り組む。

- (1) 直観主義論理上の認識論理やその動的拡張に対する証明論研究
- (2) First-order Inquisitive Logic に対する証明体系の研究

第一に、Inquisitive Semantics の背景にある Inquisitive Logic が直観主義論理の拡張になっていることから、直観主義論理上の認識論理やその動的拡張に対する証明論研究を行う。第二に、“Who” や “What” から始まる疑問文を扱うことを可能にする、述語論理レベルの Inquisitive Logic に対する証明体系の研究を行う。

3. 研究の方法

本研究では証明論として、「前提 A_1 から A_m のすべてが成立するならば結論 C_1 から C_n のいずれかが成立する」と読まれる、推件 $A_1, \dots, A_m \quad C_1, \dots, C_n$ を推論単位とする推件計算(sequent calculus)を採用した。これは Gentzen による研究により、古典論理上の認識論理についての推件計算を推件の結論部分を単一結論ないしゼロ結論へ制限することで、対応する直観主義論理上の推件計算が得られるためである。複数のエージェントが集団として持ちうる集団知識概念を扱うために、分散知識概念(第三者視点での、エージェント集団が持ちうる知識)に着目し、課題(1)の認識論理研究を行う。

4. 研究成果

二つの課題に分けて研究成果を説明する。まず、課題(1)に関する成果は、①Artemov らが提案する直観主義認識論理に関するもの、②直観主義論理上の分散知識演算子をもつ認識論理、③直観主義論理上の動的認識論理の証明論、に分けられる。

① Artemov and Protopopescu (2016)は、「知識演算子 KA の証明とは A の証明の存在の決定的検証である」という証明による解釈を提案し、直観主義命題論理上の認識論理について研究を行ったが、その推件計算による証明論は望ましい性質(部分論理式特性)と満たさない欠点があった。この欠点を取り除いた推件計算を考案し、さらに、述語論理への拡張も可能であることを明らかに

した。この成果は蘇有安氏との共同研究である。

② 集団 G の分散的知識(distributed knowledge)とは G 中の各エージェントの知識を第三者視点で組み合わせることで得られる知識のことである。分散的知識の研究はこれまで意味論的研究が主であり、式計算による証明論研究は手薄であった。まず、古典論理をベースとした、分散的知識演算子をもつ認識論理のいくつかの族に対して、式計算体系を与え、カット除去定理、および、クレイグの補間定理が成立することを明らかにした。さらにこの結果を直観主義論理上の結果へと一般化し、公開告知演算子による拡張も可能であることを明らかにした。この成果は村井涼氏との共同研究である。さらに、蘇有安氏、及び、村井涼氏と協力し、Artemov and Protopopescu (2016)の直観主義認識論理へ分散知識概念を加えられることを明らかにした。

③ van Benthem and Liu (2007) による Dynamic Logic of Relation Changers (DLRC)は、さまざまな言語行為に対応する告知行為を形式化するための強力な論理的枠組みである。このDLRCを、直観主義論理への一般化し、対応する論理に対して推件計算を与えた。この成果は、東京理科大学の秦野亮講師との共同研究である。

次に、課題 (2) の Inquisitive Logic の一階論理拡張の公理化可能性に関しては、Ciardelli and Grilletti (2022) による "finite boundedness" という意味論的制限をつけた 論理に関する結果をより洗練させ、この制限がついた論理についてラベル付き推論計算体系を特定し、カット除去定理を示した。この結果は Tadeusz Litak 氏 (FAU)との共同研究として査読付国際会議へ投稿中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Masanobu Toyooka and Katsuhiko Sano | 4. 巻 20(3) |
| 2. 論文標題 Semantic Incompleteness of del Cerro and Herzig's Hilbert System for a Combination of Classical and Intuitionistic Propositional Logic | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The Australasian Journal of Logic | 6. 最初と最後の頁 397-411 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26686/ajl.v20i3.7696 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Ryo Murai and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Intuitionistic Public Announcement Logic with Distributed Knowledge | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Studia Logica | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-023-10066-1 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Masanobu Toyooka and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Combining Intuitionistic and Classical Propositional Logic: Gentzenization and Craig Interpolation | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Studia Logica | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-023-10067-0 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Sizhuo Liu and Katsuhiko Sano | 4. 巻 14329 |
| 2. 論文標題 Non-labelled Sequent Calculi of Public Announcement Expansions of K45 and S5 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science | 6. 最初と最後の頁 190-206 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-45558-2_15 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Masanobu Toyooka and Katsuhiko Sano | 4. 巻 20(3) |
| 2. 論文標題 Semantic Incompleteness of del Cerro and Herzig's Hilbert System for a Combination of Classical and Intuitionistic Propositional Logic | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The Australasian Journal of Logic | 6. 最初と最後の頁 397-411 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26686/ajl.v20i3.7696 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Katsuhiko Sano and Tomoyuki Yamada | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Acts of Commanding and Promising in Dynamified Common Sense Term-Sequence-Deontic-Alethic Logic | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Dynamics in Logic and Language | 6. 最初と最後の頁 116-135 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-25894-7_6 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Youan Su and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 A First-Order Expansion of Artemov and Protopopescu's Intuitionistic Epistemic Logic | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Studia Logica | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-023-10037-6 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Hiroakira Ono and Katsuhiko Sano | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Analytic Cut and Mints' Symmetric Interpolation Method for Bi-intuitionistic Tense Logic | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Advances in Modal Logic | 6. 最初と最後の頁 601-623 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Ryo Hatano and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Three faces of recursion axioms: the case of constructive dynamic logic of relation changers | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logic and Computation | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/logcom/exac013 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Ryo Murai and Katsuhiko Sano | 4. 巻 26(2) |
| 2. 論文標題 Intuitionistic Epistemic Logic with Distributed Knowledge | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Computacion y Sistemas | 6. 最初と最後の頁 823-834 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13053/CyS-26-2-4259 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Masanobu Toyooka and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Combining First-Order Classical and Intuitionistic Logic. | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 10th International Conference on Non-Classical Logics. Theory and Applications(NCL) | 6. 最初と最後の頁 25-40 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.358.3 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Giulia Sindoni and Katsuhiko Sano and John G. Stell | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Expressing discrete spatial relations under granularity | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming | 6. 最初と最後の頁 100682 ~ 100682 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlamp.2021.100682 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Youan Su, Ryo Murai , and Katsuhiko Sano | 4. 巻 13039 |
| 2. 論文標題 On Artemov and Protopopescu's Intuitionistic Epistemic Logic Expanded with Distributed Knowledge | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Logic, Rationality, and Interaction. LORI 2021. Lecture Notes in Computer Science | 6. 最初と最後の頁 216 ~ 231 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-88708-7_18 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Sujata Ghosh, Katsuhiko Sano | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Rely more or less, for better or for worse: Intertwining reliability and preferences | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logic and Computation | 6. 最初と最後の頁 518 ~ 553 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/logcom/exab066 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Ryo Hatan, Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Three Faces of Recursion Axioms: the Case of Constructive Dynamic Logic of Relation Changers | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logic and Computation | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Masanobu Toyooka and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Combining First-Order Classical and Intuitionistic Logic | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Sawasaki and Katsuhiko Sano | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Term-Sequence-Dyadic Deontic Logic | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Deontic Logic and Normative Systems 15th International Conference, DEON 2020/2021 | 6. 最初と最後の頁 376-393 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Takahiro Sawasaki and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Frame definability, canonicity and cut elimination in common sense modal predicate logics | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logic and Computation | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/logcom/exaa067 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 Ryo Hatano and Katsuhiko Sano | 4. 巻 109 |
| 2. 論文標題 Recapturing Dynamic Logic of Relation Changers via Bounded Morphisms | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Studia Logica | 6. 最初と最後の頁 95-124 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-020-09902-5 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Ryo Hatano and Katsuhiko Sano | 4. 巻 12569 |
| 2. 論文標題 Constructive Dynamic Logic of Relation Changers | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science | 6. 最初と最後の頁 137-154 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-65840-3_9 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Sawasaki and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Proof-Theoretic Results of Common Sense Modal Predicate Calculi | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Context, Conflict and Reasoning, Logic in Asia: Studia Logica Library | 6. 最初と最後の頁 127-138 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-7134-3_10 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Izumi Takeuti and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Modal Logic and Planarity of Graphs | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Context, Conflict and Reasoning, Logic in Asia: Studia Logica Library | 6. 最初と最後の頁 115-126 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-7134-3_9 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------|
| 1. 著者名 Katsuhiko Sano and Sakiko Yamasaki | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Subformula property and Craig interpolation theorem of sequent calculi for tense logics | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Short Papers of Advances in Modal Logic (AiML 2020) | 6. 最初と最後の頁 97-101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Katsuhiko Sano | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Goldblatt-Thomason-style Characterization for Intuitionistic Inquisitive Logic | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Advances in Modal Logic | 6. 最初と最後の頁 541 - 560 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Katsuhiko Sano and Jonni Virtema | 4. 巻 170(9) |
| 2. 論文標題 Characterising modal definability of team-based logics via the universal modality | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Annals of Pure and Applied Logic | 6. 最初と最後の頁 1100-1127 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apal.2019.04.009 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Youan Su and Katsuhiko Sano | 4. 巻 11813 |
| 2. 論文標題 First-Order Intuitionistic Epistemic Logic | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Logic, Rationality, and Interaction, 7th International Workshop, LORI 2019, Chongqing, China, October 18-21, 2019, Proceedings | 6. 最初と最後の頁 326-339 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-662-60292-8_24 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Sawasaki, Katsuhiko Sano, and Tomoyuki Yamada | 4. 巻 11813 |
| 2. 論文標題 Term-Sequence-Modal Logics | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Logic, Rationality, and Interaction, 7th International Workshop, LORI 2019, Chongqing, China, October 18-21, 2019, Proceedings | 6. 最初と最後の頁 244-258 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-662-60292-8_18 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Ryo Murai and Katsuhiko Sano | 4. 巻 12021 |
| 2. 論文標題 Craig Interpolation of Epistemic Logics with Distributed Knowledge | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Foundations of Information and Knowledge Systems. FoIKS 2020. Lecture Notes in Computer Science | 6. 最初と最後の頁 211-221 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-39951-1_13 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Shoshin Nomura, Hiroakira Ono, and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 A cut-free labelled sequent calculus for dynamic epistemic logic | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Logic and Computation | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/logcom/exaa014 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Ryo Hatano and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Recapturing Dynamic Logic of Relation Changers via Bounded Morphisms | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Studia Logica | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11225-020-09902-5 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Youan Su and Katsuhiko Sano | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Logics for Knowability Paradox with a Non-normal Possibility Operator | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Knowledge, Proof and Dynamics. Logic in Asia: Studia Logica Library | 6. 最初と最後の頁 51-72 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-2221-5_4 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 27件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 豊岡正庸・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Humberstoneの論理定項 と直観主義論理のクリプキフレームの関係について |
| 3. 学会等名 記号論理と情報科学 研究集会 (SLACS 2023), オンライン |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐野勝彦, 劉偲卓 |
| 2. 発表標題 Sequent Calculus for Public Announcement Logic |
| 3. 学会等名 北京師範大学哲学学院論理学研究会, 北京師範大学, 北京(オンライン), 中国(招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Sizhuo Liu, Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Non-labelled Sequent Calculi of Public Announcement Expansions of K45 and S5 |
| 3. 学会等名 The Ninth International Conference on Logic, Rationality and Interaction (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Analytic Cut and Mints' Symmetric Interpolation Method for Bi-intuitionistic Tense Logic |
| 3. 学会等名 Sapporo Mini-Workshop on Modal Logic, Hokkaido University |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Generalizing Maksimova and Marx for Bi-intuitionistic Tense Logic |
| 3. 学会等名 第57回MLG数理論理学研究集会, 東北大学 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano and Masanobu Toyooka |
| 2. 発表標題 Cut-free Sequent Calculus for Wansing's Expansion of Nelson's Logic |
| 3. 学会等名 6th Asian Workshop on Philosophical Logic, Hokkaido University (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano and Tomoyuki Yamada |
| 2. 発表標題 Acts of Commanding and Promising in Dynamified Common Sense Term-Sequence-Deontic-Alethic Logic |
| 3. 学会等名 The Third Tsinghua Interdisciplinary Workshop on Logic, Language and Meaning (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 On Artemov and Protopopescu's Intuitionistic Epistemic Logic Expanded with Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 Substructural Logic Workshop in Ishikawa (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano and Hiroakira Ono |
| 2. 発表標題 Analytic Cut and Mints' Symmetric Interpolation Method for Bi-intuitionistic Tense Logic |
| 3. 学会等名 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN MODAL LOGIC (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Analytic Cut and Mints' Symmetric Interpolation Method for Bi-intuitionistic Tense Logic |
| 3. 学会等名 Tsinghua Logic Salon (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Axiomatizing a Simple Logic of the Hide and Seek Game |
| 3. 学会等名 Special Session on Logic and Games (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 On Artemov and Protopopescu's Intuitionistic Epistemic Logic Expanded with Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 Workshop on Foundations of Game Theory: Logic, Bounded Rationality, and Decisions (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 豊岡正庸・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 直観主義論理と古典論理の組み合わせにおけるcollapsing problemと、シークエント計算におけるその回避方法について |
| 3. 学会等名 UNESCO 世界論理デー記念ワークショップ (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Axiomatizing a Simple Logic of the Hide and Seek Game |
| 3. 学会等名 the Second International Workshop on Logics of Multiagent Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Axiomatizing a Simple Logic of the Hide and Seek Game |
| 3. 学会等名 Sapporo Mini-workshop on Non-classical Logic (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 豊岡正庸・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Craig Interpolation for a Sequent Calculus for Combining Intuitionistic and Classical Propositional Logic |
| 3. 学会等名 SOCREAL 2022 (6th International Workshop on Philosophy and Logic of Social Reality) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 豊岡正庸・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Combining First-Order and Classical and Intuitionistic Logic |
| 3. 学会等名 NCL'22: Non-Classical Logics. Theory and Applications 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 秦野亮・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Dynamic Logic of Relation Changers Meets Brouwer |
| 3. 学会等名 SOCREAL 2022 (6th International Workshop on Philosophy and Logic of Social Reality) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 蘇有安・村井涼・佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 On Artemov and Protopopescu's Intuitionistic Epistemic Logic Expanded with Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 The Eighth International Conference on Logic, Rationality and Interaction (LORI-VIII) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takahiro Sawasaki and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Term-Sequence-Dyadic Deontic Logic |
| 3. 学会等名 15th International Conference on Deontic Logic and Normative Systems (DEON 2020/21) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano and Sakiko Yamasaki |
| 2. 発表標題 Subformula property and Craig interpolation theorem of sequent calculi for tense logic |
| 3. 学会等名 Short Talk at ADVANCES IN MODAL LOGIC 2020 (Online) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Goldblatt-Thomason-style Characterization for Intuitionistic Inquisitive Logic |
| 3. 学会等名 ADVANCES IN MODAL LOGIC 2020 (Online) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryo Hatano and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Constructive Dynamic Logic of Relation Changers |
| 3. 学会等名 3rd DaLi; Workshop, Dynamic Logic: New Trends and Applications (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Izumi Takeuti and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Modal Logic and Planarity of Graphs |
| 3. 学会等名 the 5th Asian Workshop on Philosophical Logic (AWPL) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐野勝彦 |
| 2. 発表標題 Incorporating rejection condition into inquisitive semantics |
| 3. 学会等名 第2回ズームコロキウム, 南山大学言語研究センター (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takahiro Sawasaki and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Proof-theoretic Results of Common Sense Modal Predicate Calculi |
| 3. 学会等名 the 5th Asian Workshop on Philosophical Logic (AWPL) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Goldblatt-Thomason theorems for non-classical logics |
| 3. 学会等名 Logic Webinar@ IITK, Department of Mathematics and Statistics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryo Murai and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Intuitionistic Epistemic Logics with Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 Thirteenth Latin American Workshop on New Methods of Reasoning 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Youan Su and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 First-Order Expansion of Intuitionistic Epistemic Logic |
| 3. 学会等名 Fourth Workshop on Mathematical Logic and its Applications (MLA 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Youan Su and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Cut-free and Analytic Sequent Calculus of First-Order Intuitionistic Epistemic Logic |
| 3. 学会等名 SOCREAL 2019: the International Workshop on Philosophy and Logic of Social Reality (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryo Murai and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Sequent Calculi for Multi-Agent Epistemic Logics for Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 SOCREAL 2019: the International Workshop on Philosophy and Logic of Social Reality (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryo Murai |
| 2. 発表標題 On Intuitionistic Epistemic Logic with Distributed Knowledge |
| 3. 学会等名 Workshop CELLO (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Goldblatt-Thomason theorems for non-classical logics |
| 3. 学会等名 16th Asian Logic Conference 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 村井 涼 |
| 2. 発表標題 分散知識オペレータを持つ多エージェント様相論理のシーケント計算 |
| 3. 学会等名 第36回記号論理と情報科学 研究集会 (SLACS 2019) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Su Youan and Katsuhiko Sano |
| 2. 発表標題 Cut-free and Analytic Sequent Calculus of Intuitionistic Epistemic Logic |
| 3. 学会等名 LOGICA2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|----------------------|-----------------|
| 1. 著者名 橋本 雄 | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 北海道大学出版会 | 5. 総ページ数 306 |
| 3. 書名 『再 くりかえす世界』 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| <p>関連する website: ResearchMap (佐野勝彦) https://researchmap.jp/v_sano/ 関連する website: Google Scholar (Katsuhiko Sano) https://scholar.google.co.jp/citations?user=eJ9SSCEAAAAJ&hl=ja 関連する website: 6th Asian Workshop on Philosophical Logic https://sites.google.com/view/awpl2024/home 関連する website: Sapporo Mini-workshop on Non-classical Logic https://sites.google.com/view/sapporo-workshop-logic-2023/home</p> |
|--|

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | タデウシュ リタク (Tadeusz Litak) | | |
| 研究協力者 | 蘇 有安 (Su Youan) | | |
| 研究協力者 | 澤崎 高広 (Takahiro Sawasaki) | | |
| 研究協力者 | 村井 涼 (Murai Ryo) | | |
| 研究協力者 | 豊岡 正庸 (Toyooka Masanobu) | | |
| 研究協力者 | 秦野 亮 (Hatano Ryo) | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

| | |
|--|--------------------|
| 国際研究集会 Sapporo Mini-workshop on Non-classical Logic | 開催年 2023年～2023年 |
| 国際研究集会 6th Asian Workshop on Philosophical Logic | 開催年 2024年～2024年 |

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|---------------------|-----------------------------|--|--|
| 中国 | Tsinghua University | Chinese Academy of Sciences | | |
| オランダ | ユトレヒト大学 | | | |
| ドイツ | エアランゲン・ニュルンベルク大学 | | | |
| 英国 | リーズ大学 | | | |
| インド | インド統計大学、チェンナイ | | | |
| ドイツ | ライプニッツ大学ハノーファー | | | |
| 英国 | リーズ大学 | | | |
| ベルギー | ハッセルト大学 | | | |