

# IBIS 構造を用いた議論エージェントによるナレッジグラフ推論 アーキテクチャの設計

## Designing an Architecture for Knowledge Graph Completion based on Discussion Agents using IBIS Structure

白松 俊<sup>1\*</sup> 張 翔宇<sup>2</sup> 神谷 晃<sup>2</sup> 渡辺 賢<sup>1</sup>  
Shun Shiramatsu<sup>1</sup> Xiangyu Zhang<sup>2</sup> Akira Kamiya<sup>2</sup> Masaru Watanabe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋工業大学大学院工学研究科 情報工学専攻

<sup>2</sup> 名古屋工業大学工学部 情報工学科

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

<sup>2</sup> Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology

**Abstract:** Knowledge Graph Completion Challenge 2018 was held in order to approach to establishing explainable and interpretable artificial intelligence. We designed an architecture for knowledge graph completion based on discussion agents using the structure of IBIS (issue-based information system). The proposed architecture is an extension of our previous works, i.e., systems for supporting consensus building and agents for facilitating discussion on the Web. The IBIS structure is suitable for managing questions, hypotheses, and their evidences because these elements can be represented by nodes in an IBIS structure. Each hypothesis can be explained and evaluated on the basis of descendant nodes.

### 1 はじめに

近年、処理過程の解釈が難しい深層学習などの普及により、システムが判断に至った理由を説明できるような、解釈可能性 (interpretability) を有する人工知能技術の必要性が高まっている。そのような背景のもと、推理小説を題材とした推論を行える解釈可能性の高い推理 AI を募集するコンテスト「第 1 回ナレッジグラフ推論チャレンジ」が開催された [川村 18]。同コンテストでは、シャーロックホームズの推理小説「まだらの紐」が題材とされ、その内容を RDF トリプルで記述したナレッジグラフ [kgr 18] が提供されている。

そのような解釈可能性の高い推論を実現する 1 つのアプローチとして、本稿では複数のエージェントに議論させ、構造化された議論のログを使って説明を出力するという枠組みを提案する。多くの推理小説では真相を言い当てる名探偵役だけでなく、誤った推理を披露する助手役（「サイドキック」等と呼ばれる）を登場させ、複数の仮説について質問・議論しつつ検証するような場面が挿入される。このような議論の場面を挿入することで、読者が事件の背景や推理の過程を解釈しやすくなる効果があると考えられる。小説の読者がス

トーリーを理解する上で、登場人物間での信念や意見の相違が解消されるプロセスが重要であることを指摘した研究 [Noss 07] も存在する。このことから我々は、対立する複数の仮説を用意して質問・議論などの過程を経ることで、解釈可能性の高い推論過程が実現できると考えた。

こうした理由から本稿では、複数の議論エージェントが意見を戦わせて「まだらの紐」の真相を推理するマルチエージェントアーキテクチャを検討する。すなわち、

- 提供されているナレッジグラフに現れる登場人物  $x$  ごとに「 $x$ が犯人」という仮説を立て、その仮説の説明を試みる議論エージェントを割り当てる。
- ファシリテータエージェントが各議論エージェントに仮説の詳細を質問し、各議論エージェントはその質問の答えとなる仮説を生成する。
- 生成された仮説を表す RDF トリプルは、各議論エージェントが保持するナレッジグラフを補完すべく追加される。
- ファシリテータエージェントは各議論エージェントが生成した説明の尤もらしさや整合性を評価し、最終的に評価の高かった説明が出力される。

\*連絡先：名古屋工業大学 白松俊 (名古屋市昭和区御器所町)  
E-mail: siramatu@nitech.ac.jp

といったアーキテクチャを検討する。

## 2 本研究の経緯

このようなエージェント間の議論を前提としたアーキテクチャを検討するもう1つの理由に、これまでの研究経緯がある。われわれはこれまで、市民参加型のWeb議論を対象とした自律的ファシリテータエージェントの研究に取り組んできた [Ikeda 17, 白松 18, Shiramatsu 16]。自然言語テキストで記述された議論内容を、課題やアイデアのノードから成る IBIS (Issue-based Information System) [Kunz 70] と呼ばれる木構造を抽出し、それを用いてファシリテータエージェントが問いかけをするという研究である。IBIS 構造の編集、可視化、Linked Open Data 化のために、IBIS CREATOR [神谷 18] という Web アプリケーションを実装し、Linked Open Data チャレンジ 2018 へ出品した。

この一連の研究の新しい方向性として、ファシリテータだけでなく議論参加者にも自律的エージェントが混ざるようなアーキテクチャを検討したい。本稿ではそのような方向性を検討する題材として、ナレッジグラフ推論チャレンジの推理タスクを扱うことにした。

## 3 議論エージェントに基づくアーキテクチャ

冒頭でも概要を示したが、議論エージェントによる推理の手順を以下に示す。

1. あらかじめ、ナレッジグラフ  $G$  に必要な常識的知識を追加しておく。
2. ナレッジグラフ  $G$  中で死亡した犠牲者  $v$  ごとに、犯人を問う Issue ノードを IBIS 構造に追加する (図 1)。

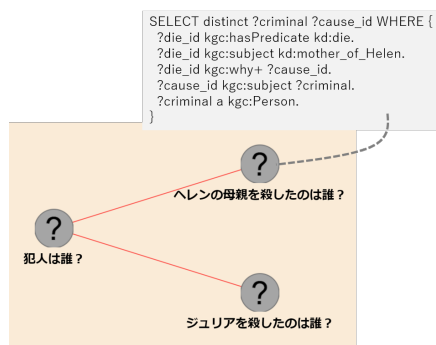


図 1: 最初期の IBIS ノード

3. 「犯人  $x$  が犠牲者  $v$  を殺した」という複数の仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  を生成。これは死亡者  $v$  の集合と登場人物  $x$  の集合の直積 (つまり組み合わせ) から生成される。その仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  を IBIS 構造のアイデアノードとして追加する (図 2)。

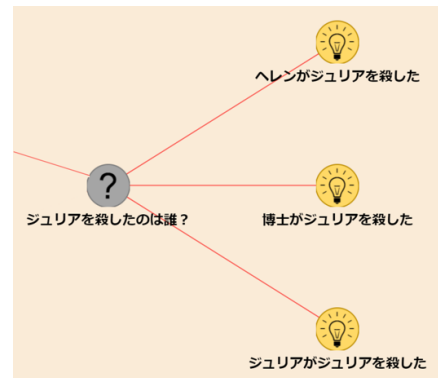


図 2: 仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  の追加

4. 各仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  ごとに、その仮説を導出する説明を試みる議論エージェント  $d(v, x)$  を割り当てる。また、議論エージェント  $d(v, x)$  の知識  $G_{v, x}$  に、上記 1. で常識を補完したナレッジグラフ  $G$  をコピーした上で仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  を追加する。
5. 1つのファシリテータエージェントが、すべての仮説に「どのように  $x$  が  $v$  を殺したのか?」「 $x$  は  $v$  を殺すと何を得るか?」を問いかける。すなわち、IBIS 構造に図 3 のような Issue ノードを追加する。

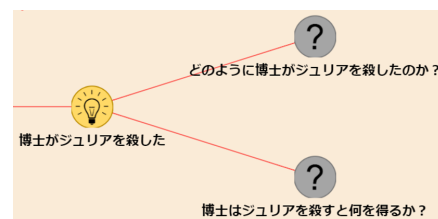


図 3: 仮説への問いかけ (Issue ノードの追加)

6. 議論エージェント  $d(v, x)$  はそれぞれ、「どのように殺したか」に対する仮説  $\text{how}(v, x)$ 、「殺すと何を得るか」に対する仮説  $\text{gain}(v, x)$  をそれぞれ仮説推論などにより生成を試み、生成できた場合は追加する。その過程で、仮説  $\text{how}(v, x)$ 、 $\text{gain}(v, x)$  を支持する説明を生成し、 $G_{v, x}$  および IBIS 構造に追加する。

7. 議論エージェント  $d(v, x)$  はそれぞれ,  $x$  以外を犯人とみなす仮説  $\text{isKilledBy}(v', x')$  の反証を試みる. すなわち, 仮説  $\text{how}(v', x')$ ,  $\text{gain}(v', x')$  に対する反対意見の生成を試み, 生成できた場合は  $G_{v', x'}$  および IBIS 構造に追加する.
8. ファシリテータエージェントは, 仮説  $\text{isKilledBy}(v, x)$  に対応する  $G_{v, x}$  について, 整合性スコア  $\text{cnsstncy}(v, x)$  を評価する.
9. ファシリテータエージェントは, 被害者  $v$  ごとに整合性スコア  $\text{cnsstncy}(v, x)$  を最大化する犯人候補  $x_v = \arg \max_x \{\text{cnsstncy}(v, x)\}$  を真犯人として選択する.
10. 仮説が選ばれた議論エージェント  $d(v, x_v)$  は, 被害者  $v$  ごとに真犯人が  $x_v$  であることを説明するため, 上記 6. で生成された仮説  $\text{isKilledBy}(v, x_v)$  を支持する説明を出力する.

ここで, 全ての犠牲者  $v$  について犯人が共通であると仮定するか否かという選択肢について考察する. 上記の手順では, 被害者  $v$  ごとに犯人が  $x_v$  であることの説明を試みており, 必ずしも共通の犯人が被害者全員を殺したという仮定を置かない手順となっている.

もし, 共通の犯人  $x$  が被害者全員を殺したという仮定を置く場合, 「誰が殺したのか」という問いは以下のような SPARQL として表現できる.

```
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX kgc:
  <http://kgc.knowledge-graph.jp/ontology/kgc.owl#>
PREFIX kd:
  <http://kgc.knowledge-graph.jp/data/SpeckledBand/>
SELECT distinct ?x ?cause_id WHERE {
  ?die_id kgc:hasPredicate kd:die.
  ?die_id kgc:why+ ?cause_id.
  ?cause_id kgc:subject ?x.
  ?x rdfs:type kgc:Person.
}
```

これは, 犯人  $x$  が何らかの動作を起こし, 被害者が死ぬまでの過程 (すなわち, どのように殺したか) を  $\text{kgc:why}$  の連鎖によって表すことを想定し, プロパティパス  $\text{kgc:why+}$  を用いたクエリである. 議論エージェントが「どのように殺したか」に関する仮説として  $\text{kgc:why}$  の連鎖を生成できていれば, このクエリで犯人  $x$  を検索できるはずである. ここで想定するのは, 図 4 のような  $\text{kgc:why}$  の連鎖である.

一方, 共通の犯人  $x$  が被害者全員を殺したという仮定を置かない場合, 「誰が  $v$  を殺したのか」という問いは以下のような SPARQL として表現できる.

```
SELECT distinct ?v ?x ?cause_id WHERE {
  ?die_id kgc:hasPredicate kd:die.
  ?die_id kgc:subject ?v.
  ?die_id kgc:why+ ?cause_id.
```

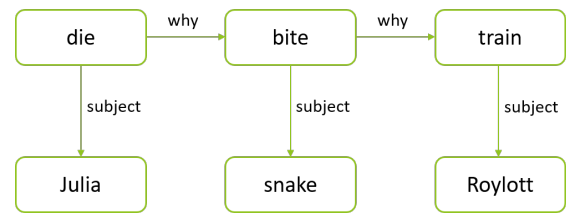


図 4: 「どのように殺したか」という仮説を表す  $\text{kgc:why}$  の連鎖

```
?cause_id kgc:subject ?x.
?x rdfs:type kgc:Person.
}
```

上述した手順 8. では, 各議論エージェントが保持するナレッジグラフ  $G_{v, x}$  ごとに整合性スコアを算出していたが, 共通の犯人  $x$  を仮定しない場合, 全ての犠牲者  $v$  を通じた整合性の検証も必要となるだろう. これについては, 今後の課題としたい.

ちなみに, 「ナレッジグラフ推論チャレンジ」では, 小説のどこまでの情報で推論するかについて 3 パターンの条件が存在する. 条件「a 完全」「b 不完全 (10%)」の場合,  $\text{kd:die}$  の主語となっている犠牲者  $v$  は  $\text{kd:Julia}$ ,  $\text{kd:mother_of_Helen}$ ,  $\text{kd:Roylott}$  の 3 人となる. 一方, 最も厳しい条件「c 不完全 (25%)」の場合,  $\text{kd:die}$  の主語となっている犠牲者  $v$  は  $\text{kd:Julia}$ ,  $\text{kd:mother_of_Helen}$  の 2 人となる.

## 4 まとめと今後の展望

「ナレッジグラフ推論チャレンジ」で出題された解釈可能な推論過程を, IBIS 構造に基づく議論エージェントで実現するためのアーキテクチャを検討した. 本稿で検討したアイデアは, ナレッジグラフ推論チャレンジのアイデア部門に応募した. 本アイデアの推論過程は未実装であり,  $\text{how}(v, x)$  や  $\text{gain}(v, x)$  をどのような仮説推論アルゴリズムによって生成するのかも未検討であるため, 今後の課題となる. また, 全ての犠牲者を通じた整合性検証手法についても検討が充分でないため, 今後の改良が必要である.

本稿で提案したアーキテクチャを実装できれば, われわれがこれまでに行ってきた IBIS 構造に基づく議論支援研究に活かせるような, 新たな知見が得られる可能性があると考えている. すなわち, 人間の議論に混じって仮説を提示し, 議論が足りていない箇所を補完するようなエージェントに活かせる可能性がある. 今後は, そのような可能性も視野に入れて実装を進める予定である.

## 謝辞

本研究の一部は JST CREST (JPMJCR15E1) および科研費 (17K00461) の支援を受けた。

## 参考文献

- [Ikeda 17] Ikeda, Y. and Shiramatsu, S.: Generating Questions Asked by Facilitator Agents Using Preceding Context in Web-based Discussion, in *Proceedings of the 2nd IEEE International conference on Agents*, pp. 127–132 (2017)
- [kgr 18] 「まだらの紐」(SpeckledBand) のナレッジグラフ, <https://github.com/KnowledgeGraphJapan/Challenge/tree/master/rdf/SpeckledBand> (2018 年 11 月 19 日閲覧) (2018)
- [Kunz 70] Kunz, W. and Rittel, H. W.: *Issues as elements of information systems*, Vol. 131, Citeseer (1970)
- [Noss 07] Noss, J. M.: *Who knows what?: perspective-enabled story understanding*, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology (2007)
- [Shiramatsu 16] Shiramatsu, S., Nishida, T., Ito, T., and Fujita, K.: Feature Expression Extraction from Discussion Facilitators' Utterances in Web-Based Forum System towards Autonomous Facilitator Agents, in *Proceedings of the 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, pp. 687–691 (2016)
- [神谷 18] 神谷 晃, 白松 俊, 内藤 勝太, 年岡 晃一: IBIS CREATOR, <http://idea.linkdata.org/idea/idea1s2697i>, [http://lod.srmt.nitech.ac.jp/IBIS\\_creator/](http://lod.srmt.nitech.ac.jp/IBIS_creator/) (ともに 2018 年 11 月 19 日閲覧) (2018)
- [川村 18] 川村 隆浩, 江上 周作, 長野 伸一, 大向 一輝, 森田 武史, 山本 泰智, 古崎 晃司: 第 1 回ナレッジグラフ推論チャレンジ 2018 –解釈可能な人工知能を目指して–, 2018 年度人工知能学会全国大会 (第 32 回) 論文集 (2018)
- [白松 18] 白松 俊, 池田 雄人, 北川 晃, 幸浦 弘昂, 伊藤 孝行: 自律的ファシリテータエージェントのための内容とプロセスを考慮した議論文脈理解モデルの検討, 2018 年度人工知能学会全国大会 (第 32 回) 論文集 (2018)