Vol.2019-ICS-195 No.15
2019/3/18

不完全情報下でのマルチエージェント議論で起こりうるエージェントによる議論の弁護の委託を考慮する形式議論理論

蟻坂　竜大[1,a)]　伊藤 孝行[1,b)]

概要：不完全情報下での議論では、議論エージェントが自身の議論の弁護を行う上で必要な議論を持ち合わせないということが起こることがあり、その場合別のエージェントに議論の弁護を委託することがある。そうした弁護の委託が議論エージェントの最終的な議論容認判断に与える影響を形式的に表現する研究は進んでいない。本発表では、議論の委託を扱う認識的なエージェント間においての議論理論を提案する。Acceptability Semantics(容認意味論) も考察する。

不完全情報下でのマルチエージェント議論で起こりうるエージェントによる議論の弁護の委託を考慮する形式議論理論 (version 2019/2/7)

1. はじめに

本発表はおおよそ以前に発表した研究 [1] を日本語訳したものである。ただこのセクション中で用いた例が異なる場合がある。また、形式議論の基礎的な原理は [1] では周知のものとされているが、ここでは若干の説明も添えてある。まず、Dung の理論 [6] においては、議論はノードとエッジからなるグラフであり、ノードは argument、エッジは攻撃と呼ばれる。理論の目的は、与えられたグラフ中のどのノードが受け入れられるかをノード間の攻撃関係より推論することであり、その決定に係る基準はいくつかある。議論の acceptability semantics といった時には、ある基準に基づいて得られる全ての “ノードの集合” を指す。一番汎用的であると思われる acceptability semantics は complete semantics であり、その中の最大構成員から成る preferred semantics もよく用いられる。complete semantics の集合の構成員を列記するための簡便な基準は以下の通りである。[5]

（1） 各 argument は受け入れられない、もしくは受け入れられる、もしくは未定に分類される。

（2） argument に攻撃をする全ての argument が受け入れられないならばその argument は受け入れられる。逆も然りである。

（3） argument に攻撃をする argument のうち一つでも受け入れられる argument があれば、その argument は受け入れられない。逆も然りである。

この基準に沿って受け入れられるに分類される全ての argument の集合の集合が complete semantics となる。注意が必要な点は、与えられたグラフ内の全ての argument が受け入れられるか、受け入れられないか、に 2 分されることは必然ではなく、どちらか未定となる場合もある。argument a_1, a_2 が互いに攻撃し合っている場合などであり、その場合 complete semantics は $\{\{a_1\}, \{a_2\}, \{\}\}$ となる。空集合は他の構成員に含まれるため、preferred semantics は $\{\{a_1\}, \{a_2\}\}$ となる。前置きは以上となる。

さて、現実の議論ではエージェントが自身の argument の弁護を行う上で必要な argument を持ち合わせていないために他のエージェントに弁護の委託を行うことがある。例えばであるが、

（1） (e_1 社) いくつかの事業に投資をしようと思う。(argument a_1)

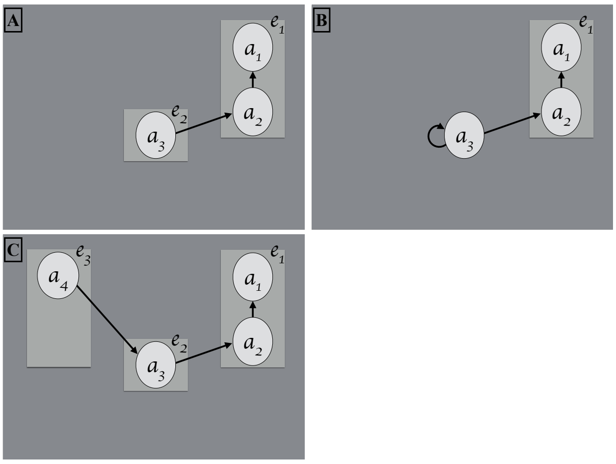
（2） (e_1 社) しかし、計画性のない事業には投資しない。

[1] 名古屋工業大学
Gokisocho, Showa Ward, Nagoya 466-8555
[a)] ryutaarisaka@gmail.com
[b)] ito.takayuki@nitech.ac.jp

(argument a_2)

(3) (e_2 社) XXX という事業を計画しています。具体的な計画は YYY となり、実現可能です。(argument a_3)

といった三つの argument が提示されているとする。これらの argument また argument の間の攻撃の関係は$\boxed{\text{A}}$に示す通りとなり、a_2 は a_1 を攻撃し、a_3 は a_2 を攻撃する。



現段階で e_1 は e_2 の事業に関しての知識を持ち合わせないとする。その場合、e_1 社からすると、仮に e_2 社の a_3 が受け入れられるとすると、a_3 は a_2 に対する反論攻撃となり a_1 を弁護する。このため e_1 社は e_2 社への投資を行うことになる。だが、e_2 社の計画には不備があるかもしれない。その場合には e_1 は当然 a_3 を受け入れず、a_2 を主張し、a_1 を受け入れない。しかし、どちらであるか e_1 社は自身で判別不能であるので、結局用心深く考慮すれば a_3 を受け入れるか受け入れないかを$\boxed{\text{B}}$におけるように a_3 に self-attack を付与することによって未定とするのが賢明な判断となる。Dung の complete semantics では a_1, a_2, a_3 のいずれも受け入れるか入れないか未定となる。

しかし、e_1 は e_2 の計画が実現可能であるか、つまり a_3 に対する反論攻撃、をその事業に精通する業者に委託することができるかもしれない。例えば$\boxed{\text{A}}$が$\boxed{\text{C}}$に示す通り、e_3 社また

(1) (e_3 社) e_2 社はまず第一に経営破綻の危機に際しており、また計画された事業を遂行するのに十分な技術力がない。(argument a_4)

という argument で拡張されたとする。この場合 e_1 は e_3 に e_2 の主張である a_3 を反論攻撃できるか尋ねることもできる。依頼を受け、受託者である e_3 は e_1 に a_3 は (a_4 により) 反論攻撃できることを伝え、それにより e_1 は a_3 を受け入れられないもの、a_2 を受け入れられるものとし、結果として a_1 を受け入れず e_2 社に投資しない。

1.1 委託に際する議論の共有の有無

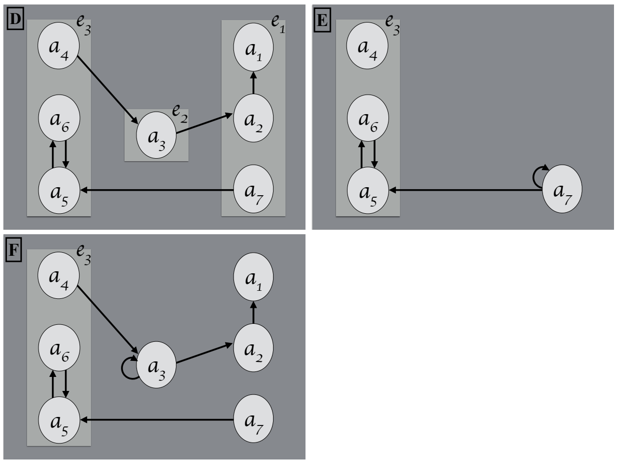
こうした弁護の委託を考慮する場合、委託者が自身の情報、つまりこの場合自身の議論、を受託者に共有するかどうかも重要となる。共有する場合、受託者は依頼された弁護を行う際に自身の議論より多くの情報を用いることが出来る。そのため、議論の共有は受託者のより正確な判断を可能とする。一方で、共有された情報を受託者が利用出来るということは委託者にとっては必ずしも都合の良いものではない。例えば、$\boxed{\text{C}}$が$\boxed{\text{D}}$に示すように以下の argument:

(1) (e_3 社) e_1 の社債を投資家に推奨する。(argument a_5)

(2) (e_3 社) e_4 の社債を投資家に推奨する。(argument a_6)

(3) (e_1 社) 我が社の経営状況は非常に悪化している。(argument a_7)

で拡張されたとする。



ここで e_3 は e_1 からの弁護委託に対して a_3 は反論可能であると報告をするに至ることは共有の有無によらない。しかし、情報共有の影響を考察すると、e_1 が e_3 に自身の議論を共有しない場合には e_3 が把握する用いることのできるローカル議論は$\boxed{\text{E}}$に示す通りであり、e_3 は e_1 の経営状況の悪化を耳にしているものの、裏付けがないのでその情報を確かなものとすることはできない。そのため、complete semantics に従うと e_3 は e_1 の社債を推奨しないかもしれないが、e_4 の社債も e_1 の社債との比較で特に強く推奨しないかもしれない。情報が共有される場合、その状況は変わり、e_3 の用いるローカル議論は$\boxed{\text{F}}$に示す通りとなり、e_1 の経営状況は e_3 に明らかとなり、e_3 は e_1 の社債を推奨しない、また e_4 の社債を推奨する。

1.2 弁護の伝搬

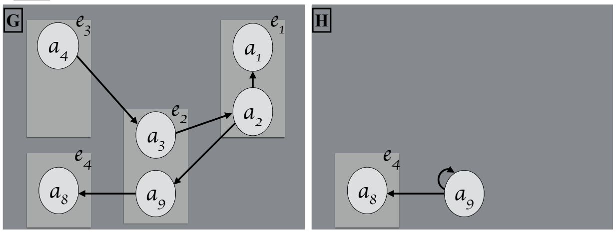
エージェントは自身のローカル議論の argument のうち、自身で弁護できるもの、また受託者が弁護するものも受け入れることができる。これらの argument は、そのエージェントへ弁護を委託するエージェントの argument の弁護にも使用できる。$\boxed{\text{G}}$のように$\boxed{\text{C}}$に e_4 また以下の argument を伴う議論を仮定してみたい。

(1) (e_4 社) 我が社は短期間での建設に特化しているが、資

本金が十分な会社とのみ契約取引を行う。よって e_2 とは取引しない。(argument a_8)

(2) (e_2 社) 我が社は e_1 から融資を受けることが既に決定している。(argument a_9)

e_4 が非共有で弁護を委託するとすると、e_4 のローカル議論は $\boxed{\mathrm{H}}$ の通りとなる。



e_4 は e_2 が本当に融資を受けるのか確かではないので、e_1 に a_9 に対する反論攻撃、つまり a_8 の弁護、を委託する。依頼を受けた e_1 は既に e_3 によって弁護された a_2 を用いて a_9 を攻撃するので、a_8 が受け入れられることになり、結果として e_4 は e_2 と取引しない。

1.3 本論文の目的

不完全情報下であり、その中でエージェント間の interaction が起こるようなマルチエージェント議論では、エージェントの受け入れる argument の数が弁護の委託を通して増加しうる。本論文では委託者 – 受託者というエージェント間の関係、また情報の共有の有無を考慮する議論理論を定義し、ミスコミュニケーションを例を通して表現し、acceptability semantics をローカル、グローバル共に定義する。しかしながら、こういったエージェントの interaction がややテクニカルであることも踏まえ、本論文では扱う acceptability semantics は preferred semantics に限定する。

2. 背景

$\mathscr{A}$ はある抽象存在のクラスとする。構成員は argument と呼び、a または a に subscript を足したもので参照する。有限な下集合は A または A に subscript を足したもので参照する。この subscript に係る決まりは他のどの集合の構成員を参照する記号にも適用するものとし、以降特に明示しない。有限な議論フレームワーク [6] は (A,R) と定められ、R は $A \times A$ とする。$\mathscr{F}^{\mathsf{Dung}}$ は全ての有限な議論フレームワークの集合とし、その構成員は F^{Dung} で参照する. ある (A,R) に対し、$2^{(A,R)}$ により $\{(A_1,R_1) \mid A_1 \subseteq A, R_1 \subseteq (R \cap (A_1 \times A_1))\}$、つまり (A,R) の全ての下位議論フレームワークを表す。

任意の $F^{\mathsf{Dung}} \equiv (A,R)$ について, $a_1 \in A$ は $a_2 \in A$ を攻撃する、という表現は $(a_1,a_2) \in R$ と同義とする。$A_1 \subseteq A$ が $a_x \in A$ を弁護する、という表現は a_x を攻撃するいかなる $a_y \in A$ も A_1 の少なくとも一つの構成員により攻撃されることと同義とする。argument の集合が argument の集合を攻撃する、という表現は前者の集合の構成員が後者の集合の構成員を攻撃することと同義とする。$A_1 \subseteq A$ は対立しない、という表現は A_1 が A_1 を攻撃しないことと同義とする。$A_1 \subseteq A$ が admissible である、という表現は A_1 が対立しない、かつ全ての構成員を弁護することと同義とする。$A_1 \subseteq A$ が complete である、という表現は A_1 が admissible で自らが弁護する全ての argument を含有することと同義とする。$A_1 \subseteq A$ が preferred である、という表現は A_1 が complete で他の complete な集合の厳密な下集合でないことと同義とする。$A_1 \subseteq A$ が grounded である、という表現は A_1 が全ての complete 集合の set intersection であることと同義とする。

尚、本論文では $2^{2^{\mathscr{A}}}$ という集合が頻繁に参照されるため、ES は $2^{2^{\mathscr{A}}}$ を表すものとする。

α は $\{\mathsf{co},\mathsf{pr},\mathsf{gr}\}$ の構成員とする。$\mathsf{D}: \{\mathsf{co},\mathsf{pr},\mathsf{gr}\} \times \mathscr{F}^{\mathsf{Dung}} \to \mathsf{ES}$ は $\mathsf{D}(\alpha, F^{\mathsf{Dung}})$ が F^{Dung} の全ての complete な集合 $(\alpha = \mathsf{co})$、全ての preferred な集合 $(\alpha = \mathsf{pr})$、全ての grounded な集合 $(\alpha = \mathsf{gr})$ となるものと定める。但し、前述のように本論文では $\alpha = \mathsf{pr}$ の場合のみ扱う。$\mathsf{D}(\mathsf{pr}, F^{\mathsf{Dung}})$ を preferred semantics と呼ぶ。

2.1 Abstract agent argumentation (Triple-A)

Triple-A[3] はエージェントの自主性を認識し、エージェントが自身の意味論を他のエージェントの意味論に合わせて調整することの表現ができる。形式的には以下の通りとなる。$\mathscr{E}$ をエージェントのクラスとする。その構成員を e で参照し、その有限な下集合を E で参照する。

Triple-A フレームワークは (A,R,E,Src) で表されるとし、ここで Src は $A \to E$ とする。全ての Triple-A フレームワークから成るクラスは $\mathscr{F}^{\mathsf{AAA}}$ で表し、その構成員は F^{AAA} で参照する。$F^{\mathsf{AAA}} \equiv (A,R,E,Src)$ また $E_1 \subseteq E$ において, A_{E_1} で $\{a \in A \mid \exists e \in E_1.Src(a) = e\}$ を表すものとする。$E_1 \subseteq E$ について、$a \in A \backslash A_{E_1}$ が A_{E_1} を攻撃することがある。そういった、A_{E_1} には属さないが、ある $a \in A_{E_1}$ を攻撃する argument は A_{E_1} に対する input argument[3], [4] と呼ばれる。I_{E_1} は A_{E_1} に対する全ての input argument で構成されるものとする。

2.1.1 Semantics

任意の $F^{\mathsf{AAA}} \equiv (A,R,E,Src)$ また任意の $E_1 \subseteq E$ について, $\mathscr{X}: 2^{\mathscr{E}} \times \mathscr{F}^{\mathsf{AAA}} \to \mathscr{F}^{\mathsf{Dung}}$ は $\mathscr{X}(E_1, F^{\mathsf{AAA}}) = (A_{E_1}, R \cap (A_{E_1} \times A_{E_1}))$ を満たすものとする。F^{AAA} において $e \in E$ が把握する議論は以下の三つを合わせて得られる議論フレームワークとする。(1) $\mathscr{X}(\{e\}, F^{\mathsf{AAA}})$. (2) $I_{\{e\}}$ の下集合である $J_{\{e\}}$. (3) $R \cap (J_{\{e\}} \times A_{\{e\}})$. e が把握する F_e^{AAA} においての $e \in E$ のローカル semantics は以下の要件を満たす F_e^{AAA} の下位議論フレームワークの集合 Γ とする。**要件：全ての Γ の構成員の preferred semantics は F_e^{AAA} の preferred semantics と一致する。**

各エージェントは自身のローカル semantics の構成員を自

身の基準で選ぶ。その基準であるが、unaware なエージェントは単に $\mathscr{X}(\{e\},F^{\mathsf{AAA}})$ に基づいて選ぶ。つまり、unaware エージェントにとっては $J_{\{e\}}$ は常に $\emptyset$ である。対照的に、aware エージェントは $J_{\{e\}}$ が他のエージェントが選ぶローカル semantics に含まれる input argument の全てで構成される集合とする。そのため、aware エージェントのローカル semantics は他のエージェントのローカル semantics に依存する。

3. 委託者 – 受託者の関係を擁するマルチエージェント議論理論

S は $\{\mathsf{relegate},\mathsf{share}\}$ を表すものとする。s は S の構成員を参照する。本論文で提唱するマルチエージェント議論フレームワークは (A,R,E,Src,B) で表し、Triple-A を $B:E\times E\times S$ で拡張する。ここで B は全ての $e\in E$ について $(e,e,\mathsf{share})\in B$ を満たすものとする。$\mathscr{F}$ は全てのマルチエージェント議論フレームワークを含むクラスとし、F はその構成員を参照するものとする。

定義 *1* (使用可能な *argument*) $\sigma:\mathscr{F}\times\mathscr{E}\rightarrow 2^{\mathscr{A}}$ は任意の $e_1\in E$ について $\sigma((A,R,E,Src,B),e_1)=\cup\{A_{\{e_2\}}\subseteq A\mid(e_2,e_1,\mathit{share})\in B\}$ を満たすものとする。$e_1\in E$ について、$\sigma((A,R,E,Src,B),e_1)$ は e_1 が使用可能な議論とする。

以降、$\sigma(F,e)$ を $\sigma^F(e)$ と簡略的に示す。また、他の function についても同様にこのようなルールを適用するものとし、特に断りを入れない。

$\sigma^F(e)$ が与えられた時にそこに argument をシェアしたエージェントの集合を得るために、$\rho:\mathscr{F}\times 2^{\mathscr{A}}\rightarrow 2^{\mathscr{E}}$ という function を定め、任意の $A_x\subseteq A$ について $\rho((A,R,E,Src,B),A_x)=\{e\in E\mid A_{\{e\}}\cap A_x\neq\emptyset\}$ を満たすものとする。

定義 *2* (受託エージェント) $\psi:\mathscr{F}\times\mathscr{E}\rightarrow 2^{\mathscr{E}}$ は任意の $e_1\in E$ について $\psi((A,R,E,Src,B),e_1)=\{e_2\in E\mid(e_1,e_2,s)\in B\ \mathit{and}\ e_1\neq e_2\}$ を満たすものとする。任意の $F\equiv(A,R,E,Src,B)$ について、$e\in E$ と仮定した場合、(A,R,E,Src,B) において $e_x\in\psi^F(e)$ を e の受託エージェントとする。F において e が e_x にとっての委託エージェントであるという表現は F において e_x が e の受託エージェントであることと同義とする。

3.1 エージェントモデル

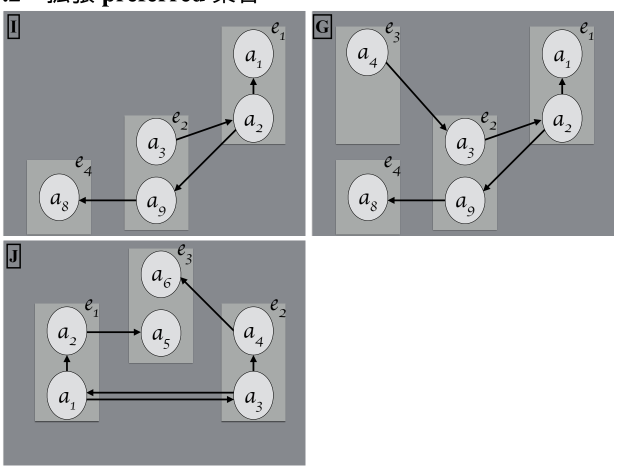
$\boxed{\mathrm{B}}$もしくは$\boxed{\mathrm{E}}\boxed{\mathrm{F}}$もしくは$\boxed{\mathrm{H}}$が e_1 もしくは e_3 もしくは e_4 の$\boxed{\mathrm{A}}$もしくは$\boxed{\mathrm{D}}$もしくは$\boxed{\mathrm{G}}$においての使用可能な議論であったことを思い出していただきたい。本論文のエージェントモデルでは、各エージェント e は $I_{\sigma^F(e)}$ に属する全ての argument に self-attack を足すことによって、$\sigma^F(e)$ にそれらを攻撃する argument がない場合には、それらから攻撃を受ける使用可能な議論の argument が受け入れられるか受け入れられないかは e のローカル議論においては、セクション 1 の通りに未決定の状態となると定める。ここで $(A_1,R_1)\cup(A_2,R_2)$ は $(A_1\cup A_2,R_1\cup R_2)$ を意味するものとする。

定義 *3* (ローカル議論フレームワーク) $\mathscr{I}:\mathscr{F}\times 2^{\mathscr{A}}\rightarrow 2^{\mathscr{A}\times\mathscr{A}}$ は $\mathscr{I}((A,R,E,Src,B),A_x)=\{(a_x,a_x)\mid a_x\in A_x\}\ \mathit{for}\ A_x\subseteq A$ を満たすものとする。$\mathscr{Y}:\mathscr{F}\times\mathscr{E}\rightarrow 2^{\mathscr{A}}\times 2^{\mathscr{A}\times\mathscr{A}}$ は、任意の $\mathscr{F}\equiv(A,R,E,Src,B)$ また任意の $e\in E$ について，$\mathscr{Y}^F(e)=(A_x,R_x)\cup\mathscr{X}(\rho^F(\sigma^F(e)),(A,R,E,Src))$ *($\mathscr{X}$ についてはセクション 2 を参照)* を満たすものとする。ここで $A_x\equiv I_{\rho^F(\sigma^F(e))}$ また $R_x\equiv(R\cap(\sigma^F(e)\times A_x))\cup(R\cap(A_x\times\sigma^F(e)))\cup\mathscr{I}^F(A_x)$ とする。$\mathscr{Y}^F(e)$ を F における e のローカル議論フレームワークと呼ぶ。

例 *1* (ローカル議論フレームワーク) $\boxed{D}$ の議論フレームワークを F_1 とおく。B_1 は $\bigcup_{i\in\{1,2,3\}}\{(e_i,e_i,\mathit{share})\}\cup(e_1,e_3,\mathit{share})$ を指すものとする。また、F_1^{AAA} は (A_1,R_1,E_1,Src_1) を指すものとする。このとき、$\sigma^{F_1}(e_3)=\{a_1,a_2,a_4,a_5,a_6,a_7\}$, $I_{\rho^{F_1}(\sigma^{F_1}(e_3))}=\{a_3\}$, また $\mathscr{X}(\rho^{F_1}(\sigma^{F_1}(e_3)),F_1^{AAA})=(\{a_1,a_2,a_4,a_5,a_6,a_7\},\{(a_2,a_1),(a_5,a_6),(a_6,a_5),(a_7,a_5)\})$ となる。であるから $\mathscr{Y}^{F_1}(e_3)=(\{a_1,a_2,a_4,a_5,a_6,a_7\}\cup\{a_3\},\{(a_2,a_1),(a_5,a_6),(a_6,a_5),(a_7,a_5)\}\cup\{(a_4,a_3)\}\cup\{(a_3,a_4)\}\cup\{(a_3,a_3)\})$ となる。

セクション 1 では、エージェントは自身の argument を弁護の委託によっても受け入れることができること、またそうして間接的に弁護された argument を用いて自身を含む他のエージェントの argument の弁護を行うことができることにも触れた。ここで、その詳細を形式的にまとめる。

3.2 拡張 preferred 集合



$\boxed{\mathrm{I}}$の議論フレームワークを $F_2\equiv(A_2,R_2,E_2,Src_2,B_2)$ で指す。$B_2\equiv\bigcup_{i\in\{1,2,4\}}(e_i,e_i,\mathsf{share})\cup(e_4,e_1,\mathsf{relegate})$ とし、e_4 は e_1 に議論弁護を委託する、と仮定する。

ここで、仮に受託者が自身のローカル議論フレームワークの内のいずれの argument をも用いて委託者の議論弁護を行うことができるとすると、e_1 は a_2 があるため、a_9 を攻撃できると報告すればよいだけだが、e_1 自身が $\mathscr{Y}^{F_2}(e_1)$ において a_2 は $a_3 \in I_{\{e_1\}}$ からの攻撃により弁護されないとわかっているので、その判断は合理的でない。

そのため、エージェントが委託エージェントの弁護に使用できる argument の集合は弁護されたもの、とりわけ、本論文では preferred semantics のみを扱っているので、最大限に弁護されたものであるべきである。

ではあるが、Dung による弁護の定義 (セクション２参照) は本論文の趣旨に沿ってみれば若干限定されすぎるきらいもある。$\boxed{\mathrm{G}}$の議論フレームワークを $F_3 \equiv (A_3, R_3, E_3, Src_3, B_3)$ を指すことにする。$B_3 \equiv \bigcup_{1 \leq i \leq 4}\{(e_i, e_i, \mathsf{share})\} \cup \{(e_1, e_3, \mathsf{relegate}), (e_4, e_1, \mathsf{relegate})\}$ とすると、e_1 の a_2 は、a_2 を攻撃する唯一の argument が $A_{\{e_3\}}$ 内で最大限弁護された集合の構成員である a_4 により攻撃されるために、e_1 の受託者である e_3 により弁護される。しかし、$a_4 \not\in \mathscr{Y}^{F_3}(e_1)$ が成り立つため、F_3 における e_1 のローカル議論フレームワークにおいては a_2 は Dung の弁護の定義によっては弁護されない。よって、その制約を緩めることが必要になる。

定義 *4* *(*条件付き弁護*)* 任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ また任意の $A_1 \subseteq A$ において, $A_1 \subseteq A$ は $A_2 \subseteq A_1$ が弁護されるという前提で弁護される、というとき、以下の二つの条件が満たされることと同義とする。*(1)* 全ての A_1 を攻撃するが A_2 は攻撃しない $a_y \in A$ は A_1 により攻撃される。*(2)* A_1 が $A_3 \subseteq A_1$ が弁護される前提で弁護されるとき、A_3 は A_2 の厳密な下集合でない。

A_1 は $A_2 \subseteq A_1$ が弁護される前提で弁護されるとき、必ず A_2 が Dung による定義で弁護されるという前提で、つまり A_2 を攻撃する argument が全て攻撃されるという前提で、A_1 は Dung による定義で弁護される。例えば、$\mathscr{F}_3$ 内の $\{a_3, a_9\}$ は $\{a_3\}$ が弁護される前提で弁護される。仮に A_1 が Dung の定義で弁護されるならば、A_1 は $\emptyset$ が弁護されるという前提で弁護される。条件付き弁護を用いて以下を定める。

定義 *5* *(*拡張 *preferred* 集合*)* 任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ において, $A_x \subseteq A$ は $e \in E$ にとっての拡張 *preferred* 集合となる、という表現は以下の条件が満たされることと同義とする。

- $A_x \subseteq \sigma^F(e)$ ***(Cover)***
- A_x は対立しない。***(Conflict-freeness)***
- 以下を満たすような $A_z \in D(pr, \mathscr{Y}^F(e))$ が存在する。
  - $A_z \subseteq A_x$ ***(Extension)***.
  - A_x の厳密な上集合でなおかつ対立しない $A_y \subseteq \sigma^F(e)$ が対立せずかつ $A_u \subseteq (A_x \backslash A_z)$ が弁護される前提で弁護されることはない。***(Maximality)***.

定理 *1* 任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$、任意の $e \in E$、また任意の $A_x \in D(pr, \mathscr{Y}^F(e))$ について、A_x は e の拡張 *preferred* 集合である。

3.3 拡張 preferred 集合の拡大

セクション 1.2 では議論の弁護が起こるにつれてエージェントのローカル議論フレームワーク中で弁護される argument が増えることを観察した。現段階で、既にどのローカル議論フレームワーク中の argument 集合が拡張 preferred 集合であるか判るわけだが、それに加えてどういう仕組みで小さな拡張 preferred 集合が拡大するのかも定義する必要がある。

定義 *6* *(*ポジション*)* IES は $\mathscr{E} \times \mathit{ES}$ *(indexed ES)* を指すものとする。Φ は 2^{IES} を指すものとする。Φ の構成員は Σ で参照する。任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ について、$\Sigma \in \Phi$ は $\mathscr{F}$ においてのポジションである、ということは全ての $e_x \in E$ について、$\Gamma_x \in \mathit{ES}$ が e_x の拡張 *prefrred* 集合の集合である場合には (e_x, Γ_x) を含むが、それ以外は含まない集合とする。Σ が $\mathscr{F}$ においての初期ポジションである、ということは $\bigcup_{e \in E}\{(e, D(pr, \mathscr{Y}^F(e)))\} = \Sigma$ が満たされることと同義であるとする。

$\varsigma : \mathscr{E} \times \Phi \to \mathit{ES}$ は、以下を満たすものとする。$\varsigma(e, \Sigma) = \Gamma$ が成り立つ時 $(e, \Gamma) \in \Sigma$ が成り立ち、逆も然りである。任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$、任意の F においてのポジション Σ また任意の $e \in E$ について、$\varsigma(e, \Sigma)$ を e の Σ におけるコレクションと呼ぶ。

Φ' を以下の要件を満たす Φ のサブクラスとする。要件:$\varsigma(e, \Sigma)$ が Σ で起こる全ての $e \in \mathscr{E}$ についてシングルトンセットとなる $\Sigma \in \Phi$ を Φ' は全て含むが、それ以外は含まない。

$\mathit{pickOne} : \mathscr{E} \times \Phi \times \Phi'$ は、$\mathit{pickOne}(E, \Sigma, \Sigma')$ が、Σ' が Σ で起こる全ての $e \in E$、またある $A_x \in \varsigma(e, \Sigma)$ について $(e, \{A_x\})$ を含むがそれ以外を含まないものとする。任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ また任意の $e \in E$ について、Σ' は F 内のポジション Σ における e の受託者の補助集合である、ということは $\mathit{pickOne}(\psi^{\mathscr{F}}(e), \Sigma, \Sigma')$ が満たされることと同義とする。

例として、$\boxed{\mathrm{J}}$の議論フレームワーク F_4 を考えてみる。 $e_i \neq e_j$、$(e_3, e_1, \mathsf{relegate}) \in B_4$ また $(e_3, e_2, \mathsf{relegate}) \not\in B_4$ となる任意の $e_i, e_j \in \{e_1, e_2, e_3\}$ について $(e_i, e_j, \mathsf{share}) \not\in B_4$ と仮定する。F_4 の初期ポジション Σ_0 は $\{(e_1, \{\{a_1\}\}), (e_2, \{\{a_3\}\}), (e_3, \{\emptyset\})\}$ となる。また、$\psi^{F_4}(e_3) = \{e_1\}$ であり、e_3 の受託エージェントの Σ_0 内の補助集合は $\{(e_1, \{\{a_1\}\})\}$ となる。ここではこれが唯一の補助集合となっている。

各ポジション Σ において、エージェント e は $\varsigma(e, \Sigma)$ とい

うコレクションをもつ。議論弁護により、e が $A_x \in \varsigma(e,\Sigma)$ を $A_x \subseteq A_y$ を満たすように A_y に拡張することができる場合がある。その場合、A_y は Σ と、とりわけ、e の受託エージェントのうちの少なくとも一エージェントのそのポジションにおける補助集合との一貫性を保たなければならない。

定義 *7* (一貫的な拡張 *preferred* 集合の拡大) $\xi : \mathscr{F} \times \mathscr{E} \times \Phi \times 2^{\mathscr{A}}$ が $F \equiv (A,R,E,Src,B)$, Σ を F におけるポジション、また $e \in E$ とした場合に $\xi(F,e,\Sigma,A_x)$ を満たす、ということは以下の条件が満たされることと同義とする。

(1) A_x は e の拡張 *preferred* 集合である。

(2) ある $A_z \in \varsigma(e,\Sigma)$ また Σ' は、まず $pickOne(\psi^F(e),\Sigma,\Sigma')$ を満たし、更に以下の条件も満たす。

(a) $A_z \subseteq A_x$ ***(Extension)***.

(b) A_x が $A_c \subseteq A_x$ が弁護されるという前提で弁護されるならば、A_c を攻撃する各 $a \in A$ は, $e_x \in \psi^{\mathscr{F}}(e)$ とした場合、$A_v \in \varsigma(e_x,\Sigma')$ によって攻撃される。***(Outsourced defence)***

(c) $(A_x \backslash A_z) \cap \sigma^{\mathscr{F}}(e_x) \neq \emptyset$ を満たす任意の $e_x \in \psi^{\mathscr{F}}(e)$ について、$A_w \in \varsigma(e_x,\Sigma')$ は $A_w \cup (A_x \backslash A_z)$ が対立しないような集合とする。***(Share-consistency)***

F においてのポジション Σ において、A_x が一貫的拡張である、ということは $\xi(F,e,\Sigma,A_x)$ が満たされることと同義である、と定める。

(Outsourced defence) の条件に基づき, e の一貫的拡張に含まれる argument は e 自身によって弁護されない場合には $\psi^F(e)$ により弁護される。**(share-consistency)** に関しての説明として、e が使用可能な argument の集合内の構成員が $e_x \in \psi^F(e)$ にも使用可能、つまり $\sigma^F(e) \cap \sigma^F(e_x) \neq \emptyset$ が成り立ち、更にある補助集合 Σ' によって e がポジション Σ 内で一貫的拡張である A_x を得る時、A_x が $A_z \in \varsigma(e,\Sigma)$ よりも重複する argument を含むことによって厳密に大きい集合ならば、e_x にとっては、その新しく追加された argument の集合と $A_w \in \varsigma(e_x,\Sigma')$ の間で対立が起こっているべきではない。何故ならば、もし対立が起こっているとすると、補助集合である Σ' で起こる e_x がその argument の集合によって拡張を行うことを許容しないからである。次を定義する。

定義 *8* (関連関係) $\tau : ES \rightarrow ES$ は $\tau(\Gamma) = \{A_x \in \Gamma \mid A_x \subset A_y$ となる $A_y \in \Gamma$ はない。$\}$ を満たすものとする。$\hookrightarrow : \mathscr{F} \times \Phi \times \Phi$ は、任意の $F \equiv (A,R,E,Src,B)$ について、$(F,\Sigma_1,\Sigma_2) \in \hookrightarrow$(($\Sigma_1,\Sigma_2) \in \hookrightarrow^F$ もしくは $\Sigma_1 \hookrightarrow^F \Sigma_2$ とも表記される) が成り立つ場合には必ず以下の条件を満たすものとする。

(1) Σ_1 また Σ_2 は $\mathscr{F}$ におけるポジションであり $\Sigma_1 \neq \Sigma_2$ を満たす。 ***(No reflexivity)***.

(2) 以下を満たす $e \in E$ が存在する。

(a) 任意の $e_x \in E \backslash \{e\}$ また任意の $\Gamma_x \in ES$ について、$(e_x,\Gamma_x) \in \Sigma_1$ が成り立つことは $(e_x,\Gamma_x) \in \Sigma_2$ が成り立つことと同義である。 ***(Minimal change)***.

(b) $\varsigma(e,\Sigma_1) = \tau(\{A_x \mid \xi(F,e,\Sigma_1,A_x)\})$。***(Maximal consistent expansion)***.

これによって以下のように F で本論文が必要とするポジションを定めることができる。

定義 *9* (関連ポジション) F においてのポジション Σ が関連する、という表現は Σ が F においての初期ポジション Σ_0 であるかもしくは $(\Sigma_0,\Sigma) \in (\hookrightarrow^F)^+$ である場合と定める。
ここで $(\hookrightarrow^F)^+$ は $\hookrightarrow^F$ の *transitive closure* とする。

3.4 ローカルまたグローバル semantics

Triple-A に基づき、各エージェントは自身の argument を関連ポジションで受け入れる。

定義 *10* (ローカル *semantics*) $Local : \mathscr{F} \times \Phi \times \mathscr{E} \rightarrow ES$ は $Local((A,R,E,Src,B),\Sigma,e) = \{A_x \subseteq A \mid \exists A_y \in \varsigma(e,\Sigma).A_x = A_{\{e\}} \cap A_y\}$ を満たすものとする。任意の $F \equiv (A,R,E,Src,B)$、
任意の F においての関連ポジション Σ また任意の $e \in E$ について、$Local^F(\Gamma,e)$ は e の F のポジション Σ においてのローカル *preferred semantics* とする。

例 *2* (ローカル *semantics*) この例ではどのように情報の共有が十分でないときにエージェントの *argument* 受け入れの判断が、ローカルでは何の問題もない場合であっても全体としては矛盾する可能性があるのかを示す。$\boxed{J}$の F_4 を考えてみよう。

(1) B_4 が $(e_3,e_1,share),(e_3,e_2,share)$ また e_1,e_2,e_3 の *refexive* な共有を含むが、それ以外を含まない場合を仮定する。e_3 の受託者らの補助集合は Σ' : $\{(e_1,\{\{a_1,a_5\}\}),(e_2,\{\{a_3,a_6\}\})\}$ であり、$\Sigma_0 = \{(e_1,\{\{a_1,a_5\}\}),(e_2,\{\{a_3,a_6\}\}),(e_3,\{\emptyset\})\}$ である。$\xi(F_4,e_3,\Sigma_0,A_x)$ となる全ての A_x を考察しよう。すると、$\{a_5\}$ は A_x となりうる、というのも、$\{a_5\}$ は $\emptyset$ よりも大きく、その攻撃者である a_2 は $\{a_1\} \in \varsigma(e_1,\Sigma')$ により攻撃され、なおかつ $\{a_1,a_5\}$ また $\{a_3,a_5,a_6\}$ のどちらも対立を含まないからである。$\{a_6\}$ や $\{a_5,a_6\}$ についても同様である。よって、$\Sigma_1 \equiv \{(e_1,\{\{a_1,a_5\}\}),(e_2,\{\{a_3,a_6\}\}),(e_3,\{\{a_5,a_6\}\})\}$ とすれば、***(Maximal consistent expansion)*** により $\Sigma_0 \hookrightarrow^{F_4} \Sigma_1$ が成り立つ。$Local^{F_4}(\Sigma_1,e_3) = \{\{a_5,a_6\}\}$ も成り立つ。ここで、e_1 は a_5 が弁護されることを e_3 に伝え、e_2 も a_6 が弁護されることを e_3 に伝えている訳であるから、両者ともローカル議論で知りうる限り最善を尽くして e_3 の議論を弁護を行なっている。しかし、いかなる $A_z \in D(pr,(A_4,R_4))$ も $\{a_5,a_6\} \subseteq A_z$ を満たさない訳であるから、この相違は、不完全情報下での正確な情報伝播の限界を示している。

(2) その根拠として、更に $(e_1,e_2,share) \in B_4$ を仮

定した場合、そのような情報欠如によるミスコミュニケーションは起こらない。まず $\Sigma_0 = \{(e_1, \{\{a_1, a_5\}\}), (e_2, \{\{a_1, a_4, a_5\}, \{a_2, a_3, a_6\}\}), (e_3, \{\emptyset\})\}$ であり、e_3 に対しては二つの以下の補助集合がある。Σ'_1 : $\{(e_1, \{\{a_1, a_5\}\}), (e_2, \{\{a_1, a_4, a_5\}\})\}$ また $\Sigma'_2 : \{(e_1, \{\{a_1, a_5\}\}), (e_2, \{\{a_2, a_3, a_6\}\})\}$。ここで、$e_2$ は補助集合が Σ'_1 の場合には $\{a_1, a_4, a_5, a_6\}$ の対立に気づき、補助集合が Σ'_2 の場合には $\{a_2, a_3, a_5, a_6\}$ の対立に気づくので、$\xi(F_4, e_3, \Sigma_0, \{a_5, a_6\})$ は成立し得ない。一方、Σ'_1 によって $\xi(F_4, e_3, \Sigma_0, \{a_5\})$ が、また Σ'_2 によって $\xi(F_4, e_3, \Sigma_0, \{a_6\})$ が成り立つ。よって、$\Sigma_1 \equiv \{(e_1, \{\{a_1, a_5\}\}), (e_2, \{\{a_1, a_4, a_5\}, \{a_2, a_3, a_6\}\}), (e_3, \{\{a_5\}, \{a_6\}\})\}$ とすると、$\Sigma_0 \hookrightarrow^{F_4} \Sigma_1$ が成り立つ。であるから、e_3 のローカル *semantics* は $\mathit{Local}^{F_4}(\Sigma_1, e_3) = \{\{a_5\}, \{a_6\}\}$ を満たす。

グローバル semantics がローカル semantics を網羅的に組み合わせたものであるとすると、その定義は以下の通りとなる。

定義 *11* (網羅的グローバル *semantics*) $\otimes : \Phi \to 2^{\Phi'}$ を $\otimes(\{(e_1, \Gamma_1), \ldots, (e_n, \Gamma_n)\}) = \{\{(e_1, \{A_1\}), \ldots, (e_n, \{A_n\})\} \mid A_i \in \Gamma_i \mathit{ for } 1 \leq i \leq n\}$ を満たすものとする。
$\mathit{Global} : \mathscr{F} \times \Phi \to 2^{\Phi'}$ を $\mathit{Global}((A, R, \{e_1, \ldots, e_n\}, Src, B), \Sigma) = \otimes(\{(e_1, \mathit{Local}^F(\Sigma, e_1)), \ldots, (e_n, \mathit{Local}^F(\Sigma, e_n))\})$ を満たすものとする。任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ また任意の F においての関連ポジション Σ において $\mathit{Global}^F(\Sigma)$ を F の Σ におけるグローバル *preferred semantics* とする。

$(e_1, e_2, \mathsf{share}), (e_2, e_1, \mathsf{share}) \in B$ が成り立つ場合にエージェントの同調を認めることも考えられる [1] が、本論文では割愛する。

Dung preferred semantics と提唱した理論のローカル preferred semantics の比較として、以下が成り立つ。

定理 *2* (比較) 任意の $F \equiv (A, R, E, Src, B)$ について、$E_1 \subseteq E$ の場合 $(I_{E_1})^+$ が A_{E_1} に対する全ての *input argument* の集合、その集合に対する全ての *input argument* の集合、またその集合に対する全ての *input argument* の集合 *ad infinitum.* でなる集合とする。任意の $e \in E$ また任意の F においての関連ポジション Σ において、仮に $(I_{\{e\}})^+ \subseteq \sigma^F(e)$ であるならば、必ず $\mathit{Local}^F(\Sigma, e) = \{A_x \subseteq A \mid \exists A_y \in D(pr, (A, R)).A_x = A_y \cap A_{\{e\}}\}$ が成り立つ. この結果はしかし $(I_{\{e\}})^+ \not\subseteq \sigma^F(e)$ が成り立たない場合には一般に拡張しない。

4. 帰結

本論文では委託者 – 受託者のエージェント間関係、またエージェントの不完全情報を考慮する議論理論を提案し、弁護の委託を表現した。弁護が委託される場面は現実社会では多々あり、また情報も不完全であることの方が多い [7] ことを踏まえると、提唱理論に関してより一層の研究が期待できると考えられる。

関連研究 Input argument に関しては [4] で詳細に論じられている。エージェントのローカル議論に semantics を相対化するような研究は政党同盟 [2] でも論じられているし、Triple-A [3] でも取り上げた。後者では、エージェントは自主的に input argument が受け入れられるかを決定し、その上で自身のローカル semantics を算出する。unaware エージェント、aware エージェント共に考慮された。対して、本論文では用心深いエージェントを考慮した。

参考文献

[1] R. Arisaka and S. Bistarelli. Defence Outsourcing in Argumentation. In *COMMA*, pages 330–338, 2018.
[2] R. Arisaka and K. Satoh. Coalition Formability Semantics with Conflict-Eliminable Sets of Arguments. In *AAMAS*, pages 1469–1471, 2017.
[3] R. Arisaka, K. Satoh, and L. van der Torre. Anything you say may be used against you in a court of law: Abstract Agent Argumentation (Triple-A). In *AICOL (to appear)*, 2018.
[4] P. Baroni, G. Boella, F. Cerutti, M. Giacomin, L. W. N. van der Torre, and S. Villata. On the input/output behavior of argumentation frameworks. *Artif. Intell.*, 217:144–197, 2014.
[5] M. Caminada. On the Issue of Reinstatement in Argumentation. *JELIA*, 111–123, 2006.
[6] P. M. Dung. On the Acceptability of Arguments and Its Fundamental Role in Nonmonotonic Reasoning, Logic Programming, and n-Person Games. *Artificial Intelligence*, 77(2):321–357, 1995.
[7] I. Rahwan, S. D. Ramchurn, N. R. Jennings, P. Mcburney, S. Parsons, and L. Sonenberg. Argumentation-based negotiation. *The Knowledge Engineering Review*, 18(4):343–375, 2003.