

複数論点交渉問題における XML をもとにした 共通テストベッドの開発

Common Testbed Tool based on XML for Multiple Issues Negotiation Problems

藤田 桂英* 伊藤 孝行† マーク クライン‡
Katsuhide Fujita Takayuki Ito Mark Klein

1 はじめに

マルチエージェントの研究分野において複数論点交渉問題が重要な研究課題となってきた。特に、電子商取引などの分野において、自動交渉の仕組みやメカニズムを開発することで、人の代理として働くソフトウェアエージェントが交渉を行い、電子商取引の自動化が促進される。マルチエージェントにおける複数論点交渉問題に関して多数の既存研究が存在している ([1] etc.)。しかし、既存の研究では論点の独立性が仮定されており、線形の効用関数が定義される。実世界では複数の論点が全て独立していることは稀であり、複数の論点が相互依存関係にある場合が多い。本論文では各論点が相互依存関係にある複雑な交渉問題を対象とする。各論点が相互依存関係の場合、各エージェントの効用は非線形の効用関数で表現される。

しかし、各論点が相互依存関係の場合の交渉問題を対象としたプロトコルは、共通のテストベッドが存在せず、個々のテストベッドによって評価されている。例えば、文献 [2] や [3] はランダムに生成された効用関数の場合しか評価されていない。交渉手法の有効性を評価するためには共通したテストベッドを用いて、交渉手法を様々な角度から検証される必要がある。本論文では各論点が相互依存関係の場合に対応した交渉プロトコルを評価するため、XML を基にした共通テストベッドを提案する。

本論文で提案する共通テストベッドは、一般制約 [4] とコーン制約 (cone-constraint) を対象とする。文献 [4] で定義されている一般制約は、車の黒度合いが 1 - 4、車の大きさ度合いが 2 - 5 の時に効用値 2.0 をもつ制約のように表現され、制約は形状から cube-constraint と呼ばれる。コーン制約は一般制約に対して、効用はある中心となる理想的な状態が決められ、理想状態から差異が応じるにしたがって徐々に効用が減少していく条件を取り入れた円錐形状の制約である。また、以上の制約を集積し、状態空間にプロットした空間として効用空間を定義する。一般制約およびコーン制約を用いた効用空間では凹凸の激しい複雑な効用空間となる。

本論文では、XML を基にした共通テストベッド作成ツールを提案する。共通テストベッド作成ツールでは、まずエージェント数や論点数等が定義された設定ファイルを読み込む。次に、設定ファイルの情報をもとに様々な作成タイプ (Random, A Single Hill, Two-Hills, Several Hills) の効用空間が生成される。効用空間の作成タイプは、現実の交渉設定を基に定義されている。最後に、共通テストベッド作成ツールはエージェントの効用情報を定義した XML ファイルを生成する。

次に、共通テストベッドに関して定義がされている XML フォーマットを提案する。共通テストベッドの定義に XML (Extensible Markup Language) を導入することで、共通テストベッドを使用するユーザが理解しやすい、研究コミュニティとのデータのやり取りが容易、そして Web 上などと互換性が良いなど多数の利点が存在する。特に、本共通テストベッドの設計は他の研究者と共同で行なう可能性が高く、将来的に Web で応用する可能性が高いため、XML は交渉テストベッドには有効であると思われる。本論文では、一般制約およびコーン制約を定義するための XML タグを示す。

また、共通テストベッド作成ツールにより生成された XML テストベッドが利用されている例を示す。具体的には、共通テストベッドを利用した交渉プロトコル評価プログラムのオープンソース化である。現在、JAVA, C, Ruby, Python, PHP を用いて、評価プログラムが開発されている。本評価プログラムは Document Object Model (DOM) [5] を用いて XML 構造を解析し、シミュレーテッドアニーリング (SA) を用いて合意案を探索する。本プログラムのソースコードは <http://www-itolab.mta.nitech.ac.jp/MultiIssueNegotiations> においてダウンロード可能である。

本論文の構成を以下に示す。まず、2 では本論文で扱う交渉の設定と一般制約およびコーン制約の定義を示す。次に、3 において XML を基にした共通テストベッド作成ツールについて示し、4 において、本テストベッドに用いる XML フォーマットについて説明する。その後、5 において共通テストベッドを利用した評価プログラムのオープンソース化プロジェクトにおいて使用されているプログラムの説明を行い、最後に 6 に本論文のまとめと今後の課題を示す。

2 非線形効用関数に基づく交渉

2.1 交渉の設定

本論文では、 N 個のエージェントが合意形成を試みる交渉の状況を考える。論点が I 個存在し、個々の論点を $i_j \in I$ と表す。論点 i_j は $[0, X]$ の範囲の整数を値として持つ ($1 \leq j \leq I$)。交渉の結果得られる合意案は、各論点の値のベクトル $\vec{s} = (s_1, \dots, s_I)$ と表現される。

エージェントの効用関数は一般制約およびコーン制約を用いて表現する。詳細は 2.2, 2.3 に示す。 l 個の制約が存在するとし、個々の制約は $c_k \in C$ と表す。制約 c_k は、合意 \vec{s} によって充足される場合のみ、 $w_i(c_k, \vec{s})$ を効用値として持つことができる ($1 \leq k \leq l$)。交渉に参加する全てのエージェントは、全く共有されていない独自の制約集合を持つ。

本論文において、合意 \vec{s} に関するエージェント i の効用を $u_i(\vec{s}) = \sum_{c_k \in C, \vec{s} \in x(c_k)} w_i(c_k, \vec{s})$ と定義する。 $x(c_k)$ は、制約

*名古屋工業大学 産業戦略工学専攻

†マサチューセッツ工科大学 スローン経営大学院 / 名古屋工業大学 産業戦略工学専攻・情報工学科

‡マサチューセッツ工科大学 スローン経営大学院

c_k を充足可能な合意案の集合である．この効用表現により，凹凸のある非線形の効用空間が形成される．本論文における効用空間とは，各論点が取り得る値のあらゆる組合せについて，効用関数によって得られる効用値を空間状にプロットして得られるグラフを意味し，空間の次元数は，論点数+1となる．この効用空間では，多くの制約を充足可能な地点は効用が高くなり，逆に充足する制約数が少ない地点では，効用が低くなる．これにより，空間内に効用値による高低が生じる．

非線形の効用空間は合意案発見に対して莫大な計算量が必要となる．例えば，もし論点数が10で各論点が取りうる値が10（つまり値域が10）の場合， 10^{10} 個もの可能な合意案候補が作成される．以上の莫大の数の合意案候補を対象とした，合意形成手法の開発が現在活発に行われており，今後もスケラビリティの面も含めて発展が期待される．

本論文で提案する交渉プロトコルの目的関数は，以下のよう表現できる． Ag はエージェントの集合を表し， $|Ag| = N$ である．

$$\arg \max_{\vec{s}} \sum_{i \in Ag} u_i(\vec{s})$$

言い換えると，提案プロトコルは社会的効用，すなわち全てのエージェントの効用の総和を最大化する合意の発見を試みる．

2.2 一般制約 (cube-constraint)

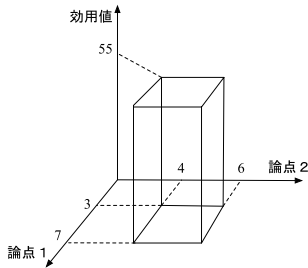


図 1: 一般制約の例

エージェントの効用関数は制約を用いて表現する． l 個の制約が存在するとし，個々の制約は $c_k \in C$ と表す．制約は単一もしくは複数の論点に関して，制約充足条件となる値の範囲および効用値を持つ．図1は，論点1および論点2に関連する二項制約の例を示したものである．本例では論点1に関しては $[3, 7]$ ，論点2に関しては $[4, 6]$ で範囲で合意が得られた場合充足可能であり，この場合得られる効用が55であることを示している．

一般制約では車の設計問題のような，基本的な意思決定問題の形式を想定している．具体的な例として，学会や会議などのために手配する会場仕様の決定といった問題が挙げられる．本例では，コストやキャパシティなどが具体的な論点として考えられ，それぞれに関して，“50-70万円”や“70-90万円”，および“50-100人”や“100-150人”といった形式で選択肢が与えられるケースが考えられる．各選択肢に対して，個々の論点，および他の論点との関係を考慮して評価値を決め（例えば「より大きな会場が確保できるならば，コストが多少小さくなくても良い」など），各論点に関する解を決定する．ここで，エージェントが持つべき選好情報は，各論点に関して希望

する代替案，および他の論点に関する希望代替案との組合せと，その評価値である．

近年，一般制約を用いた効用関数に対して有効な手法がいくつか提案されている [6, 7]．多くはオークションを基にした交渉プロトコル [4] を改良した手法 [6] であるが，近傍探索をもとにした別の手法 [7] も注目され始めている．

2.3 コーン制約 (cone-constraint)

実世界の効用はある中心となる理想的な状態が決められ，理想状態から差異が応じるにしたがって徐々に効用が減少していき，ある程度差異が応じると効用が0，つまり価値がないものと判断される場合が多い．本論文では，以上の条件を文献 [4] における効用関数の定義を取り入れ，新たにコーン制約 (cone-constraint) を定義する．

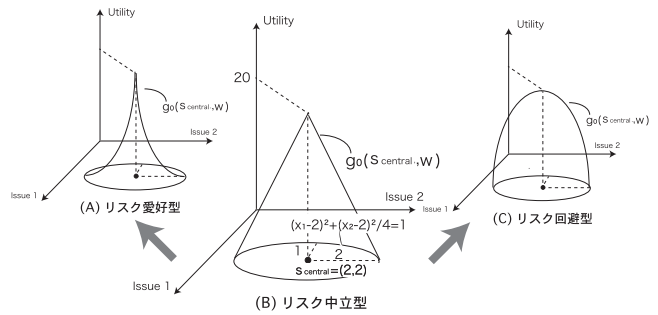


図 2: コーン制約の例

コーン制約 c_k は，制約における中心ベクトル (central vector) $\vec{s}_{central}$ と中心ベクトルにおける効用値 $u_i(s_{central})$ ，影響範囲 (impact region) \vec{w} そして傾斜関数 (gradient function) $g_k(\vec{s}_{central}, \vec{w})$ から定義される．中心ベクトル (central vector) $\vec{s}_{central}$ はコーン制約において最大の値を示す状態ベクトルであり，理想的な状態である．したがって，中心ベクトルにおける効用値は必ずコーン制約における最大値となる．図2は論点1と論点2における二項コーン制約の例を示している．図2では中心ベクトル $\vec{s}_{central} = [2, 2]$ のとき，最大の効用値20を示す．また，影響範囲 (impact region) \vec{w} は中心から差異が応じても0にならない範囲つまり影響を及ぼす範囲を示す．図2では影響範囲 $\vec{w} = [1, 2]$ となり，論点1の影響範囲が1，論点2の影響範囲が2と表現される．図2の底面は短径1，長径2の楕円形を示し，底面の弧を表す式は $(x_1 - 2)^2 + (x_2 - 2)^2 / 4 = 1$ と表現される¹．

また，コーン制約における傾斜関数 $g_k(\vec{s}_{central}, \vec{w})$ は中心ベクトル $\vec{s}_{central}$ と影響範囲 \vec{w} から決定される．傾斜関数 $g_k(\vec{s}_{central}, \vec{w})$ の設定により各効用関数の制約における Risk Attitude を定義することができる．本論文ではこの Risk Attitude を合意形成が失敗する危険性 (Risk) に対してエージェントが示す態度と定義する．具体的には，もしエージェントがリスク中立型であれば図2の (B) が示すようなコーン制約となる．また，エージェントがもしリスク愛好型ならば合意形成しにくい図2の (A) の形で表現される．エージェントがもしリスク回避型ならば合意形成しやすい図2の (C) の形で表現される．

¹一般的な底面の弧の式は $\sum_{i=1}^m x_i^2 / w_i^2 = 1$

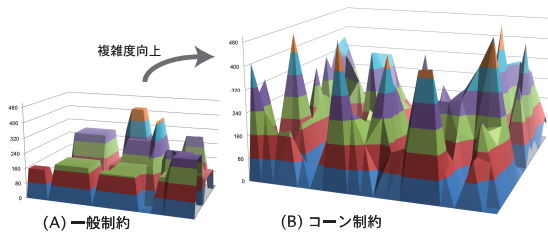


図 3: 非線形効用空間の例

図 3 は論点数 2 の場合における，一般制約 [4] とコーン制約を用いた非線形効用空間を示している．効用関数 (A), (B) と山と谷が入り組んだ複雑な効用空間を示している．一般制約 [4] とコーン制約を用いた効用空間を比較した場合，コーン制約の方が一般制約より最大点となる範囲が狭くなっており，一般制約と比較して効用空間の非線形性つまり複雑度が増している．

3 共通テストベッド作成ツール

本節では，複数論点交渉問題を対象とした共通テストベッド作成ツールについて説明する．本ツールは，論点数やエージェント数が定義された設定ファイルを入力とし，エージェントの効用情報が定義された XML ファイルを出力とする．本ツールのソースコードは <http://www-itolab.mta.nitech.ac.jp/MultiIssueNegotiations> からダウンロード可能である．

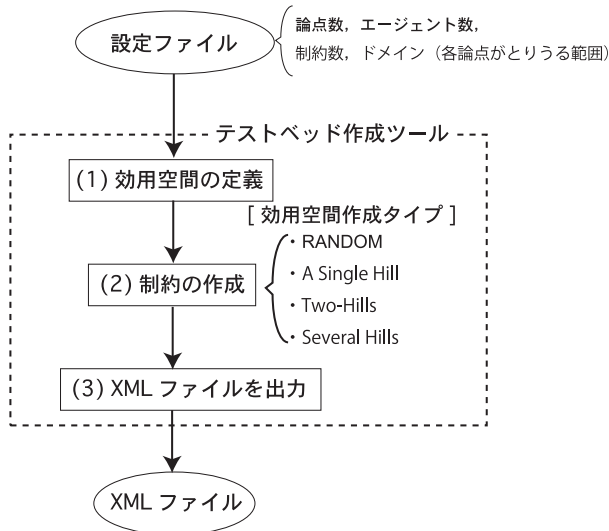


図 4: 共通テストベッド作成ツール流れ図

図 4 は共通テストベッド作成ツールの流れ図を示している．まず，設定ファイルに基づき効用空間が定義される．次に，ある特定の効用関数作成タイプにしたがって，いくつかの制約が生成される．そして，効用関数つまり共通テストベッドが定義された XML ファイルが出力される．以下に共通テストベッド作成ツールにおける各プロセスの詳細を示す．

(1) 効用空間の定義 本共通テストベッド作成ツールは設定ファイルに基づいて効用空間が定義される．設定ファイル

```
Issues 10
constraints 10 5 5 5
agentNum 6
domain 10
```

図 5: 設定ファイルの例

は図 5 が示すように，論点数 (Issues)，エージェント数 (agents)，制約数 (constraints) そしてドメイン (domain) に関する情報が含まれている．制約数に関しては相互依存関係にある論点の数ごとに定義されている．本論文の効用関数では，1 論点のみに依存している単項制約，2 論点に依存している二項制約のように表現される．図 5 の設定ファイルでは，制約数は “10 5 5 5” のように定義され，単項制約が 10 個，二項制約が 5 個，三項制約が 5 個，四項制約が 5 個作成される．また，設定ファイルで定義されているドメインとは各論点がりうる値つまり値域を示し，図 5 では全ての論点のドメインが 10，つまり値域が 10 である．

(2) 制約の作成 本共通テストベッド作成ツールは Random, A Single Hill, Two Hills, Several Hills の 4 タイプを作成する．今回作成した 4 タイプは，個々のエージェント効用空間には 1 つもしくは数個の山型の効用空間であると想定し，エージェントのタイプがいくつ存在するかに焦点を当てた．より現実的にするためには，各エージェントがもつ効用空間に関して細かく分析しモデル化する必要がある．しかし，個々のエージェントの効用空間を考えるとタイプ数がとても多くなることもあり，今後の課題である．以下に各タイプの詳細を示す．

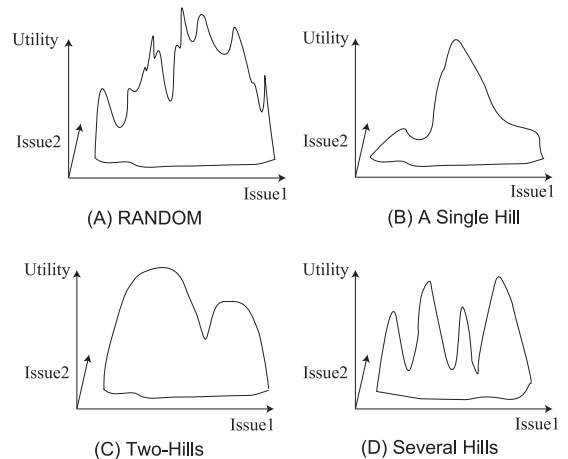


図 6: 作成タイプの種類

Random: 本タイプはランダムに制約が生成される．本タイプの作成手法は複数の既存研究における評価の際に使用されている [4]．図 6 は全エージェントの効用関数を集積し，効用空間にプロットした概念図を各タイプごとに示している．図 6(A) が示すように，非線形度の高い複雑な効用空間である．本タイプは，合意案を発見するのが困難な場合が多い．

A Single Hill 本タイプは同一タイプで合意を形成する協力的な交渉を想定している。図 6(B) が示すように、全エージェントから作成される効用空間は、1 点の頂点が存在する山の形状をしている。本タイプの交渉は協力的であるため、容易に合意形成できる場合が多い。主に、最適化の分野を基に様々な手法が開発されている。

Two Hills 本タイプは2タイプのエージェントが交渉を行う、2 者間交渉を想定している。具体的には、売り手と買い手の売買交渉があげられる。図 6(C) が示すように、全エージェントから作成される効用空間は、2 点の山の頂点が存在する形状となっている。本タイプの交渉問題は敵対的な交渉となるため、単一の合意を形成することが困難な場合が多い。しかし、山の形状は単純であるため、容易に合意案を発見することができる。2 タイプ間交渉はゲーム理論をはじめとした均衡と用いた研究が盛んに行なわれている [8]。

Several Hills 本タイプは3タイプ以上のエージェントが合意形成を行う場合を想定している。具体的には、デザイナー、エンジニアとビジネスマネージャー間の自動車等工業製品の設計における交渉があげられる。図 6(C) が示すように、全エージェントから作成される効用空間は、エージェントのタイプ数の頂点が存在する山の形状をしている。本タイプの効用空間は多数の山の頂点つまり合意案候補が存在するため、最適な合意案を発見することは難しい。複数タイプの交渉は近年盛んに行なわれるようになってきており、様々な手法における複数タイプ間に拡張性に関して議論されている [4]。

- (3) XML ファイルの出力 本共通テストベッド作成ツールは、交渉手法評価のための共通テストベッドを定義した XML ファイルが出力される。4 において、XML のタグ等の詳細な説明を行う。

4 共通テストベッドのための XML フォーマット

本論文では一般制約およびコーン制約を定義する XML フォーマットを提案する。まず、XML を用いて共通テストベッドを表現する主な利点を以下に示す。

- (1) 共通テストベッドを使用するユーザが理解しやすい: XML のタグ名は XML 作成者が自由に定義できる。したがって、本論文で解説するように適切なタグ名を対応させることで、評価実験を行うユーザが短時間かつ正確に共通テストベッドつまり XML の意味を理解できる。本共通テストベッドは多数のユーザに使用してもらうことが多いため、理解しやすい記述が可能な XML は有効である。
- (2) データ定義の変更および追加が容易: 現在行っている共通テストベッドの作成はまだ発展途上であり、今後共通テストベッドデータの構造や名称などが変更される可能性がある。XML を用いれば、タグを変更するだけでデータの変更および追加が行えるため容易に管理できる。本共通テストベッドは複数の研究者が共同で設計する機会が多いため、データ更新が容易に行なえることは重要な利点といえる。
- (3) Web との互換性が良い: 現在、様々な交渉プロトコルが生成されているが、近い将来、Web 上での実際の合意形成を支援するために交渉プロトコルが利用される。実際の合意形成を Web 上で支援するシステムを作成する場合、ブラウザに

表示するアプリケーションが存在している XML は有効である。交渉プロトコルは将来的に Web システムとして応用される可能性が高い。そのため、テストベッドが Web との互換性が良いことは応用可能性を拡張できる。

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" standalone="no"?>
<UtilitySpace>
<Dimension>4</Dimension>
<Domain>0-9</Domain>
<Agent no=0 name="Alice">
<ReservationValue>11</ReservationValue>
<Constraint no=0 name="0">
<Cardinality>2</Cardinality>
<Utility>69</Utility>
<Minimum>
<Issue no=2 name="size" 4 </Issue>
</Minimum>
<Maximum>
<Issue no=2 name="size" 8 </Issue>
</Maximum>
</Constraint>
<Constraint no=1 name="1">
...
...
</Constraint>
</Agent>
</UtilitySpace>
```

図 7: 一般制約における XML の例

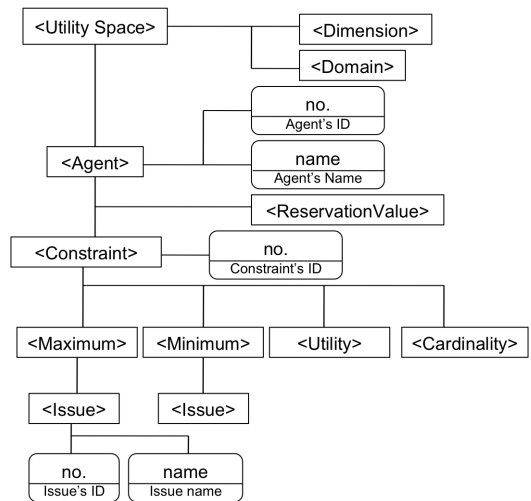


図 8: 一般制約における XML タグの木構造

次に、一般制約とコーン制約の XML タグを示す。

一般制約における XML タグ 図 7 は一般制約における XML フォーマットの例を示している。また、図 8 は一般制約の木構造チャートを示している。図 8 により、各タグの上位及び下位概念がわかる。以下に、各タグの詳細な説明を示す。

<UtilitySpace> 本タグは効用空間全体に関する情報が定義

されている。本タグは <Dimension>, <ValueNumber> としてエージェント数分の <Agent> を要素にもつ。

<Dimension> 本タグは論点数を定義する。図 7 では、論点数が 4 である。

<Domain> 本タグは各論点のドメインつまり値域を示している。図 7 では、全ての論点のドメインが 0~9 である。

<Agent> 本タグはエージェントに関する情報を定義し、エージェント ID およびエージェント名を属性にもつ。図 7 では、ID が 0, 名前が Alice のエージェントが定義されている。Agent タグは <ReservationValue> と複数の <Constraint> を要素としてもつ。

<ReservationValue> 本タグは交渉における合意候補に対して、合意を形成するかどうかを決定する効用値（合意形成の最低ライン）を定義する。本タグで定義されている値以上ならば、エージェントは合意を形成し、そうでないならば、合意を形成しない。図 7 における合意形成の最低ラインは 21 である。

<Constraint> 本タグは制約に関する定義を行い、制約 ID を属性にもつ。本タグは <Issue>, <Utility> そして <Cardinality> を要素としてもつ。図 7 では ID が 0 および 1 の制約が定義されている。

<Minimum> 本タグは制約を充足する各論点の最小値を定義する。本タグは充足する範囲が存在する論点のみ定義される。図 7 では論点 2 において 4 以上のとき、他の論点がどの値でも制約に充足される。

<Maximum> 本タグは制約を充足する各論点の最大値を定義する。本タグは充足する範囲が存在する論点のみ定義される。図 7 では論点 2 において 8 以下のとき、他の論点がどの値でも制約に充足される。

<Utility> 本タグは制約がもつ効用値を定義する。ここで定義されている制約は <Issue> に定義された範囲で充足された場合、本タグで定義された効用値をもつ。図 7 では論点 2 が 4 ~ 8 のとき、効用値 69 を制約 0 から得る。

<Cardinality> 本タグは、制約において相互依存関係にある論点数を示している。図 7 では、Cardinality は 1 であり相互依存関係がない単項制約である。

コーン制約における XML タグ 図 9 はコーン制約における XML フォーマットの例を示している。また、図 10 はコーン制約の木構造チャートを示している。コーン制約における XML タグは <Constraint> 以外は一般制約における XML タグと同様の定義である。以下に、コーン制約がもつ独自のタグである、<Constraint> の要素の詳細な説明を示す。

<MaxUtility> 本タグは中心ベクトルにおける効用値、つまりコーン制約における最大の効用値を定義する。図 9 は中心ベクトルにおいて効用値 122 をもつ。

<RiskAttitude> 本タグは傾斜関数を定義する。傾斜関数により Risk Attitude が決定されるため、タグ名が Risk Attitude になっている。現在、共通テストベッド作成ツ

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" standalone="no"?>
<UtilitySpace>
  <Dimension>5</Dimension>
  <Domain>0-10</Domain>
  <Agent name="Alice" no="0">
    <ReservationValue>21</ReservationValue>
    <Constraint no="0">
      <Cardinality>1</Cardinality>
      <MaxUtility>122</MaxUtility>
      <RiskAttitude>1</RiskAttitude>
      <CenterPoint>
        <Issue name="4" no="4">0</Issue>
      </CenterPoint>
      <Width>
        <Issue name="4" no="4">2</Issue>
      </Width>
    </Constraint>
    <Constraint no="1">
      <Cardinality>1</Cardinality>
      ...
    </Constraint>
  </Agent>
</UtilitySpace>
```

図 9: コーン制約における XML の例

ルでは傾斜関数を数字で対応させ、定義させている。例えば、図 9 のように Risk Attitude が 1 ならば $u(\vec{s}) = (\text{中心ベクトルの効用値}) * (1 - (\text{distance}) / (\text{影響範囲}))$ (distance: \vec{s} と中心ベクトルの距離) を使用するなどのように定義する。今後、XML タグのみで式が定義できるように改善する予定である。

<Width> 本タグは制約が及ぼす範囲を定義する影響範囲を定義する。影響範囲は制約において相互依存関係にある各論点ごとに定義される。図 9 では、論点 4 の影響範囲は 2 であり、他の論点 (論点 0-3) は制約の依存関係に含まれないため、どの値でもよいと定義する。

<CenterPoint> 本タグは、効用値が最大の状態を示す中心ベクトルが定義される。中心ベクトルは相互依存関係にある各論点ごとに定義される。図 9 では、論点 4 の中心ベクトルの値は 0 であり、他の論点 (0-3) は制約の依存関係に含まれないため、どの値でもよいと定義する。

5 共通テストベッドを利用した評価プログラム

本章では、本論文で提案された共通テストベッドを利用した交渉手法評価プログラムの概要を示す。現在、本評価プログラムはオープンソース化に向けて、準備を進めている。プログラムのソースコードは以下の URL からダウンロード可能である (<http://www-itolab.mta.nitech.ac.jp/MultiIssueNegotiations/>)

図 11 は共通テストベッドを利用した交渉手法評価プログラムにおける流れ図を示している。本プログラムは、共通テストベッド作成ツールにより出力された XML ファイル読み込み、最終的に合意案を出力するプログラムである。以下に主な内部動作を示す。

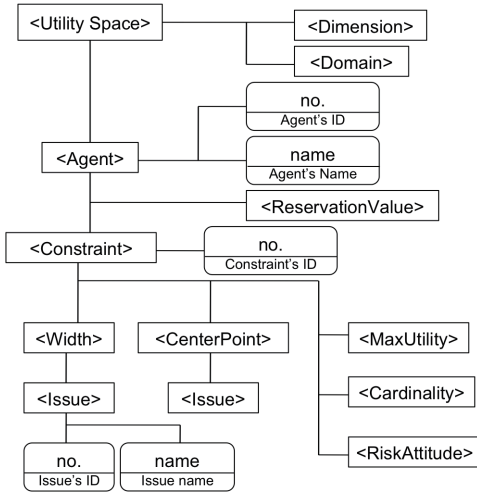


図 10: コーン制約における XML タグの木構造

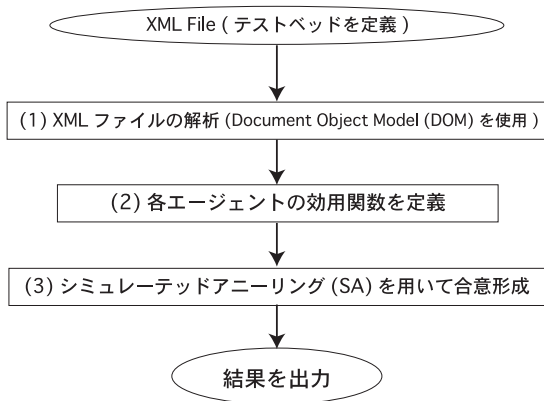


図 11: テストベッドを用いた評価プログラムの流れ図

- (1) XML ファイルの解析 本プログラムでは、Document Object Model (DOM)[5] を用いて XML 文書をプログラムに読み込み、解析する。DOM とは XML 解析のための Application Program Interface (API) であり、XML の論理的構造や、XML へのアクセスや操作の方法を定義するものである。DOM で読み込んだ XML 文書は木構造として解析される。本プログラムでは、効用空間の定義やエージェントの効用情報等の定義を XML 文書から解析する。
- (2) 各エージェントの効用関数を定義 効用空間や効用関数の構造を前ステップで解析した情報に基づいて定義する。
- (3) シミュレーテッドアニーリングによる合意形成 本プログラムでは、非線形効用空間において一般的な合意形成手法である、全エージェントの効用情報をメディアータに公開し、シミュレーテッドアニーリング (SA)[9] を用いて探索する手法を用いて合意形成を行う。シミュレーテッドアニーリング (SA) とは温度が高い場合は大胆に探索を行い、温度が低くなるにつれて評価値が高い状態へ移動する探索手法である。既存の交渉手法において、非線形効用空間での探索において、山登り法など他の探索手

法と比較して SA は優れていることから、頻繁に用いられている。[4]

本プログラムは現在、C, JAVA, Ruby, Python, PHP で作成されており、多くの人々が交渉手法の評価の際に使用出来るように Web 上で公開している。今後、さらに多くの人に本共通テストベッドプログラムを使用してもらうため、作成するプログラム言語を増やす予定である。

6 まとめと今後の課題

本論文では、各論点が相互依存関係の場合の交渉プロトコルを評価する共通テストベッドの提案を行った。提案した共通テストベッドは一般制約とコーン制約に基づいた効用関数に適用している。また、効用関数を作成するタイプをエージェントのタイプの観点から定義し、共通テストベッド作成プログラムを示した。さらに、本共通テストベッドは XML により定義されているため、XML タグの定義に関して示した。最後に、現在行っている共通テストベッドオープンソース化プロジェクトについて示した。

今後の課題として、共通テストベッドの作成タイプの多様化があげられる。現在は個々のエージェントがもつ効用空間の形状はあまり考慮していないが、実際は交渉の種類によって異なる場合が多い。また、XML タグの洗練化に関しても他の研究者と議論を行いながら改良していく予定である。

参考文献

- [1] P. Faratin, C. Sierra and N. R. Jennings: "Using similarity criteria to make issue trade-offs in automated negotiations", *Artificial Intelligence*, pp. 142:205-237 (2002).
- [2] K. Fujita, T. Ito and M. Klein: "Preliminary result on secure protocols for multiple issue negotiation problems", *Proc. of The 11th Pacific Rim International Conference on Multi-Agents (PRIMA-2008)* (2008).
- [3] K. Fujita, T. Ito and M. Klein: "A representative-based multi-round protocol for multi-issue negotiations", *Proc. of The 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2008)* (2008).
- [4] T. Ito, H. Hattori and M. Klein: "Multi-issue negotiation protocol for agents: Exploring nonlinear utility spaces", *Proc. of 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2007)*, pp. 1347-1352 (2007).
- [5] W3C: "Document Object Model (DOM) Technical Reports", <http://www.w3.org/DOM/DOMTR>.
- [6] J. R. V. Ivan Marsa-Maestre, Miguel A. Lopez-Carmona and E. de la Hoz: "Effective bidding and deal identification for negotiations in highly nonlinear scenarios", *Proc. of The 8th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2009)* (2009).
- [7] K. Fujita, T. Ito and M. Klein: "Approximately fair and secure protocols for multiple interdependent issues negotiation", *Proc. of The 8th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2009)* (2009).
- [8] S. S. Fatima, M. Wooldridge and N. R. Jennings: "Approximate and online multi-issue negotiation", *Proc. of the 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2007)*, pp. 947-954 (2007).
- [9] S. J. Russell and P. Norvig: "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice Hall (2002).