

## 知的エージェント学習実験プラットフォームの構築

3E3-8

## Constructing a simulation platform for learning word meanings through the interaction among humans and intelligent agents

溝口勇太 田口亮 木村優志 土井岡伴哉 桂田浩一 新田恒雄  
Yuta Mizoguchi Ryo Taguchi Masasi Kimura Tomoya Doioka Kouichi Katsurada Tsuneo Nitta

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Toyohashi University of Technology

We have been implementing a platform for simulating large-scale language evolution and language development. The platform provides an intelligent agent environment that can learn word meanings through the interaction with another agents or humans. Because the word meaning varies according to situations and contexts, agent has to learn it in various types of social interactions. In the platform, the social interaction is realized by making virtual society on the Internet. The platform provides a virtual space where agents and humans can communicate each other on the Internet. In addition, it provides agents the functionality of storing the interaction log data to learn word meaning. we also outline the architecture of the platform.

## 1. はじめに

ロボット研究や脳研究, および音声言語を含むマルチモーダル対話研究の発展に伴い, ロボットが人と共生することを最終目標とする研究が盛んに行われている. 将来は人々の生活の中に, 家事ロボットやナビゲーションロボット, 秘書エージェントなどの多くのパーソナルエージェントが現れる時代が到来すると予想される. そのとき, エージェントが人の生活に密接に関わっていくためには, 物の名前など多くの知識が必要となる. しかし, そうした知識をエージェントに予めすべて与えるのは困難である. そのため, 知識を他者との関わりの中で柔軟に学習し, 獲得することが必要になる. 現在, 人間-エージェントシステムで対話を扱い, 単語の意味(語意)をエージェント自身の感覚・運動系の信号と対応付けて学習させることが, 語意獲得に有効であると報告されている [赤穂 97, 新田 02, 小玉 05, 岩橋 05].

その発展として, エージェントには, 複数のエージェントや人がいる環境で, 片付けなどのタスクを通して, 語意を獲得できる機構の実現が望まれる. 近年, マルチエージェントシステムを利用した研究では, 社会的な関係を持たせたエージェントを使い, 言語進化のシミュレーション実験をする New Ties Project [Gilbert06] などがあった. エージェントが他者との関わりの中で知識を学習・獲得するためには, オブジェクトの情報, お互いの行動などの共有を可能とする基盤が必要となる.

そこで本稿では, インターネット上で複数の参加者が育てたエージェントを対話させ, 大規模な言語進化・言語発達シミュレーション実験を行うことを目的に, その基盤となるプラットフォームの設計について述べる. また 3 章で, 本プラットフォームを使った人間-エージェント対話の実験例を示す.

## 2. 知的エージェント学習実験プラットフォーム

知的エージェントを用いた協調作業などのシミュレーション実験では, 様々な人やエージェントが混在した環境が必要である. 人やエージェントをどこか 1 つの場所に集めるのは困難であるため, ネットワークを介して仮想空間上で実験を行う.

連絡先: 溝口勇太, 豊橋技術科学大学, 〒441-8580  
愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, 0532-44-6884,  
mizoguchi@vox.tutkie.tut.ac.jp

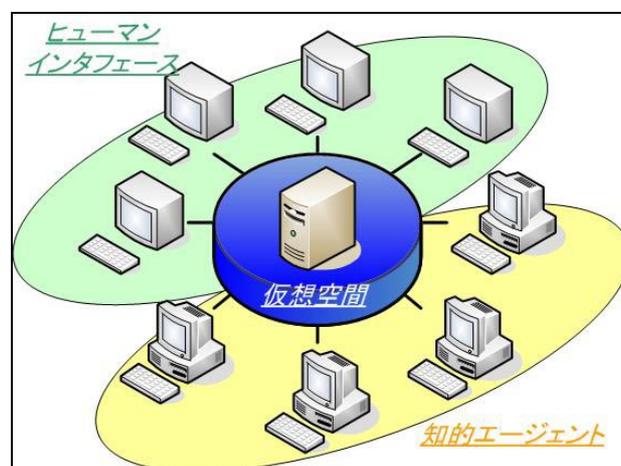


図 1. 実験プラットフォームの構成

本プラットフォームは, サーバ上に構築された実験用の仮想空間内に, クライアントとしてエージェントや人が参加するクライアントサーバモデルである (図 1 参照). つまり, 本プラットフォームは, 1) 仮想空間, 2) 知的エージェント, 3) ヒューマンインタフェースの 3 つから構成されている. 以下, それら 3 つについて説明していく.

## 2.1 仮想空間

「人間 - エージェント - 実世界の事物・事象」の三項関係を基に, 語意学習のシミュレーション実験を行うためには, 自分以外の主体 (人, またはエージェント) とオブジェクトや互いのインタラクションなどを共有する必要がある. そのため, 本プラットフォームでは, 3D 空間内にオブジェクトが配置された仮想空間を用意する. 仮想空間内では, オブジェクトやオブジェクトに対する主体のインタラクションは, データとしてネットワークを介し共有される. そして, 主体同士がこの仮想空間で言語インタラクションを使い, 語意学習のシミュレーション実験を行うことができる.

## 2.2 仮想空間内のオブジェクト生成

仮想空間内に配置されるオブジェクトは, XML 形式で書かれたファイルを読み込むことで生成される. また, オブジェクトは, 実世界の物をシミュレートするため, 形や色, 重さなど複数の属

```

<object id = "1">
  <shape> 1111 </shape>
  <hue> 2222 </hue>
  <uri> ./aaaa.jpg </uri>
</object>
<object id = "2">
  <shape> 3333 </shape>
  <hue> 4444 </hue>
  <uri> ./bbbb.jpg </uri>
<object id = "3">
  ...

```

図 2 . オブジェクト生成用ファイルの記述例

性と対応する特徴値をそれぞれ任意に設定できる必要がある。オブジェクト生成用のファイルの記述フォーマットに従った作成例を図 2 に示す。図に示すようにオブジェクトは、

- ・ ID
- ・ 属性
- ・ 属性と対応する特徴値
- ・ (元画像 URI)

の 4 つのパラメータを持ち、固有につけられる ID によって管理される。また、形や色など、オブジェクトに関連する属性は、複数任意のタグとして設定することができる。なお、特徴値を求める前の元の画像は URI で指定しておくこともできる。

実験では、まず、このどちらかの拡張子をしたファイルから仮想空間内にオブジェクトを生成・配置する。そして、クライアントにも、サーバから同様のファイルを送信する。こうすることで、クライアント同士は仮想空間のオブジェクトを共有することができる。

### 2.3 仮想空間内のインタラクションの共有

本プラットフォームを使った実験では、主体間で様々なデータ通信することで多くの種類の実験を行うことを期待した。そのため、実験者が、行いたい実験に合わせて主体間の通信を柔軟にデザインできるような機構を組み込んだ。まず、主体間の通信に用いるデータ形式 (イベント) を共通にした。イベントは、

- ・ イベントの種類
- ・ イベントを発行したエージェントの名前
- ・ イベントの値 (イベントの種類で異なる)

で表される。そして、そのイベントを処理する仕組みを共通 API で提供し、再利用性を高めている。

### 2.4 対話ログ機能

エージェントの語意学習実験では多くの対話データが必要となるため、本プラットフォームでは実験を通して対話データの収集も行う。本プラットフォームを使った実験では、主体同士の通信は必ずサーバを経由するため、サーバでは、送られてきたイベントから、

- ・ どのタイミング
- ・ どのエージェント
- ・ どのイベント

の 3 つの情報を自動でログとして記録する。このようにして生成されたログを対話ログと呼び、対話ログの例を図 3 に示す。また、実験を繰り返すことで、サーバ上に大量の対話ログが蓄積される。その対話ログを効率的に検索するため、実験条件などを記載したカタログを作成する。

```

<action>
  <time>20080613T162000</time>
  <event type = "utter">
    <source> agent1 </source>
    <value> aka </value>
  </event>
</action>
<action>
  ...

```

図 3 . 対話ログ例

## 2.5 知的エージェント

エージェントは、他の主体との対話を通して語意を学習する機能が必要である。そのため、エージェントは単語と属性 (形や色など) の特徴との共起頻度を格納する「語意辞書」を持つ。語意学習では、注目しているオブジェクトについて、他の主体からの発話イベントを受信したとき、そのラベルと属性の対応関係を学習し、語意辞書に格納する。学習方法としては、対応関係を頻度分布や、混合正規分布として Online-EM アルゴリズム [石井 98] を使うことを想定している。

## 2.6 ヒューマンインタフェース

人が、対話空間に配置されているオブジェクトや他の主体のインタラクションを共有するため、それらを入力・出力するためのインタフェースが必要となる。本プラットフォームにおけるヒューマンインタフェースを図 4 に示す。図に示すように画面には、

- ・ オブジェクトの一覧
- ・ 対話相手
- ・ カーソル (相手の注目オブジェクト)
- ・ 相手の発話
- ・ オブジェクトの特徴値

が表示される。また現在、「指差し」や「発話」といった操作は、キーボードからすべて実行できる。ただし、「発話」は音声入力させるなど、キーボード以外の入力方式へ拡張させる予定である。

## 3. 人間-エージェント対話による語意獲得実験

本プラットフォームを使った実験例として、人間-エージェント対話によるエージェントの対話戦略の評価実験について述べる [田口 07]。実験では、被験者が教示役となり、エージェントに単語を教示する課題を設定し、獲得した対話戦略の有効性を評価する。



図 4 . ユーザへの画面表示

### 3.1 エージェントの設計

エージェントの語意学習機能, 対話学習のための行動設計, 対話戦略の学習アルゴリズムについて述べる.

#### (1) エージェントの語意学習機能

エージェントは, そのラベルと属性(形や色など)の対応関係を頻度分布で学習し, 語意辞書に格納する.

#### (2) 対話学習のための行動設計

エージェントには話題となるオブジェクトを指差すための二つの行動と, 三つの発話行動, および何もしないという行動の計六つの行動を与える. エージェントの行動を表1に示す.

#### (3) 対話戦略の学習アルゴリズム

Q 学習を用いて, 他の主体との対話を繰り返しながら対話戦略を学習する. Q 学習では, ある状態  $s$  で行動  $a$  をとり, 状態  $y$  に遷移し報酬  $r$  を得た場合, 次式を用いて Q 値を更新する.

$$Q(s,a) \leftarrow (1-\alpha)Q(s,a) + \alpha(r + \gamma \max_{a'} Q(s',a')) \quad \dots(1)$$

ここで,  $\alpha$  は学習率,  $\gamma$  は割引率である. そして, エージェントは, 現在の状態に対する各行動のQ値を取得し, 最大Q値の行動を選択する. エージェントの状態を表2に示す.

### 3.2 実験条件

仮想空間内には, 教示役である人間 1 人と学習役であるエージェント 1 体があり, また, 発話対象となる 9 個のオブジェクトがある. 実験中の画面を図5に示す. 教示に使用する単語は, 6 個とした. それぞれの単語はオブジェクトの持つ特徴に対応させた aka, siro, ao, maru, shikaku, saNaku である. また, 簡単のため, 発話は一単語発話に限定した. なお, エージェントの報酬は, 被験者に理解度を示す表情アイコンを操作させることで与えられる. 表情が快なら正の報酬, 不快なら負の報酬とした.

表1. エージェントの行動

行動名	内容
(a1)	何もせずに相手に行動権を渡す.
(a2)	話題選択ランダムにオブジェクトを選択する.
(a3)	指差し選択したオブジェクトを指差す.
(a4)	模倣相手の発話を繰り返す.
(a5)	単語追加話題に関連する単語を発話レジスタに追加する
(a6)	発話発話レジスタの内容を発話する.

表2. エージェントの状態

変数名	内容	値
(s1)	相手の表情平常	平常 0, 快 1, 不快 2
(s2)	相手の行動	何もしない 0, 指差し 1, 発話 2
(s3)	自分の表情平常	0, 快 1, 不快 2
(s4)	自分の前の行動	1~6
(s5)	話題に関連する獲得語意数	0~n
(s6)	話題に関連する単語のうち, 相手が理解していると推定した単語の数	0~n
(s7)	発話レジスタ内の相手が理解していない単語の有無	0,1



図5. 実験画面

被験者は 7 名で, エージェントが対話戦略に従う場合(人間-IA)と, 役割のみを与えられた場合(人間-LA)との比較を行う. エージェントの表情の意味と, 語意学習方法に関しては, 概略を予め被験者に伝えた. また, エージェントの戦略について理解が得られるまで練習した後, 語意学習の効率を調査した.

### 3.3 実験結果と考察

人間の教示により, IA と LA がすべての単語の語意を獲得するまでに要したターン数の平均は, それぞれ約 27 ターンと, 約 36 ターンであった. t 検定の結果, 有意水準 0.005 で有意な差が得られた. 各ターン数における平均獲得語意数を図6に示す. 同一条件での比較のため, 教示役を常に 1 語発話を行うエージェント(以下 TA と呼ぶ)とした場合の IA および LA とのシミュレーション結果も図6に示す. 図から学習初期においては, IA よりも LA の方が効率的で, 語意を三つ獲得した辺りから, IA の方が効率的になることがわかる. 学習初期において, IA よりも LA の方が早く語意を獲得できたのは, 被験者の多くが「形から教えて, 次に色を教示する(またはその逆)」という戦略をとっていたためである. このような場合, 一つのオブジェクトに対して長く対話を続ける IA に比べて, LA の方が多くのオブジェクトに対して教示できるため, 語意を早く獲得させることができる. エージェント同士の対話においては, このような現象はみられなかった(図6の TA-IA/LA を参照). これは, エージェントは人間のように, 発話する単語を選択する能力を持たないためである. 一方, IA の戦略は幾つかの語意を獲得してからの方が効率的であることが分かる. これは, IA が獲得語意の少ないオブジェクトを優先して選択したためである.

また, 図から TA が教示する場合よりも人間が教示する場合の方が, IA と LA の両方に対して若干ではあるが効率的であることがわかる. これは人間の場合, 自身の教示や相手の応答を記憶しておくことで, 相手が獲得していない単語を選んで教示することができるためである. また, このような記憶だけでなく, 例えば IA が色の異なる四角を連続して指差したことで, 「IA は四角を意味する単語を教えてほしいのであろう」と被験者が推測する場面も観察できた. ただし, すべての教示が無駄なく行われているわけではなく, 獲得済みの単語を再教示することも少なくなかった. そのため, 人間による教示とエージェントによる教示の間には, 大きな差がでなかったと考える.

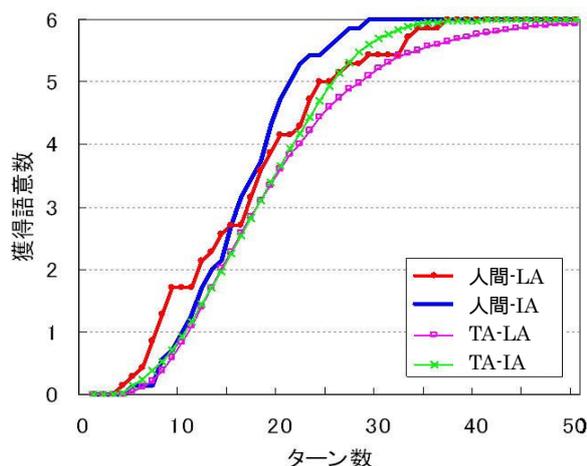


図6. IAの教示による語意学習実験の結果

### 3.4 実験のまとめ

人がエージェントに語意を教示する実験において、エージェントの戦略が有効に機能することを示した。

## 4. まとめ

人とエージェントが混在する環境で、大規模な言語進化・言語発達のシミュレーション実験を行うために構築したプラットフォームの設計について報告した。また、構築したプラットフォームを使った実験を通して、人やエージェントの対話を扱うことができることを示した。

今後は、ヒューマンインタフェース部分において、キーボード入力しかできない点を改良し、音声入力や表情、視線といった情報も入力として使用できるようにしたいと考えている。また、このプラットフォームを使い、片付けタスクやナビゲーションタスクなどを通してタスクの知識を獲得していく実験を行う予定である。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号 18500130)の援助を受けた。

## 参考文献

- [赤穂 97] 赤穂,速水,長谷部,吉村,“EM法を用いた複数情報源からの概念獲得”, 信学論, Vol.J80-A pp.1546-1553, 1997.
- [新田 02] 新田, 越坂, 桂田: Infant Agents 間での対話による概念知識獲得,人工知能学会全国大会, 1A1-07, 2002
- [小玉 05] 小玉, 田口, 木村, 桂田, 山田,新田, “制約の理論を用いた Infant Agent による概念獲得”, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI05 pp.253-255, 2005.
- [岩橋 05] 岩橋: “人と機械の共有経験を基盤とする言語コミュニケーションの計算機構とシンボルグラウンディングの階層性”, 人工知能学会研究会資料, SIG-FPAI-A503-05 pp.25-32, 2005
- [Gilbert06] Negel Gilbert, Matthijs den Besten, Akos Bontovics, Paul Vogt, et.al.: “Emerging Artificial Societies Through Learning”, Journal of Artificial Societies and Social Simulation/9(2)9<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/2/9.html>>, 2006
- [石井 98] 石井, 佐藤: “オンライン EM アルゴリズムによる動的な関数近似”, 信学技報, pp.43-50, 1998
- [田口 07] 田口: “エージェントの語意学習に関する研究”, 豊橋技術科学大学 工学研究科 電子・情報工学専攻博士論文, 2007