

# 情報の遮蔽に起因する集団内齟齬を解消する自動発話生成

## Automatic Utterance Generation which Cancels the Discrepancy in a Group

成 雄大\*<sup>1</sup>  
Yuta Nari

島田伸敬\*<sup>2</sup>  
Nobutaka Shimada

白井良明\*<sup>2</sup>  
Yoshiaki Shirai

\*<sup>1</sup> 立命館大学大学院  
Graduate Schools of Ritsumeikan University

\*<sup>2</sup> 立命館大学 情報理工学部  
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

We propose the method of the automatic utterance strategy for an interactive robot to resolve the discrepancy of knowledge among group members, where the correct information is unclear. We assume that the discrepancy occurs when we have only received incomplete information or provided outdated / wrong information during conversation. Our system imagines the individual user's knowledge status using Dynamic Bayesian Network and solves the discrepancy by estimating the correct information from the incomplete ones and exchanging the information mutually. In this paper, we show the result in which the robot generated the appropriate utterance for estimating the true information and resolving the discrepancy.

### 1. はじめに

昨今高度に情報化の中で、タッチパネル[齋藤 03]やジェスチャ[入江 07]、音声入力[鹿野 06]によるインタフェースの研究が盛んに行われている。その中でも、特別な訓練のいらない自然言語を用いたインタフェースが注目されており、インタラクティブに操作可能な観光管理システム[Drygajlo 03]や館内案内システム[翠 07]など様々なサービスを提供できる対話システムや対話ロボットが研究開発されている。多くのインタラクティブなシステムがユーザにとって既知の情報を伝えてしまう事や、急な話題の転換についていけない事などの課題への取り組みがこれまでに成されてきた[麻生 03][伊藤 10]。さらにユーザ間、ユーザ-ロボット間において知識・情報の齟齬(食い違い)が発生した場合にそれにシステムがどう対応するかという課題がある。

本研究では、ロボットがユーザとの対話によって情報交換することで齟齬を解消することを試みる。具体的には、不確実かつ部分的な情報しか無い中での集団内で発生した齟齬を(1)対話を通じて検知し、(2)正しい情報を推定し、(3)正しい情報を提供して齟齬を解消する。情報がユーザ間で互いに遮蔽されていることを考慮して、推測したい事象に関して収集した証拠情報からその事象の状態を逐次更新するユーザの知識モデルをDynamic Bayesian network (DBN)を用いて記述し、齟齬解消に役立つ証拠情報を選択して意見を異にする相手を説得するための自動発話生成手法をこれまでに提案した[成 11]。

説得に関する社会心理学的研究では、説得対象がコミュニケーションによる説得によって態度が変容するかどうか左右する変数として図1に示したような要素が説得変数として考慮されている。これらの説得変数はのうち、信憑性に関する説得変数に関しては信憑性の高い情報で説得を試みたほうが、態度の変容が起こりやすいことが多くの研究で確かめられている[原岡 92]。そこで、ユーザへの説得発話生成の際に、説得対象のユーザが何に対して信憑性を高くもっているのかを考慮して発話を生成することが望まれる。例えば、グループ内のメンバーのうち誰が誰に信用されているのか、といった因子である。

そこで本論文では、ユーザの知識推定モデルに個々のメンバー自身や情報伝播に用いるメディアの信頼度を表現する要素を新たに加え、対話を重ねることで信憑性の学習を行いつつ、

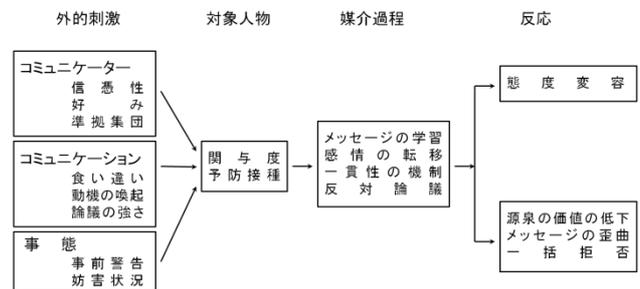


図1 説得のモデル

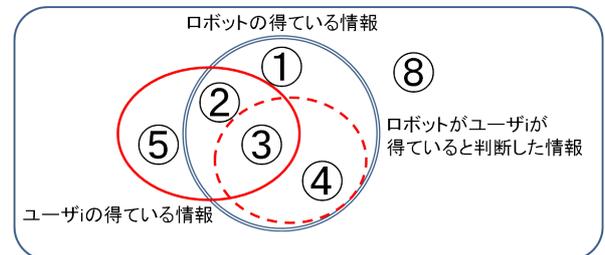


図2 遮蔽された情報の分類

説得対話を生成できる知識・対話モデルを提案する。

### 2. 情報の遮蔽の分類

情報の遮蔽は“情報の不足”と、“情報伝達の不備”によって発生する。図2に遮蔽された情報の分類について示した。図2に示されている丸囲み数字は情報の遮蔽の種類を示しており、青い二重線で示された領域がロボットの知識、赤い実線で示された領域がユーザの知識、赤い点線で示された領域がロボットの中でのユーザの知識を表している。情報の遮蔽の種類についての説明を以下に示す。

- ① ロボットには既知でユーザには未知の情報
- ② ロボットには既知でロボットはユーザが未知であると判断したが、実はユーザには既知である情報
- ③ ロボットとユーザが共有している情報
- ④ ロボットには既知でロボットはユーザも既知であると判断したが、実はユーザには未知である情報
- ⑤ ロボットには未知でユーザも未知であるとロボットが判断したが、ユーザには既知の情報

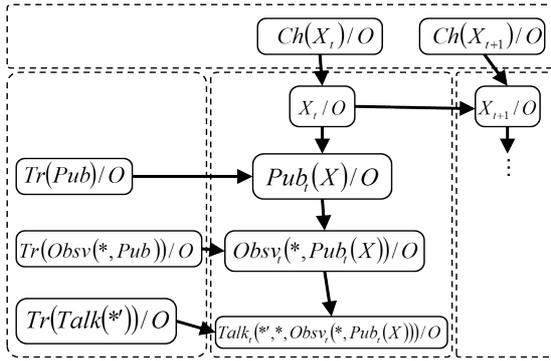


図3 ユーザの知識状態推定のためのDBN構造

⑧ ロボットにもユーザにも未知の情報

上記分類のうち、①に関してロボットはユーザに伝えなくてはならず、③の情報は改めて伝えるべきではない。②の情報に関してはユーザが既知であるにも関わらず、ロボットはユーザが知らない情報と判断して伝えてしまうため、情報伝達の効率が悪い。④に関してはユーザが既知であるとロボットは勘違いしているため、ロボットは④に関する情報を発話せず、実は未知の情報であると検知することが困難になる。⑤に関してはロボットが知らない情報なので是非とも聞き出さなくてはならないが、その存在があることを何らかの方策で予測しなくてはならない。⑧の情報はユーザ及びロボットが事態を進展させる情報を持っていないために情報収集の必要性を進言する必要がある。

以上の分類から、本論文では①～⑤、⑧の遮蔽のタイプをロボットが区別し、③の領域を十分に大きくする発話を生成することをめざす。

3. ユーザの知識推定

ここで、取得した情報によって変化するユーザの知識状態をロボットが推定するための DBN の構造の説明と、知識状況の進展に伴う動的なノードの追加法について述べる。

3.1 ユーザ毎に独立した主観的知識状態モデル

ロボットは明らかにしたいトピックに対してユーザ個々がどのような証拠情報を持っているかを対話中から判断し、ユーザの知識状態を推定する。以後明らかにしたい事柄を X とする。

DBN は、各ユーザが認知する情報のみから影響をうけるべきという考えから、各ユーザ及びロボットが独立して持つ。これより、各 DBN の主体となっているユーザ・ロボットをその DBN のオーナーと呼ぶこととし、O で表記することとする。

3.2 DBN 上での信頼度の表現

各ノードが依存する情報源となるノードからの情報をどれだけ正確に伝えているか、各ユーザの主観的知識モデルの中で表現する手法の簡単な例を図 4 に示した。図 4 に示したモデルは、情報 X と Y がある時にそれを広報するメディア Z がある状況を想定している。そのメディア Z がどれだけそれぞれの情報源からの情報を正確に伝えるかを操作する信頼ノードとして、T(Z)ノードを用意し、表 1 に示すような条件付き確率表を設定した。T(Z)ノードは信頼する(trust)と信頼しない(doubt)の 2 値をとるノードで、T(Z)ノードの事前分布によって X、Y それぞれの情報メディアにどれほど影響を及ぼすか操作できる。

このようなネットワークを組むことによって、メディア Z から X の情報が得られた時に、他の情報もあわせて総合的に推定された X の状態と突き合わせることによって、信頼ノード T の事

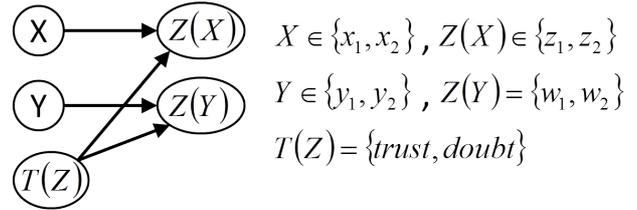


図4 信頼度表現のためのベイズネットの例

表1 信頼度表現のための条件付き確率表

		$P(Z(X) X, T(Z))$			
		$X = x_1$	$X = x_2$	$X = x_1$	$X = x_2$
		$T(Z) = trust$	$T(Z) = trust$	$T(Z) = doubt$	$T(Z) = doubt$
$Z(X) = w_1$		1.0	0.0	0.5	0.5
$Z(X) = w_2$		0.0	1.0	0.5	0.5

		$P(Z(Y) Y, T(Z))$			
		$Y = y_1$	$Y = y_2$	$Y = y_1$	$Y = y_2$
		$T(Z) = trust$	$T(Z) = trust$	$T(Z) = doubt$	$T(Z) = doubt$
$Z(Y) = w_1$		1.0	0.0	0.5	0.5
$Z(Y) = w_2$		0.0	1.0	0.5	0.5

後確率分布を求め、メディア Z の信頼度を更新する。その後にメディア Z から Y の情報が広報された時、X の情報が確かであったかどうかによって Y の確率分布推定に与えるメディア Z の影響力が変化する。

3.3 主観的知識状態推定のための DBN 構造

図 3 に主観的知識状態モデルの構造を示す。知識推定のために用いているノードは大きく分けて以下の 8 つに分類される。

- $X_{時刻}/O$ : オーナーのトピック X の知識状態を表すノード
- $Pub_{時刻}(X)/O$ : X の状態を不特定多数に広報するユーザ・ロボットが確認できる掲示板等の外部情報を表すノード。広報物毎にユニークに存在。
- $Obsv_{時刻}(観察者, 観察内容_{時刻})/O$ : 聞く・見るなどの発信者は不定で観察者が一意に定まる情報の伝達を表現するノード。
- $Talk_{時刻}(発話者, 受話者, 発話内容_{時刻})/O$ : 発話者と受話者が一意に定まる情報の伝達を表現するノード。
- $Ch(X_{時刻})/O$ : その時刻で心変わりがあったかどうかを表すノード
- $Tr(Pub)/O$ : オーナーの広報物に対する信頼度、広報物毎にユニークに存在
- $Tr(Obsv(観測者, Pub))/O$ : オーナーの中で観測者がどれだけ広報物からただしく情報を取得できるかを示した信頼ノード
- $Tr(発話者)/O$ : オーナーの中でどれだけ発話者が正しく情報を伝達できるかを示した信頼ノード

時刻 t は離散値をとり、なんらかの発話がユーザ・ロボット間、またはユーザ・ユーザ間で発生した場合と、トピック X に関する情報を得られる掲示板など他の媒体を確認した場合に 1 つ進むとする。このモデルを使用することで、現時刻 k の各ユーザの信じる X の状態を推定することは、各  $X_k/O$  を求めれば良いこととなる。

### 3.4 動的なノード生成と情報経路を考慮したリンクの接続

基本的な話題選択・発話生成は[伊藤 10]の手法に従うこととし、このモデルを用いてユーザの知識を推測する手順を以下に示す。説明の簡単のため対話しているユーザを仮に A とし、ユーザから発話された時刻を  $t$  とする。またユーザ A は X について掲示板の情報を自ら確認したものとす。

1. ロボットはユーザ A にトピック X に関しての情報と、その情報を得た情報源の 2 つを尋ねる発話を行う。
2. ここで得られた情報から  $t$  時刻における Talk ノードを作成する。第 1 引数には発話者 A が、第 2 引数には発話対象 R が入り、第 3 引数には発話内容を示すノード名が入る。情報源が”わからない”もしくは無回答の場合は曖昧な状態を示す  $\text{Anonymous}_t(X)$  を観測したノード入れる事とした。また、発話が説得に対する返答である場合は  $t$  時刻のユーザの知識状態  $X_t/O$  を発話内容とした Talk ノードを作成する。
3. Talk ノード作成後、その発話内容を示すノードを作成する。最初は作成した Talk ノードを中心としてリンク接続処理に移る。処理の中心となるノードをこれよりピボットと呼ぶ。

ピボットとなるノードを中心とした情報の経路の接続法を以下に示す。

- i) ピボットノードがトピックを示す X ノードであった場合、手順 v に移る。それ以外であれば手順 ii の処理に移る。
- ii) ピボットノードに対応する信頼ノードからピボットノードにリンクを接続する。
- iii) ピボットノードが Talk ノードであればその発話内容を示すノードを、Obsv ノードであれば観測対象を示すノードを、Pub ノードであればトピック X ノードを同時刻の親ノードとして作成し、ピボットノードにリンクを接続する。
- iv) ピボットノードを手順 iii で作成したノードに移し、手順 i に戻る。
- v) ピボットノード X に心変わりがあったかどうかを表す Ch ノードを追加し、Ch ノードからトピックノード X に対してリンクを接続する。
- vi) ピボットノード X にそれまでに生成されていた最新時刻のトピック X からリンクを接続する。それまでにトピック X ノードが生成されていなければなにもしない。

4. オーナーがユーザの場合、ロボットかオーナーが発話者となっている Talk ノードが証拠状態となり、ロボットがオーナーの場合はロボットが受話者となっている Talk ノードが証拠状態となる。証拠状態のノードは発言で伝達された X の状態の確率値を 1.0 で確定する。

5. ここで、確率伝播計算を行い  $t$  時刻での各ユーザの知識状態の事後確率分布を算出する。また、ユーザからの返答で齟齬が解消された場合、説得発話を生成する前の時刻の次の Ch ノードの心変わりを表す状態の確率値を 1.0 に確定させて再度確率伝播計算を行う。これは説得の成功を示すユーザの返答が過去の信頼ノードに影響をおよぼすことがないようにするためである。

### 4. 齟齬の検出と発話の決定

時刻  $t$  にユーザ  $k$  と齟齬があるかどうかは式(3)で  $OP_{R,t}$  の値が  $OP_{k,t}$  と同一であるかどうかで判断する。ただし、 $P(OP_{k,t})$  が大きい値  $\theta$  未満である場合、ユーザには支持する意見は無いと判断し齟齬ありとは見なさない。ここで用いている  $\theta$  は 55% とヒュ

ーリスティックに設定しているが、値の大小が発話生成のパフォーマンスに影響を及ぼす調整パラメータである。

$$OP_{k,t} = \arg \max_{i \in X} P(k_t(x_i)) \quad (1)$$

$$P(OP_{k,t}) = \max_{i \in X} P(k_t(x_i)) \quad (2)$$

$$f(OP_{k,t}, OP_{R,t}) = \begin{cases} \text{齟齬あり}, OP_{k,t} \neq OP_{R,t} \\ \text{齟齬なし}, OP_{k,t} = OP_{R,t} \end{cases} \quad (3)$$

齟齬検出処理の後、以下の (t0)~(t3) に分類した発話を行う。

- (t0): 齟齬なく情報の共有が得られたものとしてトピック X に関してアドバイスの必要なしと判断し、会話を打ち切る。
- (t1): 状況を進展させる証拠がないため、⑧の遮蔽の可能性があり、現時点ではわからない旨の定型文とさらなる証拠が欲しい旨を伝える定型文を発話して、会話を打ち切る。
- (t2): ロボットが保持している証拠とユーザが保持している証拠が異なり、また一方のみが支持する状態はないか齟齬があった場合、図 1 の①②の遮蔽が起こっているものとしてユーザが持っていない証拠のうち、最適なものを伝える。
- (t3): ロボットの中でユーザとロボットの持っている証拠が一致するにもかかわらず意見が食い違う場合、図 1 の④⑤の遮蔽の可能性があり、ユーザがロボットの持っていない証拠を持っているものと期待してユーザに情報提示を求める定型文を発話し、情報を待つ。

### 5. 説得のための発話生成

上記発話分類のうち、(t2) に関しては最適な証拠を選んで発話を生成させなくてはならない。そのためのユーザに発話すべき証拠  $\hat{e}$  を式(7)で算出する。その候補集合を E とし、要素を  $e_i$  とする。E の要素全てをそれぞれユーザに伝えた場合に次時刻で変化すると思われるユーザの知識状態を、3.3 節の手法に従って推測する。推測時に用いるロボットの発話ノードは、ロボットが発話者、対象ユーザが受話者、発話内容が証拠  $e_i$  とする Talk ノードを用いる。以下説明のためロボットが発話した時刻を  $t+1$  とする。

$$q_{t,j \in X} = \begin{cases} -1, j \neq OP_{R,t} \\ 1, j = OP_{R,t} \end{cases} \quad (4)$$

$$M_t = \sum_{x_j \in X} q_{t,j} P(k_t(x_j)) \quad (5)$$

$$M_{t+1, e_i \in E} = \sum_{x_j \in X} q_{t+1,j} P(k_{t+1}(x_j)) \quad (6)$$

$$m = \arg \max_{e_i \in E} M_{t+1, e_i} \quad (7)$$

$$\hat{e} = \begin{cases} \text{"none"}, M_{t+1, e_m} < M_t \\ m, M_{t+1, e_m} \geq M_t \end{cases} \quad (8)$$

$\hat{e}$  が”none” でない場合は証拠  $e_k$  を発話し、[伊藤 10]の会話生成手法に処理を返す。 $\hat{e}$  が”none” である場合とは対象となるユーザが信頼していない他ユーザ、もしくは媒体から収集した証拠しかロボットが持っていない場合であるので、(t1)の発話を行う。

### 6. 齟齬を持つユーザへの説得実験

実験では、予定管理タスクを負っているロボット、ポストドクターで信頼の厚いユーザ P、優等生のユーザ A、いい加減な学生と評価されているユーザ B が登場する環境を想定して実験

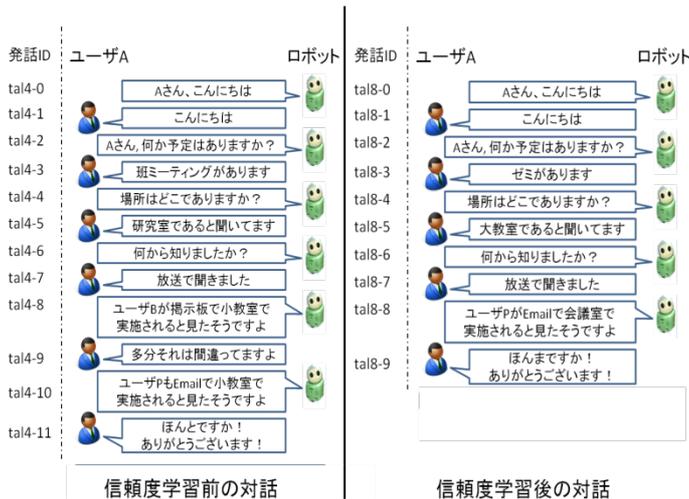


図5 齟齬解消発話生成の対話実験例

を行った。なお、各メディア、及びそれを観測した時の信頼度と、発話に対する信頼度の事前分布を表2に示した。

ロボットが、Email からユーザ P が、掲示板からユーザ B が班ミーティングの予定の場所が小教室であると聞いた後で、ユーザ A が間違っ班ミーティングの場所は研究室だといった時の対話を図5の左側、信頼度学習前の対話に示した。

ロボットは tal4-7 の発言を聞いた時に知識状態推定を行い、ユーザ A に対して説得の必要ありと判断し tal4-8 の発言を生成した。これはユーザ B の発言が掲示板から得られたもので、ユーザ P の Email からの情報よりも信頼度が高いと事前にシステムに与えていた結果である。ユーザ A はいい加減なユーザ B からの情報は tal4-9 で示されたように信じず、ロボットは説得失敗とその返答から判断し tal4-10 の発言を生成した。これはロボットがもうユーザ A のしらない証拠はこれしかないためである。この結果 tal4-11 でユーザ A はポストクの先生が言った情報ということで説得に応じ、ユーザ A の他に対する信頼度が更新された。

その後、ロボットがユーザ P とユーザ B からそれぞれ放送、掲示板からゼミの予定の場所が会議室であると聞いていた後で、ユーザ A が間違っ班ゼミの場所は大教室だといった時の対話を図5の右側、信頼度学習後の対話に示した。

ユーザ P から得た情報は放送由来であるにも関わらず tal8-8 でユーザ B の掲示板から得た情報を差し置いてユーザ P からの情報を伝えている。これは、ロボットの中でのユーザ A の各ユーザに対する信頼度でユーザ P の方がユーザ B よりも高いために、ユーザ P から得た証拠が式(8)から選出された。

## 7. まとめ

主観的知識モデルを構築することで各グループメンバーの知識間に存在する齟齬を検出し、情報の遮蔽を取り除くための発話を生成できることを示した。また、ユーザの DBN 中にメディアの信頼度を示すノードを付加し、情報収拾と提供の対話を積み重ねることで、グループの中で信頼されているメンバーや広報媒体を推測し、そのメンバーの発言を積極的に伝達することによって、効率的な齟齬解消のための説得発話を生成した。対話シミュレーションを行って、実際に発話ステップが少なくなることが確認できた。

今後の課題として、情報収集が必要な際にロボットはユーザに対して定型文を発話するだけにとどまっているが、クリティカルな情報を持っていそうなメンバーを推測し、そのメンバーから

表2 信頼度表現のための条件付き確率表

$P(Tr(Email)=trust)$	0.9	$P(Tr(Obsv(*,Email))=trust)$	0.82
$P(Tr(掲示板)=trust)$	0.91	$P(Tr(Obsv(*,掲示板)=trust)$	0.85
$P(Tr(放送)=trust)$	0.85	$P(Tr(Obsv(*,放送)=trust)$	0.76
		$P(Tr(Talk(*))=trust)$	0.91

情報を得られるような発話を生成する手法の検討があげられる。また、時間経過に伴う情報の鮮度の劣化を考慮に入れることや、個々のユーザを個別に説得するのではなく、信頼されているメンバーをまず説得し、それによって集団全体のコンセンサスを効率的に実現することも課題である。

## 参考文献

- [Drygajlo 03] Andrzej Drygajlo, Plaman J. Prodanov, Guy Ramel, Mathieu and Roland Siegwart: On developing a voice-enabled interface for interactive tour-guide robots, *Advanced Robotics*, Vol.17, No.7, pp599-616(2003).
- [麻生 03] 麻生英樹, 小玉智志, アブデラジズ・キアット, 松本泰明, 本村陽一, 原功, 浅野太, 新田恒雄, 小笠原司, 村倉正義: 確率的推論を利用したマルチモーダル対話制御, 2003 年度人工知能学会(第 17 回)論文集 1C1-04 (2003).
- [伊藤 10] 伊藤伶, 成雄大, 島田伸敬, 白井良明: 対話ロボットのためのベイジアンネットを利用した知識状態推定に基づく話題選択, 2010 年度人工知能学会(第 24 回)全国大会論文集 1C2-2 (2010).
- [成 11] 成雄大, 島田伸敬, 白井良明: ロボットが集団内での齟齬を解消するための発話戦略, 2011 年度人工知能学会(第 25 回)全国大会論文集 1G3-3 (2011).
- [入江 07] 入江耕太, 若村直弘, 梅田和昇: ジェスチャ認識に基づくインテリジェントルームの構築, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol.73, No.725, pp.258-265(2007).
- [斎藤 03] 斎藤裕明, 池山智之, 足立佳久, 松本吉史, 小笠原司: 館内案内ロボット「たけまる」の開発, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 論文集*, 1P1-1F-C8(2003).
- [鹿野 06] 鹿野清宏: 音声情報案内システムへの挑戦 人にやさしい音声インタフェース 構築基盤のソフトウェアの開発, 第 5 回 SuperH オープンフォーラム(2006).
- [翠 07] 翠輝久, 河原達也, 正司哲朗, 美濃彦彦: 質問応答・情報推薦機能を備えた音声による情報案内システム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 12, pp. 3602-3611 (2007)
- [田中 99] 田中穂積: 自然言語処理-基礎と応用-, (社)電子情報通信学会, 9 章, pp. 281-301(1999)
- [原岡 92] 原岡一馬: 説得的コミュニケーションと態度変容, 名古屋大学教育学部紀要, 教育心理学科, Vol. 39, No, pp. xiii-xxxi (1992)