

# ロボットによる説得対話のための翻意を扱う知識状態モデル

Knowledge State Updating Model Considering Decision Change in Persuasion Dialog Generation

小林 俊介\*<sup>1</sup> 島田 伸敬\*<sup>1</sup>  
Shunsuke Kobayashi Nobutaka Shimada

\*<sup>1</sup>立命館大学 情報理工学部  
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

This paper describes knowledge state updating model considering decision change in persuasion dialog generation. It employs Dynamic Bayesian Network for the description of the model. This paper improves the drawback of the previous presentation that cannot appropriately consider both the updating DBN based on the past conversations and avoiding the conflict between before and after the mind change caused by the robot's persuasion dialog.

## 1. はじめに

音声やテキストによる対話型インタフェースに対する注目は年々高まっており、受付案内 [Nishimaru 02] や、館内案内 [翠 07]、天気案内 [Zue 00][堂坂 02]、パスの交通案内 [安達 02] などの研究がある。更に、単純にユーザからの質問に答えるだけでなく、システムがユーザのタスクを理解し、必要に応じてユーザに必要な情報を提供したり要求するシステムが求められている [田中 99]。例として、既存の対話システムがユーザにとって既知の情報を伝えてしまうことや急な話題転換についていけないことに着目し、[麻生 03] や [伊藤 10] によってシステムがユーザの知識や意図を推定させることや、ユーザの直前の発話に応じた話題をシステムが発話するなどの研究がある。

これらの研究で音声によってユーザに質の高い情報を提供するシステムが実現されたが、システムがユーザの欲する正確な情報を有していることを前提としているため、ユーザ・ユーザ間、ユーザ・システム間で情報の齟齬が生じるとシステムがそれを解決できないという問題がある。

この齟齬解消に関する研究は態度変容研究の一分野として古くから行われている。[原岡 92] に述べられている「説得」のモデルにおいて、信憑性の高い情報で説得を試みたほうが信憑性の低い情報で説得を試みるよりも翻意が起りやすいとの知見に基づき、本研究ではダイナミックベイジアンネットワーク (DBN) を用いて個々のユーザ内での知識状態とその信憑性を表現するユーザモデルを記述し、ユーザ個々に対して齟齬解消のための最適な発話を生成する手法を提案した [成 12]。しかし従来手法ではユーザが説得が成功して翻意した場合、それまでに各情報源の信頼度推定に用いていた過去の対話履歴が翻意後の推定時に実質的に捨てられてしまうことが問題となった。本論文では翻意による知識状態の変化を適切に扱った DBN 更新法を提案することによってその問題に解決法を与える。

## 2. 齟齬解消のための発話生成

### 2.1 齟齬の検出と解消

会話の齟齬を検出して解消するためにはロボットがユーザの知識状態を推定しどの情報を使うとユーザの知識状態がロボットの知識状態に近づくかを推定しなければならない。そのためにダイナミックベイジアンネットワーク (Dynamic Bayesian

Network:DBN) を用いた主観的知識状態モデル [成 12] を用いる。DBN 上での確率的推論は観測されたいくつかのノードを持つ確率変数の推定値 ( $E$ ) から、求めたい確率変数  $X$  の事後確率分布  $P(X|E)$  を条件付確率表 (Conditional Probability Table:CPT) とベイズの定理を基本とした計算で求める。

### 2.2 DBN による主観的知識状態モデル

ユーザの知識状態推定のための DBN の基本構造を図 1 に示す。ここでは、ある知識に対する信念状態 (トピック) がまず広報媒体によって伝達され、それを人間であるユーザが五感によって観測し、それを口頭で別のユーザに伝聞する、といったシチュエーションを想定して、DBN の構成ノードとして以下の種類を設定した。記号中の “R” はロボットを、“A” はユーザの 1 人であるユーザ A を示す。“/R” でロボットの中の知識状態を表す。“/A/R” はロボットの知識状態から推定される A の知識状態を表す。以下にそれぞれのノードの意味を示す。

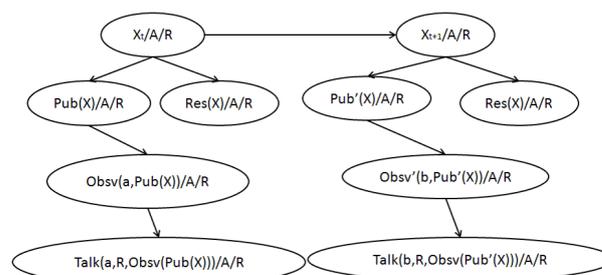


図 1: 知識状態推定のための DBN の基本構造

$X/A/R$  トピックノード。ロボットが明らかにしたいトピック  $X$  の  $A$  の中の知識状態を表すノード。前時刻のトピック  $X$  に依存する。

$Pub/A/R$  広報ノード。ロボットが明らかにしたいトピック  $X$  の状態を不特定多数の対象に向けて何と広報されたかを表すノード。 $X$  に依存する。

$Obsv/A/R$  観測ノード。ロボットが推定する  $A$  の中でトピック  $X$  の状態について広報された情報を、特定の人物が何と観測したかを表すノード。 $Pub$  に依存する。

$Talk/A/R$  発話ノード。ロボットが推定する  $A$  の中でトピック  $X$  の状態について発話者がロボットに向けて何と情報

連絡先: 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1  
shimada@ci.ritsumeikan.ac.jp

を伝達したかを表すノード・Obsv に依存する。

Res/A/R 返答ノード。ロボットが推定するAが自己のトピック X の状態に関してロボットに返答するノード。同時刻のトピック X に依存し、ロボットの説得対話に対しての返答にのみ生成される。

以下、Pub,Obsv,Talk を合わせて証拠ノードと呼ぶ。また各ノード間で接続されている有効リンクの意味を以下に示す。

X-X 間 トピック X が時間経過とともに自然と変容するかを示す。

X-Pub 間 トピック X の状態が広報媒体でどれだけ正確に広報されるかを示す。

Pub-Obsv 間 観測者が広報された情報をどれだけ正確に観測するかを示す。

Obsv-Talk 間 発話者が観測した情報をどれだけ正確に伝えるかを示す。

上の各ノードのうち Obsv ノードか Talk ノードを観測した場合、そのノードの確率変数が変化することで明らかにしたいトピック X の事後確率分布が求まる。これらのノードを用いて、1) DBN/R(ロボットの持つすべての情報ノードで構成される DBN) と、2) DBN/A/R(ロボットの持つ情報のうち A も知っているか推定されるノードのみで構成された DBN)、DBN/B/R(同 B) ...をそれぞれ生成する。

### 2.3 信頼度ノードの導入

齟齬解消のための発話生成にはロボットが持っている証拠のうちどれを発話すれば最もユーザの知識状態をロボットが望む状態に変容させられるか推定する必要があるが、これは予め設定した DBN の CPT に依存する。しかし CPT は各ユーザ間で異なり、特にそれぞれに固有の情報源(ユーザおよび広報媒体)を重視すると考えられる。各 CPT は予め決めた一定値ではなく、ユーザモデルごとに対話を通して動的に推定する必要がある。

そこですべての証拠ノードに対して新たに信頼度ノードを導入し、対応する証拠ノードに繋ぐ。信頼度ノード  $T$  は信頼する ( $T = trust$ )、信頼しない ( $T = doubt$ ) の 2 値を確率的にとり、そのときの  $X \rightarrow Z$  の CPT は  $P(Z|X, T)$  で表すことができる(図 2)。このモデルでは  $P(T = truth)$  が 1 に近い

- Zに対する信頼ノードT  
 $X = \{x_1, x_2\}$   $T = \{trust, doubt\}$   
 $Z = \{z_1, z_2\}$

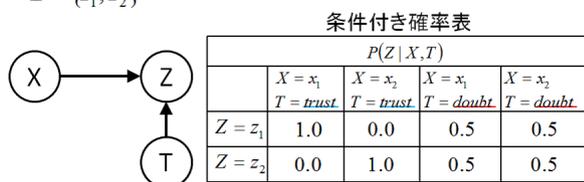


図 2: 信頼度を表現するための CPT

程、X の値をほぼそのまま Z に伝え、0 に近い程、X が何を支持しようとして Z の値は五分五分の値をとる。信頼度ノードを導入した DBN を更新することで、ユーザからの返答が得られたときにその返答が起こりうるように信頼度が自動更新され、各ユーザの各情報源に対する信頼度が学習できる。

### 2.4 ユーザの翻意の考慮

ユーザの説得が成功するとそのユーザの知識状態は大きく変容する。すると翻意前のユーザの発話内容が翻意後の異なる知識状態から発せられたことになり(発話と知識状態が矛盾する)、DBN 中の信頼度分布の学習が誤った方向へ誘導される弊害がある。これを回避するために翻意発生を表すノード ChMind を導入して、ユーザが翻意をしたときに過去と未来を切断して過去に未来の情報が影響を及ぼさないようにする。以上の構造をもつ各 DBN が対話の進行とともに次の手順で動的に生成される。

- Step1 ロボットがユーザに予定を尋ねる
- Step2 ユーザのロボットに対する返答を基にトピック X と発話ノード Talk を作成する
- Step3 何から知ったかを尋ね、それに対する返答を基に観測ノード Obsv、広報ノード Pub を作成する
- Step4 Obsv から Talk に、Pub から Obsv に、X から Pub にそれぞれリンクを繋ぐ
- Step5 ユーザの発話内容に従って Talk の中の変数の 1 つの確率を 1、他を 0 (証拠付けと呼ぶ) にして DBN を更新する。
- Step6 X/A/R の推定が X/R の推定と食い違う場合(齟齬検知)、ロボットはこれまで A に伝わっていないと推定される証拠ノードのうち、X/A/R の分布を最も X/R の分布に近づける証拠ノードの内容を発話する(説得対話)。
- Step7 説得対話に対するユーザの応答を基に応答ノード Res を作成し、X から Res にリンクをつないだ後に応答内容にしたがって Res の状態を証拠付ける。ここでユーザの翻意が起きたと判断されれば Step8へ進み、起きなければ DBN を更新して Step6へ戻る
- Step8 ChMind の true 値に証拠付け、DBN を更新する。

### 2.5 説得対話シミュレーションにおける従来手法の問題点

ユーザの信頼度と翻意を考慮した [成 12] の知識状態推定手法における説得対話シミュレーションを行った。

#### 設定条件

対象トピック 班ミーティングの開催場所

開催場所の候補 大教室、小教室、研究室、会議室

広報媒体 掲示板、放送、Email

対話のシナリオ ユーザ P 班ミーティングの開催場所を Email で小教室と確認し、ロボットにそれを伝えている  
 ユーザ C 班ミーティングの開催場所を掲示板で小教室と確認し、ロボットにそれを伝えている  
 ユーザ A 班ミーティングの開催場所を放送で研究室と確認し、ロボットにそれを伝えに来た  
 ロボット 予定管理タスクを実行中。ユーザ P 及び B から情報を得ている

ユーザ A との対話結果を図 3 に示す。ユーザ A の知識状態と信頼度の変化を図 4 に、その時のユーザ A の DBN を図 5 に示す。図 4 の X は  $X_0$  と  $X_1$  の複合であり、その時刻の最新の知識状態を表している。

対話では、talk0-4 でロボットが A に B が持っている情報を伝えるが、talk0-5 で A はそれを否定する。その後 talk0-6

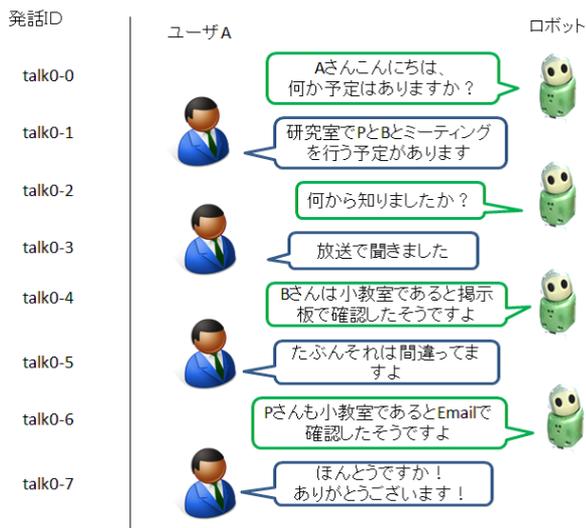


図 3: ユーザAとロボットの対話

		発話ID						
		talk0-2	talk0-3	talk0-4	talk0-5	talk0-6	talk0-7	
A/R	F(X/A/R)	大教室	25%	12%	8%	1%	0%	1%
		小教室	25%	12%	51%	4%	33%	97%
		研究室	25%	64%	33%	94%	67%	1%
		会議室	25%	12%	8%	1%	0%	1%
	P(Tr(Email)=trust/A/R)	90%	90%	90%	90%	78%	96%	
	P(Tr(放送)=trust/A/R)	85%	85%	74%	93%	90%	93%	
	P(Tr(掲示板)=trust/A/R)	91%	91%	85%	71%	78%	71%	
	P(Tr(Talk(A))=trust/A/R)	91%	91%	85%	96%	91%	96%	
	P(Tr(Talk(B))=trust/A/R)	91%	91%	85%	71%	78%	71%	
	P(Tr(Talk(P))=trust/A/R)	91%	91%	81%	81%	80%	97%	
P(Tr(Talk(R))=trust/A/R)	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
P(Tr(Obsv(A, 放送))=trust/A/R)	76%	76%	59%	89%	75%	89%		
P(Tr(Obsv(B, 掲示板))=trust/A/R)	85%	85%	74%	52%	64%	52%		
P(Tr(Obsv(B, Email))=trust/A/R)	82%	82%	82%	82%	61%	94%		

図 4: ユーザAの知識状態と信頼度変化

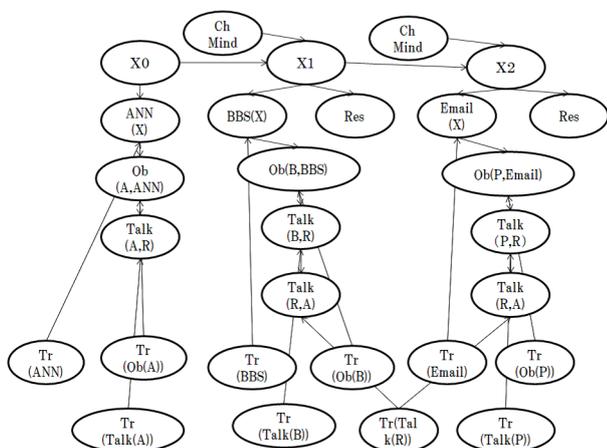


図 5: ユーザAの主観的知識状態DBN

でロボットがAにPの持っている情報を伝えると、talk0-7でユーザAがそれを信用し説得に応じた。よって対話終了時には、Pの発言とEmail、PがEmailを見ることに対する信頼度、talk0-5で一旦下がったBの発言と掲示板、Bが掲示板を見ることに対する信頼度が向上し、Aの発言と放送、Aが放送を聞くことに対する信頼度は下がることが期待される。

しかし図4のオレンジの部分を見ると、Bの発言と掲示板、Bが掲示板を見ることに対する信頼度  $P(Tr(\text{掲示板}))$

) =  $trust/A/R$ ,  $P(Tr(\text{Obsv}(B, \text{掲示板})) = trust/A/R)$ ,  $P(Tr(\text{Talk}(B)) = trust/A/R)$  全ての値が talk0-5 の時点と同じ値となった。更に赤の部分を見るとAの発言と放送、Aが放送を聞くことに対する信頼度  $P(Tr(\text{放送})) = trust/A/R$ ,  $P(Tr(\text{Obsv}(A, \text{放送})) = trust/A/R)$ ,  $P(Tr(\text{Talk}(A)) = trust/A/R)$  も talk0-5 の時点と同じ値を示した。これは、ChMind ノードによって過去と未来の関係が全て遮断されたため、翻意時点以降のトピックノードの推定は翻意に影響した情報のみで計算され、過去の対話にのみ登場した証拠ノードに対する信頼度は変化しなくなったからである。したがって、ユーザの翻意が発生した時に過去のトピックノードへの情報伝播を遮断しつつ、過去の証拠ノードから未来のトピックノードへの情報伝播を許すような知識状態モデルが必要となる事がわかる。

### 3. ユーザの翻意による情報の伝播と遮断を両立する知識状態推定手法

#### 3.1 ユーザの翻意検知時毎の主観的知識状態モデルDBNの複製

翻意ノード ChMind を廃し、ユーザが翻意するまではユーザの知識状態の真の値は同一であると考え、トピックノードの追加をユーザが翻意した場合のみに限定する。基本的に各ノードの生成条件は2.2節に従うが、トピックノードXにおいてはユーザの翻意が起こるまでは新たなノードは生成せず、ユーザの翻意が起きたと判断された時点で新たなノード  $X_1$  を生成する。

従来手法では、既存の翻意前トピックノードと新規生成した翻意後トピックノード同士で時間的連続性を考慮してリンクを接続していたが、これは過去への不用意な情報伝播の原因になるため、トピックノード同士のリンク接続を廃する。その代わりに、翻意後の新トピックノード  $X_1$  に、翻意前のトピックノード  $X_0$  に接続した過去対話の証拠ノードおよびそれに対する信頼度ノードを全て複製し、 $X_1$  にリンクを接続する。ただし、自身の発話の矛盾を引き起こさないように、過去の説得対話に対する応答  $Res$  は翻意後のトピックに接続しない。

また複製された翻意後の各信頼度ノード  $Tr_1$  の事前確率分布に、翻意直前のDBNにおける信頼度ノード  $Tr_0$  の事後確率分布を設定する。これはそれまでの一連のユーザとの対話(Aだけとは限らず、複数の人物との、共通の情報源からもたらされた証拠に基づく対話群を含む)の情報が情報源の信頼度分布の形で蓄積され、どの情報源がどの程度信頼できるのかを経験的に記憶しているとみなすことに相当する。複製された翻意後のDBNでは、その経験記憶を信頼度ノードの事前確率分布の形で取り込んでいる。

このネットワークは次の手順で動的に生成・更新される。

Step1~7 2.2節に従う。

Step8 新たなトピック  $X_1$  を作成し、翻意に影響した証拠ノードと  $X_0$  のリンクを切断する。

Step9  $X_0$  に接続されている証拠ノードを全て複製する

Step10 翻意のときの  $Res$  を新たに作成し  $X_1$  からリンクを接続する

Step11 複製した証拠ノードのPub全てに  $X_1$  からリンクを接続する

Step12 複製した証拠ノードそれぞれに対応した翻意後の信頼度ノード  $Tr_1$  を新規作成しリンクを接続する

Step13 複製した証拠ノードを全て証拠付けしたときの各信頼度の値が翻意前の DBN における信頼度ノード  $Tr_0$  の事後確率となるよう  $Tr_1$  の事前確率を設定したのち,  $Res$  を証拠付けして DBN を更新する.

### 3.2 シミュレーション結果

シミュレーションの設定条件は 3.5 節に従う. 図 3 と同一の説得対話例について今回提案する改良版の主観的知識状態モデルを用いた知識状態推定結果を示す. それぞれの発話 ID に対応した時刻におけるユーザ A の知識状態と信頼度の変化を図 6 に,  $X_0$  と  $Tr_0$  の変化を図 7 に, その時のユーザ A の DBN を図 8 に示す.

		発話ID						
		talk0-2	talk0-3	talk0-4	talk0-5	talk0-6	talk0-7	
A/R	P(X <sub>0</sub> /A/R)	大教室	25%	9%	4%	1%	1%	0%
		小教室	25%	9%	51%	4%	56%	97%
		研究室	25%	73%	41%	94%	42%	3%
		会議室	25%	9%	4%	1%	1%	0%
	R(Tr(Email)=trust/A/R)	90%	90%	90%	90%	85%	90%	
	R(Tr(放送)=trust/A/R)	85%	85%	72%	93%	75%	59%	
	R(Tr(掲示板)=trust/A/R)	91%	91%	84%	71%	83%	94%	
	R(Tr(Talk(B))=trust/A/R)	91%	91%	84%	71%	83%	94%	
	R(Tr(Talk(P))=trust/A/R)	91%	91%	91%	91%	86%	94%	
	R(Tr(Obsv(A, 放送)=trust/A/R)	76%	76%	56%	89%	65%	41%	
	R(Tr(Obsv(B, 掲示板)=trust/A/R)	85%	85%	72%	51%	71%	90%	
	R(Tr(Obsv(P, Email)=trust/A/R)	82%	82%	82%	82%	72%	93%	

図 6: ユーザ A の知識状態と信頼度変化

		発話ID						
		talk0-2	talk0-3	talk0-4	talk0-5	talk0-6	talk0-7	
A/R	P(X <sub>0</sub> /A/R)	大教室	25%	9%	4%	1%	1%	1%
		小教室	25%	9%	51%	4%	4%	4%
		研究室	25%	73%	41%	94%	94%	94%
		会議室	25%	9%	4%	1%	1%	1%
	R(Tr(Email)=trust/A/R)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
	R(Tr(放送)=trust/A/R)	85%	85%	72%	93%	93%	93%	
	R(Tr(掲示板)=trust/A/R)	91%	91%	84%	71%	71%	71%	
	R(Tr(Talk(B))=trust/A/R)	91%	91%	84%	71%	71%	71%	
	R(Tr(Talk(P))=trust/A/R)	91%	91%	91%	91%	91%	91%	
	R(Tr(Obsv(A, 放送)=trust/A/R)	76%	76%	56%	89%	89%	89%	
	R(Tr(Obsv(B, 掲示板)=trust/A/R)	85%	85%	72%	51%	51%	51%	
	R(Tr(Obsv(P, Email)=trust/A/R)	82%	82%	82%	82%	82%	82%	

図 7: A の知識状態モデルにおけるトピック内容と信頼度の推定値の変遷

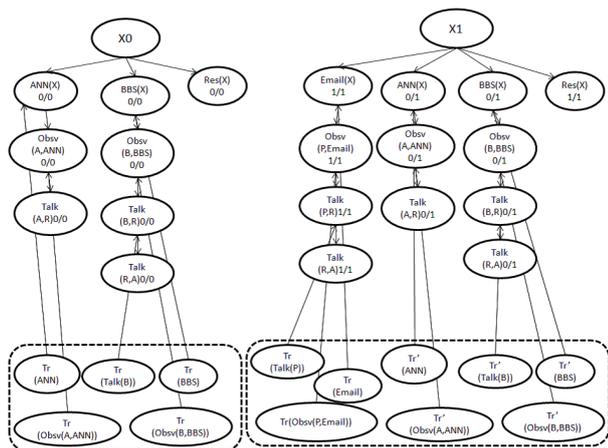


図 8: 翻意毎に DBN 構造を複製するモデル: ユーザ A の主観的知識状態モデル

図 6 のオレンジと赤の部分を見ると 4.1 節, 4.2 節と同様にユーザの翻意による信頼度の変化は 2.5 節冒頭で記述した期待通りの動きとなっている. また証拠ノードと信頼度ノードの複製によって同一の証拠が重複して影響を及ぼすことを防止したため, 信頼度の過剰な変化は避けられている.

## 4. おわりに

本研究では [成 12] の手法で課題となっていたユーザの翻意の際に過去への情報の遮断と過去からの情報の伝播を両立するために主観的知識状態モデルを改良した. トピックノードの生成条件をユーザが翻意したときのみ限定し, 翻意後のトピックノードに過去の証拠ノードを複製し接続する手法を提案した. また翻意の際に変化した信頼度と過去の時点での信頼度は区別するべきと考え, 信頼度ノードも同時に複製することで期待通り過去への情報伝播を遮断しつつ過去の情報を現在の推定に取り入れることができた.

今後の課題として, 広報される情報が時々刻々と変化する場合に対応することがあげられる. 例えば, ロボットとユーザが異なった情報を持っていると観測したとき, 本手法の知識状態モデルではいずれかが間違った情報であると判断するが, ユーザが情報を得てからロボットが情報を得るまでの間にトピックの状態が変化したかもしれない. このような時間的変遷の取り扱いを検討する.

## 参考文献

[麻生 03] 麻生英樹他, "確率的推論を利用したマルチモーダル対話制御", 2003 年度人工知能学会全国大会 1C1-04, 2003.

[翠 07] 翠輝久他, "質疑応答・情報推薦機能を備えた音声による情報案内システム", 情報処理学会誌 Vol.48(12), pp.3602-3611, 2007.

[Nishimaru 02] S.Nishimaru, "ASKA:Receptionist robot with speech dialogue system", Proc.2002 IEEE RSJ International Conference On Intelligent Robots and Systems, Vol.2, pp.1314-1319, 2002.

[Zue 00] V.Zue, et.al, "JUPITAR:A telephone-based conversational interface for weather information", IEEE Trans. Speech Audio Process, Vol.8, pp.85-96, 2000.

[堂坂 02] 堂坂浩他, システム知識制御下での効率的対話制御法, 自然言語処理 Vol.9, 2002.

[安達 02] 安達史博他, "VoiceXML の動的生成に基づく自然言語音声対話システム", 情報処理学会研究報告 2002-SLP-40-23, pp.133-138, 2002.

[田中 99] 田中穂積他, 自然言語処理 - 基礎と応用 -, (社) 電子情報通信学会, 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: 態度変容プロセスの観点から", 名古屋大学教育学部紀要教育心理学科, 1992

[伊藤 10] 伊藤怜他, "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 年度人工知能学会論文集, 1C2-2 (CDROM), 2010.

[成 12] 成雄大他, "情報の遮断に起因する集団内齟齬を解消する自動発話生成", 第 26 回人工知能学会全国大会 1O2-OS-18-3 (CDROM), 2012.