

タスク指向型対話における漸次的発話生成モデル

堂 坂 浩 二[†] 島 津 明[†]

本稿では、タスク指向型の話し言葉対話における漸次的発話生成モデルを示す。このモデルは、与えられた問題を段階的に解きながら、同時に問題の解を対話相手に提案するための発話を漸次的に生成する。問題の解が部分的にしか決定していない時点でも、発話の間に一定時間以上の沈黙を置かないという時間制限を守るために発話は開始される。このモデルは一連の発話を1つの談話として生成する。対話コーパスにおける談話構造の分析結果に基づいて、話し言葉対話には微細な談話構造が頻繁に現れ、その談話構造が漸次的発話生成に貢献することを示す。そういった談話構造に基づいて一連の発話が1つの談話として漸次的に生成される。生成される談話の適切性は言語運用制約によって保証される。言語運用制約の効果は発話シミュレーション実験によって検証されている。

A Model for Incremental Utterance Production in Task-Oriented Dialogues

KOHJI DOHSAKA[†] and AKIRA SHIMAZU[†]

This paper presents a computational model for incremental utterance production in task-oriented spoken dialogues. This model incrementally produces utterances which propose the solution of a given problem, while simultaneously solving the problem in a stepwise manner. Even when the solution has been partially determined, this model starts utterances to satisfy time constraints where pauses in mid-utterance must not exceed a certain length. This model generates utterances constituting a discourse. Based on the results of an analysis of discourse structure in a dialogue corpus, it is shown that the fine structure of discourse prevails in spoken dialogues and contributes to the incremental strategy of utterance production. This model utilizes such a discourse structure to incrementally produce utterances constituting a discourse. Pragmatic constraints are exploited to guarantee the relevance of a discourse, which are evaluated by an utterance simulation experiment.

1. はじめに

日常の話し言葉対話において、人はつねに流暢に話すわけではない。むしろ、言い淀みや言い直しを挟みながら発話することが普通である。このことは、人は必ずしも発話内容の決定を終えた後に発話を開始するわけではないことを示している。むしろ、人は発話を漸次的に生成するものと考えられている^{8),13)}。漸次的発話生成とは、発話すべき内容を考えながら発話を開始し、発話しながら次に発話すべき内容を決定していくことをいう。

人が漸次的に発話を生成することは、対話に時間制限が存在することと、人が限られた推論能力しか持たないことを考えれば当然である。第一に、対話は実時間の活動であるから、時間制限によって制約される。

たとえば、対話参加者は話し始める前や話している途中で、いくらでも時間をかけて考えてよいわけではない。第二に、対話参加者はあらゆることを一時に推論できるわけではない¹⁹⁾。時間制限下において推論能力に限界のある話者が、つねに発話内容を完全に具体化してから発話を開始できるわけではないのは当然である。

漸次的発話生成の利点として、話者は時間制限を守ることによって、長すぎる沈黙により発話途中で他の対話参加者に割り込まれることを避けることができる。また、漸次的に生成される発話は推論能力に限界のある聴者にとって理解が容易であるという利点もある。

本稿では、タスク指向型の話し言葉対話における漸次的発話生成のモデルを示す。このモデルでは、タスク指向型の話し言葉対話において、ある問題が与えられたとき、その問題の解を対話相手に提案するために発話するという場面を想定している。モデルは問題を段階的に解きながら、同時に問題の解を対話相手に提

[†] NTT 基礎研究所

NTT Basic Research Laboratories

案するための発話を漸次的に生成する。このとき発話の間に一定の長さ以上のポーズ[☆]を置かないという時間制限を守る。

このモデルは単に1つの文を漸次的に生成するのではなく、一連の発話を1つの談話として漸次的に生成する。3章で示すように、タスク指向型対話のコーパスに現れる談話構造の分析結果によれば、話し言葉対話には特有の微細な談話構造が頻繁に現れ、その談話構造が漸次的発話生成に貢献する。話し言葉では、書き言葉に比べて小さな単位ごとに発話が生成される。この発話の単位が互いに関連付けられて発話の階層構造が作られる。この発話の階層構造を談話構造と呼ぶ。話し言葉では小さな単位ごとに発話が生成されるため、書き言葉と比べてより微細な談話構造が作られる。モデルはこの微細な談話構造に基づいて一連の発話を1つの談話として漸次的に生成する。

漸次的発話生成では完全に発話内容が決まる前に発話を開始するため不適切な談話を生成しがちである。このモデルでは、談話の適切さを保証するために言語運用制約を用いる。言語運用制約の効果は発話シミュレーション実験によって確認されている。

2. 関連研究

人が発話を漸次的に生成することは、心理実験によって検証されており¹³⁾、心理実験のデータに基づいて認知心理学の見地から漸次的発話生成の仕組みをモデル化する試みも進められている⁸⁾。そのモデルでは、発話内容の決定と発話の統語構造の形成とを並行して進めながら発話を生成する。しかし、認知心理学的モデルは人の発話生成の計算機シミュレーションや対話システム構築という目的のためには不十分なものである。本稿の目的はタスク指向型の話し言葉対話における漸次的発話生成の計算モデルを提示することにある。

漸次的発話生成の計算モデルとしては、漸次的な文形成に関心を絞ったモデルが従来より提案されてきている^{2), 7)}。これらのモデルの主な関心は、発話内容が与えられた後に文の統語構造の形成や言語表現の合成を文頭から文末に向かって漸次的に進めることにある。漸次的な統語構造形成や言語表現合成は重要な問題であるが本稿では立ち入らない。本稿の関心は、発話内容の決定を段階的に進めながら話し言葉特有の談話構造に基づいて発話を漸次的に生成することにある。

POPEL は、漸次的発話生成の実働システムで

ある¹⁴⁾。POPEL は主として POPEL-WHAT と POPEL-HOW という2つのモジュールから構成される。POPEL-WHAT は発話内容を決定しそれを段階的に POPEL-HOW に送り、POPEL-HOW は段階的に文を形成する。POPEL は文脈情報を参照しながら文の列を1つの談話として生成することができる¹⁵⁾。しかし、POPEL の目的は主として書き言葉の生成であり¹⁵⁾、話し言葉対話に特有の微細な談話構造は考慮されていない。3章で示すように、話し言葉対話では話者は伝達すべき内容を複数の発話に分配し、それらの発話が全体で1つの微細な談話構造を作ることが頻繁に起きる。本稿では、話し言葉対話に特有の微細な談話構造に基づいて漸次的に談話を生成するモデルを提案する。

実時間対話において言い淀みや言い直しが起きることを説明するために、時間制限を考慮した発話生成システムの枠組みが提案されている¹⁾。しかし、そこではそういった生成システムの構想が示されているだけで、具体的な計算モデルは示されていない。本稿では、階層的プランニングという計算手続きが明確に与えられている手法に基づいたモデルを提案する。階層的プランニング技法に基づいた発話生成システムは従来から提案されている¹¹⁾。本稿では、話し言葉対話に特有の微細な談話構造に基づく漸次的発話生成を階層的プランニングの枠組み内で実現する方式を新たに提案する。

3. 談話構造分析

タスク指向型対話コーパスの中に現れる談話構造を分析した。対話コーパスは次の対話実験によって収集した。実験には90人の被験者が参加した。各対話において、2人の対話参加者(NとE)は電話で会話することにより「Nがある場所から別の場所へ行く」という問題の解を見つけることが要請された。さらに、対話の現実味を高めるために、Nは対話終了後目的地に実際に行くことが要請された。対話参加者NとEは、Eが問題を解くために十分な知識を持っておりNが持っていないように選ばれた。80対話が収集され書き起こされた。そのすべての対話に関して、Nが対話の中で見つけた交通経路で目的地に到着したことが確認されている。対話の書き起こしは文献17)で提案された記法に従って行われた。たとえば、図1は書き起こされた対話の一部を示している。この対話では、対話参加者Eが交通経路を説明するために発話しており、その発話の途中で対話相手Nが「はい」という間投詞的表現によってアイツチを返している。収集し

[☆] 発話途中の沈黙区間をポーズと呼ぶ。

- E: (1) 愛甲石田まで来てもらって/<はい>
 (2) でそこでバスなんですけど/<はい>
 えーっとですね (3) バスの行き先が/えーとー
 (4) 森の里青山行きという<はい>バスがあるので/
 <はい> (5) それに乗ってもらって/<はい>

図1 書き起こされた対話からの抜粋

Fig. 1 Excerpt from transcription of dialogue.

た対話の中から談話構造の分析のために15対話を選んだ。分析は発話単位と談話関係という2つの観点から行った。

3.1 発話単位の分析

話者は、伝達すべき情報全体を一塊として発話を生成するのではなく、情報を複数の単位に分配して、その単位ごとに発話を生成するものと考えられる^{5),8),18)}。ここではそのような単位を発話単位と呼ぶ^{*}。発話単位は談話構造の最小単位と見なせる。

発話単位の切り出しには表層の言語表現だけでなく情報の新旧の区別や音調といった手掛かりも使う必要があるが、ここでは第一近似として1人の話者による談話の中に現れる発話単位を次の条件を使って切り出した。

- 節は発話単位である。
- 間投詞的表現は発話単位である。
- つなぎ語は発話単位の区切りである。
- 言い直しは発話単位の区切りである。

節としては、間投用法の終助詞¹⁰⁾で終わる句も節と見なした。たとえば次の「そこからですね」は節である。

例:「そこからですね/えーとバスに乗って」

間投詞的表現とは「はい」といったアイツチなどに使われる表現で、つなぎ語とは「えーと」、「あー」といった語である。言い直しとしては次の場合を考えた。記号“/”が言い直しの場所を示す。

- 同じ語や句が繰り返される場合
 例:「バス/バスの乗り場がありまして」
- 発話が途中で中断され直後に訂正される場合
 例:「通信研究所/NTTの通信研究所ってのが」

図1では、記号“/”が発話単位の区切りを示しており、話者Eによる談話が5個の発話単位から構成されることが分かる^{**}。

15対話における発話単位の統語範疇の頻度分布を表1に示す。NPとPPは名詞句と後置詞句を意味す

表1 発話単位の頻度分布

Table 1 Frequency distribution for utterance units.

節	930
間投詞的表現	665
NP または PP	273
接続詞類	81
NP と PP の列	43
副詞類	10
その他	4
合計	2006

る。NPとPPの列とは名詞句または後置詞句の2つ以上の並びである。NPやPPを発話した直後につなぎ語が発話されると、そこで1つの発話単位が終わるので、NP、PP、NPとPPの列が発話単位となる。

節、NP、PP、または、NPとPPの列として実現された発話単位に関して、1つの発話単位の中に現れる名詞句数を数えると、その平均は1.01であり分散は0.29であった。この分析結果から、この対話コーパスでは話し言葉対話に特有の小さな発話単位が頻繁に使われていることが分かる。たとえば、図1の(3)は「えーとー」というつなぎ語が後続するので1つの発話単位と見なせる。書き言葉では、(3)と(4)をあわせて1つの節として実現することが普通であろう。

3.2 談話関係の分析

話者は発話単位ごとに発話を生成する際、各発話を関係付けて一連の発話を1つの談話として生成する。この発話間の関係を談話関係と呼ぶ。談話構造とは談話関係によって互に関係付けられた発話の階層構造である。

談話関係として、修辭構造理論⁹⁾で提供される関係を用いた。さらにここでは文献6)にならって談話関係を意味関係と意図関係に分類した^{***}。意味関係とは発話の情報内容の間の関係を分類したものである。意図関係とは、話者がその関係を使うことによって聴者の心的状態にどんな影響を与えることを意図しているかということを分類したものである。図2は図1のEによる談話に現れた談話関係を示す。3.1節で示した小さな発話単位が談話構造の最小単位となつて、話し言葉対話に特有の微細な談話構造が作られていることが分かる。

表2は談話関係の頻度分布を示す。頻繁に現れた談話関係として、Sequence, Elaboration, Circumstance, Motivationが漸次的発話生成に果たす役割

^{*} こういった単位の呼称は研究者によって異なる。たとえば処理単位⁸⁾、情報単位^{5),18)}といった呼称がある。

^{**} 発話単位(4)に見られるような「名詞+という」という言語形式は定型的な表現と考えて引用節とは見なさなかった。

^{***} 本稿の意味関係と意図関係は文献6)における semantic relation と interpersonal relation にそれぞれ対応する。

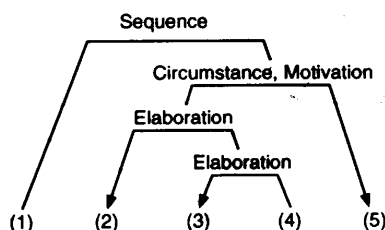


図2 図1における談話関係

Fig. 2 Discourse relations in Fig. 1.

表2 談話関係の頻度分布

Table 2 Frequency distributions for discourse relations.

(a) 意味関係		(b) 意図関係	
Elaboration	300	Motivation	66
Sequence	74	Background	14
Circumstance	60	Evidence	10
Condition	26	Interpretation	6
Result	26	Concession	3
Purpose	2	Enablement	1
Contrast	1		

を論じる。

Sequence 関係は主としてドメインの行為を時間順に記述していくために使われている。図1では、話者Eは愛甲石田まで移動するという行為を記述した後、愛甲石田からバスで移動するという行為を記述している。ドメインプランを構成するすべての行為の内容が確定していなくても、Sequence 関係によってドメインプランの最初の方の部分の説明を開始できるという意味で、Sequence 関係は漸次的発話生成に貢献するといえる。しかし、Sequence 関係は話し言葉対話に特有の小さな発話単位の間の談話関係ではない。以下に述べる他の3つの談話関係は話し言葉対話に特有の微細な談話構造を作り、漸次的発話生成に貢献する。

Elaboration 関係は、対話ドメインの事象、対象の内容の一部を記述する発話とさらに詳細な内容を記述する発話との間の関係である。典型例は図1の(2)と(4)の間の関係である。この関係を使うことによって、話者は発話対象の内容を完全に決定する前に発話を開始できる。

Circumstance 関係は、ドメインの事象を記述する発話と事象の周りの環境を記述する発話との間の関係である。特に、ある行為の前提条件が成立していることを言った後でその行為を対話相手に提案するという場合が41例(68%)あった。行為の前提条件は行為の環境の1つと考えることができる。この典型例は(4)と(5)の間の関係である。(5)で「バスに乗る」という行為を提案する前に、(4)で「そのバスが存在する」という行為の前提条件が記述されている。行為の

前提条件の中では行為の構成要素が言及されることが多い。話者はこの関係を使うことにより、行為の内容を2つ以上の発話単位に分配し、行為の内容を段階的に言語実現することができる。

Motivation 関係は、行為を提案する発話とその行為の採用を聴者に動機付けるための材料となる事実を記述する発話との間の関係である。特に、行為の前提条件が成立していることをまず言った後に行為の提案を行う場合が41例(62%)あった。この典型例は(4)と(5)の間の関係である。この場合には、Motivation 関係と Circumstance 関係が同時に成立し、Motivation 関係を使うことは Circumstance 関係を使う場合と同様に漸次的発話生成に貢献する。

4. 時間制限下における漸次的発話生成モデル

モデルの概観を図3に示す。モデルは、問題解決、発話プランニング、発話制御、音声合成、ポーズ監視を行う各モジュールから構成される。問題解決モジュールは与えられた問題を解いて、問題の解としてドメインプランを立案する。発話プランニングモジュールは発話プランを立案する。発話プランはドメインプランを対話相手に提案する際の談話構造を規定するものである。発話制御モジュールは発話プランに基づいて言語表現を一定のタイミングで音声合成モジュールに送る。音声合成モジュールは音声として言語表現を出力する。ポーズ監視モジュールは、ポーズが一定の制限時間を超えたら、そのことを発話プランニングモジュールと発話制御モジュールに知らせる。

各モジュールは互いに並列に動作する。ドメインプランと発話プランは階層的プランニング技法[☆]に基づいて段階的に詳細化される。部分的に決定されたドメインプランに基づいて発話プランは立案される。ポーズが制限時間を超えたらいつでも、その時点で立案されている発話プランが発話制御モジュールに送られ発話を開始される。すなわち、ドメインプランが部分的にしか決定されていない時点で時間制限を守るために発話は開始される。発話が行われている最中にドメインプランは詳細化されていく。ドメインプランがさらに詳細化された時点で発話プランは再立案される。制限時間内にいかなる発話プランも立案されない場合には、発話制御モジュールはつなぎ語を出力する。

このモデルは話し言葉対話に特有の談話構造に基づいて一連の発話を1つの談話として生成する。生成さ

[☆] 階層的プランニング技法の総合的な解説としては、文献16)の12章がある。本モデルでは、この文献で説明されている階層的プランニング技法を用いる。

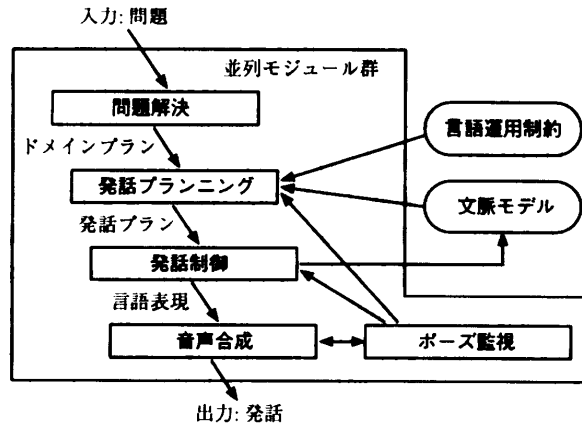


図3 モデルの概観
Fig. 3 Model overview.

れる一連の発話が談話として適切であることを保証するために、言語運用制約と文脈モデルを用いる。

5. 言語運用制約と文脈モデル

言語運用制約として次のものを用いる。

- (c1) 伝達済みの情報は繰り返さない。
- (c2) 注視対象を代名詞化する。
- (c3) 注視状態に対して適切な発話を行う。

これらは Grice の公準³⁾の一例と見なすことができる。発話プランニングにおける言語運用制約の具体的な使われ方は7章で説明する。

文脈モデルは聴者に伝達済みの情報を記録し、注視状態⁴⁾を追跡する。たとえば、交通経路案内の対話において場所 S から路線 L で場所 D まで移動するという行為の内容を「行く」、「出る」といった主動詞を使って記述するための一連の発話を行うとする。この一連の発話が実行された後では注視される対象は D に移行する。

また、この一連の発話が注視状態に対して適切であるためには、発話を開始した時点で場所 S が注視されている必要がある。もし場所 S が注視されていないなら、場所 S を提題化する必要がある。

6. 問題解決

問題解決とは与えられた問題を解くドメインプランを立案することである。ドメインプランはドメイン行為の列として表される。交通経路案内に関する対話では、ドメイン行為は主としてある場所から別の場所まで交通機関を使って行くという移動行為である。このモデルでは、ドメインプランは階層的プランニングの技法を使って段階的に詳細化される。問題解決のメカニズムは漸次的発話生成手法の理解に直接関与しない

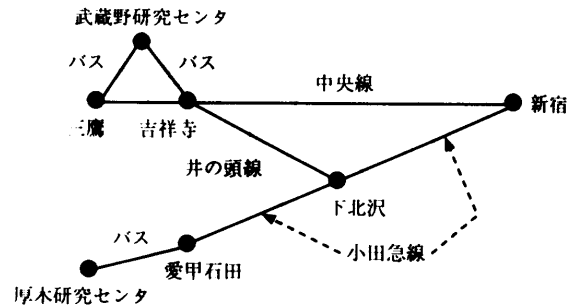


図4 路線図の例
Fig. 4 Sample route map.

ので、その詳細には立ち入らない。ここでは、図4に示す路線図において武蔵野センタから厚木センタまで行くという問題が与えられた場合を例にとって、問題解決モジュールの振舞いを例示する。

この場合、最初に立案されるドメインプランは、武蔵野センタからバスでその最寄り駅に移動し、そこから厚木センタの最寄り駅まで移動し、そこからバスで厚木センタに移動するという3つの行為 $a1$, $a2$, $a3$ からなる抽象的なドメインプランである。このプランは次の表現 (r1) で表され、各行為の情報内容は (r2) のように表される。cont(X , Y) は X の情報内容が論理式の集合 Y で表されることを意味する。また、行為の行為者を表す引数は本稿を通じて簡単のため省略する。

- ```
(r1) plan([a1, a2, a3]).
(r2) cont(a1, {type(a1, move), source(a1, x1),
 manner(a1, x2), dest(a1, x3)}).
 cont(x1, {type(x1, building),
 named(x1, "武蔵野センタ")}).
 cont(x2, {type(x2, bus)}).
 cont(x3, {type(x3, station),
 nearest(x3, x1)}).
 cont(a2, {type(a2, move), source(a2, x3),
 dest(a2, x4)}).
 cont(a3, {type(a3, move), source(a3, x4),
 manner(a3, x5), dest(a3, x6)}).
 cont(x4, {type(x4, station),
 nearest(x4, x6)}).
 cont(x5, {type(x5, bus)}).
 cont(x6, {type(x6, building),
 named(x6, "厚木センタ")}).
```

次に問題解決モジュールはより詳細なドメインプランの立案を進める。与えられた問題を解く2つ以上のドメインプランが可能なら、最短時間で目的地まで移動できるドメインプランを選択する。図4に示す路

線図においては、選択されるドメインプランは、武蔵野センタからバスで吉祥寺へ移動し、そこから井の頭線で下北沢へ移動し、そこから小田急線で愛甲石田へ移動し、そこからバスで厚木センタへ移動するという4つの行為  $a4, a5, a6, a7$  からなるプランである。このプランは次の (r3) で表され、行為  $a4$  の情報内容は (r4) で表される。他の3つの行為  $a5, a6, a7$  の内容を記述するための表現は簡単のため省略する。

(r3)  $\text{plan}([a4, a5, a6, a7])$ .

(r4)  $\text{cont}(a4, \{\text{type}(a4, \text{move}), \text{source}(a4, x1), \text{manner}(a4, x2), \text{dest}(a4, x7)\})$ .  
 $\text{cont}(x7, \{\text{type}(x7, \text{station}), \text{named}(x7, \text{"吉祥寺"})\})$ .

## 7. 発話プランニング

発話プランニングとは発話目標を達成する発話プランを立案することである。発話プランは情報伝達行為の列として表される。発話プランニングモジュールに与えられる初期の発話目標は、問題解決モジュールが立案したドメインプランを対話相手に採用させるという発話目標である。発話プランは階層的プランニングの技法を用いて段階的に詳細化され、最終的に言語表現の発話に対応する表層的な情報伝達行為の列にまで詳細化される。

### 7.1 発話目標

モデルで用いる発話目標とその表記法を以下に示す。ただし、本稿を通じて対話参加者を表す引数は簡単のため省略する。

- $\text{persuaded\_plan}(P)$ : 聴者にドメインプラン  $P$  を採用させる。
- $\text{persuaded\_act}(A)$ : 聴者にドメイン行為  $A$  を採用させる。
- $\text{described\_event}(E, C, At)$ : ドメイン事象  $E$  を記述する。ただし、 $E$  が内容  $C$  を持つことと話者が  $E$  に対して態度  $At$  を持つことが記述されている必要がある。
- $\text{described\_obj}(O, C)$ : ドメイン対象  $O$  を記述する。ただし、 $O$  が内容  $C$  を持つことが記述されている必要がある。
- $\text{described\_thematic\_rel}(R, O, E)$ : ドメイン対象  $O$  がドメイン事象  $E$  に対して格関係  $R$  を持つことを記述する。

たとえば、ドメインプラン (r1) が立案されたとき、発話プランニングモジュールに与えられる初期の発話目標は以下のとおりである。

(r5)  $\text{persuaded\_plan}([a1, a2, a3])$ .

### 7.2 情報伝達行為

情報伝達行為としては、言語表現の発話に対応する表層的な情報伝達行為と複数の発話を談話関係の下に関連づけて実行するという表層的でない情報伝達行為がある。表層的な情報伝達行為としては以下を用いる。

- $\text{surface\_desc\_event}(E, C, At)$ : ドメイン事象  $E$  を記述するために言語表現を発話する。ただし、その言語表現は、 $E$  が情報内容  $C$  を持つことと、話者が  $E$  に対して態度  $At$  を持つこととを伝達できなければならない。
- $\text{surface\_desc\_obj}(O, C, R, T)$ : ドメイン対象  $O$  を記述するための言語表現を発話する。ただし、その言語表現は、 $O$  が情報内容  $C$  を持つことと、 $O$  が型  $T$  のドメイン事象に対して格関係  $R$  を持つこととを伝達できなければならない。

表層的でない情報伝達行為は、次の7.3節で説明する行為スキーマによって定義される。

### 7.3 階層的プランニング技法による発話プランニングの実現法

ここでは、話し言葉特有の談話構造に基づく発話プランニングを階層的プランニング技法を使っていかに実現するかについて述べる。プランニングのアルゴリズムに関しては文献16)を参照して欲しい。

#### 7.3.1 発話プランニングに必要な知識

まず発話プランニングの際に用いる知識の種類について説明する。一般に、階層的プランニングは行為スキーマと分解メソッドを使って行われる<sup>\*</sup>。行為スキーマは情報伝達行為を定義するために使い、分解メソッドは表層的でない情報伝達行為を遂行するための詳細なプランを定義するために使う。

行為スキーマは行為記述、適用条件、効果からなり、次のように書かれる<sup>\*\*</sup>。なお、適用条件は必要がないなら省略される。

Act(行為記述, Appcon: 適用条件,  
Effect: 効果).

ここで、行為記述は変数を含む項として書かれる。適用条件と効果は論理式として書かれる。行為記述と適合する行為が適用条件が真となる状況で実行されると、その実行後には効果が真となる。

分解メソッドは行為記述、適用条件、プランからなり、次のように書かれる。

Decomp(行為記述, Appcon: 適用条件,  
Plan: プラン).

<sup>\*</sup> 文献16)では、行為スキーマはオペレータスキーマと呼ばれる。

<sup>\*\*</sup> 本稿では、簡単のため、行為スキーマを書く際に行為の前提条件は考慮しない。

- (r9)  $\text{Act}(\text{propose\_act}(*A), \text{Effect: persuaded\_act}(*A)).$   
 (r10)  $\text{Decomp}(\text{propose\_act}(*A), \text{Appcon: cont}(*A, *C),$   
      $\text{Plan: [achieve(described\_event}(*A, *C, \text{proposal}))]).$   
 (r11)  $\text{Act}(\text{describe\_event\_by\_elaboration}(*E, *C, *At), \text{Effect: described\_event}(*E, *C, *At)).$   
 (r12)  $\text{Decomp}(\text{describe\_event\_by\_elaboration}(*E, *C, *At),$   
      $\text{Appcon: } *ThematicRel \in *C \wedge *ThematicRel =.. [*R, *E, *O] \wedge *R \neq type \wedge$   
      $\text{cont}(*O, *ObjC) \wedge *Rest = *C - \{ *ThematicRel \},$   
      $\text{Plan: [achieve(described\_obj}(*O, *ObjC)),$   
      $\text{achieve(described\_thematic\_rel}(*R, *O, *E)),$   
      $\text{achieve(described\_event}(*E, *Rest, *At))]).$   
 (r13)  $\text{Act}(\text{describe\_obj\_with\_thematic\_rel}(*O, *C, *R, *E),$   
      $\text{Effect: described\_obj}(*O, *C) \wedge \text{described\_thematic\_rel}(*R, *O, *E)).$   
 (r14)  $\text{Decomp}(\text{describe\_obj\_with\_thematic\_rel}(*O, *C, *R, *E),$   
      $\text{Appcon: cont}(*E, *EventC) \wedge \text{type}(*E, *T) \in *EventC,$   
      $\text{Plan: [surface\_desc\_obj}(*O, *C, *R, *T))].$   
 (r15)  $\text{Act}(\text{describe\_event\_type}(*E, *C, *At), \text{Appcon: } *C = \{ \text{type}(*E, *T) \},$   
      $\text{Effect: described\_event}(*E, *C, *At)).$   
 (r16)  $\text{Decomp}(\text{describe\_event\_type}(*E, *C, *At), \text{Plan: [surface\_desc\_event}(*E, *C, *At))].$

図5 Elaboration 関係に基づく発話プランニングのための諸定義

Fig.5 Definitions for planning utterances based on Elaboration relation.

ここで、行為記述と適用条件は行為スキーマと同様である。プランは行為記述のリストとして書かれ、リストに書かれた順に行為を実行するというプランとして解釈される。適用条件が真となる状況で行為記述と適合する行為を実行するには、そのプランを実施すればよい。

### 7.3.2 談話構造に基づく発話プランニング

ここで談話構造に基づく発話プランニング手法について説明する。対話相手にドメインプランを採用させるという発話目標が与えられたとき、発話プランは次の段階を経て立案されていく。

(1) ドメインプランを構成する個々のドメイン行為を順に対話相手に採用させていくという発話プランを立案する。

(2) ドメイン行為の個々の構成要素を格関係とともに記述していくという発話プランを立案する。

(1) は Sequence 関係に基づく発話プランニングであり、(2) は Elaboration 関係に基づく発話プランニングである。さらに、ドメイン行為の個々の構成要素を記述する際に次のような発話プランを立案する。

(3) ドメイン行為の構成要素が存在するということと言ってから、その構成要素を格関係とともに記述するという発話プランを立案する。

これは対話データの中で頻繁に現れる Circumstance 関係に基づく発話プランニングである。3 章で述べたように、これは Motivation 関係に基づく発話プランニングとも見なせる。以下において、(1), (2), (3) の発話プランニングの実現法を順に示す。

#### 7.3.2.1 Sequence 関係

次の行為スキーマ (r6) はドメインプランを対話相手に採用させるための情報伝達行為を定義する。“\*”で始まる記号は変数を表す。

- (r6)  $\text{Act}(\text{propose\_acts\_in\_seq}(*P),$   
      $\text{Appcon: plan}(*P),$   
      $\text{Effect: persuaded\_plan}(*P)).$

次の分解メソッド (r7) は (r6) の情報伝達行為を実行するための詳細なプランを定義する。

- (r7)  $\text{Decomp}(\text{propose\_acts\_in\_seq}([*A \mid *R]),$   
      $\text{Appcon: } *R \neq [],$   
      $\text{Plan: [achieve(persuaded\_act}(*A)),$   
      $\text{propose\_acts\_in\_seq}(*R))].$

ここで、 $\text{achieve}(P)$  は目標  $P$  を達成する行為を表す。記法  $[H \mid R]$  は、第一要素が  $H$  で第一要素を除く残部のリストが  $R$  であるようなリストを表す。

例として、初期の発話目標 (r5) に (r6) と (r7) を適用すると、次の発話プラン (r8) が立案される。

- (r8)  $\text{achieve}(\text{persuaded\_act}(a1)),$   
      $\text{achieve}(\text{persuaded\_act}(a2)),$   
      $\text{achieve}(\text{persuaded\_act}(a3)).$

このように、(r6) と (r7) の適用によって、ドメインプランを構成する各行為を順に聴者に採用させていくという Sequence 関係に基づく発話プランを立案できる。

#### 7.3.2.2 Elaboration 関係

図5 は Elaboration 関係に基づいてドメイン行為の内容を段階的に記述するための行為スキーマと分解メソッドを示す。分解メソッド (r12) において、記法

- (r18) *Act(describe\_obj\_with\_existential\_precond(\*O, \*C, \*R, \*E),*  
*Effect: described\_obj(\*O, \*C) ∧ described\_thematic\_rel(\*R, \*O, \*E)).*
- (r19) *Decomp(describe\_obj\_with\_existential\_precond(\*O, \*C, \*R, \*E),*  
*Appcon: get\_existential\_precond(\*Precond, \*O, \*E),*  
*Plan: [describe\_existential\_precond(\*Precond, \*O, \*C),*  
*describe\_obj\_with\_thematic\_rel(\*O, \*C, \*R, \*E)].*
- (r20) *Act(describe\_existential\_precond(\*Precond, \*O, \*C),*  
*Effect: described\_obj(\*O, \*C) ∧ described\_thematic\_rel(subj, \*O, \*Precond) ∧*  
*described\_event(\*Precond, {type(\*Precond, exist)}, present\_reason)).*
- (r21) *Decomp(describe\_existential\_precond(\*Precond, \*O, \*C),*  
*Plan: [surface\_desc\_obj(\*O, \*C, subj, exist),*  
*surface\_desc\_event(\*Precond, {type(\*Precond, exist)}, present\_reason)].*

図6 Circumstance 関係に基づく発話プランニングのための諸定義

Fig. 6 Definitions for planning utterances based on Circumstance relation.

$F(X, Y, \dots) =.. [F, X, Y, \dots]$  は項  $F(X, Y, \dots)$  をリスト  $[F, X, Y, \dots]$  に分解するために用いられる。これらを適用することによって、ドメイン行為を採用させるという発話プランは、ドメイン行為の各構成要素を別々に記述するという発話プランへ詳細化される。

ここで言語運用制約 (c2), (c3) の使われ方について説明する。表層的な情報伝達行為 *surface\_desc\_obj* はドメイン対象を記述する言語表現を発話するために用いられる。この際、言語運用制約 (c2) に従って、注視されているドメイン対象は代名詞化する。また、言語運用制約 (c3) に従って、注視状態に対して適切な発話を行うために提題化する必要がある対象は提題化する。

例にもどって、発話プラン (r8) の最初の情報伝達行為に図5の行為スキーマと分解メソッドを適用していくと次の発話プランが得られる。

- (r17) *surface\_desc\_obj(x1, {type(x1, building),*  
*named(x1, “武蔵野センタ”)),*  
*source, move),*  
*surface\_desc\_obj(x2, {type(x2, bus)},*  
*manner, move),*  
*surface\_desc\_obj(x3, {type(x3, station),*  
*nearest(x3, x1)}, dest, move),*  
*surface\_desc\_event(a1, {type(a1, move)},*  
*proposal).*

結局、詳細なドメインプラン (r3) が立案される以前に、時間制限を守るために発話プラン (r17) に基づいて次の発話を開始することができる。

- (u1) 武蔵野センタからはですね/バスで/最寄りの駅まで/行ってですね

### 7.3.2.3 Circumstance 関係

図6はCircumstance 関係に基づく発話プランニングを実現するための行為スキーマと分解メソッドの一例を示している。これらは、ドメイン事象を記

述するときに、まず事象を構成する対象が存在するという前提条件を提示するために用いられる。述語 *get\_existential\_precond* はドメイン事象を構成する対象が存在するという前提条件を取り出すために使われる。

ここで森の里青山行きというバスに乗るというドメイン行為を提案することを考えよう。この行為の情報内容は次のように表される。

- (r22) *cont(a8, {type(a8, geton), dest(a8, x8)}).*  
*cont(x8, {type(x8, bus),*  
*named(x8, “森の里青山行き”))).*

このドメイン行為 *a8* を対話相手に採用させるという発話目標を達成するために図5で示した (r9)~(r12) を適用すると、次の発話プランが立案される。

- (r23) *achieve(described\_obj(x8, {type(x8, bus),*  
*named(x8, “森の里青山行き”)})),*  
*achieve(described\_thematic\_rel(dest, x8,*  
*a8)),*  
*achieve(described\_event(a8,*  
*{type(a8, geton)}, proposal)).*

ここで (r23) の最初の2つの情報伝達行為に図6の行為スキーマ (r18) と分解メソッド (r19) を適用し、その結果得られる情報伝達行為の列に図5と図6の行為スキーマと分解メソッドを適用していくと、次の発話プランが得られる。

- (r24) *surface\_desc\_obj(x8, {type(x8, bus),*  
*named(x8, “森の里青山行き”)),*  
*subj, exist),*  
*surface\_desc\_event(e1, {type(e1, exist)},*  
*present\_reason),*  
*surface\_desc\_obj(x8, {type(x8, bus),*  
*named(x8, “森の里青山行き”)),*  
*dest, geton),*  
*surface\_desc\_event(a8, {type(a8, geton)}),*

proposal).

発話プラン (r24) に基づいて発話を行うときドメイン対象  $x_8$  が2度記述されるが、2度目に言語実現されるときには言語運用制約 (c2) に従って代名詞化される。また、話者の態度 *present.reason* はある事象を他の事象の成立の理由として提示するという話者の態度を表す。結局、次のような発話が生成される。

(u2) 森の里青山行きのバスが/ありますので/それに/乗ってください

#### 7.4 発話プランの再立案

発話プランの立案および発話の実行と並行してドメインプランの詳細化が進められる。より詳細なドメインプランが得られると、その新しいドメインプランに基づいて新しい発話プランが立案される。

たとえば、抽象的なドメインプラン (r1) に基づいて発話プラン (r17) が立案され発話 (u1) が実行されている間に、ドメインプランは (r1) から (r3) に詳細化されていく。詳細化されたドメインプラン (r3) を提案するために新しい発話プランが立案される。結局、次の表層的な情報伝達行為の列が立案される。

(r25) surface\_desc\_obj( $x_1$ , {type( $x_1$ , building),  
named( $x_1$ , “武蔵野センタ”)},  
source, move),  
surface\_desc\_obj( $x_2$ , {type( $x_2$ , bus)},  
manner, move),  
surface\_desc\_obj( $x_7$ , {type( $x_7$ , station),  
named( $x_7$ , “吉祥寺”)},  
dest, move),  
surface\_desc\_event( $a_4$ , {type( $a_4$ , move)},  
proposal).

新しい発話プランが立案され発話可能な表層的な情報伝達行為が得られると、古い発話プランに基づく発話は中断され新しい発話プランに基づく発話が再開される。

古い発話プランに基づく発話 (u1) の「最寄りの駅まで」が発話された時点で、新たな発話プラン (r25) が得られたとする。この時点で発話 (u1) は中断され、発話プラン (r25) に基づく発話が再開されるが、言語運用制約 (c1) によってすでに伝達済みの情報は繰り返されない。結局、次のような発話が生成されることになる。

(u3) 武蔵野センタからはですね/バスで/最寄りの駅まで/吉祥寺まで/行っただけです/

発話 (u3) においては、「最寄りの駅まで」という発話が後続の「吉祥寺まで」という発話によって言い

直されたと見なすことができる。

## 8. 発話シミュレーション実験

このモデルは Common Lisp を使って実装されている。問題解決と発話プランニングのモジュールの実装には論理制約単一化システム<sup>12)</sup>を利用した。問題解決モジュールの実装に際しては、本稿で例にとったような交通経路探索に関する問題を解くために18個の行為スキーマと16個の分解メソッドを書いた。発話プランニングモジュールの実装に際しては、7章で示したものを含めて16個の行為スキーマと16個の分解メソッドを書いた。

モデルの動作と言語運用制約の効果を実証するために、実装されたシステムを使って発話シミュレーション実験を行った。実験は言語運用制約を利用した場合と利用しなかった場合とで生成された談話を比較することによって行った。120の駅と建物、25の路線を含む地図の上での交通経路探索問題を与えた。図4で示した地図は実験で使った地図の一部である。

言語運用制約を利用した場合にシステムは時間制限を守りながら適切な談話を生成した。次の談話例は武蔵野センタから厚木センタまで行くという問題を与えたときにシステムが生成した談話である。

#### (談話例 1)

(u4) 武蔵野センタからは/バスで/最寄りの駅まで/  
(u5) えーと吉祥寺までですね/出てください/  
(u6) で/井の頭線で/下北沢まで/行って/  
(u7) 小田急線で/愛甲石田に/行ってください/  
(u8) それから/バスなんです/が/  
(u9) 森の里青山行きのバスが/ありますので/  
(u10) それに乗って/  
(u11) 通信研究所前で/降ります

発話 (u5) では、7.4節で述べたように、言語運用制約 (c1) が適用され冗長な発話が避けられている。制約 (c1) を使わないと、(u4) で発話された「武蔵野センタからは」、「バスで」といった表現が (u5) でも繰り返され、発話が冗長で不自然となる。この時点で吉祥寺から愛甲石田までの経路が決定されており、(u6)、(u7) が発話された。また、制約 (c2) は主として移動行為の源泉格のゼロ代名詞化のために用いられている。

発話 (u5) の終了時点で吉祥寺からの経路が決定されていない場合に、(u5) に続いて次の談話が生成された。

#### (談話例 2)

(u12) それで/小田急線の愛甲石田まで/行けばよいの  
です/

(u13) えーと 吉祥寺からはですね/井の頭線で/下北沢まで/行ってください

発話 (u12) は時間制限を守るために生成された。発話 (u12) の終了時には愛甲石田が注視されている。この時点で吉祥寺からの交通経路が詳細化されており、発話 (u13) からその経路を説明し始めるが、制約 (c3) により吉祥寺からの経路を説明するためには注視状態を愛甲石田から吉祥寺に戻す必要がある。したがって、吉祥寺を提題化した「吉祥寺からはですね」という表現がまず発話された。言語運用制約を適用しない場合には冗長で注視状態に対して不適切な発話が生成された。

## 9. おわりに

本稿では、時間制限下において漸次的に発話を生成する計算モデルを示した。このモデルでは、タスク指向型の話し言葉対話において、ある問題が与えられたときに、問題の解を対話相手に提案するために発話するという場面を想定している。モデルは問題の解を求めながら同時に解を提案するための発話を漸次的に生成する。時間制限を守るために、解が部分的にしか決定していない時点で発話を開始し、発話しながら解の詳細化を進める。

このモデルは一連の発話を1つの談話として生成する。タスク指向型対話のコーパスに現れる談話構造を分析し、その結果から話し言葉対話には特有の微細な談話構造が頻繁に現れることを示し、その微細な談話構造が漸次的発話生成に貢献することを論じた。モデルはそういった話し言葉対話に特有の微細な談話構造に基づいて一連の発話を1つの談話として漸次的に生成する。生成される談話が適切であることは言語運用制約によって保証される。言語運用制約の効果は発話シミュレーション実験によって確認されている。

今後の方向性としては、本稿で提案したモデルを拡張して、対話相手からのアイツチや割り込み発話に対処しつつ漸次的に発話を生成するための話し言葉生成モデルを構築することがある。話し言葉対話においては、ある対話参加者が発話している最中に対話相手によるアイツチや割り込み発話が起きる。本稿で提案したモデルは小さな発話単位で発話を生成するという特徴を持つので、対話相手からのアイツチや割り込み発話が起きたときに即座に対処できることが期待できる。

謝辞 日頃より示唆に富む助言をいただく石井健一郎情報科学研究部長、実りある討論に応じていただく対話理解研究グループの諸氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Carletta, J., Caley, R. and Isard, S.: A System Architecture for Simulating Time-constrained, Language Production, Research Paper HCRC/RP-43, University of Edinburgh (1993).
- 2) De Smedt, K. and Kempen, G.: Segment Grammar: A Formalism for Incremental Sentence Generation, *Natural Language Generation in Artificial Intelligence and Computational Linguistics*, Paris, C.L., Swartout, W.R. and Mann, W.C. (Eds.), pp.329-349, Kluwer Academic Publishers (1991).
- 3) Grice, H.P.: Logic and Conversation, *Syntax and Semantics Vol.3: Speech Acts*, Cole, P. and Morgan, J. (Eds.), pp.43-58, Academic Press (1975).
- 4) Grosz, B.J. and Sidner, C.L.: Attention, Intentions, and the Structure of Discourse, *Computational Linguistics*, Vol.12, pp.175-204 (1986).
- 5) Halliday, M.A.K.: *An Introduction to Functional Grammar*, Edward Arnold (1994).
- 6) Hovy, E.H.: Automated Discourse Generation Using Discourse Structure Relations, *Artificial Intelligence*, Vol.63, pp.341-385 (1993).
- 7) Kempen, G. and Hoenkamp, E.: An Incremental Procedural Grammar for Sentence Formulation, *Cognitive Science*, Vol.11, pp.201-258 (1987).
- 8) Levelt, W.J.M.: *Speaking: From Intentions to Articulation*, MIT Press (1989).
- 9) Mann, W.C. and Thompson, S.A.: Rhetorical Structure Theory: Towards a Functional Theory of Text, *Text*, Vol.8, pp.243-281 (1988).
- 10) 益岡隆志, 田窪行則: 基礎日本語文法 (改定版), くろしお出版 (1992).
- 11) Moore, J.D. and Paris, C.L.: Planning Text for Advisory Dialogues: Capturing Intentional and Rhetorical Information, *Computational Linguistics*, Vol.19, pp.651-694 (1994).
- 12) Nakano, M.: Constraint Projection: An Efficient Treatment of Disjunctive Feature Descriptions, *Proc. 29th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp.307-314 (1991).
- 13) Pechmann, T.: Incremental Speech Production and Referential Overspecification, *Linguistics*, Vol.27, pp.89-110 (1989).
- 14) Reithinger, N.: POPEL - A Parallel and Incremental Natural Language Generation, *Natural Language Generation in Artificial Intelligence and Computational Linguistics*, Paris, C.L., Swartout, W.R. and Mann, W.C.

- (Eds.), pp.179-199, Kluwer Academic Publishers (1991).
- 15) Reithinger, N.: The Performance of an Incremental Generation for Multi-modal Dialog Contributions, *Aspects of Automated Natural Language Generation*, Dale, R., Hovy, E., Rösner, D. and Stock, O. (Eds.), pp.263-276, Springer-Verlag (1992).
- 16) Russel, S. and Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall (1995).
- 17) 島津 明, 川森雅仁: 対話データの表記法, 第44回情報処理学会全国大会論文集(3), 1N-5, pp.99-100 (1992).
- 18) Stenström, A.-B.: *An Introduction to Spoken Interaction*, Longman (1994).
- 19) Walker, M.A. and Rambow, O.: The Role of Cognitive Modeling in Achieving Communicative Intentions, *Proc. 7th International Conference on Natural Language Generation* (1994).
- (平成8年6月21日受付)  
(平成8年9月12日採録)

**堂坂 浩二 (正会員)**

1962年生. 1984年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業. 1986年同大学院修士課程修了. 同年NTT入社. 現在, NTT基礎研究所情報科学研究部対話理解研究グループ主任研究員. 自然言語処理の研究に従事. 電子情報通信学会, 人工知能学会, ソフトウェア科学会, 日本認知科学会, 言語処理学会各会員.

**島津 明 (正会員)**

1948年生. 1971年九州大学理学部数学科卒業. 1973年同大学院修士課程修了. 同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所. 現在, NTT基礎研究所情報科学研究部対話理解研究グループリーダー. 言語コミュニケーションの研究に従事. 工学博士. 言語処理学会, 計量国語学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, ACL, ACM各会員.