一般社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report

階層構造意味空間モデルによる思考の流れの制御

高田 明典†

†フェリス女学院大学文学部コミュニケーション学科
〒845-8650 神奈川県横浜市泉区緑園 4-5-3
E-mail: †tkd@ferris.ac.jp

あらまし 本論文では，自然言語による質問応答システムの構築手法としての「階層構造意味空間モデル」における使用を前提とした思考の流れの制御の方法について提案する．ルールベースの自然言語処理においては，入力された自然文を何らかの形のメタ形式に変換し，それらを元に推論を行い，行動計画を立て，それを実行するという手順が踏まれるが，その際，推論の方向性を制御する必要がある．なぜなら，本モデルで使用する推論システムの一つである仮説演繹型推論の第１段階で用いられるアブダクティブ推論においては，その方向性が多岐に渡って多数生成されるからである．そして，その方向性および発生数を制御することが「思考の流れの制御」である．もちろん，アブダクティブ推論は非論理的処理に分類されるものであり，自然知能でのその機制さえ明確に捕捉されているわけではないことから，システムとしての実装には馴染みにくい．本研究においては，それをアブダクティブ推論の方向と数の制御と捉えなおしたうえで，「思考の流れの制御モデル」を提案する．

キーワード 自然言語処理，質問応答システム，意味空間，チャネル理論，アブダクション．

Contorol of Flow of Thought in Hierarchical Structured Semantic Space Model.

Akinori TAKADA†

† Faculty of Letters, Department of Communication Studies, Ferris University
4-5-3 Ryokuen, Izumi-ward, Yokohama, 845-8650 Japan
E-mail: † tkd@ferris.ac.jp

Abstract In this article I propose a method to control flow of thought in "Hierarchical Structured Semantic Space Model" as a model to construct natural language based question-answering system. In rule-based natural language processing, input sentences are needed to be translated into certain types of meta-form. Then, based with the translated meta-form data, a system generates some inferences, makes behavior plans and executes them. Especially when in these processes, the chains of inferences can be so complicated and also many in numbers, therefore the system needs to control the direction and the number of inferences. This type of controls is thought to be "control of the flow of thought". As an abductive inference is categorized into non-logical processing and its mechanism in natural intelligence is not fully grasped, there are many difficulties in complementing this function. In this research I propose "a model to control the flow of thought" as control of the directions and the number of abductive inferences.

Keyword natural language processing, question-answering system, semantic space, channel theory, abduction.

1. はじめに

ルールベースもしくは形式主義に基づく自然会話システムの難問は，理論が先行しているものの，その理論に見合う実装の困難性にある．これは，工学的手法の持つ根本的問題であるとさえ言える．なぜなら，何らかの評価基準による成果が得られることが工学的研究における研究論文の基本文法であるからだ．たとえば「飛ぶ機械」や「速く走る機械」などを作るうえでは，工学的手法はときとして劇的な効果を生む．どうして飛ぶのか，どうして速く走るのか，という理論的な問題を捨象し，実験と実装と調整を繰り返して，理論の裏打ちの無いままであっても成果を得ることができるからである．それは決して否定されるべきことではなく，むしろ賞賛に値すべき工学的手法の特長であるが，こと自然会話システムや人工知能システムにおいては，そのような手法が効果的に機能してこなかったと言わざるを得ない．「飛ぶ機械」を作ったように「答える機械」を作ることができると考え，「答えるとはどういうことか」「思考するとはどういうことか」という理論的側面を捨象してきた．

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.
Copyright ©2014 by IEICE

一方，言語哲学や分析哲学の分野による成果について鑑みるに，事実，真理，共通了解，言語獲得などの難問に関して，袋小路に入ったまま，そこを脱する契機さえ見失っているかのような状況が続いている．

本研究においては，階層構造を構成する意味空間を導入することによって，これまで処理が難しいとされてきた間接文などの問題の解決を図る方法について提案し，実装システムをもとに推論機構についても検討を加えてきた[1][2]．本稿においては，Dretske による情報意味論および Barwise & Seligman によるチャンネル理論を基礎として，本提案手法である階層構造意味空間モデルと、そこで用いられる推論と思考の流れの制御についての概念を整理した[3][4][5]．さらに「思考の流れ」を推論の方向と数の制御と捉えなおすことを通して，その制御方法について検討した．

2. 階層構造意味空間モデルの概要

2.1. 基本要素

階層構造意味空間モデルで用いられる基本的な定義の詳細に関しては高田(2013a,2013b）を参照されたい[1][2]．ここでは，Barwise & Seligman によるチャンネル理論[5]に基づく定義を述べる．まず，本モデルで用いられる基本的な要素は，トークン，タイプ，分類域，インスタンス，クラス，プリミティブクラス，関係，文，話者，システム本体，である．

トークンとは，本モデルにおいては，観察された何らかの表記・表現という意味を持つ．ある分類域を S とした場合，その分類域 S におけるトークンの集合を $tok(S)$とおく．つまり，一つのトークンを a とおくと，

$a \in tok(S)$

なる関係が成立する．分類域は複数存在し，それぞれを $S_{i(i \in \{0,\ldots n\}}$とおくと，

$a \in tok(S_i)$

タイプとは分類もしくは分類概念を意味する．たとえば「駝鳥」という漢字表記のトークンは，何らかのタイプに分類される．今そのタイプを α と置くと，ある分類域 S_iにおけるタイプの集合は，$typ(S_i)$とおかれ，

$\alpha \in typ(S_i)$

たとえば α が鳥というクラスを意味する分類概念（タイプ）であった場合には，その α を[*鳥類*]とおく（本稿においては，タイプを対象となる分類概念を示す語が［］に囲まれた形で表記する）．つまり，

[*哺乳類*] $\in typ(S_i)$

とおかれる．ここで，あるトークン a が，ある分類域 S_iにおいて，あるタイプ α に分類されるということを，チャネル理論にならい，

$a \models_{S_i} \alpha$

と表記する．

たとえば"犬"をトークン a_1 とすると，

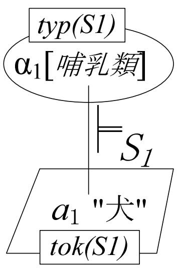

Fig.1

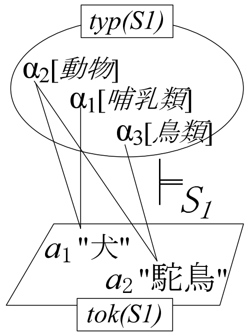

Fig.2

a_1 "犬" $\models_{S1}$α2 [*哺乳類*]

となり，この関係を Fig.1 のように図示する．

さらに，一つの分類域には，複数のタイプとトークンが含まれ，たとえば，タイプとして

α_2[*動物*]　α_3[*鳥類*]

が追加され，a_2 "駝鳥"というトークンが追加されると，以下のように新たな分類が生成される．

a_2 "駝鳥" $\models_{S1}$ α_3[*鳥類*]

a_2 "駝鳥" $\models_{S1}$ α_2[*動物*]

a_1 "犬" $\models_{S1}$α2 [*動物*]

これは Fig.2 のように図示される．

これらの異なる分類域の間には，情報射もしくは情報同型写像（info morphism)と呼ばれる関係が成立することがある．

今，二つの分類域 S_1 と S_2を，それぞれ，ある人間（における分類）と考えたとき，S_1 と S_2の間で情報のやりとりが可能となるためには，S_1 における分類と，S_2における分類とが相同なものである必要がある．

単純な例示のため S_1 を日本語話者における分類域，S_2を英語話者における分類域と想定するなら，日本語のトークン「犬」は，英語のトークン"dog"に対応していると考えることができる．

日本語話者が想定するタイプとしては，［*動物*］［*哺乳類*］［*鳥類*］が置かれ，そのそれぞれに対応する英語話者が想定するタイプを[*animal*][*mammal*][*bird*]と置くと，S_1 と S_2の間には以下の情報射の関係が成立する．

$f^{\vee}(a_1)_{(=b1)} \models_{S2} \beta_1 \;\; \Leftrightarrow \;\; a_2 \models_{S1} f^{\wedge}(\beta_1)_{(=\alpha 2)}$

この情報射の例を Fig.3 に図示した．

上述の例示に置き換えて表現するならば，

$f^{\vee}$("犬")$_{(=\text{"dog"})}$ $\models_{S2}$ [*mammal*]

⇔ "犬" $\models_{S1}$ $f^{\wedge}$([*mammal*])$_{(=[哺乳類])}$

となり，分類域 S_1 を（日本語話者）における分類は，S_2（英語話者）における分類との間で，同型性を有することになる．ただしここで重要なのは，その「同型性」とは，決して，分類概念そのものの同型性を意味しないという点である．［*哺乳類*］というタイプが，[*mammal*]というタイプと同じものである必要はなく，単に，それらのタイプとトークンの関係が同型写像で

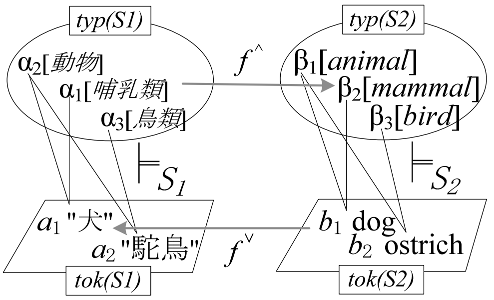

Fig.3

あることを意味している．

このような関係性が分類域 S_1 と S_2 におけるすべてのトークンとタイプの間に成立しているとき，それを

$f : S_1 \rightleftharpoons S_2$

なる情報射と呼ぶ．

また，三つ以上の分類域の間に情報射の関係が成立している場合，それは Fig.4 のように示されるが，そのとき分類域 S_0 のように，いくつかの他の分類域と情報射の関係を持つものをチャンネルの核と呼ぶ．また，一つの核に向かう情報射の集まりをチャンネルと呼ぶ．

本モデルにおいて使用するタイプは，インスタンス，クラス，論理，事実，条件，などの属性を持つ．インスタンスとは，そのタイプがある特定の事物や現象に対応づけられる場合のことをいう．たとえば，トークンが固有名詞である場合，そのトークンに対応するタイプはインスタンスの属性を持つ．クラスとは，そのタイプがある属性によって定義される集合概念であることをいう．たとえばトークンが「犬」「猫」「人間」などのように，特定の事物や対象・現象に対応づけられるものではなく，ある集合概念を示す場合，そのトークンに対応するタイプはクラスの属性を持つ．

タイプの属性がインスタンスであるとき，そのタイプを Ii とおき，クラスであるとき Cj とおく．また，タイプ α がインスタンスの属性を持つとき $\alpha = Ii$，タイプ β がクラスの属性を持つとき $\beta = Cj$ とおかれるが，それぞれ簡略化して，$I\alpha$，$C\beta$ と表記する．

クラスであるタイプ，Cj は，下位の属性として，成立／不成立(tf)，時制(tense)，意思(mind)，推測(estimation)などの属性値を持つ．また，すべてのクラ

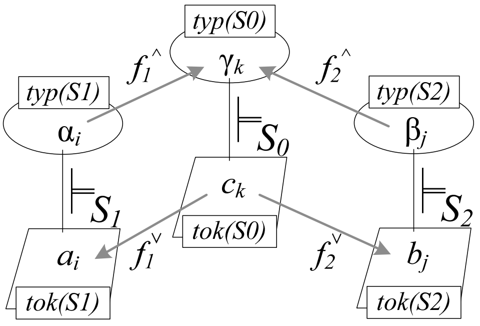

Fig.4

スは，プリミティブクラス P_k の要素である．プリミティブクラスとは，成立／不成立(tf)，時制(tense)，意思(mind)，推測(estimation)などの属性値を持たないクラスとして定義される．つまり，あるクラス Cj は $P_{k(tf,tense,mind,estimation)}$ とおくことができる．

ただし，クラス Cj が，$P_{k(tf=false,\ tense=past,\ mind=wish)}$ のように属性値を持つとき，簡略化のため，$Cj_{\ false,past,wish}$ もしくは $C\beta_{\ false,past,wish}$ のように表記する．

本モデルにおける「関係」r とは，$\alpha,\beta \in typ(S_i)$ なるタイプ α,β の関係を定義するものであり，

$(\alpha, r)\ \beta$

と表現される．

また，本モデルにおいて，文は，平叙文，疑問文，条件文に分類される．平叙文は，さらに，平叙事実文，平叙論理文に分類される．ただし平叙事実文，平叙論理文は，以下，単に事実文，論理文と呼称する．

事実文を示すトークン F_1 が，事実を示すタイプ φ_1 に分類されるとすると，それは，インスタンス属性を持つタイプ $I\alpha$ が，あるクラスを示すタイプ $C\beta$ に分類されるという意味であるため，

φ_1: $C\beta(I\alpha)$

と表記される．また，論理文 L_1 が，論理を示すタイプ λ_1 に分類される場合，それは，クラスの論理的関係を意味するので，タイプを示す変数 x を用いて，

λ_1:$C_i(x)\ \rightarrow\ C_j(x)$

と表記される．このとき $C_i(x)$とは，タイプ x が，クラス C_i に分類されることを示す．

2.2. 階層構造意味空間モデル

本提案手法である階層構造意味空間モデルにおいては，上で示した分類域 S が，話者ごとのものとなる．これは，「状況」ごとに分類域が設定されることを前提とする Barwise & Perry の「状況意味論」[6]とも，文中の契機表現によって分類域が設定されることになると考えられる Fauconnier の「メンタル・スペースの理論」[7][8]とも異なる．本モデルにおいては，ある話者 T_1 に，インスタンスの分類域 $S_{T1,I}$，クラスの分類域 $S_{T1,C}$，文の分類域 $S_{T1,F}$，をおき，それらをまとめて T_1 の意味空間と呼ぶ．階層構造意味空間モデルとは，したがって，それぞれの話者がいくつかの分類域を持ち，それらの「意味空間」がシステム本体の意味空間を頂点とする階層構造を持つモデルのことをいう．

本提案手法では，分類域 S が話者ごとに設定されるというモデルをとる．つまり，状況意味論における「状況」，もしくは，メンタル・スペースの理論における「メンタルスペース」に対応するのが，本モデルにおける「意味空間」となる．つまり「意味空間」は状況ごとに設定されるのではなく（また，話者のメンタルスペースごとに設定されるのでもなく），ある特定の話者に

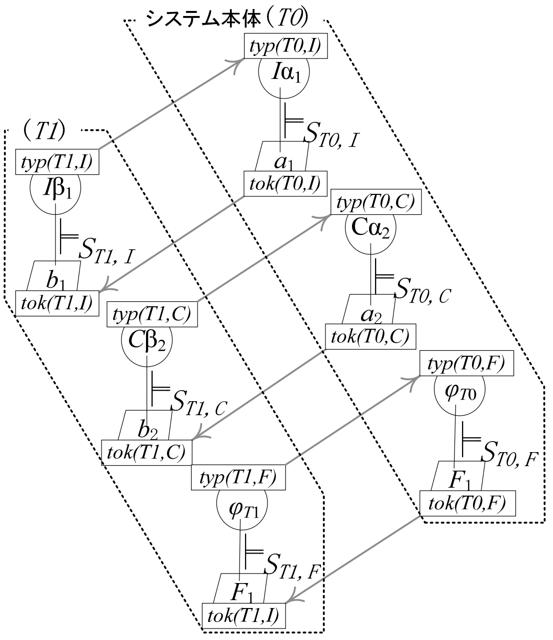

Fig.5

よる入力文が，その話者に固定して設定されるいくつかの分類域によって分類されるというモデルである．これを「階層構造意味空間モデル」と呼ぶ．ここで，「階層構造」とは，話者の意味空間の下位にも，別の話者の意味空間が構築されることをいう．

ここで重要なのは，分類域が異なれば，当然，トークンもタイプも別のものとなるという点である．たとえば，分類域 S_1 と分類 S_2 で，表記としては同じ「私」というトークン（単語）が使用されていても，それらは別々のトークンである．また同様に，それぞれの分類域で使用されるタイプが[*bird*]と表記される分類名であったとしても，それらは異なる分類域上の別々のタイプである．チャンネル理論に基づく階層構造意味空間モデルとは，すなわち，話者の意味空間をそれぞれ原理的に異なる分類を行う二つの分類域であると考え，そのうえで，情報射が形成されることによって情報が伝達されると考えるモデルである．

今，話者を T_i とするとき，その話者に対応する分類域としてインスタンスの分類域 $S_{Ti,I}$ と，クラスの分類域 $S_{Ti,C}$ をおく．トークン a がインスタンスである場合，

$a \models_{STi,I} \alpha$

なるタイプ α に分類される．さらには，クラス，事実文，論理文，に対応する分類域を，それぞれ $S_{Ti,C}$，$S_{Ti,F}$，$S_{Ti,L}$ と表記する．話者ごとに設定される上記の分類域の集合を本モデルでは「意味空間」と呼ぶ．この模式を Fig.5 として図示した（インスタンス，クラス，事実の分類域のみが表示されている）．意味空間は対話者の数だけ生成されることになるが，一つの意味空間内に下位の意味空間が生成されることもある．

3. 階層構造意味空間モデルにおける推論

3.1. 基本的な推論

本システムにおいては，基本的な推論モデルとして，*modus ponens*，*sorites*，*induction* を用いる．

(*modus ponens*) $\varphi, \lambda \rightarrow \varphi$

(*sorites*) $\{\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n\} \rightarrow \lambda$

(*induction*) $\{\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_m\} \rightarrow \varphi$

たとえば，*modus ponens* の場合，事実文 *F* と論理文 *L* のトークンにそれぞれ対応するタイプ φ_1 と λ から，別の事実のタイプ φ が生成される．つまり，

$\varphi_1 : C\alpha(I\beta), \lambda:(C\alpha(Ix) \rightarrow C\gamma(Ix)) \rightarrow \varphi: C\gamma(I\beta)$

また *sorites* の場合は，

$\{\lambda_1:(C\alpha(Ix) \rightarrow C\beta(Ix)), \lambda_2:(C\beta(Ix) \rightarrow C\gamma(Ix))\}$
$\rightarrow \lambda_3:(C\alpha(Ix) \rightarrow C\gamma(Ix))$

また *induction* の場合は，ある文脈の範囲が特定され，その範囲内での事実文によって，確率付の論理が導出される．

$\{(\varphi_1:C\alpha(I\beta), \varphi_2:C\gamma(I\beta)), (\varphi_3:C\alpha(I\beta), \varphi_4:C\gamma(I\beta))$
$, (\varphi_5:C\alpha(I\beta), \varphi_6:\neg C\gamma(I\beta))\}$
$\rightarrow \lambda_1:(C\alpha(Ix) \overset{0.67}{\rightarrow} C\gamma(Ix))$

（→の上の数値は「確率」を示す.）

3.2. 仮説演繹推論

本システムにおいては，後に述べる AOOQ ルーチン（Answering One's Own Question Routine:自問自答ルーチン）の一部に，仮説演繹型の推論を組み込んでいる..仮説演繹型の推論もしくは仮説演繹法とは，（１）仮説導出（２）演繹（３）証明もしくは確認，の 3 段階をとる推論の一形態であり，そのうち（１）の仮説導出を「アブダクション」と呼ぶ場合もある．この仮説導出は，論理的手順によらず行われる場合が多く，異なる事例からの類推などによって行われる．

阪井・栗山（2011）では，創発が行われていると想定される事例の詳細な談話分析をもとに，そこにおいてマイクロ・アブダクションが重要な役割を担っていることが指摘されている[9].

たとえば，

$\varphi : C\alpha(I\beta)$

なる事実 φ が当該のシステムの意味空間に存在したとき，近接性に基づいてインスタンスを置き換えたものである $C\alpha(I\gamma)$，また,クラスを置き換えた $C\delta(I\beta)$を生成することなどが，それに該当する．そのようにして仮説導出された概念は，φ_Q として登録され，必要に応じて AOOQ ルーチンに投入される．

また，

$\lambda : C_1(x) \rightarrow C_2(x)$

なる論理 λ が意味空間に存在した場合，クラスの近接性に基づいて $C_3(x) \rightarrow C_2(x)$などを生成することをいう．ここで近接性とは，ある文脈において同じタイ

プに分類される回数や共起頻度によって判断される性質のことをいう．

3.3. 行動計画の立案と実行

基本的な行動モデルとして本システムにあらかじめ組み込まれているものは，現在のところ一つしか存在せず，それは，システム本体が概念（分類）である[*happy*] となることを目指すというものである．この初期動因の妥当性に関しては議論が必要であると思われるが，少なくとも，初期動因が一つは存在していないとシステムが動作しない．ここで[*happy*]とは，トークン「幸福」「幸せ」に対応する分類概念としてあらかじめ登録されている．つまり，それらのトークンは，システム本体の意味空間（分類域）において，[*happy*]に分類される．

さらに，本システムにおいて，初期化のために最初期に入力される文は以下の三つの論理文である．

(L_1)「したいときに，するならば，幸せ.」

(L_2)「誰かが疑問文と言えば，その誰かは疑問文の答えを知りたい.」

(L_3)「誰かに何かと言えば，その誰かはその何かを知る.」

これらは対話者からの入力文ではなく，システムの挙動を制御するための文として初期に登録されるものであるため，時制情報などは捨象された形式となっている．また「疑問文と言えば」という不自然な表現になっているのは，対話者の入力文が「話者 T_i は，文 L_i と言った」という形に変換されることに対応した表現である．上記（L_1）において，動詞「する」は代動詞（すべての動詞の変数として機能するもの）として登録されているため，（L_2）の「知りたい」に対応して，

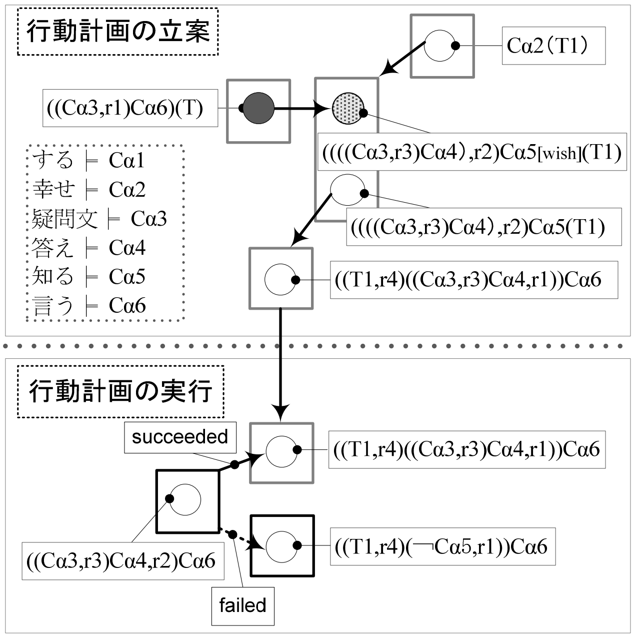

Fig.6

「疑問文の答えを知りたい」ときに,「疑問文の答えを知る」ならば，話者（もしくはシステム本体）の状態がタイプ[*happy*]に分類されるものになるという構造を構成する．また，(L_2)（L_3）において「誰か」という不特定主語が用いられているため，それが誰であっても対話者であれば該当するものとなっている．ちなみに（L_1）はゼロ主語文であるが，ゼロ主語処理によって不特定主語 I_x に対応する．

トークン「する」を　$a_1 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_1$,

トークン「幸せ」を　$a_2 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_2$,

とおくと，文 L_1 はシステム本体によって以下のように展開される．

$L_1 \vdash_{S_{T0}} \lambda_1$

λ_1:$\{\mathrm{C}\alpha_{1,\mathrm{wish}}(I_x), \mathrm{C}\alpha_1 (I_x)\} \rightarrow \mathrm{C}\alpha_2 (I_x)$

同様に，トークン a_3「疑問文」，a_4「答え」，a_5「知る」，a_6「言う」がそれぞれ，

$a_3 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_3$

$a_4 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_4$

$a_5 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_5$

$a_6 \vdash_{S_{T0}} \mathrm{C}\alpha_6$

のタイプに分類されるとし，助詞"と"を関係 r_1，助詞"を"を関係 r_2，助詞"の"を関係 r_3，助詞"に"を関係 r_4，とおくと，

$L_2 \vdash_{S_{T0}} \lambda_2$

λ_2:$(\mathrm{C}\alpha_{3,} r_1)\ \mathrm{C}\alpha_6)(I_x) \rightarrow ((((\mathrm{C}\alpha_{3,} r_3)\ \mathrm{C}\alpha_4), r_2)\ \mathrm{C}\alpha_{5,\mathrm{wish}})(I_x)$

$L_3 \vdash_{S_{T0}} \lambda_3$

λ_3:$((I_x, r_4)\ (I_y, r_1))\ \mathrm{C}\alpha_6 \rightarrow ((I_y, r_2)\ \mathrm{C}\alpha_5)\ (I_x)$

この三つの初期入力文によって構成される行動計画の例を，Fig.6 として示した．

行動計画は，初期入力文によってのみ生成されるものではなく，対話者の入力文からも生成される．そのとき，初期入力文から導出されたものが優先的に処理されるわけではなく，まったく同等に扱われるという点に意味があると思われる．なぜなら，初期の設定が必ずしも正しいわけではなく，それを越えて，妥当な行動が立案され，遂行される必要があるからである．

3.4. 推論の制御

内省から確認できる現象としては，思考とは内言の連鎖であるといえる．ただし，思考が自然知能にとって重要なのは，単にそのような連鎖が発生することではなく，それによって何らかの生産的な文が生成されることにある．したがって，単なる連鎖を目的とするのではなく，何らかの意味のある文を生成する機構としての内言生成システムを考える必要がある．

本システムは，推論システムとしてアブダクティブな推論の機能を持っている．アブダクティブな推論は，必ず，その検証過程を必要とする．本モデルでは，アブダクティブ推論によって生成された仮説が，内言と

して生成され，通常の対話者からの入力文と同様に処理されていくという機構を採用した．システムの概要を Fig.7 に示した．AOOQ ルーチンによって生成された疑問文は，いったん DBBS（Dynamic Black Board System：動的黒板システム）に登録される．

DBBS は 1 次元のリスト構造を持っているが，入力文は先頭から順に LILO 登録されるのに対し，AOOQ 生成文は，入力文リストの後に LIFO で配置される．

登録文にはそれぞれ有効期間が設定されており，期間終了後，除外される．登録文の数の上限は，使用されている論理文の確率や過去の成功率などによって制御される．

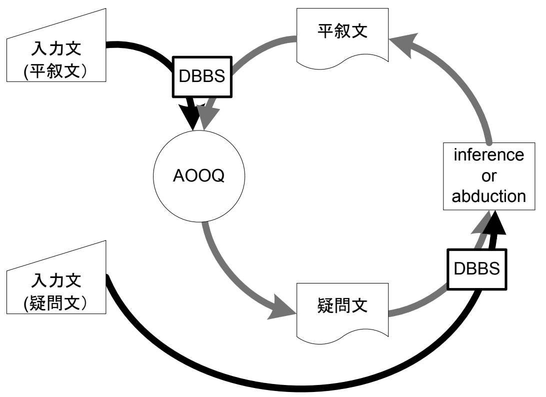

Fig.7

4. 自然会話システムへの導入および作動例

4.1. システムの概要

本研究における提案手法を，開発中の自然会話型質問応答システムである ides-VANCS 中へ組み込みを行った．VANCS(Virtual Advisory Natural Conversation System)は，対話者が使用している論理や事実の問題点を指摘することを通して，対話者の問題解決の支援を行うことを目論む質問応答システムである．ides-VANCS においてメタ形式への変換や推論などは筆者らが開発した IDES（Intelligence Driver Enhanced Simulator)をベースにした改良型 ides を用いた[10][11].

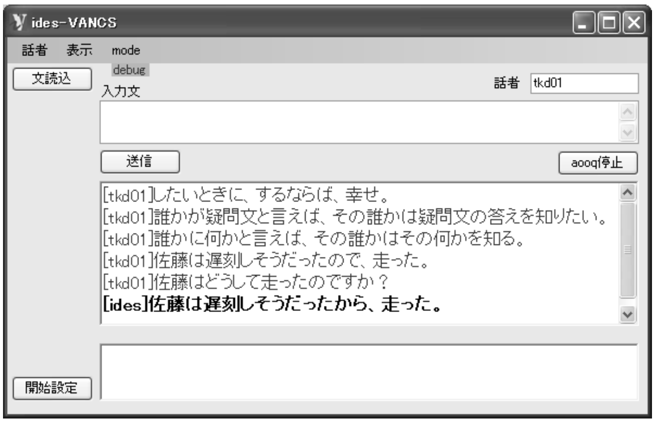

Fig.8

4.2. 作動例

Fig.8 に基本的な質問応答の作動例を示した．そこにおいては，上記 3.3 で例示した初期の論理文が処理され，その行動計画に伴って質問文が処理され，返答が行われている様子を見ることができる．この例では Table 1.に示したように 9 個の要素を持つ plan が生成され，それが順次実行され，答に至っている．

```
<<< Space Data: [original space - ides (1)]   >>>
plans total count(s) = 9
  plan[0]:mi[2]∈cie[21] False
    plan[2]->cie[54]     plan[4]->cie[56]
  plan[1]:mi[0]∈cie[21] False
    plan[6]->cie[54]     plan[8]->cie[56]
  plan[2]:mi[2]∈cie[54] True
  plan[3]:anybody∈cie[59] False
  plan[4]:mi[2]∈cie[56] False
    plan[3]->cie[59]
  plan[5]:mi[0]∈cie[34] False
  plan[6]:mi[0]∈cie[54] False
    plan[5]->cie[34]
  plan[7]:anybody∈cie[62] False
  plan[8]:mi[0]∈cie[56] False
    plan[7]->cie[62]
```

Table 1.

文　献

[1] 高田明典，階層構造意味空間モデルによる知識獲得，信学技報, Vol.113, No.253, pp.31-36, 2013a.

[2] 高田明典，階層構造意味空間モデルによる推論と学習，信学技報, Vol.113, No.354, pp.7-12, 2013b.

[3] Dretske, F., *Explaining Behavior: Reasons in a World of Causes*, Cambridge, Mass. The MIT Press, 1988.

[4] Dretske, F., *Knowledge and the Flow of Information*, Cambridge, Mass. The MIT Press, 1999[1981]:

[5] Barwise, J. & Seligman, J., *Information Flow - The Logic of Distributed Systems*, Cambridge University Press, 2008.

[6] Barwise, J. & Perry, J., *Situations and Attitudes*, Cambridge, Mass. The MIT Press, 1984.

[7] Fauconnier, G., *Mental Spaces: Aspects of meaning construction in natural language.* Cambridge: Cambridge UP, 1985.

[8] Fauconnier, G., *Mappings in Thought and Language*, Cambridge: Cambridge UP, 1997.

[9] 阪井和男・栗山健，談話分析による創発プロセスの可視化に向けて：マイクロ・アブダクションの連鎖としての創発プロセス，信学技報，Vol.111, No.320, pp.71-76, 2011.

[10] 筒井俊行，高田明典，対話型人工知能シミュレーターの基本設計―Intelligence Driver Enhanced System(IDES)の概要，情報科学技術フォーラム一般講演論文集 2002(2)，pp.275-276，2002.

[11] 鴻田浩・高田明典，対話型人工知能シミュレーターの構築 ― Intelligence Driver Enhanced System(IDES)の実装に向けて―，情報科学技術フォーラム一般講演論文集 2002(2)，pp.277-278，2002.