

状況意味論に基づく談話理解システム DUALS

----- その基本原理 -----

田中裕一, 向井国昭, 三吉秀夫, 安川秀樹^{*1)}, 平川秀樹^{*2)}, 横井俊夫
(財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構)

*1) 現在 松下電器産業株式会社

*2) 現在 株式会社東芝 総合研究所

1. はじめに

ICOTでは談話理解の計算モデルを構築することを目的として、状況意味論という一つの基本原理で全体を统一的に扱う談話理解の実験システム DUALS (Discourse Understanding Aimed at Logic-based Systems) を研究開発中である。これは構文論として DCG, GPSG, LFG など、意味論として状況意味論 (situation semantics) などのような新しい言語理論の成果を取り入れて、統合的な談話理解システムの研究を進めていくことを目的とする。DUALS は昨年(1984)秋に第1版が完成し、第五世代コンピュータに関する国際会議 (FGCS'84) に伴って開かれた ICOT オープンハウスに於いてデモンストレーションが行われた。これは小学校三年生用の国語の問題集から選んだ特定の読解力テストの問題を解くシステムである。現在はさらに状況意味論的要素を取り込んだ形の第二版を作るべく検討を行っている[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]。

状況意味論は Stanford 大学の Jon Berwise と John Perry が 1981 年頃から発表しはじめた自然言語のモデル論的意味論である[8, 9]。人工知能や計算機科学からも注目を集め、自然言語処理システムに状況意味論を利用する試みもなされている[10, 11, 12, 13]。

本報告は、DUALS の基本原理として、状況意味論に従った談話理解の構造を述べ、状況意味論が談話理解の計算モデルを与えるのに適していることを明らかにしようとするものである。2. では DUALS の基本原理となっている状況意味論について述べる。3. では状況意味論に基づく談話理解のモデルについて述べる。4. では本談話理解システムの記述言語である CIL について概説する。5. では今後の課題について述べる。

2. 状況意味論

状況意味論では、現実の世界とその集合論的モデルである抽象的世界を考える。現実の世界を構成する現実の状況は人間の知覚の対象となり得るものである。一方、抽象的状況は発話に対して、その解釈を与えるものであ

る。

(1) 状況

状況意味論による世界の表現の方法をまとめると次のようになる。

・実世界(Reality) は 実状況(real situation) から成り立っている。

・実状況は 事実(fact) から構成され、それらの事実により完全に決定される。

$fact(s)$

によって、実状況 s を構成する事実の集合を表す。

・事実は

$(l, (r, x_1, \dots, x_n), p)$

の形で書かれる。 l, r, x_i, p はそれぞれ ロケーション(location), 関係(relation), 個体(individual), 極性(polarity) と呼ばれる。 $p=1$ のとき、ロケーション l において、個体 x_1, \dots, x_n の間に関係 r が成立することを表し、 $p=0$ のとき成立しないことを表す。

・ロケーションは時間的・空間的 (spatio-temporal) な領域を表す。ロケーションによらない事実 (真理) もあり、それをロケーションを持たない形

$((r, x_1, \dots, x_n), p)$

に書くこともあるが、すべてを含むロケーション l_u (universal location) を導入し

$(l_u, (r, x_1, \dots, x_n), p)$

の形に表してもよい。

・実世界の事実や実状況を集合論的要素に結びつけるため

$\langle l, (r, x_1, \dots, x_n), p \rangle$

の形の (抽象的) circumstance を定義する。

・事実 f には必ず一つの circumstance

$abs(f)$

が一意的に対応する。事実に対応する circumstance を 抽象事実(abstract fact) と呼ぶ。(circumstance の中には

$\langle l_u, (=, x, x), 0 \rangle$

のように事実に対応していないものもある。)

・抽象事実の集合を抽象状況(abstract situation)と呼ぶ。抽象状況のことをただ状況とも呼ぶ。

・実状況 s に状況

$$\text{abs}(s)$$

を割当てる。ただしこれは

$$\{\text{abs}(f) \mid f \in \text{fact}(s)\}$$

を表す。状況 s' と実状況 s の間に

$$s' = \text{abs}(s)$$

という関係があるとき、 s' は s に対応している(corresponds to)という。また、 s' が $\text{abs}(s)$ の部分集合のとき、状況 s' が実状況 s を正しく分類している(correctly classifies)という。

・状況 s' の各要素が抽象事実であるとき、 s' は事実的(factual)であるという。 s' がある実状況 s に対応しているとき、 s' は現実的(actual)であるという。

・状況 s がコヒーレント(coherent)であるとは、

①その中に極性だけが異なっているような二つの cir

cumstance を含まない

②どのオブジェクト x に対しても

$$\langle (=, x, x), 1 \rangle$$

なる circumstance を含まない

③どの異なるオブジェクト x, y に対しても

$$\langle (=, x, y), 0 \rangle$$

なる circumstance を含まない

という条件を満たしていることをいう。すべての現実的な状況はコヒーレントである。

・すべてのオブジェクト(object)は各々ある事実の成分である。

これらの関係を図示したのが図 2.1 である。

(2) タイプ、不定項

・状況中のオブジェクトに関する不変要素としてタイプ(type)を考える。タイプはまたそれ自身オブジェクトであり、他のオブジェクトと関係を持つ。

・オブジェクトの基本タイプ(basic type)には次のもの

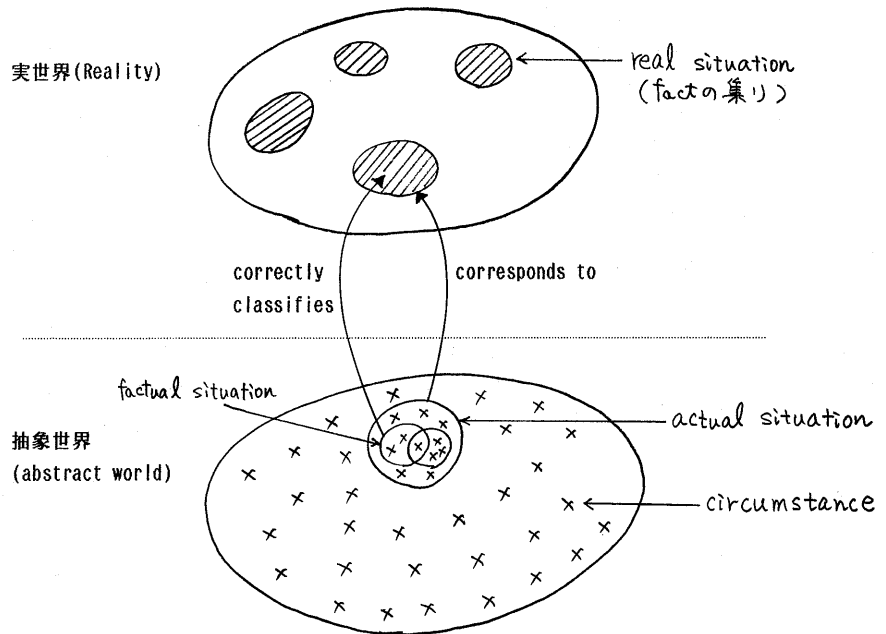


図 2.1 状況意味論の基本的な枠組み

がある：

IND	個体のタイプ
RSIT	実状況のタイプ
SET	集合のタイプ
SIT	状況のタイプ
LOC	ロケーションのタイプ
POL	極性(真偽値)のタイプ
REL _n	n 項関係のタイプ

・タイプに含まれるパラメタとして不定項(indeterminate)を導入する。各基本タイプTに対して、不定項

T_1, T_2, T_3, \dots

が存在し、それはタイプTのオブジェクトにアンカー(anchor)される。異なるタイプは異なる不定項を持つ。

・アンカーとは基本不定項のある集合を定義域とする関数で、 $\sigma(T_n)$ が定義されるならば、それがタイプTのオブジェクトになっているようなものである。

・二つのアンカーは、不定項の番号を付け変えることにより一方から他方へ移れるとき同値であるという。

・タイプTに条件(condition) Cを付加して

$T|C$

と書くことにより、タイプTのオブジェクトで条件Cを満たすものを表す新しいタイプを作ることができる。

・条件は次のような要請を満たさなければならない：

①各条件Cはパラメタの空でない有限集合

$\text{para}(C)$ 、

すなわち基本不定項の集合を持つ。

②条件Cはアンカー σ に関する条件である。ただし、 $\text{para}(C)$ は σ の定義域の部分集合になっているものとする。

③条件Cは定義域に入るアンカー σ に対して成立するかしないかのいずれかである。

④条件からなる任意の有限集合Xに対して次のような条件Cが存在する：

$\text{para}(C)$ はXの各要素を持つパラメタを全部併せたものであり、任意のアンカー σ に対して σ がCを満たすのは σ がXの各条件を満たすときおよびそのときに限る。

⑤条件はパラメタを変更しても不変である。すなわち同値なアンカーに対しては同値な結果を返す。

⑥条件CとCの各パラメタXに対して複合同不定項(complex indeterminate)

$[X|C]$

が存在する。 $[X|C]$ のパラメタはX以外のCのパラメタに等しい。アンカー σ に対して次の制約を課する：

もし $\sigma([X|C])$ が定義されるならば、

$\sigma(X)$ も定義されて両者は一致し、 σ は条件Cを満たす。

⑦各複合同不定項XはタイプT(X)を決める。同値な不定項は同一のタイプを決める。

(3) 文の意味

状況意味論の基本的な考えでは叙述的な文(発話) α の意味は、 α が発話された状況uと、その発話によって描かれた状況(described situation) eの間の関係

$u[\alpha]e$

としてとらえられる。

例えば、"I am sitting."の意味は、

$u[I \text{ AM SITTING}]e$

iff

There is a location l and an individual a, such that

in u : at l : speaks, a ; yes

in e : at l : sits, a ; yes

と表現される。

しかし言語というものは効率性(efficiency of language)を持つ。つまり、同一の言語表現(expressions)が繰返し、異なった場所で、異なった時間に、異なった人々によって用いられ、異なった解釈を持つ。例えば2人の人間が向い合って、お互い"I am right. You are wrong."という発話をしたならば、それぞれの主張は異なる解釈を持つことは明らかである。そこで状況意味論では発話された状況uを表現するのに発話状況d(descourse situation)及び話者のコネクションc(speaker connections)というものを導入する。発話状況は「発話が誰によって、いつ、どこでなされたか」というような情報を記述する状況である。話者のコネクションは話者が発話によって何を参照しているのかを与える関数である。これらのd, cを導入することにより、文(発話) α の意味は、

$d, c[\alpha]e$

と表現される。

3. 談話理解モデル

われわれは、状況意味論に従って談話理解の計算モデルを定める。2.で述べたように状況意味論では文の意味をさまざまな状況の間の関係であるととらえる。従って原理的には世の中に存在する必要な状況とその間の関

係(コンストレイントとも呼ぶ)をすべて記述すればよい。ここではDUALSの談話理解というものをタイプとコンストレイントを用いてフォーマルに定義する。

次のような条件を満たす状況の列 M_0, M_1, \dots, M_n と関係の列 $\delta_1, \dots, \delta_n$ のことを談話理解という。ここでは簡単のために状況をメンタル・ステートと同一視する。

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$

$M_0 \Rightarrow M_1 \Rightarrow \dots \Rightarrow M_n$

[条件 1]

$\delta_i (M_{i-1}, M_i)$ である。

[条件 2]

δ_i は発話 α_{i-1} に応じて文法規則とレキシカル項目から構成的(compositionally)に決まるコンストレイントである。

[条件 3]

各メンタル・ステート M_i は以下の情報の総体である。

beliefの集合
knowledgeの集合
wantの集合
intentionの集合

[条件 4]

発話行為論は次のような形式のコンストレイント群として記述する。

$E_1 \Rightarrow E_2$

ここで、 E_1, E_2 はイベント型であり、 E_1 は E_2 を involve すると読む。

4. CIL

CIL(Complex Indeterminate Language) は状況意味論に基いた談話理解システムのための記述言語である。構文・意味・語用の各解析の統合的かつ透明な記述をねらいとしている。Prologの拡張言語である。新しく導入されたエレメントは2。述べた複合不定項(Complex Indeterminate)と呼ばれているものである。単に不定項とも呼ばれる。CILは不定項の導入に対応して拡張された単一化処理(unification)を基本計算機能として持つ。またCILはコンストレイント型の言語を志向している。そのため、freeze機能を粗込んでいる。freeze機能はProlog

II [14]がすでに持っている基本制御機能であり、変数の束縛に関係した条件によりゴールをサスペンドしたり、解除したりできるものである。すなわちCILは次の等式で表現されるプログラミング言語である。

CIL = Prolog
+ 不定項
+ freeze

不定項は知識表現に於けるフレームに類似している。またfreezeはフレームにデモンを記述するのに用いるものと考えれば分かり易い。

不定項は意味的には与えられた条件を満たすある不定のオブジェクトを表現するものである。状況意味論に於いては状況の様々なタイプを不定項を用いて記述するが、この不定項をいかにインプリメントするかが状況意味論システム実現の鍵となる。CILはその最初の試みである。CILの不定項を使うことにより、発話状況は例えば次のように表現される。

```
discourse__situation(
  @(S, (speaker: I,
        hearer: You,
        discourse_location: Here,
        expression: Exp),
    has(S, (Here, (speaking, I), 1)) &
    has(S, (Here, (addressing, You), 1)) &
    has(S, (Here, (utter, Exp), 1)))
) <- true.
```

CILによる非常に簡単な発話行為に関するプログラム及び実行例を付録に載せる。

CILには次の利点がある。

- (1) 不定項をノードとし、ロール名を校と見做すことによりセマンティックネットワークをデータとして表現できる。
- (2) 不定項はLFG(Lexical Functional Grammar)の機能構造の自然な拡張となっている。不定項の条件部分を見捨れば、それはGPSG(Generalized Phrase Structure Grammar)のfeatureシステムになっており、単一化の概念もGPSGに於けるunificationと一致する。これらの利点は不定項が構文、意味、語用に関する知識の表現と操作のために適切なものであることを意味している。

なお、DUALSの第1版はCILの初期の版のものにより書かれている。

5. 今後の課題

DUALS の第1版は開発の時間的な制約もあったため、談話理解に於ける本質的な問題を強力なヒューリスティクスにより回避している部分が多い。現在は、第1版の色々な問題点をふまえて、第2版の検討を行っているところである。第2版は次のような点に焦点を当てながら、状況意味論の枠組みで解決していきたいと思う。

- ①「約束する、命令する、質問する」などの発話行為は状況間のコンストレイントとして記述する。
- ②コンストレイントに記述される状況にメンタルステートのモデルを構築する。このモデル上へ「信じる、疑う、知る、見る」などの態度(attitude)に関する基本動詞の意味記述を行う。メンタルステートの表現についてはBarwise とPerry 自身により提案されているのでそれを参考にする。
- ③発話行為の定義にはロケーション(時間・空間)が密接に関係している。それをどう扱うかが今後の大きな課題である。

[参考文献]

- [1] 向井国昭, 安川秀樹, 平川秀樹, 三吉秀夫, 田中裕一: 談話理解システムDUALS の概要, ICOT テクニカル・メモ, TM-0118, 1985.
- [2] 平川秀樹: 談話理解システムDUALS におけるオブジェクト同定処理, ICOT テクニカル・レポート, TR-117, 1985.
- [3] 安川秀樹: ユニフィケーションに基づく意味解析, ICOT テクニカル・レポート, TR-110, 1985.
- [4] 三吉秀夫: 談話理解システムDUALS における質問応答処理, ICOT テクニカル・メモ, TM-0110, 1985.
- [5] K. Mukai: Horn Clause Logic with Parameterized Types for Situation Semantics Programming, ICOT Technical Report, TR-101, 1985.
- [6] K. Mukai: Unification over Complex Indeterminates in Prolog, ICOT Technical Report, TR-113, 1985.
- [7] 三吉秀夫, その他: 状況意味論に基づく談話理解システムDUALS -そのインプリメンテーション, 自然言語研究会50-7, 1985.
- [8] J. Berwise, J. Perry: Situations and Attitudes, MIT Press, 1983.
- [9] J. Berwise: Lectures on Situation Semantics, CSLI, Winter Quarter, 1984.
- [10] 向井国昭, 安川秀樹, 三吉秀夫, 平川秀樹: 状況意味論における計算モデルと Prolog による実現に向けて, ICOT テクニカル・メモ, TM-0051, 1984.
- [11] 鈴木浩之: 日本語文の意味の状況意味論的な記述, 自然言語処理研究会, 42-3, 1984年 3月.
- [12] 幡野浩司, 小林豊, 新美康永: 状況意味論を用いた質問応答システム, 自然言語処理研究会, 48-6, 1985年 3月.
- [13] 加藤恒雄: 状況意味論に基づいたQAシステムの試作, ICOTテクニカル・レポート TR-080, 1984.
- [14] A. Colmerauer: Prolog II: Reference Manual and Theoretical Model, Internal Report, Groupe Intelligence Artificielle, Universite d'Aix-Marseille II, 1982.

[付録]

CIL を用いた、非常に簡単な発話行為に基く談話理解実験のプログラム及び実行結果を示す。本実験は「王様が『寒い。』と言った」状況から「召使いが窓を締める」という行為を行う状況を導いている。コンストレイントは involve という述語で示されている。1つは「王様が『寒い。』と言う」状況は「召使いに窓を締めることを要求する」状況であるということ。他方は「王様が召使いに何かをすることを要求」すれば、「召使いはそれを行う」という状況を導くということを記述している。スクリプト的な知識が speech_act _plan に記述されており、「何かを request されたら response を行う」というヒューリスティクスを使っている。

実行は、王様が「寒い。」と発話した状況を与えて、それに対してコンストレイントを適用して得られる状況をすべて求めている。なお、本実験では複合不定項は用いていない。

```

test(L)<-discourse([(_,(say,king,cold),1)], L).

discourse(X, X)<- final(X).
discourse(X, Y)<-
    speech_act_plan(Plan),
    apply_plan(Plan, X, Z),
    discourse(Z, Y).

apply_plan([], X, X).
apply_plan([P|R], X, Y)<-
    involve(P, E1, E2),
    subset(E1, X),
    union(E2, X, Z),
    apply_plan(R, Z, Y).

member(X, [X|_]).
member(X, [_|Y])<-member(X, Y).

union([], X, X).
union([X|Y], Z, U)<-{member(X, Z)=>union(Y, Z, U),
                    union(Y, [X|Z], U)      }.

subset([], _).
subset([X|Y], Z)<-member(X, Z), subset(Y, Z).

final([(_ , final, 1)|_]).
final([_|R])<-final(R).

speech_act_plan([request, response]).

involve(request,
    [(L, (say, king, cold), 1)],
    [(L, (request, king, servant, to_close), 1)]).
involve(response,
    [(L, (request, king, servant, TO_DO), 1)],
    [(L, (TO_DO, servant), 1), (_ , final, 1)]).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! ?- test(0).

O = [(_772,final,1),
     (_76,(to_close,servant),1),
     (_76,(request,king,servant,to_close),1),
     (_76,(say,king,cold),1)]

yes

```