

# 「言語計算モデル」に対するコメント

## Comment to the Computational Model for Linguistics

頼 実 正 弘  
 Masahiro Yorizane

These comments are proposed to the Computational Model for Linguistics in the text “Language” Iwanami Series Cognitive Science Vol.7 in Chapter 3.

Comment 1.

There is the top down type parsing chart on figure 3-4 in the text. The chart is drawn for “Tom loves Mary.” as definite clause grammar. The drawing process for the parsing chart is suggested as n-words pattern by using a three-piece set showing loop of solid line, link of solid line expressing partially concrete, and link of dotted line being concrete.

Comment 2.

When the noun clause is from X to Y and the verb clause is from Y to Z, the sentence is obtained from X to Z. In this case, the following expression is used.

$$s(X, Z) \leftarrow np(X, Y) \wedge vp(Y, Z)$$

For the symbol of inverse V, the symmetric difference is suggested.

Another suggestion is the balloon model to understand the equation (3) in the text.

### 問題の要点

岩波認知科学7「言語」<sup>4)</sup>p88によれば、「トップダウン型(かつ左から右へ)の統語解析とは、文記号Sから出発して、記号列の最左の非終端記号を句構造規則に従って展開してゆき、入力語列に到達するような計算過程である。」

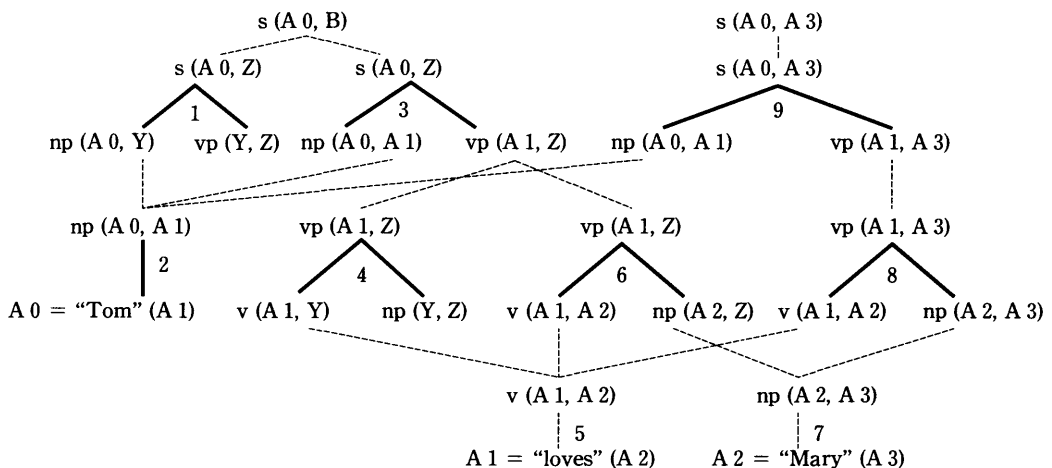


fig 3-2 DCGによるトップダウン型統語解析

Tom loves Mary に対して、DCG によるトップダウン型統語解析が、fig 3-2 のように行われている。そして統語解析によってできるチャートとして fig 3-4 が示されている。

文脈自由文法 (context-free grammar) を(1)で表現し、確定節 (definite clause) 論理プログラムを(2)に示している。

- (1) a.  $S \rightarrow NP VP$
- b.  $NP \rightarrow Tom$
- c.  $NP \rightarrow Mary$
- d.  $VP \rightarrow V NP$
- e.  $V \rightarrow loves$

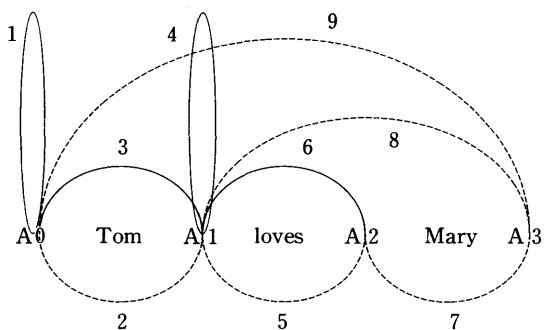


fig 3-4 統語解析によってできるチャート

- (2) a.  $s(X, Z) \leftarrow np(X, Y) \wedge vp(Y, Z)$
- b.  $np(X, Y) \leftarrow X = \text{"Tom"}(X)$
- c.  $np(X, Y) \leftarrow X = \text{"Mary"}(Y)$
- d.  $vp(X, Z) \leftarrow v(X, Y) \wedge np(Y, Z)$
- e.  $v(X, Y) \leftarrow X = \text{"loves"}(Y)$

a は「X から Y までが名詞句で Y から Z までが動詞句ならば、X から Z までは文である。」という意味であり、束縛  $X = \text{"Tom"}(Y)$  の意味は、「位置 X と Y の間に語 Tom がある。」ということである。

句構造規則を DCG (definite clause grammar) として記述した(2)に、意味的な情報を含めた記述として(3)がある。つぎの a. b. c. d. e. である。

- (3) a.  $s(\text{Sem}, X, Z) \leftarrow np(\text{SSem}, X, Y) \wedge vp(\text{Sem}, \text{SSem}, Y, Z)$
- b.  $np(\text{Sem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{tom} \wedge X = \text{"Tom"}(Y)$
- c.  $np(\text{Sem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{mary} \wedge X = \text{"Mary"}(Y)$
- d.  $vp(\text{Sem}, \text{SSem}, X, Z) \leftarrow v(\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, X, Y) \wedge np(\text{OSem}, Y, Z)$
- e.  $v(\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{love}(\text{SSem}, \text{OSem}) \wedge X = \text{"loves"}(Y)$

(3) のプログラムから、

- (4)  $s(\text{Sem}, A_0, B) \wedge A_0 = \text{"Tom"}(A_1) \wedge A_1 = \text{"loves"}(A_2) \wedge A_2 = \text{"Mary"}(A_3) \wedge A_3 = \text{nil}$  という仮説 (「Tom loves Mary は文である」の意) に対する説明を fig 3-1 の形で与える。

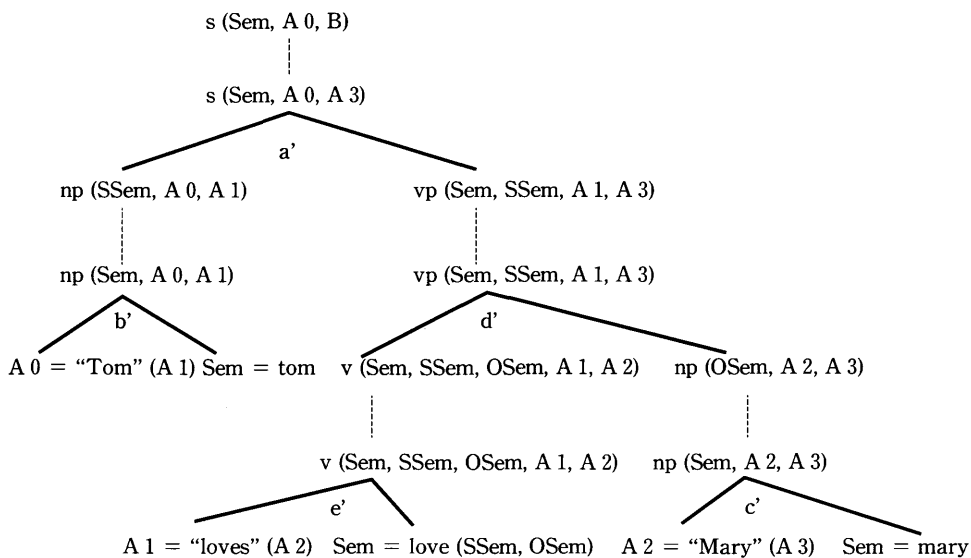


fig 3-1 統語解析の結果

以上が要点であるが、(2)(3)式の中の逆 V 記号の意味、fig 3-4 のチャートの解釈と書き方、(3)の解釈について Comment 1, Comment 2 を提案する。

## コメント

## Comment 1.

チャート (fig 3-4) の一筆書き (cyclical diagram) の作成。

fig 3-2 の構文木を各節について、論理プログラムを表わす式によって表現すると、次のようになる。

- 1 < a.  $s(A 0, Z) \leftarrow np(A 0, Y) \wedge vp(Y, Z)$
- 2 < b.  $np(A 0, A 1) \leftarrow A 0 = \text{"Tom"}(A 1)$
- 3 < a.  $s(A 0, Z) \leftarrow np(A 0, A 1) \wedge vp(A 1, Z)$
- 4 < d.  $vp(A 1, Z) \leftarrow v(A 1, Y) \wedge np(Y, Z)$
- 5 < e.  $v(A 1, A 2) \leftarrow A 1 = \text{"loves"}(A 2)$
- 6 < d.  $vp(A 1, Z) \leftarrow v(A 1, A 2) \wedge np(A 2, Z)$
- 7 < c.  $np(A 2, A 3) \leftarrow A 2 = \text{"Mary"}(A 3)$
- 8 < d.  $vp(A 1, A 3) \leftarrow v(A 1, A 2) \wedge np(A 2, A 3)$
- 9 < a.  $s(A 0, A 3) \leftarrow np(A 0, A 1) \wedge vp(A 1, A 3)$

A 0 を語列の先頭語とし、第 1 分割点を A 1、第 2 分割点 A 2、終末点が A 3 である。

統語解析の計算を完了するには、変項 Y, Z を具現化することである。チャートの破線の弧はすべての変項が具現化された節を、実線の弧は変項が部分的にしか具現化されていない節を表わす。

チャート fig 3-4 の番号は構文木の番号と対応している。以下順を追って描き方を説明する。

1. A 0 で閉じた実線の弧 (以下ループという) ①  $S \rightarrow 0 NPVP$  を描く。 $s(A 0, Z) \leftarrow np(A 0, Y) \wedge vp(Y, Z)$
2. A 0 から破線の弧 (以下リンクという) ② を描いて A 1 に至る。 $np(A 0, A 1) \leftarrow A 0 = \text{"Tom"}(A 1)$

3. 実線のリンク (A0—A1) ③S → 0NP1VPを描く。s (A0, Z) ← np (A0, A1) ∧ vp (A1, Z)
4. 実線のループ④VP → 1VNPを描く。vp (A1, Z) ← v (A1, Y) ∧ np (Y, Z)
5. A1から破線のリンク⑤を描いてA2へ。v (A1, A2) ← A1 = “loves” (A2)
6. 実線のリンク (A1—A2) ⑥VP → 1V2NPを描く vp (A1, Z) ← v (A1, A2) ∧ np (A2, Z)
7. A2から破線のリンク⑦を描いてA3へ。np (A2, A3) ← A2 = “Mary” (A3)
8. Z = A3により6 < d式の具現化。vp (A1, A3) ← v (A1, A2) ∧ np (A2, A3)破線のリンク (A1—A3) ⑧VP → 1V2NP3を描く。
9. s (A0, Z) ← np (A0, A1) ∧ vp (A1, Z)にZ = A3を代入。具現化S → 0NP1VP3。これで破線のリンク (A0—A3) ⑨が画ける。

これで、Tom loves Mary. がそれぞれの位置に具現化できた。統語解析の完了である。統語解析の完了を、「チャートの一筆書き、ができるようにすることである。」とすれば、fig.3-4Bのごとく e1, e2を追加して、具現化の順を2-5-7-e2-6-4-8-9-3-e1-1とすればよい。

構文木の具現化をするためには9のステップが必要であった。本来式は5つであり、これらの式の未知数を求めることが目的であるから、取り掛かりはまず、a式において、np (A0, Y)はbとcのどちらを選択するかをきめ、vpにはdを使用するから記号の整合が必要である。未知数が具現化される模様を各分割点A0, A1, A2, A3で順次示すことにする。

1) a,b,c,d,eの5つの式のX = A0とおく。

- a. s (A0, Z) ← np (A0, Y) ∧ vp (Y, Z)……………1
- b. np (A0, Y) ← A0 = “Tom” (Y)……………2 at A0
- c. np (A0, Y) ← A0 = “Mary” (Y)
- d. vp (X, Z) ← v (X, Y) ∧ np (Y, Z)
- e. v (X, Y) ← X = “loves” (Y)

dのvpはaのvpであるから、このXにはA0は入らない。eも同様である。従ってd, eは次のように書き換える。

- d. vp (Y, Z) ← v (Y, Y') ∧ np (Y', Z)
- e. v (Y, Y') ← Y = “loves” (Y')

c np (A0, Y) ← A0 = “Mary” (Y)は(4)のA0 = “Tom” (A1)の束縛と矛盾するので使用できない。

dのnpに使用する。np (Y', Z) ← Y' = “Mary” (Z)

2) Y = A1を代入する。

- b. np (A0, A1) ← A0 = “Tom” (A1)…2 at A1 b=ok
- a. s (A0, Z) ← np (A0, A1) ∧ vp (A1, Z)……………3
- d. vp (A1, Z) ← v (A1, Y') ∧ np (Y', Z)……………4
- e. v (A1, Y') ← A1 = “loves” (Y')…5

3) Y' = A2を代入する。

- e v (A1, A2) ← A1 = “loves” (A2)…5 at A2 e = ok
- d vp (A1, Z) ← v (A1, Y') ∧ np (Y', Z)……………6
- c np (A2, Z) ← A2 = “Mary” (Z)……………7

4) 最後にZ = A3の代入である。

- c. np (A2, A3) ← A2 “Mary” (A3)……………7 at A3 c = ok
- d. vp (A1, A3) ← v (A1, A2) ∧ np (A2, A3)……………8 at A3 d = ok
- e. s (A0, A3) ← np (A0, A1) ∧ vp (A1, A3)……………9 at A3 a = ok

以上の展開でokとした式のみ順次採用すると全体が簡略化できる。

各分割点で具現化の模様を表示すると次のようになる。

A0 = X		A1 = Y	
1. $s(A0, Z) \leftarrow np(A0, Y) \wedge vp(Y, Z)$	a	2. $np(A0, A1) \leftarrow A0 = \text{"Tom"}(A1)$	
2. $np(A0, Y) \leftarrow A0 = \text{"Tom"}(Y)$	(b)	3. $s(A0, Z) \leftarrow np(A0, A1) \wedge vp(A1, Z)$	
	a	4. $vp(A1, Z) \leftarrow v(A1, Y') \wedge np(Y', Z)$	
A2 = Y'		A3 = Z	
5. $v(A1, A2) \leftarrow A1 = \text{"loves"}(A2)$	(e)	5. $v(A1, Y') \leftarrow A1 = \text{"loves"}(Y')$	
6. $vp(A1, Z) \leftarrow v(A1, A2) \wedge np(A2, Z)$	d	7. $np(A2, A3) \leftarrow A2 = \text{"Mary"}(A3)$	
7. $np(A2, Z) \leftarrow A2 = \text{"Mary"}(Z)$	c	8. $vp(A1, A3) \leftarrow v(A1, A2) \wedge np(A2, A3)$	
	(d)	9. $s(A0, A3) \leftarrow np(A0, A1) \wedge vp(A1, A3)$	
	(a)		

同様に初めの一筆書きも2-5-7-8-3-9で完了できる。1語分の長さを1ユニットとすれば9ユニットで完了する。

チャートの書き方

1) One word パターン (type A)

破線のリンク7が示すように、長さが1ユニット。ここではA2 = "Mary" (A3)

2) Two words パターン

(4)式を表わす実線のループ、一部具現化の(6)式を表わす1ユニットの実線のリンク (A1-A2)、具現化された(8)式を表わす2ユニットの破線のリンク (A1-A3) の三点セットと、(5)式を表わす (words 数1ユニットの) 破線のリンク (A1-A2) が、type Bで1語パターン (A2-A3) の前にくっつく type (B+A)。fig. 3-4 A の左の図 (e1を除く) である。これはグラフ理論<sup>2)</sup>では右の図と同型である。オイラーラインになっていない。e1を加えることにより閉辺連鎖ができ、一筆書きができる。5-7-8-6-e1-4となる。

3) Three words パターン

(1)式を表わす実線のループ、(3)式を表わす1ユニットの実線のリンク (A0-A1)、(9)式を表わす3ユニットの破線のリンク (A0-A3) の3点セットと(2)式を表わす1ユニットの破線のリンク (A0-A1) (type B)が2語パターン (A1-A3) (type B+A)の前にくっつく Type (B+B+A)。fig 3-4 に同型なグラフとして fig. 3-4 B (e1, e2を除く)が得られる。これは有名な Königsberg の橋の問題のグラフと同型であるから、オイラーラインではない。e1, e2を追加することによって一筆書きができる。2-5-7-e2-6-4-8-9-3-e1-1となる。

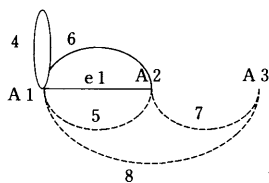


fig. 3-4 A

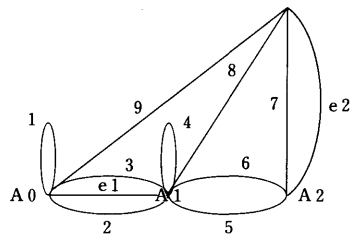
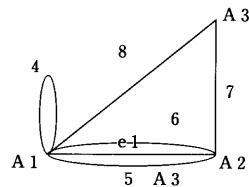


fig. 3-4 B

## Comment 2

記号 $\wedge$ は対称差 (symmetric difference) を表わす。

## 1) 式(2)の場合 (対称差の提案)

式(2)の位置記号 X, Y, Zなどを A 0, A 1, A 2, A 3に置き換える。

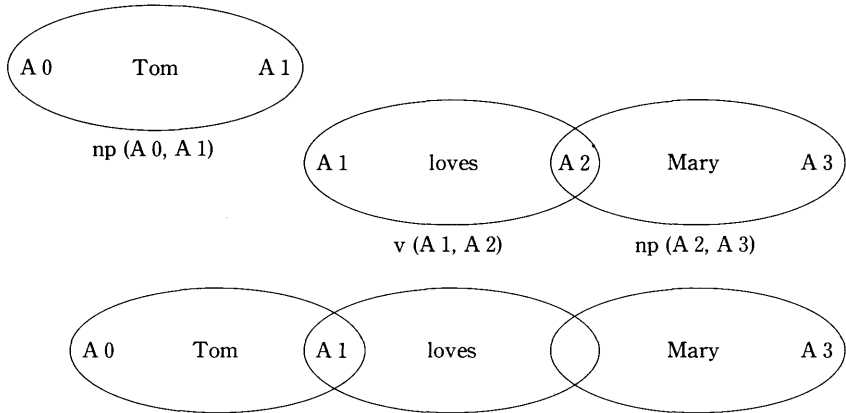


fig. 4-1

束縛の式は(4)式の仮説を利用すると次のようにかける。

$$b. \text{np} (A 0, A 1) \leftarrow A 0 = \text{"Tom"} (A 1)$$

$$c. \text{np} (A 2, A 3) \leftarrow A 2 = \text{"Mary"} (A 3)$$

$$e. v (A 1, A 2) \leftarrow A 1 = \text{"loves"} (A 2)$$

bを図示すると上の図 (fig.4-1) の左上になる。c, eも同様である。

右上の図のように、cとeをA 2で図のように重ねる。そして重なった部分を取り除くと、これはv (A 1, A 2)とnp (A 2, A 3)の対称差 (symmetric difference) を作ることである。

$$d. \text{vp} (A 1, A 3) \leftarrow v (A 1, A 2) \ominus \text{np} (A 2, A 3)$$

のように表わすことができ、loves Maryと繋がった。

次に下の図のようにA 1でTomを重ねる。前と同様に重なった部分を除くことは、np (A 0, A 1)とvp (A 0, A 3)の対称差を作ることで、次の式で示される。

$$a. s (A 0, A 3) \leftarrow \text{np} (A 0, A 1) \ominus \text{vp} (A 1, A 3)$$

A 0とA 3の間に文Tom loves Mary.がある。

## 2) 式(3)の場合 (気球モデルの提案)

前例に倣って対称差の表示を試みた。(3)式のa, b, d, eを図のように画いたが、平面ではうまく説明できないことに気が付いた。立体モデルを考えることとした。

$$(3) a. s (\text{Sem}, X, Z) \leftarrow \text{np} (\text{SSem}, X, Y) \ominus \text{vp} (\text{Sem}, \text{SSem}, Y, Z)$$

$$b. \text{np} (\text{Sem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{tom} \ominus X = \text{"Tom"} (Y)$$

$$c. \text{np} (\text{Sem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{mary} \ominus X = \text{"Mary"} (Y)$$

$$d. \text{vp} (\text{Sem}, \text{SSem}, X, Z) \leftarrow v (\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, X, Y) \ominus \text{np} (\text{OSem}, Y, Z)$$

$$e. v (\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, X, Y) \leftarrow \text{Sem} = \text{love} (\text{SSem}, \text{OSem}) \ominus X = \text{"loves"} (Y)$$

チャートの解析に用いた位置関係、A 0を語列の先頭点とし、第1分割点をA 1、第2分割点A 2、終末点がA 3、を用いると、束縛関係は次のようになる。

- b.  $np(\text{Sem}, A_0, A_1) \leftarrow \text{Sem} = \text{tom} \ominus A_0 = \text{"Tom"} (A_1)$
- c.  $np(\text{Sem}, A_2, A_3) \leftarrow \text{Sem} = \text{mary} \ominus A_2 = \text{"Mary"} (A_3)$
- e.  $v(\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, A_1, A_2) \leftarrow \text{Sem} = \text{love}(\text{SSem}, \text{OSem}) \ominus A_1 = \text{"loves"} (A_2)$

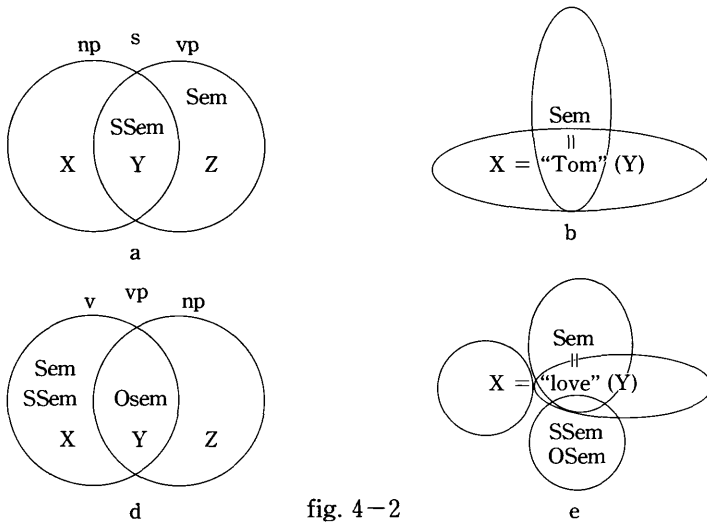
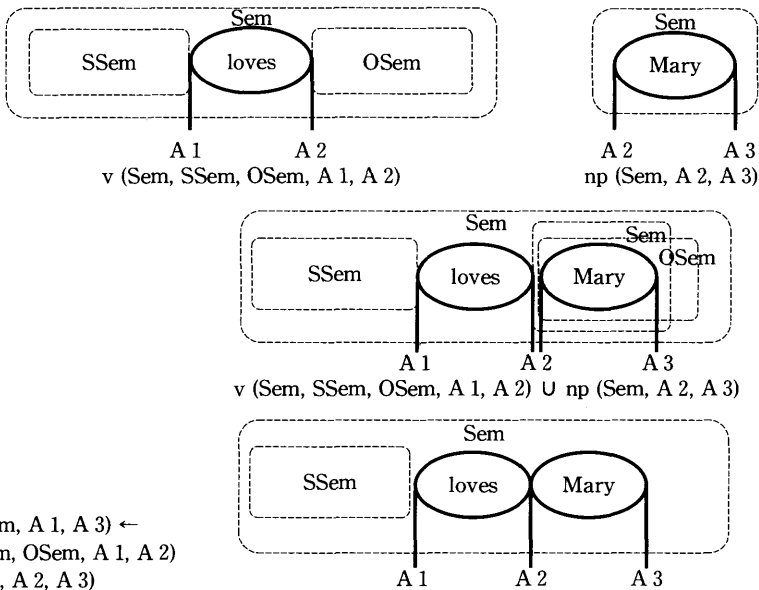


fig. 4-2

Tom という気球の前後に紐をつけ、それぞれ杭 A 0, A 1 に結ぶ。Tom 気球を Sem の網の中に入れる。これが b 式の表わす意味である。同様に c 式は、Sem 網の中の気球 Mary の前後の紐はそれぞれ杭 A 2 と A 3 に結ばれている状態を示している。Sem 網の中の loves という気球の前後の紐はそれぞれ杭 A 3 と A 4 に繋がれている。この気球は前後に SSem と OSem という袋もついている。この袋には Tom と Mary がそれぞれ入る。これで (e) 式を説明する。

左の図が loves の場合、右が Mary の場合を示す。



$vp(\text{Sem}, \text{SSem}, A_1, A_3) \leftarrow$   
 $v(\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, A_1, A_2)$   
 $\ominus np(\text{OSem}, A_2, A_3)$

fig. 4-3

loves と Mary を繋ぐには、まず、中の図のように loves の Sem の中に Sem 網のかかった Mary を入れた場合を考える。ここで love と Mary を繋ぐ。OSem の袋に Mary が入る。これがつながると、A2 につなぐ紐2本と OSem, Sem (初め Mary の入っていた分) は不要である。これは二つの集合の重複部分である。この操作は d 式を表わすもので、次のようにかける。従って  $\wedge$  よりは対称差  $\ominus$  の方がよい。

$$d. \text{vp}(\text{Sem}, \text{SSem}, A1, A3) \leftarrow v(\text{Sem}, \text{SSem}, \text{OSem}, A1, A2) \ominus \text{np}(\text{OSem}, A2, A3)$$

次に Tom を loves に繋ぐ。これは Mary を繋ぐ場合と同様に行えばよい。繋いだ後、取り除くのは A1 に繋がる2本の紐と SSem, Sem (初め Tom の入っていた網) である。この操作は a 式を表わしている。

$$a. \text{s}(\text{Sem}, A0, A1) \leftarrow \text{np}(\text{SSem}, A0, A1) \ominus \text{vp}(\text{Sem}, \text{SSem}, A1, A3)$$

これにてコメント終わるが、統語論としては Mary を繋ぐ位置を、A1 とするか A2 とするかの問題については、b と c いずれの可能性もあるが、二つの束縛が矛盾しないようきめる。ということには異存はない。

### 結論

岩波認知科学7「言語」第3章の言語計算モデルに対するコメントである。

コメント1は Tom loves Mary. を解析したチャートの一筆書きを示した。ループ、一部具現化、完全具現化の3点セットが、具現化した語を抱えて (type B)、具現化した (type A) につながって、type (B+A) の2語パターンとなる。3語パターンは type (B+B+A) である。

コメント2では、分割点にブール代数の対称差の考え方を適用した。特に句構造規則 DCG として記述した(2)に意味的情報を含めたという(3)式に気球モデルを提案した。

### 参考文献

- 1) 大津由起雄, 認知心理学3「言語」東京大学出版会 (1995)
- 2) 尾崎弘, 白川功, 翁長健次: グラフ理論 コロナ社 (1985)
- 3) 風間喜代三ほか, 言語学 東京大学出版会 (1996)
- 4) 橋田浩一, 認知科学7「言語」岩波書店 (1995)

### Key words

統語解析 (parsing analysis), 一筆書き (cyclical diagram), 三点セット (a three-piece set), 対称差 (symmetric difference), 気球モデル (balloon model)

(1997. 10. 30 受理)