

概念記憶の意味ネットワークモデル

嶋津, 好生
九州産業大学工学部電気工学教室

田町, 常夫
九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻

<https://doi.org/10.15017/17535>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 3 (2), pp.95-107, 1981-12-30. 九州大学大学院総合理工学
研究科
バージョン：
権利関係：



概念記憶の意味ネットワークモデル

嶋津好生*・田町常夫**

昭和56年10月31日 受理

A Semantic Network Model of Conceptual Memory

Yoshio SHIMAZU and Tuneo TAMATI

It is said that the semantic network (SN) expresses the human's mental function of association. We think that it is required to augment the expression-power of the SN in order to implement the association-function. We introduce a network model concerning to the conceptual memory. It is referred to the activated-semantic-network (ASN) model. This model gives a formal representation to the notion of the memory-activation. The intentions of this paper are to give the outline of the ASN model, to exhibit an example of its application, and to explain the features of the ASN model. In order to explain its features, we consider its coverage of application and make a general evaluation of it. The evaluation is made on the background of the definition about the levels of comprehension.

1. 緒言

本稿は意味ネットワークを活用するためとのえるべき条件をさぐる。意味ネットワーク（以下SNと略記する）は認知心理学や人工知能の研究者の注目をひき、なにか重大な有用性を期待させるものがある。しかしSNの特質とその活用法について今日に至るまでいまだに確定的なものが示されず、SNの評価は定まらないままであった。

他の知識表現法と比較すると、SNの特徴は宣言的知識と手続き的知識¹⁾とを結合するその特殊な形態にある。すなわち、SNは個々の知識とそれらの間の連想経路とを併せて表現しているが、連想経路は連想機能を実現する手続き的知識といえるのである。しかし、可能性として網羅的に表現された連想経路の中で、個々の状況で選択的にたどられる連想経路は区別されなければならない。従来提案されてきたSNはこのことを表現する能力を持っていなかった。

連想機能を実現するのにコンピュータ実現の段階にまつだけでなく、ネットワークモデルの段階で連想という動きのある現象を表現したい。このような考えをも

とに導入されたネットワークモデルを活性化意味ネットワークモデルとよぶ。D. E. Rumelhart らはその提案になる記憶のモデルに記憶活性 (memory activation)²⁾³⁾ という概念 (notion) を使っている。本稿のモデルはその概念に形式的な表現法を与える。

2. 言語理解システム

言語理解システムには概念 (concept) レベルの知識が必要とされる。本稿における知識の与え方は、まず概念をSNで表現し、概念のレベルの想起や推論をSNの励起 (excitation) や賦活 (activation) によって実現する。賦活された領域の動き (これを賦活動態とよぶ) を表現できるSNを活性化された意味ネットワーク (activated semantic network, 以下ASNと略記する) とよぶ。

Fig. 1 に概念記憶をもつ言語理解システムを示す。意味ネットワーク記憶 (semantic network memory) と記した部分がASNを格納する場所である。ASNの節点や弧はSIMD (single instruction stream multiple data stream) 並列に制御されるものとする。ASNを賦活制御するのが賦活器 (activator) の役割である。ASNの賦活動態はそれぞれそのきっかけをつくる概念をもつ。これを触発因子と

* 九州産業大学工学部電気工学教室

** 情報システム学専攻

よぶ。触発因子には入力文からくるものと、ASN の賦活領域にその存在が認められるものがある。前者は文分析器 (sentence parser) において認識され、それと対になって与えられている賦活制御プログラムが賦活器で解釈される。後者は、賦活器の判断で実行されるスタック2を通じたASNへの照合操作によって、認識される。賦活器は触発因子と賦活制御ルーチンプログラムとの対の集合体を含み、これが概念記憶の自発的な計算機構 (spontaneous computation) をもたらす。スタック1や2は照合すべき概念 (これを照合子とよぶ) を格納しASN記憶への照合操作をたすける。ASNの制御はSIMD並列の照合を基本的な操作とするので、Fig. 1ではとくに照合子の経路を明示している。

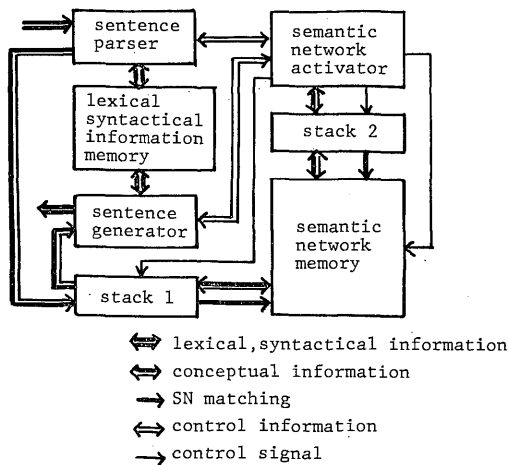


Fig. 1 The language comprehension system with the conceptual memory.

3. ASN モデルの概要

ASN は次のような特徴をもつ。

(a) ASN の節点や弧のラベルを原子概念とよぶことにした。原子概念に活性項を含ませ、それを使って賦活動態を表現する。

(b) 再帰的拡張節点という概念 (notion) を導入し、有向グラフの上に認められる有意義な部分グラフの同定手段を形式化した。すなわち再帰的拡張節点は原子概念から構成された複合概念を表現する。

(c) ASN の賦活動態を制御するプログラミング言語を構成した。この言語は節点や有向弧の原子概念

から成るデータ集合を SIMD 制御する。このような制御機構は分配論理記憶の原理を背景とする。また、ASN 理論は次のような項目について考察を進めている。

- (1) ASN の静態構造
- (2) 原子概念の構成
- (3) ASN の賦活動態
- (4) 賦活動態を制御するプログラミング言語
- (5) 励起動態の形態論的分類
- (6) 賦活動態の触発因子

以下、各項目について簡単な説明を加える。

3.1 ASN の静態構造⁴⁾

従来SNとして節点・弧ラベル付き有向グラフを基底構造とするものと有向高階グラフ (directed hypergraph) を基底構造とするものとの2通りの表現法が提案されている。後者はリレーショナルデータモデルとの接点を求めようとした提案であり、その方面からの興味もたれてよいものである。本稿は前者を採用する。

基底構造の上で再帰的に拡張された節点 (recursively extended nodes) は単一の基底節点と同じふるまいをすることが期待される。以下、再帰的拡張節点を略してR-節点とよぶ。知識の有意義なかたまりはSNの上でいくつかの基底節点のあつまりとして埋め込まれているのであるが、それらはお互い他のかたまりと重なり合っている。この状況を表現するためにR-節点という概念が導入された。R-節点は構造認識規則によって定義される。それはSNにおける有意義な複合概念の同定法を与えるもので、複合節点の構造を再帰的に定義している。SNは範疇の異なる、換言すれば、分析の視点の異なるさまざまな知識を統合する働きをもっていると言えるのであるが、SNの上で行われる知識の統合 (integration of knowledge) には次の2通りの方法が区別される。緊密な統合による硬いR-節点とゆるやかな統合による軟らかいR-節点とがあり、両者はそれぞれへのアクセス法によって識別される。前者は、直接的な弧による連結関係をたどって同定され、グラフ理論にいういわゆる連結成分を形成している。後者は、SN全体を見渡して内容指定アクセスにより同定され、SN上直接的な弧による連結関係のない部分グラフの集合である。

知識をSNで表現する方法については従来から多くの提案がある。それらを総合してみると、それぞれの

提案は知識すなわち概念を高次の構造に組織化していく形態に違いがあることが分かる。それらの違いは構造認識規則の違いとして把握できる。このことはSN表現に関する統一的な視点を得ようとした努力の成果である。節点・弧ラベル付き有向グラフに再帰的拡張をほどこしたものを再帰的拡張ネットワークとよぶ。意味ネットワークは再帰的拡張ネットワークをその静態構造とする。

3.2 原子概念の構成⁴⁾

SNの節点や弧に添付されるラベルを原子概念とよぶ。概念記憶を実現できる表現力と活用性をSNに持たせるため、原子概念の構成には十分な考慮を払わなくてはならない。原子概念はいくつかの概念素項をもつ。概念素項は主に活性項と蓄積項とに分けられる。前者はSNに連想過程に関する表現力を与えるために設けられた。次に概念素項を示す。各項に関する定義は文献4)を参照されたい。

活性項	励起項
	励起痕跡 (#1, #2)
	指數的特定化項
	符標的特定化項
蓄積項	活性度
	あいまいさ
	調整子
	記述子
	同定子

3.3 ASN の賦活動態⁵⁾⁾

SNの特定の部位を指摘する手段として、換言すればSN記憶の特定の部位が記憶の主体に意識されていることを表現するために、節点や弧の活性項に励起状態であることを示す項(これを励起項とよぶ)を設けた。また記憶されている普遍的知識は現実に行進している外界の脈絡を反映して特定化される。この過程を表現するのも活性項の役割である。この役割をもつ活性項を特定化項とよぶ。特定化項はさらにパラメトリックな内容のものと同義的な内容のものに分けられる。前者を指數的特定化項(parametric specifier)、後者を符標的特定化項(symbolic specifier)とよぶ。4.3節においてそのいくつかの例が見られる。なお詳細は文献4)を参照されたい。

励起されることと特定化されることをまとめて言う場合に「賦活される」(activated)という表現を使う。SNの上の励起された領域や賦活された領域は、

概念レベルの推論を実現するとき重要な役割を演じる。人はいつでも記憶の中に蓄えられた情報の一部に注意を向けることができるが、ASNモデルではこのことを「励起される」(excited)という表現で言い表わしている。記憶心理学では一時的に賦活された状態の情報を短期記憶と言っている。

ASNモデルでは、ASNに対して自発的な賦活制御機構が働きかけるのは主としてその励起領域である。すなわち、記憶に対する意識的な操作はこの励起領域に限られると考えている。励起領域が活性項の変化を伴ない、拡散、集中、転移していく過程を賦活動態とよぶ。賦活動態の事例研究はまだはじめたばかりである。これからASNモデルによって設定された新しい視点の下に数多くの事例研究が積み重ねられることは意義のあることである。

3.4 賦活動態を制御するプログラミング言語⁶⁾

ASNの要素的かつ類型的な賦活動態をルーチンプログラムとして定着するために、ASNを賦活制御する手続きを記述するプログラミング言語を構成した。これを意味ネットワークの賦活制御言語とよぶ。この言語の各命令は節点や有向弧の原子概念から成るデータ集合をSIMD並列に制御する。この言語では、SNのR-節点を同定しながらより柔軟にネットワークを追跡することができるように、いくつかの工夫がなされている。TRANSFER STATE命令によって励起状態の節点間移送を制御する。R-節点の同定を容易にするため、指定の節点間で励起状態を共有するように設定したりまたそれを解除したりできるように、SET SHARING-EXCITATION命令やCLEAR SHARING-EXCITATION命令をもうけた。前者は照合条件を提示してそれに適合する弧のところで励起共有設定する。後者はその設定を解除する。MATCH⁶⁾、TRANSFER STATE、SET SHARING-EXCITATIONの3命令が実行されたあとには、SN上に励起された原子概念が存在している。この3命令には必要に応じて励起されたことの痕跡を残すことのできる機能をそえた。この機能を拡大利用して論理探索が実行できるようにした。プログラム中にブロックを設定しその中の指定された励起命令(上記3命令のどれでも)が個別にSNを励起するのを集めてAND条件やOR条件で最終的な励起痕跡を得ることができ。SET LOGICAL MODE命令とCLEAR LOGICAL MODE命令とはさき、AND条件やOR条

件のブロックをくむ。そのほか、SNの上の励起節点数の個数を分岐条件とする分岐命令などをそなえている。

3.5 励起動態の形態論的分類

励起領域の移動集散をとくに励起動態とよぶ。賦活制御言語の主要な操作対象は励起状態の原子概念である。励起動態は賦活動態の部分的な過程にすぎないけれども重要な役割をもっている。

励起動態においては、過渡的な状態を除いて、励起領域は常に単一のR-節点だと考える。ASNモデルでは概念レベルの推論をこの励起動態によって実現する。すなわち、ASNでは常時単一のR-節点のみ励起されており、励起動態とはあるR-節点から他のR-節点へと励起状態を引き渡していく過程のことである。そして概念推論はASNの励起動態によって表現される。

励起動態は形態論的分類が可能である。2つのR-節点の間で励起状態の受け渡しが行われる状況と考えると、次のような2つの分類規準が考えられる。すなわち、2つのR-節点が硬いか軟らかいか、また励起状態の移動が拡散的か集中的かあるいは転移的かによって分類される。これから生ずる12通りの範疇が、概念推論のさまざまな事例における要素的動態になっていることが認められる。

3.6 賦活動態の触発因子

われわれは、R. C. Schankの概念依存性理論 (conceptual dependency theory)⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾に基づいてSN表現の具体例を得、またそのSN表現を用いて賦活動態の事例研究を行ってきた。

SNの賦活動態には、それぞれ、それを生起させる特定の触発因子が認められる。たとえば、入力文中の動詞は文分析器において認識され、SNの上でその動詞の概念テンプレートに相当する部分を励起する手続きを触発する。動詞の概念テンプレートは要素的行為 (primitive action) や要素的状态の組合せによって表現されており、語彙・構文情報記憶 (lexical-syntactical information memory) に格納されている対照辞書から参照される (Fig. 1 参照)。SN記憶の中にも触発因子が埋め込まれている。賦活領域がそれらを覆うとき賦活器に検出されて賦活動態を触発する。たとえば、入力文から得られるのであるが一旦はそのまま内部化される代名詞情報は、あとで検出されて同定の手続きを触発する (4・3節参照)。また否定

の情報は、排中律にしたがって、賦活領域に矛盾が生じていないかどうかしらべる一種の評価過程を触発する⁹⁾。また欲求を表わす要素的行為 WANT⁸⁾⁹⁾などはなぜだろうかという疑問を生じ易い因子であって、その原因を探索する賦活動態を触発する⁹⁾。すなわち、それぞれの要素的な賦活動態がそれを触発する特定の因子をもち、それらの触発因子は入力情報の中にも、SN記憶の中にも認められるのである。

以上の例は入力文に反応して自発的に起る賦活動態であるが、概念の推論にはみずからの意志でそう考えているとするいわゆる自意識のある賦活動態も存在する。ASNモデルは対自的自己の概念 (concept) を導入してそのことも表現しようとする。記憶の主体が自己に関する概念をもつとする。自己に関する概念には2通りある。客体として他の個体と同等の取り扱いを受ける自己の概念と、主体的な自己の行為を触発する因子としての自己の概念とである。前者を対他的自己、後者を対自的自己とよぶ。記憶の主体は対自的自己 (これを SELF と表わす) を行為者 (actor) とする精神的な行為の概念化構造 (mental active conceptualization)⁹⁾ を自分の思考方略として記憶している。精神的な行為の概念化構造に関する考察は Schank の概念依存性理論に端を発する。たとえば、彼は精神的な要素的行為を抽出するために記憶機構そのもののモデルを必要とし、Conscious Processor, Intermediate Memory, Long Term Memory などの記憶の区分を考え、それらの間の概念情報の転送過程を MTRANS という一つの精神的な要素的行為として採用した。このような精神的な行為は知識の正規表現の道具であると同時に、対自的自己の概念が導入されたことにより、記憶主体の精神的行為そのもの (換言すればSNの賦活動態) を触発するものとなる。すなわち、知識のうち対自的自己を行為者とする精神的行為の概念化構造は記憶機構そのものを制御するメタ知識である。かくして、対自的自己の概念 (SELF) があらたな内部触発因子として認められた。このことは人工知能への主観性の導入問題としてさらに大きな論議をよぶであろう⁹⁾。

4. 意味ネットワーク賦活動態の一例

4.1 因果関係連鎖の展開

ASNモデルで規定しているSNの構造は包括的なレベルにとどまる。具体的にはさまざまな提案があっ

てよいのであり、ASN モデルはそれらを包摂する。ここでは Schank の概念依存性理論を参考にして、そこに定義されている概念化構造 (conceptualization) を R-節点とする再帰的拡張ネットワークを考えた。すなわち特定化されない概念化構造を累積することによって SN の構成例を得る。具体的には、

Mary kissed John because he hit Bill.

という文章を受け入れた概念記憶主体の内部反応を取り扱う。kiss と hit という2つの動詞に該当する概念化構造の間に考え得る因果関係の連鎖を SN に構成し、because によって触発され連鎖に沿って展開される賦活動態を示す。また、概念化構造の累積が完全な場合と不完全な場合とでは賦活動態が違ってくる。不完全な場合には、起り得べき因果関係の展開に成功すると同時に、知識の累積を進める。これは一種の学習過程である。

概念化構造はわれわれの再帰的拡張ネットワークでは一つの R-節点として表現される。Schank は概念化構造を表現するのに Conceptual Dependency Diagram⁸⁾ を使った。以下、これを CD ダイアグラムと略称する。CD ダイアグラムは SN の賦活動態を表現することこそできないが、概念化構造を視覚的に捉えるには便利である。したがって本稿では再帰的拡張ネットワークにおいて構造認識された部分ネットワークを便宜的に CD ダイアグラムで表現する。文献 4) において CD ダイアグラムと再帰的拡張ネットワークの記法とが相互に変換可能であることを示した。また、CD ダイアグラムは概念のレベルの統辞規則を表現するものであるが、その詳細については文献 8)、9) を参照されたい。

4.2 不特定の概念化構造を累積することによる意味ネットワークの構成

R-節点は相互に重なり合っている。そのことを、R. C. Schank や C. Rieger がよく使った因果関係の連鎖 (causal chain) を例にして示す。ここで、人間や物理的対象の概念が相対同定子を持てば絶対同定子を持つ場合より一般化された知識になることに注意されたい。同定子は概念素項の一つである。これは特定の個体を同定するために使われる名札を格納する項をさし、絶対同定子と相対同定子との2つを使い分ける。前者は現実の外的世界に実際に存在する特定の個体 (これを定実体とよぶ) を指示する。後者は、現実の外的世界に存在する特定の個体を指示するのでは

く、内的世界においてのみ意味のある個体を指示する。相対同定子はさらに、同一の普遍的概念を具現する外的世界の不特定の個体群の中から特定のものが選択されることを想定して、その個体 (これを不定実体とよぶ) を指示する場合と、他の定実体や不定実体と関係をもちその特定化がそれらの実体が特定化された結果に依存する個体 (これを変数的実体とよぶ) を指示する場合とがある。つまり相対同定子は知識の中で個体間の同一視や相互識別のための道具となる。詳細は文献 4) を参照されたい。

CD ダイアグラムによって概念を表現した例を Fig. 2~Fig. 7 に示す。それぞれの CD ダイアグラムが表現する意味内容は図の説明文に記す。Fig. 5 の場合は hit の解釈の違いによって2通りの CD ダイアグラムが与えられている。(a) の方は PROPEL する対象を HAND にしている。手になにか持っていれば代わりにそれを PROPEL するはずである。そのとき (a) の代わりに (b) で表現される。

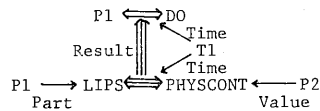


Fig. 2 P1 kiss P2.

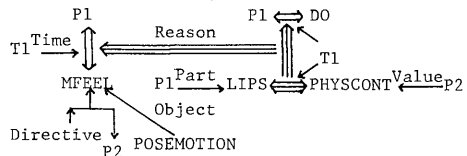


Fig. 3 P1 kiss P2 possibly because P1 like P2.

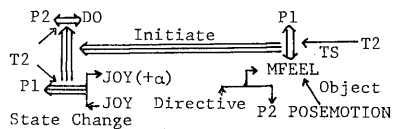


Fig. 4 P1 start feeling a positive emotion toward P2 because P2 make P1 feel joyfull.

個々の CD ダイアグラムは概念化構造を2、3含みそれだけで独立した知識を表現している。それぞれ節点原子概念が P1 や T1 のような相対同定子を持っているが、これらが絶対同定子を獲得することを特定化されるという。個々の CD ダイアグラムは知識の

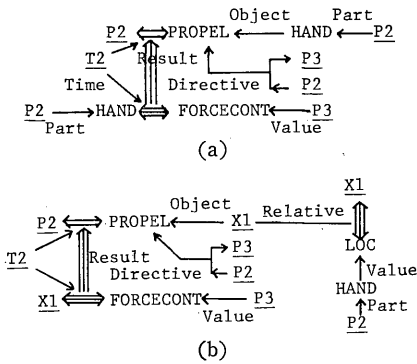


Fig. 5 P2 hit P3.

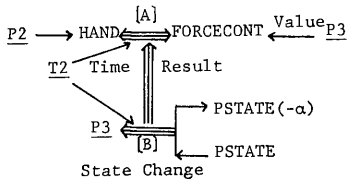


Fig. 6 P3 receive an injury because P2's hand come into forceful contact with P3.

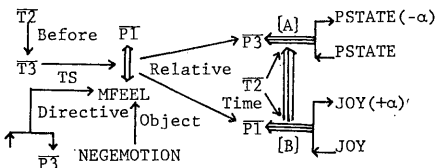


Fig. 7 When P1 feel a negative emotion toward P3, P1 might be belighted if P3 would receive an injury.

テンプレートになっている。そこに含まれる相対同定子はその知識の一般性のレベルを維持し、相互に識別すべきものを識別する役割をもっている。相対同定子は相互に同一のものか、識別されるべきものかを区別すれば役割をはたすのであるから、個々の知識の内部構造に変化を生じないかぎり変更可能である。他の知識と重ね合わせるために変更することを考えよう。たとえば、CD ダイアグラム Fig. 2 と Fig. 3 とに注目する。Fig. 3 の P1 や P2 は必ずしも P1 や P2 である必要はない。Fig. 3 の内部で P1 に当る部分と P2 に当る部分とが相互に識別されれば十分である。しかし Fig. 2 の P1 や P2 と同じ相対同定子を採用したことにより Fig. 2 と Fig. 3 とで重なり合う部分ができた。Fig. 2 と Fig. 3 とは相互に独立し

た知識であって、はじめから結合するもの同士とは認識されていなかった。しかし重なり合いをできるだけ実現すれば、記憶の経済性を最大限に満すことになる。上記の CD ダイアグラムの中で、たとえば、

$$P2, \underline{P2}, \overline{P2}$$

のように同じ添数をもつ(但し下線や上線で区別されている)相対同定子を同一のものとみなせば、上記のすべての CD ダイアグラムが一つのテンプレートに累積される。

$$2 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow 4 \leftrightarrow 7 \leftrightarrow 6 \leftrightarrow 5(a)$$

$$5(b)$$

ここで、“Fig.”は省略し図番号のみを使った。また両方向矢印は相互に重なり合う部分のあることを示す。これを図示すれば Fig. 8 のようになる。但し Fig. 2 と Fig. 3 の重なり合いのところで TS (time starting) リンクにより、

$$T2 \text{ (is) before } T1.$$

という条件があらたに付加された。

一方、もし P2, $\underline{P2}$, $\overline{P2}$ の3つの同定子がお互いに異なり、P1 や P3 についても同様に考えると、

$$2 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow 4, 7, 6 \leftrightarrow 5(a)$$

$$5(b)$$

と3つの別々のテンプレートに累積されるにとどまる。これを図示すれば Fig. 9 のようになる。このような場合は記憶の経済則を完全には満していない。一般に個々の知識の内部的同一性を維持しながら記憶の経済性を高めるために行われる知識の累積手続きが、知識のより大きな枠組みを形成するための構成規則となっている。後述するが、知識の累積は概念推論を実行すればそれによっても起る。

ここで、ASN における同定子の使用法について注意しなければならない。定義⁴⁾によれば、蓄積項だけを見るかぎり同じ同定子を2度以上異なる個所に使ってはいけない。しかし Fig. 8 や Fig. 9 の表現ではこの原則が適用されていない。これは、表現されている内容の理解を容易にするため便宜的に一種の展開図を用い、本来一つであるべき節点を重複して描いたためである。したがって本稿の記述に、蓄積項の中に同じ同定子を共有する節点があれば、それらは重なり合い本来一つの節点だと心得てほしい。また、4.3節以下の賦活動態の説明に際して CD ダイアグラムの

because の意味が理解されるには、記憶されている知識に照して2つの節の間の因果関係が確認されねばならない。そのために生起すべき手続きは、まずこの文を構成する2つの節がそれぞれそれだけで表現している意味内容がSNの上に照会され、続いて《because》に触発されて因果関係の連鎖をたどる手続きが働き、2つの節に該当する部分ネットワークの間が連結されることである。このことを因果関係連鎖の展開 (causal chain expansion, 以下 CCE と略記する) とよぶ。以下の記述においても、括弧《……》が現われたら、それはSNの賦活動態を触発する因子であることを示す。

まず主節に対して

[1] 励起 (excitation)

《kissed》によって 語彙情報記憶が参照されSNのうち Fig. 2 に示される部分が励起される。

[2] 特定化 (specification)

Fig. 2 に示された部分の特定化が行われる。

P1→P1 (MARY1), P2→P2 (JOHN1)

その結果 Fig. 10 のようになる。Fig. 10 において、(*U*) は特定化に失敗したことを示している。

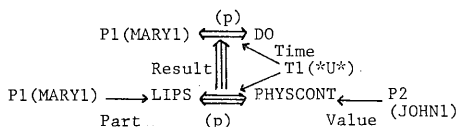


Fig. 10 Mary kissed John.

ここで次の手続きに移行する前に Fig. 10 に示された部分全体に励起痕跡 #1 を残し、そのあと励起状態を解消する。

続いて従属節に対し主節の場合と同じ手続きを踏む。

[3] 励起

《hit》によって 5 (a) ↔ 5 (b) の部分が励起される。

[4] 特定化

さらに引き続きこの部分の特定化が行われる。入力文からもたらされた情報から、

P2→P2 (*HE*), P3→P3 (BILL1),

X1→X1 (*U*)

となる。ここで (*HE*) は代名詞 he からきたもので、これも特定化に失敗したのとして扱われる。

[5] 代名詞の同定 (identification)

P2 の活性項 (*HE*) は、すでに内部化されている情報すなわち概念記憶主体の知識から、その絶対同定子を同定できることを意味している。この場合は過去の最も近い時点に賦活された男性に同定される。この過程の触発因子は (*HE*) である。この場合のようにSN上に認識された触発因子を内部触発因子 (internal triggering factor) とよぶ。さて、この例では Fig. 10 から、

P2 (*HE*) → P2 (JOHN1)

となる。但し、JOHN1 が男性であるという情報は別に記憶され、上記の結果はそれを参照した結果である。

[6] 関係詞リンク (Relative link) による同定

X1(*U*) は入力情報による特定化に失敗しているが、関係詞リンクをしたがえていることが認識されて、すでに内部化されている情報を使った同定の手続きがとられる。さて、この例では Fig. 11 に示される概念化構造 (以下 CON と略記する) がつながっている。これを使ってSN全体に照合し該当するX1の絶対同定子を探る。もし探索に失敗すれば、Fig. 11 に示された部分を活性でない状態に戻す (deactivation)。その結果、Fig. 5 (b) の部分は賦活領域から消え去る。この時点で Fig. 12 に示される部分が励起状態である。ここで Fig. 12 に示された部分全体に励起痕跡 #2 を残し、励起状態を解消する。

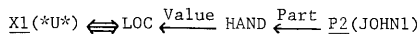


Fig. 11 X1 be in John's hand.

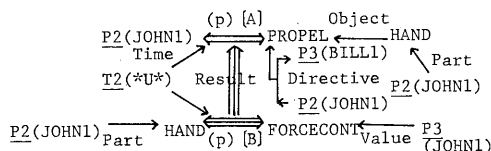


Fig. 12 John hit Bill.

手続きの一般性から主節に対しても [5] や [6] の同定の過程があつて当然であるが、この例では主節に対して [5] や [6] を触発する因子が認められず手続きが実行されなかったのである。特定化の手続きをまとめると Fig. 13 のようになる。

[7] 因果関係連鎖の展開, 1回目 (first cycle)

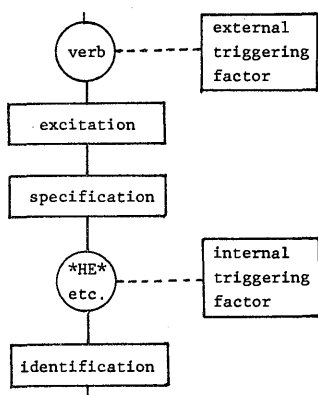


Fig. 13 Activation-movement for specification.

2つの節の概念が賦活されたのち、保留にされていた《because》が復帰しCCEを触発する。主節の意味内容に該当する活性のCDダイアグラム Fig. 10 から原因の推論 (causative inference) が、一方従属節の意味内容に該当する Fig. 12 からは結果の推論 (resultative inference) が交互に1サイクルずつ実行され両者の交差点をさがす。1サイクルの推論

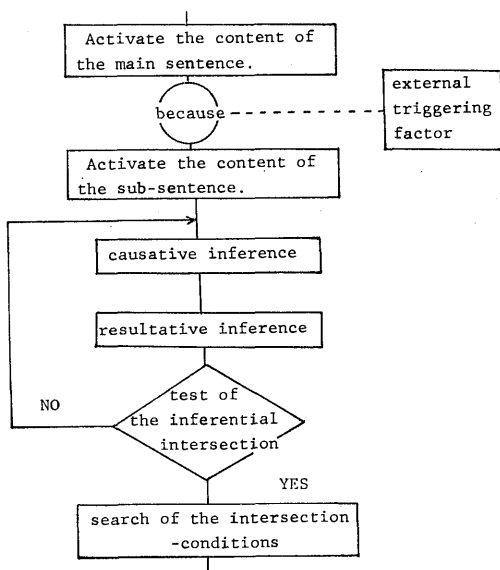


Fig. 14 Procedure for the causal chain expansion.

(1 cycle inference) とは、CAUSE リンク (CD ダイアグラム中、単純な3本線矢印で示されているリンクのすべてをいう) を1回経過する展開 (expansion) を意味する。時を同じくして複数の CAUSE リンクを経由して並列に展開する。因果関係連鎖展開の手続きを Fig. 14 に示す。

(7-1) 原因の推論, 1回目 (causative first cycle)

① 励起痕跡 #1 を励起状態に戻し励起された Fig. 10 を得て, Fig. 10 全体の代表節点に符標的特定化項 (m 11) を記入する。このことを原因の推論のマーキング (marking) とよぶ。

(但し、代表節点とは再起的拡張ネットワークの記法に現われるもので、CD ダイアグラムでは陽に現われないことに注意されたい。)

② CAUSE リンクの矢印の方向に沿って励起状態を移送し、励起された新しい CON を得る (excitation transfer)。

③ その CON が Fig. 10 と同じ TIME リンクを持っているならば、Fig. 10 からその CON へ時制を表わす特定化項 (ここでは過去の時制 p) を移植する。

これまでの結果、Fig. 15 に示される部分が励起状態になっている。

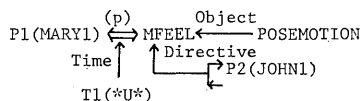


Fig. 15 Mary liked John.

④ Fig. 15 に示された部分に励起痕跡 #1を残し、励起状態を解消する。

(7-2) 結果の推論, 1回目 (resultative first cycle)

① 励起痕跡 #2 を励起状態に戻し励起された Fig. 12 を得て, Fig. 12 全体の代表節点に符標的特定化項 (m 21) を記入する。このことを結果の推論のマーキングとよぶ。

② CAUSE リンクの矢印の逆方向に沿って励起状態を移送し、励起された新しい CON を得る。この例では Fig. 12 の [B] から Fig. 6 の [B] へ励起状態が移送され、かつ Fig.12 の [A] から同じく Fig. 12 の [B] へ移送される。その結果、Fig. 12 の [B] と Fig. 6 の [B] とが励起

状態である。

- ③ Fig. 6 の [A] と [B] とが同じ TIME リンクを持っているので、[A] から [B] へ時制の特定化項 p を移植する。

ここで、一つの CAUSE リンクをはさんで、原因を表わす前件を [A]、結果を表わす後件を [B] と記して識別している。この指示法は一般的な記法とし、これ以後も使用する。

これまでの結果、Fig. 6 に示された部分が賦活されて Fig. 16 のようになり、かつ励起状態である。

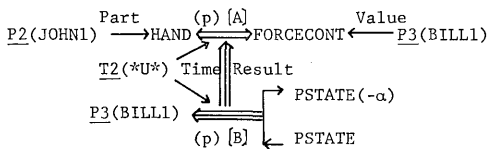


Fig. 16 Bill received an injury because John's hand came into forceful contact with Bill.

- ④ Fig. 16 に示された部分に励起痕跡 #2 を残し、励起状態を解消する。

(7-3) 推論交差 (inferential intersection) の検査

励起痕跡 #1 と #2 との両方を持つ CON が存在するかどうかしらべる。存在しなければ 2 回目の展開に入り、存在すれば CCE が終る。この例ではまだ存在しない。

[8] 因果関係連鎖の展開, 2 回目

2 回目の原因の推論は、励起痕跡 #1 を励起状態に戻し励起された Fig. 15 を得てマーキング (m 12) を行うことから始まる。結果は Fig. 17 に示される部分に励起痕跡 #1 を残して終る。Fig. 17 に現われた、

T 2 → T 2 (T 1)

は Fig. 15 にも適用される。

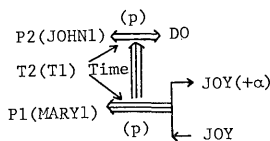


Fig. 17 John made Mary feel joyfull.

2 回目の結果の推論は、励起痕跡 #2 を励起状態に戻し励起された Fig. 16 を得てマーキング (m 22)

を行うことから始まる。結果は Fig. 18 へ励起痕跡 #2 を残して終る。

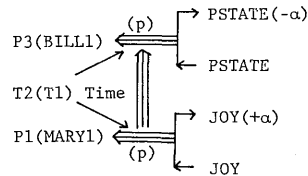


Fig. 18 Mary was delighted because Bill received an injury.

引き続き推論交差の検査に入る。この時点で確かに交差が生じている。Fig. 17 と Fig. 18 とにおいて、Fig. 19 に示される部分が #1 と #2 との両方の励起痕跡を残している。これで CCE のサイクルを停止する。

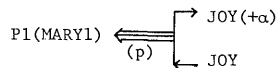


Fig. 19 Mary was delighted.

[9] CCE の後処理

- ① 励起痕跡 #1 を励起状態に戻し励起された Fig. 17 を得て、マーキング (m 13) を行う。
- ② 励起痕跡 #2 を励起状態に戻し励起された Fig. 18 を得て、マーキング (m 23) を行う。

これで因果関係の一つの連鎖が確認された。マークの系列。

m 11, m 12, m 13, m 23, m 22, m 21,

をその順序にしたがってたどれば、賦活された CON の連鎖、

10 ↔ 15 ↔ 17 ↔ 18 ↔ 16 ↔ 12

を得る。

[10] 因果関係が連鎖する条件

マークの系列を使い連結した因果関係連鎖を励起して、Relative リンクの矢印の逆方向に励起状態の移送を行う。この例では Fig. 7 の Relative リンクのみがこれに該当する。このあと代表節点の活性項を

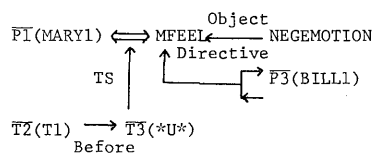


Fig. 20 Mary had been feeling a negative emotion toward Bill.

移植して、結局、Fig. 20 に示される CON が励起状態になる。これは連結が成立するための条件である。これにも別のマーキングを行う。

4.4 知識の累積が不完全な場合の展開

Fig. 9 のように知識の累積が不完全な場合、これまで採用してきた手続きでは同じ CCE を実現できない。この場合に必要とされる手続きは、同じ CCE を実現し得ると同時に、この範囲の知識の累積を完成して後に残し得る手続きである。たとえば Fig. 4 と Fig. 7 とにおいて \bar{P}_1 と P_1 とが同一でないとき、Fig. 17 に示された部分まで展開してきた連鎖と Fig. 18 に示された部分まで展開してきたもう一方の連鎖

とが交差しない。こんな場合に対処するため、原因や結果の推論の手続きを Fig. 21 のように拡張する。

Fig. 21 には原因の推論の手続きのみを記した。Fig. 21 の中の文を次のように書き換えるとそのまま結果の推論の手続きになる。

1→# 2

m l_i →m l_i

arrow-direction→inverse arrow-direction

図中の判断ボックスは推論を進める前に知識の累積が継続しているかどうか判定している。判断ボックスに続く NO の分岐が拡張された部分である。すなわち、展開の途中、直接つながる知識がなければ、同定子を

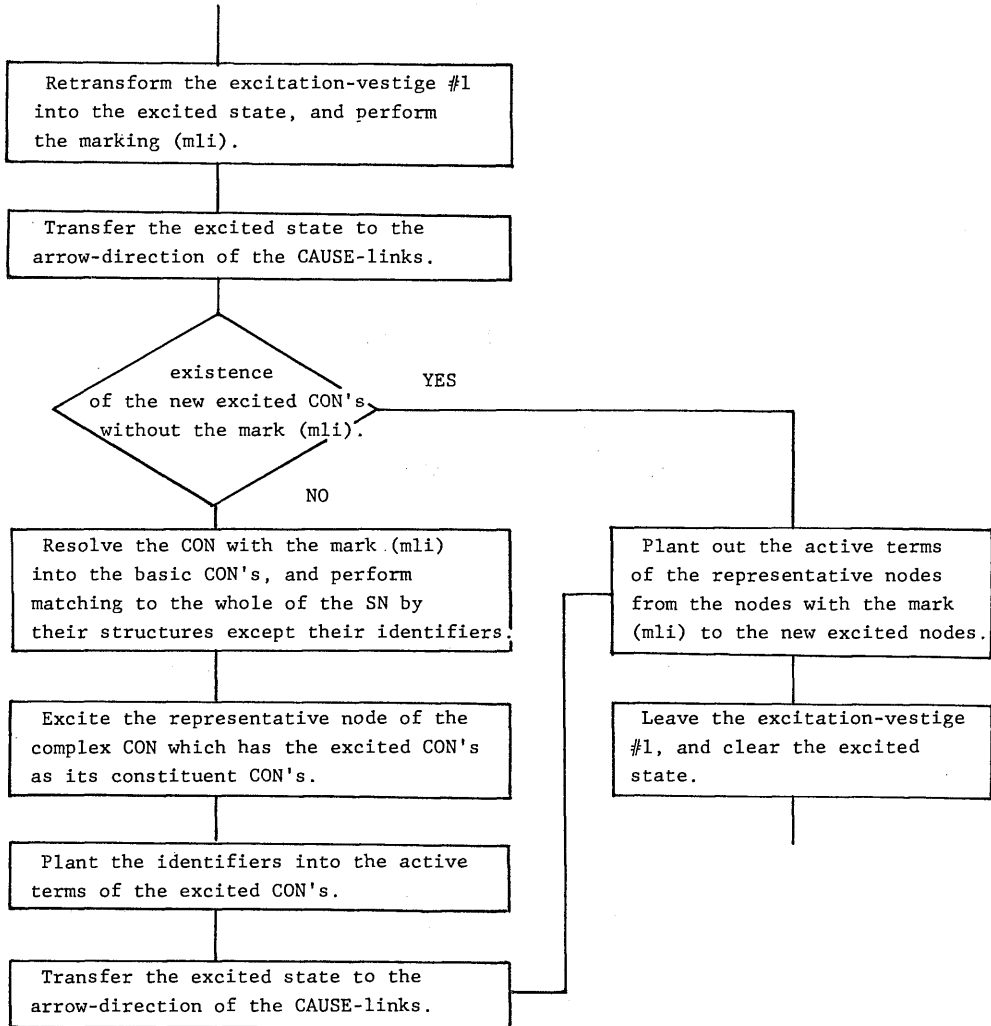


Fig. 21 The expanded procedure for the causative inference.

除く構造によってSN全体に照合し同じ構造のCONをさがす。さがしてあったときは、特定化項を移植して橋渡しする。

さて、簡単のため、 $\overline{P1} \Leftarrow MARY1$ がかつ $P1$ と $\overline{P1}$ とのみが異なるとし、Fig. 9における他の不連続部分はすべて累積されている状況を考える。この場合は4.3節の展開手続きを踏んでもまだ交差しないので、もう1回原因と結果の推論(拡張されたあとの手続き)を経て、Fig. 7とFig. 4の部分が賦活それぞれFig. 22, Fig. 23となる。

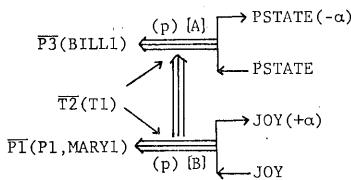


Fig. 22 Mary was delighted because Bill received an injury.

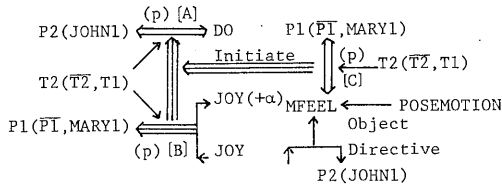


Fig. 23 Mary started feeling a positive emotion toward John because he made her feel joyfull.

続いて推論交差の検査を行うと、Fig. 22の[A]とFig. 23の[C]とがともに原因と結果の両方向の推論のマークを持っていることが分かる。

ここで注目すべきは、Fig. 22やFig. 23における同定子が、

- $\overline{P1}(P1, MARY1)$
- $P1(\overline{P1}, MARY1)$
- $\overline{T2}(T1)$
- $T2(\overline{T2}, T1)$

となっていることである。このことを相対同定子の相互乗り入れの現象とよぶ。これは、 $\overline{P1}$ と $P1$ 、 $\overline{T2}$ と $T2$ と $T1$ とが同一視されるべきことを示している。ここで活性項を蓄積項に書き移すと新しい知識を得たことになる。このことをLTM-定着⁴⁾という。一般的に言えば、賦活動態において、すでに蓄積項に蓄えられているものと異なる相対同定子が活性項に付加さ

れることがある。この相対同定子の相互乗り入れの現象によって、推論の実行と同時に、知識の累積が進行するのである。

5. ASN モデルの適用範囲

ASNモデルは、はじめ意味推論の表現体系であることを目標としたが、考察が進むにつれてその適用範囲が大きな広がりを見せてきた。意味推論とは、入力された文章を理解するために概念記憶の上で行われる推論をいう。ここで「理解する」ということの意味が問題である。そこで本稿では、入力された文章の理解とはその文章に対するシステムの反応のあり方だと解釈する。そうすると、反応のあり方によっていくつかの理解のレベルが考えられる。

まず第1段階は、入力された文章に含まれている情報を記憶主体の保有している知識全体を背景に位置付けできる。入力文が表現する概念の骨組みによってSN上にパターン照合を行い、ついで入力文中のほかの具体的な情報を使って適合した部位を特定化する。SNはさまざまな範疇の知識が統合されている場所であるから、この段階の手続きを経れば、保有されている知識の範囲でどのようにも推論が展開できる出発点についたことになる。

第2段階は、意味の拡大 (semantic expansion) が可能である。第1段階の機能によってSN上特定の部位が賦活されるが、第2段階はその賦活された部位からそれに連合している知識を自発的に賦活する。そのことにより入力文の意味は記憶主体の知識を背景に拡大していく。

第3段階は質問応答の能力をもつ。質問文が表現する意味を理解するには第1と第2の段階の能力が必要である。この段階ではその上に質問に対する適切な応答能力が要請されている。入力された文章に対するシステムの反応を「理解」の意味と考えたから、質問に対する応答能力も理解の一つのあり方を示す。この段階では応答すべき内容を同定し、かつそれを表出する機能が必要である。表出機能はASNから見れば外部機構である。

第4段階は入力された命令文の内容を遂行する能力をもつ。このためにASNの外部機構として行為を遂行する機構が備えられていなければならない。命令文を受け、概念記憶を経由して行為の効果器を起動させる一連の機構が必要である。命令文は対自的自己をも

つ概念化構造として内部化され行為遂行の触発因子となる。この段階はさらに、精神的行為のみ遂行できる段階と、精神的行為のみならず身体的行為まで遂行できる段階とに細分される。精神的行為は ASN の賦活動態そのものであるから、対自的自己というあらたな触発因子の導入によって実現されるが、身体的行為を実現するには種々の身体的外部機構を装備する必要がある。

第5段階は、入力文が直接的な命令でなくても、概念推論を経由して主体的な行為を伴う。このためには、ASN の中に、対自的自己を行為者とする概念化構造によって表現された、主体的行為の方略が埋め込まれていなければならない。第5段階まで到達すれば、ASN は外界からの言語的情報を認識するばかりか、同時に外界へ働きかける行為の中核となる。ASN モデルによれば、概念記憶は客観的知識と主体的行為の方略との適切な連合の場と考えられているのである。

第1および第2の段階についてはわれわれの事例研究でも十分検討されているが、第3段階の質問応答、第4段階の命令遂行、第5段階の主体的行為などについてはまだ問題提起にとどまっている。しかし、第3～第5の段階も ASN モデルの適用範囲に含まれ、ASN とその賦活動態というこのモデルの基本原則を適用して無理なく拡張できる範囲に入る。第4および第5の段階は概念記憶によって触発される身体的行為を伴い、言語に反応するロボット実現の基本原則を示す。第1段階から第5段階まで一貫した基本原則が適用できることから判断して、ASN モデルはモデルとしての妥当性がかなり高いと言えるのではないだろうか。

6. 結 言

本稿は概念記憶に関する活性化意味ネットワークモデルの概要を述べ、その適用例と特徴とを示した。活性化意味ネットワークモデルは記憶の賦活 (memory

activation) という概念 (notion) に形式的な表現法を与えたはじめての試みである。形式化の方法は文献4) 5) 6) に示したが、今後さらに検討を重ねその向上をはかりたい。また、意味ネットワークの賦活動態について数多くの事例研究を積み重ね、モデルの検証を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) Bobrow, D. G. & Collins, A. (eds): Representation and Understanding, Academic Press, Inc., New York. (1975)
- 2) Rumelhart, D. E. & Norman, D. A.: Active Semantic Networks as a Model of Human Memory, Proceedings of the Third International Joint Conference on Artificial Intelligence, Stanford, California. (1973)
- 3) Rumelhart, D. E.: Introduction to Human Information Processing, John Wiley & Sons, Inc. (1977)
- 4) 嶋津・田町: 意味ネットワークの静態構造論, 情報処理学会論文誌, Vol. 22, No. 1 (1982)
- 5) 嶋津・田町: 意味ネットワーク賦活動態の要素的類型, 情報処理学会論文誌, 投稿中.
- 6) 嶋津・田町: 意味ネットワークの賦活動態を制御するプログラミング言語, 情報処理学会論文誌, 投稿中. (採録決定)
- 7) 嶋津好生: 概念記憶システムの研究—概念記憶の意味ネットワークモデルと連想プロセッサによる実現法一, 九州大学出版会 (1982年3月刊行予定).
- 8) Schank, R. C.: Conceptual Information Processing, North-Holland, Amsterdam, Oxford. (1975)
- 9) Schank, R. & Abelson, R.: Scripts Plans Goals and Understanding, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey. (1977)
- 10) Rieger, C.: Conceptual Memory — A Theory and Computer Program for Processing the Meaning Content of Natural Language Utterances, Stanford University, STAN-CS-74-419. (1974)