

## 概念ネットワークの賦活制御機構†

嶋津好生<sup>††</sup> 田町常夫<sup>†††</sup>

自然言語を理解するシステムを構築するとき、日常的知識の想起や再認や推論などを実現する記憶機構が必要になる。本稿はそのような記憶機構に関する一つの情報処理的モデルを提唱しこれを活性化意味ネットワーク (ASN)・モデルと呼ぶ。また、そのモデルが本質的に含む並列処理能力を実現するために、新しい特殊なメモリ・システムの概念設計を試みている。ASN モデルは、知識を概念のネットワークで表現し、そのネットワークの上で注目の部分が、拡散、集中、転移するのを制御することによって、連想や推論などの動的過程を実現する。概念のネットワークは、従来からスロットと呼ばれている変化項を含み、また新しく、注目された部分を表現する機能が賦与されている。注目の部分を励起領域と呼ぶ。ASN モデルは、励起領域の動態を制御し変化項を管理するためのプログラム言語をもち、それを賦活制御言語と呼ぶ。新しく設計されたメモリ・システムは、概念記憶システム NOAH-ASN と称せられ、分配論理記憶の原理にしたがって設計されている。システムの中核となるのは分配論理連想プロセッサ NOAH である。NOAH は概念ネットワークを格納し ASN モデルの賦活制御言語を実現する。また大きな記憶容量を確保するため、NOAH を 2 次記憶と結合し、NOAH の賦活制御機能を仮想的に実現する。NOAH と 2 次記憶との結合法は新規性に富み、これを膺写結合方式と呼ぶ。

### 1. まえがき

筆者らは日常的知識の想起や再認や推論などに関する一つの情報処理的モデルを提唱した。これを活性化意味ネットワーク (ASN)・モデルと呼ぶ<sup>†††</sup>。ASN モデルは知識を意味ネットワーク (SN) で表現しその賦活動態によって連想や推論の過程を実現する。一般的に、大量に集積され複雑に連合するデータを保有しその探索過程によってある種の推論を実現する知識情報処理システムを考えることができる。ASN モデルはそのようなシステムに、試みとして、一つの形式的な表現法を与えたものである。

ASN モデルが原理的に含む並列処理能力を実現しモデルそのものの実現を効果的にするため、新しいタイプのメモリ・システムを開発する必要が生じた。ネットワーク・データ ASN は節点や弧のラベルごとに変化項を含む。本稿において概念設計する新しいメモリ・システムは ASN の励起領域の動きを制御し変化項の管理ができる。これを概念記憶システム NOAH-ASN と呼ぶ。ここで、「励起領域」とは ASN の現在注目されている部分を指している。システムの中核となるのは分配論理連想プロセッサ NOAH(network-

organized association handler)<sup>††, 5)</sup>である。NOAH はセル・システムである。セルの数を大きくし NOAH を大規模に実現できれば ASN モデルの実現はより完全なものになろう。本稿では NOAH と 2 次記憶との結合法を考え、2 次記憶の大規模な記憶容量を背景にして連想プロセッサ NOAH の機能を仮想的に実現することを試みている。NOAH セル・システムに格納されるネットワーク・データは、各セルから伸びる肢に弧をのせ、セルの一樣配列の上に幾何学的に配置されている。その空間的位置関係は、2 次記憶との間でデータ転送されるに際して乱されることなくそのまま維持されなければならない。この条件を満たす結合法を膺写方式と呼ぶ。

本稿はこのあと、2 章において ASN モデルについて概略説明を行い、3 章において連想プロセッサ NOAH の構造と機能、4 章において概念記憶システム NOAH-ASN の設計仕様、5 章において NOAH と 2 次記憶との膺写結合方式について述べる。

### 2. 活性化意味ネットワークモデルの概要

#### 2.1 原子概念

活性化意味ネットワーク (ASN) の節点や弧のラベルを原子概念と呼ぶ。自然言語理解に必要なとされる概念レベルの知識を与えるものとするには、ASN の表現力や活用性を十分増し加えなければならない。そのため原子概念の構成には十分な考慮が払われる必要がある。原子概念はいくつかの概念素項から構成される。概念素項はおもに活性項と蓄積項とに分類され

† A Mechanism for Controlling Activation of the Conceptual Network by YOSHIO SHIMAZU (Faculty of Engineering, Kyushu-Sangyo University) and TUNEO TAMATI (Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University).

†† 九州産業大学工学部

††† 九州大学大学院総合理工学研究科

る。とくに前者は連想や推論などの動的過程を表現するために設けられた。次に概念素項を示す。各項の定義は文献2)を参照されたい。

活性項 励起項  
 励起痕跡 (#1, #2)  
 パラメトリック特定化項  
 シンボリック特定化項  
 蓄積項 活性度  
 あいまいさ  
 調整子  
 記述子  
 同定子

## 2.2 ASN の静態構造

ASN は節点・弧ラベル付き有向グラフを基底構造とする。そして再帰的拡張節点という概念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を識別する方法をもっている。再帰的拡張節点(以下、R-節点と略称する)は、原子概念を節点や弧のラベルとするASNの部分グラフであり、たとえば命題やSchankの概念化構造(conceptualization)などのまとまりのある複合概念を表現する。ASNにおいては同じ原子概念をもつ節点が2箇所以上のところに重複して出現することを許さないで、異なるR-節点を重ね合わせて表現することになる。したがって、一つ一つのR-節点は賦活されることによるのみ他から識別される。R-節点は、後述する賦活制御プログラムによってまとめて同時に賦活されるなど、必要に応じて、単一の基底節点と同様のふるまいをするように設定される。R-節点はそのグラフ構造を指定することによって定義される。それを構造認識規則と呼ぶ。R-節点や構造認識規則について詳しくは参考文献2)を参照されたい。

知識を意味ネットワーク(SN)で表現する方法について従来から多くの提案がある。それらをまとめてみると、それぞれの提案は概念を高次の構造に組織化していく形態に違いを示していることがわかる。これらの違いは構造認識規則の違いとして把握できる。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呼ぶ。ASNは再帰的拡張ネットワークをその静態構造(static structure)とする。

## 2.3 ASN の賦活動態

人はいつでも記憶の中に貯えられた情報の一部に注意を向けることができる。ASNモデルではこのこと

を「励起される」という表現でいい表している。ASNの特定の部分に注目する手段として、換言すればASN記憶の特定の部分が記憶の主体に意識されていることを表現するために、節点や弧の活性項のなかに励起状態であることを示す項を設けた。これを励起項と呼ぶ。また記憶されている普遍的知識は現実に行っている外界の脈絡を反映して特定化される。この役割をもつ活性項を特定化項と呼ぶ。特定化項にはパラメトリックな内容のものとシンボリックな内容のものがある。

励起されることや特定化されること、すなわち活性項に情報をもつことを「賦活される」という。ASNの上の励起領域や賦活領域は概念レベルの連想や推論を実現するとき重要な役割を演じる。ASNに対して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よい。励起領域が特定化項の変化を伴い、拡散、集中、転移していく過程を賦活動態(movement of activated domain)と呼ぶ。

## 2.4 賦活動態を制御するプログラム言語

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必要がある。そのためASNの賦活制御手続きを記述できるプログラム言語を構成した。これをASNの賦活制御言語と呼ぶ。各命令は節点セルの集合をsingle instruction stream multiple data stream(SIMD)のモードで並列制御する。ここで、ASNの一つの節点とその隣接弧のすべてを一つの形式的なユニットと考え、それを節点セルと呼んでいる。賦活制御言語は、ASNのR-節点を識別しながら自在にネットワーク構造をたどることができる。TRANSFER STATE命令によって励起状態の節点間移送を制御する。R-節点の識別を容易にするため、指定の弧で結ばれる節点同士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命令を設けた。励起命令と呼ばれる、MATCH, TRANSFER STATE, SET SHARING-EXCITATIONの3命令が実行されたあとには、通常励起された原子概念が存在している。必要に応じて励起されたことの痕跡を残すことができるように、励起命令自身にその機能を付加した。この機能を利用して論理探索が実行できる。すなわち、賦活制御プログラムのなかにブロックを設定しそのなかの指定された励起命令が個別にASNを

励起するのを集計して AND 条件や OR 条件で最終的な励起痕跡を得ることができる。SET LOGICAL MODE 命令と CLEAR LOGICAL MODE 命令とでブロックを挟み、前者で論理条件を指定する。そのほか、ASN 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備えている。賦活動態や賦活制御言語について詳しくは参考文献3)を参照されたい。

### 3. 連想プロセッサ NOAH の構造と機能

連想プロセッサ NOAH は分配論理記憶の原理を採用して設計されたセル・システムである。一つのセルには一つの節点とその隣接弧のいくつかが格納される。図1に示すように、各セルはたとえば16本の肢を伸ばして近隣のセルと接続されている。セル・システムに格納された ASN データの弧ラベルはこれらの肢に割り付けられている。弧のラベルを格納するレジスタが不足し単一の記憶セル内に節点セルを格納できない場合には、肢接続された複数の記憶セルを使って弧ラベルのレジスタを確保し、複数の記憶セルに一つの節点セルを格納する。

表1に NOAH セル・システムを制御する基本命令系を示した。ここで、選択性ビットとは各命令の

マイクロプログラムの一部であって、これが1であるか0であるかによって同じ命令でも制御のしかたが異なってくる。命令の記法は1に設定される選択性ビットの名前を括弧に入れ命令に書きこえる。各命令の機能

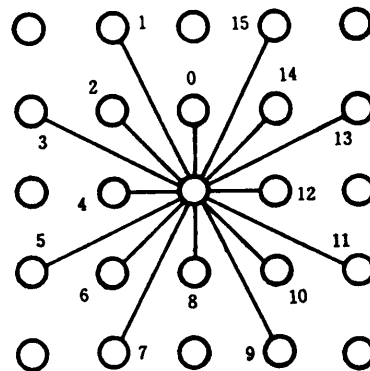


図1 連想プロセッサ NOAH のセル間-肢接続  
Fig. 1 The cells are connected with each other by the limbs in the associative processor NOAH. There are, for example, sixteen limbs that one cell is able to stretch out. The arcs are arranged on these limbs to store the conceptual network.

表1 連想プロセッサ NOAH の基本命令の機能  
Table 1 Functions of the fundamental commands of the associative processor NOAH.

命令	選択性ビット	命令の機能
activate	(ET 1, ET 2)	その位置が明らかにされている特別に定められたセルの節点を励起する。
store	(NSB, ASB)	励起セルの節点や弧に入力データを格納する。
put	(NSB, ASB)	励起されているいかにかわらず、すべてのセルの節点や弧に入力データを格納する。
add	(NSB, ASB)	励起セルの節点や弧の格納データに入力データを加算する。
read	(NSB, ASB)	励起セルの節点や弧の格納データを出力データ線に読み出す。
match	(NSB, ASB) (EQT, GRT, LET) (ET 1, ET 2)	全セルの節点や弧の格納データを並列に、入力データと照合する。照合条件に合致した節点あるいは弧が励起される。match 命令の場合に限り弧の励起は同時にその弧を含むセルすなわち節点の励起状態をもたらす。
clear excitation	(NSB, ASB)	励起状態を解消する。
set logical mode	(NSB, ASB) (CMB, DMB)	励起痕跡の論理条件を設定する。
clear logical mode	(NSB, ASB)	励起痕跡の論理条件を解消する。
transfer state	(EQT, GRT, LET) (ET 1, ET 2)	入力データと全セルの弧の格納データとを照合し、その結果適合し励起された弧を通して、その弧を含むセルの節点の励起状態を隣接セルの節点へ移送する。励起状態を送り出した節点は他のセルから励起状態が送られてこない限り励起状態でなくなる。
propagate	(ET 1, ET 2)	命令実行前にすでに励起共有設定されている弧を通して節点の励起状態を伝播する。ただし、propagate 命令一つで一つの肢だけしか伝播しない。transfer state 命令と異なり、励起状態を送り出した節点はもとの励起状態のままにとどまる。この命令はおもに励起共有設定の下で励起命令の働きを補佐するのに使われる。
set sharing-excitation	(EQT, GRT, LET) (ET 1, ET 2)	入力データと全セルの弧の格納データとを照合し、その結果適合した弧を励起するとともに、その弧を通じた隣接セルとの間を励起共有設定する。
compose		命令実行前にすでに存在する励起弧のところで励起共有設定する。
clear sharing-excitation		励起共有を解消する。

は ASN モデルの賦活制御言語の命令にほぼ 1 対 1 に対応している。したがって、NOAH プログラミングによって、NOAH セル・システムに格納された ASN を容易に賦活制御することができる。NOAH について詳しくは参考文献 5) を参照されたい。

#### 4. 概念記憶システム NOAH-ASN の設計仕様

##### 4.1 記憶モデルの実現

##### 4.1.1 記憶区分の解釈

R. C. Schank の概念依存理論 (conceptual dependency theory)<sup>6)</sup> では、言葉に現れる精神的な行為に関してその要素的行為を抽出する必要から記憶機構のモデルを与え、次のような記憶の区分 (mental location) を考えた。

Conscious Processor CP

Intermediate Memory IM

Long Term Memory LTM

これを ASN モデルでは次のように解釈する。CP は ASN の励起されている部分、IM は賦活されているが励起されていない部分である。そして LTM は賦活されておらず、したがって励起もされていない部分だと考える。

本稿では自然言語の理解に関して、少なくとも R. C. Schank の概念依存理論 (CD 理論) で考えられている記憶のモデルが実現できることを考慮して、概念記憶システム NOAH-ASN を設計した。図 2 にその構成図を示す。NOAH セル・システム (NOAH-CS) の多重層や固定ヘッド磁気ディスク記憶装置 (MD) を使っている。ASN の賦活動態は NOAH-CS 多重層において制御される。すなわち、NOAH-CS 多重層が CP や IM の働きをする。MD は IM や LTM の働きをするが、CP の働きはできない。

##### 4.1.2 精神的行為 MTRANS の解釈

CD 理論は精神的な要素的行為をいくつか抽出した。MTRANS もその一つであり、記憶をもつ存在である人間や他の動物を考え、それらの間や、一つの存在内部における記憶の区分の間などで概念レベルの情報を移動させることを意味する。本稿で設計しようとしている記憶機構はみずから MTRANS を実行できなければならない。次に、概念記憶システムのいくつかの動作モードについて考察する。

##### 1) 想起 recall

LTM に記憶されている概念レベルの情報を意識

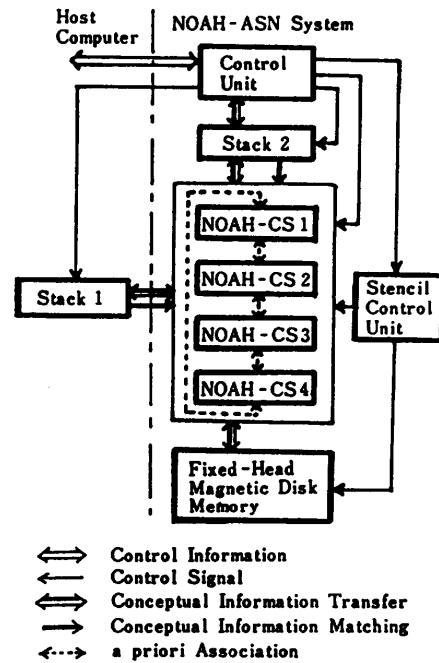


図 2 概念記憶システム NOAH-ASN の構成図  
Fig. 2 This figure explains the configuration of the conceptual memory system NOAH-ASN. The NOAH-ASN system consists of the multiple layer of the NOAH cellular systems and the magnetic disk memory.

CP にのぼらせることを想起という。すなわち、想起とは、環境から入る情報を刺激として、その刺激の意味となるその情報そのものやそれに関連する知識を意識することである。この過程には受け入れた情報で概念記憶の全体に照合する手続きが含まれる。NOAH-ASN システムではこの手続きを次のように実現する。ASN 記憶の全体をブロックに分割しそれを一つずつ NOAH-CS へ転送して、そこで受け入れた情報との照合操作を実行してそれに適合する部分が存在するかどうか確かめる。適合する部分が見つければ、ASN のその部分をその受け入れた情報で特定化する。このとき複数の NOAH-CS を同時に使えば、照合操作の並行性を高めることができる。以下、説明の便宜のため、ASN 記憶の全体を whole node plane (略して WNP) と呼び、また一つの NOAH-CS に格納されるブロックを stencilled node plane (略して SNP) と呼ぼう。

##### 2) 記憶 memorize

特定化項の記憶は一時的である。特定化項をいつまでも保持しようと思えば、ASN のいま励起されてい

て保持したい部分を、特定化項を蓄積項に変換しながら、別のところに複写する。この操作を LTM-定着と呼ぶ。LTM-定着によって、現在の外界の脈絡下における知識による ASN の増殖が起こる。ASN の賦活領域の一部を LTM-定着することをもって、いわゆる記銘の解釈としよう。

連想プロセッサ NOAH を 2 次記憶と結合して NOAH 自身も賦活制御機能を仮想的に実現し、かつ蓄積項と特定化項との記憶区分をつくりだすために、先天連合された NOAH-CS の多重層という機構を考え出した。

NOAH-CS は平面上に NOAH セルをたてよこ等間隔に並べたものと考えることができる。このような NOAH-CS を上下方向に何枚も重ねれば、節点に NOAH セルをもつ立体格子ができる。この立体格子において上下に隣り合う NOAH セル同士の間で、方向を指定して励起共有設定できるように接続する。励起共有のための回路は平面上のセル・システム内部のものと同じと考えてよいが、相手のセルが一つに決まっているからもっと簡単である。このように励起共有のみのためにセル同士 1 対 1 に接続された NOAH-CS 同士を「先天連合されている」という。先天連合は上下方向に何枚も重ねていくことができる。そして最上層と最下層との間も先天連合にする。これを NOAH-CS の多重層と呼ぶ。ASN の賦活動態は先天連合の NOAH-CS 2 重層によって実現される。一つの NOAH-CS の上で LTM から CP へ想起しながら、受け入れた情報に適合した部分の特定化項をもう一つの NOAH-CS に格納する。この場合、2 重層の選択は、まず蓄積項を格納すべき NOAH-CS が照合に成功することにより決まり、続いてその上下に隣り合う二つの NOAH-CS のうちから一つが選ばれ特定化項を格納する NOAH-CS に指定される。蓄積項と特定化項との連合は 2 重層の先天連合によって実現する。またそれを LTM-定着する場合は、まず 2 重層に分割格納されている ASN を一つの層の上で蓄積項だけの形に併合しそのあと磁気ディスク MD へ転送する。

MD は特殊な形で二つのデータ領域をもつ。MD は二つの連動する等容量の記録面をもち、それぞれ WNP の蓄積項と特定化項とを格納する。そのうち蓄積項の領域は LTM であるから保存されるように管理されるが、特定化項の領域は IM であり環境の変化に伴い古い情報が新しい情報で書き換えられるまま

に放置され古い情報がいつまでも保持される保障はない。LTM として記銘すべき情報は LTM-定着の手続きを踏まなければならない。

### 3) 中間記憶 intermediate memory

上述したように、想起には LTM を特定化する手続きが含まれる。そのとき、特定化項は STACK 1 (図 2) を経由して NOAH-CS へ送られる。また、NOAH-CS や MD に格納される特定化項は LTM-定着の手続きを踏まない限り早晩記憶から失われる。NOAH-ASN システムでは、いわゆる中間記憶をこのように解釈する。

### 4) 発話 utterance

CP にあっていま意識されている概念情報を言語表現に変換する手続きを発話と呼ぶ。発話は励起された概念を NOAH-CS から STACK 1 へ転送することから始まる。そのあとの自然言語処理は本稿では扱う対象としていない。

## 4.2 連想アドレッシングの仮想的実現

NOAH-CS に格納されたデータへのアクセスは内容指定や文脈指定によって行われる。これを連想アドレッシングと呼ぶ。NOAH-CS を WNP と同じ規模に実現できれば、NOAH の連想アドレッシングは理想的に機能する。しかし NOAH-CS の規模が不足することを考えるならば、2 次記憶とうまく結合して連想アドレッシングを仮想的に実現する方法を考えなければならない。NOAH-CS の規模を意識しないで賦活制御言語をそのまま使えるようにメモリ・システムを構成する。

結合方式の第 1 の条件は、NOAH-CS に格納された各セル・データの空間的な位置関係が乱されないように、2 次記憶とのデータ転送が実行できることである。この条件を満たす結合法を謄写方式と呼ぶ。また 2 次記憶から NOAH-CS へ必要なデータを汲み取ってくることを刷込み (stencil) と呼ぶ。

第 2 の条件は上述したように NOAH の連想アドレッシングを仮想的に実現できることである。ASN の探索手続きは通常次の 2 段階を踏む。

- 1) 受け入れた情報の内容に適合する部分を賦活する。
  - 2) 知識の連合関係をたどって意味の拡大を行う。意味の拡大 (semantic expansion) については文献 1) や 4) にその具体例を示しているので参照されたい。
- 1) の段階では受け入れた情報で WNP 全体に照合する手続きが含まれる。そのとき WNP を一つの

NOAH-CS に格納しうるブロックに分割し NOAH-CS 多重層の個々の NOAH-CS に分担させ並行して刷り込みかつ照合する。その結果、ASN の格納法が理想的ならば、唯一つの NOAH-CS が適合部分を捉える。

二つ以上の NOAH-CS が適合部分を捉えることもある。いま捉えられた複数の部分は本来1箇所に格納すべきものであるにもかかわらず物理的制約のため離して格納されていたのかも知れない。それにもかかわらず同時に励起され、たしかに、CP に捉えられている。NOAH-CS の層を異にしても同時に励起されれば、同時に CP に捉えられたことを意味する。たとえば同一概念が物理的制約によって離れて格納されていても、それぞれを中心とした局所的連合をもあわせてそれらを1箇所に集めることができる。また、受け入れた情報は環境の特殊な文脈を反映しており、従来から保有している知識にそのとおりの文脈が含まれているとはかぎらない。しかし受け入れた情報に基づいて生じた ASN の賦活領域が、知識の新たな連合の認識をもたらすことになる。たとえば、次のような文章を受け入れるとしよう。

I1. 船乗りを愛した王女が船を買った。

われわれがこの文章を受け入れたとき、この文章が表現している脈絡を素直に理解することができる。そればかりか、次の文章群で表されるような内容を推測したり、あるいは知識として改めて確認したりする。

- R1. 王女は船乗りをよるこばせたい。
- R2. 船乗りは船がほしかった。
- R3. 王女は船乗りに愛されたい。
- R4. ひととは他のひとを愛するとそのひとのよるこぶことをする。
- R5. 王女は船乗りをよるこばせたいから船を買ったのだ。

しかし、I1やR1~R5などを満たす単一の脈絡がそっくりそのまま記憶されていたわけであるまい。ただし、この脈絡に関係がありその部分を形成すると思われる小さな脈絡の知識はまもなくもって持っていたはずである。たとえば、

- M1. 船は船乗りの必需品である。
- M2. ひととは自分の必需品をほしがる。
- M3. ひととはそのほしがるものを与えるとよるこぶ。
- M4. ひととはしたいことをする。
- M5. ひととは他のひとを愛するとそのひとのよる

こぶことをしたい。

M6. ひとが他のひとのよるこぶことをしてあげるとその人に愛されるかもしれない。

ここで、M1は船乗りに関する他から独立した知識である。M2とM3とは「欲する」ことを話題とする単一の脈絡のなかに記憶されているであろう。M5とM6とは愛に関する話題として単一の脈絡のなかの知識として組み込まれている。そしてM4は、本来一般性の高い他から独立した知識であるが、M5やM6と同じ脈絡のなかにもその一部として組み込まれているだろう。これらの知識の概念ネットワークが賦活制御されて、I1あるいはR1~R5などにそれぞれ該当する部分が同時に励起され、それぞれの表象をつくり出すのである。たとえば、M2~M5がそれぞれ含んでいる因果関係のリンクが1本の線につながりR4のような推測を生じる。このように入力情報I1によって生じた賦活領域は概念のネットワークに新たな連合をもたらす。

NOAH-CS の内部では内容指定や小規模の文脈指定によるアドレッシングが働いている。内容指定は節点ラベルへの単純な照合を意味する。文脈指定は節点への照合とともに弧ラベルへの照合を使った励起状態移送の手続きを含む。ASN 探索の1)の段階において受け入れた情報による照合が実行されるとき、指定された文脈が分割されたブロック SNP の境界にちょうど跨ってしまうことがある。その対策は、後述するように、NOAH-CS に格納されている SNP の境界が励起状態になるとその境界のある方向へ自動的に刷り換えが実行されるようにすればよい。

ASN 探索の2)の段階では、この自動刷り換え動作がもっと積極的に利用される。この段階では規模の大きな文脈指定アドレッシングが働く。その一例として交差アルゴリズムが考えられる。二つの概念あるいは概念化構造の間の関係を探索する手続きを交差アルゴリズムという。ここで、概念化構造 (conceptualization) とは Schank の提案になる知識の有意味ユニットであり行為や状態を表す。たとえば Schank が使った有名な例に次のような文章がある。

Mary kissed John because he hit Bill.

この文章の主節と従属節との間の意味的な因果関係を探索するのに交差アルゴリズムを使うことができる<sup>1)</sup>。

NOAH-ASN システムで交差アルゴリズムを実行するとき、場合によっては、WNP の上の二つの概念

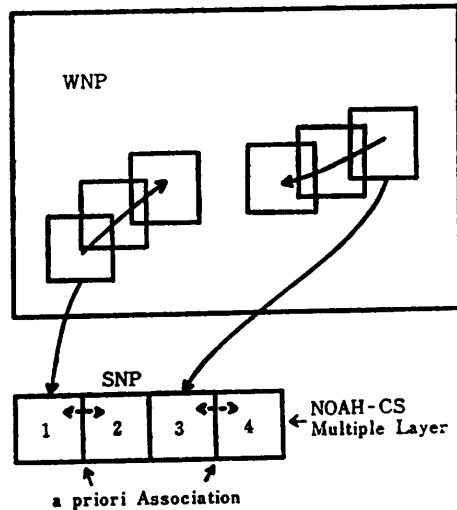


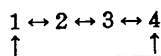
図3 広域交差の実現

Fig. 3 The procedure searching the relation of two given concepts or conceptualizations is called the crossing algorithm. It is called the great-sphere crossing in the case that two concepts or conceptualizations are separated from each other so far away that the NOAH cellular system is unable to cover them together. Two couples of the double layer of the NOAH cellular systems are used to implement the great-sphere crossing.

の位置が一つの NOAH-CS の内部に一緒に捉えられないほど離れていることがある。このような場合を広域交差と呼ぶ。広域交差の実現法を図3に示す。NOAH-CS の4重層を使い、NOAH-CS の1と2および3と4を先天連合2重層として働かせる。すでに述べたように、2重層には NOAH-CS の一つずつにそれぞれ蓄積項と特定化項を分割して格納する。一つの2重層に一つ概念を出発点とする賦活領域をたどらせ、二つの賦活領域を交差させるのである。

#### 4.3 NOAH-CS 多重層の構成

NOAH-CS 多重層は次のように構成する。NOAH-CS は NOAH セルの  $p \times p$  正方行列である。これを偶数枚重ねる。一般的にこれを  $2r$  枚とする。重ねられ直接隣り合っている NOAH-CS 同士を先天連合にする。最上層と最下層との間も先天連合にし、全層にわたって先天連合の関係を輪環状にする。たとえば  $r=2$  として4層を考え、次のようにする。



ここで、両方向矢印は先天連合の関係を示す。

多重層に対する制御命令として、先天連合の層の間

で励起共有設定およびその解除を行う命令を加える。NOAH-CS の識別番号を  $i$  や  $j$  で表す。

set a priori association ( $i, j$ )

この命令によって、層  $i$  の励起セルと層  $j$  における対応する位置のセルとの間で  $i$  から  $j$  の方向に励起共有設定する。

clear a priori association ( $i, j$ )

この命令によって、層  $i$  と  $j$  との間で方向  $i$  から  $j$  へ設定されている励起共有関係を解除する。

多重層を WNP の全体の探索に使うとき各 NOAH-CS は異なる SNP を刷り取り同じ照合操作を実行する。これは複数の NOAH-CS に対する SIMD モードの並列制御である。これは単一の大きな NOAH-CS を制御しているのと同じことである。また、適合部分を見つけた NOAH-CS は繰り返し動作を停止するが、このこともある条件を満たした NOAH-CS が休止の状態に入ったと解釈できる。したがって、多重層も一般的な連想プロセッサの動作原理に従っているといえる。広域交差の場合も同様である。両方から伸びてくる二つの賦活領域をそれぞれ委託された二つの2重層は時分割的に交互に動作させる。そしてそれぞれの2重層は SIMD モードの制御を受け単一の NOAH-CS とみなしてよい。結局、NOAH-CS 多重層はその動作のすべてにわたって SIMD モードに制御され、複雑な制御機構が不要である。多重層の制御はおもに制御信号やデータの流のスイッチング機構によって行われる。

#### 4.4 NOAH-CS と固定ヘッド磁気ディスク記憶装置 MD との結合

考察を簡単にするため、固定ヘッド磁気ディスク記憶装置 (MD) をドラムのイメージで捉える。ASN の全節点面 WNP を単一のドラムに蓄える。NOAH-CS のセル列に格納すべきデータは1本のトラック上に蓄える。1セル分のデータはトラックのある範囲に割り当てる。別に WNP の行番号を蓄えるトラック群があり、セル・データの位置はそれを参照して識別する。

ドラムは、読書きヘッドの指定を循環的に考えて、その記録面を境界のない閉じた面だと考える。ただし、MD は二つの等容量の領域、蓄積項と特定化項との領域に分割されるから、そのそれぞれに二つの閉じた記録面が対応する。2重に重なったトーラスのイメージをもてば理解しやすい。

ネットワーク・データは WNP の上に途切れるこ

となく拡がっている。連想アドレッシングを実現するには、NOAH-CS に刷り取られる SNP が WNP の上を上下左右自在に移動できなければならない。SNP はトラス WNP の表面をころがる小さな円筒と考えるとよい。小円筒が停止したところで円筒を切り展き、それが WNP を覆うところが SNP である。このような機構を実現するため、NOAH-CS も肢接続によって縫合し境界のないトラスに閉じる必要が生じた。

WNP の上の SNP の位置がきまると MD と NOAH-CS とが接続されデータの転送が行われる。すなわち、接続関係が指定されると、MD から NOAH-CS へ刷込みが、あるいは NOAH-CS から MD へ書込みが行われる。いずれの場合も MD の 1 回転の間に完了する。

## 5. 連想プロセッサ NOAH と 2 次記憶との結合

### 5.1 謄写制御命令

NOAH-CS はネットワーク・データをその図的表現のままにセル・システムへアレンジし格納する。NOAH-CS のこのようなデータ格納法に支障をきたさないように考えられた、2 次記憶とのデータ転送方式を謄写方式と呼んでいる。2 次記憶については具体的な装置を考えず、その記録面をドラムのイメージで取り扱う。WNP の ASN データはどの方向にも切れ目なく続くから、ドラムの記録面をトラス状の切れ目のないものと考えた。また WNP 上での SNP の自在な移動を実現するために、NOAH-CS も肢接続によって縫い合せトラス状の記録面を形成した。しかし、NOAH-CS に格納された SNP には境界があるのはいうまでもない。またその境界線は浮動的で、定まったセルに固定されているわけではない。

NOAH-CS と MD とが ASN データをやりとりする場合、WNP の上のどの位置のものかを決めるには次の手順に従う。トラスは二つの切断方法によって 2 通りの円筒ができる。まず一つの種類の切断によってできた節点円筒 WNP の表面を同じ種類の切断によってできた NOAH-CS の節点円筒が接しながらころがる。NOAH-CS 円筒がある地点で停まるとさらにもう一つの種類の切断による節点円筒によって同様のことが行われる。2 度目に停まったところで NOAH-CS 円筒を切り展き WNP の表面に展開する。そのとき重なった部分が SNP である。以上の考

察からわかるように、NOAH-CS と MD との間のデータ転送を制御するには次の四つの命令があれば十分である。

#### 1) roll absolute $u, v$

この命令は WNP の上での NOAH-CS 円筒の位置を決める。位置決めは節点列の絶対番号  $u$  と節点行の絶対番号  $v$  とを使って行う。

#### 2) roll $u, v$

この命令も NOAH-CS 円筒の位置を決める。ただしこの場合の位置決めは現在地点からの移動距離を指定して相対的に行う。 $u$  や  $v$  は正負の値をとり、 $u$  は右方へ、 $v$  は上方へ、いくつのセル・データ・バンドをころがり移動するかを指定する。

#### 3) memorize

この命令は SNP と WNP との現在指定されている位置関係で、NOAH-CS のデータを MD へ書き込む。命令実行後も NOAH-CS のデータは変化しない。

#### 4) recall

この命令は SNP と WNP との現在指定されている位置関係で、MD の内容を NOAH-CS へ刷り込む。この命令に先行する roll 命令によるころがり移動の効果によって、NOAH-CS は、移動した方向に新しく刷り込まれた部分があり、逆方向にはそれと等量の古い部分が消え去っている。結果的には SNP が WNP の上を ( $u, v$ ) だけ移動したことになる。NOAH-CS をセルの  $p \times p$  正方行列とすると、 $u < p$  かつ  $v < p$  ならば SNP は部分的に刷り換えられるが、 $u \geq p$  あるいは  $v \geq p$  ならば SNP は完全に刷り換えられる。

## 5.2 謄写機構

### 5.2.1 節点面の縫合

MD に格納された全節点面 WNP とセル・システムに刷り込まれる節点面 SNP との関係を図 4 に示す。

WNP はトラス状の境界のない閉じた面とみなされるが、NOAH-CS のセル・マトリックスも肢接続によってトラス状に縫合される。そのトラスの 1 回だけの切断によって、図 5 の (a) や (b) に示すようなころがり円筒ができる。図 6 に示すようにころがり円筒が WNP の円筒の表面を接しながらころがるイメージを用い、WNP の上を SNP が上下左右自在に移動できる機構を構成する。ただしセル・マトリックスがトラス状に縫合されてもそこに格納される



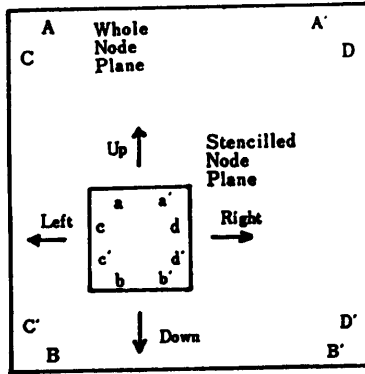


図4 WNP と SNP との関係

Fig. 4 This figure explains the relation between the whole node plane (WNP) of the activated-semantic-network and the node plane stencilled from it to the NOAH cellular system (SNP).

SNP には境界がある。その境界の所在はつねに識別されていなければならない。SNP の境界線は各セルがもっている境界表示用のフラッグ  $BI(i)(i=0, 1, 2, 3)$  で示される。SNP の移動にしたがってその境界線もセル・マトリックス上を移動する。

5.2.2 ころがり移動の制御カウンタ

図5の(a)(b)に示した二つのころがり円筒は NOAH-CS トーラスの2通りの切断によって作られた。この二つのころがり円筒は、謄写制御のとき順を追って実行される WNP の列指定と行指定に対応している。SNP を左右へ移動するとき左右ころがり円筒をころがす。上下方向へ移動するときは上下ころがり円筒をころがす。これらの操作は roll 命令によって実行される。

NOAH-CS は  $p$  行  $p$  列のセル・マトリックスである。そのセル行やセル列には識別番号、

$$0, 1, 2, \dots, p-1$$

がつけられている。NOAH-CS のセルは  $p$  行  $p$  列しかないが、MD に格納されている全節点面 WNP は  $p \times q$  行  $p \times q$  列ある。WNP の節点行や節点列も0からはじまる識別番号をもっている。次のような二つの2段構成のアップ・ダウン・カウンタを使って WNP の節点行や節点列を指定する。

- 1) 行指定カウンタ RIC
  - 1 段目 RP ( $p$  進カウンタ)
  - 2 段目 RQ ( $q$  進カウンタ)
- 2) 列指定カウンタ CIC
  - 1 段目 CP ( $p$  進カウンタ)
  - 2 段目 CQ ( $q$  進カウンタ)

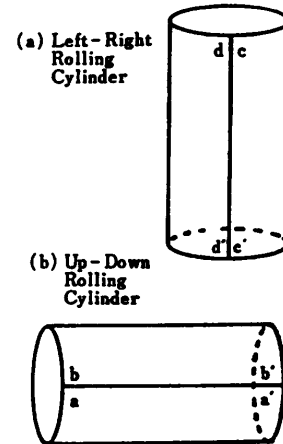


図5 2種類のころがり円筒

Fig. 5 Two kinds of cutting of the torus of the NOAH cellular system make two kinds of the cylinders. These cylinders roll on the WNP to decide the position of the SNP.

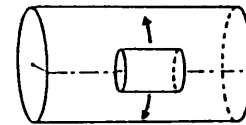


図6 WNP 上における SNP のころがり移動のイメージ

Fig. 6 Image of rolling movement of the SNP on the WNP.

すなわち、行指定カウンタ RIC や列指定カウンタ CIC は一つのカウンタとして、WNP のそれぞれ一つの行や列を指定する。そして同時に、それらの1段目の  $p$  進カウンタが NOAH-CS のセル行やセル列を指定しているのである。

5.2.3 謄写機構のデータ転送路

1) セル・データ・レジスタの接続

刷込みや書込みが行われるとき1セル分のデータを単位にしてデータ転送が行われる。セル・データは MD の1トラックの上のあるバンドに蓄えられるから、データ転送のときセル・データを全部直列のビット系列にしなければならない。セル・データには、節点や弧のラベルや NOAH セルの各種制御情報(フラッグ)が含まれる。データ転送に際しこれらを一つのシフト・レジスタに接続しなければならない。

2) 謄写機構のデータ・バス

図7に示すように、謄写機構のデータ線は各セル列に2本ずつ全部で  $2p$  本である。  $x_i$  は刷込み線、  $y_i$  は書込み線である。セル列データ・バスと各セルとの

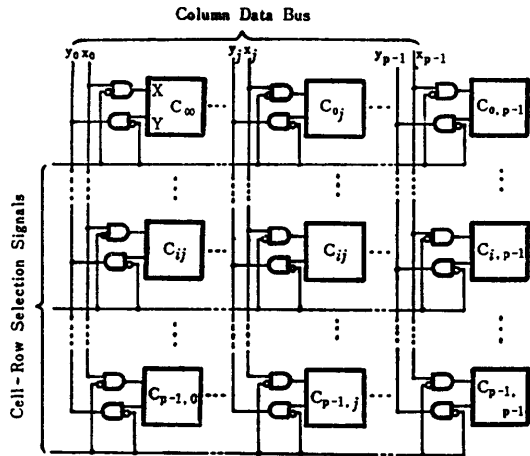


図 7 謄写機構のデータ・バス  
Fig. 7 The data-bus between the NOAH cellular system and the magnetic disk memory consists of two lines in each cell-column and so  $2p$  lines in all.

間にはセル行を選択するためのゲートが挿入されている。ここへセル行指定信号(cell-row selection signals)がくる。

3) 刷込み・書込みヘッドの選択

WNP の節点列はドラムのトラックに、したがって刷込み・書込みヘッドの一つ一つに対応する。図 8 にヘッドの識別記号を示す。ここで、 $j$  や  $k$  は列指定カウンタ CIC の 1 段目  $CP(j)$  や 2 段目  $CQ(k)$  によって与えられる。

5.3 謄写制御命令の実行

謄写制御命令の実行は図 2 の刷込み制御部 (stencil control unit) の役割である。全体の制御の流れは次のようになる。まず roll absolute 命令や roll 命令によって、導通にすべきヘッド群  $\{H_{jk}\}$  を選択し、それらと NOAH-CS のデータ線  $\{x_j, y_j\}$  との接続をはたし、最後に行指定の準備をしておく。次に memorize 命令や recall 命令によって、書込みや刷込みのモードに設定し、そのあとドラムの回転のタイミングに合わせて 1 行ずつ行指定を行いながらすぐ書込みや刷込みを実行しドラムの 1 回転のうちにすべてのセル行のデータ転送を終了する。列指定カウンタ CIC の  $CP(j)$  と  $CQ(k)$  によって導通にすべきヘッド群  $\{H_{jk}\}$  を指定し、 $CP(j)$  によってセル・データ線との接続関係を決める。行指定の場合も行指定カウンタ RIC を使って同様に行うのであるが、ドラムの回転のタイミングに合わせて実行するところが違う。

図 7 のセル行指定信号はデマルチプレクサを使って

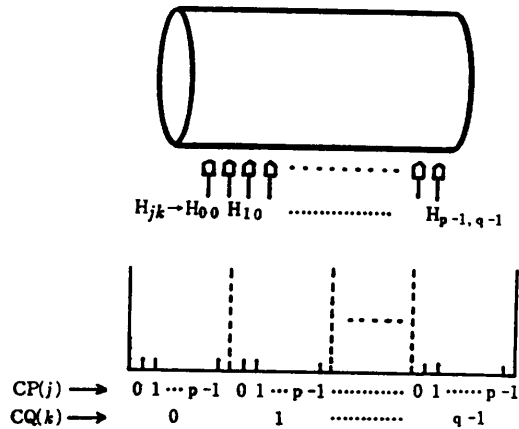


図 8 刷込み・書込みヘッドの識別記号  
Fig. 8 The identification-symbols of the stenciling and writing heads are shown. The suffix-numbers of these symbols correspond to the content of the column-indication-counter.

つくりだす。すなわち、ドラムに節点行の識別番号を記録するトラック群をもうけ、ドラムの回転中にそのトラック群の内容とカウンタ RIC 全体 (すなわち RP と RQ) の内容とを比較し、両者が一致したとき、デマルチプレクサをエネーブルにし 1 段目カウンタ  $RP(i)$  に表示されている番号によってその出力端子を選択する。これがセル行指定信号である。MD に別のトラックを設けセル・データ・バンドごとにタイミング・パルスを取り出せるようにしておけば、このパルスで RIC を次々にインCREMENT (+1) していくことにより、ドラムの 1 回転の間にすべてのセル行の刷込み・書込みが完了する。

5.4 自動謄写割込み制御

NOAH-CS は物理的に縫合され閉じた面を形成しているが、そこに格納されているネットワーク・データ SNP には境界がある。文脈アクセスを実行中にその不連続な境界を越えることは許されない。越えるおそれが生じたとき、必要な方向へネットワーク・データを刷り換える手続きへ割込み制御を行う。

境界セルは、セル回路の境界表示用フラッグをセット状態にして表示する。境界表示用フラッグは四つの境界線 ( $a-a'$ ,  $b-b'$ ,  $c-c'$ ,  $d-d'$ ) に対応して四つある (図 4)。それらを  $BI(i)$  ( $i=0, 1, 2, 3$ ) と表す。 $BI(i)$  の設定は、roll 命令の操作として、制御カウンタ RIC や CIC に新しく設定された内容にしたがって実行される。

割込み要求は刷換え要求信号によって行う。境界セ

ルに励起状態が及んだことを検出して刷換え要求信号を出す。すなわち、その境界セルが励起状態であることを示すフラッグ ESF と境界表示用フラッグ BI( $i$ ) の出力を AND ゲートで結び刷換え要求信号をつくり出す。このようにセルから割込み信号を発生させれば、文脈アクセスのプログラムに関係なく、刷換への割込み制御を自動化できる。刷換え要求信号は  $i=0, 1, 2, 3$  のそれぞれに応じて4種類ある。また、そのそれぞれに対して別々の刷換えルーチン・プログラムが用意されている。

## 6. む す び

本稿は、想起や再認や推論に関する記憶のモデルとして筆者らが提案している活性化意味ネットワーク (ASN) ・モデルの概要を述べ、またその ASN モデルが原理的にそなえている並列処理能力を実現するために特殊なハードウェア・システムの設計を試みたものである。昨今、従来の計算するコンピュータから考えるコンピュータへの飛躍を目ざして新世代コンピュータの開発研究がさかんになった。概念ネットワークの

メモリ・システムに関する本稿の提案は、その動向に呼応して時宜を得たものと考えらる。

## 参 考 文 献

- 1) 嶋津, 田町: 概念記憶の意味ネットワークモデル, 九州大学大学院総合理工学研究科報告, Vol. 3, No. 2, pp. 95-107 (1981).
- 2) 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. 23, No. 1, pp. 50-57 (1982).
- 3) 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, Vol. 23, No. 3, pp. 226-234 (1982).
- 4) 嶋津好生: 概念記憶システムの研究, 九州大学出版会, 福岡 (1982).
- 5) 嶋津, 田町: 記憶の活性化とその手法 一連想プロセッサ NOAH の設計一, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 1, pp. 53-64 (1985).
- 6) Schank, R.C.: *Conceptual Information Processing*, North-Holland, Amsterdam-Oxford (1975).

(昭和 59 年 1 月 9 日受付)

(昭和 59 年 7 月 19 日採録)