

人間の知識処理に対する考察 (その3)

～知能表現モデルの構成～

藤 井 和 之

清水建設株式会社

[1]において、人間の知識処理の内、思考時の情報の流れに着目した分析を行った。そして、知能表現モデルの核の部分の概念と基本構成を述べた。本論文では、この核の部分を構成する4つのモジュール、すなわち状況の変化を受取り対応する知識群に送る表層記憶部、推論・記憶を行う作業領域である中層記憶部、想起・記憶を司る深層記憶部、選択された知識を実行する行う知識処理部、のより詳細な機能の仮定を処理面を中心に行う。

New concept for the Human Intelligence (III)
～Component of New Concept～

Kazuyuki Fjii

SIMIZU CORPORATION

The data flow when human is thinking, which is a part of human intelligence, was analyzed[1]. Furthermore the outline and basic component of new concept for human intelligence was proposed.

In this paper, fore modules which compose new concept, that are, the Surface Memory which receive the change of situation and send the situation to proper knowledges, the Middle Memory which is work area for inference and memory, the Depth Memory which conduct memory and reminding, The Knowledge Processor which execute selected knowledge, will be proposed.

1. はじめに

現在提案されているAIのモデル（フレーム、プロダクションシステムなど）は、予め知識が与えられていることが前提となっている。また、これらは主に推論に重点を置いて考えられており、知識を獲得する仕組み（記憶）や、多くの知識の中から推論に必要なサブセットを取り出す仕組み（想起）は、含まれていない。このため、これらのモデルを利用したシステムは、能動的に自らの能力を高めて行くという、知的なシステムであれば当然備えているべき機能を満足することが困難である。また処理速度においても、知識の選択をシンボリックなパターンマッチングによって行っていることも原因の一つであろうが、人間やその他の生物がなんらかの解決を行っていると考えられるフレーム問題を解決できない。このような問題を解決するためには、推論・想起・記憶が密接に関係した、新しいモデルを考案することが近道であると考えている。

[1]において、人間の意識下における思考の流れの簡単な分析を行い、推論・想起・記憶の処理を行うために必要な仕組みを仮定した。この仕組みは筆者が提案している知能表現モデルの核になる部分である。

本論文では、まず知能表現モデルの構成と各々のモジュールの概要をおさらいする。次に各々のモジュールのより詳細な仮定を述べることにする。なお、本論文で使用している『フィルター』『サブフィルター』などの用語については[1][2]を参照していただきたい。

2. 知能表現モデルの概要

図1に知能表現モデルの基本構成図を示す。これは意識下における人間の思考の道筋、及び一部無意識の処理を仮定したものである。これらは4つのモジュールから構成される。以下これらの概要を記述する。ただし、ここでいう状況とは五感に対する入力である。また、ある特定の問題に対する変化後の状況を時間Tの状況として議論を進める。

①表層記憶部

なんらかの状況の変化があり、それに対応した処理を行うまでを1サイクルとすると、表層記憶部は1サイクルごとに書き替えられる記憶域と考えることができる。表層記憶部は人間の身体の各感覚器官に接続されている制御機構と現在処理している問題に対応した状況の変化を受けとる受け皿からなる。この受け皿にはしきいがあり、ある一定以下の印象を持った状況は保持される。また、この受け皿には時間Tの状況以外に、状況の変化を引き起こした処理、その処理の結果予測、その処理を選択した原因となった時間T-1の状況などが保持されており、これらは1サイクルの終了時点で中層記憶部に送られる。

②中層記憶部

中層記憶部は想起された複数の知識群が保持される作業領域である。これらの知識群はサブフィルターと記憶域のセットからなる。ここでは、表層記憶部から受けとった情報を用いてサブフィルターの変更と記憶域への保存を行った後、時

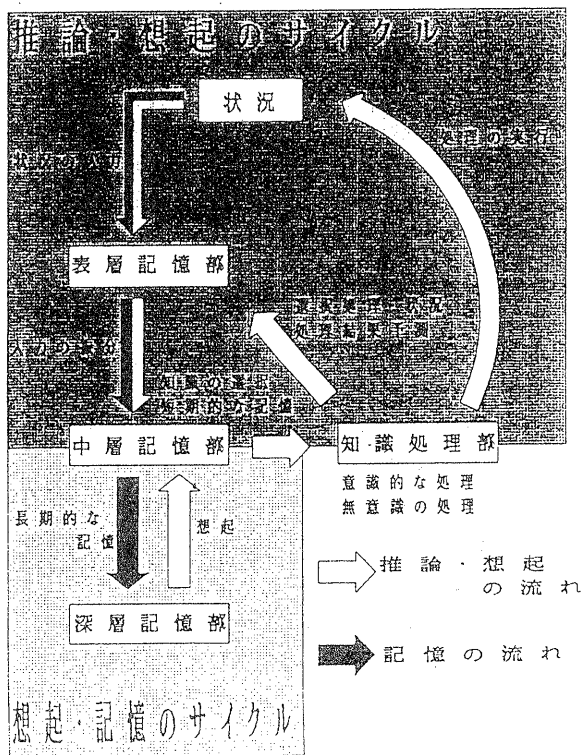


図1 知能表現モデルの概要

間Tの状況に対する知識をサブフィルターを通して検索する。検索結果は知識処理部へ送られる。もし、知識が検索できない場合は、深層記憶に対してフィルターの検索を要請する。中層記憶部の知識群はなんらかのタイミングで深層記憶部に戻される。

③知識処理部

知識処理部は1つの汎用の処理構造と、複数の専用の処理構造からなる。汎用の処理構造は意識下の処理に用いられる。この処理構造は待ち行列を持っており不特定多数の知識群から知識処理の依頼を受け付ける。受け付けた知識が例えばある問題に集中するという知識であったならば、汎用の処理構造は表層記憶部のその問題以外の受け皿に対してしきいを高くするように、またその問題に対する状況の印象を高くするように命令を出す。これは場合によっては専用の処理構造の受け皿にも影響をおよぼすこともある。

一方専用の処理構造はある特定の知識群からの処理要請のみを受け付ける。表層記憶部に専用の受け皿を持っているため、汎用の処理構造が処理中であっても通常は平行して処理を行うことができる。

両者とも、時間Tにおける状況に対する処理、及びその処理に対する結果予測を表層記憶部の対応する受け皿に書き込んだ後、実際に処理を実行する。

④深層記憶部

深層記憶部は高度で柔軟なインデックスであるフィルターと実際に知識の蓄えられている記憶域とから構成される。深層記憶部は中層記憶部から検索の要請と時間Tの状況を受けとりフィルターを検索する。そしてこの時に活性化した検索枝(サブフィルターとなる)と検索結果を中層記憶部に送る。また、中層記憶部から知識群が戻される時に、サブフィルターを整理してフィルターに組み込み、記憶域に知識を保存する。深層記憶部の記憶域に保存された知識は消去される事はないが、フィルターの検索枝は使用されないと時間と共に細くなってゆくため、検索されにくくなるという特性を持つ。

知能表現モデルは2つの処理サイクルを持っている。一つは表層記憶部、中層記憶部、知識処理部のサイクルである。このサイクルは知識処理の中で表面的に見える機能である。従ってこれまでの知識表現モデルでもこの部分はある程度考慮されている。例えばプロダクションシステム(以下PSと略す)の認識-実行サイクルに対応させると、表層記憶部がワーキングメモリー(以下WMと略す)に相当し、中層記憶部と知識処理部が推論機構に相当する。また、中層記憶部に想起される中層記憶は意味ネットワーク的な繋がりを持つことが予想される[1]。ただし、これらはあくまでも役割的なものだけであり、機能的には大きく異なる。もう一つのサイクルは中層記憶部と深層記憶部の間のサイクルである。このサイクルは前述のサイクルよりもレンジがかなり長い。処理は、中層記憶部からの検索依頼に対して深層記憶部が検索を行い、検索結果とサブフィルターを中層記憶部へ送ることと、中層記憶部からサブフィルターと記憶域を深層記憶部へ送り、深層記憶部のフィルターと記憶域を更新することである。このサイクルは表面的には見えにくく、これまでの知識表現モデルでは考慮されていなかった部分と言える。

3. モジュールの詳細

ここでは処理面を中心に各モジュールのより詳細な仮定を行う。

3. 1. 表層記憶部

表層記憶部は前述したようにPSで例えればWMに対応するモジュールである。ただし、PSのWMは推論のために設けられた単なるデータの作業領域でしかないが、表層記憶部は知識を蓄えるための仕組みや、入力を制御するための仕組み、などを持った実行モジュールであり、機能としては根本的に異なっている。

2章で簡単に説明したように、表層記憶部は制御機構と受け皿とから構成される。制御機構は、受けとった状況に対応する受け皿に送る機能を持っている。また、受け皿は想起

されている知識群の数だけ用意されており、1サイクルごとに変化する情報が蓄えられる。では、図2に添って表層記憶部の説明を行う。ここでは、ある特定の受け皿・知識群に対する変化後の状況を2章と同様に時間Tにおける状況として説明を行う。

表層記憶部はまず時間Tにおける状況を制御機構で受取る。この制御機構は人間の感覚器官の数だけ用意され、それらに接続されている。そして、各感覚器官に対応する知識群の受け皿がこの制御機構に割り付けられる。ただし、この場合状況全てをそっくり受取るのではなく、視覚・聴覚などの入力機関によって余分な情報の切り捨て（処理方法などについては現在のところ不明である）を行って、エッセンスのみを受取ると思われる。

さて、時間Tにおける状況のエッセンスを受取った制御機構は、自分に割り付けられている全ての受け皿に送る。制御機構はまた、ある問題で特定の処理が選択された場合は、その問題以外の受け皿のしきいを高くするように制御を行う。このしきいは、集中力の表現であり、時間の経過と共に低くなり元の高さに戻る。

時間Tにおける状況のエッセンスを受けとった受け皿は、最初に時間Tにおける状況の印象の強さを決定する。この処理は制御機構に割り付けられている受け皿全てで並列に行われる。ここで、思考系の印象の強さは時間Tにおける状況と時間T-1において実行された処理の結果予測とを比較することで決定される。ところで印象には善し悪しがあるが現在のところ思考系の場合についてはどのように決定するかは不明である。おそらく精神的に心地好いと感ずるか否かによって決定されると考えられる。

一方、神経系に接続された制御機構の場合は入力強さによって印象を（善し悪しを含めて）決定できる。つまり、ある程度の強さまでは心地好く（良い印象）としてとられ、強すぎる入力は苦痛（悪い印象）としてとられることが考えられる。

受け皿にはしきいがあり、印象の強さがこのしきいを越えた場合のみ、受け皿の情報が印象と共に中層記憶部へ送られる。専用の処理構造によって使用される受け皿の場合しきいが汎用のものより低く設定されている。受け皿にはこの他に、時間T-1における状況のエッセンス、時間T-1の実行処理、時間T-1の結果予測が保管されている。これらは、前サイクルに知識処理部から書き込まれる。また、時間T-1の結果予測は印象の決定にも使用される。

中層記憶部へ情報を送った後、時間T-1の実行処理、時間T-1の結果予測はクリアされる。また、時間T-1における状況のエッセンスの代わりに時間Tにおける状況のエッセンスがセットされ次のサイクルに備えられる。表層記憶部から送られた情報により、中層記憶部の内容が変更され、最終的には深層記憶部の内容が変更される。これによって、次に同じ状況で想起される知識群に影響を及ぼすこととなる。

ここで問題となるのは、選択・実行した処理とはまったく関係のない状況の変化が起こった時である。この場合は入力された状況を現在扱っている問題に関するものとして受取る。これが受け皿を通過し注層記憶部に送られた場合、このような状況に対する知識が中層記憶部で検索可能な場合はそのまま処理が続行されるが、検索不可能な場合は新たな知識が想起される。想起と同じタイミングで新しい受け皿が作られる。そして、この新しい状況に対処する事ができる。

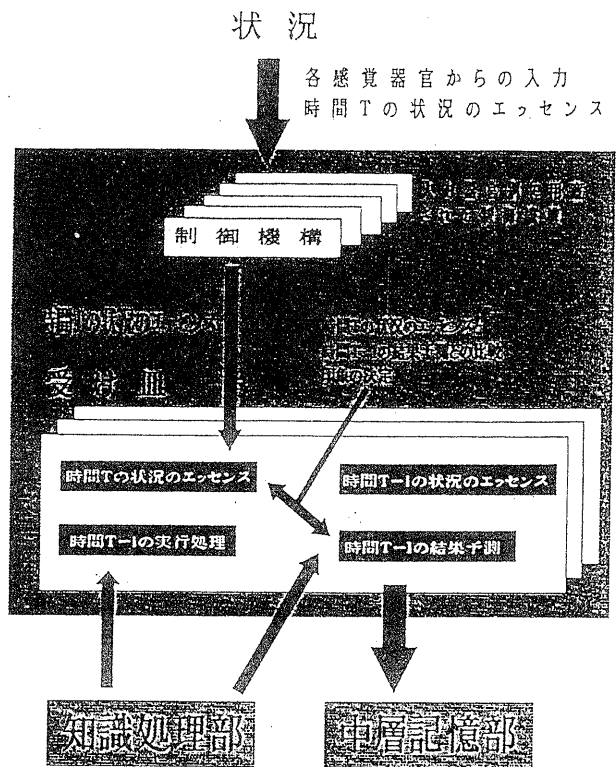


図2 表層記憶部

受け皿は扱っている問題に対する処理が終了した場合、他の問題に意識を集中している間など、問題に対する受け皿を通過するだけの強さを持った状況が一定時間存在しない場合消去されると考えられる。従って、ある問題を処理するためにしきいを高くされた別の問題の受け皿が長時間おいておかれたために自然消滅することもありえる。何かの問題に集中している間に、以前何を行っていたのかを忘れてしまうことがある。このような人間の忘却を説明するのに受け皿の考え方は適していると思われる。受け皿が消去されると同時に想起された知識群も深層記憶に戻される。

3. 2. 中層記憶部

中層記憶部は想起された知識群が保持される作業領域である。状況に対する処理の決定（つまりPSというパターンマッチング）がここで行われる。一つの知識群を中層記憶と呼ぶことにする。各中層記憶は平行に動作する事ができる。各中層記憶は、深層記憶部のフィルターの部分コピーであるサブフィルターと、一時的な知識の保存領域であるサブ記憶域のセットからなる。サブフィルターはフィルターと同じく高度で柔軟なインデックスである。従って想起された時点では中層記憶内に知識本体はなく、深層記憶部の記憶域に存在する知識本体に対するポインターのみが存在している。サブ記憶域は中層記憶が想起された時点では空である。この領域は現在想起されている中層記憶における一時的な記憶領域として使用される。以下図3に添って中層記憶で行われる処理の説明を行う。

表層記憶部から受け皿の情報と印象を受取る中層記憶部はまず対応する中層記憶にデータを保管する。この時、中層記憶は新しい知識をテンポラリーな形で保管する。つまり、サブフィルターの想起された時点で作られた部分を変更しないで、新しい知識のインデックスを付け加えるだけである。具体的には時間T-1の状況のエッセンスがサブフィルターに付加され、そのポインターが新しい知識、つまり状況に対する処理、結果予測、結果（時間Tの状況のエッセンス）を指すようになる。ただし、サブフィルターの検索枝の太さは、印象の強さによって、ここで決められる。また、新しい知識自体も深層記憶部の記憶域ではなく、中層記憶のサブ記憶域に保管される。従って当然新しい知識へのポインターはサブ記憶域を指すこととなる。これによって、中層記憶が存在する間は素早く確実に新しい知識を取り出す事ができる。これにより、人間が、推論を行った直後であれば、細かなことまで良く思い出せる現象が説明できると考えている。

受け皿から渡された情報の保管を行った後に、中層記憶はサブフィルターを用いて時間Tの状況に対応する処理の検索を行う。この検索自体は厳密なものではなく、曖昧なものであると考えられる。なぜなら、数学などで定義される厳密な空間を除いて、細部まで同一の状況が生じる可能性は非常に少ないと考えられるからである。つまり、同じような状況に見えてもなんらかの相違点は存在するものと考えられる。サブフィルターに入力される状況に対して厳密に検索を行うと対応する知識が引き出せない場合が生じる可能性が多くある。従って、フィルターに少しでも引っ掛かってくるものは、使用可能な知識として、知識処理部に送られることになる。また、このような場合に使用される知識は、必ずしも問題解決に結び付くようなものである必要もないのである。例えば、『判りません』と声を出すことも立派な知識

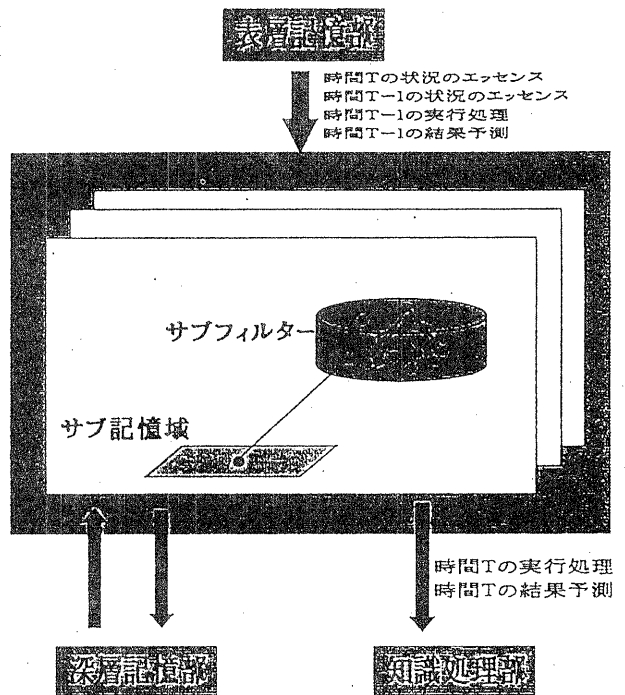


図3 中層記憶部

であると考えられる。結果として、事例ベース推論などで研究されている類推とよく似た処理が行われることになる（現実問題として、人間はなんらかの形で、常に類推を行っていると思われる）。

時間Tの状況のエッセンスの印象が複数の受け皿のしきいを越える可能性があるため、知識の検索は複数の中層記憶で行われることが考えられる。しかし、複数の中層記憶で、このように曖昧な検索を行ったにも関わらず使用可能な知識が得られなかった場合、中層記憶部は深層記憶部へ検索の依頼を行う。深層記憶部では、フィルター本体の検索が行われ、検索結果として使用可能な知識とサブフィルターが返される。これによって、新しい中層記憶が想起されることとなる。また、同時に表層記憶部にも対応する制御機構の下に新しい受け皿が作られる。

中層記憶は表層記憶部の対応する受け皿が消去されるタイミングで深層記憶部に戻される。この時、サブフィルターに加えられたインデックスが整理されフィルターに組み込まれる。同時にサブ記憶域の知識が記憶域に組み込まれる。

3. 3. 知識処理部

知識処理部は中層記憶部により選択された処理、及びその処理の結果予測を受取り、実際に処理を実行するモジュールである。このモジュールは複数の処理機構から構成される。そして、その中の1つが汎用の処理機構として解放されており、残りが専用の処理機構として特定の中層記憶と結び付いている。一般に特定の処理を除いて、人間は一度に複数の処理を行うのは苦手である。これは人間が意識下における処理機構を一つしか持っていないからではないか、という仮定を[1]で行った。汎用の処理機構はこの考え方に添ったものである。一方、人間は一つの処理に熟練する（例えば歩く、つかむなどから、歯を磨くや専門家の行うルーチンワークなど）と、その処理を行いながら別の処理を平行して行うことができる。つまり、同じ処理が何度も繰り返され、特定の中層記憶がある一定期間以上中層記憶部に存在している場合に作られると思われる。汎用の処理機構と専用の処理機構は並列動作が可能であると考えられるが、平行して処理が行われた場合どのようにして状況の変化を判別して受取るか、無意識の処理を意識的に行う場合の処理方法など、まだまだ考察の余地が多く存在している。では、図4に従って知識処理部での処理の流れを説明する。

知識処理部は、複数の中層記憶で検索された、ある問題の時間Tにおける状況に対応する処理、及びその処理を行った場合の結果予測を受取る。この時、これらの情報を受け渡した中層記憶が専用の処理機構に対応している場合は直接専用の処理機構へと送られる。対応付けがされていない中層記憶の情報は汎用の処理機構の処理待ち行列に入れられる。従って、汎用の処理機構は情報の入力された順に処理を行うこととなる。

専用の処理機構の考え方を利用して、人間の直感について次のような仮定が行える。人間の無意識の処理の一つとして癖が上げられる。ここでいう癖は例えば貧乏揺すりのような一般にいわゆる癖のほかに、いわゆる思考方法の癖も含んでいる。この癖は同じ動作、同じ思考方法を何度も何度も繰り返して来たことによって、専用の処理機構が作られたものと考えられる。さて、専用の処理機構を割り当てられ

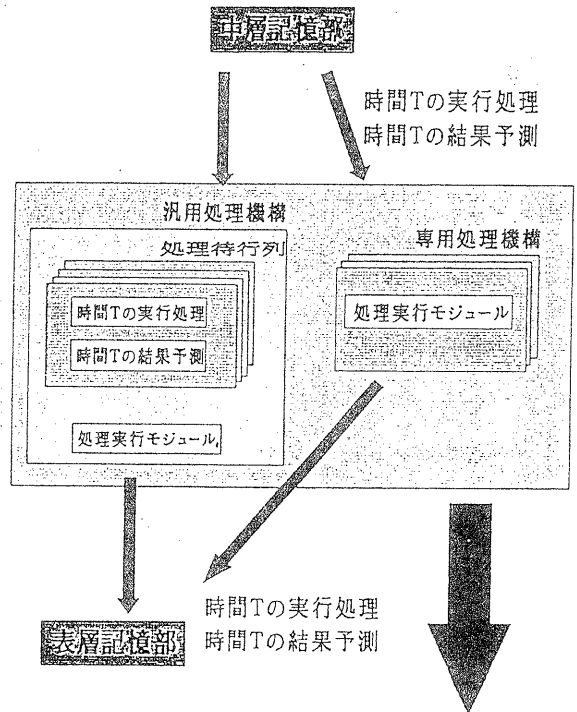


図4 知識処理部 処理実行

た処理は、待ち行列がないため、汎用の処理機構で処理される意識下の処理よりもかなり高速に推論が行われるものと思われる。また意識下の処理と平行して無意識の内に行われる。このため、あたかも突然考えが沸き出してきたように思える。これが直感ではないだろうか？ これは興味深いテーマであるため、今後も分析を行う予定である。

さて、汎用・専用に関わらず、中層記憶から受取った情報は処理実行モジュールで処理される。処理実行モジュールはまずこれらの情報を対応する表層記憶部の受け皿に書き込む。表層記憶部に対する処理が終了したら、実行モジュールは実際に処理を実行する。基本的に、思考に関する処理以外は、体を動かしたりする外部のモジュールに対して処理を要請する。この際、ある特定の処理が指定された場合、例えば『この問題に集中する』などが指定された場合、表層記憶部に対してその問題以外の受け皿のしきいを高くするように処理を行う。表層記憶部で説明したように、このしきいの高さは時間と共に低くなり元の高さに戻って行く。受け皿のしきいが高い間は、その問題以外の情報は流れにくくなる。これが、人間が物事に集中して取り組む場合のメカニズムではないかと考えている。

3. 4. 深層記憶部

記憶に関する機能は人間の知識処理を表面的にに観察しただけでは見えにくく、これまでの知識表現モデルには組み込まれていなかった部分である。ここまでに記憶の機能を説明するために、推論と同時に記憶を行う仕組みとして、表層記憶部、中層記憶部、知識処理部のサイクルについて議論してきた。ところで、2章でも説明したように知能表現モデルにはもう一つのサイクルが存在する。中層記憶部と深層記憶部のサイクルである。便宜上、前者のサイクルを推論-記憶サイクル、後者のサイクルを想起-記憶サイクルと呼ぶことにする。さて、推論-記憶サイクルで行われる記憶の処理において、新しい知識は中層記憶部に蓄えられるが、あくまで一時的なものである。一方、想起-記憶サイクルは中層記憶部を想起し、また深層記憶部に戻す仕組みである。つまり、一時的に蓄えられていた知識を正式に収納する仕組みである。想起-記憶サイクルの速さは推論-記憶サイクルに比べてかなり遅い。このため、中層記憶部を作ってから戻すまでの間に新しい知識が多く蓄えられている。また、推論-記憶サイクルに影響を与えず別サイクルで、これらの知識を一括に処理する。

想起・記憶を行うモジュールである深層記憶部は高度で柔軟なインデックスであるフィルターと実際に知識の蓄えられている記憶域とから構成される。つまり、構成としては中層記憶部の中層記憶と同じである。以下図5に添って説明を行う。

さて、想起に関しては中層記憶部の処理でも説明したため多少重複するが、以下処理手順を述べる。中層記憶部内の中層記憶のサブフィルターを用いて使用可能な処理が見つからなかった場合、中層記憶部は深層記憶部に対して検索の依頼を行う。この時、深層記憶部に対して時間Tにおける状況のエッセンスが渡される。深層記憶部ではこの時間Tにおける状況のエッセンスに対応する処理の検索をフィルターを通して行う。そして、この時活性化した検索枝（新たなサブフィルターとなる）と検索の結果発見した使用可能な処理を中層記憶部へ返す。この時実際に記憶域に蓄えられている知識群はコピーされない。想起されたサブフィルターはフィルターと同様に深層記憶部の記憶域に保存されている知識へのポインターを持っているだけである。

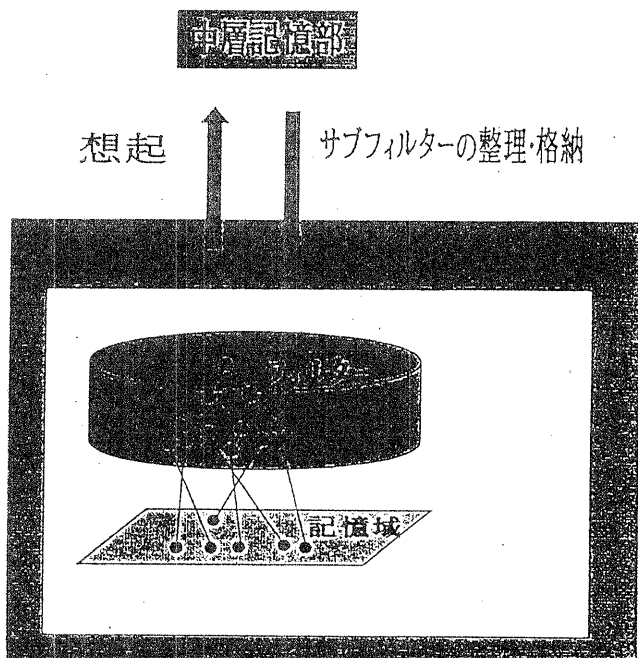


図5 深層記憶部

中層記憶は対応する表層記憶部の受け皿が消去されるのと同じタイミングで深層記憶部に戻される。これが記憶の処理になる。中層記憶のサブ記憶域には推論を行った結果として新しい知識が蓄えられている。そして、サブフィルターにはこの知識に対する直接的なインデックスが割り振られている。これは、言い換えれば中層記憶の変化した部分である。変化していない部分、つまり想起されたときに作られたサブフィルターは、オリジナルが深層記憶部に存在しているため必要ない。中層記憶を深層記憶部に戻す場合、この変化した部分のみが戻される。この時、サブフィルターに仮付けされていたインデックスが整理されフィルターに組み込まれる。また、サブ記憶域に保管されていた知識が記憶域に保管される。そして、フィルターのポインターは深層記憶部の記憶域内の知識を指すように変更される。これによって、次に似た状況が生じた場合に想起される知識群は、新しい知識を含んだ形で行われることとなる。

4. おわりに

本論文では、人間の思考の道筋を説明する道具である知能表現モデルのより詳細な仮定を行った。このモデルの要はフィルターの考え方であるが、現在のところフィルターがどのような構造になっているか、不明のままである。しかし、フィルターを抜きにしても知能表現モデルの考え方は充分有意義なものであると考えられる。なぜならこれまでの知識表現モデルは、いかにして知識を表現するかという点から出発したものが多かった。このため、そこから派生した知識を扱う研究、各種の推論研究、学習研究などは必然的に知識表現に縛られる結果となっている。これに対して、知能表現モデルはいかにして知識を扱うか、言い換えれば、情報の流れに重点をおいており、AIの研究としては新しい試みである。

また知能表現モデルのために、本論文と[1]においてフィルター以外にも学習、忘却などについて幾つかの仮定を行っている。これらの仮定の基になった考え方については、紙面の都合などの理由から、多くを割愛している。これらについての詳細は、次回以降の論文において議論して行く予定である。

現在までに行われてきたAIの研究は、人間のポジティブな面のみをコンピューターに模倣させようと試みてきたものである。これは機械に対して信頼性を求めるという観点から考えると無理のないことである。しかし、現在のところ解明されていない、創造や発見の仕組みやフレーム問題の疑似解決の仕組みなどはこれまでにAIの研究の対象になっていなかった部分、つまり人間の持つネガティブな能力（例えば忘却など）に答えが隠されているのではないかと筆者は考えている。また、これらを分析することでよりフィルターの機能がより明確になってくるとも考えている。従って、しばらくはフィルターの存在を仮定したままで、人間の知識処理についての分析を行い、知能表現モデルの完成度を高めることにしたい。

[謝 辞]

この論文を執筆するに当たって、日頃から様々な意見をいただき、エム・シー・ソフトウェア(株)の飯田氏、(株)太陽神戸三井銀行の谷守氏、(株)大和総研の千葉氏、(株)コンピュータアプリケーションズの平賀氏、川鉄システム開発(株)の山本氏に感謝します。また、執務中にこの論文をまとめる時間を与えていただいた、清水建設(株)総合企画室情報システム部、峰政担当、西澤部長、横田グループ長に感謝いたします。

[参考文献]

1. 藤井：「人間の知識処理に対する考察(その2)～知能表現モデルの概要～」情報処理学会、人工知能研究会、NO. 91-AI-79(1991)
2. 藤井：他：「人間の知識処理に対する考察」、情報処理学会、人工知能研究会、NO. 90-AI-73(1990)
3. M. ミンスキー著、安西祐一郎訳：『心の社会』、産業図書
4. R. シャンク著、黒川利明・黒川容子共訳：『ダイナミックメモリ』、近代科学社
5. R. L. クラッキー著、箱田裕司・中瀬幸夫共訳：『記憶のしくみI、II』、サイエンス社