

TR-127

知識アーキテクチャ研究報告

— 機能仕様を中心として —

近藤浩康 (日本電気)

July, 1985

©1985, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191 ~ 5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

知識アーキテクチャ研究報告

—— 機能仕様を中心として ——

日本電気C&Cシステム研究所
コンピュータシステム研究部

近 藤 浩 康

本研究は、著者が、（財）新世代コンピュータ技術開発機構（I C O T）出向中に行なわれたものである。

目 次

I WHY 知識アーキテクチャ ?

1. 動 機
2. 目 的
3. アプローチ

II 1手1手の寄せ

1. 1手1手の寄せ、とは
2. 1手スキのかけ方
3. 1手1手の寄せに関する知識
4. 手の読み方

III 知識アーキテクチャ機能・構成仕様

1. 特 徴
2. 全体構成
3. 場と信号（媒介系）
4. 記憶担体
5. 対象モデル
6. 制御担体

IV 信号系の試作

1. 原 則
2. 局面認知
3. 信号系の試作
4. 例

V 学習について

1. 問題解決と記憶の統合
2. 実時間並列性
3. 淘汰機構
4. 欠けているもの

I WHY 知識アーキテクチャ ？

1. 動 機

「知識」とは何か？

知識情報処理をターゲットに置いた時に最初に浮かぶ疑問である。この疑問は、知識という言葉の定義を求めるものではなく、どのような実体の知識を対象にすべきかを問うものである。

問題解決（例えば、将棋を指すこと）に話を限る。その場合に対象とすべき知識は、教科書に書かれている知識（例えば、銀は前へ進むことができる）ではなく、人間が問題解決をしている時に実際に動作している実体としての知識である。

問題解決時に実際に動作している実体という視点で捉えた知識を整理するには、知識表現と知識利用という枠組は不適切であり、全体システム（＝人間）における位置づけと動作メカニズムという枠組が適当である。

以上のような経緯を経て、「知識」とは何か、に答えることは、人間の情報処理モデルを作りそれとの相対で知識の分類整理をすることである、という結論に達した。

そのモデルを知識アーキテクチャと呼ぶ。

2. 目 的

前述の要請を満たすべく、知識を構成単位とする人間の情報処理モデル——知識アーキテクチャ——を構築する。ただし、知識アーキテクチャは、記憶、問題解決、学習、心理等と整合的なモデルになっていることが必要である。

3. アプローチ

知識アーキテクチャの構築は、特定の分野における人間（＝著者）の問題解決を内省等により分析して、それを一般化するという方法で行なう。

分野としては将棋を指すという問題解決を選び、特に終盤における基本技術である「1手1手の寄せ」に焦点をあてて分析する。

Ⅱ 1手1手の寄せ

知識アーキテクチャの構築上、分析の対象となる、1手1手の寄せについて説明する。
1手1手の寄せは、将棋終盤の基本技術の1つであり、非常に重要なものである。

1. 1手1手の寄せ、とは

将棋の術語を説明する。

- (a) 王手 — 次に玉が取れる状態、又はその状態を作る着手（図Ⅱ-1(a) 王手の例）
- (b) 詰み — どのような着手によっても王手状態を解除できない状態、又は即詰みの略（図Ⅱ-1(b) 詰みの例）
- (c) 即詰み — 玉方がいかなる着手を指したとしても王手の連続で詰ますことができること（図Ⅱ-1(c) 即詰みの例）
- (d) 1手スキ — 玉方がパスしたとすると即詰みにできる状態、又はその状態を作る着手（図Ⅱ-1(d) 1手スキの例）
- (e) N手スキ — 玉方がパスしたとすると(N-1)手スキがかけられる状態、又はその状態を作る着手（図Ⅱ-1(e) 2手スキの例）
- (f) 必死 — 1手スキであり、かつ玉方がどのような着手を指したとしても即詰みになる状態（図Ⅱ-1(f) 必死の例）

	9	8	
王			一
			二
香			三

図Ⅱ-1(a) 王手の例

	7	6	5	
		王		一
		金		二
		歩		三

図Ⅱ-1(b) 詰みの例

	3	2	1	
				一 持駒
		王		二
				三 金
		歩		四 金

	3	2	1	
				一 持駒
		王		二
				三 金
				四 金歩

2三金 → 1一玉 → 1二金打
2一玉 → 2二金打
3一玉 → 3二金打

のように玉方がどのような着手を指しても詰んでしまうことを即詰みがあるという。

図Ⅱ-1(c) 即詰みの例

この局面で 2四歩と打つと図Ⅱ-1(c)と同一局面であり即詰みがある。そのような着手を1手スキと言う。2四歩は1手スキである。

図Ⅱ-1(d) 1手スキの例

	9	8	7	6	
一	▲	▲			持駒
二		王			
三		▲	▲	▲	角銀
四	▲				銀

この局面で 6一角と打つのは1手スキにはなっていないが、さらに 7二銀と打つと1手スキになる。それ故 6一角は 2手スキである。

図Ⅱ－1(e) 2手スキの例

	6	5	4	
一		王		持駒
二				
三	銀		銀	銀

この局面では、玉が逃げて、駒を打っても即詰みがあるので必死になっている。

図Ⅱ－1(f) 必死の例

「1手1手の寄せ」とは、1手スキ(王手も可)の連続で相手玉を寄せていくことで、図Ⅱ－1(g)に示すような着手列をなす。ただし図Ⅱ－1(g)の着手列なら何でもよいということではない。1手スキがかからないような状態に陥る「1手1手の寄せ」は好ましくない、一方、相手がどのような着手を指しても1手スキの連続で最終的には即詰みになる「1手1手の寄せ」は最善でこれは実質上必死である。図Ⅱ－1(h)に良い1手スキのかけ方と悪い1手スキのかけ方の例を、図Ⅱ－1(i)に「1手1手の寄せ」の例を示す。

1手スキ → 相手 → 1手スキ → 相手
(or 王手) 着手 (or 王手) 着手

図Ⅱ－1(g) 「1手1手の寄せ」の着手列

	8	7	6	
一		王		持駒
二				
三		銀		金

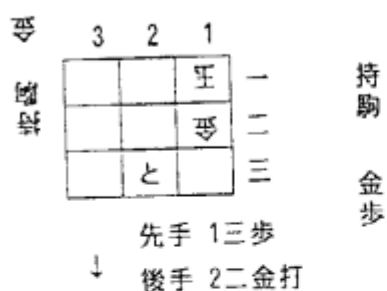
(a) 良い1手スキ

	4	3	2	
一	銀	王		持駒
二				
三				金

(b) 悪い1手スキ

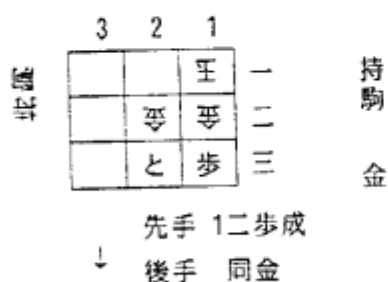
(a),(b)ともに銀を打って1手スキをかけた所である。
(a)は次に 7二金で、(b)は次に 3二金で詰むので1手スキになっているが、(a)は良い1手スキだが(b)は悪い1手スキである。

図Ⅱ－1(h) 1手スキのかけ方



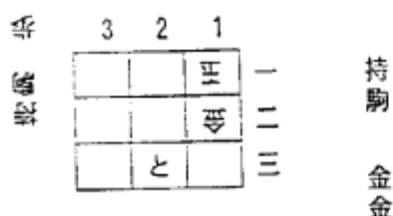
この局面で 1三歩と打つ手は、次に 1二歩成で詰むから **1手スキ** になっている。

1三歩に対して後手が 2二金打と受けたとする。



1二歩成は **王手** である。

後手は同金の 1手である。



この局面で 1三金と打つ手は次に 1二金で詰むから **1手スキ** になっている。

実は、ここでは後手に受けがなく必死になっている。

図Ⅱ-1(i)「1手1手寄せ」の例

2. 1手スキのかけ方

1手スキをかける時に基本となる行為は以下のようなものである。

- まず、1手スキがかかりそうな着手のひらめきがある — ひらめいた着手が1手スキになっているという 100%の保証はないが、1手スキになっている可能性の高い着手をひらめかせる多くの経験的知識が存在する。
- 次に、ひらめいた着手が1手スキになっているか確認する。即ち、着手後の局面において相手玉に即詰みがあるかを読む — これにより、読み落としがない限り、1手スキであるという 100%の保証が得られる。

3. 1手1手の寄せに関する知識

1手1手の寄せという問題解決の遂行に関連する知識の例を挙げる。ただし、知識アーキテクチャの構成要素としての知識という意味ではなく、一般的に言われる知識である。

- (a) 「即詰みがある」局面パターンに関する知識(図Ⅱ-3(a)「即詰みがある」局面パターン) — この知識が適合していれば即詰みを読むという行為を省略することができる。
- (b) 1手スキになりそうな着手に関する知識(図Ⅱ-3(b)1手スキ候補着手) — 1手スキをかける場合には、この知識に適合する着手を優先的に考慮対象とする。
- (c) 相手玉を詰ませにいくための着手に関する知識(図Ⅱ-3(c)詰ませにいく着手) — 詰ませにいくための着手であるから当然王手になっている。即詰みを読む時に、この知識に適合する着手を優先的に読む。一般に、即詰みがある局面には複数種類の詰め方があるが、その内の1つを発見すれば即詰みを読む目的は達成される。それ故、この知識によって読みの手数を激減させることができる。
- (d) 即詰みがあるかどうかを読むという行為に関する知識 — この知識は一見、即詰みを読むアルゴリズムのように思われるが、実際には、読みの順序制御をする知識、詰みをモニタする知識等の複合である。

	9	8	7	
一	馬	銀		持駒
二			金	
三	王	金	金	角
四	金			
五		歩		

7一角→9二玉→8二角成
8二合駒→同角成
のように即詰みがある。

図Ⅱ-3(a)「即詰みがある」
局面パターン

	3	2	1	
一	馬	銀	馬	持駒
二			王	
三	金	金	金	銀

この局面において
2二銀は1手スキの候補で
ある。
実際1手スキになっている。

図Ⅱ-3(b)1手スキ
候補着手

	9	8	7	6	
一	馬	銀		角	持駒
二		王			
三	金	金	金		金銀

この局面において7一銀
は詰ませにいくという
着手(勿論、王手)である。

図Ⅱ-3(c)詰ませに
いく着手

4. 手の読み方

「2. 1手スキのかけ方」で述べたように、1手スキ候補着手は考えて見つけるよりはひらめく場合の方が多く、その候補着手が実際に1手スキになっているか否かを手を読むことによって確認している。

この即詰みがあるかどうかを手を読んで確認する部分がどのようになっているかを説明する。

① 手を読む部分

手を読む場合、ただ単に着手を生成しているだけではなく、一直線王手シーケンスとも呼ぶべき状態の維持を行なっている。一直線王手シーケンスとは、手を読み始めた局面から現時点まで王手の連続でありかつ、玉方の着手（それは王手に対する受けの手である）がずっと一意的（王手を選ける方法が一種類しかない）であることを示す状態である。さらに今までの読みに分岐があるか否かを示すフラグがある。

手を読む部分を手続き的に示すと次のようになる。ただし、SEQ は一直線王手シーケンスを示し、BRA は分岐の有無を示す。

- i) 開始。SEQ:=ON。
- ii) 王手着手生成。
- iii) 玉方着手生成。
 - ・ SEQ=ONで玉方着手が一意的なら、SEQ:=ON。
 - ・ BRA=OFF、SEQ=ONで玉方着手に分岐があれば、BRA:=ON でGO TO i)。
 - ・ BRA=ON、SEQ=ONで玉方着手に分岐がある場合には、手の読み方の心構えが変わるのでこの手続きの外へ出る。
- iv) GO TO ii)

② 詰みをモニタする部分

ある局面が詰みである、あるいは即詰みがある、ということは手を読む部分の手続きとは独立にモニタされている。詰みが発見された時には、次のようなことを行なう。

- (a) BRA=OFF でSEQ=ONならば、即詰みがあることが確認されたことになる。
- (b) BRA=ONでSEQ=ONならば、1つの枝が刈られたことになるので、次の枝を探す。最後の枝か否かによって、BRA:=OFF又はBRA:=ON。GO TO i)。

Ⅲ 知識アーキテクチャ機能・構成仕様

1. 特 徴

知識アーキテクチャは一つのモデルである。そのモデルとしての特筆すべき大域的特徴について、処理の面及び構成の面から述べる。

1.1 実時間並列性

知識アーキテクチャは、人間の知識情報処理活動に基づいて構築されたモデルであるから、人間と同様の知識を持ちそれを同様に動作させるものである。それ故、必然的に、知識アーキテクチャは並列性を持ったモデルとなっている。

しかしながら、この並列性はソフトウェアの世界で通常言われている並列性とは異なったものである。そこで、その点をはっきりさせるために、「実時間並列性」、「自由な並列性」という言葉を定義する。

定義（自由な並列性）

あるモデルMにおいて、並列動作可能な構成要素 P_i ($i=1, \dots, n$) が存在する場合、 P_i と P_j ($j \neq i$) がどのような順序で動作してもかまわないならば、モデルMの並列性は自由な並列性である。

定義（実時間並列性）

あるモデルMにおいて、並列動作可能な構成要素 P_i ($i=1, \dots, n$) が存在する場合、すべての P_i ($i=1, \dots, n$) が同時に動作しなくてはならないならば、モデルMの並列性は実時間並列性である。

いわゆる並列プログラミング言語で記述されるのは自由な並列性である。一方、知識アーキテクチャには、実時間並列性という強い制限が要求されているが、それには次のような長所がある。

- ① 次項で詳しく述べるが、早いもの勝ち処理が可能である。自由な並列性では早いもの勝ち処理は意味を持たない。
- ② 同期処理を省略できる場合がある。並列動作可能な構成要素 P_i ($i=1, \dots, n$) があつた時に、すべての P_i ($i=1, \dots, n$) の動作終了を検出するという同期処理を考える。
 - i) 自由な並列性では、すべての P_i ($i=1, \dots, n$) についてその動作終了を管理することが必要である。

- ii) 実時間並列性では、動作時間最長の構成要素 $P_{\max}$ の動作終了を知ればよく、他の構成要素 P_j ($j \neq \max$) の動作終了は関知しなくてよい。

同期処理を省略できることにより、構成要素の追加をより容易に行なうことが可能になるはずである。

1.2 早いもの勝ち処理

1.2.1 早いもの勝ち処理とは

早いもの勝ち処理とは、文字通り、より早いものが優先的に処理される、あるいは優先的に動作することを意味している。

例えば、 P_i ($i=1, \dots, n$) が並列動作可能な構成要素であり、それぞれが出力 O_i を出すものであったとする。この時、 P_i ($i=1, \dots, n$) の内最初に出力を出したものが P_j であるならばその出力 O_j を採用し、他の構成要素 P_k ($k \neq j$) は動作をアボートしてしまう、というのが一番典型的な早いもの勝ち処理の例である。

1.2.2 早いもの勝ち処理の意味づけ

早いもの勝ち処理は、自由な並列性においてはほとんど意味を持たないが、実時間並列性においては積極的な意味を持たせることができる。

① 自由な並列性においては、各構成要素 P_i の動作順序は自由であるから、どの構成要素の出力が先に出ようとも、それには偶然という意味づけしか与えることができない。

② 実時間並列性においては、構成要素の動作速度を入力条件に応じて可変なものとし、与えられた入力条件に対して、より適切な構成要素の動作速度を速くしておくことにより、早いもの勝ち処理によってより適切な処理をすることが可能という積極的な意味づけを与えることができる。

1.2.3 早いもの勝ち処理の適合性

早いもの勝ち処理は、知識アーキテクチャのように、構成要素 (= 知識) の変化について柔軟性が求められるシステムに対して、次のような貢献をする。

① 学習 (調整タイプ) の組み込み

早いもの勝ち処理の対象となる構成要素 P_i ($i=1, \dots, n$) があったとすると、各 P_i は

入力条件に応じた動作速度関数 V_j （入力条件）をその特性として持っている。この動作速度関数 V_j （入力条件）を、入力条件に応じてより適切なものが速く動作するように変化させる、という調整タイプの学習を組み込むことが可能である。

これによりシステムの効率が上がる。

② 学習（増大タイプ）の容易さ

増大タイプの学習とは、新たな構成要素の追加であるが、これが容易に行なえるためには、既存の構成要素を変更しなくて済むということが重要である。

ある特殊な入力条件の時に優先的に動作してほしい構成要素を追加する場合を例にとって比較する。

i) 早いもの勝ち処理の場合（当然、実時間並列性）には、その特殊な入力条件の時に動作速度が十分に速くなるような構成要素を追加すればよい。その際、既に存在する構成要素に変更を加える必要は全然ない。

ii) 自由な並列性の場合には、既存の構成要素に対して、その特殊な入力条件の時には動作しないように変更を加えなくてはならない。

1.3 構成要素と媒介系

知識アーキテクチャの大域的構造は、構成要素と媒介系という枠組で整理されている。構成要素群の存在に対して、媒介系は構成要素間の伝搬にかかわるものである。

知識アーキテクチャには2種類の媒介系が存在し、それぞれ異なる役目を果たしている。一つは、非結合的な信号の伝搬による媒介、もう一つはネットワーク的な結合による媒介である。

1.4 物理構成要素と機能構成要素

知識アーキテクチャは、人間をモデル化したものとして種々の構成要素から成り立っているが、それらは必ずしも物理的実体との対応でとらえることはできない。

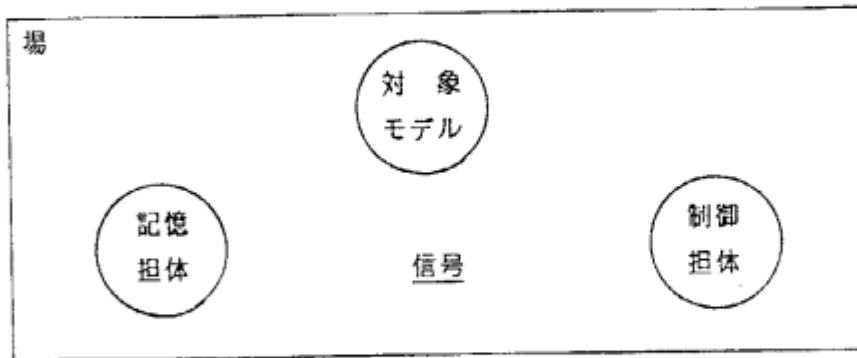
そこで、その点を明確に記述するために、物理的に分離して捉えることが可能と思われる構成要素のことを物理構成要素と呼び、物理的に分離して考えることは適当でないが機能的な単位と認められる構成要素のことを機能構成要素と呼ぶことにする。

2. 全体構成

知識アーキテクチャの全体構成を図Ⅲ-2に示す。「記憶担体」、「制御担体」、「対象モデル」が物理構成要素であり、それらが媒介系をなす「場」の中に存在している。

場、記憶担体、制御担体は問題解決領域に依存しないものであり、対象モデルは問題解決領域（今の場合は将棋）に依存したものである。

以下、構成要素と媒介系について、その主たる機能を述べる。



図Ⅲ-2

2.1 構成要素

① 記憶担体

記憶担体は、いわゆる記憶を担っているものである。場の中の信号群の記憶および場の中の信号群に応じた記憶の再生を行なう。

② 制御担体

制御担体は、知識アーキテクチャにおいて活動の主体となるものである。制御担体には、制御、心理等の多くのものが含まれる。

③ 対象モデル

対象モデルは、一口で言うと「頭の中の将棋盤」であり、次のような側面を持っている。

- i) 対象モデル内に局面（将棋盤面情報）を保持しており、手を読む時にその局面を更新することが可能である。
- ii) 局面に関する信号を場に提供する。

2.2 媒介系

媒介系は構成要素間の活動を関係づけるものであり、全体構成においては、場と信号が媒介系をなしている。

① 場

場は、記憶担体、制御担体、対象モデルが存在している空間であり、信号の媒体である。場の中の信号群が構成要素間の活動を関係づけている。

② 信号

信号は場の中に存在するものであるが、それは構成要素によって一時的に場に提供されているものであり、場が保持しているものではない。構成要素は場の信号を感受し場に信号を提供する。

3. 場と信号（媒介系）

3.1 場の特性

① 信号の媒体

既に述べたように、場は信号の媒体であるが、場が信号を保持しているわけではない。信号は、構成要素が場に提供するものであり、構成要素が提供を停止すると、場の中からその信号は消えることになる。また、構成要素は場の信号を感受することができる。

ある時点において場に存在する信号群というものを考えることができるが、その信号群はその時点で意識されている又は意識され得る信号群として意味づけられる。

② 場のエネルギー

場のエネルギーとは、場の活性の勢力を示すパラメタである

場のエネルギーは、知識アーキテクチャにおける活動の主体である制御担体の活動の勢力を反映して定まるものである。すなわち次のような写像Eの存在を仮定している。

$E: (\text{制御担体の活動の勢力}) \rightarrow (\text{場のエネルギー})$

写像Eは単調である。すなわち、制御担体の活動の勢力が強いほど場のエネルギーは大きくなる。制御担体の活動の勢力が強いとは活動資源の消費量が多いことに対応する。（活動資源については、「6. 制御担体」の項で述べる）

3.2 信号系の分類

場には種々の信号が提供されているが、それらは信号の由来によって信号系に分類することが可能である。以下、その分類を示す。

① 記号信号系

記号信号系とは、信号を記号表現することが可能なものである。信号は、

信号 = 情報成分 + 強度成分

と表現することができ、情報成分は記号表現することが可能である。

記号信号系は、さらにその信号の由来によって細分化可能である。以下に各信号系と信号の例を示すが、例は信号の情報成分についてその意味を自然言語表現で与えたものである。

i) 視覚由来信号系

将棋の局面の信号などはこれである。

例：

<先手金>、<後手玉>

ii) 聴覚由来信号系

例：

<詰み>、<1手スキ>

iii) 感覚由来信号系

例：

<良し>

② 非記号信号系

非記号信号系は、信号を記号表現することが適切でないものである。

非記号信号系の由来は制御担体であり、制御担体全体の活動状態を反映した信号である。次のような写像Sを仮定している。

S：（制御担体の活動状態）→（場の非記号信号）

この信号は、場のエネルギーと同様に、制御担体が活動している限り、場に提供されつづけるものである。信号の成分としては、制御担体の攻撃指向性やある制御の実行等が織り込まれることになる。

ところで、以上の信号系の分類は単なる分類ではなく、構成要素にとって信号系の相違は積極的な意味を持っている。例えば、記憶担体にとっては、記号信号系と非記号信号系の相違は意味を持ち、制御担体にとっては、視覚由来、聴覚由来、感覚由来の信号系の相違は意味を持つ。

3.3 場の状態

問題解決が遂行されている時の通常の場の状態は以下のようなものである。

- ① 制御担体の活動状態を反映した信号が提供されている。（写像S）
- ② 制御担体の活動の勢力を反映した場のエネルギーを持つ。（写像E）

③ 対象モデルや記憶担体から、信号群が提供されている。

4. 記憶担体

既述のごとく、記憶担体は、いわゆる記憶を担っている物理構成要素であり、場の中の信号群を記憶したり、場の中の信号群に応じた記憶の再生を行なうものである。

記憶のユニットとなる機能構成要素のことを「記憶型知識」と呼ぶ。記憶担体は、記憶型知識の集合であり、かつ記憶型知識生成能力を持ったものとして特徴づけられる。

記憶担体に含まれる複数の記憶型知識は実時間並列性を持ったものであり、早いもの勝ち処理の対象となり得る構成要素である。

記憶型知識という形態で知識アーキテクチャに存在する知識の例を図Ⅲ-4に示す。

① 図Ⅲ-4(a)は、敵玉に1手スキをかけようとしている時に、盤上に図のような局面パターンがあると、1手スキ候補着手として2二銀打という着手を生成する知識である。

② 図Ⅲ-4(b)は、盤上に図のような局面パターンがあると、詰むという判断を生成する知識である。

	3	2	1		
	馬	我	皇	一	持駒
			王	二	
		金		三	
			金	四	銀

図Ⅲ-4(a)

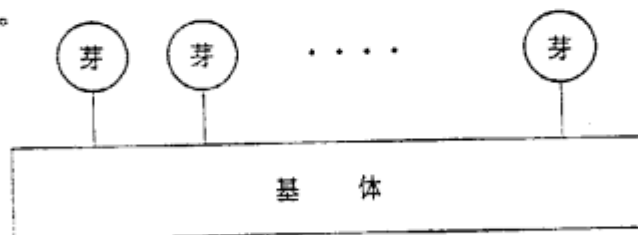
		9	8	7	
一	金	我	角		持駒
二	王				
三		金	金		
四	金				金
五		歩			

図Ⅲ-4(b)

4.1 記憶型知識の構造

記憶のユニットである記憶型知識の構造の模式図を図Ⅲ－4.1に示す。長方形を「基体」と呼び、円形を「芽」と呼ぶことにする。記憶型知識の構造は、一つの基体上に複数の芽が結合したものである。

大雑把に言って、基体は非記号信号の実体化であり、芽は記号信号の実体化である。基体と芽の結合には、それぞれ異なる結合特性が、そして基体には活性化特性が、パラメタとして必要である。



図Ⅲ－4.1

4.2 記憶型知識の生成

記憶型知識は、場の信号群の実体化として生成されるものである。

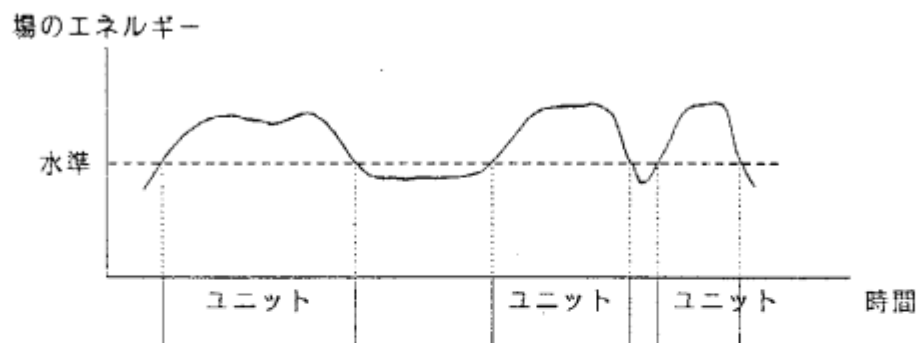
4.2.1 記憶型知識のユニット性

記憶型知識が記憶のユニットであること、および記憶型知識が場の信号群の実体化として生成されるということは既に述べた。

しかしながら、場の中に存在する信号は時間とともに変化するものであるから、記憶型知識というユニットがどのようにして決定されるかが問題である。

記憶型知識のユニット性を定めるのは、場のエネルギー、すなわち制御担体の活動の勢力である。場のエネルギーがある水準を継続的に越えている時区間において、場中存在する信号群の積分をとったものを実体化したものが記憶型知識というユニットである。

(図Ⅲ－4.2.1参照)



図Ⅲ－ 4.2.1

4.2.2 記憶型知識生成の条件

場には、常に何らかの信号が存在しているが、それらがすべて記憶型知識として実体化されるわけではなく、場のエネルギーがある生成水準を越えた時でないと記憶型知識の生成にはつながらない。

4.2.3 場と記憶型知識の構造との対応

記憶型知識は場の信号群の実体化であるから、その構造は場の信号群を反映したものとなっている。以下にその対応を示す。(図Ⅲ－ 4.1の模式図参照)

① 記号信号系

場の中に存在する記号信号系の信号は、

$$\text{信号} = \text{情報成分} + \text{強度成分}$$

と表現される。

情報成分と芽とが対応し、信号の強度成分及び場における滞在時間が、芽と基体の結合特性に反映される。結合特性は、信号の強度成分が大きいほど、滞在時間が長いほど、その信号の記憶型知識における重要性を増かしめるものである。(結合特性の相違は記憶型知識の動作に影響を与える)

② 非記号信号系

非記号信号系の信号、すなわち制御担体の活動状態を反映した信号は、記憶型知識の基体の部分に対応する。

③ 場のエネルギー

記憶型知識が生成される時の場のエネルギー(時間の長さも関係する)、すなわち制御

担体の活動の勢力は、基体の活性化特性に反映される。活性化特性は、記憶型知識が動作を開始する場合の、閾値を与える。場のエネルギーが大きいほど閾値が小さくなるため、そのような記憶型知識ほど動作しやすいものとなる。

4.2.4 記憶担体による統一的生成

複数の記憶型知識は実時間並列性を持ち、それぞれが他と関連することなく、独立に動作してよいものである。

一方、記憶担体は、記憶型知識を新たに生成する場合に、既存の記憶型知識と無関係に生成するということではなく、既存のものと重複した記憶型知識は生成しない。

4.3 記憶型知識の動作

記憶型知識の動作は、「場の信号群に対する双方向的なパターンマッチ」という言葉で表現することができる。

次のように記号を定める。

- E : 場のエネルギー
- S : 場の中の非記号信号
- P_i : 場の中の記号信号 i の情報成分
- I_i : 場の中の記号信号 i の強度成分
- B : 記憶型知識の基体に対応する非記号信号
- A : 記憶型知識の基体の活性化特性
- Q_j : 記憶型知識の芽 j に対応する記号信号の情報成分
- C_j : 記憶型知識の芽 j と基体との結合特性

① 記憶型知識の活性化

記憶型知識の活性化が起こるのは、記憶型知識の活性の程度が、活性化特性 A の閾値を越えた時である。活性の程度は、以下のものが重みづけされて寄与することにより定まる。

- i) 場のエネルギー E と時間。 E が大きいほど時間が長いほど寄与が大きい。
- ii) $P_i = Q_j$ が成立するものについて強度成分 I_i と結合特性 C_j 。 I_i が大きいほど C_j が強いほど寄与が大きい。
- iii) S と B の重なり。 S 、 B はそれぞれ制御担体の活動状態を反映したものであるが、その活動状態が類似しているものほど即ち S と B の重なりが大きいほど寄与が大きい。

② 記憶型知識の出力

記憶型知識が活性化すると場に信号群を出力する。それは、記憶型知識と場の信号群の

差分、(記憶型知識) - (場の信号群)である。

- i) Q_j 。ただし $Q_j = P_i$ となる i が存在しないもの。 Q_j の強度は、記憶型知識の活性の程度及び Q_j の結合特性 C_j に依存して定まる。活性の程度が大きいほど C_j が強い程、 Q_j の強度は強くなる。
- ii) $B - S$ 。

4.4 記憶型知識の変化

記憶型知識の生成については既に述べたが、そこには知識として生成すべきか否かという選択の機構は入っていない。それ故、生成される記憶型知識には、長期的に保持すべきもの、一時的に保持すべきもの、すぐに廃棄する(忘れる)べきもの、いろいろな性格のものが存在している。

しかしながら、その性格は生成時に先験的に定まるものではなく、経験的に定まってくるものである。そこで、記憶型知識の淘汰機構が必要になるが、それがこの項で述べる記憶型知識の変化である。

① 老化・消滅

いわゆる記憶は、時間の経過に伴って、記憶内容が不鮮明になったり、記憶の想起が困難になったりする。これに対応して、すべての記憶型知識は時間の経過につれて老化する。

記憶型知識の老化とは、芽と基体の結合特性及び基体の活性化特性の変化である。変化の方向は、結合特性は弱くなる方向、活性化特性は閾値が高くなる方向である。

結合特性がある水準以下になった芽は消失し(記憶内容の一部欠落に対応)、活性化特性の閾値がある水準を越えた記憶型知識は消滅する(忘却に対応)。

② 若返り

これは老化の逆オペレーションに相当するものである。

記憶型知識が活性化、すなわち閾値を越えて場に信号を出力、することにより、結合特性、活性化特性が老化の時と逆方向に変化する。

③ 強化

これは、若返りと類似したものであるが、記憶型知識が活性化されなくとも、十分に類似した場の信号群にさらされることにより、記憶型知識の結合特性、活性化特性が若返り

の時と同じ方向に変化することである。

④ 変化

ここでいう変化とは、記憶内容の変化のことである。

記憶型知識が活性化されると、場に信号群を出力するが、それと同時に場の信号群による修飾を受ける。すなわち、(場の信号群) - (記憶型知識) という差分の信号群が記憶型知識に取り込まれる。

記憶型知識の動作と上述の変化とを考えると、記憶型知識の活性化は、「記憶型知識と場の信号群とのユニフィケーション」というイメージで捉えることができる。

5. 対象モデル

対象モデルは、頭の中の将棋盤に対応するものであるが、局面認識の知識や目に対応する部分も含まれている。

対象モデルは、非常に低いレベルの構築物であるため、知識を単位とした構造を示すことが困難である。そこで、その機能を示すだけにとどめる。

5.1 頭の中の将棋盤

そろばんの熟達者は、頭の中にそろばんを置いてそれを操作することにより、高速な計算をすることが可能である。

頭の中の将棋盤は頭の中のそろばんと同様のもので、将棋盤上のデータを保持しており、操作すなわち駒を動かすことが可能になっている。頭の中の将棋盤があることにより、指し手を読み、読み進めた局面を見る（読み進めた局面の信号を場に提供する）ことができ、その局面の評価をすることができるのである。

5.2 対象認識に応じた信号の生成

対象モデルは、局面に関する情報を与える信号を生成して場に提供するものである。

しかしながら、生成される信号は、将棋盤上の駒の配置が定まれば、自動的に決まるというものではない。それは、対象認識の仕方に依存して異なってくるのものである。例えば、将棋盤を全体として見ている場合、盤上の特定の駒に着眼して局所的なパターンに注目する場合、それぞれの対象認識の仕方に応じて、異なる信号群が生成される。

対象モデルには、対象認識に応じた信号生成能力が必要である。ちなみに、どのような対象認識の仕方をするかの制御は制御担体によってなされる。

5.3 目に対応する部分

目に対応する部分の機能も対象モデルに含める。

実際の物理的な将棋盤を見ることにより、頭の中の将棋盤の局面と一致させるという操作が必要である。視野の制御によって、ある限られた範囲の局面信号を生成する制御も行なえる必要がある。

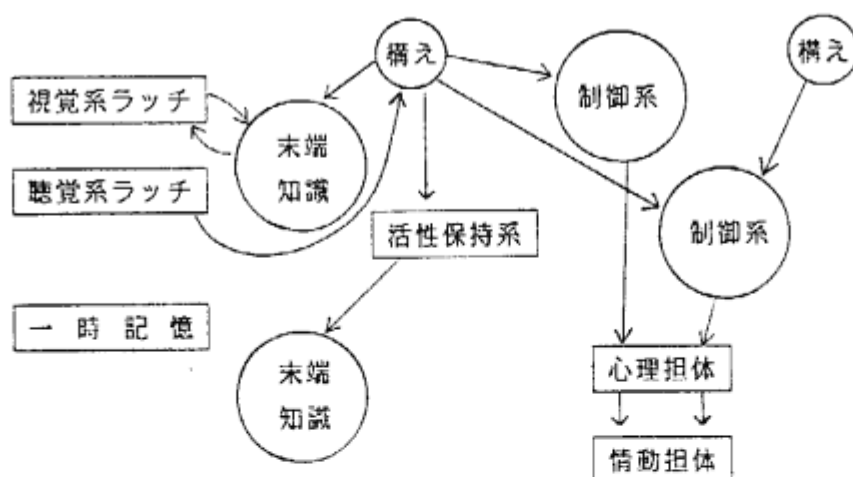
6. 制御担体

制御担体は、知識アーキテクチャにおいて活動の主体となるものであり、制御や心理を担っているものである。また、すでに述べたように、制御担体の活動状態を反映した非記号信号が場に提供され、制御担体の活動の勢力を反映して場のエネルギーが定まっている。

制御担体自身は、図Ⅲ-6に示すようにいくつかの構成要素とそれらを結びつけるネットワーク様の媒介系とからなっている。

物理構成要素としては、「視覚系ラッチ」、「聴覚系ラッチ」、「一時記憶」があり、機能構成要素としては、「情動担体」、「心理担体」、「構え」、「活性保持系」、「制御系」、「末端知識」がある（ただし、構成要素の種類は増える可能性がある）。媒介系は、「コンタクト」と「サイト」により構成されている。

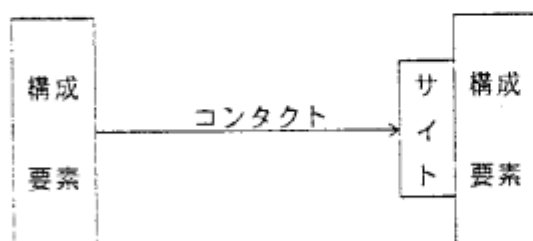
上記構成要素の内、構え、制御系、末端知識は複数個存在するものであり、他は一つである。



図Ⅲ-6

6.1 コンタクトとサイト（媒介系）

知識アーキテクチャの全体構成のレベルにおける媒介系は場と信号よりなり非結合的な媒介が行なわれるが、制御担体のレベルではネットワーク様の物理的結合による制御の伝搬が行なわれる。制御を与える側をコンタクトと呼び、制御を受ける側をサイトと呼ぶ。（図Ⅲ－6.1参照）



図Ⅲ－6.1

① コンタクト

各構成要素は一般に複数個のコンタクトを出しており、コンタクトは他の構成要素のサイトに結合している。

コンタクトはすべて同一種類であり、制御の伝搬はコンタクトのアナログ的な活性化によって行なわれる。

構成要素の動作の出力は、いくつかのコンタクトのアナログ的な活性化である。

② サイト

サイトは構成要素に附随しているものであり、制御の入口である。一般に、構成要素は複数個のサイトを持っており、各サイトはその構成要素の活動にとって固有の意味を持っている。例えば、活動を開始させるサイト、イベントを通知するサイト、等々。

さらに、サイトの特性として、結合しているコンタクトの活性化がどの程度ならば制御を受け入れるかという、閾値が存在する。

6.2 視覚系ラッチ、聴覚系ラッチ

視覚系ラッチ、聴覚系ラッチを総称してラッチと呼ぶことにする。

6.2.1 意味

ラッチという物理構成要素は、制御担体が場が生起する信号を認識・保持するためのものであり、制御担体にとって信号の入口という意味を持つ。視覚由来信号の入口が視覚系ラッチ、聴覚由来信号の入口が聴覚系ラッチである。感覚由来信号には特別な入口はなく制御担体に直接働く。

ラッチの信号保持容量は1個、すなわちある時点で保持されている信号は高々1個である。ラッチの認識能力は、信号の識別の他に信号が属するカテゴリーの認識がある。（ちなみに信号のカテゴリーの例として「着手」がある）

6.2.2 コンタクトとサイト

① コンタクト

i) 識別コンタクト

ラッチに保持される信号の情報成分が何かを示すコンタクト。

ii) 認識コンタクト

ラッチに保持される信号の情報成分が属するカテゴリーを示すコンタクト。

② サイト

i) 保持サイト

ラッチ内信号を継続的に保持するためのサイト。

6.2.3 動作

① コンタクトの活性化

ラッチは保持している信号に対して、対応する識別コンタクト、認識コンタクトを活性化させる。

② 保持サイトへの入力

ラッチは保持サイトへの入力がある限り、継続的に信号を保持し続ける。ラッチの信号保持能力は1個であるから、その間他の信号は認識できないことになる。

③ 場の信号の取り込み

ラッチは、場に新たに生起した信号を取り込んで保持する。ただし、この保持は、保持サイトへの入力がない限り、時間とともに減衰する。また、他の信号が生起すればそれを取り込む（オーバーライト）。

6.3 一時記憶

6.3.1 意味

一時記憶という物理構成要素は、文字通り一時的に場の信号群の記憶・再生を行なうためのものである。

一時記憶と前項で述べたラッチとは類似しているように思われるが、次のような点でかなり異なったものである。

- ① ラッチは1個の信号のみを保持するが、一時記憶はその時場に存在する信号群を記憶する。
- ② ラッチに保持された信号は制御担体によって認識されるが、一時記憶された信号は認識されない。

6.3.2 サイト

① 記憶サイト

場の信号群を継続的に記憶するためのサイト。

② 再生サイト

記憶されている信号群を継続的に場に出力するためのサイト。

6.3.3 動作

① 記憶サイトへの入力

一時記憶は、記憶サイトへの入力開始時点における場の信号群を記憶し、記憶サイトへの入力がある限りそれを記憶し続ける。

② 再生サイトへの入力

一時記憶は、再生サイトへの入力がある限り、記憶している信号群を場に出力し続ける。

6.4 情動担体

情動担体は、攻撃性等の人間の本能レベルの特性を担う機能構成要素として位置づけられる。

現時点で情動担体の仕様を決定することはできないので、当面の問題解決に関連するトピックを列挙するにとどめる。

6.4.1 活動資源の供給源

構成要素に対する制御の伝搬は、コンタクト・サイトによってなされるが、構成要素が実際に活動するためには、エネルギーとでも呼ぶべきものが供給される必要がある。それを「活動資源」と呼ぶことにする。

情動担体は活動資源の供給源である。活動資源を水に見立ててアナログカルな説明をすると、次のようになる。

- ① 情動担体から他の構成要素へ水道管が敷かれている。
- ② 構成要素の所には水道の蛇口が存在している。
- ③ 蛇口をひねるかどうかは、構成要素が決定することである。

活動資源の供給という、情報処理という観点からは非常に低レベルなことが知識アーキテクチャに含まれているのは、それが問題解決の遂行上無視できないものだからである。一例として、「活動のアポート」がある。すなわち、情動担体が活動資源の供給を停止あるいは削減することによって、構成要素の活動がアポートされるという現象の説明に必要である。

6.4.2 疲労サイト

情動担体のサイトの一つとして疲労サイトがある。これは、他の構成要素が自己の疲労具合を伝えるためのものである。情動担体は、疲労サイトからの入力がある一定の水準を越えて一定の時間以上継続すると、活動資源の供給停止あるいは削減を行なう。必然的に構成要素の活動はアポートされる。

この現象は、一見起きない方が良くように思えるが、次のような事例を考えると、実は不可欠なものであることがわかる。

事例：

敵玉に即詰みがあるかどうかを手を読んで確認する場合を考える。勿論、詰将棋ではないのだから、即詰みがあるかどうかはわかっていないし、即詰みがあるとしても何手で詰みかわからない。局面によっては、探索空間が非常に大きくなって、容易に結論を出せない場合がある。そのような場合に読みを停止させるのは疲労である。もしも疲労による活動の停止という現象がなければ、不毛な読みをいつまでも継続することになってしまう。

6.4.3 攻撃サイト

攻撃サイトは情動担体のサイトの一つであり、情動担体に攻撃性を喚起するものである。

敵玉に対して王手をかけようと、すなわち王手着手を生成しようとする時などには、この攻撃サイトへの入力が存在する。王手着手を生成するのは記憶型知識である。その記憶型知識は、「王手！」という非常に攻撃的な心理状態で生成されたものである。それ故、その記憶型知識を働かせるために、情動担体に攻撃性を喚起し、場の非記号信号に攻撃的な成分を持たせて、記憶型知識の基体との重なりを大きくしているのである。

6.5 心理担体

心理担体は、いわゆる心理とよばれる人間の特性を担う機能構成要素として位置づけられる。

心理担体についても情動担体と同様、仕様を決定できる段階ではないので、具体例を挙げるにとどめる。

6.5.1 自分手番、相手手番

現在自分の手番か相手の手番かは、心理担体の状態に含まれる。これは、自分手番サイト、相手手番サイトへの入力によって更新される。

6.5.2 積極的な疑問

「1手スキか？」というような場合の疑問は、これを確認しようとする積極的な疑問である。この疑問も心理担体の状態であり、対応する出力コンタクトが、「1手スキか？」に対応する構えの活性化サイトに結合されている。

6.5.3 まずは、よし、それから

「まずは」という心理状態で、感覚由来信号「よし」を感受すると、「それから」という心理状態に変化し、対応する出力コンタクトが活性化される。その出力コンタクトは、次に活動すべきことに対応する構成要素の活性化サイトに結合している。

6.6 構え

構えという機能構成要素は、自律的な構成要素である。自律的とは、一端活動を開始すると自ら活動を継続するという性質を意味している。それ故、自律的な構成要素の活動を停止させるのは、活動資源の供給の停止又は削減である。

6.6.1 意味

構えは問題解決上重要な意味を持っている。それは、複数個の構成要素の活性化による協調的な問題解決である。

6.6.2 コンタクトとサイト

① 活性化サイト

構えを活性化させるためのサイト。

6.6.3 動作

活性化サイトに入力を受けることにより、活動を開始するが、それは、すべてのコンタクトを活性化することである。

6.6.4 例

構えの例として、「1手スキか？」によって活性化されるものがある。この構えのコンタクトは、読みの制御系の活性化サイト、活性保持系のセレクトアサイト、心理担体の心理状態を引き起こすサイト、種々の末端知識の活性化サイト、等々に結合している。

6.7 活性保持系

6.7.1 意味

活性保持系は、活性を保持するものであるが、それは、問題解決遂行途中において、一時的に維持される状態に対応している。そして、活性保持系は、その状態において活性化しているべき末端知識を活性化する。

構えが、静的な活性化を与えるものとすれば、活性保持系は動的な活性化を与えるものと言える。

6.7.2 コンタクトとサイト

① セレクトアサイト

これは、一時的に維持すべき状態の種類を指定するサイトである。

② 更新サイト

これは、活性を更新するためのサイトである。

③ コンタクト

コンタクトは、一時的に維持すべきステートの種類に応じた末端知識（一般には、複数個）の活性化サイトへ結合している

6.7.3 動作

① セレクタサイト

セレクタサイトへの入力開始により、初期活性が保持され、対応するコンタクトが活性化される。セレクタサイトの入力が消えると活性も消滅する。

② 更新サイト

更新サイトへの入力により活性が更新される。一定時間以上更新サイトへの入力がないと活性は消滅する。

6.7.4 例

一時的に維持すべきステートの例として、即詰みを読む時の「一直線王手シーケンス」がある。「一直線王手シーケンス」とは、玉方の着手が一意的な王手シーケンスを読んでいる時のステートであり、このステート下で活性化されているべき末端知識として、（読み→良し）と表現されるものがある。

6.8 制御系

制御系は文字通り制御を行なう、自律的な機能構成要素である。制御系には、制御系一般の性質はないので、読みの制御系を例にして説明する。

6.8.1 コンタクトとサイト

① サイト

- i) 活性化サイト
- ii) 自分着手更新サイト
- iii) 相手着手更新サイト

② コンタクト

- i) 自分手番コンタクト

ii) 相手手番コンタクト

6.8.2 動作

動作の開始は活性化サイトへの入力による。

① 自分着手更新サイト

このサイトへの入力は、対象モデルから来るものであり、自分側の着手による対象モデル内の局面の更新が終了したことを意味している。この時は、心理担体に対して、相手手番コンタクトによって次が相手の手番であることを知らせる。

② 相手着手更新サイト

①の場合と対称的に、このサイトへの入力があると、自分手番コンタクトを活性化して心理担体に知らせる。

6.9 末端知識

末端知識は活性化の制御がなされるプロダクションルールと呼んでもよいものである。

6.9.1 コンタクトとサイト

① サイト

- i) 活性化サイト
- ii) 入力サイト

② コンタクト

- i) 出力コンタクト

6.9.2 動作

活性化サイトに入力があり続ける間だけ、動作し得る。入力サイトに入力があると出力コンタクトを活性化するという動作である。

6.9.3 例

活性保持系の所で述べた（詰み→良し）は、一つの例で、聴覚系ラッチの（詰み）コン

タクトを入力サイトに受け、出力コンタクトを感覚由来信号（良し）生成器に結合したものである。

IV 信号系の試作

全体構成の媒介系をなしている信号について、具体的にどのような信号を設定すべきかを知識アーキテクチャは規定しない。信号系の設計は知識アーキテクチャの外にある問題である。

しかしながら、将棋の局面パターンのような2次元情報は、知識アーキテクチャにはなじまないかと思われがちである。そこで、局面パターンを表現する信号系の試案を示すことにする。

1. 原則

局面パターンを表現する信号系の試作にあたっては、知識アーキテクチャとの整合性を考えて、いくつかの原則を設定した。

① 記憶の一貫性

知識アーキテクチャにおいては、記憶の生成及び記憶の活性化のメカニズムは、何を記憶しているかに依らない種類のものであると考えている。

それ故、局面記憶のための専用ハードウェアを考えたり、配列構造信号を考えて信号の特別扱いをするのは不可。

② 絶対座標に依存しない。

将棋盤は9×9の枡目で構成されており、枡目の絶対位置を (m, n) ($m=1, \dots, 9$; $n=1, \dots, 9$) という整数ペアで表現することができる。しかしながら、知識の中には局面パターンの絶対位置に依存しないものも数多く存在している。それ故、局面パターンを表現する信号系は、将棋盤上の絶対座標に依存したものであってはならない。

2. 局面認知

1. で述べた原則を満足する信号系を見出すために、内省に基づいて、如何に局面を認知しているかを調べてみた。その結果、次のようなことが明らかになった。

① 局面を認知する際には、固定系を設定している。

② 固定系に対する相対位置で、局面パターンの要素の位置を認知する。

固定系には、何種類かあると思われるが、1手1手の寄せでは、起点固定系で局面を見ていることが多い。起点固定系とは、将棋盤上の特定の枡目あるいは特定の駒を中心にし

て局面を見るもので、枡目あるいは駒が起点になっている。

3. 信号系の試作

以上の検討をふまえて次のような信号系を試作した。

① 図の信号系

図の信号系は、次のようなものからなっている。信号自体は自然言語に対応しているわけではないので、信号を“<信号の意味の自然言語表現>”という形式で示すことにする。

- (a) 駒に関するもの
 <先手銀>、<後手玉>
- (b) 効きに関するもの
 <先手効き有>
- (c) 存在に関するもの
 <駒非存在>
- (d) 将棋盤に関するもの
 <水平盤端>、<左上隅>

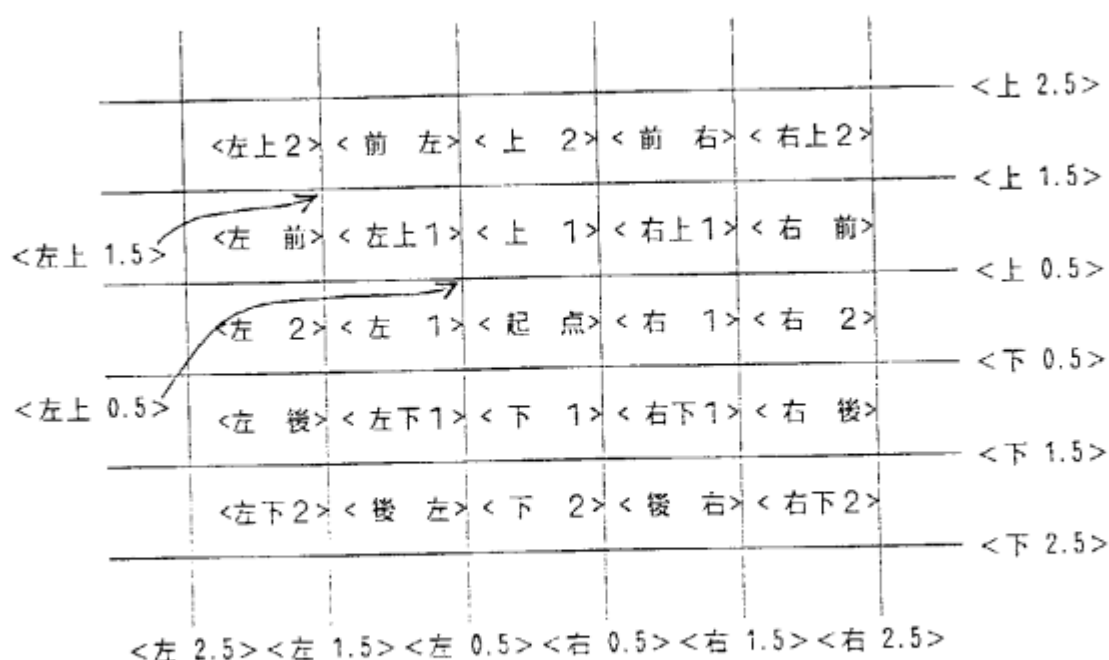
② 位置の信号系

位置の信号系は起点と、起点相対の位置を示す信号である。図IV-3に位置の信号系を示す。

③ 局面の信号系

局面の信号系は、図の信号系と位置の信号系の直積である。即ち、局面パターンの要素は、図の信号と位置の信号の複合（これを“@”で表わす）で表現される。

例えば、<後手金>@<右1>は、起点の右隣の枡に後手の金が存在することを意味している。



図IV-3 位置の信号系

4. 例

図IV-4(a)で示した局面パターンを既述の信号系で表わすと、図IV-4(b)に示す信号群となる(ただし信号の強度成分は省略)。信号同士に順序関係はなく、それぞれ独立であり、局面パターンは信号の集合として表現されている。

	9	8	7	6
一	皇	王		角
二		王		
三		卒	卒	卒
四	卒			

図IV-4(a)

(<後手玉>@<起 点>,
 <後手香>@<左上1>,
 <後手桂>@<上 1>,
 <後手歩>@<後 左>,
 <後手歩>@<下 1>,
 <後手歩>@<右下1>,
 <後手歩>@<右 後>,
 <先手角>@<右 前>,
 <水平盤端>@<上 1.5>,
 <垂直盤端>@<左 1.5>,
 <左上隅>@<左上 1.5>)

図IV-4(b)

V 学習について

知識アーキテクチャの構築にあたって最も留意した点は、学習能力を持つ構造である。一口に学習と言っても、いろいろなタイプが存在する。ここでは、学習能力の素地を与えている知識アーキテクチャの構造について説明する。

1. 問題解決と記憶の統合

問題解決と記憶が統合されているとは、問題解決時に記憶が利用でき、問題解決を通して記憶が生成され、生成された記憶が問題解決に利用できるということを意味している。

知識アーキテクチャにおいては、場を媒介系とした全体構成をとることにより、この統合を可能にしている。

すなわち、記憶の生成は、場の信号群に対応する記憶型知識の生成であり、記憶の利用は、場の信号群とマッチする記憶型知識の活性化であること、および、問題解決の主体である制御担体はその活動状態に対応する非記号信号を場に提供すること、これらのことにより統合が可能になっている。

2. 実時間並列性

これについては既に述べたが、実時間並列性があると早いもの勝ち処理が可能になるため、調整タイプの学習を組み込みむことが可能である。特に記憶型知識について、このことを考慮した構造が設定されている。

3. 淘汰機構

記憶型知識の変化のところで述べたが、生成時に完璧なものとして記憶型知識が与えられることはなく、玉石混淆であるため、役に立つものは残し、他は捨てる機構が必要である。

4. 欠けているもの

現時点では、制御担体に関連する学習の素地がない。すなわち、新たに制御担体の構成要素が追加されたり、コンタクト・サイトの結合が変化したりするメカニズムが欠落している。

謝 辞

本研究の機会を与えていただいた、(財)新世代コンピュータ技術開発機構研究所
淵研究所長ならびに古川第一研究室長に感謝します。

参考文献

1. 将棋年鑑(日本将棋連盟、昭和45年版～昭和57年版)
2. 近藤浩康：知識アーキテクチャの構想，知識工学と人工知能，36-6，1984.