計測自動制御学会東北支部 第216回研究集会(2004.6.22)
資料番号 216-2

4次元空間立体4目並べプレイプログラムの構想

Design of the Program Playing 4-Dimensional Cubic Line-4 Tic-Tac-Toe

○水間 輝*, 苫米地 宣裕*

○ Akira Mizuma*, Nobuhiro Tomabechi*

*八戸工業大学大学院電気電子工学専攻

*Electricity and Electronics course, Graduate school of Engineering, Hachinohe Institute of Technology

キーワード： 4次元(4-dimensional),ゲームプレイプログラム(game playing program), 構想(conception), 4目並べ(line-4)

連絡先： 〒 031-8501 青森県八戸市妙字大開88番地1号 八戸工業大学 システム情報工学科 苫米地研究室 苫米地 宣裕, Tel.:0178-25-8051, E-Mail:tomabech@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

4次元空間は、人間が知覚できない空間、現実には存在しない空間と一般には思われているようであるが、実は、論理代数（あるいは、論理回路）の分野では、4次元空間どころか、5次元空間、・・・・、多次元空間が日常的に取り扱われる。すなわち、2変数の論理関数は2次元空間、3変数の論理関数は3次元空間、4変数の論理関数は4次元空間上の1点で表現される。

いずれにしても、論理代数の分野では、N次元空間に関する思考訓練が必要である。従って、N次元空間、せめて4次元空間を（できれば視覚化して）、把握できるような工夫があれば、教育上、大いに有意義であると考えられる。そこで、4次元立体4目並べプレイプログラムの研究を行うことにした。

2. 4次元空間立体4目並べ

3次元空間立体4目並べは、従来から楽しまれている。これを図1に示す。

3次元空間立体四目並べの4次元空間への拡張を考える。概念的には、3次元空間を4次元に拡張することはきわめて容易である。次元を1個増やせばよいだけである。コンピュータプログラム上では、論理変数を1個増やすだけでよい。従って、3次元空間立体4目並べプレイプログラムを4次元に拡張するのは、極めて容易である。ただし、コンピュータにとって容易であっても、人間が4次元

空間ゲームを実際にプレイすることは、容易なことではないだろう。そこで、人間が知覚しやすいために、4次元空間を表現する工夫が必要となる。

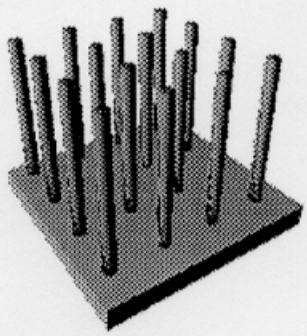

図1　3次元立体盤面

2.1　ルールの決定方法

ルールの決め方は、多種多様に考えられる。

- 4目並べか5目並べか
- 盤の形状は、立方体か直方体か
- 盤の寸法は、4×4×4×4か、4×4×4×3か、4×4×4×5か
- 任意位置着手か、積み重ね式着手（3次元立体四目並べのz軸方向着手のように、下から上に積み重ねていく方法）か
- ハンディキャップ（先手が有利なとき、第一着手を制限する）の有無

など。

要は、人間が実際にプレイできるような考えやすさで、かつ4次元空間のイメージが表現できるようなルールの設定が求められる。

2.2　ルールの決定

ルールは次のように定める。

[ルール1]　盤は、x軸、y軸、z軸、w軸を有する。各軸は、4つの点を含む。したがって、盤の広さは、4×4×4×4となる。盤上の1点を、P（x、y、z、w）と表す。

[ルール2]　4次元空間の軸方向、あるいは、斜め直線状に、自分の石の4連ができたら勝利とする。

[ルール3]　x軸、y軸方向の着手位置は、任意に選択できる。

[ルール4]　z軸方向の着手位置は、既に着手済みの上の位置にのみ選択できるとする（下から上への積み重ね方式とする）。

[ルール5]　w軸方向の着手位置は、既に着手済みの上のみ選択できるとする（下から上への積み重ね方式とする）。

[ルール6]　ルール5は、z＝0の点にのみ適用する。すなわち、w≧1かつz≧

注1：x、y、z軸は、通常の3次元空間に対応する。x、y、zだけを考えると、通常の3次元空間立体4目並べと同じになる。

注2：ルール5に示すように、w軸は、（z軸の同様に）下の座標から積み上げ式に着手することとする。こうすることによって、空間がw軸方向に広がっていく様子が知覚できると期待される。

3.　最善手着手探索

3.1　探索方法

先読みをするためのゲーム木を図1に示す。

ゲームの木は、一つの親ノードと2つ以上の子ノードを持ち、終端の部分には評価値が与えられる。

4次元立体4目並べは、C言語を用いて作成している。探索方法に深さ優先探索法を採用する。また、$\alpha\beta$法により枝刈りを行う。

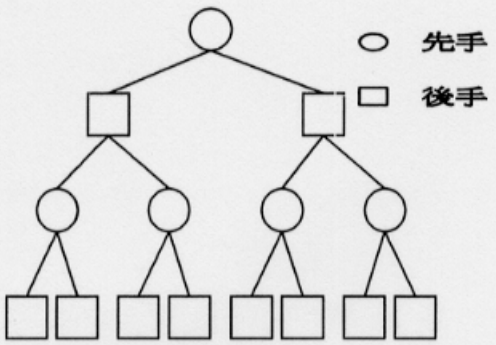

図2　ゲーム木

3.2　評価関数

評価関数とはある局面において、点数を付けることで、プレイヤにとって有益な局面ほど大きな評価値を付けるように設計する。評価値とは、その盤面がどの程度、差し手にとって有益であるかを表す値である。この評価関数の性能でプログラムの強さが決まる。

4 次元空間立体 4 目並べでは、評価関数を次のように作成している。

プラス評価

- 着手した時、その着手位置から自分の 4 連ができる数
- 着手した時、z + 2 に自分の 4 連ができる場合
- 過去の対戦データの棋譜（先手が勝った場合）

マイナス評価

- 相手の駒で 4 連が不可能になった数
- 着手した場合、z + 1 に相手が 4 連を完成できる可能のある数
- 過去の対戦データの棋譜（先手が負けた場合）

上記の評価の合計を、盤面のそれぞれについて、初期評価値に加える。

3.3　思考アルゴリズム

思考アルゴリズムを以下に示す。

（手順1）　先読みの深さ、深さの限界値を設定する。

（手順2）　深さが限界値又は着手場所がなくなったら、局面評価を行い、（手順5）へ進む。違うなら（手順3）へ進む。

（手順3）　先手又は後手が着手してない、着手候補をリストアップする。

（手順4）　着手候補から1つ選び、仮着手する。差し手を交代し、深さを1増やして、（手順2）へ戻る。

（手順5）　先手番のときは局面評価値が一番高い着手を最善手とし、後手番のときは局面評価値が一番低い着手を最善手とし仮着手場所を記録し、仮着手を戻す。

（手順6）　未探索の探索候補があれば（手順4）へ戻り、そうでないなら（手順7）へ進む。

（手順7）　深さが限界値なら終了、そうでないなら深さを 1 減らして、（手順5）へ戻る。

4.　4 次元空間の盤面の表現

4 次元空間は、3 次元の盤面を横方向に 4 個並べることにより表示する。ただし、通常は、w=0 の盤面のみを表示し、w=1 以下は、その空間への着手が行われた時に表示を開始する。こうすることにより、4 時元方向の空間の広がりを知覚できるのではないかと思われる。図 3 に作成した 4 次元空間立体 4 目並べの図を示す。4 次元空間 4 目並べのグラフィック表示には、OpenGL の glut を使用した。

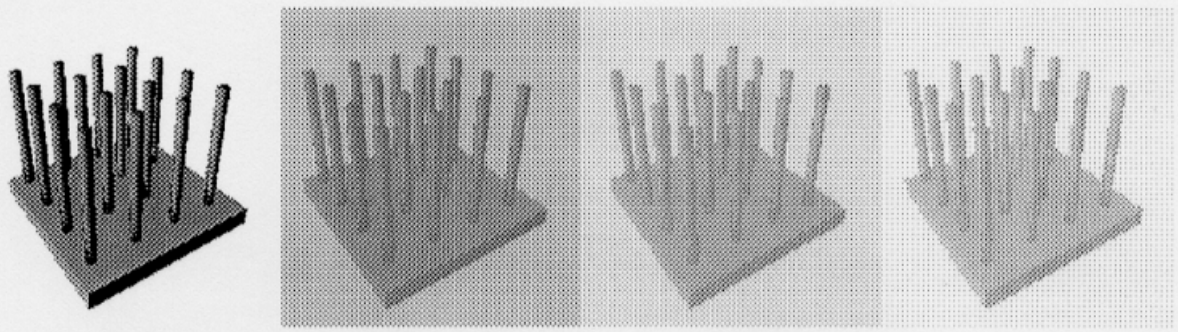

図3　4次元立体表現

3 次元空間と 4 次元空間の違いは、3 次元では、z 軸方向のみに重力があったが、4 次元では z 軸、w 軸の 2 方向に重力がかかる。図 4 に示す。

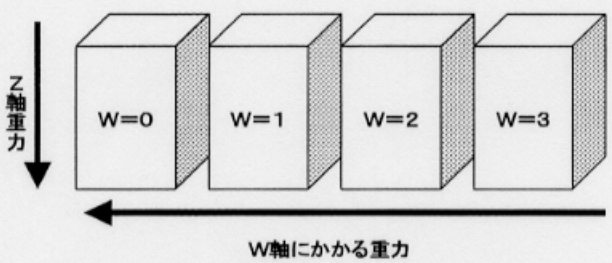

図 4　z 軸 w 軸の重力方向

そのため、w 軸（w=1～3）に着手するには、P（x,y,z-1,w-1）が着手済みになっていなければならない。

4.2　盤面の認識補助

3 次元立体盤面上の奥行き方向を見易くするため、盤面を回転する機能を付加する。また、回転に伴って、w 軸方向のすべての盤面を回転させる。図 5 に示す。

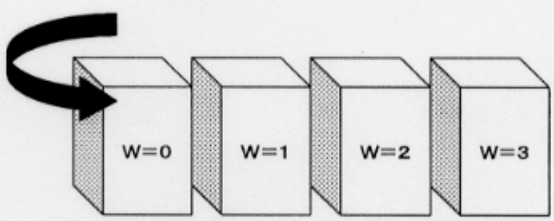

図 5　4 次元空間 4 目並べの回転例

4.3　着手可能場所の推移

着手可能場所の推移を図 6、図 7 に示す。

＃は、着手可能な位置

・は、現在は着手不可の位置

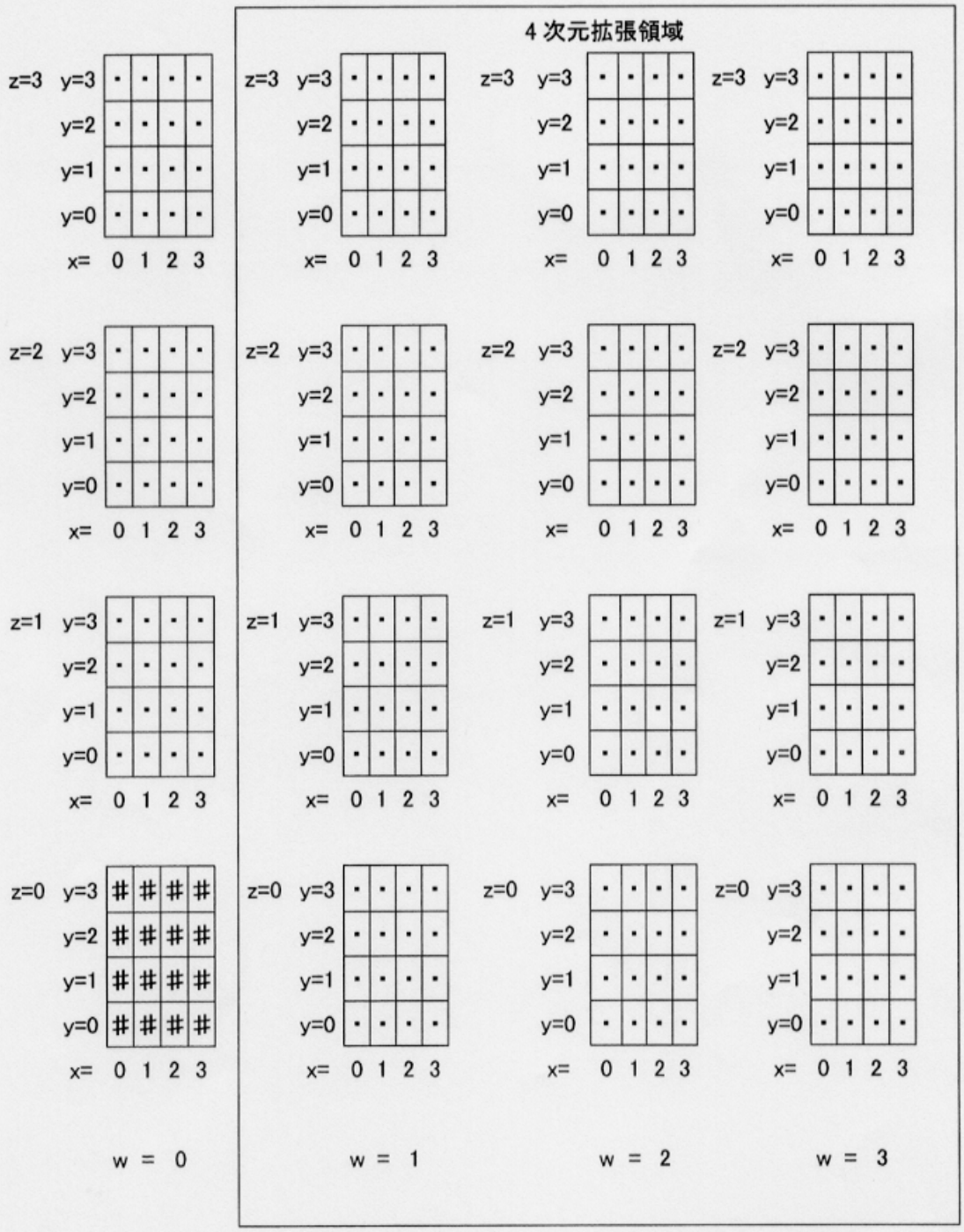
4 次元拡張領域
z=3 y=3 y=2 y=1 y=0 x= 0 1 2 3
z=2 y=3 y=2 y=1 y=0 x= 0 1 2 3
z=1 y=3 y=2 y=1 y=0 x= 0 1 2 3
z=0 y=3 y=2 y=1 y=0 x= 0 1 2 3
w = 0
w = 1
w = 2
w = 3

図 6　初期状態

着手例　①→②→③→④

奇数：先手

偶数：後手

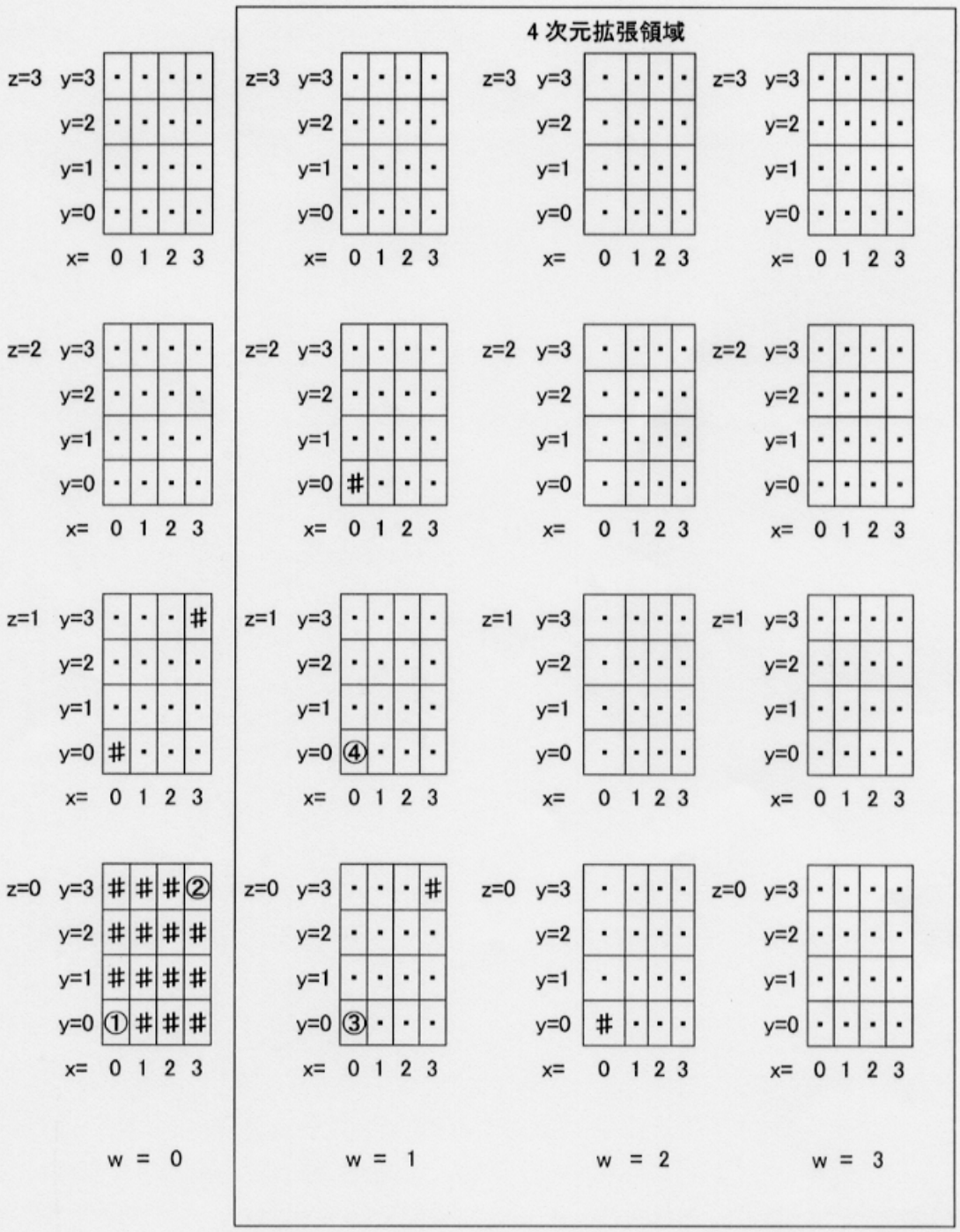

図 7　着手可能場所の推移

5. 結論

本研究で、4次元4目並べをプレイするプログラムを作成することができた。グラフィック上でも、ある程度、知覚できるようになった。

今後は、4次元4目並べが先手必勝となるかどうかを調べ、またゲームの数理を解明し、その知識をプログラムに組み込むことを考えている。

参考文献

1）苫米地 宣裕,“立体4目並べの数理”,八戸工業大学情報システム工学研究所紀要

2）飯田 弘之,”ゲームプログラミングの発展とAI,” 情報処理,Vol.37,No.6,pp.536-542,1996.

3）R.B.バナージ著,高原, 中野, 宇治橋訳,”人工知能,コンピュータによるゲーム” 共立出版,1983