

## ボールゲームにおける知覚に基づいた時空間パターンの表現

A description of time-space pattern on perceived distance in ball game

横山 慶子\*

山本 裕二\*\*

Keiko YOKOYAMA \*

Yuji YAMAMOTO \*\*

**ABSTRACT** The movement pattern generated by players appears to be a self-organization phenomenon found in nature. In this study, we developed a way to describe the overall movement pattern of field hockey players as the sum of the movement patterns of each player. The action potential of each player, which represents the possibility of affecting a particular area in the field, was defined using both the position and movement of the player, which we expressed as the position and movement potential, respectively. Although the distance between a particular area and the position of the player affects these potentials, we introduced the nonlinear perceptual parameter  $\omega$ , which has a Gaussian distribution, to describe the psychological distance and to define both potentials. Then, the action potential of each player was defined as an individual potential (IP) that was the sum of the positional (P) and movement (M) potentials. The team potential (TP) was calculated as the sum of the individual potentials for each team. A men's university championship was recorded using four synchronized cameras and analyzed using a two-dimensional DLT method to obtain the displacement of each player. These potentials were applied to this game and plotted as densities. It was found that the change in the team potential described the change in the movement pattern. However, further modification is needed to describe the complex interaction of each player and each team.

### 1. はじめに

ボールゲームでは、選手同士の連携がゲームの勝敗を左右する。サッカーで見られる、ゴール前のファンタジックなプレーはなぜ起こりうるのだろうか。味方との連携で敵をかわしボールを運ぶ過程は、当然のことながら相手の動きにも関係する。相手の時間的および空間的な動きとそれに対応する味方同士の連携が、その創造的なプレーを生み出すと考えられる。

このことは、山本 (2001) が、個人技能の獲得の際に適切な練習環境という制約を与えると、環境との相互作用によって「自然に」運動が生み出されると示唆していることと類似すると考えられる。つまり、ボールゲームでは、それぞれの競技のルールやコートといった静的で閉ざされた環境の中で、選手相互の行為が制約となり、その制約によって集団の動きが生じ、また

この集団の動きが選手の動きの制約になるという、動的な環境が作り出され、個々の選手の動きと集団としての動きの連続的変化が自律的に生じていると考えられる。そこには、自然現象でみられる自律形成の過程、つまりジャボチンスキー反応 (BZ 反応) (吉川, 1995) や粘菌の活動 (都甲・松本, 1996) で観察される過程との類似性が感じられ、ファンタジックなプレーは、「味方」と「相手」という二つの集団の共同作業によって創り出された結果としての現象といえよう。

以上のように、本研究では、要素としての選手が集団として、つまり敵と味方に別れて拮抗しあった結果、創り出される現象が自己組織化によるものであろうという観点に立ち、ボールゲームでの試合の流れといったマクロな状態を集団としての移動パターンで記述することを目的とする。そのためにまず、個々の選手の試合中の行為を、選手によって知覚される距離を考慮

\* 名古屋大学大学院 教育発達科学研究科

\*\* 名古屋大学総合保健体育科学センター

\* Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University

\*\* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

して定義する。その上で、コート全体で集団として形成される移動パターンを時空間で表現し、プレー内容との比較を通して、表現方法の妥当性を検討する。

## 2. 集団としての移動パターン

### 2.1 要素としての個人の行為ポテンシャル

ボールゲームにおいて、試合中における選手の行為は、位置取り（ポジショニング）とそこからの動き（速さ・方向）という、二つの要因が考えられる。試合中での選手の動きについては、運動量を分析する研究（Spencer & Lawrence, 2004）や、優勢領域を用いて選手の領域を示す研究（瀧・長谷川, 1998）などがあり、様々な観点から分析が行われている。しかしながらサッカーにおいては、ポジショニングを柔軟に出来るような選手がいるチームが有利であると言われているように（Bisanz & Vieth, 2000）、動きのみならず選手の位置どりも重要な要因となると考えられるが、動いていない選手の位置どりも考慮して分析を行った研究は見当たらない。したがって、本研究では、この位置どりと動きという行為の二側面を考慮するものとする。

そこで、試合中のある時間での選手個人の行為可能性を行為ポテンシャル（Individual potential ; IP）とし、位置取りに関わる位置ポテンシャル（Position potential ; P）、動きに関わるものを運動ポテンシャル（Movement potential ; M）と呼ぶことにし、以下に定義する。尚、ここではフィールドホッケーを分析対象とするがその理由は後述する。

### 2.2 行為ポテンシャルの定義

ここでは、選手1名の状態、つまりある選手*i*のコート上の任意の点*s*に対する行為ポテンシャルを定義する。いいかえれば、選手*i*がコート上の点*s*に対して、どの程度の行為可能性を持つかということである。

$IP_i$  選手*i*のコート上の点*s*に及ぼす行為ポテンシャル

$P_i$  選手*i*のコート上の点*s*に及ぼす位置ポテンシャル

$M_i$  選手*i*のコート上の点*s*に及ぼす運動ポテンシャル

とおいたとき、

$$IP_i = P_i + M_i \quad (1)$$

が成り立つとする。

位置ポテンシャル  $P_i$  と運動ポテンシャル  $M_i$  は、コート上の点  $s$  と選手との距離に依存して変化する。

例えば、選手とコート上の点  $s$  が近い場合、選手は

点  $s$  にすぐに到達できるという意味からコート上の点  $s$  に及ぼす行為ポテンシャルは大きくなる。しかし、コート上の点  $s$  に対する行為ポテンシャルの変化は均一な物理空間における距離に依存していると考えより、非線形性を有する心理的空間における距離の知覚に依存していると考えた方が妥当であろう。このことは、Gibson の生態学的知覚論（Gibson, 1979）に基づき、Lee が予見的視覚情報  $\tau$  として表現した、接触までの残り時間（time-to-contact）の考え方（Lee, 1976）にも通じる。つまり、観察者と対象との距離が短くなっている場合に、ある物理的な距離までは距離の知覚は緩やかに変化するが、特定の物理的距離を越えると、急激に変化するように知覚するということである。Lee はその時点が行為の分節化、すなわちプレーキをかける始める動作（Lee, 1976）、歩幅を調整する動作（Lee & Lishman, 1982）、翼をたたく動作（Lee & Reddish, 1981）などの運動パターンの切り替えがおこなわれるところであるとしている。

また、木島・吉田（2004）は、アメリカンフットボールにおいて、密集突破の際にみられる環境を、相手選手の位置の集合体として捉えるのではなく、行為を直接的に制御する情報として捉えている。つまり、ゲームにおける選手の行為とは、相手選手の行為に対する知覚に依存すると考えられる。したがって環境それ自体よりも環境の知覚が行為に及ぼす影響を指摘している、Lee の予見的視覚情報のような非線形性を有する選手の知覚に基づいた、行為の記述方法を検討するべきである。

そこで本研究では木島（2003）が用いた、アメリカンフットボール選手が作る勢力分布を表現する正規分布のモデルを参考に、選手が知覚する距離を表現するためのパラメータを、正規分布を用いて定義することによって、ゲームにおける選手の知覚の非線形性を捉えることとする。特に、正規分布でみられる変曲点、つまり傾きの変化率の正負が緩やかに切り替わる点に着目したパラメータを  $\omega$  と定義し、物理的距離を  $\omega$  を用いて変換し知覚された距離を求め、位置ポテンシャル  $P_i$  と運動ポテンシャル  $M_i$  を定義した。

#### 2.2.1 距離の知覚を表すパラメータ $\omega$

正規分布を用いて知覚された距離を表すパラメータ  $\omega$  を定義する。選手  $i$  とコート上の任意の点  $s$  との距離を  $X$  とおき、 $\omega_i(X)$  を選手  $i$  と点  $s$  との距離を表すパラメータとする。  $0 < \omega_i(X) \leq 1$  になるように正規分布（平均0, 分散1）を以下のように変形し定義した。

$$\omega_i(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{X^2}{2}\right) \times \sqrt{2\pi} \quad (2)$$

この  $\omega_i(X)$  を用いて物理的距離  $X$  を変換し、位置ポテンシャル  $P_i$ 、運動ポテンシャル  $M_i$  を求める。

### 2.2.2 位置ポテンシャル $P$

選手  $i$  の位置に依存した位置ポテンシャル  $P_i$  を以下のように定義する。

$$P_i = \omega_i(X_p) \quad (3)$$

ただし  $X_p = \frac{X}{2.7432}$

であるとする。

ボールゲームでは、静止している選手でもコート上の点  $s$  との距離が、非常に近い場合、例えばコート上の点  $s$  との距離が半径 30cm ならば、すぐにも影響を及ぼすことができるが、10m 以上離れた場合にはすぐには影響を及ぼすことができない。このように、ある選手にとって行為可能性が高い領域と低い領域があり、その境界線もあるはずである。フィールドホッケーにおいては、スティックの長さ 0.9144m (1yd) や、手の長さ、姿勢などを考慮して、半径約 2.7m (3yds) がその境界であると仮定した。この境界線とは、図 1 のグラフの形が示すように、変曲点の内側に近づくと選手の影響力の変化の割合は徐々に大きくなり、また逆に変曲点の外側では選手の影響を及ぼす割合の差がしだいに小さくなる。

### 2.2.3 運動ポテンシャル $M$

選手  $i$  の動きに依存した運動ポテンシャル  $M_i$  を以下のように定義する。

$$M_i = \omega_i(X_m) \cdot v \quad (4)$$

ただし  $X_m = \frac{X}{22.86}$ ,  $v = \frac{|\vec{V}|}{10}$

であるとし、距離の知覚を表すパラメータに速度パラメータを掛け合わせたものとした。

選手の移動する最大速度を 10m/s と仮定してコート上の点  $s$  に対する選手  $i$  の相対的な速さ  $\vec{V}$  から (図 2)、コート上の点  $s$  に対する相対速度パラメータ  $v$  を求めた。また、位置ポテンシャルの場合と同様に、コート上の点  $s$  の非常に近くで動いたならばその点  $s$  に対する行為可能性は高い。逆に、コート上の点  $s$  の非常に遠くで動いていればいるほど、同じ相対速度であって

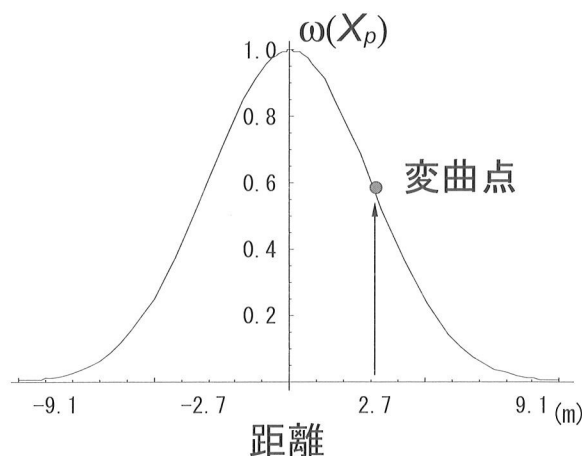


図 1：位置ポテンシャルにおける距離の知覚を表すパラメータ  $\omega(X_p)$  の分布

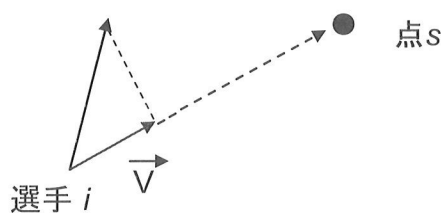


図 2：時間  $t$  における選手  $i$  の点  $s$  に対する相対ベクトル  $\vec{V}$

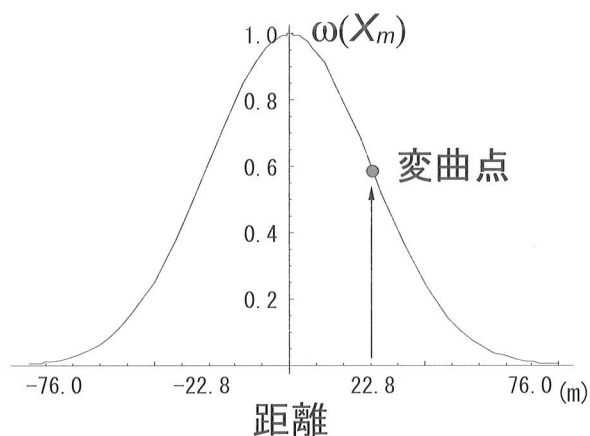


図 3：運動ポテンシャルにおける距離の知覚を表すパラメータ  $\omega(X_m)$  の分布

もその点  $s$  に対する行為可能性は緩やかに減少すると考えられる。このように、動いている選手における行為可能性に影響を及ぼす距離の知覚の境界は、動く速度に依存するが、止まっている場合よりも更にその変化点は大きいものだと考えられる。そこで、動いている選手のコート上の点  $s$  に対する知覚された距離の変化点を、フィールドホッケーコートの縦1/4、約 22.9m (25yds) と仮定し  $X_m$  を求めた (図 3)。

### 2.2.4 集団のポテンシャル

次に、複数の選手、例えば選手  $l$  のある時間における有限な点に対する集団のポテンシャルを考察する。コート内のすべての点  $s$  における選手  $l$  の集団のポテンシャルを求めるために、コートを  $n \times m$  の格子で区切り、すべての格子の中点に対するポテンシャルを求める。ここでは、コート上の格子の中点の座標つまり点  $s$  を  $s=(n,m)$  とおき、任意の時間  $t$  におけるコート全体のポテンシャル分布を行列で表した。ある時間  $t$  でのコート上の点  $s$  に対する  $i$  選手の行為のポテンシャルを  $IP_{ism}$  とおくとコート全体の集団のポテンシャル  $TP_t$  は以下のように表わせる。

$$TP_t = \sum_{i=1}^l \begin{pmatrix} IP_{i11} & IP_{i21} & \cdots & IP_{im1} \\ IP_{i12} & IP_{i22} & \cdots & IP_{im2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ IP_{i1m} & IP_{i2m} & \cdots & IP_{imm} \end{pmatrix} \quad (5)$$

さらに連続した時間でのポテンシャル分布を表現するために、 $TP_t$  を時間ごとに並べて試合の流れを連続的に表現した。

## 3. 方法

ボールゲームの一つであるフィールドホッケーのゲームをここでは観察対象とする。フィールドホッケーを用いた理由は、二つのチームでゴールを狙うという点はサッカーなどと同じであるが、ボールを上空にあげることはサッカーなど他のボールゲームほどは多くはない。したがって選手の動き及びボールは基本的にコート上という、2次元の平面で行われると仮定でき、2次元 DLT 法による映像解析が可能であると考えられたためである。

### 3.1 撮影対象

対象とした試合は、平成17年度第24回全日本大学王座決定戦男子決勝であった。

撮影に使用したのは4台の8mmデジタルビデオカメラであり、いずれのカメラにも、コート1/4の四隅の点が入るように球技場の高い位置から撮影した(図4)。このコート1/4それぞれの四隅を2次元 DLT 法の際のコントロールポイントとした。また、4台のカメラによる映像の同期をとるために、試合前とハーフタイム、試合後の3回、LED型シンクロナイザ(DKH, PTS-110)を用いて同期信号をそれぞれのビデオカメラの映像に写した。コート全体がいずれかのカメラで写るように、60Hzで試合中の映像を撮影した(図5)。

### 3.2 データ分析

撮影した映像の同期信号を用いて、4つの映像のフレームを同期し、Frame-DIAS II (DKH)を用いて選手の位置を、得点に至るまでの約40秒間、1秒間に60コマずつデジタル化した。デジタル化したデータは、斜め上から撮影した映像を2次元平面に変換する2次元 DLT 法(山本・池上・工藤・川口, 1997)を用いて、コート上の選手の位置データを求めた。得られた各選手の試合中の位置データを、遮断周波数3Hzの2次の Butterworth 型フィルターによって選手の動きを平滑化した。

### 3.3 集団のポテンシャルの算出

得られた各選手の試合中の位置データから、式(1)で定義した行為ポテンシャル(IP)を計算した。

この際に、フィールドホッケーのコートが54.9 × 91.4m (60 × 100yds)であるため、格子は60 × 100としてコート上の6000点に対する各選手の行為ポテンシャルを求めた。二つの集団の動きを表現するため、攻撃側、守備側(以下OF, DFとする)のそれぞれ10名の選手の行為ポテンシャルの合計を式(5)より求め

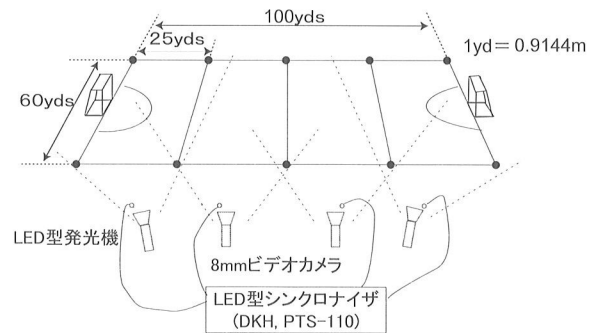


図4: 実験状況の模式図(図中の●はコントロールポイントを示す)



図5: 撮影した映像(カメラ1台)

た。また OF、DF のポテンシャルのうち、運動ポテンシャルは選手の速度に依存するので、微分による誤差の増大を緩和するため、遮断周波数 3Hz の 2 次 Butterworth 型フィルターを用いて平滑化した。

### 3.4 集団のポテンシャル分布の表現方法

6000ポイントの OF、DF それぞれのポテンシャルの総和が時間ごとにどのように変化しているかを表現するため、Mathematica 5.2 の DensityPlot 関数を使用し、黒と白の濃淡図で表した。濃淡が濃い場合が集団のポテンシャルが低く、高くなるにつれて薄くなるように表現した。

濃淡のレベルを OF と DF で同一にするために、両方のポテンシャル (各6000点×フレーム数) 全体の平均 ( $M$ ) と標準偏差 ( $SD$ ) を求め、濃淡レベルを  $M \pm 3SD$  として  $TP_i$  を連続したフレームごとに表し、1/60秒ごとの集団のポテンシャル分布の変化をアニメーションとして表現した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 プレー内容

データ分析は、センターライン後方にいた OF の選手がボールを保持し、中央の選手から前線へパスをし、コーナー付近で DF の反則を誘い、セットプレーから数秒でゴールを決めたという約40秒間を対象とした。

そのうち、後方の選手が中央へパスを送る数秒前から、DF の反則を誘った選手がボールを保持するまでの約12秒間を図6に表した。ここでは、全選手のうち主にボールに関与した動きをしたと思われる選手 (OF 5名を A, B, C, D, E とし、DF 3名を X, Y, Z とする) とボールの軌跡を表している。

図6(a)は、OFの選手A, Bによる数回のパス交換を行った、いわば二人の選手のパスによるOFのボール保持の場面で、AがBからのパスを受け、さらにB

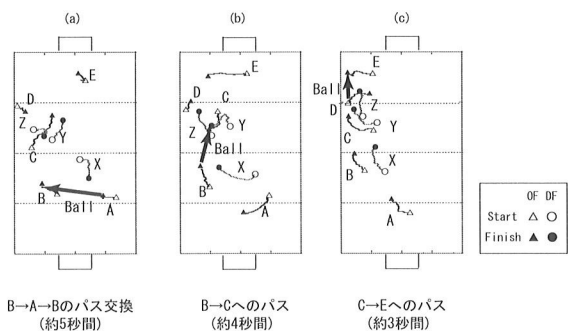


図6：選手とボールの軌跡

へパスを出すまでの約5秒間である。BからAへパスが出た瞬間におけるDFの選手XのBをライン際へ追い込む動きによって、試合の流れが変わったと考えられる。図6(b)は、OFの選手Bがボールを保持し、CがDFの選手Yを振り切りBからのパスを受けた場面までの約4秒間である。

さらに、図6(c)はOFの選手Cがボールを保持し、更にDのDFの選手Zをひきつける動きによってスペースを作り、Eへパスを繋いだという約3秒間である。

### 4.2 集団のポテンシャル分布

OF、DFのそれぞれ10名を対象として、集団のポテンシャル  $TP$  を求めた。図6で示した12秒間のうち、Cがボールを保持しEへパスを出すまでの2秒間について0.1秒ごとのコート全体の集団のポテンシャル分布を表現したのが図7である。

図7のOFのポテンシャル分布の変化は、コート全体が比較的均一な状態 (0~0.2秒) からゴール前 (図の上中央) 付近のポテンシャルが低下し (0.6~0.8秒)、その後、左サイドのポテンシャルが高くなり (1.0~1.4秒) そしてまた比較的均一な状態 (1.5~1.9秒) になっている。DF側のポテンシャル分布の変化をみると、コート中央のポテンシャルがしだいに低くなり (0~0.4秒)、それと同時に左上隅のポテンシャルが高くなっていき (0.2~0.9秒)、その後ゴール前から左上隅へとポ

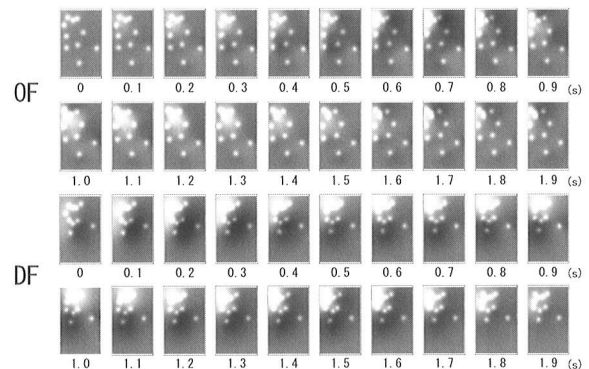


図7：OFとDFのポテンシャル分布：OFのCからEにパスが出る2秒間

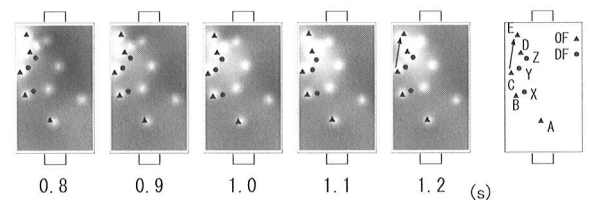


図8：OFのポテンシャル分布の時間変化 (コート全体)

テンシャルの高い固まりができ、移動している状態 (0.9 ~ 1.6秒) になっている。以上のような集団のポテンシャル分布の変化が、集団としての移動パターンをある程度、表現しているものと思われる。そこで次は、更に詳細に、OFの選手Dがコート中央に移動し、DFの選手Zがそれにつられるようにコート中央に移動し、OFの選手Cがその空いたスペースにパスを出すまでの0.8秒から1.2秒までを見ていく。

図7における0.8秒から1.2秒までについてOFとDFのポテンシャル分布の時間変化について、それぞれ、図8と図9に示し、この間の集団のポテンシャル分布の変化に着目する。また、図10、図11では、それぞれOFとDFについて特に選手の動きが活発であったコートの1/4を拡大して示してある。図8～図11には、集団のポテンシャル分布上にOF、DFの選手の位置を示した。

図8及び図10におけるOFのポテンシャル分布では、0.8秒の時点では左側に白い部分が集中していたが、1.0秒から1.2秒にかけて中央付近に白い分布が移動し分散したことが分かる。これは、左サイドでCがボールを保持している間に、OFの選手Dがパスコースを作るために中へ入り込んだ場面である。一方、DFのポテンシャル分布では、0.8秒の時点ではOFと同じく左側

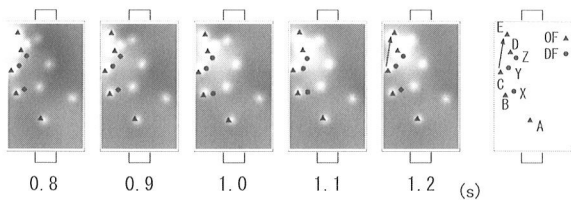


図9：DFのポテンシャル分布の時間変化（コート全体）

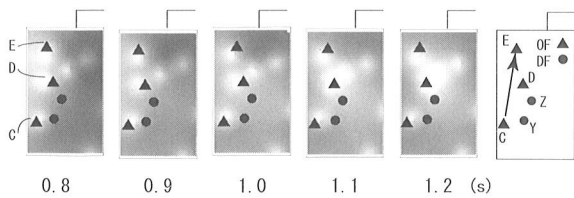


図10：OFの集団ポテンシャル分布の時間変化（コート1/4）

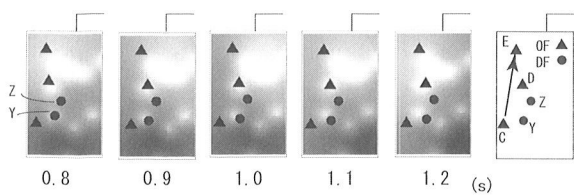


図11：DFの集団ポテンシャル分布の時間変化（コート1/4）

を白い部分が支配していたが、1.0秒で一度白い部分が中へ移動し大きな固まりとなっている。これは、OFの選手Dの中へ入り込む動きにつられて、DFの動き全体も中へ移動する動きがみられ、白い部分が偏ったと考えられる。そして、Cがパスを出す瞬間1.2秒の時点では、白い固まりが再び分散している。

以上のように、集団のポテンシャル分布の白い部分、つまりポテンシャルが高い部分は選手の位置、動きの速さや方向が集中している部分であり、実際の試合での選手の動きとも対応していると考えられる。ただ、今回の分析の対象とした図8～図11の場面は0.4秒間と時間間隔が非常に短く、データの誤差によってポテンシャル分布の変化がみられた可能性も否めない。しかしここで表現した集団のポテンシャル分布は、実際の選手全体の動きを表現したのではなく、コート上の各点に対する各選手の位置からの距離の知覚に基づいて計算されたものである。いいかえれば、物理的距離や動きよりも、ある意味歪んだ空間パターンの変化を表している。したがって、密集した地域での僅かな動きや位置の変化が、より大きな変化として表現されている。しかし、そのことは、人間の知覚が行為と結びついたものによると考える (Swenson & Turvey, 1991; 佐々木・三嶋, 2001) ならば、密集した地域での集団の移動パターンが大きな変化として表現されたことは、意味があるかもしれない。つまり、コート上という閉じた環境内において、図10や図11のような、微視的な状況下でのわずかな変化によっておこる、図7で見られるような、巨視的な状況でのパターン変化を表現できたのではないかと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、ボールゲームにおける選手の行為には、位置どり（ポジショニング）と動き（速さ・方向）という二つの要因があると仮定し、前者を位置ポテンシャル、後者を運動ポテンシャル、さらにその総和を行為ポテンシャルとして定義した。また、任意の点に及ぼす選手の行為ポテンシャルが任意の点に対する選手の距離の知覚に依存すると考え、その非線形性を正規分布を用いてパラメータ化した。さらに、ある位置に止まっている場合と、ある速度で移動中の場合とでは、同じ物理的距離であっても距離の知覚の変化点が異なるかと判断し、フィールドホッケー競技に固有の距離を、正規分布の変曲点に対応させて、ポテンシャルを表現した。その後、攻撃側と守備側それぞれに対して個人のポテンシャルの総和を求め、それを集団のポテンシャルとし、このポテンシャル分布の時間的な変化を集団



の移動パターンとして実際のゲームを表現した。

集団のポテンシャルを用いて二つの集団 (OF, DF) を比較した結果、実際の選手の動きに対応させることができ、ある程度、現象を記述できたのではないかと考えられる。ただし、今回、定義した行為ポテンシャルとは、位置、運動ポテンシャルの単純な総和であるが、両者が同等のものであるという根拠はない。また、個人の行為ポテンシャルの総和を集団のポテンシャルとするならば、要素間の相互作用によって生み出されると考えられる自律的なパターン形成は期待できないことから、要素としての個人のポテンシャルから集団のポテンシャルを算出する際に付け加えるべき非線形な項について今後検討していく必要があるだろう。

しかし、本研究では、ボールゲームにおける選手の行為が他の選手に対する物理的距離よりも知覚に基づく距離によって成り立っていると考えられることから、要素の集合体としての集団の動きを、距離の知覚に依存した集団の移動パターンとして時空間で表現できたと考えられる。これは、選手の動きという、第三者が観察できるような現象そのものではなく、選手自身が感じているゲームの流動的なパターンでもあり得ると考えられる。

## 文献

- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin. (古崎 敬・古崎 愛子・辻 敬一郎・村瀬 旻 訳 (2002). 「生態学的知覚論. ヒトの知覚世界を探る」. 東京:サイエンス社.)
- Bisanz, G. & Vieth, N. (2000). *Fussball von morgen, Band2: Leistungstraining für B-/A-Junioren und Amateure*. Münster, Germany: Philippka-Aportverlag. (田嶋 幸三 監訳 今井 純子 訳 (2002). 「21世紀のサッカー選手育成法 技術・戦術・体力アップの練習プログラム」. 東京:大修館書店.)
- 木島 章文 (2003). アメリカンフットボールの密集突破に関する攻守圧場モデル. 筑波大学博士学位論文.
- 木島 章文・吉田 茂 (2004). アメリカンフットボールの守備構造把握による最適突破走路の選択. *スポーツ心理学研究*, **28**, 18–27.
- Lee, D. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, **5**, 437–459.
- Lee, D. N. & Lishman, J. R. (1982). Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology*, **8**, 448–459.
- Lee, D. N. & Reddish, P. E. (1981). Plummeting gannets: a paradigm of ecological optics. *Nature*, **293**, 293–295.
- 佐々木 正人・三嶋 博之 (編) (2001). 「アフォーダンスの構想」. 東京:東京大学出版会.
- Spencer, M. & Lawrence, S. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 843–850.
- Swenson, R. & Turvey, M. (1991). Thermodynamic reasons for perception-action cycles. *Ecological Psychology*, **3**, 317–348.
- 瀧 剛志・長谷川 純一 (1998). チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用. *電子情報通信学会論文誌*, **8**, 1802–1811.
- 上田 哲男・中垣 俊之 (1996). 粘菌行動の自己組織化 -Phase Locking と情報制御-. 都甲 潔・松本 元 (編) 「自己組織化生物にみる複雑多様性と情報処理」, 86–101, 東京:朝倉書店.
- 山本 裕二・池上 康男・工藤 敏巳・川口 純子 (1997). ソフトテニスにおけるゲーム中の動きの分析方法. *総合保健体育科学*, **20**, 35–43.
- 山本 裕二 (2001). 安定性にもとづく動きの可能性. 調枝孝治先生退官記念論文集刊行会 (編), 「運動心理学の展開」, 132–145. 東京:遊戯社.
- 吉川 研一 (編) (1995). 「非線形科学—分子集合体のリズムとかたち—」. 東京:学会出版センター.

(2005年12月17日受付)

