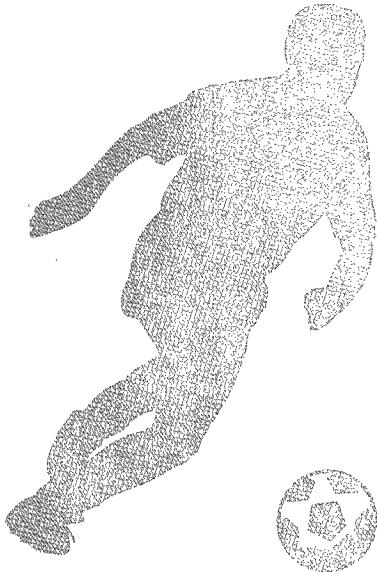


勢力範囲に基づいた チームスポーツ解析



中京大学情報科学部メディア科学科

瀧 剛志 taki@scs.chukyo-u.ac.jp

長谷川 純一 hasegawa@scs.chukyo-u.ac.jp

本稿では、集団としての協調的あるいは競合的な行動を定量的に解析するための基本特徴量とその利用方法について述べる。この特徴量とは、優勢領域とよぶ到達可能時間に基づいた一種の動的勢力範囲であり、ある人が他の誰よりも早く到達可能な領域をいう。本稿では、優勢領域の応用例としてチームスポーツ競技をとりあげ、集団の知的行動（チームワーク）理解をサポートするための映像生成、および、プレイの定量的な評価方法について述べる。試合中の各選手またはチームの勢力範囲を可視化することで、専門家でなくとも客観的に優勢・劣性な領域を観察することができ、新しいスポーツ番組制作やゲーム分析手法としても利用できると思われる。

▼スポーツにおける勢力範囲

最近のスポーツ番組では、競技内容をより分かりやすく、かつ、おもしろく見せるための映像技術が数多く見受けられる。たとえば、球技スポーツではゴールシーンを3次元アニメーションによってさまざまな視点から観察したり、トラック競技などでは現在の競技映像に過去の映像を重ね合わせることで、両者の違いを楽しむことができる¹⁾。スポーツの中継映像をエンターテインメントの対象としてとらえた場合、外見的な映像の質や単なる臨場感を追究するだけでなく、巧妙な戦術や繁雑な競技ルールなどの競技としての内容的なおもしろさを、一般の人々に分かりやすく示すことが重要であり、それによって、そのスポーツへの理解が一段と深まることが期待できる。

ひとくちにスポーツといっても、個人競技もあれば団体競技もあり、プレイするフィールドでみても、陸上、水上、氷上など多種多様である。ここでは、一般に定量的なプレイの評価が得られにくい「チームワーク」を必要とする競技を考える。具体的には、複数の選手

で構成されるチーム同士が入り混じって広いグラウンドの両端にあるゴールにボールを運び得点を競う競技（たとえば、サッカー、アメリカンフットボール、ハンドボール、ホッケーなど）を対象とする。これまで、個人動作を対象とした映像認識の研究については、スポーツ科学やコンピュータビジョンなど幅広い分野で盛んに行われてきたが、集団（チーム）における協調的・競合的な動きを映像から定量的に解析しようとする研究はまだ少ないといってよい。この種のチーム競技では、攻守において意図的にスペース（一種の陣地と考えることができる）を奪い合うことが最も基本的で重要な戦術の1つであり、テレビ中継や解説番組などでも、このスペースという言葉は頻繁に用いられる。たとえば、攻撃時には、いかに敵陣内に有利なスペースを築き、そのスペースを活用するか、また、守備時には連携した動きによって、いかに自陣内で相手にスペースを築かせないかが重要となる。一般にその実行頻度が相手より勝っているチームは競技の主導権をとる可能性が高いため、実際の競技においても各選手の連携した動きによるスペースの奪い合いが頻繁に見受けられる。つまり、そのスペースの大きさ、位置、形、時間変化

などを定量化できれば、チームとしての協調的な動き（チームワーク）の良否が評価できると考えられる。そこで、我々はチームスポーツ競技で重要とされる「スペース」を、優勢領域 (dominant region) と呼ぶ一種の動的な勢力範囲（相手よりも早く到達可能な領域）として定義した²⁾。

本稿では、チームスポーツ映像から試合中の各選手または各チームの勢力範囲という一般に見ることのできない情報を可視化し、より分かりやすくインパクトのある映像を生成するための方法について述べる。また、この勢力範囲を利用すれば、重要なチーム戦術のいくつかが定量的に評価できることも実例をまじえて紹介する。

▼優勢領域とは

優勢領域とは、その人が他の誰よりも早く到達できる場所をいい、人物の配置状態や個々の動きによって時々刻々と変化する一種の動的勢力範囲である。勢力範囲というものを一般に定式化しようとした場合にはボロノイ領域³⁾の考え方を利用できる。

▼優勢領域の定義

いま、 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ をユークリッド空間中の n 個の点の集合、 $In = \{1, 2, \dots, n\}$ を n 個の整数の集合、 R^2 を実数の集合としたとき、 $p_k \in P$ のボロノイ領域は次のように定義される。

$V(p_k) = \{x \in R^2 \mid d(x, p_k) \leq d(x, p_m) \text{ for } m \neq k, m \in In\}$

ここで、 p_k はその点のラベルとその位置ベクトルの両方を示すものとし、 $d(x, y)$ は位置 y から x までのユークリッド距離を示す。また、 P に対するボロノイ領域の和集合を P のボロノイ図と呼ぶ。

しかしながら、人は一般にさまざまな速さで移動し、かつ、その人の運動能力の範囲内で加速したり方向を変えたりする。そのような動的な環境の中での勢力範囲は、距離ではなく、むしろ到達時間を基準に考えた方がより合理的であろう。そこで、ある時刻 t における n 人の人間の集合を $P(t) = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)\}$ とし、 $p_n(t) \in P(t)$ の勢力範囲を次のように定義する。

$$D(p_k(t)) = \{x \in R^2 \mid t_s(x, p_k(t)) \leq t_s(x, p_m(t)) \text{ for } m \neq k, m \in In\}$$

ここで、 $t_s(x, p_k(t))$ は、ある時刻における p_k がその時刻を基点に点 x まで移動するのに必要な最短時間で、こ

れを最小到達時間と呼ぶ。すなわち、上式の D は、ある人が時刻 t に移動を開始したとき、他の誰よりも早く到達可能な領域を表す。この領域を優勢領域と呼ぶ。優勢領域は、形式的にはボロノイ領域の定義式におけるユークリッド距離 d を最小到達時間 t_s で置き換えたものであるが、各個人の動きや運動能力を反映した勢力範囲を表現できる点でボロノイ領域とは振舞いが異なる。なお、 $P(t)$ に関する優勢領域の和集合を $P(t)$ の優勢領域図と呼ぶ。

▼最小到達時間の計算

前章で述べた最小到達時間の計算には、その時刻におけるその人の位置、初速度、および、加速度に基づいた単純な加速度運動モデルを利用する。式で示すと次のように表せる。

$$x = 0.5 \cdot A_{\theta\rho} \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$$

ここで、現在の位置 x_0 と初速度 v_0 は実際の映像から推定した値を用い、加速度 $A_{\theta\rho}$ については、その人の運動能力に応じて決められた加速度パターンを利用する。このパターンは、各個人が発揮できるすべての加速度ベクトル（角度 θ 、大きさ ρ ）の集合であり、実際の計算では上式にしたがって加速度のパラメータ θ 、および、経過時間 t を変化させながら、各時刻で到達可能な範囲を図-1 のように算出する。このようにして得られた時間値の濃淡パターンを到達時間パターンと呼ぶことにする。また、図-2 に加速度パターンの例を示す。各円の中心付近から出ている1本の白抜き矢印が1つの加速度ベクトルを表している。また、黒い矢印は個人の移動ベクトルである。たとえば、(a) のモデルは、個人の移動速度に関係なく、任意の方向へ一定の大きさで加速で

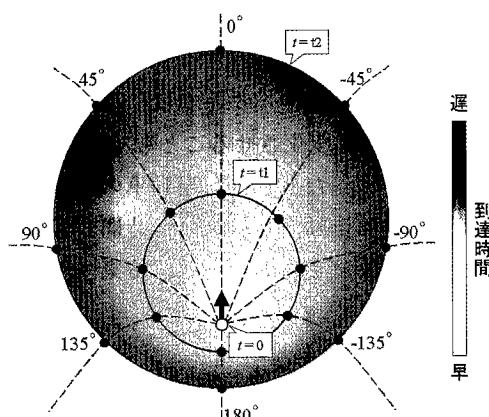


図-1 到達時間パターンの計算例

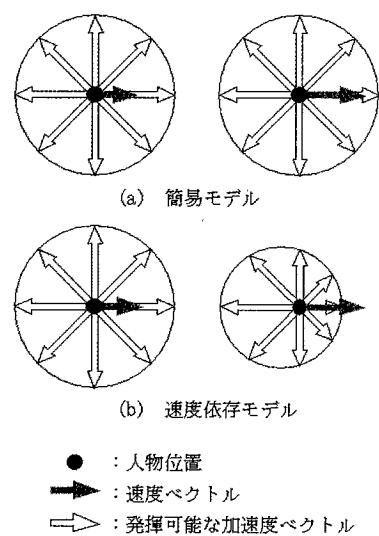


図-2 加速度パターンの例

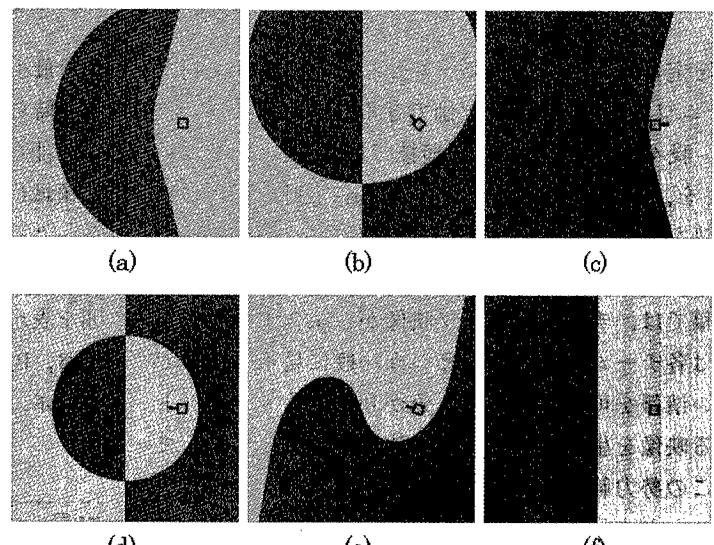


図-3 優勢領域の計算例

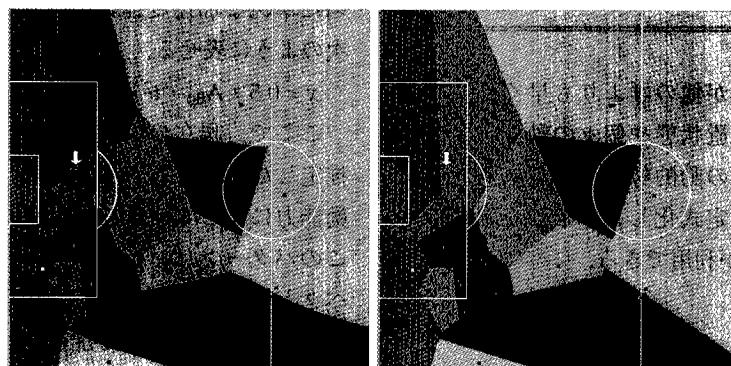


図-4 優勢領域とボロノイ図の比較(左: 優勢領域図, 右: ボロノイ図)

きることを意味する。また、(b)のモデルは、移動速度が遅いときには(a)と同様に任意の方向へ同じ力で加速できるが、移動速度が増加するにつれてその移動方向に対してだんだん加速しにくくなる状況をモデル化したものである。このように各個人の運動能力が加速度ベクトルの集合として得られれば、その人の運動能力を反映した到達時間パターンを近似的に求めることができる。またこの加速度パターンはその人の競技中の疲労度などに応じて変化させることもできる。さらに、人間だけではなく、たとえば、自動車の加速度パターンが与えられれば自動車特有の到達時間パターンが得られるから、自動車と人間が混在する集団行動の解析にも利用できるかもしれない。

▼優勢領域の計算

優勢領域は、各個人に対して得られた到達時間パタ

ーンから容易に計算できる。到達時間パターンによって、各個人が各点へ至るまでの最小到達時間が与えられるため、その点において最小値を持つ人物が他の誰よりも早くそこへ到達できることになる。つまり、このような点の集合がその人の優勢領域となる。図-2 (a)にあるような加速度パターンを用いて、実際に優勢領域を計算した例を図-3に示す。図は、2人の動きによって構成された優勢領域図であり、左側の人物の優勢領域が濃く、右側の人物のものが薄く、色分けされている。また、図中の◇が人物の位置、一が速度ベクトルを表している。これらの図からも分かるように、同じ場所に人物が存在していても、速度ベクトルが異なることによって優勢領域はさまざまに変化する。これらの図では人物の配置状態はすべて等しいため、ボロノイ図で表現するとどれも図-3 (f)と等しくなる。一般に優勢領域の境界線は線形ではなく、領域数も各人に1つとは限らない。たとえば、図-3 (d)でみられるように、相手に向かって進んでいくとき、自分の優勢領域は自

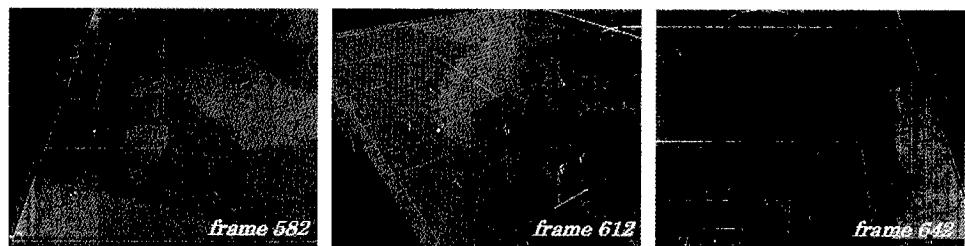


図-5 優勢領域のアニメーション表示

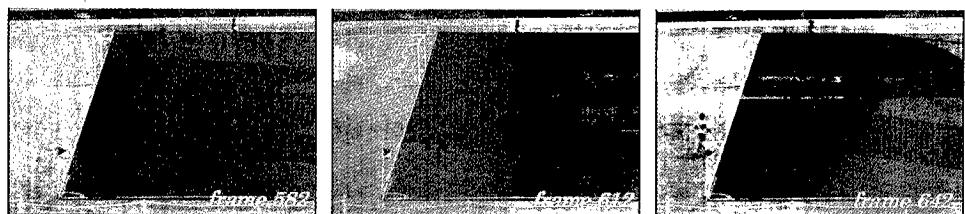


図-6 優勢領域の合成表示

分の周辺だけでなく相手の背後にもできるが、同時に自分の背後に相手の優勢領域ができてしまう。優勢領域のこのような振舞いは、実際の状況とよく合致しており、単純なボロノイ領域では表現できない部分である。なお、すべての人の加速度モデルが等しく、かつ、初速度ベクトルがゼロである場合、優勢領域はボロノイ領域に一致する。

▼スポーツ映像における優勢領域の可視化

実際に、映像から得られる人物の動きに基づいた優勢領域を計算するには、画像上の人物の位置を抽出し、実空間上の位置および速度を求める必要があるが、ここでは画像上の点が実空間上のどの点に対応するのかがすでに分かっているものとする。具体的な方法については、文献2), 4)などを参考にしていただきたい。

まず、ビデオカメラ8台で撮影した実際のサッカー映像を用いて優勢領域を計算した結果の一例を図-4(左)に、また、その優勢領域図に対応するボロノイ図を図-4(右)に示す。図では、各選手の優勢領域およびボロノイ領域が濃淡の違いで表現されている。この例では、最終的に図中の矢印の選手がゴール前で相手に競り勝って得点を決めるシーンである。このとき優勢領域に注目すると、その選手がゴールに向かって移動しているため、ボロノイ領域と比較して優勢領域が左下に大きく広がっていることが観察でき、ゴール前に得点のチャンスとなる領域が生成されていることが容易に理

解できる。さらに、より分かりやすく内容を伝えるために、アニメーション表示や実映像への合成表示も有効である。図-5は、各選手の移動を3次元アニメーションで表現し、そこにチーム別の優勢領域を表示したものである。映像から得られる情報が選手の足下の位置のみであるため、各選手の姿勢や手足の動きなどは再現できないが、実際には見ることのできないさまざまな視点から試合の状況を観察できる点では有効な表現方法といえる。また、図-6は、実際に撮影した映像に優勢領域を合成表示したものである。図では、先ほどと同様にチームの違いが濃淡で、また、各選手の優勢領域が境界線で区別されている。合成表示では、実映像上に優勢領域を直接マッピングすることで各選手の動きと優勢領域の変化を同時に観察することが可能である。このような一種の強調映像を提示することにより、見る側は、どこにチャンスがあるのか、この選手はどのように動くのかなどを予想し、また、その結果を評価しながら観戦を楽しむことができるようになる。

▼優勢領域を用いたチームスポーツ解析

優勢領域はチームスポーツにおけるプレイの解析にも有用である。ここでは、サッカーとハンドボールの解析例について示す。まず、評価尺度として考えられるのが優勢領域の大きさ、位置、形状、および、その時間変化であろう。サッカーなどの競技では、フィールド上の各点について、その位置での重要度で重み付

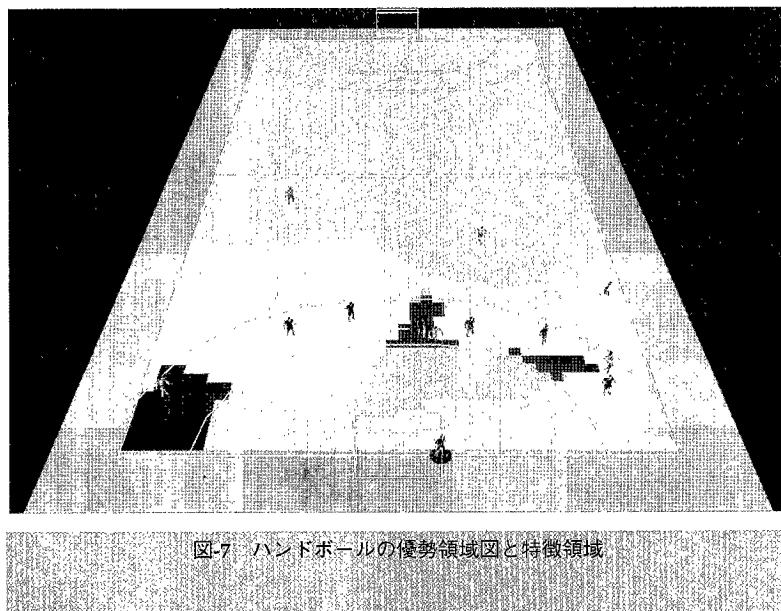


図-7 ハンドボールの優勢領域図と特徴領域

けしたチーム別優勢領域の面積およびその時間変化を用いる。各点での重要度はゴールまでの距離や角度、また、その位置での過去の得点率などを考慮して決定する。最終的に、その面積の大きさや増加率が相手チームよりも勝っていれば、そのチームのその時間帯での連携した動きが相手チームより勝っていると評価できる。また、ハンドボールの場合は、ゴールエリアライン（図中内側の半円状の白線）内にはゴールキーパー以外は入れないため、ほとんどのシュートがそのライン付近から放たれる。つまり、攻撃側に有利なスペースがその付近で大きければ、得点のチャンスも大きいと考えられる。そこで、このゴールエリアラインとフリースローライン（外側の半円状の白線）の間に生成されるチーム別優勢領域にのみ着目し、ゴールエリアライン上を占める優勢領域の割合、そのラインに隣接する連結成分の個数、および、その総面積の比率を計測し、その経時変化から攻撃の質を評価する。図-7は、ハンドボール競技での優勢領域図の一例であり、赤い部分が攻撃チームの注目領域内での優勢領域である。この例では相手よりも早くゴールエリアラインまで達する場所が3箇所あることが分かる。これは、パスを受ければシュートが可能な場所であり、この数や面積が大きければよい攻撃、よい配置状態であると評価できる。また、この他にも優勢領域を用いたプレッシャー（空間的・心理的な圧迫感）の解析や、到達時間パターンを用いたパスワークの解析なども試みられている（文献2）を参照）。

▼さいごに

サッカーやハンドボールなどの団体球技スポーツでは、煩雑なルールに加え、選手やボールが複雑な動きをするため、単に解説付きの映像を提供するだけでは、一般の視聴者に対し、その真のすばらしさやおもしろさを理解させるのは難しい。そこで、我々は、実際のサッカー映像から、各選手および各チームの優勢領域を算出し、それを元の映像に合成表示することを試みた。その結果、専門家でなくとも試合中の優勢・劣性な領域を客観的に観察することができるようになった。これは、新しいゲーム観戦法の1つとして利用できる可能性がある。また、サッカーなどのスポーツ番組では、どこにスペースが作られ、どのように利用したかなどを解説することが多いが、その多くは感覚的なものであって、定量的に示した例はこれまでなかった。本方法を用いれば、定量的かつ客観的に理解しやすいインパクトのある映像を提供できると考えられる。さらに、試合の優劣、パスの善し悪しやパス可能範囲、および、相手に与えるプレッシャーの度合いなどの専門的な評価も柔軟な形で原映像上に可視化できれば、より効果的な映像が制作できるものと考えている。

参考文献

- 1) ORAD社: <http://www.orad.com>
- 2) 潤 剛志, 長谷川純一: 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, 信学論 (D-II), J81-D-II, 8, pp.1802-1811 (1998).
- 3) Okabe, J., Boots, B. and Sugihara, K.: Spatial Tessellations—Concepts and Applications of Voronoi Diagrams—, JOHN WILEY & SONS, New York (1995).
- 4) 出口光一郎: 画像の生成過程を記述する, 情報処理, Vol.37, No.6, pp.549-556 (June 1996).

(平成13年4月14日受付)

