

卒業論文概要書

Summary of Bachelor's Thesis

(2017年2月1日)

学科名 Department	情報理工	氏名 Name	横井真也	指導 教員 Advisor	渡辺 裕 印 Seal
研究指導 Research guidance	オーディオビジュアル情報処理研究	学籍番号 Student ID number	1w130590-1 CD		
研究題目 Title	ボロノイ図を用いた3次元優勢領域の決定 3D Dominant Region Determination Using Voronoi Diagram				

1. まえがき

近年様々な映像配信サービスが存在するが、スポーツ映像など差別化を図る余地のないコンテンツについては、多くのサービスで同じ映像が配信されている。映像の入手が容易な状況では、単純な映像配信だけでなく、その映像を解析し、映像コンテンツをさらに楽しめる形で提供することが視聴者獲得のため必要になってくると考えられる。そこで世界各国の視聴者数、競技者数が多いサッカー[1][2]に注目し、新たな映像解析手法を提案する。

サッカーの戦術解析、評価についてはボロノイ図を用いた戦術評価[3]など多くが2次元での解析に留まっている。本研究では、選手の座標及び速度情報を利用した新たな解析手法として、3次元優勢領域の決定手法を提案する。

2. 3次元優勢領域

3次元優勢領域はボール所持者チームとその相手チームで定義が異なる。ボール所持者のチームの場合は優勢領域内を通過すれば味方選手がパスを受け取ることができるとする。そして相手チームの場合は自チームの優勢領域内にボールが侵入した場合、自チームの選手がボールを取得できる領域であるとする。従来手法[3]の考え方をもとに2次元優勢領域図を作成し、そこから選手が直接ボールに触ることができる選手領域を決定する。そしてボールの運動方程式から軌道を計算し、各軌道がどちらのチームの優勢領域に最初に到達するかによって、各軌道が通過した領域がどちらのチームに属するか決定する。計算した軌道が通過しない領域については最も近いチームの領域に属するとして3次元優勢領域を決定する。

3. 実験結果

決定した3次元優勢領域をAUTOCAD Civil 3Dを用いて3次元の図を作成することで視覚化した。それを元にパス可能性やチームの優勢度を算出し、パス可能性についても3次元の図を作成し、視覚化した。またボール所持者チームの選手の最高速度を10分の1に制限した3次元優勢領域図、優勢領域図の断面図、パス可能性図を作成した。最高速度の違う二つの図を比較し、選手の最高速度が速い場合の優勢領域の広さやパス可能性の高さから、決定した優勢領域やパス可能性が妥当であることを確認した。

4. まとめ

本研究では、従来の2次元優勢領域図から3次元優勢領域図を作成する手法を提案し、3次元優勢領域図を図示した。また比較のため選手の最高速度を変更した優勢領域図、パス可能性図を作成し、妥当性を確認した。今後実際の試合のデータを用いての検証や、2次元の図で3次元の領域を表現する方法の検討が必要であると考えられる。

参考文献

[1] FIFA, "2014 FIFA World Cup Brazil Television Audience Report", p7, Dec.2014.

[2] FIFA, "265 million playing football", FIFAmagazine, Jul.2007.

[3] 大森隆司, 山田信幸, 国見保夫, 菅野直敏, "ゴール型ボールゲームの戦術行動モデルの構築と評価-Jリーグにおけるゲーム分析を事例として-", 玉川大学学術研究所紀要 No.20, pp.15-21, Mar.2014.

研究業績

横井真也, 石川孝明, 渡辺裕, "ボロノイ図を用いた3次元優勢領域の決定", 映像情報メディア学会スポーツ情報処理研究会研究報告, 2017年2月27日発表予定

2016 年度 卒業論文

ボロノイ図を利用した 3 次元優勢領域の決定
3D Dominant Region Determination Using Voronoi
Diagram

指導教員 渡辺 裕 教授

早稲田大学 基幹理工学部

情報理工学科

1W130590-1

横井 真也

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	関連研究	1
1.3	目的	2
1.4	本論文の構成	2
第 2 章	ポロノイ図	3
2.1	ポロノイ図の定義	3
2.2	優勢領域図	4
2.3	サッカーボールの軌道計算	5
2.4	数値計算	5
第 3 章	提案手法	7
3.1	はじめに	7
3.2	2次元優勢領域図の作成	7
3.3	選手の優勢領域図の作成	7
3.4	3次元優勢領域図の作成	7
3.5	領域図作成で用いる値	8
3.6	3次元優勢領域の利用	8
3.6.1	パス可能性の算出	8
3.6.2	優勢度評価	9
第 4 章	実験結果	10
4.1	3次元優勢領域	10
4.1.1	優勢領域の3次元図	10
4.1.2	3次元優勢領域の x-y 断面図	13
4.1.3	3次元優勢領域の x-z 断面図	23
4.2	パス可能性の結果	26
4.3	優勢度評価の結果	29
第 5 章	結論	30
5.1	まとめ	30
5.2	課題	30
	謝辞	31
	参考文献	32
	図目次	34
	研究業績	35

第 1 章 序論

1.1 研究背景と目的

近年, 様々な動画配信サービスが存在し, また有料動画配信サービスの利用者は年々増加している [1]. これからも動画配信サービス, 利用者数共に増加していくと予想されるが, その一方で, コンテンツの種類や内容で他社と差別化を図りながら, より多くの利用者を確保することは, 素材映像を単純に編集して配信するものについては難しくなっていくと考えられる. 最近では同じ映像が複数の動画配信サービスで提供されている. 例として 2016 年 9 月 24 日に開催されたプロ野球横浜 DeNA ベイスターズ対読売ジャイアンツ戦をあげる. この試合はテレビでの配信が地上波で tvk, BS で BS-TBS, CS では TBS チャンネル 2 が配信した. また, ネット配信においてはスポナビライブ, DAZN, SHOWROOM, ニコニコ生放送において配信され, いずれもスマートフォン, タブレット端末, PC などの複数の環境で視聴可能であった. 以上のような状況にあって, スポーツ映像配信のように配信元が配信映像そのものについて変更不可能なものについては, コンテンツを無加工で配信するのでは差別化を図ることが困難である. そこで, これからはスポーツ映像を単純に配信するだけでなく, その映像を解析して, 映像コンテンツをさらに楽しめるようにする技術の需要が高まると予想される. さらに, スポーツ映像を解析し, 新たな情報を提供できるようにすることは, コーチングなど各競技のプレイヤーにとっても有益なものになると考えられる. そこで本研究ではスポーツ映像配信の中でも視聴者数, 選手数が多く, 世界各国の競技人口が多いサッカーの映像解析手法を提案する [2][3].

サッカーに関する研究は数多く行われているが, 映像配信に関わるものは大きく二つに分類される. 一つは, サッカー配信映像からの選手 [4], またはボールのトラッキング [5] であり, もう一方は, 選手やボールの軌跡, 速度データなどを利用した戦術解析である. 選手, ボールのトラッキングについては, サッカー場にフィールド全体を写すようにカメラを設置することで位置データ, 速度データを取得する試みがすでに行われており, これにより取得したデータが実際に活用されている. また他のスポーツでもトラッキングによりデータを取得し, カメラ映像だけでは伝わりづらい情報を提供する試みが行われている. 例として野球では, カメラ映像から投球の軌跡を取得し, ボールの軌跡 CG を録画した投球映像に重ねることでボールの軌跡の変化をわかりやすく表示する手法が存在する [6]. トラッキングによって得られるデータを利用した戦術解析については, サッカーではこのようなデータを利用する研究の多くがサッカーフィールド上を 2 次元的に解析するにとどまっている. そこで本研究では選手とボールのトラッキングによって得られる速度, 位置データを利用した新たな戦術解析手法の提案を行う. 各チームの選手がボールを取得できる領域を優勢領域とし, 選手やボールの位置, 速度を利用し, 3 次元の優勢領域を決定する手法を提案する.

1.2 関連研究

各チームの 2 次元優勢領域 を決定する方法として選手の位置データからボロノイ図を作成し, それを利用して戦術解析や評価を行う研究が存在する. 岩浅ら [7] の研究ではボロノイ図に選手の速度を考慮した優勢領域図を作成し, 各選手の支配領域を設定する際, 到達時間に制限をつけることで, 各選手がボールを取得できる領域を現実の試合の状況に近づけようとした. また大森ら [8] の研究では

選手の速度に加え振り向き遅延を考慮することで、優勢領域図の精度を上げ、ボールモデルと組み合わせ試合においての最も効果的なパスコースの決定を行った。またサッカー以外のスポーツでもボロノイ図を利用した解析は行われている。例えばバスケットボールについて、各チームのボロノイ領域の広さによって攻撃的な戦術での選手の行動を解析する試みが行われた [9]。しかしいずれも 2 次元での解析が主となり、選手の身長など 3 次元の要素が考慮されていない。

1.3 目的

3 次元のデータを解析に利用することができれば、実際の試合の状況をより正しく評価、解析できるようになる。またそれらの解析データをわかりやすく視聴者へ提供できるならば、コンテンツとしても高い価値を持つと考えられる。他にも選手に対してより具体的にパスコースの評価などを伝えられるようになり、コーチングにも利用できる。そこで本研究では 3 次元優勢領域を決定し、それを容易に理解できる形で出力することを目的とする。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第 1 章は本章であり、研究の背景、関連研究、目的を述べている。

第 2 章ではボロノイ図と優勢領域図、3 次元領域図の作成に必要なサッカーボールの軌道計算について述べる。

第 3 章では 3 次元優勢領域図の作成法とその利用法について提案する。

第 4 章では第 3 章での手法を用いて作成した図とそれを利用したパス可能性指標などの結果を示す。

第 5 章では本研究のまとめと今後の課題を示す。

第2章 ボロノイ図

2.1 ボロノイ図の定義

ボロノイ図の定義を示す。距離関数が d である距離空間 S があるとした時、 S の部分集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \subseteq S$ を母点とする、空間 S におけるボロノイ領域は

$$V(p_i) = \{s | d(s, p_i) \leq d(s, p_j), s \in S, i \neq j\} \tag{2.1}$$

として、 $V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)$ がそれぞれボロノイ領域を表し、 $\{V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)\}$ がボロノイ図を表す。

ボロノイ図は、空間内に複数個の母点を設定し、同一空間内にある点がどの母点に最も近いかを表した図である。目的によって距離関数を選択するが、例としてユークリッド距離でのボロノイ図を示す。

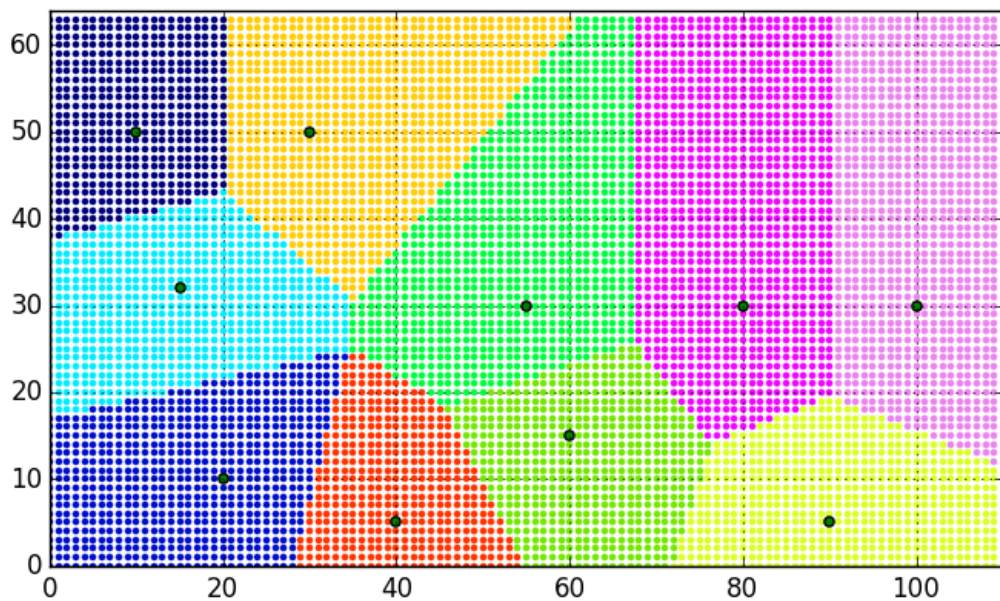


図 2.1 ボロノイ図 (ユークリッド距離)

図 2.1 はユークリッド距離でのボロノイ図である。図中に存在する深緑色の点が母点であり、母点以外の点はユークリッド距離においてどの母点に最も近いかによって色分けされ、分割されている。

ボロノイ図が表すものは母点の勢力範囲とも考えることができ、サッカーやバスケットボールなどの球技でフィールドに2チームの選手がともに存在するような競技の分析に使用することができる。しかしボロノイ図をスポーツ解析に応用する場合、ユークリッド距離では選手の支配する領域を正確に判定することは不可能である。なぜなら選手の支配する領域とは各選手が自分が最も早く到達できる地点のことであり、各領域について最も近い選手がその領域を支配しているとは言えないからである。ボロノイ図の考え方を軸として、時間を考慮に入れ、どの選手が各地点に最も早く到達できるかを表すことで、各選手の支配領域をより正確に表したものが優勢領域図である。

2.2 優勢領域図

優勢領域図とはどの選手が最も早くフィールド上の各地点へ到達できるかを表した図である。選手の加速度、初速度、向き変更遅延など時間にかかわる要素から各地点への到達時間の計算し、最も到達時間の速い選手の領域とする。以下に優勢領域図の例を示す。

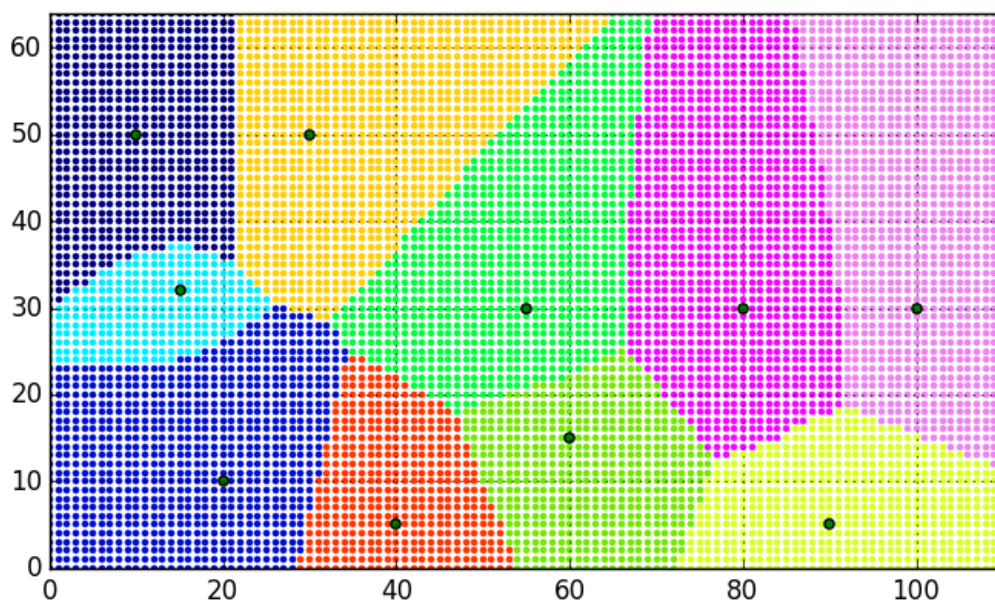


図 2.2 優勢領域図

図 2.1 と図 2.2 では選手を意味する深緑色の丸点の位置は同一であるが、それぞれの母点のボロノイ領域に変化があることが確認できる。これは選手の速度や加速度、向きなどの情報を加えたことで、選手との距離を表した図から、選手からの到達時間を表した図になったからである。どの選手が最も早く到達できるかを表しているということは、各地点にボールがパスされた場合に、どの選手がパスを受け取ることができるかを表した図になっている。これを利用することで、実際の試合でのパスの評価、フォーメーションの評価などを行うことができる。

本研究では選手の手速度、加速度データなどを自身で測定し、データを入手することが困難であったため、先行研究 [8] のデータを利用し計算を行った。

2.3 サッカーボールの軌道計算

鉛直上向きを z 軸、初速度ベクトルが x 軸と z 軸だけで表せるように x 軸をとった座標系で軌道を算出する。またサッカーボールには自転軸が y 軸となる回転がかかっており、風などボールへの y 軸方向への力が働かない状態であるとする。この時ボールの軌道は x - y 平面で考えると x 軸方向に直進する。ボールの運動方程式は、 $v=(u,v,w)$ をボールの速度ベクトル、 m をボールの質量、 S をボールの投影断面積、 C_D を抵抗係数、 C_L を揚力係数、 ρ を空気密度、 q をボールの速度ベクトルの大きさとして式 (2.2)、(2.3)[10] で表される。

$$\dot{u} = -\frac{k}{m}qu - \frac{l}{m}qw \quad (2.2)$$

$$\dot{w} = -\frac{k}{m}qw + \frac{l}{m}qu - g \quad (2.3)$$

ただし

$$k = \frac{1}{2} \rho S C_D \quad (2.4)$$

$$l = \frac{1}{2} \rho S C_L \quad (2.5)$$

とする。

2.4 数値計算

式 (2.2)、式 (2.3) で表される運動方程式からボールの通過する座標を計算するために 4 次の Runge Kutta 法を用いて近似値を求めた。Runge Kutta 法とは

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x, t) \quad (2.6)$$

式 (2.6) の形で表される常微分方程式を初期値条件 $x(t_0)=x_0$ を用いて近似値を算出する方法である。同じ近似値計算の手法として実装が容易な Euler 法があるが、Runge Kutta 法に比べて精度が劣るため、Runge Kutta 法を採用した。以下に Runge Kutta 法で x_n から x_{n+1} を求める計算手順を示す。

$$k_1 = \Delta t \cdot f(x_n, t_n) \quad (2.7)$$

$$k_2 = \Delta t \cdot f(x_n + \frac{1}{2}k_1, t_n + \frac{1}{2}\Delta t) \quad (2.8)$$

$$k_3 = \Delta t \cdot f(x_n + \frac{1}{2}k_2, t_n + \frac{1}{2}\Delta t) \quad (2.9)$$

$$k_4 = \Delta t \cdot f(x_n + k_3, t_n + \Delta t) \quad (2.10)$$

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (2.11)$$

点 (t_n, x_n) を点 A とする。まず式 (2.7) のように Euler 法と同様の方法によって t_{n+1} での解 k_1 を求

める。そして点 A と点 (t_{n+1}, k_1) の中点での傾き，つまり元の常微分方程式の $(t = t_n + \frac{1}{2}\Delta t, x_n + \frac{1}{2}k_1)$ での傾きを求め，その傾きを用いて点 A から $t = t_{n+1}$ での解 k_2 を式 (2.8) のように求める。同様にして式 (2.9) のように k_3 を求める。そして式 (2.10) のように $(t_{n+1}, x_n + k_3)$ の傾きを用いて点 A から $t = t_{n+1}$ での解 k_4 を求める。最後に式 (2.11) のように計算することで， x_n の値から x_{n+1} の値を求めることができる。

本研究では初期値として x 軸方向，z 軸方向への速度を与えることで，ボールの軌道を求めている。位置は速度の積分から得られるので，式 (2.2)，式 (2.3) に Runge Kutta 法を使って求めた値から容易に計算することができる。

第3章 提案手法

3.1 はじめに

本章では、3次元優勢領域図の作成手法と、3次元優勢領域図を利用したサッカーの試合の分析手法を提案する。まず2次元優勢領域図を作成することによって各選手が一番最初に到達できる地点を明らかにする。次に選手の優勢領域図を作成する。これは選手の身長情報と2次元優勢領域図から決定できる、選手が直接ボールに接触できる地点を明らかにした図のことである。そして選手の優勢領域図とボールの軌道計算結果から3次元優勢領域を決定する。

3.2 2次元優勢領域図の作成

2次元優勢領域図の作成については先行研究 [8] の手法を参考に行った。まず選手の速度モデルを作成した。その際最高速度は 10km/h とし、速度が上昇するほど加速度が減少するようにした。これは選手の走行速度には限界があり、また加速度が速さにも依存するからである [8]。また選手の振り向き遅延の時間を優勢領域の判定に使用した。これは選手がボールが蹴りだされることを視認してから走る地点を決め、実際に走行にうつるまでに時間を要するからである。この振り向き遅延データについても先行研究 [8] のものを使用した。これらのデータから各選手のフィールド内の各地点への到達時間を計算し、もっとも到達時間が短い選手の領域にすることをフィールド内すべての地点に対して行うことで、2次元優勢領域を決定する。

3.3 選手の優勢領域図の作成

2次元の優勢領域図を用いた選手の優勢領域図の作成について、高さ情報については選手自身の垂直飛びの高さなどは入手が困難な情報であるので、入手が容易である身長情報を用いて領域図を作成した。2次元優勢領域図の各領域は、各選手の移動可能範囲だと考えられるので、各選手の領域の上に存在する身長分の領域が、各選手の優勢領域となる。今回の図の作成に用いた身長は 160cm から 190cm までの身長の手がかりがあると仮定し、値を決定した。

3.4 3次元優勢領域図の作成

まず3次元優勢領域を定義する。ボール所持者のチームの場合は、ボールが自チームの優勢領域だけを通じた場合、自チームの選手がボールを受け取ることができるとする。ボール所持者の相手チームの場合は、ボール所持者の相手チームの優勢領域をボールが通過したとき、ボール所持者の相手チームの選手がボールをとることができる領域とする。これは同一チームの選手間でボールがやり取りできるのは、そのチームが支配している優勢な領域だと考えられるからである。このような3次元優勢領域を決定するためにはボールの軌道が必要である。ボール所持者の位置を始点としたボールの軌道を計算し、どのような軌道を通り、選手の優勢領域において最初にどちらのチームの領域に入るかを算出する。この時ボールが通過した領域は、ボールが最初に到達したチームの領域に属するとする。つまり計算した軌道がボール所持者のチームの選手の領域に最初に到達した場合は、ボールが通過した点はすべてボール所持者のチームの領域となる。これを複数の軌道について行うことで選手

領域よりも上に存在する領域を2チームの領域に分割することができる。しかし多くの軌道のデータがあったとしても、特にボール所持者から離れた地点においてはボールの軌道が通過しない領域が存在してしまう。これは計算が容易な直進するボールの運動モデルを利用すると、計算される軌道はボール所持者から放射状に広がるからである。これを解決するためにはより多くの軌道データを計算する必要があるが、軌道データを多く計算するほど時間がかかり、実際に試合を解析する場合に多くの場면을解析することが不可能になる。よって今回は軌道データを増やすのではなく、軌道データの計算量には上限を設け、ボールの軌道が通過しなかった点についてはそこから最も近いチームの領域によって属するチームを決定することとした。

今回の実験に使用したプログラムでは、ボールの初速度ベクトルを、x-y平面上の角度は10度間隔に36パターン、x-z平面上の角度は8度から36度までを15パターン、ボールの初速度は20km/hから60km/hまで11パターン設定し、これらの条件のすべての組み合わせである5940本の軌道を計算し、優勢領域決定に利用した。また今回の実験ではボールが蹴りだされてから最初にフィールドに接触するまでの軌道を用いた。

3.5 領域図作成で用いる値

本研究で軌道計算などに使用する値を示す。表中のフィールドはサッカーフィールドを示す。

表 3.1 本研究で使用する値

データ名	値	単位
気温	24.3	℃
気圧	1008.38	hPa
空気密度	1.21	kg/m ³
ボール質量	0.437[12]	kg
ボール円周	0.69[12]	m
抵抗係数	0.20[13]	
揚力係数	0.25[13]	
フィールド長辺	110	m
フィールド短辺	64	m

3.6 3次元優勢領域の利用

3次元優勢領域の利用法として、ボール所持者のチームのパスに注目した領域であることを利用し、パス可能性の表示、各チームの支配領域の座標、大きさなどを利用した優勢度評価を行った。

3.6.1 パス可能性の算出

パス可能性の算出については、実際の試合でのパスデータを参考にできないことから、パス可能性を割合として提示することはできない。しかしパスの成功率に関わってくる要素を3次元優勢領域から取り出すことにより、あるフィールド内の点Aに比べて、別の点Bの方にパスを出した方が成功しやすいという各点同士の比較はできる。本研究ではボールの速度、ボール所持者のチームの相手チームの領域との距離という2つの値の比から、フィールド内の点同士のパス成功可能性の視覚化を行う。

3.6.2 優勢度評価

フィールド内の領域にゴールまでの距離や角度から点数をつけることで、支配領域を評価することができ、それによってチームの優勢度が評価できる。しかし本研究の手法ではボール所持者のチームとその相手チームをゴールまでの距離や支配領域自体の大きさで評価して比較することはできない。なぜなら今回の優勢領域の決定方法ではパスコースの存在が主となっているため、ボール所持者のチームの支配領域とその相手チームの支配領域では意味合いが変化するためである。よって本研究では異なる状況にあるボール所持者のチームの優勢度評価を比較する。

第4章 実験結果

4.1 3次元優勢領域

決定した3次元優勢領域をソフトウェアを用いて視覚化した。視覚化では数値の要素が人間の目で見てわかることが重要である。よって今回は3次元の作図と、数値と色の対応付けとその対応を示すカラーバーを出力できるソフトとして、AUTODESK社のAUTOCAD CIVIL 3Dを使用した。また今回選手の座標は実際の試合のデータを使用せず、筆者が設定した。そして各選手の座標と支配領域の対応が理解しやすいように選手人数を各チーム6人ずつに絞り図を作成した。また比較のため、両チームの選手の最高速度を同じに設定して作成した3次元優勢領域図とボール所持者のチームの選手の最高速度を相手チームの10分の1に設定した3次元優勢領域図を作成し、提案手法の妥当性を検討した。

4.1.1 優勢領域の3次元図

AUTOCAD CIVIL 3Dを使用して作成した3次元優勢領域図を以下に示す。作成した3次元図の選手の位置は、後に示す図4.8などのx-y断面図の示す選手の位置と同一である。



図 4.1 速度，パス可能性と色の対応を表すカラーバー

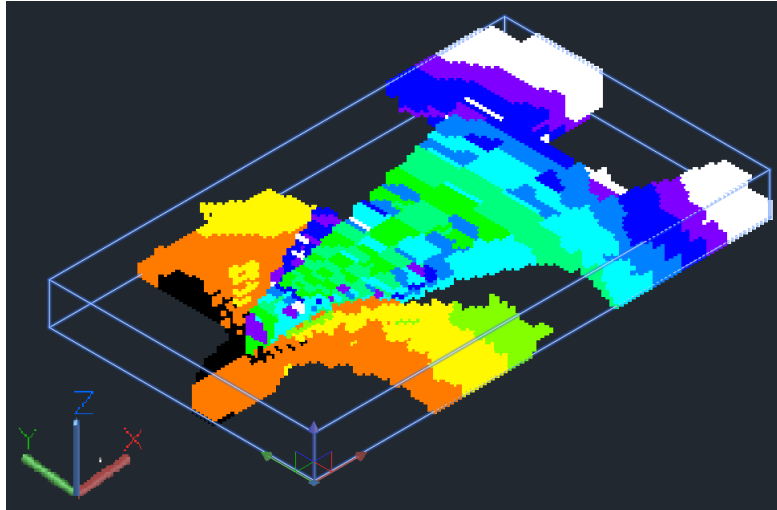


図 4.2 パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (全体)



図 4.3 パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (正面)

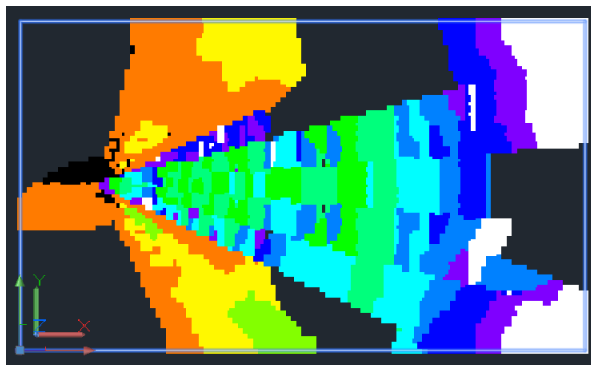


図 4.4 パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (俯瞰)

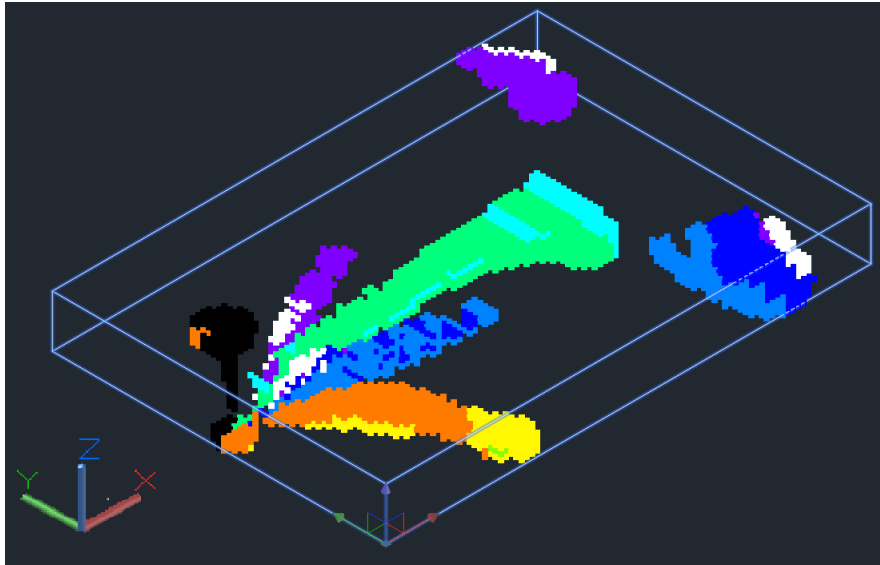


図 4.5 パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (全体)

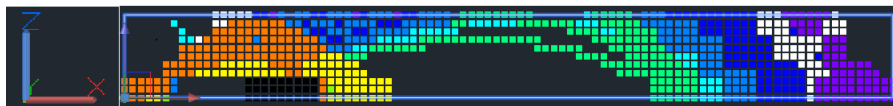


図 4.6 パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (正面)

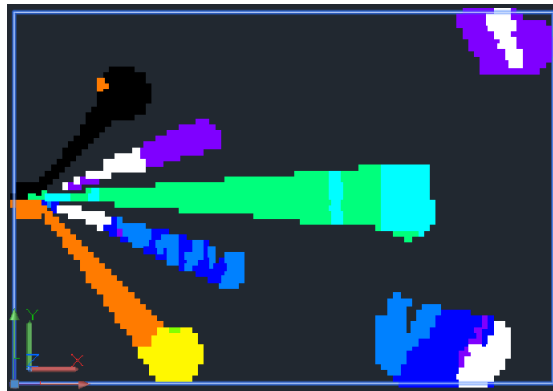


図 4.7 パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (俯瞰)

図 4.1 は 3 次元優勢領域図でのパスを通すために必要な速度と色との対応を表したカラーバーである。以降の 3 次元図では、カラーバーの上に存在する色になるほどその色の領域にパスを出すためには高いボールの初速度が必要であることを表している。図 4.2 から図 4.4 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度と同じ場合の 3 次元優勢領域図を 3 視点から見た画像である。そして図 4.5 から図 4.7 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度の 10 分の 1 である場合の 3 次元優勢領域図を 3 視点から見た画像である。

選手の最高速度の違いのある図 4.2, 4.3, 4.4 と図 4.5, 4.6, 4.7 を比較すると, 明らかに前者の最高速度が速い場合の方が広い領域を優勢領域としており, 優勢領域の決定方法として正しいことがわかる.

4.1.2 3次元優勢領域の x-y 断面図

3次元優勢領域図の x-y 断面図を示す.

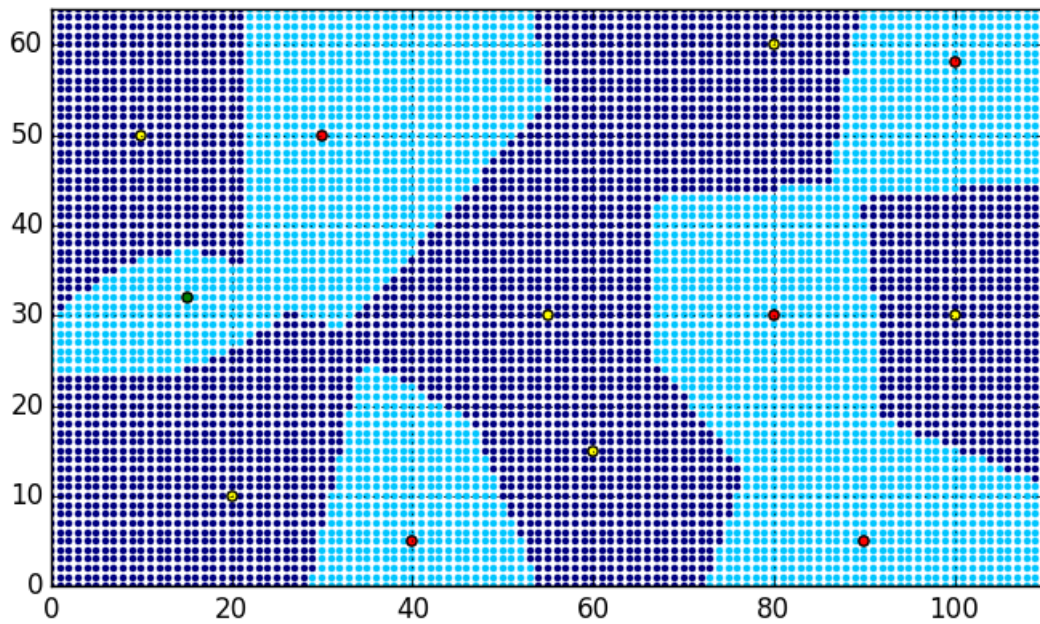


図 4.8 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=0\text{m}$)

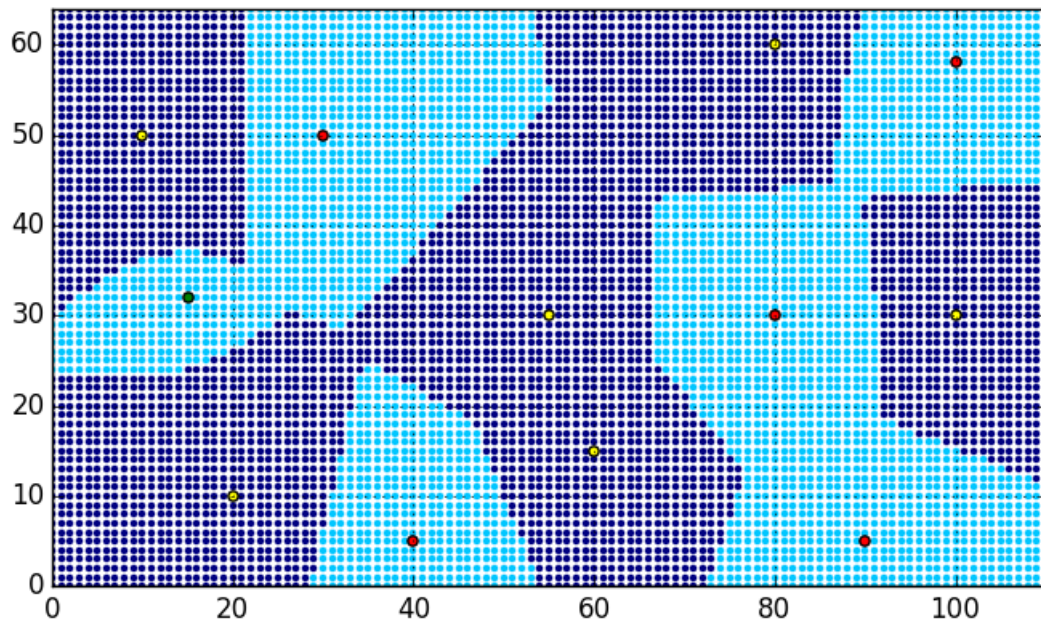


図 4.9 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=1\text{m}$)

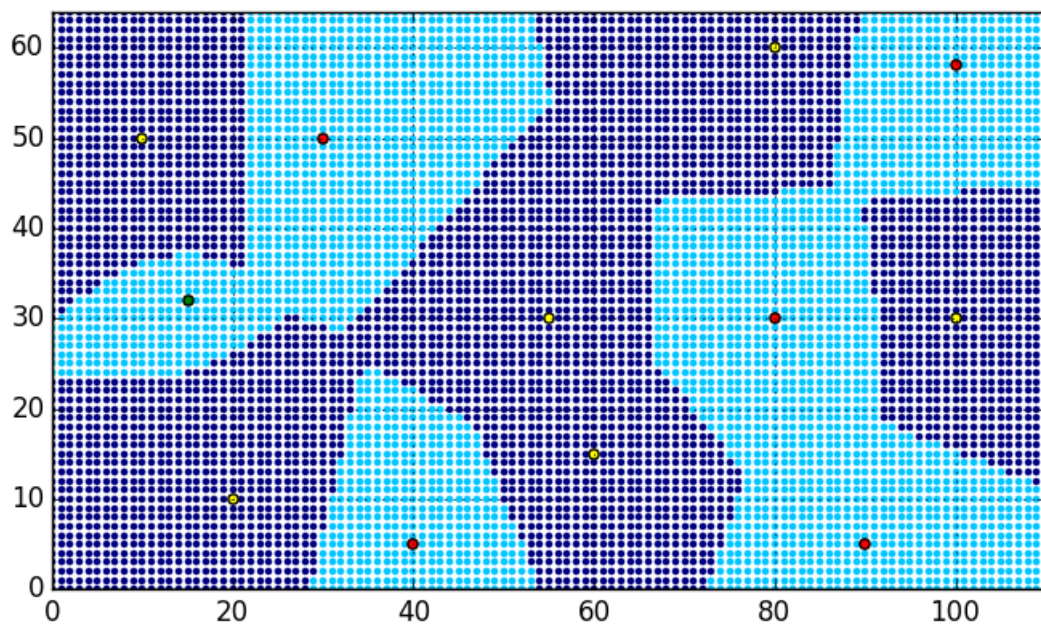


図 4.10 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=2\text{m}$)

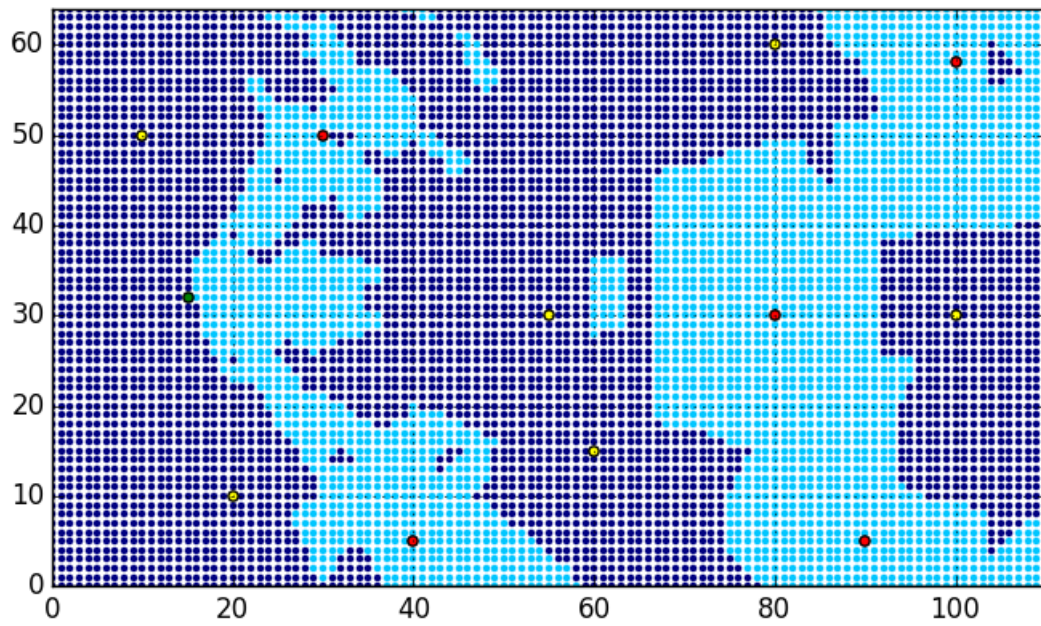


図 4.11 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=3\text{m}$)

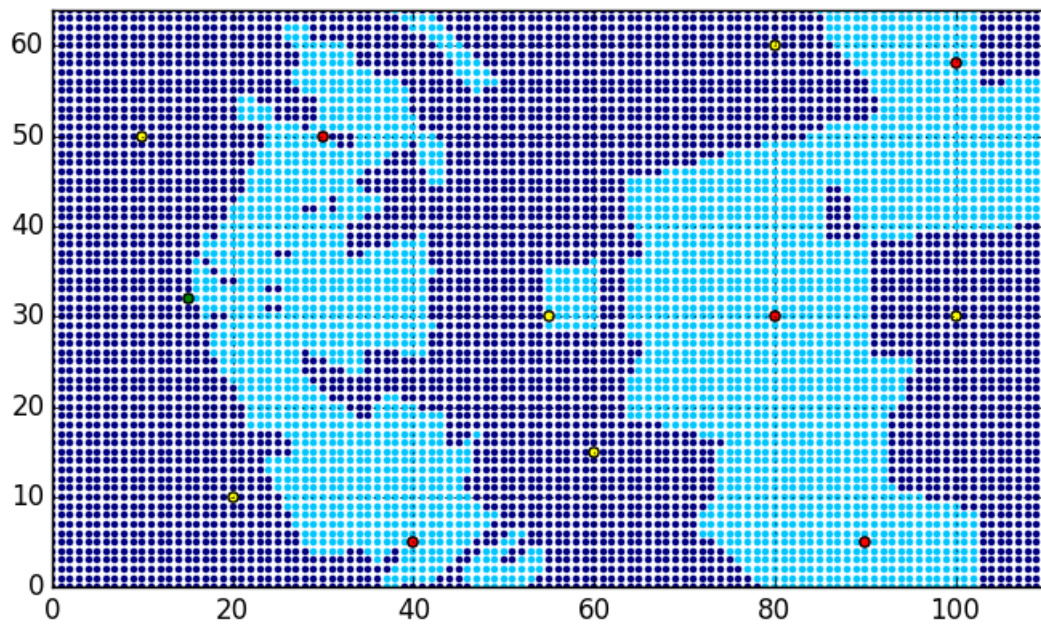


図 4.12 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=4\text{m}$)

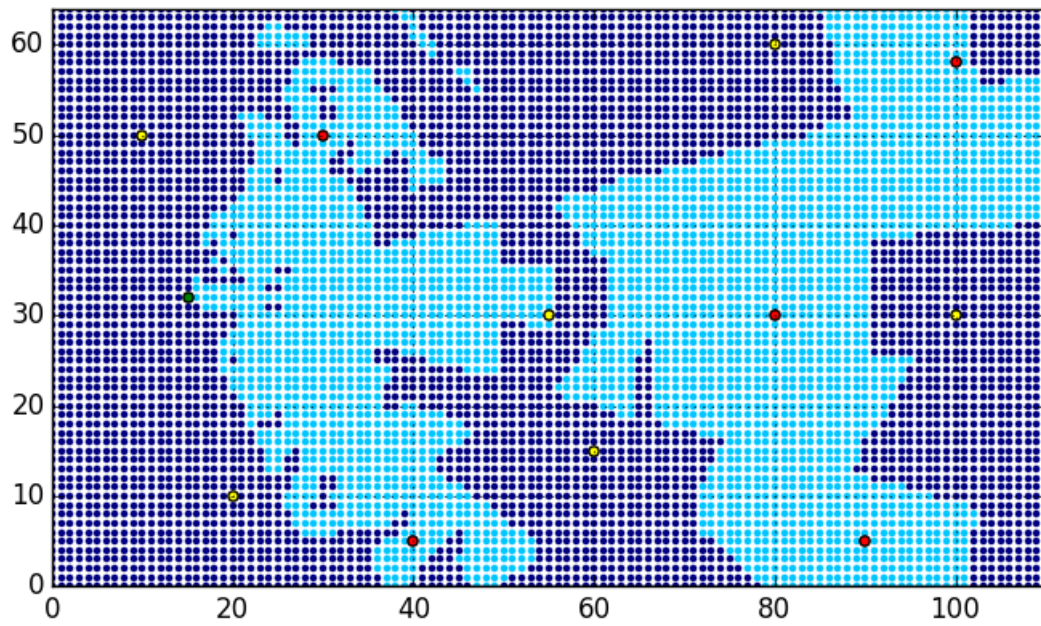


図 4.13 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=5\text{m}$)

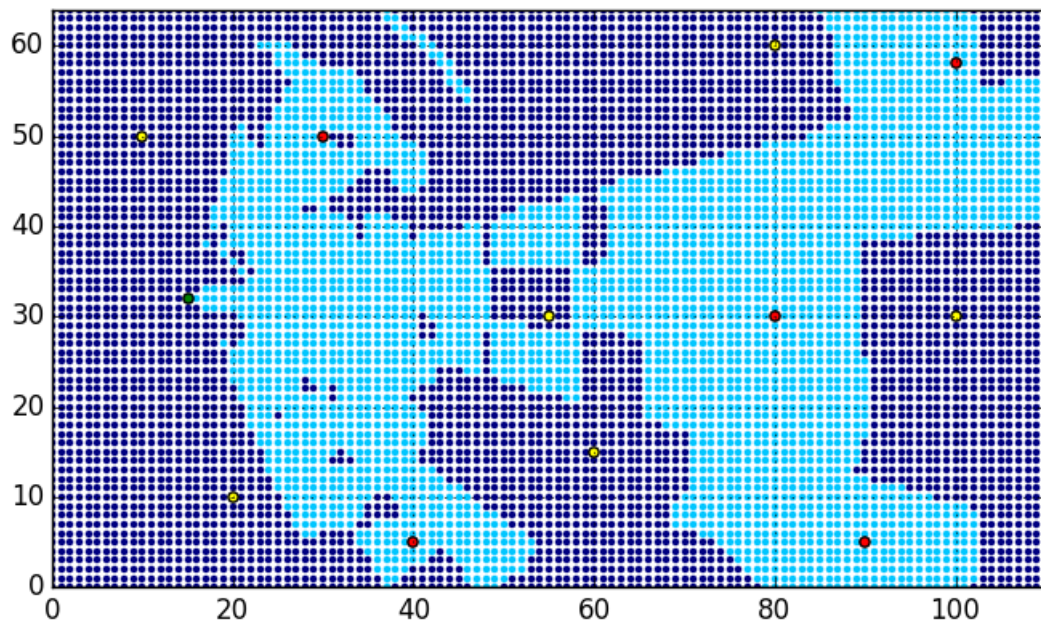


図 4.14 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=6\text{m}$)

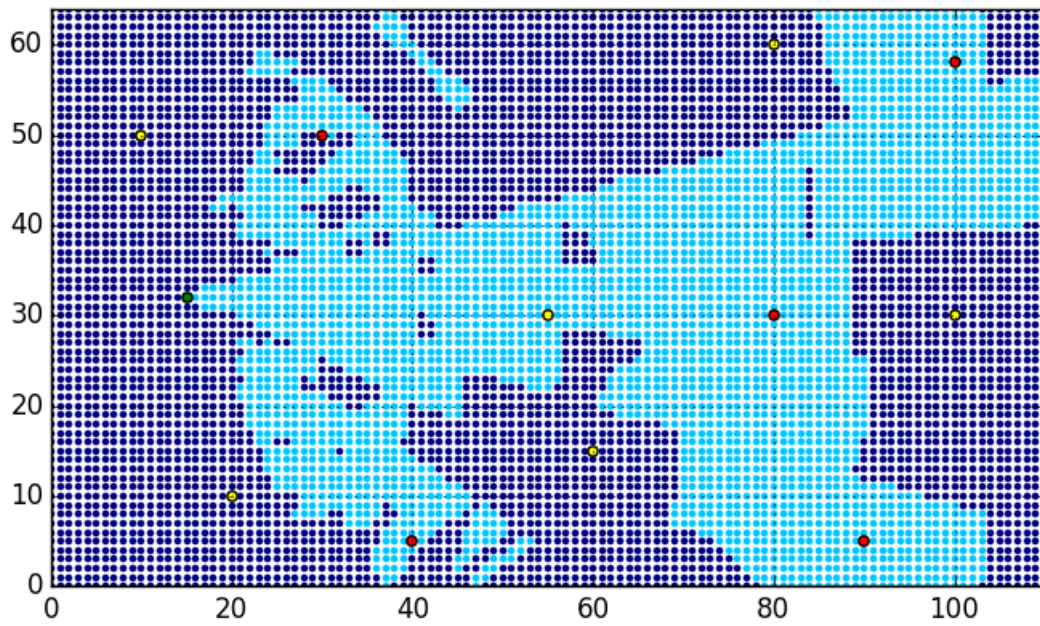


図 4.15 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=7\text{m}$)

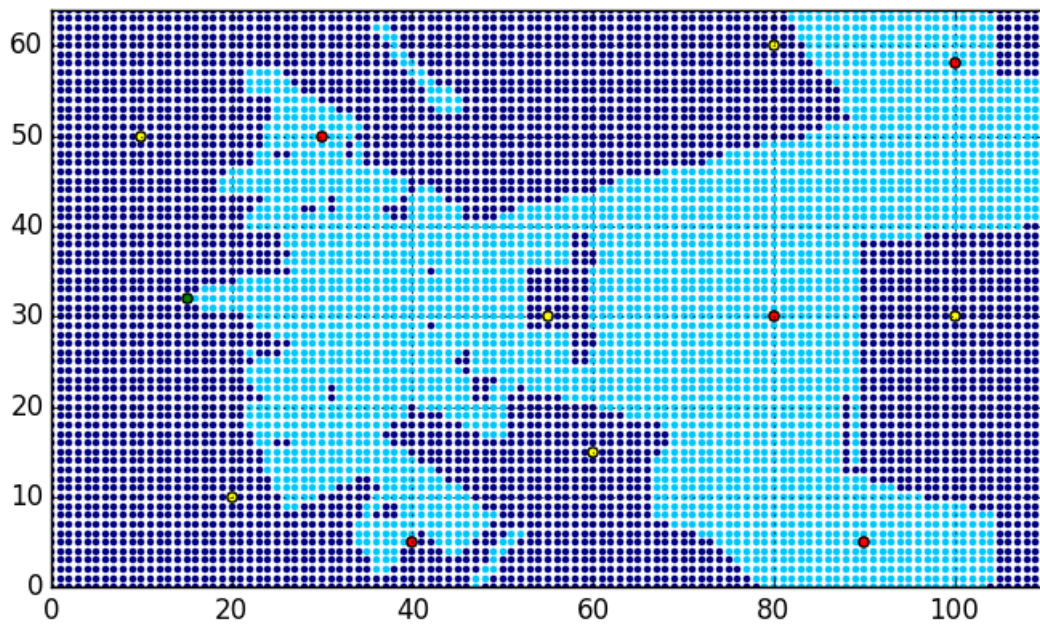


図 4.16 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=8\text{m}$)

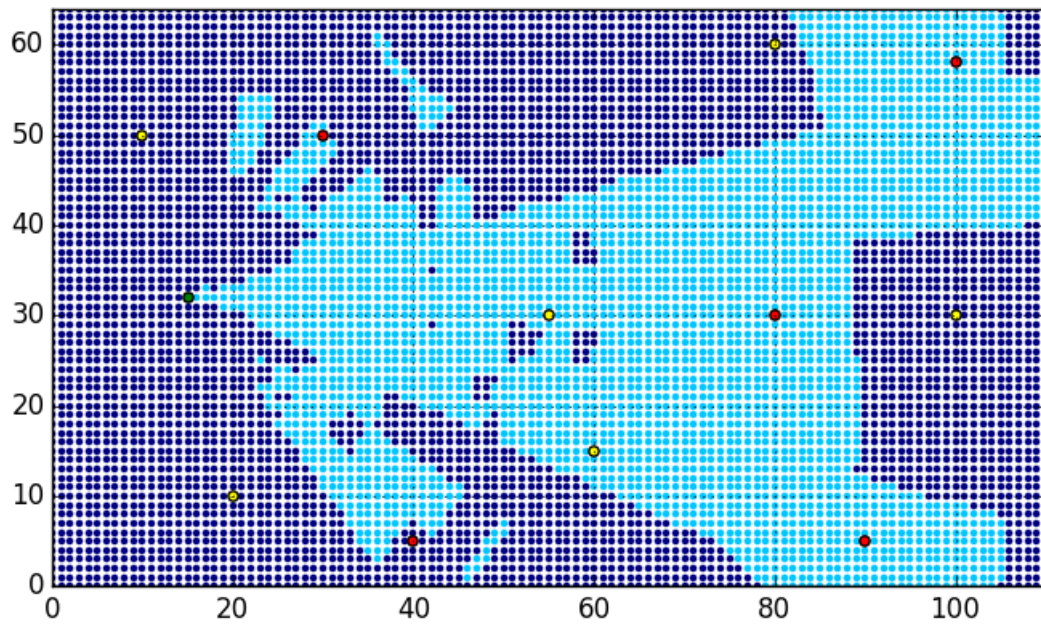


図 4.17 3次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=9\text{m}$)

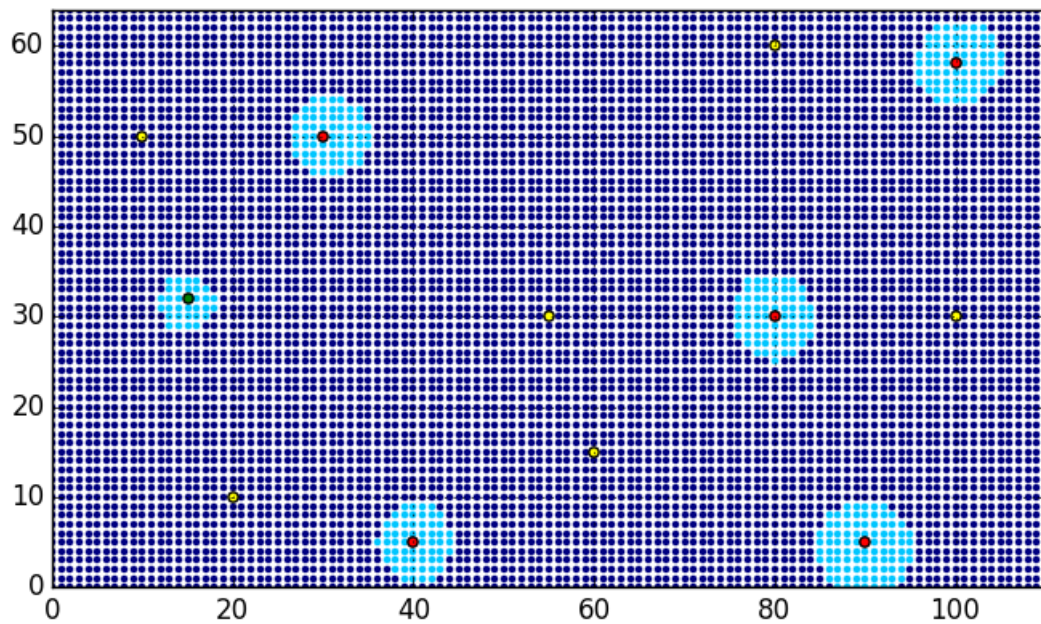


図 4.18 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=0\text{m}$)

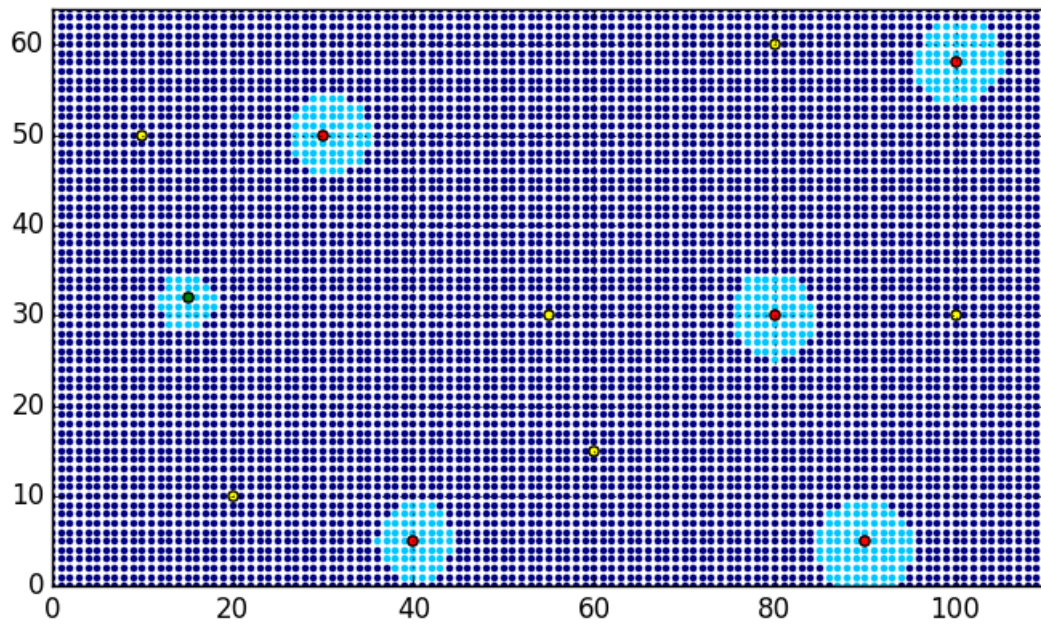


図 4.19 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=1\text{m}$)

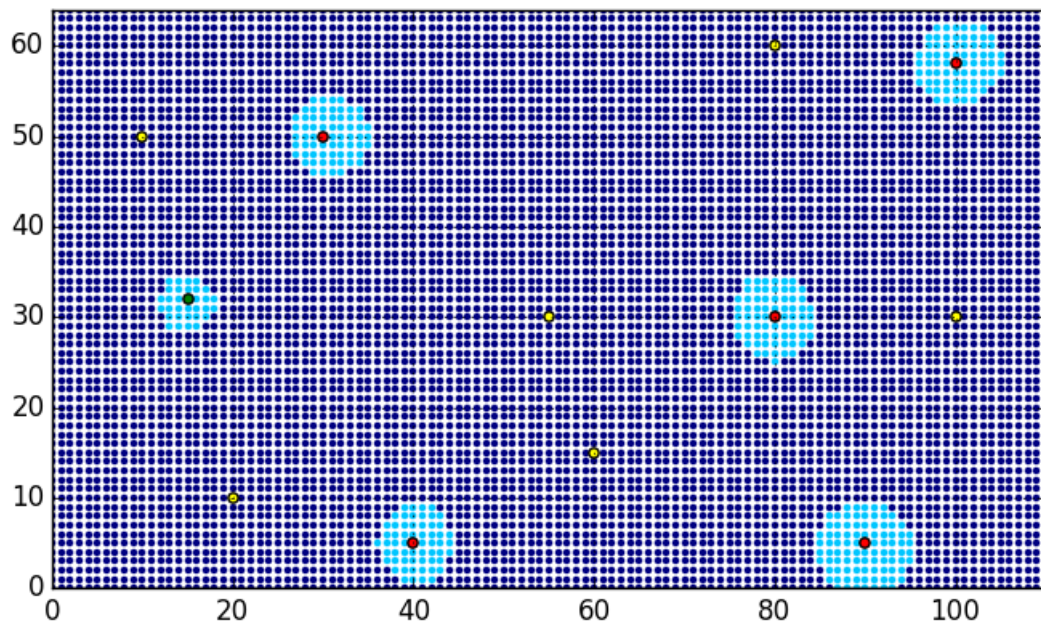


図 4.20 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=2\text{m}$)

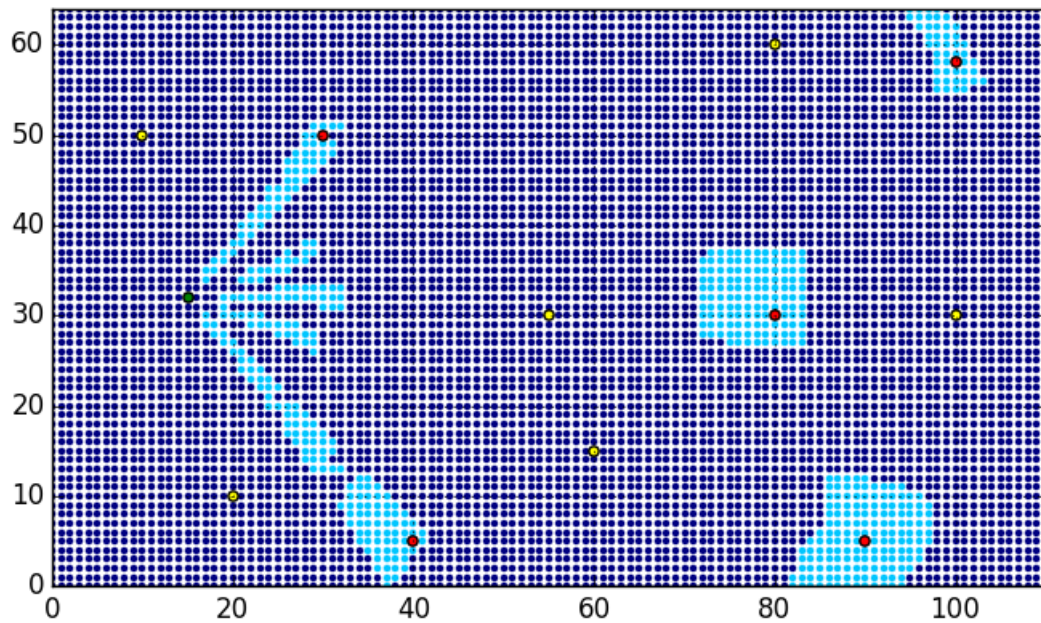


図 4.21 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=3\text{m}$)

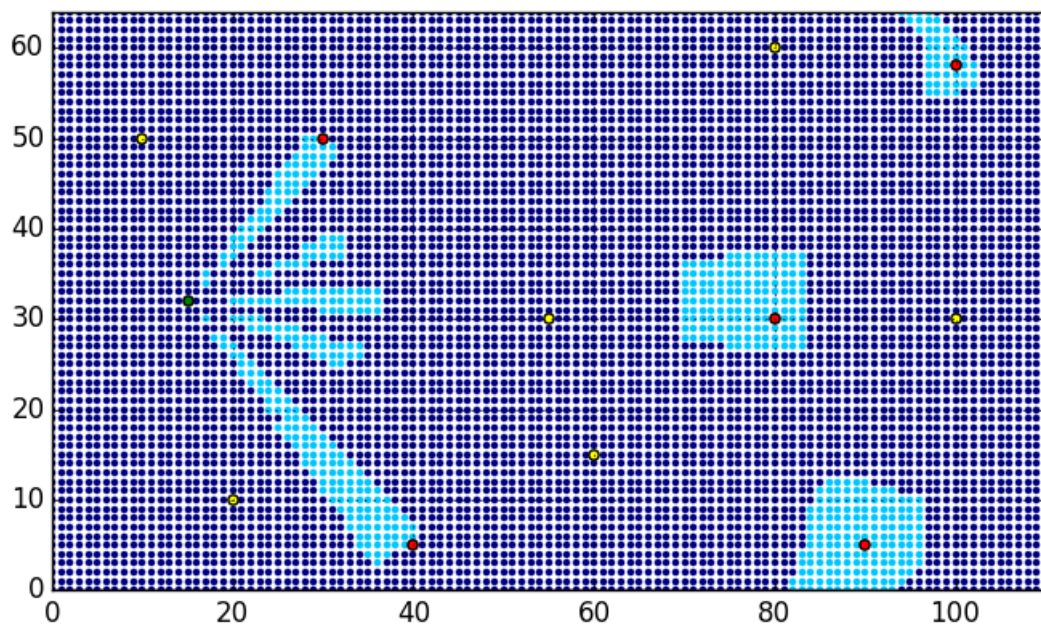


図 4.22 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=4\text{m}$)

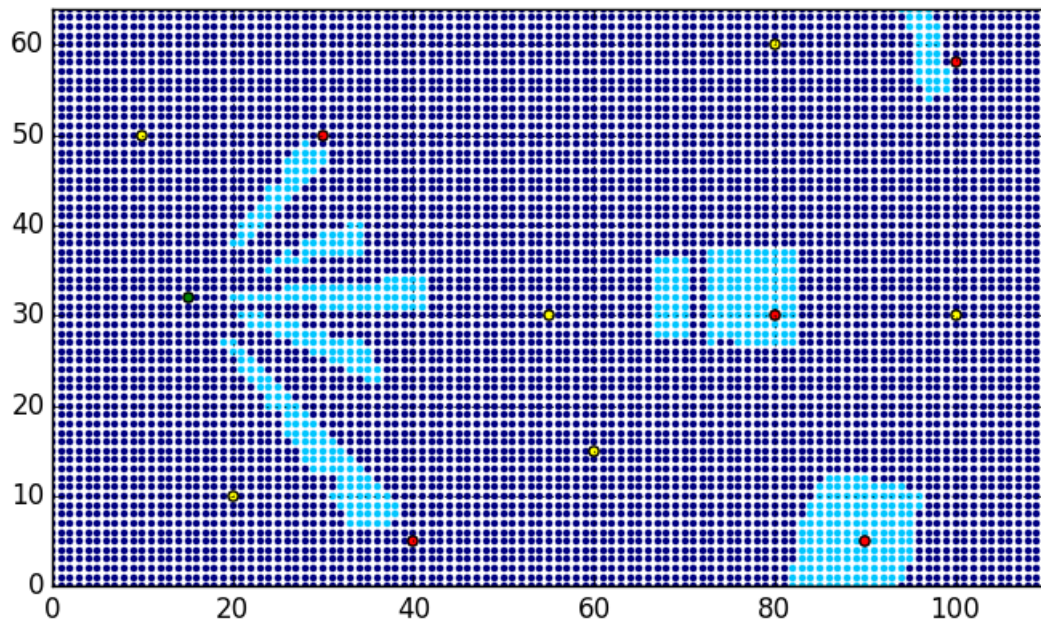


図 4.23 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=5\text{m}$)

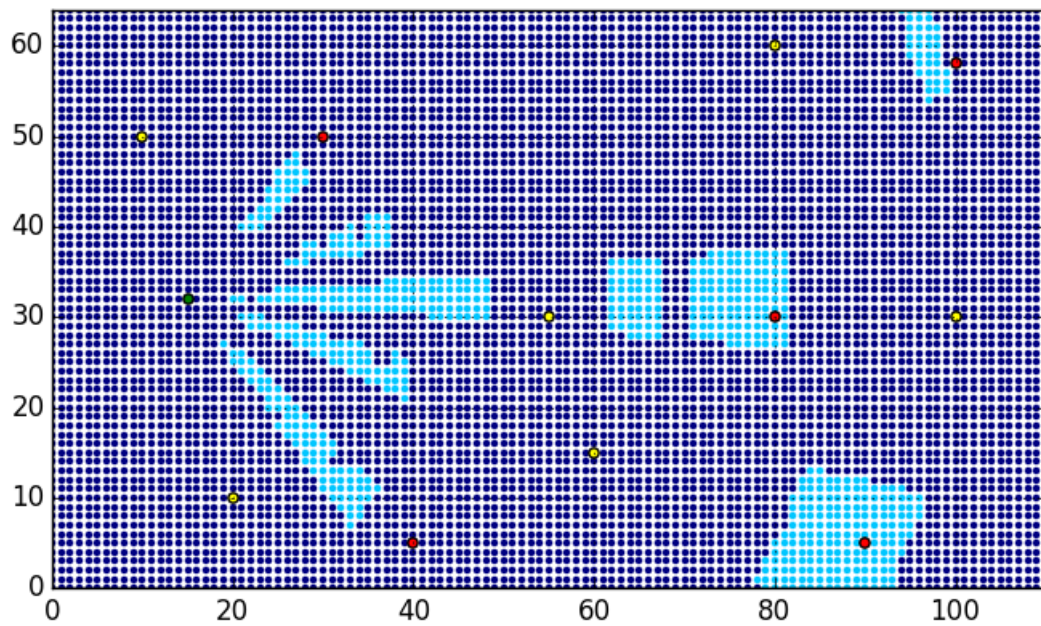


図 4.24 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=6\text{m}$)

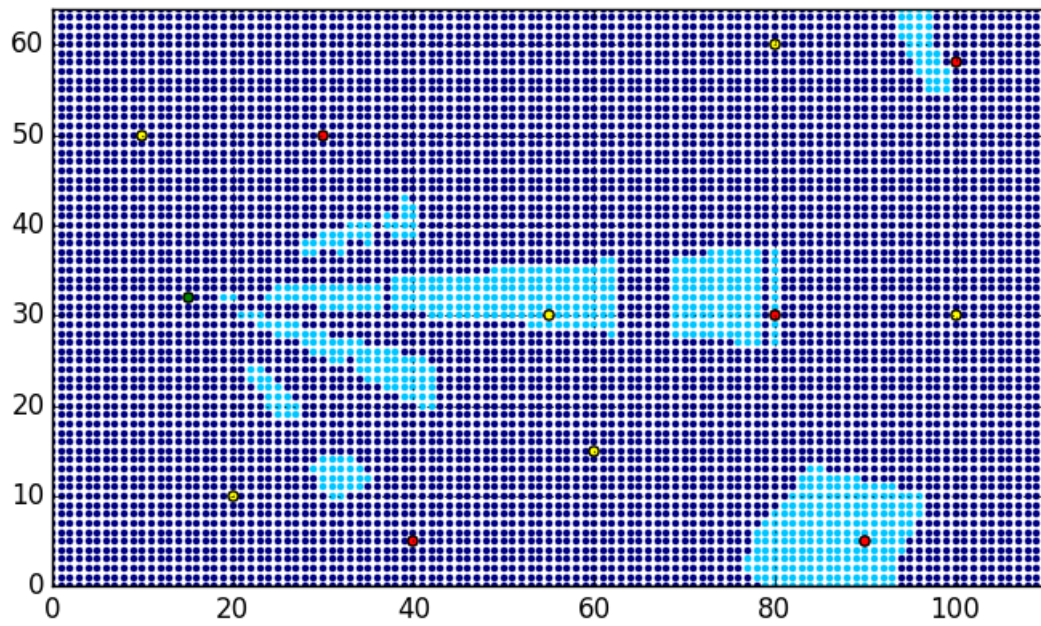


図 4.25 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=7\text{m}$)

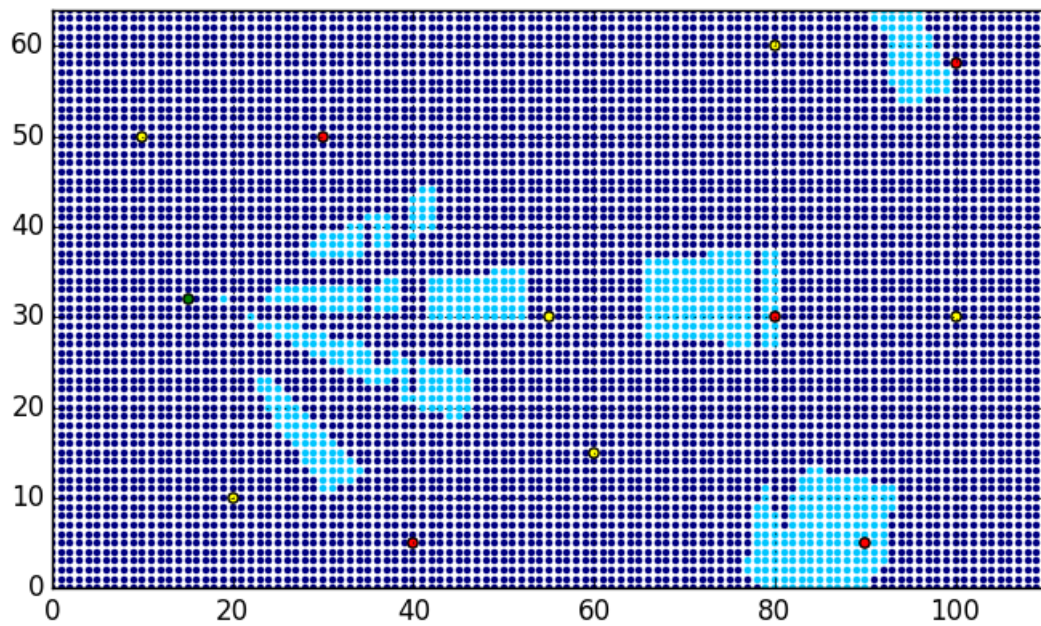


図 4.26 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=8\text{m}$)

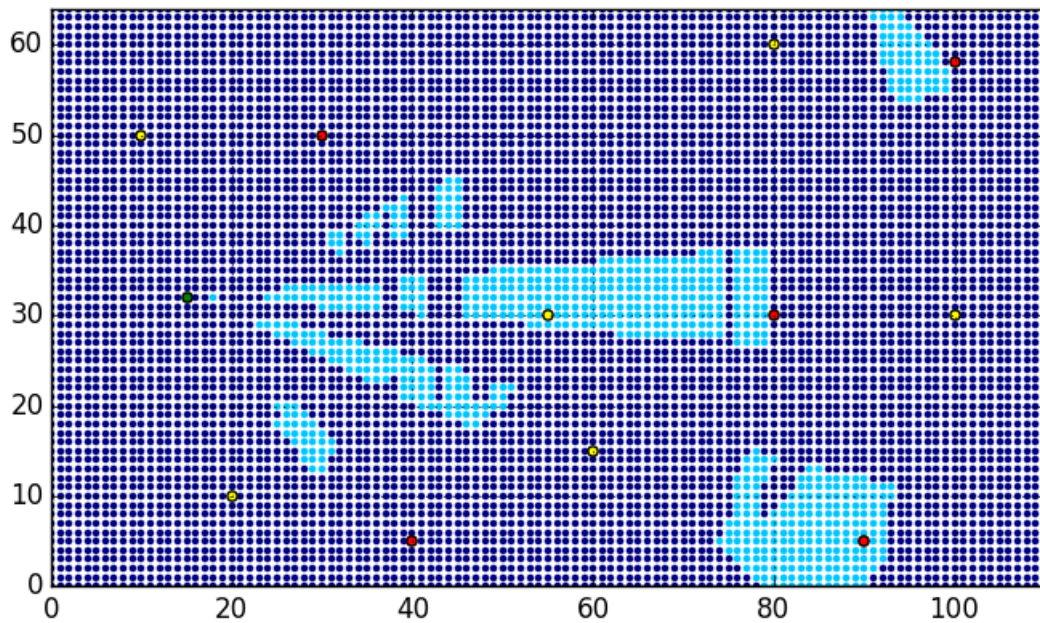


図 4.27 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ $z=9\text{m}$)

図 4.8 から図 4.17 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度と同じ場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図, 図 4.18 から図 4.27 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度の 10 分の 1 である場合の x-y 断面図である。x-y 断面図については、緑の丸点がボール所持者を表し、赤の丸点がボール所持者のチームの選手を表し、黄色の丸点がボール所持者の相手チームの選手を表すとす。また水色がボール所持者のチームの優勢領域、濃い青色が相手チームの優勢領域であるとする。

相手チームの選手が存在する $x = 60$ 付近の領域が優勢領域となる高さは、選手の最高速度を低く設定した場合は、図 4.25 のように高さ 7m の地点であるのに対し、選手の最高速度が同速の場合は、図 4.12 のように高さ 4m の地点となっている。このように選手の速度の違いによる優勢領域の違い、特に優勢領域となる高さの違いが x-y 断面図に明確に表れているといえる。

4.1.3 3 次元優勢領域の x-z 断面図

3 次元優勢領域図の x-z 断面図を示す。

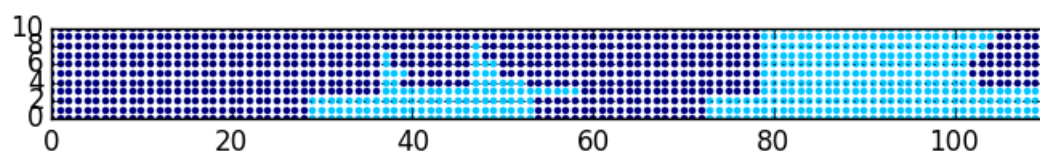


図 4.28 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=0\text{m}$)

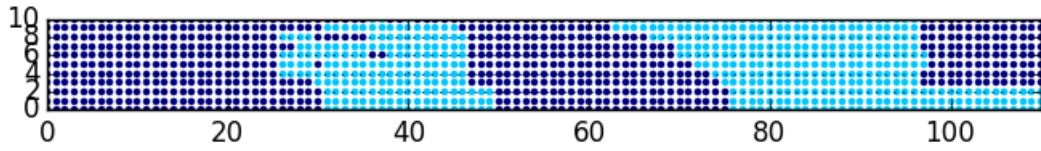


図 4.29 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=10\text{m}$)

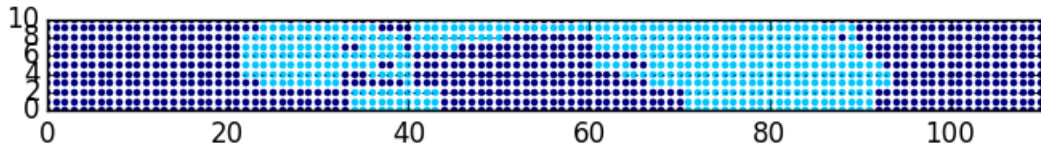


図 4.30 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=20\text{m}$)

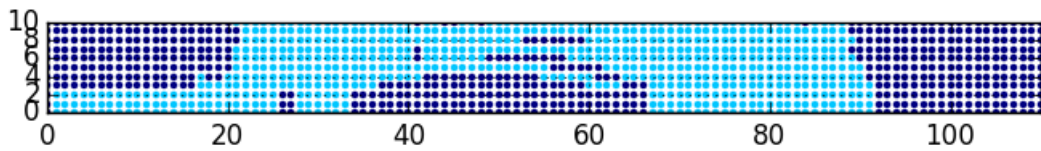


図 4.31 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=30\text{m}$)

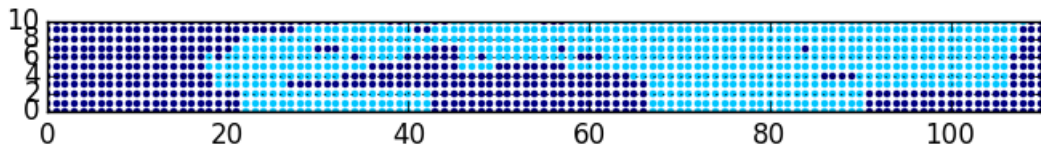


図 4.32 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=40\text{m}$)

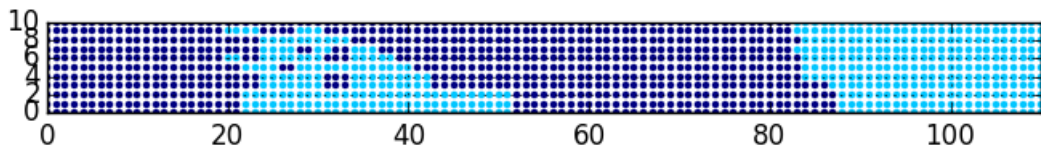


図 4.33 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=50\text{m}$)

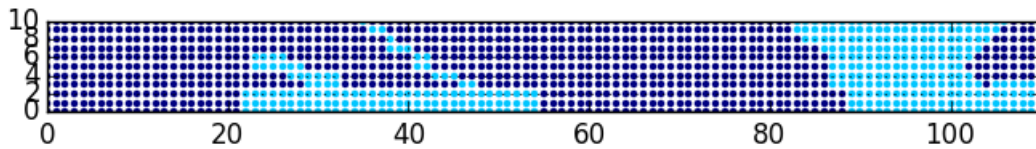


図 4.34 3次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=60\text{m}$)

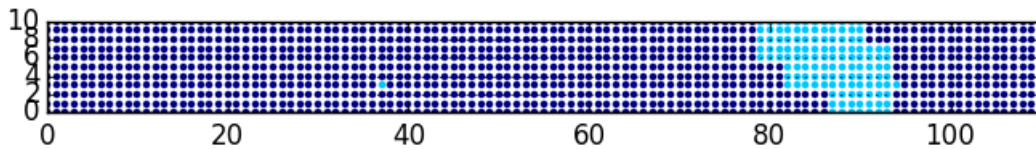


図 4.35 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=0\text{m}$)

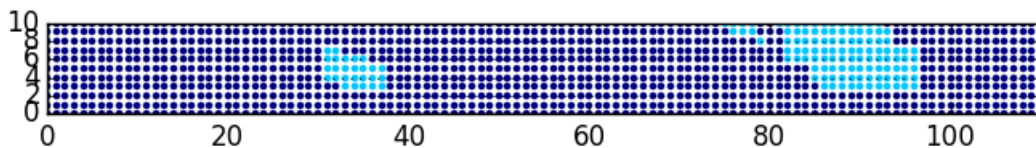


図 4.36 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=10\text{m}$)

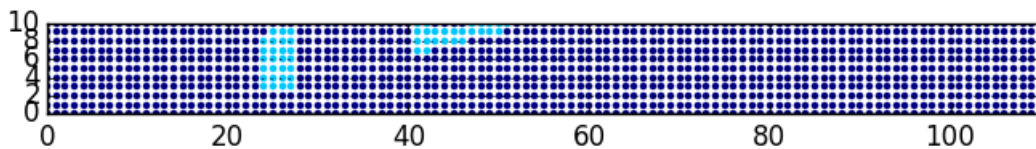


図 4.37 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=20\text{m}$)

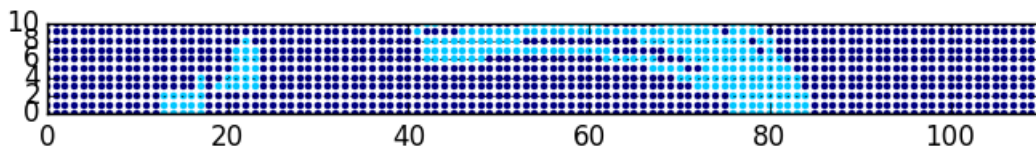


図 4.38 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=30\text{m}$)

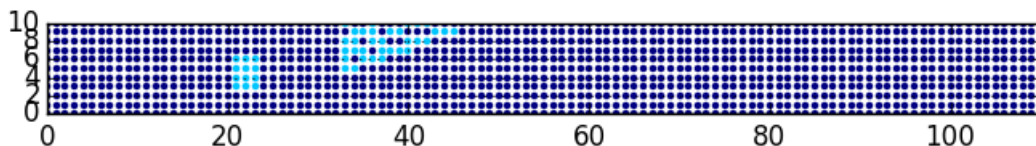


図 4.39 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=40\text{m}$)

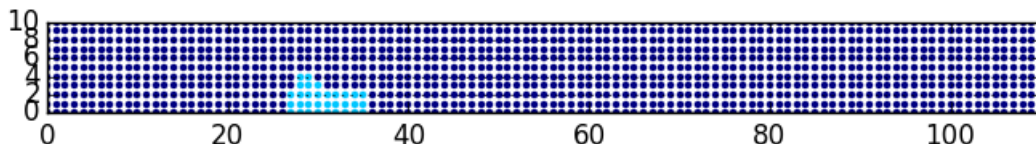


図 4.40 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=50\text{m}$)

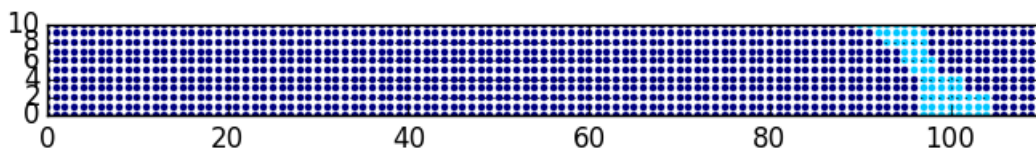


図 4.41 ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き $y=60\text{m}$)

図 4.28 から図 4.34 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度と同じ場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図, 図 4.35 から図 4.41 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度の 10 分の 1 である場合の x-z 断面図である。

図 4.31 ではボール所持者側の領域が広くつながっており, パスコースが存在することが示されている。例えば x 座標 40 から 60 の間では $z=4$ から $z=10$ までの間にボールを通過させることができることを読み取れる。このように 3 次元でのパスコースを提示できることが 2 次元優勢領域図には無い利点となる。また図 4.38 と比較すると x 座標 40 から 60 での優勢領域が狭いことがわかり, 選手の最高速度の低さが表れている。以上のように 2 パターンの図を比較することで選手の評価を行うことができる。

4.2 パス可能性の結果

パス可能性を算出し視覚化したものを以下に示す。以下の図は比較のため選手の位置を同一に, 選手の最高速度を異なるように設定した。

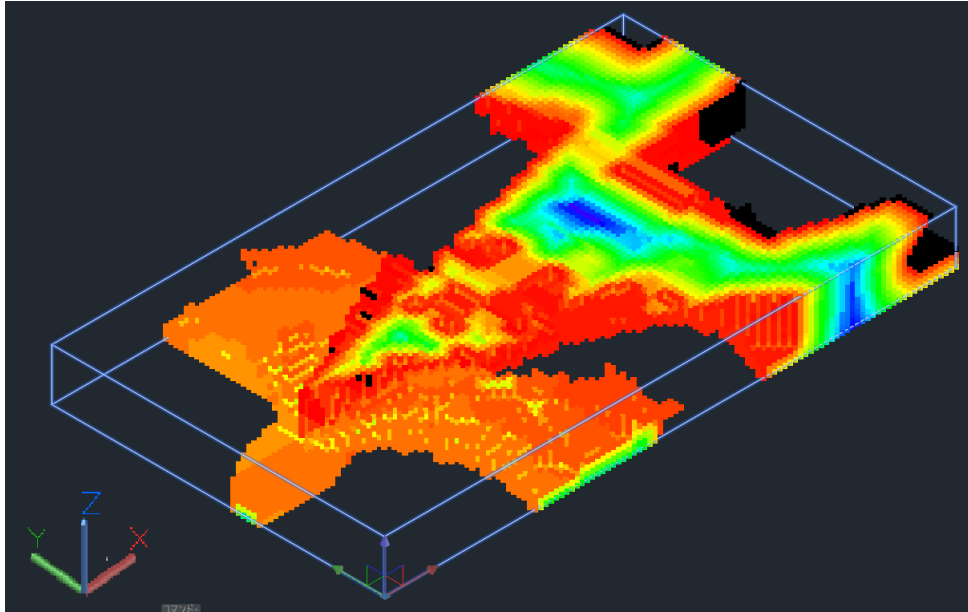


図 4.42 パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (全体)

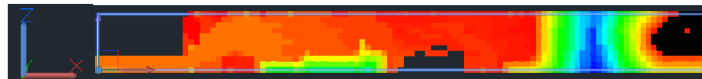


図 4.43 パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (正面)

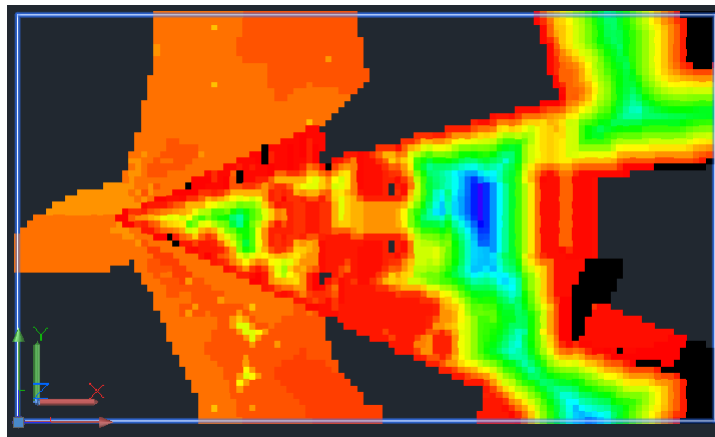


図 4.44 パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (俯瞰)

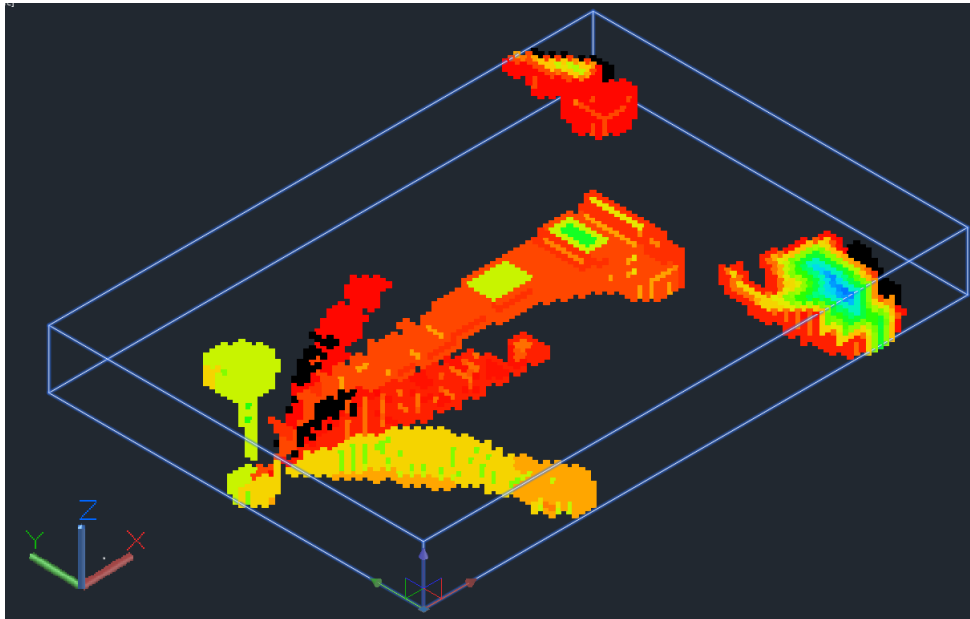


図 4.45 パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (全体)

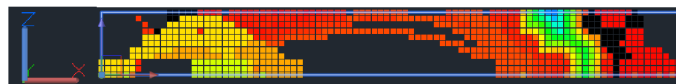


図 4.46 パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (正面)

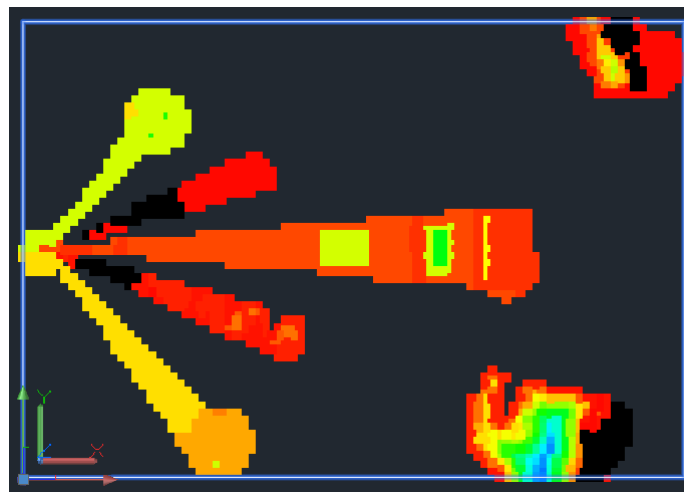


図 4.47 パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (俯瞰)

図 4.42 から図 4.44 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度と同じ場合のパス可能性を表した図を 3 視点から見た画像であり、図 4.45 から図 4.47 まではボール所持者のチームの選手の最高速度が相手チームの選手の最高速度の 10 分の 1 である場合のパス可能

性を表した図を3視点から見た画像である。これらの図のパス可能性の高低と色の対応も図4.1が示しており、例えばカラーバーの中で上方に位置する青色の領域は赤色や緑色の領域に比べてパスが通る可能性が高いことを表している。

図4.42と図4.45を比較すると、選手の位置が同一で、同じ座標に優勢領域を持っている箇所があるにも関わらず、パス可能性には差が出ている。同じ地点でも優勢領域の広さによって、パス可能性が変化することがあらわれており、パス可能性の高さや領域の広さで、フォーメーションの評価を行うことができると考えられる。

4.3 優勢度評価の結果

ゴールまでの距離によって各領域に点数をつけ、優勢度評価を行った結果を示す。各領域に点数をつけ、その領域を優勢領域としているチームに点数を加算していくと、選手の最高速度が遅い場合(図4.5)は326309、最高速度を変えなかった場合(図4.2)は1688858となった。つまり選手の最高速度が速い場合の方が優勢度が高いという結果が出ている。今回作成したプログラムでは距離でしか評価を行っていないため、正確に評価できているとまではいかないが、3次元の領域データを利用することで、2次元の領域データのみでの場合より正しく優勢度を評価することが可能になると考えている。

第5章 結論

5.1 まとめ

2次元のボロノイ図，優勢領域図の考え方をもとに3次元優勢領域図を作成し，それを利用したパス可能性の提示を行った．また選手の最高速度が異なる優勢領域図を比較することで，本研究で作成した作成した優勢領域図が妥当であることを確認した．

5.2 課題

本研究では各高さや奥行きごとの断面図を提示することで，3次元優勢領域を理解しやすい形にしたが，図4.2のように3次元の図を2次元で表現すると容易に理解できるものではなくなってしまう．3次元の情報を3次元で提示することは，動画配信サービスの場合では困難であることが想定され，2次元の画像や動画で3次元優勢領域を理解しやすい形で提示することが課題である．また今回の優勢領域図作成に使用した情報は，選手の座標や速度など筆者が設定したものが多く，実際の試合のデータを使用するの検証が必要である．優勢領域決定に用いた軌道についてもボールが一度フィールドに接触してフィールドを転がるような軌道になることや，風や今回の実験と軸の異なるボールの回転の影響を受けた場合の軌道の変化が考慮されていないため，あらゆるボールの軌道に対応することが必要である．

謝辞

本研究を行うにあたり，研究会の紹介などテーマ設定からご指導を頂いた渡辺裕教授に感謝いたします。

研究にあたり様々なアドバイス下さった早稲田大学国際情報通信センター石川孝明氏に感謝いたします。

日頃から貴重な御意見を頂いている研究室の皆様感謝いたします。

最後に，私をここまで育てて下さった家族に感謝いたします。

参考文献

- [1] ICT 総研, "2016 年 有料動画配信サービス利用動向に関する調査", <http://ictr.co.jp/report/20150925.html>, Nov.2016.
- [2] FIFA, "2014 FIFA World Cup Brazil Television Audience Report", pp7, Dec.2014.
- [3] FIFA, "265 million playing football", FIFAmagazine, Jul.2007.
- [4] 高橋翔, 林原局, 長谷山美紀, "レベルセット法を用いたサッカー映像における選手追跡手法", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J96-D, No3, pp.695-703, Mar.2013.
- [5] 片岡裕雄, 青木義満, "単眼カメラを用いたサッカー戦術解析のための複数選手とボールの追跡", The Journal of the Institute of Image Electronics Engineering of Japan, Vol.41, No.2, Dec.2012.
- [6] 高橋正樹, 三須俊彦, 合志清一, 藤田欣裕, "画像内の物体抽出技術を用いた高速投球軌跡作画手法", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-, No.8, pp.1672-1680, Aug.2005.
- [7] 岩浅真秀人, 大塚寛, "時間制限付き優勢領域図の提案とサッカーの守備の分析への応用", 情報処理学会第 75 回全国大会, Mar.2013.
- [8] 大森隆司, 山田信幸, 国見保夫, 菅野直敏, "ゴール型ボールゲームの戦術行動モデルの構築と評価-J リーグにおけるゲーム分析を事例として-", 玉川大学学術研究所紀要 No.20, pp.15-21, Mar.2014.
- [9] António Lopes, Sofia Fonseca, Roland Lese, Arnold Baca, "Using Voronoi diagrams to describe tactical behaviour in invasive team sports: an application in basketball", Cuadernos de Psicología del Deporte, Vol.15, No.1, pp.123-130, Jan.2015.
- [10] 坪井一洋, "抵抗と揚力の働く投射体の最大投射角", 日本機械学会論文集 (C 編)Vol.78, No.790, pp.1972-1983, Jun.2012.
- [11] 安田海人, 坪井一洋, 田中晃平, 宮寄武, "軌道の特徴量を用いたボールの空力係数の推定", 日本機械学会論文集, Vol.80, No.814, Jun.2014.
- [12] "Taking the 2014 World Cup Game Ball For a Spin", <http://gizmode.com/viva-brazuca-taking-the-2014-world-cup-game-ball-for-a-1475887755>, Mar.2012.
- [13] Lintorn, N.P., "Optimum projection angle for attaining maximum distance in a soccer punt kick", Journal of Sports Science and Medicine, Vol.10, pp.203-204, Jun.2011.

目次

2.1	ボロノイ図 (ユークリッド距離)	3
2.2	優勢領域図	4
4.1	速度, パス可能性と色の対応を表すカラーバー	10
4.2	パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (全体)	11
4.3	パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (正面)	11
4.4	パスを通すために必要なボール速度情報を入れた 3 次元優勢領域図 (俯瞰)	11
4.5	パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (全体)	12
4.6	パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (正面)	12
4.7	パスを通すために必要なボール速度情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (俯瞰)	12
4.8	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=0m)	13
4.9	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=1m)	14
4.10	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=2m)	14
4.11	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=3m)	15
4.12	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=4m)	15
4.13	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=5m)	16
4.14	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=6m)	16
4.15	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=7m)	17
4.16	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=8m)	17
4.17	3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=9m)	18
4.18	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=0m)	18
4.19	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=1m)	19
4.20	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=2m)	19
4.21	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=3m)	20
4.22	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=4m)	20
4.23	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=5m)	21

4.24	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=6m)	21
4.25	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=7m)	22
4.26	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=8m)	22
4.27	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-y 断面図 (高さ z=9m)	23
4.28	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=0m)	23
4.29	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=10m)	24
4.30	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=20m)	24
4.31	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=30m)	24
4.32	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=40m)	24
4.33	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=50m)	24
4.34	3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=60m)	25
4.35	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=0m)	25
4.36	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=10m)	25
4.37	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=20m)	25
4.38	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=30m)	25
4.39	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=40m)	26
4.40	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=50m)	26
4.41	ボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図の x-z 断面図 (奥行き y=60m)	26
4.42	パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (全体)	27
4.43	パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (正面)	27
4.44	パス可能性情報を入れた 3 次元優勢領域図 (俯瞰)	27
4.45	パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (全体)	28
4.46	パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (正面)	28
4.47	パス可能性情報を入れたボール所持者のチームの選手の最高速度を 10 分の 1 に設定した場合の 3 次元優勢領域図 (俯瞰)	28

研究業績

- [1] 横井真也, 石川孝明, 渡辺裕, ”ボロノイ図を用いた3次元優勢領域の決定”, 映像情報メディア学会スポーツ情報処理研究会研究報告, 2017年2月27日発表予定