

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
社会文化環境学専攻

2016 年度  
修 士 論 文

サッカーの試合中における守備局面の評価  
ーパスの可能性に着目してー  
Evaluation of Defensive Situations in Football Games:  
Focusing on the Possibility of Passes

2017 年 1 月 23 日提出  
指導教員 貞広 幸雄 教授

森 岡 渉  
Morioka, Wataru



# 目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連する既存研究	4
2.1	優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価	4
2.2	サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化	5
2.3	Validity of a soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances	7
2.4	サッカー指導現場におけるコーチングの研究	8
2.5	Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects	9
2.6	時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理方法	10
第3章	データ説明	13
3.1	データ概要	13
3.2	データ形式	13
3.3	試合中の選手の動きを GIS ソフト上で可視化する方法	15
第4章	パス可能エリアの推定	21
4.1	パス可能エリアの推定手法	21
4.2	選手の行動モデルとボールの移動モデル	22
4.3	実データへの適用	25
第5章	サッカーの観点を考慮した守備局面の評価	41
5.1	局面の評価方法について	41
5.2	実データへの適用	46
第6章	結論	51
6.1	まとめ	51
6.2	今後の課題と展望	52
	謝辞	54
	研究発表履歴	56
	参考文献	57
	付録	59

## 目次

図 3-1	関連ファイル一覧.....	14
図 3-2	新規テーブル作成時の SQL コード.....	17
図 3-3	空間データベース作成時の SQL コード.....	17
図 3-4	「PostGIS テーブルを追加」 ウィンドウ.....	18
図 3-5	選手の移動軌跡を QGIS 上に追加・表示させた様子.....	19
図 3-6	「Time Manager」 ウィンドウ.....	19
図 3-7	選手とボールの動きをアニメーション表示した様子.....	20
図 4-1	パスの可否判定のイメージ図.....	22
図 4-2	フロリダ州立大学 vs デューク大学 前半 45 分間における全選手の移動速度分布.....	23
図 4-3	ボールの移動速度分布箱ひげ図.....	24
図 4-4	パスボールの移動距離と速度に関する散布図.....	24
図 4-5	パス可能判定のフローチャート.....	25
図 4-6	ピッチ上にグリッドを発生させた様子.....	26
図 4-7	選手とボールの位置を追加した様子.....	27
図 4-8	守備選手の位置考慮前における攻撃選手のボール受け取り可能エリア.....	28
図 4-9	守備選手のボール奪い取り可能エリア.....	28
図 4-10	守備選手のボール奪取可能圏 [黄丸] と攻撃選手へのパスライン [白及び青線] 間の空間検索 (全線分のうち青色が Step4 で奪取可能と判定されたグリッドを周辺に含まないもの).....	29
図 4-11	当該時間ボールの移動速度 20km/h におけるパス可能エリア推定結果..	29
図 4-12	再現率、適合率を説明するベン図.....	30
図 4-13	推定パス可能エリア適合性 フロリダ州立大学 [回数、百分率].....	32
図 4-14	推定パス可能エリア適合性 デューク大学 [回数、百分率].....	32
図 4-15	パス成否とパス可能面積との関係 (フロリダ州立大学パス成功分).....	33
図 4-16	パスの成否とパス可能面積との関係 (フロリダ州立大学パス失敗分).....	33
図 4-17	パスの成否とパス可能面積との関係 (デューク大学パス成功分).....	34
図 4-18	パスの成否とパス可能面積との関係 (デューク大学パス失敗分).....	34
図 4-19	パスの成否とパス可能面積・距離との関係 (フロリダ州立大学分).....	35
図 4-20	パスの成否とパス可能面積・距離との関係 (デューク大学分).....	35
図 4-21	前半 26.3 秒-28.4 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア.....	36
図 4-22	図 4-21 のボール周辺拡大図.....	37
図 4-23	前半 15 分 35.0 秒-15 分 35.6 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア.....	38
図 4-24	図 4-23 のボール周辺拡大図.....	38
図 4-25	前半 19 分 16.0 秒-19 分 18.6 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア.....	39
図 4-26	図 4-25 のボール周辺拡大図.....	40

図 5-1	ゴールとの距離の計測方法	42
図 5-2	ゴールとの角度の計測方法	42
図 5-3	パス・シュートの分布図	43
図 5-4	R 計算結果	44
図 5-5	シュート選択確率	45
図 5-6	前半 Duke 大学 防御率	46
図 5-7	後半 Duke 大学 防御率	46
図 5-8	前半 Florida 州立大学 防御率	47
図 5-9	後半 Florida 州立大学 防御率	47
図 5-1 0	前半 10 分 24.1 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア	48
図 5-1 1	前半 23 分 19.8 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア	49
図 5-1 2	前半 29 分 51.9 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア	50

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

近年、GPS やビデオトラッキングといったデータ収集技術の進歩に伴い、集団スポーツにおいて選手やボールなどの詳細な時空間データが取得可能となってきた。例えば、日本でスポーツデータの配信・分析事業を行うデータスタジアム社では、野球・サッカー・ラグビー・バスケットボールの試合内容をデータ化し、クラブやメディアに提供している。提供されているデータ例を示すと、野球では、バッター、球種、球速、コース、結果（ヒット、センターフライ等）の情報に加えて、球場に専用のカメラを設置し、投球の変化量や打球角度などの情報を自動的に取得している。また、フィールド上の野手・走者・打球・送球の動きも追跡している。サッカーやラグビーにおいても、競技場に設置された複数台のカメラなどにより、試合中におけるピッチ上の選手、審判、ボールの動きを追跡し、走行距離やスピード、ポジショニングなどを高解像度で半自動的にデータ化している。

上述の通り、データ収集技術は確立されてきているが、データを有効に活用するための方法論は、まだ少ない。先に紹介した、データスタジアム社が提供する分析ツールからの情報も、各選手の最高速度や平均速度といった単純な数値、あるいは選手の位置分布をヒートマップで示したものに留まっている状況である。学術研究の観点から見ても、日本統計学会にスポーツ分科会が設立され、年に1回スポーツデータの統計分析コンペティションを開催し始めたのが、2009年のことであり、やはり、近年、始まったばかりと言える。

選手やコーチにとって、試合の反省や有効な作戦立てには、データ活用は必須であり、さらに、ファンにとっても、データの活用は観戦の魅力向上に繋がる。したがって、今後のスポーツの発展には、活用の方法論の蓄積が、極めて重要であると筆者は考えている。

そこで本研究では、代表的な集団スポーツの1例であるサッカーを取り上げ、複数の選手間の連携を評価する手法の構築を試みる。具体的には、連携評価の取り掛かりとして、パスの可能性に着目したチームの守備能力を評価する手法の提案を試みる。パスの可能性に着目した理由は、面積で数値化が可能で、定量的な分析となりえるからである。また、守備に注目する理由は、攻撃に比べて守備の方がルールに基づき行動せざるを得ないという記述が論文・書籍で見られるからである。例えば、Anderson and Sally (2014) では、

「パスの成功率は、選手個人の技術よりも、パスそのものの難易度（たとえば、相手のプレッシャーが高い）が影響しているのではないか。」

という記述がある。

さらに、パスの可能性に注目をすれば、ボールを持っている選手（オン・ザ・ボール）の動きだけでなく、ボールを持っていない選手（オフ・ザ・ボール）の動きも分析することになる。加藤(1999) や村松(2015) によれば、サッカーでは1人の選手がボールに触る時間は、多い選手でもわずか2,3分であり、オフ・ザ・ボールの局面の方が圧倒的に長いとされている。すなわち、オフ・ザ・ボールの局面を分析することは、サッカーをはじめとした集団スポーツのチームとしての質的向上に繋がると言えよう。

## 1.2 研究の目的

上述の背景を踏まえ、本研究では、以下2点を研究の目的とする。

1. サッカーの試合中における大量の時空間データから欲しい場面を切り出す。

選手やコーチにとって、試合後の反省と作戦立ての時間短縮につながる。1試合すべてのシーンに対して、映像等で振り返ることは、膨大な時間を要し非現実的であり、振り返りたい場面を特定し抽出することができれば有意義である。

2. 守備局面を評価し、チームあるいは選手の傾向、戦術を把握する。

どの時間帯あるいは選手に、有利な展開となるプレーをさせてしまっていたのか把握できるとより対戦相手にあわせた作戦立てが可能となる。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成は次の通りである。第1章では、「序論」として研究の背景、目的と、本論文の構成について述べた。続く第2章では、「関連する既存研究」として、本研究と特に関連する6つの論文を採り上げ、概要を説明し、本研究との関わりについて考察する。第3章では、「データ説明」と題して、本研究で用いる選手とボールの位置データについて説明する。なお、本研究で用いる試合データは、サッカーデータ会社最大手のひとつである Prozone より提供を受けた。第4章では、「パス可能エリアの推定」と題し、パス可能エリアの推定方法について論ずる。具体的には、まず、定式化をする。次に、選手の移動モデル、ボールの移動モデルを考える。そして、実際のデータを使い、パス可能エリアを推定し、その精度やパスが失敗した要因を検証する。第5章では、「サッカーの観点を考慮した守備局面の評価」と題して構築したモデルに対して、実データへの当てはめを行い、守備をしてい

るチームにとって、失点の危険性が高かった場面を選びとれるのか確認し、各局面の考察を述べる。最後に、第 6 章で「結論」と題して、本研究の総括と今後の課題を論ずる。



## 第2章 関連する既存研究

この章では、本研究に関連する既存研究のうち、特に深く関係する6つの論文を取り上げ、その概要と本研究にかかわる課題を述べることにする。最初に、藤村・杉原（2004）「優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価」を取り上げ、チームワーク評価方法について考察する。第2に、瀬古沢・大森（2014）「サッカーにおけるパス行動の計算モデル化」を取り上げ、パス行動評価の有用性と課題について考察する。第3に、Suzuki *et al.*（2003）「Validity of a Soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances」について言及し、サッカーの分析を進める上で注目すべき観点について考察する。第4に、中村ら（2010）「サッカー指導現場におけるコーチングの研究 — 指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ —」を取り上げ、指導者と選手間の意思疎通の重要性について考える。第5に、Laube *et al.*（2005）「Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects」を取り上げ、サッカーを事例とした、GIS分野の分析手法開発の可能性について考察する。第6に、相ら（2008）「時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理方法」を取り上げ、時空間解析手法体系の中での本研究の位置づけについて説明する。

最後に、総括として、本研究の意義づけをまとめる。

### 2.1 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価

1つ目の既存研究として、藤村・杉原（2004）「優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

#### 2.1.1 研究の概要

藤村・杉原（2004）は、選手が特定のフィールド上を自由に動き回り、目標に対して競い合うチームスポーツを対象にして、チームワークの定量的評価を行っている。藤村・杉原（2004）は、この種のスポーツでは、各選手が支配するフィールドを把握することがチームワーク評価につながると考えている。そして、その考えに基づき、フィールドを支配関係によって空間分割する優勢領域図の概念を応用し、チームワークの定量的評価を提案している。さらに、この研究では、優勢領域図の作成にあたって、実験に基づいたより現実的な運動モデルを採用しており、経験者の直感に合うチームワーク評価を実現できたと著者らは主張している。

適用例として、得られた優勢領域図をもとに、フィールドホッケー試合の一部、数分間のチームワーク評価も行っている。具体的には、選手のチームワークへの諸側面を捉える指標として、ゴール重みづけ優勢領域面積、ボール重みづけ優勢領域面積等を提案し、評価方法の有効性を検証している。

藤村・杉原（2004）は、今後の課題として、大きく次の2点を挙げている。1つは、試合映像からの選手の位置と動きが手作業であり、実際の試合映像からデータを作成するのに膨大な時間がかかっていることであり、2つは、そもそも適切な評価法であるか専門家の意見を聞くことである。

### 2.1.2 考察

上述の概要から、藤村・杉原（2004）では、スポーツチームワークの評価を調べるにあたり、まずボトルネックとなっているのは、データ取得、作成の手間であると指摘をしている。しかし、このような技術的制約は近年の測位技術の発展と測位設備の軽量化・小型化に伴い、高精度かつ高頻度の軌跡データが取得可能となってきている。幸いにも、今回、筆者は、ビデオトラッキング技術によって取得されたサッカーの試合における選手の詳細な軌跡データとボールの事象データを入手した。このデータは、1試合90分、すべての選手の動きについて0.1秒単位で記録されており、データの精度、量ともに先の研究より充実したものといえる。しかも、現時点で2試合分のデータを入手している。すなわち、1試合を通じた分析や複数の試合にまたがった分析が可能であり、ボトルネックは解消されてきたと言える。

次に、実用性を深めるための専門家との交流の必要性である。スポーツに関連した研究結果をより実用的なものとするためには、各競技の専門家と議論を重ね、実際に役立つ指標を目指すことが肝要である。したがって、研究結果について、専門家の意見を聞く必要があるという意見に、筆者も賛成である。今回、筆者は、日本サッカー協会（以下 JFA とする）のアカデミーで女子中高生選手の育成コーチを務める方との交流の機会をいただき、サッカー分析時に注目すべき観点等、有用な意見を多数頂戴した。したがって、詳しくは次節以降で述べるが、筆者の研究は、サッカーの専門家へ有益な情報の提供に資する可能性を持つといえよう。

## 2.2 サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化

2つ目の既存研究として、瀬古沢・大森（2014）「サッカーにおけるパス行動の計算モデル

ル化」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

### 2.2.1 研究の概要

瀬古沢・大森（2014）では、集団行動におけるチームワーク的な行動決定のモデルとしてサッカー分析の研究を行っている。具体的には、サッカーのパス行動の合理性を検討するため、第2.1節で取り上げた、藤村・杉原（2004）で提案されている優勢領域モデルを活用し、パスの予測地点とその評価をおこなっている。

瀬古沢・大森（2014）内でのパス行動の評価基準は、次の2つとしている。第1に、「味方選手がパスされたボールを受け取ってから、その地点に敵選手が駆けつけるまでの時間が長いパスほど効果的」、第2に「ゴール前のシュートを打てる位置に出せるパスほど効果的」としている。

パスの成功可能性が評価できることは、守備の穴を見つけることに繋がる。こうした分析の蓄積によって、試合中の判断や試合後の反省を、より客観性のある、また「仮にあの地点にパスを出せていたら…」といった深みのあるものに出来ると、著者らは主張している。

### 2.2.2 考察

第2.1.2項の概要から、瀬古沢・大森（2014）は、サッカーのパス行動に着目することで、客観的な試合評価を実現できる可能性を示唆している。確かに、サッカーは、得点することを目的にゴールネット内へ向かってボールを運びあうスポーツであることから、パス、シュートの果たす役割は大きい。パス行動決定を計算モデル化し、その選択の有効性を評価できれば、非常に役に立つと筆者も考える。

ただ、瀬古沢・大森（2014）では、人とボールの移動モデルの改良に重点を置いており、構築したモデルによって予測されたパス可能な地点と、実際の試合時の行動で選択されたパスコースとの差異についての考察が見当たらない。また、選手とボールの移動モデルを複雑にしたことで計算時間を要し、情報提供までに期間が開くと、反省と次に向けての戦略立てに活用しきれない可能性がある。試合の振り返りに活用するならば、多少おおまかなデータ分析でもよいから、試合後にすぐに分析結果を見たいという場合もあるだろう。そこで、本研究でも、パス行動に着目した研究を行うが、あくまで、試合後に迅速に情報提供できるようなものとなることを目指し、以下の点を重要視する。サッカーの試合における大量の時空間情報の中から、反省資料として欲しい場面を早く取り出すこと。また、

人とボールの移動モデルは、まずは簡便なものとし、実際の行動結果と照らしあわせながら、詳細な考察をすること。このアプローチのほうが、現場の反省に活かすには、結果出力までの速さと、操作の簡便さに対応でき、実用的であると筆者は考える。したがって、詳しい分析手法等は次章以降で述べるが、本論文では、上述のアプローチを取る。

## 2.3 Validity of a soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances

3つ目の既存研究として、Suzuki *et al.* (2003) 「Validity of a Soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

### 2.3.1. 研究の概要

Suzuki *et al.* (2003) は、サッカーのゲームパフォーマンスからチームの守備技能を測定するためのサッカー守備技能尺度 (SDSS) を開発することを目的としている。尺度構成手続きを経て、共分散構造分析の一種である多次元的 CFA (Confirmatory Factor Analysis) モデルを適用し、SDSS の信頼性及び妥当性を検証し、守備技能を構成する下位技能の因果構造を解明し、以下の結論を得た。

- 1) 守備技能は、守備局面に従う攻撃の遅延技能、プレー方向・スペースの限定技能、スペースの削減技能、そして守備対象に従うボール保持者に対する守備技能、非ボール保持者に対する守備技能、スペースに対する守備技能から構成されており、これらを測定するサッカー守備技能尺度 (SDSS) の 9 項目は守備局面と守備対象に基づく内容妥当性、論理的整合性を満足する守備パフォーマンス項目から構成され、客観性、因子妥当性が高い。
- 2) 下位技能を因子に持つ守備技能の構造は守備局面の推移に従った因果構造であり、攻撃の遅延技能、プレー方向・スペースの限定技能、スペースの削減技能が逐次的因果関係を有する。

### 2.3.2 考察

専門家が意識しているサッカーの局面を評価する観点を、守備局面に限定して列挙し、統計的な解析し、その有効性を評価している Suzuki *et al.* (2003) の研究は、専門家以外がサッカーの分析をする際に注目すべき観点を提示しているとも言え、大変意義深い。実際、守備局面時に重要となる行動とは、攻撃の遅延、プレー方向、スペースの限定、削減機能等であるとの記述は、サッカーのプレー経験が無い筆者にとっては、貴重な参考資料となった。

しかし、サッカーの専門家であるがゆえか、図での結果の解説や考察が少なく、サッカー関係者以外の読者には理解しがたい箇所がある。また、Suzuki *et al.* (2003) の研究では、統計解析をする標本として、2002 年の日韓ワールドカップ内での試合中の行動、469 例を使用しており、試合後から結果考察までに 1 年以上、間が空いている。しかし、サッカーの分析は、試合の最中、あるいは直後に、すぐ結果がみたい場合も多いだろう。そこで本研究では、大量の時空間情報の中から、ピンポイントで振り返りたい場面を早く抽出することに焦点を合わせる。また、コーチと選手間の意思疎通は、統計結果の表やグラフだけでなく、実際の選手の配置図等を合わせて用いたほうが、より円滑に進むと思われるから、欲しい場面の選手の配置図の出力に意識を傾けたい。それらを踏まえた上で、試合の傾向を分析するという段階を経たほうが、指導者と育成選手の理解はさらに速く進むと考えられる。また、サッカーに精通していない観戦者が図を用いた解説に接すれば、観戦の魅力向上にもなる。

## 2.4 サッカー指導現場におけるコーチングの研究

### -指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ-

4 つ目の既存研究として、中村ら (2010) 「サッカー指導現場におけるコーチングの研究 -指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ-」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

#### 2.4.1. 研究の概要

中村ら (2010) は、サッカーの指導にあたる教師、指導者が発することばとそれを受容する児童、生徒及び選手のイメージに「ズレ」があるという仮説にたち、アンケート調査をおこなっている。そして、調査結果から、指導者と選手の相互間において、動きやすいと思いつくコーチング用語には若干の「ズレ」があることを明らかにしている。例えば、キック動作の直後に身体の動きを静止させることなくプレーを続行させる動作に関して、イメージしやすいことばとして、指導者は「パス&ゴー」、選手は「パス&ムーブ」という結果となった。こうした指導者と選手間の「ズレ」を把握することで、パフォーマンスが向上されると主張している。

#### 2.4.2 考察

中村ら(2010)の論文では、指導者と選手間にことばの理解の「ズレ」があることを指摘している。しかし、その差の埋め方についての言及はなされていない。今回、指導現場の見学で協力いただいている JFA アカデミーの指導者の方によると、確かに、試合後の反省でも、コーチと選手間での「ズレ」はことばに限らず、状況把握等、様々な場面でみられるという。その「ズレ」を埋める解決策のひとつとして、試合後に、ビデオやアニメーションを用いながら、選手と指導者が対話することが挙げられる。そして、それはすなわち筆者の研究は、指導者と選手間の「ズレ」を解消する一助となりうるといえる。

## 2.5 Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects

5つ目の既存研究として、Laube *et al.* (2005)「Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

### 2.5.1. 研究の概要

Laube *et al.* (2005) は、複数の動く点オブジェクトの一般的な地理的知見を発見する方法を提案している。動く点オブジェクトとは、例えば、GPS から取得した動物、人、車の軌跡である。複数の動く点オブジェクトに対し、地理空間的な知識の発見を可能にする方法とは、次の 4 項目（データ削減と投影、探索的解析とモデル選択、データマイニング、可視化）を統合したシステムの構築であると著者は主張しており、Laube *et al.* (2005) では、そのシステム構築と、アプリケーションの開発を行っている。

論文で言及されている、4つの各項目について簡単に説明する。第一に、データ削減と投影とは、動く点オブジェクトデータの動きに関する全属性から1つを取り出し（例えば、向き）、行列として表現することである。これにより、オブジェクト間の時間軸を考慮した比較分析が可能となる。第二に、探索的解析とモデル選択とは、第一で表現した行列から相対的な動きのパターンを説明できることを指し示す。相対的な動きのパターンとは、例えば、連続性、同時性、先導性が挙がる。第三に、データマイニングとは、先の相対的な動きのパターンの発見を通じ、有用な傾向やルールを取り出すことである。第四に、可視化とは、ここでは、これまでの項目を視覚的に把握できるコンピュータソフトを開発することである。

複数の動く点オブジェクトの一般的な地理的知見を発見する方法を開発することで、時空間データの増大に対する対応と、分析の需要の更なる拡大に繋がると著者らは、主張している。

## 2.5.2 考察

Laube *et al.* (2005) では、開発したアプリケーションの適用例として、サッカーの試合における選手の軌跡データを用いている。すなわち、このことは、人の動きの相互関係を分析するには、サッカーは適例であることを示唆している。ただし、Laube *et al.* (2005) の研究では、あくまで、典型的なパターンの発見の一助となる、可視化ソフトの開発で留まっており、第2.1節と同様、より実用的なものにするには、専門家との交流が望まれる。

## 2.6 時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理方法

5つ目の既存研究として、相ら (2008) 「時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理方法」を取り上げ、まず、その概要を述べる。続けて、本研究にかかわる課題について論ずる。

### 2.6.1. 研究の概要

相ら (2008) は、測位技術、空間データ作成のための技術が急速に進歩し、時系列空間データの蓄積が進みつつある時代背景を受けて、時空間解析の手法全体の体系的な整理を目的とした、時空間解析の基本的な分類カテゴリを提案している。具体的には、1) 地物の幾何学的表現、2) 地物の時間軸上における表現、3) 地物の属性の記述、4) 地物の位置と形状の時間変化、5) 解析の中で対象とする地物の種類数、という5つのカテゴリを提案している。そして、これら5つが実際の時空間解析手法の開発、適用および応用において留意すべき項目として強調している。

さらに、その分類カテゴリを用いて既存研究を整理する手法として、研究マトリックスを提案している。研究マトリックスは大きく2段階に分けられる。第1段階のマトリックスで研究対象となる地物の種類数と時間的表現によって解析事例を大きく分類し、各事例の位置づけをする。また第2段階のマトリックスにおいては、地物の幾何学的表現、属性の空間変化、地物の位置と形状および属性の時間変化による分類カテゴリを用いて、より詳細な比較を可能にしたと主張している。

### 2.6.2 考察

相ら(2008)の研究は、本研究がGIS分野の時空間解析研究のうち、どのような特徴を持つのか、あるいは、位置づけになるのかを、容易にかつ迅速に把握することを可能にしてい

ることから、大変有用である。ただし、あくまで一分類法であり、デファクトスタンダードとして扱ってよいかという点に関しては留意する必要がある。

さて、相ら(2008)の研究マトリックスを用いると、本研究は、次のように分類される。まず、試合中のサッカー選手の動きをアニメーションで可視化することは、各マトリックスを用いると次のように分類できる。第一段階マトリックスでは、地物の時間的表現は連続的であり、その種類数は単一種類に属する。続いて第二段階マトリックスでは地物の幾何学的表現は点ないし線であり、属性の空間変化については、ここでは動きを可視化することのみ扱うため、選手の位置のみを対象とするので定数項のみによる記述と言える。最後に、位置と形状および属性の時間変化については、移動は可能で、変形は不可と、属性は対象外と分類される。

続けて、パス可能エリアに基づく局面の評価は、先の分類法では、次のようになる。まず、地物の時間的表現は離散的であり、その種類は単一種類に属する。続いて第二段階マトリックスでは、地物の幾何学的表現は面であり、属性の空間変化については離散関数で表現される。位置と形状および属性の時間変化については、移動可能、変形可能、属性は不可と分類される。

相ら(2008)で提案する整理手法で分類できたことから、本研究は、一見、サッカーの専門家に役立つ指標作りを目的としたサッカー分析研究であると見受けられるが、それだけでなく、時空間解析の手法開発、応用分野への拡張という目的も持つことが裏付けられた。本研究は GIS 分野におけるスポーツの時空間解析という事例の蓄積が多くない研究であり、実証研究の蓄積に貢献できれば幸いである。

## 2.7 本研究の意義

第 2.1 節から第 2.6 節までの 6 つの既存研究の考察から、本研究の新規性や有用性は、次のようにまとめることが可能である。

第 1 に、時間的、空間的に高解像度かつ連続した時間の複数行動軌跡データを用いている点である。1 試合 90 分を通じて、全選手の移動を 0.1 秒及び 0.1m 単位で記録したデータによる時空間分析は限られている。これは、実証研究が始まったばかりの時空間解析において、新たな手法の開発に貢献する可能性を秘めている。

第 2 に、作り出したパスコースと実際に出したパスコースとの比較をし、考察する点である。パスコースを作り出す選手の行動が、パスの成功に影響しているのか、あるいは、おとりとなって、他の選手へのパスの成功に影響するのかなど、アニメーション化した図



と照らし合わせて、考察したものは少ない。

第3に、空間情報学の分野で、サッカーの時空間分析という応用研究に取り組んだ事例は多くない。また、専門家との交流を交えながら実用的な指標を目指したものとなるときらに限られる。日本サッカー協会のアカデミーで女子中学生ユースを指導する JFA アカデミー福島の見汐翔太氏によれば、GIS を用いた分析は、選手やボールの動きを図として表現し、いち早く把握できる点で、有用だとのコメントをいただいている。

## 第3章 データ説明

第3章では、本研究に使用するデータについて説明する。今回、筆者は、小林哲郎氏にご協力をいただき、民間企業の Prozone 社(現 STATS)より、全米女子大学サッカーリーグのうち2試合のデータを研究上利用可能な状態で拝借した。本章をそのデータの説明に充てる。まず、第3.1節では、データの概要について述べる。続く、第3.2節では、データ形式について説明する。さらに第3.3節では、データの属性のひとつである XY 座標値をもとに、GIS ソフト上で可視化する方法について紹介する。

### 3.1 データ概要

本節では、データ概要について述べる。まず、Prozone 社が提供しているサッカーのパフォーマンス分析システム「Prozone3」とは、選手とボールの動きをビデオで追跡し、半自動で空間データにしたものを、対話型の分析ソフト上に表示させる一連のシステムである。今回、その分析ソフト上で表示させる以前の、すなわち素データにあたる、スタジアム内でのカメラネットワークで録画された、高解像度なトラッキングデータを csv ファイル形式で、筆者には提供された。なお、選手とボールの位置同定は、競技場に設置された複数のビデオカメラをもとに行われているようだが、取得方法の詳細については、社外秘であるため不明である。

なお、入手した試合データは、全米女子大学サッカーリーグより、次の2試合である。

2012年8月31日 フロリダ州立大学 対 フロリダ大学

2012年9月13日 フロリダ州立大学 対 デューク大学

Box Score (出場両チームの全選手名と、そのポジションおよび試合中の諸データを数字などで記入した記録) は、両試合ともフロリダ州立大学女子サッカー部の web ページ ([http://www.seminoles.com/SportSelect.dbml?SPSID=917043&SPID=157114&DB\\_OEM\\_ID=32900&Q\\_SEASON=2012](http://www.seminoles.com/SportSelect.dbml?SPSID=917043&SPID=157114&DB_OEM_ID=32900&Q_SEASON=2012)) より入手可能である (2016年6月現在)。

### 3.2 データ形式

入手したデータ形式は、CSV ファイルで、1試合ごとに、3つの CSV ファイルに分割されている。各構成は次のとおりである。1つ目は、前半の選手の移動軌跡ファイル。2つ目は、後半の選手の移動軌跡ファイル。そして3つ目は、ボールのアクション発生時 (パ

ス、シュート、タックル等)の時空間情報ファイルである。

図 3-1 を例に説明すると、ファイル名の最後部分が `_1.csv` が前半の選手の移動軌跡、`_2.csv` が後半の選手の移動軌跡、`_events.csv` がボールの時空間情報のファイルである。

名前	更新日時	種類	サイズ
 Florida State University Women v Duke University Women_1.csv	2013/04/02 2:48	Microsoft Excel ...	82,678 KB
 Florida State University Women v Duke University Women_2.csv	2013/04/02 2:49	Microsoft Excel ...	87,138 KB
 Florida State University Women v Duke University Women_events.csv	2013/04/02 2:49	Microsoft Excel ...	392 KB

図 3-1 関連ファイル一覧

各 CSV のフォーマットの概要を述べる。まず、選手の移動軌跡ファイルには、次の項目が格納されている。( ) 内は実際の見出し名である。

- 列 1 対戦チーム名 (Fixture)
- 列 2 選手名 (Player)
- 列 3 チーム名 (ClubName)
- 列 4 試合番号 (MatchID)
- 列 5 選手番号 (PlayerID)
- 列 6 前後半識別番号 (SegmentID)
- 列 7 時間 (Time)、解像度 : 0.1 秒単位
- 列 8 チーム番号 (ClubID)
- 列 9 選手の位置 X 座標 (PitchXPos)、解像度 : 1cm 単位
- 列 10 選手の位置 Y 座標 (PitchYPos)、解像度 : 1 cm 単位

次に、ボールのアクションファイルには次の項目が格納されている。なお、入手時に定義書は無かったため、一部項目については不明である。それらについては説明を割愛する。

- 列 1 対戦チーム名 (Fixture)
- 列 2 選手名 1 (Player1)
- 列 3 選手 1 のチーム名 (Player1ClubName)
- 列 4 選手名 2 (Player2)
- 列 5 選手 2 のチーム名 (Player2ClubName)
- 列 6 イベント (Event)、ex : Pass、Tackle、Touch、Shot...
- 列 7 試合番号 (MatchID)
- 列 8 前後半識別番号 (SegmentID)

- 列 9 時間 (Time)、解像度 : 0.1 秒単位
- 列 10 イベント番号 (EventID)
- ...
- 列 13 選手名 1 番号 (Player1ID)
- 列 14 選手名 1 チーム番号 (Player1ClubID)
- 列 15 選手名 2 番号 (Player2ID)
- 列 16 選手名 2 チーム番号 (Player2ClubID)
- 列 17 ボールの位置 X 座標 (XPosOrigin)、解像度 : 1cm 単位
- 列 18 ボールの位置 Y 座標 (YPosOrigin)、解像度 : 1cm 単位
- 列 19 次イベント時のボールの位置 X 座標 (XPosDest)
- 列 20 次イベント時のボールの位置 Y 座標 (YPosDest)
- ...

### 3.3 試合中の選手の動きを GIS ソフト上で可視化する方法

試合の反省材料となる場面の時点を取り出す前に、まずは、試合中、選手はどのように動いていたのか把握する必要がある。そのためには、csv データのままでは理解が難しく、選手とボールの動的変化をアニメーションで表現するのが望ましい。それには、PostGIS と QGIS という 2 つの GIS ソフトウェアを用いるのが 1 つの方法である。2 つのソフトを使い分けた理由は、PostGIS はデータベースの構築に、そして、QGIS はアニメーション表示に優れているからである。上述の GIS ソフトウェア上でアニメ化する場合、第 3.2 節で述べたデータ形式を PostGIS、QGIS 上で使えるデータ形式に変換する必要がある。そこで、第 3.1.1 項では、CSV ファイルのデータ形式変換と PostGIS 上にデータベースを構築する方法について述べる。続いて第 3.2.2 項では、QGIS から PostGIS 上のデータに接続する方法と、接続したデータをアニメーション表示させる方法について紹介する。

#### 3.3.1 PostGIS 上に空間データベースを作成する方法

本項では、CSV ファイルを、GIS ソフト上でアニメーション表示するための形式変換とデータベースの構築について述べる。なお、PostGIS のインストールについては本論文では割愛する。詳しくは PostGIS の公式ダウンロードページ (<http://postgis.net/install/>) 等を参照いただきたい。また、本稿で用いている PostGIS のバージョンは 2.1 である。

##### Step1 CSV ファイルに時間形式の時間列を追加

時空間オブジェクトを GIS ソフト上でアニメーション表示させるには、データ型が

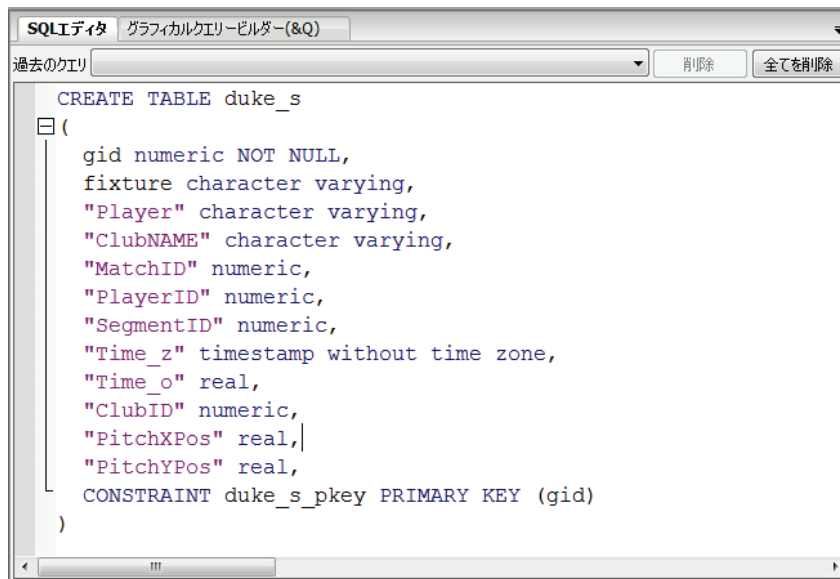
日付・時刻型の列が1つ以上必要となる。素の CSV ファイルにはそれがないことから、既存の属性列「時間 (time)」を活用して、新規作成する。新たに作る列の表示形式は、yyyy/mm/dd hh:mm:ss.0 とする。表 3-1 の例では、列 Time\_o が、元の時間属性が格納されている列、Time\_z が新たに作成した日付・時刻型の時間属性列を示している。

表 3-1 日付・時刻型データの追加後のデータ例

PlayerID	SegmentID	Time_z	Time_o	ClubID
32247	0	2011/09/18 1:00:00.0	0	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.1	0.1	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.2	0.2	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.3	0.3	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.4	0.4	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.5	0.5	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.6	0.6	1708
32247	0	2011/09/18 1:00:00.7	0.7	1708

#### Step2 PostGIS 上に新規テーブルを作成

PostGIS とは、データベース管理ソフト postgresSQL をベースとし、空間データ向けに拡張したソフトウェアであることから、データ操作は主にクエリと呼ばれる SQL の命令文でおこなわれる。そして、データを読み込む準備として、読み込む予定のデータに対応した新規テーブルを用意する。選手の移動軌跡用テーブルを作成するクエリ例を、図 3-2 に示す。

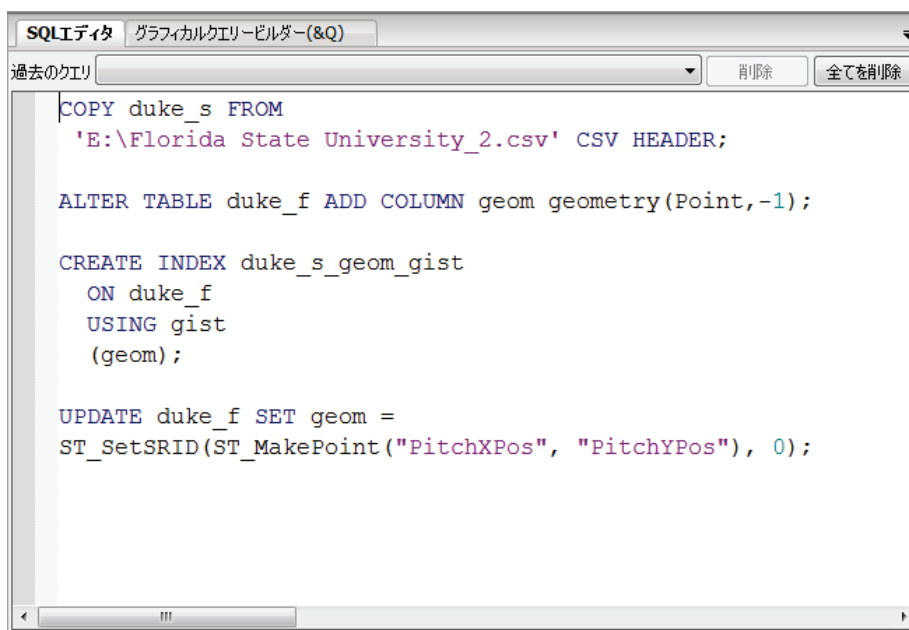


```
CREATE TABLE duke_s
(
  gid numeric NOT NULL,
  fixture character varying,
  "Player" character varying,
  "ClubNAME" character varying,
  "MatchID" numeric,
  "PlayerID" numeric,
  "SegmentID" numeric,
  "Time_z" timestamp without time zone,
  "Time_o" real,
  "ClubID" numeric,
  "PitchXPos" real,
  "PitchYPos" real,
  CONSTRAINT duke_s_pkey PRIMARY KEY (gid)
)
```

図 3-2 新規テーブル作成時の SQL コード

### Step3 PostGIS へのデータ読み込み

Step2 で PostGIS 上に作成したテーブルに、Step1 で作成した CSV ファイルを読み込む。読み込んだデータに対し、空間データであること、すなわち幾何学的な情報を格納する列[geom]を新たに追加し、参照すべき X 座標列、Y 座標列をそれぞれ指定し、データを格納する。以上の操作を行うクエリ例を図 3-3 に示す。



```
COPY duke_s FROM
'E:\Florida State University_2.csv' CSV HEADER;

ALTER TABLE duke_f ADD COLUMN geom geometry(Point,-1);

CREATE INDEX duke_s_geom_gist
ON duke_f
USING gist
(geom);

UPDATE duke_f SET geom =
ST_SetSRID(ST_MakePoint("PitchXPos", "PitchYPos"), 0);
```


図 3-3 空間データベース作成時の SQL コード

このようにして、PostGIS に空間データベースを構築することが出来る。

### 3.3.2 QGIS で選手とボールのアニメーション表示をする方法

本項では、GIS ソフトウェア QGIS を用いた時空間データのアニメ化について説明する。なお、QGIS のインストールについては、本論文では説明を割愛する。詳しくは QGIS 公式ダウンロードページ (<http://www.qgis.org/ja/site/>) を参照いただきたい。

#### Step1 QGIS から PostGIS の空間データベースに接続、及びデータの追加

ツールバー内の「PostGIS レイヤの追加」アイコンをクリックし、「PostGIS テーブルを追加」ウインドウを起動する。「新規」をクリックし、接続するデータベースの情報を入力し「接続」をクリックする。追加したいレイヤを選択し「追加」をクリックする（図 3-4 参照）。このようにして PostGIS 上の空間データを QGIS のレイヤに表示できる。図 3-5 に、フロリダ州立大学 VS デューク大学の選手の移動データを追加した様子を示す。

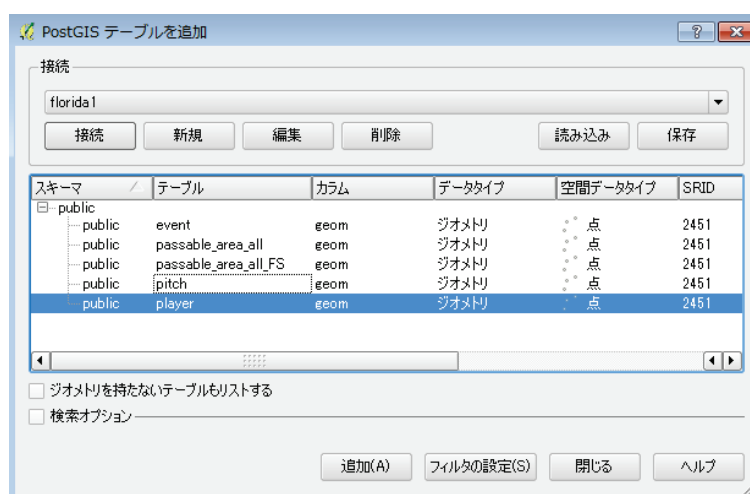


図 3-4 「PostGIS テーブルを追加」ウインドウ

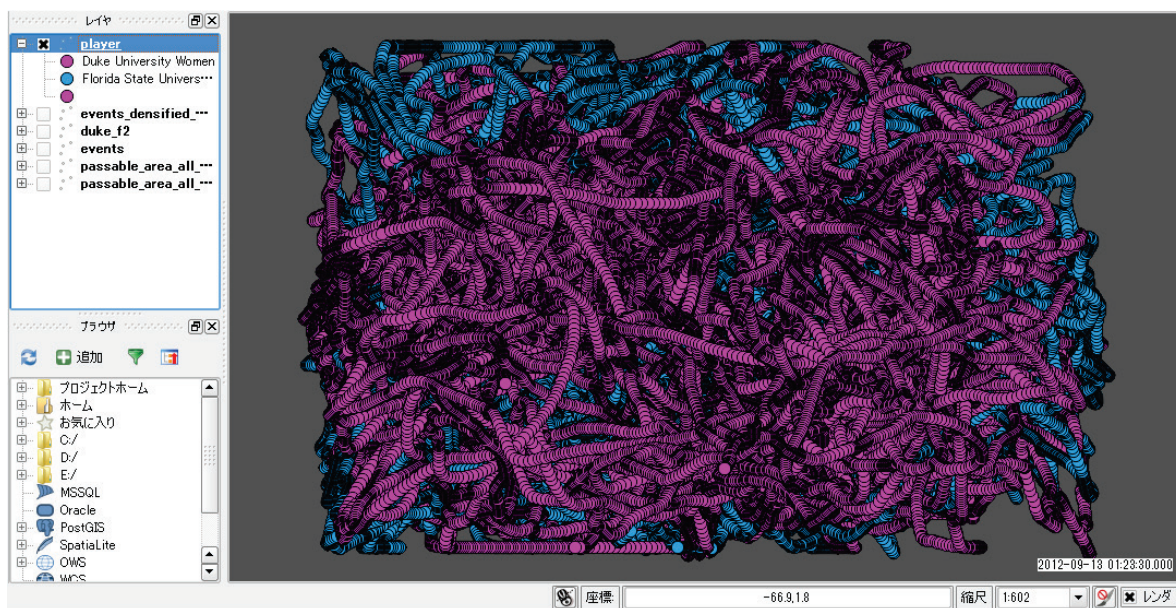


図 3-5 選手の移動軌跡を QGIS 上に追加・表示させた様子

### Step2 プラグイン「Time Manager」の追加

メニューバー「プラグイン」>「プラグインの管理とインストール」をクリックする。全てのプラグインから「Time Manager」を選択し、インストールする。インストールに成功すると図 3-6 のようなウインドウが追加される。

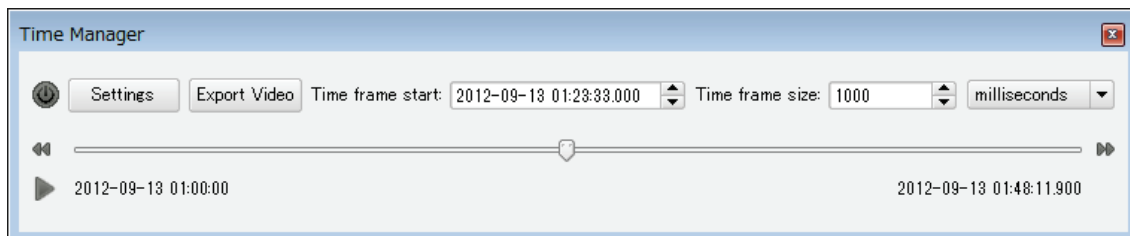


図 3-6 「Time Manager」ウインドウ

### Step3 タイムスライダの設定

「Time Manager」ウインドウの「Setting」をクリックする。さらに「Add layer」をクリックし、アニメーション化したい、日付・時刻型の属性を持つレイヤを追加する。適切な日時と表示間隔を設定し、再生ボタンをクリックすると図 3-7 のようなアニメ表示が可能となる。ちなみに図 3-7 は、試合開始直後、ピンクチームの選手が向かって右側に攻撃を開始した場面である。



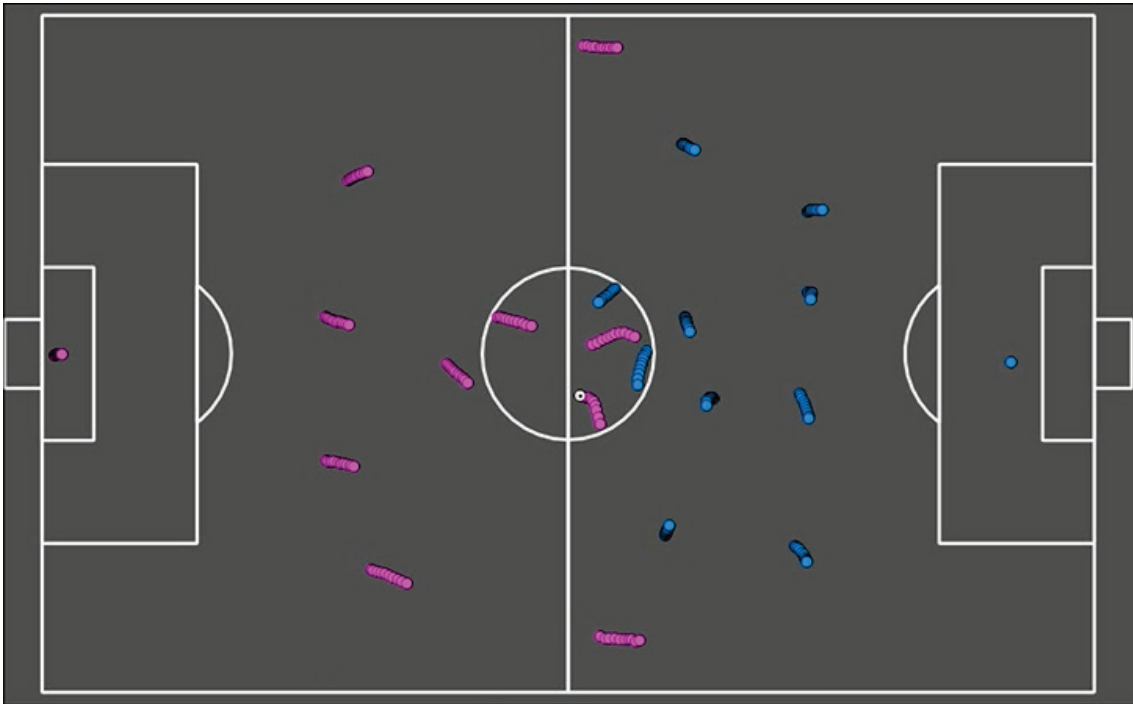


図 3-7 選手とボールの動きをアニメーション表示した様子

このようにして GIS ソフトウェア上で選手とボールの動きをアニメーションとして可視化することができる。

## 第4章 パス可能エリアの推定

パスの可能性に着目した局面の評価を行うためには、まず、パス可能なエリアを推定する必要がある。そこで、本章では、本研究で用いるパス可能エリアの推定方法について説明する。まず、第4.1節では、手法の概要について述べる。続く第4.2節では、推定法を活用するために必要な、本研究における選手の行動モデルとボールの移動モデルについて説明する。最後に、第4.3節では、第3章で説明したデータを用いて推定する場合の手順を紹介し、推定結果のエリアと実際にパスを受けたエリアを比較する。

### 4.1 パス可能エリアの推定手法

本節では、パス可能エリアの推定手法について説明する。まず、記号を以下のように定める。

$\mathbb{P} = \{P_1, \dots, P_{11}\}$  : 攻撃中のチーム  $P$  の選手 11 人

$\mathbb{Q} = \{Q_1, \dots, Q_{11}\}$  : 守備中のチーム  $Q$  の選手 11 人

$\mathbf{p}_k$  : 攻撃中チームの選手  $P_k$  の位置ベクトル

$\mathbf{q}_j$  : 守備中チームの選手  $Q_j$  の位置ベクトル

$v_P$  : チーム  $P$  の各選手の速さ

$v_Q$  : チーム  $Q$  の各選手の速さ

$v_b$  : ボールの速さ

$\mathbf{b}(t)$  : 時刻  $t$  におけるボールの位置ベクトル

$C(\mathbf{x}, r)$  :  $\mathbf{x}$  を中心とする、半径  $r$  の円

このとき、パスが可能な任意の地点  $\mathbf{y}$  とは、ボールを保持していない攻撃選手  $P_k$  が、ボールを保持している攻撃選手  $P_l$  から、ボールを受け取れる地点と定義される。本稿では単純なモデルを想定し、受け取れる条件を以下2つとする。

条件1 : ある攻撃選手  $P_k$  が ボール到達時までには地点  $\mathbf{y}$  に到達できる。

条件2 : 守備選手  $Q_j$  の誰も地点  $\mathbf{y}$  への移動中のボールを奪取することができない。

各条件を式で表すと、

$$\text{条件 1 : } \mathbf{p}_k \in C \left( \mathbf{y}, \frac{d}{v_b} v_{P_k} \right) \quad \text{条件 2 : } \mathbf{q}_j \in C \left( \mathbf{b}(t), tv_{Q_j} \right)$$

となる。

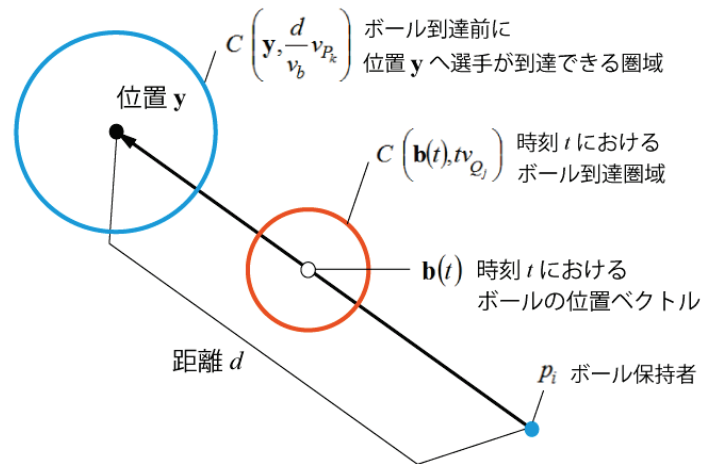


図 4-1 パスの可否判定のイメージ図

また、図 4-1 を用いると、次のように説明できる。青円が味方選手  $P_k$  の少なくとも1人を包含し（地点  $\mathbf{y}$  にボールよりも味方選手が速く到達でき）、赤円（ボールが地点  $\mathbf{y}$  に到達するまでの全時間を考慮）は敵の選手  $Q_j$  を誰も包含しない（ボールが途中で敵選手にインターセプトされない）とき、地点  $\mathbf{y}$  にパス可能と判断する。

なお、本研究では、任意の地点  $\mathbf{y}$  を、「ピッチを一辺1mの正方形グリッドに分割し、そのうちのいずれかのグリッド」と定義する。ピッチ内の各グリッドでパス可能か判定をすることで、ある時間におけるボール保持選手のパス可能領域を求められる。

## 4.2 選手の行動モデルとボールの移動モデル

第 4.1 節で示した条件式を用いてパス可能エリアを推定するためには、選手とボールの速さを決める必要がある。そこで、本節では、選手とボールの速さについて考える。

### 4.2.1 選手の行動モデル

Ritschard and Tschopp (2011) によれば、2011 年の FIFA 女子ワールドカップドイツ大会を参考に各国女子サッカー代表選手のトップスピードを 21km/h 以上と定めている。そこで、

全米大学サッカーリーグ女子のデータを扱う本研究では、この基準を参考に、本研究での行動モデルは「各選手は、トップスピードの基準となる 21km/h で同心円状に等速直線で動く」とする。

21km/h というのは、本事例においても適当な値と考える。例えば、フロリダ州立大学 vs デューク大学の試合、前半 45 分間における全選手の移動速度データ（キーパーを除く）のうち、21km/h は 2.4%程度観測されている。したがって、本研究での選手のトップスピードとしても、妥当な数値といえよう。図 4-2 に選手の移動速度分布を示す。

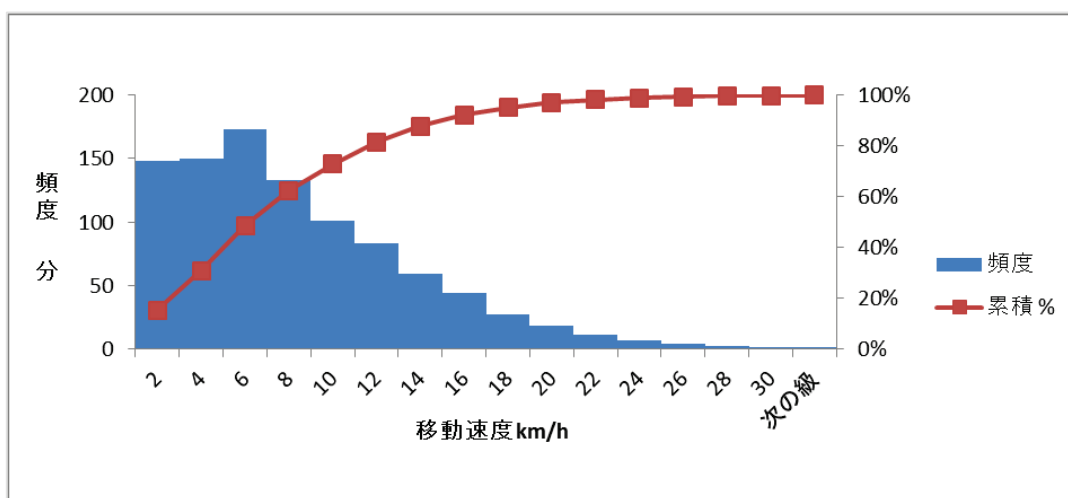


図 4-2 フロリダ州立大学 vs デューク大学 前半 45 分間における全選手の移動速度分布

本モデルは、非常に単純であることから、実際の選手の行動に必ずしも即していない。しかし、同時に、推定に掛かる計算時間を短縮できるという長所がある。したがって、精細な評価は別途必要となるが、本モデルを用いることで、迅速に大局的な局面の評価が可能と考えている。

#### 4.2.2 ボールの移動モデル

続けて、本項では、パス時のボールの移動モデルについて説明する。本研究では、ボールの移動モデルを「2次元平面上を6km/h ~ 20km/h (1km/h 区切りの15通り) の間で等速直線移動できる」とする。このモデルは次の理由から妥当と考える。本研究で用いるデータのパスボールの移動速度分布の箱ひげ図 (図 4-3 参照) の、第一四分位点から第三四分位点、さらには外れ値を除くトップスピードをほぼ対象範囲に含めているからである。なお、大きい外れ値は、図 4-4 を見ると、非常に近い距離のパスである。大きく外れた理由

としては、ボールの移動データはスタッフが手で入力していることから、入力時に実際のプレーとの時間の誤差が生じている可能性が挙がる。

なお、サッカーのパスは、敵選手の頭上を越すケース、いわゆる「浮き球」もあり得るため、3次元空間で考えなければならない。しかし、3次元空間を想定する場合には、計算式が複雑かつ非常に長い計算時間を要する。そこで、本研究では、高さ方向は今後の課題として対象から外し、2次元空間上での移動に限定する。したがって、本モデルは、短いグラウンドパスをつないでゴールを目指すチームに向いているモデルといえよう。

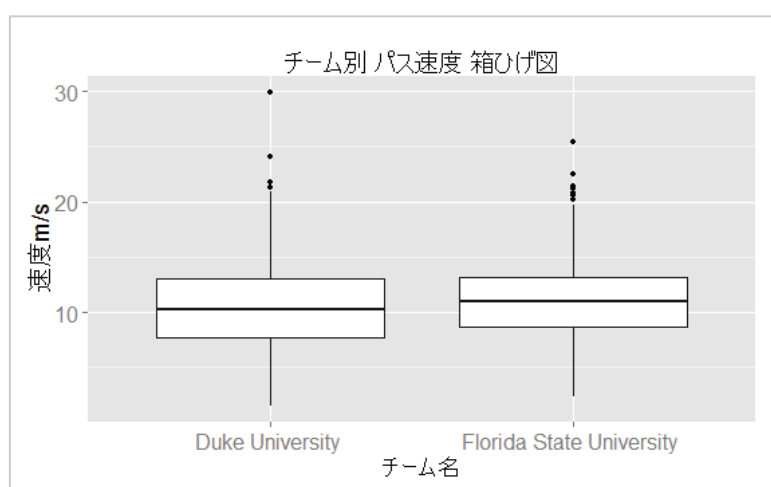


図 4-3 ボールの移動速度分布箱ひげ図

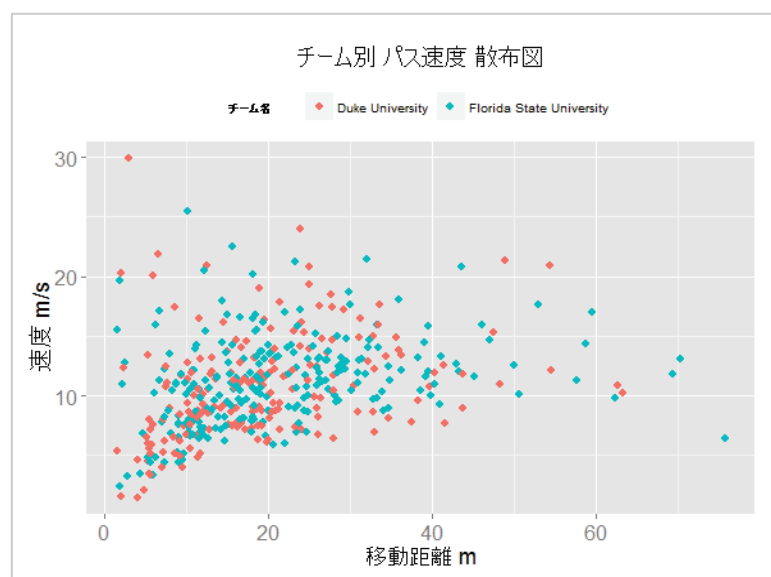


図 4-4 パスボールの移動距離と速度に関する散布図

### 4.3 実データへの適用

本節では、第 4.1 節、第 4.2 節で述べた方法を、第 3 章で説明したデータに当てはめる。

#### 4.3.1 本研究のデータ向け推定手順

まず、前節までに述べたアルゴリズムは、下の図 4-5 のフローチャートで示せる。

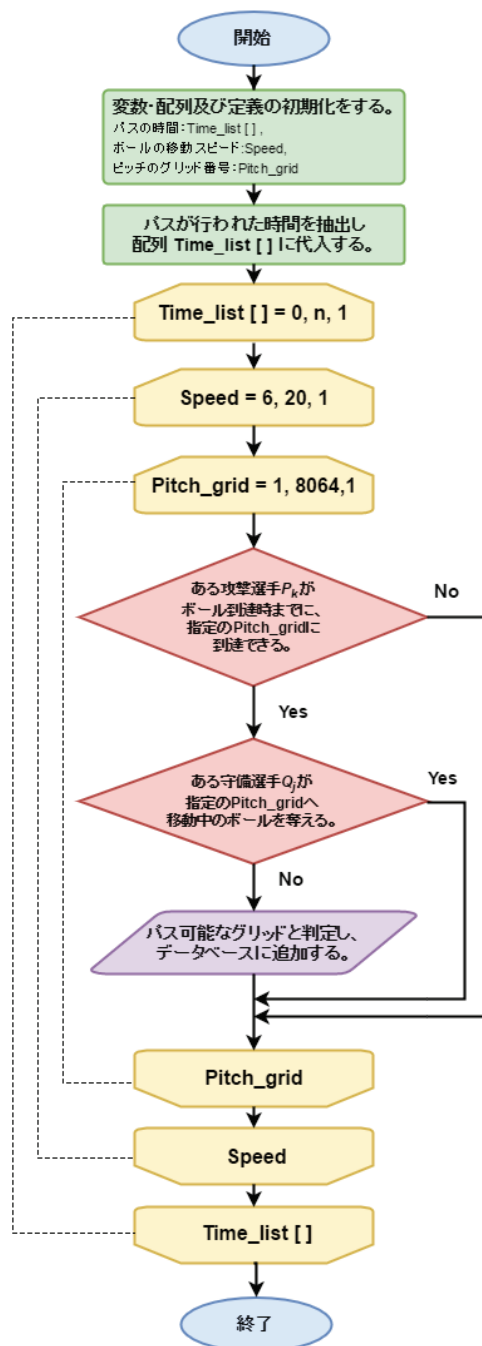


図 4-5 パス可能判定のフローチャート

次に、図 4-5 の手順に則った、GIS ソフト上でのデータ操作手順について説明する。

**Step1** 下準備として、ピッチを細かなグリッド（本事例では1辺1m四方の正方形）に分割する（緑に見える箇所は全て小さなグリッドが集合したメッシュである）。本事例におけるピッチの大きさは、ゴールライン（図 4-6 の縦方向）72m、タッチライン（図 4-6 の横方向）112m であるため、グリッド数は計 8064 個となる。各グリッドの重心点を代表点とし、各代表点でパス可能か判定をする。

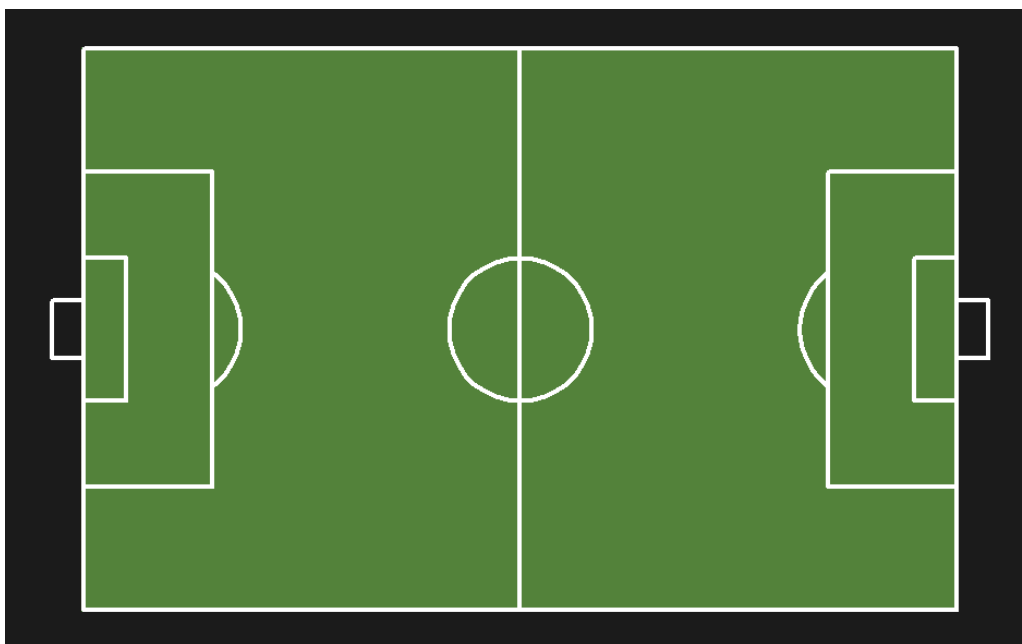


図 4-6 ピッチ上にグリッドを発生させた様子

**Step2** 任意の時間帯における選手とボールの位置データを追加する（図 4-7 は青チームが向かって左手に攻撃中の場面である。白丸がボールを保持した攻撃選手、青丸がその他の攻撃選手、赤丸が守備選手、をそれぞれ示している）。

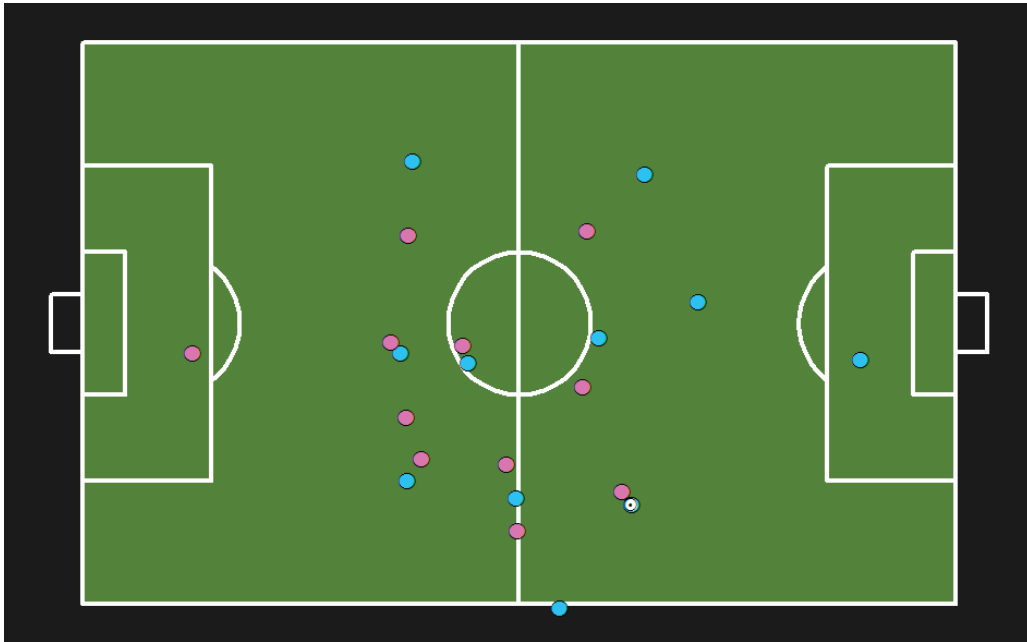


図 4-7 選手とボールの位置を追加した様子

**Step3** 条件1「ある攻撃選手  $P_k$  が ボール到達時までに地点  $y$  に到達できる。」を満たすか否かについて、各グリッドの代表点で判定する（なお、本事例では第4.2節での説明の通り、選手は全員 21km/h (5.8m/s) で、ボールは 6~20km/h のいずれか [図 4-8 は 20km/h] で等速直線移動をする)。図 4-7 の選手およびボールの配置で、条件1を満たすグリッドを図 4-8 の黄色い部分で示す。これは、条件2「守備選手によるインターセプト」考慮前のパス可能エリアとなる。



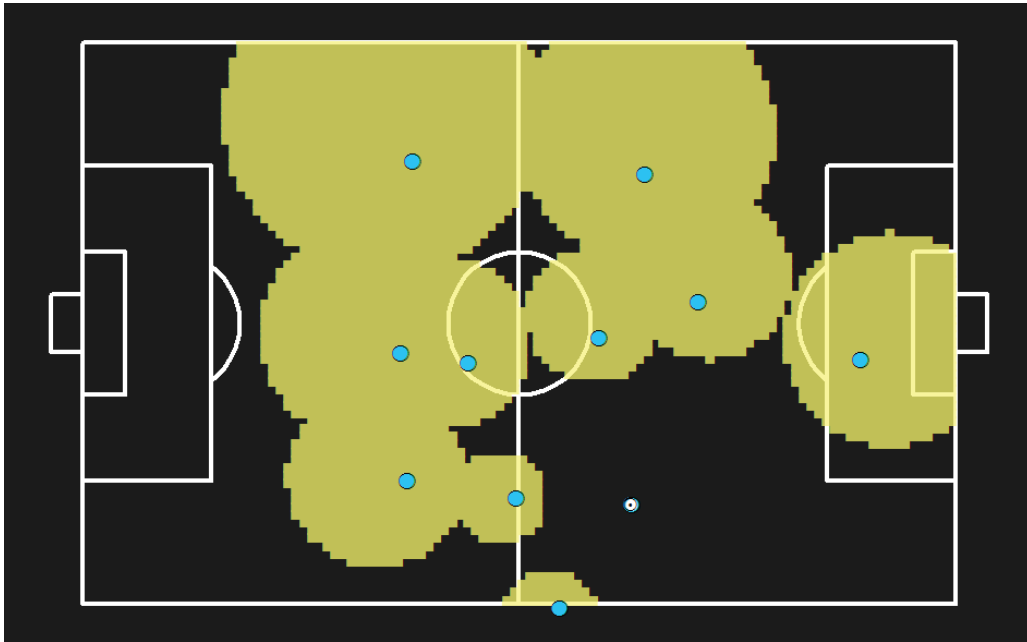


図 4-8 守備選手の位置考慮前における攻撃選手のボール受け取り可能エリア

**Step4** Step3 の操作を守備選手  $Q_j$  についても行き守備選手のボール奪取可能圏を求める。

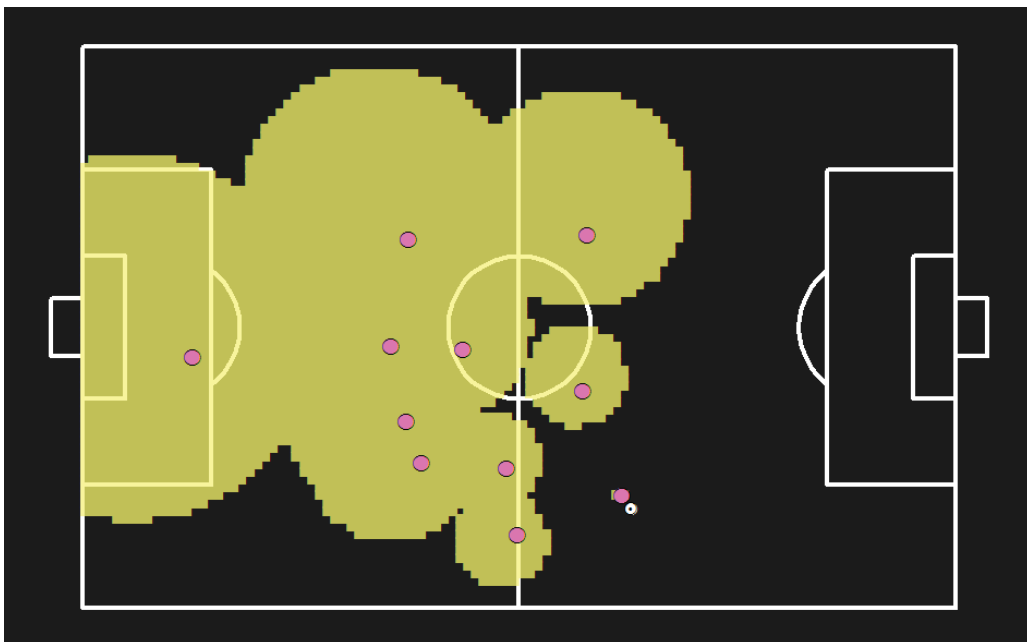


図 4-9 守備選手のボール奪い取り可能エリア

**Step5** Step3 の操作で抽出された各グリッドとボール間を結ぶ線上に Step4 の操作で抽出されたグリッド代表点があるかを判定する。Step4 のグリッド代表点が、線上及び

線周辺バッファ領域 50cm 内に無い場合、条件 2「途中で守備選手にボールを奪われない」を満たすと判定し、最終的なパス可能グリッドとする。2つのオブジェクト間の空間検索の様子を図 4-10 に、最終的にパス可能と判定されたグリッドを図 4-11 に示す。

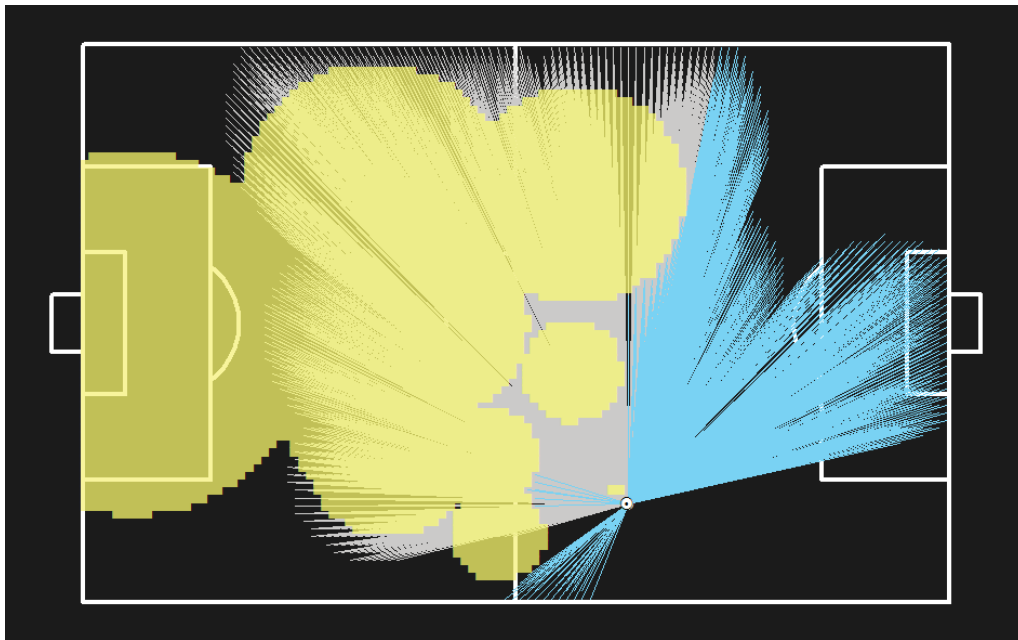


図 4-10 守備選手のボール奪取可能圏[黄丸]と攻撃選手へのパスライン[白及び青線]間の空間検索(全線分のうち青色が Step4 で奪取可能と判定されたグリッドを周辺に含まないもの)

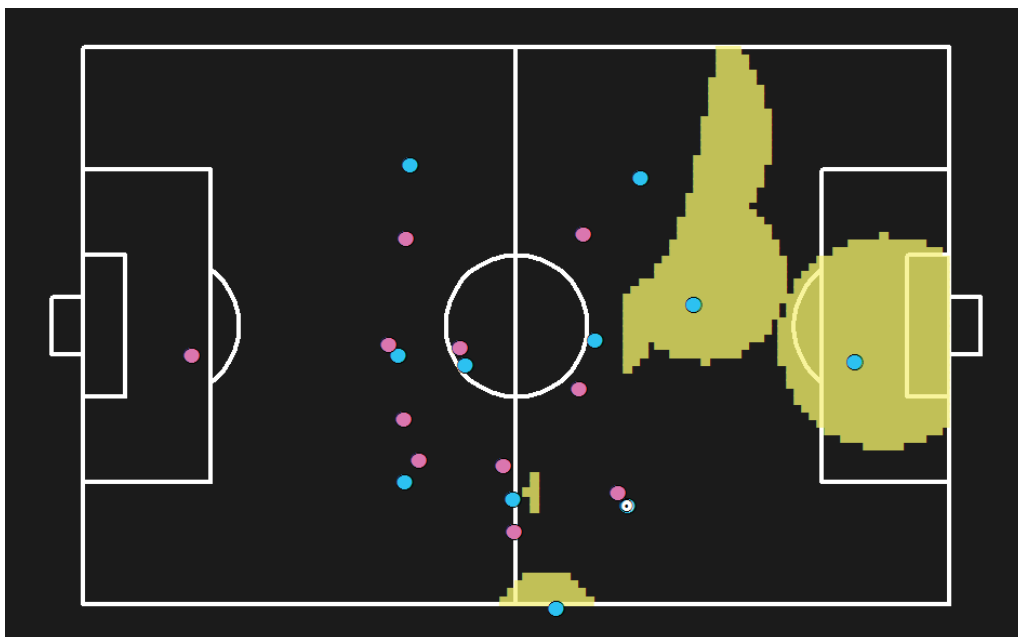


図 4-11 当該時間、ボールの移動速度 20km/h におけるパス可能エリア推定結果

上述の操作について、対象とするボールのスピード及び場面すべてにおいて反復処理をすることで、1試合分のパス可能エリアが求められる。対象とする全スピード・全局面について、手作業で求めることは手間と計算時間が膨大でほぼ不可能となることから、筆者は、上述の操作についてプログラミング言語を用いて自動化した。推定部分については Python と PostGIS、SQL を、結果の画像出力部分については、PostGIS と R をそれぞれ用いた。ソースコードを巻末の別紙に記す。

#### 4.3.2 推定結果と考察

推定方法の評価をするため、本項では、実際にパスが出た場面を取り挙げ、推定結果のエリアと次の事象が起きた地点（実際にパスを受けたエリア等）を比較し、適合性を調べる。

まず、適合性の求め方について述べる。推定法の適合性とは、北ら（2002）によれば、「客観的に見て適合する結果を提示したか？」であり、その評価は、一般に、以下 2 つの観点から行われる。

- 完全性：検索質問に適合する内容を漏れなく検索しているか？
- 正確性：検索質問に適合する内容だけを検索しているか？

上記の 2 つを評価する尺度として、再現率と適合率が一般に挙げられている。再現率、適合率の定義は次の通りである。

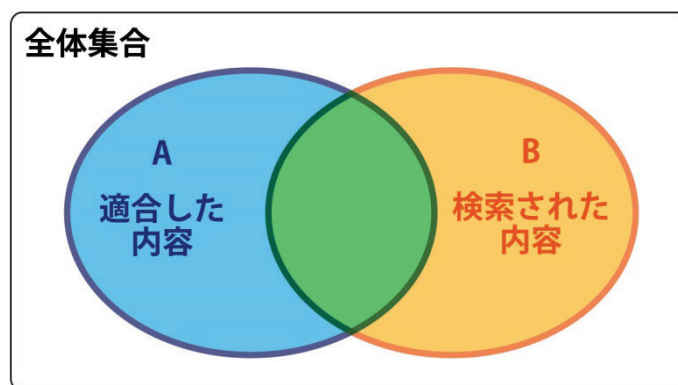


図 4-12 再現率、適合率を説明するベン図

$$\text{再現率} = \frac{\text{検索された内容中の適合した内容件数}}{\text{適合した内容件数}} = \frac{|A \cap B|}{|A|}$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{検索された内容中の適合した内容件数}}{\text{検索された内容件数}} = \frac{|A \cap B|}{|B|}$$

再現率 (recall) : 完全性を評価するための尺度で、検索漏れの少なさを示す。

適合率 (precision) : 正確性を評価するための尺度で、誤検出の少なさを示す。

再現率と適合率はトレードオフの関係にあり、片方の値を向上させようとするともう一方が下がる傾向にある。指標が複数であると評価が難しいことから、今回は、さらに、再現率両方を勘案した指標である F 値も求める。F 値 (F-measure) は、再現率を  $R$ 、適合率を  $P$  とすると、次の式で示すことができる。

$$F = \frac{2}{\frac{1}{R} + \frac{1}{P}}$$

F 値は、再現率と適合率の双方の値が大きいときに、大きい値を取り、その範囲は 0 から 1 である。

では、それらの尺度を用いて、本推定法の適合性を調べる。

今回対象とする場面は、2012 年 9 月 13 日 フロリダ州立大学 (FS) 対 デューク大学 (DK) の前半 45 分間内に実際にパスを出したシーン 259 例とする。

推定パス可能エリアの評価は、ここでは、推定可能エリアと実際の試合における次の場面展開との比較をすることで判定する。すなわち表の関係が成り立つ。

表 4-1 適合性判定ルール

カテゴリ	次事象が推定パス可能範囲内か?	次事象が味方のパス受取か?	図 4-12
1	○	○	$A \cap B$
2	×	×	$\overline{A \cup B}$
3	○	×	$\overline{A} \cap B$
4	×	○	$A \cap \overline{B}$

表 4-1 のルールに則り、適合性を求める。結果を表 4-2 適合性判定表 4-2 に示す。さらにケース内訳を図 4-1 3、図 4-1 4 に示す。

表 4-2 適合性判定結果

	Florida State University	Duke University
再現率 $R$	0.704	0.659
適合率 $P$	0.989	0.964
F 値	0.822	0.783

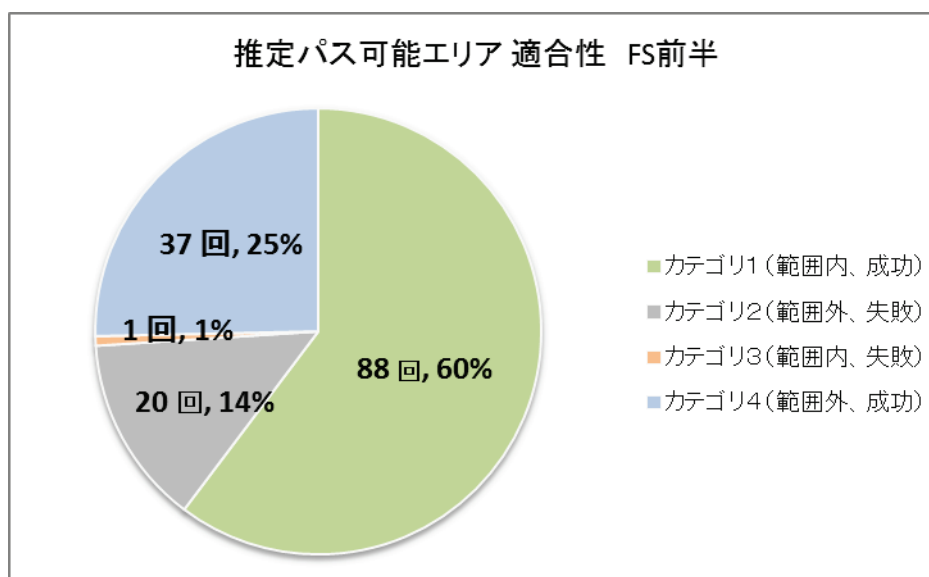


図 4-1 3 推定パス可能エリア適合性 フロリダ州立大学 [回数、百分率]

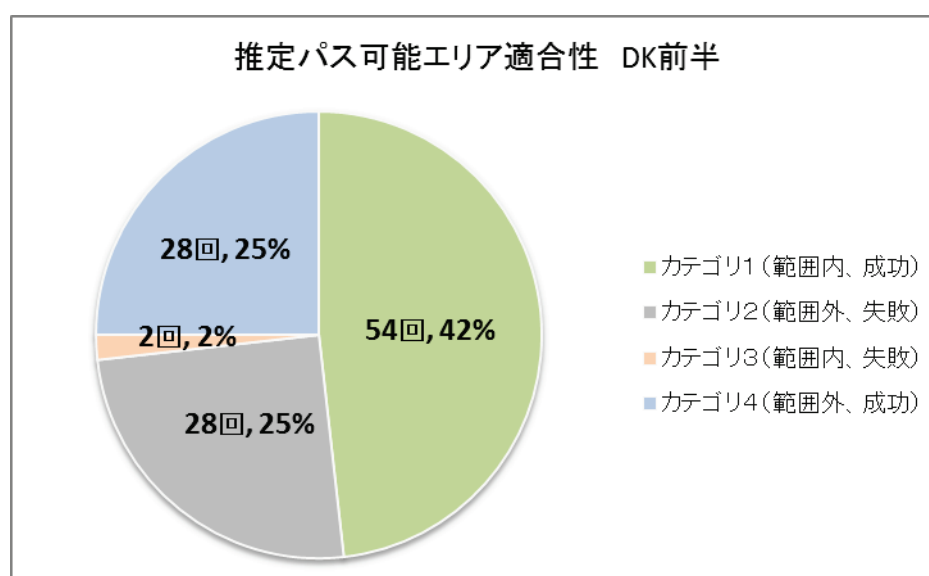


図 4-1 4 推定パス可能エリア適合性 デューク大学 [回数、百分率]

チームごとにパスの仕方に異なる傾向がある可能性を考慮し、各図表は、チーム別とし

た。両チームとも適合率の値は非常に高く、再現率の値がやや低い結果となった。バランスをとった F 値が 0.8 前後であるから、改善の余地はあるが、妥当なモデルのひとつであると考えられよう。

適合率が高く、再現率がやや低いとは、すなわち、パスを出した際、推定パス可能範囲内でのパスミスはほぼ無く、可能範囲外であってもパスが受け取れた例がある程度存在すると言える。

範囲外でもパスが受け取れた要因とチームごとの差を明らかにするため、筆者は、推定可能エリアの面積及びパスの距離との関係に踏み込んで、さらに分析を行った。

まず、チーム毎の「パス可能面積」と「ケース 1（推定範囲内でのパス成功）あるいはケース 4（推定範囲外でのパス成功）」の関係を、以下 4 つのヒストグラムで示す。

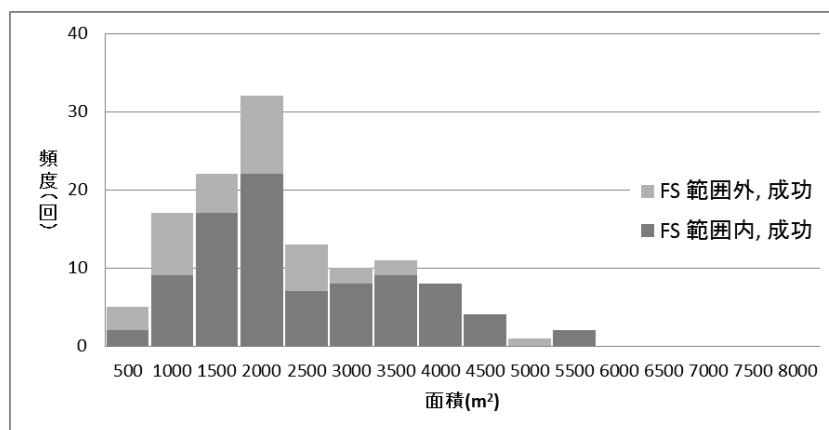


図 4-15 パス成否とパス可能面積との関係（フロリダ州立大学パス成功分）

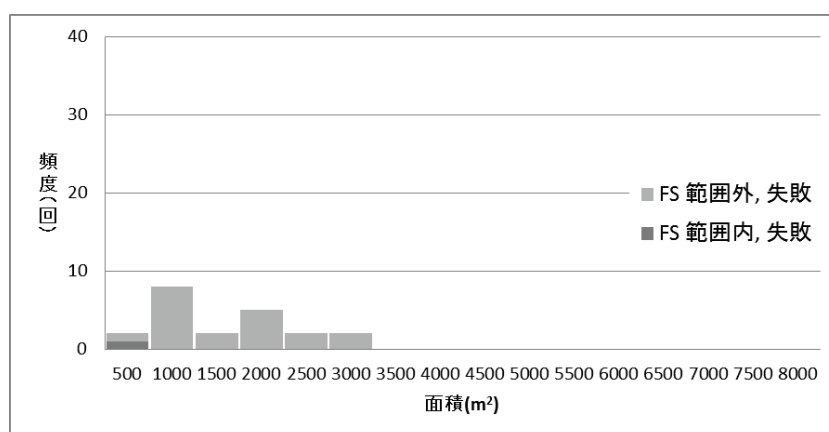


図 4-16 パスの成否とパス可能面積との関係（フロリダ州立大学パス失敗分）

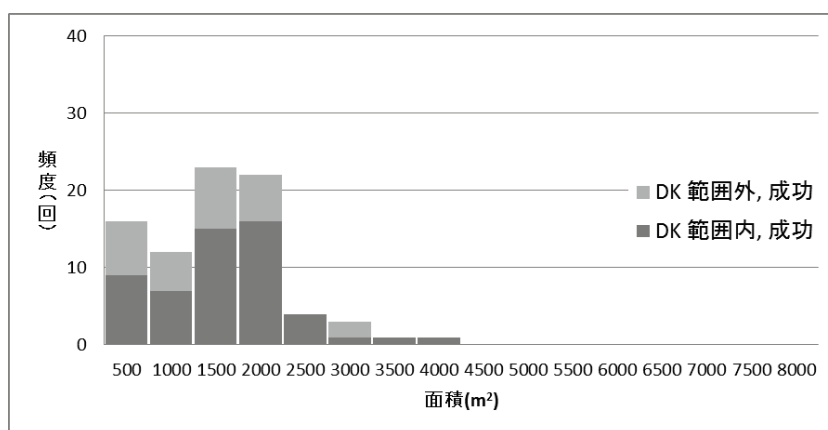


図 4-17 パスの成否とパス可能面積との関係（デューク大学パス成功分）

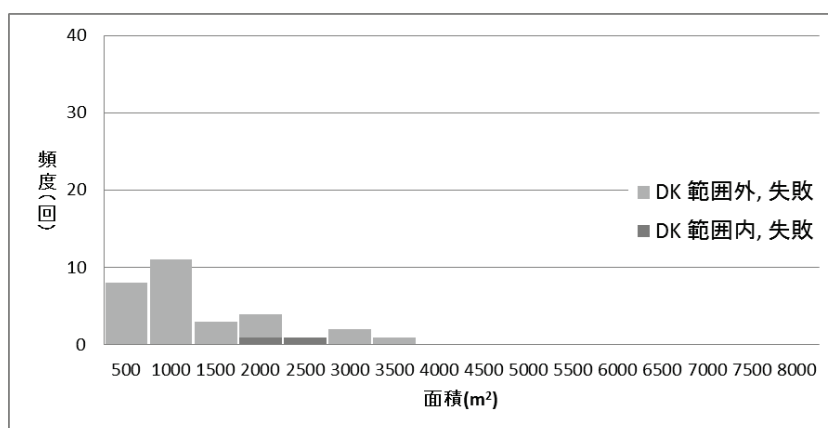


図 4-18 パスの成否とパス可能面積との関係（デューク大学パス失敗分）

考察として、まず、フロリダ州立大学のほうが、デューク大学よりもパス回数が多く、成功率も勝っていることが挙がる。したがって、パスを回す能力は、フロリダ州立大学が優位と考えられる。次に、両チームともパスが成功した際の推定可能面積（予測範囲内）の最頻値が 1501~2000 m<sup>2</sup> であり、パスを通す確率を上げるためには、ある程度のスペースがいることが確認できる。さらに、両チームの失敗時のグラフを比べると、デューク大学の推定パス可能面積は、左側に寄っていることから、デューク大学のほうが、狭いスペースを無理に通そうとして、パスを失敗したと推測できる。

推定パス可能面積に加えて、距離も考慮したパスの成否関係を次の散布図で示す。なおここでの距離とは、成功時は、パスを出した位置とパスを受け取った位置間の距離を指し、失敗時は、パスを出した位置と次のイベントが起きた位置間の距離を指す。

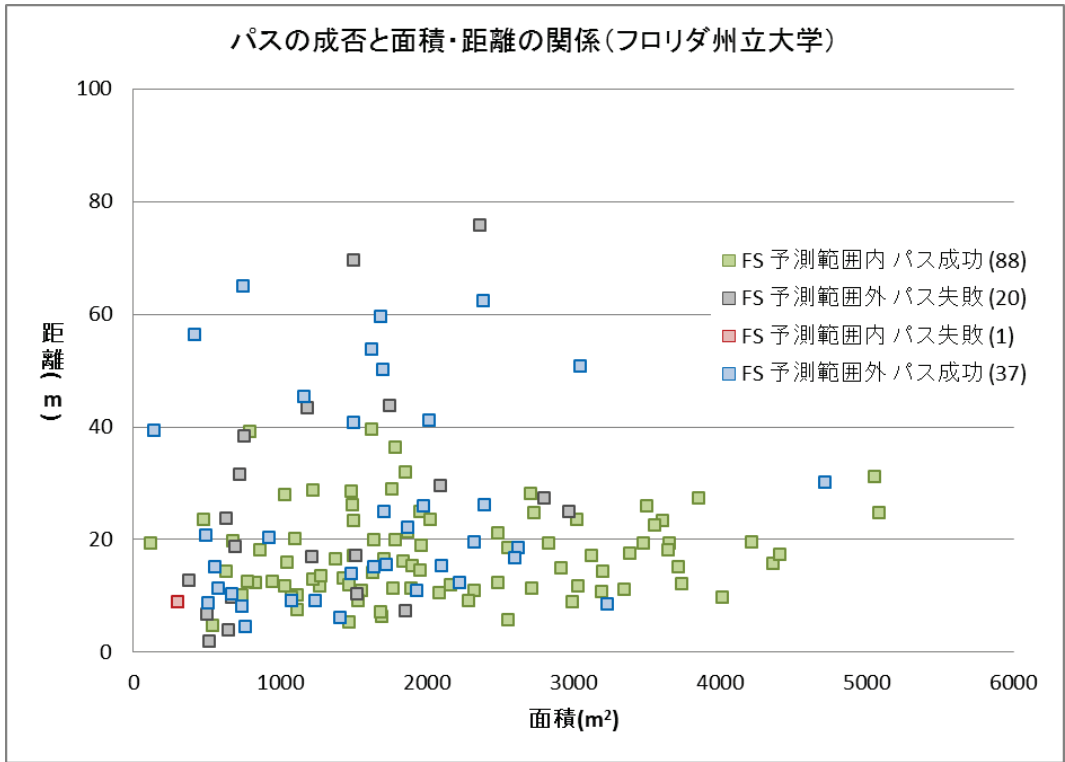


図 4-19 パスの成否とパス可能面積・距離との関係（フロリダ州立大学分）

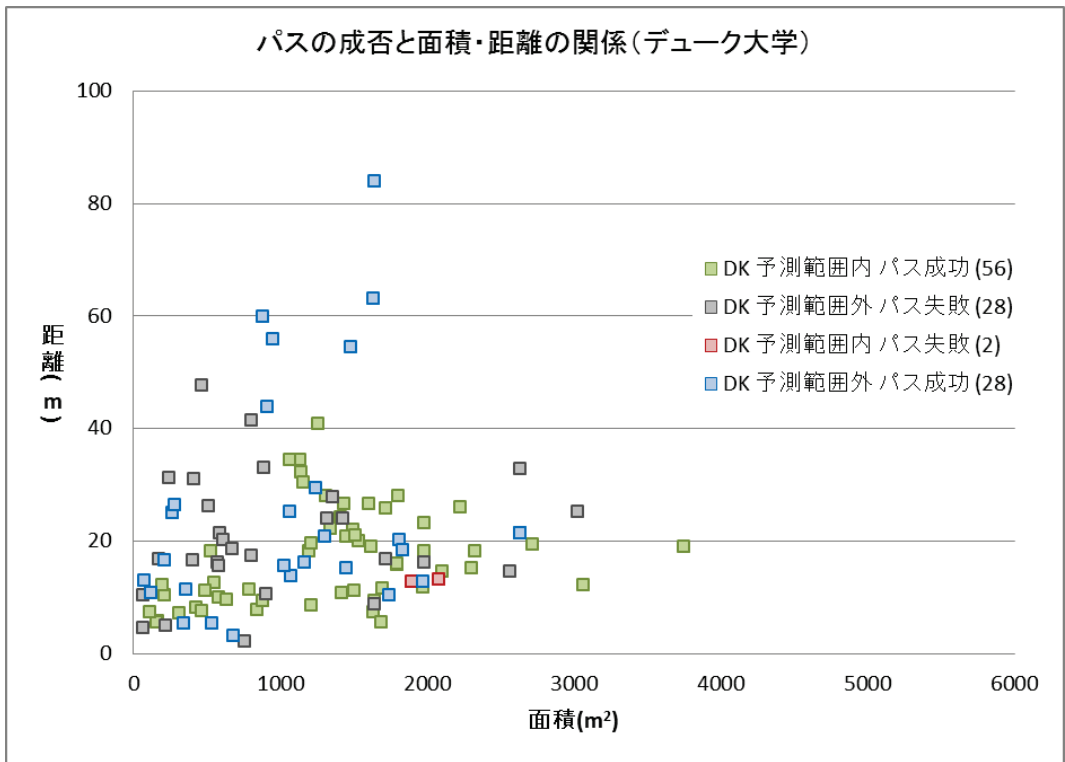


図 4-20 パスの成否とパス可能面積・距離との関係（デューク大学分）



距離も加えると、両チームとも 50m 以上の距離でパスエリアの推定が成立した例は、あまり無いことがわかる。つまり、この推定法はパスの距離が 50m 以上のケースには特に向かないと言える。パスの面積や距離のばらつきは、フロリダ州立大学のほうがあることから、バリエーションに富んだパスを出しており、それが成功回数の多さに繋がっている可能性がある。

最後に、パスに失敗した場面を数シーン取り挙げ、推定が外れたもしくは的中した要因について考察する。

### Scene 1 フロリダ州立大学がパスを失敗した場面（前半 26.3 秒 — 28.4 秒）

当該時間帯の選手の動き、推定パス可能エリアを図 4-2 1、図 4-2 2 に示す。

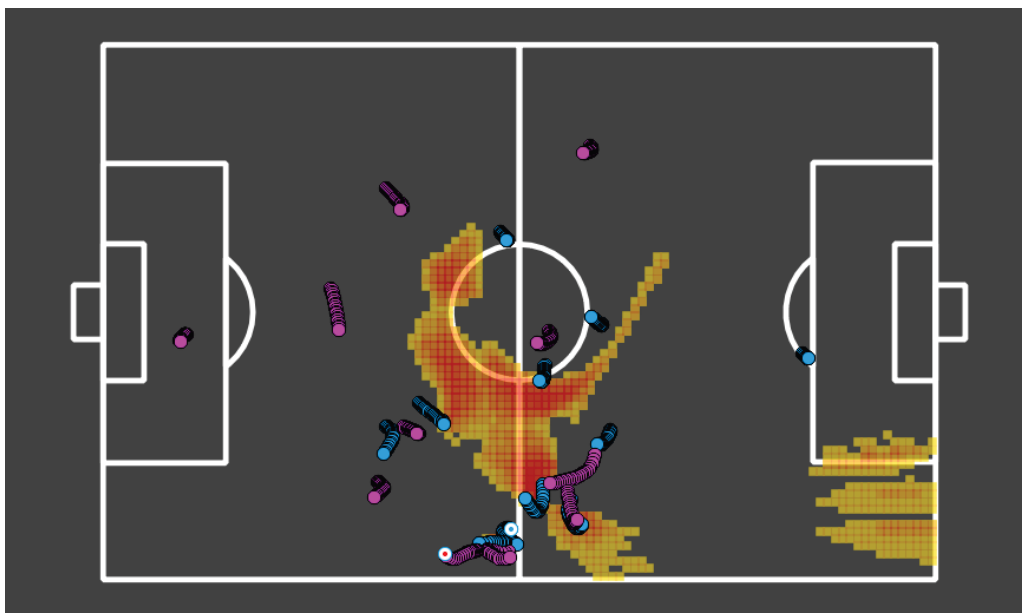


図 4-2 1 前半 26.3 秒 — 28.4 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア

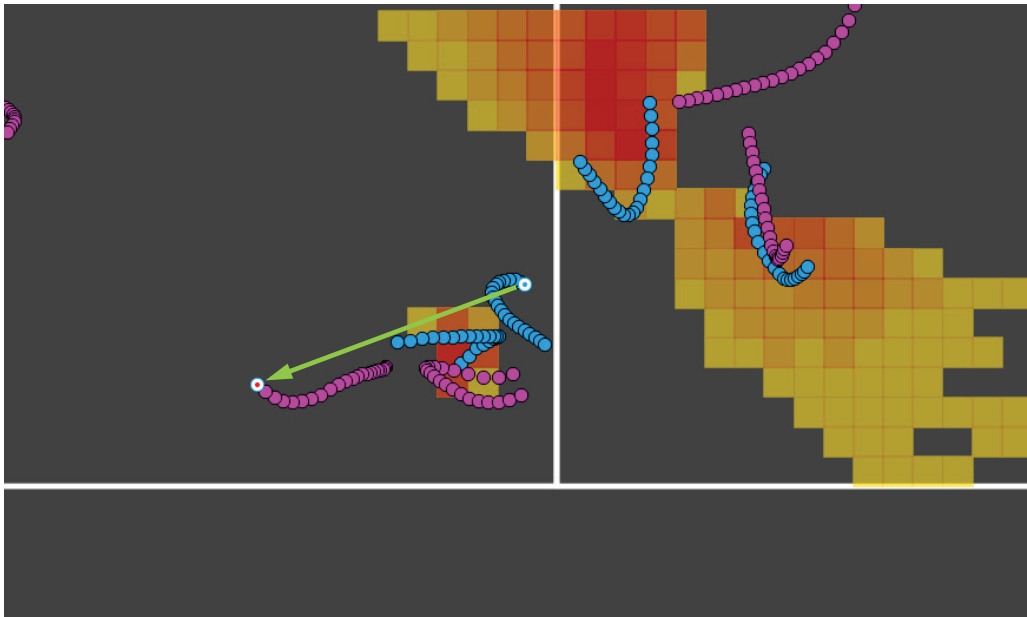


図 4-2 2 図 4-2 1のボール周辺拡大図

青丸がフロリダ州立大学（攻撃中）、赤丸がデューク大学（守備中）の選手を示している。0.1秒ごとの選手位置を秒数が後のものほど上に表示されるよう重ねている。

黄色から橙色のヒートマップが推定パス可能エリアであることを示しており、色が赤みを帯びるほど、受け取れるボールスピードの選択肢が多いことを表している。

白抜きの青丸（中心も青）が26.3秒にパスを出した地点（ボールの位置）で、白抜きで中心が赤い丸が、28.4秒にデュークの選手がインターセプトした（ボールを奪った）地点である。

図 4-2 1と図 4-2 2より、以下のことが推察される。

- パスの出された方向に、推定パス可能エリアが存在することから、成功の可能性はあったといえる。ただし、全体を見渡すと中央寄りに推定パス可能エリアが大きく広がっていたことから、中央寄りへのパスのほうがつながる確率は高そうであったと考えられる。そちらを選ばなかった要因としては、ボール保持選手が中央の空間を認知できていなかったか、パスが成功した後の展開として、一気に駆け上がりやすいサイドに敢えて挑戦したと考えられる。
- 拡大図から失敗した原因は、パスの出し手が、受け手の行動予測を誤ったことにあると推測できる。なぜならば、ボール保持者は、最寄りの味方選手が、敵陣へ攻め込む方向に走り出すと予測しそのライン上にパスを出したが、最寄りの味方選手は、マークにつかれている守備選手を錯乱させるためボール保持選手に近づく方向へ動いてしまっており、ボールに追いつけなくなっているからである。もし、最寄りの

味方選手は、前方を意識しつつも取えてフェイントをし、一旦下がったという事であるならば、少し動きが大きすぎたと指摘できる。

**Scene 2** フロリダ州立大学がパスを失敗した場面（前半 15 分 35.0 秒 — 15 分 35.6 秒）

当該時間帯の選手の動き、推定パス可能エリアを図 4-2 3 に示す。

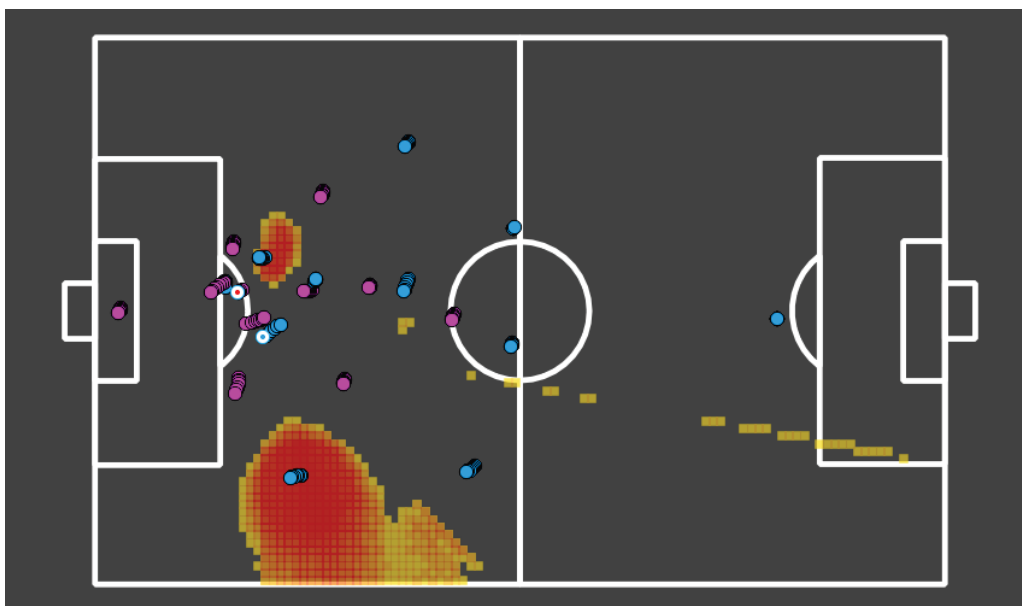


図 4-2 3 前半 15 分 35.0 秒—15 分 35.6 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア

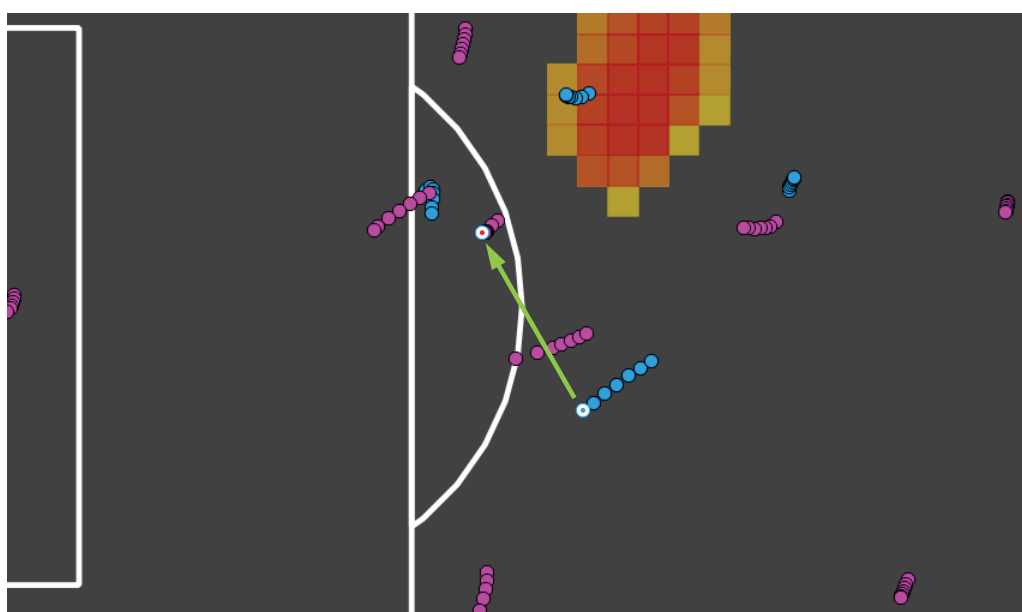


図 4-2 4 図 4-2 3 のボール周辺拡大図

図 4-2 3と図 4-2 4より、以下のことが推察される。

- パスの出された方向に、推定パス可能エリアは無かったことから、成功の可能性はほぼ無く、選択が良くなかったと言える。全体を見渡すと左サイドとに推定パス可能エリアが大きく広がっていたことから、そちらにパスを一度出すと、前を向いている味方選手にボールが渡り、ゴール前のプレーを組み立て直せたように見受けられる。そちらを選ばなかった要因としては、先ほど同様、ボール保持選手が左サイドの空間を認知できていなかった可能性が考えられる。

### Scene 3 フロリダ州立大学がパスを失敗した場面（前半 19 分 16.0 秒 — 19 分 18.6 秒）

当該時間帯の選手の動き、推定パス可能エリアを図 4-2 5に示す。

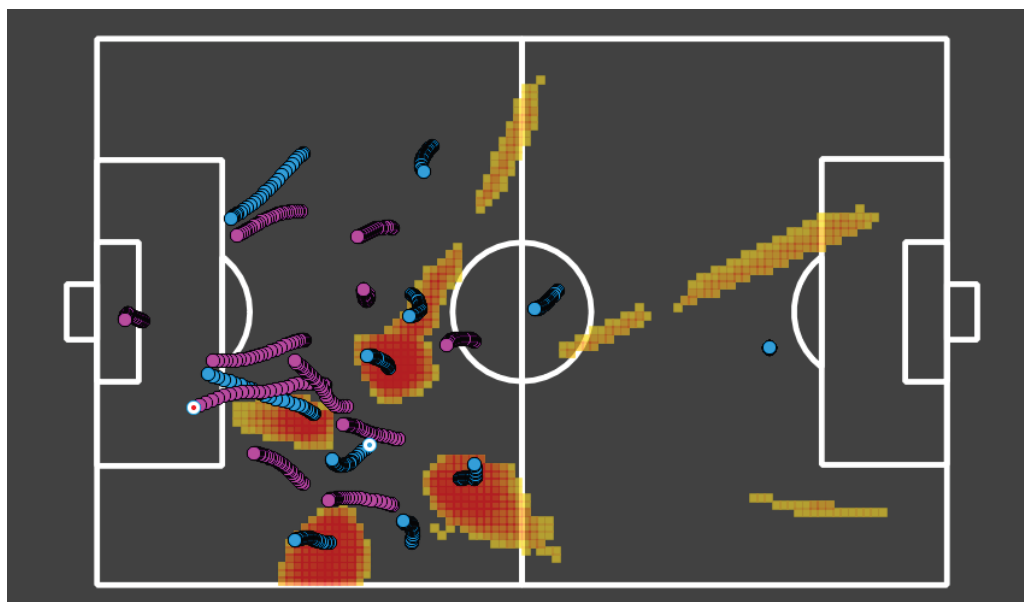


図 4-2 5 前半 19 分 16.0 秒—19 分 18.6 秒における選手・ボールの動きと推定パス可能エリア

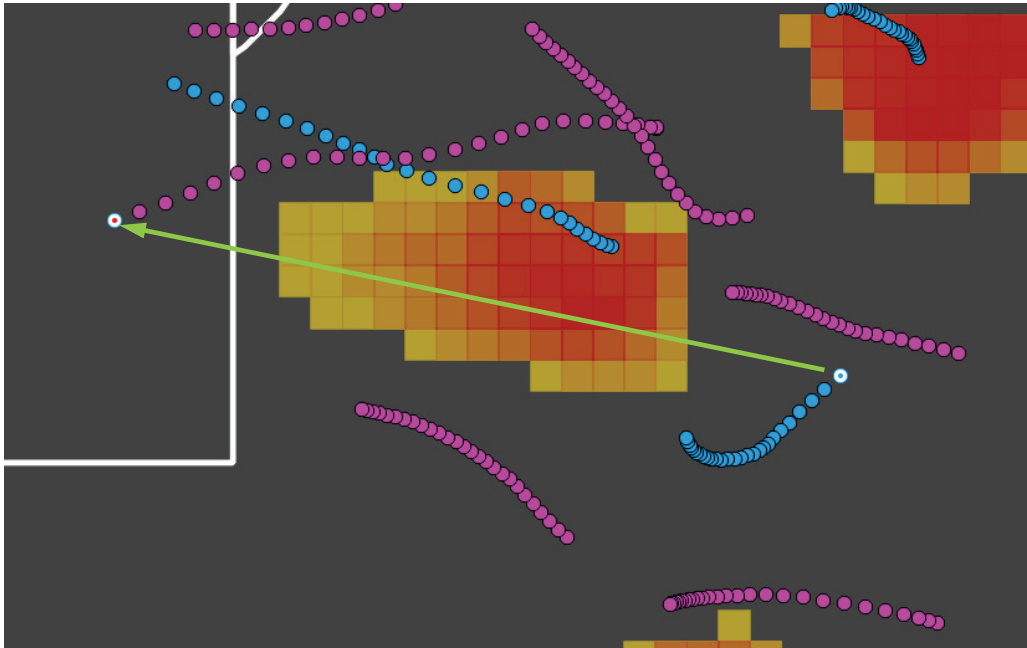


図 4-26 図 4-25のボール周辺拡大図

図 4-25と図 4-26より、以下のことが推察される。

- パスの出された方向に、推定パス可能エリアが存在することから、成功の可能性はあったといえる。パスが出された方向は、パス推定可能面積もある程度広く、他の選択肢よりゴール前に最も近いことから、ボール保持者の選択は、最良であったように見受けられる。
- 拡大図から失敗した原因は、パスの出し手と受け手の連携不足と考えられる。なぜならば、受け手の走り出す方向が、パス受取可能エリアの外に向かっており、その結果守備選手に取られてしまったからだ。もう少しタッチラインと平行になる向きで走っていたら、受け取れたと思われる。他に考えられる失敗した原因として、今回は対象外だが、ボール保持選手が浮き球のパスを選択した可能性もある。その場合は守備選手の頭上を越せなかったため、パスの出し手の選択が良くなかったと言える。

以上、本項では、推定パス可能エリアの結果を考察し、実際の数場面を選出、検証することで、研究の有用性を確認した。本章では、パス可能な面積に着目したが、試合後の反省により活かすには、守備時に失点につながりそうなパスを許してしまった場面を選出した。次章ではピッチの各地点に重みづけをすることで、迅速な場面選出を試みる。

## 第5章 サッカーの観点を考慮した守備局面の評価

これまで、パスの可能性に限定したサッカーの試合局面の評価を行うべく、前章までにパス可能エリアの推定をおこなってきた。そのパス可能な地点の重要度は、次の展開の良さによってそれぞれ異なる。そこで、第5章では、サッカーのプレー原則に則り、ピッチ内の各地点に重みづけをして点数をつけることで、各場面の定量的な評価を試みる。適切な重みづけをすることにより、実用的な指標になると考えている。第5.1節では、重みづけの観点について考え、場面の評価手法について説明する。続く第5.2節では、評価方法を実データに当てはめ、その有効性を確認する。

### 5.1 局面の評価方法について

本節では、前章で推定したパス可能エリアを用いた各局面の評価方法について説明する。今回は守備に注目した評価とする。なぜならば Anderson(2013)にて、「01/02年～10/12年シーズンのイングランドプレミアリーグのデータによれば、敗北を避けるためには、得点を増やすよりも、失点を減らすほうが、33%も効果的」と指摘されているからだ。また、「守備のほうが攻撃より規則性は高い」とされており、戦術の作戦立てに生かしやすいと判断した。

守備にとって最も大切なことは、「相手にゴールをさせない（得点を奪われない）こと」と Daniel (2003) や関根・高梨(2011) ほか多くの論文・書籍で説明されている。ゴールをさせないとは、シュートを打たせないとも言え、具体的な守備の戦略として、Daniel (2003)では、以下の5項目を挙げている。

- ・プレッシャー  
(攻撃中の敵選手に近づき、自陣への進入を遅らせる)
- ・リカバリー  
(所定のポジションに素早く就く)
- ・カバー  
(プレスを突破された場合に備えて、次の守備選手が控える)
- ・バランス  
(守備の穴を無くす)
- ・集中、集結  
(広がりすぎると守備の穴ができるため深追いせず、相手の進むコースを限定させる)

これらは、パスの可能性に限定して（シュートはゴールへのパスとみなす）考えるならば、シュートを選択できるような位置へのパスを防いだチームのほうが強いと言える。よって、今回は、実際の試合データから、パスまたはシュートをおこなった位置を取り挙げて、シュートを選択する確率変数を求めるロジスティック回帰分析を行うことにする。

各変数を次のように定める。被説明変数にはシュート選択の有無（シュートなら1、パスなら0）、説明変数には、ゴールまでの距離（ポスト間ゴールラインとの距離[m]）とゴールとの角度(ポスト間ゴールライン中点との角度の正弦 [ $\sin\theta$ ])を採用する。ゴールとの距離及び角度の計測法を図 5-1、図 5-2 に示す。

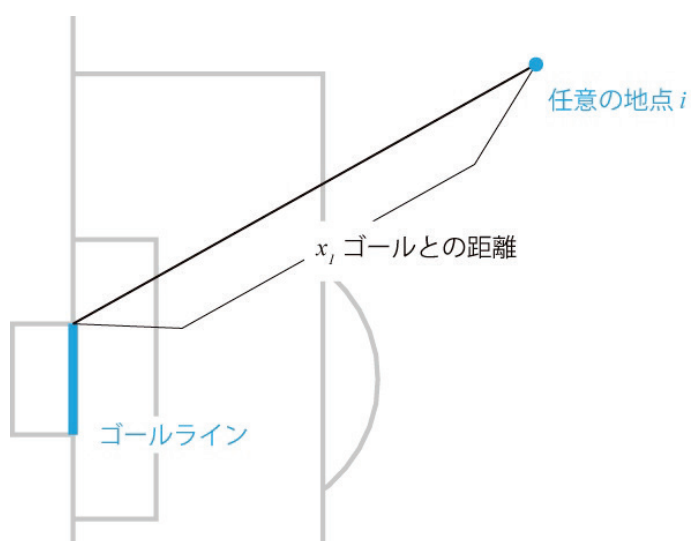


図 5-1 ゴールとの距離の計測方法

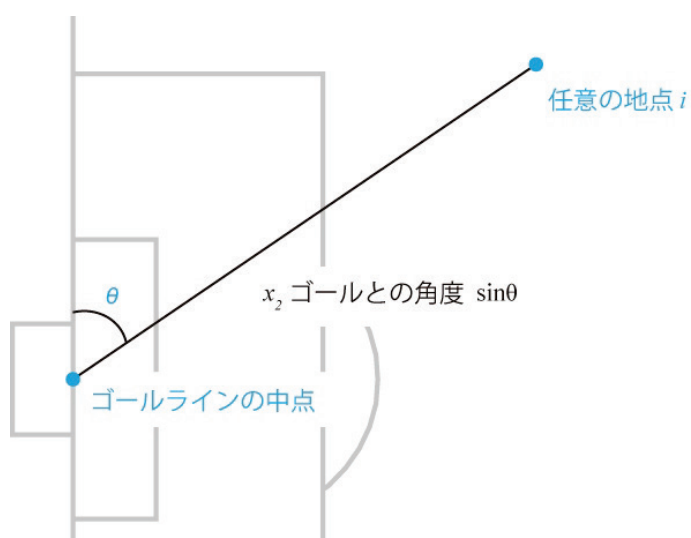


図 5-2 ゴールとの角度の計測方法

式で示すと、ロジスティック回帰モデルは

$$\log \frac{p(x)}{1-p(x)} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$$

で表され、 $\beta_0$ は定数、 $\beta_r$ は $x_r$ の回帰係数で、本研究では、 $x_1$ がゴールまでの距離、 $x_2$ がゴールとの角度となる。また、 $p(x)$ はシュート選択確率である。マークされているDFの位置等、他の説明変数も考えられるが、今回は対象外とする。第3章で説明した2試合分全データのパスとシュートの位置分布を図5-3に示す、向きを調整しており、向かって左のゴールが守備チームにとって守るべきゴールとしている。

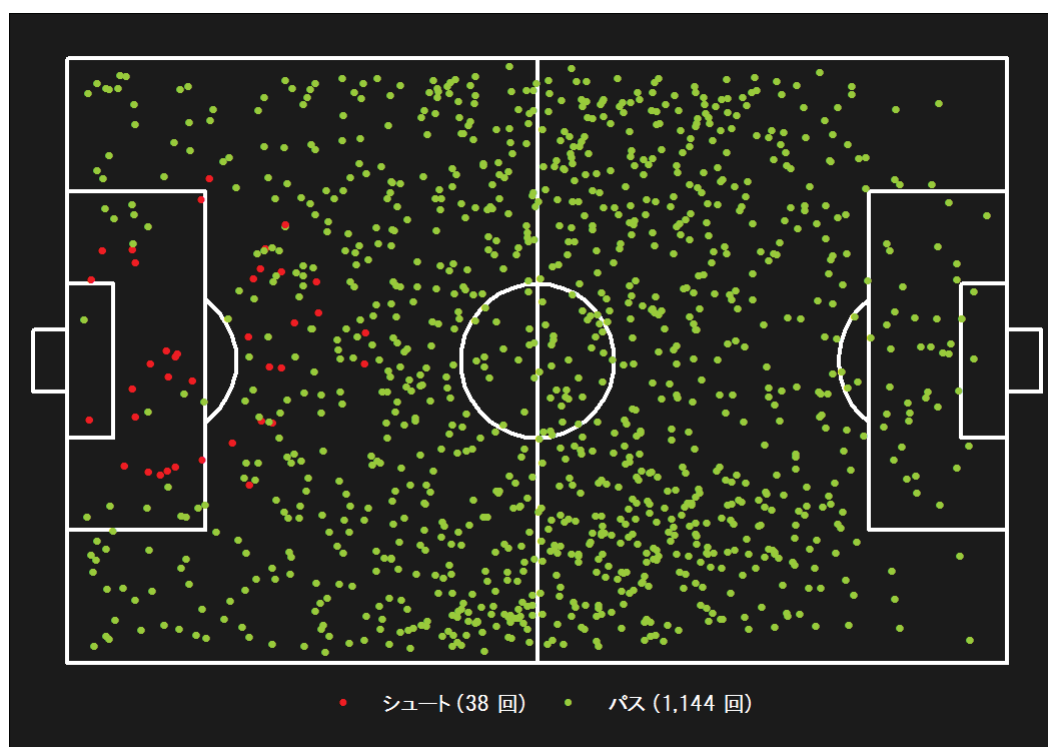


図 5-3 パス・シュートの分布図

対象とする2試合分における、パス、シュートの回数は、それぞれ、1144回、38回である。

「シュート選択 / 非選択」を `probability`、「ゴールまでの距離」を `st_distance`、「ゴールとの角度の正弦」を `sin` と設定しRでロジスティック回帰分析した結果を図5-4に示す。



```

Call:
glm(formula = probability ~ st_distance + sin, family = binomial(link = "logit"),
     data = logistic_source)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.15272  -0.05641  -0.00832  -0.00138   2.57397

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.49120     0.85553   0.574   0.566
st_distance -0.24260     0.03346 -7.250 4.18e-13 ***
sin          4.88568     1.19351   4.094 4.25e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

    Null deviance: 336.01  on 1181  degrees of freedom
Residual deviance: 134.97  on 1179  degrees of freedom
AIC: 140.97

Number of Fisher Scoring iterations: 10

```

図 5-4 R 計算結果

図 5-4 を解釈すると、予測式は次のようになる。

$$\log \frac{p(x)}{1-p(x)} = -0.2426x_1 + 4.88568x_2 + 0.4912$$

いずれの係数も 0.1% の水準で統計的に有意である。

また、ロジスティック回帰分析の際に、モデルの当てはまりの良さを計るためによく用いられる McFadden の擬似決定係数は、

$$R^2 = 0.598$$

であった。妥当なモデルと判断できる。

この式を  $p(x)$  について解くと、

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp(0.2426x_1 - 4.88568x_2 - 0.4912)}$$

となり、各地点のシュート選択確率が求まる。ピッチ内の各地点におけるシュート選択確率を図 5-5 に示す。

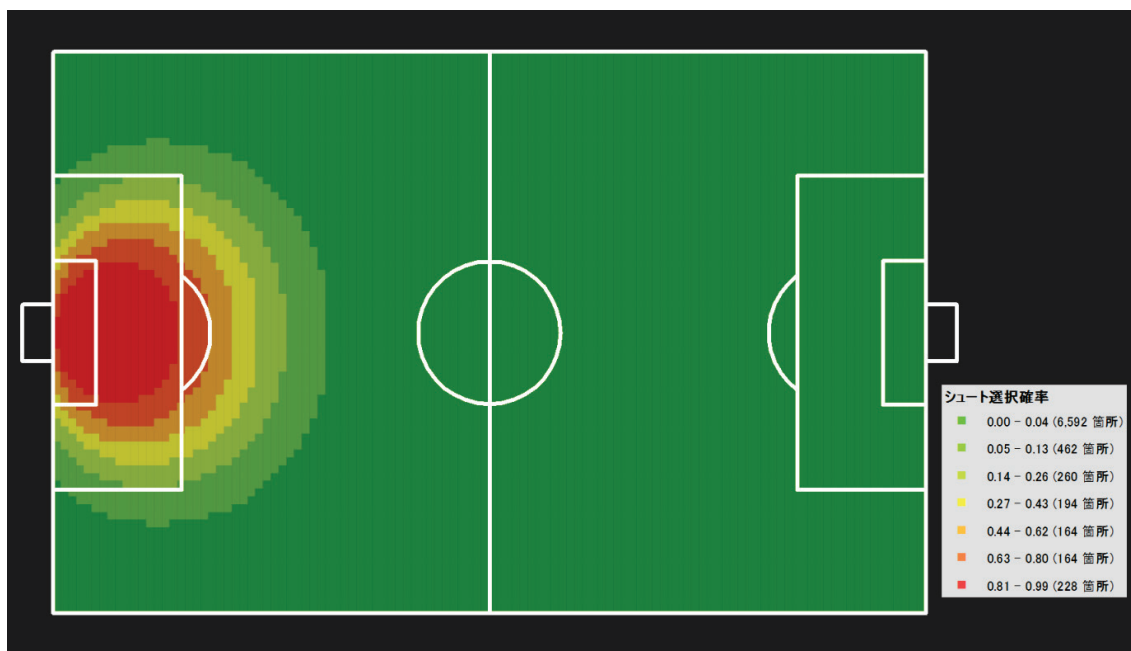


図 5-5 シュート選択確率

ゴールに近づくほど、シュート選択確率が急激に上昇することを視覚的にも確認できた。色分類の境界をなぞると楕円に近い形であり、角度による違いが表現されていることがわかる。

以上より、シュート選択確率を求めることで各地点の点数がつけられた。ここで、第4章で求めた推定パス可能エリアと組み合わせることで、パスを出した場面に限り点数を付け、次の通り局面の評価を行う。今回は、パスが行われた各場面において、「推定パス可能地点のシュート選択確率の合計」を「ピッチ内の全 8064 地点のシュート選択確率の合計」で除した値を場面防御率  $D$  とする。式（百分率）で示すと次の通りである。

$$D = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{h=1}^n p_h} \right) \times 100 \quad [\%]$$

$s_i$  : パス可能地点  $i$  のシュート選択確率、  $p_h$  : ピッチ内地点  $h$  のシュート選択確率

本研究では、上記の式で局面の評価を行うことにする。

## 5.2 実データへの適用

第 5.1 節で説明した評価方法を、本節では実際の試合データに当てはめて、局面の評価をする。ここでは、第 3 章で紹介した試合「2012 年 9 月 13 日フロリダ州立大学対デューク大学」のパスが行われた 482 シーンを取り上げ、防御率を求めた。前後半及びチームごとにグラフでまとめたものを図 5-6 から図 5-9 に示す。

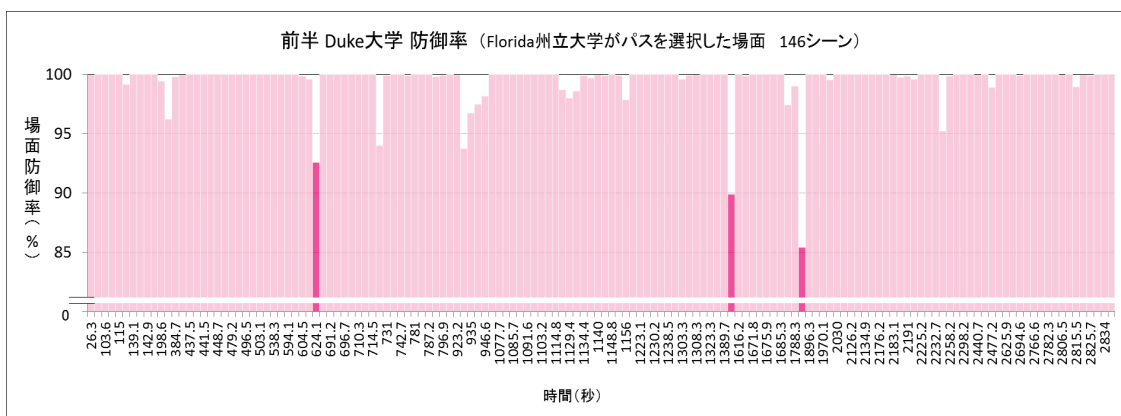


図 5-6 前半 Duke 大学 防御率

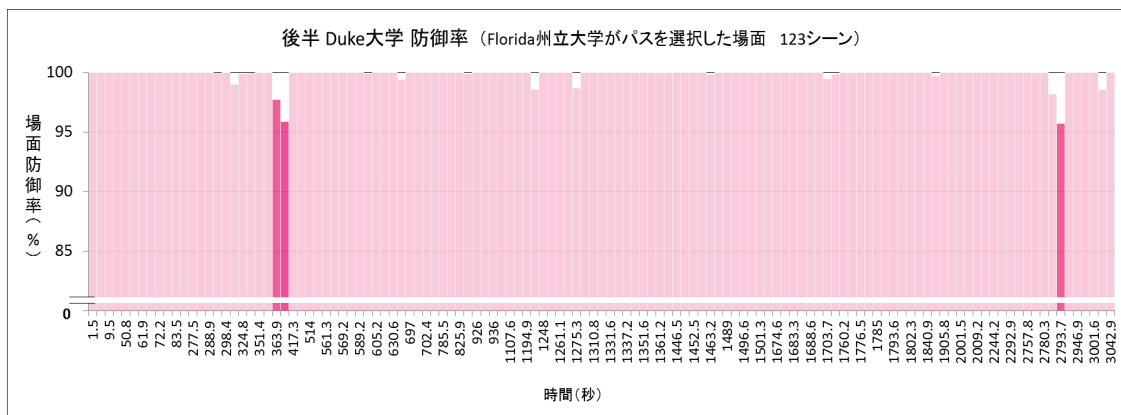


図 5-7 後半 Duke 大学 防御率

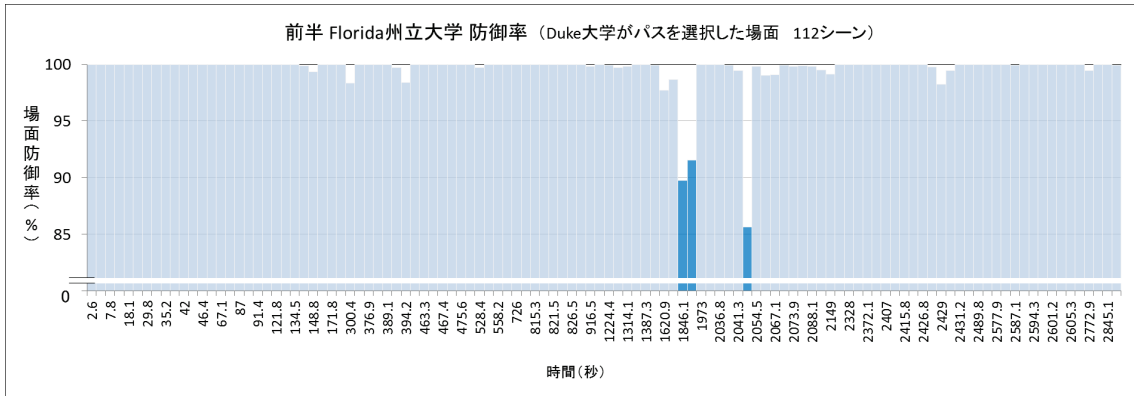


図 5-8 前半 Florida 州立大学 防御率

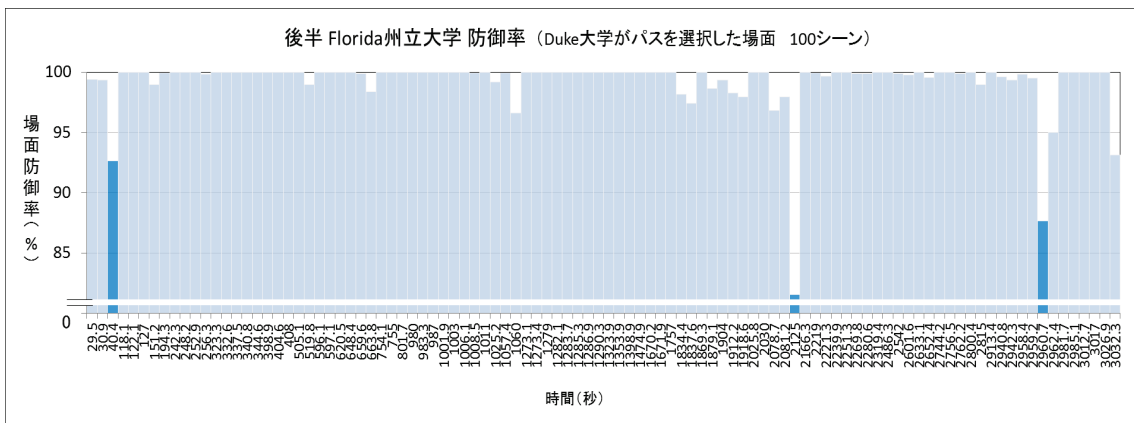


図 5-9 後半 Florida 州立大学 防御率

各図において、場面防御率の下位3場面を濃い色で表示している。

では、結果を考察する。いずれの場面も防御率が非常に高い印象を受けるが、これは、今回採用した計算方法の影響であり、数字そのものよりは、順位に意味がある。防御率が低い順に振り返れば、迅速に、シュートに繋がりそうな地点へパスを許した原因を追求できよう。

実際に、守備率の低かった局面を数シーン選び、守備チームの立場から、その局面を考察していく。今回は、図 5-6 前半 Duke 大学 防御率で、防御率が低かった下位3局面（濃いピンク）を取り上げる。グラフは時系列で並んでおり、濃いピンクの場面を、左から順に Scene 1、2、3とする。

**Scene 1 デューク大学の防御率が低かった場面（前半 10分 24.1秒 防御率 92.6%）**

当該時間の選手の位置、推定パス可能エリアを図 5-10に示す。

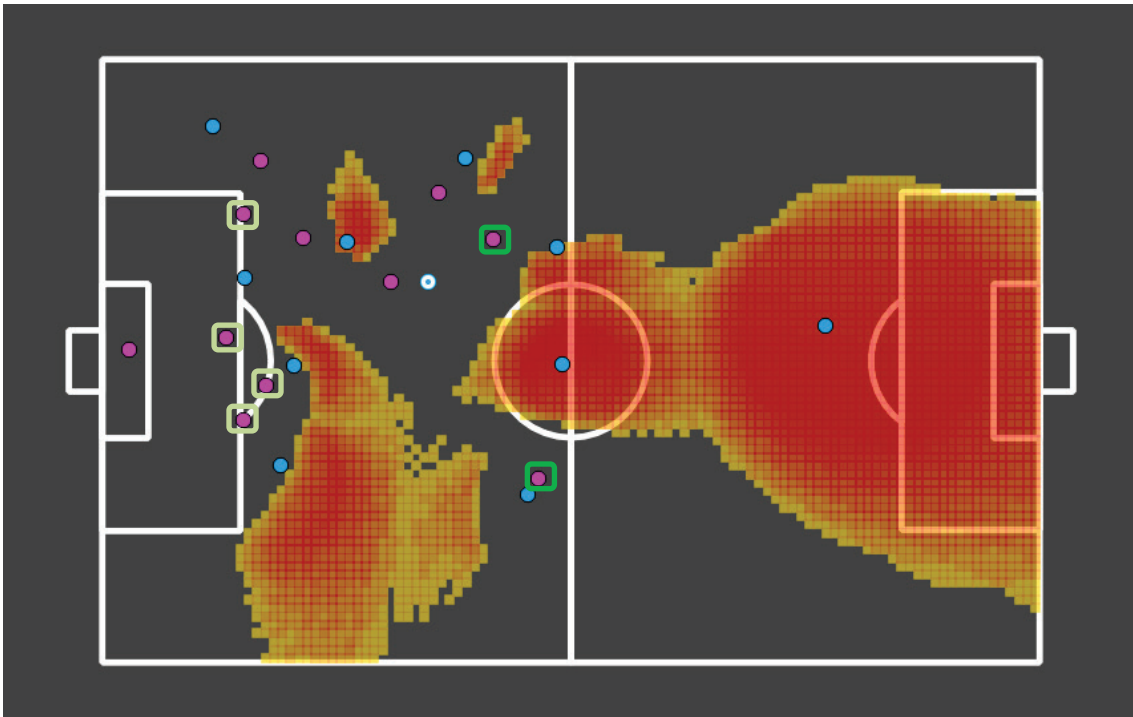


図 5-10 前半 10 分 24.1 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア

第 4 章のサンプル場面の考察と同様、ピンクチーム（デューク大学）が守備中で、青色チーム（フロリダ州立大学）が向かって左側に攻めている場面である。ピンク丸が守備選手、白抜き青丸がボール保持者、青丸がその他の攻撃選手で、推定パス可能エリアをヒートマップで示している。

図 5-10 より、以下のことが読み取れる。

- ゴールに向かって左サイドに、大きくパス可能エリアが広がっている。
- 濃い緑線で囲んだ守備選手が、ボールより後方、つまり置き去りの状態になっており、守備に参加できてきない。リカバリーが悪いと言える。
- 右サイドの守備は、どの選手にマークしている状態なのか不明確である。
- 薄い緑線で囲んだ守備選手同士を結んだライン（DF ライン）の長さや角度に、ばらつきがみられ、バランスがいいとは言えない。

これらが、防御率を下げている要因と言えよう。

## Scene 2 デューク大学の防御率が低かった場面（前半 23 分 19.8 秒 防御率 89.9%）

当該時間の選手の位置、推定パス可能エリアを図 5-11 に示す。

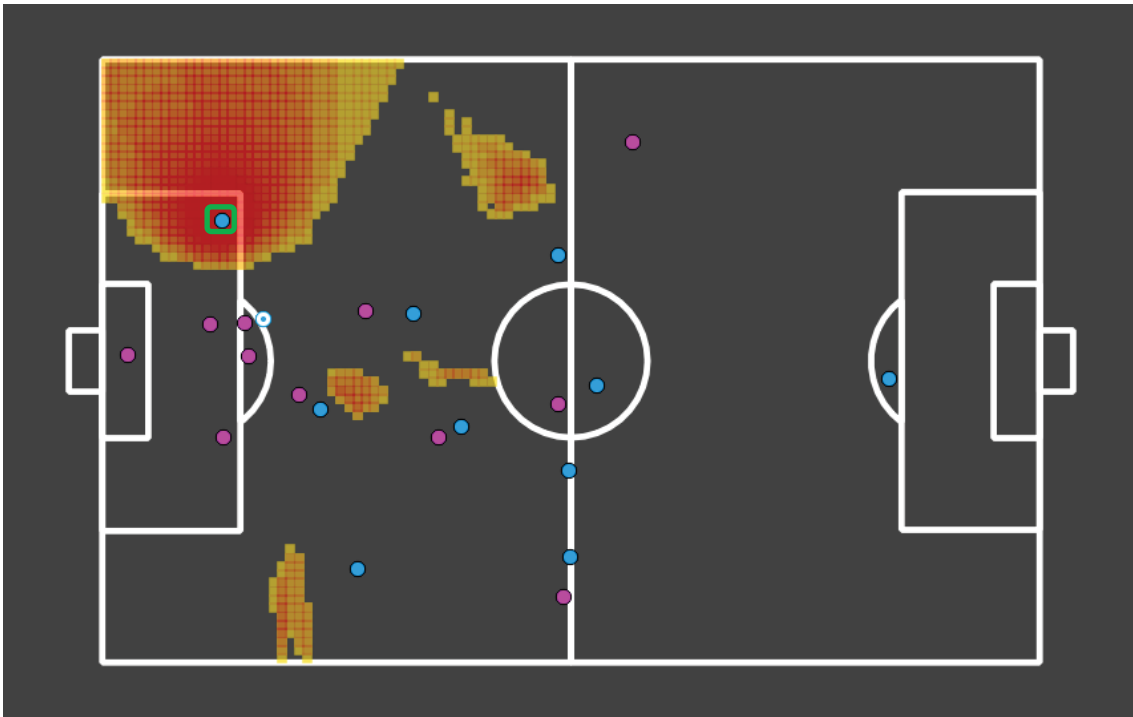


図 5-1 1 前半 23 分 19.8 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア

図 5-1 1 より、以下のことが読み取れる。

- ゴールライン付近の右サイドに、大きくパス可能エリアが広がっており、緑線で囲んだ攻撃選手がほぼフリー（自由に動ける状態）である。つまり、プレッシャーをかけられていない。
- ボールより後方、置き去りになっている守備選手が 6 人もいる。リカバリーができていない。
- 守備チームの DF ラインが崩れている。バランスも良くない。

これらが、防御率の低さにつながっている。

**Scene 3 デューク大学の防御率が低かった場面（前半 29 分 51.9 秒 防御率 85.4%）**

当該時間の選手の位置、推定パス可能エリアを図 5-1 2 に示す。

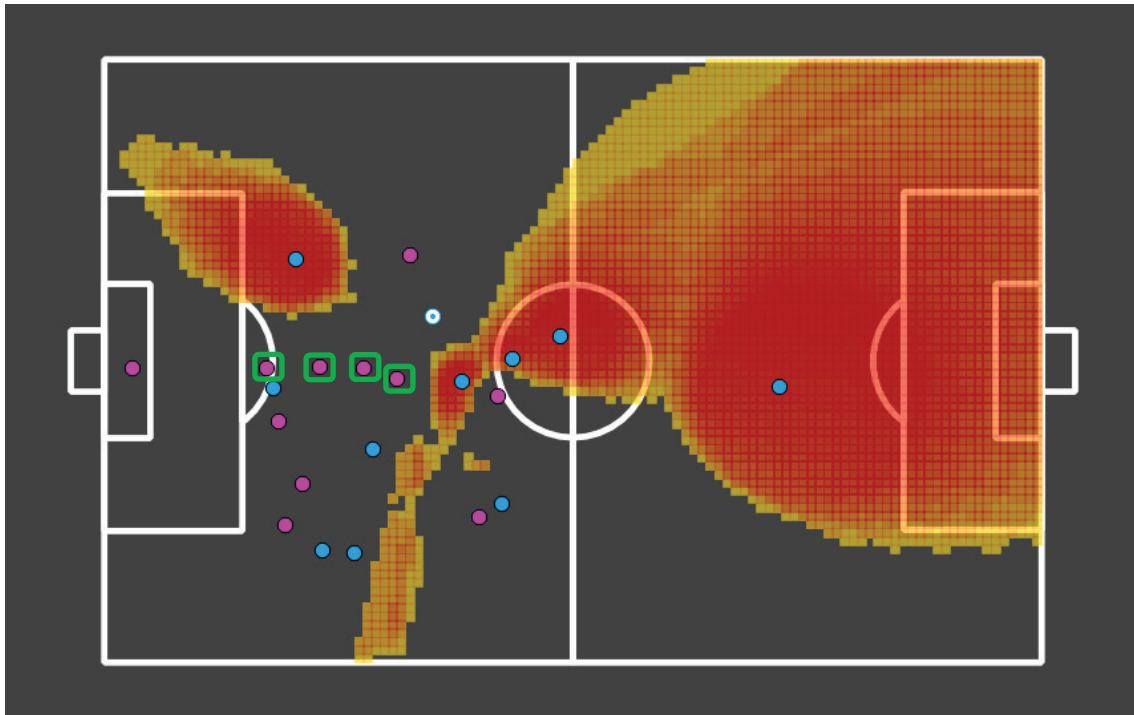


図 5-1 2 前半 29 分 51.9 秒における選手・ボールの位置と推定パス可能エリア

図 5-1 2 より、以下のことが読み取れる。

- ボール保持者の前方にパス可能エリアが大きく広がっている。敵の攻撃選手受取後に、ゴール方向から寄せられる守備選手が存在せず、非常に危険な状態である。
- 置き去りにされている守備選手が 2 人いる。リカバリーが弱い。
- 緑で囲んだ守備選手に注目すると、ほぼ縦 1 列に並んでしまっている。これは極めてバランスが悪く、パスで突破されやすい状況を作り出している大きな要因といえる。

これらが、防御率を下げてしている要因である。

また、実際に Scene2 の直後に、図中の左上の攻撃選手にパスが渡り、ゴール前に切り込まれ失点している。つまり、得点につながる場面を取り出すことに成功しており、本研究の目的の 1 つである「重要な場면을いち早く取り出す」を達成していると言えよう。

## 第6章 結論

本章では、本研究の総括と今後の課題を論ずる。まず、第6.1節では、「まとめ」と題し、本研究の総括を行う。続く第6.2節では、「今後の課題と展望」と題し、改良点や本研究では取り挙げられなかった問題等について言及する。

### 6.1 まとめ

本研究では、迅速な勝敗の原因特定と新たな作戦立て、ならびにコーチングの一助となるよう、パスの可能性に着目したサッカーの試合中における守備局面の評価手法を提案した。いつ、誰に、どの程度自由なプレーを許していたのかについて、パス可能と推定される地点を求め、重みづけをすることで妥当な評価を目指した。各章を振り返りつつ、本研究の総括をする。

第1章では、「序論」と題し、本研究の背景、目的と構成について述べた。

第2章では、「関連する既存研究」と題し、本研究に特に関連する6本の論文を取り上げ、本研究との関連性について整理した。GIS分野におけるスポーツ分析ならびに非集計かつ複数の軌跡データ分析は、技術的及び社会的制約から、近年始まってきたばかりであるなど、本研究の新規性と有用性について論じた。

第3章では、「データ説明」と題し、本研究で使用したデータについて述べた。第3.1節では、Prozone社より提供を受けた2試合分のデータの概要について紹介した。続く、第3.2節では、そのデータの形式について説明した。最後に、第3.3節では、GISソフト上で、当該データを用いて選手の動きやボールの位置を可視化する方法について解説した。

第4章では、「パス可能エリアの推定」と題し、守備局面の定量的評価に必要なパス可能エリアの推定を行った。まず、第4.1節では、パス可能エリアの推定方法について説明した。次に、第4.2節では、今回採用する選手とボールの移動モデルを熟考し、続く、第4.3節では、第3章で紹介した、実データに当てはめてパス可能エリアを求めた。さらに、同じく第4.3節内で、その推定方法の精度について検証した。

第5章では、「サッカーの観点を考慮した守備局面の評価」と題し、第4章で求めたパス可能エリアを用いて、パスの可能性に限定した定量的な守備局面の評価を行った。第5.1節では、守備局面の評価方法を構築した。具体的には、サッカーの守備にとって重要視される観点を考慮した結果、今回は、各地点におけるシュートの選択確率を活用した。その選択確率は、第3章で述べた実データに対しロジスティック回帰分析を行うことで求めた。



最後に、防御率が低かった下位3場面を取り出し、その要因について考察した。

本研究を通じ、GISを用いたスポーツ分析は、コーチングや作戦立てに資するところが大きいことを示唆した。ピンポイントかつ図を用いた解説をすることで、選手とコーチ間の相互理解が深まり、円滑な意思疎通を促せられると考えている。

## 6.2 今後の課題と展望

前節で述べた通り、本研究はGISスポーツ分析の重要性を示唆できた。一方で、より実用的な指標、研究とするには、次の改善の余地を残している。

まず、第4章で取り挙げた「パス可能エリアの推定方法」だが、本研究では選手およびボールの動き方を2次元空間上の等速直線運動とみなした。これは、およそその可能エリアを求めることは可能だが、少し簡素化しすぎた面がある。選手は後ろに目がないので、後方の出来事への認知は遅れるだろう。また、体の向きを急に変えたりはできない。ボールの移動も、移動速度は地面との摩擦や空気の抵抗を受けるので、距離に比例して遅くなる。加えて、選手の頭上を通り越す場合もあるので、3次元空間を想定しなくてはならない。より現実的なモデルの構築が望まれる。ただ、サッカーの試合における選手とボールの移動モデルについては、瀬古沢・大森(2014)などで、最も動き方を検討しているものの、膨大な時間を要している模様だ。選手の年齢やレベルに応じて一から検討が必要な変数も多いので、迅速な結果出力にならない可能性もある。計算の速さを担保しつつ、より正確で、個別の選手の能力にも応じた推定を目指したい。

次に、第5章で取り挙げた「各地点の重みづけの観点」であるが、本研究では、守備にとってまず大切なことは失点を防ぐことなので、「シュートの選択確率」を採用した。ただ、実際の守備評価の基準は「シュートを打てる位置に出す効果的なパスを防げたか」のみではなかろう。パスに限ったとしても、数的に有意な状況を作り出すパス、多少後退はするが体がゴール方向に向いている選手へのパスなど、様々なパスに警戒しなければならない。守備局面のより客観的な評価に向けては、各パスの性質にあった重みづけ観点を設定し、直観に叶う比率で組み合わせることが求められる。

第3に、パス以外の可能性を考慮する必要がある。例えば、ドリブルの突破力や走る速さの持続力などである。戦略的ピリオダイゼーション理論を提唱したビートル・フラデ教は、「サッカーの試合は、同時に多くの要素が相互に影響を及ぼしあっており、先の予測ができない複雑怪奇な事象だらけ、したがってカオスと言える」と述べている。つまり、サッカーをはじめとした攻守が入り乱れるチームスポーツの分析は、極めて難しいのかもしれない。

れない。

しかし、そうした一見、混沌としており法則性がなさそうな集団スポーツでも、勝敗は決する。その勝敗には、何かしらの規則性があるのではないかという興味が、私の研究意欲を駆り立てる。スポーツ分析を事例とした空間情報学の探求に今後とも従事していきたい。

## 謝辞

本論文は、筆者の東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻修士課程における成果を取りまとめたものです。本研究を進めるにあたり、多くの方々にご指導、ご支援を賜りました。末筆ながら、ここで深く感謝の意を申し上げます。

指導教員である貞広幸雄教授（東京大学空間情報科学研究センター [CSIS]）には、大学院入学以来、テーマ設定から修士論文執筆まで終始お世話になりました。複数のキャンパスを往来されるお忙しい中、私のために議論の時間を設定してくださり、適切な助言の数々を賜りました。また、研究生生活の心得もご教示くださいました。とりわけ、議論の際における貞広教授の論理的な説明の数々は、曖昧な説明をしがちな私にとって、大いに参考になりました。

学部生の時分よりお世話になっている岡部篤行教授（青山学院大学地球社会共生学部）には、空間情報学を専攻するきっかけを頂き、研究の方向性や将来設計、生活指導まで、厳しくも、計り知れないほど手厚いご支援を賜りました。それらは、私の精神的な支えとなりました。

早川裕弉准教授（CSIS）には、副指導教員を快諾いただき、数回、進捗報告と議論の時間を頂戴しました。サッカー経験者ということもあって、私の発表をとっても興味深く聞いて下さったほか、発表用スライドの色使いをはじめとしたプレゼンテーションの極意について親切丁寧なアドバイスを賜りました。

瀬崎薫教授（CSIS）には、副査をしていただき、情報工学的視点からの有用な助言を多数頂きました。早川准教授と同じく、サッカーをはじめとしたスポーツに造詣が深く、ご説明に伺った際には、面白い議論をさせていただきました。

浅見泰司教授（東京大学工学部都市工学科）には、研究室会議の際に的確なご指摘の数々を賜ったほか、よく昼食に誘って下さいました。机に向かって紋々と悩む私にとって、非常に良き気分転換となりました。

貞広教授、浅見教授と同じく住宅・都市解析研究室所属の、樋野公宏准教授（東京大学工学部都市工学科）、薄井宏行助教（東京大学工学部都市工学科）、石川徹教授（東京大学情報学環総合分析情報学コース）、相尚寿助教（CSIS）にも研究室会議の際には、貴重なコメントの数々を頂戴し、さらに、日頃より気軽に議論に応じてくださいました。

研究室の先輩である小林哲郎氏（Pivotal Japan）には、共同研究者として Prozone へのデータ提供交渉と、日本サッカー協会（JFA）との仲介をしていただきました。また、研究に

合う GIS ソフトもご教示くださいました。

Prozone には、本研究の要となるデータを提供していただきました。

見汐翔太氏（JFA アカデミー福島）には、共同研究を快く引き受けていただき、「戦術を評価できる指標を作る」という目標を達成すべく、サッカー現場の観点をご指導いただきました。複数回、遠方より研究室までお越しいただいたほか、御殿場での練習見学の機会も設けてくださりました。おかげさまで目的を外れず、実用的な研究として進められました。練習見学を受け入れてくださった JFA アカデミー福島のスタッフ及び選手の皆様にも、心よりお礼申し上げます。

山田育穂教授（中央大学理工学部）には、山田教授の講義「空間情報科学概論」及びゼミにゲストスピーカーとして招待していただき、研究発表の機会を頂戴しました。若い学生からの純粋かつ鋭いコメントの数々は、人前で発表する経験の浅い私にとって、研究を見直す貴重な機会となりました。

中央大学の学生に限らず、その他、住宅都市解析研究室の学生をはじめとする多くの友人、知人より貴重なコメントを頂きました。

最後に、家族の協力があつてこそ、今日を迎えられました。大学院進学に理解を示し、日常生活の様々な場面で支えてくれた、父母と妹にも感謝する次第です。

2017 年 1 月

森岡 涉

## 研究発表履歴

森岡渉, 貞広幸雄, 見汐翔太, 小林哲郎 (2015) 「サッカーの試合中における守備局面の評価」  
『第24回 地理情報システム学会学術研究発表大会 CD-ROM』, 東京

## 参考文献

- Anderson, C., and D, Sally. (2014) *Why Everything You Know about Soccer is Wrong*, New York, PENGUIN BOOKS
- Carling, C. (2010) Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team, *Journal of Sports Sciences*, vol.28, no.3, pp. 319-326.
- Daniel, J. (2003) *The Complete Guide to Coaching Soccer Systems and Tactics*, Pennsylvania, Reedsdain Publishing.
- Fujimura, A., and K, Sugihara. (2005) Geometric analysis and quantitative evaluation of sport teamwork. *Systems and Computers in Japan*, vol.36, no.6, pp. 49-58.
- Furutani, T., T, Nagano., and T. Kato. (2014) A Study on Soccer Offence Patterns via Spatio-temporal Statistical Analysis, International Conference on Sport Statistics and Performance Analysis.
- Gudmundsson, J., and T, Wolle. (2014) Football analysis using spatio-temporal tools, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol.47, pp. 16-27.
- Laube, P. (2014) *Computational Movement Analysis*, Cham Heidelberg New York Dordrecht London, Springer International Publishing.
- Laube, P., S, Imfeld., and R, Weibel. (2005) Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects, *International Journal of Geographical Information Science*, vol.19, no.6, pp. 639-668.
- Long, J.A, Nelson, T.A. (2011) Sports, time geography, and mobility data. *Spatial Knowledge and Information (SKI) Canada*. Mar. 4-6; Fernie, BC.
- Prozone. <<http://www.prozonesports.com>>. 2016.11.01.参照
- Ritschard, M., and Tschopp, M. (2011) Physical Analysis of the FIFA's Women's World Cup Germany 2011, Aesch/ZH, Switzerland: Rüegg Media AG.
- Suzuki, K., and T. Nishijima. (2004) Validity of a Soccer Defending Skill Scale (SDSS) Using Game Performances, *International Journal of Sport and Health Science*, vol. 2, pp. 34-39.
- Taki, T., and J, Hasegawa. (2000) Visualization of dominant region in team games and its application to teamwork analysis. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer graphics*, pp. 227-235.
- 相尚寿, 岡部篤行, 貞広幸雄, 太田守重 (2008) 「時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理手法」『GIS:理論と応用』 vol. 16, no. 2, pp. 89-98.
- 一般社団法人スポーツアナリティクス協会 <<http://jsaa.org/?page=home>> 2016.11.01 参照
- 大西圭子, 大場渉 (2007) 「小学校バスケットボール授業におけるゲームパフォーマンスの評価に関する探索的研究」『大阪教育大学紀要』 第 5 部門 教科教育, Vol. 56, No.1, pp. 49-61.

- 加藤久 (1999) 「サッカーの戦術とコンピュータ分析の現状と課題」『オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学』 vol. 44, no. 3, pp.125-131
- 北研二, 津田和彦, 獅々堀正幹 (2002) 『情報検索アルゴリズム』, 共立出版, 196p.
- 関根和生, 高梨克也 (2011) 「サッカーにおける守備側選手が攻撃側選手との時間的と空間的ズレを埋めるための手がかり」, 2011 年度日本認知科学会第 28 回大会, (P3-3), pp.601-608.
- 瀬古沢理一, 大森隆司 (2014) 「サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化」日本人工知能学会学術大会 第 28 回 4L1-2
- データスタジアム株式会社 < <https://www.datastadium.co.jp/> > 2016.12.20.参照
- 中村泰介, 日野公美子 (2010) 「サッカー指導現場におけるコーチングの研究 : 指導者の発することばのイメージと生徒・選手が構想する運動イメージ」『サピエンチア: 英知大学論叢』 vol. 44, pp. 83-92.
- 藤村光, 杉原厚吉 (2004) 「優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価」『電子情報通信学会論文誌』 D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J87-D-II no. 3, pp. 818-828.
- 村松尚登 (2015) 『最速上達サッカー オフ・ザ・ボール』, 成美堂出版, 175p.
- 山端宏実 (2014) 「特集2 データで読み解くサッカー～90分のビッグデータから取捨選択」『日経情報ストラテジー』 第 268 号 pp. 38-41.

# 付録

## パス可能エリア一覧図

実際の試合データを用いて求めた、推定パス可能エリアの一覧図（一部）を本付録に掲載する。ここに掲載するのは、2012年9月13日 フロリダ州立大学 対 デューク大学 前半45分間にて、フロリダ州立大学が実際にパスを出した場面（146場面）である。本文と同様、以下の4分類ごとにまとめた。

カテゴリ1：推定パス可能範囲内へのパスでパス受取成功

カテゴリ2：推定パス可能範囲内へのパスでパス受取失敗

カテゴリ3：推定パス可能範囲外へのパスでパス受取失敗

カテゴリ4：推定パス可能範囲外へのパスでパス受取成功

### 凡例

● … フロリダ州立大学の選手（向かって左手に攻撃中）

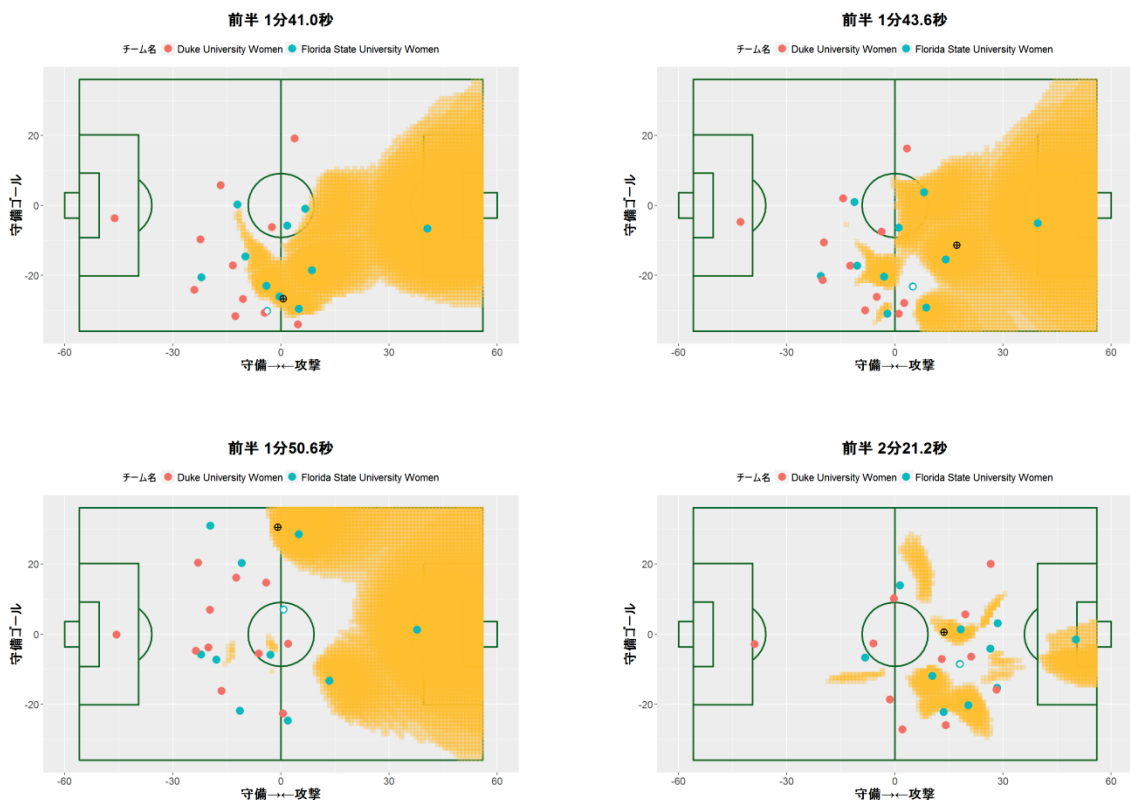
○ … ボールを持ったフロリダ州立大学の選手

● … デューク大学の選手（守備中）

⊕ … フロリダ州立大学の選手が、パスを受け取った位置

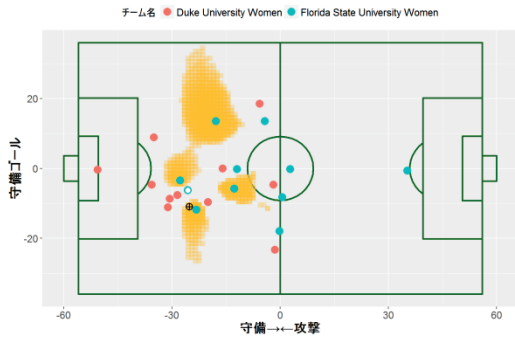
⊗ … 次のイベント発生位置（味方のパス受け取り以外、つまり味方へのパスは失敗。）

## カテゴリ1：推定パス可能範囲内へのパスでパス受取成功（88/146 場面）

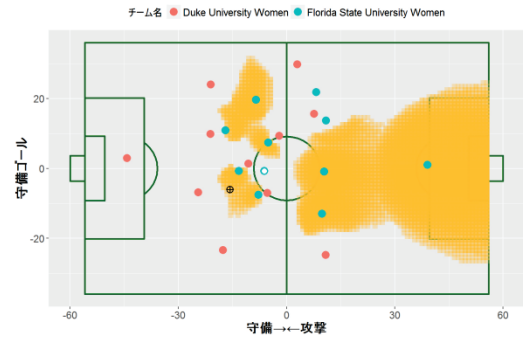




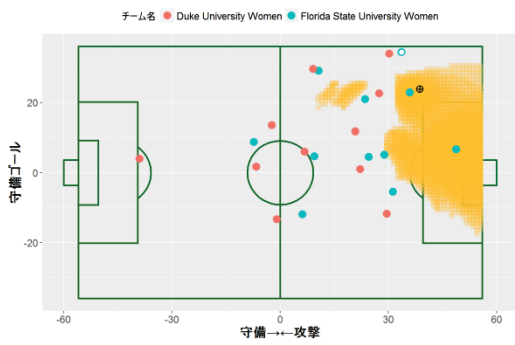
前半 3分21.8秒



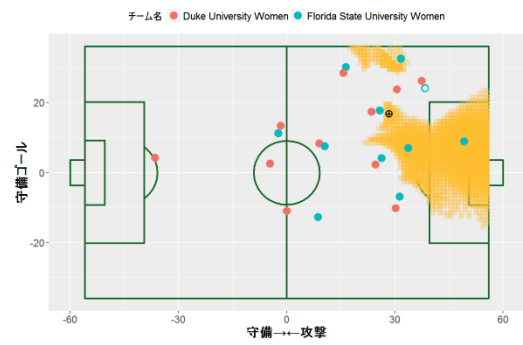
前半 6分24.7秒



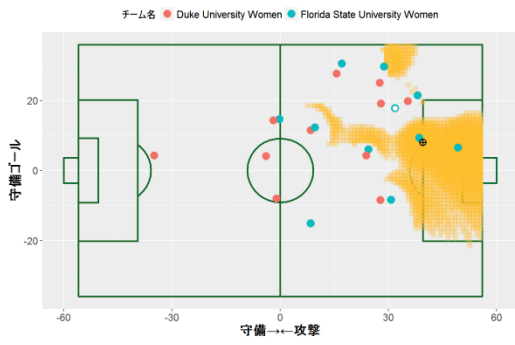
前半 7分17.5秒



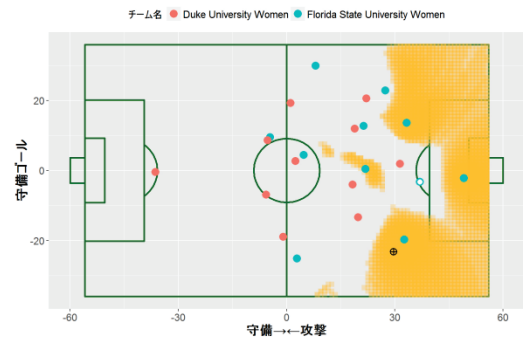
前半 7分19.4秒



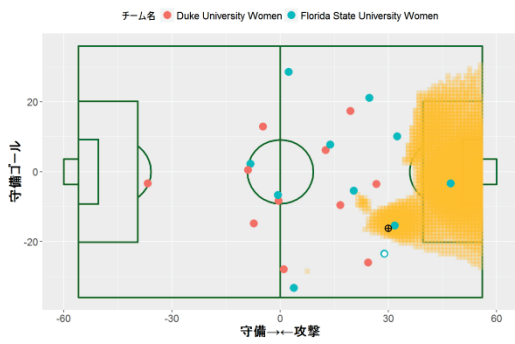
前半 7分21.5秒



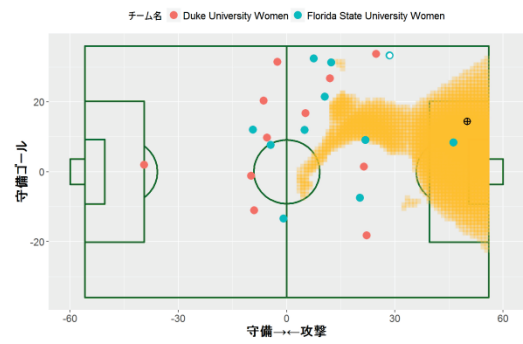
前半 7分26.2秒

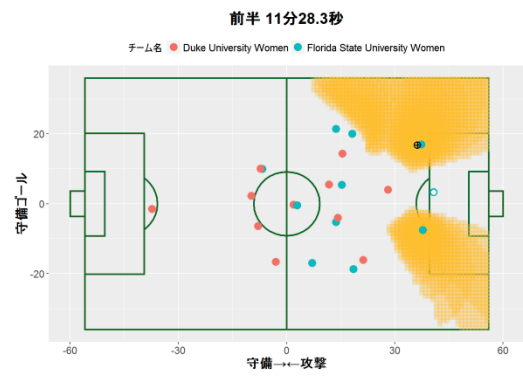
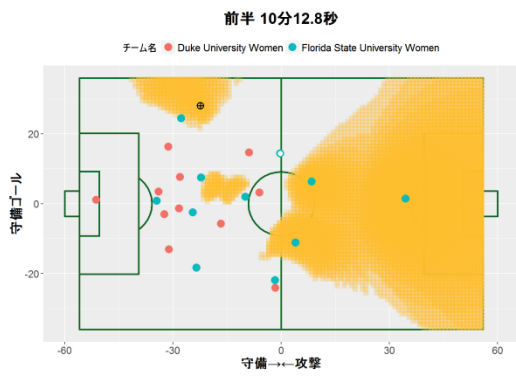
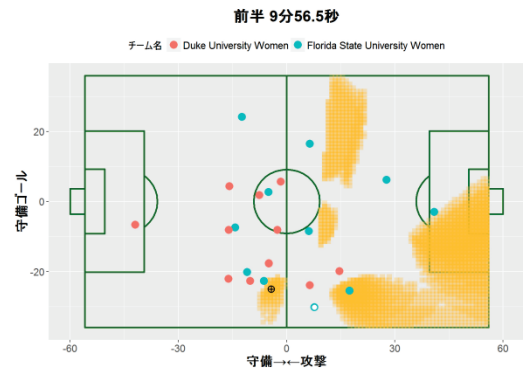
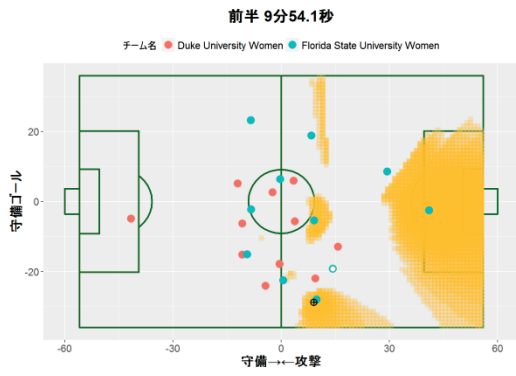
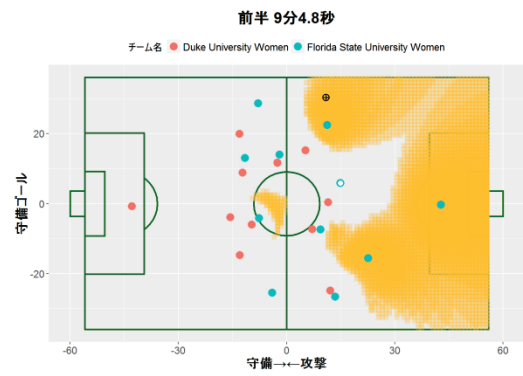
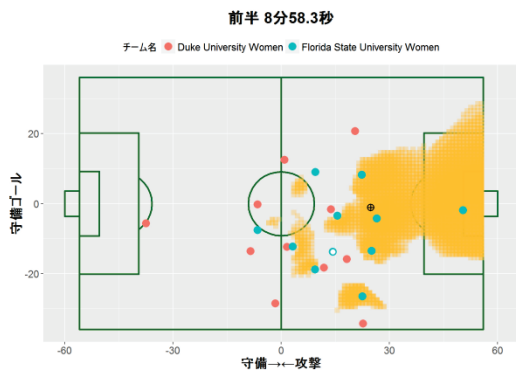
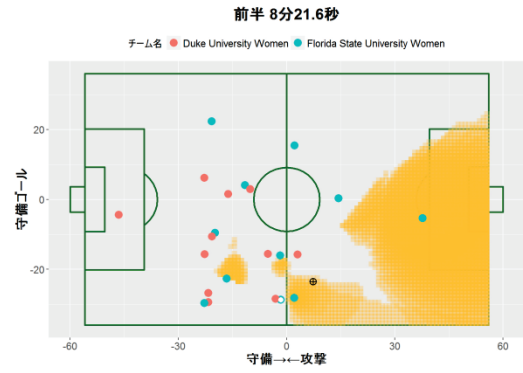
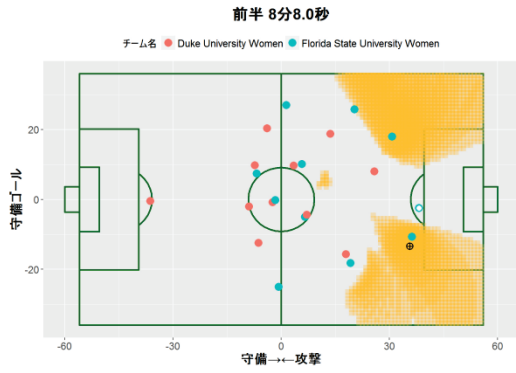


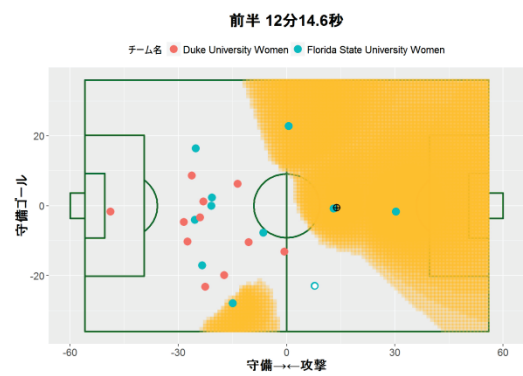
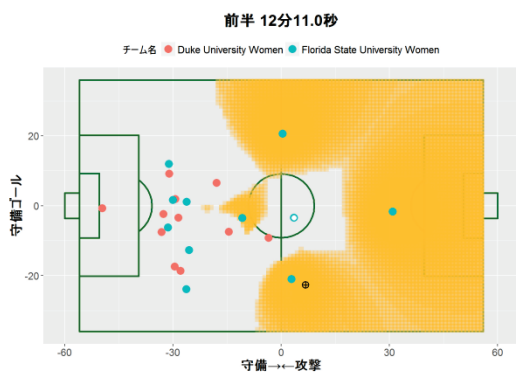
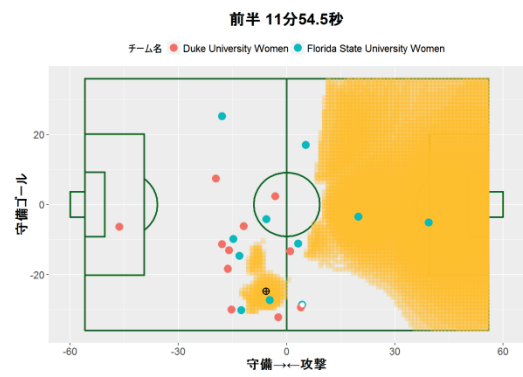
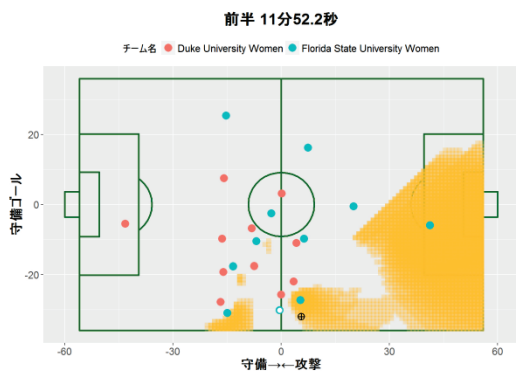
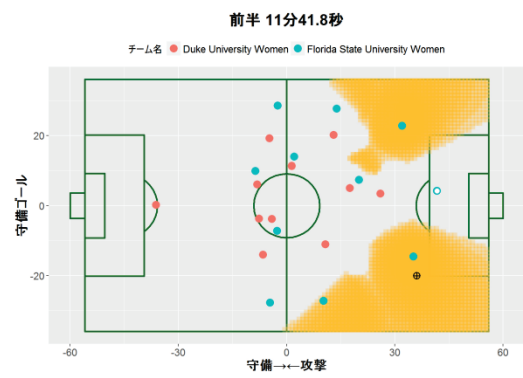
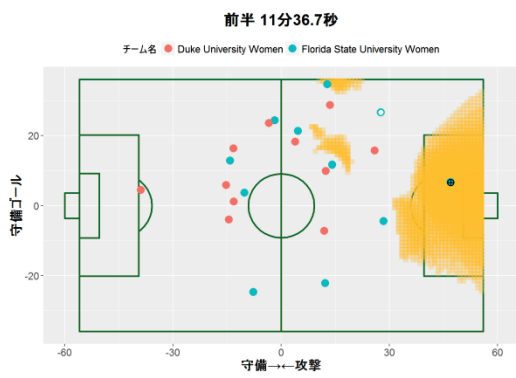
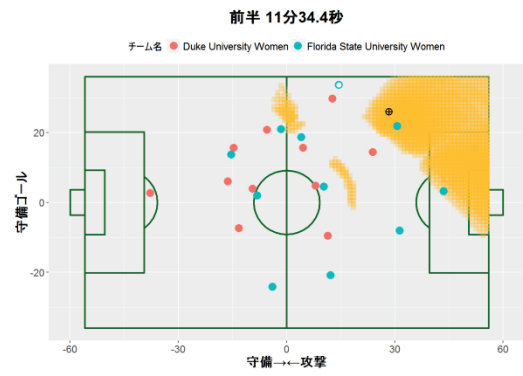
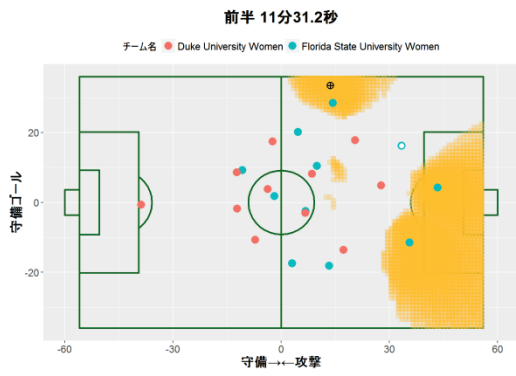
前半 7分28.7秒

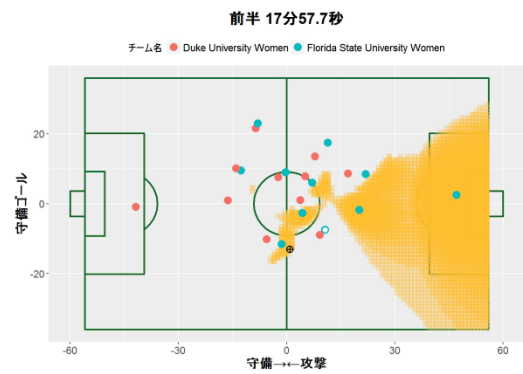
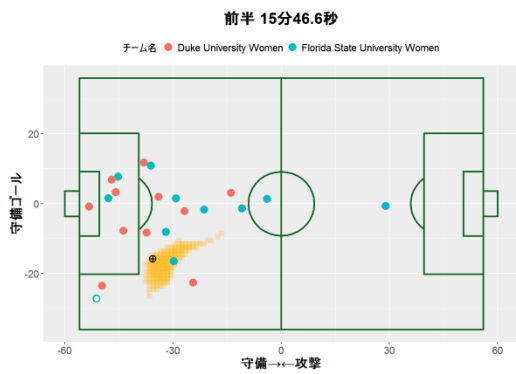
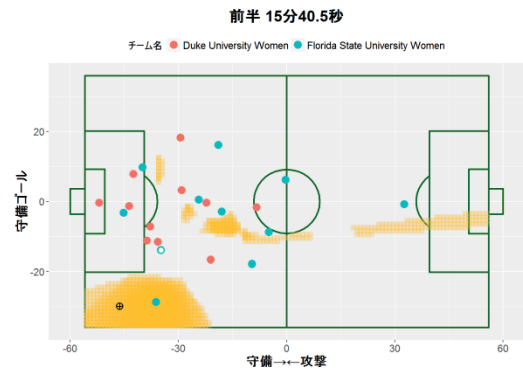
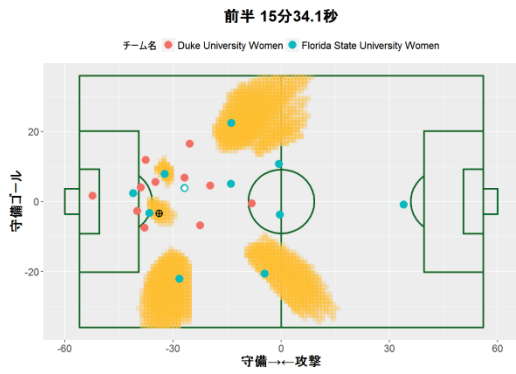
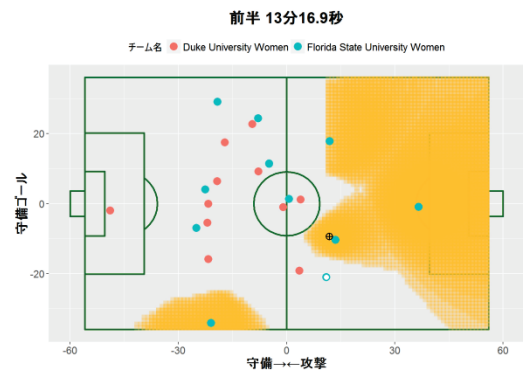
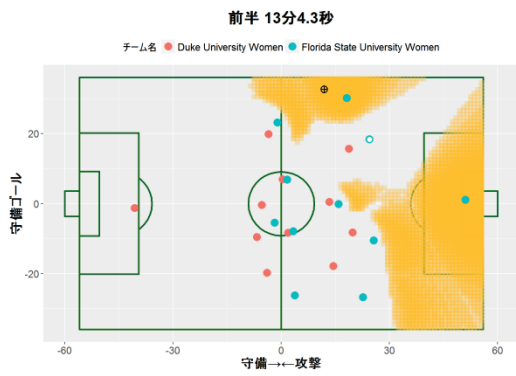
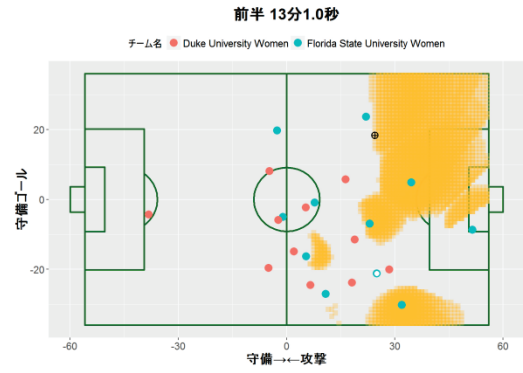
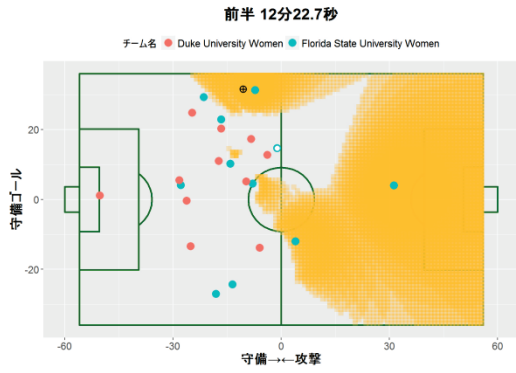


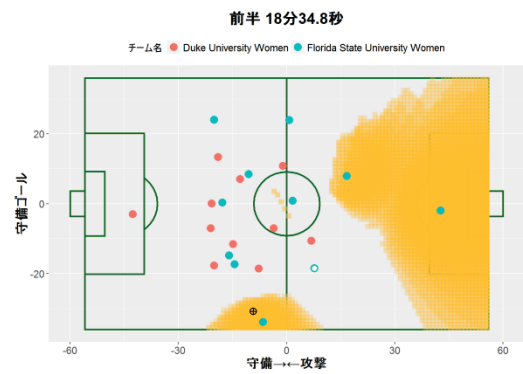
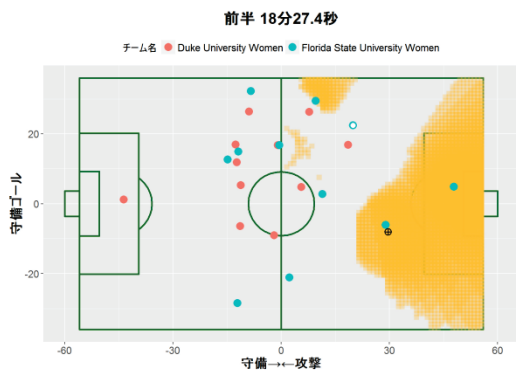
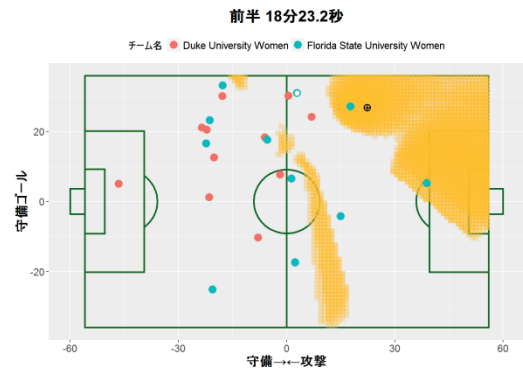
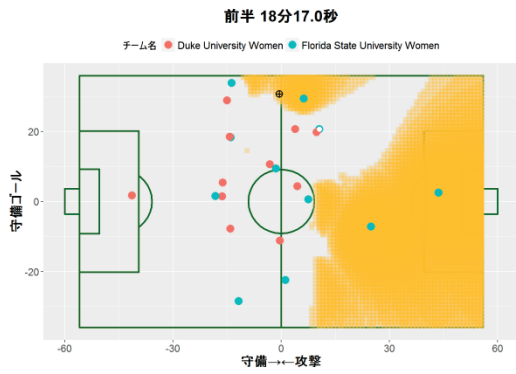
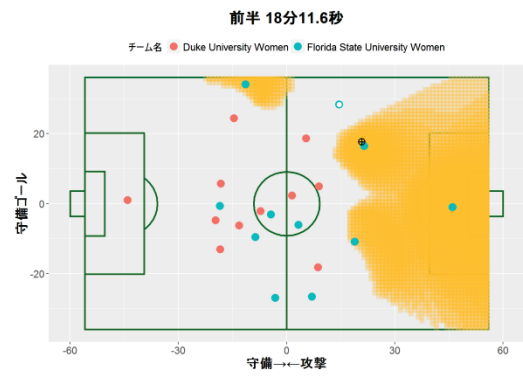
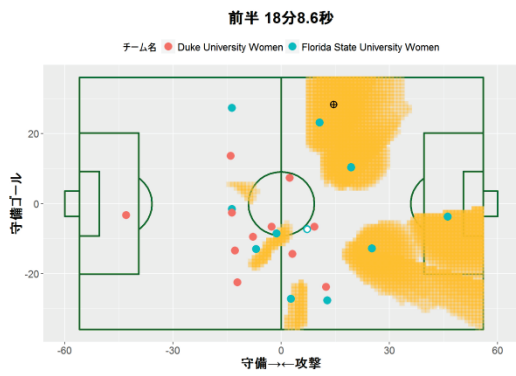
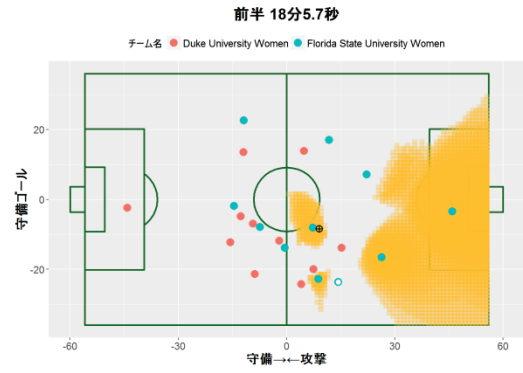
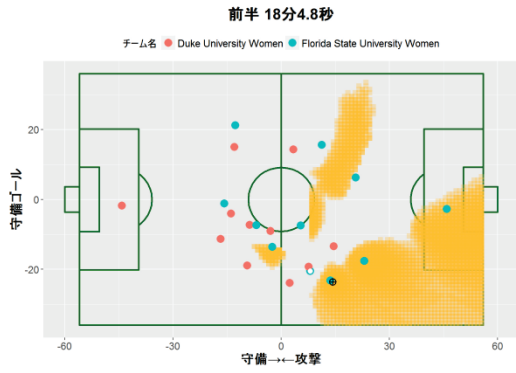
前半 7分59.2秒

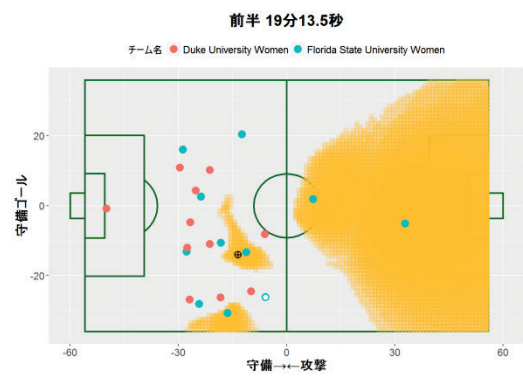
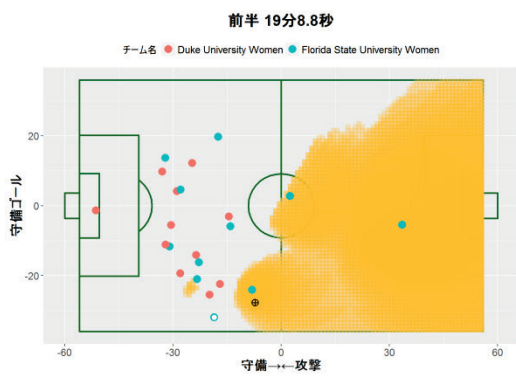
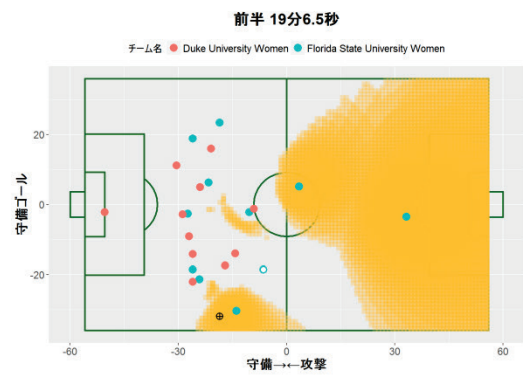
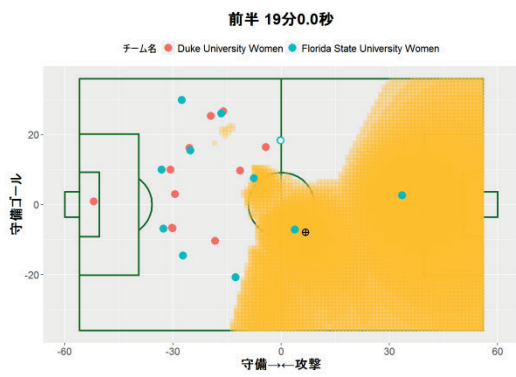
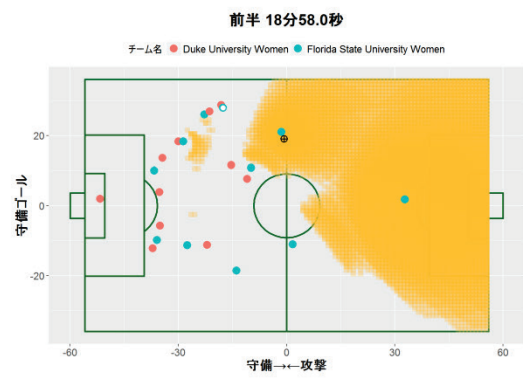
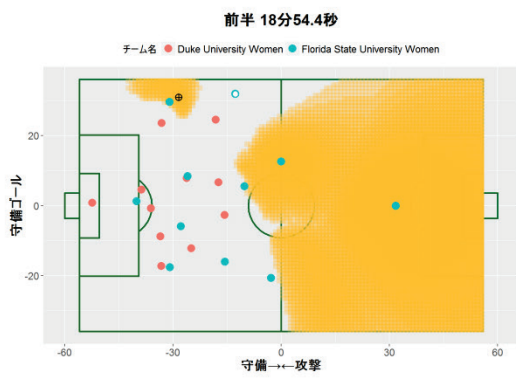
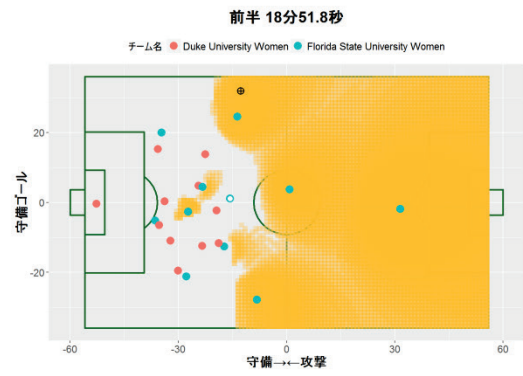
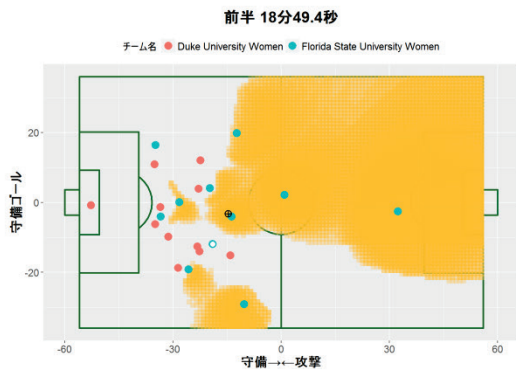


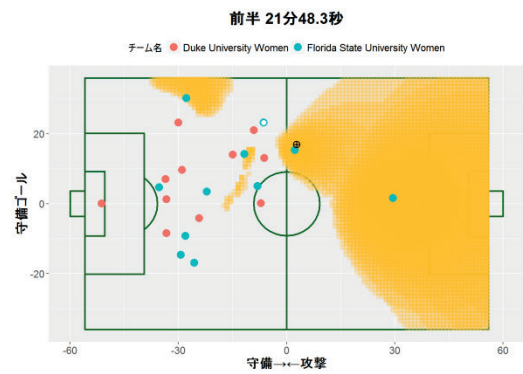
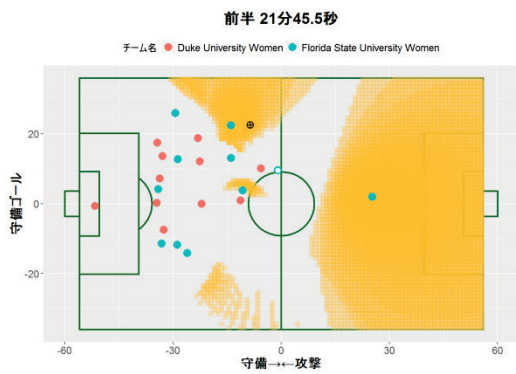
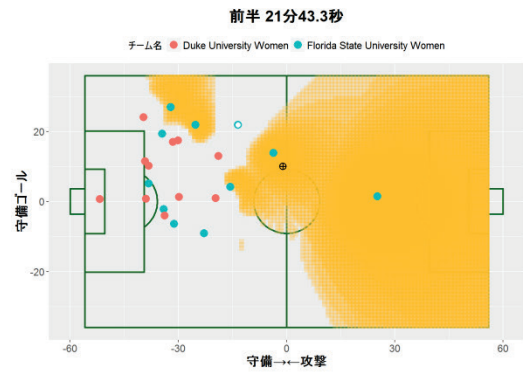
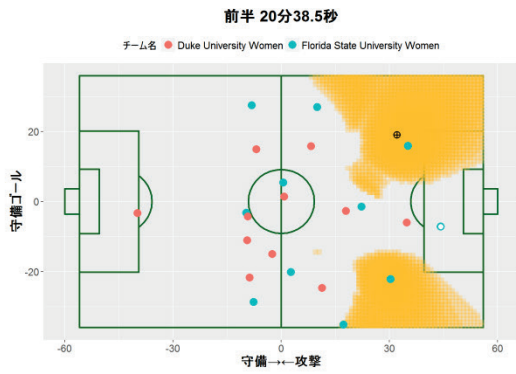
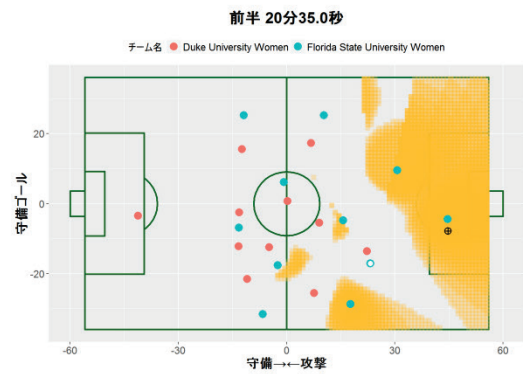
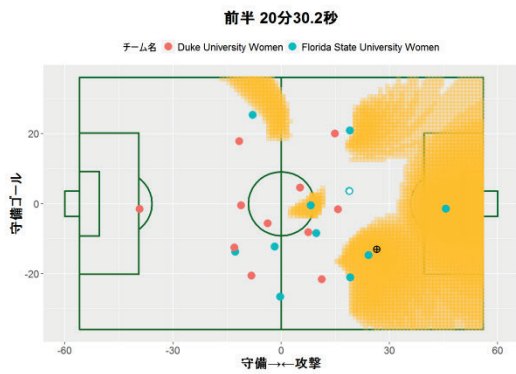
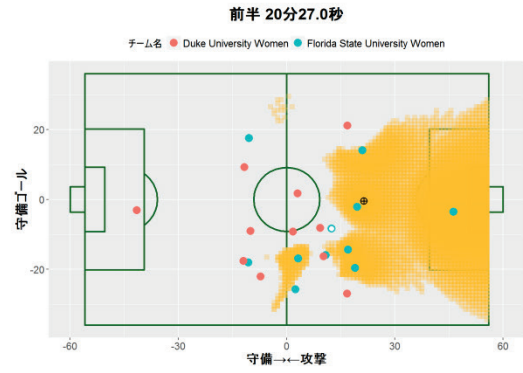
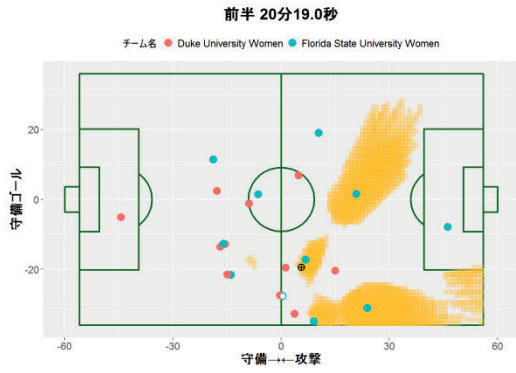


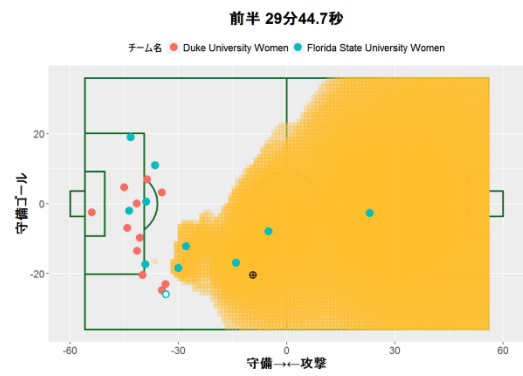
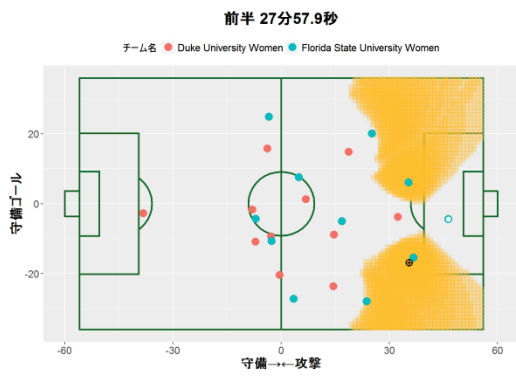
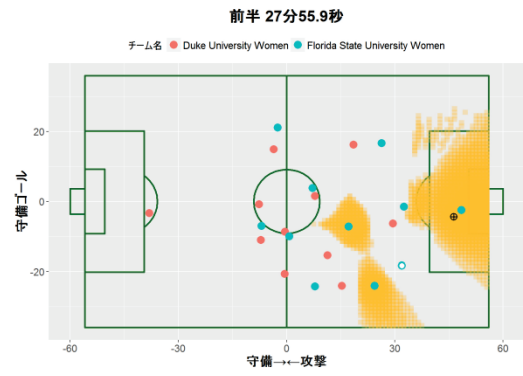
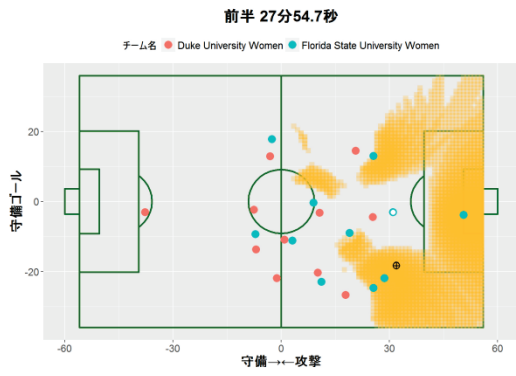
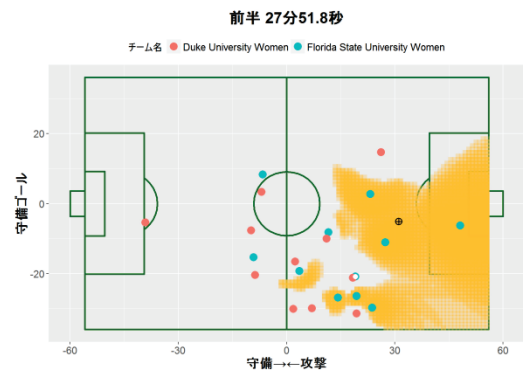
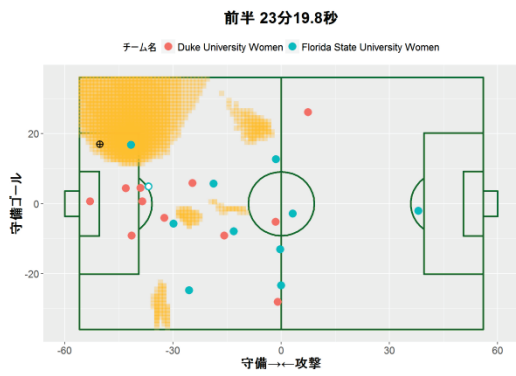
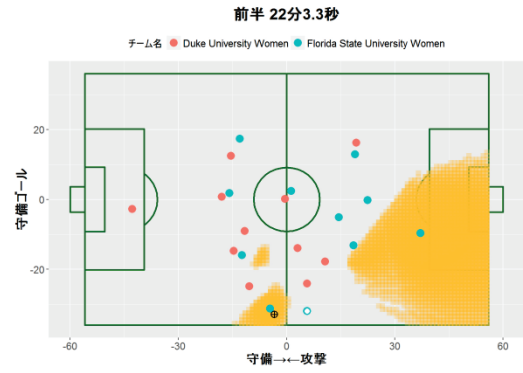
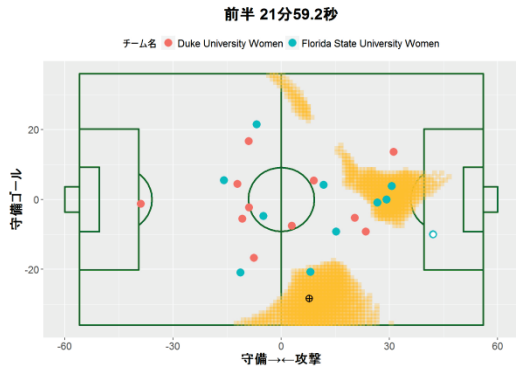




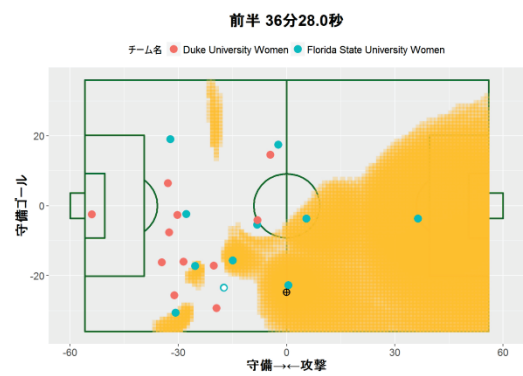
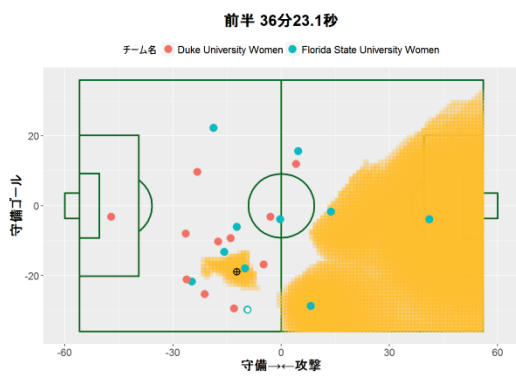
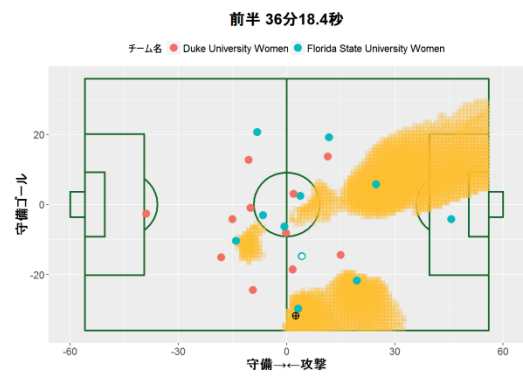
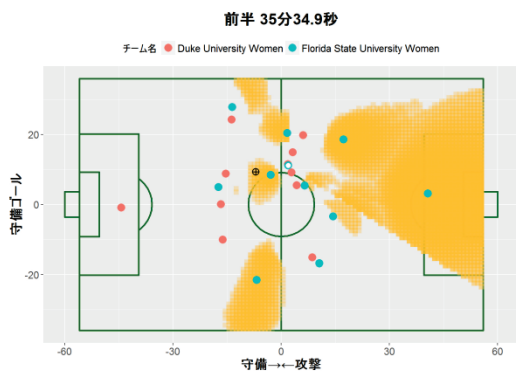
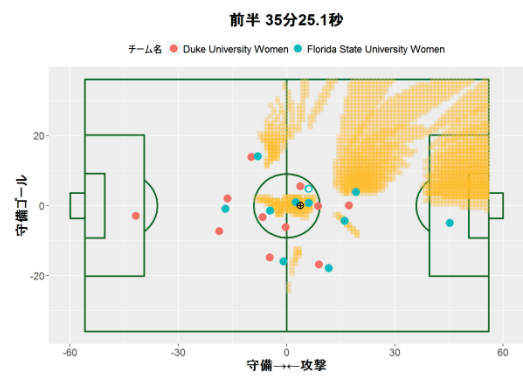
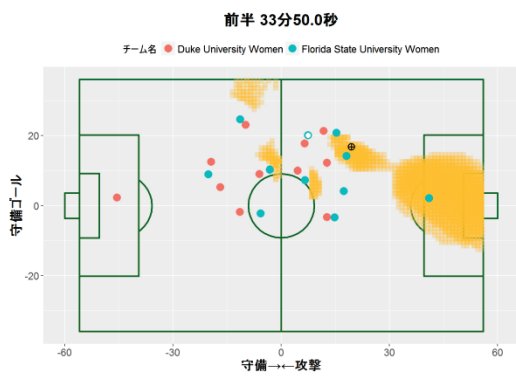
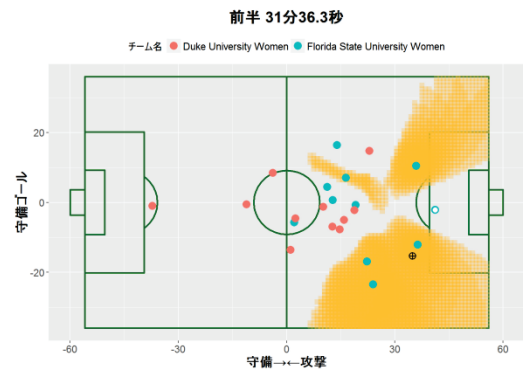
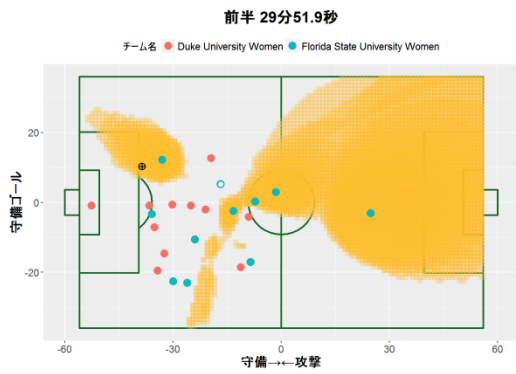


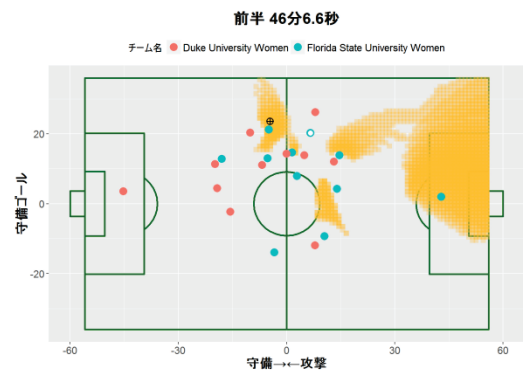
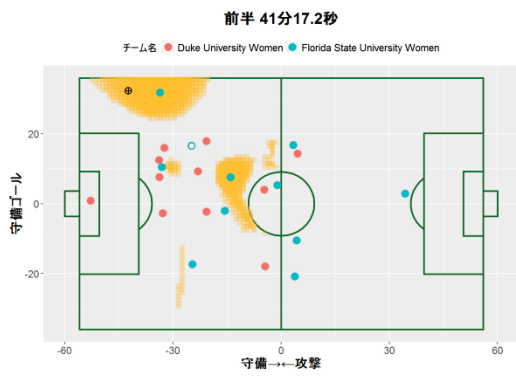
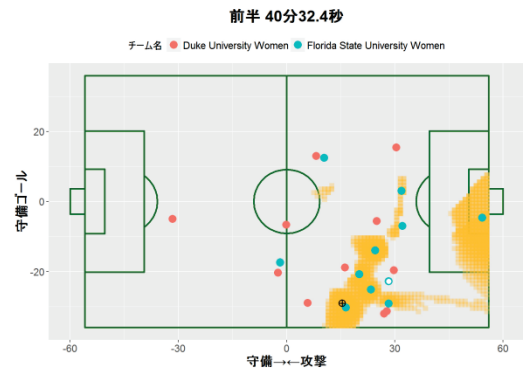
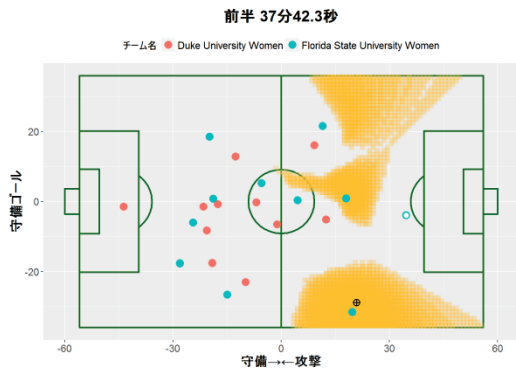
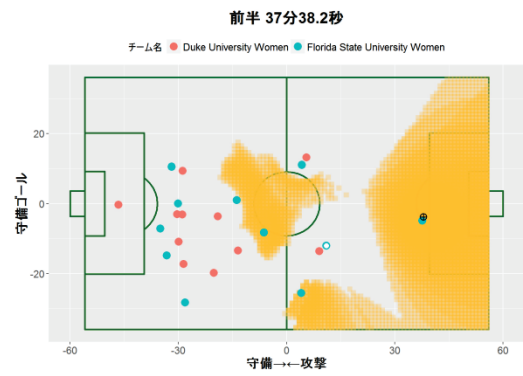
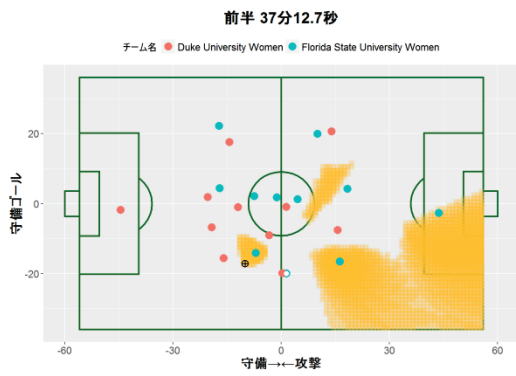
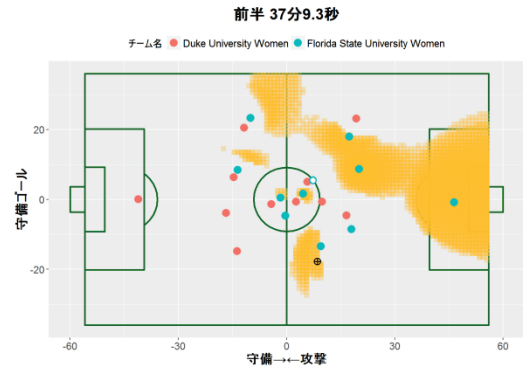
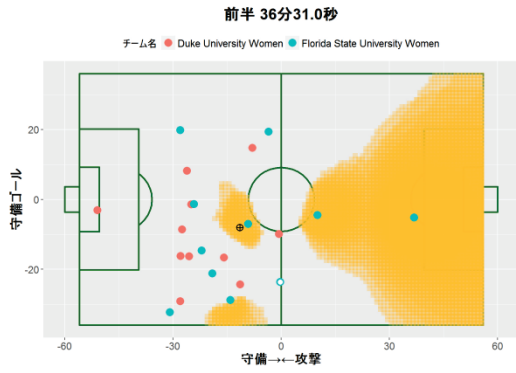


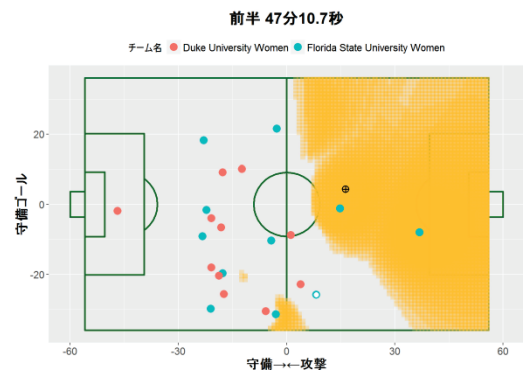
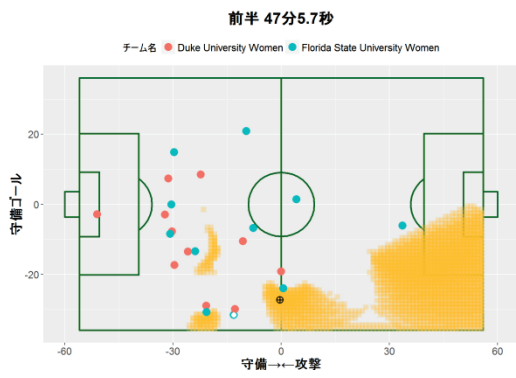
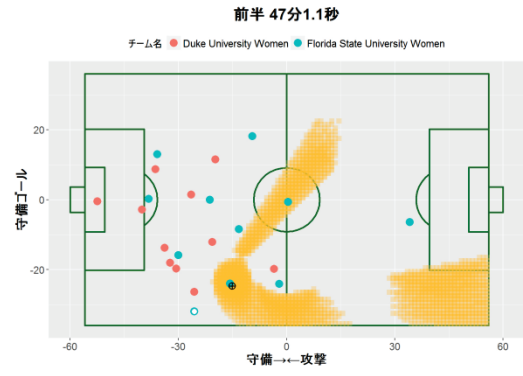
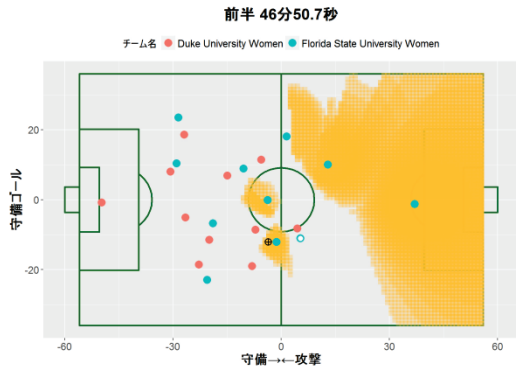




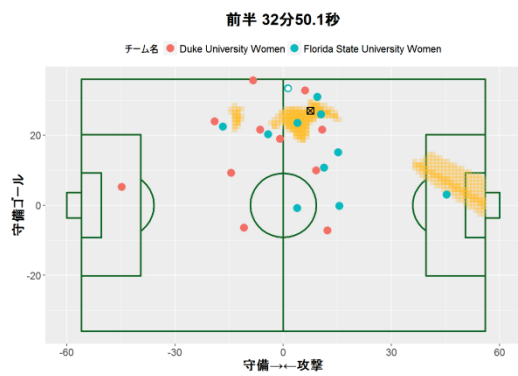




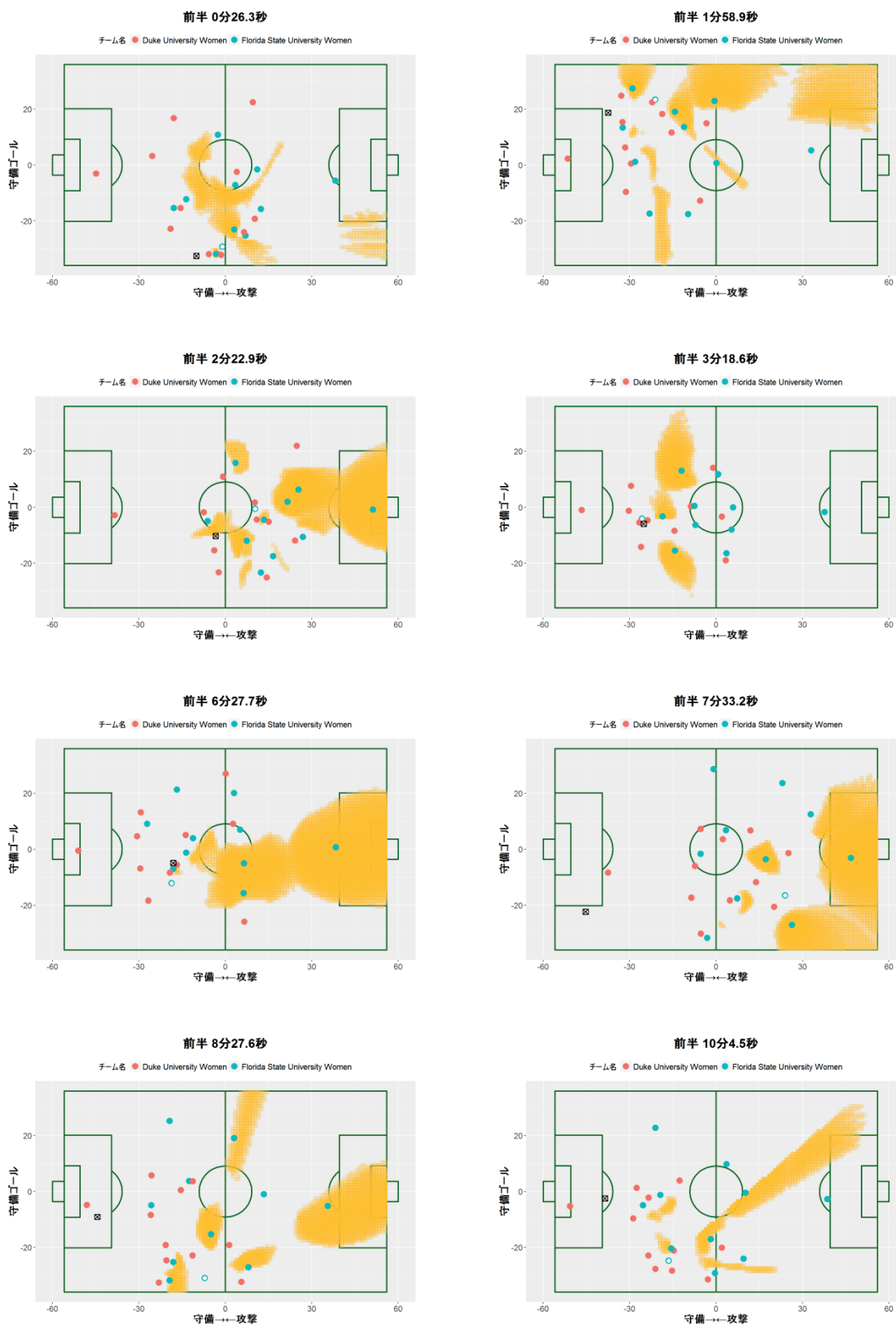


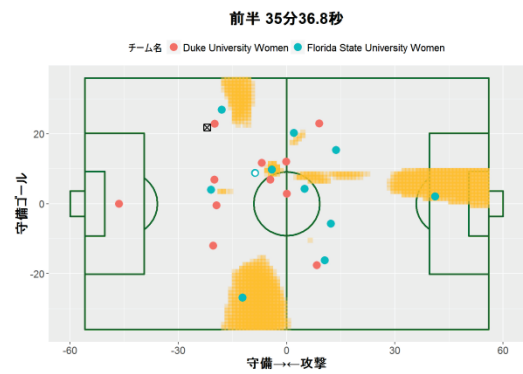
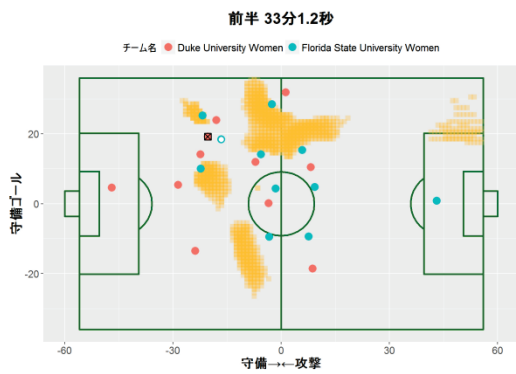
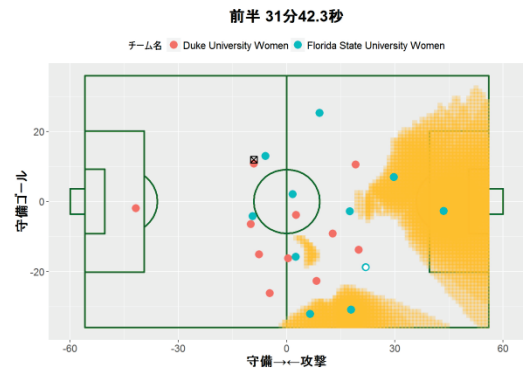
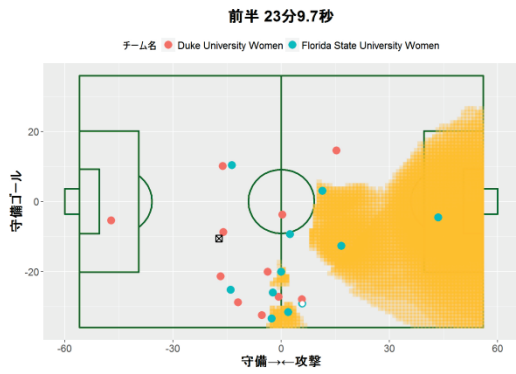
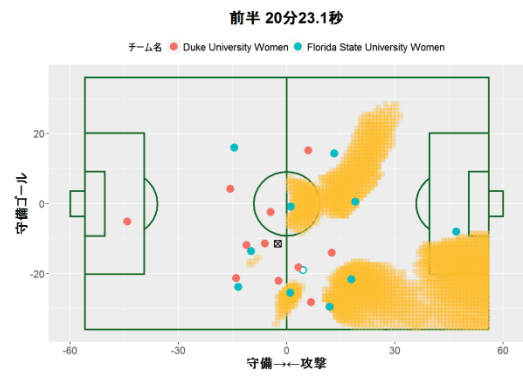
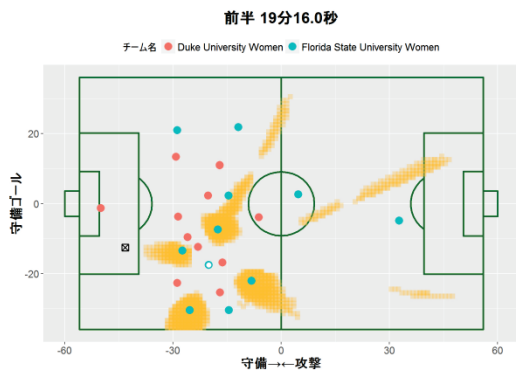
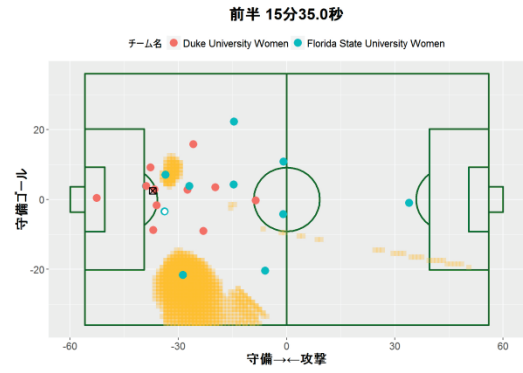
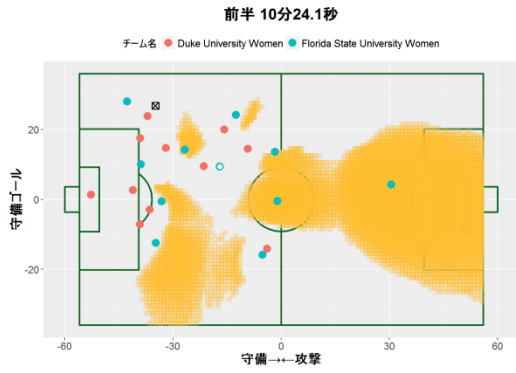


## カテゴリ 2 : 推定パス可能範囲内へのパスでパス受取失敗 (1/146 場面)

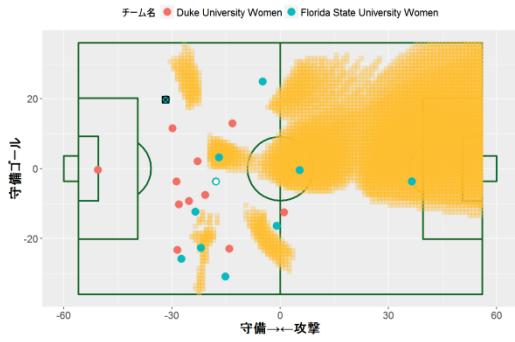


### カテゴリ 3 : 推定パス可能範囲外へのパスでパス受取失敗 (20/146 場面)

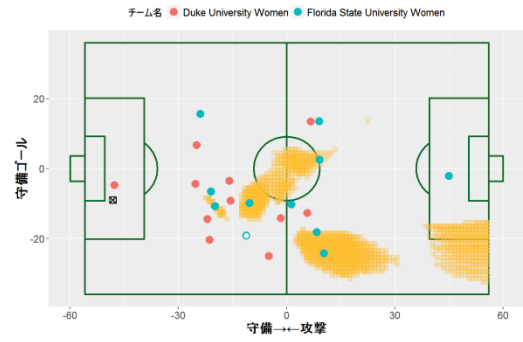




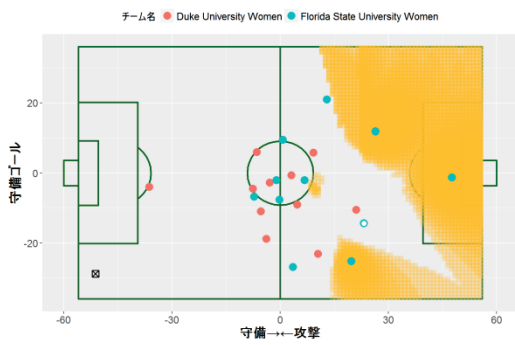
前半 36分34.1秒



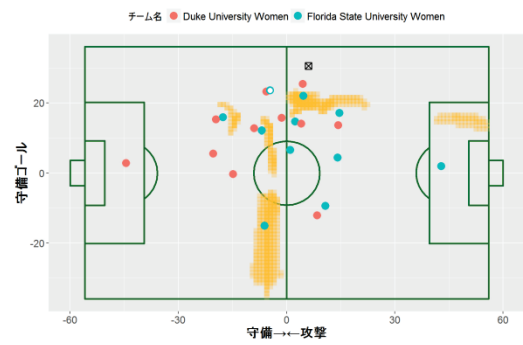
前半 40分40.7秒



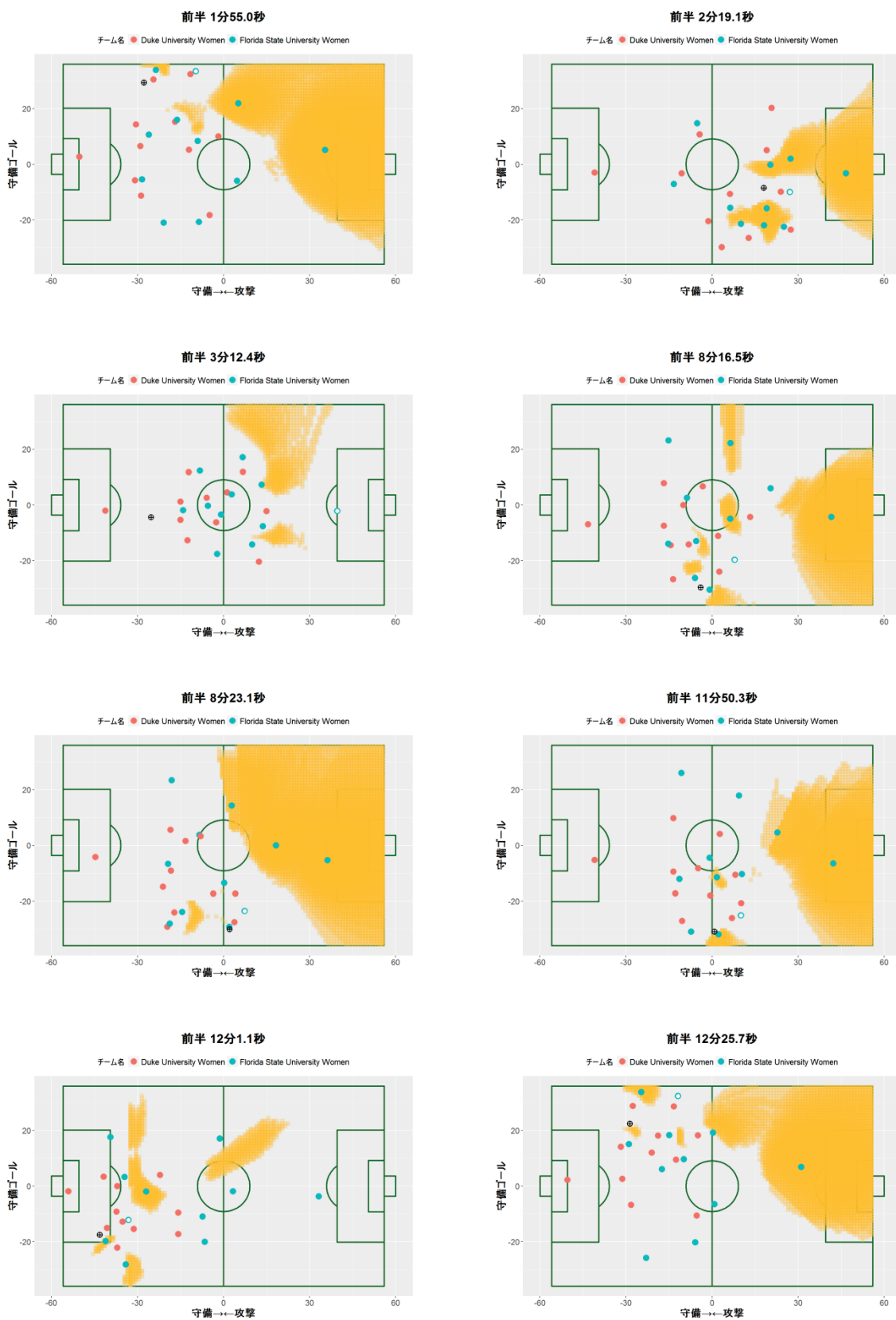
前半 42分33.0秒



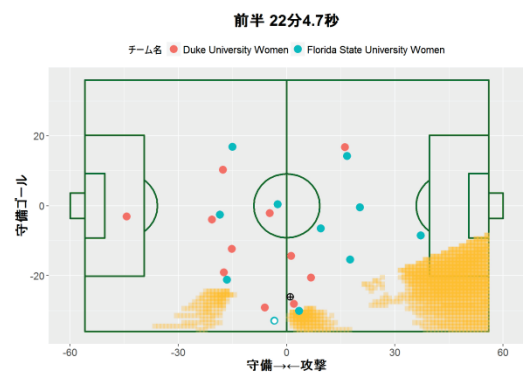
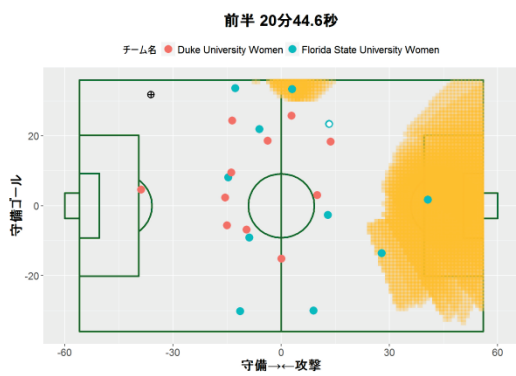
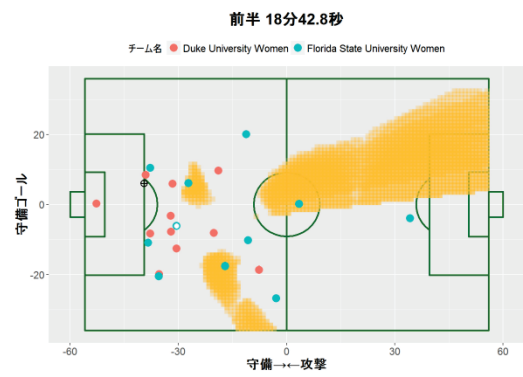
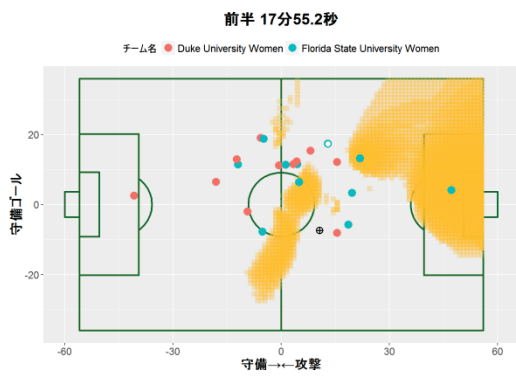
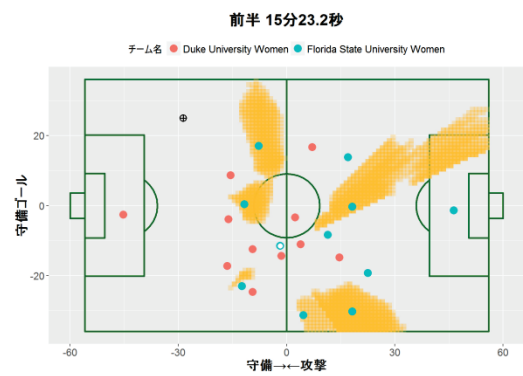
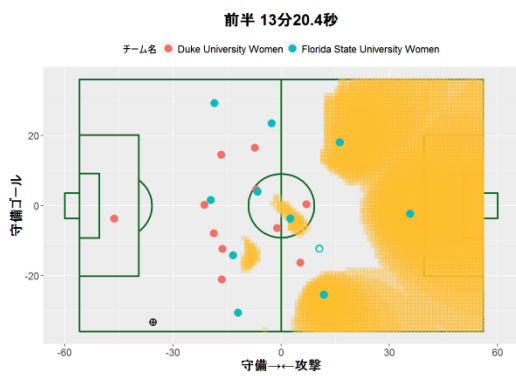
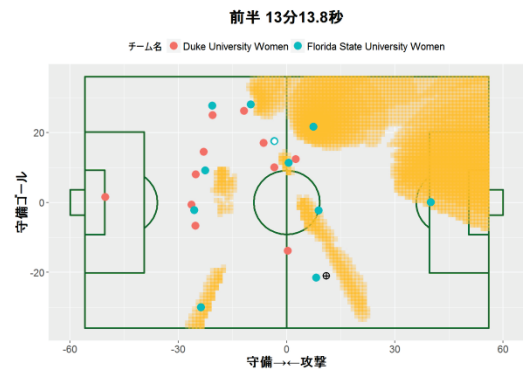
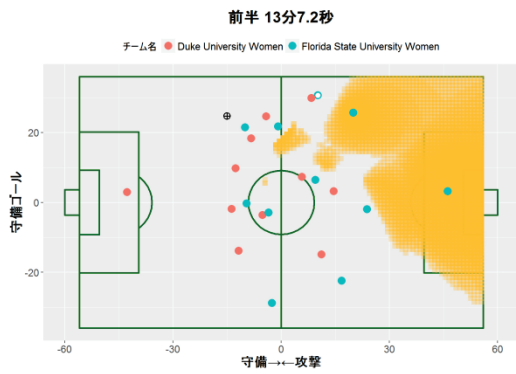
前半 46分7.8秒

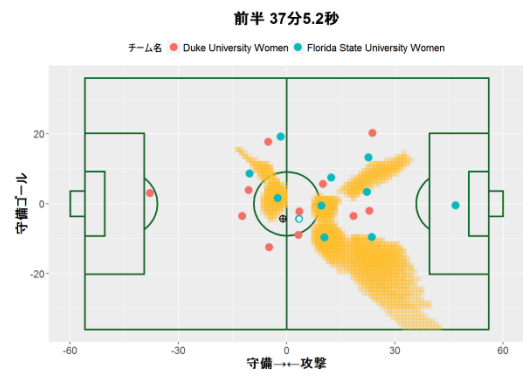
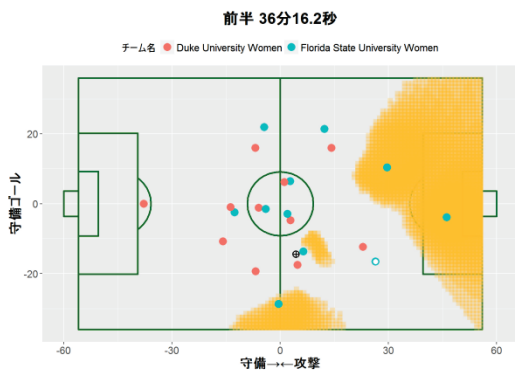
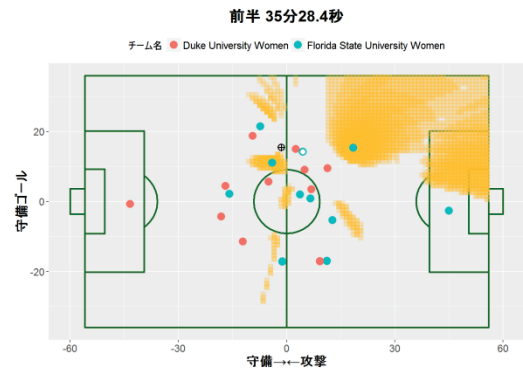
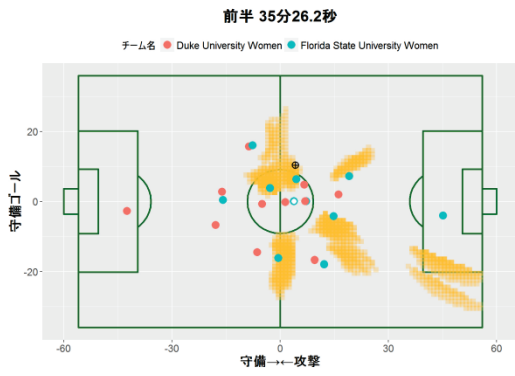
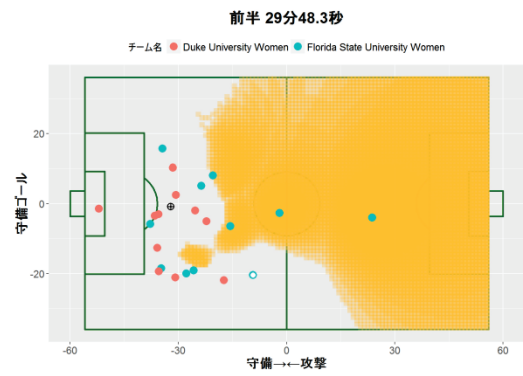
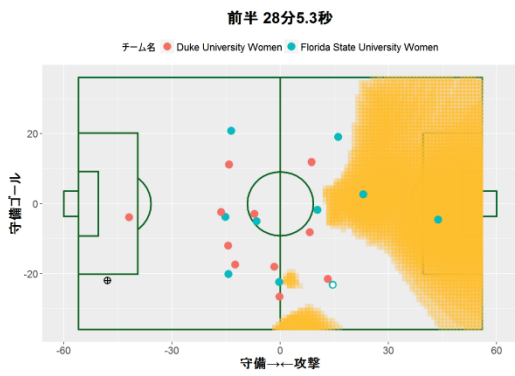
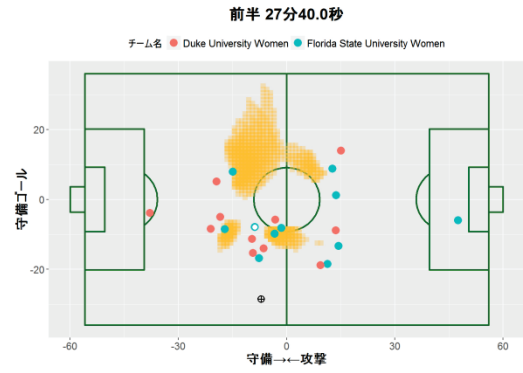
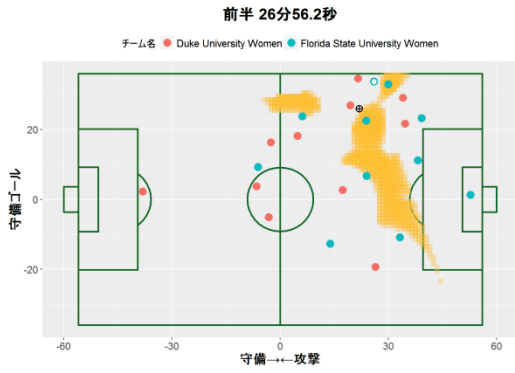


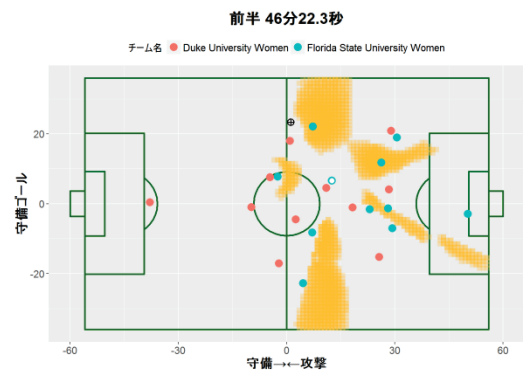
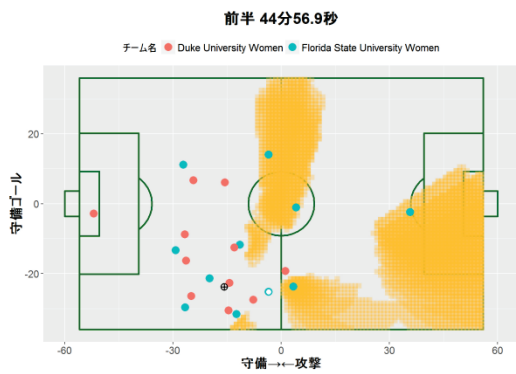
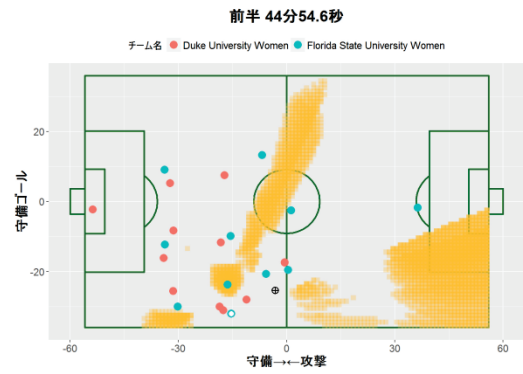
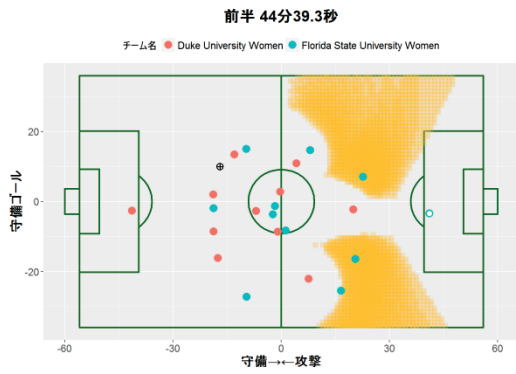
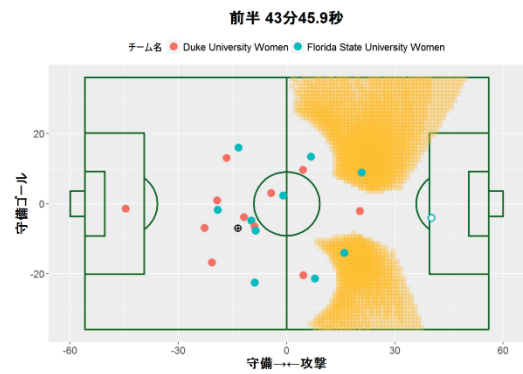
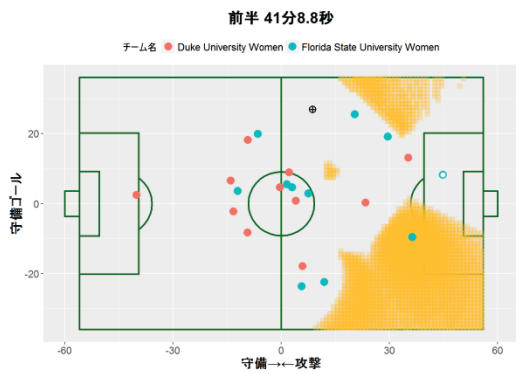
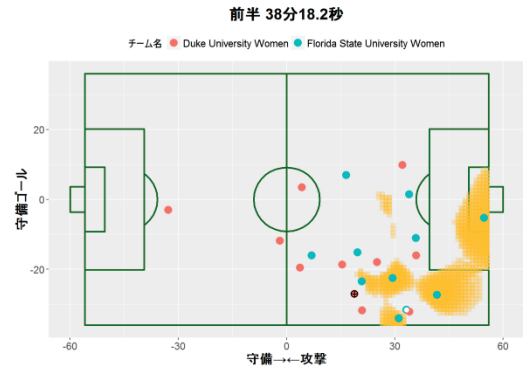
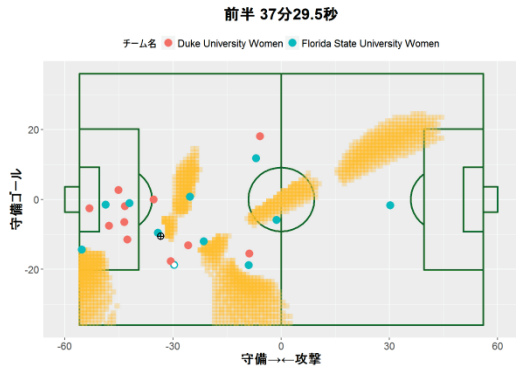
## カテゴリ 4 : 推定パス可能範囲外へのパスでパス受取成功 (37/146 場面)

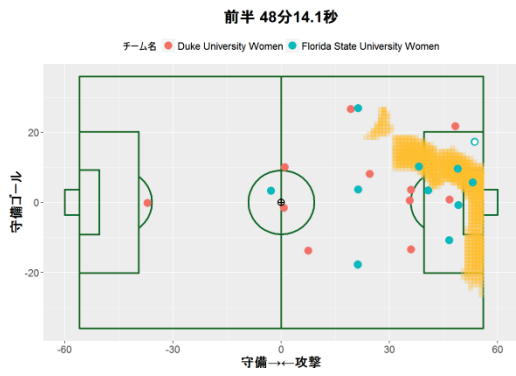
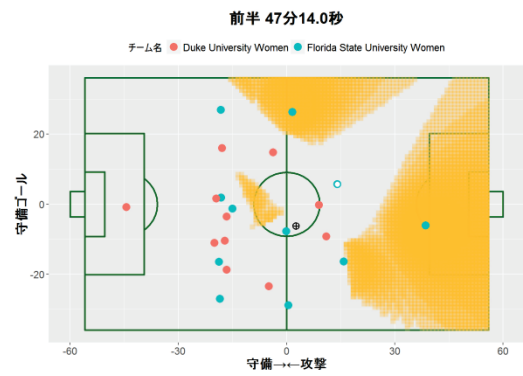
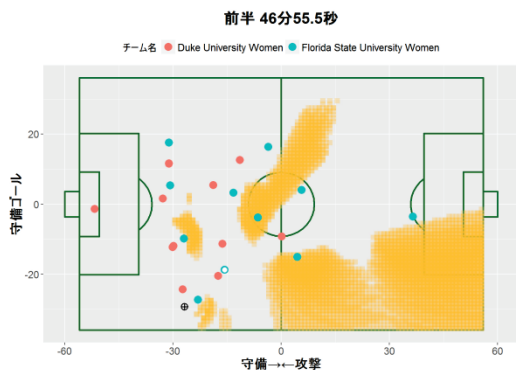
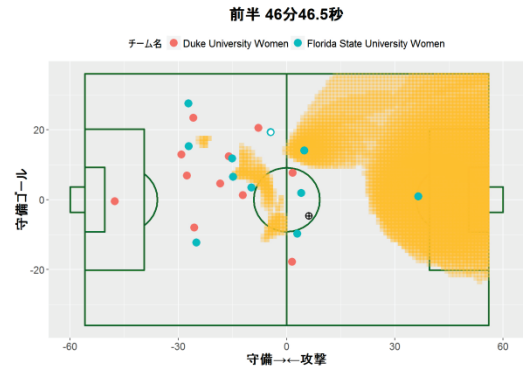
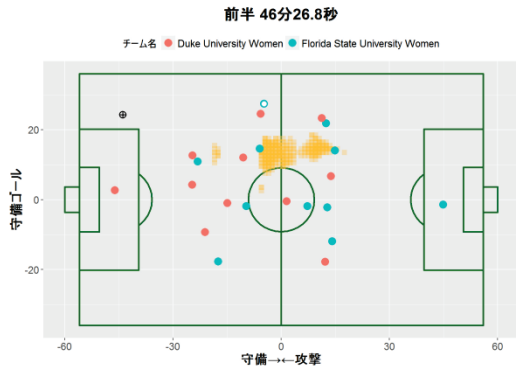












## 関連プログラムコード

修士論文内で用いたプログラムのコードを以下に記す。

### ① パス可能エリアを推定するコード (Python, PostGIS)

```
1: #coding:cp932
2: #-----
3: # Name:          passable_area_template
4: # Purpose:       to calculate passable area
5: # Author:        Wataru Morioka
6: # Created:       2015/05/15
7: # Last Updated: 2016/09/05
8: #-----
9: #変数の初期化・宣言をする。
10: time_list =[] #攻撃チームのパスがおこなわれた時間を格納する。
11: speed_list = range(6, 21) #スピードの選択範囲6~20km/hを格納する。
12:
13: #変数 sql1 に攻撃チームのパスがおこなわれた時間を取り出すSQL文を代入する。
14: sql1="""SELECT Time_o FROM event WHERE (event LIKE 'Pass' OR event LIKE
        'Goalkeeper Throw' OR event LIKE 'Goalkeeper Kick') AND player1c_1 = 1708 AND
        segmentid = 0"""
15:
16: #postgreSQLにアクセスするパッケージを読み込む。
17: import psycopg2
18:
19: #postgreSQLデータベースにアクセスする。
20: try:
21:     conn = psycopg2.connect(host="localhost", port=5433,
        database="vsflorida_1st", user="postgres", password="●●●●")
22: except:
23:     print "失敗"
24:
25: #略語cur変数を作成し、変数sql1内のSQL文を実行する。
26: cur = conn.cursor()
27: cur.execute(sql1)
28:
29: #変数time_listに、パスを選択した時間全てをリスト型で代入する。
30: for row in cur:
31:     time_list.append((row[0]))
32:
33: #該当する選手の移動速度全てにおいてパスエリアを推定するよう反復処理をする。
34: for rate in speed_list:
35:
36: #該当する時間全てにおいてパスエリアを推定するよう反復処理をする。
37:     for val in time_list:
38:
39: #()内のSQL文を実行する。
40:         cur.execute("""WITH
41:
42: #選手情報からパス推定に必要な項目のみを抽出する。
43:         player_all AS(SELECT clubname, player, geom FROM player WHERE
        player.time_o ="""+str(val)+"""),
44:
45: #該当時間の守備選手の位置を抽出する。
46:         player_defense AS(SELECT player, geom FROM player WHERE player.time_o
        ="""+str(val)+""") AND clubname Like 'University of Florida Women'),
47:
48: #該当時間のボールの位置を抽出する。
49:         event AS (SELECT time_o, geom FROM event WHERE segmentid = 0 AND
        event.time_o ="""+str(val)+"""),
```

```

50:
51: #[A]該当時間における攻撃選手のボール追いつき可能範囲を抽出する
52: #(守備選手によるインターセプトは未考慮)。
53:     offense AS (
54:         SELECT pi.gid AS gid, pl.player, ev.Time_o AS time, ST_MakeLine(pi.geom,
           ev.geom) AS geom
55:         FROM pitch AS pi, player_all AS pl, event AS ev
56:         WHERE ST_Distance(pl.geom, pi.geom) IN (SELECT Min(ST_Distance(pl.geom,
           pi.geom))FROM pitch AS pi, player_all AS pl GROUP BY pi.gid)
57:         AND ST_Distance(pl.geom, pi.geom)/5.8 < ST_Distance(ev.geom,
           pi.geom)/"""+str(rate)+"""
58:         AND clubname Like 'Florida State University Women'),
59:
60: #[B]該当時間における守備選手のボール追いつき可能範囲を抽出する。
61:     defense AS (
62:         SELECT pi.gid AS gid, ev.Time_o AS time, pi.geom AS geom
63:         FROM pitch AS pi, player_defense AS pl, event AS ev
64:         WHERE ST_Distance(pl.geom, pi.geom) IN (SELECT Min(ST_Distance(pl.geom,
           pi.geom))FROM pitch AS pi, player_defense AS pl GROUP BY pi.gid)
65:         AND ST_Distance(pl.geom, pi.geom)/5.8 < ST_Distance(ev.geom,
           pi.geom)/"""+str(rate)+"""
66:     ),
67:
68: #[A][B]を用いて、守備選手によるインターセプトを考慮した、
69: #攻撃選手間のパス受け取り可能範囲を抽出する。
70:     of2 AS (
71:         SELECT of.gid, of.time, of.player
72:         FROM offense AS of
73:         LEFT JOIN defense AS df ON ST_DWithin(of.geom, df.geom, 0.5)
74:         WHERE df.geom IS NULL)
75:     INSERT INTO passable_area_all
76:     SELECT pi.gid, of2.time, pi.x, pi.y, of2.player, """+str(rate)+""",
           pi.geom
77:     FROM pitch AS pi
78:     JOIN of2 ON pi.gid = of2.gid
79:     JOIN event ON ST_X(pi.geom)< ST_X(event.geom) OR ST_X(pi.geom) < -
           39.5;""""
80:     )
81:     conn.commit()
82: cur.close()
83: conn.close()

```

## ② 推定結果を図として表示させるコード (R)

```
passable_FS1st_161129.R
```

```
1 | #ライブラリの読み込み
2 | library(DBI)
3 | library(RPostgreSQL)
4 | library(ggplot2)
5 |
6 | #ディレクトリ設定
7 | setwd("C:/Users/W. Morioka/Desktop/result")
8 |
9 | #ピッチの読み込み
10 | pitch <- read.csv('./pitch2.csv', header=T, sep=",")
11 |
12 | #PostgreSQLに接続
13 | con <- dbConnect(PostgreSQL(), host="localhost", port=5434, user="postgres", password="okayama2", dbname="
    h280907_judgement_1st")
14 |
15 | #出力の対象時間リスト作成
16 | time <- c(dbGetQuery(con, "SELECT Distinct time FROM passable_area_fst_161108"))
17 |
18 | #リスト内の対象時間が終わるまで繰り返し処理
19 | for (i in time) {
20 |
21 |   #パス可能エリア, 選手位置, ボール位置, 次イベント位置の読み込み
22 |   dataset <- dbGetQuery(con, sprintf("SELECT x, y FROM passable_area_all_florida WHERE time=%.1f", i))
23 |   event <- dbGetQuery(con, sprintf("SELECT xposorigin, yposorigin FROM event_1st WHERE time_o =%.1f AND
    segmentid = 0", i))
24 |   event2 <- dbGetQuery(con, sprintf("SELECT xposdest, yposdest, fixture FROM event_1st WHERE time_o =%.1f AND
    segmentid = 0", i))
25 |   player <- dbGetQuery(con, sprintf("SELECT clubname, pitchxpos, pitchypos FROM player WHERE time_o = %.1f", i)
    )
26 |
27 |   #グラフの表示設定 (範囲, 凡例, 軸など)
28 |   gp = ggplot(pitch, aes(x=x, y=y)) + xlim(-60, 60) + ylim(-36, 36) +
29 |     labs(title =sprintf("前半 %d分%.1f秒", i/%60, i%60), x="守備←←攻撃", y="守備ゴール", colour="チーム名
    ") +
30 |     theme(plot.title= element_text(size=18, face="bold", lineheight=1.2),
31 |           axis.text =element_text(size=12), axis.title=element_text(size=16, face="bold"),
32 |           legend.title =element_text(size=12), legend.text =element_text(size=12),
33 |           legend.position = "top"
34 |     )
35 |   #パス可能エリア, 選手位置, ボール位置, 次イベント位置をプロット
36 |   save <- gp + geom_polygon(aes(group = Id), color="darkgreen", size=1, fill=NA) +
37 |     geom_point(data=dataset, aes(x=x, y=y), shape=15, size=2.5, colour = "#ffc040", alpha = 0.3) +
38 |     geom_point(data = player, aes(x = pitchxpos, y = pitchypos, color = clubname), shape=19, size = 4) +
39 |     geom_point(data = event, aes(x = xposorigin, y = yposorigin), colour = "#ffffff", shape=20, size = 4) +
40 |     geom_point(data = event2, aes(x = xposdest, y = yposdest), colour= "black", shape=10, size = 3, stroke =
    1)
41 |   print(save)
42 |   ggsave(file =sprintf("%.1f.png", i), plot = save, dpi = 200, width =8.5, height = 6)
43 | }
```

### ③ シュート選択確率を求めるロジスティック回帰分析のコード (R)

```
1 | #ロジスティック回帰分析のパラメータ入力
2 | result =glm (probability ~ st_distance + sin, data = logistic_source, family = binomial(link="logit"))
3 | #結果(要約統計量)の出力
4 | summary(result)
5 | #各地点のシュート選択確率を表示
6 | fitted(result)
7 | #疑似決定係数を計算する
8 | install.packages("BaylorEdPsych")
9 | library(BaylorEdPsych)
10 | PseudoR2(result)
11 | step(result)
```