

氏名	村井聡紀
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第162号
学位授与の日付	令和6年3月22日
学位論文の題目	サッカーにおけるトランジションの評価のための位置情報解析
学位審査委員会	主査 綾部 誠也 副査 齋藤 誠二 副査 石井 裕

学位論文内容の要旨

サッカーにおける位置情報取得システムは、現代サッカーの戦術分析にとって重要なツールである。サッカー選手の位置情報による戦術分析は、サッカーのパフォーマンスを可視化する手段として、長年にわたって取り組まれてきた。コンピュータが開発されていない時代の最初のアプローチは、ペンと紙を使用した筆記法であった。1980年代後半から1990年代前半にかけて、情報技術の発展に伴い、コンピュータを用いた戦術分析は行われるようになった。1990年後半以降、選手の位置情報は、複数カメラで分割撮影した映像を用いた方法やDLT法による複数カメラの視点を組み合わせた方法といった光学式システムで抽出できるようになった。2015年には、光学式システムに加えてサッカーの公式試合で、Global Positioning System (GPS) は使用できるようになった。2017年に、国際サッカー連盟 (Fédération Internationale de Football Association; FIFA) は、サッカーにおける位置情報取得システムを Electronic Performance and Tracking Systems (EPTS) と総称し、光学式システム、GPS、Local Positioning System (LPS) と分類した。

FIFAは、4年に一度のW杯に合わせ、最新のテクノロジーを用いた試合分析に関する手法や情報を提供してきた。2018年のロシアW杯では、撮影映像を解析し、走行速度や距離、パスやシュート等のイベントをリアルタイムで測定できる光学式システム「TRACAB®」を採用した。FIFAは、各出場国に対してタブレット端末1台を監督やベンチスタッフに、もう1台をスタンドにいるデータアナリストに提供した。タブレット端末は、試合中にリアルタイムで更新されるEPTSのデータを確認でき、データアナリストは、端末上でデータ分析し、グラフ化等の可視化処理を行い、試合采配の判断材料として、その情報をベンチのもう1台に送信することができた。また、2022年のカタールW杯では、Enhanced football intelligence (EFI)として、サッカーの試合分析の将来を示す項目とされる11の評価基準を提案した。これらの項目のうち、Forced turnoversは、守備チームに対する守備の指標であり、攻撃チームがボールを失った瞬

間、つまり守備チームがボール奪取した瞬間を指す。サッカー用語としては、相手チームからボールを奪い、守備から攻撃の切り替えを行う事象をトランジションと呼ぶ。

先行研究において、トランジションは、選手の位置情報による分析からボールを失った後に素早く、直接的かつ相手自陣でボール奪取した際に得点につながる事が明らかにされている。さらに、直接的なボール奪取は、相手チームのボール保持後、0秒から15秒で起こる可能性が高いことが示されている。また、相手ゴールの近くでのトランジションの成功は、得点の可能性が高くなる事が明らかになっている。これらの先行研究は、トランジションまでの時間やトランジションが起きた場所による分析であり、トランジション時点の10人の選手の位置情報を考慮した分析は行われていない。つまり、トランジションが成立するための守備行動の要因は、明らかになっておらず、守備行動の戦術的プレーの研究課題である。

本研究では、サッカーのトランジションの成立における守備行動の戦術的プレーの説明要因を明らかにすることを目的に、ボール奪取時の選手の位置情報を分析した。サッカーの守備局面の目的は、自陣ゴールを守り、ボール奪取することである。守備チームは、コンパクトなチーム編成を実現すること、攻撃チームに対してプレッシャーをかけることが重要とされる。守備行動は、その開始地点やボール奪取地点でチーム間に有意差があることが明らかにされてきた。ボール奪取時の選手の位置情報から算出される指標は、守備行動の戦術達成や試合結果に貢献する可能性を示唆されている。守備行動の分析は、本来、ボール奪取時の瞬間的なポイントの分析だけでなく、守備行動の時系列分析も必要である。現代サッカーでは、プロレベルの公式試合から大量のデータが入手可能であり、従来の分析方法と比較して、EPTSは、時間を節約し、より細かな試合分析が可能である。今後は、EPTSで得られた選手の位置情報やイベントデータを用いた迅速かつ詳細な分析による誰もが理解できる実践に即した可視化が求められている。

本論文は、全5章により構成されている。第2章では、プロサッカーの公式試合において、プレー局面とプレーエリアが10人の選手で構成されるチーム凸面積に与える影響を明らかにすることを目的とした。チーム凸面積は、プレー局面だけでなく、プレーエリアにも関連しているという仮説を検証した。その結果、チーム凸面積は、プレー局面とプレーエリアの間に有意な相互作用が示された。第3章では、ボール奪取時の選手の位置情報からトランジションを成立させる要因を明らかにすることを目的とした。算出したボール奪取時の位置情報指標は、トランジションの成立時と不成立時で比較した結果、成立時のチーム表面積は、不成立時よりも有意に大きかった。また、成立時は、不成立時に比して、チーム最前線と最後尾の位置は有意に高く、チーム横幅は有意に長く、チーム最左側は有意に短かった。さらに、決定木分析の結果、チーム最後尾の位置は、トランジションの成立の説明要因として、基準変数に採択され、この分割ステップで、ボール奪取時のチーム最後尾の位置が45.2mより高いとトランジションの成立率が高いことが明らかになった。本研究のオリジナルの知見は、これまでのボールを失っ

た後の素早いボール奪取，直接的なボール奪取，より相手ゴールに近い位置でのボール奪取に加えて，ボール奪取時のチーム最後尾の位置がトランジションを成立させる要因であることを初めて明らかにしたことである。

第4章では，同様の手法を用いて，守備最終局面として，ボール奪取時の3秒前から選手の位置情報からトランジションを成立させる要因を明らかにすることを目的とした。トランジションの成立時と不成立時における3秒前，2秒前，1秒前およびボール奪取時の選手の位置情報を分析した。チーム凸面積，チーム縦幅，チーム最前線，チーム最後尾，チーム横幅は，すべての時点で，成立時に比して不成立時の方が有意に低かった。また，決定木分析の結果，ボール奪取の3秒前のチーム最後尾の位置は，トランジションの成立要因として，基準変数に採択され，この分割ステップで，チーム最後尾の位置が46.4 mより高いとトランジションの成立率が高いことが明らかになった。さらに，トランジション成立時と不成立時におけるボール奪取時と3秒前，2秒前，1秒前の位置情報指標との変化量を比較した。チーム最左側の位置の変化量は，すべての時点で，成立時に比して不成立時の方が有意に小さかった。また，決定木分析の結果，ボール奪取の3秒前のチーム最右側の位置の変化量は，トランジションの成立要因として，基準変数に採択され，この分割ステップで，チーム最右側の位置の変化量が3.4 mより長いとトランジションの成立率が高いことが明らかになった。これらの結果から，守備最終局面の位置情報指標の値とその変化量は，トランジションを成立させる説明要因となり得ることを示唆した。第5章では，終章として本研究をまとめている。

本研究は，GPSで得られた選手の位置情報から算出した指標に基づき，ボール奪取時および守備最終局面の選手の動きを定量化し，トランジションを成立させる要因を明らかにした。本研究の新規性は，J2リーグ公式戦20試合について，GPSから得られる選手の位置情報と映像の解析により，トランジションの成立に貢献するボール奪取時と守備最終局面の守備行動の特徴について，プロサッカー選手を対象に初めて明らかにしたことである。本研究を含むサッカーの試合中のデータは，競技力や試合レベルにより異なる。すなわち，本研究がプロサッカー選手の公式試合のデータに基づくことは，本研究の強みである。このような貴重なデータの解析により得られた結果は，データの普遍性が高く，サッカーの現場に活用できる可能性がある。また，スポーツにおけるビッグデータへの工学的・統計的なアプローチは，スポーツ界を盛り上げ，専門家やアナリストへの戦術分析やトレーニングに貢献することが期待される。

主業績

No.1	
論文題目	サッカーのボール奪取時のトランジション成立に対するチーム位置情報の貢献 (Jリーグプロサッカー選手の公式戦の解析)
著者名	村井聡紀, 綾部誠也, 大山剛史, 三谷海人, 熊原秀晃, 角南俊介, 石崎聡之
発表誌名	日本機械学会論文集 2023, Vol.89, No.927

副業績

No.1	
論文題目	
著者名	
発表誌名	
No.2	
論文題目	
著者名	
発表誌名	

関連業績

No.1	
論文題目	プロサッカーの試合でのプレー状況とプレーエリアで区分したフィールドプレーヤーの表面積の解析
著者名	村井聡紀, 綾部誠也, 鴨生大樹, 石崎聡之
発表誌名	日本機械学会シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス講演論文集, 2021 巻, B-3-1
No.2	
論文題目	サッカーの攻撃に繋げるボール奪取のための守備最終局面の位置情報の解析
著者名	村井聡紀, 綾部誠也, 大山剛史, 三谷海人, 荻野心, 熊原秀晃, 角南俊介, 石崎聡之
発表誌名	日本機械学会シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス講演論文集, 2023 巻, B-5-2

論文審査結果の要旨

本論文は、プロサッカーの公式戦のデータを用いて、トラジションに貢献する位置情報要因を分析したものである。サッカーの守備局面の目的は、自陣ゴールを守り、ボール奪取することである。守備チームは、コンパクトなチーム編成を実現すること、攻撃チームに対してプレッシャーをかけることが重要とされる。守備行動の分析は、本来、ボール奪取時の瞬間的なポイントの分析だけでなく、守備行動の時系列分析も必要である。現代サッカーでは、プロレベルの公式試合から大量のデータが入手可能であり、従来の分析方法と比較して、より細かな試合分析が可能になった。本研究は、これまでに明らかにされていなかったトラジション局面での位置情報について分析したものであり、得られた成果は次の通りである。

1. プロサッカーの公式試合において、プレー局面とプレーエリアが 10 人の選手で構成されるチーム凸面積に与える影響を明らかにすることを目的とした。その結果、チーム凸面積は、プレー局面とプレーエリアの間に有意な交互作用が示された。
2. ボール奪取時の選手の位置情報からトランジションを成立させる要因を分析した。その結果、チーム最後尾の位置が、トランジション成立の説明要因として、基準変数に採択され、この分割ステップで、ボール奪取時のチーム最後尾の位置が 45.2 m より高いとトランジション成立率が高いことを明らかにした。
3. 守備最終局面として、ボール奪取時の 3 秒前からの選手の位置情報からトランジションを成立させる要因を分析した。トランジションの成立時と不成立時における 3 秒前、2 秒前、1 秒前およびボール奪取時の選手の位置情報を分析した。その結果、ボール奪取の 3 秒前のチーム最後尾の位置は、トランジションの成立要因として、基準変数に採択され、この分割ステップで、チーム最後尾の位置が 46.4 m より高いとトランジション成立率が高いことを明らかにした。

本研究は、これらの 3 つの研究成果により、サッカーのトランジション成立における守備行動の戦術的プレーの説明要因を示した。従来の研究で得られた走行距離や速度に加えて、凸面積や重心がその指標としての有効性を示したことが本研究の特徴である。

以上の結果より、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。