

2026年5月28日

国立大学法人筑波大学

～サッカー分析が「経験に基づく」から「構造の変化として定量的に説明できるもの」へと進化～

## AIによるサッカー戦況分析装置の発明、特許出願について

～AI研究者と蹴球部アナリスト、両者のナレッジが融合～

国立大学法人筑波大学（所在地：茨城県つくば市、学長：永田恭介、以下「筑波大学」）人工知能科学センター/システム情報系教授 福井和広と、筑波大学大学院 システム情報工学研究群 情報理工学位プログラム 1年 中村悠紀は、この度、AIによるサッカー戦況分析装置を発明し5月26日に特許出願しましたので、その内容につきまして、お知らせいたします。

今回の発明は、システム情報系教授 福井和広が10年以上に亘り、人工知能科学センター等において取り組んできた数理基盤(高次元空間の部分空間表現に基づくデータ構造・時系列解析)に基づいております。また一方で情報理工学位プログラム 1年 中村悠紀は、筑波大学在学中は情報科学類で学ぶ傍ら蹴球部に所属し、アナリストとして戦術解析に取り組んでおりました。両者のナレッジが融合する形で今回の発明へと至りました。

### 【要旨】

- ・ 福井教授が10年以上に亘り人工知能科学センター等で取り組んできた数理基盤(高次元空間の部分空間表現に基づくデータ構造・時系列解析)に基づく一方、中村さんが情報科学類で学ぶ傍ら蹴球部に所属しアナリストとして戦術解析に取り組んだ、両者のナレッジが融合する形で今回の発明に至る。
- ・ これまでのサッカーの戦術分析において、チーム全体のフォーメーションがどのように変化しているかの評価は、基本的にコーチやアナリストの「目」と「経験」によって行われており、客観的な指標として定量化することが難しいという課題があった。今回のようなAI・数理的な手法では、選手の配置を単なる点の集合としてではなく「フォーメーションという一つの形」として捉えている点が大きな特徴で、「戦術的に重要な構造変化」と「そうでない変化」を切り分けて捉えることができる。さらに、「どの選手がその変化を引き起こしたのか」を定量的に示すことができ、これまで難しかった「キープレイヤーの特定」や「プレーフェーズの理解」が可能となる。
- ・ このような技術が実用化されることで、試合中に起きた戦術的な変化やその背景を、客観的かつ構造的に説明できるようになり、サッカーの見方自体が大きく変わる可能性がある。一言で言えば、これまでのサッカー戦術分析が「経験に基づいて読み取るもの」であったのに対して、これからは「構造の変化として定量的に説明できるもの」へと進化していく。

## ■背景・ねらい

サッカーの場合、選手やボールの位置が時々刻々と変化し、各ハーフ 45 分の連続した時間軸も加わるため、データ量が非常に多くアナログ的になります。このため、これまでのサッカーの戦術分析においては、チーム全体のフォーメーションがどのように変化しているのかの評価は、基本的にコーチやアナリストの「目」と「経験」によって行われてきました。こうした分析は非常に本質を捉えている一方で、どうしても主観に依存する部分があり、客観的な指標として定量化することが難しいという課題がありました。

一方で、近年はトラッキングデータ等の普及により、データを用いた分析も進んできています。ただし、その多くは個々のプレーやイベントを認識するタスクが中心でした。しかし実際の現場では、個々のアクションそのものよりも、「チーム全体としてどのような状態にあるのか」、つまり攻撃なのか守備なのか、あるいはトランジションなのかといった全体の構造を評価することがより重要になります。この点において、従来のアクションベースの分析だけでは十分とは言えませんでした。

今回のような数理的な手法では、これまでとは異なり、選手の配置を単なる点の集合としてではなく「フォーメーションという一つの構造」として捉えている点が大きな特徴です。11 人の選手の位置関係全体を一つの構造として見なし、高次元空間におけるフォーメーション部分空間として表現します。その構造が時間とともにどのように変化しているかを、差分部分空間（参考文献(1)-(3)）を用いて速度、加速度、変動の滑らかさの観点で解析することで、試合の流れをより本質的に理解しようとしています。

このアプローチの重要な点は、変化の中身を意味的に分解できることにあります。例えば、チーム全体がそのまま横にスライドしているだけの変化と、特定の選手がラインを越えてフォーメーションを崩すような変化とでは、戦術的な意味は大きく異なります。従来の距離や位置ベースの指標ではこれらを区別することが難しかったのに対して、この手法では「戦術的に重要な構造変化」と「そうでない変化」を切り分けて捉えることができます。

さらに、この手法の大きな価値は、「どの選手がその変化を引き起こしたのか」を定量的に示せる点にあります。フォーメーションが大きく変動したときに、どの選手の動きがその変化に最も寄与しているのかを数値として可視化することができるため、これまで難しかった「キープレイヤーの特定」や「プレーフェーズの理解」を支援できます。

このような技術が実用化されることで、サッカーの見方自体が大きく変わる可能性があります。これまででは感覚的な理解に頼る部分が大きかったのに対して、今後は「今は攻撃フェーズに入っている」「この選手がフォーメーションを崩している」といったように、試合の状況やその原因を客観的かつ構造的に説明できるようになります。

一言で言えば、これまでのサッカー分析が「経験に基づいて読み取るもの」だったのに対して、これからは「構造の変化として定量的に説明できるもの」へと進化していくということです。

## ■ AI によるサッカー戦況分析装置の概要

### <技術内容>

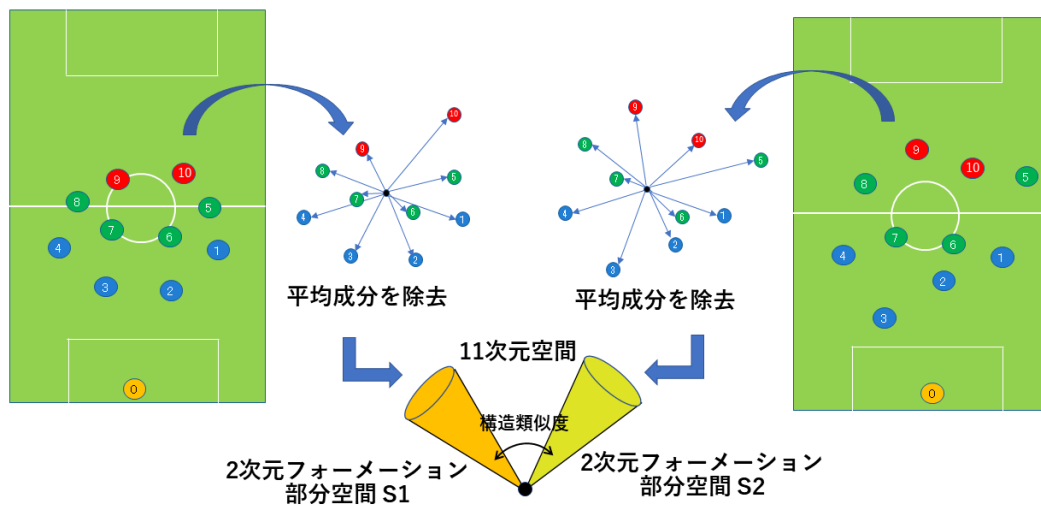
選手陣形を高次元ベクトル空間内の部分空間(フォーメーション部分空間)で表し、その変動の速度と加速度を 1 階/2 階の差分部分空間でそれぞれ測り、さらに変動の滑らかさをも評価することで、陣形

の時間変動を定量的かつ精密に把握する手段を備える。

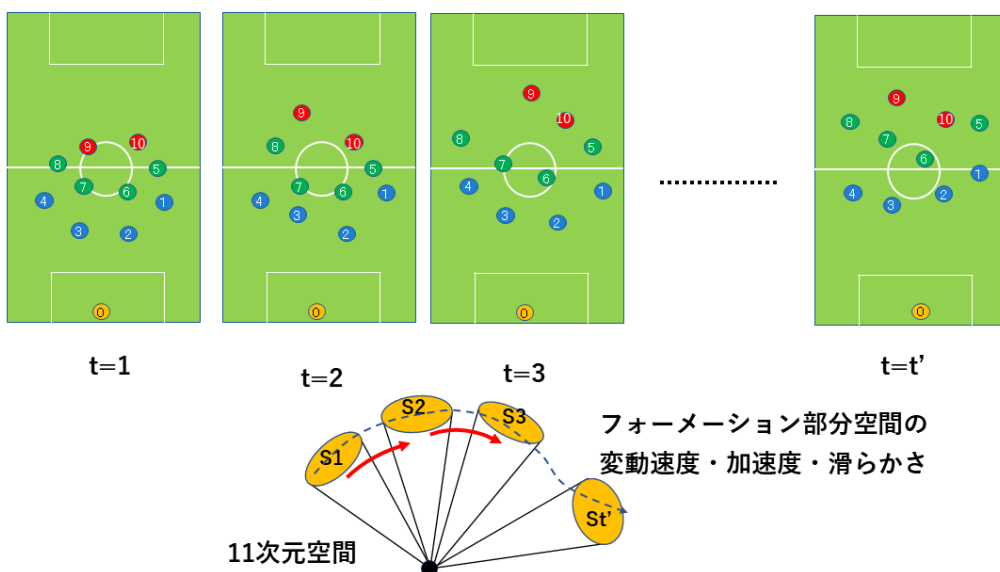
- ・ 集団競技においてチーム全体あるいは一部の選手のフォーメーション形状を高次元ベクトル空間のフォーメーション部分空間で表現する技術
- ・ フォーメーション部分空間の時間変動(速度と加速度)を差分部分空間で測ることで、チーム戦況を定量化、可視化する技術
- ・ フォーメーション部分空間の時間変動の滑らかさを測地線への射影に基づいて定量化する技術
- ・ フォーメーション変動に対する各選手の影響度を算出する技術
- ・ 上記技術を用いてサッカー戦況を多角的に分析する技術

<数理基盤：高次元空間の部分空間表現に基づくデータ構造・時系列解析>

フォーメーション部分空間の構造類似度

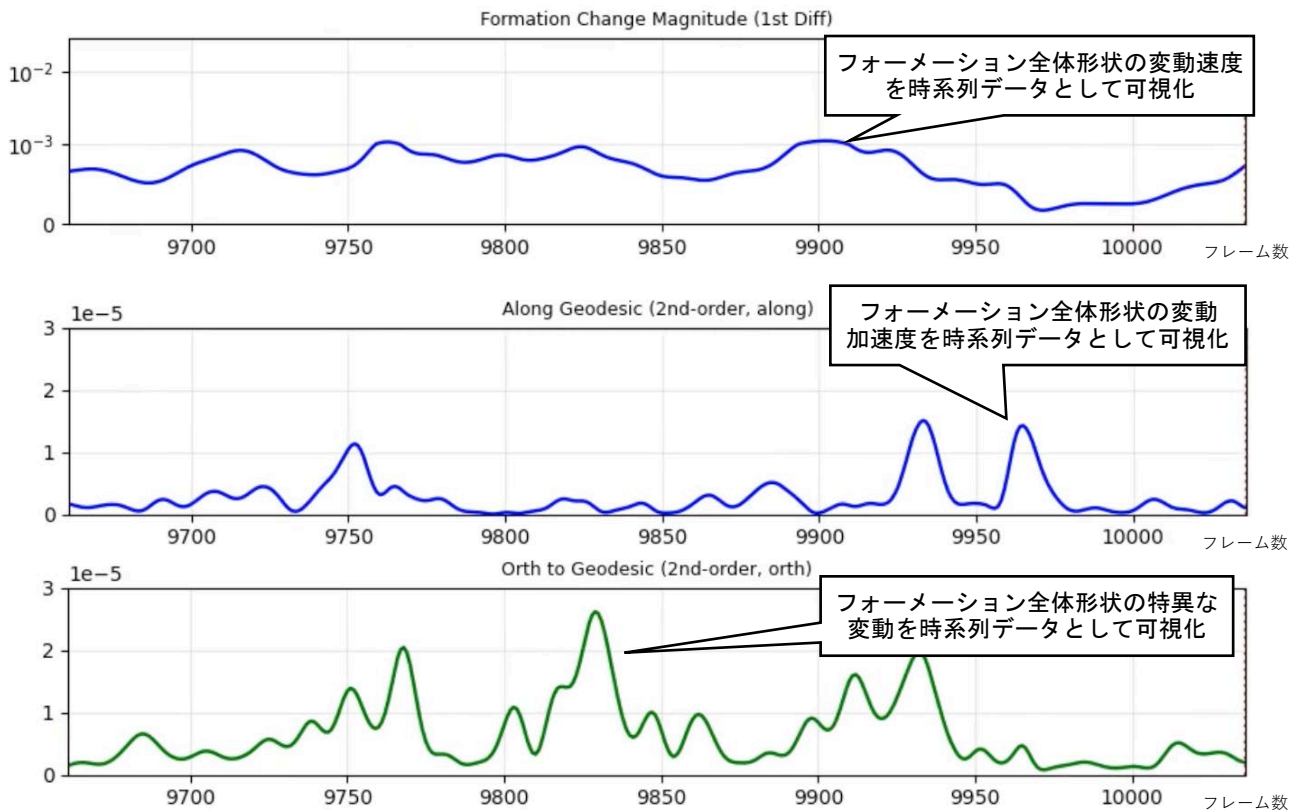


フォーメーション部分空間の時系列解析



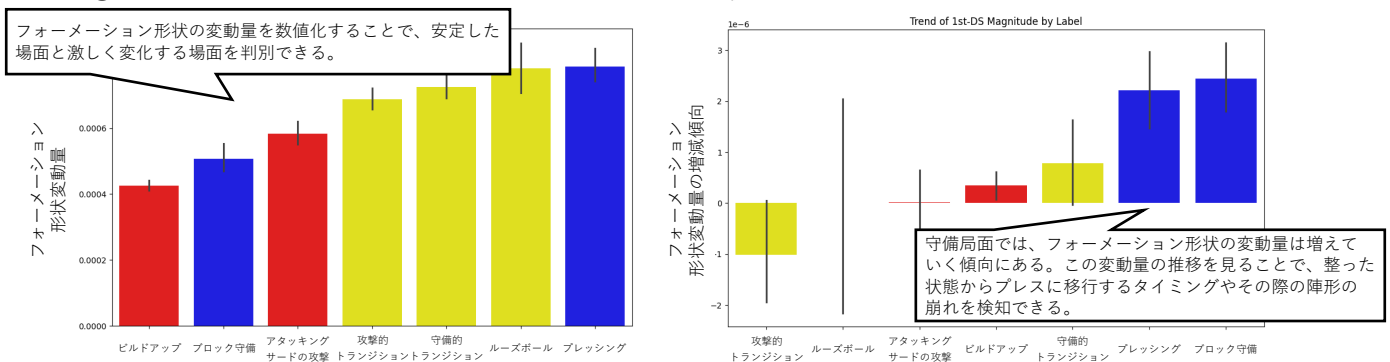
<解析手法と得られる結果>

① フォーメーション形状の変動量：上から速度、加速度(滑らかな成分)、加速度(特異な成分)

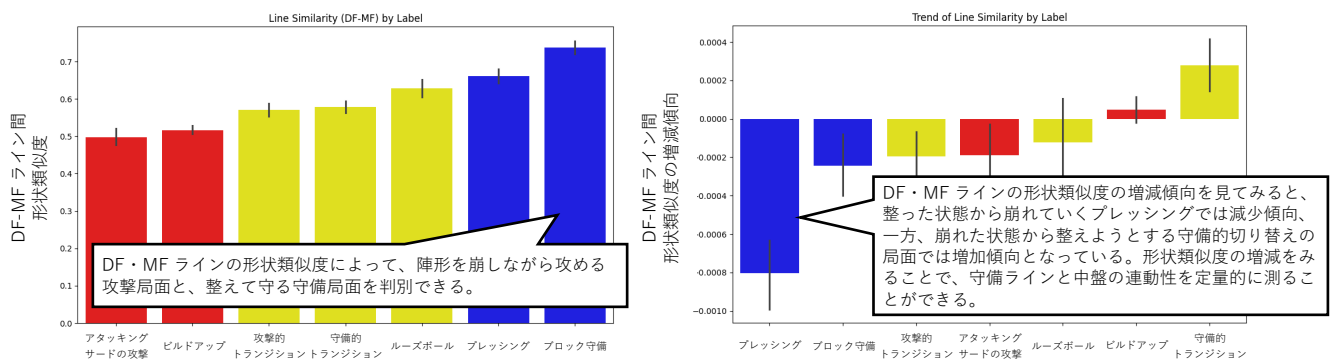


② 各プレーフェーズにおけるフォーメーション形状の変動量

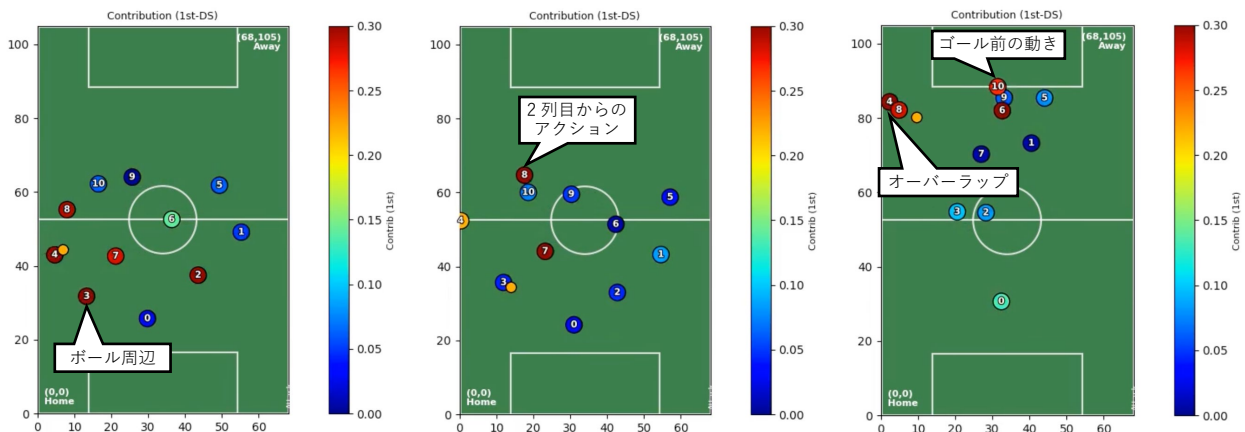
赤：攻撃、青：守備、黄：切り替え



③ 各プレーフェーズにおけるDF-MFライン間の形状類似度



④ フォーマーション形状変動に各選手の動きがどの程度影響したかをヒートマップ表示



■ 数理基盤(高次元空間の部分空間表現に基づくデータ構造・時系列解析)の参考文献

(1) K. Fukui, Pedro H.V. Valois, Lincon Souza, Takumi Kobayashi, "Second-order difference subspace", arXiv:2409.08563, 2024.

(2) K. Fukui, N. Sogi, T. Kobayashi, J. -H. Xue and A. Maki, "Discriminant Feature Extraction by Generalized Difference Subspace," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 45, no. 2, pp. 1618-1635, 1 Feb. 2023. (AI分野の最難関ジャーナル)

(3) K. Fukui and A. Maki, "Difference Subspace and Its Generalization for Subspace-Based Methods," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 37, no. 11, pp. 2164-2177, 1 Nov. 2015. (AI分野の最難関ジャーナル)

■ 今後の展開について

今後は、Jリーグをはじめとした国内外のプロサッカーチームに対する提案を進めるとともに、スポーツデータ分析、映像解析、スポーツテック分野に関心を持つ企業との連携を通じて、社会実装に向けた展開を図っていく予定です。

【本件お問い合わせ先】

筑波大学広報局報道担当

茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail : kohositu@un.tsukuba.ac.jp