©NSCA JAPAN
Volume 30, Number 8, pages 5-13

特集 feature

サッカー現場におけるデータ分析 ～GPSとトラッキングシステムを活用して～

田村 達也, Ph.D., 京都産業大学 現代社会学部 健康スポーツ社会学科 准教授, JFA A級コーチジェネラル（日本スポーツ協会公認コーチ4）

1. サッカーにおけるテクノロジー活用の変遷

サッカーにおける戦略・戦術は固定化されたものではなく、常に課題を改善し、発展し続けるものであり、特に4年に一度開催されるFIFAワールドカップを節目に、サッカーの戦略・戦術のトレンドは変化してきている(24)。この傾向は戦略・戦術に限った話ではなく、テクノロジーの観点からも同様のことがいえる。例えば、2018 FIFAワールドカップでは、審判員補助技術（Video Assistant Referee：VAR）が初めて導入され、これまで見逃されていた「重大な誤審」の課題に踏み込んだ(10)。このVARの技術はサッカーだけでなく、ラグビーやテニスの競技でも採用されている。さらに、2022 FIFAワールドカップでは、半自動オフサイド技術（Semi- Automated Offside Technology：SAOT）が新しく導入され、VAR同様、審判判定支援はもちろん、3次元のトラッキングデータを基にプレーをCGで再現するため、エンターテインメント性を伴ったサッカーの魅力も実現している(8)。これらのテクノロジーはより正確な判定を可能にし、ゲームの公平性を高めたといえる。

一方、サッカーのパフォーマンスの観点からもテクノロジーは大きな変革をもたらし、その代表といえるテクノロジーが、ボールおよび選手のトラッキング技術である。サッカーにおけるトラッキングは、ボールおよび選手の動き（位置情報）を観察あるいは追跡することである。サッカーは22人の選手が1つのボールを用いて競技するスポーツで、105×68mのフィールド内に22人の選手が混在するため、1試合を通して個人単位ではもちろん、グループあるいはチーム単位で正確にトラッキングすることは容易ではない。トラッキングは、映像を見ながら手作業で可能なかぎり正確にボールや選手の位置を記述する手法である、記述分析法**（図1）**が長らく主流であった(15,31,32)。その後、映像をコンピュータで処理して行なう手法、三角測量法を用いた手法など、数値を正確に測定できる映像を用いたトラッキング手法が主流となり、特にバイオメカニクスの手法を応用した2次元画像解析法（Direct Linear Transformation Method：DLT法）がしばしば用いられた**（図2）**(15,32)。しかしながら、DLT法に代表される映像を用いたトラッキ

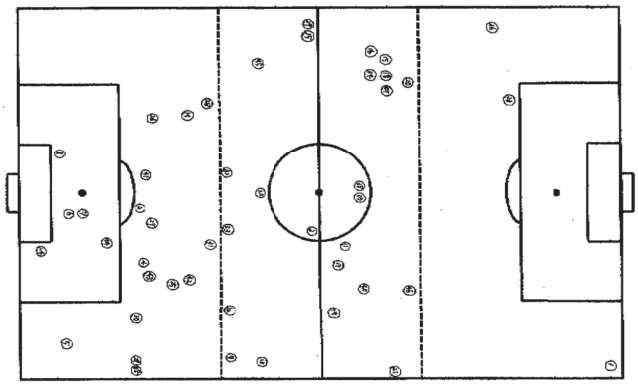

図1　手作業による記述分析法の例

ング手法は、ビデオカメラの設置や分析時に使用するコンピュータの価格などのハード面の制約と、対象選手一人ひとりの分析(デジタイズ作業)に費やす時間と労力が莫大にかかるなどのソフト面の問題により、実際のサッカー現場で即時フィードバックし、日常的に実践することは困難であった。そのため、分析対象が極端に少ないという問題も内在していた。2000年代に入ると、このソフト面の問題を劇的に改善したテクノロジーであるグローバル・ポジショニング・システム(Global Positioning System：GPS)が登場する。GPSは衛星から信号を受信することで、地球上の現在位置を認識するシステムであり、今日では自動車のナビゲーション機器やスマートフォンなどに広く用いられている。

GPSを用いた代表的な分析方法として、タイムモーション分析(Time Motion Analysis)が挙げられる**(図3)**。タイムモーション分析は元々、歩行、ジョギング、スプリントなどの項目に分けて回数や距離を計測するものであったが(23)、映像を用いたタイムモーション分析(DLT法など)では、映像に映っていない選手を分析できないことや計測者のスキルにその精度を依存することなどいくつかの問題があった。一方､GPSを用いたタイムモーション分析は、測定環境が屋外である制約や測定誤差の課題はあるが、ピッチ上における複数選手の位置変化をリアルタイムに把握することが可能であり、総移動距離、速度別の走運動の距離・回数がより簡便かつ正確に計測できる。また、2015年に国際サッカー連盟(Fédération Internationale de Football Association：FIFA)はGPS機器の試合での着用を認め、Jリーグでも2016年から試合での使用が許可された。試合とトレーニング間のデータ比較が可能となったことが、サッカー界で採用が多い要因でもある。

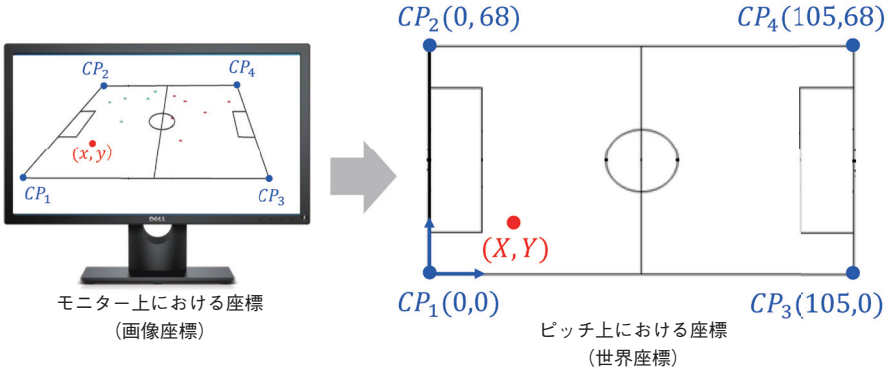

図2　2次元DLT法の例　※CPは計測空間内での位置が既知である計測点

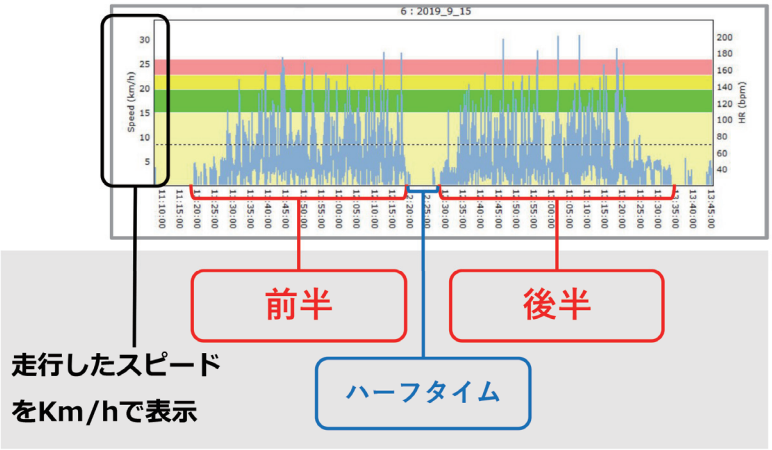

図3　GPSを用いたタイムモーション分析の例

映像を用いたトラッキングも画像処理技術の発展により、飛躍的に進化している。そのため、自動追尾システムによるトラッキング技術を活用したタイムモーション分析も行なわれている。本稿では、DLT法に代表される映像を用いたトラッキングと自動追尾システムによるトラッキングとを区別するため、後者をトラッキングシステムと呼ぶことにする。トラッキングシステムはスタジアムに複数の専用カメラを設置し、ピッチ全体を撮影することで、その映像からボールや選手の位置を特定し、トラッキングすることが可能である。収集できるデータはGPSを用いたタイムモーション分析とほとんど違いはないが、ボールの位置情報を取得できる点が唯一の違いである。また、トラッキングシステムは非侵襲的(選手にセンサーを取り付ける必要がない)である点が最大のメリットである一方、設備コストが膨大にかかることや設営環境に制限があることなど制約が多く、活用の幅は非常に限定的である。

ここまで、サッカーで活用されているテクノロジーを紹介しながら変遷について述べた。紹介したテクノロジー以外にも､ゴールライン・テクノロジーや動画収録AI(Artificial Intelligence：人口知能)カメラなどがあるが、サッカーのテクノロジーの変遷は、スポーツの公平性とパフォーマンス評価の大きく2つの観点から捉えられる。特に、後者はサッカーの競技レベルの発展に大きな影響を与え、そのテクノロジーは紛れもなくGPSとトラッキングシステムである。近年では、AI技術を用い

た試合や選手のパフォーマンス分析も行なわれており、テクノロジーを活用したデータ分析は進化し続けている。そこで本稿では、サッカーのパフォーマンス評価の観点から、GPSやトラッキングシステムを用いた活用事例や文献を基に、概説する。

2. GPSとトラッキングシステム

1) GPSとは？

GPSは元々アメリカで軍事用に開発されていた技術であったが、現在では多くの乗り物をはじめ、スマートフォンにも搭載されている。多くの人が身近で使用しているスマートフォンのほとんどは、サンプリング周波数が1Hzである。サンプリング周波数とは1秒間に計測されるデータ数のことで、「Hz（ヘルツ）」という単位で表される（14）。日常生活においては1Hzの機能で問題はないが、スポーツ現場においては加速・減速に加えて急激な方向転換が頻発し、これらの動きを正確に捉えることは困難である。そのため、スポーツ現場で使用されているGPS機器のサンプリング周波数は、通常10～15Hzに設定されている。精度に大きく影響する他の因子として、使用される衛星の数が挙げられる。GPSは正確にはアメリカが開発した衛星測位システムのことを指し、GPS以外にもロシアのGLONASS（グロナス）、ヨーロッパのGalileo（ガリレオ）、日本の準天頂衛星システム「みちびき」などの衛星測位システムがあり、これらを総称してGNSS（Global Navigation Satellite System）という。複数のGNSSを同時に活用できるシステムであれば、より高精度であると考えられる。日本ではGPS以外のシステムを併用している場合も広義にGPSと呼ぶことが多いため、本稿でもすべての衛星測位システムをGPSと呼ぶことにする（14）。

実際にサッカー現場で使用する場合には、GPS機器本体だけでなくソフトウェア機能（フィードバック機能）も非常に重要である。通常、試合あるいはトレーニング前に選手に専用ベストを装着させ、GPS機器本体を後背部のポケットに挿入する。試合あるいはトレーニング終了後、GPS機器を回収し、専用のステーション**（図4）**に設置後、解析を進めることになる。これまでは、ステーションを介したPC内で専用ソフトウェアを起動し、データ管理・解析を行なっていたが、最近の主流はWi-Fi経由でクラウドにデータ管理・解析する仕組みとなっており、「いつでも」「どこでも」Wi-Fi環境とPC（専用ソフトウェアのインストールが必要）があれば解析が可能である。ソフトウェアを用いた解析により、様々なデータ項目が出力可能であり、一般的な出力項目として、総移動距離、速度、加速度、速度別の走運動の距離・回数などが挙げられる。これらの項目は、チーム全体での分析よりも、選手個人のリテラシーを指標化することに留まっていることが多い（16）。

GPSは、VARやSAOTの技術などとは異なり、サッカー界の需要に答えるため、多くの国々で様々な種類の機器が開発され、活用されている（VARの技術は元々テニスの試合で使用されていた技術を応用したもので、ホークアイ［Hawk-Eye］が独占している）。なかでも、GPS機器で市場を牽引している会社にオーストラリアのCatapult（カタパルト）社がある。この会社のGPS機器は資金が潤沢なFCバイエルン・ミュンヘン、レアル・マドリードCFなどの世界的なビッグクラブやJリーグクラブ、さらにはブラジル代表などでも採用されている。しかし、Catapult社に代表される海外製のGPS機器は依然として高価であり、大学あるいは高校・ユース年代での活用は限定的である。最近では海外製よりも安価で、同等の精度を有する日本製のGPS機器（クロスセンシング社製）も登場しており**（図5）**、今後はプロクラブだけでなく、大学や高校・ユース年代での活用はもちろん、学校体育や地域スポーツなどでの普及も期待される。

2) トラッキングシステムとは？

トラッキングシステムは対象物体（選手やボール）をカメラで撮影し、画像処理により各対象物体の位置を特定する手法である（14）**（図6、7）**。映像を利用するため、サッカーなどのフィールドの広い競技にはあまり適さず、映像撮影には専用のカメラが必要であり、設備には膨大な費用がかかる。そのため、日本ではJ1リーグのみでト

図4　ステーション

図5　日本製GPS機器（クロスセンシング）

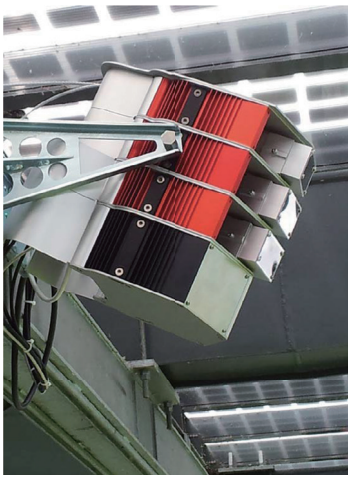

図6　トラッキングシステムに使用するカメラ（https://chyronhego.com/wp-content/uploads/2019/01/TRACAB-PI-sheet.pdfより引用）

図7　トラッキングシステムによる分析の例
（https://chyronhego.com/wp-content/uploads/2019/01/TRACAB-PI-sheet.pdfより引用）

ラッキングシステムが使用されており、その下位リーグに位置づけられるJ2、J3リーグでは使用されていない(5)。海外ではプレミアリーグ（イングランド）、リーガ・エスパニョーラ（スペイン）、ブンデスリーガ（ドイツ）などで使用されている。トラッキングシステムを提供している会社はいくつか存在するが、その代表にアメリカのChyronHego社のTRACAB（トラキャブ）が挙げられる(9)。TRACABのトラッキングシステムは2015年から日本のJ1リーグでも採用されている。また、GPSと同様、トラッキングシステムもソフトウェア機能を活用して、様々なデータ項目を出力することが可能である。例えば、リーガ・エスパニョーラではMediacoach、ブンデスリーガではVIS. TRACKの試合分析ソフトウェアを用いて、総移動距離などの身体活動のデータ項目を出力している。トラッキングシステムのサンプリング周波数は25Hzが大半であり、サンプリング周波数の視点から考えると、GPSよりも精度が高いといえる。しかし、利便性やフィードバックの即時性においては劣るため、サッカー現場ではGPSを用いたタイムモーション分析を行なっているのが実情である。

3）精度検証

GPSあるいはトラッキングシステムの精度検証については、海外ジャーナルを中心に多くの先行研究がある(19,28,29,30)。特に、サンプリング周波数の異なるGPSの精度を検証した先行研究が散見される。先述したとおり、サンプリング周波数が測定精度に影響しており、サンプリング周波数が大きいことが高い精度を得るための要因である可能性が示されている。Scottら(29)は、サンプリング周波数の異なるGPSを比較した研究をまとめ（レビュー）、1Hzと5HzのGPS機器では、高速度ランニング、方向転換を伴う短いランニングを正確に測定することは困難であり、10HzのGPS機器が最も有効かつ信頼性が高いと報告している。しかし、サンプリング周波数を15Hzに増加した場合の利点は見つからず、現状のところ10HzのGPS機器が最も信頼できるとも報告している。

GPSとトラッキングシステムとの精度検証について、Ponsら(28)は、GPSとトラッキングシステムの間で、移動距離（速度別の移動距離も含む）の一致率を比較したところ、総移動距離、低速度の移動距離（ウォーキング、ジョギング：0～12km/h）の変動は限りなく0（<5%）に近いが、高速度の移動距離（12km/h～）の変動は9～15%であり、トラッキングシステムのほうがわずかに過大評価していたと報告している。Makarら(19)も同様の検証を試みたところ、総移動距離では非常に強い相関（>0.7）を示したが、高速度の移動距離（19.8km/h～）ではやや強い相関（<0.6）、高速度ランニングの回数では相関（<0.4）は弱く、トラッキングシステムのほうがわずかに過大評価していたと報告している。測定方法間の不一致の原因については明らかになっていないが、トラッキングシステムのほうがGPSより過大評価している可能性が高く、その誤差は高速度の移動距離のほうが大きい傾向にある。GPSとトラッキングシステムの互換性について、他の測定方法とデータを比較する場合には慎重に検討していく必要があり、データ交換を可能にする予測式を求めるなどの調整が必要である。

最後に、異なるトラッキングシステムを対象に精度検証した先行研究も存在し、Tabernerら(30)はTRACABとPROZONE（TRACAB以前に使用されていたシステム）間で、総移動距離の一致率を比較したところ、完全な相関（>0.99）を示し、高速度の移動距離（19.8km/h～）でも強い相関（>0.7）が確認され、異なるトラッキングシステム間でも比較できることを報告している。しかし、スプリントの移動距離

（25.2 km/h ～）においては、PROZONEが過大評価する傾向があり、解釈に齟齬をきたす可能性がある。

3. GPSあるいはトラッキングシステムのサッカー現場での応用

サッカー現場でのGPSあるいはトラッキングシステムの活用は多岐にわたる。活用方法は、「試合中のパフォーマンス評価」、「コンディショニング把握」、「外傷・障害予防」、「ゲーム分析（戦術行動）への応用」の大きく4つに分類できると考える。本稿では、自らの専門領域を鑑み、「外傷・障害予防」以外の3つについて概観し、近年発表された文献を交えながら、より実践現場でのリアルな視点から提案する。

1）試合中のパフォーマンス評価

試合中のパフォーマンス評価にはタイムモーション分析を用いることが多い。タイムモーション分析を用いた身体的パフォーマンスの指標として、総移動距離、速度別の走運動（高速度ランニング・スプリント）の距離・回数、最大・平均速度等を提示することが一般的である**（表）**。サッカーでは試合中の総移動距離、つまり「試合中にどれだけの運動量でプレーできているか」の量も重要であるが、その総移動距離の中身、つまり「どれだけ速い速度や高い強度（インテンシティ）でプレーできているか、持続できているか」という質の部分も非常に大切である。そのため、総移動距離のみで試合中のパフォーマンスを評価するのではなく、速度別の走運動の距離・回数を指標にすることが多い。具体的には、高速度ランニングの移動距離・回数（19.8 ～ 25.1 km/h あるいは21.0 km/h以上）とスプリントの移動距離・回数（24 km/hあるいは25.1 km/h以上）である。さらに、総移動距離に占める速度別の移動距離の割合を指標にすることも増えてきている。例えば、高速度ランニングの内訳を強度として割合で表示する％HIR（ハイインテンシティレシオ：高速度ランニングの距離÷総移動距離×100）は、クロスセンシング社が独自に設定している指標であり、より選手の適正評価に役立つという理由から、指標として提示されている。

試合中のパフォーマンスに関連する先行研究は、ヨーロッパの主要リーグを対象にトラッキングシステムを用いて行なわれており、Barnesら（2）は、プレミアリーグの7シーズン（2006-07 ～ 2012-13）にわたる身体的・技術的パフォーマンスを調査し、総移動距離はわずか2％の上昇に留まる一方、高速度ランニングの距離と回数は30％、スプリントの距離と回数は35％とそれぞれ著しく上昇していたと報告しており、より強度の高い身体的パフォーマンスが求められていることを示している。また、Lago-Peñasら（17）は、リーガ・エスパニョーラの8シーズン（2012-13 ～ 2019-2020）の身体的・技術的パフォーマンスを調査し、総移動距離は3.2％減少した一方、高速度ランニング距離と回数はそれぞれ8.0 ～ 9.5％と9.2 ～ 14.6％と上昇していたと報告しており、プレミアリーグと同様の傾向を示している。つまり、試合中のパフォーマンス評価指標としては総移動距離だけではなく、高速度ランニングとスプリントを用いることが学術的なエビデンスからも適当であると示唆されている。さらに、選手個人のリテラシーだけではなくチームを対象とした検討もなされている（16）。日本サッカー協会（Japan Football Association：JFA）（26）は直近の2022 FIFAワールドカップにおいて、トラッキングデータを基に、ランキング下位チームがランキング上位チームに勝利する条件について検討し、Zone 4（20 ～ 25 km/h）での移動距離とZone 5（25 km/h＜）での移動距離の差分が勝敗に影響していたと報告している。つまり、ランキング上位のチームに対して、高速度域で

表　タイムモーション分析の指標

一般的な測定値	定義
総移動距離（m、km）	プレー時間内に移動した距離の合計
平均移動距離（m/s）	1分当たりの移動距離。総移動距離／プレー時間で算出
平均速度（km/h、m/s）	プレー時間あたりの速度の平均値
最大速度（km/h、m/s）	全ての速度の最大値
速度別の移動距離（m、km）	5.4 km/h、12.6 km/h、18 km/h、23.4 km/h、28.8 km/hを閾値とした移動距離の積算 ※種目、性別、年齢、競技レベルに応じて自由に設定可能
高速度ランニングの距離（m）	約20 ～ 25 km/hで走行した移動距離の積算
スプリントの距離（m）	約24 ～ 25 km/h以上で走行した移動距離の積算
スプリントの回数（回）	約24 ～ 25 km/h以上を1秒以上連続した回数
%HIR（High Intensity Ratio）	高負荷状態の走行割合。高速度ランニングの距離／総移動距離×100で算出
加速回数（回）	加速度が2.5 m/s^{2}を超過した回数
減速回数（回）	加速度が－2.5 m/s^{2}を超過した回数
インパクト 衝撃・衝突回数（回）	衝撃の大きさを、G（重力加速度）の単位で表したもの。相手にぶつかった時、転んだ時に検知。
前後バランス（degree）	デバイスの姿勢の角度
左右バランス（degree）	デバイスの姿勢の角度
心拍数（bpm）	1秒間隔で算出。外部センサー仕様（Polar Verity Sense など）に依存

のランニングパフォーマンスをチーム全体として発揮できる能力が必要であったことを示している。

GPSを用いたタイムモーション分析について、国内のジャーナルにおける報告は非常に少ない。唯一、向本ら(21)は関東大学サッカーリーグ1部に所属するチームの選手を対象に、総移動距離、速度別の移動距離等の身体的パフォーマンスを詳細に明示している。さらに、ポジション間の身体的パフォーマンスの違いも検討し、大学トップレベルでは、ディフェンダー(DF)に比べ、ミッドフィルダー(MF)およびフォワード(FW)のほうが試合中の総移動距離が長かったと報告している。また、ポジション間の身体的パフォーマンスの差異を検討した先行研究は国外で散見され(3,7,21)、Borghiら(3)は、U19エリートサッカー選手を対象に、ポジション間の身体的パフォーマンスの差異を検討し、Full Back(フルバック)とWingers(ウイング)の高速度ランニング距離とスプリント回数の値が高かったと報告し、また、Di Salvoら(7)は、プレミアリーグやUEFAチャンピオンズリーグの試合に出場した300人を対象に同様の検討を試み、MFはDFやFWと比べ、総移動距離が長かったと報告している。これらの研究成果は競技レベル、年代、システムなどが統一されていなかったため、結果は異なっていた。しかし、ポジション別に求められる身体的パフォーマンスが異なることは明白であり、選手のポジションに応じた個別のトレーニングプログラムを開発する必要があることを示唆している。

試合中のパフォーマンス評価については、まだまだ国内での報告が少ないのが現状である。Jリーグはもちろん、その下のカテゴリーである大学生年代、ユースやジュニアユース年代において、データが蓄積されていくことを期待したい。

2)コンディショニング把握

サッカーにおいて試合で優れたパフォーマンスを発揮するためには、適切な負荷でトレーニングを継続して行なう必要がある。トレーニング内容は主に指導者によって決定されるため、選手が行なったトレーニングの負荷が指導者によって計画されたトレーニングの負荷にどの程度対応しているかを把握できれば、より優れたパフォーマンスを試合で発揮できるだろう。しかしながら、Brinkら(4)は、オランダのトップレベルのユース選手とそのコーチを対象に、コーチが処方するトレーニングにおいて、コーチが意図したRPE(Rate of perceived exertion：主観的運動強度)と選手が実際に行なったトレーニングのRPEの関連を調査した結果、関連が弱かったと報告している。つまり、エリート選手を指導する熟練したコーチでさえ、意図したトレーニングの負荷が必ずしも選手に与えられていない可能性を示唆している。この問題を解決するために、GPSを用いることでトレーニング中の負荷を客観的に把握することが可能になり、指導者が従来よりも客観的かつ高精度でトレーニングの負荷を調整し、トレーニングメニューを作成することが可能になるだろう。サッカーでは一般的に、シーズン中は少なくとも1週間に一度の公式戦を戦うことになる。ヨーロッパのプロリーグやJリーグではさらに多くの公式戦を戦うことが求められ、1週間に二度の公式戦を戦うことも珍しくはない。そのため、指導者はシーズンを通して、選手のコンディションを高いレベルで維持し、試合で高いパフォーマンスを発揮し続けることができるようにマネジメントすることが重要である。

GPSを用いたコンディショニング把握の基礎的な先行研究について、de Dios-Álvarezら(6)はエリートサッカー選手を対象に、GPSで測定される負荷とRPEおよびsRPE(セッションRPE)の両方との相関関係を検討し、試合中よりもトレーニングのほうが相関が強かったと報告している。また、Akenheadら(1)はプレミアリーグチームの選手を対象に、シーズン中の1週間の負荷を検討し、試合5日前で最も高い負荷を示し、試合前日が最も低い負荷であったことを報告している。つまり、GPSを用いることでトレーニングの負荷を客観的に把握することが可能であり、適切な負荷をかけるための有用な手段であることがわかる。

GPSを用いたコンディショニングの実践事例について、中村ら(22)は、サッカー男子U-23日本代表選手を対象に、10日間の2018年リオデジャネイロオリンピック直前合宿における選手別の総移動距離と21 km/h以上の移動距離を積算したところ、総移動距離や高速度の移動距離の積算が選手ごとに大きく異なっていた。そこで、個別にトレーニング量と強度を落として調整するなど対応し、負荷をモニタリングすることで、大会期間中コンディションを維持したと報告している。また、JFA(25)はJFAアカデミー福島女子を対象に、トレーニング負荷量からコンディショニングに活用している実践を報告している。普段から試合に近い強度でトレーニングを実施することは重要であるが、すべてのトレーニングを高強度で実施していては試合で高いパフォーマンスを発揮することはできない。そのため、週末に行なわれる試合に向けて、火曜日から金曜日あるいは土曜日までのトレーニングを立案することが重要で、1週間のトレーニング負荷に強度の「波」をつくることが推奨されており、この「波」を評価する指標はトレーニングモノトニーと呼ばれている。モノトニー(12)は、1週間のトレーニング負荷の平均値/1週間のトレーニング負荷の標準偏差から算出され、トレーニング量のメリハリを評価している。

モノトニーを活用することで、毎週、毎日、同じトレーニング負荷量でトレーニングを行なうことを避けることができると報告している。

3)ゲーム分析(戦術行動)への応用

サッカーのゲーム分析は、Notation Analysis(表記分析)とMotion Analysis(モーション分析)に分類される(27)。Notation Analysisは、サッカーゲームにおけるプレーイベントを客観的に記録する手法で、記述的な分析手法であるHand Notation Analysis(記述分析法)が、非常に長い間主流であった。一方、Motion Analysis(≒Time Motion Analysis)は選手個人の運動を客観的に記録する手法で、先述のとおり、GPSやトラッキングシステムを用いて、総移動距離や高速度ランニングなどの身体的パフォーマンスを評価するのに適している。Notation Analysisによるボールイベントデータの研究は、プレーの成功・失敗に関係するパス(距離・本数)やドリブルなど攻撃面で一定の成果は出ている。一方、攻撃時のボールを保持していない時の動き(オフ・ザ・ボール)や守備面のパフォーマンス評価は、現状確立されているとはいえず、パフォーマンス指標の開発が急がれる(23)。特に、守備面のパフォーマンスはボール奪取位置が唯一の評価指標であり、今後グループあるいはチームレベルでの守備戦術行動を明らかにすることが必要不可欠である。近年では、測定精度の向上により、GPSやトラッキングシステムから収集できる選手やボールの位置情報(フィールド内のxとyの2次元座標値)**(図8)**を、Notation Analysisに応用し、チームの戦術行動を測定するための項目の開発が進んでいる。代表的な項目として、チームの中心位置、チームの縦幅、横幅、面積などが位置情報データから算出され**(図9)**、これらの項目はGPSとトラッキングシステムのソフトウェアを用いて、自動で算出されることがほとんどである**(図10)**。

Frenckenら(13)は、2008-2009 UEFAチャンピオンズリーグの準々決勝の1試合を対象に、チームの中心位置項目とサッカーゲームイベントとの関係を分析した。チームの中心位置項目は、攻撃チームと守備チームの中心位置間の縦距離と横距離であった。2項目の平均値±3標準偏差を超える変動があった場合をクリティカルイベントとし、クリティカルイベントが発生する局面は、得点と得点機会、攻撃チームのパス直後の守備チームのプレッシング、ボールアウトの3局面であり、攻撃チームが攻撃方法を探している時の守備チームの戦術行動を定量化することが可能であり、チーム戦術を測定する新しい指標項目として活用できることを示している。また、FIFA(11)も、2018FIFAワールドカップにおいて、攻撃・守備時のチームの縦幅、横幅、面積などのデータを提供しており、最も自陣のゴールに近い位置のDFと最も相手ゴールに近い位置のFWとの間の平均距離(守備時)が26mであったと報告している。このことは、守備がよりコンパクトな状態を形成し、攻撃側にとっては利用できるスペースが激減し、スペースを見つけることが困難になったことを示しており、チャンスを作り出すためには攻撃側の選手は賢く、巧みな技術をもつ必要性を示唆している。

最近では、スポーツアナリティクスと呼ばれるデータ主導型のゲーム分析が導入されている。試合中に測定されるパフォーマンスデータは膨大であり、これらは総じて「ビッグデータ」と呼ばれている。しかし、情報量が膨大であるため、従来の分析手法ではスポーツ現場に有用な結果を導き出

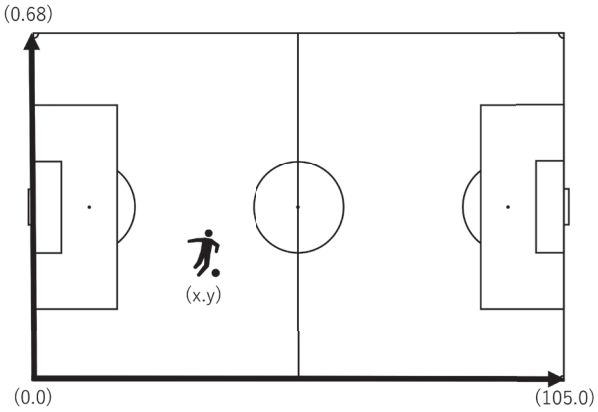

図8　フィールド内のxとyの2次元座標値

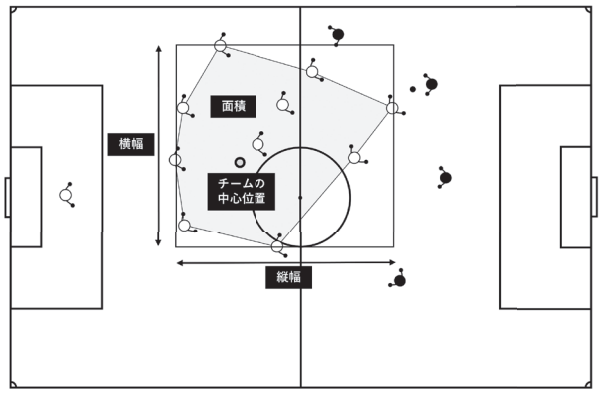

図9　チームの中心位置・縦幅・横幅・面積

すことが困難であり、機械学習による分析を体系化する必要がある。Luceyら(18)は、選手とボールの位置情報から測定される戦術的項目から、機械学習を用いて、サッカーゲームのゴール期待値を推定した。対象はシュート直前10秒間の9,732シュートプレーであり、Match context(オープンプレー、カウンターアタック、セットプレー)、Location(シュート位置とゴールまでの距離)、Defender proximity(シュート角度内の守備選手の距離)、Defensive formation/structure(守備ライン間の距離)、Attacking features(ロングパス、クロス、ドリブル)の戦術的項目を用いることで、ゴール期待値(シュートチャンスが得点に結びつく確率)を推定したと報告している。ゴール期待値(eXpected Goals：xG)は、「あるシュートチャンスが得点に結びつく確率」を0～1の範囲で表した指標で、ヨーロッパを先駆けにサッカー界で活用され始めている。Meadら(20)はこれまで検証されていなかった特徴(選手・チームの能力や心理的効果)を用いて、ゴール期待値のモデル化を試みた。その結果、従来のゴール期待値と比較して、チームの将来を予測する優れた予測因子であることが判明し、加えてより優れたモデルであったと報告している。

このように、学術的研究やテクニカルレポート(最新のトレンドを分析したレポート)において、選手やボールの位置情報を使用した分析は行なわれており、今後、新たなチーム戦術行動を測定する指標は次々と開発されるであろう。さらに、選手やボールの位置情報のデータ量は膨大であり、これらのビッグデータは機械学習を用いることで、人では発見が難しい特徴を抽出することができる可能性は十分にあるであろう。

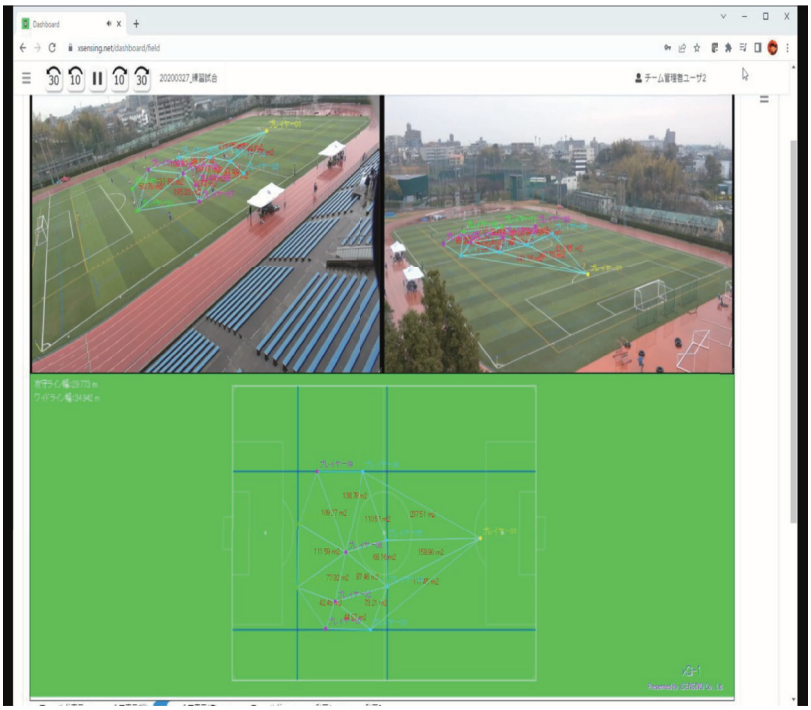

図10　クロスセンシングの例

4. 将来への展望・課題

ここまで、サッカーにおけるテクノロジーやそのテクノロジーを用いた実践・評価を学術的・実践的観点から論じてきた。テクノロジーは今後も飛躍的に進化し、今まで以上にサッカーのゲーム中に起こる現象を簡便かつ正確に定量化できる手法が開発され、これまで可視化することが困難であった現象でさえも、可視化・定量化されていくだろう。一方、このような急激な変化に現場は追随できるだろうか？　Jリーグで働く有能なテクニカルスタッフにおいてもゴール期待値、PPDA(Passes Allowed Per Defensive Actions：プレッシングの強度を測る指標)などの統計学的な手法を用いた指標はあまり使用されていなかった(33)。むしろ、シュート数やポゼッション率などの古典的な指標がより多く使用されていた。さらに、GPSやトラッキングシステムより収集できる選手やボールの位置情報を活用した指標・モデルなどを使用しているテクニカルスタッフはほぼ皆無であった。また、仮にテクニカルスタッフが機械学習を用いて効果的な指標やモデルを構築したとしても、現場のコーチングスタッフ(監督・コーチ)は理解することができるであろうか？　その答えは現状では「ノー」であろう。今後、ビッグデータを噛み砕き、シンプルでわかりやすい形でコーチングスタッフに提示できるテクニカルスタッフの存在は必要不可欠である。最近では、選手として目立った経歴はなくとも、大学・大学院でスポーツ科学を専攻し、コーチング学はもちろん、運動生理学・統計学などを学び、サッカー界で成功している指導者が少しずつ増えてきている。もちろんサッカーはデータがすべてではなく、現場の指導者でしか触れることのできない感覚や知見も非常に大切であることは百も承知である。重要なのは、アカデミックあるいは実践現場の二者択一ではなく、両者がそれぞれ歩みよることで、サッカーがより魅力的なスポーツに発展していくことを期待している。◆

参考文献

1. Akenhead R, Harley JA, Tweddle SP. Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *J Strength Cond Res* 30(9): 2424-2432. 2016.
2. Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med* 35(13): 1095-1100. 2014.
3. Borghi S, Colombo D, La Torre A, Banfi G, Bonato M, Vitale JA. Differences in GPS variables according to playing formations and playing positions in U19 male soccer players. *Res Sports Med* 29(3): 225-239. 2021.
4. Brink MS, Frencken W GP, Jordet G, Lemmink KA. Coaches' and players' perceptions of training dose: not a perfect match. *Int J Sports Physiol Perform* 9(3): 497–502. 2014.
5. データスタジアム(オンライン). Jリーグのトラッキングシステム導入が決定. https://www.datastadium.co.jp/news/release/873, (accessed 2023-08-14)
6. de Dios-Álvarez V, Suárez-Iglesias D, Bouzas-Rico S, Alkain P, González-Conde A, Ayán-Pérez C. Relationships between RPE-derived internal training load parameters and GPS-based external training load variables in elite young soccer players. *Res Sports Med* 31(1): 58-73. 2023.
7. Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 28(3): 222-227. 2007.
8. FIFA (online) Semi-automated offside technology. https://www.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/semi-automated-offside-technology, (accessed 2023-08-14)
9. FIFA (online) TRACAB. https://tracab.com/article/fifa-quality-program-for-epts-certifies-tracab-gen5-with-outstanding-results/, (accessed 2023-08-14)
10. FIFA (online) Video Assistant Referee Technology. https://www.fifa.com/technical/football-technology/standards/video-assistant-referee, (accessed 2023-08-14)
11. FIFA(online)TECHNICAL REPORT 2018 FIFA WORLD CUP RUSSIATM. chrome-xtension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://digitalhub.fifa.com/m/649e84967b086928/original/evdvpfdkueqrdlbbrrus-pdf.pdf, (accessed 2023-08-20)
12. Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 30(7): 1164-1168. 1998.
13. Frencken W, Poel Hd, Visscher C, Lemmink K. Variability of inter-team distances associated with match events in elite-standard soccer. *J Sports Sci* 30(12): 1207-1213. 2012.
14. ハイパフォーマンススポーツセンター /国立スポーツ科学センター. *コーチングのためのバイオメカニクス関連機器の活用ガイドライン－位置とスピードの計測器を中心に－*. 東京：ハイパフォーマンススポーツセンター /国立スポーツ科学センター. 13-32. 2022.
15. 樋口智洋, 衣笠竜太, 藤田善也, 堀野博幸, 土屋純. 散布した点の代表値を示す尺度「プレー重心」の提案と精度の検討. *スポーツ科学研究* 9：338-349. 2012.
16. 姜文渊, 山本雄平, 中村健二, 田中成典, 田中ちひろ, 政木英一, 山田貴之, 藤本雄一, 鳴尾丈司. フィールドスポーツのための現場指向型可視化システムの研究開発. *情報処理学会論文誌* 60(5)：1212–1227. 2019.
17. Lago-Peñas C, Lorenzo-Martinez M, López-Del Campo R, Resta R, Rey E. Evolution of physical and technical parameters in the Spanish LaLiga 2012-2019. *Sci Med Footb* 7(1): 41-46. 2022.
18. Lucey P., et al. Quality vs quantity: improved shot prediction in soccer using strategic features from spatiotemporal data. In Proc. 8th annual MIT Sloan sports analytics conference. 1-9. 2015.
19. Makar P, Silva AF, Oliveira R, Janusiak M, Parus P, Smoter M, Clemente FM. Assessing the agreement between a global navigation satellite system and an optical-tracking system for measuring total, high-speed running, and sprint distances in official soccer matches. *Sci Prog* 106(3). 2023.
20. Mead J, O'Hare A, McMenemy P. Expected goals in football: Improving model performance and demonstrating value. *PLoS One* 18(4). 2023.
21. 向本敬洋, 伊藤雅充, 河野徳良, 野村一路, 西條修光. GPS機器を利用した大学男子サッカー選手における各ポジションのTime-motion分析. *コーチング学研究* 27(2)：215-223. 2014.
22. 中村大輔, 中村真理子, 早川直樹. 第31回オリンピック競技大会(2016/リオデジャネイロ)および事前キャンプ中におけるU23サッカー男子日本代表チームを対象としたコンディション評価 ～External loadおよびInternal loadの双方を用いた検討～. *J High Perform Sport* 4: 176-187. 2019.
23. 日本コーチング学会. *球技のコーチング学*. 東京：大修館書店. 115-116. 2019.
24. 日本サッカー協会. *2006FIFAワールドカップドイツ JFA テクニカルレポート*. 東京：日本サッカー協会. 6. 2006.
25. 日本サッカー協会. *JFA TECHNICAL NEWS. 東京*：日本サッカー協会. 110：75-77. 2022.
26. 日本サッカー協会(オンライン). ランキング下位チームがランキング上位チームに勝利する条件に関する一考察について. http://www.jfa.jp/coach/news/00032459/, (accessed 2023-08-14)
27. 日本フットボール学会. *フットボールの科学*. 東京：日本フットボール学会. 18(1)：97-106. 2023.
28. Pons E, García-Calvo T, Resta R, Blanco H, López Del Campo R, Díaz García J, Pulido JJ. A comparison of a GPS device and a multi-camera video technology during official soccer matches: Agreement between systems. *PLoS One* 14(8). 2019.
29. Scott MT, Scott TJ, Kelly VG. The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport: A Brief Review. *J Strength Cond Res* 30(5): 1470-1490. 2016.
30. Taberner M, Allen T, O'Keefe J, Richter C, Cohen D, Harper D, Buchheit M. Interchangeability of optical tracking technologies: potential overestimation of the sprint running load demands in the English Premier League. *Sci Med Footb* 8: 1-10. 2022. [Epub ahead of print]
31. 瀧井敏郎. *ワールドサッカーの戦術*. 東京：ベースボール・マガジン社. 125. 1995.
32. 玉置研二, 堀野博幸. フットサル競技における記述分析法の正確性の検討. *スポーツ科学研究* 18：76-84. 2021.
33. 田村達也, 並木伸賢, 堀野博幸, 宮崎純一. プロサッカークラブにおけるテクニカルスタッフのゲームパフォーマンス分析に関する実態調査. *青山学院大学教育人間科学部紀要* 14：157-170. 2023.

著者紹介

田村 達也：
博士(スポーツ科学)、JFA A級コーチジェネラル(日本スポーツ協会公認コーチ4)、京都産業大学 現代社会学部 健康スポーツ社会学科 准教授、専門分野はサッカーのゲームパフォーマンス分析と体力測定評価。