

# 学位論文要旨

客観的数値データを活用した  
サッカーの戦術分析に関する研究

山中 亮

# 目次

第 1 章 研究の背景と目的 .....	1
第 1 節 緒言 .....	1
第 2 節 先行研究の検討 .....	1
第 3 節 問題の所在と研究目的 .....	2
課題 1 . 客観的数値データを用いた戦術分析の構築 .....	2
課題 2 . 数理モデルの明確化とゲーム状況に対する評価 .....	2
第 2 章 Tactical Analysis Through Objective Data in Football ....	3
第 1 節 研究目的 .....	3
第 2 節 研究方法 .....	3
第 3 節 結果及び考察 .....	4
第 1 項 攻撃時間に関する内容 .....	4
第 2 項 攻撃内容の検討 .....	4
第 4 節 小括 .....	5
第 3 章 Evaluation of Football Pass Extraction Using the Offence/Defence Model .....	6
第 1 節 研究目的 .....	6
第 2 節 研究方法 .....	7
第 3 節 結果及び考察 .....	7
第 1 項 攻守推移の数理モデルの明確化 .....	7
第 2 項 パスの抽出の結果と評価 .....	9
第 4 節 小括 .....	10
第 4 章 総合考察 .....	11
第 1 節 本研究の成果と意義 .....	11

第 2 節 総括と今後の課題 .....	12
文献 .....	13

## 第1章 研究の背景と目的

### 第1節 緒言

サッカーのゲーム分析において、「だれが」を複数、「どこで」を三次元の空間座標（フィールド及び空間）と考えれば、ボールの位置を加えることによって理屈上ではゲームの中で起こるすべての情報を数値データに置き換えることができる」と述べており、様々な技術によって、選手やボールの位置の把握に取り組まれてきている。

そのような現状に対して加藤は(加藤,2016)、フィジカル面でのパフォーマンスを客観的に評価、分析する素地が確立したと捉えている。しかし一方で、データの活用や統計的な分析が十分になされているとは言い難い状況であるとの指摘もみられる(田村ら,2017)。また、データを活用した研究への取組みが、競技スポーツやアスリートの競技力向上などの定量的研究に偏っている、という問題点も指摘されている(「科学と社会」推進部,2019)。さらには、フォーメーションを定量的に解析する確立された手法は存在しない(成塚ら,2017)とも指摘されている。すなわち現況として、スポーツ活動を多様な数値データによって捉える環境は整えられる状態であるが、数値データを十分に活用した、特に戦術的分析へ有効に活用されている取組みが行われているとは言い難い状況であることも捉えることができる。

以上のことから、位置データなどの数値データを有効に活用した戦術分析の枠組みの構築やその活用に関して明らかにしていくことは、サッカー競技におけるパフォーマンスや指導力向上につながる取組みであると考えられる。

### 第2節 先行研究の検討

1990年代後半、沖原ら(1999)は、3次元画像解析法（Direct Linear

Transformation Method: DLT 法) を応用し、映像から 1 試合を通して、全選手及びボールの位置を正確に算出できる方法での、戦術的分析を報告している(沖原ら,1999; 沖原ら,2000; 沖原ら,2001; 菅ら,2000). しかし、データ収集の手法としての 3 次元 DLT 法と、そこから得られる数値データを活用した戦術分析の枠組み構築に関する研究は見当たらない。また、その客観的データに対する戦術的分析に関する研究では、専門家らによる、客観的な数値データの解釈を中心とする研究(松本,2011; 坂下ら,1999; 坂下ら,2001; 鎌田ら,1997)と、数値データに対して統計的な手法を用いた研究(成塚ら,2017; 神谷ら,2017; 徐ら,2017; 土田ら,2017)がみられる。しかし、戦術的な論理概念をもとに数理モデルを構築し戦術分析に繋げていくような、客観的な数値データから直接的に戦術分析を構築する取り組みや、その結果を競技の現場の活用につなげる、包括的な取り組みはみられない。

### **第3節 問題の所在と研究目的**

そこで本研究では、客観的な数値データを直接活用する戦術分析の枠組みの構築を通じ、基盤をなす数理モデルの構築を進め、実際のゲーム状況に対する評価を進めることを目的とした。

本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

#### **課題 1 . 客観的な数値データを用いた戦術分析の構築**

数値データから、直接的に戦術分析が可能な枠組み構築に必要な数理モデルを構築し、構築した戦術分析の検討を行う (第 2 章)。

#### **課題 2 . 数理モデルの明確化とゲーム状況に対する評価**

課題 1 において構築した戦術分析の枠組みの基盤である、数理モデルの明確化を進め、ゲーム状況の判定に対する評価を行う (第 3 章)

## 第2章 Tactical Analysis Through Objective Data in Football

### 第1節 研究目的

プレーヤーとボールの3次元の位置座標を示した数値データそのものから、戦術的側面を含む戦術分析システムの構築に取り組み、システムよりアウトプットされた情報に対して検討を行う。

### 第2節 研究方法

本研究において、以下の取組みを行った。

- ① 戦術概念の解釈を明確化
- ② 数値データに対し直接的に判定できる数理モデルの構築
- ③ 数理モデルをもとに構造化された情報をもとに考察及び検討

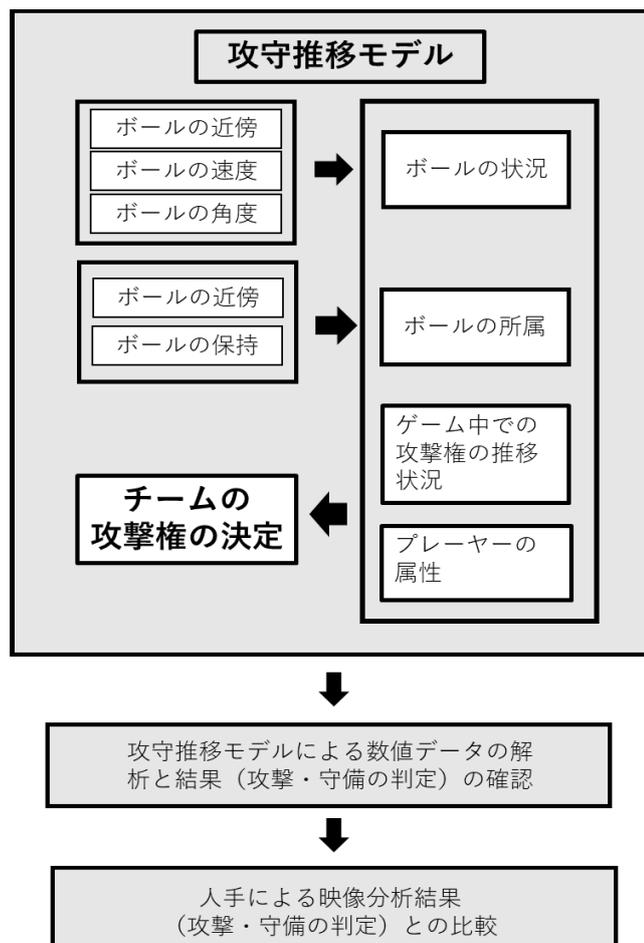


図 1. 研究の流れ

### 第3節 結果及び考察

#### 第1項 攻撃時間に関する内容

攻守推移モデルによって判定した結果をもとに，対戦チームの，合計時間（Sum），平均時間（Ave），回数（回数），最大攻撃時間（Max），最小攻撃時間（Mini）をまとめ，さらに実際の手による観察判定結果との比較を行った（表1）．

表 1. 攻守推移モデルと人手による判定の比較

攻撃時間	サンフレッチェ広島		愛媛FC	
	人手	モデル	人手	モデル
合計時間	18:21	18:45	12:04	12:00
平均時間	00:10	00:09	00:08	00:06
回数	106	114	101	103
最大攻撃時間	00:48	00:48	00:36	00:34
最小攻撃時間	00:00	00:00	00:00	00:00

攻守推移モデルによる判定結果から得られる攻撃時間に関する各種数値は，属性を持つ観察者の判定による攻撃時間に関する各種数値の概観を捉えており，数理モデルによる判定によっても，ゲームの戦術的な概観を推し量ることが可能な数値であった．

#### 第2項 攻撃内容の検討

対象とした場面の映像と図2について対応させながら観察を行った結果，黄色の線で示された実線のボールの動きは，パスの状態であることが確認できた（図2）．



図 2. 攻撃の内容（パスの抽出）

位置データである客観的な数値データをのみを活用し、数理モデルである攻守推移モデルによる判定を用いた、基礎的な戦術分析の枠組みの構築が可能であることが示唆された。しかし今後に向けて、①攻守推移モデルによる戦術分析の評価、②攻守推移モデルの定数の明確化、③多様なゲームの数値データの確保と活用、3点の課題が考えられる。

#### 第4節 小括

今回は、試合の映像から得られた、プレイヤーとボールの位置データである数値データに対して、サッカーの戦術概念を基に構築した、数理モデルである「攻守推移モデル」による、攻撃権の判定を通じて、客観的な数値データを活用した戦術的分析の基礎的な構築を試みた。攻守推移モデルによる判定から得られる攻撃時間に関する各種情報から、属性を持つ観察者によって推し量れる戦術的な分析は、ゲームの公式記録やチームの監督によって分析されたものと類似しており、攻守推移モデルによる判定から得られる情報によっても、ゲームの戦術的な概観を推し量

ることが可能な数値であることが示唆された。

また、属性を持つ観測者による判定から得られる攻撃時間に関する各種数値と、攻守推移モデルによる判定から得られる攻撃時間に関する各種数値の双方において、ゲームの戦術的な概観は同様な概観を示すことも示唆された。さらに、特徴的なある時点における攻撃の内容についてパスの抽出を試み、攻撃内容についても検討を行った結果、映像から得られるパスの状態によるボールの動きを捉えており、実際の状況と同様のパスの状態であることが確認され、推移モデルによって判定された攻撃の内容においても妥当である可能性が示唆された。

### 第3章 Evaluation of Football Pass Extraction Using the Offence/Defence Model

#### 第1節 研究目的

数値データから直接戦術的な分析が判定可能な攻守推移モデル (Yamanaka et al., 2020) に対して、有限状態機械の考え方を取り入れ、数理的に明確化したモデルとして再構築を行った。さらに、再構築した攻守推移モデルにより、ゲーム状況でのパス場面の抽出及び評価を行い、ゲーム状況に対する戦術的分析が可能となる方向性への取り組みを進めた。

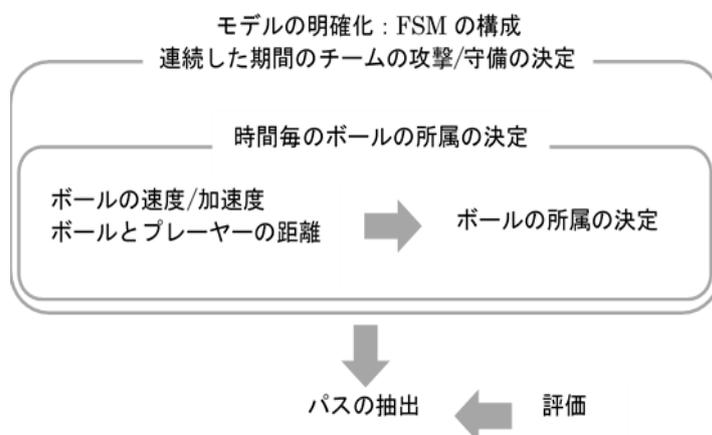


図 3. 研究の流れ

## 第2節 研究方法

本取組みにおける概要を図3に示した。

## 第3節 結果及び考察

### 第1項 攻守推移の数理モデルの明確化

これまでの攻守推移モデルに対して、1.ボールの状態、2.ボールの所属、3.攻守推移、4.パスの抽出、について数理的な明確化を行った。

#### 1. ボールの状態

ボールの状態について数理的に明確化を行った内容を下記に示す。

$$BC(k) = \begin{cases} shot & (v_b \geq shot_b \wedge |\theta_b| \leq angle_b) \\ keep & (\neg shot \wedge |X| = 1) \\ mix-up & (\neg shot \wedge |X| > 1) \\ others & (\neg shot \wedge |X| = 0) \end{cases}$$

#### 2. ボールの所属

ボールの所属について数理的に明確化を行った内容を下記に示す。

$$BA(k) = \begin{cases} Own(\alpha) & (BC(k) \neq shot \wedge \phi \neq X \subseteq \alpha) \\ Own(\beta) & (BC(k) \neq shot \wedge \phi \neq X \subseteq \alpha) \\ Own(\phi) & (BC(k) \neq shot \wedge o.w.) \\ BA(k-1) & (BC(k) = shot) \end{cases}$$

#### 3. 攻守推移

攻守推移について数理的に明確化を行った内容を下記に示す。また、攻守推移についての、ボールの所属と攻守推移についての数理モデルと、直感的な関係についてあわせて示す（図4）。

$$isOff(k) = \begin{cases} \alpha off \left( \begin{array}{l} BA(k) = Own(\alpha) \\ \vee \left( \begin{array}{l} BA(k) = Own(\phi) \\ \wedge BA(k+m) = Own(\alpha) \end{array} \right) \end{array} \right) \\ \beta off \left( \begin{array}{l} BA(k) = Own(\beta) \\ \vee \left( \begin{array}{l} BA(k) = Own(\phi) \\ \wedge BA(k+m) = Own(\beta) \end{array} \right) \end{array} \right) \end{cases}$$

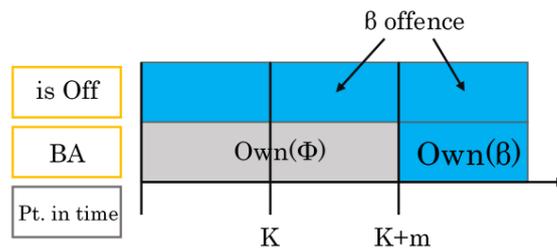


図 4. ボールの所属と攻守推移

#### 4. パスの抽出

パスを抽出する際の数理モデルを下記に示す.

$$Pass = \left( \begin{array}{l} isOff(k) = \alpha off \wedge isOff(k+m) = \alpha off \\ \wedge BC(k+1) = BC(k+2) = \dots \\ = BC(k+m-1) \\ = shot \end{array} \right)$$

攻守推移モデルに対して、FSM の考え方を取り入れ、数理的な明確化を図ることによって、連続時間での攻守推移の決定手続きを、数理的にモデル化し明確化することが可能となった。ゲームの流れを、状態推移として数理的に捉えることで、実際の競技現場におけるゲーム状況に対する戦術的な分析を、数理的な側面から客観的に行うことが可能となる。

## 第2項 パスの抽出の結果と評価

攻守推移モデルのパラメータを以下の根拠（表 2）により設定し，数値データよりパスの状況を抽出し，評価を行った（表 3）（表 4）。

表 2. パラメータの根拠

shot <sub>b</sub>	ボールの速度の設定の根拠
7.8m/s	ボールの支配を念頭に，人が走って追いつけない速さとして設定したが，長い距離のパスしか得られず，パス抽出には利用しなかった。
7.3m/s	短い距離のパスを抽出可能とするために設定し，この数値を利用した。
5m/s	比較として，多少速い徒歩として設定した。
r	ボールの近傍の半径の設定の根拠 <sup>*1</sup>
半径 2m	ボールを保持しながら 1 秒程度の間に動ける範囲として設定した。
半径 1m	比較として，ボールを保持するプレーヤーが両手を広げた範囲程度の円内に他プレーヤーがいなければ，ボールは保持されているものと想定し設定した。

<sup>\*1</sup> 実際のゲームの場面では，プレーヤーの体の向きにより，移動範囲の違いが生ずるが，位置データにプレーヤーの体の向きは記録されていないため，近傍を円として設定した。

表 3. モデルから得られたパス抽出数と映像の比較

モデルのパ ラメータ	shot <sub>b</sub>	7.3m/s	7.3m/s	5.0m/s	5.0m/s
	r	2m	1m	2m	1m
パスの総数		347	251	328	288
映像 ○, モデル ○		336	228	309	262
映像 ×, モデル ○		11	23	19	26
映像○, モデル ×		133	116	118	101

表 4. パスの適合率と再現率

モデルのパ ラメータ	shot <sub>b</sub>	7.3m/s	7.3m/s	5.0m/s	5.0m/s
	r	2m	1m	2m	1m
適合率		0.97	0.91	0.94	0.91
再現率		0.72	0.49	0.66	0.56
F 値		0.82	0.63	0.78	0.69

パラメータ shot<sub>b</sub>=7.3m/s, r=2m のモデルの F 値が高く，より試合と近い結果となった。さらに，映像に現れながらモデルから得られなかつ

た（映像○，モデル×）すなわち，パスがモデルから得られなかった原

項目	ゲーム状況例	モデルのパラメータ			
		shot <sub>b</sub> r	7.3m/s 2m	7.3m/s 1m	5.0m/s 2m
1タッチ	プレイヤーが1タッチでパスを行った場合	42	36	38	39
混戦状態	ボールの近傍に複数のプレイヤーが混在している場合	39	34	40	27
座標ズレ	映像からデジタイズを行った際のエラーの値	33	29	28	23
速さ遅い	ボールの移動速度が遅い場合	16	16	9	11
shot状態 にない	映像がボールのショット状態ではない場合	1	1	1	1
角度	ボールの角度の変化を捉えられていない	1	0	1	0
攻守変更	攻守が判る場面	1	0	1	0

因について映像を確認することで表5のように分類できた。

表5. パスが得られなかった原因

今回の取組みにより，位置データに対して数理モデルを活用し，直接的に戦術分析が行なえることが示唆された。しかし，通常プレーの現場でのゲーム状況の戦術的分析は，観察者の持つ経験を背景とした解釈により行われるため，客観性の担保は非常に困難な問題となる。本取組みは，ある時点のゲーム状況に対する，戦術的議論のスタートライン的なエビデンスとして位置付けられ，コンセンサスを形成していくことが可能になると思われる。

#### 第4節 小括

本取組みにおいて，チームの攻撃/守備の決定プロセスに対する数理化が行え，位置データに対して，数理的なプロセスのもと攻撃/守備の決定が可能な，数理モデルとして再構築することが可能であった。さらに，プレーや指導の現場レベルでの，人の戦術的な判断プロセスに対しても，

対応する決定プロセスとして、数理モデルを構築できた。

さらに今回は、数理的に明確化された攻守推移モデルによって、パスの抽出を試みた。位置データから直接パスを抽出するにあたり、パスの場面の再現率については今後の改善への取組みが必要である。数理モデルによって抽出されたパスの場面について、実際の場面が捉えられていることが確認でき、攻撃チームのパスも直接的に決定することが可能となった。攻撃/守備とパスを、数理モデルによって決定することが可能となることで、チームの戦術行動に対する分析も向上してくることが考えられた。

## **第4章 総合考察**

### **第1節 本研究の成果と意義**

課題1では数値データから、直接的に戦術分析が可能な枠組み構築に必要な数理モデルを構築し、構築した戦術分析の検討を行った。推移モデルにより判定された攻撃権は、攻撃内容から確認しても妥当である可能性が示唆された。以上のことから、位置データである客観的な数値データをのみを活用し、数理モデルである攻守推移モデルによる判定を用いた、基礎的な戦術分析の枠組みの構築が可能であることが明らかとなった。本取組みによる成果は、客観的な戦術分析システムの構築の進展に対して、貢献できる結果であると言えよう。

課題2では、課題1において構築した戦術分析の枠組みの基盤である、数理モデルの明確化を進め、実際のゲーム状況の判定に対する評価を行った。

数理モデルの明確化によって、ゲーム状況の遷移（攻撃/守備）を考慮した、数理的なモデルを構築することができた。また、実際のゲーム状況に対する判定については、パスの状況の抽出に取り組み、パラメータ

shot<sub>b</sub>=7.3m/s, r=2m のモデルにおいて、試合に近い結果として得ることができた。戦術的分析の前提である、ゲーム状況に対する判定が可能となることにより、戦術的分析の質的向上に貢献できる成果であると考えられる。

## 第2節 総括と今後の課題

本研究の成果としての、客観性を持つ戦術分析のエビデンスに対する、限界の確認と競技の現場における活用の方向性の確認は、今後重要な取り組みとなってくる。戦術分析システムの高度化と、アプトプットされる結果をいかに現場で活かしていくかという取り組みを、より一層高めていく必要がある。

## 文献

「科学と社会」推進部(2020)『スポーツの多様な価値に、科学はどう貢献できるか』.日本学術会議 学術フォーラムレポート.

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-k290.pdf>, (参照 2019-05-15)

日比野弘・山本巧・落合勲・加藤久(1991)球技の総合的ゲーム分析システム. 日本体育学会大会号: 42.

徐広孝・大澤啓亮・見汐翔太・安藤梢・鈴木宏哉・西嶋尚彦(2017)サッカーの攻撃におけるプレーの最適化アルゴリズムの開発 (特集 スポーツ統計科学の新たな挑戦). 統計数理, 65(2): 309-321.

掛水隆・大橋二郎(1996)サッカーおもしろ科学: ゲームの科学的分析に基づいた合理的な練習. 東京, 東京電機大学出版局.

鎌田安久・浅井武・栗林徹(1997)ワールドサッカーにおけるゲーム分析: 欧州サッカー選手権大会'96を対象として. 岩手大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要, 7: 107.

神谷啓太・中西航・泉裕一郎(2017)トラッキングデータを用いたサッカーの試合における戦況変化の抽出. 統計数理, 65(2): 287-298.

菅輝・塩川満久・沖原謙・出口達也・須佐徹太郎(2000)サンフレッチェ広島 vs 横浜マリノス戦のゲーム分析における基礎的データに関する研究—3Dとコンピュータの利点に着目して—. サッカー医・科学研究, 20: 19-24.

加藤健太(2016)サッカーにおけるデータ分析とチーム強化. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, 10(1): 29-34.

松本直也(2011)U-21日本代表サッカーチームにおけるトレーニング方法と得点経過について: 第5回東アジア競技大会(2009/香港). 桃山学

- 院大学人間科学, 40: 43-63.
- 成塚拓真・山崎義弘(2017)ドロネー分割と階層的クラスタリングを用いた集団スポーツにおけるフォーメーション解析手法の提案(特集 スポーツ統計科学の新たな挑戦). 統計数理, 65(2): 299-307.
- 大江淳悟・上田毅・沖原謙・磨井祥夫(2013)サッカーにおけるゲームパフォーマンスの客観的評価. 体育学研究, 58(2): 731-736.
- 沖原謙・塩川満久・菅輝・風間八宏・松本光弘・今西和男(1999)フットサル競技における戦術に関する研究-画像解析により算出されるデータの意義について-(2002 ワールドカップのゲーム分析へ). サッカー医. 科学研究, 20: 19-24.
- 沖原謙・菅輝・塩川満久・松本光弘・崔喆洵・野地照樹(2000)サンフレッチェ広島vs横浜マリノス戦のゲーム分析に関する研究-サッカーにおける“コンパクト”度に関する分析-. サッカー医・科学研究, 20: 4-7.
- 沖原謙・塩川満久・菅輝・柳原英児・大場渉・森河亮・松本光弘(2001)ゲーム分析における客観データとコーチの印象分析～日本代表 vs UAE 代表戦より～. サッカー医・科学研究, 21: 139-142.
- オランダサッカー協会(2003)オランダのサッカー選手育成プログラム ジュニア/ユース編-年齢別・ポジション別指導法と練習プログラム. 東京, 大修館書店.
- 坂下博之(1999)1999年サッカー南米選手権大会における日本代表チームのゲーム分析. 亜細亜大学教養部紀要, 60: 66.
- 坂下博之(2001)2001年サッカーコンフェデレーションズカップにおける日本代表チームのゲーム分析. 亜細亜大学学術文化紀要, 1: 101.
- 瀧井敏郎(1995)ワールドサッカーの戦術. 東京, ベースボールマガジン

社.

田村義保・酒折文武(2017)「特集 スポーツ統計科学の新たな挑戦」について. 統計数理, 65(2): 183-184.

成塚拓真・山崎義弘(2017)ドロネー分割と階層的クラスタリングを用いた集団スポーツにおけるフォーメーション解析手法の提案 (特集 スポーツ統計科学の新たな挑戦). 統計数理, 65(2): 299-307.

土田潤・宿久洋(2017)重力モデルを用いたサッカー選手の動きの定量化 (特集 スポーツ統計科学の新たな挑戦). 統計数理, 65(2): 271-286.

土屋慶太(2015)ドイツ流サッカーライセンス講座:「世界王者」が明かす実戦的トレーニング理論 エジル, ミュラー, ゲッツェ, クロース... 彼らを育てたドイツ流の指導術とは. 東京, ベースボール・マガジン社.

鶴岡英一・福原黎三 (1965) サッカーのゲーム分析 (第1報): 測定方法について. 体育学研究, 9(2):39-42.

Webb, Keith, Leeder, Thomas M(2021)Dispositions and coaching theories: understanding the impact of coach education on novice coaches' learning. Sport, Education and Society,1-14.

Yamanaka, Akira, Otsuka, Hiroshi, Deguchi, Tatsuya, Okiyama, Ken, Otsuka, Dota, Uchida, Shinya, Garcia, Jorge Diaz-Cidoncha, Khoo, Selina, Stroud, David, Sugiyama, Masahiro.(2020) Tactical analysis through objective data in football. Insight - Sports Science., 2(1): 1-15.