

学位論文要約

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	2
第 3 節 問題の所在と研究目的	3
課題 1 . 客観的数値データを用いた戦術分析の構築	4
課題 2 . 数理モデルの明確化とゲーム状況に対する評価	4
第 2 章 Tactical Analysis Through Objective Data in Football	5
第 1 節 研究目的	5
第 2 節 研究方法	5
第 3 節 結果及び考察	6
第 1 項 攻撃時間に関する内容	6
第 2 項 攻撃内容の検討	6
第 4 節 小括	7
第 3 章 Evaluation of Football Pass Extraction Using the Offence/Defence Model	9
第 1 節 研究目的	9
第 2 節 研究方法	9
第 3 節 結果及び考察	9
第 1 項 攻守推移の数理モデルの明確化	10
第 2 項 パスの抽出の結果と評価	12
第 4 節 小括	14
第 4 章 総合考察	16
第 1 節 本研究の成果と意義	16

第 2 節 総括と今後の課題	17
第 1 項 総括	17
第 2 項 今後の課題	19
文献	23

第1章 研究の背景と目的

第1節 緒言

サッカーという競技は、単なる身体運動ではなく、結果的に相手よりも数えられる成果で少しでも勝っていることが最終目的として競技が行われる。競技の結果である勝利に対して、経済的・合目的に競技を進めていく活動とし、ゲームの場面での戦術を含む分析として、サッカーを指導する立場からの分析が従来から報告されてきている(鶴岡ら,1965)。

掛水ら(1996)は、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みられてきた。1990年代後半には、ビデオやコンピュータといった分析機器の発達やソフトウェアの開発に伴い、種々のデータが正確に把握できるようになった(大江ら,2013)。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)。これらの研究によって、選手とボールの位置データである数値データをもとに、戦術的な分析に迫れる素地が確立してきた。

データ集積技術の向上と、PCの処理能力の向上が著しい現代において、テクノロジーの発展との結びつきは、戦術的分析の発展において重要な要素となってきた。さらに、集積されるデータが数値である特性上、分析については数理的な手法を用いることが一般的になってきている。そのような現状に対して加藤は、フィジカル面でのパフォーマンス

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(加藤,2016).
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

サッカーの戦術的分析に関する先行研究は，日比野ら(日比野ら,1991)
が指摘するように，様々な角度から研究者独自手法の分析が行われてい
る半面，未整備のまま多岐にわたってきた. 1990年代後半，沖原ら(1999)
は，3次元 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. このように，数
値データを活用した，戦術分析の枠組みの構築についての研究は不足し

ていると言える。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、特に統計的な手法を用いた研究は増加傾向にある。しかし、それら評価は、ゲーム中に発現する具体例に基づいて、攻撃・守備における注意点、修正点を指摘することにより、ゲームを専門的に総合評価できるものの、分析者の主観性および恣意性を排除することはできない(大江ら,2013)。また、後者のように統計的な手法を用いることで、数値データから直接的に分析に繋げていくことが可能であるが、統計処理は数値に対する合理的な分析手法であり、戦術的に合理的な分析として取り入れていくことは非常に困難である。

すなわち、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、実際のゲーム状況と評価検討していくことは、競技の現場の活用につながると考えられる。

第3節 問題の所在と研究目的

先述のように、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有意義な取り組みであると考えられる。しかし、第2節に示したように、客観的な数値データを活用した戦術的分析の枠組み自体を構築する方向性での研究が十分に組み込まれていない問題が存在する。3次元 DLT 法によって得られた数値データはこれまで、ゲーム分析を行う上での基礎データとして用いられることが多く、データに対する分析の枠組みの構築が十分に組み

まれていないことが挙げられる。さらには、戦術分析の枠組みの構築にあたり、数値データに対して直接解析が行なえる、戦術的な概念をもとにした数理モデルの構築が明確に行われていないことも挙げられる。当然ながら、先述のような数理モデルを基盤とした戦術分析の枠組の結果に対する、実際のゲーム状況との比較検討も少ないことも挙げられる。

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

プレイヤーとボールの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

また、②③について以下の図1流れで行った。

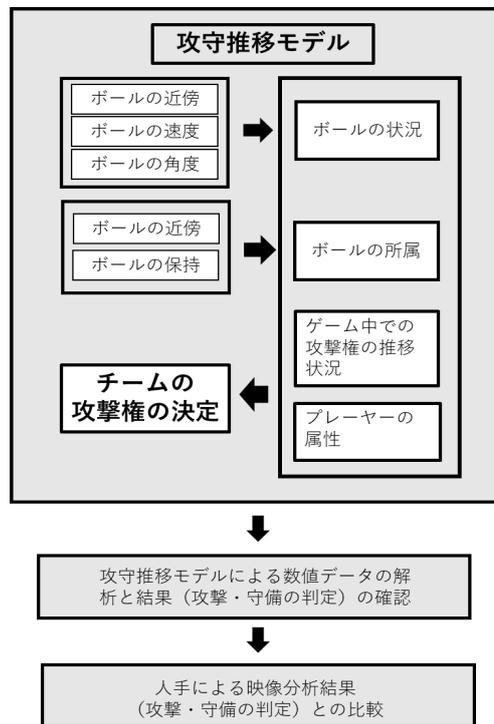


図 1. 研究の流れ

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，さらに実際の人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

属性を持つ観察者による判定と，推移モデルによる判定双方において同様に，サンフレッチェ広島が優位にゲームを進めた状況が伺える結果となった．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

特徴的なある時点の攻撃を抽出し，チームが攻撃権を持つ期間内におけるパスの抽出を試み，ある時点の攻撃内容について検討を行った．先述の攻守推移モデルによって判定された，チームの攻撃時間内における

パスの状態を抽出及び可視化し、検討を行った（図 2）。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. 攻撃の内容（パスの抽出）

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、属性を持つ観察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．

第2節 研究方法

本取り組みにおける概要を図3に示した．

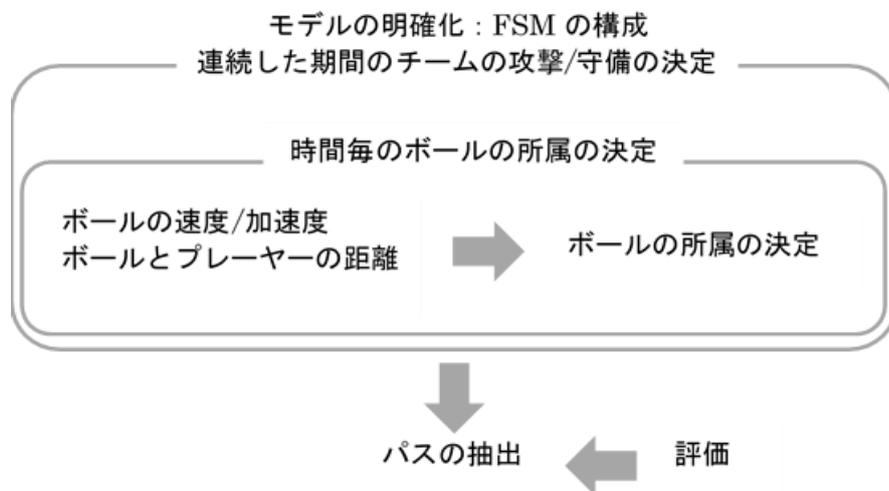


図3. 研究の流れ

攻守推移モデルの数理的な明確化と，明確化した数理モデルを基盤とする，戦術分析システムによるパスの場면을抽出し，結果の評価を行った．

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）．

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

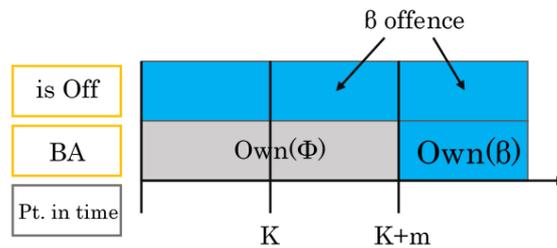


図 4. ボールの所属と攻守推移

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.

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

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。世界レベルのサッカー競技の現場では、「ワールドサッカーにおける戦略・戦術的命題とは、『モビリティとバランスの統合』であり、それは攻撃と守備との間にニュートラルな状況をおかない『攻撃と守備との連続性』に求められる」(瀧井,1995)と述べられている。さらに、世界のサッカー先進国の指導現場

であるオランダでは、ゲーム状況の把握の目的のもとゲームを洞察する視点の一つとして、①自分のチームがボールキープしている場合、②相手チームがボールキープしている場合、③ボールキープが交代する場合：相手にボールを取られたり、相手からとった場合、のサッカーにおける3つのハイライトとなる状況を示している(オランダサッカー協会,2003)。また、ドイツの指導現場においても、①攻撃、②攻撃から守備への切り替え、③守備、④守備から攻撃への切り替え、の4局面でサッカーが構成されている(土屋,2015)ことが示されている。これらは、一連の流れとして進んでいくゲーム状況を、戦術的に捉えていくための基盤となる考え方として、推移するゲーム局面を捉えることの重要性を伝えている。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 _b	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*1
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イヤーが両手を広げた範囲程度の円内に他プレイヤーがいなければ、ボールは保持されているものと想定し設定した。

*1 実際のゲームの場面では、プレイヤーの体の向きにより、移動範囲の違いが生ずるが、位置データにプレイ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 _b	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 _b	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

再現率が全体的に良くないが、この中ではパラメータ shot_b=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った（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。1 タッチ、混戦状態を攻守推移モデルから判断できないのが主な原因で、これらにボールの速さが遅いパスが抽出できないことが続く。1 タッチについては、5fps の映像・位置データでは 1 タッチを判断することが困難であることが原因と思われる。また、混戦状態は、モデルでは異なるチームのプレイヤーが複数ボールを支配する状況にあたり、人の判断では攻守変更を伴う場合もあることが考えられた。また、表 5 から分かる通り、ボールの近傍の半径 r の大小による差異は明確に認められず、単純にボールの近傍の半径 r を小さくするだけでは解消されないことも予想された。なお、座標のズレは座標データの採取方法に起因することも考えられた。

表 5. パスが得られなかった原因

項目	ゲーム状況例	モデルのパラメータ				
		shot _b	7.3m/s	7.3m/s	5.0m/s	5.0m/s
		r	2m	1m	2m	1m
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	

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。そもそも、ゲームの戦術的な同一な解釈の確認は困難である現状から、位置データや数理モデルを用いるような戦術分析から導かれる結果は、ゲーム状況に対する「解答」のような存在ではない。ある意味、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

本取組みでは、これまでの攻守推移モデルに対して、FSMの考え方を取り入れ、数理的な戦術分析モデルとしての明確化を図った。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。数理モデルによる決定においても、ある時点の断片的な決定としてではなく、チームとしての状態としての局面を文脈的に捉え、ある時点について決定していくプロセスを数理的に構築できたことで、今後の数理モデルによる戦術的分析の質的向上が期待される。

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り組みが必要である。主な原因として、データや映像のフレーム数や解像度の向上であることが明らかとなり、位置データの収集や映像の質的な向上が待たれる状況である現状も捉えることができた。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、攻守推移モデルによって、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る。

第4章 総合考察

第1節 本研究の成果と意義

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。そのために、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（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（第3章）

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。数理モデルである、攻守推移モデルの構築にあたっては、①まず位置データから、時間毎にボールがどちらのチームに所属するか、未確定の場合も含めて定め、②次に時間毎のボールの所属から、連続した時間におけるチームの攻守を定める、という順にモデルを構成した。さらに、実際のサッカー競技の映像より収集した数値データに対して解析を行った。攻守推移モデルの解析から得られる攻撃/守備の判定結果と、専門家による映像観察から得た攻撃/守備の判定結果に対する大きな差は観られず、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、戦術的基礎的分析としての、攻撃/守備について分析可能であることが示唆されたことは大きな成果である。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と同様な状況が判定でき、状況として、映像と同様なパスの状態であることが確認された。すなわち、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おいては、FSMの考え方を取り入れたモデルとして構成し、攻撃/守備の推移を数理的に明確化したモデルとして再構築したことにより、攻撃/守備などの状況が、無限の組み合わせで存在するように思えるサッカーのゲームを、数理的に状態ごとに整理し捉えていくことが可能となった。すなわち、ある時点のある場所におけるボールの近傍の状態のみによる分析ではなく、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 $\text{shotb}=7.3\text{m/s}$, $r=2\text{m}$ のモデルの F 値が高く、より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

第1項 総括

本研究では、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し、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。その結果、以下の諸点が明らかとなった。

課題 1 . 客観的数値データを用いた戦術分析の構築 (第 2 章)

数値データから、直接的に戦術分析が可能な枠組み構築を行うために、基盤となる数理モデルを構築し、構築した戦術分析結果の検討を行った。その結果以下の点が明らかとなった。

- ・攻守推移モデルの構築にあたっては、①まず位置データから、時間毎にボールがどちらのチームに所属するか、未確定の場合も含めて定め、②次に時間毎のボールの所属から、連続した時間におけるチームの攻守を定める、という順にモデルを構成し、数理モデルを構築することができた。

- ・実際のサッカー競技の映像より収集した数値データに対して解析を行った結果、攻守推移モデルの解析から得られる攻撃/守備の判定結果と、専門家による映像観察から得た攻撃/守備の判定結果に対する大きな差は観られず、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、戦術的基礎的分析としての、攻撃/守備について分析可能であることが示唆された。

課題 2 . 数理モデルの明確化とゲーム状況に対する評価 (第 3 章)

課題 2 では、実際のゲームの推移に則した戦術分析に近づけていくために、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。その結果以下の様な知見が得られた。

- ・ある時点のある場所におけるボールの近傍の状態のみではなく、ゲーム状況の遷移（攻撃/守備）に対しても、数理的なモデルをもとに判定することが可能となった。

- ・パスの抽出について，パラメータ $\text{shotb}=7.3\text{m/s}$, $r=2\text{m}$ のモデルの F 値が高く，より試合と近い結果となった．

- ・今後のテクノロジーの進歩による，数値データの明確化によって，パスの抽出の精度が高まることが，評価より明らかとなった．

第2項 今後の課題

これまで述べたような成果も得られたが，一方で，今後に向けての課題も存在する．

まずは，戦術という概念の捉え方に対する課題が挙げられる．本研究においては，サッカーの競技における一般的な戦術，すなわち競技という枠組みの中での一般的な知識を戦術と捉えて，位置データの解析に対する数理モデルの構築を中核に進めていった．プレーや指導の現場において戦術とは，チームや組織が合目的・経済的に協力の仕方を蓄積した知識であると捉えられる場合も多く，チームや組織によって戦術に関する知識は同一ではなく，更には多様であることが考えられる．その中において本研究では，ボールとプレイヤーの位置データと，その数値データを解析する数理モデルから，競技として一般的な戦術分析の枠組みを構築した．そのため，現状として現場で求められる，組織やチームごとに求められるような戦術分析に対応する枠組みの構築までには至っていない．すなわち本取組みは，将来的に数値データを直接的に活用した，戦術分析の構築における基礎的な研究として位置付けられると考える．そのため，ボールにフォーカス（状態，状況，所属など）し，戦術的分析の基盤となる「ボールの保持」の客観的な確定が中核であった．その内容を考慮すると，本研究の限界として，戦術分析の構築といえども，あくまでも戦術的分析の基盤となる「ボールの保持」の客観的な確定に限定せざる得ない．今後は，今回明らかとなった限界に対して，本研究

でも取り組んだ，数理モデルによるパスの状況に対する判定のような，多様なゲーム状況に対する判定等の研究を進めていく必要があると思われる．

また，本研究で構築した，戦術分析システムによる解析は，1試合のうちの前半部分（45分間のデータ）に対する分析であった．そのため，戦術分析システム自体の検証を進めていく必要がある．今回の取組みは，数値データのデータ数としては多いが，ゲーム数という側面からすると，ゲーム数自体も対象数を増加させていく必要がある．したがって，今後も様々なゲームさらにはゲーム数の数値データに対して検証を進めていかななくてはならない．また，そのデータの確保や収集に関して，それ自体が重要な事項であり，データ収集について様々な工夫を行っていく必要がある．特にデータ収集については，現状として GPS（Global Positioning System）を活用したものや，高性能なカメラ（追尾カメラも含む）撮影による映像からのもの等，テクノロジーの発展により，より高性能化の方向へ進んできている．高性能になるがゆえ，高価で一般的でないデータ収集システムが構築されていく可能性もあり，今後は比較的容易に位置データである数値データが収集できるシステムの構築もあわせて研究を進めていく必要がある．

また，本研究での戦術分析の基盤をなす，数理モデルである攻守推移モデルの解析で用いたパラメーターの明確化である．今回は，ボールの速度（ v ）と角度（angle），ボールの近傍の半径（ r ）について，競技レベルでの妥当な数値を設定し解析を行った．今後は，ゲームを取り巻く多様な要因（競技レベル，天候，ピッチ状況など）と関連付け，明確化を進めていく必要がある．先に示した多様な要因によって，パラメーターの妥当な数値の傾向が得られるよう研究を重ねていく必要がある．

先述した課題への取組みを進めていくことによって、当然数値データを活用した戦術システムの枠組みの強化が図られ、調査研究としての質的向上が図られていく。戦術という人の認識に影響を受ける概念に関する研究として、客観及び主観という認識論的な障壁はあるものの、横断的また縦断的な調査研究は今後も求められるであろう。

最後に、数値データから直接的に戦術分析システムで分析を行った結果の、指導現場への貢献を明らかにしていく必要がある。戦術システムの高度化は、今後の取組みとして必要不可欠な方向性である。しかし現時点で、戦術分析システムを指導現場で、従来行われている、観察者による分析と同様なレベルでの活用は難しい状況であり、今後の技術革新も待たれる状況であることも明らかとなった。そのような中で、現時点での客観的な戦術分析の結果を活用した現場への貢献について、貢献の枠組みを構築する方向性を模索することは重要である。第2章での数理モデルによる攻撃/守備の判定の比較に、人手による攻撃/守備の判定を用いたが、現状として指導現場での戦術分析では、攻撃/守備の判定は暗黙の了解で観察者に委ねられている。すなわち、指導現場においては、ゲーム状況に対する認識（例えば、攻撃/守備など）を相互確認しないまま進められてしまっていることも予想され、指導者間等による質の高いディスカッションが構築できない場合も生じてくることが考えられる。そのようなことが生じないためにも、ディスカッションのスタートとしての共通認識を構築（コンセンサス）するツールの1つとして、本研究で構築した戦術分析を用いることは有効であると考えられる。今後は、本研究で用いた枠組みで得られる、客観的戦術的エビデンスの、指導の現場で得られる、ディスカッション等への効果についての検証を明らかにしていくことも重要な取り組みの1つと捉えることができる。すなわ

ち、戦術分析システムによってアプトプットされた結果を、客観的な戦術的なエビデンスとして、数値や可視化によって示すことにより、指導者や選手間での対話を通じて、戦術認識に対する学習が促進される可能性がある(Webb et al., 2021)こともあわせて、今後探求すべき側面である。

このように、本研究における成果と課題について述べたが、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、という方向性への取り組みはこれまでも、これからも重要な事項である。そのような方向性の中で、本研究で戦術分析システムの枠組みの基礎構築に貢献できたことは、今後のサッカーの競技及び指導力向上の貢献へと繋がっていくことができるであろう。

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.
- 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, pp164.
- 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,pp239.
- 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,pp210.
- 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, pp303.

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, AkiraA, Otsuka, Hiroshi, Deguchi, Tatsuya, Okihara, Ken, Otsuka, Dota, Uchida, Shinya, Garcia, Jorge Diaz-Cidoncha, Khoo, Selina, Stroud, David, Sugiyama, Masahiro. Tactical analysis through objective data in football. Insight - Sports Science. 2020, vol. 2, no. 1, 1-15.