慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	多物体追跡に関する研究動向 : ゴール型ゲーム・ スポーツにおける研究適応の現状と可能性
Sub Title	Trend of multiple object tracking : current and future for adaptation in goal-type game sports phenomena
Author	永田, 直也(Nagata, Naoya)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2023
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the Institute of Physical Education, Keio University). Vol.62, No.1 (2023.) ,p.10- 18
JaLC DOI	
Abstract	This study summarized the results of previous research on the multiple object tracking task and discussed its adaptation and potential in sports phenomena. Previous studies on multiple object tracking used the FINST, multi-vertex tracking, multifocal attention, and FLEX models to explain the phenomenon of humans tracking multiple objects. The ability of track multiple object was examined regarding the speed and number of objects that could be tracked. In sports, especially goal-type games, there are situations where it is necessary to track multiple objects simultaneously. In addition to the speed and number of objects examined, there were proficiency levels and unique contexts in goal-type game sports. Considering these factors will be necessary to adapt multiple object tracking task to sports phenomenon.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00620001-0010

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

多物体追跡に関する研究動向
：ゴール型ゲーム・スポーツにおける研究適応の現状と可能性

永田　直也 *

Trend of multiple object tracking
: Current and future for adaptation in goal-type game sports phenomena

Naoya Nagata[1)]

This study summarized the results of previous research on the multiple object tracking task and discussed its adaptation and potential in sports phenomena. Previous studies on multiple object tracking used the FINST, multi-vertex tracking, multifocal attention, and FLEX models to explain the phenomenon of humans tracking multiple objects. The ability of track multiple object was examined regarding the speed and number of objects that could be tracked. In sports, especially goal-type games, there are situations where it is necessary to track multiple objects simultaneously. In addition to the speed and number of objects examined, there were proficiency levels and unique contexts in goal-type game sports. Considering these factors will be necessary to adapt multiple object tracking task to sports phenomenon.

キーワード：多物体追跡課題，注意制御，空間視野，運動知覚
Key words：multiple object tracking，attentional control，spatial vision，motion perception

1．はじめに

日常生活の中では，複数対象の運動を同時に追跡する状況が存在する。たとえば，自動車を運転している際には，進行方向を同じくする車，対向車，歩行者など，安全な運行に係る対象を追跡する必要がある。この複数対象を追跡する状況は，スポーツ環境，特にゴール型ゲームのスポーツにおいても存在する。ゴール型ゲームのひとつであるサッカーのゴールキーパーは，失点を防ぐため，主に次の対象を追跡している。ボールについては，その位置や動く方向・速さを認知し，追跡している。対戦相手については，その選手がボールを持っているか，シュートを狙っているか，パスを受けようとしているかなどの動きを認知し，追跡している。味方選手については，その選手がボールに向かって移動しているか，空いているスペースへ移動しているかなどの動きを認知している。それぞれの対象は，運動速度・方向やボール保持者・非保持者といった対象の様態が刻々変化しており，常に同じ状況にはない。この中でゴール型ゲーム熟練者は，これら複数対象の運動を同時に追跡し，その場に必要な判断を行いプレーしている。この複数対象を追跡し判断する巧みさは，ゴール型ゲームをプレー・観戦する際の魅力のひとつであろう。一方で非熟練者は，複数対象のうち，あたかもひとつの対象しか追跡できず，追跡できていない対象のプレーによって失敗しているように見られる。たとえば，サッカーで非熟練者のゴールキーパーは，ボールを保持している対戦相手の動きのみを追跡し，人のいないスペースへ走り込んでボール受け取る対戦相手の動きを追跡できずに失点してしまうことがある。このような複数対象を追跡できない現象はどのよう

* 慶應義塾大学体育研究所専任講師　　1）Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University

な理由によるのだろうか。そこで本研究では，人が複数物体を追跡する現象を検討した研究やその現象に関連する研究を記述的にまとめ，追跡者の中で起きているメカニズムを示す。そして，スポーツ現象において現在示唆されている内容を示し，今後の研究の可能性を検討することを目的とする。

2．多物体追跡課題における追跡方略について

複数物体を同時に追跡する現象を検討した研究は，多物体追跡課題と呼ばれる心理物理的な実験によって進められてきた。最初に多物体追跡課題を用いて複数物体を追跡する現象を検討したのは，Pylyshyn と Storm である。Pylyshyn and Storm（1988）が用いた多物体追跡課題は，次の内容となっている（図１）。① ディスプレイ上に10個の小さな十字を表示し，そのうち５個を追跡が必要な対象として点滅させる。② 点滅後，10個の十字はディスプレイ上を７～15秒間ランダムに運動する。③ 運動終了後，10個の十字のうち１個が点滅するので，この十字が追跡必要な対象であったかどうかを追跡者は回答する。この実験において追跡者が 85.6％の正答率を示したことから，人は複数物体を同時に追跡できることが実証された。その後，他の研究者たちがこの多物体追跡課題を用い，さまざまな条件下において人が複数物体を追跡する現象を検討してきた。それらの研究では，人が複数物体を追跡する際に用いる方略について４つの仮説が示され，検証されてきた。本章では，その４つの仮説を解説し，それぞれが持つ特徴について述べる。

Pylyshyn and Storm（1988）は，実験において追跡者が用いていた追跡方略を FINST（FINgers of INSTantiation）モデルとして提唱した。FINST モデル（Pylyshyn, 1989, 2001；Pylyshyn and Annan, 2006；Pylyshyn and Storm, 1988）は，追跡者が各追跡対象物体にインデックス（牽引，見出し）をつけ，このインデックスを手がかりに１個ずつ物体を追跡する方略である。この仮説で特徴的なことは，インデックスが追跡者の物体への迅速なアクセスを可能にするポインターとしての役割を果たしており，物体が追跡対象かそうでないかの弁別を前注意的処理によって並列的に処理しているとする考えである。前注意的処理は，「テクスチャーの弁別のような視覚刺激を広範囲にわたってすばやく，自動的に（無意識的あるいは自発的に）処理するモード」（行場，1986）である。具体的には，人が物体を弁別する際に，物体が持つ色や形，質感などといったテクスチャーを用いて自動的に処理することである。これにより人は，注意を伴わずに複数の物体を弁別することができる。視野内における注意を検討している研究では，視野内に同時に向けることができる注意は１対象であるという仮説がある（Posner, 1980）。この仮説に沿えば，追跡においては，複数物体を１個ずつ追跡対象であるかどうか弁別する，対象物体の位置を記憶・保持する，運動後の位置を予測するといった複数の認知的な過程を経る必要があり，複数物体を同時に追跡することは困難である。しかし，物体につけられたインデックスによって物体の弁別が前注意的処理によって行われ

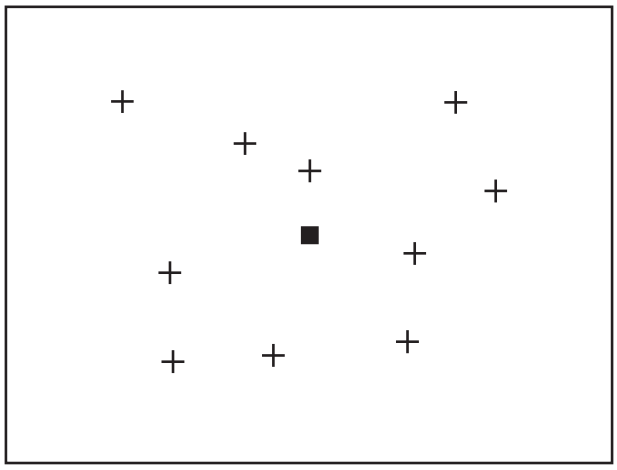

図１．多物体追跡課題の例（Pylyshyn and Storm（1988）を参考に筆者作成）
図中にある10個の十字のうち，任意の数が追跡対象となる。
追跡者は，図中央の四角形に視点を置きながら物体を追跡する。

るのであれば，物体が追跡対象かどうかの弁別が自動的に行われるため，視野内に同時に払われる注意が１対象であってもより多くの物体の追跡が可能となる。

２つ目の仮説は，多角形認識仮説（Erlikhman et al., 2013；Yantis, 1992；Zhao et al., 2014）である。この仮説では，追跡者は呈示された追跡対象物体を線でつなぎ，１個の多角形の物体として認知する。対象物体の追跡は，物体の運動による多角形の形の変化を利用して追跡対象物体の位置情報の更新を行い認知するという仮説である。たとえば，十字が追跡対象物体であったPylyshyn and Storm（1988）の実験課題条件では，追跡対象である十字の中心を図２のように直線で結ぶことで五角形を描くことができる。追跡者は，追跡対象物体の運動が進む中で物体を１個ずつ追跡するのではなく，この線でつながれた五角形の形状変化を認知し，追跡対象物体とそれ以外の物体を判別していると考えられる。これによって，先のFINSTモデル同様に，視野内において同時に注意を向けることができる物体が１個であったとしても追跡することが可能となる。

３つ目の仮説は，多焦点注意仮説（Cavanagh and Alvarez, 2005）である。この仮説は，先の２つの仮説と異なり，視野内にある物体の複数に同時に注意を向けることができるという考えに基づいている（Awh and Pashler, 2000；Castiello and Umiltà, 1992；McMains and Somers, 2004）。Kahneman（1973）は，注意は総量が制限された資源と考え，作業においてはこの資源を配分してあたっているとした。多焦点注意仮説は，この考えに基づいて，空間内にあるすべての追跡対象物体に対して注意資源を配分して追跡していると考える（図３）。また，この仮説においては，視野内に向けることができる注意の数は無限に存在するわけではなく，固定された数が存在していると考えられている（Cavanagh and Alvarez, 2005）。たとえば，左右視野における追跡可能物体数の検討をした研究がある。Alvarez and Cavanagh（2005）は，ディスプレイを左右に分け，左右それぞれにおいて多物体追跡課題を実施する条件，左右どちらか一方に多物体追跡課題を実施する条件の２条件からなる実験を実施した。実験の結果，左右どちらか一方に複数の運動物体を呈示し追跡させた課題では，物体追跡の正確性が低下することが示された。また，Chen et al.（2013）は，追跡する物体の移動速度は，左右の視野内それぞれで影響を及ぼしていることを示した。すなわち追跡に用いる注意は，左右の視野で分かれていると考えられる（Alvarez and Cavanagh, 2005；Chen et al., 2013；Störmer et al., 2014）。

４つ目の仮説は，フレックス仮説である。これは，複数物体を追跡する正確性には物体の運動速度や物体間の距離が影響をしており，これらの要素によって追跡可能な数は変化するという仮説である（Alvarez and Franconeri, 2007）。この仮説では，先の多焦点注

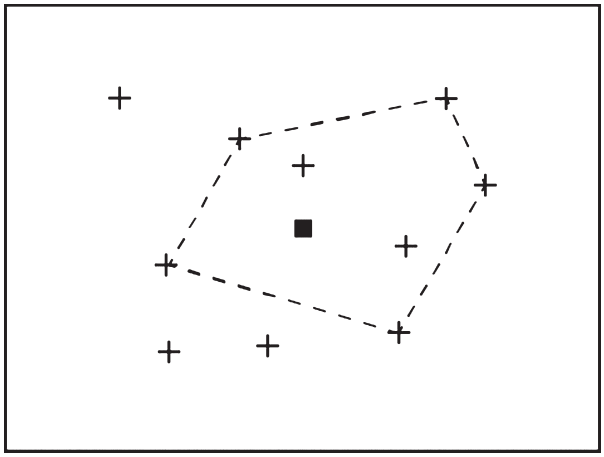

図２．多角形認識仮説のイメージ（Pylyshyn and Storm（1988）の実験条件から筆者作成）
追跡者は，追跡対象物体を直線で結んだ仮想の多角形の変形によって，追跡対象物体とそれ以外の物体を弁別する。

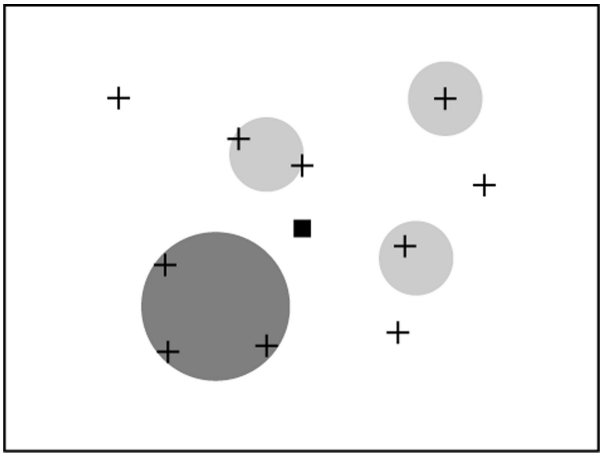

図３．多焦点注意仮説およびフレックス仮説のイメージ（Pylyshyn and Storm（1988）の実験条件から筆者作成）。図中の円は追跡者の分割された注意を示し，その濃淡が注意配分量を表している。

意仮説と同様に，視野内にある複数の物体に注意を向けることができるという考えに基づいている。追跡者は，物体が複数存在する空間，物体の素早い運動速度など追跡が困難な状況では，困難な状況が起きている空間により多くの注意資源を配分して追跡を行っていることが示唆されている（Horowitz and Cohen, 2010；Iordanescu et al., 2009）（図３）。また，この仮説に関連する仮説として空間干渉仮説がある（Franconeri et al., 2010）。空間干渉仮説では，追跡対象物体がそうでない物体とどの程度離れているかが追跡の正確性に影響を与えていると考えられている。物体間の距離を検討した研究では，追跡対象物体の視野角 3deg 以内にそうでない物体が近づいた場合には弁別が難しくなり（Iordanescu et al., 2009），追跡の正確性が低下することが報告されている（Franconeri et al., 2008；Holcombe et al., 2014；Intriligator and Cavanagh, 2001；Tombu and Seiffert, 2008）。Iordanescu et al.（2009）の実験では視点がディスプレイ中心に固定するよう指示されていたことから，追跡者は対象物体の認知に細部まで見ることが難しい周辺視を用いていた。そのため追跡者は，物体感の距離が近づいた場合には，追跡対象物体とそうでない物体を混同してしまったと考えられる（Levi, 2008；Strasburger et al., 2011）。このことから複数物体の追跡には，注意資源の配分と周辺視野といった生理学的影響が重なり合って影響していることがわかる。

ここまで４つの仮説を説明してきたが，多物体追跡課題においては，人が複数物体を追跡できるかどうかだけでなく，人の注意のメカニズムがどのように存在し，物体の追跡に作用しているかについての検討がされている。これらの仮説は，それぞれを支持する研究結果が示されており，どの仮説が最も良く多物体追跡現象を説明しているかまだ結論が出ていない。また，これらの仮説が，課題の状況によって使い分けられている可能性もある。追跡者が用いる多物体追跡方略を明らかにするには，今後も検討を続けていく必要があるだろう。

３．多物体追跡課題における正確性に及ぼす要因および可変性に関する研究

先の章においては，人が複数の物体を追跡できること，そこで用いられている方略が複数の仮説によって説明されていることを示した。次に検討される内容は，人はいくつの物体を同時に追跡できるのか，どの程度の速度の物体を追跡できるのかといった，追跡能力についてである。本章では，多物体追跡課題における正確性に及ぼす要因を検討した研究についてまとめる。正確性に及ぼす要因としては，呈示される物体数，物体間の距離，物体の運動速度，物体の形状，視覚探索方略，追跡者の運動を取り上げた。また，追跡する能力が熟達するかどうかという観点についてもまとめる。熟達については，加齢と学習（経験）について取り上げた。

１）追跡可能な物体数，物体間の距離と追跡の正確性について

Pylyshyn and Storm（1988）が実施した最初の研究では，ディスプレイ上に10個の物体を呈示し，そのうちいくつを追跡できるか検討を行った。実験の結果，物体の運動速度が視野角で 1.25 ～ 9.4 deg/sec の場合，３～５個の物体を追跡できることが報告されている。この３～５個という数は，物体の運動速度が視野角で 4.67 deg/sec であった Yantis（1992）の研究においても同様の結果が得られている。追跡対象物体をそうでない物体と弁別することができる数については，運動する物体ではないが，ディスプレイ上に配置した物体のうち弁別対象の物体の位置を見分ける課題においても検討されている（Franconeri et al., 2007）。この実験では，物体間の距離を密集条件と過疎条件の２条件で設定し，物体間の距離の違いによる弁別能力を測定した。実験の結果，過疎条件では平均 5.6 箇所，密集条件では平均 4.2 箇所を弁別できることが示された。これらのことから人は，空間に存在する位置や物体を３個以上弁別・追跡することが可能であることがわかる。そして，物体の弁別の正確性には，前章にて説明した空間干渉効果と合わせて，物体間の距離が影響していることが示唆される。また，追跡対象物体数とそれ以外の物体数の関係を式によって示すことを目指した研究もある（Hulleman, 2005）。しかし，これまで行われてきた多物体追跡課題の方法（対象物体のうちひとつを回答するかすべてを回答するか）が異なり，明確な関係式は得られていない。

２）物体の運動速度と追跡の正確性について

追跡の正確性には，物体の運動速度も関係している。Alvarez and Franconeri（2007）は，運動速度と追跡可能物体数は反比例の関係となっていることを明らかにしている。実験結果からは，運動速度が視野角でおよそ 16 deg/sec の時に追跡可能物体数が０となる。また，物体の運動軌道を追跡する精度を検討した研究も存在する（Tripathy and Barrett, 2004）。この研究では，ディスプ

レイ上に点が左から右へ等間隔・等速度でかつ仮想の一直線上に順に出現するように設定され，あたかも点の集合が運動軌道のように見える実験画像が呈示された。また，実験では点の出現間隔が 4 条件に設定され，仮想直線の運動速度が異なるような設定となっていた。点は，ディスプレイ中央において仮想直線上から進行角度を変えて出現する場合があり，追跡者はこの変化を認知することが求められた。実験の結果，進行角度の変化が小さい場合は直線の運動軌跡の変化を正確に認知することが難しく，この現象は点の出現間隔に関係ないことが示された。したがって曲率が小さい線運動においては，運動の速度が物体の追跡に影響を及ぼさないことが示唆される。

3）物体の形状と追跡の正確性について

ここまで取り上げた研究では，追跡における物体数および物体間の距離や運動速度の影響を検討するため，物体の形状を統一して実験を行ってきた。しかし，現実世界においては，物体は個々に形状が異なる。そこで，各物体の形状が異なる場合，多物体追跡課題での追跡の正確性がどうなるか検討が行われている（Cohen et al., 2011；Kyllo and Landers, 1995；Nummenmaa et al., 2017）。Horowitz et al.（2007）は，追跡対象物体の形がそれぞれ異なっている場合，正確に追跡できた物体数は 2 個だったことを報告している。これは，物体の特徴も含めて追跡することが認知的負荷を増大させ，その結果として追跡の正確性が低下したと考えられている。この特徴を持たせた物体を追跡する場合では，複数の追跡対象物体の位置を 1 個ずつ順に認知して追跡する方略をとっていることが示唆されている（Li et al., 2019）。

4）追跡者の視覚探索方略と追跡の正確性について

複数物体追跡時における視点の配置や運動は，物体の正確な追跡にとって重要な要因となるだけでなく，追跡時の注意資源の配分を検討する上でも重要な手がかりとなる。そこでこれまでの研究では，追跡者の多物体追跡課題時における視覚探索方略（視点の配置や運動）について検討が進められてきた。Fehd and Seiffert（2008）は，追跡者の眼球運動を測定し，複数の追跡対象を仮想の線で結んだ多角形の中心に視点が置かれていることを示した。たとえば，追跡対象物体が 5 個ある場合は，この 5 個の物体を仮想の線でつないだ五角形の中心に視点を置いていることを指している。これは，追跡者はすべての追跡対象物体に均等に注意資源を配分できる位置に注視点を置き，周辺視を用いて追跡を実施していることを示唆している（Fehd and Seiffert, 2010；Fluharty et al., 2016；Vater et al., 2016）。

5）追跡者の運動と追跡の正確性について

これまで取り上げた研究では，追跡者は実験室において，静止した状態でディスプレイ上を運動する物体を追跡していた。しかし，現実世界では，自動車の運転時のように，追跡者自身も運動していることがある。Thomas and Seiffert（2010）は，実験室内において追跡者を運動させて多物体追跡課題を実施した。実験の結果，追跡者を運動させた状態での成績は，静止した状態と比べて低いことが示された。この結果は，追跡者が運動する物体の位置を自身の位置との関係で認知しているため，追跡者と追跡対象物体がともに運動する場合は追跡対象物体の位置を認知する際にズレが生じるためであると考えられる（Huff et al., 2009；Rump and McNamara, 2006）。

6）複数物体を追跡する能力と加齢，学習の関係について

多物体追跡課題に関する研究は，人はいつから複数の物体を追跡できるのかという発達や，追跡する能力は向上するのかという熟達の観点からも研究が行われている。人は，生後 6 ヶ月ごろから物体を追跡することができ（Richardson and Kirkham, 2004），6.5歳ごろには成人同様に 4 個の物体を追跡できるようになる（O'Hearn et al., 2005, 2010）。一方で，60歳以上の人は，20～35歳の人と比べて追跡の正確性が低下することが示されている（Insel et al., 2006；Sekuler et al., 2008；Störmer et al., 2011）。また，複数物体の追跡に慣れている職業の人は，そうでない人に比べて多物体追跡課題の成績が良いことが示されている。Allen et al.（2004）は，航空管制官の多物体追跡課題の成績は，大学生と比べて高いことを示した。また，日常的にビデオゲームをしている人は，そうでない人に比べて，多物体追跡課題の成績が良いことが確認されている（Dye and Bavelier, 2010；Green and Bavelier, 2003）。このことは，複数物体を正確に追跡する方略が学習可能であることを示している。しかし，これまでのところ，追跡方略の学習方法に関する研究は見当たらない。また，Memmert et al.（2009）は，多物体追跡に慣れている人がそうでない人よりも正確な追跡ができる状況について，追跡をしている普段の状況に似ていることが必要だという結果も示しており，学習の結果が一般化されるかどうかについては疑問が残っている。熟練者の方略は，指導によるものではなく，複数物体を追跡する環境に置かれることによって自然と学ばれるものかもしれない。

4．スポーツ場面における研究の可能性

「はじめに」で述べたとおり，スポーツ，特にゴール型ゲームにおいては，複数物体を追跡する現象が発生している。ゴール型ゲーム熟練者は，非熟練者と比べて，複数の物体（味方選手，対戦相手，ボール）がある状況においてもそれらを追跡することが可能であり，失点の危険などの判断を適切に行うことができる。本章では，前章でまとめた知見をスポーツの現象にあてはめ，今後の研究の可能性を検討する。

人には，これまでの研究によって同時に追跡できる物体の数に限りがあることがわかっている。したがって，ゴール型ゲームにおいても追跡できる対象の数は，参加選手の人数に関係すると考えられる。たとえば，参加選手は，3人制バスケットボールでは6名，ラグビーでは30名である。先の研究によれば追跡可能数は3～5個（Pylyshyn and Storm, 1988）であり，参加選手が多くなるほど同時に追跡できない対象が増える。また，これらの種目は，プレー空間の広さが異なっている。30名が参加するラグビーのプレー空間は最大70m×100mであり，6名が参加する3人制バスケットボールの15m×11mに比べ広い。広いプレー空間においては，追跡対象間の距離が広がって密集度が低くなり，参加選手数が多くても追跡が容易となる可能性がある。さらに，サッカーなどの種目では，選手によって主に相手陣に攻め入ることが役割，主に自陣に残ってゴールを守ることが役割と攻守の役割が比較的明確に区別されている場合もある。この場合，たとえばディフェンスをしている選手（追跡者）は，相手選手のうち攻め入る役割を持つ選手を主な追跡対象とする戦略を立てることができ，必ずしも参加選手すべてを追跡する必要がない。このような参加選手数やプレー空間，選手による役割などのゴール型ゲームの各種目が持つ特性は，追跡者の複数物体を追跡する方略に違いをもたらすだろう。ゴール型ゲームの現象において複数物体を追跡する方略を検討する際には，種目が持つ特性の違いを考慮する必要がある。

物体の運動速度と追跡の正確性については，人が複数物体を追跡できる最大の速度がこれまでの研究において示されている。この追跡対象物体の運動速度と追跡の正確性の関係は，ゴール型ゲームにおいて選手やボールなど追跡対象の移動速度に当てはめることができると考える。Alvarez and Franconeri（2007）の研究では，ディスプレイ上を動く物体の運動速度を同一条件内では統一し，物体の運動速度と追跡の正確性について検討している。しかし，ゴール型ゲームにおいては，ボールと選手の運動速度や各選手間の運動速度が異なる場合，選手の運動速度が途中で変化する場合などがある。このような物体間での異なった動きや物体内での速度変化は，ゴール型ゲームのみならず日常の現象においても起きるであろう。ゴール型ゲームでの検討に際しては，物体内・間の動きに変化を持たせた上で考慮すべきであろう。

ゴール型ゲームとこれまでの実験環境における最大の違いは，追跡者も運動している点であろう。ゴール型ゲームにおいては，ゴールキーパーを含め，選手が絶えず位置を変更している。そのため，運動中・後の自身の位置と運動中・後の追跡対象の位置関係を常に更新していく必要がある。また，ゴール型ゲームでは，運動する対象との関係だけでなく，得点を決めるまたは防ぐために静止したゴールとの位置関係も考慮にいれる必要がある。ゴール型ゲームにおける複数の物体を追跡する現象は，運動する物体との関係，運動する物体と静止する物体が混在する状況などを考慮して検討を進める必要があるだろう。

ここまで考察したゴール型ゲーム特有の状況における複数物体の追跡においては，ゴール型ゲームに存在する文脈を理解することによって複数物体を追跡することが可能だと考えられる（Abernethy et al., 1999；Williams et al., 2002）。本来，文脈とは文と文との論理的関係を示すが，本稿ではゴール型ゲームにおける前後のプレーをつなぐ背景や定石を示す言葉として用いた。すなわち，選手（追跡者）がボールや他の選手の動きを追跡する際には，選手自身が持つゴール型ゲームの経験に基づいて物体の運動を予測し追跡していると考えられた。多物体を追跡する能力についてこれまでの研究結果からは，競技の経験が影響していることが示されている。Qiu et al.（2018）は，競技における熟達度の違いによって，多物体追跡課題の成績が異なることを示した。また，Jin et al.（2020）は，バスケットボール選手と非スポーツ選手に対して複数の運動速度を設定した多物体追跡課題の成績を比較し，スポーツの熟達度と速い運動速度における多物体追跡課題の正確性が関連していることを示した。一方で，Memmert et al.（2009）は，ハンドボール熟練者とスポーツ非熟練者において多物体追跡課題の成績に違いは認められなかったことを報告している。これらスポーツ選手を対象にした多物体追跡課題の研究においては，ゴール型ゲームの熟達度による違いがあるかどうかについて一

致した結果は得られておらず，更なる検討を進める必要がある。たとえば，新たな実験としては，追跡者の年代を分類することや，追跡者の競技経験を ① ゴール型ゲーム熟練者，② ゴール型ゲーム非熟練者のスポーツ選手，③ 非スポーツ選手とより細かく分類して多物体追跡課題の成績を比較することで，ゴール型ゲームの文脈理解度や認知的能力の違いを示すことができるのではないだろうか。

また，ゴール型ゲームにおいて複数物体を追跡する状況では，単に複数物体を追跡するだけでなく，物体間に優先順位をつけて追跡していると考えられる。たとえば，ゴール型ゲームにおいてディフェンスをしている選手は，失点を防ぐという目的を果たすためにボールを第一に追跡し，次に自身がマークする対戦相手，他の対戦相手，味方選手という優先順位を持って対象を追跡しているだろう。このような状況では，物体に払う注意量の濃淡が起こり，またその濃淡は状況の移り変わりとともに変化することが考えられる。ゴール型ゲーム熟練者が複数物体を追跡できる秘訣は，この注意量の濃淡を統制できる能力にあるのかもしれない。このゴール型ゲーム特有の文脈を踏まえた実験課題を設定した研究は，これまでに実施されていない。ゴール型ゲームのスポーツ選手が複数物体を追跡する能力・方略については，これまでの多物体追跡の知見に加えてゴール型ゲーム特有の文脈を含めて検討を行うことで，スポーツ選手がスポーツ場面において示す注意方略の検討を進めることができると考える。また，ゴール型ゲームのスポーツ選手が持つ能力について検討を進めていくことが，ゴール型ゲーム熟練者の特徴を明らかにするだけでなく，非熟練者の能力向上にもつながると考えられる（Williams and Grant, 1999）。スポーツ場面におけるこれまでの学習方法は，経験を積み重ねていくことが主なものだった。今後のより効果的なパフォーマンス向上に向けては，科学的な知見を積み重ねていく必要がある。

参考文献

Abernethy, B., Wood, J. M., and Parks, S. (1999) Can the anticipatory skills of experts be learned by novices? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *70*(3), 313–318. https://doi.org/10.1080/02701367.1999.10608050

Allen, R., Mcgeorge, P., Pearson, D., and Milne, A. B. (2004) Attention and expertise in multiple target tracking. *Applied Cognitive Psychology*, *18*(3), 337–347. https://doi.org/10.1002/acp.975

Alvarez, G. A., and Cavanagh, P. (2005) Independent resources for attentional tracking in the left and right visual hemifields. *Psychological Science*, *16*(8), 637–643. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01587.x

Alvarez, G. A., and Franconeri, S. L. (2007) How many objects can you track?：Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *Journal of Vision*, *7*(13), 1–10. https://doi.org/10.1167/7.13.14

Awh, E., and Pashler, H. (2000) Evidence for split attentional foci. *Journal of Experimental Psychology：Human Perception and Performance*, *26*(2), 834–846. https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.2.834

Castiello, U., and Umiltà, C. (1992) Splitting Focal Attention. *Journal of Experimental Psychology：Human Perception and Performance*, *18*(3), 837–848. https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.837

Cavanagh, P., and Alvarez, G. (2005) Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(7), 349–354. https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.009

Chen, W. Y., Howe, P. D., and Holcombe, A. O. (2013) Resource demands of object tracking and differential allocation of the resource. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *75*(4), 710–725. https://doi.org/10.3758/s13414-013-0425-1

Cohen, M. A., Pinto, Y., Howe, P. D. L., and Horowitz, T. S. (2011) The what-where trade-off in multiple-identity tracking. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *73*(5), 1422–1434. https://doi.org/10.3758/s13414-011-0089-7

Dye, M. W. G., and Bavelier, D. (2010) Differential development of visual attention skills in school-age children. *Vision Research*, *50*(4), 452–459. https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.10.010

Erlikhman, G., Keane, B. P., Mettler, E., Horowitz, T. S., and Kellman, P. J. (2013) Automatic feature-based grouping during multiple object tracking. *Journal of Experimental Psychology：Human Perception and Performance*, *39*(6), 1625–1637. https://doi.org/10.1037/a0031750

Fehd, H. M., and Seiffert, A. E. (2008) Eye movements during multiple object tracking：Where do participants look? *Cognition*, *108*(1), 201–209. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.11.008

Fehd, H. M., and Seiffert, A. E. (2010) Looking at the center of the targets helps multiple object tracking. *Journal of Vision*, *10*(4), 19.1–13. https://doi.org/10.1167/10.4.19

Fluharty, M., Jentzsch, I., Spitschan, M., and Vishwanath, D. (2016) Eye fixation during multiple object attention is based on a representation of discrete spatial foci. *Scientific Reports*, *6*.
https://doi.org/10.1038/srep31832

Franconeri, S. L., Alvarez, G. A., and Enns, J. T. (2007) How many locations can be selected at once? *Journal of Experimental Psychology：Human Perception and Performance*, *33*(5), 1003–1012.
https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.5.1003

Franconeri, S. L., Jonathan, S. V., and Scimeca, J. M. (2010) Tracking multiple objects is limited only by object spacing, not by speed, time, or capacity. *Psychological Science*, *21*(7), 920–925.
https://doi.org/10.1177/0956797610373935

Franconeri, S. L., Lin, J. Y., Pylyshyn, Z. W., Fisher, B., and Enns, J. T. (2008) Evidence against a speed limit in multiple-object tracking. *Psychonomic Bulletin and Review*, *15*(4), 802–808.
https://doi.org/10.3758/PBR.15.4.802

Green, C. S., and Bavelier, D. (2003) Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, *423*(6939), 534–537.
https://doi.org/10.1038/nature01647

行場次朗（1986）視覚系の図地分凝における非対称性：前注意処理過程の特質．テレビジョン学会技術報告，*11*，19–24.

Holcombe, A. O., Chen, W.-Y., and Howe, P. D. L. (2014) Object tracking: Absence of long-range spatial interference supports resource theories. *Journal of Vision*, *14*(6), 1–1.
https://doi.org/10.1167/14.6.1

Horowitz, T. S., and Cohen, M. (2010) Direction information in multiple object tracking is limited by a graded resource. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *72*(7), 1765–1775.
https://doi.org/10.3758/APP

Horowitz, T. S., Klieger, S. B., Fencsik, D. E., Yang, K. K., Alvarez, G. A., and Wolfe, J. M. (2007) Tracking unique objects. *Perception and Psychophysics*, *69*(2), 172–184.
https://doi.org/10.3758/BF03193740

Huff, M., Jahn, G., and Schwan, S. (2009) Tracking multiple objects across abrupt viewpoint changes. *Visual Cognition*, *17*(3), 297–306.
https://doi.org/10.1080/13506280802061838

Hulleman, J. (2005) The mathematics of multiple object tracking：From proportions correct to number of objects tracked. *Vision Research*, *45*(17), 2298–2309.
https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2005.02.016

Insel, K., Morrow, D., Brewer, B., and Figueredo, A. (2006) Executive function, working memory, and medication adherence among older adults. *Journals of Gerontology - Series B Psychological Sciences and Social Sciences*, *61*(2), 102–107.
https://doi.org/10.1093/geronb/61.2.P102

Intriligator, J., and Cavanagh, P. (2001) The Spatial Resolution of Visual Attention. *Cognitive Psychology*, *43*(3), 171–216.
https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0755

Iordanescu, L., Grabowecky, M., and Suzuki, S. (2009) Demand-based dynamic distribution of attention and monitoring of velocities during multiple-object tracking. *Journal of Vision*, *9*(4), 1–12.
https://doi.org/10.1167/9.4.1

Jin, P., Li, X., Ma, B., Guo, H., Zhang, Z., and Mao, L. (2020) Dynamic visual attention characteristics and their relationship to match performance in skilled basketball players. *PeerJ*, *8*, 1–16.
https://doi.org/10.7717/peerj.9803

Kahneman, D. (1973) *Attention and Effort*. Premtice-hall Inc.

Kyllo, L., and Landers, D. (1995) Goal setting in sport and exercise：A research synthesis to resolve the controversy. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *17*(2), 117–137.

Levi, D. M. (2008) Crowding-An essential bottleneck for object recognition：A mini-review. *Vision Research*, *48*(5), 635–654.
https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.12.009

Li, J., Oksama, L., and Hyönä, J. (2019) Model of Multiple Identity Tracking (MOMIT) 2.0：Resolving the serial vs. parallel controversy in tracking. *Cognition*, *182*(48), 260–274.
https://doi.org/S0010027718302749

McMains, S. A., and Somers, D. C. (2004) Multiple spotlights of attentional selection in human visual cortex. *Neuron*, *42*(4), 677–686.
https://doi.org/10.1016/s0896-6273(04)00263-6

Memmert, D., Simons, D. J., and Grimme, T. (2009) The relationship between visual attention and expertise in sports. *Psychology of Sport and Exercise*, *10*(1), 146–151.
https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2008.06.002

Nummenmaa, L., Oksama, L., Glerean, E., and Hyönä, J. (2017) Cortical Circuit for Binding Object Identity and Location During Multiple-Object Tracking. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.：1991)*, *27*(1), 162–172.
https://doi.org/10.1093/cercor/bhw380

O'Hearn, K., Hoffman, J. E., and Landau, B. (2010) Developmental profiles for multiple object tracking and spatial memory：Typically developing preschoolers and people with Williams syndrome. *Developmental Science*, *13*(3), 430–440.
https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00893.x

O'Hearn, K., Landau, B., and Hoffman, J. E. (2005) Multiple object tracking in people with williams syndrome and in normally developing children. *Psychological Science*, *16*(11), 905–912.
https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01635.x

Posner, M. I. (1980) Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3–25.
https://doi.org/10.1080/00335558008248231

Pylyshyn, Z. W. (1989) The role of location indexes in spatial perception：A sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition*, *32*, 65–97.
https://doi.org/10.1016/0010-0277(89)90014-0

Pylyshyn, Z. W. (2001) Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, *80*(1–2), 127–158.
https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00156-6

Pylyshyn, Z. W., and Annan, V. (2006) Dynamics of target selection in Multiple Object Tracking (MOT). *Spatial Vision*, *19*(6), 485–504.
https://doi.org/10.1163/156856806779194017

Pylyshyn, Z. W., and Storm, R. W. (1988) Tracking multiple independent targets：evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, *3*(3), 179–197. https://doi.org/10.1163/156856888X00122

Qiu, F., Pi, Y., Liu, K., Li, X., Zhang, J., and Wu, Y. (2018) Influence of sports expertise level on attention in multiple object tracking. *PeerJ*, *2018*(9), 1–11. https://doi.org/10.7717/peerj.5732

Richardson, D. C., and Kirkham, N. Z. (2004) Multimodal Events and Moving Locations：Eye Movements of Adults and 6-Month-Olds Reveal Dynamic Spatial Indexing. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 46–62. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.46

Rump, B., and McNamara, T. P. (2006) Updating in Models of Spatial Memory. In T. Barkowsky, M. Knauf, G. Ligozat, and D. R. Montello (Eds.), *Spatial Cognition V：Reasoning, Action, Interaction* (pp. 249–269). Springer.

Sekuler, R., McLaughlin, C., and Yotsumoto, Y. (2008) Age-related changes in attentional tracking of multiple moving objects. *Perception*, *37*(6), 867–876. https://doi.org/10.1068/p5923

Störmer, V. S., Alvarez, G. A., and Cavanagh, P. (2014) Within-hemifield competition in early visual areas limits the ability to track multiple objects with attention. *Journal of Neuroscience*, *34*(35), 11526–11533. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0980-14.2014

Störmer, V. S., Li, S. C., Heekeren, H. R., and Lindenberger, U. (2011) Feature-based interference from unattended visual field during attentional tracking in younger and older adults. *Journal of Vision*, *11*(2), 1–12. https://doi.org/10.1167/11.2.1

Strasburger, H., Rentschler, I., and Juttner, M. (2011) Peripheral vision and pattern recognition：A review. *Journal of Vision*, *11*(5), 13–13. https://doi.org/10.1167/11.5.13

Thomas, L. E., and Seiffert, A. E. (2010) Self-motion impairs multiple-object tracking. *Cognition*, *117*(1), 80–86. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.07.002

Tombu, M., and Seiffert, A. E. (2008) Attentional costs in multiple-object tracking. *Cognition*, *108*(1), 1–25. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.014

Tripathy, S. P., and Barrett, B. T. (2004) Severe loss of positional information when detecting deviations in multiple trajectories. *Journal of Vision*, *4*(12), 4. https://doi.org/10.1167/4.12.4

Vater, C., Kredel, R., and Hossner, E.-J. (2016) Detecting single-target changes in multiple object tracking：The case of peripheral vision. *Attention, Perception and Psychophysics*, *78*, 1004–1019. https://doi.org/10.3758/s13414-016-1078-7

Williams, A. M., and Grant, A. (1999) Training Perceptual Skill in Sport. *International Journal of Sport Psychology*, *30*, 194–220.

Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., and Smeeton, N. J. (2002) Anticipation skill in a real-world task：Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology：Applied*, *8*(4), 259–270. https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.4.259

Yantis, S. (1992) Multielement visual tracking：attention and perceptual organization. *Cognitive Psychology*, *24*(3), 295–340. https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90010-Y

Zhao, L., Gao, Q., Ye, Y., Zhou, J., Shui, R., and Shen, M. (2014) The role of spatial configuration in multiple identity tracking. *PLoS ONE*, *9*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093835

（受付：2022年 6 月15日，受理：2022年10月12日）