©NSCA JAPAN
Volume 29, Number 7, pages 4-8

特集 feature

スポーツ科学におけるゴール型球技スポーツの評価方法の変移と今後の展望

高井 洋平, Ph.D., 鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系 准教授

1. はじめに

サッカーやラグビーのようなゴール型球技スポーツでは、各選手のフィジカル能力やボールを扱うテクニカルプレー(パス、ドリブルなど)の精確性だけでなく、チームメイトと連動(協調)する必要がある。得点や相手チームからボール奪取するために、選手個々ではそれができなくても、複数人が関わることで達成できることがある。ゴール型球技スポーツにおけるトレーニングは、試合を想定した場面を設定し、実際に類似した場面が試合で起こった時にどのように動き、プレーするかについてお互いに共通認識をもつことを目的にすることが多い。各選手は、ボール、チームメイトおよび相手チームの選手の位置関係を認識し、その瞬間または先に行なう動きやプレーの意思決定を行なう。人や動物の行動の場面で、個々の集まりである集団のパフォーマンスが個々のパフォーマンスの総和を上回ることが観察される(16)。集団のパフォーマンスは、選手間の相互作用によって創出される。Duarteら(7)は、生物学的モデルがスポーツにおけるチームパフォーマンスの分析に役立つことを主張している。生物学的モデルは、集団を構成する個体の移動方向、速度、個体間の位置関係などを変数として、お互いの反復的な相互作用が社会的な集団行動を生み出すことを説明するのに用いられる。世界的に有名なサッカーの監督が、「選手たちが鳥の群れのように動いているように見える時は、うまくいっている」や、「フィットネスそれ自体は問題ではなく、すべてはフィールド内での秩序立った関連であり、相手より多く走ることは問題ではない」という話をしている(1)。つまり、ゴール型球技スポーツのチームとしてのトレーニングは、選手個々のフィジカル能力やテクニカルプレーに着目するだけでなく、選手間の相互作用によって創発されるパターンを作るように設定することが求められる(7)。

ゴール型球技スポーツは、有限のフィールドで特定の時間内に、構成要素である選手が2つの部分系(チーム)に分かれて競合している系と考えることができる(18)。選手は、ある目的を実現するために、ルールに従って、ボール、チームメイトおよび対戦相手の動きなど不確定な要因を伴いながら動く。そのような状況の中に、試合やチームの詳細に依存しない再現性ある共通の構造を抽出しようという試みがなされている。ゴール型球技スポーツでは、各選手が、ボールの動き(位置や速度)や周りの選手の位置(速度)を知覚認知し、瞬時または予測で動きを意思決定していることから、個体間の相互作用および集団の振る舞いの特徴から検討する必要がある。そこで本稿では、それらを定量する手法を用いた先行知見を紹介するとともに、ゴール型球技スポーツのパフォーマンス評価について今後の展望について述べる。

2. 選手間および集団の評価方法

ゴール型球技スポーツは、試合の流れ(時間的推移)と選手の空間的配置に対して階層的な見方ができる(18)。サッカーやラグビーでは、チームでボールを保持し、得点を狙う攻撃の場面、それを防ぐために動く守備の場面、攻撃(守備)から守備(攻撃)に切り替わる場面、アウトオブプレーの場面がある。さらに各場面で、特定のプレーや戦術的なパターンが起こる。このような場面の構成は、時間的な階層である。すなわち、試合開始から終了までの間に、ある場面の開始から終了の時間帯(シークエンス)があり、その時間帯をさらに細分化すると、片方のチームの攻撃開始から終了までの時間帯(シーン)がある**(図1)**。シーンの繋がりが

シークエンスであり、シークエンスの繋がりが試合全体となる。最も長い時間スケール(マクロスケール)は、1試合あるいは試合を単位とする時間スケールである。最も短い時間スケール(ミクロスケール)は、それぞれの時刻での各選手の動きに着目する時間スケールである。ミクロスケールとマクロスケールとの中間にある時間スケール(メゾスケール)は、攻撃と守備の転換までの一連の流れや、得点やシュートに繋がるプレーなどの局面を切り出した時間スケールである。

次に、選手の空間的な配置に対しても階層を考えることができる(18)。すなわち、選手個人(1体問題)、攻撃者と守備者またはボール保持者と最近接の味方選手などの2選手間の相互作用(2体問題)、およびフォーメーションなどのチーム全体の特徴(多体問題)に着目するといった階層がある。試合時の移動距離やスプリントの回数などは選手個人に着目したものといえる。例えば、攻撃時に短い時間で得点機会を得る攻撃(速攻)と、ボールを保持しながら得点機会をうかがう攻撃(遅攻)との関連から得点機会のあるシーンとそうでないシーンを比較すると、速攻時では得点機会があるシーンのほうがそうでないシーンよりも各選手が高速度帯域(>5 m/s)で移動している(14)。これは、シーンを切り出して、特定の戦術における各選手の移動の特徴を表したものになる。また、マクロスケールで選手個々の移動の特徴を定量した例では、試合時の各選手の方向転換角度と転換前の移動速度との関係は、方向転換角度が鋭角になるほど、方向転換前の移動速度が高く、特に、高速度帯域の移動は、方向転換角度が30°以下で多くみられるというものがある(15)。その他にも、フォーメーション、競技水準、リーグ戦の成績との関連から移動距離について明らかにした研究がある(4,17,21,22)。さらに興味深い研究として、サッカーにおける欧州のトップリーグを対象に、選手個々の移動距離と、同一チーム内の2選手間の移動方向の一致度[注1]を、週に1試合と週に2試合の時の違いを検討した結果、移動距離に週当たりの試合頻度における影響はなかったが、移動方向の一致度は週に1試合よりも2試合のほうが小さくなる(10)。このことは、試合時の選手の動きの特徴を明らかにするためには、個々の選手に着目した変数だけでなく、選手間の相互作用を表す変数も調べる必要があることを示唆している。

注1：変位からヒルベルト変換を用いて位相差を算出するものも含む。ここでは、わかりやすくするために、移動方向の一致度とした。詳細な方法は引用文献を参照されたい。

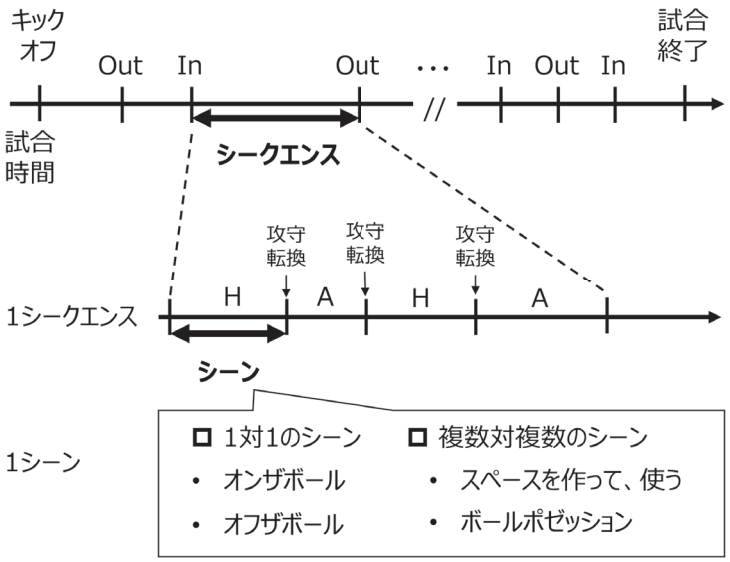


図1　ゴール型球技スポーツにおける時間の階層性(18から引用、改図)
In：プレー開始　Out：プレー終了
H：ホームチームがボール保持　A：アウェイチームがボール保持

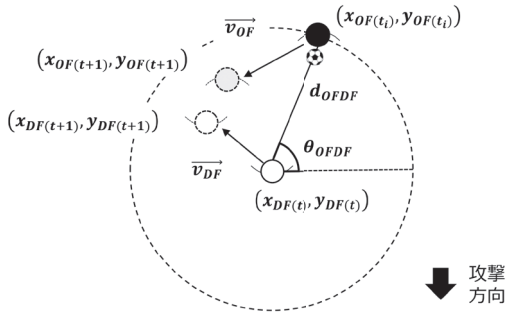
3. 二者間の相互作用に関する研究

ゴール型球技スポーツにおける個体間の相互作用として、攻撃者と守備者の競合(1対1)が挙げられる。ボールを保持する攻撃者が守備者を抜き去るシーンが多くみられる。このような攻撃者と守備者の相互作用を明らかにするために、攻撃者と守備者の距離、相対位置、移動の方向、相対速度などが用いられている(13)。**図2**に、先行研究でよく用いられている変数の算出方法を示す。

ラグビーにおける攻撃者と守備者の競合を対象とした研究では、攻撃者が守備者の背後に引かれたトライラインにボールを置く時の競合の際に、攻撃者が守備者にタックルをされずにボールを置いたシーン(攻撃者成功)、守備者が攻撃者にタックルするが攻撃者がそれを振り払いボールを置いたシーン(攻撃者成功)、守備者のタックルが成功したシーン(守備者成功)を比較すると、二者間の距離や相対位置の時系列データにシーン特異的な違い(19,20)があり、二者間の距離が4 m以下で、相対速度が2 m/sがそのシーンを分類する基準となりうることが示されている(19)。また、ラックのシーンでは、スクラムハーフからパスを受けた攻撃者が別のチームメイトにパスする時の意思決定が、パスを受けた時の攻撃者とその選手に近い守備者の距離とその距離を微分した値の比と関連する可能性が示唆されている(6)。言い換えると、攻

撃者はパスを受ける時に守備者がタックルしてくる時間を知覚認識し、それに基づいてパスをしているといえる。

サッカーにおける攻撃者と守備者の間の相互作用を調べた研究(8)では、攻撃成功時には攻撃者と守備者の移動が同方向になっている(位相差がない)ことが多いが、守備成功時には守備者のほうが先行して動いている(位相差が負になる)ことが多いことが示されている。これは、攻撃成功時には攻撃者の動きに合わせて守備者が動いている一方で、守備成功時には守備者が攻撃者の動きを予測して動いていることを示唆している。さらに、彼らは、近似エントロピーを用いて攻撃成功時と守備成功時の時系列データの規則性を調べた結果、攻撃成功時には動きが予測しづらいが、守備成功時は予測しやすいことを明らかにしている。試合時における同一チーム内の二者間の相互作用について、成塚と山崎(18)は、ある選手に対して速度の向きがどのくらい揃っているかを検討したところ、最近接選手と向きを揃えている傾向にあることを示している。ポジション間でみてみると、攻撃方向およびピッチの側方方向ともにディフェンス間(センターバック、サイドバック)同士およびディフェンスとセントラルミッドフィールダー間での協調した動きが多い(10)。さらに、ポジション間の同調した動きは、対戦相手の競技レベルによって変化し、競技水準が高いチームと対戦した場合には、ポジション間の協調した動きが多くなる(9)。



- 攻撃者と守備者の距離

$$d_{OFDF} = \sqrt{(x_{OF} - x_{DF})^2 + (y_{OF} - y_{DF})^2}$$

- 相対位置

$$\theta_{OFDF} = \sin^{-1}\frac{y_{OF} - y_{DF}}{\sqrt{(x_{OF} - x_{DF})^2 + (y_{OF} - y_{DF})^2}}$$

- 相対速度

$$\Delta v_{OFDF} = \overrightarrow{v_{OF}} - \overrightarrow{v_{DF}}$$

- 移動方向の一致度

$$\Delta\varphi_{OFDF} = \cos(\varphi_{OF} - \varphi_{DF})$$

φ : 移動方向　t:ある時刻t

$$\varphi_{OF} = \tan^{-1}\frac{(y_{OF(t+1)} - y_{OF(t)})}{(x_{OF(t+1)} - x_{OF(t)})} \qquad \varphi_{DF} = \tan^{-1}\frac{(y_{DF(t+1)} - y_{DF(t)})}{(x_{DF(t+1)} - x_{DF(t)})}$$

図２　攻撃者と守備者の競合に用いられる変数の算出方法

4. 集団の特徴を評価する研究

集団の特徴を表す変数(集団変数、**図３**)として、チーム内の選手を含合した面積、チームの重心(center of mass、centroid)、その重心から各選手の距離の平均値からの偏差(stretch index)、チームの長軸方向と横方向の長さ(team range)などがある(7)。また、各選手の移動方向から算出する秩序変数(R)がある(18)。

サッカーにおけるスモールサイド・コンディションゲーム(SSCG)時の2つのチームの重心は、2つのチームで同方向に移動していることを示しており、攻撃方向に対する移動の一致がピッチの側方方向よりも大きい(11)。また、得点時の約50%で攻撃チームの攻撃方向における重心の移動が守備チームの重心を先行する(11)。また、同じポゼッショントレーニング時のボール保持チームと守備チームの面積を競技水準との関連からみた研究では、競技水準にかかわらず、攻撃チームの面積が守備チームの面積よりも大きいことや、競技水準の高いチームは、競技水準が低いチームと比較して攻撃時の面積が大きい一方で、守備時の面積は小さい(12)。移動方向から算出した秩序変数(R)は、競技水準が高いチームが競技水準の低いチームよりも大きい傾向にある**(図４A、B)**(未発表データ)。これは、同じポゼッショントレーニングを行なっても、競技水準の高いチームはお互いに協調するように動いていることを示唆している。成塚と山崎(18)は、試合時のフォーメーションの特徴を表す指標として、チーム内の各選手の座標から重心と標準偏差(各選手の広がり)を用いて、攻撃チームの選手はフィールド内に分散するように位置する一方で、守備チームの選手はゴール前にお互いが近くなるように位置することを示している。

バスケットボールの試合を対象にした研究では、2つのチームのstretch indexが、攻撃(守備)から守備(攻撃)に切り換わる特徴を反映している(2)。上記に挙げた先行研究以外にも、各選手とゴールとボールの相対的な位置関係から、フットサルにおけるチームの振る舞いを明らかにした研究(24)や、ラグビーにおけるゲインライン(ラッ

クの位置からトライラインに近づくこと）の振る舞いから、ゲイン成功時と失敗時の違いを示した研究(5)もある。以上のことから、集団変数は、ゴール型球技スポーツのチームの振る舞いを反映し、攻撃チームと守備チームの相互作用もみることができると考えられる。

5. スポーツ科学におけるゴール型球技スポーツの今後の展望

ここまでゴール型球技スポーツにおける攻撃者と守備者の相互作用および集団の振る舞いを表す変数について、先行研究を挙げながら述べてきた。これらの変数を用いるモチベーションとして、ある規定のピッチサイズ内で、決められた人数の選手が“なんらかのきっかけ（情報）”で意思決定をし、二者間の相互作用や集団の振る舞いが変わる場合に、チーム構成や試合の内容に依存しない再現ある共通の要素を抽出できるかもしれないことである(18)。例えば、サッカーでは、試合に勝つための戦術として、速攻か、遅攻かの議論がなされる。特に、ワールドカップ後のテクニカルレポートに戦術の傾向が示される。これは、他のゴール型球技スポーツにもいえることだろう。しかしながら、本稿で紹介した変数を用いて、戦術の流行に左右しないそのスポーツに共通する要素を抽出することができれば、指導者や選手にとってトレーニングを計画する上で有益な情報になるだろう。

トレーニングには、周りの環境が人の行動を変化させるアフォーダンスの考え方が取り入れられている。指導者はあるトレーニングを行なう時に、ピッチの大きさ、プレーする人数、タッチ制限およびマーカーの置き方などで選手に制約を課す。そして、選手はそのような状況でプレーすることで、その状況に応じた意思決定ができ、適切なプレーができるようになる。例えば、未熟練者が3対1のボールポゼッションを行なう際に、専用のゴム紐で選手間を連結することによって、熟練者と類似した動きに導くことができる(26,27)。また、SSCGにおける攻撃者、守備者およびゴールの相対位置は、ピッチの大きさによって変化する(25)。さらに、サッカーの競技歴が短い選手を対象に、チームの重心と同一チーム内の2人の距離を用いて、SSCGを用いたトレーニングを行なった結果、チームの重心と同一チーム

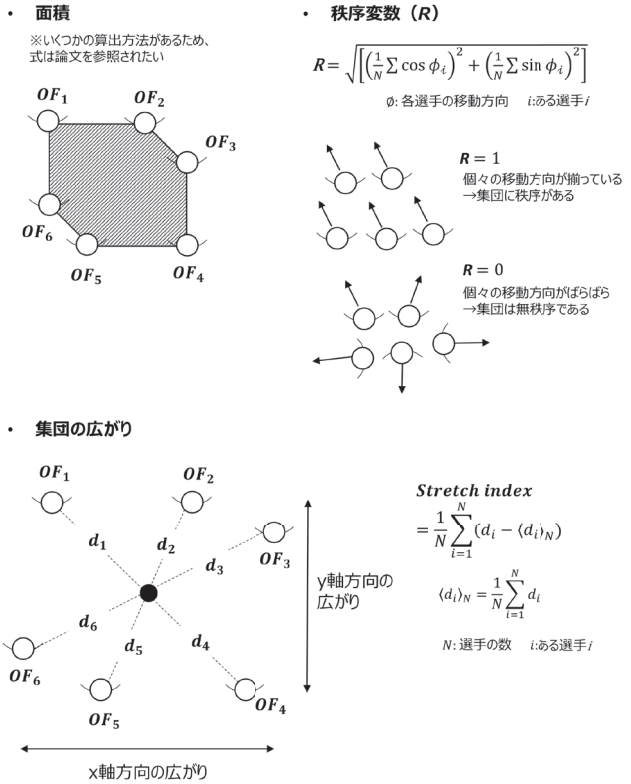


図3　集団の特徴を表す変数

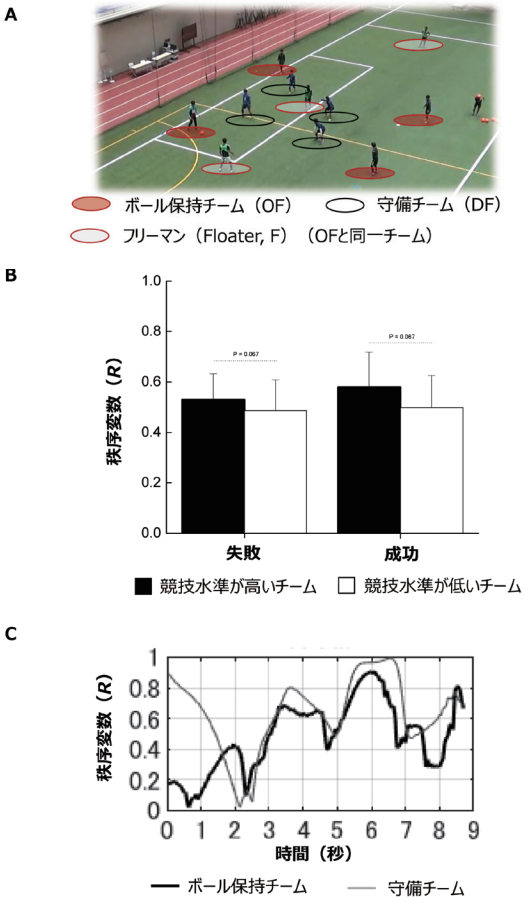


図4　サッカーにおけるポゼッショントレーニング時の秩序変数

内の２人の距離が変化することが示されている(23)。このことは、普段行なっているトレーニングによって、二者間の相互作用や集団の振る舞いを変えられることを示唆している。一方で、分析の際に注意する点がある。１つは、先述した変数はシーン特異的である。例えば、ボールポゼッショントレーニングを対象とした場合に、ボールをコートの逆側にパスをするシーンと、短い距離のパスが続いているシーンでは選手の移動方向から算出した秩序変数(R)が異なる。前者では、Rが１に近くなる(選手の移動方向が揃っている[**図４C**：５～７秒])が、後者ではRが低くなる(選手がばらばらの方向に動いている[**図４C**：１～３秒])。したがって、対象とするシーンを限定する必要がある。次に、分析する時間の長さによって得られる結果が異なる可能性がある(3)。ボールや選手の位置が時々刻々と変化する中で、対象とするシーンを抽出できるような時間区間で平均化などの処理をする必要がある。したがって、今後、各競技で試合時における特定のシーンを評価する変数および各トレーニングで基準となる変数を抽出することができれば、トレーニングによってチームワークがどのように変わっていくかを定量することが可能になり、ゴール型球技スポーツの新たなトレーニング法や評価方法が確立されていくのではないだろうか。◆

参考文献

1. Balague N, Torrents C, Hristovski R, Davids K, Araújo D. Overview of complex systems in sport. *Journal of Systems Science and Complexity* 26: 4-13, 2013.
2. Bourbousson J, Sève C, McGarry T. Space-time coordination dynamics in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *J Sports Sci* 28: 349-358, 2010.
3. Bourbousson J, Deschamps T, Travassos B. From Players to Teams: Towards a Multi-Level Approach of Game Constraints in Team Sports. *International Journal of Sports Science & Coaching* 9: 1393-1406, 2014.
4. Bradley PS, Carling C, Archer D, Roberts J, Dodds A, Di Mascio M, Paul D, Diaz AG, Peart D, Krustrup P. The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 29: 821-830, 2011.
5. Correia V, Araujo D, Davids K, Fernandes O, Fonseca S. Territorial gain dynamics regulates success in attacking sub-phases of team sports. *Psychol Sport Exerc* 12: 662-669, 2011.
6. Correia V, Araujo D, Craig C, Passos P. Prospective information for pass decisional behavior in rugby union. *Hum Mov Sci* 30: 984-997, 2011.
7. Duarte R, Araújo D, Correia V, Davids K. Sports teams as superorganisms: implications of sociobiological models of behaviour for research and practice in team sports performance analysis. *Sports Med* 42: 633-642, 2012.
8. Duarte R, Araújo D, Davids K, Travassos B, Gazimba V, Sampaio J. Interpersonal coordination tendencies shape 1-vs-1 sub-phase performance outcomes in youth soccer. *J Sports Sci* 30: 871-877, 2012.
9. Folgado H, Duarte R, Fernandes O, Sampaio J. Competing with lower level opponents decreases intra-team movement synchronization and time-motion demands during pre-season soccer matches. *PLoS One* 9: e97145, 2014.
10. Folgado H, Duarte R, Marques P, Sampaio J. The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *J Sports Sci* 33: 1238-1247, 2015.
11. Frencken W, Lemmink K, Delleman N, Visscher C. Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European Journal of Sport Science* 11: 215-223, 2011.
12. 福村僚, 甲斐智大, 塩川勝行, 高井洋平. 攻撃方向を伴うボールポゼッショントレーニングにおける集団およびテクニカルプレーに与える競技水準の影響. *スポーツパフォーマンス研究*, 14: 145-157, 2022.
13. Gréhaigne JF, Bouthier D, David B. Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *J Sports Sci* 15: 137-149, 1997.
14. Kai T, Horio K, Aoki T, Takai Y. High-intensity running is one of the determinants for achieving score-box possession during soccer matches. *Football Sci* 15: 61-69, 2018.
15. Kai T, Hirai S, Anbe Y, Takai Y. A new approach to quantify angles and time of changes-of-direction during soccer matches. *PLoS One* 16: e0251292, 2021.
16. Kerr NL and Tindale RS. Group performance and decision making. *Annu Rev Psychol* 55: 623-655, 2004.
17. Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 519-528, 2003.
18. 成塚拓真, 山崎義弘. 統計物理の眼で見るサッカー. *日本物理学会誌* 72: 747-751, 2017.
19. Passos P, Araújo D, Davids K, Gouveia L, Milho J, Serpa S. Information-governing dynamics of attacker-defender interactions in youth rugby union. *J Sports Sci* 26: 1421-1429, 2008.
20. Passos P, Araújo D, Davids K, Gouveia L, Serpa S, Milho J, Fonseca S. Interpersonal pattern dynamics and adaptive behavior in multiagent neurobiological systems: conceptual model and data. *J Mot Behav* 41: 445-459, 2009.
21. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM. Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 28: 1018-1024, 2007.
22. Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisloff U. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J Sci Med Sport* 12: 227-233, 2009.
23. Sampaio J and Maçãs V. Measuring tactical behaviour in football. *Int J Sports Med* 33: 395-401, 2012.
24. Travassos B, Araújo D, Duarte R, McGarry T. Spatiotemporal coordination behaviors in futsal (indoor football) are guided by informational game constraints. *Hum Mov Sci* 31: 932-945, 2012.
25. Vilar L, Duarte R, Silva P, Chow JY, Davids K. The influence of pitch dimensions on performance during small-sided and conditioned soccer games. *J Sports Sci* 32: 1751-1759, 2014.
26. 横山慶子, 田渕規之, 山本裕二. 連携技能に関わる練習道具のトレーニング効果を検証する. *スポーツパフォーマンス研究* 12: 193-208, 2020.
27. Yokoyama K, Shima H, Fujii K, Tabuchi N, Yamamoto Y. Social forces for team coordination in ball possession game. *Phys Rev E* 97: 022410, 2018.

著者紹介

高井 洋平：
博士(スポーツ科学)、鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系准教授、同大スポーツトレーニング教育研究センター センター長。