

事例・症例報告

陸上競技 4×100m リレーにおけるバトンパス技術向上へのデータ活用
—東京 2020 オリンピック大会前の練習における事例—
Assessment of baton-exchange technique in 4×100m Relay
— Toward Tokyo 2020 Olympic Games: a case study —

松林武生¹⁾, 小林海²⁾, 山中亮³⁾, 大沼勇人⁴⁾, 渡辺圭佑⁵⁾, 山本真帆¹⁾, 笠井信一¹⁾,
図子あまね¹⁾, 土江寛裕²⁾

Takeo Matsubayashi¹⁾, Kai Kobayashi²⁾, Ryo Yamanaka³⁾, Hayato Onuma⁴⁾, Keisuke Watanabe⁵⁾,
Maho Yamamoto¹⁾, Nobukazu Kasai¹⁾, Amane Zushi¹⁾, Hiroyasu Tsuchie²⁾

Abstract : This study described the case application of video analysis for the baton-exchange practice of Japanese men's athletics 4×100m relay team toward the Tokyo 2020 Olympic Games, assessing the team's baton-exchange technique. The study also verified the relevance of various indices related to baton-exchange technique and discussed the challenges in future analysis. The passer and receiver were filmed from the side, then their sprinting time and velocities were measured every 5 meters. Some indices relevant to baton-exchange technique were also calculated, e.g., 40m time, from the passer entering into the takeover zone to the receiver passing the point 10m ahead of the zone exit; acceleration of the receiver; baton-exchange duration; baton-exchange position; free distance. The data suggested the team had a high standard of baton-exchange technique. It also indicated that the acceleration of the receiver is important, that shortened baton-exchange duration might not necessarily be required for receiver's successful acceleration, and that the running speed adjustment of passer toward baton exchange and the free distance should be assessed comprehensively considering various factors such as the approach of passer to the receiver. For appropriate interpretation, it appeared essential to carefully check the data and its situation in detail for each trial. Several issues remain to be tackled in future analysis, with further data collection.

Key words : 4×100m relay, baton exchange, video analysis

キーワード : 4×100m リレー, バトンパス, 映像分析

¹⁾国立スポーツ科学センター, ²⁾東洋大学, ³⁾新潟食料農業大学, ⁴⁾関西福祉大学, ⁵⁾宮城学院女子大学

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Toyo University, ³⁾ Niigata Agro-Food University, ⁴⁾ Kansai University of Social Welfare,

⁵⁾ Miyagi Gakuin Women's University

E-mail : takeo.matsubayashi@jpnport.go.jp

受付日 : 2022 年 2 月 7 日

受理日 : 2022 年 8 月 12 日

I. 緒言

陸上競技 4×100m リレーは、4 人の走者がバトンを手渡ししながら約 100m ずつ走り、合計 400m の走タイムを争う競技である。3 回のバトンパスは定められた範囲、つまりテイクオーバーゾーン内で行う必要がある。テイクオーバーゾーン内にてバトンパスを行えなかった場合は失格となる。4×100m リレーの競技記録には、バトンを持ち運ぶ速さ（以降ではバトン移動速度と表す）が反映される。各走者の疾走能力の高さがこれに貢献する。しかしながら、疾走能力に劣るチームが疾走能力に優れたチームに先着することもしばしばある。これにはバトンパスの際のバトン移動速度が影響していると考えられる。つまり 4×100m リレーは、各走者に高い疾走能力が求められると同時に、優れたバトンパスを行う技術が求められる種目といえる。

高い走速度を維持してパスを行うことが重要であることは、古くから経験知として語られていた^{11),15)}。これを科学的に検討する試みは 1990 年頃から始められている。Vonstein (1990)³⁰⁾ は、テイクオーバーゾーンの通過所要時間（当時のテイクオーバーゾーンは 20m、2018 年ルール改正に伴い現在では 30m、渡し走者（以降では渡し手と表す）のゾーン始点通過から受け走者（以降では受け手と表す）のゾーン終点通過までの時間）を計測し、バトンパス中のバトン移動速度を評価する指標として利用した。杉浦ら (1994、1995)^{24),25)} は 1991 年東京世界選手権大会において同様の計測を行い、走者の疾走能力が高くないにもかかわらずリレー競技記録が優れたチームではテイクオーバーゾーン所要時間が短かったこと、テイクオーバーゾーン後半でバトンを通していたこと、アンダーハンドパスを採用したチームが多かったことなどを報告した。深代ら (1993)⁴⁾ や松尾ら (1995)¹⁷⁾ は、バトン移動速度に影響する要因をより詳細に検討するためにバトンパス前後での渡し手と受け手の走速度の推移を 2m 刻みで計測して可視化し、バトン移動速度を高めるためには受け手がしっかりと加速することが重要だ

と指摘した。これらの知見は 4×100m リレーにおけるバトンパスの重要性を再認識させるとともに、バトンパスにおけるバトン移動速度を高めるために必要となる技術的要因の一端を示唆している。

4×100m リレーにおいて、日本代表男子チーム（以降では日本チームと表す）は近年優れた成績を獲得している。2000 年シドニーオリンピック大会以降では世界大会における決勝進出常連チームの 1 つとなり、2008 年北京オリンピック大会、および 2016 年リオオリンピック大会ではメダルを獲得した。また、2019 年ドーハ世界選手権大会ではアジア新記録、また世界歴代 3 位の国別記録となる 37.43s を樹立した。この日本チームの躍進の裏には、バトン移動速度を高めるためのバトンパス技術を模索し向上させてきた努力がある。かつて日本人アスリートは陸上競技短距離種目において世界と大きな差があり、100m 走などの個人種目で世界と争うことは難しいと考えられていた。しかしながら 4×100m リレーであれば個々の疾走能力の差をバトンパス技術で補えると考えた日本チームは、2001 年にリレープロジェクトを立ち上げて同種目の強化を開始した。ここから現在に至るまでバトンパス技術向上のための合宿が繰り返し行われ、技術が洗練されるとともに世界大会での競技成績も向上した。日本陸上競技連盟の科学委員会（以降では科学委員会と表す）は競技会における日本チームのバトンパスを分析し、20m テイクオーバーゾーン所要時間などをチームへフィードバックする活動を行った²¹⁾⁻²³⁾。2006 年からは合宿のバトンパス練習においても計測が行われるようになり⁹⁾、技術の洗練に向けた計測データの活用がチームに根付いていった。これらの活動は、科学委員会と国立スポーツ科学センター、チーム「ニッポン」マルチサポート事業、ハイパフォーマンス・サポート事業などが連携して、現在でも継続されている（以降ではこの活動主体を科学班と表す）。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミック下にあった東京 2020 オリンピック大

会（2021 年、以降では東京 2020 大会と表す）に向けた合宿においても、この活動は実施された。同大会決勝において日本チームはバトンパスがつかず途中で棄権という結果であったものの、合宿における科学班の計測とデータ活用の概要について記述し報告すること、またそこでの計測データを検討し、日本チームが同大会で上位入賞しえた可能性やバトンパス技術に関する今後の課題、また科学班の分析における課題を考察しておくことには大きな意義がある。

本研究では、バトンパス練習における計測データの活用事例として、東京 2020 大会前の合宿における取り組みについて報告する。バトンパス技術に関わる諸要因について整理しつつ、今回の測定データからこれらの関係性を再検討し、日本チームのバトンパス技術の現状と課題、科学班による計測とデータ活用における課題について議論する。

II. 方法

1. 概要

東京 2020 大会の日本チームは 6 月末の日本選手権大会終了後に編成され、合宿は 7 月上旬から開始された。科学班による計測を伴ったバトンパス練習は、8 月 5 日の予選レース前までに計 6 日間実施され、延べ 25 回の試技が行われた。参加したアスリートは 8 名（100m 走 2021 年シーズン最高記録 10.16 ± 0.13 s、自己最高記録 10.07 ± 0.13 s）、受け手と渡し手の組み合わせ（ペア）は 8 組であった。科学班は科学委員会と国立スポーツ科学センターとの協働で編成された。国立スポーツ科学センターは、日本陸上競技連盟からの依頼による医・科学支援活動としてこれに参加した。なお、この活動における計測データを本研究へ利用することは、国立スポーツ科学センター倫理審査委員会の審査と承認を受けた（承認番号 2021-037）。

2. 試技・撮影内容

バトンパスの練習と計測は、渡し手と受け手の

ペアごとに実施された。競技会において渡し手は減速期にバトンをパスすることとなるが¹⁹⁾、練習においてもこれと同じ条件を模するために、渡し手はテイクオーバーゾーンの約 70m 前から走った。受け手は競技会と同様にテイクオーバーゾーン内の最端位置から走り始め、バトンを受け取ってテイクオーバーゾーンを出たのち、さらに 10m 先まで走った。受け手が走り始めるタイミングを判断するためのチェックマーク（渡し手の走路上に貼付し、渡し手がこれを通過すると同時に受け手が走り始める）については、試技ごとに走者とコーチが相談して決定した位置に貼付され利用された。貼付位置は競技会と同様に、受け手の足長を単位として設定された（26.5-32.0 足長）。受け手は試技前にテイクオーバーゾーン始点より手前方向にその距離を自身の足で計測し、チェックマークを貼付した。

グラウンド内にハイスピードカメラ（Lumix DC-GH5S、H-PS14042、Panasonic 社製、239.76fps）を設置し、渡し手の疾走開始から受け手のテイクオーバーゾーン後の疾走までを撮影した（Figure 1）。走者を真横から撮影できるように、主カメラを曲走路の円心に設置し、加えて補助カメラを直走路横に適宜設置した。走路上にはテイクオーバーゾーンを示すマークが付けられているが、以降の分析のためにテイクオーバーゾーンの始点から同ゾーン終了の 10m 先地点まで（合計 40m）において 5m 間隔で走位置がわかるように縁石にマークを追加して、これが映り込むように撮影画角を設定した（Figure 2）。

3. 即時評価

科学班ではなくチームコーチを主体として、試技ごとにバトンパスの即時評価が行われた。定量的な評価として、テイクオーバーゾーン始点の渡し手通過から同ゾーン終了より 10m 先地点の受け手通過までの 40m 区間タイムが、赤外線式タイム測定装置（FASTRUN-R、ワイワイファクトリー社製）を用いて計測された。これは日本チームおよび科学委員会が 2008 年からバトンパス技

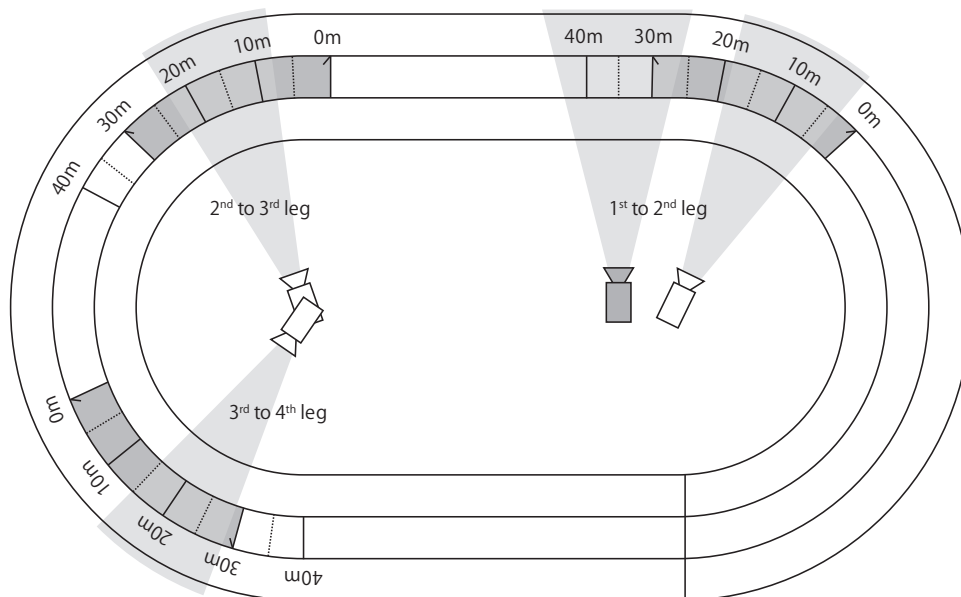


Figure 1. Schematic of video recording. Cameras (white) were placed at the circular centers of the track so that the sagittal view of the sprinters on the curves could be recorded. Additional cameras (gray) were also used to cover the straight section of the track.

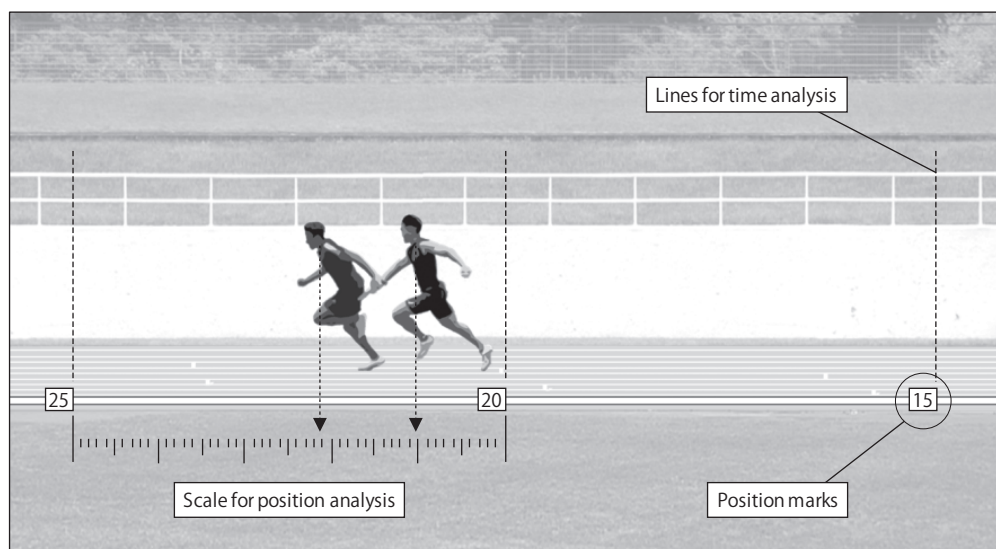


Figure 2. Typical sample of the movie recorded, overwritten with schematic diagram of time and position analyses. Marks, placed every 5 meters along the curb, indicates the position on the track as the distance from the entrance of takeover zone. The passage of the sprinters at the mark positions was determined based on their top edge of sternum crossing the vertical line beside the marks. Marks were also used for determining the position of sprinters (by 0.1m) at the moments of baton contact and release.

術の評価に用いている指標であり^{9),28)}、バトンパスを行う主区間のタイム（テイクオーバーゾーン後半 20m、2018 年のルール改正前における 20m

テイクオーバーゾーンに相当、ルール改正後においても日本チームのバトンパスはこの区間内で行われている、以降では同区間始点の渡し手通過か

ら終点の受け手通過までを 20m 区間タイムと表示)とその前後にて各走者が単独で走る 10m ずつの区間タイムを合計したものである。40m 区間タイムは 20m 区間タイムと同様にバトンパスにおけるバトン移動速度を表す指標であるが、前後の単独走区間のタイムが加算されることにより、バトンパス前後の各走者の疾走状況(バトンパスによって生じる走速度への影響)がより強く反映されることが考えられる。40m 区間タイムは 4×100m リレーの競技記録と相関関係にあること^{6),10),12),14)}、またその相関係数は 20m 区間タイムよりも大きいこと^{6),10)}が確認されている。また、定性的な評価として、通常スピードカメラ(Lumix DMC-FZ300、Panasonic 社製、59.94fps)を用いて撮影した映像によるバトンパス動作の確認が、走者を交えて行われた。

4. 映像分析

科学班の分析として、40m 区間タイムの精緻な計測とバトンパス中の各走者の走速度推移の可視化に加えて、20m 区間タイムの計測、および受け手のバトンパス後の走速度、バトンパス所要時間、バトンパスの位置、バトンパス時の走者間距離(利得距離)の評価を行った。

まず 40m 区間の範囲において、渡し手と受け手それぞれの 5m 毎マークの通過フレームを確認した。映像確認にはフレーム単位の映像送りが可能である映像編集ソフト(QuickTime Pro7、Apple 社製)を用いた。走者の首元(胸骨上端、Figure 2)がマーク位置に到達した瞬間を通過と判断した。陸上競技では走者のトルソーを基準として通過判断が行われるが、体幹部に前傾や回旋等の動作が生じている場合にはトルソー前面点の判断が難しく、また体幹動作に依存したランダムノイズが計測データに付加されてしまうため、本研究では首元を基準とした。40m 区間、20m 区間、および各 5m 区間の移動に要したフレーム数をフレームレートで除することにより、所要時間を算出した。さらに、各 5m 区間については区間距離を所要時間で除することにより区間走速度を算出

した。両走者の区間走速度を折れ線グラフとして重ねてプロットし、バトンパス中の走速度推移を可視化した。

受け手のバトンパス後の走速度は、バトンパス中の受け手の加速の程度を評価する指標として算出した。テイクオーバーゾーン終了後の 10m 区間の平均走速度を各 5m 区間と同様の手順によって求め、評価値とした。

バトンパス所要時間は、バトンパスの開始から完了までに要したフレーム数に基づいて算出した。バトンパスの開始はバトンが受け手に触れた瞬間とし、完了は渡し手からバトンが離れ始めた瞬間とした。

バトンパス位置は、バトンパス開始時の受け手の位置とした。曲走路の円心から撮影されたカメラ映像においては、カメラのパンニング方向にかかわらず、曲走路上の走位置が映像上の水平方向にはほぼ線形的に投影される。バトンパス開始時の映像フレームにおいて 2つの 5m 毎マークを校正点として利用し、映像上に両マーク間を 50 分割する目盛りを重ね合わせて受け手の首元の位置を 0.1m 単位で計測し(Figure 2)、テイクオーバーゾーンの始点を基準(0m)として評価した。また、同じ瞬間における渡し手の首元位置も同様に計測し、これと受け手位置との差分を利得距離とした。また、バトンパス完了時の渡し手位置、受け手位置についても同様の方法で計測し、走速度グラフにおけるバトンパス位置の可視化に利用した。

5. 日本チームへのデータフィードバック

バトンパス練習は主に午前中に行われ、すぐに分析を行ったのち、夕刻までにチームへデータをフィードバックした。各試技の 40m 区間タイム、20m 区間タイム、受け手のバトンパス後の走速度などを一覧として整理した。走速度推移、バトンパス位置、および利得距離などは、グラフとして可視化した。これらの資料は、試技中の各走者の走速度推移を詳細かつ客観的に確認すること、各走者の主観と計測値(客観)を擦り合わせることで、チェックマーク位置を修正すべきかを判断するこ

となどに活用された。

6. 統計分析

測定した試技のうち、バトンパスが滞りなく完了したものを成功試技として統計分析の対象とした。各指標の平均値と標準偏差、最大値、最小値を算出した。

40m 区間タイムおよび 20m 区間タイムと各指標との関係を検討するために、相関分析を行った。また、受け手のバトンパス後の走速度とバトンパス所要時間、およびバトンパス位置と利得距離との関係についても同様に検討した。すべての指標において Shapiro-Wilk 検定により分布の正規性が確認されたため、検討には Pearson の積率相関係数 (r) を用いた。有意な相関関係が認められた指標に関してはさらに回帰分析を行った。

統計処理には、科学技術計算ライブラリ (Numpy 1.18.5, SciPy 1.6.0) を用いた。分布の正規性および相関関係の有意性は、いずれも有意水準を 5% として判断した。

7. 定性的分析

40m 区間タイムが最小、受け手のバトンパス後の走速度が最大、バトンパス所要時間が最小、利得距離が最大、および 40m 区間タイムが最大であった試技を事例的に抽出し、その特徴を定性的に検討した。

Ⅲ. 結果

1. 成功試技数

渡し手と受け手の各ペアの試技数は、最小で 2 試技、最大で 6 試技であった。総計 25 試技のうち、渡し手が受け手に追いつけずにバトンパスに失敗した試技が 2 例、バトンが受け手の手中にうまく収まらずにバトンパスに失敗した試技が 2 例、バトンパスは成功したが受け手が 40m 区間終了地点まで走り終えなかった試技が 1 例あった。以降ではこれらを除いた 20 例を成功試技として取り扱った。

2. 統計分析

Table 1 上段に成功試技における計測値を整理した。また、Figure 3 には成功試技における走速度の平均的な推移を示した。渡し手がバトンパス中やその直前に走速度を調整した例がしばしば見られ、これを反映する形で渡し手の走速度グラフは標準偏差が大きくなった。

Table 2 および Figure 4 には、主要な相関分析の結果を示した。40m 区間タイムとの間に有意な相関関係が認められた指標は、受け手のバトンパス後の走速度 ($r=-0.552$, Figure 4A) のみであった。ただし、バトンパス位置と利得距離に関しては 20m 区間タイムとは相関関係が認められた ($r=-0.666$, Figure 4E ; $r=-0.573$, Figure 4F)。バトンパス所要時間は、40m 区間タイムおよび 20m 区間タイムのどちらも相関関係が認められなかった。また、受け手のバトンパス後の走速度とバトンパス所要時間との間にも相関関係は認められなかった ($r=0.343$, Figure 4G)。バトンパス位置と利得距離の間には、相関関係が認められた ($r=0.555$, Figure 4H)。

3. 定性的分析

Figures 5 および Table 1 下段には、定性的分析を行った試技の計測値を整理した。40m 区間タイムが最小であった試技においては 20m 区間タイムも最小となった。利得距離が最大であった試技では、バトンパス位置も最大(テイクオーバーゾーン終点側)となった。40m 区間タイムが最大であった試技においては 20m 区間タイムも最大であり、かつバトンパス所要時間が最大、バトンパス位置が最小(テイクオーバーゾーン始点側)であった。

Figure 5A には 40m 区間タイムが最小であった試技のデータを成功試技の平均値データに重ねて示した。グラフには、バトンパスが行われた範囲(バトンパスの開始から完了まで)を太線によって示している。この試技は渡し手の走速度が高いこと、バトンパスの所要時間が小さいこと、バトンパス位置が大きいことなどの特徴があった。受け手はバトンパス完了後に少し力を緩めて走った

Table 1. Statistic and representative trial values of parameters

Parameter	40m time [s]	20m time [s]	Receiver velocity [m/s]	Baton-exchange duration [s]	Baton-exchange position [m]	Free distance [m]
Mean	3.780	1.878	10.43	0.338	17.7	1.2
Standard deviation	0.065	0.044	0.22	0.121	2.8	0.2
Maximum	3.919	1.985	10.78	0.621	23.7	1.5
Minimum	3.695	1.799	9.97	0.192	12.3	0.9
Individual trial with						
minimum 40m time	3.695 ▽	1.799 ▽	10.18	0.196	21.2	1.3
maximum receiver velocity	3.760	1.879	10.78 △	0.442	15.6	1.2
minimum baton-exchange duration	3.808	1.896	10.40	0.192 ▽	15.8	1.2
maximum free distance	3.804	1.849	9.97 ▽	0.204	23.7 △	1.5 △
maximum 40m time	3.919 ▲	1.985 ▲	10.16	0.621 ▲	12.3 ▼	1.1

Definition of the parameters: 40m time, from the passer entering into the takeover zone to the receiver passing the point 10m ahead of the zone exit; 20m time, from the passer passing the point 10m ahead of the zone entrance to the receiver exiting from the zone; Receiver velocity, the mean velocity of receiver on 10m section from the takeover zone exit; Baton-exchange duration, from baton contact to the receiver's hand to its release by the passer; Baton-exchange position, the position of receiver at the moment of baton contact, as the distance from the entrance of takeover zone; Free distance: the distance between passer and receiver at the moment of baton contact. Superscript and subscript triangles represent that the marked values are maximum or minimum among all success trials. Some triangle marks are filled in with black, whose value might be detrimental for desirable baton exchange.

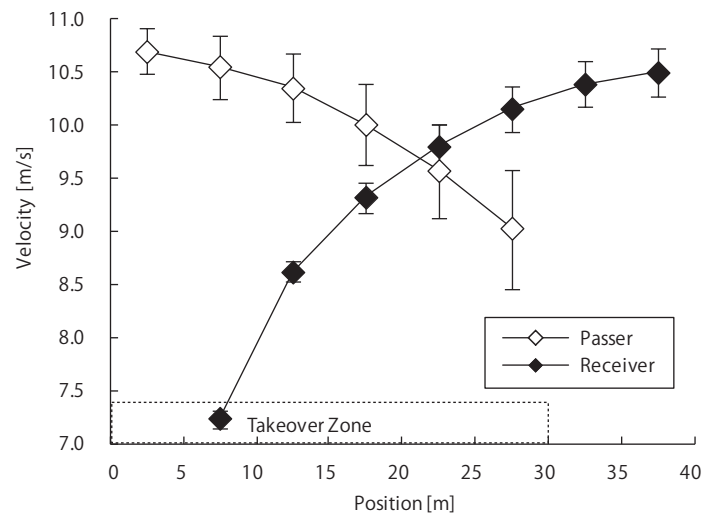


Figure 3. Change in average velocities of passer and receiver during baton exchange. Plots and bars represent mean and standard deviation, respectively.

ため、バトンパス後の走速度は低めであった。仮に受け手が 40m 区間を最後までしっかりと走り、最後の 10m にて平均値相当の走速度が発揮された場合を想定すると、40m 区間タイムは 3.672s であったと推算された。

Figure 5B には受け手のバトンパス後の走速度が最大であった試技を示した。テイクオーバーゾーン序盤で渡し手は少し減速しながら受け手に追いつき、バトンパス位置は平均値より小さかった。バトンパス所要時間は平均値よりも大きかった。

Table 2. Correlations of 40m and 20m time with other parameters.

Parameter	Correlation (r)	
	40m time	20m time
Receiver velocity	-0.552 *	-0.260
Baton-exchange duration	0.154	0.437
Baton-exchange position	-0.317	-0.666 *
Free distance	-0.392	-0.573 *

* denotes significant correlation. For definition of the parameters, see the caption in Table 1.

たが、受け手はバトンパス完了直後から大きく加速していた。40m 区間タイムは平均値よりもやや小さい程度であった。

Figure 5C にはバトンパス所要時間が最小であった試技を示した。テイクオーバーゾーン中盤で渡し手は受け手に追いつき、両走者の走速度差が大きいままバトンパスが行われた。バトンパス完了の後、渡し手はしばらく受け手と並走した。同試技の 40m 区間タイムは平均値よりも大きかった。

Figure 5D には利得距離が最大であった試技を示した。渡し手が追いつくことが難しいと感じた受け手はテイクオーバーゾーンの中間付近から加速を緩め、渡し手は前方に大きく手を伸ばしながら受け手に何とか追いつく形でバトンパスが行われた。バトンパス所要時間は小さかったものの、受け手のバトンパス後の走速度は本研究のなかで最も小さく、40m 区間タイムは平均値よりも大きかった。

Figure 5E には 40m 区間タイムが最大であった試技を示した。テイクオーバーゾーン内にて渡し手は受け手にすぐに追いつき、接近しすぎることを避けるために渡し手はバトンパス前に走速度を大きく落とした。バトンパスにおいては受け手の手中にバトンがすぐに収まらず、バトンパス所要時間が大きくなった。受け手のバトンパス後の走速度は平均値よりも小さかった。

IV. 考察

本研究は、東京 2020 大会前の合宿でのバトンパス練習において科学班が行った計測とデータ活用を記述し、その主要な計測データについて整理した。走速度推移のグラフからは、バトンパス時の各走者の加減速の様子を読み取ることができた。データをフィードバックしたアスリートおよびコーチからは、各試技の内容を振り返ることにこれらを活用できたとコメントをいただいた。相関分析の結果からは、受け手の加速がバトン移動速度を高めるための鍵であることがあらためて示された。ただし、個々の試技を詳細にみると、他にも注目すべき指標があることがうかがえた。

1. 過去の 40m 区間タイムとの比較

科学委員会では、2008 年以降の国際競技会における日本チームの 40m 区間タイムを計測して報告している^{6),10),12)-14)}。その中でのタイムの最小値は、2019 年ドーハ世界選手権大会予選の 1 走から 2 走における 3.69s である。また、レース中に 3 回行われるバトンパスの平均 40m 区間タイムにおける最小値は、同大会決勝での 3.72s である。なお同決勝での日本チームの記録 37.43s が、現日本記録となっている。40m 区間タイムと 4×100m リレーの競技記録には相関関係が認められていることから^{6),10),12),14)}、バトンパス 3 回の平均 40m 区間タイムを短縮することが記録の向上に結

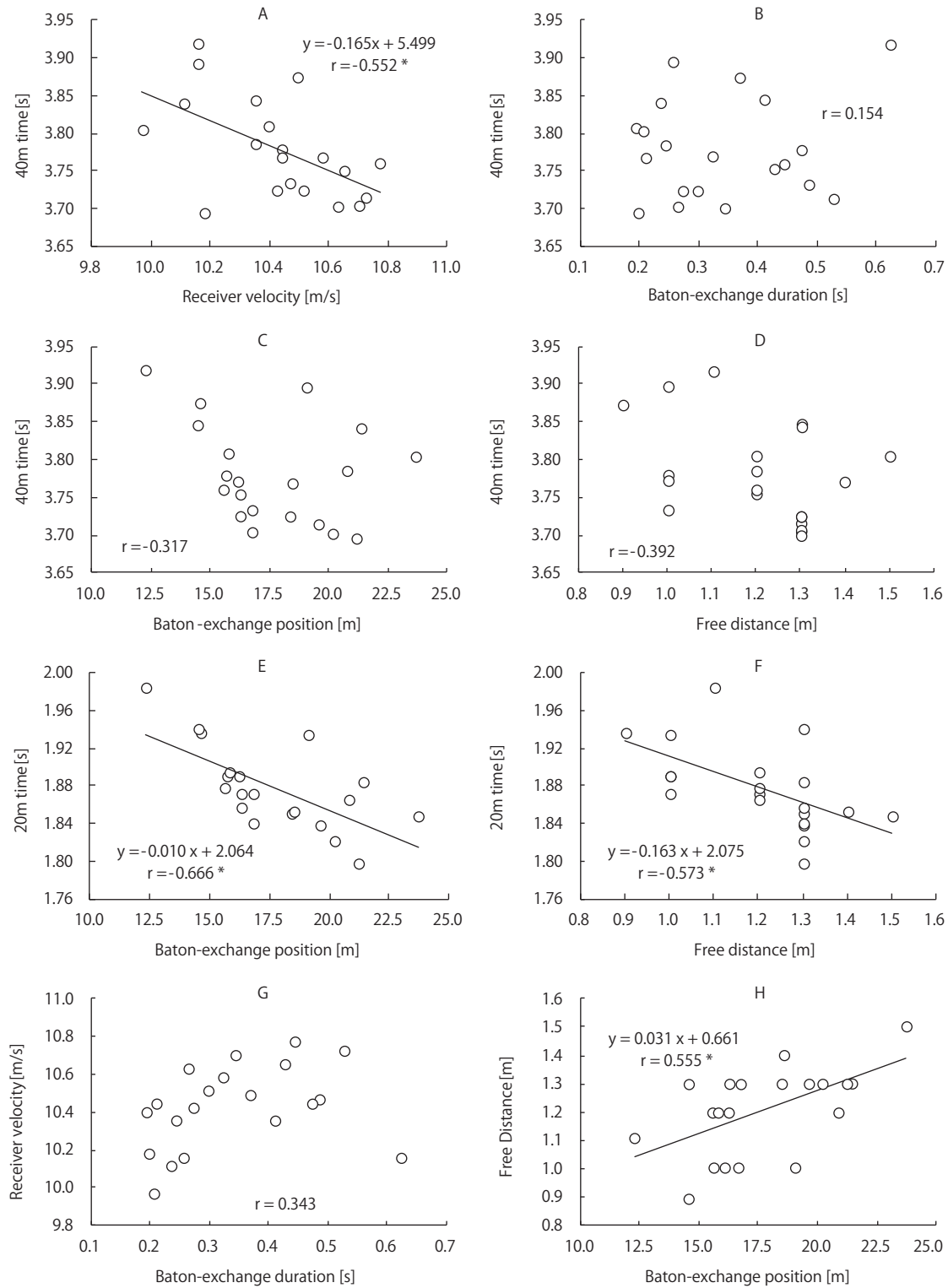


Figure 4. Scatter plots between key parameters examined in this study. * denotes significant correlation. For definition of the parameters, see the caption in Table 1.

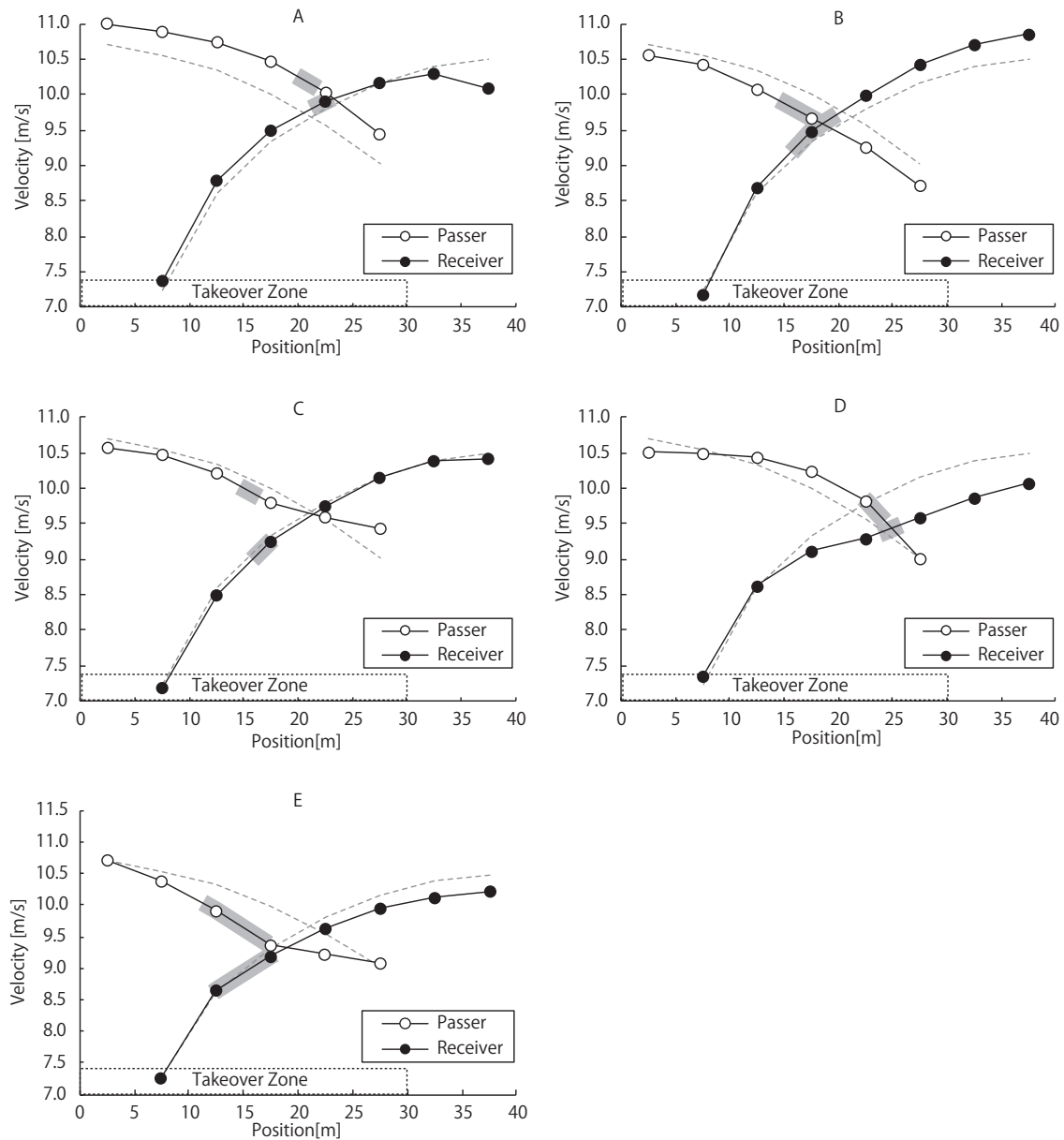


Figure 5. Change in velocities of passer and receiver during baton exchange in representative trials: A, trial with the minimum 40m time; B, trial with the maximum receiver velocity; C, trial with the minimum baton-exchange duration; D, trial with maximum free distance; E, trial with the maximum 40m time. Light thick lines represent the range of baton-exchange, i.e., from baton contact to the receiver's hand to its release by the passer. Gray dotted lines represent the mean velocities of passer and receiver for all success trials in this study. For definition of the parameters, see the caption in Table 1.

びつくと考えられる。

本研究で得られた 40m 区間タイムの最小値 (3.695s、同試技において受け手が 40m 区間の最後まで走速度を落とさず平均値相当の走速度で走っていた場合の推算は 3.672s) は、過去の競技

会での最小値 (3.69s) に匹敵するものであった。同試技を行ったペアのバトンパス技術は、これまでの日本チームの中でも最高水準のものであったことがうかがえる。また、この試技を含めて 40m 区間タイムが 3.72s 以内であった試技は 4 例あ

り、3 組のペアがこれを達成していた。さらには、東京 2020 大会に出場した走者（3 ペア）に関してペア毎の 40m 区間タイム最小値を平均すると 3.714s であった（タイム最小値の試技は 3.672s として計算）。このことは、東京 2020 大会にてこれまでの平均 40m 区間タイム最小値（3.72s）を上回るバトンパスを行えた可能性が十分にあったことを示唆している。

しかしながら、諸外国チームのバトンパス技術も近年高まりつつある。日本チーム以外でのバトンパス 3 回の平均 40m 区間タイムの最小値は 2017 年 ロンドン 世界選手権大会決勝にてイギリスチームで計測された 3.72s であり、日本チームと同等である¹²⁾。また、ペア毎の 40m 区間タイム最小値は、2019 年 ドーハ 世界選手権大会決勝におけるアメリカチームの 1 走から 2 走において計測された 3.60s である¹³⁾。このアメリカチームのペアは、渡し手の 100m 走シーズン最高記録が 9.76s、受け手が 9.87s であり、疾走能力とバトンパス技術の両方に優れていたと考えられる。近年、日本チームは個々の走者の疾走能力が高まりつつあるものの、より疾走能力が高い走者を有する強豪他国チームを抑えて勝利するためには、さらなるバトンパス技術の向上を目指すことも必要だと考えられる。科学委員会では 40m 区間タイムの目標値を、近年では 3.70s と示している^{12),13)}。本研究の計測データからは、このタイムは実現しうる範囲にあるものの、高確率で達成しうるレベルには未だ到達していないと言えるだろう。これに必要な技術要件を検討し、その要件を実現させるための練習を重ねていく必要がある。

2. バトン移動速度に影響を及ぼす要因

バトンパスにおけるバトン移動速度を高めることの鍵は、高い走速度を維持してパスを行うことにある^{4),15),25)}。これには、受け手がバトンパスまでに走速度を十分に高めること（しっかりと加速すること）、渡し手がバトンパスまでできるだけ高い走速度を維持すること、そしてバトンパス時に両走者が適切な距離にあることが重要だと考え

られる。

1) 受け手の加速

受け手は、走り出す位置からバトンパス開始までの 20m 程にて走速度を十分に高める必要がある。この走距離のみで最高走速度に達することは不可能であり（100m レースでは 50-80m にて最高走速度に到達^{1),16)}）、バトンパスは加速期の途中で行うこととなる。渡し手が受け手に追いつけなければバトンパス失敗となるが、受け手はこれを懸念せずほぼ全力で加速し、高い走速度にてパスを受ける必要があると推察される。本研究では、40m 区間タイムと受け手のバトンパス後の走速度との間に相関関係が認められた。この走速度には受け手が走り始めてからテイクオーバーゾーンを出るまでの加速が反映され、Figure 5D のように受け手がテイクオーバーゾーンで一時的に加速を緩めてしまうと低い値となる。よってこの結果は、受け手の加速がバトン移動速度に対して重要な要因であることを支持するものである。

受け手の加速を妨げないことを意図して、日本チームでは 2001 年から受け手の走動作への影響が小さい“アンダーハンドパス”を採用している^{26),28)}。ただし、アンダーハンドパスであっても挙手時間が長ければ加速への影響が大きくなることが報告されており²⁷⁾、バトンパスは短時間のうちに完了することが望ましいと考えられる^{12),14)}。本研究においても、バトンパス所要時間が最大であった試技（Figure 5E）では、受け手が十分に加速できていないように見受けられた。しかしながら、全成功試技を対象としてバトンパス所要時間と受け手の加速（受け手のバトンパス後の走速度）との関係性を検討したところ、両指標間に相関関係は認められなかった。また、バトンパス所要時間と 40m 区間タイムとの間にも相関関係は存在しなかった。Figure 4G においては、バトンパス所要時間が小さいにもかかわらず受け手のバトンパス後の走速度が小さな例が散見される。また、Figure 5B の試技のように、バトンパス所要時間が大きいにもかかわらず受け手のバトンパス後の走速度が大きな例も多くみられた。これらの結果

は、バトンパス所要時間が大きな試技においても受け手がしっかりと加速することは可能であることを示唆するものである。受け手の加速を最大化するためには、バトンパス所要時間の最小化を検討するよりも、受け手の加速に影響を与える他の要因に注目していくことが重要であると考えられる。

杉浦ら (1994)²⁴⁾ の先行研究などでは、バトンパスにおけるバトン移動速度にはパスの位置も関係することが示唆されている。これには、受け手が走速度を高めるまでにある程度の走距離が必要となる^{1),16)} という考えが反映されている。受け手がほぼ全力で加速することに加えて、加速中のどの位置でパスを受けるかということが、受け手がバトンパスを受ける際の走速度に影響すると予想される。しかしながら本研究では、バトンパス位置と 40m 区間タイムとの間に相関関係は認められなかった。Figure 4C においてはバトンパス位置が大きい試技のなかに 40m 区間タイムが大きな例がいくつか見受けられる。これらの例では、バトンパス位置までの走距離は十分であったにもかかわらず、パスを受けるまでの受け手の加速が不十分であったと推察される。Figure 5D に示した試技は、そのような例のひとつである。日本チームではバトンパス位置の目安をテイクオーバーゾーンの 20m 地点付近もしくはそれ以降としている^{12),13)}。しかしながら、バトンパスが行われないうまま 20m 地点を越えた場合には、受け手が加速を停滞させてしまっていた可能性がある。テイクオーバーゾーンの最後まで加速をし続けることが、より高い走速度でバトンパスを行うためには重要であると考えられる。ただし、バトンパス失敗のリスクを考えるとそのような試みにも限界がある。バトン移動速度を実質的に最大化できるバトンパス位置の目安を、今後も慎重に検討していく必要がある。

なお、40m 区間タイムではなく 20m 区間タイムに関しては、バトンパス位置との相関関係が認められた。バトンパス位置が大きい状況においては 20m 区間の大部分を渡し手が走ることとな

り、受け手が走る範囲の距離は非常に短くなる。よって、受け手の加速が不十分であったとしても、20m 区間タイムへの影響は小さいと考えられる。また、渡し手は次項で議論する走速度調整を行わずに受け手に追いつくまで全力で走ると推察され、これが 20m 区間タイム短縮に貢献すると考えられる。これらの理由により 20m 区間タイムとバトンパス位置との間には相関関係が現れたと考えられるが、この関係性には受け手の加速が反映されづらいという点には注意が必要である。

2) 渡し手の走速度維持

バトンパスに際して渡し手の走速度が低下する主な要因としては、渡し手がバトンパス前に受け手に追いついてしまい、適切な距離を保つために走速度を調整する（減速する）必要が生じることが考えられる⁴⁾。Figure 5E に示した試技はこの走速度調整が明確に行われた典型例である。また、Figure 5B や Figure 5C の試技においても調整がわずかに行われたように見受けられる。受け手の加速が十分でない場合や、受け手の走り出すタイミングが遅い場合、渡し手が想定よりも高い走速度にてテイクオーバーゾーンに進入した場合などに、このような状況が生じると考えられる。一方、Figure 5D に示した試技のように渡し手が受け手になかなか追いつかない場合には、テイクオーバーゾーン後半まで走速度調整が行われず、渡し手の走速度は高く保たれる。しかしながらこのような状況では受け手が加速を停滞させる可能性があり、そうでなければ渡し手が受け手に追いつけずにバトンパスを失敗する危険性が生じる。渡し手の走速度調整に関してはこれらの可能性も踏まえつつ総合的に評価し、現実的にはどの程度の調整まで許容すべきかを慎重に判断する必要があると考えられる。

3) 渡し手と受け手の距離

本研究では、渡し手と受け手との距離についてバトンパス開始時に計測を行い、これを利得距離として評価した。利得距離は、40m 区間タイムとの相関関係は認められなかったが、20m 区間タイムとの間には相関関係が認められた。利得距

離はどの走者も走る必要のない距離に相当するため³⁾、区間タイムとの間に関係性が現れることは理に適っているように思われる。ただし、バトンパスが行われる走速度をおよそ 10.0m/s と見積もると利得距離の標準偏差 (0.2m) は 0.020s のタイムにしか相当せず、40m 区間タイムや 20m 区間タイムの標準偏差 (0.065s、0.044s) を説明するには小さい。それにもかかわらず 20m 区間タイムとの間に相関関係が現れたのは、利得距離が 20m 区間タイムに影響する他の要因 (渡し手の走速度調整、バトンパス位置) とともに連動して変化したためだと考えられる。Figure 4F における回帰直線の傾き (-0.163) からは 0.2m の利得距離が約 0.033s の区間タイムに相当することがうかがえる。利得距離が小さかった試技では受け手への過度な接近とともに渡し手が走速度を低下させており、利得距離自体から予想されるよりも大きな影響が生じていたことが推察される。渡し手が受け手にすぐに追いつく場合にこのような状況が生じるが、バトンパス位置と利得距離との間に相関関係が認められたことからこの推察は支持される。これらのことから、バトンパス時の走者間距離については利得距離という単独の指標からではなく、バトンパス直前の渡し手と受け手の接近の様相も含めて総合的な視点から評価をする必要があると考えられる。なお、利得距離と 40m 区間タイムとの間に相関関係が現れなかったのは、40m 区間タイムが受け手の加速の影響をより強く反映するためだと推察される。

3. バトンパス技術の評価指標

バトンパスの技術は、疾走能力に比してバトン进行をいかに速く受け渡していくことができるか、という観点から評価することが、本来ならば最も適切だと考えられる。疾走能力は各走者の 100m 走記録の合計で評価でき、4×100m リレーの競技記録はこの合計よりも 1-3s ほど小さくなる。その差分は利得時間と呼ばれ¹⁸⁾⁻²⁰⁾、しばしばバトンパス技術の評価する指標として用いられる。しかしながら、利得時間の算出には走者 4 名の疾走能

力を適切に評価できる 100m 走記録 (シーズン最高記録) の情報が必要となる。100m 走の記録を有さない走者 (200m 走を専門とする者など) が含まれている場合などには算出が難しい。また、レース中に 3 回行われるバトンパスを個々に評価することも困難である。このような理由から、本研究ではバトンパスの技術を検討する指標として 40m 区間タイムを主に利用した。同指標は 4×100m リレーの競技記録との相関関係が確認されており^{6),10),12),14)}、またその相関関係は 20m 区間タイムよりも強い^{6),10)}。さらには、利得時間との間においても 20m 区間タイムより強い相関関係が認められる (Figure 6、文献データ^{5),12)} を発行所の許諾のもとで編集)。これらのことから、40m 区間タイムを評価指標として用いたことの妥当性は高かったと考える。

40m 区間タイムの難点として、走路上に区間終点のマークが必ずしも存在しないために競技会での計測が難しいことが挙げられる⁸⁾。一方で 20m 区間タイムは、2017 年まではテイクオーバーゾーンと一致しており計測が比較的容易であったため、多くの報告例が残されている^{4),6)-10),12),14),17),21)-25)}。ただし、本研究の結果から 20m 区間タイムに反映される要因は 40m 区間タイムと同じではないことが明らかとなった。まず、20m 区間タイムは受け手のバトンパス後の走速度との相関関係が認められなかった。バトン移動速度に関わる大きな要因である受け手の加速が 20m 区間タイムには反映されづらいことが示唆される。次に、20m 区間タイムのみがバトンパス位置や利得距離と相関関係にあった。渡し手と受け手の接近の様相に依存して渡し手の走速度調整、バトンパス位置、利得距離が変化し、その影響が 20m 区間タイムに反映されると考えられる。40m 区間タイムも、20m 区間タイムとの間であれば相関関係が認められる ($r=0.901$ 、Figure 7)。20m 区間タイムは、受け手の加速以外の要因が集約されたものと捉えれば、有用な指標であると言えるだろう。このように評価指標に反映される要因を理解しつつ、計測可能な指標を活用していくこと、また可能であ

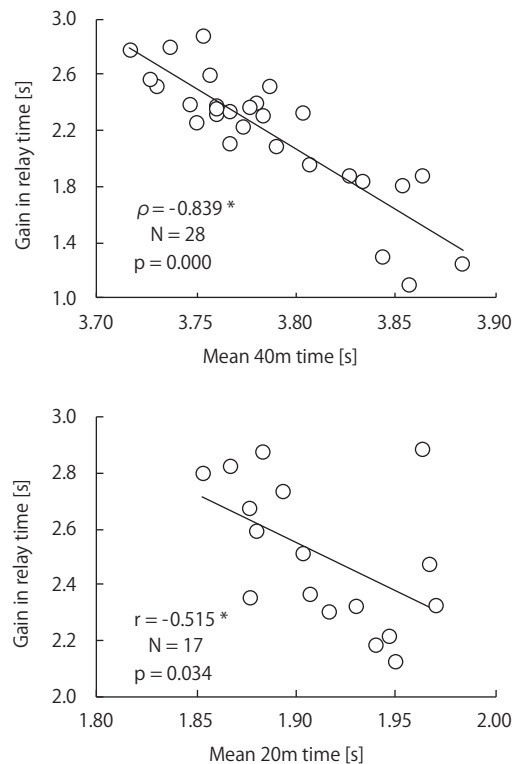


Figure 6. Relationships between gain in relay time and mean 40m (top) and mean 20m times (bottom), respectively. Since the gain in relay time in the relation with 40m time did not show normality in its distribution, their relationship was examined with Spearman's rank correlation coefficient (ρ), whereas that between the gain and mean 20m time was examined with Pearson's correlation coefficient (r). * denotes significant correlation ($p < 0.05$).

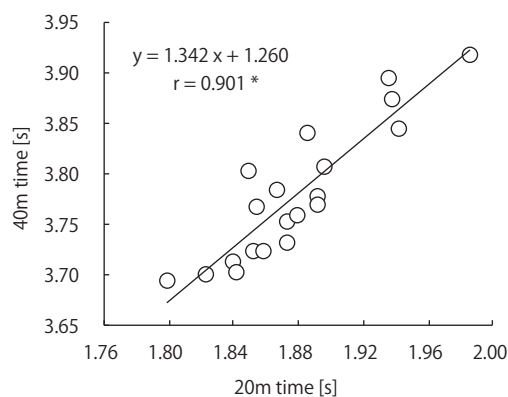


Figure 7. Scatter plot between 40m and 20m times.
* denotes significant correlation ($p < 0.05$).

れば複数の指標を活用して要因ごとに評価を行っていくことが重要であると考えられる。

2018年のルール改正によって、テイクオーバーゾーンは30mに拡張された。これにより20m区間の始点を示すマークが走路上から無くなり、

20m 区間タイムに関しても競技会での計測が難しくなった¹⁴⁾。代わりに新テイクオーバーゾーンの通過所要時間を評価指標とすることも試みられている¹³⁾。この指標には受け手が走るテイクオーバーゾーン後10mのタイムが含まれないため、

20m 区間タイムと同様に受け手の加速の影響は反映されづらいと推察される。このような特性を理解したうえで、評価指標としての活用を検討することが重要である。

4. データ活用の課題

本研究は、東京 2020 大会に出場する日本チームのバトンパス練習において計測を行い、得られたデータをバトンパス技術向上に活用するという実践的なものであった。アスリートやコーチは簡易計測した 40m 区間タイムやバトンパス動作の撮影映像を試技直後に確認することができるが、これらの情報のみではバトンパス中の各走者の走速度変化などについて主観に基づいた振り返りしか行うことができない。科学班の計測はこれに関する客観的かつ詳細な情報を提供するものであり、バトン移動速度に影響する諸要因を的確に検討することへ貢献できたと考える。

本研究で得られたデータから、バトンパスにおける受け手の加速の重要性が改めて確認された。一方で、これまで受け手の加速に対して好ましいと考えられてきた、バトンパス所要時間の短縮、およびテイクオーバーゾーン終点寄りのバトンパス位置が、必ずしも受け手の加速に貢献しない場合があることも確認された。ただし、日本チームにおけるバトンパス位置の目安などが変更されれば、得られる計測データの傾向も変化するだろう。本研究で観察されたこれらの例は、各要因の影響を一義的に解釈することの危険性を示唆するとともに、試技毎にデータを細部まで確認してそこに生じた状況をよく理解することが重要であることを示している。

計測が行われた各試技において、渡し手はバトンパス完了まで、受け手は 40m 区間終了地点まで全力で疾走することが求められた。しかしながら Figure 5A に示した試技のように、走者が力を緩めて走った区間が存在する例も見られた。全力疾走は身体への負荷が大きいため、一日に何度も繰り返すことは難しい。よって、バトンパス練習は必要最小限の試技数とすることが現実的だが、

試行錯誤のために試技数を重ねなければならない場合もある。疲労のために走者が高い走速度を発揮できない可能性や、身体への過度な負荷を避けて走者があえて途中で力を緩める可能性もある。限られた試技数で最大限の練習成果を得るためには、そのような計測データについても走者が本来発揮できる走速度（疾走能力）を鑑みつつ適切に解釈し、活用していくことが重要だと考えられる。

バトンパス練習において検討された重要な事項のひとつは、チェックマーク位置の設定であった。この位置は、受け手が走り出すタイミングを決定する重要な役割を担い、バトン移動速度やバトンパスの成否に強く影響する。バトンパス直前の両走者の接近の様子が、近すぎた場合にはチェックマーク位置を遠くへ、離れすぎていた場合には近くへ修正することが検討された。両走者の接近の様子は、受け手の走り出すタイミングと渡し手のチェックマーク通過との誤差、受け手の加速、渡し手の走速度にも依存し、これらが試技毎に変動することもある。チェックマーク位置の修正はこれらすべての影響を鑑みた慎重な検討となる。受け手の走り出すタイミングと渡し手のチェックマーク通過との誤差については、映像を用いた定性的な確認が行われた。また、受け手の加速、渡し手の走速度の確認には、両走者の走速度を可視化したグラフ (Figure 5) が活用された。映像と主観のみに基づいた検討ではなく、データに基づく客観的な検討を含めることができたことにより、アスリートとコーチによるこの試行錯誤は精度高く行われたと考える。それでもなお、東京 2020 大会決勝においてバトンパスがつかならなかったことを鑑みると、チェックマーク位置の設定およびこれに関わるデータ活用については課題が残ったといえる。競技会においては、走者の身体的および心理的なコンディション、レーン、気象（気温や風）、他チームの存在など、様々な要因がバトンパスに影響を与える。競技会での計測も含めてデータを蓄積し、競技会と練習との差異や練習におけるバトンパス技術評価の留意点について、今後さらに知見を深めていく必要がある。

本研究では、計測からフィードバックまでの時間をできるだけ短縮することにも留意した。アスリートとコーチが試技を振り返るタイミングを逃せば、そのデータは活用されることが難しくなる。そこでフィードバックは計測当日の夕刻までに行うこととし、データに基づく検討を翌日のバトンパス練習に反映できるように計画した。一日に行える試技数が多くなく、日をまたいでの試行錯誤が繰り返される中で、この計測当日中のフィードバックはアスリートおよびコーチの検討の助けを十分に果たすことができたと考ええる。データの内容や正確性が重要であるとともに、フィードバックの即日性という点がデータ活用において必須の要件であることには、今後も留意するべきであろう。

V. まとめ

本研究は、日本代表男子4×100mリレーチームの東京2020大会前の合宿でのバトンパス練習における科学班の計測とデータ活用の概要について報告した。得られたデータは、同チームのバトンパス技術が高い水準にあったことを示唆するものであった。また、バトン移動速度を高めるには受け手の加速が重要であること、バトンパス所要時間は受け手の加速に強くは影響しなかったこと、渡し手の走速度調整や利得距離の評価は渡し手と受け手の接近の様子など諸要因を総合的に検討して行う必要があること、などが示唆された。疲労等の影響により走者本来の疾走能力が発揮されていない可能性も考慮しつつ、試技毎にデータを細部までよく確認し、そこに生じていた状況を理解することが重要である。

さらなるデータ蓄積とともにバトンパス技術評価における留意点について知見を深め、残された課題の解決を今後も目指していく必要がある。

付記

本研究は、日本陸上競技連盟科学委員会医科学サポート研究活動、および国立スポーツ科学センタースポーツ医・科学支援事業において実施され

たものである。

文献

- 1) Ae M, Ito A, Suzuki M. The men's 100 metres. *New studies in Athletics*, 7(1): 47-52, 1992.
- 2) 有川秀之. アテネオリンピック4×100mリレーの軌跡. *スプリント研究*, 15: 4-10, 2005.
- 3) Carr GA. Sprint relays. In: Carr GA. (Ed.) *Fundamentals of Track and Field*. Leisure Press, pp.29-44, 1992.
- 4) 深代千之, 松尾彰文, 小林寛道, 若山章信, 杉浦雄策. 4×100mリレーバトンパスのバイオメカニクス研究. 浅見俊雄編, 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 - 第16報 - . 日本体育協会, pp.179-182, 1993.
- 5) 広川龍太郎, 松林武生, 小林海, 高橋恭平, 松尾彰文, 柳谷登志雄, 土江寛裕, 苅部俊二, 杉田正明. 男子ナショナルチーム・4×100mリレーのバイオメカニクスサポート研究報告(第6報) - 2016リオオリンピック決勝上位チームの傾向など - . 陸上競技研究紀要, 12: 104-110, 2016.
- 6) 広川龍太郎, 松尾彰文, 松林武生, 貴嶋孝太, 山本真帆, 高橋恭平, 渡辺圭佑, 綿谷貴志, 柳谷登志雄, 持田尚, 森丘保典, 杉田正明, 苅部俊二, 土江寛裕, 高野進. 男子ナショナルチーム・4×100mリレーのバイオメカニクスサポート研究報告(第3報). 陸上競技研究紀要 9: 61-65, 2013.
- 7) 広川龍太郎, 松尾彰文, 松林武生, 小林海, 高橋恭平, 柳谷登志雄, 小山宏之, 土江寛裕, 苅部俊二, 杉田正明. 男子ナショナルチーム・4×100mリレーのバイオメカニクスサポート研究報告(第5報) - 2015北京世界選手権決勝進出チームの傾向など - . 陸上競技研究紀要, 11: 150-154, 2015.
- 8) 広川龍太郎, 松尾彰文, 松林武生, 小林海, 山本真帆, 高橋恭平, 柳谷登志雄, 榎本靖士, 小山宏之, 門野洋介, 岡崎和伸, 土江寛裕, 伊

- 東浩司, 杉田正明. 男子ナショナルチーム・4×100m リレーのバイオメカニクスサポート研究報告(第4報). 陸上競技研究紀要, 10: 100-103, 2014.
- 9) 広川龍太郎, 松尾彰文, 杉田正明. 男子ナショナルチーム・4×100m リレーのバイオメカニクスサポート報告. 陸上競技研究紀要, 5: 67-70, 2009.
- 10) 広川龍太郎, 松尾彰文, 柳谷登志雄, 持田尚, 森丘保典, 松林武生, 貴嶋孝太, 山本真帆, 高橋恭平, 渡辺圭佑, 綿谷貴志, 杉田正明, 荻部俊二, 土江寛裕, 高野進. 男子ナショナルチーム・4×100m リレーのバイオメカニクスサポート研究報告(第2報). 陸上競技研究紀要, 8: 35-38, 2012.
- 11) Jarver J. Sprints and Relays: Contemporary Theory, Technique, and Training. Tafnews Press, 1978.
- 12) 小林海, 大沼勇人, 吉本隆哉, 岩山海渡, 高橋恭平, 松林武生, 広川龍太郎, 松尾彰文, 土江寛裕, 荻部俊二. 日本代表男子 4×100m リレーのバイオメカニクスサポート～2017 ロンドン世界選手権における日本代表と上位チームとの比較～. 陸上競技研究紀要, 13: 183-189, 2017.
- 13) 小林海, 高橋恭平, 大沼勇人, 山中亮, 渡辺圭佑, 松林武生, 広川龍太郎, 土江寛裕. 日本代表男子 4×100m リレーのバイオメカニクスサポート～2019 年の国際大会における日本代表リレーチームの分析結果について～. 陸上競技研究紀要, 15: 172-180, 2019.
- 14) 小林海, 高橋恭平, 山中亮, 渡辺圭佑, 大沼勇人, 吉本隆哉, 丹治史弥, 山本真帆, 松林武生, 広川龍太郎, 土江寛裕. 日本代表男子 4×100m リレーのバイオメカニクスサポート～2018 ジャカルタアジア大会の分析結果と過去のレースとの比較～. 陸上競技研究紀要, 14: 175-179, 2018.
- 15) Maisetti, G. Efficient baton exchange in the sprint relay. New Studies in Athletics, 11(2-3): 77-84, 1996.
- 16) 松尾彰文, 広川龍太郎, 杉田正明, 阿江通良. レーザー方式による 100m およびハードルのスピード分析. 陸上競技研究紀要, 3: 59-64, 2007.
- 17) 松尾彰文, 杉浦雄策, 阿江通良, 小林寛道. 日本代表 400m リレーの科学サポート. 浅見俊雄編, 平成 6 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第 18 報-. 日本体育協会, pp.241-244, 1995.
- 18) Robinson C, Jensen C, James S, Hirschi W. Modern techniques of track and field. Lea & Febiger, 1974.
- 19) 佐久間和彦. 4×100m リレーにおけるバトン受け走者のスタート方法の検討. 順天堂大学保健体育紀要, 27: 105-111, 1984.
- 20) 佐久間和彦. アンダーハンドパスについて. スプリント研究, 15: 16-19, 2005.
- 21) 杉田正明, 広川龍太郎, 松尾彰文, 川本和久, 高野進, 阿江通良. 4×100m, 4×400m リレーについて—日本チームの挑戦—. 陸上競技学会誌, 6: 21-26, 2007.
- 22) 杉田正明, 広川龍太郎, 高野進, 有川秀之, 川本和久, 阿江通良, 小林寛道. 国際グランプリ大阪大会 2004 の 4×100m リレーバトンパス分析. 陸上競技研究紀要, 1: 121-123, 2005.
- 23) 杉田正明, 杉浦雄策, 林忠男, 持田尚, 石井好二郎, 阿江通良, 小林寛道. 南部記念陸上 4×100m リレーのバトンパス分析. 日本陸上競技連盟編, 日本陸連科学委員会研究報告第 2 巻 1 号. 日本陸上競技連盟, pp.101-106, 2003.
- 24) 杉浦雄策, 沼澤秀雄. 世界一流の 4×100m リレーにおける時間分析. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社, pp.57-65, 1994.
- 25) Sugiura Y, Numazawa H, Ae M. Time analysis of elite sprinters in the 4x100 metres relay. New Studies in Athletics, 10(3): 45-49, 1995.

- 26) 高野進. アテネオリンピックに向けてのリレー戦略. スプリント研究, 15: 1-3, 2005.
- 27) 土江寛裕. 選手の立場から見たアテネオリンピックでの400mリレー4位入賞への道のり. トレーニング科学, 17: 13-20, 2005.
- 28) 土江寛裕. 日本男子4×100mリレー銀メダルへのプロセス～バトンパス精度向上の具体的な取り組み～. スプリント研究, 26: 1-5, 2017.
- 29) 土江寛裕, 小林海, 持田尚, 杉田正明, 柳谷登志雄, 広川龍太郎, 松尾彰文. 世界選手権Osaka2007における男子200mの走速度およびピッチ・ストライド分析. 陸上競技研究紀要, 6: 72-84, 2010.
- 30) Vonstein W. Time analysis in 4x100M relays by video timing. Technique in athletics, 2: 466-469, 1990.