

## 2024 年シーズンにおける十種競技選手のパフォーマンス分析

松林 武生<sup>1)</sup> 笠井 信一<sup>2)</sup> 後藤 晴彦<sup>1)</sup> 小泉 潤<sup>1)</sup> 庄司 一眞<sup>3)</sup> 眞鍋 芳明<sup>3)</sup>

1) 国立スポーツ科学センター 2) 愛知淑徳大学 3) 中京大学

### 1. はじめに

日本陸上競技連盟科学委員会では、強化指定選手の競技力向上に活用する情報収集活動として、主要競技会におけるパフォーマンス分析を実施している。本稿では、2024 年シーズンにおける十種競技選手の 100m、走幅跳、400m、110m ハードルでのパフォーマンス分析結果について報告する。

### 2. 方法

#### 2-1. 分析対象

第 108 回日本陸上競技選手権大会・混成競技(2024 年 6 月 22-23 日)の十種競技に出場した強化指定選手 3 名(丸山優真選手、奥田啓祐選手、田上駿選手)を分析対象とした。なお、本研究で用いたデータの一部は、国立スポーツ科学センターと協働した研究活動において収集された。

#### 2-2. 100m における分析

100m では、レース中の走速度の推移、および最高走速度時のピッチとストライド長を分析した。4 台のハイスピードカメラ(Lumix DC-GH5S および Lumix DC-GH6、Panasonic 社製、239.76fps)を用いてレースを撮影した。カメラの設置位置は、3.72m、13m、47m、81m 地点の側方の観客席とした。ハードル種目でのハードル設置位置マークなど距離が既知である地点の通過タイムを、スタート信号の閃光からの経過フレーム数に基づいて算出した。これをスプライン関数で補間することにより時間-距離情報を作成し、10m ごとの通過タイムと区間走速度を算出した。また、同映像から 4 歩ごとの接地瞬間のフレームを判断し、これと前述の時間-距離情報から 4 歩ごとの移動距離および経過時間を得たのち、4 歩ごとの走速度を算出した。この走速度が最高となった 4 歩区間において、経過時間の逆数をとるこ

とでピッチを、走速度をピッチで除することでストライド長を算出した(松尾ら 2011、小林ら 2017)。

#### 2-3. 走幅跳における分析

走幅跳では、助走時の最高走速度を分析した。選手後方の観客スタンドにレーザードップラー式距離・走速度測定装置(Laveg、100Hz、JENOPTIK 社製)を設置し、選手の腰背部へ不可視レーザを照射することで、助走時の時間-距離情報を取得した。これを遮断周波数 0.5Hz のローパスフィルタで処理した後に微分して走速度に変換し、そのピーク値を助走中の最高走速度とした(小山ら 2007)。

#### 2-4. 400m における分析

400m では、レース中の走速度の推移、特に最高走速度およびレース終盤での走速度低下率を分析した。4 台のデジタルビデオカメラ(Lumix DC-GH5S および Lumix DC-GH6、Panasonic 社製、59.94fps)を用いてレースを撮影した。カメラの設置位置は、第 1 曲走路スタンドの中央付近、バックスタンド中央付近、第 2 曲走路スタンドの 300m 地点横付近、およびホームスタンドのフィニッシュライン横付近とした。スタート信号の閃光から選手のトルソーが 400m ハードル用ハードルの設置位置(45m、80m、115m、150m、185m、220m、255m、290m、325m および 360m 地点)を通過するまでの経過フレームに基づき、各地点の通過タイムを算出した。さらに、50m 毎の通過タイムについて、その地点を挟む前後 2 つのハードル設置位置の通過タイムから時間-距離の直線回帰をすることで推定した。この推定通過タイムに基づいて、50m 区間ごとの走速度を算出した。また、この走速度の最高値に対する、350-400m 区間での走速度の低下率を算出した(持田ら 2007)。

## 2-5. 110m ハードルにおける分析

110m ハードルでは、各ハードルのタッチダウンタイム、区間タイム、インターバルランタイム、ハードリングタイム、および区間走速度を分析した。3 台のハイスピードカメラ (Lumix DC-GH5S および Lumix DC-GH6、Panasonic 社製、239.76 fps) を用いて、2、5、8 台目ハードル側方の観客スタンドからレースを撮影した。得られた映像において、スタート信号の閃光を基準 ( $t=0.00s$ ) として、各ハードルを越える前の踏切脚が接地した時間と、超えた後のリード脚接地 (タッチダウン) の時間を確認した。各ハードルの踏切脚接地からタッチダウンまでの所要時間をハードリングタイム、リード脚接地から次ハードル踏切脚接地までをインターバルランタイムと定義した。また、インターバルランタイムとその直後のハードリングタイムとの合計を区間タイムとした。さらには、スタート信号から 1 台目ハードル後タッチダウンまでをアプローチ区間、10 台目ハードル後タッチダウンからフィニッシュまでをランイン区間とし、それぞれの所要時間についても同様に算出した。各区間の平均走速度を、区間距離を区間タイムで除することによって算出した。このとき、各ハードル間の区間距離はそのまま 9.14m としたが、アプローチ区間については 1 台目ハードルまでの距離 13.72m にハードルを越えた後の接地までの距離 (1.60m と仮定、尾縣 1999、柴山ら 2020) を加えた 15.32m、ランイン区間は 10 台目ハードルからフィニッシュラインまでの距離 14.02m から同距離を減じた 12.42m とした。なお、110m ハードルにおける最高走速度の検討は、アプローチ区間およびランイン区間を除く、各ハードル間の区間のみで行った (貴嶋ら 2015)。

## 2-6. 専門選手との比較

各種目の専門選手のデータを、過去の科学委員会研究報告等から収集し、比較対象とした。

## 3. 結果および考察

表 1 に 100m の分析結果を示す。本研究のなかで最も優れた 100m 記録を示したのは奥田選手であり、その記録は 10.65 秒 (風: +0.2m/s) であった。図 1 に、100m における最高走速度と記録の関係を示す。最高走速度と記録との間には非常に強い相関関係が認められている (松尾ら 2007)。本研究の対象者についても全員がこの回帰直線に沿ってプロットされた。100m 記録の短縮には最高走速度の向上が不可

欠であると考えられ、10 秒台前半の記録を達成するためには、11.0m/s 程度の最高走速度を発揮できるようになることが目安となる。図 2 に、最高走速度時のピッチとストライドの関係を示す。100m 専門選手と比較すると、十種競技選手はストライドに関しては同程度であるもののピッチに関しては低い傾向にある。11.0m/s 程度の最高走速度を達成するためには、ストライド 2.2m でピッチが 5.0steps/s、もしくはストライドが 2.3m でピッチが 4.8steps/s という組み合わせが必要となる。これらを達成するための方策を検討していく必要がある。

表 2 に走幅跳の分析結果を示す。本研究のなかで最も優れた走幅跳記録を示したのは丸山選手であり、その記録は 7m18 (風: +1.5m/s) であった。図 3 に、走幅跳助走における最高走速度と跳躍距離との関係を示す。助走速度と跳躍距離の間には相関関係が認められている (小山ら 2007、松林ら 2010)。本研究の対象者も概ねこの回帰直線に沿ってプロットされた。走幅跳記録の向上には、助走速度を向上させることが重要な鍵のひとつとなる。図 4 に、100m 走における最高走速度と走幅跳助走における最高走速度の関係を示す。100m において観察される最高走速度は、ほぼ最大努力での走速度となる。これに対して走幅跳助走では踏切準備などのために最大よりもわずかに低い努力度での疾走になると考えられる。風の影響を考慮する必要はあるものの、図 4 において  $Y=1.00 \cdot X$  の直線から離れてプロットされている場合はその努力度が低かったと解釈できる。本研究の対象者は、100m 疾走速度の 90-95% 程度で助走を行っていた。この努力度を高めていくことで助走速度を向上させられる可能性もあるが、助走が速ければ必要とされる踏切技術も高くなると考えられる。個々の選手に適した助走速度を検討していく必要がある。

表 3 に 400m の分析結果を示す。本研究のなかで最も優れた 400m 記録を示したのは奥田選手であり、その記録は 48.22 秒であった。図 5 に、400m における最高走速度と記録の関係を示す。これらの指標間には相関関係が認められており (山中ら 2018)、400m 記録の短縮には最高走速度の向上がひとつの鍵になると考えられる。図 6 に、400m における走速度低下率と記録の関係を示す。走速度低下率と記録との間には明確な関係性は認められず、十種競技選手と 400m 専門選手との間にも走速度低下率に大きな差は認められない。しかしながら本研究の対象者には、走速度低下率が比較対象の平均よりも大きな者もいた。最高走速度を高めようとする走速度

低下率は大きくなると推察される。個々の選手に最適なペース配分を検討していく必要がある。

表4に110mハードルの分析結果を示す。本研究のなかで最も優れた110mハードル記録を示したのは丸山選手であり、その記録は14.27秒（風： $+0.4\text{m/s}$ ）であった。図7に、110mハードルにおける最高区間走速度と記録の関係を示す。最高区間走速度と記録との間には強い相関関係が認められている（貴嶋ら2015、柴山ら2018）。本研究の対象者について、奥田選手はこの回帰直線に沿ってプロットされたが、丸山選手は回帰直線よりも上側にプロットされた。110mハードル記録の短縮には最高区間走速度の向上が不可欠であると考えられるが、回帰直線からは13秒台の記録を達成するためには $8.5\text{m/s}$ 程度の最高区間走速度が必要になると推察される。これはハードル間の区間タイムとしては1.075秒に相当する。丸山選手の最高区間走速度はこれを超えており、13秒台の記録を達成できる可能性が十分にあることが示唆された。図8に、100mにおける最高走速度と110mハードルにおける最高区間走速度の関係を示す。両者に明確な関係性は認められないものの、丸山選手は100mに対して110mハードルでの走速度が相対的に高く、他選手よりもハードル技術に優れていることが推察された。図9と図10にはそれぞれ、インターバルタイムと記録の関係、およびハードリングタイムと記録の関係を示す。比較対象データ数が少ないものの、110mハードルの記録にはハードリングタイムよりもインターバルタイムのほうが強く影響する傾向が見受けられる。ただし、どちらのタイムに課題が大きいかは選手ごとに異なっており、個人の特徴を把握して記録向上への方策を検討していく必要がある。

#### 4. 参考文献

- 1) 尾縣貢（1999）T&Fサイエンス講座 ハードルレース中のスピード変化．陸上競技マガジン 49(13)：196-197.
- 2) 貴嶋孝太，山元康平，柴山一仁，杉本和那美，櫻井健一，千葉佳裕，森丘保典（2015）日本一流男子110m ハードル選手および女子100m ハードル選手のレース分析 ―2015年度主要競技会の分析結果について―．陸上競技研究紀要 11：106-114.
- 3) 小林海，大沼勇人，高橋恭平，松林武生，広川龍太郎，松尾彰文，杉田正明，土江寛裕（2017）桐生祥秀選手が10秒の壁を突破するまでの100m レースパターンの変遷．陸上競技研究紀要 13：109-114.
- 4) 小山宏之，村木有也，武田理，大島雄治，阿江通良（2007）競技会における一流男女棒高跳、走幅跳、および三段跳選手の助走速度分析．陸上競技研究紀要 3：104-122.
- 5) 柴山一仁，貴嶋孝太，杉本和那美，森丘保典，岩崎領，櫻井健一，荏部俊二，金子公宏（2018）2018年シーズンにおける男子110m ハードル走のレース分析．陸上競技研究紀要 14：132-141.
- 6) 柴山一仁，貴嶋孝太，杉本和那美，森丘保典，櫻井健一，荏部俊二，金子公宏，谷川聡（2020）2020年シーズンにおける男子110m ハードル走のレース分析．陸上競技研究紀要 16：149-156.
- 7) 松尾彰文，広川龍太郎，柳谷登志雄，持田尚，杉田正明，松林武生，貴嶋孝太，川崎知美，荏部俊二，土江寛裕，清田浩伸，麻場一徳，中村宏之（2007）100m レースにおける4ステップごとにみたスピード，ピッチおよびストライドの変化．陸上競技研究紀要 7：21-29.
- 8) 松林武生，持田尚，松尾彰文，松田克彦，本田陽，阿江通良（2010）十種競技選手の走幅跳、棒高跳での跳躍パフォーマンス分析．陸上競技研究紀要 6：137-147.
- 9) 持田尚，松尾彰文，柳谷登志雄，矢野隆照，杉田正明，阿江通良（2007）Overlay表示技術を用いた陸上競技400m走レースの時間分析、陸上競技研究紀要、3：9-15.
- 10) 山中亮，高橋恭平，小林海，渡辺圭佑，広川龍太郎，松林武生，松尾彰文（2018）2018年度競技会における男女400mのレース分析、陸上競技研究紀要、14：110-122.

表1 100mにおける走速度の推移、最高走速度、および最高走速度時のピッチとストライド

| 選手名  | 大会        | 記録<br>[s] | 上段：通過タイム [s] |      |       | 下段：区間走速度 [m/s] |       |       |       |       |       |       |       | 最高走速度<br>[m/s] | 出現区間<br>[m] | ピッチ<br>[steps/s] | ストライド<br>[m] |
|------|-----------|-----------|--------------|------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------------|------------------|--------------|
|      |           |           | 10m          | 20m  | 30m   | 40m            | 50m   | 60m   | 70m   | 80m   | 90m   | 100m  |       |                |             |                  |              |
| 丸山優真 | 日本選手権混成   | 11.00     | 1.99         | 3.13 | 4.15  | 5.13           | 6.09  | 7.06  | 8.03  | 9.01  | 10.00 | 11.00 | 10.36 | 50-60          | 4.58        | 2.27             |              |
|      | 2024/6/22 | (+0.2)    | 5.03         | 8.81 | 9.79  | 10.20          | 10.35 | 10.36 | 10.32 | 10.22 | 10.10 | 9.96  |       |                |             |                  |              |
| 奥田啓祐 | 日本選手権混成   | 10.65     | 1.96         | 3.07 | 4.06  | 5.01           | 5.94  | 6.87  | 7.80  | 8.74  | 9.69  | 10.65 | 10.76 | 50-60          | 4.82        | 2.23             |              |
|      | 2024/6/22 | (+0.2)    | 5.11         | 9.03 | 10.07 | 10.53          | 10.72 | 10.76 | 10.73 | 10.66 | 10.55 | 10.42 |       |                |             |                  |              |
| 田上駿  | 日本選手権混成   | 11.08     | 2.02         | 3.16 | 4.18  | 5.16           | 6.12  | 7.09  | 8.06  | 9.05  | 10.06 | 11.08 | 10.36 | 40-60          | 4.71        | 2.20             |              |
|      | 2024/6/22 | (+0.2)    | 4.96         | 8.79 | 9.79  | 10.22          | 10.36 | 10.36 | 10.26 | 10.11 | 9.95  | 9.76  |       |                |             |                  |              |

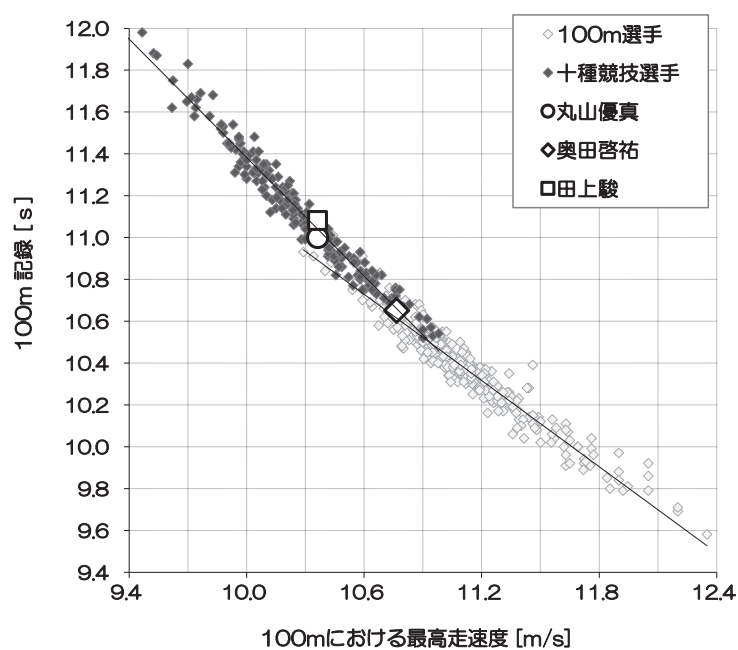


図1 100mにおける最高走速度と記録の関係

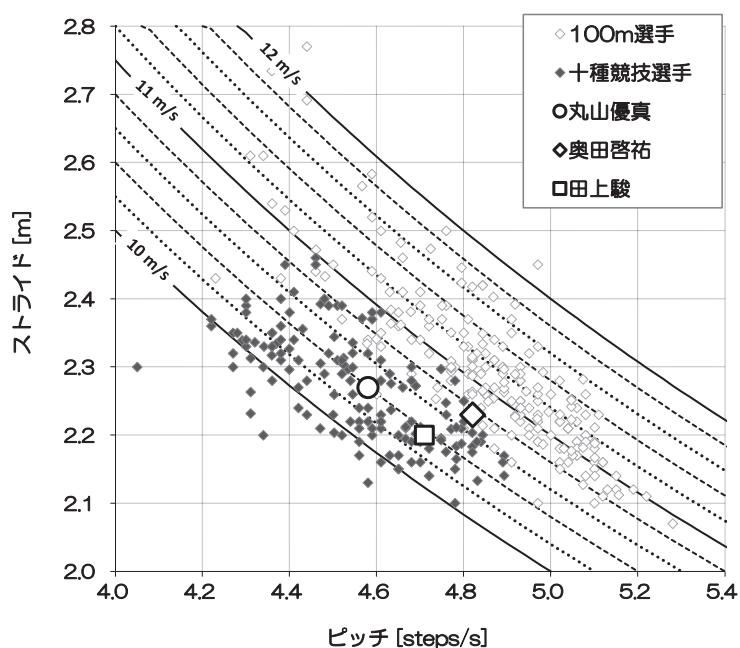


図2 100mにおける最高走速度時のピッチとストライドの関係

表2 走幅跳の跳躍距離と助走における最高走速度

| 選手名  | 大会        | 上段：跳躍距離 [m] 下段：助走最高走速度 [m/s] |             |             | 100m 記録 [s]<br>最高走速度 [m/s] |
|------|-----------|------------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
|      |           | 1跳目                          | 2跳目         | 3跳目         |                            |
| 丸山優真 | 日本選手権混成   | 7m06 (+1.2)                  | 7m07 (+1.1) | 7m18 (+1.5) | 11.00 (+0.2)               |
|      | 2024/6/22 | 9.78                         | 9.87        | 9.89        | 10.36                      |
| 奥田啓祐 | 日本選手権混成   | 7m02 (+0.9)                  | 7m00 (-0.4) | F (+1.7)    | 10.65 (+0.2)               |
|      | 2024/6/22 | 9.72                         | 9.66        | 9.67        | 10.76                      |
| 田上駿  | 日本選手権混成   | 6m62 (+0.1)                  | 6m77 (-0.1) | 6m74 (+0.1) | 11.08 (+0.2)               |
|      | 2024/6/22 | 9.43                         | 9.37        | 9.69        | 10.36                      |

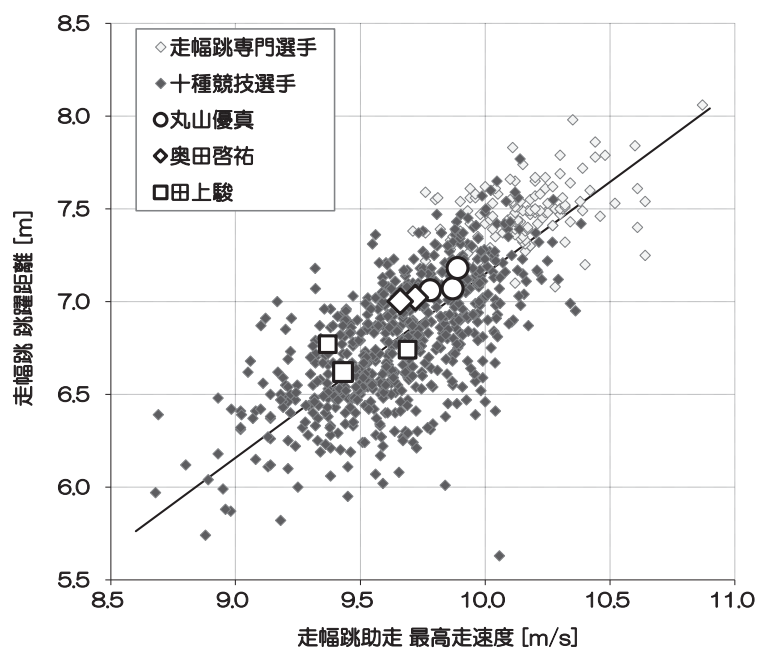


図3 走幅跳助走における最高走速度と跳躍距離の関係

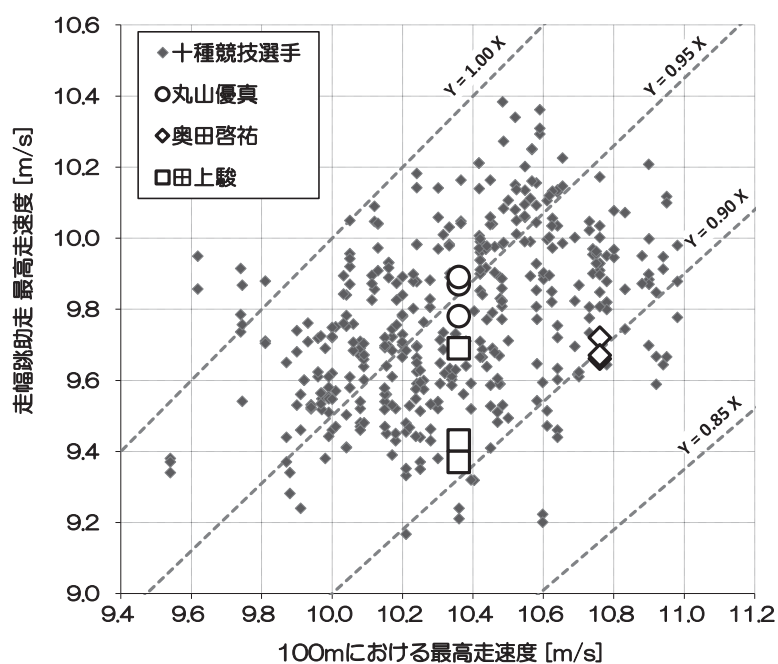


図4 100m 走における最高走速度と走幅跳助走における最高走速度の関係



表3 400mにおける走速度の推移、最高走速度、および走速度低下率

| 選手名  | 大会        | 記録<br>[s] | 上段：通過タイム [s] 下段：区間走速度 [m/s] |       |       |       |       |       |       |       | 最高走速度<br>[m/s] | 出現区間<br>[m] | 走速度低下率<br>[%] |
|------|-----------|-----------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------------|---------------|
|      |           |           | 50m                         | 100m  | 150m  | 200m  | 250m  | 300m  | 350m  | 400m  |                |             |               |
| 丸山優真 | 日本選手権混成   | 50.88     | 6.57                        | 12.11 | 17.87 | 23.90 | 30.08 | 36.63 | 43.47 | 50.88 | 9.03           | 50-100      | 25.24         |
|      | 2024/6/22 |           | 7.61                        | 9.03  | 8.68  | 8.29  | 8.09  | 7.64  | 7.31  | 6.75  |                |             |               |
| 奥田啓祐 | 日本選手権混成   | 48.22     | 6.40                        | 11.73 | 17.18 | 22.96 | 29.08 | 35.32 | 41.64 | 48.22 | 9.38           | 50-100      | 19.02         |
|      | 2024/6/22 |           | 7.81                        | 9.38  | 9.18  | 8.64  | 8.18  | 8.01  | 7.91  | 7.60  |                |             |               |
| 田上駿  | 日本選手権混成   | 50.65     | 6.70                        | 12.21 | 17.96 | 23.92 | 30.16 | 36.67 | 43.43 | 50.65 | 9.07           | 50-100      | 23.70         |
|      | 2024/6/22 |           | 7.46                        | 9.07  | 8.70  | 8.39  | 8.02  | 7.67  | 7.40  | 6.92  |                |             |               |

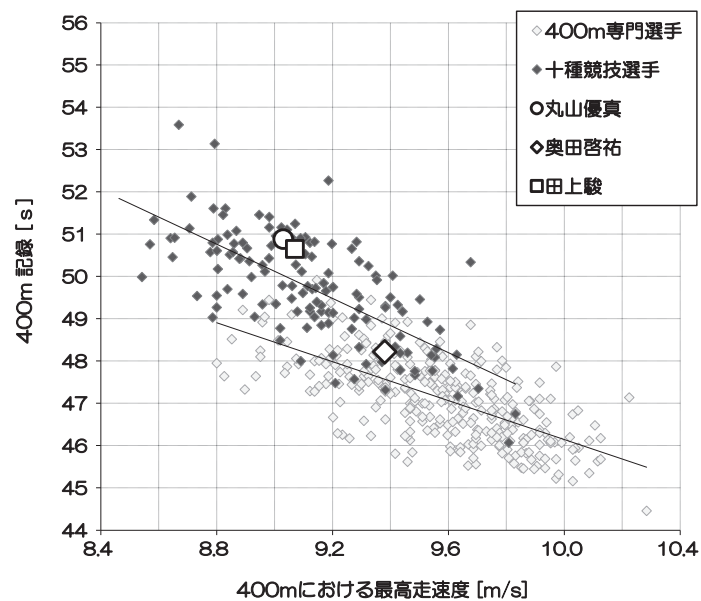


図5 400mにおける最高走速度と記録の関係

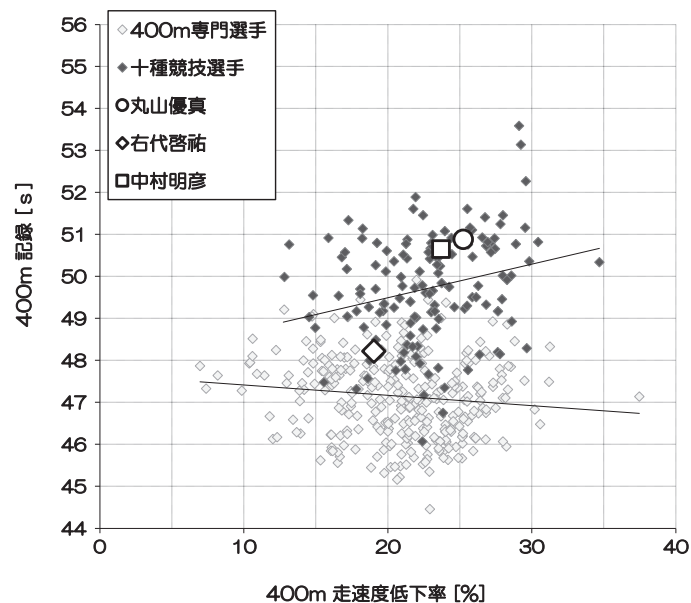


図6 400mにおける走速度低下率と記録の関係

表4 110m ハードルにおける各種タイム、走速度の推移、および最高区間走速度

| 選手名  | 大会                   | 記録<br>[s]       | ハードル：           |             |            |            |            |            |            |            |            |            | 平均値   | 最高区間走速度<br>[m/s] | 出現区間 | 100m 記録 [s]  |        |
|------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------------------|------|--------------|--------|
|      |                      |                 | 区間：             | 1st<br>app. | 2nd<br>1-2 | 3rd<br>2-3 | 4th<br>3-4 | 5th<br>4-5 | 6th<br>5-6 | 7th<br>6-7 | 8th<br>7-8 | 9th<br>8-9 |       |                  |      | 10th<br>9-10 | run-in |
| 丸山優真 | 日本選手権混成<br>2024/6/23 | 14.27<br>(+0.4) | タッチダウンタイム [s]   | 2.74        | 3.87       | 4.98       | 6.06       | 7.16       | 8.22       | 9.36       | 10.50      | 11.63      | 12.76 | 14.27            |      |              | 11.00  |
|      |                      |                 | 区間タイム [s]       | 2.74        | 1.13       | 1.11       | 1.08       | 1.10       | 1.07       | 1.14       | 1.14       | 1.13       | 1.13  | 1.51             |      |              | (+0.2) |
|      |                      |                 | インターバルランタイム [s] |             | 0.63       | 0.61       | 0.59       | 0.61       | 0.60       | 0.64       | 0.63       | 0.63       | 0.64  |                  | 0.62 |              |        |
|      |                      |                 | ハードリングタイム [s]   | 0.54        | 0.50       | 0.49       | 0.49       | 0.49       | 0.46       | 0.50       | 0.51       | 0.50       | 0.49  |                  | 0.50 |              |        |
|      |                      |                 | 区間走速度 [m/s]     | 5.55        | 8.10       | 8.27       | 8.44       | 8.32       | 8.58       | 8.01       | 8.03       | 8.12       | 8.09  | 8.28             |      | 8.58         | 5-6    |
| 奥田啓祐 | 日本選手権混成<br>2024/6/23 | 14.65<br>(+0.4) | タッチダウンタイム [s]   | 2.81        | 3.98       | 5.12       | 6.28       | 7.41       | 8.56       | 9.70       | 10.84      | 12.01      | 13.15 | 14.65            |      |              | 10.65  |
|      |                      |                 | 区間タイム [s]       | 2.81        | 1.17       | 1.14       | 1.15       | 1.13       | 1.15       | 1.14       | 1.15       | 1.17       | 1.14  | 1.50             |      |              | (+0.2) |
|      |                      |                 | インターバルランタイム [s] |             | 0.62       | 0.60       | 0.62       | 0.59       | 0.61       | 0.62       | 0.62       | 0.64       | 0.62  |                  | 0.62 |              |        |
|      |                      |                 | ハードリングタイム [s]   | 0.58        | 0.55       | 0.54       | 0.54       | 0.54       | 0.53       | 0.52       | 0.53       | 0.53       | 0.52  |                  | 0.54 |              |        |
|      |                      |                 | 区間走速度 [m/s]     | 5.41        | 7.84       | 7.98       | 7.93       | 8.06       | 7.97       | 8.03       | 7.97       | 7.83       | 8.03  | 8.35             |      | 8.06         | 4-5    |

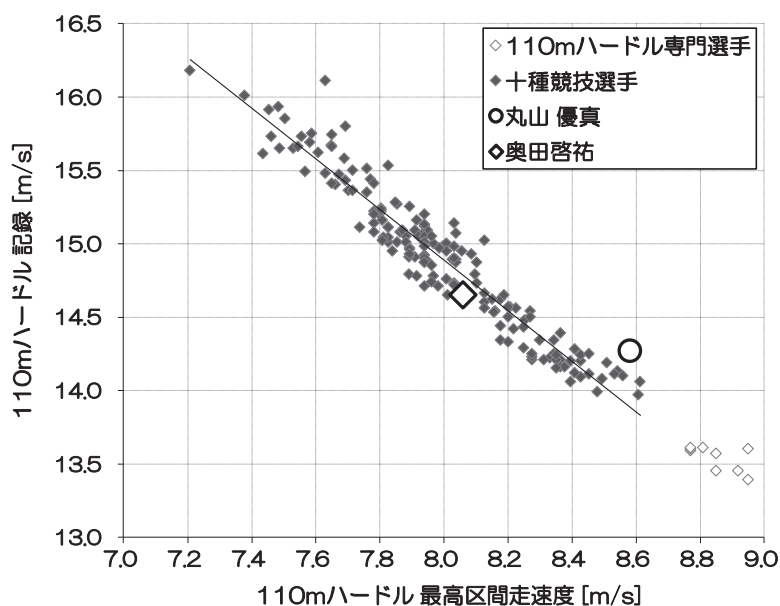


図7 110m ハードルにおける最高区間走速度と記録の関係

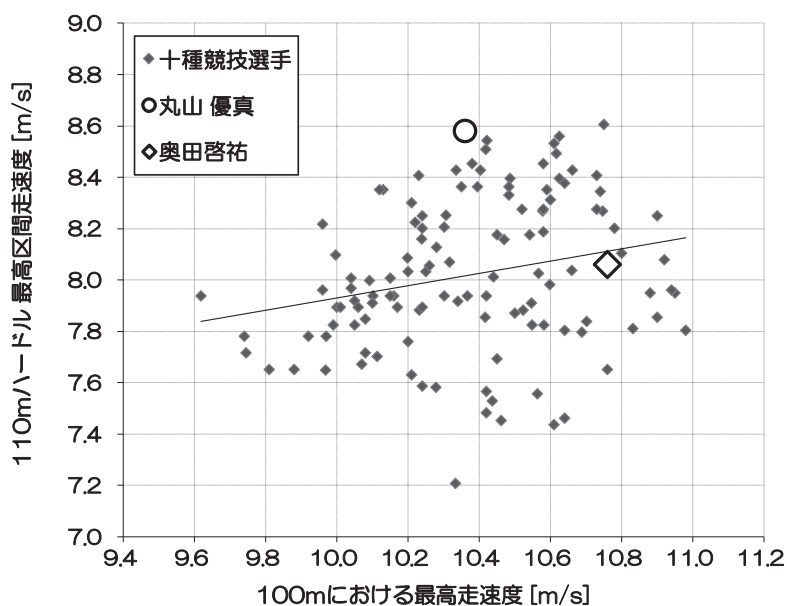


図8 100m における最高走速度と 110m ハードルにおける最高区間走速度の関係

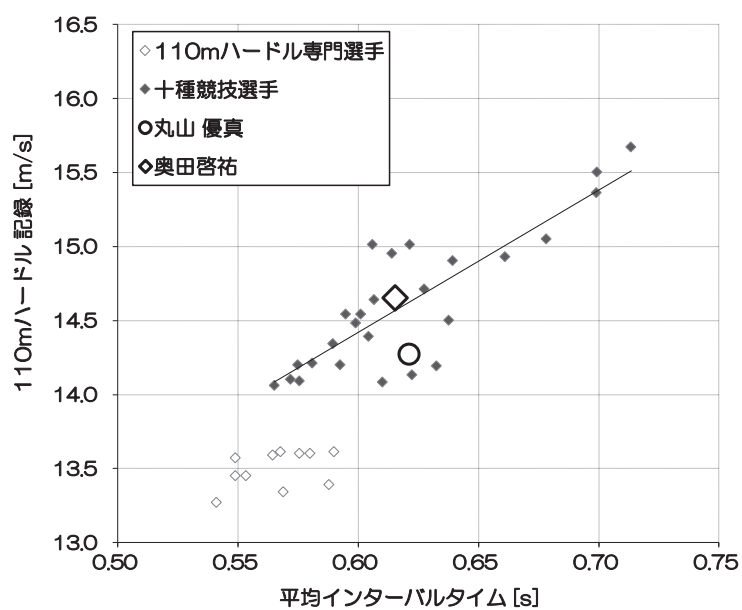


図 9 110m ハードルにおけるインターバルタイムと記録の関係

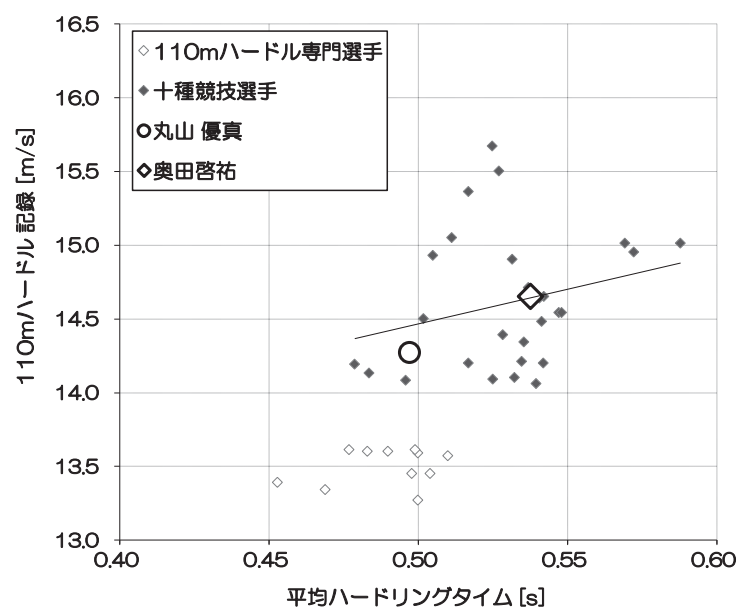


図 10 110m ハードルにおけるハードリングタイムと記録の関係