

1. はじめに

陸上競技を科学的に分析することは以前から行われている。1991年に開催された世界陸上競技選手権東京大会では、多くのビデオカメラが使用され、選手のフォーム、スピードの変化等を分析する、より科学的な研究が進んだ。また2003年世界陸上競技選手権パリ大会の男子200mにおいては、末續慎吾選手（ミズノ）が銅メダルを獲得しているが、この際にも科学的サポートが大きく貢献していたと考えられている。¹⁾

東京都高体連陸上競技専門部では、平成25年度に東京都で開催される「スポーツ祭東京2013」（第68回国民体育大会）に向け、研究班を発足した。研究班では、各競技会において選手の動作撮影や記録計測を行い、分析した結果を競技場内での掲示やホームページへの掲載によって報告を行っている。これら活動を通して、東京都の高校生陸上競技者の競技力向上を目指している。

本研究では、「レーザー方式による100mのレース分析」を中心に、これまで研究班が取り組んできた活動内容及び分析結果を報告する。また選手を対象としたアンケートの結果も合わせて報告する。

2. 調査期間

研究班では以下の大会に於いて調査を行った。（研究班発足前の活動含む）

- ①東京都高等学校陸上競技対校選手権大会（2011・2012）
 - ②東京都高等学校選抜陸上競技大会兼東京都高等学校陸上競技1年生大会（2011・2012）
 - ③全国高校総合体育大会（2011 岩手県・2012 新潟）
 - ④東京都高等学校新人陸上競技対校選手権大会（2011・2012）
 - ⑤第15回関東高等学校選抜新人陸上競技選手権大会（2011）
 - ⑥平成22年度東京都第2・3支部秋季競技会（2010）※研究班発足前
- ①～⑤の対象選手は各大会のランキング上位選手を中心とした。⑥は測定可能な全ての選手を対象とした。

3. 調査内容

（1）レーザー方式による100mのレース分析

100mのレースパターンにはいくつかの型が存在する。スタートから飛び出すタイプ、レース前半に加速するタイプ、そして後半にグーンと追い上げるタイプ等、レースに選手の特徴が大きく現れる。どのタイプの選手が最も速いのか、また速く走るにはどの要因が重要であるかについては、日本陸上競技連盟の研究によって明らかになっている部分も多い。²⁾しかし高校生短距離競技者（自己記録11～13秒台）においては、タイムを決める要因がトップアスリートとは異なるのではないかと仮定し、高校生短距離競技者の100mにおける疾走速度を測定・分析し、今後のスプリントトレーニングを検討するための基礎資料とすることを目的として行った。

○レーザー方式について

短距離のレース分析には、ビデオ映像を用いる方法やレーザー方式の計測器を用いる方法等があるが、本研究では、レーザー方式の速度測定装置（LDM300C-Sport 及び LDM301C-Sport; JENOPTIK 社製）を用いた。この装置は、選手の背部にレーザービームを1秒につき100回照射し、その反射光が帰ってくるまでの時間から速度を計測している。この装置の測定誤差は殆どなく、レーザーの強さは安全規格で最も安全とされている「クラス1」である。レーザー方式では、選手の強さを「ゴールタイムの差」のみで見るのではなく、加速の仕方、最大スピード、スピードの持続性等、局面に分けて判断することが可能である。（写真1・2）



（写真1）ラベッグ本体



（写真2）ラベッグによる撮影風景

①測定方法

調査は、2010年11月14日に行われた東京都高体連第2・第3支部秋季競技会（以下「10秋季」と訳す）及び2011年5月15日に行われた東京都高等学校陸上競技対校選手権大会（以下「11都大会」と訳す）において計測を行なった。

計測器は100mスタート後方のスタンドに設置した。10秋季では33組のレースがあり、全てのレースを対象としたが、選手の不参加や計測ミス等により、測定に成功したものは26例であった。11都大会では、全国大会入賞クラスのK.A選手の決勝レースを対象とした。

得られたデータはそのままでは分析することが困難なため、測定結果をコンピュータに送り、適切にフィルターをかけスムージングを行った。その後ゴールタイムをゴール地点通過タイムとして、時系列データとして保存しデータ分析を行った。分析により、最大スピードとその地点、通過タイム、区間平均スピード、スピード逡減率等を求めた。

②結果と考察

図1は11都大会のK.Aのラベッグデータである。このK.Aの記録を10m毎に平均したもの、また10秋季で得られたデータの中で、特徴的な2例を表1及び図2に示した。また参考として、2007年大阪世界陸上の際のT.Gay(米国)と朝原宣治(日本)のデータ²⁾も合わせて示した。

高校生の中での最高速度はK.Aの10.21m/sであった。10秋季のデータを比較すると、K.Mは10.01m/sでR.Nの9.97m/sよりも高かった。しかしゴールタイムはR.Nの11秒39に及ばず11秒65であった。R.Nは最大スピードとほぼ同様のスピードでゴールまで走り続けているが、K.Mは後半の速度低下が大きいため、このような結果になったと考えられる。K.Mが速度低下を起こした原因が、身体的理由(疲労等)であるのか、精神的理由(焦り・あきらめ等)であるのか、または意識的に速度を落とした(流した)かについては、レーザー法による速度測定のみでは知ることが出来ない。そのためレース後に質問調査を行ったところ、精神的理由(焦り)が大きいたことが判明した。

T.Gayは最大スピードが11.84m/s、朝原は11.56m/sであり、高校生競技者よりも非常に高い速度で走っている。しかし、表及びグラフに示されているように、トップアスリートであってもゴール前では速度低下していることが読み取れる。(朝原の90m以降の急激な速度低下は、意識的に速度を落としたためである)

実際の競技においては後半グーンと追いつける選手がいるが、加速しているのではなく、他の選手よりもスピード逡減率が低いことにより、そのようにみえるのであろう。

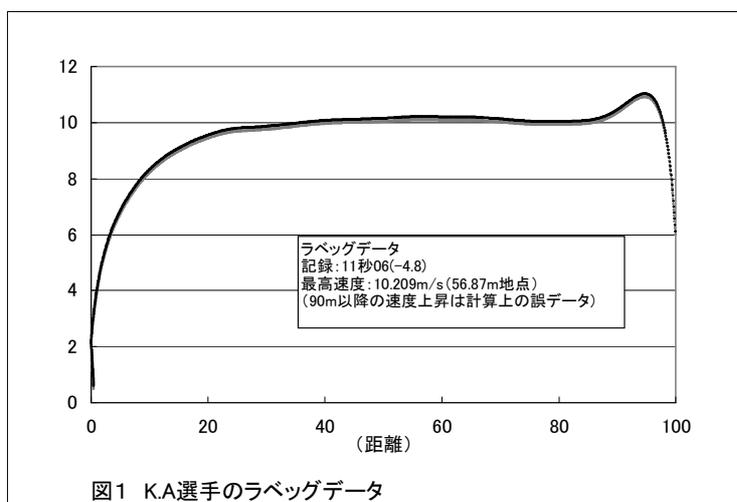


図1 KA選手のラベッグデータ

表1 100mの10m毎の通過タイム、区間タイム、区間スピード

Name	Date	Goal	Max	Max		10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
	Place	time(s)	speed(m/s)	point(m)											
RN	2010.11.14	11.39	9.97	45	split(s)	2.05	3.18	4.22	5.23	6.24	7.26	8.27	9.30	10.35	11.39
JPN(TS High)	TOKYO	(+0.7)			lap(s)	2.05	1.13	1.04	1.01	1.01	1.02	1.01	1.03	1.05	1.04
	Yumenoshima				ave.(m/s)	4.88	8.85	9.62	9.90	9.90	9.80	9.90	9.71	9.52	9.62
KM	2010.11.14	11.65	10.01	35	split(s)	2.07	3.20	4.24	5.24	6.25	7.26	8.30	9.36	10.44	11.65
JPN(S High)	TOKYO	(+1.5)			lap(s)	2.07	1.13	1.04	1.00	1.01	1.01	1.04	1.06	1.08	1.21
	Yumenoshima				ave.(m/s)	4.83	8.85	9.62	10.00	9.90	9.90	9.62	9.43	9.26	8.26
KA	2011.5.15	11.06	10.21	55	split(s)	2.01	3.12	4.14	5.15	6.13	7.12	8.10	9.09	10.08	11.06
JPN(T High)	TOKYO	(-4.8)			lap(s)	2.01	1.11	1.02	1.01	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98
	Komazawa				ave.(m/s)	4.98	9.01	9.80	9.90	10.20	10.10	10.20	10.10	10.10	10.20
T.Gay	2007.8.25	9.85	11.83	65	split(s)	1.91	2.94	3.86	4.73	5.59	6.44	7.28	8.13	8.98	9.85
USA	OSAKA	(-0.5)			lap(s)	1.91	1.03	0.92	0.87	0.86	0.85	0.84	0.85	0.85	0.87
	Nagai				ave.(m/s)	5.25	9.71	10.82	11.42	11.71	11.80	11.84	11.79	11.68	11.56
N.Asahara	2007.8.26	10.14	11.55	55	split(s)	1.90	2.94	3.88	4.78	5.65	6.52	7.39	8.28	9.19	10.14
JPN	OSAKA	(+1.0)			lap(s)	1.90	1.04	0.94	0.90	0.87	0.87	0.87	0.89	0.91	0.95
	Nagai				ave.(m/s)	5.25	9.62	10.65	11.13	11.48	11.56	11.46	11.23	11.03	10.51

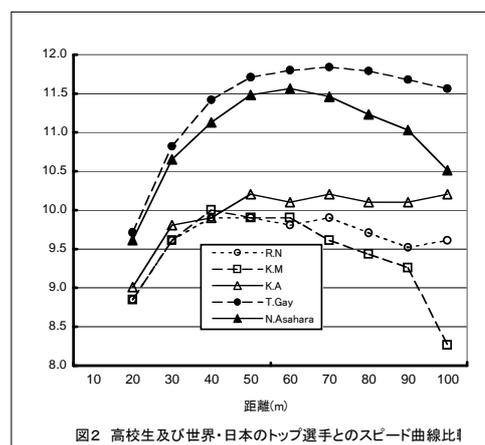


図2 高校生及び世界・日本のトップ選手とのスピード曲線比較

○最大スピードとゴールタイムの関係

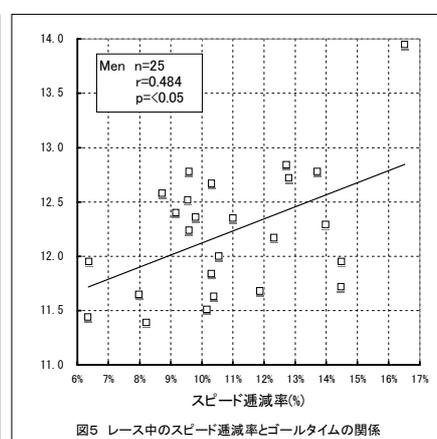
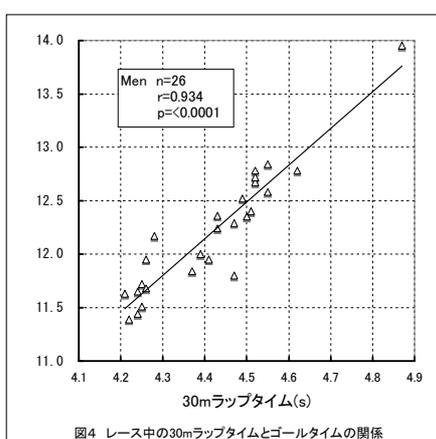
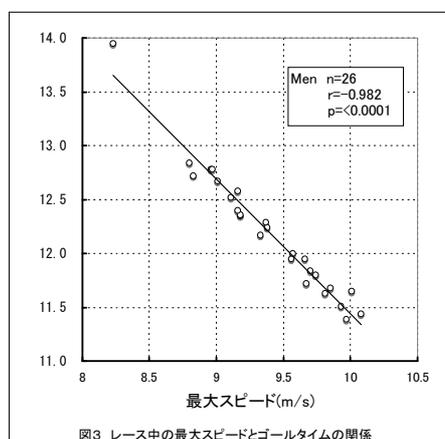
図3に、最大スピード(m/s)とゴールタイム(s)の関係を示した。全体でみると最大スピードとゴールタイムには反比例関係にあり、極めて統計的に優位な負の相関関係 ($n=26, r=-0.982, p<0.0001$) が認められた。すなわち、最大スピードの高さがゴールタイムに影響する大きな要因であることを示している。最大スピードとゴールタイムとの関係からみると、最大スピードが 10.0m/s を超える事が出来れば、おおよそ 11 秒 3〜4 台を記録することができるであろう。

○加速過程とゴールタイムの関係

加速過程の評価として 30m の通過タイムとゴールタイムの関係を見ると (図4)、統計的に優位な相関関係 ($n=26, r=0.934, p<0.0001$) が認められた。相関係数は最大スピードとゴールタイムの係数より低かった。このことは、最大スピードがゴールタイムにおよぼす影響の方が大きいことを示す結果であった。

○スピード逓減率とゴールタイムの関係

ゴール前の速度低下を示す指標であるスピード逓減率 (図5) は、最大スピードとゴール地点でのスピードから求め、高校生短距離競技者においては、おおよそ 6% から 17% の速度低下があった。スピード逓減率とゴールタイムの関係を見ると、統計的に優位な相関関係 ($n=25, r=0.484, p<0.05$) が認められた。松尾ら²⁾によれば、世界トップレベルの選手においては、速度低下は 2% 程度であり、ゴールタイムに影響しないとの報告もあるが、高校生短距離競技者においてはゴールタイムを決める 1 つの要因となるであろう。



○最大スピード出現地点とスピード逓減率の関係

最大スピードが出現した地点 (スタートからの距離) とスピード逓減率の関係を見ると、統計的に優位な負の相関関係 ($n=25, r=-0.550, p<0.01$) が認められた。最大スピード出現地点がスタート地点から遠いほど、その分ゴールまでの距離が短くなるため、速度低下を抑えることができたと考えられる。

○最大スピードと最大スピード出現地点の関係

最大スピードとその出現地点の関係を見ると、統計的に優位な相関関係 ($n=25, r=0.554, p<0.01$) が認められた。この結果は、大きなスピードを得るためにはそれだけ長い距離を必要とすることを意味している。

③まとめ

東京都高体連において行われた競技会において、レーザー方式の速度測定装置を用い、スピード変化のデータを得ることができ、次のような結果を得た。

最大スピード(m/s)、加速過程 (30m 通過タイム)、スピード逓減率とゴールタイム(s)の間には全て統計的に優位な相関関係が認められ、相関係数は最大スピードが最も高い値を示した。このことから、最大スピードの高さが 100m のパフォーマンスを決定する大きな要因であることが示された。従って、高校生短距離競技者がパフォーマンス向上を考える場合、最大スピードを高めるトレーニングを行うことが重要である。最大スピードを高めることができれば、最大スピード出現地点がスタートから遠くなり、ゴール前のスピード低下を抑えることができるであろう。しかし、多くの高校生競技者 (11〜13 秒台) は最大スピード出現地点がスタートから近く (30〜40m 付近)、減速区間が長くなってしまふ。従って、無酸素系の持久力トレーニングにより、減速を極力抑える事も記録向上には重要であろう。

(2) ハイスピードカメラのコマ数を利用した競技タイムの測定

(1)のレーザー方式でのレース分析は非常に精度の高い測定ができ、得られたデータから細かい考察が可能であるが、多くの条件が整わないと実施出来ない。そこで市販されているハイスピードカメラ(HISPEED EXILIM FH-25;CASIO 社製他)を用い、1秒間に240コマの速さで競技を撮影し、撮影後、動画再生ソフト(Quicktime7Pro;Apple 社製)によりタイムを算出する。この測定方法では、細かいスピード測定は不可能であるが、一定の区間毎のスピード測定は可能である方法で測定を行った。「Quicktime7Pro」は、時間による再生のみでなく、コマ数による再生・停止を行うことが出来るため、「コマ数×0.004166666(1コマあたりの時間)」の計算式により、タイムを算出することができる。(表2)

表2 2012年「北信越かがやき総体」 ～男子4×400mR決勝の各選手の区間タイムについて～

所属 (都道府県)	記録	順位		第1走者	第2走者	第3走者	第4走者
東京 (東京)	3分12秒15	1	選手(学年)	RI(2)	Y.S(2)	T.O(3)	S.T(3)
			区間タイム	49秒34	47秒53	48秒41	46秒87
八王子 (東京)	3分12秒55	2	選手(学年)	Y.A(1)	Y.T(3)	R.T(3)	Y.O(2)
			区間タイム	49秒09	48秒37	47秒12	47秒97
洛南 (京都)	3分12秒83	3	選手(学年)	Y.N(3)	Y.K(2)	Y.S(3)	K.T(2)
			区間タイム	49秒07	47秒50	48秒23	48秒03

※ハイスピードカメラ(240コマ/秒)で撮影し、そのコマ数により、タイムを算出。区間タイムは、1走は閃光～次走者が800mのスタートライン、2走は800mのスタートライン～次走者がゴールライン通過、3・4走者はゴールライン間を計測した。その後、撮影データと公式記録との誤差を調整した。

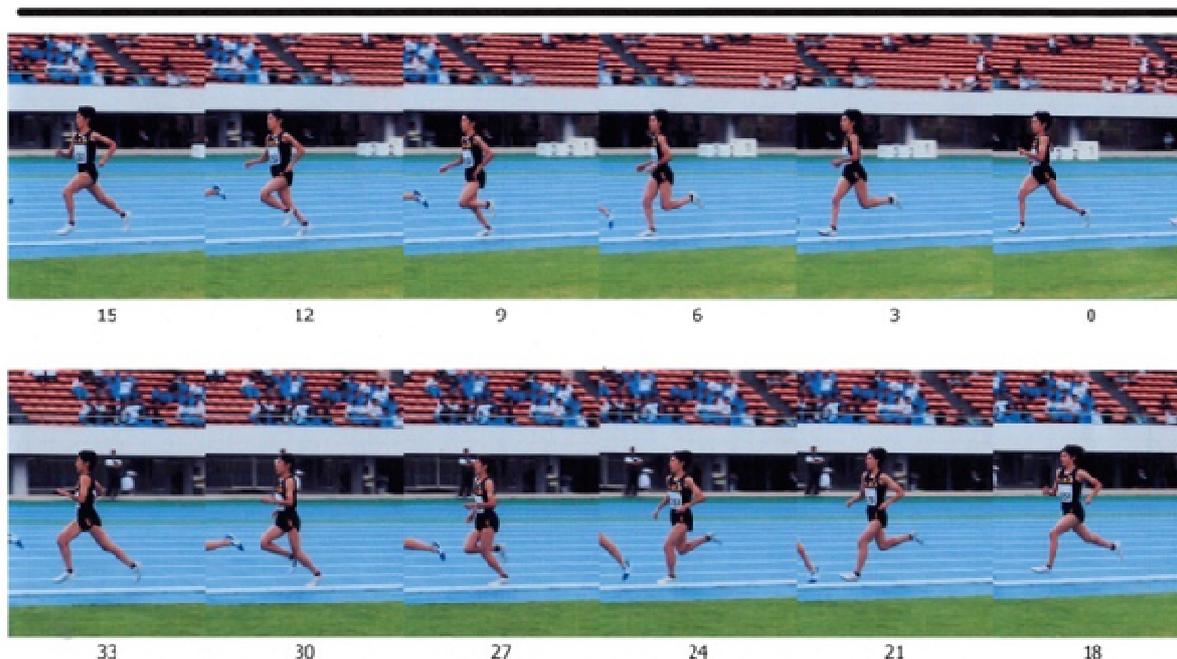
(3) ハイスピードカメラによる競技パフォーマンスの撮影

ハイスピードカメラ(HISPEED EXILIM FH-25;CASIO 社製他)を用い、1秒間に240コマの速さで撮影する。撮影データはそのままスローモーションビデオとして再生する事が可能である。また、映像分析ソフト(MediaBlend;DKH 社製)を使用し、動作の連続写真の作成(写真3)、走り幅跳びや三段跳びの踏切時の角度や速度を求める事等ができる。

2011.9.23 都新人・駒沢

女子1500m 優勝 S.Y (八王子1)4分31秒38

1/2



(写真3) 映像分析ソフトで作成した連続写真

4. 報告活動

調査した映像やデータについては以下の方法で情報公開を行った。情報公開は研究のためではなく、“選手のため”を最優先に考えて行った。

①競技場に掲示

分析の速報として、試合当日競技場内の競技結果の掲示版付近にて連続写真や区間タイム等の掲示を行った。掲示は競技終了後の可能な限り早い時間に行った。(助力にならないよう予選と決勝の間等、各ラウンド間には掲示はしなかった。)(写真4)

②ホームページに掲載

競技場内に掲示したもの、競技終了後に分析した結果及び動画等については東京都高体連陸上競技専門部ホームページ (<http://www.tokyokotairenrikujo.jp/>) 内の強化委員会のページに掲載を行った。

③冊子の配布

2011年度末には、調査した連続写真やデータ等をまとめ、東京都高体連陸上競技専門部加盟校に冊子を配布した。



(写真4) 競技場での掲示

5. 研究班の活動に対する認知度及び反応などについて

平成23年度4月より活動を行ってきたが、今後の活動の資料とするためにアンケートによる調査を行った。対象は東京都高体連陸上競技専門部に所属している選手に対して行なった。調査は、2011年度冬季選抜合宿に参加している高校生陸上競技選手男女194名(男子109名、女子85名)、2012年度東京都高等学校新人陸上競技対校選手権大会の会場にいる生徒を対象に行なった。調査は平成23年12月26日～28日(冬季合宿)及び平成24年度9月22・23日(東京都新人大会)に行なった。調査は対象者に質問用紙を配布し、選択及び自由記述で行った。

○アンケートの結果

①研究班の活動の認知度について

図2は「あなたは研究班の活動をどのくらい知っていますか」についての結果である。競技場内での活動である「撮影を見たことがある」(52.7%)「競技場での掲示」(62.2%)は共に高い割合であった。特に「競技場での掲示」は競技結果の掲示板付近で行ったため、多くの選手が連続写真やデータ等の報告を見てくれたのであろう。「ホームページでの閲覧」の割合は49.2%と半数までには至らなかったが、特に広報活動等をしていない状況での数値としては高いといえる。しかし、「活動のみ知っている」と回答し、実際に画像やデータを見ていない選手も52.7%であったことから、今後は広報活動等も行い、研究班の活動をアピールしていくことも必要であろう。

②選手が報告内容に求めるものについて

図3は「研究班の報告内容について興味があるもの」(複数解答可)についての結果である。「動作の連続写真」(69.8%)「動作のスロー再生」(76.7%)の割合が高く、良いパフォーマンスを参考にしたい意識が伺える。「走種目の通過タイム」(55.0%)「跳躍の踏切速度・角度」(33.3%)については動作についての項目より低い結果であったが、「走種目の通過タイム」は短距離選手

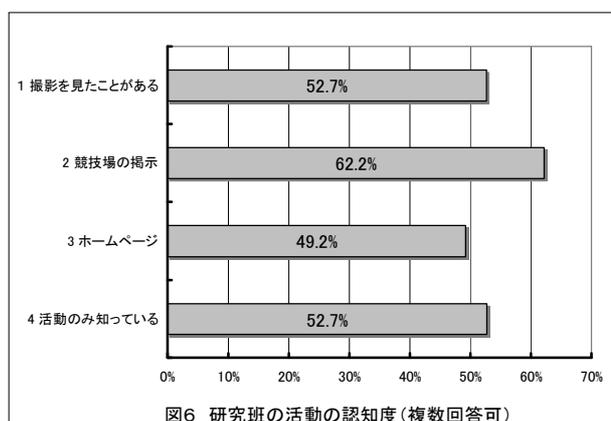


図6 研究班の活動の認知度(複数回答可)

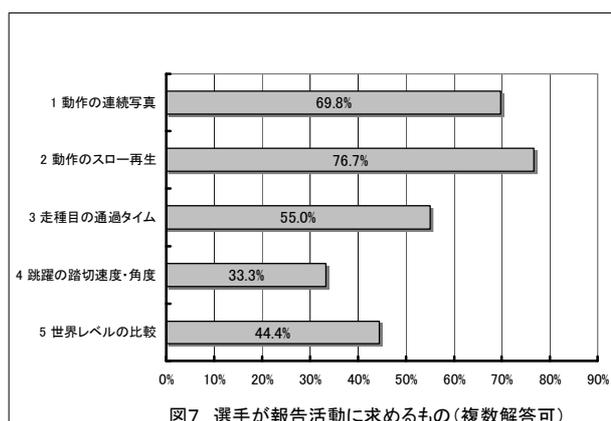


図7 選手が報告活動に求めるもの(複数解答可)

が、「跳躍の踏切速度・角度」については跳躍選手が特に興味を持っている傾向が見られた。また「高校と世界レベルの比較」(表1・図2参照)は44.4%という結果であった。世界レベルとの比較は、トップ選手の能力の高さを知るとともに、数値データに興味を持ってもらうことを目的としたが、選手の間関心が高かったため、今後も日本陸連、国際陸連のデータを参考にしながら、継続していきたいと考えている。

③個人情報・肖像権の問題について

図8は「記録・写真・動画等の競技場での掲示やホームページへの掲載」についての結果である。掲示や掲載について「すごく嬉しい」「嬉しい」と解答した選手は計68.3%であった。また、「嬉しくはないが抵抗はない」の21.1%を合わせると約94%となり、多くの選手は掲示や掲載に対して理解していると考えられる。しかし「少し抵抗がある」「すごく抵抗がある」との回答も約5%という結果であった。この結果から、今後も競技場での掲示やホームページの掲載には、「抵抗がある」と考える選手いる事を踏まえ“個人情報・肖像権”について慎重に取り扱っていききたい。

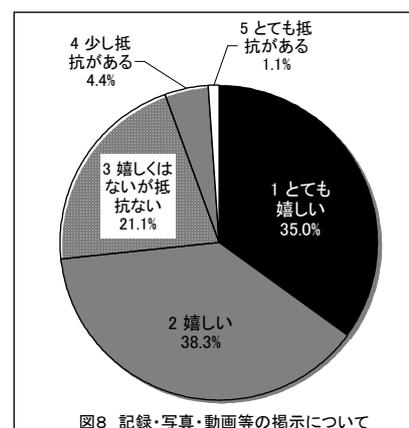


図8 記録・写真・動画等の掲示について

6. まとめ

本研究はハイスピードカメラや分析ソフトを用いて動作の連続写真・動画やデータ等を作成し、平成25年度の東京国体へ向け、高校生陸上競技選手の競技力向上を目的として行った。特に近年は、東京都選手の活躍が目覚ましく(表3)、その活躍のサポートをできた事は嬉しく感じている。またアンケートの結果からも、一応の成果を得ることができたと考えられる。アンケートの自由記述の中には「具体的なデータがあると自分の弱点が良く理解できる」「強い選手のフォームが参考になった」等の感想を述べている選手もおり、今回の調査・報告は、撮影対象となった選手本人だけでなく、他の競技者の競技力向上の一助となるであろう。

今後も、インターハイ・国体等で良い成果が得られることと共に、東京都高体連全体の競技力向上を目指し、調査・報告活動を充実させていきたいと考えている。

表3 近年の高校総体東京都選手団の主な成績

2011年度北東北総体(岩手)		2012年度北信越総体(新潟)	
男子		男子	
100m	3位・8位	400m	8位
200m	8位	800m	優勝・4位
1500m	2位	400mH	4位
110mH	6位	三段跳	6位
棒高跳	優勝	砲丸投	3位
砲丸投	優勝	ハンマー投	7位
円盤投	8位	八種競技	4位
4×100mR	優勝	4×400mR	優勝・2位
学校対校	優勝	学校対校	4位
女子		女子	
走幅跳	8位	100m	5位・6位
		200m	6位
		3000m	7位
		七種競技	優勝・2位
		4×100mR	優勝・6位
		4×400mR	2位・6位
		学校対校	優勝・7位

7. 参考文献

1) 広川龍太郎・高野進・植田恭史(2003)

「スプリンターサポートプロジェクト：末續慎吾選手のスピード分析・9秒台への挑戦」東海大学紀要

2) 松尾彰文・広川龍太郎ら(2007)

100mのレース分析 日本陸上競技連盟バイオメカニクス班世界陸上競技選手権大阪大会報告書

3) 黒木義郎・黒須崇仁(2011)

「高校生短距離競技者のレースパターンについて」東京都高体連研究大会紀要