

画像記録による短距離走の スタートダッシュの観察

山本 芳孝

(開発技術研究所 教授)

1 まえがき

オリンピックの陸上での花形競技の一つに100m走がある。更新されるのが記録であるとは言え、近年の更新は目ざましく10秒を切るようになっていく。競技には主に2つの目的が考えられる。すなわち第一は参加している競技そのものに勝つことであり、競技者の最大の目標はその競技会での優勝である。第二は記録保持者であること。すなわち、その競技種目において、その時期での最高記録を有する選手であることである。競技会での優勝判定は比較測定で行われるため、相当競り合っても0.01秒程度の差があれば判定は、それほど困難ではないであろうが、記録の比較は絶対測定を必要とするため、精度の高い測定を必要とすることになる。ゴールでは画像を利用した着順判定器が用意されており、使用方法や観察方向等の問題はあっても、測定精度は充分0.01秒を保証している。これに対して画像的に発進瞬間を確認することは相当な困難を伴う。これは肉眼でフライングを判定することを考えると、どの範囲をもってフライングとするか（号砲が鳴ってから行動開始はフライングにならないとすれば山勘発進をやることになる）は問題である。現在は大きな競技会ではスターティングブロックを使用して、これに加わった力を検出してスタート時を判定している。

2 目的

距離走は走者間の競走であると共に記録への挑戦でもある。号砲を合図としてスタートし、ゴールへの到着までの時間を競う。ゴール到着時の判定は画像利用の着順判定器によって行われるが、この装置の動作は号砲の点火によって開始され、着時精度は0.01秒単位で表示されている。スタートは静止から始まるため、画像計測で精度良くフライングを見極めるのは困難である。現在のスタートダッシュはスターティングブロックを用いたクラウチングスタイルで行われ、ブロックへの加力によって判定している。本実験は短距離走におけるスタートダッシュ動作を画像的に捉え、信号（号砲の点火）と発進動作の遅れ時間を観察することを主な目的としている。

3 装置と実験状況

クラウチングスタイルでのスタートダッシュを観察するために、4台の記録装置が使用された。高速度画像記録装置として、A)16mmプリズム式高速度カメラ、Weinberger 社製 STALEX WS-3 型、B)16mm間欠揺き下ろし式高速度カメラ、Photosonics 社製 1 PL型を使用した。その他、補助としてカラー、モノクロのビデオカメラ各1台を使用した。使用フィルムは EK-4224 (ASA500)

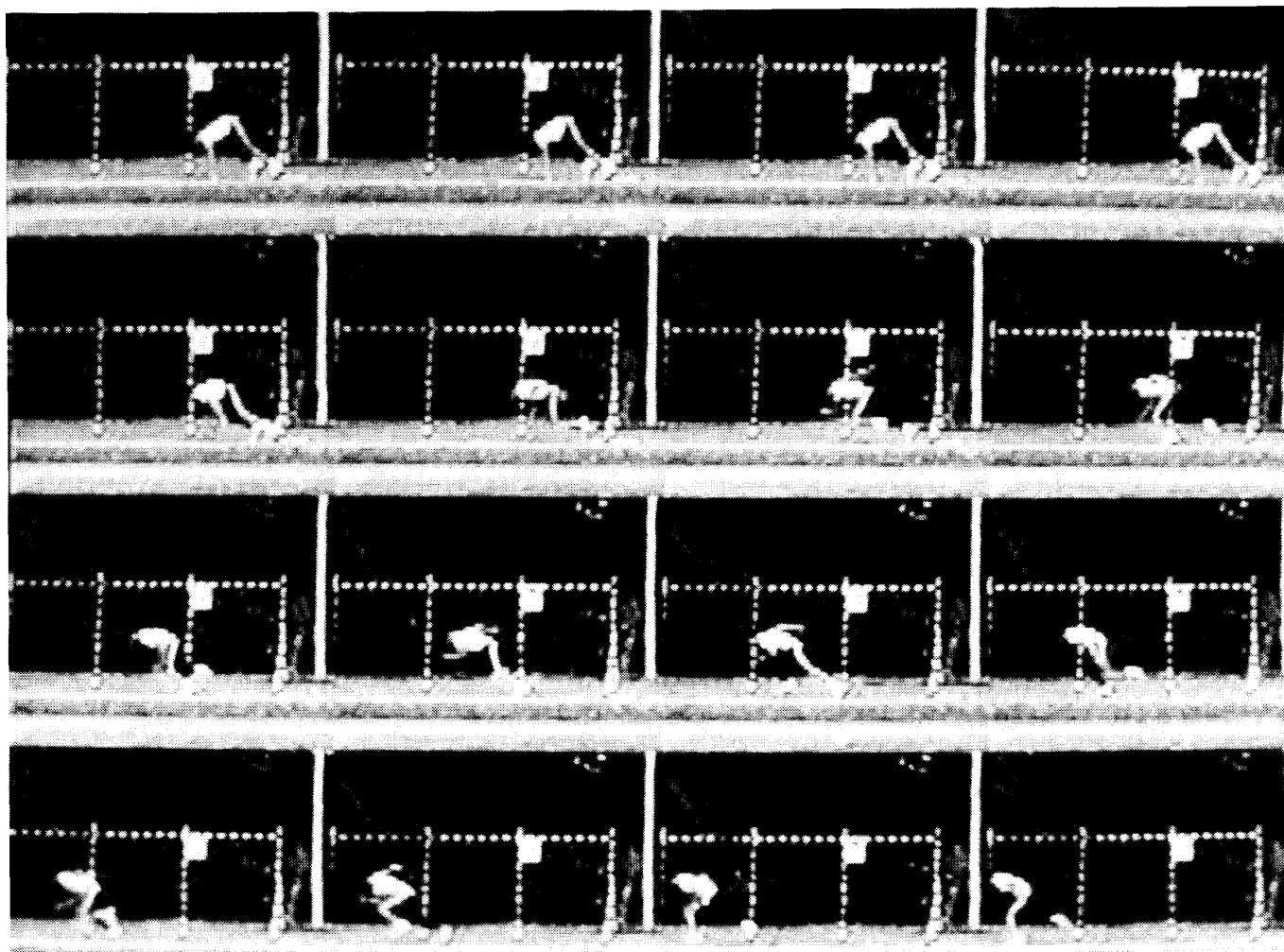


写真1 短距離走スタートダッシュのビデオ画像から

である。照明は太陽光を当てにしての実験であったが、実験当日は生憎の曇天で照明状態は好ましいものではなかった。観察対象者は東海大学、体育学部学生3名で右利き足2名、左足が利き足の者1名であった。記録された16mmフィルムは運動解析装置（ナック製）を用いてスタートダッシュの遅れ時間計測を主として行った。

4 記録結果

ビデオ記録は結果を直ちに再生して現象を観察することができ、フォームの特徴抽出、ストライドやピッチの測定等、全体的な観察には有効である（写真1）。しかし、速度がまだ高くないスタート時でも手の動き等、比較的高い速度（約2 m/s）の部分ではブレが見られている。間欠撮影下ろし式の高速度カメラは駒間隔を0.01～0.003秒で記録した。走者の動きを解析するには適当な速度で

ある（撮影速度200駒/秒の撮影例を写真2に示す）。回転プリズム式高速度カメラは最高1,000駒/秒（駒間隔は0.001秒）で撮影したが、手足の局所変化の測定に適していると考える。

5 解析と考察

5-1 スタート時の足の動き

スターティングブロックを用いたクラウチングスタートでは、後方にセットした利き足に加える力によって初期の加速が行われる。踵部と体の移動を示すために腰部の水平方向変位を示した図1によると利き足に力が加わってスターティングブロックを押すこととなるが、スターティングブロックは足全体が掛かっておらず、踵の部分は外れているために僅かに後方に移動してから急速に前方に加速している。図1の例では号砲の発煙が見られてから0.18秒後に後方の踵に変化が確認さ

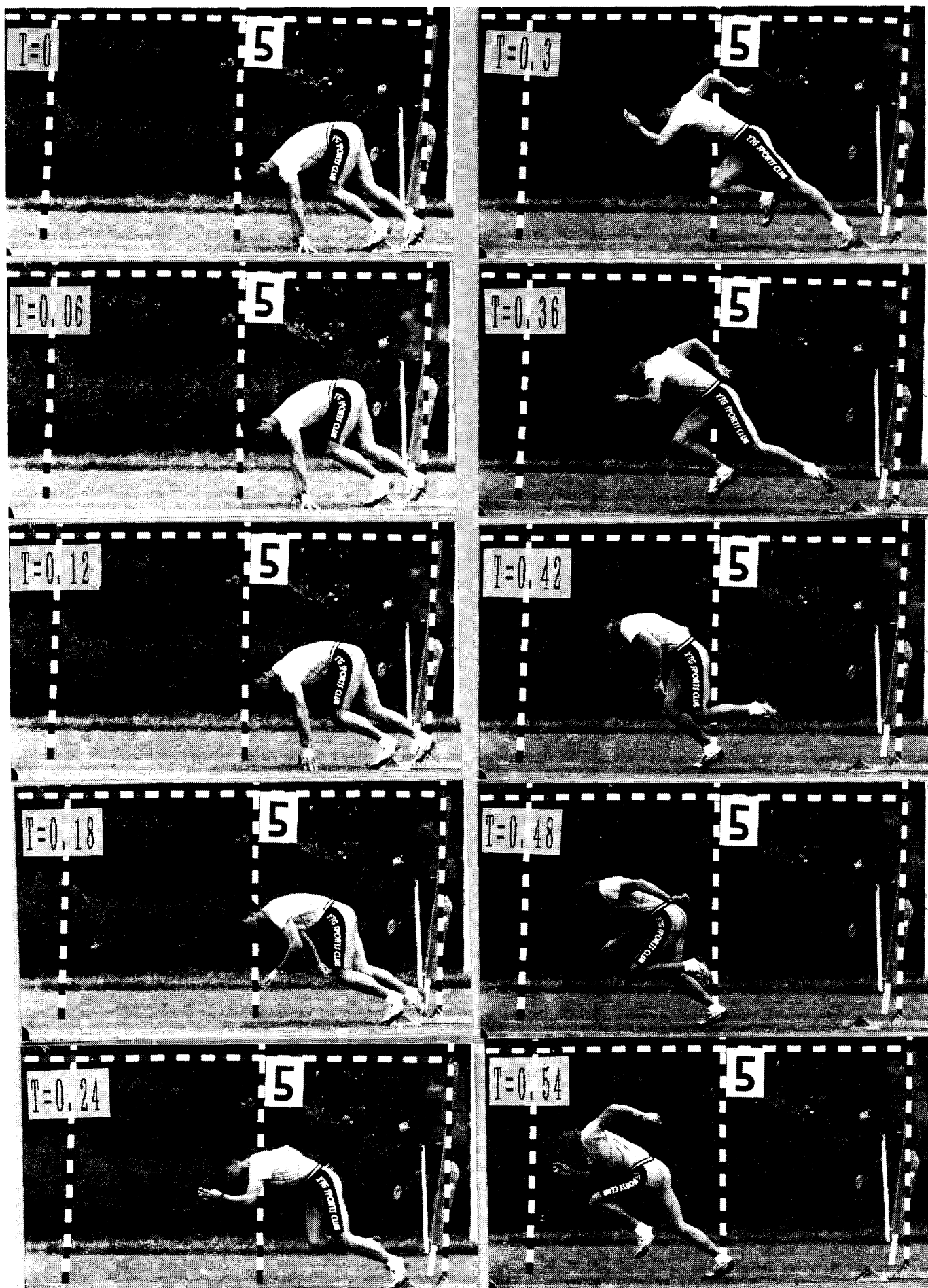


写真2 短距離走スタートダッシュの高速度撮影例 (数字は号砲の発煙を0とした経過時間、単位は秒)

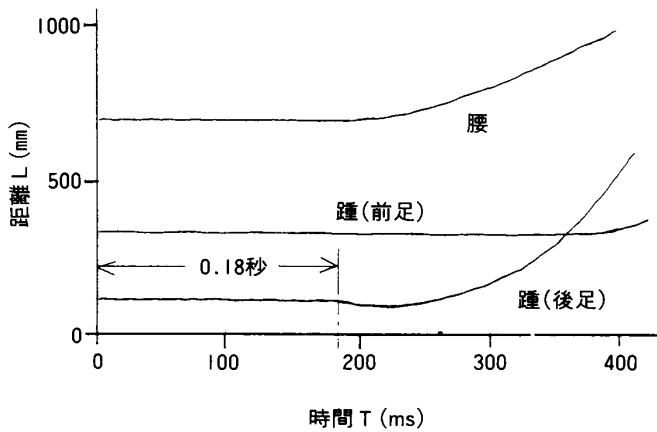


図1 短距離走におけるスタートダッシュの遅れ特性
(時間の原点は号砲の発煙)

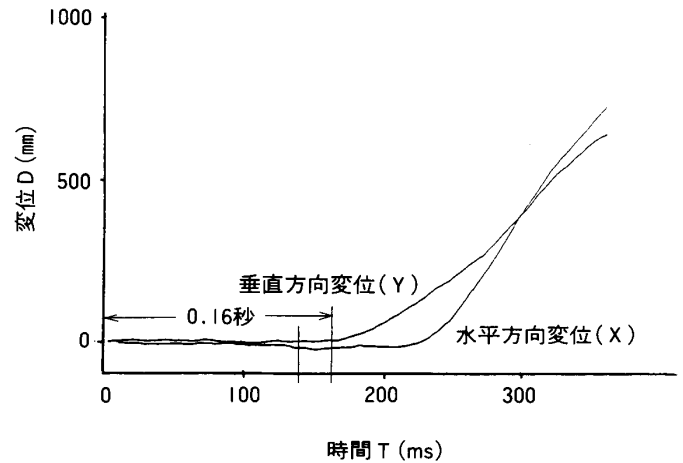


図3 手先の変位から見たスタートダッシュの遅れ時間
(時間の原点は号砲の発煙)

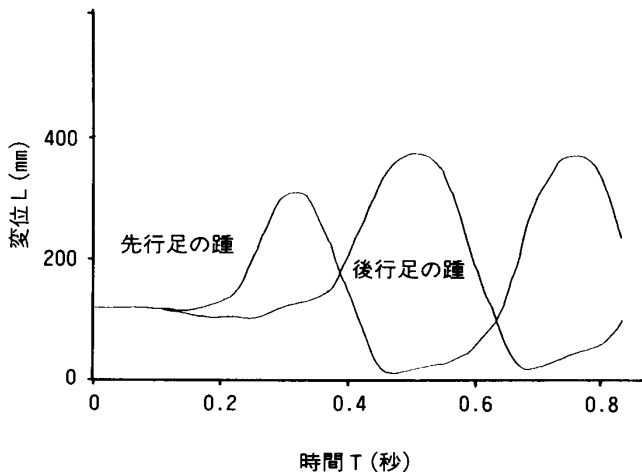


図2 垂直方向の変位

れている。この時に前足は全く変化が見られず、利き足がスターティングブロックを完全に離れてから水平方向に移動が見られている。しかし、垂直方向の変位を図2から見ると利き足が前方に大きく変位している時期に前足は一旦沈み込んでからスターティングブロックを蹴って、斜め前方に変位している。利き足がスターティングブロックを離れる頃から次第に他方の足に力が加えられ連続して体の推進を行っているようである。しかし、後行足がスターティングブロックを離れた時期には、未だ先行足が着地しておらず、体全体は空中にある。先行足が着地してから地面を捉え、次いで地面を蹴ることで再び体に推進力を与える。ここまでの動作は初期条件に伴った動きである。

5-2 スタート時の腰の動き

体の重心に近い測定点として腰部の移動を観察

した。利き足の蹴りによって腰部が変位を開始し、利き足は空中に上がる。次いで他方の足によって加速されるが、この初期の両足による腰部の加速に限っては連続して行われている。しかし、第二步以後の腰部の変位から見ると、片足ずつの間欠的加速運動と見られる。

5-3 手先の動きの観察

クラウチングスタイルのスタートでは手の作用が重要である。重心は低く前方にあった方がキックを有効に推進力に変えられるので、体重の相当部分が立てた指先に荷重として加わっていることが推定される。スタート時は、速やかに手の支えを外して足への加力が重心を前、上方に加速できるようにする。スタート時に、いち早く手が動作を開始していることに注目し、号砲の発煙を0とした時間軸で手のX、Y両方向への変位を測定した(図3参照)。手先の垂直変位から0.16秒で動作が始まると推定された。この選手の足の踵から0.17秒で動作が開始された(実験5)と推定したので、手先の変化は少なくとも外からの観察では踵の変化より早い変化の開始が認められ、急速に上方に引き上げられ、更に前方に強く振られている(この選手は右足が利き足であり、従ってスタートに当たっては左手が前方に振られている)。

5-4 クラウチングスタイルでの加速特性

スターティングブロックを用いたクラウチン

グスタイルでのスタートは、号砲による信号を聞いてから後方にある利き足に強い蹴りを与えて推進力を得ている。この際、足の推進力そのまま、腰部を前方に押す形となり重心移動を与えている。利き足がスターティングブロックを離れ、空中に浮いた後に他方の足によって更に加速され、両足共に空中に浮く時期が出来る。次いで先行する足が着地して踵が僅かに沈み込む。この両足が空中に浮いた時から着地した足の踵が僅かに沈み込む時期までは腰部で見る限り速度は減少している。次いで着地の際、曲がっていた膝に加える力と沈んだ足のばねとで再び加速に入り、以後は交互に左右の足でこれが繰り返され、最高速度に達する(図4)。

5-5 号砲から発進動作までの遅れ時間

号砲から選手が発進動作を起こすまでの時間を画像上の変位から測定した結果、6例の平均値で0.16秒であった。但し、1例は0.1秒と極端に反応が早い結果が得られているが、多分フライング発進ではなかったかと想像され、これを例外と仮定すると0.174秒となる。音源と選手との間隔による誤差は5ms程度であり、従って平均遅れ時間は0.17秒と考える。実際の競技では0.13秒以内をフライング時間としているので1例を除いて競技は成立している。しかし、同一選手で最小値と最大値で0.04秒の差が見られたことは実際の競技での成績に大きく影響するものと考えられる(表1)。

6 結論

- 1) 初期(スタートダッシュ)については利き足による最初のスターティングブロックへのキックによる加速が極めて重要で、大きな値となっている。
- 2) 今回、画像から見た号砲とスタートの遅延時間は1つの例を除き0.15~0.19秒であった。
- 3) スタートダッシュの巧拙は相当に競技成績に影響することがはっきりした。
- 4) 短距離走での着順判定は0.01秒の精度ならば

表1 踵の動作から見たスタートダッシュの遅れ時間

(単位: 秒)

実験1	選手(A)	0.19
実験2	選手(C)	0.18
実験3	選手(A)	0.15
実験4	選手(B)	0.10
実験5	選手(C)	0.17
実験6	選手(C)	0.18

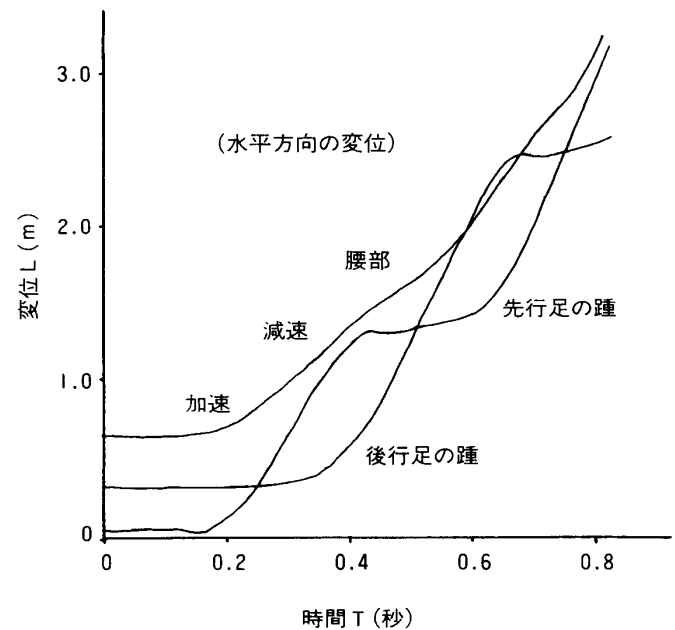


図4 短距離走のスタートダッシュ時の腰と踵の移動
(ブロックを用いたクラウチングスタートの例)

熟達者であれば肉眼で間違えることはないと思えるが、スタートを同じ時間精度で判定することは困難と考えられる。

- 5) 画像解析から踵、手先の変位が最も発進動作の早い兆候として見る事ができた。
- 6) 短距離走でのスタート判定システムは公正なスタート、および正しい記録のために必要なものとする。

7 謝辞

本研究に有益なご意見と便宜を頂いた東海大学小村渡岐磨体育学部長、宮川千秋体育学部助教授に感謝するとともにグラウンド実験に対して体育学部堀内、米沢、梅木、工学部水野、金指、浅井、伊藤、高田、向田、村松、吉松の大学院生、学生の協力に感謝申し上げます。