HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	青少年の疾走能力の向上について(竹田憲司教授退職記念号)
著者	宮崎，俊彦
引用	北海学園大学経営論集，6(4)：71-88
発行日	2009-03-25

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

青少年の疾走能力の向上について

宮　崎　俊　彦

1．中学生の 100 m の記録はどの地点から予測できるのか　～速度曲線からの分析～

1.1　緒論

100 m 走記録を高めることは 100 m という距離をいかに短い時間で走るかということで，100 m 疾走中の平均疾走速度を高めることである。そのためには，①スタート直後から高い疾走速度に達すること，②最大疾走速度を高めること，③高い疾走速度を維持すること等の課題が考えられる。これらの課題に対して猪飼ら（1963）は光電管を用いて区間速度を求め，詳細な分析をしている。5 年ほど前から 1/100 秒単位で疾走速度を分析するレーザー速度測定装置が開発され，この方法についても確立されている（金高 1999a，1999b）。本研究では小学生から高校生までレーザー速度測定器を用いて青少年の 100 m 走の速度分析を行った。

1.2　方法

100 m 走の記録は，公式大会の場合には公式記録を採用し，その他は光電管（Speed Trap II）を用いて測定した。疾走速度はレーザー速度測定器（LDM300C　sports，JENOPTIK 社製）を用いて中学生および，小学生，高校生 81 名の疾走速度の測定を行った。測定は全天候走路，スパイク使用，スターティングブロックを使用した例のみに限った。

1）疾走速度の測定について

図 1 にレーザー式速度測定器で測定した 1 例（100 m 走記録が 12 秒 36 の選手の疾走速度と加速度）を示した。スタートラインの後方 20 m の位置にレーザー式速度測定器を設置した。「用意」の合図から選手がゴールするまでの間，選手の臀部または背部にレーザー光線を当て，距離データを 100 Hz で測定し，データをコンピュータに送信した（宮崎，2006）。

2）データ処理

レーザー式速度測定器は，目標物に半導体レーザーを照射することで，目標物までの距離を算出する。マニュアルによれば，レー

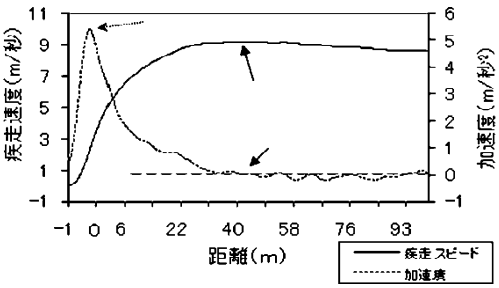

図 1　100 m 走における疾走速度曲線および，加速度の変化
↑は最大疾走速度出現距離，破線矢印は最大加速度を示す。
12 秒 36 の選手のデータ

ザーは 100 m で直径 30 cm まで拡散する。測定誤差は目標物の移動速度が 10 m/秒までは 0.1 m/秒以下とされている。得られたデータについてスペクトル解析を行った結果，ほとんどの被験者において 0.5 Hz 以下の周波数帯にパワーのピークが見られた。したがって，本研究の距離データは遮断周波数 0.5 Hz で得られており，３点デジタルフィルターを用いて，２階差分による数値微分によって疾走速度と加速度を求めた（宮地ら 1984，金高 1999a，1999b，松尾ら 2001）。そして疾走時の速度曲線および加速度曲線のピーク値を求めることにより，最大疾走速度および最大加速度を特定した。

３）分析データ

分析の対象としたデータは，距離データが０m となる時点（つまりレーザーを照射している臀部がスタートラインを通過する瞬間）の１秒前から，100 m のゴールまでを対象とした。

レーザー式速度測定器の設定において，スタートラインを０m とした。スタート合図の「用意」の時点では，被験者の臀部にレーザーが照射されるため，被験者の位置はスタートラインよりも 40～50 cm 後方に検出された。

４）統計処理

平均値は平均値±標準誤差で示した。

1.3　結果および考察

速度曲線は図２A のように各秒におおよそ識別することができる。つまり，速い選手は最大疾走速度が高いことを意味する。この最大疾走速度（y）と 100 m 走記録（x）との関連をみると y ＝ － 0.588 x ＋ 16.364（r＝－0.977，p<0.01）（図３）の関係が得られた。９秒台の選手（広川ら 2006）から 17 秒台というように幅広い記録の幅を見ると２次曲線で近似される。どちらにしても，100 m 走記録の向上は最大疾走速度を高めることに他ならない（阿江ら 1991，小林 2004，松尾ら 2007）。速度は加速度の積分であらわされる。プラスの加速度の積分が速度の増加

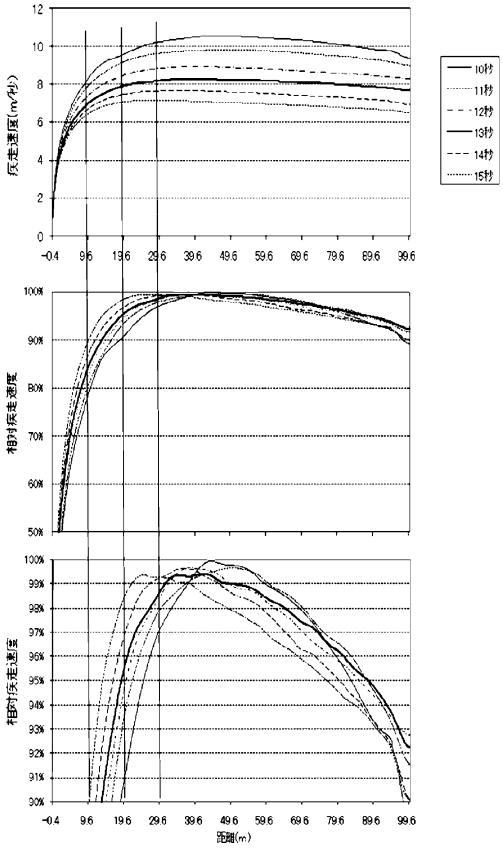

図２　各水準平均速度曲線および相対速度

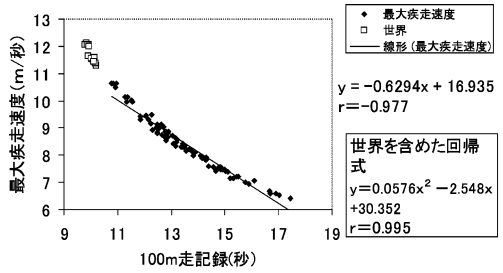

図３　最大疾走速度と 100 m 走記録

させることになり，最大疾走速度に達する。図1をみると加速度はスタート直後に最大値を示して，逓減していく。この最大加速度（y）と100 m走記録（x）との相関を見たのが図4である。最大加速度と100走記録との相関係数は y＝－0.316 x＋9.517（r＝－0.881, p＜0.01）であった。加速度の積分は加速されている区間の長さにも影響がある。つまり，最大疾走速度出現距離である。最大疾走速度出現距離（y）と100 m走記録（x）とは y＝－3.695 x＋90.261（r＝－0.626, p＜0.01）という関係が得られ，100 m走記録に対して最大加速度の方が最大疾走速度出現距離よりも貢献度が高いと考える。疾走速度を相対速度に変換して分析をしてみると，遅い選手ほど最大疾走速度に達する地点がスタート地点に近いことがわかる（図2C）。このことは遅い選手では，ある速度に達すると更に速度を増加する力が残っていないため，早い地点で最大疾走速度に達してしまう。それに対して，速い選手はある速度に達してからも速度を増加させる力があるため，最大疾走速度に達するのに時間がかかる（最大疾走速度に達するのに距離が必要であると考える）。図2Bを見てわかるように，10秒台の選手は40 m付近で最大疾走速度に達しているにもかかわらず，15秒の選手は20 m付近で最大疾走速度に達している（加藤ら1999）。

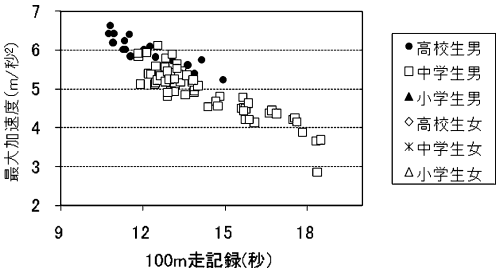

図4　100 m走記録と最大加速度の関係

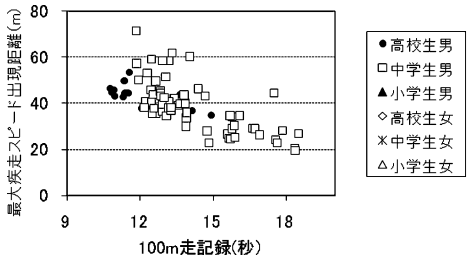

図5　100 m走記録と最大加速度出現距離との関係

100 m走記録を向上させるためには，最大疾走速度を高める以外に高い疾走速度を維持することも要素の一つである。それでは最大疾走速度を維持する区間に記録水準に差があるのかを検討した。最大速度の98%の速度（98%Vmax）を維持できる区間の81名の平均は33 mであった。この区間の長さは10秒台から15秒台までに差が見られなかった。

このことを考慮すると，最大疾走度維持区間の練習としては，疾走能力に関わらず，およそ30-35 m程度の距離を設定する必要があると思われる。表1には30 mの距離をそれぞれの100 m走目標記録の98%Vmaxで走った際の設定時間を示した。

図6に最大疾走速度からゴールまでの疾走速度減少率と走記録との相関関係を示した。相関係数は r＝0.22 と有意ではなかった。このことは速度低下と走記録との間に一定の関係がみられないことを意味している。疾走速度の低下は記録に影響するが（遠藤ら2008），走速度と関連がないことは興味深い。松尾（2008）も同様の報告をしている。関連

表1　98%Vmaxで走った際の30 m区間の設定

100 m目標記録（秒）	30 m区間 設定時間（秒）
11.0	3.2
12.0	3.6
13.0	4.2
14.0	4.9
15.0	5.8
16.0	6.8

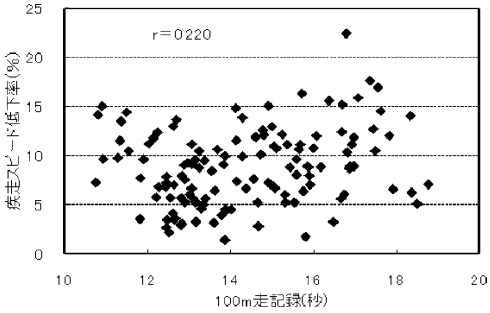

図６　100 m 走記録と疾走速度低下率
最大疾走速度からゴール地点での疾走速度の低下率

がなかったのは例数が少ないためなのか，今後検討したい。

最大疾走速度の向上が 100 m 走記録向上につながることはわかったが，最大疾走速度に達するまでのどの地点の疾走速度が重要なのか。あるいは，疾走速度は加速度を積分したものであるので，どの地点の加速度が重要なのか，さらに，力×速度で表される体重当りの Power（生田ら 1972）はどの地点が重要なのか。これを検討するためには，100 m 走記録と，その区間の疾走速度，加速度，Power との相関係数を検討する必要がある。これを示したのが図７である。疾走速度は 1.4 m で r＝－0.904，5.7 m で r＝－0.950，10 m で r＝－0.951，17 m から r＝－0.977 を示し，ゴールまで相関係数はほとんど変わらなかった。つまり，疾走速度は図２A を見ると速い選手はスタート直後から速く（Primakow 2002），そのため，1.4 m 地点でも疾走速度で十分 100 m 走記録を予測できるということである。加速度，体重あたりの Power は 2.7 m から 8.9 m で r＝－0.9 以下であった。それ以降加速度と同様に r＝０に近づき，84 m で r＝0.5 まで上昇したのち，r＝０まで下降した。これらの結果から，17 m 地点という比較的短い距離の疾走能力によって，100 m 走記録の予測がほぼ可能である。また，17 m 地点の疾走速度を獲得するための加速区間は，スタート地点から約 10 m 地点までの区間であると考えられる。100 m 走記録に影響を与えているのは 10 m までであり，それまでの加速度をいかに向上させるのかを解明することが今後の課題であると考える。

２．短距離走の因子構造の解析

2.1　緒論

北海道は半年が雪で埋もれている。その間室内で疾走能力向上に必要なトレーニングを行うことが必要である。そのためには，疾走

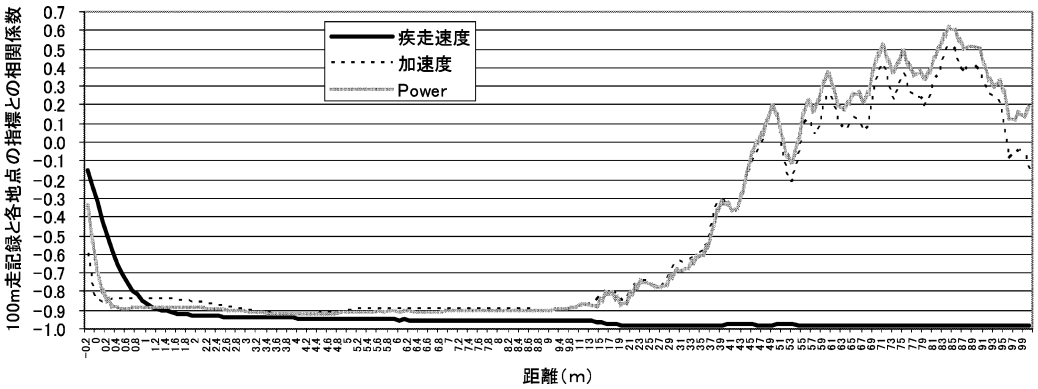

図７　100 m 走記録と，各地点における疾走速度・加速度・体重あたりの Power との相関係数
10 m 地点でスケールが変っていることに注意。Power は加速度×速度から体重当りの Power を算出した。

に必要な体力要素を明らかにしてその関連度を示すことであると考え，共分散造分析を用いて分析を行った。

2.2　方法

被験者はのべ304名の中学生陸上部員に対して体力測定を実施した。測定項目及び要領は以下の通りであった。

1），身長，体重，

2），室内50 mスプリント：0.1 m-10 m-30 m-50 mに光電管を設置し，それぞれの通過時間を測定した。レーザー速度測定器により速度曲線を得，最大疾走速度を特定した。スタートにはパネルの受けにブロックを設置し，クラウチングスタートを行わせた。

3），立ち3段跳び：両足ジャンプでスタートし，片足交互ジャンプした後，両足で着地させた。着地した後ろ足のかかとで計測した。

4），One-leg Sprint：一歩目が床に接地してからストップウォッチを作動させ，30 mをできるだけ少ない歩数，できるだけ早い速度で片足連続ホップを行わせた。time/30 m，歩数/30 m，を測定した。

5），上体起こし：後頭部に手を組み，上体起こしを行わせた。肘と大腿部が接触したらカウントした。肘を膝につけた状態からスタートさせた。ただし，背中（肩甲骨）は地面につくまで降ろさせた。10回，20回，30回のラップタイムを計測した。

6），腕立て伏臥腕屈伸：腕を伸ばした状態からスタートさせた。できるだけ速く腕屈伸を行わせた。肘の屈曲は90度以上とし，顎が床に着くまでとした。3回，10回，20回，30回のラップタイムを計測した。

7），階段駆け上り（全体のタイムと最後の階のタイム，2段飛ばしてあがる。1Fの3，9段目と3Fの3，9段目に光電管をセットし，それぞれの階の3段目と9段目のタイムの差から速度を求めた。

8），垂直とび（ジャンプメータ使用）計測は腰紐のジャンプメータで反動ありの垂直飛び（CMJ），腕の振り込みなしの垂直飛び（NASCMJ），膝を90°に保った姿勢からのジャンプ（SJ）を1試技ずつ。ジャンプマットでCMJ，NASCMJ，SJを2試技行う。各ジャンプ3回ずつ行わせた。

9），腸腰筋力：机に座らせ，床からのベルトを大腿にかけ，ベルトを引き上げる。（計測はベルトに握力計を介して測定）

10），背筋力（背筋力計）

11），連続ホッピング（ジャンプメータ）腰に手を当てて，両脚で連続ホッピングを10回行う。跳躍高の一番高かった試技を採用。

探索的因子分析をまず行った。因子の抽出には最尤法を用いた。ただし，各項目のうち，因子負荷が0.4に満たなかった項目を削除し，因子分析を行った。因子数は固有値1.0以上の基準を設け，斜交回転のプロマックス回転を施した。得られた因子を構成していているアンケート項目を3つ選び，潜在変数を構成し，「疾走能力」を目的変数にする共分散構造分析を行なった。3つを選ぶ基準は基本的には因子負荷量の高いものとした。

なお，分析に使用したソフトウェアはSPSS 15.0，およびAmos 6.0を使用した。モデルの適合度はGFI，CFI，が経験的に0.9以上，厳格な基準では0.95以上が，RMSEAは0.08以下が，経験的に0.05以下が厳格なモデル採択規準として一般的に推奨されている（豊田1998）。

2.3　結果と考察

50 m走記録は片足の連続跳び（One-Leg-

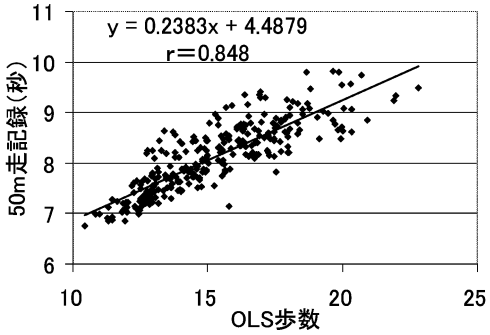

図８　50 m 走と One-Leg-Sprint の歩数との関係

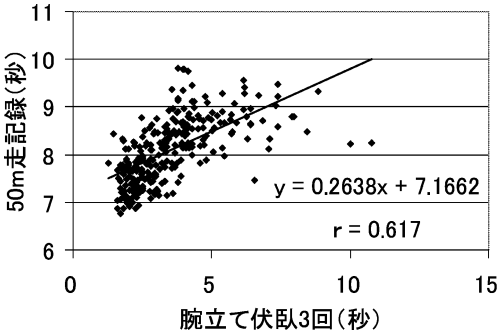

図９　50 m 走と腕立伏臥３回の時間との関係

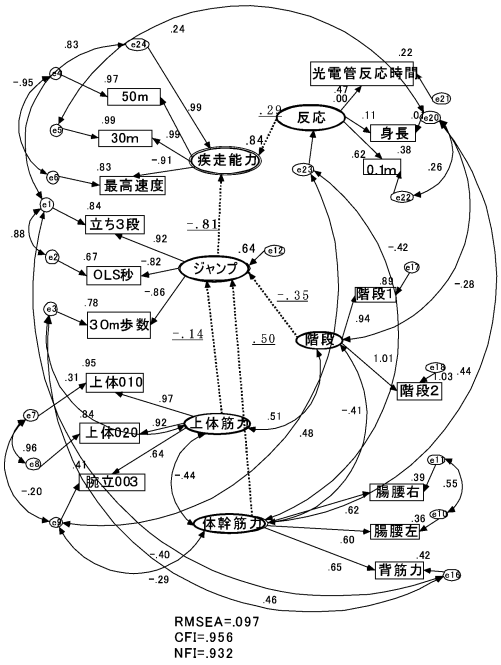

図 10　疾走能力と体力との共分散構造分析

Sprint，OLS）と相関が高かった（図８）。このことはジャンプ力を高めてやると，50 m 走記録が向上することを意味する。図７に示したように。スタートしてから 10 m 付近での加速度や Power と，100 m 走記録との相関が高いことは，疾走というのはジャンプの連続であるので，ジャンプ力をつけることが短距離能力を高めることになると考える（稲垣ら 1991，岩竹ら 2002，岩竹ら 2008）。

また，上体起しや腕立て伏臥（図９）も 100 m 走記録と関連がある。中学生の段階では腕立て伏臥が 100 m 走記録に関係あるのは腕の力と考えるより，腕立て伏臥の姿勢保持する全身の力が 100 m 走記録の向上には必要であると考えた方が妥当であろう。

体力要素１つずつではなく，全体像を把握する方法として，共分散構造分析を行った（図 10）。四角は測定項目，楕円は測定項目の背後に共通する要因（潜在因子）。誤差変数は e であらわしている。実線の矢印の係数は潜在因子が測定項目に与えている影響を示している。破線の下線文字は標準偏回帰係数といい，潜在因子と潜在因子の影響の程度を表す。双方矢印は単なる相関係数を表している。50 m 走記録，30 m 走記録，最高疾走速度で表される疾走能力はジャンプ力と偏回帰係数が－0.81 であることから疾走能力を高めることはジャンプ力を高めることと言い換えても良いと考える。ピストルからの反応時間，１歩目までの時間などで表される反応とジャンプで疾走能力の 84％が説明できる。また，ジャンプ力は上体筋力，体幹筋力，階段駆け上がりで 64％が説明できる。ジャンプに強く影響している体幹筋力は股関節を屈曲させる腸腰筋，股関節を伸展させる背筋力が影響している。体幹筋力を単なる上体起し，上体そらしのトレーニングだけではなく，負荷を強め，速度がある筋力トレーニングを工夫す

ることがジャンプ力の向上につながると考える。ジャンプに腕立て伏臥や上体起しの力が関与することは，ジャンプのショックを股関節で受け止める力（緩衝させない力）が関与していると考えている。これらを総合的に考えると，Power を高めることを想定したトレーニングの工夫が必要になる。個々には股関節，膝関節，足関節の Power を向上させ，それを発揮するタイミングを考慮した動きの工夫を行うべきであろう。走る際の垂直方向には体重の 4 倍の力がかかると言われている（阿江，2004b）。走ることは水平方向の動きであるが，そのためには空中に飛び出している体を接地した衝撃に耐えうる力を念頭においてトレーニングすることも重要だと考える。ここに示したモデルは REMSEA＝0.097 とモデルの適合度として十分ではないが，はずれてもいないという程度であること付け加える。当てはまりのよくないことの原因の一つは，体力要素を定量化することの難しさである。たとえば，股関節屈曲，あるいは伸展させる力をどうテストすればよいのか非常に難しい。また，誤差（e 1-24）で示したもの同士がかなり高い相関を示している。このことは実施した測定項目がなんらかの同じ要素を含んでいる可能性も示唆される。今後はこの点について検討したいと考える。

3．牽引による疾走パワーの測定

3.1　緒論

中学生の 100 m 走記録は最大疾走速度と相関係数 r＝－0.977 の強い相関関係があることが指摘されている。最大疾走速度は加速度の積分で表すことができ，最大疾走速度は 2 つの区間に分けることができる（図 1 の加速度の変化を参照）。1 つはスタート直後に出現する最大加速度と，もう 1 つはそのあと加速度 0 まで減衰していく加速区間である。速度を増加させるためには力が必要であるが，力－速度関係からみると，速度が高まると力が直線的に低下し，やがて力（負荷）は 0 になり，最大疾走速度に達する（図 12）（石井 1999）。速度によって出せる力は個人によって違う。力×速度で得られるパワーは力－速度関係から得られる面積に相当する。この面積が大きければ，疾走のための駆動力が大きいことを意味する（Funato et al. 2001, Yanagiya et al. 2004）。このパワーは関節を動かすために使われ，測定の方法としては単関節より，多関節の方が実際の動きに合っていると言われている（加百ら 1998）。中学生の時期にパワーが疾走能力にどの程度関与し，どの区間に影響するのかは中学生を指導する際に必要な知識である。

ところで，冬の雪国は積雪・低温と外での活動が大幅に制限される。そのため，学校の廊下は屋外の部活動で一杯になっている。冬期での限られたスペースでのトレーニングは部活動の重要課題である。課題は狭いスペースでの自分の競技の競技成績に対する様々な要因の向上である。そのためにはまず，競技成績に対する要因を定量して分析する必要がある。しかし，多くはその装置が設置されている場所に出向かなければ測定することができない。つまり，どこででも測定可能な測定システムがなければ，その学校での競技成績を向上させる要因の検討ができない。この問題に対処するためにレジステッドトレーニング（宮川 1994）を参考にし，疾走型のパワーテスト（resisted sprint system（RSS））を考案した（図 11）。これは負荷を牽引する速度を測定してパワーを測定するシステムである。このシステムだと学校の廊下で測定が可能である。RSS は疾走動作によるものであること，さらに測定機器をどの学校にでも持ち運べるシステムであることが最大の利点である。中学生の短距離走記録に対して，最大疾走速度や最大加速度，最大疾走パワーという概念が測定値とどのような階層

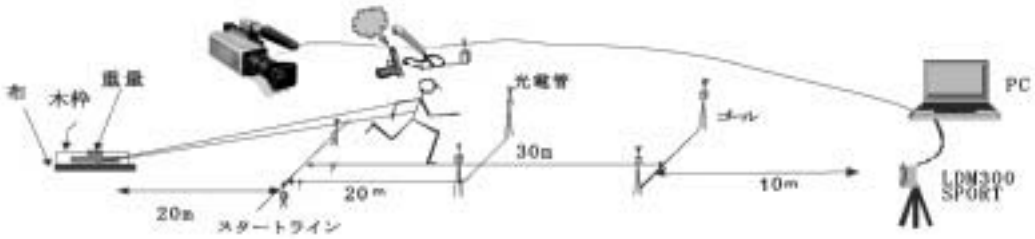

図 11　測定概略

になっているのかはモデルを使って検討することができる。本研究では，最大疾走パワーの再現性を検討し，さらに，室内の 50 m 走記録に対する最大疾走速度，最大加速度，RSS で得られた疾走パワーのモデルからその妥当性を検討することを目的とした。

3.2　方法

中学生男子陸上部員 44 名を対象にした。測定の時期は主に 12 月～ 3 月の時期に行われた。測定は RSS を用い学校の廊下で行った。シューズはトレーニングシューズを着用させた。廊下で実施するため，床面を傷めないように木枠をつくり，その木枠を布で包んで牽引させた。木枠の中に負荷に応じたバーベルプレートを加えるようにした。牽引中のロープにかかる力を握力計で測定し動摩擦係数を求めた。被験者が負荷を牽引する際に，帯をたすき掛けにし，さらに，背部の帯を腰の位置で別の帯で締めた。被験者におよそ体重の 10，30，40，50%の負荷を課し，室内 30 m の距離において負荷を牽引させた。負荷を牽引する場合はスタンディングスタートとした。30 m 走記録は被験者をピストル音でスタートさせ，光電管により測定した。そして，10 m，20 m，30 m，の記録を測定した。0 %負荷の場合は，スターティングブロックをパネル木材の上に設置し，50 m 走の記録を測定した。疾走速度はレーザー速度測定器により測定した。各負荷条件において，最大疾走速度を確定し（図 13），負荷×疾走速度によりパワーを算出した。各負荷条件において，負荷の増加に対して疾走速度の関係を調べ，体重 50%以上の負荷の疾走速度は負荷と速度の関係から近似式を当てはめて推定した（図 12）。負荷とパワーとの関係を 2 次式により近似式を求め，近似式の最大値を最大パワーとした（RSSMP）（図 14）。10 m の区間速度は各区間の 100 分の 1 毎の速度の平均値で算出した。被験者の身長は 165.4±7.5 cm，体重は 50.4±6.8 kg であった。再現性についてはピアソンの相関係数を用いた。共分散構造分析では 50 m 走記録を目的変数にするモデルを構築した。なお，分析に使用したソフトウェアは SPSS 16.0，および Amos 16.0 を使用した。モデルの適合度は，CFI，が厳格な基準では 0.95 以上が，RMSEA は 0.05 以下が厳格なモデル採択規準として一般的に推奨されている。

表 2　測定結果

身長（cm）	165.4±7.5
体重（kg）	50.4±6.8
最大疾走速度（m/秒）	7.7±0.5
50 m 走記録（秒）	7.6±0.4
最大疾走 Power（w）	593.0±149.3
体重当たり最大疾走 power（w/N）	1.2±0.2
最大疾走 power 発揮時の負荷重量：体重当りの割合（%）	32.77±0.07

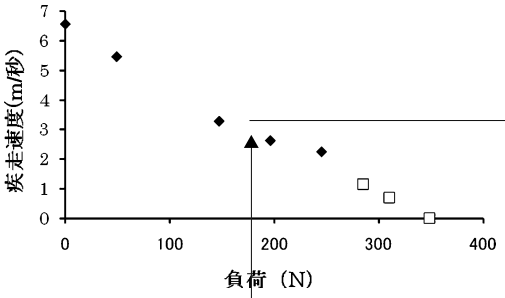

図 12　負荷と疾走速度

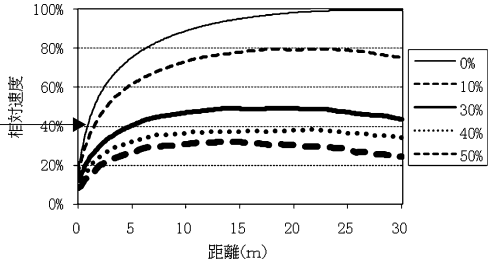

図 13　体重当りの負荷と相対速度

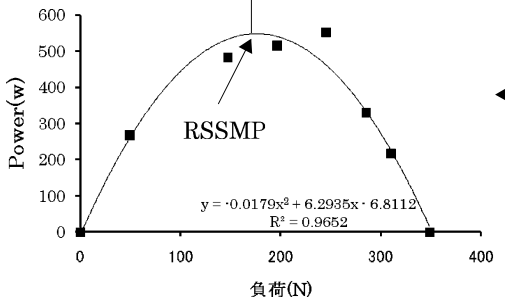

図 14　負荷とパワーの関係

各負荷とパワーは 2 次曲線で回帰できる。矢印は最大値を示し，これを最大疾走パワー（RSSMP）とした。

図 14 の RSSMP から図 12 へ疾走速度を求め，図 13 で 0 %負荷の相対速度で 48%に相当することを示している。

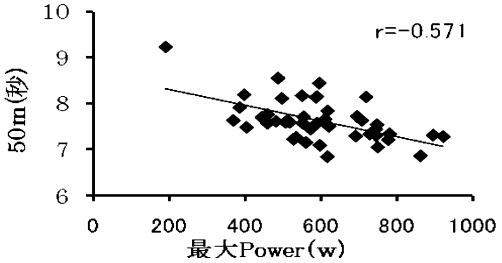

図 15　最大疾走パワーと 50 m 走の関係

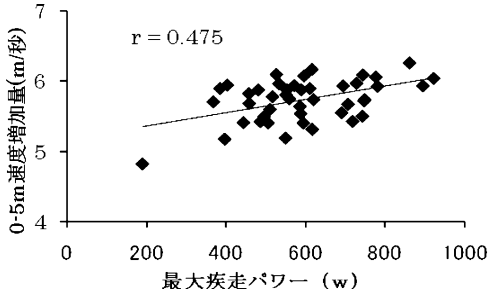

図 16　0-5 m 区間速度増加と最大疾走パワーの関係

3.3　結果

RSSMPの再現性は r＝0.995(p＜0.001)であった。RSSMP と 50m との相関係数は r＝－0.571（図15），最大疾走速度とは r＝0.230 (n.s)，最大加速度とは r＝0.001（n.s）であった。

0 %負荷の 50 m 走記録と最大疾走速度とは相関係数 r＝－0.572 であった。0-10 m 区間平均速度と RSSMP との相関係数は r＝0.385，10-20 m 区間平均速度とは r＝0.452，20-30 m 区間平均速度とは r＝0.383，30-40 m 区間平均速度とは r＝0.397，40-50 m 区間平均速度とは r＝0.336 であった。0-5 m 区間の速度増加量は RSSMP と r＝0.475（図16），5-10 m 区間の速度増加とは r＝0.434，10-15 m 区間 r＝－004，15-20 m 区間 r＝0.001，20-25 m 区間 r＝0.005，25-30 m 区間 r＝0.132 であった。共分散構造分析を用いて，50 m 走記録を目的変数とし，最大疾走速度に RSSMP が構成因子となるモデルを構築した。図 17 に 50 m 走記録に最大疾走速度，

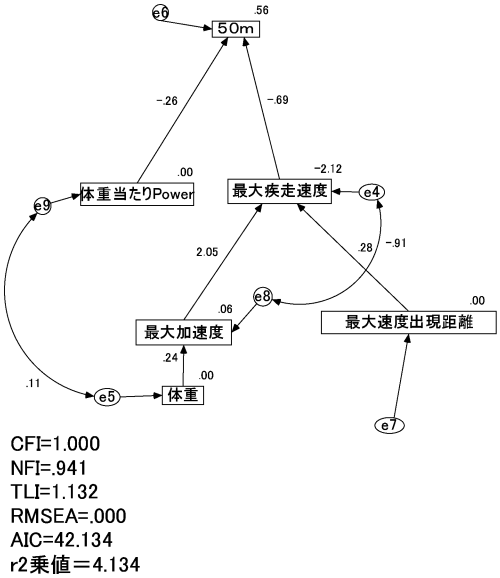

図 17　50 m 走の概念図

RSSMP が並列に影響するモデルを示した。CFI＝1.00，RMSEA＝0.00 という結果であった。

3.4　考察

RSSMP の再現性は十分であった。走記録は時間の概念で言い換えると，その距離に対する 100 m 走行中の平均速度を表している。そのため，走記録は加速区間，最大速度維持区間，減速区間の速度の要素を含んでいる。各区間の平均速度と RSSMP との相関係数は 10-20 m 区間平均速度が一番高かった。特に，RSSMP は 0-5 m の速度増加と r＝0.457 と高い関連があった。このうち，0 m前後に出現する最大加速度とは相関関係がみられなかった。したがって，0-5 m 区間の速度増加のうち，最大加速度以降の速度増加の部分を反映していると考えられる（金高ら 2001）。RSSMP が出現する相対速度は（最大速度を 100 とした場合）48％であった。この地点はスタート地点から 1 m 前後である（図 13 の 0％を参照）。最大疾走速度の 40-50％に相当する区間は 1 次加速区間とよばれている。このことから考えてみても，RSSMP は 40-50％の相対速度に達した区間を表していると考える。共分散構造分析の結果から，50 m 走記録を目的変数とすると，最大疾走速度と RSSMP は並列のモデルにおける適合度が一番良かった。このことは 50 m 走記録に対して最大疾走速度と RSSMP が独立して貢献していることを意味する。つまり，最大疾走速度の下位要素として RSSMP があるのではなくて，別の要素であることである。RSS による疾走姿勢は観測している限り，2 種類の選手がいて，1 つ目のタイプは前傾姿勢で牽引していた。選手は上体を起こすと，後ろへ引かれてしまうため，上体を固くして倒す傾向であった。2 つ目のタイプは体を倒して脚の接地支持期後半の部分でのみ「歩」いて負荷を引く姿勢が観察された。力のない選手はスタート直後，上体を起こしてしまうことがあった。このことは加速区間には前傾姿勢が必要とされるが，力がいるため，力のない選手は力のいらない上体を起こした姿勢をとると考えられる。加速するために上体を倒し，上体に力を入れるということが意識のある選手と，意識のない選手がいるため，50 m の記録向上に対してこの RSS の最大疾走パワーは最大疾走速度と並列のモデルにおける適合度がよかったのではないかと考える。加速するための姿勢，特に上体の姿勢保持が背景にあり，RSSMP は最大疾走速度に達するための一要因になると推察される。

これらの結果の現場での応用としては次のようなことが考えられる。体重の 32％程度の負荷は雑巾の上に被験者と同じ体重の者を載せると設定できる（床面との摩擦にもよる）。この牽引走を 100 m 走の 10 m までの加速の前傾姿勢のトレーニング，あるいは 30 m の距離で 10～20 秒間継続するため無酸素的持久力のトレーニング手段の一つになる

ことも考えられる。

4．加速局面における接地・滞空時間の分析

4.1　緒論

牽引による疾走パワーは5mまでの速度増加と関連があることは前章でのべた。また，10m区間は100mで16秒の選手は最大疾走速度の90%に達し，11秒の選手は81%に達する。疾走速度はピッチ×ストライドで算出することができる。ピッチは接地時間と滞空時間の和（一歩に要した時間）の逆数である。スタートからの疾走速度の増加はストライドの増加によるところが多い（貴嶋ら2008）。疾走速度とストライドの向上，ピッチの向上の関係は8m/秒からピッチの貢献度が高まることが報告されている（阿江2004a，松尾2008）。接地時間・滞空時間を分析することによりピッチおよびストライドを分析することができる。また，ストライドに必要な水平方向の力は接地中に決まる（伊藤2000）。しかし，滞空時間が長いことがストライドを大きくさせることも指摘されている（土江2004）。これらは十分にトレーニングされた選手のデータであって，中学生高校生，あるいはその同世代の女子にも当てはまる事なのかは十分なデータがない。そこで，速度が急激に変化するこの10m区間の疾走速度に対して接地時間，滞空時間を検討することにより青少年の短距離における加速区間の疾走速度を向上させる要因を検討することが本研究の目的である。

4.2　方法

被験者は陸上部に所属している男子大学生男子5名，高校男子10名，中学生男子21名，高校女子10名，中学女子9名，であった。身体的特徴（平均±S.D.）は身長163.3±7.4cm，体重51.5±7.9kgであった。全天候走路でスパイクシューズを着用し，100m走を実施した。そのスタートラインから10mまでの区間にOPT（オプトジャンプシステム，micro gate社製）を接地した。OPTは接地位置，接地時間，滞空時間を1/1000秒単位で測定することが可能である。接地位置からストライド，接地時間と滞空時間の和の逆数からピッチ（Hz），ストライドとピッチの積から疾走速度，接地時間あたりのストライド，高さは　高さ＝1/8×滞空時間^2×重力加速度で求めた。さらに接地時間あたりの高さ（リバウンドジャンプ指数）（図子ら1995）を求めた。グループ分けは男子を大学生男子，上位，中位，下位，女子を高校女子，中学女子の6群に分けて一元配置の分散分析で検討した。有意水準は5％未満とした。グラフは平均±S.E.で示した。

4.3　結果

1歩目はOPTに入った足を一歩（ブロックをけった次の足）とした。疾走速度は（図18）群にも歩数にも有意差がみられた。中学女子は高校女子以外の群に有意差があった。下位群は上位と大学に有意差がみられた。100m走の最大疾走速度は群間に差が見られた。大学生男子9.52±0.31上位9.58±0.06中位8.62±0.16下位7.16±0.19高校女子8.05±0.12中学生女子7.21±0.15（上位＞下位・高校女子・中学女子，大学＞中学女子・高校女子，中位＞下位・中学女子）

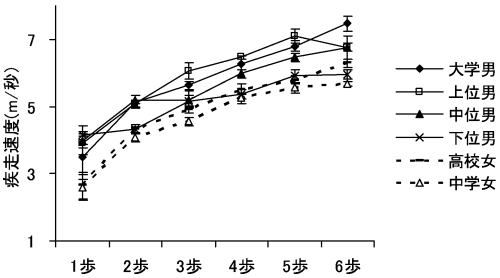

図18　疾走速度の変化

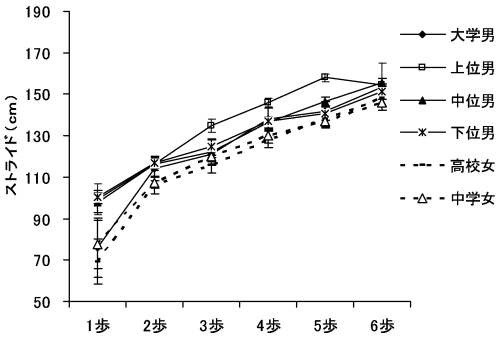

図 19　ストライドの変化

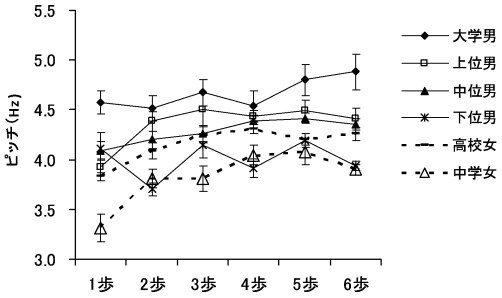

図 20　ピッチの変化

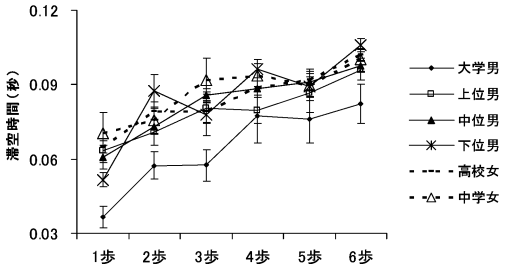

図 21　滞空時間の変化

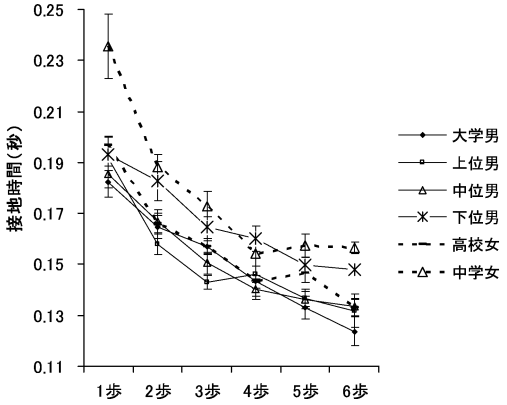

図 22　接地時間の変化

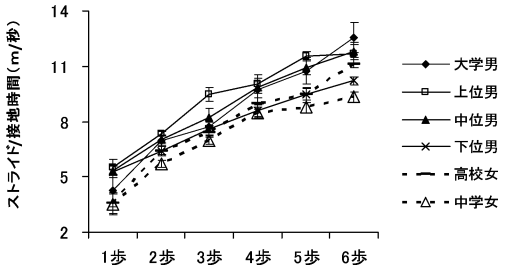

図 23　ストライド/接地時間の変化

ストライド（図 19）は群にも歩数にも有意差がみられた。高校女子は上位，中位に有意差がみられた。ピッチは（図 20）群にも歩数にも有意差がみられた。大学生男子はどの群にも有意差がみられた。中学女子は下位以外のどの群とも有意差がみられた。上位は下位とも有意差がみられた。滞空時間は群，歩数ともに有意差がみられた（図 21）。大学生男子は他のどの群とも有意差がみられた。接地時間は群，歩数ともに有意差がみられた（図 22）。中学女子はどの群より接地時間が長かった。下位群は高校女子以外有意差がみられた。中学女子の１歩目は他の群よりも長かった。２～５歩までは有意差はなくなるが，６歩目は他の群よりも長かった。ストライド/接地時間は群，歩数ともに有意差がみられた（図 23）。下位群は上位，中位群とに有意差があった。中位・上位は中学女子，高校女子に有意差がみられた。大学生男子は中学生女子に有意差がみられた。高さ/接地時間は群，歩数ともに有意差が見られた（図 24）。高さ/接地時間は群，歩数ともに有意差がみられた。大学生男子は高校女子と中位に対して有意差がみられた。

4.4　考察

どの群も疾走速度は歩数毎に増加した。疾走速度の様相とストライドの様相は同様で

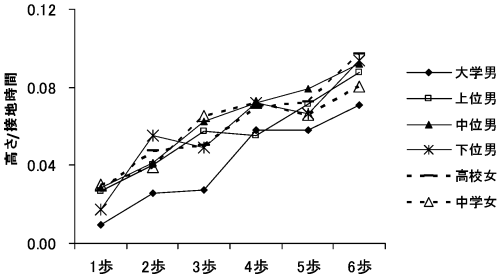

図 24　高さ/接地時間の変化

あった。ピッチはほぼ一定の様相であった。疾走速度は上位・大学生男＞下位・中学女子であり，その違いはストライドでは群間に差がなく，ピッチの差に差があることから，疾走速度の群間差はピッチによると考えられる。ピッチは接地時間と滞空時間の和の逆数である。図 21・図 22 によれば中学生女子は接地時間が長く，大学生男子は滞空時間が短い。おそらく，中学生女子は一歩目の着地のショックを緩衝するために，着地で膝・股関節の屈曲が大きくすることにより，接地時間が長くなったと考える。このことの背景には女子の筋力が弱いことによると思われる（安部 2002）。接地時間が長くなることは Stretch-Shortening-Cycle（SSC）が使われることになる（伊藤 2003）。そのエネルギーを使い，他の群と同程度の高さを得ていると考える。

一方，大学生男子のピッチは他の群より高かった。そのピッチの高さは滞空時間が他の群より短いため，滞空時間がピッチに影響したと考える（阿江 2004a）。また，大学生男子はストライドの変化は中学女子と同様の変化を示した。結果として，ピッチが他の群よりも高いことが，他の群よりストライドが大きくなくても疾走速度が高くなったと考えられる。

ストライドは大学生男子と中学生女子とに差がなくても，接地時間に差があるため，ストライド/接地時間は大学生男子と中学生女子との差があった。このことは大学生男子の方が中学生女子よりも効率よくストライドを得ていることになる。また，大学生男子の滞空時間の短さが高さ/接地時間の値を小さくし，中学生女子と比べて重心を垂直方向ではなく水平方向に有効に歩数を進めていることになる。

滞空時間が長いということは，接地中のエネルギーが高さに使われると言うことを意味する（阿江 2004a）。おそらく，大学生男子は低く跳んで，より前方に進む姿勢つまり，大学生男子は前傾姿勢が 10 m までの地点で他の群よりできている可能性がある（トム・エッカー 1999）。前傾姿勢は振り出された脚の股関節，膝関節が深く屈曲する（伊藤ら 1994，伊藤ら 1997）。この体勢で短い時間で地面を押すことができるためには各関節の伸展筋がエキセントリックな方向に収縮しないことが条件の一つである（稲葉ら 2002）。さらに，膝関節・足関節の角度は固定されていた方が疾走速度が速いことが言われている（伊藤ら 1998）。

股関節の伸展にはピストン系と，スウィング系の動きがある。ピストン系は力が必要なときに，スウィング系は末端の速度が必用な時に使われる（阿江ら 2002）。スタートはピストン系で中間疾走はスウィング系である。スウィング系がピストン系に変わるためには股関節伸展の範囲が同じであれば，膝関節の伸展が伴う。膝関節の伸展があると，重心が頭頂の方向へ移動する。つまり，ジャンプする。ジャンプは滞空時間を長くする。大学生男子の滞空時間の短さは歩数毎に他の群よりも膝関節の伸展がなく，股関節を伸展させ，スウィング系の股関節伸展を行っていたと考えられる。

世界一流の選手はスタートからストライドを大きくして，疾走速度を向上させるが（伊藤ら 2006，松尾 2008，貴嶋ら 2008），ストライドを多くする以外にも滞空時間を短くし

て，疾走速度を高める発達の段階がある可能性もある（太田ら1998，加藤2001，太田ら2004）。疾走能力の発達は宮丸（2001，2002）齋藤ら（1995）の研究があり，疾走速度の加齢にともなう発達は下肢長が増加しても同じ歩幅を維持し下肢長の増加による体質量と重量負荷の増大に対してさらに歩幅が増加するとしている。本研究のデータはスタートから10 m までの区間で，宮丸・齋藤のデータは中間疾走である。対象にしている局面が違うが，疾走能力の発達にストライドだけではなく，スタートの加速局面ではピッチを高める発達もあると考える。それは，まず，接地時間を短く，そして，滞空時間を少なくする方向へ技術が発達して，結果的にピッチが高まり，疾走速度を向上させている要因が青少年では起こっていると考える。しかし，ストライドは歩数毎に伸びているので，今後，滞空時間，接地時間，ストライドと疾走速度の関係および発達を絡めて詳細に今後検討した研究を期待したい（末松ら2008）。

ところでストライド/接地時間は単位がm/秒と疾走速度と同じであるが，示す値は疾走速度のほうが低かった。これは

疾走速度

＝ストライド×ピッチ

＝ストライド×1/(Tc＋Tf)

＝ストライド×(1/Tc)×Tc/(Tc＋Tf)

接地時間：Tc，滞空時間：Tf

と変形できる。つまり，疾走速度は歩数の一サイクル中の接地時間の割合だけ，ストライド/接地時間の値より小さくなることになる。ストライド/接地時間の意味するところは接地中の水平方向の力，および接地中の重心の移動の速度，言い換えると足関節・膝関節を伸展させないで股関節を伸展させる速度を示し，効率のよい重心の移動の技術を問う指標だと考える。特に，中学生女子あるいは下位に相当する部活動の初心者水準は接地時間を短くすることによる疾走速度の増加の指標となりうるのではないかと考える。また，高さ/接地時間はリバウンドジャンプ指数とよばれ，値が高くなれば，よいジャンプ能力を身につけていると考えられている（図子ら1995）。しかし，疾走の場合のこの指標は，エネルギーを垂直方向に使う指標であり，接地時間中に足関節・膝関節を伸展させる速度を表していることになり，重心が垂直方向に多く移動するため効率の悪さの指標になると考えられる。本研究で対象にしたのはスタートから10 m である。クラウチングスタートを行うため，股関節・膝関節は屈曲した姿勢になる。しかし，この姿勢は力がいる。初心者は力がないため，股関節・膝関節が伸展した姿勢，いわゆる「立った」姿勢になる（後藤1988）。股関節・膝関節の伸展力が高まると，前傾の姿勢でも耐えられ，膝伸展が少ないため，滞空時間が短く，さらに接地時間がみじかくても同じストライドが得られるパワーが身につくと考える。スムーズな重心の水平移動ができる技術が身につくとこの高さ/接地時間は値が下がる。特にスタート直後のこの値が下がる工夫が重要である。この指標の妥当性が検討されれば，オプトジャンプシステムはその場でデータをフィードバックできるため，測定したその現場で技術の向上を評価できる指標となりうると考える。

5．資料　中学生の Weight Training の導入について

はじめに

100 m 走記録を向上させるためにジャンプ力を向上させることがトレーニング手段として有効であることがわかった。しかし，ジャンプは体重の4倍かかるといわれている（阿江2004b）。初心者にジャンプをそのままトレーニングに取りいれることは自体重とはいえ各関節への負荷が大きすぎる。もう少し段階的な負荷がかけられるトレーニングの必要

性を考え，Weight Training を中学生のトレーニングに入れた結果を検討した。Weight Training に対しては発育に悪影響を及ぼすということがよく言われるが，それについても，身長の発育から検討してみることが必要だと考えた。

方法

33 名を個人について約 2 年間を追跡した。セットや負荷は規定せず，本人の自由意志によってトレーニングを行わせた。実施したトレーニングはハイクーリン，スクワット（ハーフで床と水平の高さまで腰を下げる）であった。総重量は重量×回数×セット数で算出した。最高重量の推定は 1 RM＝重量（kg）（1＋0.025（回数＋1））で行った（石井 1998）。なお，選手にはトレーニングとしてスクワットの場合，最高重量以上の重量を持たせたクォータースクワットを実施させた。また，ハイクリーンもセカンドプルからのハイクリーン（図 25 C），デッドリフトを実施させた。ウェイトトレーニングの頻度は週 1 回程度である。なお，実施にはラックを用意し（図 25 A），自分のシャフトを下げる高さにバーをセットし，それ以上シャフトが下がらないようにした。また，初心者にはリフトのスクワットを実施し（図 25 B），シャフトが前に落ちないように腰背部の湾曲を保ち，大腿部が水平以下になるように実施できるようになってから記録を取り始めた（中学 1 年生の場合，6 月ぐらいからシャフトにプレートがいれられる）。

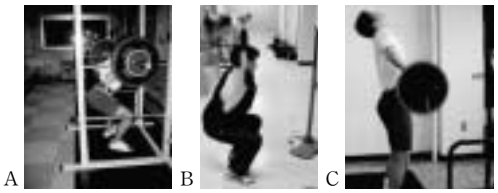

図 25　実際のウェイトトレーニングの様子

結果

実際，行ってみると自分の体重の 2 倍の負荷をハーフスクワット（大腿が床と水平）できる選手（多くは体重に相当する重量をハーフスクワットが可能である）もいた。ハイクリーンも体重ぐらいの負荷をハイクリーンできるようになる選手も出現した（負荷を 10 回挙上しているので体重の 80％に相当する重量をハイクリーンすることが可能になる）。多くは体重そのような重量でトレーニングしても身長は伸びた（図 26）。少なくとも，Weight Training を行うと身長の伸びが止まるということはない。1 例だけ，小学 4 年のときに身長のスパートする時期を小学生の時に迎えた女子生徒は伸びなかった。それ以外は週 1 ～ 2 回程度では障害になることもないと考える。むしろ，短距離の能力がスタートから 10 m 程度の加速区間が重要であることを考えると，積極的に取り入れるべきである

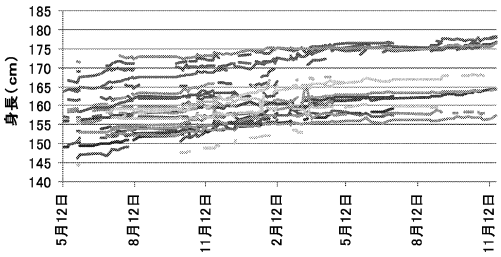

図 26　身長の伸び

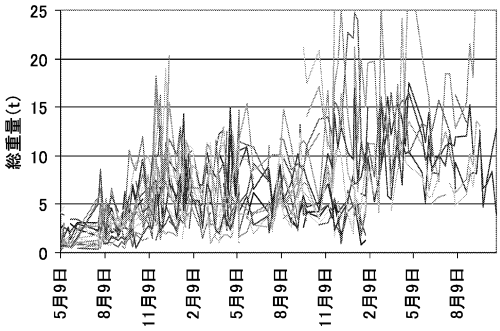

図 27　総重量の変化
総重量＝重量×回数×セットの総和で示した。

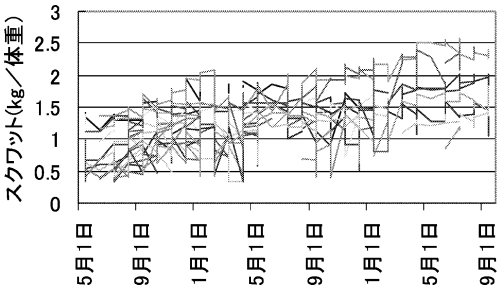

図 28　体重あたりのスクワット
縦軸の２は自分の体重の２倍を持ち上げることを意味する。

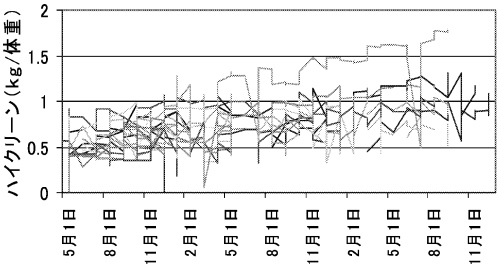

図 29　ハイクリーンの変化

と考える。ただし，全員の記録が順調に伸びていないのは，個人の都合によって週１回の Weight Training が行えない選手あるいは，この時期に発達の個人差が大きいことを意味している。この点は指導者が十分見定める必要がある。なお，自分の体重の２倍の負荷（60 kg の体重だと 120 kg の負荷）を用意するのも大変であるが，危険な要素を多分に含んでいる練習であり，筆者は生徒だけでの Weight Training は一度も実施していないことを付記しておく。また，記録をグラフにしてフィードバックしやすく，自分の成績がどの程度になっているかを示してやることが，次の練習のきっかけになりやすい。総重量のピークからおよそ２ヶ月後にハーフスクワット，およびハイクリーンの重量が向上する傾向にあった。したがって，総重量をあげるようにセット数を増やすようにトレーニングさせると，最高重量が向上していく傾向にある。

ウェイトトレーニングは週１回程度だと，発育に関係なくトレーニングを行うことができると考える。ジャンプ一つとっても体重の４倍近く加重させられることを考えると，まず自分と同じ体重に相当する重量をかつぐことができないと，危険が伴うと考えられる。

６．まとめと今後の展望

100 m の走記録を向上させるためには最大疾走速度を上げることが最優先である。最大疾走速度に至る加速区間は 10 m で最大疾走速度の 80～90％に至る。100 m の記録を予想するためには 10 m 走れば十分に予測することが可能である。歩数にすると 10 m で６～８歩かかる。この程度の歩数で 100 m が予測できるのであるから，連続するジャンプと 100 m の走成績との関連が高いことが分かる。スタート直後において脚はピストン系の動きで，次第にスウィング系の動きに移行する。したがって，ジャンプと疾走速度の関連を細かく分析するとその局面に応じたトレーニングが構築できると考える。一般的には加速区間の速度増加はストライドによるとされているが，ピッチそれも接地時間を短くするとピッチが高まり，結果として疾走速度が高まる。接地時間を短く，しかも，滞空時間が短く，なおかつ，ストライドが長いことは前傾姿勢で膝関節の伸展が少なく，水平方向に移動する能力が高いことになる。これは推測の域を脱しないため，今後はキネマティックな（変位，速度，加速度）手法を研究方法に取り入れるべきだと考える。そうすると本研究で言及していなかった技術について分析することが可能となる。今後の研究に対して，新たに高速度カメラ，分析用ソフトをそろえ，多角面から青少年の 100 m を分析する必要があると考える。改めて，ご批判，ご意見をこの機会にお聞かせ頂ければこの上なく幸いである。

なお，本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金（奨励研究 19928021），19 年度ヤマハ発動機スポーツ振興財団から助成補助金を受け，実施された。

最後に，測定は北海学園大学の田中昭憲先生，札幌市立伏見中学校の佐藤孝一先生，千歳市立富丘中の工藤修央先生，札幌南高校の竹田安弘先生の協力の下に行われた。ここに深謝申し上げます。

文　　献

1. 阿江通良（1991）陸上競技におけるトップアスリートの技術 ── 一流短距離選手の疾走フォーム ─，体育の科学　41：279-284.
2. 阿江通良，藤井範久（2002）スポーツバイオメカニクス 20 講，ピストン系の動きとスウィング系の動き，朝倉書店，東京，p 14-15.
3. 阿江通良（2004a）走動作，バイオメカニクス，杏林書院，金子公宥・福永哲夫編，東京．p167-168.
4. 阿江通良（2004b）走動作，バイオメカニクス，杏林書院，金子公宥・福永哲夫編，東京，p172-173.
5. 安部孝（2002），筋の男女差と人種差，筋の科学事典，福永哲夫編，朝倉書院，東京，p229-236.
6. Funato K, Yanagiya T, Fukunaga T. (2001) Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. Eur J Appl Physiol. 84: 169-73.
7. 後藤幸弘，山根文隆，辻野昭（1988），クラウチングスタート法学習の適時期に関する基礎的研究，昭和 63 年度科学研究費補助金（一般研究 C）研究成果報告書.
8. 広川龍太郎，杉田正明，松尾彰文，金子太郎（2006），「国内 GP にて収集した外国人選手の疾走速度分析」，陸上競技研究紀要　2：90-91.
9. 猪飼道夫・芝山秀太郎・石井喜八（1963）疾走能力の分析 ── 短距離走のキネシオロジー ──，体育学研究　7：59-70.
10. 生田香明，渡部和彦，大築立志（1972），50 m 疾走におけるパワーの研究，体育学研究　17：61-68.
11. 石井直方（1998）レジスタンス・トレーニングの理論と実践，大学体育 No.65，25(2)：40-44.
12. 石井直方（1999）レジスタンス・トレーニング ── その生理学と機能解剖学からトレーニング処方まで：スポーツ医科学基礎講座(2)，ブックハウス・エイチディ，東京，35-41.
13. 稲葉恭子・加藤謙一・宮丸凱史・久野譜也・尾縣貢・狩野豊（2002）女子スプリンターにおける疾走能力の向上に関する事例研究，体育学研究 47：463-472.
14. 稲垣敦，宮下憲，森田正利（1991）100 m 走のためのコントロールテストの妥当性の検討，スプリント研究　1：11-18.
15. 伊藤章，斎藤昌久，淵本隆文（1997）スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー，および筋放電パターンの変化，体育学研究　42：71-83.
16. 伊藤章，斉藤昌久，佐川和則，加藤謙一，森田正利，小木曽一之（1994）：世界一流スプリンターの技術分析，世界一流陸上競技者の技術，初版，陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編，ベースボールマガジン社，東京，p 31-49.
17. 伊藤章・市川博啓・斎藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道（1998）100 m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係，体育学研究　43：260-273.
18. 伊藤章（2000）疾走動作・筋活動・地面反力．深代千之ほか編　スポーツバイオメカニクス：朝倉書店，p 13-18.
19. 伊藤章（2003）短距離走に関する研究：コーチングに役立つ科学的根拠を求めて，体育学研究，48：355-368.
20. 伊藤章，貴嶋孝太（2006）スタートダッシュから中間疾走までの着地位置の変化，陸上競技研究紀要　2：1-4.
21. 岩竹淳，鈴木朋美，中村夏実，小田宏行，永沢健，岩壁達男（2002），陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係，体育学研究　47：253-256.
22. 岩竹淳，山本正嘉，西薗秀嗣，川原繁樹，北田耕司，図子浩二（2008）思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係，体育学研究　53：1-10.
23. 遠藤俊典，宮下憲，尾縣貢（2008）100 m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネィクス的要因の影響，体育学研究　53：477-490.
24. 加藤謙一，杉田正明，内原登志子，藤原寛康，（1999）小学生における短距離走の検討　全国小学生陸上競技交流大会 100 m レースをもとに，

陸上競技紀要　12：14-20.
25. 加藤謙一（2001），成長期にともなう疾走能力の発達，宮丸凱史編，疾走能力の発達，杏林書院，東京，p 93-105.
26. 加百俊郎，山本正嘉，金久博昭（1989）各種パワーテストの成績と 100 m 走タイムとの関係，競技力向上のスポーツ科学Ⅰ，トレーニング科学研究会編，朝倉書店，東京，224-229.
27. 貴嶋孝太，福田厚治，伊藤章，堀尚，末松大喜，大宮真一，川端浩一，山田彩，村木有也，淵本隆文，田邉智（2008）世界と日本の一流短距離選手のスタートダッシュ動作に関するバイオメカニクス分析 ── 特にキック脚動作に着目して ── 陸上競技研究紀要　4：56-66.
28. 金高宏文（1999a）レーザースピード測定器を用いた疾走スピード測定におけるデータ処理の検討，鹿屋体育大学学術研究紀要，22：99-108.
29. 金高宏文（1999b）スポーツ選手のための測定機器活用テクニック：速度を測定する，Coaching Clinic3：28-32.
30. 金高宏文，秋田真介，松田三笠　瓜田吉久（2001）100 m 走における加速時のパワー発揮の分析～加速時に段階的なパワー発揮はあるのか，鹿屋体育大学学術研究紀要　26：33-38.
31. 小林寛道（2004）競技力向上のバイオメカニクス，バイオメカニクス ── 身体運動の科学的基礎 ──，金子公宥，福永哲夫編，杏林書院，東京，p 475-482.
32. 末松大喜，西嶋尚彦，尾縣貢（2008）男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作との因果構造，体育学研究，53：363-374.
33. 土江寛裕（2004）アテネオリンピックに向けての「走りの改革」の取り組み，スポーツ科学研究 1：10-17.
34. 豊田秀樹（1998）共分散構造分析　入門編，朝倉書店，東京．p 170-188.
35. 松尾彰文・金高宏文（2001）レーザー方式による経時的疾走速度の計測．体育の科学，51：593-597.
36. 松尾彰文，杉田正明，広川龍太郎，柳谷登志雄，阿江通良（2007），スピード分析から見た 100 m レース，陸上競技学会誌６：suppl. 6-9.
37. 松尾彰文（2008）最大化スピード練習の効果を高めるための提案　～ランニングパフォーマンスへの応用～，体育の科学　58：756～764.
38. 宮川千秋（1994），シリーズ「トレーニングの科学」1，レジスタンス・トレーニング，トレーニング研究会編，東京朝倉書院，p 74-82.
39. 宮丸凱史編（2001）疾走能力の発達，杏林書院：東京.
40. 宮丸凱史（2002）疾走能力の発達：走り始めから成人まで．体育学研究　47：607-614.
41. 太田涼，有川秀之（1998）短距離走における疾走速度増加とピッチ，ストライドの関係に関する研究 ── 小学生から大学生を対象に ──，スプリント研究　8：9-27.
42. 太田涼，有川秀之（2004），短距離走における疾走速度，ピッチ，ストライドの加齢変化：12 歳から 85 歳までの 100 m レースを対象に，スプリント研究　14：76-89.
43. Primakow. Ju. N. Umarow, A. A., Tjupa, V. V.（2002）バイオメカニクス的観点から見たスプリント，陸上競技研究　50：43-47.
44. トム・エッカー（1999），澤村博　監訳　安井俊文・青山清秀訳，基礎からの陸上競技バイオメカニクス，ベースボールマガジン社，p 61-62.
45. 齋藤昌久，伊藤章（1995）２歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化，体育学研究 40：104-111.
46. 図子浩二，高松薫（1995）リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して．体育学研究，40：29-39.
47. 宮地力・小林一敏（1984）画像分析による速さの測定．J. J. SPORTS SCI，3：666-674.
48. 宮﨑俊彦，田中昭憲，佐藤孝一（2006）中学生男子と高校生男子における 100 m 走記録と最大疾走スピードおよび最大加速度の特徴，北海道体育学研究　41：49-54.
49. Yanagiya T, Kanehisa H, Tachi M, Kuno S, Fukunaga T. (2004) Mechanical power during maximal treadmill walking and running in young and elderly men. Eur J Appl Physiol. 92: 33-8.