

高速ランニングフォームのメカニズム

The mechanism of fast running form

(ランニングスピードの高め方_99) 2006.03.27

黒月樹人 (Kinohito KULOTSUKI) , treeman9621.com

(1) ランニングフォームの謎

短距離走においてランニングスピードを高めるために、色々な取り組みを行ってきた。

私自身はスプリンターというわけではなく、足腰のバネだけに頼って走高跳や三段跳をやっていたが、故障や練習不足のため、それらの記録も伸び悩み、やむなく、選手層の薄かった、投擲や棒高跳やハイハードルに出場して、参加点のようなものをかせいでいるうちに、いつしか、十種競技へと向かうようになった。しかし、100Mや400Mの記録が伸びなくて、あまり強い選手にはなれなかった。

十種競技の経験を生かし、指導者として選手を育てたが、フィールド種目で伸びてゆく選手は何人かいたものの、スプリンターに関しては、失敗のほうが多かった。ある程度のレベルまでは強くできるのだが、その先が分からなかった。脚のバネを鍛えること。エネルギーシステムを発達させること。スピード障害を避けること。これらのことは、効果があることが分かってきた。それでも壁は現れた。いつしか、記録が伸びなくなってくる。何がいったい悪いのか。どのようなことが分かっていないのか。トレーニング方法のことだけでなく、ランニングフォームのことは、もっとよく分からなかった。色々なランニングフォームのランナーを育てた。多様なフォームのランナーを育てておいて、うまく伸びるランナーを選び出していただけかもしれない。ときどき強いランナーを育てることができたとしても、いつでも、誰でも、強くできるわけではなかった。

やがて、これらのことを置き忘れたまま、何年も、陸上競技のことを忘れることになる。仕事を変えることになり、新しい仕事に集中しなければならなかったからだ。都市生活を続けてゆくうちに、いつしか体が、すっかり弱くて、重くて、硬くなっていて、どうにも扱いにくいものになっていた。

これではだめだと、ふと思立って、スパイクを探し出し、休日に競技場へ向かったときがある。これまでのランニングフォームとは異なるものを思いつき、試してみたくなったからだかもしれない。ところが、いざ走り出してみると、たちまちアキレス腱が痛みだす。低いハードルを一回跳んだだけで膝が壊れてしまう。たった数年で、こんなに弱っているとは。

再び全力で走れるようになるまで、それから何年もかかった。全力といっても、かつての速さの、何割かのスピードだ。歳もとったし、体も重い。それでも走ろうと思うのは、自分自身が現役の選手だったころ、多くの選手を育てていたころ、よく分からないままに、なんとなく見過ごしてきたことが、ようやく分かりだしてきたように思えるからかもしれない。

「ランニングスピードの高め方」というシリーズも99号になった。都会暮らしの合間に、競技場などで知り合った高校生や大学生たちに、知ったかぶりをしてコーチらしく振舞っているとき、トレーニングに役立つことを整理しておこうと考えたのが、始まりだったと思う。いつのまにか、何年も続けることになった。このあたりで集大成をしなければならないと思う。これまでに調べたことを、ただ単にまとめるだけではなく、ランニングスピードを高めるための条件のような、本質的なことを見いだして、明らかにしたいと思う。

98号までの数号でランニングフォームの特徴を調べてきたつもりである。確かにフォームを考察した。そして、そのフォームを真似ようとしてトレーニングした。少しは速く走れるようになったが、驚くほどのことではなかった。私の年齢と重さが災いしているのかもしれない。まだ冬季トレーニング中だから、スピードは高くないのだろうか。

かつてのお手本はモーリス・グリーン選手とアト・ボルドン選手だった。現在はガトリン選手のデータを詳しく調べている。もっと前の、カール・ルイス選手のころに、キック脚の「膝を固定した」フォームが知られていて、それを調べた論文が発表されていた。最近発刊された「バイオメカニクス」の本にも、あいかかわらず載せられている。これらのフォームについての解釈が、これで、すっかり明らかになっているとは思えない。たとえば、「膝を固定してキックするフォームのほうが、地面を長く押すことができる」という説明がなされている。これはおかしいと思う。これまでの解析プログラムで調べてみたところ、「膝を固定したキック」のランナーたちは、地面を長く押しはしていないということが分かった。膝を固定していない、他のランナーより、短い時間で地面に力を加えてさえいる。このような反例があることすら、理解されていない。どうやら、このようなフォームについての理解は、あまり進んでいないらしい。

「キック脚の膝を固定したランニングフォーム」を、私は短く「クランクキック」と呼ぶことにして、このフォームを細かく分類することにした。この作業を続けながら、トレーニングして、私自身でも「キック脚の膝を固定したランニングフォーム」を行えるようになった。しかし、驚くほど速く走れるようになったわけではない。何か、まだ足りないものがあるようだ。見落としていることは何だろうか。

手がかりを求めて、ガトリン選手のフォームを何度も調べなおした。他のランナーを引き離して、トップスピードであるにもかかわらず、さらに加速してゆくように見える。そのようなことが、どうして可能なのだろうか。ガトリン選手のフォームでは、キック脚が身体重心の真下にあるときに、そのキックにおける最大速度が得られていることが多い。このようなフォームで、いったいどのようにして、水平方向の加速度を生み出しているのだろうか。

このような疑問に答えるデータを、これまでの解析手法で見出すことはできなかった。ひとつの仮説として、キック脚による斜め上方への力と、スウィング脚による、斜め下方への力を合成して、水平な前方への力を生み出して、これで加速するという考えを提示した。しかし、はたして、この仮説は正しいのだろうか。このことを検証するデータを見出せてはいないのではなかったか。

さらに、疑問なのは、このような仮説に沿って、私自身のランニングフォームを修正したつもりなのだが、どうも、速く走れていそうではないということである。

このような疑問に対する答えを見出せないかと、色々と考えてゆくうちに、解析法を見直すアイデアが浮かび、解析プログラムを改良して、こつこつと工夫を加えてゆくと、これまでは分からなかったことが、少しずつ明らかになってきた。

(2) フォーム構成角の移動平均による解析法の改良

「ランニングスピードの高め方_98」までの解析法に対して、この「ランニングスピードの高め方_99」では、大きく異なったところがある。

図1に、その違いを表す。「①ラ_98までの詳細フォーム」では、詳細フォームの間隔が均等になっているが、「②ラ_99からの詳細フォーム」では、詳細フォームの間隔が変化している。「①ラ_98までの詳細フォーム」は、ランナーのフォームを撮影した画像から、腰や膝の座標を読み取って、太ももや脛などを示す棒と棒の角度を求め、これらの角度を10分割してから描いたものである。これらの角度を「**フォーム構成角**」と呼ぶ。

「②ラ_99からの詳細フォーム」では、10分割して求めたフォーム構成角を**移動平均処理**して、なめらかに変化させてから、再構成して描くことにしたのである。移動平均処理というのは、データ解析の手法の一つで、離散時系列データのノイズを取り除くときなどに用いられる。操作的には、ある瞬間の値に、その前後の値を幾つかずつ加えてから平均をとるというものである。

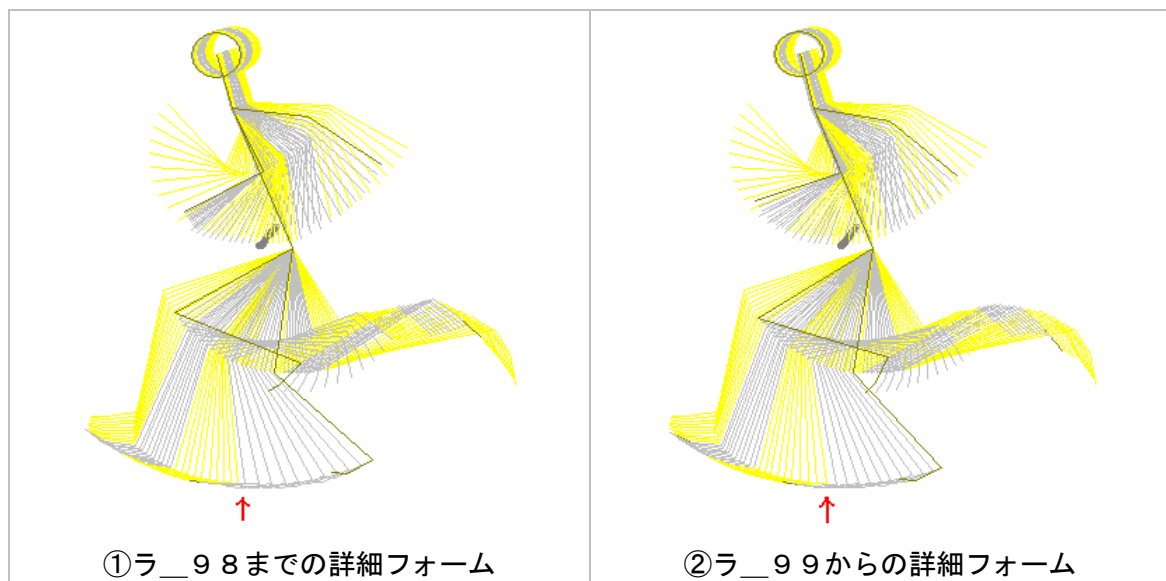


図1 解析法の変化による詳細フォームの違い

現実の動きというものは、非常に短い時間で調べたとき、ごくわずかずつしか変化しないものである。ところが、ラ_98までの解析法では、図1の①に描いた1コマの動きと、次の1コマの動きとの境目（たとえば赤い矢印部分）が大きく飛躍していたことになる。速度を求める処理のところでは、移動平均を行っていたものの、これらの飛躍が影響して、現実の速度より1割増しぐらいのグラフになってしまっていたのであるが、今回の、詳細フォームを描くためのフォーム構成角を（最初に）移動平均しておくという処理（②）を組み込んだあとで速度を調べてみると、現実の記録に見合ったものになっている。どうやら、現実の動きに、かなり近づくことができたようである。

こうして導入した「フォーム構成角の移動平均」という技法が、これまでの解析法では分からなかったことを、次々と明らかにしてゆくことになる。これは、データ解析という分野での、「補間」という操作が、本来の現象から観測されたデータの間にある、観測はされていないものの、本来の現象に近いデータとして扱うことができるものを再構成するからである。

（3）詳細速度解析のためのさまざまな要素

フォーム構成角をなめらかに変化させて、観測値の間のフォーム構成角を補間し、現実の動きに近づけることにより、これまでは調べられなかったことが分かるようになった。その一つの成果が、これから説明しようとする「**詳細速度解析**」である。

図2に、詳細速度解析のためのさまざまな要素をまとめた。

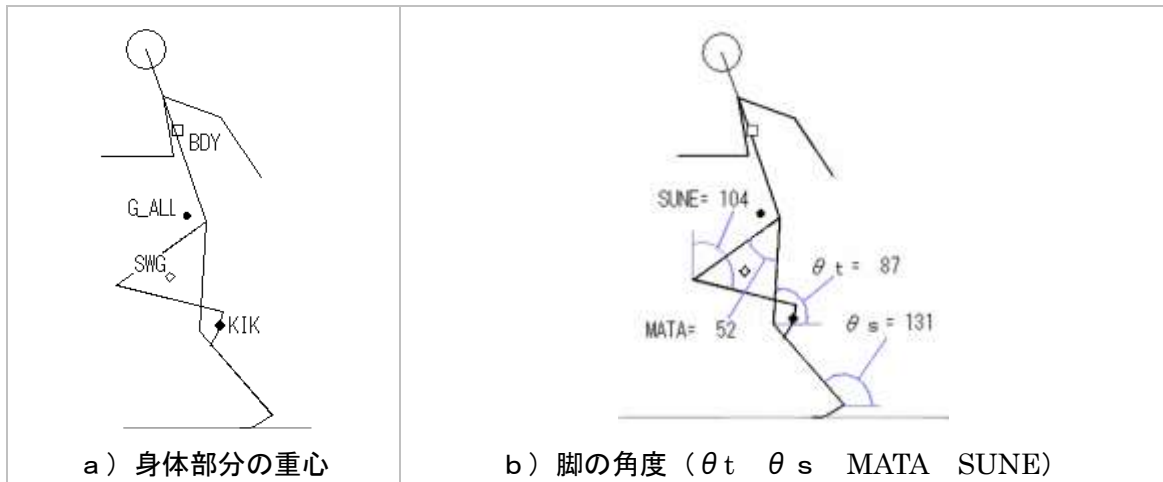


図2 a) b) 詳細速度解析のためのさまざまな要素

「a) 身体部分の重心」

全身を、上体 (BDY) とキック脚 (KIK) とスウィング脚 (SWG) の3つに分け、それぞれの部分の重心位置を図示した。これらの部分重心位置から、全身の重心 (G_ALL) が求まる。

「b) 脚の角度」

キック脚の脛の立位角 (θ_s) と太ももの立位角 (θ_t)、スウィング脚の脛角 (SUNE)、キック脚とスウィング脚の太ももがつくる股角 (MATA) を示した。

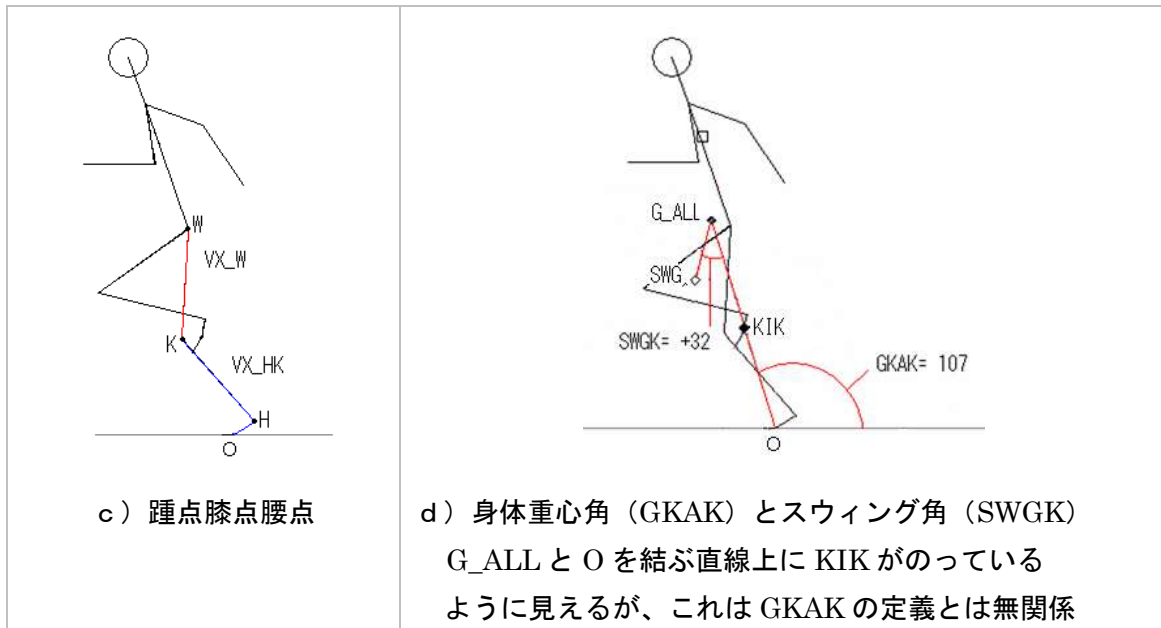


図 2 c) d) 詳細速度解析のためのさまざまな要素

「c) 踵点膝点腰点」

キック脚の踵点 (H) と膝点 (K) と、その上にある腰点 (W) を示し、これらから求められる、膝点水平速度 (VX_HK) と腰点相対水平速度 (VX_W) に対応する部分を色で示した。膝点水平速度は、このとき、キック足の拇指球が地面に接地しているため、地面に対する速度である。一方、腰点相対水平速度のほうは、キック脚の膝点を基準として求めた腰点の水平速度であり、腰点を動かすための、太もも部分の寄与を求めている。これらの水平速度の和が、地面に対する腰点水平速度 (VX_HKW) ということになる。

「d) 身体重心角 (GKAK) とスウィング角 (SWGK)」

これまでの解析では、キック脚を脛の立位角 θ_s と太ももの姿勢角 θ_t でとらえ、スウィング脚を股角 MATA と脛角 SUNE でとらえてきたが、この方法では変数が 4 つになって、分類が複雑になってしまっていた。そこで、もっとかんたんに、身体重心 (G_ALL) とキック脚の拇指球 (O) がつくる線 (GK線) が地面の後方ラインとつくる角度を「身体重心角 GKAK」とし、身体重心 (G_ALL) とスウィング脚の重心 (SWG) がつくる線 (GS線) が GK線とつくる角度を「スウィング角 SWGK」とした。身体重心 G_ALL と支点 O を結ぶ直線上にキック脚重心 KIK がのっているように見えるが、これは身体重心角 GKAK の定義とは無関係である。

(4) 詳細速度解析

詳細速度解析の一例を示そう。ここでは、2005年世界選手権の100M決勝でのガトリン選手のフォームの中から「Gatlin 74M L3」を取り上げる。

図3は、この、(ほぼ)74M地点の左脚キック(L3)の、**ステージ分解図(左)**と**水平速度成分(右)**である。グラフ中の縦点線は、キック足やスウィング足の拇指球が身体重心直下を通るときであり、ここ(/27/と/38/、この数字は詳細フォーム form)を境にして正負に分けているが、グラフでは速度の絶対値を表示してある。上下二つのグラフの、いずれも下の方に、薄い灰色でプロットしてあるのが、スウィング脚の重心による(身体重心を基準にした相対)水平速度である。それぞれのプロットにある縦線は、正の領域における最大値の位置である。キック脚のほうの最大値位置を**パワーポジション(PP)**と呼び、薄い灰色の、スウィング脚重心の最大値位置を**スウィングパワーポジション(SPP)**と呼ぶ。スウィング足の拇指球と身体重心との関係から求めた相対水平速度(SWING)は、あまり利用していない。最も重要なのは、キック足の拇指球と身体重心との関係から求めた相対水平速度(KICK)である。キック足が地面についているときには、この速度が、身体重心の(地面に対する)絶対速度ということになる。このときの値は、グラフ下に示したように、「左Vx」詳細フォーム31番目のときの、11.5[m/s]ということになる。ステージ分解図での、濃い線のフォームは、KICKピークとSWINGピークに対応したものである。

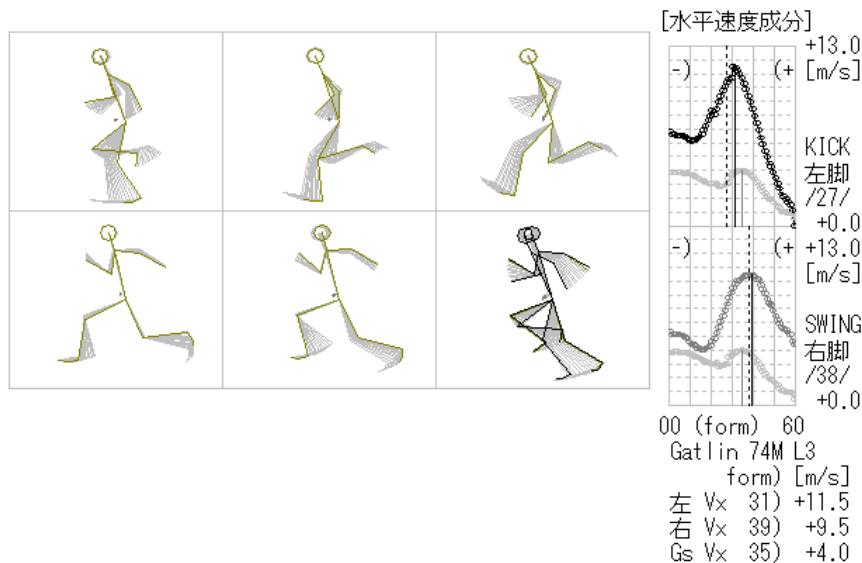


図3 Gatlin 74M L3 ステージ分解図(左)と水平速度成分(右)

図4は「詳細速度解析① Gatlin 74M L3 26_36」である。図3のフォームにおける、パワーポジションの詳細フォーム(form)31前後のフォームを、キック足の拇指球が地面についた状態で描き、身体各部の重心の速度や、膝点水平速度(VX_HK)と腰点相対水平速度(VX_W)と腰点水平速度(VX_HKW)を調べたものである。身体重心の水平速度(VX_G_ALL)のプロット(●)に注目してみよう。右のグラフでの変化を見ると、詳細

フォーム（以後、この記号は df とする）の 26～28 では急勾配で上昇し、28～33 でなだらかな上昇変化に移り、33～36 では急勾配で下降している。このような下降を裏付けるようなブレーキ要素は考えられないから、この詳細フォーム 33 から、身体重心は空中に浮いたと考えられる。同様に、詳細フォーム 28 までの部分では、身体重心が地面に落ち着く前の状態であると考えられる。

このような身体重心の変化から分かる、身体が地面としっかり接地している状態の、詳細フォーム 28～33 のところだけを、次の図 5 に取り出す。

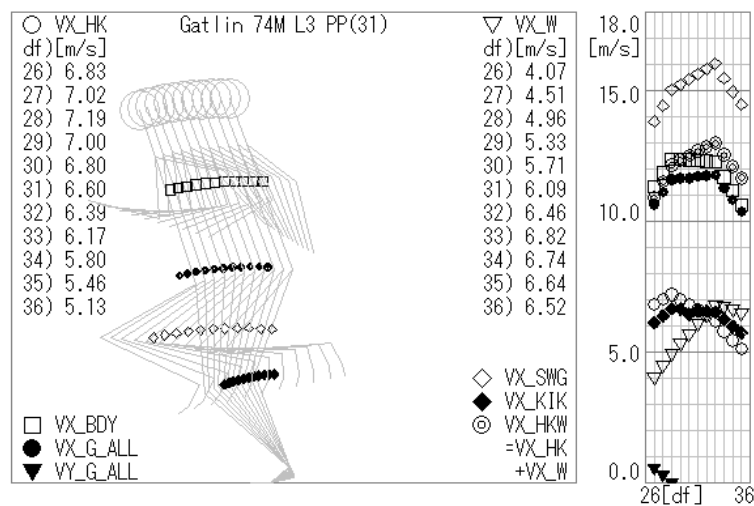


図 4 詳細速度解析① Gatlin 74M L3 26_36

図 5 のような解析結果を導き出して、分かったことが色々ある。

何年も前から、キック脚の膝下部分と太もも部分の効果を分けて考える方法を導入していた。膝点水平速度 VX_HK (○) と腰点相対水平速度 VX_W (▽) に分けて調べるというものである。以前の解析プログラムでは、ここまで詳しく分からなかったが、おおよその時間分解能で値を決めることはできていた。そして、これらの和である、腰点水平速度 VX_HKW (◎) を求めてみると、図 3 での水平速度成分のグラフで求めた、身体重心の最大速度の値より、1 割ほど大きな値となっていたのである。このようなランニングフォームでは身体重心は腰点のすぐ前にあり、「身体重心は腰点に、ほぼ固定されていると考えてもよい」とみなしていたので、このような 1 割増の値は、シミュレーションが厳密すぎるためで、実際のランニングでは、身体各部のやわらかいところが、いくらか遊びを生み出して、腰点の速度を下げているのだらうと考えたのである。ところが、これらの考えは間違っていた。腰点の水平速度が身体重心の水平速度の 1 割増しだという解析結果は、そのままでも悪くなかったのだ。

図 5 のような解析を行う過程で、最初は、膝点水平速度 VX_HK (○) と腰点相対水平速度 VX_W (▽) と、これらから求まる腰点水平速度 VX_HKW (◎) と、身体重心の水平速

度 VX_G_ALL (●) だけで調べていた。

詳しく値を調べていなかったが、腰点を基準にして、さらに大きな速度でスウィング脚の重心が動いていることは、明らかに分かる。腰点水平速度 VX_HKW (◎)と身体重心水平速度 VX_G_ALL (●)に差が生じるとしても、スウィング脚水平速度 VX_SWG (◇)が、さらに大きな値なのだから、身体重心水平速度 VX_G_ALL (●)のほうが腰点水平速度 VX_HKW (◎)より大きくならなければおかしい。ところが、観測値は、その逆になっている。

次に、上半身の水平速度 VX_BDY (□)を調べたところ、これは、腰点水平速度 VX_HKW (◎)や身体重心水平速度 VX_G_ALL (●)と同じくらいの値だった。この速度で説明がつくわけではない。

残るはキック脚だけだった。キック脚(重心の)水平速度 VX_KIK (◆)を調べることにした。この結果を見て、全ての謎は解けた。

キック脚は、一方の端である足裏を地面に固定しなければならないため、キックの支持期間中、速く動くことができないのである。もう少し詳しく言うと、キック脚の下端の足裏の水平速度は、地面に接しているのだから、0 [m/s] であり、キック脚の上端の腰点は(ガトリン選手の場合) 12 [m/s] で動いているから、キック脚の重心は、これらの中間の6 [m/s] くらいの速度で動くことになる。

空中を移動しているときに両脚が持っていた運動量を、キック脚とスウィング脚が分けあうことにより、キック脚があまり動けない分を、スウィング脚が補って速く動くのだろうか。このとき、スウィング脚だけでなく腰点の上に乗っている上半身などが速く動くことになっている。どうやら、キック脚がもっていた角運動量の多くは、キック脚の上につながっている上半身に引き渡されているようだ。

キック脚とスウィング脚と上半身の、各速度と各質量を掛けた運動量を求めてから、和をとって、全身の質量で割ることによって、身体重心の速度が決まることになる。力学的に考えれば、このとおりになっていたのである。ランナーの動きを、上半身とスウィング脚とキック脚の3つに分けて考えることにより、それぞれの動きが矛盾なく関連していることが分かった。

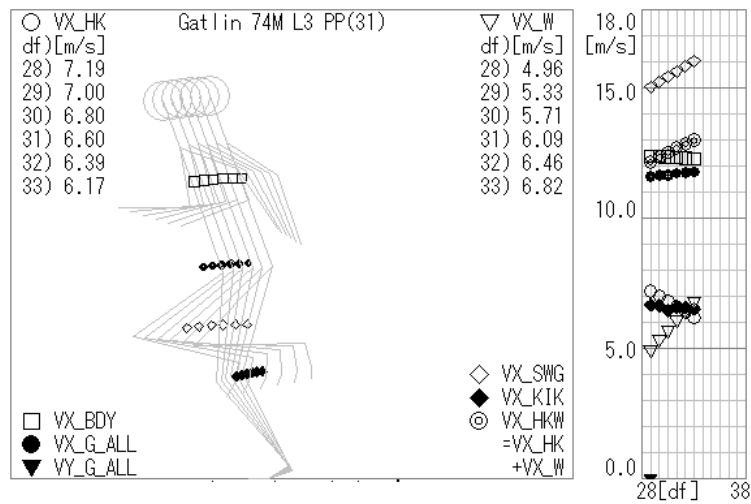


図5 詳細速度解析② Gatlin 74M L3 28_33

最初に求められたパワーポジション位置の、詳細フォーム31の瞬間の、色々な角度や速度を図6のように表す。図3で定義した「b) 脚の角度 (θ_t θ_s MATA SUNE)」と「d) 身体重心角 (GKAK) とスウィング角 (SWGK)」の値を、詳細フォーム図の右下に並べてある。他の瞬間のフォームについても、このような値を調べることができるようにしてある。

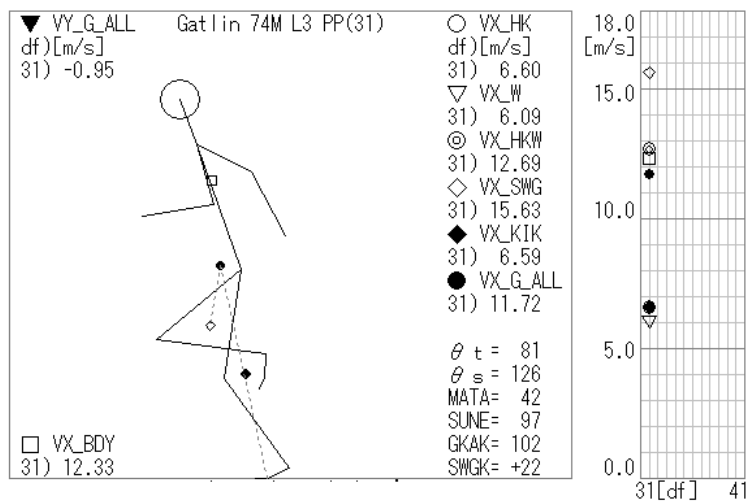


図6 詳細速度解析③ Gatlin 74M L3 31

(5) 膝点水平速度寄与率 RHK

このようにして構成した詳細速度解析の手法で、ガトリン選手の決勝ランニングフォームを一つずつ調べることにした。しかし、ガトリン選手のフォームだけを調べるだけでは、ランニングフォームでの特徴が分かりにくい。そこで、他のランナーについての、できるだけ多様なランニングフォームを調べ、それらとの違いを見出すことにした。

詳細速度解析の手順で図6のような解析図を求め、膝点水平速度 (VX_HK) と腰点相対水平速度 (VX_W) の比を、 $RHK=100 \times VX_{HK} / VX_{HKW}$ で表し、これと身体重心角 GKAK との関係を探ることにする。図7 aは「ガトリン選手の GKAK と RHK」で、図7 bは「佐分選手 (日体大) の GKAK と RHK」である。プロット円の半径は、身体重心の水平速度 (VX_G_ALL) に対応させて変化させてある。図6で調べた「Gatlin 74M L3」の位置は、(図7 aの) 青色の丸の、右から2番目である。右下に向かう直線は、全プロットデータによる回帰直線である。図7 bの、佐分選手のフォームは、この回帰直線の左上から右下の、いろいろなところに分布している。他にも、右上や右下に偏った分布をもっているランナーのパターンは多く見出されるのだが、ガトリン選手のフォームは、一つを除いて、この回帰直線の上側にあり、全体の中でも、身体重心角 GKAK が比較的小さく、膝点水平速度寄与率 RHK が比較的大きいところに分布しており、かなり特異なものである。

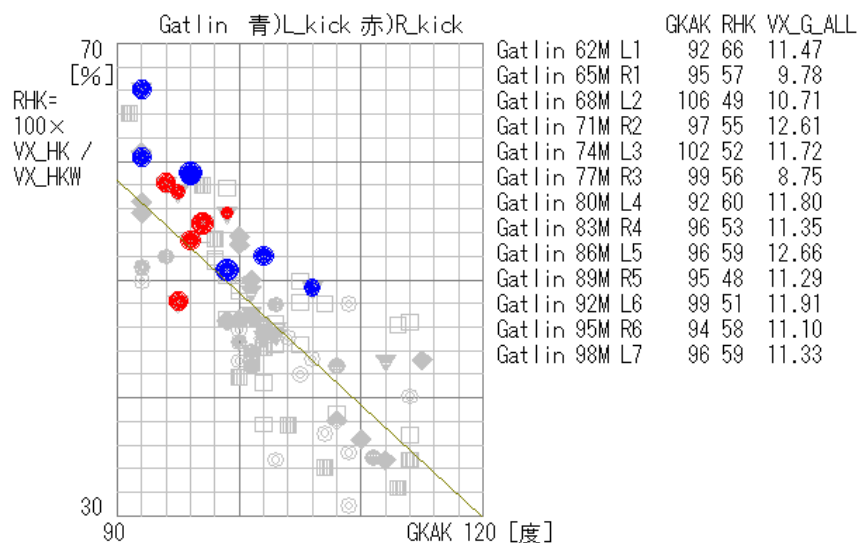


図7 a ガトリン選手の GKAK と RHK

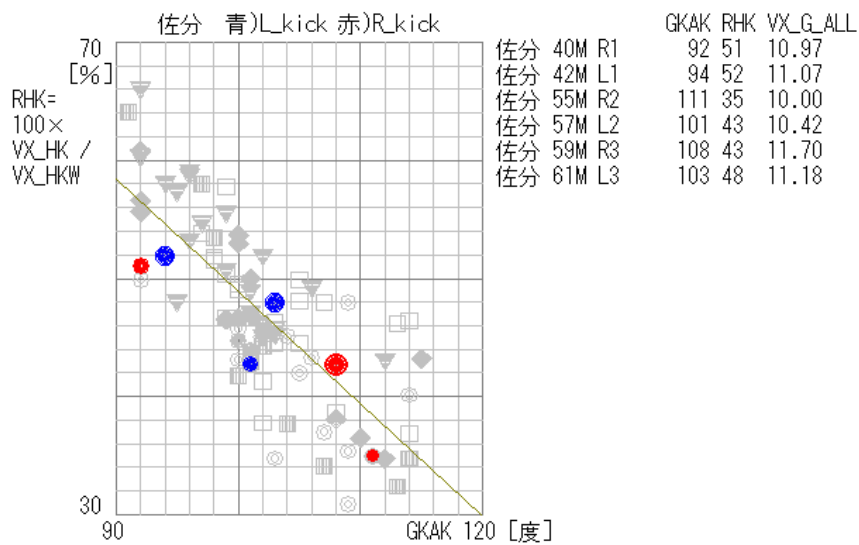


図 7 b 佐分選手（日体大）の GKAK と RHK

図 8 は、ガトリン選手の左脚キックの中で、身体重心速度が大きく、膝点水平速度寄与率 RHK も比較的大きな「Gatlin 86m L5」の、ステージ分解図（左）と水平速度成分（右）である。図 9 は、このフォームの詳細速度解析である。そして、図 10 が、このフォームでのパワーポジションにおける詳細速度解析データである。

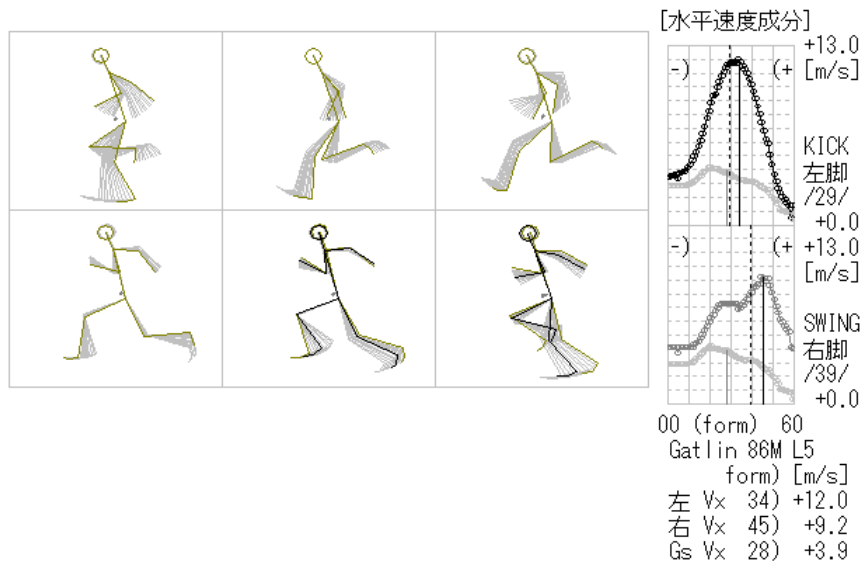


図 8 Gatlin 86M L5 ステージ分解図（左）と水平速度成分（右）

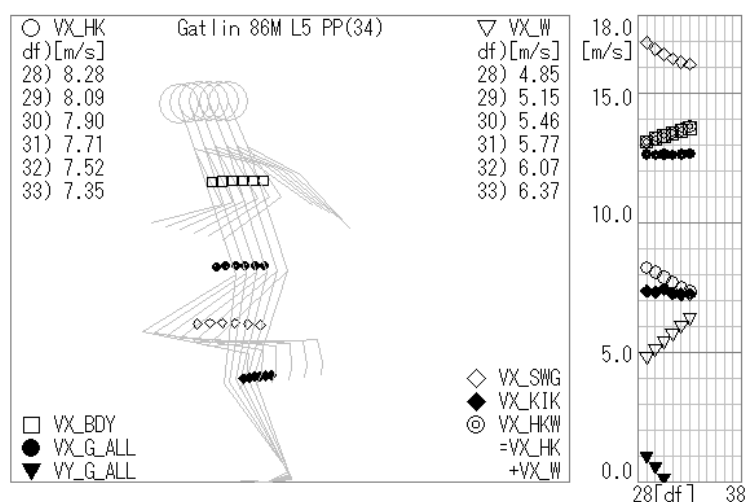


図9 詳細速度解析④ Gatlin 86M L5 28_33

図9 (Gatlin 86M L5) を図5 (Gatlin 74M L3) と比べると、図5ではスウィング脚重心水平速度 (VX_SWG ◇) が増加 (加速) しているが、図9では減少 (減速) している。また、図5では上半身重心水平速度 (VX_BDY □) が増加していない (一定している) が、図9では増加 (加速) している。キック脚重心水平速度 (VX_KIK ◆) は、いずれも、ほぼ一定値を保っている。これらのフォーム中における身体重心最大速度となっているパワーポジションの、図6と図10から、身体重心水平速度 (VX_G_ALL) を調べると、図5の Gatlin 74M L3 では 11.72 [m/s] であるのに対して、図9の Gatlin 86M L5 では 12.65 [m/s] となっていて、かなり大きい。これらのことから、スウィング脚重心水平速度が少し低下しても、上半身重心水平速度が増大していれば、大きな身体重心水平速度を維持することができるといえそうである。

図10のパワーポジションでの姿勢を、図6での姿勢と比べると、図10では、キック足の拇指球が身体重心の、ほぼ直下にある。このような姿勢で、高速フォームが生み出されているのである。これは不思議だ。スタートダッシュの姿勢で加速してゆくのは、よく分かる。力を後方に向けているからだ。ところが、図10の姿勢では、力を下方に向けることになる。それなのに、どのようにして加速するのか。こここのところが、よく分からない。だから、多くのランナーやコーチたちは、もっと腰を前方へと移した状況へと変化させ、キック脚を後方に動かそうとしてきた。ところが、この方法だと、キック脚の太ももの出力に頼ることになるが、このとき、キック脚の膝下部分は、あまり動かなくなっており、脚全体の動きとしては、制限されたものになってしまうのである。ガトリン選手の、図10のようなフォームでは、キック脚の太もも部分の動き (VX_W) より、膝下の動き (VX_HK) のほうが、地面に対して腰点を水平に動かす動き (VX_HKW) に対する寄与率 ($RHK=100 \times VX_{HK} / VX_{HKW}$) が大きい。太もも部分の動きに余裕を残しつつ、膝下部分の動きを最大限に利用しておくというものである。しかし、この膝下部分の動きというものは、力をこめて大き

くするものではないようだ。膝を支える脛が鉛直から前方に傾くときには、力を加えるのではなく、力を抜くことで、膝の動きを速くすることになる。このような動きは、力によってではなく、姿勢によって決まるもののようにも見える。ガトリン選手は、このような高速フォームをどのようにして生み出しているのだろうか。身体重心水平速度が 12.65 [m/s] の Gatlin 86M L5 の、1 歩前の Gatlin 83M R4 では、身体重心水平速度は 11.45 [m/s] である。1.2 [m/s] の違いがある。このような変化が本当に生ずるのかということも検証すべきだが、ここでは、これに近い変化があって、ランニングフォームの違いにより、速度が変化していると仮定して考えてゆくことにしよう。

このような詳細速度解析における観測値というものは、詳細速度 10 について 1 回ずつであり、この間の詳細フォームによって調べられることは、これらの観測値の間を補間して再構成したシミュレーションモデルについてのデータなのである。つまり、現実のランナーの観測データを参考にしたときの、シミュレーションモデルの動きについて調べているだけなのであるが、それでも、これらの動きを再構成するために用いられる角がいくつもあるもので、それらが組み合わさって、本質的な現象を表現していると期待することができる。このような考えで、ランニングフォームの謎を調べているわけだが、なぜ速く走れるのか、なぜ加速できるのかということ、この時点での知識で明快に説明することは難しいようだ。

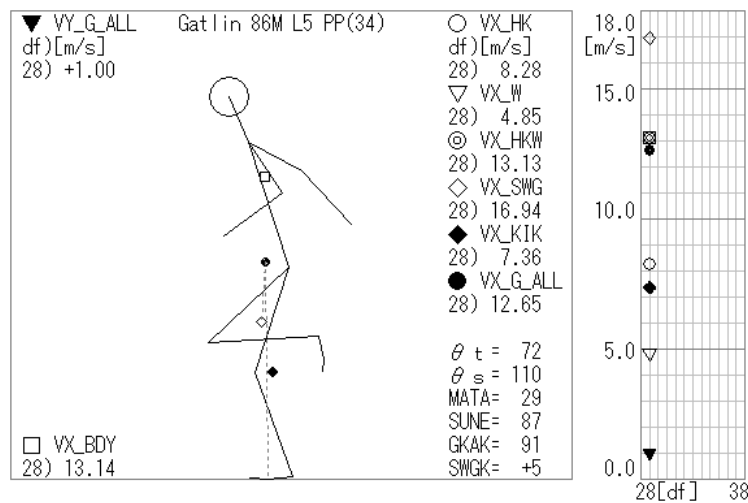


図 10 詳細速度解析⑤ Gatlin 86M L5 28

(6) キック中の出力

ガトリン選手のランニングフォームは 1 3 歩について調べてある。これらは 6 2 M 地点から 3 M 間隔で 9 8 M 地点までとしてあるが、一歩が 3 M ほどもあるとしたのは、どうやら誤解だったようだ。1 秒間に 3 0 コマ撮影するビデオ画像で 6 コマを使って、ガトリン選手は 1 歩の動きを行っている。このことから、1 歩に要する時間が、 $6 \times (1 / 30) = 0.2$

[秒] であることが分かる。仮に、ガトリン選手の水平速度が 12.0 [m/s] であるとすると、1歩の移動距離は、 $12.0 \times 0.2 = 2.4 \text{ [m]}$ と計算できる。この数字で逆算すると、62M地点のフォームは、正しくは、69M地点であることになる。このような計算をいろいろとしてみると、一步を6コマの画像でまとめるランナーについては、離陸時の鉛直速度として、およそ 1 [m/s] の値を生み出しており、この一步の間に、5cmから7cm上昇してから落下していることが分かる。空中から落下して、地面に接地するときには、下方への 1 [m/s] の鉛直速度となっているが、接地中に、上向きへの 1 [m/s] の鉛直速度に変えなければならないから、速度の変化量は $1 - (-1) = 2 \text{ [m/s]}$ となる。図4のような詳細速度解析により、ガトリン選手は、詳細フォームの5つ分で、接地から離陸までの変化を生み出していることが多いことが分かってきた。詳細フォームは画像の1コマ間に10としているから、詳細フォーム5では、1コマの時間 ($1/30$ 秒) の半分となり、 $1/60$ 秒である。この、 $1/60$ 秒の間に鉛直速度の変化量の 2 [m/s] を生み出すための加速度は $120 \text{ [m/s}^2]$ となる。これを重力加速度 ($9.80 \text{ [m/s}^2]$) で割った、 12.2 という数字が、「体重の何倍の力」を生み出しているかということを示している。接地から離陸までの変化を、詳細フォームの10 (画像1コマ分) の時間で行えば、この半分の6.1倍ということになる。多くのランナーのフォームでは、このような値である。

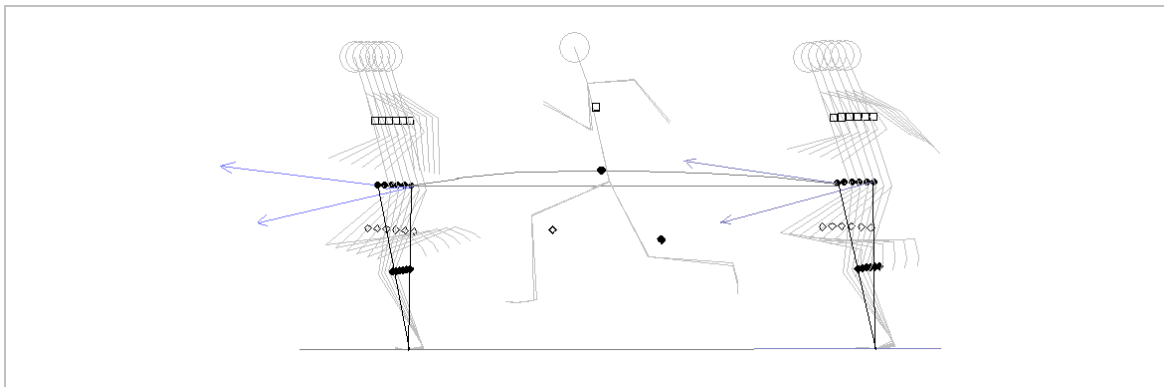


図11 ランニングフォームにおける速度ベクトルの変化 (模式図)

(7) 高速フォームか加速フォームか

ガトリン選手の高速フォームでは、身体重心角（GKAK）が90度から100度のところで、キック力が図12のように作用していることになるが、このような状況では、キック力（ f_k ）の水平成分（ f_x ）は、鉛直成分（ f_y ）の、およそ1割程度の大きさである。キック力の鉛直成分が体重の12倍としたとき、水平成分は体重の1.2倍ということになる。しかし、このような大きさの力でも、作用時間が1/60秒程度であるので、およそ0.2[m/s]加速するだけである。

ガトリン選手のフォームでは、1歩の違いで、身体重心水平速度が1[m/s]ほど変化する場合がある。このような変化を、図12のようなメカニズムだけで説明することは難しい。

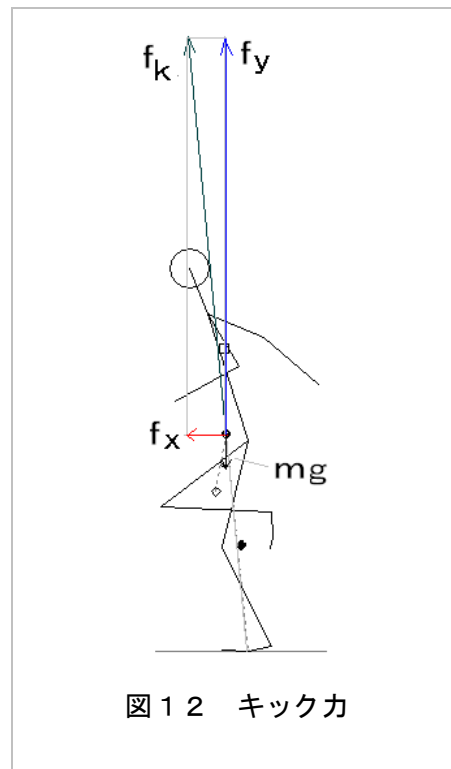
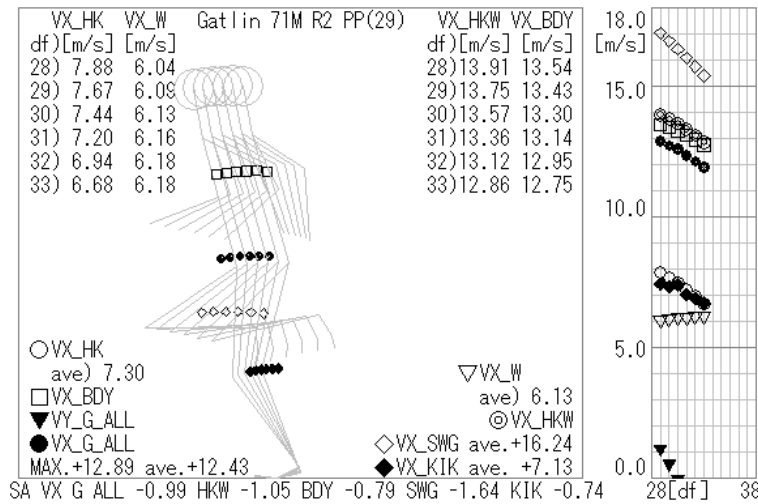


図12 キック力

ガトリン選手のランニングフォームを

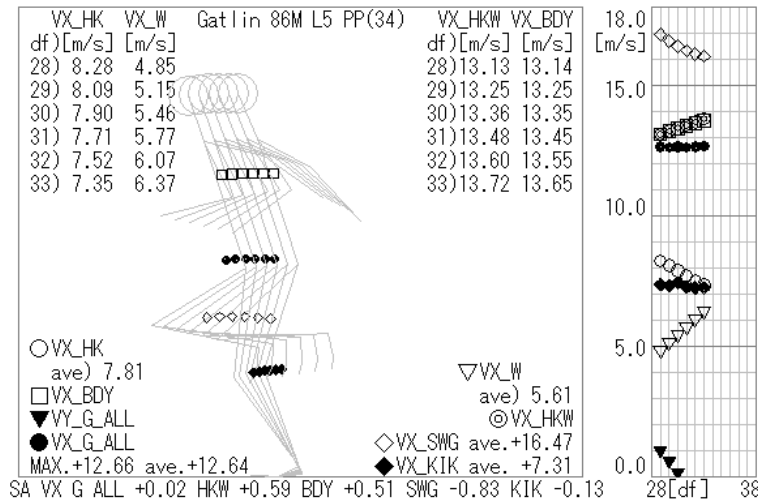
詳細速度解析で調べてゆくと、接地中に加速しているフォームや、一定の速度を保っているフォームや、減速しているフォームが、色々と混じっていることが分かってきた。しかし、接地中の加速量は、あまり大きくない。それよりも、接地開始時に、いきなり高速で始めるようなフォームが数多く見られる。このとき、接地中に、その速度を維持するフォームだけでなく、減速するものもあるが、この減速量がさほど大きくないので、結果的に高速フォームとなっている。

これらのメカニズムを調べるため、ランニングフォームにおける色々な要素を取り上げて、それらが、接地時の身体重心水平速度の大きさや、接地中の身体重心水平速度の変化量と、どのような相関があるのかを調べることにした。



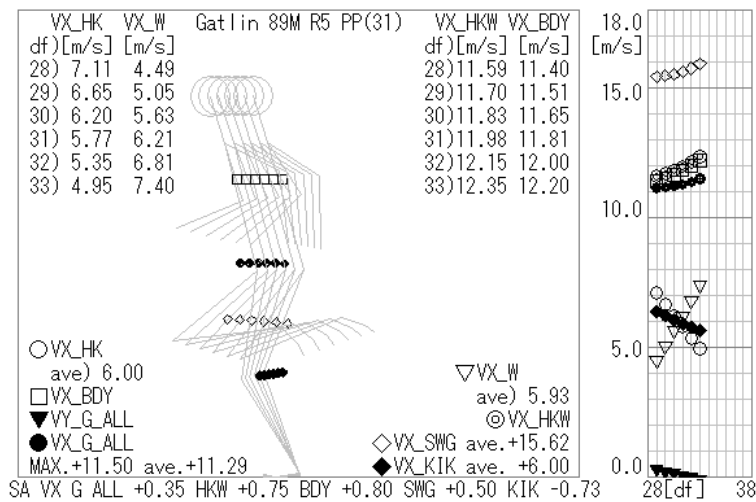
身体重心の水平速度
 VX_G_ALL (●) が
 減速されている。

図 1 3 Gatlin 71M R2 の詳細速度解析_接地時



身体重心の水平速度
 VX_G_ALL (●) は
 一定値を維持している。

図 1 4 Gatlin 86M L5 の詳細速度解析_接地時



身体重心の水平速度
 VX_G_ALL (●) が
 加速されている。

図 1 5 Gatlin 89M R5 の詳細速度解析_接地時

ランニングフォームにおける色々な要素の一例を説明しよう。

図15の詳細速度解析において、図の右上に「VX_BDY」のコードがあるが、これは「上半身重心の水平速度」を意味する。図の左下に示してあるように、グラフでの記号は「□」である。右のグラフでは、少し見にくいだが、身体重心の水平速度 (VX_G_ALL ●) の上に、腰点水平速度 (VX_HKW ◎) と重なって描かれている。グラフでの上半身重心水平速度「□」の値が、図右上の「VX_BDY」のコードの下に並んでいる。これらの数字で、VX_BDYは、11.40[m/s]から 12.20[m/s]へと増加している。このときの変化量を SA_VX_BDY (「上半身重心水平速度の変化」とあらわすことにする。この値は SA_VX_BDY=12.20-11.40=+0.80 となる。この数字をフォーム図の下の行で、SA_VX_を略した BDY のあとに記した。

SA_VX_BDY と同様の操作で、SA_VX_G_ALL=+0.35 SA_VX_HKW=+0.75 SA_VX_SWG=+0.50 SA_VX_KIK=-0.73 なども求めてある。

図16は、ガトリン選手の13歩のフォームについて、Y軸(Y.A.)に身体重心水平速度の変化(SA_VX_G_ALL)をとり、X軸(X.A.)に上半身重心水平速度の変化(SA_VX_BDY)をとって、相関を調べたものである。右下に相関係数[+0.90]の数字を記した。

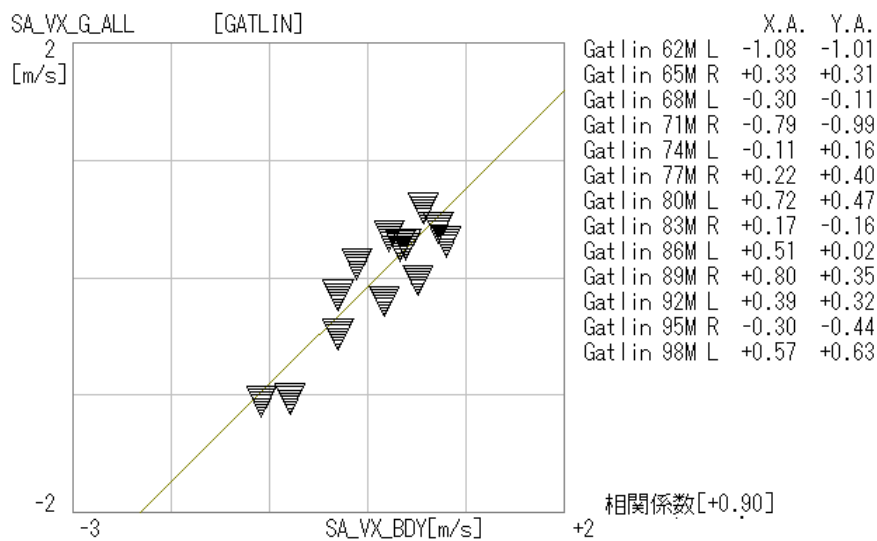


図16 SA_VX_BDYとSA_VX_G_ALLの相関

(8) 加速フォームの要因

図17はガトリン選手のフォームにおける、身体重心水平速度の変化 (SA_VX_G_ALL) と、色々な要素の相関を調べたときの、相関係数を棒グラフで表したものである。これは、Y軸 (Y.A.) として、身体重心水平速度の変化 (SA_VX_G_ALL) を取り上げたのであるから、接地中に加速する、「加速フォームの要因」を調べていることになる。この棒グラフでは、相関係数の絶対値が 0.5 以上の場合に濃い黒とし、0.5 未満の場合は薄い灰色で表している。

ガトリン選手のフォーム (GATLIN) における接地時の身体重心の加速 (SA_VX_G_ALL) について、相関の強い要素としては、腰点水平速度の変化 (SA_VX_HKW) と、上半身重心水平速度の変化 (SA_VX_BDY) と、スウィング脚重心水平速度の変化 (SA_VX_SWG) と、キック脚重心水平速度の変化 (SA_VX_KIK) の4つがあげられる。腰点に上半身が乗っているわけであるから、腰点水平速度の変化 (SA_VX_HKW) は、上半身水平速度の変化 (SA_VX_BDY) と強く結びついている。上半身の運動量とスウィング脚の運動量とキック脚の運動量を合わせたものが、身体重心の運動量になるわけであるから、それぞれが強い相関で結びついているのは、当然のことかもしれないが、相関係数の値として求めた数字の、微妙な違いが、フォームの特徴を示していると考えられる。身体を3つに分けたときの部分としては、上半身重心の加速 (SA_VX_BDY) の影響が最も大きく、スウィング脚重心の加速 (SA_VX_SWG) が続き、キック脚重心の加速 (SA_VX_KIK) が最後となる。まだ説明していないが、X軸 (X.A.) の5番目以降の要素については、ガトリン選手のフォームにおいて、あまり強くかかわっていないということになる。

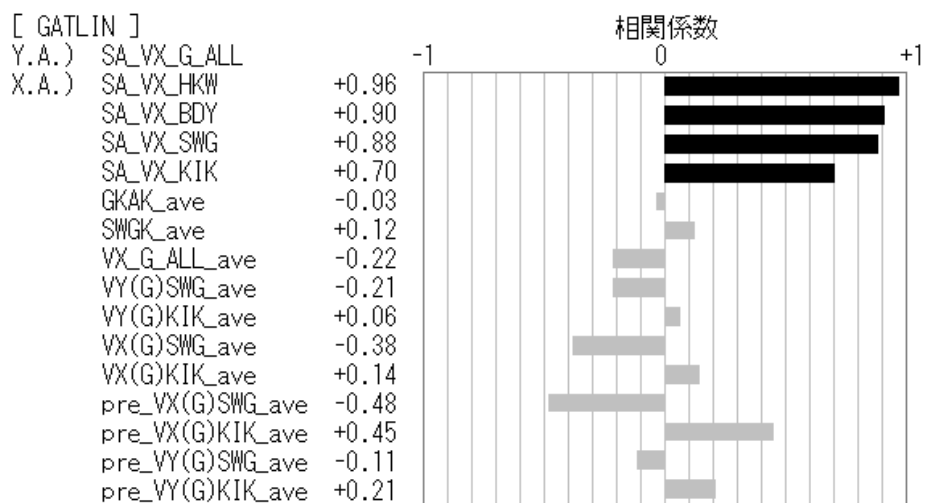


図17 相関係数一覧 GATLIN Y.A.) SA_VX_G_ALL

X軸の要素の5つ目にある GKAK_aveとは、図19などのキック脚接地中のフォームにおける、身体重心角 (GKAK) の平均値 (_ave) のことである。

キック脚接地中のスウィング角 (SWGK) の平均値が SWGK_ave である。

VX_G_ALL_ave は身体重心水平速度の平均値である。

その下の VY(G)SWG_ave は、身体重心を基準にしたときの、スウィング脚重心の鉛直速度の平均値である。図 1 9 で調べている。図 1 8 では、VX(G)SWG (◇) や VX(G)KIK (◆) を調べている。

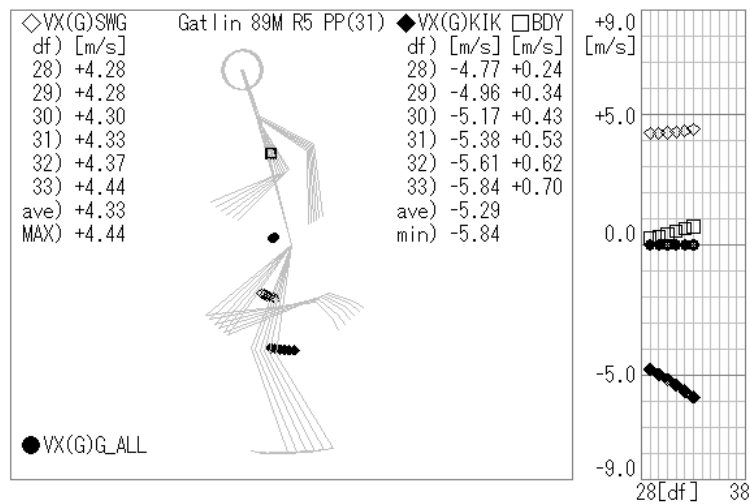


図 1 8 Gatlin 89M R5 の詳細速度解析_身体重心基準の水平速度

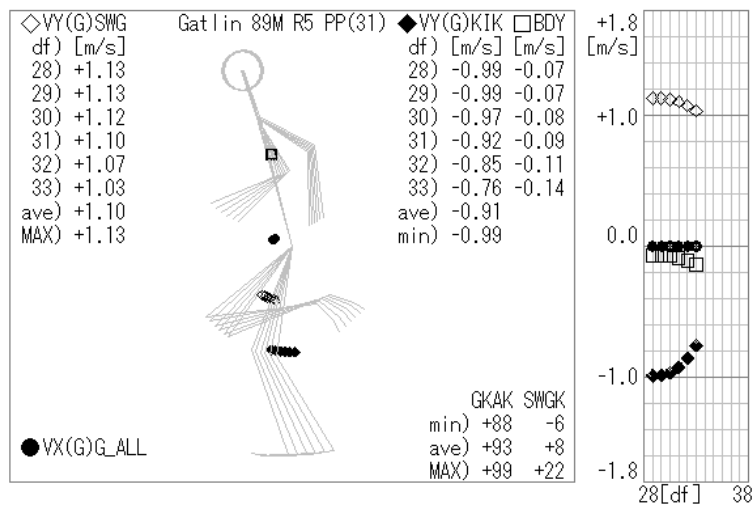


図 1 9 Gatlin 89M R5 の詳細速度解析_身体重心基準の鉛直速度

最下の 4 行には、「pre_」という接頭語のついた記号がある。この接頭語がついていない要素は、図 1 5 と図 1 8 と図 1 9 で調べたような、接地中の詳細フォーム (5 つ) について調べてある。図 1 5 (と図 1 8 と図 1 9) のフォームでは、接地中の詳細フォームは、28 ~ 33 [df] である。これに対して、接地前の 5 つの詳細フォーム (前記の例なら 23 ~ 28 [df]) についての要素から値を求めたものについて、「pre_」という接頭語をつける。つまり、地面に接地する前の動きについての値を調べたものである。図 2 0 と図 2 1 が、接地前の状況

を調べたものである。

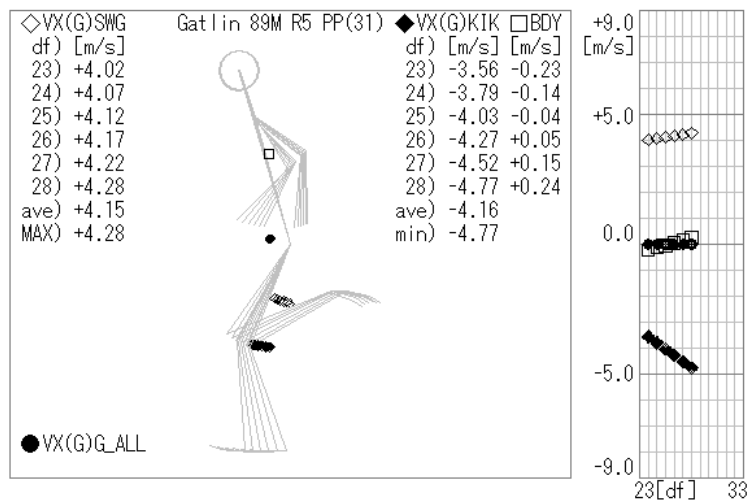


図 2 0 Gatlin 89M R5 の詳細速度解析
__身体重心基準の接地前 (pre_) 水平速度

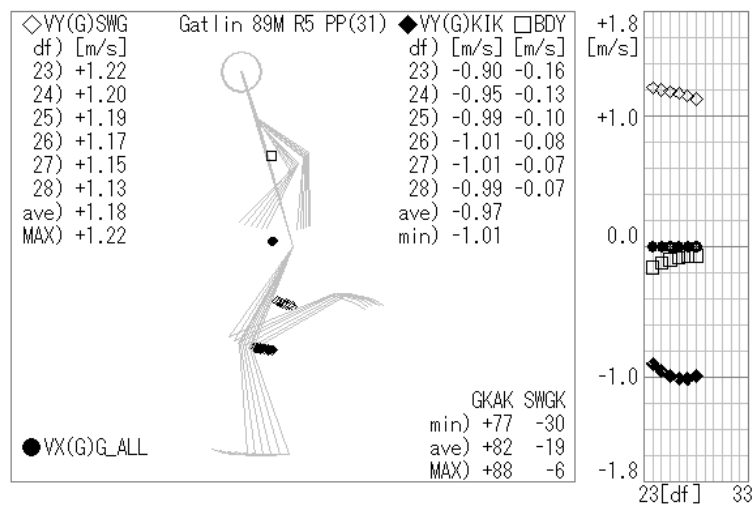


図 2 1 Gatlin 89M R5 の詳細速度解析
__身体重心基準の接地前 (pre_) 鉛直速度

図 2 2 は佐分選手のフォームにおける、身体重心水平速度の変化 (SA_VX_G_ALL) と、色々な要素の相関を調べたものである。ここでも、接地中の身体重心を加速する要素を探していることになる。

ガトリン選手の図 1 7 と見比べると、最初の 4 つの要素の相関が強いのは同じであり、身体部分を 3 つに分けて調べたときも、上半身重心の加速の影響が最も大きいことが分かる。

ところが、X軸の5番目以降の要素の中で、黒い棒グラフとなっているものが4つ現れている。これらの意味をまとめると、身体重心を基準としたときの、スウィング脚とキック脚の鉛直速度が、接地前から接地中にかけて、強い相関をもって影響していることが示されていることになる。接地中の身体重心の水平加速のために、スウィング脚を引き上げつつキック脚を蹴り下げる動作の影響力が大きいということである。

身体重心の水平速度を加速するときには、スウィング脚やキック脚を鉛直方向に動かし、その効果として、上半身の水平速度を加速するというメカニズムが作用しているらしい。これに付随して、スウィング脚やキック脚も水平に加速されているが、そのように動かそうとは意図されていないことになる。

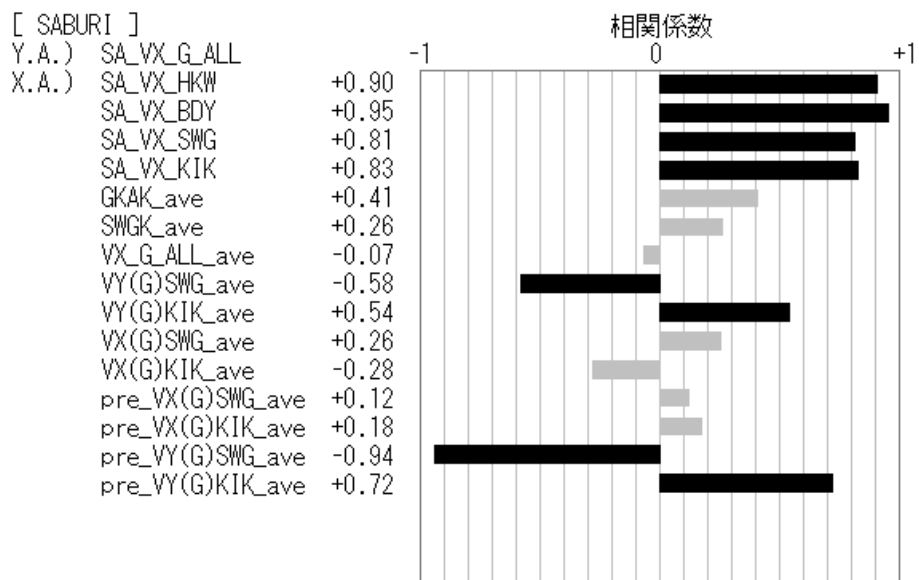


図 2 2 相関係数一覧 SABURI Y.A.) SA_VX_G_ALL

(10) 高速フォームの要因

前章のような解析手順で、Y軸の要素を変えると、キック脚の接地時の、身体重心速度の大きさに影響する要素について調べることができる。上記のX軸にあった7番目の要素である、身体重心水平速度の平均値 (VX_G_ALL_ave) をY軸の要素とすればよい。このようにすると、「高速フォームの要因」を調べることになる。解析プログラムの操作の都合で、X軸の7番目の要素を置き換えていないので、Y軸の要素とX軸の要素が同じとなる、ここ

での相関係数は（必ず）1になる。以後、ここの部分に現れる棒グラフについては、無視して進めてゆく。図23はガトリン選手のフォームについて、図24は佐分選手のフォームについて、それぞれ、身体重心水平速度の平均値（VX_G_ALL_ave）に対する、X軸の要素の、相関を調べてあるが、かなり傾向が異なっている。図23と図24が異なるだけでなく、これらと、図17や図22とも、かなり異なっている。図17と図22で突出していた、最初の4要素の影響が、図23と図24では小さい。ここから、キック脚の接地時に高速で始めるといふことと、接地中に加速するといふことは、かなり異なる要素が関係しており、まったく異なるメカニズムによって生み出されていると考えてもよいといえるだろう。このような違いは、佐分選手のフォームが100Mレースにおける40M～61M地点のものであるのに対して、ガトリン選手のフォームが69M～98M地点のものであることに由来するのかもしれないが、データ不足のため、この問題は保留しておくことにしよう。

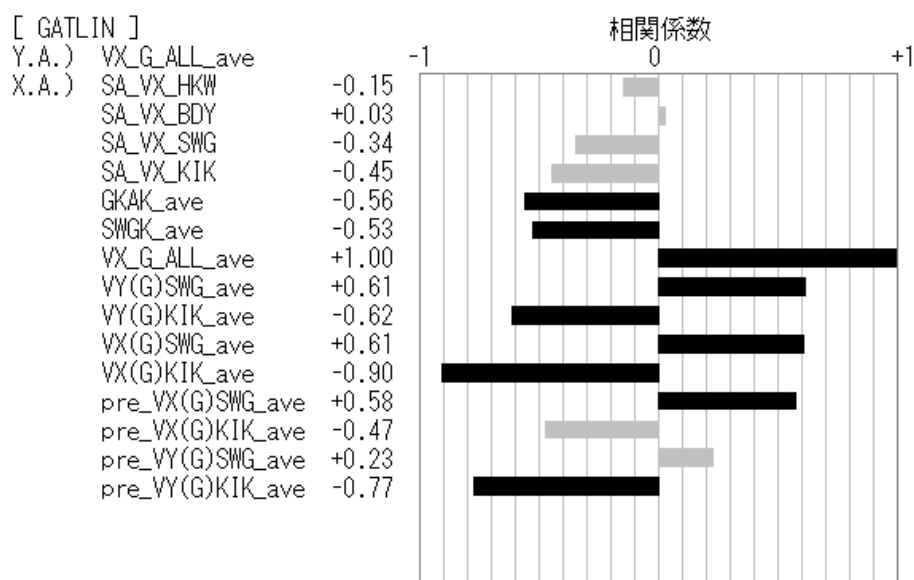


図23 相関係数一覧 GATLIN Y.A.) VX_G_ALL_ave

ガトリン選手の接地開始時における身体重心の水平速度（VX_G_ALL_ave）の値に、最も強く関係している要素は、身体重心を基準にして調べたときの、キック脚重心の水平速度（VX(G)KIK_ave 相関係数 -0.90）であるが、これを生み出す動作として、接地直前における、身体重心を基準とした、キック脚重心の（下方への）鉛直速度（pre_VY(G)KIK_ave 相関係数 -0.77）が重要なものとなっている。しかし、図24の佐分選手のフォームに対する解析結果と見比べれば違いが分かるように、スウィング脚の動きも無視できない効果を生み出しているのである。身体重心を基準としたスウィング脚の水平速度（VX(G)SWG_ave 相関係数 +0.61）だけでなく、鉛直速度（VY(G)SWG_ave 相関係数 +0.61）も影響力をもっている。しかも、このときの相関係数が正の値をもっているといふことは、かつて

予想していたメカニズムの動きとは、まったく逆で、スウィング脚重心は鉛直上方への動きで作用しているのである。身体重心の鉛直速度を、 -1 [m/s] から $+1$ [m/s] へと変化させることを、キック脚だけでなくスウィング脚も使って行っていたということになる。このように分かっただけならば、当然のことではあるが、これまでは、スウィング脚の膝が(他のランナーより) 低く運ばれていたため、スウィング脚でもキックの鉛直成分を補うとは考えられていなかったのではないだろうか。

ガトリン選手のフォームでは、身体重心角 (GKAK_ave) とスウィング角 (SWGK_ave) も、相関係数が負値で、比較的強い相関をもっている。つまり、身体重心角やスウィング角が小さいほうで、高速フォームを生み出しているのである。小さいといっても、身体重心角では、GKAK=95 度ぐらいのフォームのほうが、GKAK=100 度ぐらいのフォームより、高速になっているということである。

図 2 4 に、佐分選手のフォームの解析結果が示されているが、黒い棒グラフになっていて注目すべきなのは、身体重心を基準とした、接地前のキック脚の鉛直速度 (pre_VY(G)KIK_ave 相関係数 -0.54) と、同キック脚の水平速度 (pre_VX(G)KIK_ave 相関係数 -0.85) と、接地中のキック脚の水平速度 (VX(G)KIK_ave 相関係数 -0.80) だけである。空中にあるときからの、キック脚で蹴る動作が強く影響しているわけである。この結果は非常に分かりやすいが、ガトリン選手の解析結果と比較すると、スウィング脚の動きを利用できていないということになる。これも理解できる。佐分選手は、キック脚で高速スピードのフォームを生み出そうというとき、スウィング脚が後方に遅れていて、うまく動かすににくい状態になっている。

佐分選手は、スウィング脚がうまく利用できる接地時後半において、スピードを高めるフォームにしようとしているらしい。

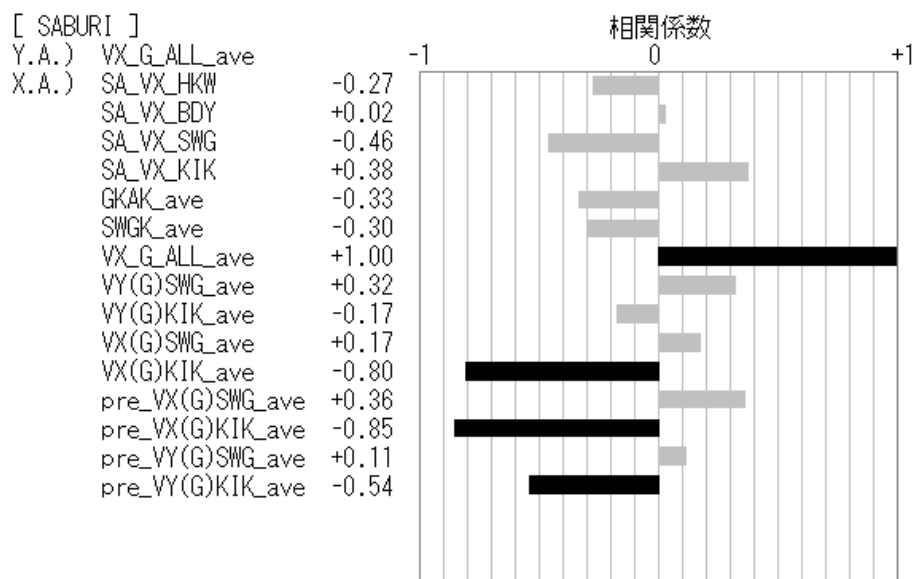


図 2 4 相関係数一覧 SABURI Y.A.) VX_G_ALL_ave

図 1 7 と図 2 2 ～図 2 4 の解析結果から、総合的に分かることをまとめてみよう。

空中にあるときから、スウィング脚の動きも利用して、キック脚を速く動かしておくことによって、接地時に開始しようとする速度が大きくなる。キック脚を後方に向かって払うように動かすのではなく、後方に動かしつつ下方に向かって蹴るようにする。この結果、大きく影響を受けるのは上半身の水平速度らしい。身体のおよそ半分の質量をもつ上半身の水平速度を大きくするということが、高速フォームへの主要な条件である。もちろん、スウィング脚やキック脚の水平速度も必要になるが、こちらは補助的な条件となる。

このような接地時の水平速度から、さらに加速するか、維持するか、減速してしまうかということは、別の要素によって決まる、異なるメカニズムによって決まるようだ。ただし、上半身の速度が加速できるかどうかは、キック開始時に作用したキック脚などの動きで決められてゆくようである。佐分選手はキック脚の作用で、さらに加速しようとしているが、ガトリン選手は接地中の加速に対して、特に強調して動かす部分を生み出していない。これらには、ランニングフォームを観測したレース位置の違いが関係しているのかもしれないが、データ不足のため、はっきりとしたことは言えない。

このような表現では抽象的すぎて、実際の動きと結びつきにくいので、もう少し具体的な表現で説明しようと思う。

(10) ドライブキックとホイールキック

ガトリン選手の高速フォームでは、後方に蹴っているのではなく、空中から落ちる動きに対して、単にボールが弾むように、鉛直下方に蹴っているようにも見える。スウィング脚の重心は、ほぼ身体重心の真下であり、キック脚の力も、ちょうど真上に身体重心がくるところで加えられている。それなのに、それまでの速度より大きな速度が得られている。ボールが単にリバウンドするだけではなく、接地した瞬間にドライブしてスピードを増す現象に似ている。ドライブがかかった球は、接地時に加速する。なぜだろうか。これは、回転する物体がもっている角運動量の一部が、接地時に、物体の質量中心がもつ運動量に変換されるからである。それでは、ランニングフォームにおいては、何が回転して角運動量をもっているのか。このように考えてゆくと、回転というほどの角度ではないが、前方にあるキック脚と、後方にあるスウィング脚が、ちょうど逆向きに動いて、角運動量を蓄えていることに思い当たる。走幅跳の空中フォームとして、このような動きは「シザース (はさみ)」と呼ばれている。二本の脚がはさみのように、広げられてから閉じられるからである。ランニングフォームでの、前方キック脚と、後方スウィング脚の角運動量は、逆向きに、ほぼ同じ量になるようになって、打ち消しあっている。ただし、これは空中でのこと。前方から振り戻されたキック脚が地面に接地すると、キック脚に蓄えられていた角運動量は、キック脚を含めた全

身を棒のように見立てたときの、この棒の角運動量へと変化するのである。

ガトリン選手のフォームの多くは、ドライブスピンのかかったボールがバウンドするたびに速度を上げるようなイメージに似ている。そこで、このようなフォームを「**ドライブキック**」と呼ぶことにしよう。

「キック脚を前方に振り出してから振り戻し、速い動きの中で地面を蹴ることがよい」ということは、以前から主張されていた。しかし、このような動作が意味することの説明が（感覚的にではなく、力学的に）はっきりしなかったためか、いつのまにか、キック脚を後方に払うようにするべきだと、曲げられて理解されてきたようだ。そして、ランナーたちは、過剰にキック脚で後方を押すようになって、キック脚の角運動量を利用するというテクニックによる効果を減らしてしまい、キック脚の支持期の後半に向けて、膝を大きく動かすフォームへと移っていったらしい。ところが、そちらのほうにも、効果的なランニングフォームのタイプが存在したので、話が複雑になってしまっていて、何が正しくて何が間違っているのかが、はっきりしなかった。

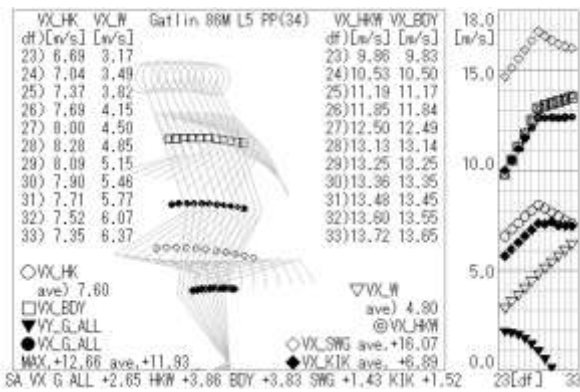
「キック脚の動きを車輪にたとえて、車輪が速く回転するときにスピードが大きくなるように、キック脚も速く動かすべきだ」ということも聞いたことがある。これまでの解析手法でランニングフォームを調べてゆくと、まるで、車輪を使って走っているような、なめらかな身体重心変化となるフォームがあることも分かってきた。このような、車輪を使って走るようなフォームを「**ホイールキック**」と呼ぶことにしよう。

ドライブキックの主なメカニズムは、「スウィング動作を利用してキック脚にたくわえていた角運動量を、全身へ分配すること」である。ホイールキックのメカニズムは、「車輪を速く回すように、接地中に身体の中で力を生み出して、前進するということ」である。ドライブキックは空中にあるときにキックのメカニズムが始まっており、接地の瞬間に速度がおおよそ決まるのに対して、ホイールキックでは接地中での動きが主となっていて、接地の後半までに、どれだけ加速するかということが重要になってくる。ドライブキックは「高速フォーム」を生みやすく、ホイールキックは「加速フォーム」を生み出しやすいと言えるだろう。

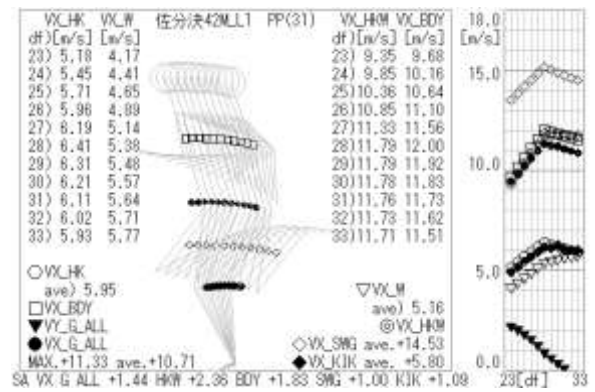
具体的なフォームの例をあげて、これらのことを見てみよう。

図25はガトリン選手と佐分選手のランニングフォームの中から、ドライブキックのフォームを選び出し、その詳細速度解析をまとめたものである。

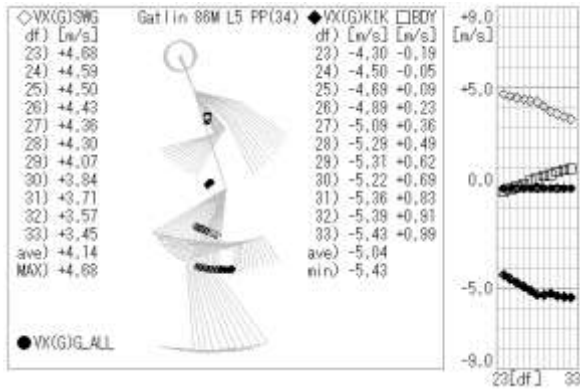
ガトリン選手の上半身重心水平速度（□VX_BDY）が、このキックの開始とともに、身体重心水平速度（●VX_G_ALL）より大きくなってゆく。最下段の、キック脚重心鉛直速度（◆VY(G)KIK）のパターンに特徴がある。ガトリン選手のフォームでは、スウィング脚重心鉛直速度（◇VY(G)BDY）のパターンも特徴的である。キックの瞬間には、キック脚重心を下方に動かす動作とあわせて、スウィング脚の重心を上方に動かしていたわけである。こうして、ドライブキックの効果を高めている。これに対して、佐分選手のフォームでは、スウィング脚が効果的に利用できていないことが分かる。スウィング脚重心を上方に動かすためには、ガトリン選手のような位置にスウィング脚がなければならないようである。スウィング脚の膝が、もっと後ろにあっても、もっと上にあっても、効果的に動かせないことになる。膝が低めで、少し前にある、ちょうど、このガトリン選手のフォームのような位置が動かしやすいと考えられる。



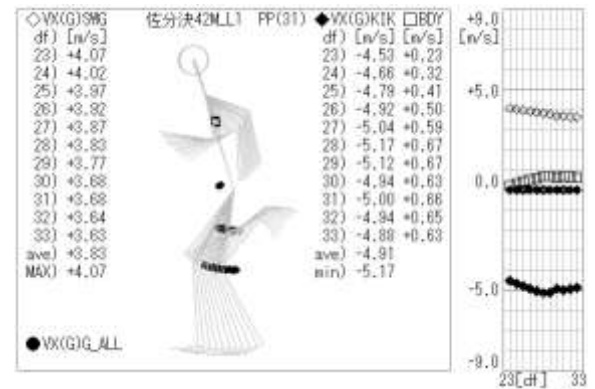
Gatlin 86M L5 接地式解析



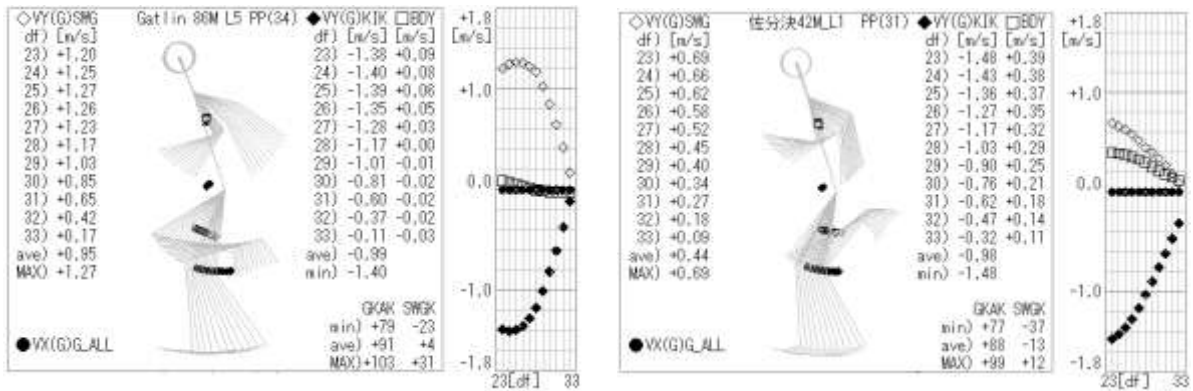
佐分決 42M L1 接地式解析



Gatlin 86M L5 空中式水平速度解析



佐分決 42M L1 空中式水平速度解析



Gatlin 86M L5 空中式鉛直速度解析

佐分決 42M L1 空中式鉛直速度解析

図 2 5 ドライブキックの詳細速度解析 (Gatlin 86M L5 佐分決 42M L1)

図 2 6 はガトリン選手と佐分選手のランニングフォームの中から、ホイールキックのフォームを選び出し、その詳細速度解析をまとめたものである。

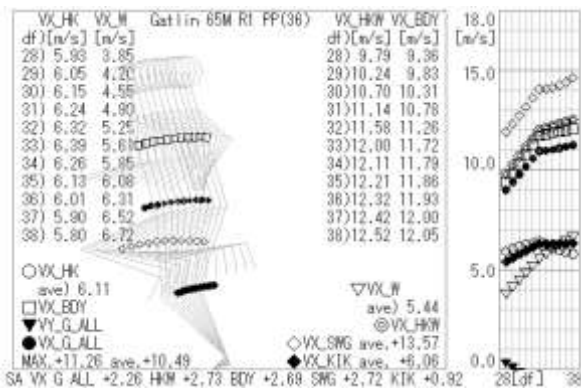
上段の「接地式解析」にあるグラフでは、身体重心水平速度 (●VX_G_ALL) が大きくなってゆく傾向がある。これらは、離陸前の 10 の詳細フォームについて調べてあるが、後半の 5 つのところでも大きくなってゆこうとしていることが特徴的である。スウィング脚重心の水平速度 (◇VX_SWG) や、キック脚重心の水平速度 (◆VX_KIK) も、後半に大きくなろうとしている。ドライブキックの「接地式解析」のグラフと比較すると、これらのパターンが異なることが、よく分かる。

中段の「空中式水平速度解析」のグラフを見ると、ガトリン選手のデータと比べ、佐分選手のデータのほうが、大きなスウィング脚の相対水平速度 (◇VX(G)SWG) となっている。詳細フォームの図を見ると、スウィング脚の位置が異なっており、佐分選手のほうが動かしやすそうなところにきていることが分かる。ガトリン選手のスウィング脚は、ドライブキックで効果が出るような動きかたになっており、佐分選手のスウィング脚は、ホイールキックで効果のでるような動き方になっているわけである。

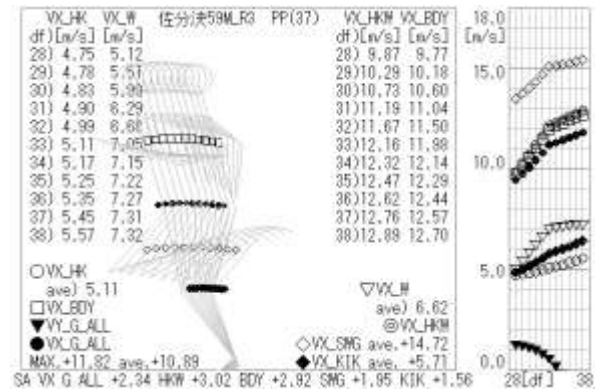
下段の「空中式鉛直速度解析」のグラフに、ホイールキックの特徴が明確に現れている。キック脚の相対鉛直速度 (◆VY(G)KIK) が、 -1 [m/s] あたりから $+1$ [m/s] あたりまで変化しており、スウィング脚の相対鉛直速度 (◇VY(G)SWG) のほうは、ガトリン選手と佐分選手とでパターンは異なるが、負の値になっていこうとしているところである。ランニングフォームにおける具体的な動きとしては、キック脚の踵が浮くところで、スウィング脚を少し下方に動かして、身体重心を水平方向に押し出そうとしていると、解釈できる。

このような現象は理解しやすい。たしかに、このようなフォームで加速して走ることを、多くのランナーやコーチが追い求めてきたようだ。このことについての観測データを、こうして明らかにすることができたことになる。

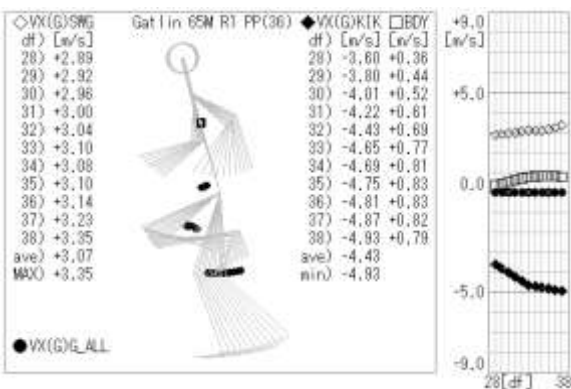
これらのことから、ホイールキックやドライブキックの特徴を整理してみよう。



Gatlin 65M R1 接地式解析



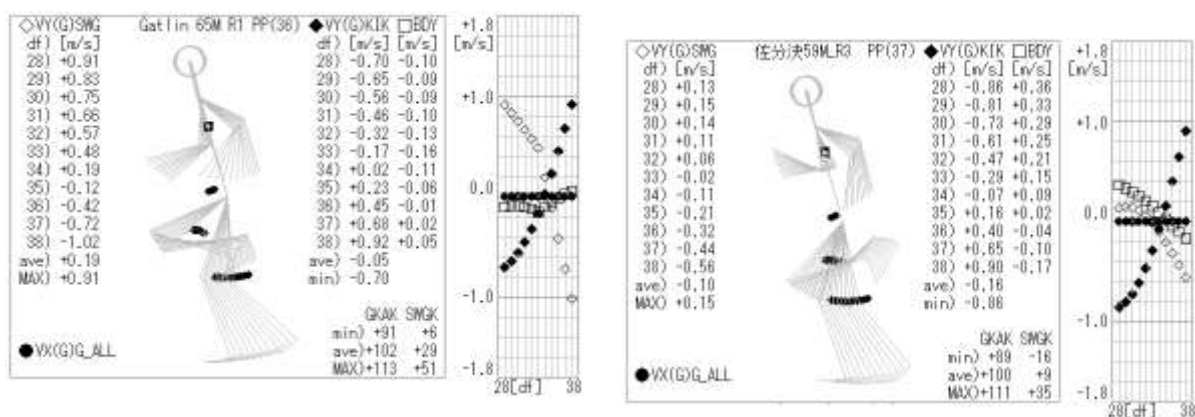
佐分決 59M R3 接地式解析



Gatlin 65M R1 空中式水平速度解析



佐分決 59M R3 空中式水平速度解析



Gatlin 65M R1 空中式鉛直速度解析

佐分決 59M R3 空中式鉛直速度解析

図 2 6 ホイールキックの詳細速度解析 (Gatlin 65M R1 佐分決 59M R3)

ドライブキックの特徴

- D 1 接地前の、身体重心が空中にある状態から、キック脚で地面を蹴る動作が始まっている。
- D 2 接地時間が短い。このため、接地時に地面に加える力が非常に大きい。
- D 3 接地後の身体重心の速度変化では、加速、維持、減速と、三様に变化するが、短い時間における変化なので、いずれも、身体重心水平速度への影響は少ない。
- D 4 接地開始時にできるだけ大きな速度が得られることを目的とする。
- D 5 接地時の初期に力を生み出すことで、高速となることを目指しており、接地時の後半には離陸しているので、キック脚の膝の角度が大きくなる傾向がある。すなわち、「膝を固定したキック」と呼ばれるフォームである。

ホイールキックの特徴

- W 1 接地前の、身体重心が空中にあるときの、キック脚で地面を蹴る動作は、あまり意識されていない。
- W 2 接地時間は長い。このため、接地時に地面に加える力は比較的小さい。
- W 3 接地後の身体重心の速度変化では、やはり加速、維持、減速と、三様に变化することになるが、接地時間が比較的長いので、身体重心水平速度への影響は大きい。
- W 4 接地中に加速して、速度を大きくしようとするのが目的となる。
- W 5 接地中の後半に加速するため、離陸を遅らせようとする工夫がなされる。このときの加速を生み出すために、キック脚の膝の角度を大きくして、腰点を前方に動か

し続けようとする。

表1に「ガトリン選手のフォーム判定」を、表2に「佐分選手のフォーム判定」をまとめる。「ドライブキック (Drive)」か「ホイールキック (Wheel)」かということを判定してあるが、これらのどちらにも当てはまらないフォームというものもある。現時点では、これらの判定の基準も、それほど明確なものではない。「加速」か「減速」かという判定は、接地中の身体重心水平速度の変化で見た。「詳細フォーム df」については、接地前後の10について、開始時 (from) から終了時 (to) の詳細フォーム番号を記した。身体重心角の平均値 (GKAK_ave) とスウィング角の平均値 (SWGK_ave) については、接地前後の10フォームについて求めたので、ほぼ接地開始時の値に近いものとなっている。これらの表のデータから、ガトリン選手はドライブキックによって高速フォームを生み出すことで、速く走ろうとしていることが分かる。ドライブキックのときの身体重心角の平均値は 90 度～94 度であり、スウィング角の平均値は 0 度～6 度であり、キック脚もスウィング脚も、身体重心の直下付近にある。

佐分選手の最高速度 (佐分決 59M R3 での 11.82 [m/s]) はホイールキックで生み出されている。ドライブキックでも比較的大きな速度が得られているが、スウィング角の平均が-13 となっており、スウィング脚の効果がうまく生かされていないようである。

表1 ガトリン選手のフォーム判定

フォーム名	VX_G _ALL _MAX	Drive Wheel	加速 減速	df		GKAK _ave	SWGK _ave
				from	to		
Gatlin 62M L1	11.65		減速	28	38	90	-7
Gatlin 65M R1	11.26	Wheel		28	38	102	29
Gatlin 68M L2	10.71	Wheel		28	38	106	33
Gatlin 71M R2	12.89	Drive	減速	23	33	92	7
Gatlin 74M L3	11.77			23	33	96	7
Gatlin 77M R3	9.40	Wheel	加速	33	43	108	43
Gatlin 80M L4	11.85	Drive	加速	21	31	90	0
Gatlin 83M R4	11.45		減速	25	35	94	5
Gatlin 86M L5	12.66	Drive		23	33	91	4
Gatlin 89M R5	11.50			25	35	92	5
Gatlin 92M L6	12.17	Drive	加速	33	43	94	6
Gatlin 95M R6	11.41		減速	27	37	94	8
Gatlin 98M L7	11.86		加速	28	38	94	11

表 2 佐分選手のフォーム判定

フォーム名	VX_G _ALL _MAX	Drive Wheel	加速 減速	df		GKAK _ave	SWGK _ave
				from	to		
佐分決 40M R1	11.06		減速	23	33	94	-2
佐分決 42M L1	11.33	Drive	減速	23	33	88	-13
佐分決 55M R2	10.00	Wheel	加速	23	33	102	14
佐分決 57M L2	10.54			23	33	95	2
佐分決 59M R3	11.82	Wheel	加速	28	38	100	9
佐分決 61M L3	11.18			29	39	94	-2

(11) 後書き

ここまで何年もランニングフォームを調べてきて、分かったことといえば、キック脚を前方から勢いよく振り下ろして、地面を強く蹴るべきだということや、キック脚の接地支持期後半に向けて、キック脚やスウィング脚の動きを利用して、水平に加速するということがあった。このようなことは、これまでも、ランナーやコーチたちが経験から見出して主張してきたことでもある。

しかし、結果的には、これまで分かっていたことと同じであっても、このことの意味が力学的に分かったということは意義深い。何より、ガトリン選手が高速フォームを生み出して、他のランナーから抜け出してゆくメカニズムが分かってきた。ガトリン選手は、接地中に加速することでスピードを高めようとするのではなく、接地の瞬間に大きな速度で弾けようとするのである。

このようなフォームをドライブキックと呼ぶことにしたが、ガトリン選手は、このドライブキックで高速フォームを生み出すとき、キック脚やスウィング脚を身体重心の直下付近にもってくる。これはなぜなのだろうか。

ドライブキックでは、地面を蹴るところで、力を込めることが重要なコツになるが、こうして激しく動いているキック脚の先端部分が、接地とともに、突然止まることにより、それまで持っていたキック脚の角運動量を、キック脚から腰点を経過して上半身へと向かう棒状部分の角運動量に移すのである。このとき、角運動量の多くを受け取る上半身の位置を考えると、棒状部分が前傾しているより、ほぼ垂直に立っているほうが、角運動の水平速度成分が大きいということになる。だから、このドライブキックで、上半身の水平速度を高めようとするなら、身体重心角が90度付近のときに、キック脚を強く蹴りおろす必要があるのである。

このようなドライブキックのメカニズムで高速フォームを生み出すことに付随して接地時間が短くなり、この短い時間で落下速度を上方速度に変換するため、非常に大きな力を生

み出さなければならないという条件が加わる。ここまで詳しく分からなかったとき、ガトリン選手のフォームを真似ようとしてトレーニングしたら、アキレス腱が痛み出し、ほんの2～3本しか走れなかった。トレーニング後から深夜まで氷でアキレス腱を冷やして、翌日からの仕事に備え、一週間後に、また走りに行く。このようなプロセスを何度も繰り返して、やがて、トレーニングらしく、一回に何本も走れるようになった。強い負荷をかけると痛みは出るが、ゆっくり治せば、以前より強くなるものである。

しかし、思っていたほど速く走れるようにはならなかった。年齢のことや体重のことに加えて、冬の寒さが条件を悪くしてゆく。速く走れないのは、そのようなわけだからと思っていたのだが、もう一度考え直して、データ解析の方法を改良してみると、ガトリン選手のフォームの謎が分かりだし、地面を蹴るときの動きが違っていたことに気づいた。

これまでは、身体重心直下に、キック脚を持ってきて、ちょうど、このところで地面を押すのだと考えていた。そのとき、スウィング脚は、重心直下より、前方に運んでおいて、下方に振り出すのだと信じ、そのように動かしていた。こうすれば、身体重心を浮かせ過ぎないようにして、前方へと加速できるのだと結論づけていたのである。

ところが、詳細速度解析という手法で調べ直してみると、キック脚の動きもスウィング脚の動きも、両方とも間違っていたのだ。これでは速く走れるわけがない。

キック脚は、地面に着いてから押すのではなく、ハンマーで地面に杭を打つときのように、強く振り下ろして、地面にぶつけるべきなのである。その反動を全身が受け取り、必要なだけの鉛直速度を獲得する。そのとき、全身が跳びあがろうとする動きに、スウィング脚も協力して、上の方に動くべきだったのである。ここで、下に向かったら、反動としての運動量の一部を吸収してしまうことになり、上半身重心の水平速度が高まらない。まったく違っていったのだ。

これらの間違いを理解して、ガトリン選手のドライブキックをなぞろうと試みたが、これは、昔、速く走るための動きとして、教え子たちに教えていたことではなかったか、とも思った。優れたスプリンターたちは、ちょうど、このような動きをしていたようだ。理屈なぞ分からないままに、強いスプリンターは、速く走るフォームを身につけていたのである。ただ、そのとき、もっと速く走るために、どのようなことを心がければよいのかということ、を、コーチである私が理解していなくて、的確にトレーニングの指針を提案できなかったのだ。だから、壁にぶつかってしまった。

また、ドライブキックで高速フォームを生み出すためのトレーニングとして、マック式短距離トレーニングの体系にあったものを、膝への負担が大きいという理由で、いつしか無視してしまっていたということにも、今回の解析によって気づくことになった。それは「スキップB」という運動である。これより負荷の低い「スキップA」については、何年か前からリバイバルさせていて、効果を高めるためのコツも整理できていたが、「スキップB」がドライブキックの基礎能力を的確に高めるということが分かったのは、この研究の成果が、これまで知られていたことの証拠を明らかにしたからである。

「スキップA」とは「連続腿あげ」のことであるが、地面を蹴った反動を利用して腿を上げることで、膝を固定したキックの、パワーポジションの感覚を覚える効果を期待できるものである。

「スキップB」とは「連続振り出し振り戻しキック」と呼べば分かるだろうか。少し上体を後傾させて、膝を高く上げてから、膝下部分を前方に振り出し、このキック脚を下方に振り下ろす勢いを高めて地面を蹴り、この反動を利用して、膝を再び高く上げる運動である。何十年前から、自分でもやっていたし、教え子たちにもやらせていた。しかし、この運動が意味することを説明することができなかつたし、膝への負担が大きいという説明におびえて、トレーニング効果を追い求めるような、ぎりぎりの強度と負荷量をねらって試みさせることは、一度もやらなかったように思う。それに、地面を強く蹴って跳ねるべきだということが分からなくて、ただ単に、キック脚のスウィングを速くすればよいのだと思ってしまっていた。そして、地面では足首などでショックを抜いてしまっていたのだ。これではドライブキックには結びつかない。地面を蹴るときにこそ、最も大きな力を込め、その反動で高く跳ぶなり、少し上体を前方へと起こして、前に進むなりしなければ、キック脚に蓄えた角運動量を、上半身へと移したことはないのだからである。

このような注意点を意識しながら、スキップBを100Mで何本か行ってみると、ふくらはぎだけでなく、太もも部分の、前にも後ろにも、大きな負荷がかかって、非常に効果的な速筋トレーニングであることが分かった。ただし、このスキップBでトレーニング効果を生み出すには、この運動をこなせるだけの、膝や踵の靭帯を強化しておく必要がある。これには、遅めのスピードでのドライブキック走の反復やスキップAの反復が役に立つ。膝が壊れたりアキレス腱が切れることのない状態で負荷を高めていって、がんじょうな靭帯へと変化させておくことが先で、筋肉の強化は、その後やるべきである。若い選手で、ハードルや三段跳がこなせるのなら、靭帯は十分強化されていることだろう。スプリンターとはいえ、これまで、ホイールキックのメカニズムで加速するような走り方しか行っていなかった選手は、ドライブキックのトレーニングを行うとき、特に、アキレス腱のコンディションには注意しておく必要がある。少しずつでも負荷を加えていって、どんどんトレーニングしてゆき、超回復するのを待てないとしたら、痛みが故障へと進展する可能性もでてくるはずである。私は、年齢のことも、仕事のことも考えて、一週間や二週間に一度くらいしか、トレーニングを行っていない。そうして、少しずつ強くなってきた。若い人たちのように、一週間や二週間に一度ずつ試合があって、一週間に何度も強いトレーニングを行うとしたら、よほどうまく調整してゆかなければならないだろう。

解析に用いたランナーのフォームも、この資料ではガトリン選手と佐分選手のものだけを用いているが、すでに、何十人のランナーの、何百というフォームについて調べている。それらの違いを説明しだしたら、資料のページ数が何百枚あっても足りはしない。たとえ書くことができたとしても、誰も読んではくれないだろう。このようなわけで、見出したことの中でも、最も本質的なことだけを選んで、できるだけ簡潔にまとめようとしたのが、この

資料である。

ドライブキックというランニングフォームと、ホイールキックというランニングフォームとでは、力学的にも技術的にも異なっており、これらの違いを理解できるようになった。ガトリン選手や佐分選手は、これらのフォームを共に有しており、自分にとって効率的なフォームを追い求めようとしていることがうかがえる。ガトリン選手は世界一なのであるから、結果的に、よい方向をつかんでいるのだろうが、日本一である佐分選手をはじめとして、日本の多くのランナーたちは、まだ、これらの技術について、感覚的には知っているだろうが、力学的な理由については、手探り状態にあることだろう。ランニングフォームについて、この資料で解き明かしたような知識を得ることができて、ランナーたちの現状がどのようなものであるかということが分かれば、より速く走るための、今後のトレーニングの指針を見出すことができることだろう。