

歩幅と歩数からみたランニングスピードの変化

宮 口 尙 義

1 緒 言

一般に反復動作においては、その動作の頻度（単位時間内になされる動作の回数）と1回、1回の動作でなされる仕事量との間には双曲線的な関係が存在すると考えられ、反復する速度が早くなると1回になされる仕事量は少なくなる。逆に、1回の仕事量を多くすると仕事の速度が遅くなることは経験的にもよく知られていることである。

最も日常的であり、単純な形の反復動作である走運動における前進速度は、歩幅と単位時間内のキックの回数、すなわち歩数との函数で示される。したがって、大きな速度を得るには、歩幅と歩数がともに大きいことが必要である。

陸上競技界では、歩幅をストライドとして疾走中のどちらか一方の足のキックによる1歩の長さを意味しているが、むしろ左右の足による2歩の（ランニングの1 cycle）長さをストライドとし、ステップの長さ（1歩の長さ）と区別して使われる方が多い。とくに多くの走者の歩幅を調べてみると、左右差がある者がかなり多く、ハードラーやジャンパーの全速疾走には顕著な左右差がみられる。

また、歩数をピッチと呼ぶことが多いが、これも一般的な通称であって、むしろ単位時間（1秒間あたり）における歩数（times/sec.）として表現するのが妥当である。

いずれにせよ、歩数と歩幅は疾走動作においては一方を大きくしようとすれば、一方が小さくなるという関係にある二つの要素であり、両

方のバランスがとれたときに最大の速度が得られることになる。しかもこのバランスは、走者の体型・体力・走法などによって個人差が著しく、単純に決めることはできない。

これ迄、走運動において人体のなす外的仕事については数多くの研究者によって報告されている。

とくに歩幅、歩数の研究では H. Gundlach¹⁾ は走速度と歩幅（身長との比）および歩数の間に高い相関関係があることを報告している。また、歩幅が大きいほうが疾走速度が大きいこと、歩幅の増大は過度にならないように、その脚長との関連性でとらえることが必要だとしている。

金子・北村²⁾はゴニオメーターや筋電図を用いて、疾走時間の変化の要因を身体運動学的に分析を行い、とくに動作に注目しており、ランニングにおけるスピードの低下は、鍛練者では歩数の減少が影響し、非鍛練者では歩数と歩幅の両者の減少がみられると報告している。

山本・天野・長沢³⁾らはスピードの低下は、歩数の低下が大きく影響するとしており、とくに歩数の維持率の低い者ほどスピードの維持率も低い傾向がみられるとしている。また、ランニングフォームを関節角度および接地距離の観点からみており、重心に対する接地足距離、接地時遊脚膝角度、接地時左右大腿のなす角度は、いずれも、歩数の低下に伴って増加すると報告している。

生田⁴⁾らは特別なトレーニングの経験を持たな

い大学生に10週間のスプリント・トレーニングを行わせ、疾走能力、および体力面に生理学的にどのような効果がみられるかについて実験を行い、次のような報告をしている。すなわち、疾走能力については、100 m 疾走 時間のみに統計的な有意な効果が得られたが、50 m 疾走時間についても短縮効果がみられ、これらの時間の短縮効果は、歩数と歩幅のいずれか、または双方が改善された結果であることを示した。

さらに、星川・宮下・松井⁵⁾らは、疾走速度を低速から全速に近い段階まで徐々に速くしてゆくと、疾走速度が比較的低速の段階における速度の増加は主として歩幅によって補われるが、疾走能力の限界に近づくに従って、歩数の増加によって補われるようになると報告している。

以上、これらの研究報告は、ランニングにおける前進速度が漸次増加する場合に、1歩のなす仕事量と、歩数、歩幅がどのように変化のしかたをするかを検討し、走運動において負荷が増加する場合に、その負荷の増加に対する生体の反応が走動作の中でどのように現われてくるかという問題を明らかにしたものである。

本研究は、これらの報告を基に、100 m スプリント・ランニングの全体像の中から、歩幅と単位時間での歩数をとりあげ、それを分析することにより、レース中にみられるスピードの変化を知るとともに、スピードの低下の原因を探り、あわせてその対策を構想することを目的とした。

II 方法

タイムの信頼性を得るために、公式陸上競技会（高校選手権大会）を選定した。100 m 競走第1 round, semi・final, final より16レースを測定に当てた。

1 測定項目

- (1) 100 m フラットレースのタイム。
- (2) (1)における途中、20 m, 50 m, 80 m の通過タイム。
- (3) (1)における0～20 m, 20～50 m, 50～80 m, 80～100 m, 各々の歩幅、歩数、

およびピッチ数

2 被検者

高校選手権大会 100 m 出場選手の中から14名（男子）を対象とした。

3 測定器具

- ・SUPER STOP-WATCH UR-16
- ・ISC, SESS CORDER II
- ・LED, DIGITIMER
- ・16mm V. T. R カメラ

4 測定期日 昭和59年5月20日, 21日

III 結果

各被検者の区間における通過タイムは (Table 2) に示したとおりである。被検者100 m レースのタイムの平均は11"63であるが、静止から信号に反応して運動を開始する始動局面、続いての加速疾走局面までの0～20 m 区間、そして最大速度を得て、それを維持する等速疾走局面までの50～80 m 区間、そしてこの後の減速疾走の局面80～100 m 区間において個人差がかなりみられた。最終タイムでは、上位者と下位者のタイム差は0"6であるが、前半50 m まではその差が0"2、後半50 m の差が0"5であることから、最終の局面である減速疾走の局面において、合計タイムの差となって現われることを示している。(Table 3) でみられるように、80～100 m の区間では、1"80～2"30 (0"50 差)と差が大きくなっている。これと比較して、50～80 m では0"33の差、20～50 m では0"21 差、0～20 m では0"13 差とその値は小さい。

次に、各区間の平均ピッチ数 (回/秒) をみると、(Table 4) とくに0～50 m の平均ピッチ数と、50～80 m の平均ピッチ数で統計的に有意な差が認められた。(P<0.01) すなわち、前半50 m の平均ピッチ数は、後半50～80 m の平均ピッチ数よりも多いことを示している。しかし後半50～80 m のピッチ数と、80～100 m のピッチ数の比較では、有意な差が認められなかった。

次に歩数では、(Table 5) に示したとおり100 m 全距離の被検者全員の平均歩数は52歩であり、前半50 m の歩数と比較すると、後半の歩

Table 1 Profile of Subjects

Subj	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)
1	17	173.5	69.4
2	18	165.8	58.9
3	17	169.6	61.2
4	18	176.1	70.1
5	18	164.5	60.5
6	17	167.0	58.2
7	16	173.2	68.0
8	17	172.5	64.8
9	18	172.2	65.9
10	18	165.8	59.5
11	18	171.6	66.5
12	17	170.0	62.3
13	16	164.5	55.8
14	18	169.3	61.4
\bar{X}	17.3	169.68	63.03
S.D	0.73	3.56	4.28

Table 3 各区間の時間 (秒)

Subj	0~20 m	20~50 m	50~80 m	80~100 m
1	2"99	3"15	3"34	1"92
2	2"98	3"31	3"21	2"10
3	3"05	3"34	3"50	1"81
4	3"05	3"16	3"17	2"08
5	3"08	3"22	3"20	2"30
6	3"10	3"23	3"35	2"12
7	3"02	3"16	3"38	2"04
8	3"07	3"24	3"43	2"16
9	3"09	3"31	3"49	1"91
10	3"06	3"08	3"18	2"28
11	3"03	3"21	3"28	2"08
12	3"01	3"13	3"28	1"98
13	3"10	3"13	3"21	1"96
14	2"97	3"26	3"27	1"80
\bar{X}	3"05	3"21	3"31	2"04
S.D	0"046	0"070	0"107	0"276

Table 2 疾走時間 (秒)

Subj	20 m	50 m	80 m	100 m	後半 50 m
1	2"99	6"14	9"48	11"41	5"27
2	2"98	6"29	9"50	11"60	5"21
3	3"05	6"39	9"89	11"72	5"33
4	3"09	6"25	9"42	11"55	5"30
5	3"08	6"30	9"50	11"80	5"50
6	3"10	6"33	9"68	11"83	5"50
7	3"02	6"18	9"56	11"67	5"49
8	3"07	6"31	9"74	11"91	5"60
9	3"09	6"40	9"89	11"83	5"43
10	3"06	6"14	9"32	11"62	5"48
11	3"03	6"24	9"52	11"60	5"36
12	3"01	6"14	9"42	11"48	5"34
13	3"10	6"23	9"44	11"44	5"21
14	2"97	6"22	9"50	11"30	5"08
\bar{X}	3"05	6"26	9"56	11"63	5"36
S.D	0"044	0"084	0"162	0"178	0"138

Table 4 各区間の平均ピッチ (回/秒)

Subj	0~50 m	50~80 m	80~100 m
1	4.56	4.34	4.31
2	4.45	4.36	4.29
3	4.38	4.14	4.97
4	4.56	4.42	4.33
5	4.60	4.53	4.13
6	4.27	4.48	4.42
7	4.77	4.59	4.41
8	4.75	4.37	4.35
9	4.53	4.42	4.38
10	5.05	4.72	4.17
11	4.49	4.27	4.09
12	4.72	4.12	4.29
13	4.74	4.52	4.34
14	4.49	4.43	4.38
\bar{X}	4.60	4.42	4.35
S.D	0.189	0.157	0.198

Table 5 各区間の平均歩数 (歩)

Subj	0~50 m	50~80 m	80~100 m	計
1	28	14.5	9.5	52
2	28	14	9	51
3	28	14.5	9	51.5
4	28.5	14	9	51.5
5	29	14.5	9.5	53
6	27	15	10	52
7	29.5	15.5	9	54
8	30	15	9.5	54.5
9	29	13.5	9	51.5
10	31	15	9.5	55.5
11	28	14	8.5	50.5
12	29	13.5	8.5	51
13	29.5	14.5	8.5	52.5
14	28	14.5	8.5	51
\bar{X}	28.8	14.4	9.1	52.2
S.D	0.99	0.56	0.46	1.16

Table 6 各区間の平均歩幅 (m)

Subj	0~50 m	50~80 m	80~100 m
1	1.79	2.07	2.31
2	1.79	2.14	2.22
3	1.79	2.07	2.22
4	1.75	2.14	2.22
5	1.73	2.06	2.11
6	1.85	1.99	2.13
7	1.70	1.93	2.22
8	1.67	2.00	2.12
9	1.72	2.22	2.39
10	1.61	1.99	2.10
11	1.78	2.14	2.40
12	1.69	2.22	2.35
13	1.69	2.07	2.35
14	1.79	2.07	2.53
\bar{X}	1.74	2.08	2.21
S.D	0.059	0.082	0.142

数は約20%の減少であった。このことは、スタートから最高速度に達する間に、著しい加速がなされるために、走者が足で地面を蹴っている間だけスピードが増すものであることから、大きな加速を必要とするときは、比較的短かい歩幅をとることによる当然の結果である。

次に歩幅については (Table 6) に示したとおり、0~50 m の平均歩幅と、50~80 m の歩幅の比較では有意な差が認められなかった。しかし、50~80 m の歩幅と、80~100 m の歩幅の比較では有意差が認められた。(P<0.01) すなわち、80~100 m の平均歩幅は、50~80 m の歩幅よりも大きくなっていることを示している。

全速疾走を維持しながら、ゴールまでの区間は、疾走速度が、とくに減速局面での最終20 m において個人差がみられ、記録低下の原因となっている。このことを分析するために、80~100 m の被検者全員の平均歩幅と、その区間のスピードの関連性についてみた結果、高い相関関係が認められた。(r=0.629) 同様に、80~100 m の平均ピッチ数と、この区間のスピードの関連性についても高い相関関係が認められた。(r=0.709) このことから、疾走タイムのロスが最も現われやすい80~100 m の区間では、歩幅、歩数の両者が記録に大きく影響するものと考えられる。

以上の結果を総合的にみると、100 m 全距離において被検者の平均時間は11"6、平均歩数52歩、平均ピッチ数4.5、平均歩幅が2.0であった。始動からゴールまで、ピッチ数が徐々に減っているのに対して、逆に歩幅は大きくなっていく傾向である。とくに、最終区間である80~100 m では顕著であった。スプリント・ランニングにおいて、疾走時間のロスをくいとするためには、この歩幅増大、歩数及びピッチの減少の相互の関係を重視する必要がある。

N 論 義

歩数と歩幅は疾走動作においては相互に関連しあっており、一方を大きくしようとすれば、一方が小さくなるという関係にある二つの要素

であり、両方のバランスがとれたときに、最大の前進速度が得られることが分った。一般に速度は歩幅と歩数の函数として示されるが、短距離全力疾走の加速過程においては、さらに次の点も考慮しなければならない。すなわち、速度と、速度の増加分を加えたものとしてみる必要がある。したがって、歩幅においても歩幅と歩数の増加分も加えたものとして、さらに、歩数も歩数と歩数の増加分を加えたものとして全体の速度を求めていく必要が生じてくる。このことを数式に表わせれば次のような関係となる。

$$\text{前進速度}(V) = \text{歩幅}S \times \text{歩数}P \cdots \cdots [I]$$

$$\text{前進速度}V + V' = (S + S') \cdot (P + P') \cdots [II]$$

$$V' \cdots \text{速度の増加分} \quad S' \cdots \text{歩幅の増加分}$$

$$P' \cdots \text{歩数の増加分}$$

$$[I][II] \text{ から } V' = S \cdot P + S' \cdot P' + S' \cdot P'$$

したがって、速度が比較的低速の段階では、速度の増加分は主として歩幅の増加分によって補われ、速度が被検者の走能力の限界に近づくにしたがって(80~100 m)速度の増加分は歩数の増加分によって補う必要があることが証明される。

今回の測定と比較するために、歩幅と歩数の両者において、IWANOV (1968) は、世界的

なスプリンターを対象に資料を示しているものを参考にすると、(Table 7) 一流走者では、100 m を46~50歩で走っており、その間の平均歩数は個人差がみられるものの、最高速度が得られた瞬間(50~80 m)での歩幅は210~230 cm であり、1秒間の歩数(ピッチ)も5.0~5.4と大きな値を示している。本研究の被検者の歩幅は200~220 cm と、一流走者と約10 cm の差がみられるが、100 m 疾走のタイムでは、競技界として10秒台、11秒台の開きは格段の差であることから、歩幅だけに関していえば大きな差とはいえないものと思われる。しかし、ピッチでは、5.0~5.4に対して、本被検者は4.1~4.5と差が大きく、このことが、記録的に大きく影響するものと考えられる。100 m 11秒台の走者が、歩数を1秒間に5回以上にすることはかなり困難ではあるが、4.5~4.9回と5回に近づけることは、その後のトレーニングの可能性は十分にあるものと推測できる。

さらに、歩幅については、歩幅が大きいほうが疾走速度が大きいことは認められたが、しかし、歩幅の増大は過度にならないように、その脚長との関連でとらえることが必要となってくる。低速のランニングでは、歩幅と身長との比が1.20のときであり、さらに十分な速度(全速疾走)のもとでは、この比が1.25以上あることが望ましいとされている。一流走者では(Table 7)からもわかるように、歩幅が身長の1.22~1.30倍である。本被検者でも歩幅と身長の比がこれと同等の値を示していることは、前述したように納得できる値とみてよい。

次に、一流短距離走者として一般短距離走者の比較において、仮に、歩幅、歩数が100 m レースの中で全く同じ値を示した場合に、記録差がなぜ生じるのか検討する必要がある。歩幅、歩数が同値で、記録差が生じる原因は、理論的にみて、きわめて単純に解明できる。すなわち、動きの速さである。動きの効率の問題は、走運動のメカニズムであることか

Table 7 一流スプリンターの100 m 走における時間・歩幅・歩数

氏名	Height (cm)	100 m 時間	平均歩幅 (cm)	平均歩数 (回/秒)	最高速度の瞬間	
					歩幅	歩数
ニューマン(米)	175	10"26	195	4.93	215	5.43
ピケマル(仏)	172	10"27	203	4.85	224	5.20
バンビュク(仏)	181	10"34	207	4.64	226	5.03
飯島(日)	176	10"42	196	4.89	215	5.23
アンダーソン(米)	180	10"42	218	4.41	225	5.12
マニヤーク(ボ)	171	10"50	196	4.85	216	5.30
イワノフ(ソ)	181	10"56	208	4.54	223	5.10
カサノフ(ソ)	175	10"56	199	4.73	217	5.13
オゾーリン(ソ)	185	10"65	217	4.32	235	4.75

(IWANOV 1968より)

ら、歩幅、歩数とともに十分検討する必要がある。(Fig. 1)は着地、離地時を示したものであるが、着地中の重心移動距離 S_1 と、離地時(空中時)の重心移動距離 S_2 の二面に分けることができる。前述したように、速度は歩幅(S)×歩数(P)であることから、実はこのSが $S_1 + S_2$ と分解できることから、 $S_1 \rightarrow S_2$ の時間的な速さが走運動の速さ、つまり重心を前方へ移動させる速さとなり、最終的に記録差となって現われるメカニズムである。

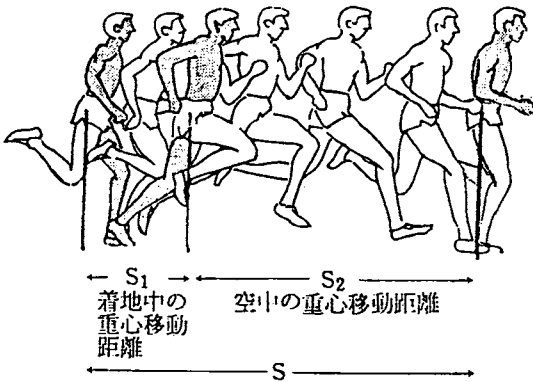


Fig 1

人間が発揮し得る最高スピードの持続には限界があり、一流選手でも時間にして3~4秒ぐらいであり、その間に疾走できる距離は30~40mである。したがって短距離走では最高速度での全速疾走につづく残りの大部分においては、体力的な条件を越えて努力して、ハイスピードを持続する疾走が求められる。100m全力疾走の場合には、200m、400mの場合のような累積する大きな疲労による速度の低下はそれほどないはずであるが、それでもゴールが近づくにつれて、一般に速度が低下する傾向がみられる。その原因として次の点があげられる。

- 疾走速度の低下
- 歩幅の増大 (全速疾走時より5~10%)
- 歩数の低下 (全速疾走時より $\frac{1}{2}$ ~1歩/秒)
- 疾走フォームの乱れ (全速疾走がやや変化する)

などである。このような傾向は、疲労の増加や勝敗が気になり、それに伴う心理的な圧迫、ゴールを意識することによる動きの変化などの要因によるものと考えられる。

疾走のフォームからみると、歩幅を意識的に伸ばそうとすると、身体重心の真下よりも、著しく前に着地することになり、着地のブレーキは非常に大きくなって、走運動の1cycle中の空中時間の占める割合が多くなり、身体の上下動の多い走法となり、スピードを得ることはできなくなる。また、歩数を意識的にはやくしようとすると、膝の前上方への引きあげが不十分になり、そのためスピードの損失のみならず、エネルギーが不経済に使われ、疲労がはやいことのために、望む高いスピードを得ることができず、とくに後半(ゴール前)のスピード低下が著しい。

したがって、スピード低下をくいとめるフォームづくりでは、始動時(スタート)のフォーム、加速疾走のフォーム、全速疾走のフォーム、減速をくいとめるフォームをトレーニングによって訓練する必要がある。

V 結論

全力疾走過程にみられた種々の運動変化を、その始まりと終りの両極において分析された運動特徴は次のようにまとめられる。

1 ランニングの運動成績はタイムで評価されるが、それを決定するものはスピードであり、さらにそれは、歩幅と歩数によって決定される。このことから、短距離全力疾走の加速過程における速度の増加は、歩幅の増加によって果たされる役割がきわめて大きい。しかし、速度が走者の能力の限界に近づくにしたがって、速度の増加分は歩数の増加分によって補われる。

2 より速く走ることの条件は、走者のもつ身体的な資源や、その他の要素は別にして、ごく単純に考えれば、より速い脚の回転(frequency)と、より大きい歩幅で、その両方があれば目的とする疾走の速度が得られることにな

る。このピッチと歩幅は、走者の固有の特性に深くかかわりをもっており、意識的にピッチを速めれば歩幅は狭くなり、歩幅を広めればピッチが遅くなるという相反する性質をもつ。しかも両者は、無制限に高められていくことは不可能である。最終的には、走者は、ピッチ走法が有利か、ストライド走法が有利かを、その特性、資質をふまえて必然的に身につけていく必要がある。

3 走者の身体資源や、フォーム（技術）の要素がスピード持続能力にどのように影響を及ぼすかということが重要な課題である。時間低下の原因としては、技術的にみて接地時間と滞空時間が共に長くなることがあげられる。

4 歩幅の面では、全速区間と減速区間では有意な差が認められたことは、スピードが低下しているにもかかわらず、歩幅が大きくなっていくことに起因する。ランニングフォームからみても、このことは後半の運動局面からくる疲労から、身体重心のかなり前方着地という運動動作のために、足先が接地したときの脚と、地面との角度は小さくなり、大きなブレーキが生じ、歩幅だけが大きくなり、スピードが低下するという現象をまねくものと考えられる。

5 一流選手（10秒台）と一般選手（11秒台）には次の点で違いがみられる。前者は“ゴールで先んじる”と同時に“トップスピードに努力する”に対して、後者は“スタートで機先を制する”すなわち“スタートダッシュにポイントを置く”この両者の考え方の相違を今後の

現場における走技術の課題としてとりあげていく必要がある。

6 短距離疾走能力を高めるには、基本的には身体資源としての体力の増大の必要は当然であるが、これを効率良く用いるには、運動技術として、とくに中心問題となる下肢の回転効率とキックを合理化する運動様式を学習することが必要とされよう。

引用・参考文献

- 1) H・Gundlach「歩数・歩幅からみた100 m 疾走速度の研究」
Olympia 20 ; 203—305
- 2) 金子公有・北村潔和「100 m 疾走のスピード遁減原因に関するキネシオロジー的分析」
日本体育協会スポーツ科学研究報告集
NOV ; 12—20 1972
- 3) 山本輝夫・天野義裕・長沢弘「スプリントランニングにおけるトップスピード持続能力に関する研究」
愛知教育大学研究紀要№5 30—40 1980
- 4) 生田秀明・栗原崇恵・中塘二三生・播本定彦
「スプリント・トレーニングが疾走能力および敏捷性・筋力・パワーに与える効果」
体育学研究 29 ; 227—35, 1984
- 5) 星川保・宮下充正・松井秀治「歩および走における歩幅と歩数に関する研究」
体育学研究 16 ; 157—162, 1971
- 6) 宮口尚義「走時間の変化にともなう Running Form の分析」
金沢大学教育学部紀要 23, 1974