

ランニングフォームの評価と定量化

渡邊 良信^{*1}, 大田 泰之^{*1}, 古川 大輔^{*1}, 吉田 陽平^{*1}, 岡本 英也^{*1}, 吉川 直樹^{*1}

Evaluation and Quantification of Running Form

Yoshinobu WATANABE^{*1}, Yasuyuki OHTA^{*1}, Daisuke KOGAWA^{*1}, Yohei YOSHIDA^{*1},
Hideya OKAMOTO^{*1}, and Naoki YOSHIKAWA^{*1}

^{*1} MIZUNO Corporation
Nankoukita1-12-35, Suminoe-ku, Osaka, 559-8510 Japan

The purpose of this study was to know the relationships between subjective evaluations and three dimensional kinetics and kinematics data of running motion. We captured three dimensional kinetics and kinematics data of running motion of 35 average runners. At the same moment, we recorded video pictures of running to apply to subjective evaluation test. We selected 12 persons as evaluators of these pictures. They had enough experience of coaching or had sufficient knowledge of biomechanics. In rating, there were totally 9 descriptions (Pace, Style, Secure, Rhythm, Relax, Dynamic, Smooth, Balance, Total) in the 7-grade evaluation. The results of subjective evaluation of running motion were classified into only 2 parameters ('Dynamic' and 'Secure') by means of factor analysis. For each representative parameter, correlation coefficients with all kinetics and kinematics parameters were calculated and screen out the inessentials. As a result, these parameters were classified into 10 groups by means of multiple regression analysis and we calculated multiple regression equation on these parameters. Finally, we calculated multiple regression equation of 'Total' composed of 'Dynamic' and 'Secure'. The determination coefficient value of equation was 0.84 using a 0.01 level of significances. These results suggested that it was possible to quantify the running motion accurately by subjective evaluations.

Key Words :Running Form, Subjective Evaluation , Semantic Differential Analysis, Factor Analysis, Motion Analysis

1. 緒 言

ランニングブームが加熱している現在、良いランニングフォームとは何かという理論や指導方法は数多くあるが、多くはその理論が一面的であり、且つ定性的なものが多い。一方、走り方の良し悪しについてはバイオメカニクスの観点からも様々な研究が行われてきている。Cavanaghら⁽¹⁾は、運動の良し悪しを判断する指標として、efficiency (効率), economy (経済性), effectiveness (有効性) に分類して評価すべきであると述べている。また、Williamsら⁽²⁾はランニング動作をパフォーマンスとランニングエコノミーの両面から評価しており、走行能力の高さとキネマティクスパラメータとの関係について定量的な関連性を示している。

このように、過去に様々な研究が行われているが、個人差が大きく影響したり、限定された条件の被験者でしか理論を適用できなかつたりといった課題は残されている。そこで本研究では、ランニングフォームの評価を行うに当たって、経験から得られた知識に基づく主観的評価を定量的に行う為に、ランニング初心者からトップランナーといった技術レベルが大きく異なるランナーのランニング映像に対して、十分な指導経験の有る監督やコ

^{*1} ミズノ株式会社 研究開発部 (〒559-8510 大阪市住之江区南港北 1-12-35)
E-mail: yswatana@mizuno.co.jp

(Max), 最小値 (Min), 最大値-最小値幅 (Max-Min) などを算出し, パラメータの名称は各セグメント及び関節角度 (角速度) 名称のあとに「Max Min」などの添え字を付けている。

2・5 統計評価

選別した評価者に, 被験者グループ A におけるトレッドミル走行時に得られた映像 (Fig.1) を被験者毎に数十秒間観察してもらい, 主観評価に基づく得点化を行った。得点化を行う際の評価項目については, ランニングを主とする研究者, 企画者, 開発者ら 18 名からランニングフォームを説明する為のキーワード抽出をおこない, 同時にランニング雑誌などで用いられている用語なども調査し, それらから抽出されたキーワードにおいて類似項をグルーピングし, 代表的な形容詞として 8 項目を選別した。具体的には, 「スピード感」「美しさ」「安全性」「リズム感」「リラックス」「躍動感」「スムーズ」「バランス」という 8 つの形容詞を評価項目として規定し, Semantic Differential Method (SD 法) を用いた 7 段階での評価を実施し, 合わせて「総合評価」は 100 点満点での評価も合わせた計 8 項目において, 評価を実施した (Fig.2)。評価において, 標準となる基準値は, 全被験者の中から我々が「最も標準的な動きをしている」と判断した被験者について評価結果がすべての項目で「4」または「50」となるように条件を設け, 走っている条件を「フルマラソンを走っている」と仮定して評価を実施した。

上記評価で用いた 8 項目については, 意味合いが非常に近い言葉も存在している為, 各々の言葉の関係性を調べる必要がある。そこで, 主成分分析を用いて各評価項目がどのように分類されるかを分析し, 各々の関係性を調べることで, 全評価項目を代表する数項目を選抜した。更に, 選抜された項目について, 動作解析から得られた動作データやアンケートから得られた基本情報データとの単相関を調べ, 各評価項目と相関係数の高い動作データを抽出した。抽出されたデータを更に因子分析を行うことによって, 各評価項目を説明する為の因子の抽出を行った。最終的に, 重回帰分析を用いることによって, 各評価項目を動作データアンケート情報によって表現できる重回帰式を作成し, それら重回帰式を元に得点評価式を作成した。その後, それら得点評価式の妥当性を調べる為, 被験者グループ B における主観評価結果と, 上記得点評価式から算出された評価得点との関係を調べ, 評価式の妥当性評価を行った。

2・6 運動効率評価

上記評価式によって動きは得点化できるが, この結果だけでは高い得点の動きが本当に「良い動きである」と言う点において十分な証明がなされていない。そこで, 「得点の高いフォーム」が得られる運動中のメリットを知る為, 筋骨格シミュレーションソフトウェアを用いて筋活動の評価を行うと共に, 運動中の身体重心周りの運動エネルギーを算出することにより, エネルギー効率と言う面でも評価を行った。具体的には, 統計解析によって得られた評価式において得点が大きく異なり, 身長体重といったパラメータが非常に近いグループ A の 2 名の被験者を選別し, その動作データにおいて, 筋骨格シミュレーションソフト ARMO を用いて筋群ごとの筋パワーの発揮について算出した。あわせて, グループ A の時速 10km の被験者の各身体セグメント毎の並進, 回転の運動エネルギーを算出し, ランニング中に発揮している運動エネルギーの総和においても比較を行った。

3. 結 果

3・1 SD 法によるアンケート結果

Fig.3 に, グループ A の被験者の動作映像を, 評価者が評価した総合得点の結果の一部を示す。結果に示すように, 被験者のランニングフォーム評価得点が大きく異なることが確認できた。また, 総合得点の平均が「53±12」であることから, 我々が「標準的な走りである」と判断したランナーが 50 点となるように基準が守られていることも確認できた。

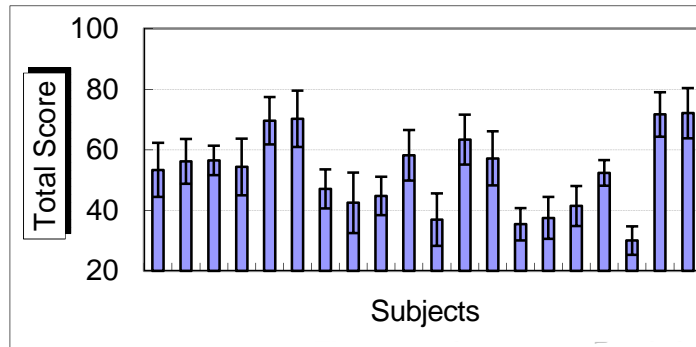


Fig.3 Comprehensive average evaluations of subjects by researchers and coaches

3・2 主成分分析結果

Fig.4には主成分分析によって得られた因子分布マップを、Table1.にはその際の因子負荷量を示す。アンケート項目に対して主成分分析を行うことによって得られた結果、因子1では「安全性」が、因子2では「躍動感」がそれぞれ0.9以上の因子負荷量を示しており、Fig.4にも示されるとおり、それぞれが独立して位置づけられていた。また、Fig.4からは、「総合評価」やその他5項目は非常に近い位置に配置されていることも分かった。

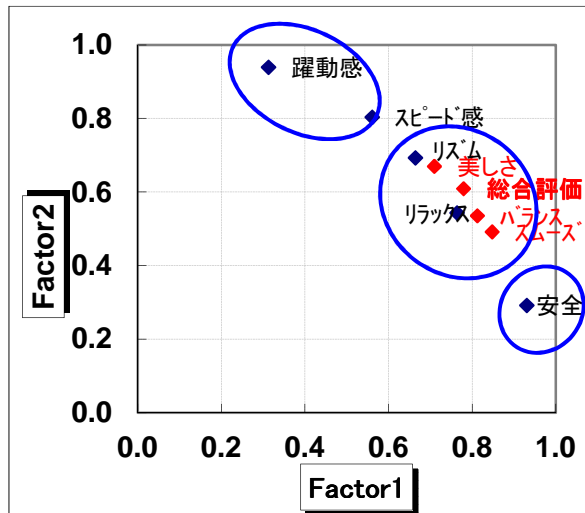


Fig.4 Items plotted by loadings on two factors

Table.1 Factor loadings

Table1. 因子分析 負荷量 (ハリマックス法)

スキル要因	因子1	因子2
スピード感	0.56	0.80
美しさ	0.71	0.67
安全	0.93	0.29
リズム	0.66	0.69
リラックス	0.76	0.54
躍動感	0.31	0.94
スムーズ	0.85	0.49
バランス	0.81	0.54
総合評価	0.78	0.61
説明済分散	4.80	3.73
寄与率	0.53	0.41

(マーク: 負荷量 > 0.9)

3・3 単相間分析結果

主成分分析によって選択した「躍動感」「安全性」について、単相関係数の高い動作データを抽出した。それにより、「躍動感」は約90、「安全性」は約50のパラメータが抽出された。

3・4 因子分析結果

単相間によって得られたパラメータを更に因子分析を行うことで、10程度のグループにパラメータをまとめる事が出来た。Table.2に、相関係数の高い一部の代表パラメータ名とその相関係数を示す。主成分分析結果から、因子2が意味する「躍動感」を構成する代表的なパラメータは、①矢状面大腿セグメント角速度 ②矢状面下腿セグメント角度 ③矢状面上腕セグメント角度 ④矢状面下腿セグメント角速度などが挙げられ、同じく因子1が意味する「安全性」を構成する代表的なパラメータは ①前額面大腿セグメント角度 ②矢状面前腕セグメント角度 ③BMI値などが代表的なパラメータとして算出された (Table.2)。

Table.2 Representative parameters of factor analysis.

評価項目	パラメータ	相関係数
躍動感	矢状面大腿セグメント角速度	0.64
	矢状面下腿セグメント角度	0.61
	矢状面下腿セグメント角速度	0.60
	矢状面上腕セグメント角度	0.47
安全性	前額面大腿セグメント角度	0.64
	Body-mass index (BMI)	0.60
	矢状面前腕セグメント角度	0.56

3・5 重回帰式の算出及び得点化

これら複数のパラメータを用いて、「躍動感」「安全性」各々を構成する重回帰式を作成した。その結果、官能評価結果と重回帰式にて算出された計算結果は、「躍動感」において決定係数が 0.76, 「安全性」について 0.64 という高い相関を示していた。そして、これら二つのパラメータによって更に構成される「総合評価」を表す重回帰式においては、決定係数 0.84 であった (Fig.5)。

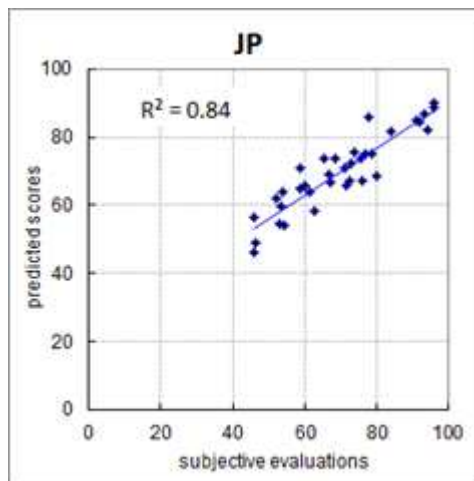


Fig.5 Relation between predicted scores and subjective evaluations of 'Total in Group A

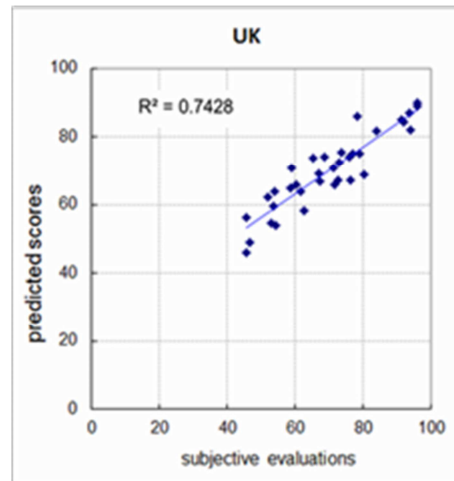


Fig.6 Relation between predicted scores and subjective evaluations of 'Total in Group B

3・5 重回帰式と因子パラメータの妥当性確認

被験者グループ A の結果から構築した重回帰式に対して、同じ条件下で実験を行った被験者グループ B に対して評価得点を算出した。それら計算結果と、コーチらによる主観評価との関係性を Fig. 6 に示す。被験者や評価者が異なったグループであっても、決定係数は 0.74 と十分に高い値を示していた。

3・6 機能検証

3・6・1 筋骨格シミュレーションを用いた筋活動評価

今回の予測式によって高得点が得られたデータと、得点の低かったデータにおいて、筋骨格シミュレーションソフトウェア ARMO を用いて各筋肉の活動量及び関節周りの仕事量を算出した。その際の被験者の詳細は Table.3 に示す。Fig.8 に膝関節伸展に関わる筋活動量を示す。この結果から、得点の低い被験者は高い被験者と比べて、筋活動量が大きくなっている事が示された。

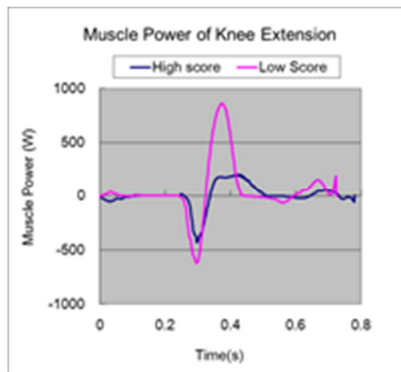


Fig.8 Simulation results of muscle power of knee joint

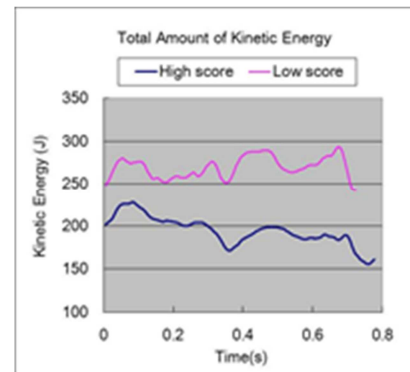


Fig.9 Simulation results of total amount of kinetic energy

Table.3 Detail information of subjects in validation

Score	BMI	Secure	Dynamic	Total
High	19.3	83	95	95
Low	19.8	50	71	52

3・6・2 身体重心まわりのエネルギー評価

Fig.9には、各身体セグメント毎の並進、回転の運動エネルギーの総和を計算した結果を示す。同じ速度での運動を行っているにもかかわらず、明らかに得点の低い被験者の方が、得点の高い被験者よりも大きなエネルギーを出力している事が分かった。

4. 考 察

「安全」「躍動感」といった定義が曖昧な評価用語を本実験では用いていたが、主成分分析により、複数の評価項目が非常に少ない項目に集約される事が分かった。これはそもそも、一般的に走りの評価で用いられる言葉の定義が曖昧であり、言葉同士が非常に近い意味を持っているということと、ランニング動作を描写する上で重要な項目は限定されている可能性があるということを示唆している。特に今回はランニング動作といった周期運動を扱っていることもあり、動作が連動することから評価項目に強い関係性があったと思われる。しかし、最終的に因子分析で選別したパラメータで構成した重回帰式の精度は非常に高く、人間の主観的な分析を客観的な動作解析データと結びつける事が出来たといえる。これらは過去の Williams ら⁽²⁾の結果とも類似している点もあり、対象とする被験者によってその応用範囲を広げる事が可能だと考えられる。

被験者グループ A より得られた重回帰式を、被験者グループ B へ適用した結果から、重回帰式が被験者、評価者によらず概ね当てはまる事が分かり、様々に環境の異なるランナーであってもこの式で評価できるという事が確認できた。運動効率の点において得点の高い動きはメリットがあることも確認でき、主観的に良いとされる動きは客観的視点から見ても良いと判断できることも分かった。これらは、コーチらが経験的に基づきランニングフォームを評価していた内容が客観的な面から見ても正しいという事を示していると言える。

5. 結 論

一般的に良いとされるランニングフォームがどのような動きであるかという点を、客観的な動作解析データと主観的な SD 法のアンケート結果とを結びつけることによって定量化する事が出来た。またそれら動作が運動効率の面でもメリットがあることも確認できた。本研究結果の重回帰式は、被験者や験者に寄らず適応できることも分かり、また、実際に重回帰式を構成するパラメータと指導者の指導内容が非常に一致している事実もあり、これらのことから、世の中の一般的なランニングフォームの論法やコーチの主観知見、向かうべき効率のよいランニングフォームは同じ方向性を持っているものであると言える。また、ランニングフォームを評価するに当た

り、評価すべき動作パラメータを限定できたことで、大掛かりな機材を配置できないような店頭でもランニングフォームを評価できるシステムを構築する事が可能となっている。実際、弊社では、店頭でカメラ2台を用いた動作解析システムによりランニングフォームを診断できる「F.O.R.M.」というシステムを既に稼働しており、ランナーの走り进行分析、アドバイスする上で非常に有効な手段となっている。今後は、現在稼働している「F.O.R.M.」によって継続的に得られるデータによって、ランナーの身体特性ごとの分類や国別、体型別の走りの特性を知ると共に、ランニング障害との関係を調査するなど、新しい可能性を検討していきたい。

文 献

- (1) Cavanagh PR and Kram R, "The efficiency of human movement-A statement of the problem". *Med Sci Sports Exerc*, (1985) Jun;17 (3) :304-308.
- (2) Williams K R, Cavanagh P R "Relationship between distance mechanics, running, economy, and performance". *Journal of Applied Physiology* (1987) Sep;63 (3) :1236-1245.
- (3) Morgan DW, Craib M. "Physiological aspects of running economy". *Med Sci Sports Exerc.* 1992 Apr;24 (4) :456-461.
- (4) Siler WL, Martin PE: "Change in running pattern during a treadmill run to volitional exhaustion: fast versus slower runners". *Int J Sports Biomech* (1991) July:12-28.
- (5) 阿江通良, 藤井範久: "身体運動における力学的エネルギー利用の有効性とその評価指数", *筑波大学体育科学系紀要19* (1996) : 127-137.
- (6) 榎本靖士, 阿江通良: バイオメカニクスから見た疲労 バイオメカニクスからみた長距離走における疲労, *バイオメカニクス研究 8巻2号* (2006) : 112-119.
- (7) 榎本 靖士; 阿江 通良; 藤井 範久; 岡田 英孝: 長距離走における力学的エネルギー利用の有効性, *日本体育学会大会号(47)*, (1996) -08 : 356.
- (8) 榎本 靖士; 阿江 通良; 岡田 英孝; 藤井 範久: 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術, *バイオメカニクス研究3* (1) / (1999) -03 : 12-19.
- (9) 榎本 靖士 バイオメカニクスからみたランニングフォームの評価と指導, *ランニング学研究 VOL.18 NO.2* (2006) -12 : 7-13.