

# ランニング・シューズの選択法と 使用限度の決定法に関する研究

東京工業大学 田中克昌  
(共同研究者) 同 宇治橋 貞幸

## Changes of Cushioning Characteristics and Sensory Evaluations of Running Shoes According to Running Distance Increases

by

Katsumasa Tanaka, Sadayuki Ujihashi  
*Department of Mechanical and  
Environmental Informatics, Graduate School  
of Information Science and Engineering,  
Tokyo Institute of Technology*

### ABSTRACT

Running shoe sole has an important role in absorbing the external impact forces that are transmitted from the running surface. In this study, the cushioning characteristics of running shoes were investigated by conducting mechanical tests and by analyzing distance runners' sensory evaluations. These tests and evaluations provide information on how mechanical properties on cushioning characteristics change in correlation with the change of sensory evaluations and how runners decide to stop using their shoes. Cushioning characteristics of shoe soles were measured by using the drop weight impact test system, which was made by considering the collision conditions between human heel and the running surface. This measurement was carried out at regular running distances. Running shoes were evaluated by rate of energy absorption and average Young's modulus, which were typical parameters given by the force and deformation

relationships derived from mechanical tests. At the same time, sensory evaluations of shoes were made based on the method of paired comparison, which compares new shoes with used shoes. As a result, criteria on which runners decided to stop using their shoes were dependent not on running distance but on the deterioration of mechanical properties, that is average Young's modulus and maximum load. Average Young's modulus and maximum load were respectively about 1.4 and 1.25 times those of new shoes.

## 要 旨

本研究は、ランニング・シューズに重要視される性能のひとつである緩衝特性に着目し、シューズの使用により緩衝特性がどのように変化するかを計測するとともに、人間の感覚による評価（官能評価）との相関を調べることにより、ランニング・シューズの使用限度に関する評価指標について考察することを目的としている。まず、ランナーに新品のシューズを使用させ、指定した走行距離間隔で、ランニングの着地時における衝撃条件にあわせた衝撃試験をシューズのリア・ソールに対して行った。同時に、ランナーには使用中のシューズを同じモデルの新品のシューズと比較させ、官能評価を行った。そして、衝撃試験から求めた力学パラメータと官能評価との相関を調べた結果、シューズの使用による官能評価の低下は緩衝特性の低下、特に平均ヤング率および最大荷重の変化と一定の相関があり、これらが使用限度の判定における指標のひとつとなることを実証した。

## 緒 言

ランニング・シューズには、衝撃緩衝性、安定性、フィット性、靴底のグリップ性、柔軟性、耐久性など、さまざまな性能があるが、これらの性能はシューズの使用とともに低下していく。シューズの性能が、どの程度低下しているかを示す具体的な判断基準はなく、その判断はランナーの感

覚のみで行われるのが現状である。そのため、ランナーがシューズの性能低下を感じつつも使用を続け、記録の低下や傷害の発生を招くことがある。これらを防ぐためには、シューズの的確な使用限度の判断となるような指標が必要となる。また、ランニング・シューズは、ランナーが直接身につけて使用することから、その評価にはランナーの感覚による評価が影響するため、単なる機械的な性能試験だけでなく、人間の感覚を考慮した評価も求められる。

そこで本研究では、ランニング・シューズに重要視される性能のひとつである緩衝特性に着目し、シューズの使用により緩衝特性がどのように変化するかを計測するとともに、人間の感覚による評価（官能評価）との相関を調べることにより、シューズの使用限度に関する評価指標について考察した。まず、ランナーに新品のシューズを使用させ、指定した走行距離間隔で、ランニングの着地時における衝撃条件にあわせた衝撃試験をシューズのリア・ソールに対して行った。同時に、ランナーには使用中のシューズを同じモデルの新品のシューズと比較させ、官能評価を行った。そして、衝撃試験から求めた力学パラメータと官能評価との相関を明らかにし、シューズの使用限度の判断となるような評価指標を求めることを試みた。

## 1. 実 験

### 1. 1 ランナーの選定とシューズの特性試験

官能評価を行うにあたり、評価者であるランナーについては、ランニング・シューズの性能に対して明確な考え方や敏感な感覚を持っていることが、解析精度を確保するために求められる。そこで、中長距離走を専門とするある一定レベル以上の8名の学生競技者をランナーすなわち評価者として選定した。

ランナーには、希望のシューズを1種類選ばせ、あらかじめ指定した走行距離間隔で、リア・ソールの衝撃試験を行った。計測間隔は使用開始から160kmまでは20km間隔で、その後は40km間隔とした。また、シューズの走行距離の増加による緩衝特性の変化とランナーによる官能評価との相関を調べるために、機械試験を行う際に同時に、ランナーによるシューズの性能についての官能評価を行った。これらの計測は、ランナーがシューズの使用限度と判断するまで行った。

### 1. 2 衝撃試験

比較的ゆっくりとしたスピード(3~4m/s)でのランニング時において、ランナーの足の踵がサーフェスに衝突するときの速度は約1m/sであり、また踵の着地による地面反力をフォース・プレートにより測定すると、垂直方向の最大衝撃荷重は約2kN、荷重持続時間は約20~40msと言われて

いる<sup>1)</sup>。

本研究では、踵の着地時の条件を再現するような図1に示す落錘式衝撃試験機を用いた<sup>2)</sup>。この試験機は電磁石により保持した落錘を、電源を切ることによりガイドに沿って落下させ、検査物に衝突させた際に生ずる荷重と変形を測定するものである。荷重の計測については、落錘に取り付けられたひずみゲージ式加速度変換器(共和電業社製, AS-10HB)により、その加速度と落錘質量から求めた。変位の計測については、非接触光学式変位計(Zimmer社製, 100F)を用いて落錘の動きを計測し、この波形を荷重計測と同期させることにより求めた。加速度変換器および光学式変位計からの電気信号はA/D変換器を介してコンピュータに収集した。

落錘は、約50mmの高さからシューズ・ソールの踵部に落下させ、質量は体重の1/3程度とするため、ランナーの体重に応じて17~20kgの間で変化させた。また衝突面は人の踵の大きさにあわせて、直径50mmの円形とした。

また、衝撃試験から測定した荷重の時間応答および変位の時間応答から時間を消去することにより、図2のような荷重-変形線図が得られる。この図より、シューズ・ソールの緩衝特性を表すと考えられる力学パラメータを次のように定義した。

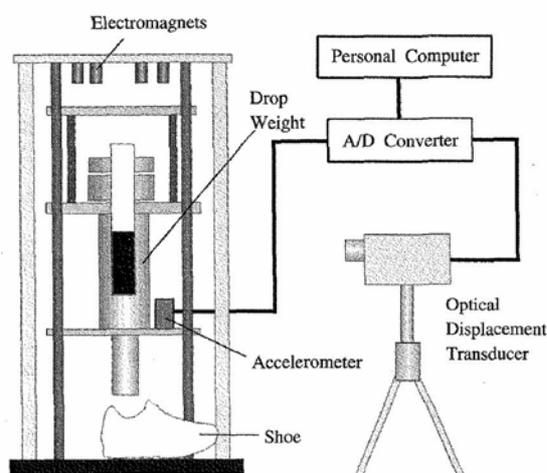


図1 The drop weight impact test system to measure the mechanical properties of shoe soles

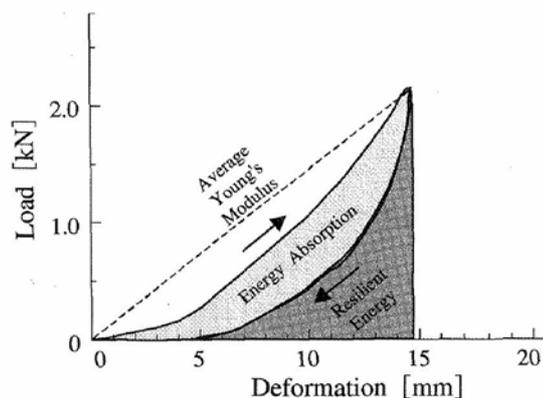


図2 Force and deformation relationship on shoes

- (1) (入力エネルギー)  
= (吸収エネルギー) + (回収エネルギー)
- (2) (エネルギー吸収率)  
= (吸収エネルギー) / (入力エネルギー)
- (3) (平均ヤング率)  
= (最大荷重) / (最大荷重時変形)

### 1. 3 官能評価

ランニング・シューズの走行距離による緩衝特性の変化が、ランナーのシューズに対する評価にどのような影響を与えるかを調べるために、人の感覚を数値化する必要がある。そこで、本研究では各ランナーが使用しているシューズと同一の新品のシューズとを一对比較する<sup>3)</sup>ことで評価した。その際に、評価対象シューズの機械試験より得られた結果については、ランナーには知らせないようにした。採点は、新品を最高の15点とし、新品に対する使用品の相対評価を、最低1点まで

の15段階の評点により数値化した。評価項目は総合評価、衝撃緩衝性、安定性の3項目とした。また、評価のばらつきを押さえるために、評価をする際には、シューズを走行する場所は毎回同じ場所のアスファルト・サーフェスを使用し、走速度や走行距離、評価を行う時間帯などの条件についても毎回同じとなるようにした。

## 2. 結果と考察

### 2. 1 走行距離による力学パラメータの変化

図3は、衝撃試験より得られた (a) 最大荷重, (b) 最大変形, (c) 平均ヤング率, (d) エネルギー吸収率が、ランニング・シューズの走行距離の増加によりどのように変化するかを、全8種類のシューズのうち4種類についてそれぞれ示したものである。いずれのシューズにおいても、ランナーが使用限度と判断した走行距離までの変化に

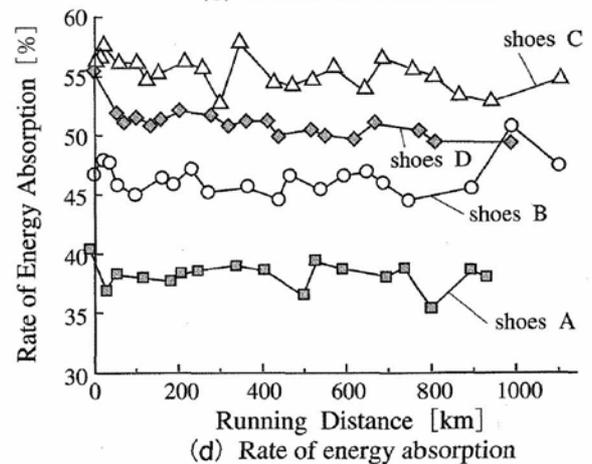
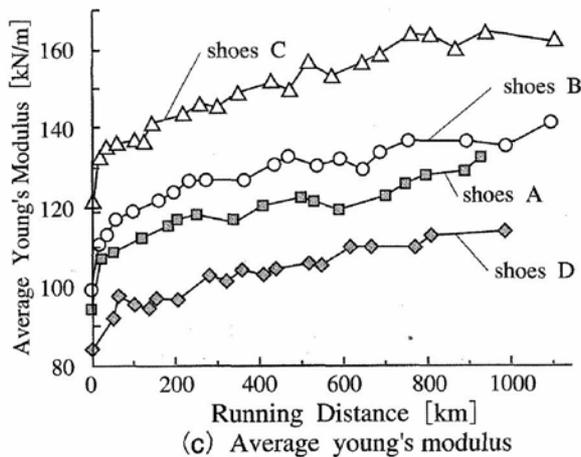
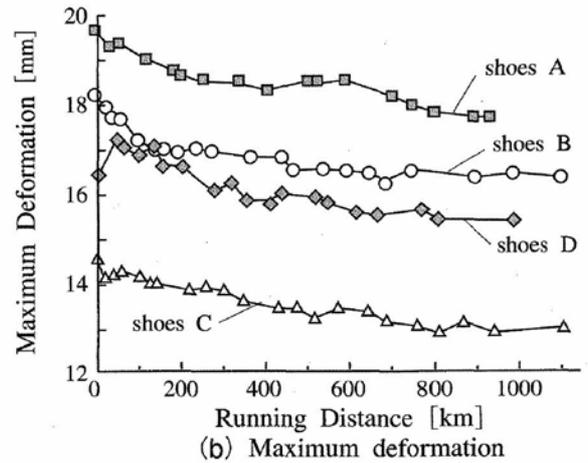
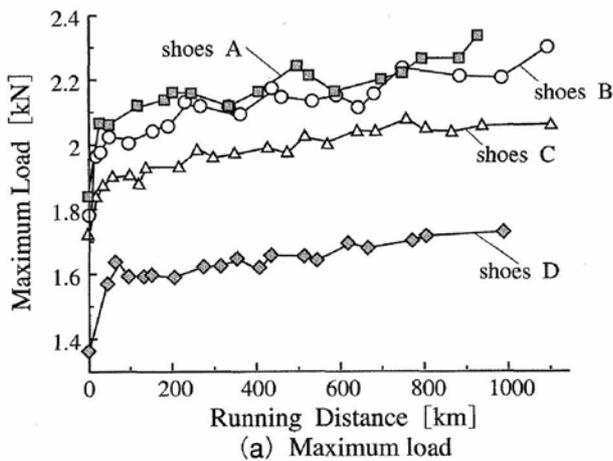


図3 Mechanical properties versus running distance on 4 running shoes

ついて示した。

図3(a)の最大荷重に関しては、使用開始から100km付近までに急激に上昇し、その後は直線的に緩やかに上昇する傾向となった。4つのシューズ間で比較すると、新品の状態では大きい方からA, B, C, Dの順であり、この順番は使用開始から使用過程そして使用限度と判断されるまで変わることなく推移した。

図3(b)の最大変形に関しては、使用開始から100km付近までに変形量が多いシューズ(B)もあったが、全体的には、走行距離が増加するとともに緩やかに直線的に減少する傾向となった。変化量は使用開始から使用限度と判断されるまでに2~3mmであった。

図3(c)の平均ヤング率に関しては、最大荷重の変化と同様の傾向を示しており、使用開始から100km付近までに急激に上昇し、その後は緩やかに上昇する傾向となった。また、平均ヤング率の値は、C, B, A, Dの順に大きく、この順番は使用開始から使用限度と判断されるまで変わらなかった。シューズBとCは、シューズ・ソールの変形量が小さいために、シューズAより最大荷重は小さいものの、平均ヤング率は大きくなり、硬いシューズ・ソールとなっていることがわかる。

図3(d)のエネルギー吸収率に関しては、シューズ間での違いはあるものの、走行距離の増加による大きな変化は見られなかった。このことから、エネルギー吸収率はシューズごとの特性の違いを示すパラメータとしては有効であるが、シューズの使用に伴って大きくは変化せず、使用限度に関する評価指標としては適さないと判断できる。

これら4つの力学パラメータにおける変化の傾向は、他の4種類のシューズについても同様であった。

また、走行距離の増加による各力学特性の変化の傾向は、シューズごとに異なるものの、使用開始時でのシューズごとの各値の順序は、使用限度

と判断されるまで変わることなく変化した。このことからシューズの力学特性の変化には、ランナーの体重や使用形態などのランナーに起因する影響も考えられるが、今回使用したシューズおよび選定したランナーにおいては、ランナーに起因する影響は少なく、シューズ自体がもつ力学特性が、大きく反映された結果になっていると推測できる。

## 2. 2 走行距離による緩衝特性の変化と官能評価との相関

図4は、衝撃試験から得られた最大荷重、最大変形、平均ヤング率の変化を、使用開始時の状態を1としたときの走行距離の増加による変化と、それに伴う総合評価および衝撃緩衝性評価に関する官能評価の変化について、全8種類のシューズのうち前節と同様に、シューズA, B, C, Dごとに示したものである。力学パラメータのうち、エネルギー吸収率については、走行距離の増加によって大きな変化が見られなかったため省略した。

4種類のシューズとも、最大荷重と平均ヤング率の変化の割合が大きく、特に平均ヤング率においては、最大荷重より増加の割合が大きくなった。

最大荷重と平均ヤング率の変化の割合と、ランナーによる衝撃緩衝性に関する官能評価の低下は、最大荷重や平均ヤング率の変化の割合が大きいほど、衝撃緩衝性の評価も大きく下がっており、一定の相関が確認できた。ここで、その相関の高さを検討するために、最大荷重および平均ヤング率と、ランナーによる衝撃緩衝性の評価との相関係数を1次の最小二乗法により算出した。表1は、図4に示した4種類のシューズ(A, B, C, D)について算出した相関係数と、これらの4種類を含めた全8種類のシューズにおける相関係数の平均値を示したものである。相関係数は、1に近いほどより相関が強いことを示している。シューズに

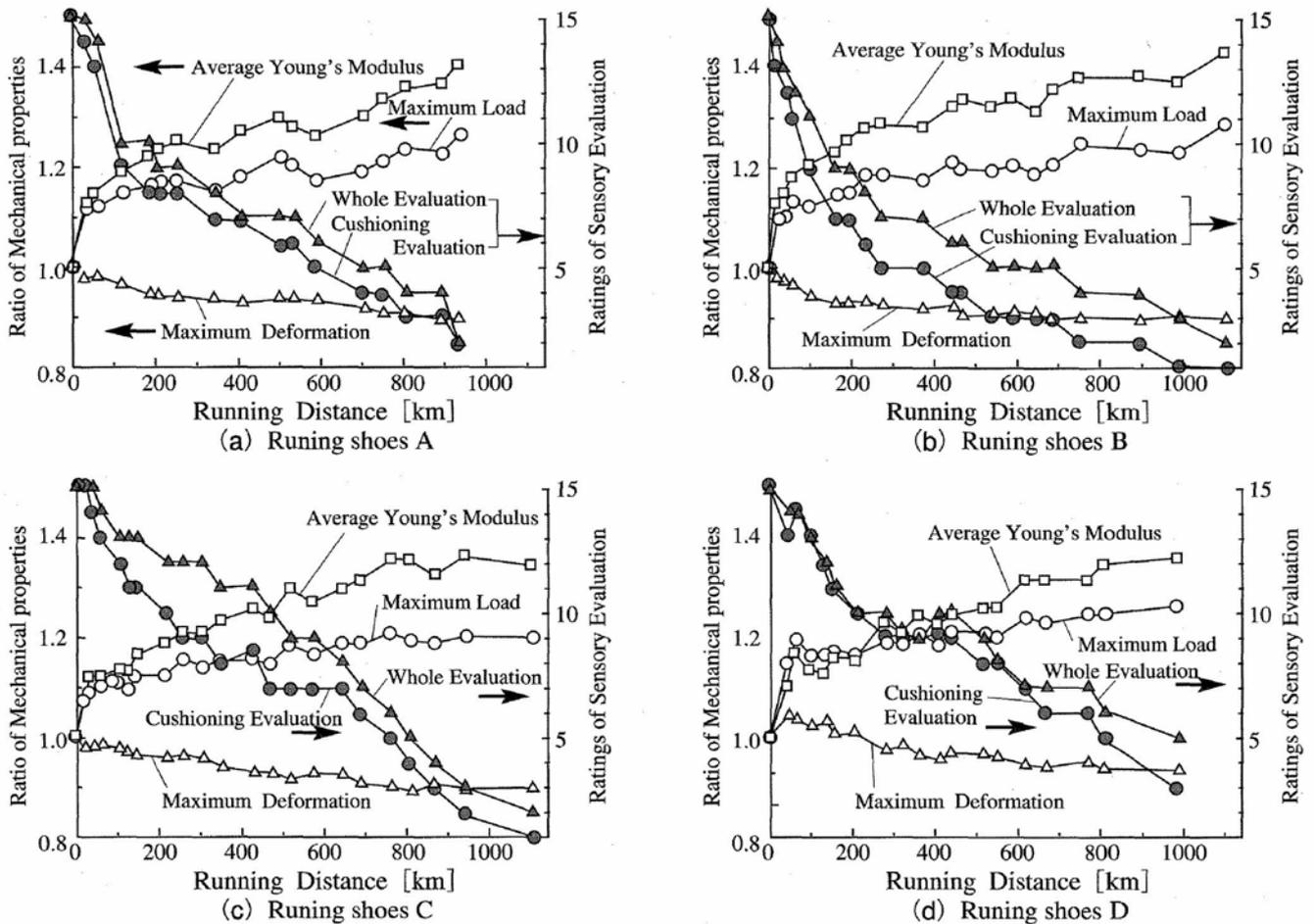


図4 Mechanical properties and sensory evaluations of running shoes versus running distance

表1 Correlation coefficients between mechanical properties and sensory evaluations

Running Shoes	Correlation with Maximum Load	Correlation with Average Young's Modulus
A	0.84	0.93
B	0.91	0.96
C	0.78	0.89
D	0.65	0.91
Average of 4 Shoes (A-D)	0.80	0.92
Average of 8 Shoes	0.79	0.91

表2 Ratios of mechanical properties

Running Shoes	Ratio of Maximum Load	Ratio of Average Young's Modulus	Running Distance [km]
A	1.27	1.40	940
B	1.28	1.43	1106
C	1.20	1.36	1110
D	1.26	1.36	992
Average of 4 Shoes(A-D)	1.25	1.39	1037
Average of 8 Shoes	1.25	1.38	999

よって相関係数にばらつきはあるものの、いずれのシューズにおいても、最大荷重よりも平均ヤング率との相関係数の方が大きくなっており、平均ヤング率が衝撃緩衝性の評価とより高い相関があることがわかった。

また、ランナーによる総合評価と衝撃緩衝性の評価は、同じような低下の傾向を示した。このことから今回採用したランナーは、使用限度の観点において、シューズの総合評価に衝撃緩衝性の評価が強く影響しており、シューズの評価に衝撃緩衝性を重視していると判断できる。

次に、表2は、各ランナーがシューズを使用限度と判断した走行距離における最大荷重および平均ヤング率の使用開始時に対する比と、図4に示した4種類 (A, B, C, D) を含めた全8種類のシューズの使用開始時に対する比の平均値を示したものである。ランナーがシューズの使用限度と判

断した走行距離での使用開始時に対する各力学パラメータの比は、平均ヤング率で1.4倍程度、最大荷重で1.25倍程度となった。走行距離の増加による各力学パラメータの変化の傾向は、シューズごとに異なるものの、使用限度と判断した走行距離での使用開始時に対する比は、ほぼ同じ値となった。これらの値のばらつきはシューズごとにあるものの、各ランナーが使用限度と判断した走行距離の違いほど大きくなかった。このことから、シューズの使用限度は単に走行距離だけで判断されるものではなく、シューズの力学特性の変化に大きく関係しているといえる。したがって、ランニング・シューズの的確な使用限度の判断をするために、性能評価を行うことが必要とされる。

### 3. 結論

本研究は、シューズに重要視される性能のひとつである緩衝特性に着目し、シューズの使用による緩衝特性の変化と、人間の感覚による評価との相関を調べることにより、シューズの使用限度に関する評価指標について考察した。得られた結論を以下に示す。

(1) 走行距離の増加によるランニング・シューズの緩衝特性の変化を継続的に調査することにより、シューズの緩衝特性は、使用開始から100km付近までに急激に低下することがわかった。また、シューズの緩衝特性の低下に関するパラ

メータとして、最大荷重と平均ヤング率を特定することができた。

(2) シューズの緩衝特性の低下とランナーによる官能評価の低下との相関から、官能評価の低下は、シューズの平均ヤング率および最大荷重の増加と一定の相関があることが明らかになった。特に、平均ヤング率が、シューズの使用限度の判断とより高い相関にあった。また、使用限度の観点から、ランナーはシューズの評価に衝撃緩衝性を重視していることが明らかになった。

(3) ランナーが使用限度と判断したシューズは、各力学パラメータの値が、使用開始時の値に対して平均ヤング率で1.4倍、最大荷重で1.25倍程度であり、使用限度は走行距離だけで判断されるものではないことを示した。

以上により、ランナーにシューズの使用限度の判断となるひとつの評価指標を提案することができた。

### 文献

- 1) B. M. Nigg ed.; *Biomechanics of running shoes*, Human Kinetics Publishers, 27-38 (1986)
- 2) S. H. Wooほか; ランニング・シューズの力学特性の計測と評価法, 日本機械学会論文集C編, 64, 623, 85-92 (1998)
- 3) 日科技連官能検査委員会編, 官能検査ハンドブック, 日科技連出版社 (1973)