

ヒトの表面粗さ弁別に及ぼす触運動速度の影響*

大岡昌博^{*1}, 川村拓也^{*2}
宮岡徹^{*3}, 三矢保永^{*4}

Human Tactile Sensation Capability for Moving Fine Step-Heights

Masahiro OHKA^{*5}, Takuya KAWAMURA,
Tetsu MIYAOKA and Yasunaga MITSUYA^{*5} Shizuoka Institute of Science and Technology, Dept. of Mechanical Engineering
Toyosawa 2200-2, Fukuroi, Shizuoka, 437-8555 Japan

The purpose of this study was to investigate the ability of the human tactile sense to discriminate fine step-heights depending on surface motion. In the previous paper, we reported the development of a device which enabled to present a fine step-height ranging 0-30 μ m while moving at a velocity ranging 0-60 mm/s. This device was applied to investigate the human tactile sensation capability for moving fine step-heights. Six human subjects touched various step-heights moving at two velocities of 20 and 40 mm/s, and judged which step-height was higher. As a result of the psychophysical tests, the subjective equalities and the difference thresholds for discriminating the moving step-heights were determined. The experimental results proved that the difference thresholds and the subjective equalities resulting from a step-height velocity of 40 mm/s are larger than those from 20 mm/s. This reveals that the velocity of the step-height affects the discrimination capability, and that the resolution and the accuracy are decreased with the increasing velocity of the step-height.

Key Words: Biomechanics, Robotics, Mechatronics, Measurement, Tactile Sensing, Fine Texture Recognition, Psychophysics, Threshold, Subjective Equality, Weber Fraction

1. 緒言

ヒトは、手で対象表面に触れることにより、表面の滑らかさ(ツルツルかザラザラか)を知ることができる。この滑らかさを認識する機構を解明して、ロボット・メカトロ機器に組み込み、材質感を認識させることができれば、ロボット・メカトロ機器による検査や認識処理を高度化できる。これまでも、粗さ判別における触運動の計測が用われ、粗さ判別力を高めるためには、判別試料間で押圧力、速度、方向などの触運動条件が一致している必要があることが示されている⁽¹⁾。ヒトの認識機構をロボット・メカトロ機器へ組み込むための数理モデルを定式化するためには、ヒトの触覚認識を定量的に調べた実験データをさらに蓄積することが必要である。

そこで、著者らはヒトの触覚の微小な刺激を認識する能力を知るために、振動刺激、凹凸刺激、あるいは段差刺激を被験者の指に与えて、その認識能力を測定

する心理物理実験を行い、これまでに、触覚に機械的振動刺激を与えたときには、0.2 μ mの振動を知覚できること、および精密研磨用フィルムを用いた凹凸刺激を与えたときには、粒子直径3 μ mの表面の凹凸まで弁別できることなどを明らかにしてきた⁽²⁾⁽³⁾。さらに前報では、ステップ状の段差刺激を用いて、刺激を動かさず指を動かして認識を行う能動的触覚と、指を動かさず刺激を動かして認識を行う受動的触覚との弁別能力を比較する実験を行って、その弁別精度に差が生じないことを明らかにした⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、ロボット・メカトロ機器への組み込みを目的として、ヒトの触覚認識の数理モデルを定式化するためには、上述の知見に加えて、被験者が感じている刺激の強さを定量的に計測する必要がある。

そこで本研究では、触覚認識の数理モデルの定式化のために必要となる触覚認識の動特性を得ることを目的として、移動速度の異なる刺激を被験者がどの程度の強さとして感じているのかを調べる実験を行った。本実験では、二つのステップ状の段差刺激をそれぞれ20 mm/sと40 mm/sの速度で左右に繰り返し運動させて、20代の男性6人の被験者に恒常法の実験手順に従って呈示し、どちらを高く感じるのかを判断させた。今回の実験で呈示した段差刺激の高さは、5.2, 6.0,

* 原稿受付 1998年12月28日。

^{*1} 正員、静岡理科大学 (☎ 437-8555 袋井市豊沢2200-2)。^{*2} 岐阜大学工学部 (☎ 501-1193 岐阜市柳戸1-1)。^{*3} 静岡理科大学。^{*4} 正員、名古屋大学工学部 (☎ 464-8603 名古屋市中種区不老町)。

E-mail: ohka@me.sist.ac.jp

6.8, 7.6, 8.4, 9.2, 10.0, 10.8, 11.6, 12.4, 13.2, 14.0, 14.8 μm の 13 種類であった。得られた被験者の回答をもとに、弁別精度を表す弁別しきい値と被験者が感じる刺激の強さを判定するために有効な主観的等価値を求めた。また、ヒトが段差刺激を認識するときに、段差の速度がヒトの触覚の認識に及ぼす影響を明らかにした。

2. 心理物理実験法

2.1 主観的等価値と弁別しきい値⁽⁶⁾ 刺激の強度とこれによって生じた感覚の大きさとの関係を調べるために、心理物理実験法を応用した。この実験から得られる主観的等価値と弁別しきい値は、感覚を計量するために一般的に使われている値であり、ヒトの触覚の認識機構を解明する上でも、貴重なデータである。以下では例を用いて、主観的等価値と弁別しきい値について説明する。

例えば、高さの異なる二つの段差を指で比較する実験を考える。二つの段差のうち標準とする段差の高さを δ_s 、比較する段差の高さを δ_c とする。これらをそれぞれ標準刺激、比較刺激と呼ぶ。標準刺激 δ_s の値を固定し、比較刺激 δ_c の値を小さい値から徐々に大きな値へと変化させる。このとき比較刺激 δ_c の値の各段階において、被験者にどちらの段差を高く感じるかについて判断を求める。ここで、 δ_c の値が小さいときには、被験者が比較刺激のほうが高いと判断する確率は低く、 δ_c の値が大きくなると、比較刺激のほうが高いと判断する確率は高くなる。ある標準刺激 δ_s に対してこの比較実験を数回行い、被験者が比較刺激 δ_c のほうが高いと判断した確率を求める。この確率を判断確率 P とする。この結果から、比較刺激の判断確率 P と刺激強度 S の関係を表す図 1 に示すような刺

激特性曲線 (S 字曲線) が得られる。この曲線から求められる判断確率 $P=0.25, 0.5, 0.75$ の比較刺激の強度 (本実験では段差の高さ) を、それぞれ $S_{0.25}, S_{0.5}, S_{0.75}$ とする。ここで、主観的等価値は、 $S_{0.5}$ の値として定義される。もし、標準刺激と比較刺激が同じ条件で呈示されるならば、主観的等価値の値 $S_{0.5}$ は標準刺激の大きさ δ_s と同じ大きさになる。しかし、本実験では、二つの段差を呈示するときの移動速度 v を、20 mm/s と 40 mm/s の 2 段階に設定するために、速度の大きさによって標準刺激の大きさ δ_s と主観的等価値 $S_{0.5}$ の間に差異が生じる可能性がある。この差異は、段差の移動速度がヒトの感じている段差の高さに与える影響の大きさに対応すると考えられる。

図 1 において、 $\Delta_U = S_{0.75} - S_{0.5}$ および $\Delta_L = S_{0.5} - S_{0.25}$ は、それぞれ上弁別しきい値および下弁別しきい値と呼ばれる。また、両者の平均値 $\Delta = (\Delta_U + \Delta_L)/2$ は弁別しきい値と呼ばれ、標準刺激の大きさ δ_s と比較刺激の大きさ δ_c のどちらが大きいかを判定しにくいときには大きくなる。すなわち、弁別しきい値 Δ は弁別精度を表す。弁別しきい値 Δ と刺激強度 S の比 Δ/S はウェーバ比と呼ばれ、弁別精度を比で表すときに用いる。この比は、視覚や触覚などの感覚では、刺激強度の大きさに関わらず一定値となる傾向を示すことが知られている。

2.2 恒常法⁽⁶⁾ 弁別しきい値と主観的等価値を測定するための心理物理実験法としては、恒常法、極限法、調整法などがある。これらのうち、恒常法では、刺激の大きさをランダムに呈示して、被験者に次に呈示する比較刺激の大きさを予測させないようにしている。このため、被験者が次に呈示される刺激を予測して回答するという危険性がない。そこで、本研究では恒常法を採用した。以下に恒常法の手順を例を挙げて説明する。

まず、刺激強度の差が等間隔である 4~7 種類の試料を用意する。次にこれらの刺激を標準刺激と比較刺激の刺激対となるように組合せて、ランダムに数十回繰返し呈示する。このとき刺激対を呈示するたびに、被験者に標準刺激と比較刺激のどちらが大きいか判断を求める。この実験から各標準刺激に対する S 字曲線を求め、主観的等価値、弁別しきい値を求める。

2.3 データ処理の手順⁽⁷⁾ まず、各標準刺激について比較刺激を大きいと感じる判断確率 P を計算し、S 字曲線を求める。次に、非線形な S 字曲線を線形関数を得られるようにデータ変換し、さらに測定誤差を小さくするために最小二乗法を適用し、主観的等価値および弁別しきい値を決定する。

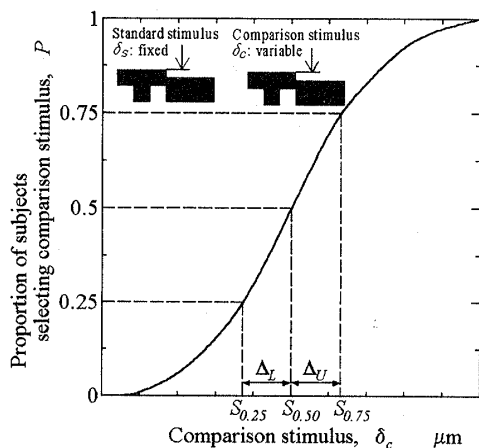


Fig. 1 An example of discrimination characteristic curve

よく知られている S 字状の曲線としては、標準正規分布関数がある。ここでは、これを用いて、主観的等価値および弁別しきい値を計算する方法について説明する。標準正規分布関数は、次式で表すことができる。

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^Z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \dots\dots\dots (1)$$

ここで Z は、標準得点と呼ばれる値である。ある標準刺激を δ_s 、比較刺激を δ_c とおくと、 δ_s より δ_c を大きいと判断する判断確率 $P(\delta_c > \delta_s)$ は、

$$P(\delta_c > \delta_s) = F(Z) \dots\dots\dots (2)$$

と表せる。ここで F の逆関数を求めれば、

$$Z = F^{-1}\{P(\delta_c > \delta_s)\} \dots\dots\dots (3)$$

から Z を求めることができる。このとき正規分布表を用いれば、各判断確率 P に対応する標準得点 Z を求めることができる。

さらに、比較刺激の大きさ δ_c と判断確率に対応する標準得点 Z の間には

$$Z = A + B\delta_c \dots\dots\dots (4)$$

と表される線形関係が成り立つことが知られている。ここで A と B は未知係数であり、これらを決定すれば、主観的等価値 $S_{0.5}$ および弁別しきい値 Δ を求めることができる。以下に、最小二乗法により A と B を計算する方法を示す。

\bar{Z} 、 $\bar{\delta}_c$ をそれぞれ標準得点と比較刺激の平均値とする。また、 n 個の比較刺激 $\delta_{ci} (i=1 \sim n)$ について、標準得点 Z_i が求めたとすると

$$A = \bar{Z} - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ci} Z_i - \bar{\delta}_c \bar{Z}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ci}^2 - \bar{\delta}_c^2} \bar{\delta}_c \dots\dots\dots (5)$$

$$B = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ci} Z_i - \bar{\delta}_c \bar{Z}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ci}^2 - \bar{\delta}_c^2} \dots\dots\dots (6)$$

となる。式(5)と(6)の値を式(4)に代入して、 $Z =$

$-0.6745, 0, 0.6745$ のときの δ_c の値をそれぞれ計算すれば、それらの値が $S_{0.25}, S_{0.5}, S_{0.75}$ を与える。ここで、主観的等価値は $S_{0.5}$ 、弁別しきい値は $\Delta = (S_{0.75} - S_{0.25})/2$ で与えられる。

3. 実験装置

本研究では前報⁽⁴⁾⁽⁵⁾で開発した図2に示す実験装置を用いた。この実験装置は、0~30 μm の任意の段差刺激を呈示する機構と、この機構を左右に繰返し移動させる X テーブル駆動機構から構成される。

段差刺激を呈示する機構は、SUS 420 J₂ ステンレス鋼板、PZT アクチュエータ、微小変位センサ、ペルチエ素子、超精密 Z ステージなどから構成される。超精密 Z ステージおよび PZT アクチュエータを組み合わせることにより、二枚突き合せたステンレス鋼板の上面に、0~30 μm の微小段差を呈示することができる。また変位センサを用いて段差刺激の高さを読み取り、目標値からの偏差をコンピュータで計算し、アクチュエータの駆動回路にフィードバックすることによって、段差刺激の高さを 0.2 μm の送りピッチで制御する。さらにペルチエ素子を用いることにより、段差刺激の温度を約 8~50°C の範囲で加熱、冷却することができる。

この段差呈示機構をモータ駆動できる X テーブルの上に搭載することによって、段差刺激を任意の速度で左右に動かすことができる。移動速度はコンピュータを用いて制御する。なお、段差刺激を反復移動させるため、移動時間には加速時間と減速時間が含まれる。このため、加減速に要する時間と一定速で移動する時間を合計した時間と反復移動する距離とから計算した平均速度を刺激の移動速度の代表値とする。

本実験では、段差刺激を移動速度 $v=20, 40 \text{ mm/s}$ で反復移動させた。また被験者は、金属板の中央に開けられたおよそ 10×20 mm の指先形の穴から、指の腹により段差刺激を押圧することによって段差を弁別した。なお、上述の移動速度は、被験者が段差試験片を自由に触る場合に観察された移動速度の最小と最大値から決定した。

4. 実験方法

ヒトが段差刺激を弁別するときには受ける段差刺激の移動速度の影響を評価するため、恒常法の手順に基づいて、受動的触知覚によって段差を弁別する実験を行った。本実験では、標準刺激として、 $\delta_s=7.6, 8.4, 9.2, 10.0, 10.8, 11.6, 12.4 \mu\text{m}$ の 7 種類の段差を用い、比較刺激として、 $\delta_c=5.2, 6.0, 6.8, 7.6, 8.4,$

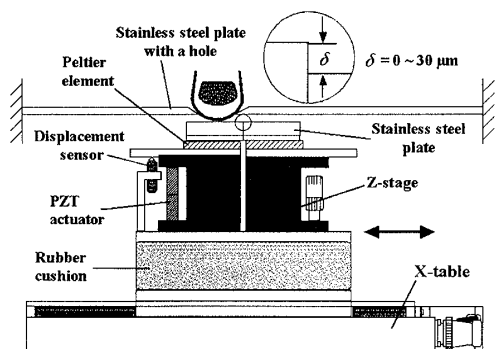


Fig. 2 Experimental apparatus comprising step-height presentation mechanism and X-table driving mechanism

9.2, 10.0, 10.8, 11.6, 12.4, 13.2, 14.0, 14.1 μm の 13 種類の段差を用意した。各標準刺激に対して、その高さが中心値になるように、0.8 μm 刻みの比較刺激を七つ組合せた。例えば、標準刺激 $\delta_s = 7.6 \mu\text{m}$ に対しては、 $\delta_c = 5.2, 6.0, 6.8, 7.6, 8.4, 9.2, 10.0 \mu\text{m}$ の 7 種類を呈示した。したがって、刺激対の数は $7 \times 7 = 49$ とおりである。また、標準刺激と比較刺激の高さが同じ場合は 2 回呈示したので、呈示回数の合計は 56 とおりとなる。

20 代の男性 6 人の被験者に対して 56 とおりの刺激対を弁別させる実験を、一人について各 10 回行った。汚れを取るために、実験の開始前に段差刺激を呈示するステンレス鋼板を消毒用のエタノールで洗浄した。さらに被験者には、指についた汗、汚れなどを取るために、指を石鹸とエタノールで洗浄させた。

本実験では、6 人中 3 人には最初に移動速度 $v = 40 \text{ mm/s}$ の段差刺激を呈示し、その後 $v = 20 \text{ mm/s}$ の段

差刺激を呈示した。残りの 3 人には、逆に最初に $v = 20 \text{ mm/s}$ の段差刺激を呈示し、その後 $v = 40 \text{ mm/s}$ の段差刺激を呈示した。この $v = 20, 40 \text{ mm/s}$ の段差刺激を呈示する順序を各人ごとに決めて、各人 10 回の実験を通して変えなかった。また被験者には 56 とおりの刺激対をランダムに呈示した。

ランダムに呈示する 2 種類の段差刺激を右手の人差し指で触れさせて、高いと感じたほうに対応するスイッチを押させた。このとき、微小な段差の差異をできるだけ確度よく弁別させるために、「わからない」あるいは「同じ」という回答を認めなかった。回答の後で、一組の刺激対の弁別が終了するごとにスイッチを点灯させて、どちらが大きな段差刺激であったのかを被験者に知らせた。このとき標準刺激と比較刺激の高さが等しいときには、被験者の選択した段差刺激に対応したスイッチを点灯させた。また段差刺激に触れる

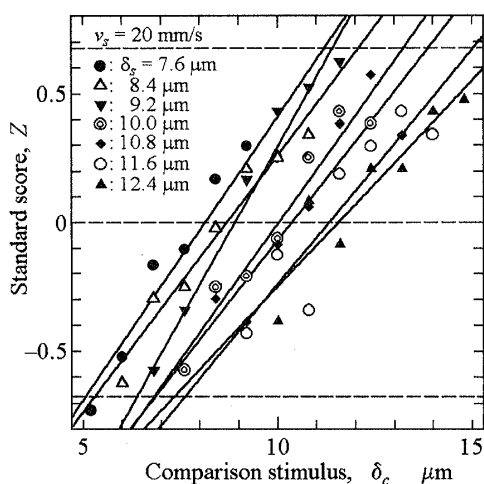


Fig. 3 Standard score for a standard stimulus velocity of $v_s = 20 \text{ mm/s}$

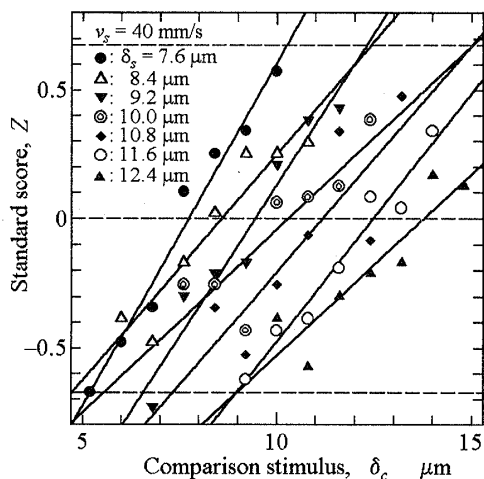


Fig. 4 Standard score for a standard stimulus velocity of $v_s = 40 \text{ mm/s}$

Table 1 Coefficients of correlation

Standard stimulus velocity: $v_s = 20 \text{ mm/s}$		Standard stimulus velocity: $v_s = 40 \text{ mm/s}$	
Standard step-height (μm)	Coefficient of correlation	Standard step-height (μm)	Coefficient of correlation
7.6	0.96	7.6	0.99
8.4	0.98	8.4	0.95
9.2	0.98	9.2	0.97
10	0.97	10	0.87
10.8	0.91	10.8	0.84
11.6	0.90	11.6	0.98
12.4	0.92	12.4	0.91

Table 2 Subjective equality, threshold and Weber fraction

Standard stimulus velocity: $v_s = 20 \text{ mm/s}$

Standard step-height (μm)	Subjective equality (μm)	Threshold (μm)	Weber fraction
7.6	8.13	3.07	0.40
8.4	8.68	3.39	0.40
9.2	8.89	2.52	0.27
10	10.02	3.21	0.32
10.8	10.36	3.52	0.33
11.6	11.32	3.72	0.32
12.4	11.56	4.23	0.34

Table 3 Subjective equality, threshold and Weber fraction

Standard stimulus velocity: $v_s = 40 \text{ mm/s}$

Standard step-height (μm)	Subjective equality (μm)	Threshold (μm)	Weber fraction
7.6	7.72	2.53	0.33
8.4	8.57	3.85	0.46
9.2	9.43	2.87	0.31
10	10.28	4.74	0.47
10.8	11.16	3.85	0.36
11.6	12.46	3.51	0.30
12.4	13.76	4.81	0.39

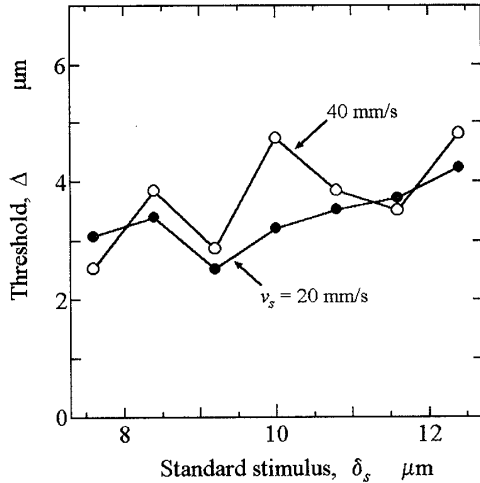


Fig. 5 Threshold for standard stimulus velocities of $v_s=20$ and 40 mm/s

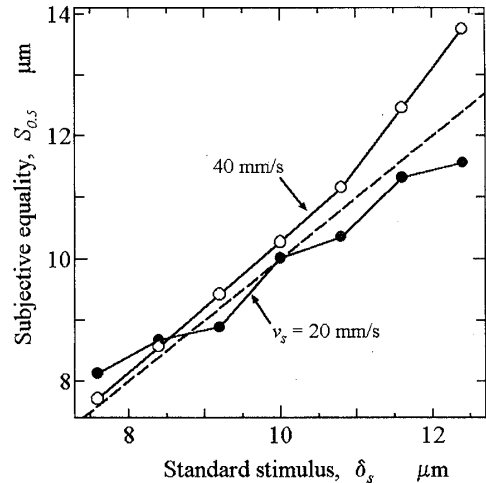


Fig. 7 Subjective equality for standard stimulus velocities of $v_s=20$ and 40 mm/s

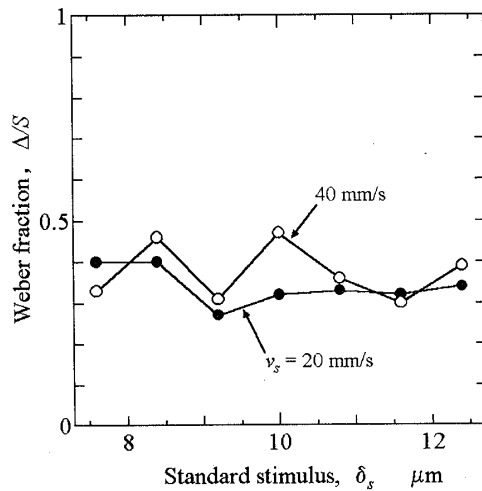


Fig. 6 Weber fraction for standard stimulus velocities of $v_s=20$ and 40 mm/s

時間は、被験者の自由にまかせた。

なお今回の実験は、室温 $23\sim 28^\circ\text{C}$ 、試料温度 $36\sim 37^\circ\text{C}$ の条件で行った。

5. 実験結果

心理物理実験の結果をもとに、各標準段差刺激 δ_s について、比較刺激 δ_c を大きいと判断した判断確率 P を計算して、前述の比較刺激 δ_c と標準得点 Z の関係から主観的等価値を求めた。

標準刺激の移動速度 $v_s=20$ mm/s、比較刺激の移動速度 $v_c=40$ mm/s のとき、およびこの逆の組合せ ($v_s=40$ mm/s、 $v_c=20$ mm/s) のときの標準得点 Z の測定結果をそれぞれ図3と4に示す。

これらの図からわかるように、実験データにばらつきが見られるので、相関係数を計算してデータの信頼性について検討した。実験データから計算した相関係数を表1に示す。この計算結果から、標準刺激の段差

の高さ $\delta_s=10.0$ μm 、移動速度 $v_s=40$ mm/s のとき、および $\delta_s=10.8$ μm 、 $v_s=40$ mm/s のときの相関係数は、それぞれ 0.87 、 0.84 となって、実験値との偏りが他と比較して若干大きい。しかし、その他の標準刺激の相関係数は 0.9 を超えており、確度は十分に高いとみなせる。

次に、図3と4から判断確率 $P=0.25$ 、 0.5 、 0.75 に対応する $Z=-0.6745$ 、 0 、 0.6745 のときの δ_c の値をそれぞれ計算して、主観的等価値 $S_{0.5}$ 、弁別しきい値 Δ 、およびウェーバー比 Δ/S の値を計算した。計算結果を表2と3に示す。

6. 考察

6.1 弁別しきい値に及ぼす段差の移動速度の影響
表2と3で求めた弁別しきい値 Δ 、およびウェーバー比 Δ/S の値をそれぞれ図5と6に示す。表1に関連して述べたように、 $v_s=40$ mm/s、 $\delta_s=10.0$ μm のとき、および $v_s=40$ mm/s、 $\delta_s=10.8$ μm のときの相関係数は、それぞれ 0.87 、 0.84 であるために他に比べて若干ばらつきが大きい。

著者らは、能動的触知覚と受動的触知覚との弁別能力を比較する実験を行い、 10 μm の段差では両者の間に差が認められないことをすでに示した⁽⁴⁾。本実験では、より広範囲の段差の高さについて、刺激の移動速度が異なるときの弁別しきい値 Δ を求めた。図5に示すように、 $v_s=40$ mm/s のときの弁別しきい値 Δ と $v_s=20$ mm/s のときの Δ とでは、 $v_s=40$ mm/s のときの値が若干大きい。この結果から、刺激の移動速度の違いが弁別能力に影響を及ぼして、 $v_s=20$ mm/s のときに比べ、 $v_s=40$ mm/s のときのほうが弁別精度が落ちることがわかった。

また図6に示すように、ウェーバー比の値は段差の

高さ $9.2\ \mu\text{m}$ 以上でほぼ一定となっている。ウェーバー比は、刺激が十分に大きければ刺激の大きさにかかわらず一定値となることが知られているために、段差の高さが $10\ \mu\text{m}$ あたりから刺激を十分に知覚できているといえる。一方、段差の高さが $9.2\ \mu\text{m}$ 以下になると、触覚の感覚器の神経発射率が少ないために刺激を十分に知覚できず、ウェーバー比が大きくなる傾向があることもわかる。

6.2 主観的等価値に及ぼす段差の移動速度の影響
表2と3で求めた主観的等価値 $S_{0.5}$ と標準刺激 δ_s の関係をプロットして図7に示す。これより、主観的等価値についてみると、標準刺激の高さが $\delta_s = 7.6 \sim 10.0\ \mu\text{m}$ と刺激レベルが低いときには、 $v_s = 40\ \text{mm/s}$ と $v_s = 20\ \text{mm/s}$ とでは、ほとんど差がないことがわかる。しかし、 $\delta_s = 10.8 \sim 12.4\ \mu\text{m}$ と刺激レベルが高いときには、主観的等価値の差は刺激が大きくなるにつれて大きくなることがわかる。したがって、段差の高さがおよそ $10\ \mu\text{m}$ より大きいときには、段差を弁別するときに段差の移動速度が異なると、その移動速度の影響を受けて異なる高さと感じ、段差の高さが大きくなるほど、段差の移動速度の影響は大きくなることが明らかとなった。

また図7中の破線は、標準刺激 δ_s と主観的等価値 $S_{0.5}$ が等しい場合を表す。この図から明らかのように、 $\delta_s = 10\ \mu\text{m}$ より大きいときには●と○は破線から離れる傾向にある。すなわち、 $v_s = 40\ \text{mm/s}$ 、 $v_c = 20\ \text{mm/s}$ のときには、 $S_{0.5}$ は δ_s より大きい。逆に、 $v_s = 20\ \text{mm/s}$ 、 $v_c = 40\ \text{mm/s}$ のときには、 $S_{0.5}$ は δ_s より小さい。このことから、被験者は段差の移動速度が速いときの刺激を遅いときの刺激より大きく感じていることが明らかとなった。

以上の実験結果から、ヒトは段差刺激の移動速度が異なると同じ高さの段差を異なった高さで判断する傾向にあること、この傾向は段差の高さが大きくなるほど強くなることなどがわかった。

機械受容単位は受容器と脳細胞から構成されているために、上述の傾向の原因としては受容器が埋め込まれている皮膚の機械的性質と神経回路の信号処理特性の二つの要因が関連すると思われるが、今後の検討が必要である⁽⁸⁾。

7. 結 言

ヒトの表面粗さ弁別機構を解明するために、刺激の移動速度がヒトの表面粗さ弁別能力に与える影響を定量的に明らかにする実験を行った。この実験から、段差を異なる速度で移動させたとき、この触運動速度が

弁別しきい値と主観的等価値に及ぼす影響を明らかにした。以下に得られた結果を要約する。

(1) 触覚認識の数理モデルの定式化のために必要となる触覚認識の動特性を得るために、標準段差刺激と比較段差刺激を異なる移動速度で呈示して、これらの段差を受動的触知覚によって弁別したときの弁別しきいおよび主観的等価値を精度よく求める心理物理実験を構成した。

(2) 弁別しきい値については、移動速度が $40\ \text{mm/s}$ の段差を標準刺激としたときと $20\ \text{mm/s}$ の段差を標準刺激としたときとでは、 $40\ \text{mm/s}$ の段差を標準刺激としたときのほうが若干大きくなった。この結果から、刺激の移動速度の違いが弁別能力に影響を及ぼして、移動速度が $20\ \text{mm/s}$ の段差よりも、 $40\ \text{mm/s}$ の段差のときのほうが弁別精度が悪くなることが明らかとなった。

(3) 主観的等価値については、移動速度が $40\ \text{mm/s}$ の段差を標準刺激としたときと $20\ \text{mm/s}$ の段差を標準刺激としたときとでは異なる値を示した。この結果から、段差の高さを認識するときに段差の移動速度が異なると、その移動速度の影響を受けて移動速度が速いほうを大きく感じる事が明らかとなった。

最後に、本研究の実施にあたり、被験者として協力していただいた名古屋大学三矢研究室の学生、板橋達也、神谷正人、高柳旬一、中山賢一、毛利行宏の各氏に謝意を表す。

文 献

- (1) 赤松幹之・貞本洋一、表面あらさ判別における触運動の役割(触運動の速度・押圧力・運動方向の影響)、人間工学, 25-3(1989), 183-191.
- (2) 宮岡徹、触覚における超微細表面粗さ弁別、静岡理工科大学紀要, 創刊号(1992), 43-49.
- (3) 宮岡徹・大岡昌博・川村拓也・三矢保永、滑らかさ認識の触覚情報処理機構、ロボティクス・メカトロニクス講演会 '96, B(1996), 803-806.
- (4) Kawamura, T., Ohka, M., Miyaoka, T. and Mitsuya, Y., Measurement of Human Tactile Sensation Capability to Discriminate Fine Surface Textures Using a Variable Step-height Presentation System, Proc. 5th IEEE Int. Workshop Robot Human Comm., (1996), 274-279.
- (5) 大岡昌博・宮岡徹・川村拓也・三矢保永、可変段差呈示装置によるヒトの表面粗さ弁別能力試験、機論, 64-625, C(1998), 3534-3540.
- (6) 武藤真介、計量心理学, (1982), 10-15・26-47, 朝倉書店.
- (7) 市川伸一、心理測定法への招待, (1991), 160-163, サイエンス社.
- (8) 大岡昌博・宮岡徹・川村拓也・三矢保永、ヒトの触覚による表面粗さ弁別機構の数理モデル、日本機械学会第75期通常総会講演会, (1998), 260-261.