触微細表面粗さ認識における空間的加重機構

宮岡 徹 (静岡理科大学知能情報学科)

Spatial summation mechanisms in fine texture discrimination tasks

Tetsu Miyaoka (Shizuoka Institute of Science and Technology)

1. はじめに

対象表面の滑らかさ・粗さの程度を触覚により知ることを、触微細表面粗さの認識という。宮岡は、この触微細表面粗さ認識に空間的加重現象のみられることを発見した¹⁾。空間的加重とは、刺激面積を増大させると検出閾値・弁別閾値が小さくなる現象である。

宮岡の実験は明瞭な空間的加重を見いだしたものの、刺激に若干の難点を含んでいた。そこで本研究では、この点を改良し、微細表面粗さ認識における空間的加重を精密に測定することを目的とした。また、空間的加重の出現機構について推定することも本研究の目的であった。

2. 方法

被験者：20歳代の男子2名、女子2名、40歳代の男子1名、計5名が実験に参加した。20歳代の男子1名、女子2名は心理物理実験未経験者であった。他の被験者は心理物理実験の経験を有していた。

刺激：刺激には6種類の精密研磨紙を用いた。カタログ値によれば、6種類の精密研磨紙の粒子直径はそれぞれ $1\mu\text{m}$ (#8000)、 $3\mu\text{m}$ (#4000)、 $5\mu\text{m}$ (#3000)、 $9\mu\text{m}$ (#2000)、 $12\mu\text{m}$ (#1200)、 $30\mu\text{m}$ (#600) であった。精密研磨紙の表面状態については、走査電子顕微鏡 (JM5400) を用いた観察により各刺激の

最大粒子直径がカタログ値を満たしていることを確かめた。これらの精密研磨紙を $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ (25mm^2)、 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ (100mm^2)、 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ (400mm^2) の大きさにカットし、 $20\text{mm} \times 40\text{mm}$ のステンレス片上に1枚ずつ貼り付けて刺激として用いた。

なおステンレス片の厚みは 10mm であった。実験に用いたステンレス片の表面凹凸は $\pm 0.5\mu\text{m}$ であった。

装置：実験装置は刺激温度制御部と皮膚温度制御部から構成されていた。両部分ともアルミニウム製の中空構造であり、恒温水循環装置 (YAMATO CTE82W) に接続されて $5\sim 45^\circ\text{C}$ の範囲で温度コントロールできるようになっていた。刺激を貼り付けたステンレス片は刺激温度制御部に並べられ、一定温度に保たれた。実験時には、これら刺激片から当該刺激組を選び、刺激温度制御部内の刺激提示位置に装着した。

実験手続き： $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 、 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ の3種類の刺激セットについて、それぞれ恒常法の実験手続きに従い表面粗さ弁別実験を行なった。被験者はアイマスクをかけて利き手の母指球で刺激に触れ、左右の刺激のどちらを粗く感じるかを2肢強制選択法で答えた。刺激上で手掌を動かす速度は被験者の自由にまかせた。1試行の判断時間は20秒を上限とし、20秒経過しても判断が得られない場合は警告を与えた。各試行間隔は20秒とした。

$5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 、 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ の3種類

の刺激セットとも左右の刺激の組み合わせ方は42種類であった。被験者はこのすべての種類につき10回の試行を行なったので、本実験における各被験者の総実験試行数は $3 \times 42 \times 10 = 1260$ 回であった。

実験の際、刺激温度制御部と皮膚温度制御部の温度は 30°C に保たれた。この温度では皮膚機械受容器の感度低下は観察されない。

3. 結果

$5\text{mm} \times 5\text{mm}$ (25mm^2), $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ (100mm^2), $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ (400mm^2) の3刺激セットごとに、42種類の刺激組のそれぞれについて被験者データの平均値を求めた。便宜上、1組の刺激中の一方を標準刺激、他方を比較刺激と定め、各標準刺激ごとに弁別特性曲線を算出した。典型的な弁別特性曲線は、通常S字状のカーブとなる。 400mm^2 の刺激の場合、弁特性曲線はこの典型的なパターンとなり、刺激相互の弁別が比較的容易であったことを示した。これに対し、刺激面積が 100mm^2 、 25mm^2 と減少するにつれ、弁別特性曲線は次第に平坦となり、弁別精度は低下した。これは刺激面積が減少すると弁別が次第に困難になること、すなわち空間的加重が存在することを明瞭に示すものであった。

標準刺激粒子直径が $3\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ の範囲で弁別閾を求めたところ、 400mm^2 の刺激では弁別閾は $3.14\mu\text{m} \sim 5.58\mu\text{m}$ となった。また、 100mm^2 の刺激では、弁別閾は $11.3\mu\text{m} \sim 13.5\mu\text{m}$ となった。 25mm^2 の刺激の場合は、弁別特性曲線が平坦となったため弁別閾を求めることはできなかった。Weber比を求めた結果をFig. 1に示す。Fig. 1の横軸は標準刺激の粒子直径、縦軸はWeber比をあらわす。なおAは粒子直径、 ΔA は弁別閾値である。図中の□印は 400mm^2 の刺激について求められたWeber比、+印は 100mm^2 の刺激について求められたWeber比となっている。Weber比はその値が小さくなるほど弁別力が高いことを示す。

4. 考察

本実験結果から、Fig. 1に示すように明瞭な空間的加重現象が観察された。すなわち、刺激面積が大きくなると弁別閾値 (Weber比) が小さくなった。

この現象は、例えば次のようなモデルにより説明できる。今、被験者が刺激Aと刺激Bを弁別する課題を考える。1個の皮膚機械受容器のA、B両刺激に対する発火差が一定値以上である確率を p とおく。被験者がA、Bを弁別するためには、発火差が一定値以上である機械受容器が少なくとも x 個必要であるとすれば、求める弁別確率 $P_{d.c.m.}$ は

$$P_{d.c.m.} = \sum_{i=x}^n n C_i p^i (1-p)^{n-i}$$

となる。 400mm^2 、 100mm^2 の刺激では、 $n > x$ で弁別可能であったが、 25mm^2 の刺激ではほぼ $n \leq x$ で弁別できなかったことになる。

引用文献

- 1) 宮岡徹, 第21回感覚代行シンポジウム論文集, 43-46, 1995.

謝辞：本研究の実施に際しては静岡理工科大学学生鈴木雅志の協力を得た。また本研究は科学研究費補助金07610093及び御器谷科学技術財団奨学寄付金の補助を受けた。

Fig. 1 本実験データから計算されたWeber比