研究論文: 論文

コンピュータグラフィックによる色球体の重さ感における伝達情報量

徳山孝子*, 田島英和**, 上條正義**, 佐渡山亜兵**, 清水義雄**

*岐阜女子大学 家政学部, **信州大学 繊維学部

TRANSMITTED INFORMATION IN JUDGING COMPUTER-GRAPHICS-BASED COLORED WEIGHTS

Takako TOKUYAMA*, Hidekazu TAZIMA**, Masayoshi KAMIJO**,
Tsugutake SADOYAMA** and Yoshio SHIMIZU**

**Faculty of Home Economics, Gifu Women's University, 80 Taromaru Gifu-shi 501-2592 Japan*

***Faculty of Textile Science and Technology Shinshu University, 3-15-1 Tokida Ueda-shi, Nagano 386-8567 Japan*

Abstract: As a means of basic research into perception in a virtual world, how weight is perceived in virtual space was quantitatively represented using an information theory. A comparison was made between the psychological sensation humans receive from computer-graphics-based colored balls and the sensation of physical weight they feel when they lift balls in the hands.

The difference in judgments of apparent weight of the CG representations and the sensation of weight of the balls physically held in the hands as they were being viewed was quantitatively represented in terms of the amount of transmitted information to perception. As a result, transmitted information on the sensation of weight for CGL judgment was 0.73 bit, whereas that for CGL&H judgment was 0.20 bit. Comparison of how weight is perceived in real space and virtual space, which was made on the basis of CGL judgment (0.73 bit), L judgment (0.43 bit) and I judgment (0.60 bit), showed that perception tended to be more ambiguous in virtual space than in real space. In other words, in virtual space, subjects didn't feel a clear difference in weight among the different colors. The same trend was observed for CGL&H judgment (0.20 bit), L&H judgment (0.12 bit) and I&H judgment (0.16 bit), under which subjects were also requested to physically hold balls in the hands.

It was thus suggested that it is possible to quantitatively represent judgments of weight in virtual space and that the sensation of weight of an object can be controlled by colors and luster, which can be applied to artificial reality technology.

Keywords: Computer-Graphics-Based, Color, Perception of the weight, Weight sensation

1. 緒言

現在、アパレル分野においてインターネットを利用した人工現実感による仮想ショッピングシステムなどの電子商取引システムの実用化に向けた研究が行なわれている[注1]。この仮想ショッピングシステムにおいては、布地の粗さや重さなどを仮想的に伝える触覚ディスプレイを用いたシステムの作成が必要になってくる。このようなシステムは人工現実感の技術に応用したものである。この技術はユーザーと計算機の間に情報交換路をつくりあげ、人間が仮想現実世界の中で行動することを可能にするものであり、90年代以降のキーテクノロジーとして注目を集めている。

現実世界で人はある物体に対し、様々な感覚情報を用いて知覚・認識を行なっている。このとき一つの感覚情報だけではなく、複数の感覚情報を同時に用いて知覚・認識を行なうことは一般的に感覚統合と呼ばれている。感覚統合は、それぞれの感覚情報のあいまいさ、情報の欠落を補完・統合するための重要な感覚の機能である。現実世界同様、仮想現実世界でも物体の知覚・認識を行なうには感覚統合が行われていると考えられる。

これまで色の重さ感に関する研究は色彩学や心理学の分野で行われ、「明度の高い色は軽く感じ、明度の低い色は重く感じる」ということが報告されている[注2~9]。また感覚統合

に関する研究では、Taylor[注10~12]らは見ながら手に持たせて重さを判定させた場合には、明度と重さの間には一定の判定傾向が見られなかったと報告している[注13]。また、Bower[注14]は、複数感覚により知覚を行なうとき視覚がほかの感覚情報を統合すると報告した[注15]。しかし色を持つ物体がどの程度の重さ感を人間に伝えているか、また感覚統合された場合にどの程度に曖昧さが量的に変化するかについてはほとんど明らかにされていない。そこで徳山ら[注16]は、現実世界とイメージでの知覚の違いについて研究し、色の重さ感の規則性は、見かけや見ながら持った場合に成り立つだけでなく、イメージやイメージしながら持った場合にも成り立つことがわかった。また、重量判定における複数感覚の数や組み合わせの違いを情報理論によって情報量として定量的に表現した。さらにこのような重さに関する感覚統合を人工現実感の技術に応用するためには、現実空間での重さの知覚と仮想空間での知覚についての相互関係が量的に明らかになっていることが必要である。

そこで、仮想空間中の着色物体を見ながら物体を持った場合の重さ感判定を行ない、現実世界と仮想現実世界での知覚の違いについて定量的に表現するために情報理論の手法を用い比較検討を行なった。

2. 方法

2.1. 提示刺激

重量判定を行う場合の提示刺激として、実球体と CG によってモニタに表示される着色球体の 2 種類の試料を用意した。実球体は、手で持って重量判定をするための試料であり、重量はすべて 100g (誤差±0.5g 以内)、大きさは直径 6cm に統一した球体とした。見かけの判定に用いる CG による着色球体は、レイトレーシング手法によって作成された 3 次元 CG であり、画面サイズ 19 インチのモニター (Color Video Monitor VM-R200S、Victor 社製) に表示した。CG 球体はいずれも、黒、灰、白、赤、黄、緑、青、紫の 8 種類である。CG 球体の測色は分光放射輝度計 (CS-1000、MINOLTA 製) を用いて Yxy 表色値を測色した。Table. 1. に CG 球体の Yxy 値を示す。明度を表現する指数である Y に対応し、x と y が色度になる。Yxy 表色値は各試料ごとに 10 回ずつ測定した数値を平均したものである。実験は暗幕で覆って外光を遮断した部屋で行った。室温は 20℃程度に設定した。

2.2. 判定方法

CG により 8 種類に色分けされた球体の重量判定は、シェッフェの一对比較法、芳賀の変法[注 17]によって行う。被験者に sample②に比べて sample①が重いかどうかを次に示すような 7 段階で評価し、各判定方法で重さ感の評点化を行なった。

(1) 「非常に軽い」感じがする	-3 点
(2) 「かなり軽い」感じがする	-2 点
(3) 「少し軽い」感じがする	-1 点
(4) 「どちらでもない」感じがする	0 点
(5) 「少し重い」感じがする	+1 点
(6) 「かなり重い」感じがする	+2 点
(7) 「非常に重い」感じがする	+3 点

今回行った一对比較では、各対の比較で往復比較を行うことを許したため比較順序は考えず、かつ一人の被験者が全ての比較を行った。順序効果を考えないので、各判定方法ごとに評価を行う試料の組み合わせは 28 通りとなった。

CG に表示した物体の重量感、刺激情報源の違いによって同一物体の重量感判定にどの程度の違いがあるかを調べるために、下記のような 3 種類の判定法で重さ感を比較した。

CGL 判定：CG により作成した CG 球体を目で見たときの重さ感

CGL&H 判定：CG 球体を目で見ながら、実際に球体を手で持ったときの重さ感

H 判定：目を閉じて、着色球体を実際に手で持ったときの重さ感

2.3. 実験手順

実験に参加した被験者は 18 歳から 25 歳までの男女あわせて 20 名であった。被験者は、モニターの中心から眼までの距離がおよそ 50cm になる位置に着座し、判定は順序効果を考えないで以下の方法で行なった。

[CGL 判定の実験手順]

試料をモニターに sample①を左、sample②を右に球体間を

約 15cm 離して表示し、sample②に対する sample①の重量感を判定させた。表示時間は被験者の判定が終るまでとした。試料提示者は、試料対を順に表示し、被験者がすべての試料対に対する見かけの重さ感の判定を行った。

Table.1. Yxy color space value in 8 sample

	Y	x	y
white	94.90	0.28	0.30
yellow	87.71	0.35	0.55
gray	23.64	0.27	0.31
green	34.85	0.28	0.60
red	21.99	0.62	0.35
blue	10.47	0.15	0.07
purple	17.27	0.32	0.17
black	0.89	0.28	0.40

Y : reflectance(%), x and y : chromaticity

[CGL&H 判定の実験手順]

モニター横に目隠し用の覆いをつくり、覆い内で球体を持ち上げることによって実球体や持ち上げている様子の実空間上の視覚的な情報を排除した。

試料をモニターに sample①を左、sample②を右に球体間を約 15cm 離して表示し、その試料対を見ながら手には球体を実際に持たせ、重さ感を判定させた。モニターの表示時間は被験者の判定が終るまでとした。試料提示者は、試料対を順に提示し、被験者がすべての試料対に対して、見ながら持った場合の重さ感の判定を行った。

[H 判定の実験手順]

被験者はテーブルから 10cm ほど体を離し、手の平を上に向けた状態で利き手をテーブルの上に置いて座る。実球体は目隠しの覆い内におき、被験者には、一切実球体の視覚的情報は与えない。

判定は被験者が目を閉じた状態で、試料提示者が試料対を順に被験者の手の平の上に静かに乗せ、手から感じる重量感を判定した。

2.4. シャノンの情報理論による重量判定の解析方法

3 種類の重量判定は、視覚、聴覚、筋感覚の感覚器から得られる情報を入力、重量感の情報を出力とした情報処理システムとして考えることができる。このシステムにおける情報の伝達状態を数理的に評価する方法として、シャノンの情報理論を考えることができる[注 18]。したがって、ここで扱う情報量は不確かさ、曖昧さの程度を示す。情報量が多いことは、不確かさが高いことを意味し、情報量が少ないことは、不確かさが低いことを意味する。

シャノンの情報理論によって、感覚器官から得られる刺激情報源 $\hat{H}(x)$ に関する情報量は、

$$\hat{H}(x) = \log n - \frac{1}{n} \sum_i n_i \log n_i \quad (1)$$

で与えられる。なお、各試料について組合せの回数が等しいとき、すなわち、 $n_{11}=n_{12}=\dots=n_{1i}=\dots=n_{1k}$ 、のときには $\hat{H}(x) = \log k$ となり、本実験では $\hat{H}(x) = \log_2 28 = 4.81$ bit である。

重量判定結果は、 $\hat{H}(x)$ に対する反応情報である。この反応情報源 $\hat{H}(y)$ の情報量は

$$\hat{H}(y) = \log n - \frac{1}{n} \sum_j n_j \log n_j \quad (2)$$

で与えられる。この入出力システムを評価するには、提示された刺激情報量 $\hat{H}(x)$ が、反応情報量 $\hat{H}(y)$ にどの程度伝達されたかの伝達情報量 $\hat{T}(x; y)$ を求めればよい。伝達情報量 $\hat{T}(x; y)$ は、

$$\hat{T}(x; y) = \hat{H}(x) + \hat{H}(y) - \hat{H}(x, y) \quad (3)$$

によって求まる。ここで、

$$\hat{H}(x, y) = \log n - \frac{1}{n} \sum_{i,j} n_{ij} \log n_{ij} \quad (4)$$

は、刺激と反応の同時生起の情報量を現す。

3. 結果

3.1.3 種類の判定方法と重さ感

Fig. 1. の CGL 判定、CGL&H 判定、H 判定は、シェッフエの一対比較法によって得られた各球体の重量感に対する尺度値を示す。横軸は着色球体の反射率である。縦軸はそれぞれの着色球体に対する重さ感尺度値としての平均嗜好度である。形容語として「重い」、「軽い」を使用し、値が 1.5 に近いほど「重い」と感じ、値が -1.5 に近いほど「軽い」ことを意味している。それぞれの試料における重さ感の分散値をバーで示した。分散値が小さかったことから被験者間の判定結果が一致していたといえる。

8 球体の重量感と反射率との関係では、暗い色の黒は重く感じ、逆に白や黄の明るい色は軽く感じた。他方、青、紫、赤、灰、緑は重量差をほとんど感じていない。黒、白と黄色及びこの他の色の順序は反射率の低い方から順に並べた場合と一致していた。重さ感と反射率との間の相関係数は 0.86 であった。

CGL 判定、CGL&H 判定、H 判定の 3 種類の判定結果から、被験者の CG に表示した二つの着色球体に対する重さ感の違いがあるかどうかを確かめるために一元配置の分散分析を行な

Fig.1 The perception of weight of the eight balls and their reflectivity under CGL judgment

Table.2. F value of main effect deviations from subtractivity in method

("*" shows being significant at 0.05 level of significance, "**" shows being significant at 0.01 level of significance)

	F value			F0.05	F0.01
	CGL	CGL&H	H		
Main effect (S_{α})	101.65**	2.70*	2.27	2.40	3.46
Deviations from subtractivity (S_{γ})	2.12	1.01	1.02	2.01	2.70

Table.3. The amount of information under the judgment

Judgments	The amount of information (bit)		
	$\hat{H}(x)$	$\hat{H}(x, y)$	$\hat{T}(x; y)$
CGL	4.807	6.353	0.732
CGL&H	4.807	6.617	0.195
H	4.807	6.752	0.081

った。その結果を Table. 2 に示す。主効果における CGL 判定は 1%有意、CGL&H 判定は 5%有意であった。また組合わせ効果は、すべての判定において有意ではなかった。

H 判定は、分散分析による検定で、有意差が認められなかった。

3.2.3 種類の判定方法と伝達情報量

情報理論に基づき 3 種類の判定ごとに、重量判別のために入力情報の情報量と重量感の情報量を算出し、さらに入力から出力への情報で、伝達状態を表す伝達情報量を算出した。8 種類の異なった着色球体に対して算出した情報量を Table. 3 に示した。

CGL 判定において、入力情報と重量感両方の情報量 $\hat{H}(x, y)$ は 6.35 bit であった。これは不確かさが高いことを意味している。伝達情報量 $\hat{T}(x; y)$ は CG に表示した球体の反射率が被験者にどれだけ伝達されたかを表すあいまいさの情報量である。伝達可能な情報量 $\hat{H}(x) = 4.81 \text{ bit}$ のうち、0.73 bit だけ伝達されたといえる。他の判定方法における伝達情報量は、あいまいさが最も小さかった H 判定は 0.08 bit であった。逆に最もあいまいさが大きかった CGL 判定は 0.73 bit であった。他方、複合した CGL&H 判定の場合には、0.20 bit であった。複数感覚による判定の CGL&H 判定の伝達情報量は、H 判定と CGL 判定の伝達情報量の和の約 4 分の 1 であった。

4. 考察

4.1. CG に表示した色と見かけの重さ

主効果および組み合わせ効果の結果から被験者は、モニタ

一上の着色球体から重さ感を感じとっていることがわかった。

CG に表示した 8 球体を目で見ることによって重さ感に違いがあり、黒は重く、白や黄は軽く、青、紫、緑、赤がそれらの中間の重さに感じるということが実験的に明らかになった。こうした結果は、先に報告した着色球体における見かけの重さ感の順序とも一致した[注 16]。反射率が低い黒や紫といった球体は重いと感じ、逆に反射率の高い白や黄は軽いと感じていた。他方、青、赤、緑、灰はわずかな重さしか感じていなかった。この順序は反射率の低い方から順に並べた場合と一致していた。重さ感と反射率との間の相関係数は 0.91 であった。また、Bullough[注 2]や Taylor[注 10]の見かけの重さが黒、赤、青、緑、黄、そして白という序列の結果ともほぼ同じであった。

色による重さの軽重が何に起因するかについては、明るさや軽快感といった心理的明度によって説明されている。Payne[注 5]は 6 種類の色の反射率と見かけの重さとの間に 0.94 の相関があったことを報告している。われわれの結果でも、CG 球体の反射率と見かけの重さ感との間に 0.86 の相関関係が成立した。二つの球体の反射率に差がある場合、反射率の高い方が大きく見え[注 19]、視覚による一種の錯視現象と考えることができる。コンピューターで表現した映像においても色によって見かけの重さが生じるといった報告はこれまでになく、こうした錯視がバーチャルな世界においても実現できるということは実用性の高い現象であるといえる。

4.2.3 種類の判定方法の違いと重さ感

CG に表示した球体を見ながら持つといったように判定の仕方を複合させたとき、重さ感にどのような影響をおよぼすかについて検討した。

まず、視覚情報を遮断して球体を持ち上げた時の重さ感は、球体が同一形状で同一重量であるため、ほとんど違いが認められなかった。このことから H 判定による結果は、手によって重さ感を判定する場合は非常に正確であることを示している。

次に二つの感覚を併用して判定した場合、すなわち CG に表示した球体を見ながら持つという CGL&H 判定では、黒、黄、緑の間の重さ感には反射率の影響がわずかに認められるが、それ以外の色では重さ感の違いが特定しにくかった。徳山ら[注 16]が報告した着色球体を見ながら持つ、イメージしなが

ら持つ場合に比べ CG 上で球体を見ながら持った場合の方が重さ感が減少していた。すなわち、CGL&H 判定では H 判定の影響を強く受け、重さ感に色の影響が反映しにくいことを示している。このことは CG に表示した見かけの重さも感じながら、持ったときの重さを優先して判定していることが判明した。Taylor[注 10]も着色物体を見ながら手で持ち上げると判断は不規則になり、明るいものがかえって重く感じられることを報告している。いずれにしても、CG に表示した球体を用い、手で持つ判定が加わるにより、物体の重さの知覚は実際の物理量に近づき、錯覚が抑制されるといえる。

4.3.3 種類の判定方法と伝達情報量

情報機器の発達によって、視覚情報を伝達する技術の進歩にはめざましいものがあり、情報の内容によっては感情や情動といった感性情報をも伝えることができる。特に配色を伴う視覚情報には、色から受ける感情効果が期待でき、色に対する官能量との定量的な関係を明らかにする必要がある。

これまで、色に関する心理学的な定性的解析は行われているものの[注 20~22]、色の違いや認識方法の違いを定量的に表現することができればカラーイメージの伝達や人工現実感など情報機器での色の取り扱いに利用できると思われる。

見かけの重さなどの官能量を定量的に表現する方法は、佐藤ら[注 9]によってマンセル明度と重量感との間に負の高い相関関係が成立することが報告されている。しかし、情報機器での取り扱いを考慮すると、物体がもつ色や形が人間の感覚器にどのように伝達されるかを情報量として表現することが望まれる。官能量を情報理論を用いて量的に表現する試みは小林[注 23]によって行われている。ここで、織物の触官エネルギーをエントロピーによって表し、婦人用毛織物のざらつきという官能量が $-0.2 \sim -0.4$ bit の情報量を有していることを明らかにした。

徳山ら[注 16]の報告では、球体もつ色の重さ感が情報量として人にどの程度伝わっているかを情報理論を用いて定量的に表現した。その結果、手で持った重さ感（以下 H 判定と示す）は 0.08bit、着色球体を目で見ながら実際に手で持ったときの重さ感（以下 L&H 判定と示す）は 0.12bit、着色球体をおもい浮かべながら実際に手で持ったときの重さ感（以下 I&H 判定と示す）は 0.16bit、着色球体を目で見た時の重さ感（以下 L 判定と示す）は 0.43bit、着色球体を思い浮かべながらの重さ感（以下 I 判定と示す）は 0.60bit であった。これらと比較して CG で表示した球体もつ色の重さ感の情報量は、CGL&H 判定の場合が 0.20bit、CGL 判定の場合が 0.73bit であった。

実球体と CG 球体を提示した場合、単感覚、複数感覚のどちらの判定方法においても、実球体の方が判定におけるあいまいさが少なかった。単感覚の伝達情報量で比較すると CGL 判定については、あいまいさが L 判定に比べ 0.30bit に増大した。同様に複数感覚の伝達情報量で比較すると CGL&H 判定は、L&H 判定に比べ 0.08bit 増大した。これは実球体よりも CG に表示した球体が個人の経験や記憶、学習によって創られるものと差異があると同時に錯視現象が起こり、それらの組み合

わせがあいまいさを一層増大させる要因になっていると考えられる。

複数感覚による判定、すなわち CGL&H 判定の伝達情報量は、H 判定の伝達情報量と L 判定の伝達情報量との単純な算術平均ではなく、重量判定に優位な感覚の H 判定に引き寄せられ、伝達情報量が減少したと考えられる。

以上のように情報理論を用いて現実世界と仮想現実世界での重量判定の違いを伝達情報量によって定量的に表現することができた。

5. 結論

本研究では、CG 上に表示した着色球体を用い、その重さ感について調べた現実世界と仮想現実世界での知覚の違いについて比較検討し、シャノンの情報理論からそれらの知覚の違いにおける重さ感を伝達情報量によって表現した。

- 1) CGL 判定において反射率と重さ感の順序が規則性と一致したが、CGL&H 判定では、黒、黄、緑の間の重さ感には反射率の影響が若干認められるがそれ以外は一致しなかった。このことから、CGL&H 判定では色の影響が重さ感に反映しにくいことがわかった。
- 2) CG で表示した見かけの重さ感や見ながら持った重さ感による判定は、伝達情報量から情報が正確に伝わることを推察できた。CGL 判定、CGL&H 判定における重さ感の伝達情報量は、それぞれ 0.73bit、0.20bit であった。
- 3) 現実空間と仮想空間での知覚の違いを CGL 判定 (0.73bit)、L 判定 (0.43bit)、I 判定 (0.60bit) の重さ感から比較すると、仮想空間では現実空間に比べてあいまいさが大きくなる傾向が示唆された。つまり、色に対する重量差を明確にもてなくなることがわかった。手に持つ動作が加わった CGL&H 判定 (0.20bit)、L&H 判定 (0.12bit)、I&H 判定 (0.16bit) の場合も同様な傾向が示された。
- 4) CG で表示した見かけの重さ感に比べ複数感覚による判定では、CGL&H 判定の伝達情報量は H 判定と CGL 判定の伝達情報量の和の 4 分の 1 となり単感覚より複数感覚で判定した重さ感の方が正確に情報を伝えることが明らかになった。

注

- 1) M. Takatera, T. Furukawa, Y. Shimizu, M. Kamijo, S. Hosoya, T. Morisaki and A. Ohtake: Apparel Products Search System Considering Individual Kansei Evaluation, KANSEI Engineering International, 1, 2, 1-8, 2000
- 2) E. Bullough: On the apparent heaviness of colours, British Journal of Psychology, 2, 111-152, 1907
- 3) M. Monroe: The apparent weight of color and correlated phenomena, American Journal of Psychology, 36, 192-206, 1925
- 4) C. J. Warden and E. L. Flynn: The effect of color on apparent size and weight, American Journal of

- Psychology, 37, 398-401, 1926
- 5) M.C. Payne: Apparent weight as a function of color, American Journal of Psychology, 71, 725-730, 1958
 - 6) K. Tsukada. and M. Sugiyama: A Study of Emotional Effects of Colors - Warm, cold; light, heavy; hard, soft; strong, weak; cheerful, depressing; loud, quiet-, research of color, 7, 4, 80-89, 1960
 - 7) M.C. Payne: Apparent weight as a function of hue, American Journal of Psychology, 74, 104-105, 1961
 - 8) 塚田敢: 建築色彩の視覚効果に関する基礎事項の研究, 第2部, 千葉大学工学部研究報告, 13, 1-45, 1962
 - 9) 佐藤哲也, 梶原莞爾, 星野裕之, 中村妙子: 色から受ける明暗感, 濃淡感, 重量感を定量化する試み, 繊維学会誌, 53, 1, 7-14, 1997
 - 10) C.D. Taylor: Visual perception versus visual plus kinaesthetic perception in judging colored weights, Journal of genetic psychology, 4, 229-246, 1930
 - 11) J. E. DeCamp: The influence of color on apparent weight, Journal of experimental Psychology, 2, 347-370, 1917
 - 12) 木村俊夫: 色の見かけ上の温さと重さに就いて, 心理学研究, 20, 2, 33-36, 1950
 - 13) K. Kurai, T. Iida: The effects of grasp conditions on weight estimation, Journal of Human Ergology, 33, 6, 379-384, 1997
 - 14) T.G.R. Bower: Object perception in infants, Perception, 1, 15-30, 1972
 - 15) S. Miller: Crossmodal and intersensory perception and blind, In Intersensory perception and sensory integration, 282-286, 1981
 - 16) T. Tokuyama, H. Tazima, M. Kamijo, T. Sadoyama and Y. Shimizu: Estimation of KANSEI Information in Judging Colored Weights by Using Shanon's Information Theory, Kansei Engineering International, Vol. 2, No. 1-4 (2001) : combined number, to be published
 - 17) 日科技連官能検査委員会: 官能検査ハンドブック, 日科技連出版社, 356-366, 1973
 - 18) 菊池豊彦: 情報科学 I - 情報理論編 -, コロナ社, 1990
 - 19) 飯田健夫, 伊藤紀之, 斉藤幸子, 内村喜之: 立体の大きさに関する研究, デザイン学研究, 26, 100, 1977
 - 20) 千々岩英彰: 色彩学, 福村出版, 135, 1983
 - 21) 日本カラーデザイン研究所編: カラーイメージ辞典, 講談社, 75, 1984
 - 22) 日本流行色協会編: 色のイメージ辞典, 同朋舎, 192, 1991
 - 23) 小林茂雄: 織物の触感評価への情報理論の応用, 繊維機械学会誌, 8, 5, 23-29, 1967