

## 点図触地図自動作成システムにおける点格子模様の識別性の評価

渡辺 哲也<sup>†a)</sup> 渡部 謙<sup>††</sup> 山口 俊光<sup>†††</sup> 南谷 和範<sup>††††</sup>  
 大内 進<sup>†††††</sup> 高岡 裕<sup>††††††</sup> 喜多 伸一<sup>†††††††</sup> 石橋 和也<sup>††††††††</sup>

### Discriminability of Dot Patterns Embossed by the Tactile Map Automated Creation System

Tetsuya WATANABE<sup>†a)</sup>, Ken WATANABE<sup>††</sup>, Toshimitsu YAMAGUCHI<sup>†††</sup>,  
 Kazunori MINATANI<sup>††††</sup>, Susumu OOUCHI<sup>†††††</sup>, Yutaka TAKAOKA<sup>††††††</sup>,  
 Shinichi KITA<sup>†††††††</sup>, and Kazuya ISHIBASHI<sup>††††††††</sup>

あらまし 点図において識別性が高い面記号の組合せを見つけるため、晴眼者と視覚障害者を対象に実験を行った。実験では、点種と点間隔が異なる 10 種類の点格子模様を刺激とし、一対比較により、その触感の違いと識別時間を記録した。その結果、晴眼者の場合、点の大きさが等しい場合は点間隔の差が 2.0 mm 以上、点の大きさが異なる場合は 1.3 mm 以上ある組合せが識別性が高いことが分かった。視覚障害者の場合はそれぞれ 1.3 mm 以上と 0.7 mm 以上であった。視覚障害者の識別時間は晴眼者の約半分であった。この結果を用いて、触地図で用いるのに適切な点格子模様の組合せを提案し、この提案の有効性を触地図内小面積面記号の識別実験で実証した。

キーワード 視覚障害者, 触地図, 点図, 点格子模様, 識別性

## 1. ま え が き

私たちは、視覚障害者用の触地図を自動で作成する

システムを開発してきた [1], [2]。このシステムでは、立体コピーと点図という 2 種類の媒体で触地図を作成できる。両媒体のうち点図の触地図を視覚障害者に評価してもらったところ、触地図に点格子模様（ドットパターン）からなる 2 種類の面記号が存在した場合に両者の識別性が低く、その改善が必要であることが分かった [2]。

面記号の識別性について、海外では一連の実験が行われてきた（レビュー文献として [3], [4]）。例えば Morris and Nolan は、視覚障害児を対象とした触察実験の結果に基づいて点格子模様や縞模様（ストライプパターン）、格子模様など 8 種類を容易に識別可能であるとした [5]。同様に Culbert and Stellwagen も、大学生を対象とした触察実験の結果から、縞模様、格子模様、点格子模様の 11 種類を容易に識別可能であるとした [6]。

しかし推奨された面記号の全てを触地図で用いることはできない。それは、縞模様は触地図の中では道路と混同されやすく、また縞模様や格子模様のように空間周波数が低い（つまり粗い）パターンは数 cm 角以上の広い面積でしか使えないためである [7]。このた

<sup>†</sup>新潟大学工学部, 新潟市  
 Faculty of Engineering, University of Niigata, Niigata-shi, 951-2181 Japan

<sup>††</sup>東京エレクトロン宮城株式会社, 宮城県  
 Tokyo Electron Miyagi Ltd., Taiwa-cho, Miyagi-ken, 981-3629 Japan

<sup>†††</sup>新潟大学大学院自然科学研究科, 新潟市  
 Graduate School of Science and Technology, University of Niigata, Niigata-shi, 951-2181 Japan

<sup>††††</sup>大学入試センター, 東京都  
 National Center for University Entrance Examination, Meguro-ku, Tokyo, 153-8501 Japan

<sup>†††††</sup>国立特別支援教育総合研究所, 横須賀市  
 National Institute of Special Needs Education, Yokosuka-shi, 239-8585 Japan

<sup>††††††</sup>神戸大学医学部附属病院, 神戸市  
 Kobe University Hospital, Chuo-ku, Kobe-shi, 650-0017 Japan

<sup>†††††††</sup>神戸大学大学院人文科学研究科, 神戸市  
 Graduate School of Humanities, Kobe University, Nada-ku, Kobe-shi, 657-8501 Japan

<sup>††††††††</sup>東京大学大学院総合文化研究科, 東京都  
 Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, Meguro-ku, Tokyo, 153-8902 Japan

a) E-mail: t2.nabe@eng.niigata-u.ac.jp

め、道路を表す触地図では、道路の線記号と区別しやすく、かつ狭い面積でも適用できる点格子模様を面記号に用いるのが望ましい。

点格子模様だけで複数の面を表すには、点間隔や点の大きさを変化させる手法が一般的である。Sagawa et al は、点間隔を変化させた点格子模様同士の識別性に関する実験を行った [8]。その結果、3~6 mm の点間隔の差があれば、点格子模様のテクスチャ（触感）の違いが9割程度の確率で識別されることが分かった。この実験では、刺激の点の大きさは1種類のみだった。これに対して、国内で普及している点字プリンタは大きさが異なる3種類の点を打ち出せる。この機能を活かして模様の種類を増やすには、点の大きさの違いが点格子模様の識別性に与える効果を検証する必要がある。更に、Sagawa et al は紫外線硬化樹脂で作成した刺激を用いたが、点図を用いた同様な実験はこれまで行われていない。触素材の違いは触感の違いを生じるため [9]、触素材ごとの識別性の検証が必要である。

点図の作成方法を述べた文献もあるが [10], [11]、十分に識別可能な点格子模様の点間隔については解析されていない。

これらを踏まえて本研究では、点図における点格子模様の点間隔と点の大きさを変えて識別性を評価する実験を行った。実験には、利用対象者である視覚障害者とともに、触知覚に必ずしも優れていない中途失明者を想定して晴眼者にも参加してもらった。その結果をもとに、触地図に適用可能な点格子模様の組合せを明らかにした。

## 2. 実 験

### 2.1 参 加 者

晴眼者 14 人 (21 歳から 24 歳, 男性 7 人, 女性 7 人) と視覚障害者 11 人 (19 歳から 21 歳が 9 人, 他の 2 人は 44 歳と 55 歳, 男性 7 人, 女性 4 人) に参加してもらった。視覚障害者は全員点字利用者であった。晴眼者には実験中はアイマスクを着用してもらった。

### 2.2 触 刺 激

触刺激に用いる点格子の並び方と点間隔の上限・下限は、以下の条件に基づいて設定する。

- **点格子の並び方** 点図触地図の触読性の評価実験の結果から、正方格子と千鳥格子とは、同じ面記号として感じられる場合があることが分かった [2]。この理由は、触知面に対して触る角度を変えると千鳥格子も正方格子とみなせるためと考えられる (特に千鳥格子

の角度が 45° の場合) [12]。混同しやすい模様の組合せは避けるべきなので、正方格子模様のみを用いる。

- **点間隔の上限** 点格子模様の点間隔が 3.2 mm を越えると粗さ感覚は下がる [13]。これは、模様というより散発的な点として感じるためと考えられる。また、触地図では 1 辺が 10 mm 程度の小さな面も作成する場合があります、この幅の中に数点が入らないと面模様を構成できない。これらの条件から、刺激に用いる点間隔の上限を 3.2 mm 程度とする。

- **点間隔の下限** 狭い点間隔で面記号を作ると、点字用紙が破れることがある。様々な点間隔で印刷してみたところ、破れない程度の最小点間隔は小点で 1.3 mm, 中点・大点で 2.0 mm であったため、これらの値を点間隔の下限とする。

刺激の作成には、グラフィック印刷機能を持ち、かつ国内で広く普及している点字プリンタ JTR 社の ESA 721 Ver'95 [14], [15] を用いた。このプリンタで作成できる点は小点 (直径 0.8 mm), 中点 (直径 1.5 mm), 大点 (直径 1.7 mm) の 3 種類である。実際に打点された点の形状をマイクロスコブで観察すると、いずれの点も形状はお椀型、点の裾野の広がりのためいずれの点も点径は仕様より約 0.2 mm 大きく、小点 1.02 mm, 中点 1.69 mm, 大点 1.89 mm と計測された。点の高さは小点 0.21 mm, 中点 0.33 mm, 大点 0.31 mm と計測され、大点は点径に対する高さの比率が他の 2 種類の点よりも低い。

この点字プリンタによる最小打点間隔は、用紙の縦方向で 0.3175 mm, 横方向で 0.3454 mm である。上述の上限から下限の範囲内で、打点間隔を 2 間隔 (縦 0.6 mm, 横 0.7 mm) ずつ変化させて、また 3 種類の点を用いることで、表 1 のような 10 種類の点格子模様を作成した。点間隔の値は縦と横の平均値で表した。

表 1 の模様を 50 mm × 50 mm のサイズで、間に 60 mm の空間を設けて、左右で一対となるように点字プリンタで印刷した (図 1)。10 種類の点格子模様の組合せは 45 対だが、これを左右逆に提示するための刺激対も作成したので 90 対となり、更に同じ点格子模様同士の 10 枚も作成し、合計 100 対を用意した。

### 2.3 皮膚空間分解能の測定

実験参加者の指先に知覚障害がないことを確かめるため、実験の前に、J.V.P. ドームを用いて参加者の指先の空間分解能を測定した。J.V.P. ドームとは、皮膚空間分解能の測定のために開発された検査器具である [16]。直径約 19 mm, 高さ約 4.5 mm のプラスチック

表 1 実験で用いた点格子模様の点の大きさと点間隔  
Table 1 Sizes of dots and interdot spaces used in the experiment.

		Interdot space [mm]			
		1.3	2.0	2.7	3.3
Size	Small (D.: 0.8 mm)	○	○	○	○
	Middle (D.: 1.5 mm)	-	○	○	○
	Large (D.: 1.7 mm)	-	○	○	○

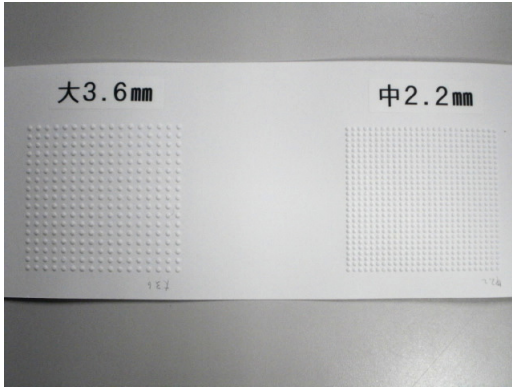


図 1 実験に用いた刺激の例  
Fig. 1 A pair of dot patterns used in the experiment.

ク製のドーム形状の表面に、溝が縞状に刻まれている。溝と溝間の幅は等しい。指の軸方向に対してドームの溝を水平または垂直方向に押し当て、参加者に溝の方向を二者択一で答えさせ、その正答率が75%となる溝の幅を空間分解能とする。

J.V.P. ドームを用いた土井らによる空間分解能の測定結果では、若年晴眼者の平均空間分解能が1.38 mm (SD: 0.53)、視覚障害者が1.03 mm (SD: 0.13)であった[17]。本研究では、参加者の疲労軽減のため複数のドームを用いることはせずに、上記の空間分解能に最も近い1.5 mm (晴眼者用)と1.0 mm (視覚障害者用)のドームのみを用い、これを参加者の利き手の人差し指の第1関節の腹側に20回押し当てて正答率を求めた。

#### 2.4 実験手順

本実験に入る前に、表1とは異なる点格子模様で作成した刺激を16枚用意し、練習を行った。

本実験では、100対の刺激を各1回ずつ、ランダムな順序で提示した。

参加者には、マウスで操作可能なストップウォッチを非利き手で操作してもらい[18]、刺激を触り始めてから回答するまでの時間を計測してもらった。

刺激には、利き手の人差し指で左右の点格子模様を

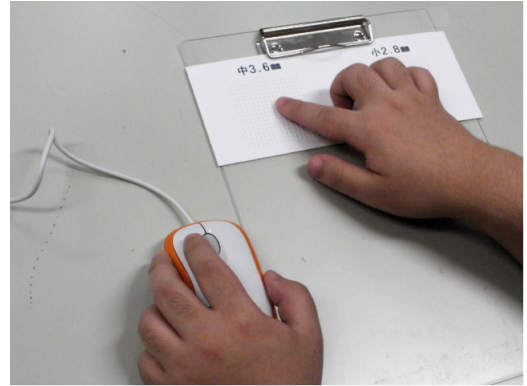


図 2 実験の様子  
Fig. 2 Snapshot during tactile exploration.

左から順に触ってもらった。右から左への触り直しを許可し、触り方は自由とした。

実験者は参加者に、「左右の面記号を触って比べ、以下の三つのカテゴリーで評価してください」と教示した。三つのカテゴリーは実験開始時に実験者が読み上げ、実験途中でも参加者の要求に応じて読み上げた。

- (1) 触感が同じで、見分けがつかない。
- (2) 触感がかなり似通っているが、何となく違う。
- (3) 触感がかなり異なっており、はっきり違いが分かる。

実験の様子を図2に示す。実験は適宜休憩を取りながら行った。参加者の許可を得て、触察中の参加者の手元をビデオカメラ (SONY, HDR-XR150) で撮影した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 皮膚空間分解能

晴眼者全員が、溝幅1.5 mmのドームの溝方向を80%以上の正答率で回答した。視覚障害者群においては、11人中10人が溝幅1.0 mmのドームの溝方向を80%以上の正答率で回答したが、1人のみ正答率が50%となった。

#### 3.2 晴眼者の識別特性

同じ点格子模様の刺激対を識別カテゴリー1 (触感が同じで、見分けがつかない) と答えた場合、及び異なる点格子模様の刺激対を同2,3 (触感が何となく違う、はっきり違いが分かる) と答えた場合を正答とし、それぞれ同種点格子模様正答率、異種点格子模様正答率と呼ぶことにする。これらの正答率を個人ごとに算出し、晴眼者14人分の平均値を求めると、同種点格

子模様正答率は 82.9% (SD: 18.2), 異種点格子模様正答率は 85.8% (SD: 8.0) となった。

刺激対の点種の組合せごとに六つのブロック (S-S, M-M, L-L, S-M, S-L, M-L. S は小点, M は中点, L は大点を表す) に分け, はっきり違いが分かる (識別カテゴリー 3) と回答した率と識別時間の平均値を表 2 に示した. 点の種類が同じ組合せ (各表の (a), (b), (c)) では, 表の右上に行くほど, つまり点間隔が広がるほど, はっきり違いが分かる割合が高くなり, 識別時間は短くなった. 点の種類が異なる組合せ (各表 (d), (e), (f)) では, 表の右上, 及び左下に行くほど, つまり点間隔が広がるほど, はっきり違いが分かる割合が高くなり, 識別時間は短くなった.

はっきり違いが分かる割合が 90% 以上の刺激対は 6 種類あった (表 2 の回答率の表の中で網掛けした刺激対). そのうち, 点の大きさが等しい刺激対は小点の S 1.3-S 3.3 の 1 種類のみで, このときの点間隔の差は 2.0 mm であった. これ以外は点の大きさが異なる刺激対であり, 小点と中点の刺激対が 2 種類, 小点と大点の刺激対が 2 種類, そして中点と大点の刺激対が 1 種類あった. これらの刺激対の点間隔の差の最小値は 1.3 mm であった (S 3.3-L 2.0 と M 3.3-L 2.0).

刺激対ごとの識別時間の平均値が, 全刺激対の識別時間の平均値より 1 標準偏差分以上短かった (5.7 s 以下) 刺激対は S 1.3-S 2.7 をはじめとする 14 種類であった (表 2 の識別時間の表の中で網掛けした刺激対). そのうち, 点の大きさが等しい刺激対は 4 種類, 点の大きさが異なる刺激対は 10 種類あった. 点の大きさが異なる組合せ, 特に小点と中点の組合せ, 及び小点と大点の組合せの中に, 識別時間が短いものがあった.

表 2 で回答率と識別時間の表を見比べると, はっきり違いが分かる割合が高い刺激対では識別時間が短い傾向が観察される. このことを定量的に確かめるため, 回答された識別カテゴリーごとの識別時間の平均値を個人ごとに求め, その 14 人分の平均値と標準偏差を表したのが図 3 である. 分散分析の結果, カテゴリー 1 と カテゴリー 3, 及び カテゴリー 2 と カテゴリー 3 の間で識別時間に有意な差が見られた ( $F(2, 26) = 8.48, p < 0.05$ . 多重比較は HSD 検定による). すなわち, はっきり違いが分かる場合は, 何となく違う, あるいは見分けがつかない場合より有意に

表 2 カテゴリー 3 (はっきり違いが分かる) への反応率と反応時間 (暗眼者). S, M, L は点の種類 (小点, 中点, 大点) を表し, そのあとの数字は点間隔 [mm] を表す

Table 2 Response rates [%] for category 3 and reaction times [s] by sighted participants. S, M, and L are the abbreviations of Small, Middle, and Large, the sizes of dots and the numbers following them denote the interdot spaces in mm.

(a-1) Response rates: S-S.

	S 1.3	S 2.0	S 2.7	S 3.3
S 1.3	0	46	89	96
S 2.0	-	0	14	50
S 2.7	-	-	0	11
S 3.3	-	-	-	0

(a-2) Reaction times: S-S.

	S 1.3	S 2.0	S 2.7	S 3.3
S 1.3	9.7	7.2	4.7	4.5
S 2.0	-	9.6	9.4	6.6
S 2.7	-	-	10.8	9.6
S 3.3	-	-	-	9.8

(b-1) Response rates: M-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
M 2.0	0	25	82
M 2.7	-	0	14
M 3.3	-	-	0

(b-2) Reaction times: M-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
M 2.0	9.3	8.4	5.2
M 2.7	-	9.5	9.8
M 3.3	-	-	10.6

(c-1) Response rates: L-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
L 2.0	0	43	89
L 2.7	-	0	14
L 3.3	-	-	0

(c-2) Reaction times: L-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
L 2.0	9.3	6.9	5.0
L 2.7	-	9.7	8.4
L 3.3	-	-	9.2

(d-1) Response rates: S-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
S 1.3	43	96	100
S 2.0	14	36	75
S 2.7	57	21	54
S 3.3	89	54	36

(d-2) Reaction times: S-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
S 1.3	6.9	5.2	4.0
S 2.0	9.6	8.5	5.5
S 2.7	7.7	9.7	6.9
S 3.3	5.2	6.7	8.3

(e-1) Response rates: S-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
S 1.3	14	79	100
S 2.0	32	46	75
S 2.7	79	39	68
S 3.3	93	64	46

(e-2) Reaction times: S-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
S 1.3	8.0	5.2	4.0
S 2.0	8.5	8.4	5.6
S 2.7	5.2	8.9	6.6
S 3.3	4.6	6.8	8.0

(f-1) Response rates: M-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
M 2.0	11	7	68
M 2.7	68	21	18
M 3.3	96	43	7

(f-2) Reaction times: M-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
M 2.0	10.3	8.7	6.9
M 2.7	5.7	9.1	9.1
M 3.3	4.5	7.7	10.6

識別時間が短かった.

### 3.3 視覚障害者の識別特性

皮膚空間分解能の正答率が 50% であった参加者を除いた視覚障害者 10 人の同種点格子模様正答率は 90.0% (SD: 10.5), 異種点格子模様正答率は 88.6% (SD: 9.3) となった. 皮膚空間分解能の正答率が 50% であった参加者の両正答率もこの範囲内であったことから, この実験参加者の指先に知覚障害があったとは考えづらく, むしろ実験方法に問題があった可能性が考えられる. 識別特性に顕著な差が見られな

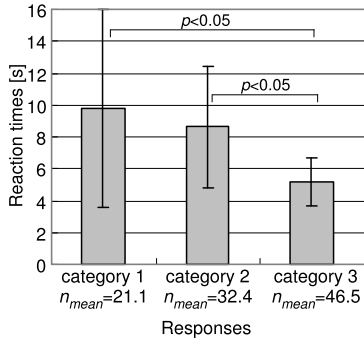


図3 識別カテゴリーと識別時間の関係(晴眼者). 図中の  $n_{mean}$  は、各カテゴリーへの反応数の平均値  
 Fig.3 Relationship between responded categories and reaction times by sighted participants.  $n_{mean}$  denotes the average number of responses for each category.

かったことから、以後はこの参加者のデータも含めて分析することにする。視覚障害者 11 人全員の同種点格子模様正答率は 89.1% (SD: 10.4), 異種点格子模様正答率は 89.0% (SD: 8.9) となった。

刺激対の点種の組合せごとに六つのブロックに分けて、はっきり違いが分かる と答えた割合と識別時間の平均値を表 3 に示した。ここでも、点の種類が同じ組合せ(各表の(a), (b), (c))と、点の種類が異なる組合せ(各表(d), (e), (f))の両方で、点間隔が広くなるにつれて、はっきり違いが分かる と答えた割合が高くなり、識別時間は短くなった。

はっきり違いが分かる と答えた割合が 90% 以上の刺激対は 11 種類あった(表 3 の回答率の表の中で網掛けした刺激対)。そのうち、点の大きさが等しい刺激対は小点同士で 2 種類、大点同士で 1 種類あった。これらの刺激対の点間隔の差の最小値は 1.3 mm であった(L 2.0-L 3.3)。点の大きさが異なる刺激対は、小点と中点の刺激対が 3 種類、小点と大点の刺激対が 4 種類、中点と大点の刺激対が 2 種類あった。これらの刺激対の点間隔の差の最小値は 0.7 mm であった(S 2.7-L 2.0)。

刺激対ごとの識別時間の平均値が、全刺激対の識別時間の平均値より 1 標準偏差分以上短かった(3.2 s 以下)刺激対は 14 種類であった(表 3 の識別時間の表の中で網掛けした刺激対)。そのうち、点の大きさが等しい刺激対が 4 種類、点の大きさが異なるの刺激対が 10 種類であり、点の大きさが異なる組合せ、特に小点と中点の組合せ、及び小点と大点の組合せの中に識別

表 3 カテゴリー 3 (はっきり違いが分かる) への反応率と反応時間(視覚障害者)。S, M, L は点の種類(小点, 中点, 大点)を表し、そのあとの数字は点間隔[mm]を表す

Table 3 Response rates [%] for category 3 and reaction times [s] by blind participants. S, M, and L are the abbreviations of Small, Middle, and Large, the sizes of dots and the numbers following them denote the interdot spaces in mm.

(a-1) Response rates: S-S.

	S 1.3	S 2.0	S 2.7	S 3.3
S 1.3	0	55	91	100
S 2.0	-	9	41	77
S 2.7	-	-	9	36
S 3.3	-	-	-	9

(a-2) Reaction times: S-S.

	S 1.3	S 2.0	S 2.7	S 3.3
S 1.3	4.7	4.0	2.6	2.7
S 2.0	-	4.8	4.7	3.6
S 2.7	-	-	4.8	4.3
S 3.3	-	-	-	4.9

(b-1) Response rates: M-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
M 2.0	0	36	86
M 2.7	-	0	32
M 3.3	-	-	9

(b-2) Reaction times: M-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
M 2.0	4.9	4.8	3.0
M 2.7	-	5.1	5.2
M 3.3	-	-	4.2

(c-1) Response rates: L-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
L 2.0	0	36	95
L 2.7	-	0	32
L 3.3	-	-	0

(c-2) Reaction times: L-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
L 2.0	4.7	4.5	2.9
L 2.7	-	4.2	4.7
L 3.3	-	-	4.5

(d-1) Response rates: S-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
S 1.3	50	100	100
S 2.0	14	32	86
S 2.7	68	9	36
S 3.3	100	55	23

(d-2) Reaction times: S-M.

	M 2.0	M 2.7	M 3.3
S 1.3	4.6	2.6	2.4
S 2.0	5.9	4.3	3.0
S 2.7	3.6	5.2	4.3
S 3.3	3.0	4.5	5.5

(e-1) Response rates: S-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
S 1.3	23	95	100
S 2.0	32	55	82
S 2.7	91	32	64
S 3.3	100	59	32

(e-2) Reaction times: S-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
S 1.3	4.8	2.8	2.5
S 2.0	4.5	4.2	3.0
S 2.7	3.7	4.4	4.1
S 3.3	3.2	3.9	4.5

(f-1) Response rates: M-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
M 2.0	14	27	91
M 2.7	64	9	45
M 3.3	95	77	18

(f-2) Reaction times: M-L.

	L 2.0	L 2.7	L 3.3
M 2.0	5.3	4.9	2.9
M 2.7	3.6	5.3	4.8
M 3.3	2.8	4.0	5.6

時間が短い刺激対が多かった。

視覚障害者を対象とした実験でも、カテゴリー 3 (はっきり違いが分かる) への回答率が高い刺激対は識別時間が短かった。識別カテゴリーごとの識別時間を比較すると、カテゴリー 1 とカテゴリー 3、及びカテゴリー 2 とカテゴリー 3 の間で識別時間に有意な差が見られた ( $F(2, 20) = 15.50, p < 0.05$ , 多重比較は HSD 検定による)。すなわち、はっきり違いが分かる場合は、何となく違う、あるいは見分けがつかない場合より有意に識別時間が短かった。

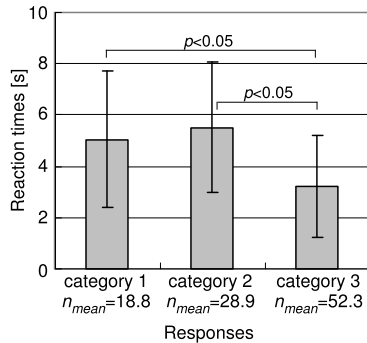


図4 識別カテゴリーと識別時間の関係 (視覚障害者). 図中の  $n_{mean}$  は、各カテゴリーへの反応数の平均値.

Fig. 4 Relationship between responded categories and reaction times by blind participants.  $n_{mean}$  denotes the average number of responses for each category.

## 4. 考 察

### 4.1 晴眼者と視覚障害者の識別特性の比較

点格子模様の識別に関して、晴眼者と視覚障害者の間で次の現象が共通に観察された。

(1) 点間隔が広がるほど、はっきり違いが分かるという回答率が上がる。

(2) 点種が異なる刺激対では、点種が同じ刺激対より狭い点間隔でもはっきり違いが分かるという回答率が高い。

(3) はっきり違いが分かるという回答率が高い刺激対は識別時間が短い。

一方で数値データからは、視覚障害者が晴眼者より優れた触識別特性をもつことが示唆された。表4にまとめた指標について順番に検証してみよう。

同種点格子模様正答率、異種点格子模様正答率ともに、視覚障害者の方が晴眼者より平均値は高かった。ただし、 $F$ 検定と $t$ 検定を行ったところ、いずれにおいても、晴眼者と視覚障害者の間で分散と平均値に有意な差は見られなかった (同種点格子模様正答率  $F(10, 13) = 2.96, t(23) = 0.973$ . 異種点格子模様正答率  $F(10, 13) = 1.27, t(23) = 0.907$ . いずれも有意水準5%で検定). 有意差はなかったものの、晴眼者の標準偏差 (SD) は視覚障害者の2倍近い数値となっている点が目立つ (表4). これは、同種点格子模様正答率が60%ないし50%である参加者が14人中4人いたためである。他方で視覚障害者の同種点格子模様正答率は最も低い参加者1人でも70%にとどまった。

はっきり違いが分かるという回答率が90%以上の刺激対の数は、晴眼者では6種類だが、視覚障害者ではその2倍の12種類と多かった。このときの刺激対の点間隔の差の最小値は、点の大きさが等しい場合と異なる場合の両方で視覚障害者の方が小さかった。

視覚障害者の識別時間は晴眼者の半分ほどであった。識別カテゴリーごとに検定を行うと、カテゴリー1への回答時間は、晴眼者と視覚障害者の間で分散に有意な差が見られたが ( $F(10, 13) = 5.30, p < 0.05$ ), カテゴリー2と3への回答時間は、両者の間で分散に有意な差が見られなかった (カテゴリー2:  $F(10, 13) = 2.18$ . 同3:  $F(10, 13) = 1.74$ ). どのカテゴリーへの回答時間についても、平均値には有意な差が見られた (カテゴリー1:  $t(23) = 2.46$ . 同2:  $t(23) = 2.25$ . 同3:  $t(23) = 2.65$ . いずれも有意水準5%で検定).

今回実験に参加した視覚障害者は全員点字使用者であり、触察経験の多さが点格子模様の識別能力の高さに結びついたと考えるのは妥当であろう。

### 4.2 十分に識別可能な点間隔と点の大きさ

はっきり違いが分かるという回答率が90%以上 (以後は、十分に識別可能と表現する) の刺激対の点間隔の差の最小値は、同じ点種では、晴眼者で2.0 mm, 視覚障害者では1.3 mmであった。これらの値は、Sagawa et alによる同様な実験の結果である3.6 mm (若年者の場合) [8]より小さい値であるが、正答率の高さを考慮すると信頼できる値と言えよう。

点の大きさが異なる刺激対では、晴眼者で1.3 mm, 視覚障害者では0.7 mmしか点間隔の差がなくても、十分に識別可能な刺激対が見つかった。これは、点間隔の差だけでなく、点の大きさの違いによって模様が識別されたためと考えられる。小点と中点・大点は直径の差が大きく (それぞれ0.7 mm, 0.9 mm), かつ小点では1.3 mmと狭い点間隔の面も提示したため、小点と中点の組合せ、及び小点と大点の組合せの中で、十分に識別可能な刺激対が多くなった。これに対して中点と大点は直径の差が0.2 mmと小さいため、これらで作成した点線の識別は困難であるという研究報告もあるが [19], それでも1.3 mmの点間隔の差で十分に識別可能とされた点は興味深い。

### 4.3 触地図中の面記号に適した組合せ

視覚障害者の中では中途失明者の割合が高く、この人たちは一般に触知に優れているとは言いがたい [20]. このため、触地図をより多くの視覚障害者に利用可能とするには、触知経験の少ない人の知覚特性に基づい

表 4 晴眼者と視覚障害者の識別特性の比較  
Table 4 Comparison of discrimination results between sighted and blind participants.

		Sighted	Blind
Correct rates	for the same pattern	82.9% (SD: 18.2)	89.1% (SD: 10.4)
	for different patterns	85.8% (SD: 8.0)	89.0% (SD: 8.9)
Numbers of stimulus pairs clearly discriminated at 90% or more		6	12
Least interdot spaces necessary for discriminating at 90% or more	between dots of the same size	2.0 mm	1.3 mm
	between dots of different sizes	1.3 mm	0.7 mm
Reaction times	for category 1	9.79 s (SD: 6.23)	5.05 s (SD: 2.68)
	for category 2	8.64 s (SD: 3.80)	5.52 s (SD: 2.54)
	for category 3	5.15 s (SD: 1.52)	3.22 s (SD: 1.98)

て設計した方がよいと考えられる。そこで今回の実験結果のうち、晴眼者による実験結果をもとに、触地図中の面記号に適した模様の組合せを検討する。

私たちの触地図自動作成システムで面記号を使うのは建物と水域である [1], [2]。その大きさは、2~3 cm 角程度の建物から、1 辺が数 cm を越える海や幅の広い川まで様々である。このうち面積が小さい領域には、点間隔の狭い点格子模様を使うのがよい。今回実験で用いた模様のうち最も点間隔が狭いのは小点 1.3 mm 間隔の模様であるので、これを用いる。次にこれと十分に識別可能な模様を求めると、小点 3.3 mm、中点 2.7 mm と 3.3 mm、大点 3.3 mm の 4 種類となる (表 2)。触地図に用いる面記号が 2 種類だけなら、この 4 種類の模様の中から任意に選ばばよい。

3 種類の面記号が必要な場合、小点 1.3 mm を含む上記の 5 種類の模様の中で互いに十分識別が可能な 3 種類の模様が必要となるが、そのような組合せは見つからない。この問題を解決するには、実験で用いた点格子模様よりも広い点間隔の適用が求められる。すなわち、まず小点 1.3 mm と、これと十分に識別可能で点間隔の狭い中点 2.7 mm を選択し、次に中点 2.7 mm と十分に識別可能な (Sagawa et al に従えば 3 mm 程度は点間隔が広い [8]、つまり点間隔 6 mm 以上) 模様を用いるのである。このような点格子模様は粗さ感覚が低いので [13]、点として感じ取れることを試行錯誤的に検証する必要がある。海のように面積の広い領域では打点数が多く数分程度の時間がかかるので、このような箇所に点間隔が 6 mm 以上の点格子模様を用いれば、作成時間を短縮できるので都合がよい。

## 5. 触地図内小面積面記号の識別実験

ここまでの結果から識別性に優れると判断された面記号の組合せが、触地図内で小面積で提示された場合でも識別可能かどうかを検証するための実験を行った。

### 5.1 触刺激

道路が基盤目状の土地を選び、その点図触地図を触地図自動作成システム [2] で作成した。道路の数を調整し、A 判 (10 × 11 inch) 縦置き点字用紙に縦 4 本、横 10 本の道路が交差する形とした。左から 1 列目の各区画に数字の 1~10 を 1 字 (点字では 2 マス) ずつ上から順に点字で表記した。同様に、右から 1 列目の区画に五十音順で「あ」から「こ」までの文字を 1 字ずつ、上から順に点字で表記した。左から 2 列目の区画に、表 1 の 10 種類の点格子模様を 1 区画に一つずつ、右から 2 列目の区画にも同様に 10 種類の面記号を 1 区画に一つずつ、いずれもランダムな順序で配置した。面記号のサイズは 15 mm 角、10 mm 角、及び 5 mm の 3 種類とした。これは、実際の触地図に現れた小さな建物や狭い水域 (池やプールなど) の寸法と、Morris and Nolan の実験において用いられた最小の寸法 1/4 inch (0.635 mm) [7] を参考に決定した。1 枚の用紙内の面記号は全て同じサイズである。面記号サイズが 3 種類なので、3 枚の用紙を用いた。

### 5.2 実験参加者

60 代の中途視覚障害者 2 人に実験に参加してもらった。2 人が日常生活で点字を使うようになったのはそれぞれ 30 代と 50 代である。

### 5.3 手順

実験参加者には、刺激の左側の面記号と右側の面記号が同じか、異なるかについて、2. の実験と同じ識別カテゴリーで答えてもらった。左側、右側とも面記号が 10 種類ずつあるので、それらの組合せにより、1 枚の用紙につき、すなわち面記号のサイズ 1 種類につき計 100 試行を行った。

### 5.4 結果

異なる面記号の組合せは、左右を入れ替えて 1 人につき 2 回提示され、参加者 2 人で計 4 回提示された。4 回のうち 3 回以上の試行で識別カテゴリー 3 (はっ

表 5 触地図内で小面積で 4 回提示された場合、3 回以上、カテゴリー 3（はっきり違いが分かる）と視覚障害者 2 人が判断した点格子模様組合せ。S, M, L は点の種類（小点, 中点, 大点）を表し、そのあとの数字は点間隔 [mm] を表す

Table 5 Pairs of dot patterns responded for category 3 more than twice by two blind participants when presented in tactile maps with small areas. S, M, and L are the abbreviations of Small, Middle, and Large, the sizes of dots, and the numbers following them denote the interdot spaces in mm.

Size of dot patterns	Number of responses for category 3 (correct answers)	
	3	4
5 x 5 mm	S 1.3-S 2.7, S 1.3-S 3.3, S 1.3-M 2.7, S 1.3-M 3.3, S 2.0-S 2.7, S 2.0-L 3.3, S 2.7-M 2.0, M 2.0-L 3.3, L 2.0-L 3.3	S 1.3-L 3.3, S 2.7-L 2.0
10 x 10 mm	S 1.3-M 2.7, S 1.3-L 2.7, S 2.0-M 3.3, S 2.0-L 3.3, S 2.7-S 3.3, S 3.3-L 2.7, M 2.0-M 3.3, M 2.0-L 3.3, M 3.3-L 2.0	S 1.3-S 3.3, S 1.3-M 3.3, S 1.3-L 3.3, S 3.3-M 2.0, S 3.3-L 2.0, L 2.0-L 3.3
15 x 15 mm	S 1.3-S 2.7, S 1.3-M 2.7, S 2.0-S 3.3, S 2.0-L 3.3, S 2.7-M 2.0, S 3.3-L 2.0, M 2.0-L 3.3, M 3.3-L 2.0, L 2.0-L 2.7, L 2.0-L 3.3	S 1.3-S 3.3, S 1.3-M 3.3, S 1.3-L 3.3, S 2.0-M 3.3, S 3.3-M 2.0, M 2.0-M 3.3

きり違いが分かる）と回答された面記号の組合せの数は、面記号サイズ 15 mm 角で 16 種類、10 mm 角で 15 種類、5 mm 角では 11 種類と、面記号のサイズが小さくなるほど少なくなった。全 4 回の試行で識別カテゴリー 3 と回答された面記号の組合せの数は、面記号サイズ 15 mm 角と 10 mm 角では 6 種類、5 mm 角では 2 種類となった。これらの組合せを表 5 に示す。

これらの組合せの中に、晴眼者を対象とした実験でカテゴリー 3 への反応率が 90%以上の刺激対が含まれた（表 2。ただし、S 3.3-L 2.0 と M 3.3-L 2.0 の 2 種類は 5 mm 角条件では含まれない）。すなわち、考察の中で提案した面記号の組合せは、触地図内に小面積で配置された場合も、少人数ではあるが中途視覚障害者によって十分に識別可能であることが示された。

## 6. む す び

本研究では、様々な点間隔と点の大きさの点格子模様を使った実験により、点図において識別性に優れた模様の組合せを調べた。その結果、晴眼者の場合、点の大きさが等しい点格子模様間では点間隔の差が 2.0 mm 以上、点の大きさが異なる点格子模様間では 1.3 mm 以上ある組合せが識別性に優れていることが分かった。視覚障害者の場合はそれぞれ 1.3 mm 以上と 0.7 mm 以上であった。この結果を用いて、触地図中の面記号として、互いに十分に識別可能な点格子模様の組合せを提案した。そしてこの提案が有効であることを、触地図の中に配置した小面積の面記号を識別する実験によって実証した。

謝辞 実験に参加して下さった方々に深く感謝します。本研究は総務省 SCOPE (ICT イノベーション創出型, 課題番号: 101707012) の支援を受けて実施した。

## 文 献

- [1] 渡辺哲也, 山口俊光, 渡部 謙, 秋山城治, 南谷和範, 宮城愛美, 大内 進, “視覚障害者用触地図自動作成システム TMACS の開発とその評価,” 信学論 (D), vol. J94-D, no.10, pp.1652-1663, Oct. 2011.
- [2] 渡部 謙, 渡辺哲也, 山口俊光, 秋山城治, 南谷和範, 宮城愛美, 大内 進, 高岡 裕, 菅野亜紀, 喜多伸一, “点図触地図自動作成システムの開発と地図の触読性の評価,” 信学論 (D), vol. J95-D, no.4, pp.948-959, April 2012.
- [3] S. Lederman, “The perception of texture by touch,” in *Tactual Perception*, ed. W. Schiff and E. Foulke, pp.130-167, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- [4] P.K. Edman, *Tactile Graphics*, AFB Press, New York, 1992.
- [5] J.E. Morris and C.Y. Nolan, “Discriminability of tactual patterns,” *Int. J. Education of the Blind*, vol.11, pp.50-54, 1961.
- [6] S. Culbert and W.T. Stellwagen, “Tactual discrimination of textures,” *Perceptual and Motor Skills*, vol.16, pp.545-552, 1963.
- [7] J.E. Morris and C.Y. Nolan, “Minimum sizes for areal type tactual symbols,” *Int. J. Education of the Blind*, vol.13, pp.48-51, 1963.
- [8] K. Sagawa, M. Shinohara, K. Doi, and H. Fujimoto, “Aging effects on tactile preception for discrimination of figural representations in tactile guide maps,” *Proc. Workshop on Tactile and Haptic Interaction 2007*, pp.102-107, 2007.
- [9] S. Jehoel, D. McCallum, J. Rowell, and S. Unger, “An empirical approach on the design of tactile maps and diagrams: the cognitive tactualisation approach,” *British J. Visual Impairment*, vol.24, pp.67-75, 2006.
- [10] 長尾 博, 畑中滋美, パソコンで仕上げる点字の本&図形点訳 これなら教科書だって点訳できる, 読書工房, 東京, 2005.
- [11] 加藤俊和, 山本宗雄, 点字図書用図表の作成技法研修会-手で読む図表の作り方 (初歩から実践まで)-, 筑波技術大学障害者高等教育研究支援センター, つくば, 2007.
- [12] 土井幸輝, 天野真衣, 藤本浩志, 和田 勉, “触知案内図に



用いられるドットパターンの粗密感覚特性に関する研究,” 第 31 回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp.107-110, 2005.

- [13] C.E. Conner, S.S. Hsiao, J.R. Phillips, and K.O. Johnson, “Tactile roughness: neural codes that account for psychological magnitude estimates,” J. Neuroscience, vol.10, pp.3823-3836, 1990.
- [14] 大内 進, 澤田真弓, 金子 健, 千田耕基, “盲学校における触覚教材作成および利用に関する実態調査,” 国立特殊教育総合研究所研究紀要, vol.31, pp.113-124, 2004.
- [15] 渡辺哲也, 宮城愛美, 南谷和範, 長岡英司, “視覚障害者のパソコン利用状況調査 2007,” 信学技報, WIT2008-2, 2008.
- [16] K.O. Johnson and J.R. Phillips, “Tactile spatial resolution. I. Two-point discrimination, gap, detection, grating resolution, and letter recognition,” J. Neurophysiology, vol.46, pp.1192-1203, 1981.
- [17] 土井幸輝, 植松美幸, 藤本浩志, 和田勉, 佐川 賢, 篠原正美, “視覚障害者を対象とした触知記号の識別容易性評価,” 第 33 回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp.101-104, 2007.
- [18] ストップウォッチ D, <http://www.vector.co.jp/soft/winnt/personal/se409211.html>, 参照 Feb. 15, 2013.
- [19] 森まゆ, 佐鳥毅, 青松利明, “点図の線における点サイズと点間隔の要因が直交する 2 線の識別容易性に及ぼす影響,” 特殊教育学研究, vol.5, no.48, pp.337-349, 2011.
- [20] 矢部健三, 渡辺文治, 末田靖則, 喜多井省次, 内野大介, “中途視覚障害者の点字触読習得を阻むものはなにか?—生活訓練施設における点字読み訓練の結果から—,” 第 8 回日本ロービジョン学会学術総会・第 16 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会合同会議論文集, pp.101-104, 2008.

(平成 25 年 2 月 15 日受付, 6 月 12 日再受付)



渡辺 哲也 (正員)

1993 北大大学院工学研究科了。1994 障害者職業総合センター研究員, 2001 国立特殊教育総合研究所研究員, 2009 新潟大・工・福祉人間工学科准教授。音声・触覚情報を用いた視覚障害補償技術の研究開発に従事。博士(工学)。



渡部 謙

2012 新潟大学大学院自然科学研究科了。同年東京エレクトロン宮城に勤務。大学院では, 触地図による視覚障害者の歩行支援に関する研究に従事。



山口 俊光

2004 神奈川工科大学大学院工学研究科了。同年国立特殊教育総合研究所科学研究支援員。2009 新潟大学大学院自然科学研究科特任助手。視覚障害者の情報補償に関わる研究開発と障害者の IT サポートに従事。



南谷 和範

2007 学習院大・政治学研究科博士後期課程了, 2008 国立特別支援教育総合研究所研究支援員, 2009 国立障害者リハビリテーションセンター研究所流動研究員, 同年 10 月大学入試センター・入学者選抜研究機構特任准教授。博士(政治学)。



大内 進

1993 筑波大学教育研究科了。1974 東京都養護学校教諭, 1975 東京教育大学附属盲学校教諭, 1999 国立特殊教育総合研究所盲教育研究室長, 2010 教育支援部長, 現在客員研究員。視覚障害児の心理, 視覚障害教育指導法及び教材教具の研究に従事。



高岡 裕 (正員)

1997 東大院・医学系研究科満期退学。同年東大医科研ゲノムセンター教務補佐員, 1998 理研ゲノムセンターポスドク, 1999 理研播磨研 研究員, 2002 岩手医大歯学部助手, 2005 神戸大院・医学研究科特命講師, 2007 同特務准教授, 2009 同特命准教授, 2011 神戸大学医学部附属病院准教授。博士(医学)。



喜多 伸一 (正員)

1987 東京大学人文科学研究科修士課程了。同年エイ・ティ・アール視聴覚機構研究所研修研究員, 1988 富士通株式会社国際情報社会科学研究所研究員, 1989 東京大学人文・社会系研究科心理学研究室助手, 1997 神戸大学人文科学研究科心理学研究室准教授, 2012 同教授。



石橋 和也

2011 神戸大学大学院人文学研究科了。2010 ハーバード大学医学部訪問研究員, 2011 年香港中文大学心理学科訪問研究員, 同年神戸大学大学院人文学研究科学術推進研究員, 2012 東京大学大学院総合文化研究科特任研究員。博士(学術)。