

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*

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^{††††††††}

Development of an Embossed Map Automated Creation System and Evaluation of the Legibility of the Maps Produced*

Ken WATANABE[†], Tetsuya WATANABE^{††}, Toshimitsu YAMAGUCHI[†],
 Joji AKIYAMA[†], Kazunori MINATANI^{†††}, Manabi MIYAGI^{††††}, Susumu OOUCHI^{†††††},
 Yutaka TAKAOKA^{††††††}, Aki SUGANO^{††††††,†††††††}, and Shinichi KITA^{††††††††}

あらまし 私たちは、視覚障害者自身が操作して任意の地点の触地図を作成できる触地図自動作成システムを開発してきた。その評価過程で得られた意見のうち点図による触地図の作成機能をこのたびシステムとして実現した。このシステムは、点図に適した形式で地図画像を生成する Web サーバプログラムと、地図画像ファイルを読み込んで点字プリンタで印刷をする点図印刷プログラムからなる。このシステムで作成した触地図の記号の探索性と識別性を触知実験で評価した。その結果、地図の周囲に方眼座標を設けることで出発地・目的地の記号探索時間を短くできることが分かった。とはいえ同記号の見つけやすさの評価値は低く、記号そのものの探索性には課題が残った。識別性に関しては、一部の線の種類の違い、及び面の種類の違いを触察で区別しづらい状況が見られた。これらの結果を踏まえ、点図触地図の記号の改善点を考察した。

キーワード 視覚障害者, 触地図, 触知記号, 点字プリンタ

1. ま え が き

視覚障害者が地理空間情報を入手するために触地図が用いられる。触地図はその利用目的と縮尺率から、地理や社会科学習用の小縮尺の地図と、移動支援や周囲環境認知用の高縮尺の地図に大きく分けられる [1]。そのうち本論文では移動支援という目的から高縮尺の地図を対象とする。更に、高縮尺の触地図はその形態から、施設などに設置された設置型と、持ち運びができる冊子型に分けられ [2]、そのうち本論文では冊子型の触地図を取り上げる。これは、移動前に自宅で時間をかけて地図を読みたいという視覚障害者のニーズが高いためである [3]。なお、歩ける程度の範囲を表す触地図を JIS T 0922 では「触知案内図」と表現するが [2]、本論文では、短く一般的な「触地図」という表現を用いる。

触地図を作成するときは触読の特性を考慮しなければならない。触読の特性とは、手指が触れている狭い領域しか認識できないことや、単位面積内で提示でき

[†] 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, Ikarashi-2 8050, Nishi-ku, Niigata-shi, 950-2181 Japan

^{††} 新潟大学工学部, 新潟市
 Faculty of Engineering, University of Niigata, Niigata-shi, 950-2181 Japan

^{†††} 大学入試センター, 東京都
 National Center for University Entrance Examination, Meguro-ku, Tokyo, 153-8501 Japan

^{††††} 筑波技術大学, つくば市
 Tsukuba University of Technology, Tsukuba-shi, 305-8521 Japan

^{†††††} 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, 239-0841 Japan

^{††††††} 神戸大学医学部附属病院, 神戸市
 Kobe University Hospital, Kobe-shi, 650-0017 Japan

^{†††††††} 神戸大学大学院医学研究科, 神戸市
 Graduate School of Medicine, Kobe University, Kobe-shi, 650-0017 Japan

^{††††††††} 神戸大学大学院人文学研究科, 神戸市
 Graduate School of Humanities, Kobe University, Kobe-shi, 657-8501 Japan

* 本論文はシステム開発論文である。

る情報量が視覚に比べて圧倒的に少ないことなどである [4]。この特性を考慮して地図を作成するには知識と経験が必要とされ、盲学校や福祉施設、ボランティア団体の中でもこの作業に当たれる人は少ない。また経験者であっても作成に時間がかかる。このため、例えば 1 週間後に訪問予定の土地の触地図を 2~3 日で取り寄せたいといった緊急のニーズに応えるサービスは日本では提供されていなかった。

そんな中、近年の地理空間情報システムの普及を受けて、コンピュータで触地図を自動作成するシステムが開発され始めた。米国 Smith Kettlewell 視覚研究所の TMAP システム [5] と国土地理院の触地図作成システム [6] である。しかしこれらのシステムでは、視覚障害者自身が日本国内の任意の地点の地図を作成できなかった。そこで私たちは、この問題を解決する触地図自動作成システム TMACS (Tactile Map Automated Creation System) を開発した [7]。TMACS は、公共施設のほかに店舗やバス停、信号など、より細かなランドマークを表現しており、移動用地図としての有用性を高めている。

触地図は、紙面上に凸状の点、線、面記号を配置することで、図形情報を触覚的に伝える。この凸形状を作る手法として、サーモフォーム、立体コピー、点字プリンタ、紫外線硬化樹脂などがある [8]。このうち、国内の盲学校や点字図書館など公共の施設で普及しているのは点字プリンタと立体コピーである [9]。TMACS では触図作成手法として立体コピーを選んだ。これは、立体コピー現像機が点字プリンタより廉価であり、かつ作成時間が短いためである。

この TMACS をワークショップ形式で視覚障害者 5 人に体験してもらったところ、体験後の討論会において点図による触地図への要望も寄せられた [7]。その後、別の触地図ワークショップを開いたときに、立体コピーと点図のどちらを好むかと参加者に質問したところ、4 人の視覚障害者のうち 2 人が点図を、残りの 2 人が立体コピーを好むと回答し、両媒体への嗜好は拮抗している。点図は点字教科書や教材に活用されており、視覚障害教育を受けた者はこれに慣れている。点字プリンタの新規導入には費用がかさむが、公共の施設では整備済みの点字プリンタを活用できる。更に、点字印刷のため点字プリンタを自ら操作する視覚障害者もいる。このような状況を踏まえて、点図形式の触地図 (以下、点図触地図とする) を自動的に作成するシステムの開発に取り組んだ。

点図触地図の自動作成は、地図記号を全て点の並びで表現するように地図画像作成ソフトウェアを適切に設定し、次にその画像ファイルを読み込んで点字プリンタにプロットさせるプログラムを開発することで実現した。このような点図触地図自動作成システムの開発は国内初である。

本システムを開発するにあたって、触知記号の形状は点図作成技法に関する文献ほかを参考に決定した [10]~[12]。しかし、それらの触知記号の推奨理由となる実証データは文献には示されていない。このため、用いた触知記号 (特に線と面記号) の識別性を検証する必要がある。点記号については、触地図の中からどれだけ短い時間で見つけられるかという探索性が重要である。そこで、本システムの評価として、触知記号の探索性と識別性を視覚障害者を対象とした実験で検証した。

2. 点図触地図

2.1 点 図

点図は触図作成方法の中でも歴史が古く、点字印刷用の垂鉛盤エンボス印刷機を利用して明治時代半ばから作成されてきた [4]。現在でも、点字教科書の中の触図には点図が用いられている。

点図は、点、線、面記号がいずれも凸点で構成された図である。紙面を凸凹させて点図を作成するには、ルレットや点字盤などを用いて 1 枚ずつ手作りする方法、垂鉛盤上に原図を作成しプレス印刷する方法 [1]、そして点字プリンタを用いる方法がある。本論文では、コンピュータで制御できる点字プリンタの利用を考える。

2.2 触 知 記 号

点図の触知記号は点、線、面の 3 種類である。それぞれの形状と種類の制約について述べる。

(1) 点記号

点記号とは、位置を表す記号である。文字どおり一つの点が点記号となることもあるが、一般的には、幾何学的な図形 (丸、三角、四角など) を複数の点で構成して点記号に用いる。点記号の大きさは縦横とも 1 cm を越えない程度である [10]。

点記号が小さくなるほど触覚による識別性は下がる [13]。特に四角形以上の多角形は丸と区別しづらい。このため経験則として、点図で用いる点記号は数種類程度とされている [10]。この識別の困難さから、一般の地図で用いられる記号 (Ⓢ (郵便), ㊦ (神社), ✕



図 1 面パターン例。左から、格子、V 字千鳥格子、縦ストライプ

Fig. 1 Examples of surface patterns. Grid (left), V shaped (middle), and vertical stripe (right).

(学校)などは触図では用いられない。

(2) 線記号

線記号とは、長さ（地図では距離）と方向を表す記号である。線は点の並びで構成される。

点同士の間隔が狭いと 1 本につながった「実線」のように触覚では感じられる。一方で、この間隔が広いと 1 点ずつを認識できる「点線」と感じられる。点の大きさにも依存するが、山本はその境界を 4~5.5 mm としている [11]。長尾は作図ソフトウェアの設定値で「実線」は 6 ドット（後述の点字プリンタの横方向では 2.1 mm 間隔）、「点線」は 3.8 mm（同 3.8 mm）としている [12]。「点線」の場合、点間隔の変化により線の種類を識別させることができるが、識別性が安定的でないため、同じ点の種類（点の大きさ）では線の種類は「実線」と「点線」の 2 種類にとどめるのがよいとされる [12]。

(3) 面記号

面記号とは、ある領域の位置、形状、面積を表す記号である。

面領域内は点のパターンで埋める。点のパターンとしては、点を格子状などに規則的に並べたもの、数個の点による模様を規則的に並べたもの、そしてストライプが一般的である（図 1）[14]~[16]。点や模様の規則的な配置とストライプを識別するのは比較的容易である。しかし、点の規則的配置と模様の規則的配置は触覚では識別しづらく、粗密感を識別できる程度である [16]。

更に、触地図では面記号で表す領域（水域や建物）が狭い場合もあるため、パターンの基本単位が広いストライプと模様の規則的配置の使用は避けた方がよい。

これらを踏まえると、1 枚の点図の中で用いる面記号は、点の規則的配置による 2 種類ぐらいが適当と考えられる。

2.3 そのほかの触図の制約

触知記号の識別性による種類の制約のほか、触図全般に当てはまる要件、及び制約は以下のとおりで

ある。

- 触知記号同士は十分に間隔を空けること [16]。
- 点字による注記は、その周囲のスペースを含め広い面積が必要であること [10]。
- 触図の読み取りには時間がかかること [4]。

これらを考慮すると、情報の種類とともに情報量も可能な限り減らす必要がある。

2.4 触地図の要素

触地図には様々な種類の情報を載せたいが、他方で、触図の触読性を保つには情報をできるだけ減らす必要がある。そこで、移動支援用の触地図を構成する最低限の要素として、出発地と目的地、及びその位置にある建物、道路、信号を取り上げる。これに加えて、現在地を把握するのに役立つ情報として鉄道と水域を選び、これらを点、線、面記号で表す。触図が地図として機能するために必要な凡例と方位記号を地図本体の周囲に配置する。

2.5 点字プリンタ

コンピュータ制御で点図を作るには、プロッタ機能のある点字プリンタが必要である。そのような点字プリンタとして国産では 3 機種を確認している（JTR ESA 721 Ver'95, LENTEK TEN-100, カトリア・サービス アーチ BP-S）。ほかに、海外産のプリンタも輸入販売されている。このうち、盲学校等で最も広く普及している ESA 721 Ver'95（以後、ESA 721 と表記）を開発に用いることとした [9], [17]。

ESA 721 のプロッタ機能では大・中・小 3 種の点で作図できる。点の形状は円形であり、各点の直径は大点 1.7 mm, 中点 1.5 mm, 小点 0.8 mm である。

A 版（横 10 × 縦 11 インチ、すなわち 25.4 × 27.94 cm）の点字プリンタ用紙に、最大で横 600 × 縦 793 個の点を打つことができる。最小打点間隔は、横方向が 0.3454 mm, 縦方向が 0.3175 mm である。

コンピュータとはシリアルポートを介して通信する。

3. システムの開発

3.1 動作概要

点図触地図自動作成システムの概念図を図 2 に示す。今回新たに開発したのは点図触地図自動作成システム tmacsTen と点図印刷プログラム map2ESA である。

tmacsTen は、利用者が入力した住所や施設名から緯度と経度を求め（ジオコーディング）、その緯度・経度周辺の地図画像を作成し（レンダリング）、出発地と目的地を点訳し（漢字仮名交じり文を分かち書き

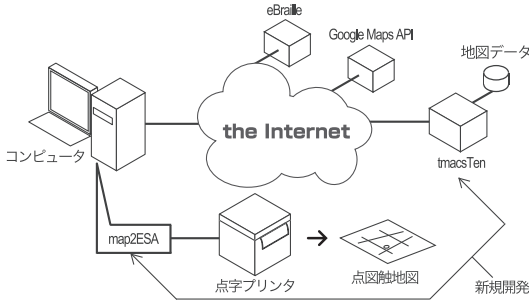


図 2 点図触地図自動作成システムの概念図

Fig. 2 Concept design of the embossed map automated creation system: tmacsTen.

された読み下し文に変換すること), 凡例と方位記号を地図画像の周囲に配置する. このうちジオコーディングと点訳の動作は, 既報の触地図自動作成システム TMACS と同じなので, 詳しくはそちらを参照されたい [7]. ここでは, tmacsTen の動作のうち, 点図に適した地図画像を作成する部分と, map2ESA の動作について説明する.

3.2 点図用画像ファイル

ESA 721 で A 版の用紙に打ち出せる打点数 (横 793 × 縦 600) と同じピクセル数の画像ファイル (PNG 形式) を点図用画像ファイルとして tmacsTen で作成する. 点の種類はドットの RGB 値で符号化している. すなわち, 大点で打点する位置には緑, 中点で打点する位置には黒, 小点で打点する位置には青でドットを描く.

3.3 地図画像のレンダリング

地図のレンダリングには, オープンソースの地図描画エンジン MapServer 5.4.2 を用いた [18]. MapServer では, マップファイルという設定ファイルに従って地図データから画像ファイルを生成する. マップファイルには, 描画したい地図の緯度と経度, 地図のサイズ, 表示するレイヤ, レイヤの表現形式 (スタイル) をテキストで記述する.

地図データにはマッフル 10000 デジタル地図データ (昭文社) を用いた. 地図データの管理システムには PostgreSQL 8.2.11 と PostGIS 1.3.5 を使用した.

地図画像のレンダリングの流れを図 3 に示す.

3.4 点図触地図の記号

点図触地図の記号を描くためのマップファイルの設定と, 点字プリンタで印刷された点図の寸法を記号ごとに説明する. 用いた記号の一覧を図 4 に示す.

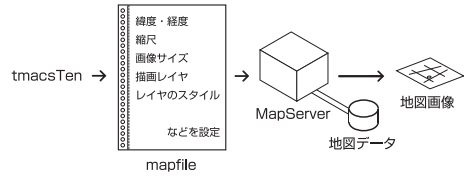


図 3 MapServer を使った地図画像のレンダリング
Fig. 3 Rendering map images using MapServer.

触知記号	特性	用途
	小点, 直径 7.6mm	出発地
	小点, 直径 7.6mm 中心に中点	目的地
	大点, 余白 3.2~3.8mm	信号
	大点, 間隔 2.0mm	幅 20m 以上の道路
	中点, 間隔 2.3mm	幅 7m 以上 20m 未満の道路
	小点, 間隔 2.1mm	幅 7m 以下の道路
	大点, 間隔 4.5mm	鉄道
	小点, 正方形格子 間隔 1.4mm	建物, 駅
	小点, 千鳥格子 間隔 1.7mm	水域

図 4 点図触地図の記号

Fig. 4 Symbols in embossed maps.

3.4.1 地図内の記号

(1) 出発地・目的地と信号を点記号で表す.

- 出発地・目的地

出発地の記号は, 直径 21 ピクセルの円を小点で描いて作成した. 目的地は, 出発地と同じ円記号の中心に中点を 1 点入れた記号で表す. 点字プリンタで印刷した結果, 円の直径は約 7.6mm となった. なお, 点字プリンタの縦方向と横方向で最小打点間隔が異なるため, その中間値を「約」をつけて表す.

- 信号

信号は大点 1 点で表す.

(2) 道路と鉄道を線記号で表す. 利用者の要望に応じて, 実際の道路幅に応じて線の種類を変える [7]. このため, 大・中・小の大きさの違う点それぞれで「実線」を作って道路を表す. 鉄道は「点線」で表す.

- 道路

道路を表す線記号は 3 種類とする. 幅 20m 以上の道路を大点の「実線」(描画時の点間隔 6 ピクセル. 印刷物の点の中心同士の間隔約 2.0mm), 幅 7m 以上 20m 未満の道路を中点の「実線」(描画時 7 ピクセル,

印刷物約 2.3 mm), 幅 3 m 以上 7 m 未満の道路を小点の「実線」(描画時 6 ピクセル, 印刷物約 2.1 mm) で表す.

- 鉄道

大点の「点線」で表す. 描画時点間隔は 13 ピクセルとした. 印刷の結果, 点間隔は約 4.5 mm となった.

(3) 面記号は 2 種類とし, 出発地・目的地の建築物, 駅舎, 水域をこれで表す.

- 出発地・目的地の建築物, 駅舎

出発地・目的地に建築物がある場合はその領域を, 正方形格子状に並んだ小点で埋める. 格子の一辺の点間隔を 3 ピクセルとしたところ, 印刷物では点中心間の間隔は約 1.4 mm となった.

鉄道の駅は重要なランドマークであるため, 出発地・目的地として指定されなかった場合も表示する. 駅舎の領域を建築物と同じ面記号で表す.

- 水域

小点を千鳥格子状に並べた面記号で表す. このために, 点間隔が 6 ピクセルの正方形と, その対角線が交差する位置に点を置いた. 小点の中心間距離は, 印刷物で約 1.7 mm となった.

水域では空間の広がりを感じ取れるほか, 建物に比べて広く, または長いことから視覚障害者が現在地や進行中の方向を知る手掛りにできる. また川にかかる橋はランドマークとして活用できることから, 水域はデフォルトで表示する.

(4) 余白

触知記号をその背景から識別できるようにするため, 触知記号の周囲には一定の余白を設ける. このために, 記号の周囲に白色の画像を作り, 記号とともに背景の要素 (レイヤ) の上に重ねる.

周囲に余白を設けたのは点記号と面記号である. 直径 21 ピクセルの出発地・目的地の周囲に 7.5 ピクセルの余白ができるように直径 36 ピクセルの白い円を同心で描いた. 信号の周囲にも直径 21 ピクセルの白い円を描いた. 線記号である道路と鉄道はその左右に 7 ピクセルずつの白い方形を作った.

印刷物上の余白の広さはピクセル数 \times 最小打点間隔であるが, 下のレイヤである線記号や面記号に含まれる点間隔と足し合わさることで, 設定値より広くなる場合がある. 実測では, 出発地・目的地の周囲は約 2.6 mm, 信号の周囲は約 3.2~3.8 mm, 道路と鉄道の左右は約 2.5 mm となり, これらの数値は記号間に作るべきとされる間隔 (2~4 mm) の要件を満たしてい

る [16].

(5) 記号の重ね合わせ

上に述べた各記号をマップファイルのレイヤとして, 水域, 道路, 鉄道, 駅, 建物, 信号, 出発地・目的地の順で下から重ね合わせる.

3.4.2 地図周囲の記号

- 方眼座標

触地図内のお出発地・目的地の記号を探しやすくするために, 地図の上端と左端に座標を配置する [1]. 上端にはあ~え, 左端には数字の 1~3 の点字を表示することで, 出発地・目的地の位置を座標で表現できる. 例えば, 図 6 の触地図では, 出発地は「い 2」, 目的地は「う 2」にある.

方眼への分割数を決めるにあたって, 日本視覚障害社会科教育研究会監修の『基本地図帳』とスウェーデン点字図書館発行の触地図作成ガイドラインの例を参考にした [19], [20]. 『基本地図帳』の B4 用紙上の世界地図 (寸法は平均で 204 \times 308 mm) 23 枚中 19 枚 (83%) が 3 \times 3 に, 2 枚 (9%) が 3 \times 4 に, 残る 2 枚 (9%) が 3 \times 2 に分割されている. スウェーデン点字図書館発行の触地図作成ガイドラインでは 265 \times 320 mm の地図を 4 \times 5 に分割した例と, A3 サイズ (用紙寸法は 297 \times 420 mm) の地図を 70 \times 70 mm の方眼 (したがって 4 \times 6 とと思われる) に分割した例が記されている. これらの分割数を踏まえ, かつ分割したブロックが正方形に近くなるように, 点図触地図を 4 \times 3 へ分割することとした. その結果, 方眼の寸法は縦 53 mm \times 横 61 mm (162 ピクセル \times 178 ピクセル) となった.

方眼座標は縦軸と横軸別々の画像データ (PNG 形式) である. 両方とも 5 ピクセル間隔の点線を中点で描き, 縦軸には 1~3 の点字画像, 横軸にはあ~えの点字画像を等間隔に配置している. 縦軸画像のサイズは 35 \times 490 ピクセル, 横軸画像のサイズは 735 \times 20 ピクセルである.

評価実験では, この方眼座標が探索性に与える効果を検証する.

- 凡例

63 種類の点字の記号 (1~6 個の中点の並び. 点間隔は縦 6 ピクセル, 横 7 ピクセル) を用意し, 出発地・目的地を点訳したテキストデータに応じて, 対応する記号を並べる. 点字記号同士の間には 20 ピクセルの間隔を配置する.

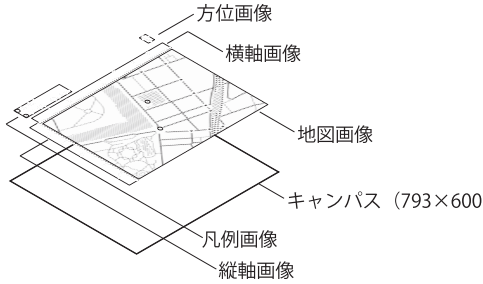


図 5 画像のレイアウト
Fig. 5 Layout of images.

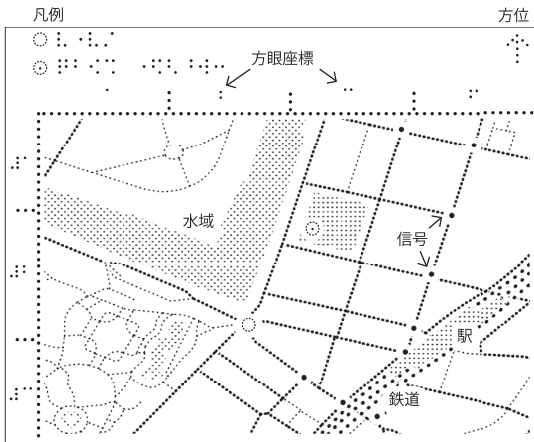


図 6 点図触地図の例 (日比谷交差点から帝国劇場)
Fig. 6 Example of embossed maps.

● 方位記号

方位記号は、上向きの矢印の形を、4ピクセルの点間隔（印刷物で約1.7mm）で、小点を使って描いた画像データ（PNG形式、41×25ピクセル）である。

3.4.3 記号のレイアウト

地図本体、及び地図周囲の記号の画像データを、793×600ピクセルのキャンパスにレイアウトする。用紙の左上に出発地・目的地の凡例、右上に方位記号、凡例の下に地図本体、地図本体の上と左に方眼座標を配置することで（図5）、点図用地図画像が生成される。

3.4.4 map2ESA

点図触地図を印刷するためのソフトウェア（map2ESA）を、MicrosoftのVisual Studio 2003 .NET MFCを用いて開発した。map2ESAは、tmacsTenで作成した点図用画像ファイルを読み込み、ファイルの各座標にドットがあれば、点字用紙の対応する位置に打点する。大・中・小の点の種類は、ドットのRGB値によって判別する（画像ファイルの箇所では

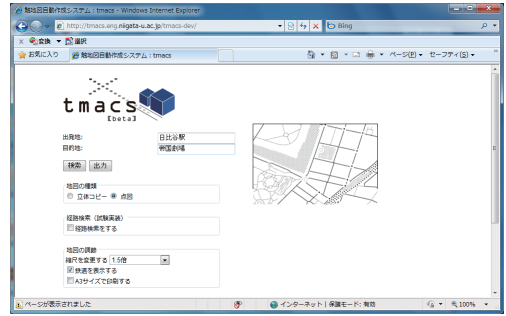


図 7 点図触地図自動作成システムの操作画面
Fig. 7 Snapshot of tmacsTen Web site.

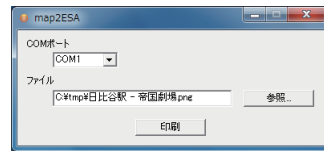


図 8 map2ESA の操作画面
Fig. 8 Snapshot of map2ESA program.

述)。map2ESAで印刷した点図触地図の例を図6に示す。

4. 操作方法

tmacsTenとmap2ESAの操作に必要な機材は、インターネットに接続し、map2ESAが導入されているパソコン、点字プリンタ、点字プリンタ用紙（A版）である。tmacsTenの操作画面（図7）とmap2ESAの操作画面（図8）を参照しながら、操作の流れを説明する。

- (1) 出発地・目的地の指定：システムの操作画面のテキストボックスに、出発地と目的地の住所または施設名を入力して「検索」ボタンを押す。
- (2) 出力：「出力」ボタンを押すと、点図用地図画像がダウンロードされる。
- (3) 印刷：map2ESAを起動する。点字プリンタを接続しているポート番号とダウンロードした点図用地図画像を選択し、「印刷」ボタンを押すと、点字プリンタが触地図を印刷する。

5. 触知実験

5.1 目的

方眼座標の有無が出発地・目的地の探索性に及ぼす効果と、線・面記号の識別性を検証する。

5.2 参加者

学生 4 名（以下，若年者）と 60 代 4 名（以下，高齢者）の計 8 名の視覚障害者に実験に参加してもらった。若年者群の年齢は 19.8 ± 1.3 歳，高齢者群は 62.0 ± 2.7 歳であった。全員，点字使用者であり，歩き慣れている通勤，通学路や家の周りでは単独で歩行している。

5.3 実験用触地図

実験には，道路，鉄道，信号，水域を含む 4 住所の地図を用いた。4 住所の地図それぞれに，方眼座標がある地図とない地図を用意した。また，図中で使用される記号を説明する凡例一覧も用意した。

5.4 触地図の提示パターン

触地図の住所の違いの効果をなくすため，住所 1 と 2 に方眼座標が付いた触地図を触る提示パターンと住所 3 と 4 に座標が付いた触地図を触るパターンの二つに分ける。更に，提示順序の効果をなくすため，方眼座標が付いた触地図を先に触る提示パターンと，後に触るパターンの二つに分ける。合計で 4 種類の提示パターンができるので，各パターンに若年者と高齢者を 1 人ずつ割り当てた。

5.5 実験手順

実験は触察能力の確認，サンプル地図を用いた練習，本実験，アンケート調査の順で実施した。

5.5.1 触察能力の確認

地図の触読には，線たどりと分岐点の検出能力が欠かせない。そこで，同様な操作を含むあみだくじをたどってもらうことで，触察能力の事前確認とした。

図 9 のようなあみだくじを点図で作った。縦の線の点種は中点，点間隔 2.5 mm，横の線の点種は小点，点間隔 2.1 mm，である。実験参加者には，上側の 3 箇

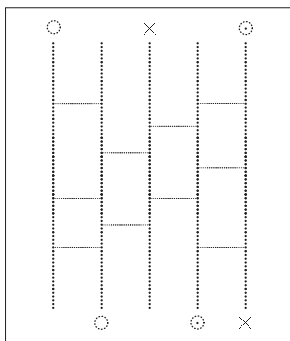


図 9 点図形式のあみだくじ
Fig. 9 Embossed amidakuji.

所の開始地点からたどってもらい，終着点にある記号の種類を報告してもらった。

参加者 1 人につき 3 回この操作を行ってもらったところ，全員が全ての回で正しい終着点にたどりついた。このことから，本実験に参加するために必要な触察能力を参加者全員が有しているとみなした。

5.5.2 練習

本実験の前に触地図の説明を行った。サンプルとして方眼座標がある地図とない地図それぞれ 1 枚を触ってもらい，触地図中の表示物を凡例一覧とともに確認してもらった。

5.5.3 本実験

本実験は地図ごとに (1) 出発地・目的地の探索 (2) 経路の探索 (3) 経路の説明の順に進めた。

(1) 出発地・目的地の探索

実験参加者には地図上にある出発地・目的地を探索してもらい，これに要する時間を実験者が計測した。探索時間の上限を 5 分とし，この間に見つからなかった場合は実験者が出発地・目的地を教え，経路探索に進んでもらった。方眼座標がある地図の場合は，探索前に出発地・目的地の座標を実験者が口答で伝えた。

(2) 経路の探索

参加者には出発地から目的地までの経路をたどってもらい，実験者がこれに要する時間を計測した。探索時間の上限を 10 分とした。

(3) 経路の説明

参加者に，(2) でたどった経路を口答で説明してもらった。経路上に道路幅の変化（点種の変化）があった場合，及び交差点や信号を見つけた場合はそのことを口頭で伝えるように参加者に教示した。

5.5.4 主観評価

4 枚の地図を触った後に，触知記号の探索性と識別性に関する八つの質問（表 1）に 5 段階評価（5：高，1：低），及び 2 択（質問項目 2 のみ）で答えてもら

表 1 質問事項
Table 1 Questionnaire.

1	出発地・目的地は見つけやすいか？
2	方眼座標がある地図とない地図では，どちらが出発地・目的地を見つけやすいか？
3	道路はたどりやすいか？
4	道路幅の違いは分かりやすいか？
5	信号は見つけやすいか？
6	鉄道は見つけやすいか？
7	水域は見つけやすいか？
8	実際に外出するとき，触地図は有効だと思うか？

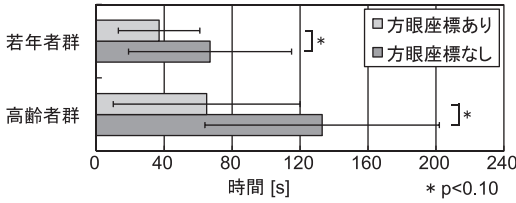


図 10 出発地・目的地の探索時間
Fig. 10 Search time for start and goal points.

た。更に、触地図について気になる点があったときは自由に述べてもらった。

5.6 記 録

ビデオカメラ (SONY, HDR-XR150) を用いて、触察中の参加者の手元を撮影した。撮影には、事前に参加者の了承を得た。時間の計測にはストップウォッチ (SEIKO, ADME001) を用いた。

5.7 実験結果

5.7.1 課題の遂行状況

若年者群の4人は、全ての地図条件において出発地・目的地、及び経路の探索課題を規定時間内で遂行した。他方で、高齢者群では、座標がない触地図において出発地・目的地のうち一方の探索を規定時間内で終了できなかった試行が2人で1回ずつあった。そのうち1回は建物の中にある出発地を、他の1回は建物の外にある目的地を見つけられなかった。また、方眼座標ありの地図における経路探索を規定時間内で終了できなかった試行も1回あった。以後では、規定時間内で遂行できた試行の探索時間を用いて分析する。

5.7.2 出発地・目的地の探索

出発地・目的地の探索時間の平均値と標準偏差を図10に示す。若年者群、高齢者群とも、方眼座標がある触地図における探索時間は、方眼座標がない場合の半分程度となった。また、若年者群は高齢者群の半分程度の時間で探索を終えている。

これらの時間差が統計的に有意かどうかを調べた。探索時間の分布が正規分布とはみなせなかったため、ノンパラメトリック検定の一つであるマン・ホイットニーの U 検定を適用した。有意水準を10%に設定すると、両側検定における z の臨界値は1.65であり、得られた z は若年者群で1.84、高齢者群で3.69であった。すなわち、若年者群と高齢者群の両方において、方眼座標があることで出発地・目的地の探索時間が有意に短くなったといえる。

若年者と高齢者の出発地・目的地探索時間の差を U

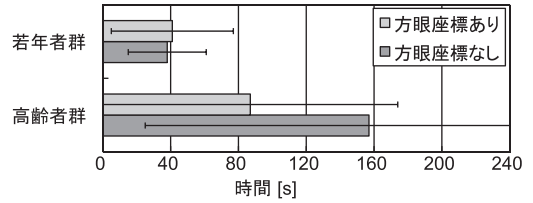


図 11 経路の探索時間
Fig. 11 Search time for routes.

検定にかけたところ、座標ありの地図間では z 値は1.31、座標なしの地図間では z 値は4.47となった。有意水準を10%に設定すると、後者において若年者と高齢者の間に有意な差が見られた。

5.7.3 経路の探索

経路探索時間の平均値と標準偏差を図11に示す。高齢者群では、方眼座標がある場合の探索時間は、座標がない場合の半分程度となっている。一方、若年者群では両条件の間に大きな差は見られない。経路探索課題においても、若年者群は高齢者群の半分程度の時間で探索を終えている。

経路探索時間にも U 検定を適用し、方眼座標の有無が経路探索時間に及ぼす効果を調べた。有意水準を10%に設定すると、得られた z は若年者群で0.16、高齢者群で1.26であった。すなわち、若年者群と高齢者群の両方において、方眼座標ありとなしの経路探索時間に有意な差は見られなかった。

若年者と高齢者の経路時間の差を U 検定にかけたところ、座標ありの地図間では z 値は1.10、座標なしの地図間では z 値は1.63となった。有意水準を10%に設定すると、座標の有無にかかわらず、若年者と高齢者の間に有意な差が見られなかった。

5.7.4 触知記号の識別

参加者による経路説明のビデオ映像から、経路上における道路幅の変化 (線記号の変化)、交差点、信号の検出率を求めた。経路の選択は参加者によって異なるため、検出すべき線記号の変化や交差点、信号の数も参加者によって異なる。表2には、検出対象数と実検出数を若年者群と高齢者群ごとに足し合わせた数値を示す。

道路幅の変化の検出率は、若年者群と高齢者群の両方において、小-中点間と小-大点間で100%だったのに対して、中-大点間は若年者群で中→大が60%、大→中が25%、高齢者群で中→大が25%、大→中が0%と低かった。

表 2 道路幅の変化, 交差点, 信号の検出率
Table 2 Detection rate of changes in width of roads, crossroads and signals.

		道路幅					交差点	信号	
		小→中	小→大	中→小	中→大	大→小			
若年者群	検出/全体	8/8	2/2	5/5	3/5	19/19	1/4	106/120	24/24
	検出率 [%]	100	100	100	60	100	25	88	100
高齢者群	検出/全体	0/0	1/1	13/13	1/4	25/25	0/3	96/118	13/20
	検出率 [%]	-	100	100	25	100	0	81	66

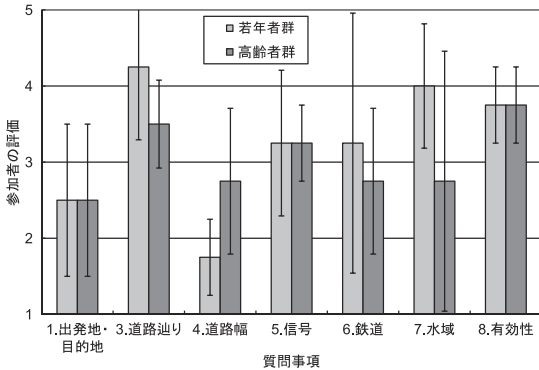


図 12 主観評価の結果
Fig. 12 Subjective evaluation results.

交差点の検出率は, 若年者群が 88%, 高齢者群が 81%だった。

信号の検出率は, 若年者群が 100%, 高齢者群が 66%だった。

5.7.5 主観評価

質問項目 2 を除いた主観評価の平均値と標準偏差を図 12 に示す。5 段階評価の中間値である 3 よりも平均評価値が低かった触知記号は, 出発地・目的地の見つけやすさ (若年者群: 2.5, 高齢者群: 2.5), 道路幅の違いの分かりやすさ (若年者群: 1.75, 高齢者群: 2.75), 鉄道の見つけやすさ (高齢者群: 2.75), 水域の見つけやすさ (高齢者群: 2.75) であった。いずれの質問においても若年者群の方が高齢者群よりも評価値が高いかまたは同等であるが, 道路幅に関する質問だけ, 若年者群の方が高齢者群より評価値が低くなっている。

方眼座標がある地図とない地図のどちらが出発地・目的地を見つけやすいかという質問 2 では, 若年者群では 4 人中 3 人, 高齢者群では 4 人全員が方眼座標ありの地図の方が見つけやすいと答えた。

自由回答では, 出発地・目的地が建物の中にあると見つけづらいという意見が高齢者 2 人, 出発地・目的地の記号が分かりづらいという意見が高齢者 1 人若年

者 1 人の計 2 人, 大点と中点を区別しづらいという意見が高齢者 2 人若年者 1 人の計 3 人, 水域と建物を区別しづらいという意見が高齢者 1 人若年者 2 人の計 3 人, 交差点で線の間にすき間があると分かりづらいという意見が若年者 1 人から出された。

6. 考察

6.1 方眼座標の有無が探索時間に及ぼす効果

若年者群と高齢者群ともに方眼座標ありとなしの出発地・目的地の探索時間に有意な差が見られた。アンケート調査においても, 参加者 8 人中 7 人が方眼座標ありの地図の方が出発地・目的地を見つけやすいと答えた。これらのことから, 方眼座標ありの触地図は出発地・目的地の探索時間の短縮に有効であるといえる。

一方, 経路の探索においては, 若年者群と高齢者群ともに方眼座標ありとなしの探索時間に有意な差は見られなかった。これは, 経路探索の前提として, 出発地・目的地の探索が済んでおり, 参加者は出発地・目的地を再探索する必要がなかったためだと考えられる。

本システムの設計時, 方眼への分割数は既存の地図を参考に決定した。しかし, 方眼の分割数または寸法と探索性の関係について言及している触知ガイドラインはないことから, 今後, 探索性に優れた方眼の寸法を実験的に求める必要があると考えている。

6.2 識別性・探索性が良好であった触知記号

道路幅の識別課題では, 小点による道路と他の 2 種類の間 (中点と大点) による道路の識別は, 変化の順序にかかわらず 100% の検出率であり, これらの識別性は良好であった。自由回答でも, この識別を難しいとする意見はなかった。

信号の検出は若年者群では 100% と良好であった。高齢者群では 66% に下がるものの, 主観評価 (5 段階評価, 自由回答とも) では信号の検出は困難とみなされなかった。その理由として記号の周囲の余白が 3 mm 以上と十分に広がったことが考えられる。

6.3 改善が必要な触知記号

触知記号の検出と識別は, 地図の理解に欠かせない。

更に、識別や検出が困難な触知記号の存在は地図の触読時間を増加させるため、そのような記号の使用は避けるべきである。これらのことから、各種記号の識別率と検出率は100%を目標としたい。ただし、触読に不慣れな人や、高齢のため触覚機能が衰えている人の場合はこの限りではない。

記号（の変化）の検出率の低さ、主観評価における平均評価値の低さ、そして自由意見から、出発地・目的地、道路と鉄道、水域（と建物）の各触知記号について改善が必要だと考えられる。

6.3.1 出発地・目的地の探索性

出発地・目的地の記号を短時間で見つけさせるには、ポップアウト効果の高い記号を用いる必要がある。ポップアウト効果とは、ターゲットを多数の類似物の中から短時間で見つけ出させる性質のことである[21]。触地図の場合、いずれも点の集合で構成された点・線・面記号が攪乱要因、出発地・目的地の記号がターゲットになる。

出発地・目的地の記号には道路と同じ小点がいわれているため、記号の形状（円形）だけを鍵として探索しなくてはならなかった。出発地・目的地が建物の中にあつた場合は、建物の面記号も小点で構成されているため、探索がなおさら難しくなったことが、自由回答で示されている。

亜鉛盤製版による点図では、注意を引く点記号に直径3mm強の大きさの点がいわれている。この大きな点記号は、線を構成する直径約1.5mmの点から識別しやすい。しかし、今回用いている点字プリンタでは点径は限られており（2.5を参照）、そのままでは直径3mmの点記号を作ることはできない。

そこで、私たちは現在、点を近接して打つことで、全体で大きな点記号（特大点）を作る案を考えている（図13）。今後は特大点を安定して構成できることの検証と、その探索性の評価を進めたい。

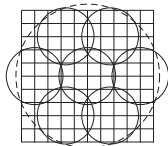


図13 中点（実線の円）の近接打点による特大点（点線の円）の構成。格子の交差点が打点位置、格子の幅は最小打点間隔を表す。

Fig. 13 Extra large size dot (dotted circle) composed of closely embossed middle size dots.

6.3.2 線記号の識別性

大点の点線と中点の点線の識別が困難であることが、検出率の低さと自由意見から明らかとなった。この現象は、本システムの開発及び実験後に公表された線記号同士の識別性に関する研究結果と一致する[22]。大点と中点の識別が困難なのは、点の直径が大点約1.7mm、中点約1.5mmと近いためと考えられる。

今後は、大点と中点のいずれか一方のみを用いて線の種類を減らすか、あるいは、線の種類を維持するため、点間隔を十分に広げた「点線」を利用するなどの方法を検討する。

主観評価の結果（図12）において、道路幅についての質問のみ、若年者群の方が高齢者群より評価値が低くなった。この原因は、道路幅の識別率が0%や25%と低い状況では、道路幅の違いが意識されておらず、識別が難しかったという印象がなかったため、評価があまり下がらなかった一方で、道路幅の違いを識別するのに努力を要した場合に評価が低くなったためではないかと考えられる。ただし、このことを確認するためには別途実験が必要である。

6.3.3 水域と建物の識別

水域と建物の識別が困難であることが主観評価（5段階評価、自由意見）から分かった。

領域が狭くなる場合を想定して点のパターンから2種類（正方格子と千鳥格子）を選んだ。両パターンは点の並ぶ角度が異なるが、点種が同じな上に、点中心間隔が1.4mmと1.7mmと近かったことから似た触感を惹起したと考えられる。今後、点の大きさの変化、点間隔の違いによる粗密感の変化[15]、面パターンの変化を施すことで、2~3種、確実に識別可能な表現を実験的に明らかにしたい。

7. む す び

視覚障害者の要望に応じて点図触地図自動作成システムを開発し、その評価として、システムで作成した点図触地図内の触知記号の探索性と識別性を実験で調べた。その結果、出発地・目的地記号の探索における方眼座標の有効性、信号記号の検出容易性、点種による線の識別性の違い、出発地・目的地記号の探索の困難さ、面記号同士の識別の困難さが明らかとなった。今後は、改善が必要とされる触知記号をより識別しやすい記号に変えて再評価をし、その結果をシステムの改善に反映させていく予定である。

謝辞 本研究は科学研究費補助金（基礎研究（B））

課題番号：20300200), 及び総務省 SCOPE (ICT イノベーション創出型, 課題番号：101707012) に基いた成果である。

文 献

- [1] P.K. Edman, Tactile Graphics, AFB Press, New York, 1992.
- [2] 日本工業標準調査会, JIS T 0922:2007 高齢者・障害者等配慮設計指針—触知案内図の情報内容及び形状並びにその表示方法, 日本規格協会, 東京, 2007.
- [3] 渡辺哲也, “SIGACI 第 3 回研究談話会報告テーマ「視覚障害者と触地図」,” ヒューマンインタフェース学会誌, vol.10, no.3, pp.79–80, 2008.
- [4] 加藤俊和, “触地図の世界への誘い—その歴史と特性,” 地図中心, no.465, pp.3–4, 2011.
- [5] J.A. Miele and D.B. Gilden, “Tactile map automated production (TMAP): Using GIS data to generate braille maps,” Proc. CSUN Int. Conf. on Technology and Persons with Disabilities, Los Angeles, CA, USA, March 2004.
- [6] 国土交通省国土地理院, “触地図原稿作成システム,” <http://zgate.gsi.go.jp/shokuchizu/>, 参照 March 10, 2011.
- [7] 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.
- [8] J. Rowell and S. Unger, “The world of touch: An international survey of tactile maps. Part 1: production,” British J. Visual Impairment, vol.21, no.3, pp.98–104, 2003.
- [9] 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紀要, vol.31, pp.113–124, 2004.
- [10] 日本点字図書館点字制作課, 点訳のための触図入門第二版, 日本点字図書館, 東京, 1988.
- [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] 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.
- [13] 土井光輝, 荻野愛実, 水野真由美, 藤本浩志, 和田 勉, “加齢が図記号の識別容易性に及ぼす影響に関する研究,” 第 32 回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp.73–76, 2006.
- [14] 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.
- [15] 土井幸輝, 和田 勉, 片桐麻優, 高瀬 翔, 植松美幸, 藤本浩志, 佐川 賢, 篠原正美, “触知案内図のストライプパターンの粗密感覚特性及び識別特性の評価,” 第 33 回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp.105–108, 2007.
- [16] Y. Eriksson and M. Strucel, A Guide to the Production of Tactile Graphics on Swellpaper, AB PP Print, Stockholm, 1995.
- [17] 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.
- [18] Tyler Mitchell (著), 大塚恒平, たくはあきお, 丹羽 誠, 真野栄一, 森 亮 (訳), 入門 Web マッピング, オライリー・ジャパン, 東京, 2006.
- [19] 日本視覚障害社会科教育研究会 (監), 基本地図帳—世界と日本のいまを知る, 視覚障害者支援総合センター, 東京, 2008.
- [20] Y. Eriksson, J. Gunnar, and M. Strucel, Tactile maps — Guidelines for the production of maps for the visually impaired, The Swedish Library of Talking Books and Braille, Enskede, 2003.
- [21] M.A. Plaisier, W.M. Bergmann Tiest, and A.M.L. Kappers, “Haptic pop-out in a hand sweep,” Acta psychologica, no.128, pp.368–377, 2008.
- [22] 森 まゆ, 佐島 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.
(平成 23 年 8 月 10 日受付, 10 月 30 日再受付)

渡部 謙



2010 新潟大・工・福祉人間卒。現在、同大大学院自然科学研究科博士前期課程在学中。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。

渡辺 哲也 (正員)



1993 北海道大学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)。

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かかわる研究開発と障害者の IT サポートに従事。



秋山 城治

2010 新潟大・工・福祉人間卒。現在、同大大学院自然科学研究科博士前期課程在学中。音声案内による視覚障害者の歩行支援に関する研究に従事。



喜多 伸一 (正員)

1987 東京大学大学院人文科学研究科修士課程了。1987 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）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 神戸大学人文学研究科心理学研究室准教授。



南谷 和範

2007 学習院大学大学院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）。



宮城 愛美 (正員)

2008 千葉大学大学院自然科学研究科了。2006 筑波技術大助手，2007 助教，2010 講師。視覚障害補償に関する研究，及び視覚障害学生支援に従事。博士（工学）。



大内 進

1993 筑波大学大学院教育研究科了。1974 東京都立養護学校教諭，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，現在上席総括研究員。視覚障害教育指導法，視覚障害児の心理，視覚障害教育用の教材教具の研究に従事。



高岡 裕 (正員)

1997 東京大学大学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）。



菅野 亜紀 (正員)

2007 奈良先端大・情報科学研究科研究指導認定退学。同年神戸大院・医学研究科教育研究補佐員，2009 同特命助教，2011 神戸大学医学部附属病院特務助教。自然言語処理技術を応用した点訳プログラムの研究開発に従事。博士（工学）。