

2018 年度 博士論文

触知探索における最適な区画数に関する研究

A Study on Optimum Number of Divisions in Haptic Search

F16L004F 加賀 大嗣

新潟大学大学院自然科学研究科

電子情報工学専攻

人間支援科学コース

担当教員：堀 潤一 印

2018 年度 博士論文

参考論文 以下 1 編

Hirotsugu Kaga, Chihiro Kawaguchi, Midori Mishina, Shinichi Kita, Tetsuya Watanabe, “Haptic Search in Divided Areas: Optimizing the Number of Divisions”, *Japanese Psychological Research*, Vol. 59, No. 2, pp. 144-151, 2017.

国際会議 以下 1 編

Hirotsugu Kaga, Tetsuya Watanabe, “Efficiency of Haptic Search Facilitated by the Scale Division”, *AsiaHaptics 2018 (Incheon)*, pp. 1074-1077, 2018.

2018 年度 博士論文

触知探索における最適な区画数
に関する研究

A Study on Optimum Number of Divisions
in Haptic Search

加賀 大嗣

新潟大学大学院自然科学研究科
電子情報工学専攻
人間支援科学コース

内容梗概

加賀 大嗣

触地図は視覚障害者が二次元的な空間情報を獲得するための有効なツールである。しかし、視覚を通じて全体を一望できる晴眼者用の地図と異なり、手指を動かして部分を連続的に触察する必要のある触地図では、全体の構成を把握し、目標物を発見するのに時間がかかる。そのため、視覚障害者が触地図を利用する際、探索の効率は重要な要素である。触地図上の触知記号の探索時間を短くする手段として、触地図の周囲に目盛りを付与し触地図を分割する手法が提案・実証されているが、探索時間を最も短くする最適な区画数は明らかでない。

そこで、本研究では、触地図の区画数と時間の関係について、晴眼者と視覚障害者、それぞれを対象とした実験により検証した。区画数が異なる 5 種類の触地図を用意し、探索時間を計測した。晴眼者を対象とした実験では、縦 3×横 4 に分割した地図において探索時間が最も短くなった。視覚障害者を対象とした実験では、縦 4×横 5 に分割した地図において探索時間は最も短くなり、晴眼者との比較では、全体の探索時間は半分以下になった。ただし、各条件間に有意な差は見られなかった。実験の結果、区画数が多いほど探索時間は短くなるが、一定の区画数を超えるとその効果は減少するという傾向が見られた。

これらの結果を触地図自動作成システムに適用し、より効率的に探索可能な触地図の作成に役立てることとした。

キーワード 視覚障害者，触地図，触知探索，目盛り，区画分割，方眼座標，探索時間，立体コピー

A Study on Optimum Number of Divisions in Haptic Search

Hirotsugu KAGA

Abstract

The present study investigates the efficiency of haptic search facilitated by the division of the searchable area. Previous studies have shown that scales provided around tactile maps for blind persons can shorten the search time for tactile symbols on the maps. However, the optimal number of divisions that shortens the search time the most has not been found. We conducted the experiments in which tactile maps with five different numbers of divisions were presented to the sighted and blind participants. The search times for tactile targets on the maps were measured and a movie that recorded searching behavior was analyzed.

In the first experiment, maps with different numbers of divisions were presented to 11 blindfolded sighted participants. The results indicate the 3×4 divisions minimize the search time, and the relationship between the number of divisions and search time was not monotonic. However, there were no significant differences in search time among the numbers of divisions.

In the second experiment, same conditions were presented to 16 blind participants. The results indicate the 4×5 divisions minimize the search time, and the relationship between the number of divisions and search time was not monotonic. Contrary to the hypothesis, the search time in the 2×3 condition was longer than in the non-scale condition. This could be the participants searched the entire map carefully in the non-scale condition and that led to short search times, on the other hand they searched only the divided area that had the target in the 2×3 condition and failed. Then, they had to start over the search and that led to long search times. The median searching time over the 3×4 and 5×6 conditions had no large difference.

These results are assumed that the effect of the divided area on efficiency of the haptic searching has a limitation from a certain size. Therefore, for the future prospect, we should conduct a study of the different sizes of tactile maps in order to reveal the relationship between search time and the size of the map. This finding should be utilized for the optimization of automated tactile map creation system.

Keywords Visually Impaired People, Tactile Maps, Haptic Search, Scale Divisions, Divided Area, Search Time

目次

目次	v
図目次	ix
表目次	xi
第1章 序	1
1.1. 問題と課題	1
1.2. 先行研究	2
1.3. 本研究の目的	4
1.4. 本論の構成	5
第2章 背景	6
2.1. 日本における視覚障害者の状況	6
2.2. 日本国内における障害者施策	9
2.3. 視覚障害者の情報保障ツール	10
2.3.1. 点字	10
2.3.2. 音声	12
2.3.3. 触図	13
2.3.4. 触地図の有効性	13
2.4. 触覚に関する基礎的知見	16
2.4.1. 皮膚情報	18
2.4.2. 求心性筋運動知覚	19
2.4.3. 遠心性コピー	20
2.4.4. その他の触知覚	22
2.5. 情報保障ツールとしての触図	23
2.5.1. 触図の利用状況	23
2.5.2. 触図の作成方法	25
i 触素材の貼り付け	25
ii 点図	26
iii レーズライター	26
iv 紫外線硬化樹脂インク	27

v サーモフォーム印刷	28
vi 立体コピー	28
vii 3D プリント	29
2.5.3. 触図の問題点	30
2.5.4. 触地図と音声情報	31
2.5.5. 動的な情報の提示	33
2.5.6. 触地図のガイドライン	34
2.5.7. 触地図自動作成システム	36
2.6. 小括	38
2.6.1. 本研究の背景	38
2.6.2. 本研究の適用	39
第3章 実験I	41
3.1. 目的	41
3.2. 方法	41
3.2.1. 参加者	41
3.2.2. 刺激	41
i 原図	41
ii 目盛りによる探索領域の分割	42
iii 区画	43
iv 道路	43
v 標的	43
3.2.3. 条件	43
i 条件	43
ii 標的の位置と試行数	45
3.2.4. 手順	46
i 手法	46
ii 実験の流れ	48
iii 刺激の提示方法	48
iv 分析	49
3.3. 結果	49

3.3.1. 探索時間	49
3.3.2. 探索行動の概要	50
3.3.3. 標的探索の失敗	51
3.3.4. 目盛りの計数時間と標的の探索時間	52
3.3.5. 探索戦略	54
3.4. 考察	56
3.4.1. 全探索時間	56
3.4.2. 標的探索の失敗	57
3.4.3. 目盛りの計数時間と標的の探索時間	57
3.4.4. 標的の探索戦略	58
3.4.5. まとめ	58
第4章 実験II	60
4.1. 目的	60
4.2. 方法	60
4.2.1. 参加者	60
4.2.2. 手順	60
4.3. 結果	61
4.3.1. 探索時間	61
4.3.2. 標的探索の失敗	62
4.3.3. 目盛りの計数時間と標的の探索時間	63
4.3.4. 探索戦略	64
4.4. 考察	65
4.4.1. 全探索時間	65
4.4.2. 目盛りの計数時間と標的の探索時間	66
4.4.3. 探索戦略	66
4.4.4. 先行研究との比較	67
4.5. 晴眼者と視覚障害者の比較	67
4.5.1. 区画数と探索時間の関係の比較	67
4.5.2. 探索戦略の比較	68
4.5.3. 目盛りなしの地図と区画分割のある地図の比較	69

目次

4. 5. 4. 探索の失敗数の比較	70
4. 5. 5. まとめ	70
第5章 結び	71
5. 1. 今後の展望	71
5. 2. 触地図自動作成システムにおける実装	72
参考文献	75
第1章 序	75
第2章 背景	75
第3章 実験I	86
第4章 実験II	86
第5章 結び	87
謝辞	88
補足資料 (Appendix)	I
本研究に関する著者の発表	VI

図目次

図 1	公共施設に設置された触知案内図の例（左：日本，右：韓国）	1
図 2	触知ガイドを使用した触地図の例	3
図 3	目盛りによって分割した点図触地図の例	4
図 4	UV インク印刷による触地図の例	28
図 5	立体コピー用紙を用いた触地図の例	29
図 6	SP コードの例	32
図 7	音声案内ボタン付き触知案内図の例（JR 関屋駅）	33
図 8	立体コピーを用いた触地図自動作成システムの流れ	37
図 9	実験に用いた触地図の例	42
図 10	目盛りによって分割された各条件の探索領域の図	43
図 11	目盛りなしの条件の刺激の例	44
図 12	縦 2×横 3 条件の刺激の例（標的は縦 2，横 3 の区画にある）	44
図 13	縦 3×横 4 条件の刺激の例（標的は縦 2，横 2 の区画にある）	44
図 14	縦 4×横 5 条件の刺激の例（標的は縦 3，横 3 の区画にある）	45
図 15	縦 5×横 6 条件の刺激の例（標的は縦 4，横 4 の区画にある）	45
図 16	標的配置のための触地図の分割方法	46
図 17	実験環境	47
図 18	実験開始時の様子	47
図 19	実験の流れ	48
図 20	区画数と探索時間の関係（×印は平均値）	50
図 21	探索行動の概要	51
図 22	目盛りの計数時間と標的の探索時間（×印は平均値）	53
図 23	探索戦略の例（Parallel Sweep, Zigzag, Spiral）	55
図 24	条件ごとの探索戦略の比率	55
図 25	目盛りなしの地図における Zigzag の例	56
図 26	実験環境	61
図 27	区画数と探索時間の関係（×印は平均値）	62
図 28	目盛りの計数時間と標的の探索時間（×印は平均値）	64

図目次

図 29	条件ごとの探索戦略の比率.....	64
図 30	目盛りなしの地図における Parallel Sweep の例.....	65
図 31	触地図自動作成システム (TMACSMB) の画面	73
図 32	区画分割のある触知構内図と凡例の例	74

表目次

表 1 身体障害程度等級表（視覚障害）	7
表 2 各調査年次における年齢階層別の視覚障害者の人数	8
表 3 触様相の分類	17
表 4 機械受容器の分類と特性	18
表 5 各区画数の大きさ	45
表 6 探索失敗のあった試行数	52
表 7 探索失敗のあった試行数	63

第1章 序

1. 1. 問題と課題
1. 2. 先行研究
1. 3. 本研究の目的
1. 4. 本論の構成

1. 1. 問題と課題

触地図とは、視覚障害者が触覚を用いて空間情報を認識するために、道路や建物といった地物を凹凸のある線や模様で表現した地図である。「触知地図」や「触覚地図」、「触る地図」などとも呼ばれ、現在では、駅などの公共交通機関や自治体などの公共施設に構内図や周辺案内の地図として設置されている（図1）。

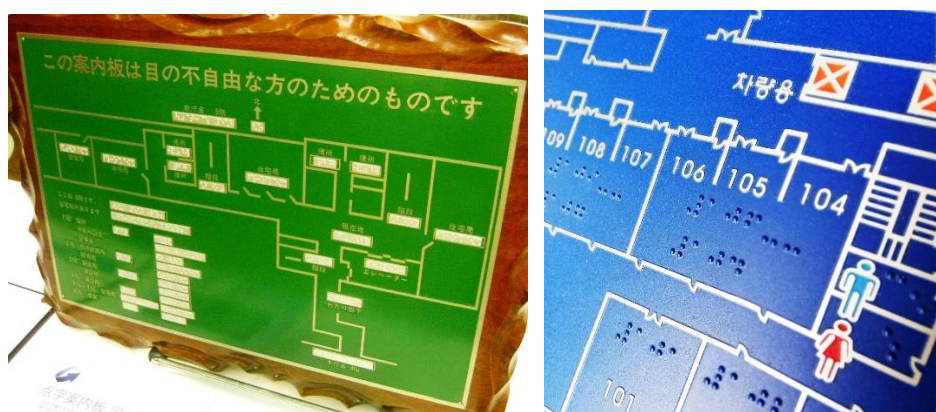


図1 公共施設に設置された触知案内図の例（左：日本，右：韓国）

視覚によって周囲の状況を把握できない視覚障害者にとって、触地図を用いて事前に未知の環境の空間情報を把握し、正しい目的地に辿り着けることは危険回

避の上で重要な意味を持つ。

だがしかし、視覚障害者全体における触地図の利用率は高くはない。触地図の利用が進まない理由として、どこで利用できるのか分からない、触地図の制作に手間暇がかかるために気軽に制作を依頼できない、記号が不統一で覚えられないなどの理由が挙げられているが[1][1]、これらの課題は、視覚障害者に対するバリアフリー情報の普及活動、触地図自動作成システムの開発、ISOなどの触地図作成ガイドラインの規格化といった諸々の取り組みによって改善されつつある。その一方で、触地図の利用が進まない根本的な要因の一つと考えられるのが、触地図を使用する上での分かりにくさや効率の低さである。

1.2. 先行研究

触地図の利用においては、知りたい情報を素早く探し出すことが重要である。視覚を用いた探索では地図全体を俯瞰することで全体の構造を瞬時に把握することが可能であり、出発地や目的地といった触知記号も比較的短時間に発見することが可能である。それに対し、手指という狭い「視野」で地図情報を順次触察する触覚を用いた探索では、地図の一部分を連続的に探索し、記憶によって繋ぎ合わせることで全体の構造を把握する必要があり、触知記号の探索にも時間がかかる。そこで、これまで触地図における触知記号の探索が容易にするための様々な方法が検証されてきた。

Grafらは、触地図上の現在地を示す触知記号の発見を容易にするため、触地図の周囲に配した目盛りによって地図を格子状に区切り、その区画を示すことで目標物の位置を示す方法、触地図の外側から目標物に向かって垂直のガイドラインを伸ばす方法、触地図の四方にそれぞれを結ぶ水平線と垂直線が交差する位置に目標物が位置するように矢印上の記号を置く方法の3種類を提案し、それぞれの方法を条件として実験を行ったところ、四辺に矢印上の記号を置く方法が最も目標物の探索時間を短くしたということを報告している[2]。

また、Feucht らは、大学のキャンパスの触知ガイドマップを用いて視覚障害者によるフィールドテストとインタビューによる検証を行った際、縦横に 2 分割ずつ、全体を 4 分割する触知記号を付加した全体図を表したページの後、4 分割された各領域を拡大した計 4 ページの触地図を綴るといふ冊子形式の触地図ガイドブックを作成し、その有効性を明らかにした[3].

渡辺らは立体コピー用紙を用いた触地図において、触地図の上端と左端に配置した触知ガイドが探索に及ぼす効果を検証した（図 2）. 探索者は上端のガイドから下方向に、左端のガイドから右方向に指を動かすと、それぞれの指がぶつかる地点で触知記号を発見することができる. その結果、触知ガイドは探索時間の短縮に有効であることが分かった[4].

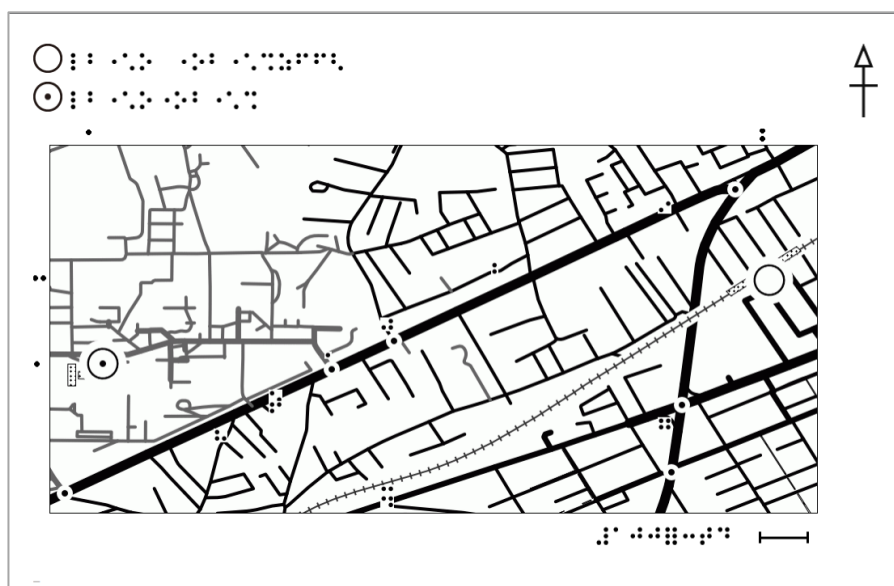


図 2 触知ガイドを使用した触地図の例

渡部らは点図形式の触地図において、触地図の上端と左端に配置した目盛りによって触地図内を分割し、それが探索時間に及ぼす効果を検証した（図 3）. その結果、区画分割のある点図触地図においては、それが無い触地図と比較し、探索時間が有意に短くなった[5].



図3 目盛りによって分割した点図触地図の例

1.3. 本研究の目的

前述の研究において、触地図の周囲に配した触知ガイドや引き出し線、目盛りによって触知記号の探索時間が減少されることが示され、その有効性が確認された。このうち、本研究で着目するのは目盛りによる探索領域の分割である。触地図の周囲に配した触知ガイドや引き出し線を用いて触知記号を示す方法では、提示できる触知記号の個数が限られ、記号の数が増えるほどに複雑さを増し、探索時間を減少する効果が弱くなると考えられる。一方、地図を区画分割して目標物のある区画を示す方法は晴眼者用の地図でも広く用いられている手法であり、同時に複数の触知記号の位置を示すことが可能である。

先行研究では目盛りによる分割の有効性が示されたが、探索時間を最短とする触地図の最適な区画数は導出されていない。そこで、触地図の周囲に目盛りを配することによって分割される探索領域の区画数の違いを条件として実験を行い、区

画数と探索時間の関係を明らかにすることとした。

本研究では、視覚障害者個人の要望に応じて触図を作成する触図訳サービスで用いられることの多い立体コピー用紙を用いた A4 サイズの触地図を使用し、目盛りによって縦 2×横 3，縦 3×横 4，縦 4×横 5，縦 5×横 6 に分割した触地図と比較対象として目盛りのない触地図を加えた 5 条件を比較対象として標的の探索時間を計測する実験を行った。

1.4. 本論の構成

本論は以下の 5 章により構成される。

第 1 章では、本論で提案する目盛りによる触地図の分割について、その問題意識の根拠と先行研究について検討し、本研究の目的を論述した。

第 2 章では、本論の背景として、本研究の対象者となる視覚障害者の置かれている状況、本研究の主たる検証対象となる触知探索についての基礎的知見、そして本研究で扱う情報保障ツールである触図に関する諸要因について検討し、本研究が必要とされる背景について述べる。

第 3 章 実験 I では、アイマスクをした晴眼者 11 名を対象とし、触地図の区画数の違いを条件として探索時間を計測した実験について述べる。

第 4 章 実験 II では、実験 I と同様の実験を、点字を常用する先天盲の視覚障害者 16 名を対象として行った結果を述べる。

第 5 章では、本研究で得られた知見をまとめ、触地図自動作成システムへの実装や今後の展望について述べる。

第2章 背景

2. 1. 日本における視覚障害者の状況
2. 2. 視覚障害者の情報保障ツール
2. 3. 触知探索に関する基礎的知見
2. 4. 情報保障ツールとしての触図
2. 5. 小括

2. 1. 日本における視覚障害者の状況

厚生労働省では身体障害に対して種類別に、障害の程度を基準とした1級から7級までの7段階の等級を付けている[6]。表1は厚生労働省の身体障害程度等級表から視覚障害についてのものを抜粋、まとめたものである。視覚障害に関する等級区分は1級から6級までを両眼の視力の和を基準として分けたものとなっており、このうち2級から5級までについては両眼の視野の和も条件の一つになっている。

このように、視覚障害といっても矯正視力が低い、見える範囲が狭い、眩しい、薄暗いところで見えにくいなど、様々な症状がある。日常生活における不便さについても、視野の中心が無いために文章は読めないものの、周辺の視野を使って馴れた道を不便なく単独歩行できる人もいれば、中心の視野によって文章を読むことはできるが、周辺の視野がないために移動に著しい困難を伴う人もいるなど様々である。Morizaneらの行った全国調査によれば、視覚障害の原因疾患として最も多いのは、視神経が損傷して視野が狭くなったり、視界がかすんだりする緑内障(28.6%)であり、男女共に最も多かった(男性30.2%、女性27.0%)。その他の原因疾患では、網膜の異常で視野が狭くなる網膜色素変性症(14.0%)、糖尿病の合併症の一種であり、網膜剥離による失明に繋がる糖尿病網膜症(12.8%)、網膜の中心部に障害が生じて視界が歪む黄斑変性症(8.0%)などと続いた[7]。

表1 身体障害程度等級表（視覚障害）

1級	両視力の良い方の眼の視力（万国式試視力表によって測ったものをいい、屈折異常のある者については、矯正視力について測ったものをいう。以下同じ。）が0.01以下のもの
2級	<ol style="list-style-type: none"> 1. 視力の良い方の眼の視力が0.02以上0.03以下のもの 2. 視力の良い方の眼の視力が0.04かつ他方の眼の視力が手動弁以下のもの 3. 周辺視野角度（I/4視標による。以下同じ。）の総和が左右眼それぞれ80度以下かつ両眼中心視野角度（I/2視標による。以下同じ。）が28度以下のもの 4. 両眼開放視認点数が70点以下かつ両眼中心視野視認点数が20点以下のもの
3級	<ol style="list-style-type: none"> 1. 視力の良い方の眼の視力が0.04以上0.07以下のもの（2級の2に該当するものを除く。） 2. 視力の良い方の眼の視力が0.08かつ他方の眼の視力が手動弁以下のもの 3. 周辺視野角度の総和が左右眼それぞれ80度以下かつ両眼中心視野角度が56度以下のもの 4. 両眼開放視認点数が70点以下かつ両眼中心視野視認点数が40点以下のもの
4級	<ol style="list-style-type: none"> 1. 視力の良い方の眼の視力が0.08以上0.1以下のもの（3級の2に該当するものを除く。） 2. 周辺視野角度の総和が左右眼それぞれ80度以下のもの 3. 両眼開放視認点数が70点以下のもの
5級	<ol style="list-style-type: none"> 1. 視力の良い方の眼の視力が0.2かつ他方の眼の視力が0.02以下のもの 2. 両眼による視野の2分の1以上が欠けているもの 3. 両眼中心視野角度が56度以下のもの 4. 両眼開放視認点数が70点を超えかつ100点以下のもの 5. 両眼中心視野視認点数が40点以下のもの
6級	視力の良い方の眼の視力が0.3以上0.6以下かつ他方の眼の視力が0.02以下のもの

※ここでの視力とは、万国式試視力表によって測ったものをいい、屈折異常のある者については、きょう正視力について測ったものをいう。

厚生省は、在宅の視覚障害児・者の生活実態とニーズの把握と福祉行政の企画・推進の基礎資料を得ることを目的に、5年毎に「生活のしづらさに関する調査」を行っている。平成28年度の調査では、全国の障害者手帳を所持する在宅の身体・

第2章 背景

障害児・者数は428万7千人であり、そのうち視覚障害児・者は31万2千人であった。そのうち、重度の障害として納税の際の障害者特別控除が受けられる障害程度等級が1級・2級の視覚障害者は62.1%であり、およそ23万人程度の人が視覚からほとんど情報を得られない状況で生活しているといえる。

過去の調査での視覚障害児・者数は23年度が31万6千人、18年度が31万5千人と、昭和55年度の調査以降、30万人超のほぼ一定の人数で推移しているが、その内訳は変化している。表2は各年齢階層別の視覚障害者の人数を厚生省の調査から抜き出したものである。視覚障害者は他の身体障害者に比べて出生前や出生時、幼少時に障害を発生する人の割合が高く、17歳までに視覚障害を発生した人の割合は全体の4分の1程度に当たる。その一方、28年の調査では、視覚障害者全体のうち、65歳以上が71%、障害発生時の年齢は40歳以上が半数近くを占めるなど、視覚障害者に占める高齢者の割合は年々増加しており、疾病等を原因とした中途失明者も増えている。超高齢社会になるほど視覚障害につながる緑内障や糖尿病などの疾病が増加すると予想され、視覚障害者に占める高齢者の割合は今後とも高くなっていくと考えられる[8]。

表2 各調査年次における年齢階層別の視覚障害者の人数

年代	18~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~64	65~69	70以上
8年	1	7	12	26	43	31	36	138
13年	-	7	8	16	47	29	37	155
18年	1	5	12	21	46	33	33	153
23年	1	4	10	18	28	30	34	184
28年	-	8	8	18	29	25	40	175

「生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）」より

また、上記の調査は身体障害者手帳所持者の数を元にしたものであるが、障害者手帳を所持しない潜在的な視覚障害者の数は数倍に及ぶという意見もある。日本眼科医会は国勢調査資料や各種疫学研究資料等を原資料に分析を行い、2007年現

在の日本国内の視覚障害者の人口を約 164 万人、うち、ロービジョン者は 144 万 9 千人、失明者は 18 万 8 千人という推定値を公表している[9]。身体障害者手帳を持たない視覚障害者の中でも特に多いとされるのが、65 歳以上の高齢のロービジョン者である。その要因として考えられるのが、第一に障害者手帳によって受けられる便益が十分に周知されていないこと、第二に障害者手帳を取得する条件が厳しく手続きが煩雑であること、第三に 65 歳以上で介護保険の対象となっている視覚障害者は障害者手帳による福祉サービスを受けられなくとも、保険による福祉サービスでカバーできるということである。

成人後に視覚障害を発症した人、特に高齢になってから視力を失った人は点字の触読経験に乏しく、情報獲得に一層の困難が伴う。視覚障害者の情報保障を考える上では、視覚障害者の間にも情報格差があることを踏まえ、加齢や触読経験を考慮した検討が求められる。

2.2. 日本国内における障害者施策

日本国内における障害者施策は、国際社会の流れに追従する形で進められてきた。国際連合では、1971 年に「精神薄弱者の権利宣言」、1975 年に「障害者の権利宣言」を採択し、続く 1976 年、それらの採択を単なる理念ではなく社会において実現するという意図のもと、5 年後の 1981 年を国際障害年とすることを定めた。

これを受けて日本では、1980 年、総理府内に国際障害者年推進本部を設置、翌 1981 年の国際障害者年では障害者に対する社会的な理解を促進するための様々な行事が行われた。これ以降、日本では「国連障害者の十年の国内行動計画」（1983 年～1992 年）として障害者施策に関する初めての長期計画となる「障害者対策に関する長期計画」（1982 年度～1992 年度）を策定したのを端緒に、「障害者対策に関する新長期計画」（1993 年度～2002 年度）の策定、「心身障害者対策基本法」の「障害者基本法」への全面改正（1993 年）、「第 2 次障害者基本計画」（2003 年度～2012 年度）の策定、「障害者基本法」の 2 度の改正（2004 年、2011 年）、「第 3 次

障害者基本計画」(2013年度～2017年度)の策定、「障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律」の制定(2013年)、「障害者差別解消法」の施行(2016年)、「第4次障害者基本計画」の策定(2018年)などが進められてきた。

こうした流れの中で、1994年に「ハートビル法」、2000年に「交通バリアフリー法」、2006年にはハートビル法と交通バリアフリー法を統合・拡充する形で「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(通称「バリアフリー新法」)」が施行された。バリアフリー新法は、高齢者、障害者等の自立した日常生活及び社会生活を確保するため、公共交通機関の旅客施設、道路、路外駐車場、公園などに対し、高齢者、障害者等の利用上の利便性と安全性を向上させるため、構造及び設備を改善・整備することを求めている。これらの法制定によって障害者の生活環境改善のための具体的な取り組みの基準(バリアフリー化基準)が示されたことを受け、交通機関や自治体などの公共施設では、視覚障害者誘導用ブロック、音声案内、点字案内など、視覚障害者の移動を支援する設備の設置、改良が進められてきた。特に、駅などの公共交通機関や自治体の公共建築物における構内触地図としての触知案内図はその設置が義務化されたため、バリアフリー新法の発行以降、膨大な量が製作されている。

触地図は比較的后発の福祉インフラであるため、その普及状況を明らかにした研究は少ないが、石毛らが首都圏を対象に行った調査では、制作されている触地図ガイドブック 31例のうち、半数以上が自治体によって発行されたものであり、その多くが2000年以降に作成されたものだったとしている[10]。

2.3. 視覚障害者の情報保障ツール

2.3.1. 点字

人間が一日を過ごして得る総情報量のうち、視覚を通して得るものが最も多く、とりわけ社会生活を送る上で必要となる言語情報や空間情報の多くが視覚を通し

て得られている。そのため、視覚障害者にとって情報保障ツールの果たす役割は大きい。視覚障害者の情報保障ツールとして古くから用いられているのが点字である。

6 点点字は 1825 年にフランスのルイ・ブライユによって考案された。日本国内では、1890 年、石川倉次がブライユの点字を基として仮名対応の点字を考案、1901 年には「日本式点字」として官報で公表された。1926 年には点字による衆議院選挙の投票が認められ、1940 年には日本盲人図書館（現；日本点字図書館）が開設されるなど、日本においても点字は広く普及した視覚障害者の有用な情報保障ツールといえることができる。点字は音声情報と比較して、読み返しができることや、保存性、検索性が高いといった利点があり、その必要性は高い。

その一方、点字は習得に長期の訓練を必要とするツールでもある。また、指先の触覚が鈍くなる糖尿病性神経障害を併発した糖尿病網膜症患者など、指先の触覚や手指の操作に障害のある人は点字の触読が困難であり、全ての視覚障害者にとって利用しやすい情報保障ツールだとはいえない。

日本における視覚障害者約 31 万人のうち、点字ができる人は 1 割程度とされており、厚労省の調査において点字が必要なしとした人は全体の約 67%（約 20 万人）に及ぶ[11]。点字使用者の割合が減っている要因の一つが、高齢化に伴う中途視覚障害者の割合の増加である。成人後、特に高齢になって障害を発生した人は盲学校などの教育機関における点字訓練の機会がなく、触読経験に乏しい。また、最近の脳科学分野の研究においても先天盲児や早期失明児は点字習得に有利であるという報告があり、中途視覚障害者の点字習得は高齢であるほど困難になると考えられている[12][13]。

これに加え、若年層においても点字使用率は減少傾向がみられる。現在、全国の特別支援学校では、国全体の少子化傾向に加え、医学の進歩による視覚障害児の発生率の低下、インクルーシブ教育の進展による視覚障害児の普通学級への進学といった要因によって視覚障害児童・生徒の数は減少傾向にある。それに伴い、視覚

障害教育を専門に扱う教員の数も減少しており，教員の専門性の維持が懸念されている．これらに加え，特別支援学校の視覚障害児童・生徒における重複障害児童生徒の割合が漸次増加していることもあり，普通文字の利用に支障をきたすであろう視力 0.02 以下の児童生徒の割合は増加傾向にあるにも関わらず，特別支援学校在籍者における点字使用者の割合は 1990 年代からの長期に渡って減少傾向にある[14].

2.3.2. 音声

点字とは逆に近年，様々な場面で利用される機会が増えている情報獲得手段が音声である．音声は聴覚に障害が無ければ特別な訓練を要さずとも利用できるため，これまでも情報保障ツールとして活用されてきた．「平成 28 年生活のしづらさなどに関する調査」において複数回答を求められた視覚障害者の情報入手手段では，テレビ (55.7%)，家族・友人・介助者 (39.7%)，ラジオ (29.0%)，携帯電話 (16.0%) の順に挙げられ，点字は 5.5%と少なかった[15].

近年，音声による情報保障の機会が増えた要因として挙げられるのが，パソコンやスマートフォンにおけるスクリーンリーダーの普及及び機能向上，OCR (活字文書読み取り技術) や合成音声技術，音声認識技術の進歩である．合成音声技術の向上により，視覚障害者のパソコン利用，スマートフォン利用は飛躍的に進んだ．以前のパソコンやスマートフォンではそうした音声読み上げ機能を有効にするための操作に晴眼者のサポートが必要であったが，Windows 10 などの最新版のパソコン，スマートフォンでは視覚障害者が購入して電源をいれた後，独力で読み上げ機能を有効にして使い始められるように工夫がなされている．日常的に晴眼者によるサポートを受けることができない視覚障害者にとって，そうした工夫は大きく利便性を向上させるものである．また，OCR により印刷物の半自動電子化が可能となり，視覚障害者自身がスマートフォンのカメラやスキャナを用いて取り込んだデータを音声読み上げ機能を用いて利用するといった場面も増えつつある．

加えて，青空文庫などの古典文学を電子化しようという取り組みや，雑誌・書籍

の電子書籍化，スマートフォンやパソコンの音声アシスタント機能，スマートスピーカーの普及など，必ずしも視覚障害者の情報保障を目的としたものではない技術やサービスの普及・機能向上も視覚障害者の音声で利用可能な情報を急速に増やしており，こうした傾向は今後も続いていくと考えられる。

2.3.3. 触図

点字や音声は視覚障害者にとって有用な情報保障ツールであるが，図や絵，事物の位置関係や拡がり方といった空間情報の伝達には適していない。視覚障害者に地図やグラフ，絵などの2次元情報を伝える情報保証ツールが触図である。触図とは表面に凸凹を設けて指先で読み取ることを可能とした図や絵のことであり，一般的には手指によって触るものを指す。

触図には，駅などの公共施設に設置された金属製の触知案内図や UV 印刷や立体コピー用紙で作成された触地図ガイドブックなどの「触地図」，点字用紙に毛糸などを貼り付けることで作成された「触れる絵本」，点字プリンタを用いて連続した点の並びによって図形を示した点字教科書，絵画などの平面的な美術作品を石膏による半立体のレリーフなどで表した「触れるアート」などがある[16]。特に，公共交通機関や自治体施設における触知案内図はバリアフリー新法によるガイドラインで設置基準が設けられた 2006 年頃を境に，全国で急速に設置が進められている。

2.3.4. 触地図の有効性

地図はヒトが地理に関する空間情報を獲得するため，それを2次元的な情報に置き換えたツールであり，触地図は，それを触覚で利用できるように凹凸で表現したツールである。初期においては，視覚によって空間情報を認識することがない視覚障害者にとっても触地図が有効な情報獲得ツールとなりうるのかについて，ヒトの空間情報に関する記憶がどのように認知地図を形成するのかといった視点から研究が行われてきた。

Siegel らは、ヒトが未知の環境を実際に体験して認知地図を形成する過程はいくつかの段階に分けられるとした[17]. 最初の経験でヒトは固有の地点（ランドマークと呼ぶ）を想起し、そこへ至るルートを確認する。続く経験では、複数のランドマークを連続的に想起し、それらのルートの関係性を認識することで部分的な認知地図（“mini-map”と呼ぶ）を形成する。そうしていくつかの mini-map の関係性を認識し、それらを接続することによって環境全体の認知地図を形成するのである。これに対し、晴眼者が地図を使用して空間情報を利用する場合、複数のランドマークやルートの関係性を即座に認識可能である。Thorndyke らによる実験では、未知の場所の地図を 20 分間学習した参加者はそこに描かれた建物の距離や方向の関係性について、その場所で 12 か月働いている人々と同程度の認識を示すことができたという[18]. 類似した研究も同様の結果を示しており、これらは晴眼者が地図を用いる場合、実際にその場所を移動するよりも極めて短時間に空間情報を認識できるという有効性を示している[19].

一方、視覚障害者が触地図を利用する場合には、手指という狭い「視野」によって地図の一部分を連続的に触察し、記憶によってそれらを連結して認知地図を形成する必要がある。そのため、晴眼者のように短時間で空間情報を認識することは困難ではないかという見方がある。

Blades らは、視覚障害者 10 人からなる実験参加者を 2 つのグループに分け、実際の経路上の歩行と触地図上での手指による探索という 2 つの空間情報を条件とし、2 つの経路で交互に実験を行ったところ、触地図上の探索は実際の歩行と同程度に経路情報の理解に有効であるとの結果を得た[20]. 同様に、Espinosa らは 30 人の実験参加者を 3 グループに分け、2 km の経路をそれぞれ、実際の経路上の歩行、触地図の探索、口頭での説明の 3 条件において学習する実験を行ったところ、ランドマークの位置や経路の方向、長さといった空間情報の把握において触地図の探索が他の方法に比べて顕著に有効であり、近道の発見にも有効であるという結果を得た[21].

これらの実験において、実験参加者の多くは触地図を利用に不慣れであるか、あるいは全く触地図を利用した経験がなかった。それにもかかわらず、触地図の探索が実際の経路上の歩行と同程度かそれ以上に空間情報の把握に役立ったという事実は、触地図の有効性の高さを示すものである。また、視覚によって周囲の情報を獲得できない視覚障害者にとって、実際の経路上を探索する際の様々な危険を回避し、事前に空間情報を把握できることは時間的な効率以上の大きな利点であるといえる[3]。

加えて、これらの研究において共通して見出されたのが、触地図は視覚障害者に空間情報を提供する有効な手段となりうるが、その触地図のデザインが適切でなかった場合、判別しにくい記号や多すぎる・複雑すぎる情報などは、その有効性は著しく損なわれるという事実である。

その一方で、晴眼者による地図の利用と比較した場合に、視覚障害による触地図の利用には様々な困難が存在するという指摘もある。Kulhavy は記憶結合保持仮説 (conjoint retention hypothesis) を提唱し、図解によって文章情報の記憶が促進されることを示した[22]。これは例えば、地図を伴ってその地理を説明する文章情報を提示した場合、その地理情報を図解されないリストを伴って提示された時よりも記憶の想起が容易になるという形で表される。ただし、地図上の情報に一貫性がなく、文章情報に対して対象となるランドマークがランダムに配置された地図においてはこの効果は得られない。

Unger らは視覚障害者の触地図利用においても同様の効果が得られるのかを確かめるため、晴眼者と視覚障害者からなる各グループに対し、それぞれにリストもしくは地図、リストもしくは触地図という 2 種類の媒体を伴って音声による地理情報を提示する実験を行い、記憶の定着率を測定した。その結果、全体として得られた差は僅かだったものの、晴眼者のグループではリストよりも地図を伴って地理情報を提示された条件において正答率が高かったのに対し、視覚障害者のグループでは触地図よりもリストを伴って地理情報を提示された条件において正答率

が高くなった。これは、視覚によって全体の構成を瞬時に把握できる晴眼者用の地図に対し、触覚によって部分を連続的に知覚し、記憶によって繋ぎ合わせて全体を認識しなければならない触地図では、地理情報の一貫性を把握するのが困難なためだと考えられる[23]。

2.4. 触覚に関する基礎的知見

触地図を利用する上で不可欠な触覚の特性について整理する。

触覚は、圧覚や温度感覚(冷覚と温覚)、痛覚からなる皮膚感覚(tactile perception)、筋運動感覚(kinesthetic perception)、これら両者を含む触運動知覚(haptic perception)に分類される。Gibson はヒトが知覚状況下において能動的か受動的かという点に着目しており[24][25]、これを踏まえた Loomis らによる触覚に関するハンドブックでは、触様相を皮膚感覚(tactile perception)、受動的筋運動知覚(passive kinesthetic perception)、受動的触運動知覚(passive haptic perception)、能動的筋運動知覚(active kinesthetic perception)、能動的触運動知覚(active haptic perception)の五種に分類している[26]。また、それぞれの様相において利用できる情報のタイプを、皮膚感覚では皮膚情報(cutaneous information)、受動的筋運動知覚では求心性筋運動感覚(afferent kinesthesia)、受動的触運動知覚では皮膚情報及び求心性筋運動感覚、能動的筋運動知覚では求心性筋運動感覚及び遠心性コピー(efference copy)、能動的触運動知覚では皮膚情報、求心性筋運動知覚及び遠心性コピーであるとしている(表3)。

表3 触様相の分類

触覚の分類	Loomis らによる 触様相による分類	利用する情報のタイプ
皮膚感覚 (tactile perception)	皮膚感覚 (tactile perception)	皮膚情報 (cutaneous information),
筋運動感覚 (kinesthetic perception)	受動的筋運動知覚 (passive kinesthetic perception)	求心性筋運動感覚 (afferent kinesthesia),
	受動的触運動知覚 (passive haptic perception)	皮膚情報 求心性筋運動感覚,
触運動知覚 (haptic perception)	受動的筋運動知覚 (active kinesthetic perception)	求心性筋運動感覚 (afferent kinesthesia) 遠心性コピー (efference copy)
	能動的触運動知覚 (active haptic perception)	皮膚情報 求心性筋運動感覚 遠心性コピー (efference copy)

触覚において能動性の有無が区別されるのは、視覚系における網膜や聴覚系における基底膜と異なり、それが単一の感覚受容器だけに依存するわけではない点にある。能動的触知 (active touch) では皮膚情報や運動感覚といった複数の感覚が統合して利用されており、単一の感覚様相とするだけの基準を満たしていないと考えられる。Gibson らによれば能動的触知の特徴は、探索時に情報収集のための制御が可能な点にあり、ある時点の瞬間的な感覚に注意しているのではなく、時間と空間が変化する中での不変性を探すことにあるとしている。それゆえ、受動的触知は主観的な感覚を経験させるものであるのに対し、能動的触知は客観的に正確で物理世界に合致した知覚を生じさせるものだという [24]。知覚とは探索と情報収集の連続した過程であり、それは他の知覚系においても本来的なものであるが、触覚においてはより明らかである [27]。

本研究で対象とする触図の利用において用いられる触覚の様相は、Gibson らの

分類では能動的触運動知覚であり，利用される情報のタイプは皮膚情報，求心性筋運動知覚及び遠心性コピーである．

2.4.1. 皮膚情報

このうちの触知記号の触読容易性に関わる皮膚情報については神経生理学の領域で多くの成果がみられ，様々な感覚受容器の機能としての解明が進んでいる．狭義の触覚としても扱われる皮膚感覚は触覚及び圧覚，温度感覚，痛覚からなり，これらは皮膚に各感覚に対応する受容器，機械受容器，温度受容器，痛覚受容器が存在することによって成立している．触覚及び圧覚の受容器を機械受容器と呼び，ここから得られる感覚を機械的感覚（mechanoreception）と呼ぶ．機械受容器には，マイスナー小体，メルケル触盤，ルフィニ終末，パチニ小体の4種があり，それぞれに反応特性が異なっている．表4にそれぞれの受容器の反応特性を示す．

表4 機械受容器の分類と特性

		受容野の大きさ	
		小	大
順応速度	速	マイスナー小体 (低周波振動)	パチニ小体 (高周波振動)
	遅	メルケル触盤 (静的な変位)	ルフィニ終末 (静的なずれ)

触図を触る場合，痛覚は別としても，触覚及び圧覚，温度感覚が同時に働いているものと考えられ，その機能は，圧力知覚，空間知覚，振動知覚，温度知覚などの感度として示すことができる．例えば，典型的な圧力知覚の感度の評価として，皮膚上に継時的に2点の圧刺激を加えた場合の強さが異なって感じられる圧力差の弁別閾を測定する試験がある．この評価では身体部位では顔面，及び上肢の指先の感度が高いとされている．

触地図の利用において特に重要と考えられるのが，指先の空間知覚，つまり，どの程度まで細かい形状を指先から読み取れるかという触覚の空間分解能である．典型的な空間知覚の感度の評価は，2本の針を一定の圧力で皮膚にあてた際に2点

であることが分かる最小の距離によって示される。その弁別閾は身体部位によって異なり、手部においては指先で 1.6 mm, 指のそれ以外の部分で 3.7 mm, 手掌では 7.7 mm という結果がある[28].

また, 他の知覚と同様,

指先での測定では, 若年者が 1.95 mm, 中年者が 2.68 mm, 高齢者が 5.03 mm とするという報告があり, その他の報告においても測定時の条件等によって若干の違いがあるものの, 高齢になるほど閾値が大きくなるという結果を示している[29].

こうした実験結果を単純に触図の認知に結び付けることはできないが, 比較して触覚による空間分解能は視覚より良いものはいえず, 触図では視覚で得られる情報よりも低い解像度による情報しか扱えないということの意味する。

2.4.2. 求心性筋運動知覚

能動的触運動知覚における残り 2 つの情報のタイプである求心性筋運動知覚と遠心性コピーはともに身体各部の状態についての知覚であり, 運動感覚(自己受容感覚)に分類されるものである。ヒトは視覚が伴わなくとも自らの身体各部の位置, 姿勢, 運動方向, 力の感覚や重さの感覚を知ることができるが, そうした情報の獲得を行うのが運動感覚である。触図を利用する場合, 手指を動かして地図上を探索するのが普通であり, この運動感覚もその認知に関わってくる[30].

求心性筋運動知覚は, 主として筋紡錘からの求心性インパルスによるものとされる深部感覚(bathysthesia)の一種であり, 運動を行った際にその結果として筋肉などの運動器官から生じる固有感覚フィードバック信号を意味する。筋紡錘は骨格筋の筋周膜内に存在し, 筋の伸展度を感受し, 中枢に伝える器官である。筋紡錘は繊細な動きを行う手の虫様筋や骨間筋に多く, 一般に脳神経支配の筋には存在しない。筋紡錘以外に関節の動きを伝える受容器としては, 関節包のルフィニ小体, 関節靭帯のゴルジ受容器, 筋, 腱に存在するゴルジ腱器官などがあり, これらの深部受容器からの多様な信号が大脳皮質感覚中枢へ伝導され, 運動覚や位置覚といった多様な深部感覚が生じさせる。関節内には他に皮膚情報の機械受容器であるパチニ小体と痛覚などを伝える自由神経終末があるが, 高周波の振動に反応するパチニ小体は一般に運動覚との関わりはないものとされおり, 自由神経終末の深部感覚としての役割については明らかにされていない。

2.4.3. 遠心性コピー

一方、遠心性コピーは、中枢神経系に由来する信号である。Von Holst と Mittelstaedt は、随意運動において運動野から運動指令が筋へ送られる際、遠心性である運動指令信号 (motor command signal) のコピーが感覚情報処理系に送られることで自己の運動の結果として生ずる感覚信号成分が消去あるいは補正されると考え、これを遠心性コピー (efference copy) と呼んだ[31]。概念的には、Sperry が感覚情報処理に影響を与える自身の運動に関連した信号として表現した随伴発射 (corollary discharge) と同様の信号を意味するが、遠心性コピーは運動ニューロンから筋に向けた運動指令信号の実際的なコピーを意味している。

我々は知覚に変化が生じた場合、それが外界が変化した結果によるものか、自身の運動によるものかを瞬時に区別している。例えば、触図を利用時に皮膚情報として指先と紙との「ずれ」を感じた場合、それが他者によって触図を動かされたことによるものか、自身が手指を動かした結果によるものかを瞬時に判断することができるが、この時、運動器官からの固有感覚フィードバック信号と合わせて利用される情報が遠心性コピーであると考えられている。

随意運動における運動指令は脊髄に下行して筋を収縮させるが、その際、同時に、予測的な運動知覚である遠心性コピーが頭頂葉へ送られ、実際の運動後の固有感覚フィードバックと比較照合される。つまり、遠心性コピーは脳内に予期と結果を比較する機能を想定しており、その機能を Anokhin は「行為受容器 (action acceptor)」[32]と、バルンシュタインは脳の「比較器 (comparator)」[33]と呼んでいる。

遠心性コピー、あるいは随伴発射の信号基盤や到達経路については、未だ不明な部分が多い。だがその一部は、ポジトロン断層法 (PET)、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、脳磁図、脳電図といった脳機能イメージング法を用いた最近の研究によって解明されつつある。なかでも興味深いのは、自己の運動による遠心性コピーを受け取る領域が、身体の視覚情報に特異的に反応する脳領域である、下頭頂葉小葉に隣接する後頭葉 (視覚野) の外線条身体領域 (extrastriate body area: EBA) では

ないかと考えられている点である[34]. EBA は自己もしくは他者の身体の部位やその運動を視覚が観察する時に活発に活動するが、表情の変化といった顔の視覚情報には反応しない[35]. この部位が身体の運動の遠心性コピーを受け取るということは、つまり、身体各部の視覚情報と自己の運動感覚との一致、不一致が EBA において検出されており、自己の運動を調節したり、他者の動きを模倣する際の「比較器」として機能しているということである.

最近の心理物理学的な研究においても、より複雑な形状の物体に手を伸ばす到達・把握運動の後期において視覚条件の有無で運動が異なるとの報告がなされており、視覚フィードバックが運動の制御に密接に関わっていることが示唆されている[36].

では、視覚によるフィードバックが得られない視覚障害者はどのように運動を制御しているのだろうか. 脳の高次視覚野の損傷により、視覚においてだけでなく触覚においても物や顔の認識が難しくなるという症例が報告されており、高次視覚野が視覚だけでなく触覚による物体の識別にも関与していることが示唆されているが、こうした脳の損傷は広範囲に渡るため、実際に視覚と触覚に共通した部位が存在するのかは分からない[37][38][39]. そこで、北田らはヒトが顔・手・足・瓶の模型を識別している最中の脳活動を測定するという fMRI 実験を行ったところ、EBA は触覚における識別においても、瓶より手の模型に対して強い反応を示したことを報告している[40]. ここで注目すべきは、目隠しをした晴眼者だけでなく、視覚的な手のイメージの記憶を持たない先天盲を対象とした実験においても EBA は手の模型に対して強く反応したということである.

これらと同様に、顔識別時に反応する紡錘状回顔領域 (fusiform face area: FFA) [41]や、周囲の環境に対して選択的に反応する海馬傍回場所領域 (parahippocampal place area: PPA) [42], 文字や単語に対して反応する視覚単語形状領域 (visual word form area: VWFA) [43]など、他のカテゴリにおける物体識別においても、感覚入力が視覚であるか触覚であるかに関わらず同じ反応が示されるという報告[44]があり、こうした結果は高次視覚野が触覚の物体識別にも重要な超感覚野 (supramodal area) であることを示唆している[45][44].

視覚によるフィードバックが得られない状況では、何らかの手掛かりに沿って手指を動かす場合や、動かしている手にもう片方の手で触れるといった場合を除

き、自己の運動の確認は求心性筋運動知覚と遠心性コピーに依るほかない。運動の制御には視覚以外に、言語や聴覚、記憶との比較も重要であるため、遠心性コピーと比較器は多分散的に処理されているとも考えられ、それらは行為の意図や過程によって変化している可能性もある。

最近の心理物理的な研究では、運動における異なる感覚がどのように統合され、どのように制御に用いられるかという過程が明らかにされつつあり、例えば、視覚障害者は上肢運動の制御において晴眼者よりも筋運動感覚への依存度が高いとする報告がある[46][47]。触地図上の探索といった個々の行為の過程において視覚障害者がどのように感覚を統合し、運動を制御するかという実体についても今後より明らかにされていくだろう。

2.4.4. その他の触知覚

以上が日常的な触知探索に用いられる能動的触運動知覚の情報のタイプからの知覚の分類であるが、実際の触地図の利用においては、より多様な触覚の特性を考慮する必要がある。

視野全体から得られる情報と視野中心への注意の関係性といった知覚の同時性が着目されることの多い視覚探索に対し、触覚を用いた探索課題ではその継時性に着眼点を置いたものが多い。だが、実際に触地図を読む際には、ある指で目標となる触知記号を触察している最中に、別の指で別の目標物や道路などを触察するといった同時性が存在することにも着目する必要がある。また、触地図の解像度の基準となる皮膚感覚の感度についても、手の平全体で地図の外枠や主要な道路、海岸線といった大まかな構造を把握しつつ、目標物を表す個々の触知記号は空間弁別の感度の高い指先で識別するといった使い分けが行われていることに留意する必要があるだろう。

晴眼者が用いる地図には様々なサイズのものがあるが、駅の構内図などに用いられる設置型の触知案内図については正面に立った際に両端に手指が届くサイズを基準として横 1000 mm×縦 600 mm までのサイズとすることが JIS 規格において

規定されている。立体コピー用紙や点字用紙を用いた携帯型の触地図については、両手の手のひらを拡げた際に全体をカバーできる A4 から B4 程度のサイズが適していると Eriksson らの触地図作成ガイドラインで示されており、本研究において用いた触地図も A4 サイズのものとした[48]。こうした触地図のサイズに関する規定には、単純な筋運動知覚によって得られる継時的な変化の移動距離だけでない、触覚の同時性も関わっていると考えられる。

こうした点を考慮した場合、触地図の利用においては、主として関節運動の加速度を検出する受容器により情報を得られる狭義の筋運動知覚 (kinesthetic sense) だけではなく、関節の角度に関する圧覚である位置覚 (position sense) や、体位覚 (sense of posture) といった固有受容性感覚 (proprioceptive sense) も深く関わっていると見えるだろう。これらの静的な深部感覚は、主としてルフィニ終末、ゴルジ終末といった遅順応型の受容器により得られた情報によって知覚される。

2.5. 情報保障ツールとしての触図

2.5.1. 触図の利用状況

触図は視覚障害者が 2 次元情報を獲得するために欠かせないツールであるが、点字や音声といった情報保障ツールと比較した場合、その利用率は低い。触図は世界地図や数学のグラフ、生物の図解など教育教材としても有用であり、日本における点字教科書をはじめとして世界各国の教育機関で使用されている[49]。しかし、成人後に触図を利用する機会は少なく、最後に触図を利用した経験が教育機関における教材としての触図であるという視覚障害者も少なくない。

日本盲人社会福祉施設協議会では、2001 年に点字を常用し単独歩行を行う視覚障害者 209 名を対象に、街中の点字サインに関するアンケート調査を実施した[1]。これは、駅や公共施設における触知案内図の他、エレベーターや発券機などの操作表示、ドアや手すりの点字表記など、触図以外にも広く点字を用いた案内表示全般

を対象としたものだったが、利用する上での問題の項目で最も多く挙げられたのが「複雑な図が理解できなかった」(44%)であり、「上下逆さまに貼られていた」(43%)、「誤字があった」(36%)、「板面が汚れていた」(35%)、「点が薄すぎて読みづらかった」(31%)などを上回る結果となった。また、「建築物・車両などの点字サイン」に関して「見たことがあるか」を複数回答で尋ねた質問においても、「手すりの点字表示」(98%)や「鉄道料金の運賃表」(84%)などが高い割合で利用経験があったのに対し、「トイレ壁面の図入り案内板」(45%)、「地下出入り口の地上の案内板」(38%)、「バス停の行先案内板」(33%)といった触図形式の案内表示は過半数を下回る結果となった。

駅などの触知案内図の設置が進む一方、その利用率が伸びない理由として、表記方法に統一された基準がない、情報量が多すぎる、複雑すぎて分かりにくいといった意見が挙げられている[50]。こうした背景には、バリアフリー関連の法整備によって急速に需要が増えたことにより、それまで視覚障害者支援を専門としていなかった業者が触知案内図の制作に参入し始めたこと、従来、福祉関連の部署が担当していた触知案内図の設置業務が工事部門の担当となったことなどを挙げる意見がある[51]。紫外線硬化樹脂を用いた携帯型の触地図についても、スクリーントーンの技術が使用されていることから、視覚障害者のための触図作成とは無関係だった印刷業者が広く参入していることなどが分かりにくい触図が増加した要因になっているという。

渡辺らが2017年に行った「視覚障害者の人的支援サービス利用状況調査」[52]では、視覚障害者個人の依頼によって触図を作成するプライベート触図訳サービスの利用者は202人中16人(7.9%)と少なく、代読・代筆サービスの利用者146人(72.3%)、点訳サービスの利用者89人(44.1%)、点訳サービスの利用者85人(42.1%)を大きく下回った。また、「触図訳利用上の問題点」では回答のあった15人中、7人が「時間がかかる」ことを挙げ、触図の表現方法が少なく、識別しづらい、記号が多く理解しづらいといった「触図が分かりにくい」ことを挙げた回答が

5人、作成者との密な連絡が必要、簡単に頼めるところがない、作成器具が高いといった「触図作成上の課題」を挙げた回答が5人と続いた。

同調査において、触図訳サービスの利用者が触図訳してもらった図の種類として挙げたのは地図が16人中14人(87.5%)で最も多く、グラフ4人、写真とイラストが各2人、絵画が1人と続いた。触図訳サービスを受けていない人に触図にしてもらいたい文書を尋ねた結果においても地図が123人中92人(74.8%)と最も多く、写真(39人)、イラスト(35人)、絵画(31人)、グラフ(28人)と続いた。

2.5.2. 触図の作成方法

i 触素材の貼り付け

図や絵を手指で触って分かるためには、点や線、多角形といった図や絵の構成要素が凸状、あるいは凹状となっていること、もしくは、図や絵の構成要素がそれぞれ異なる素材(触素材と呼ばれる)からなるなど、触感が異なるものになっている必要がある。後者の、布や毛糸、木、ゴムといった様々な触素材を貼り付けて触図を作成する手法は古くから行われてきた。視覚障害者の地図の利用においてもその歴史は古く、16世紀のドイツにおいて小さな穴の開いた計算板に留めピンや針金、糸を用いた触地図が使用されていた例が知られている。

この手法の利点は、図や絵の表す対象によって様々な触素材を使い分けることにより、図や絵の弁別・理解を容易できることである。例えば、触素材を用いた「触る絵本」において、猫や犬の絵には実際の毛や毛糸、家具の絵には木片、風船の絵にはゴムを使用すれば、低年齢の視覚障害児にとっても触っている対象がなんであるか容易に判別できるようになる[53][54]。

しかしながら、この手法は基本的に1点ずつ手作業で行われるため制作に時間と手間がかかり、複製が容易でないという短所がある。また、一般に詳細な図や複雑な図を作成するのは困難であり、触図情報を電子データとして流通、インターネット上で公開することも困難である。

ii 点図

複製可能な触図を作成する手段の一つに点図がある。点図とは点線や点のパターンによって図や絵を構成する触図であり，点字に用いるのと同様な点によって点字用紙を凸状に浮き出させて，あるいは凹状にへこませることによって表現される。点図における図や絵の構成要素は点のみであり，実線は隣接した点の連なりとして表される。点図において実線と点線を区別したい場合，実線は点の間隔が狭い点線，点線は点の間隔が広い点線として区別される。特別支援学校で用いられる点字教科書において点字文書の中に表される図もこの手法で作られているが，点図の原図の作成は手作業によって行われている。

一方，EDEL や BES，点図くんといった点図作成用ソフトウェアを使用すれば，コンピューター上で図を作成し，点字プリンタを用いて図を点字用紙に打ち出すことができる。点字プリンタを用いた点図の利点は，複製が容易であること，一部当たりのコストが低いこと，図を電子データとして流通，共有できることが挙げられる。また，点字プリンタと点字用紙を用いた点字文書に慣れている多くの点字常用者にとっては，他の印刷方法で併記される点字よりも，点図に併記される点字の方が読みやすいといった意見がある。

一方，点字プリンタの短所としては，点の連続で線や図形を表すために詳細な図の表現には向かないこと，点字プリンタのみでは晴眼者や弱視者向けの色による情報を印刷できないこと，点の数が多くなるほど印刷に時間がかかることなどが挙げられる[55]。また，EDEL のようなよくできたソフトウェアを用いても，一般の描画ソフトウェアと比較すれば点図編集ソフトの使い勝手は必ずしも良くない。また，点字プリンタそのものが非常に高額であり，広く普及させることが困難な点も課題として挙げられる。

iii レーズライター

レーズライターは表面作図器とも呼ばれ，シリコンゴムなどの弾力性のある下敷きの上に敷き，ボールペンのような固い素材で筆圧を強めにしてなぞるとその部

分が浮き上がってくる特殊な用紙である。原型はアメリカの American Foundation for the Blind (AFB) で開発された Raised line drawing kit であるが、日本では 1950 年代に紹介されて以降、素材や用具の改良が進められ、現在では国立特殊教育総合研究所が視覚障害児の保護者らと共同開発した塩化ビニールに薄い紙を貼り合わせたレーズライター用紙が広く普及し、特別支援学校や通常学校に在籍している視覚障害児の教育において利用されている。レーズライター用紙は比較的安価に、視覚障害者自身が触図を作成できる有用な手段である。しかし、改良が進んだとはいえ、依然として紙がカールしやすい、力を入れすぎると破れてしまうといった点が短所として挙げられる。また、レーズライターによる触図を複製、電子的なデータに置き換えることは難しい。

iv 紫外線硬化樹脂インク

紫外線硬化樹脂インク (UV インク) とは、インクビヒクルの硬化に紫外線の照射を用いるオフセット印刷インクである。UV インク自体は乾燥が早く、頑丈な被膜を作れる印刷方法として広く普及している方法である。紙や金属の表面に顔料を含むインクを均一な厚みで塗布した通常の印刷面の上に、顔料を含まない無色透明な紫外線硬化樹脂インクを盛り上げて塗布して硬化させることにより、晴眼者ための情報と触って読み取ることが可能な視覚障害者ための情報の両方を表現した触図を作成することが可能となる。触読する凸部が透明となるため、点字の隣に墨字を併記するのではなく、同じ場所に重ね合わせた表現ができるのは他の印刷手法にはない UV インク印刷の長所である (図 4)。

反面、スクリーントーンの技法を用いた UV インク印刷では、樹脂を塗布する都合上、エッジの際立った精密な表現には向かないこと、スクリーントーン用の版下を作成するため、少部数の生産ではコスト面の効率が悪いことが短所として挙げられる。スクリーントーンではない通常の印刷ブラケットを用いたオフセット技法や凸版技法を用いた UV インク印刷ではエッジを鋭く表現したより精密な触図

の表現が可能となるが、版下の作成にはさらにコストがかかり、少部数の生産は更に困難になる[56].

v サーモフォーム印刷

サーモフォーム印刷とは、凸状の原版の上に熱可塑性樹脂のシートを被せて熱処理し、コンプレッサーで空気を抜くことによって原版に密着させて形状を写し取る印刷手法である。サーモフォーム印刷は元々、点字を複製するために開発された技術であり、原版の形状を精密に写し取り、等高線の様な高さを変えた表現も可



図4 UVインク印刷による触地図の例

能なことから地図などの複雑な形状の触図の作成にも適した手法である。しかし、その一方、原版の作成や印刷には高度な技術と多くの手間が必要であり、立体コピー用紙の普及とともに利用頻度は減りつつある。

vi 立体コピー

立体コピー用紙とは、熱発泡用紙、カプセルペーパー、スウェル・ペーパー、パフ・ペーパーなどとも呼ばれ、表面を熱発泡性のマイクロカプセルでコーティングされた特殊な紙である。ハロゲン光などを用いた現像機によって熱線を当てると、カーボンを含むインクで黒色に印刷された部分が集熱し、発泡、凸部を形成することによって触図を作成する。立体コピー用紙への印刷は市販のインクジェット・プリンタなどで行うことができ、視覚障害者個人のニーズに合わせた少部数の触図を比較的安価に制作することが可能である（図5）。また、カーボンを含まない黒

色以外の印刷面はマイクロカプセルが吸熱せず、発泡しないため、晴眼者用やロービジョン者用の情報を合わせて同時に印刷することが可能である。



図5 立体コピー用紙を用いた触地図の例

一方、立体コピーの短所としては、凸部の形成に熱発泡性のマイクロカプセルを用いるという仕組みゆえ、発泡する高さの調節が困難なこと、こすれや水濡れによる損耗に弱く、耐久性に劣ること、点字用紙の点字に慣れた視覚障害者にとっては立体コピー用紙における点字が読み取りづらい場合があることなどが挙げられる。

vii 3D プリント

近年、広く普及が進んでいる触図の印刷手法として3Dプリント技術を用いたものがある。広く一般に普及している3Dプリンタはポリカーボネイト樹脂やABS樹脂を使用し、3辺とも200mm程度までの立体を造形することができる。3Dプリンタを用いた触図作成の利点は、第一に高さの表現が自由であり、凹部の表現も可能なことである[57]。凹部による触知記号は凸部による触知記号との区別が容易であり、道路などを表す凸部の線に対し、地理境界などの補足的な線を凹部によって表現することが可能である。また、平面的な触地図だけではなく、ジオラマのよ

うに建物の高さを実物の階数に応じて変化させたり、屋根の形状を再現するなど、図と模型の中間的な表現も可能である[58]。第二に、3D プリンタは視覚障害者専用の情報保障ツールではなく汎用的な機器として広く普及していること、3D モデルのデータさえあれば制作を行える出力センターや制作代行サービスがあることも大きな利点である。特に立体コピー印刷やサーモフォーム印刷といった視覚障害者用の触図印刷技術が広く普及していない国では 3D プリンタによる触図作成が広く行われている[59]。

一方、短所としては、使用する 3D プリンタの精度によるが、点字などの詳細な表現が難しい場合があること、一般的に普及している 3D プリンタでは一度に印刷できる最大面積が 20cm 四方程度に限られること、印刷に時間がかかること、紙状の印刷物に比べて体積が大きいため、大量部数の運搬、保管、携帯に不便であることなどが挙げられる。

2.5.3. 触図の問題点

視覚によって全体像を一目で把握できる図画と異なり、触覚によって部分を連続的に読み取り、記憶によって連結しなくてはならない触図では全体像を把握するのに時間がかかり、図の情報量が多くなるほどその全体像をイメージするのは困難になる。一般に触図では立体物の奥行きを描いた表現などは触察による理解が困難であるとされ、多くの図は事物を正面から捉えた平面図で表される。同様に、触図では触覚や素材の特性上、輪郭のはっきりしない図表は表現しにくく、薄彫りのレリーフで表現された「触れる絵画」などを例外として、描かれている人物が誰であるかといった写真的な表現は困難である。また、一般的に触図では色の情報を伝えることはできない。

晴眼者の使用する図と比較した場合の触図のもう一つの課題として、記載できる情報量が少ないという問題点が挙げられる。触図では手指の空間解像度の低さから精密な描写を行うことはできず、視覚で利用する図画よりも解像度の低い図

画にならざるを得ない。地図上に必要とされる情報は描かれる場所や目的によって異なるため単純な比較は困難だが、Feucht らの研究では視覚障害者用の触地図で使用できる情報量は、同面積の晴眼者用の地図の 16 分の 1 程度だったという。ここで対象とされた晴眼者用の地図は簡略化されたガイドマップだったため、より詳細な道路図などと比較すれば、触地図との情報量の差はより大きなものとなるだろう[3]。

また、触図上に記載する点字も、サイズを小さくできないことなどから文字数が制限され、十分な情報を伝えられない場合がある。触地図において地名などが全て表記できない場合、省略した表記を用いて別途、凡例を示す場合があるが、凡例の項目が多すぎれば、それを記憶する作業も地図を利用する上での負担となる。

2.5.4. 触地図と音声情報

触地図上に表現できる情報量が限られること、点字に不慣れな視覚障害者が点字表記を利用できないといった問題点を補う方法の一つに、触地図に音声情報を付加するという方法がある。

触地図では、地名などの省略表記の凡例の他にも地図全体の概要や道順などの地理情報をまとめた案内文が利用される場合も多い。自治体や遊園地などの大規模施設が作成する冊子形式の触地図ガイドブックでは、地図に点字による文書の他に、文字情報を内包した 2 次元コードの一種である SP コードを併記する方法、音声案内を収録した CD ガイドを添付する方法などが広く用いられている(図 6)。

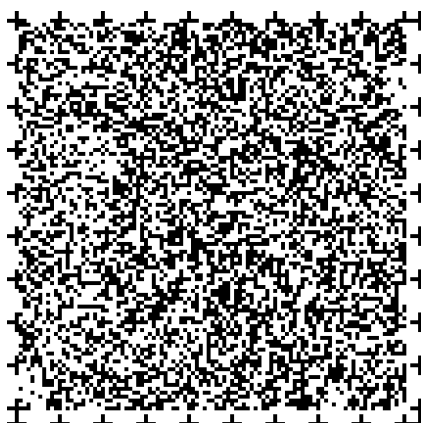


図6 SPコードの例

個々の視覚障害者のニーズに合わせて作成される触図訳サービスでは、スクリーンリーダーによる読み上げを想定したテキストファイルを添付する方法や、晴眼者によるサポートを想定した墨字の文書を添付する方法も取られている。また、駅の構内図や路線案内などの触知案内図では盤面に音声案内を読み上げるボタンを設ける方法、トイレなどの衛生設備のガイドでは触知案内板に近づくとセンサによって自動的に音声案内が再生される方法がバリアフリー新法に基づくガイドラインによって推奨されており、全国の鉄道施設などにおいて広く用いられている（図7）[60]。ただし、そうした交通機関の音声ガイドについては「周りの騒音が大きく聞き取れない」、「音量が小さくて存在に気づかなかった」といった利用者の意見もあり、広く利用されてはいないという実態がある[61]。



図7 音声案内ボタン付き触知案内図の例
(JR 関屋駅)

2.5.5. 動的な情報の提示

単位面積あたりに提示できる情報量が少ないという触図の欠点を補うため、動的に図を変化させ、より広い面積の触図を部分ごとに表示したり、部分を拡大・縮小できるようにするための様々な方法が研究・開発されている。そのような動的な触図の提示装置で製品化されているものとして、点字ディスプレイと同様の小型のピンを用いた点図ディスプレイがあるが、複雑で高額な機器であるため、広く普及しているとはいいがたい。渡辺らが2013年に行った「視覚障害者の携帯電話・スマートフォン・タブレット・パソコン利用状況調査」では、視覚障害者292人のうち、点字ディスプレイ/点字電子手帳の利用者は60人(20.5%)だったのに対し、点図ディスプレイの利用者は更に少なく2人(0.7%)と少なかった[62]。

また、電磁型・圧電型の振動子を用いた触覚ディスプレイ[63]や、バーチャルリアリティを応用した小型触覚ディスプレイである触覚マウス[64][65][66]、物理的に接触面の形状は変化しないがタッチパネル上に静電気[67]や超音波[68]を発生させて疑似的に触刺激を感じさせる装置などが考案されているが、いずれも物理的な触図と比較して解像度の低い情報しか提示できず、パソコンやスマートフォ

ンの GUI を提示するには有効であるが，現時点では触地図などの提示方法としての実用性は低いと考えられる[69].

また，触図上に記載できる点字情報の量が限られること，点字が触読できない視覚障害者には利用できないことから，使用者が触地図のどこを触っているかを動的に把握し，音声によって情報を提示するシステムも複数考案されている．触図を触読中に利用者がどこを触っているかを読み取る方法としては，モーションキャプチャやビデオカメラを使って上から指先の動きを撮影する方法，点図ディスプレイや紙の触図を置いた台の下に力覚センサを設置し圧力の変化を感知する方法[70]，専用のタッチセンサー・ボードの上に触地図を設置する方法[71]，タッチパネル機能の付いたパソコンの画面に同サイズの紙の触地図を貼り付けて押された位置を読み取る方法[72]，音声読み上げ機能付ペン型インタフェースを用いる方法[73]などがあるが，これらもまた高価な機器が必要となること，設置に手間がかかることなどから広く普及してはいない．

こうした視覚障害者向け製品の普及の困難さにおいて複合的な要因となるのが，製造経費が高くなること，その一方でユーザの購買力が低いこと，そして，そうした製品を知り，それに熟達するユーザが少ないことである[74][75][76].

2.5.6. 触地図のガイドライン

既に述べたように，触覚の空間敵分解能は視覚のそれよりも低く，視覚用の地図をそのまま同じ解像度で翻案しても触地図としての利用には適さない．例えば，Vallbo らの触 2 点弁別閾の計測結果に照らせば，触地図上の点は，少なくとも 1.6 mm 以上離れていない限り，2 つの点として認識されないことになる[28].

また，触読するには不適切な表現，不統一な表記，多すぎる情報量などは，単に触地図を分かりにくく，読み取りにくくするだけでなく内容を誤読させる恐れを孕んでいる．視覚障害者にとって，外出時に誤ったルートに進んでしまうことには様々な危険が伴う．

分かりやすい触図を作成するには，触読に適した図の表現方法や触図に必要な

情報を熟知していることが必要であり，効率的に触図を作成するには作成方法に関する技量（現在では主にパソコン上で作図ソフトウェアを操作する技量）も求められる．そこで触図の作成に関するノウハウの蓄積や表記ルールの一統などを目的として作成されたガイドラインが存在する．広く使われている触図ガイドラインとしては，主に教科書における点図の表記の一統を目的としたアメリカン・プリンティング・ハウス（American Printing House for the Blind）[78]や北米点字委員会（Braille Authority of North America; BANA）[79]，日本の点字図書館[80]によるものがある．また，触図の作成方法や素材の違いによっても異なるノウハウが必要であり，Erikssonらは立体コピー用紙を用いた触図の作成についてのガイドブックを作成している[81]．触地図に関するガイドラインとしては The N.S.W. Tactual and Bold Print Mapping Committee[82]によるものなどがある．

触 2 点弁別閾のような専用器具を用いて計測された心理物理学的な研究の結果と，経験則的に書かれた触地図作成ガイドラインとのギャップを埋めるべく，実際の触地図の諸要素を用いて最適な条件を計測した研究もあり，その成果は新たな触地図作成ガイドラインとして利用されている．Jehoelらは触図上の単線と二重線の弁別域を測定した結果，二重線を単線と区別するためには最低 1.3 mm 以上，線の間隔を開けるべきであること，また，2.2 mm 以上の太さの単線は二重線と誤認される場合があることを報告している[83]．石橋らは触地図上で見つけやすい触知記号の大きさについて実験を行い，従来，慣習的に用いられていた直径 3 mm 程度の円よりも大きい 9.0 mm の円を用いた記号の方が見つけやすいことを報告している[84][85]．

触地図に関しては，日本国内ではバリアフリー新法の施行以降，特に公共交通機関や公共施設に設置が義務付けられた触知案内図を対象として作成方法や様式，点字や記号の表記に関してする規格化するための議論が進められてきた[86]-[90]．2007 年には，触地図における点字表記の記号表記の全国的な統一，表示方法や情報内容について基準を設けることを目的に，「触知案内図の情報内容の呈示方法等

に関する日本工業規格」(JIST0922)が制定された[91]。現在、国内の点字出版所等で作成される触知案内図は、全てこの規格に準拠したものとなっている。ただし、この規格には指先で識別可能な触記号のサイズや、目盛りによる分割といった探索時間を短くする手法については明記されておらず、触地図の有用性を高めるための定量的なデータの検証は必要である。

そして、2016年には国際標準化機構による国際規格として、「ISO 19028 アクセシブルデザインー触知案内図の情報内容、形状及び表示方法」が発行された[92]。日本からの提案により採用されたこの規格の要点は、(1)触知案内図の構成と、表示する情報項目の原則、(2)触知案内図の寸法と設置方法、(3)触知案内図における、現在地と目的地、触知図形、触知記号、点字と浮き出し文字、拡大文字等の表示方法、(4)触知案内図の製造に適した素材の四つである。今後、これらのガイドラインが活用されることにより、触地図の触読しにくさ、分かりにくさといった問題が改善され、階段やエスカレーター、トイレなどの触知記号が統一されるなど、標準化された有用な情報保障ツールとしての触地図の利用が進んでいくことが期待される。

2.5.7. 触地図自動作成システム

触図の作成に要する時間や技量を補うためには、触図自動作成ソフトウェアの活用が有効である。そうした触図の作成に関するソフトウェアとしては、一般の作図ソフトウェアの機能を触図作成用に特化させたもの[93][94]の他、触星図盤を作成するもの[95]、数学教材や統計資料などのグラフを作成するもの[96][97][98]、将棋やチェスなどの局面図を作成するもの[99]などが存在する。

触地図に関しては、2003年に米国のスミスケトルウェル視覚研究所の Miele らが Tactile Map Automated Production (TMAP) プロジェクトを開始し、テキストベースの操作で米国内の任意の地点の点図を印刷可能なシステムを開発している[100]。日本国内では、国土地理院が晴眼者による触地図作成を支援するシステムとして、1997年に「触地図作成支援システム (MS-DOS 版)」を、2006年に「触

地図原稿作成システム（Windows 版）」を開発，試験公開，2010年には Minatani らが視覚障害者自身が操作可能で立体コピー用紙などに対応した触地図データの自動作成システムとして tactile map creation system（TMACS）を開発している[101]（図8）。

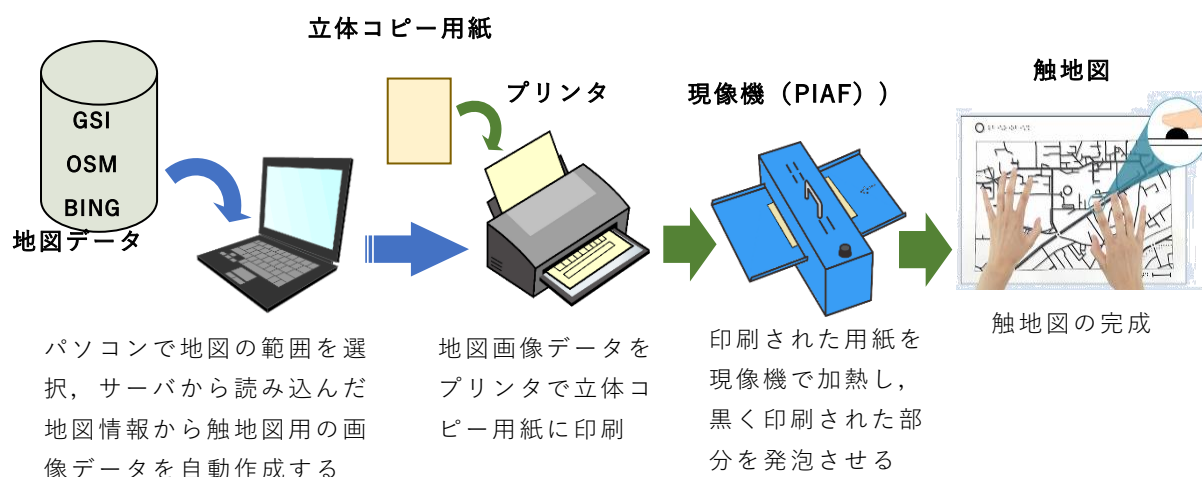


図8 立体コピーを用いた触地図自動作成システムの流れ

前述した触地図自動作成システムはいずれも各国ごとの固有の地図情報に対応したものであり，地図データのライセンスの問題やフォーマットの違いなどの問題もあり，開発したシステムを即座に世界中の国々に適応，公開することは困難であった．そこで，近年は世界中の地図を，ライセンス料を支払うことなく共通したフォーマットで利用可能な手段として，オープン・ソースの地図情報データを用いた触地図自動作成システムの開発が進められている．

2004年にWeb上で開始されたオープンストリートマップ（OpenStreetMap; OSM）は，誰もが自由に利用可能で編集機能のある世界地図を作るためのWiki形式の共同作業プロジェクトであり，そこで作成された地図情報の画像とベクトル・データ・セットはオープン・データベース・ライセンス（ODbL）1.0のもと再利用可能となっている[102]．2009年にはLulu-AnnらがOSMの地図情報を用いて3Dプリンタ用の触地図データを作成するシステム，HaptoRenderを公開，OSMにおける

共同プロジェクトの一つとして現在も開発を続けている [103]。同様に OpenStreetMap の地図データを用いて、2013 年には幸田らが立体コピー用紙用の触地図データを、2015 年には Hänßgen らが点字用紙へのエンボス印刷用の触地図データを自動作成するシステム (HaptOSM) を開発、公開している [104][105]。

世界中の地図データが存在し、ライセンスがオープンなことだけでなく、利用者が自由に編集可能で、必要な情報が不足していれば新たなデータ要素を追加することもできるのが OSM の特徴である。白杖や盲導犬を伴って単独歩行を行う視覚障害者に有用な情報として、点字ブロックなどの誘導設備の有無や、柱や杭といった障害物の有無、路面の材質、交差点の信号の方式 (歩車分離式か、スクランブル交差か、音声ガイドの有無など) などがあるが、OSM では一般の地図情報データでは不十分なそうした情報を編集者が自由に追加できる。今後、地図の編集者が必要な場所にそうした情報を追加していくこと、触地図自動作成システムの開発者がそうした情報への対応を行うことの両輪が揃えば、視覚障害者によるそうした情報の活用が進んでいくものと考えられる [106]。

2.6. 小括

2.6.1. 本研究の背景

以上に、日本国内における視覚障害者の置かれている状況について述べた。

視覚障害者の情報保障ツールとしての点字は中途視覚障害者の割合が増えていることなどから視覚障害者全体における利用者の割合が減っているが、パソコンやスマートフォンにおける音声読み上げ機能の普及や音声認識技術、文字認識技術 (OCR) の向上は、点字に代替する情報保障ツールとしての音声の利用機会を拡大している。

一方、視覚障害者が 2 次元情報を獲得するための情報保障ツールである触図については、触図専用の機器やスマートフォンやタブレットなどの電子機器を活用

して動的な情報を提示する仕組みが開発されているものの、高額で複雑な機器であることや提示できる情報の解像度が低いことなどから広く普及しておらず、現時点では従来型の印刷物や設置型の触図に代替するものではないと考えられる。その上で、従来の触地図とパソコンやスマートフォンによる音声読み上げ機能を併用することにより、点字を触読できない視覚障害者が図に付随する情報を利用する例も増えていくと考えられる。現時点では、点字や音声といった情報保障ツールに比べ、触図の利用率は高くない。しかし、触図を分かりやすくし、統一した表記を用いるためのガイドラインの普及や、触図作成を容易にする自動作成ソフトウェアなどの技術の向上、そして、触図と音声読み上げを組み合わせた情報提示など、触図をより便利に用いるための工夫によってそれが利用される機会は増えていくと考える。

視覚障害者が必要とする情報保障の中でも、地図は単に道順を知るだけでなく、地域と人間社会を結びつけ、地域間の関わりや繋がりを知るうえでも欠くべからざる存在である。視覚障害者の自立と社会参加に向けてのツールとしても、触地図の分かりやすく効率的な利用を促進することは意義があるだろう[107]。

2.6.2. 本研究の適用

本研究では比較的安価に少数の触図を作成でき、日本国内において広く普及していること、視覚障害者個人の依頼に合わせて触地図を作製する触図訳サービスで利用されることの多い素材であること、先行研究における比較において比較的多くの実験参加者が他の素材よりも触読しやすいと回答した素材であることから、立体コピー用紙による触地図を用いて実験を行うこととした[108][109][110]。

触図における触知記号の弁別は触図表面のざらつき加減など、触図の素材によって異なることが知られている。しかし、本研究では実際に使用される触地図と異なる道路などの複雑さを統制した触地図を用い、標的も先行研究[84]において妨害刺激との弁別が容易とされた大きく分かりやすい触知記号としたことから、触図素材の違いによる影響は少ないものとする。よって、本研究の成果は立体コピー

以外の、点図印刷や UV インク印刷、サーモフォーム印刷といった触地図の作成方法にも大きな修正を必要とせずに対応可能だといえるだろう。ただし、駅構内図などの設置型の触知案内図においては、基準とされているサイズが縦 600 mm×横 1000 mm 四方と大きく、携帯型の触地図とはサイズが大きく異なるため、探索時間を最短とする区画数も異なるものと考えられる。

本研究で提案する、触地図の区画分割は特別な機器を必要としない。また、触地図自動作成ソフトウェアの機能として実装した場合、触地図作成に要する作業量を増やすこともない。

触地図ガイドブックなどで用いられる自由文形式による点字文書や音声ファイルの地理説明では、必要な情報に素早くアクセスするために「読み飛ばす」ことが困難だが、分割された区画の番地と地理情報を定型化して示す方法ならば利用者が必要な情報に素早くアクセスすることが可能となるだろう。

第3章 実験 I

3. 1. 目的

3. 2. 方法

3. 3. 結果

3. 4. 考察

3. 1. 目的

触地図の周囲に配した目盛りによって分割した探索領域の区画数と標的となる触知記号の探索時間の関係を明らかにする。区画数が多いほど探索領域は狭まるため、区画数の増加に伴い探索時間は一定程度まで減少すると考える。

3. 2. 方法

3. 2. 1. 参加者

触覚と運動機能に障害のない晴眼者 11 名（平均年齢 23.2 歳，男性 6 名，女性 5 名）に参加してもらった。

3. 2. 2. 刺激

刺激となる触地図の素材には立体コピー用紙を用いた。立体コピー用紙は Zychem 社の ZY-TEX2 Swell Paper を使用し，インクジェット・プリンタ（Canon, iX7000）を用いて印刷，立体コピー現像機（Quantum Technology, Picture in a Flash (PIAF)）に通して発泡させた。

i 原図

触地図の原図は，ドローソフト（CorelDRAW ESSENTIALS X6）を用いて作成

した． B4 サイズ（257 mm×364 mm）の立体コピー用紙の中央に外枠が A4 サイズ（縦 210 mm×横 297 mm）となる地図を配置した．

これらのサイズ選定の理由は，触地図自動作成システム（Tactile Map Automated Creation System: tmacs）において作成される地図に近いサイズであり，Eriksson らによる触地図作成ガイドラインにおいても，触覚で全体像を把握しやすい用紙サイズとして，両掌を広げたサイズに近い A4 から B4 サイズが挙げられていることによる[81]．また，用紙の向きは，御園らが2次元配置の触知探索において縦に長いパターンよりも探索時間が短い傾向があるとした横に長いパターンとした[111]．

ii 目盛りによる探索領域の分割

晴眼者の用いる地図では，分割した地図区画を示すため，地図内に仕切り線が描かれる．しかし，主に道路の線記号からなる触地図に仕切り線を加えた場合，触覚による道路の線と仕切り線の区別は困難となる．そこで，本研究では地図内に仕切り線を加えず，地図の周囲に目盛りを付与することで一辺の目盛りから対辺の目盛りへ向かう水平，垂直の仮想的な線の存在を示し，それによって探索領域を分割した区画を示すものとした．目盛り線は地図の周囲に，長さ 5 mm，幅 1 mm の実線として配置した．実験に用いた触地図の例を図 9 に示す．

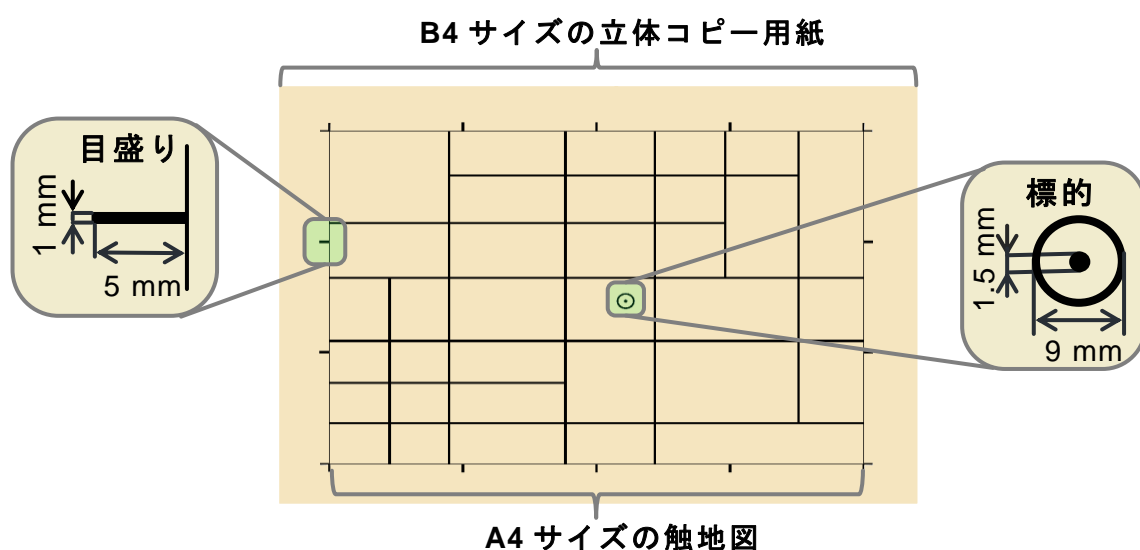


図 9 実験に用いた触地図の例

iii 区画

方眼によって分割した区画を区別するため、名称を定義した。探索領域の最も左上の区画を「縦 1, 横 1」とし、そこから下方向に 1, 2, 3, 4, 5, 右方向にも同様に 1, 2, 3, 4, 5, 6 と数字を割り振った。

iv 道路

道路の配置は碁盤目状に近い道路配置をしている都市の地図を参考とした。これは、地図の複雑度を統制するためである。道路の線幅が探索に与える影響を除くため、道路は幅 1 mm の実線のみで表現した (図 9)。

v 標的

標的は石橋らの研究で探索しやすいとされた、幅 1 mm の実線による中抜き丸印 (直径約 9 mm) を用いた[84]。さらに、道路線との弁別を容易にするため、中抜き丸印の中に、直径約 1.5 mm の黒塗りの丸印を配置した (図 9)。

3.2.3. 条件

i 条件

目盛りによって分割された区画の数の違いを実験条件とした。区画の数は、縦 2 × 横 3, 縦 3 × 横 4, 縦 4 × 横 5, 縦 5 × 横 6 の 4 種類とした。これに、対照として目盛りがない (探索領域が分割されていない) 触地図を加え、5 条件の用意した (図 10)。表 5 に各条件における区画の大きさを示す。

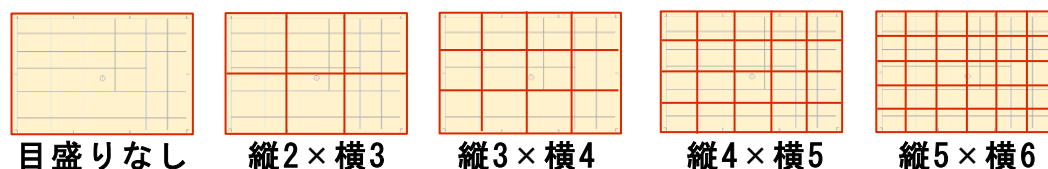


図 10 目盛りによって分割された各条件の探索領域の図

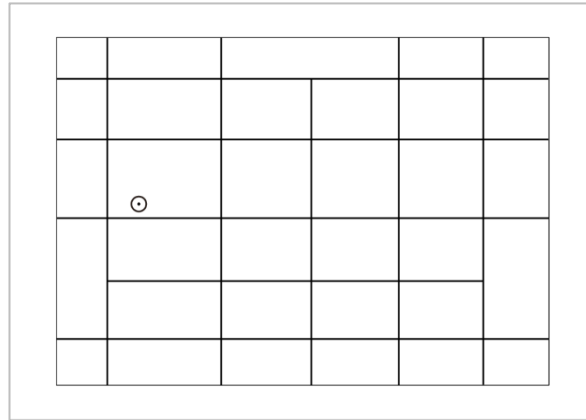


図 11 目盛りなしの条件の刺激の例

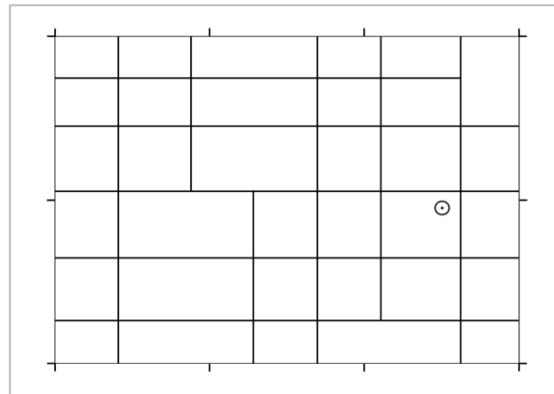


図 12 縦 2×横 3 条件の刺激の例（標的は縦 2，横 3 の区画にある）

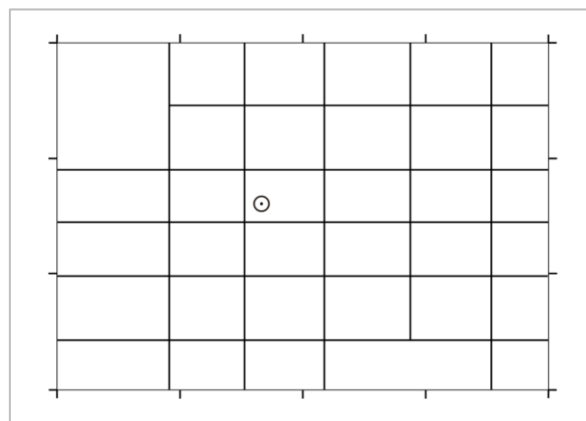


図 13 縦 3×横 4 条件の刺激の例（標的は縦 2，横 2 の区画にある）

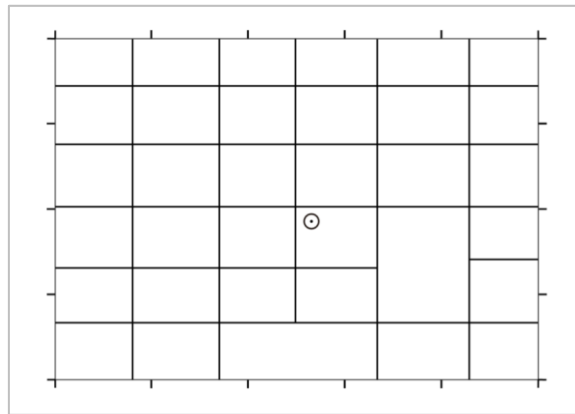


図 14 縦 4×横 5 条件の刺激の例（標的は縦 3，横 3 の区画にある）

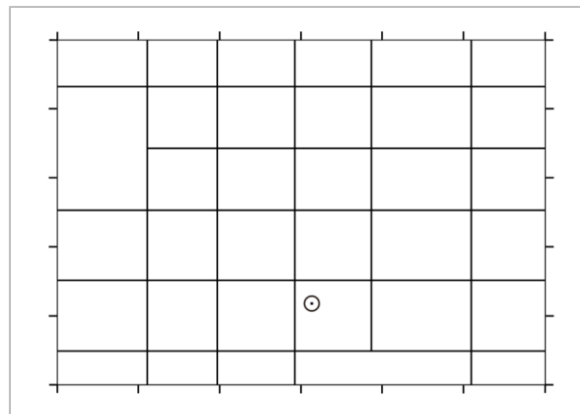


図 15 縦 5×横 6 条件の刺激の例（標的は縦 4，横 4 の区画にある）

表 5 各区画数の大きさ

区画数	no	2×3	3×4	4×5	5×6
横幅(mm)	297	99	74	59	50
縦幅(mm)	210	105	70	53	42
面積 (cm ²)	623.7	104.0	52.0	31.2	20.8

ii 標的の位置と試行数

刺激ごとに標的の探索場所を変えるために、触地図を仮想的に 3×3 の九つの格

子に区切り，条件ごとにそれぞれの格子の中に標的を配置した触地図を 1 枚作成した．標的配置のための触地図の分割方法を図 16 に示す．参加者に標的の位置を推測されることを防ぐために，中央の格子（図 16 の 5 番の格子）に標的を配置した地図をもう 1 枚作成し，1 条件あたり 10 枚，5 条件全体で計 50 枚の地図を作成した．

1	2	3
4	5	6
7	8	9

図 16 標的配置のための触地図の分割方法

3.2.4. 手順

i 手法

実験参加者には，実験中，アイマスクを着用してもらった．実験参加者は座位で実験に参加し，触地図は正面の机上に配置した．実験中に地図がずれないようにするため，机上には滑り止めシートを敷き，触地図をその上に配置した．

実験参加者の正面上部にはモーションキャプチャとビデオカメラを三脚によって設置し，斜め上方から触地図上での手指の動きを撮影した（図 17）．



図 17 実験環境

実験者は、実験を行う前に実験で使用する触地図について説明した。

実験開始時には触地図の左上の角に両手指を置いてから探索するように指示した（図 18）。1 試行ごとに、標的が配置されている区画を実験者が口頭で参加者に伝え、その後、口頭で実験開始の合図をした。参加者は両手を使い、触地図内の標的を探索した。標的を発見したら、その旨を実験者に対して口頭で知らせてもらった。

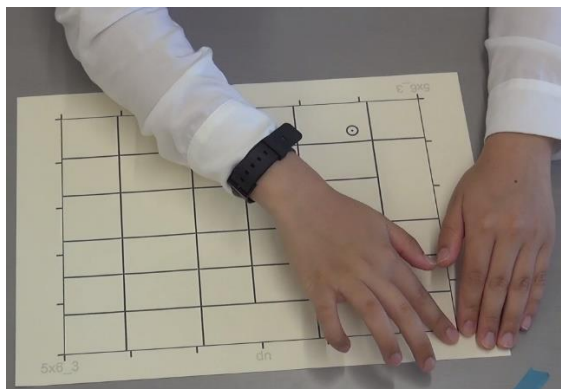


図 18 実験開始時の様子

第3章 実験 I

1 試行ごとに、参加者が標的を探索し終えるまでの時間（探索時間）とその時の指先の動きを計測した。探索時間の計測にはストップウォッチ（SEIKO, ADME001）を用いた。指先の動きの計測、及び探索時間の再確認用にモーション・キャプチャ・システム（OptiTrack, V120:Trio）、及びビデオカメラを使用した。モーション・キャプチャ・システムで指先の動きをトレースするため、参加者の両手の人差し指と中指の爪の上に直径約 10 mm の円形の反射シールを貼付した。ただし、参加者にはシールの存在を意識せず、五指及び手の平を自由に使って探索を行ってよいことを説明した。

ii 実験の流れ

実験は 1 条件につき、サンプル地図を用いた練習を 5 試行行った後、本実験を 10 試行行うという順に進めた。途中、15 分程度の休憩を一回挟み、これを 5 条件分繰り返した（図 19）。



図 19 実験の流れ

iii 刺激の提示方法

区画数が異なる 5 種類の条件全てを参加者 1 人に対して提示した。条件の提示順序による効果を減らすため、条件の提示順を参加者ごとに変化させた。特に予備実験において、区画分割のある地図の最初の提示条件に順序効果が見られたため、目盛りのない地図を除いた 4 条件のうち、最初に行う条件の人数が均等になるように割り当てた。

1 条件当たり 10 枚を 1 セットとし、10 枚の提示順はランダムとした。

iv 分析

実験参加者 11 人のうち、ビデオデータの保存に失敗した一人の記録を取り除き、10 人の記録を対象として分析した。1 条件 10 回の平均値を個人ごとに求めて 1 人のデータとした。

3.3. 結果

3.3.1. 探索時間

実験参加者 10 人分の目盛り数と探索時間の関係を図 20 に示す。今回の実験において地図上の標的以外の場所を実験参加者が標的だと回答する誤答はなかった。

実験の結果、縦 3×横 4 を最小値とする U 字型のグラフが得られた。目盛りのない条件から縦 2×横 3、縦 3×横 4 にかけて探索時間が短縮したのは、標的区画が狭くなるほど探索時間が短くなるという事前の予測に沿うものだった。一方、縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけて探索時間が長くなったのは、予測に反する結果だった。

Shapiro-Wilk 検定により縦 4×横 5 における 10 人のデータの正規性が棄却されたため、ノンパラメトリック検定の Friedman 検定を用いて有意水準 5% で検定を行ったところ、5 条件間に有意差が見られた ($\chi^2(4) = 15.04, p < 0.05$)。また、Ryan 法を適用して Wilcoxon の符号順位検定による多重比較を行ったところ、目盛りなしと縦 3×横 4 の間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけて探索時間が長くなるという現象が起こった要因を明らかにするため、実験時の指先の動きを撮影したビデオから各実験参加者の探索行動を分析することにした。その分析結果を図 20 に示す。

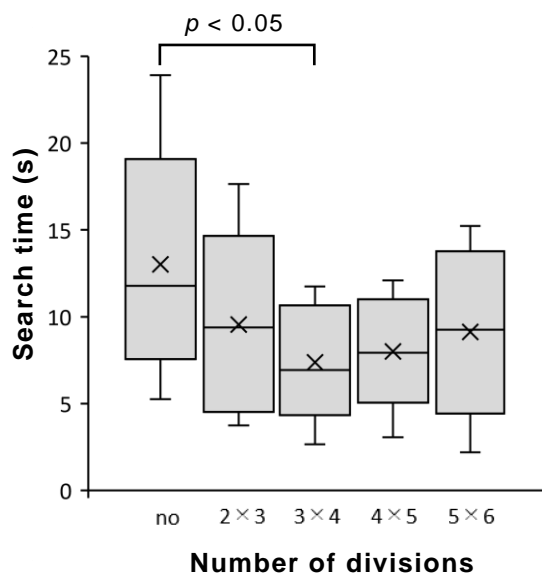


図 20 区画数と探索時間の関係
(×印は平均値)

3.3.2. 探索行動の概要

区画分割された地図における標準的な標的探索行動は、目盛りの計数、標的区画への手の移動、標的の探索の3段階からなる(図 21)。実験参加者 10 人のうち、9 人はこの手順で探索を行った。ただし、1 人は目盛りを計数することなく、直接、標的区画へ手を移動して標的の探索を行った。

目盛りの計数を行わなかった 1 人はいずれの条件においても他の実験参加者より探索時間が短く、縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけての探索時間の増加も見られなかった。

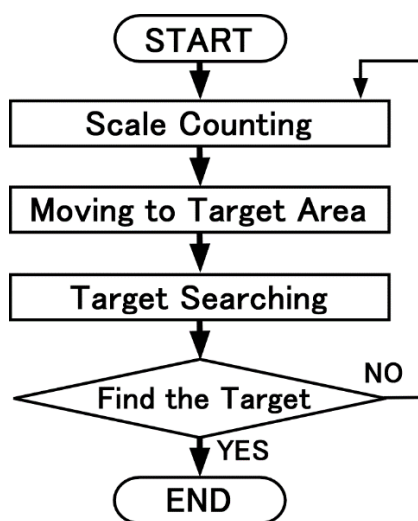


図 21 探索行動の概要

3.3.3. 標的探索の失敗

目盛りの計数を行った 9 人のうち, 8 人の試行には極端に探索時間の長いものがあり, 全体の平均時間に与える影響が大きかった.

実験中にビデオカメラで撮影した映像を観察すると, 目盛りを計数した後, 標的周囲の領域に移動し, 標的を探索したが, 一度で標的を発見することができず, 再度目盛りの計数からやり直した試行が見られ, そうした試行ではやり直しのない試行と比較して探索時間が 2 倍以上に長くなっていた. そこで, 目盛りを触り直すことによる探索時間への影響を検証するため, 目盛りを探索し終え, 標的の探索を行った後, 再度目盛りの計数を行った試行を「探索の失敗」とし, 実験中に撮影したビデオカメラの映像から失敗の回数を計数した. 映像の観察は 2 名で行い, 両者が異なる判断をした場合, 協議の上で失敗の有無を判断した.

探索の失敗のあった試行数は, 縦 2×横 3 から縦 5×横 6 にかけてそれぞれ 5 回, 4 回, 8 回, 14 回であった. 失敗の数は縦 3×横 4 から縦×横 6 にかけて標的区画が狭くなるほどに増加していた.

一度で標的を発見することができなかった原因として, 実験者が伝えた標的の座標とは異なる位置の目盛りをガイドとして利用したことに起因するもの (目盛

りの数え間違い), 目盛りは正しく数えられたものの, 目盛りから標的の領域に移動する過程で異なる領域に移動したことに起因するもの(移動の失敗), 明確な失敗の要因を確認できないもの(不明)の3つに分類し, それぞれを計数した.

その結果, 目盛りの数え間違いによる失敗が縦5×横6において6回, 縦4×横5において1回あった. また, 標的区画への手の移動時のエラーで標的区画を外れたことによる失敗が縦5×横6において2回あることが確認できた. その他の試行では, 明確な失敗の原因は確認できなかった(表6).

また, 標的区画が内側にある地図では地図の外枠を手掛かりとして標的区画を限定することができず, 縦4×横5, 縦5×横6ではこうした地図が半数を占めた. 全体では, 標的区画が内側に位置する地図の10.00%で失敗が生じたのに対し, 標的区画が四隅に位置する地図での失敗は4.62%と少なかった. 標的区画が四隅以外の各辺に面した地図での失敗は6.76%だった. ただし, 標的区画が内側に存在する地図と四隅に存在する地図の対で χ^2 検定を行った結果, 有意な差は見られなかった($\chi^2(1) = 2.51, p > 0.05$).

表6 探索失敗のあった試行数

条件	全失敗試行数	探索失敗の要因		
		数え間違い	移動の失敗	不明
縦2×横3	5	0	0	5
縦3×横4	4	0	0	4
縦4×横5	8	1	0	7
縦5×横6	14	6	2	6

3.3.4. 目盛りの計数時間と標的の探索時間

標的探索の失敗以外に, 縦3×横4から縦5×横6にかけての探索時間を増加させた要因がないかを探るため, 失敗があった試行を除いた平均時間に対し, 探索行動の各段階における所要時間を分析することとした.

各試行の開始時から両手の指先が地図の枠外にある時間を目盛りの計数時間,

指先が地図の枠内に移動してから標的を発見するまでの標的の探索時間として、2段階に分け、それぞれの所要時間を計測した。標的区画への手の移動から標的の探索に至る流れは連続していて区別できないため、両者を合わせた時間として計数した。一度で標的を発見できず、計数を複数回行った場合は、最初の日盛りの計数のみを日盛りの計数時間とした。実験中に撮影したビデオカメラの映像をもとに、10人分の2つの段階の所要時間を求めた。映像の観察は2名で行い、2名の平均値をデータとして用いた。図22に失敗を除外した各条件における日盛りの計数と標的探索の2つの段階の所要時間を示す。

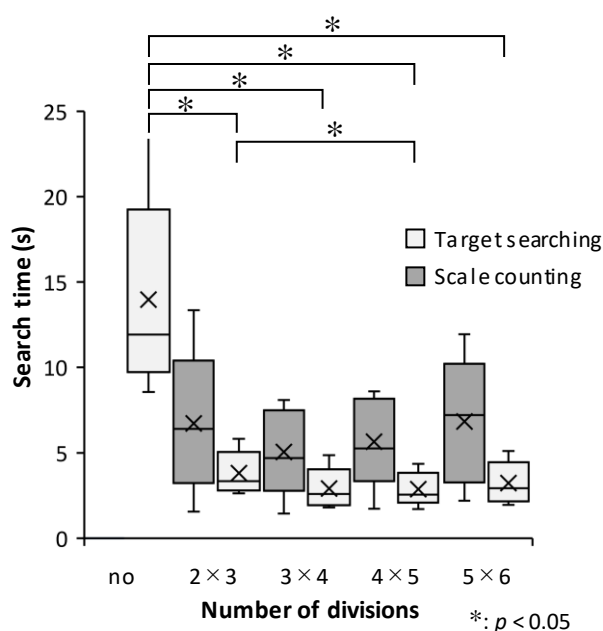


図 22 目盛りの計数時間と標的の探索時間
(×印は平均値)

目盛りの計数時間では、縦3×横4を最小値とするU字型のグラフが得られた。目盛りの計数時間は区画数が多いほど長くなると考えられるが、縦2×横3の計数時間は縦3×横4よりもわずかに長かった。目盛りの計数時間についてFriedman検定を用いて検定をおこなったところ、4条件間に有意な差は見られなかった

$(\chi^2(3) = 6.69, p > 0.05)$.

標的の探索時間は目盛りなしの条件に次いで縦2×横3が長く、その他はほぼ横並びとなった(図22). Friedman検定を用いて検定を行ったところ、5条件間に有意な差が見られた($\chi^2(4) = 27.36, p < 0.05$). Ryan法を適用したWilcoxonの符号順位検定による多重比較では、目盛りなしの条件と区画分割のある4条件との間に加え、縦2×横3と縦3×横4、及び縦2×横3と縦4×横5の間に有意な差が見られた($p < 0.05$).

3.3.5. 探索戦略

目盛りを計数し、標的のある区画に移動した後の、標的を探索する行動を分類するため、実験中に撮影したビデオカメラによる映像をもとに分析した。目盛りのない地図では、半数以上の試行において探索中の手の運動軌跡が並行なもの(Parallel Sweep)、ジグザグ型のもの(Zigzag)、渦巻型のもの(Spiral)の3種類のいずれかが見られた(図23)。これらはMorashらが観察した、系統立てられていない2次元平面を触知探索する際に起こる構造的な戦略を両手で行った場合と類似していた[112]。

そこで、各試行の標的探索パターンを、Parallel Sweep, Zigzag, Spiralの3つの構造的な戦略に、Direct Hitとその他(Other)を加えた5つに分類することとした。Direct Hitは、地図の枠外から直線的な移動を行った際に標的が見つかった施行を指す。その他は、上記4つのパターンのいずれにも分類できない探索行動とした。これは実験参加者がいずれかの戦略を考えずに探索を行ったものだけでなく、いずれかの戦略を想定したものの、特徴的な行動が始まる前に標的が発見され、戦略が不明となったものも含むと考えられる。1回の探索で標的が見つからず、地図の枠外で目盛りを計数し直してから再び探索が行われた場合、最初の探索で

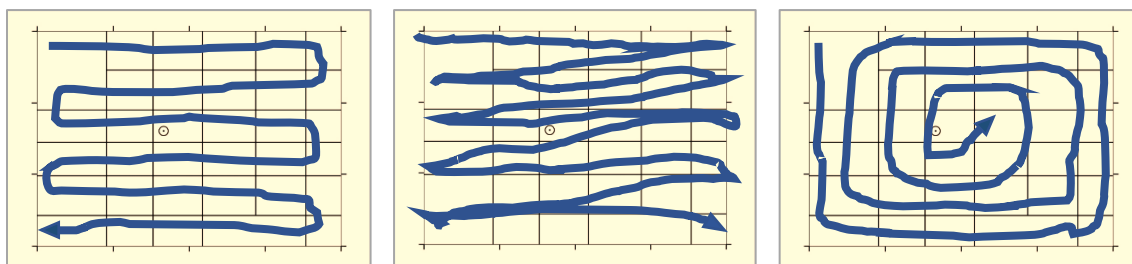


図 23 探索戦略の例 (Parallel Sweep, Zigzag, Spiral)

とられた戦略を計数の対象とした。図 24 に計数結果を示す。

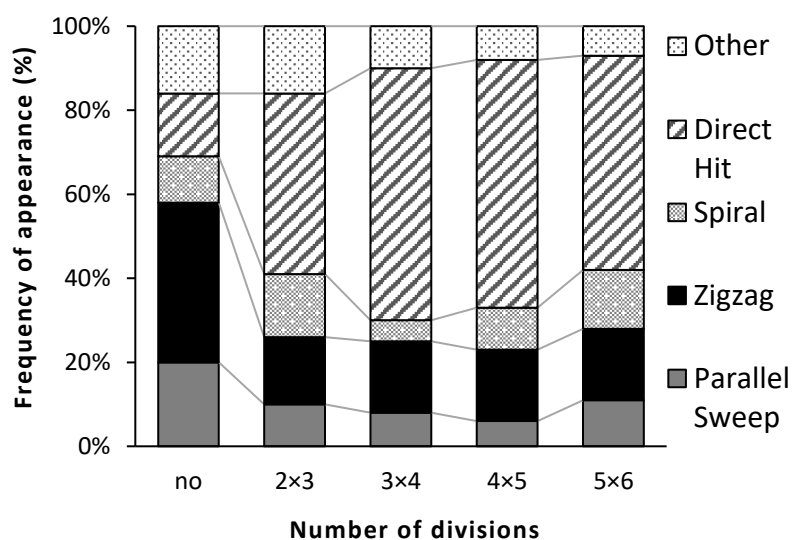


図 24 条件ごとの探索戦略の比率

目盛りのない地図での探索戦略では、Zigzag (38.0%) が最も多く、Parallel Sweep (20.0%)、その他 (16%) と続いた。図 25 にモーションキャプチャのデータからビデオカメラの映像を元にノイズを取り除いた、目盛りなしの地図における Zigzag 戦略の典型的な手指の動きを示す。目盛りなしの地図において構造的な戦略が用いられた試行のうち、標的を発見できずに手指が通り過ぎ、探索をやり直した試行を数えたところ、Spiral において 11 回中 3 回 (27.3%)、Zigzag において 38

回中 7 回 (18.4%), Parallel Sweep において 20 回 2 中回 (10.0%), 探索のやり直しがあつた。また, 目盛りなしの地図では 10 人全員が両手を用いて地図内で標的を探索した試行が多かつた。一方, 区画分割のある地図では 10 人中 9 人が, 地図内での標的の探索において片手だけを用いた試行の方が多かつた。

区画分割のある地図では Direct Hit の出現率が最も高く, 縦 2×横 3 から縦 5×横 6 にかけて 43.0%, 60.0%, 59.0%, 51.0%と変化した。

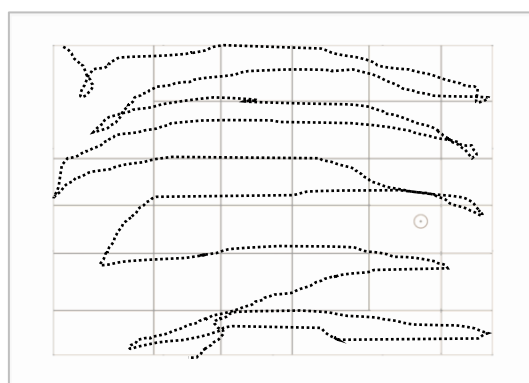


図 25 目盛りなしの地図における Zigzag の例

3.4. 考察

3.4.1. 全探索時間

実験 I では, 触地図における目盛りによる区画分割の有効性を明らかにするため, 区画数が異なる 5 種類の触地図を用いて晴眼者を対象に触知探索実験を行った。目盛りのない地図と比較し, 区画分割のあるそれぞれの地図において探索時間は有意に短くなった。このことは, 触地図における目盛りによる区画分割の有効性を示しており, 過去の研究と同様の結果だった[5]。また, 縦 2×横 3 から縦 3×横 4 にかけて探索時間が短くなったのは, 標的の領域をより狭めることで探索時間がより短くなるという区画分割の効果を示した結果であつた。一方, 縦 3×横 4 から

縦 5×横 6 にかけて探索時間が長くなったのは、区画が狭くなるほど探索時間が短くなるという区画分割の効果とは反する結果だった。

3.4.2. 標的探索の失敗

縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけて探索時間が長くなった要因として、標的探索の失敗が増えたことが挙げられる。短時間に標的を見つけることができずに目盛りの計数のやり直しが行われた試行では、探索時間はやり直しのない試行の 2 倍以上と長くなった。標的区画の狭い地図ほど、やり直しの回数が多かった。その要因として、標的区画が狭い地図では目盛りの数え間違いがあったこと、及び、標的区画への移動に失敗して標的区画から逸脱してしまう試行があったことが挙げられる。

3.4.3. 目盛りの計数時間と標的の探索時間

縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけて探索時間が長くなったもう一つの要因として、目盛りの数が増えたことによって、その計数に要する時間が長くなったことが挙げられる。目盛りの計数に要する時間は、縦 2×横 3 を除いて提示された区画数に応じて増加した。ただし、検定において差は有意とはならなかった。

縦 2×横 3 において縦 3×横 4 よりも目盛りの計数時間が長かった理由の一つとして、目盛りと目盛りの間隔が広いこと、その間隔を把握するために動きが遅くなったことが考えられる。手指で同時に触察できる範囲を超えた長さを知覚するには皮膚情報や位置覚だけでなく、手指がどれだけの距離を動いたかを関節の動きから判断する自己受容感覚が必要となる。Overvliet らは移動が必要な大きさの刺激を触察する際、手指で同時に全体の形状を把握できる刺激よりも、探索時間が有意に長くなったことを報告している[114]。一方、縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけては目盛りの間隔が狭く、2つの目盛りが四指の横幅に収まるか、目盛りから離れた後、即座に次の目盛りに触れることができるため、比較的素早く目盛りの計数が可能であったと考えられる。

3.4.4. 標的の探索戦略

標的の探索における探索戦略の分析では、目盛りなしの地図において Zigzag が用いられた試行が多かった。斜め移動を行う Zigzag 戦略では地図内を網羅できずに標的を取りこぼしてしまう比率が高く、その結果として目盛りなしの探索時間が長くなったと考えられる。

一方、区画分割のある地図では Direct Hit の比率が高かった。Direct Hit は標的区画への直線的な移動の過程で標的が発見され、標的区画内における固有の探索戦略が見られなかった試行である。これは、一定方向へ移動する際に触察して標的を発見できる幅に対し、標的区画が十分に狭くなったことによるものと考えられる。Direct Hit による試行が一定の割合で行われた結果、標的の探索に失敗した試行を除外した場合の縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけての標的の探索時間にはあまり差が見られなかった。

3.4.5. まとめ

晴眼者を対象とした実験 I では、縦 3×横 4 の地図において探索時間が最も短くなった。区画数が増えるほど探索領域が狭くなるため探索時間は短くなると予想したが、縦 4×横 5 から縦 5×横 6 にかけては目盛りの数え間違いや移動の失敗が増えたこと、及び目盛りの計数に要する時間が増えたことにより探索時間が長くなった。

標的の探索時間は目盛りなしから縦 3×横 4 にかけて短くなったが、縦 3×横 4 から縦 5×横 6 にかけては大きな変化はなかった。これは標的区画が十分に狭くなったために区画内の探索に要する時間に差が出なくなったためと考えられる。

ある一定の面積を下回ると、それ以上標的区画を狭くしても探索時間を短くする効果が得られなくなるのならば、触地図を作成する際、その面積を区画数の上限とすればよいといえるだろう。

また、実験 I において目盛りを計数しなかった 1 名の実験参加者はどの条件に

においても、目盛りを計数した全ての実験参加者より短い探索時間を示しており、そうした探索戦略の違いも探索時間に影響している。

第4章 実験Ⅱ

- 4. 1. 目的
- 4. 2. 方法
- 4. 3. 結果
- 4. 4. 考察
- 4. 5. 晴眼者と視覚障害者の比較

4. 1. 目的

実験Ⅰにおいて、触地図の区画数と探索時間の関係を明らかにするため、晴眼者を対象として縦横の区画数が異なる複数の触地図を用いた実験を行った結果、縦3×横4に分割したときに探索時間が最も短くなることを明らかにした。しかし、日常的に触覚を用いて情報処理を行う視覚障害者にとっての最適な区画数は晴眼者とは異なる可能性がある。そこで実験Ⅰと同様の実験を視覚障害者を対象として行うこととした。

4. 2. 方法

4. 2. 1. 参加者

触覚と運動機能に障害がなく、先天盲で点字を常用する視覚障害者16名（平均年齢28.7歳、男性9名、女性7名）に参加してもらった。

4. 2. 2. 手順

実験参加者を先天盲で点字を常用する視覚障害者としたこと、そのためアイマ

スクを使用しなかったことを除いては、実験Ⅰと同様の手法を用いた。ただし、実験Ⅰで用いた滑り止めシートでは触地図の固定が不十分であり、実験中に触地図がずれてモーションキャプチャのデータが不完全になってしまう場合があったため、実験Ⅱでは机上に厚紙の枠を設け、その枠の中に弱粘性の粘着テープを用いて触地図を固定した（図26）。

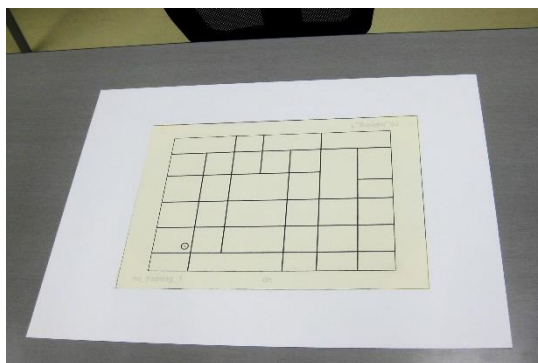


図26 実験環境

4.3. 結果

4.3.1. 探索時間

探索時間と区画数の関係を図27に示す。実験Ⅱにおいて地図上の標的以外の場所を実験参加者が標的だと回答する誤答はなかった。

16人分の各条件の探索時間を図27に示す。RによるShapiro-Wilk検定の結果、各条件の正規性が棄却されたため、ノンパラメトリック検定であるFriedman検定を用いた。その結果、5条件間の探索時間に有意な差が見られた ($\chi^2(4) = 12.25, p < 0.05$)。しかし、Ryanの方法を用いたWilcoxonの符号付順位和検定による多重比較では、各2条件間に有意な差は見られなかった ($p > 0.05$)。

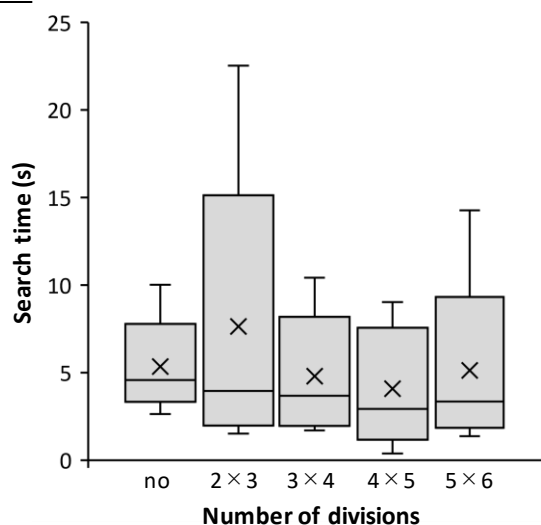


図 27 区画数と探索時間の関係
(×印は平均値)

図 27 に見られるとおり，区画分割のある 4 条件の間では，縦 2×横 3 から縦 4×横 5 にかけて探索時間の中央値と平均値がともに減少したが，縦 5×横 6 では中央値，平均値ともに増加した．また，目盛りなしの地図での探索時間の中央値は 5 条件の中で最も高かったが，平均値では 2 番目に高い値となり，目盛りによって探索時間が減少するという仮説を裏付ける結果とはならなかった．

晴眼者を対象に行った実験Ⅰと比較すると，全ての条件において探索時間は短くなり，全ての条件の探索時間の平均値はほぼ半分の値になった．

4.3.2. 標的探索の失敗

実験Ⅰと同様の方法で，目盛りの計数をやり直した試行を探索の失敗として計数した．

一度で標的を発見することができなかった原因として，実験者が伝えた標的の座標とは異なる位置の目盛りをガイドとして利用したことに起因するもの（目盛りの数え間違い），目盛りは正しく数えられたものの，目盛りから標的の領域に移動する過程で異なる領域に移動したことに起因するもの（移動の失敗），標的の領域内に入ったものの標的を発見できなかったことに起因するもの（標的探索の失敗）の 3 つに分類し，それぞれを計数した．その結果，目盛りを触り直した試行があったのは縦 2×横 3 と縦 3×横 4 の区画数で，計 13 試行であった．13 試

行の目盛りの触り直しの要因は、目盛りの数え間違いに起因するものが4回、移動の失敗に起因するものが2回、標的探索の失敗に起因するものが7回であった。なお、目盛りの数え直しは16人の参加者のうち5人に見られた。

表7 探索失敗のあった試行数

条件	全失敗試行数	探索失敗の要因		
		数え間違い	移動の失敗	標的探索の失敗
縦2×横3	7	1	1	6
縦3×横4	6	3	1	1
縦4×横5	0	0	0	0
縦5×横6	0	0	0	0

4.3.3. 目盛りの計数時間と標的の探索時間

縦5×横6で探索時間が増加した理由として、区画数の増加に伴い触地図周囲の目盛りの計数に要する時間が増えたことが考えられる。そこで、実験Ⅰと同様の方法で、探索時間を指先が地図の枠外で目盛りを計数している時間と、地図の内側で標的を探索している時間の2つの段階に分け、映像をもとに各段階の所要時間を計測した。

区画数ごとの目盛りの計数時間と標的の探索時間を図28に示す。目盛りの計数時間は区画数が縦5×横6のときに最も長くなったが、全体として大きな差は見られなかった。Friedman検定の結果、4条件間の目盛りの計数時間に有意な差は見られなかった ($\chi^2(3) = 0.97, p > 0.05$)。

標的の探索時間については、目盛りなしのときに最も長くなり、区画数が増えるにつれて順に短くなった。Friedman検定を用いて検定を行ったところ、5条件間に有意な差が見られた ($\chi^2(4) = 16.18, p < 0.05$)。Ryan法を適用したWilcoxonの符号順位検定による多重比較では、目盛りなしの条件と縦4×横5、及び目盛りなしの条件と縦5×横6の間に有意な差が見られた ($p < 0.05$)。

目盛り使用の有無については、16人の実験参加者全員がいずれかの試行において目盛りを使用した。ただし、16人のうち7人は区画分割のある地図における半

数以下の試行でしか目盛りを使用しなかった。

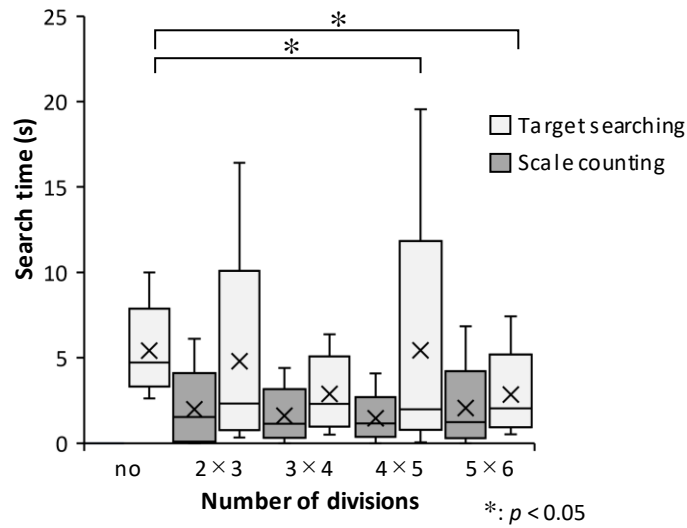


図 28 目盛りの計数時間と標的の探索時間
(×印は平均値)

4.3.4. 探索戦略

実験 I と同様に、実験中に撮影したビデオカメラによる映像から、実験参加者が地図内で標的を探索する戦略を分析した。その結果を図 29 に示す。

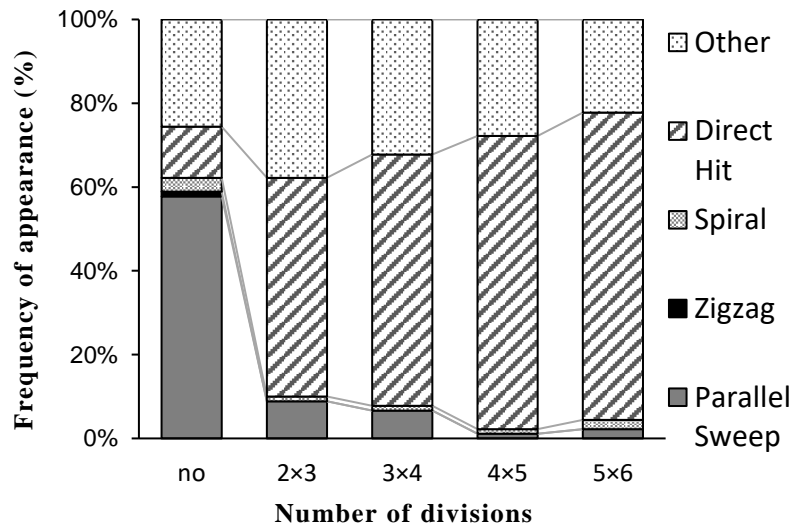


図 29 条件ごとの探索戦略の比率

目盛りなしの地図では 57.8%の試行で Parallel Sweep が用いられた。図 30 に、モーションキャプチャから得られた、目盛りなしの地図における Parallel Sweep 戦略の典型的な手指の動きを示す。Parallel Sweep では実験Ⅰにおいて多用された Zigzag と比べ、探索行動の軌跡が重なる部分が少なかった。

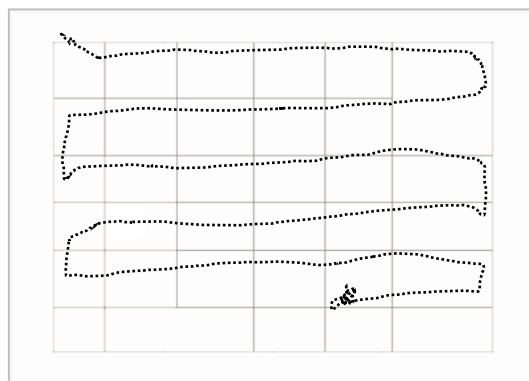


図 30 目盛りなしの地図における Parallel Sweep の例

目盛りなしの地図において構造的な戦略が用いられた試行のうち、標的を発見できずに手指が通り過ぎ、探索をやり直した試行を数えたところ、Parallel Sweep において 93 回中 10 回 (10.8%) で探索のやり直しがあった。Spiral (3 回)、Zigzag (2 回) では探索のやり直しはなかった。

Direct Hit の出現率は区画数が増えるにつれて 12.2%、52.2%、60.0%、70.0%、73.3%と順に増加した。また、目盛りなしの地図では 10 人全員が両手を用いて地図内で標的を探索した試行が多かったのに対し、区画分割のある地図では全員が片手を用いて地図内で探索を行う試行の方が多かった。

4.4. 考察

4.4.1. 全探索時間

実験Ⅱでは、視覚障害者を対象に触知探索実験を行った。目盛りのない地図と比

較し、区画分割のある地図の探索時間の中央値は短くなったが、各条件間に有意な差は見られなかった。また、縦2×横3における探索時間の平均時間は目盛りなしの地図よりも長く、区画分割によって探索時間を短くするという効果を裏付けるものとはならなかった。

一方、縦2×横3から縦4×横5にかけて順に探索時間が短くなったのは、探索領域を狭くなることによって一定程度まで探索時間が短くなるという仮説に即したものだ。

4.4.2. 目盛りの計数時間と標的の探索時間

目盛りの計数時間と標的の探索時間を分析したところ、全体的に目盛りの計数時間の方が短かった(図28)。一方で晴眼者を対象とした実験Ⅰでは、目盛りの計数時間が標的の探索時間に比べて長かった。これらの違いは、視覚障害者は晴眼者に比べて触知探索に慣れており、目盛りを数える速度が速かったためと考えられる。標的の探索時間については、区画数が多くなるにつれて探索時間が短くなった。これは、区画数を増加させることにより探索領域が狭くなり、探索時間が短くなるという仮説と一致した。

4.4.3. 探索戦略

目盛りなしの地図の探索時間の中央値は最も長かったが、区画分割のある地図との差は僅かだった(図27)。この理由として、探索戦略の違いが影響していると推察される。目盛りなしの地図の探索戦略は、**Parallel Sweep**が多かった(図29)。**Parallel Sweep**は**Zigzag**と比較して探索軌跡が重なる部分が少なく、標的を見逃す割合(**Parallel Sweep** 11.1% : **Zigzag** 18.4%)も少ないなど探索の効率が高かった。

区画分割のある地図では4条件全てにおいて過半数の試行が**Direct Hit**となり、区画数が増えるほどその出現率は高くなった。これは、手を動かしながら触察できる幅に対して区画が十分に狭くなったことによるものと考えられる。参考として目盛りなしの地図における**Parallel Sweep**の軌跡を観察したところ、実験Ⅱの実験

参加者の多くは4回から6回の並行移動によって地図全体を触察していた。地図の縦の寸法が210 mmであるから、手の横移動の際に30 mmから50 mm程度の垂直方向の幅をもって標的を探索していることが推測された。実験Ⅱでは区画分割のある4条件のいずれにおいてもDirect Hitの比率が高かったため、区画数の違いによる探索時間の差が出にくかったと考えられる。

4.4.4. 先行研究との比較

渡部らの先行研究では、区画分割のある触地図において探索時間が有意に短くなることが示されたのに対し[5]、実験Ⅱでは目盛りによって分割した地図と分割していない地図の間に有意な差は見られなかった。

この理由として、実験刺激の複雑さの違いがあると考えられる。渡部らは、実験刺激として道路や鉄道、信号、水域を含む地図を使用したのに対し、本研究では地図の複雑度を統制するため、碁盤目状の道路のみの地図を用いた。探索標的以外の妨害刺激が減ったことで探索時間が減少したため、区画分割の有無による探索時間の差が小さくなったのではないかと考えられる。

なお、渡部らが使用した触地図の区画の寸法は縦53 mm×横61 mmであり、本研究で定義した区画数のうち最も類似しているのは縦4×横5(縦52.5 mm×横59.4 mm)である。図27に示したとおり、縦4×横5の地図では目盛りなしの地図より探索時間は短かった。

4.5. 晴眼者と視覚障害者の比較

4.5.1. 区画数と探索時間の関係の比較

本研究では最初に晴眼者を、次に視覚障害者を対象とした実験を行い、それぞれに目盛りによって分割した触地図における触知探索の様相を検証した。晴眼者を対象とした実験では縦3×横4の触地図において、視覚障害者を対象とした実験で

は縦4×横5において探索時間が最も短くなった。それぞれに最短の探索時間を示した条件は異なったものの、目盛りのある触地図の4条件においていずれかの条件を底としたV字型のグラフが得られたのは共通した結果である。これは、区画数が増えることによって探索領域が狭まり、探索時間は短縮していくが、一定の区画数においてその効果は減少するという共通した傾向を示すものであった。

4.5.2. 探索戦略の比較

探索時間は全ての条件において視覚障害者の方が短く、全条件の探索時間の平均は晴眼者のほぼ半分になった。この違いの理由として第一に考えられるのが、視覚障害者と晴眼者の探索戦略の違いである。晴眼者は10人中9人が目盛りを使用し、縦3×横4から縦5×横6にかけて区画数が増えるごとに目盛りの計数時間が長くなった。これは晴眼者が一つ一つの目盛りを確認して計数したからだと考えられる。一方、視覚障害者の目盛りの計数時間は全ての条件において短く、区画数の違いによる変化もなかった。これは、あらかじめ目盛りの間隔を把握することで、素早く目標の目盛りに移動する試行が多く、間にある一つ一つの目盛りに時間を要した試行が少なかったためである。ちなみに晴眼者のうち、目盛りを使用しなかった1名は、全ての条件において視覚障害者の中央値よりも探索時間が短かった。

また、標的の探索においては、構造的な探索戦略のパターンとして晴眼者はZigzagを多く用いたのに対し、視覚障害者はParallel Sweepを多く用いた。Zigzagでは一度探索した領域を再度探索するなど、Parallel Sweepと比較して移動距離に対する探索面積の効率が悪く、標的を取りこぼす試行が多かった。

視覚障害者がParallel Sweepを多用したのは、日常的に触覚探索を行う機会が多いことから経験的に効率的な戦略を選択したと考えられるが、その中でも特に点字の触読の影響から、点字読みに類似した指先の並行移動を行ったことが考えられる。実験Ⅱでは先天盲で点字を常用することを条件として実験参加者を選定し、実際、実験時の聞き取りにおいても全ての参加者が、ほぼ毎日、点字を使用すると

答えた。視覚障害者の中でも点字触読経験の有無によって指先の空間知覚能力に差があることが知られているが[115]，触覚的な図形の探索活動においても異なる戦略が見られたという報告があり[116]，本研究においても点字触読経験の有無と探索戦略の違いに関連があったことが考えられる。

Direct Hit の出現率は視覚障害者の方が高かった。この理由として，視覚障害者は四指を広げて移動したり，両手を並べて移動するなど，晴眼者よりも紙面に同時触れている面積が広がったことが考えられる。Overvliet らは標的刺激と妨害刺激が似通った探索では1本の指を動かす Serial search が，標的刺激と妨害刺激の弁別が容易な探索では複数の指で複数の刺激を同時に確認する Parallel search が有効であったと報告している[117]。これは，複雑な皮膚情報の分析が必要なタスクで Parallel search を用いた場合，指から指へ注意を切り替えることによる時間的コストが高くなってしまうからである。今回の実験では水平・垂直の直線のみからなる単純な妨害刺激と，先行研究で見つけやすいとされた直径 9 mm の円記号からなる標的[84]を用いたため，複数の指を用いた Parallel search が有効であったと考えられる。

4.5.3. 目盛りなしの地図と区画分割のある地図の比較

晴眼者を対象とした実験では目盛りなしの地図と区画分割のある地図の間に有意な差が見られたのに対し，視覚障害者を対象とした実験では両者の間に有意な差が見られなかった。この要因として，晴眼者と視覚障害者の双方ともに，目盛りなしの地図では標的の探索に両手を用いる試行が多く，区画分割のある地図では標的の探索に片手のみを用いる試行が多かったという点が挙げられる。

Overvliet らの研究では，弁別が容易な探索において Serial search と Parallel search を比較した際，晴眼者よりも視覚障害者の方がより探索の効率が向上した。Morash らも同様に，標的の弁別が容易な探索において片手による探索と両手による探索を比較した際，晴眼者よりも視覚障害者の方がより探索の効率が向上したと報告している[118][119]。これは，晴眼者と比較して視覚障害者は同時に手指の複数の

個所へ注意を向けることが可能である，もしくは手指の複数の個所へ素早く注意を切り替えることが可能であるためと考えられる．よって，晴眼者と比較した際，視覚障害者は目盛りなしの地図においてより効率的に両手を活用できたという点だが，片手のみを用いた区画分割のある地図との間に有意な差が見られなかった要因の一つであると考えられる．

4.5.4. 探索の失敗数の比較

視覚障害者と比較して晴眼者の探索時間が長かったもう一つの要因として，探索の失敗が多かったことが考えられる．探索失敗の要因を映像から確認した結果では，晴眼者の方が移動を失敗した試行の割合が高かった．日常的に視覚による補正を行いながら運動を行う晴眼者は視覚が遮断された際に手指の位置知覚に誤差が生じることが知られており，今回の実験でも晴眼者は意図したとおりの場所へ手指を移動できていなかった可能性が考えられる[120]．

4.5.5. まとめ

視覚障害者を対象とした実験Ⅱでは，縦4×横5の地図において探索時間が最も短くなった．ただし，各条件間に有意な差は見られず，探索時間を最も短くする最適な区画数は明らかにはならなかった．目盛りの計数時間と標的の探索時間の比較では，実験Ⅰとは異なり目盛りの計数時間の方が短くなった．また，区画数の違いによる目盛りの計数時間の差は短かった．目盛りなしの地図における探索戦略としては **Parallel Sweep** の出現頻度が最も高く，区画分割のある地図では4条件全てで **Direct Hit** の比率が高かった．

実験Ⅰとの比較では全ての条件において探索時間が短くなった．視覚障害者は目盛りの計数に時間をかけないなど効率的に探索を行い，全体の探索時間が短くなった結果，区画数の違いによる差が少なくなったと考えられる．

第5章 結び

5. 1. 今後の展望

5. 2. 触地図自動作成システムにおける実装

5. 1. 今後の展望

本研究では一定の区画数において探索時間を短くする効果が極限に達するという傾向が見い出された。しかし、この結果が区画の数によるものか、探索領域の面積によるものかは明らかではない。そこで、面積の異なる触地図を用いた実験によって検証することが考えられる。

また、本研究では晴眼者と先天盲の視覚障害者を対象として比較を行ったが、視覚障害者の触知探索における区画分割の効果の様相を明らかにするには、年齢や点字・触地図利用経験の有無といった異なる要因による比較を行うことも考えられる。

本研究では標的の探索時間という定量的データに着目して検証を行ったが、実際の触地図の利用における有用性の向上を考える上では、それ以外の観点からの検証も求められる。Grafらは目盛りによる区画分割やガイドラインによって探索時間を短縮する効果を実験によって検証した際、その直後に参加者に地図の内容を再現してもらい、その所要時間と再現度を合わせて計測した[2]。このように、目盛りによる区画分割が触地図全体の把握や、複数の触知記号の把握にどのように作用するかを検証することも触地図の効率的な利用に資するだろう。

また、実際に視覚障害者が利用する触地図を用いた検証も必要である。今回の実験では刺激の複雑度を統制するため、妨害刺激が縦横の直線道路のみで構成された触地図を用いたが、実際に利用されている複雑な道路線や複数のランドマーク記号が存在する触地図においては探索時間や探索戦略は異なったものになるだろう。

う。そして、実際の触地図を作る際には、当事者のニーズに合わせた検証も欠かせない[121]。近年、点字誘導ブロックやユニバーサル・トイレ、といった設備では、利用者となる障害者や高齢者が企画から制作・設置に至るまでの工程に参加する当事者参加型の事業形態が見られるようになってきている。触地図を作成する際も、利用者の求める情報、地図に表示する地域に関する知識の量、認知スタイル、利用者の触読経験の有無、認知スタイルや情意要因などによって最適な条件は異なってくる[122]。今後、より使いやすい触地図の作成を目指すには、制作者、利用者、研究者らによる相互的な検証作業が必要となるだろう。

5.2. 触地図自動作成システムにおける実装

本研究で検証した目盛りによって触地図を分割する機能を、新たに開発した OpenStreetMap の地図情報を用いる「触地図自動作成システム」(図 31) [123]と、「触知構内図の作成支援システム」(図 32) [124]に実装した。配置する目盛りは、本研究で探索時間が最も短くなった縦 3×横 4、及び縦 4×横 5 のほか、ユーザが地図の目的や記載する情報量に応じて変更できるものとした。また、地図の外枠についても、触地図を利用してもらった視覚障害者に聞き取りを行った際、「道が途切れている場所と地図が示す範囲の区別がついて良い」という意見と「道と混同しやすくて紛らわしい」という双方の意見があったため、表示と非表示を切り替えられるようにした。

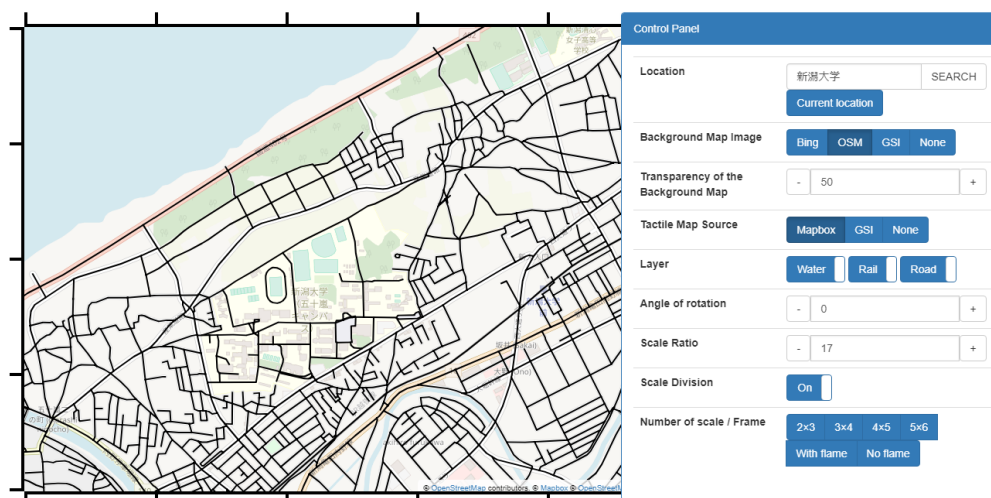


図 31 触地図自動作成システム (TMACSMB) の画面

これらのシステムでは、地図上に駅や改札口を表す点字や触知記号を置いた際、それらの名称と分割された地図区画のどこにランドマークが存在するかを示す番号、触知記号の種類、省略した点字表記を添え書きした場合はその省略名といったデータを一覧にし、CSV形式のテキストファイルで出力することができる(図 32)。このテキストファイルは点字プリンタなどで点字の文書として印刷できるほか、電子ファイルとして送付・公開すれば利用者がスクリーンリーダーを用いた音声の読み上げで利用することができる。その際、テキストを HTML 形式のメール文書や Word ファイルなどのマルチ・スタイル・テキストに加工すれば、スクリーンリーダーの見出しジャンプ機能を用いて、探しているランドマークがどの地図区画にあるか、及び、ある地図区画内にどんなランドマークがあるかについて、他の情報を読み飛ばして素早くアクセスすることが可能となる。

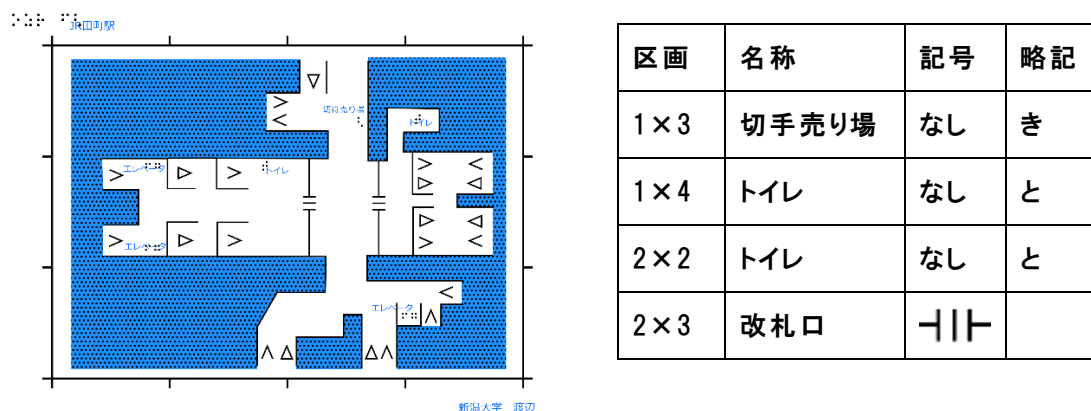


図 32 区画分割のある触知構内図と凡例の例

現在のシステムは晴眼者が視覚障害者の要望・依頼に応じて地図を作成する際に用いることを想定したものであるが、視覚障害者自身が操作して触地図の作成が可能なシステムについても開発を進めている。目盛りによる地図の区画分割が、視覚障害者自身による地図の作成・編集の過程においてどのように役立つかについても今後の検討課題としたい。

参考文献

第1章 序

- [1] 日本盲人社会福祉施設協議会点字出版部会：“視覚障害者の安全で円滑な行動を支援するための点字表示等に関するガイドライン”，日本盲人社会福祉施設協議会（2002）.
- [2] C. Graf and F. Schmid: “From visual schematic to tactile schematic maps”, *Workshop You Are Here 2: 2nd Workshop on Spatial Awareness and Geographic Knowledge Acquisition with Small Mobile Devices*, pp. 15–28 (2010).
- [3] F. C. Feucht and C. R. Holmgren: “Developing tactile maps for students with visual impairments: A case study for customizing accommodations” *Journal of Visual Impairment & Blindness*, March – April, pp. 143-155 (2018).
- [4] 渡辺哲也，渡部謙，山口俊光，南谷和範，大内進，宮城愛美，高岡裕，喜多伸一：“立体コピー触地図の触読性の評価”，信学論（D），Vol. J96-D, No. 4, pp. 1075-1078 (2013).
- [5] 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 (2012).

第2章 背景

- [6] 厚生労働省 社会・援護局障害保健福祉部：“平成 28 年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）”，(2017).
[https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_h28.html] (accessed December 20, 2018)
- [7] Y. Morizane, N. Morimoto, A. Fujiwara: “Incidence and causes of visual impairment in Japan: the first nation-wide complete enumeration survey of newly certified visually

- impaired individuals”, *Japanese Journal of Ophthalmology* (2018).
- [8] 平塚義宗, “視覚障害がもたらす社会損失額, 8.8 兆円!!～視覚障害から生じる生産性やQOLの低下を, 初めて試算～” (報道用資料), (2009).
- [9] 日本眼科医会研究班: “日本における視覚障害の社会的コスト(日本眼科医会研究班報告 2006～ 2008)“, *日本の眼科*, Vol. 80, No. 6, (2009).
- [10] 石毛一郎: “設置が進む「触地図案内板」”, *地理・地図資料*, pp. 18-19, (2006).
- [11] 厚生労働省 社会・援護局: “支援機器が拓く新たな可能性 ～我が国の支援機器の現状と課題～”, *生活支援技術改革ビジョン勉強会報告* (2008).
- [12] 金子健: “脳科学と視覚障害 –盲者の大脳体性感覚野および視覚野に関する脳画像による研究について–”, *国立特別支援教育総合研究所研究紀要*, Vol. 37, pp. 71-84 (2010).
- [13] 石田久之, “盲者の脳の可塑性と機能補償に関する最近の研究”, *筑波技術大学テクノレポート*, 筑波技術大学障害者高等教育研究支援センター, Vol. 18, No. 1, pp. 99-73 (2010).
- [14] 柿澤敏文, 佐島毅, 鳥山由子, 池谷尚剛: “全国盲学校児童生徒の視覚障害原因等の実態とその推移--2005 年度全国調査結果を中心に”, *障害科学研究*, Vol. 31, pp. 91-104 (2007).
- [15] 厚生労働省: 「平成 28 年生活のしづらさなどに関する調査」 (2016).
- [16] 大内進, 土肥秀行, ロレッタ・セッキ: “イタリアにおける視覚障害児者のための絵画鑑賞の取組”, *世界の特殊教育* Vol. 20, pp. 83-99 (2006).
- [17] A. W. Siegel and S. H. White: “The development of spatial representations of large-scale environments”, H. W. Reese, *Advances in Child Development & Behavior*, Vol. 10, pp. 9-55 (1975).
- [18] P. W. Thorndyke, B. Hayes-Roth: “Differences in spatial knowledge

- acquired from maps and navigation”, *Cognitive Psychology*, Vol. 14, No. 4, pp. 560-589 (1982).
- [19] R. Passini, G. Proulx and C. Rainville: “The spatio-cognitive abilities of the visually impaired population”, *Environment and Behavior*, Vol. 22, No. 1, pp. 91-118 (1990).
- [20] M. Blades: “Wayfinding theory and research: The need for a new approach”, Mark D.M., Frank A.U. (eds) *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space. NATO ASI Series (Series D: Behavioural and Social Sciences)*, Vol. 63, pp. 137-138 (1991).
- [21] M. Espinosa, S. Ungar, E. Ochaíta, M. Blades and C. Spencer: “Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments”, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 18, No. 10, pp. 277-287 (1998).
- [22] R. W. Kulhavy, K. A. Woodard, R. C. Haygood and J. M. Webb: “Using maps to remember text: an instructional analysis”, *Educational Psychology*, Vol. 63, No. 1, pp. 161-169 (1993).
- [23] S. Ungar, S. Simpson and M. Blades: “Strategies for organizing information while learning a map by blind and sighted people”, S. Ballesteros JimÈnez & M. A. Heller (Eds.), *Touch, blindness and neuroscience*, Madrid: UNED, pp. 271- 280 (2004).
- [24] J. J. Gibson: “Observation on active touch”, *Psychological Review*, 69, pp. 477-491 (1962).
- [25] J. J. Gibson: *The senses considered as perceptual systems*, Boston: Houghton Mifflin Co (1966).
- [26] J. M. Loomis and S. J. Lederman: “Tactual perception”, In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*, Vol. 2. Cognitive processes and performance, pp. 1-41. Oxford, England: John Wiley & Sons. (1986).
- [27] U. Neisser: *Cognition and Reality*, San Francisco, W. H. Freeman and Company (1976).
- [28] A. B. Vallbo, R. Johansson and G. Gordon: “The tactile sensory innervation of the glabrous skin of the human hand”, *Active Touch: The Mechanism of Recognition of*

- Objects by Manipulation: A Multidisciplinary Approach, G. Gordon (ed.), Pergamon Press Ltd. (Oxford), pp. 29-54 (1978).
- [29] 嶋脇聡, 酒井直隆, 鈴木章之: “手掌面における静的・動的触覚の計測”, 日本機械学会論文集 (c 編), Vol. 71, No. 704, pp.1322-1326 (2005).
- [30] Y. C. Pei and S. J. Bensmaia: “The neural basis of tactile motion perception”, *Journal of Holst Neurophysiology*, Vol. 112, pp. 3023–3032 (2014).
- [31] E. von Holst and H. Mittelstaedt: “The reafference principle”, *Naturwissenschaften*, 37, pp. 464-467 (1950).
- [32] P. Anokhin: “The reflex and functional system as factor of physiological integration”, *Fiziologichnyi Zhurnal* (Moscow), Vol. 35, pp. 491-503 (1949).
- [33] N. A. Bernshtein: *The co-ordination and regulation of movements*, Oxford, New York, Pergamon Press (1967).
- [34] Y. Okamoto: “Attenuation of the contingency detection effect in the extrastriate body area in autism spectrum disorder”, *Neuroscience Research*, 87, p66-76 (2014).
- [35] P. E. Downing, Y. Jiang, M. Shuman and N. Kanwisher: “A cortical area selective for visual processing of the human body”, *Science*, Vol. 293, pp. 2470–2473 (2001).
- [36] L. F. Schettino, S. V. Adamovich and H. Poizner: “Effects of object shape and visual feedback on hand configuration during grasping”, *Experimental Brain Research*, 151, pp. 158-166 (2003).
- [37] T. E. Feinberg, L. J. Rothi and K. M. Heilman: “Multimodal agnosia after unilateral left hemisphere lesion”, *Neurology*, Vol. 36, pp. 864–867 (1986).
- [38] H. Ohtake, T. Fujii, A. Yamadori, M. Fujimori, Y. Hayakawa, and K. Suzuki: “The influence of misnaming on object recognition: A case of multimodal agnosia”, *Cortex*, Vol. 37, pp. 175–186 (2001).
- [39] A. R. Kilgour, B. de Gelder and S. J. Lederman: “Haptic face recognition and prosopagnosia”, *Neuropsychologia*, Vol. 42, pp. 707–712 (2004).

- [40] R. Kitada, K. Yoshihara, A. T. Sasaki, M. Hashiguchi, T. Kochiyama, & N. Sadato: “The brain network underlying the recognition of hand gestures in the blind: The supramodal role of the extrastriate body area”, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 34, pp. 10096–10108 (2014).
- [41] N. Kanwisher, J. McDermott and M. M. Chun: “The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception”, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 17, pp. 4302–4311 (1997).
- [42] R. Epstein and N. Kanwisher: “A cortical representation of the local visual environment”, *Nature*, Vol. 392, pp. 598–601 (1998).
- [43] L. Cohen, S. Dehaene, L. Naccache, S. Lehericy, G. DehaeneLambertz and F. Michel: “The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients”, *Brain*, Vol. 123, pp. 291–307 (2000).
- [44] T. Wolbers, R. L. Klatzky, J. M. Loomis, M. G. Wutte and N. A. Giudice: “Modality-independent coding of spatial layout in the human brain”, *Current Biology*, Vol. 21, pp. 984–989 (2011).
- [45] L. Reich, M. Szwed, L. Cohen and A. Amedi: “A ventral visual stream reading center independent of visual experience”, *Current Biology*, Vol. 21, pp. 363–368 (2011).
- [46] 日高聡太: “運動物体の脳内表現とその機能的意義に関する心理物理学的研究”, 東北大学 (2010).
- [47] 吉村淳子, 松木明好, 江崎禎尚, 中垣幸一, 平岡浩一: “視覚障害者の運動制御に果たす筋感覚の役割”, 第45回日本理学療法学会大会抄録集, Vol. 37, No. 2, pp. 3-10 (2010).
- [48] Y. Eriksson, J. Gunnar and M. Strucel: *Tactile maps: guidelines for the production of maps for the visually impaired*, Enskede: Swedish Library of Talking Books and Braille (2003).
- [49] L. Sheppard and F. Aldrich: “Tactile graphics: beginner’s guide to graphics for visually impaired children”, *Primary Science Review*, Vol. 65, pp. 29-30 (2000).

- [50] M. G. Kwok: “新しい触地図作成法に基づいた触地図の作成と評価, 自動車・交通におけるコミュニケーション&インタフェース研究会～人にやさしい交通をめざして～”, 早稲田大学 (2005).
- [51] 和田勉: “街で見かける点字サイン・その問題点”, 視覚障害, No.161, pp. 1-22 (1999).
- [52] 渡辺哲也, 加賀大嗣, 小林真, 南谷和範: “視覚障害者のための触図訳サービスに関する調査”, ヒューマンインタフェース学会, Vol. 20, No. 2, pp. 147-152 (2018).
- [53] 金子健, 菅井裕行: “触る絵本の作成と活用に関する研究--2 事例における試行による検討”, 国立特殊教育総合研究所研究紀要, Vol. 26, pp. 37-50 (1999).
- [54] 金子健: “触る絵本による教育的関わり合い—視覚障害幼児の事例について—” 国立特殊教育総合研究所研究紀要, Vol. 29, pp. 55-72 (2002).
- [55] 長岡英司, 御旅屋肇, 三宅輝久, 辰巳公子, 多屋秀人: “国内市販点字プリンタの性能等に関する調査”, 筑波技術短期大学研究委員会, 筑波技術短期大学テクノロジーレポート, Vol. 3, pp. 109-114 (1996).
- [56] 土井幸輝, 大内進, 澤田真弓, 中村均, 金森克浩: “無色透明な紫外線硬化樹脂インクを用いた触知図・点字に関する製作システムの開発とそれらの触読性評価に関する研究 (平成 21 年度～平成 22 年度) (共同研究) ”, (2011).
- [57] V. Vozenilek, M. Kozáková, Z. Stávová, L. Ludíková, V. Ruzivcková and D. Finková.; “3D printing technology in tactile maps compiling”, *the XXIV International Cartographic Conference*, pp. 1-10. CD-ROM (2009).
- [58] A. Voigt and B. Martens: “Development of 3D tactile models for the partially sighted to facilitate spatial orientation”, *Proceedings of the 24th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, pp. 366-370. CD-ROM (2006).
- [59] J. G. Ort, M. P. Cazorla and J. L. Macia: “Improving tactile map usability through

- 3D printing techniques: An experiment with new tactile symbols”, *The Cartographic Journal*, British Cartographic Society, pp. 1–8 (2013).
- [60] 国土交通省: “公共交通機関の移動等円滑化整備ガイドライン” (2013).
- [61] 調布市バリアフリー推進協議会: “平成 24 年度 第 2 回調布市バリアフリー推進協議会 現地検で挙げられた意見等とその回答について” (2012).
- [62] 渡辺哲也, 山口俊光, 南谷和範: 『視覚障害者の携帯電話・スマートフォン・タブレット・パソコン利用状況調査 2013』, 財団法人 電気通信普及財団 平成 24 年度 研究調査助成成果報告書 (2014).
- [63] W. Schweikhardt: “Interactive exploring of printed documents by blind people”, *Interdisciplinary Aspects on Computers Healing People with Special Needs: 5th International Conference*, J. Klaus, E. Auff, W. Kremser and W.L. Zagler (Eds), Wien: R. Oldenbourg (1996).
- [64] 渡辺哲也, 須貝克美, 為近哲夫: “グラフィカル情報提示のための触覚ディスプレイシステムに関する研究”, 日本障害者雇用促進協会 障害者職業総合センター (2001).
- [65] S. F. Wiker, G. Vanderheiden, S. Lee and S. Arndt: “Development of tactile mice for blind access to computers: Importance of stimulation locus, object size, and vibrotactile display resolution”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Wisconsin Center for Space Automation & Robotics and TRACE Research and Development Centers University of Wisconsin, Madison, WI 53706, Vol. 35, No. 10, pp. 708-712 (1991).
- [66] 渡辺哲也: “触覚マウスを用いた図形情報の識別 視覚障害者に図形情報を伝えるための一方策”, 画像ラボ, Vol. 12, No. 6, pp. 13-17 (2001).
- [67] A. Yamamoto, Y. Hiroaki and T. Higuchi: “Electrostatic tactile display with thin film slider and its application to tactile telepresentaion systems”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 12, No. 2, pp. 168-177 (2006).
- [68] 谷中聖志, 鎌谷裕一, 宮本晶規, 遠藤康浩: “豊かな触感を提示する 超音波触感ディスプレイ技術”, *Fujitsu* 68, 1, pp. 86-91 (2017).

- [69] 大西淳児, 坂尻正次, 三浦貴大, 小野東: “触覚フィードバックタッチパネルにおける人間の触知覚に関する基礎研究”, 第 12 回情報科学技術フォーラム, FIT 2013, Vol. 3, pp. 665-668 (2013).
- [70] 樋口宜男: “視覚障害者のための 音声出力機能付き触図システム” (2008).
[<https://manualzz.com/doc/4803375/%E8%A6%96%E8%A6%9A%E9%9A%9C%E5%AE%B3%E8%80%85%E3%81%AE%E3%81%9F%E3%82%81%E3%81%AE-%E9%9F%B3%E5%A3%B0%E5%87%BA%E5%8A%9B%E6%A9%9F%E8%83%BD%E4%BB%98%E3%81%8D%E8%A7%A6%E5%9B%B3%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%A0-%E8%AC%9B%E6%BC%94%E3%81%AE%E6%B5%81%E3%82%8C-%E7%8F%BE%E5%9C%A8>] (accessed December 20, 2018)
- [71] 小林和正: “開発レポート「しゃべる触地図」”, ノーマライゼーション 障害者の福祉, 2003 年 2 月号 (2003).
- [72] 五島幸訓, 樋口宜男: “視覚障害者のための音声出力地図”, リハビリテーション工学カンファレンス講演論文集, 26-E-07, pp. 273-274, (2006).
- [73] 土井幸輝, 西村崇宏, 藤本浩志, 和田勉, 武井眞澄, 澤田真弓, 田中良広, 金子健: “点字学習者用音声読み上げ機能付点字学習教材の開発と使用感の評価” (2016).
- [74] M. Dahlberg: “Tactile mapping: An unusual GIS application”, ICC97. Proceedings of 18th ICA/ACI International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 3, pp. 1417-1421 (1997).
- [75] C. Perkins and A. Gardiner: “What I really Want: How visually impaired people can improve tactile map design”, *Proceedings of the 18th International Cartographic Conference*, Stockholm (1997).
- [76] E. Siekierska, R. LaBelle, L. Brunet, B. McCurdy, P. Pulsifer, M. K. Rieger and L. O’Neil: “Enhancing spatial learning and mobility training of visually impaired people: A Technical paper on the internet-based tactile and audio-tactile mapping”, *The Canadian Geographer*, Vol. 47, No. 4, pp. 480-493 (2003).
- [77] Braille Authority of North America: *Guidelines and Standards for Tactile Graphics* (2010).
[<http://www.brailleauthority.org/tg/>] (accessed December 20, 2018)

- [78] J. Elaine Kitchel: *APH Guidelines for Print Document Design*, APH.org.
[<https://www.aph.org/research/design-guidelines/>]
- [79] N. Amick and J. Corcoran: *Guidelines for the design of tactile graphics* American Printing House for the Blind. ARRS (1997).
[<http://www.aph.org/edresearch/guides.htm>] (accessed December 20, 2018)
- [80] 日本点字図書館 点字制作課, “点訳のための触図入門第 2 版”, 日本点字図書館 (1988).
- [81] Y. Eriksson.: “Tactile maps: Guidelines for the production of maps for visually impaired”, Swedish Library of Talking Books and Braille (2003).
- [82] The N.S.W. Tactual and Bold Print Mapping Committee: *A Guide for the Production of Tactual and Bold Print Maps 3rd Edition*, Royal Blind Society of New South Wales (2006).
- [83] S. Jehoel, S. Ungar, D. McCallum and J. Rowell: “An evaluation of substrates for tactile maps and diagrams: Scanning speed and users’ Preferences”, *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 99, No. 2, pp. 85-95 (2005).
- [84] 石橋和也, 水田浩美, 渡辺聡, 渡部謙, 渡辺哲也, 高岡裕, 喜多伸一: “触地図上で見つけやすい触知記号の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 424, pp. 57-61 (2012).
- [85] 石橋和也, 嘉幡貴志, 小田剛, 渡部謙, 渡辺哲也, 高岡裕, 喜多伸一: “触地図上で発見しやすい触知記号の大きさ-点字経験者と未経験者を対象にした検討”, 視覚リハビリテーション研究, Vol. 2, No. 1, pp. 1-10 (2012).
- [86] 日本盲人社会福祉施設協議会点字出版部会: “JIS 高齢者・障害者配慮設計指針一触知案内図の情報内容 及び形状並びにその表示方法” (2002)
- [87] ピアサポート株式会社: “触知図作成のためのガイドライン” (2006).
- [88] M. G. Kwok, 福田忠彦: “触地図作成ガイドラインの提案とその利用法” 日本人間工学会第 45 回大会, 東京電機大学 (2004).

- [89] M. G. Kwok, 福田忠彦: “触覚特性に基づいた新しい触地図作成法の提案”, 第34回日本人間工学会関東支部大会, 東京医科歯科大学 (2004).
- [90] 福田忠彦: “触図・触地図作成ガイドラインに基づく触地図の試作”, 日本人間工学会第46回大会, 東京 (2005).
- [91] JISC 日本工業標準調査会: “JIS T 0922 (触知案内図の情報内容および形状並びにその表示方法) ”
[http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E003012.pdf](accessed December 20, 2018)
- [92] 国際標準化機構 (International Organization for Standardization): “ISO 19028:2016 Accessible design -- Information contents, figuration and display methods of tactile guide maps” (2016).
[<https://www.sis.se/api/document/preview/920347/>](accessed December 20, 2018)
- [93] T. P. Way: “Automatic Generation of Tactile Graphics”, University of Delaware, (1997).
- [94] A. B. Pather: “The innovative use of vector-based tactile graphics design software to automate the production of raised-line tactile graphics in accordance with BANA’s newly adopted guidelines and standards for tactile graphics, 2010”, *The Journal of Blindness Innovation and Research*, Vol. 4, No. 1, pp. (2014).
- [95] H. Taguchi, T. Yamaguchi and T. Watanabe: “Development of a tactile star chart automated creation system”, *Proceedings of the Universal Learning Design 2012* (2012).
- [96] C. Jayant, M. Renzelmann, D. Wen, S. Krisnandi, R. Ladner and D. Comden: “Automated tactile graphics translation: in the field”, *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp.75-82 (2007).
- [97] J. Chen and N. Takagi: “A pattern recognition method for automating tactile graphics translation from hand-drawn maps”, 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, *World Automation Congress (WAC) 2014*, pp. 213-218 (2014).
- [98] T. Watanabe, K. ARAKI, T. Yamaguchi and K. Minatani: “Development of Tactile

- Graph Generation Web Application Using R Statistics Software Environment”, *Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) Transactions on Information and Systems*, 10.1587/transinf.2015EDP7405, Vol. E99-D, No. 8, pp. 2151-2160 (2016).
- [99] 加賀大嗣, 渡辺哲也, 石川准: “将棋局面図触知化アプリケーションの開発”, 感覚代行シンポジウム 42, pp.27-30, (2016).
- [100] J. A. Miele, S. Landau and D. Gilden: “Talking TMAP: automated generation of audio-tactile maps using Smith-Kettlewell’s TMAP software” *The British Journal of Visual Impairment*, Vol. 24, No. 2, pp. 93-100 (2006).
- [101] K. Minatani, T. Watanabe, T. Yamaguchi, K. Watanabe, J. Akiyama, M. Miyagi and S. Oouchi: “Tactile map automated creation system to enhance the mobility of blind persons—Its design concept and evaluation through experiment”, *International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP) 2010*, Part II. LNCS, Vol. 6180, pp. 534-540 (2010).
- [102] M. Haklay and P. Weber: “Openstreetmap: User-generated street maps”, *IEEE Pervasive Computing* 7, pp. 12-18 (2008).
- [103] HaptoRender - OpenStreetMap Wiki,
[<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/HaptoRender>] (accessed December 20, 2018)
- [104] 幸田 紗都子, 山口 俊光, 渡辺 哲也 OpenStreetMap データを用いた触地図自動作成システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 113, No. 347, pp. 27-30 (2013).
- [105] D. Haenßgen, A. Weisbecker, M. Burmester and A. Schmidt: “HaptOSM Creating tactile maps blind visually impaired”, *Mensch und Computer 2015 Workshopband*, Stuttgart: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2015 S. pp. 405-410. (2015).
- [106] 馬場千春, 渡辺哲也: “”(2018).
- [107] 犬塚俊裕, 青柳まゆみ: “立体コピーによる愛知県地図の作製とその評価 —画像編集ソフトを用いた原図作製の試み—”, *障害者教育・福祉学研究*, Vol. 11, pp. 7 -13 (2015).

- [108] B.B. Petchenik: “A map maker’s perspective on map design research 1950-1980”, D.R.F. Taylor (ed), *Graphic Communication and Design in Contemporary Cartography*, John Wiley and Sons, UK (1983).
- [109] J. Rowell and S. Ungar: “The world of touch: an international survey of tactile maps. Part 1: production”, Research Article, *British Journal of Visual Impairment*, Vol. 21, No. 3, pp. 98-104 (2003).
- [110] J. Rowell and S. Ungar: “Feeling our way: tactile map user requirements- a survey”, icc2005Cartesia.org (2005).

第3章 実験 I

- [111] 御園政光, 坂井忠裕, 半田拓也, 小田浩一: “触知探索におけるオブジェクトの配置条件と提示方式に関する基礎実験”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, No. 488, pp. 31-36 (2009).
- [112] V. S. Morash: “Systematic movements in haptic search: Spirals, zigzags, and parallel Sweeps”, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 9, pp. 100-110 (2016).
- [113] 渡部, 2012 → [5]
- [114] K. E. Overvliet, J. B. J. Smeets and E. Brenner: “The use of proprioception and tactile information in haptic search”, *Acta Psychologica*, Vol. 129, pp. 83-90 (2008).

第4章 実験 II

- [115] M. Wong, V. Gnanakumaran and D. Goldreich: “Tactile spatial acuity enhancement in blindness: evidence for experience-dependent mechanisms”, *Journal of Neuroscience*, Vol. 31, pp. 7028-7037 (2011).
- [116] 田野倉可奈: “触覚的な図形認識における探索活動 — 点字経験の影響 —”, 人間科学研究, Vol. 28, p. 105 (2015).
- [117] K. E. Overvliet, J. B. J. Smeets and E. Brenner: “Parallel and serial search in haptics”, *Perception & Psychophysics October 2007*, Vol. 69, Issue 7, pp 1059–1069

(2007).

- [118] V. S. Morash, A. E. C. Pensky and J. A. Miele: “Effects of using multiple hands and fingers on haptic performance”, *Perception*, Vol. 42, pp. 759-777 (2013).
- [119] V. S. Morash, A. E. C. Pensky, S. T. W. Tseng and J. A. Miele: “Effects of using multiple hands and fingers on haptic performance in individuals who are blind”, *Perception*, Vol. 43, pp. 569-588 (2014).
- [120] 今川英紀, 福村直博, 宇野洋二: “ヒトが知覚する腕の長さと言先位置の誤差に関する研究”, *電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング*, Vol. 106, No. 589, pp. 37-42 (2007).

第5章 結び

- [121] A. Lobben: “Tactile maps and mapping”, *The Journal of Blindness Innovation and Research*, Vol 5, No 1 (2015).
- [122] P. J. Hampson and C. M. Daly: "Individual variation in tactile map reading skills: Some guidelines for research", *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 83, No. 10, pp. 505-509 (1989).
- [123] 佐藤慶: tmacsmb (2018).
[<https://github.com/T-Watanabe-Lab/tmacsmb>] (accessed December 20, 2018)
- [124] 毛利裕太: 立体コピー触地図作成支援 Web アプリケーション (2018).
[<https://github.com/stevenyuta/tactilemapyuta>] (accessed December 20, 2018)

謝辞

本研究を進めるにあたり，実験に参加して頂いた方々に深く感謝し，心より御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり，多大なご指導とご教示を賜りました新潟大学大学院自然科学研究科，渡辺哲也准教授に深く感謝し，心より御礼申し上げます。本論文をまとめるにあたり，主査としてご指導を賜りました新潟大学大学院自然科学研究科，堀潤一教授，副査としてご指導を賜りました前田義信教授に深く感謝し，心より御礼申し上げます。

また，実験の実施，分析に協力して頂いた三科緑様，秋山優太様，赤坂旭様，大橋航汰様，車谷憲太郎様，本研究の成果を実装する触地図作成システムを開発した毛利裕太様，佐藤慶様に深く感謝し，心より御礼申し上げます。

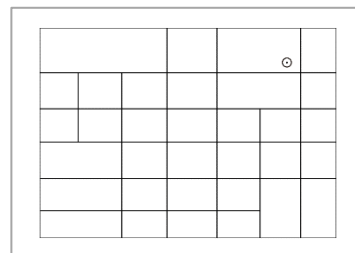
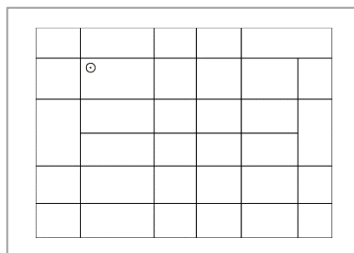
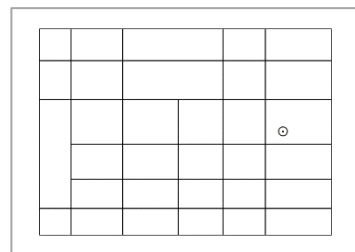
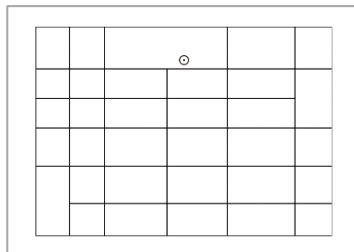
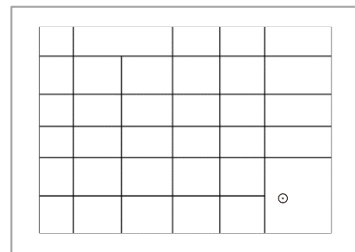
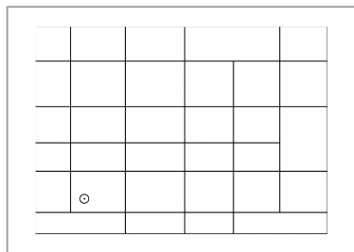
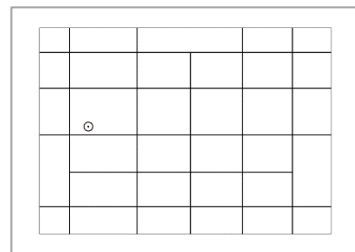
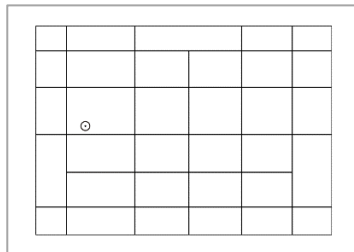
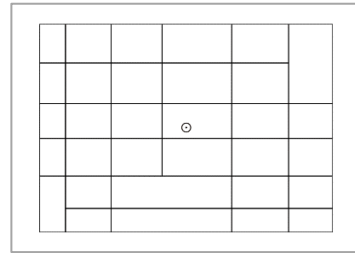
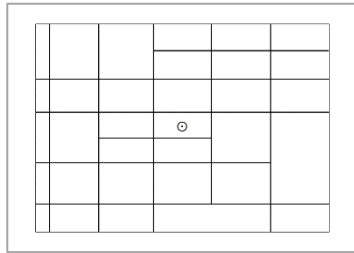
この研究の一部は，科学研究費補助金基盤研究(A) 25245084 及び JST RISTEX により実施しました。記して感謝の意を表します。

加賀大嗣

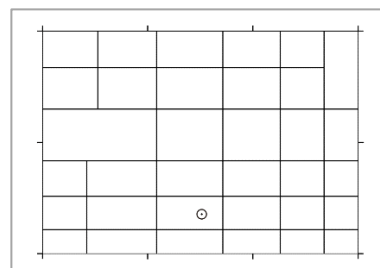
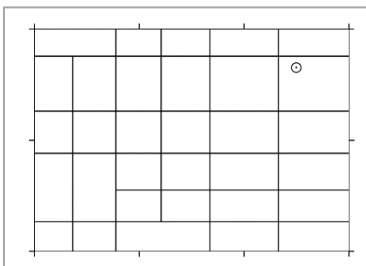
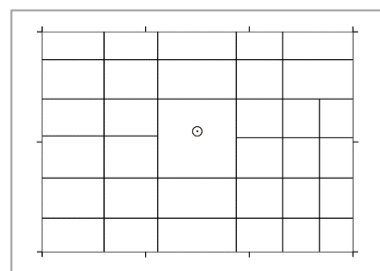
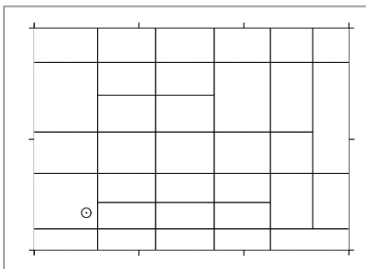
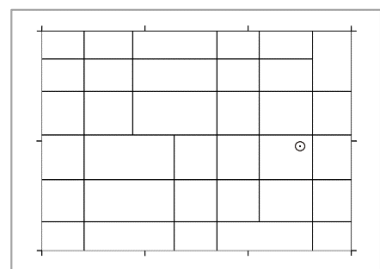
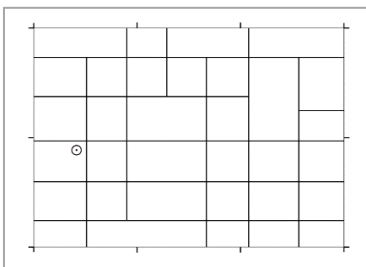
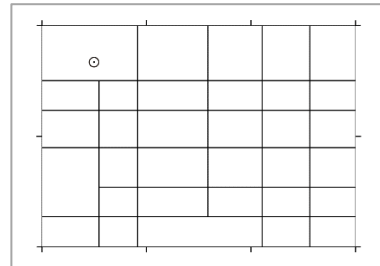
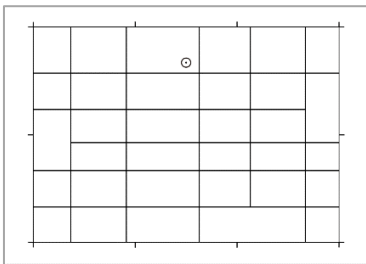
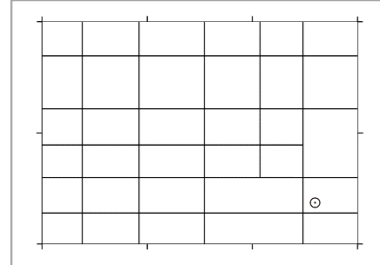
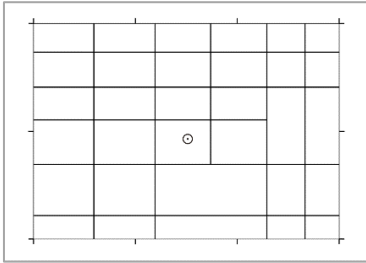
補足資料 (Appendix)

本研究で用いた実験刺激 (各 B4 サイズ)

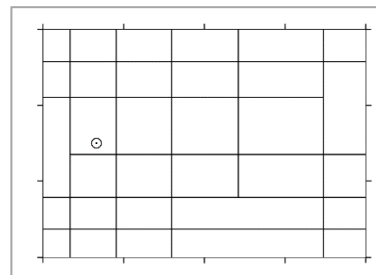
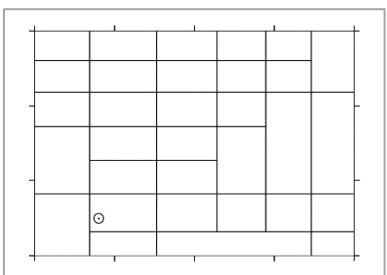
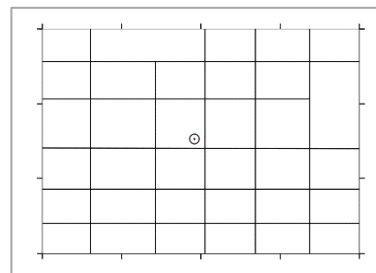
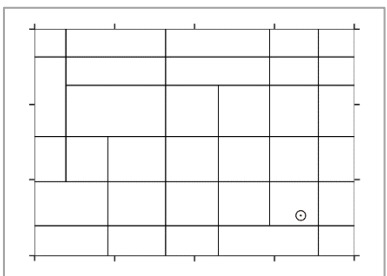
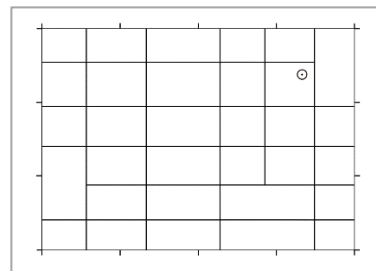
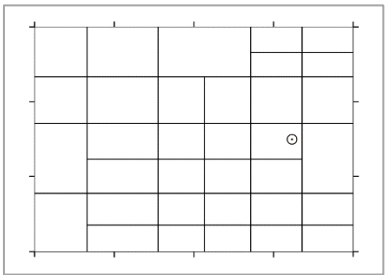
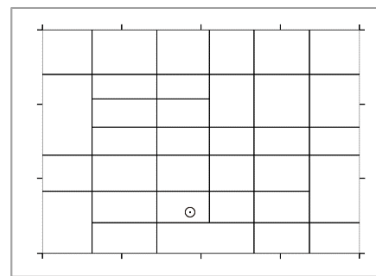
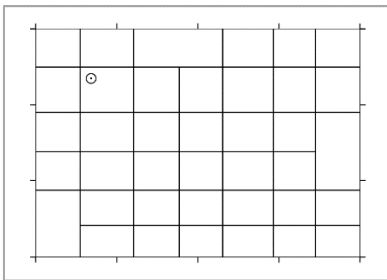
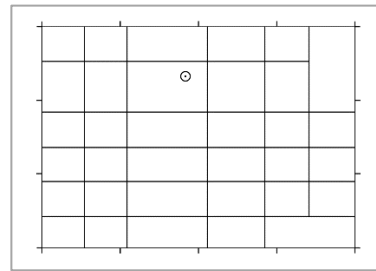
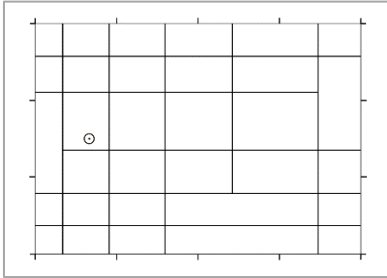
条件：目盛りなし



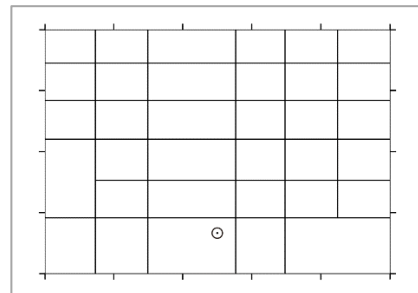
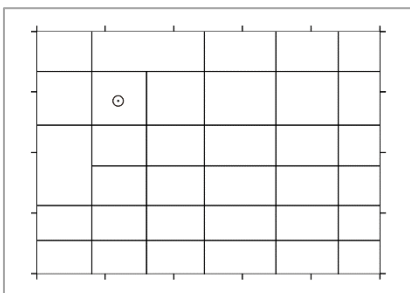
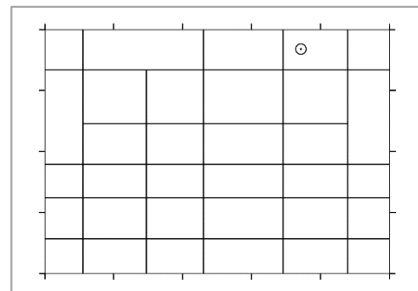
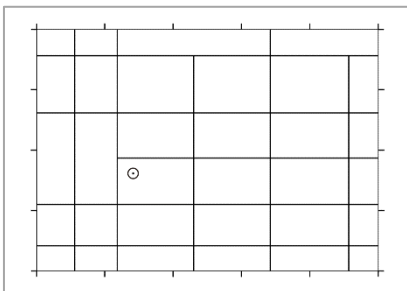
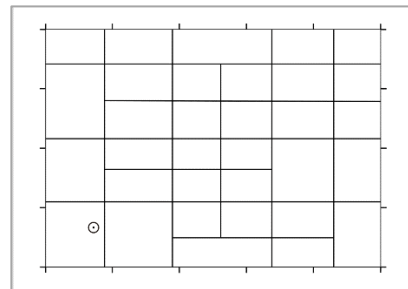
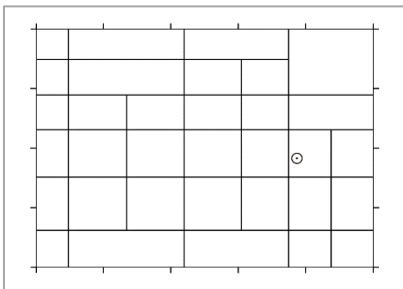
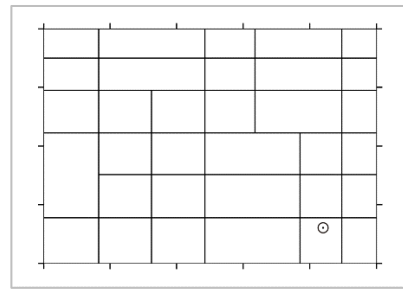
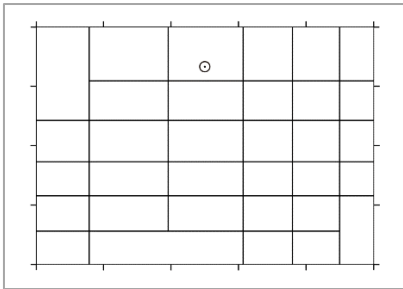
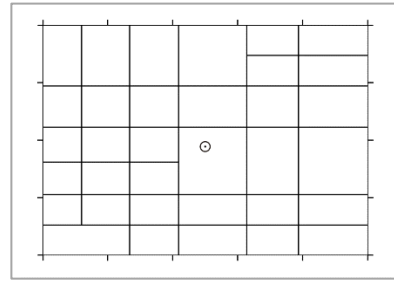
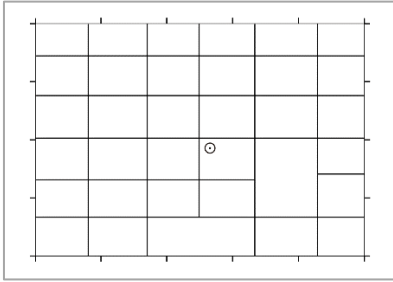
条件：縦 2×横 3



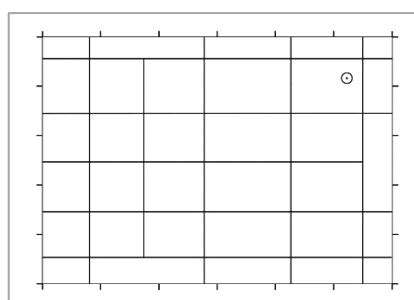
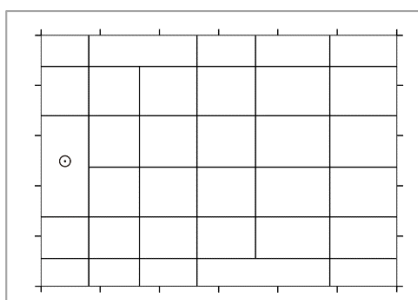
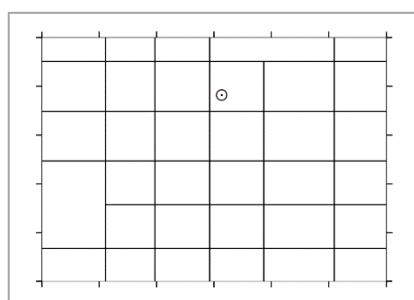
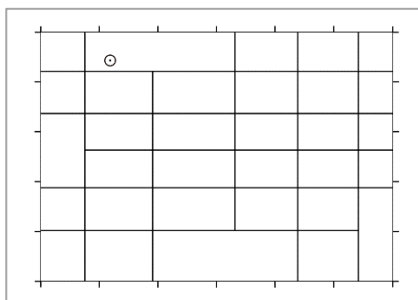
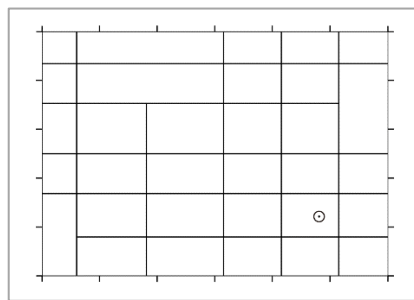
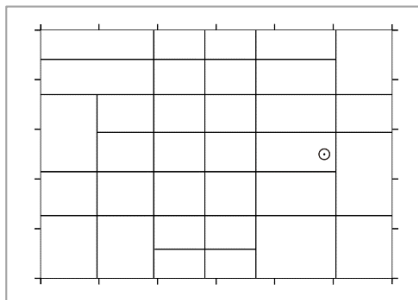
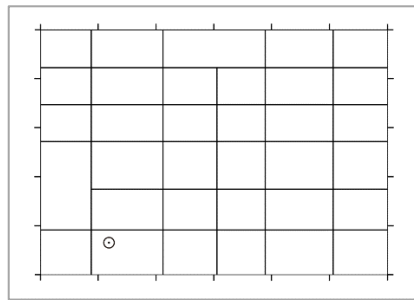
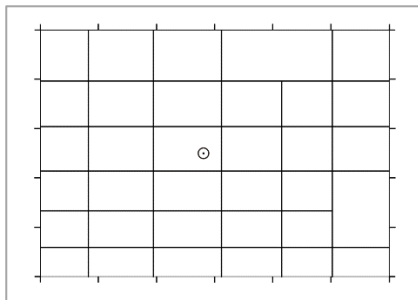
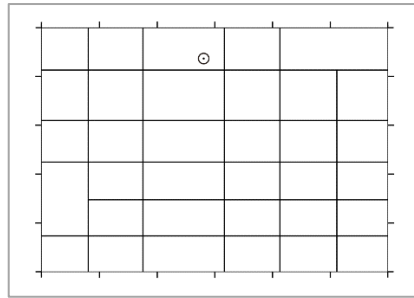
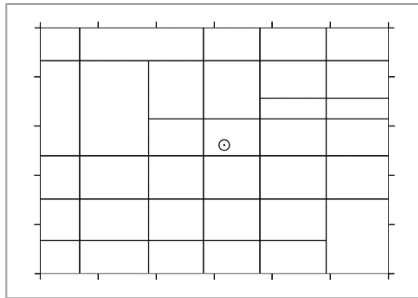
条件：縦 3×横 4



条件：縦 4×横 5



条件：縦 5×横 6



本研究に関する著者の発表

査読付き論文

Hirotsugu Kaga, Chihiro Kawaguchi, Midori Mishina, Shinichi Kita, Tetsuya Watanabe, “Haptic Search in Divided Areas: Optimizing the Number of Divisions”, *Japanese Psychological Research*, Vol. 59, No. 2 pp. 144-151, 2017.

Hirotsugu Kaga, Tetsuya Watanabe, “Efficiency of Haptic Search Facilitated by the Scale Division”, *AsiaHaptics 2018 (Incheon)*, pp. 1074-1076, 2018.

研究報告

加賀大嗣, 渡辺哲也, 石川准, “将棋局面図触知化アプリケーションの開発”, 代
2回 感覚代行シンポジウム, 開発代行研究会, pp. 27-30, 2016.

加賀 大嗣, 渡辺 哲也, “点描触知文字 Decapoint エディタの開発”, 第 26 回視
覚リハビリテーション研究発表大会 in 川崎 & 鶴見, 視覚リハビリテーション研
究発表大会抄録集, Vol. 49, p. 38, 2017.

加賀大嗣・渡辺哲也, “触地図の目盛りの数と探索時間の関係”, 電気情報通信学
会福祉情報工学研究会, 2017-59, pp. 109-114, 2018.

共著

秋山優太・三科緑・加賀大嗣・渡辺哲也, “触地図の分割数と探索時間の関係 ～
視覚障害者を対象として～”, 第 140 回ヒューマンインタフェース学会研究会”
個々のニーズに立脚した高齢者・障害者支援技術および一般 (SIG-ACI-18)”, 2016-

58, Vol. 18, No. 11, pp. 75-80, 2017.

秋山優太, 三科緑, 加賀大嗣, 渡辺哲也, “触地図の目盛りの数と探索時間の関係”, 平成 28 年度電子情報通信学会信越支部大会, p. 3, 2016.

渡辺哲也, 加賀大嗣, 山口敏光, “触図作成サービスのライブラリ調査”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, pp. 83-86, 2016.

渡辺哲也, 加賀大嗣, 小林真, 南谷和範, 『視覚障害者のスマートフォン・タブレット利用状況調査 2017』, 電気情報通信学会福祉情報工学研究会, SP2017-46 WIT2017-42, pp. 69-74 2017.

渡辺哲也, 加賀大嗣, 小林真, 南谷和範, 『視覚障害者のパソコン・インターネット利用状況調査 2017』, HCGSYMPO, 2017.

Tetsuya WATANABE, Hirotsugu KAGA, “Determining the Optimum Font Size for Braille on Capsule Paper for Late Blind People”, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol. 5, No. 1, pp. 2-7, 2017.

Tetsuya Watanabe, Hirotsugu Kaga, and Tsubasa Yagi: “Evaluation of Virtual Tactile Dots on Touchscreens in Map Reading: Perception of Distance and Direction”, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 21, No. 1, pp. 79-86 (2018).

Tetsuya WATANABE, Hirotsugu KAGA, Shota SHINKAI, “Comparison of Onscreen Text Entry Methods when Using a Screen Reader”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E101-D, No. 2, pp. 455-461, 2018.

渡辺哲也, 加賀大嗣, 小林真, 南谷和範, “視覚障害者のための触図訳サービスに関する調査”, ヒューマンインタフェース学会, Vol. 20, No. 2, pp. 147-152, 2018.