

## 温感触図への取り組み

### An Approach to “Thermal Sensation Tactile Graphics”

小林孝浩

KOBAYASHI Takahiro

**Abstract** 筆者は、温度感覚を触図に重畳して提示する「温感触図」を提案している。主に視覚障害者を対象とする新しい表現メディアの提案と位置づけている。本提案は当初、IAMASの「実世界指向インターフェイスプロジェクト」の成果として作製されたものであるが、この着想に至った経緯から現状までをまとめて、本稿に記す。

**Keyword** Tactile Graphics, Thermal Sensation, Expansion of Expression, Design Tool

#### 1. はじめに

実世界指向インターフェイスプロジェクトは、筆者を代表として、岐阜県立国際情報科学芸術アカデミーの平林准教授と共に、2007年度から2009年度まで行われたIAMASの授業の一つである。同プロジェクトでは、PC上での情報提示・操作について、より挑戦的なインターフェイスを考察し実現することを目的とした。温感触図[1]は、PC等従来のインターフェイスでは実現できない「温度による情報提示」を狙いとし、この実応用として触図への適用を試みたものである。同プロジェクト2年目、2008年度の成果であり、2009年度には晴眼者を対象にユーザテストを行うなどした。その後は視覚障害研究者の意見を取り入れ、視覚障害者へのユーザテストを行いつつ、筆者が改良を進めている[2]。

温感触図は、筆者による造語であり、「温度感覚」の省略形としての「温感」を、「触図」の前に配したものである。「触図」の皮膚感覚に加えて温度を重畳して提示することで、強く印象に働きかけ、表現の幅を広げることを目的としている。

本稿では、温感触図の着想に至った経緯や現在の取り組み、今後の課題や方針を記す。

#### 2. 視覚障害者と触図

##### 2.1 触図の現状

触図は「しょくちず（触知図、触地図）」とも呼ばれ、物体表面の凹凸や手触りによって地図や絵画を描き記した媒体である。視覚を使うことなく図形的な情報伝達ができるため、視覚に障害を持つ人の中で利用される。触図作成には、点字プリンタや印刷を利用した点図をはじめ、立体コピー、サーモフォーム、レーザーライターなどの手法がある。視覚障害者自身が絵図を作成する際には、レーザーライターが用いられる。柔らかい下敷きの上に特殊なセロファンを置き、ボールペンの様な筆記用具で書き込むと、筆跡が凸状となって浮き上がる仕組みである。

触図を作成する試みは、例えば国立特殊教育総合研究所視覚障害教育研究部盲教育研究室での成果が報告[3]されている。また、イタリアでの視覚障害児教育として、触図による絵画鑑賞への取り組みが報告[4]されている。

触図は点字とともに公共性の高い場所で使用されており、駅構内の案内板としてよく目にする。盲学校では触図による絵本や地図帳が置かれており、岐阜県立岐阜盲学校においても、ボランティアが作成した手作りの触図絵本が図書館に置かれているなど、

触図に触れる機会は存在する。

一方で、触図は明瞭な知覚が困難とされている。触覚の2点弁別域が1.6mm程度と、視覚に比べて劣ることも一つの要因ではあるが、「ある瞬間に触れている部分の情報しか得られない」という触覚の特徴のため、図形の中での位置関係や形状、大きさや長さの関係が一度には捉えにくいことも大きな要因であるとされる。これらは触図を作製する際に重要な特徴である。

## 2.2 触図による美術表現

以下に、触図による美術表現の実例を示す。視覚障害者にも美術作品に触れてもらうことを目的として、1994年に名古屋市美術館で企画展が行われた。図1は、この企画展の資料から抜粋したものである。aはオリジナルの彫刻の写真、bはこれを触図で解説したもの、cはbの一部を拡大したものである。文章(点字)による解説も添えられているが、手触りで表現された絵画は、彫刻の概形を表現しているものの、印象的な色彩変化(全体が薄紫、左下先端部が朱色のグラデーション)までは表現しきれていない。同様な試みは岐阜県美術館でも行われている[6]が、表現方法に大きな違いはない。

これらの資料は、「触知するメディアの特性」を考えるきっかけとなった。



a) オリジナルの彫刻

b) 触図による表現



c) 写真bの一部を拡大したもの

重松あゆみ「骨の耳'92-8」、1992年、H60×W52×D23cm、陶に着色

図1 彫刻を触図で表現した例([5]より抜粋)

## 3. 温感触図

### 3.1 新たな表現媒体の提案

触図は皮膚感覚のうち、触覚のみを使用しており、いわばモノクロの世界だと表現できる。一方、皮膚感覚にはまだ、大きく痛覚と温度覚が存在する。そこで、触覚と同時に温度覚にも働きかけることで、いわゆる色を塗り重ねたような表現力が得られるのではないかと考えた。図1において、例えば紅色の部分の部分を温かく、水色の部分を冷たくし、温度のグラデーションを与えることが考えられる。

先に、「彫刻という美術作品を触図で示す例」を挙げたが、本研究では「美術作品をどのように触図として表現するか」を議論したいのではない。そこには表現の解釈など複雑な要素をはらむためである。温感触図は、あくまでも表現媒体の一提案である。

### 3.2 実現手法

温感触図は、触覚に加えて温度覚に対しても同時に働きかける媒体である。温度を提示する方法は各種考えられ、発熱または吸熱だけの構成も考えられるが、発熱吸熱とも可能であり、制御の容易さから、ペルチェ素子を用い電気的に提示する方法を選択した。ペルチェ素子は板状になっており、ある片面からもう一面に熱を移動する機能を有する素子である。

温感触図0号機を作製[1]し予備実験を行ったところ、次の知見を得た。すなわち、温度提示部は9cm<sup>2</sup>(3cm×3cm)程度以上の面積が望ましいこと、使用する母材や体験時の周辺温度によっては温度を提示しない部分に「意図しない温度」を感じてしまうことがわかった。また0号機では冷覚提示だけであったが、温覚提示もできることを狙う。これらを踏まえ温感触図1号機を作製した。

温感触図1号機は大きく分けて、体験者が直接触れて鑑賞する「提示部」と、これを制御する「制御部」とからなる。図2に試作した温感触図(提示部)を示す。同図は、絵図を装置から外した様子である。提示部の図案の下部には、温度を調整するためのペルチェ素子を配置した。それぞれのペルチェ素子は調温制御のため、温度センサを取り付けた。また素子からの熱を排出するために、ファンを取り付けたヒートシンクを置き、これらを熱的に結合している。

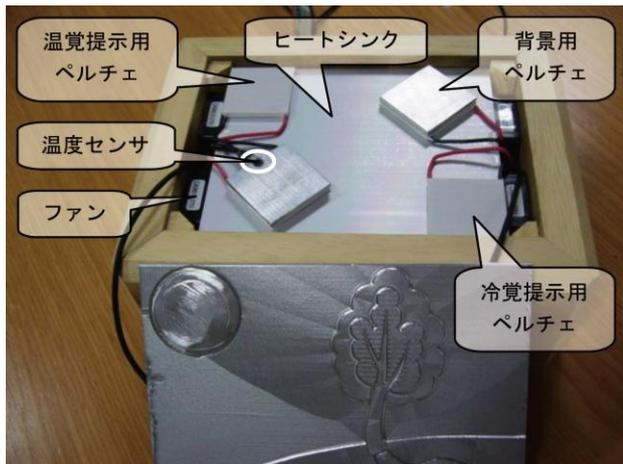


図2 温感触図1号機の構造

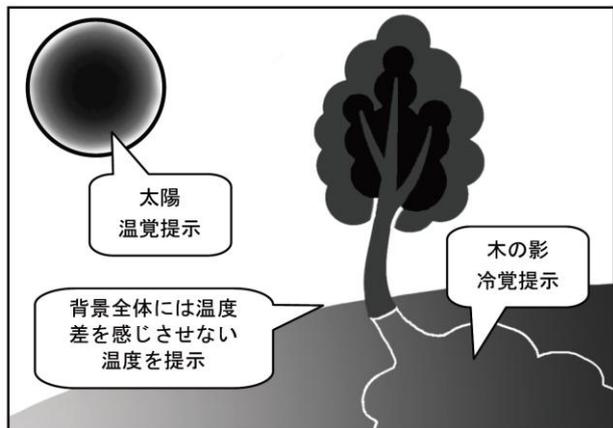


図3 温感触図1号機の表現内容

図3に表現内容を示す。触図の特徴を踏まえ、理解しやすいように児童が描くようなシンボリックな風景とし、空に太陽、大地に樹木と木陰を配置した。

太陽を加熱し影を冷却する一方で、背景部分は母材の冷たさを感じさせないよう、環境温度より若干高めに調温する。環境温度28℃では、太陽37℃、影25℃、背景29℃程度が適切であった。点字が0.3~0.5mm程度の凸であることから、この程度の段差となるよう描画した。なお、図の明るさは母材を切削する深さを示しており、白い部分ほど深く加工する。本図案では最大切削量を1.0mmとした。図案のサイズを142×100mmとし、これを木製のケースに収めた。

母材には熱伝導の良さ、加工性からアルミニウムを使用した。本図案は3つの個別のパーツから構成しており、効果的な調温のために0.5mm程度のギャップを設け、エポキシ樹脂系接着剤にて接着した。

各パーツはNC加工機(MODELA Pro MDX-500, Roland)にて、切削加工にそれぞれ1~10時間程を要した。実際には荒削り、仕上げ、切り落とし加工を行い、ツール持ち替えの際には微調整が必要になるなど、加工には大変な時間と労力を要した。母材のアルミニウムは5mm厚のものを使用した。ヒートシンクは10cm×10cm×3cm(H)のものを使用した。ペルチェ素子は3cm角のものを使用し、加熱、冷却用にそれぞれ一つ、背景部分用に二個使用した。制御部の調温制御には、市販のペルチェ温度コントロールキット(秋月電子通商)を使用した。

### 3.3 問題点と改良のための提案

温感触図は装置の製作に専門的な知識が必要となる上に、自由に描画をしたくとも、母材の加工が容易ではない点が問題点として挙げられる。これらのうち、まず「自由な描画」を行うための手法を提案する。本手法による作画の例を図4(左)に、ピンによる凹凸の様子を図4(右)に示す。本手法では、長さの異なる「ピン」を使用し、一面に穴のあけられた「プレート」にこれを差し込むことで、複雑な加工をすることなく凹凸を提示する作画する仕組みである。これにより従来の手法と比較して、凹凸のある図画の描画が容易となる。本提案をピン方式と記す。

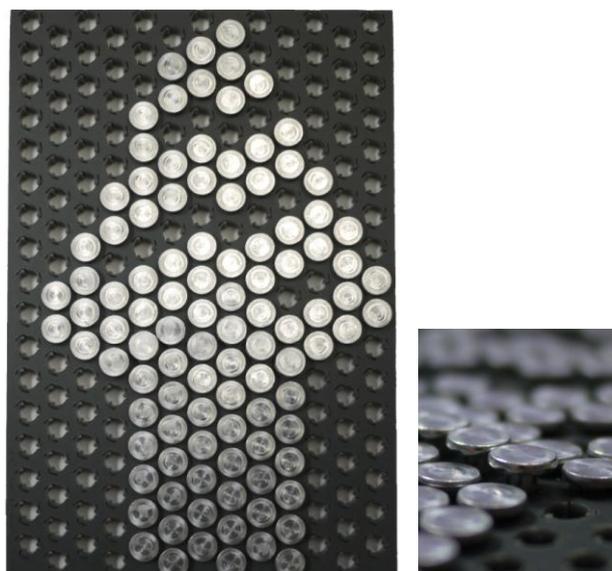


図4 提案手法による作画例(左)/ピンによる凹凸の様子(右)

同図4ではプレートを縦使いしている。図案の上半分(上部三分の五ほど)は冷たいものを表現して

いるため、上部全体を冷却（15〜20度）し、下部は温度を感じない程度（環境温に依存）に調温する。上部と下部の間には、区切りを示す輪郭線が凸状に描かれている。夏場によく食べる物をイメージしている。

### 3.4 凹凸提示部の設計

想定する主たる鑑賞者は、視覚障害を持つ子供とし設計を行った。盲学校の教員や障害児の父母が装置で作画し子供に鑑賞させる。もしくは、自身で自由に描画する。プレートのサイズは、視覚障害研究者や盲学校教員の助言を受け、A6 サイズやハガキサイズに近い 148×100mm とした。これは前述の温感触図 1 号機とほぼ同サイズである。児童が両手で覆え、一度に把握できる大きさがよいとの見解であるが、これは触図作製時の注意点とも合致する。

凹凸を提示するピンについては、熱伝導や入手性を考慮し、棚ダボやアルミリベット（図 5）を調査した。比較的入手容易で代表的なものを表 1 に示す。



図 5 棚ダボ(左側二本)/アルミリベット(右側二本)

表 1 ピンの候補

名称	頭形	頭径	軸径	軸長種類[mm]	本数/重さ
棚ダボ	平	6.9	4.9	軸長各種	320本/
	丸	6.7	4.7	軸径が異なる	1,000g
	平	5.9	3.0	L6, L8, L10	370本/
	丸	5.7	3.0	L6, L10	100g
アルミリベット	平	7.9	4.0	L6, L8, L10	220本/
	丸	7.2	4.0	L8, L10	90g
	平	9.9	5.0	L10, L12	150本/
	丸	8.8	5.0	L10	130g

棚ダボは、軸長が異なる物では軸径も若干異なっており、同一の穴サイズではうまくはまらなかった。調温はプレートの下部から行う予定のため、これと熱結合されている必要がある。単一長の棚ダボを使用しスペーサを挟むことで凹凸を実現することも考えられるが、細かな部品が増えるため扱いにくい。

最大で 1kg を越える重さとなることから、棚ダボの採用は見送った。

ピンは細いほど表現力が増すが使用する数が激増する。これらを勘案し軸径 4mm のアルミリベットを採用した。同一の軸径で 6, 8, 10mm の軸長が存在する。リベットの頭部分で 0.5mm の隙間を持たせ、三角格子状に配置したところ、穴の数は 17x13=221 個となった。

プレートには 5mm 厚の亚克力板（キャスト）を使用し、レーザ加工機により穴あけ加工を行った。使用した加工機（VSL2.30, Universal Laser Systems）では、断面がテーパ状になったり、細部が熱で変形する様子が見られた。複数加工してみたが均一な仕上がりにとはならず、特に単純な穴形状では嵌合誤差が大きかった。加工で発生する寸法誤差や変形誤差を最大限吸収できる形状を考案し、図 6 のような複数の形状を試作した。

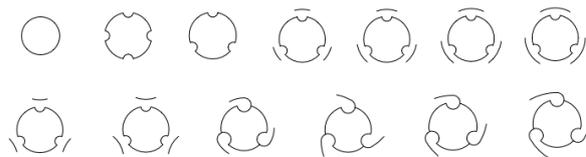


図 6 穴形状

また、亚克力以外にも 5mm 厚の天然ゴムシートやスチレンボードなどを試したが、これらは熱による熔融、炎上が起きた。このため切り口が大きく欠損するなどし、本手法での加工には向かないと考え、これらの使用は見送った。

### 3.5 温度提示部

温度提示部は 20mm 四方のペルチェ素子を 4x6 に並べる構造とし、同様に並べた調整ツマミを使用し温度分布を設定できる仕組みを設ける予定である。上記凹凸提示部のプレートを温度提示部に載せることで温感触図を実現する。ペルチェ素子との間には 0.5mm 程度のアルミ板を配し、さらに 0.5mm 程度の熱伝導ゲルシートを挟む形でプレートを固定する。これは使用したレーザ加工機の鉛直加工精度が十分でなく若干ピンが傾いてしまうため、熱伝導性を確保する目的でもある。アルミ板ごと別の図案に入れ替えられる構造とする。

## 4. ユーザテストおよび考察

### 4.1 実験の目的

温感触図1号機については、温感触図への反応や興味、表現内容についての理解を調査の目的とした。ピン方式については、読み取りの容易さ、作画の際の使い勝手、使用用途の模索を調査の目的とした。

### 4.2 実験方法

被験者として、視覚に障害を持ちながら、岐阜県立岐阜盲学校で教員として働く7人の方々を対象に、ここまでで作成した装置を使用してもらい聞き取りを行った。この様子は了解の上、ムービーで記録した。各被験者の属性を次に示す。

- A : 30代男性、理療科、先天盲
- B : 50代女性、理療科、先天盲
- C : 50代男性、理療科、先天盲、難聴
- D : 20代女性、理療科、中途失明/22歳頃から
- E : 50代男性、理療科、中途失明/20歳頃から
- F : 50代男性、理療科、弱視
- G : 30代男性、社会科、中途失明/15歳頃から

Gを除く被験者は一同に会し、まず簡単な説明を受けたのち、一人ずつ順に1号機を体験した。説明では、「これから触図に温度を重ねた絵を鑑賞して頂く」とこと「ひととおり体験が終わるまでは、図案の具体的な内容については話さない」ことを伝えた。また、実験に立ち会う形で晴眼者（盲学校の教員）が6名同席した。晴眼者はA~Fまでが体験した後に体験し、意見交換に加わった。ここまでで約15分であった。

続けて、ピン方式のプレートを使用した図案を自由に触ってもらい所見を聞き取った。準備した図案は先に示した図4に加え、図7の様なものである(全四種類)。この段階では調温部が完成しておらず、「全体が冷たい」、「この部分が温かい」などというように、温度重畳のイメージを伝えた。最初にこれらに触ってもらい意見を聞き取った(15分程度)。その後、自由に作画する時間を設け、意見を聞き、制作の様子を観察した(15分程度)。ここで使用したプレートは、図6の右下に示した穴形状のものである。ピンは、L8およびL10の二種類を用意した。作画では一部、晴眼者が手を貸すシーンも見受けられた。意

見交換を含めて約30分であった。

GについてはA~Fの実験が終了した後に、一人で体験してもらい、直接意見を聞き取った。1号機およびピン方式について行ったが、ピン方式の「用意した図案」、「ピンを使用した作画体験」は行っていない。体験時間は10分程であった。

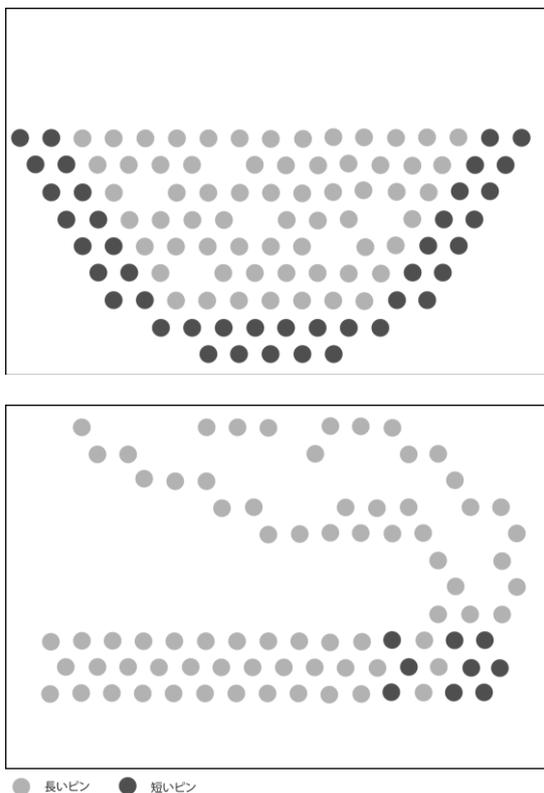


図7 準備した図案(上図は全体的に冷やす/下図は右下の部分に熱くする)

### 4.3 体験の様子

まず、温感触図1号機についての反応や意見等を列記する。アルファベットは被験者を示す。

反応としては、「あっ、温かい。ふーん、へえ(D)」、「あっ、ここが温かいのか。あ、これは冷たいですね、はーん(E)」、というように驚きを示す様子が観察された。また、次のような意見等が得られた。「温度はわかる(AB)」、「見たことがある人が触る分にはいいのではないかと(A)」、「形は関係あるのか(B)」、「わからない(CE)」、「盛り上がりという意味があるのか(D)」、「何かが生えている(D)」、「形は固定ですか。難しい(E)」、「太陽、植物、山。冷たいところは雪原? やってみて面白い。嫌いじゃない(G)」。

さらに「風景が描かれている」と伝えた後には、「風景を見たことないからわからない(A)」、「説明を

受けた後に体験すればわかりそう(EF)」、という発言があった。

次に、ピン方式についての意見等をまとめる。

- 1) まっすぐの線を引にくい (C)
- 2) もう少し細かくできないか (E)
- 3) 穴周辺のぼつぼつがノイズになる (G)

また、実験に立ち会った晴眼者からも、項目 2、3 と同様な意見が聞かれた。

被験者(D)は自力にて作画し、周りの被験者 (BE) に触らせていた。この図案を図 8 に示す。他の被験者 (CF) は文字を書くなどしており、誰もが楽しんでいる様子が観察された。

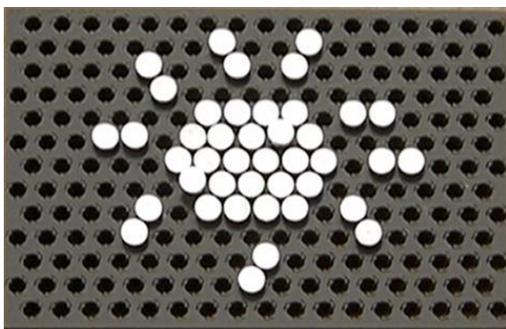


図 8 被験者が作成した図案

#### 4.4 考察

「温度を感じる体験」は誰もが楽しめたようである。2人は風景であることを理解し、2人は風景と言われれば理解できた。先天盲の方は、「絵」の概念を獲得できていないことがあり、風景など立体の投影図、煙のように形のないものは理解困難であった。体験者によって図案を考慮する必要がある。「駅の地図で、目的地までの道を温かくして欲しい」、「人体標本の動脈を温かくしては」などの提案もあった。

ピン方式については、得られた意見を踏まえ、穴形状として円を採用し、ピッチを詰め格子状に配置するプレートを設計した。レーザーによってあける穴は直径 3.2mm 程度とし、プレート上側に 1mm 厚のゴムシートを張り付ける構造と、ゴムをアクリルで挟み込む構造を試作した。使用するリベットは軸径を 3mm、配列ピッチを 6.5mm とした。これについての使い勝手は今後調査を行う。また作図の際、ピンの長さを判別することが容易ではなかった。特に外したピンを収納する際に問題となるため、何らかの工夫が必要であると感じた。

## 5. まとめ

温感触図の着想に至る経緯から、現在に至る取り組みまでを記した。ユーザテストでは視覚に障害を持つ方々に使ってもらい、中途失明の人であれば好意的に受け入れられることを確認した。また、ピン方式は、障害者自身が独りで作画することも可能であることがわかった。一方で今回のピンサイズ、レイアウトでは、自由な作画が困難であるとの意見もあった。そこで、これらを踏まえたボードも試作した。長さの異なるピンの収納には、何らかの工夫が必要であることがわかった。現在、自由に温度設定ができる調温機構を製作中であり、改善したプレートと合わせて、追加の実験を行う。

また、設計時に想定した使用者は子供であったが、これまでのところ、実験を行えていないため、課題として残されている。

研究の最終ゴールは、本装置の効果的な利用シーン見つけ出し、これを想定したパッケージングを行うことである。新しい表現メディアとして活用され、新しい体験を与えられることを願っている。

## 謝辞

岐阜大学視覚障害研究会、岐阜盲学校の皆様をはじめ、装置の製作改良に協力頂いた皆様に感謝する。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(C)課題番号 22615036）によって行われている。

## 参考文献

- [1] 君塚史高, 笠原友美, 松島俊介, 小林孝浩, 平林真実, 温感による触図表現拡張の可能性: 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集, 2008.
- [2] 小林孝浩, 福森みか, 温度覚による触図表現の拡張「温感触図」: 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集, 2011.
- [3] 触 図 作 成 プ ロ ジ ェ ク ト : <http://www.tenji.ne.jp/syokuzu/index.html>
- [4] 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教育のための絵画鑑賞の取組、世界の特殊教育、pp.83-100、2006.
- [5] 名古屋市美術館、心で見る美術展「私を感じて」、1994.
- [6] 岐阜県美術館、視覚障害者のための所蔵品ガイドブック、1998.