

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 3 日現在

機関番号：34504

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25880023

研究課題名(和文) 視覚及び触覚情報間に存在する統計的規則性の抽出・学習特性の解明

研究課題名(英文) An experimental research on the extraction process of statistical relationship between visual and haptic signals.

研究代表者

坂野 逸紀 (BANNO, Hayaki)

関西学院大学・文学研究科・博士研究員

研究者番号：00707440

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：物体を見て触るとき、我々は目と手から異なる種類の情報を受け取る。それらはしばしば、サイズと重さのように、ある種の規則的な連関を有している。しかしながら、視覚・触覚情報の中に潜む統計的規則性にヒトが感受性を持つのか、そしてそれは認知的にどう利用されるのかについては明らかでない。本研究では、ヒトが輝度(物体の明るさ)と剛性(物体の硬さ)というこれまで経験したことのない量の組み合わせに対して、その規則性の強さを適切に評価できること、および規則性は複数回の視触覚経験の中で暗に記憶され、後の記憶判断に利用されることを明らかにした。この結果は、我々が視触覚経験を量的規則として抽象化していることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：When we look at an object while touching it, we concurrently receive different perceptual signals from different sensory systems. They are often statistically organized with a non-random manner, e.g., size and weight. It remains unclear how we can extract and use regularity between arbitrary signals. In this study, the sensitivity to the statistical relationship between visual and haptic signals that participants had never experienced was examined. Our main findings are summarized in two points. First, human participants could estimate the correlation strength from arbitrary combination of signals such as the co-occurrence of luminance and stiffness. Second, participants implicitly depend on the statistical relationship in their judgments when they were asked to memorize multiple objects with the correlated visual and haptic properties. Results suggest that humans can summarize multisensory signals within multiple events and extract its relationship.

研究分野：実験心理学

キーワード：実験心理学 認知科学 統計的要約 視触覚間相互作用 学習 PHANTOM

1. 研究開始当初の背景

我々は、視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚などの複数の感覚モダリティから得られる様々な情報を周囲環境から絶えず受け取り、どのような物体が周りに存在するかを認識している。物体に対して我々が行うのは主に見る・触ることであり、故に物体認識という文脈においては、視覚と触覚の相互作用を考えることが他モダリティに比して重要である。

視覚情報と触覚情報の持つ量は互いに変換可能である。例えば、我々はボールの動きからそれを受けたときの衝撃を想像できるし、またその逆も可能である。我々がモダリティの異なる様々な特徴間の対応関係を知識として有していることは過去の研究でも調べられてきた。では、この知識がどのような心的過程を経て学習されるのかという、それは未だ明らかでない。この問題は決して看過して良いものではない。単純に過去の経験から視触覚量の1対1対応の関係を逐一保持するとしただけでは、多様な量に対応するために莫大な数の対応を学習する必要があるほか、未知の量を有した物体に対して、量の対応づけができない。つまり、およそ効率的とは言えない学習を我々が行う必要がでてしまう。この解決のためのアイデアとして考えられるのが、過去の経験を統計的な規則として要約することである。これは、視覚量と触覚量を変換する関数関係として経験を表現することに等しい(図1)。経験から視触覚の量的情報を変換する関数のような普遍的な規則を抽出することは非常に効率的な解決策といえる。また、未知の数量に対して推定を行えるというメリットもある。本研究では、統計的規則性というアイデアを基軸として、視触覚の間に存在する対応関係の学習の問題にアプローチした。

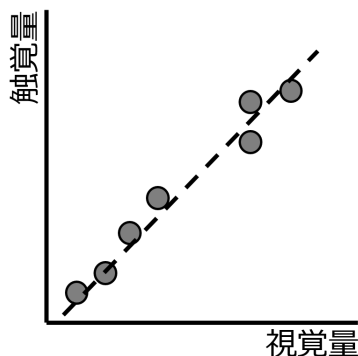


図1. 統計的規則性の概念図。規則性の抽出(斜線)により、効率的な視触覚量の対応づけが実現される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚情報・触覚情報の対応付けを行うにあたって、その間に潜む統計的規則性をヒトがどのように抽出・学習する

のか、その特性を明らかにすることであった。検証すべきアイデアは、視触覚情報の対応に関する経験からヒトがそれらを結び関数関係、すなわち統計的規則性を取り出しているのかということである。このアイデアを検証するために、本研究では2つの研究段階が設定された。まず、ヒトが統計的規則性を抽出する能力を持っていることが確かめられる必要がある。研究(1)では統計的規則性に対する弁別能力を直接的に検討した。しかしながら、そうした能力が仮に観測されたとして、それが「やろうと思えばできる」だけでは我々の持つ認知能力を適切に測っているとは言い難い。そうした能力が、我々の認知活動において何らかの形で利用されていることを示す必要がある。研究(2)では、規則を抽出する能力が、その判断自体とは形式上無関係な認知活動に影響するのかを、記憶課題を通じて検討した。

3. 研究の方法

【全般的な手法】視覚量として輝度、触覚量として剛性という特徴を用いた。この組み合わせは、日常的な環境ではまずその間に規則性を見いだせない特徴である。恣意的な組み合わせにしたのは、視触覚情報の対応関係において事前にヒトが持つ知識の影響を排除するためであった。このことにより、得られた各種結果に対する事前知識の影響を考慮する必要がなくなり、実験的操作と結果の因果性を単純に議論できる。輝度の情報は液晶ディスプレイ上に呈示される緑色の正方形パッチ、剛性の情報は力覚デバイスであるPHANToM Omni (Geomagic Inc., USA)が作る反力によって呈示された。剛性とは、曲げやねじりの力に対する寸法変化のしづらさの度合のことであり、主観的には物体の硬さに対応する物理量である。ばね定数を剛性の具体的な量として用いた。また輝度とは、広がりを持つ光源の単位面積あたりの明るさのことであり、主観的には明るさに対応する心理物理量である。装置によって生成される仮想的な正方形の板表面に対し、実験協力者は右手の人差し指で接触することで剛性を体感した。人差し指と板面の位置関係はそれぞれ液晶画面中の青いカーソルと正方形の点線フレームで表現された(図2)。

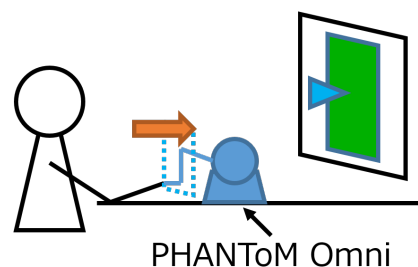


図2. 実験環境の模式図。指の位置と液晶画面中の青いカーソルの動きは同期していた。

(1) 視触覚の間に潜む統計的規則性に対する感度を確かに持っているのかについて、直接的な検討を行った。実験協力者は、様々な輝度と剛性を同時に感じるという事態を複数回経験し、その間に潜む規則性の程度を判断することを求められた。協力者は手前から奥に向かって指を動かし、点線フレーム内に存在する仮想的な板表面に触れた。板に触れた瞬間に点線フレームは輝度を持ったパッチに変化し、輝度を同時に体感するようになっていた。これは物体を触るとその物体が光る、といった状況を仮想的に作ったものである。輝度と剛性、各々の呈示時間は1つの刺激あたり1000msであった。輝度、剛性の感覚入力消失した後は、協力者は指を再び手前に戻し、次の視触覚入力に備えた。試行は2つの系列から成り、協力者は1つの系列内で計7回の視触覚入力を受けた。

規則性は、視覚と触覚、異なるモダリティからそれぞれ生起される互いの心理量がどの程度明確に線形関係を持っているかで定義された。例えば、一方の系列は、もう一方の系列に比べ、「明るいほどかたい」関係がより整然としていた。規則性の大きさは、輝度・剛性間の相関係数を調整することで操作された。協力者は、2つの系列のうち、より規則性の高い方を選択するように求められた。実験1においては、系列間の相関係数の差分は0.2, 0.6, 1.0のいずれかであった。また、2つの系列の係数は共に正であった。実験1はさらに2つの実験に分かれていた。実験1aでは、協力者は規則性とは線形関係の明瞭さを指すことを教示された。また、練習試行を通じて正誤のフィードバックが与えられた。一方、実験1bではそのような教示は行われず、また回答の正誤フィードバックは練習、本番を通じて無く、規則性に関する手がかりを終始与えられなかった。これらは、規則性の意味するところをトップダウン的に把握していることが規則性の弁別に決定的な影響をあたえるのかを調べるためであった。

また、実験2においては、負の相関に対する感度が追加的に確かめられた。この実験には規則性の抽出能力がどれだけ一般性をもつのかを調べる意図があった。2つの系列が共に正の相関を有している試行、負の相関を有している試行の2種類が登場した。これらは2つのセッションに分かれ、どちらを先に行うかはカウンターバランスがとられた。相関係数の差分は0.6, 1.0のいずれかであった。

(2) 規則を抽出する能力が、単にその場しのぎの能力として一時的に形成されたものであれば、学術的な価値は限定される。そのためには、規則性の抽出能力が、規則性そのものを問われない課題においても影響を与えることを確かめる必要がある。実験3では、記憶課題を通じてこの問題を検討した。

研究(1)と同様に、視覚量として輝度、触覚量として剛性という特徴を用いた。研究(1)

と同様、規則性は互いの心理量がどの程度明確に線形関係を持っているかで定義された。触るべき領域が画面上では点線フレームで表現されていること、その領域に対しPHANToMを通じて触れると、剛性と輝度の間隔入力が1000ms間生じることも研究(1)と同様であった。違いは、系列中に現れた1つ1つの刺激を記憶しなければならないということである。1つの系列は計7回の視触覚入力(プライム系列)から成り立っていたが、実験協力者は、どのような輝度と剛性が同時に現れたのか、その組み合わせに関して全て記憶することを求められた。その後、新たに1つの視触覚刺激(プローブ刺激)が出現し、この刺激がそれまでに経験した7回の視触覚刺激の中にあつたものか否かを回答することを求められた。

プローブ刺激が、プライム系列のうちの1つと同一であるような思考(Present条件)は全試行中の1/6しかなく、それ以外の試行では全て実際には登場しない、偽物の刺激が呈示された(Absent条件)。Absent条件のプローブ刺激は実際にはプライム系列の中に登場しなかったものの、系列が保有する統計的規則性には従っているものが設定された。プライム系列に潜む視触覚量の相関係数は、1.0.0のいずれかであった。すなわち、「かたい感触を得たときには明るい」ように7刺激の量が設定されている試行と、そのような明瞭な関係を含まない試行が存在していた。プライム系列の7刺激に対して、回帰直線を引くことができる。プローブ刺激の量はその回帰直線との距離に応じて5条件(-10, -5, 0, +5, +10)が設定された。視触覚量の回帰直線に対し、プローブ刺激が上にある(触覚量の方が相対的に大きい)場合を正、下にある(視覚量の方が相対的に大きい)場合を負と定義した。

4. 研究成果

(1) 実験協力者は規則性の高い方を選べること、その能力は規則性の実験的な意味をトップダウン的に与えられることが決定的な要素ではないこと、その感度には指向性が無く、「明るいほどかたい」場合と「明るいほどやわらかい」場合のどちらでも同程度に規則性を見いだせること、の3点の実験を通じて明らかとなった。

2つの系列が持つ相関係数の差分ごとに、正答率、すなわち協力者が規則性のより高い系列を選択する率を算出した。もし協力者が規則性を正しく判断できているとすれば、この正答率はチャンスレベル(50%)よりも大きくなり、また系列間の相関係数の差分が大きくなるにつれて正答率も良くなるはずである。

実験1a(11人参加)に関しては、協力者は差分の大きさを問わず、規則性の高低をチャンスレベル以上に弁別できた($t_s > 4.581$, $p_s < .001$, $d_s > 1.381$)。相関係数の差分が大きくなるにつ

れ、選択率は有意に大きくなった ($F(1.64,16.39)=48.041$, $MSe=0.007$, $p<.0001$, $\eta_G^2=.574$)。実験 1b(13 人参加)に関しては、差分が 0.2 のときを除き、規則性の高低の選択率はチャンスレベルを超えていた ($ts>6.856$, $ps<.0001$, $ds>1.901$) (図 3)。また実験 1a と同様、係数差が大きくなるにつれて選択率は大きくなった ($F(1.53,18.4)=39.077$, $MSe=0.010$, $p<.0001$, $\eta_G^2=.521$)。

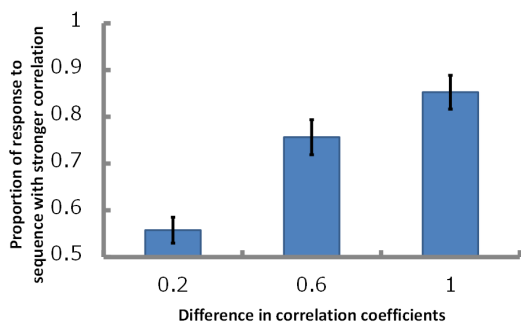


図 3. 実験 1b の成績。相関係数の差分ごとにみた正答率を表す。

実験 2(14 人参加)では正の相関と負の相関に関して、正答率の比較を行った。その結果、輝度と剛性の統計的連関を反転しただけでは、知覚能力の低下はみられなかった。すなわち、「明るいほどかたい」場合と「明るいほどやわらかい」場合のどちらでも協力者が規則性を見出す程度は変わらなかった ($F(1,13)=0.408$, $MSe=0.019$, $p=.534$, $\eta_G^2=.009$)。また、相関係数の差分と相関の正負の間に交互作用は見られなかった ($F(1,13)=0.591$, $MSe=0.007$, $p=.456$, $\eta_G^2=.004$)。

(2) プライム系列の中に潜む視触覚間の規則性は暗に抽出・蓄積され、後の認知活動に影響を与えることがわかった。

Absent 条件の Yes 反応率、すなわち偽物のプローブ刺激に対して誤ってプライム系列に登場したものと虚再認した割合を算出した。もし実験協力者がプライム系列の記憶時に規則性を暗に抽出しており、それが後々の記憶判断に影響しているとすれば、相関係数 1.0 の条件においてはプローブ刺激がプライム系列の成す回帰直線に近いほど Yes と回答する割合が多くなるはずである。一方で、相関係数 0.0 の場合は、そのような傾向は見られないと考えられる。

実験 3(25 人参加)の結果、上記の仮説は支持された(図 4)。プローブ刺激とプライム系列が成す回帰直線との距離別に Yes 反応率を求めたところ、プライム系列が規則性を含んでいる場合(相関係数 1.0 の条件)においては、距離が 0 の時に最も反応率が高く、そこから距離が開くにつれて率が低下することが分かった ($ts>3.778$, $ps<.004$, $ds>1.030$)。一方で、プライム系列が規則性を含んでいない場合(相関係数 0.0 の条件)は、そのような明確な傾向

は見られなかった。

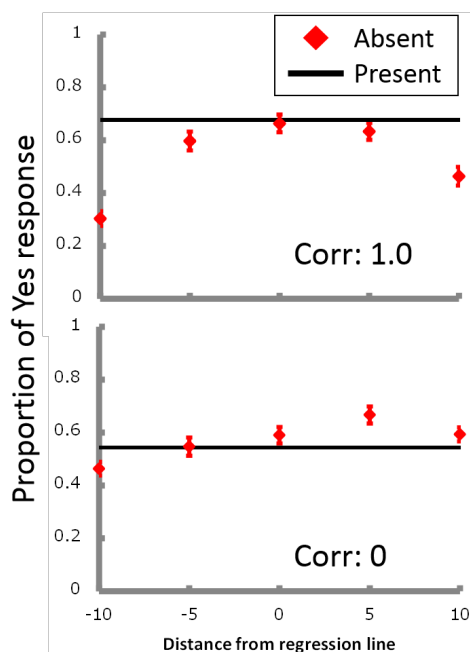


図 4. 実験 3 の成績。視触覚量が成す回帰直線とプローブ刺激の成す距離ごとにみた Yes 反応率を表す。相関係数が 0 の条件においては、相関係数 1 の条件と同じ傾き・切片の回帰直線を仮定し、そこからの距離を算出した。

これらの結果は、我々が共起する個々の視触覚経験を統合し、抽象化された線形規則として理解できることを示唆する。本研究の学術的意義は、視触覚対応の学習過程に関する基礎的な知見を初めて提供すると共に、その過程に対して同時に統計的規則性という理論的な説明を提供することにある。過去の視触覚研究において、その経験蓄積に対して理論展開が積極的になされていたことは無く、その点で本研究は新規性と意義深さを兼ね備えた知見であるといえる。しかしながら、今回の研究は統計的規則性と認知活動の関係を初等的に示したに過ぎないものである。この知見を出発点として、規則性の抽出・利用がどのような環境条件のもとで成立する/しないのか、あるいは他のモダリティにも同様の理論が成立するのかといった、新たな問題を追究するのが今後の課題である。本研究の示した方向性を推し進めることにより、感覚間統合に関する研究における新領域を確立することが期待できる。

また、この知見は特定のモダリティ内で検討されていた統計量知覚を多感覚レベルに拡張するという意味でも重要といえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3 件)

坂野逸紀. 視触覚情報に潜む規則性の抽出, CAPS シンポジウム 「こころと身体

の関係を捉え直す—学際的な身体科学研究の新展開」にて話題提供, 2015/2/21, 関西学院大学(兵庫県西宮市).

坂野逸紀・佐藤暢哉, 視覚・触覚情報間に存在する量的な規則性に対する知覚, 日本基礎心理学会第33回大会, 2014/12/7, 首都大学東京(東京都八王子市).

Banno, H., & Sato, N., Extracting statistical relationship between visual and haptic signals. Poster presented at 15th *International Multisensory Research Forum*, 2014/6/11, Amsterdam (Netherlands).

〔その他〕

ホームページ等

CAPS シンポジウム「こころと身体の間を捉え直す—学際的な身体科学研究の新展開」
<http://kg-caps.com/information/2015/01/30/symposium4/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂野 逸紀 (BANNO, Hayaki)

関西学院大学・文学研究科・博士研究員

研究者番号：00707440