

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500335

研究課題名(和文) 因果推論が多感覚統合プロセスに及ぼす影響の検討

研究課題名(英文) Investigation of the effects of causal inference on the process of multimodal integration

研究代表者

梅村 浩之 (Umemura, Hiroyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・主任研究員

研究者番号：10356587

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では因果関係が知覚認知に及ぼす影響について検討を行った。因果関係が様々な知覚に影響を及ぼすことを示すため、奥行き知覚、時間順序知覚、同時性知覚についての実験を行い、それぞれの知覚において因果関係が影響を及ぼすことが示唆された。また、内省報告の結果や、因果関係の教示後の知覚変容も含めて検討したところ、意識されないが知覚に影響を及ぼす因果関係と、推論としての因果関係が別であることが示唆された。これは先行研究における直接因果が知覚される過程の存在を支持するものであった。

研究成果の概要(英文)：In the present study, I investigated the effect of causality on the perceptual and cognitive processes. For the purpose, I conducted various types of psychological experiments such as on the depth perception, temporal order judgement, and synchronicity. The results of these experiments indicate that the causality affects these perceptual processes. Furthermore, the results from introspection and the additional tasks conducted after telling the participants the possible causality revealed that there might be different processes about causality; one is a process in which a causality is automatically detected and affects other perceptual processes and the other is a process in which a meaning of causality is inferred. These results supports the existence of direct perception of causality which was proposed by previous researchers.

研究分野：心理学

キーワード：因果推論 多感覚統合 視覚 奥行き知覚 時間順序知覚 サイモン効果 触覚

## 1. 研究開始当初の背景

二つの事象が生起したときに、一つの事象が他の事象の原因であると推定するプロセスを因果推論(causal inference)と呼ぶ。この因果推論について心理学の分野では古くから人間の思考や高次認知の分野で研究が行われてきたが、近年、この因果推論が知覚プロセスにおいても重要であるとして徐々に注目をあびつつあった。

複数の事象が同じ情報源から得られたときの知覚プロセスの振る舞いについては、脳における複数の情報の統合問題として多くの研究が行われてきた。このような統合においては、実験的に最終的に知覚される属性値(位置、奥行きなど)はそれぞれの情報源から得られた属性値の重み付け平均となることが報告されており、また、これらの現象についてはベイズ推定をベースとした optimal estimation として定式化されている(e.g. Ernst, Nature, 415, 2002)。しかし、これらの定式化はそれぞれの情報が同一の情報源から発生している事態を説明するためのものであり、それぞれの情報がそもそも同一の情報源であるかどうかについての判断過程とは異なる問題であるという点について、Kording et al(PLoS one, (2)9, 2007)は視覚情報と聴覚情報からの位置推定において、これらの情報が共通の原因から発生しているかどうかを推定するためのモデルを提案し、これが人間の非線形的な情報統合結果をよく説明することを示した。このモデルは Knill(Vision Res, 43, 2003)における Shape from texture において得られる情報源の一つが役に立たなくなった状況を説明しようとしたモデル選択過程による定式化と同じものであり、それぞれが的確に実験結果を説明しており、因果推論の規範モデルであるとされている(Shams et al, Trends Cog Sci, 14, 2010)。

このようにモデル的な背景も定まってきた因果推論が知覚プロセス、特に多感覚の統合プロセスに及ぼす影響の研究であったが、因果関係そのものについて考えると、我々の世界において因果関係はあらゆる場面において存在している。例えば、多感覚統合と関連する場面に限定しても、身体に物体が衝突すれば触覚が生起し、スイッチを押せば明かりがつく、などの事態が存在する。

申請者は過去に腕の運動についての固有感覚が3次元構造の知覚にどのような影響を及ぼすかについて、実験的に検討を行った。具体的には押し込む、引っ張るなどの動作に応じて、対象となる面の3次元的な運動の見え(膨らむ、凹む)に変化があるかについて検討を行った際に、対照実験として視覚刺激の横に呈示された別の物体に対して引っ張る、押し込むという動作を行わせたところ、被験者が押し込む動作を行った際に、一部の被験者において視覚刺激が膨らんで知覚さ

れるバイアスがかかったことを示唆する結果が得られた。この結果の解釈の一つとして考えられるのが、被験者が押し込む動作と物体が膨らむ知覚との間に因果関係を仮定した、すなわち空気ポンプのように押し込むことにより離れた位置にある対象が膨らむような関係を視覚系が利用した結果、奥行きの知覚量に変化があったのではないかというものであった。

## 2. 研究の目的

### (1) 因果推論が知覚プロセスに影響を及ぼす事態の検討

知覚系は因果関係を外界の復元過程に取り入れているのであろうか?本研究の目的の一つは、原因と結果が連続して生起するような事態における因果関係が、多感覚の統合過程をはじめ、様々な視覚認知過程においてどのような影響を与えるのかについて知見を集め、検討を行うことである。

そのような場面の一つとして、上述した「押し込む」という行為が空気ポンプと風船のような関係によって離れた場所に存在する物体の3次元構造の知覚に影響を及ぼすという仮説の妥当性について、実験心理学的に検討し、さらに他の知覚認知過程についても検討を行った。

### (2) 多感覚の統合におけるモデル選択

因果推論が成り立つ状況として、(1)では自己が生成する行為を原因とし、結果の知覚への影響を対象としているが、これに加えて、外界から自己への働きかけにおける因果関係の影響についても検討を行う。これは場面を変えて例証を増やすだけでなく、因果推論が知覚プロセスを変容させる過程をモデル化する上で、自己身体運動はパラメータ化しにくい面があるため、外界に原因刺激をおき、その明瞭度や呈示時間などを操作する。具体的には飛来する物体が衝突し、これを触覚的に知覚する場面を想定している。

## 3. 研究の方法

### (1) 因果推論が知覚プロセスに影響を及ぼす事態の検討

因果推論が知覚プロセスに与える影響を検討するため、身体と環境のインタラクションにおける因果関係を対象とし、実験心理学的手法によってその影響を吟味した。この心理実験ではVR装置を用いて、被験者の行動によって変化する物体や環境から被験者への働きかけをシミュレートし、環境における因果関係の理解などを考慮しながら、因果推論が知覚に及ぼす影響の検討研究を行った。これらに加えて、因果関係を通した、時間順序知覚の変容、身体位置と反応方法が反応時間に及ぼすについて検討を行った。

(1)-① 単眼立体視環境を用いた因果に基づく3次元奥行き方向の見えの検討

ここでは力覚呈示装置及び、視覚と力覚の位置を一致させる装置を用いて平面を押し込むことで、陰影勾配が押し込んだ位置を中心に生成される条件と、左右にずれた位置で生成される条件を比較した。ここで、陰影勾配の方向は面の凹凸の知覚と密接に関係しており、下方に陰影が描かれたときには凸に、上方に描かれたときには凹として知覚され、斜め、側方の場合は徐々に変化していくことを利用し、押し引き運動とその力点の位置に応じて凹凸知覚の割合が変化するかを検討した。また、このとき、被験者は因果関係を理解していたのかによる被験者のサブグループ化や、教示による因果関係の理解が凹凸知覚に与える影響についても検討を行った。

(1)-② 奥行き方向におけるサイモン効果

本研究ではVR装置などを用いて三次元提示を行い、その中で様々な反応をさせるという手法をとっている。しかし、三次元表示・操作が発達しつつある昨今においても、三次元空間における位置情報が反応様式及び反応速度へ及ぼす影響(サイモン効果)は理解されていない。そのため、3次元提示・3次元的な反応を得る実験を行っていく上で、この影響を理解する必要があった。加えてサイモン効果は因果と似ている点もあるが、因果そのものを知覚・経験することはなく、これらの切り分けも必要である。そこで本研究では、奥行き方向と上下方向がどのように反応としての行為と対応しているかの検討を行った。

被験者は各トライアルにおいて提示されるターゲットの色について、できるだけ早く正確にレバーを色に対応した方向へ倒す(赤=奥方向、白=手前方向)ことで回答を行った。ここで、上下方向と奥行き方向についての対応を制御するために、地面及び天井条件が用意された。例えば地面条件においては「奥」に提示された球は同時に「上」に提示されることとなり、天井条件では「奥」は「下」となる。このような提示と反応における2重性を検討することで、3次元空間におけるサイモン効果について検討を行った。

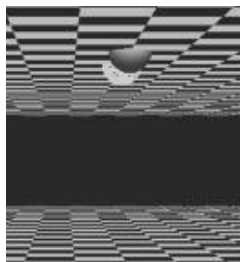


図1, 刺激画像の例. 奥行きは「奥」を指し示すが位置は「下」を示す. 正反応は「手前」であり、これは「奥」と矛盾を起こす.

(2) 多感覚の統合におけるモデル選択

(2)-① 視覚と力覚の方向の一致性が同時性の知覚に及ぼす影響の検討

ここでは因果関係の成立が同時性に影響を及ぼすか、及びこれらの因果関係は意識に上る必要があるのかについて検討するために、物体の衝突場面を視覚呈示と振動によって与えられる触覚刺激の時間をずらして提示し、同時と知覚される時間ずれの範囲の収集を行った。このとき視覚刺激が上から落ちる物体の場合には、これが原因となって生じる触覚刺激は下方向のとき文脈が一致するが、この向きの一致性を通して、視触覚統合における因果の影響を検討した。

一つの仮説は視覚と触覚の間に因果関係が成立(つまり、視覚刺激が示唆する振動の向きと、触覚刺激の向きが同じ)ときに、同時であると知覚される頻度は高くなるというものであり、もう一つの仮説は視覚における信号入力タイミングと触覚における信号入力タイミングのみが重要であり、特に因果関係は影響を与えないだろうというものである。

(2)-② 因果知覚が時間順序知覚に及ぼす影響の検討

ここでは、二つのイベントが時間差をもって生じたときに、刺激画像の内容がこれらの間に因果関係を示唆する場合と、示唆しない場合を比較し、時間順序知覚が画像内の情報・気づき・解釈に影響を受けるかどうかを検討した。これまでにも因果関係が時間知覚をモジュレーションするという現象は報告されているが、これらの現象の生起においては予測の介在が必要であった。ここでは因果事態の予測が不可能となるよう後続の刺激において因果関係を示唆するような画像を作成し、順序知覚、因果関係の評定、内観報告によって、時間知覚の変容と画像内の情報、因果関係への気づき、解釈との関係を検討した。

(2)-③ 自己遂行感に位置が及ぼす影響

因果推論を複数の事象を原因と結果として関連付けるプロセスだと捉えたとき、自己の身体や操作対象の運動において、自分が行動源であるとする自己遂行感は因果推論が深く関与していると考えられる。ここでは、自己の身体の知覚上の位置と計画上の位置のずれをどの程度人間が検知できるかについて検討した。今回の研究においては、行為の開始における時間上のずれではなく、身体位置の空間的なずれについて検討を目的とした。過去の研究はこの時間ずれを手がかりにしたものが多いが、このような場合には休止や方向転換が強い手がかりとなるため、このような手掛かりのない状況での検討が必要であるからである。実験ではターンテーブルの上に手をのせ回転をもらい、その回

転中の自己の現在の運動と時間を遅らせた運動画像を観察してもらい、これをもとにこの能力について検討をした。このとき速度を複数用意することによって、位置と時間のどちらが自己遂行感に影響を与えるのかを検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 因果推論が知覚プロセスに影響を及ぼす事態の検討

##### (1)-① 単眼立体視環境を用いた因果に基づく3次元奥行き方向の見えの検討

平成24年度に行った実験においては、陰影の方向による方法を取り入れておらず、陰影の強さが制御できず、位置や解釈の効果を検討することはできなかったが、26年度には、方法の節にて述べた陰影の方向を変化させる手法を用いることで視覚情報における単眼立体視でがかりの強さ(=奥行き方向の知覚されやすさ)を制御することができた。その結果、能動的な行為においても視覚的な奥行き方向の促進を示す結果が得られた(図2上)。まず、この点については、これまでに能動的に面を押し引きする動作と出っ張ったり凹んだりする視覚情報との統合においては、両眼立体視で視覚情報が与えられる場合には、触覚情報は統合されないという結果が得られていた。一方、受動的に力が与えられる場合には、触覚情報に視覚情報が引っ張られるという結果も得ている。これらは能動的に押し込む場合には予測が働き、両眼視差情報に含まれる定量的な奥行き量とのずれを検出しやすいためと考えられ、単眼の場合にはこの定量的な奥行き量が得られないため、受動的な条件と同様に統合が促進されるのではないかと考えられる。これは、因果関係を基にした多感覚情報の統合が、お互い(この場合は視覚情報だけだが)が持つ情報の質により変化することを示す結果であった。

また、位置ずれにより因果内容が変化するかという点については、実験の結果、位置がずれると押し込むという動作に対して、膨らむという知覚が増加するという傾向を示した(図2下)。だが、被験者たちはそのような解釈を積極的に行っていたという報告はなく、言われたらそうなのかもしれない、という程度であった。また、このことを知らせた後に同じタスクを課しても大きな変化は見られず、因果関係が知覚に影響を及ぼす際に、明示的な関係を意識する必要がない可能性を示唆するものであった。

これらの結果は、国際学会で発表され、一部は論文として掲載済み、一部は投稿準備中である。

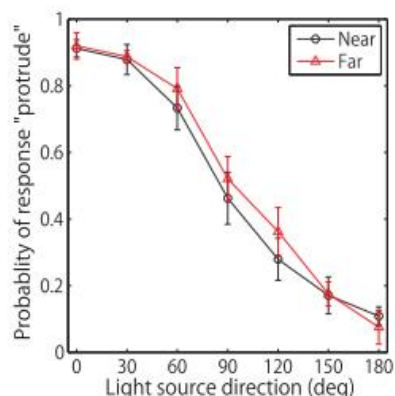
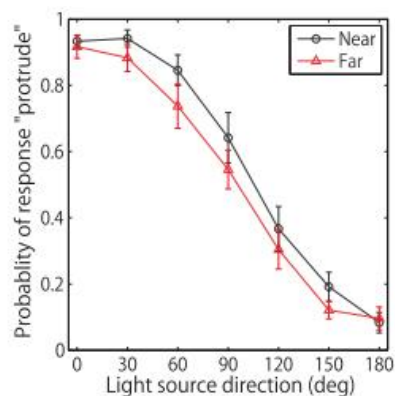


図2: 実験結果. Near, Far は押し込み方向を示す. 上は押し込み位置と陰影変化位置が一致している条件, 下は10 cmずれている時の結果を示す. Far(押し込み動作)においては、位置が一致している時に凹んで知覚される確率が高いが、位置が異なるときには逆の関係を示す。

##### (1)-② 奥行き方向におけるサイモン効果

実験の結果、奥行き・上下方向と回答方向が一致するときに最も反応が速いという結果が得られ(図3)、これは本実験においてSimon効果がみられたことを示すものであった。奥行き方向と上下方向についてはそれぞれが影響を与えており、これらは加算する形で反応時間を増加させた。これらの干渉が加算されて影響を及ぼしたという結果は、上下と奥行きが別々にそして同時に符号化されており、それぞれがアクションに対する干渉を起こしていることを示唆している。また、三次元における奥行き方向の干渉が二次元における上下干渉より影響が大きかった。

これらの結果は国際学会にて発表され、また、論文としてまとめられ国際誌に掲載された。

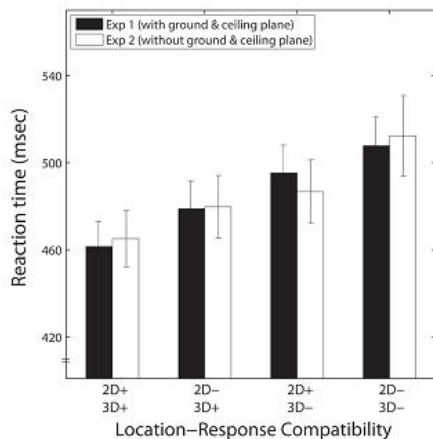


図3:実験結果. +は画像上における上下(2D)または奥行き(3D)と反応生成との間におけるマッチングにおいて矛盾がないことを示す. 2D, 3D共に矛盾が増えるに従い, 反応時間は増加している.

## (2) 多感覚の統合におけるモデル選択

### (2)-① 視覚と力覚の方向の一致性が同時性の知覚に及ぼす影響の検討

実験の結果は, 視覚と触覚の間に因果関係が成立, つまり, 視覚刺激と因果関係が示唆する振動の向きと, 触覚刺激の向きが同じであったときに同時であると知覚される頻度が高くなるというものであった. これは原因と結果として一貫性があるときに同時知覚が促進されることを示している. また, 被験者に力覚提示装置の引き起こす振動の向きを考慮したかを尋ねたところ, 多くの被験者は向きがいろいろあるのは気づいていたが, 各トライアルにおいて, どちら向きだったかを考慮することはなかったと答え, また一部の被験者は向きが様々に存在すること自体に気づいていなかった. この点について, これら2種類の被験者でどの程度違いがあるのかの詳細な検討も含め, 現在追試を計画している.

### (2)-② 因果知覚が時間順序知覚に及ぼす影響の検討

実験の結果は刺激画像において後続する運動が示唆する先行刺激と後続刺激の因果関係によって, 時間順序知覚が修正されるというものであった. また, 画像が示す因果関係の種類によって時間順序の修正への影響には差が見られた. これは画像の中に複数の因果関係が存在していることを示唆するものであり, 分析の結果, 片方の因果関係に気づかない被験者は, この因果関係からの影響を見せなかったという結果が得られた. これは画像の示唆する内容と脳内における事前知識との照合が行われるとするベイズ推定において, 複数の文脈が競合的に選択されるというモデルで説明できると考えられる. これらの結果については, 論文として投稿中である.

ある.

### (2)-③ 自己遂行感に位置が及ぼす影響

本研究からは, 空間位置のずれだけでも, 動かしやすい速度(一周1秒)であれば, 動かしはじめといった時間ずれの手がかりとしやすい場面と同じぐらいの精度でずれが検出できることが示唆された. しかし, 運動速度が速い, もしくは遅い条件では検出の感度は悪化した.

また, 一つの仮説として, 身体を動かそうと計画している方向とすでに過ぎた方向については感度が異なるのではないかという説について検討を行った. 映像の時間をずらすだけでは先の方向への提示は当然不可能であるが, 今回の実験は円運動を繰り返すために約一周前の動きを提示することができ, これをもとにこの仮説について検討を行った. その結果は進行方向にかかわらず, 位置のずれの大きさのみで判断を行っていることを示唆するものであった.

## 総合考察

これら様々な実験の結果は因果関係が3次元構造や同時性, 時間順序の知覚に影響を及ぼすことを示唆するものであった. 過去の研究は, 因果知覚は直接的なものであり, 推論などの影響とは別であると提案しており(例えば Michotte, A, *The perception of causality*. 1963), 今回の結果も因果知覚と捉えれば, 知識として因果関係を教唆しても知覚に影響が見られなかった(1)-①や向き情報との関係に気づかなかった(2)-①はこの推論と知覚が異なる過程であるとするので説明ができる. ただ, (2)-②では因果関係に気づいていた被験者と気づいていなかった被験者との間で差が出るという結果であった. この点については, 因果知覚と因果解釈においても異なる段階を仮定するべきなのだと考えられる. 因果知覚(複数の感覚を統合する過程も含め)は直接的・自動的であり, 無意識的な過程であり, (1)-①や(2)-①のような場合においても, (2)-②のような場合においてもそれは同様であるが, この(2)-②では因果情報が rich であること, 過去の記憶と照合がしやすかったことにより, 因果関係を知覚した被験者の中はおよそその意味にも気づき, 解釈・言及できたが, 因果知覚の成立しなかった被験者においては, その因果関係の意味には気づきにくいのだと考えられる. これらの因果知覚~解釈の段階については今後検討が必要だと考えている.

## 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)

[雑誌論文] (計2件)

① H. Umemura, Independent effects of

2-D and 3-D locations of stimuli in a 3-D display on response speed in a Simon task. *Frontiers in Psychology*, 6, 1302, (査読あり) doi: 10.3389/fpsyg.2015.01302

② H. Umemura, Effects of haptic information on the perception of dynamic 3-D movement. *PLOS ONE*, 9, 9, (査読あり) doi: [10.1371/journal.pone.0106633](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106633)

[学会発表] (計 3 件)

① H. Umemura, Identification of self-produced movement based on positional information, European Conference on Visual Perception, Belgrade, 2014/08/26

② H. Umemura, Cue-dependent effect of active hand movement on visually perceived depth. International Multi-sensory Research Forum, Pisa, Italy, 2015/06/15

③ 奥行き方向における Simon 効果, 梅村 浩之, 日本心理学会第 78 会大会, 京都, 2014/09/14

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梅村 浩之 (UMEMURA, Hiroyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・バ

イオメディカル研究部門・主任研究員

研究者番号：10356587