

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730073

研究課題名(和文)ものの重さを知覚するために感覚情報を統合する脳内メカニズムのモデル化

研究課題名(英文)A neural mechanism of weight perception caused by sensory integration

研究代表者

神原 裕行(Kambara, Hiroyuki)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号：50451993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：重さの知覚メカニズムを解明するために、バーチャルリアリティシステムを利用した環境下で、重さの知覚に関する心理物理実験を行った。物体が3次元空間を動く物理シミュレータを用いた実験では、物体の動きに応じて重さの知覚がどのように変化するかを検証し、重さの知覚が物体の動く速度と重さについての物理的な特性に関する事前知識に基づいてベイズ推定的に行なわれていることを示唆する結果を得た。さらに、腕の筋電信号を用いて制御されるロボットアームに物体を保持させた実験によって、物体の大きさ、物体のを保持するための遠心性の運動指令、物体保持後の動きの情報が重さの知覚に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：To investigate the mechanism of weight perception, we conducted psychophysics experiments using virtual reality system. In the experiment using a physics simulator of the cubic objects moving 3-dimensional world, we found a possibility that our brain is utilizing prior knowledge about the relationship between the speed and the mass of objects and the weight perception might be the result of Bayesian inference using those prior knowledge. We also conducted the experiment in which subjects hold several objects by robot-arm controlled by the subjects' EMG signal. We found that the information about the size of objects, efferent motor command signal, and the trajectory of the objects play important role on weight perception.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：重さの知覚 心理物理実験 計算論的神経科学

1. 研究開始当初の背景

重さの知覚は、物体の物理的な質量だけでなく、見た目と言った視覚的な情報にも影響を受ける。そのことを顕著に示す例として Size-Weight Illusion (SWI) という現象がある。これは、大きさは異なるが質量が同じ二つの物体を交互に手に取ると、小さい方の物体を重く感じてしまう錯覚現象である。SWI に関連した過去の研究によって、見た目から受ける重さの予測値が、重さの知覚に影響を与えていることを示唆している。しかし、重さの予測値が感覚情報とともに、どのように重さの知覚に影響を与えているかは解明されておらず、SWI がどのような脳内情報処理によって生じるのかは未だにはっきりしていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、重さの知覚のメカニズムの数理的なモデル化にある。具体的には、ものを持ったときに知覚する重さが、視覚情報をもとにした持つ前の重さの予測値と体性感覚情報から得た重さの情報を統合して決定される仕組みを心理物理実験を通して検証することである。

3. 研究の方法

(1) 物体の動きに関する視覚情報が重さの知覚に影響を与えるかを調べるために、物体が斜面を滑り落ちる物理運動の様子をタブレット装置の画面に表示する物理シミュレータを開発した。また、斜面の角度はタブレット装置の角度に応じて変化するようにした。実験中、被験者にはタブレット装置を両手で持った状態で椅子に座ってもらい、画面上に表示された色の異なる二つの物体が斜面を滑り落ちるようにタブレットの角度を傾けるように指示し、どちらの物体が重いかを判断するタスクを行ってもらった。物体の質量に関しては、一つの物体の質量は 150g に固定し、もう一方の質量を 68~1000g の間で試行では、ランダムに決定した。なお、物体の重さは斜面を滑り落ちている物体の終端速度に影響を及ぼし、物体が重ければ重いほど終端速度が速くなる。また、各被験者には、タブレット装置の傾ける角度を、1) 水平面から 45 度以下、2) 水平面から 45 度以上に制限した二つの異なる条件下でタスクを行ってもらった。

(2) 物体の視覚情報だけでなく、物体を持つ際の脳からの遠心性の信号である運動指令がどのように重さの知覚に影響を与えているかを調べるために、表面筋電信号 (EMG) を用いて制御される手首ロボットアームに物体を保持させた際の重さを判断させる心理物理実験を行った。ロボットアームを用いて物体を保持することにより、実際に手で保持した際に生じる体性感覚を取り除くことができる。実験を行う前にまず、前腕の筋肉

の EMG から手首が発揮している関節トルクや、手首関節の硬さを表現するスティフネス、さらに手首の関節角度を推定する筋骨格モデルを被験者毎に作成した。そして、それらの筋骨格モデルを用いて EMG から推定される関節トルクとスティフネスを実現するように手首のロボットアームが制御される状況において、ロボットアームに乗せられる物体を保持するタスクを被験者に行ってもらった。実験中の各試行では、大きさや重さが異なる数種類の物体の中から二つの物体を選択し、被験者にはそれら交互に保持するようにロボットアームを制御してもらい、その後、どちらの物体が重かったかを判断してもらった。

4. 研究成果

(1) タブレット装置を用いた実験の結果、被験者全体が 3 つのグループに分かれた。一つ目のグループは、タブレットの角度を 45 度以下と 45 度以上に制限した二つの条件ともに終端速度が速い物体ほどより重いというように知覚した。二つ目のグループは、逆に二つの条件ともに終端速度が遅いほど物体が重いというように知覚した。最後のグループは、タブレットの角度を 45 度以下に制限した斜面がなだらかな状況では、遅く動く物体ほどより重くと知覚し、タブレットの角度を 45 度以上に制限した斜面が急な状況では、速く動く物体ほどより重くと知覚するようになった (図 1)。以上の結果は、物体の動きに関する視覚情報が物体の重さの知覚に影響

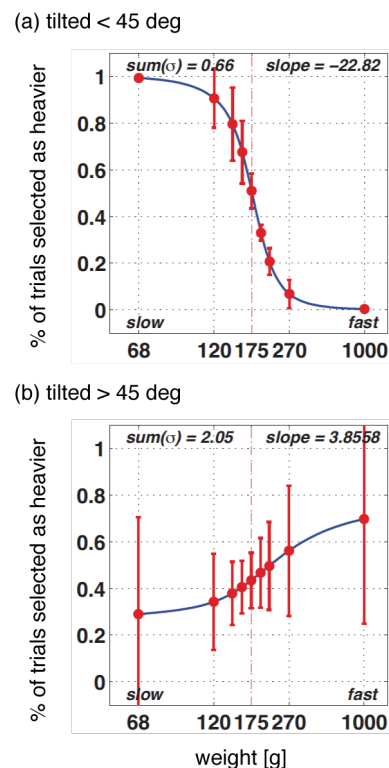


図 1. 重さの知覚特性

響を及ぼしていることを示唆する。また、このことは、重さの知覚が物体の動く速度と重さについての物理的な特性に関する事前知識に基づいてバイズ推定的に行なわれていることを示唆している。一方で、被験者全体の重さ知覚の特性が被験者ごとに異なっていた事実は、物体の重さと動きに関する物理的な事前知識が人によって異なることを示している。物体が自由落下する場合には、その終端速度は物体の質量と相関して大きくなる。一方、物体が平面を一定の力で押されている場合、その速度は物体の質量が重いほど小さくなる。一つ目のグループは、タブレットの角度によらず物体の運動を自由落下に近い運動と捉えて、速く動く物体ほど重いと知覚し、二つ目のグループは逆に、タブレットの角度によらず物体の運動を平面を押されている物体と捉えて、遅く動く物体ほど重いと知覚した可能性がある。一方、タブレットの角度に応じて重さ知覚の特性が反転した三つ目のグループは、タブレットの角度が小さい条件では物体の運動を平面を押されている物体と捉えて、タブレットの角度が大きい条件では物体が自由落下に近い運動をしていると捉えた可能性がある。さらに、追加実験として、斜面のテクスチャを摩擦が小さいと思われる氷として同様の実験を行った結果、三つ目のグループはタブレットの角度が小さいときでも、速い物体ほど重いと知覚した。このことは、三つ目のグループが周りの状況に応じて物体が動きに関する物理モデルを切り替えて、その物理モデルに基づいた形で物体の動きから重さを知覚している可能性を示唆している。

(2) ロボットアームを用いた実験を行った結果、大きさが同じで50g程度の重さの違いがある二つの物体であっても、どちらが重いかを比較的高精度で判断できることが確かめられた(図2)。同様の物体を実際の手で保持した場合でも、50g程度の差では重さの大小を間違えることがあることから、ロボットアームを用いた場合でも実際の手で保持した場合とほぼ同程度の精度の重さの判断が行えていることが示唆される。また、大きさが異なるが重さは同じでも二つの物体を保持した際には、小さい物体の方を重いと答える確率が高いことも確認できた。したがってロボットアームを用いた場合でもSWIといった重さの錯覚現象が再現できることが確かめられた。これらのことから、物体の大きさに関する視覚情報と、物体を保持するための遠心性の信号である運動指令、さらに実際に物体を保持した際の動きに関する視覚情報が、重さの知覚において重要な役割を果たしていることが示唆される。また、運動指令や物体の動きに関するどのような情報が重さの知覚に大きな影響を及ぼしているかを調べるため、物体の体積、物体を保持する前後のスティフネスの平均値、物体を保持する

percentage as answering heavier

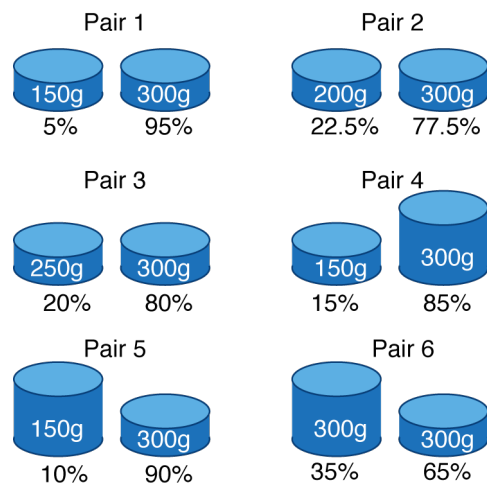


図2 ロボットアームを用いた重さの判別結果

前後の手首関節の平衡位置の平均値、物体を保持する前後のロボットアームの関節角度の平均値を求め、それらの7つの値を用いて被験者の重さの判断が正しく推定できるかを線形判別分析を用いて行った。その結果、9割程度の正答率で被験者の重さの判断が推定できることが確かめられた。また、線形判別器の重みの絶対値を調べた結果、物体の大きさや物体保持後のスティフネスや関節角度に関する重みが大きくなっていることがわかり、これらの情報が重さの知覚に重要な役割を果たしていることが示唆された。

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1件)

Kalanyu Zintus-art, Duk Shin, Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Yasihar Koike, Individualistic weight perception from motion on a slope, Scientific Reports, 査読有, vol.6, Article number: 25432 (2016)

〔学会発表〕(計3件)

神原 裕行, Computational models for reaching control and their usage for predicting patient movements, 高齢化社会と情報システムワークショップ, 東京理科大学葛飾キャンパス, 東京, 2016年3月

Hiroyuki Kambara, Naoto Hama, Toshihiro Kawase, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike, Neuroscience 2015, マコーミックプレイス, シカゴ(アメリカ), 2015年10月

神原 裕行, 川瀬 利弘, 辛 徳, 吉村

奈津江, 小池 康晴, 三次元空間の到達
運動学習・制御モデル, 電子情報通信学
会・ニューロコンピューティング研究会,
沖縄科学技術大学大学院, 2015年6月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神原 裕行 (KAMBARA Hiroyuki)
東京工業大学・精密工学研究所・助教
研究者番号：50451993

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

ZINTUS-ART Kalanyu