

実環境における大きさ重さ錯覚現象と手先運動の画像計測

谷野 徹也, 黄 健, 友國 伸保

Measurement of Size-Weight Illusion and Hand Movements in Real Environment

Tetsuya TANINO*, Jian HUANG* and Nobuyasu TOMOKUNI*

Abstract

In this study, experiments of weight detection in real environment have been made. A real time multi-camera system was used to measure the motion of the lifted bottles during weight detection. The size-weight illusions were confirmed in most groups for almost all subjects. Results of the lifting height, velocity and acceleration of the bottle's motion are computed and an interesting relationship between the motion information and the occurrence rate of illusion are demonstrated. Method of time profile analysis was also made for all experiments. The results show that the time period of dropping the bottle is notably longer than the time period of lifting the bottle. This fact provides a strong evidence to support our hypothesis proposed in the previous study that the weight cognition is achieved in the later half of the up-down movement.

Key Words: Force detection, Weight detection, Illusion, Size-weight illusion

1. はじめに

大きさ重さ錯覚現象とは、同じ重さであっても、体積の大きなものほど軽く感じ、小さなものほど重く感じるという知覚の錯覚現象のことである。従来に操作者が画面に提示された映像を見ながらハプティックデバイスを受動的に動かして、重さの感覚を評価するという実験を行ってきた^{1)~3)}。しかし、操作者が力感覚提示装置を能動的に持ち上げる実験において、手先の運動と力感覚の関連について明らかになっていない。

一般に、実環境において人間は物体を能動的に振ること

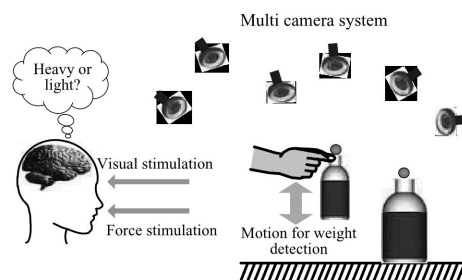


Fig.1 Schematic diagram of the measurement

*近畿大学工学部知能機械工学科

によって物体の重量を知覚する。著者らは、従来の研究を踏まえて人間が実環境で大きさ重さ実験を行うときの能動的な運動に注目し、ボトルの運動特徴を画像計測することによって、その運動特徴と力知覚の関連を測定した^{4,5)}。本論文では、図1に示すようにボトルの持ち上げ作業、持ち下ろし作業においての手先運動を測定し、ボトルを持ち上げる高さの変化や持ち上げる手の変化と重さ知覚の関連を調べる。

2. 測定システム

本稿では、6台の小型CCDカメラ(60fps)によって構成される3次元リアルタイムトラッカシステム(PRO-TrackerII,ディテクト(株))を用いる。

大きさ重さ錯覚実験では、大きさの異なる3種類の総数50個のペットボトルを使用する。用意したペットボトルは中身が見えないように外側をテープで覆っており、ボトルの中には水を入れて任意の重さに調整している。実験では、被験者がペットボトルを指定した方の片手で掴み、用意した台の上段から下段、または下段から上段に移動させる作業を行う。ボトルの運動軌跡を計測するため、ボトルの蓋に光反射マーカを貼り付け、重さ知覚運動時のボトルの運動情報をモーションキャプチャシステムによって画像計測する。本稿では便宜上、「持ち上げ運動」を「UP動作」、「持ち下ろし運動」を「DOWN動作」と表現する。

実験に用いるペットボトルは、2リットルと1リットル、2リットルと0.5リットル、1リットルと0.5リットルの3種類の組み合わせがあり、比較重さは200g、300g、400gに設定した。実験に用いた作業台を図2に示す。

本論文では、ボトル体積の大小関係によって、*PatternA*、*PatternB*、*ダミー*の3つのパターンで構成される計25組のペットボトルを用意した。*PatternA*は、基準となるボトルが大きく、比較となるボトルが小さい組み合わせである。*PatternB*は、基準となるボトルが小さく、比較となるボトルが大きい組み合わせであり、残り7組は、被験者がボトルの重さに慣れるのを防ぐため、上記の重さとは異なるダミーを加えてある。内訳は*PatternA*、*PatternB*、が9組、*ダミー*が7組であり、試行する順番はランダムに発生させるが、同じパターンが連続しないようにしてある。

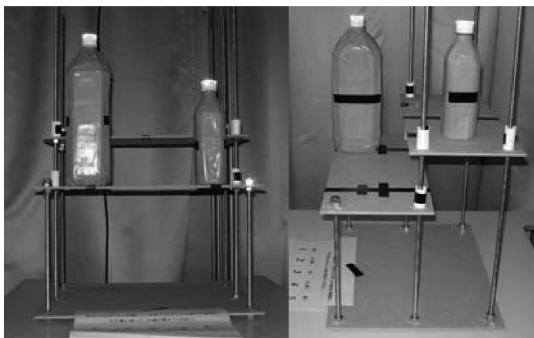


Fig.2 A platform used in our study

3. 実験方法と測定結果

3・1 実験方法

シャルパンティエ効果を知らない健康者の男性10人(平均21歳)を被験者とし、実験条件、運動などの分類は表1のように設定した。被験者には、基準となるボトル、比較となるボトルの順番に指定の作業を行ってもらい、作業直後に口頭で、基準のボトルに対して、表2に示す5段階で比較のボトル重さの感覚を評価してもらい、評価は1試行ごとに答えてもらうものとし、25回の試行は5回毎に10秒ほどの間を持たせ、連続で行う。

実験C0について、ボトルの重さを垂直な持ち上げ持ち下ろしの一往復の移動のみで比較し、評価させる。ボトルの持ち上げ高さについて、被験者に対して強制しないものとする。左右に振るなどの上下運動以外の動作は禁止した。

実験C1、C2について、下段から上段へボトルを移動させる運動を行い、UP運動に限定した錯覚実験を目的とする。実験C1で利き手、実験C2で非利き手を行う。段差は30cmであり、ボトルの持ち上げ高さについて、必要以上の持ち上げは避けてもらった。

実験C3、C4について、上段から下段へボトルを移動させる運動を行い、DOWN動作に限定した錯覚実験を目的とする。実験C3で利き手、実験C4で非利き手を行う。段差は30cmであり、ボトルの持ち上げ高さについて、必要以上の持ち上げは避けてもらった。また、左右に振るなどの上下運動以外の動作は禁止した。

Table1 Movement in weight detection

実験	手	動作	段差
C0	利き手	UP-DOWN動作	-
C1	利き手	UP動作	30cm
C2	非利き手	UP動作	30cm
C3	利き手	DOWN動作	30cm
C4	非利き手	DOWN動作	30cm

Table2 Evaluation of the weight perception

Light	<<<<	Same	>>>>	Heavy
1	2	3	4	5

3・2 実験結果

以下に実験C0~C4の結果について述べる。実験C0に関しては運動解析の結果、実験C1~C4に関しては評価値、錯覚発生率、運動解析の結果について述べる。

3・2・1 実験C0 UP-DOWN運動

図3に示すように、持ち上げ高さは被験者によってばらつきがあるものの、個人別に見た場合、持ち上げる重量、錯覚発生の有無にかかわらず持ち上げ高さはほぼ一定となった。利き手よりも非利き手のほうが若干高く持ち上げる傾向が見られたが、持ち上げ高さの評価値への影響は確認できなかった。

また、被験者により運動速度、加速度は異なっている傾向があったが、左右の手による速度、加速度には傾向の違いが確認されなかった。一方、UP動作時の最大速度の方が、DOWN動作時の最大速度よりも大きい傾向があり、同様に、加速度についても同じ結果が得られた。

画像計測の結果を用いて図4に示す方法で手先の運動時間を解析した。図5に示すように全ての被験者にUP動作に掛かる時間より、DOWN動作に掛かる時間が長い傾向が得られた。運動の後半に重さの知覚に何らかの関連があると考えられる。

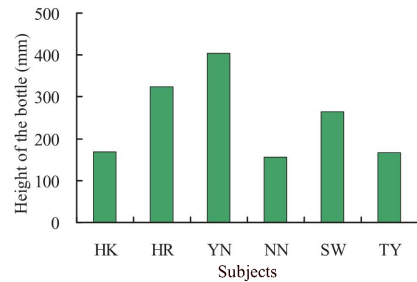


Fig.3 Height of the bottle

3・2・2 実験 C1~C4 動作の評価値の結果について

今回行った各実験における、評価値の結果を表3に示す。表はダミーの試行を除いたうえで、ランダムに行った試行をパターン、ボトルの重量で分類している。表3を見て分かるようにすべての実験において、PatternAでの評価値が3以上、PatternBでの評価値の平均値が3以下となり、大きさ重さ錯覚現象は確認された。

3・2・3 実験 C1~C4 動作の錯覚の発生率について

今回行った各実験における錯覚発生率の結果を表4に示す。表4から、同一の動作における左右の腕の錯覚発生率を比較すると、C1<C2, C3>C4となり、利き腕、非利き腕による錯覚発生率の差がみられない。次に、同一の腕における動作の違いによる錯覚発生率を比較すると、C1>C3, C2>C4となり、持ち上げるUP動作の方が、錯覚が発生しやすい傾向が表れた。

表5では、C1~C4の計測結果を、動作と腕で分類している。錯覚発生率について、表4同様にUP動作の方がDOWN動作よりも高い傾向がある。利き手と非利き手による違いについては、PatternAの場合に限り、利き手よりも非利き手の場合に錯覚発生率が高くなるという傾向が見られる。また、持ち上げる重量が200の場合と400の場合では、PatternAとPatternBでは錯覚発生率が大きく異なり、逆の傾向が見られている。

3・2・4 時間解析

本実験ではボトルにマーカーを付け、ボトルの運動をモーションキャッチャーによって画像測定している。実験C1~C4測定結果からUP動作、DOWN動作におけるそれぞれの運動時間 T_p を算出した。DOWN動作での運動時間 T_p は、図6に示すように位置の最大値から最小値までの時間とし、UP動作での運動時間 T_p は、位置の最小値から最大値までの時間としている。実験C0では、位置の最小値を基準に、始めと終わりまでの時間としている。

左右両手や動作の違いによる運動時間 T_p を図7に示す。図7に示された結果を比較すると、UP動作の方の運動時間 T_p が短く、平均時間を求めるとUP動作はDOWN動作の6割程度の時間しかないことが分かった。

4. 考察

人間の重さ知覚運動が行われた場合、その運動の後半で

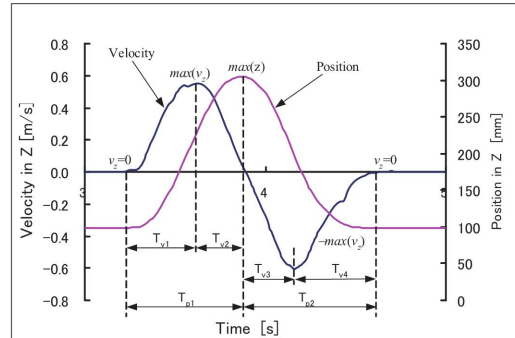


Fig.4 Time profile analysis

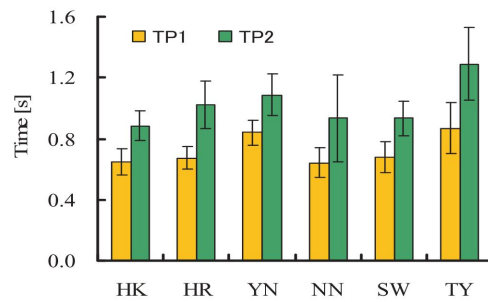


Fig.5 Results of time profile analysis for C0

Table 3 Evaluation obtained in the experiments of C1~C4

Pattern	重量	C1	C2	C3	C4
(a)	A+B ALL	3.0	3.1	2.9	3.1
(b)	A+B 200	2.8	2.7	2.5	2.6
(c)	A+B 300	3.1	3.3	3.0	3.1
(d)	A+B 400	3.3	3.4	3.2	3.6
(e)	A ALL	3.8	4.0	3.7	3.8
(f)	A 200	3.3	3.4	3.1	3.1
(g)	A 300	3.9	4.2	3.7	3.8
(h)	A 400	4.3	4.4	4.2	4.4
(i)	B ALL	2.3	2.3	2.1	2.4
(j)	B 200	2.2	2.0	1.9	2.0
(k)	B 300	2.2	2.3	2.2	2.3
(l)	B 400	2.3	2.4	2.2	2.8

Table 4 Occurrence rate of illusion in C1~C4

Pattern	重量	C1	C2	C3	C4
(a)	A+B ALL	64.44	67.78	63.33	57.78
(b)	A+B 200	48.33	56.67	48.33	48.33
(c)	A+B 300	71.67	73.33	68.33	63.33
(d)	A+B 400	73.33	73.33	73.33	61.67
(e)	A ALL	66.67	71.11	55.56	63.33
(f)	A 200	33.33	36.67	20.00	26.67
(g)	A 300	76.67	86.67	66.67	66.67
(h)	A 400	90.00	90.00	80.00	96.67
(i)	B ALL	62.22	64.44	71.11	52.22
(j)	B 200	63.33	76.67	76.67	70.00
(k)	B 300	66.67	70.00	70.00	60.00
(l)	B 400	56.67	56.67	66.67	26.67

重さを知覚しているのではないか、という仮説を従来の研究で立てていた。

実験 C0 の結果では、UP-DOWN 動作において、後半における運動時間は前半よりも長い傾向にあった。この結果は仮説を支持できる結果であると考えられた。しかし、UP-DOWN 動作では前半と後半に行う動作が異なり、後半の時間の長さには、ボトルを台に置くという接地にともなう減速が大きく関係していると考えられる。一般に物を置く動作には減速が行われるため、後半の DOWN 動作が長くなったのではないかと考えられる。実験 C0 ではこの影響の検証ができなかった。

UP 動作と DOWN 動作を個別に行う C1~C4 の実験は、これの検証実験として行われた。C1~C4 の時間解析の結果から UP 動作よりも DOWN 動作の方が長い傾向が得られた。UP, DOWN 動作を別けた場合においても DOWN 動作の方が長い結果が得られた。

5. まとめ

本稿では実環境における人の大きさ重さ錯覚現象に視点を置き、モーションキャプチャ画像計測システムを用いて重さ知覚と手先運動の関連について検討した。従来の研究の結果を踏まえて、本稿では持ち上げ運動と持ち下げ運動、利き手と非利き手での重さ知覚運動について実験を行った。

一般的に利き腕と非利き腕では、利き腕の方が感覚、運動ともに繰り返し学習により優れているように思えたのだが、本論文の実験結果では、左右の腕の感覚に大きな差が示されなかった。しかし、非利き腕の錯覚発生率が *PatternA* の場合のみが高く表れている。また、持ち上げる重量によっては *PatternA* と *PatternB* において錯覚発生率が真逆の傾向を見せた。

画像計測の結果を用いて手先の運動時間の解析を行った。すべての被験者や運動パターンにおいて持ち下げ運動の時間が運動開始直後の持ち上げ運動の時間より長いという興味深い結果が得られた。この結果は、従来に提案した重さの知覚が運動後半に得られたという仮説の証明に重要な手係りを与えたと考えられる。

文 献

- (1) Hara, M., Higuchi, T., Ohtake, A., Huang, J. and Yabuta, T., "Verification of Haptic Illusion Using a Haptic Interface and Consideration on Its Mechanism," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.18, No.4, pp.476-488, 2006.
- (2) 大竹理香, 原正之, 黄健, 藪田哲郎, "ハプティックインタフェースを用いた力感覚と錯覚現象の計測", *計測自動制御学会論文集*, Vol.43 No.8, pp.699-701, 2007.
- (3) 原正之, 山岸武生, 芦高直哉, 黄健, 藪田哲郎, "力覚提示装置を用いた人間の重さ知覚精度の検証", *ロボティクス・メカトロニクス講演会'07, 1A2-F03*, 2007.
- (4) 黄健・谷野徹也・石川貴大, モーションキャプチャを

Table 5 Occurrence rate of illusion in C1~C4

Pattern	重量	ALL	UP	DOWN	Dominant	Inferior	
(a)	A+B	ALL	63.33	66.11	60.56	63.89	62.78
(b)	A+B	200	50.42	52.50	48.33	48.33	52.50
(c)	A+B	300	69.17	72.50	65.83	70.00	68.33
(d)	A+B	400	70.42	73.33	67.50	73.33	67.50
(e)	A	ALL	64.17	68.89	59.44	61.11	67.22
(f)	A	200	29.17	35.00	23.33	26.67	31.67
(g)	A	300	74.17	81.67	66.67	71.67	76.67
(h)	A	400	89.17	90.00	88.33	85.00	93.33
(i)	B	ALL	62.50	63.33	61.67	66.67	58.33
(j)	B	200	71.67	70.00	73.33	70.00	73.33
(k)	B	300	64.17	63.33	65.00	68.33	60.00
(l)	B	400	51.67	56.67	46.67	61.67	41.67

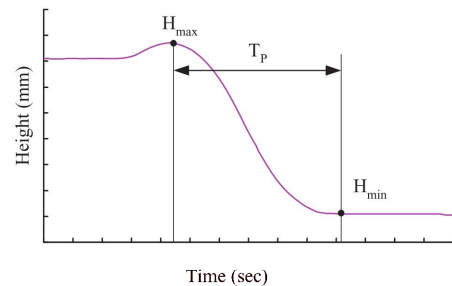


Fig.6 Time profile analysis for C1-C4

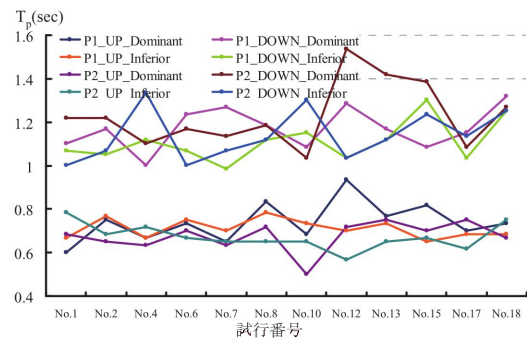


Fig.7 Results of time profile analysis of two hands in different motions

用いた実環境での大きさ重さ錯覚現象の画像計測, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会講演論文 CDROM, 3L1-06, 2009.

- (5) 黄健・谷野徹也・石川貴大・畠田直輝, 実環境における重さ知覚運動の画像計測, 第 10 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文 CDROM 1C2-1, 2009.