

# 物体変形の視触覚時間順序判断における変形特性の効果<sup>1</sup>

高橋 康介<sup>2</sup>  
齋木 潤

京都大学大学院情報学研究科

京都大学大学院人間環境学研究科・日本科学技術振興機構

We investigated how the dynamic characteristic of the perceived object affects the process of temporal order of the object between different modalities. The observers estimated which visual or haptic object deformed first, or whether visual and haptic deformation was simultaneous or not. The duration of the deformation was 400, 800, or 1200 ms. The results revealed that the observers perceive visual and haptic deformation was simultaneous when visual deformation precedes haptics, and the amount of the visual precedence increased as the duration of the deformation became short. The higher-level perceptual system that processes the dynamic characteristic of the perceived object would strongly affect the judgment of temporal order.

Keywords: temporal order judgment, multi-modal perception, vision, haptics.

## 問題・目的

複数の感覚を通して対象を知覚する際には感覚間の時間的な整合性を保つことが重要となる。感覚間相互作用の時間特性は異種感覚時間順序判断課題(TOJ)により検討されてきた(Spence et al., 2001)。TOJでは瞬間呈示刺激の呈示順序を判断する課題が行われ、感覚間の刺激呈示時刻が同時ではない時に主観的に同時と知覚される感覚間時間的非対称性などが知られている。日常的に生じる事象の多くは時間的な幅を持ち、かつその時間内で情報は変動するが、知覚対象の動特性が感覚間相互作用の時間特性に及ぼす影響は不明である。本研究では動的に変形する物体を見ながら触り、視覚と触覚で変形が生じた時間順序を判断するTOJ課題、及び両感覚の変形が同時であったかを判断する同時性判断課題を行い物体の変形時間の効果を検討することで、感覚間相互作用における時間特性に対して知覚対象の動特性が与える効果を検討した。

## 方法

実験は仮想刺激呈示用の暗室内で行われた(図1左)。実験参加者は暗室内に立って顎台に顎を乗せ、正面約100cmの高さに呈示される仮想刺激を上から見下ろしながら触る姿勢で課題を行った。実験参加者の正面に鏡が水平に置かれ、CRTモニタ(21in., 75Hz)から鏡を反射して、液晶シャッターゴーグルを用いて視覚刺激がステレオ呈示された。鏡の下に設置された反力呈示装置により触覚刺激が呈示され、課題遂行中は自分の手を直接見ることは出来なかった。視覚刺激と触覚刺激の空間的な位置、大きさが等しくなるように調整され、実験前に視覚と触覚の空間的な配置関係に違和感がないことが確認された。刺激は半径40mmの円柱とし、垂直軸方向に圧縮変形した(図1)。変形プロファイルは $D(t)=40-15*\sin(\pi t/dur)$ であった。 $D(t)$ は変形開始後tmsにおける刺激の垂直軸方向の半径(mm)、 $dur$ は変形時間を表す。視覚刺激は透明の表面の上にテクスチャパッチ(半径1mm)が配置された物体で、黒色の背景の中に呈示された。物体の変形中、両眼視差及びテクスチャを手掛かりとして視覚的に変形量を推定す

ることが出来た。また右手人差し指に装着された力覚呈示装置を通して仮想刺激の上面に触れることで触覚的に変形量を推定することが出来た。試行開始後250ms間、視覚刺激の中心となる位置に固視点が呈示され、その後視覚刺激が呈示され物体が視覚的に変形を開始した。視覚と触覚の変形開始時刻には遅延が導入され、触覚に対する視覚の先行時間(SOA)は+/-240, 120, 90, 60, 30, 0msであった。変形時間は視覚と触覚で等しく、400, 800, 1200msとした。各変形時間に対して176試行が行われた。各SOA、変形時間はランダムに呈示された。

## 実験1

10名の大学院生が実験に参加した。課題は視覚と触覚のどちらの変形が先行して生じたかを答えることであった。視覚が先行して生じたと答える割合をSOAの関数として累積正規分布を用いて回帰した。回帰曲線の平均は各感覚の変形が主観的に同時と知覚されるSOAを表す(主観的同時点; PSS)。変形時間毎に推定されたPSSを図2に示した。PSSについて変形時間の主効果が有意で( $F(2,7) = 4.1, p < .05$ )、変形時間400msと1200msの間に有意な差が認められた。また主観的な時間順序と物理的な時間順序が一致するならPSSは0

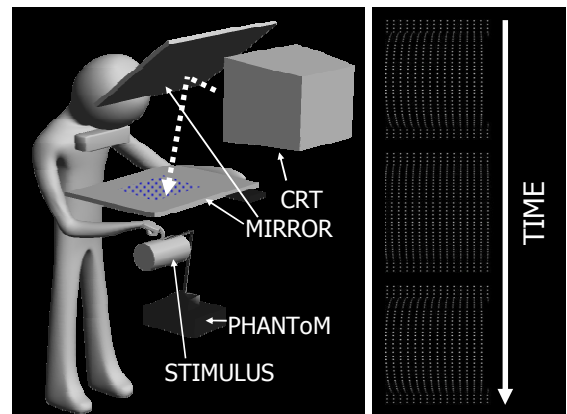


Figure 1. The experimental environment (left) and an example of the deformation of the visual stimulus (right).

となるが、400ms条件ではPSSは有意に0より小さくなった( $t(7) = 4.0, p < .01, d > 1.5$ )。この結果から、対象物体の変形が生じた時間的順序を判断する際に、物理的には視覚が触覚に対して先行して入力されたときに主観的に同時と判断されること、またこの傾向は知覚する対象物体の変形時間が短いほど顕著であることが示された。順序がわからないときに触覚が先行していたと答えるバイアスが生じていると結果的にPSSは視覚先行になる。実験2では実験1の視覚先行の効果が触覚を嗜好するバイアスによるものなのか、それとも知覚過程で同時性に非対称性が生じていたのかを検討した。

## 実験2

7名の大学院生が実験に参加した。実験1から課題のみが変更され、視覚と触覚の変形が同時であったかどうか順序を問わず答えることが求められた。同時であったと答える割合をSOAの関数としてガウス関数を用いて回帰した。回帰曲線の平均はPSSを表す。変形時間毎に推定されたPSSを図2に示した。PSSについて的主効果が有意で( $F(2,6) = 9.3, p < .01$ )、変形時間400msと1200msの間に有意な差が認められた。また、400msでPSSは有意に0より小さくなった( $t(6) = 5.3, p < .01, d > 2.1$ )。この結果から、順序判断や同時性判断において視覚が先行して入力されたときに同時と知覚される感覚間非対称性は、判断が曖昧な時に触覚を嗜好するバイアスによるものではなく、知覚過程において非対称性が生じていたことが示唆された。また実験1同様、同時性における視覚先行効果は変形時間が長いほど小さくなることが示された。

## 考察

瞬間呈示刺激を用いた視触覚TOJにおいては、多くの研究で視覚刺激が先行して入力された時に主観的に同時と知覚されることが観察されている。本研究でも特に変形時間が短いときには先行研究同様、視覚刺激が触覚刺激に先行して変形したときに主観的に同時と知覚されたが、視覚先行の効果は変形時間が長くなるにつれて消失することが明らかとなった。視触覚の時間的対称性に対する説明として、生体の情報処理速度が感覚間で異なるとするもの、感覚選択的な注意に

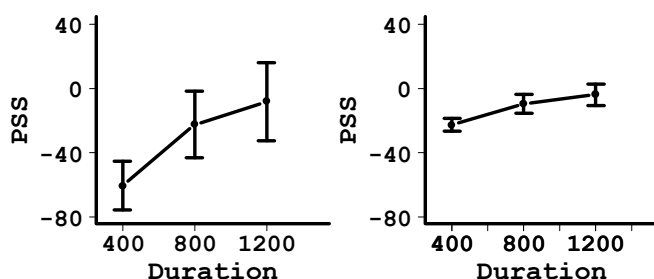


Figure 2. Estimated PSS (averaged) as a function of the duration of deformation in experiment 1 (left) and 2 (right). Negative PSS indicates vision preceding haptics. Error bars indicates the standard errors.

より一方の感覚の処理が促進され速くなるとするもの (Spence et al., 2001)、外界に生起する事象の性質によって高次の知覚過程が感覚間の時間関係を調節するとするもの (Alais et al., 2005)、などが考えられる。本実験による主観的同時性は、視覚が先行するときに主観的に同時と知覚されること、そしてその先行量が変形時間に依存して変化することという二つの側面から議論される必要がある。視覚先行性自体は感覚間での生体の情報処理速度の違いによっても説明可能だが、その先行量が変形時間によって異なることを説明するには、知覚される事象の動特性を処理するような高次の要因が不可欠である。この点から、感覚間の時間的順序判断や同時性判断には、知覚される刺激の動特性を処理した上でその生起時間の順序比較を行う機構が存在していると考えられる。

## 結論

本研究では動的に変形する物体について、変形が生じた時刻を視覚と触覚により推定し時間的順序を判断する課題、及び同時性を判断する課題を行った。この際、変形時間を操作することで、知覚される対象の性質と異種感覚時間知覚特性の関係を検討した。主観的に同時と知覚されるのは、視覚的な入力に触覚に対して先行する時であり、この先行量は変形時間が短くなるほど大きくなった。動的な対象に対する異種感覚の時間順序判断、同時性判断は、単に入力刺激の物理的な時間差のみを用いて行われるのではなく、対象の動特性を処理するような高次の知覚処理過程が影響を与えることが示唆された。

## 脚注

<sup>1</sup> 本研究の一部は科学技術振興機構さきがけ研究21「協調と制御」、文部科学省科学研究費基盤研究A(課題番号16200020)、及び21世紀COEプログラム「心の働きの総合的研究教育拠点」(“the 21st Century COE Program from MEXT (D-2 to Kyoto University)”)により補助を受けた。

<sup>2</sup> 本研究を行うに当たって多くの有益な助言を頂いた京都大学大学院の乾敏郎教授に深く感謝します。

## 引用文献

- Alais, D., & Carlile S. 2005. Synchronizing to real events: subjective audiovisual alignment scales with perceived auditory depth and speed of sound. *Proc Natl Acad Sci*, **102**, 2244-2247.
- Craig, J.C., & Busey, T. A. 2003. The effect of motion on tactile and visual temporal order judgments. *Perception & Psychophysics*, **65**, 81-94.
- Spence, C., Shore, D. I., & Klein, R. M. 2001. Multisensory prior entry. *J Exp Psychol Gen*, **130**, 799-832.