

視触覚間の同時性知覚に影響を与える動特性の検討¹

高橋 康介
齋木 潤

京都大学大学院情報学研究科

takahashi@cog.ist.i.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院人間・環境学研究科

We investigated what and how dynamics affects the PSS (point of subjective simultaneity) in visuo-haptic simultaneity perception of dynamic information. Participants judged whether visually and haptically present deformation of virtual object were simultaneous or not. The duration, maximum velocity and amount of deformation were varied and the PSS was measured as a function of deformation profile. The results showed that the PSS systematically changed as a function of duration of deformation: for the shorter duration (400ms), visual deformation needed to precede haptic deformation to be perceived as simultaneous, in contrast, for the longer duration (800 or 1200ms), this asymmetry between modality was reduced or diminished. It was suggested that the information relevant to the duration of the event was used for the vision-haptics simultaneity perception of dynamic events.

Keywords: simultaneity perception, vision, haptics.

問題・目的

異種感覚間の情報入力の時間的同時性は、感覚統合や感覚間相互作用にとって重要な役割を果たすが、異種感覚間では主観的な同時(PSS)は物理的な同時と必ずしも一致せず、感覚間の情報処理速度に加え、空間位置、注意、知識等、多くの要因がPSSに影響を与えることが知られている(Spence et al., 2001). また近年の研究から、連続事象の知覚において、その動特性が異種感覚間の同時性知覚特性に影響を与えることが示唆されている(Arrighi et al., 2006;高橋ら, 2006)が、詳細は明らかではない。本研究では知覚される連続事象の動特性が視触覚間の同時性知覚に影響を与えるのか、与えるのならどのような動特性がPSSをどう変化させるのかを明らかにすることを目的とした。仮想物体の変形を視覚と触覚に呈示して、その変形が同時であったかを判断する課題を行い、物体の変形時間の長さ、最大変形速度、変形量がPSSに与える影響を検討した。

方法

実験は仮想環境呈示用の暗室内で行われた。実験参加者は暗室内に立ち、顎台に顎を乗せて仮想物体を見ながら触り課題を行った(図1A)。視覚刺激はCRTモニタ(100Hz)から約1000mmの高さに横向きに置かれた刺激呈示用の鏡に投射して呈示された。液晶シャッターゴーグルを用いて両眼立体視が行われた。視覚刺激となる仮想物体は半径40mmの円柱とし、約800mmの高さに円柱の長軸とX軸が平行になるように配置された。ここで実空間座標系において実験参加者に対する左右方向をX軸、上下方向をY軸と表した。背景は黒色で仮想物体の表面と、その長軸を通るXZ平面上に青いテクスチャが配置された(図1B)。仮想物体はY軸に沿って圧縮変形し(図1C)、変形量(mm)はY軸上の上側頂点(触覚刺激と指が触れる点)の初期位置からの移動量として定義された。実験参加者は仮想物体を触っている自分の手を見ることは出来ず、手の位置を示す手掛かりも呈示されなかった。触覚刺激呈示装置(PHANToM)が視覚刺激呈示用の鏡の下に置かれ、実験参加者は

PHANToMのアーム先端に取り付けられた指サックに右手人差し指を挿し込んだ。反力呈示ルーチン(1000Hz)では、その時刻での仮想物体のY軸上の上側頂点のY座標が計算され、同時にアーム先端位置のY座標が計測された。そしてアーム先端位置が仮想物体の上側頂点よりも下にあるとき(指が物体に接触しているとき)には、Y軸上で上向きの力が呈示された。指が仮想物体に常に接触する状態になるように、実験中にはY軸方向の不自然な力を入れずに、仮想物体の上に自然に指を置いておくように教示された。

試行が始まると視覚刺激が初期の大きさで呈示された。試行開始から250ms後に仮想物体は変形を開始し、変形終了から250ms後に視覚刺激が消された。実験参加者は物体の変形が視触覚間で同時であったか、同時ではなかったかを判断して答えた。フィードバックは与えられなかった。視覚と触覚の変形開始時刻には $\pm 240, 120, 90, 60, 30, 0$ msのSOAが加えられた。負のSOAは視覚刺激が触覚刺激に対して先行して変形したことを表す。仮想物体は3種類の変形プロファイルで変形した。同時性判断のために変形中の特定の一点のみではなく、変形全体の情報を用いるように教示された。各変形プロファイルに対して176試行が行われた。各SOA、各変形プロファイルの刺激はランダムな順番で呈示された。呈示された各SOAに対して同時と答える確率を各変形プロファイル条件で実験参加者毎に算出し、反応確率をガウス曲線により回帰してPSSが推定された。

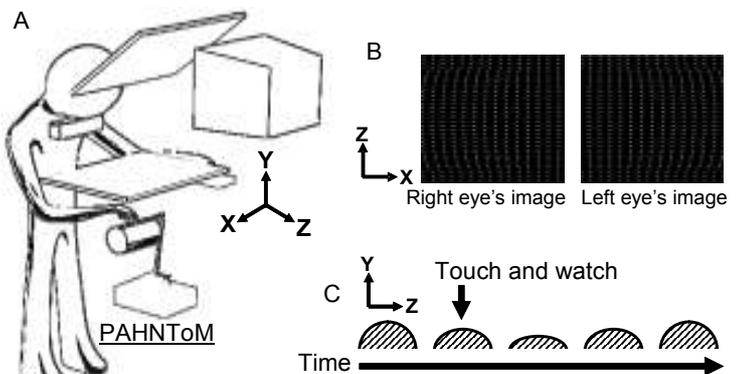


Figure 1. Apparatus and stimuli.

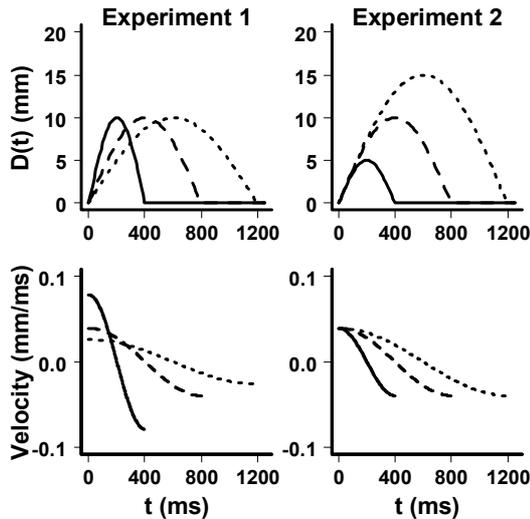


Figure 2. The profiles of amount (top) and velocity (bottom) of deformations as a function of the time from onset of deformation.

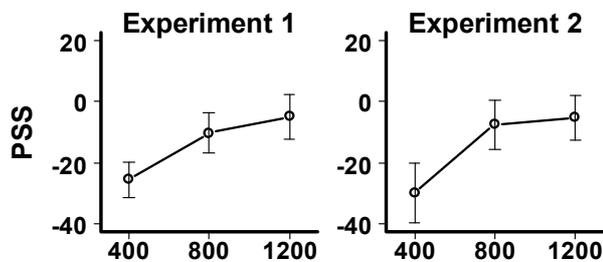


Figure 3. The estimated PSS. Error bars represent the S.E.M.

実験1

7名の大学院生が実験に参加した。変形プロファイルは $D(t) = 10 \sin(\pi \cdot t/d)$ とした。但し d は物体の変形時間の長さ、 t は変形開始からの経過時間、 $D(t)$ は時刻 t における変形量を表す。変形期間以外は $D = 0$ であった。 d は400, 800, 1200msとし、最大変形速度は変形時間が短いほど大きかった(図2)。

推定されたPSSを図3に示した。反復測定分散分析の結果、PSSに対する変形プロファイルの主効果が有意となり ($F(2,12) = 7.7, p < .01$)、多重比較(Ryan法; 有意水準 $\alpha = .05$)の結果、400ms条件では800ms, 1200ms条件よりも有意に小さかった。t検定によりPSSが物理的な同時から乖離しているか検討した結果、400ms条件ではPSSは物理的同時よりも有意に小さく ($t(6) = 3.5, p < .05$)、視覚刺激が触覚刺激に先行して変形するときと同時に知覚されたのに対し、800ms, 1200ms条件では物理的同時からの乖離は認められなかった。

実験2

7名の大学院生が実験に参加した。変形プロファイルは $D(t) = M \sin(\pi \cdot t/d)$ とした。但し M は最大変形量を表す。変形時間400, 800, 1200msに対し最大変形量は5, 10, 15mmとし、異なる変形プロファイルの間で、最大の変形速度は一定であった(図2)。

推定されたPSSを図3に示した。反復測定分散分析の結果、PSSに対する変形プロファイルの主効果が有意となり ($F(2,12) = 7.2, p < .05$)、多重比較の結果、400ms条件では800ms, 1200ms条件よりも有意に小さかった。t検定によりPSSが物理的な同時から乖離しているか検討した結果、400ms条件ではPSSは物理的同時よりも有意に小さく ($t(6) = 2.6, p < .05$)、800ms, 1200ms条件では物理的同時からの乖離は認められなかった。

考察・結論

本研究の結果から、変形プロファイルの違いがPSSを変化させ、連続事象の動特性が同時性知覚特性に影響を与えることが示された。実験1では変形時間と最大変形速度、実験2では変形時間と変形量が異なる変形プロファイルを用いたがPSSが同様に变化したことから、変形時間がPSSを変化させる主要因であったと考えられる。

従来知られている視聴覚間同時性知覚における連続事象の動特性の影響(Arrighi et al., 2006)に加え、視触覚間においてもPSSの変化が観察されたことから、連続事象の影響は特定の感覚対に特有の相互作用を反映したのではなく、同時性知覚自体の性質を反映したものであると考えられる。同時性知覚に影響を与える動特性に関して、刺激の周期、変形時間の長さ等、表面的には多種の動特性はPSSを変化させるが、連続事象では共変する動特性が多いため、同一の動特性の処理の結果として生じた可能性は否定できず、本研究で行ったように共変する動特性を実験間で独立に操作して検討することが重要であると考えられる。

van Erp & Werkhoven (2004)では時間の長さの知覚における視触覚間の非対称性が示されており、本研究の結果と併せて考えれば、連続事象の同時性知覚には時間の長さという異なる種類の時間情報が用いられている可能性が示唆される。本研究で示唆された同時性知覚と時間の長さの知覚の関連性を多様な状況で検証することは今後の課題である。

引用文献

- Arrighi, R., Alais, D., & Burr, D. 2006. Perceptual synchrony of audiovisual streams for natural and artificial motion sequences. *Journal of vision*, **6**, 260-268.
- Spence, C., Shore, D. I., & Klein, R. M. 2001. Multisensory prior entry. *J Exp Psychol Gen*, **130**, 799-832.
- van Erp, J. B., & Werkhoven, P. J. 2004. Vibro-tactile and visual asynchronies: sensitivity and consistency. *Perception*, **33**, 103-111.
- 高橋康介, 齋木潤. 2006. 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. *Technical Report on Attention & Cognition*, 2006, 12.

ⁱ 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 Uni-versity)"により補助を受けた。