視覚刺激の空間周波数は視聴覚間の同期時間窓を変容させる

○竹島 康博^{1,2}・行場 次朗¹

(¹ 東北大学大学院文学研究科, ² 日本学術振興会)

キーワード: 空間周波数, 同期判断, 分裂錯覚

Spatial frequency of visual stimuli alters the temporal window of perceptual synchronization between vision and audition

○Yasuhiro Takeshima^{1,2} & Jiro Gyoba¹

(¹ Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University, ² JSPS)

Key words: Spatial frequency, Simultaneous judgment, Fission illusion

視聴覚情報の統合過程においては、感覚刺激間の処理速度の違いが影響を及ぼすことが示唆されている (Takeshima & Gyoba, 2013; 2014)。本研究では、視覚処理の低次過程で処理速度を規定している空間周波数を操作して、視聴覚間の同期判断の時間窓、および分裂錯覚 (Shams et al., 2000; Andersen et al., 2004) の生起頻度に与える影響について検討を行った。

実験 1

実験参加者: 学生 9 名 (男性 5 名, 女性 4 名)。

刺激: 視覚刺激として、空間周波数が 1.0 c/deg と 5.0 c/deg の 2 種類のガボールパッチ (直径 2.0 deg) を用いた。また、聴覚刺激として純音 (2000 Hz, 75 dB SPL) を使用した。

手続き: 注視点が 500 ms 提示された後、500~1000 ms のブランク画面を挟んで、視覚刺激が 17 ms 提示された。また、聴覚刺激も 17 ms 提示され、SOA は 0, ±67, ±150, ±233, ±350 ms (マイナスが聴覚先行を示す) であった。課題は視聴覚刺激が同期しているかを判断することで、同期している試行と非同期を試行を 320 試行ずつ、計 640 試行を行った。

結果と考察: 同期と判断された割合を算出し、Van der Burg et al. (2008) に基づいて、下記の式にしたがったガウス関数の当てはめを行った (図 1a)。

$$P(\text{response}|\text{SOA}) = \text{blink rate} + a \cdot e^{\left[-\frac{5}{b} \left(\frac{\text{SOA}-\text{PSS}}{b}\right)^2\right]}$$

同期判断率について空間周波数 (2) × SOA (9) の 2 要因分散分析を行ったところ、空間周波数と SOA の交互作用が有意であった ($F_{8,64} = 3.84, p < .001, \eta_p^2 = .33$)。また、算出された主観的同期点 (PSS: 図 1b) を、空間周波数間で比較するために t 検定を行った。その結果、5 c/deg の方が 1 c/deg よりも PSS の値が大きくなっていた ($t_8 = 2.82, p < .05, d = .24$)。したがって、空間周波数が高い視覚刺激の方が、視聴覚刺激が同期していると知覚される時の視聴覚間のずれが大きくなっていた。

図 1. 実験 1 の結果。(a) ガウス関数を当てはめた同期判断の割合。(b) 主観的同期点。エラーバーは標準誤差を示す ($n = 9$)。

実験 2

実験参加者: 学生 5 名 (男性 4 名, 女性 1 名)。

刺激: 実験 1 と同じ空間周波数のガボールパッチを、視覚刺激として使用した。聴覚刺激は純音 (3500 Hz, 80 dB SPL) を使用した。

手続き: 注視点が 500 ms 提示された後、視覚刺激が 1 回、もしくは 2 回提示された。提示時間は各 17 ms、2 回の視覚

刺激間の SOA は 50 ms であった。聴覚刺激は、提示されない条件、視覚刺激と同期して 1 回、もしくは 2 回提示される条件の計 3 水準が設定された。また、聴覚刺激の提示時間は 10 ms であった。課題は視覚刺激の提示回数を判断することで、各条件を 18 回繰り返して計 216 試行を行った。

結果と考察: 信号検出理論を用いて、視覚刺激の提示回数判断の弁別感度 (d') と判断基準 (c) を算出した (図 2)。弁別感度と判断基準について、空間周波数 (2) × Beep (3) の 2 要因分散分析を行った。弁別感度では、空間周波数 × Beep の交互作用が有意であった ($F_{2,8} = 4.83, p < .05, \eta_p^2 = .55$)。聴覚刺激が 2 回提示される時に空間周波数の単純主効果が有意であり ($F_{1,12} = 10.59, p < .05, \eta_p^2 = .47$)、5 c/deg の方が 1 c/deg と比べて弁別感度が高くなっていた。判断基準では、空間周波数 × Beep の交互作用は有意ではなかった ($F_{2,8} = 0.95, p = .43, \eta_p^2 = .19$)。分裂錯覚が生じる場合には、弁別感度が低くなる (Rosenthal et al., 2009)。したがって、視覚刺激の空間周波数が高い場合には分裂錯覚が生じにくくなっていた。一方、判断基準には違いが見られなかったことから、空間周波数による分裂錯覚の生起頻度の違いは参加者のバイアスによるものではないことも示された。

図 2. 実験 2 の結果。(a) 弁別感度。エラーバーは標準誤差を示す。(b) 判断基準。エラーバーは 99 % 信頼区間を示す ($n = 5$)。

総合考察

本研究では、視覚刺激の空間周波数によって視覚処理の処理速度を操作し、視聴覚刺激間の同期時間窓に与える影響について検討を行った。同期判断課題を実施したところ、空間周波数が高い方が PSS の値が大きくなっていた。空間周波数が高い視覚刺激は処理速度が遅い (Breitmeyer, 1975) ため、聴覚刺激との統合に必要な時間が長くなることを示唆している。また、分裂錯覚の生起頻度を比較したところ、空間周波数が高い視覚刺激では錯覚が生じにくくなっていた。Takeshima and Gyoba (2013) は、複雑さによる処理速度の操作によって分裂錯覚の生起頻度が変容することを報告している。したがって、視覚刺激の空間周波数という、視覚処理の低次過程における処理速度の操作によっても視聴覚情報の統合の時間窓が変容し、分裂錯覚のような短い時間間隔の中で生じる視聴覚相互作用の生起に影響を与えることが示された。

謝辞: 本研究は、科学研究費補助金 (No. 24-4354) の補助を受けた。