視聴覚の時間的相互作用に対する空間一致性の影響^{1), 2)}

本郷 由希 (神戸大学大学院文学研究科)

喜多 伸一 (神戸大学文学部)

The effect of spatial congruence on audio-visual interaction in temporal perception

Yuki HONGO (Graduate School of Letters, Kobe University)

Shinichi KITA (Faculty of Letters, Kobe University)

This paper examines the effect of auditory perception on visual temporal-order judgments by focusing on the spatial congruence of auditory and visual stimuli (i.e., right or left). Visual stimuli were presented successively at short intervals, while auditory stimuli were presented before and after the visual stimuli. In the first experiment, the accuracy of visual temporal-order judgments was enhanced by the presence of auditory stimuli when the visual and auditory stimuli were spatially congruent, but the accuracy was reduced when the visual and auditory stimuli were spatially incongruent. These changes in performance were even observed at a long stimulus onset asynchrony between the auditory and visual stimuli (AV-SOA) of 640 ms. In the second experiment, the auditory stimulus presented before the visual stimuli was found to have a greater influence on performance on the visual temporal-order judgment task than the auditory stimulus presented after the visual stimuli. These results indicate that spatial congruence influences auditory capture within visual temporal-order judgments.

Key words: audio-visual interaction, spatial congruence, auditory capture, temporal-order judgments

視覚的時間順序判断に聴覚が及ぼす影響を、視覚刺激と聴覚刺激の左右に関する空間一致性に注目して調べた。視覚刺激を短い時間間隔において呈示し、その前後に聴覚刺激を呈示した。第1実験では、視覚的時間順序判断の能力が、視覚刺激と聴覚刺激が空間的に一致している場合には良くなるが、視覚刺激と聴覚刺激が空間的に不一致な場合には悪くなることが示された。この成績変化は視聴覚刺激の時間間隔(AV-SOA)が640 msという長い条件になっても残った。第2実験では、こういった成績変化に対して、視覚刺激に先行する聴覚刺激の方が、後続する聴覚刺激よりも、より強い影響を与えていることが示された。これらの実験結果は、視覚的時間順序判断に対する聴覚の優位性に対し、空間一致性が影響することを示すものである。

キーワード: 視聴覚相互作用, 空間一致性, 聴覚優位, 時間順序判断

本研究の背景と目的

感覚間相互作用

ヒトは日常的に複数の感覚モダリティからの情報を統合して利用しており、感覚間の相互作用は外界の正確な把握に不可欠なものである。一般に、複数の感覚モダリ

ティからの情報を利用することによって、単一の感覚モダリティだけでは外界の把握が困難な場合の補完や、刺激の同定、定位能力の向上、反応時間の短縮などの効果もたらされる。逆に、実験などで、複数の感覚モダリティに対して、情報が極端に不一致な刺激を与えた場合には、単一の感覚モダリティだけで観察した場合とは異なる知覚が生じ、知覚の変容(錯覚)がおきる(詳しくは、以下の節で述べる)。

視聴覚間の時空間相互作用

本研究の目的は、空間情報を加えた場合に、聴覚情報が視覚的時間順序判断にどのように影響を与えるかを解明することである。まず、視聴覚相互作用についての先行研究を本研究の背景として整理し、次節において本研究の目的について説明を行う。

Modality Appropriateness Hypothesis 感覚間の

- 1) 本研究の一部は、2004年7月の電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、2004年9月の日本心理学会大会および2004年12月の日本音響学会聴覚研究会において発表された。また本研究は第2著者に対する文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(1)16500162の補助を受けた。
- 2) 本実験の実施および本論文の作成にあたり、神戸大学文学部心理学研究室の皆さんから、多大な協力を頂きました。また、審査者の先生方から貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

相互作用に関する代表的な仮説に、modality appropriateness hypothesis がある (Welch & Warren, 1980). これは、感覚モダリティにはそれぞれ得意とする領域があり、これが感覚間相互作用の影響の方向を規定するという仮説である。視覚と聴覚に関して言えば、視覚は空間分解能に優れ、聴覚は時間分解能に優れているため、空間的な面では視覚が聴覚に影響を与え、時間的な面では聴覚が視覚に影響を与えるということになる。必ずしもすべての相互作用をこの仮説で説明できるわけではないが、この仮説によって解釈可能な現象が多く報告されている。

視覚から聴覚への影響 視覚は聴覚 (Howard & Templeton, 1966) や触覚 (Rock & Victor, 1964) といった、他の感覚モダリティの空間特性に影響を及ぼすことから、ヒトは視覚優位の動物であると言われることが多い。その中でも、視覚系が聴覚系に影響を与える例として、最も有名なものは腹話術効果 (ventriloquism effect: Howard & Templeton, 1966; Jack & Thurlow, 1973; Bertelson & Radeau, 1981) であろう。これは、音源の定位が視覚情報から影響を受け、音源の位置が実際の位置とずれて知覚される現象である。例えば、テレビを見ているとき、スピーカは画面の外にあるにも関わらず、画面上の話者の口から言葉が聞こえてくるように知覚する現象がこれにあたる。また、水平方向に動く光点と音源の位置が固定されている音を同時に提示した場合に、視覚刺激の動きの方向に、聴覚刺激の音源位置も動いているように知覚される現象 (dynamic visual capture: Mateeff, Hohnsbein, & Noack, 1985) も知られている。これらの現象を始めとして、空間知覚に関わる課題では、視覚系が聴覚系に影響を与える例が多い。さらに、視覚奥行き運動残効が、聴覚による音の大きさの知覚に影響を与えることも報告されている (Kitagawa & Ichihara, 2002)。残効は情報処理の初期段階で起こると考えられているため、この結果は、情報処理の初期段階ですでに視聴覚間の情報統合が行われている可能性を示唆している。

聴覚から視覚への影響 逆に、聴覚系から視覚系への影響は、時間知覚に関わる課題で多く報告されている。例えば、一定の間隔で点滅するフラッシュに、提示間隔が徐々に短くなっていくビープ音を提示すると、フラッシュの点滅間隔が聴覚情報の影響によって、提示間隔が徐々に短くなっていくように知覚される現象 (auditory driving: Gebhard & Mowbray, 1959) が知られている。さらに、聴覚刺激を加えることによって、視覚的時間順序判断の成績が変化するという報告もあり、これは本研究の目的と関連が深いので次節で詳述する。また、時間知覚以外の面でも、聴覚系が視覚系に影響するという報告もある。Shams, Kamitani, & Shimojo (2002) は、

フラッシュに複数回のビープ音を合わせて提示すると、フラッシュが点滅して知覚されるという現象 (illusory flash) を報告している。さらに、視覚だけでは知覚が曖昧な場合には、運動知覚においても聴覚が視覚に影響を与えることもある (Sekuler, Sekuler, & Lau, 1997; Watanabe & Shimojo, 1998, 2001)。

本研究の目的

時間分解能の視聴覚相互作用 視覚の時間分解能が、聴覚刺激を加えたときにどのように変化するかを検討した従来の研究をまず見ていく。Shimojo, Scheier, Nijhawan, Shams, Kamitani, & Watanabe (2001) は、視覚刺激 (V) と聴覚刺激 (A) を A-V-V-A の時間順序で提示する条件では、視覚系の時間分解能が向上し、V-A-A-V の条件では時間分解能が低下することを示している。また、この研究では聴覚刺激を与えない条件が基準条件とされたのに対し、視覚刺激と聴覚刺激を同時提示する基準条件でも、同様の視覚的時間順序判断の成績変化が起きるという報告もある (Morein-Zamir, Soto-Faraco, & Kingstone, 2003)。さらに、これらの研究では、どちらの聴覚刺激が有効であるかという検討も行われている。前者の研究では、1 番目の聴覚刺激もしくは 2 番目の聴覚刺激どちらかだけでは、聴覚情報の影響が見られず、後者の研究では、2 つ提示される聴覚刺激のうち、2 番目の聴覚刺激が成績向上に効果を与えているという実験結果が得られている。これらの結果を合わせて考えると、聴覚情報による視覚の時間分解能の改善は、少なくとも 1 番目の聴覚刺激による、覚醒水準の上昇などの影響ではないことが分かる。この検討結果の解釈として、Morein-Zamir らは、聴覚系の情報処理速度よりも視覚系の情報処理速度の方が遅いため、視覚系の情報処理が終了する前に聴覚系の情報処理が行われ、処理の段階では同時になり、そこで情報統合が行われているのではないかと述べている。また、先述の auditory driving に似た条件を用いた研究では、時間的に近い刺激はお互いの時間差を縮め、同一の現象によるもののように知覚されることが示されている (Fendrich & Corballis, 2001)。これも合わせて考えると、2 番目の聴覚刺激のオンセットの方向に 2 番目の視覚刺激のオンセットがひっぱられ、結果的に視覚刺激間の提示時間差が主観的に長く知覚されたために、視覚の時間分解能の改善が起きたと解釈できる。

空間情報の影響 これら従来の研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) では、時間的側面に焦点を絞るため、空間的要素を課題から省き、注視点の上下に視覚刺激を提示し、さらに単一のスピーカから聴覚刺激を提示している。しかし、視覚系と聴覚系の間には、時間的な相互作用だけでなく空間的な相互作用も存在する。そのため、空間情報を加えた上で、聴覚情報の

視覚的時間順序判断への影響を検討することには意義がある。modality appropriateness hypothesis に従うと、時間的順序判断では聴覚が他の感覚モダリティよりも優位であることになる。しかしながら、空間情報が加味された条件では事態は変化するという事例も報告されている。たとえば、触覚に関する実験で、手に持った道具が左右のどちらにあるかという空間情報が時間順序判断に影響を与えることが示されている (Yamamoto & Kitazawa, 2001)。また、やはり視覚的に提示される運動方向の左右という空間情報を加えると、聴覚的な時間知覚が視覚の影響を受けるという、modality appropriateness hypothesis に反する事実が、バーチャルリアリティ装置を用いた実験で示されている (Teramoto, Watanabe, Umemura, Matsuoka, & Kita, In preparation)。この2つの研究はいずれも左右という空間情報の影響を報告しており、感覚間相互作用には左右の空間一致性 (spatial congruence) が重要な役割を演じることを示している。

空間一致性の検討 以上の点を考慮し、本研究では、A-V-V-A の時間順序で刺激提示した場合の、聴覚系による視覚的時間順序判断の改善を、左右の空間一致性を加えて検討した。そのため、先行研究とは異なり、視覚刺激を注視点の左右に提示するとともに、聴覚刺激をヘッドフォンにより左右の耳に提示した。実験 I では、視覚刺激と聴覚刺激の左右が一致する条件 (AV-Congruent 条件) と一致しない条件 (AV-Incongruent 条件) を設定して、時間差をおいて提示される2つの視覚刺激に対し、どちらが先に提示されたかを判断させた。もし空間情報が視聴覚相互作用に影響を及ぼすならば、左右が一致する条件と一致しない条件では時間順序判断の結果が異なるはずであり、影響を及ぼさないならば、一致していてもいなくても聴覚優位の相互作用が見られるはずである。

視覚的時間順序判断へ影響を与える聴覚刺激の検討 先でも述べた通り、先行研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) では、視覚的時間順序判断に与える影響が強いのは、2つの聴覚刺激のうちどちらであるかが検討され、1番目の聴覚刺激の影響は見られないという結果が得られている。空間情報を加えた場合でも、聴覚情報による視覚的時間順序判断への影響が見られることが予想されるが、本研究では空間情報を加えているので、どの聴覚刺激が視覚的時間順序判断に影響を与えるかを新たに検討する必要がある。すなわち、視覚的時間順序判断に1番目の聴覚刺激が影響を与える可能性がある。先行する刺激の知覚が後続する刺激の知覚に影響を与える例としては、注意による構えの効果などが考えられるが、聴覚刺激によって、視知覚への空間的な選択的注意が喚起されることが報告されており (Driver &

Spence, 1998)、また、先行する聴覚刺激が、それに続く視知覚に影響を与える報告もある。例えば、左右いずれかの側にあらかじめ刺激を提示した後で線分を提示すると、単独で提示された場合には変化の知覚されない線分が、あらかじめ刺激が提示された側の端から線分が伸びていくように知覚される現象 (line motion effect) が、聴覚刺激によってももたらされることが知られている (Shimojo, Miyauchi, & Hikosaka, 1997)。これらの現象を考えると、空間情報を加えた本研究の課題では、いずれの聴覚刺激が、視覚的時間順序判断に影響を与えるのかを検討する必要があると思われる。そこで、実験 II では、実験 I の結果が時間差をおいて提示される2つの聴覚刺激のどちらによりもたらされたかを検討した。

実験 I

目的

聴覚情報が視覚的時間順序判断に与える影響を、空間情報を加えた上で検討した。

方法

課題 実験参加者は、注視点の左右に様々な SOA (stimulus onset asynchrony) で提示される2つの視覚刺激のうち、どちらが先に提示されたかを判断した。

実験参加者 健常な視力と聴力を有する神戸大学の大学生および大学院生8名が実験に参加した。実験参加者8名のうち1名は、練習試行において基準を満たさなかったため、本試行を行わなかった (基準の具体的な内容については、手続きの項の最後に記してある)。

刺激および装置 実験はパーソナルコンピュータを利用して行った。視覚刺激は CRT ディスプレイ (MITSUBISHI 社製, RDF19S, リフレッシュレート 75 Hz) 上に提示した。ディスプレイの中央、黒い背景 (0.0 cd/m^2) 上に、 $2.13 \text{ deg} \times 2.13 \text{ deg}$ の正方形の注視点 (赤色: 0.2 cd/m^2) を提示し、その左右に $2.13 \text{ deg} \times 2.13 \text{ deg}$ の正方形の視覚刺激 (白色: 0.6 cd/m^2) を、注視点から 10.5 deg 離れた位置に提示した³⁾。聴覚刺激は、持続時間 10 ms のホワイトノイズ (101 dB, ほぼクリック音として知覚される) で、左右どちらかにだけ提示されるものを、ヘッドフォン (SENNHEIZER 社製, HD280 PROFESSIONAL) を通して提示した。実験プログラムは Psychology Software Tools 社製のアプリケーション、E-Prime を用いて作成および制御した。

デザイン 視覚刺激と聴覚刺激の空間一致性を操作するために、V 条件、AV-Congruent 条件、AV-Incongruent 条件の3つ (以下それぞれ V, AVC, AVI とする) を設定した。V 条件では視覚刺激のみを提示し、

3) 輝度が高いときには、遮光した防音室内の物体 (ディスプレイ本体を含む) が見えて統制が困難になるので、輝度は視認性を損なわない範囲で低めに設定した。

Figure 1. 実験手続きの例（AVC 条件）. 1. 注視点を呈示 2. 1 つめの聴覚刺激を呈示 3. 1 つめの聴覚刺激と同側に 1 つめの視覚刺激を呈示（AVI 条件では反側に呈示）4. 2 つめの視覚刺激を呈示 5. 2 つめの視覚刺激と同側に 2 つめの聴覚刺激を呈示（AVI 条件では反側に呈示）6. 実験参加者が判断を行うまで視覚刺激は呈示され続ける。

他の 2 条件では、視覚刺激と聴覚刺激を組み合わせで呈示した。AVC 条件では、左右耳それぞれに呈示される聴覚刺激と視覚刺激の呈示順序を空間的に一致させ（例えば、視覚刺激の呈示順序が右→左の場合、聴覚刺激も右→左の順序で呈示された、Figure 1）、AVC 条件では、視覚刺激と聴覚刺激の呈示順序を空間的に相反させた（例えば、視覚刺激の呈示順序が右→左の場合、聴覚刺激は左→右の順序で呈示された）。

視覚刺激間の SOA（以下、VV-SOA とする）は ±13, 27, 40, 53, 67 ms（+は左視覚刺激先行呈示、-は右視覚刺激先行呈示を示す）の左右それぞれにつき 5 種類を設定した。時間順序判断に関して、運動視メカニズムが関与すると、結果の解釈が複雑になると考えられるので、オフセットはそろえ、2 つの視覚刺激が運動印象を与えないようにし、運動視メカニズムの関与を可能な限り避ける操作を行った。さらに、AVC、AVI 条件では、視覚刺激と聴覚刺激の SOA（以下、AV-SOA とする）を、0, 80, 320, 640 ms の 4 種類を設定した（Figure 1）。

手続き 遮光した防音室内で、実験参加者は片方の眼を眼帯で覆い（利き目で観察）、チンレストで頭部を固定して実験を行った。ディスプレイからの視距離は 43 cm で、実験参加者の眼の位置が、注視点をまっすぐ見る状態になり、眼の高さが注視点と同じ高さになるようにチンレストを調節した。

試行数は、V 条件では、各 VV-SOA（左右それぞれにつき 5 水準）について 20 試行（計 200 試行）、AVC、AVI 条件では、各 AV-SOA（4 水準）の VV-SOA（左右それぞれにつき 5 水準）についてそれぞれ 20 試行（計 800 試行）を行った。すなわち、3 条件で合計 1800 試行を行った。V 条件は AVC、AVI 条件とは別に 4 つのブロックに分けて行い（1 ブロックにつき 50 試行）、AVC、AVI 条件はランダムに組み合わせ、20

のブロックに分けて行った（1 ブロックあたり 80 試行）。VV-SOA はいずれの条件およびブロックでもランダムな順序で呈示した。また、1 セッションにつき 3 ブロックをまとめて行い、全試行を計 8 セッションに分け、実験を行った。1 セッションは、V 条件 1 ブロックと AVC、AVI 条件 2 ブロック、または AVC、AVI 条件 3 ブロックとして、それぞれを交互に行った。1 セッションは 15 分程度で、セッション間には十分な休憩時間を取り、ブロック間も実験参加者が適宜休憩を取るようにした。本試行に先立って、練習試行として V 条件を行った。視覚刺激のみの視覚的時間順序判断（V 条件）において、判断が困難な条件（VV-SOA が短い場合）から容易な条件（VV-SOA が長い場合）までにおける、一連の正答率変化に対する聴覚情報の影響を検討するため、練習試行において、VV-SOA が 13 ms のときの正答率が 67 ms のときの正答率よりも低く、かつ 67 ms のときの正答率が 80% 以上となった実験参加者のみ、本試行を行った。

仮説および注目点 先行研究によれば、聴覚情報が視覚的時間順序判断の成績に影響を与えるのは明らかなので（Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003）、聴覚情報によって成績の変化が認められるであろう。(1) 視覚刺激と聴覚刺激の空間情報が一致する AVC 条件では先行研究と同様、視覚的時間順序判断の成績が向上すると考えられる。(2) しかしながら、空間情報が不一致となる AVI 条件では、聴覚刺激の時間情報のみを利用して成績が向上するのか、それとも聴覚刺激の空間情報にひびかれて、視覚的時間順序判断が歪むのかは、先行研究からは分からない。(3) また、視覚的時間順序判断が困難な場合に積極的に聴覚情報を利用すると考えられるため、特に VV-SOA が短い場合に、聴覚系から視覚系への影響が大きいと考えられる。(4) さらに、視覚刺激と同期、もしくはわずかに先行する聴覚刺激は、

視知覚を阻害すると報告されていることから (Escera, Yago, & Alho, 2001), AV-SOA が 0 ms の場合には、それ以外の AV-SOA とは異なる傾向が見られると考えられる。(5)そして、先行研究では、少なくとも AV-SOA が 450 ms で聴覚情報の効果がなくなっており (Morein-Zamir et al., 2003), また、時間窓 (後続する刺激が先行する刺激と統合されて情報を処理され得る時間的範囲) (Pöppel, 1985, 田山・尾形訳, 1995) が 640 ms の幅までであるとは考えにくいので (例えば illusory flash においては約 150 ms である) (Shams et al., 2002), AV-SOA が 640 ms の場合には聴覚情報の影響がなくなると考えられる。

結果

分析方法 まず、分析対象とした 7 名の実験参加者について、空間一致性 (3 水準: V, AVC, AVI 条件) × VV-SOA (5 水準: 左右どちらが先行呈示されたかは区別せずに 13, 27, 40, 53, 67 ms の 5 水準としてデータ処理を行った) × AV-SOA (4 水準: 0, 80, 320, 640 ms) のそれぞれの正答率を算出した。そして、その正答率を角変換した上で、AV-SOA ごとに、空間一致性 (3: V, AVC, AVI 条件) × VV-SOA (5: 13, 27, 40, 53, 67 ms) の 2 要因被験者内分散分析を行った。V 条件には AV-SOA が存在しないが、V 条件の正答率を基準として、聴覚情報の視覚的時間順序判断への影響を検討するために、すべての AV-SOA において V 条件の結果を用いて分析し (そのため、Figure 2 での各

AV-SOA における V 条件の結果はすべて同じものを示している), 特に空間一致性の主効果と VV-SOA との交互作用に注目した。分析対象とした実験参加者の、AV-SOA ごとの各正答率の平均値は Figure 2 に示した以下で、AV-SOA ごとの分析結果を述べる。

AV-SOA: 0 ms AV-SOA が 0 ms の条件では、空間一致性の主効果 ($F(2,12) = 7.20, p < .01$) および VV-SOA の主効果 ($F(4,24) = 116, p < .001$) が認められた。この主効果の下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行った結果、V 条件 (78.0%: V 条件における正答率の平均、他の部分でもそれぞれの正答率の平均を同様の方法で示す) と AVI 条件 (68.7%) との間にのみ有意な差が見られ ($p < .01$), AVI 条件の正答率が有意に低かった。

AV-SOA: 80 ms AV-SOA が 80 ms の条件では、すべての主効果および交互作用が認められた (空間一致性: $F(2,12) = 24.7, p < .001$; VV-SOA: $F(4,24) = 72.0, p < .001$; 空間一致性 × VV-SOA: $F(8, 48) = 5.08, p < .001$)。交互作用に関して下位検定を行った結果、すべての VV-SOA において、空間一致性の有意な単純主効果が見られた ($p < .001$)。次に、この単純主効果の下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行った結果、VV-SOA が 53, 67 ms のときに、V, AVC 条件間に差は見られなかったが、他の条件間では有意な差が見られ ($p < .05$)、他の VV-SOA ではすべての条件間で有意な差が見られ ($p < .05$)、AVC 条件 (92.0%), V 条件 (78.0%), AVI 条件 (51.8%) の順で正答率が高かった。

AV-SOA: 320 ms AV-SOA が 320 ms の条件では、すべての主効果および交互作用が認められた (空間一致性: $F(2,12) = 14.1, p < .001$; VV-SOA: $F(4, 24) = 135, p < .001$; 空間一致性 × VV-SOA: $F(8, 48) = 5.40, p < .001$)。交互作用に関して下位検定を行った結果、VV-SOA が 67 ms 以外のすべての VV-SOA において、空間一致性の有意な単純主効果が見られた ($p < .001$)。次に、この単純主効果の下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行った結果、VV-SOA が 40, 53 ms のときに、V, AVC 条件間に差は見られなかったが、他の条件間では有意な差が見られ ($p < .05$)、他の VV-SOA ではすべての条件間で有意な差が見られ ($p < .05$)、AVC 条件 (90.6%), V 条件 (78.0%), AVI 条件 (57.9%) の順で正答率が高かった。

AV-SOA: 640 ms AV-SOA が 640 ms の条件では、すべての主効果および交互作用が認められた (空間一致性: $F(2,12) = 7.88, p < .005$; VV-SOA: $F(4,24) = 97.3, p < .001$; 空間一致性 × VV-SOA: $F(8,48) = 2.91, p < .01$)。交互作用に関して下位検定を行った結果、VV-SOA が 53 ms 以外のすべての VV-SOA において、空間一致性の有意な単純主効果が見られた ($p < .05$)。次に、この単

Figure 2. 実験 I の結果。分析対象の実験参加者 7 名の正答率を AV-SOA ごとに示す。なお V 条件の結果は各 AV-SOA において同じものを示している。

純主効果の下位検定として多重比較（Ryan 法）を行った結果、VV-SOA が 13 ms のときにはすべての条件間で有意な差が見られた ($p < .05$)。27, 67 ms のときには、V 条件と他の 2 条件との間には差は見られなかったが、AVC, AVI 条件間では有意な差が見られた ($p < .05$)。40 ms のときには V, AVC 条件間に有意な差が見られず、他のすべての条件間で有意な差が見られた ($p < .05$)。有意な差が見られた場合には、AVC 条件 (85.9%), V 条件 (78.0%), AVI 条件 (60.0%) の順で正答率が高かった。

分析結果のまとめ AV-SOA が 0 ms の場合には、AVI 条件で正答率が他の 2 条件よりも低くなるものの、AV-SOA が 80, 320 ms の場合と比べると、空間一致性による正答率への影響は少なかった。AV-SOA が 80, 320 ms の場合に、空間一致性による影響が最も大きく、特に VV-SOA が 13, 27 ms のときに強い影響が見られた。AV-SOA が 640 ms の場合には、AV-SOA が 80, 320 ms の場合と比較して、影響は少なくなったが、VV-SOA が 13 ms のときに依然として強い影響が見られ、完全に空間一致性による影響がなくなったとは言いつけなかった。

考察

実験結果のまとめ V 条件を基準として、特に AV-SOA が 80, 320 ms の場合には AVC 条件では正答率が上がり、AVI 条件では正答率が下がるという傾向が顕著であった。そして、この傾向は VV-SOA が短い場合に特に強いものであった。さらに、AV-SOA が 640 ms の場合に、この傾向は弱くなるものの、完全になくなったとは言いつけなかった。また、AV-SOA が 0 ms では、AVI 条件の正答率が、V 条件、AVC 条件と比較して、有意に低いという結果であったが、他の AV-SOA の場合と比較しても、空間一致性による影響は少なかった。

聴覚情報の視覚的時間順序判断への影響 AV-SOA が 0 ms の場合を除いて、空間情報が視覚刺激と一致する聴覚刺激は視覚的時間順序判断の能力を向上させ、不一致な聴覚刺激は能力を低下させることが分かった。空間情報が不一致な場合に、視覚的時間順序判断の正答率が下がるという結果は、聴覚刺激の時間情報のみでなく空間情報も利用し、視覚的時間順序判断が行われたことを示している。ただし、本研究では、課題に空間的要素を加えているので、上述のような聴覚情報から視覚的時間順序判断への影響が、先行研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) とは異なり、視覚刺激に先行する聴覚刺激によってもたらされたものである可能性がある。そのため、先行音、後続音どちらの影響が大きいのかを検討する必要がある。

さらに、聴覚情報の影響は、VV-SOA が短く、視覚

のみによる判断が困難な場合に顕著に見られたが、これは、単一の感覚モダリティでの知覚が困難な場合に、積極的に他の感覚モダリティからの情報を利用することを示している。

AV-SOA が 640 ms の場合の影響 前述の傾向は、AV-SOA が 640 ms の場合にはなくなると考えられたが、依然として聴覚情報の視覚的時間順序判断に対する影響は残った。640 ms という、大きな時間差になっても聴覚情報の影響が依然として残るということは、時間窓 (Pöppel, 1985) がそれほど広いという結果になり、さらなる精緻な検討が必要ではあるが注目に値する。

AV-SOA が 0 ms の場合の特異性 AV-SOA が 0 ms の場合では、他の AV-SOA の場合と比較して、聴覚情報の影響が小さかった。このことは、先述の先行研究 (Escera et al., 2001) と同様に、少なくとも、視覚刺激と聴覚刺激が同期する条件とずれて呈示される条件では、聴覚系から視覚系への影響の仕方が異なるということを示唆する結果であった。

実験 II

目的

先行研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) では、先行する聴覚刺激による視覚的時間順序判断への影響は認められなかったが、本研究の実験 I の結果が、先行する聴覚刺激の影響によるものだという可能性もある。そこで、実験 II では、実験 I の結果における聴覚情報の効果が、視覚刺激に先行する聴覚刺激（先行音）、もしくは後続する聴覚刺激（後続音）のどちらの影響の方が大きいのかを比較し、先行研究の結果と本研究の結果が同じ種類のものなのかを検討することを目的とした。

方法

課題、刺激および装置に関しては、実験 I と同様の方法で行った。

実験参加者 実験 I に参加し、分析対象となった 7 名のうち 5 名が実験に参加した。

デザイン 実験 I と同様に、空間一致性に関して V, AVC, AVI の 3 条件を設定した。VV-SOA も実験 I と同様、 $\pm 13, 27, 40, 53, 67$ ms（+は左視覚刺激先行呈示、-は右視覚刺激先行呈示を示す）の左右それぞれにつき 5 種類を設定した。さらに、AVC, AVI 条件では、刺激呈示順序を、先行音のみが呈示されるもの (A-V-V) と後続音のみが呈示されるもの (V-V-A) の 2 種類を設定した。AV-SOA に関しては、実験 I の結果から、AV-SOA が 0 ms では聴覚情報の影響が少なく、AV-SOA が 80 と 320 ms では同程度の影響だったため、80 ms と 640 ms の 2 種類とした。

手続き 試行数に関する手続きを除いては実験 I と同

様にして行った。

試行数は、V 条件では、各 VV-SOA（左右それぞれにつき 5 水準）について 20 試行（計 200 試行）、AVC、AVI 条件には、さらに刺激呈示順序（2 水準：A-V-V もしくは V-V-A）を設定した。そして、それらの AV-SOA（2 水準）の VV-SOA（左右それぞれにつき 5 水準）ごとにそれぞれ 20 試行（計 800 試行）を行った。すなわち、3 条件で合計 1800 試行を行った。V 条件は他の条件とは別に 4 つのブロックに分けて行い（1 ブロックにつき 50 試行）、AVC、AVI 条件はランダムに組み合わせ、20 のブロックに分けて行った（1 ブロックあたり 80 試行）。VV-SOA はいずれの条件およびブロックでもランダムな順序で呈示した。AVC、AVI 条件では刺激呈示順序もランダムな順序で呈示した。また、1 セッションにつき 3 ブロックをまとめて行い、全試行を計 8 セッションに分け、実験を行った。1 セッションは、V 条件 1 ブロックと AVC、AVI 条件 2 ブロック、または AVC、AVI 条件 3 ブロックとして、それぞれを交互に行った。1 セッションは 15 分程度で、セッション間には十分な休憩時間を取り、ブロック間も実験参加者が適宜休憩を取れるようにした。本試行に先立って、練習試行として V 条件を行った。データを採用するかどうかの基準も実験 I と同様にした。

結果

分析方法 すべての実験参加者が練習試行における基準を満たした。まず、5 名の実験参加者の、空間一致性（3 水準：V、AVC、AVI 条件）× VV-SOA（5 水準：左右どちらが先行呈示されたかは区別せずに 13, 27, 40, 53, 67 ms の 5 水準としてデータ処理を行った）× AV-SOA（2 水準：80, 640 ms）× 刺激呈示順序（2 水準：A-V-V もしくは V-V-A）のそれぞれの正答率を算出した。そして、正答率を角変換した値を用い、AV-SOA と刺激呈示順序（A-V-V もしくは V-V-A）の組み合わせごとに、空間一致性（3 水準：V、AVC、AVI 条件）× VV-SOA（5: 13, 27, 40, 53, 67 ms）の 2 要因被験者内分散分析を行った。V 条件には AV-SOA および刺激呈示順序が存在しないが、V 条件の正答率を基準として、聴覚情報の視覚的時間順序判断への影響を検討するために、すべての AV-SOA と刺激呈示順序の組み合わせにおいて、V 条件の結果を用いて分析し（つまり、Figure 3 での各 AV-SOA と刺激呈示順序の組み合わせにおける V 条件の結果はすべて同じものを示している）、特に空間一致性の主効果と VV-SOA との交互作用に注目した。分析対象とした実験参加者の、AV-SOA と刺激呈示順序の組み合わせごとの各正答率の平均値は Figure 3 に示した。以下で、分析結果を述べる。

AV-SOA: 80 ms, 刺激呈示順序: A-V-V AV-SOA

Figure 3. 実験 II の結果. 実験参加者 5 名の正答率を、AV-SOA と刺激呈示順序（A-V-V もしくは V-V-A）の組み合わせごとに示す。なお V 条件の結果は各組み合わせにおいて同じものを示している。

が 80 ms で刺激呈示順序が A-V-V の条件では、空間一致性の主効果 ($F(2, 8)=22.0, p<.001$) と VV-SOA の主効果 ($F(4, 16)=27.4, p<.001$) のみが認められた。空間一致性の主効果に関して下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行った結果、V、AVC、AVI 条件のすべての組み合わせにおいて有意な差が見られた ($p<.05$)。

AV-SOA: 80 ms, 刺激呈示順序: V-V-A AV-SOA が 80 ms で刺激呈示順序が V-V-A の条件では、VV-SOA の主効果 ($F(4, 16)=17.6, p<.001$) のみが認められ、空間一致性による影響は見られなかった。

AV-SOA: 640 ms, 刺激呈示順序: A-V-V AV-SOA が 640 ms で刺激呈示順序が A-V-V の条件では、すべての主効果および交互作用が認められた（空間一致性: $F(2, 8)=4.61, p<.05$; VV-SOA: $F(4, 16)=15.4, p<.001$; 空間一致性×VV-SOA: $F(8, 32)=2.63, p<.05$ ）。交互作用に関して下位検定を行った結果、VV-SOA が 13, 27, 40 ms の場合においてのみ、空間一致性の有意な単純主効果が見られた ($p<.05$)。次に、この単純主効果の下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行った結果、VV-SOA が 13, 27 ms のときに、V、AVC 条件間に差は見られなかったが、他の条件間では有意な差が見られ ($p<.05$)、VV-SOA が 40 ms の場合には AVC 条件と AVI 条件との間でのみ有意な差が見られた ($p<.05$)。

AV-SOA: 640 ms, 刺激呈示順序: V-V-A AV-SOA が 640 ms で刺激呈示順序が V-V-A の条件では、

VV-SOA の主効果 ($F(4,16)=23.6, p<.001$) のみが認められ、空間一致性による影響は見られなかった。

考察

実験結果のまとめ 刺激提示順序が A-V-V の場合でのみ、空間一致性の視覚的時間順序判断に対する影響が見られた。つまり、先行音が視覚的時間順序判断に対して影響を与えていることが分かった。後続音による影響は認められなかった。また、Figure 3 を見てみると、AV-SOA が 640 ms のときには AVI 条件でのみ、視覚的時間順序判断への強い影響が見られたことが分かる。

先行音による影響 先行音が視覚的時間順序判断に影響を与えているという結果から、空間情報を加えた視覚的時間順序判断課題における聴覚情報の影響は、先行研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) とは異なる種類のものであることが示唆された。より詳しい考察は、実験 I の結果と合わせて、以下の総合考察で述べる。

総合考察

実験 I, II の結果のまとめ

本研究では、空間情報を加えた場合に、聴覚情報が視覚的時間順序判断にどのように影響を与えるかを検討したが、実験 I の結果から、空間情報が視覚刺激と一致する聴覚情報は、視覚的時間順序判断の能力を向上させ、不一致な聴覚情報は能力を低下させることが分かった。このような聴覚情報の影響は、視覚刺激と聴覚刺激が同時提示される場合には見られず、80, 320 ms 離れた場合に顕著で、640 ms 離れた場合にもその影響は残った。上述のような聴覚情報による視覚的時間順序判断への影響が、先行音、後続音どちらによってもたらされたものであるかを実験 II で検討した結果、先行音による影響の方が大きいということが分かった。また、聴覚情報から視覚的時間順序判断への影響は、実験 I および II に共通して、特に視覚的時間順序判断が困難な場合 (VV-SOA が短い場合) に顕著であった。

空間一致性の影響

実験 I の結果が示すように、聴覚刺激と視覚刺激の空間一致性が、聴覚情報の視覚的時間順序判断への影響の方向 (能力の向上, 低下) を規定するということが分かった。本研究の結果も、先行研究 (Yamamoto & Kitazawa, 2001; Teramoto et al., In preparation) と同様に、時間順序判断課題に対して、空間情報が重要な役割を演じることを示したといえる。また、一般に、視覚が聴覚に対して優位となる空間的な要素を加えても聴覚系から視覚系への影響が見られる結果となった。

視覚的時間順序判断へ影響を与える聴覚刺激

先行研究 (Shimojo et al., 2001; Morein-Zamir et al., 2003) では、聴覚情報による視覚の時間分解能の向上が

先行音によってもたらされたものではないという結果であった。しかしながら、本研究ではそれと異なり、先行音の方が、視覚的時間順序判断に与える影響が大きいという結果であった。この違いは、課題に空間的要素を省いたか、加えたかの違いによるものだと考えられる。空間情報を加えたことにより、後続音の効果が完全になくなったとは考えにくいので、空間情報を加えた場合には、先行音の空間情報による視覚的時間順序判断への影響が大きく、実験 II のような結果になったと解釈するのが自然であろう。

さらに、空間情報を省くか、加えるかによって、視覚的時間順序判断に影響を与える聴覚刺激が変化するということは、空間情報がある場合とない場合とで、聴覚刺激による影響の作用の仕方が異なるということを示唆している。本研究で見られた影響が、どのような作用によるものかについては、視覚刺激に先行する聴覚刺激によって、空間的な選択的注意が誘発された可能性が考えられるが、本研究の結果からだけではそれを特定することはできない。

また、本研究の結果では、特に、実験 II において、AV-SOA が 640 ms のときに、視覚刺激と聴覚刺激の空間情報が不一致な場合 (AVI 条件) でのみ、聴覚情報から視覚的時間順序判断への影響が見られたように、不一致な情報も影響を与えるという結果であった。しかし、視聴覚相互作用の先行研究では、不一致な情報は無視され、影響を及ぼさないという結果が得られているものもある (Kitagawa & Ichihara, 2002)。このことから、本研究の結果は、この先行研究における作用とも異なる種類のものであることが示唆される。

AV-SOA が 640 ms のときの結果について

視知覚に対する、視覚的な自動的注意が引き起こされるのは 100~200 ms までで、それ以降は能動的注意となるという報告があるため (Nakayama & Mackeben, 1989)、AV-SOA が 640 ms になっても、先行音による影響が残ったことに関しては、先行音によってもたらされた注意が、能動的注意に切り換わったものである可能性がある。

視覚のみによる知覚が困難な場合

聴覚情報による視覚的時間順序判断への影響は特に VV-SOA が短い場合において顕著であり、視覚情報だけでは判断が困難な場合に積極的に聴覚情報を利用することが分かった。例えば、暗い室内など、視覚情報だけでは外界の把握が困難な場合に、ヒトは他の感覚モダリティからの情報を利用して外界の知覚を行う。VV-SOA が短い場合の結果も、先行研究 (Sekuler, Sekuler, & Lau, 1997; Watanabe & Shimojo, 1998, 2001) と同様、単一の感覚モダリティのみによる知覚が困難な場合には、積極的に他の感覚モダリティからの情報を利用す

るという、環境に適応した行動を示していると言える。

結論

本研究では、聴覚情報が視覚的時間順序判断にどのように影響を与えるかを、空間情報を加えた上で検討した。その結果、左右という空間情報を加えた視覚的時間順序判断課題に対しても、聴覚系から視覚系への影響が見られるということが分かった。また、時間順序判断課題に対して、空間一致性が重要な役割を担うことも示された。さらに、空間的要素を加えた場合では、聴覚情報による視覚的時間順序判断への影響の仕方が、空間情報を省いた場合とは異なるということも示唆された。

引用文献

- Bertelson, P., & Radeau, M. 1981 Cross-modal bias and perceptual fusion with auditory-visual spatial discordance. *Perception and Psychophysics*, **29**, 578-584.
- Driver, J., & Spence, C. 1998 Cross-modal links in spatial attention. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, **353**, 1319-1331.
- Escera, C., Yago, E., & Alho, K. 2001 Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *European Journal of Neuroscience*, **14**, 877-883.
- Fendrich, R., & Corballis, P. M. 2001 The temporal cross-capture of audition and vision. *Perception and Psychophysics*, **63**, 719-725.
- Gebhard, J. W., & Mowbray, G. H. 1959 On discriminating the rate of visual flicker and auditory flutter. *American Journal of Psychology*, **72**, 521-528.
- Howard, I. P., & Templeton, W. B. 1966 *Human Spatial Orientation*. London: Wiley.
- Jack, C. E., & Thurlow, W. R. 1973 Effects of degree of visual association and angle of displacement on the "ventriloquism" effect. *Perceptual and Motor Skills*, **37**, 967-979.
- Kitagawa, N., & Ichihara, S. 2002 Hearing visual motion in depth. *Nature*, **416**, 172-174.
- Mateeff, S., Hohnsbein, J., & Noack, T. 1985 Dynamic visual capture: apparent auditory motion induced by a moving visual target. *Perception*, **14**, 721-727.
- Morein-Zamir, S., Soto-Faraco, S., & Kingstone, A. 2003 Auditory capture of vision: examining temporal ventriloquism. *Cognitive Brain Research*, **17**, 154-163.
- Nakayama, Y., & Mackeben, M. 1989 Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, **29**, 1631-1647.
- ペッペル, E. 田山忠行・尾形敬次 (訳) 1995 意識のなかの時間 岩波書店
(Poppel, E. 1985 *Grenzen des Bewußtseins: Über Wirklichkeit und Welterfahrung*, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH.)
- Rock, I., & Victor, J. 1964 Vision and touch: an experimentally created conflict between the two senses. *Science*, **143**, 594-596.
- Sekuler, R., Sekuler, A. B., & Lau, R. 1997 Sound alters visual motion perception. *Nature*, **385**, 308.
- Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. 2002 Visual illusion induced by sound. *Cognitive Brain Research*, **14**, 147-152.
- Shimojo, S., Miyauchi, S., & Hikosaka, O. 1997 Visual motion sensation yielded by non-visually driven attention. *Vision Research*, **37**, 1575-1580.
- Shimojo, S., Scheier, C., Nijhawan, R., Shams, L., Kamitani, Y., & Watanabe, K. 2001 Beyond perceptual modality: auditory effects on visual perception. *Acoustical Science and Technology*, **22**, 61-67.
- Teramoto, W., Watanabe, H., Umemura, H., Matsuoka, K., & Kita, S. Visual motion which elicitsvection alters temporal-order judgement of tones. (In preparation)
- Watanabe, K., & Shimojo, S. 1998 Attentional modulation in perception of visual motion events. *Perception*, **27**, 1041-1054.
- Watanabe, K., & Shimojo, S. 2001 When sound affects vision: effects of auditory grouping on visual motion perception. *Psychological Science*, **12**, 109-116.
- Welch, R. B., & Warren, D. H. 1980 Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychological Bulletin*, **88**, 638-667.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. 2001 Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature Neuroscience*, **4**, 759-765.
(2004年8月31日受稿, 2005年2月21日受理)