

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00208

研究課題名（和文）視覚におけるチャンネル間処理の解明

研究課題名（英文）Investigation into across-channel processing in vision

研究代表者

廣瀬 信之（Hirose, Nobuyuki）

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：40467410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ヒト視覚系と聴覚系のアナロジーに基づいて、聴覚無音検出において示唆されてきたチャンネル間処理による時間分解能の低下が、視覚における時間間隙検出においても見られるかを調べた。具体的には、時間間隙前後での時間マーカー（Gabor刺激）の空間周波数や方位の変化がマーカーに挟まれた時間間隙の検出/弁別能に及ぼす影響について検討した。その結果、時間間隙前後のマーカーの空間周波数や方位が異なる場合には、それらが同一である場合と比べて、時間間隙検出閾/弁別閾が上昇した。つまり、空間周波数および方位の次元におけるチャンネル間処理によって視覚的な時間分解能が低下する可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

聴覚無音検出において無音前後の音の特徴が異なる場合には時間分解能の低下（無音検出閾値の上昇）が認められることが知られてきた。本研究では、視覚における時間間隙検出においても、間隙前後の刺激の空間周波数が異なる場合や方位が異なる場合に、同様の時間分解能の低下（時間間隙検出閾値の上昇）が観察されることを明らかにした。本研究成果は、視覚と聴覚というモダリティの違いを超越して作用するヒト情報処理の共通原理が存在する可能性を示す。

研究成果の概要（英文）：In the present study, on the basis of analogy between human visual and auditory systems, we investigated whether the decrement in temporal resolution, which has been found in auditory gap detection and is thought to be due to across-channel processing, is also obtained in visual temporal gap detection. Specifically, we examined the effect of spatial frequency or orientation difference between temporal markers (Gabor stimuli) on sensitivity of a temporal gap delimited by the two markers. We found that temporal gaps bounded by different frequency/orientation markers are more difficult to see than those bounded by identical frequency/orientation markers. These results suggest that across-channel processing in both spatial frequency and orientation domains degrades visual temporal resolution.

研究分野：認知科学

キーワード：視覚 チャンネル間処理 時間間隙 空間周波数 方位 時間分解能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々は、音の途切れがあるとすぐに気づくといったように、連続音中の無音に対して非常に敏感である。聴覚の時間分解能を測定する課題の一つに、無音検出課題がある。無音を挟む 2 音（先行音と後続音）の周波数が同じか非常に近い場合、無音の検出は容易であり、閾値は 5-10 ms となるが、先行音と後続音の周波数が異なると無音検出は難しくなり、閾値は 15-50 ms にまで上昇する (e.g., Phillips et al., 1997)。このような無音前後の音の周波数が異なる場合の無音検出能の低下は、「チャンネル間処理」という概念で説明される (Phillips et al., 1997)。ヒト聴覚系は、特定の周波数帯域の入力音を処理するそれぞれ独立した周波数選択的チャンネルの集合と捉えられる。同じか非常に近い周波数の音に挟まれた無音の検出は、単独のチャンネルを監視し（チャンネル内処理）、当該チャンネル内の時間的不連続性を検出しさえすればよいため、非常に容易である。これに対して、先行音と後続音の周波数が異なる場合の無音検出は、異なる 2 つのチャンネルを同時に監視しながら（チャンネル間処理）、先行音を処理するチャンネルでの音情報の終了（オフ）と後続音を処理するチャンネルでの音情報の開始（オン）の相対的時間差を計測する必要があるため、難しくなると考えられている。

ヒト視覚系においても、選択的順応 (Blakemore & Campbell, 1969) やマスキング (Stromeyer & Julesz, 1972) などの手法を用いた実験により、特定の空間周波数帯域に対して選択的に応答する複数の空間周波数チャンネルの存在が示唆されている。例えば、Blakemore and Campbell (1969) は、特定周波数の正弦波格子縞に順応すると、同じ方位で同じ周波数の正弦波格子縞に対するコントラスト閾値が最も上昇し、この閾値上昇が順応周波数を中心とする比較的狭い範囲の周波数に限られることを明らかにした。このように、もともと聴覚において示されてきた周波数に選択的な順応やマスキングといった現象が視覚においても同様に生じることから、聴覚系と視覚系の間には構造（解剖学）と機能（生理学）の大きな違いが存在するにもかかわらず、単なる偶然とは思えないほどの類似性が認められる (Julesz, 1980)。

2. 研究の目的

本研究では、聴覚系と視覚系のアナロジーに着想を得て、聴覚で見出されてきた「チャンネル間処理」による無音検出能の低下と同様の現象が、視覚における時間間隙検出でも認められるのかを明らかにすることを目的とした。具体的には、以下の 3 つのテーマについて研究を進めた。

(1) 申請者は近年、時間間隙前後の刺激の空間周波数が異なる場合には同じ場合に比して時間間隙の検出が困難になるという結果を得た (奥田・廣瀬・森, 2015)。ただし、空間周波数が異なる条件と同じ条件が別ブロックで実施されていたため、この結果はチャンネル間処理を想定せずとも空間周波数選択的順応による視覚的持続の減少 (e.g., Meyer & Maguire, 1981) という既知の現象による説明も可能である。そこで、この可能性を排除する実験手続きを確立することを目的とした。

(2) 上記の (1) で確立した実験手続きを用いて、奥田ら (2015) が用いた 2.0-4.0 cpd よりも広範囲の 0.5-8.0 cpd の範囲も含めて、時間間隙前後で空間周波数の差があると時間間隙の検出能が低下するかどうかを改めて調べた。

(3) 同様の実験手続きを用いて、空間周波数以外で選択的なチャンネルの存在が示されている方位 (Campbell & Kulikowski, 1966) の次元におけるチャンネル間処理について検討した。

3. 研究の方法

(1) 時間間隙前後の刺激の空間周波数が異なる条件と同じ条件を別ブロックでテストするのではなく、同一ブロック内で毎試行ランダムに（インターリーブ形式で）呈示することで、空間周波数選択的順応の影響を最小限にする手続きを考案し、奥田ら (2015) と同様の傾向が認められるかを予備的に調べた。

(2) 後述するように有効性が確認された (1) の手法を用いて、空間周波数次元におけるチャンネル間処理について再検討した。先行刺激と後続刺激は 200-300 ms 呈示される Gabor 刺激とし、2 区間強制選択法と 1-up 2-down 変形上下法を組み合わせ 70.7% 検出閾を測定した。空間周波数が異なる場合の影響が空間周波数変化によるものであって、単なる刺激変化によるものではないことを保証するために、空間周波数変化の有無に関係なく先行刺激と後続刺激の間に方位差を設けた。具体的には、先行刺激は垂直とし、後続刺激は時計回りに 12° 傾けた。実験 1 では 2 オクターブの周波数差の影響を見るために、時間間隙前（あるいは後）の空間周波数を 2.0 cpd に固定し、時間間隙後（あるいは前）の空間周波数を 0.5, 2.0, 8.0 cpd の 3 段階で操作した。計 5 通りの周波数組み合わせについての検出閾を、インターリーブ形式で 2 回測定し、その平均を分析に用いた。実験 2 では奥田ら (2015) と同様に時間間隙前後の空間周波数をそれぞれ 2.0, 4.0 cpd の 2 段階で操作した。計 4 通りの周波数組み合わせについての検出閾をインターリーブ形式で 2 回測定し、その平均を分析に用いた。

(3)以下に述べる点を除いて(2)と同様の手続きを用いて、方位次元におけるチャンネル間処理について検討した。先行刺激と後続刺激は200-300 ms 呈示される 3.0 cpd の Gabor 刺激であった。方位差 0° では時間間隙が検出できなくてもフリッカー知覚を手がかりに回答することが可能であるため、時間間隙検出ではなく、ベースとなる時間間隙長を 10 ms として 70.7% 弁別閾を測定した。先行刺激の方位は垂直とし、後続刺激との方位差(時計回り)を 0-90° まで 18° ステップで操作した。計 6 通りの方位差についての弁別閾をインターリーブ形式で 2 回測定し、その平均を分析に用いた。

4. 研究成果

(1)新たに考案した時間間隙前後の刺激が異なる条件と同じ条件をインターリーブ形式でランダムに呈示する手法により、奥田ら(2015)と同様の傾向が得られることを確認できたため、選択的順応の影響を最小限にしてチャンネル間処理を検討することが可能な実験手続きを確立することができた。

(2)実験1では、時間間隙前の空間周波数を固定して時間間隙後の空間周波数を操作した場合と、時間間隙後の空間周波数を固定して時間間隙前の空間周波数を操作した場合のいずれにおいても、時間間隙前後の周波数が異なる場合(0.5-2.0, 2.0-0.5, 2.0-8.0, 8.0-2.0 cpd)には、同じ場合(2.0-2.0 cpd)よりも検出閾が高くなった。ただし、コントラスト感度曲線を考慮すると、閾上刺激を用いたとは言え視認性が相対的に低い 0.5 あるいは 8.0 cpd の刺激が関与する時間間隙検出が困難であっただけかもしれない。そこで、実験2では、コントラスト感度が高い範囲内の 2.0, 4.0 cpd をテストしたが、図1に示す通り、時間間隙前後の周波数が異なる場合(2.0-4.0, 4.0-2.0 cpd)には、同じ場合(2.0-2.0, 4.0-4.0 cpd)よりも検出閾が高くなった。したがって、時間間隙前後の空間周波数の違いが時間分解能を低下させることが示された。

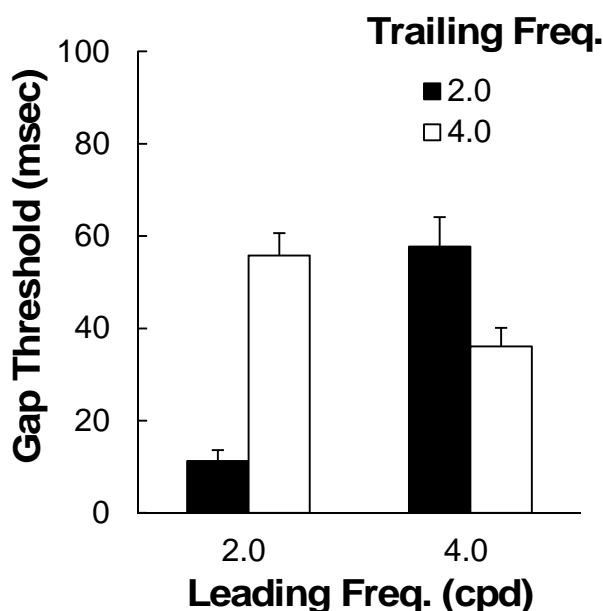


図1 時間間隙検出閾(実験2の結果)。
エラーバーは標準誤差。

(3)方位差 0° で最も弁別閾が低く、方位差が大きくなるにつれて弁別閾が上昇し、方位差 36-54° でプラトーに達した。したがって、時間間隙前後の方位の違いについても、空間周波数の違いと同様に時間分解能を低下させることが示された。

以上をまとめると、ヒト聴覚の無音検出事態で無音前後の音の特徴が異なる場合に観察される無音検出能の低下を説明する概念である「チャンネル間処理」が、視覚の時間間隙検出(あるいは弁別)事態においても空間周波数次元や方位次元について作用し、その結果として時間分解能が低下するものと解釈できる。このようなチャンネル間処理による時間分解能低下については、時間間隙前の刺激と後の刺激の間の神経表象ないし知覚表象の重複の度合いや、特徴変化信号がノイズとして時間間隙表象に干渉する可能性を考慮することで説明ができると考えられる。本研究の成果は、視覚と聴覚というモダリティの違いを超越して作用するヒト情報処理の共通原理が存在する可能性を示す。

この他にも、入力眼に関するチャンネル間処理の検討として両眼視野闘争に対して視覚刺激と触覚刺激の一致不一致が及ぼす影響を調べたり、先行呈示したマスク刺激の色特徴次元での急激な変化が逆向マスクングに及ぼす影響を調べたり、視覚以外でも周波数間無音検出との関わりが示唆される音声カテゴリー知覚について調べたりした。

< 引用文献 >

- Blakemore, C., & Campbell, F. W. (1969). On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *Journal of Physiology*, 203, 237-260.
- Campbell, F. W., & Kulikowski, J. J. (1966). Orientational selectivity of the human visual system. *Journal of Physiology*, 187, 437-445.
- Julesz, B. (1980). Spatial-frequency channels in one-, two-, and three-dimensional vision: Variations on an auditory theme by Bekesy. In C. S. Harris (Ed.), *Visual coding and adaptability* (pp. 263-316). Psychology Press.
- Meyer, G. E., & Maguire, W. M. (1981). Effects of spatial-frequency specific adaptation and target duration on visual persistence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 151-156.
- 奥田謙・廣瀬信之・森周司 (2015). 空間周波数におけるチャンネル間処理が時間分解能に及ぼす影響. *電子情報通信学会技術研究報告*, 115(36), 131-134.
- Phillips, D. P., Taylor, T. L., Hall, S. E., Carr, M. M., & Mossop, J. E. (1997). Detection of silent intervals between noises activating different perceptual channels: Some properties of "central" auditory gap detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101, 3694-3705.
- Stromeyer, C. F., & Julesz, B. (1972). Spatial-frequency masking in vision: Critical bands and spread of masking. *Journal of the Optical Society of America*, 62, 1221-1232.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hirose, N., Hattori, S., & Mori, S.	4. 巻 63
2. 論文標題 Breaking surface feature continuity of previewed mask reinstates object substitution masking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Psychological Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jpr.12275	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.	4. 巻 237
2. 論文標題 Precision of voicing perceptual identification is altered in association with voice-onset time production changes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 2197-2204
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-019-05584-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.	4. 巻 62
2. 論文標題 Effects of manipulating the amplitude of consonant noise portion on subcortical representation of voice onset time and voicing perception in stop consonants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Speech, Language, and Hearing Research	6. 最初と最後の頁 434-441
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1044/2018_JSLHR-H-18-0102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mori, S., Kikuchi, Y., Hirose, N., Lepage, H., & Wong, W.	4. 巻 112
2. 論文標題 Auditory gap detection: Psychometric functions and insights into the underlying neural activity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biological Cybernetics	6. 最初と最後の頁 575-584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00422-018-0786-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.	4. 巻 61
2. 論文標題 Psychophysical boundary for categorization of voiced-voiceless stop consonants in native Japanese speakers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Speech, Language, and Hearing Research	6. 最初と最後の頁 789-796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1044/2017_JSLHR-H-17-0131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Hirose, N., & Mori, S.
2. 発表標題 Across-frequency interference in visual temporal gap detection revisited
3. 学会等名 European Association for Vision and Eye Research (EVER) 22nd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirose, N., & Mori, S.
2. 発表標題 Visual detection of a temporal gap between markers of different spatial frequencies
3. 学会等名 International Convention of Psychological Science (ICPS) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野未琴・廣瀬信之・森周司
2. 発表標題 触覚情報が両眼視野闘争下での視覚的意識に及ぼす影響の再検討
3. 学会等名 日本心理学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Mori, S., Aratake, R., Fujisaka, Y., Morimoto, T., Ito, K., Tamura, S., & Hirose, N.
2 . 発表標題 Searching for a measure of auditory temporal resolution: Preliminary data
3 . 学会等名 The 34th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics (Fechner Day 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tamura, S., Mori, M., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.
2 . 発表標題 Study on interactions between voicing production and perception using auditory feedback paradigm
3 . 学会等名 174th Meeting of the Acoustical Society of America (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ono, M., Hirose, N., & Mori, S.
2 . 発表標題 Congruent tactile information enhances visual awareness during binocular rivalry
3 . 学会等名 Psychonomic Society 58th Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Hirose, N., Okuda, Y., & Mori, S.
2 . 発表標題 Across-frequency impairment in seeing a temporal gap
3 . 学会等名 European Association for Vision and Eye Research (EVER) 20th Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 小野未琴・廣瀬信之・森周司
2. 発表標題 視覚と触覚の情報一致が両眼視野闘争下での視覚的意識に及ぼす影響
3. 学会等名 日本心理学会第81回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Cho, H., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.
2. 発表標題 Within- and between-frequency gap duration discrimination as a function of the standard duration
3. 学会等名 The 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S.
2. 発表標題 Relationship between voicing perception and auditory brainstem responses to stop consonants
3. 学会等名 The 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本基礎心理学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 608
3. 書名 基礎心理学実験法ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----