

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25240023

研究課題名(和文) 時間、空間、音声の知覚に共通するチャンネル間処理の解明

研究課題名(英文) Investigating common properties of across-channel processing in time, space, and speech perception

研究代表者

森 周司 (Mori, Shuji)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：10239600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ヒト聴覚のチャンネル間処理(異なる周波数チャンネルや左右の耳に跨って行なわれる情報処理)と、時間、空間、音声知覚におけるチャンネル間処理の共通性を検討した。その結果、心理音響学的手法で測定したそれらの知覚のチャンネル間処理の指標には有意な相関があることが分かった。この結果は、聴覚神経機構の脳幹と聴覚野の神経科学的測定とも対応した。更に、チャンネル間処理が視覚においても働いていることを示す結果も得られた。

研究成果の概要(英文)：In this project, we investigated human auditory across-channel processing which occurs in different frequency channels and in different ears, and its commonality in time, space, and speech perception. We found significant correlations among some of the psychoacoustical indices of across-channel processing for those three domains of perception. This finding was corroborated by neuroscientific measures of auditory brainstem and cortex. We also obtained data indicating that across-channel processing was likely to operate in vision.

研究分野：認知科学、音響心理学、心理物理学

キーワード：聴覚 時間知覚 音声知覚 空間知覚 心理物理学

1. 研究開始当初の背景

ヒト聴覚は、周波数選択性チャンネルの集合で概念化される (Moore, 2003; 森・香田, 2011)。それぞれのチャンネルは独立で、特有の周波数帯域の入力音のみを処理する。チャンネル内での処理の時間分解能は高く、定常音の中に 5msec の無音が挿入されても検知可能である (Scharf & Buus, 1997)。しかし、我々が日常生活で聞く音は様々な周波数成分から構成され、それらの相対的な時間差が重要な情報となる。混声合唱やオーケストラのシンフォニーはその良い例である。このような時間情報処理は、複数のチャンネルに渡る「チャンネル間処理」である。

チャンネル間処理の時間分解能は周波数間無音検出で測定される。周波数間無音検出では、定常音内の無音検出 (周波数内無音検出) とは異なり、無音区間の前後の音 (先行音と後続音) で周波数が異なる。先行音と後続音の周波数が違うほど検出閾値は上昇し、2オクターブの相違で 50 ~ 60msec にまで達する (Formby et al., 1996)。これは、無音が先行音のチャンネルでの音情報の終了 (off) と後続音のチャンネルでの音情報の開始 (on) の相対的時間差として処理されるため、チャンネル間処理の時間分解能の低さを反映する (Phillips, 1999)。

チャンネル間処理が聴空間知覚や音声知覚に關与する可能性も示唆されている。無音区間の先行音と後続音を左右別の耳に呈示する (両耳間無音検出) あるいは異なる位置のスピーカーで呈示すると、周波数間無音検出と同程度に閾値が高くなる (Phillips et al., 1997)。また、音声の /b/ と /p/ は有声開始時間 (voice onset time、以降 VOT) の長さによりカテゴリカルに識別されるが、その識別境界は 30 ~ 40msec 程度であり、聴取者の周波数間無音検出閾値と有意な正の相関を示すことが報告されている (Elangovan & Stuart, 2008)。VOT は声道閉鎖開放によるバーストから声帯振動までの時間で (図 1) その間は無音に近い状態が続き、バーストと声帯振動では周波数帯域が異なる。従って、VOT による /b/ と /p/ の識別も一種の周波数間無音検出と見なされよう。

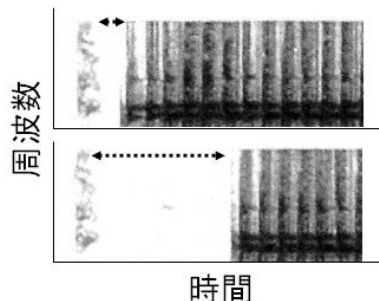


図 1 .(上) /ba/ と (下) /pa/ のスペクトル: 矢印が VOT

但し、以上の知見は、聴空間知覚及び音声知覚と周波数無音検出の結果に類似性があることを示すに過ぎない。またチャンネル間処理の脳内機構も未解明である。Phillips (1999) は、複数のチャンネルに渡る処理は聴覚系末梢ではなく、大脳聴覚野で行われるとした。動物実験ではそれを支持するデータがある (Eggermont, 2000) もの、ヒト聴覚の電気生理学的測定では否定的な結果が示されている (Heinrich et al., 2004)。応募者も心理音響実験 (Mori, 2005, 2006) と事象関連電位測定 (中野・森・伊良皆, 2008) によりチャンネル間処理の脳内機構を検討したが、明確な結果を得られなかった。しかし最近になって、聴性誘発電位の早期成分である ABR の測定から、周波数間無音検出に下丘 (図 2) が關与することを示唆するデータを得た。周波数間無音検出と同じ刺激で ABR を測定したところ、無音長が閾値と同じか長い場合にのみ、下丘起源の波が測定された。これは、無音検出の先行音と後続音の周波数を変えて閾値が短くなっても同じであった。従って、波の発生には無音の長さではなく、無音の「知覚の有無」が關係していると考えられる。これまで下丘はチャンネル間処理の脳内基盤とは考えられていなかったが、左右耳への入力音情報が統合される上オリーブ

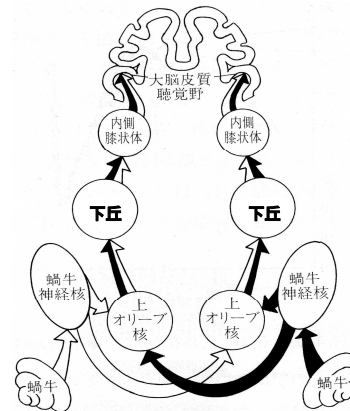


図 2. 聴覚系の脳内機構 (大串, 2001, p.110, 図 5・13)

核のすぐ上位にあり (図 2) 時間情報の符号化も行なわれている (森・香田, 2011)。従って、下丘は時間情報処理と空間知覚の両方を行なうには適した場所である。

2. 研究の目的

本研究課題の主たる目的は次の 3 つである。

【A】チャンネル間処理の共通性の実証

時間、聴空間、音声知覚に共通したチャンネル間処理が存在することを実証する。周波数間及び両耳間無音検出の閾値、/b/-/p/ や /d/-/t/ といった有声音と無声音の識別境界である VOT 長を個人内で測定し、それらの値の関連性を検討する。

【B】チャンネル間処理の脳内メカニズムの同定

周波数間や両耳間無音、音声聴取時の脳活動を測定し、それらに参与するチャンネル間処理の脳内メカニズムを同定する。応募者の予備的研究では下丘の関与が示唆されるが、それを証明するには下丘より上の大脳皮質聴覚野の活動も詳細に検討する必要がある。

【C】促音知覚と視覚におけるチャンネル間処理の検討

チャンネル間処理の考え方を促音知覚と視覚に拡張し、実験的に検証する。促音は日本語の「っ」と詰まる音に相当する。促音部の無音は100msec超と無音検出のそれより長いものの、無音の前後の音韻(/akku/なら/a/と/k/)の周波数成分が異なる点で周波数間無音検出の刺激事態に近い。促音知覚は母語との関連で検討されているが(Sadakata & Sekiyama, 2011)、本研究課題では無音検出やチャンネル間処理の観点からも検討する。視覚では感覚チャンネルの存在が実証されている属性を選択し、視覚のチャンネル間処理を検討する。

3. 研究の方法

上記3つの目的を満たすことを研究テーマとし、各テーマの研究で用いた方法は以下の通りである。

【A】チャンネル間処理の共通性の実証

心理音響実験により、周波数内、周波数間、及び両耳間無音検出の閾値、/b/-/p/のカテゴリ境界を測定し、測定値間の相関分析を行った。無音検出で用いる先行音と後続音は1/2オクターブ幅の帯域制限雑音で、周波数内と周波数間無音検出では実験参加者の右耳に呈示した。両耳間無音検出では先行音を右耳、後続音を左耳に呈示した。カテゴリ境界の測定では、VOTを変化させた合成音を用い/ba/と/pa/の同定が50%となるVOT値を求めた。また、周波数間無音検出での知覚的学習が両耳間無音検出と音声識別に与える影響を検討した。実験参加者には長時間の周波数間無音検出課題を課し、その前後での周波数間と両耳間無音検出の閾値、及び識別境界VOT値を測定した。

【B】チャンネル間処理の脳内メカニズムの同定

脳活動の測定にABRと脳磁図(MEG)を用いた。ABRの計測には脳波計を使用し、周波数内及び周波数間無音刺激、VOTを段階的に操作した音声刺激を連続呈示して、生じた波形を加算した。

MEGの計測には306チャンネル全頭型脳磁界計測装置を使用した。各実験参加者について事前に無音検出閾値を測定し、その閾値長と同じ長さの無音を挿入した音刺激を連続呈示して、それらの波形を加算した。そして無音検出に対応する皮質活動が最も高い脳領域を推定し、それらの領域において無音の先行音と後続音により生じる脳活動の時間関係を観測した。

【C】促音知覚と視覚におけるチャンネル間

処理の検討

促音知覚に関しては、日本語と英語の母話者を実験参加者として促音聴取実験と事象関連電位の測定を行った。視覚では、空間周波数を刺激属性とするギャップ検出課題を用いた。刺激は円形の正弦波格子縞で、周波数が同一あるいは異なる2つの刺激を連続呈示し、その間の時間的ギャップの有無を参加者に答えさせた。

4. 研究成果

各研究テーマの成果は以下の通りである。

【A】チャンネル間処理の共通性の実証

若年健聴者49名を対象として、周波数内、周波数間、及び両耳間無音検出の閾値、/b/-/p/の同定反応を測定し、測定値間の相関分析を行った。その結果、周波数間と両耳間無音検出閾値には有意な相関があり、両者は共通のチャンネル間処理を反映していることが明らかになった。一方、/b/-/p/の同定反応と無音検出閾値の間には有意な相関がなかった(Mori et al., 2015)。

音声と時間のチャンネル間処理の検討を知覚的学習により検討した。無音検出課題を2~3週間行う訓練群と全く行わない非訓練群で、その前後での/da/-/ta/の音声同定と弁別成績を測定した。その結果、音声同定での/da/-/ta/識別境界値には2つの群で有意な変化見られなかったが、訓練群では音声弁別成績が向上する傾向が見られた(田村ら, 2015)。

時間と空間のチャンネル間処理の共通性に関しては、単耳(時間)と両耳間(空間)での無音検出閾値を測定した。その結果、無音前後の周波数が同一の場合には両耳間の閾値の方が高くなるが、周波数が異なると同じ値に収束する傾向が見られた(Ito et al., 2016a,b)。

【B】チャンネル間処理の脳内メカニズムの同定

周波数内及び周波数間無音聴取時の聴性脳幹反応(ABR)を測定した。その結果、周波数内あるいは周波数間に関わらず、無音長が10 msecを超えると後続音のABR振幅が大きくなることが確認された(Mori & Iramina, 2015)。先行音長が50 msecであることを考え合わせると、先行音のオンセットから60 msec以内では後続音のオンセット反応が抑制され、無音検出が困難になるという知見と一致する。周波数間無音検出状況では、無音前後の周波数に応じてABRの潜時に変化が見られた(Takamura et al., 2016)。また、同一の音声刺激と聴取者を用いて、音声識別実験とABR測定を実施したところ、識別境界とABRの潜時に同様の変化が観察された(Tamura et al., 2016)。

周波数間及び周波数内無音聴取時の下丘の活動を脳磁図(MEG)で測定した。呈示刺激にはギャップ前後の周波数が800Hzあるいは3200Hzで同じ(周波数内)あるいは異なる

る(周波数間)純音とした。その結果、ギャップ後の音の立ち上がりに対する反応に周波数内と周波数間で違いがみられた。また、MEGの解析により800Hzと3200Hzにそれぞれ対応する大脳聴覚野の領域が特定された。これは、無音検出の「周波数チャンネル」を具体的な脳領域として同定した世界最初の知見である(Mitsudo et al., 2014)。更に、無音検出状況下でのMEGを実験参加者の反応(「無音有り」「無音無し」)により分けて分析したところ、一部の参加者では「無音有り」の場合のみ後続音の開始による波形の変化が観察された。また、有声・無声閉鎖音聴取時のMEGの測定では、聴覚野の活動と行動実験での識別判断の変化に関連性が見られた(田村ら, 2017)。

【C】促音知覚と視覚におけるチャンネル間処理の検討

(H25)促音知覚に関しては、日本語と英語それぞれを母語とする聴取者を対象として促音聴取実験と事象関連電位の測定を行った。その結果、日本語母語話者は摩擦促音を無音としてとらえる傾向があるが、英語母語者にはその結果がないことが分かった。これは、日本語と英語の母語話者では促音知覚の情報処理が異なることを示唆する(Sadakata et al., 2013; Sadakata & Sekiyama, 2016)。また、日本語を母語とする子供を対象とした実験を行い、促音の書き取りとかなの読みのテストの成績が高い子どもほど「っ」を無音の一拍と混同する傾向にあることが分かった。

視覚に関しては、空間周波数次元におけるチャンネル間処理をギャップ閾値測定により検討した。ガボール刺激を用いた結果では、ギャップ前後の周波数が異なる場合は同じ場合と比べて閾値が上昇し、チャンネル間処理によりギャップ感度が低下することが示された。この結果は、ギャップ前後の刺激の傾きの相違(15°あるいは90°)に係らず観察された(Hirose et al., 2015, 2017)。ホワイトノイズ画像にフィルタをかけて作成した刺激で同様の実験を行なったところ、ガボール刺激を用いた場合と同様に、周波数内と比べて周波数間のギャップ検出閾値が上昇した。以上の結果は、視覚においても聴覚と同様にチャンネル間処理が作用していることを示唆する。

以上の成果については、Ear & Hearing、Frontiers in Neuroscienceなどの学術雑誌の論文、及び国内外の学会で発表した(詳細は「5. 主な発表論文等」参照)。また、科研メンバーを中心とするワークショップを年に1回開催し、各年度での成果を報告し議論した。H27年度のワークショップは5th Joint Meeting of ASA and ASJ(2016年12月, Honolulu)のSpecial Sessionとして行い、国内外の研究者に成果を発表し、注目を集めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計15件)

Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S. Psychophysical boundary for categorization of voiced-voiceless stop consonants in native Japanese speakers. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 査読有, 61, 789-796, 2018.

Tamura, S., Mori, M., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S. Study on interactions between voicing production and perception using auditory feedback paradigm. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 査読有, 31, 1-7, 2017.

doi: 10.1121/2.0000650

Mori, S., & Iramina, K. Auditory brainstem responses to silent gaps in across-channel conditions. *Acoustical Science and Technology*, 査読有, 37, 79-82, 2016.

doi: 10.1250/ast.37.79

Mori, S., Oyama, K., Kikuchi, Y., Mitsudo, T., & Hirose, N. Between-frequency and between-ear gap detection and their relation to perception of stop consonants. *Ear and Hearing*, 査読有, 33, 464-470, 2015.

doi: 10.1097/AUD.000000000000136

Mitsudo, T., Hironaga, N., & Mori, S. Cortical activity associated with the detection of temporal gaps in tones: A magnetoencephalography study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 査読有, 8, Article 763, 1-11, 2014.

doi: 10.3389/fnhum.2014.00763

[学会発表](計52件)

Hirose, N., Okuda, Y., & Mori, S. Across-frequency impairment in seeing a temporal gap. *European Association for Vision and Eye Research (EVER) 20th Annual Meeting*, 2017.

田村俊介, 伊藤一仁, 廣永成人, 光藤崇子, 廣瀬信之, 森周司. 閉鎖子音における有声性知覚の脳内メカニズム: 脳磁図による検討. 日本音響学会2017年秋季研究発表会, 2017.

Mori, S. What underlies across-channel gap detection: Overview. *5th Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan*, 2016.

Ito, K., Takamura, A., & Mori, S. Auditory across-channel processing as assessed by monaural and between-ear temporal gap detection tasks. *5th Joint*

Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016.

Takamura, A., Ito, K., & Mori, S. Relationship between the frequency asymmetry of across-frequency gap detection and the temporal asymmetry of cochlear response. 5th Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016.

Tamura, S., Ito, K., Hirose, N., & Mori, S. Relationship between voicing perception and auditory brainstem responses to stop consonants. 5th Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016.

Ito, K., Takamura, A., & Mori, S. Auditory between-channel processing by measuring across-ear temporal gap detection. InterNoise, 2016.

Sadakata, M., & Sekiyama, K. Learning to hear a silence? Behavioural and neurophysiological studies of Japanese specific speech listening. The 31st International Congress of Psychology, 2016.

Hirose, N., Yamamoto, M., & Mori, S. Visual temporal gap detection across spatial frequency channels. The 14th European Congress of Psychology, 2015.

田村俊介, 森田大樹, 廣瀬 信之, 伊藤一仁, 森 周司. 無音検出課題の聴覚訓練による有声・無声子音の識別能力の変化に関する検討. 日本音響学会 12月聴覚研究会, 2015.

Sadakata, M., Spyrou, L., Shingai, M., & Sekiyama, K. Composing Auditory ERPs: Cross-linguistic comparison of auditory change complex for Japanese fricative geminate consonants. InterSpeech, 2013.

〔その他〕

ホームページ等

http://cog.inf.kyushu-u.ac.jp/kaken_mori/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 周司 (MORI, Shuji)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号：10239600

(2) 研究分担者

積山 薫 (SEKIYAMA, Kaoru)

熊本大学・文学部・教授

研究者番号：70216539

(平成28年度まで)

伊良皆 啓治 (IRAMINA, Keiji)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号：20211758

廣瀬 信之 (HIROSE, Nobuyuki)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号：40467410

(3) 研究協力者

WONG, Willy

貞方 マキ子 (SADAKATA, Makiko)