

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K13169

研究課題名（和文）音声知覚と音素知覚の境界を探る：ミスマッチ陰性電位(MMN)を手掛かりに

研究課題名（英文）Investigation of the differences between phonetic and phonemic perception using mismatch negativity (MMN) responses

研究代表者

篠原 靖明 (Shinohara, Yasuaki)

早稲田大学・商学大学院・准教授

研究者番号：10732737

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ヒトが子音や母音等の「音素」の変化を知覚した時と、同一音素内の「音声」の変化を知覚した時で、脳波にどのような差が生じるのか、2種のパラダイムを用いて調査した。その結果、先行研究で検証された通り「音素」の変化を知覚した時の方が「音声」の変化を知覚した時より、ミスマッチ陰性電位の振幅が大きいことがわかった。また、より複雑なパラダイムを使用すると、神経弁別反応が誘発されるまでにより長い時間がかかることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、ヒトが言語音を知覚するその過程において、脳がどのような処理を行っているのか、その手がかりを示したことにある。先行研究において、ミスマッチ陰性電位を誘発させる刺激音の提示方法として主に2種類のパラダイムが存在するが、本研究ではそれぞれのパラダイム下で脳がどのような反応を示すか調査した。これまで比較検証がされていなかった各パラダイム下における脳反応が明確化されたことで、今後の研究手法の発展に貢献する。

研究成果の概要（英文）：This study examined the neural discrimination to a nasal consonant in the single vs. varying standard oddball paradigms, with the aim of isolating phonological from acoustic-phonetic neural discrimination. The result demonstrated that a larger mismatch negativity (MMN) was elicited in the single-standard oddball paradigm, compared to the varying-standard oddball paradigm. However, a late discriminative negativity (LDN) was elicited in the varying-standard oddball paradigm, which was designed to elicit a phonological response. These results suggest that listeners rely on phonological representations in the varying-standard oddball paradigm, and it takes longer time to compute the phonological category.

研究分野：音声学

キーワード：音声知覚 音素 ミスマッチ陰性電位 弁別

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトの言語音に対する知覚能力は、母語環境に応じて変化する。音響情報が同一であっても、それを音素として識別したり弁別したりする能力は、言語間で異なる(Kuhl et al., 2006, 2008; Lee et al., 2023, 2022; Shinohara et al., 2019)。例えば、日本語話者が英語の母音や子音の識別や弁別を難しく感じるのは、日本語にそれらの音声は「音素」として存在しないため、それらを識別したり弁別したりする能力が向上していないと考えられる(Lengeris, 2009; Shinohara et al., 2023, 2019; Strange et al., 1998)。

本研究の代表者は、英語話者にとっては「音素」として存在する母音の変化を日本語話者が知覚した際、その脳波が英語母語話者のものとどのように異なるのか、脳波分析を行ってきた。その結果、日本語話者が英語音素の差を知覚した際に誘発される脳波成分(ミスマッチ陰性電位; 以下 MMN)は、英語話者の MMN とは異なることがわかった(Shinohara et al., 2022)。これは、音素が存在するか否かだけでなく、日本語話者の持つ音素の中でも、その音声の変異の度合いが MMN の振幅に影響を及ぼすためであると考えられる(Shinohara et al., 2022)。

一方、ヒトが言語音を音素として認識するその過程において、脳がどのような処理を行っているのか、その詳細は未だに解明されていない。中でも、ヒトが同一音素内にある「音声」の差を知覚した時と2つの異なる「音素」の差を知覚した時で、MMN の振幅に差が生じることはわかっているが(Sharma & Dorman, 1999)、その「音声知覚」と「音素認識」のそれぞれがどれほど脳波へ変化をもたらすのか、その詳細は明確になっていない。

2. 研究の目的

本研究では、ヒトが音素の変化を知覚した際に表れる神経弁別反応(neural discriminative responses)が、同一音素内の音声の変化を知覚した際に表れる反応とどのように異なるのか、調査することを目的としている。これまで多くの研究で使用されてきたパラダイム(single-standard oddball paradigm)や Phillips et al., (2000)によって使用された音素認識を反映するパラダイム(varying-standard oddball paradigm)を本研究でも用いることで、それぞれのパラダイム下で誘発される神経弁別反応(neural discriminative responses)のタイミングや振幅の差を調査した。中でも、ミスマッチ陰性電位(MMN)と late discriminative negativity (LDN)を分析した(以下参照)。研究を開始した当初、研究代表者は MMN のみ分析を行う予定であったが、本研究を国際共同研究へと発展させたことで、言語音を知覚する際に誘発される脳波をより多角的に分析することに成功した。本報告書には、国際共同研究の成果も含める。

(1) MMN

ミスマッチ陰性電位とは、ヒトが音声の変化を知覚してから約 160–220ms 後に前頭中心部位(Frontocentral sites)に顕著に表れる陰性の電位変化のことを指す(Luck, 2005; Näätänen et al., 2019)。例えば、連続する同一の刺激音(standard)を聞き続けると、脳は同一の刺激音をその次にも聞くことを予測する。MMN とは、その予測から外れた刺激音(deviant)を知覚したときに誘発される陰性の電位のことを言う。Phillips et al., (2000)の研究では、同一の刺激音を参加者に聞かせ続ける single-standard oddball paradigm ではなく、同一音素内に属する異なる音声を実験参加者へ聞かせる varying-standard oddball paradigm を使用した。このパラダイム下において、参加者が別の音素に属する刺激音(deviant)を聞いた際にも MMN が誘発されることを検証した。この反応について、Phillips et al., (2000)は音素知覚を反映した MMN と結論付けている。

(2) Late discriminative negativity (LDN)

MMN と同様に、LDN も standard の音声から deviant の音声へ変化した際に誘発される弁別反応のことを指す。言語音を含むより複雑な聴覚情報への弁別反応であり、MMN よりも遅い約 400–600ms に前頭中心部位(Frontocentral sites)に誘発される陰性の反応を LDN と呼ぶ(Cheour et al., 2001; David et al., 2020; Korpilahti et al., 2001)。

3. 研究の方法

(1) 実験参加者

日本語母語話者 30 名が脳波計測に参加した。脳波計測に先立って行われた行動評価実験には、別途 20 名の日本語母語話者が参加した。

(2) 刺激音

8名の日本語話者(東京方言)によって発せられた日本語音声(「ま」や「な」等のモーラ)を録音し、それら音声の長さ(duration)及び強さ(intensity)を平均化した。発せられたモーラが意図した通りに知覚されることを裏付けるため、日本語母語話者 20 名による行動評価も行った。本実験で使用する刺激音は、99.7%の確率で意図されたとおりに識別された。

(3) 実験手順

条件

8名の日本語話者より発せられた2種のモーラを用いて、4つの条件下においてどのように日本語話者の弁別反応(discriminative responses)が異なるのか調査するため、脳波計測を行った。4つの条件とは、以下のとおりである。

- (A) 弁別反応が誘発されない条件(ベースライン)
- (B) 音素知覚を反映した弁別反応が予測される条件 (varying-standard oddball paradigm)
- (C) 同一音素内の音声変化に対する弁別反応が予測される条件 (single-standard oddball paradigm; 同一音素内の変化)
- (D) 音素及び音声変化の知覚を反映した弁別反応が予測される条件(single-standard oddball paradigm;音素境界を跨ぐ変化)

条件(A)では弁別反応は誘発されないことが予測されるため、条件(A)で誘発される Auditory Evoked Potentials (AEP)をベースラインとし、(B),(C),(D)の AEP と比較する。MMN や LDN などの弁別反応(discriminative responses)が誘発されている time window と電極を特定し、条件(B)(C)(D)下で表出する AEP が条件(A)と比べてどのように異なるのか、検証する。

仮説

研究代表者は、以下の通り仮説を立てた。

- ① MMN が誘発されている time window とその電極において、AEP の振幅は、(D)の方が(C)や(B)よりも陰性であり、また、(B)や(C)は(A)よりも有意に陰性になる。すなわち、MMN は、条件(B)や(C)の下でも誘発されるものの、(D)の下で最も大きく誘発される。
- ② 条件(B)では varying-standard paradigm を用いているため、弁別反応(discriminative responses)は条件(C)や(D)よりも遅いタイミングで誘発される。すなわち、条件(B)では LDN が誘発される。

分析

Temporospatial PCA により、弁別反応(discriminative responses)が誘発されている time window と電極を特定した。その結果、time window 146–214ms と 420–566ms において弁別反応があることがわかった。研究代表者と共同研究者は 146–214ms に誘発された反応を MMN、420–566ms に誘発された反応を LDN であると判断し、分析を行った。本研究では、それぞれの time window において、関連する電極で計測された AEP の振幅の値(voltage)を用いて統計分析を行った。

4. 研究成果

(1) 実験結果

MMN が誘発されている 146–214ms においては、AEP の振幅は(D)の方が(C)や(B)よりも陰性であり、また(C)は(A)よりも陰性であることがわかった(図 1)。これは、条件(D)下における MMN の反応が、(B)や(C)よりも大きいこと、また、条件(C)下においても MMN が誘発されたことを意味する。一方、条件(B)の下では、MMN は誘発されなかった。

LDN の time window (420–566ms) においても AEP に差が生じた。この time window では、AEP の振幅は(B)の方が、(C)や(D)よりも陰性であった。(C)と(D)の AEP の振幅は (A)の振幅と比べ、有意差は得られなかった。すなわち、LDN は、(B)の条件でのみ誘発された。これは、varying-standard oddball paradigm において、ヒトが音素を認識するためにはより長い時間がかかることを示唆している。

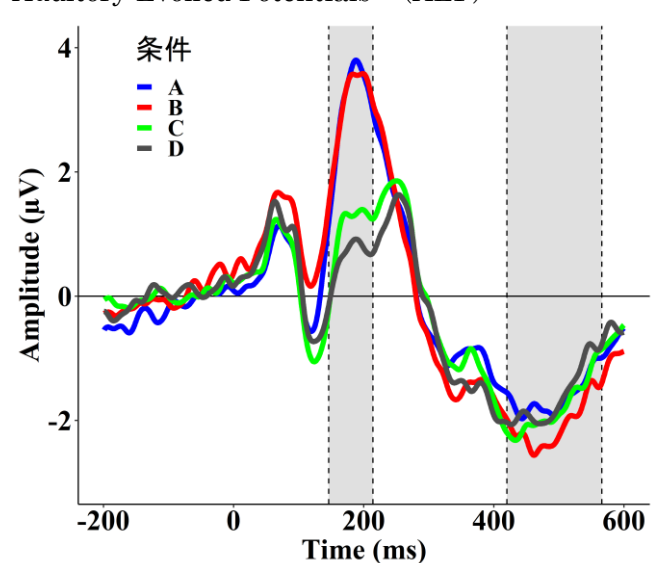
(2) 研究結果要約

これら実験結果により、以下の二点が明確になった。

- ① より複雑なパラダイム(varying-standard paradigm)下にあると、脳は音素の変化を認識するためにより長い時間を必要とする。
- ② これまで使用されてきた single-standard paradigm 下において、音素の境界を跨ぐ音素変化の方が、同一音素内の音声変化よりも、大きい MMN を誘発する。

本研究において、これまで直接比較検証されていなかった 2 種のパラダイム下における脳反応を調査することができた。各パラダイムにおいてどのような反応が得られるのか明確になったことで、今後の研究手法の発展に貢献する。本研究の成果は、国際学会や招待講演での発表、また国際論文として執筆されている。

図 1 : 条件(A)(B)(C)(D) 下において誘発された Auditory Evoked Potentials (AEP)



グレー色部分は、146–214ms と 420–566ms の time window を示す。

References

- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O., & Lang, A.-H. (2001). Mismatch negativity and late discriminative negativity in investigating speech perception and learning in children and infants. *Audiology and Neurotology*, *6*(1), 2–11. <https://doi.org/10.1159/000046804>
- David, C., Roux, S., Bonnet-Brilhault, F., Ferré, S., & Gomot, M. (2020). Brain responses to change in phonological structures of varying complexity in children and adults. *Psychophysiology*, *57*(9), 1–13. <https://doi.org/10.1111/psyp.13621>
- Korpilahti, P., Krause, C. M., Holopainen, I., & Lang, A. H. (2001). Early and Late Mismatch Negativity Elicited by Words and Speech-Like Stimuli in Children. *Brain and Language*, *76*(3), 332–339. <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2426>
- Kuhl, P. K., Conboy, B. T., Coffey-Corina, S., Padden, D., Rivera-Gaxiola, M., & Nelson, T. (2008). Phonetic learning as a pathway to language: new data and native language magnet theory expanded (NLM-e). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1493), 979–1000. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2154>
- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S., & Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental Science*, *9*(2), F13–F21. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00468.x>
- Lee, A., Shinohara, Y., Chiu, & Mut, T. C. (2023). Perception of vowel and consonant quantity contrasts by Cantonese, English, French, and Japanese speakers. In R. Skarnitzl & J. Volin (Eds.), *Proc. of the 20th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 2477–2481).
- Lee, A., Shinohara, Y., & Mut, T. C. (2022). Non-native length contrast perception by Japanese and Cantonese speakers. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, *45*, 060003. <https://doi.org/10.1121/2.0001529>
- Lengeris, A. (2009). Perceptual assimilation and L2 learning: Evidence from the perception of Southern British English vowels by native speakers of Greek and Japanese. *Phonetica*, *66*(3), 169–187. <https://doi.org/10.1159/000235659>
- Luck, S. J. (2005). An introduction to event-related potentials. In *An introduction to the event-related potential technique*. MIT Press.
- Näätänen, R., Kujala, T., & Light, G. (2019). *The mismatch negativity: A window to the brain*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198705079.001.0001>
- Phillips, C., Pellathy, T., Marantz, A., Yellin, E., Wexler, K., Poeppel, D., McGinnis, M., & Roberts, T. (2000). Auditory cortex accesses phonological categories: An MEG mismatch study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(6), 1038–1055. <https://doi.org/10.1162/08989290051137567>
- Sharma, A., & Dorman, M. F. (1999). Cortical auditory evoked potential correlates of categorical perception of voice-onset time. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *106*(2), 1078–1083. <https://doi.org/10.1121/1.428048>
- Shinohara, Y., Han, C., & Hestvik, A. (2022). Discriminability and prototypicality of nonnative vowels. *Studies in Second Language Acquisition*, *44*(5), 1260–1278. <https://doi.org/10.1017/S0272263121000978>
- Shinohara, Y., Han, C., & Hestvik, A. (2023). English vowel discrimination and perceptual assimilation by Japanese listeners. *Language and Speech*, 1–6. <https://doi.org/10.1177/00238309231209311>
- Shinohara, Y., Han, C., & Hestvik, A. (2019). Effects of perceptual assimilation: The perception of

English /æ/, /ʌ/, and /ɑ/ by Japanese speakers. In S. Calhoun, P. Escudero, M. Tabain, & P. Warren (Eds.), *Proceedings of the 19th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 2344–2348).

Strange, W., Akahane-Yamada, R., Kubo, R., Trent, S. A., Nishi, K., & Jenkins, J. J. (1998). Perceptual assimilation of American English vowels by Japanese listeners. *Journal of Phonetics*, 26(4), 311–344. <https://doi.org/10.1006/jpho.1998.0078>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Yasuaki Shinohara, Chao Han, Arild Hestvik	4. 巻 -
2. 論文標題 English vowel discrimination and perceptual assimilation by Japanese listeners	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Language and Speech	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） 10.1177/00238309231209311	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 Yasuaki Shinohara, Chao Han, Arild Hestvik	4. 巻 -
2. 論文標題 Discriminability and prototypicality of nonnative vowels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Studies in Second Language Acquisition	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0272263121000978	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 該当する

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件／うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Yasuaki Shinohara
2. 発表標題 Mismatch negativity responses for phonemic representations and acoustic-phonetic realizations
3. 学会等名 Linguistics and Cognitive Sciences Colloquium Series, Department of Linguistics and Cognitive Sciences, University of Delaware, Delaware, USA（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasuaki Shinohara, Valerie Shafer
2. 発表標題 Neural indices of acoustic-phonetic and phonological differences
3. 学会等名 PhonolEEGy 2, Amherst, Massachusetts, USA（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Publications - Yasuaki SHINOHARA
<https://y.shinohara.w.waseda.jp/publications.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	City University of New York	University of Delaware		