

F-2 ミスマッチ陰性電位による連濁の神経基盤の検討 ライマンの法則の違反と音韻的逸脱は異なるか？

太田真理¹、田中颯真²、山田絵美¹

¹九州大学大学院人文科学研究院, ²九州大学文学部

ohta@lit.kyushu-u.ac.jp

要旨：本研究では、ライマンの法則に対する違反と単なる音韻的逸脱が、日本語母語話者にとって異なる種類の逸脱として知覚されるのかどうかを、刺激の変化を検知した際に自動的に生じる脳波であるミスマッチ陰性電位を調べることで検証した。日本語の複合語を標準刺激、ライマンの法則に無関係な音韻的逸脱を逸脱刺激にしたパターン1、日本語の複合語を標準刺激、ライマンの法則の違反を逸脱刺激にしたパターン2、ライマンの法則に無関係な音韻的逸脱を標準刺激、ライマンの法則の違反を逸脱刺激にしたパターン3の全てで、ミスマッチ陰性電位が観察された。この結果から、ライマンの法則に対する違反は単なる音韻的逸脱とは異なる種類の刺激として知覚されていたことが明らかとなった。この結果はライマンの法則の適用に関わる脳のメカニズムが存在することを示唆しており、ライマンの法則が形態音韻規則の適用により生じることを支持するものである。

キーワード：日本語、言語脳科学、音韻論、連濁、ライマンの法則、脳波、ミスマッチ陰性電位

1. 背景

日本語では、複合語の後部要素が有声性に関して対立を持つ無声阻害音 (/k/, /s/, /t/, /h/) で始まる場合、対応する有声阻害音 (/g/, /z/, /d/, /b/) に変化する連濁現象が知られている (ごみ+はこ→ごみばこ)。連濁は非常に生産性が高いが、連濁を阻止する法則として、「複合語の後部要素が濁音を含む場合は連濁が生じない」という「ライマンの法則」が提案されている (ごみ+かご→*ごみがご) (Lyman 1894)。ライマンの法則は極めて例外が少ないことが知られているが、この法則が単なる音韻的な逸脱を反映したものなのか、日本語の形態音韻規則を反映したものなのかは明らかでなかった。

連濁の神経基盤を脳波で検討した先行研究では、ライマンの法則に違反する刺激語を文中で用いた場合、統語的再解析を反映する脳波成分 P600 が生じたが、形態的逸脱を反映する脳波成分 LAN は生じなかったと報告されている (Kobayashi et al., 2014)。一方で、ライマンの法則への違反が、形態音韻規則と関係するののかについては検討されていない。そこで本研究では、ライマンの法則に対する違反 (アカドンビ、など) と、単なる音韻的逸脱 (アガトンビ) が、日本語母語話者にとって異なる種類の逸脱として知覚されるのかどうかを、ミスマッチ陰性電位を調べることで検証した。ミスマッチ陰性電位とは、高頻度の標準刺激と低頻度の逸脱刺激をランダムに混ぜて提示する、オッドボール実験において、逸脱刺激を提示した直後に観察される脳波成分であり、刺激の変化を検知した際に自動的に生じる脳波であると考えられている (Näätänen et al., 1978)。ライマンの法則の違反と音韻的逸脱が異なる種類の違反として知覚されている場合、ミスマッチ陰性電位が生じることが予想される。一方で、両者が同じ種類の違反として知覚される場合、ミスマッチ陰性電位 N が観察されないことが予想される。

2. 実験方法

本研究の目的は、ライマンの法則に関係ない音韻的違反（複合語の前部要素を濁音に変えた単なる音韻的逸脱）を含む日本語複合語と、ライマンの法則の違反を含む日本語複合語が音声提示される際の脳波を計測し、両者に対する脳活動の差異を検討することである。また、ミスマッチ陰性電位が全ての参加者で生じることを確認するために、700 Hzの純音と1000 Hzの純音をそれぞれ標準刺激・逸脱刺激として用いた実験も行った。

2.1. 実験参加者

実験には28名（男性13名、女性15名）の右利きの大学生が参加した。脳波データにノイズが乗っていた参加者を除外した結果、19名の日本語母語話者（全員右利き健常成人、男性9名、平均年齢 20.6 ± 1.5 歳）を分析対象とした。参加者は全員正常な視力（矯正を含む）を有していた。実験参加にあたり、全ての参加者から文書による参加の同意を得た。

2.2. 刺激と課題

実験では、4種類の新規複合語を音声刺激として用いた（各192個、計768個）。

- ①連濁あり：アカザカナ（赤魚）など、
- ②連濁なし：アカトンビ（赤トンビ）など、
- ③ライマンの法則と無関係な音韻的逸脱：アガトンビなど、
- ④ライマンの法則に違反：アカドンビなど。

刺激語の長さを統制するために、前部要素、後部要素がそれぞれ3モーラ以内であり、2形態素からなる新規語を刺激語とした。作成した新規語は『現代日本語書き言葉均衡コーパス』（BCCWJ）に含まれないことを確認した。音圧レベルや持続時間などの物理的性質を統制するため、音声刺激はReadSpeaker（HOYA株式会社）という音声読み上げソフトウェアで作成した（<https://readspeaker.jp/>）。

4種類の刺激語を、以下のように標準刺激と逸脱刺激として使用した：標準①&② vs. 逸脱③（パターン1）、標準①&② vs. 逸脱④（パターン2）、標準③ vs. 逸脱④（パターン3）。特にパターン3は、標準刺激と逸脱刺激の両者に音韻的な逸脱を含むため、もしライマンの法則が単なる音韻的逸脱として知覚されている場合、この条件ではミスマッチ陰性電位が生じないことが予想される。標準刺激と逸脱刺激の比率は、ミスマッチ陰性電位の先行研究に従って5:1とした。参加者はイヤホンから刺激語音声を聞きながら、スクリーン上に流れる無音動画を視聴した。動画が終了後に動画の内容に関する質問にボタンを押して回答した。

表 1. 各条件で予想される結果

パターン	標準刺激	逸脱刺激	ミスマッチ陰性電位
純音	700 Hz	1000 Hz	生じる
パターン 1	標準的な日本語複合語 (音韻的逸脱なし)	本居・ライマンの法則に関係ない違反 (前部に音韻的逸脱)	生じる
パターン 2	標準的な日本語複合語 (音韻的逸脱なし)	本居・ライマンの法則の違反 (後部に音韻的逸脱)	生じる
パターン 3	本居・ライマンの法則 に関係ない違反 (前部に音韻的逸脱)	本居・ライマンの法則の違反 (後部に音韻的逸脱)	生じる? 生じない?

2.3. 脳波計測とデータ分析

刺激提示中の脳波を 32 電極の脳波計で測定した (日本光電製 EEG-1200)。サンプリングレートは 1000 Hz で計測し、データ分析には標準的な脳波解析ソフトウェアである MNE-Python (ver. 0.24.1) を使用した (Gramfort et al. 2013)。筋電や瞬きなどのノイズが 80 μ V 以上の試行は分析から除外した。ミスマッチ陰性電位の分析では、先行研究に従って、Fz と Cz の 2 電極を関心領域とした。事象関連電位のベースラインには、逸脱刺激と弁別可能な音節 (アカドンビの場合 3 音節目) の直前 200 ms 間を用いた。なお、純音を提示した場合は、刺激提示の直前 200 ms 間をベースラインとした。ミスマッチ陰性電位が生じているかどうかは、標準刺激と逸脱刺激の差分波形の平均振幅 (刺激提示から 100-200 ms) を調べることで検討した。

3. 結果

3.1. 純音

純音に対するミスマッチ陰性電位を t 検定により検討した結果、純音の提示後 100 ms から 200 ms の平均電位は逸脱刺激に対して有意に低下していた ($t(18) = 3.3, p = 0.005$; 図 1)。

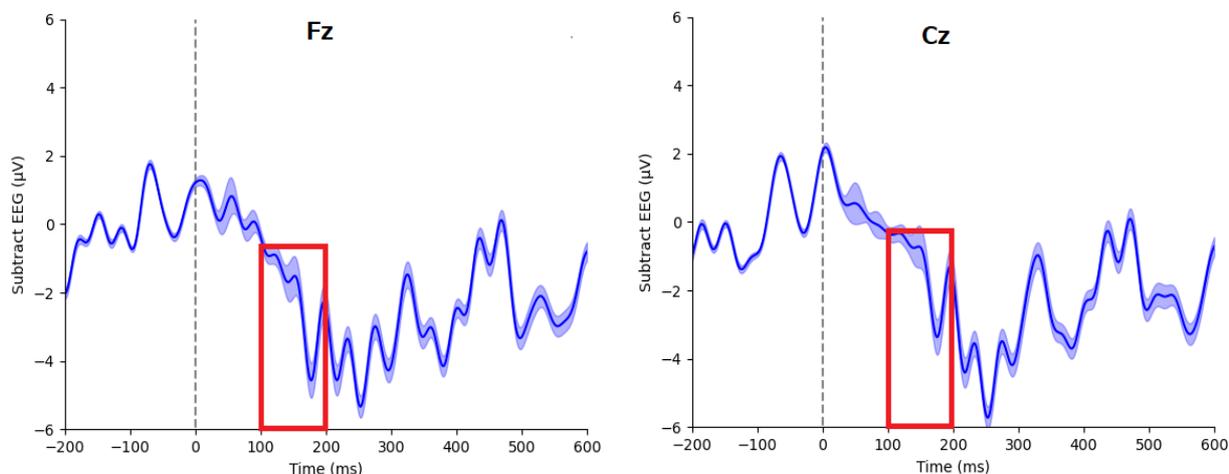


図 1. 純音に対するミスマッチ陰性電位

3.2. パターン 1：音韻的逸脱なし vs. 前部要素に逸脱あり

日本語の複合語を標準刺激、ライマンの法則に無関係な音韻的逸脱を逸脱刺激にしたパターン 1 では、逸脱刺激は標準刺激よりも有意に低い電位を示したためミスマッチ陰性電位が観察された ($t(18) = 2.2, p = 0.037$; 図 2)。

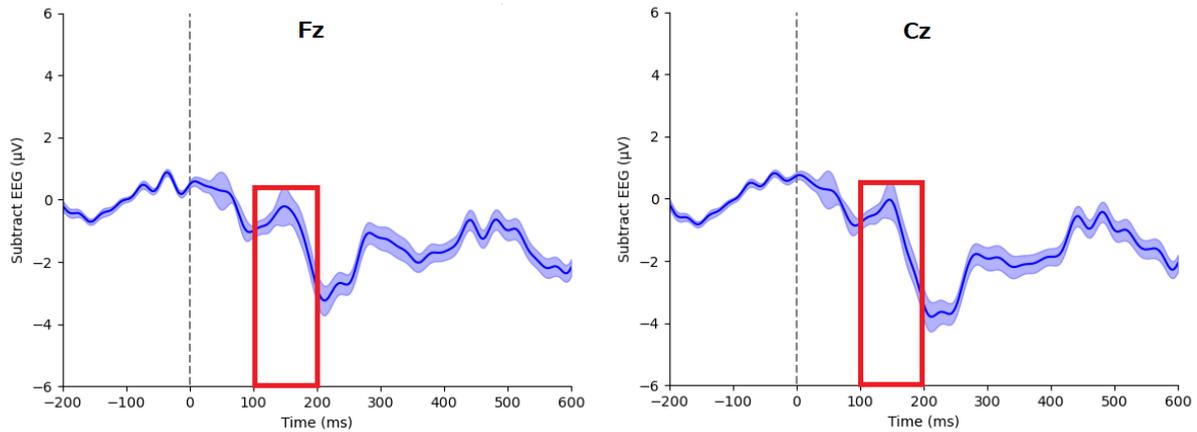


図 2. パターン 1 に対するミスマッチ陰性電位

3.3. パターン 2：音韻的逸脱なし vs. 後部要素に逸脱あり

日本語の複合語を標準刺激、ライマンの法則の違反を逸脱刺激にしたパターン 2 でも同様に、逸脱刺激においてミスマッチ陰性電位が観察された ($t(18) = 3.9, p = 0.002$; 図 3)。

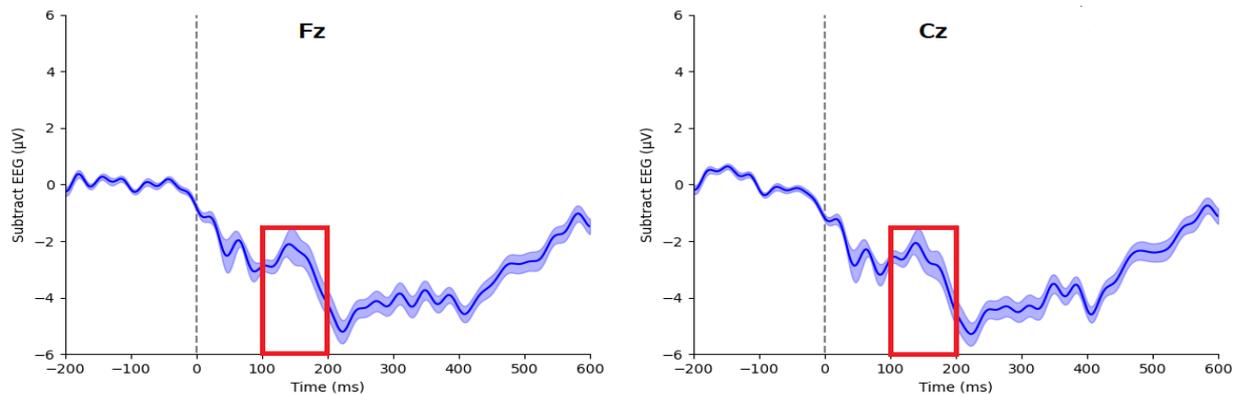


図 3. パターン 2 に対するミスマッチ陰性電位

3.4. パターン 3：前部要素の逸脱あり vs. 後部要素に逸脱あり

さらに、ライマンの法則に無関係な音韻的逸脱を標準刺激、ライマンの法則の違反を逸脱刺激にしたパターン 3 でも、MMN が観察された ($t(18) = 3.8, p = 0.002$; 図 4)。

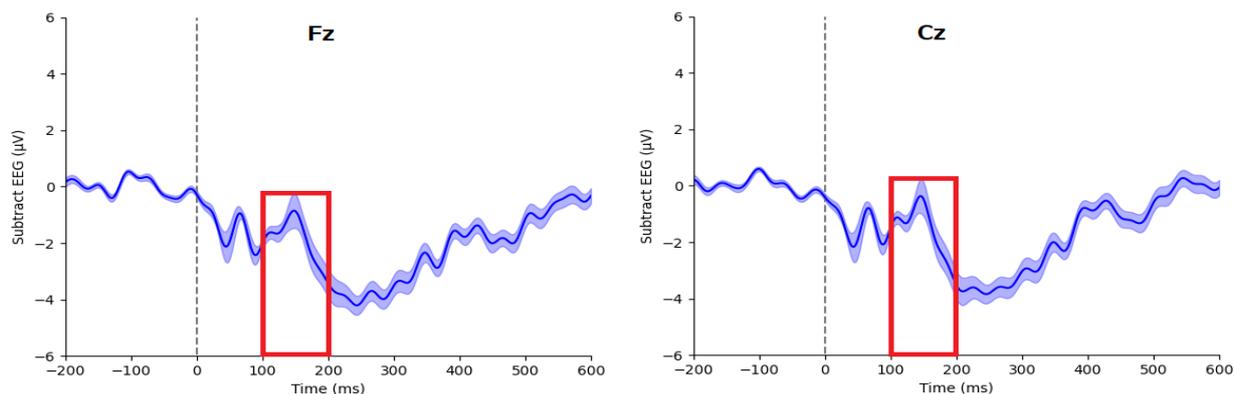


図 4. パターン 3 に対するミスマッチ陰性電位

4. 考察

全てのパターンでミスマッチ陰性電位が観察されたことから、ライマンの法則に対する違反は単なる音韻的逸脱とは異なる種類の刺激として知覚されていたことが明らかとなった。この結果はライマンの法則の適用に関わる脳のメカニズムが存在することを示唆しており、ライマンの法則が形態音韻規則の適用により生じることを支持するものである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H01256、JP21K18560、JP17H06379、並びに QR プログラム、SENTAN-Q プログラム (九州大学) の助成を受けたものです。

参考文献

- Gramfort, A., et al. (2013) MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*. 7:267.
- Kobayashi, Y., Y. Sugioka, T. Ito. 2014. Rendaku (Japanese sequential voicing) as rule application: An ERP study. *NeuroReport* 25:1296–1301.
- Lyman, B. S. 1894. Change from surd to sonant in Japanese compounds, *Oriental Studies of the Oriental Club of Philadelphia* 1–17.
- Näätänen, R., A. W. K. Gaillard, S. Mäntysalo. 1978. Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica* 42:313–329.