

## B-5

### カタカナ語の視覚的処理における迅速な音韻活性： 閾下プライミングを用いた事象関連電位による検証

加藤志織, 程レイ雅, 熊可欣, 小泉政利, 木山幸子

**要旨：**アルファベットを用いる表記体系では、視覚的語彙処理においてまず形態情報が脳内で活性化し、数十ミリ秒遅れて音韻情報が活性化することが示されている。本研究はこの枠組みが日本語のカタカナ語にも当てはまるかについて閾下プライミングと事象関連電位を用いて検証した。単語（ターゲット語）の処理は、直前に同じ語を提示（プライム）した場合に促進される（反復プライミング効果）。本研究では、反復プライミング効果を表記内（パン-パン）で検討することで形態・音韻情報の活性を、表記間（ぱん-パン）で検討することで音韻情報の活性を検出することを目指した。さらに、これらの効果を先行研究より短い3段階（17, 33, 50 ms）のプライム持続時間で比較することで、語彙処理における形態・音韻の活性速度の差を検討することを目指した。その結果、表記内反復プライミング効果はいずれのプライム持続時間、潜時帯でも有意ではなく、表記間反復プライミング効果はプライム持続時間 33, 50 ms のときに有意であった。この結果は、仮名の処理において音韻情報の活性は起こるが、形態・音韻情報活性のタイムコースはアルファベットとは大きく異なることを示唆する。

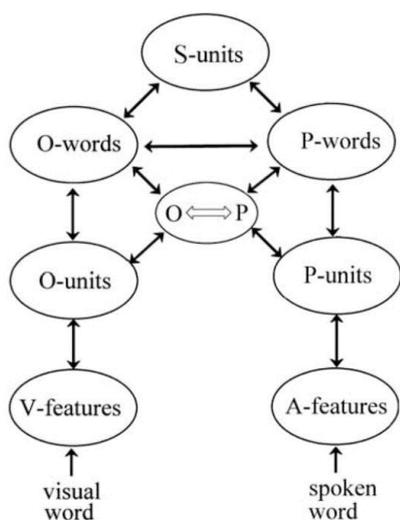


図1. 語彙処理における形態・音韻情報の相互活性 (Grainger & Holcomb, 2009)

注. 語彙以前の段階で感覚モダリティをまたいだ活性が起こるため、インプットのモダリティ（視覚/聴覚）に関わらず形態・音韻両方の情報が活性化する。

本研究の目的は、カタカナ語を視覚的に処理する際に起こる形態・音韻情報の活性の速度の相対的な差を明らかにすることである。視覚的語彙処理において意味表象が活性化するまでの過程には、文字列の形態から直接対応する意味表象が活性化するルートと、形態から音韻を介して意味表象が活性化するルートが存在する (e.g., Grainger & Holcomb, 2009)。後者は、形態という視覚情報から音韻という聴覚情報への感覚モダリティを越えた活性である。これら2つの無意識の活性ルートを経て、私たちは語の意味を理解している (図1)。

この非常に速い無意識の過程における情報活性を明らかにするために、閾下プライミングというパラダイムが用いられる。単語（ターゲット語）の処理は、直前に同じ単語を提示（プライム）した場合、無関連語を提示した場合より促進される（反復プライミング効果）ことが、反応時間の短縮や正答率の向上で確かめられているが、プライム持続時間を数十ミリ秒にし、前後にマスク刺激を提示することで意識に上らないほどプライムの視認度を下げた場合に生じる閾下プライミング効果は、語彙理解以前の無意識の処理、つまり意味表象の活性化以前の形態や音韻情報の活性を反映する。

仏語の閾下プライミング効果を検討した Ferrand et al. (1993) は、語彙性判断課題（提示される文字列が単語/非単語であることを判断させる

課題）における (1) 形態・音韻プライム（プライム語とターゲット語のペアが形態・音韻情報を共

有)、(2) 形態プライム (同ペアが形態情報を共有)、(3) 無関連プライムによるターゲット処理への影響を比較した。(1) と (3) の比較から形態・音韻の両情報の活性が、(2) と (3) の比較により形態情報の活性が、(1) と (2) の比較により音韻情報の活性が反映すると想定した。さらに、17~100 ms の異なるプライム持続時間でこれらの効果を検討することで、形態・音韻それぞれの活性の速度を比較した。より短い持続時間のプライムの情報でターゲット語の処理が促進すれば活性が速い、それがより長い持続時間で生じれば活性が遅いといえる。結果は、形態情報の活性は早くもプライム持続時間 17~50 ms で観察された一方、音韻情報の活性は遅れ、50 ms 以上ではじめて観察された。

こうした形態・音韻の相対的な速度の差は、非アルファベットの日本語の仮名表記でも同様だろうか。音韻を介した意味表象の活性の起こりやすさは、表記体系と音韻情報との対応の規則性に依存する (Frost, 2005) が、その場合、文字-発音の対応関係が単純な仮名の処理では音韻の活性がより容易に起こると予想される。

課題の正答率や反応時間は、語彙処理の結果として生じる指標であり、その過程自体に迫ることは難しい。この点を補うために本研究では、語彙処理を行っている最中の脳波の事象関連電位 (event-related potentials: ERPs) を測定する。特に、語彙処理負荷を反映するとされる ERP 成分として、N250 と N400 (刺激呈示後約 250/400 ミリ秒をピークとする陰性波: negativity) を指標とする。反復プライム語に比べ無関連語の提示ではターゲットの処理負荷が大きくなるため、ERP 成分の振幅は増大し、N250 や N400 の潜時帯の頭皮上電位は反復プライム語と比較して無関連語において陰性に偏位する。関下プライミングで ERP を測定した Okano et al. (2013) は、日本語のひらがなとカタカナの処理における音韻活性の過程を観察した。彼らは、対応するひらがな-カタカナの対が同一の音を表すことに注目し、ひらがなのみの表記内反復プライミング効果 (いのち-いのち vs. つづら-いのち) によって形態・音韻の活性を、カタカナ・ひらがなの表記間反復プライミング効果 (イノチ-いのち vs. ツヅラ-いのち) によって音韻活性を検出することを目指し、2 種 (50, 80ms) のプライム持続時間 (被験者間要因) で比較した。その結果、両プライム持続時間において N250 と N400 の ERP 成分について表記内・表記間で同様に反復プライミング効果を観察し、音韻活性が生じていることを例証した。しかしプライム持続時間の効果は有意ではなく、音韻活性と形態活性の関係については明らかになっていない。

そこで本研究は、仮名の語彙処理において形態情報と音韻情報の活性速度がどれだけ異なるかを直接比較できるように、Okano et al. (2013) において別個の実験で検討された表記内・表記間条件を同一の実験内に設定し、より短い持続時間でプライムを提示する。被験者間要因としてプライム持続時間を 3 条件 (17/33/50 ms) 設け、それぞれにおける N250 や N400 への反復プライミング効果、つまり各潜時帯における電位が反復条件において無関連と比較して陽性に偏位するかについて、表記内・表記間それぞれで検討した。仮名の処理において、形態と音韻の相対的な活性速度がアルファベット (Ferrand et al., 1993) と同様である場合、形態活性を反映するプライム持続時間 17/33 ms では表記内反復プライムによる効果のみ現れ、形態と音韻双方の活性を反映する 50 ms ではじめて表記内・表記間の両方で反復プライム効果が現れるはずである。一方、もし音韻の活性速度がより早く、形態の活性に遅れないなら、表記間と表記内の双方のプライミング効果はより短いプライム持続時間 (50 ms 未満の 17/33 ms) で同様に現れるはずである。

## 方法

### 実験参加者

右利きの日本語母語話者である東北大学の学生 75 名 (うち女性 33 名, 年齢  $M = 20.51$  歳  $\pm 1.65$ )

が実験に参加した。本研究は、東北大学川内南地区「人を対象とする医学系研究」倫理審査委員会による承認を得て行った。参加者には事前に研究の趣旨・方法などを説明し、参加への同意を得たうえで実施した。謝金として一定の金額が支払われた。

### 刺激

無関連プライム-ターゲットのペア 80 を使用した (付録参照)。プライムに関して表記 (以降 Script) と反復性 (以降 Repetition) という 2 つの要因を設けた。Script に関しては、プライムがターゲットと同じカタカナで表記される表記内条件 (Same) とひらがなで表記される表記間条件 (Cross) を用意し、Repetition にはプライムとして同じ語が提示される条件 (Repeated) と、無関連語が提示される条件 (Unrelated) を用意した。Same において、Unrelated と比較した Repeated による効果を見ることは形態と音韻による促進効果を、Cross において Unrelated と比較した Repeated による効果を見ることは音韻による促進効果を検討する。各条件の刺激の例を表 1 に示す。ターゲット語へのプライム条件 (Same-Repeated/Cross-Repeated/Same-Unrelated-Cross-Unrelated) の割り当てについてカウンターバランスを取った 4 つのリストを作成した。各リストは各条件 (Same-Repeated, Same-Unrelated, Cross-Repeated, Cross-Unrelated) の試行を 20 ずつ含んだ。各参加者は 1 つのリストが割り当てられ、全てのターゲット語が 1 回ずつ提示された。

各無関連プライム-ターゲットペアは、文字数が等しく、頻度、親密度が同程度であり、形態・音韻・意味に関して類似性が無いように作成した。形態に関しては同じ文字を共有しないこと、音韻に関しては単語中の同位置の文字が子音を共有しないこと、意味に関しては『分類語彙表』(国立国語研究所, 2004) 中で同一の中項目に属さないことを基準とした。頻度・心像性は天野・近藤 (1999) を参照した。

以上に加え、分析対象外であるプローブ試行として、ターゲット試行に含まれない単語をプライム単語とし動物の名称をターゲット単語とする 16 ペアを作成した。プローブ試行も、ターゲット試行と同様に Script, Repetition ターゲット試行・プローブ試行共に、使用した単語は全て国立国語研究所 (2004) においてカタカナで表記されている語とした。

### 手続き

参加者は個別に防音室でプローブ探査課題に取り組んだ。プライムの持続時間 (以降 Duration) に関して Short (17 ms)、Middle (33 ms)、Long (50 ms) の 3 群を設け、各参加者はいずれか 1 群に無作為に割り当てられた (Short,  $n = 26$ ; Middle,  $n = 24$ ; Long,  $n = 25$ )。1 試行の流れは、図 2 に示す通り、500 ms 間の固視点、500 ms 間の前方マスク (「#####」) の提示の後、Duration の群に応じた持続時間でプライム語が提示された。その後 17 ms 間の後方マスク (「#####」) ののちにターゲット語が 300ms 間提示された。ターゲットの提示後には 900 ms 間空白画面を提示したのち、瞬きをしてよいことを示す「(-)」を 2000 ms 間提示した。試行間には空白画面を 500 ms 間提示した。参加者にはプライムの存在は伝えず、ハッシュマークの列 (#####) のあとに提示される単語が動物の名前である場合にのみボタンを押すように教示した。練習用課題を 11 試行実施したのち、本試行 96 試行を実施した。本試行が半分終わった段階で 2~3 分間休憩の時間をとった。刺激の提示は E-prime 3.0 (Psychology Software Tools) によって制御され、リフレッシュレートが 60 Hz である 19 インチのモニターに提示された。

### 脳波データの取得、計測、分析

BrainAmp (Brain Products, Germany) を用い、国際 10-20 法に基づいて配置した 32 個の電極 (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz, FC4, FT8, T7, C3, Cz, C4, T8, TP7, CP3, CP4, TP8, P7, P3, Pz, P4, P8,

O1, O2, VEOG, HGOG, A1, A2) により計測した。脳波測定用の帽子を使用し、電極用ジェルを頭皮に付け電極を設置した。また、左目尻に設置した VEOG により垂直眼電位を、左眼上に設置した HEOG により水平眼電位を測定した。CPz を基準電極とし、1000 Hz でサンプリングした。電極間抵抗値は原則 5k $\Omega$  未満になるようにした。脳波の解析は、MATLAB R2021b 上で EEGLAB 14.1.2b (Delorme & Makeig, 2004) を用いて行った。前処理として、250 Hz にダウンサンプリングし、帯域周波数を 1-50 Hz としてフィルタをかけて低・高周波成分を除去し、商用電源の交流周波数に由来するノイズの低減を行い、基準電極を両耳朶とし再参照を行った。ターゲット提示開始時を 0 として -1000-2000 ms の範囲をエポック化した。±70  $\mu$ V を超える電極が存在するエポックは除外した。残ったデータに対し、-100-0 ms の区間を ベースラインとして電位量の加算平均を行った。EEGLAB STUDY を使った集団解析では、Duration のグループごとに、ターゲット提示後 240-350 ms, 320-500 ms, 500-600 ms の 3 つの潜時帯における Script と Repetition の影響を permutation テストによって有意水準 5% で分析し、false discovery rate 法によって補正した。

表 1. 刺激呈示語ペアの例

Script	Repetition			
	Repeated		Unrelated	
	プライム	ターゲット	プライム	ターゲット
Same	パステル	パステル	ロジック	パステル
Cross	ぱすてる	パステル	ろじっく	パステル

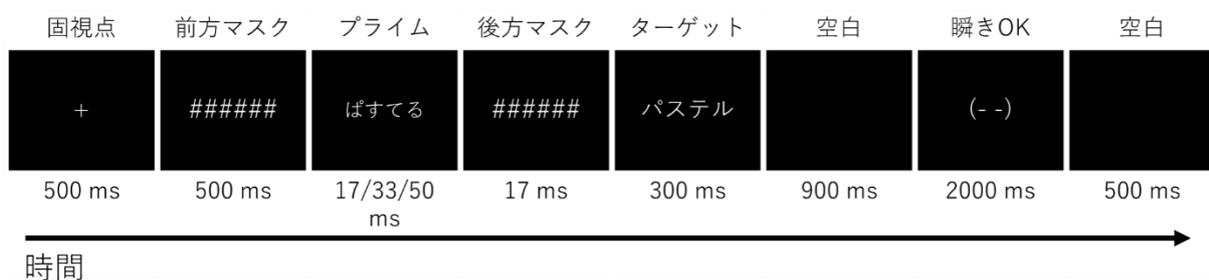


図 2.1 試行の流れ

## 結果

Duration Short では、どの潜時帯においても、Script と Repetition のいずれの効果も有意にはならなかった。Middle では、320-500 ms の潜時帯でのみ、Cross において Unrelated が Repeated と比較して有意な陰性波を惹起した。Long においても、320-500 ms の潜時帯でのみ、Cross において Unrelated が Repeated と比較して有意な陰性波を惹起した。この有意な陰性波の頭皮上の分布は、Middle よりも Long の場合に広がった。各 Duration の総加算平均波形と 320-500 ms の頭皮上電位分布の比較の結果を図 3 に示す。

## 考察

表記間反復プライミングの有意な効果が Duration Middle (33 ms) で現れたことは、Ferrand et al. (1993) で検証された仏語と比較して、仮名の処理において音韻活性がより早く起こることを示唆しており、本研究の后者の仮説と整合している。Ferrand et al. (1993) では、プライムの音韻情報による促進効果は Duration が 50 ms 以上の時に観察されていた。したがって、仏語よりも書字と発音の対応関係が単純である仮名のような表記体系においては、視覚から聴覚へのモダリティをまたいだ活性が語彙

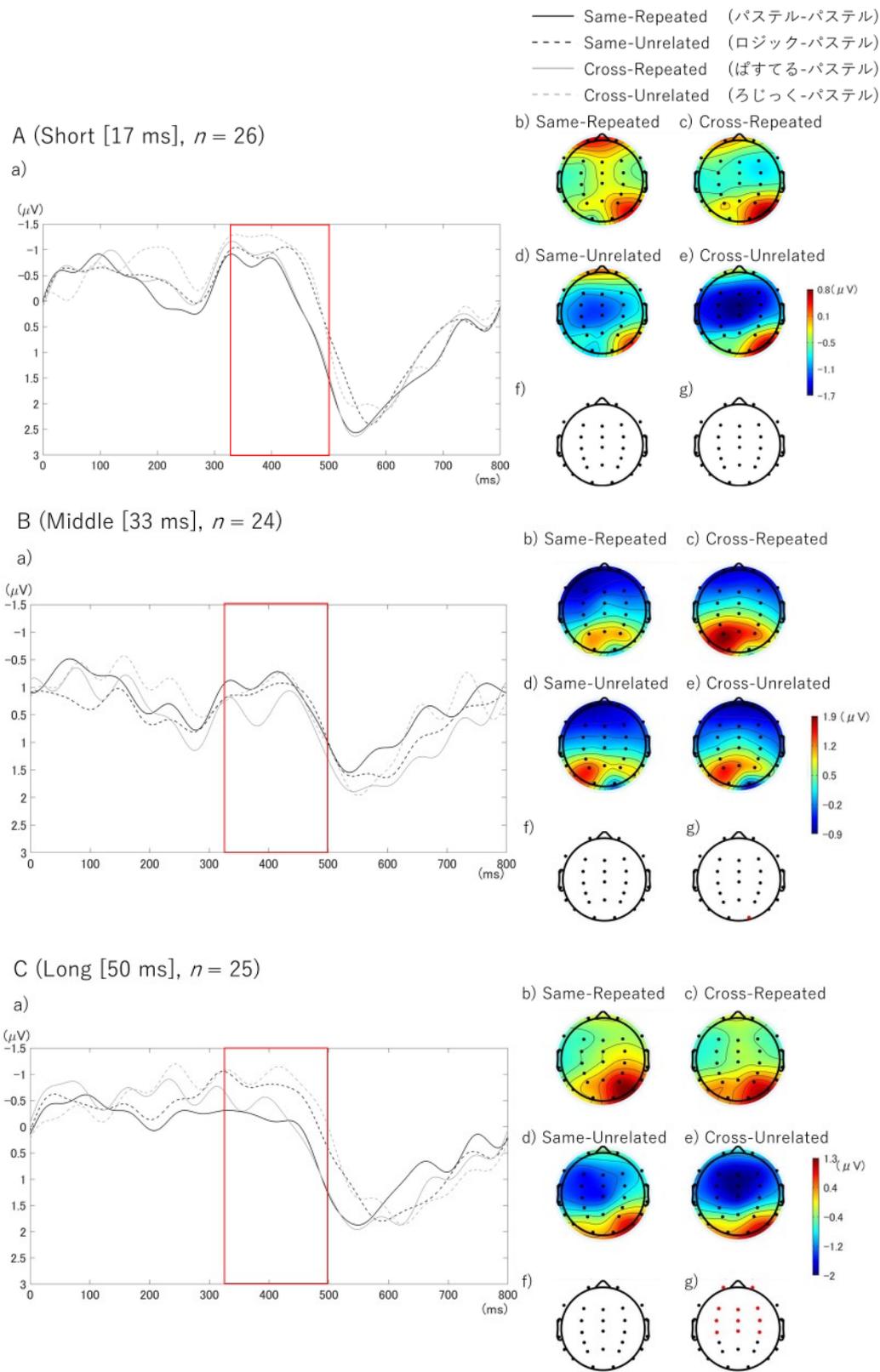


図 3. A: Short, B: Middle, C: Long における、a) 総加算平均波形、b)-e) は各条件の潜時帯 320-500 ms の頭皮上電位分布、f) は Same-Repeated と Same-Unrelated の比較、g) は Cross-Repeated と Cross-Unrelated の比較を示す。f), g) には有意差が認められた電極を赤で示している。( $p < 0.05$ , FDR 補正)

処理のより早い段階で起こることを示唆している。効果は Duration が 50 ms 以上の時に観察されていた。したがって、仏語よりも書字と発音の対応関係が単純である仮名のような表記体系においては、視覚から聴覚へのモダリティをまたいだ活性が語彙処理のより早い段階で起こることを示唆する。

表記内反復プライミングの有意な効果は、いずれの Duration においても観察されなかった。これはプライム持続時間 50 ms において表記内・表記間反復プライミング効果を観察した Okano et al. (2013) に反する結果である。この理由に関して、いくつかの可能性が挙げられる。

まず、本研究と Okano et al. (2013) の参加者の違いである。本研究の参加者が日本在住の日本語母語話者であったのに対し、Okano et al. (2013) の参加者はアメリカ在住の日本語母語話者であった。日本語母語話者であっても、日常的に二言語を併用し日本語を使用する割合が低い場合、ほとんど日本語のみに接する日本在住の日本語母語話者とは異なる語彙処理を行っている可能性がある。本研究の参加者らは、日常的に日本語で大学の専門の学業に従事しているためか、日本語の文字列の処理はより効率的に短時間で行われたため、表記内プライムによる情報の活性が起こってから減衰するまでが早く、今回の研究で使用したプライム持続時間では検出できなかった可能性が考えられる。

また、刺激全体を占める各表記の割合の違いも挙げられる。Okano et al. (2013) ではカタカナ語、ひらがな語の両方がターゲットとして使用されたのに対し、本研究ではターゲット語をカタカナ語に限定した。これにより、参加者に提示される刺激全体を占めるひらがなとカタカナの比が Okano et al. (2013) では均等であるのに対し、本研究は 3 対 1 であった。提示される刺激全体に占めるカタカナ表記の希少性に由来する突出性が、参加者のターゲット語の処理に影響を与えていた可能性がある。

本研究の限界として、Duration Short においてプライム提示時間の設定と実際の間相違が存在したことが挙げられる。本研究の Duration Short の実験では、プライムの提示時間が設定の通り 17 ms で提示されておらず、33 や 34 ms であった試行が存在した。短いプライム提示時間の効果のより厳密な検討を行うためには、17 ms というごく短時間の提示を正しく実行できる環境で実験を行う必要がある。

以上の限界はあるものの、本研究は、仮名の表記内・表記間反復プライミング効果を既存の研究よりも短いプライム持続時間において検討し、他言語を対象とした研究よりも短いプライム提示時間において表記間プライミング効果を観察したことで、仮名の視覚的語彙処理において音韻情報の活性が迅速に起こる可能性を示したといえる。

## 謝辞

本研究は科学研究費基盤研究 (S) 19H05589 による助成を受けた。

## 引用文献

- 天野成昭, 近藤公久. (1999). *NTT データベースシリーズ日本語の語彙特性*. 東京: 三省堂.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134 (1), 9-21.
- Ferrand, L., & Grainger, J. (1993). The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(2), 119-122.
- Frost, R. (2005). Orthographic systems and skilled word recognition processes in reading. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A Handbook*, 272-295. Blackwell Publishing Ltd.
- Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2009). Watching the word go by: On the Time-course of component processes in visual word recognition. *Language and Linguistics Compass*, 3(1), 128-156.
- 国立国語研究所 (2004). *分類語彙表*. 東京: 大日本図書.

Okano, K., Grainger, J., & Holcomb, P. (2013). An ERP investigation of visual word recognition in syllabary scripts. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 13(2), 390-404.

付録. 刺激ペア一覧 (ターゲット試行)

刺激 番号	無関連 プライム語	反復プライム語 /ターゲット語	刺激 番号	無関連 プライム語	反復プライム語 /ターゲット語	刺激 番号	無関連 プライム語	反復プライム語 /ターゲット語
1	ツナ	ラボ	28	ノルマ	バケツ	55	アップル	グレード
2	タフ	ロゴ	29	アニメ	デフレ	56	デザイン	スタジオ
3	ロケ	ゴム	30	ゲリラ	ツアー	57	グルテン	スペード
4	レア	ニス	31	イヤー	ハンデ	58	ラウンジ	フルーツ
5	ギア	ソロ	32	ナッツ	ドレス	59	ショップ	オルガン
6	テロ	ペア	33	コンマ	タイト	60	オカリナ	トラウマ
7	モカ	タグ	34	インク	ハーフ	61	テナント	サーカス
8	ヒレ	ヨガ	35	シェフ	ワルツ	62	プロセス	リットル
9	ピザ	エゴ	36	ロマン	ブザー	63	ペイント	スポーク
10	ハム	コア	37	モスク	シニア	64	トロッコ	マフラー
11	ガム	ドア	38	ケーキ	バッジ	65	シールド	バリカン
12	トス	ナン	39	テンポ	パワー	66	スパイス	フロント
13	デニム	ピエロ	40	ヌガー	ヘクト	67	ジンクス	コロッケ
14	ロデオ	ブーケ	41	ズック	ゲート	68	マラカス	ヘアピン
15	ライス	エンド	42	サマー	カカオ	69	ハイテク	アピール
16	ホルン	カオス	43	ソナタ	グルメ	70	リターン	フラスコ
17	ピアス	ブリキ	44	マグマ	レモン	71	モルタル	デッサン
18	パズル	ソーダ	45	ブラシ	デッキ	72	アボカド	シチュー
19	ボトル	ミラー	46	カジノ	ミイラ	73	チョッキ	エナメル
20	アジト	テーマ	47	モラル	スコア	74	スマイル	ゴシップ
21	カメラ	エイズ	48	アイヌ	ズボン	75	カーテン	スケッチ
22	ノベル	サテン	49	ワセリン	スポイト	75	ガレージ	アタック
23	ダーツ	ホイール	50	ピーマン	ブラウス	77	アトリエ	ミラクル
24	コルク	ファー	51	ステーキ	アイロン	78	ネクタイ	ユーモア
25	デルタ	レンジ	52	ビーカー	リミット	79	コミック	シアター
26	バトン	ドリル	53	ロジック	パステル	80	フラワー	コンソメ
27	セロリ	キムチ	54	リポート	カルデラ			
1	ツナ	ラボ	28	ノルマ	バケツ			
2	タフ	ロゴ	29	アニメ	デフレ			
3	ロケ	ゴム	30	ゲリラ	ツアー			
4	レア	ニス	31	イヤー	ハンデ			
5	ギア	ソロ	32	ナッツ	ドレス			

注. プライム語は、カタカナ (表記内プライミング) とひらがな (表記間プライミング) のいずれかで提示した。