

## 音韻負荷がワーキングメモリパフォーマンスに及ぼす影響

田代 賀一・野田 凌那・武藤 美咲

大正大学心理社会学部人間科学科

指導教員：井関 龍太

**要旨：**本研究はワーキングメモリに対する音韻負荷が高くなると、負荷の高い条件で記憶成績が低くなるという仮説を検証した。実験参加者には漢字熟語の意味が通るかを判断する語彙判断課題を行いながら、カタカナ語を記憶し系列順に再生する二重課題を行うことを求めた。実験の結果、音韻負荷が高い語は低い語に比べて記憶成績が低かった。仮説は一部立証されたということになる。

### 問 題

自動車の運転中にナビゲーションの道案内を聞くことがある。運転手はナビゲーションの指示を聞きながら、どの方向に進むかを考えながら交通状況に注意を払う。このとき、運転手はルート状況を一時的に記憶しつつ、同時に周囲の車や信号の変化に注意するという、いわば二重課題を行っている。

ワーキングメモリ (working memory ; 以下、WM) とは、情報の保持と処理を同時に行うシステムである (Baddeley, 2007)。保持とは覚えたことを頭の中にとどめておくことでその容量には限界があると言われている。Baddeley (2000) のモデルは WM の代表的なモデルの 1 つである。このモデルでは、WM は、音韻情報を扱う音韻ループ、視覚や空間の情報を扱う視空間スケッチパッド、音韻ループや視空間スケッチパッドの情報を長期記憶と結びつけるエピソードバッファの 3 つの下位組織に分かれている。これら 3 つの下位組織は中央実行系に管理されている。下位組織は互いにパフォーマンスに影響を与えている。たとえば、視覚と音韻に負荷をかける二重課題によってパフォーマンスを測り、それぞれの組織がどのようなかわりを持っているかなどが検討されている (Pougeon et al., 2024)。

WM の仕組みについては、様々な研究がなされている。Ishkhanyan et al. (2019) は、WM と言語産出の関係を音韻、文法、語彙の観点から検討した。画像に描かれた対象の色や個数についての質問に口頭で答える言語産出課題をしながら単語の記憶を求める二重課題を行った。言語産出課題では、参加者は必ずデンマーク語の en、もしくは et を使って答える必

要があった。この 2 語は不定冠詞としても、数詞としても用いられる語である。不定冠詞 en、et を使って対象の色について答える必要がある場合を文法的条件、数詞 en、et を使って対象の個数について答える必要がある場合を語彙的条件とした。また、描かれた対象が表す名詞には、単音節と二音節の 2 種類があった。実験の結果、文法的条件と語彙的条件ともに、言語産出課題の反応時間は単音節名詞よりも二音節名詞の方が長かった。これは、長い発話を求められると WM に負荷がかかるためスパン課題の成績が低下するという解釈に一致する。一方で、記憶成績は単音節条件よりも二音節条件の方が高かった。これは、長い発話を求められると WM に負荷がかかるためスパン課題の成績が低下するという解釈と一致しない結果である。WM 負荷による期待通りの影響と期待とは異なる影響が同時に見られたことになる。このような矛盾はどのように解釈できるだろうか。

Ishkhanyan et al. (2019) にはいくつか改善の余地があると思われる。まず、検討した仮説が多すぎて、ひとつの実験で全てを検証することが難しかった可能性がある。この実験はデンマーク語の en と et が、名詞の直前に付ける不定冠詞としても、対象の数が 1 つである場合の数詞としても使えることを利用した。産出を求める内容を変えることによって、不定冠詞として使い分ける場合と数詞として使い分ける場合を実験者が操作した。これにより音の変動を最小限に抑えて文法に関する処理とそうでない処理を区別できる。名詞によって使い分ける場合を文法条件、個数によって使い分ける場合を語彙条件とした。彼らの研究では、3 つの仮説が挙げられていた。1 つ目の仮説によると、文法的判断をする場合、参加者が長い発話をしなければならなくなると WM 得点が低下し、WM 得点と反応時間にトレードオフが起こる。2 つ目の仮説によると、反応時間が長くなると WM 得点が高くなるという関係、つまりトレードオフの関係が語彙条件では起こるが、文法条件では起こらない。さらに、WM の負荷が増加すると、語彙条件では反応時間が長くエラーが多くなる。3 つ目の仮説によると、文法条件ではトレードオフが起こるが、数詞で判断する条件では起こらない。さらに、WM 負荷が高くなると、文法条件では反応時間が長く、エラーが多くなる。これらに対して行った実験はひとつであった。要因が多い複雑な実験となったためにデータのふるまいも複雑になり、解釈することも困難になったことが考えられる。そこで、検証する仮説の内容を絞ることでより簡潔な結果を見出すことが期待される。次に、二音節条件で単音節条件よりも記憶成績が高いという結果は、WM 負荷が高い条件で低い条件よりも高い成績が得られたということであり、理論的には考えにくい。この結果が見られた原因として、実験参加者が産出課題中に回答までの時間を引き延ばすことによってリハーサルを行っていた可能性が考えられる。言語産出課題における反応時間は、単音節条件よりも二音節条件の方が長かった。音節が多いため反応時間が長くなるという面もあるが、リハーサルを行っていたと考えれば記憶成績が高くなったことの説明がつく。このような方略を防ぐには、産出と符号化を交互に行う中で、リハーサルを行う余裕を与えない工夫が必要である。最後に、言語産出課題が複雑すぎたということも考えられる。言語産出には、表象すべき概念にアクセスする、概念を言語に変換する、言語を音声に変換する、という大きく分けて 3 つの段

階が必要である。これらをすべて適切に統制することは難しい。

本研究では、WM と音韻負荷の関係に焦点を絞って、日本語で実施できる形で以下の仮説を検証する。すなわち、WM の負荷が高くなると、モーラの多い条件で記憶課題と処理課題両方の成績が低くなるという仮説である。モーラとは日本語の 1 音の数え方であり、例えば、つばめ、だっぴ、リーチはすべて 3 モーラとして数えることができる。しかし、きよりは 2 モーラ、キャンプは 3 モーラとなり、拗音（やゅょ）は 1 モーラとしては数えない。デンマーク語の実験では音節の数が最小の音の単位だったが、日本語の最小限の音の単位はモーラである。そのため本研究では、モーラ数を基準にして刺激を用意する。漢字語に対する語彙判断課題と同時に、カタカナ語を記憶する課題を行う。リハーサルの余裕を与えないよう、語彙判断課題では、一定時間回答がなかった場合に警告が表示され、自動的に次の試行に移るようにした。処理課題に使う漢字語は 2 字のものと 3 字のもの、記憶課題に使うカタカナ語は 2 字のものと 5 字のものを用意し、2 つの要因について、それぞれ音韻負荷の異なる 2 つの水準を設けた。単語の記憶には、語長効果と呼ばれる、モーラの多い語はモーラの少ない語に比べて再生が低くなる現象が起こる（楠瀬他, 2014）。単語をおぼえる際には音韻ループで単語を音かそれに近い形にしてリハーサルすると考えられる。すると、単語の長さや発声の難しさに応じてリハーサルが困難になるために、語長効果のような現象が起こると説明できる。語長効果からすれば、カタカナ 5 字語はカタカナ 2 字語よりも記憶成績が低くなることが予想される。一方、仮説に基づけば、漢字 3 字語の場合は漢字 2 字語よりも記憶成績が低くなり、処理時間の成績も低くなることが予想される。

## 方 法

### 実験参加者

大学生の男性 16 名、女性 9 名の計 25 名が実験に参加した。平均年齢は 21.60 ( $SD=4.96$ ) 歳であった。

### 刺激と装置

天野・近藤 (2003) の単語頻度データベースから、出現頻度が 7.39~1,039.00 のカタカナ、単語頻度が 1,300~5,899 の漢字を抽出した。カタカナと漢字の頻度の違いは、もともとの頻度が異なる中で中程度の頻度の単語を見つけるためであった。カタカナ刺激は 2 字、5 字の単語をそれぞれ 60 単語ランダムに抽出した。その中から、侮辱の意味がある語や日常生活で目にする機会が少ない語などを除いてそれぞれ 56 語のリストを作成した。単語頻度以外の要因を統制するため、カタカナ 2 字語とカタカナ 5 字語の間で、文字単語親密度（藤田・小林, 2020）と平均文字頻度をそろえた。平均文字頻度とは熟語を構成する各文字について単語頻度データベース（天野・近藤, 2003）から文中文字頻度の値を調べ、熟語ごとに平均をとったものである（楠瀬他, 2014）。これらの刺激について、対応のない t 検定を行った。

本研究では、すべての検定の有意水準は5%に設定した。検定の結果、文字単語親密度 ( $t(55) = 0.05, p = 0.96, d = 108.74, 95\%CI[4.70, 4.72]$ )、文中文字頻度 ( $t(55) = 1.77, p = 0.08, d = 94.56, 95\%CI[876062.90, 1001348.70]$ ) とともに有意でなかった。画面に表示する際のフォントサイズは50ポイント、フォント色は黒であった。

漢字刺激は2字、3字のそれぞれについて64単語をランダムに抽出した。侮辱の意味がある語や現在日本に存在しない省庁名などを除いて各60語のリストを作成した。60語のうち4語は練習試行に用いた。各リストの半数は、熟語の語順を並べ替えて実在しない熟語になるようにした。漢字2字語と漢字3字語も、文字単語親密度と文中文字頻度について、対応のないt検定を行った。検定の結果、本試行に用いる単語リストにおいて、文字単語親密度 ( $t(55) = 1.06, p = 0.29, d = 105.55, 95\%CI[5.52, 5.69]$ )、文中文字頻度 ( $t(55) = 1.30, p = 0.20, d = 109.56, 95\%CI[394778.90, 479950.60]$ ) とともに有意でなかった。練習試行に用いる単語リストにおいて、文字単語親密度 ( $t(7) = 0.84, p = 0.43, d = 5.97, 95\%CI[4.82, 5.42]$ )、文中文字頻度 ( $t(7) = 0.82, p = 0.46, d = 3.92, 95\%CI[388163.60, 507523.10]$ ) とともに有意でなかった。フォントサイズは72ポイント、フォント色は黒であった。

実験プログラムはlab.js (Henninger et al., 2022) を用いて作成した。参加者は、モニターから約60cm離れて座り、モニターを見た。実験者は、参加者の後ろから実験の様子を観察したり回答を記録したりした。

## 手続き

まず、練習試行を行った。練習試行では、モニターに漢字刺激が表示された。参加者は、熟語として意味が通るものかどうかを判断する語彙判断課題を行った。モニターに表示された単語が、意味の通る語であった場合は左手でキーボードのAキー、意味の通らない語であった場合は右手でキーボードのLキーを押すよう求めた。誤った回答をした場合と、2,500ミリ秒以内に回答しなかった場合には「エラー！」の文字が表示された。練習試行の後に、本試行を行った。

本試行では、漢字の語彙判断課題を行った後に、カタカナ語が800ミリ秒表示された。参加者には、カタカナ語を記憶しながら、漢字の判断課題を行うように教示を行った。漢字ひとつにつき語彙判断し、カタカナ語1つを記憶するまでのまとまりを1セットと呼ぶことにする。このセットの大きさをセットサイズと呼ぶとすると、セットサイズは2から5段階であった。つまり、漢字とカタカナのまとまりが2から5段階まで増減した。漢字とカタカナ語を交互に表示し、カタカナ語の表示が全て終わった後、「単語を思い出してください」と表示された。この画面を見た後に、参加者はカタカナ語を提示された順番に答えるよう求められた。参加者の回答は実験者が記録用紙に記録した。実験者の記録が終わり、合図を出したら、参加者はスペースキーを押し、2,000ミリ秒経過したのちに次の試行に進んだ。

漢字語はリストの語からランダムに提示したが、同じ語は2回以上繰り返さなかった。カタカナ語は全ての参加者に同じ順で提示した。記憶項目要因はカタカナ2字条件、5字条件、

2 字条件、5 字条件の順で提示し、処理項目要因における漢字 2 字語条件、3 字条件の提示順序は参加者ごとにランダムにした。漢字語の正答数とカタカナ語の正答数を記録した。

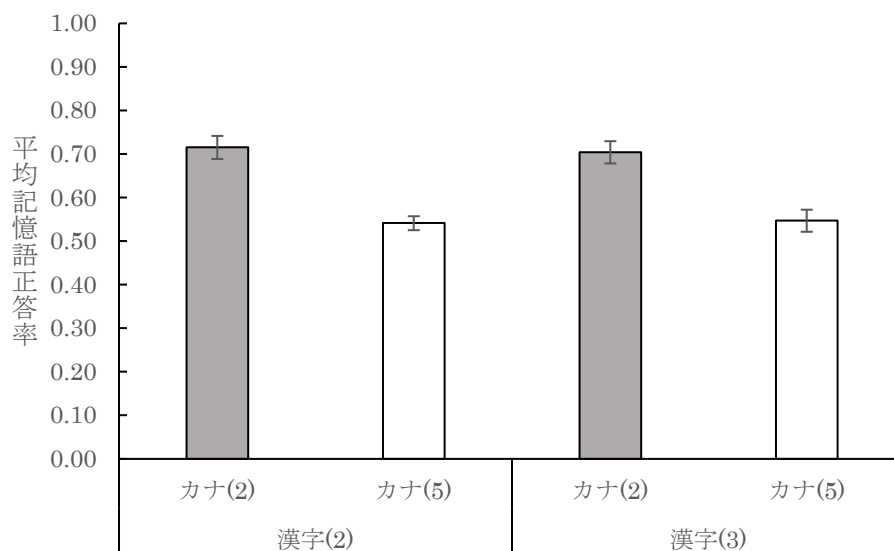
## 結 果

### 記憶項目の正答数

カタカナ語の記憶課題を系列再生法で回答させた。回答は口頭で行われた。回答した単語が何番目かを確認した。参加者にカタカナを答えてもらう際に「○番目は【単語】」という風に回答してもらった。正答の基準は「1、2、3」の順に提示された項目を「1、3、2」の順に答えた場合は「1」だけを正答とした。わからない単語があればそのタイミングで「分からない」と答えてもらった。「1、分からない、3」と回答した場合は「1」と「3」を正答とした。分からないを挟まず「1、3」と回答した場合、「○番目」と「【単語】」の組み合わせが不整合の場合は誤答とした。基準に基づく得点を水準ごとに平均し、図 1 に示した。

図 1

カタカナ記憶課題の平均正答率（エラーバーは 95%信頼区間）



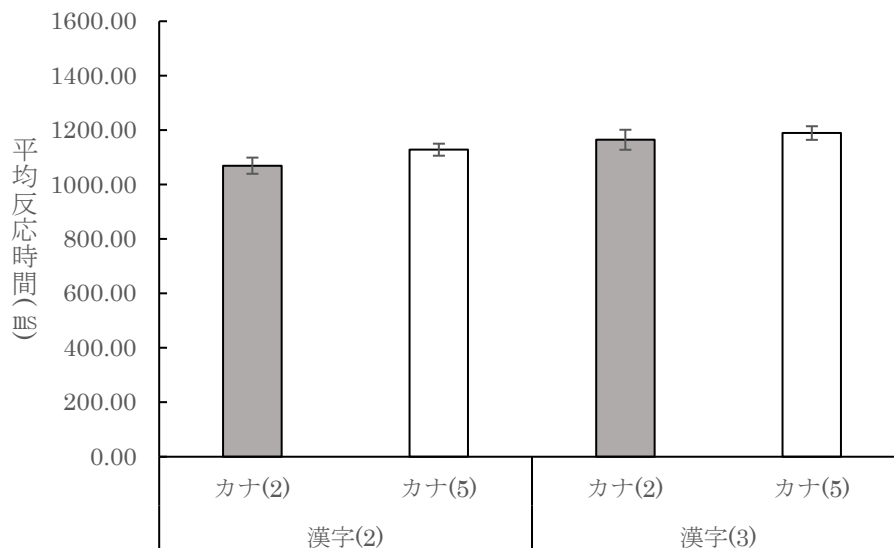
記憶課題の平均正答数について、記憶項目のモーラ数（カタカナ 2 字、カタカナ 5 字）と処理項目のモーラ数（漢字 2 字、漢字 3 字）を要因として、2 要因参加者内要因の分散分析を行った。分析の結果、処理項目のモーラ数の主効果は有意ではなかった ( $F(1, 24) = 0.03, p = 0.87, \eta_p^2 = 0.001$ )。記憶項目のモーラ数の主効果が見られ、カタカナ 5 字語条件はカタカナ 2 字語条件よりも有意に正答数が少なかった ( $F(1, 24) = 78.40, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.77$ )。これらの要因の交互作用は見られなかった ( $F(1, 24) = 0.58, p = 0.45, \eta_p^2 = 0.02$ )。

### 語彙判断課題の反応時間

語彙判断課題の漢字が提示されてから意味が通る熟語か回答するまでの正答の反応時間を測った。その結果を各参加者の水準ごとの平均反応時間を算出し、図2に示した。

図2

語彙判断課題の平均処理時間（エラーバーは95%信頼区間）



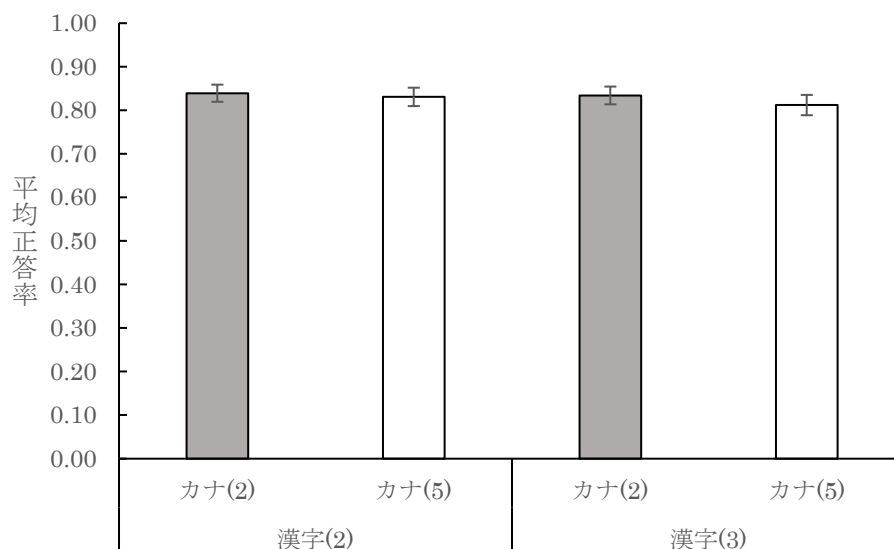
語彙判断課題の平均反応時間について、記憶項目のモーラ数と処理項目のモーラ数を要因とした2要因参加者内計画の分散分析を行った。分析の結果、記憶項目のモーラ数の主効果が見られ、カタカナ5字条件はカタカナ2字条件よりも反応時間が有意に長かった ( $F(1, 24) = 8.03, p = 0.009, \eta_p^2 = 0.25$ )。処理項目のモーラ数の主効果が見られ、漢字3字条件は漢字2字条件よりも反応時間が有意に長かった ( $F(1, 24) = 11.68, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.33$ )。これらの要因の交互作用は見られなかった ( $F(1, 24) = 0.68, p = 0.42, \eta_p^2 = 0.03$ )。

### 語彙判断課題の正答率

語彙判断課題の正答率について、各水準の平均値を算出し、図3に示した。

図 3

語彙判断課題の平均正答率（エラーバーは 95%信頼区間）



語彙判断課題の正答率について、記憶項目のモーラ数と処理項目のモーラ数を要因とする 2 要因参加者内要因の分散分析を行った。分析の結果、記憶項目のモーラ数 ( $F(1, 24) = 1.57, p = 0.22, \eta_p^2 = 0.06$ )、処理項目のモーラ数 ( $F(1, 24) = 0.58, p = 0.45, \eta_p^2 = 0.02$ )、ともに有意ではなかった。交互作用は見られなかった ( $F(1, 24) = 0.20, p = 0.66, \eta_p^2 = 0.01$ )。

## 考 察

本研究は、WM と音韻負荷の関係に焦点を絞り、Ishkhanyan et al. (2019) の仮説を検証することを目的とした。WM 負荷が高くなるとモーラの多い条件で記憶課題と処理課題両方の成績が低くなるという仮説を立てた。漢字刺激に対する語彙判断課題を行いながら、カタカナ語を記憶して系列再生する二重課題を行った。実験の結果、記憶項目の正答数において、記憶項目の音韻負荷が高いと音韻負荷が低い場合よりも正答数が少なかった。処理項目の音韻負荷の効果は見られなかった。語彙判断課題の反応時間において、記憶項目の音韻負荷が高い条件では低い条件よりも反応時間が長かった。また、処理項目の音韻負荷が高くなることによっても反応時間が長くなった。語彙判断課題の正答率では、記憶項目の音韻負荷も、処理項目の音韻負荷も影響しなかった。以上の結果は、漢字 3 文字の場合は漢字 2 文字の場合よりも記憶成績が低くなるという予想とは一致しないが、カタカナ 5 文字はカタカナ 2 文字よりも記憶成績が低くなるという予想とは一致する。

記憶課題の成績について、音韻負荷が高い記憶項目は再生が低く、低い記憶項目は再生が高かった。これは語長効果である。一方、処理項目による負荷は記憶成績に影響しなかった。漢字刺激の場合、2 モーラと 3 モーラの違いでは変動が小さかったため成績に影響を与えな

かったことが考えられる。Pougeon et al. (2024) は記憶課題と処理課題の困難度が個人ごとに異なることを考慮して、それぞれの課題の難しさをあらかじめ測定してから負荷の度合いを調整してスパン課題を行った。彼らのように課題の困難度を個人ごとに調整することで音韻負荷の効果をより厳密に検証できるかもしれない。

本研究では漢字とカタカナのモーラ数を要因として実験を行い、それぞれの主効果が確認されたが、交互作用は確認されなかった。したがって、本研究の条件下では、音韻ループ内での保持と処理にトレードオフが見られなかった。

最後に、Ishkhanyan et al. (2019) の WM 負荷が高くなると音韻負荷の高い条件でパフォーマンスが下がるという仮説について検討する。本研究では、記憶成績において漢字のモーラ数による影響は見られず、カタカナ語のモーラ数の影響のみ見られた。語彙判断課題の反応時間では漢字のモーラ数、カタカナのモーラ数ともに影響が見られた。この結果が生じた理由としては、カタカナは文字そのものが 3 文字分離れているのに対して漢字は字によってモーラ数がバラバラであることと、文字数も 1 文字分しか離れていないので負荷の違いを作り出すのに不十分であることが考えられる。

## 引用文献

- 天野 成昭・近藤 公久 (編) (2000). NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」第 7 巻  
頻度 三省堂
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)  
(荻阪, 2012 の引用による)
- Baddeley, A. D. (2007). *Working Memory, thought, and action*. Oxford University Press.  
(井関 龍太・齋藤 智・川崎 恵里子 (訳). (2012). ワーキングメモリ——思考と行為の心理学的基盤—— 誠信書房)
- 藤田 早苗・小林 哲生 (2020). 単語親密度の再調査と過去のデータとの比較 言語処理学会第 26 回年次大会 (NLP-2020)
- Henninger, F., Shevchenko, Y., Mertens, U. K., Kieslich, P. J., & Hilbig, B. E. (2022). lab.js: A free, open, online study builder. *Behavior Research Methods*, 54(2), 556-573.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-019-01283-5>
- Ishkhanyan, B., Boye, K., & Mogensen, J. (2019). The meeting point: Where language production and working memory share resources *Journal of Psycholinguistic Research*, 48(1), 61-79.  
<https://doi.org/10.1007/s10936-018-9589-0>
- 楠瀬 悠・吉原 将大・井田 佳祐・薛 俊毅・伊集院 睦雄・日野 泰志 (2014). 語彙判断課題における仮名・漢字表記語の語長効果 認知心理学研究, 11(2), 105-115.  
<https://doi.org/10.5265/jcogpsy.11.105>

荻阪 直行 (2012). 前頭前野とワーキングメモリ 高次脳機能研究, 32(1), 7-14.

<https://doi.org/10.2496/hbfr.32.7>

Pougeon, J., Camos, V., Belletier, C., & Barrouillet, P. (2024). Quantifying resource sharing in working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 31(5), 2305-2312. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02494-4>

## 付録：実験に使用したカタカナ刺激・漢字刺激

漢字2字の判断の時カタカナ2字で使用した語

ドン サメ シソ ムチ ネル スレ ハス マヤ マレ アル メゾ マン トラ エア コウ イブ  
グル トム トゲ ハネ ネタ ケチ タク ナラ アズ ナオ ミオ パブ

漢字2字の判断の時カタカナ5字で使用した語

サムシング アセチレン サイクロン プロダクツ アイディア ボンネット カブトガニ ク  
ロニクル ダンゴムシ オノマトペ ウミガラス プロフィル アノラック スペアリブ カフ  
ェイン シシカバブ ミリグラム エンドレス シンデレラ フェイント ナナカマド サディ  
ズム アナリスト アフリカン バティック ナッシング ヤマザクラ ホトトギス

漢字3字の判断の時カタカナ2字で使用した語

タフ セル コア ドス ラム バン ツラ バル ノミ バラ ベイ ナノ アリ マニ チア フカ  
ビラ ロク サバ トロ ルビ ニス ブレ トス ヤン ツバ アザ チノ

漢字3字の判断の時カタカナ5字で使用した語

パパラッチ マリアッチ キャッスル クアハウス ストロング プラタナス エメラルド フ  
ォレスト スプリント カルテット ホログラム サイリスタ ホトケノザ パラフィン クリ  
スタル ハンチング イメチェン ダイアログ ハッキング ファンプル スクワット キャラ  
メル エスニック キツネザル パイオニア カスミソウ オベリスク スリリング

意味が通る漢字熟語

打診 温存 創出 撤去 体力 西欧 休戦 大切 高齢 一律 回数 陸軍 大声 内蔵 在庫 亀裂  
経歴 着物 衛生 寄贈 機材 海面 家賃 無事 震度 連覇 大台 栄養 更迭 面接 増設 序盤  
郵便 零下 代打 悲願 手記 前回 都議 初演 新法 予備 主幹 帰京 俳句 用途 国産 個展  
迫力 初戦 平成 修復 海上 心身 再会 進路

世話人 支店長 収容所 戒厳令 機関紙 機動隊 重要性 著作権 青少年 実質的 慰謝料 非  
公式 大都市 司令部 報道陣 検察官 非公開 飲食店 核燃料 不祥事 保育園 建造物 総会  
屋 最低限 裁判官 下水道 資本金 自衛官 社会人 主人公 文化庁 多角的 結婚式 最小限  
低金利 交付金 大震災 大相撲 博覧会 消防庁 被告人 過激派 二十歳 死亡率 代表作 悪  
循環 幼稚園 加害者 長時間 国内外 許認可 深刻化 具体化 最先端 拒否権 発電所

意味が通らない漢字熟語

律一 養栄 生衛 存温 賃家 面海 贈寄 材機 京帰 裂亀 戦休 歷經 展個 迭更 齡高 産国  
会再 庫在 幹主 記手 復修 演初 戦初 盤序 打代 法新 出創 途用

悪循環 慰料謝 飲店食 下道水 加者害 過派激 戒令厳 核料燃 機紙関 機隊動 拒権否 許  
可認 具化体 結式婚 物造建 検官察 交金付 国外内 最限小 最端先 最限低 裁官判 司部  
令 支長店 死率亡 資金本 自官衛 実的質