

オノマトペ CAPTCHA の開発と評価：日英の比較

“Onomatopoeia CAPTCHA”: development, evaluation and comparison between Japanese and English

○滋野 莉子 山田 道洋 菊池 浩明
○ Riko Shigeno Michihiro Yamada Hiroaki Kikuchi
明治大学 明治大学 明治大学
Meiji Univ. Meiji Univ. Meiji Univ.
坂本 真樹

Maki Sakamoto
電気通信大学大学院

The University of Electro-Communications Graduate School.

Abstract: CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) is a type of challenge-response test used in determining whether or not, a given access is made by human. However, as AI technologies are improved, most existing CAPTCHAs have been broken. Hence, new CAPTCHA that is secure against machine is required. Therefore, in this paper, we propose a new scheme called “Onomatopoeia CAPTCHA” based on hardness to interpret unknown onomatopoeias. Our prepared CAPTCHA improves usability and the accuracy.

1 はじめに

CAPTCHA(Completely Automated Public TuringTest To Tell Computers and Humnas Apart) は、コンピュータと人間を区別するための完全自動化された公開チューリングテストである。コンピュータエージェントによる不正が深刻な課題となっている中、セキュリティ上で重要な役割を果たしている。CAPTCHA の必要条件は、

1. 人間が容易に解ける、
2. コンピュータには解くことができない、
3. 問題を自動生成できる、

ことである。しかし、コンピュータによる、深層学習が発展した現在、既存の CAPTCHA の多くが条件 2 を満たさなくなっているという問題点がある。そこで、機械判別が困難な新しい CAPTCHA の生成が求められている。例えば、藤田らは、3DCG 画像を用いた非現実画像 CAPTCHA[1] を提案している。山口は機械合成文の不自然度相対識別問題に基づく CAPTCHA[2] を提案している。

本研究では、擬態語や擬音語であるオノマトペ (onomatopoeias) を応用した新たな「オノマトペ CAPTCHA」を提案する。オノマトペは普段人間が無意識に使用している概念であり、音や響きから意味を推測できるので、人間にとって解くのが簡単である。一方で、その解釈の原理はよく知られておらず、機械的に解くのは困難と予測される。

我々は、日本語のオノマトペを用いた最適な

CAPTCHA の形式を調査し、4 択問題と画像を使った問題が 0.8 を超える高い人間受入率を満たすことを明らかにした [5]。しかしながら、オノマトペはしばしば、その国の文化や慣習に依存することがあり、日本語の問題を外国人に解くことができるか疑問視されていた、そこで本稿では、英語のオノマトペと日本語のオノマトペを用い、日本人以外の被験者による認識率の比較を行う。また、語彙力の差の影響を受けにくいマンガを用いた新しいオノマトペ CAPTCHA を提案し、その有用性を検証する。

2 基本定義

2.1 CAPTCHA について

CAPTCHA にはパズルの 1 ピースを絵や写真に適切にはめこむ「パズル型 CAPTCHA[7]」や、与えられた記述に該当する写真を全て選択する「画像認証 CAPTCHA[8]」などがある。

CAPTCHA の性能は、人間を正しく受け入れる確率 HAR (Human Acceptance Rate) と誤って機械を受け入れる確率の MAR (Machine Acceptance Rate) で評価する。背景知識を持たずにランダムに推測することをブルートフォース攻撃と呼び、その受入率を MAR_b であらわす。4.2 節では、知識を持つ攻撃者の MAR_{gs} の例を述べる。 HAR が高いことは (1) 人に容易に解けることを、 MAR が低いことは (2) 機械には解けないことを表しており、これら MAR と $1 - HAR$ はトレードオフの関係にある。 HAR が高く、 MAR が低いとき精度が高い CAPTCHA とい

える。

2.2 オノマトペについて

オノマトペは、ものの音や声をまねた擬態語(ざわざわ, じょきじょきなど), あるいは状態をまねた擬音語(てきばき, きらきらなど), 擬声語(わんわん, おぎゃー)である。一般語彙と比べると臨場感に溢れ, 繊細な表現を可能としているという特徴がある。また, 日本語は他の言語と比べてオノマトペの種類が圧倒的に多いと言われている [3]。小松らは, オノマトペの持つイメージを数値化し, オノマトペの持つイメージを客観的に表現するようなシステムを生成する研究をしている [4]。清水らは, ユーザの入力した印象評価値に適合したオノマトペを生成するシステムを開発している [3]。このようにオノマトペにはさまざまな先行研究があるが, 未だにオノマトペの明確な規則性は明らかにはされていない。

3 日本語のオノマトペ CAPTCHA [5]

3.1 問題形式

我々は, 問題形式による HAR と MAR の変化を調査し, 最適なオノマトペ CAPTCHA の形式を明らかにするため, 4 択 (1J), 画像選択 (2J), オノマトペ同士の選択, 複数選択の 4 種類の問題形式を検討した [5]。問題形式の一部を以下に示す。ここで, J は日本語の問題であることを示している。

形式 1J (4 択)

意味を表す最適なオノマトペをひとつ選択する。

(例) 「歩く」にあてはまるオノマトペは?

- ・ばくばく
- ・ぼそぼそ
- ・とことこ
- ・ぎゃはは

(答え) とことこ

形式 2J (画像選択)

辞書の意味をもとに画像検索をして画像に合うオノマトペを選択する

(例) 画像の意味と同じ意味のオノマトペを選べ



- ・べらべら
- ・きよろり
- ・どんちゃん
- ・るんるん

(答え) るんるん

3.2 実験目的と方法

[5] では, 1. 出題形式による HAR と MAR の差, 2. 既存のオノマトペと合成語や認知度による精度の差, 3. 既存の CAPTCHA と提案したオノマトペ CAPTCHA の精度の違い, 4. 人間の属性による結果の変化のそれぞれを明らかにするため, クラウドソーシングサイトにて募集した 54 名と菊池研究室の学生 9 名, 合計 63 名を被験者とした。被験者には, 実験用サイトにて計 84 問の問題に解答してもらい, その解答内容と解答時間を記録した。また, 実験終了後にアンケート調査を行った。

3.3 実験結果 [5]

出題形式の差

問題形式 1J, 2J の実験結果と MAR を表 1 に示す。ブルートフォース攻撃による MAR_b は選択肢数に反比例する。例えば, 4 択問題をランダムに答えて正解する確率は $\frac{1}{4} = 0.25$ である。表 1 より, 最も HAR が高かったのは, 2J の画像から意味を読み取り, オノマトペを答える形式であった。1J も 0.8 を超える HAR で, 複数選択問題とオノマトペ同士の問題はどちらも 0.6 後半の HAR だった。問題形式による平均解答時間の差はほとんどみられなかった。

既存の CAPTCHA との比較

既存の CAPTCHA と提案オノマトペ CAPTCHA との平均と平均解答時間の比較結果を表 2 に示す。既存の CAPTCHA であるパズル型 CAPTCHA と画像認証型 CAPTCHA は, 2016 年 8 月に 200 名の被験者に対して評価した。表 2 より, オノマトペ CAPTCHA は他 2 つの CAPTCHA と比べて HAR は高く, 解答時間も短い。しかし, MAR_b が異なるため, 公平な評価ではない。各 CAPTCHA の MAR_b を等価に補正した結果を表 3 に示す。

既存の CAPTCHA に比べてオノマトペ CAPTCHA は HAR が高く, 解答時間も短かった。しかし, MAR_b を考慮すると, 提案オノマトペ CAPTCHA にはまだ実用的な問題が残っている。また, [3] で示されているように, 日本語オノマトペは発達しているが, 日本語がわからない外国人に理解されない可能性がある。

4 英語のオノマトペ CAPTCHA

4.1 提案方式

4.1.1 外国人の日本語オノマトペへの理解

外国人が日本語のオノマトペをどれだけニュアンスで理解できるのかを調査するために, 3.1 節で用いた形式 1J の 4 択問題と形式 2J の画像選択問題をローマ字化して出

表 1: 各形式の実験結果

オノマトペの言語	1(4 択)		2(画像)		3(マンガ)		
	J	E(ローマ字)	J	E(ローマ字)	J	Ej	Ee
被験者	日本人	外国人	日本人	外国人	日本人	日本人	外国人
N	24	5	27	5	10	10	10
平均 HAR	0.891	0.500	0.894	0.394	<u>0.895</u>	0.452	0.410
Max	1	1	1	1	1	0.8	0.9
Min	0.5	0	0.695	0	0.2	0.1	0
平均解答時間 (秒)	0:07	0:25	0:07	0:12	0:14	0:26	0:18
Max	0:55	3:35	0:23	0:45	0:31	4:14	0:31
Min	0:04	0:06	0:03	0:02	0:04	0:04	0:03
MAR _b	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
MAR _{gs}	0.400	0.389	-	-	-	-	-

表 2: 既存の CAPTCHA との比較結果

	平均解答時間 (秒)	標準偏差	平均 HAR	標準偏差
オノマトペ (1J)	7	9.92	<u>0.891</u>	0.092
パズル	9.44	5.23	0.880	0.346
画像	18.07	11.65	0.810	0.388

表 3: 補正をした結果

	MAR _b	補正後		
		問題数 x	MAR _b	解答時間 (秒)
オノマトペ	1/4	4.5	0.595	31.5
パズル	1/90	1.38	<u>0.838</u>	13
画像	1/512	1	0.810	18.07

題した (形式 1E, 形式 2E).

4.1.2 マンガオノマトペ CAPTCHA

オノマトペ CAPTCHA の言語的な背景知識への依存度を小さくするために, 新たにマンガオノマトペ CPATCHA(形式 3) を提案する. 英語版 (3E), 日本語版 (3J) を用意し日英の比較を行う. 3Ej は英語版を日本人の被験者に, 3Ee は外国人の被験者に対して行ったものとする.

4.1.3 問題形式例

形式 1E(日本語 4 択問題のローマ字版)

3.1 節の形式 1 の 4 択問題をローマ字化したもの. 例を図 1 に示す.

形式 2E(日本語画像選択問題のローマ字版)

3.1 節の形式 4 の画像選択問題をローマ字化したもの. 例を図 2 に示す.

Which word feel like Fast ?

- Kakaka
- Sassa
- Bo-
- Kori
- Next

図 1: 形式 1E の例 (答え:Sassa)

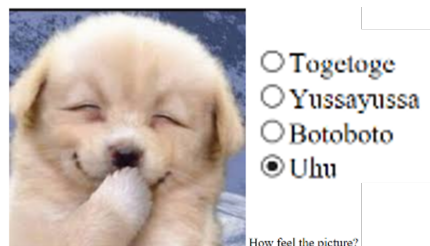


図 2: 形式 2E の例 (答え:Uhu)

形式 3J(日本語マンガオノマトペ CAPTCHA)

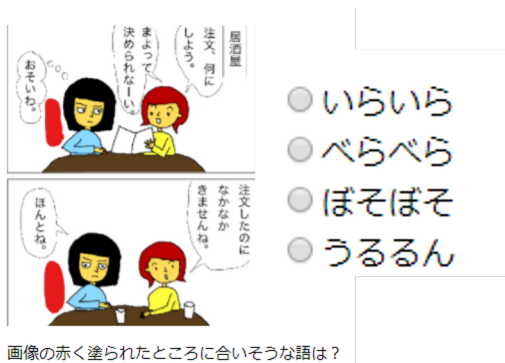
日本語のマンガに用いられているオノマトペを隠して与え, 選択肢から適切なオノマトペをひとつ選択する. 例を図 3 に示す.

形式 3E(英語マンガオノマトペ CAPTCHA)

英語に翻訳されているマンガを用いて, 形式 3J と同様なテスト. 例を図 4 に示す.

4.2 検索エンジンを用いた攻撃 MAR_{gs}

背景知識として, 検索エンジンにアクセスできる攻撃者を考える. この攻撃では, 形式 1J, 1E の様な選択問題に対して, 意味の単語と選択肢の各々について AND 検索を行い, 検索ヒット数が最も多くなる選択肢を選ぶ. この攻撃者の受入率を MAR_{gs} とする. 例えば, 形式 1J の



画像の赤く塗られたところに合いそうな語は？

図 3: 形式 3J の例 (答え:いらいら) [9]

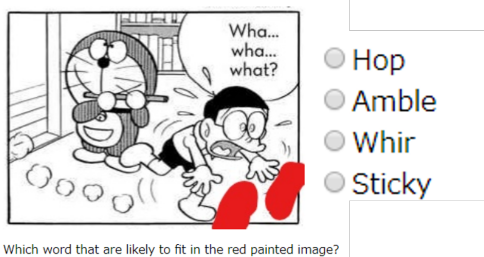


図 4: 形式 3E の例 (答え:Hop)[10]

例題では、「歩く、ばくばく」458000件、「歩く、ぼそぼそ」329000件、「歩く、とことこ」422000件、「歩く、ぎゃはは」95600件なので、最もヒット数が多い「ばくばく」を選ぶ。形式 2, 3 では問題に画像を使っているためこの攻撃はできない。

4.3 実験目的

本実験の目的は以下の通りである。

実験 1 新たな形式の日本語マンガオノマトペ CAPTCHA の HAR を明らかにし、従来手法の結果と比較する。

実験 2 形式 1E, 2E の HAR から外国人が日本語のオノマトペをどれだけ理解できるのかを明らかにする。また問題の分析をする。

実験 3 新たな英語マンガオノマトペ CAPTCHA の HAR を明らかにし、日英の比較や年代・国籍・性別など属性の違いによる HAR の変化を明らかにする。

以上の実験の概要を表 4 にまとめる。

表 4: 実験概要

	実験 1	実験 2	実験 3
目的	提案方式 3 の有用性	日英被験者の比較	英語圏被験者の属性分析
言語	日	日・英(ローマ字)	英
形式	1J・2J・3J	1J・1E・2J・2E	3J・3E

表 5: 各形式の問題数と問題番号

	日本人	外国人	外国人の問題番号
形式 1E	0	5	1~5
形式 2E	0	5	6~10
形式 3J	10	0	-
形式 3E	10	10	11~20
計	20	20	-

4.4 実験方法

本研究では、主に、著者(滋野)の SNS で募集した日本人 57 名、外国人の 63 名の計 120 名を被験者とした。それぞれの被験者に対する出題の問題形式と問題数、問題番号を表 5 に示す。実験はウェブ上で行い、解答内容と解答時間を記録した。実験終了後に、アンケート調査も行った。ただし、形式 1J, 2J については、[5] の実験結果を用いる。

4.5 実験結果

実験 1 オノマトペ CAPTCHA 日英の比較

全形式の実験結果と MAR を表 1 に示す。表 1 の形式 1J, 形式 2J, 形式 3J の結果より、最も HAR が高かったのは 3J の日本語マンガオノマトペ CAPTCHA であった。3J の平均解答時間は、1J と 2J の 7 秒の倍の 14 秒かかっている。1J, 1E の MAR_{gs} はそれぞれ 0.400, 0.389 となりどちらも MAR_b の 0.250 よりも高い。

実験 2 マンガオノマトペ CAPTCHA

表 1 の 1J, 1E, 2J, 2E の結果より、4 択と画像のどちらの問題形式も日本人の HAR は 0.8 を超えているのに対し、外国人は全て 0.5 を下回っている。平均解答時間も日本人の時間に対して、外国人は倍以上かかっている。問題に対する外国人の HAR と解答時間の散布図を図 5 に示す。

実験 3 日英比較と人種、属性別の分析

表 1 の形式 3J と 3Ej, e の実験結果より、日本語マンガオノマトペ CAPTCHA と比較して英語オノマトペ CAPTCHA の HAR は 0.485 低かった。日本人に対して行った英語マンガオノマトペ CAPTCHA も同様である。

本実験の被験者となった外国人の国籍、人数、地域、性別、年代、国ごとの被験者数と HAR を表 6 に示す。地域ごとの HAR を表 7 に示す。表 7 より北アメリカが最も HAR が高く、続いて高いのがヨーロッパであった。

英語力順位 [11] と読解力順位 [12], 英語を話せるか、性別、年齢など属性による分割表を表 8, 9 に示す。英語力順位は、2015 年に Education Fast の英語テストを受験

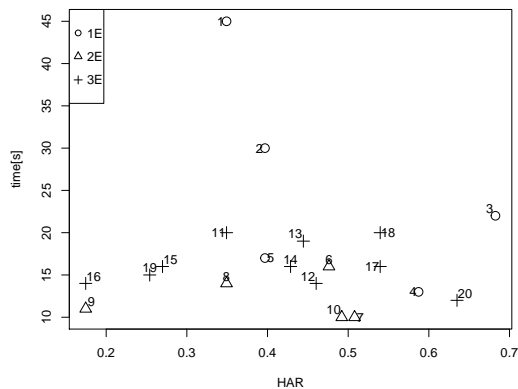


図 5: 問題 1~20 の HAR と解答時間の散布図

した 95 万人を超える成人のデータを基にした 72 カ国の順位である。読解力順位は、2015 年に OECD の 15 歳を対象とする PISA (Programme for International Student Assessment) 調査の順位である。それぞれの順位を基に上位から被験者の出身国を 1 から 13 位まで順位づけ、ランキング外の国を 14 位とした。

英語力順位では 8 位未満に比べ 8 位以上の HAR が 0.035 高く、読解力順位では 8 位未満に比べて 8 位以上の HAR が 0.064 高い。また、英語が話せると答えた人は、話せないと答えた人に比べて HAR が 0.059 高い。

5 考察

実験 1

[5] の実験では画像を使った形式 2J が最も HAR が高かった。本実験では新たにマンガの画像を使ったことで、人間がより画像の意味を理解しやすくなると期待していたが、HAR にほとんど変化はなかった。

実験 2

実験 2 の結果から、日本語を知らない外国人が日本語のオノマトペをニュアンスで理解するのは困難だと考えられる。

実験 3

形式 3E の英語マンガオノマトペ CAPTCHA の HAR が形式 3J の日本語に比べて平均 0.485 も低かったのは、日本のマンガの英語翻訳版を使用していたことが理由のひとつと考えられる。被験者の属性による実験結果では、地域や英語能力、英語が話せるかどうかなどの結果から、やはり英語への理解度が高いほど英語のオノマトペの理解も高い傾向があった。一方で、学力能力による結果から学力の順位が高い国は HAR も高い傾向があった。これ

は問題のマンガの意味を読み取る力が高いからだと考えられる。年齢や性別による HAR の大きな差はなかったことから、マンガオノマトペ CAPTCHA はどんな人にも平等に扱われる問題であると考えられる。

6 おわりに

本研究では「オノマトペ CAPTCHA」の HAR と MAR の性能評価を行った。新たな手法「マンガオノマトペ CAPTCHA」を提案し、日英の比較を行った。マンガオノマトペ CAPTCHA の日本語版は、従来手法の中で最も HAR が高かった画像を使用した形式 2J と比較し、HAR が 0.001 高くなった。従来手法と HAR は変わらない結果となったが、本提案の形式 3 の手法は英語化にも容易である。また、形式 1 の 4 択問題では、機械からの攻撃としてグーグル検索アタック攻撃が考えられるが、新たな手法では画像を使用しているためこの攻撃はできない。よって MAR では従来手法より優れているといえる。今後は、さらに MAR を下げ、日本語以外のオノマトペ CAPTCHA の HAR を高くすること、また CAPTCHA の条件である問題の自動生成を行うことを目標とする。

謝辞

オノマトペのご助言をいただいた明治大学総合数理学部の中村聡史准教授、小松孝徳准教授と、実験に協力してくださった被験者に感謝します。

参考文献

- [1] 藤田真治, 池谷勇樹, 西垣正勝: 非現実画像 CAPTCHA: 常識からの逸脱を利用した 3DCG 画像 CAPTCHA, 情報処理学会論文誌, 56(12), pp.2324-2336, 2015.
- [2] 山口通智, 岡本健, 菊池浩明: 機械合成文の不自然度相対識別に基づく CAPTCHA の提案, 情報処理学会論文誌, 56(9), pp.1834-1835, 2015.
- [3] 清水祐一郎, 土斐崎龍一, 鍵谷龍樹, 坂本真樹: ユーザの感性的印象に適合したオノマトペを生成するシステム, 人工知能学会論文誌, 30(1), pp.319-330, 2015.
- [4] 小松孝徳, 秋山広美: ユーザの直観的表現を支援するオノマトペ意図理解システム, 電子情報通信学会論文誌, vol.J92-A(11), pp.752-763, 2009.
- [5] 滋野莉子, 山田道洋, 菊池浩明, 坂本真樹: オノマトペ CAPTCHA の開発と評価, マルチメディア・

表 6: 被験者の属性別統計

	N	地域	英語力順位 [11]	読解力順位 [12]	性別		年代			HAR
					男性	女性	10代	20代	30代	
United States	1	北アメリカ	1	6	1	0	0	1	0	<u>0.700</u>
Colombia	2	南アメリカ	14	11	1	1	1	1	0	0.300
Brazil	3		11	12	0	3	0	1	2	0.500
Korea	15	アジア	6	1	6	9	1	10	4	0.393
Taiwan	7		9	5	4	3	0	7	0	0.371
China	2		10	7	2	0	1	1	0	0.450
Israel	1		14	9	0	1	0	1	0	0.600
Turkey	1		12	10	1	0	0	1	0	0.300
Indonesia	1		8	13	0	1	0	0	1	0.300
Philippines	5		4	14	5	0	0	2	3	0.300
Saudi Arabia	1		13	14	0	1	0	1	0	0.200
Nepal	18		14	14	13	5	1	16	1	0.394
Germany	2		ヨーロッパ	3	2	1	1	1	1	0
Sweden	1	2		3	0	1	0	0	1	0.300
France	2	7		4	1	1	0	2	0	<u>0.650</u>
Czech Republic	1	5		8	0	1	0	1	0	<u>0.900</u>
total	63	-	-	-	35	28	5	46	12	0.410

表 7: 地域毎の HAR

state	N	マンガ平均 HAR
北アメリカ	1	<u>0.7</u>
南アメリカ	5	0.42
アジア	51	0.38
ヨーロッパ	6	<u>0.6</u>
N	63	0.41

表 8: 語学力, 読解力についての HAR

	英語力順位 [11]		読解力順位 [12]		英語話せる	
	8位以上	8位未満	8位以上	8位未満	話せる	話せない
N	28	35	31	32	40	23
平均 HAR	<u>0.429</u>	0.394	<u>0.442</u>	0.378	<u>0.427</u>	0.378

分散・協調とモバイルシンポジウム, pp.1778-1785, 2017.

[6] 小野正弘: 擬音語・擬態語 4500 日本語オノマトペ辞典, 2007.

[7] Capy パズルキャプチャ (https://www.capy.me/jp/products/puzzle_captcha).

[8] ReCAPTCHA demo(<https://www.google.com/recaptcha/api2/demo>).

表 9: 性別, 年齢についての HAR

	性別		年齢		
	男	女	10代	20代	30代
N	35	28	5	46	12
平均 HAR	0.413	0.407	0.389	<u>0.429</u>	0.388

[9] 日本語を楽しもう!e-Japan 国立国語研究所 (<https://pj.ninjal.ac.jp/archives/Onomatope/manga/iraira2.html>)

[10] 藤子・F・不二雄: DORaEMON セレクション 2, 小学館 (2013), p.8.

[11] Education Fast, English Proficiency Index(<http://www.efjapan.co.jp/epi/>)

[12] 国立教育政策研究所: OECD 生徒の学習到達度調査~2015 年調査国際結果の要約~ (http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2015/03_result.pdf).

連絡先

滋野莉子

E-mail: ev40506@meiji.ac.jp

菊池浩明

E-mail: kikn@meiji.ac.jp