

# 触覚のスローモーション再生における知覚特性

Perception characteristics when presenting tactile sensation in slow motion

橋本悠希<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学大学院 人間コミュニケーション学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**Abstract:** Now, an effect of slow motion has been already known to everyone, and we can enjoy slow motion contents of visual and audio easily. Slow motion technique gives us new impressions for arts and entertainments. Also it helps the latest science and technology breakthroughs. At this moment, we considered that tactile area also has the effect of slow motion replay, and confirmed the slow motion effect of tactile area by developing slow motion tactile player. In this paper, we report that specific effect of tactile slow motion such as conservation of physicality.

**Key Words:** Tactile Sensation, Slow Motion, Perception characteristics

## 1. はじめに

記録された情報を時間方向に伸張する手法は、物理現象の詳細な解明、実験データの多面的な分析、装置のデバッグ等、科学技術の分野において長年用いられ多大な功績を挙げてきた。また近年、半導体技術の大きな進展により高速度撮影が極めて低コストで行えるようになったこともあり[1]、芸術やエンタテインメントの分野において高速度撮影&スローモーション再生の利用が広まりつつある。例えば静止画では、高速シャッターによって一瞬の出来事を高精細に切り出し、美しさや異様さが混在する不思議な感覚をもたらすことに成功している[2]。また動画では、アクションシーンなどでスローモーション映像を用い、高い臨場感を演出している[3]。

このように、情報の時間伸張効果は広い分野で用いられている。しかしながら、最終的な出力は全て視覚に頼っている現状がある。聴覚の分野においてはセキュリティやAV関連分野において音声の基本周波数を変化させる変声機が存在するが、あくまでも変調であるため映像と同じような時間伸縮とは言い難い。また、人間の聴覚は周波数に対する知覚能力が非常に高いため音声を単純に時間伸縮してしまうと変質された別物の音に聞こえてしまうという問題がある。

このような背景を受けて我々は、時間伸張された情報出力先として新たに触覚が利用できないかと考えた。なぜなら触覚の場合、異なる速度で物性を提示しても判別が可能であるという特性を持つためである。我々が実際に物を触る場合、様々な速度で手を動かす。その場合、発生する振動周波数は異なるはずなのに、同じ物質として感じるこ

とができる。この特性を利用することで、物の特性を損なうことなく現象を捉えやすくし、感動を呼び起こすような触覚提示が可能であると推測される。この推測を元に我々はスローモーション触覚再生装置を製作し、映像と同期させて触覚をスロー再生する試みを行った[4]。その結果、映像のみの場合よりも大きな感動効果を得ることに成功し、触覚においてもスローモーション独自の感動効果が生じ得ることを確認した。

本稿ではこれまでの知見を基に、製作した再生装置を用いて落下物の判別実験を行い、触覚スローモーションの効果を実験的に検証する。

## 2. 実験

もし触覚をスロー再生した場合の方が通常速度の場合よりも判別力が向上するならば、物理現象を直接的に分かりやすく捕らえられる手段を新たに手に入れることになり、科学技術の分野において有用な技術となる可能性がある。そこで我々は、触覚のスロー再生時における物理現象の判別特性について検証を行った。

今回我々は、基本的な触覚情報として落下物が板に衝突した際の板の振動を記録し、様々な速度でスロー再生することによる判別能力の比較を行った。

### 2.1 記録手法

本研究では、触覚情報をスロー再生した際に情報が欠損しないようにするため、記録レートはできるだけ高い方が望ましい。また、衝突の余韻まで記録するには、微振動をも計測可能な高い分解能も必要である。よって今回、レーザ変位計(キーエンス, LK-80)を用いた触覚記録シス

テムを構築した (図 1, 図 2). 本システムでは, 映像をカメラ (カシオ, EX-F1) で, 触覚をレーザー変位計でそれぞれ記録した. なお, 記録レートは 50 kHz とした.

落下物に関しては特徴を 3 つ (剛体・粒, 弾性体・球, 粘弾性体) に分け, それぞれの特徴を含むサンプルを 3 種類ずつ, 計 9 種類用意した (表 1). また, 衝突する板には, 厚さ 1 mm のプラスチック板を使用し, それぞれのサンプルに対して板への衝突時の振動を記録した.



図 1: 記録システム

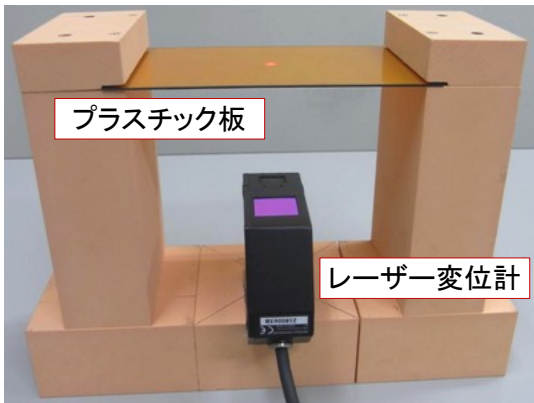


図 2: 触覚情報記録部の詳細

表 1 使用したサンプル

カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3
米	ゴムボール	スライム
ナット	スーパーボール	シリコン
大豆	ビー玉	こんにゃく

## 2.2 提示手法

記録した触覚情報を高精度で出力する手法として, Hi-Fi 触覚提示装置[5]を用いたシステムを構築した. システムは, 触覚提示用スピーカ, キーボード, PC, インタフェースボード (Interface, PCI-360116), アンプ (ラステーム・システムズ, RSDA202) から構成されている (図 3, 図 4).

触覚のスロー再生は, 記録時のレート (50 kHz) を基準とし, インタフェースボードから出力する際の更新レートを変更することで行った (例えば, 1/10 のスロー再生をする場合, 更新レートを 5 kHz とし出力).

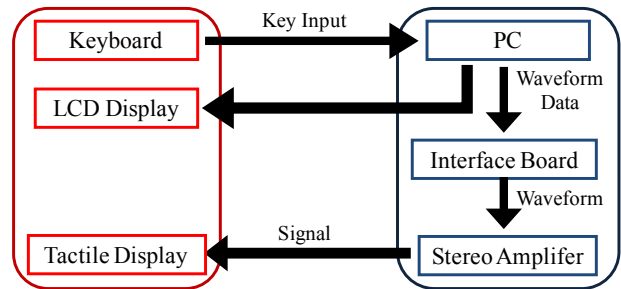


図 3: 提示システムのブロック図

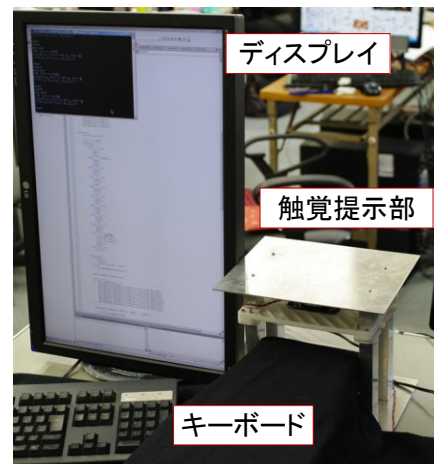


図 4: 提示システム

## 2.3 実験手法

触覚のスロー再生における判別特性を検証するため, 3.2 で述べた提示装置を用いた触覚の判別実験を行った. 使用したサンプルは 3.1 にて記録した 9 種類である. 実験方法は, ある再生速度においてランダムに衝突振動を提示し, 最もイメージに合っていると感じたサンプルを選択するというものとした. 再生速度は 1 倍, 1/3 倍, 1/10 倍, 1/30 倍の 4 通りで, 被験者毎にランダムに順番を変更した. サンプルは各再生速度に対してそれぞれ 5 回ずつ, 計 45 回をランダムに提示した. 実験手順は以下の通りである.

1. 触覚情報記録部にセットされているプラスチック板の裏に手掌部を配置し, サンプルを落下させて衝撃感を確認する. これを全てのサンプルに対して行う.
2. 実際に記録した際の映像を全てのサンプルに対して見る.
3. 手掌部を提示装置に押し当て, 衝撃感のみを体験する.
4. 体験毎に, 最も近いと思われるサンプルを選択する.

実験中, 被験者は常にヘッドホンにてホワイトノイズを聞いた状態で行われた. また, 各再生速度での実験毎に休憩を取らせた. 被験者は健康な 20 代男子 8 名であった.

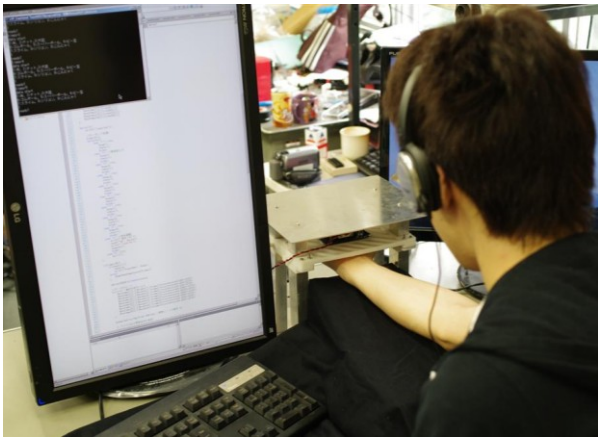


図 5: 実験の様子

## 2.4 実験結果

実験の結果を以下に示す. なお, 全ての表の数値は全体の回答数に対する回答率 (%) で表示しており, 小数点以下は四捨五入してある.

: 最も高い回答率  
 : 2番目に高い回答率

1:米 2:ナット 3:大豆  
 4:ゴムボール 5:スーパーボール 6:ビー玉  
 7:スライム 8:シリコン 9:こんにゃく

表 2 回答結果 (1 倍)

		回答								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
提示	1	50	8	3	0	3	5	15	15	3
	2	18	23	30	3	10	13	0	3	3
	3	5	48	35	3	8	3	0	0	0
	4	0	3	0	40	33	25	0	0	0
	5	0	3	3	33	28	35	0	0	0
	6	0	0	0	38	33	30	0	0	0
	7	0	0	3	3	0	3	33	28	33
	8	5	0	3	3	0	5	20	48	18
	9	0	0	0	8	5	3	28	20	38

表 3 回答結果 (1/3 倍)

		回答								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
提示	1	60	3	3	0	3	0	13	18	3
	2	20	30	28	10	5	5	0	3	0
	3	5	35	25	10	8	5	3	8	3
	4	0	3	5	43	38	10	3	0	0
	5	0	3	3	45	23	20	5	0	3
	6	0	5	3	35	33	18	5	0	3
	7	0	0	0	0	0	3	38	38	23
	8	0	0	3	3	5	5	23	35	28
	9	0	0	0	5	5	5	20	25	40

表 4 回答結果 (1/10 倍)

		回答								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
提示	1	65	5	3	0	0	0	10	13	5
	2	18	50	28	0	5	0	0	0	0
	3	5	40	43	0	8	5	0	0	0
	4	0	0	0	25	45	33	0	0	0
	5	0	0	0	33	33	33	3	0	0
	6	0	0	5	55	15	25	0	0	0
	7	3	3	5	5	5	0	18	43	18
	8	0	3	0	3	0	3	40	28	25
	9	0	0	3	10	8	5	10	23	43

表 5 回答結果 (1/30 倍)

		回答								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
提示	1	50	18	8	3	0	0	8	8	8
	2	10	23	30	13	10	8	8	0	0
	3	8	25	40	15	8	3	0	0	3
	4	0	5	10	35	30	10	5	3	3
	5	0	3	3	28	20	35	8	0	5
	6	0	0	3	30	35	18	8	3	5
	7	20	0	3	0	0	10	25	28	15
	8	18	5	5	5	3	8	15	23	20
	9	8	5	3	8	5	8	23	33	10

表 2~表 5より, いずれの再生速度についても高い回答率が表の対角線上に概ね集中していた. しかしながら, 1/30 倍に関しては分散が他の結果よりも分散が大きい傾向が見られた.

更に詳しく検証するため, カテゴリ別に正答率を平均した値と全体の平均正答率を算出した. この結果を表 6に示す.

表 6 カテゴリ当たり及び全体の平均正答率

	カテゴリ1(%)	カテゴリ2(%)	カテゴリ3(%)	平均(%)
1倍	36	33	39	36
1/3倍	38	28	38	34
1/10倍	53	28	29	36
1/30倍	38	24	19	27

まず平均正答率を見てみると, 1 倍から 1/10 倍まではほぼ同じ程度の正答率で, チャンスレート=11 % と比較して十分高い値を示した. カテゴリ別に見ていくと, カテゴリ 1 のサンプルに対する正答率は 1/10 倍が最も高く, 50 % を超えるという値を示した. 逆にカテゴリ 2 では 1 倍の正答率が最も高く, カテゴリ 3 では 1 倍及び 1/3 倍がほぼ同じ正答率で最も高い値を示した. 1/30 倍は全体的に正答率が低い傾向にあるが, カテゴリ 1 に関してのみ 1 倍よりも

正答率が高かった。

次に大まかなカテゴリに対する判別能力を検証するため、表 2～表 5について、触覚提示に対するその触覚のカテゴリ内のサンプルを回答する確率をまとめた。例えば、表 2の提示 1 (米) に対して 1 及び同一カテゴリの 2 (ナット), 3 (大豆) を答えた確率は、 $50\% + 8\% + 3\% = 61\%$  となる。これを提示 2, 3 についても同様に求めるとそれぞれ 71%, 88% となる。この 3つの平均をとると、同一カテゴリ内の触覚提示によってそのカテゴリ内のサンプルを回答する平均確率は 73% と求めることができる。これを同一カテゴリの正答率としてまとめたものを表 7に示す。

表 7 同一カテゴリの正答率

	カテゴリ1(%)	カテゴリ2(%)	カテゴリ3(%)	平均(%)
1倍	73	98	88	86
1/3倍	69	88	89	82
1/10倍	85	98	82	88
1/30倍	70	80	63	71

表より、1/10 倍が最も高い平均正答率を示した。各カテゴリにおける正答率を比較しても、カテゴリ 3 が若干低い以外は全て最も高い値を出した。1/3 倍はカテゴリ 1 の値が低い反面、カテゴリ 3 に関しては最も高い値を示した。1/30 倍は、ここでも最も正答率が低いという結果となった。

以上から、1/10 倍までのスロー再生において、大まかな分類や細かな判別に有効な場合が確かに存在することが分かった。特に 1/10 倍は平均正答率が 1 倍と同等に高く、カテゴリ 1 に至っては判別精度で他を圧倒する結果を出した。この原因として、刺激の変化を十分に知覚することができたこと、考える時間が増えたため自分のイメージとの比較がより深く行えるようになったこと等が原因であると思われる。実際、内観報告で半数の被験者がこの速度の提示が他と比較してわかりやすかったと答えていた。また、カテゴリ 1 に対する高い適正については、微妙な硬質感の

違いや衝突した後の振る舞いが感じ取れやすい再生速度だったことが原因であると推測される。1/3 倍はカテゴリ 3 について高い正答率を持つことから、弾性体の振る舞いに対して判別しやすい再生速度だったと思われる。1 倍は平均的に正答率が高いという結果であるが、実験前に行った実物での衝突感の確認や映像提示で状況の把握が容易だったことを考えると妥当だと言える。むしろ触覚のみで判断しなければならなかったにも関わらず高い正答率であっスロー再生の結果は、組み合わせ次第では触覚における判別能力を大きく向上させる手段の一つと成り得ると考えられる。

### 3. おわりに

本稿では、触覚をスロー再生することで映像の場合と同様の感動効果が生じるという成果を基に、スロー再生の幅広い応用を目指してスロー再生時の触感判別能力を検証した。その結果、通常速度での触覚再生時と比べて同等の平均正答率を持ち、物の種類によっては通常速度時を大きく上回る正答率を得られることが分かった。この結果から、再生速度と物性を最適化することで触感の判別能力を大きく向上できる可能性を見出した。今後は、再生速度と触覚情報の相関を検証すると共に、板素材についても検討し、判別能力の最適化を目指す。

### 参考文献

- [1]カシオ計算機：EXILIM EX-F1  
[http://dc.casio.jp/product/exilim/ex\\_f1/](http://dc.casio.jp/product/exilim/ex_f1/)
- [2]スティーブ・ドナルドソン：瞬間をとらえる—生物のハイスピード写真集，小学館，1983.
- [3]Sam Peckinpah: The Wild Bunch, 1969.
- [4]橋本，梶本：スローモーション触覚再生装置，インタラクシオン 2009, 2009.
- [5]橋本，中田，梶本：Emotional Touch; Hi-Fi 触覚提示に関する研究 (第 3 報) - 圧力のフィードバック制御，日本バーチャルリアリティ学会 第 13 回大会論文集, 2008.