

# 人間の選択によって進化したダイナミクスと 触覚ディスプレイを用いたアクティブタッチの研究

大海悠太\*、池上高志†  
東京大学総合文化研究科広域科学専攻

## 1 導入

生態心理学者 J.J.Gibson はクッキーカッターを用いた形の知覚の実験で、触覚におけるアクティブタッチの重要性を指摘した [1]。以来、アクティブタッチの研究は実験を中心に行なわれているが、近年、コンピュータシミュレーションなどによって構成論的に研究されている [2][4]。また、触覚ディスプレイの技術の発達により被験者にコンピュータから触覚刺激を与えて実験を行うことも可能になってきている [3][6]。この触覚ディスプレイを用いた研究では今のところ単純な振動数と振幅の関数のみを用いている。しかし、人間の神経回路は単純な関数の構造ではないため、もっと複雑な関数を用いたダイナミクスを入力として用いる必要がある。

そこで本研究では、内部の関数としてリカレント型ニューラルネットワーク (RNN) を用いて、手の運動から計算した触覚刺激を触覚ディスプレイを通して人間に与えることによってアクティブタッチの研究を試みる。

なお、本研究は奈良女子大学の才脇直樹、東京大学の開一夫、明治大学の嶋田総太郎との共同研究の一部であり、株式会社デンソーの支援を受けている。

## 2 触覚受容野

皮膚の受容器の神経活動は微小電極を刺すことで記録することができる [5]。人間の皮膚に変形刺激を与えた時の受容器の神経活動について、以下のように順応の早さと遅さ、受容野の広さと狭さの組合せの4パターンに分類することができる。

FA I : 受容野が狭く速順応型。マイスナー小体が対応。

FA II : 受容野が広く速順応型。パチニ小体が対応。

SA I : 受容野が狭く遅順応型。メルケル細胞が対応。

SA II : 受容野が広く遅順応型。ルフィニ終末が対応。

順応が早いタイプは皮膚の変形刺激に対してその立

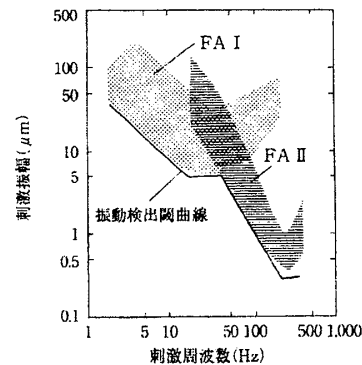


図 1: [7] より、サルの神経発射閾と重ね合わせた図

ち上がり立ち下がりの時に応答し、遅いタイプは変形している間ずっと応答する。また受容野とは皮膚の様々な部位に刺激を与えた時に応答できる領域のことである。

これらの受容野はサルにおいて振動刺激を与えた時の振動検出閾曲線が計測されている。図 1 に FA I と FA II についての振動検出閾曲線を示す。これによると FA I は 10-50Hz、FA II は 100-200Hz でよく応答することが分かる。

また、人間の皮膚に振動刺激を与え、振動の強さを変化させながら答えさせることによって得られた検出閾曲線を図 2 に示す。これはサルの振動検出閾曲線と似た形になっているため、人間の受容野も同様の応答性能を持っていると考える。

そこで本研究ではこの FA I と FA II を刺激するように、2つの振動を重ね合わせた刺激を触覚ディスプレイに与えることにする。

## 3 実験系

### 3.1 概略

実験装置の概略を図 3 に示す。その流れは以下のようになっており、これを毎ステップ行なうことでリアルタイムなアクティブタッチの環境を作ることができ

\*yuta@sacral.c.u-tokyo.ac.jp

†ikeg@sacral.c.u-tokyo.ac.jp

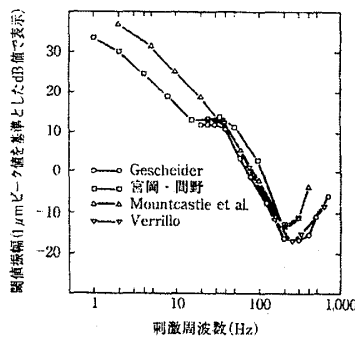


図 2: [7] より、人間の皮膚に正弦振動を提示した時の振動検出閾曲線

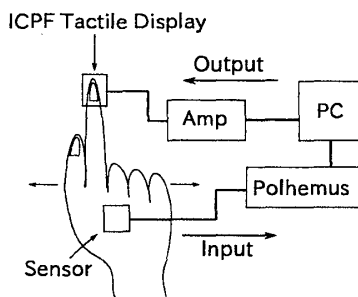


図 3: 実験装置の概略

る。

1. 3次元位置計測システムである Polhemus 社製 Patriot のセンサーを手の甲につけ、手の速度と加速度を計測し PC に送る。
2. PC 内でリカレント型ニューラルネットワーク (以下 RNN) に手の速度と加速度を入力し、出力から ICPF 触覚ディスプレイに与える電位を決める。
3. 出力をアンプで増幅し、触覚ディスプレイによって指に振動刺激を与える。
4. 人の被験者に対して、この装置を使わせ RNN の重みを進化させ、その獲得された触感を用いて認知実験を行なった。

### 3.2 触覚ディスプレイ

触覚ディスプレイとして昆陽、田所ら [3] によって開発された ICPF アクチュエータによる装置を用いる (図 4)。このアクチュエータは ICPF (Ionic Conducting Polymer gel Film) というイオン導電性高分子ゲルの両面に金メッキを施した接合体を加工したものである。ICPF は両面に電圧を印可すると内部のイオン移動によって屈曲運動を行なうことができ、これによって指先に振動刺激を与えることができる。

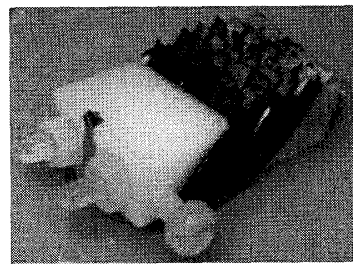


図 4: ICPF 触覚ディスプレイ。短冊状になっている ICPF に指を当てて使う。

### 3.3 リカレント型ニューラルネットワーク (RNN)

本研究で用いた RNN を図 5 に示す。この RNN はユニットが 3 層になっており、1 層目には入力として手の速度  $V_e$  と加速度  $A$  の値が入る。2,3 層目の  $i$  層  $j$  番目のユニット  $u_{i,j}$  の値は以下の式 1 で与えられる。

$$u_{i,j} = g\left(\sum_{k=0}^{N_{i-1}} w_{i-1,j,k} u_{i-1,k}\right) \quad (1)$$

ここで、 $w_{i-1,j,k}$  とは  $u_{i01,k}$  と  $u_{i,j}$  の結合重みであり、 $N_{i-1}$  とは  $i-1$  層目のユニットの数である。また関数  $g(x)$  はシグモイド関数で以下の式??で与えられる。

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (2)$$

この RNN の出力  $a_1, a_2$  から ICPF アクチュエータに与える電圧  $V(t)$  は以下の式 3 で与えられる。

$$V(t) = \{a_1 \sin(\omega_1 t) + a_2 \sin(\omega_2 t)\} V_e / K \quad (3)$$

$\omega_1, \omega_2$  はマイスナー小体、パチニ小体の振動検出閾曲線から、それぞれ 30Hz, 100Hz を用いている。 $V_e$  が入っているのは手が止まっているときは振動がなく、動いているときは動きに合わせて振動の強さを決めるようにするためである。また、 $K$  は電圧を調整するための定数である。ここで求められた  $V(t)$  がアンプを通して ICPF 触覚ディスプレイに入ることとなる。

### 3.4 人間の選択による進化

RNN の重みは以下のようにして決める。

1. 目的となる麻の布を与える。乱数で 5 つの RNN の重みを作る。
2. 5 つの RNN の重みについてそれぞれ 20 秒ずつ触感を試してみる。
3. 5 つの中から与えた麻の布に触感が一番近いものを選ぶ。

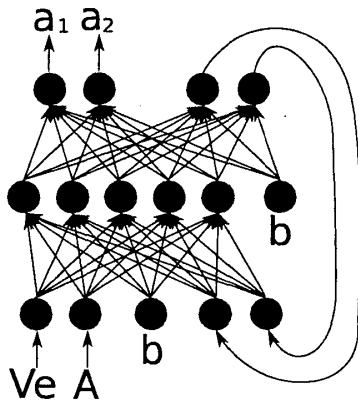


図 5: 本研究で用いた RNN。Ve:速度、A:加速度、 $a_1, a_2$ :出力、b:バイアスニューロン

4. 選んだ RNN の重みから 4 つ少しずつ異なるものを作り、元の重みと合わせて 5 つの重みを作る。
5. 2 に戻るのを繰り返し、触感が変わらなくなるまで続ける。

このようにして被験者は麻の布に近いような触感を作り出すことができる。

### 3.5 認知実験

作り出された RNN の重みを使い、認知実験を行なう。方法としては被験者にどうやって作った触感を伝えずに装置を使わせ、その感想をアンケートに答えてもらう。各試行は 20 秒ずつ行ない、次の A~D を 10 回ずつ計 40 回行なう。

- A. 進化させたネットワーク + 現在の入力
  - B. 進化させたネットワーク + 記録された入力
  - C. 進化させたネットワーク + ランダム入力
  - D. ランダムネットワーク + 現在の入力
- アンケートとしては以下の 9 項目を 7 段階で答える。

1. 触感を心地良く感じた。
2. タオルの表面を触っている感じがした。
3. きめの細かさを感じた。
4. やわらかさを感じた。
5. くすぐったさを感じた。
6. 弾力を感じた。
7. 冷たさを感じた。
8. 触感と自分の指の動きとが違和感なく一致していた。
9. 触っている対象がひとりだけで動いているような感じがした。

## 4 結果

アンケート結果について A から D それぞれ 10 回の試行を平均したものを図 6-9 に示す。

被験者 1 はタオルの表面と動きの感覚以外は C を選び、被験者 2 はきめの細かさや柔らかさで B、被験者 3 は心地よさ以外は C、被験者 4 は心地よくてきめの細かいものとして A を選び、それ以外は B を選んでいる。またくすぐったさは C と D のランダムな要素があるものが強い。これはランダムな要素が入っているとアクチュエータの動きが激しくなり、指先を速く振動させるからだと考える。また全員 B をタオルのうさぎに選んでいる。

被験者ごとに結果はあまり相関が見られなかったが、これは被験者ごとに異なる触感を与えるものに進化しているというように考えることもできる。著者が実際にそれぞれ触ってみた場合もそれぞれ異なった触感が得られた。

また、被験者 3 の RNN のコンテキストユニットの値をプロットしたものを図 10 に示す。この Context Space Plot が広い空間に広がっていることから、RNN が単純なオートマトンに落ちておらず、複雑な時系列パターンを生み出していることが分かる。

## 5 議論

本研究では、初めて人間の選択によって RNN を進化させ触覚の認知行動実験を行なった。その進化ではネットワークによる触感があまり変わらなくなるところまで進化させることができた。また、被験者それぞれで異なる触感を獲得することができ、我々を含めた第三者がそれを試してみたところによっても、それぞれ異なる触感が得られた。このことから人間の選択による進化には有用性があると考えている。

また、RNN が単純なオートマトンになっていないことから、複雑な時系列パターンが触感の多様性に効いており、導入で述べたように複雑な関数を用いたダイナミクスを入力として用いる必要があるということと一致していると言える。

今後さらに認知実験の回数を増やし、獲得された RNN の解析などを進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] J. J. Gibson. Observations on active touch. *Psychological Review*, Vol. 69, No. 6, pp. 477-491, 1962.

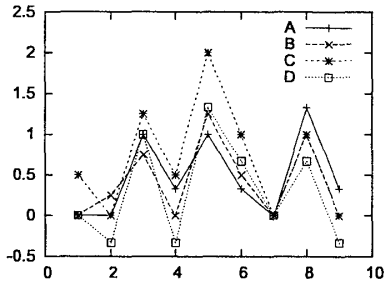


図 6: 被験者 1 のアンケート結果

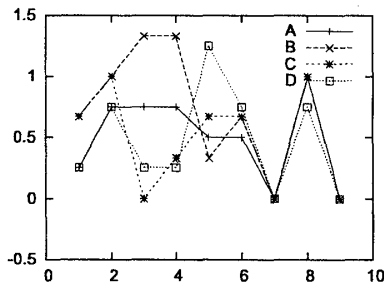


図 7: 被験者 2 のアンケート結果

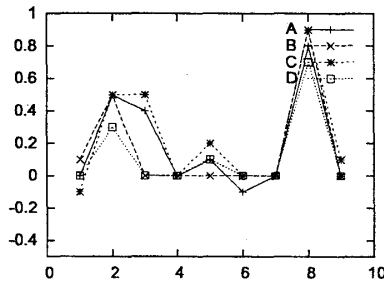


図 8: 被験者 3 のアンケート結果

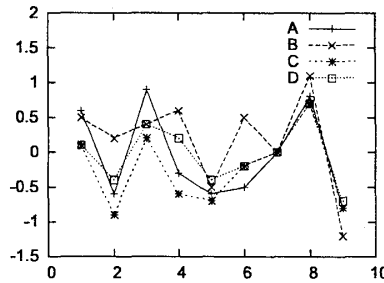


図 9: 被験者 4 のアンケート結果

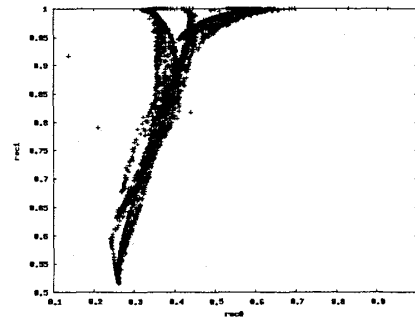


図 10: 被験者 3 の RNN の Context Space Plot

- [2] T. Ikegami. Chaotic itinerancy, active perception and mental imagery. In *Proceedings of the Symposium on Next Generation Approaches to Machine Con-sciousness*, pp. 36–39. University of Hertfordshire, 2005.
- [3] M. Konyo, S. Tadokoro, M. Hira, and T. Takamori. Quantitative evaluation of artificial tactile feel display integrated with visual information. EPFL, Lausanne, Switzerland, 10 2002. IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [4] S. Nolfi and D. Marocco. Active perception: A sensorimotor account of object categorization. In B. Hallam, D. Floreano, J. Hallam, G. Hayes, and J-A. Meyer, editors, *Proceedings of the VII International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 266–271, Cambridge, MA, 2002. From Animals to Animats 7, MIT Press.
- [5] 岩村吉晃. タッチ. 医学書院, 2001.
- [6] 才脇直樹, 谷口まき, 吉田晃典, 田所諭. 人工触感呈示システムを用いた触感認知に関する基礎研究. 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 95, pp. 29–32, 9 2005.
- [7] 東山篤規, 谷口俊治, 宮岡徹, 佐藤愛子. 触覚と痛み. プレーン出版, 2000.