

人間のスキル獲得に関する基礎研究 (凧揚げ動作を例として)

平 俊男 河内 麻由子

Preliminary Research for Human Skill Acquisition
An Example of Kite-Flying

Toshio HIRA and Mayuko KAWACHI

Recently, the behavior required for robot is more similar to of which human being. It is, however, still difficult to realize the behavior which needs individual skill. As this cause, the sensory irritation from vision, tactile organ, etc. is widely enormous while the human behavior, and his/her sensor-motor system is empirically and indefinitely integrated. In this article, we took up the kite-flying as an example. The kite-flying is the behavior that human controls the kite in the air by handling the string connected to that. This behavior might be decomposed into the three primitive operations, winding up, release, and holding the string. In order to handle the string, an experimental device is developed. This device also records the operating history and the string tension caused by the kite. The task for three testees is that the kite does not fall and rises in given time only by visual sense. Although they operated the device without the tactile sense, almost of them could fly the kite. It is considered that the human could empirically integrate the coupling among the kite status by means of fluid dynamics and his/her vision. In addition, it is exemplified that the well-timed holding operations are key to the performance of task through the individual variation of the handling histories.

1. はじめに

近年のロボットには、2足歩行や柔軟物体のハンドリングなど、より人間に近い動作が求められるようになってきている^①。しかしながら、スキルと呼ばれるような個人の技能が必要とされる動作の実現は未だ困難であるのが実状である。この理由としては、人間が感覚器から得る膨大な感覚刺激をどのように処理し、どのように動作を決定し実行しているかが不明確であることが考えられる。また、動作にあたっては対象領域を厳密に把握することなく、経験によって形成された直感的な近似モデルを用いることが指摘されている^②。つまり、スキルを必要とする動作の解明においては、対象領域の力学的モデルに基づく解析的なアプローチだけではなく、実際の人間のふるまいに注目する必要がある^③。

本論文では、人間の動作として凧揚げを例にとり、糸の巻取り、繰出しのプリミティブな操作と、糸に生じて

いる張力の記録とを行える実験装置を製作する。この装置を用いた凧揚げを、凧の滞空時間と上昇距離の増加を課題として被験者にそれぞれ複数回行わせ、そのスキルの獲得過程について実験的に議論する。

2. 実験装置の概要

2.1 人間による凧揚げ動作

人間による凧揚げ動作を観察すると、空中の凧に十分な揚力が発生している場合には糸を繰出すことで凧を上昇させ、揚力が不十分で失速状態にある場合には、糸を引張ったり人が走ることで、凧に対する相対的な風速を増加し揚力を発生させている。また、ある程度の揚力が発生している時には、糸の長さを保持する操作もみられる。すなわち、この動作は凧に一定の揚力が発生し続ける様に糸の長さを調節する動作であると考えられる。さらには、凧の3次元的な複雑な挙動に応じて、手を3次元的に動かし失速を防ぐなどの動作もみられる。

このような風揚げ動作において、人間が風の力学的状態を厳密に把握しているとは考えられず、風が発生している揚力を手に伝わる糸の張力と視覚から推測していると考えられる。また、動作の決定についても解析的に行っているのではなく、直感的に手や身体を動かしている。すなわち、これらの推測と直感的な動作決定は、人間が実際に個別に身体を使いながら、対象物の挙動を観察することで習得されていく近似モデルに基づいていると考えられる。このモデルの習得は、風揚げの場合、糸を操ることによって伝わる手の力覚と、視覚による風の挙動の観察によるものが大きい。

ここでは、風の状態の把握への人間の視覚の寄与と、それに対して糸をどのように扱うかを、被験者実験によって観察する。このためには、糸に対する以下の3つのプリミティブな操作を行える装置が必要となる。

- ・糸を引張る
- ・糸を繰出す
- ・糸の長さを保持する

また、検証のために動作中に糸に生じている張力を記録する。

2.2 実験装置

前節で述べた糸に対する3つのプリミティブな操作と糸に生じる張力の測定を行う実験装置の外観を図1に示す。ここでは、人間の走る動作と糸を引張る操作を糸の巻取りによって実現する。また、単純化のために手の3次元動作は考慮しない。

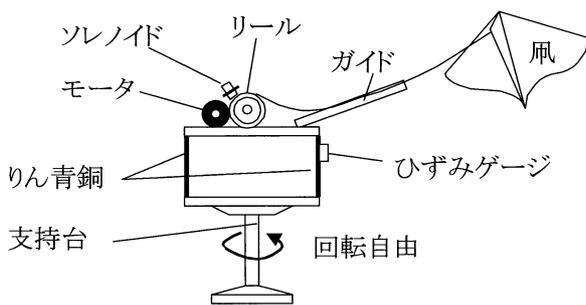


図1 実験装置の外観

糸を操作する基本機構には、魚釣り用のリール(DA IWA スーパーダイナミック500W)を使用する。糸の巻取りは、リールドラムをDCモータ(日本サーボ DMC60S A)によって駆動することで行い、繰出しは、リールドラムを解放する機構をリールに取付けたソレノイド(新電元 4EC)により操作する。

支持台とリール部は、板ばね状の支持部材で結合し、リール部前後方向の変位のみを許容する。風による引張

りによって板ばねに生じる弾性変形をひずみゲージにより測定することで、糸に生じている張力の水平分力を得る(図2)。また実験装置には、風の水平方向の移動を拘束しないように装置上部を回転自由にし、風への受動的な追従性をよくするためにガイドを設けている。

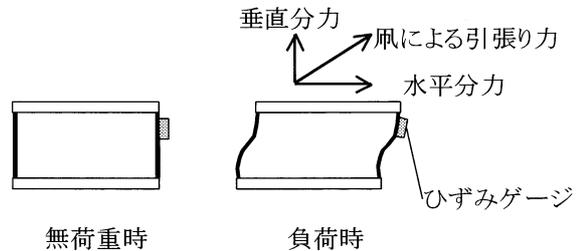


図2 張力の検出

2.3 人間による糸の操作とその記録

糸の巻取りと繰出しの操作は、パーソナルコンピュータ(Micron Millennia Xku Windows98)のキーボード上から行う。被験者は巻取りと繰出しにそれぞれ割当てられた2つのキーを押下/解放することで各操作を行う。また、どちらのキーも押下されていないときには、糸の長さが保持される。図3に示すように、システムは、これらのキー操作を読み取りDA変換ボード(Interface PCI-3523A)によって電圧を出力し、アンプ、リレーを介してDCモータとソレノイドを駆動する。

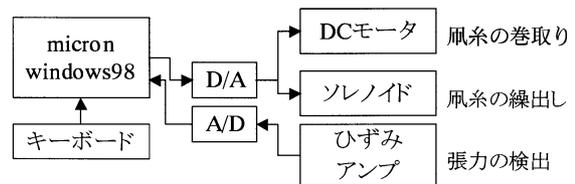


図3 システム構成

糸に生じている張力は、りん青銅で作られた支持部材(70×15×1mm)に生じている弾性ひずみをひずみゲージにより測定する。ひずみの検出位置は支持台上部からの高さ90mmである(図4)。ひずみアンプ出力(0~5V)は、AD変換ボード(DA変換ボードと共用)を通してコンピュータに入力される。

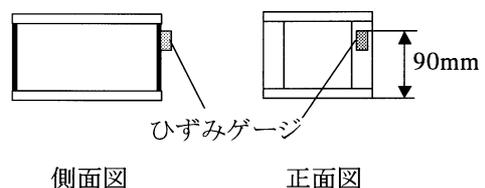
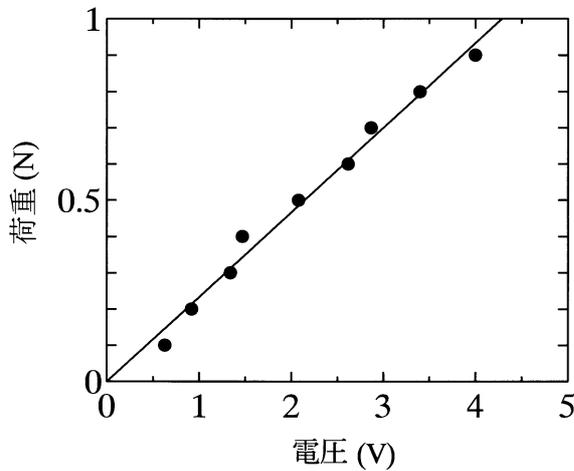


図4 ひずみ検出位置

図5に支持部材にかかる水平方向荷重－電圧校正曲線を示す。糸には張力のみしか発生しないので、ひずみは正の値のみ検出し、負の値は検出しない。

図5 荷重－電圧校正曲線



凧揚げ動作中、これらの糸の操作と糸に生じている張力は、60msecのサンプリング間隔の時系列データとしてシステムに記録される。

3. 被験者による凧揚げ動作

複数の被験者に対して、定めた時間内に以下の課題を与える。

- ・ 凧を地面に落とさない
 - ・ 可能な限り実験時間内での糸の繰出し量を増やす
- 被験者は、空中の凧を見ながらキーボード上に割当てられた巻取りと繰出しのキーを操作することで、課題を遂行する。この時、被験者にはキー操作と課題のみについて説明し、凧揚げ動作について先入観を与える言及はしない。

課題は、以下の3項目のうちどれか1つを満たす時点で終了する。

- ・ 実験時間の終了
- ・ 凧が地面に落ちる
- ・ 糸をすべて巻取る

また、実験条件は表1のように定めた。被験者A, Bは実際の凧揚げを経験しており、被験者Cはこれまでに凧揚げを行ったことがない。表1の条件下において被験者毎に各5回の試行を行う。

実験開始時の凧の位置は、糸を20m繰出した(凧の高さは地上1.5m)状態であり(図6)、実験時間は15秒間に設定した。

表1 実験条件

被験者	A, B, C
風速	中(1~3m/s)
凧の種類	洋凧

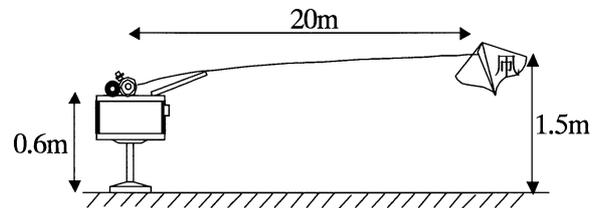


図6 実験開始時の凧の位置

4. 実験結果および考察

図7~9は、凧揚げ動作の1試行過程を横軸に時間(s)、縦軸に糸の操作と張力(N)を示したものである。図7は被験者3人の計15回の試行において、最も評価の高い(被験者A, 3試行目: 15秒間揚げ続け、6mの巻取り)結果である。また、図8は最も評価の低い結果(被験者B, 5試行目: 3秒で落下かつ5mの巻取り)である。被験者Bは5回の試行のいずれにおいても、図8のように巻取りと繰出しを交互に操作する傾向がみられた。今までに実際の凧揚げを行ったことがない被験者Cには凧を長時間空中に保持する(巻取りも繰出しも行わない)傾向がみられた。

3名の被験者の計15回の試行のうち、凧が地面に落下しなかったのは被験者Aの1, 3試行目、被験者Cの2試行目である。これら以外の試行では10秒以内に凧を地面に落下させてしまっている。

図10~12は横軸に各被験者の試行(回)における3つの各操作の平均時間(s)を示したものである。また、3回しか凧を落下させていない被験者Aは、試行においてそれぞれの操作を0.5秒以上継続していることが分かる。一方、全ての試行で凧を落下させた被験者Bは、糸の長さを保持する操作はいずれも0.5秒以下の時間でしか行っていない、被験者A, Bについては、凧を地面に落下させた場合には巻取り時間の方が保持時間より長い傾向にあることが分かる。

被験者Cについては他の2人とは異なり、凧を15秒間落下させなかったが、2回目の試行の次の3試行目では保持操作が1秒を超えているものの、他の各試行における操作継続時間は平均1秒にも満たない。また、凧が落下した場合においても保持時間の方が長い傾向にある。これは、被験者Cは実際の凧揚げ経験が無いために、視覚による凧の状態と動作との対応付けが十分になされておらず、凧を揚げる動作に対して慎重であることが表れていると考えられる。

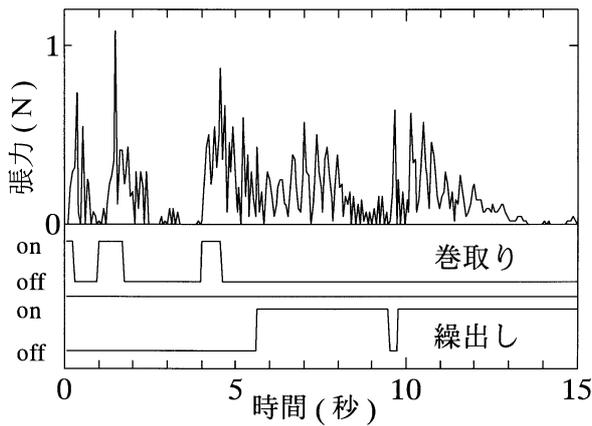


図7 風揚げ過程 (被験者A 3試行目)

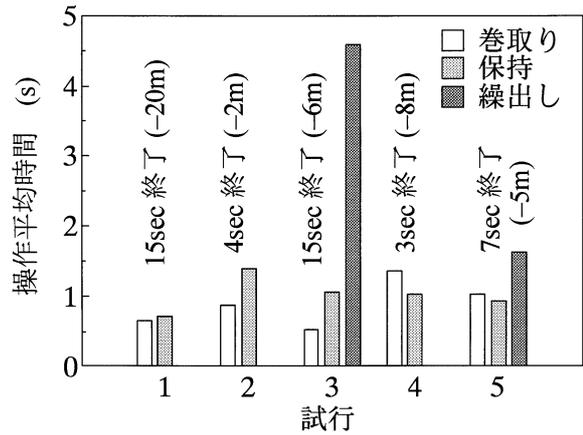


図10 試行毎の操作平均時間(被験者A)

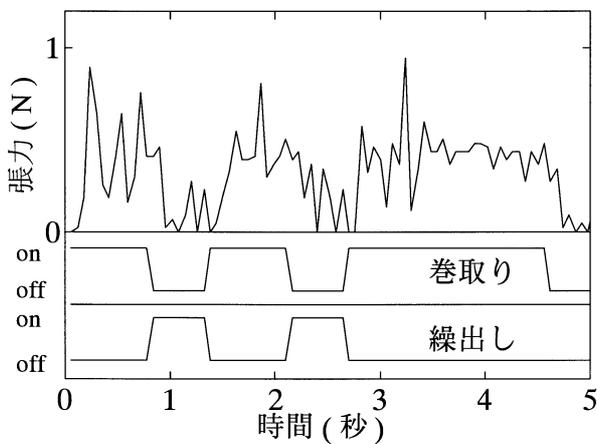


図8 風揚げ過程 (被験者B 5試行目)

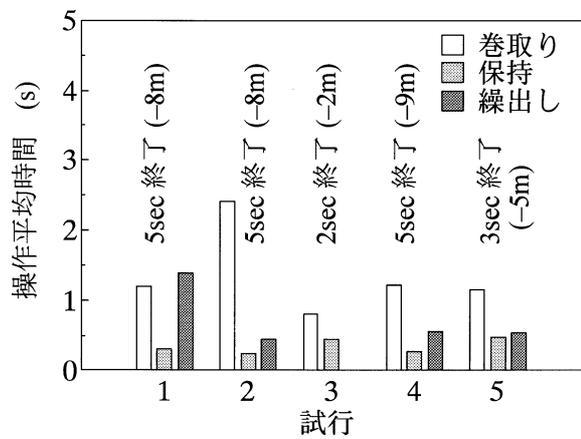


図 11 試行毎の操作平均時間(被験者B)

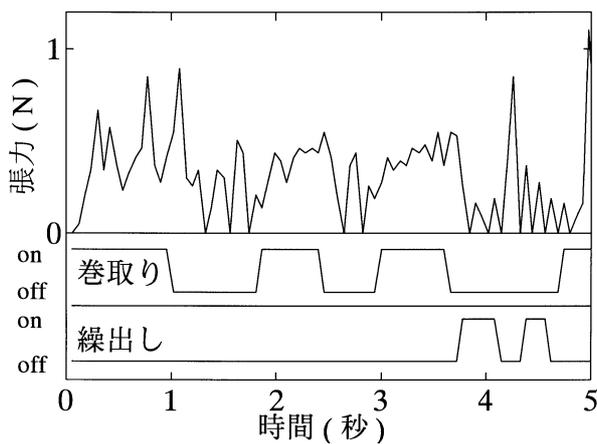


図9 風揚げ過程 (被験者C 1試行目)

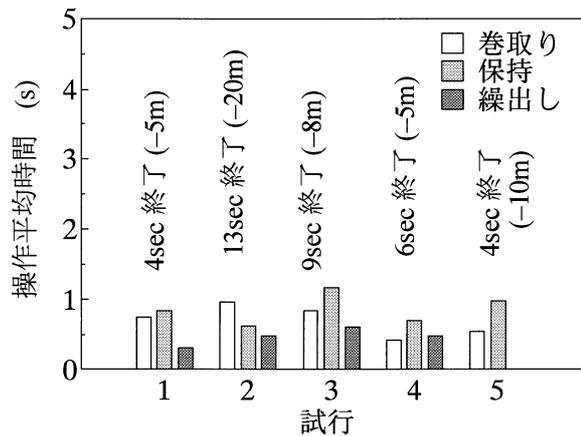


図 12 試行毎の操作平均時間(被験者C)

図13, 14は横軸に試行(回), 縦軸に各操作時の糸に発生している張力(N)の1サンプリングあたりの平均値を示したものである。これらの図からも、被験者Aと被験者Bの動作の違いを読み取ることができる。ここで用いた装置ではリールドラムを回転自由にする事で糸の繰出しを行うが、風が解放されるまでには時間遅れがある。被験者Aは繰出し操作時の張力が十分に低く、風が解放され

るまで待っているが、被験者Bは張力値が高いまま繰出し操作から他の操作へ移行していることが分かる。

以上の結果より風揚げ動作では糸の長さを保持している時間が重要な役割を果たし、その間に風の状態を観察し、発生している揚力を推測することが、ここで取り上げた視覚のみによる風揚げ動作の前提となっていると考えられる。

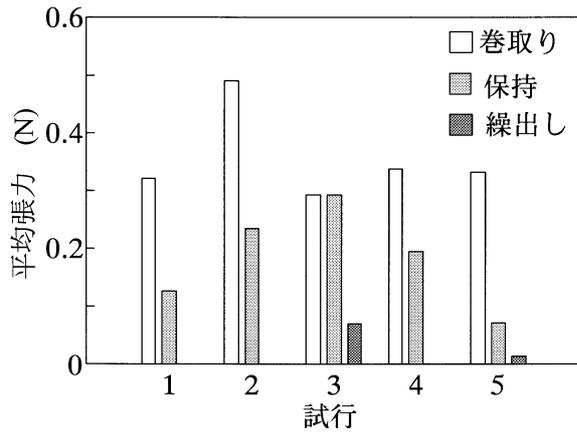


図13 試行毎の平均張力(被験者A)

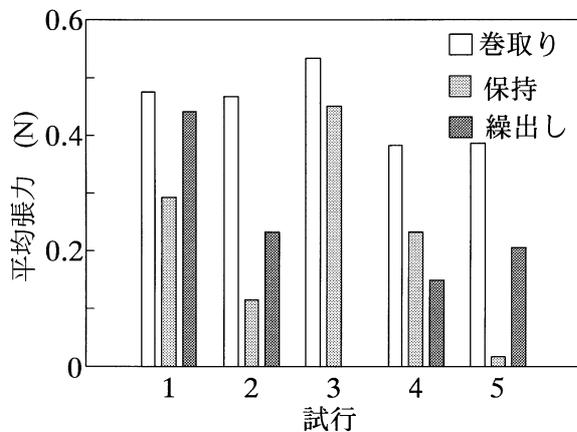


図14 試行毎の平均張力(被験者B)

5. おわりに

凧揚げ動作を例にとり、人間の動作におけるスキル獲得について検証した。凧揚げ動作を、糸に対する巻取り、繰出し、保持の3つの操作に分解し、これらの操作が可能装置を用いて被験者実験を行った。3人の被験者に視覚のみによって凧揚げ動作を行わせ、その過程を観察した結果、この装置では実際の凧揚げとは異なり凧からの力が伝わらないにもかかわらず、被験者の操作には糸に発生している張力との関連がみられた。これより、人間は、身体を使った経験によって力覚と視覚とを統合していくモデルを持っていることがわかる。

また、被験者それぞれの動作には差異がみられ、なかでも、糸の長さを保持している時間が長い傾向の者は凧を地面に落とさず、保持時間が短い者はすぐ凧を落とす結果となっており、保持時間が凧揚げ動作の成否に関連していることが分かった。これは、ここでの凧揚げがうまい者は、巻取りも繰出しも行わない状態で凧が安定状態になるまで間合いをとっていると解釈できる。ただし、この間合いの必要性が人間の動作に普遍的なものなのか、今回の動作に固有のものなのかは不明確であり、今後の検討課題としたい。

6. 謝辞

被験者として協力頂いた3名の機械工学科5年生に感謝すると共に、2001年度の機械工学科卒業研究を行い、多大な尽力を頂いた中川正宣君(現在、京都工芸繊維大学)に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 富山 健, 二足ロボットを歩かせる, 日本機械学会誌, Vol.104, No.994, (2001), pp.26-27.
- (2) 中村仁彦, 行動から知能への力学的設計論にむけて, システム制御情報学会誌, Vol.46, No.1, (2002), pp.3-8.
- (3) Brooks, R.A., A Robust Layered Control System for A Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, No.1, (1986), pp.3-8.

