

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500557

研究課題名 (和文) 矢の飛翔に関する実験的研究

研究課題名 (英文) Experimental Study about Flight of Arrows

研究代表者

澤田 秀夫 (SAWADA HIDEO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部流体グループ・主幹研究員

研究者番号：30344245

研究成果の概要 (和文) : JAXA60cm 磁力支持天秤装置を用いた風洞実験と高速度カメラを用いた野外実験の二つの手法で和弓矢の空力特性を測定することに成功した。風洞試験結果を用いて矢が軸周りに回転する効果をモデル化し、クロスボウの矢についても風洞試験と野外実験により空力特性を得ることができ、抵抗係数では両者に合理的な一致を見た。風洞試験では、矢が軸周りに回転している状態や、矢の軸が水平面で1次モード弾性振動をしている状態で空気を測定する磁力支持天秤技術を獲得した。

研究成果の概要 (英文) : Aerodynamic characteristics of Japanese arrows was successfully measured by two kinds of technique, one is wind tunnel tests with JAXA's 60cm magnetic suspension and balance system (JAXA 60cm MSBS), the other is field tests with a high-speed camera system. Obtained results from the different two methods agreed with each other in drag coefficient. In addition, a new wind tunnel testing technique for measuring aerodynamic force during rotation or oscillation of model was obtained at the MSBS.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 ・ スポーツ科学

キーワード：スポーツ工学とバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

古くから人類の狩猟や戦闘の道具として利用されてきた弓矢の矢の飛翔は流体力学的に極めて興味深い研究対象といえる。現在はスポーツや精神鍛錬の弓道として広く普及し

ており、矢の飛翔に関しても実際の使用者から興味深い指摘がされている。例えば、和弓の矢では、砂目という表面仕上げにすると矢の飛翔が変わるという報告がされている。また、洋弓ではアーチェリーパラドックスと呼

ばれている矢の複雑な飛翔が知られており、近年、矢に関する科学的知見が求められつつあるといえる。

和弓の矢の飛翔では、速度がほぼ40m/sから60m/s程度で、数十メートル先の目標に強く当ててことを目指しているが、この間に矢はその姿勢角を変え、矢の軸周りに回転を始め、且つ、激しい曲がり運動（1次曲げ）をする。これは、洋弓の矢もほぼ同じである。このような矢の複雑な飛翔を科学的に理解するには、矢の空力特性を正しく計測し、その周りに発生する複雑な流れ場を理解する必要がある。矢の周りに発生する流れ場は、矢の先端から直ちに剥離流れとなり、その後再付着して矢の胴体周りに乱流境界層に近い渦を伴う粘性領域を形成し、その後、矢羽の所に達して、矢の方向安定に寄与するモーメントを発生させていると考えられる。しかし、矢羽の所でどの程度の厚みの粘性領域になっているかは未だ測定された例は無い。まして、矢の胴体が砂目の場合の方が、通常の滑らかな胴体のもよりも矢飛びが良いという弓道経験者の指摘に対しては、その妥当性、その原因について科学者による合理的回答は皆無である。

2. 研究の目的

本研究は、実際の和弓の矢と同じ形状の矢を用いた空力特性の計測、矢の周りに形成される流れ場の特徴の抽出と、流れ場と空力特性の関係を流体力学的に理解することを目的とし、できれば、今まで弓道家から指摘されている、胴体表面の違いによる矢飛びの変化を矢の空力特性の変化から流体力学的に説明することを試みる。

矢の形状が単純に見えるため、矢の周りに形成される流れは一見単純に思われがちであるが、実際には極めて複雑であり、矢が受ける空気力の評価は現在の数値計算を用いても、単独では到底評価できるものではない。こうした分野において数値計算の詳細な評価を可能にするためにも、風洞試験による正確な矢の空気力計測が求められる。本研究は、通常の風洞試験では不可能な極めて長い矢の空力特性の測定と、数値計算では信頼性が著しく劣る可能性の高い大規模な剥離流れを伴う流れ場の理解を深めることにより、流体力学の知見をスポーツという国民が広く利用する分野に適用するものであり、科学研究の有用性を理解してもらう機会を提供する。

3. 研究の方法

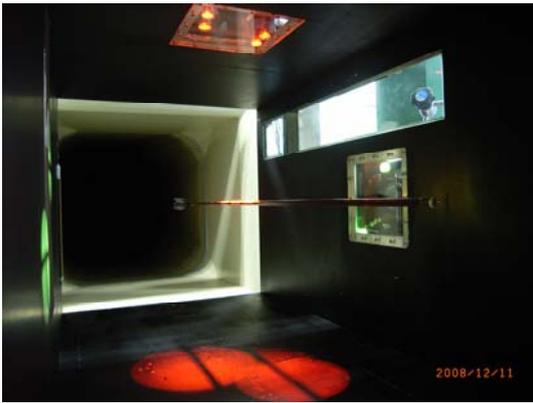
JAXAには測定部の大きさが60cm角、長さ1

20cmの測定部に利用できる磁力支持天秤装置という、磁気力で模型を支えながら空気力を測定できる装置が有り、様々な形状物体の空気力を測定してきている。弓矢の矢の形状は、胴体の直径に比して極めて長い胴体を持つことを特徴としており、通常の風洞の模型支持装置を用いては矢に加わる力を正確に測定することは不可能に近い。これは、模型を支える装置のほうが模型の胴体直径よりも大きくなってしまい、極めて小さいと予想される空気力を支持装置の干渉に埋没させてしまう危険性があるからである。そこで、上記60cmの磁力支持風洞を用いれば、細くて極めて長い模型の抵抗、揚力、ピッチングモーメントを計測した経験に基づき、矢の空力特性も正しく測定すること自体は可能である。但し、矢羽による回転トルクに逆らい矢の回転を止める磁気トルク発生機構を取り付けた精密な矢の模型を製作する必要がある等、矢の飛翔を模擬するための新たな工夫は求められる。この様に、矢の飛翔を模擬することは容易なことではないが、実際の矢の飛びを高速ビデオで撮影し解析するフィールド実験と互いに補完し合いながら、流体力学的知見を加えることで、矢の飛翔の本質を抽出することを目標とした実験的研究を遂行する。

4. 研究成果

支持装置の影響の無い磁力支持天秤装置を用いて、和弓と洋弓の矢の空力特性を初めて測定することに成功した。但し、風洞試験では完全に矢の飛翔状態を再現したわけではない。実際の矢の飛翔を高速度カメラで観察すると矢は曲げ振動をしながら且つ軸周りに回転していることが分る。風洞試験では矢が回転のみしている状況と、矢の軸（筥）が平面内で1次モードの弾性振動をしている状況に分けて空力特性を測定し、それぞれの影響を評価し、その結果から矢が回転と振動を同時にしている場合を推定した。また、矢の筥表面での境界層の様子を知るために筥のみの風洞試験を行い、矢が砂目と磨きの違いの影響が流体力学的にはどのように現れるかを調べた。また、研究分担者によるフィールド試験では、和弓では弓道師範に実際に矢をいて貫き、軌道を高速カメラにより測定して抵抗係数を評価した。更に、圧縮空気を用いたクロスボウの射出装置を製作し、再現性の高い実射を行い、クロスボウの空力特性の評価にも成功した。3年間に亘る以上の研究活動を通して、矢の試験に関する高度な試験技術を獲得できた他に、矢の空気力学的特性として見出したことをまとめると、以下の

ようになる。



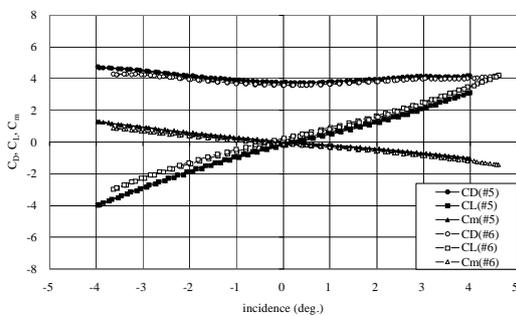
図：竹矢の磁力支持試験の様子



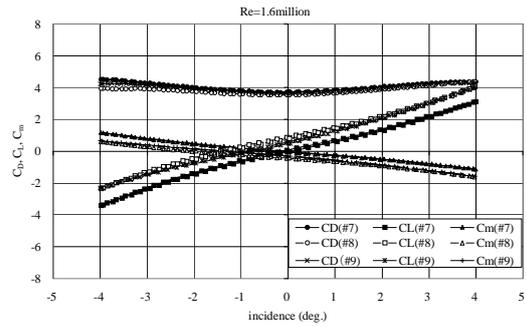
図：クロスボウ模型の磁力支持

注意：カメラ設定ミスにより、撮影年月日に誤り有り

(1) 今回、伝統的な矢師に製作してもらった磨き矢と砂目矢では、矢尻が平題型であり、矢尻部分で既に境界層は乱流に遷移しており、抵抗係数には有意な違いは見出されなかった。この結果、多くの矢でも、筒の部分に限ると、空気力学的な意味では磨きと砂目の違いは無いと推測される。



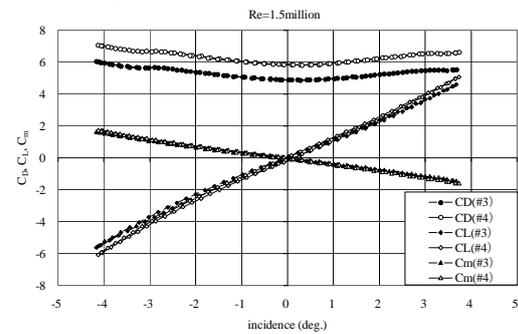
図：磨き竹矢2種の縦3分力特性
縦軸が抗力係数、揚力係数、ピッチングモーメント係数を取り、横軸に矢の迎角を示す。



図：砂目竹矢3種の縦3分力特性
縦軸が抗力係数、揚力係数、ピッチングモーメント係数を取り、横軸に矢の迎角を示す。

二つの図から、試験した竹矢の場合、磨きと砂目の間には、特性上の差異は観られなかった。

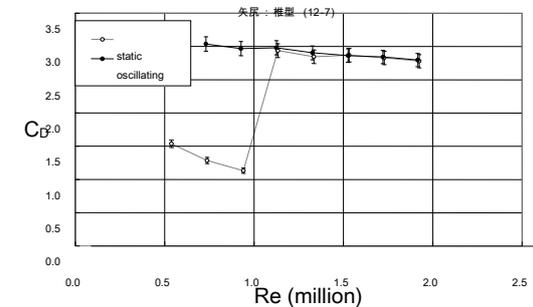
(2) 矢の方向安定は回転していることによりもたらされるものではなく、矢羽の効果によるものである。



図：矢が回転している状態で計測した縦3分力特性 (約770rpm)。

上図でピッチングモーメント係数の勾配が負であることは、矢が方向安定であることを示している。

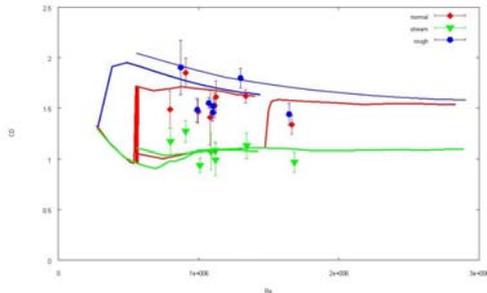
(3) 矢尻が平題形の場合には、矢の曲げ振動の抗力への影響は無視できる。



図：矢尻が椎形の時の抵抗係数のレイノルズ数依存性が、振動の有無により変わる様子を調べたもの。矢尻部分から遷移していると、抗力係数は振動の有無に影響されないこと

が判る。

(4)クロスボウの矢の抗力係数を風洞実験と野外実験により測定した。抗力係数の値はほぼ一致した。抗力係数は鏃の形状に依存し、流線形の鏃では境界層が層流状態に保たれ、椎型・凹凸型の鏃では境界層が乱流に遷移している。



図：3種類(椎型(赤)、流線型(緑)、凹凸型(青))の鏃を装着したクロスボウの矢の抗力係数のレイノルズ数依存性。野外実験結果(シンボル)と風洞実験結果(実線)の比較。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計6件)

- ① 榭井和典：「矢の空力特性、一境界層遷移に対する先端形状の影響」、電気通信大学平成21年度修士論文(平成22年2月5日)、東京都調布市電気通信大学
- ② 澤田秀夫、梅澤啓佑、横関智弘、渡邊秋人、大津武則：「磁力支持天秤装置を用いた矢の飛翔特性に関する研究」、JAXA-東大 航空宇宙工学ワークショップ(平成21年12月14日) 東京都文京区 東京大学
- ③ 澤田秀夫、梅澤啓佑、横関智弘、渡邊秋人、大津武則：「極めて細長い回転対称物体の抵抗について」、第45回「乱流遷移の解明と制御」研究会(平成21年9月29日)、東京都調布市 電気通信大学
- ④ 澤田秀夫、梅澤啓佑、横関智弘、渡邊秋人、大津武則：「JAXA60cm 磁力支持天秤装置を用いた矢の風洞試験」、航空宇宙学会 第40期年会講演会(平成21年4月9日)、東京都調布市 航空宇宙研究センター
- ⑤ 澤田秀夫、梅澤啓佑、横関智弘、渡邊秋人、大津武則：「矢の空気力学的特性」、第14回スカイスポーツシンポジウム(平成20年12月6日) 東京都文京区駿河台 日本大学
- ⑥ 嶋 茂俊：「矢の空力特性の測定」、電気

通信大学平成19年度卒業論文(平成20年2月15日)、東京都調布市電気通信大学

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

澤田 秀夫 (SAWADA HIDEO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部流体グループ・主幹研究員

研究者番号：30344245

(2)研究分担者

宮崎 武 (MIYAZAKI TAKESHI)

電気通信大学大学院・電気通信学研究科 知能機械工学専攻・教授

研究者番号：50140297

(3)連携研究者

()

研究者番号：