

中学校科学部における紙飛行機研究の実践

丹波 純

Approach to Study of Paper Glider by Junior High School Students

Jun TAMBA

Key Word: paper glider, junior high school, science, education

1. はじめに

一枚の新聞広告などから作る折り紙飛行機は、大人にも子供にも馴染みが深い。また、組立式の高性能紙飛行機も、書籍¹⁾や講習会、競技会などを通じて紹介されている。紙飛行機においても、基本的な飛行の原理、すなわち、揚力の発生原理や機体の操縦原理などは、実際の飛行機と同じであり、「遊び」の中にもハイテク航空機と同様の「科学」が潜んでいる。

このように、比較的身近で、かつ科学的要素を含んでいる紙飛行機ではあるが、小中学生などの自由研究の課題として取り上げられることは希である。児童、生徒たちも紙飛行機には興味があるため、製作して飛ばす機会はあるにせよ、そこから定性的、さらに定量的な解析を行い、「研究」という段階まで踏み込むことはあまりない。これは、趣味として紙飛行機を製作し、飛ばしている大人の愛好者においても同様であり、多くの場合、経験やカンに頼った設計、調整が行われてきた。

これまで、高等教育において紙飛行機を教材とした例はあるが²⁾、本稿では中学生レベルで可能な紙飛行機研究の内容や方法、問題点を検討し、実例を紹介する。

2. 土浦第一中学校科学部

土浦市立土浦第一中学校の科学部(顧問:中村弘子教諭)では、テレビアニメで見た「トルネード飛行」をきっかけに、1997年より当時の1年生が中心となって、独自に紙飛行機を製作していた。生徒たちの言う「トルネード飛行」とは、曲芸飛行のロールあるいはスナップロールに相当する。このような「カッコいい」飛行を、自分達が作る紙飛行機でやってみたい、というのが紙飛行機の製作を始める動機であった。製作、飛行を繰り返すうちに、偶然宙返り飛行ができたことから、「トルネード飛行」と宙返りとをそれぞれ成功させることを目的に、さらに研究を進めることとなった。

1998年の夏、偶然にも著者は彼等の活動を知り、協力を申し出た。当時、彼等が製作していた紙飛行機は、文献³⁾に掲載されている図面を基にしたものであった。しかし、翼の強度が不足し、重心位置が適切でなく、翼の角度、キャンバーなどの調整も十分ではなかったため、安定した飛行はせず、再現性もなかった。また、生徒達は補助翼、方向舵、昇降舵などの機能も十分には理解していなかった。中村教諭自身、これまで紙飛行機を製作し、飛ばした経験はなかった。

同部ではこれまで自由研究の成果を理科研究のコンクールに出しており、紙飛行機の研究もこれを目標に進められた。

3. 研究計画

今回の場合、「トルネード飛行」や宙返りの実現など、かなり明確で具体的な目標がある点が特徴であり、また、これが生徒らの独創的な部分である。しかし、紙飛行機の愛好者の多くは、曲芸飛行よりも滞空時間の長いものを「よく飛ぶ」と考えており、このような観点では、生徒らの目標としたものは調整不良に分類される。当時、生徒らは、高性能紙飛行機の性能、すなわち滞空時間は20~30秒、さらに上昇気流によって数分飛行し、視界没する場合もあることなどは知らなかった。

この自由研究に協力することとなった著者は、「研究」である以上、何らかの定量的な実験を行い、その結果をグラフなどにまとめる必要があると考えた。さらに、彼らにも紙飛行機の醍醐味、すなわち滞空時間が長いときに「よく飛ぶ」と感じることを体験してほしい。そこで、彼らの目標である宙返り飛行を通じて、関心が滞空時間にも向けられるよう、以下のような研究計画を立てた。

- (1)安定して飛ぶ、丈夫な紙飛行機を製作する。
- (2)左右の主翼のねじれなどの調整により、ある程度の直線飛行ができる調整技術を習得する。
- (3)宙返りのために必要な操縦操作が、昇降舵による上げ舵であることを文献などにより調べる。
- (4)実際に宙返り飛行に挑戦する。
- (5)昇降舵の舵角と宙返りの直径との関係を調べる。
- (6)初速と宙返りの直径との関係を調べる。
- (7)宙返りができるとき、できないときの、昇降舵の舵角、初速の関係を調べる。

生徒たちの目標である宙返りは、(4)の段階で実現可能であるが、これに加えて、宙返りの直径に着目し、これを計測することを計画した。すなわち(5)、(6)において昇降舵の舵角や、初速などの条件を変化させ、これが宙返りの直径へどのように影響するかを調べるのである。さらに、その過程において、完全な宙返りはせず、宙返りの最高点で機体が上反角効果でロールし、定常滑空に入る、いわゆるインメルマン・ターン(図1)を経験するはずである。

紙飛行機の滞空競技の手投げ部門では、このような上昇方法を探っている愛好者が多い。競技者の腕力を最大限獲得高度に生かし、かつ、失速せずに定常滑空に入れるためである。生徒たちが宙返りの実験の途中で、インメルマン・ターンにより思いがけず長時間の飛行を体験すれば、「滞空時間が長い」ことを「よく飛ぶ」と自ずから実感し、これを目指すようになると期待した。

4. 実験方法

科学部部員は10人以上在籍するため、実験を行うにあたっては、各作業を分担して行うことができる。また、時間は限られるものの、体育館を使用できるため、ほぼ静止空気中での飛行実験が可能である。

実験で使用する紙飛行機は、飛行経路の再現性を重視するため、多少の衝撃などで翼の角度などが変化しない丈夫なものが必要である。このため、著者の設計で⁴⁾、飛行性能よりも強度を重視し、主翼、尾翼などに250kgのケント紙を用いた「フリー・フライト Jr.」を使用した。これは、組立キットの状態を提供し、製作、調整はすべて生徒が行った。昇降舵の角度を変化させるため、水平尾翼後縁に図2に示すような切り込みを入れ、数種類製作した角度ゲージにより舵角を調整した。

図3に実験方法を示す。体育館の床に机を設置し、片端に輪ゴム3個を直列につなぎ、取り付ける。発射係はこのゴムにより紙飛行機を水平方向に発射する。調整係は角度ゲージを利用して、舵角の調整を行う。体育館備え付けの跳ね上げ式バスケットゴールに、50cm毎に目印を付けたロープを取り付ける。二階部分およびフロアに計測係を配置し、それぞれ最高高度と最低高度を計測する。記録係は昇降舵の舵角、ゴムを引いた長さ、宙返りの最高高度および最低高度を記録し、さらに飛行経路の簡単なスケッチも記す。宙返りの直径は、最高高度と、発射地点の高度あるいは宙返り後の

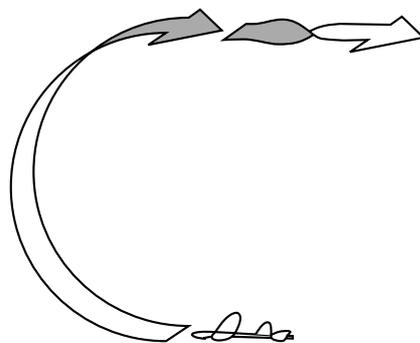


図1 インメルマン・ターン

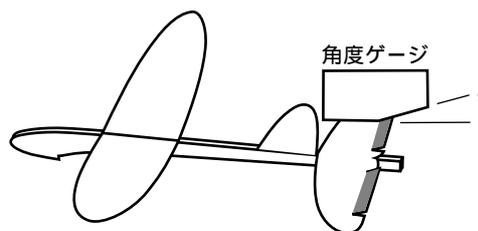


図2 実験で使った機体と角度ゲージ

最低高度との差より求める。各条件について3～5回飛行を行う。

5. 予想される実験結果

図4は、発射台より水平に発射された紙飛行機の飛行経路を、著者が経験に基づいて定性的に分類したものである。初速が遅いとき、すなわちゴムを引く長さが短い場合、昇降舵の舵角が負の場合は機首下げにより墜落、わずかに負か零の場合は定常滑空、正の場合はピッチングする。また、初速が速い場合、舵角がわずかに負であれば、インメルマン・ターンから定常滑空に入り、これよりも舵角が負の場合は失速反転、正の場合は宙返りとなる。

また、発射後の紙飛行機が到達する最高高度は図5のように推測される。インメルマン・ターンおよび宙返りをする場合は、最高高度は宙返りの直径に発射台の高さを加えたものに相当する。昇降舵の舵角が負の場合、あるいは初速が十分でない場合は、高度は得られないものの宙返りの上昇途中で失速し、降下する。なるべく高度を得て、失速せずにインメルマン・ターンから定常滑空に入る場合が、最も滞空時間が長くなる。

6. 中学生の実験結果

生徒らは1999年に入り、宙返り飛行に目標を絞り、そのための紙飛行機の製作や計測の準備を行い、4月以降、実際の宙返りの直径を測定した。実験を行う体育館は、土曜、日曜を含め、通常は運動部が使用しているため、実際には限られた時間で行わざるを得ず、図3のような実験を行うことができたのは数回程度であった。

図6に、生徒らが集計した飛行実験の結果を示す。この図からは、昇

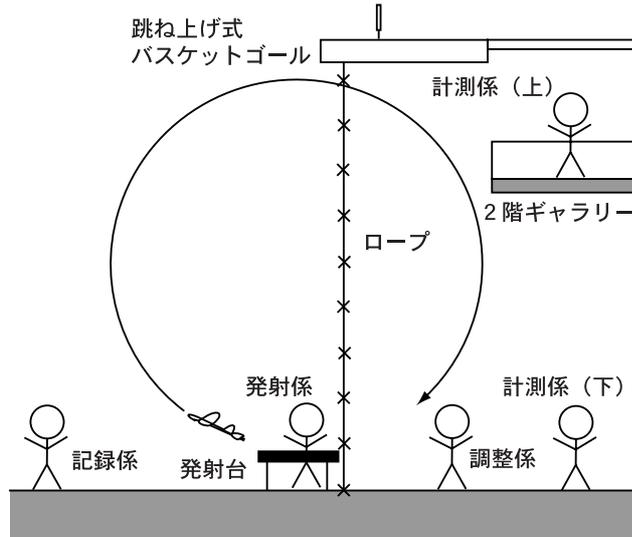


図3 実験方法

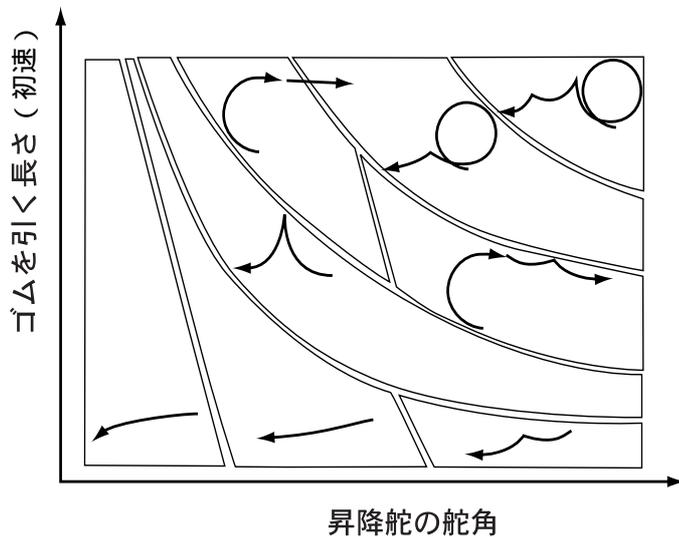


図4 飛行経路の分類

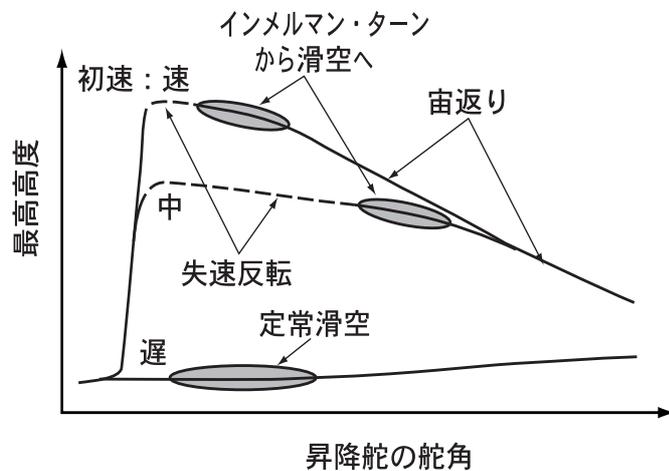


図5 最高高度

降舵の舵角と宙返りの直径、初速(ゴムを引いた長さ)との間には、顕著な相関は認められない。唯一5月22日の2点に図6に予想した結果が見られる。生徒らは、大きな宙返りを成功させることに熱中しており、各条件で行った3~5回の計測結果のうち、その最高値を使用した。また、インメルマン・ターンや、失速反転などの場合は失敗とし、記録しない場合もあった。これは、著者の説明が不十分で、図4のような飛行経路の分類をするために、宙返り以外の飛行にも着目する意義を、生徒らが理解できていなかったためと考えられる。

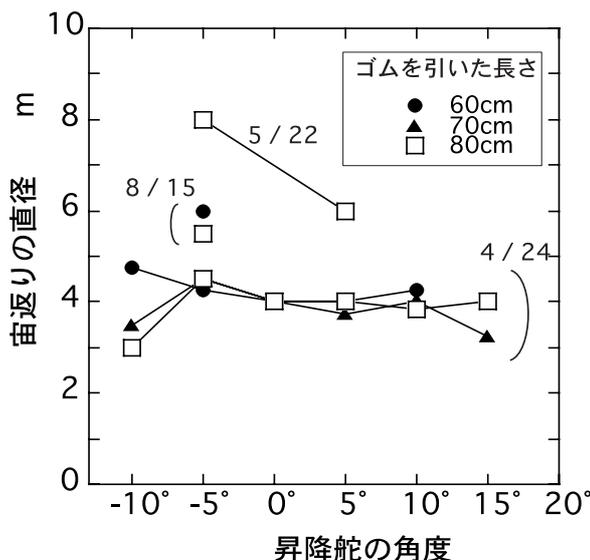


図6 生徒らの実験結果

このように、集計された実験結果は、実験の精度、着目点などの問題により、予想どおりにはならなかったものの、生徒らの作成した「研究レポート」の考察には、昇降舵の舵角が正で大きい場合、宙返りの直径は小さくなり、-5°の場合にインメルマン・ターンをして、滞空時間が最も長くなったことが記されている。また、屋外で飛ばした際に、最高で18.5秒の滞空時間を記録している。そのため、生徒らは、図6に記されてはいない数多くの飛行経験より、基本的な紙飛行機の調整方法を会得することができ、図4の概要を感覚的に理解するに至ったと考えられる。

7. おわりに

中学生の場合、小学生に比べ、工作の技術がある程度あり、自ら考え、工夫することができる。また、独自に資料を読み、調査することができるなど、期待できる点は多い。今回の場合、著者が直接助言をしたのは一年間で数回であったことを考えれば、生徒らの進歩は彼ら自身の熱意によるものに他ならない。実験の実施、解析などに、より適切な助言がなされていれば、さらによい結果が得られたはずであり、また、生徒らが理解していることを「研究レポート」で十分に表現させられなかった面もある。これらは著者にとっての今後の課題となる。

紙飛行機に関する研究はパラメータが多く、専門的な知識や技術、さらに労力が必要な場合が多い。このため、定量的になされることは少ないが、目標を絞れば、風洞や計算機などの特殊な設備、技術がなくとも、ある程度定量的な研究を行うことも可能であり、中学生の自由研究レベルにおいても、その可能性を見出すことができた。

「理工系離れ」という言葉を聞くようになって久しいが、宙返り飛行の実験用の機体を、顧問の教諭にもさわらせず、大切に保管している生徒らの様子を知り、著者は救われる思いがした。生徒らも、受験勉強の合間に適度な気分転換となり、また、貴重な体験にもなったはずである。今後も、少しでも多くの生徒たちが飛行機に対して、さらには科学に対して興味を持ってくれることを切望している。

最後に、著者の本稿執筆を快諾し、実験データを提供して下さった科学部顧問の中村先生と部員の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1)例えば、二宮康明：よく飛ぶ紙飛行機、Vol.1~5、誠文堂新光社。
- 2)飯野：第3回スカイスポーツシンポジウム、1997、pp.83-86。
- 3)小山賢一：ジュニア図鑑 紙ひこうき、保育社。
- 4)丹波、小松：第4回スカイスポーツシンポジウム、1998、pp.32-35。