

ばねの本質に意識を向けさせるアプローチ

仲野 純章（奈良県立奈良高等学校）

ばねにかかる荷重とその伸び方については、義務教育段階から履修がなされている。一通りの前提知識を持ち合わせて迎える高等学校での履修では、既知内容の繰り返しに留まらず、より本質に目を向けた学びを促したい。そのきっかけとして、単純な仕組みの題材を用いた以下のアプローチを試みた。

キーワード：物理教育、歪み、弾性、ばね

1. はじめに

「力とばねの伸び」については、中学校で基本的な内容を履修し、高等学校ではその内容を発展的に履修する流れとなっている¹⁾。そのような中、時には独創的なアプローチも取り入れながら、当該分野の教育が各校で展開されてきた。こうしたアプローチは、「ばね材料」に関するものと「ばねを含む実験装置全体」に関するものの2種類に大別される。前者の例としては、学習者の目を引きつける効果を期待した竹製ばねを用いた授業²⁾や、容易に自作できる紙製ばねを用いた授業³⁾などが挙げられる。また、後者の例としては、複数のばねの特性を効率的に測定・比較できる実験装置を作製・活用した授業⁴⁾などが挙げられる。このように、単なる法則・公式の伝達に留まらない付加価値を高めた教育も種々実践されてきたが、その一方で、扱われるばねは、いずれもつる巻きばねタイプであるという偏りが見られる。

そもそも、「ばね」といえばつる巻きばねであり、「ばね」にかかる荷重とその伸びは線形関係にある」ということを前提とする学習が高等学校までなされ、高等学校でも同様の内容が展開された場合、学習内容の重複感を否定できない。また、実社会に目を向けると、つる巻きばねのような線形ばねだけではなく、非線形ばねも非常に多い⁵⁾。そのため、偏った知識は将来的な現象解釈や着想の面で弊害を招きかねないという不安も感じられる。そこで、高等学校におけるばねに関する学習時間を、これまでと違った角度から思考させ、ま

た、物体の変形や伸びについてのより広い実践的知識を伝える場にしたいと考えた。今回、その一アプローチとして、単純な仕組みの題材を用いた以下の試みを行った。

2. 方法

2.1. 事前準備

図1(a)に示すように、両端から2mmの位置にそれぞれ1対の切欠きを形成した幅3mm、長さ24mm、厚さ100 μ mの金属片を用意した。この金属片をV字型に圧縮加工した後、先端がループ状になった糸を2対の切欠きに括りつけ、図1(b)のように仕上げた(以下、これをV字ばねとよぶ)。一方のループはV字ばねをつり下げるためのものであり、他方のループは荷重-伸び特性を測定する際におもりを付加するためのものである。

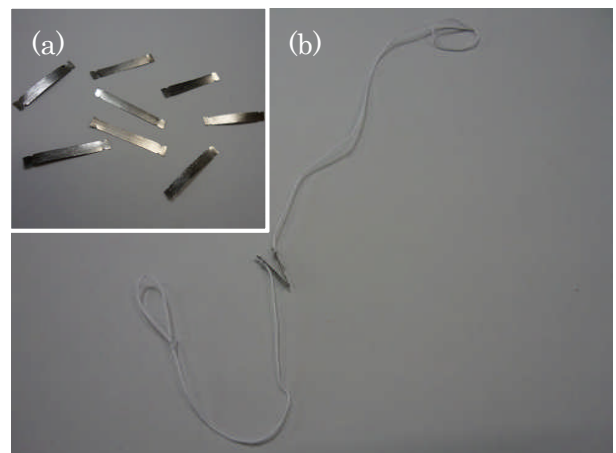


図1 (a)切欠き形成後の金属片, (b)V字ばね

今回用意した金属片の材質は、前号でも紹介した $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 組成の金属ガラスである。金属ガラスはランダムな原子配列を持つ非晶質金属の一種であり、引張強度が $1\sim 4\text{GPa}$ と高強度で、優れた靱性も備えている。また、大きな比例限度および弾性エネルギーがあり、耐疲労特性にも優れる。このように、強度・靱性・耐疲労特性などの面で一般の金属より優れた機械的特性を持つ金属ガラスは、圧縮加工を施してのばね成形と、このばねを用いた力学的評価に適しているといえ⁶⁾、今回の用途に好適と考えた。ただし、このような特異材料を用いなくとも、強度・靱性・耐疲労特性などの面で、以下のような評価に一時的に堪え得るものであれば、どのような材料でも良い。

2.2. 授業実践

必要数量準備した V 字ばねを用い、物理基礎を学ぶ高等学校第 1 学年 120 名 (3 学級合計) を対象に以下の活動を実施した。

まず、 10g のおもりを V 字ばねに付加したときの伸びを班作業として測定させ、荷重-伸び特性の一点のみを把握させた。その上で、この一点を通る荷重-伸び特性の全体像を、他者と相談することなく各自予測させた。なお、V 字ばねには糸との接続点 (荷重点) が 2 箇所存在するが、ここでは荷重点間距離の初期値からの変化量を伸びと定義している。

その後、 20 、 30 、 40g のおもりも用い、荷重-伸び特性の全体像を再び班作業として実測させ、各自の予測グラフと照らし合わせた上で、差異の原因などを班内で思考・討議する時間を設けた。

授業実践後には、参加生徒に対する簡単な意識調査を行い、今回の活動に関する彼らの意識を探った。

3. 結果と考察

図 2 は、V 字ばねに大きさ F 、あるいは $2F$ の荷重がかかったときの模式図を示す。V 字ばねは、その形状ゆえ、折り曲げ点を中心とした円周方向

に形状変化すると近似的に解釈することができる。図 2 では、もともと V 字ばねは 2θ の開き角を有していたが、荷重 F がかかり上下方向にそれぞれ開き角が α 拡大し、荷重 $2F$ がかったときは、上下方向にそれぞれ開き角が β 追加拡大したイメージを示している。鉛直方向に F や $2F$ の荷重がかかっているとき、V 字ばねの開き方に直接影響しているのは、開き方向の成分 F_1 や F_2 であり、これらは図 2 から式(1)、(2)のように書ける。

$$F_1 = F\cos(\theta + \alpha) \quad (1)$$

$$F_2 = 2F\cos(\theta + \alpha + \beta) \quad (2)$$

ここで、 θ 、 α 、 β 間には式(3)の関係があることを考慮すると、式(1)、(2)から式(4)が導かれる。式(4)から、鉛直方向に 2 倍の荷重がかかったとしても、開き角の増加割合は 2 倍に満たないことが予想される。

$$90^\circ > \theta + \alpha + \beta > \theta + \alpha > \theta > 0^\circ \quad (3)$$

$$2F_1 > F_2 \quad (4)$$

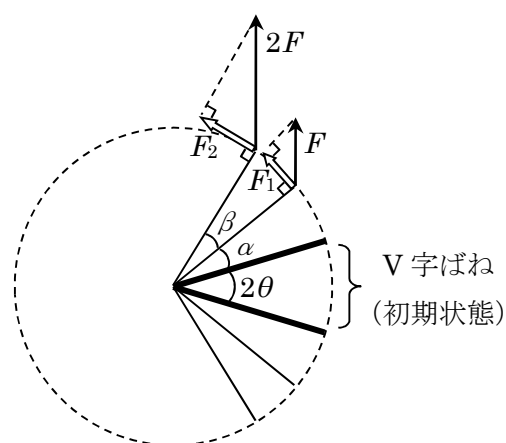


図 2 開き角と荷重の比較概念図

一方、図3には、もともとV字ばねが 2θ の開き角を有しており、その後、ある大きさの荷重がかかり上下方向にそれぞれ開き角が α 拡大し、さらに追加の荷重がかかることで上下方向にそれぞれ開き角が α 追加拡大する模式図を示している。最初の開き角拡大時、初期状態に比べて鉛直上方に L_1 伸びているとし、追加の開き角拡大時、初期状態に比べて鉛直上方に L_2 伸びているとする。図3から、仮に開き角の増加度合いが2倍であったとしても、鉛直方向の伸びは2倍にならず、式(5)のようになるのは自明である。

$$2L_1 > L_2 \quad (5)$$

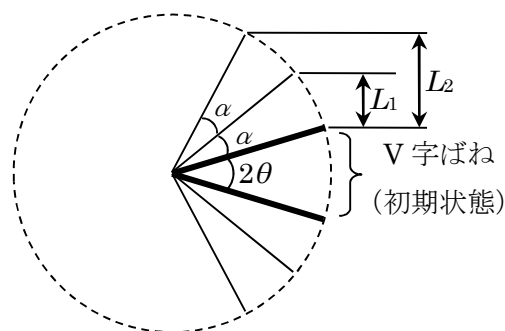


図3 開き角と伸びの比較概念図

V字ばねにかかる荷重 F とその伸び x の関係を示す荷重-伸び特性は、少なくとも図2や図3で触れたような図形的要因から、非線形となることが予測される。

10gのおもりを用いてV字ばねの荷重-伸び特性の一点を把握し、この一点を通る荷重-伸び特性の全体像を予測させたところ、母集団120人のうちの98%が線形グラフを描く結果となった。これは、今日まで「ばね=線形ばね」と学習を積み

重ねてきた結果といえる。

ここで、荷重-伸び特性について、各班で見られた典型的な予測グラフと実測グラフを図4に示す。図4に示すように、実測グラフは、上述の通り、荷重増加と共に伸びが鈍化する非線形グラフとなる。

予測グラフと実測グラフが出揃った段階で、両グラフの形状が大きく異なる理由、つまり、実測グラフが非線形となる「理屈」を班内討議させた上で、紙面上に意見集約させた。その結果、図2に関する図形的要因に触れた班は全24班のうちの13%に留まり、図3に関する図形的要因に触れた班は8%であった。このように、多くがその単純な図形的要因に考えが至らない結果となった。

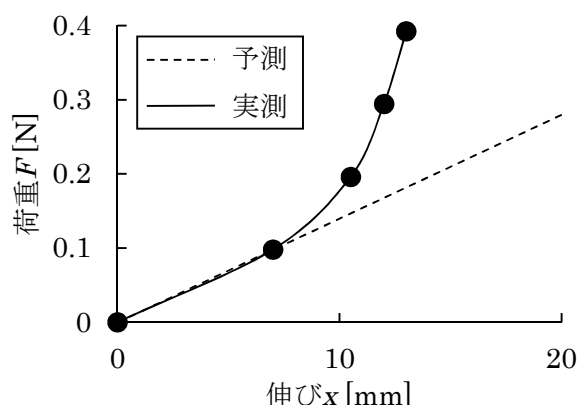


図4 荷重-伸び特性の予測グラフと実測グラフ

一連の予測・実測・討議を経た後、図2や図3に示したような図形的要因を全員で確認し合い、最後に、本件に関わる幅広い知識を図5(a)~(d)の順に系統立てて説明し、知識の補充・整理を図った。ここでは、特に、今回の実験と関連する「金属製ばねが伸びるということ」を軸に、説明を組み立てるよう意識した。

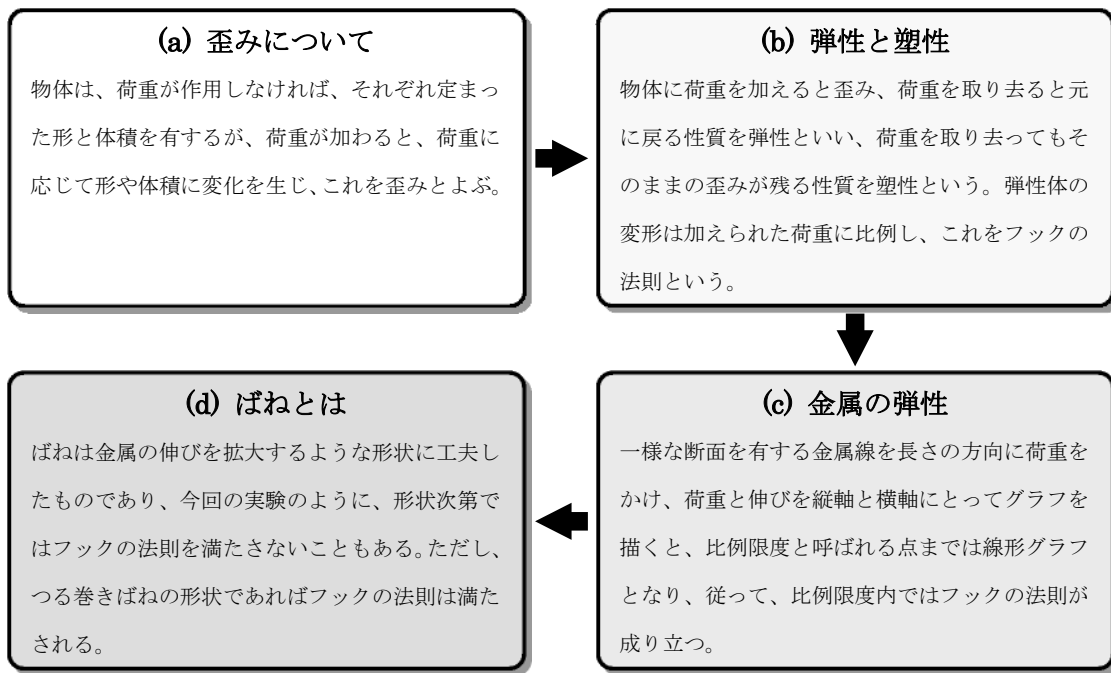


図 5 本件に関わる「知識の補充・整理」

以上の一連の活動を通じて、物体の伸びとはどういうことか、ばねが伸びるとはどういうことかということに考えが至ったのではないだろうか。

「ばねは、加工された形状によってはフックの法則に従わないことも往々にしてあるが、材料そのものをミクロな視点で見ると、荷重と伸び（たわみ）の関係は正比例の関係になり、フックの法則が満足される」という大きな解釈を共有できたかと感じている。活動後に実施した生徒に対する意識調査でもそのことは確認できる。表 1 に意識調査項目を、図 6 に意識調査結果を示す。

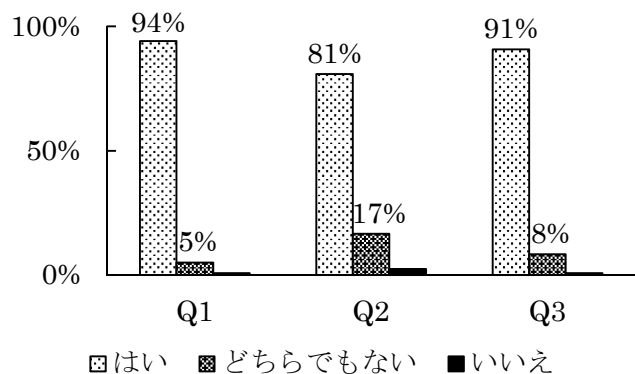


図 6 活動後の意識調査結果 (n = 120)

表 1 活動後の意識調査項目

項目	内容
Q1	「知識」と「事実」のギャップを感じたか
Q2	材料の伸びやばねについて理解が深まったか
Q3	今回の単純な現象でも、理屈を説明するのは難しかったか

図 6 における Q1、2 の回答状況を見ると、これまでの学びと目の前で起こっている現象との食い違いを感じ、思考することや本質を知ろうとすることを促せたのではと考えている。

Q3 の回答状況からは現象の説明に大多数が苦戦したことが窺えるが、ふたを開けてみると実に単純な図形的要因があることに拍子抜けした者も多いのではなかろうか。現象を解釈・説明するには、必ずしも難しい公式・理論ばかり必要とされ

るものでもない、ということも感じ取ることができたのではと思う。

4. 今後の展開

今回は1回折りのV字ばねを用いたが、2回折りのいわばN字ばねにすると、非線形であった荷重-伸び特性は線形に転換する⁷⁾。時間的制約の問題はあるが、例えばV字ばねとN字ばねでの挙動の差異について扱わせるのも、より深い知識・思考力の習得を促す良い題材となろう。

昨今、探究活動の導入が本格化するなど、広範かつ複雑な事象に向き合いながら、課題解決的なプロセススキル⁸⁾を育成することが求められている。こうしたプロセススキル育成の前提として、基本的な知識・思考力が基盤として存在する必要があるが、それらは主に日常的な教科学習で養われる^{9),10)}。今回取り上げた「力とばねの伸び」分野に限らず、幅広い分野で実社会を見据えた指導を心掛け、物事の本質に目を向けさせるきっかけを日常的な授業の中に取り入れていきたい。

参考文献

- 1) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説 理科編, 28 (2009).
- 2) 富山哲之: 長崎大学教育学部紀要 教科教育学, **33**, 43 (1999).
- 3) 江沼直樹: 物理教育, **50(4)**, 248 (2002).
- 4) 石橋研一, 浦野弘, 真崎敦史: 秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要, **37**, 69 (2015).
- 5) 門田和雄: トコトンやさしいばねの本, 日刊工業新聞社, **58** (2016).
- 6) 仲野純章, 木村久道: 日本理化学協会 研究紀要, **49**, in press (2018).
- 7) 仲野純章, 木村久道: *Materia Japan*, **56(6)**, 389 (2017).
- 8) 網代圭佑, 畦浩二: 大阪教育大学紀要 第V部門, **64(2)**, 1 (2016).
- 9) 仲野純章: 日本理科教育学会近畿支部大会 発表論文集, **22** (2017).
- 10) 仲野純章: 理科教育学研究, **58(3)**, in press (2018).