

イメージでわかる物理学入門シリーズ①

《力は時間と一緒にはたらく》を用いた授業記録

2013年10月5日 上小教研理科分科会

生徒 長野県上田高校3年生 物理選択者120名

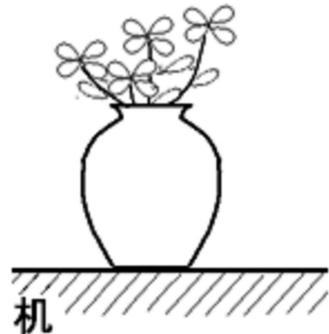
授業者 上田高校 渡辺規夫

長谷川智子・櫻井順子作成プリントを使用(仮説社HPよりダウンロード)

このDVDは数箇所ですべて自動停止し、そこで教師が説明を加えることを前提に作られている。

【質問0】花びんを横に押したり引いたりしたとき、どんな力がはたらくているのでしょうか。みなで考えを出しあいましょう。

花びんを動かしたときにはたらく力を確かめておきましょう。



映像の矢印はいくつか問題点があるが、この話がメインでないので、深入りしなかった。

【設問】1.5kgの物体を水平方向に動かすのにどのくらいの力が必要か。

予想

ア、1.5kg 力より大きい力でなければ動かない。

イ、1.5kg 力より小さい力で動く。

ウ、1.5kg 力の力で動く。

ここで画面を止めて予想を聞いた。生徒の予想分布は以下のとおり

《力は時間と一緒にはたらく》の予想分布

【設問】1.5kgの物体を水平方向に動かすのにどのくらいの力が必要か。

		5講座	6講座	7講座	8講座
ア	1.5kg力より大きい力でなければ動かせない。	記録なし	13	1	13
イ	1.5kg力より小さい力で動く。	記録なし	0	37	12
ウ	1.5kg力の力で動く。	記録なし	4	0	12

講座（クラス）によって大差があった。6講座では8割以上の生徒がア、を予想した。7講座では、大多数の生徒はウ、を予想した。8講座ではほぼ3分の1のずつに予想が分かれた。講座による予想分布の違いが何によるのか、不明である。

結果はウ、1.5kg力より小さい力で動く。ここも深入りしなかった。

1. 摩擦力がはたらかない世界

【質問1】もし摩擦力がなかったら、花びんを押した手を離れたあと、花びんはどうなると思いますか？

〈予想〉 ア、しばらくのあいだそのまま進むが、やがて止まる

イ、ずっと、そのまま動き続ける

ウ、すぐに止まる

DVDのルネッサンス高校の生徒の討論を聞いた後で、改めて本校の生徒の予想を聞いた。

【質問1】もし摩擦力がなかったら、花びんを押した手を離れたあと、花びんはどうなると思いますか？

		5講座	6講座	7講座	8講座
ア	しばらくのあいだそのまま進むが、やがて止まる	記録なし	2	1	4
イ	ずっと、そのまま動き続ける	記録なし	16	37	33
ウ	すぐに止まる	記録なし	0	0	0

大部分の生徒は「イ、ずっと、そのまま動き続ける」と予想した。

「ア、やがて止まる」と予想した生徒は115名中7名だった。

ウを予想した生徒はいなかった。

大部分の生徒の予想は正しかった。これは板倉聖宣・江沢洋共著『物理学入門—科学教育の現代化—』（国土社）に載っている結果とは大幅に違う。慣性の法則の定着は以前より進んだということだろうか。

〈結果〉映像で「そのまま動き続ける」ことが示された。

生徒の大部分は正しく予想しているが、この映像を見て驚き、感動していることが感想文から読み取れる。この実験結果は予想が当たった生徒にとっても驚くべき結果であり、その映像はきわめて貴重なものである。そのことは以下の生徒の感想文からも読み取れる。

摩擦ゼロの滑走体の実験の教育的意義

生徒の感想

難しい

◆摩擦力がなくなるというだけの話なのに考えてみるととても難しかった。（NH男子）

◆普段は摩擦力がはたらいっている世界に暮らしているので、摩擦ゼロの世界をイメージするのは難しいと思った。（NR男子）

不思議

◆自分の予想どおりだったけど、映像の動きはやはり不思議だった。（M

G男子)

◆予想としてわかっていたが、摩擦が0のときの動きが不思議だった。

(NW男子)

◆自分では体験したことがないから不思議だと思った。(SA女子)

おもしろい

◆イメージと同じであったけれど、改めて考えると面白かった。(SY男子)

◆摩擦がなければ物体は動き続けるなんておもしろいなーと思った。摩擦のない実験はやったことがなかったので、DVDを見て、実際に動き続けることがよくわかった。(KR女子)

驚いた

◆摩擦をなくすのは不可能だと思っていたので、物体の底から風を出して摩擦をほぼなくすことができるというのに驚いた。(MA女子)

わかった

◆いまいち実感がわからないけど、本当に摩擦がなかったらそうなるという理屈はわかった。(TN男子)

◆摩擦力が0なら物体はどこまでも動くという事実がよくわかった。(SM男子)

予想と違った

◆自分の予想(摩擦ゼロでもしばらくすれば止まる)と違ったので印象によく残った。(MS男子)

役立ちそう

◆そんなことありえないと思うけど、そんなことができたらいろいろ役立ちそうだと思った。(SA女子)

この実験は1960年代の『PSSC物理学』で紹介されてから、しばらく流行していた。しかし、多くの教員はこの実験が生徒にとってわかりきった

ことをわざわざやって見せているだけだと受け取ってしまった。さらに、この実験は準備が大変であった。そこで労力が大きい割に教育的意義の小さい実験ととらえられ、次第にやる人がいなくなってしまうのである。

しかし、生徒にとってはこの実験結果は驚くべきことなのだということが、生徒の感想文から読み取れる。教育的意義はきわめて大きいのである。この実験は復活させるべきである。DVDでこの貴重な映像を見ることができるとの意味は大変大きいと思う。

ルネッサンス高校生の討論の意味

ルネッサンス高校生の討論を冗漫と感じる人もいるかも知れない。この点についても考察してみよう。

科学史上の本、たとえばガリレオ・ガリレイやニュートンの書いた本を読むと何が書いてあるかわからないところがある。これは、著者ガリレオ・ガリレイやニュートンの考え方がわからないのである。ガリレオ・ガリレイやニュートンの考え方がわかると書いてあることがよくわかるようになる。

授業で生徒の発言の意味がわからないことがある。これは、教師が生徒の考え方を理解できないのである。生徒の考え方が理解できるようになると、その発言の真意がわかるようになる。

DVDに出てくる生徒の討論は、ちょっと聞くと何を言っているのかよくわからないところがある。しかし、その意見は実は科学史上で繰り返し主張されてきた意見と同じなのである。1人の生徒が「地球が丸いからどこまでも動き続けるのではないか」と発言している。この意見はガリレオ・ガリレイの主張したことと同じ意見なのである。

DVDの中の討論で何を言っているのかわからないと感じる人もいることと思う。生徒の考え方がわかるようになると言っていることがわかるようになる。教師にとって必要な学力は物理学の学力ではなく、(それももちろん必要であるが)、物理教育学の学力である。生徒の考え方がわかることが

教師の教える力量なのである。生徒の発言を教師が理解できないのに、他の生徒は理解しているという場合がある。

このDVDを視聴した生徒はルネサンス高校の生徒の討論をどのように受け取っていただろうか。

討論についての感想

いろいろな意見があることに感心している意見

- ◆生徒が議論している場面が何故かすごく印象に残っています。身近に感じられて良い。(YY女子)
- ◆いろいろな意見があっっておもしろい。(HK男子)
- ◆中学のころ、理科の本で「摩擦のない世界」などの話を覚えているので、結論はわかっていたが、引力については確かにどうなっているのか不思議に思った。(TS男子)
- ◆摩擦が0のときに、物体はどこまでも動いていくと思った。重力によって徐々に止まるなどいろんな考えがあるなと思った。(AA女子)
- ◆動いていくと思ったけど、議論を聞いていてそういう考え方もあるのかと思った。(KM女子)

討論の内容に反論

- ◆力で地面に押しつけられるからやがて止まるというのは、一見正しそうだが、作用反作用を考えるとやはり正しくない。(KM男子)
- ◆引力は下向きに働いているから関係ないと思った。(YS女子)
- ◆引力が力を及ぼして止まることあるのか。(KY男子)
- ◆引力でものが止まったら、そのものは床に置いたときめり込むだろうと思った。(MR男子)

生徒の感想を読むと、生徒はDVDの中で行われている討論に意識の中で参加していることがわかる。そして、自分の意見とは違うものの、その意見に感心したり、反論したりしているのである。生徒はこの討論の意味がわかっているのである。

DVDで討論をとりあげたことに否定的な意見

- ◆学生っぽい人が話している場面は全部カットでいいと思う。(KY男子)
- ◆討論の時間はいらぬ。(T男子)

このような意見もあった。この生徒たちにはこの部分が冗漫と感じられたのであろう。

生徒の多くはルネッサンス高校生の討論に興味を示している。生徒はこの討論を聞いていて言っていることがわかるのである。物理教育学的に見れば、討論の部分は、生徒が自分の頭で考えるようになるために必要な部分なのである。多くの生徒にとっては決して冗長な部分ではないのである。

だから、授業運営法の心得として、教師はDVDの討論の部分を、生徒が討論に参加している意識で視聴するように誘導することが必要なのである。

2. 力を加え続けると、速さはどうなるか

2-1 ウサギとカメの競争（1ラウンド）

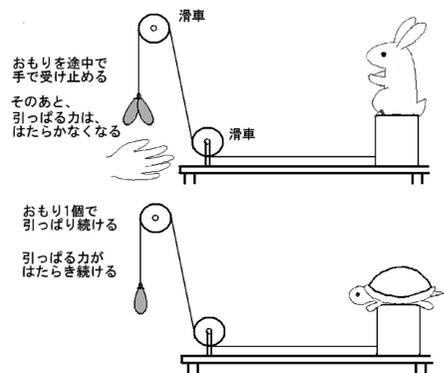
条件

ウサギにかかる力

おもり2個で引っ張るのを途中でやめる。

カメにかかる力

おもり1個で引っ張り続ける。



実験結果

ウサギがはじめは先に出るが、途中から等速度運動になり、どんどん加速しているカメに追い越される。なんともユーモラスな映像である。

【質問2】カメのように力が加わり続けることで、スピードがどんどん出て速くなる乗り物は何かありませんか。思いついたものを出しあいましょう。

ここで、ビデオを止めることを忘れたため、生徒の考えを聞く前にロケットがその一例であることが示された。授業運営法として、ここでビデオを止めて生徒に考えさせる必要がある。

3. 「力」と「力を加え続ける時間」で、「速さ」はどうか

3-1 ウサギとカメの競争（2ラウンド）

一定の速さ（等速）になったときのスピードは、どうか

【問題1】ウサギの滑走体をおもり2つ、カメの滑走体をおもり1つで引っ

ぱることにします。このとき、引っぱる力が半分のカメを、2倍の時間引っ

ぱり続けたら、ウサギとカメのスピードはどうかと思いますか。

ただし、一定の速さ（等速直線運動）になったときのスピードで、比べることにします。（下の表に力と時間を書いておきましょう）

	引っぱる力の大きさ	引っぱり続ける時間
ウサギ	おもり2個	3拍
カメ	おもり1個	6拍

〈予想〉

ア、カメの方が、スピードが速い

イ、ウサギの方が、スピードが速い

ウ、どちらも、同じスピードで進む

ここで、「どちらが先に着くか」ではなく、「引っ張り終わったときの速さ」を比較していることを強調した。

生徒の予想

[問題1]ウサギを2の力で3拍、カメを1の力で6拍引っ張ったときの速さ

		5講座	6講座	7講座	8講座
ア	カメの方が、スピードが速い	記録なし	3	1	記録なし
イ	ウサギの方が、スピードが速い	記録なし	0	1	記録なし
<input checked="" type="radio"/> ウ	どちらも、同じスピードで進む	記録なし	14	36	記録なし

どの予想の生徒もいた。

〈結果〉ウ、どちらも、同じスピードで進む

ここで 力×時間という物理量に注目させる。

3-2 ウサギとカメの競争（3ラウンド）

【問題2】ウサギとカメを、次のように「力×時間」が同じになるようにし

て、引っばることにします。ウサギとカメが一定の速さ（等速）になったと

き、スピードはどうなると思いますか。

	引っばる力の大きさ	引っばり続ける時間	力×時間
ウサギ	おもり3個	2拍	6
カメ	おもり2個	3拍	6

〈予想〉一定の速さ（等速）になったとき

ア、ウサギの方が、スピードが速い

イ、カメの方が、スピードが速い

ウ、どちらも、同じスピードで進む

予想分布

[問題2]ウサギを3の力で2拍、カメを2の力で3拍引っ張ったときの速さ

		5講座	6講座	7講座	8講座
ア	ウサギの方が、スピードが速い	記録なし	0	記録なし	記録なし
イ	カメの方が、スピードが速い	記録なし	1	記録なし	記録なし
ウ	どちらも、同じスピードで進む	記録なし	17	記録なし	記録なし

〈結果〉 ウ、どちらも、同じスピードで進む

「まとめ」

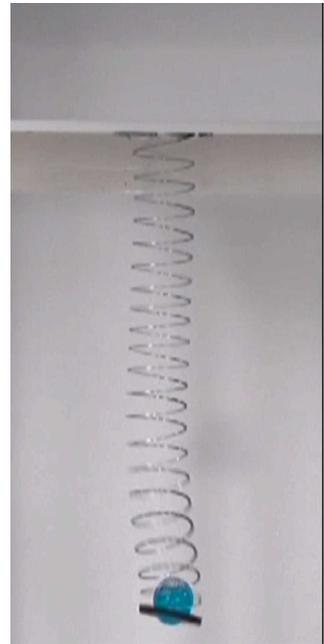
ものが動く速さは、「力×時間」で決まる

4. 動いているものを止めるときの「力×時間」

ある速さで動いていたものを止めるには、逆向きの「力」を、「ある時間」かけ続けなければ、止めることができません。

4-1 ガラス玉の落下

ポイント ガラス玉をテーブルの上に落としたときと、ばねのついた受け皿に落としたときで、ガラス玉にかかる「力」と「時間」はどう違うのでしょうか？



どちらも同じ高さから落とすのでガラスは同じ速さで落ちてきます。これを止めるためには、同じ大きさで逆向きの「力×時間」をガラス玉に加えなければ、ガラス玉を止めることはできません。

ガラス玉が受ける力 力を受け止めるまでに使った時間

テーブルの上	大きい力	×	短い時間
ばねのついた受け皿	小さい力	×	長い時間

ガラス玉をテーブルに落とせば割れてしまうが、ばねのついた受け皿に落としても割れない。

4-2 日常のいろいろなところで見つかる「力×時間」

釣りざお

釣りざおが「しなる」ことで、力がかかる時間を引き伸ばし、糸と魚に急激にかかる力を弱めるはたらきをしている。



バイクのばね

路面のでこぼこや発進、停止などで、バイクの車体にかかる力を、ばねが時間をかけて受け止めるため、乗る人にかかる力を小さくしてくれる。



自転車のサドルのばね

段差を乗り越えるときなどにかかる力を、ばねが時間をかけて受け止めるので、乗っている人にかかる力を小さくすることができる。



みなさんもこの法則が隠されている現象を、できるだけたくさん見つけてみましょう。

DVD《力は時間と一緒にはたらく》の授業アンケート

上田高校3年生 物理Ⅱ 選択者120名(回答数115名 欠席5名)

2013年9月

たのしかったですか

		5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合	5と4の割合
5	大変たのしかった	2	9	9	16	36	31.3%	87.0%
4	たのしかった	17	8	24	15	64	55.7%	
3	どちらとも言えない	3	1	4	5	13	11.3%	
2	つまらなかった	0	0	1	0	1	0.9%	
1	大変つまらなかった	0	0	0	1	1	0.9%	

わかりましたか

		5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合	5と4の割合
5	大変よくわかった	7	7	17	17	48	41.7%	99.1%
4	わかった	15	11	21	19	66	57.4%	
3	どちらとも言えない	0	0	0	1	1	0.9%	
2	わからなかった	0	0	0	0	0	0.0%	
1	全然わからなかった	0	0	0	0	0	0.0%	

ためになりましたか

		5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合	5と4の割合
5	大変ためになった	5	8	14	14	41	35.7%	93.0%
4	ためになった	14	10	22	20	66	57.4%	
3	どちらとも言えない	2	0	2	3	7	6.1%	
2	ためにならなかった	1	0	0	0	1	0.9%	
1	全然ためにならなかった	0	0	0	0	0	0.0%	

たのしかったですか

5 大変たのしかった	4 たのしかった	3 どちらとも言えない
------------	----------	-------------

わかりましたか

5 大変よくわかった	4 よくわかった
------------	----------

ためになりましたか

5 大変ためになった	4 ためになった	3 どちらとも言えない
------------	----------	-------------

アンケートの結果を見ると、生徒はこの授業を支持していることがわかる。

DVDの各実験についての理解度アンケート

摩擦0の滑走体 摩擦0での等速度運動を示す実験

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	20	18	36	32	106	92.2%
どちらとも言えない	1	0	2	4	7	6.1%
よくわからなかった	1	0	0	0	1	0.9%
無答	0	0	0	1	1	0.9%

うさぎとかめの競争 ラウンド1

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	20	18	38	36	112	97.4%
どちらとも言えない	2	0	0	0	2	1.7%
よくわからなかった	0	0	0	0	0	0.0%
無答	0	0	0	1	1	0.9%

ロケットの発射

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	19	15	34	33	101	87.8%
どちらとも言えない	3	3	4	4	14	12.2%
よくわからなかった	0	0	0	0	0	0.0%

うさぎとかめの競争 ラウンド2

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	20	18	36	36	110	95.7%
どちらとも言えない	2	0	2	1	5	4.3%
よくわからなかった	0	0	0	0	0	0.0%

うさぎとかめの競争 ラウンド3

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	20	18	35	37	110	95.7%
どちらとも言えない	2	0	3	1	6	5.2%
よくわからなかった	0	0	0	0	0	0.0%

ガラス玉を固い床に落としたときと、ばねに落としたときの違い

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	20	16	36	33	105	91.3%
どちらとも言えない	2	2	2	3	9	7.8%
よくわからなかった	0	0	0	1	1	0.9%

釣り竿の先端がやわらかく弾性があるように作ってある理由

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	18	16	32	31	97	84.3%
どちらとも言えない	4	2	5	4	15	13.0%
よくわからなかった	0	0	1	2	3	2.6%

バイクや自転車のサドルをばねで支えている理由

	5講座	6講座	7講座	8講座	合計	割合
よくわかった	18	16	32	32	98	85.2%
どちらとも言えない	4	2	4	4	14	12.2%
よくわからなかった	0	0	2	1	3	2.6%

全体として理解度が非常に高い。

理解度に問題があるのはロケットの発射、釣り竿、バイクである。

ロケットの発射

ロケットの速度ははじめは小さい。力を加え続けることで速くなる。大切なのは「力×時間」の時間が長いために猛スピードになるという説明である。この説明を教師がおぎなった方がよいと思われる。

ガラス玉の実験

動いているガラス玉を止めるためにはある大きさの力積を与えなければならない。床に落とすとガラス玉に力がはたらいている時間はきわめて短い。力×時間＝一定とすると、時間が短ければガラス玉に加わる力は大きくなるのでガラス玉は壊れる。ばねのついた皿の上に落ちたときは、力×時間の時間が長くなるため、ガラス玉に働く力は小さくなる。そのためガラス玉は割れない。この説明を付け加えればさらに理解度が高まっただろう。

釣り竿

釣り竿が固い場合、魚が糸を強く引っ張ると糸が切れてしまう。力×時間の時間が短いため、力が大きくなるのである。釣り竿の先が柔らかいと、魚がいくら強く糸を引っ張っても、釣り竿がたわむことで、力をかける時間が長くなる。そこで力×時間の時間が長いため、力が小さくなる。

バイク・自転車

サドルとバイクが直接つながっているとバイクの振動がそのままお尻に伝わる。ばねが入っていることにより、力×時間の時間が長くなるため、力が小さくなる。

以上の説明は大部分の生徒はDVDを見ることでわかったようだが、わからなかったという生徒もいるので、教師が補足説明した方がよかった。

印象に残った実験

摩擦ゼロの滑走体

- ◆印象に残った実験は、摩擦力0を生み出す装置の実験（SM男子）
- ◆きれいな等速直線運動をしていてすごかった。（K男子）
- ◆摩擦力0の機械で遊びたいと思った。（SY男子）

うさぎとかめ

- ウサギとカメの競争で、2つの物体の間の距離が変わらなかったことに驚いた。（AA女子）
- うさぎとかめの実験で、おもりで引く時間が違っても、力×時間が同じならばスピードが同じになったこと。（DM女子）（多数）
- うさぎとかめの実験は実際にできたらやってみたいと思いました。滑車を使えば滑走体でなくてもできると思う。（TK男子）

ロケット

- ▲ロケットの発射（YY男子）

ガラス玉

- ★球を落としたとき、バネで受けると割れなかったこと。（T男子）（多

数)

釣り竿・自転車・バイク

▼自転車やバイクにバネが応用されていること。(S Y男子)

▼釣り竿がよくしなるのはこんな理由があったのかと思い、とっても印象に残った。(M S男子)

▼釣り竿がよくわからなかった。(N M女子)

どの実験も強い印象を生徒に残したことがわかる。このDVDでの実験はきわめて効果的であると言えよう。

なお、実験ではないが、字幕に「協力 上田高等学校」が出たことを印象に残ったという生徒が多数いた。

この授業でやったことを一言で言うと

◆力×時間が重要

◆力だけじゃなくて、時間も考える必要がある。(O C女子)

◆速さは力×時間で決まる。(大多数)

重要なポイントをよく理解している。

感想文

よくわかった

◆身近な現象で理解でき、楽しかった。(S Y男子)

◆映像が入るだけで理解力が高まる。これからもビデオや実験を多くするとともに、授業を進めていてもらいたい。(N M男子)

◆とてもわかりやすいDVDだったので、これからもこういったDVDを使ってほしい。(T S男子)

◆わかりやすかったが、もう少し深く掘り下げた方が勉強になるんじゃないかと思った。(O H男子)

◆実際に実験を見るとよくわかる。(S A女子)

◆わかりやすく式が頭に入りやすかった。(T T男子)

◆運動量の変化の様子がとてもわかりやすく説明されていて、よくわかった。(O T 男子)

◆わかりやすい映像や、具体例などをあげていて、自分の頭でイメージしやすく大変よかった。(T S 男子)

◆考えるだけじゃなくて、実際に見ることで理解できたのでよかったです。(N A 女子)

うさぎとかめ

◆ウサギとカメの具体例がすごくわかりやすかった。身の回りにも応用されていることを知った。(A A 女子)

◆ウサギとカメを例にとって説明されているのがとても斬新でよかった。(M M 男子)

◆うさぎとかめの実験がかわいかった。実際にやってみたくなる実験だった。(I M 女子)

◆ウサギとカメの話をもじった実験などがあって、楽しみながら力と時間との関係について学習できると思う。(S M 男子)

釣り竿などの具体例

◆後半の 3 つの身の回りの具体例がとても理解しやすかった。(K S 男子)

釣り竿、自転車、ソファーなど身近なところで物理の法則が使われていて面白いと思った。(K M 男子)

◆釣り竿のしくみについてももう少し詳しく知りたかった。(K A 女子)

次作への期待

◆他のDVDも見たい。(多数)

◆力×時間と質量との関係についてのビデオもあるといいと思いました。(N M 男子)

◆わかりやすいからよいが、討論の時間は足りない。(T 男子)

上田高校

◆上田高校が協力している貴重なビデオ教材であるので、これからも使ってほしい。(O M 男子)

授業を終えて

私が教員になったばかりの頃（40年前）視聴覚教育研究会に参加した。その研究会では視聴覚教育の重要性が訴えられていた。重要であるにも関わらず普及しないのはなぜかということも論じられていた。「教師がチョーク1本の授業への郷愁から抜け出せないから視聴覚教育が広まらない。」と強調されていた。そのときはそんなものかと思った。しかし、普及しない原因は別のところにあったのである。

映画と授業ではいわば「文法が違う」と言っているほど進め方が違うのである。そのため授業の中に映画を取り入れることは実際には無理がある。そこで、視聴覚教材の実際の利用のされ方は、映像を流しているだけだった。教師は機械に任せて、しばらく楽をすることができるというのが視聴覚教材の現場の受け止め方だったのである。実際、生徒の多くは映画を流し始めると眠ってしまった。これでは視聴覚教育が普及するはずがない。

この授業では、場面場面で映像を止めて、生徒に予想を立てさせ、場合によっては意見を出し合わせ、それから続きの映像を見せるというやり方をとった。これは映画の文法に合わせて授業をするということである。映画は進むのが速い。科学教育映画では、授業そのものを映画の文法に合わせることをしなければうまくいかないのである。

授業成功の理由は次のとおりであると思う。

1. 事前に何度も視聴した。
2. 全体の流れをつかみ、どこで止めるかを考えた。
3. 視聴プリント（長谷川智子・櫻井順子両氏作成、仮説社ホームページからダウンロード可）を準備し、生徒に書き込ませながら視聴した。
4. 予想を立てさせてから実験結果を見るようにした。実験結果がわかったところで、映像を止めて、結果を確認し、プリントに書き込ませた。

このようなことに留意して活用すれば、視聴覚教材を有効に使うことができる。（この方式を開発したのは上記、長谷川智子氏、櫻井順子氏の両氏である。両氏からは貴重な助言をしていただいたことに感謝したい。）