



Title	“電磁場と、その変動・伝播”を小学生に！：「場」概念から“電磁石”教材に接近
Author(s)	倉賀野, 志郎; 有元, 恭志
Citation	教授学の探究, 7, 41-63
Issue Date	1989-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/13558
Type	bulletin (article)
File Information	7_p41-63.pdf



[Instructions for use](#)

釧路市青少年科学館での約3,000人の授業実践

“電磁場と、その変動・伝播”を小学生に！

「場」概念から“電磁石”教材に接近

倉賀野 志郎

(北海道教育大学・釧路分校)

有元 恭志

(釧路青少年科学館1988年度嘱託指導員)
(教育方法学研究室87年度卒業生)

「釧路市青少年科学館」での授業実践の性格

釧路市青少年科学館は毎年、釧路市総ての小学校6年生を対象に天文学・化学・物理分野の授業を1コマ(1時間)行っている。今回、有元が担当することになった分野は電磁石教材で、1988年6月1日より、1988年11月16日までの約半年間にわたって、市内ほぼ全部の小学校6年生・81学級(小学校数26校)、3,082人に電磁石関係の授業を行った。有元は授業を進めていく過程で、構成・教材等を倉賀野に相談、二人の教材等にかかわる討論は延べ十数時間にも及ぶものとなった。

この過程の中で有元は、興味を男子生徒より示すことの比較的少ない女子生徒をどのように授業に引き込み、電磁石についての科学的概念を教授しうるかを授業達成の一つのメルクマールとして追及した。(男子については比較的たやすく興味を引かせる段階に達した。)これは81回の実践をもってしても、その完全な達成にまでは至っていないが、到達目標は遠い課題ではなく現実的に達成しうるものであることがわかってきた。しかし、後半、授業を受けた小学生の中に障害児が含まれていたが、その子にまで理解させられる教材には至っておらず、これらは課題として残されている。

今回の授業実践には、通常の学校での授業実践とは異なるいくつかの特徴点がある。

- (1) まず同じテーマにかかわることを繰り返し多人数に実践することができたという点である。1人の教師が半年間程で電磁気学関係のテーマを3,000人以上の生徒に教えるという経験は少ないであろう。
- (2) また同じテーマを繰り返し扱えるため、この実践の中で両者の討論の結果、教材構成に絶えざる改良を加えていくことができた。

実践回数が多いため、教材構成の検討過程も記録に値するものとなった。

しかし、通常の授業実践と比較した場合、次のような問題も有している。

- (1) あくまで科学館としての行事であり、研究授業という性格をもつものではないこと。

科学館としての「授業」は、1時間で「電磁石」にかかわる教材に対する理解を促し、学校でのその後の展開への“つなぎ”としての役割を有するものである。「研究授業」ではないという性格のため、授業の総ての記録を詳細にとるには至らなかった。この点では、二人の討論もあくまでもテーマにかかわる科学館としての学校教育への貢献をいかに高めるかに重点を置いた。

- (2) また授業時間が1時間しか取れず、数時間分の枠があれば、もっと深められたであろうところが多々あるということである。

1時間しか枠がとれない、前後の脈絡抜きに扱わざるを得ない等の弱点があり、せめて数時間枠あれば、もっと深く展開できるところをあえて1時間で追及したため問題点も多かった。

今回の授業実践は、このような特殊性を有しながらも、後述する「電磁石」についての理解を深めるべく不断に改良を努める経緯をたどりながら、有元は実験装置を数多く試作した。このような実践を踏まえて小学校高学年に電磁石を含めての“電磁気学入門”とでも言えるテーマを、より多くの子どもたちにおもしろく、分かり易く教えていく教材構成に一定のめどが出来たので、今回、そこに至る経緯を含めて整理し発表することとした。

今回の授業実践での〈最終到達教材〉

——数回の改良の経緯を経て最終的に到達した教材構成——

§ 1 全体の構成は次の通りである。

- ①磁石と電気は関係あるだろうか。
- ②実験：コイルの中で磁石が踊る！
- ③コイルの中で何かが起こっている？
- ④実験：離れている二つのコイルの間を音楽が伝わる。
- ⑤コイルの周りでも何かが起こっている。
- ⑥お話：異常空間。
- ⑦お話：ラジオ、テレビ。
- ⑧永久磁石の周りにも異常空間。

§ 2 教材構成と各教材の意図

①磁石と電気は関係あるだろうか。

【実験】

- (1)永久磁石（棒磁石）の両端に豆電球をつなぐと、つくかどうか。
- (2)コイルの中で磁石を動かし、豆電球をつける。（磁石を使って電気を起こす）
- (3)そのコイルに電流を流すとどうなるか。（電気で磁石をつくる）

*子どもは磁石と電気のかかわりを素朴なイメージとしてもっているのので、まずそれから整理を行った。（(1)で「つく」という方にクラスで3～6人は挙手する。）

②実験：コイルの中で磁石が踊る！

大型空洞コイル（直径33cm長さ10cm）をアンプのスピーカー端子につなぎ、曲を流す。そのコイルの中にネオジム磁石を入れると曲に合わせて振動する。（後節参照）

③コイルの中で何かが起こっている？

*「さて、この（コイル）の中では何が起こっているのだろうか？」と発問してから発表、討論へと移る。

*この時、コイルを頭からかぶせる実験も行なう。

*ここでまず、内部空間を意識させる。

④実験：離れている二つのコイルの間に音楽が伝わる。

*②のように、コイルのアンプにつなぎ、音楽を流す。（この時、コイルに変動電流が流れる。）それに他のラジカセに接続しているコイルを近づける。すると、そちらから同じ音楽が聞

こえる。(後節参照)

⑤コイルの間でも何かが起こっている。

*「二つのコイルの間でも、何かが起こっているようですね。さて、何が起っているのでしょうか？」という発問を行う。

*ここで途中の空間を意識させる。変動している場を扱うことによって、何か伝わっているというイメージを抱かせることができる。

⑥お話し：異常空間

*まず「①電流が流れればその周りには異常空間ができるのです。その中にクリップや釘などを入ると、引き込まれましたね。」というような説明を行い、次のような展開につなげる。

*「②電流を変化させると異常空間もそれに合わせて "ウニョウニョ" と波打ちます。その中に磁石を入れると "ウニョウニョ" に合わせて磁石が踊ります。またコイルを入れると場の変動である "ウニョウニョ" の音を聞くことができましたね。」(←絵を板書する。)

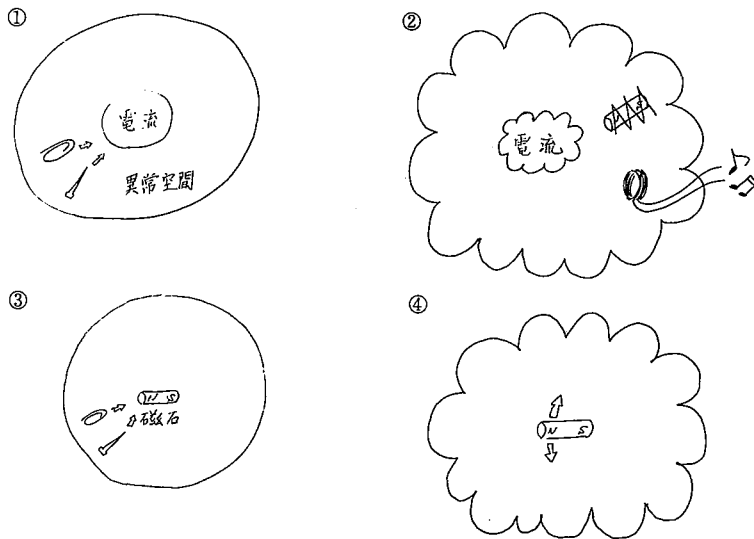


図1

⑦お話し：ラジオ、テレビ。

*「みんなのよく知っているものにも④の実験に似たようなものがありましたね。離れたところの音が聞こえたり、やっていることを見ることが出来るものがありましたね。」

ここでテレビ、ラジオも原理的には(実験④)と同じ(場の変動)である、というお話を挿入する。

⑧永久磁石の周りにも異常空間。

もともと鉄がくっつくといえ(永久)磁石がまず思いつくだろう。③、④電磁石とこの永久磁石は、まったく同じ作用をし、実は永久磁石の周りにも異常空間があるのである、という展開で終わる。磁石のまわりの「場」というのは、大変身近なもののように思われるが、それと電磁石のまわりの空間とを結びつけることを目的としている。

【実験】

磁石を振ると、やはりコイルに電流が生じ、アンプを通して "ウニョウニョ" の音が聞こ

える。

§ 3 実験装置について

①—(2)の実験について

- * 電気と磁石が関係あるということが直感的に分かる実験である。
- * コイルは、塩ビ管（アルニコ棒磁石の直径より少し太め）にホルマル線（直径1mm）を約600~700回巻いて（市販の1kgホルマル線を全部使用）つくった。磁石はアルニコ棒磁石をビニールテープで2本つないだものを使用した。これは動かす範囲を増やすためである。
- * 比較のため、鉄棒でも同じことを行う。当然、豆電球は点滅しない。

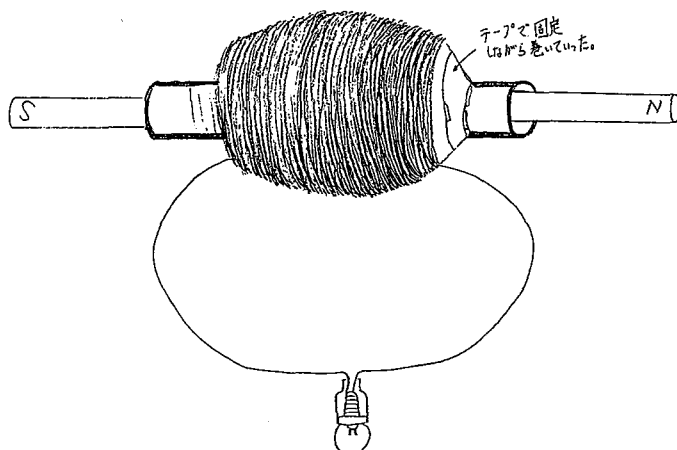


図2

①—(3)の電流を流したコイルにクリップをくっつける実験について

鉄芯がなくてもクリップなどをくっつけることが可能な電磁石をつくりだすのには苦労した。鉄芯入りコイルの鉄芯を抜いたもの（円筒状）ではこのような実験は出来ない。そこでまず用いたのは、強力電磁石に使われているものであった（1,000回巻き）。これに3A程度流すとコイルにクリップをくっつけることが出来るのだが、これでは綿テープに覆われていて線が巻かれているのがよく見えない。そのため「特別なもの」に見られては意味がない。困っていたときに、たまたま「何でもマイク、スピーカー」で作ったコイルがあった（0.5mm 60回巻き ドーナツ状に潰してある。）ので、これで試してみるとクリップをくっつけることができた。しかし、これだと60回巻きなので、たくさんの電流を必要とするためすぐに熱くなってしまう。そこで巻き数を130回にした。作り方は、まず単一電池に巻き、電池から取り外してテープで束ねた。

要するに、結果から見るならば「コロンプスの卵」なのだが、電磁石のコイルは「円筒状」より「ドーナツ状」に潰した方が効率が良いということである。

②コイルの中で磁石が踊る実験について

- * ここで使用した大型空洞コイルは、物などに巻かないで、ホルマル線のみを筒状に巻いたものである。（図3参照）

（このコイルを開発したいきさつについては、第2章で述べる。）

- * 実験方法

- 1) まずスピーカーから音が出ていることを確かめる。
- 2) スピーカーをはずし、そのかわりにまず豆電球をつないで点滅させ、音楽に合わせて電流が変動していることを確認する。

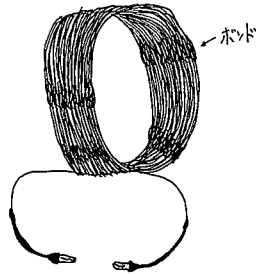


図3

スピーカーを一個はずし、かわりに豆電球(6.3ボルト用を使った。2.5ボルト用だとすぐに切れてしまう。)をつなぐ。ボリュームを上げて行くと、豆電球が曲に合わせて点滅する。(その際、そのままスピーカーと取り替えただけでは点滅しない。出力をもっと上げる必要がある。しかし、単にボリュームを上げると、スピーカーから出る音が大きくなり過ぎる。そこで、アンプの左右バランスつまみを豆電球がつながっている方へ回し、豆電球側へ多くの電流が流れるようにする。それからボリュームをあげてゆく。)

- 3) 豆電球を外し、大型コイルをつなぐ。中にネオジム磁石を入れると、曲にあわせて振動する。

* 「何でもスピーカー」のようにすることも出来たが、あえてしなかった。音に変えたりすると誤解を生む恐れもあり、かえってわかりにくくなるからである。

* ちなみにこの実験は、初めて興味関心を比較的示さなかった女生徒にも受けた実験であった。"キャーキャー" 言いながら振動している磁石に触っていた。

留意事項：この実験では、アンプのヒューズはすぐに切れてしまう。そこで、アンプが壊れるのを覚悟で、針金で直結した。

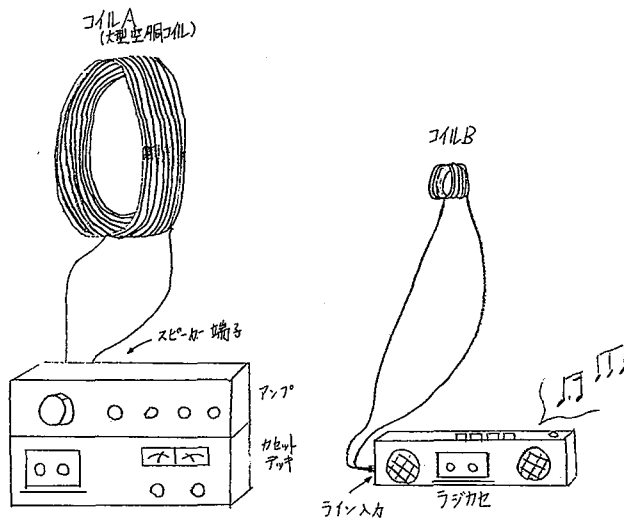


図4

④ 離れている二つのコイルの間を音楽が伝わる実験について (図4参照)

- 1) 実験②のように大型空洞コイル (コイル A とする) をアンプのスピーカー端子につなぐ。
- 2) 電磁石の実験 (実験①—(3)) で子ども達が用いたコイル (コイル B とする) をラジカセのライン入力 (マイク端子でもよい) につなぐ。
- 3) ラジカセのボリュームを上げると、コイル A 側の音楽と同じものが聞こえる。(電磁誘導によって)
- 4) コイル B をコイル A から近づけたり離したりすると、ラジカセの音が大きくなったり小さくなったりする。また、コイル B を離してゆき、どこまで聞こえるか試してみる。子どもたちはスピーカーに耳をあて、"まだ聞こえる、まだ…"と言いながら熱心に聞いている。教室の端から端まで程度 (約 5 m) は伝わる。
- 5) コイル A, B の間に板やプラ板などを入れる。人間でも試してみる。結果としては全部通ってしまう。遮蔽してみたかったのであるが、アルミホイルを用いても出来なかった (音が小さくなる。)

* 「なぜ近づけたら音が大きくなって、離すと小さくなるのか？」という発問をしてもおもしろかったかもしれない。

⑧ 永久磁石の周りの "ウニョウニョ" の音を聞いてみる。

- 1) 電磁石の実験 (実験①—(3)) で用いたコイルをカセットデッキのマイク端子につなぐ。カセットデッキのアウトプットレベルで増幅し、アンプのボリュームでも増幅する。アンプのマイク端子につなぐだけでも良いのだが、音の大きさは小さくなる。大きな音を出すために、カセットデッキも用いて二重に増幅をかけたのである。
- 2) コイルの前でアルニコ棒磁石を振る。すると、スピーカーから「ポッポッ」という音が出る。
- 3) 風だと思っている子がいる。そこで、コイルと磁石の間にノートや板などを挟んでも、やはり音がする。

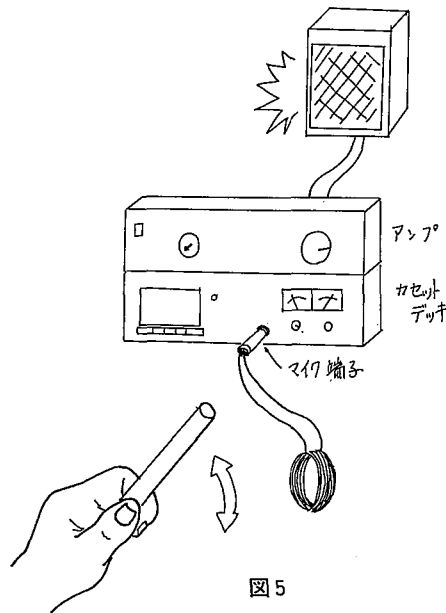


図5

§ 4 授業実践を行ってみて

*実験②での子どもの考えは、電線から――

(a) "電気が出ている、出方として、

+ビビビッーと真ん中へ向かって出ている。それがぶつかりあっているの、磁石が振動する

+中で反射して、飛び交っている

(b) "磁力が出ている、

(c) "電波が出ている、

といったものが出された。また、当然のことながら風、空気というのでも出された。

実験②だけであったが、やっと興味関心をしめしにくい子ども、とりわけ女子生徒の興味関心を引くようになった。

*実験④で遮蔽することが出来なかった。遮蔽できるからこそ「何かが波打って伝わっている」ことがはっきりするので、是非とも遮蔽したかった。この点では子どもも出来て、場の存在が確かめられる実験を開発することが課題として残されている。また、実験④では、②の実験の時のように電気、磁力、電波、また風、空気などがあげられた。面白いものとしては「内部で反射しているものが線と線の隙間から漏れ出て、それで伝わる」といった内部説発展型と言えるようなものがあつた。

*最初に電磁石をやるが故に、子どもたちは「何か(場)がある」ということより、「磁力」という結局よく分からない遠隔作用的な「力」で説明しようとしてしまう。(子どもは「磁石は磁力というものをもっている」とストレートに、なんの疑いもなく思っているの、最初から近接作用に基づく「場」そのものから導入すれば良いと考える。まず「場」の存在を実感させ、その後に静的な遠隔作用の問題を扱えばよいわけである。

*発展課題としてだが、電流の周りの空間と磁石の周りの空間の統一を行いたい。マイクロレベル、つまり電子の運動から見れば可能であると思うからである。

この授業を一通り終えた後でこのような質問をした子がいた。

「磁石の周りにも電流の周りにも同じ異常空間ができるのなら、ひょっとしたら磁石の中でも電流があるのではないか？」

この時、その子どもとその周りにいた子どもたちに以下のような説明を行った。

(a)電流とは目に見えない小さな粒(電気の粒――電子)の流れである。コイルの線の中ではその「電気の粒」が動いて流れているのである。

(b)永久磁石の中でもその電気の粒がぐるぐる回って動いている。(原子核の周りを電子が回っている。原子はそれ自身、磁性をもっているのである。永久磁石では電子の回転方向が揃っているの、それが足し合わされて現れるのである。その他の物質ではそれらが打ち消しあって、現れてこないのである。このように考えると、電磁石(コイル)は永久磁石の中でおこっていることを模式的に表したものであるといえる。)

(c)どちらも電気の粒が動いている。動いている電気の粒の周りには異常空間ができるのである。

話のみであったので十分ではないが、これを聞き子どもたちはある程度は納得したようであった。子どもはこうしたことを直感的に見抜いたのである。子どもの知的好奇心はまだ高く、この段階の授業でもまだそれに十分応えていないといえる。まだ不十分であるが、マイクロレベルからの説明が可能なのではないだろうか。

教材の改良の経緯

教材構成は、実験・教具の改良を含め二人の討論によって、まずいと思われる点を不断に改良していくという筋道をたどって作り上げて行った。構成の仕方については倉賀野も相談にのったが、特に実験・教具の開発・改良は有元が精力的に推し進めた。

通常は、そのような経過をたどった上での最終到達教材だけを実験・教具とともに理論的視点を加えて報告すべきであろうが、今回は、改良の経過そのものも詳しく報告することとした。この過程は、前章の最終到達教材の構成が、より良いものにしていきたいという追及過程の到達点であるとともに、その背後には、子どもらがわかりにくい・おもしろくないとして我々に不断の教材改革を迫った記録でもあると考えるからである。我々の、「このように構成すれば」という考えは、授業実践のなかで不断につき返され、二人の討論が立ち往生することもしばしばであった。このような経過そのものを報告することも、今回の実践にとっては意味があると考える。また、今回の論文には、この改良経過途上において使用した実験・教具も掲載しておく。最終到達教材からは抜けている実験等もあるが、1時間を越えた枠が設定された場合、構成の仕方によっては意味をもってくるであろうと考えるからである。

改良の経過を、いくつかの段階として区分するならば次のようになる。

《教材開発の段階区分》

- (A)電気力学的展開の段階
 - (B)電気力学の実験の工夫・開発段階
 - (C)コイルの内部空間（電磁場）の意識的展開の段階
 - (D)電気力学的視点と電磁場としてのコイル内部空間との統一の模索段階
 - (E)《最終到達教材》：発想法の転換の段階——電磁石からでなく電磁誘導からの展開へ
- 以下、それぞれの段階について述べていこう。

(A) 電気力学的展開の段階

§ 1 この段階でのねらい

最初は単一電線ループにこだわり、電気（運動電気）そのものが磁気現象を有していること
の理解をねらった。電磁石というテーマにこだわり、電気力学的視点から論理構成を重視して
教材案を作成した。全体の構成は次の通りである。

- ①鉄芯入りコイル。
- ②一本ループ：「これでも磁石になるでしょうか？」
- ③アンペールの実験
- ④強力電磁石

§ 2 教材構成と各教材の意図

①鉄芯入りコイル

一般に扱われている、鉄釘にエナメル線を巻いたものである。電流を流すと磁石になる。

②一本ループ：「これでも磁石になるでしょうか？」

この段階の授業のねらいをストレートに表現し、中核となる実験であった。電磁石といえ

100回も200回も巻かなくては出来ないものであると思っている子供にとっては「えっ!？」と意外に思うものであり、その考えを壊すことを意図した。

③アンペールの実験

アンペールが行った実験を再現したものである。まるく曲げた銅線を自由に回転できるようにするし、これに電流を通した時、銅線がN-Sの方向を向くというものである。

④強力磁石

電池一個で人がぶらさがっても離れない電磁石である。巻くことによって一本ループが足し合わされて強くなる、ということを示す実験であるが、このことについては教科書でも扱われているので、ここでは簡単に話す程度にした。(実験装置は市販のものを使用)

§3 実験装置について

②一本ループの実験について

1) 銅線(直径1.5mm)で輪(直径約30cm)をつくり、電池ボックスと豆電球をつなぐ。輪の真ん中あたりを折り曲げ、支点をつくる。

2) スタンドの平らな部分にループを「やじろべい」のように置き、磁石(強い方が良い。今回はアルニコ棒磁石を用いた。)を近づける。

* 留意点: 磁石の微妙な当て方の違いで動きが変わってくるので、子どもが混乱してしまうのが欠点である。後になって、豆電球を取り除きショート回路にしたがダメであった。

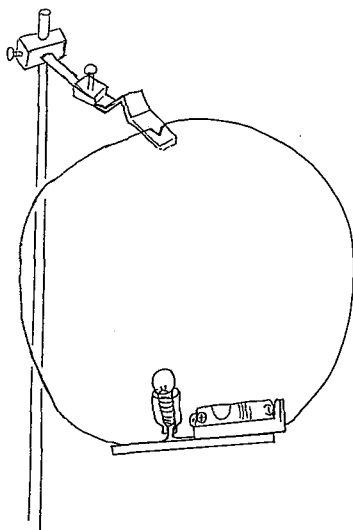


図6

③アンペールの実験装置について

1) ビニール被覆銅線(銅線の直径約1.5mm)を輪にする。両端は下図のように束ねる。一方の端は図のように曲げ、もう一方は先を尖らせるように切る。

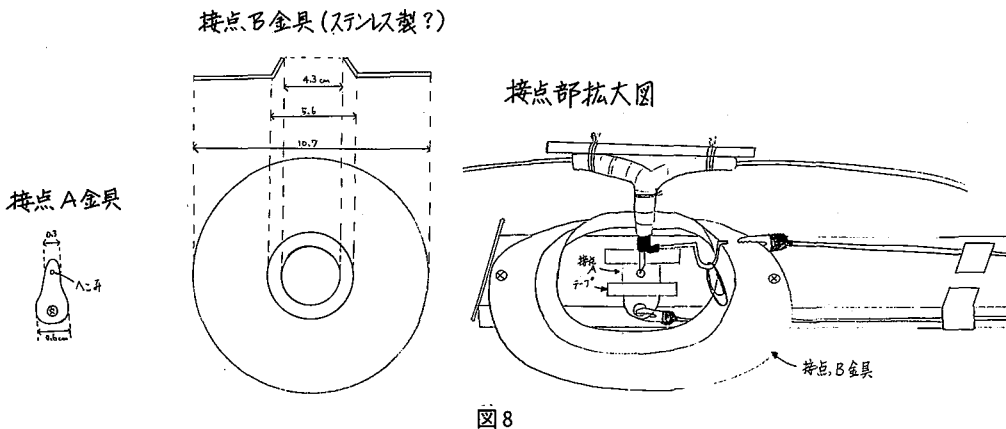
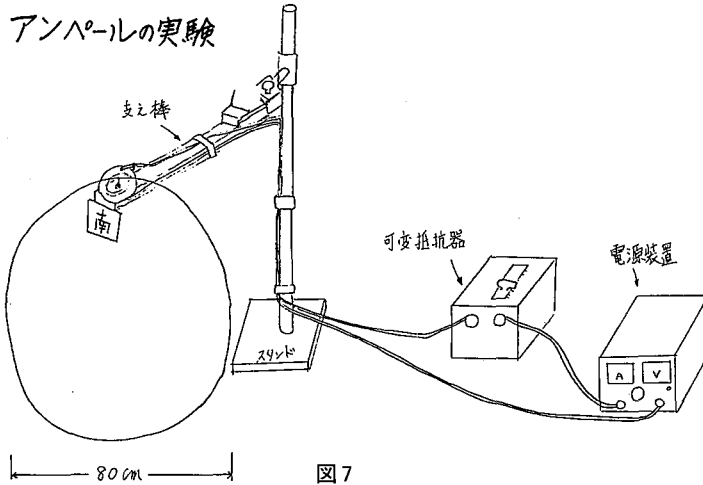
2) 電流を流すと熱くなり、束ねているビニールテープが弱くなるため、割り箸と針金で補強しておく。

3) 接点の金具は次のようなものを用いた。

(接点A): 「額縁裏止め用の金具」である。ちょうどへこみがあって良い。

(接点B): 下図のような、斜面がある円形のものである。

- 4) 尖った端を接点 A のへこみに乗せ、曲がりにクリップをかけ接点 B 金具の斜面に垂らす。
接続は下図の通りで、南北がわかるように支え棒を南北に合わせる。
- 5) 輪を南北からずらした所にセットし、電流を 4~7 A 流す。
- 6) 接点から火花を出しながらゆっくり回転し、輪の面が南北を指す。(電圧は高めにした方がよい。5 アンペア, 10 ボルト。低いと接点で通電しにくくなる場合がある。子どもには火花が出るので近寄らせない方がよい。)



§ 4 授業実践を行ってみて

結果としては②の「これでも磁石になるか。」という質問に対し、「キョトン」としてしまい、こちらが考えた程の反応はあまり見られなかった。もともと、子どもたちは電磁石については白紙の状態であるため、この質問はあまりにも思考上で飛躍がありすぎたのである。

電気力学的視点の強調は、電磁石についてある程度知っている教師にとっては意外なことであり、熱心に磁石をループに近づけている姿が見られたが、結果的には子どもの理解を引き起こすものとはならなかった。この段階の構成には、単一ループを問題にするという課題意識が子どもの側に存在しなかったという弱点があったわけである。

また、実験自体も地味であり、微妙な加減で動いたり動かなかったり、反発したり引き合ったりが変わったりした。子どもにとって、磁石と言えばストレートに「N, S」をイメージする

ので、それがはっきりしないため分かりにくかったようである。さらに、多くの子がN, Sと+, -を混同しているため、無用な混乱も生じていた。赤, 青という色付けによる混同もあるようである。

しかし、この段階では実験・教具としては前述の巨大なアンペール実験装置を開発することが出来たし、その後の改良の足がかりとなる実験装置の開発に着手した。

この段階の二人の討論の過程では子どもは白紙状態なのだから、いきなり一本線から入っていったら、という案も出されたが、今回の実践が電磁石の指導を主な目的とするというねらいからそこまでは踏み込まなかった。

(B) 電気力学の実験の工夫・開発段階

§ 1 この段階でのねらい

この段階では、前の段階と趣旨は同じであったが、「鉄が磁石になることによって電磁石になる」というイメージを脱却させるべく、鉄以外の異質なものに巻くことによって電磁石となることを確かめていく実験を意図的に多く導入した。その際、あえて意外性を持つものを導入した。例えばチクワ、人間(腕)、ニンジン等々である。しかし、生ものであるということから実現し得なかったものもある。

- ①鉄芯入り電磁石 (前の段階と同じ実験)。
- ②何にでも電線を巻いて電流を流してみよう。
- ③空洞コイルに電流を流すと？
- ④一本ループ (前の段階と同じ実験)。
- ⑤強力電磁石。

§ 2 教材構成と各教材の意図

①鉄芯入り電磁石 (前の段階と同じ実験)。

②何にでも電線を巻いて電流を流してみよう。

前段階での、いきなり一本線に行くことによる飛躍を埋めるため、鉄以外のいろいろなものにも巻いてみることにした。しかも、なるべく理科の実験には場違いなものをもって来て「アッ」と思わせることにした。そこで、巻く対象としてはニンジン、そうめん、スリッパ、キュウリ、パンを用意した。また、人間の腕にも巻いてみた。『発問』としては「鉄の釘に巻いたものは磁石になりました。さて、ではこのニンジンに巻いたコイルは磁石になるのでしょうか。」を行い、挙手、発表、討論へとつなげた。

③空洞コイルに電流を流すと？

ものに巻いたものと一本ループとの間のステップとして、この実験を行った。鉄などの中身がなくても電磁石になることを確認する実験である。

④一本ループ (前の段階と同じ実験)。

⑤強力電磁石 (前の段階と同じ実験)。

§ 3 実験装置について

③空洞コイルについて

透明アクリルパイプを使用すると、それ自身が「空洞」ではなくなってしまうことを配慮し

ホルマル線のみを筒状に巻いたものを制作した。製作方法は、まず、筒状になってビニールに包まれているかまぼこにホルマル線(直径1mm)を巻き、ボンドで固める。次に中のかまぼこを掘り出し、ビニールを取り除いて作った。なぜ、このような一見面倒な方法を採用したかというと、単に筒などにそのまま巻くと取り外すときに非常に外しにくく、バラけてしまうからである。また、本当に何も入っていないという状態を再現したかったこともあるが、中には接着に使用した「ボンド」にもこだわる子どももいた程であった。

§ 4 実践を行ってみて

②何にでも巻いてみよう、について。

「何をバカな事を」と思われた節もあるが、子ども達には場違いな物もってきた事で「アッ」と思わせる結果となった。結構活発な討論もなされ、一定の効果を発揮したといえる。しかし興味関心のない生徒、特に女子生徒にはまだ惹き付けるものとはならなかった。これをどのように克服していくのかは、その後の展開の課題となった。

この〈何にでも巻いてみよう〉の所で出て来た子どもの考えについて二、三紹介しておこう。

(a) ニンジン

「なる」という子の理由としては、「鉄分がふくまれるから」・「水分があるから」・「電気を通すから」・「ニンジンの中に細長い芯が入っている」・「前にレモンで電池をつくるのを見たことがある。だからニンジンでも電気が通る」・「銅線が電気を通すから」といったものが出された。

一方、「ならない」と言う子の理由としては、「ニンジンは電気を通さないから」・「野菜だから」・「磁石につかないから」・「鉄が入っていないから」といったものであった。

(b) そうめん

「なる」と思ったのは「ニンジンもなったから」という考えが多かった。また、「縦に揃っているから」という考えもあった。

しかしニンジンと比較し「なる」と思う子の数は減少する。それは「水分がないから」・「鉄分がないから」によるものである。また、おもしろいものとしては「ニンジンはギュッとつまっているが、そうめんはすきまが空いているからならない」という考えも出て来た。

(c) スリッパ

「ならない」と言う子どもの理由としては、「乾いているから」・「ビニールは電気を通さないから」・「水分がないから」といったものが出された。

「なる」という理由は「ニンジンもなったから」・「銅線に電気が通るから」といったものであった。

③空洞コイルについて

「ならないと思う」子どもの考えとしては、「電気を通すものがない」・「磁力を通すものがない」・「NSができる所がない」といったものが出来た。また、大きさにこだわり、「大きいからならない」という子どももいた。

特に、「鉄釘入りコイルではクリップはコイルにくっついたのではなく、釘にくっついてた。今度にくっつくものがないからならない。」という意見は強力であり、これを聞いて「ならない」という方へ移っていく子も見られた。

一方、「なる」と言う子の考えとしては、「銅線に電気が流れているから」・「コイルさえあればいい」といったものが出された。また、「中(内部空間)に電気が流れ込んでなる」・「空気が

あるから」といったのも出てきた。

実験の結果、磁石になっているのを見たとき、多くの子ども達は「ワーッ」と一斉に声をあげる。「なる」と言った子ども達にとっても結果はやはり驚きなのである。

この事実は子ども達の考えとは矛盾する。電気や磁力を伝えるべきものが無いからである。しかし、子どもは子どもなりに、この矛盾をなんとか解決しようとする。ここにおいて、「中で何か起こっているはず」・「中に何かあるはず」と、空洞の内部空間を強く意識するようになるのである。

④一本ループ（アンペール実験も含めて）

この時点ではもはや、子どもの最大の関心事はコイルの「内部」である。一本ループそのものには、この流れ上では関心を示さなかった。強引にそちらへもって行く事は、せっかくの子どもに興味を無理やり押さえてしまい、結局関心をそぐこととなる。改良過程では、その後も単一ループにこだわるかどうかは大きな問題となった。

この電気力学的構成の大筋は変更しないで手直しをしていく過程で、二人は電磁石の内部空間の問い直しの必要性に迫られる結果となった。この内部空間を問題にする視角が、最終的に「電磁場」そのものの存在を確認する『電磁気学入門の教材』の中に、電磁石を組み込んでいくべきことを我々に要求してくることとなる。

(C) コイルの内部空間（電磁場）の意識的展開の段階

§ 1 この段階でのねらい

子どもの「線から何かが出ている」というイメージ自体は、ある意味では実体の一面を反映しており、本質的でもあると我々は判断した。せっかく子どもはそうしたイメージをもっているのだから、何とかそれを否定しないで、より高次の段階へ膨らませていけないだろうかと考えた。

後に我々は、子どもが内部空間を問題とした後に、その延長として外部の「場」を考えていくことを知るようになった。囲まれているものの空間概念を形成した上で、それを普遍化していくことは当然と言えば、当然のことであろうが、子どもの認識の順序はこのようになっていたわけである。この段階の教材構成は次の通りである。

- ①鉄芯入りコルク（前の段階と同じ実験）。
- ②何にでも巻いてみよう（前の段階と同じ実験）。
- ③空洞コイル（大型のものに改良：後節参照）での実験。
- ④電磁石になっている鉄芯入りコイルの鉄芯、コイルを巻いたエンジンの両端に豆電球をつなぐとつくかどうか。
- ⑤お話し：異常空間。
- ⑥コイルの周りに方位磁針を並べ、「スイッチを入れると、どういう順番で動き始めるでしょうか？」と発問した上での実験。
- ⑦一本ループの実験（前の段階と同じ実験）。

§ 2 教材構成と各教材の意図。

- ①鉄芯入りコイル（前の段階と同じ実験）。

②何にでも巻いてみよう（前の段階と同じ実験）。

③空洞コイル（大型のものに改良：後節参照）での実験。

前段階では単に一本ループまでの一過程だったのであるが、ここでは子どもの抱く内部空間のイメージを引き出すための重要な実験となった。そのため装置も大きなものに改良することとなる。ここでは「中に何もなくても磁石になりました。では一体、この中（空洞コイルの内部空間）はどうなっているのでしょうか。」という発問をし、また、実験としては、次の二つを行い内部空間に目を向けさせることに努力した。

1) 大型コイルの中に棒磁石を糸につるしたものを入れ、スイッチをONにする。棒磁石は激しく向きを変え、跳ねまわる。

2) コイルを子どもの頭からかぶせる。電気は出ていない事を確かめる。

④電磁石になっている鉄芯入りコイルの鉄芯、コイルを巻いたエンジンの両端に豆電球をつなぐとつくかどうか。

「何にでも巻いてみよう」の時に、多くの子どもが「巻いている中身に電気が流れて磁石になる」と思っていた。教師の「なるか、ならないか」という問いに対し、「通す、通さない」と言うて反応しているので、ここではあえて教材段階として位置づけた。

⑤お話し：異常空間

内部空間そのものについての説明は、「お話し」として扱うのみとした。

「実は、電流を通すとコイルの中に異常空間（電磁場のこと）ができるのです。それで磁石が反応したり、鉄を引き付けたりするのです。だから、磁石になる、ならないという事でいうと（あえて意識して）、巻いている中身は関係ないのです。」

*④、⑤はケースによって適宜入れ換えた。

⑥コイルの周りに方位磁針を並べ、スイッチを入れると、どういう順番で動き始めるでしょうかを問う。選択肢としては、次のようなものを用いた。その後実験を行った。

ア、近くから イ、遠くから ウ、中ほどから

エ、全部同時 オ、その他

この問題・実験は異常空間が「ワープ」と広がって行くというイメージ化を図るために行なった。

⑦一本ループの実験

実験自体は今までのと同じであるが、前の段階のものとは位置付けが変わってくる。たった一本の線と一個の電池だけでも、同じように異常空間ができていることの確認として行なうこととなる。

§ 3 実験装置について

③空洞コイルについて

前出（1章）の大型空洞コイル（直径33cm、長さ10cm）は、この段階で開発したものである。これは子ども達の豊富なイメージを引き出す立役者となった。

【製作方法】

1) 丸椅子にダンボール紙を巻き、それにホルマル線（直径1mm）を巻く（市販の1kg巻きを全部使用）。ずり落ちないように画鋲をさして支えた。

2) 数箇所をボンドをベトリぬって固める。よく乾くまで待つ。

3) 乾いたら、まず中の丸椅子を抜き取る。ダンボールとコイルはボンドでくっついている。

壊さないようにはがして取る。

4) 弱そうなところはボンドで補強する。

⑥電磁場変動の伝播の様子をイメージ化する実験。

電磁場変動の伝播は光速度で広がるので、実際に近くから順番に動き始めるのが見えるということはない。(近くの方が激しく動くので、「やっぱり近くからだ」という子も多いが。)この実験は当初からイメージを問うものとして位置づけており、授業では、「実験では全部同時に「見えました、ね。しかし実際はというと、やはり近くから動き始めているのです。でも異常空間が広がるスピードは光の速さなのです。だから実験では全部同時に見えたんです。」という説明を行った。

§ 4 授業実践を行ってみて

③内部空間について

授業では、子どもたちに自由に発表させ、前に来て身振り、手振りで説明させた。ここでは内部空間の問いに対する子どもの発想、イメージを図示して紹介しておこう。

1) 「電気」が線から染み出ている。

「電線から染み出る、流れ出る」というような考えが最も多かった。「ではどう出ているか」というものには、次のようなパターンがあった。

(a) 「ワーッ」と一斉に線から染み出す。そして出たやつが中心でぶつかってケンカをする。だからつるした磁石がはげしく動く。

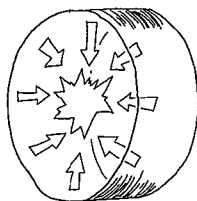


図 9

(b) 中で「うず」を巻いて、回っている。

*線の近くを線にそって回っている。だからかぶっても感電しない、といった子もいた。(強固な電気説となる。)

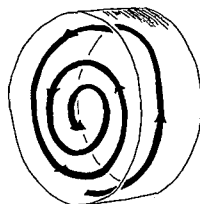


図 10

(c) 反射している。

*コイルは筒状だから反射できるので、磁石になる。ところが一本ループでは、出たやつが反射できないので磁石にならない、といった子もいた。

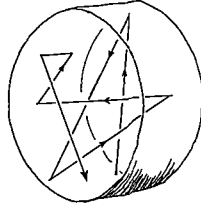


図 11

*留意事項：少数ながら「電気がコイルの線に滞って磁石になる」という説もあった。その中には、線がバラけないように止めてあるテープ・ボンドの所に溜まっているという子もいた。また、逆にそこに溜まってしまふからならないという点に着目する子どももいた。

そのため、なるべく子どもを本質外のところで惑わさないようにするため、コイルは何かに巻いたり、きれいにつくったり、ということはあるしなかった。

2) 磁石になっている：磁力が出ている。

(a) 磁力が染みでる——「ワッ」と出ている。(電気の場合と同じ感じで)

(b) 壁のようになっている。(硬いイメージをもっているのであろうか、わりとよく出る発想であった。)

(c) 内部が磁石になっている、というような説もあった。また、下図のように半分・半分で磁石になっている、というものもあった。

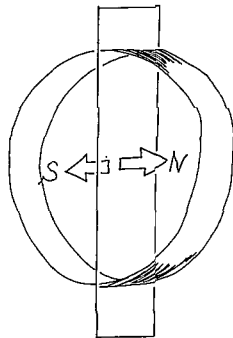


図 12

*ここでは長さの違いが問題となる。長い方でNSが出来る。

(d) NSが幕のようになっている——幕を張っている。

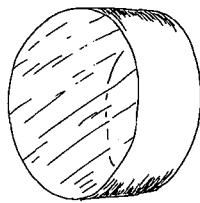


図 13

3) 電波・電磁波が出ている。

*意味は知らないが言葉だけ知っているようである。

③大型空洞コイルを「人間にかぶせる」実験について

やはり「人間」をつかうと、興味関心を引き起こすことができた。内部に電流が流れていな

いことを直接に確認することができた。本当は、もっと大きく長くして、人間がすっぽり入ってしまうようなものを作りたかったが、そこまでは試作出来なかった。

また、ある学級でたまたま、コイルに入った生徒が「ビリビリ来る」といって、希ではあるがその後の授業展開がうまく行かなかったことがあったが、内部を問題とするには有効な教具と言える。

④電磁石の「芯」に電流が流れるかどうかについての実験について

ほとんどの子供が豆電球は「つく」と思っている。豆電球がつかないことは非常に驚きであったようである。

⑥スイッチを入れるとどの順番で動きはじめるか、について

やはり、アの「近くから」が多い。続いてエ（全部同時）、イ（遠くから）、中には少数ながらウ（中ほどから）もいた。その理由は「ちょうどバランスよく力が集まる中ほどから動き始める」というものであった。

この段階に来て、ものに「巻く」ということが障害となってきた。ものに巻くがゆえに「中に電流が流れ出て……」といった誤解が生じるのである。そのため、それを解消するための実験をしなければならない、という二度手間をすることになる。「巻く」ということは電磁石にとって非本質的なことである。子どもは白紙状態なのだから、わざわざものに巻く必要はないわけで、ここでも「一本ループから」ということが二人の討論の中では話題に上った。しかし、これには次のような克服しなければならない問題があった。

*鉄芯がないと磁力が弱くて面白くない。

*相変わらず一本ループの実験は興味関心を引き起こさない。

*巻くステップがあったからこそ「内部空間」を意識させることが出来た。無くしたらどのようにしてそうするか。

また、その後の展開はどうするか、という不安が大きかったため、やってみたかったが、以上のような理由から結局は実現しなかった。

(D) 電気力学的視点と電磁場としてのコイルの内部空間との統一の模索段階

§ 1 この段階のねらい

コイルの内部空間に、電気もしくは電気の「波」が流れているのではないかという考え方で、電気力学的視点とをどのようにうまく統一していくかに大変悩まされた。この段階で、二人とも電磁石からのという視点の角度を変えて、電磁誘導といった「電磁場」を直接扱う視角から考察すべきであると感じるようになってきた。この段階は考察のみで終わった。

§ 2 考察のみされた実験。

①透明プラスチックの筒の中が見えるように線を巻き、棒磁石を吊し、スイッチを on, off し、動くのを子ども達自身でやってみて、「場」の変動を直接確かめる実験として考察した。（結果としては同じ内容を繰り返すだけなので行わなかった。）

②コイルを中心に置いた板の上に小さな方位磁針をたくさん並べる。

ワサワサと動きだして、何かが広まって起こっているというイメージをもたせようと考えたが、うまくそのイメージが表現できそうになかったので中止した。

③コイルに交流を流して電波を発生させ、遠くまで飛ばす。

「何かが出ている」ということを明確にするために、受信器で遠くでもひろうことができ、金

属板を近づけると感電するほどの電流が発生し、また、金属板で遮蔽もできるような実験も考案してみた。実験装置でだいたい100 Vまでかけてみたが、結果としては全く予想外れであった。受信器で1 m 強離して1 A ぐらいの電流が発生したが、それ以上離すと急激に低下してしまった。逆に金属板で遮蔽しようとしても、今度はアンペア数は落ちるが伝わってしまうという状況であった。またコイルに手を入れても何も感じなかった。オシロスコープを使えば結構距離を離しても出るはずだが、大がかりでよくわからないものは使いたくなかったので、この実験も立ち消えとなった。

(E) 発想法の転換の段階：電磁石からではなく電磁誘導からの展開へ

この転換段階は、電磁石を本質的に理解させるためには「電磁場」の实在性そのものにまず着目することが必要であるという結論に達した段階である。倉賀野も、高校電磁気学段階では、「場」の変動論から導入・展開されるべきことであることを主張としていたが、小学校のこの段階における電磁石指導において、その基本認識に到達すべきであることは意識してはいなかった。

発想法を完全に転換することによって、今回の授業実践における《最終到達教材》段階（第1章）に立ち至ったわけである。この段階における教材構成については前に述べたので、教材の理論的背景について次章以降で述べることとしよう。

《最終到達教材》の理論的背景

(A) 《電磁気学の論理構造》をどのように考えるか？

最初に古典電磁気学の基本の方程式から確認していこう。理論編を展開することが本稿の目的ではないので、詳しくは高村泰雄編著『物理教授法の研究』（北大図書刊行会 1987 年）を参考にさせていただきたい。電磁気学（古典の範囲）には、3つの基本方程式がある。それを箇条書きに整理すると、次のようになる。

(1) 電荷（2種類）のまわりには「電磁場」がある。

* 電荷が運動すると、まわりの電磁場は、変形したりするが、電磁場そのものは絶えず存在する。

* 電磁場は、現れ方によって「電場」と呼ばれたり、「磁場」と呼ばれたりすることがある。両方とも「電磁場」の一側面である。

(2) 電磁場には、電荷が急に加速・減速運動をすると、変動の波が生ずる。この波は電磁場を横波として伝わって行く。

* 伝わり方は、光速度で、電磁波と光は振動数の違いだけで同じものである。

* 電磁誘導は、1回パルスで生じた変動であり、連続的に変動を起こさせると、電磁波となって遠くまで波は伝わる。

* 波が伝わるということは「場」が慣性をもっていることを示している。

(3) 電磁場は、その中に置かれている電荷に作用を及ぼす。

* 電磁場に変動が生じている時には、当然作用を受ける電荷にも変動が生ずる。

* この作用（電磁的相互作用）は、電磁気力として観測される。

* 電磁気力は、現れ方によって「電気力」と呼ばれたり、「磁気力」と呼ぶことがある。両方とも「電磁気力」の一側面である。

(4) 以上のことは、『自己場』の展開として考察していくことができるが、そのような考察は物理量に無限大を生じさせ、古典電磁気学に「矛盾」が生じて来る。

以上のことを電子そのものの運動というマイクロレベルで考察すると、電磁場と、電磁場変動はまた、次のように解釈できる。

電磁場変動の発生は、電子等の荷電粒子の加速度運動による。この「加速度運動」とは、電子等が他の粒子と「相互作用」することによって生ずるものである。この「相互作用」の結果として「電磁場」に変動が発生し光速で伝播する。従って電子等が静止、もしくは等速度直線運動している時には、「場」の変動は生じない。しかし、静止、もしくは等速度直線運動している時でも、電子のまわりには「場」が存在している。

磁石の場合、電子の回転運動が関係してくる。電磁石の場合には原理的には、電子の回転による加速度運動のため、わずかながら電磁波が発生する。(磁石の場合には電子の軌道運動に関係するため変動波は、そのままでは起こらない。)電線の電流が変化することは、即ち中を流れている電子が加速(減速を含めて)されることであり、場の変動が生ずる。磁石を加速度運動させても、そもそも磁石そのものが電子等から構成されているのであるから、当然、変動の波が場に発生する。

「加速度運動」とは、「相互作用」による結果であるから、「相互作用」の変動があれば現象的には加速度運動とは見えなくても場に「変動」が発生することになる。例えば、磁場中を電線が等速度で運動する場合、もしくは電線のそばを磁石が等速度で運動する場合、磁石と電線内部の電子等との「相互作用」は変化する。故に場に「変動」が発生する。(この時、変化を打ち消す方向で変動が発生する。このことは場まで含めた保存法則が存在することを暗示している。)

このような「論理構造」に基づく「場」の考え方は、他のあらゆる「場」(例えば重力場)にも適用できる。その場合には基本的な方程式は次のようなものになる。

(1)重力場を質量が生み出す。(質量が運動すれば、重力場も変わる)

(2)重力波が生ずる。(光速で伝わる)

(3)重力場は質量に作用を及ぼす。

しかし、重力場は電磁場と異なる面も持っている。重力場が重力場を生ずることに留意しておく必要がある。

(B) 《電磁気学》の教材構成

古典力学の3つの法則は、次のような「論理構造」においてとらえることができる。

+0:現象としての「衝突」

+1:「衝突」規定=第1法則(慣性の法則)

+2:「相互作用」の定式化=第2法則(運動方程式)

+3:「衝突」の理論的再構成=第3法則(作用・反作用の法則)

これを、そのまま電磁気学に「転用」して、次のような教材構成の段階を設定する。ここでは「相互作用」や「力」についての科学の全体について、科学教育順序の『同型性』が存在するものとするわけである。今回の教材構成も最終到達段階では、この立場に結果的に基づくこととなった。

まず最初に全体の教材構成の「構成」を図式的に示すと次のようになる。

§ 0 “相互作用”、 電子~~~~~他方の電子
 (結果として加速運動) (やがて変動してくる)
 《“変動の伝播”を媒介としての「場」概念の抽出》

§ 2 定常状態 (静的な場) : 上図からの抽象
 《「相互作用」を作用・被作用の二項に分離して把握》
 電子————→他方の電子
 電磁場の存在 場から作用を受ける
 (「場」の方程式) (運動方程式)

§ 3 動的な「相互作用」の全体像の理論的再構成

- (§ 0) 素朴 “電磁的衝突”に基づく「場」の変動・作用を現象論とする。
 * 変動の発生に基づく「場」存在の直接的確認。
 * 変動の伝播による「電磁場」概念の抽出。
- (§ 1) 電磁気現象をどのような枠組でとらえるか？
 * 「衝突」を規定する時空構造の決定 (力学の転用で電磁気学では意識されない。これを意識化すると相対論につながる。)
- (§ 2) 「相互作用」の定式化：場・作用概念の論理的構成
 * 変動の伝播によって、作用・被作用概念を抽出。
 * 「相互作用」の二項の分離：作用を受ける方と、作用を生み出す方とを分離して把握する。
 (運動方程式と場の方程式)
- (§ 3) “電磁的衝突”の理論的再構成
 * 「場」の変動・伝播の理論的定式化
 * 「相互作用」の全体像の把握

これらは概括して述べるならば、まず変動状態での「場」の実在性を把握し、そこから静的な「場」の存在の把握へと移行する、ということになる。この段階では電磁誘導も電磁波も、電磁場に生じた「波」として統一的にとらえられる。

小学校段階では、電磁誘導・電磁波は難しいと思われがちであるが、われわれの実践では、その動的な「場」から導入した方が分かり易いという結論に達した。しかる後に定常状態・静的な「場」、「力」を導入すれば、高校段階までの定量的展開を除く基本的なイメージを小学校段階で教授することは可能となろう。

小学生のための「電磁場入門」教材のプラン

今までの教材は、1時間枠という中で考察してきたものであった。最後に、もし、この枠を越えての展開が許されるならどのように構成しうるかを述べておきたい。つまり、時間枠を越えて展開しうるものとしたら、小学校高学年段階においてどのような教材を組むことによって「電磁気学」の入門を果たし得ると考えるか、ということである。

これから以降は従って実践にかけられたプランではない。プランを具体化するにあたっては小学校高学年を想定したが、中学校・高校でも使用できるだろう。その場合には、もう少し内

容に立ち入った展開が必要となろう。しかし、基本的な考え方は尽くされていると考える。

《教材プラン：小学生のための『電磁場入門』

——「場」の「波音」を聞こう！——》

全体の構成・素案

(0)音を伝える。

*糸電話・針金電話等を使用して、媒体物があれば音が伝わることを確認する。

*鉄・棒や、ゴボウ等の変ったものを使用すると面白い。

*音が伝わるのは、媒体物がありそれが振動しているのだ、ということを確認する。

(1)コイルをアンプに接続し、音楽を流し他のカセットのイヤホン端子に接続したコイルで音楽を聞く。(前掲実験)

*まず、音楽が流れていることを確認する必要がある。

*次にアンプから音楽に合わせて電流が流れていることを豆電球などに接続して確認する。

*その次にコイルに接続し、他のコイルで音楽をひろう。電磁誘導によって音楽を伝えるわけであるが、この段階では「電磁誘導」という言葉を導入するのではなく、空間を通して何か伝わってくることに着目する。

(2)伝わることを実感しよう！

*アンプからコイルに音楽を流している状態で、ネオジウム等の磁石を手にもって近づける。

磁石は音楽に合わせて振動する。(前掲実験)

*糸電話・針金電話の時のように、音を伝える何か振動していることを確認する。

*この段階で、コイルのまわりの空間としての「電磁場」を導入する。

(余裕があればやりたい、クリスタルイヤホンを使用する実験)

時間があれば、各人で実験ができるものも扱った方がよいだろう。

+コイルに電池を接続し、スイッチをon, offさせる。この時生ずる電磁場の「さざ波」もクリスタルイヤホンを使用すれば耳で聞くことができる。

+また(1)の実験で電磁誘導で伝わって来る音楽も直接聞くことができる。

(3)変動が伝わっているコイルの間に、いろいろなものを入れて音をささげることができるかどうかを実験をしてみる。

その際、子どもの思い付きのもので試してみる。例えば紙、プラスチック、金属等。しかし必ず「人間」は行ってみたい。

(4)お話：異常空間(場)の変動

*糸電話と同じように説明する。

コップの振動→糸の振動→コップの振動

電流の振動→場の振動→電流の変動

*その際、「場」の変動が電線内部の電子を揺り動かして電流を発生させるというイメージを提出していく必要がある。

*そのためには、良い実体モデルを開発する必要があるだろう。

(5)電磁誘導から「電磁波へ」へ

コイルに変動する電流を流すと、まわりの異常空間である電磁場に変動の波が生じた。電流というのは、もともと電子の流れなので、電子がいろいろと変動すると、その周りの電磁場に変動が生ずることが予想される。

*誘導コイルで強引に電子の流れをいろいろと変動させ、それによる場の変動（電磁波）をコイルでひろう。（そのコイルをアンプにつなげば音が出る）

*これは電磁石となっているので、かなり遠くまでノイズをひろうはずである。

*この実験はコイルを使用しなくてもラジオやテレビでも出来る。遠くまでノイズが入ることを確認する。

*実は放送局で行っていることも、電子をいろいろと揺り動かすことによって電磁波を放出しており、原理的には先程の実験と同じである。

*ラジオをビニール袋に入れた上で水槽に入れたり、アルミホイル、金網などに包んで放送電波を受信するかどうかを確認する。（金属では遮蔽ができる。）

(6)今までは電流を変動させた。今度は永久磁石を振動させるとどうなるか。

*コイルのそばで磁石を振れば、それによる誘導電流をアンプを通して音として聞くことができる。磁石の周りにも場があり、やはり変動している。

*磁石の振動によって生ずる変動の波が大きくなれば、コイルの導線中の電子も大きく揺り動かされて、やがては豆電球もつけることができるようになるだろうか？

*実験：磁石を動かしてコイルに電流を流し豆電球をつける。（前掲実験）

*この磁石を動かすのを水の力などで行っているのが「発電所」ということになる。

(7)コイルに変動している電流を流すと、周りの空間に変動の波が生じた。では、定常電流をコイルに流すと、コイルのまわりには何が起きるのだろうか？

*コイルに電流を流すとクリップをくっつけることが出来る。コイルは磁石となり、そのコイルの回りには磁石と同じような状態が出来ている。

（時間に余裕があればやりたい実験）

+電線電流をコイル状にしなくても、一本線でも回りに異常空間が出来ていることを確認する。（方位磁針などを使用）

終わりに：残された課題

前述のプランを今後、授業書化していく必要があろう。また、電磁場入門の展開をおこなったのであるから、それを、いわゆる電磁気学の中学・高校の学習とどのように接続していくのかも課題としてあげられよう。しかし、この部分に関しては、基本的なものの考え方は既に終わっていると判断する。定量的な考察、従前のマックスウェル方程式との接続等が課題として挙げられようが、論理構造全体を再編成しなければならない程のものではないと考える。

それよりも、ここでは、あえてより下の学年での展開の可能性を課題として挙げておきたい。今回の実践は、「電磁場」を変動状態から、従前の静場を位置づけている。この変動状態への着目は、今回は小学6年で行なったが、途中の空間への着目はより下の学年での扱いも可能であるとの感触をもっている。どの学年まで降ろせるかは未確定であるが、この「場」そのものを教える「原科学」とでも呼べる分野の一つが小学校中学年以下でも設定できるのではないだろうか。

また、「場」一般への拡大、とりわけ「重力場」を扱うことも課題となろう。この場合は「重力波」から導入することになろう。

「参考文献」

- *高村泰雄編著 『物理教授法の研究』北大図書刊行会 1987年 第II編 授業書「電磁気学」
- *他に実験装置の工夫を行うため、次の本を適宜参考にした。
 - +理科教室編集部編 『楽しくわかる実験・観察』新生出版 1984年
 - +愛知・岐阜物理サークル編著 『いきいき物理・わくわく実験』新生出版 1988年
 - +左巻健男 他編 『たのしい科学の実験・工作』 新生出版 1985年
 - +下井勇治 編 『たのしい科学クラブ：実験・工作』 新生出版 1985年
 - +高橋金三郎 編 『やさしくて本質的な理科実験』（I, II, III） 評論社 1978-1985年

《後書き》

「いやーだめですね。全然うまくいきません。」——有元が週一回の科学館の休みの日、倉賀野と相談のため大学にやってきて、開口一番話す言葉である（もちろん、うまく行く時もあるのだが）。うまくいかなかった理由としては、そもそも実験装置が理屈通りには出来ない、実験ができるが子どもに意味が分からない、実験も出来、意味もわかるが「おもしろさ」が引き出し得ない、等々があった。

この言葉には、随分悩まされたものである。しかし、実験装置そのものが出来ない場合を除けば、この言葉を有元をして言わしめたのは、3,000人以上の釧路市の子どもたちであったとも言えよう。この意味では、今の学校教育の現状を考えるならば、こちらの「悩み方」はまだまだ足りなすぎたのではないかと反省している。しかし、その子どもたちの真摯な要求を、自らの課題として代弁したのも有元ならではと言えよう。この実践を通して小学校から高校までの「電磁場」概念の教育に関して、いくつかの課題を残しながらも、おぼろげながらの輪郭が見え始めることとなった。

このような実践の機会を与えてくれ、指導・助言もいただいた釧路分校・矢作裕教授、また授業に際して指導・助言をしていただいた釧路市青少年科学館の職員の方々に、この場を借りて謝意を表したい。

(1989年1月記)