

中学生における場の概念の理解

福島和洋¹・福山隆雄²・梶原麻衣³

Can junior high school students understand the concept of field?

Kazuhiro FUKUSHIMA¹, Takao FUKUYAMA², Mai KAJIHARA³

(received October 4, 2004)

We find that junior high school students can sufficiently understand the concept of field, if teachers show adequate materials.

はじめに

学習指導要領には、教科(理科)の目標として、「科学的な見方や考え方を養う」という文言が掲げられているが、¹⁾どの程度の「見方や考え方」を要求しているのだろうか?学習指導要領を読む限りにおいては、この点は明確でないように思われる。例えば、「電流とその利用」においては、オームの法則を学習するとき、電流、電圧などの量の初歩的な理解を求めているが、「電圧」に関しては定義なしで導入されている。磁界の概念は導入するように指摘されているが、電場(電界)には一切触れられていない。電場という概念なしに電圧(電位)を導入するのは容易でないように思われる。教科書では、電圧は「電位差」ではなく、「電流を流すはたらき」といった特殊な定義の仕方をしている。この点に関して、中学生はどの程度「電圧」という量を正しく一般的に理解しているか興味がある。磁場(磁界)に関して、「磁界」は磁気的な力を及ぼす空間を指しているのか、磁気の状態を表す物理量を指しているのかも明確でない。(教科書Aでは前者を、教科書Bでは後者を指している。^{2,3)}基本的な概念があいまいに論じられたまま、「科学的な見方や考え方を養う」ことができるとは思えない。「地球と宇宙」においては、いわゆる地動説の立場に立って展開されている。しかしながら、太陽が地球のまわりを回っているのではなく、地球が太陽のまわりを回っているということに対する力学的検証は何もされていない。観測結果から地動説を類推するのは、

コペルニクスの域を超えていない。ガリレイやニュートンにつながってこそ自然科学である。

学習指導要領や教科書における「理科」では、個別の現象を個別に理解することに終始し、統一的な「見方や考え方」が欠落している。例えば、上に示した「オームの法則」と「惑星の運動」は無関係ではない。それらを統一的に理解することが「科学的な見方や考え方を養う」ことになる。

統一的理解において、場の概念は重要である。中学校での理科においても、空間を変数とした量を取り扱うことは多々あり、空間の各点で定義された量とその空間、すなわち「場」は、基本的に押さえておかなければならない概念である。「電圧」は、オームの法則という電磁気学の理論体系の中では特に重要な法則とはいえない特殊な設定を学習する限りにおいては、教科書の定義でよいのかもしれない。しかし、「電位」すなわち「ポテンシャル」は、別の単元、例えば「運動の規則性」における「位置エネルギー」の考え方につながる基本的な量であって、「電圧」を学習するときに正しく教えておく必要性が求められる。(むしろ学習する順序は逆の方が望ましい。)場という概念は、中学生にとって非常に抽象的であり、これを教え、理解させることは至難であると思われるので、積極的に扱われていないものと推測されるが、むしろ、抽象的なものほど若いうちに理解させた方がよいとも言える。「場」に関して、学習指導要領では磁界のみが単発的に取り扱われているだけである。磁界の様子は、簡単に目に見える形で示すことができるので、教えるようになっているのであろうが、実験で示せるものだ

¹ 熊本大学教育学部

² Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

³ 熊本大学教育学部附属中学校

けを学習するという姿勢は、決して好ましいとは言えない。実験には直接掛からない量や概念も重要なものは教えるべきである。逆に、実験で容易に示すことができるものは、それ自身相当難しい現象でも取り扱われている。例えば、ローレンツ力も電磁誘導現象も容易に実験できる。これらの現象の関連性や電磁気学の理論体系の中での位置づけなどが念頭に置かれているわけではないので、中学生にとっては、いろいろな現象を実験したという程度の理解しか得られないであろう。また、これらの現象の理解には3次元的な空間把握が必要なため、理解できない生徒にとっては、理科を難しい科目と捕らえてしまうことも懸念される。実験できるものだけしか扱わないのでは、直接体験できるものしか理解できない生徒を作ってしまう。事実、自分で考える能力の劣る大学生が増加している。抽象的であっても基本的な概念を学習させ、科学的な見方や「考え方」を養う教育が必要である。

そこで、この論文では、中学生に対しわかりやすい「場」の講義を提供し、どの程度理解できたかの評価を示している。講義では、「電場」「磁場」「重力場」は、それらの共通性の中に自然の不思議さが存在するので、学習指導要領に掲げられている「磁場」だけでなく、3つを並列的に示すことを試みる。電場から電圧の概念を示し、重力場から惑星の運動を論じる。最後に、場の中の粒子の運動として、オームの法則と雨滴の落下との類似性を示す。講義のあとで、演習問題を解かせ、理解の度合いを測る。

講義ノート

対象は附属中学校の2年生と3年生で、選択理科の時間に「力を伝える空間」という題目で行った。「光と音」「力と圧力」「電流」「電流の利用」は、2年生においても履修済みである。

1. 導入

導入として、講義の目的を述べる。講義の目的は、「今まで習ってきたことを別の視点から考え、どのように空間を捕らえるかということを通して、統一的にいろいろな自然現象を理解する」ということである。

2. いろいろな力

1年生のときに履修した、いろいろな「力」を示し、基本的な力とマクロに現れる力に分類する。

(1) 壁を押す力

物を持ち上げる力や、ボールを蹴る力など筋力による力を示す。筋力はたんぱく質の分子構造の変化によって生み出されることも述べる。

(2) バネがおもりを引く力

弾性力は保存力であるということは重要である。力が変位で表されるということの意味についても触れる。

(3) 重力

地球がリングを引く力と地球が月を引く力は同じであるということ、歴史的背景を含めて説明する。また、月がなぜ地球に落ちてこないかという問題提起を行う。

(4) 水中の抵抗力

抵抗が生じる理由をミクロな立場から説明する。

(5) 静電気之力

電荷は、質量などと同様に素粒子に張り付いた基本的な量であることを述べる。

(6) 磁石の力

電氣的な力と磁氣的な力の類似性を示すとともに、磁極は単体では存在せず、素粒子1つが磁石になっていることを述べ、電荷との相違も説明する。

(7) 摩擦力

身近に経験する力であるが、わかっていないことも多く、現在、物理学の最先端の研究テーマであることを紹介する。

(8) 風力

ミクロな見方を示す。

(9) 遠心力

見かけの力であることを示し、上記のものとは同様に議論できない種類の力であることを説明する。

3. グループ分け

上記の力を2つのグループにわけ、

A: 壁を押す力、バネがおもりを引く力、

水中の抵抗力、摩擦力、風力

B: 重力、磁石の力、静電気之力

A: 直接働く力(近接作用)、B: 離れて働く力(遠隔作用)であることを示し、離れている物体にどのようにして力が働くのかを考える。次のような演示実験を行う。「水面に1円玉を2枚浮かべる。それらは、互いに引き合う。」水面の存在を知らなければ、離れた2枚の1円玉に引力が働いているように見える。この場合は、水面の変形によって相互作用をするのであるが、重力や電磁氣的な力においても2つの物体間には、空間の変形によって、空間を介して相互作用することを理解させる。

4. 力を伝える空間

上記の離れて働く力に対応して次の3つの場を考えることができる。

磁気的な力を伝える空間：磁場（磁界）
 電気的な力を伝える空間：電場（電界）
 重力を伝える空間：重力場
 場を導入することによって、物体—物体ではなく、
 物体—場—物体という力の働きを基本とする考え
 方ができる。

5. ポテンシャル

実際に空間 2 次元の場合のポテンシャルのグラフ
 を示す。磁位、電位、重力ポテンシャルがすべて
 同じ形をしていることを説明する。

6. 磁石が作る磁界

磁気ポテンシャルの図と磁力線の図を対比させな
 がら、それらの関係を説明する。コンパスは、傾
 きの最も大きな方向に向くことを理解させる。

7. 月の軌道

地球の重力ポテンシャルと同じ形をした容器上で
 ボールを回転させ、円軌道を描くことを示す。重
 力の引力下にある月が地球に落下してこない理由
 も理解できるように説明する。

8. 電圧・電流・オームの法則

電源と抵抗による単純な回路において、抵抗部で
 の電位の様子を考えさせる。電圧の正しい定義を
 示し、ポテンシャル中での電荷の運動が電流を与
 えるということを理解させる。抵抗内部のミクロ
 な振る舞いに言及し、電流が一定になることを説
 明する。また、これは雨滴の落下運動と類似して
 いることを示し、異なる現象も同じ基本法則から
 導かれることの重要性を強調する。

9. まとめ

- (1) 電荷や磁極や質量を持った物体の存在によっ
 て、その周りには力を伝える空間「場」がで
 きる。
- (2) 物体同士は場を通して力を及ぼしあう。
- (3) 物体は場の傾きに沿って力を受ける。

評 価

以下の問題を解答させ、評価を行った。

問題

1. 磁石が下の図（図 1-1）のように置かれている
 とき、
- (1) ポテンシャルの様子を図に表してみよう。
 - (2) 磁力線の様子を図に表してみよう。



図 1-1 問題 1 の図

2. 下の図（図 1-2）のような装置があったとする。
 A と B は+の電極、G は金網でできている-の電
 極で、それらは（真空の）箱のなかに閉じ込めら
 れている。電荷（静電気）は金網を自由に通り抜
 けられる。

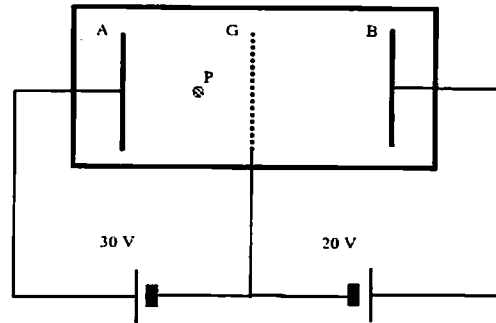


図 1-2 問題 2 の図

- (1) 電位の様子を図で表してみよう。
- (2) 初め P の場所に+の電荷があったとすると、
 それはどんな運動をするか考えてみよう。
 2 年生 15 名、3 年生 10 名について、正解・不正解
 の結果を表 1 に示す。

2 年生			
問題	正	誤	正解率 (%)
1(1)	13	2	87
1(2)	12	3	80
2(1)	8	7	53
2(2)	2	13	13

3 年生			
問題	正	誤	正解率 (%)
1(1)	9	1	90
1(2)	7	3	70
2(1)	8	2	80
2(2)	3	7	30

表 1 正解・不正解の結果

問題 1 は、2 年生・3 年生とも高い正解率を示し、理
 解の深さを認めることができる。問題 1 (1) の解答例
 を図 2 に示す。講義中に示した N-S 系の類推で正解
 に到ったものと思われるが、磁気ポテンシャルと問題
 1 (2) の磁力線との関係もよく理解できており、磁気
 系に関しては、場の概念の感覚は身につけているもの
 と認められる。

一方、問題 2 (1) は 2 年生において正解率が低い。
 2 年生・3 年生の差は、これだけのアンサンブルでは原
 因を言及することはできない。また、正解とした中に

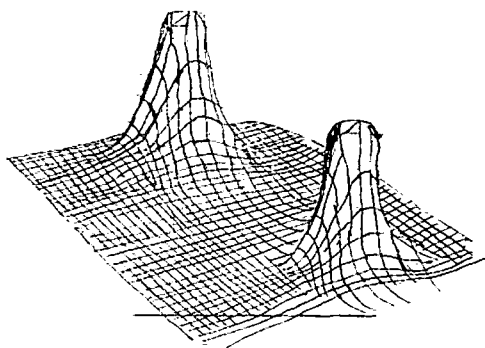


図2 問題1(1)の解答例

も、横軸が空間と対応していない例もあった。問題2(2)は、2年生・3年生とも正解率は極めて低い。2年生はまだ「運動」を学習してしないので、元々高い正解率を期待していなかったが、3年生の正解率の低さには、問題がありそうである。

問題1に比べて、問題2の理解の度合いが低いことは、「磁界」は教科書で学習済みであるのに対して、「電位」はこの講義で初めて知った概念であるということが考えられる。抵抗を含む回路における「電圧」は理解できても、問題2のように電流が流れない回路において電位を考え出すことに困難さを持っている。抵抗内においても、電位が空間的に線形に変化するという考え方がないことが判明した。このことは、言い換えれば「電圧」という量が正しく理解されていないことの表れである。はじめに述べたように電圧は「電流を流す働き」と理解していたのでは、特定の系にしか対応できない。

3年生は「力学的エネルギー保存則」を学習しているにもかかわらず、問題2(2)での運動を正しく考えられなかった。もし、単にスロープ上にボールを置いたらどうなるかという問題であったら、多くの正解が得られたであろう。スロープではなく電位にすると、全く別の現象を議論しているものと捕らえ、両者を結びつける思考力が欠如していると考えられる。

結 論

評価の結果、「磁気ポテンシャル」に関しては、教科書の記述以上の概念を理解させることは可能である。

「電位」に関しても、唯1回の講義である程度の正解が得られた。従って、より良い教材の工夫によって、理解の定着を図ることは可能である。結論として、中学生に「場」の概念を習得させることは困難ではない。

本研究を通して明らかになった問題が二点ある。ひとつは、中学生には個別の現象は個別に理解するという姿勢が顕著に見られ、根本的・統一的に思考する能力が不足しているという点である。これは学習指導要領が統一的理解という立場に立っていないからである。すなわち、単元間に関連を持たせるような構成になっていない。「運動の規則性」が最後に設定されているという事実からして、統一的理解という精神は学習指導要領には存在しない。この講義で、「雨滴が落下するのを見てオームの法則を思い浮かべられることが大切」と強調したように、全く異なる現象でも同じ原理で説明できるという例を多く示すことによって、自然の不思議さを伝えることができる。

もう一点は、実験偏重の弊害が認められることである。実験を重んじる精神は「理科」にとって当然のことであるが、学習指導要領は、難しいテーマでも実験で見せることができるものは行い、逆に基本的であっても実験が困難な概念は取り扱わないという姿勢で書かれている。こういう教育に慣れている生徒の思考は直接的であり帰納的である。小学生の段階から「考える力」を養う教育を展開する必要がある。物理学は、種々の現象に共通する不変の実体を追求する学問であるということを再認識すべきである。

謝 辞

研究を通して貴重な意見を頂いた、附属中学校の中村恭介先生と大山寛先生に心より感謝致します。

文 献

- 1) 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説。理科編., 文部省,(大日本図書,1999)
- 2) 中学校理科, 戸田盛和,(大日本図書,2001)
- 3) 理科, 吉川弘之,(啓林館,2001)