

中学校でのオームの法則の指導に関する一考察

～ IV グラフか VI グラフか～

角島 誠*

(令和6年8月26日受付)

A study on the teaching of Ohm's law in lower secondary school - IV graph or VI graph ? -

Makoto KADOSHIMA

(Received August 26, 2024)

概要

オームの法則の指導に苦勞した教育実習生の疑問, 「なぜ教科書は IV グラフなのだろうか」「VI グラフの指導ではいけないのだろうか」の問いに対し, 日本の中学校, 高等学校の教科書, フランスの中学校の教科書におけるオームの法則の扱いの比較を行い諸視点からの考察を加え, 本学での教育実習前後の指導方法を検討した。日本の教科書では中学校から高等学校まで全て IV グラフであり, 中学校の実験はすべて帰納的であるのに対し, 高等学校では検証実験としての位置づけがされていた。一方, フランスの教科書では全てが VI (電圧-電流) グラフであり, $V=RI$ の式を用い, R を比例定数として扱っていた。また, 抵抗に関する具体的なイメージを与えた後にオームの法則を扱い, R を V と I の関係からも理解させる流れであった。一部の教科書では検証実験として扱っていた。日本の場合, 学習指導要領解説に沿って金属線 (電熱線) の実験が前提とされ, 独立変数と従属変数の指導の文脈などからも IV グラフを必然とする理由があった。そして, 諸視点を踏まえるなら, VI グラフの指導はあってもよいと結んだ。学生が教育実習から戻り, 他の学生と共有する際のディスカッションを深める教材として, 本報告を用いることとした。

キーワード: オームの法則, 中学校, 高等学校, 理科, 物理, フランス, 教育実習

1. はじめに

中学校教育実習の巡回指導の際, 実習生が電流と電圧の関係, オームの法則の授業で強い困難さを感じた授業を観察した。

注目したのが, オームの法則の導出の場面である。それは, 電圧 V (以下, 参照元では E や U での表現が様々にあるが, 本報告では電圧は V で表現を統一する) を独立変数として, 電流 I を従属変数として読み取って表を完成させた前時の実験結果を踏まえ, 縦軸電流 I 横軸電圧 V のグラフ (以下, IV グラフと呼ぶ) を前提として, 電流

が電圧に比例するとの確認から, オームの法則の定式化を行うという流れである。使用していた教科書に忠実な流れではある。

そして, 原点を通る直線という中学1年での比例の式を想起させかつ踏まえながら数式表現していく過程で, 「流れやすさ」「流れにくさ」の2つの表現, 抵抗値の逆数表現が登場し, 教室の空気が重たくなってくる生徒の反応からも, ゴリ押し感がぬぐえないことを実習生は実感しているようであった。

全生徒による100%理解はともかくも, 指導のしやすさの観点からは, その後の式変形や回路計算の指導を見越し

* 初等中等教育研究センター, ICT センター, 広島工業大学生命学部食品生命科学科

でも、VI グラフからストレートに $V=RI$ (R は抵抗値) を導くほうが指導しやすいと巡回指導時の実習生は感想した。

この単元の指導の難しさは、後述するように数々の先行研究においても過去何度も指摘され続けており、経験ある教員にとっても難所ではある。経験ある教員はそれでも独自のプリント教材なりを準備するなり指導の妙や技を兼ね備えていようし、相応のフォローとセットとなった指導の見通しがある。

ただ、生徒にとっても教師にとっても基本となる教科書の記述の力は強く、教育実習生にとって教科書の記述から外れるような授業展開は覚束ないことはいうまでもない。

そこで、本報告では教育実習生が抱いた疑問：

「なぜ教科書は IV グラフなのだろうか」

「VI グラフの指導ではいけないのだろうか」

に対し、中学校におけるオームの法則に関する指導方法に関する先行研究の扱いを踏まえ、現行教科書の記述やさらに他国の事例としてフランスでの教科書における事例を参考に諸視点から考察し、理科教育法の講義や教育実習前後での実習生に対する指導のありようを考える。

2. 先行研究の整理と課題

藤井・吉本 (1977)⁽¹⁾は、中学生774名を対象に電流回路の事後テスト診断問題の成績分析を行い、課題を指摘した。オームの法則に関する内容で言えば、IV グラフが読み取れないこと、抵抗や電圧のイメージ不足が指摘され、水流モデルを用いた指導が提案されていた。

福山 (2000)⁽²⁾は、「操作法の学習と測定に終始し、物理量の概念については生徒自身の納得するイメージができないまま放置されている」とし、水流モデルによるオームの法則のイメージ化を提案し、物理量の理解の重要性を説いた。

そして、論文を著した2000年の時点で、藤井・吉本 (1977) を参照しながら「オームの法則関連の教材についてのこのような状況は、何十年間もほとんど変化していない。以後もこのままの状態が続けば、世の中にますます物理嫌いの人々を増加させるか、中学校理科からこの教材が姿を消す日がこないともかぎらない。」と警鐘を鳴らした。その後四半世紀経た今日、教材が姿を消すことはなかったが、筆者が本報告を書かざるを得ない状況にある。

山根津 (2000)⁽³⁾は、「結果のグラフは、原点を通る2本の直線になる。この直線からは「電流と電圧は比例している」と言える。太い方が同じ電圧ならたくさん電流が流れているので、「電流が流れやすい」と言える。その後、抵抗の概念を導入し、オームの法則を出すところが問題なのである。」(下線は筆者による) と、IV グラフから比例関

係は指摘するものの、流れやすさと流れにくさの2つの表現、そして IV グラフとは別に抵抗が定義されてオームの法則に導かれることの違和感を指摘している。そして、個人の実践事例として、電子の粒子イメージを学習した後に、オームの法則を扱い、VI グラフを用いた指導を実践していることが報告されている。この指摘が、本報告においても改めて問わんとすることと重なる。

福山・東口 (2004)⁽⁴⁾は、「生徒たちの学習は、実験観察を重視するあまりメーターのつなぎ方やよみ方を訓練する単なるテクニカル・ノウハウの訓練となっている。ほとんどの時間が測定法の学習と測定に終始しており、その後はオームの法則が $V=RI$ であることを覚えさせ、この公式を用いた計算問題の練習となる。そのため生徒たちは電流、電圧、抵抗の物理量の実感を持っておらず、これらの概念については、生徒たちは納得できるイメージができないまま放置されている。」と、公式主義に対する警鐘であるが、それよりも物理量の実感がないことを問題視し、福山 (2000) の水流モデルの指導法をさらに深めた報告を行った。

勝田・山下 (2015)⁽⁵⁾は、単元学習を終えたほとんどの中学生が IV グラフの傾きの意味を答えることができないという報告をした。そこで、IV グラフと VI グラフの対比を通して両グラフの傾きが何を表すかを考えさせる授業展開を行い、その結果理系大学生を6%上回る40%の正答率を得たと報告された。ほぼ0%からの40%、しかも大学生より6%高いという点で効果ありとはいえるが、残りの60%の生徒はそれでも理解できていない。この単元がいかに難所であるかを示したといえよう。

福田・遠西 (2021)⁽⁶⁾によると、IV グラフからの展開でも、コンダクタンスの考えをワンクッションにおいて $I=1/RV$ とすることが有効であったと報告されている。ただ、対象とされた生徒は入学選抜されている私立中学校生徒であり、学力幅のある一般の公立中学校の生徒層とは異なる。同研究の対象校でなくとも、一定の学びのレディネスや積み上げができていない生徒層を対象とするのであれば、IV グラフからの定式化は難なく展開できることは容易に察しがつく。

山田他 (2020)⁽⁷⁾は、数学と理科が共有できる「見方・考え方」として「関数的な見方・考え方」を設定し、オームの法則の学習は、数学と共有する「関数的な見方・考え方」を働かせて取り組ませることで教科等横断的な学習として行えることを示した。また、「理科におけるフックの法則やオームの法則等、比例関係のある事物・現象の学習においても重要なのは、x 軸の変化量に対する y 軸の変化量を「関数的な見方・考え方」を働かせて捉えることである。2つの量の関係に対応させて、商を求めると比の値が

得られる。このような量を算数・数学教育では、内包量という。」とし、オームの法則でいう抵抗が内包量であるとされた。

金井・小川・山田（2022）⁽⁸⁾は、オームの法則の指導において、「関数的な見方・考え方」を働かせた理科授業が内包量概念の理解に及ぼす効果について調査した。その結果、（全体量÷内包量＝土台量 $V/R=I$ ）に向けてグラフの傾きの意味を考える活動は、生徒にとってはかなり難しいことや、 I/V の比を求めさせ関数型を表現させるワークシート1と、ワークシート1のデータの軸を反転させるVIグラフの表現を用いるワークシート2の2つを用いた指導の場合、内包量概念における関係性の（全体量÷内包量＝土台量 $V/R=I$ ）の理解促進に効果があることを明らかにした。

このように、最近では数学と理科のつながりという視点からの研究もあり、例えば、広島県教育委員会ホームページにアップロードされている中学校理科「独立変数と従属変数」のPDF⁽⁹⁾には、平成29年度の全国学力・学習状況調査の数学Aのある問題の正答率21.9%という低さに対する今後の指導に向けての文章に、「独立変数と従属変数について、理科では実験において「変化させる量とその結果変化する量」と表し、数学では関数において「一方の値が決まれば他方の値が一つ決まる」と表すといった表現は異なるものの、どちらの教科でも、表を書く時は、独立変数を上の行に、従属変数を下の行に書くことや、その表をグラフ化する時には、表の上の行はグラフの横軸、下の行はグラフの縦軸にかくことは共通して指導することができます。」とある。教師側も、こういった情報環境下ではVIグラフを扱いにくいであろう。

これらのように、オームの法則の指導は依然難所である。

3. 日本の教科書での扱い

周知のように、現行学習指導要領ならびに解説には「オームの法則」の文言はなく、数式表現することも要求されていない。

「金属線などに加える電圧と流れる電流を調べ、それらの関係を見だし、電気抵抗について理解させることがねらいである。例えば、電熱線などの金属線を入れた回路で、金属線に加える電圧と流れる電流の大きさを調べる実験を行い、測定値をグラフ化し、結果を分析して解釈し、電圧と電流が比例関係にあることを見いだすとともに、いろいろな電熱線の測定結果を基に、金属線には電気抵抗があることを理解させる。」⁽¹⁰⁾以上である。

では、教科書ではどのような表現となっているのでしょうか。中学校、そして中学校の学びに続く高等学校の物

理、高等学校工業科の電気回路のそれぞれ確認できた現行教科書での扱いをまとめてみる。

・中学校教科書

表1 中学校教科書 5冊（※1）

教科書	表	グラフ	文言	オームの法則の最初の数式表現	実験	抵抗、抵抗器	$Y=ax$	逆数
A	上段V 下段I の2つの グラフ	IVグラフ	抵抗器に流れる電流の大きさは、抵抗器に加わる電圧の大きさに比例することがわかる。	$V=RI$	2種類の抵抗器または電熱線でそれぞれ電源装置で電圧を調整	電気用図記号で抵抗器が示され、実験後に抵抗を $R=V/I$ で定義。その後にオームの法則を定式化。	有	1/定数
B	上段V 下段I の2つの グラフ	IVグラフ	回路を流れる電流の大きさは、電圧の大きさに比例する。	$I=V/R$ $V=RI$ 同時	2種類の電熱線でそれぞれ電源装置で電圧を調整	電気用図記号で抵抗器が示され、実験後に抵抗を $R=V/I$ で定義。その後にオームの法則を定式化。	中1での比例の学びの言及	無
C	上段V 下段I の2つの グラフ	IVグラフ	金属線に流れる電流の大きさは、金属線にかかる電圧に比例する。	$I=V/R$	2種類以上の抵抗器でそれぞれ電源装置で電圧を調整	電気用図記号で抵抗器が示され、実験後に抵抗を $R=V/I$ で定義。その後、両方2式も含めてオームの法則を定式化。	有	無
D	上段V 下段I の2つの グラフ	IVグラフ	抵抗器に流れる電流の大きさは、抵抗器に加わる電圧に比例する。	$R=V/I$	2種類の電熱線でそれぞれ電源装置で電圧を調整	実験前に抵抗（抵抗器）を定義し、実験後のオームの法則の文言表現の後に、 $R=V/I$ を定義。その後、両方2式も含めてオームの法則と表現。	有	無
E	上段V 下段I の2つの グラフ	IVグラフ	抵抗器や電熱線に流れる電流は、それに加える電圧に比例する。	$I=V/R$ $V=RI$ 同時	2種類の抵抗器でそれぞれ電源装置で電圧を調整	実験前に抵抗（抵抗器）を定義し、実験後のオームの法則の文言表現の後に、 $R=V/I$ を定義。その後、両方2式も含めてオームの法則と表現。	中1での比例の学びの言及	有

読み取り

- ・実験結果をまとめる「表」は、いずれも上段に電圧V、下段に電圧Iの形であり、グラフはIVグラフである。
- ・実験事実を記述する文言（A社）、オームの法則を説明する文言（B～E社）は、「電流の大きさが電圧に比例する」との表現である。
- ・表中の式は、オームの法則あるいはオームの法則であるとの意味合いで示された最初の数式表現を指す。ただ、これら表現よりも先に、実験後に抵抗そのものを定義する表現としてC社以外の4社では、教科書上の順番では $R=V/I$ が示されている。 $I=V/R$ で示されているのは1社である。
- ・抵抗体として電熱線で実験するのが2社、抵抗器で実験するのが2社、選択としているのが1社であった。また、電源についてはすべての教科書で電池の連結ではなく電源装置で電圧を調整するものであった。
- ・抵抗器という素子はあるものとして事前に示され、実験後に電圧と電流の関係で抵抗が定義されている。
- ・「 $y=ax$ 」の式が示されていたのが3社であり、他2社は中1での比例という表現であった。
- ・「逆数」の文言が使用されているのはE社のみであった。A社は逆数とは表現せずに、 $1/\text{定数}$ との表現を用いている。

読み取りからの考察と補足

注目しておくべきことは、IVグラフの表現に沿って、IはVに比例するとの比例関係は事実として一旦記述されるものの、それとは別に、実験事実の帰結としてではなく抵抗そのものを $R=V/I$ で表されると定義するワンクッションにおいて、その定義をたよりにオームの法則を定式

化している流れが4社もあったことである。これは山根津（2000）が指摘した違和感がそのまま未解決のままという流れである。

そして、いずれの実験も検証実験という位置づけの実験はなく、帰納的な実験としての位置づけである。

C社のみ教科書本文の主流の展開ではない場所にて補足的に、IVの軸を入れかえたVIグラフ表現を扱い、 $y=ax$ と $V=RI$ の対応関係に言及していた。

・高等学校物理教科書

表2 高等学校物理教科書 10冊（※2）

教科書	グラフ	文言	最初の数式表現	実験	Rの説明
ア	IVグラフ	金属線に流れる電流は、電圧に比例する。	$I=V/R$ 、 $V=RI$ 同時	無	比例定数であるRを抵抗という。
イ	IVグラフ	金属線の両端の電圧と流れる電流の大きさは比例する。	$V=RI$ のみ	無	比例定数Rは電流の流れにくさを表す。
ウ	IVグラフ	電流と電圧は比例関係にあることがわかる。	$I=V/R$ 、 $V=RI$ 同時	無	グラフの傾きの逆数は電流の流れにくさを表す。これを抵抗という。
エ	IVグラフ	電圧は電流に比例する。	$V=RI$ のみ	無	比例定数をRとすると、Rは電流の流れにくさを表し、抵抗という。
オ	IVグラフ	導体にかかる電圧と流れる電流の強さとの間には次式のような比例の関係がある。	$V=RI$ のみ	無	比例定数Rは電流の流れにくさを表す量で抵抗と呼ばれる。
カ	IVグラフ	導体に流れる電流の大きさは導体に加える電圧に比例する。	$I=V/R$ 、 $V=RI$ 同時	検証実験として	式のRを導体の抵抗という。値が大きいかほど電流は流れにくい。
キ	IVグラフ	導体に流れる電流の大きさは導体に加える電圧に比例する。	$I=V/R$ 、 $V=RI$ 同時	検証実験として	式のRを導体の抵抗という。値が大きいかほど電流は流れにくい。
ク	IVグラフ	電流の大きさは電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	無	式の定数Rを抵抗といい、…電流の流れにくさを示す量であり…
ケ	IVグラフ	電流は電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	movie視聴	定数Rは、電流の流れにくさを示し、抵抗と呼ばれる。

読み取り

- ・いずれの教科書も中学校のように生徒実験から比例関係を導くものではなく、実験データの「表」での表示もない。実験が示されたのは、検証実験の位置づけで2つの教科書（社としては1社）の扱いだけであった。
- ・いずれの教科書も法則の事実としてIVグラフが示されていたものの、3つの教科書が法則の数式表現で $V=RI$ のみで示している。その場合、Rは比例定数と表現され、抵抗として定義されている。
- ・抵抗に反比例するとの文言まであるのは、2つの教科書（社としては1社）のみであった。

読み取りからの考察と補足

中学校で既習という前提があることから、殆どが実験を設定していない。あっても既知の法則を検証する意味合いでの実験である。電圧と電流の間に比例の関係性があることを見出すような帰納的な実験は皆無であった。

また、オームの法則の数式表現では $V=RI$ を行っている教科書があるものの、グラフの表現はすべてIVグラフというのは中学校での形式の踏襲であろうか。

・高等学校工業科電気回路

表3 高等学校工業科電気回路 4冊（※3）

教科書	グラフ	文言	最初の数式表現	実験	Rの説明
a	IVグラフ、IRグラフ	電流は電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	無	抵抗器には、電流の流れをさまたげる働きがある。このような働きを抵抗という。
b	無	導体に流れる電流は、その両端に加えた電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	無	事前に定義。普通の導体は多かれ少なかれ電流の流れを妨げる働きを持っている。この働きを抵抗と呼ぶ。
c	IVグラフ、IRグラフ	電流は電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	IVグラフ、IRグラフ作成の2実験	事前に定義。電流の流れにくさを表す。
d	IVグラフ、IRグラフ	電流は電圧に比例し、抵抗に反比例する。	$I=V/R$	無	事前に定義。電流の流れにくさを表す。

読み取り

- ・bのみグラフはないもの、他の3冊はIVグラフとIRグラフの2つを扱っているのが特徴である。
- ・全4冊とも最初の数式表現は $I=V/R$
- ・全4冊の文言において、抵抗に反比例するとの表現が入っている。

4. フランスの事例

フランスの前期中等教育段階は4か年課程のコレージュcollègeという。1年目を除く残りの3か年を特に第4学習期（cycle4）と呼び、日本の中学校の3年間に相当する。本報告では、この第4学習期の日本の理科1分野に相当する教科「物理・化学」の教科書での扱いを見てみる。

フランスの学習指導要領 programme での記述は、2015年の学習指導要領^[1]、その後一部改訂された2020年の学習指導要領^[2]においても、オームの法則については、「電圧－電流の関係：オームの法則」のみの記述で、どのように扱うかの指示はない。

また、フランスには教科書の検定はない。

表4 フランス教科書 5冊（※4）

教科書	表	グラフ	文言	最初の数式表現	実験	抵抗、抵抗器	$Y=ax$	逆数
Be	上段V 下段I のグラフ	VIグラフ	抵抗器にかかる電圧は、電流の大きさに比例する。比例定数は抵抗の値に等しい。	$V=RI$	検証実験。アキシャルリードパッケージの抵抗器を電源装置で電圧を調整。	オームの法則の単元前に、素子には電流の流れを妨げる電気抵抗があり、その大きさを抵抗と定義し、実物の抵抗体も提示。	無	無
Bo	※A	VIグラフ	抵抗器にかかる電圧は、電流の大きさに比例する。比例定数は抵抗の値に等しい。	$V=RI$	アキシャルリードパッケージの抵抗器を電源装置で電圧を調整。※A	オームの法則の単元前に、素子には電流の流れを妨げる電気抵抗があり、その大きさを抵抗と定義し、実物の抵抗体も提示。※B	無	無
Ha	無	VIグラフ（但し、演習問題の中）	抵抗器にかかる電圧は、電流の大きさに比例する。	$V=RI$	検証実験。アキシャルリードパッケージの抵抗器を電源装置で電圧を調整。	オームの法則の単元前に、回路において電流の流れを制限する素子として抵抗を定義。※C	無	無
Ma	上段V 中段I 下段V/I のグラフ	VIグラフ	抵抗器にかかる電圧と、電流の大きさには比例という数学的な関係が存在する。	$V=RI$	アキシャルリードパッケージの抵抗器を電源装置で電圧を調整。	オームの法則の単元前に、回路において電流の流れを制限する素子として抵抗を定義し、その大きさはオームメーターで測定可能と提示。	有	無
Na	上段V 中段I 下段V/I のグラフ	VIグラフ	抵抗器にかかる電圧は、電流の大きさに比例する。	$V=RI$	アキシャルリードパッケージの抵抗器を電源装置で電圧を調整。 ※D	オームの法則の単元前に、回路において電流の流れを制限する素子として抵抗を定義し、その大きさはオームメーターで測定可能と提示。 ※E	無	無

※A オームの法則のための実験として、実験手順を文言表記しており、表としては示されていない。意味合いとしては上段電圧V下段電流Iを求めている。

- ※ B V と I を用いない抵抗について定義を扱う単元を、オームの法則の実験の前に行っているが、その単元とオームの法則の単元の間に「電気自動車の抵抗」と題した単元を挟み、「電気自動車は、3つの異なる抵抗を機能させるインバーターと呼ばれるモーターの速度のコントローラーを持っている。モーターの速度の機能に関して異なる抵抗はどんな役割を担っているのだろうか。」との課題設定から、固定9V 固定の電池、3種の抵抗(30, 80, 120Ω)、6V モーター、電流計の回路で、各 R に対する I の測定を表にまとめさせる活動を入れている。
- ※ C オームの法則の単元の前で、「どうやってアンプの音量を変えますか?」という問いの単元を設定し抵抗器の役割を調べさせ、かつ抵抗を V と I とは関係なく定義している。
- ※ D オームの法則そのものの実験のやり方は表中の内容であるが、単元として最初に設定されているものは以下の内容である。
「エチエンヌは畑の周りに、1m あたり1.3Ωの抵抗の1000mの電線からなる電気柵を設置した。電気柵が機能しているかを確認するために、彼は電気柵テスター détecteur de pertes を利用する。電気柵テスターはどのように機能しているのだろうか?」
- ※ E オームの法則の単元の前で、「電気回路に抵抗を加えることの効果とは何か?」の単元を設定して回路中での抵抗器の役割を調べさせ、かつ抵抗を V と I とは関係なく定義している。

読み取り

- ・数式表現は全て $V=RI$ であった。
- ・グラフについては教科書本文中で4社が VI グラフであり、残りの1社も演習問題で扱ったグラフは VI グラフであった。IV グラフはいずれの社でも確認できなかった。
- ・実験については、検証実験という位置づけで2社。
- ・実験では電熱線は用いられず、すべてアキシャルリードパッケージの抵抗を用いている。
- ・オームの法則を扱う前に、抵抗について V と I を用いない定義を扱い、日常生活との関連や抵抗を用いた活動・実験などを挟んでいる。
- ・ $y=ax$ の表現を用い、数学における比例のことを持ち出しているのは1社のみであり、この社の実験は検証実験という位置づけではない。
- ・「逆数」といった表現はいずれにも無かった。

5. 議論

視点1 正攻法?

なぜ、IV グラフが採用されるのだろうか。

- ・オームによる原著論文の表現⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾では、オームの法則は $I=$ の形で表現されてきていること。
- ・「独立変数 x の値を横に、従属変数 y の値を縦にとったのが関数のグラフです」と指導される文脈にあること。
- ・実験時に電圧を調節して電流を読み取っているので、電圧が独立変数、電流が従属変数となること。

を踏まえれば、IV グラフとならざるを得ないということだろうか。

視点2 ところ変われば…

日本においては中学校ならびに高等学校の関連科目においては、いずれも IV グラフであった。フランスにおいてはいずれの教科書も VI グラフであり、最初の数式表現は $V=RI$ であり、視点1で問うたような視点は皆無であった。しかも、2社の実験は検証実験としての位置づけであった。

フランスの教科書は検定もないため、各社が自由に編集する。採択に関しては、いずれも採択しないことも含めての自由競争である。オームの法則の扱いだけが採択の基準ではないが、IV グラフを使う教科書と VI グラフの教科書があれば、現場の教師はどちらを採択するであろうか。全社 VI グラフという事実は何を意味するだろうか。

日本も数ある教科書の自由採択とはなっているが、検定教科書はすべて IV グラフであり、ここに選択の余地はない。

視点3 あらためて IV グラフ vs VI グラフ

IV グラフを用いると、「電流の大きさが電圧に比例する」と表現してしまうことから、 $I=$ の形が前提される。

そうすると、自然な流れでは、どうしても抵抗の扱いを逆数の中におかざるを得ないが、これがそもそもの混乱の元である。

そこで、日本の教科書(5社中4社)では、電流の大きさが電圧に比例すると表現した後に、実験結果からの自然な帰結というより、抵抗とは $R=V/I$ と表されると定義調の表現を差し込む。そして、その後に、この式の式変形として $V=RI$ や $I=V/R$ を指して、オームの法則であると表現する。この間、当初の $I=$ の形の話は消えている。

フランスでは「表」の表し方は上段 V 下段 I と日本と同じであっても、グラフは VI グラフであった。

オームの法則に入る前の抵抗についての扱いが、電気自動車や電気柵といった具体例を通して、「流れにくさ」ということが、どういう役目を負っているのかの実体感を持たせている。そして、抵抗というものが Ω という単位を

持つ流れにくさや回路を制御するという具体的な物理量であり、その抵抗値はオームメーターで測定可能といった独立した物理量として認識させている。その後にオームの法則として、 V と I の関係においても表現できるという運びである。

VI グラフの場合、 $V=RI$ の導出に順当にたどり着き、この関係性において R は比例定数に相当し、ここで R が V と I との関係においても表現される。

視点4 教育七五三，教科書が読めない…

大雑把に捉えれば、小学校での学びで3割が脱落し、中学校の学びで5割が脱落するといういわゆる教育七五三⁽¹⁵⁾と描写される状況、新井紀子(2018)が指摘した「教科書が読めない子どもたち」⁽¹⁶⁾、そして、割合や比の概念が理解できていない状況、そのことは理系の大学生にすら影を落としている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。

しかしながら、中学校の学習指導要領・教科書は、小学校の学びが備わっている前提でできている。教室には小学校での学びの土台ができていない生徒、学びが積みあがっていかない生徒が一定割合存在する。教育関係者に関わらず周知の事実のような実態である。

関数的な見方・考え方や内包量の考え方、独立変数や従属変数という考え方は正論であるものの、小学校の学びが備わっている前提あつてのことである。

上記状況はオームの法則の指導のみに立ちはだかる課題ではないが、教科書の記述がIV グラフから離れられないという点では影響は大きい。

何十年も変わらないとされるオームの法則の扱いはIV グラフとの抱き合わせである。工夫した取り組みでもIV グラフの意味を40%位しか正答できないなど数々の先行研究でも高い正答率を出せず散々な状況である。

IV グラフをVI グラフにしたところで、他を同じとするなら物理量のイメージや諸々の課題は解決しないことは承知として、ただ、オームの法則の定式化という点では、「流れやすい」「流れにくい」の2段階、 V と I を用いて R を定義風に差し込むやり方よりは、VI グラフの方が指導者側、少なくとも教育実習生の視点はすっきりする。

視点5 金属線（電熱線）の実験が前提…！

学習指導要領にもその解説にも「オームの法則」の文言は全く出てこず、定式化することも求められてはいなかった。この単元は、「電流と電圧の関係」であって、電圧と電流の間に比例関係があることを押さえれば良いこととなっている。

そもそものは金属線（電熱線）を前提としてそこにIV の関係、太さと抵抗（流れやすさ、流れにくさ）に気づかせるというのが学習指導要領解説に示された流れであって、オームの法則を導出することが目的ではないということである。

ある。

そうであるなら、電流の流れやすさ・流れにくさについては、太さの違う2本の金属線（電熱線）のIV グラフに、グラフの長さに切断した太いホースと細いホースを、水流モデルの説明の流れでグラフに重ねるなどを展開して納得させれば、電流と電圧の関係の学習としてはひとまず終了である。

しかしながら、オームの法則を既知でありその後の学習の流れを知っている教員、教育実習生としては、学習指導要領解説でも要求されていないのに、IV グラフの電流と電圧の関係の流れでオームの法則を引き続き数式表現しようとすることを思ってしまう。ここに無理がある。

フランスの場合、学習指導要領ではオームの法則は扱うことは明記されているが、金属線（電熱線）の実験を前提としていない。日常の家電品や諸々含めて抵抗という物理量があることを踏まえて、いきなりVI グラフで $V=RI$ で示し、また、実験も日本の高等学校の一部の教科書の扱いのように検証実験としても行っている。

すなわち、金属線（電熱線）を用いた帰納的な実験を前提としているかいないかが、大きな違いである。

そうであるなら、IV グラフからの読み取りまでで授業の流れは一度打ち切り、別の単元のような授業体裁で、オームの法則は仕切りなおすほうが自然ではないだろうか。

例えば、「前回やった電圧－電流の表から新発見をしてみよう」と、縦軸を V に横軸を I にしてVI グラフにして（プロットしたものを提示、あるいは前回グラフと水流ホースの画像を反転、90度右回転した提示など）、何が言えるか考えてみよう、といった展開である。金井・小川・山田(2022)のワークシート2のような展開も参考となろう。

視点6 本学の講義での対応

3年次で展開している理科教育法Ⅱでは学習指導案の書き方指導や評価のことも含め、その年の受講者数にもよるが、一人あたり30分程度の模擬授業を実施している。その際は、自分が教えたい単元を選ばせている。4年次の教育実習指導は4月の集中講義として展開しているが、こども一人あたり30分程度で、教育実習先から指示を受けている単元や想定される単元で実施している。毎回ビデオ収録し、表情、視線や声の大きさ・速さ、間の取り方、文字の大きさといったことの自己チェックも含め、収録動画を各々の学生に渡している。つまり、学生は、30分程度の2回の模擬授業経験で、現場に出て行っている。

そして、4年次で展開している中学校免許対応の理科教育法Ⅲでは、教育実習を終えて戻ってきた学生が公開授業の際の指導案をもとに、どのような授業を展開し、どのような指摘を受け、今ならどうという授業展開にするか、これ

から行く学生へのアドバイス等といったことを発表し、共有しながらディスカッションするという展開を行っている。

件の学生もオームの法則の指導について発表し、IV グラフからの展開の困難さを吐露した。

その際、「IV グラフと VI グラフ、どちらが教えやすいか」と問うてみたところ、2024年度の受講学生4名全員が VI グラフと回答した。

6. まとめ 教育実習生への指導

「なぜ教科書はIV グラフなのだろうか」の回答としては、「金属線（電熱線）の実験を前提としている」とか、「独立変数、従属変数、内包量といった指導の文脈がある」となる。

「VI グラフの指導ではいけないのだろうか」の回答としては、諸々の状況を踏まえた上で「あっていい」というのが妥当な回答であろう。

本報告内容は、本学の3年次の理科教育法ⅠやⅡで扱うにはやや実感が伴わないこともあり、事後学習で意味を持つものとする。教育実習後の理科教育法Ⅲ、Ⅳないしは教職実践演習においては、本報告を教材とし、より深いディスカッションを展開していきたい。

文 献

- (1) 藤井清・吉本市（1977）「電流回路学習過程における問題点－形成的評価のためのCMIの活用例として－」『物理教育』第25巻第4号 pp.182-190
- (2) 福山豊（2000）「オームの法則の指導について」『物理教育』第48巻第6号 pp.538-540
- (3) 山根津貴子（2000）「中学生とオームの法則（How to teach）」『物理教育』48巻6号 pp.547-549
- (4) 福山豊・東口沙都美（2004）「中学校理科教科書におけるオームの法則の検証実験」『長崎大学教育学部紀要 教科教育』No.43 pp.15-22
- (5) 福田恒康・遠西昭寿（2021）「「オームの法則」の指導を再考する」『理科教育学研究』vol.62 No.1
- (6) 勝田紀仁・山下修一（2015）「オームの法則の学習におけるグラフの理解を改善する授業の開発」『千葉大学教育学部研究紀要』第63巻 pp.7-11
- (7) 山田貴之他（2020）「「関数的な見方・考え方」を働かせた理科授業の改善に関する一考察－数学と理科の教科等横断的な視点から－」『上越教育大学研究紀要』第39巻第2号 pp.555-575
- (8) 金井太一・小川佳宏・山田貴之（2022）「「関数的な見方・考え方」を働かせた理科授業が内包量概念の理解に及ぼす効果－中学校第2学年のオームの法則におい

- て－」『上越教育大学研究紀要』第42巻 pp.225-244
- (9) 広島県教育委員会
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/335895.pdf> 2024.6.17確認
- (10) 文部科学省 中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編 平成29年7月（令和3年8月 一部改訂）p.40
- (11) BO spécial n° 10 du 19 novembre 2015, Annexe 3 Programme d'enseignement du cycle des approfondissements (cycle 4), physique-chimie
- (12) BOEN n° 31 du 30 juillet 2020, Annexe 3 Programme d'enseignement du cycle des approfondissements, Volet 3 : les enseignements (cycle 4), physique-chimie
- (13) Wikipedia, Ohm's law
https://en.wikipedia.org/wiki/Ohm%27s_law 2024.6.17確認
- (14) Ohm, G. S. (1827). Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet (PDF). Berlin: T. H. Riemann. Archived from the original (PDF) on 2009-03-26.
- (15) 瀧井宏臣（2008）『「教育七五三」の現場から－高校で7割・中学で5割・小学校で3割が落ちこぼれ』祥伝社
- (16) 新井紀子（2018）『AI vs. 教科書が読めない子どもたち』東洋経済新報社
- (17) 芦沢光男（2019）『「%」が分からない大学生 日本の数学教育の致命的欠陥』光文社新書
- (18) 松岡雷士（2024）「割合に関する数学リメディアル教育プログラムの必要性の検証」『広島工業大学紀要 教育編』23巻 pp.23-28

※1 日本の中学校の理科教科書

- A社 理科801『新しい科学2』東京書籍 令和3年
- B社 理科802『理科の世界2』大日本図書 令和3年
- C社 理科803『中学校 科学2』学校図書 令和3年
- D社 理科804『自然の探求 中学理科2』教育出版 令和3年
- E社 理科805『未来へひろがるサイエンス2』啓林館 令和3年

※2 日本の高等学校物理の教科書

- ア社 物基701『物理基礎 深める』東京書籍 令和4年
- イ社 物基702『新編物理基礎』東京書籍 令和4年
- ウ社 物基703『物理基礎』実教出版 令和4年
- エ社 物基704『高校物理基礎』実教出版 令和4年
- オ社 物基706『高等学校考える物理基礎』令和3年
- カ社 物基707『物理基礎』数研出版 令和4年

- キ社 物基708『新編物理基礎』数研出版 令和4年
ク社 物基709『高等学校物理基礎』第一学習社
令和4年
ケ社 物基710『高等学校新物理基礎』第一学習社
令和4年

※3 日本の高等学校工業科の教科書

- a社 工業720『電気回路1』実教出版 令和4年
b社 工業724『電気回路1』オーム社 2022
c社 工業726『わかりやすい電気回路』コロナ社
2022
d社 工業727『電気回路 上』コロナ社 2022

※4 フランスの教科書

- Be社 『Physique Chimie nouveau programme Manuel
de cycle 4』, Belin: Education, 2017
Bo社 『Collection ESPACE cycle4 programme 2016
Physique-chimie』, Bordas, 2017
Ha社 『Collection Thierry Dulaurans Physique Chimie
Nouveau programme Nouveau brevet Cycle4』,
Hachette Education, 2017
Ma社 『Cycle4 5e 4e 3e Physique chimie』,
MAGNARD, 2017
Na社 『NOUVEAU PROGRAMME BREVET 2017
Physique Chimie CYCLE4』, Nathan, 2017