上越教育大学研究紀要　第42巻　令和４年８月31日
Bull. Joetsu Univ. Educ., Vol. 42, Aug. 31, 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－

金　井　太　一*・小　川　佳　宏**・山　田　貴　之**

（令和３年11月19日受付；令和４年４月26日受理）

要　　旨

本研究の目的は，中学校第２学年のオームの法則において，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業を実施し，数式やグラフの意味についての理解を深め，グラフを活用することで，生徒の内包量概念の理解にどのような変容が見られるのかを明らかにすることであった。この目的を達成するために，統制群，実験群いずれも35人を対象に，意識調査，抵抗テスト，オームの法則の授業を実施した。その結果，次の３点が明らかになった。１つ目は，本研究の指導法は内包量概念における関係性の第３用法の理解促進に効果がある。２つ目は，内包量概念の独立性の理解を高めるためには，比の値が一定であることを見いだす必要がある。３つ目は，第３用法の理解（全体量÷内包量＝土台量）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。

KEY WORDS
functional viewpoints and ways of thinking 関数的な見方・考え方，science 理科，inclusive quantity 内包量
Ohm’s law オームの法則

1　問題の所在と研究の目的

中学校学習指導要領（平成29年）解説理科編（文部科学省，2018a）[(1)]では，「電流とその利用」における「電流・電圧と抵抗」について，「金属線に加わる電圧と電流を測定する実験を行い，電圧と電流の関係を見いだして理解するとともに，金属線には電気抵抗があることを理解すること」と明記されている。しかし，「平成30年度全国学力・学習状況調査報告書【中学校】理科」（国立教育政策研究所，2018）[(2)]において，オームの法則を使って抵抗の値を求めることができるかどうかをみる問題の正答率は52.3％であり，複数の実験結果から必要な値を読み取り，オームの法則を使って抵抗の値を求める知識を身に付けることには課題があることが報告された。オームの法則の他に，密度やフックの法則等は，２つの外延量（加法性の成り立つ量）の商によって表される内包量と呼ばれるが，いずれも生徒にとって理解が難しい内容である。

こうした課題に対して山田・稲田・岡崎・小林（2020）[(3)]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』を考案し，中学校理科の密度，濃度，フックの法則，オームの法則等は，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」と述べている。さらに，山田・稲田・岡崎・栗原・小林（2021）[(4)]は，密度の授業において，理科教師が数学の関数の指導事項を導入し，２つの数量の関係に着目させ，その特徴を表やグラフ，式を相互に関連付けて考察させることが，内包量概念の獲得を促進する指導法として効果があることを明らかにしている。また，金井・小川・山田（2022）[(5)]は，山田ら（2020）[(6)]及び山田ら（2021）[(7)]を参考に，中学校第１学年の「密度の理科発展的授業」として，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業（比の値を求め，グラフ化する活動）を実施したところ，「比例の数学授業」後に「密度の理科発展的授業」を行った生徒においては密度概念の理解に一定の効果があったと述べている。しかしながら，密度概念の理解に関する調査問題において，正答率が３分の１程度であった設問も見られたことから，十分な成果が得られたとは言い難い。

そこで本研究では，中学校第２学年のオームの法則において，上述した山田ら（2020）[(8)]及び山田ら（2021）[(9)]に基づく「関数的な見方・考え方」を働かせた授業を実施し，数式やグラフの意味についての理解を深め，グラフを活用することで，生徒の内包量概念の理解にどのような変容が見られるのか明らかにすることを目的とした。なお，本研究では，後述の「２．３．２ 抵抗テスト」における第３用法の理解を促すための指導法として，比の値（グラフの傾

*長岡市立東中学校　　**自然・生活教育学系

き）の意味を考察する活動を加えることとした。その理由は，電圧－電流グラフと電流－電圧グラフの２種類を取り上げてオームの法則の授業を行った勝田・山下（2015）[10]が，「グラフの傾きの意味を理解させることは容易ではなかった」と述べていることから，軸を反転させる前後のグラフの傾きの意味を考察させることの効果についても検討する必要があると考えたからである。

2　研究の方法

2．1　調査対象

新潟県内の公立中学校第２学年２クラス70人（統制群35人，実験群35人）を対象に，2020年５月中旬から下旬にかけて，意識調査，抵抗テスト，オームの法則の授業を実施した。有効回答数は統制群32人，実験群33人であった。

2．2　調査方法

両群ともに，まず，【事前】意識調査（15分間）と【事前】抵抗テスト（15分間）を行った。次に，オームの法則の授業（統制群45分間，実験群75分間）と【事後】抵抗テスト（15分間）を行った。授業の詳細については「2．4　授業実践」で述べる。最後に，【事後】意識調査（15分間）を実施した。両群で授業時間が異なるのは，実験後に，統制群ではグラフを作成し，電圧と電流の関係について考察を行ったのに対し，実験群ではワークシート１の各設問を解きながら電圧と電流の関係について考察したり，グラフの軸を反転させたワークシート２の各設問を解きながら比の値（グラフの傾き）が表す意味について考察したりしたからである。なお，教育倫理上，統制群の生徒には，この次の単元において実験群と同様の指導を行った。

2．3　調査問題

2．3．1　意識調査

ア　調査内容

安藤・小原（2010）[11]を参考に質問紙を作成した（**表１**）。調査１では数学と理科の学習の好き嫌いに関する項目が，調査２では数学と理科の内容についての経験や意識に関する36項目が設定されている。なお，調査２の問１～21は数学に関する内容，問22～36は理科における数学の活用場面に関する内容となっている。また，両教科は互いに関連性があるかという意識を調査するために問22が，両教科とも論理的な思考力の育成が重視されていることから（辰巳・松下，2006；吉川，2007；松原，2008；文部科学省，2008）[12-15]，問36が設定されている。さらに，数学に関する質問項目として，計算に関すること（問５～10），関数やグラフに関すること（問12，13，15，18，20），図形に関すること（問11，14，19），数学の学習態度に関すること（問１～４，16，17，21），理科における数学の活用場面に関する質問項目として，理科の学習における数学の必要性に関すること（問23～26，31～33），数学的な知識や解法を必要とする理科の学習の難しさや苦手に関すること（問27～30，34），理科の分野の好き嫌いに関すること（問35）が設定されている。

イ　回答方法及び集計方法

回答方法は，調査１については選択肢１～４のいずれかを選択させ，選択肢１（数学と理科，両方とも好きな教科である）を選んだ生徒をⅠ群，選択肢２（数学は好きだが，理科はあまり好きではない）を選んだ生徒をⅡ群，選択肢３（理科は好きだが，数学はあまり好きではない）を選んだ生徒をⅢ群，選択肢４（数学も理科も，あまり好きではない）を選んだ生徒をⅣ群とし，４群の人数を集計した。調査２については，「５：よく当てはまる」から「１：全く当てはまらない」までの５段階をそのまま得点化し，集計を行った。

ウ　分析方法

まず，生徒が回答した集計結果を基に，問１～36の平均値と標準偏差を算出し，主因子法・Promax回転による探索的因子分析を行った。次に，抽出された因子を構成する項目の平均値を合計し，項目数で割ったものを尺度得点とし，群間における抽出された因子の尺度得点の差をKruskal-Wallis検定と多重比較により検討した。最後に，両群それぞれの事前と事後の尺度得点をWilcoxonの符号化順位検定により検討した。

表1　質問紙

調査1	次の1～4のうち，あなたはどれに当てはまりますか。	
	1	数学と理科と，両方とも好きな教科である。
	2	数学は好きだが，理科はあまり好きではない。
	3	理科は好きだが，数学はあまり好きではない。
	4	数学も理科も，あまり好きな教科ではない。
調査2	次の質問のうち，あなた自身の経験や意識についてどれくらい当てはまりますか。	
	問1	数学の問題の解き方が分からないとき，あきらめずにいろいろな方法を考える。
	問2	数学の学習では，数や図形の規則性や性質を，自分で見つけようとする。
	問3	公式を使って問題を解く前には，なぜその公式が成り立つのかを，きちんと理解するようにする。
	問4	数学の問題の解き方（考え方）を説明するときには，筋道を立てて論理的に説明しようとする。
	問5	速く計算することは大切である。
	問6	例えば，$53+14+96+17=(53+17)+(14+96)=70+110=180$のように，複雑な計算では，計算の仕方を工夫するようにしている。
	問7	計算の仕方を工夫することで，計算のミス（計算の誤り）は減らせると思う。
	問8	定価の3割引の値段など，割合の計算は苦手である。
	問9	計算した結果を確かめることは大切である。
	問10	計算力を身につけるためには，たくさんの計算問題を解くことが必要である。
	問11	数学の学習で文章問題を解くときは，図や表をかくとわかりやすい。
	問12	数学の学習で，式（$y=3x$など）からグラフをかくことは難しい。
	問13	数学の学習で，グラフから式を求めることは難しい。
	問14	図形の知識があると，絵画や模様を鑑賞するときに，それらの見方がより深まると思う。
	問15	自然現象や社会現象などについて考えたり，予想したりするためには，関数的な見方が必要である。
	問16	数学の問題は答の正誤だけでなく，問題を解く過程も大切である。
	問17	数学で学んだ知識を，実生活の場面でも生かしたい。
	問18	数学の問題を解くとき，予測したり推測したりしている。
	問19	図形を学ぶと，論理的な考え方が身に付くと思う。
	問20	関数を学ぶことで，未知の事柄を予測できると思う。
	問21	学校の授業以外の時間に，数学に関する本を読むことがある。
	問22	数学と理科の学習は，関連性が強いと思う。
	問23	理科の実験のデータは，表やグラフで表すとわかりやすい。
	問24	理科の学習には，数学の計算力が必要なことが多い。
	問25	理科の学習では，数学の知識が必要な場面が多くある。
	問26	理科の成績を上げるためには，数学の学習が必要である。
	問27	理科の学習で，計算問題は苦手である。
	問28	理科の学習で，グラフが出てくると難しいと思う。
	問29	理科の学習で，グラフを作成するのは苦手である。
	問30	密度などを求めることは苦手である。
	問31	凸レンズを通る光の道すじの作図では，図形の相似などの知識が必要である。
	問32	ガラスの中を通る光の進み方で，入射角や屈折角など数学の図形の知識が必要である。
	問33	理科の実験で得られたデータを客観的に示すためには，数学の知識が必要である。
	問34	理科の学習で，公式や計算が出てくると，急にわからなくなる。
	問35	理科の学習では，第1分野より第2分野の方が好きである。
	問36	数学や理科は，論理的な考えを重視する教科として共通点がある。

2. 3. 2　抵抗テスト

ア　調査内容

「内包量概念の理解に関する調査研究」（辻・伊禮・石井，2010）[16]を参考に，抵抗テストを作成した（**表２，資料１**）。問１は第１用法の問題（全体量÷土台量＝内包量），問２は第２用法の問題（内包量×土台量＝全体量），問３は第３用法の問題（全体量÷内包量＝土台量），問４は保存性の問題（土台量の変化），問５は保存性の問題（全体量の変化）で構成されている。なお，問１～３までは斎藤（2002）[17]の「①関係性」に関する問題，問４，５は「②独立性」に関する問題である。また，**表３**にはその解法例を示す。解法には，ここで紹介した方法以外にも様々な方法が考えられる。例えば，問１のような物質の抵抗を求める場合，抵抗の単位「Ω」は「V/A」でも表すことができることから，「V（電圧）をA（電流）で割ればよい」といった単位から求める方法も考えられる。しかし，単位から求める方法については，すべての生徒が小学校や中学校で学習しているわけではない。そこで，ここでは小学校や中学校の数学や理科で学習する内容で解ける方法として一例を紹介した。

解法については，「公式の利用」，「比の値や抵抗概念の理解」，「グラフの理解」の３つの方法に分けた。まず，「公式の利用」については，オームの法則の公式，抵抗〔Ω〕＝電圧〔V〕÷電流〔A〕に代入して解く方法である。なお，式を変形して電圧〔V〕＝抵抗〔Ω〕×電流〔A〕，電流〔A〕＝電圧〔V〕÷抵抗〔Ω〕として求めた場合も「公式の利用」に当てはめる。また，問４，５は，公式を利用して解けない問題となっている。そのため，比の値や抵抗概念について深い理解ができていないと解けない問題である。次に，「比の値や抵抗概念の理解」については，電圧と電流の比の値が一定になることを利用したり，比の値が一定になることから比の値（抵抗）が物体（抵抗器）によって決まっていることを理解して解いたりしている場合である。なお，知識として抵抗が物体によって決まっていることを知っている場合もこれに含まれる。最後に，「グラフの理解」については，抵抗テストではグラフが示されていないため，この問題を解くにあたって直接は関係しないと考えるが，「比の値や抵抗概念の理解」を助ける働きがあると考え，あえて記載した。

イ　採点方法

各問の正答に１点ずつを与え，５点満点で集計した。

ウ　分析方法

まず，群間における【事前】抵抗テストの平均値の差を１要因参加者間分散分析で検討した。ここで，有意な差が見られなかった場合は，各グループそれぞれの事前と事後の得点の平均値を２要因参加者内分散分析により検討した。また，有意な差が認められた場合は，４群の事前と事後の得点の平均値を２要因混合計画分散分析により検討した。次に，抵抗テストそれぞれの各設問の正誤者数の差をFisherの正確確率検定により検討した。

表２　抵抗テスト

抵抗は抵抗〔Ω〕＝電圧〔V〕÷電流〔A〕で求められる。電源装置に抵抗器を１つつないだ回路をつくり，抵抗器ａ～ｄのそれぞれにかかる電圧と流れる電流を測定した。抵抗器ａ～ｄの抵抗は，それぞれ10 Ω，20 Ω，30 Ω，40 Ωである。次の問いに答えよ。

問い	抵抗概念	問　題　文
1	第１用法の問題 （電圧÷電流＝抵抗）	10＝６÷xより，x＝0.6 A，30＝６÷xより，x＝0.2 Aを使用。
2	第２用法の問題 （抵抗×電流＝電圧）	0.3 Aの電流が流れた抵抗器ａと，同じく0.3A流れた抵抗器ｄとでは，どちらの方が加えた電圧が大きいか。
3	第３用法の問題 （電圧÷抵抗＝電流）	６Vの電圧を加えた抵抗器ａと同じく６Vの電圧を加えた抵抗器ｃとでは，どちらの方が流れる電流が大きいか。
4	保存性の問題 （電流の変化）	１Aの電流が流れた抵抗器ａと1000 Aの電流が流れた抵抗器ａとでは，どちらの抵抗が大きいか。
5	保存性の問題 （電圧の変化）	１Vの電圧を加えた抵抗器ｂと，1000 Vの電圧を加えた抵抗器ｂとでは，どちらの抵抗が大きいか。

表３　抵抗テストの解法例の一例

問い	解　法	解　法　例
1	公式の利用	・電圧÷電流＝４÷0.2＝20 Ω　よって，抵抗器ｂである。
	比の値や 抵抗概念の理解	・比の値（抵抗）は，物質によって決まっているため， 電圧÷電流＝４÷0.2＝20 Ω　よって，抵抗器ｂである。
	グラフの理解	・電流－電圧グラフを考えたとき，傾きが抵抗となる。 よって，（yの増加量）÷（xの増加量）＝４÷0.2＝20 Ω　よって，抵抗器ｂである。
2	公式の利用	・抵抗器ａに加えた電圧：抵抗×電流＝10×0.3＝３ V 抵抗器ｄに加えた電圧：抵抗×電流＝40×0.3＝12 V　よって，抵抗器ｄの方が大きい。
	比の値や 抵抗概念の理解	・抵抗$_{\mathrm{a}}$＜抵抗$_{\mathrm{d}}$ならば，電圧$_{\mathrm{a}}$／電流$_{\text{一定}}$＜電圧$_{\mathrm{d}}$／電流$_{\text{一定}}$より，抵抗器ｄの方が電圧が大きい。 ・（抵抗は，「電流の流れにくさ」を表し，）同じ電流が流れたならば， 抵抗が大きい方が（電流が流れにくく）加えた電圧が大きいため，抵抗器ｄの方が大きい。
	グラフの理解	・電流－電圧グラフを考えたとき，抵抗器ａよりも抵抗器ｄの方が傾きが大きい。 このとき，同じ電流が流れたならば，傾きの大きい抵抗器ｄの方が加えた電圧が大きい。
3	公式の利用	・抵抗器ａに流れる電流：電圧÷抵抗＝６÷10＝0.6 A 抵抗器ｃに流れる電流：電圧÷抵抗＝６÷30＝0.2 A　よって，抵抗器ａの方が大きい。
	比の値や 抵抗概念の理解	・抵抗$_{\mathrm{a}}$＜抵抗$_{\mathrm{c}}$ならば，電圧$_{\text{一定}}$／電流$_{\mathrm{a}}$＜電圧$_{\text{一定}}$／電流$_{\mathrm{c}}$より，抵抗器ａの方が電流は大きい。 ・（抵抗は「電流の流れにくさ」を表すため，）同じ電圧を加えたならば， 抵抗が小さい方が（電流は流れやすく）流れる電流が大きいため，抵抗器ａの方が大きい。
	グラフの理解	・電流－電圧グラフを考えたとき，抵抗器ａよりも抵抗器ｃの方が傾きが小さい。 このとき，同じ電圧を加えたならば，傾きの小さい抵抗器ｃの方が流れる電流が大きい。
4	公式の利用	（「公式の利用」による解法はない。）
	比の値や 抵抗概念の理解	・比の値は一定のため，抵抗は一定である。 ・抵抗は流れる電流によらず一定である。抵抗は物体（抵抗器）によって決まっている。
	グラフの理解	・電圧は電流に比例しているため，傾き（抵抗）は一定である。
5	公式の利用	（「公式の利用」による解法はない。）
	比の値や 抵抗概念の理解	・比の値は一定のため，抵抗は一定である。 ・抵抗は加えた電圧によらず一定である。抵抗は物体（抵抗器）によって決まっている。
	グラフの理解	・電圧は電流に比例しているため，傾き（抵抗）は一定である。

2．4　授業実践

表４に示したように，統制群では，まず，導入において授業者が授業の目的の説明を行い，授業者方法について説明した後，教科書に記載されている実験方法通りに実験を行わせた。次に，展開においてワークシートに結果をまとめさせ，グラフが原点を通る直線になることから，電圧と電流とが比例の関係になることを生徒に見いださせた。最後に，終末において授業者が生徒の意見を黒板にまとめ，調査問題を実施した。実験群では，導入と終末における授業内容は統制群と同じであるが，展開において実験結果を基にワークシート１（**資料２**）及びワークシート２（**資料３**）の設問を個別に取り組ませた。

ワークシート１は８つの設問で構成されており，問１，２は比の値に関する問題，問３，４はグラフを作成し，グラフから式を求める問題，問５は比の値（グラフの傾き）の意味に関する問題，問６はグラフの外挿問題，問７，８はグラフの内挿問題である。なお，問１～４，６～８は「関数的な見方・考え方」を働かせる問題，問５は「比の値（グラフの傾き）の意味」について考えさせる問題である。一方，電圧と電流の軸を反転させた場合について考察させるワークシート２では，ワークシート１と比べて問１と３の指示文が異なっている。さらに，軸を反転させる意味に関する問９と，グラフ化の意味に関する問10が追加されている。

表４　両群の授業計画

<table>
<tr><th></th><th>統制群（45分間）</th><th>実験群（75分間）</th></tr>
<tr><td>導入</td><td colspan="2">◯【課題１】電圧と電流の関係について調べよう。
◯予想や仮説を立てる。
◯実験を行う。
・抵抗器ａを用いて，電圧の大きさを１Ｖから６Ｖまで１Ｖずつ変えていき，各々の電圧と電流の大きさをはかる。
・抵抗器ｂに取り替えて，同じ実験を行う。
◯実験の結果を表に整理する。</td></tr>
<tr><td>展開</td><td>◯教師主導で実験の結果をグラフ化させたり，電圧と電流の関係について考察させたりする。</td><td>◯生徒個々がワークシート１の各設問を解き，電圧と電流の関係について考察する。
◯【課題２】軸を反転させるとどんなことが分かるか。
◯生徒個々がワークシート２の各設問を解き，比の値（グラフの傾き）が表す意味について考察する。</td></tr>
<tr><td>終末</td><td colspan="2">◯本時のまとめを行う。
・電流は電圧に比例する（オームの法則）。　　・抵抗器のもつ「電流の流れにくさ」を抵抗と言う。
・抵抗は抵抗器の種類によって決まる。</td></tr>
</table>

３　結果と考察

３．１　意識調査

３．１．１　理科の好き嫌いへの影響

【事前】意識調査の調査１で４群の人数を集計した結果，Ⅰ群（数学と理科，両方とも好きな教科である）は17人，Ⅱ群（数学は好きだが，理科はあまり好きではない）は18人，Ⅲ群（理科は好きだが，数学はあまり好きではない）は13人，Ⅳ群（数学も理科も，あまり好きな教科ではない）は17人であった。理科が好きと答えた人数（Ⅰ群とⅢ群）を合計すると30人，理科が嫌いと答えた人数（Ⅱ群とⅣ群）を合計すると35人となった。また，【事後】意識調査の調査１で４群の人数を集計した結果，Ⅰ群は15人，Ⅱ群は20人，Ⅲ群は14人，Ⅳ群は16人であった。理科が好きと答えた人数を合計すると29人，理科が嫌いと答えた人数を合計すると36人となった。理科の好き嫌いの人数について，事前と事後で差があるかをFisherの直接確率計算法を用いて分析した結果，有意な差は見られなかった。したがって，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業による，理科の好き嫌いの影響は見られなかった。

３．１．２　調査２における【事前】意識調査の因子分析の結果

まず，調査２における平均値と標準偏差を算出し，天井効果と床効果が見られた13項目（３，６，７，８，９，10，11，16，21，23，25，27，30）を除外した。次に，残りの23項目について，主因子法・Promax回転による因子分析を行った。固有値の変化と因子の解釈可能性により４因子構造が妥当であると判断し，再度因子分析を行った。さらに，因子負荷量が0.4以上の負荷量を示さなかった２項目（17，32）を除外し因子分析を行った（**表５**）。

第１因子は，式やグラフの難しさに関する内容で構成されていたので，「式やグラフの難しさ」因子と命名した。第２因子は，「理科の実験で得られたデータを客観的に示すためには，数学の知識が必要である」や「図形を学ぶと，論理的な考え方が身に付くと思う」，「関数を学ぶことで，未知の事柄を予測できると思う」など，数学や図形，関数の知識の必要性やよさに関する項目が高い負荷量を示していたので，「図形や関数の必要性」因子と命名した。第３因子は，「数学の問題の解き方（考え方）を説明するときには，筋道を立てて論理的に説明しようとする」や「数学の問題を解くとき，予想したり推測したりする」など，数学を学習する際に心がけていることや，工夫しようとしていることに関する項目が高い負荷量を示していたので，「数学学習の工夫」因子と命名した。第４因子は，理科の学習における数学の必要性や関連性についての内容で構成されていたので，「数学と理科の関連性」因子と命名した。

３．１．３　【事前】意識調査における両群の等質性

【事前】意識調査から抽出された４因子について，両群の尺度得点の平均値をMann-WhitneyのU検定で調べた結果，３つの因子において両群の意識は等質であったが（「式やグラフの難しさ」因子，$U=498.5$，$Z=0.381$，*n.s.*；「数学学習の工夫」因子，$U=411.0$，$Z=-1.536$，*n.s.*；「数学と理科の関連性」因子，$U=388.5$，$Z=-1.885$，*n.s.*），

1つの因子においては両群の意識は等質でなかった(「図形や関数の必要性」因子，U＝290.5，Z＝－3.120，p＜.05)。

3．1．4 実施内容による効果

表6に示したように，事前と事後における意識調査の4因子それぞれの尺度得点の平均値をWilcoxonの符号化順位検定で調べた結果，「式やグラフの難しさ」因子，「数学学習の工夫」因子，及び「数学と理科の関連性」因子では有意な差は見られなかったが，「図形と関数の必要性」因子では統制群において有意な差が認められた。これらをまとめると，両群においてオームの法則の授業前後で意識的な変容はほとんど見られなかったことが分かる。ただし，統制群においては，「図形や関数の必要性」因子の尺度得点の平均値が有意に減少していることから，教科書通りの授業では，グラフ化することでの有用性について感じる場面が少なかったと考えられる。

表5　数学と理科に関する【事前】意識調査の因子分析の結果

項目	因子 Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
問13　数学の学習で，グラフから式を求めることは難しい	.918	－.117	.151	.085
問28　理科の学習で，グラフが出てくると難しいと思う	.851	.109	－.016	－.146
問29　理科の学習で，グラフを作成するのは苦手である	.783	－.006	.083	－.049
問34　理科の学習で，公式や計算が出てくると，急にわからなくなる	.706	.127	－.168	.121
問12　数学の学習で，式（y＝3x，y＝3/x など）からグラフをかくことは難しい	.637	－.013	－.038	－.055
問33　理科の実験で得られたデータを客観的に示すためには，数学の知識が必要である	－.166	.809	－.344	.187
問19　図形を学ぶと，論理的な考え方が身に付くと思う	－.006	.712	.174	－.197
問20　関数を学ぶことで，未知の事柄を予測できると思う	－.087	.602	.185	－.084
問36　数学や理科は，論理的な考えを重視する教科として共通点がある	－.147	.598	－.061	.221
問26　理科の成績を上げるためには，数学の学習が必要である	.045	.588	－.010	.126
問15　自然現象や社会現象などについて考えたり，予想したりするためには，関数的な見方が必要である	.004	.526	.260	－.199
問35　理科の学習では，第1分野より第2分野の方が好きである	.282	.493	.105	－.048
問31　凸レンズを通る光の道すじの作図では，図形の相似などの知識が必要である	.233	.468	－.033	.267
問14　図形の知識があると，絵画や模様を鑑賞するときに，それらの見方がより深まると思う	.302	.412	.187	－.066
問4　数学の問題の解き方（考え方）を説明するときには，筋道を立てて論理的に説明しようとする	.146	－.104	.854	.260
問18　数学の問題を解くとき，予測したり推測したりしている	－.064	.196	.661	.078
問5　速く計算することは大切である	.066	.026	.542	.147
問2　数学の学習では，数や図形の規則性や性質を，自分で見つけようとする	－.456	.134	.506	－.075
問1　数学の問題の解き方が分からないとき，あきらめずにいろいろな方法を考える	－.366	－.047	.463	.097
問22　数学と理科の学習は，関連性が強いと思う	－.017	－.017	.256	.657
問24　理科の学習には，数学の計算力が必要なことが多い	－.046	.060	.252	.621
因子相関	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Ⅰ	—	.182	－.294	－.053
Ⅱ		—	.332	.206
Ⅲ			—	－.081
Ⅳ				—

表6　事前と事後における各因子の意識変化

		式やグラフの難しさ *M*	*SD*		図形や関数の必要性 *M*	*SD*		数学学習の工夫 *M*	*SD*		数学と理科の関連性 *M*	*SD*	
統制群	事前	3.06	1.42	*n.s.*	3.92	0.93	*	3.83	1.20	*n.s.*	4.27	0.87	*n.s.*
	事後	3.18	1.44		3.80	0.97		3.79	1.19		4.09	0.93	
実験群	事前	3.21	1.06	*n.s.*	3.47	0.97	*n.s.*	3.67	0.86	*n.s.*	4.05	0.71	*n.s.*
	事後	3.16	1.03		3.53	0.98		3.76	0.79		3.95	0.68	

注）*p＜.05

3. 2　抵抗テスト

3. 2. 1　両群の等質性

【事前】抵抗テストの平均値（標準偏差）は，統制群2.22（1.39），実験群2.15（1.16）であった（表７）。１要因参加者間分散分析で調べた結果，両群の平均値に有意な差は見られなかった（$F(1,63)=0.044$，*n.s.*）。

3. 2. 2　実施内容による効果

ア　合計点の平均値

【事後】抵抗テストの平均値（標準偏差）は，統制群2.47（1.32），実験群3.03（1.36）であった（表７）。両群の事前と事後の平均値を２要因混合計画分散分析で調べた結果，主効果（抵抗テストの実施時期）において有意な差が認められた（$F(1,63)=12.360$，$p<.001$）。多重比較（Shaffer法）を行った結果，実験群では有意な上昇が認められた（統制群：$F(1,63)=1.194$，*n.s.*；実験群：$F(1,63)=15.216$，$p<.001$）。このことから，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業は，抵抗概念の理解に一定の効果があると考えられる。

イ　各設問の正誤者数

両群の各問の正誤答者数について，Fisherの直接確率計算法を用いて分析したところ（表８），統制群では授業前後で正誤答者数に有意な差は見られなかったが，実験群では内包量概念における第３用法の問題（問３）において有意な増加が認められた。このことから，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業は，内包量概念における関係性の第３用法の理解促進に効果があると考えられる。

3. 2. 3　第３法則の理解におけるグラフの傾きの意味について考える活動の効果

実験群では，抵抗テストの事前と事後で第３法則の理解に有意な増加が認められた。本研究では，第３用法の理解を促すための指導法として，グラフの傾きの意味を考察させる活動を加えた。そこで，グラフの軸を反転させる前［以下，（反転前）と示す］と後［以下（反転後）と示す］で，グラフの傾きの意味を考察する活動が第３用法の理解に影響を及ぼしたかどうか，ワークシート１及びワークシート２の問５の結果を基に検証することとした。なお，問５は，実験結果を基にグラフを作成した後で，「比の値（グラフの傾き）は，抵抗器のどのような性質を表しているか。「抵抗器の（　）」の（　）に当てはまる言葉を考えなさい。」という問題である。表９に示したように，グラフの傾きの意味について正しく答えられた生徒は，反転前は５人（15.2%），反転後は13人（39.4%）であった。問５の正誤答者数について，Fisherの直接確率計算法を用いて分析したところ，反転前後で有意な差は見られなかった。中高校生を対象に「ばねの伸びとおもりの重さ」に関するグラフ化能力の実態を調べた北村・栗田（1983）[(18)]は，傾きの意味を正しく答えられた中学生の割合は18.2%と低く，傾きの値とその意味の両方ができた割合に至っては0.9%と極めて低いことから，中学生にとってグラフの傾きの解釈は困難であり，十分な指導が必要であると述べている。また，傾きの意味の解釈が難しい理由として，「縦軸の値／横軸の値⇒縦軸の単位名／横軸の単位名⇒ばねの伸び〔cm〕／おもりの重さ〔g〕」といった思考の発展過程の難しさを示唆している。

以上のことから，勝田・山下（2015）[(19)]の先行研究でも示されたように，オームの法則の授業において，自力でグラフの傾きの意味について理解することは容易ではなく，グラフを作成することで，内包量が何を表しているかグラフから読み取ることは難しいと言える。なお，反転後の誤答クの「電気抵抗」については，前後の記述などから明らかに「電流の流れにくさ」を意図しているものについては，正答アに含め，そうでないものを誤答として扱った。

それでは，なぜ，第３用法の理解が促進されたのか。その要因を明らかにするために，抵抗テストの事前と事後で有意な増加が認められた問３（第３用法の問題）の解法を分析することとした。表10は，実験群の解法例であり，事前と事後で解法ア，ウの人数が増加していることが分かる。解法アにおける２人の増加は，事前において解法イで解いた生徒であった。おそらく事後では，オームの法則を式変形して導き出したのではないかと考えられる。それに対して，解法ウについては抵抗の意味（電流の流れにくさを表す量）を理解し，答えている可能性が高いため，抵抗概念を活用して解答を導き出したと推察される。なお，事後では「無記入」が３人増えているが，抵抗概念を活用している可能性も考えられる。抵抗概念の理解について，グラフの傾きの意味について考える活動により，傾きの意味を正しく答えられる生徒が増加したものの有意な差は見られなかった。しかし，そのような活動を取り入れたことで授業の終末で行った「抵抗器のもつ『電流の流れにくさ』を抵抗とよぶ」ことの理解がより明確になり，抵抗概念の理解の手助けになったのではないかと考える。なお，表10の解法ウで答えた生徒は６人いるが，そのうちの４人は，問５においてグラフの傾きの意味を反転前後ともに正解だった５人のうちの４人であった。

以上のことから，オームの法則の授業において「関数的な見方・考え方」を働かせて取り組ませたことで，抵抗概

念の理解が深まり，内包量概念に関する問題の解決の糸口になったことが示唆された。なお，【事前】抵抗テストでは，公式が与えられただけで，抵抗概念については，ほとんどの生徒が知らない状態であったにもかかわらず，６人の生徒が算数の知識，技能を使って問題を解くことができた。したがって，第５学年の算数で学習する「速さ」の理解が，抵抗概念（関係性）の理解にも影響を及ぼしていると考えられる。内包量の理解について斎藤（2017）[20]は，３つの量の関係の理解及び操作を習熟させることも重要であると述べている。改めて，第５年生での算数の「速さ」の学習が大切だと言えるのではないだろうか。

表７　事前と事後における両群の平均値

		抵抗テスト		
		M	*SD*	
統制群（32人）	事前	2.22	1.39	*n.s.*
	事後	2.47	1.32	
実験群（33人）	事前	2.15	1.16	***
	事後	3.03	1.36	

注）$^{***}p<.001$

表８　事前と事後における両群の各問の正誤答者数

			抵抗テスト					
			問１	問２	問３		問４	問５
統制群（32人）	事前	正答	23	22	13		7	6
		誤答	9	10	19		25	26
	事後	正答	25	22	14		7	11
		誤答	7	10	18		25	21
実験群（33人）	事前	正答	27	21	11		6	6
		誤答	6	12	22	*	27	27
	事後	正答	32	21	21		13	13
		誤答	1	12	12		20	20

注）$^{*}p<.05$

表９　実験群の反転前後における問５（グラフの傾きの意味）の回答例（N＝33）

問５の回答例		人数（人）	
		反転前	反転後
正答			
ア	反転前：電流の流れやすさ	5	−
イ	反転後：電流の流れにくさ	−	13
誤答		28	20
カ	電流の大きさ	6	0
キ	電圧の大きさ	0	5
ク	電気抵抗	5	3
ケ	比例	4	4
コ	その他	2	1
サ	無記入	11	7

表10　実験群の事前と事後における問３（第３用法の問題）の正答者の解法例（N＝33）

問３の正答者の解法例		人数（人）	
		事前	事後
ア	６÷10＝0.6 A，６÷30＝0.2 A を使用。	6	8
イ	10＝６÷ x より，x ＝0.6 A，30＝６÷ x より，x ＝0.2	2	0
ウ	抵抗器 a の方が抵抗が小さいため。	0	6
エ	抵抗が小さいほど，１A当たりの電圧は小さくなる。そのため，同じ電圧ならば，抵抗が小さい方が電流は大きい。	1	0
オ	その他	0	2
カ	無記入	2	5
	合計	11	21

3. 2. 4　内包量概念の独立性の理解を妨げた要因

金井ら（2022）[21]では，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業を行うことで，内包量概念における関係性の第３用法と独立性の理解に一定の効果があることが明らかにされた。しかし，本研究では一定の効果が見られたのは関係性の第３用法のみで，独立性の理解については有意な変容は見られなかった。ここでは，その要因について考察する。著者らは，独立性の理解には，内包量である比の値が一定になることを実験結果から見いだすことが大切だと考えた。そこで，オームの法則の授業において，比の値が一定になることをどれだけの生徒が見いだしているか，実験で使用したワークシート１及びワークシート２の問２の結果を基に検証することとした。なお，問２は，電圧と電流の測定結果から，各電圧（または電流）における電流：電圧の比の値を求め，「その結果からどんなことが言えるか」が問われており，求めた比の値を踏まえ，比の値が一定またはほぼ一定になることを見いだす問題となっている。表11より，比の値が一定またはほぼ一定になることを見いだした生徒は，グラフの軸を反転させる前（電圧－電流グラフ）［以下（反転前）と示す］では33人中14人（42.4％），グラフの軸を反転させた後（電流－電圧グラフ）［以下（反転後）と示す］では33人中17人（51.5％）であった。なお，第１学年の密度の授業において，同様の調査を行った金井ら（2022）[22]では89.1％であったことが報告されている。

では，なぜ，密度に比べ，抵抗においては比の値が一定またはほぼ一定になることを見いだせなかったのか。その要因の一つとして測定による誤差が考えられる。まず，金井ら（2022）[23]では，体積をあらかじめ測定した物体を用意し，生徒は電子てんびんを用いて質量を測定するため，生徒の操作による誤差は非常に少ない。しかし，「抵抗」の実験では，電圧の調整や電圧，電流の読み取りは生徒が行うため，過失誤差が生じやすい。実際に授業では，電圧を正しく調整できなかったり電流を正しく読み取れなかったりする生徒が多く見られた。そのため，生徒の電圧計，電流計の操作ミスによる誤差が影響したのではないかと考えた。表12は，密度及びオームの法則の授業における測定結果である。また，図１，表13は，密度の授業において18班，オームの法則の授業において９班の測定値の誤差を箱ひげ図で示したものと，その四分位数表である。ただし，四分位数表は，外れ値を含んだ結果である。表13より，まず，密度（物体ａ，ｂ），抵抗（抵抗器ａ，ｂ）の測定値／真値の中央値は，すべて1.000であった。図１より，外れ値を除くと抵抗器ｂの中央値は，若干1.000からずれるが，十分影響のない範囲である。次に，誤差について，図１より，それぞれの最小値と最大値の幅を見ると，明らかに密度の方が抵抗より小さいことが分かる。これより，密度の方が抵抗よりも誤差の幅が小さいと言える。また，それぞれの外れ値を見ると，明らかに密度よりも抵抗の方が多い。そのため，生徒は外れ値に注意がいき，比の値を一定とみなさなかったのではないかと考えられる。なお，反転前において抵抗器ｂの方が抵抗器ａよりも外れ値が大きいのは，抵抗器ｂの方が抵抗が大きいため，（特に電圧が小さいとき）電流が小さく，読み取り誤差が大きいためと考えられる。そして，表13より，四分領域を見ると，密度の物体ａ及び物体ｂ，抵抗の反転後の抵抗器ａは0.000で，測定値のばらつきはほぼないことが分かる。表11の回答例エにおいて，反転後の抵抗器ｂの比の値は一定でないと答えている生徒が４人いることからも，生徒はこのばらつきから比の値が一定でないと判断した可能性が高い。しかし，表12より，抵抗における変動変数（SD／M）を見ると0.02または0.03と，真値に対してのばらつきは極めて小さく，ばらつきは十分誤差の範囲であると考えられる。

この他に，密度の実験では，測定回数が３回しかないことから，３回のうち２回が同じ値であれば，生徒は「比の値がほぼ一定である」と判断していたのではないだろうか。実際，３回の測定結果のうち，３回ともの比の値が異なっていた班は，18班中１班だけであった。それに対し，オームの法則の実験では，測定回数も６回と密度に比べて多く，いくつかの異なる測定値からばらつきが大きい（統計上は大きくない）と誤って認識し，「比の値がほぼ一定である」と判断できず，「比例の関係」や「抵抗器の大小関係」に意識が向いたのではないだろうか。また，誤差の理解が十分できていないことは，グラフの作成からも見て取れる。表14は，ワークシート１及びワークシート２の問３の誤答例をまとめたものである。問３は，比の値を求めた後，実験結果をグラフに表す内容となっている。これより，誤答イは，誤差の理解ができていないことで生じる内容であると言える。正答としては，測定値が線の上下に均等に散らばるように直線を引く必要があるが（図２），誤答では，折れ線で描いたりデータの一番大きな値に合わせて直線を引いていたり，中でも多かったのは傾きがきれいな値になるように直線を引いている場合であった（図３）。反転前は５人，反転後は12人の誤答が見られたが，実際はきれいな傾きになるように引いた直線が，たまたま測定値が均等になるように引けた可能性もあり，事前と事後ともに誤答の人数は12人以上いたと考えられる。末廣・内ノ倉（2018）[24]は，中高生を対象に，フックの法則を事例として，グラフの構成・解釈のメタ的知識（認識的知識）と手続き的知識の実態を調査した結果，「グラフの種類並びに近似線の描き方」において，誤った認識をもっている生徒が87％いること，及び誤った認識をもっている生徒の内60％が適切に近似線を描けていたことから，正しい描き方を認識していない場合でも，手続きとしては描くことができる生徒の割合が高いことを明らかにしている。これは本研究の生徒の実態と類似していると言える。以上のことをまとめると，測定は真値に近いデータを十分に測定

できており，誤差も測定結果に影響を及ぼさない範囲であると判断できることから，オームの法則の授業において，比の値が一定またはほぼ一定になることを十分に見いだせなかった要因は，生徒による誤差の認識不足にあると考えられる。

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018a）[25]では，第１学年における物体の変形について，ばねの伸びを測定する実験を行う際，「測定結果を処理する際，測定値には誤差が必ず含まれていることを踏まえた上で規則性を見いださせるように指導し，誤差の扱いやグラフ化など，測定値の処理の仕方の基礎を習得させることが大切である」と明記され，第２学年における電気抵抗について，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う際，「第１学年での『ばねに加える力の大きさとばねの伸びとの関係』の学習などと関連を図りながら，誤差の扱いやグラフ化など，測定値の処理の仕方を習得させることが大切である」と明記されており，どちらも誤差指導の重要性について述べられている。本来，オームの法則の実験では，表にまとめたデータを見ただけで，電圧と電流の比が一定であることを見いだすことは難しく，それらをグラフに表すことによって，グラフが原点を通る直線になることから，電圧と電流が比例の関係にあり，比の値が一定になることを理解する。しかし，本研究では，比の値を求め，それが一定になることを見いだしてから，グラフに表すという授業を行った。数学で扱う比の値（２つの数量関係が比例の関係にある場合）は常に一定の値を示し，誤差を伴わない。理科では測定値には必ず誤差が含まれており，比の値が常に同じ数値を示すことはまずない。特に，オームの法則の実験は誤差が大きいため，数学の授業と同様に，比の値を求め，それが一定になることを見いだし，比例の関係を理解することは難しく，そのような数学的処理が自然の事物・現象に対する概念や原理・法則の理解の妨げになっているとも考えられる。そのため，比の値が一定になることを十分に理解できていないと，例えグラフ化して電圧と電流が比例の関係になることを見いだせたとしても，そのことと電圧と電流の比の値が一定になり，内包量が保存されることが結び付かなかったのではないだろうか。したがって，数学と理科ではそれぞれ特性が異なることから，違うアプローチが必要になると考えられる。理科は測定値をグラフ化し，結果を分析して解釈することで，誤差を理解し，規則性を見いだすことができる。比の値を求めてからグラフ化するのではなく，グラフ化してその傾きから比の値を求めることの方が自然であり，その方が比の値が一定であることを見いだし，内包量が保存されることへの理解につながると考えられる。

表11　実験群における反転前後の問２（比の値）の回答例（N＝33）

問２の回答例		人数（人）	
		反転前	反転後
ア	比の値が一定または，ほぼ一定になっている。	14	17
イ	比例の関係である。	9	7
ウ	抵抗器ａ，ｂの大小関係について指摘している。	8	4
エ	抵抗器ａは一定であるが，抵抗器ｂは一定でない。	0	4
オ	その他	2	2
カ	無記入	2	2

注）自由記述のため，１つの回答がア〜オの複数にあてはまったものもある。

表12　密度及びオームの法則の実験における測定結果

			測定資料	独立変数と測定回数	班数	比の値			
						真値	*M*	*SD*	*SD/M*
密度〔g/㎤〕			アルミニウム	体積：３回	18	2.70	2.72	0.01	0.00
			銅	体積：３回	18	8.96	8.90	0.01	0.00
抵抗	〔1/Ω〕	反転前	抵抗器ａ	電圧：６回	9	100	100.02	2.58	0.03
			抵抗器ｂ	電圧：６回	9	50	51.15	1.73	0.03
	〔Ω〕	反転後	抵抗器ａ	反転前データ使用	9	10	10.02	0.24	0.02
			抵抗器ｂ	反転前データ使用	9	20	19.63	0.61	0.03

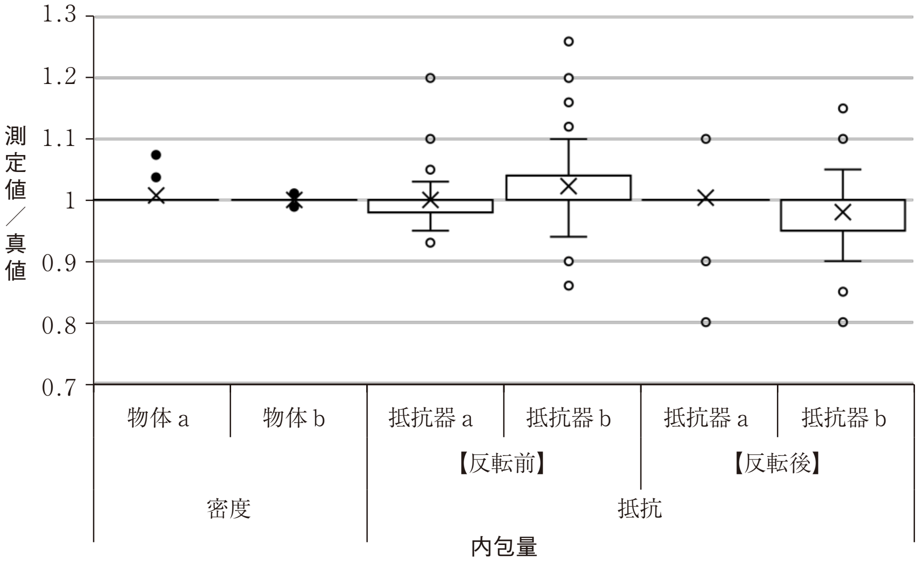


図１　密度及び抵抗における測定誤差（箱ひげ図）

注）箱は第一四分位点と第三四分位点の幅，ひげは，外れ値を除いた最大値と最小値，×と○は，それぞれ平均値と外れ値を表す。

表13　密度及び抵抗における測定誤差（四分位数表）

内包量			最小値	第一四分位数	中央値	第三四分位数	最大値	四分領域
密度		物体 a	1.000	1.000	1.000	1.000	1.074	0.000
		物体 b	0.989	1.000	1.000	1.000	1.022	0.000
抵抗	反転前	抵抗 a	0.930	0.983	1.000	1.000	1.200	0.009
		抵抗 b	0.860	1.000	1.000	1.030	1.260	0.015
	反転後	抵抗 a	0.800	1.000	1.000	1.000	1.100	0.000
		抵抗 b	0.800	0.963	1.000	1.000	1.150	0.019

表14　実験群における反転前後の問３の回答例（N＝33）

問３の誤答例	人数（人） 反転前	反転後
ア　単位や量の表示がない。	9	−
イ　直線の引き方が間違っている。	5	12
ウ　正しく点が打てていない。	2	0
エ　直線がグラフの用紙の端まで引かれていない。	2	0

注）重複して間違えている場合もある。反転後のグラフ用紙には，単位や量があらかじめ記載されている。

4　まとめ

本研究の目的は，中学校第２学年のオームの法則において，「関数的な見方・考え方」を働かせた授業を実施し，数式やグラフの意味についての理解を深め，グラフを活用することで，生徒の内包量概念の理解にどのような変容が見られるのかを明らかにすることであった。この目的を達成するために，統制群，実験群いずれも35人を対象に，意識調査，抵抗テスト，オームの法則の授業を実施した。その結果，次の３点が明らかになった。１つ目は，本研究の指導法は内包量概念における関係性の第３用法の理解促進に効果がある。２つ目は，内包量概念の独立性の理解を高めるためには，比の値が一定であることを見いだす必要がある。３つ目は，第３用法の理解（全体量÷内包量＝土台

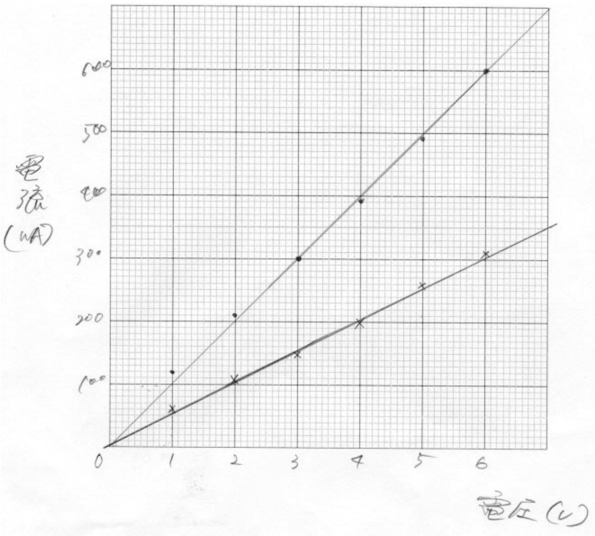


図２　グラフの直線の引き方（正答例）

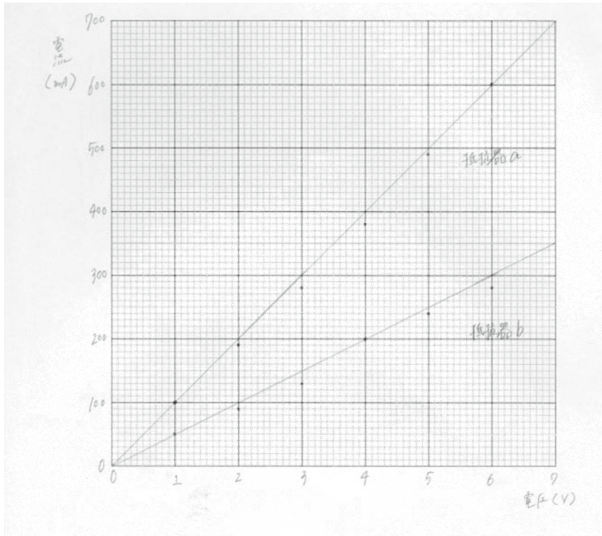


図３　グラフの直線の引き方（誤答例）

量）に向けてグラフの傾きの意味を考える活動は，生徒にとってかなり難しい。

また，グラフの傾きの意味が十分に理解できなかった要因として２点考えられる。１つ目として，オームの法則の授業を行った時点で，数学の一次関数を履修していなかったことである。グラフの傾きについて，第２学年の一次関数で学習するため（文部科学省，2018b）[26]，小学校第５学年の算数や中学校１学年の数学の比例では，傾きについて詳しく学習していない。したがって，生徒の多くはグラフの傾きが（独立変数の変化量）／（従属変数の変化量）で表されることを知らなかったと考えられる。電圧－電流グラフではグラフの傾きを「電流の大きさ」と捉え，電流－電圧グラフでは「電圧の大きさ」と捉える生徒が多かったことからも，傾きを「独立変数の変化量」として認識し，単位量当たりの大きさであることを理解できていないことが分かる。通常のカリキュラムでは，数学の一次関数は７月頃行われ，理科のオームの法則は10月頃行われるため，数学→理科の順番で行われるが，本研究では，数学の一次関数の前にオームの法則の授業を実施した。そのため，今後は，数学の一次関数の後に実施し，グラフの傾きの意味について考える活動が第３用法の理解にどのように影響するか検証していきたい。２つ目に，中学校の理科教科書において，電圧とは「回路に電流を流そうとするはたらき」と記されているだけであり（霜田・森本ら，2020）[27]，電圧について具体的に理解することなく学習が終わっている可能性がある。そのため，各電圧または電流における比の値を求め，それが一定になることを見いだし，電流と電圧をグラフ化し，比例の関係は導き出せたとしても，比の値を求めている際，その比の値が何を表しているかや，グラフ作成の際，縦軸・横軸がそれぞれ何を意味するかを理解せず作業している。したがって，傾きが何を意味するのかと問われると，電流と電圧の関係性が理解できていないため，独立変数の変化だけに着目し，「電流の大きさ」や「電圧の大きさ」といった答えが返ってくると考えられる。以上のことから，グラフの傾きの意味だけでなく，比の値（抵抗）の意味を理解するためにも，（電流と）電圧の正しい概念を構築するための支援をすることで，内包量概念の理解もより深まると考える。

5　今後の課題

本研究では，比の値が一定になることを十分に見いださせることができず，内包量概念の独立性の理解に課題が残った。そこで，今後の課題の１つ目として，グラフから比の値を求める活動による内包量概念の理解（特に，独立性の問題）への効果を明らかにしたい。人口密度と物質密度の調査を行った斎藤（2002）[28]は，内包量はその内容によって概念としての獲得状況が異なってくることを指摘しており，密度概念と抵抗概念の獲得状況を明確にする上でも再調査する意義は十分にある。２つ目として，数学の一次関数を行う前にオームの法則の授業を実施したため，グラフの傾きについての理解が不十分であった。そこで，まずは数学の一次関数の後に理科のオームの法則の授業を行うこと，次に電流と電圧の理解を促した後に「関数的な見方・考え方」を働かせた理科授業を実施することで，内包量概念の理解促進への効果を明らかにしたい。

付記

本稿は，2020年度日本科学教育学会第44回年会（兵庫教育大学：オンライン開催）において発表した内容，及び筆頭著者が2021年３月に上越教育大学大学院に提出した修士論文を再構成したものである。また，本研究の一部は，JSPS科研費21K13660の助成を受けて行われた研究成果に基づいている。

引用文献

(1) 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」，学校図書，pp.40-41，2018a.
(2) 国立教育政策研究所：「平成30年度全国学力・学習状況調査報告書【中学校】理科」，pp.61-62，2018.
(3) 山田貴之・稲田佳彦・岡崎正和・小林辰至：「『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.555-575，2020.
(4) 山田貴之・稲田佳彦・岡崎正和・栗原淳一・小林辰至：「数学との教科等横断的な学習を促す理科授業の試み－関数概念を有する密度の学習に焦点を当てて－」，理科教育学研究，第62巻，第２号，pp.559-576，2021.
(5) 金井太一・小川佳宏・山田貴之：「理科と数学の学習の順序性が密度概念の理解に及ぼす効果－中学校第１学年理科『密度』の発展的授業を通して－」，理科教育学研究，第62巻，第３号，pp.577-584，2022.
(6) 前掲(3)
(7) 前掲(4)
(8) 前掲(3)
(9) 前掲(4)
(10) 勝田紀仁・山下修一：「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.7-11，2015.
(11) 安藤秀俊・小原美枝：「数学と理科の関わりについての意識調査」，科学教育研究，第34巻，第２号，pp.207-219，2010.
(12) 辰巳哲治・松下賢：「論理的な思考力を目指してⅢ」，北海道教育大学附属函館中学校紀要，pp.44-49，2006.
(13) 吉川芳則：「説明的文章の学習指導要領の観点から見た小学校理科教科書」，全国大学国語教育学会発表要旨集，第113号，pp.69-72，2007.
(14) 松原静郎：「PISA型テスト解答に見る“問題な言語力”」，楽しい理科授業11月号，明治図書，pp.8-11，2008.
(15) 文部科学省：「中学校学習指導要領（平成29年告示）解説数学編」，pp.8-19，教育出版，2008.
(16) 辻千秋・伊禮三之・石井恭子：「内包量概念の形成に関する調査研究」，福井大学教育実践研究，第35巻，pp.97-102，2010.
(17) 斎藤裕：「短大生を対象とした内包量の理解に関する研究」，県立新潟女子短期大学研究紀要，第39巻，pp.25-35，2002.
(18) 北村太一郎・栗田一良：「中学生・高校生のグラフ化に関する調査（その１）－正比例のグラフについて－」，日本理科教育学会研究紀要，第24巻，第２号，pp.55-62，1983.
(19) 前掲(10)
(20) 斎藤裕：「『相加平均』操作に焦点を当てた内包量の理解度調査とその学習支援方略の研究」，人間生活学研究，第８巻，pp.81-88，2017.
(21) 前掲(5)
(22) 前掲(5)
(23) 前掲(5)
(24) 末廣渉・内ノ倉真吾：「中学生・高校生のグラフの構成・解釈のメタ的認知と手続き的認知の関係－おもりとばねの長さの関係を表すグラフの構成・解釈を事例として－」，日本科学教育学会研究会研究報告，第33巻，第２号，pp.55-60，2018.
(25) 前掲(1)，pp.33-34，p.42
(26) 文部科学省：「中学校学習指導要領（平成29年告示）解説数学編」，教育出版，pp.118-119，2018b.
(27) 霜田光一・森本信也・ほか32名：「中学校　科学２　SCIENCE」，学校図書，p.158，2020.
(28) 前掲(17)

【資料１】抵抗テスト

電流の流れにくさを電気抵抗または抵抗といいます。抵抗の単位にはオーム（記号Ω）が使われます。V の電圧をかけたときに 1 Aの電流が流れるときの抵抗の大きさを 1Ωと決めています。図１の回路において，表１を見ながら以下の問題に答えてください。なお，抵抗は「抵抗（Ω） ＝ 電圧（V） ÷ 電流（A）」の公式で求められます。

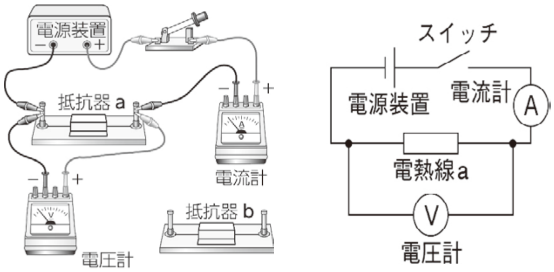


図１　回路図

表１　抵抗表

抵抗器	a	b	c	d
抵抗	10Ω	20Ω	30Ω	40Ω

問１　0.2 Aの電流が流れたとき，電圧は 4 Vでした。この抵抗器はa～dのどれですか。次のア～オから１つ選び，記号で答えてください。

ア　抵抗器a　　イ　抵抗器b　　ウ　抵抗器c　　エ　抵抗器d　　オ　わからない

＜考え方または計算式など＞

答え＿＿＿＿＿＿

問２　0.3 Aの電流が流れた抵抗器aと，同じく0.3 Aの電流が流れた抵抗器dでは，どちらの方がかかった電圧が大きいですか。次のア～オから１つ選び，記号で答えてください。

ア　抵抗器a　　イ　抵抗器d　　ウ　どちらも同じ　　エ　わからない

＜考え方または計算など＞

答え＿＿＿＿＿＿

問３　6 Vの電圧を加えた抵抗器aと同じく 6 Vの電圧を加えた抵抗器cとでは，どちらの方が流れる電流が大きいですか。次のア～エから１つ選び，記号で答えてください。

ア　抵抗器a　　イ　抵抗器c　　ウ　どちらも同じ　　エ　わからない

＜考え方または計算式など＞

答え＿＿＿＿＿

問４　1 Aの電流が流れた抵抗器aと1000 Aの電流が流れた抵抗器aとでは，どちらの抵抗が大きいですか。次のア～エから１つ選び，記号で答えてください。

ア　1 A　　イ　1000 A　　ウ　どちらも同じ　　エ　わからない

＜考え方または計算式など＞

答え＿＿＿＿＿

問５　1 Vの電圧を加えた抵抗器bと1000 Vの電圧を加えた抵抗器bとでは，どちらの抵抗が大きいですか。次のア～エから１つ選び，記号で答えてください。

ア　1 V　　イ　1000 V　　ウ　どちらも同じ　　エ　わからない

＜考え方または計算式など＞

答え＿＿＿＿＿

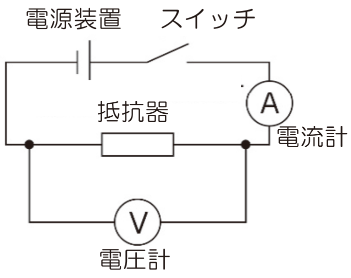
註　資料１は調査の概要を示すために，実際の質問紙の行間を大幅に詰めたものである。

【資料２】ワークシート１：「電圧と電流の関係について調べよう」

準備　電源装置，抵抗器（10 Ω，20 Ω），スイッチ，クリップつき導線，電流計，電圧計

方法

1　回路をつくる。
・右図のような回路をつくり，電流計と電圧計をつなぐ。
2　電圧と電流の大きさをはかる。
・電源装置の電圧調整つまみを回していき，電圧計の値を見ながら，電圧の大きさを1 V，2 V，3 Vと，6 Vまで変えていく。それぞれのときの電圧と電流の大きさをはかる。
3　抵抗器を取りかえる。
・抵抗器を取りかえて，２と同じ実験を行う。



結果

・結果を表に記入する。

【抵抗器a】

x	電圧 ［V］	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
y	電流 ［mA］	0						

【抵抗器b】

x	電圧 ［V］	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
y	電流 ［mA］	0						

考察

問１　抵抗器aとbにおいて，電圧が1.0～6.0 Vのときの「電流：電圧の比の値」をそれぞれ求めなさい。なお，数値は小数第１位を四捨五入して，整数で答えなさい。

※電流：電圧の比の値 ＝ $\frac{y}{x}$ ＝ $\frac{電流}{電圧}$

電圧［V］	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
抵抗器aの比の値						
抵抗器bの比の値						

問２　問１の結果からどんなことが言えるか。

問３　結果をグラフに表しなさい（ただし，抵抗器aは●，抵抗器bは×で印を付けること）。
※紙面の都合上，グラフ作成欄は省略した。

問４　抵抗器aとb，それぞれについて，電圧をx，電流をyとして，$y＝ax$の形で表しなさい。

抵抗器aの電流と電圧の関係	
抵抗器bの電流と電圧の関係	

問５　比の値（グラフの傾き）は抵抗器のどんな性質を表しているか。次の□に当てはまる言葉を考えなさい。

抵抗器の□

問６　12 Vの電圧を加えると，600 mA（＝0.6 A）の電流が流れる抵抗器があった。この抵抗器はaとbのどちらか。理由も含めて答えなさい。

答え	
理由	

問７　3.5 Vの電圧を加えたとき，抵抗器aとbでは，どちらの方が流れる電流が大きいか。

答え	
理由	

問８　抵抗器に200 mAの電流を流したとき，抵抗器aとbでは，どちらの方がかかった電圧が大きいか。

答え	
理由	

註　資料２は調査の概要を示すために，実際の質問紙の行間を大幅に詰めたものである。

【資料３】ワークシート２：「軸を反転させるとどんなことが分かるか」

準備

・前時の実験結果を基に下の表を完成させなさい。ただし，数値は四捨五入して小数第２までとすること。

【抵抗器a】

x	電流［A］	0						
y	電圧［V］	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

【抵抗器b】

x	電流［A］	0						
y	電圧［V］	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

問１　抵抗器aとbにおいて，電流が①～⑥のときの「電圧：電流の比の値」をそれぞれ求めなさい。なお，数値は小数第１位を四捨五入して，整数で答えなさい。

※　電圧：電流の比の値 $= \frac{y}{x} = \frac{電圧}{電流}$

電流［A］	①	②	③	④	⑤	⑥
抵抗器aの比の値						
抵抗器bの比の値						

問２　問１の結果からどんなことが言えるか。

問３　電圧と電流の軸を反転させたグラフをかきなさい（ただし，抵抗器aは●，抵抗器bは×で印を付けること）。
※紙面の都合上，グラフ作成欄は省略した。

問４　抵抗器aとb，それぞれについて，電流をx，電圧をyとして，$y = ax$の形で表しなさい。

抵抗器aの電流と電圧の関係	
抵抗器bの電流と電圧の関係	

問５　比の値（グラフの傾き）は抵抗器のどんな性質を表しているか。次の$\boxed{}$に当てはまる言葉を考えなさい。

抵抗器の$\boxed{}$

問６　12 Vの電圧を加えると，600 mA（＝0.6 A）の電流が流れる抵抗器があった。この抵抗器はaとbのどちらか。理由も含めて答えなさい。

答え	
理由	

問７　3.5 Vの電圧を加えたとき，抵抗器aとbでは，どちらの方が流れる電流が大きいか。

答え	
理由	

問８　抵抗器に0.2 Aの電流を流したとき，抵抗器aとbでは，どちらの方がかかった電圧が大きいか。

答え	
理由	

問９　軸を反転させることで，何か気付いたり，分かったり，考えたりしたことはありますか？できるだけたくさん書いてください。

問10　表にまとめることとグラフにすることを比較したとき，グラフにすることのよさは何だと考えますか？できるだけたくさん書いてください。

註　資料３は調査の概要を示すために，実際の質問紙の行間を大幅に詰めたものである。

Effects of Science Class Using Functional Viewpoints and Ways of Thinking on the Understanding of the Concept of Inclusive Quantity in the Study of Ohm's Law in Lower Secondary School

Taichi KANAI* · Yoshihiro OGAWA** · Takayuki YAMADA**

ABSTRACT

This study examined a class on Ohm's law in the second year of lower secondary school using functional viewpoints and ways of thinking to deepen students' understanding of the meaning of equations and graphs and to identify how students' understanding of the concept of inclusive quantity can be transformed by the use of graphs. To achieve this purpose, awareness surveys, resistance tests, and lessons in Ohm's law were conducted with 35 students in the control and experimental groups. The following three results were obtained. First, the teaching method used enhanced the understanding of the concept of inner quantity. Second, to improve our understanding of the independence of the concept of endowment, we must establish that the ratio is constant. Third, it is difficult for students to think about the meaning of the slope of the graph to understand the third usage (total amount / inner amount = foundation amount).

* Nagaoka Municipal Higashi Lower Secondary School　** Natural and Living Science