

湿度に関する問題解決の促進・抑制要因の検討

—中学校の理科授業を対象として—

蛸名 正司・小野 耕一

1. 問題と目的

科学的法則（以下、ルール）を問題解決に適用する際に、どのような促進・抑制要因があるのかについて、これまで多数の研究によって明らかにされてきた（e.g., 麻柄他, 2006）。特に近年では、ルールを問題状況に合わせて変換操作（以下、知識操作）できるかどうか、問題解決に重要な影響を与えることが指摘されている（工藤, 2010；立木・伏見, 2008；麻柄・進藤, 2011）。本研究では、科学的法則の中でも特に理解が難しい数量関係に関するルール命題を取り上げ、問題解決に適用する際の促進・抑制要因を検討する。

数量関係に関するルール命題を扱った先行研究では、公式上で変数間の操作を促しても（以下、変数操作）、適切な操作が促されないことが指摘されている（佐藤, 2010；小口, 2013）。なお、本稿で述べる変数操作とは、「ルール命題の変数項で示された値ないしは変動方向を変化させることにより、別のルール命題を導く思考」を指す（工藤, 2010）。そのため、先行研究では変数操作を促すための教授法が考案され、その効果が検証されている。例えば、佐藤（2010）は面積に関する2乗倍ルール（図形をK倍に拡大すると面積はK²倍になる）を提示する際に、面積の変化を粒子に置き換えて数え上げる具現化が有効であることを指摘した。また、小口（2013）は、大数の法則（標本の大きさが大きくなるにしたがって、標本比率はほとんど確実に母比率に近づく）を提示する際に、学習者がシミュレーションをすることで変換されたルール命題の正しさが理解されやすくなることを指摘している。以上の先行研究が示唆しているのは、公式で表わされている記号上での変数操作を提示するだけでは十分に問題解決が促進されにくいこと、知識操作を促す上で、操作結果が正しいことを学習者自身が納得するための具体的な状況が有効であることである。しかし、その確認の手段に関して、どのようなルール命題にどのような状況が有効かなどは十分にわかっていない。そこで本研究では、中学校理科で扱われる湿度を取り上げ、湿度の問題解決における変数操作を促進するための教授要因を検討する。

湿度は、中学校第2学年で扱われる科学的概念の一つである。湿度を学習する単位（e.g., 「天気とその変化」（岡村・藤嶋, 2018））では、雲の発生要因や日本の天気の特徴が扱われている。雲の発生を理解するためには、湿度が変化するための条件（その空気に含まれる水蒸気量や飽和水蒸気量）を特定し、変数間の関係を理解する必要がある。その意味で、湿度概念はこの単位全体を理解する上で重要な概念の一つといえる。中学校で扱われる（相対）湿度（%）は、

$$\text{湿度（\%）} = \frac{1 \text{ m}^3 \text{の空気に含まれる水蒸気の質量（g/m}^3\text{）}}{\text{その空気と同じ気温での飽和水蒸気量（g/m}^3\text{）}} \times 100$$

で定義される内包量の一つであり、空気のしめり具合を表す数値として扱われる。湿度の公式を用いる問題解決では、上記の公式に加えて、飽和水蒸気量が気温の上昇とともに大きくなるという飽和水蒸気量と気温との間にある共変関係も理解する必要がある。その意味で、湿度に関する問題解決では、湿度－水蒸気量－飽和水蒸気量の3項間関係を理解することに加え、気温－飽和水蒸気量の2項間関係も理解し、問題状況に合わせて、これら

2種の変数操作を行うことが求められるといえる。湿度に関する問題解決では、時間の経過に伴って、気温と湿度がどのように変化するかを扱う場合が少なくない。すなわち、変数操作を適切に行えるかどうかの問題解決において重要な役割を担うことになる。そのため、湿度を扱う授業内においても、変数操作を促す発問をいかに取り入れるかという点が肝要となる。

本研究では、湿度に関する問題解決を促すための授業プランを考案する。そこで、まず前研究（小野・蛭名，2018，蛭名・小野，2018）で実施した授業プランを概観し、そこでの不十分な点を修正することで本研究のプランとする。前研究のプランの方針は、「水蒸気量」や「飽和水蒸気量」という概念が実感を伴って理解できるように、教科書では取り上げられない実験を実施した。例えば、単元の冒頭では、水蒸気を冷やすことで、水滴を取り出す実験を実施することで空気中には水蒸気があることを確認した。また、湿度の公式を提示する前に、密閉された袋の中の空気の温度を変化させることで、水蒸気量の出入りが無い状態では気温が変わるだけで、湿度が変わることを確かめる実験を実施した。その上で、公式を提示することで、飽和水蒸気量や水蒸気量といった数量概念が実感をともなって理解されやすくなり、その結果湿度の公式が問題解決への適用されやすくなることが期待された。

しかし、前研究の事後評価課題では、正答率が60%前後にとどまり、公式の適用が十分に促進されたとはいえなかった。この要因を検討するために授業過程を分析したところ、湿度の公式が提示された後、実験結果や観測結果を公式に基づいた変数間の関係としてとらえ直す機会が十分でなかったことが示唆された。そのため、公式上での変数操作と観測・実験結果に基づく変数操作との対応づけが不十分になり、湿度の公式が「抽象的な記号同士の関係を表したもの」という理解にとどまった可能性が考えられた。そこで本研究では、以上の問題点を踏まえ、湿度の公式を提示したあとに、観測結果や実験結果を公式を用いて振り返る活動を通して、公式上の知識操作と観測・実験に関する知識操作とを対応づけられることで、湿度に関する問題解決が促進されるかを検討する。

さて、本研究では授業プランの有効性を検討する上で、内包量の公式における「定数入れ替え原理」の理解に着目したい。本稿では、「定数入れ替え原理」を「内包量に変化する条件には、定数項になる外延量が入れ替わる2通りがあること」と定義する¹。例えば、湿度が小さくなる条件として、①飽和水蒸気量が一定で、水蒸気量が少なくなる場合、および②水蒸気量が一定で、飽和水蒸気量が大きくなる場合の2通りがある。内包量の公式に関する変数操作が必要な問題解決では、このような「定数入れ替え原理」の理解が前提になると考えられる。例えば、「湿度が小さくなる場合、飽和水蒸気量が一定のとき、水蒸気量はどうなるか？」という問題状況を考えてみる。この問題で適切に変数操作を行うには、まずは、湿度に関する「定数入れ替え原理」の理解に基づいて、「この問題の場合、定数項は飽和水蒸気量であり、変数項は水蒸気量と湿度である」と判断し、その上で「湿度が小さくなる場合は、水蒸気量も少なくなるはずだ」と変数操作をする必要がある。このように、内包量の公式に関する変数操作を行う場合、内包量に関する「定数入れ替え原理」を理解していることが前提になると考えられるものの、先行研究ではこの理解について十分に検討されていない。

ただし、関連する研究として、永瀬（2003）および進藤・麻柄（2014）に触れておきたい。永瀬（2003）は、内包量の一つである密度（crowdednessタイプ）概念の発達を検討した。「数」・「長さ」・「密度」がそれぞれ定数

¹ 内包量に変化する条件には、この他に、外延量を定数項にしない場合として次の3パターンを想定することができる。内包量をA、2つの外延量をB・Cとすると $A = \frac{B}{C}$ 、例えば内包量が小さくなる条件には、(1) Bが減少し、Cが増加する場合、(2) Bが増加し、Cも増加する場合（ただしBの増加率<Cの増加率）、(3) Bが減少し、Cも減少する場合（ただしBの減少率>Cの減少率）がありうる。しかし、外延量が2つとも変数項になる場合は変数操作が複雑化し、特に(2)・(3)のパターンは具体的な数値がなければ判断できないため、初学者には容易ではない。そのため、本稿では外延量が両方とも変数項になる(1)～(3)は扱わないこととする。

項になる問題 (e.g. 数は一定で、長さが長くなったとき、密度はどうなるか) を「論理操作二者関係課題」と呼称し、それぞれ4問ずつ計12問出題した。12問中11問以上正答した者を、二者関係理解の獲得者とみなし、学年ごとの獲得者の推移を検討した結果、小学5年生49%、6年生57%、中学1年生71%、2年生62%となり、定数項がある場合の変数操作について中学生であっても、正しく判断できないことを指摘している。永瀬(2003)の関心は変数操作のすべてタイプの発達的変容であったため、本稿で指摘する「定数入れ替え原理」の理解状況については検討されていない。

また、進藤・麻柄(2014)は、内包量の「分母と分子の変数を入れ替えて算出しても、その値が当該概念の性質を表すこと」を「変数の入れ替え原理」と呼称し、この原理の理解が単位量あたりの大きさの理解には重要であるとしている。例えば、速さを比較する場合、通常は「1時間あたりに進む距離」を求めて比較するが、「1km進むのにかかる時間」を求めて比較することもできる。「変数の入れ替え原理」は、「1時間あたりの距離」では、時間が定数値になり、「1kmあたりの時間」では距離が定数値になることから、定数項が入れ替わっても内包量を表すことができるという点では、本稿の「定数入れ替え原理」と共通である。しかしながら、進藤・麻柄(2014)における「変数の入れ替え原理」は、被除数/除数を入れ替えることを想定しており、これは通常の教科指導内で扱われる内包量の公式からは逸脱した内容となる。確かに進藤・麻柄(2014)が指摘するように、被除数/除数が入れ替わった状況下でも、「変数の入れ替え原理」に基づいて内包量の大きさを正しく判断できることは重要である。しかし、初学者の学習を考えた場合、まずは通常の公式で表わされる形式で問題解決に適用できるようになることが必要であろう。そのため本稿では、「定数入れ替え原理」を扱い、この原理の理解が、内包量の問題解決とどのように関連するのかを検討する。

以上から、本研究は以下の仮説を検証することを目的とする。湿度の公式を観測・実験結果と関連づけることで、湿度に関する問題解決が促進されるであろう。また、湿度に関する問題解決の促進・抑制要因を詳細に検討するために、内包量に関する「定数入れ替え原理」の理解に着目し、変数操作との関連を検討する。

2. 方法

2.1. 調査参加者

仙台市立A中学校に在籍する中学2年生(4クラス)125名を対象として調査が実施された。このうち、事前調査と事後調査の両方に参加した118名を分析対象とした。なお、授業および調査課題の実施に際して、学校長に研究の主旨を説明し、参加者が特定されない形で結果を公表することについて許諾を得た。

2.2. 手続き

事前調査・授業・事後調査は、いずれも第二筆者が実施した。事前調査は単元の開始時に実施し、事後調査は湿度の学習の直後に実施した。

2.3. 調査課題

事前調査課題 事前調査課題は、学習者が授業に関する知識をどの程度保持しているかを確認するために出題した(Figure1)。用語確認問題は、湿度について知っていることを自由記述で記入してもらう問題であった。日常場面問題①②は、洗濯物の乾きやすさについて、湿度と気温から判断可能かを見る問題であった。割合確認問題は、サッカー部員の割合が20%になる比較量/基準量の組み合わせを選択する問題であった。割合確認問題は、基本的な百分率の意味理解を確認する問題として出題した。

事後調査課題 事後調査課題は、授業プランの効果を検証するために出題した(Figure2)。湿度比較問題は、気温が同じで湿度が異なる2つの状況において、湿度が異なる理由を選択肢から判断してもらう問題であった。正答は、「エ. 水蒸気量はトイレの方が多いから」であった。湿度変化問題は、密閉された袋内の空気の温度を上昇させたとき、袋内の湿度がどうなるかを判断し、その判断理由を解答する問題であった。正答は、「イ. 湿度は55%より低くなる」であった。湿度変化問題は、水蒸気量が変化しないときに、飽和水蒸気量の変化と湿度

との共変関係を正しく判断できるかを見る問題であった。水蒸気量比較問題は、飽和水蒸気量のグラフを見なが

<p>【用語確認問題】①「湿度」という言葉を知っていますか。②①で「知っている」に○をつけた人は、「湿度」という言葉をどこで聞いたことがあるか、どんなところで使われているかなどを書いてください。</p> <p>【日常場面問題①】気温 20 度で湿度 50%のときと、気温 30 度で湿度 50%のときでは、洗濯物が乾きやすいのはどちらでしょうか。ア～エから正しいと思うものを一つ選んで記号に○をつけましょう。[ア. 気温 20 度で湿度 50%のとき。イ. 気温 30 度で湿度 50%のとき (○)。ウ. どちらも同じ乾きやすさ。エ. わからない。]</p> <p>【日常場面問題②】気温 20 度で湿度 50%のときと、気温 20 度で湿度 80%のときでは、洗濯物が乾きやすいのはどちらでしょうか。ア～エから正しいと思うものを一つ選んで記号に○をつけましょう。[ア. 気温 20 度で湿度 50%のとき (○)。イ. 気温 20 度で湿度 80%のとき。ウ. どちらも同じ乾きやすさ。エ. わからない。]</p> <p>【割合確認問題】A 中学校には、サッカー部があります。学校全体の人数に占めるサッカー部員数をサッカー部員の割合とよぶことにします。A 中学校のサッカー部員の割合は 20%でした。下のア～オから、サッカー部員の割合が 20%になる場合をすべて選び、記号に○をつけましょう。[ア. 学校全体が 50 人で、サッカー部員が 10 人の場合 (○)。イ. 学校全体が 100 人で、サッカー部員が 2 人の場合。ウ. 学校全体が 200 人で、サッカー部員が 10 人の場合。エ. 学校全体が 100 人で、サッカー部員が 20 人の場合 (○)。オ. 学校全体が 200 人で、サッカー部員が 40 人の場合 (○)]</p>

Figure1 事前調査課題

ら、湿度が同じで気温が異なる 2 つの状況について、どちらの水蒸気量が多いかを判断し、その理由を解答する問題であった。正答は、「ア. 水蒸気量は、部屋 A の方が多い」であった。この問題は、直接湿度と飽和水蒸気量の値から水蒸気量を算出して比較するか、変数操作によって判断するかのいずれかによって解答可能な問題であった。湿度計算問題は、飽和水蒸気量のグラフや表から必要な量を同定して、湿度の公式を用いて湿度を算出する問題であった。適切な演算「 $15 \div 23$ 」を正答とした。

以上の 4 問は前研究と同一の問題であり、本研究では、新たに湿度操作問題を追加した。湿度操作問題は、湿度が小さくなる条件として、水蒸気量が一定の場合、飽和水蒸気量が大きくなる場合、飽和水蒸気量が一定の場合、水蒸気量が小さくなる場合の両方を正しく判断できるかを見る問題であった。正答は「イ. 水蒸気量は同じで、11 時の飽和水蒸気量が 10 時に比べて大きい場合」、および「オ. 飽和水蒸気量は同じで、11 時の水蒸気量が 10 時に比べて少ない場合」の 2 つの選択肢であり、両選択肢を過不足なく選択した者を、湿度の変数操作が適切な学習者と見なした。

2. 4. 授業の概要

授業は、前研究の授業プランから以下の 2 点を変更した。第 1 に、定点観測データを扱う際に、気温と湿度の両方を継続的に記録できるデータロガー装置 (Therm La Mode 社製 RC-4HC) を用いた。これにより、任意の間隔・期間で気温および湿度を記録することが可能となり、授業では折れ線グラフによって気温と湿度の変化を捉えられるようになった。第 2 に、定点観測データや空気加熱実験の結果を湿度の公式を用いて確認することである。これにより、湿度－水蒸気量－飽和水蒸気量の変数操作を行う場面が豊富になることで、変数関係の理解が促進されると考えられる。以上の変更点を踏まえた上で、本研究の授業プランの概要を Table1 に示す。

3. 結果と考察

3. 1. 事前調査課題の結果

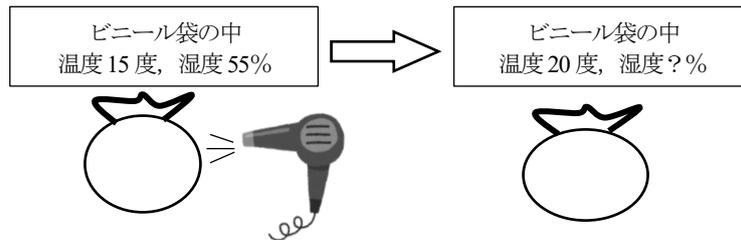
授業前の学習者の理解状況を見る。用語確認問題で、湿度という言葉を知っていると答えた学習者は 98% (118 名中 115 名) とほぼ全員が既知の言葉であった。また、どこで聞いたかという質問に対しては、「天気予報」や「部屋の湿度計」など、複数の生活場面があげられた。これらのことから、日常の生活場面を通じて、多くの学習者が湿度という言葉については聞いたことはあったといえる。日常場面問題の正答率は、①が 58%、②が 90% であり、①と②で正答率に大きな差異が見られた (Table2)。このことから、多くの学習者が湿度が高い方が洗濯物は乾きにくいと正しく判断できている一方、気温が高いことが洗濯物の乾きやすさに関係するとは考えていないことが示唆された。割合確認問題は、「ア (10/50)」、「エ (20/100)」、「オ (40/200)」を過不足なく選択

した場合を正答（完答）としたところ、正答率（完答率）は46%にとどまった。割合確認問題は、割合の基本的

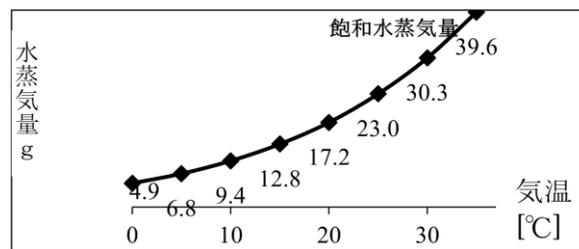
【湿度比較問題】 Aさんは、教室とトイレの気温と湿度を測定したところ、下のような結果になりました。湿度が異なる理由としてもっとも適切なものを一つ選び、記号に○をつけましょう。[ア. 飽和水蒸気量はトイレの方が少ないから。イ. 飽和水蒸気量はトイレの方が多いから。ウ. 水蒸気量はトイレの方が少ないから。エ. 水蒸気量はトイレの方が多いから（○）。オ. わからない。]

	気温	湿度
教室	10度	40%
トイレ	10度	60%

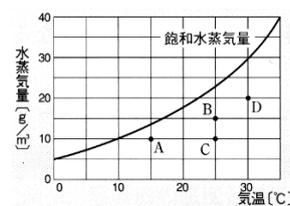
【湿度変化問題】 ビニール袋の中に空気を入れて、空気の出入りがないように密閉しました。このとき、ビニール袋の中の温度は15度、湿度が55%でした。このビニール袋にドライヤーで温風を当てたところ、ビニール袋の中の温度は、20度になりました。このとき、ビニール袋の中の湿度は55%よりも高くなりますか、低くなりますか、それとも55%のまま変わりませんか？ア～エから記号を一つ選んで○をつけましょう。また、そのように考えた理由は何ですか。[ア. 湿度は55%より高くなる。イ. 湿度は55%より低くなる（○）。ウ. 湿度は55%のまま変わらない。エ. わからない。]



【水蒸気量比較問題】 部屋Aは気温20度で、湿度が75%、部屋Bは気温が10度で湿度が75%でした。このとき、水蒸気量が多い部屋は、AとBのどちらでしょうか。下のア～エから一つ選び、記号に○をつけましょう。また、そのように判断した理由を枠の中に記入してください。なお、気温と飽和水蒸気量の関係は下の図の通りです。[ア. 水蒸気量は、部屋Aの方が多い（○）。イ. 水蒸気量は、部屋Bの方が多い。ウ. 水蒸気量はどちらの部屋も同じ。エ. わからない。]



【湿度計算問題】 下の表（右図）とグラフ（右図）は、1m³の空気中にふくむことのできる最大の水蒸気量と気温の関係を表したものである。次の問いに答えなさい。図のBの空気の湿度を求めなさい。ただし、小数第一位を四捨五入して整数で答えること。



気温 (°C)	飽和水蒸気量 (g)
-10	2.1
-5	3.2
0	4.9
5	6.8
10	9.4
15	12.8
20	17.2
25	23.0
30	30.3
35	39.6

【湿度操作問題】 Aさんはできるだけ部屋の湿度を下げたいと思っています。湿度は次の式で求められます。

$$\frac{1 \text{ m}^3 \text{の空気} \text{に} \text{ふくまれる} \text{水蒸気} \text{の} \text{質量}}{\text{その空気と同じ気温での飽和水蒸気量}} \times 100 = \text{湿度} (\%)$$

Aさんは部屋の湿度を下げたところ、10時には70%で11時には60%になりました。このように湿度が低下するのは、11時の水蒸気量と飽和水蒸気量が10時に比べてどのようになった場合ですか。下のア～オからあてはまるものをすべて選び、記号に○をつけましょう。[ア. 水蒸気量は同じで、11時の飽和水蒸気量が10時に比べて小さい場合。イ. 水蒸気量は同じで、11時の飽和水蒸気量が10時に比べて大きい場合（○）。ウ. 飽和水蒸気量の変化にかかわらず、11時の水蒸気量が10時に比べて少ない場合。エ. 飽和水蒸気量は同じで、11時の水蒸気量が10時に比べて多い場合。オ. 飽和水蒸気量は同じで、11時の水蒸気量が10時に比べて少ない場合（○）。]

Figure2 事後調査課題

な問題ではあるものの、半数以上の学習者が不十分な理解にとどまっていたといえる。

以上の事前調査の結果から、事前の学習者の状態として、日常場面の中で湿度という言葉聞いたことはある

一方で、必ずしも気温との関係性などについては十分に理解していないことがわかった。また既習事項の割合の

Table1 授業プランの概要

時間	主な内容発問 (実験や説明も含む)
1 時間目 【導入】	1. 天気の種類, 天気図を確認する。
2 時間目 【空気冷却実験】	2. 空気中に水蒸気が含まれていることを確認。 〈空気冷却実験〉袋の中の空気を冷やして, 水滴がつくことを確認する。
3 時間目 【湿度の測定】	3. 湿度が高いところはどのようなところだろうか? 〈観測〉プール, 日陰, 校庭, 花壇などの温度と湿度を測定する。 4. 測定した結果を表に整理してみよう。表からどんなことがわかりますか? 5. 気温と湿度は時間が変われば, 変わるのだろうか?
4 時間目 【定点観測データ】	6. 一日中気温と湿度を測定した結果, 次のグラフになりました。湿度と気温の変化にはどのような関係がありますか? 〈説明〉(晴れの日) 気温が下がれば湿度は上がる。気温が上がれば湿度は下がる。 (雨の日) 気温にかかわらず, 湿度が高い。 7. 教室に比べて廊下の湿度が低かった。ということは, 何が違ったのですか?
5 時間目 【露点実験】	8. 気温が下がると湿度が上がる。(2 時間に行った) 【空気冷却実験】では, 空気を冷やしたら水滴が出てきました。では, 何度ぐらいで水滴が出てくるのだろうか。 【実験】露点実験 9. 身の回りの凝結の現象をたくさん探してみよう。
6 時間目 【飽和水蒸気量】	10. 露点の実験をもとに, 気温が下がると水滴が出てくる理由として, ある気温のときに 1 m^3 の体積に含むことのできる水蒸気量は決まっていること, この水蒸気量を飽和水蒸気量と呼ぶことを説明する。 11. 気温と飽和水蒸気量の関係を説明する。 12. 湿度の公式を提示する。
7 時間目 【湿度の計算】	13. 飽和水蒸気量のグラフから, 気温や飽和水蒸気量を読み取ったり, 湿度の計算練習をしたりする。
8 時間目 【公式の活用】	14. 4 時間目に取り上げた定点観測のグラフを用いて, 同じ気温で湿度が異なっている時間を探し, なぜ異なっているのかを考えさせる。 15. 密閉された袋の中の空気を加熱する実験を実施し, 水蒸気量が一定で, 気温が上昇する場合, 湿度が小さくなることを確認する。

Table2 事前調査課題の結果
($N=118$)

	正答者数 (%)
日常場面問題①	68 (58)
日常場面問題②	106 (90)
割合確認問題	54 (46) ※

※は完答した場合を正答とした。

基本的な内容について、不十分な理解にとどまっている学習者が少なからず見られた。以上から、本研究のプランは湿度の初学者を対象として作成されたことから、プランの効果を検証する上で、本研究の参加者を対象とすることは妥当といえるものの、湿度概念の理解の前提である割合の内容については、授業内でより丁寧に復習しながら、授業を実施する必要があるといえる。

3. 2. 授業の経過

授業は、全体としてプラン通りに実施された。ここでは各時間の学習者の反応の一部を示す。

第1・2時 1時間目は事前調査を実施した後、天気の種類、天気の記号、雲量と天気の対応関係などを確認した。天気の種類は、学習者から「みぞれ」「霧」など複数の天気が挙げられていた。2時間目は、授業者から、「湿度が何を表しているか」と問われた際、学習者から「湿っている量」、「空気中にある水分の割合」、「しめっけど」、「じめじめしている」などの返答が見られた。さらに、「どんな物質が含まれているとじめじめするか」という発問に対しては、「水」という回答があった。授業者が「(空気中に)水があるかどうか」改めて学習者に確認したところ、水があると判断したのは6名であったのに対して、水がないと判断したのは8名であった。空気中に水蒸気が含まれていることは、小学校の理科で既習内容ではあるものの、必ずしも十分に理解されていないことが示唆されたといえる。

第3・4時 3時間目では、学習者に湿度が高いところはどうのような場所かを予想させた後、実際に気温と湿度を観測する活動を実施した。学習者は、プールの周りや苔が多い場所を測定していた。観測後に、「どのような場所が湿度が高いか」という発問に対して、学習者からは「風通しが良い場所は湿度が低い」、「風通しが悪く密閉されている場所は湿度が高い」という意見が出された。その際授業者から、「なぜ風通しが湿度に関係するのか」という発問が提示された際、学習者からは「水蒸気が流されていく」などの返答があり、湿度と水蒸気を関連づける返答が見られた。授業のまとめとして、湿度が変わる条件として、気温と水蒸気の2つがあることに言及した。

第5・6時 露点・飽和水蒸気量の定義を確認した。5時間目の露点実験は、ほぼ教科書(岡村・藤嶋, 2018)に沿って進められ、班ごとの測定結果がクラス全体で共有された。測定結果は 6°C ~ 10°C まで幅があったものの、最終的に水蒸気が水滴に変わる温度があり、それを露点ということを確認した。6時間目は「飽和」という語句が飽和水溶液の復習を通して導入された。また、飽和水蒸気量のグラフを提示しながら、気温と飽和水蒸気量との関係を、具体的な数値を取り上げながら説明した。特に、気温が下がると飽和水蒸気量はどうなるか、あるいは、飽和水蒸気量が小さくなると気温がどうなるかなどの発問に対して、学習者から適切な返答が見られ、気温と飽和水蒸気量の共変関係の読み取りについては、おおよそ理解できている様子であった。6時間目の後半では湿度の公式を提示し、変数操作に関する発問を提示した。具体的には、公式を指しながら「飽和水蒸気量が減りました。分母が減ったら湿度は？」などのように問いかけ、この発問に対しては、学習者は「下がる」と判断している様子うかがえた。

第7時 第6時に続いて、図表から飽和水蒸気量を読み取る方法や、読み取った値から湿度を算出する方法などを確認した。解法をクラス全体で共有する場面では、水蒸気量が未知の場合に、未知の量を「x」とおいて方程式のように考える方法などが学習者から出された。また、授業者から飽和水蒸気量に占める水蒸気量の割合のイメージとして、「座席数と座っている人の割合」と類推させるような説明が見られた。

第8時 定点観測データを取り上げて、気温が同じときは飽和水蒸気量が同じであることを確認したあと(e.g. Figure3 2020-10-05 [12:57:51] 時点と 2020-10-6 [08:12:51] 時点)、「湿度が変わる際には、あと1つ何がかわるか」と発問した際、学習者からは「水蒸気量」という返答があった。さらに「水蒸気量はどう変化したのか」という変化の方向を問う発問に対しては、学習者から「あがる」という応答があった。次に、袋加熱実験では、実験の前に、袋内の湿度がどのように変化するか予想させた。その結果、湿度が「上がる」と判断した学習者は3名、「変わらない」と判断した学習者(人数不明)、「下がる」と判断した学習者は15名ほど見られた。また、「湿度が上がる」ことの理由としては「加熱すると水滴が見えることがあるから」や「気温が上がると飽和水蒸気量も増えるから」などが挙げられた。「湿度が変わらない」ことの理由としては「密閉されていて、水蒸気量が変わらないから」が挙げられた。また、「湿度が下がる」ことの理由としては、「水蒸気の質量が変わらないけど、飽和水蒸気量が増えるので、湿度が少なくなると思う」といった、適切な変数操作にもとづいた理由が挙げられた。以上の予想およびその根拠をクラス内で共有した後、袋加熱実験を行い、湿度が小さくなることを確認した。

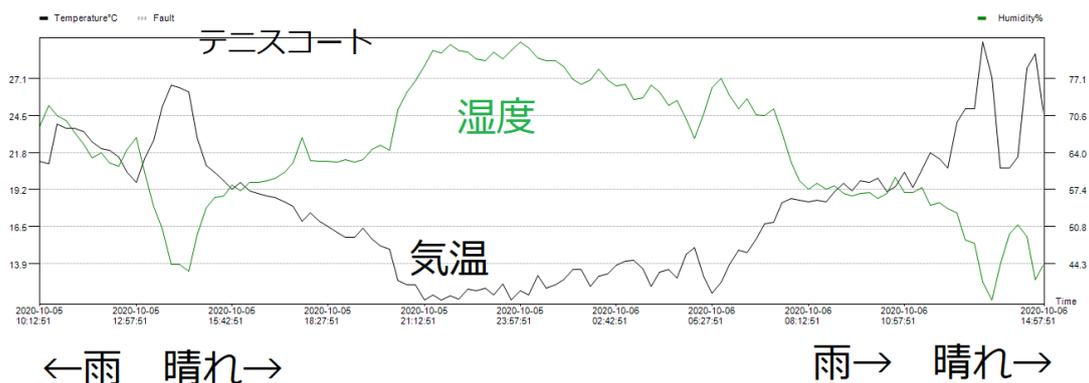


Figure3 定点観測データ

3.3. 事後調査課題の結果

湿度比較問題 湿度比較問題の解答結果を Table3 に示す。正答の「エ. 水蒸気量はトイレの方が多いため」を選択した者は 73 名 (62%) であった。一方で誤答は、「ア. 飽和水蒸気量はトイレの方が少ないから」あるいは「イ. 飽和水蒸気量はトイレの方が多いため」にほぼ二分され、両者で 3 割程度に達した。アやイは、飽和水蒸気量に言及した選択肢であり、これらの選択肢を選択した学習者は、飽和水蒸気量と水蒸気量の区別が十分ではないことを示唆していると考えられる。

湿度変化問題 湿度変化問題の解答結果を Table4 に示す。正答の「イ. 湿度は 55%より低くなる」を選択した者は、118 名中 93 名 (79%) であり、8 割近くに達した。また、誤答は「ア. 湿度は 55%高くなる。」が 14 名

Table3 湿度比較問題の解答結果

		選択者数 (率)
ア	飽和水蒸気量はトイレの方が少ないから。	18 (15)
イ	飽和水蒸気量はトイレの方が多いため。	20 (17)
ウ	水蒸気量はトイレの方が少ないから。	4 (3)
エ (正答)	水蒸気量はトイレの方が多いため。	73 (62)
オ	わからない。	3 (3)
合計		118

Table4 湿度変化問題の解答結果と判断理由

	判断理由						合計
	A	B	C	D	E	F	
ア	2 (14)	4 (29)	4 (29)	3 (21)	-	1 (7)	14
イ (正答)	32 (34)	20 (22)	24 (26)	-	7 (8)	10 (11)	93
ウ	-	-	-	-	2 (67)	1 (33)	3
エ	-	-	-	-	-	6 (100)	6
未記入	-	-	-	-	-	2	2
合計	34	24	28	3	9	20	118

判断理由) A. 水蒸気量が同じで飽和水蒸気量が多いから, B. 飽和水蒸気量が多いから
 C. 温度が上がるから D. 水蒸気量が増えるから E. その他 F. 未記入
 () は%を示す。

(12%) と最多であった。

解答の判断理由を検討するために自由記述の内容を, 「A. 水蒸気量が同じで飽和水蒸気量が多いから」, 「B. 飽和水蒸気量が多いから」, 「C. 温度が上がるから」, 「D. 水蒸気量が増えるから」, 「E. その他」, 「F. 未記入」の6つに分類し, 選択肢ごとに人数を算出した。正答者(イ)の判断理由は, 飽和水蒸気量に言及したA・Bだけでなく, C(温度が上がるから)も2割強程度見られた。このことは, 正答の選択肢が選ばれた場合であっても, A・Bのように湿度の公式に直接関連する飽和水蒸気量に言及した学習者だけではなく, 間接的な条件のみに言及した学習者もいることを示しているといえる。

水蒸気量比較問題 水蒸気量比較問題の解答結果を Table5 に示す。正答の「ア. 部屋 A が多い」を選択した者は, 65 名 (55%) にとどまった。また, 誤答で多数を占めたのが「イ。」の 32 名 (27%), 次いで「エ。」の 12 名 (10%) であった。

解答の判断理由を検討するために自由記述の内容を, 「①湿度が同じで飽和水蒸気量が多いから」, 「②飽和水蒸気量が多いから」, 「③気温が高いから」, 「④計算結果による比較」, 「⑤その他」, 「⑥未記入」の6つに分類し, 選択肢ごとの人数を算出した。その結果, 正答者(ア)の約半数が, 「④計算結果による比較」であった。誤答者(イ・ウ・エ)の判断理由は, 「⑥未記入」の割合が最も多く, 明確な根拠をもたないまま誤答している学習者が少なくないことが示唆された。

湿度計算問題 湿度計算問題の解答結果を Table6 に示す。適切演算「 $15 \div 23$ 」を記入した者は 49 名 (42%) にとどまった。一方で, ほぼ同程度 (41%) の学習者が「わからない」と記述したり, あるいは未記入であったりしたことから, 本問題は学習者にとって極めて解決が難しかったといえる。本問題は, 計算に必要な数量を図表から同定し, それを湿度の公式に代入して, 値を算出する基本的な問題と位置づけられるものの, 十分に定着していないことが示唆された。

Table5 水蒸気量比較問題の解答結果と判断理由

	判断理由						合計
	①	②	③	④	⑤	⑥	
ア (正答)	8 (12)	7 (11)	2 (3)	31 (48)	2 (3)	15 (23)	65
イ	1 (3)	5 (16)	2 (6)	4 (13)	4 (13)	16 (50)	32
ウ	-	-	-	1 (33)	1 (33)	1 (33)	3
エ	-	-	-	-	1 (8)	11 (92)	12
未記入	-	-	-	-	-	6	6
合計	9	12	4	36	8	43	118

判断理由) ①湿度が同じで飽和水蒸気量が多いから ②飽和水蒸気量が多いから ③気温が高いから
 ④計算結果による比較 ⑤その他 ⑥未記入
 () は%を示す。

Table6 湿度計算問題の解答結果

	該当者数 (%)
$15 \div 23$ (正答)	49 (42)
$23 \div 15$	5 (4)

その他	15 (13)
わからない/未記入	48 (41)

湿度操作問題 湿度操作問題において、湿度が70%から60%に低下する条件として、水蒸気量が一定で、飽和水蒸気量が増加する場合（選択肢イ）、および飽和水蒸気量が一定で、水蒸気量が減少する場合（オ）の2つを過不足なく選択した学習者は、「定数入れ替え原理」を理解した上で、適切な変数操作が可能な者とみなすことができる。以下では、このような変数操作タイプを「三項間適切操作」タイプと呼称する。

また、それ以外の選択肢の組み合わせは不適切な変数操作を行った場合であり、本稿では選択肢の組み合わせによって3つのタイプに分類した。第1に、飽和水蒸気量および水蒸気量をそれぞれ定数値と見なした選択肢は選択可能であるものの、変数項の組み合わせを誤ったタイプである（以下では「三項間不適切操作」タイプと呼称する）。このタイプの学習者は、「定数入れ替え原理」は理解しているものの、変数操作の段階で変化の方向性の判断を誤った者と位置づけることができる。第2に、湿度が変化する場合として、定数項として水蒸気量あるいは飽和水蒸気量の一方しか選択していないタイプである。例えば、湿度操作問題で選択肢の「ア. 水蒸気量は同じで、飽和水蒸気量小さい場合」のみを選択した学習者は、水蒸気量を定数項にする場合のみしか考慮できていないといえる。このような学習者は定数項を入れ替えられることを理解していない可能性が高いことから、以下では、「定数入れ替え無視」タイプと呼称する。第3に、選択肢の「ウ. 飽和水蒸気量の変化にかかわらず水蒸気量が少ない場合」を選んだ学習者は、飽和水蒸気量とは無関係に水蒸気量で湿度が決まると判断しており、水蒸気量と湿度との二項間関係で湿度の変化を捉えることができると理解している学習者といえる。そこで以下では、「二項間操作容認」タイプと呼称する。「定数入れ替え無視」タイプと「二項間操作容認」タイプは、「定数入れ替え原理」が不十分な学習者と見なすことができる。

本研究の学習者を以上の4つの変数操作タイプに分類したところ、各タイプの人数はTable7の通りになった。「三項間適切操作」が4割にとどまった一方、「定数入れ替え無視」、「三項間不適切操作」、および「二項間操作容認」がそれぞれ2割程度ずつ存在した。変数操作の前提となる「定数入れ替え原理」の理解が不十分な学習者が4割に達したことが示唆された。

変数操作タイプと湿度変化問題との関連 ここでは、事後調査課題の解答結果と変数操作のタイプとの関連を見ることで、湿度の問題解決にとって変数操作がどのように影響を及ぼすのかを検討する。事後調査課題の中で、変数操作を直接行う必要がある湿度変化問題を取り上げ、正誤別に判断理由と操作タイプとの関連を見た（Table8、湿度操作問題で未記入の2名は除外）。その結果、湿度変化問題の正答者のうち判断理由がA・Bのように「飽和水蒸気量」への言及がある学習者は、「三項間適切操作」の割合が高く（Table8、判断理由Aで66%、Bで80%）、「定数入れ替え無視」や「二項間操作容認」の割合が低かった（いずれも10%以下）。一方で、判断理由が「C. 温度が上がる」の学習者は、「三項間適切操作」の割合が3割程度にとどまる一方で、「定数入れ替え無視」が17%、「二項間操作容認」が33%に達し、温度に言及した学習者は「定数入れ替え原理」の理解が不十分である可能性が示唆された。

Table7 変数操作タイプと人数分布 (N=118)

変数操作タイプ	選択肢の組み合わせ	人数 (%)
三項間適切操作	イオ	49 (42)
三項間不適切操作	アエ, アオ, イエ,	23 (19)
二項間操作容認	ウ, アウオ, イウエ, イウオ, アウ, イウオ	21 (17)

Table8 湿度変化問題の解答と変数操作水準との関連 (N=116)

判断理由	正答者 (イ)					誤答者 (ア・ウ・エ)				
	T1	T2	T3	T4	合計	T1	T2	T3	T4	合計
A	2 (6)	3 (9)	6 (19)	21 (66)	32	-	1 (50)	1 (50)	-	2
B	1 (5)	1 (5)	2 (10)	16 (80)	20	3 (75)	1 (25)	-	-	4
C	4 (17)	8 (33)	5 (21)	7 (29)	24	1 (25)	1 (25)	1 (25)	1 (25)	4
D	-	-	-	-	-	1 (33)	1 (33)	-	1 (33)	3
E	3 (43)	1 (14)	2 (29)	1 (14)	7	-	1 (50)	1 (50)	-	2
F	2 (20)	4 (40)	3 (30)	1 (10)	10	4 (50)	1 (13)	2 (25)	1 (13)	8
合計	12	17	18	46	93	9	8	5	3	23

判断理由) A. 水蒸気量が同じで飽和水蒸気量が多いから B. 飽和水蒸気量が多いから C. 温度が上がるから

D. 水蒸気量が増えるから E. その他 F. 未記入

操作タイプ T1: 定数入れ替え無視 T2: 二項間操作容認, T3: 三項間不適切操作 T4: 三項間適切操作

() は%を示す。

また、誤答者 (ア・ウ・エ) 23 名については、三項間適切操作が 3 名 (13%) にとどまり、「定数入れ替え無視」と「二項間操作容認」を合わせて 74% に達したことから、「定数入れ替え原理」の理解が十分ではない可能性が示唆された。

事後調査課題のまとめ 事後調査課題は、湿度変化問題の正答率が 79% に達したものの、他の問題 (湿度比較問題・水蒸気量比較問題, 湿度計算問題) では 4 割~6 割にとどまった。また、湿度操作問題をもとに、学習者の操作タイプを分類した結果、適切な変数操作が可能である「三項間適切操作」の学習者が過半数に満たず、「三項間不適切操作」, 「二項間操作容認」, 「定数入れ替え無視」も一定数いることが示唆された。さらに、正答率の高かった湿度変化問題においても、変数操作タイプとの関連を見たところ、湿度変化問題で正答した場合であっても、判断の根拠として「温度が上がる」に言及した学習者は、「定数入れ替え原理」の理解が不十分である可能性が示唆された。以上を踏まえると、本研究で実施した授業プランが、湿度の公式を用いる問題解決を促進したとは言えないであろう。特に「定数入れ替え原理」の理解が不十分な学習者が約 4 割に達した。そこで、以下では、授業内で「定数入れ替え原理」がどのように扱われたのかに焦点を当てて、授業過程を分析する。

3.4. 授業過程の分析

授業では「定数入れ替え原理」は、公式が提示された 6 時間目以降に取り上げられている。6 時間目で湿度の公式が提示されたあと、授業者は変数操作の例として、水蒸気量を定数項として、飽和水蒸気量が大きくなる場合に湿度がどうなるか発問している (Figure4, 下線部 1, 以下同様)。また、同じく水蒸気量を定数項として、飽和水蒸気量が小さくなる場合も確認している (下線部 2)。さらに、湿度が増えるときの条件として、「飽和水蒸気量が同じで水蒸気量が増える」場合にも言及している (下線部 3)。以上の授業者の発問や説明を通して、公式上では定数項を入れ替えた変数操作が扱われており、その意味で「定数入れ替え原理」は授業内で扱われたといえる。

次に、8 時間目において具体的な観測結果や実験結果に関して、変数操作に基づいて判断する場面を見る。定点観測データの振り返り場面では、「飽和水蒸気量が一定の場合に、湿度が下がったときに何が変化するか」と発問している (下線部 4)。また、袋加熱実験では、「水蒸気量が一定の場合に、飽和水蒸気量が大きくなると湿度がどうなるか」と発問をしている (下線部 5)。これらの発問はいずれも授業プラン通りであったと言えるが、

次の点が不十分であったと考えられる。すなわち、観測結果の振り返り場面では飽和水蒸気量、袋加熱実験では水蒸気量をそれぞれ定数項として変数操作を行わせた。これにより、水蒸気量が定数項の変数操作は定点観測データのみで具体化され、飽和水蒸気量が定数項の変数操作は、袋加熱実験のみで具体化されたことになる。すな

<p>【6時間目：公式の導入】</p> <p>T: (前略) ではちょっとこんな例で考えてみましょう。これ書き込まなくてもいいです。これを、分母分子の割り算になってるよね。もしこの1 m³の空気中に含まれる水蒸気の質量がそのまま同じ変わらないで一定だったとします。これ書かなくていいですよ。一定だとしたときに気温が上がりました。気温が上がると飽和水蒸気量ってのどうなるんだっけ? F君、気温が上がると飽和水蒸気量は?</p> <p>C: 増えます。</p> <p>T: うん、増えるという関係がありました。そうすると分子が一定です。分母が増えて大きくなる、(板書しながら) もっと言うならば分母が増えるところということ。分母が増えると、元の湿度と比べて分母が増えたときの湿度っていうのはどうなるか? どうなるって言える? 湿度は上がる、下がる、そのままか、ちょっと相談してみて。どうなる? 飽和水蒸気量が増えたら分子一定、分母が増えました。そしたら湿度はどうなる?¹</p> <p>Cs: (話し合い)</p> <p>T: じゃあ聞いてみます。飽和水蒸気量が増えたら、湿度は上がる、変わらない、下がる。湿度上がる?¹</p> <p>C: (挙手の様子はわからず)</p> <p>T: 分母が大きくなるとその数は小さくなります。3/50より、3/80の方が小さい数になるよね。だから気温が上がると湿度が下がる。今度逆に、気温が下がったとします。気温が下がると飽和水蒸気量は? J君どうなるのでしょうか?</p> <p>C: (聞き取れず)</p> <p>T: うん、減る。飽和水蒸気量が減りますね。小さくなります。そうするとこの式の分母が減ります。この具体例でいくと例えば半分になり、3/25。減ります。そうすると湿度は最初と比べて上がる、変わらない、下がる、どれか? シンキングタイム10秒。飽和水蒸気量が減りました。分母が減ったら湿度は? はい聞きます。飽和水蒸気量が下がったら湿度は上がる?</p> <p>Cs: (反応わからず)</p> <p>T: 変わらない?</p> <p>Cs: (反応わからず)</p> <p>T: 下がる?</p> <p>Cs: (反応わからず)</p> <p>T: はい、いいね、上がります。なぜかという気温は下がると飽和水蒸気量も小さくなるので分母が小さくなると、湿度は大きくなります、という関係にあるんだってということなんです。だから例えばこんな話をしたんだけど、湿度ってその空気に含まれる水蒸気量と飽和水蒸気量の二つで決まってくる。例えば湿度が増える時って飽和水蒸気量が同じで分子の水蒸気の質量が増えれば増えます。³ (後略)</p> <p>【8時間目：定点観測データの振り返り】</p> <p>T: (前略) 気温が同じです。なのに湿度が違う。これは何が違うんだろうか。誰か思いついた人いますか。今、Aさんの印をつけたグラフを見ながら考えています。同じ16℃ぐらいの気温のところ、右側の方が湿度が高かった。何ででしょうかという話。誰か説明できそうな人いますか?</p> <p>Cs: …</p> <p>T: ちょっともう少し手がかりを絞ろうかな。湿度が変わったわけだね。これは変わりました。気温が同じってことは変わらないのはどれ? 気温同じだと変わらないものは何か? この式の中で。</p>	<p>C: (聞き取れず)</p> <p>T: うん、飽和水蒸気量、なぜかっていうと、これは気温によって決まるので、気温が上がると飽和水蒸気量は? どうなんだっけ?</p> <p>C: (聞き取れず)</p> <p>T: 上がる。飽和水蒸気量のグラフって、こんななあって、気温が上がると飽和水蒸気量もあがるって関係になってます。逆に気温が下がると飽和水蒸気量は?</p> <p>C: (聞き取れず)</p> <p>T: うん、下がる。てことは気温が同じですっていうときには飽和水蒸気量は同じってなる。気温で決まるからね。でも湿度が変わるってことは、あと1つは何が変わること?⁴</p> <p>Cs: …</p> <p>T: これは同じです。湿度が変化するってことはこの式で考えると、何が変わると湿度が変化するの?⁴</p> <p>C: (聞き取れず)</p> <p>T: うん、水蒸気量、水蒸気の質量が、湿度が上がったとしたら、水蒸気の質量はどのような変化をしたって言える? 隣近所相談してみてください。</p> <p>Cs: (話し合い)</p> <p>T: Bさんどう? 湿度が上がった。飽和水蒸気量が赤で印つけている、同じ。水蒸気の質量はどうなる?</p> <p>C: あがる。(後略)</p> <p>【8時間目：袋加熱実験】</p> <p>T: この袋ですが、こうやって口を縛ったので、空気の入りはありません。そうすると水蒸気はこの中から出たり入ったりはできません。でもこの中に水蒸気ってあるのなのどっちだっけ?</p> <p>C: ある。</p> <p>T: あるんだよね。みんな最初の実験で確かめた。この中の水蒸気は出入りはない状態にしました。さて、ここで問題。これを今からドライヤーでガンガン温めていきます。そうすると袋の中の空気の湿度はどのように変化しますか? 予想3択です。湿度は上がる、変わらない、下がる。3択です。⁵ お選びください。相談しても結構です。シンキングタイム2分。</p> <p>Cs: (話し合い)</p> <p>T: 聞いてもいいだろうかと。どれを選んだか手を上げてお知らせください。行きます。袋の中を今からドライヤーで加熱します。そうすると湿度はどうなるか。上がる?</p> <p>(中略)</p> <p>Cs: (実験の観察)</p> <p>T: じゃあそうするとさ、今3つ測定してもらったんだけど、考察のところ空気の湿度は?</p> <p>C: 下がった。</p> <p>T: 下がった。その理由を今からちょっと時間取って考えるんだけど、この式を参考にしながら、あとは言葉は水蒸気量と飽和水蒸気量、これを使って何で湿度が下がったのかを説明してみよう。⁵ 相談しても構いません。ちょっと時間足ります。3分ぐらいかな。不思議だよね出入りがないのに。水蒸気の入りが無いのに湿度が下がった。何でだろう。(後略)</p>
--	--

Figure4 変数操作に関連する授業場面

わち、定数項が入れ替わると同時に具体例も入れ替わってしまったことで、各事例で「定数入れ替え原理」に基

づいた変数操作を行う機会が欠落してしまったといえる。例えば袋加熱実験では、「空気を加熱したら湿度は下がったが、袋の中の湿度を下げるには、他にどのような方法があるか？」などの発問をすることで、具体的な場面を通して「定数入れ替え原理」を扱うことができたかもしれない。

4. 総合考察

本研究では、前研究（小野・蛭名，2018，蛭名・小野，2018）の授業プランの修正版を考案し、その効果を検証した。しかしながら、事後調査課題において正答率が8割に達したものはなく、前研究と同様、湿度に関する問題解決が促進されたとはいえなかった。以上から、本研究の仮説は支持されなかったといえる。また、本研究では、内包量に関する「定数入れ替え原理」の理解が問題解決とどのように関連しているのかを検討した。その結果、「定数入れ替え原理」を理解し、かつ変化の方向性まで正しく判断できる学習者（三項間適切操作）は、湿度の問題に関して適切な根拠に基づいて解決していた。また、「定数入れ替え原理」の理解が不十分と見られる「定数入れ替え無視」や「二項間操作容認」の学習者が全体で4割程度に達したことから、本授業プランでは「定数入れ替え原理」が十分に理解されなかったことが示唆された。以上を踏まえ、本研究の意義と今後の課題を述べる。

本研究では、湿度操作問題によって学習者の変数操作タイプを分類し、授業プランの効果をより詳細に検討することを試みた。先行研究において三項間の変数操作を扱った研究では、定数項は固定で提示されることが多く、定数項の入れ替えに関する理解は検討されていない。本研究では、湿度操作問題によって、変数操作タイプを操作的に定義することで、変数操作に関する誤りにはいくつかのタイプを想定することが可能であることが示唆されたといえる。特に、「定数入れ替え無視」や「二項間関係容認」は「定数入れ替え原理」の理解が不十分なタイプと考えられ、変数操作を行う上での前提が不十分である学習者の存在が明らかになったといえる。この点は、本研究の意義の一つといえる。湿度変化問題のように、従来の評価課題では、変数操作に関する誤りは、変数項における変化の方向性の誤りが主な要因（三項間不適切操作）と考えられたが、変数操作の前提である「定数入れ替え原理」がそもそも理解されていないことが明らかになった点は、今後の授業プランを考案する上で、重要な知見といえる。

次に、本研究の授業プランの有効性を考察する。本研究の授業プランは、観測・実験の結果に基づいた変数操作と、公式上の変数操作とを関連づけることで、湿度の問題解決を促進することが主な目的であった。変数操作の前提である「定数入れ替え原理」に関しても、授業内でも扱われているが、その扱いについては必ずしも十分ではなかった点は否定できない。その要因の一つとして、プラン立案段階で、「定数入れ替え原理」が不十分な学習者が4割にも達することが想定できなかった点である。あくまでも、変数操作での誤りは、変化の方向性の誤りである者が多数であることを想定していたことから、特に8時間目では、事例（観測・実験）ごとに「定数入れ替え原理」を提示する場面を十分に設けなかった。その結果、「定数入れ替え原理」の適用練習の場が不足したと考えられる。今後の課題として、「定数入れ替え原理」の理解を促すには学習者にどのようなはたらきかけが有効かを検討する必要があるだろう。

5. 引用文献

- 蛭名正司・小野耕一（2018）中学校理科における湿度の授業に関する実践研究（2）—事後調査の結果と授業過程の分析— 日本教授学習心理学会第14回年会予稿集，30-31.
- 工藤与志文（2010）ルール学習と操作的思考—概観と展望— 教授学習心理学研究，6，29-41.
- 麻柄啓一・進藤聡彦・工藤与志文・立木徹・植松公威・伏見陽児（2006）．学習者の誤った知識をどう修正するか—ルール・バー修正ストラテジーの研究— 東北大学出版会
- 麻柄啓一・進藤聡彦（2011）ルール命題の操作による問題解決の促進 教育心理学研究，59，1-12.
- 永瀬美帆（2003）密度概念の質的理解の発達—均等分布理解と関係概念の定性的理解からの検討— 教育心理学

研究, 51, 261-272.

岡村定矩・藤嶋昭 (2018) 新編 新しい科学 2 東京書籍

小野耕一・蛭名正司 (2018) 中学校理科における湿度の授業に関する実践研究 (1) —授業プランと事前調査の結果— 日本教授学習心理学会第 14 回年会予稿集, 28-29.

小口祐一 (2013). 標本比率の散らばり判断に及ぼす変換操作シミュレーションの効果 教授学習心理学研究, 9, 90-101.

佐藤誠子 (2010) 面積変化を具現化する教授が大学生の面積判断に及ぼす効果—図形の拡大・縮小場面の場合— 教授学習心理学研究, 6, 61-74.

進藤聡彦・麻柄啓一 (2014) 内包量の公式における「変数の入れ替え原理」の理解 教授学習心理学研究, 10, 12-24.

立木徹・伏見陽児 (2008) テスト得点の伸びを抑制するのは本当に誤概念なのか??—「論理操作の不十分さ」の可能性の検討— 教授学習心理学研究, 4, 10-16.

6. 付記

1. 本研究は JSPS 科研費 19K14345 の助成を受けて実施された。
2. 本研究にご協力いただいた学校関係者の皆様には厚くお礼申し上げます。また、授業プランの検討にあたり、東北大学大学院教育学研究科で開催された「木曜会」の参加者から多くの助言をいただきました。心より感謝申し上げます。