

属性操作に関する事例の教示が概念の般化可能性に及ぼす効果

—— 気圧の力学的性質の概念受容学習 ——

藤 田 敦*

本研究の目的は、概念受容学習の教授手続きにおいて、概念情報を教示するだけでなく、概念構造を操作する事例の教示を追加し、概念操作に関する知識を補うことが、学習した科学的概念の般化可能性を促進するのではないかという仮説を検討することであった。206名の大学生を被験者として、気圧の力学的性質に関する概念情報の教示に加えて、属性に対する操作を行う気圧実験事例の説明を追加教示することで、気圧現象に関する般化問題の遂行にどのような影響が生じるかを調べた。その結果、①気圧(属性)を操作する事例を教示情報に追加することは、その事例との類似性が低い般化事例に対しても、学習した気圧概念を適用できる可能性を高める効果がある、②このような気圧概念の般化の促進には、与えられた教示情報から、気圧の力学的性質に関する概念情報を抽出するだけでなく、気圧属性間の関係性の変換操作に関する情報を抽出できることが影響している、という2点が明らかになった。

キーワード：概念受容学習、概念操作、概念般化、気圧概念、大学生

問題と目的

教育現場における科学的概念の学習は、教授者が初めから概念定義や事例に関する説明を与え、その説明を学習者が受け容れることによって成立する概念受容学習の形態をとることが多い(工藤, 2003)。教育心理学の領域でも、概念受容学習による教授手続きの効果に焦点をあてた研究が行われ、学習を促進するいくつかの要因についても明らかになりつつある(麻柄, 1991; 伏見, 1995)。その一方で、学習者は、教授された概念を、説明に用いられた事例と同一の事例もしくは類似性が高い事例には適用できるが、類似性が低い事例に対しては、その知識を適用できないという概念般化の困難性の問題も指摘されている(進藤, 2002; 工藤, 2003)。

この問題を克服する手がかりは、複数の事例を提示する教授手続きが概念般化に及ぼす影響を調べた研究の中にある。それは、種々の事例に般化可能な概念情報を予め学習者に与えるという概念受容学習の場合でも、その概念情報の般化を実現するためには、従来の帰納的・発見的な教授手続きと同様に、多様な複数事例を用いた概念の説明を行うことが有効であるという考えである(工藤, 2002)。例えば、提示する事例数と概念の般化可能性の関係を詳細に検討したものとして藤田(2005)の研究がある。ここでは、概念を教える際

に、提示する具体事例の数が少数の場合には、学習した概念の適用範囲は、提示事例と表面的特徴が類似する事例に限られること、提示事例数が増えると、表面的特徴が異なったり、構造的特徴が部分的に異なる事例に対しても適用範囲が広がることなどを確認している。

ところで、藤田(2005)を始め従来の研究では、複数事例の提示が概念般化に及ぼす効果を確認するに留まり、学習者は、複数の事例による学習活動を通じて、いかなる知識を獲得することで概念般化を可能にしたのかという学習の内実に関しては十分な説明が得られていない。そこで、この点に関して工藤(2003)は、教授者が与える教示情報(概念と事例の説明)に含まれる概念に関する情報を、一般的ルールとして解釈できた学習者であれば、教示に用いた事例と類似性が低い般化事例に対しても学習したルールを適用できる確率が高まることを示した。つまり、与えられた教示情報から、個々の事例に固有な事例情報を区別して、他の事例にも適用可能な一般的な概念情報を獲得していることが、概念般化を可能にするための必要条件であると言える。

では、このような概念情報の抽出に成功することは、概念般化を可能にする必要かつ十分な条件ともなりうるのだろうか。あるいは、学習者は、教示情報から必要な概念情報を得ているにもかかわらず、その知識を種々の事例に適用するための何らかの知識が不足するために、概念般化に困難性を示すという可能性は考えられないだろうか。実際、工藤(2003)や藤田(2005)な

* 大分大学教育福祉科学部
〒870-1192 大分県大分市旦那原700番地
fujita@cc.oita-u.ac.jp

どの多数の研究において、学習者は概念般化に困難を示す場合でも、説明に利用された事例と類似性の高い事例には、教授された概念を適用できることが確認されている。このことは、概念の説明を受けた学習者は、適用可能な事例の範囲は限定されてはいるが、事例を理解するために必要な基本的な概念情報については獲得していることを物語っている。さらに、概念受容学習のように、概念情報が初めから与えられ、それを他の事例にも般化可能な知識に変換していくという学習過程をモデル化した「説明に基づく学習」(Mooney, 1990)に関する理論においても、学習の前後で変化するのは知識の量ではなく、知識の実行可能性であると説明されている(Dietterich, 1986)。また、その実行可能性を高めるためには、何らかの領域知識を補っていくことで、事例に対する説明の仕方を一般化させていくことが必要であるという(石崎, 1996)。これらの知見を踏まえるならば、概念受容学習の手続きにおいて、概念情報を説明し、それを論証するためだけに事例を用いるのではなく、様々な事例に概念情報を対応付けるための知識の獲得を促す教授的介入を行えば、その概念の実行可能性は高まり、種々の般化事例への応用も促進できると予想されるであろう。ならば、いかなる知識を補うことが、種々の般化事例に対する概念情報の適用を可能にするのであろうか。

概念には、概念の外延と内包の結び付けを扱うタイプと属性間の関数関係を扱うタイプがある(伏見 1995, p13)。本研究が注目する概念は後者のタイプである。このタイプの概念は、例えば「電圧を上げれば電流が増す」というように事例を構成する複数の属性間の関数関係を定式化し、一方の属性の変化による他方の属性への影響などを予測・説明するという特徴を有する。このような概念を用いて説明できる事例には、上記の例のように「電圧の操作によって電流が変わる現象」だけでなく、「電流の操作によって電圧が変わる現象」のように属性間の因果の方向が逆転する事例や、「電流を一定にして抵抗を操作すると電圧が変わる現象」のように、ある属性を固定して別の属性を操作することで生じる事例など、属性間の関係性によって様々なパターンが生じる。このような多様な事例を説明するためには、教示された概念構造(属性間の関係)のままでは事例に適合しない場合もあり、状況に応じて適宜その概念の属性や属性間の関係に操作を加えることが必要になる。つまり、概念構造を事例の構造に合わせて変換操作するための知識を獲得することが、様々なパターンの事例に対する概念の対応付けを可能にすると

予測できる。そこで、本研究では、概念受容学習の教授手続きにおいて、概念の基本的な構造の説明に加えて、その概念の属性や属性間の関係に操作を加える事例を提示することで、学習した概念の般化可能性にどのような変化が生じるかを検討する。さらに、概念と事例に関する説明(教示情報)から、学習者がいかなる情報を抽出・学習したかを調べることで、概念般化の困難性が、教示情報から一般的な概念情報を抽出できないことから生じるのか、あるいは、知識を抽出してはいるが、それを多様な事例に適用するための操作的な知識を得ることができないことによって生じるのかという問いについて検討する。

具体的には、気圧の力学的性質に関する科学的概念(以下気圧概念)の概念受容学習事態を対象として上記の問題を検討する。この気圧概念の基本的な構造は、「気圧が異なる複数の空間が存在するとき、高圧から低圧の空間に向かって作用する力が生じる」というものである。これは、特定の空間の気圧という属性が様々な変化することで、別の空間にどのような現象が生じるかを予測したり、その現象を因果的に説明したりする知識である。気圧概念によって説明可能な現象は、例えば「吸盤が壁に貼り付く」、「掃除機でゴミを吸い取る」というように我々の身の回りに多く遍在している。これらの多様なパターンで生起する気圧現象を正しく理解するためには、前述の気圧概念の基本構造を理解しているだけでなく、属性や属性間の関係に対して、例えば「気圧に対し加圧、減圧の操作を加える」、「力が作用する方向を逆転する操作を加える」のような操作を行った時に起きる現象を理解できることも求められる。先にこの気圧概念について検討した麻柄(1996)や藤田(2005)では、大学生であっても気圧現象に対して誤った理解を行っていることが示されている。そこで、本研究では、大学生を対象とする気圧概念の概念受容学習の教授手続きにおいて、概念の基本構造の説明に加え、その概念の属性に操作を加える事例の説明を教示情報に追加することによって、学習した気圧概念の般化可能性にいかなる影響が生じるかを検討する。また、気圧概念に関する教示情報から学習者が抽出した情報と般化可能性との関係を調べることにより、種々の事例に適用可能な概念情報を学習している場合でも、その概念を実際に般化事例に適用するためには、概念構造の変換操作に関わる情報(操作情報)も同時に獲得していることが必要ではないかという仮説について検証する。

方 法

1. **被験者** 国立大学の文系学部に着を置く1～3年生206名(男性91名, 女性115名)を被験者とした。

2. **実験計画** 実験は, ①事前テスト, ②教示セッション, ③事後テストによって構成されている。教示セッションにおいて提示する教示情報の量が異なる4つの教示条件群(基本情報群・属性操作群・可逆操作群・共変操作群)を設定し, 事前テストの影響を制御した上で, 教示条件が, 事後テストにおける課題遂行に及ぼす影響を調べる。

3. **教示情報** 気圧の力学的性質に関する概念情報と具体的事例の説明を提示するために, 以下の4つの教示情報を準備した(FIGURE 1参照)。

①**概念の基本情報の説明** 気圧の力学的性質に関する基本的な概念構造として「気圧の異なる複数の空間が存在するとき, 高压の空間から低压の空間に向かって作用する力が生じる」と「その気圧の高低は空気分子の運動差によって生じる」というルールを説明する。具体的な事例を利用した説明は行わず, 抽象的なモデルを用いた一般的な説明を行う。ここで教示する概念情報は, 事前・事後テストで出題する全ての般化問題(事例)に対して適用可能な一般的な原理である。

②**属性操作事例の説明** 気圧現象を生起させるために, 気圧や空気分子の運動量という属性に対して加える操作に関する情報(操作情報)を提示する。具体的には, ①で説明した気圧概念を, 大気圧の力を確認するための実験事例(ボウル実験)にあてはめ, なぜこのような現象が生じるかを説明する。このボウル実験は, ボウル内の気圧に対して減圧という操作を加えることで, 高压の大気圧から低压のボウル内の空間に向かって力が作用することを説明する事例である。さらに, この減圧が, 空間を冷却することで空気分子の運動量を低下させるという操作によって実現できることを説明する事例でもある。

③**可逆操作事例の説明** ②と同じ事例(ボウル実験)を用いて, 属性間の関係を逆転する操作(可逆操作)を行う事例を提示する。具体的には, ボウル実験の中で行った減圧とは逆の操作(加圧)を加え, 現象を初期の状態に戻すことができることを説明する。つまり, 気圧の力が作用する方向は固定されたものではなく, 操作を加えることで, 逆方向の作用を作り出すことができることを説明している。また, 加圧という操作を行うための方法として, 加熱によって空気分子の運動量を増加させるという操作だけでなく, 空気分子の絶対量を

増加させるという操作も可能であることを示す。

④**共変操作事例の説明** ボウル実験とは異なる事例によって, 共変操作という属性操作のパターンを説明する。ボウル実験は, 大気圧の力という一方の属性値を固定したままで, ボウル内の気圧という他方の属性値を変化させて気圧差を作り, 力を生み出すという事例であった。一方, ここで取り上げる楊枝実験事例は, 一方の空間の体積を操作することで気圧に変化が生じるが, それに伴い他方の空間の気圧も変化するため, 結果的に両空間の間の力関係が安定するという事例である。つまり, 複数の属性が同時に変化する(共変する)ことで生じる現象を説明する事例となる。

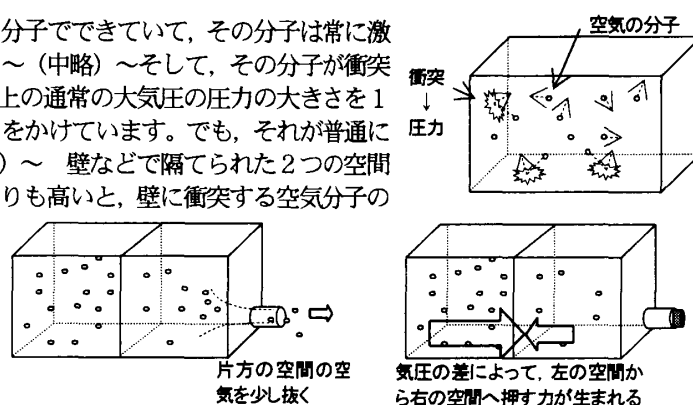
教示条件によって, 提示される教示情報が次のように異なる。基本情報群は①, 属性操作群は①+②, 可逆操作群は①+②+③, 共変操作群は①+②+③+④の教示情報が与えられる。基本的な概念情報は全ての群に与えられ, 後者の条件群になるほど, 概念操作を行う事例に関する教示情報が追加されることになる。

4. **課題** 学習した概念の般化可能性を測定するために事前・事後テストにおいて, 現象説明課題と現象予測課題という2種の般化課題を実施した。また, 教示セッションで提示される教示情報からどのような情報を抽出したかを推定するために, 各教示情報の提示後に, 教示情報抽出課題を行った。

①**現象説明課題** 学習した気圧概念を利用して, 種々の気圧現象を説明することが可能かどうかを測定する課題である。これはTABLE 1(上段)に示す8問の問題で構成されている。それぞれの問題で示される事例は, いずれも空間の気圧に操作が加わることで生じる現象である。問題毎に気圧の状態(真空, 固定, 変化), 空間に加える操作(加熱・冷却・排気・密閉), 気圧間の関係性(内気圧と外気圧の大小関係)などの構造的な特徴が異なる事例を出題している。ただし, お椀問題は, 説明教材で提示されるボウル実験と, 調理器問題は楊枝実験と, 各々表面的な特徴が類似する関係にある。よって属性・可逆・共変操作の各群にとってはお椀問題が, 共変操作群にとっては調理器問題が, 学習した提示事例との表面的な類似性を有する問題(類似問題)になる。類似問題は, 提示事例との顕在的な類似性が手がかりとなり, 容易に学習した知識を適用できると予想される。一方, その他の問題はいずれの提示事例とも表面的に異なり, 構造的にも部分的に異なる場合がある問題(非類似問題)となる。この非類似問題に対して気圧概念を適用できることが, 学習した知識の般化可能性の高さを反映していると考えられる。

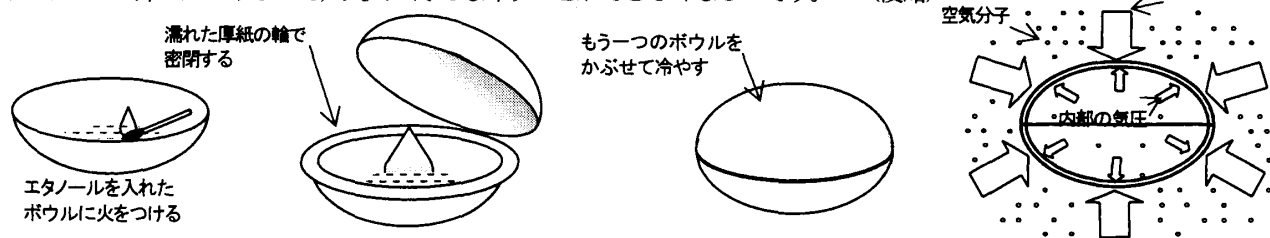
概念の基本情報の説明

大気とは地球を取り囲む空気のことですね。空気は無数の分子でできていて、その分子は常に激しく動き回り、あらゆるところに衝突を繰り返しています。～（中略）～そして、その分子が衝突するひとつひとつの力が合わさって圧力となるのです。地球上の通常の大気圧の圧力の大きさを1気圧といいます。その1気圧の大気が今も私たちの体に圧力をかけています。でも、それが普通になっているために、普段はその力に気づきません。～（中略）～壁などで隔てられた2つの空間があったとします。一方の空間の気圧が他方の空間の気圧よりも高いと、壁に衝突する空気分子の数が、低圧の空間より高圧の空間の方が多くなります。その結果、高圧空間から低圧空間に向かって押す力が生じます。もし、壁が薄いガラスのようにもろい素材で作られていたら、両空間の気圧差によっては、壁を壊す位の力が生じることもあるでしょう。



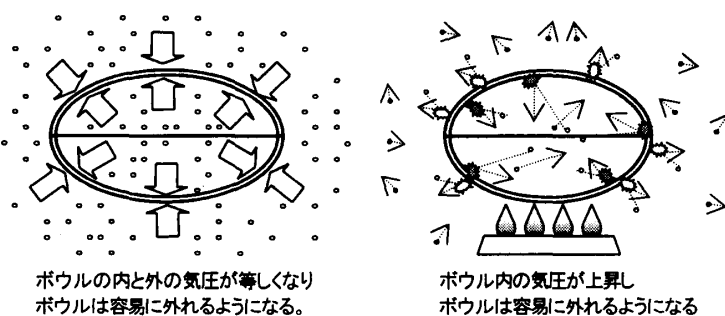
属性操作事例の説明

ところで1665年、ドイツのマグデブルグ市の市長であったゲーリケ(1602～1686年)は、大気圧の力の大きさを確かめるためにある実験を行いました。～（中略）～この実験は、私たちが身近な材料を使って再現することができます。～（ボウル実験手続きの説明：略）～熱くなっていたボウルの中の空気が冷やされると、ボウル内の空気分子の運動は緩やかになり、ボウルを中から外へ押す力も弱くなってしまいます。つまり、ボウル内部の気圧が低くなってしまいます。一方ボウルを外部から押し付ける力、つまり大気圧の力は変わっていませんから、内部の気圧より外部の気圧が高いという状態が生じます。大気圧が圧倒的な力でボウルを押さえつけるので、大人の力でも外すことができなくなるのです。～（後略）～



可逆操作事例の説明

では、どうすれば外すことができるでしょうか？ボウルを数時間放っておけば、ボウルの間にはさんでいた濡れた厚紙が乾燥します。すると、ボウルの間に小さな隙間ができて、そこから空気分子がボウルの中に侵入し、ボウル内の気圧と大気圧が等しくなってボウルは簡単に外れます。もっと短時間で外したかったら、もう一度ボウルを暖めて、ボウル内に残っている気体の分子に熱エネルギーを供給して運動速度を速めればよいですね。そうすれば、ボウルの中から外へ押す力が強くなり、大気圧がボウルを押さえつける力を越える事ができれば、ボウルは簡単に外れます。



共変操作事例の説明

もう一つ身近な材料を使ってできる実験を紹介します。～（楊枝実験手続きの説明：略）～このように大きいピンの風船の動きに連動して小さいピンのゴムが動くのも、気圧の差によって生じた力が関係しています。普段は、小さいピンと大きいピンの気圧は大気圧と等しく、赤いゴムシートを両側から押す力もつりあっています。しかし、青いゴムシートを引っ張ると大きいピンの内部の空間が広がります。すると空気分子が動き回る空間も増えるわけですから、分子が壁にぶつかる回数も減少します。つまり大きいピン内の気圧が下がり、小さいピンの内部の気圧の方が相対的に大きくなってしまいます。すると小さいピン内の気圧が赤いゴムシートを押す力の方が大きくなり、外側へ膨らむという現象が起きるのです。

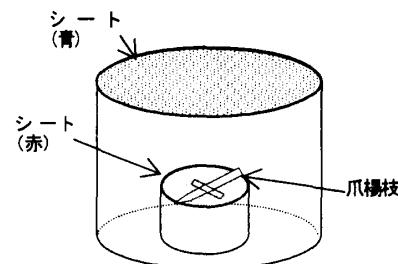


FIGURE 1 教示情報の「大気のはなし」の概要（内容・イラストの一部を略）

ボウル実験・楊枝実験手続きの詳細は藤田（2005）を参照

②**現象予測課題** 与えられた条件下で生じる未知の物理現象を予測する際に、種々の環境条件に関する情報と組み合わせて学習した知識をいかに利用できるかという観点からも般化可能性を測定するために以下の現象予測課題を行う。この課題は TABLE 1 (下段) に示す 2 題で構成されている。注射器問題は、麻柄(1996)の研究で、大学生が所有する気圧概念を測定するために用いられたものである。空間の体積に操作を加えたときに、気圧にどのような状態が生じるかを予測する問題である。注射器内の空間の体積だけを操作しても大気圧に変化は生じないため、大気圧から受ける力の大きさは不変であることを予測することで正解が得られる。吸盤系列問題は、様々な物理的環境下における吸盤の外しやすさを予測する際に、その外しやすさに影響する要因としてどのような属性に注目するかを問

う問題である。気圧、水圧などの上位概念である周辺環境からの圧力という属性に注目し、その大きさを比較することによって正解が得られる。なお、注射器問題、吸盤系列問題ともに、説明教材で提示されるいずれの事例とも表面的な特徴に類似性がないという点で非類似問題となる。

③**教示情報抽出課題** 教示セッションで提示した教示情報から、どのような情報を抽出し学習したかを推定する課題である。各教示情報の提示後に、その教示情報から、わかったこと、気づいたことを全て要約して記述するという作業を行わせた(抽出情報)。気圧の力学的性質に関する基本的な概念情報(空気分子の衝突で気圧が生まれる・高圧空間から低圧空間に向かって作用する力が生じる)を抽出し記述することができるか、また、概念情報以外にいかなる情報を抽出しているかを測定する。

TABLE 1 般化問題の事例内容と構造的な特徴

	各現象の内容（問題文）	操作と状態	気圧差	
現象説明課題	①「吸盤問題」 吸盤を壁に押し付けると、壁から外れなくなります。どうして吸盤は壁から外れないのでしょうか。	排気による真空状態	外＞内	
	②「洗面器問題」 お風呂に洗面器を沈め、洗面器の中の空気を逃がした後、洗面器の底を上にして持ち上げると、洗面器はなかなか水面から離れなくなります。洗面器はどうして水面から離れないのでしょうか。			
	③「お椀問題」 暖かな汁を入れたお椀にふたをして、しばらく置いておくと、ふたがなかなか取れなくなることがあります。どうして、ふたは取れなくなるのでしょうか。	冷却による体積収縮		
	④「空き缶問題」 空き缶を火で熱した後に、口を密閉して冷水が入った皿の上に置きます。すると缶はひとりでぐしゃっとつぶれてしまいます。なぜ缶はつぶれるのでしょうか。			
	⑤「掃除機問題」 掃除機でゴミを吸い取ることができるのはなぜでしょうか。	排気による低圧状態		
	⑥「調理器問題」 真空調理器の中に少し膨らませた風船を入れて、ポンプで調理器の中の空気を抜きます。すると風船はかっぺにひとりで膨らんでいきます。なぜ風船は膨らむのでしょうか。	排気による体積収縮		外＜内
	⑦「お鍋問題」 水を入れた鍋にふたをして火にかけます。中が沸騰するとふたがカタカタ音を出して動き出します。なぜこのようなことが起きるのでしょうか。	加熱による体積膨張		
	⑧「コップ問題」 コップに水を半分ほど入れ、はがきのような紙を上にかぶせます。するとコップを逆さにしても、水がこぼれることはありません。なぜこのようなことができるのでしょうか。	密閉による空気の移動が無い状態		外＝内
現象予測課題	①「注射器問題」 注射器のピストンを奥までしっかり押し込んでからチューブをピンチコックで止めます。それからピストンをゆっくりと引きます。20 cc, 30 cc, 40 cc と引くにつれて、引く力の大きさはどう変わると思いますか？最も当てはまる選択肢を1つ選んで、その記号に○をつけてください。 選択肢 ア. 20 cc, 30 cc, 40 ccと体積が増えるにつれて引く力も増えていく。 			

5. 手続き 実験は心理学の講義時間中に行われた。まず、現象説明課題と現象予測課題の計10問の出題順が異なる3種類の問題冊子を作成して、被験者にランダムに配布し、約30分程度の解答時間で事前テストを実施した。その1週間後に、各教示情報とそれに対する教示情報抽出課題をセットとした小冊子を提示して教示セッションを行った。この小冊子は、1ページに1つ目の教示情報(概念の基本情報の説明)、2ページにそれに対する教示情報抽出課題、以降同様に、奇数ページに教示情報、偶数ページに教示情報抽出課題を順に追加するという構成になっていた。そのため、基本情報群2ページ、属性操作群4ページ、可逆操作群6ページ、共変操作群8ページで構成される小冊子が配布されることになる。男女比が等しくなるように被験者を2グループに分け、第1のグループを基本情報と属性操作群に、第2のグループを可逆操作と共変操作群にランダムに分け、グループ別に教示セッションを実施した。1つの教示情報あたり6分程度の読解時間を与え、文章内容をよく理解しながら読むように指示した。また、各教示情報の読解後には教示情報抽出課題を行わせた。全ての材料文の読解と課題が終わった群から順次冊子を回収し、事前テストと同様の手続きで事後テストを実施した。

結果と考察

欠損値のあるケースを除外した残りの分析対象となった被験者数は、198名(男性86名、女性112名)であった。教示条件群別の内訳は、基本情報群46名、属性操作群51名、可逆操作群49名、共変操作群52名であった。被験者の各課題の解答に対する評価は、いずれも次の手順で実施した。まず、解答を採点、分類するた

めの基準を作成し、大学教員や院生による心理学の研究会においてその妥当性を検討して評価手続きの詳細を決定した。それに基づき、著者と2名の大学生が独立に解答を評価し(一致率>.75)、結果が異なる場合には協議によって判定の一致を諮った。

1. 現象説明課題 現象説明課題の成績は、「現象がなぜ生じるのか」という問いに対して被験者が生成した説明に、教示した気圧概念の要素がどの程度含まれているかという観点から評価した。気圧現象を生起させる原因として、①「膨張させる」や「空気を抜く」などの空間の属性に加えた操作、②「圧力が高い」や「力が弱い」などの気圧の力学的性質の状態、③「高圧が低圧空間を押す」などの複数の空間の間にある気圧差から生じる力学的作用の状態、④「分子が加速する」、「運動が活発になる」などの空気の分子運動の状態、に関する各内容に言及しているかを評価し、それぞれの言及が認められれば1点を加算していくという方法で採点した。

お椀問題(ボウル実験事例の類似問題)、調理器問題(楊子実験事例の類似問題)の各得点と非類似問題の得点(その他の問題の得点の平均)の平均を、教示条件、テスト別に集計してFIGURE 2に表した。また、教示セッションの効果を統計的に確かめるために、事前テストの得点を共変量、事後テストの得点を従属変数、教示条件を独立変数とした共分散分析を行った。その結果、お椀問題($F(3/193)=10.28, p<.001$)、調理器問題($F(3/193)=11.75, p<.001$)、非類似問題($F(3/193)=10.15, p<.001$)とも、有意な教示条件の主効果が認められた。そこで最小2乗平均値の対比による検定を行ったところ、事後テストのお椀問題では、基本情報<属性操作≒可逆操作≒共変操作、調理器問題では、基本情報<属性操作≒可

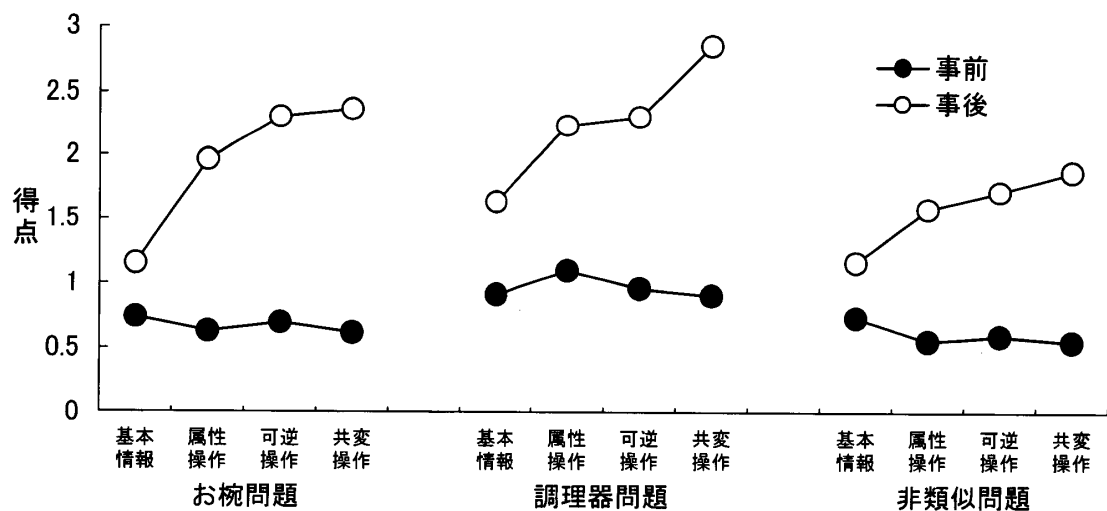


FIGURE 2 現象説明課題

逆操作<共変操作, 非類似問題では, 基本情報<属性操作 $\equiv$ 可逆操作 $\equiv$ 共変操作かつ属性操作<共変操作という群間の差が確認された。

お椀問題, 調理器問題の結果は, 教示情報で提示された実験事例と類似する事例に対しては, 学習した概念を般化可能であるという先の研究(藤田, 2005) 知見を再確認するものであった。さらに, 調理器問題では, 楊枝実験事例を提示されていない属性操作, 可逆操作の2群も, 基本情報群より高成績を示している。このことは, この2群がボウル実験事例を通じて, 空間の気圧を操作するための情報を提示されたことが, 単にその事例と類似する事例への概念般化を可能にするだけでなく, 類似性の低い般化事例に対しても, 学習した概念の般化可能性を高める効果があることを示唆している。さらに, この効果は, 非類似問題の成績にも明確に現れている。非類似問題の結果は, より多くの操作情報を提示した条件群ほど高得点であった。つまり, 気圧の概念構造を構成する属性や属性間の関係性を変換する操作に関する知識を得ることが, 学習した気圧概念の適用範囲を広げる可能性があることが示唆されたと言えよう。

2. 現象予測課題 注射器問題について, 教示条件別に, 各選択肢別の選択者数を集計し, TABLE 2 (左) に示した。事前・事後テストとも, 全体的に正答の選択率は低く, この種の問題に対する教示セッションの効果は弱いと考えられる。ただし, 教示条件群の差に注目すると, 事前テストでは群間の差は殆ど無いが, 事

後テストでは, 共変操作群の正答率が他群よりは高くなっていることがわかる。この傾向を統計的に確かめたところ, 事後テスト($\chi^2_{(6)}=21.69, p<.01$)において有意な分布の偏りが確認された(事前テストは $\chi^2_{(6)}=6.53, n.s.$)。Habermanの残差分析を行ったところ, 事後テストの共変操作群の正答率が, 他の群よりもやや高い傾向にあることが示された。

次に, 吸盤系列問題の解答は, 吸盤の外しやすさの規定因として, どのような属性に注目しているかという観点から分析した。その結果, 被験者の解答は, 「外しやすさは温度によって変化するから」, 「地球の中心に近づくほど重力がかかり外しにくくなる」のように吸盤の外しやすさに直接影響しない属性を選択するタイプ(誤属性), 「気温と気圧の関係によって決まる」, 「水圧と湿度が高いほど外れなくなる」のように誤属性に加えて気圧や水圧という正しい影響因も選択するタイプ(混在), 「空気や水から受ける圧力が大きくなるほど外しにくくなる」のように気圧と水圧という周囲の空間からの圧力だけを影響因として選択するタイプ(圧力: 正答)の3つに分類できた。各タイプの人数と割合を教示条件別に算出し, TABLE 2 (右) に示した。事前テストでは, どの条件群でも誤属性や混在タイプが多く見られるが, 事後テストでは, 正答である圧力タイプの解答が全体的に増加し, 特に共変操作群に多く現れることがわかる。この傾向を統計的に確かめたところ, 事後テスト($\chi^2_{(6)}=22.19, p<.01$)において有意な分布の偏りが確認された(事前テストは $\chi^2_{(6)}=3.16, n.s.$)。

TABLE 2 現象予測課題の結果

教示条件群		注射器問題			吸盤系列問題		
		増加	不変	減少	誤属性	混在	圧力
事前 テスト	基本情報	35(76)	6(13)	5(11)	18(39)	18(39)	10(22)
	属性操作	38(75)	9(18)	4(8)	21(41)	21(41)	9(18)
	可逆操作	33(67)	11(22)	5(10)	23(47)	14(29)	12(24)
	共変操作	34(65)	7(13)	11(21)	19(37)	23(44)	10(19)
事後 テスト	基本情報	38(83)	7(15)	1(2)	10(22)	26(57)	10(22)
	残差	3.20**	-1.39	-2.73**	-0.45	4.11**	-3.46**
	属性操作	33(65)	6(12)	12(24)	13(25)	16(31)	22(43)
	残差	0.36	-2.17*	2.08*	0.24	-0.08	-0.13
	可逆操作	29(59)	14(29)	6(12)	12(24)	13(27)	24(49)
	残差	-0.57	1.13	-0.55	0.05	-0.92	0.82
	共変操作	24(46)	18(35)	10(19)	13(25)	8(15)	31(60)
残差	-2.86**	2.38*	1.09	0.15	-2.96**	2.65**	

数字は人数, ()は% * $p<.05$ ** $p<.01$

また、残差分析の結果は、事後テストにおいて、基本情報群の混在タイプと共変操作群の圧力タイプの割合が多いことを示していた。

以上の結果は、現象予測課題においても、現象説明課題と同様に、最も多くの教示情報を提示された共変操作群の成績が他群よりも高くなることを示している。概念を利用して現象の未知の状態を推測していくという現象予測課題に対しても、概念構造の変換操作に関する教示情報を提示することが、効果的な影響を及ぼす可能性が示されたといえる。ただし、このような効果が、真に概念の操作に関する情報を獲得したことによって生じたのか、あるいは、教示情報に含まれていた他の情報によるものであったのかは明確に区別できない。そこで、教示情報から抽出した情報と課題成績との関係を検討するために以下の分析を行った。

3. 教示情報抽出課題 教示セッションで提示した教示情報から、被験者はいかなる情報を抽出したのかを検討するために、教示情報抽出課題に対する解答を分析した。各被験者が「教示情報からわかったこと、気づいたこと」として記述した要約文にどのような情報が含まれているかという観点から解答を分類した。その結果、①「加熱」や「排気」などのように、空間に操作を加えると気圧や気圧の関係が変化すること（操作情報）、②「大気圧は強大である」、「1気圧は1kgの重さに相当する」など、気圧という属性の性質に関すること（属性情報）、③「高圧から低圧空間へ作用する」など、複数の空間の気圧の関係によって力が作用する方向が規定されること（関係情報）、④「空気分子が壁に衝突するエネルギーが気圧になる」など、空気分子の運動量が気圧の値を規定すること（分子情報）、⑤「濡れた厚紙で気密性が高まる」、「身近な道具で実験を再現

できる」など、個々の事例に固有な表面的な特徴（状況設定や文脈）に関すること（事例情報）、⑥「実験は面白い」など自己の感想や内容に対する意見、「特になし」など説明教材との関連性が低い内容（その他）に分けられた。各教示情報の読解を終えた時点で、上記6種の抽出情報について記述を行った被験者の人数（%）を集計し、各教示情報、抽出情報別にTABLE 3に示した。

操作情報の抽出者は、いずれの条件群においても教示情報が追加されるに従って増加している。また、属性、関係、分子情報については、最初の教示情報（概念の基本情報）が提示された時点で、既に過半数の被験者が抽出しており、新たに教示情報が追加されても抽出者の割合は微増するに留まっている。中でも関係情報の抽出者は、最初から70%前後という高い確率で出現している。事例情報、その他に関しても、教示情報が追加されるに従い微増する傾向にあるが、全体的には抽出者の割合は低い。

属性、関係、分子情報は、教示セッションの最初の教示情報（概念の基本情報）として全ての条件群に提示され、かつ、気圧の力学的性質を理解する上で必要不可欠な情報である。上記の結果は、大半の被験者も最初の教示情報が提示された時点から、これらの情報の重要性を認識し自己の知識として獲得していたことを物語るだろう。一方、操作情報は、具体的な事例の説明に伴って提示される、いわば個々の事例に特有な情報の一つといえる。操作情報の抽出に関する上記の結果は、被験者は、具体的事例の説明を含む教示情報が提示されると、そこで説明されている属性の操作に関する情報に注目し、それを新たな知識として獲得する確率が高まることを示している。事例情報は個々の事例に特有な情報であり、気圧現象を理解する上での必要

TABLE 3 各教示情報からの抽出情報

教示条件群	教示情報	抽出情報					
		操作情報	属性情報	関係情報	分子情報	事例情報	その他
基本情報	概念の基本情報	5(11)	24(52)	33(72)	28(61)	12(26)	6(13)
属性操作	概念の基本情報	4(8)	23(45)	34(67)	30(59)	19(37)	7(14)
	+属性操作事例	12(24)	31(61)	36(71)	35(69)	27(53)	13(26)
可逆操作	概念の基本情報	4(8)	29(59)	32(65)	21(43)	18(37)	9(18)
	+属性操作事例	18(37)	35(71)	35(71)	25(51)	20(41)	14(29)
	+可逆操作事例	25(51)	36(74)	38(78)	25(51)	28(57)	21(43)
共変操作	概念の基本情報	5(10)	26(50)	31(60)	27(52)	18(35)	8(15)
	+属性操作事例	19(37)	35(67)	37(71)	29(56)	24(46)	11(21)
	+可逆操作事例	32(62)	35(67)	40(77)	30(58)	28(54)	19(37)
	+共変操作事例	37(71)	35(67)	42(81)	31(60)	29(56)	27(52)

数字は人数、()は%

性は低い。しかし、事例情報に関する先の結果からは、約半数の被験者は、具体的事例の情報が提示されると、事例情報のような必要性が低い情報に対しても注目し、知識として獲得していることがうかがえる。

さて、以上のような情報の抽出を通して、気圧現象に関する概念は形成されると思われるが、中でもどのような情報を得ることが、その概念の般化可能性に影響するのかという点が、本研究の主要な問いである。このことについて以下に調べた。

4. 抽出情報と般化課題成績との関係 教示情報からの情報抽出の程度によって、事後テストの各課題成績の分散をどの程度説明できるのかを推定するため、以下の回帰分析を行った。現象説明課題については、非類似問題の事後テスト得点を目的変数、事前テスト得点と教示情報抽出課題における各抽出情報の抽出率を説明変数に設定し、重回帰分析を行った。現象予測課題では、まず、注射器問題の解答を不正解 0、正解 1 の 2 値データに、吸盤系列問題の解答を誤属性 0、混在 1、圧力 2 の 3 値の順序データに変換した。その上で事後テストを従属変数、事前テストと各教示情報の抽出率を説明変数に設定し、注射器問題は 2 項ロジスティック回帰、吸盤系列問題は順序回帰分析 (PLUM) を実行した。以上の分析結果を TABLE 4 に示している。非類似問題の成績に対しては、操作情報の抽出が強い影響力を有し、関係情報も有意な弱い影響力を持つことが確認された。注射器問題に関しては、分子情

報の抽出による説明力が最も高く、操作情報も有意な説明力を示していた。また、モデルの適合度も良好であることから、注射器問題の成績に対し、教示情報からの情報抽出が強い影響を及ぼしていることが推察される。しかし、吸盤系列問題については、操作情報が有意な説明力を示しているものの、全体的にモデル適合度は低く、情報抽出以外の影響因の存在を考慮しなければいけない。

現象説明課題における結果は、教示情報から操作情報と関係情報を抽出できることと、獲得した気圧概念を多様な事例に般化できることの間に量的な関係があることを示した。関係情報は、気圧現象の基本構造を説明する情報であり、この情報を獲得していることは種々の般化課題を適切に解決するための必要条件である。しかし、関係情報の抽出率による説明力は弱く、関係情報を獲得していることだけで概念般化を十分に促進できるとは言い難い。一方、空間の気圧の関係を変えるための操作に関する操作情報の抽出は、課題成績に強い影響力を示した。「高圧から低圧の空間へ力が作用する」という原理を表す関係情報を、種々の気圧現象 (般化事例) の構造に適合するように変換するための具体的な手続きが操作情報であるといえる。上記の結果は、教示情報を追加することで、このような操作情報の獲得を促すことが、既に獲得している関係情報の変換操作を可能にし、般化課題の成績を向上させたことを物語るであろう。

TABLE 4 事後テスト課題成績に関する回帰分析結果

目的変数	教示条件群	抽出情報						事前 テスト	モデル適合度の検定		
		操作情報	属性情報	関係情報	分子情報	事例情報	その他		R^2	χ^2	p
現象説明課題 非類似問題	基本情報	.262*	-.032	-.037	.005	-.055	.145	.628**	.466		.001
	属性操作	.520**	-.075	.278*	-.152	-.103	.254*	.172	.522		.000
	可逆操作	.453**	-.076	-.019	.131	.072	.034	.299*	.410		.002
	共変操作	.529**	-.059	.306*	-.113	.041	.015	.163	.411		.001
	全体	.492**	-.062	.153*	-.010	.020	.111 ⁺	.258**	.402		.000
現象予測課題 注射器問題	基本情報	0.10	1.23	0.00	5.31*	0.60	1.24	1.76	.385	2.23	.898
	属性操作	2.39	2.13	1.31	0.04	1.45	1.23	1.75	.278	4.00	.857
	可逆操作	5.95*	0.26	5.67*	18.82**	0.41	0.00	0.01	.579	1.46	.993
	共変操作	1.88	0.45	3.24 ⁺	6.06*	1.41	2.61	3.36 ⁺	.336	8.03	.431
	全体	9.48**	0.13	0.88	19.73**	0.55	1.93	9.56**	.286	3.11	.875
現象予測課題 吸盤系列問題	基本情報	0.07	0.37	0.41	1.66	0.17	0.13	0.46	.075	31.22	.865
	属性操作	3.28 ⁺	0.54	1.21	3.46 ⁺	0.36	0.10	0.06	.142	76.27	.313
	可逆操作	2.56	2.01	3.14 ⁺	0.86	0.06	1.36	1.72	.228	64.26	.572
	共変操作	0.58	0.23	1.04	1.12	0.93	2.22	0.98	.131	82.38	.262
	全体	7.23**	0.04	2.82 ⁺	0.02	0.53	2.57	0.09	.085	178.17	.583

⁺ $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$ 現象説明課題の数値は標準偏回帰係数、現象予測課題の数値はWald統計量を示す。また、現象予測課題では、 R^2 値はCox and Snellの疑似 R^2 値を採用、有意確率 (p) は大きいほどモデルの適合度が良いことを意味する。

注射器問題の成績に関しても操作情報による説明力が認められるが、分子情報による説明力の方が強力である。分子情報は空気分子の運動量に注目することで気圧の大きさを推定することを可能にする知識である。注射器問題は、注射器内の空間の体積を操作しても、大気圧がピストンを押す力は一定であることを予測することが求められる課題である。つまり、大気圧の大きさが一定であることの理解が必要な注射器問題では、気圧を変化させる手続きに関する操作情報よりも、気圧の大きさの変化を予測する分子情報を獲得していることが問題解決の促進に関与していると考えられる。

吸盤系列問題において吸盤の外しやすさを予測するためには、物理的な環境条件が異なる場合でも、一貫して吸盤にかかる気圧や水圧という属性に注目し続け、かつ、その圧力の違いを比較できなければいけない。そのためには、天候や高度、水深などの環境条件と気圧(水圧)の関係を推測するための様々な自然科学的知識が必要となる。しかし、これらの知識が欠如する場合には、温度や高度などの容易に比較可能な属性に注目して判断の根拠としてしまう可能性がある。つまり、吸盤系列問題において圧力という属性に注目するためには、教示情報から得られる気圧に関する知識だけでは不十分であると考えられる。

総合考察

本研究の結果は、以下の2点に集約できる。①気圧概念の概念受容学習では、気圧の力学的性質の基本構造を説明する教示情報に加え、属性(気圧)や属性間の関係を操作する事例を教示情報に追加することによって、提示した事例と類似性が低い般化事例に対しても、学習した気圧概念を適用する可能性を高めることができる。②このような気圧概念の般化の促進には、与えられた教示情報から、気圧の力学的性質に関する概念情報を抽出することだけでなく、気圧属性間の関係性の変換操作に関する情報(操作情報)を抽出することも大きく影響している。

概念受容学習事態で生じる概念般化の困難性は、複数の多様な事例を用いた教示によって克服できることが過去の研究において報告されてきた。このことに対する一つの説明は、複数事例に遭遇することで、事例間に共通する概念情報と個々の事例に固有な事例情報が区別され、概念情報を一般的知識として抽出する帰納的な学習が促進されるという仮説であった。本研究の結果は、学習した知識の般化可能性を高めるためには、このような概念情報の抽出だけでは不十分であり、

さらに、その概念構造の変換操作に関する知識の獲得が必要ではないかという新たな知見を提供した。

このことと関連する議論として、本研究と同じく大学生の気圧概念領域を研究対象とした麻柄(1996)の知見がある。気圧概念の学習を妨げる要因の1つに、「真空は物を吸い寄せる力を持つ」などの強固な誤概念の存在があるが、麻柄は、この誤概念を修正するためには、①問題解決に必要な情報を正しく認知構造に取り入れられない、②情報が取り入れられても有効に利用できないという2段階の困難性を克服する必要があると述べている。本研究の知見は、この後者の段階の困難性を解決するための1つの手がかりを与えてくれる。つまり、多様な事例の構造に合うように、取り入れた情報の属性を変換・調節するための知識を補うことが、その情報の利用を促進する有効な手段となる可能性があることが示唆された。

ところで、概念受容学習のように、事例を用いた学習過程を説明する理論の一つに、事例に基づく推論(Kolodner, 1993)がある。これは、人は新たな問題に遭遇すると、過去の経験を記憶した事例ベースから、その問題と類似する事例を検索し、その事例を直接利用することで直面している問題の解決を図るというものである。この理論に基づくならば、複数の事例を提示する効果は、事例ベースに記憶される事例の数を充実させ、いかなる問題に対しても類似事例を準備できる確率を高めることによって生じると説明できる。このような事例に基づく推論を本研究の被験者も実行していたという可能性もある。しかし、実験の結果は、事例ベースとなる教示事例とは類似性の低い般化事例(非類似問題、吸盤系列問題)に対しても概念般化が広がることや、類似事例を検索する際の手がかりとなる事例情報の抽出と般化課題の成績との間には有意な関連性が認められないことを示した。このことを踏まえると、被験者が、教示された事例を般化課題の類似事例と判断し、その事例を直接適用することで問題解決を行っていた可能性は低いと考えられる。むしろ、気圧概念の本質的な情報(関係情報や分子情報)やその概念の操作に関する情報の抽出と般化課題成績の間に有意な関係性が示されたという結果からは、被験者が、種々の問題にも適用可能な知識の抽象化を媒介して般化問題を解決していた可能性が高いことが推察される。

ただし、概念構造を操作する事例を用いた教示方略にも次のような限界がある。結果に示したように注射器問題では、事後テストにおいて最も好成績であった共変操作群でさえも、正答率はわずか35%に留まって

いた。また、注射器問題の解決には、空気分子の運動に関する概念情報(分子情報)の抽出が影響していた。さらに吸盤系列問題の解決には、教示情報から得られる概念情報だけでは不十分であることも示された。このように操作事例の教示は、あらゆるタイプの事例や般化問題に対する知識の適用を促進できるわけではない。問題構造の特性によっては、概念構造の操作とは異なる次元の知識が求められる場合もある。このようなタイプの般化事例に対しても、学習した概念の適用範囲を広げるためには、いかなる条件を考慮していく必要があるかという問いについては、さらなる検討を行っていかねばならないだろう。

引用文献

- Dietterich, T. G. 1986 Learning at the knowledge level. *Machine learning*, 1, 287-316.
- 藤田 敦 2005 複数事例の提示が概念の般化可能性に及ぼす影響—気圧の力学的性質に関する概念受容学習過程— 教育心理学研究, 53, 122-132. (Fujita, A. 2005 Concept generalization : Multiple examples and reception learning of concepts about air pressure phenomena. *Japanese Journal of Educational Psychology*, 53, 122-132.)
- 伏見陽児 1995 「概念」教授の心理学—提示事例の有効性— 川島書店
- 石崎 俊 1996 説明に基づく学習 波多野誼余夫(編) 認知心理学 5—学習と発達 東京大学出版会 Pp.250-251.
- Kolodner, J. 1993 *Case-based reasoning*. San Mateo, CA : Morgan Kaufmann.
- 工藤与志文 2002 概念受容学習における事例の問題—直接的な学習ソースとしての「事例」— 札幌学院大学人文学会紀要, 71, 77-93. (Kudo, Y. 2002 Examples as a direct source for concept reception learning. *Journal of the Society of Humanities*, 71, 77-93.)
- 工藤与志文 2003 概念受容学習における知識の一般化可能性に及ぼす教示情報解釈の影響—「事例にもとづく帰納学習」の可能性の検討— 教育心理学研究, 51, 281-287. (Kudo, Y. 2003 Reception learning of concepts : Learners' interpretations of instructions and generalization of knowledge. *Japanese Journal of Educational Psychology*, 51, 281-287.)
- 麻柄啓一 1991 日常生活場面の事例がルールの学習に及ぼす効果 教育心理学研究, 39, 261-269. (Magara, K. 1991 Effects of examples occurring in daily life upon rule learning. *Japanese Journal of Educational Psychology*, 39, 261-269.)
- 麻柄啓一 1996 学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか 教育心理学研究, 44, 379-388. (Magara, K. 1996 Why is it difficult to rectify a misconception in learners ? *Japanese Journal of Educational Psychology*, 44, 379-388.)
- Mooney, R. J. 1990 Learning plan schemata from observation : Explanation-based learning for plan recognition. *Cognitive Science*, 14, 483-509.
- 進藤聡彦 2002 素朴理論の修正ストラテジー 風間書房

謝 辞

本論文の作成にあたり、ご助言いただきました九州大学丸野俊一教授、加藤和生助教授、および丸野・加藤研究室の皆様に厚くお礼申し上げます。また、実験の実施にあたっては生田淳一氏に、多大な協力をいただきました。ありがとうございました。

(2004.3.5 受稿, '05.3.19 受理)

Instruction Using Examples of Attribute Operation and Concept Generalization : Receptive Learning of Concepts About Air Pressure Phenomena

ATSUSHI FUJITA (OITA UNIVERSITY) JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2005, 53, 393—404

The purpose of the present investigation of the receptive learning of scientific concepts was to study the effect on the generalization of acquired knowledge of instruction that used examples of the operating attributes of the concept's structure in addition to providing explanations about the nature of the concept. Undergraduates ($N=206$) were taught about dynamic properties of air pressure phenomena ; the lesson included experimental examples of the operating attributes of those phenomena. In order to assess the effect of this teaching method on the generalization of the knowledge that the students had acquired about air pressure, they were then asked to solve problems. The main results were as follows : (1) presenting examples of operating attributes promoted the adaptability of acquired knowledge to problems that were not similar to the original examples ; and (2) this effect was caused by the students' extracting from what they had been taught not only basic principles about dynamic properties of air pressure, but also knowledge about procedures for transforming the relationships between the multiple attributes included in air pressure phenomena.

Key Words : receptive learning of concepts, operation of concept structure, concept generalization, concept of air pressure, undergraduate students