

外化と内省が理解に与える効果

—維管束の学習を事例に—

清水 誠*
渡邊 文代**
安田 修一***

【 要 約 】

本研究は、既有知識をもとに自身の考えを外化させ、それを観察結果と結びつけて内省を促す学習方法が学習者の理解を深めるのではないかと考え、その効果を探った。学習内容は、維管束のつくりである。予想時に自分の考えを図で表現させ、観察後に予想時に書いた図と観察結果を比較させた。その結果、考えを図に書く作業を通して外化し、観察結果を書かれた図と比較しながら内省を促す学習方法は、維管束についての形態と機能についての知識同士を結びつける効果があることが明らかとなった。

I. 問題の所在

小林¹⁾は、大学の入試でサクラ、ユリ、イチヨウの3種類の植物の葉脈を図示させたところ、正解が少なく、幾何学的な平行線を書いたり、途切れた葉脈を書いた受験者が多くいたとする。そこで、2005年4月に同様の質問²⁾をS大学の教育学部の学生117人(理系:69人,文系:48人)に行ってみたところ、網状脈,平行脈という言葉は69%が書けるものの、葉脈図示では小林の指摘と同様に網状脈では34%,平行脈では14%の学生しか正答が書けない,分からないという結果であった。市川³⁾は、分からないというのは、何かと何かがつながっていない状態であるとする。学生たちは、葉脈の形態と機能について知識はあるが、知識は断片的であり、つながっていないということが分かる。学習者が理解を深める教授方法を検討する必要があるといえる。

今日までの理解を深める教授方法を探る研究を分類すると、大きく4つに分けることができる。1つは、市川⁴⁾が、具体的事例から帰納的にイメージを形成するというものである。貝沼ら⁵⁾の研究に見られるように、体験学習が理解を深めることにつながるものである。2つ目は、稲垣・波多野⁶⁾が、驚き,当惑,協調欠如といった認知的不調和(cognitive incongruity)が認知されたときに理解を引き出すと述べるものである。葛藤場面

の提示や葛藤教材の効果を検討した堀・林⁷⁾や中島・戸北⁸⁾の研究を見ることができる。3つ目は、稲垣・波多野⁹⁾が類推は新しい事態を理解する最も有効な方法の1つであると述べるものである。Schwartz¹⁰⁾もアナロジーにおける可視化が学習者の理解を促進するとしている。比喩的な表現活動を支援することが科学的概念理解を促進するとして益田・森本¹¹⁾の研究を見ることができる。4つ目は、学習者が持つ認知過程を外化することが理解を深めることにつながるものである。Cosgrove & Osborne¹²⁾は、概念学習のモデルを考える前提条件として授業の初期の段階で、学習者に自分自身の考え方を明確化させることが必要であるとする。高垣・田原¹³⁾は、思考の根拠が可視化された文脈で議論が展開されていくプロセスにおいて既有概念の変容が促進されるとする。外化することの効果を探った研究は、他にも多くの研究が見られるようになった(例えば、丹治ら:1990,高垣・中島:2004,竹中ほか:2005,清水ほか:2005,高垣・田原:2006,高垣ほか:2006,清水・山浦:2006)¹⁴⁾。外化することの効果として三宅・白水¹⁵⁾は、認知プロセスが外化されていると内省の対象として比較対照,編集などの操作がしやすくなり、内省が促進されるからだとする。学習者の学習前の考えを外化し内省することの効果を探った研究としては、宮嶋ら¹⁶⁾の研究を見ることができる。宮嶋らは、アサガオの葉の観察を事例に、事前にイメージスケッチを描かせて観察の際に実物と比較しながらイメージスケッチと実物との差異点を明確にしていく指導方法の効果を探っている。その結果、学習阻害となっている、児童が過剰に持っている意識を排除し、より多くの特徴的な点に気付かせることができると

* 埼玉大学教育学部

** 埼玉県教育局南部教育事務所

*** 蓮田市立蓮田南中学校

する。また、山口ら¹⁷⁾や舟生ら¹⁸⁾は、再構成型コンセプトマップ共同作成ソフトウェアを使った内省に及ぼす効果と内省への支援の有効性について研究を行っている。その結果、共同作成過程を再生することで、自分たちの考えの迷いや変化、気づきなどを内省することができる。しかし、外化することに加えて、内省させる時間を授業に取り入れることが学習者の理解にどのような影響を及ぼすかを調べた研究は理科の教育研究にはほとんど見られない。

そこで、本研究では、認知面でメリットがあげられている学習者の考えを外化し、自分自身の考え方ややり方について意図的に吟味するプロセスである内省を理科学習に取り入れることが学習者の理解に与える効果を探ることとする。具体的には、維管束の学習をする際に、外化方法として予想時に生徒に自分なりの考えを図を使って表現させ、観察結果を予想時に書いた図と比較しながら考察させる内省の場を用意する。こうした外化と内省する機会を意図的に学習に取り入れることが、維管束についての形態と機能についての断片的な知識を結びつけ、葉脈についての理解を促すのではないかと考え、その効果を探る。

なお、White¹⁹⁾は深い理解をもたらすには「所有している知識の本質とその記憶要素間の結合のパターンが重要である」とする。また、稲垣・波多野²⁰⁾は理解が深まるとは「首尾一貫した解釈が確信をもって採用されること」とする。そこで、本研究では、White や稲垣・波多野の考えを踏まえ、理解が深まった状態を「事物や事象についての解釈がより首尾一貫したものになり、より広い範囲に適用できる包括的なものになること」と定義し、調査を行う。

II. 研究の方法

1. 調査対象及び時期

埼玉県内の公立K中学校及びH中学校2校の1年生、304人を対象とした。

対象の被験者を、課題に対する自分の予想を図に表して外化し、観察結果を書かれた図と比較して振り返らせながら考察を行う群（以下、実験群と呼ぶ）と予想を行い、観察結果について考察する群（以下、統制群と呼ぶ）に分けた。実験群の被験者は、K中学校の3学級とH中学校の2学級をあわせた5学級の合計173人である。また、統制群の被験者は、K中学校の2学級とH中学校の2学級をあわせた4学級の合計131人である。

調査は、K中学校では2005年5～7月に、H中学校は2006年5～7月に実施した。

2. 研究の方法

(1) 生徒の実態及び実験群・統制群の等質性

両群の等質性を調べるため、実験授業を行う前に、同じ生物領域の人の血管系のつながりについて理解しているか質問紙調査を実施した。質問紙の内容は、「人間の体の中では、心臓から出た血管は体の中をどのように通っているでしょうか。下の図に続き（心臓の図のみが書かれている）を書いてください。また、そのように書いた理由を書いてください。」というものである。

(2) 生徒の考えの変容と概念の形成

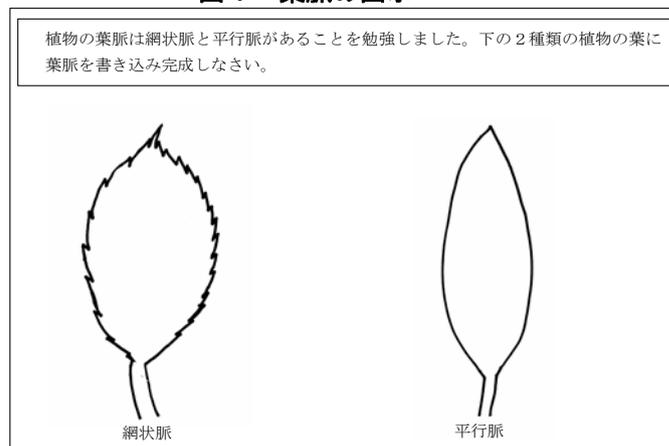
ア. ワークシートの記述による調査

学習過程での生徒の考えの変容の様子を見るため、予想時の考え、考察時の考えをワークシートに記述させた。予想時の生徒の考えは、植物体の中を維管束がどのように通っているかと考えるか、3つの選択肢（①途切れていない、②途切れているものもあれば途切れていないものもある、③途切れている）から1つを選ばせた。考察時の生徒の考えは、観察から分かったことをもとに課題に対する考えを記述させた。生徒の考えを記述させた理由は、観察結果の解釈がより首尾一貫したものとなっているかを調べるためである。

イ. 質問紙による調査

学習2ヶ月後に、生徒が維管束のつながりを理解しているか質問紙により調査した。質問紙は、2問あり、1問は、植物の体の中を維管束がどのように通っているのか、予想時のワークシートにある3つの選択肢と同様に（①途切れていない、②途切れているものもあれば途切れていないものもある、③途切れている）から1つを選ばせ、さらに選択した理由も記述させた。もう1問は、網静脈と平行脈の葉の輪郭だけを示し、その中に葉脈を図示させた（図1）。この質問は、維管束について首尾一貫した解釈がなされるようになっていないかを調べることに加え、より広い範囲に適用できるようになっているかを調べるためのものである。

図1 葉脈の図示



2. 授業の概要

授業は、実験群、統制群ともに「維管束のつながり」についての学習を 50 分で行った。なお、K中学校の授業は教師経験 15 年の教諭がH中学校の授業は共同研究者の安田が行った。実験群の授業の概要をまとめると次のア～カのようである。

ア. 既習内容である「植物の成長には水が必要であること、葉ではデンプンができること、植物体の中には維管束があること」を確認した。

イ. 学習課題「植物の体の中で維管束はどのように通っているか？」を提示し、課題に対する予想をワークシートの3つの選択肢（途切れている、途切れていないものもあれば途切れていないものもある、途切れていない）の中から選択させるとともに、植物体の中の維管束の様子を図示させ（図2）、そのように考えた理由も記述させた。

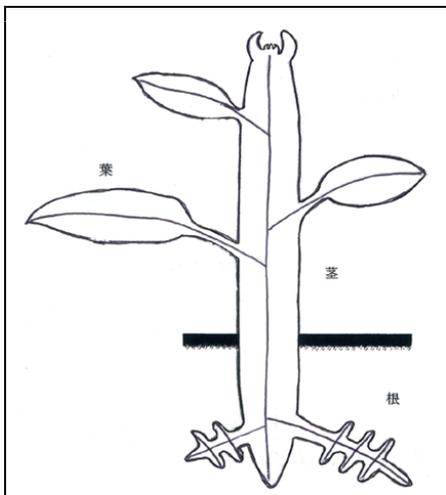


図2 生徒が書いた予想図の一例

ウ. 一晚赤インクを吸わせたセイタカアワダチソウの切片を作成し、班単位で観察を行った。作成した切片は4カ所で、根、茎、葉柄、葉身である。観察しながら顕微鏡で見た様子をスケッチし観察用のワークシートに貼り合わせた。一本の植物ということ意識させるため、机上には切片のほか同様の植物体を一本直立させて置いた。なお、観察前に、水の通り道が道管であるということ、赤インクを吸わせているので赤く見えたところが道管であるということをクラス全体で確認した。

エ. 観察結果をもとに学習課題についての考察を行わせた。その際、予想時に書いた図を観察結果と照らし合わせながら赤鉛筆で加筆・修正しながら内省を促す時間を設けた。

オ. 生徒の発表をもとに、「水や養分の通り道である維管束は、植物体の中を途切れることなく張り巡らされている」ことを教師がまとめた。

実験群と統制群の授業の違いは、統制群がイの課題に対する予想がワークシートの3つの選択肢の中から選択するのみであること（予想図及びその理由は記述しない）、エの考察場面では、観察結果から課題に対する考察を行い、特に個人が予想したことを意図的に振り返らせることはしなかったことである。なお、実験群が図示することにかかる時間の調整は、統制群の観察時間を長くすることにした。それ以外の条件は、両群ともに同じである。なお、葉脈には網状脈と平行脈があることは、両校の生徒ともに教科書の記述からすでに学習している。

III. 結果とその分析

1. 両群の等質性

人の血管系について回答された理由の記述に対し、次の3つの評価基準を設定し、この基準にしたがって分類した。

A基準：体の中でつながっている、張り巡らされている、一周している等、閉鎖血管系ととれるもの。

B基準：体中を通っているといったあいまいな表現。

C基準：その他

A基準の記述ができていたものを正答とし、それ以外を誤答としてまとめた結果が表1である。

表1 両群の等質性

	正答	誤答
実験群 (N=173)	23 (13.3)	150 (86.7)
統制群 (N=131)	19 (14.5)	112 (85.5)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

正答及び誤答の両群の生徒数について、直接確率計算 2×2 で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.867$ ($10 < p$) であった。A基準で記述できた生徒数に関しては、両群に統計的に有意な差はないといえる。

2. 予想時のワークシートの記述

学習課題「植物の体の中で維管束はどのように通っているか？」に対する予想を、ワークシートに記述された3つの選択肢（①途切れていない、②途切れているものもあれば途切れていないものもある、③途切れている）の中から最も近い考えを選択させた結果が表2である。

正答である①を選択した両群の生徒数と①以外の生徒数について、直接確率計算 2×2 で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.002$ ($p < 0.01$) であった。予想の段階でモデル図を作成し、その理由を記述させた実験群が正答である①を選択している生徒が統制群に比べ有意に多い

といえる。統制群では、③を選択した生徒は実験群と大きな差はないが、②を選択した生徒が多かったためであることが分かる。

表2 予想時の生徒の考え

	実験群(N=173)	統制群(N=131)
①を選択	124(71.7)	71(54.2)
②を選択	27(15.6)	53(40.5)
③を選択	14(8.1)	5(3.8)
記入なし	8(4.6)	2(1.5)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

3. 考察時のワークシートの記述

考察時のワークシートの記述について解釈がより首尾一貫したものになっているか調べるため、次の評価基準を作成し分類した。植物の体の中の維管束が「途切れていない」という記述が見られたものをB基準、B基準に加えて「途切れていると養分や水分がいきわたらず枯れてしまうから」といった科学的な理由付けがなされているものをA基準。また、B基準には満たないものの、「張り巡らされている」といった、つながっていることが想起される記述が見られるものをB'基準、それ以外をC基準とした。分類は、共同研究者の3人の合意によって行った。評価基準に基づき、考察の記述を分類した結果が表3である。

表3 考察の記述

	A	B	B'	C
実験群 (N=173)	27 (15.6)	36 (20.8)	47 (27.2)	63 (36.4)
統制群 (N=131)	0 (0)	61 (46.6)	22 (16.8)	48 (36.6)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

考察の記述をA, B, B'基準で書くことができた生徒(実験群: 110人, 統制群: 83人)を本時のねらいが達成されたものとし、それ以外のCの記述をした生徒数とについて直接確率計算2×2で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.809$ ($.10 < p$)であった。両群の間に差はないといえる。しかし、実験群ではA基準の科学的な理由付けまでも書くことができた生徒が27人いたのにもかかわらず、統制群では0人という結果であった。A基準で書けた生徒数とそれ以外の生徒数について直接確率計算2×2で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.000$ ($p < .01$)であった。観察結果を考察する段階で、科学的な理由付けまでも書くことができた生徒は、実験群が統制群に比べ有意に多いことが分かる。

4. 2ヶ月後の質問紙調査の結果

(1) 維管束のつながり

「維管束は、植物の体の中にどのように通っていますか。」という問いに対する選択肢(維管束は、①つながっている、②途切れているものもあれば、つながっているものもある、③途切れている、④その他)の回答結果は表4のとおりである。

表4 2ヶ月後の生徒の考え

	実験群(N=173)	統制群(N=131)
①を選択	144(83.2)	107(81.7)
②を選択	16(9.2)	12(9.2)
③を選択	7(4.0)	8(6.1)
④を選択	6(3.5)	4(3.1)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

正答である①を選択した両群の生徒数と①以外の生徒数について、直接確率計算2×2で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.761$ ($.10 < p$)であった。両群の間に有意な差は見られない。しかし、①を選択した生徒の中で理由まで正しく記述できた生徒は、実験群では99人、統制群では53人であった。理由まで正しく記述できた生徒と正しく記述できなかった生徒について、直接確率計算2×2で比べてみると、両側検定の結果は $p=0.005$ ($p < .01$)となり、実験群が統制群に比べ理由まで正しく記述できた生徒が有意に多いことが分かった。

(2) 葉脈の図示

2ヶ月後調査の2つ目の問いである網状脈と平行脈の葉の葉脈のつくりを図示させた結果が、表5、表6である。

実験群と統制群で網状脈と平行脈の図示について正答した生徒と誤答であった生徒について、直接確率計算2×2で比べてみると、両側検定の結果は網状脈の図示で $p=0.014$ ($p < .05$)、平行脈の図示で $p=0.001$ ($p < .01$)であ

表5 網状脈を正しく図示できた生徒の割合

	正答	誤答
実験群(N=173)	84(48.6)	89(51.4)
統制群(N=131)	45(34.4)	86(65.6)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

表6 平行脈を正しく図示できた生徒の割合

	正答	誤答
実験群(N=173)	58(33.5)	115(66.5)
統制群(N=131)	19(14.5)	112(85.5)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

った。網状脈の図示でも平行脈の図示でも、実験群が統制群に比べ正答者が有意に多いことが分かる。

IV. 考察とまとめ

本研究では、学習者の考えを外化し、自分自身の考え方を内省させる機会を理科学習に取り入れることが学習者の理解を促すかを2つの中学校で調べた。取り上げた内容は、植物体の中に維管束（葉脈）があるという知識と維管束が水や養分の通り道であるという知識を生徒が結びつけて考えるようになるかである。

維管束のつながりの学習の結果からは、科学的な理由付けまでも書くことができた生徒は統制群に比べ実験群が有意に多いということが分かった。実験群の生徒たちは、維管束についての解釈がより首尾一貫したものとなっていると考えることができる。また、葉脈図示においても網状脈、平行脈ともに、統制群に比べ実験群が正答者が有意に多かった。実験群の生徒に茎から葉への維管束のつながりを図示させ意識させたことが、葉脈という葉の形態を水分の通り道という機能と結びつけさせ、葉柄から葉脈がのびる図を書くことができる生徒が多く見られたのではないかと考える。

以上の結果を総合すると、植物の各部分を単に観察するだけでなく、予想時に自身の考えを意識できるように外化（本研究では図示）させ、外化したものを観察結果と比較しながら内省を促す学習方法は、維管束（葉脈）についての形態と機能についての知識同士を結びつける効果があるといえる。

しかしながら、学習者が外化した図を観察結果と比較対照しどのように内省を促進していったのか、本研究で明らかにすることができていない。今後の課題としたい。また、葉脈の図示では、統制群に比べ実験群の正答者が多いという結果がみられたものの、誤答者の割合が網状脈、平行脈ともに正答者の割合に比べ多い。稲垣・波多野²¹⁾や波多野・稲垣²²⁾は、子ども同士の社会的相互交渉や学級集団の相互交渉を活発にさせると理解が深まる傾向があるとする。今回の研究では他者との関わりは教授方法として取り上げていない。協同的な学習環境の中での外化と内省を意図的に取り入れた学習方法を取り入れることで改善されるのかもしれない。今後の課題としたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、授業の実施にご快諾をいただいた蓮田市立蓮田南中学校の齊藤充正校長先生、さいたま市立木崎中学校の野本雅夫校長先生及び授業をし

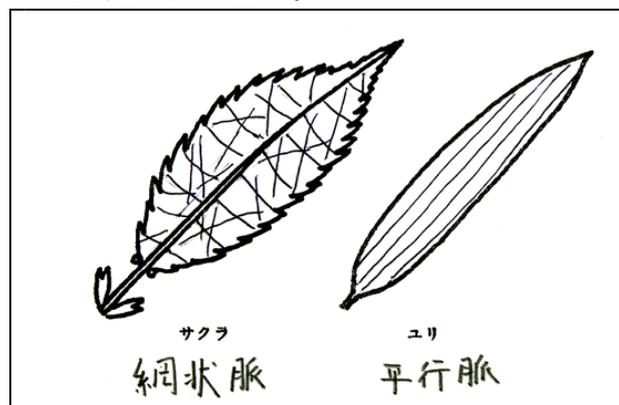
ていただいた山浦麻紀先生に心から感謝申し上げます。

付記

本研究は、平成17-19年度科学研究費補助金・基盤研究(C) (課題番号：17500574, 研究代表：清水誠)の助成を受けて行われた。また、本稿は、日本理科教育学会第45回関東支部大会(2006)に発表した内容をもとに、さらに研究を深め、大幅に加筆・修正したものである。

註及び引用文献

- 1) 小林満壽男：「植物形態学入門—教師のための植物観察—」, 共立出版, 1981.
- 2) 質問紙の内容は、小林の調査と同様に葉の輪郭のみが描かれたサクラ（網状脈）とユリ（平行脈）の図の中に葉脈を書き込み完成させるものである。学生が書いた例が次のものである。



誤答は、網状脈では側脈が途切れている者が最も多く、次に網目型のものが見られた。平行脈では、幾何学的な平行線を書く者が最も多く、次に葉脈が途切れているものであった。

- 3) 市川伸一：「「わからない」生徒たちへの学習相談—日常モードから学問モードにどう移行するか」, 科学, 77(1), 48-49, 岩波書店, 2007.
- 4) 前掲書3)
- 5) 貝沼喜兵・斎藤淳一・原田和雄・小林興：「中・高校生を対象とした組替え DNA 実験に対する生徒の理解度と体験学習の意義」, 科学教育研究, 27(3), 212-222, 2003.
- 6) 稲垣佳世子・波多野誼余夫：「理解を求める活動, 認知過程研究—知識の獲得とその利用—」, 放送大学教育振興会, 152-164, 2002.
- 7) 堀哲夫・林政美：「科学的概念の形成と理解—「浮力」の概念を事例にして—」, 日本理科教育学会研究

- 紀要, 33(1), 25-36, 1992.
- 8) 中島稔・戸北凱惟:「葛藤教材の同時提示による溶解時の質量保存に関する学習者の理解」, 日本理科教育学会研究紀要, 39(1), 31-39, 1998.
- 9) 前掲書6)
- 10) Schwartz, D. L.: The construction and analogical transfer of symbolic visualizations, *Jornal of Research in Science Teaching*, 30(10) 1309-1325, 1993.
- 11) 益田裕允・森本信也:「子どものコミュニケーション活動に見るメタファーとしての科学概念理解の深まりー中学生の分解概念理解を事例としてー」, 理科教育学研究, 41(2), 31-40, 2000.
- 12) Cosgrove,R., & Osborne,R:「子ども達の考え方を変えるための授業の枠組み」『オズボーン, フライバーグ(森本信也, 堀哲夫訳); 子ども達はいかに科学理論を構成するかー理科の学習論ー』, 東洋館出版社, 150-164, 1988.
- 13) 高垣マユミ・田原裕登志:「小学校4年理科「水の状態変化」の既有概念の変容過程における発話の解釈的分析」, 理科教育学研究, 46(2), 29-38, 2006.
- 14) 丹治一義・萱野貴広・萩原尚武:「答を吟味する授業が電気概念理解に及ぼす影響」, 日本理科教育学会研究紀要, 31(2), 51-60, 1990.
- 高垣マユミ・中島朋紀:「理科授業の協同学習における発話事例の解釈的分析」, 教育心理学研究, 52(4), 472-784, 2004.
- 竹内真希子・稲垣成哲・山口悦司・大島純・大島律子・村山功・中山迅・山本智一:「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化:動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして」, 科学教育研究, 29(1), 25-38, 2005.
- 清水誠・石井都・海津恵子・島田直也:「小グループで話し合い, 考えを外化することが概念変化に及ぼす効果ーお湯の中から出る泡の正体の学習を事例にー」, 理科教育学研究, 46(1), 53-60, 2005.
- 高垣マユミ・田原裕登志:「小学校4年理科水の状態変化の既有概念の変容過程における発話の解釈的分析」, 理科教育学研究, 46(2), 29-38, 2006.
- 高垣マユミ・森本信也・加藤圭司・松瀬歩:「社会的な学びを構成するツールとしての「電子黒板」の活用に関する試みー小学校5年理科「ものの溶け方」を事例にしてー」, 理科教育学研究, 47(2), 31-40, 2006.
- 清水誠・山浦麻紀:「考えを外化し話し合いをすることが概念的知識の一般化に及ぼす効果ー花の働きの学習を事例にー」, 理科教育学研究, 47(1), 35-44, 2006.
- 15) 三宅なほみ・白水始:「認知科学辞典」, 共立出版, 2002.
- 16) 宮嶋浩一・西川純・根元和成:「児童の生物認識の言語報告と自由記述による比較研究及びそれに基づく指導法の開発」, 日本理科教育学会研究紀要, 37(1), 33-41, 1996
- 17) 山口悦司・稲垣成哲・舟生日出男:「再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェアに関する実験的研究:再生・修正機能が学習者の内省や対話に及ぼす効果の分析」, 科学教育研究, 26(5), 336-349, 2002.
- 18) 舟生日出男・山口悦司・稲垣成哲:「再構成型コンセプトマップ共同作成ソフトウェアの内省と対話の支援における有効性について」, 科学教育研究, 27(5), 318-332, 2003.
- 19) White,R.T.:「子ども達はいかに学習し教師はいかに教えるか」(堀哲夫・森本信也訳), 東洋館出版社, 1990.
- 20) 前掲書6)
- 21) 稲垣佳世子・波多野誼余夫:「認知的観察における内発的動機づけ」, 教育心理学研究, 16, 191-202, 1968.
- 22) 波多野誼余夫・稲垣佳世子:「知力と学力ー学校で何を学ぶかー」, 岩波書店, 1984.

(2007年4月9日受付, 2007年8月26日受理)

SUMMARY

The Effects of Externalization and Reflection on the Study of Vascular bundles

Faculty of Education, Saitama University

Makoto SHIMIZU

Southern Education Office, Saitama Prefecture Board of Education

Fumiyo WATANABE

Hasudaminami Junior High School

Syuichi YASUDA

In this research project, we devised a way of studying that allowed the students to externalize their thoughts based on prior knowledge and to compare them with the results of observation in order to deepen their understanding. The unit was on the structure of vascular bundles. The students were allowed to express their thoughts by drawing pictures before the observation. After that, they compared their pictures to the result. It turned out that this way of studying proved effective in learning about the function and form of vascular bundles.