

アクティブ・ラーニングに基づく理科授業の実践的展開

森本信也 長沼武志 野原博人

Design of Science Teaching based on the Active Learning and its Practices

ShinnyaMorimoto Takeshi Naganuma Hirohito Nohara

1. 問題の所在

次期学習指導要領における最も大きな課題は、アクティブ・ラーニングを中心とした学習活動の展開である。アクティブ・ラーニングが主唱される問題意識は、内外の学力調査の結果から「日本の子どもは根拠をあげて自分の考えを表現することに課題がある」、というものである(中央教育課程審議会企画特別部会,2015)。知識基盤社会を迎え、自分にとって適切な情報を取捨選択し、適切な判断を下せる力を子どもに育成することは、これからの学校教育を構想する上において必須である。この意味で、この問題意識は適切であり、その解決は喫緊の課題である。

実際、理科教育においても、上述の問題は共通であり、観察、実験結果を読みとり、そこから適切な考察をするという点において、小学生・中学生においても課題があることが明らかにされている(文部科学省,2015)。この課題を反映させその解決で必要とされる理科授業が構想されなければならない。それは、子どもが明確な見通しをもって学習に臨み、学習の成果として得られたことを振り返りながら整理し、知識として構築できる授業の実現である。これは上述のアクティブ・ラーニングの視点に合致する。

こうした指摘に叶う理科授業は次の過程から構成されなければならない。子どもにおける問題の自覚に端を発する、予想→予想を検証すべく観察、実験の設定→結果の整理→考察、という一連の問題解決を主軸とした活動である。この活動においては、子どもが一貫して問題を意識しながら、その解決に関わることが必要である。言い換えれば、「予想したことを検証するための観察、実験結果は何だったか」「予想と観察、実験結果を比べてみて、予想は検証されたのか」、というようなメタ認知がこの過程では求められる。メタ認知を繰り返しながら、子ども自ら自己調整的に学習を進めることでこの活動は充実する。

理科授業でこうした活動が十全に行われれば、子どもは自らの学習活動を振り返りながら、そこでどのような情報を処理し、それを科学概念として構築したかを説明することができる。アクティブ・ラーニングの目標は十分到達可能である。そこで本稿においては、初等理科教育を事例にし、アクティブ・ラーニングを具現化させる指導と評価について検討する。

2. フィードバック機能の自覚化による、アクティブ・ラーニングの具現化

2. 1 フィードバック機能

理科授業では、問題を明確にししながら、予想を立て、それを検証すべく観察、実験を設定して実行する。また、結果を整理しながら考察に取り組み、科学的な事象に対する知識構造を構築する。このような問題解決を遂行していく際、教師の足場づくりとしての形成的アセスメントに基づくフィードバックが有用である。

渡辺らは、形成的アセスメントに基づいた理科授業を分析し、学習において教師が収集するデータを分析・活用し、子どもに適切に、即時的なフィードバックを与えて指導を進めると、子ども自身が学習を調整しながら科学概念を構築することを明らかにした（渡辺，黒田，森本，2013）。

一方、フィードバックについて、Hattie,J.&Timperley,H.は、現在の理解や成績と望ましい目標とのギャップを減らすものと指摘し、フィードバックが機能するレベルとして、表 1 に示す、タスクレベル、プロセスレベル、自己調整レベル、自己レベルのフィードバック機能を指摘した（Hattie,J.& Timperley,H.,2007）。

表 1 フィードバックが機能する四つのレベル

タスクレベル (Task level)	学習問題を明確することに対して機能する。
プロセスレベル (Process level)	問題解決を遂行するプロセスに対して機能する。
自己調整レベル (Self-regulation level)	モニタリングを通じた自己調整に対して機能する。
自己レベル (Self-level)	学習者の意欲付けに対して機能する。

また、長沼・森本は、それらのフィードバック機能を図 1 に示すフィードバック機能の分化モデルとして模式化し、四つのレベルを視点とした形成的アセスメントを実施して、フィードバックを行うことにより、子どもが科学概念を構築することを明らかにした（長沼・森本,2015）。

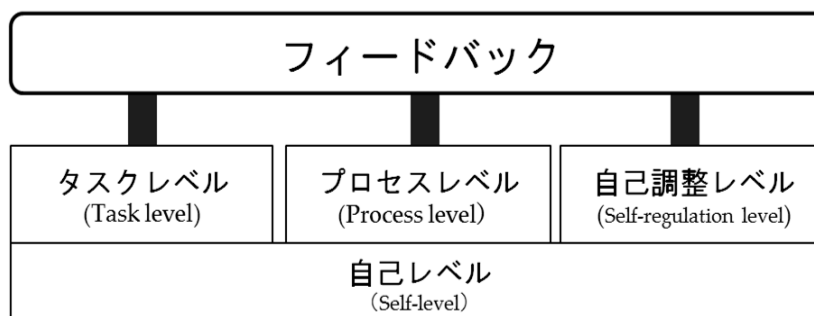


図 1 フィードバック機能の分化モデル

たとえば、教師は、タスクレベルとして学習問題を明確にできているか、プロセスレベルとして問題解決プロセスの見通しをもっているかなど、フィードバック機能を視点に子どもの学習状況を把握する。そして、状況に応じてフィードバックを行い、科学概念構築を促すのである。

アクティブ・ラーニングを具現化するためには、子どもが、自らこれらのフィードバック機能を自覚的に駆動しながら問題解決に取り組むことが求められる。すなわち、タスクレベルやプロセスレベルに対して、子どもが明確な見通しをもって学習に臨み、自己調整レベルに対して、学習の成果として得られたことを振り返りながら考えを整理し、知識構築する。また、自己レベルとして、問題解決への意欲を自ら高めていくことにより、子どもの主体的・協働的な学びが実現するのである。

2. 2 フィードバック機能の自覚的な駆動を促す足場はずし

上述のような授業を構想するにあたり、フィードバック機能の内面化に注目する必要がある。すなわち、子どもは、足場づくりとして教師からフィードバックを受けながら問題解決に取り組むが、徐々にフィードバック機能を内面化することにより、状況に応じてフィードバック機能を自覚的に駆動させることができるようになるのである。

ここでの教師の役割は、足場づくりから足場はずしへ移行と言えよう。三宮は、足場づくりと足場はずしについて、次のように述べた。

「初めのうちは、問題解決のために子どもは親や教師から、おもに対話を通して得られる支援を必要とする。この支援は足場づくりとよばれる。これがしだいに内面化されて、自己内対話による問題解決が行われるようになる。足場は少しずつはずされ、最後は不要となる」(三宮,2008)。

教師が、子どもの学習状況を把握する際に、子どもが四つのレベルのフィードバック機能について、十分に内面化していると判断できた場合、徐々に足場はずしを実施するのである。

これらのことから、フィードバック機能の自覚的な駆動によるアクティブ・ラーニングの具現化に向けて、図 2 に示す通り、形成的アセスメントに基づく足場はずしを主軸とした授業デザインを構想した。

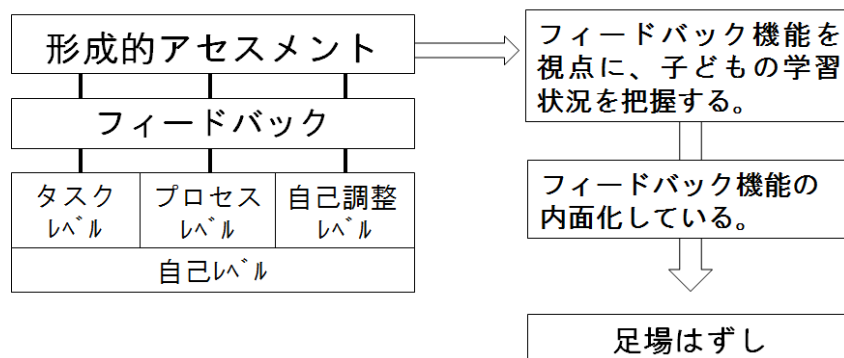


図 2 フィードバック機能の自覚的な駆動を促す足場はずしのプロセス

つまり、形成的アセスメントにより、子どもの学習状況を把握する。その際、フィードバック機能が十分に内面化されていた場合に、足場はずしを実施し、自律的活動を促す。これにより、子どもは、「学習問題を明確にできているか」「問題解決の見通しはもっているか」など、自らの学びをメタ認知しながら、自律的に学習できるようになるのである。すなわち、アクティブ・ラーニングの具現化である。

2. 3 小学校における授業実践

実践授業の目的は、上述したように、フィードバック機能の自覚的な駆動によるアクティブ・ラーニングの具現化に向けて、形成的アセスメントに基づく足場はずしを主軸とした理科授業の計画・実行を行うことにある。その上で、授業における発話や授業中に作成された描画を分析し、形成的アセスメントに基づく足場はずしの有用性を検証した。

分析対象とした授業は、神奈川県小学校第4学年、単元「水の三態変化」である。分析は、授業を撮影したビデオ記録による発話、及び授業中に作成された子どもの描画によって行った。

単元「水の三態変化」の学習のねらいは、水は温度によって液体、気体、または固体に状態が変化するというをとらえるようにすることである。具体的に、水を100℃近くまで熱すると沸騰して盛んに泡が出てくることや、その泡は水が変化した水蒸気であり、冷やすとまた水に戻ることなど、温度と水の三態変化を関係づけてとらえるようにする。

ここでは、フィードバック機能の自覚的な駆動について検証するために、二つの学習場面を選択した。一つは、教師が足場づくりを行った学習場面である。この場面で、子どもは、教師のフィードバックを受けながら、ビーカーに入れた水を温める観察、実験を実施し、その結果をグラフで整理して考察した。具体的には、水を温め続けた結果をグラフで整理したところ、水温が徐々に上がっていくことが分かったため、どうして温度が上がったのかについて考察した。

もう一つは、フィードバック機能の自覚的な駆動についての学習場面である。この場面では、子どもが、沸騰した時に発生した泡をビニール袋で集めた観察、実験を行ったところ、ビニール袋が膨らんだ。しかし、ミニコンロの火を止めると、ビニールがしぼみ、中に水滴が集まった。そこで、ビニール袋がしぼんだ理由について考察した。

2. 4 結果

(1) 足場づくりとしてのフィードバックの実施

表2は、ビーカーに入れた水をミニコンロで温めた観察、実験の結果として、95℃くらいまで水温が上がった事実を共有し、その理由について、考察した学習場面である。この学習場面で、教師は、問題解決の見通しをもたせるために、タスクレベルに対するフィードバックや動機づけるための自己レベルに対するフィードバックを行った。具体的には、以下の通りである。

表 2 水温が上がる理由について考察した学習場面の授業プロトコル

	プロトコル	足場づくりとしての フィードバックの実施
Ca1	(図 3 を提示して) 約 20 度の時は、水の温まり方と同じように熱が入る。	①プロセスレベル 問題解決の見通しをもたせる。 ②自己レベル 考えを承認して、学習に対して動機づける。
Cb1	だけど、90 度の時になると、熱が入れば入るほど、温度が上がっていく。	
T1	ここをもう一回ゆっくり言って。・・・①	
Cb2	90 度の時は、熱が入れば入るほど温度が上がっていく。	
T2	つまり、温度が上がるってことは、熱が何?・・・①	
Cb3	熱が入っていく。	
T3	どこに?・・・①	
Cb4	水の中に。	
T4	いいよね。・・・②	
Cb5	それで、ミニコンロの火で高められる最高温度が 95 度だから、それまで、熱が入り続けていく。	
T5	いいよね。イメージがわいたね。・・・②	

Ca1 は、図 3 を提示し、水を温めはじめたころの温度について、「約 20 度の時は、水の温まり方と同じように熱が入る」と、既習事項を踏まえて、水の温度が上昇することを説明した。また、Cb1 は、「熱が入れば入るほど、温度が上がっていく」と、水を熱することによって、水の中に熱が入ると考え、熱の移動と温度変化を関係づけて説明した。

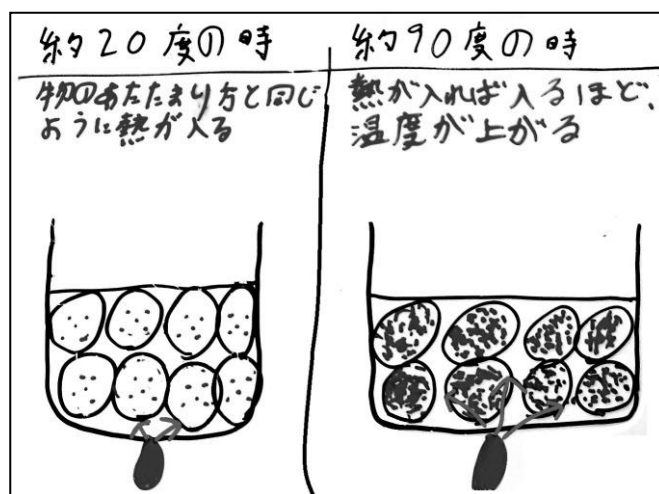


図 3 熱の移動を説明したイメージ

T1 は、このプロセスレベルのフィードバック機能を駆動させた発言を承認し、学習の見通しをもたせるために、「もう一回、ゆっくり言って」と、発言を求めた。すると Cb2 は、熱の移動と温度変化について発言した。T3 は、温度が上がることと熱の移動を関係づけるために、改めて「どこに熱が入っていくのか」と、熱の移動について焦点化した。すると、Cb4 は、「水の中」と答え、Cb5 は、「最高温度が 95 度だから、それまで熱が入り続けていく」と、説明した。

T5 は、「いいよね。イメージわいたね」と、プロセスレベルのフィードバック機能を駆動させた子どものパフォーマンスを承認して、学習に対する動機づけを図った。

(2) フィードバック機能の自覚的な駆動による科学概念構築

表 3 は、沸騰した際に発生した泡を集めた観察、実験について考察した場面である。子どもは、火を止めると膨らんでいたビニール袋がしぼんでしまうことについて、話し合った。

この学習場面で教師は、プロセスレベルのフィードバック機能を自覚的に駆動している子どもの学習状況を把握して、足場はずしを実施した。具体的には、以下の通りである。

表 3 ビニール袋がしぼんだ理由について考察した学習場面の授業プロトコル

	プロトコル	足場はずしによるフィードバック機能の自覚的駆動
Cc1	(図 4 を提示して) えっと、まず、しぼんだ理由は、この中 (教室) が寒いから、熱が奪われていく・・・①	① プロセスレベル 自己レベル 自ら問題解決の見通しをもち、熱の移動と状態変化を関係づけた。
T6	どこに?	
Cc2	奪われていって、残ったのは水だけで、水は重いからしぼむ。小さくなるっていうか。しぼんだと思いました。終わります。同じ意見の人いますか。・・・①	② 自己調整レベル 自己レベル 自分の考えをモニタリングしながら、熱の移動と水の状態変化について、既習事項を用いて整理した。
Cc3	違う意見の人いますか。	
T7	Cd1 さんの考えも同じなんだけれど、どう考えたか教えてごらん。	
Cd1	火がついている時は、上に行って、バンって、水がバラバラになるけれど火を止めると、熱をもらえなくなるから、熱が逃げていって、残ったのは水だけになるから、その水が集まって、最終的に水滴になる・・・②	

Cc1 は、しぼんだ理由として、図 4 を提示しながら、「この中 (教室) が寒いから、熱が奪われていく」と、熱の移動について、発言した。また、Cc2 は、「残ったのは、水だけで、しぼむ。」と、熱の移動と水の状態変化を関係づけて、説明した。さらに Cd1 は、まず、「火がついている時は、バンって、水がバラバラになるけれど」と、過熱されている時の状態を確認した。次に、「火を止めると、熱がも

らえなくなるから、熱が逃げて行って」と、熱の移動について説明した。最後に、「残ったのは、水だけになるから、その水が集まって、最終的に水滴になる」と、熱の移動と状態変化を関係づけて、説明した。

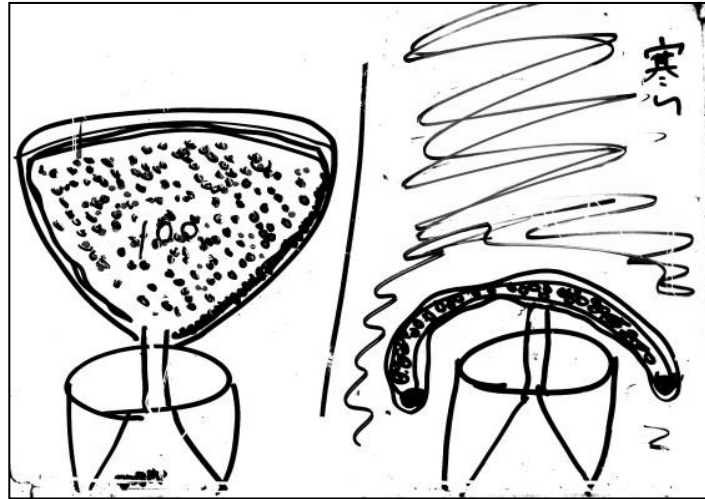


図4 熱が奪われた水が集まって、ビニール袋がしぼむイメージ

教師は、これらの発言から、プロセスレベルや自己調整レベルのフィードバック機能を自覚的に駆動して、熱の移動と状態変化の関係づけていると判断して、足場はずしを実施した。

2. 5 考察

これまでの結果から、フィードバック機能の自覚的な駆動によるアクティブ・ラーニングの具現化に向けて、形成的アセスメントに基づく足場はずしを主軸とした授業デザインの有用性を検証する。

図5に示すように、水温が上がる理由について考察した学習場面では、形成的アセスメントにより子どもの学習状況を把握し、タスクレベルやプロセスレベルに対するフィードバックを行った。具体的には、「もう一回ゆっくり言って」「熱が何?」「どこに」と、問いかけながら、熱の移動と水温の変化の関係づけを促した。また、「いいよね」「イメージがわいた」など、自己レベルのフィードバックとして子どものパフォーマンスを価値づけて、内面化を促していた。

これにより、子どもは、教師のフィードバックを受けて、「水の中に熱が入る」「熱が入るほど、温度が上がっていく」と、水温が上昇する理由について、問題解決を図るとともに、そのパフォーマンスを価値づけられることによって、フィードバック機能を内面化していった。

一方、ビニール袋がしぼんだ理由について考察した場面では、子どもは、「しぼんだ理由は、熱が奪われていく」「残ったのは、水だけで、水は重いからしぼむ」と、熱の移動と水の状態変化を関係づけて説明した。教師は、タスクレベルやプロセスレベルを視点に形成的アセスメントを実施して、フィードバック機能を自覚的に駆動させていると把握し、足場はずしを行った。

その後も、子どもが、ビニール袋が膨らむ理由と対比させながら、「火がついている時は、(熱をもらって)、水がバラバラになる」と、説明し、反対に、「熱がもらえなくなるから、熱が逃げていって、水だけになる」「水が集まって、最終的に水滴になる」と、学習を振り返りながら説明した状況をメタ認知して、自己調整レベルのフィードバック機能を駆動させていると判断し、足場はずしをした。

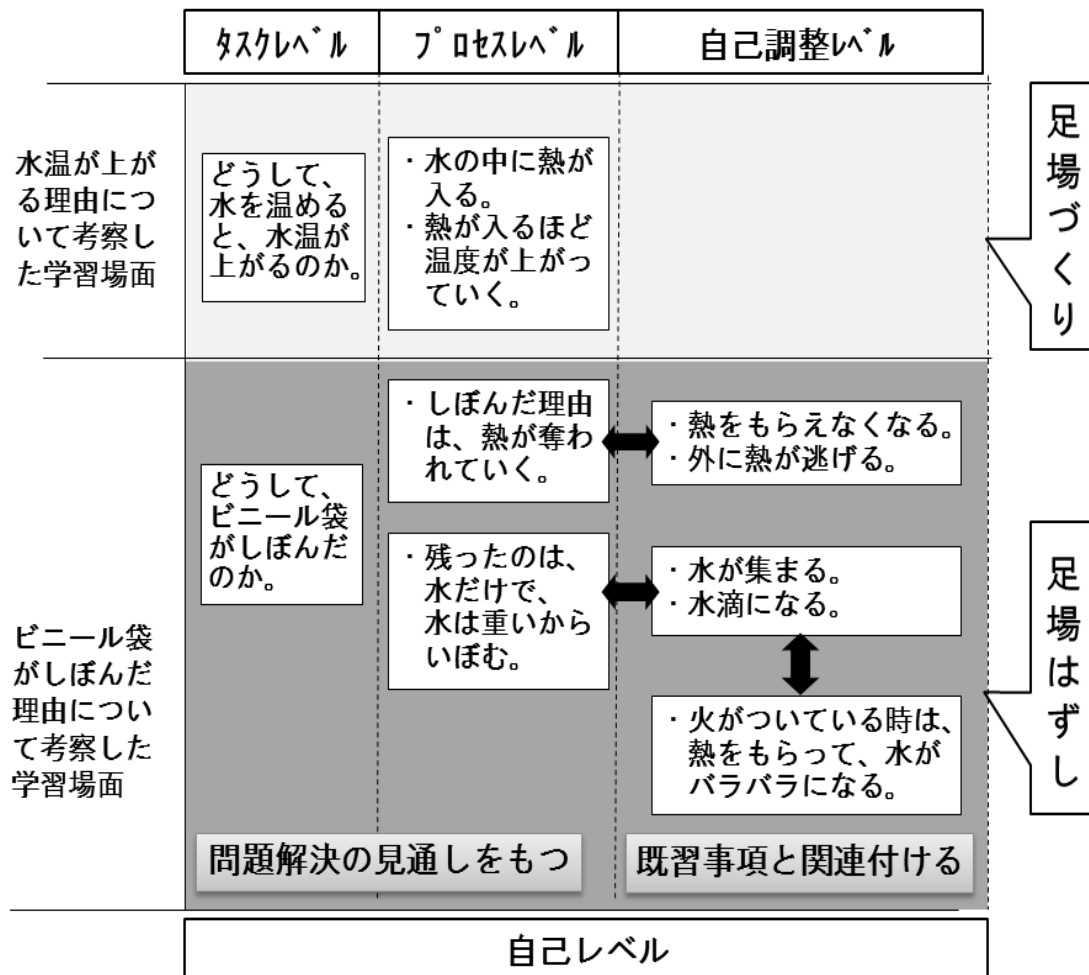


図5 足場づくりと足場はずしによる、フィードバック機能の内面化

このように、教師は、形成的アセスメントに基づく足場づくりを行い、子どもにフィードバック機能の内面化を促した。また、子どもの自覚的な駆動を把握すると、徐々に足場はずしを実施して、自律的な学習を促した。

その結果、子どもは、四つのフィードバック機能の自覚的に駆動させながら、冷やされたビニール袋がしぼむ理由について、知識構造を構築したのである。すなわち、自律的な学習を通じた、主体的・協働的な学びとしてのアクティブ・ラーニングが具現化したのである。

これらのことから、形成的アセスメントに基づく足場はずしを主軸とした授業デザインは、アクティブ・ラーニングを具現化することが明らかとなった。

3. 科学概念の表象と組織化による、アクティブ・ラーニングの具現化

3. 1 アクティブ・ラーニングの実現による深い学び

アクティブ・ラーニングの実現に向けた理科授業において、不断の授業改善に求められているのは、子どもが明確な見通しをもって学習に臨み、学習の成果として得られたことを振り返りながら整理し、知識として構築できる授業の実現である。アクティブ・ラーニングの具現化によって、子どもが問題解決のプロセスを通して、様々な場面で活用でき基本的な概念を体系的に身につけていくことの重要性が指摘されているのである。言い換えるならば、アクティブ・ラーニングの実現とは、深い学びの具現化である。

Marton,F.らは、表 4 に示すように、学習者の学習ストラテジーの同化とその使用についての分析から、学習水準の重要性について述べている。Marton,F.らは、学習ストラテジーには、表層レベル(surface-level)と深層レベル(deep-level)があることを示している (Marton,F.etal.,1984)。

表 4 学習ストラテジーにおける表層レベルと深層レベル
(Marton,F.etal.,1984)

表層レベル(surface-level)の学習	深層レベル(deep-level)の学習
<ul style="list-style-type: none"> 生徒は、与えられたテキストを、教科書に書かれているとおりの形で、記憶に刻もうとする。いわば、生徒は記憶の機械のようなやり方をとろうとする。 生徒は、テキストの一文ずつに注意を向け、ときにはテキストの段落ごとにアンダーラインを引きながら、わずかなステップだけ前に進む。その作業は、細かい要素に分割された「原子論的」なものである。 生徒は、自分の勉強方法を自覚していないし、テキストの内容の意味や関連性(レリバンス)について省察していない。生徒はテストや試験をどう切り抜けるかに、多くの注意を向けている。 	<ul style="list-style-type: none"> 生徒は、テキストが何を意味しているのか、そのメッセージと関連性は何であるかを理解するために、言語の背後まで吟味しようとする。 生徒は、例えば本の序文や目次を念入りに吟味したり、本全体をざっと目を通したり、重要な一節を探したりすることによって、最初から本の内容の全体像を作り出し、本の構造や中心的な概念・原理の輪郭を描こうとする。その作業は包括的あるいは「全体論的」である。 生徒の勉強のやり方は、自覚的で批判的である。とりわけテキストの内容を理解し、その真実性と有用性を熟慮しようとする。

Marton,F.らは、表層レベルでの学習後、子どもの記憶には内容に関連する事実群が多く残っていることを立証した。他方、深層レベルの学習においては、学習内容を分析したり、それを1つの全体として組織化したり、その内的関係をみたり、それを新しい問題に応用したりするための能力を生み出すことを指摘している。このことから Marton,F.らは、表層的に学習した事実群はすぐに忘れられるのに対して、深く同化された構成概念は事実を有意味な全体に結びつけ、事実が忘れられていくのを防ぐと述べている。

3. 2 深い学びを達成するための知識の表象と組織化

Marton,F.らが示した深層レベルにおける学習の重要性から，Engeström,Y.は深層レベルの探究的学習を達成する構成要素の条件の一つとして「内容の適切な組織化」をあげ，知識の表象と組織化による概念構築の有用性について述べている(Engeström,Y.,1994).

(1) 知識の表象

学習者としての子どもは，問題解決のプロセスを通してモデルを構成する．学習されたモデルはさまざまな仕方で表象される．Bruner,J.S.は，表象には動作的，映像的，記号的という3つの形態があることを示している(Bruner J.S.,1966)．モデルはまず，直接経験の中で表現され，獲得される．モデルはさらに，メンタルイメージによって支えられたイラスト，図や表においても表現される．最後に，モデルは，言語やシンボルの助けを借りて，抽象的な一般化された形態で表現され，獲得されていく．Bruner,J.S.によって示された3つの表象形態によって知識は表象されていくのである．

(2) 知識の組織化

学習を通して構成されたモデルは，組織化によって質を深めていく．知識の組織化の最も単純なタイプは，単一の事実群の組織化，特定の対象と結びついた個々バラバラな特徴の組織化である．次に，特徴を基準として事実群が分類され，それによってカテゴリーと定義が作られる．知識の組織化の複雑さがもう一段階上がるのである．知識の活用を図るために，さらにその手続き化が行われる．知識の活用プロセスを記述したり説明したりできるようになるのである．最終的に手続き化した各種の知識のネットワーク化を図ることで，精緻化された知識間の機能的な関連性と相互作用が可能になる．

(3) 知識はどのように表象され，組織化されるのか

Engeström,Y.は，上で述べた知識の質には2つの次元があり，その関係は，図1で示す2つの次元の中で考えられると述べている．またBruner,J.S.は，「自らを結び合わせる十分な構造なしに獲得された知識は，おそらく忘れ去られる知識である．事実の結びつきのない集まりは，記憶の中で衰れなほどに短い半減期しかもたない．事実を原理と観念によって組織化することは，人間の記憶の損失率を減じる唯一の知られた方法である．」と，知識の同化の重要性について述べている(Bruner J.S.,1966).

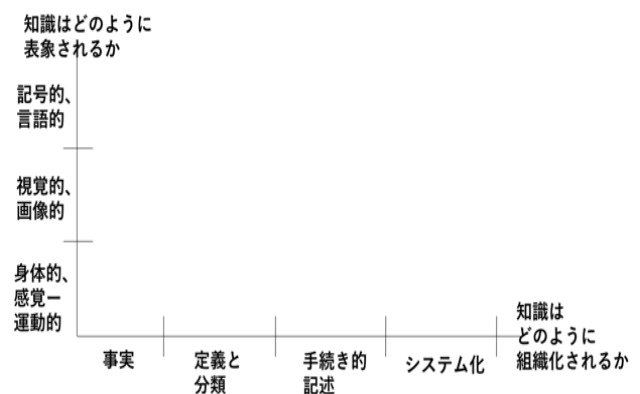


図6 知識はどのように表象され，どのように組織化されるか(Engeström, Y., 1994)

Bruner,J.S.による知識の同化に基づいて示した Engeström,Y.による知識の表象と組織化の機能には、2つの次元における知識の柔軟性と階層性が伴う深い学びの展開が必要であることが明らかとなった。すなわち、深い学びとは、学習内容を概念的に理解していくことへの要求なのである。

(4) 知的に生産的な学習の構造
 深い学びのプロセスにおいて、子どもの考えの変容を促していくための指導と評価の視点は不可欠である。Engeström,Y.は、図7に示すように「知的に生産的な学習の構造」について提案している

(Engeström,Y.1994)。ここでは、「学習に必要な道具」「学習への目的意識」「学習の対象」という三項関係を常に「学習に必要な道具」を媒介として学習を展開させていくことで、深い学習は具現されていくと述べられている。「学習に必要な道具」を教師が意図的に変化させ、子どもに自覚させることで、「学習の対象」の変化や「学習への目的意識」の向上と連動し、深い学びは実現されていく。図7は、アクティブ・ラーニングの実現に向かうことを示していると考えられる。

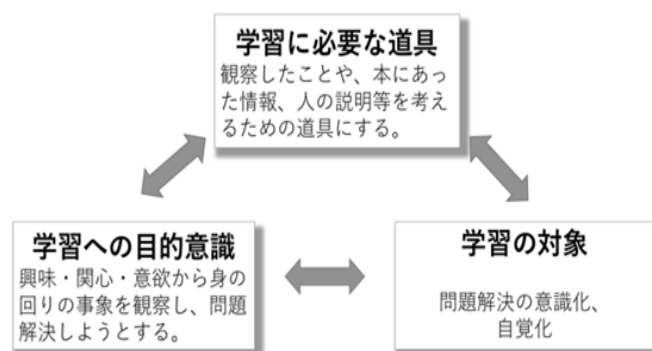


図7 知的に生産的な学習の構造 (Engeström,Y.1994)

3.3 小学校における授業実践

実践授業の目的は、上述したように、知識の表象と組織化によって促される深い説明活動がなされる授業デザインとその内実についての分析を行うことである。そこで、Engeström,Y.による理科授業に関わる「知的に生産的な学習の構造」(図7)で示す学習の構造を分析の視点として用いて、科学概念の表象と組織化を促す指導方略について検証した。

分析対象とした授業は、神奈川県小学校第4学年、単元「ものの温まり方」である。分析は、授業を撮影したビデオ記録による発話、及び授業中に作成された子どもの描画によって行った。単元「ものの温まり方」では、金属、水及び空気を温めると、それらの体積は膨張し、冷やすと収縮することを確認する。その体積の変化の様子は、金属、水及び空気によって違いがあり、これらの中では、空気の温による体積の変化が最も大きいことを実験結果に基づいてとらえ、水の温度変化と物の体積の変化との関係をとらえるようにすることがこの単元のねらいである。

ここでは、知識の表象と組織化について検証するために、水の温まり方について、既習に基づく予想を立てる場面から、見通しをもった実験、観察を通して、体積変化と関係づけた考察から結論を導く場面について取り上げる。「知的に生産的な学習の構造」を分析の視点とし、水の温まり方についての科学概念の表象と組織化を通じた科学概念の構築過程について考察する。

3. 4 結果

本研究における理科授業デザインでの「学習に必要な道具」を自覚的に変換していく深い学びの実現においては、表5で示すように、IからVの過程による学びの階層化があることを措定した。それぞれの過程においては、「知的に生産的な学習の構造」の視点から、それぞれの実践と分析について整理していく。

表5 水の温まり方についての科学概念構築を図るIからVの過程

I	水は上昇して温まる
II	温かい水は軽くなって上昇する
III	同一体積では温度の違う水の重さは異なる
IV	温度による重さの違いで水の移動が起きる
V	イメージ図によりI～IVの内容を統合して説明する

(1) Iの過程

Iの過程では金属の温まり方の学習を踏まえ、試験管内の水の温まり方について、示温テープを用いて観察、実験を行った。実験では、熱した試験管の下部から示温テープの色は変化していき、次に上部分が変化し、上下から真ん中にかけて全体に温まっていくことが確認された。この結果による観察、実験情報から、予想で立てた説の有用性についての検討が、対話を通じた協働作業によって行われ、予想と結果に基づいた考え方を創出した。

Iの過程における、学習の構造を図8に示す。この過程においては、水の温まり方を調べたいという目的意識をもつことによって、水が温まる過程に対する問題意識が明らかとなった。そして、試験管内での示温テープの色の変化によって、水の温度が変化していく様子を確認した。

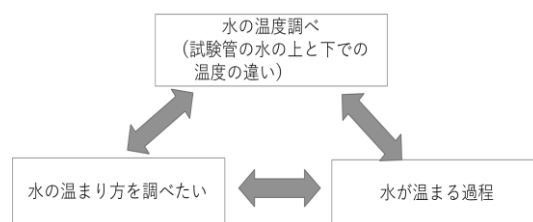


図8 Iの過程における学習構造

この過程における子どもの描画を図9に示す。図9は、水の温まり方を示温テープの変化によって確認をし、その過程から試験管内の場所によって水の温度が違うという観察情報に基づいた描画である。予想や考察での観察情報を説明できる考えの有用性について互いの考えを述べあうことを通じた考えの吟味が行われたが、図9で示す描画では説明が不十分であることが明らかとなった。試験管での水の温度調べだけでは、水の温まり方について説明していく根拠が不十分であり、「学習に必要な道具」を変換することの必要感が高まっていった。

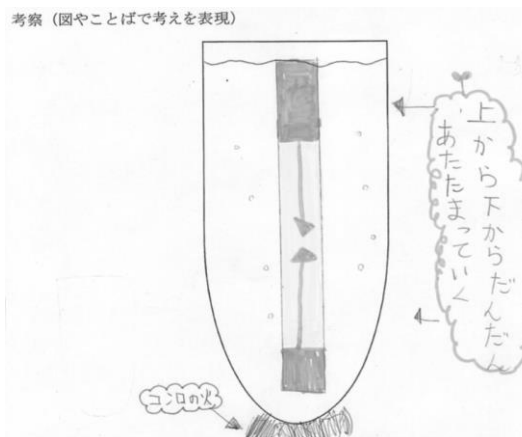


図9 Iの過程における子どもの描画

(2) IIの過程

Iの過程で示した描画の検討を通して、水の温まり方の概念構築にせまるための「学習に必要な道具」の質を変換する必要が高まった。IIの過程では、ビーカーの中で水を温める実験を行い、その温まり方についての検討が行われた。IIの過程における考察場面のプロトコル(表6)と描画(図10)を示す。

表6 IIの過程における考察場面のプロトコル

	プロトコル
Ca1	温めた水は軽くなるので上で広がって、前にあった水は温めた水にとっては邪魔になるので居場所がなくなって移動して、温めた水はどんどん下まで広がっていく。
Cb1	そう同じ。勝手に名前をつけた。ミルフィーユ説
T1	ミルフィーユのように重なっていく。どうということ？
Cc1	温めた水は上で広がって、前にあった冷たい水は邪魔になるので居場所がなくなって最初にいたやつを下にやって、新しいやつがそこに入って全体に広がっていく。
T2	温かい水が邪魔になるってどうということ？
Cc2	温かい水の居場所がない。だから、冷たい水を下にやって温かい水がそこにいる。
Cd1	温まった水の層になっていく。だから全体に広がっていく。
Ce1	新しく来たやつはできたてはやはやだから、そっちの方があったかいから、そっちの方が優先になる。
Cf1	同じなんですけど、水の動作はくるくるって回っているように感じたので、下に行こう行って下に行っただけの動作はなかったと思うんだけど。温めた水はこう来て(上に)こう来て(横に)下に落ちているから、そう動いている。
Cg1	そうしたら順番は？まずお湯が上がったら…
Cf2	上で広がっているところにまた新しいのが来てまた広がっていく。
T3	繰り返されていると。

あたためた水は軽くなり、上層部分で広がるイメージをもとに、温度の異なる水の重さの違いについて説明が行われ、温度変化によって水が動くことと水の温度差によるスペースのせめぎ合いというイメージを表出した。さらに Cd1 や Ce1 は Cc1 の意見に同意し、水の温度差によって生じる動きについて考えを図 10 で示すような、ぐるぐると回りながら水が温まるのではなく、層のようにして水は温まっていくといったパフォーマンスをもとにした、水の移動による温まり方の説明を協働的に試みている。



図10 IIの過程における子どもの描画

また、Ⅱの過程における学習の構造を図 11 に示す。温められた水はどのように動くのかという目的意識がⅠの過程から醸成されたことによって、学習問題は明確となり、その解決に向けた水の温度差によって生じる水の動きについての説明がなされていった。Ⅱの過程では、Ⅰの過程での説明活動では不十分であった、「学習に必要な道具」としての子どものパフォーマンスの変換がなされたと言える。

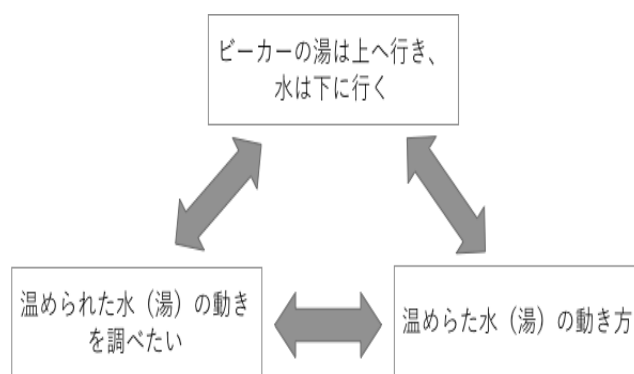


図 11 Ⅱの過程における学習構造

(3) Ⅲ、Ⅳの過程

Ⅱの過程において、温度の変化によって水の重さの違いが生じて水が移動するといった、水の温まり方についての概念をより確かなものにしていくための、「学習に必要な道具」の変換に対する必要感が高まった。Ⅲの過程においては、同じ体積の容器に温度の違う水が入っている状態を天秤で比較した。水よりも湯の方に天秤が傾くことから、温度の異なる水の重さについての概念が構築されていった。

さらに、Ⅳの過程においては、温度の違いによって水はどのように動くのかについて調べていく。Ⅲの過程において明らかとなった「学習に必要な道具」としての温度の異なる水の重さについての概念に加え、温度が変化した場合に水がどのように動くのかという問題意識をもつことによって、図 10 で示した描画を通した水の温まり方についての科学概念構築に向けた根拠としての情報収集を行った。

Ⅲ、Ⅳの過程における学習構造を図 12 に示す。どちらの過程も、水と湯の重さの違いを明らかにすることによって、ここまでの過程において不十分であった根拠が明確になり、Ⅴの過程における概念の精緻化への橋渡しとなった。

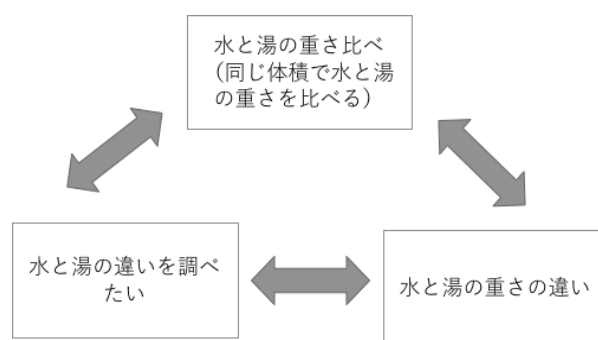


図 12 Ⅲ、Ⅳの過程における学習構造

(4) Ⅴの過程

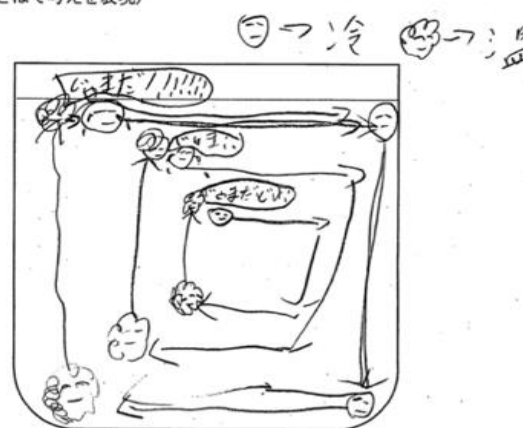
Ⅴの過程では、Ⅱの段階で示した描画を通した水の温まり方の概念構築をより精緻化されていく。この過程における考察場面のプロトコルを表 7 に示す。また、温度の違いによる水の移動を基軸にした水の温まり方についての概念構築が図られていく際の「学習に必要な道具」として説明活動で用いられた描画を図 13 に示す。

表7 Vの過程における考察場面のプロトコル

プロトコル	
Ch1	温められた水が上昇して、冷たい水が下に移動する。
Ci1	ぐるフィーユ説だ。
T4	新しい考え方だね。
Cj1	温められた水が同じルートをぐるぐる回るけど、中にも小さなぐるぐるがあるので広がっていく。
Ck1	温められた水は軽くなることも分かった。
T5	軽くなる。これは、なんで上に行くのかってことだよね。
Cj2	前の学習で、温めた水は体積が大きくなって上に上がったし、冷やすと小さくなってた。
Ck1	水くんは温めると体積が大きくなったね。体積が大きくなると軽くなるのかな。
Ch2	冷えた水の方が重くて、温めた水は軽い。
Ck2	空気の温めたのをつながるよね。空気は温めると膨らんで軽くなるって言っていた。水も温まると軽くなって上に行って、冷たいのはそのまま。
T6	大切なのはぐるぐる回るってことなの？
Ch3	水が軽くなる。
Ch3	温まった水は軽くなって上に上がる。それで、冷たい水が下に移動する。居場所がなくなるので。
Cl1	まず水が温められてお湯になって上に上がって、元にあった水が押し出されてお湯が広がって、また水が押し出されて、だんだんお湯が広がって行って、最終的には全体がお湯になる。
T7	この違いは何？
Cl2	これはお湯で、お湯が軽くなること。
Ci3	これと（お湯）これ（冷たい水）の重さは変わるから、お湯は上に上がるっていう話だね。上がったら広がっていく。それが繰り返されていく。ミルフィーユ説のようにだね。

表8の Ch1 は、図13の描画について説明している。これを受けた Ci1, Cj1 の承認により、IIの段階での描画の発展としての新たな説が承認されていった。Cj1, Ck1 によってこれまでの段階において確認された根拠が示され、水の温度が上がると体積が変化して水は上昇するという観察情報との関係付けを通して、温度変化による水の移動について共有され、描画によって水と湯の違いを粒子で表し、さらにその移動によって水が温まることの説明を通して、水の温まり方の概念構築が図られていった。

考察（図やことばで考えを表現）



温かい水が上にいって、そこにいる水を押し出さないと広がって、ぐるぐる回るからね。

図13 Vの過程における子どもの描画

Vの段階においては、表7で示したプロトコルにおける発話にあるように、IからIVの段階における観察情報を根拠としたIからIVの段階におけるイメージ図の発展を通して、「学習に必要な道具」の質的变化が起きたことが明らかとなった。これは、図13で示した描画における、水と湯の違いを粒子で表し、さらにその移動によって水が温まることを説明していることに現れている。

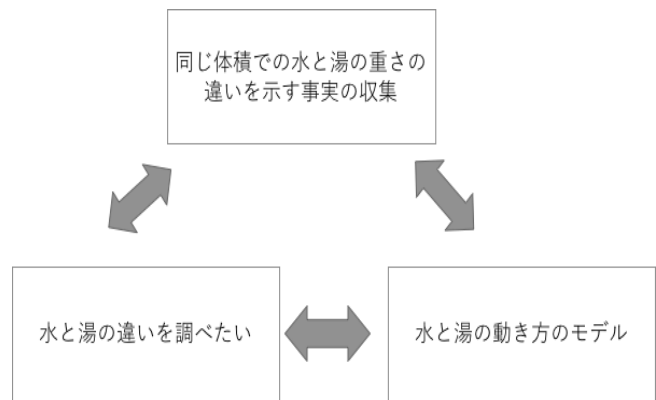


図14 Vの過程における学習構造

Vの過程における学習の構造を図14に示す。Vの過程では、水と湯の重さの違いを示す事実の収集によって、水と湯の動き方のモデルを構成していく容態を見ることができた。

3.5 考察

Engeström, Y.が示した知識の表象と組織化について理科授業において捉えるとき、図15に示すように、観察、実験過程の確認と記述、変化の要因について確認、比較、条件制御による観察、実験結果の記述、観察実験結果の整理と解釈による説明、III、IVの内容のモデル化といった、IからVにかけて知識の階層化によって、科学概念構築における子どもの学びはより深い学びへと変容していくものと捉えることができる。また、科学概念の表象と組織化を促す指導方略として、Engeström, Y.による理科授業に関わる「知的に生産的な学習の構造」(図7)で示す学習の構造が成立していることが明らかとなった。図7による学習の構造は、対話的な授業展開による深い説明活動を根幹に据えているのである。

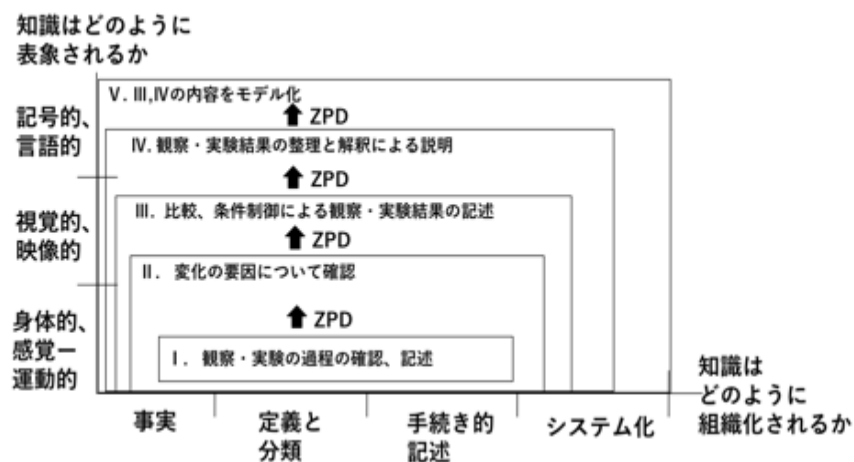


図15 知識の表象と組織化において必要な道具の変換過程

それぞれの段階と段階の間には、対話的な授業展開，子どもによるパフォーマンスとしての描画等を通した発達の最近接領域の機能によって階層化がなされていくものと捉えることができる．すなわち，ZPD の視点から教師が学習に必要な道具を意図的に変換させていくことによって，メタ認知を繰り返しながら，子ども自ら自己調整的に学習を進めていくのである．

以上から，表象と組織化によって促される深い説明活動がなされていく．すなわち，主体的に知識を表象し，さらに協働的に知識を組織化していく理科授業デザインによって，アクティブ・ラーニングを具現化することが明らかとなった．

4. 結語

本研究では，アクティブ・ラーニングを具現化させる指導と評価について，初等理科教育を事例に検討し，その視点について論考した．

理科授業における自律性の志向は，フィードバック機能の自覚的な駆動が重要であることが明らかとなった．ここでの教師の役割は，形成的アセスメントに基づいて，子どもがフィードバック機能を内面化しているかを把握し，足場はずしを実施することである．これにより子どもは，四つのフィードバック機能の自覚的に駆動させ，自ら知識構造を構築する．つまり，自律的な学習を志向させることにより，主体的・協働的な学びとしてのアクティブ・ラーニングを具現化させるのである．

加えて，知識の表象と組織化の視点から理科授業をとらえるとき，ZPD の視点から教師が学習に必要な道具を意図的に変換させていくことによって，子どもは，メタ認知を繰り返しながら，自ら自己調整的に学習を進めていくことが明らかとなった．ここでは，教師が学習に必要な道具を意図的に変換させて，表象と組織化を促し，深い説明活動がなされていくことにより，子どもは，主体的に知識を表象し，さらに協働的に知識を組織化するのである．

以上の論考から，アクティブ・ラーニングを具現化させる指導と評価に関わる要因の一端が顕在化された．

附記

本研究は，平成 27 年～29 年度科学研究費補助金・基盤研究(C)「児童・生徒における「汎用的な資質・能力」を育成するための理科教員養成プログラムの開発」(題番号 15K4485, 研究代表森本信也)の成果である．

(註)
(和文)

三宮真智子(2008)「メタ認知研究の背景と意義」『メタ認知学習力を支える高次認知機能』北大路書房,p5.
中央教育課程審議会企画特別部会(2015)「論点整理」
文部科学省(2015)『平成27年度全国学力・学習状況調査報告書 小学校理科』
文部科学省(2015)『平成27年度全国学力・学習状況調査報告書 中学校理科』
長沼武志,森本信也(2015)「子どもにおける科学概念の構築を支援する指導方略に関する研究(10)ー学習へのフィードバック機能の分化ー」『日本理科教育学会第65回全国大会論文集』日本理科教育学会,p321.
渡辺理文,黒田篤志,森本信也(2013)「子どもの科学概念構築を促す「形成的アセスメント」の機能に関する研究」『日本教科教育学会誌』,第36巻,第3号,pp.13-26.

(欧文)

Bruner, J. (1966). *The Process of Education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Engeström, Y. (1994). *Training for change*, International Labour Organization, pp12-16
Hattie, J. and Timperley, H. (2007). The Power of feedback, *EDUCATIONAL ASSESSMENT AND EVALUATION, Current Issues in Formative Assessment, Teaching and Learning*, Vol. IV. pp169-183
Marton, F., Hounsell, D. and Entwistle, N. (1984). *The Experience of Learning*. Edinburgh: Scottish Academic Press.