中学校理科・数学科におけるアクティブ・ラーニングの開発と評価
－メタ認知的支援と CUN 課題の活用－

久坂哲也・中村好則・名越利幸*，平澤傑・小室孝典・佐々木聡也・佐々木亘・藤井雅文**
*岩手大学教育学部，**岩手大学教育学部附属中学校

（平成２９年３月９日受理）

１．はじめに

平成 27 年 8 月に中央教育審議会の教育課程企画特別部会より論点整理が公表された。そこでは「これらからの時代に求められる資質・能力」を育成するための「課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び（いわゆるアクティブ・ラーニング）」の意義と必要性や重要性が指摘された（p.16～19）。また，平成 28 年 8 月には「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ」が公表され，そこでは，アクティブ・ラーニングの視点で「主体的･対話的で深い学び」を実現することが述べられている。各科におけるアクティブ・ラーニングの在り方は重要な検討課題である。そこで，本研究では，特に中学校理科・数学科におけるアクティブ・ラーニングの開発と評価について考察を行った。第 2 章では，理科におけるメタ認知的支援によるアクティブ・ラーニングについて，第 3 章では，数学科における CUN 課題を活用したアクティブ・ラーニングについて報告する。

２．理科におけるメタ認知的支援による アクティブ・ラーニング

1)　背景と目的

理科においてアクティブ・ラーニングを実現するためには，従前から重視している科学的探究活動を充実していくことが大切とされている（清原，2016）。しかし，これまでも理科教育において科学的探究能力を育成することはとりわけ重視されてきたが，全国学力テストや諸調査の結果を概観すると，その達成状況には課題が見受けられる。

そこで，本研究では科学的探究活動を遂行する際の学習者のメタ認知に着目した。近年，我が国の理科教育研究においてもメタ認知に関する研究は隆盛を極めているが，教材や発問などの工夫によって直接メタ認知的活動を促す研究に偏向しているという課題がある（久坂，2016)。しかし，メタ認知的活動とメタ認知的知識は相互作用の関係にあるため，適切なメタ認知を働かせるためには適切なメタ認知的知識を獲得する必要がある。

本研究では，科学的探究活動の実験結果を予想するフェーズに焦点を当て，その際に要求されるメタ認知的知識を「結果予想スキーマ」と命名し，このスキーマを教示することの効果を検討することを目的とした。研究協力校では，2016 年 4 月から理科の授業において予想段階の個人の考えを学級全体で討論するという協働的な学びに力点を置いていたため，スキーマを教示した上で討論を行った場合（以下，教示討論群）と，スキーマを教示せずに討論を行った場合（以下，討論群）において，予想正解率や根拠の質，確信度に差異が生じるか比較することにした。また，討論独自の効果量も算出するため，スキーマの教示も討論も実施しない統制群を設けて検討することとした。

2)　方法

(1)　対象者と手続き

対象は本学部附属中学校第 1 学年の生徒であった。各学級に各学習条件を無作為に割り当てた。当初，教示は行うが討論は行わない教示群を想定して授業実践が実施したが，研究者側の問題で遂行上のエラーが生じたため分析対象から除外した。

各学習条件群の活動の流れを表 1 に示す。各授業実践は，第 1 分野「身近な物理現象」の「力と圧力」が終了した 2016 年 12 月中旬に，1 時間の

理科授業内（実際は 50 分間）で実施した。各授業実践の冒頭に，大学教員が①今回の授業は学校の成績とは関係のないこと，②得られたデータは研究の目的で使用し，個人を特定した分析や情報公開は行わないこと，を説明した。次に教示討論群のみ資料１枚を配布して教示を行った。その後，中学校教員が課題を提示し，各学習条件に基づいて授業を展開した。なお，学習条件による処遇格差を解消するため，予想活動終了後に討論群では教示を，統制群では教示と討論を行った。予想活動は学習プリントに従って実施し，課題に対する結果の予想は多肢選択式（選択肢 4 項目），根拠は自由記述式，自分の考えに対する確信度評定は 5 段階のリッカート法で回答を求めた。

また，討論活動は中学校教師の主導で実施した。討論の展開は，①学級内の予想の分布を確認する，②少数派の予想から順に根拠を数名指名して述べさせる，③自分の考えとは異なる予想や根拠について質問し合い学級全体で議論する，とした。この間教師は，学習者の考えについて正誤に関する発言は一切行わず討論の進行のみ行うよう努めた。

表１　各群の活動の流れ

	教示討論群	討論群	統制群
活動１	教示	討論	予想
活動２	討論	予想	－
活動３	予想	－	－

(2)　使用課題

課題は，注射器問題を使用した（図 1）。これは「パスカルの原理」に関する課題で中学校理科の教科書に記載されていないが,「力と圧力」の単元で既習の圧力の公式（$Pa=N/m^2$）を活用すれば解決できる課題である。

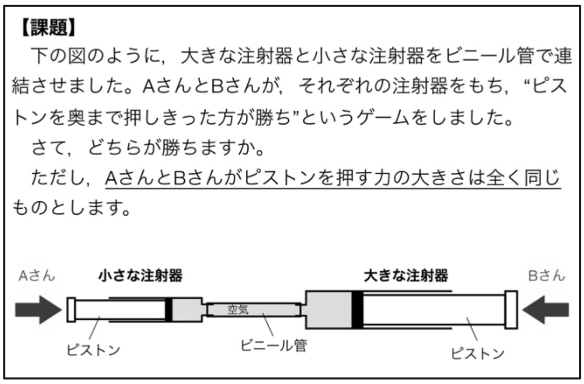


図１　使用した課題（注射器問題）

(3)　各変数のコーディング

予想得点は，不正解(0)，正解(1)とした。根拠得点は，無記名または的外れな記述(0)，圧力の概念に触れているが説明不足な記述(1)，圧力・力・面積の大きさの関係性に関する記述(2)とした。確信度評定は，“全く自信がない(1)”から“とても自信がある(5)”とした。根拠のコーディングは第 1 著者と第 4 著者で 2 分して判定した。後日，互いの判定を点検し，疑義が生じた際は協議して最終判定を行った。

3)　結果

変数間の相関係数を算出した結果，予想得点と根拠得点，予想得点と確信度評定，根拠得点と確信度評定の順に，r=.61, p<.01；r=.27, p<.01；r=.31, p<.01 であった。

各学習条件群の予想得点，根拠得点，確信度評定の平均値と標準偏差を表 2 に示す。学習条件（教示討論群・討論群・統制群）を独立変数，予想得点と根拠得点，確信度評定をそれぞれ従属変数とする 1 要因 3 水準の分散分析を行った。その結果，学習条件の主効果は，予想得点（$F(2, 113)=10.14$, $p<.001$, $\eta^2=.15$），根拠得点（$F(2, 113)=9.15$, $p<.001$, $\eta^2=.14$），および確信度評定（$F(2, 113)$

表 2　予想得点，根拠得点，確信度評定の平均値と標準偏差

	教示討論群（N=38）		討論群（N=40）		統制群（N=38）	
	M	SD	M	SD	M	SD
予想得点	0.97	0.16	0.93	0.27	0.66	0.48
根拠得点	1.68	0.62	1.03	0.80	1.00	0.93
確信度評定	4.24	0.68	3.78	1.03	3.05	1.06

=15.35, p<.001, η^2=.21）のそれぞれに対して有意であった。多重比較（Bonferroni 法）の結果，予想得点は教示討論群と討論群が統制群よりも高く（p<.05），根拠得点は教示討論群が討論群と統制群より高かった（p<.05）。また，確信度評定は教示討論群と討論群が統制群よりも高かった（p<.05）。確信度評定の正確さを分析するため，γ係数（グッドマン・クラスカルの順序連関係数）を算出した。その結果，教示討論群：γ=.94；討論群：γ=.61；統制群：γ=.21 であった。因みにγ係数は，-1 から 1 までの値をとり，値が大きいほど正確さが高いと解釈する。

4) 考察

予想得点と根拠得点の相関係数が高い値を示したことから，根拠得点化の手続きには一定水準以上の信頼性があったと考えられる。

予想得点に着目すると，教示討論群と討論群は統制群よりも高かった。教師の介入や誘導がなくとも討論を行うことによって，予想の正答率が上昇した。これは自己と他者の考えを比較することで，より説明力が高いと判断された考え方に自己の予想がシフトしたものと考えられる。

根拠得点は教示討論群が討論群と統制群よりも高かった。今回教示した結果予想スキーマでは，“根拠は科学的と言えるか”，“根拠は予想を支え得るか”の 2 点を判断する必要性を強調した。教示討論群では，討論前にスキーマを教示したことで，結果を予想する際のメタ認知的知識が獲得され，討論の際にこの知識が活用されたのではないかと考えられる。つまり，メタ認知的知識が獲得されたことによって，自己の根拠に対してメタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールが働いた可能性が考えられる。Zepeda, et al.（2015）においても，問題解決活動の前にメタ認知的な指導を行うことは，学習者にメタ認知に関する宣言的知識を獲得させ，メタ認知的活動を促進させることを報告されている。本研究においても同様の過程を経た可能性が考えられる。

確信度評定の正確さは，教示討論群，討論群，統制群の順に高い値を示した。特にも教示討論群はγ=.94 と高く，自己の考えに対して適切な確信度もつことができたことを示した。一方，討論群ではγ=.61 と値が低くなり，統制群に至ってはγ=.21 とさらに低い値を示した。自己の思考過程や結果に対して，適切な確信度をもつことは非常に重要である。そうでなければ，理解できていないのに“できた”と勘違いをしたり，理解できているのに“できない”と誤った判断を下したりすることで，自己調整的に学習を進めていくことが困難となる。したがって，討論など協働的な学びを行うためには，その学習内容だけでなく，その学習の遂行や問題解決に必要なメタ認知的知識やスキルを同時に指導することが，認知的側面だけでなく，メタ認知的側面においても有益であると考えられる。

5) まとめと今後の課題

本研究では，中学生を対象として理科学習場面の結果を予想するフェーズに焦点を当て，結果予想スキーマ（メタ認知的知識）を教示した上で討論を行うことの効果について，予想の正答率，根拠の質,確信度評定の正確さの観点から分析した。その結果，実験結果を予想する際に討論を行うことは正答率が上昇すること，スキーマを教示した上で討論を行うことは根拠の質だけでなく確信度評定の正確さも高くなること，が確認された。

今後は，実験計画を立案する場面や結果を解釈する場面に焦点を当て，同様の指導方略によって効果が得られるか結果の一般化を図っていきたい。また，中学 2 年生と 3 年生を対象に，縦断的調査を実施する予定である。Dignathe & Büttner（2008）のメタ分析では，メタ認知への教育介入は小学生よりも中学生でより大きな効果量が得られると報告している。学習活動の難易度が高い場合，低学年の学習者はその活動の遂行に認知資源が奪われ，メタ認知的な営みが阻害されるからである。科学的探究活動においても下位レベルでは難易度が異なると推測される。ゆえに，縦断的調査を実施して効果量を比較すれば，どの学年でどの場面に着目した指導を行うべきか明確になり，教育プログラムの開発にも寄与すると考えられる。

３．数学科におけるCUN課題を活用したアクティブ・ラーニング

1）CUN課題の活用の背景

小中高校等の教師に対して，表３のどちらの問題を授業で扱うかの調査が行われた（西村編 2016a）。その結果は，表４の通りであった。教師の多くは，問題②を扱うと答えている。特に小学校の教師は６割もいる。それぞれの問題を選択した理由を問うと，表５のような理由による。

表３　「千羽鶴」問題（西村編 2016a）

問題①
あたなのクラスでは，「千羽鶴」をつくることになりました。学校の休み時間だけを使って折るとすると，折り紙で 1000 羽の鶴を折るのに，何日かかるでしょうか。
問題②
さちこさんのクラスも，「千羽鶴」を折ることになりました。さちこさんは，１羽の鶴を折るのに，だいたい１人３分はかかると考えました。そして，学校の給食後の休み時間 30 分だけを使って，30 人の友達みんなで折るとすると，1000 羽の鶴を折るのに何日かかるかを考えています。さちこさんの計画だと何日かかるでしょうか。どのように考えたかも説明しましょう。

表４　「千羽鶴」問題に対する教師の反応

	小	中	高	中高	全体
問題①	36%	45%	50%	44%	45%
問題②	60%	54%	47%	50%	52%

これを見ると，教師にとっては，問題①のような問題は算数や数学の問題として扱いにくいというと意識があることが分かる。これと同じ調査を，数学科教育法Ⅱを受講する学生（学部２年 22 名）と数学科の学部３年生（26 名）を対象に 12 月上旬に行った。その結果は表６の通りである。学生の方が問題①を扱うという回答が多かった。これは，授業において，問題①のような課題を授業で扱うことの意義や必要性を学んでいるからだと考えられる。問題①のような課題を授業で扱う意義や必要性を，指導事例を通して教育現場に明らかにしていくことが重要である。

表５　小学校の教師の理由（西村編 2016a）

問題②を選んだ理由
• ②は算数的であるが，①は算数の指導内容ではない（約 27%） • ①は子どもが取り組みにくく，解決が困難である（約 22%） • 学校教育の場としては②で十分である（約 7%） • 時間がかかりすぎる（約 6%）
問題①を選んだ理由
• 多様な考え方や個々の考えを深められる，話合いながら解決できる（約 11%） • 場面が現実的である（約 7%） • このような問題の解決に必要な力は児童・生徒が身につけなければならいものである（約 2%）

表６　「千羽鶴」問題に対する学生の反応

	学部２年生	学部３年生	全体
問題①	54.5%（12 名）	73.1%（19 名）	64.6%
問題②	45.5%（10 名）	26.9%（７名）	35.1%

革新的な変化を取り込みつつ，予測不可能な将来に柔軟に対応できる，そのような人材を社会が得るためには，勉強したことをどれだけ覚えているかということ，すなわち知識の伝達や再生産に人々のエネルギーを割くよりも，新しい文脈の中で複雑で未知の課題に創造的に対応することができる能力を育てていくことが重要であることが指摘されている（OECD 教育研究革新センター編 2015，p.269）。教科書にある問題の多くは，解答や解法が決まっている定型的な問題で解答を暗記すればよい。しかし，「これらからの時代に求められる資質・能力」の育成は，生徒が定型的課題（解決の定まった課題）を解決できるだけでなく，複雑で見慣れない非定型的（Complex，Unfamiliar and Non-routine Problem，CUN）課題を解決できるように指導しなければならない。つまり，問

題①のような課題に取り組むことがこれからは必要なのではないだろうか。

2）CUN 課題の特徴

OECD 教育研究革新センター編（2015）では，CUN 課題の特徴と捉えるために，定型的な課題，真正の課題，CUN 課題のそれぞれの例を挙げている（表 7）。

表7　3つの課題の例（OECD教育研究革新センター編2015）

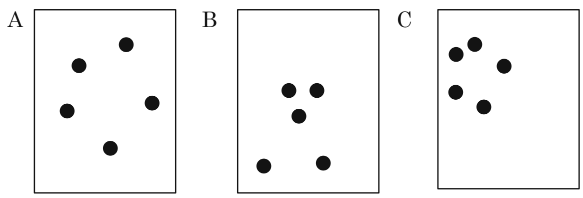
定型的な課題の例：「セール」
スーパーマーケットの A 店では，1 キログラム当たり 8 ユーロの牛肉と，1 キログラム当たり 4 ユーロの鶏肉を売っています。B 店では，キログラム当たり 7 ユーロの牛肉と，1 キログラム当たり 5 ユーロの鶏肉を売っています。ジョンソンさんは牛肉を 3 キログラムと，鶏肉を 2 キログラム買おうと考えています。どちらの店で買ったほうが安いですか？
真正の課題の例：「ピザの注文」
クラスの友達が，学校でパーティーを計画しています。学校はソフトドリンクを出す予定です。あなたはピザを注文する係になりました。パーティーの予算は 85.00NIS（イスラエル・シュケル）で，できるだけ多くのピザを注文したいと考えています。下に示したのは，地域に 3 店あるピザレストランのメニューです。値段を比べて，予算係に最も安い値段を示す必要があります。提案とその理由を書いて，予算係に提出してください。（表は略）
CUN 課題の例：「スーパーマーケット」
休日前になると，いくつかのスーパーマーケットが広告を出します。自分の店が町で一番安いということを宣伝するためです。情報を集めて，どの広告が正しいと言えるのかを示してください。

定型的な課題の例は，いわゆる教科書にあるような問題で解答や解法も決まっている問題である。真正の課題は，日常生活での問題場面を文脈に持つ課題であるが，その課題の例の中には，解法で使用する情報が組み込まれている。一方，CUN 課題の例は，解法で使用する情報はなく，問題を解くために生徒が選択した仮定と情報に応じて，解法や解答が複数ある。つまり，CUN 課題では，①設問内容，構成，文脈において多様であるばかりか，問題解決に必要なプロセスにおいても様々であること，②生徒は，自分の数学の知識と自らが行う数学的プロセスに基づいて，意思決定することが求められること，③生徒がどのような仮定を選ぶかによって答えが左右され，生徒は複数のルートを持つ 1 つのフローチャートを構築することが特徴として挙げられる（OECD 教育研究革新センター編 2015）。また，問題のタイプ（CUN 課題，真正の課題，定型的な課題）が異なれば，解決に必要なプロセスやスキルも異なることになり，目的に応じて使い分ける必要がある。特に，CUN 課題の解決には，伝統的な定まった知識と技能に基づきつつも，それを上回る高次のスキル（資質・能力）が必要である（OECD 教育研究革新センター編 2015）。

3）CUN 課題の開発

CUN 課題の開発には，従来から授業で使われている課題を，CUN 課題の 3 つの特徴を視点として，捉え直すことで可能であると考える。

A,B,C の 3 人でおはじきを落とす遊びをしたら，下の図のようになりました。この遊びでは，落としたおはじきのちらばりの大きい方が勝ちとなります。



この例では「おはじきのちらばりの程度は，A,B,C の順にだんだん小さくなっている」と言えそうです。このような場合のちらばりの程度を数で表す方法をいろいろ考えてみましょう。

図 2「おはじきの散らばりの問題」（坪田 1993, p. 104）

例えば，①真正の課題，②オープンエンドの課題，③ホリスティック・アプローチの課題がある。①の真正の課題では，表 7 の「ピザの注文」の問題で，ピザの価格表を与えるのではなく，どのよ

うなデータが必要であるかという点から課題とすることで CUN 課題となり得る。②のオープンエンドアプローチの課題として，よく紹介される「おはじきの散らばりの問題（図 2)」でも，落としたおはじきの散らばりの大きいほうが勝ちという情報をなくし，勝つための条件から検討させることで CUN 課題となり得る。③のホリスティック・アプローチの課題（西村 2016a&b）は，扱われる課題そのものが CUN 課題と言える。今回開発した CUN 課題として表 8 の課題を挙げる。展開過程と指導事例については紙面の都合により別の機会に述べる。

表 8　開発した CUN 課題「初日の出を見に行こう」

私たちのクラスでは，学級行事として元旦にクラス全員で初日の出を見に行くことにしました。初日の出を見るために最もよく見える場所と時間を調べ，初日の出を見に行く計画を提案しよう。

4）CUN 課題を活用したアクティブ・ラーニング

アクティブ・ラーニングにおける 3 つの視点である「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」は，CUN 課題を活用した指導で実現できる。というのも，CUN 課題の特徴である①の設問内容，構成，文脈の多様性が生徒の興味・関心に応じて学習に取り組むことができ「主体的な学び」の実現を可能にする。また，特徴の②の自分の数学の知識と自ら行う数学的プロセスに基づいて意思決定を行うことが求められ，他者と合意形成を図る必要があるため，「対話的な学び」が必要となる。そして，CUN 課題の解決には，より高次のスキル（資質・能力）が必要であり，それによってより「深い学び」が実現するものと考える。このように CUN 課題を活用した学習活動がアクティブ・ラーニングの 3 つの視点を実現させる手立てとなることが分かった。今後の課題は，開発した CUN 課題「初日の出を見に行こう」を活用したアクティブ・ラーニングの展開過程に従い実験授業を行い，その有効性を具体的に検討することである。

附記

本研究は，久坂哲也を代表とするグループが理科領域を，中村好則を代表とするグループが数学領域を対象にそれぞれ分担して研究を行った。ゆえに，本論文の第一著者と第二著者に差はないことを記しておく。

謝辞

本研究にご協力頂きました本学部附属中学校の生徒及び本学部の学生の皆さんに感謝いたします。

引用文献

Dignathe, C., & Büttner, G（2008）Components of fostering self-regulated learning among students. A meta-analysis on intervention studies at primary and secondary school level. *Metacognition and Learning*, Vol.3, 231-264.

久坂哲也（2016）「我が国の理科教育におけるメタ認知の研究動向」『理科教育学研究』第 56 巻，第 4 号，397-408.

清原洋一（2016）「理科とアクティブ・ラーニング」教育課程研究会編著『「アクティブ・ラーニング」を考える』東洋館出版社, 172-175.

西村圭一編（2016a）『真の問題解決能力を育てる算数授業』明治図書，10-13.

西村圭一編（2016b）『真の問題解決能力を育てる数学授業』明治図書.

OECD 教育研究革新センター編（2015）『メタ認知の教育学，生きる力を育む創造的数学力』明石書店，33-34.

坪田耕三（1993）『関心・意欲を引き出す算数科オープンエンドアプローチ』明治図書, 104-106.

Zepeda, C. D., Rickey, J. E., Ronevich, P., & Nokes-Malach（2015）Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: an in vivo study. *Journal of Educational Psychology*, Vol.107, No.4, 954-970.