

理科における協働学習の意味とその実践的展開に関する研究

和田 一郎*・後藤 大二郎**・猪口 達也***

A Study of the Meaning of Collaborative Learning and the Practices in Science Classroom

WADA Ichiro* , GOTO Daijiro** , INOUCHI Tatsuya***

1. 問題の所在と研究の目的

平成 30 年度全国学力・学習状況調査報告書（小学校理科）によれば、「観察、実験の結果を整理し分析して考察することについて、得られたデータと現象を関係付けて考察することはできているが、分析して考察した内容を記述することに課題がある」ことや、「予想が確かめられた場合に得られる結果を見通して実験を構想したり、実験結果を基に自分の考えを改善したりすることには依然として課題がある」ことなどが指摘されている（国立教育政策研究所，2018）。こうした課題に対する改善策として、例えば「実験方法を構想する前に予想したことを話し合う場面を取り入れ、自分と異なる予想をした他者の予想が確かめられた場合に得られる結果の見通しを共有する学習活動が考えられる」ことなどが提案されている（国立教育政策研究所，2018）。

結果の考察や、実験の計画を立案するといった問題解決のプロセスを子ども自身で確立し、その質を高めることは容易ではない。そのため、他者との関わりの中で多様な考えを参照し、自己の考えと比較しながら、有益な情報を取り込み、考えの再構成を進めていく必要があるとの指摘である。しかし、そうした他者との関わりは、話し合いの場などを形式的に設定しても促進するとは限らない。上述したような教育課題を改善するためには、他者との関わりの実態をより詳細に捉え、その促進のための手立てを導出する必要があると考えられる。

本研究では、そのための視点として、「協働学習（collaborative learning）」に着目する。我が国において、協働学習（協調学習と表記されることも多い）は、小集団における学習に関する研究として、「協同学習（cooperative learning）」と同義的に扱われることが多い。ただし、Dillenbourg（1999）によれば、協同（cooperation）は「パートナーのそれぞれが役割を担い、それぞれが個別に課題を解決し、それらの部分的解決を統合することによって、最終的な案を構成する」としている。すなわち、分業である。これに対して、協働（collaboration）は「パートナーは課題を一緒に行い、解決案を構成する」ことになる。これは、Roschell&Teasley（1995）の協働（collaboration）の指摘によって、より具体化できる。すなわち、「協働とは、個々の目前にある問題解決の作業に関する意図（meanings）を交渉（negotiate）し、共有する過程であり、調整された同期的な活動」である。このように、協働学習は、問題解決に自らが積極的に関わる中で、自分なりの考えを有する者同士が解決策を吟味し、学習を調整するのである。こうした視点は、上述した教育課題の解決に対して機能すると考えられる。そこで本研究では、協働学習の意味を精査し、小学校の理科授業の事例分析を通じて、実践的展開に

*理科教育講座

**連合学校教育学研究科

***教育学研究科

関する具体的な視点を導出することを目的とする。

2. 理科教育における協働学習の意味

2. 1 メタ認知の機能から捉える協働学習の過程

先述した, Roschell&Teasley (1995) の指摘にあるように, 協働学習の過程では交渉 (negotiate), すなわち合意形成のための議論が生じ, 子ども同士での問題解決過程の連続的な調整が行われる。ここでは, 子どもは自身の考えをもち, 他者の考えを参照しながら自身の考えを再構成し, グループ全体でよりよい考えを創出する必要がある。その際に重要となる要素として, 子どもが自己の認知を俯瞰する「メタ認知 (metacognition)」の機能の高まりを挙げることができる。例えば, 和田・森本 (2014) は, 協働学習による課題解決を通じたメタ認知の相対化の過程が成立することによる, 子どものメタ認知的モニタリングとコントロールの質的向上と科学概念構築との関連を明らかにしている。また松浦・柳江 (2009) は, 中学校の協同的な理科学習 (ここでの協同は, collaboration を意味する) において, どのような状況で子どものメタ認知が活性化しているのかについて明らかにしている。例えば, 他者との意見交換やモデルの比較などを通じて, 自己の考えに対するモニタリングの強度を高めていることが見出されている。

これらの先行研究によって, 協働学習における他者との相互作用を通じてメタ認知の機能が向上することが明らかとなっている。これは, メタ認知の社会的側面からの検討の必要性を強く示唆していると考えられる。本研究ではそのための視点として, 協働学習と「社会的メタ認知 (social metacognition)」(Pablo & Kenneth, 2012) の概念との関連付けは有意味であると考えた。すなわち, 社会的メタ認知とは他者の認知に対するメタ認知であり, モニタリング対象の拡張を通じて, 自己や他者, およびグループの認知を調整することを意味する。社会的メタ認知と協働学習の関連付けによって, これまで不明瞭であった問題解決過程における考えの矛盾の解消や, 合意形成に至るまでの個人としての認知の再調整過程をはじめ, 他者やグループ全体として認知の再調整が繰り返される様態を捉えることが可能になると考えられる。

2. 2 実践的探究モデルから捉える協働学習の過程

理科学習は, 導き出す知識の客観性を確保するために, 科学界が構築してきた探究過程を通じて成立する。Garrison,D.R. (2016) によれば, コミュニティ (共同体) における探究 (inquiry) は, 「社会」「認知」「教授」の各側面の関連から構成され, ダイナミックな協働の過程として捉えることができる。「社会」とは, 参加者が学習過程を認識し, 信頼できる環境で意図的にコミュニケーションを図り, 仲間の特性を捉えながら関係を築く側面である。「認知」は, 学習者が持続的な内省と談話を通して意味構築を強化する側面である。「教授」とは, 有意味な学習を実現するための認知的および社会的プロセスの設計, 円滑化, および方向性を構成する側面である。これらは, 理科学習に対する直接的な指摘ではないが, 探究過程によって成立する理科学習においても, 協働学習との関連を精査する上で重要な主張であると考えられる。

Garrison,D.R.は, 中でも学習や思考の中核として重要な要素である「認知」の側面を, 図1のようにモデル化 (Practical Inquiry Model, 以下 PIM) している。これによれば, 協働的な探究の実践は, 共有化された世界における事象の生起, 探索, 情報の統合および解決の再帰的過程により構成さ

れる。理科における問題の共有と、予想や仮説に基づく実験による検証、そして結果の整理・分析、考察といった探究過程と一致する。また、PIM は協働における学習や思考の過程として、大きく2つの次元を含んでいる。一つ目が、個人と社会を繋ぐ、検討－実行のラインである。これは、個人の内省、そして情報をグループや教室で共有して繰り返し熟考する、個人と社会の繋がりで生じる実践的活動の関係である。理科では、自己の既有的知識に基づき構築した予想や仮説を他者と共有したり、得られたデータなどから、エビデンスに基づき矛盾のない論をグループで構築したりする。そうして構築され、共有化が図られた思考の道具としての文化的人工物 (cultural artifacts) は、次なる問題解決に機能し、新たな実践活動を生み出していくことになる。こうして、個人と社会は相互作用的に変容し、繋がりを深めていく。二つ目が、個人の世界と共有された世界の境界に生じる、知覚－概念のラインである。これは、知覚による情報の発散過程と、意味を精査して概念へと収束させる過程を対応付けている。理科では、自分なりに思考し、それを他者と共有したり、交渉を通じた合意形成を協働的に行ったりすることで、科学概念への収束が具体化する。

このように、PIM を理科学習の立場から捉えることによって、科学的探究としての理科学習と協働との関連が明確化できる。すなわち、知覚と概念化を個人と社会を繋ぐ境界面として、個人と社会との相互作用が繰り返され、矛盾のない説明の組み立てと共有化できるモデルの構築、およびその活用が協働的に展開される。その過程では個人の内省や教室等における談話を通じて、問題解決に向けた方略決定への気づき (メタ認知的気づき) を深め、批判的な思考を高めることにもなる。こうして、子どもの経験は深まりを見せることになるのである。

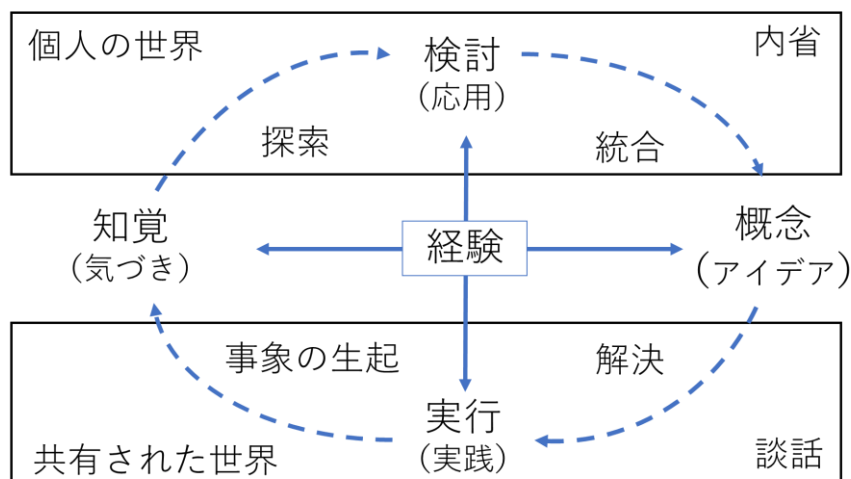


図1 Practical Inquiry Model

3. 小学校の理科授業（第6学年）を事例とした分析（社会的メタ認知と協働学習）

はじめに、社会的メタ認知の側面から小学校理科授業を事例に協働学習の過程を分析する。ここでは、社会的メタ認知と協働学習の関連付けの具体化として、猪口・後藤・和田（2018）の提案する理科学習における社会的メタ認知の機能がもたらす5つの利益に着目する。

まず、Chiu & Kuo (2009) は、自己の認知を対象とするメタ認知機能を「個人内メタ認知 (individual metacognition)」と呼称した。一方、モニタリングの範囲が自己の認知を超えて、他者の認知やそのメタ認知へと拡張され、他者と協働的に認知の調整を行う際に機能するメタ認知を「社会的メタ認知」

と指定した。これは、上述した Pablo ら（2012）の指摘する社会的メタ認知の概念に一致する。さらに、Chiu & Kuo（2009）は、学習過程において社会的メタ認知が機能する時、5つの利益がもたらされることを指摘した。この指摘を基軸に、猪口ら（2018）は、それらの利益を理科学習として捉え直し、表1のように整理している。これらの社会的メタ認知の機能に5つの利益が体系的に繋がり、具体化することで、協働学習の意味がより明確になると考えられる。

表1 理科における社会的メタ認知の機能による5つの利益

社会的メタ認知による 5つの利益	理科における社会的メタ認知による5つの利益
(i) メタ認知の分散	同じ問題に対して同等の責任を分配し、お互い適切な証拠を示しながら、多様な証拠を基に問題解決を目指す。
(ii) メタ認知の可視化	自らの認知過程やメタ認知の過程を多様な表現によって可視化することで、示した証拠の妥当性を吟味しやすくなる。
(iii) 相互の足場づくり	お互いの考えやその証拠の類似点や差異点、矛盾点を共有しながら、考えの妥当性を吟味することができる。また、他者からの評価を通じて、理解を拡張したり、他者の視点と統合しながら新しい考えを構築することができる。
(iv) 動機付け	他者との異なる視点や考えを自覚することで、お互いの考えの差異点や矛盾点を解消しようと、それぞれの証拠を吟味するように動機付けられる。
(v) 個人の認知の変容	必要な情報を再度モニタリングしたり、重要かつ有意義な情報を他者から取り込み、より妥当な考えへと発展させることができる。

まず、子どもは問題の解決に向け、その問題に正対する自己の既有知識や経験を意識し、自分なりの根拠を見出すことで、自分自身の考えをもつことが可能になる。これが個人内メタ認知の機能である。一人ひとりの個人内メタ認知の機能の高まりが、様々な考えや根拠を生み出し、この多様な学習資源は、他者への説明活動を通じて共有されていく。すなわち、個人内メタ認知の機能の高まりが、社会的メタ認知の機能の利益である、多様な根拠を示すといった「(i) メタ認知の分散」や、自らの考えを見出したメタ認知の過程を表出する「(ii) メタ認知の可視化」へとつながっていくのである。これによって、他者への考えの参照が可能になり、考えの妥当性を吟味する合意形成に向けた議論の素地となっていく。そして、その議論において、お互いに考えの妥当性を吟味する「(iii) 相互の足場づくり」がもたらされ、「(v) 個人の認知の変容」として、自己の認知過程に再度焦点を当て、必要な情報を基に自己の考えの再構成が促進する。さらに、そうした自己や他者の認知の変容過程を再度「(ii) メタ認知の可視化」として明示することで、お互いに説明し合う「交渉」が生じ、社会的メタ認知の機能は促進される。この過程は、まさに子ども同士での問題解決過程の連続的な調整過程として見ることできる。その結果として、グループ全体としてのよりよい考えを創出していくことが実現されるのである。こうした社会的メタ認知の具体化は、誰かの考えに頼ろうとする子どもの姿では決していない。自分の考えの交渉を通じて、他者と関わり、より妥当な考えを構築していこうとする子どもの姿である。これが社会的メタ認知の利益としての「(iv) 動機付け」の意味である。

こうした社会的メタ認知が繰り返し機能することで生じる、利益の体系的なつながりを精査することで、協働学習の過程としての問題解決過程における、考えの矛盾の解消や合意形成に至るまでの

個人や他者，グループ全体としての認知の再調整過程の様態が捉えられると考えられる。

以上の視点に基づき，小学校第6学年「てこの規則性」を事例に検討する¹⁾。この授業では，はじめにてこがつり合う規則性について，てこ実験器を用いて，「(左側のおもりの数) × (左側の支点からの距離) = (右側のおもりの数) × (右側の支点からの距離)」という法則を見出した。その後，実験データを整理した表からおもりの数と支点からの距離は，反比例の関係であることを見出し，てこがつり合う規則性と反比例の関係をグラフから再考する学習活動が展開された。

まず，表のデータをグラフにプロットし，個人でそのグラフを解釈した。その際の表現の例が図2，図3である。図2の子ども1は，マス目を利用できることに気づき（モニタリング），おもりの数と支点からの距離を結んだ時のマス目の合計を数えると，すべて16であることを見出した（コントロール）。これは，反比例として「 $xy = \text{一定}$ 」といった関係を捉えていると考えられる。また，図3の子ども2は，グラフから縦軸と横軸の関係を意識し（モニタリング），縦軸が支点からの距離，横軸がおもりの数と四角形の面積の公式（縦×横）と対応していることを見出した（コントロール）。これらの表現は，子どもが個人内メタ認知を機能させ，自分なりの検討を通じて考えを構築した実態として捉えることができる。

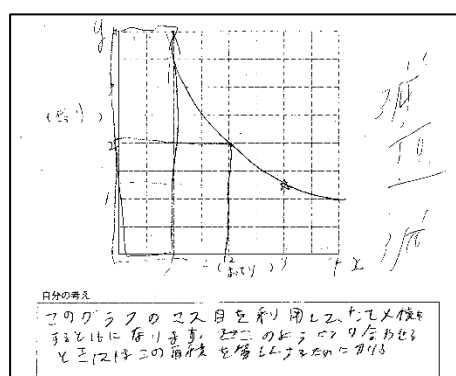


図2 子ども1（4班）の表現

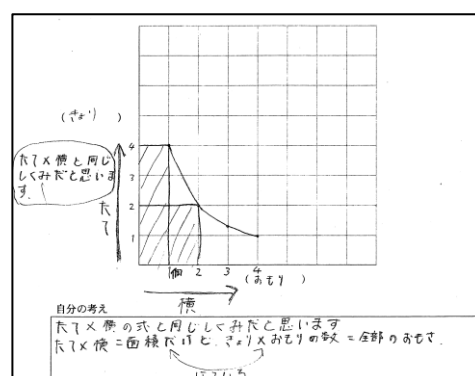


図3 子ども2（4班）の表現

このように子どもそれぞれが自分の考えを有し，それをグループで共有し，グループの考えを構築した。それをまとめた表現の例が図4である。ここでは，子ども1の見出した反比例の関係と子ども2の四角形の面積公式との対応をモニタリングし，2つの情報を関連付けた（コントロール）。その結果，「面積＝きより×おもりの数」といった，てこのつり合いの規則性との関連を表現することが可能となった。これは，社会的メタ認知の機能による利益「(i) メタ認知の分散」によって，お互いの考えのポイントが示され，またそれらの考えの有益な視点を統合する「(iii) 相互の足場づくり」が行われたと解釈できる。さらに，そこに子ども3が，自己の解釈として「角がグラフの上」と加えて表現した。これは，グループでの対話を通じて，自己の認知過程に再度焦点を当てたことで気付いたことを記述したと考えられる。すなわち，子ども3は「(v) 個人の認知の変容」を捉え，他者の考えを参照しながら自己の認知の再調整をしている姿として解釈できる。

子ども3は，こうした認知過程を含めて，グループでの考えを教室全体に示した（表2：4班）。また，別の表現として2班の発表では，発話には含まれていないが，図の表現によって，グラフが延長されていることが見て取れる（図5）。これは，すべての面積が4になるときにつり合うことに気づき（モニタリング），それを計算によって求めて追加してプロットするといった，コントロールが

機能したと考えられる。このメタ認知の過程を教師は評価し、価値付けた。この教師の支援によって、多様な表現によって認知過程が表出する「(ii) メタ認知の可視化」がもたらされたと考えられる。

さらに教師は、「すべて面積が4になることが何を意味しているのか」をグラフから読み取るように促した。これによって、子ども4は、縦軸と横軸を結んだ時に、4班の発表である「角がグラフの上」にあることにモニタリングの範囲を拡張し、そこからグラフ上の点が角になる四角形の面積は必ず同じになることを見出した。これは、子ども4が自己の認知を超え、新しい考えを構築する「(iii) 相互の足場づくり」として、グループ全体としての認知の再調整を行い、より妥当な考えを創出した証左であると捉えられる。また、どのように認知を調整すれば妥当な説明ができるのかを熟考している子どもの姿は、「(iv) 動機付け」が高まっている姿として解釈できる。こうしてグラフを用いて反比例の関係を捉えながら、(1) 面積がすべて等しいときにつり合うこと、(2) 同じ面積の四角形をつくったときの角がグラフの曲線状にあるといった、てこのつり合いに関する規則性についての合意形成が図られた。このように、合意形成に至るまでの対話過程は決して複数の子どもの考えの発表会を意味するものではない。表2に示すように教師が介在しながら、俯瞰すべき有意義な情報が明示される時、子どもがそこにモニタリングの範囲を拡張することで、合意形成のための議論が活性化するのである。

表 2 教室全体で考察を共有する場面

(発話番号)	発話内容
(4 班)	縦軸のきよりと横軸のおもさを線で結ぶと長方形や正方形になり、その角がグラフにある。そして、その面積の求め方は縦×横なので、つり合いの式が成り立つ (図4)。
(教師)	気付いた班が多い「おもりの数×きより」が四角形の面積の「縦×横」に対応しているってところは大丈夫ですかね。それにプラスして、角がグラフにある。これいいですね。たしかに角がグラフにありますね。これってどういうことですかね。
(中略)	
(2 班)	きよりの長さとおもりの重さを結んだ長方形の面積を求めるからです。この時の面積はすべて4になります。きよりを3とすると重さは4÷3で4/3になります
(教師)	この班は、5とか6を増やしているんですね。わかります？増やしたんだけど、面積がやっぱり4になるところを計算で出しているんですが。この時にグラフをどう使っているかがポイントですね。決まった数ってなんなんだ、この決まった面積の4ってグラフだとどこに相当するのかをもう一度考えてみましょうか。
【再度、個人でグラフの解釈を行う】	
(子ども4)	おもさ (横軸) から垂直にグラフまで線で結んで。今度はきより (縦軸) まで垂直に結ぶ。この時できる、必ずどんな四角形の角もグラフにあって。その時の面積が必ず同じになる。そして、てこがつり合う。

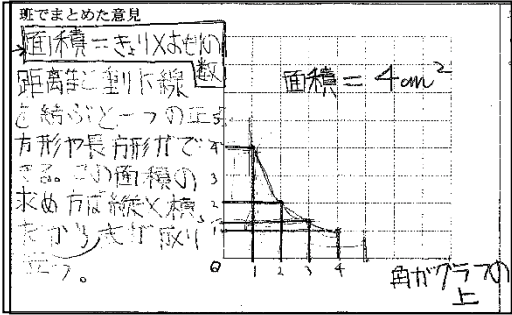


図 4 子ども3 (4班) の表現

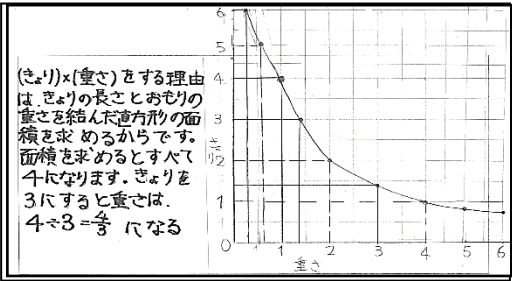


図 5 2班の表現

以上より、社会的メタ認知がもたらす5つの利益のつながりによって、問題解決における合意形成に至るまでの個人による認知の再調整の過程と、グループ全体としての再調整の過程といった協働学習における子ども同士での連続的な認知の調整の様態を捉えられることが明らかとなった。

4. 小学校の理科授業(第3学年)を事例とした分析(PIMと協働学習)

4. 1 問題づくりの場面

次に、PIMと協働学習の関連について小学校第3学年「光の性質」の授業を事例に検討する。この実践は、ヒマワリの観察の場面から始まった。ヒマワリを観察している写真(図6)を元に学習のまとめを行なう際、子どもたちは虫眼鏡によって光が集まっている様子に着目した。前知識がある子どもが、光が集まると危険ではないかと問題提起したことから、なぜ危険なのかを話し合った様子が表3である。



図6 ヒマワリの観察

まずC1では、ヒマワリの観察時(図6)の経験を通じて、共有された世界で生じた事象から、個人の世界における思考が開始されたと捉えられる。すなわち、虫眼鏡の使い方とヒマワリの写真を関連付けて検討し、

統合した概念として表出した。それを受けてC3からC5の対話において、虫眼鏡で太陽を見てはいけない理由を「太陽の光が一箇所にまとまって目に入り、目が焼けてしまう」としている。ここでは、談話を通じて、共有された事象に対する説明がなされた。

この際、教師はT5において「何が集まっているの?」と問いかけることで、子どもたちに光やエネルギーが集められていることへ視点をもつことを促している。教師の問いかけを知覚して、子どもたちは「太陽の力」「光」「日光」「エネルギー」「日光エネルギー」と、この場面に適用できそうな考えを表出している。さらに子どもたちは、同じ原理で虫眼鏡が日光エネルギーを集めて紙や

表3 問題づくりにおける話し合い

C1	太陽を見ちゃいけないっていうのとおんなじ意味よ。
T1	ちょっとまって、虫眼鏡の使い方。
C2	太陽を見ちゃいけない。
T2	太陽を見てはいけない。なんで、なんで。
Cs	はい。はい。
T3	なんで太陽を見ちゃいけないの?はい、C3さん。
C3	虫眼鏡で太陽を見ると、太陽の光が虫眼鏡にあたって、それが一箇所にまとまって目に入るの。それで目が・・・されて目が見えなくなってしまうの。
T4	ほんとに。
C4	そうだよ。
C5	目が焼けるんだよ。
T5	それは、何が集まっているの?
C6	太陽の力
C7	光
C8	日光でしょ。
C9	光
C10	日光
T6	光?力って言っている人いるよ。あと何?
C11	エネルギー
C12	日光エネルギー
C13	日光エネルギー
C14	だから、それが反対になっているだけで。
T7	ちょっとまって、集まって、目が。
C15	焼ける。
C16	最悪失明。
T8	焼けてしまう。
C17	最悪、見えなくなる。
C18	これも同じ。
T9	これも同じ。
C19	だから逆に。
T10	太陽から光があつて、物が当たって。
C20	それが目で見ると反対なだけで、エネルギーが当ててるものに当たって、焼けてしまう
C21	何にあたっているの?
C22	紙
C23	紙とか、ダンボール。
C24	花
C25	葉っぱ
C26	紙が燃えやすい。
C27	紙とか葉っぱ。
T11	燃えてしまうの?
C28	そうだよ。
C29	燃えるよ。だって。
C30	燃えるよ。
C31	燃えるよ。
C32	危ない。
C33	キャンプで・・・
T12	ありがとう、ありがとう。これ本当に燃えたり焦げたりするよって思う人。
Cs	(ほぼ全員が挙手)
C34	すると思うっていうか、する。
T13	やったこと、ある、よ。(ジェスチャーで挙手を促す)
	(5, 6名が挙手)
C35	やったことあるの、お家で。
T14	これ、本当かどうかやってみる?
Cs	やるー!

ダンボールを燃やすことを、C14、C19において主張している。すなわち、ここまでの談話を統合して、「日光エネルギー」が集まって紙を燃やすことを予想として表出したのである。教師はT13において、既存の経験を確認したところ、実際に行ったことがある子どもは数名であった。それを受けて、次時に虫眼鏡を使って日光を集めて紙を燃やす実験を行うことで合意を得た。

このように本時では、虫眼鏡で集められた光の写真からの知覚情報を共有し、既存の経験を基軸として、子どもなりに探索・検討・統合の内省の過程を経て考えを表出した。そして、談話を通じて「日光エネルギー」が集まって紙を燃やすという考えに対して、共有や交渉を通じて合意形成が図られ、次時に実践活動として虫眼鏡を使って日光を集めて紙を燃やす実験を計画するに至った。こうして、図1における知覚－概念のラインを境界面とする共有された世界と個人の世界の相互作用が活性化したと考えられる。

4. 2 曇りの日の予想と実験の場面

次に第2時では、まず前時に決めた虫眼鏡で紙が燃やせるかを調べる実験について、結果の予想を立てた。子どもは前時の話し合いや前知識を元に、ワークシートに自己の考えを表出した。さらに談話を通じて、教師はこれらの予想を「燃やせる説」「焦げる説」「変わらない説」に分類した。

「燃やせる説」は虫眼鏡で日光を収束させることで火がつくこと、「焦げる説」では火は点かないけれども紙が黒や茶色に焦げること、「変わらない説」は日光が収束しても紙に変化がないことを表している。予想では「燃やせる説」は16名、「焦げる説」は13名であった。「変わらない説」は2名が条件付きで変わらない場合があると主張していた。具体的には、「30度ぐらいだったら燃えると思うけど、25度ぐらいだったら燃えないと思う」、「太陽が出ていないときは変わらないと思う」と、それぞれの考えをワークシートに記述した。

第2時における実験時の天候は、曇りであった。教師は、表4のT15において、C36の「変わらない説は、太陽が出ていないときは変わらない。」という考えを基に対話を促した。それを受けてC37からC42において、子どもたちはC36の予想を受け入れた。そこで、太陽が出ていないときは変わらないかどうか確かめるために実験を行なった。

表5のA1やA5からわかるように、実験時は

表4 太陽が出ていないときの予想

T15	C36さん。一人だけ手が挙がりました。C36さんちょっと話をしてくれるかな。
C36	燃える説と変わらない説だけど、変わらない説は、太陽が出ていない時は変わらない。
C37	いいです。
C38	たしかに。
C39	太陽が出ないと・・・焦げれない。
T16	太陽が出ていない時は？
C40	なんにもできない。
T17	なんにもできない。変わらないんじゃないかなってということね。
C41	それは100%変わらない。
C42	99.9%だ！
T18	本当かな？じゃあ今日曇りなんだよね。お日様出ていないです。お日様出ていないね。
C43	そんなにね。
T19	曇りなので日向はありませんね。日向ないよね、たぶん。
C44	うん。
	(中略)
C48	やってみよう。

表5 曇りの日のグループ実験

A1	太陽見えた、あそこ。
B1	ねえ、これでなるかな？
D1	全然燃えないんだけど。なぜ？
B2	どっちがけっこう燃えるかな？(大きい虫眼鏡と小さい虫眼鏡を横並びにして比較し始める)
	どっちがけっこう燃えるかってやってる。
A2	ほとんど(虫眼鏡と紙の距離を)くっつけた方がいいんじゃない？
D2	・・・こっち全然燃えない。
D3	やばいこっち(紙の黒い部分)燃えそう、こっち燃えそう。
A3	「結果」(ワークシートに印刷された黒い四角の部分)にやった方がいい。
D4	なんでこっち(紙の白い部分)は光が来ないの？
A4	燃えた？
B3	ねえ、これ持つときどうするの？
A5	うわあ、なんか変な。こっちから見ると。
D5	全然燃えない。つまんない。

薄曇りのため雲から太陽が透けて見える状況

であった。虫眼鏡で光が集まっている様子を見て、D3では「燃えそう」と発言しているが、しばらくそのまま光を当てていても変化がないことにD5は「全然燃えない。つまんない。」とつぶやいた。

つまり曇りの日に虫眼鏡で光を集めても燃えないという事象を知覚した。この子どもは父親からこの実験について以前に聞いており、「虫眼鏡が日に当たって燃えるのは常識だ」と考えていたことと比較し、「つまらない」と表現したと考えられる。

本時では、図1における知覚一概念のラインを境界面とする共有された世界と、個人の世界の相互作用がより活性化したと考えられる。すなわち、曇りの日は虫眼鏡で光を集めても燃えないという実験結果に基づいて、個人の内省が起こり、「全然燃えない。つまんない。」という認知と情意の表出につながった。それを各グループの結果とともに共有することで「曇りの日は虫眼鏡で光を集めても燃えない」という概念を構築するに至った。

表6 話し合い「どうして燃えたのか」

T20	はい、7班どうぞ。
C49	虫眼鏡に日光が吸収されて、その吸収された日光が紙に、紙の1か所に当たって煙が出て燃えると思いました。 (中略)
C50	1か所に集まって、なんて言えばいいんだろう、まず柔らかくなるっていうか、柔らかくなって、「ひ」がだんだん、「ひ」が当たって行ってそれでだんだん焦げて行って、それで火が燃える。
C51	今この部分(1か所に集まる→火が出る)の話を言ってくれたのかな？ここはいいですね。はい。
C52	C52さんは？ 太陽の力があるときは、エネルギーが虫眼鏡に吸収されて、だから影とかができちゃったら太陽の力とか光がなくなっちゃうから燃えなくなる。 (中略)
T21	はいC53さんどうぞ。
C53	日光が虫眼鏡で集まって、一つにまとまって暖かくなって。 (テレビにワークシートを映す)
C54	太陽の光が1か所に集まって・・・
T22	火が出る。日光が1か所に集まって火が出る。こんな図ね。こんな図ね。
C55	5センチとかなんか描いてるけどそれは何？
T23	5センチとか描いてある？この説明してもらった方がいい？C56さん。じゃあその説明をお願いします。5センチとか書いてあるところ。ここ。お、ここ説明してもらっていい？
C56	5センチくらいに虫眼鏡を近づけると、日光が大きくなって、10センチくらいに遠ざけると日光の光がちっちゃくなってあったかくなる。
T24	ここ5センチメートルくらいだとまだそんなに光が集まってない。だけど、10センチメートルくらいだとちっちゃく集まるから、煙が出るよってことかな？どうですか？
C57	そういうことね。

4. 3 晴れの日の実験

第3時は、晴れの日子どもたちは虫眼鏡で光を収束させて煙が出てくる様子を観察した。教師は、全員がワークシートを焦がしたり燃やしたりできたことを確認して、教室に戻した。教室では、子どもが気づいたことと考えたことをワークシートに記述させ、結果の確認を行った。ここでは、観察、実験の実行により生じた事象に対して、気づきを記述することで、内省が促されたと考えられる。

第4時は実験結果の考察を行い、どうして燃えたのかということについて話し合った。前時にワークシートにまとめた考えに基づき、談話によって問題の解決を図り、教室固有の思考の道具である文化的人工物の構築を志向した。表6のC49か

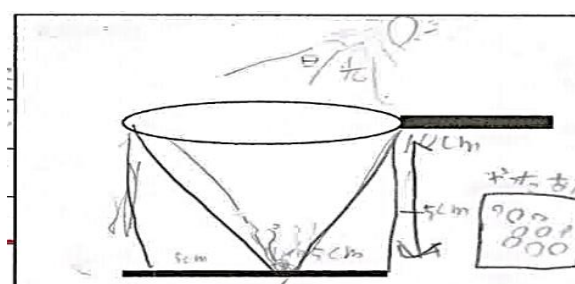


図7 C53の描画

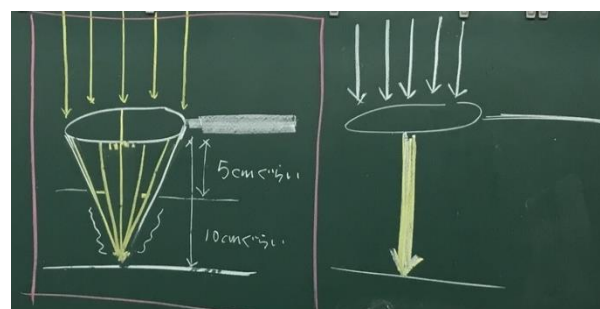


図8 円錐説(左)と垂直説(右)

ら C 52 までの発話で、虫眼鏡が日光（太陽の力、太陽のエネルギー）を一箇所に集め、火が出ることを確認している。

このことを、C 53 はワークシート（図 7）を示しながら説明を加えた。教師は、この描画に日光の線を描き加え、表 7 における C58「きゅっとまとまる」という言葉を元に円錐形に光が収束していく様子（円錐説）を板書した（図 8 左）。すると、C59 において「ちょっと違うような。」と、異なる考えが出された。ここでは、共有された世界において、他者の描画内容からの知覚情報を自己の既有知識と関連付けたと解釈できる。その結果、C61 において、虫眼鏡で太陽（のエネルギー）が小さくなって垂直に出てくるという概念（垂直説）（図 8 右）が表出されたと捉えられる。さらに、C63 において、虫眼鏡に熱さが溜まって真っ直ぐ下に下りるという垂直説の補足意見が出された。

その上で、C66 において「どんどんエネルギーがまとまって」という円錐説の説明によって、C67 から C70 において、子どもたちは合意形成へと向かっていった。それぞれの子どもは、概念として示された垂直説、円錐説に対して、知覚、検討し、交渉過程を経ることによって、円錐説への同意を表明している。教師は、T31 において、C66 の意見にジェスチャーをしながら説明し、虫眼鏡と紙との距離に着目させることで合意形成を加速させた。そして、第 4 時の終わりに、「太陽のエネルギーが、一かしょに集まって、もえた（こげた）。」とまとめを行った。

ここでは、知覚と概念化を境界面として、個人と社会の相互作用が繰り返され、円錐説という矛盾のない説明の組み立てと共有化できるモデルの構築を行ったのである。これらの過程において、図示して説明や解釈をしたり、虫眼鏡と紙との距離に着目したりする方略を取り

ながら、二つの説を比較することを通じて、文化的人工物としての「円錐説」に収束していった。な

表 7 話し合い「円錐説か垂直説か」

C58	きゅっとまとまる。
T25	きゅっとまとまるの？こういうこと？（紙上の光の点を頂点にした円錐状に光の線を集める。）
C59	ちょっと違うような。
C60	うん、たぶん。
T26	はいどうぞ。（指名）
C61	虫眼鏡の中で・・・、太陽がちっちゃくなって・・・、で紙に行って燃える。
T27	今の説明だと、こういうことだね。（レンズの中心から光の点に垂線上に光の線を集める。）こういうことですか？っていう意見ですがどうですか？
C62	いいと思うよ。
T28	C53 さんどうですか？こういうふうに、虫眼鏡できゅってまとまったのがまっすぐびっと下りてくる感じ？ （中略）
C63	虫眼鏡に熱さがたぶん溜まって、まだそんなに熱くない日光が上（虫眼鏡）に当たって、その熱さが返ってきてまっすぐ下に下りる。虫眼鏡を通りぬけるときは。
T29	虫眼鏡に熱が溜まっているっていうこと？
C64	虫眼鏡に熱さが溜まってる。
T30	っていう意見はどうですか？
C65	うーん。 （中略）
C66	えっと、虫眼鏡は広いから、そして中に近いと広いじゃん？（円錐説）でも近いとどんどんどんどんエネルギーがまとまってきて、でなんか。 たしかに。
C67	たしかにどんどんまとまってきてる。
C68	たしかにそれいけるかも。
C69	右だったらもう（虫眼鏡上で）まとまってる。
C70	こうかな？（円錐を横切るように紙で隠しながら光の面積を確認させる）最初はこの幅だったのがだんだんだんだんだん距離を話していくとだんだんだんだん（紙に）近くなって行って近くなって行って近くなって行ってここ（ワークシート上）でぼわっと（燃えるジェスチャー）。
T31	右だったらいっぺんにもう。
C71	はい他に。
T32	いや、一緒。
C72	今ので納得？
T33	納得。
C73	今ので納得？
T34	うーん。
C74	してないね。どうですか？C75 さんはどうですか？近いときは広いんだけど、だんだんだんだん距離を開けていくとだんだん近くきて（ワークシートの距離に）ここで燃える。っていう今の説明ね。他の人たちどうですか？
T35	いいと思う。
C75	納得。
C76	全員リアクションしようね、全員リアクションしようね。
T36	納得。
C77	自分としても納得。
C78	私納得。
C79	こっち（垂直説）だともうここ（虫眼鏡から離れた瞬間に）で集まってる。
T37	そっちでいくともう虫眼鏡で集まってる。
C80	左（円錐説）！
C81	

お、第5時においては、太陽エネルギーを集める違う方法を検討することで、鏡による光の反射の学習へとつながっていった。

5. 研究のまとめ

本研究では、理科における協働学習の意味を精査し、その実践的展開に関する視点を導出することを目的に、社会的メタ認知および実践的探究モデルを基軸に検討した。その結果、以下の諸点が明らかとなった。

- 1) 協働学習は、社会的メタ認知および実践的探究モデルとの関連から、その学習過程を具体的に示すことが可能となった。
- 2) 社会的メタ認知の機能による5つの利益を援用することによって、根拠の表出やそれに基づく妥当性の吟味といった自己や他者、グループ全体の認知の調整過程を詳細に捉えることができ、協働学習における子ども同士の問題解決過程の連続的な調整の様態を説明することが可能となった。
- 3) PIMによって、協働学習の過程を事象の知覚から概念化に至る個人と社会との相互作用過程としてモデル化することが可能となった。

註

- 1) 東京学芸大学附属小金井中学校 宮村連理教諭の2016年度の実践

参考・引用文献

- Chiu,M.M., Kuo.S.W. (2009). From metacognition to social metacognition: Similarities, differences, and learning, *Journal of Education Research*, 3(4), 1-19.
- Dillenbourg,P.(1999).What do you mean by collaborative learning?. In P. Dillenbourg (Ed), *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*, 1-19.
- Garrison,D.R.(2016). *Thinking Collaboratively: Learning in a community of inquiry*, 53-65.
- 猪口達也・後藤大二郎・和田一郎 (2018)「理科学習における主体的な問題解決活動の推進に関わる社会的メタ認知の機能についての事例的研究」『理科教育学研究』,第59巻,第2号,229-242.
- 国立教育政策研究所 (2018)『平成30年度 全国学力・学習状況調査報告書 小学校理科』
Retrieved from <http://www.nier.go.jp/18chousakekkahoukoku/report/data/18psci.pdf>
- 松浦拓也・柳江麻美 (2009)「協同的な学習におけるメタ認知に関する事例的研究—中学校理科における話し合い場面を中心に—」『理科教育学研究』,第50巻,第2号,107-119.
- Pablo,B., Kenneth,D. (2012).*Social Metacognition*, 1-18.
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C. E. O'Malley (Ed.), *Computer-Supported Collaborative Learning*, 69-97.
- 和田一郎・森本信也 (2014)「理科授業における社会的相互作用がメタ認知の機能に及ぼす影響についての事例的研究」『理科教育学研究』,第55巻,第1号,95-108.