電流現象の論証構成能力と討論による構造遷移に関する研究

理科教育専攻理科教育学領域（平野研究室）　西川　駿介

【要約】

論証や論証を用いた討論が科学的な概念の理解の育成に向けて有効であるという報告を鑑み，本研究は，小学校第４学年で扱われている電気回路学習を取り上げ，電流の流れ方を理由づけとした論証を構成する能力と討論活動と論証構造の遷移の関係を分析した。グループ面接法を用いた調査により，児童の論証構成能力について，証拠と理由づけを用いて説明することが困難である。また，非科学的な説明を行う児童の多くは，理由づけよりも証拠に依存した説明を行うという傾向がみられた。また，討論活動と論証構造の関係について，討論内で必要不可欠である用語が表出しても，電流の流れ方や豆電球の明るさと関係付けることができず論証に表出しないこと。加えて対立や質問が活発に生じない事例では，他者の論証を理解，吟味できないまま誤った論証が表出することが明らかとなった。これらから，乾電池の並列回路における電流の大きさを主張とした論証構成，また討論活動を授業に導入する際に，課題として提示される回路にもとづいて展開するような指導が必要であるという示唆を得た。

Ⅰ．はじめに

（ⅰ）研究の背景

論証，またそれを用いた討論を理科授業に導入することが，科学的概念の獲得などに価値があることが Osborne らによって指摘されている[1)]。

論証とは，いくつかの主張が対立している際に，事実を示すデータを示し，論拠や裏付け，限定詞，反駁を主張とデータの間に結びつけて論じるというトゥールミンが示した論理的なモデルを指す[2)]。

これを受けて，理科学習における論理的な思考力の育成に向けて，トゥールミンのモデルを簡略化し，学習者が簡易に使用できるように McNeil と Krajcik が論証を４つの要素（主張・証拠・理由づけ・反駁）からなるものとして再定義した[3)]。また，論証を用いた討論とは複数の人々が対立した主張について話し合う活動（図１）をさす。討論に関して Osborne は，討論内で反論（アーギュメントの構成要素のどれかを否定する言明）を行うことの重要性を述べた[4)]。

また，国内の論証に関わる研究では坂本らが，児童の論証構成能力において，証拠を理由づけとともに記述することに課題があると指摘している[5)]。また，文部科学省による「言語活動の充実に関する事例集」には実験事実を整理し考察する学習活動，科学的な言葉や概念を用いて説明する活動を充実するようにと記載がある。

したがって，論証の構造を用いた表現活動が国内の理科教育においても，求められていると指摘ができる。

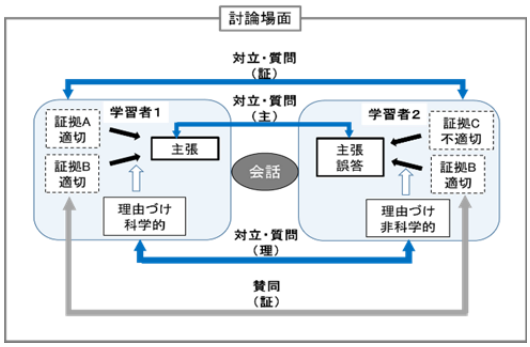


図１：論証を用いた討論内で生じる相互作用の概観

（McNeil と Krajcik の論証のモデルを参考）

このように，国内外で，論証とそれを用いた討論活動に関していくつかの研究が報告されているが，児童の論証構成能力の実態に関する報告，また討論活動と論証構造の遷移の関係を示した研究の進展はまだ十分でない。

小学校４年『電気のはたらき』では，負荷の働きと乾電池のつなぎ方の間に電流の流れ方を関係づけて思考することの困難性が指摘されている。論証に当てはめて考えると，問われる負荷の働きに関する「主張」を，乾電池のつなぎ方や負荷前後の検流計の振れ方の様子を「証拠」とし，電流の流れ方を理由づけとして関係づける構造が求められるが，回路全体の電流の流れ方に言及した学習が欠落しているため，「理由づけ」として電流の向きや強さの介在が不十分となり，論証の不安

定さや，それによる討論の不成立の可能性が指摘しうると考えられる。

（ⅱ）研究の目的

そこで本研究は，児童の理解に課題が多いとされる電気学習において児童が生成する論証とそれに基づく討論に目を向け，電流の流れ方を理由づけとした論証構成能力と，討論活動で生じる相互作用の実態，さらに討論活動による構造の遷移の関係の実態を明らかにすることで，児童の論理的な思考力，科学的な概念の獲得に向けた論証構成と討論を授業に導入する際の留意すべき点の視座を得ることを本研究の目的とする。

Ⅱ．論証を用いたグループ調査について

（ⅰ）調査の概要

『電気のはたらき』を学習済みの児童 35 名を４人ごとのグループ（４人×８班，３人×１班）に分け面接法による実態調査を行った。調査手順，また分析の視点を以下に示す。

①ワークシートへの記述（10 分）
(1) 図の乾電池の並列つなぎの回路の 3 地点における電流の強さの比較
(2) (1) の判断理由（証拠事項と，電流に着目した理由付けの有無について確認）
●分析の視点
電流の流れ方を理由づけとした論証構成能力

②討論活動（20 分）
各自のワークシートの記載を紹介した後に，他の班員の考えに同意できない場合には相手に質問や追加説明を求め，相手に応答させる形で討論を進める。全員がお互いに同意しあえるまで，または面接者の合図があるまで，討論を続ける。
●分析の視点
構成した論証を用いた討論の実態

③ワークシートの記述（５分）
①と同様に（1），（2）を①を記述する。
●分析の視点
討論活動と論証構造の遷移の関係

④実験（５分）
面接官が検流計を扱って各地点での針のふれ方を見せ，電流の強さを計測する。

⑤ワークシートの記述（10 分）
（1）乾電池の並列つなぎの回路の 3 地点で観察した電流の強さの比較（証拠）
（2）回路内の電流の流れ方についての説明（理由付けの確認）
●分析の視点
論証を用いた予想と実験結果の観察による，児童の考察能力の実態

（ⅱ）調査で提示した回路と科学的な論証

Toulmin が示した論証の構造は本来，自らの主張とは異なる主張を行う者に説明を行うために示されたものである。よって，本研究においても，討論を行う際に対立する意見が表出するよう，児童が論証を構成する際につまずきとなりうる要素２点を意図的に盛り込んだ図２の回路を選定した。まず，①乾電池のつなぎ方と配置について既習内容である乾電池２個の並列つなぎではあるが，直列つなぎの配置で提示していること。次に②電流の大きさについて，学習知である豆電球に流れ込む電流である点A以外にも，並列につながれた乾電池周辺の電流の大きさについての判断を求めた。

これらから，McNeil と Krajcik による論証のモデルに調査における科学的な論証を当てはめると，図２のように示される。

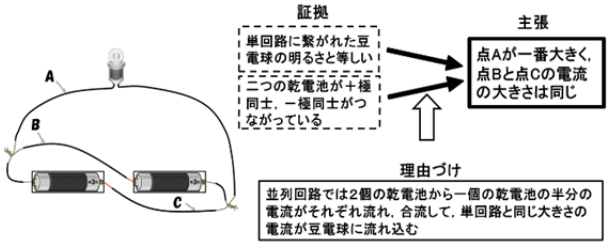


図２：課題として提示した回路と科学的な論証

Ⅲ．児童の論証構成能力に関する結果

（ⅰ）主張に関する結果

主張について，表出した記述をもとに，回答のレベル分けを行った（表１）。部分的な正答を行うことができる児童（正答，準正答①，準正答②）が全体の 91%みられ，二つの乾電池から電流が流れている，あるいは小学校３年生時で学習した回路内を流れる電流は一定であるという知識を用いて判断した児童が多い。一方で，点 A が大きく，そして B と C が等しいという正答を示すことができた児童は全体の 11%と低い割合を示し，負荷に流れ込む電流を乾電池周辺の局所的な電流の流れと結びつけて思考する学習の希薄さがうかがえる。

図３の主張の遷移に関して，討論前に多くの児童が支持した主張（準正答①，準正答②）を行った児童は，討論後にも，同様の主張を行う傾向がみられた。一方で，少人数が支持した主張（正答・誤答）を行った児童 6 名は反論や質問を受けながら，主張

を変化させていったと考えられる。また，討論後に増加傾向がみられた主張として，回路内の電流は全て等しいとする回答が大半を占める準正答②が挙げられ，回路全体を流れる電流の大きさは等しいという学習知の影響が強いと考えられる。

表１：主張の記述の分類基準と該当人数（単位：人）

正誤	主張	討論前 小計	討論前 合計	討論後 小計	討論後 合計	分類基準
正答	A>B=C	3		3		Aが最も大きくBとCが等しいという主張
準正答①	A>B, C	15	19	14	14	Aが最も大きいということBとCが等しいという指摘がない主張
	A>B>C	2		0		
	A>C>B	2		0		
準正答②	A=B=C	7	10	12	16	Aが最も大きいという指摘はないが，BとCが等しいという主張
	B=C>A	2		4		
	A≠B=C	1		0		
誤答	A=B>C	1	3	1	2	Aが最も大きいとい，またBとCが等しいという指摘がともに不足している主張
	C>B,C	1		0		
	B>C	1		0		
	B>A,C	0		1		

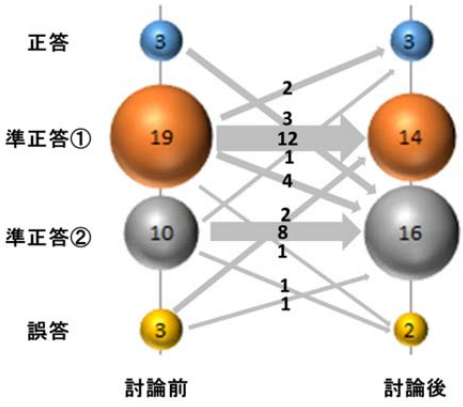


図３：討論前後における主張の遷移（単位：人）

（ii）証拠・理由づけに関する結果

論証とは本来，図１に示すように証拠と理由づけを用いて主張を支えるという構造をもつが，いくつかのパターンに分類して分析を行うため，理由づけの表出を基準に証拠と理由づけを合わせて説明とする。表２より児童は，適切な証拠を挙げながら，理由づけを行って説明することが困難であることが示された。また，科学的な証拠・理由づけをあげながた説明を行うことができても，余分な要素を追加して説明する傾向がみられ，十分かつ，適切な証拠と理由づけの選定が課題であることが指摘できる。図４より，討論前後で説明のパターンを変化させなかった児童は全体の 69%みられた。主張の遷移傾向とは異なり，４つの説明パターンすべてにおいて同様の説明を行う児童が討論前で多く，主張に比べ，討論内で対立が生じなかったと考えられる。一方で，科学的な証拠のみを挙げる説明Ⅲへの増加傾向がみられ，主張とのつじつまが合わない際には，目に見えない概念や知識よりも，視覚的に捉えることのできる証拠を説明とする変化が複数みられた。

表２：説明の記述の分類基準と該当人数（単位：人）

	理由づけ	証拠	討論前 小計	討論前 合計	討論後 小計	討論後 合計
説明Ⅰ	科学	科学	11	12	8	11
	科学 非科学	科学	1		2	
	科学 非科学	科学 非科学	0		1	
説明Ⅱ	非科学	非科学	2	6	3	5
	非科学	なし	4		2	
説明Ⅲ	その他	非科学	9		15	
その他	その他	なし	8		4	

※基準
説明Ⅰ：主張を支えるために必要な科学的な理由づけを記述
説明Ⅱ：非科学的な理由づけを証拠とともに記述
説明Ⅲ：理由づけに関する記述がない
その他：理由づけ・証拠に関する記述がない

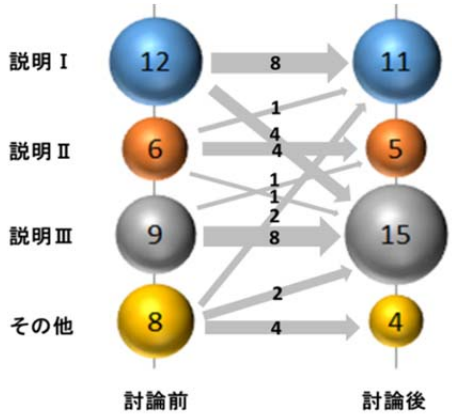


図４：討論前後における説明の遷移（単位：人）

Ⅳ．論証を用いた討論に関する結果

（i）発話カテゴリーを用いた討論の分析

佐藤が示した発話カテゴリー[6]（表３）に従い，発話者が変更するまでを１つの発話とし分類を行った（表４）。新たな意味の生成や，相互理解に向けて重要であるとされている「精緻」，「質問」，「対立」といった相手の意見と自分の意見を関係づけ

た発話が全体の発話の約 38%であり，他者と自分の考えを比較しながら内省し，表現する能力の未熟さがうかがえる。一方で，自らの発話を単に発する外化や特定の意見への単純な賛同が比較的多いことから，相手の意見と比較を行った上で，特定の論点について発話を連鎖させ，深めることへの意識の低さがみてとれる。これらの影響により，既出の意見に新たな考えを付加しながら説明をし直す精緻を示す発話が極端に少ないという結果が表出したと考えられる。

表３：佐藤が示した発話カテゴリー（一部改訂）

精緻	自説精緻化	自分の意見をもう一度詳しく述べるか，そのとき新たな根拠を加えて説明しなおす
	他説精緻化	他者の意見をもう一度詳しく述べるか，そのときたな根拠を加えて説明しなおす
質問	質問	相手の主張内容の不明な点をたずねる
対立	反論	相手の意見に対して理由を述べながら反対する
	反対	相手の意見に対して単に反対と言うだけ
	否定的評価	他者の意見や主張に対するネガティブな評価
外化	提案	話し合いのテーマに関わることの提案，～について話をしたい
	主張	論議のなかで自己の意見や解釈の提示
	説明	他者からの質問に対して返答
	理由	自分の意見や主張の根拠になっていることを述べる
	追加	自分の意見に別の内容を加えて述べる
賛同	支持	相手の主張や意見に賛成の反応
	自説繰り返し	自分の意見や主張に同じことを繰り返して述べる
	他説繰り返し	他者が脱した意見や主張をそのまま繰り返して述べる

表４：発話カテゴリーごとの発話件数（単位：件）

	1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班	8班	9班	合計
精緻	0	0	6	0	1	2	3	4	1	17
質問	4	1	1	0	2	3	5	14	7	37
対立	0	1	3	1	4	6	4	4	1	24
外化	4	1	11	3	8	5	8	19	9	72
賛同	1	7	7	5	3	4	3	18	4	56
合計	9	10	27	9	18	20	32	59	22	206

各班の発話カテゴリーに目を向けると班ごとに大きな偏りがあり，各班の発話の合計のうち精緻･質問･対立が比較的多く表出した班もみられ，特に６班では，Erduran が重要であると指摘している，相手の論証への否定を示す対立が多く生じており，新たな意味の生成に向けて効果的であったと指摘できる。一方で，発話数が極端に少ない班では，外化に賛同または，質問を合わせた発話が多いことから，不明な点を明らかにし，特定の意見への集約が早期に行われたと考えられる。

（ⅱ）相互作用の論点に関する結果・分析

本研究における相互作用の単位は，発話の論点ごと，または沈黙の発生ごとに抜き出した発話の連鎖をさす（図５）。

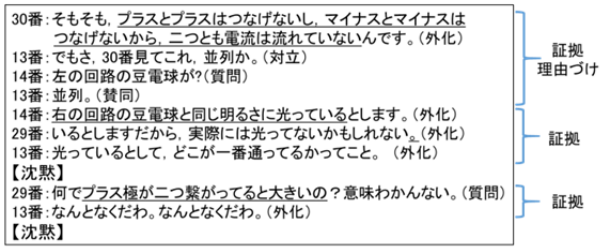


図５：本研究における相互作用の抽出法

図５に従い相互作用を抽出したところ，相互作用に含まれる発話数にばらつきはあるが，９班の合計で 48 件の相互作用が表出した。相互作用の起点となった発話の要素を分析したところ表５のように表出し，図１のような主張のみ，証拠のみ，理由づけのみを挙げた発話が多くを示し，それぞれを論理的に関係づけて発言することが困難である傾向が見られた。本来は，起点に連鎖して，主張・証拠・理由付けに関わる発話が生じることが望ましい。起点となった要素のみに着目した相互作用が続くと，その要素を論証構造の一部とする際に，他の要素とのつじつまが合うように論証を変化させて記述すると考えられる。そこで以下に討論活動で生じた相互作用と論証構造の遷移の関係について明らかにすべく，事例的に分析を行う。

表５：討論内で生じた相互作用の論点（単位：件）

	1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班	8班	9班	合計
主張				2		1	5	2	1	11
証拠	3	1	2		3	1	2	1	3	16
理由づけ			5		1		2	4		12
主･証				3		1				4
主･理								1		1
証･理		1			1		1			4
主･証･理								1		2
合計	3	2	7	5	5	3	10	9	4	48

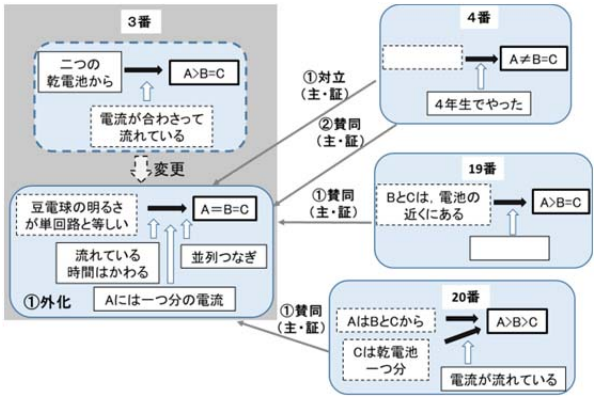
Ⅴ．討論活動と論証構造の遷移の関係の事例分析

（ⅰ）３番の発話への同意により討論が収束した事例

図６，図７に２班で生じた論証構造と相互作用を示す。２班では討論前にはＡが大きいという主

張を中心に複数の論証が構成されたが，３番の児童が討論の冒頭で自らの論証を変更し，電流が全て等しいという主張を，豆電球の明るさから並列回路であるという科学的な知識を用いて，論証を再構成，外化した。この論証には科学的ではあるが，不適切な理由づけである，電流の流れている時間に関わる理由づけが含まれていた。しかし，学習知として豆電球の点灯時間，さらにはそれを電流と関係付けた知識が獲得されていないため，理由づけに言及した相互作用が生じなかった。本来ならば，児童が論証構造を大きく変化させ，外化を行った際には，対立や質問を通して，妥当性を吟味する相互作用が求められたが，ほとんど生じないまま，他の児童が賛同を示した。論証が外化された段階（①）で賛同を示した２名の児童に目を向けると，討論前に構成した論証は，主張・証拠・理由づけの全てが，３番の再構成した論証と不一致であった。それにもかかわらず，賛同を示したのは，３番の発話が豆電球の明るさと乾電池のつなぎ方を関係づけた論理的な論証であったと判断したことが指摘できる。一方で，この論証に対して，４番の児童が①の段階では反対の姿勢を示したが，３番の発話内容が理解できない，また明確に反論を行うための相手の論証構成要素の誤りを指摘する視点をもち得ていないため，②の段階で賛同を示す形となった。

討論として，全員が３番の構成した論証に賛同した形で討論は収束したが，討論後にそれぞれの児童が構成した論証構造に目を向けると，３番の児童が外化した論証に含まれていた３点の理由づけのうち２点を除いた論証を２名の児童が構成した。特に，理由づけとして肝要とした「並列つなぎ」という知識も欠落したことから，他者が外化した論証する対立・質問が生じないまま賛同の姿勢を示したとしても，それは相手の論証の全ての要素に賛同したのではなく，つじつまが合うように自らが理解，賛同できる要素を部分的に抽出して，論証の構成を行う傾向がみられた。加えて，相手の論証を否定するに十分な理由を準備できないために，致し方なく賛同を示した児童は，討論後に他者の論証とは関係のない不適切な証拠に依存して論証の構成を行った。



※　は討論前の論証，　は討論中に再構成した論証を示す
※↑の上には生じた相互作用の順番，発話カテゴリー，論点を示す

図６：２班における討論中の論証構造と相互作用

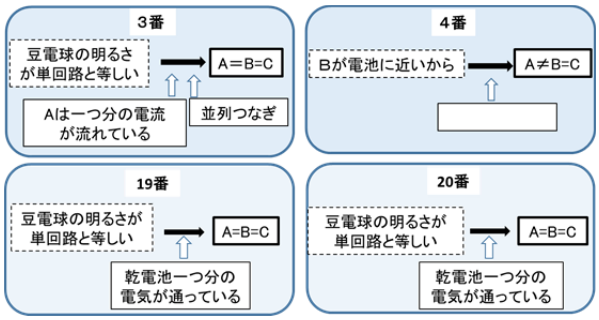
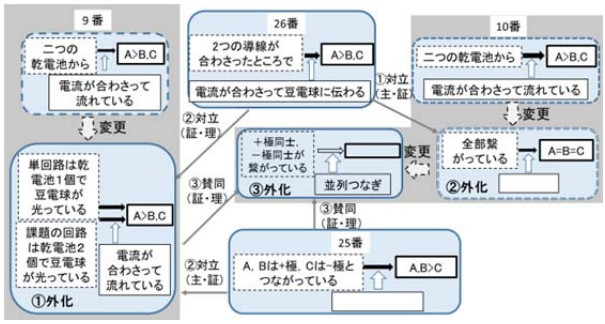


図７：２班の児童構成した討論後の論証

（ii）科学的な知識が生じたが，採用されなかった事例

図８，図９に５班で生じた論証構造と相互作用を示す。５班では冒頭で２名が他者の意見を聞いた後，論証を再構成して外化を行った。まず，10番の児童が再構成した電流の大きさが全て等しいという主張は，他者の主張と一致する点がない，さらに理由づけが欠落していることから，同意が得られずに対立が生じた。また，９番の児童が討論前の科学的な論証に加えて，豆電球の明るさに関する証拠を追加して説明を行ったが，主張と証拠の間の理由づけのつじつまが合っておらず，対立が生じた以上の相互作用はみられなかった。このように対立が多く表出していたが，③の段階で，乾電池が並列つなぎであるという判断が生じ，複数の児童が賛同したが，それに伴う主張を導くことができないままに討論が終了した。しかし，上述のように９番の児童の発話には並列つなぎにおける豆電球の明るさに関する証拠が含まれていた。この事実から，深まりがみられなかった相互作用は忘却される傾向があると思われる。

討論後の記述では，討論内で論点として挙がる機会が少なかったAが最も大きい（準正答①）という主張を全ての児童が行った。つまり，討論内で，複数の論証が生じそれぞれについて相互作用がみられても，主張，証拠，理由づけの全ての要素への賛同が生じない場合には，複数の論証が乱立するだけで，結局討論前の主張を討論内で生じた要素，または討論前の説明を用いて論証を構成する傾向がみられる。一方で，主張に変化がみられる児童（25 番）の変化の理由を考察してみると，討論前は乾電池のつなぎ方を証拠とし理由づけが欠落した論証であり，不安定であったことから，多くの児童が賛同した，主張と説明に同調していることが指摘できる。



※　　は討論前の論証，　　は討論中に再構成した論証を示す

※↑の上には生じた相互作用の順番，発話カテゴリー，論点を示す

図８：５班における討論中の論証構造と相互作用

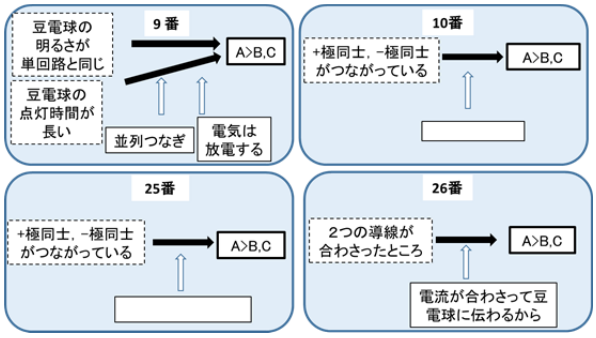


図９：５班の児童が構成した討論後の論証

Ⅵ. 考察

本研究では児童の乾電池の並列回路における電流の大きさを主張とする論証の構成能力と，論証を用いた討論の実態，また討論がもたらす児童の論証構造の遷移を明らかにすることを目的に行った。まず，児童の論証構成能力に関して，児童は電流の流れ方を理由づけとする論証を構成する際に，証拠・理由づけにおいて，坂本らの指摘にあるように科学的な証拠と理由づけの両方を挙げて説明することが困難であることが示された。

論証を用いた討論の実態に関しては，精緻や質問，対立といった自らの意見と相手の意見を比較・関係づけた発言の表出が少ないことが指摘できる。さらに，相互作用の起点としては，主張・証拠・理由づけが単独で表出する場合が多く，他の構成要素との関係づけが不十分になると考えられる。

最後に論証の遷移と討論の関係について，討論内で対立や質問が生じない場合には，論証が理解，吟味されないまま，賛同されるが，論証として採用される要素は，自らが理解，同意ができたものだけである。特に理解が困難であると考えられる要素に「並列つなぎ」が挙げられ，豆電球の明るさと電流の大きさを関係付けた知識の獲得の困難さが影響した。また，複数の論証が外化されても，主張・証拠・理由づけのすべてに対する賛同がなされない場合には討論前の主張のつじつまが合うように説明し直す事例が表出した。

本調査では，論証を記述するために図２の回路を記載したワークシートを用いたが，討論中，児童は回路に着目せず，他者の発話へと注意を向けた。しかし，上記のように「並列つなぎ」であるという発話が表出しても，それに関する言及がなされなかった。そこで，並列つなぎにおける電流の大きさや豆電球の明るさと関係付けた相互作用が展開されるために，図示された回路や，実際の回路にもとづいて討論を展開させるような指示が必要になると考える。

【引用・参考文献】

１）Osborne, J.：“Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse”，『Science』, 328, 2010, pp463-466.

２）スティーブン・トゥールミン著，戸田山和久・福澤一吉：『議論の技法　トゥールミンモデルの原点』，東京図書，2011.

３）Krajacik, J&McNeil, KL：“Designning Instructional Materials to Support Student’s in Writing Scientific Explanations: Using Evidence and Reasoning Across the Middle School Years”，『National Association for Research in Science Teaching』，2009.

４）Osborne, J. et al.：“Enhancing the Quality of Argumentation in School Science”，『Journal of Research in Science Teaching』，Vol. 41, No. 10, 2004, pp. 994-1020.

５）坂本美紀ら：「アーギュメント・スキルに関する基礎調査―小学校高学年を対象としたスキルの獲得状況―」，『科学教育研究』，Vol. 38, No. 2, 2004 , pp. 54-64.

６）佐藤公治：『認知心理学から見た読みの世界―対話と協同的学習をめざして―」，北大路書房，1996.