

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350208

研究課題名(和文) 科学的な思考や表現の能力を熟達させる比喩的表現に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Rhetoric to Develop the Abilities of Scientific Thinking and Representations in Science Class

研究代表者

佐藤 寛之 (SATO, Hiroyuki)

山梨大学・総合研究部・准教授

研究者番号：30452832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、理科学習場面において子どもが表出させた比喩的表現を通して、子どもの科学的な思考の様態と科学概念形成過程における比喩的表現の役割を精査した。研究成果の概要は、以下の通りである。

- 1)小学生であっても、メタファー・アナロジー等の比喩的表現とその類似性を検討し、モデルを構築することは可能である。そして、子どものモデル構築における根拠の提示についても、子どもが意図を理解して行うことがある程度は可能である。
- 2)学習者は、自らが構築したモデルと他者のモデルを比較し評価(理解)したり、モデルの設定に関する条件を考えたりすることで、自らの科学概念を更新する必要性を自覚する。

研究成果の概要(英文)：In this study, based on understanding the rhetoric represented by learner in science class, we tried to explore the role of learners' rhetoric in scientific thinking and science learning process. As a result of this study, the following things became clear.

- 1) Even if learners are in elementary school, they can consider the contents of their metaphor and analogy. So it is possible for learners to build model of their own understanding with scientific conception. And not all, but learners can understand their basis of model building.
- 2) By compare their own model and others models, or by consider the conditions on the setting of model, learners notice that they need to revise their scientific conception .

研究分野：理科教育学

キーワード：比喩的表現 科学的な思考・表現 類推的思考 モデル構築 理科学習

1. 研究開始当初の背景

現行(2008年3月改訂)の小学校理科と中学校理科の学習指導要領では、学力要素としての思考力・判断力・表現力の反映として、「科学的な思考・表現」が評価の観点として新たに据えられた。子どもが自然事象について思考した内容について、適切に表現させるための指導と評価の観点である。また、小学校第6学年の理科学習では、問題解決の能力を熟達させるために、「自然の事物・現象についての要因や規則性、関係を推論しながら調べること」が新たに目標として規定された。

子どもの自然事象についての思考・表現に関する研究において、推論を子どもが既知の科学概念や日常経験を活用して自然現象について考え、それを説明するという「科学的な思考・表現」についての能力を向上させていくために必要なものとして解釈するならば、子どもの推論を促進するための学習モデル構築の検討と、その評価する際の視点の明確化が求められている。

子どもの推論を促進するための学習モデル構築の検討と、その評価する際の視点の明確化を標榜する際には、子どもの自然事象に対する思考を外化させた表現に教師は注視することが必要となる。特に、子どもの自然事象に対する比喩的表現(メタファ・アナロジー・メンタルモデル等)は、子どもの自然事象理解を見極めるために注視すべきものの一つであるといえる。

自然事象理解における子どもの比喩的表現は、学習対象となる自然の事物・事象を説明するために、子どもが何か別の事物・事象に喩えて理解し説明することであり、これまでも義務教育諸学校の理科の教授・学習論に関する研究成果として、その有用性が報告されている(佐藤・森本、2004; 益田、2006; 斎藤ら、2010)。

このように、子どもの自然事象理解における比喩的表現の有用性は、理科教育学の研究成果として明らかにされつつあるが、学校現場の教師が、一見、稚拙とも感じてしまう子どもの比喩的表現が意味するところを十分に理解できていない現状があることにも留意が必要である。

自然科学においても、馬力(horsepower)や電気容量(electric capacity)のように、新奇の概念を取り入れるために、生活経験等に由来する既知の概念を導入したこともあり、その論理的な飛躍によって、科学者のみならず、科学を理解しようとする市民の科学的な思考を伸長させる契機を創り出したという事実も数多く存在する(ヘット&サットン、1994)。

そのため、子どもの比喩的表現を「科学的な思考・表現」の評価に活用するための知見を得ることと、それら进行评估するための指標の構築、さらには「科学的な思考・表現」を伸長させる授業方略を開発することが求められている。

2. 研究の目的

ジョナセン(Jonassen, D.H.)は意図的に概念変換を生じさせるためのモデル構築について論じた著作のなかで、学習者によるモデル構築が概念変換を駆動・支援し、概念変換の測定可能な証拠を提供することを指摘している。そして、ジョナセンは、その理論的根拠として、これまでの研究動向をふまえながら、有意味学習やメンタルモデルの構築を支援するモデル構築の概念的な理由を表1のように整理した(Jonassen, 2008)。

表1 モデルを構築するための概念的な理由

メンタルモデルの構築を手助けするモデルを構築するための概念的な理由(Jonassen, 2008)
未知の現象に遭遇した際には、学習者(人)はモデルを用いて、その未知の現象について自分なりに説明する理論を構築する。そして、その際のモデルの構築は、これまでに経験したある現象の個人的な解釈を通じた表現によってなされる。
モデルを構築することは、仮説の検証や推論をするための手助けとなり、学習者にも明確な因果関係による推論や最も科学的に妥当な推論を可能にするための根拠を求める。
モデルを構築することは、子どもがなすことのできる最も価値のある認知過程の一つであり、モデルを構築することで、子どもにとっても概念変換の必要性を自覚する。
モデルを構築することは、子どもが自ら考えたことを新たな創造物として外化する。そして、自らモデルを創造したという感覚(自己効力感)は、意味や知識を形作るために重要である。
創造したモデルを他と比較し評価することで、代替モデルの可能性を子どもは理解できる。また、モデル構築の活動そのものが対立するモデルの検証に役立つことを、子ども自身が理解できる。

上記のジョナセンの指摘は、子どもの科学的な思考や表現を評価する大切な指標であるにも関わらず、学校における理科学習場面において十分に検討されてきたとは、必ずしも言い難い。

そこで、本研究では、主に義務教育諸学校での理科授業場面で表出する子どもの比喩的表現(メタファ・アナロジー・メンタルモデル等)に着目し、上記のジョナセンのモデル構築に関する所論を援用しながら、授業場面での子どもの「科学的な思考・表現」を評価するための指標を明らかにすることと、子どもの「科学的な思考・表現」の能力を熟達させる具体的な授業方略開発のための知見を得ることを研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究に先行して実施した理科学習における類推的思考の役割に関する基礎的研究や、他の研究者による先行研究での比喩的表現の有用性に関する知見を念頭に置き、前出のジョナセンのモデル構築に関する所論を援用した子どもの比喩的表現からの「科学的な思考・表現」を評価する指標の構築を義務教育諸学校等での授業実践事例をふまえ、検討する。

#### (1) 研究実施概要（2013年度～2015年度）

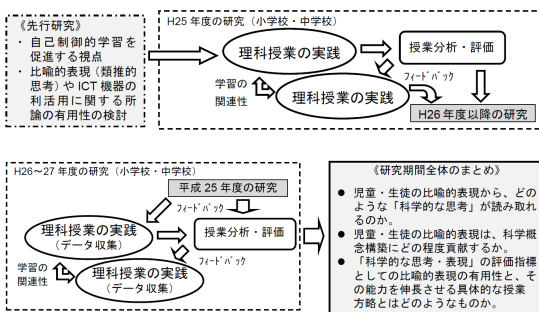
研究実施概要は、以下の通りである。

2013年度は小学校理科の「粒子」を学習の柱とする学習単元（「もののとけ方」）、また、小学校理科の「生命」を学習の柱とする学習単元と関連する小学校生活科での学習活動（「アサガオの栽培」）において子どもが表出させた比喩的表現から、子どもの「科学的な思考」の様態と科学概念構築における比喩的表現の役割を検証した。2014年度は、小学校の「エネルギー」を学習の柱とする学習単元（「電気の働き」）とそれらと関連のある高等学校物理基礎の学習単元（「様々な物理現象とエネルギーの利用」）において子どもが表出させた比喩的表現から、子どもの「科学的な思考」の様態と科学概念構築における比喩的表現の役割を検証した。

2015年度は、小学校理科の「粒子」を学習の柱とする学習単元（「ものと重さ」）において子どもが表出させた比喩的表現から、子どもの「科学的な思考」の様態と科学概念構築における比喩的表現の役割を検証した。

そして、研究期間全体を通じて、「科学的な思考・表現」の評価指標としての比喩的表現の有用性と支援についてまとめ、研究成果の学校現場への還元を試みた。

#### < 研究の構想図 >



#### (2) 子どもの比喩的表現を評価する視点

本研究では、初めに理科授業場面等で表出された子どもの比喩的表現を基に子どもの学習内容や科学概念に関する理解や解釈等を分析することとし、その後、表1のジョナセンの指摘を基にして作成した表2の「子どものモデル構築を評価する視点」から比喩的表現の意味等を検討することとした。

表2 子どものモデル構築を評価する視点

I	メタファ・アナロジー等の比喩的表現と、その類似性（表1： ）
II	モデル構築における根拠の提示（表1： ）
III	メタ認知的モニタリングと学習の進捗状況の調整への自覚（表1： ）
IV	作成したモデルに対する自信（表1： ）
V	他者のモデルの理解と作成したモデルの再検証（表1： ）

註）表中の丸数字は、表1のジョナセンの指摘との対応関係を表している。

### 4. 研究成果

研究期間全体の研究成果について、研究内容毎にまとめ、以下に列記することとする。

#### (1) 学習場面で表出した児童の比喩的表現の様態とその分析

小学校第5学年理科「もののとけ方」

子どもの考えを共有するためのツールとして、ICT機器が積極的に活用されつつある。そこで、本研究の初発では、子どもの持つ学習対象へのイメージを、モデル図を用いて表現しICT機器を利活用し共有することを目的の一つとして実践された理科授業から子どもの比喩的表現を分析することとした。

食塩水のなかに存在する食塩の状態を子ども自身が考えてみることから始めた「もののとけ方」の授業での予想の段階で、分析対象の学級の子どもは、ビーカーの底に食塩がたまる様子だけでなく、食塩を粒で表現し、ある程度均一に食塩が存在する様子が描いていた。しかし、子どもの記述内容からは、学習のレディネスとして粒子概念が保持されているのではなく、むしろ、液体の「つぶ」と解釈していることや、どのように存在しているのかの如何を問わず、入れる前の食塩の「つぶ」の状態から水中の様子を想起する等の子どもなりの理解の様態が示されていた。また、「とける」ことを説明するために子どもが構築したモデルと、そのモデルの根拠として挙げられた子どもの説明でも、「食べたら体内に取り込まれて見えなくなる」ことを根拠に塩が水に取り囲まれたと解釈し説明する子どもが少なからず存在することが、子どもの比喩的表現の分析から理解できた。

上記の子どもの理解や解釈等を、表2の「子どものモデル構築を評価する視点」に照らし合わせて評価すると、小学校段階の子どもにおいても、「メタファ・アナロジー等の比喩的表現と、その類似性」を検討しモデルを構築することや「モデル構築における根拠の提示」については、その能力の更なる熟達が見られるものの、意図を理解して行うことが可能であることが示された。

しかし、「メタ認知的モニタリングと学習の進捗状況の調整」を自覚的（自己調整的）に行うことや「作成したモデルに対する自

信」をもつことは、必ずしも容易ではないことも、同時に示された。そして、「他者のモデルの理解と作成したモデルの再検証」については、授業者である教師の支援が不可欠な状況であり、それらを行う意義を子ども自身が十分に理解して子ども自身が行うには、小学校段階では、更なる授業方略の検討と改善が必要なことも研究の結果として示された。

小学校第1学年生活科「アサガオの栽培」  
 小学校第1学年の生活科では、後の理科学習と密接な関連が想起できる植物の栽培に関する学習活動がある。そこで、「上級生が前年度に育てたアサガオの種子を譲り受け、その種子を土に植えて栽培し、次年度の新入生に託す」という生活科の「アサガオの栽培」についての学習活動のなかで、子どもが見出した気づきを質的に高める方略として、気づきについて比喩的表現を用いて表現させた。  
 生活科における観察すべき事物や事象への気づきを自由な発想に基づき比喩的に表現することで、アサガオの種子・双葉・花（蕾・花粉）の観察が、単なる見た目の形状の問題について述べる活動だけではなく、より深く対象を観察し、他者に気づきを表現していくことを促す活動となった。

そして、実際に気づきを説明する際に比喩的表現を用いたことにより、低学年の児童には説明が難しいと思われた花粉についても「花が咲くための粉」のように表現し、自身の考えを説明することが可能になった。また、子ども同士が共有可能なベース経験を用いて他者に気づきを表現し合う土壌が醸成される等、後の理科授業において、科学的な思考・表現を育成していくための話し合い（討論）に対する態度も形成されつつあった。

小学校第4学年理科「電池の働き」  
 小学校第4学年の理科学習では、子どもが使用する教科書においても、学習対象に対する自分の考えを、モデル図（イメージ図）を活用して表現する学習活動が見られる。そこで、本研究では、小学校第4学年の理科学習においてモデル図を活用することの多い「電気の働き」や「空気と水の性質」等の学習単元のうちの「電気の働き」に着目し、子どもの電気概念形成を促進させる比喩的表現についての知見を得るために、子どものモデル図にある表現を分析することとした。

ワークシートにおける描画や記述内容の分析の結果、以下のことが示された。

- 電流の向きを考えるとときは「流れ」のモデル図を用い、電流による作用（動き・点灯）を考えるとときは「粒」のモデル図を用いるというように、子どもは学習問題に呼応して説明のためのモデルを変化させること。
- 電流の流れるしくみを解釈する際には、「回る」という考えを用い、「変化する」「衝突する」という考えを用いることは少ないこと。

- 電流（電気の流れ）を粒的に表現していた子どもが、必ずしも「粒の数」で電流の大きさを表現していないこと（速さ・強さ）。
- 子どもが電流を説明するためのモデル図で表現している「粒」は自由電子のような粒子ではなく、電流の大小関係を表現する手段として粒を用いていること。
- 2個の電池の並列つなぎで回路全体に流れる電流値と1個の電池で同様の回路を作った際に回路全体に流れる電流値が同じであることについては、現象自体の理解はできても、概念的に理解するのは困難なため、子どもの電流モデルにおいては限界もあること。

子どもの比喩的表現には日常知の考えを利用した科学的に誤りのあるモデルも、当然存在した。そのため、この事例の分析からも、前出の表2の「他者のモデルの理解と作成したモデルの再検証」の必要性、つまり、子ども自身が他者と考えを共有する場面や教師の学習支援の場面の必要性が改めて認識できた。さらに、「教師が子どものモデルの発展の可能性を見出し、子どもの考えを読み解くことが重要であること」に対する教師（研究協力者）自身の理解も深まった。

#### 小学校第3学年理科「ものと重さ」

これまでの研究の成果や課題から、「子どもが自分の考えを表現するためにモデルを活用し、それらを披瀝しながら学習を進めていくこと」の重要性が示されていたため、それらを授業展開の中心に据えた授業をデザインし、その有効性を検証することとした。

さらに、子どもの物質概念の形成過程に関する知見を得るために、物質概念形成の初発となる小学校第3学年理科の「ものと重さ」の学習単元を分析対象として、子どものモデルの発展の可能性を検討することとした。

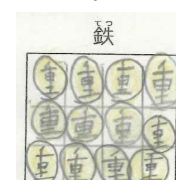
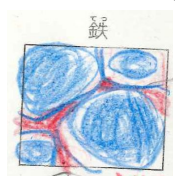

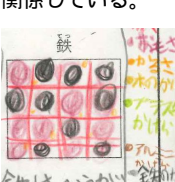
<p>&lt;A 重さの粒&gt; 物の重さは、物体の中にある「重さの粒」が関係している。</p> 	<p>&lt;B 重さと軽さ&gt; 物の重さは、物体の中にある「重さと軽さの割合」が関係している。</p> 
<p>&lt;C 材料&gt; 物の重さは、「材料の違い」が関係している。</p> 	<p>&lt;D BとCの混合型&gt; 物の重さは、「重さと軽さの割合」と「材料の違い」が関係している。</p> 

図1 学級で共有された物質概念とモデル（予想）

これまでと同様に子どものモデルを分析した結果、図1に示したように、物質による重さの違いを説明するための根拠として、物質の材質の違いに言及するだけでなく、「物質にある重さの粒の存在とその数の違い」や「物質内の軽重のある領域の存在とその割合の違い」等の考えについてモデル(イメージ図)を活用し表現できることが改めて示された。また、図1の予想を活用した授業では、子どもが子ども自身の発想で、「物質の内部を格子型に分けて、その中に自分の考えを基にした説明のための『粒』を取り入れる」等の、後に学習する密度概念の萌芽ともいえるべき考えをもつことが明らかとなった。

### (2) 学習場面で表出した生徒や学生の比喩的表現に関する分析

前出の表2のⅠ～Ⅴの観点についての知見を得るために、高等学校物理基礎での電気回路における合成抵抗概念の構築過程での子どもが理解を説明するために活用したモデルを、モデル活用の意味の観点から精査した。その結果、高校生のモデル活用の意味は、これまでの学習過程を振り返り、学習で得た情報を適用し、他者に向けて自分の理解の状況を発信していることに他ならないことが示された。また、大学生に実施した質問紙調査からは、モデルの設定に関する条件を考慮することが、自らの科学概念を更新する契機となることに気づくことが改めて示された。

### (3) 研究のまとめ

期間全体を通じて実施した研究の成果は、以下の通りである。

小学校段階の子どもにおいても、メタファ・アナロジー等の比喩的表現とその類似性を検討し、モデルを構築することは可能である。そして、子どものモデル構築における根拠の提示についても、子どもが意図を理解して行うことがある程度は可能である。

学習者は、自らが構築したモデルと他者のモデルを比較し評価(理解)したり、モデルの設定に関する条件を考えたりすることで、自らの科学概念を更新する必要性に気づくことが改めて示された。

上述のように、理科学習の初発の段階である小学校理科の学習においても、子どもが学習すべき対象や現象を理解したり解釈したりするために用いる比喩的表現を「何と何が類似しているのか(同じとしてよいのか)」のような比喩的表現における類似性と、「どうして、そのように考えてよいのか」という根拠を見出し、他者の説明等と比較し、自分の考えを振り返る学習活動は、子どもの「科学的な思考・表現」を熟達させる一助となりうることを示された。

また、本研究の授業実践からは、以下のような子どもの「粒」を用いた比喩的表現における特徴も見出された。

- 子どもが電気回路中に表現することの多い「電気」の粒」や物質のもとになる「粒」について、小学生は、電流や重さの大小関係を表現する手段として、便宜的に「粒」を用いている。また、学習対象である事象そのものは理解できても、その解釈に必要な情報の不足により概念的に理解することが困難な現象については、比喩的表現を用いたとしても、考えの表現に限界が生じてしまう。

上記のような子どもの特徴等をさらに蓄積していくことも、前出の表2の評価の視点をふまえた「科学的な思考・表現」を評価する指標を構築するうえで重要であることが再認識できた。

本研究の当初の研究計画では、義務教育課程の理科学習全般について、子どもの比喩的表現からの「科学的な思考・表現」を評価する指標の構築を目指していたが、中学校理科での収集したデータが量的に不十分であったために、研究期間内にそれらを精査し十分に検討するには至らなかった。

今後も研究を継続し、義務教育課程の理科学習全般について、「科学的な思考・表現」の評価指標の構築を図りたい。

### <引用・参考文献>

佐藤寛之、森本信也、理科学習における類推的思考の意味と意義に関する考察、理科教育学研究、45(2)、2004、29-36

益田裕充、水流モデルから電流回路を類推する理科授業に関する研究、理科教育学研究、47(2)、2006、41-49

齋藤裕一郎、黒田篤志、森本信也、科学概念構築の自覚性と随意性を促すメタファーの機能、理科教育学研究、51(1)、2010、63-73

ヘット、J.O.、サットン、C.R.、言語・理解・コミットメント、認知構造と概念転換(ウエスト、L.H.T&パインズ、A.O編著 進藤公男 監訳)、東洋館出版社、1994、116-128

Jonassen、D.H.、Model building for Conceptual change in S.Vosniadou(Ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*、NewYork:Routledge、2008、676-693

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

松尾健一、樋口麻美、佐藤寛之、モデル作成と更新にみる子どもの物質概念の萌芽に関する考察、日本科学教育学会研究会研究報告、査読無、30(4)、2016、15-18

佐藤寛之、松森靖夫、森田浩一、微小生物に対する小学校教員志望学生の認識状態の分析:小学校理科教科書に掲載されてい

る微小生物の体長を中心にして、生物教育、  
査読有、57(1)、2016、印刷中  
豊田光乃、小野瀬倫也、佐藤寛之、自己調整学習を志向した物理基礎における授業開発の試み:合成抵抗概念の構築過程を事例として、日本科学教育学会誌、査読有、39(3)、2016、印刷中  
佐藤寛之、小野瀬倫也、村澤千晴、理科学習での情報を結合するための比喩的表現に関する考察:小学校理科「もののとけ方」での子どもの理解、佐賀大学教育実践研究、査読無、30、2014、7-16  
松尾健一、佐藤寛之、森本信也、生活科の子どもの気づきの表現と理解の関係に関する考察、佐賀大学教育実践研究、査読無、30、2014、27-36  
佐藤寛之、田中千恵子、平方彰弘、子どもが受容すべき情報の質の検討を理科学習で促すための理論と実践:子ども自身による学習の進捗状況の把握と調整に向けて、理科の教育、査読無、62(734)、2013、622-625

[学会発表](計11件)

松尾健一、樋口麻美、佐藤寛之、モデル作成と更新にみる子どもの物質概念の萌芽に関する考察、平成27年度第4回日本科学教育学会研究会、2016年2月20日、山梨大学(山梨県・甲府市)  
佐藤寛之、松尾健一、荒木麻衣佳、子どもの電気概念形成を促進させる比喩的表現に関する考察、日本理科教育学会第65回全国大会、2015年8月1日、京都教育大学(京都府・京都市)  
豊田光乃、小野瀬倫也、佐藤寛之、子どもの電流概念の拡大・修正を志向した授業デザインの検討:「合成抵抗」の認識調査を基にして、日本教科教育学会第40回全国大会、2014年10月12日、兵庫教育大学(兵庫県・神戸市)  
松尾健一、佐藤寛之、モデル作成と更新による子どもの電流概念の形成過程に関する考察、日本理科教育学会第64回全国大会、2014年8月23日、愛媛大学(愛媛県・松山市)  
豊田光乃、小野瀬倫也、佐藤寛之、エネルギー概念の習得を促す教授スキームの精緻化:高等学校物理基礎におけるICT利活用の導入計画、日本理科教育学会第64回全国大会、2014年8月23日、愛媛大学(愛媛県・松山市)  
廣上倫介、小野瀬倫也、佐藤寛之、ICT利活用による情報の共有化と科学概念保持に関する考察(1)、日本理科教育学会第64回全国大会、2014年8月23日、愛媛大学(愛媛県・松山市)  
佐藤寛之、小野瀬倫也、廣上倫介、ICT利活用による情報の共有化と科学概念保持に関する考察(2)、日本理科教育学会第64回全国大会、2014年8月23日、愛媛大

学(愛媛県・松山市)  
豊田光乃、小野瀬倫也、佐藤寛之、理科学習における子どもの自己調整学習の具現化、日本教科教育学会第39回全国大会、2013年11月24日、岡山大学(岡山県・岡山市)  
村澤千晴、小野瀬倫也、佐藤寛之、千野健一、子どもの考えの明確化を志向した理科授業:ICTの利活用を通して、日本理科教育学会第52回関東支部大会、2013年11月9日、筑波大学(茨城県・つくば市)  
佐藤寛之、小野瀬倫也、村澤千晴、子どものモデル構築場面での方略実行結果のモニタリング:小学校理科「もののとけ方」における情報を結合するための比喩的表現から、日本理科教育学会第63回全国大会、2013年8月11日、北海道大学(北海道・札幌市)  
佐藤寛之、小野瀬倫也、森本信也、モデル構築場面での受容すべき情報の質の検討に関する研究:中学校理科「水の電気分解」におけるICT機器を活用したモデル構築場面から、平成25年度日本理科教育学会九州支部大会、2013年5月18日、長崎大学(長崎県・長崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 寛之 (SATO, Hiroyuki)  
山梨大学・総合研究部・准教授  
研究者番号: 30452832

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

小野瀬 倫也 (ONOSE, Rinnya)  
国士舘大学・文学部・教授  
研究者番号: 00609761

(4) 研究協力者

田中 千恵子 (TANAKA, Chieko)  
佐賀県東部教育事務所・指導主事

豊田 光乃 (TOYODA, Mitsuno)  
東京都立白鷗高等学校附属中学校・教諭

村澤 千晴 (MURASAWA, Chiharu)  
横須賀市立豊島小学校・教諭

松尾 健一 (MATSUO, Kenichi)  
横浜市立瀬谷さくら小学校・教諭

平方 章弘 (HIRAKATA, Akihiro)  
唐津市立浜玉中学校・教諭

樋口 麻美 (HIGUCHI, Asami)  
横浜市立瀬谷さくら小学校・教諭