

科学的な見方や考え方を深める理科の授業 — 子どもの考えの競合を起こす話し合いを通して —

愛知教育大学附属名古屋中学校 長谷川悟, 加藤亮太, 原口茂樹, 佐々木剛

1 はじめに

平成20年3月に新しい学習指導要領が告示された。総則が示す教育内容に関する改善事項の一つとして、理数教育の充実とともに言語活動の充実などいくつかが挙げられた。特に、言語活動の充実に関しては主な改善事項の一番最初に挙げられており、思考力、判断力、表現力といった能力の基盤となるのは言語の能力であるとしている。また、理科の改訂にあたっての基本的な考え方の中に、「目的意識をもって観察、実験などを行うことについては従前のものを継承し、その上で、観察、実験の結果を分析して解釈する能力や、導き出した自らの考えを表現する能力の育成に重点を置く。このことは、言語力の育成という教科横断の改善点とも関係している」¹⁾とある。

我々はこれまでに行ってきた、子どもたちが書いたり話したりする活動、すなわち理科における言語活動とは何かを考えた。そして、言語活動で重視すべき点として、スイスの言語学者ソシュールが述べている次の文章に注目した。「単語が意味するものは、私たちをとりまく世界を構成する事物を何らかの基準で切り分けた結果（中略）例えば、「ネコ」という単語は（中略）この単語が意味することができるモノは一つ（一匹）だけではなく、ネコであればどれでも構いません。（中略）単語の意味を知っているということは、その単語が表す事物の集合の性質を知っているということです。」²⁾すなわち、言葉とは概念そのものであり、認識に先立って言葉を知っておかなければ、たとえ「ネコ」を観察したとしても、それが「ネコ」であると認識することはできないということである。

また、理科の授業における観察、実験の結果は客観的な事実としてすべての子どもに同じように受け入れられることは、これまで多くの教師に支持されてきた。しかし、我々は次のような場面に着目した。例えば、「質量の異なる二つの物体を同時に落とす実験」を観察させると、「質量の大きな方が早く地面に落ちる」と考えている子どもは、同時に着地する様子を観察した後でも「もっと正確に測定すれば、質量の大きな方が早く地面に落ちている」と考え、自らの考えを変えようとしなかったり、変えられなかったりすることがしばしば見られた。このような場面は他にも多くあり、質量の測定を伴う実験などの誤差を含む観察、実験ではより顕著となる。観察、実験が客観性をもつものならば、観察、実験に参加したすべての子どもがその結果を受け入れ、前述のようなことは起こらないはずである。このことについて、アメリカの科学哲学者ハンソンは、観察の理論負荷性といっており、「すでに認識する側が持っている見方や考え方（理論）によって、自然事象に対する解釈が影響を受ける」³⁾と述べている。すなわち、観察、実験は必ずしも客観性をもっておらず、観察、実験の結果は子どもによって解釈され、内面に構成されるものであると考えられる。したがって、同じ観察、実験を行わせても、子どもによっては誤概念が形成されてしまうこともあり得る。だからこそ、子どもの考えを話し合いによって競合させ、自分とは異なる考えの存在に気付かせ、自分の考えを話し合いによって見直させる必要がある。なお、子ども（自分）の考えとは、課題に対する予想とその理由のことである。

これらのことから、子どもがより科学的な概念を形成するためには、子ども同士の考えを競合させることが必要であり、考えの競合をさせるためには、自分の考えを書いたり話したりさせる必要があると考えた。

2 理科で目指す子ども像

我々は、理科の授業を通して、次のような子どもを育てたいと考えている。

より科学的な概念を形成することを通して、科学的な見方や考え方を深めることのできる子ども

「科学的な見方や考え方」とは、次の五つを踏まえた見方や考え方であるとした。

- ・より広い範囲の事物・現象を説明することができる。
- ・首尾一貫性を備えている。
- ・他の理論と互いに矛盾しない調和性を備えている。
- ・単純な文や数式で表現することが可能である。
- ・これまでの理論に比べて有用と考えられる。

さらに「科学的な見方や考え方を深める」とは、理科の学習を通して、これまでの見方や考え方が科学的な見方や考え方と合致していることを自覚し、これまでの見方や考え方に対する自信を強めることや、これまでの見方や考え方がより科学的な見方や考え方に変容することを指している。この「科学的な見方や考え方を深める」ことが、すなわち「自然」とかわり合うことであるとする。

しかしながら、科学的な見方や考え方は子ども一人一人の中に内在しているものであり、正確に評価することができないものであるとする。そこで、我々は、より科学的な概念の形成を目指すことで、子どもたちの科学的な見方や考え方を深めていきたいとする。なお、科学的な見方や考え方を深めていくことは、より科学的な概念の形成につながると考える。

3 育みたい資質や能力

理科で目指す子どもを育てるためには、以下の資質や能力を育む必要がある。

自分のもつ科学的な概念の状況とその変容を文章に表す能力

概念とは知識の体系である。したがって、日常の生活経験及び既習の知識同士がどのように関係付けられ、意味付けられているかは概念そのものであるとする。そこで我々は、日常の経験及び既習の知識を関係付けるとともに意味付けることによって、より科学的な概念を形成することができるようになる。その上で、自分のもつ科学的な概念の状況とその変容をメタ認知させる、すなわち何が分かって何が分かっていないのかを明示的に捉えることができるようにさせたい。なお、自分のもつ科学的な概念、すなわち日常の生活経験及び既習の知識を関係付けるとともに意味付けようとする態度を喚起しつつ、上記の能力を育てていく必要があることは言うまでもない。

4 研究の内容

理科で育みたい資質や能力を育むために四つの手だてを講じる。また、育みたい資質や能力がどの程度育まれたかを見取るための評価を行う。

(1) 育みたい資質や能力を育むための手だて

ア より科学的な概念の形成を促す学習活動の構成に関する手だて

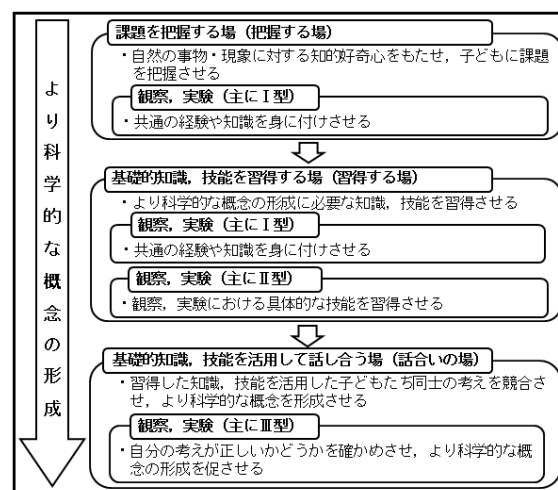
子どもたちのより科学的な概念の形成を促すために三つの場を設定した。始めの「課題を把握する場（把握する場）」は、子どもたちに学習課題を把握させるために設定する。ここでは子どもたちの知的好奇心を刺激することができるよう課題やその提示方法を工夫する。

次の「基礎的知識、技能を習得する場（習得する場）」は、より科学的な概念の形成に必要な知識や技能を習得させるために設定する。ここでは、その単元において必要とされる知識や技能を確実に習得させることができるような指導を行う。

次の「基礎的知識、技能を活用して話し合う場（話し合いの場）」は、主に子どもたちの考えの競合を起すための話し合いをさせるために設定する。話し合いには次の二つの働きがあるとする。一つは、自らの考えを書いたり話したりすることによって起こる考えの精緻化という働きである。授業では、小集団による話し合いを行わせる。この話し合いでは、主に、自分の考えを書いたり話したりすることによる自らの考えの精緻化を目指す。そのため、当然であるが考えを一つにまとめて合

意形成を図る必要はない。もう一つは、書いたり話したりしたことを基にした他者とのやりとりの中で、子どもたちの考えの競合を引き起こす働きである。授業では、学級全体による話し合いを行わせる。この話し合いでは、主に、考えの競合を引き起こすことを目指すため、自分の考えのうち、理由が明確でなくても予想は決めさせ、話し合いにおける相違点を明確にさせる。そして、学級全体による話し合いの過程では、現在の自分の考えを見直させる機会を設ける。なお、単元の前半においては、「把握する場」と「習得する場」の二つで節を構成することもある。

また、それぞれの場で行われる観察、実験には、その目的によって以下に示す三つの類型に分類することで、観察、実験一つ一つの目的を明確にする。



I 型：「子どもに共通の経験や知識を身に付けさせるための観察、実験」（演示実験の場合もある）

- ・単元及び節の導入時などに行うことが多い。
- ・意図的に共通の経験や知識を身に付けさせることで、「話し合いの場」で行われる話し合いの土台とするために行う。
- ・先行オーガナイザーを与えた上で行う有意味受容型の学習となる。

II 型：「観察、実験に関する具体的な技能の習得させるための観察、実験」（生徒実験）

- ・低学年や単元及び節の導入時などに行うことが多い。
- ・その単元で必要とされる具体的な技能習得のために行う。

III 型：「より科学的な概念を促すための観察、実験」（演示実験の場合もある）

- ・単元及び節の中核及び終末にかけて行うことが多い。
- ・日常の経験及び既習の知識を基にした自分の考えが正しいかどうかを確かめさせるために行う。
- ・この観察、実験は、理論負荷性がきわめて強く出するため、事前に子どもたちの考えの競合を起こすための話し合いが必要である。
- ・この観察、実験は、自分の考えをもってから観察、実験に臨む学習（仮説演繹学習）の中核をなしている。

イ 単元全体を通してより科学的な概念を形成させるための手だて

各単元においてより科学的な概念を形成させるために、各単元の学習内容にかかわる最も基本となる概念を「単元の中核となる概念」として設定し、それを先行オーガナイザーとして与える。そして、それぞれの学習課題で扱う事物・現象を、常に「単元の中核となる概念」を基に考えさせ続ける。このことにより、子どもたちは日常の生活経験やこれまでに学習した知識、単元内で新たに学習した知識を関係付けるとともに意味付けることができ、より科学的な概念を形成させることができると考える。

ウ 各単元の学習前、学習後の概念の変容をとらえるとともに、その変容を子ども自身に自覚させるための手だて

科学的な見方や考え方を深めさせるためには、子どもたちの概念がどのように形成されており、またどのような誤概念をもっているのかを教師が把握する必要がある。そこで、単元の学習前に、子どもたちに概念マップを描かせることで概念の状況をとらえる。これを単元の学習前における評価として用いる。また、単元の最後に、子どもたちに概念マップを描かせ、単元の学習前に描いた概念マップと比較することで概念の状況とその変容を把握する。これを単元の学習後における評価として用いる。なお、学習内容が多い単元については、単元の中盤においても子どもたちに概念マップを描かせ、単元の学習前に描かせた概念マップと比較することで概念の状況とその変容を把握する。このように、単元の学習前後の概念マップを比較することにより、育みたい資質や能力の高まりを教師が評価することができる。と考える。

また、この概念マップ同士の比較は子どもたち自身にも行わせる。そして、自分の概念がどのように変容したかを自分自身でとらえさせ、どのように変容したかを文章にまとめさせる。こうしたことにより、自分の概念の状況とその変容をメタ認知させることができる。すなわち、子どもは自分は何が分かっていて何が分かっていないのかを明示的にとらえることができ、その後の概念形成がより強く促されると考える。

エ 各単元の学習を俯瞰^{ふかん}したり振り返ったりすることで、形成した概念に対する確証を強めさせるための手だて

単元の学習が進むにしたがって、自分もっていた概念がより科学的な概念に形成し直されたことを確証を強めさせるために、単元を通して用いる一連のシートを活用する。そして、各課題の学習を終えるごとに、一連のシートに分かったことを図表と文章で記述させる。このとき、単元の中核となる概念を基にした図表と文章を書くように指示する。あわせて、前回までに記述した図表と文章を振り返りながら記述するように指示をする。これにより、自分の図表や文章がより科学的なものに変化していく様子を俯瞰したり振り返ったりすることができると考える。例えば、ある単元の学習において、誤概念を基にした説明をしようとする、ある時点まではすべての課題を一貫して説明できたとしても、ある課題以降では説明できなくなることに気付くものと思われる。このときにはこれまでの考えに自信を失い、新しい考えへの変更に対する強い動機付けとなると考える。逆に、単元の学習が進んでも一貫して同じ説明が維持できるのであれば、現在の自分の考えにより自信をもち、形成された概念への確証を強めさせることができるものと考えられる。

(2) 資質や能力がどの程度育まれたかの評価について

概念マップにおいて、単元の中核となる概念に関する概念ラベルを「重要概念ラベル」として位置付ける。そして、この「重要概念ラベル」と線で結ぶとともにリンクワードの記述をする、すなわち関係付けるとともに意味付けがなされた他の概念ラベルの個数を測定し、単元の学習前後で比較する。比較は、学級全員の個数の平均値で行う。これにより、日常生活経験及び既習の知識を関係付けるとともに意味付けることがどの程度できたかどうかを定量的に評価していく。なお、学習内容が多い単元については、単元の中盤においても子どもたちに概念マップを描かせ、単元の学習前、中盤、学習後で比較する。また、一つ一つのリンクワードの内容やそれぞれの授業における科学的な概念の状況とその変容がどのような文章に表されているかを捉えるために抽出生徒を数人設定し、それぞれの抽出生徒の概念マップやワークシートへの記述や授業中の発言などを中心に見取り、日常生活経験及び既習の知識を関係付けるとともに意味付けすることがどのようになされたのかを明らかにしていく。これらの評価を行うことによって、育みたい資質や能力がどの程度育まれたかを評価するとともに、手だての改善などに役立てていく。

また、単元の学習前とそれぞれの節の学習後に、子どもたちに「単元の中核となる概念」にかかわる用語などに続く文章を完成させ、完成させた文章を評価尺度に照らして数値化し、その数値の変化を概念マップや子どもたちの学習の様子から分析する。

5 実践例：単元「生物のつながり」（第3学年）

(1) 単元構成の意図

本単元では、子どもたちに生物のつながりに関する観察、実験を行わせることで、細胞分裂、生殖、遺伝、食物連鎖、土の中の世界、生物と物質循環についての科学的な概念を形成させていく。そのためには、「生物の連続性に関する概念」「自然界のつり合いに関する概念」を単元の中核となる概念とし、それぞれの事物・現象を単元の中核となる概念を基に考察することができるよう単元を構成する。そして、これらの活動を基に、生物のつながりに対する科学的な見方や考え方を深めていくことをねらいとする。

本単元の学習では、先行オーガナイザーとして「生物は、親から子へと新しい個体を生ずる」という「生物の連続性に関する概念」と、「生物は、食べたり食べられたりという関係だけではなく、生物をとりまく環境とも密接なつながりをもっている」という「自然界のつり合いに関する概念」を単元の中核となる概念として与え、この概念を基に常に考えさせ続けるようにする。そして、各節の最後に、「生物シート」に分かったことを図表と文章で記述させる。そうすることで、より科学的な概念の形成を促すことができると考える。

また、単元の学習前と節の学習後に、「生物の連続性とは、」「自然界のつり合いとは、」の後に続く文章を書かせていく。そして、単元の学習後には、「生物の連続性とは、」と「自然界のつり合いとは、」に続く文章が、それぞれ文章分析評価尺度の3点に触れた文章となるようにする。

(2) 抽出生徒の設定について

次のようなことから、学級全体で比較的多く見られ、「育みたい資質や能力」を基に「遺伝子」と「循環」についての科学的な概念が十分に形成されていない子どもを選び、抽出生徒（生徒A）を設定した。

① 単元の学習前の概念マップの評価

ア 学級全体の様子

単元の学習前に「生物のつながり」についての概念マップを描かせた。「遺伝子」と「循環」を重要概念ラベルと位置付け、重要概念ラベルと関係付けるとともに意味付けがなされた他の概念ラベルの個数を測定した。多くの子どもが「動物」と「植物」という概念ラベルを関係付けたり、関係付けるとともに意味付けたりしている。重要概念ラベルの「遺伝子」は、多くの子どもが「遺伝」という概念ラベルと関係付けたり、関係付けるとともに意味付けたりしている。リンクワードの記述から、遺伝子は生物の遺伝の情報を担う重要な因子であるということを理解していることが伺えるが、他の概念ラベルとのつながりは十分ではない。また、重要概念ラベルの「循環」は「動物」「酸素」「二酸化炭素」といった概念ラベルと関係付けたり、関係付けるとともに意味付けたりしている子どももいた。リンクワードの記述から、動物は、呼吸によって酸素と二酸化炭素を循環させていることを理解していることが伺えるが、他の概念ラベルとのつながりは十分ではない。この結果から「遺伝子」と「循環」についての科学的な概念は十分に形成されていないものとする。

イ 生徒Aの実態

生徒Aが作成した概念マップでは、「遺伝子」に関係付けるとともに意味付けがなされたのは2個、「循環」になされたのは0個であった。具体的には、「遺伝子」を「優性」と「劣性」に関係付けるとともに意味付けている。リンクワードには「種類」と記述している。このことについて、生徒Aに話を聞くと、「優性と劣性は遺伝子の種類である」と答えた。これらのことから、「遺伝子」と「循環」についての科学的な概念は十分に形成されていないものとする。

② 単元の学習前の文章分析法の評価

ア 学級全体の様子

単元の学習前に「生物の連続性とは、」「自然界のつり合いとは、」に続く文章を完成させるように指示した。そして、子どもたちが完成させた文章を以下の評価尺度に照らし、一つの文章が書けているごとに1ポイントを加算することにより一人一人を数値化して評価した。

○ 「生物の連続性」

- a 生物の連続性とは、細胞分裂によって新しい細胞を増やすことである。
- b 生物の連続性とは、生殖によって同じ種類の新しい個体を生ずることである。
- c 生物の連続性とは、新しい個体が親の遺伝子を受け継ぐことであり、優性の遺伝子と劣性の遺伝子が共存した場合、優性の形質が表れることである。

○ 「自然界のつり合い」

- d 自然界のつり合いとは、生物は互いに食べる、食べられるの関係でつながっていることである。
- e 自然界のつり合いとは、分解者の働きによって有機物が無機物に分解されることである。
- f 自然界のつり合いとは、物質が食物連鎖や分解によって生物間を移動し、自然の中を循環することである。

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「生物の連続性」に関しては、「b」について記述できた子どもはいたが、「a」「c」については全く記述することができていなかった。「自然界のつり合い」に関しては、「d」「e」について記述する子どもはいたが、「f」については全く記述することができていなかった。

イ 生徒Aの実態

生徒Aは、「生物の連続性とは、生命の誕生が何回も続いている。」「自然界のつり合いとは、生命の誕生と食物連鎖が関係ある。」と記述している。それぞれの評価尺度に照らし合わせた結果、それぞれ評価尺度に合った文章が一つも書けていない。したがって、「生物の連続性」に関して0

ポイント, 「自然界のつり合い」に関して0ポイントと評価した。

(3) 授業実践

① 第1節(1～5時)「細胞分裂」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

先行オーガナイザーとして「生物の連続性に関する概念」と「自然界のつり合いに関する概念」を単元の中核となる概念として与え、はじめに、細胞分裂の様子について観察させ、核の中には遺伝情報をもつ染色体があること、細胞分裂の過程でそれぞれの染色体が複製されることについて習得させた。その上で話し合いの場において、からだの成長と細胞分裂の関係について説明させた。

「からだの成長と細胞分裂にはどのような関係があるだろうか」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。ある子どもから「細胞分裂によって生物の細胞の数がどんどん増えるから、生物のからだは成長する」という考えが出された。その考えに対して、他の子どもから「細胞分裂によって細胞の数が増えるだけでは細胞の大きさが小さくなるだけで全体の大きさは変わらない。分裂した細胞の大きさが元の大きさに戻るから、生物のからだは成長する」という考えが出された。生徒Aは「細胞分裂が活発に行われて細胞が増え続けているので、からだは成長する」という考えを記述していた。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「細胞分裂によって細胞の数が増え、分裂した細胞が元の大きさに戻るから生物のからだは成長する」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「a」について記述できるようになった子どもが増加した。

生徒Aは、「生物の連続性とは、細胞が分裂して数が増える細胞分裂のように、生命の誕生させ続けるということ。」と記述している。「a」について記述できている。したがって、1ポイントと評価した。

② 第2節(6～9時)「生殖」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

はじめに、無性生殖と有性生殖における染色体の受け継がれ方について習得させた。その上で話し合いの場において、二つの生殖方法の違いとそれぞれの生殖方法の長所と短所について説明させた。

「二つの生殖方法の長所と短所は何だろうか」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。ある子どもから「有性生殖には2種類の生殖細胞が必要なため、効率が悪く子孫が残しにくい」という考えが出された。その考えに対して、他の子どもから「植物は、同じ花の花粉が柱頭に付けばできるので、効率は悪くない」という考えが出された。生徒Aからは「無性生殖は有性生殖と違って、受精しなくても一つの細胞が分かれて生殖していくので、子孫が残しやすい」という考えが出された。また、他の子どもから「有性生殖はそれぞれの生殖細胞が受精をするので、子孫はよいところを受け継いで環境に適応しやすい」という考えが出された。さらに、他の子どもから「無性生殖は短い時間で生殖することができるが、有性生殖は発生に時間がかかる」という考えが出された。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「有性生殖は、受精をするので、子孫はその生物の良いところを受け継いで生殖することができ、無性生殖は、一つの細胞が分かれて生殖していくので、短い時間で生殖することができ、子孫が残しやすい」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「b」について記述できるようになった子どもが増加したが「a」について記述できた子どもがやや減少した。

生徒Aは、「生物の連続性とは、生物が新しい生物を誕生させることで、誕生させるために生殖を行う。無性生殖は一つの細胞が細胞分裂を行って数を増やしていく方法で、有性生殖は受精卵が細胞分裂を行って数を増やす方法である。細胞分裂は、生物が成長するうえで重要な活動である。」と記述している。「a」と「b」について記述できている。したがって、2ポイントと評価した。

③ 第3節 (10～15時) 「遺伝」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

はじめに、生物は新しい個体を生ずるとき、親の遺伝子を受け継ぐこと、ヘテロ接合型同士のかけ合わせでは優性と劣性の形質の比が3対1で表れることについて習得させた。その上で話し合いの場において、湿った耳あかの形質をもつ両親から、乾いた耳あかの形質をもつ子どもが生まれることはあるかについて説明させた。ヒトの耳あかの形質も遺伝子が関係していることを伝えて、自分がどちらの形質であるか確認し、乾いた耳あかの形質の方が多いことを確認した。(日本人は乾いた耳あかの形質が多いと言われている。)そこで、ヒトの耳あかの形質の優性、劣性を示していない状況で、乾いた耳あかの形質を伝える遺伝子の記号をD、湿った耳あかの形質を伝える遺伝子の記号をWとして、「湿った耳あかの形質をもつ両親から、乾いた耳あかの形質をもつ子どもが生まれることはあるだろうか」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。ある子どもから「乾いた耳あかの形質を優性と考えて、湿った耳あかの形質をもつ両親から、乾いた耳あかの子どもは生まれない」という考えが出された。その考えに対して他の子どもから「湿った耳あかの形質を優性にして考えると、WD同士の組み合わせならばDDの子どもができるので乾いた耳あかの形質をもつ子どもは生まれる」という考えが出された。生徒Aから「どちらの形質が優性かは分からないけれど、このように(乾いた耳あかの形質を優性)と考えるとないとはいえない」という考えが出された。その考えに対して、さらに他の子どもから「その考えだとWDは乾いた耳あかの形質をもつ親になってしまうけれど、このように考えると、湿った耳あかの形質と乾いた耳あかの形質で、どちらが優性かで結果は変わってくる」という考えが出された。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「湿った耳あかの形質を優性ならば、WDの両親から乾いた耳あかの形質をもつ子どもは生まれる」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「b」について記述できた子どもは多いが「a」について記述できた子どもは少ないままであった。「c」については遺伝子について記述することができていたが、優性の法則まで記述できなかった子どもが多かった。

生徒Aは、「生物の連続性とは、生物が体内にもっている細胞が細胞分裂を行って、新しい細胞を生み出し、からだを成長させる働きがある。そして、新しい生命を生み出す時は、染色体に含まれる遺伝子が絡み合うことで新しい遺伝子の子へおくる働きがある。」と記述している。「a」「c」について記述できている。したがって、2ポイントと評価した。

ウ 概念マップについて

第3節の終了後に「生物のつながり」についての概念マップを描かせた。「遺伝子」については単元の学習前に比べて、関係付けるとともに意味付けることができた個数が増えているが、「循環」については変化がないことが分かる。これらのことから、「遺伝子」についての科学的な概念は形成されたが、「循環」についての科学的な概念は十分に形成されていないものとする。

生徒Aが作成した概念マップでは、「遺伝子」に関係付けるとともに意味付けがなされたのは3個、「循環」に関係付けるとともに意味付けがなされたのは0個であった。具体的には、「遺伝子」を「有性生殖」と「精子」「卵」に関係付けるとともに意味付けている。「有性生殖」のリンクワードには「するために必要なもの」と、「精子」と「卵」のリンクワードには「遺伝子の種類」と記述している。このことについて、生徒Aに話を聞くと、「遺伝子是有性生殖をするために必要なもの」「精子と卵の遺伝子の種類は違う」「光合成によって植物が、酸素や二酸化炭素、有機物を循環させている」と答えた。これらのことから、「遺伝子」についての科学的な概念は形成されたが、「循環」についての科学的な概念は十分に形成されていないものとする。

④ 第4節 (16～19時) 「食物連鎖」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

はじめに、生物は互いに食べる、食べられるという関係でつながっていること、食物連鎖と生物の量の関係について習得させた。その上で話し合いの場において、生物の量のバランスが崩れた後の他の

生物の量との関係について説明させた。

植物、草食動物、肉食動物の生態ピラミッドを示して、「ある原因で生産者である植物の量が急に増えた場合、他の生物の量はどうなるだろうか」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。生徒Aから「植物の量が増えるとそれを食べる草食動物の量が増え、草食動物の量が増えると肉食動物の量も増える」という考えが出された。ある子どもから「その結果、ピラミッドが全体的に大きくなる」という考えが出された。その考えに対して、ある子どもから「例えば肉食動物の量が増えたとえさである草食動物はたくさん食べられるので量が減り、えさである草食動物の量が減ると、それを食べる肉食動物の量も減るので、ピラミッドの大きさは元に戻る」という考えが出された。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「最後にはピラミッドは元の大きさに戻る」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「d」について記述できるようになった子どもが増加した。

生徒Aは、「自然界のつり合いとは、生物が食う、食われるという食物連鎖を行っている中でそれぞれが生物が絶滅しないようにバランスを保とうとしていること。」と記述している。「d」について記述できている。したがって、1ポイントと評価した。

⑤ 第5節 (20～23時) 「土の中の世界」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

はじめに、土の中にいる小動物、菌類、細菌類について習得させた。その上で話し合いの場において、有機物が無機物に分解される仕組みについて説明させた。

「有機物からどのようにして無機物がつくり出されるのだろうか」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。ある子どもから「有機物を土の中にいる小動物や菌類、細菌類が取りこんで無機物をつくり出している」という考えが出された。その考えに対して、他の子どもから「ミミズなどの小動物はからだは小さくても消費者なので、有機物を消費するだけで無機物は作り出さない」という考えが出された。生徒Aは「土の中の生物が無機物をつくり出している」という考えを記述していた。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「ミミズなどの小動物は消費者なので無機物をつくらず、菌類、細菌類が無機物をつくり出す」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「d」について記述できた子どもは多かったが、「e」については有機物が無機物に分解されることまで記述できた子どもは少なかった。

生徒Aは、「自然界のつり合いとは、植物や草食動物、肉食動物の食う、食われるの関係をさす。食物連鎖と呼ばれる。土の中にいる小動物や菌類、細菌類の力を使って、食物連鎖をする前のものをつくりだしている。」と記述している。「d」について記述できている。したがって、「自然界のつり合い」に関して1ポイントと評価した。

⑥ 第6節 (24～27時) 「生物と物質循環」

ア 本節における子どもの考えの競合を起こす話し合いについて

はじめに、物質循環について習得させた。その上で話し合いの場において、生物のつながりと物質循環について説明させた。

「生物の連続性を踏まえた生物のつながりと物質循環との関係について説明しよう」と発問し、話し合いをさせて、子どもの考えを競合させた。ある子どもから「生物が新しい個体をつくったり、生命活動が終わることで物質が自然界を循環している」という考えが出された。その考えを受けて、他の子どもから「生物は循環している物質を使って、新しい個体をつくり出している」という考えが出された。生徒Aは「生物は物質を循環させながら新しい個体をつくり出している」という考えを記述していた。その後、自分の考えを見直させ、自分の考えを明確にさせた。生徒Aの考えは「生物は物質循環している物質を使って、新しい個体を作り出している」だった。

イ 文章分析法について

完成された文章の内容について学級全体を概観すると、「生物の連続性」に関してはほぼ同一の結果となった。「自然界のつり合い」に関しては、「f」について記述できるようになった子どもが増加した。

生徒Aが書いた文章分析法の文章では、「生物の連続性とは、生物の進化と誕生のことを表す。体内にある細胞が細胞分裂を行ってからだの成長を導く。新しい生物を誕生させるためには、親のもつ遺伝子が子どもへと受け継がれて誕生する。このようなことが起こって生物の連続性が成り立つ。」

「自然界のつり合いとは、食べる、食べられるの関係である。その関係によって、物質が自然界の中を循環している。」と記述している。「生物の連続性」に関しては「a」「c」,「自然界のつり合い」に関しては「d」「f」について記述できている。したがって、「生物の連続性」に関して2ポイント,「自然界のつり合い」に関して2ポイントと評価した。

ウ 概念マップについて

単元の学習後に,「生物のつながり」についての概念マップを描かせた。「遺伝子」「循環」共に単元の学習前に比べ,関係付けるとともに意味付けることができた個数が増えていることが分かる。これらのことから「遺伝子」「循環」についての科学的な概念は形成されたものとする。

生徒Aが作成した概念マップでは,「遺伝子」に関係付けるとともに意味付けがなされたのは6個,「循環」に関係付けるとともに意味付けがなされたのは2個であった。具体的には「遺伝子」を「優性」と「劣性」「精子」「卵」「染色体」「形質」に関係付けるとともに意味付けがなされており,「優性」と「劣性」のリンクワードには「遺伝子の強さ」,「精子」と「卵」のリンクワードには「遺伝子が含まれる物」,「染色体」のリンクワードには「染色体に含まれる物」,「形質」のリンクワードには「情報」と記述している。「循環」を「酸素」と「二酸化炭素」に関係付けるとともに意味付けがなされており,「酸素」と「二酸化炭素」のリンクワードには「作ったり消費したりなど連続する」と記述している。このことについて,生徒Aに話を聞くと,「形質の情報が遺伝子に含まれている」「植物が光合成や呼吸によって酸素や二酸化炭素を作ったり,消費したりして循環している」と答えた。これらのことから,間接的ではあるが物質が自然界を循環していることについて関係付けるとともに意味付けはしているが,分解者とは関係付けるとともに意味付けることができていないので,「循環」についての科学的な概念は形成されてはいるが,十分ではないと考える。

(4) まとめ

概念マップの単元の学習前,中盤,学習後における学級全体のそれぞれの重要概念ラベルに対する関係付けるとともに意味付けがなされた個数の平均値の変容は右の表の通りである。

【重要概念ラベルへの意味付けの個数の平均値】			
重要概念ラベルへの意味付け	平均値	重要概念ラベルへの意味付け	平均値
遺伝子(学習前)	1.68個	循環(学習前)	0.63個
遺伝子(中盤)	2.56個	循環(中盤)	0.62個
遺伝子(学習後)	2.70個	循環(学習後)	1.73個

生徒数…40名,教師が与えた概念ラベル…27個

文章分析法の単元の学習前と各節後の学級全体における「生物の連続性」「自然界のつり合い」それぞれのポイント数の結果は右の表の通りである。また,次のグラフは,「生物の連続性」「自然界のつり合い」それぞれのポイント数の変容を折れ線グラフに表したものである。

【文章分析法のポイント数】			
	生物の連続性(0~3ポイント)		自然界のつり合い(0~3ポイント)
	平均/最大ポイント(3)		平均/最大ポイント(3)
学習前	0.05	学習前	0.10
1節後	0.33	4節後	0.32
2節後	0.44	5節後	0.57
3節後	0.68	学習後	0.81
学習後	0.62		

生徒数…40名

概念マップのそれぞれの重要概念ラベルに対する関係付けるとともに意味付けがなされた個数の平均値が「遺伝子」は単元の中盤(第3節後)に,「循環」は単元の学習後に増えていることが分かる。また,文章分析法の「生物の連続性」のポイントの数値の最大値が第3節後に,「自然界のつり合い」のポイントの数値の最大値が単元の学習後になっていることが分かる。これは,先行オーガナイザーとして,第1節から第3節にかけて「生物の連続性に関する概念」を常に単元の中核となる概念として,第4節から第6節にかけて「自然界のつり合いに関する概念」を常に単元の中核となる概念として子どもたちに考え続けさせたためと考えられる。

以上のことから、次のような成果が明らかになった。

- 概念マップにおける「重要概念ラベル」に対して関係付けるとともに意味付けがなされた個数の平均値と、文章分析法における加算したポイントの平均を最大ポイント数で除した数値の増え方が相関していることが分かった。
- 単元「生物のつながり」において、単元の中核となる概念を設定し、それを先行オーガナイザーとして与え、常に「単元の中核となる概念」を基に考えさせ続けさせることによって、子どもたちは日常の生活経験やこれまでに学習した知識、単元内で新たに学習した知識を関係付けるとともに意味付けることができ、育みたい資質や能力を育むことができた。

6 おわりに

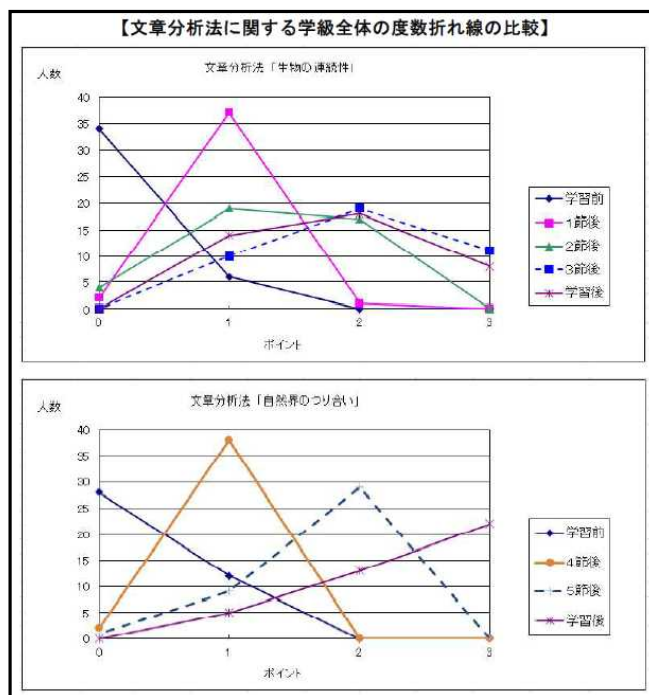
目指す子ども像を育むために実践を行い、文章分析法によって、子どもたちの科学的な概念の変容を数値化することができたことは、概念マップと共に、子どもたちの科学的な概念の状況を把握することができ、次の指導に役立てることに有効であった。今後の課題は、「手だての有効性を検証するための方法の確立」を目指し、文章分析法や概念マップなどの改善や、文章分析法と概念マップとの関連性について検証し、子どもたちの科学的な概念の状況を把握することについて研究を重ねていくことである。また、子どもの考えの競合を起こす話合いの工夫によって検証していない単元についても授業実践を行い検証していかなければならない。これらの課題解決を目指して、「科学的な見方や考え方を深める理科の授業」の在り方を確立していきたい。

引用文献

- 1) 文部科学省『中学校学習指導要領解説－理科編－』大日本図書、2008年
- 2) 町田健『ソシュールと言語学 ―コトバはなぜ通じるのか―』講談社現代新書、2004年
- 3) 武村重和・秋山幹雄編集『理科重要用語 300の基礎知識 「科学的思考」原田周範』明治図書、2000年

参考文献

- ヴィゴツキー（土井捷三・神谷英司訳）『「発達の最近接領域」の理論』三学出版、2003年
 ヴィトゲンシュタイン（矢野茂樹訳）『論理哲学的論考』岩波文庫、2003年
 ウィリアム・ジェイムズ（榎田啓三郎訳）『宗教的経験の諸相（上）』岩波文庫、1969年
 同『宗教的経験の諸相（下）』岩波文庫、1969年
 工藤文三編『新学習指導要領全文とポイント解説』教育開発研究所、2008年
 小林辰至『問題解決力を育てる理科教育』梓出版、2008年
 佐伯胖『「わかり方」の探究』小学館、2004年
 高橋昌一郎『知性の限界』講談社現代新書、2010年
 同『理性の限界』講談社現代新書、2008年
 武村重和・秋山幹雄編集『理科重要用語 300の基礎知識』明治図書、2000年
 遠西昭壽「科学とは何か ―科学観と理科教育の方法―」理科の教育2009年5月号、54-57頁、東洋館出版社、2009年
 同「理科における言語活動とは？」理科の教育2009年6月号、4-8頁、東洋館出版社、2009年
 日本理科教育学会編『理科教育学講座 第2巻 発達と科学概念形成』東洋館出版社、1992年
 福岡敏行編『コンセプトマップ活用ガイド』東洋館出版、2002年
 堀哲夫編『問題解決能力を育てる理科授業のストラテジー―素朴概念をふまえて―』明治図書、1998年
 同『学びの意味を育てる理科の教育評価―指導と評価を一体化した具体的方法とその実践―』東洋館出版、2003年
 森川久雄『授業のストラテジー2 評価のストラテジー』学事出版、1977年
 文部科学省『中学校学習指導要領解説－総則編－』ぎょうせい、2008年
 同『中学校学習指導要領解説－理科編－』大日本図書、2008年



附属名古屋中学校の論文を読んで

附属岡崎小学校

子どもたちの科学的な見方や考え方を深めるために、子どもの科学的な概念の状況を数値化し、科学的な概念の変容やその形成をとらえようという試みは大変興味深いものでした。具体的な成果については、概念マップにおける重要概念ラベルに対する関係付け・意味付けがなされた個数の平均値の変容をまとめた表や、文章分析法のポイント数の変容を表した折れ線グラフから、単元前から単元後まで、育まれようとされていた力を子どもたちが確実につけていることをとらえることができました。また、単元の学習前に文章分析法において0ポイントであった生徒Aが、「生物の連続性とは、…成り立つ」と記述し、4ポイントと評価されるまでに変容したことも大きな成果であると感じました。

実践報告として十分な内容であると思いますが、さらに明らかにすることで成果を効果的に示すことができるのではないかと感じる部分がありました。そのことについて、以下に述べさせていただきます。

- ・「教師が発問し、話し合いをさせて子どもの考えを競合させた」の部分で、どのような競合が起こったのかを述べ、それが生徒Aを始め、子どもたちにどう働いたかを分析されるとよいと思いました。
- ・このとき教師が子どもに投げかけている発問が、子どもたちが話し合いによって考えを競合させ科学的な概念を形成させるのにどう有効であるかという点でも分析できるのではないかと思います。
- ・「ウ 各単元の学習前、学習後の概念の変容をとらえるとともに、その変容を子ども自身に自覚させるための手だて」において、教師自身の評価だけでなく、子ども自身が行った概念マップの比較を分析することで、概念形成を強めていった成果との関係性が見えてくるのではないかと思います。

附属名古屋中学校の論文を読んで

附属名古屋小学校

学習指導要領の改善事項として言語活動の充実が示される中、本研究では観察実験は必ずしも客観性をもっておらず、観察実験の結果は子どもによって解釈され内面に構成され则认为ています。つまり、同じ観察実験を行わせても、認識する側がもつそれまでの見方や考え方によって結果の解釈に影響が出て、誤った概念形成が生じるという問題点を提起しています。これらの基本的な考えの基、科学的な見方や考え方を深めさせることを目指して子どもの考えの競合をねらった話し合い活動の研究を進められていることは、中学校のみならず小学校や高校における共通の課題であり、大変意義深いと感じました。

具体的な手立てとして、学習内容に関わる最も基本的な概念を先行オーガナイザーとして与え、その概念を基に常に考え続けるように学習を進めています。そして概念マップを用い、学習に合わせて自分の概念の状況と変容をメタ認知させたり、基本的な概念を基に単元を通して分かったことを図表と文章で記述させ、それを積み上げさせたりしています。そして、単元における各観察実験で生まれる概念について、教師はもちろんのこと子ども自身にも詳細に分析させ、前述の誤概念の形成を防ぎ、形成された概念への確証を強めさせています。それらの様子がいくつもの実践例において分析され、中学生の話し合いの中で、考えを競合させ、確かな概念の形成を生む姿を示すことができたことが、この実践の成果であると感じました。

そんな中、さらに詳しく知りたいと感じた部分がありました。それは、子どもたちによる観察実験の結果の分析が主観から客観になる様子、つまり確かな概念の形成が行われる様子です。話し合いの場において、子どもの考えの競合が行われる際、いくつもの手立ての影響が発言内容にどのように及び、結果の解釈の変化が生まれたのかを具体的に示していただければ、本研究の有用性が今以上に広く示されるであろうと感じました。

附属名古屋中学校の実践から以下のような特徴が読み取れる。ひとつは理科学習の目標としての「科学的な理解」や「科学的な見方や考え方」の形成の過程を言語活動としてとらえている点であり、理科の授業を気づきや発見による単純な帰納的過程ではなく、生徒達による積極的でダイナミックな言語活動によって自然の事物や現象を意味付ける過程としてとらえようとする点にある。他方は、科学についてのとらえである。そのひとつは観察を「～であることを見る」のではなく、観察者のアприオリな理論から「～として見る」理論負荷的な行為¹⁾であると考えて、「事実」が観察者のアприオリな理論からの解釈的事実であり個人固有の所有物であることを認めていること、もうひとつは理論を言語活動によって構成される文（命題）であり、これらの文の確証の過程を観察や実験といった理論（構成された文）と観察事実や経験との比較によってのみでなく、理論間の関係性に注意を向け、科学理論があたかもクロスワードパズルのように相互に調和的な関係²⁾を保つことに注意を向けている点にある。

具体的には、どの授業においても書く・話す・聞く・討論するといった言語活動を思考の場面として保証し、ここで構成された理論（文）を観察や実験によって確証する（つまり本時の「わかり」）だけでなく、各授業における「わかり（文）」どうしを概念マップ³⁾として関係づけ、文のネットワークとして表現させることによって、文どうしの調和的關係に注意させ、単元の終末において文全体の調和的構造を実感させようとしている。つまり「わかり」が授業ごとに習得される独立した文（理論）なのではなく、単元を通して構成される文章である⁴⁾ことに注目している。

文章を意味する英語の text は 構造 texture や布 textile と同様にラテン語の「織る」という語から派生しており、文章がその物理的直線構造にも関わらず、意味は織られていることを意味している。概念マップはまさにこの文章の構造のモニタを可能にする。生徒と教師が概念マップを共有して、生徒自身が「わかり」をわかること（メタ認知）や、教師が生徒の「わかり」についてのより深い構造を知ることが可能になる。

この実践では「生物のつながり」に関する2つの「中核となる概念」、すなわち「生物の連続性」と「自然界のつりあい」を先行オーガナイザとして与え、単元を通して一貫して学習知識（文）をこれらの概念（文）に関係づけて概念マップに表すことで、単なる知識の習得ではなく「科学的な見方や考え方」へと深化させていくことができることを示した。

言語活動を単にコミュニケーションに止めず、思考の場として、さらに科学という文化創造の場として位置づけようとしている点で、評価できる。

文献

- 1) ハンソン(村上陽一郎訳)「科学的発見のパターン」講談社学術文庫,1986
- 2) 丹治信治 「クワイン ホーリズムの哲学」『現代思想の冒険者たち』19巻, 講談社, 1997.
- 3) Novak and Gowin “Learning How to Learn”, Cambridge University Press, 1984
- 4) 遠西昭寿「理科における言語活動」(橋本健夫他編)『現代理科の教育改革とその具現化』東洋館出版社, pp.82-89, 2010