

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月16日現在

機関番号：17601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22800050

研究課題名（和文）科学技術社会問題を題材とする理科系教員養成のためのカリキュラム開発

研究課題名（英文）Curriculum development for pre-service science teachers dealing with socio-scientific issues.

研究代表者

山本 智一（YAMAMOTO TOMOKAZU）

宮崎大学・教育文化学部・准教授

研究者番号：70584572

研究成果の概要（和文）：本研究では、教員志望の大学生に、議論能力の向上を目的としたカリキュラムを実施し、その有効性を評価した。カリキュラムは、科学技術社会問題である遺伝子組換え食品問題を題材とした。教員志望の大学生が書いた議論を分析すると、議論能力に向上が見られた。この結果より、科学技術社会問題に関する議論能力を向上させるためには、自分の主張を否定する証拠を使って重み付けを行うように促すことが、カリキュラムのデザイン指針になることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：In this study, I implemented a curriculum aimed at improving pre-service teachers' argument skills and effectiveness. The curriculum addressed genetically modified foods as a socio-scientific issue. I analyzed pre-service teachers' writing arguments and found that their argument skill had been improved. From this result, it was revealed that promoting the weighting of conclusions using evidence against one's argument could be a design principle of a curriculum that helps improve argument skills concerning socio-scientific issues.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,050,000	315,000	1,365,000
2011年度	1,050,000	315,000	1,365,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 科学教育

キーワード：科学技術 科学リテラシー 教員養成 カリキュラム 社会問題 議論能力

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ

現代社会は、環境、食文化、福祉などさまざまな地球規模の諸問題をかかえている。このような状況を踏まえて、我が国では、2005年の中央教育審議会答申「我が国の高等教育

の将来像」が、「知識基盤社会」という概念を提唱し、これを「新しい知識・情報・技術が政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域での活動の基盤として飛躍的に重要性を増す社会」とであると定義した。これを受けて、新しい学習指導要領においては、習得した知識や技能を活用した思考力・判断力・表現力の育成が強く求められるようになって

きた。これは、子どもたちに単に知識を授けるのではなく、自ら知識を構築し、それを活用することによって変化する社会に立ち向かう力を育成することに力が注がれるようになったことを意味している。

一方、欧州では、OECDのDeSeCo委員会が「相互作用的に道具を用いる」「異質な集団で交流する」「自律的に活動する」からなる「3つのキーコンピテンシー」を提唱し、その枠組みに基づくPISA調査が実施されて、我が国の教育課程にも少なからず影響を与えてきた。そして、PISA調査の観点の一つである「科学リテラシー」の育成が、学校教育においても重視される流れができていた。これは、自ら方法を工夫して課題を解決するなどの知的創造性の高い資質・能力を身に付けることが広く市民に期待されるようになったことを意味している。

ここで、PISAが定義する科学リテラシーとは、「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力」と定義され、以下のような力が設定されている。

- ①疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とそれを活用する力。
- ②人間の知識と探究の一形態として科学的な考え方を理解する力。
- ③科学と技術がわれわれの物質的、知的、文化的環境をいかに形づくっているかを認識する力。
- ④思慮深い一市民として、科学的な考えを持ち、科学が関連する諸問題に、自ら進んでかかわる力。

つまり、科学的知識そのものを学ぶにとどまらず、それらを活用して現実の科学技術問題を解決しようとする市民的な資質を育成しようとするのが重視されているのであり、理科の教員にも指導的な立場にある者としてこれらの力を備えた資質が重要視されているのである。

本研究では、上記のような資質育成の手法として、知識構築型の議論を持ち込む。知識構築型の議論とは、理由付けや反証例の想定など、ある主張を構成するための一連の言葉の形式、あるいはそれらの構成要素を含む一連の言葉のやりとりである。近年、知識構築型の議論を思考スキルや思考過程を捉える枠組みとする実証研究が、認知発達や思考、教授・学習といった領域で注目を集めている(富田・丸野,2003)。科学教育においては、集めた証拠を総合して、自分が選択した意見を補強するような知識構築型の議論を中心に、様々な議論の構造を吟味する研究が始まっている(例えば Sandoval, 2003)。

理科の内容にとどまらず、現代社会には、科学技術の問題や環境問題などの「公共的」な課題が多数存在し、こういった課題に関しても、専門家と行政が、市民と協働で社会的判断としての合意を形成していくことが求められている。このような公共的な課題に関する問題解決では、地域住民や地域行政などの関係者が、可能な範囲でそれぞれの持っている(あるいは入手可能な)知見・知識を共有して、当該の課題(問題)の「よりましな」方向への改善を目指すという、多様な利害関係者(ステイクホルダー)が参加した知識構築型の議論によっての社会的合意を形成すること(小川,2006)が求められている。

以上のように、現代の科学技術社会問題においては、知識構築型の議論を達成し、科学リテラシーを備えた教師育成を行うカリキュラムの開発が、今後求められる研究の一つだといえる。しかし、これらの問題背景を理解するためには、しばしば高度な専門的知識が要求される。理科系学部生の教員養成カリキュラムの特性を生かすことで、専門的な科学的知識を生かした教師自身の科学リテラシー育成が期待できる。

(2) 申請者のこれまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯

申請者は、これまでに、科学技術社会問題を教材化して、教育現場で知識構築型の議論を行うカリキュラムを開発し、理科や総合的な学習の時間で実践・評価してきた(山本ら, 2003; 山本ら, 2004; 大島・山本ら, 2006; 坂本・山本ら, 2007, 坂本・山本ら, 2008; 大島・山本ら, 2008)。そこでは、遺伝子組み換え食品問題、原子力発電問題、酸性雨問題を題材とした実験的な授業評価を通して学習者の知識構築を検証してきた。

また、申請者は理科系教員を対象とした教師教育研究を行ってきた(山本, 2009; 山本, 2010; 堀野ら, 2005; 五十里・山口・山本ら, 2003)。現職理科教員を対象とした研究、諸外国の先進事例に関する研究などである。従来の理科の内容を扱った教員養成カリキュラムは充実しているが、我が国で科学技術社会問題を扱ったカリキュラムが決定的に不足していることを明らかにした。

そこで本研究では、上述の申請者の研究成果を発展的に統合し、理系学部生の教員養成カリキュラムを開発する。具体的には、宮崎大学の理科系の教員養成課程において、科学技術社会問題を題材にした知識構築型の議論を取り入れ、受講生自らが問題解釈を行いながら科学リテラシー育成を視野に入れたカリキュラムを開発・評価する。

本研究を通して得られた成果はすなわち、科学リテラシー育成を目指す理科教員の資質向上に寄与し得るものであると言える。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、理科系の教員志望の大学生を対象に、科学技術社会問題を解決に導く「知識構築型の議論能力」を獲得させるカリキュラムを開発することである。ここで、「知識構築型の議論」とは、ある主張を構成するための理由付けや反証例の想定などを含む一連の言葉のやりとりを通して知識が構築される活動を指している。このような活動は、近年の日本でも重視されるようになってきた科学リテラシー育成を視野に入れた教員養成に資するものである。

本研究では、次のことに取り組む。

- (1) 理科系教員を志望する大学生に科学技術社会問題を題材とする知識構築型の議論能力を培うためのカリキュラムの要件を明らかにする。
- (2) 上記(1)の要件に基づいて、理科系教員養成カリキュラムを開発する。
- (3) カリキュラムは改善を繰り返しながら計3回の実践授業に導入し、それらの実践授業において収集したデータの分析を通して、開発したカリキュラムの有効性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

研究期間を8つのフェーズに分け、3回の授業実践を位置づけた。平成22年度は、理論的な検討を行いながらカリキュラムを開発し、知識リソースを準備した。その上で理科系の学部講義にカリキュラム試案を導入・評価した。平成23年度は、実践をもとにカリキュラムを改善し、2つの講義においてそれぞれ予備的・本格的に導入するとともに、評価・総括を行った。

(1) 研究目的を達成するための具体的な研究方法（平成22年度）

平成22年度は、科学リテラシー育成を視野に入れた教員養成を目指したカリキュラムを開発する準備段階である。第1フェーズは理論的検討であり、第2フェーズはカリキュラム試案の開発である。カリキュラムは、理科系及び非理科系の教員養成課程3回生を対象とした授業へ導入した。また、受講者自身が知識構築するために活用する知識リソースの整理を行った。続いて第3フェーズでカリキュラム試案を導入した実践授業、さらに第4フェーズで実践授業の評価を実施した。

(2) 研究目的を達成するための具体的な研究方法（平成23年度）

平成23年度は、科学リテラシー育成を視野に入れた教員養成を目指したカリキュラムを開発する実践・総括段階である。第5フ

ーズでは、前年度のカリキュラム試案の改善を行った。第6フェーズでは、改善版カリキュラムの予備的調査として学部講義に短期的に導入し、カリキュラムの改善部分についての評価を行った。第7フェーズでは改善版カリキュラムを本格的に導入した実践授業を実施した。そして第8フェーズでは実践授業を評価するとともに、2年間の研究の総括的考察を行った。

## 4. 研究成果

(1) カリキュラム開発のための理論的検討

「知識構築型の議論能力」について、先行研究に関する文献を購読するとともに、理科の教員養成でこれを支援するカリキュラムについて、理論ベースを構築した。そのために、科学教育、大学教育、教師教育の研究分野で国内外の論文・著書等を購読したり、小学校での「知識構築型の議論」の生成事例について、先行研究（神戸大学における科学リテラシー育成カリキュラム研究）の調査等をもとに理論的検討を行ったりした。

① 小学校での議論能力育成カリキュラム

理科教育における学習者の議論能力の先行研究では、小学校における実践事例は少なく、学習支援のための知見が不足している。Krajcikら（2009）は、質問に対する回答を含んだ「主張」があることや、主張を支持する科学的なデータである「証拠」が利用されていることを議論スキルの初期の構成要素として示している。理科教育で言語活動が重視されている日本においても、議論スキルを小学生から育成することが求められる。本研究では、小学生に議論スキルを獲得させるための授業を行い、証拠を利用して主張を構成するスキルに着目して、授業のデザイン指針の有効性を評価した。

本研究では、3つのデザイン指針である「問題領域に関する基礎的知識の学習を十分に行う」「複数のデータを収集し、それをクラスで共有しながらいくつかのまとまりごとに整理する」「児童に自分が証拠を利用していることを意識させる」を先行研究より導き出した。これらのデザイン指針に基づき、小学校3年生の総合的な学習の時間において、野生動物との共生問題を扱った授業を実施した。授業内で3回（前期・中期・後期）実施した質問紙による調査を分析した。

図1は、児童の議論のタイプの遷移である。証拠を利用できた児童は、前期には11名であったが、中期には21名、後期には26名であった。前期と比較すると、中期及び後期では証拠を利用する児童が有意に増加したことが示された（ $\chi^2(2) = 14.629, p < .001; p < .001$  二項検定）。

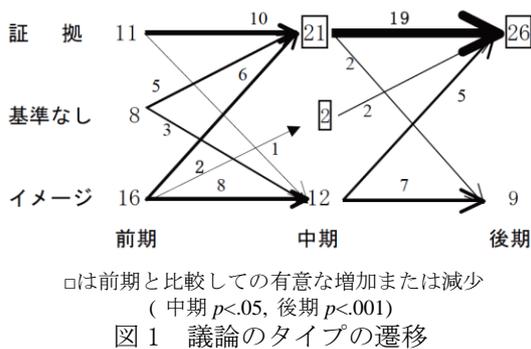


図1より、前期に個人で情報収集した後には、すでに11名の児童が証拠を利用することができていた。この時点で証拠を利用できず、イメージに基づいて判断したり、判断の根拠を見つけれなかったりした児童でも、学習の進展に伴い、証拠を利用できる者が増えていったと考えられる。

証拠の利用の仕方にも変化が見られた。本研究では、主張を支える証拠の個数が増加したことに加え、その変化は、同様の証拠を重ねるよりも、むしろ、異なる視点からの証拠を利用しようとするものであることが明らかになった。

これらの結果より、証拠を利用して主張を構成する児童が有意に増加し、議論スキルを達成でき、3つのデザイン指針の有効性が明らかとなった。

【『科学教育研究 35(3)』で公表】

## ②海外における議論能力育成カリキュラム

理科教育においては、海外で議論を導入した授業実践が展開されている(例えば, Chin & Osborn, 2010; McNeill & Krajcik, 2011)。しかし一方で、児童生徒が議論を行うことの困難さも指摘されており(Sandoval & Cam, 2011)、議論スキル向上のために理科の授業でどのような授業デザインが有効であるのかについて、知見を得ることが求められている。本研究では、McNeill & Krajcik (2011)の研究から、議論スキルを向上させる教授方法を抽出・整理し、授業デザイン要素を検討した。

McNeill & Krajcik (2011)は、より児童生徒が使いやすいように、議論の構造を4つの構成要素からなるものとして再定義している。1つ目は、質問や問題についての回答としての「主張(claim)」である。2つ目は、主張を支える科学的なデータとしての「証拠(evidence)」である。3つ目は、科学的原理を使って主張と証拠をつなぐ「理由付け(reasoning)」である。4つ目は、自分の主張と相反する証拠と理由付けに対して、なぜそれが不適切なのかを説明する「反駁(rebuttal)」である。

これらの知見を教員養成課程のカリキュラムに応用した。

【日本理科教育学会第61回全国大会(島根)にて発表】

## (2)カリキュラムの開発・実践・評価

議論スキルは、学習者だけではなく、学習者の指導にあたる教師の資質としても重要だと考えられるが、教師自身の議論スキルは低いことが指摘されている(Zohar, 2008)。本研究では、教員志望の大学生を対象として、議論スキルの向上を目的としたカリキュラムを実施し、その有効性を評価した。カリキュラムは、科学技術社会問題としての遺伝子組換え食品問題を扱った Seethaler & Linn(2004)が開発したものである。

表1は、カリキュラムの活動内容と順序である。カリキュラムは4段階から構成される。

表1 カリキュラムの活動内容と順序

段階	時間	学習活動
1	1	遺伝子組換え食品の開発について問題提起する
	2	遺伝子組換え技術や自然交配との違いなどの基礎知識を資料で読む
2	3	この問題に賛成・反対のそれぞれを支持する立場の資料を読む
	4	議論を行う
3	5	議論を行う
4	6	自分の立場を主張するポジションペーパーを記述する

第1段階では、遺伝子組換え食品の開発について問題提起し、遺伝子組換え技術や自然交配との違いなどの基礎知識を資料で読ませた。第2段階では、この問題に賛成・反対のそれぞれを支持する立場の資料を提示し、それらを読み合う活動を設定した。第3段階では証拠を活用して議論を行った。遺伝子組換え農法、有機農法、集約農法の中から自分が支持する立場を選択させ、同じ農法を選択した者同士で主張を支える証拠を確認し合い、その後、3つの異なる農法を選択した者がすべて入るようなグルーピングを行い、それぞれの立場から「主張、尋問、反駁」を行わせた。最後の第4段階では、自分の立場を主張するポジションペーパーを記述させた。

このカリキュラムを教員養成課程3回生対象の学部講義へ導入するとともに、申請者が授業を行い、その様子を記録した。蓄積した記録を分析し、カリキュラムの評価を行った。

## ①カリキュラム評価(1)

対象は、43名の教員志望の大学生であった。実施時期は、2010年10月~11月の計6単位時間(90分×6回)であった。調査は、カリキュラムの前後で、学習内容とは異なる「原子力発電」に関する課題として実施した。Seethaler & Linn (2004)の評価基準に基づいて、調査課題の回答を得点化して比較する

と、表2のようになった。合計得点は学習前から学習後にかけて有意に向上していた。各要素の得点のうち、「自分の立場を否定する証拠の利用」と「重み付けをした結論づけ」が、学習前から学習後にかけて有意に向上した。学習後におけるこれら2つの要素について、有意な相関関係があることも明らかになった。

表2 議論の各要素における学習前後の得点分布

議論の要素	得点	学習前	学習後
自分の立場を肯定する証拠の利用	0	2	1
	1	28	32
	2	13	10
自分の立場を否定する証拠の利用	0	9	1
	1	30	39
	2	4	3
証拠の科学的適切性	0	1	3
	1	42	40
反証での証拠の利用	0	32	27
	1	11	14
	2	0	2
重み付けをした結論づけ	0	4	1
	1	35	29
	2	0	0
	3	4	13

単位(人)

これらの結果より、本研究のカリキュラムは、教員志望の大学生に対して、議論スキルの向上に効果があると考えられる。また、このカリキュラムは、自分が主張する立場を支える証拠だけでなく、自分の立場を否定する証拠を利用するというスキルと、重み付けをして結論を出すスキルの構成要素を向上させることが明らかになった。本研究の結論からは、対立する立場から出される証拠の利用を促進することが、議論スキルを向上させるカリキュラムのデザイン指針になりうるということが示唆された。

【European Science Education Research Associationの第9回会議(リヨン)にて発表】

## ②カリキュラム評価(2)

対象は、19名の教員志望の大学生であった。実施時期は、2011年4月～6月の計6単位時間(90分×6回)であった。調査は、記述させたポジションペーパーについて、Seethaler & Linn (2004)の評価基準に基づいて、記述を得点化した。

表3は、ポジションペーパーの記述について、議論の各要素における得点分布である。「自分の立場を肯定する証拠の利用」については、満点を獲得した大学生が最も多く、52.6%であり、「証拠の科学的適切性」では100%であった。一方、「自分の立場を否定する証拠の利用」「反証での証拠の利用」「重み付けをした結論づけ」については、満点を獲得できたのは、それぞれ21.1%、5.3%、5.3%であった。

表3 議論の各要素における得点分布

議論の要素	得点	人数(%)
自分の立場を肯定する証拠の利用	0	2 (10.5)
	1	7 (36.8)
	2	10 (52.6)
自分の立場を否定する証拠の利用	0	0 (0.0)
	1	15 (78.9)
	2	4 (21.1)
証拠の科学的適切性	0	0 (0.0)
	1	19 (100.0)
反証での証拠の利用	0	4 (21.1)
	1	14 (73.7)
	2	1 (5.3)
重み付けをした結論づけ	0	0 (0.0)
	1	18 (94.7)
	2	0 (0.0)
	3	1 (5.3)

これらの結果より、学習者はカリキュラムの学習を通して、自分の立場を肯定する証拠を利用するというスキルと、科学的に適切な証拠を利用するというスキルの要素はおおむね達成できたことが明らかになった。しかし、一方で、自分の立場を否定する証拠の利用や、反証する際の証拠の利用、重み付けをした結論づけをするというスキルの要素については達成できなかった。これらの要素を向上させる学習支援について検討することが今後の課題である。

【日本科学教育学会第35回年会(東京)にて発表】

## (3)研究の総括と今後の展望

従来の知識構築型の議論に関する研究では、児童生徒への単元化として取り組みがなされてきているものの、理科授業を指導する大学生を対象とした教員養成課程において、受講生の科学知識を生かしたカリキュラム開発研究は国際的にもいまだなされていない。本研究は、科学技術社会問題に着目した理科系の教員養成に関する研究であることが学術的な特色であり、独創的な点であった。

本研究の成果は、理科教師自身の科学リテラシー育成の支援という新たなカリキュラムを実践的に提案するものである。この成果は当該の研究分野のみならず、理科の教育現場の発展にも寄与し得るものと考えられる。

本研究で開発したカリキュラムによって、教員志望の学生の科学技術社会問題を題材とした議論スキルに向上が見られた。しかし、「自分の立場を否定する証拠の利用」や、「反証する際の証拠の利用」、「重み付けをした結論づけ」は、学習以前から比べると向上は見られたものの、満点を獲得した受講者の数は十分とは言えなかった。国内外における研究から得た教授方略の知見を精選し、実践授業

のデザインを行うとともに、授業デザインを繰り返し検証していく必要がある。

#### 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 2 件)

- ① 山本智一, 坂本美紀, 山口悦司, 稲垣成哲, 村津啓太, 中山迅, 大島純, 大島律子, 村山功, 竹中真希子, 小学生におけるアーギュメント・スキルの育成: 野生動物との共生問題を扱った総合的な学習の授業デザインと分析, 科学教育研究, 査読有, 第 35 巻, 第 3 号, 2011, pp.245-255.
- ② Tomokazu Yamamoto, Etsuji Yamaguchi, Shigenori Inagaki, Hayashi Nakayama and Tomoyuki Nogami, Practical study on argument skill improvement in pre-service teachers, Proceedings of ESERA 2011: Part12 pre-service science teacher education, Lyon, France, 2011, 219-224. 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 山本智一, 山口悦司, 稲垣成哲, 中山迅, 竹中真希子, 理科教員を目指す大学生のアーギュメント・スキル向上に関する実践的研究 (2), 日本科学教育学会第 35 回年会, 平成 23 年 8 月 23 日, 東京工業大学
- ② 山本智一, 山口悦司, 稲垣成哲, 坂本美紀, 西垣順子, アーギュメント・スキルの育成を目指した授業デザイン: McNeill & Krajcik の授業デザイン要素, 日本理科教育学会第 61 回全国大会, 平成 23 年 8 月 20 日, 島根大学
- ③ 坂本美紀, 山口悦司, 稲垣成哲, 山本智二, 村津啓太, **KFJapan**, 小学生におけるアーギュメント・スキルの育成(3)野生動物との共生問題を扱った単元でのエビデンス利用の支援, 日本発達心理学会第 22 回大会, 平成 23 年 3 月 25 日, 東京学芸大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本 智一 (YAMAMOTO TOMOKAZU)  
宮崎大学・教育文化学部・准教授  
研究者番号: 70584572