

株式会社三菱総合研究所

平成 30・31 年度地層処分に係る社会的側面に関する研究支援事業

研究件名

「Argument による合意形成プロセスモデルのデザインと実践」

成 果 報 告 書

令和元年 7 月 31 日

静岡大学教育学部

萱野貴広

# 目次

目次	(i)
概要	(ii)
1. 研究目的	1
2. 本研究のバックグラウンド	1
3. 研究方法 1	
3.1 中学生, 大学生の実態調査	1
3.2 米国での STEM 教育手法の導入	2
3.3 アーギュメントを主体とした授業デザインと実践	2
3.4 高レベル放射性廃棄物地層処分地選定のためのシミュレーションゲーム	2
3.5 授業プログラム	3
4. 結果と考察	4
4.1 授業, 講義等の実践数	4
4.2 中学生, 大学生の「思考と判断と表現」に関する調査	5
4.3 事前調査に対する生徒の回答割合 (S 中学校)	6
4.4 事前, 事後調査結果の比較 (H 工業高校)	7
4.5 授業の内容	9
4.5.1 N 中学校	9
4.5.2 T 中学校	10
4.5.3 S 中学校	11
4.5.4 H 工業高校	13
4.5.5 Owatonna M. School (Minnesota)	14
4.5.6 大学生および現職教員に対する授業	15
4.6 生徒, 学生の記述	16
4.6.1 ワークシート	16
4.6.2 課題 1	17
4.6.3 課題 2	18
5. STEM 教育の視点からの評価	20
6. まとめ	20
附記・謝辞・注釈・別添資料	23
資料 (資料 1~14)	

## Argument による合意形成プロセスモデルのデザインと実践

静岡大学教育学部 萱野貴広

### 概要

本研究では、これからの将来を担い、まさに高レベル放射性廃棄物地層処分問題の当事者となる中学生、高校生、大学生のシティズンシップを育成するために、地層処分問題をテーマとしてアーギュメント主体の社会合意形成プロセスを組み込んだ理科授業プログラムを現場教師と協働でデザインし、実践した。また、教員志望の大学生には、卒業後に関連授業を考案し実践しようとする意識と能力の獲得も目指し実践した。

高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題への取り組みに当たっては、iPad にインストールしたシミュレーションゲームを用いて、そこで得た情報をもとに候補地から 1 つを選択するというもので、このために作成したワークシートに記述しながら進めた。その後、自身の判断をグループ内で表明し議論を重ね合意形成に向かう、のように展開した。

中学生、高校生、大学生、現職教員の合計 681 名に対して実践した。年齢を問わずほとんどの受講者が処分問題を認知していない状況は予想していたが、本プログラム受講後、彼らは処分問題の重要性とその解決には多くのことが関係していることを知り、難しい問題だがしっかりと話し合わなければならないことを実感していた。

本実践に当たり、授業時間の確保と配分の難しさに加え、限られた iPad の台数と実践時期の集中、学校長、教育委員会との交渉等いくつか課題が残ったが、より多くの人々が地層処分問題を正しく認識し自らの問題として意見や考えを持って、問題解決に向かって積極的に関わっていくための資質（シティズンシップ）の基礎となることを期待して、今後さらに効果的なプログラムを構築し実践継続を図っていく予定である。

## 1. 研究目的

日本人は概して、国家が関わる社会問題に対して自ら関わろうとする積極性に乏しく、科学や技術が関わっている場合にその傾向は顕著であるように感じる。これは科学リテラシーに対する認識の問題もあるだろうが、国民に市民性が育っていないことに起因するのではないかと考える。その要因として、児童・生徒が社会の負の側面から堅く守られ、実際に社会問題を取り上げて議論・判断し行動へと導く教育が行われてこなかったことが挙げられる。そこで、いま現実にあるが十分にコンセンサスが得られていない科学や技術が関わる社会的問題（Socio-Scientific Issues: SSI、今回は「高レベル放射性廃棄物処分地選定」をテーマとした）を取り上げ、これからの日本を担う中学生や大学生を主な対象として、彼らのシティズンシップ<sup>1)</sup> 育成のためにアーギュメント<sup>2)</sup> 主体の社会合意形成のプロセスを組み込んだ理科授業を教師と協働でデザインし実践する。教員志望の大学生には、シティズンシップ育成に加えて本テーマに対する知識理解を図り、大学卒業後に関連授業を考案実践しようとする意識と能力の獲得も目指す。

## 2. 本研究のバックグラウンド

2009～2013年まで取り組んできた「理科授業におけるキャリア教育の実践」で、生徒に理科学習の有用性を実感させ職業観や就労観を育成することができ、将来の社会参加のための意識の醸成が図られたが、社会参画に必要なコミュニケーションスキルの不足が明らかになった<sup>3)</sup>。そこで中学校3年理科の通常授業で、20年後の電源のベストミックス、遺伝子組換え食品の全面輸入の是非、そして高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題をテーマにアーギュメントを取り入れた授業プログラムを開発し実践したところ、根拠を持つことの重要性に気づき、相手の意見をよく聞くようになったと言う生徒が多く見られるようになった。しかし、今ある社会課題を自らの問題と捉えるには至らなかった<sup>4)</sup>。

生徒の判断には「危険性の有無が大きく影響し、社会貢献や他助が彼らの行動を促すきっかけになる」といった知見<sup>4)</sup>を活かして、情報の提示方法や内容、議論の場の設定に十分配慮した授業のデザインと実践を重ねていくことが、シティズンシップ育成に大きな成果が得られると期待した。

2002年以降、高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題は、経済産業省資源エネルギー庁、NUMOが中心になって鋭意展開してきた。2017年6月に資源エネルギー庁が発表した「科学的特性マップ」は最近の大きなトピックで、その後の対話型全国説明会は当初どの会場でもかなり盛況であったが、今年度に至っては参加人数に飛躍的な伸びは見られない。

筆者が2015年以降、多くの生徒、学生、院生および現場の教員に処分地問題をテーマに実践を行ってきた中で、その多くは「高レベル放射性廃棄物地層処分問題」について聞いたことすらないという状況であった。これは、施政者、教育者にも責任の一端があるのだろう。まずは問題の所在を知るだけでも意義はあるが、自ら知識を求め、考え判断し主張する活動を主体とした実践を行うことで、社会の意思決定の場に積極的に参加し自ら判断しようとする資質の伸長も可能になると考える。

## 3. 研究方法

高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題をテーマとして Argument を主体とした理科授業をデザインし、対象者の状況に応じて開発した授業プログラムをフィッティングして実践する。調査、授業実践の具体的方法と内容は以下の通りである。

### 3.1 中学生、大学生の実態調査

実践授業の前に「思考と判断と表現」に関する意識調査を質問紙法にて行い、中学生および大学生の実態を明らかにする。本来なら受講者の変容を知るために授業の前後に同一の調査を行うべきだが、他の課題内容と重複するため高校でのみ行った。質問内容は末尾資料1に示した。さらに、高レベル放射性廃棄物問題や議論することに対する再認識を図

った課題 1 と自身の居住地が含まれた地域一帯ではどこが処分地にふさわしいかを問うた課題 2 を受講生に課した。それぞれの内容は、資料 2 資料 3 として末尾に示した。

調査結果についてはそれぞれ傾向を明らかにするために、回答の割合を数値化しグラフ化した。グラフ化に際しては、「当てはまる」「まあまあ当てはまる」「あまり当てはまらない」「当てはまらない」の 4 選択肢を、肯定的回答（「当てはまる」「まあまあ当てはまる」）と否定的回答（「あまり当てはまらない」「当てはまらない」）の 2 つにまとめた。本来ならこれらの結果について統計処理すべきだが、現時点では行っていない。今後、検討すべき点だと捉えている。

### 3.2 米国での STEM 教育手法の導入

iPad によるゲームを活用した授業プログラムに対する STEM 教育<sup>5)</sup>の観点からの評価と、この 2 つの融合について、Minnesota 州 Owatonna の STEM 教育コーディネータである T. Meagher 博士と Minnesota 大学 STEM 教育センター長の Gillian Roehring 博士、Jeanna Wieselmann 博士らと検討した。

### 3.3 アーギュメントを主体とした授業デザインと実践

図 1 に示したアーギュメントを構成する要素は、議論の論理構造として周知されているトゥールミン・モデルを参考に筆者が考案した。これらの要素を配置して処分地問題に特化したワークシートを作成し、授業で用いた。

授業は、中学校 3 年理科の単元「科学技術と人間」での学習や、「2 年理科のまとめ」として取り組み、高校では電子科 2 年生 1 クラスを対象にエネルギー学習のまとめとして行った。大学では、理科教員志望学生を対象として「理科教育法Ⅱ」で、また本学工学部、情報学部の 2 年生、人文社会学部、農学部、教育学部の 3、4 年生が受講する学際科目でも行った。使用したワークシートを資料 4 に示した。

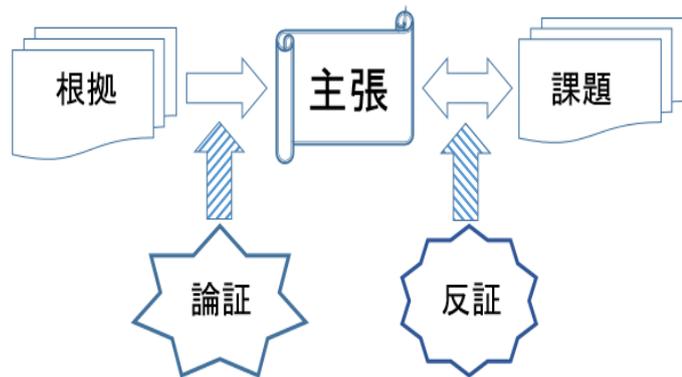


図 1 アーギュメントの構成要素

### 3.4 高レベル放射性廃棄物地層処分地選定のためのシミュレーションゲーム

iPadmini (以下、iPad と記す) にインストールしたゲームは、スイス ITC<sup>6)</sup>の School of Underground Waste Storage and Disposal で開発した放射性廃棄物処分地選定に関するゲームを基礎とした (2009 年)。以下の手順で取り組む。

- (1) 「使用者」の登録 (図 2 右上)
- (2) 記載したテキストの内容から状況把握 (図 2 左)

- 500km×450km ほどの仮想島を対象としている。海外に再処理を依頼していた放射性廃棄物が国内処分に



図 2 ゲームの初期画面

至った経緯や、処分地として4つの市が立候補した状況等<sup>7)</sup>について説明して、「句点読み」するなどしてまずは共通理解を図る。

(3) 処分地選定に際し自身が重視する学習前の評価状況を「初期設定」画面で設定(図3)

- ・ゲームを始める前に、「安全性」「環境影響」「建設コスト」「地域経済」「地下資源」の5項目に対する影響に対する自身の認識を、あらかじめ数値化しておく。この初期設定値が受講者の最終判断にバイアスをかける仕組みになっている。

(4) 仮想島(コロール島)内の各候補地把握と決定

- ・図4に示した場面で、マップやテキストデータをスワイプして候補地4市に関する情報を収集しながら、「自然への影響」「産業への影響」「資源への影響」「税金への影響」を点数化したスコアに、(3)の初期設定値が自動で加算され処分地が発表される(図4右下Go!にタッチ)。スコアと初期設定の値によっては、自分の考えと選定された処分地の結果が異なることもある。4市の情報は資料5に示した。

他に選定のポイントやコストに関する情報を参考にしながら、ワークシート(資料4)の「E.住民を説得するための戦略(説明)」まで記入するのに20分程度を予定する。ここまでは個人活動で、この後グループでの議論となる。iPadに取り組む前に4人のグループを構成し、各人に4候補地のうちの1市の住民になるよう求める(前述の資料4.ワークシートの「E」記入後の議論のため)。

グループ議論では、「1人1分で発表する」「終わったら拍手する」の2つだけルールを決めた。

### 3.5 授業プログラム

中学生、高校生を対象とした50分授業でのプログラム1と大学生、教員を対象とした90分授業のプログラム2の概要を以下に示した。

#### (1) 授業プログラム1: 50分授業

##### 全体活動

(5分) 1. 導入: 学習に対する興味、関心、学習の必然性の認識

(8分) 2. iPadアプリの説明と状況設定の共通理解

(2分) 3. グループ編成: 4人構成(事前準備)、各自が4市のどこかを居住地に選択  
個人活動(個のArgument)

(20分) 4. 処分地の決定、ワークシートへの記述: iPad操作、ワークシートの一部に記述

グループ活動(小集団のArgument)

(5分) 5. 主張: 自身が選定した処分地を受け入れてもらえるよう住民を説得、説明



図3 処分地選定時の認識

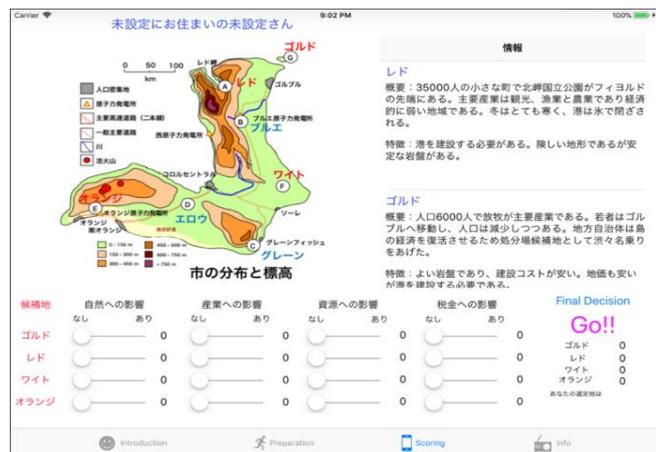


図4 処分地選定ステージ

する.

個人活動 (個の Argument)

(5分) 6. ワークシートへのまとめ

全体活動

(5分) 7. まとめ: グループ発表または教師のメッセージ

## (2) 授業プログラム 2: 90 分授業

(10分) 「思考・判断・主張」に関する事前調査

(10分) 高レベル放射性廃棄物とその処分についての概要説明.

(25分) ゲーム化した高レベル放射性廃棄物地層処分問題で処分地を選定.

ワークシートを用いた個のアーギュメント.

(10分) 集団のアーギュメント.

(20分) 議論とその技法, Argument を構成する要素と, 社会合意形成のためのプロセスデザインについての講義.

(10分) 高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題の現状

(5分) 質疑応答

各校の環境や受講者の状況に応じて上記プログラムを調整しながら, 中学校, 高校ではそれぞれの担当教師が授業を行った. 大学, 教員研修と Owatonna の 8 年生 1 クラスについては筆者自身が行った.

## 4. 結果と考察

### 4.1 授業, 講義等の実践数

2018 年 12 月から 2019 年 7 月までに実践した授業等の実践日と受講人数を表 1 に示した.

表 1 実践日, 実践校, 受講人数等

実施年月日	実践校等	対象	人数	備考
① 2018. 12. 21	S 大学 工学部・情報学部	2 年生	49 名	
② 2018. 12. 27	M 大学 教育学部	3 年生	10 名	※1
③ 2018. 1. 27	K 大学 教育学部	4 年生	6 名	※1
④ 2019. 2. 20	静岡県立 H 工業高校電子科	2 年生	40 名	
⑤ 2019. 2. 23	静岡エネルギー教育研究会研修会	社会科教員	6 名	※2
⑥ 2019. 2. 26	島田市立 S 中学校	2 年生	30 名	
⑦ 2019. 2. 22~26	島田市立 S 中学校	3 年生	60 名	
⑧ 2019. 2. 27	磐田市立 T 中学校	2 年生	30 名	
⑨ 2019. 3. 5~ 7	磐田市立 N 中学校	2 年生	136 名	
⑩ 2019. 5. 14	Owatonna M. School	7 年生	32 名	
⑪ 2019. 5. 14~23	Owatonna M. School	8 年生	150 名	※3
⑫ 2019. 5. 30	H 大学	1 年生	12 名	※1
⑬ 2019. 6. 10	Y 大学 生命環境学部	3 年生	36 名	※1
⑭ 2019. 7. 9	S 大学 教育学部	2 年生	26 名	
⑮ 2019. 7. 19	S 大学 人社・教育・理・農学部	3, 4 年生	58 名	
合 計			681 名	

受講人数 681 名の内訳は、中学生 438 名、高校生 40 名、大学生 197 名と教員 6 名であった。①④⑥～⑩⑭⑮については、当初の計画通りに実践した。備考欄※1 については、原子力規制人材育成事業「放射線安全のための大学間連携放射線計測専門家・教育者育成プログラム（研究代表：大矢恭久）」のうち、教育者養成プログラムの筆者が担当する部分で実践した。※2 については、静岡県エネルギー教育研究会での教員研修として求められた講演の中で行った。※3 については、150 名のうち 60 名は予定通り 5 月 14 日に実践したが、本実践の内容に関心を持った教員が他クラスでも実践したいとの要望に応じて、筆者不在のもとで 3 クラス 90 名に対する授業が追加実践された。

当初の予定を大きく超えて実践することができた。

#### 4.2 中学生、大学生の「思考と判断と表現」に関する調査

本調査については、H 工業高校（表 1 の④）において授業前後で行い、その他については事前調査のみ行った（②③⑩～⑬では調査していない）。質問紙法で行った調査は資料 1 を使用した。

1) 問「自分が結論を出すきっかけになることが多いものを 3 つ選んで下さい」について  
 公立中学 3 校 300 名の平均、工業高校生 40 名と大学生 47 名が選んだ項目の割合を図 5 に示した。大学生は学際科目を受講した S 大学工学部と情報学部の 2 年生である（中学校間では若干の差があったが平均値とした）。目安として大学生の割合の値のみ図中に記した。

図 5 で示されたように、年齢が上がるにつれ「自分が持っている知識」で結論を出し、「先生が言ったこと」で判断しなくなり、「友達の意見」を参考にしなくなる傾向が見られた。「3. 新聞で得た情報」に対して支持が低いことについては、彼らが新聞を読まないことは確かだろうが、ネット等で簡単に情報を得ることができる状況では、この数値がそのままニュースに接しないことを表しているのではないと考える。

なお、受講者らは事前調査に回答することで自身の思考や判断の習慣を意識し、その後の授業プログラムに沿った活動に対して「メタ認知」できるようにと、作為して調査問題を考案し実施した。

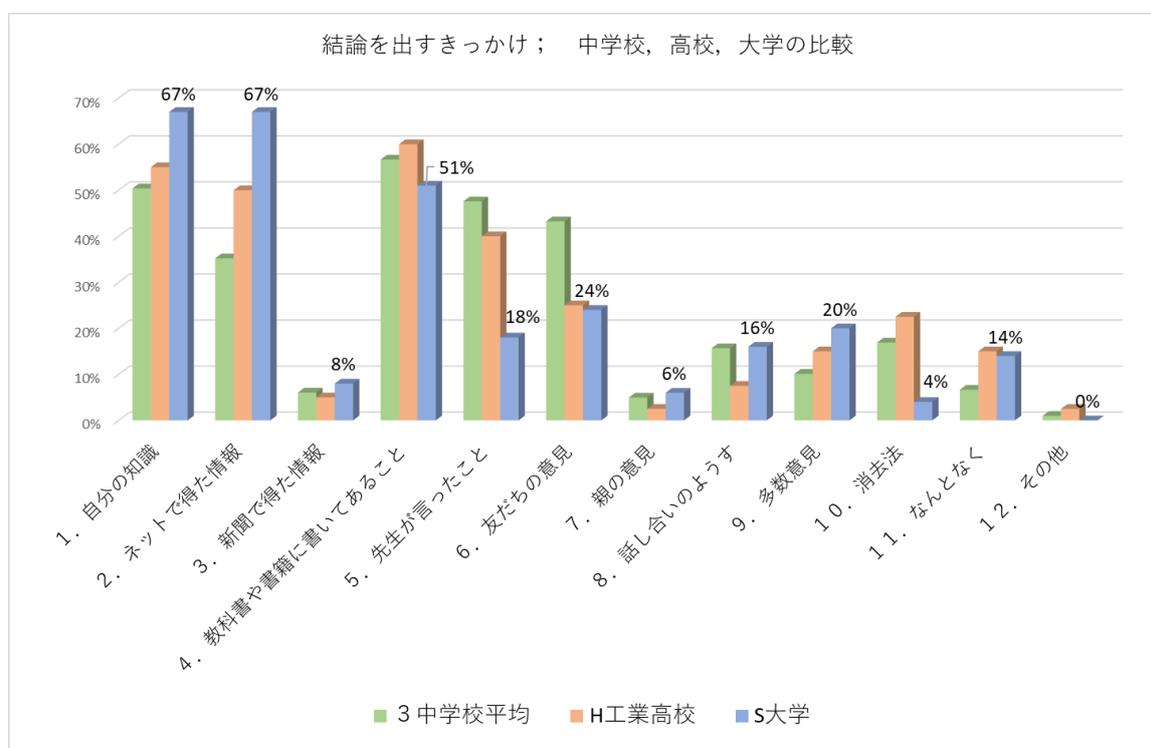


図 5 中学生，高校生，大学生が選んだ「結論を出すきっかけ」の割合

### 4.3 事前調査に対する生徒の回答割合（S 中学校）

「思考・判断・表現」に関するいくつかの質問に対する生徒の回答の割合を図 6, 7, 8 に示した。図 6-1 と図 6-2 は、中学校 3 校の生徒の回答割合である。

学校間の差は小さかった。図 6-1 質問「みんなと話し合うことは必要だ」については、ほとんどの生徒が肯定していた。T 中の割合がわずかだが低いのは、「普段の授業で個人での追及を重視している」という教師の授業スタイルの影響であろう。図 6-2 「1人で考えるときの方が、結論を出しやすい」については否定の回答が多かった。N 中の割合が他校と比べ低いのは、対象が 2 年生で他の 2 校が 3 年生だからであろう。

「思考」等に関わる質問に対する回答割合を示した図 7, 8 は、S 中学校を対象としたものである。この中学校を取り上げたのは、3 年生であること（N 中は 2 年生）、生徒数が 134 名（T 中は 30 名）であることからで、その他の意味は無い。

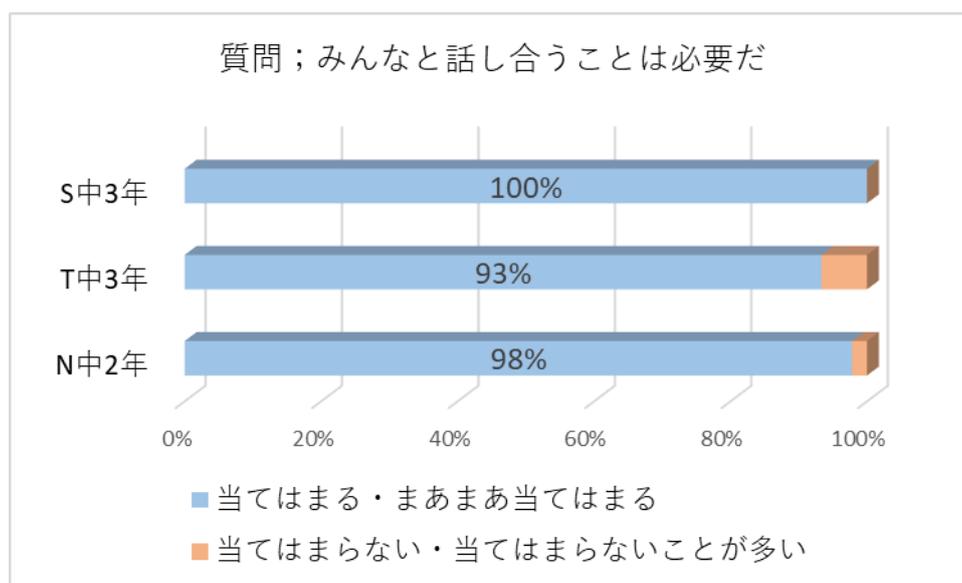


図 6-1 中学校 3 校の平均 1

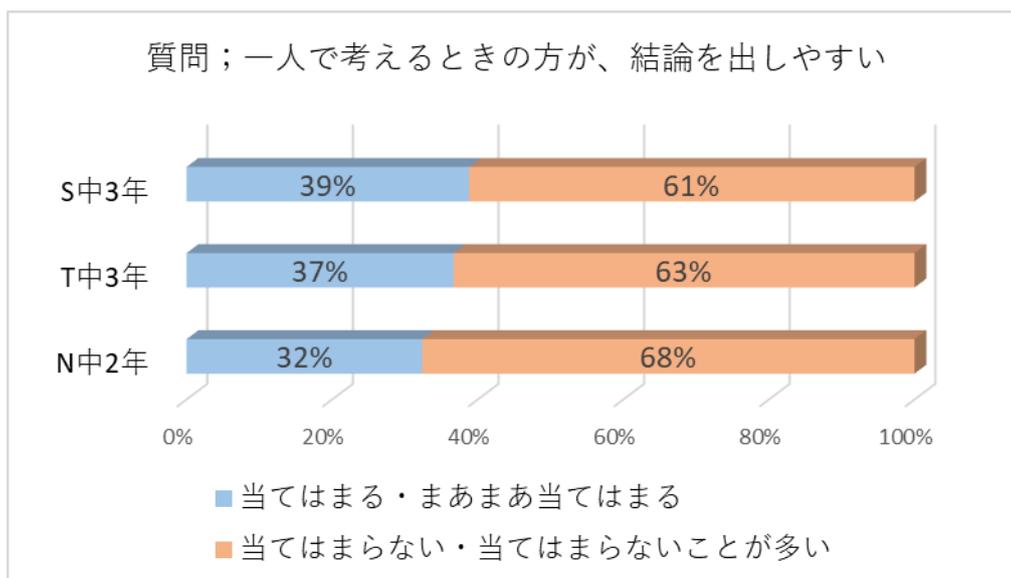


図 6-2 中学校 3 校の平均

図7では4つの質問に対する回答割合を示した。話し合う必要性を認め、80%以上の生徒が「話し合うことが好き」と答えているものの、40%の生徒が「話し合い」を楽しみにはしていなかった。1人で考えることに対する不安からであろう(⑥)。

図8では、質問③と⑭は表現に関わる内容で、⑪と⑦は判断や結論をだす領域に関わる質問である。自分の意見がクラス(やグループ内)で賛成を得たか、納得させられたかについて、多くの生徒が高い関心を示していた(③, ⑭)。本プログラムで使用したワークシートの影響もあるだろうが、通常の授業でも彼らの承認要求をある程度満たす方策の必要性が示されたと考える。図8⑪, ⑦の結果は、「自分が結論を出すきっかけ」として、他の年代に比べ「友達の意見」が高かったことの裏付けと位置づけられる(図5参照)。

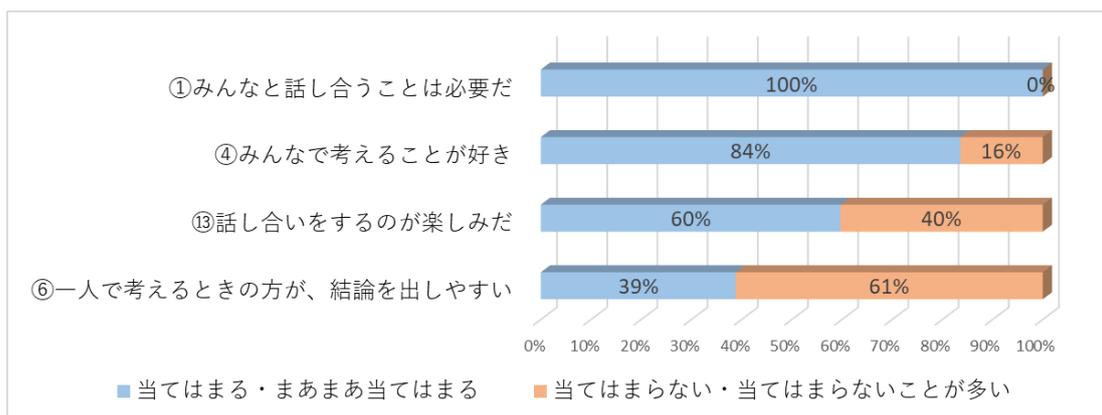


図7 質問①, ④, ⑬, ⑥に対する生徒の回答割合 (S中) N=134名

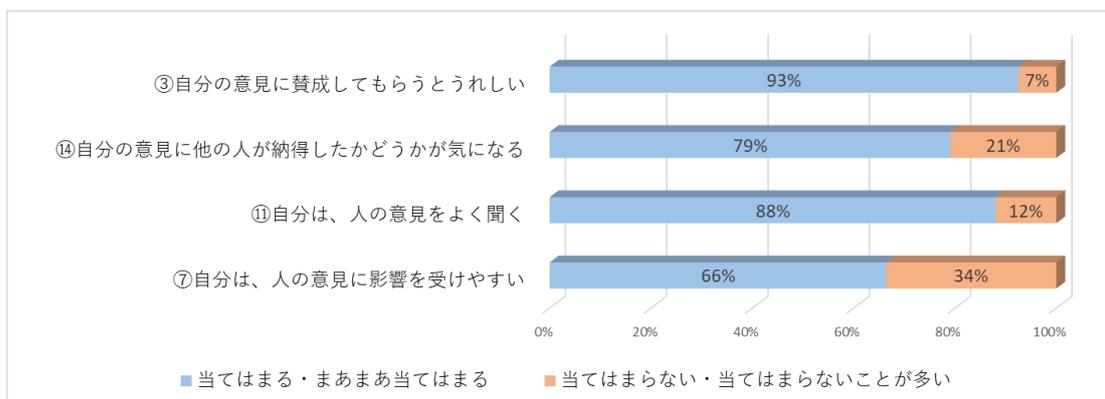


図8 質問③, ⑭, ⑪, ⑦に対する生徒の回答割合 (S中) N=134名

#### 4.4 事前、事後調査結果の比較 (H工業高校)

授業前後に行った「思考・判断・表現」に関する調査について(資料1), H工業高校の生徒の回答を比較した。判断に関する項目と表現に関する項目について、図9と図10で説明する。また「結論を出すきっかけ」についても比較検討した(図11)。

授業前に比べ授業後で、質問⑥「1人で考えるときの方が結論を出しやすい」生徒が増加し、質問⑦「自分は、人の意見に影響を受けやすい」生徒が減少し、また質問⑪「自分は、人の意見をよく聞く」と回答した生徒が増加していた(図8)。それぞれ増減はわずかだが、考えることに価値を見だし、自らの判断に自信を持つことによって他の意見に左右されることが減少し、自分の考えを相手に理解してもらおうという気持ちが人の意見を聞こうとする姿勢につながったのではないだろうか。とは言え、小さな母数で変化もわずかのため断定には至らない。次の機会で証明したいと考えている。

図10 質問⑧では、「自分の意見が正しいかを一度確認してから、発表する」ようになった生徒が増えていた。自分の主張に対してその根拠を3つ上げさせ、さらにその信頼性に

ついて意識させたワークシートの効果だと考える。Argumentにおいて重要な「論証」作業である。対象が工業高校生ということもあって、このような調査に対して最も変化が現れにくいだろうと考えていた。繰り返しになるが、実践対象を拡げて調査を続けたい。

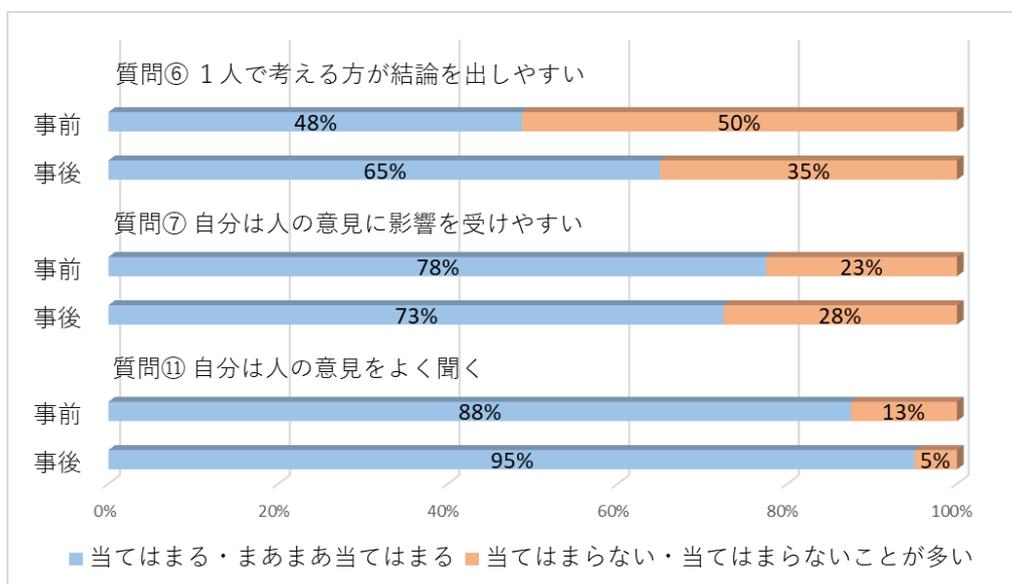


図9 思考や判断に関わる質問に関して (N=40)

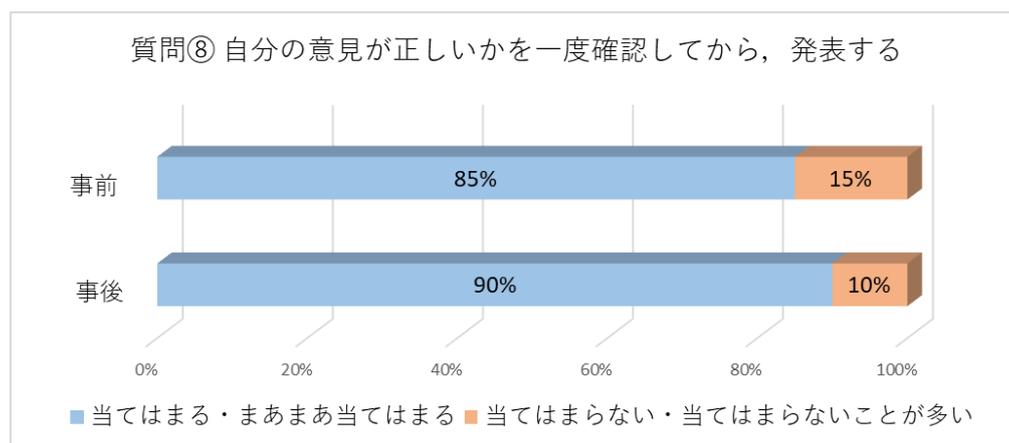


図10 「自分の意見が正しいかを一度確認してから、発表する」について (N=40)

図11では、「結論を出すきっかけ」に関して授業前後の違いを比較した。

選択項目「1. 自分の考え」「2. ネットで得た情報」「3. 新聞で得た情報」が増加したことから情報のインプットが多様化し広がったのではないかと、その反動で「4. 教科書や書籍からの情報」が減少したとも言える。「6. 友達の意見」をきっかけにする生徒が減少しているのは前述の結果(図8)と一致していた。

当初、アーギュメントを主体とした授業後は、友達の意見が大きなウエイトを占めるようになるのではないかと予想していた。この違いについてN中学校の担当教諭は、「しっかりと考えて出した結論は自ら価値付けを行い、他の意見に左右されなくなる、あるいは聞かなくなるのではないかと」と言う。その可能性は高い。N氏は2016年以降、「効果的な表現のための思考プロセスの可視化」をテーマとして実践に取り組んでいる。図11は、そのN中学校の2017年と2019年の調査結果の比較である。やはり「6. 友達の意見」をきっかけとする生徒は減少していた。

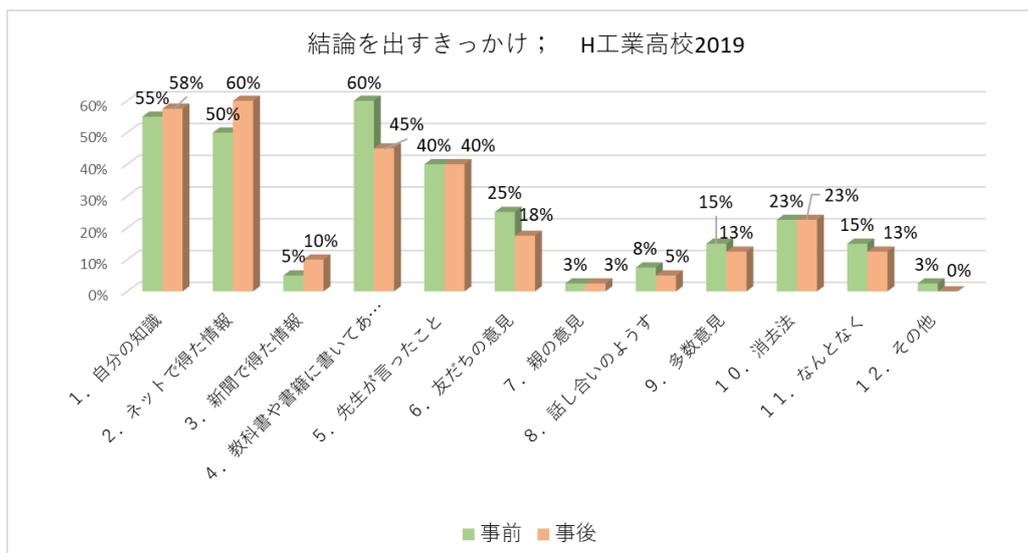


図 11 「自分が結論を出すきっかけ」に関する授業前後の比較

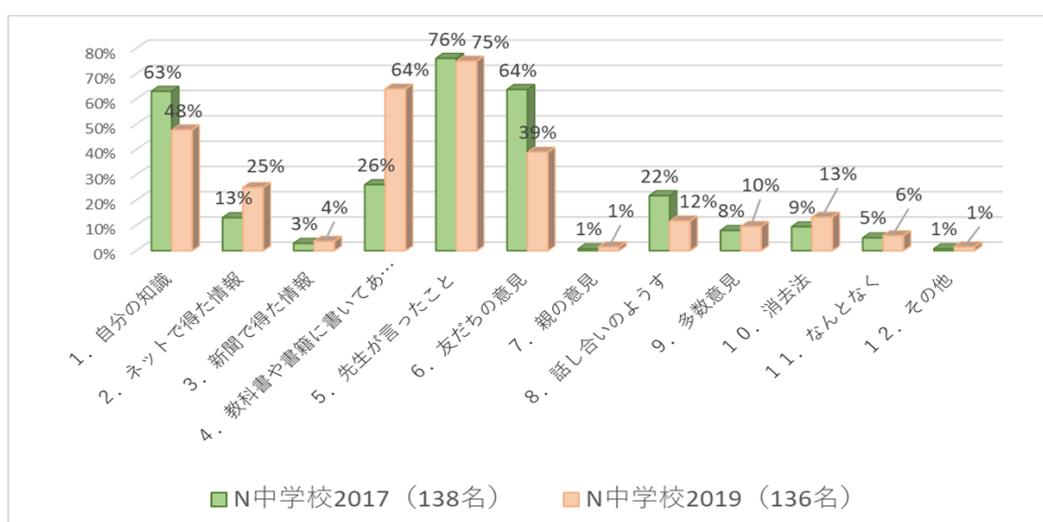


図 12 「自分が結論を出すきっかけ (N 中学校)」2017年と2019年の結果の比較

#### 4.5 授業の内容

中学校，高校，大学および教員研修において，生徒，学生，社会科教員を対象に授業を行った。中学校，高校の授業は研究協力者の教員が50分の授業プログラム1を(3章5節参照)，それ以外は萱野(研究代表)が90分の授業プログラム2(3.5参照)をアレンジして行った。資料として，原子力発電環境整備機構(NUMO)発行「高レベル放射性廃棄物について考えよう」と経済産業省資源エネルギー庁発行「日本のエネルギー2017, 2018」を，適宜配布して使用した。資料「日本のエネルギー」が2017と2018なのは，2019年2月の実践までは2017年版を使用し，3月以降は2018年版を使用したためである。これ以降，(「NUMO)リーフレット」，「日本のエネルギー」と記す。

それぞれで実践した授業の具体的内容について説明する。

##### 4.5.1 N 中学校

表1で示したように，2019年3月5～7日の3日間で2年生全5クラス136名に対して各2時間の授業を行った(指導案の詳細を資料6に示した)。対象が2年生で，高レベル放射性廃棄物地層処分問題についてほとんど知識を有しないため，2時間の授業を組んだ。

- 1) 単元名 「高レベル放射性廃棄物地層処分地を、科学的根拠を基に考え表明しよう」
- 2) 教材名 「HLW(ゲームアプリ)を用いて、高レベル放射性廃棄物地層処分を選定しよう」

### 1 時間目 / 2 時間授業

- 3) 目標 原子力発電において出される高レベル放射性廃棄物の地層処分の方法や科学的な仕組みを知ることを通して、これから解決しなければならない問題であることに気付く。

- ・3E+S, エネルギー自給率など日本のエネルギー事情の確認(資料「日本のエネルギー」)
- ・iPad を使った地層処分地の選定。(個人活動)

### 2 時間目 / 2 時間授業

- 4) 本時の目標

iPad のアプリ HLW を用いて地層処分を選定し住民を説得する方策を考えることを通して、アーギュメントスキルの獲得と、科学的根拠の必要性に気付く。

- ・高レベル放射性廃棄物処分地を、科学的根拠をもとに選定しよう。(個人活動)
- ・高レベル放射性廃棄物の地層処分地を1か所に決めよう。(小集団活動)
- ・まとめ

NUMO リーフレットを用いることで、すでに最終処分地の選定が終わった国もあることに気付かせる。

科学特性マップを用いることで、自分たちの住んでいる場所も選定の候補地となっていることに気付かせる。

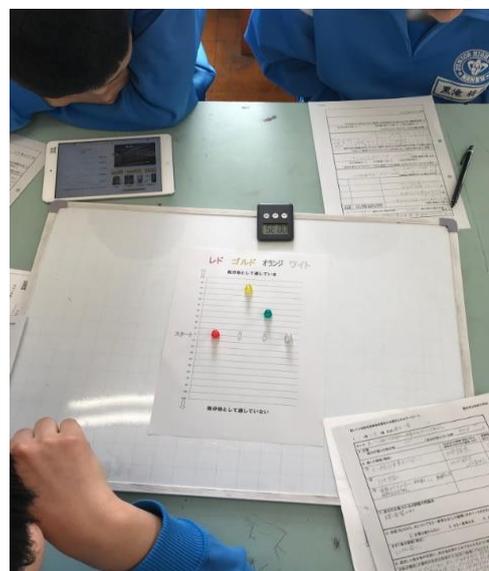


写真1 思考ツール活用した議論

2年生ということもあって1時間では不足と考え、iPadへの取り組みと自分の判断をまとめる時間を確保した。iPadを操作するということが高まった関心そのままゲームへの取り組みに続き、「相手を説得する」という設定が新鮮で、主張する場面でも真剣に取り組んでいた。この学びを学習単元のどこに関わらせるかが問題だが、2年であれば学年末の3月に「まとめ」として実践することは可能であろう。これは、担当した教員の言である。

## 4.5.2 T 中学校

2019年2月27日、3年生1クラス30名に対して1時間授業で行った(指導案の詳細を資料7に示した)。

学校長の卓越した指導力のもと、「志をもち、たくましく生き抜く生徒の育成」という学校教育目標達成のために、各教科が横断して授業を構築し実践する体制がとられている。理科担当の田中氏は社会科と共同して「合意形成する力を教科横断的に育むーESDから始めるエネルギー環境教育ー」のテーマとして、高レベル放射性廃棄物処分地選定問題に取り組んだ。

### 第3学年2組 理科・社会科 共同授業指導案

- 1) 本時の目標

- ・高レベル放射性廃棄物の地層処分地について、科学的な根拠に基づく賢明な判断とは何かを考えることができる。(理科:科学的思考)
- ・エネルギーの利用について、長期的な視野に立って現在の私たちに求められていることを考えることができる。(社会科:思考・判断)

授業は先に述べた50分授業プログラム1(3章5節参照)に沿って、展開した。

T 中学校の特徴は、社会科と共同で行った点にある。社会科では「世界ではどんな問題が生じているのだろう」として、貧富の差、難民やテロの問題と並んで「地球の環境とエネルギー問題」がテーマとなった。そこでは、エネルギーに関心を持ち、省エネへの積極的な取り組み、植林ボランティアへの参加などがあがり、エネルギーの使い方を多くの相手と考える、自分の考えを持ち伝えること、選挙に行くことの必要性についてなどが話し合われた。

そのエネルギーの学びの流れで理科では、発電の仕組みや相良油田見学を通して化石燃料について学び、今ある社会問題の 1 つとして高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題を取り上げ、考えさせた。担当教諭 T 氏は、iPad でのゲームを通しての学びだが「現実感を伴いながら社会的な問題について意見交換をすることによって、生徒に深い学びを提供できる」、これによって ESD 実現に欠かせない「合意形成する力を高める」ことになる、と言っていた。

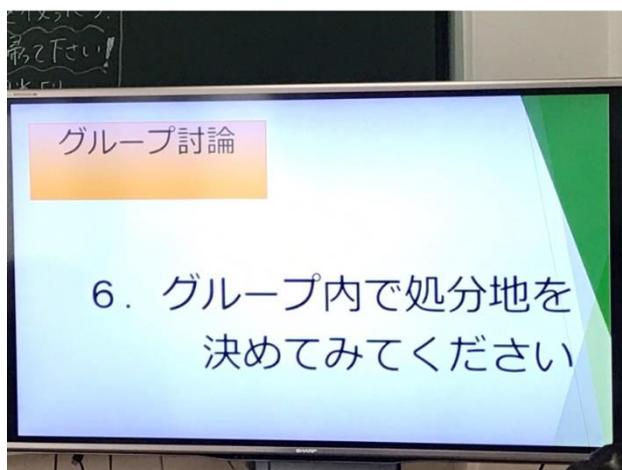


写真 2(左) iPad に取り組む様子

写真 3(上) グループ討論での指示  
(合意形成)

#### 4.5.3 S 中学校

2019 年 2 月 22～27 日、2 年生 1 クラス 30 名に「高レベル放射性廃棄物地層処分地選定における Argument」として 1 時間、3 年生 2 クラス 60 名に対して「エネルギーミックス」5 時間構成のうち「高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題と Argument」について 2 時間を費やした。

##### 4.5.3.1 2 年生の授業

50 分授業プログラム 1 (3 章 5 節)の内容で、授業参観日に実施した。

担当教諭 T 氏は次のように述べていた。「2 年生のレベルでは iPad から得られる情報の解釈や場面設定、放射線に対する理解が浅く、そのた



写真 4 生徒の様子 (授業参観日)

め議論にも盛り上がりが少なかった。1 時間だけという事もあるが、科学的な根拠よりも迷惑施設に対する NIMBY の立場での社会的根拠からの主張が多く、人口が少ない地域を処分地として支持する生徒が多く見られた。

保護者にも、iPad と NUMO リーフレットを配布し取り組んでもらった。保護者からは「(操作ではなく) 難しい(問題) ですね」, 「中学校でもこのような問題を取り上げるのですね」や「iPad を使った授業は面白い」等の感想が聞かれた。否定的な意見は見られなかった。

#### 4.5.3.2 3 年生の授業

2019 年 2 月 22 日から 26 日にかけて、3 年生 2 クラス 60 名に対して 5 時間構成のうち 2 時間を廃棄物地層処分問題と Argument に当てた。単元「科学技術と人間」での学習の一部として位置づけた。概要を以下に示す(指導案の詳細を資料 8 に示した)。

1) 「エネルギーミックス」の学習計画 (5 時間扱い)

##### ①科学技術の発展と発電方法の長所と短所

- ・エネルギー消費と GDP の増減は大きく関わりがあることから、エネルギー消費量を確保しつつ、経済活動を充実させることの大切さに気づく。また今の生活の中で電気エネルギーが多く消費されていることから、発電方法に着目してその仕組みを調べる。
- ・火力・水力・原子力・新エネルギーのそれぞれの発電方法における長所と短所を明らかにすること。調べるときには、具体的にわからないことを明確にすること。

##### ②放射線とは

- ・①の学習の中でわからないことの内の一つとして放射線や核分裂などがあげられるはずである。そこで、放射線の知識理解を深める。基本的な性質と距離と物質による遮蔽によって線量が減少することに気づく。(“線量計はかるくん” 使用)
- ・簡易霧箱を用いて、放射線の飛跡を観察する。360 度どこでも発生することや予測できないことなどに気づく。(簡易霧箱使用)

##### ③高レベル放射性廃棄物地層処分

- ・原子力発電による高レベル放射性廃棄物の処分について学習する。  
参考資料：NUMO リーフレット, NUMO 作成「創くんと望さんの動画」

##### ④HLW とアーギュメント

- ・iPad の HLW (High Level Radioactive Waste disposal: 処分地選定ゲーム) に取り組んで、高レベル放射性廃棄物処分地選定を行い、選定地の住民に受け入れてもらえるよう説得する。

##### ⑤2040 年の日本のエネルギーミックスへの提案

- ・自身が考えた 2040 年の日本のエネルギーミックスをグループに表明し、議論を行う。グループで合意したエネルギーミックスを表明する。表明先を資源エネルギー庁として、これをゴールとした。

参考資料：資源エネルギー庁発行「日本のエネルギー 2017」

実践の成果と、今後に向けた T 教諭の意見を紹介する。

##### 1) 成果

- ・根拠を持つことの大切さを知る機会となった。
- ・一般的な課題解決に科学的な根拠を示すことで理解が深まることに気づくことができた。
- ・科学的な根拠だけでは説明できないことを、社会的・経済的な根拠を見いだすことで解決しようとする態度が見られた。
- ・自分の考えを作るプロセスを体験することができた。

##### 2) 今後に向けて

- ・議論のスキル育成のためにもワークシートは継続して使用していく。
- ・議論の場でのグループ作りを工夫する。
- ・違う意見で関わらせることで、論証を深めることができるかもしれない(もう一度考える生徒や主張を変える生徒を増やしたい)。

- ・ワークシートを一部変更するだけで、他の単元、たとえば2年「電流とその利用」で合意形成を図る授業実践の可能性はある。
- ・理科だけでなく、道徳や学級活動などでも活用できる。  
例 キャリア教育「高卒と大卒どちらの選択が自己実現できるのか」など。

#### 4.5.4 H工業高校

2019年2月20日、電子科40名に対して2時間構成で授業を行った。

50分授業プログラムをベースにした本時の授業内容を以下に示した。なおこの前に1時間、「原子力発電は完全に廃止すべか?」、「今後日本はどの発電に力を入れるべきか?」について学んでいる。

##### 1) 授業の流れ

- ①問いの提示「高レベル放射性廃棄物は、どこに処分したらよいか? どうしたら合意を得られるか?」
- ②学習前の段階で問いについて考え、簡単に対話。
- ③NUMOリーフレット配布、「高レベル放射性廃棄物」について説明。
- ④4人1班で、一人一人がそれぞれ別の町の住人になる。  
「廃棄物処分場をどこにするか」の学習開始。(初めは個人活動)  
\*「国が半分、電力会社が半分費用を負担することになっている」と説明。
- ⑤アプリ起動→はじめに(初期設定)→自分の気持ちを入力→4市の影響の大小を入力。
- ⑥ワークシートに記入(A~E)
- ⑦グループ討論「あなたが選んだ処分地の住民を説得して下さい」  
(1分間×4人≒5分程度)←iPadアプリで計時係が計る。  
\*自分の選択地が自分の住む町と重なったら、「私が引き受けます。それは〇〇の理由で・・・」のように説明する。
- ⑧他の人の考えを聞いて、Fについて記入→Gについて記入
- ⑨グループ内で処分地を選定  
時間に余裕がなければ行わないが、10分あれば行う。
- ⑩ワークシート「分かったこと・思ったこと」を記入(学習後)



写真5 工業高校での授業の様子

本時は、校内の電気科と機械科の教員の関心が高く、多くの参観があった(写真5)。授業を担当したI教諭による授業の成果と課題と、授業で用いたワークシートに設けた「わかったこと、おもったこと」欄に生徒が記述した内容の一部を以下に示した。

##### ①授業の成果

- ・コンピテンシー・ベースの授業ができた。
- ・学びに対して達成動機を持って臨む姿勢が見られた。
- ・協働的な学びができた。

##### ②課題

- ・科学的な視点・観点がもっと強調されるとよい。
- ・他科目とのつながり、協力の可能性がある(工業・電気科「発電」「電力技術」)。
- ・時間配分(1回完結⇔3~5回)を考える必要がある。

##### ③生徒の記述

- ・合意を形成するのは難しいことだと感じた。

- ・自分とは違う考えの人とやりとりする中で、どうしたら分かってもらえるかを考えながら対話できた。
- ・色々な発電方法を使いながら電力を安定して生み出さないといけないことは分かっているが、放射性廃棄物をどこに処分するかを決めるのは難しいことだと感じた。

参観した教諭から、授業プログラムに対して、「“高レベル放射性廃棄物はどこに処分したらよいか？ どうしたら合意を得られるか？”という問いにより1時間の学習の動機付けがはっきりした。」、「授業全体で、対話の仕方と思考の変容のための仕掛けが明確であった」との評価をいただいた。

#### 4.5.5 Owatonna M. School (Minnesota)

2019年5月14日8:00(現地時間)から、筆者が8年生1クラス33名に対して80分の授業を行い(写真6)、20分の休憩に続いてD. Hettinga氏(担当教員)とDr. Thomas Meagher(Owatonna STEM Coordinator)がT&Tで、7年生1クラス32名と8年生1クラス27人を対象に授業を行った(写真7)。予定ではこの3クラスであったが、Hettinga氏が本プログラムに高い関心を持ち、次週にかけて3クラスを追加して実践することになった。いずれの授業も、筆者が作成したパワーポイント資料を用いて行った。50分授業プログラム1をベースとした授業の概要を以下に示す(詳細は資料9に示した)。

- 1) イントロダクション: 自己紹介, 日米の位置関係, 静岡県の紹介
- 2) 導入: 高レベル放射性廃棄物と処分方法について
- 3) シミュレーションゲームの内容と操作方法の説明
- 4) iPad操作とワークシートへの記入
- 5) グループ討論(Argument)
- 6) 廃棄物処分に対する世界の取り組みと日本の状況説明(科学特性マップ)
- 7) アメリカの状況説明
- 8) Where do you decide the disposal site of the high-level radioactive wastes?

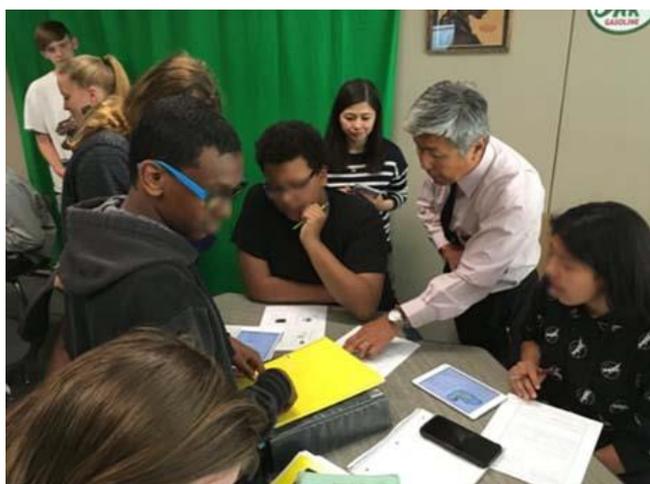


写真6 授業の様子1

授業で用いたワークシートは資料10として、授業後に課した課題1は資料11として末尾に載せた。

Owatonnaの中学生も日本と同様、高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題についてはほとんど知識が無かった。また議論の場でも、「1人1分で説明する」「説明が終わったら拍手する」の2つのルールのもとで真剣に取り組んでいる様子が見えかけた。

Hettinga氏は、「このような社会的問題に対しては、生徒に興味を持たせることが難しいが、このiPadのゲ

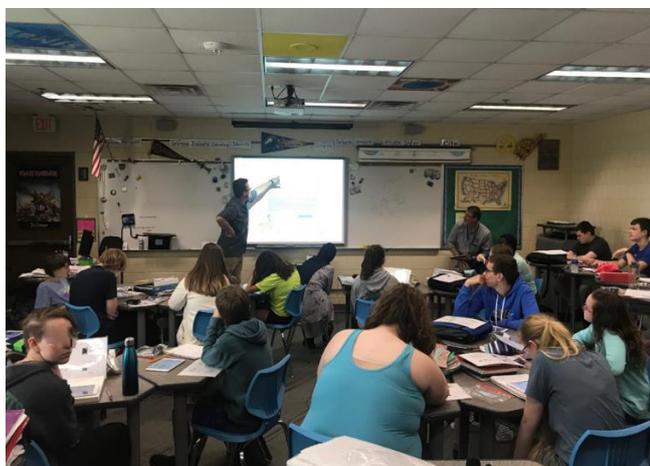


写真7 授業の様子2

ームはその点でよく考えられていて非常に効果的だ」。社会的問題を授業に取り入れる際のモデルになった、との評価を得た。

筆者の授業では、廃棄物処分問題を仮想の島を舞台として考えさせた後に、現実の問題として考えさせるよう発展させた。しかし Hettinga 氏, Dr. Meagher らは、「ミネソタ州にも原子力発電所がある。ここは火山も台風の心配もほとんどないし、よい岩盤の上に位置している。そういう意味では我々が処分地を引き受ける必要があるとも言える。」のように、身近な問題として捉えさせる手法をとっていた。ニュアンスに違いがあるかもしれないが、「怖がらせ、切実さを持たせることで、社会的問題を現実の問題として意識させるのだ」とも言っていた。また、「様々な社会的問題 Socio-Scientific Issues に対する我々米国の教師の認識は大きく違っていて、それを子ども達に提供することが教師の義務だ」とも言っていた。日米の違いを強く実感した。

#### 4.5.6 大学生および現職教員に対する授業

表 1 で示したように、多くの機会を得て 5 つの大学と教員研修の場で合計 8 回の授業を行った。

90 分授業プログラム 2 をベースに、教育学部生および教員に対しては 2017 年改定の学習指導要領と 2015 年の教育課程企画特別部会における論点整理 (図 13) と関わらせて、またそれ以外の学生には 2018 年内閣府提案による Society 5.0 (図 14) と関わらせて、議論することの意義と技法、そのスキル獲得の必要性について説明した。

授業後の課題として、高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題に対する知識の定着と、この問題に対して自身がどう考えているかの再認識を意図した課題 1 と、2017 年に経済産業省が発表した科学特性マップを提示し、居住地を含む地域での処分地選定を求めた課題 2 を課した。仮想の島を舞台とした処分地選定プロセス体験後、この問題にリアリティを持たせた。

授業で用いたワークシートと課題 1, 2 に生徒が記述した内容については、後述する。

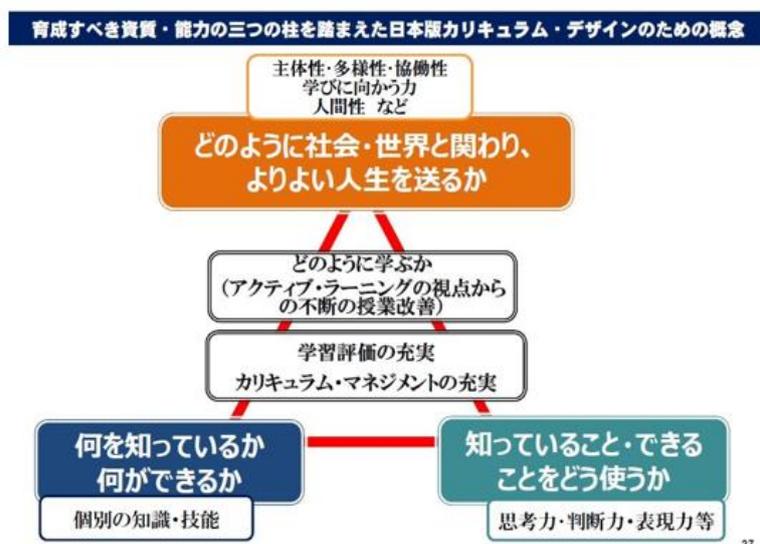


図 13 論点整理・教育課程企画特別部会 2015 年 8 月

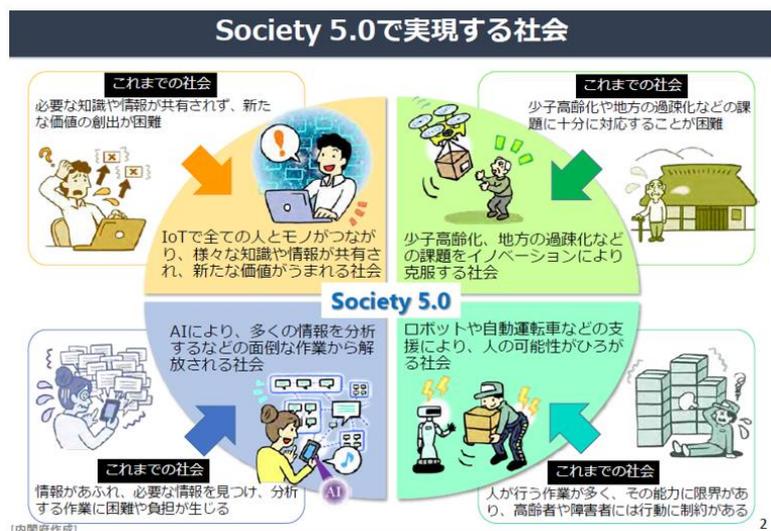


図 14 Society 5.0・内閣府 2018 年

## 4.6 生徒、学生の記述

### 4.6.1 ワークシート

2019年7月19日の授業で使用したワークシート(資料4)に、大学の3,4年生が記述した内容について述べる。記述したワークシートの一例を資料12に示した。参考までにOwatonnaの中学生が記述したワークシートを資料13に示した。

学生はiPadを操作しながら様々な情報を得て、北部西のレッド、北部東離島のゴールド、中央部東のホワイト、南西のオレンジの4候補地から(図15)、高レベル放射性廃棄物処分の候補地を1市選択した。彼らが選択した候補地とその割合を図16に示した。また、選択した理由(根拠)をカテゴリー化して図17にまとめた。

コロール島北部離島の「ゴールド」を最も多くの学生が選んでいた(63%)。続いて南西部のオレンジ30%、東部のホワイト7%、北西部のレッドは0人だった。ゴールドを選んだ理由としては、地域振興、人口増加につながる。(離島で)人口が少ないから万一事故が起きても被害が最小限に食い止められる、港建設のコストがかかるが有効利用できる、等が見られた。オレンジを選んだ理由としては、既に低レベル廃棄物貯蔵地があり、原子力関連で生計を立てている人が多いから、住民理解が得やすい。また、政府がここに建設したいとの意向、沖合設置の可能性もあげていた。ホワイトについては、土地が広いこと、農作地に適さない等の理由をあげていた。

ワークシートでは根拠の信頼性を吟味するよう仕向けていたが、ほぼ全員が廃棄物処分に対する知識がなく全ての情報をiPadに頼ったため、これはほとんど機能しなかった。

図18は、Owatonna M. Schoolの中学生7年生と8年生が選んだ割合である。大学生とその順番は同じだが、9%(6名、有効数70名)の生徒がレッドを選んでいた。ホワイト、レッドを選んだ多くは、論証の後や主張の後に主張が変わったり、わからなくなったりしていた。

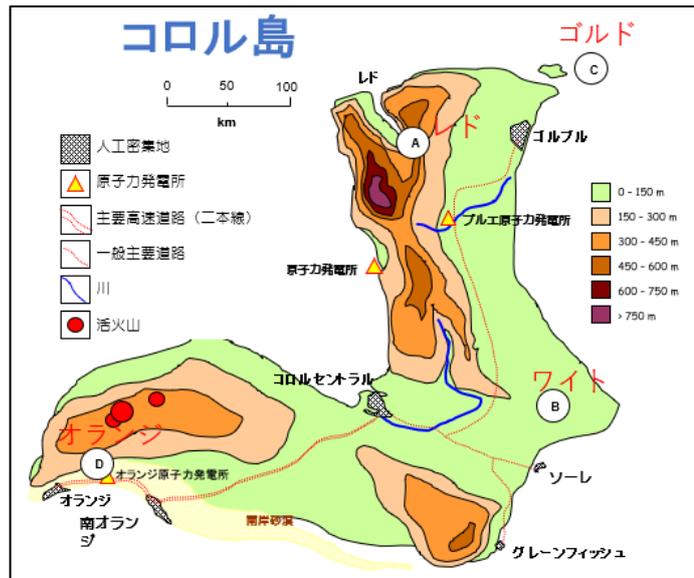


図15 コロール島

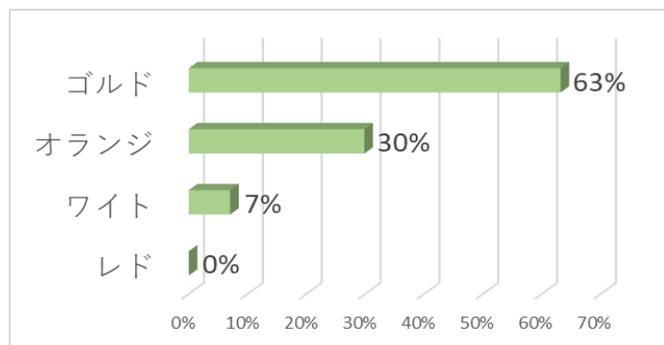


図16 S大学生が選んだ処分地の割合

選定地	ゴールド	オレンジ	ホワイト
理由	地域振興	既存施設	産業影響
	被害範囲	住民理解	広い土地
	人口増加	政府の意向	運搬の利便性
	コスト	生計要素	
	岩盤状況	沖合の可能性	

図17 処分地候補と選定理由

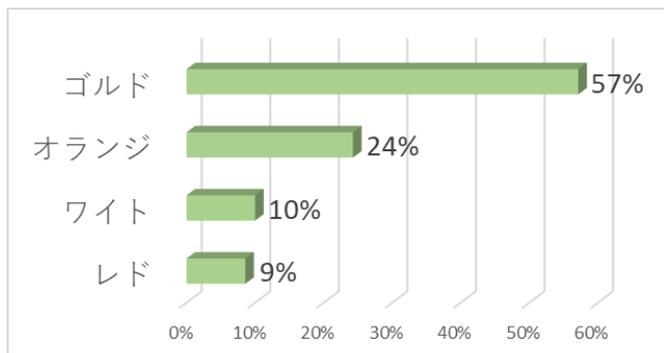


図18 米国中学生の選択

#### 4.6.2 課題 1

授業後に課した課題 1 に対して (資料 2), T 中学校 3 年 30 名の回答について検討した。

1) 「高レベル放射性廃棄物の処分方法として地下深部に埋設する方法について、あなたは？」

上記質問に対して、「支持する・まあまあ支持する・あまり支持しない・支持しない」の 4 つから選択させた。生徒の回答の割合は図 19 の通りで、70%以上の生徒が肯定していたが、30%近くの生徒は支持していなかった。「地震で地形が変わるかもしれないから」「(放射線を浴びすぎると)体に良くないと授業で習ったから」「(自分が住んでいる所の)地下にあるのはなんか嫌だから」等の理由を挙げていた。人工バリアと自然バリアによる安全性の担保について敢えて強調しなかったことによるものであろう。

理科教員志望の大学 2 年生 27 人は、同じ質問に対して、「安全とは限らないから、あまり支持しない」の 1 人を除いて、26 人が支持する、と回答していた。

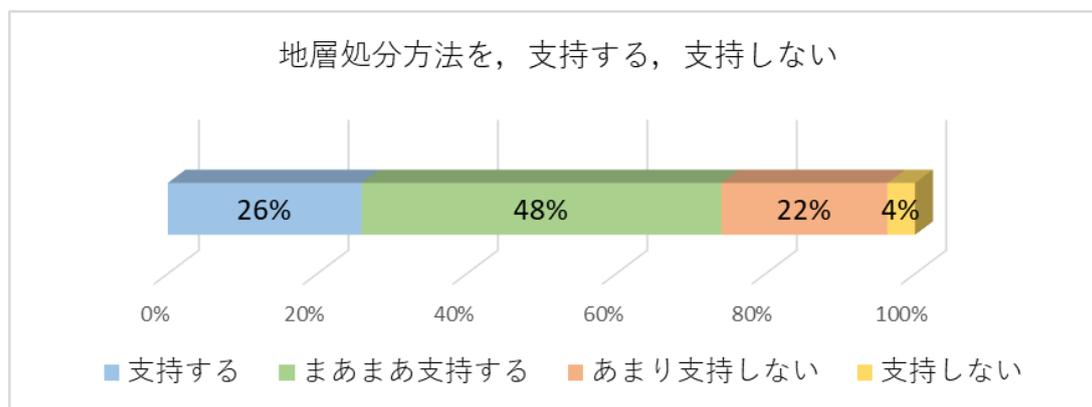


図 19 地層処分支持, 不支持の割合 (T 中学)

2) 「高レベル放射性廃棄物の処分に対して、どこにどれくらい責任があるか」

上記質問では、全体を 100 として、「政府」「電力会社」「原発がある地域の人々」「全国民」「その他」それぞれの責任を数値化させた。T 中学生の回答結果を図 20 に示した。

Owatonna M. School の中学生 (有効人数 56 名) の回答は図 20 の通りであった。米国は州制度のため、州政府と政府、州民と国民のように責任が分散した。Meagher 氏が責任所在先を増やした調査問題を使用した。

参考：S 大学生と比べると、T 中学校生は、電力会社の責任は小さく (T 中学生 30%, S 大学生 22%), 原発所在地の地域住民の責任が大きいと答えていた (T 中学生 7%, S 大学生 17%)。

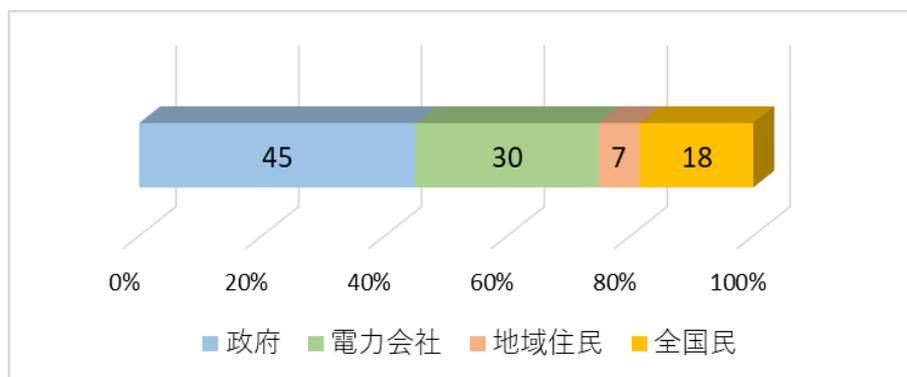


図 20 廃棄物処分に対する責任の所在 (T 中学生)

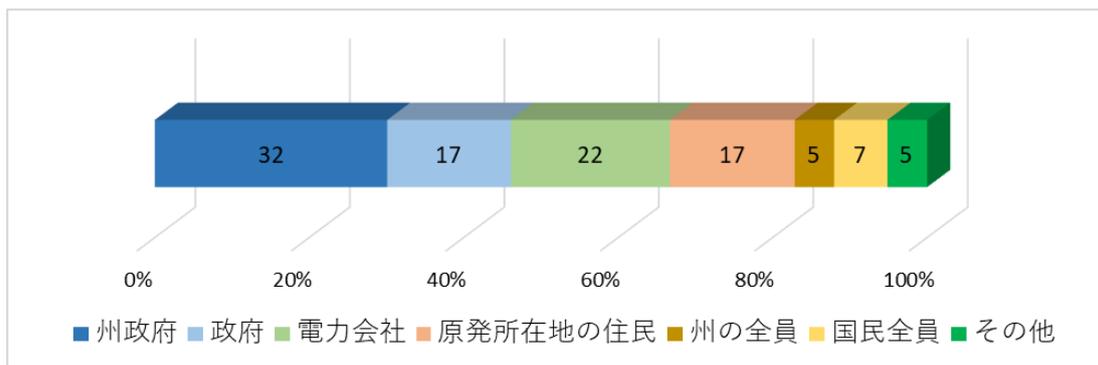


図 21 廃棄物処分に対する責任の所在（米国中学生）

### 3) 「処分場を決める際に、あなたが最も重要だと考える要素は？」

上記の質問では、「1. 地上の自然環境 2. コスト 3. 地域への経済効果 4. 地下の安全性 5. 住民の合意」の5つから1つを選択させた。S大学の工学部・情報学部の学生と、人文社会学部他の学生の回答割合を図22に示した。人文社会学部他の学生は、「4. 地下の安全性」と「5. 住民の合意」を重要だと回答していたが、工学部・情報学部の学生は違っていた。この違いが、学部の違いからか、2年生（工学部・情報学部）と3,4年生の違いからかは不明だが、理系, 文系指向の違いの可能性も考えられる。合意形成の難しさが1つ示された。

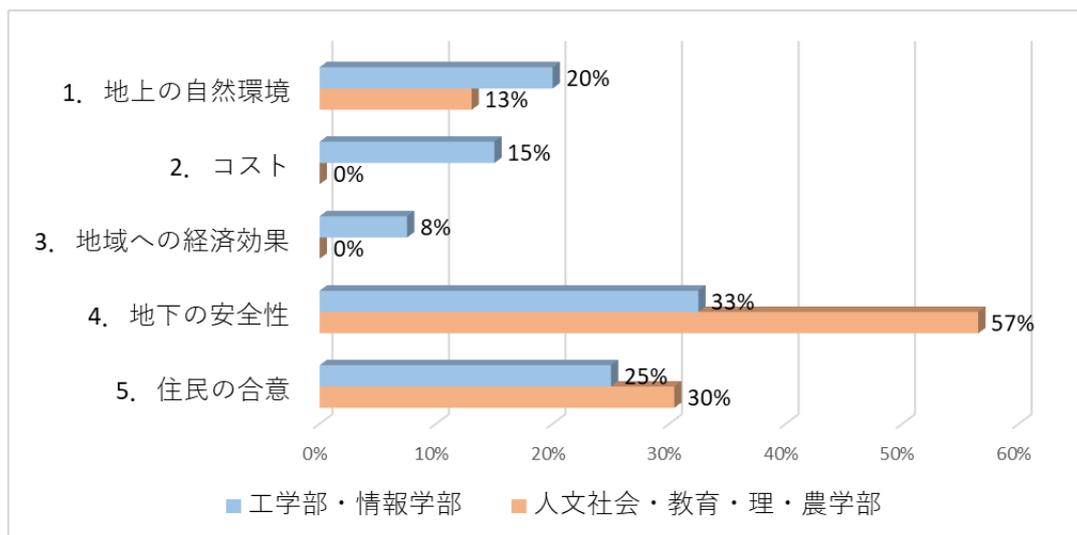


図 22 S 大学生が選択した処分地選定時の重要な要素

#### 4.6.3 課題 2

ここでは、S大学教育学部理科専攻生を対象に実践した授業の結果について述べる。

課題2は（末尾資料3）、授業で使用したワークシートのスタイルをとった。自分たちの居住地が含まれる地域一帯の科学特性マップを示して、処分地を選択させる内容とした。裏面にその地域の活断層と活火山の情報を印刷したA4用紙1枚を、NUMOリーフレットと資源エネルギー発行の日本のエネルギー2018を持ち帰らせ、1週間後の提出を求めた。表面に印刷した科学特性マップを図23に示した。

課題2では、「中央圏に処分地を設置するとしたら？」をテーマとした。授業ワークシートと同様に、「A. 主張」「B 根拠（その出典・信頼度）」「C. 自分の主張にある課題や問題点」「D. Cの課題や問題点の解決策あるいは妥協点」を記述する欄を設けた。

学生が選んだ場所とその人数を図24に示した。

茨城県の日立市周辺の海岸地域を最も多くの学生が選んでいた(6人)。次に、和歌山県串本氏市周辺、静岡県御前崎市から西の海岸線、能登半島周辺、三重県四日市市から鳥羽市、伊勢市にかけての海岸線を複数の学生が選んでいた。海岸に沿った地域が多かったのは、「高レベル放射性廃棄物は海上輸送を基本とする」の説明のためであろう。しかし、「地震や津波がない」の理由で内陸部を選んだものもいた。茨城県の日立市周辺が多く選ばれていたのは、近

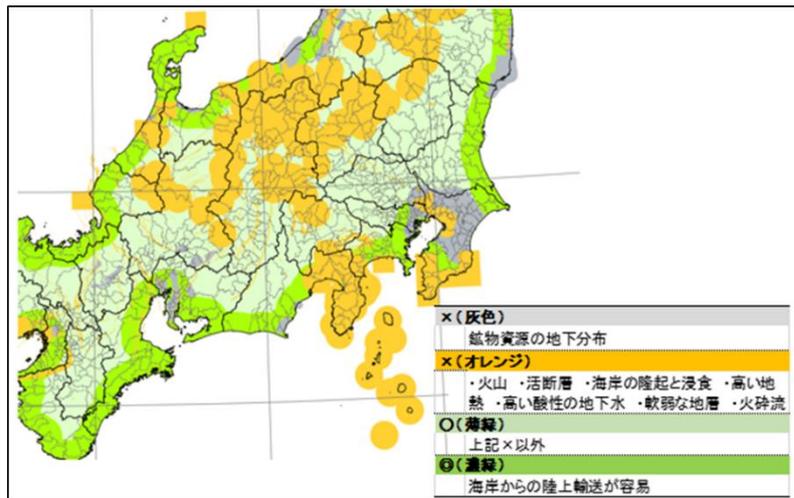


図 23 処分地選定地域の範囲

隣に原子力発電所があり輸送コストや住民理解の理由からであろうと思っていたが、そのことを挙げていたのは2名で、「自分の住んでいるところ(静岡市)から遠いから」が2名、「断層がない」からが2名いた。しかし、御前崎周辺と福井若狭湾を選んだ理由は「原子力発電所の存在」であった。東海村に原発があることを知らない可能性も考えられる。2019年7月の同時期に人文社会学部他の3,4年生が課題2で選んだ地域も、上記と同様に、茨城県日立市周辺の海岸線、能登半島、三重県が多かった。

北海道教育大の教員志望学生1年生10人に対しては、北海道の科学特性マップを示し、裏面には北海道の活断層と活火山の分布情報を示した。彼らは、輸送の容易さ、人口の少なさ、断層、火山の有無を理由に、襟裳岬周辺(4名)、幌延(2名)、北東部海岸線(2名)、旭川北部(1名)、歯舞群島(1名)を選んでいた。幌延を選んだ2名は、深地層研究センターの所在を理由の一つに挙げていた(2名は未提出)。

自分の居住地を含む一体に処分地を決めるに当たっては、どの学生も、根拠を3つ以上挙げて結論を出していた。さらにその結論にある課題を自ら考え、その解決策、妥協点まで記述していた。課題2が受講科目の成績に大きく関わらないことを承知した上で、彼らは真剣に考え根拠をもとに論理的結論を出していた。大いに評価できると考える。

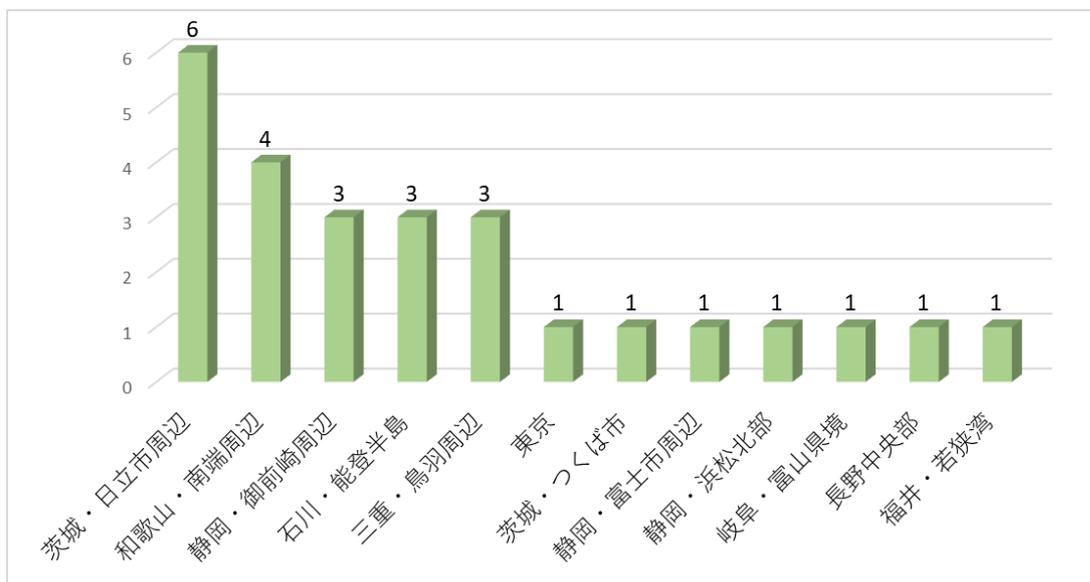


図 24 大学生が選んだ処分地とその人数 N=26名

## 5. STEM教育の視点からの評価

米国の科学教育改革の一つとして科学人材育成を目指した STEM 教育の 8 つの主要な活動の 1 つに、“Argument: Engage in argument from evidence (in science and Engineering)”がある。本研究でも“Argument”は重要な要素であることから、開発した授業プログラムを、米国の STEM 教育実践および研究の専門家である Dr. Meagher, Dr. Roehring, Dr. Wieselmann の協力を得て STEM 教育の視点からその有効性、親和性について検討した。

- ・実際の社会問題をテーマとしていることに価値が大きい。  
(STEM では、社会問題をどう組み込んでいくかが課題の一つとしてある)
- ・数量的な要素が表面に出てこないが、考える前の気持ちや各市に対する評価をスコアとして表して判断する行為は、数学が大きく関わっていて Math. の面からも評価できる。
- ・読解力や表現力を評価するに適している。
- ・Critical thinking によって意思決定し、Argument するプロセスは効果的だ。
- ・段階的な Argument: 個、小グループ、大グループの展開を取り入れている。

等の意見が出て、STEM 教育の視点からもこの授業プログラムは高く評価された。

他にも、「思考や議論をリードする良いワークシートだ」との評価もあった。さらに、ミネソタ大学の学生にも是非体験させたいとのオファーもあり、STEM 教育専門家は、中学生に限らず大学生に対しても実践の価値を認めていたようだ。全体を通して、STEM 教育との高い親和性が示されたと考える。

社会問題の解決には、論理的、分析的思考力が欠かせず、廃棄物処分問題では経済的な視点や、地層などに関する幅広い知識が必要なことを実感することで、それぞれの教科を学ぶ意義を知ることにつながる、ことについても共通理解が得られた。

## 6. まとめ

本研究は、学校現場で生徒や学生を主な対象として教育実践を行う手法で行った。

その教育現場では、新しい学習指導要領の全面実施を間近に控え、指定校や前倒しての実践を通して意欲的な取り組みがなされている。新しい学習指導要領では、どのような知識を得て、それをどう活かして、どのように社会・世界と関わっていくかが問われ、教科の学びの中で社会性や市民性の育成が求められている。一方、第 5 期科学技術基本計画において国が目指す新しい未来社会として Society5.0 が提唱され、劇的な社会変革が間近に迫っている状況にある。この先には、科学や技術に経済発展の要素が加わった、今まで予想されなかった社会問題が出現するのは間違いないだろう。そこで求められるのが、課題を自らに関わる問題として捉え、正確な情報から判断し、課題解決の場に積極的に参加しようとする姿勢、つまりシティズンシップと、主張を理解してもらうための主張のスキルであろう。この点においては、「自ら知識を求め、考え判断し主張する活動を主体とした実践」で目指す本研究の目的と合致している。

そこで中学生以上を対象に、現実にある社会問題の一つである高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題をテーマに Argument を主体とした合意形成プロセスモデルの授業をデザインし、通常の理科授業として実践した。中学生にシティズンシップを求めたのである。さらに教員志望の学生に対して同様の実践を行うことによってシティズンシップ育成に加えて、卒業後に教師として関連授業を実践しようとする意識の醸成と能力の育成も目指した。研究期間中の実践を通して、681 名の受講者に対しては少なくとも廃棄物処分問題の認知させることはできた。

また、

- ・処分地はデータだけでは決めることができない難しい問題だと気づいた。でも自分の問題としてこれからもしっかりと考えていきたい。
- ・みんなが根拠を持ってしっかりと考えて話し合えば、合意できると思う。今まで知らなかった問題を知れて良かった。
- ・今日はゴールドを選んだ人が多かったけど、「日本」で考えるともっと選択肢は多くなっていくし、今度は住民の声もより考えなければならないと思う。考え方は同じでも放射性廃棄物の処分地を決定するのは簡単ではないとわかった。といった中学生の感想や、
- ・データやコストから処分地を決めることは簡単だが、その住民を説得することは難しいと感じた。しかしその中でも、しっかりとした説明で理解を得ることが大切である。廃棄物処分の問題は今後の課題なので、ニュースなどで注意して情報を集めたいと思った。
- ・今、実際に社会問題になっていることに目を向け考え、議論することで、子どもの問題解決能力が育つと思った。安全性、経済や産業など様々な面から考えるのが楽しかった。
- ・ベストな場所を見つけるのはどうしても難しく、ベターな場所をどう探していくのかを考えるのが大切だとわかった。

といった教員志望学生の感想を見ると、彼らには本実践を通して市民性を芽生えさせることができたのではないかと考える。

授業プログラムの開発とともに、iPadのゲームプログラミングで英語版を開発し、実際に米国の中学生に実践できたことは大きな収穫であった。高レベル放射性廃棄物地層処分地選定問題に対する認知の低さやiPadに真剣に取り組む様子は日本の中学生と同じだが、身近な場所を想定した主張や、バーター的な議論など、学ぶところが多かった。最適解を不変なものとして位置づけるのではなく、現時点でのベストあるいはベターな解決策として捉えさせるべきなのだろう。今後の指導に対する示唆を得た。

日本語版、英語版にそれぞれの言語で加えた5分程度のVTRについても、「わかりやすい、よくわかった」などの評価が得られた。その英語版だが、N中学校での実践でクラスに在籍するブラジルやフィリピン国籍の生徒の学習に大変役に立った。これは予想外の収穫があった。これからのプログラムや教材の開発にはユニバーサルデザインの視点は欠かせないことに改めて気づかされた。英語版にはフィンランドの地層処分作業を担当するPosiva社作成のVTR (<https://www.youtube.com/watch?v=IfiHLM2qq18>)、日本語版には電気事業連合会のVTR「<http://www.fepc.or.jp/sp/chisoushobun/dispose.html>」をインストールしたが、電気事業連合会のVTRには日本語のテロップが入っているものもある。日本語版のVTRをこれに代える予定である。

国内で、公立中学校3校、公立工業高校1校で実践したが、いくつかの課題が明らかになった。

#### ・学校長との交渉

高レベル放射性廃棄物処分の問題を義務教育に取り入れるのには、原子力発電再稼働の可否の問題に比べればそうでもないが、ある程度のハードルがあるのは事実である。本実践は、この問題を仮想の島を舞台にゲームとしてタブレットで取り組むという事で、学校長から全面的な了解を得て実践することができた。しかし今後は、現実にある社会問題として科学特性マップの教材化や地層処分しなかった場合のリスク認知などの領域に向かうことは避けられない。教育委員会等との事前交渉はより重要になってくると考える。

#### ・実践時期の集中

エネルギーや放射線が関わる社会問題をテーマにした場合、中学校理科3年単元「科学技術と人間」のように、学年末の2月から3月の学習に集中する。iPadでの取り組みは生徒の興味を引き出すには効果が高いが、限られた台数を考えると平行してWebでの学習プログラムの構築を急ぐ必要があるだろう。

- ・社会問題に対する学習の必然性

重要な課題である。先に述べたように、社会や学校を取り巻く環境は徐々に変わりつつあり、学習指導要領でも社会との関わりを取り上げるよう指示していて、生徒は社会参加の大切さを学ぶようになるだろう。しかしまずは、教師の意識改革のもと、教師自信がその必然性を持つことが肝要であるように思う。本プログラムとワークシートは、学習目標や議論の内容に応じて修正すれば、単元の枠や教科の枠を超えて利用できると考えている。

今回の実践研究を通して、生徒や学生の授業に臨む姿勢、実践前後の記述文の内容から、彼らのいくらかは科学や技術に関わる社会問題を自らに関わる問題として意識するようになり、ある程度市民性の芽を育むことができたと考えている。

今後も、Argumentによる合意形成プロセスを組み入れた効果的な教科学習をデザインし、現場の教師と協同して実践を継続していきたいと考えている。

## 附記

個人情報および倫理面等への配慮として、本研究に関わる記録や調査もその目的が学術的な関心にあることを示した上で、収集したデータが個人の評価には一切関わらないこと、研究グループ内でのみの活用を原則として学会等での発表に際しては個人が特定されないよう配慮すること、研究期間終了後も同様に扱うことを、調査対象者のうち高校生に対しては書面で（資料14参照）、その他については口頭にて伝達し了解を得た。

## 謝辞

本研究は、株式会社三菱総合研究所「平成30・31年度地層処分に係わる社会的側面に関する研究支援事業」の採択を受けた「Argumentによる合意形成プロセスモデルのデザインと実践」によるものである。ここに謝意を表す。

## 注釈

### 1) シティズンシップ, Citizenship

：経済産業省 シティズンシップ教育宣言（2006年）

多様な価値観や文化で構成させる社会において、個人が自己を守り、自己実現を図るとともに、よりよい社会の実現に寄与するという目的のために、社会の意思決定や運営の過程において、個人としての権利と義務を行使し、多様な関係者と積極的（アクティブに）関わろうとする資質。

### 2) アーギュメント, Argument

科学的なデータや根拠を基に相手を納得・説得するための一連の言語活動への取り組み（一部参考：T. W. Crusius, C. E. Channell（杉野他訳）、「大学で学ぶ議論の方法」、慶應義塾大学出版会、2004）。

### 3) 平成24～26年度科学研究費(C)課題番号24501094「理科学習の有用性を実感できるキャリア教育プログラムの開発とハブシステムの構築(代表・萱野貴広)」

### 4) 平成25、26年度挑戦的萌芽研究(課題番号15K12376)「シティズンシップ育成のためのセカンドステップとしての理科学習プログラム開発と実践(代表・萱野貴広)」

### 5) STEM教育

将来の科学人材育成を目指した米国の戦略であるSTEM（Science, Technology, Engineering, Mathematics）教育を、「科学・技術・工学・数学を一体として初等中等教育活動に盛り込み、分離横断型の展開により将来最先端の科学技術分野を担う人材育成につながる」とした日本型モデルの展開を参考に、申請書では表現している（熊野、「静岡STEMプロジェクト2014年報告書」、2014）。

### 6) ITC: International Training Center

スイス・インナーキルヒェンに本拠を置く放射性廃棄物の処分に関連する技術研修を国際的に行うために設置された協会である。その研修は School of Underground Waste Storage and Disposal と総称され、廃棄物の地下処分に関連するあらゆる内容についての理論と技術に関する研修が行われる。理学や工学的な内容だけでなく、政策判断やコミュニケーションなど、処分行政に関わる部分も含まれている。現在この協会は解散している。

#### 7) 仮想島「コロール島」の状況

「コロール島は人口 350 万人で、3つの原子力発電所があります。約 50 万人のコロールセントラル市（島の中央部）の電気は西原子力発電所から供給されています。約 70 万人のコルブル市（北部）の電力はプルエ原子力発電所から供給されています。沿岸部のオレンジ市周辺はオレンジ原子力発電所から電力が供給されています。砂漠地帯なので夏に消費電力が多くなります。これらの原子力発電所はコロール電力が運営しています。

国は長年海外で使用済み核燃料の再処理を行ってきましたが、再処理を行った国から、コロール島の高レベル廃棄物を返還したいとの要望があり、政府はコロール電力に高レベル廃棄物処分場に最適なサイトの選定を行うよう指示しました。また、今後のエネルギー計画はまだ決まっていますが、処分地設置費用はコロール電力が半分を負担し、残りの半分以上を国が税金でまかなう予定です。

廃棄物処分場建設に向けた選定プログラムを立ち上げたところ、4都市（北部のゴールド、レド、東部のホワイト、西部のオレンジ）から前向きな回答を受けました。この中からどの地域が処分場としてふさわしいでしょうか？」

#### 別添資料

- 資料 1 質問用紙「思考・判断・表現」： 事後調査にも使用した。
- 資料 2 課題 1
- 資料 3 課題 2
- 資料 4 HLW ワークシート
- 資料 5 コロール島処分地候補 4 市の情報
- 資料 6 磐田市立 N 中学校指導案
- 資料 7 磐田市立 T 中学校指導案
- 資料 8 島田市立 S 中学校指導案
- 資料 9 Owatonna M. School 指導用パワーポイント資料
- 資料 10 Owatonna M. School ワークシート
- 資料 11 Owatonna M. School 課題 1
- 資料 12 大学生が記述したワークシート例
- 資料 13 Owatonna の中学生が記述したワークシート例
- 資料 14 倫理面への配慮

以上