

令和元年6月24日現在

機関番号：32605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01031

研究課題名(和文) 持続可能性(Sustainability)に関するSTEM教材の開発と国際比較

研究課題名(英文) Development of the STEM teaching materials on the sustainability

研究代表者

坪田 幸政(TSUBOTA, YUKIMASA)

桜美林大学・自然科学系・教授

研究者番号：70406859

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：高校生と大学生を対象として、持続可能性(Sustainability)に関するSTEM教材を開発した。テーマは再生可能エネルギーの利用技術と食物生産、物質循環、地球環境とし、制御技術やプログラミング、統計力を培うことを目的とした。また、諸外国でのアンケート調査を参考にして、持続可能性に関するアンケート調査を行った。持続可能性に関する認知度は、あまり高くないことがわかった。また、高校生と大学生では、持続可能性に対する認識と意識に違いのあることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高校生と大学生の持続可能性に対する認識調査に関する知見が得られたことで、持続可能性に関する組織としての取り組みや指導者研修、継続的な学びの必要性など、持続可能性の理解を増進させるための方向性を見極めることができた。また、本研究で開発したSTEM教材の普及を図ることで、持続可能な社会の構築に貢献できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：We developed STEM teaching materials on sustainability for high school students and university students. The themes are renewable energy, food production, cycles of matter, global environment. The objectives are to acquire skills in science, engineering, technology, and statistics. Also, based on the questionnaire surveys in other countries, we conducted a questionnaire survey on sustainability. It was found that awareness of sustainability was not very high. In addition, it was found that there is a difference in perception of sustainability between high school students and university students.

研究分野：大気科学と科学教育

キーワード：持続可能性 SDGs STEM 地球環境 気候変動 教材開発

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

1990年代後半から、米国大気科学大学連合（UCAR）や米国気象学会（AMS）などと連携し、大気と天気をテーマとして、児童・生徒・学生の科学リテラシー育成に取り組んでいた。また、オゾンホールと地球温暖化、異常気象も含めた気候変動に関する教材開発を行い、高校生のための環境科学講座やサイエンス・キャンプを通して開発教材の評価と普及を行ってきた。講座参加者の女子の割合が高く（平均 67%、54%～81%）、この分野は女子の関心が高いことがわかった。また、気候変動の教育には、科学の方法の適用が困難であり、理科の枠組みを越える必要があることがわかった。その後、気候リテラシー育成のためのカリキュラム開発を行う中で、統計的な見方と工学的な手法が有効であり、STEM 的アプローチ（本研究のテーマ）に思い至った。

2. 研究の目的

気候変動を中心課題とした持続可能性（Sustainability）に関する STEM 教材を開発し、評価する。科学（Science）・数学（Mathematics）分野と比較して、工学（Engineering）・技術（Technology）分野は女性の社会進出が遅れている分野なので、男女共同参画社会の構築に寄与できる教材開発を目標とする。また、持続可能な社会の構築では、市民の共通理解が必要となるので、web による認識（Public perception）調査を実施し、諸外国の調査結果と比較すると共に教材開発に役立てる。研究成果は国際社会に向けて、日本版「地球の操作マニュアル」として英語で公開する。

3. 研究の方法

研究体制は、研究代表者と桜美林大学自然科学系と環境研究所に所属する研究協力者で構成する。海外の連携協力先は米国コロンビア大学の気候研究グループとする。教材開発の具体的なテーマとして、女子の関心の高い「気候」、「エネルギー」、「人口（生命）」とする。気候変動の生態系への季節学的影響やバイオマスの利用などを教材化する。そのために、バイオエタノールやバイオ水素の教材開発で実績のある光明理化学工業（株）と連携する。また、持続可能性に関する市民の認識調査のための web サイトを開設し、予備調査を実施する。二年次以降は、web 調査、教材開発、外部評価と普及という 3 本柱で研究を進める。

4. 研究成果

(1) 持続可能性（Sustainability）に関する STEM 教材

① 再生可能エネルギーに関する STEM 教材

持続可能性を考える時、増大するエネルギー需要への対応と二酸化炭素の排出削減（地球温暖化の緩和策）は重要課題である。そこで、再生可能エネルギーの利用技術（ヨー制御と太陽追尾）に関する STEM 教材を開発した。風向の変化に合わせて風車の向きを変えるヨー制御は発電効率に大きく影響するが、あまり知られていない。太陽の日周運動に合わせて太陽パネルの向きを変える太陽追尾は、正確に行うことができるが、あまり実践されていない。このような状況を踏まえて、科学技術と社会の関係を学ぶことを目的とする教材を開発した。

制御技術の指導にはレゴマインドストーム EV3 によるプログラミングを用いた。レゴ EV3 を用いることで、プログラミングの基本である「繰り返し」や「条件分岐」などを短時間で指導することができた。2020 年から始まるプログラミング教育に向けた知見を得ることもできた。また、レゴ EV3 を用いることで、デザイン思考を組み込むことができた。

日本学術振興会のひらめき☆ときめきサイエンス事業の支援を受けて、再生可能エネルギーに関する STEM 教材の普及と評価を目的として、高校生のための環境科学講座「持続可能な社会の構築と科学技術」を開催した（2016 年度と 2017 年度）。そして、大学生と高校生を対象とした実践からのフィードバックを踏まえて、「生徒用ガイド」と「教師用マニュアル」を作成した。

② 食糧生産と物質循環に関する STEM 教材

持続可能性に関する重要課題である食糧生産（農業）と関連付けて、水耕栽培の教材化を行った。水耕栽培は、植物への気候影響（日照不足）や炭素循環の実験的指導に利用できることがわかった。しかし、使用する種子の影響や成長の度合いの指標などの課題も明確となった。また、光のスペクトルの影響評価では、放射強度とスペクトルの影響を切り分けるために、放射強度の調節可能な光源が必要となることや、日射計の波長依存性なども調べる必要があることがわかった。

また、水耕栽培の教材化では、大気環境を測定するための小型計測器、生物の成長を監視するためのカメラ、データの集積と管理を行うための電子機器の利用可能性を調査した。その結果、市販の機器を利用して、最先端の科学技術（STEM）を体験的に学習できることが確認できた。一方、教育用 CO₂ センサーや O₂ センサーは長期間の測定に対応できないことや、人間活動の影響下では光合成による CO₂ の濃度変動を感知することが難しいこともわかった。

循環型農業としてアクアポニックスを実践し、持続可能性に関する STEM 教材としての利用可能性を調査した。市販のアクアポニックスを用いて金魚とエビを飼育し、排泄物を肥料としてレタスとイチゴを栽培した。光源としては、青と赤の LED を用いて 4 ヶ月間実験した。水温、アンモニア、亜硝酸、硝酸、水量、栽培量、成長量の記録から、水循環、窒素循環、炭素循環

の指導に利用できることがわかった。アクアポニックスは、持続可能性と STEM の重要性を指導する上で最適な教材であることが確認できた。一方、動物を飼育するアクアポニックスでは、実験後の動物の取り扱いを生命倫理（殺傷処分）や生態系の保護（遺棄）の観点から事前に考えておく必要もあることもわかった。

③ 環境モデリングに関する STEM 教材

環境モデリングを用いたシステム思考の指導では、市販の ISEE SYSTEMS 社のソフトウェアを利用していった。しかし、市販のソフトウェアによる開発教材は、その普及が難しいことが経験的にわかっていった。そこで、フォレスターの「世界のモデル」を表計算ソフト（エクセル）に移植することで、環境モデリングに関する STEM 教材を開発した。表計算ソフトに移植したことで、利用者にプログラムの知識が無くても定数や変数の初期値、経験関数の編集が可能となった。また、一般的な表計算ソフトを利用したことで、教材の配布が可能となった。

世界のモデルは、持続可能性の中心にある人間活動の影響の指導に有効であることが実践からわかった。例えば、出生数と死亡数が、食糧と物的資源、混雑度、汚染などに関係することがモデルを用いた教育では動的に示すことができる。また、出生率と死亡率で構成される単純な人口モデルを高度化した結果として世界のモデルを示すことで、科学技術の基礎研究から応用研究への過程（プロセス）の指導に利用できることがわかった。そして、世界のモデルの結果（二十世紀末）と現在の状況を比較し、アップデートすることが環境モデリングの良い教材となることもわかった。

④ 気象をテーマとして統計教材

現行の学習指導要領では統計教育が強化され、新学習指導要領でもその方針が踏襲されている。しかし、数学で学習する統計が、理科などの他教科であまり活用されていない現状がある。そこで、持続可能性に関わる気候をテーマとした統計教材を開発し、大学生を対象として実践して、評価した。

中学で学習するヒストグラム（相対度数 範囲 階級）や代表値（平均値、中央値、最頻値）は、気候をテーマとすることでその概念と特徴をより明確にすることができる。また、高校で学習する四分位偏差、分散及び標準偏差、相関なども同様である。そして、持続可能性を考える時、統計的な見方と考え方を応用できる。例えば、地球温暖化では平均地上気温の上昇（2℃）が議論されるが、私たちは気温の平均値よりも分布（ヒストグラム）の両端の影響を強く受ける。また、降水量では、平均値、中央値、最頻値の値が大きく異なり、その理解は気候変動の観点からも重要である。

地学実験Ⅰ・Ⅱにおいて、実験項目「気象統計Ⅰ・Ⅱ」と「風力発電」の教材開発を行い、実践し、評価した。気象統計Ⅰにおいては、気温と降水量を用いてヒストグラムと代表値と統計的推定を用いて、気候の変化を教材化した。気象統計Ⅱでは相関と統計的検定、風力発電では風のワイブル分布を導入した。

(2) 持続可能性に関する認識調査と国際比較

持続可能性に関する市民の認識調査は、2017 年度に予備調査を行い、2018 年度に本調査を行なった。予備調査は主に大学生を対象として行った。持続可能性で重要となる「将来」に対する時間スケールとしては、「10 年後」の回答が 81%と多く、100 年以上は 2%と極めて少なかった。また、日本の食糧自給率、世界の食糧不足（飢餓）、農業の環境負荷に対する理解の度合いが低いことが確認された。予備調査は紙ベースのアンケートと Google フォームを用いて行った。Google フォームを用いることで結果の処理は容易となるが、調査依頼の方法や回収率などに伴う結果の片寄り（バイアス）も確認できた。そして、調査用 web を試作したが、ランダムに協力者を確保することの難しさも確認できた。予備調査の結果を受けて、本調査は紙ベースで行うこととした。2018 年度の本調査では外部協力者を依頼して、横浜市内の私立高校生（295 名）と神奈川県内の大学生（272 名）を対象として、「持続可能性」に関する認識調査を実施した。

「あなたの意見では、社会全体の中で最も重要な困難/問題は何ですか？」に対して、経済、社会、国際、教育、健康、福祉、環境、その他から選択する回答では、経済、社会、国際を選択した合計は、高校生 72%、大学生 71%で大きな差はなかった。そして、環境を選択したのは、高校生 9%、大学生 12%と低かった。また、「どのような環境問題が最も懸念されますか？」に対して、環境汚染、地球温暖化/気候変動、オゾンホール、森林破壊、農業、その他から選択する回答では、環境汚染、地球温暖化/気候変動、森林破壊を選択した合計は、高校生 79%、大学生 89%であり、農業は全体で 7%と低かった。農業の環境負荷に関する理解の低さが確認できた。

MDGs と SDGs を比較すると、MDGs を知っているのが全体で 15%であるのに対して、SDGs は 40%であり、SDGs に対する認知度の広がり確認できた。また、SDGs の認知度は高校生 26%、大学生 55%と顕著な差があった。新学習指導要領では SDGs が意識されているので、今後を注目したい。一方、持続可能性の定義を選択する質問では、正解は全体で 30%（高校生 28%、大学生 38%）と SDGs の概念理解の程度は高くないことが確認された。また、大学生の回答を学部別で比較すると、SDGs に対する認知度や意識に顕著な差が認められた。学部の特性が主な原因と考えられるが、大学規模での取り組みが諸外国と比較して進んでいないことにも関係し

ていると考えられた。

持続可能性の根底に関わる「世界の人口は何人ですか」に対して、「70 億人」を選択したのは全体で 74%であった。2018 年の時点で世界の人口は 76 億人であるが、「80 億人」を選択したのは、高校生 15%、大学生 12%であった。現在の高校生や大学生が中学校で世界の人口を学習した頃は、約 70 億人が正解であったはずである。持続可能性に関わる情報（統計）は常に変化しているので、継続的な学びの場が必要であると考えた。

持続可能性に関する「将来」の時間スケールでは、「10 年後」という回答が全体で 81%であり、高校生（83%）と大学生（79%）で大きな差はなかった。そして、「100 年後」は全体 1%であり、持続可能性に関わる数十年から 100 年の時間スケールの認識の難しさがわかった。

世界食糧計画（WFP）統計では飢餓に苦しむ割合は約 10 人に一人であり、「世界で貧困あるいは飢餓に苦しんでいる人の割合は？」に対して、「1/10 人」と回答した割合は全体で 37%であったが、「1/100 人あるいは 1/千人」の合計が 51%と高く、6 割以上の人は認識できていなかった。一方、日本の食糧自給率 40%については、58%が正しく回答している。また、33%は食糧自給率 20%と回答しているので、日本の食糧自給率の低さについてはよく認識されていた。

STEM に関係する「科学技術はあらゆる環境問題を解決することができる」に対して、「同意する」と回答した割合は、高校生 66%、大学生 47%であった。カイ二乗検定の結果、危険率 1%で有意な差であることがわかった。この調査により、若年層ほど科学技術に期待していること示唆され、大学生や成人への STEM 教育の必要性が示唆される。

「先進国は、世界の環境問題に責任を負うべきである」に対して、「同意する」と回答した割合は全体で 88%であり、高校生（86%）と大学生（90%）に有意な差は認められなかった。一方、「私たちの生活様式を変えることは、環境問題の解決に貢献できる」に対して、「同意する」と回答した割合は、高校生 77%、大学生 84%であった。カイ二乗検定の結果、危険率 5%で有意な差であることがわかった。

「環境問題は誇張されている」に対して、「同意する」と回答した割合は、高校生 51%、大学生 35%であった。カイ二乗検定の結果、危険率 1%で有意な差であることがわかった。この結果から、若年層ほど指導者の影響を強く受ける可能性が示唆された。そのため、指導者研修のあり方も再検討すべきであろう。また、今回の調査対象の高校生 295 名は同じ高校の生徒であり、同じ教育課程で学習している。一方、アンケートを依頼した教員は 2 名で、それぞれ 145 人と 150 人を担当していた。そこで、指導者別の比較を行うと、「同意する」との回答率は 57%と 46%という差が認められた。カイ二乗検定では p 値が 0.06999 であり、有意な差とは認められなかったが、更なる検証が必要と考えた。つまり、環境問題に関する情報の質に対する学習者の認識が、指導者に依存する可能性が示唆された。

「私は生態系の一部であり、私は環境に何が起こるかに影響を与えることができる」に対して、「同意する」と回答した割合は全体で 78%であり、高校生（73%）と大学生（83%）に有意な差は認められなかった。一方、「私は環境問題を解決するために自分の時間とエネルギーを捧げたいと思っている」に対して、「同意する」と回答した割合は、高校生 36%、大学生 51%であった。カイ二乗検定の結果、危険率 1%で有意な差であることがわかった。

本調査から、SDGs に関する組織としての取り組みや指導者研修、継続的な学びの必要性など、持続可能性の理解を増進させるための方向性を見極めることができた。また、大学生を対象とした「持続可能性に関する STEM 教材の必要性」が確認できた。今後、より多くの大学や学校種を対象とした調査の必要性が示唆された。

・参考文献とサイト

- Case study of Ukraine, Lund University Master of International Development and Management, May 23, 2011, <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/1967816>
- Michael Myung Jeong¹, Younghun Jung², Dan Daehyun Koo, College Students' Perceptions of Sustainability: A Regional Survey, Journal of Building Construction and Planning Research, 2015, 3, 209-220, 2015, <http://dx.doi.org/10.4236/jbcpr.2015.34021>
- Oksana Khmel, Sustainable Future: Students' perception of sustainable development - Sustainable Community Development Initiative, Grand Valley State University, 2011 Sustainability Survey Data Set <https://reports.aashe.org/media/secure/95/5/303/1693/Sustainability%20Questions%202011.pdf>
- The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System, Campus Sustainability Survey Questions, <https://reports.aashe.org/media/secure/427/6/467/2662/Campus%20Sustainability%20Survey%20Questions.pdf>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 7 件）

- ① 坪田幸政, 国際環境法の原則と構造と履行, 国際学研究, 査読有, 第 9 号, 2019, pp.61-97
- ② 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2018, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有,

第 10 号, 2019, pp. 63-88

- ③ 川村幸嗣, 坪田幸政, 検知管用気体採取器を利用した圧力実験, 理科教室, 査読有, 第 61 巻 9 号, 2018, pp. 84-85
- ④ 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2017, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有, 第 9 号, 2018, pp. 1-30
- ⑤ 坪田幸政, 町田キャンパスの気象 2016, 桜美林論考『自然科学・総合科学研究』, 査読有, 第 8 号, 2017, pp. 79-103
- ⑥ 坪田幸政, 小中学校における天気と気象の学習, 理科教室, 査読有, 第 59 巻 10 号, 2016, pp. 38-43
- ⑦ 川村幸嗣, 宮澤和正, 本間弘明, 坪田幸政, バイオ水素エネルギー実験キットの応用—様々な果物を用いた自然発酵によるバイオ水素発酵実験について—, エネルギー環境教育研究, 査読有, Vol. 10, No. 2, 2016, pp. 81-86

[学会発表] (計 8 件)

- ① Tsubota, Yukimasa, The Humidity-measurement Laboratory Plan for College Students, 査読有, 99th American Meteorological Society Annual Meeting & 28th Symposium on Education, <https://ams.confex.com/ams/2019Annual/meetingapp.cgi/Paper/352466>
- ② 坪田幸政, 池田実央, 持続可能性に関する STEM 教材の開発—アークアポニクスの利用—, 日本エネルギー環境教育学会第 13 回全国大会論文集, 2018, pp. 86-87
- ③ Tsubota, Yukimasa and Takeshi Soma, Japan & Bangladesh's Compulsory Education of Weather, Climate and Climate Change, EMS Annual Meeting Abstracts, 査読有, Vol. 14, EMS2017-353-1, 2017, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2017/EMS2017-353-1.pdf>
- ④ 川村幸嗣, 宮澤和正, 本間弘明, 坪田幸政, 真空ポンプとしての気体採取器の性能評価と圧力実験, 日本理科教育学会第 67 回全国大会, 2017
- ⑤ Tsubota, Yukimasa and Saki Machida, Tokyo's 100-year Rainfall Changes, EMS Annual Meeting Abstracts, 査読有, Vol. 13, EMS2016-113-1, 2016, 16th EMS/11th ECAC <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2016/EMS2016-162.pdf>
- ⑥ Tsubota, Yukimasa and Yumi Hara, Using Hydroponics to Teach the Effects of Climate Change, EMS Annual Meeting Abstracts, 査読有, Vol. 13, EMS2016-162, 2016, 16th EMS/11th ECAC, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2016/EMS2016-113-1.pdf>
- ⑦ 坪田幸政, 原佑実, 気候リテラシーに関する教材開発—水耕栽培の利用—, 日本科学教育学会年会論文要旨集, 40, 2016, p. 38.
- ⑧ 町田沙季, 坪田幸政, 東京における降水量の経年変化, 日本気象学会 2016 年度春季大会講演予稿集, 109, 2016, p. 199.

[図書] (計 1 件)

- ① 学術交流論集編集委員会編, はる書房, 日中新時代の基本的視座—教育・環境・文化から, 2018, 360, (坪田幸政: 地球温暖化と気候変動—その考え方と理解増進活動, 137-162)

[その他]

ホームページ等

・桜美林大学大気環境研究室のホームページ

<http://www2.obirin.ac.jp/tsubota/home/>

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名: 松本 直記

ローマ字氏名: MATSUMOTO, Naoki

研究協力者氏名: 杵島 正洋

ローマ字氏名: KISHIMA, Masahiro

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。