

専門高校農業科カリキュラムにライフサイクル思考を導入した
環境教育プログラムの開発

津野 佑規

新潟大学大学院 自然科学研究科
博士後期課程 環境科学専攻

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 地球温暖化の現状と農林業への影響	1
1.1.2 地球温暖化対策に向けた農林業での取り組み	2
1.1.3 農業科教育における環境教育の位置づけ	5
1.2 研究の目的と構成	8
第1章 参考文献	11
第2章 ライフサイクル思考を取り入れた持続可能な農業の推進	17
2.1 農事組合法人におけるライフサイクル思考の導入	17
2.1.1 はじめに	17
2.1.2 研究対象および方法	17
2.1.3 環境負荷試算の結果	18
2.1.4 考察および課題	28
2.1.5 おわりに	31
2.2 農業科におけるライフサイクル思考を取り入れた環境教育	31
2.2.1 はじめに	31
2.2.2 葉ネギを教材とした実践	32
2.2.3 サツマイモを教材とした実践	40
2.2.4 SDGs への適用可能性	50
2.2.5 おわりに	51
第2章 参考文献	53
第3章 排出量取引制度を取り入れた持続可能な林業の推進	55
3.1 排出量取引制度の導入による地域振興	55
3.1.1 はじめに	55
3.1.2 研究対象および方法	55
3.1.3 国内クレジット制度と J-VER 制度	57
3.1.4 結果および考察	59
3.1.5 おわりに	61

3.2	農業科における排出量取引制度の視点を取り入れた環境教育	63
3.2.1	はじめに	63
3.2.2	研究対象および方法	66
3.2.3	環境負荷試算の結果および考察	71
3.2.4	質問紙調査の結果および考察	71
3.2.5	最終レポートの結果および考察	72
3.2.6	おわりに	77
第3章	引用文献	79
第4章	総括	82
4.1	研究の成果	82
4.2	今後の課題	83
	謝辞	85

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 地球温暖化の現状と農林業への影響

気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change 以下、IPCC）の「第5次評価報告書」では、世界の年間平均気温が1880年から2012年にかけて0.85°C上昇したと報告され、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、支配的な要因として人類の活動による影響の可能性が極めて高いことが指摘された（IPCC, 2016）。さらに、「気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な発展および貧困撲滅の文脈において工業化以前の水準から1.5°Cの気温上昇にかかる影響や関連する地球全体での温室効果ガス排出経路に関する特別報告書」では、地球温暖化が工業化以前の水準から2017年までの速度のまま進行すると、2030年から2052年にかけて1.5°Cの年間平均気温の上昇が見込まれると指摘された（IPCC, 2018）。日本の年間平均気温についても、100年あたり1.24°C上昇したと報告され、2019年には基準値となる30年平均値からの偏差が+0.92°Cと、1898年の統計開始以降での最高値を記録した（気象庁, 2020）。

地球温暖化によって、世界各地で水環境・水資源、水災害・沿岸、自然生態系、食料、健康、国民生活・都市生活といった複数の分野に影響が出ている（文部科学省・気象庁・環境省, 2013）。特に農林業は気象・環境に影響される産業であり、科学技術が進展した現在であっても、豊凶や品質の良否は気象条件に左右される。地球温暖化の農林業に対する影響として、農作物の栽培可能期間の拡大や乾物生産力の増大といった正の影響が指摘される一方で、それを上回る負の影響

響が指摘されている（林，2001）。農作物が受ける負の影響として、イネの高温登熟障害にともなう品質低下が指摘された（森田，2008）。さらに、果樹生産における発芽・開花期の前進や着色不良のような、発育に関する影響が全国の果樹関係公立試験研究機関から報告された（杉浦ら，2007）。林業においても、地球温暖化によるブナ林の適域面積の縮小と分断が予測され、200年から400年後には急激な衰退の可能性が指摘された（松井ら，2009）。

1.1.2 地球温暖化対策に向けた農林業での取り組み

地球温暖化によるリスクを最小限に抑えるための対策には、気温上昇による避けきれない環境の変化に対応するための適応策と、根本的な原因となる二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素およびフロン類といった温室効果ガス（Greenhouse Gas 以下，GHG）の排出削減および吸収対策を講じるための緩和策が挙げられる（世界気象機関，2016）。

適応策は、地球温暖化による悪影響を防御するレベル1、順応により影響を最小化するレベル2、転換や再構築をはかるレベル3に分類される（白井ら，2014）。農業における適応策の事例として、高温による影響を受けにくい作物や果樹の品種開発が進んでおり（奥野，2016；坂井ら，2010）、これらはレベル3に該当する。さらに、レベル2に該当する事例では、水稻作における遅植えや直播栽培によって登熟期間の高温を回避する作型が推進されている報告がある（坂田ら，2013）。林業においては、病虫害分布域の拡大にともなう徹底的な防除や自然災害を防備する保安林の計画的な指定管理といったレベル1に該当する事例が報告されている（環境省，2012）。しかし、気象・環境に影響されやすく、気候の変動に脆弱な農林業において、上昇を続ける気温の悪影響を将来にわたって回

避していくことには限界がある。そこで、適応策の実施のみならず、地球温暖化の根本的な改善に向けた緩和策も同時に実施していく必要がある。

緩和策は、1992年に採択された気候変動枠組条約（Framework Convention on Climate Change）から国際的な取り組みが開始され、1995年の第1回締約国会議が先進国にGHG排出量の指標を設定する出発点となった（川島，1995）。日本は、1997年に採択された京都議定書で、2008年から2012年における5年間でGHG排出量を1990年比で6%削減することを設定した（川島，1997）。さらに日本は、2009年のコペンハーゲン合意において、2020年までにGHG排出量を1990年比で25%削減する目標を新たに設定した（川島，2010）。しかし、2018年度における日本のGHG排出量は1990年度と比較して2.8%減と、目標として設定された25%削減と乖離した結果であった（国立環境研究所，2020）。

農業に起因するGHG排出は、水稻作や家畜の消化管内発酵にともなうメタン排出、窒素肥料等の施肥にともなう農用地からの一酸化二窒素排出、農業機械や各種資材および農薬の利用にともなう二酸化炭素排出が挙げられる。2017年度に農業分野から排出された各GHGを地球温暖化係数(Global Warming Potential)により二酸化炭素に換算すると、水稻作からのメタン排出が41%と最大で、家畜の消化管内発酵からのメタン排出が22%、農用地からの一酸化二窒素および二酸化炭素排出が16%と続いた（国立環境研究所，2019）。

農業における緩和策の事例は、水稻作におけるGHG排出削減方法として、中干し期間の延長や間断灌漑の導入によるメタン排出削減が報告された（魚木・野田，2001）。さらに、畜産における緩和策として、ブロムクロロメタン製剤を飼料に添加することでメタン排出量が削減された報告がある（農研機構，2011）。

さらに、林業の分野における GHG 吸収対策として、森林管理による生態系炭素固定量の増加と木材のバイオエネルギー化による化石燃料の代替が報告された（舘林ら，2015）。

さらに、農林水産省は農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和に留意しつつ、化学肥料・農薬の使用による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業を環境保全型農業と位置づけ、全国的に推進している（農林水産省，2015）。具体的な政策として、環境保全型農業直接支払交付金は化学肥料・化学合成農薬の使用を都道府県の慣行栽培レベルから原則 5 割以上低減した事例に交付金を給付している（農林水産省，2020）。環境保全型農業は、農業従事者の意識と工夫によって実践でき、特別な技術革新を必ずしも必要としないため、個人レベルでの緩和策として期待される。その際、農業生産の各プロセスで発生する GHG 排出を定量的に把握することは有効であると考えられる。

ライフサイクル思考（Life Cycle Thinking 以下，LCT）は、環境、経済、社会に対する製品の影響を、その製品のライフサイクル全体から考える概念である（日本化学工業協会，2013）。2006 年に閣議決定された第三次環境基本計画では、総合的環境指標のデータ整備と活用の重要性が明記され、2008 年には二酸化炭素の見える化を目的としたカーボンフットプリント（Carbon Footprint 以下，CFP）を推進することが示された（環境省，2006）。CFP とは、「ライフサイクル全体を通して排出される GHG 排出量を二酸化炭素に換算して、当該商品およびサービスに簡易な方法でわかりやすく表示する仕組み」と定義される（カーボンフットプリント・ルール検討委員会，2010）。なお、ライフサイクルには原材料の調達から、生産・加工、流通、使用、最終的な廃棄およびリサイクルまでが含まれる。

LCT および CFP を導入することによって、生産者の GHG 削減ポイントの可視化と動機付けにつながることを期待される。さらに、消費者の低炭素商品の比較選択がなされることで低炭素社会を実現することにつながると推察される。

日用品を対象とした先行研究では、家庭紙工場で生産されたトイレットペーパーから発生した GHG 排出量の試算事例が報告された（安藤ら，2015）。さらに、事務用品である印刷インキ（内田，2010）や食品であるサバの缶詰（安藤・長谷川，2011）を対象とした試算事例も報告されており、効果的な環境負荷低減方法について議論された。一方で、農作物を対象とした事例は米（椋島・吉川，2010）やキャベツ（安藤，2010）、メロン（安藤，2011）といった報告があるが、加工食品や工業製品と比較して相対的に極めて少ない。農作物は地域性や季節性により多種多様な栽培方法があるため、個別の GHG 試算に関する研究事例を積み上げる過程を通して算定手法を確立する必要がある。

1.1.3 農業科教育における環境教育の位置づけ

地球温暖化の改善には、長期的な視点を持った緩和策も必要不可欠となり、将来世代に向けた環境教育は欠かすことができない。日本では、公害学習をきっかけとして学校における環境教育がはじまり、1977年に改訂された学習指導要領に環境・資源の学習が導入された（国立環境研究所，2015）。その後、文部省が1991年に「環境教育指導資料中学校・高等学校編」を、1992年に「環境教育指導資料小学校編」を刊行し、学校における環境教育の基礎・基本が明確化された（佐島，2007）。1999年の中央環境審議会では、これからの環境教育について「持続可能な社会をめざして」というキーワードから、環境だけでなく経済や社会を含む地球規模の諸問題を持ち合わせた教育の重要性が示された（中央環境審議

会，1999)。

2002年に開催されたヨハネスブルグサミットでは、持続可能な開発のための教育 (Education for Sustainable Development 以下，ESD) について、2005年から2014年を「国連持続可能な開発のための教育の10年」(United Nations Decade of Education for Sustainable Development) として、国際的に取り組みを進めていくことが決議された (阿部，2006)。ESDで扱うべき重要課題は、①貧困・市場経済・企業責任のような経済的視点、②人権・ジェンダー平等・異文化理解のような社会的視点、③気候変動・天然資源・防災のような環境的視点とされている (曾我，2013)。

学校におけるESDの事例として、高校の理科教育においてESDの視点を取り入れた森林環境教育を実践し、学習の効果として生徒の自然に対する価値認識と世代間倫理意識が向上した報告がある (布施，2015)。さらに、中学校の美術教育における鑑賞・表現活動をESDの視点から題材化した事例 (松井，2019) や、小学校の算数学習において他者との関わりを意識させることで持続可能な社会の形成者としてふさわしい資質や能力を育成した事例 (蜂須賀，2017) が報告された。

2015年に開催された国連持続可能な開発サミットでは、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され、2030年までに持続可能な世界を目指す国際目標として持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals 以下，SDGs) が示された (環境省，2017)。SDGsは持続可能な社会の発展を目指して、経済的、社会的、環境的側面で17の目標と169のターゲットから構成されており、発展途上国を主な対象としたミレニアム開発目標 (Millennium Development Goals) と

は異なり全ての国で全ての人々を対象としている。

ESD は SDGs の第 4 目標「全ての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯学習の機会を促進する。」の、ターゲット 7「2030 年までに、持続可能な開発のための教育および持続可能なライフスタイル、人権、男女の平等、平和および非暴力的文化の推進、グローバル・シチズンシップ、文化多様性と文化の持続可能な開発への貢献の理解の教育を通して、全ての学習者が、持続可能な開発を促進するために必要な知識および技能を習得できるようにする。」に盛り込まれている（日本ユネスコ国内委員会，2018）。このような背景から、東京都にある江東区立八名川小学校は、ESD に関する取り組みを SDGs の視点から発展させ、「SDGs パートナーシップ賞（特別賞）」を受賞した（江東区立八名川小学校，2018）。このように、優れた環境教育の実践例があり、日本学術会議環境学委員会の提言においても「環境教育を科目として独立させるのが理想」と指摘されているものの（日本学術会議環境学委員会環境思想・環境教育分科会，2008）、現状では実現しておらず、学校における環境教育のさらなる充実がのぞまれている。

教育機関のうち、専門高校は幅広い分野で社会を支える人材を輩出しており、今後も職業人として必要とされる力を身に付けた人材を育成するとともに、地域や社会の発展に貢献するために、引き続き重要な役割を果たすことが求められる。その中で農業科は、農業の各分野に関する基礎的・基本的な知識と技術を習得させるとともに、持続的かつ安定的な農業と社会の発展を図る創造的な能力と実践的な態度を育てる役割を担う（文部科学省，2009）。さらに、農業科では実習や体験学習を重視し、問題解決型学習のノウハウを生かした教育を幅広く

く展開している（佐々木，2003：田畑，2007：谷本・鹿嶋，2008）。

農林業は地球温暖化と深いつながりがあり、教材として自然を利活用した実習や体験学習が展開されている農業科において、環境教育プログラムの整備が緊要である。農業科を対象とした環境教育の先行研究として、植物による大気中の二酸化窒素吸収を題材とした清水（2016）の実践や絶滅危惧植物の保全および増殖技術を教材化した亀井ら（2011）の実践が挙げられる。さらに、林業科が地域および大学との連携によってESDを推進した事例が報告された（井上，2007）。しかし、農業科を対象とした環境教育の先行研究は小・中学校を対象とした実践と比較して極めて少なく、内容についても短期間で実施したプログラムが中心となっている。

1.2 研究の目的と構成

以上の背景より、本研究では農業科教育におけるLCTの視点を導入した環境教育プログラム開発の方針を明らかにすることを目的とする（図1）。

第1章では、研究背景として地球温暖化の現状を取り上げたうえで農林業への影響を論じた。さらに、地球温暖化の原因となるGHGについて、農林業からの発生源と排出削減方法について概観した。また、地球温暖化の緩和策として将来世代への環境教育の重要性を指摘し、農林業に関する教育機関である農業科における環境教育の位置づけと本研究の目的および構成を示した。

第2章では、LCTを農業科教育に導入するという観点から、まずは農事組合法人における事例研究を行った。農作物生産の各ライフサイクルで発生する二酸化炭素排出量を試算することで可視化し、農業科教育への導入における課題

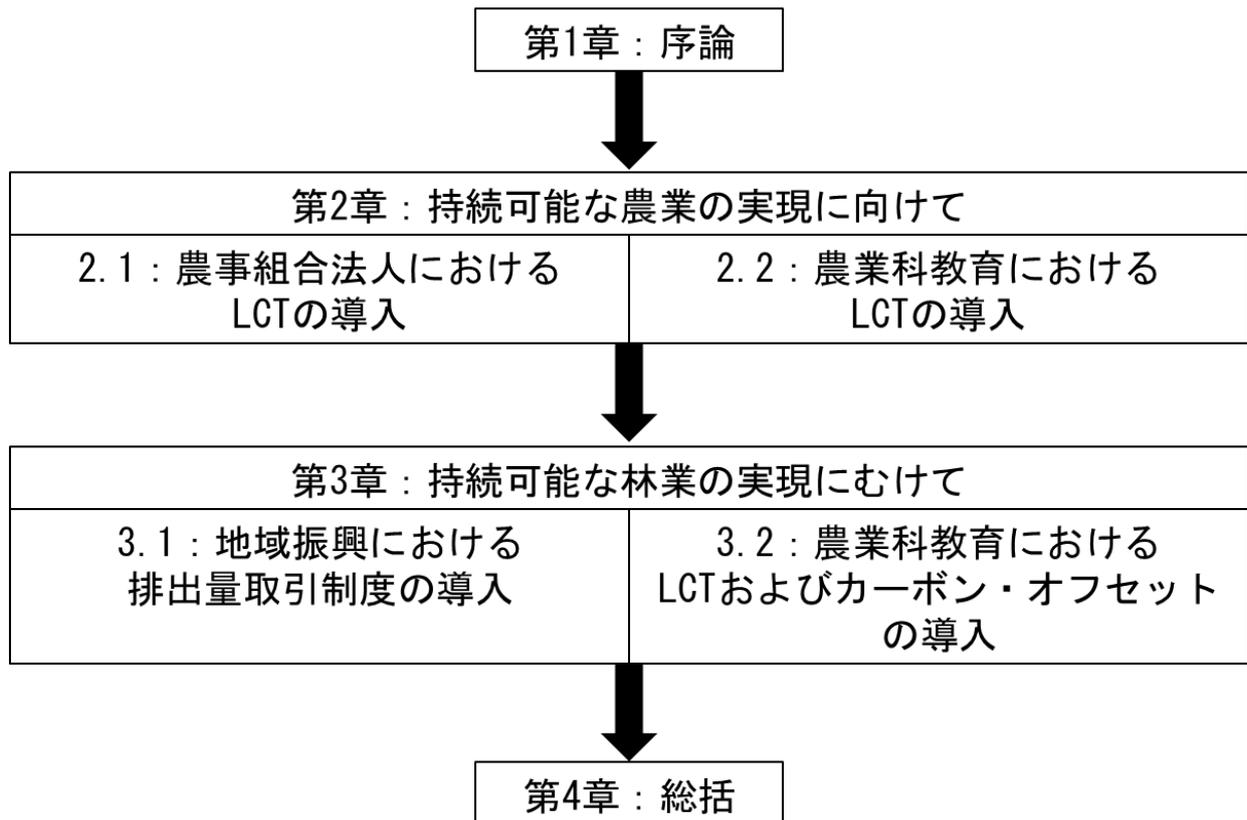


図1 博士論文の構成

を明確にした。さらに、農業科で栽培された農作物を対象とした LCT を環境教育プログラムに導入することで持続可能な農業の実現に向けた環境教育手法の確立を目指した。

第 3 章では、持続可能な林業の実現に向けて、地域振興策として排出量取引制度を活用した事例を調査した。その後、生徒の日常生活における LCT と排出量取引制度を利活用したカーボン・オフセット（Carbon offset）を題材とした環境教育プログラムを開発および実践した。これは農業科で森林を専門に学ぶ生徒を対象とした内容で、持続可能な林業の実現に向けた環境教育手法の確立を目指した。

第 4 章では、第 2 章および第 3 章で得られた知見をもとに、農業科における持続可能な農林業の実現に向けた環境教育プログラムの成果と今後の課題を明らかにした。

第1章 引用文献

- 阿部治 (2006) 「国連持続可能な開発のための教育の10年」『学術の動向』第11巻第4号, 46 - 51 頁.
- 安藤生大 (2010) 「千葉県銚子産キャベツのライフサイクル CO₂ の試算」『日本LCA学会誌』第6巻第3号, 234 - 241 頁.
- 安藤生大 (2011) 「千葉県銚子産メロンのライフサイクル CO₂ の試算」『千葉科学大学紀要』第4号, 21 - 29 頁.
- 安藤生大・長谷川勝男 (2011) 「サバ缶詰のライフサイクル CO₂ の試算および環境教育教材への利用可能性」『水産技術』第3巻第2号, 99 - 105 頁.
- 安藤生大・齊藤将人・鈴木基之 (2015) 「トイレットペーパーのカーボンフットプリント (CFP) の試算」『紙パ技協誌』第69巻第8号, 872 - 878 頁.
- カーボンフットプリント・ルール検討委員会 (2010) 「カーボンフットプリント制度の在り方」改訂版, 2 頁.
- 布施達治 (2015) 「高校理科における森林環境教育の実践的研究—世界自然遺産知床の豊かな森林を活用した ESD の試み—」『環境教育』第25巻第2号, 40 - 52 頁.
- 蜂須賀渉 (2017) 「ESD の視点に立つ算数学習の展開—地域の公立小学校での実践研究を通して—」『地域協働研究』第3号, 77 - 87 頁.
- 林陽生 (2001) 「温暖化はわが国の農林業にどのような影響を及ぼすか」『農林水産技術研究ジャーナル』第2410号, 5 - 13 頁.
- 井上真理子 (2007) 「高等学校林業科における地域連携, 高大連携の効果と課題: 森林計画学会夏季セミナーでの実践を通じて」『森林計画学会誌』第41巻第2

号, 281 - 290 頁.

IPCC (2016) 「気候変動 2014 統合報告書政策決定者向け要約」『文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省翻訳』2016 年 2 月版, 2 - 6 頁.

IPCC (2018) 「An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, Geneva」 pp. 53 - 56.

椛島裕美枝・吉川直樹 (2010) 「米 (滋賀県産こしひかり) におけるカーボンフットプリント算定事例」『日本 LCA 学会誌』第 6 巻第 3 号, 229 - 233 頁.

亀井忠文・高橋行継・吉田智彦 (2011) 「山梨県における絶滅危惧植物の保全および繁殖技術の開発とその教材化 (第 5 報) タカネマ種子生産能力の調査」『日本農業教育学会誌』第 42 巻第 2 号, 49 - 54 頁.

環境省 (2006) 「環境基本計画—環境から拓く新たなゆたかさへの道—」189 頁.

環境省 (2012) 「温暖化から日本を守る適応への挑戦」17 頁.

環境省 (2017) 「平成 29 年版環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書」6 頁.

川島康子 (1995) 「気候変動枠組条約第 1 回締約国会議 (COP1) 報告」『地球環境研究センターニュース』1 - 3 頁.

川島康子 (1997) 「京都議定書採択！気候変動枠組条約第 3 回締約国会議 (COP3) 報告」『地球環境研究センターニュース』1 - 13 頁.

川島康子 (2010) 「気候変動枠組条約第 15 回締約国会議 (COP15) および京都議定書第 5 回締約国会合 (CMP5) 報告」『地球環境研究センターニュース』2 - 10 頁.

国立環境研究所 (2019) 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」『温室効果ガスインベントリオフィス編』2_18 頁.

国立環境研究所 (2020) 「日本の温室効果ガス排出量データ」『2020 年公開版』1 頁.

松井素子 (2019) 「持続可能な社会づくりの担い手を育むための美術科の題材—鑑賞活動「デザインで変える現在と未来」の実践における ESD の観点—」『美術科教育学会誌』第 40 巻, 351 - 364 頁.

松井哲哉・田中信行・八木橋勉・小南裕志・津山幾太郎・高橋潔 (2009) 「温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価」『地球環境』第 14 巻第 2 号, 165 - 174 頁.

文部科学省 (2009) 「高等学校学習指導要領」105 頁.

文部科学省・気象庁・環境省 (2013) 「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート日本の気候変動とその影響」2012 年度版, 30 - 55 頁.

森田敏 (2008) 「農作物が受ける高温ストレスの増大」『日本作物学会記事』第 77 巻第 1 号, 1 - 12 頁.

日本学術会議環境学委員会環境思想・環境教育分科会 (2008) 「提言 学校教育を中心とした環境教育の充実に向けて」1 頁.

日本化学工業協会 (2013) 「ライフサイクルアセスメント (LCA) なぜやるのいつやるか」2 頁.

日本ユネスコ国内委員会 (2018) 「ESD (持続可能な開発のための教育) 推進の手引改訂版」4 - 10 頁.

奥野員敏 (2016) 「気候変動に対応した作物育種」『沙漠研究』第 26 巻第 1 号,

27 - 34 頁.

佐島群巳 (2007) 「環境教育指導資料の教育的役割」『環境教育』第 17 巻第 2 号,
13 - 18 頁.

坂井真・岡本正弘・田村克徳・梶亮太・溝淵律子・平林秀介・八木忠之・西村実・
深浦壮一 (2010) 「食味と高温登熟条件下での玄米品質に優れる多収性水稻品
種「にこまる」の育成」『九州沖縄農業研究センター報告』第 54 号, 43 - 61
頁.

坂田賢・友正達美・内村求 (2013) 「猛暑に対応した水稻作付け体系が用水需要
変動に及ぼす影響」『農業農村工学会誌』第 81 巻第 4 号, 269 - 272 頁.

佐々木正剛 (2003) 「農業高校における自然養鶏による食農教育に関する研究」
『日本農業教育学会誌』第 34 巻第 1 号, 1 - 9 頁.

世界気象機関 (2016) 「WMO 温室効果ガス年報」『気象庁翻訳』第 12 号, 1 - 8
頁.

清水鉄也 (2016) 「農業高校における植物の大気中 NO₂吸収を題材にした教材開
発とその評価」『日本農業教育学会誌』第 47 巻第 2 号, 57 - 67 頁.

白井信雄・田中充・田村誠・安原一哉・原澤英夫・小松利光 (2014) 「気候変動
適応の理論的枠組みの設定と具体化の試行—気候変動適応策の戦略として—」
『環境科学会誌』第 27 巻第 5 号, 313 - 323 頁.

曾我幸代 (2013) 「ESD における自分自身と社会を変容させる学びに関する一考
察—システム思考に着目して—」『国立教育政策研究所紀要』第 142 集, 101 -
115 頁.

総務省 (2019a) 「持続可能な開発目標」『指標仮訳』2 - 3 頁.

- 総務省（2019b）「持続可能な開発目標」『指標仮訳』23 - 24 頁.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義（2007）「温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状」『園芸学研究』第 6 巻第 2 号, 257 - 263 頁.
- 田畑淳一（2007）「農業高校における地域社会と連携した食育活動ー学校農業クラブにおける食農交流活動の実践ー」『食農と環境』第 4 号, 61 - 63 頁.
- 谷本忠芳・鹿嶋英滋（2008）「栽培から調理・加工までを含む学校設定科目による農業高校での食農教育」『日本農業教育学会誌』第 39 巻第 2 号, 95 - 105 頁.
- 舘林香菜・松井孝典・大場真・町村尚・谷佑亮・中尾彰文・山本祐吾（2015）「低炭素化のための木材生産・利用システムの最適化モデルの開発」『土木学会論文集』第 71 巻第 6 号, 297 - 308 頁.
- 内田弘美（2010）「印刷インキおよび印刷物のカーボンフットプリントの取り組み」『日本印刷学会誌』第 47 巻第 1 号, 28 - 33 頁.
- 魚木陽子・野田滋（2001）「水管理による強グライ土壌水田からのメタン発生抑制技術」『日本土壌肥料学雑誌』第 72 巻第 3 号, 449 - 452 頁.
- 中央環境審議会（1999）「これからの環境教育・環境学習ー持続可能な社会をめざしてー」<https://www.env.go.jp/council/former/tousin/039912-1.html>, 2020 年 5 月 3 日閲覧.
- 気象庁（2020）「日本の年平均気温偏差の経年変化（1898～2019 年）」『最終更新 2020 年 1 月 6 日』https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html, 2020 年 1 月 29 日閲覧.
- 国立環境研究所（2015）「学習指導要領データベース」『最終訂正 2019 年 11 月

22 日』 <https://www.nier.go.jp/guideline/>, 2020 年 5 月 3 日閲覧.

江東区立八名川小学校 (2018) 「八名川小学校学校だより」『平成 29 年度 1 月号』

https://andteacher.jp/koto/yanagawasho/modules/ictea_base/include/js/ckeditor/kcfinder/upload/files/20180201113552.pdf, 2020 年 3 月 20 日閲覧.

農研機構 (2011) 「ブロムクロロメタン製剤は消化率を落とすことなく、反すう

家畜のメタン抑制ができる」『畜産草地研究所 2011 年の成果情報』

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2011/210c0_10_06.html ,

2020 年 3 月 20 日閲覧.

農林水産省 (2015) 「環境保全型農業をめぐる事情」『中央環境審議会水環境部会

総量削減専門委員会 (第 3 回) 資料』[https://www.env.go.jp/council/09water/y0917-](https://www.env.go.jp/council/09water/y0917-03/mat02.pdf)

[03/mat02.pdf](https://www.env.go.jp/council/09water/y0917-03/mat02.pdf), 2020 年 5 月 3 日閲覧.

農林水産省 (2020) 「環境保全型農業直接支払交付金について」

https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-110.pdf,

2020 年 5 月 3 日閲覧.

第2章 ライフサイクル思考を取り入れた持続可能な農業の推進

2.1 農事組合法人におけるライフサイクル思考の導入

2.1.1 はじめに

本研究において LCT の視点を農業科教育に導入するための前段階として、農作物の各ライフサイクルから発生する GHG 試算のプロセスを詳細に把握することが必要であると考えた。そこで本章の前半では、加工食品や工業製品と比較して報告が少ない農作物の GHG 試算において、先行研究では報告されていないエダマメの CFP 試算を通じて環境教育プログラムへの導入による有用性と課題を明らかにすることにした。

2.1.2 研究対象および方法

環境負荷試算の対象は、新潟県柏崎市にある矢田営農組合のエダマメ「湯あがり娘」で、「野菜および果実」の商品種別算定基準（Product Category Rule 以下、PCR）に則り算出した（CFP 制度試行事業事務局，2011）。対象のエダマメは、化学肥料および農薬の使用量を慣行栽培の 5 割以下に削減することで認証される新潟県特別栽培農作物に登録されている。なお、同組合におけるエダマメの栽培面積は 1.2ha で収量は 490kg/10a であった。

試算における算定範囲となるシステム境界は原材料調達段階、生産段階、流通段階、使用・維持管理段階、廃棄・リサイクル段階の 5 段階である。また、算定単位はエダマメ 100g あたりの GHG 排出量を二酸化炭素に換算して表示（g-CO₂/100g）した。総排出量は下記に示した式（1）のとおり、システム境界に含まれる各プロセスで算定し、最後に合算した。

$$CO_2\text{排出量} = \sum(\text{活動量}_i \times CO_2\text{排出原単位}_i) \quad (1)$$

※ i はプロセスを、活動量は材料使用量や燃料および電力の消費量を指す。

一次データは矢田農事組合法人への聞き取りと実測、製品カタログやホームページ、農業機械関連メーカーの協力により入手した。燃料消費量は燃費 (L/h) と作業能率 (分/10a) から推計し、電気製品に関しては定格出力を用いて消費電力を推計した。一方、二次データは CO₂換算量共通原単位データベース (CFP 制度試行事業事務局, 2010)、国立環境研究所作成の環境負荷原単位 (南齊・森口, 2012) から入手した (表 1)。さらに、窒素肥料の施用にともなう N₂O 排出量は、日本国 GHG インベントリ報告書に記述される方法を用いて算出した (国立環境研究所, 2019)。

2.1.3 環境負荷試算の結果

(1) 原材料調達段階

原材料調達段階では肥料、農薬、栽培用資材の製造と輸送に係る排出量を算出した。なお、輸送距離の算出には livedoor MAP (livedoor, 2011) を使用した。

1) 肥料の製造と輸送に係る排出量

有機質肥料の使用量は「元気ゆうき君」が 200kg/10a、「牛糞堆肥」が 500kg/10a であり、各排出量は 12kg-CO₂、30kg-CO₂であった。高度化成肥料の使用量は「MMB 磷加安 14 号」、「NK 化成」ともに 10kg/10a であり、各排出量は 16.5kg-CO₂となった。

「元気ゆうき君」は (株) 柏崎エコクリエイティブから仕入れ、質量が 2.4t、輸送距離が往復 27.96km で輸送負荷は 67.1tkm となり、排出量は 10.00kg-CO₂で

表 1 環境負荷試算に使用した CO₂排出原単位

	名称	排出原単位
肥料	有機質肥料：「元気ゆうき君」「牛糞堆肥」	0.06kg-CO ₂ e/kg
	高度化成肥料： 「MMB 燐加安 14 号」「NK 化成」	1.65kg-CO ₂ e/kg
	複合肥料（N 成分）	11.2kg-CO ₂ e/kgN
	複合肥料（P 成分）	0.72kg-CO ₂ e/kgP
	複合肥料（K 成分）	0.3kg-CO ₂ e/kgK
農薬	殺虫剤：「トレボン乳剤」「アグロスリン乳剤」	4.14kg-CO ₂ e/kg
	除草剤：「ハービー液剤」	5.86kg-CO ₂ e/kg
栽培用資材	生石灰：「マグクリーン」	1.12kg-CO ₂ e/kg
	不飽和ポリエステル樹脂：「サンバイオ」	4.29kg-CO ₂ e/kg
輸送	トラック輸送：「10 トン車・積載率 62%」	0.149kg-CO ₂ e/tkm
	トラック輸送：「軽トラック・積載率 25%」	3.16kg-CO ₂ e/tkm
エネルギー	軽油の燃焼	2.74kg-CO ₂ e/L
	ガソリンの燃焼	2.66kg-CO ₂ e/L
	公共電力	0.479kg-CO ₂ e/kwh
	上水道	0.348kg-CO ₂ e/m ³
包装資材	ポリプロピレン：「P-プラス」	1.29kg-CO ₂ e/kg
調理	都市ガス 13A におけるボイラーの燃焼	0.0659kg-CO ₂ e/MJ
	下水処理	0.479kg-CO ₂ e/m ³
廃棄	焼却処理	0.0334kg-CO ₂ e/kg
	埋立処理	0.0379kg-CO ₂ e/kg

あった。「牛糞堆肥」は JA 柏崎北条支店より仕入れ、質量が 6t、輸送距離が往復 20.56km で輸送負荷は 123.36tkm となり、排出量は 18.38kg-CO₂であった。

「MMB 燐加安 14 号」と「NK 化成」は JA 柏崎物流センターより仕入れ、質量が合計で 0.24t、輸送距離が往復 11.80km で輸送負荷は 2.83tkm となり、排出量は 0.42kg-CO₂であった。

以上の結果から肥料の製造と輸送に係る排出量は 21.18g-CO₂/100g であった。

2) 農薬の製造に係る排出量

農薬は 10a あたり、「トレボン乳剤」15mL を 1000 倍に希釈、「アグロスリン乳剤」7.5mL を 2000 倍に希釈、「ハービー液剤」30mL を 500 倍に希釈して使用し、排出量は 0.27kg-CO₂であった。

以上の結果から農薬の製造に係る排出量は 0.06g-CO₂/100g であった。

3) 栽培用資材の製造と輸送に係る排出量

栽培用資材は育苗に使用する培養土、生石灰およびマルチ資材とした。育苗箱やセル成形型育苗トレイは複数年使用するため、PCR に従い除外した。

培養土は「野菜培土 3 号」と「プラグメイト」が使用された。10a あたりの使用量は「野菜培土 3 号」が 42kg (70L)、「プラグメイト」が 18kg (60L) であった。培養土の製造に係る排出量の試算には複合肥料の N・P・K 成分の CO₂排出原単位を使用した。2 種類の培養土における 1L あたりの肥料成分添加量は同様であり窒素が 120mg、リン酸が 550mg、カリウムが 180mg であった。従って 2 種類の培養土における 10a あたりの排出量は 0.23kg-CO₂であった。

生石灰「マグクリーン」は土壌の pH を測定した上で 100kg/10a が投入され、製造に係る排出量は 112kg-CO₂であった。

マルチ資材「サンバイオ」の質量は約 $0.024\text{kg}/\text{m}^2$ であり、フィルム幅 1.35m を 10a あたり 72.72m 使用し、 11 畝を被覆した場合は 25.92kg であった。従ってマルチ資材の製造に係る排出量は 111.18kg-CO_2 であった。

培養土は JA 柏崎物流センターより仕入れ、質量が 0.72t 、輸送距離が往復 11.8km で輸送負荷は 8.50tkm となり、排出量は 1.27kg-CO_2 であった。「マグクリン」は JA 柏崎物流センターより仕入れ、質量が 1.2t 、輸送距離が 11.8km で輸送負荷は 14.16tkm となり、排出量は 2.11kg-CO_2 であった。「サンバイオ」はサンブラック工業（株）埼玉工場より仕入れ、質量は 0.31t 、輸送距離が往復 418.1km で輸送負荷は 130.03tkm となり、排出量は 19.37kg-CO_2 であった。

以上の結果から栽培用資材の製造と輸送に係る排出量は $50.24\text{g-CO}_2/100\text{g}$ であった。

さらに、原材料調達段階の排出量は $71.43\text{g-CO}_2/100\text{g}$ であった。

(2) 生産段階

生産段階では栽培関連プロセス、出荷準備プロセス、輸送プロセス（集出荷施設まで）、植物残渣堆肥化プロセス、廃棄物処理プロセス、出荷準備プロセスに対する投入物の製造および輸送に係るプロセス、温度管理プロセスの排出量を算出した。

1) 栽培関連プロセス

栽培関連プロセスは圃場整備、苗床準備、播種、圃場準備、定植、栽培管理、収穫といった圃場における栽培に必要なプロセスを対象とした。

a. 圃場整備

圃場整備は生石灰を手作業で散布した後、トラクタによるロータリ耕うんを

行った。トラクタは（株）クボタの KL33PC、ロータリは RL9K（作業機幅 2m）を使用した。メーカーカタログ値より燃費は 7.12L/h、作業速度は 7.5km/h、圃場作業効率は 0.75、作業能率は 5.33 分/10a とした。従って 10a あたりの燃料消費量は 0.63L となり、排出量は 1.73kg-CO₂であった。

b. 苗床準備

苗床準備は手作業であり試算から除外した。

c. 播種

播種は上水道と「発芽器用ヒーター C-110T」の電力に係る排出量を計上した。発芽器の消費電力は、1.1kW/1h であり 200 時間稼動させた。以上の結果から排出量は 105.38kg-CO₂であった。

d. 圃場準備

圃場準備はマメトラ農機（株）の「マメトラ SRV35F」を使用し、畝立てとマルチングを行った。マメトラの燃費は 1.496L/h、速度は後進 1 速の 0.9km/h であり、10a 当たり 799.92m (72.72m×11 畝) を作業したため 0.89h を要した。従ってガソリンを 1.33L 消費し、排出量は 3.54kg-CO₂であった。

e. 定植

定植は手作業であり試算から除外した。

f. 栽培管理

栽培管理は除草や肥料・農薬の散布に係るプロセスである。刈払機と動力散布機・動力噴霧器には混合ガソリンが投入されたが、ガソリンとエンジンオイルの混合割合はいずれも 40:1 であった。エンジンオイルはガソリンに対する割合が低いいため、本研究ではガソリンと同一とした。

除草にはハスクバーナ・ゼノア（株）の「刈払機 BC2611G」を使用した。刈払機の全負荷燃料消費量は 0.78L/h であり、10a 当たり 1 時間程度使用した。従って燃料消費量は 0.78L となり、排出量は 2.07kg-CO₂であった。

肥料の散布には（株）丸山製作所の「背負式動力散布機 MD6010」（燃料消費量 1.63L/h）を、農薬の散布には「背負式動力噴霧機 MSO35D-1」（燃料消費量 0.48L/h）を使用した。1 回の散布で 10a あたり 1 時間程度使用し、肥料は 1 回、農薬は 3 回の機械散布作業を行った。10a あたり 3.07L の燃料を消費するため、排出量は 8.17kg-CO₂であった。

窒素肥料の施用にともなう 10a あたりの N₂O 直接排出量は 0.0087792kg-N₂O-N であり、排出量は 2.72kg-CO₂であった。

g. 収穫

収穫は手作業であり試算から除外した。

h. 全体を通じた燃料消費

生産段階では定植や肥料散布を目的として圃場を軽トラックで巡回するため、その際に要する燃料消費量を求めた。使用した軽トラックは富士重工（株）の「サンバーLE-TT2」であり、燃費は国土交通省（2011）より 15.0km/L とした。

圃場の巡回は 4 月から 9 月までを 3 回/月、10 月と 11 月は 5 回/月とした。全ての圃場を巡回するのに可能な最短経路は 2.35km であり、総走行距離は 65.8km であった。従って軽トラックの使用にともなうガソリンの投入量は 4.39L となり、排出量は 11.67kg-CO₂であった。

以上の結果から栽培関連プロセスの排出量は 5.46g-CO₂/100g であった。

2) 出荷準備プロセス

出荷準備プロセスは脱莢、洗浄、選別、計量、包装プロセスを対象とした。

a. 脱莢

脱莢は（株）ミツワの「エダマメ自動脱莢機 KX-D1」を使用した。消費電力は 0.9kW であり、100kg あたり 2 時間のペースで作業を行うため、10a 当たりの消費電力量は 8.82kWh とした。従って排出量は 4.22kg-CO₂であった。

b. 洗浄

洗浄には上越農機（株）の「自動根菜洗機 JSM-1000D」を使用し、20kg のエダマメに対して 50 秒×3 回の洗浄を行った。洗浄に投入する水量は単位質量当たり $3.0 \times 10^{-4} \text{m}^3/100\text{g}$ となり、排出量は 0.10g-CO₂/100g であった。一方、20kg のエダマメに対する消費電力量は 0.03kWh となり、排出量は 0.07g-CO₂/100g であった。

c. 選別

選別は（株）マツモトの「エダマメ供給ホッパー」、「リフトコンベア」、「選別機」、「選別コンベア」を使用した。消費電力は「エダマメ供給ホッパー」が 270W、「リフトコンベア」が 40W、「選別機」が 200W、「選別コンベア」が 40W であった。1kg を 2.1 分で選別したため 10a 当たり 17.15 時間を要し、消費電力量は 9.43kWh であった。従って排出量は 4.52kg-CO₂であった。

d. 計量・包装

計量は手作業で行い、包装は富士インパルス（株）の「シーラー FI-400 形」を使用した。シーラーの消費電力は 620W であり、1 袋を閉じるのに 0.8 秒の通電を要した。後述するが、包装袋はエダマメの栽培面積 1.2ha に 12,784 枚必要であった。従ってシーラーの消費電力量は 1.76kWh となり、排出量は 0.84kg-CO₂

であった。

以上の結果から出荷準備プロセスの排出量は 1.97g-CO₂/100g であった。

3) 輸送プロセス

集出荷施設は利用せず試算から除外した。

4) 植物残渣堆肥化プロセス

脱莢後の枝葉部分と規格外品の植物残渣は天日乾燥後トラクタで圃場に鋤き込み、肥料として土壌に還元された。植物残渣の生分解によって生じる二酸化炭素についてはカーボンニュートラルとした。トラクタの燃料消費量は圃場整備と同様に、10a 当たりの燃料消費量を 0.63L とし、排出量は 1.73kg-CO₂であった。

以上の結果から植物残渣堆肥化プロセスの排出量は 0.35g-CO₂/100g であった。

5) 廃棄物処理プロセス

生産段階における廃棄物には、種苗・肥料・農薬・生石灰・マルチング資材の容器包装がある。しかし、容器包装はリサイクルの対象になることから試算から除外した。

6) 出荷準備プロセスに対する投入物の製造および輸送に係るプロセス

このプロセスでは出荷用包装資材の製造および輸送に係る排出量を計上した。「P-プラス」はプラスチック製（ポリプロピレン）の包装資材で、内容量によって3種類を使い分けた。具体的には300g用、500g用、1kg用（使用割合は7：1：2）であり、1.2haのエダマメを包装した場合の使用枚数を300g用：8950枚、500g用：1278枚、1kg用：2556枚とした。包装1枚の質量は300g用：1.54g、500g用：2.11g、1kg用：3.22gであったため、包装の全質量は24.71kgとなった。従って排出量は31.88kg-CO₂であった。

P-プラスは日本マタイ（株）福島工場より仕入れ、質量が 0.025t、輸送距離が往復 333.46km で輸送負荷は 8.34tkm となり、排出量は 1.24kg-CO₂であった。

以上の結果から出荷準備プロセスに対する投入物の製造および輸送に係るプロセスの排出量は 0.56g-CO₂/100g であった。

7) 温度管理プロセス

当該法人は包装直後にエダマメを出荷・販売するため試算から除外した。

以上の結果から生産段階の排出量は 8.34g-CO₂/100g であった。

(3) 流通段階

流通段階は販売準備プロセス、廃棄物処理プロセス、輸送関連プロセス、販売準備プロセスおよび輸送関連プロセスに対する投入物の製造および輸送に係るプロセスを対象とした。

1) 販売準備プロセス

販売準備は生産段階の出荷準備プロセスで完了しているため試算から除外した。

2) 廃棄物処理プロセス

流通段階で投入した資材がないため試算から除外した。

3) 輸送関連プロセス（小売店まで）

販売は JA 柏崎農作物直売所「JA 柏崎愛菜館」での直売が約 50%、市内小売店への販売が約 30%、当該法人の販売所での直売が約 20%であった。

「JA 柏崎愛菜館」までの軽トラックによる往復輸送距離は 16.44km であった。積載率は PCR によると 17%であったが、共通原単位データベースに記載がなかったため、類似した 25%と仮定した。収穫量の 50%である 0.321t を JA 柏崎愛

菜館で販売すると輸送負荷は 5.28tkm となり排出量は 16.68kg-CO₂であった。

販売先の市内小売店は多数存在するため、PCR から輸送距離 20km、輸送手段 10 トントラック、積載率 62%と仮定した。収穫量の 30%である 0.1764t を販売すると輸送負荷は 3.528tkm となり排出量は 0.53kg-CO₂であった。

4) 販売準備プロセスおよび輸送関連プロセスに対する投入物の製造および輸送に係るプロセス

流通段階で投入した資材がないため試算から除外した。

以上の結果から流通段階の排出量は 0.29g-CO₂/100g であった。

(4) 使用・維持管理段階

1) 商品維持管理シナリオ

エダマメは購入後冷蔵庫での保存が想定され、排出量は 67.06g-CO₂/100g であった。

2) 商品使用シナリオ

エダマメは加熱調理が必要な野菜であり、調理方法として都市ガスを燃料として茹でることを想定した。五訂増補日本食品標準成分表（文部科学省，2005）によると、エダマメの廃棄率（食品全体あるいは購入形態に対する質量の非可食部割合）は 50%であった。

PCR によると野菜の単位質量当たりの調理に係る投入量は都市ガスが 2.13MJ/kg、水が 0.0447m³/kg、排水量は 0.0447m³/kg であった。エダマメ 1kg のうち 50%の 0.5kg が可食部分であるため、排出量は 7.02g-CO₂/100g であった。さらに、エダマメ 1kg に対する水投入の排出量は 1.56g-CO₂/100g、排水処理の排出量は 2.14g-CO₂/100g であった。

以上の結果から使用・維持管理段階の排出量は 10.72g-CO₂/100g であった。

(5) 廃棄・リサイクル段階

廃棄・リサイクル段階は家庭で発生する廃包装資材および食品残渣の処理施設への輸送・焼却・埋立処理や、リサイクルされる廃包装資材および食品残渣の輸送・リサイクル準備プロセスを対象とした。

廃包装資材である「P-プラス」と食品残渣であるエダマメの莢の総質量は 2.96t であった。PCR より処理施設までの輸送距離を 50km、輸送手段を 10 トントラック、積載率を 62%と仮定した。輸送負荷は 148tkm であり、排出量は 22.05kg-CO₂であった。

廃棄物は全て焼却処理されると想定し、排出量は 98.9kg-CO₂であった。

焼却後は埋立処理されると想定した。焼却によって質量が 7 分の 1 になる（横浜市，2011）と仮定すると、廃棄物 2.96t は焼却後 0.41t となり、排出量は 15.54kg-CO₂であった。

以上の結果から廃棄・リサイクル段階の排出量は 2.32g-CO₂/100g であった。

(6) ライフサイクル全体

上記の試算で算出された排出量を総計した結果から、ライフサイクル全体の排出量は 92.86g-CO₂/100g であった。

2.1.4 考察および課題

試算結果における各システム境界（算定範囲）の比率として、ライフサイクル全体の排出量 92.86g-CO₂/100g のうち原材料調達段階が 77%（71.48g-CO₂/100g）を占めた。原材料調達段階では肥料、農薬、栽培用資材の製造と輸送に係る排出量が計上されるため、それらの使用量を抑えることで GHG 低減が実現でき、生

産者が GHG 削減の行動を実行しやすい段階であることが判明した。続いて比率が高かったのは使用・維持管理段階で 12% (10.72g-CO₂/100g) を占めた。本試算において使用・維持管理段階は PCR のシナリオに沿って試算したため、生産者の立場から GHG 削減のポイントを認識しにくいという特徴があった。しかし、使用段階において実際に調理を行い、実測値を収集することができれば、消費者の立場から GHG 削減の行動を実行しやすい段階であることが推察された。生産段階の比率は 9% (8.34g-CO₂/100g) であり、本試算において計上されたのは主に各種機械の使用に関わるエネルギー使用にともなう GHG 排出であった。

米を対象とした先行研究における各システム境界 (算定範囲) の比率をみると、原材料調達段階が全体の 65% を占め、生産段階の比率は 3% であった (椛島・吉川, 2010)。一方、キャベツを対象とした先行研究においては、使用・維持管理段階の比率が最も高く 43% を占め、生産段階が 26%、原材料調達段階が 10% であった (安藤, 2010)。このように、各システム境界 (算定範囲) の比率は試算対象の農作物によって変化することが明らかになった。

次に、矢田営農組合のエダマメ「湯上がり娘」の栽培における GHG 削減ポイントを検討した。着目したのはライフサイクル全体の排出量のうち約 8 割を占める原材料調達段階である。原材料調達段階における排出量の内訳は肥料の製造と輸送が 21.18g-CO₂/100g、農薬の製造が 0.06g-CO₂/100g、栽培用資材の製造と輸送が 50.24g-CO₂/100g であった。試算結果を基に同組合の栽培担当者と協議した結果、栽培用資材であるマルチ資材「サンバイオ」を除草剤の使用に代替する栽培方法が提案された。これによりマルチ資材の製造および輸送による排出量 26.64g-CO₂/100g が削減される。一方でハービー液剤の使用量が 400mL 増加

することで農薬の製造による排出量 $0.49\text{g-CO}_2/100\text{g}$ が増加するが、ライフサイクル全体で見ると $26.15\text{g-CO}_2/100\text{g}$ の排出量削減の実現が可能と試算された。

PCR では活動量に関して原則は実測値を収集することとしているが、どの機械にどれだけの燃料や電力を投入したのかを矢田営農組合では把握できていなかった。そこで本試算では、燃料消費量や消費電力量の活動量を燃費や定格出力の値から推計した。また、トラクタや田植え機は単位作業面積当たりの燃費を元に試算したため、圃場までの燃料消費量を計上しない結果となった。このような燃費や消費電力といった二次データから活動量を試算する手法において、生産者の排出量削減努力を促す動機付けが損なわれる可能性があるかと推察された。

次に、使用・維持管理段階における商品使用シナリオ設定が現実に則していない箇所が見受けられた。「野菜および果実」の PCR の商品使用シナリオにおいて、都市ガス投入量は可食部分 1kg に対するものが設定されていたが、エダマメの調理方法は通常「茹で」であり、非可食部分（莢）も同時に茹でられる。他の野菜は非可食部分（皮・種・芯）を調理前に廃棄することがあるが、「野菜および果実」という括りが広すぎるため、早急に品目ごとの PCR を作成する必要性があると考えた。

試算にあたって、各種資材およびエネルギーの使用量を調査して記録しておくといった繁雑な作業について、生産者が時間を割くことは困難であると推察される。そのうえ、試算による生産者側のメリットは間接的であり、インセンティブが働き辛いという側面が指摘できる。しかし、GHG の試算によって地球温暖化問題に生産者個人レベルで取り組むことができ、環境問題に対する意識を涵養することが最大の利点である。

そこで、GHG 試算を農業科教育に導入するという視点は持続可能な農業の推進に向けて有効であるとの仮説を立てた。農業科では校内の圃場で地域の特性を生かした各種農作物を実習で栽培しており、教育活動として各種資材およびエネルギーの使用量を記録しているため、導入により作業が増えるといったデメリットは挙げられない。さらに、GHG 試算によって各栽培プロセスを詳細に把握することで、農作業の知識および技術の向上を期待することができる。一方、導入にあたっては、必ずしも現実に即していない PCR に準ずる必要はなく、あくまでも生徒の実態に即した試算が重要である。また、農薬の CO₂ 排出原単位の単位を kg だけでなく ml で用意するといった、生徒が試算をしやすいルール作りやデータ整備が課題である。

2.1.5 おわりに

第 2 章の前半では LCT の視点を農業科教育に導入するための前段階として、農作物の各ライフサイクルから発生する GHG を詳細に試算した。さらに、試算を通して得られた環境教育プログラムへの導入に対する有用性と課題を受けて、第 2 章の後半では実際の農業科教育に GHG 試算を導入する。

2.2 農業科におけるライフサイクル思考を取り入れた環境教育

2.2.1 はじめに

本章の後半では、農業科と協働して、農業系科目における LCT の視点を取り入れた環境教育プログラムを開発することを目的とした。さらに、開発したプログラムを実際に農業科の専門科目で導入し、教育的な効果を評価した。

教育現場において LCT を環境教育に導入した先行事例として、中学および高

校において生徒の日常生活のCO₂排出を教材化した研究がある(竹内ら, 2018)。また、小学校において緑のカーテンを育成し、その過程で発生した環境負荷を定量的に把握した LCT 環境教育の事例が報告されている(笠井・荒木, 2015)。これの実践を通して、本藤ら(2008)は地球規模の環境問題と日常生活のつながりには認知的な意味での断絶(ミッシング・リンク)が存在し、LCT 環境教育によってつながりの認識を効果的に再生できることを報告した。しかし、農業科において、学校の教育活動で生徒自身が生産した農作物を対象とした LCT 環境教育の事例は報告されていない。

そこで、先述した「GHG 試算を農業科教育に導入するという視点は低酸素社会の実現に向けて有効である」との仮説を立証するために、プログラム内容・対象生徒および対象農作物をかえた 2 事例の研究を実践した。

2.2.2 葉ネギを教材とした実践

(1) 研究対象および方法

1) 概要

研究対象としたのは、福井県にある W 高校 S 科 1 年の 30 名である。S 科は農業生産や調理、地域の食文化などについて学習する学科である。

対象科目は「農業の各分野に関する体験的な学習を通して、総合的な知識と技術を習得させ、経営と管理についての理解を深めさせるとともに、企画力や管理能力などを身に付け、農業の各分野の改善を図る実践的な能力と態度を育てる。」総合実習とした(文部科学省, 2010)。総合実習を選択した理由は、本プログラムが農業の総合的な知識と技術を体験的に学習させ、他の専門科目と関連性がある共通的な内容であったからである。

LCT 環境教育の教材としてネギ (*Allium fistulosum L.*) 「万能葉ねぎ」を供試した。小浜市は高収益作物の中でネギの作付けを重点的に推進し、産地化を目指しているため (福井県農業再生協議会, 2018)、地域の実態に即した教材という観点から適していると判断した。研究期間は 2017 年 7 月から 2018 年 2 月までで、計 20 回 (1 回当たり 30 分~50 分) の授業を筆者自身が表 2 に示すとおりに実施した。

2) 評価方法

授業の事前と事後の質問紙調査および最終レポートにより、生徒の環境問題に対する意識の変容を評価した。事前の質問紙調査は 7 月 20 日、事後の質問紙調査は 2 月 19 日、最終レポート作成は 2 月 27 日に実施した。

質問紙調査の項目は先行研究 (安藤, 2009) を参考に、「環境問題とのつながり」の認識に関する設問、環境行動の規定因とされる「危機感」、「責任感」、「有効感」および「環境に対する行動意図」に関する設問とした (表 3)。いずれの設問も 4 件法 (「思わない : 1 点」、「どちらかといえば思わない : 2 点」、「どちらかといえば思う : 3 点」、「思う : 4 点」) により回答を求めた。事前と事後の質問紙調査における各項目の得点を基に Wilcoxon の符号順位検定を実施した。検定方法の選択では、データが 2 群であること、同一人物間の比較で対応があること、正規分布しないと考えられることを考慮した。なお、欠席者や不完全な回答をした者のデータは除外し、25 名のデータを基に分析した。

さらに、質問紙調査では測定できない教育効果を評価するため、授業後に作成された最終レポートをテキストマイニングにより分析した。最終レポートのテーマは、「総合実習の授業をとおして学んだこと」で、500 字以上 1000 字以内で

表 2 単元の概要

回数	授業のテーマと内容
1 2	「地球環境問題」 ・ 質問紙調査（事前）の実施。 ・ 地球温暖化の現状とメカニズム。
3	「LCT」 ・ LCT の概念とカーボンフットプリント。 ・ 農業から発生する温室効果ガス。
4	「ネギの栽培方法」 ・ ネギの栽培方法と栽培計画。
5 6	「ネギの育苗」 ・ ネギの種子をセルトレイに播種。
7 8	「圃場準備」 ・ 圃場の除草および耕うん。 ・ 元肥。
9	「ネギの定植」 ・ ネギの苗を圃場に定植。
10 11 12	「ネギの栽培管理」 ・ 除草および追肥。 ・ 水やり。
13 14	「ネギの収穫・調製」 ・ ネギの収穫および調製。 ・ ネギの収穫量を計測。
15 16	「環境負荷の試算」 ・ ネギのカーボンフットプリントを試算。
17	「温室効果ガス削減ポイント」 ・ 各グループでネギの温室効果ガス削減ポイントを考察。
18 19 20	「授業のまとめ」 ・ ネギの温室効果ガス削減ポイントについてグループ発表。 ・ 質問紙調査（事後）の実施。 ・ 最終レポートの作成。

自由に記述を求めた。テキストマイニングの分析に先立ち、文章中の「ねぎ」をカタカナの「ネギ」に、「CO₂」を「二酸化炭素」に、クラスメートや個人名を「友人」にするなど、表記の統一を図るために語句を修正した。さらに、「今回」および「思う」は意味を持たない語句として除外した。テキストマイニングには、フリーソフトウェアの KH Coder (Version : 2.00f) を利用し、語句の抽出および共起ネットワークの作成を行った。共起ネットワークは、最小の Jaccard 係数を 0.5、サブグラフ検出、最小スパニングツリーのみを表示の条件で作成した。なお、対象生徒全員である 30 名の最終レポートを基に分析した。

(2) 質問紙調査の結果および考察

授業の事前と事後に実施した質問紙調査における分析結果を表 3 に示した。7 つの設問全てにおいて、事後の得点は事前の得点と比較して有意に高かった。特に、生徒の意識変容が大きかったのは「環境問題とのつながり」の認識に関する設問 1 および設問 2 であった。この結果から、授業を通して生徒が日常生活のあらゆる場面で二酸化炭素を発生させていることを自覚するようになったことが明らかになった。また、生徒が二酸化炭素を発生させていることを自覚することによって、設問 2 において自分の行動が社会的な現象である環境問題とつながっていることを認識するようになったことがわかった。これは、本藤ら (2008) が報告した LCT 環境教育によるミッシング・リンクの効果的な再生を裏付ける結果となった。さらに、ミッシング・リンクの再生により、設問 3 の地球温暖化を防止しなければいけないという「危機感」や、設問 4 の地球温暖化の責任が自分にあると感じる「責任感」に影響したと推測される。そして最終的に、「無駄なものは買わない」や「食料を大切に使う」といった設問 6 および設問 7 の地球

表3 質問紙調査の結果

質問項目	得点（平均値）		
	事前	事後	
1. 自分の行動が、様々なところで二酸化炭素を発生させていると思いますか？（つながり）	2.04	3.36	*** ^z
2. 自分の行動が、社会の様々な行動とつながっていると思いますか？（つながり）	2.04	3.12	***
3. 地球温暖化は、さげなければならぬと思いますか？（危機感）	3.12	3.72	**
4. 地球温暖化の責任は、自分にもあると思いますか？（責任感）	2.36	3.32	**
5. 地球温暖化は、みんなで協力すればさげられると思いますか？（有効感）	2.72	3.52	**
6. 無駄なものは買わないと思いますか？（行動意図）	2.84	3.72	**
7. 食べ物を出来るだけ残さずに、大切に食べようと思いますか？（行動意図）	3.36	3.88	**

^z Wilcoxonの符号順位検定により***および**は、それぞれ0.1%水準で有意差あり、1%水準で有意差ありを示す（n=25）。

環境問題を抑制する具体的な行動意欲につながった可能性が指摘できた。

(3) 最終レポートの結果および考察

対象生徒 30 名の最終レポートにおける総抽出語数は 7,578、異なり語数は 781 であった。

はじめに、全体像を掴むために出現回数が 10 回以上の語句を抽出した(表 4)。抽出された 39 語のうち、「二酸化炭素」145 回、「ネギ」59 回といった、授業の教材として取り上げた語句が頻出していた。それに次いで出現していたのは、生徒の行動を示す一般的な動詞で、「減らす」36 回、「使う」35 回、「考える」28 回といった語句であった。その他には、普段の日常生活で使用する機会が少ない特殊な語句である「排出」が 75 回出現していた。

次に、共起ネットワークを図 1 に示した。共起ネットワークは、出現パターンが似通った語句を線で結んだものである(樋口, 2017)。結びつきが比較的強い言葉をグループとして、A から G の 7 グループが検出された。グループ A では、「二酸化炭素」に「減らす」、「環境」、「使う」、「ネギ」、「排出」が強く結びついた。「減らす」の先に結びついたのは「環境問題」で、二酸化炭素を減らすことによって地球温暖化をはじめとする環境問題を抑止できることを生徒が意識していると解釈された。また、「排出」の先には「多い」が結びついていることから、生徒がネギから排出された二酸化炭素が多いと判断していることが判明した。これを裏付ける具体的な記述として、「ネギ 100g 当たりの二酸化炭素排出量の合計は、クラス全員分を合わせたら大変なことになると思いました。」があった。グループ B は、グループ A の「多い」からネットワークがつながり、「流通段階」に結びついた。さらに、「流通段階」が「使用段階」、「授業」、「少し」

表4 最終レポートにおける出現回数10回以上の抽出語

出現 順位	抽出語	出現 回数	出現 順位	抽出語	出現 回数
1	二酸化炭素	145	21	歩く	19
2	排出	75	22	たくさん	18
3	ネギ	59	22	意識	18
4	減らす	36	22	少し	18
5	使う	35	22	電車	18
5	自分	35	26	通学	17
7	車	33	27	出す	16
7	多い	33	28	比較	15
9	考える	28	29	育てる	14
10	環境	27	29	家	14
11	生活	25	31	知る	13
12	地球温暖化	23	32	作る	12
12	流通段階	23	32	使用段階	12
14	食べる	22	32	農業	12
14	人	22	35	学校	10
14	分かる	22	35	収穫	10
17	環境問題	21	35	食材	10
17	出る	21	35	数値	10
17	友人	21	35	増える	10
20	授業	20			

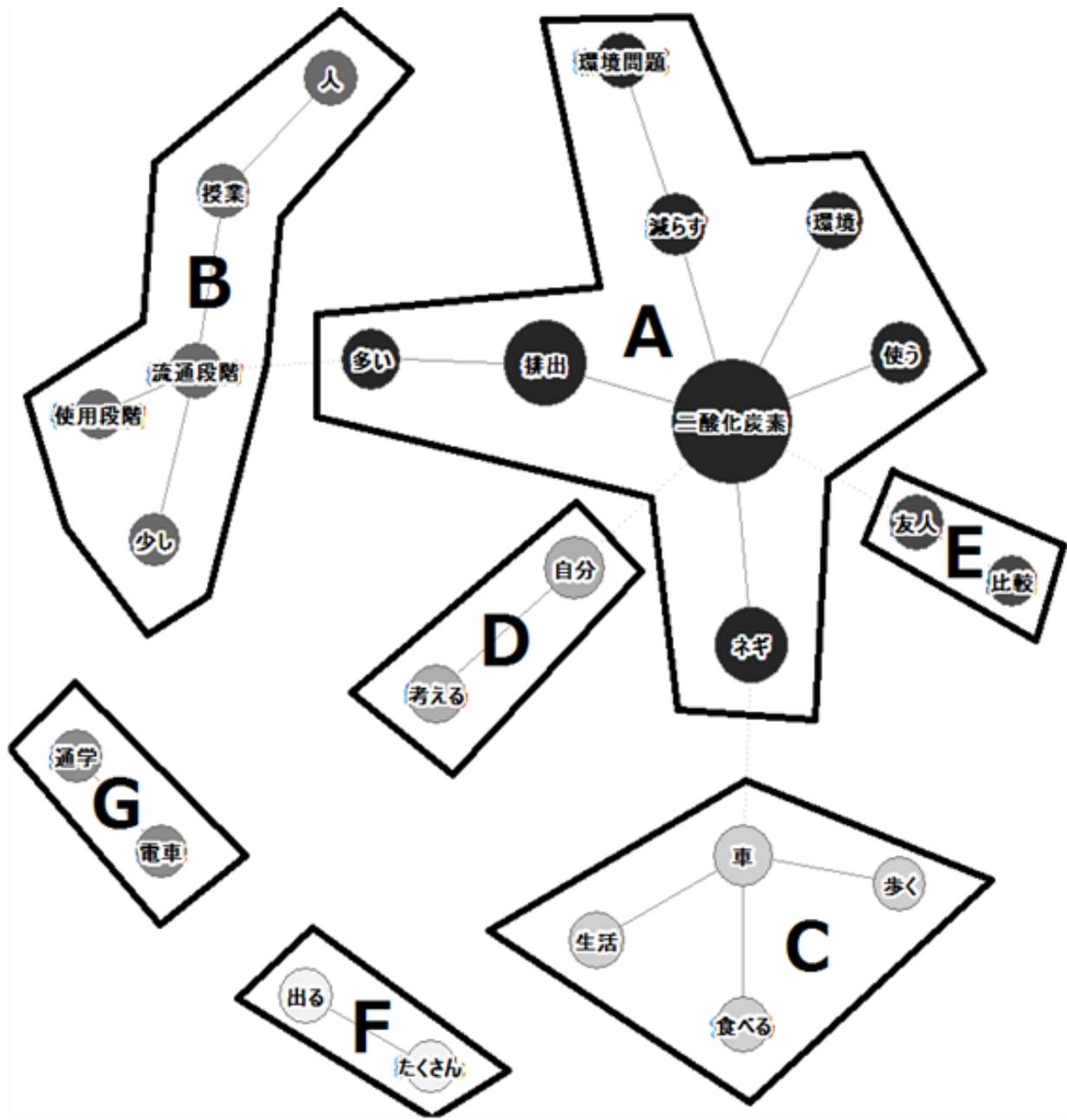


図1 最終レポートを基にした共起ネットワーク

と結びついていた。この結果は、ネギのライフサイクルのうち、生徒が特に流通段階と使用段階を意識したことを表している。グループ C では、「車」と「生活」、「歩く」、「食べる」が強く結びついており、生徒の環境問題に対する具体的な行動意欲が示された。具体的な記述として、「まずは自動車での登下校を減らし、歩いて登下校するなど自分の出来ることから始めていきたいと思いました。」があった。グループ D は、グループ A の「二酸化炭素」からネットワークがつながり、「自分」と「考える」が強く結びついていた。授業をきっかけに、生徒自身が排出している二酸化炭素を意識するようになったことが示された。グループ E は、同じくグループ A の「二酸化炭素」からネットワークがつながり、「友人」と「比較」が強く結びついていた。この結果は、17 および 18 単位時間目に実施した GHG 削減ポイントの話し合いとグループ発表が、生徒の印象に残っていたことを示すと考えられる。独立したネットワークであったグループ F では「たくさん」と「出る」、グループ G では「通学」と「電車」がそれぞれ強く結びついていた。

2.2.3 サツマイモを教材とした実践

(1) 研究対象および方法

1) 概要

研究対象としたのは、福井県にある N 高校 K 科 3 年の生徒である。K 科は 2 年次よりコース制を導入しており、対象生徒は地球環境の保全および緑化について学習するコースに所属している 13 名とした。

対象科目は、先行研究と同様の「農業の各分野に関する体験的な学習を通して、総合的な知識と技術を習得させ、経営と管理についての理解を深めさせると

もに、企画力や管理能力などを身に付け、農業の各分野の改善を図る実践的な能力と態度を育てる。」総合実習を選定した（文部科学省，2010）。

ライフサイクルを試算する教材としては、サツマイモ (*Ipomoea batatas*) 「紅はるか」を供試した。本実践では、ライフサイクルにおける原材料調達段階から、生産段階、流通段階および使用段階までを実習としてプログラム化するため、栽培方法および調理方法を柔軟に設定できるという観点から教材としてサツマイモが適していると判断した。さらに、サツマイモは苗を購入すれば圃場に定植してそのまま収穫を迎えることができるため、先行研究のネギのように育苗のノウハウがない実践者でも栽培しやすく、授業計画を立てやすいことから、他校種での応用可能性も高いことを考慮した。

研究期間は2018年5月から2019年1月までで、計20回（1回あたり50分）の授業を筆者自身が表5に示すとおり展開した。

2) 先行研究との相違点

先行研究における葉ネギの使用段階は、仮定での試算であった。一方、本研究では収穫したサツマイモを加熱するための調理方法として、電子レンジ（電力）、カセットコンロ（ガス）、七輪（木炭）、ストーブ（石油）を設定した。調理においては時間およびエネルギー消費量を計測・記録し、サツマイモの食味（甘み、色、食感、風味）についても観察させることに留意した。プログラムを農業生産学習だけに留めず食教育を実践することで、食農教育の視点を追加した。

3) 評価方法

授業の前後に実施した質問紙調査および最終レポートによって、本プログラムを受講した生徒の環境問題に関する意識の変容について評価した。事前の質

表5 単元の概要

単位 時間	授業のテーマおよび内容
1 2	<p>【演習】質問紙調査（事前）の実施。</p> <p>【講義】地球環境問題の学習。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地球温暖化を中心とした地球環境問題の現状について学習。
3 4	<p>【講義】LCT およびサツマイモについての学習。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LCT の概念と試算方法について学習。 ・農業から発生する温室効果ガスについて学習。 ・サツマイモの栽培方法を学習し、栽培計画を検討。
5 6	<p>【実習】圃場準備。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圃場の除草、耕耘および元肥。
7 8	<p>【講義】サツマイモ苗の定植方法についての学習。</p> <p>【実習】サツマイモ苗の定植。</p>
9 10	<p>【実習】サツマイモの中間管理。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圃場の除草および追肥。
11 12	<p>【実習】サツマイモの収穫および調製。</p> <p>【演習】サツマイモの収穫量を計量。</p>
13 14	<p>【実習】サツマイモの調理実習。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電気、ガス、石油、木炭を使用した調理方法で加熱調理。 ・各調理方法の食味について考察。
15 16	<p>【演習】サツマイモの環境負荷を試算。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サツマイモの原材料調達から調理に至るまでのライフサイクルを通して排出された温室効果ガスの排出量を試算してCO₂に換算。
15 16	<p>【演習】サツマイモの温室効果ガス削減ポイントを検討。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・個人で検討した後、各グループに分かれて再検討。
17 18	<p>【演習】サツマイモの温室効果ガス削減ポイントのグループ発表。</p> <p>【演習】グループ発表を聞いた後に個人で考察。</p>
19 20	<p>【演習】質問紙調査（事後）の実施。</p> <p>【演習】最終レポートの作成。</p>

問紙調査は2018年5月10日、事後の質問紙調査および最終レポート作成は2019年1月31日に実施した。

質問紙調査の項目は先行研究と同様に、「環境問題とのつながりの認識」に関する設問、環境行動の規定因とされる「危機感」、「責任感」、「有効感」および「環境に対する行動意図」に関する設問とした（表6）。全ての設問において4件法（「思わない：1点」、「どちらかといえば思わない：2点」、「どちらかといえば思う：3点」、「思う：4点」）により回答を求め、事前と事後の得点を基にWilcoxonの符号順位検定を実施した。なお、Wilcoxonの符号順位検定は、データが2群であること、同一人物間の比較で対応があること、正規分布しないと考えられることを考慮して選定した。なお、対象生徒全員である13名の質問紙調査を基に分析した。

さらに、最終レポートをテキストマイニングにより分析することで、質問紙調査では測定できない教育効果を評価した。最終レポートのテーマとしたのは、「総合実習の授業を通して学んだこと」で、1000字程度で自由に記述を求めた。テキストマイニングの分析に先立ち、表記の統一を図るために文章中の「さつまいも」をカタカナの「サツマイモ」に、「CO₂」を「二酸化炭素」に、「料理」を「調理」にするなど、語句を修正した。さらに、固有名詞を抽出するために「石油」と「ストーブ」を「石油ストーブ」に、「カセット」と「コンロ」を「カセットコンロ」にするなど、一部の語句を固定した。一方で、「今回」および「思う」は意味を持たない語句として除外した。テキストマイニングには、フリーソフトウェアのKH Coder（Version：2.00f）を利用し、語句の抽出および共起ネットワークの作成を行った。共起ネットワークは先行研究と同様に、最小のJaccard

表6 質問紙調査の結果

質問項目	得点（平均値）		
	事前	事後	
1. 自分の行動が、様々なところで二酸化炭素を発生させていると思いますか？（つながり）	2.54	3.77	**
2. 自分の行動が、社会の様々な現象とつながっていると思いますか？（つながり）	1.92	3.69	**
3. 地球環境問題は、さげなければならないと思いますか？（危機感）	2.69	3.77	**
4. 地球環境問題の責任は、自分にもあると思いますか？（責任感）	2.00	3.54	**
5. 地球環境問題は、みんなで協力すればさげられると思いますか？（有効感）	2.77	3.69	**
6. 食べものを、出来るだけ残さずに大切に食べようと思いますか？（行動意図）	2.92	4.00	**
7. 電気・水道・ガスなどの資源を、出来るだけ節約しようと思いますか？（行動意図）	2.38	3.69	**

² Wilcoxonの符号順位検定により**は、1%水準で有意差ありを示す（n=13）。

係数を 0.5、サブグラフ検出、最小スパニングツリーのみを表示の条件で作成した。なお、対象生徒全員である 13 名の最終レポートを基に分析した。

(2) 質問紙調査の結果および考察

授業の前後に実施した質問紙調査の検定結果を表 6 に示した。全ての設問において、事後の得点は事前の得点と比較して有意に高かった。特に生徒の意識変容が大きかったのは環境問題とのつながりの認識に関する設問 2 の「自分の行動が、社会の様々な現象とつながっていると思いますか？」であった。設問 2 の事前得点は 1.92 と全ての設問中で一番低かったが、授業を通して生徒が二酸化炭素を発生させていることを自覚し、自分の行動が社会的な現象である環境問題とつながっていることを認識するようになったことで事後得点が 3.69 まで上昇する結果となった。食に関する行動意図を問う設問 6 は、事前得点が 2.92 と全ての設問中で一番高かったが、これは普段の学校生活から農作物に触れ合う農業高校の特色が現れた結果であると推察された。設問 6 についても、授業を通して事後の得点が 4.00 と有意に上昇していることから、もともと意識が高い項目にも関わらず行動意図に意識の向上が認められた。

(3) 最終レポートの結果および考察

対象生徒 13 名が作成した最終レポートでの総抽出語数は 8,838、異なり語数は 974 であった。

はじめに最終レポートの全体像を把握するため、出現回数が 15 回以上であった語を抽出し、表 7 に示した。抽出された 40 語のうち、「二酸化炭素」132 回、「排出」102 回、「サツマイモ」87 回、「環境」52 回といった、授業の教材において中心的となる語句が頻出していた。それらに次いで出現していたのは、生徒

表7 最終レポートにおける出現回数15回以上の抽出語

出現 順位	抽出語	出現 回数	出現 順位	抽出語	出現 回数
1	二酸化炭素	132	21	使用	21
2	排出	102	21	実験	21
3	サツマイモ	87	21	分かる	21
4	使う	54	24	七輪	20
5	環境	52	25	悪い	19
6	出る	48	25	食べる	19
7	電子レンジ	34	25	方法	19
8	授業	32	25	防草シート	19
8	調理	32	29	商品	18
10	環境破壊班	31	29	大きい	18
11	育てる	28	31	計算	17
12	時間	27	31	自分	17
12	多い	27	33	一番	16
14	カセットコンロ	24	33	結果	16
14	石油ストーブ	24	33	栽培	16
14	肥料	24	33	量	16
17	環境保護班	23	37	機械	15
17	作る	23	37	考える	15
17	収穫	23	37	除草	15
17	農業	23	37	良い	15

の行動を示す一般的な動詞で、「使う」が 54 回、「出る」が 48 回であった。その他としては、調理実習で使用された器具の「電子レンジ」、「カセットコンロ」、「石油ストーブ」、「七輪」がそれぞれ 20 回以上出現した。

次に、これらの頻出語がそれぞれレポート中でどのように結び付けられて使用されたのかを明らかにするため、共起ネットワークを作成し、図 2 に示した。共起ネットワークでは、結びつきが強い言葉をグループとして、A から G の 7 グループが検出された。グループ A では、「二酸化炭素」に「排出」、「電子レンジ」が強く結びついた。「電子レンジ」のほかにも「カセットコンロ」、「石油ストーブ」や「調理」が出現していることから、二酸化炭素の排出に、電子レンジ、カセットコンロ、石油ストーブの使用が密接に結びついていることを生徒が意識していると解釈された。グループ B は、グループ A の「二酸化炭素」からネットワークがつながり、「サツマイモ」および「多い」に結びついた。この結果は、サツマイモのライフサイクルから、二酸化炭素が多く発生していることを生徒が意識したことを表している。グループ C では、「環境」と「七輪」、「育てる」が強く結びついていた。「七輪」の先に結びついたのは「使用」、「少ない」であったことから、調理器具の中で七輪の二酸化炭素排出量が少なかったことを表していると推察された。一方、「育てる」の先に結びついたのが「悪い」、「機械」、「栽培」であったことから、栽培における農業機械の使用が環境に悪影響を及ぼすことを生徒が意識していることが判明した。グループ D は、「授業」の先に、「量」、「学ぶ」、「発生」が結びついていた。授業での学びをきっかけに、二酸化炭素の発生量を意識するようになったことが示された。グループ E は、グループ B の「サツマイモ」からネットワークがつながり、「使う」に結びついた。そ

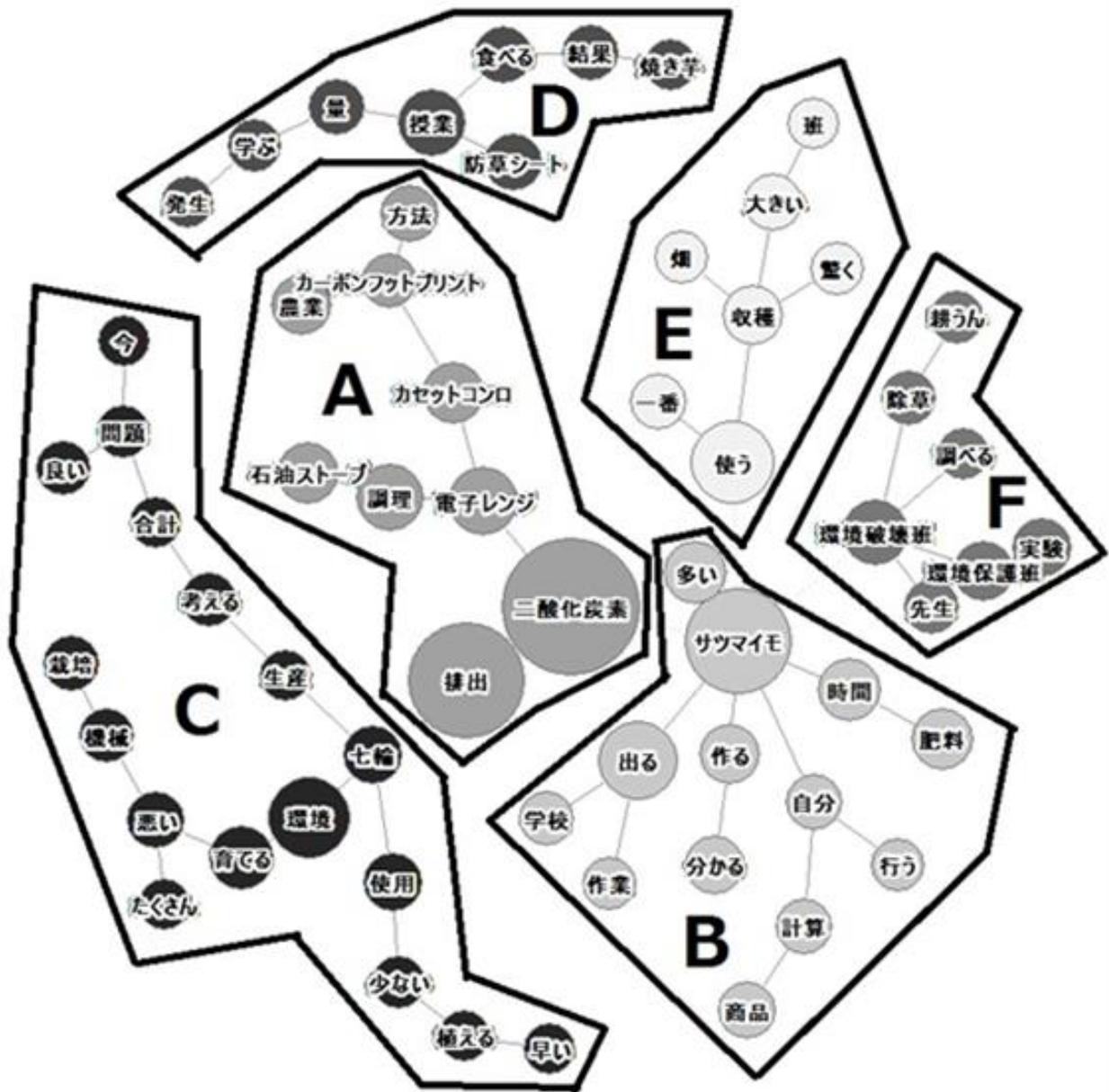


図2 最終レポートを基に作成した共起ネットワーク

の先は「収穫」、「大きい」、「班」と結びついたことから、生徒がサツマイモの大きさにも着目していたことを表している。グループ F は、「環境破壊班」と「環境保護班」が強く結びつき、「除草」および「耕うん」が出現していることから、生徒がレポートにおいて栽培方法を比較して考察したことが判明した。

(4) 先行研究との比較

質問紙調査の結果からは、先行研究および本プログラムで著しい差は認められず、全ての設問において生徒の意識変容が有意に向上した。この結果から、農業科における実習で栽培した農作物を対象とした LCT 環境教育プログラムが、環境問題とのつながりの断絶「ミッシング・リンク」の効果的な再生を裏付ける結果となった（本藤ら 2008）。

次に、最終レポートの結果を先行研究と比較すると、両者とも出現順位が 1 位「二酸化炭素」、2 位「排出」と続いた。次いで出現数が多かったのが教材名の「サツマイモ」および「ネギ」で、上位 3 位の順位は全く同様の結果となった。この結果から、教材の農作物の種類に関わらず、次に着目すべき点は、本プログラムで 7 位に調理器具の「電子レンジ」、8 位に「調理」という語句が登場していることである。先行研究では「食べる」が 14 位、「食材」が 35 位に出現していたほかには、食に関する語句は抽出されなかった。

次に、最終レポートを基に作成された共起ネットワークを先行研究と比較した。先述した出現順位 14 位の「食べる」はグループ C に位置し、「車」と結びついてはいたが、「生活」や「自分」、「考える」といった語句と結びついていなかったことから、生徒の強い意識に出現していなかった。その他、環境に対する行動意図に関する語句として登場したのは「電車」および「通学」であり、生徒の

環境に対する行動意図として、交通手段が意識されたことが判明した。ミッション・リンクを再生した生徒は、自分に何ができるかを考える際に、実体験を基に考察することが推察された。

2.2.4 SDGs への適用可能性

SDGs の特徴のひとつとして、経済、社会、環境の 3 側面がそれぞれ独立した柱として持続可能な開発を支えるだけではなく、統合的・融合的に構成されている点がある（蟹江，2018）。本研究で開発した LCT 環境教育プログラムは、農作物のライフサイクル過程で発生する GHG を「見える化」し、環境負荷が小さい農業を考察するという内容から、SDGs 第 2 目標の「持続可能な農業を促進する。」と関連付けすることができる。さらに、最終レポートから作成された共起ネットワークで、「二酸化炭素」と「減らす」および「ネギ」が強く結びついてきたことから、第 12 目標の「持続可能な生産消費形態を確保する。」に関連性が認められた。また、質問紙調査の行動意図に関する設問で意識の向上が認められたことから、第 13 目標の「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる。」との関連性も指摘できた。このように、本プログラムは SDGs の複数の目標と関連性があることが判明した。

SDGs が統合的・融合的に構成されている理由は、持続可能な社会が多面的視野でこそ実現されるからである。次の文は、1 例目の授業を受けた生徒が最終レポートで書いた文章を抜粋したものである。「どのようにして二酸化炭素を減らすのか。極端に言えば、石油由来のものを全て使わなければ、それをつくる際に出てくる二酸化炭素が削減できると思います。しかし、そうすれば肥料をやることができないから、野菜を大きく成長させることができなくなるし、収穫も人の

手で行うことになり多くの労働力が必要になります。(中略) 便利さをとるのか、二酸化炭素削減をとるのか、それが両立できることはないのだと思います。少しでも便利さを兼ね備えつつ環境にも配慮できている、そんな農業ができればいいですね。」このように、生徒は授業を通して環境だけの視点を考えるのではなく、収穫量という経済的な視点や労働力という社会的な視点からも考察できていた。さらに、次の文は別の生徒が最終レポートで書いた文章を抜粋したものである。「農業で何かを栽培したり、生産したりすることによって環境に悪い影響を及ぼすことを学ぶことができました。しかし、農業をしないと私たちの食料がまかなえなくなり、今度は輸入に頼ることになるため、さらに環境へ悪い影響を与えてしまうかもしれません。環境に優しい農業を進めることで、輸入に頼らないようにすることも大切だと考えました。」この生徒は農業を一方向的に否定するのではなく、環境に悪影響を与える農業の改善案を長期的な視点から提案した。これらの感想文の内容から、本プログラムが SDGs の経済、社会、環境の 3 側面を包括的に考察させることで、生徒の多面的視野を育成したことが明らかになった。

2.2.5 おわりに

LCT の視点を取り入れた環境教育プログラムは、これまでの先行研究で報告がなかった農業科の専門科目でも実践することができ、生徒自らが生産した農作物を教材として GHG 試算に焦点を当てることで、下記のような教育効果を得ることができた。

(1) 本環境教育プログラムが日常生活と地球環境のミッシング・リンク（つながりの断絶）を効果的に再生させ、生徒の環境配慮意識の向上に寄与した。

(2) 本環境教育プログラムは SDGs の 17 目標のうち、複数の目標と関連性があると考えられた。

(3) 本環境教育プログラムは、SDGs の経済、社会、環境の 3 側面を包括的に考察でき、生徒の多面的視野の育成につながると考えられた。

(4) 本環境教育プログラムは農業科が日常の授業で栽培している農産物を教材化できることから経済的で、カリキュラムの観点からも実施しやすく、SDGs 達成のキーワード「誰一人取り残さない」に適している。

第2章 引用文献

安藤生大 (2009) 「銚子産キャベツのカーボンフットプリントを用いた環境教育プログラムの効果」『日本 LCA 学会誌』第 5 巻第 3 号, 382 - 392 頁.

安藤生大 (2010) 「千葉県銚子産キャベツのライフサイクル CO₂ の試算」『日本 LCA 学会誌』第 6 巻第 3 号, 234 - 241 頁.

CFP 制度試行事業事務局 (2010) 「カーボンフットプリント制度試行事業 CO₂ 換算量共通原単位データベース (暫定版) ver. 2.01」1 - 32 頁.

CFP 制度試行事業事務局 (2011) 「商品種別算定基準 (PCR) 対象製品: 野菜および果実」2 - 3 頁.

福井県農業再生協議会 (2018) 「小浜市農業再生協議会水田フル活用ビジョン」2 頁.

樋口耕一 (2017) 「社会調査のための計量テキスト分析」『ナカニシヤ出版』157 頁.

本藤祐樹・平山世志衣・中島光太・山田俊介・福原一郎 (2008) 「環境教育におけるライフサイクル思考の利用ー持続可能な消費にむけたミッシング・リンクの可視化と再生」『日本 LCA 学会誌』第 4 巻第 3 号, 279 - 291 頁.

椛島裕美枝・吉川直樹 (2010) 「米 (滋賀県産こしひかり) におけるカーボンフットプリント算定事例」『日本 LCA 学会誌』第 6 巻第 3 号, 229 - 233 頁.

蟹江憲史 (2018) 「SDGs (持続可能な開発目標) の特徴と意義」『学術の動向』第 23 巻第 1 号, 8 - 11 頁.

笠井利浩・荒木史代 (2015) 「小学校におけるライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムの実践ー雨水で育てる緑のカーテンを用いた取り組みー」『日

本 LCA 学会誌』第 11 巻第 4 号, 337 - 347 頁.

国立環境研究所 (2019) 「日本国 GHG インベントリ報告書」『GHG インベントリオフィス編』5_34 - 54 頁.

文部科学省 (2010) 「高等学校学習指導要領解説農業編」18 頁.

南斉規介・森口祐一 (2012) 「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)」2005 年表.

竹内孝曜・平山世志衣・田原聖隆・高田亜佐子・妹尾理子・水野建樹 (2018) 「ライフサイクル思考に基づいた「日常生活と CO₂排出」に関する中学／高校用環境教育教材開発」『環境教育』第 27 巻第 3 号, 40 - 45 頁.

国土交通省 (2011) 「自動車燃費一覧」

http://www.mlit.go.jp/jidoshajidosha_fr10_000009.html, 2012 年 5 月 3 日閲覧.

livedoor (2011) 「livedoor MAP」<http://map.livedoor.com/>, 2011 年 12 月 10 日閲覧.

文部科学省 (2005) 「五訂増補日本食品標準成分表」

https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm, 2012 年 7 月 30 日閲覧.

横浜市 (2015) 「横浜市資源循環局 よくある Q&A」

<http://www.city.yokohama.lg.jp/shigen/sub-soshiki/kojo/kanazawak/07qa/>, 2015 年 3 月 20 日閲覧.

第3章 排出量取引制度を取り入れた持続可能な林業の推進

3.1 排出量取引制度の導入による地域振興

3.1.1 はじめに

カーボン・オフセットの視点を農業科の森林環境教育に導入するにあたって、持続可能な林業の実現に向けた地域振興策として排出量取引制度を活用した事例を調査した。なお、カーボン・オフセットとは、「市民、企業、NGO・NPO、自治体、政府などが、削減困難なGHGを排出した場合、他の場所で実現した排出削減・吸収量（クレジット）などを購入したり、他の場所で削減・吸収を実現するプロジェクトや活動を実施したりすることにより、排出量の全部または一部を埋め合わせる」概念である（日本環境教育学会，2013）。

3.1.2 研究対象および方法

新潟県東蒲原郡阿賀町（以下、阿賀町）は、福島県との県境に位置し、森林が町全体の約83%を占める山間地域である（図1）（農林水産省，2015）。近年、林業従事者の高齢化、木材価格の暴落などにより放置される山林が増加した。こうした状況のなか阿賀町は、排出量取引制度（国内クレジット制度・J-VER制度）を導入し、事態の改善を図った。

本章では、排出量取引制度を取り入れた持続可能な林業の推進に向けて、阿賀町の排出量取引制度導入の事例を取り上げた。研究方法は、阿賀町役場において排出量取引制度に従事する担当者への聞き取り調査とし、①排出量取引に至った経緯、②排出削減事業の内容、③排出削減事業に関する今後の計画を入手した。



図1 調査地

3.1.3 国内クレジット制度と J-VER 制度

阿賀町が導入した両制度について、国内クレジット制度事務局と J-VER 制度事務局への聞き取り調査を実施した。さらに、「国内クレジット制度について(国内排出削減量認定制度)」(経済産業省, 2012)と「オフセット・クレジット (J-VER) 制度実施規則」(環境省, 2016)を参考にして比較した内容を表 1 に示した。

(1) 国内クレジット制度

2008 年 10 月に開始された制度で、自主行動計画や試行排出量取引スキームの目標達成などに活用されることを主な目的としていた。国内クレジット制度で行われる事業は、中小企業などと大企業などの共同事業となり、クレジット認証には両者が揃うことが前提となる。そのため、中小企業と大企業は、排出事業共同実施者と排出削減事業者を事前に決定する必要があった。排出削減事業者が主に中小企業であることから、自力で計画書の作成が困難である可能性を考慮して、ホームページでは支援ソフトなど各種支援施策の紹介が行われていた。

(2) J-VER 制度

2008 年 11 月に開始された制度で、カーボン・オフセットに用いられるクレジットの認証を目的としていた。J-VER 制度の削減事業者やクレジット購入者は、自治体、企業、団体及び個人など幅広く、森林吸収プロジェクトが存在することが国内クレジット制度との違いであった。森林吸収プロジェクトを行うには、対象とする森林のモニタリングが必要である。モニタリングでは正確性・信頼性を確保するために、地位級(主要な樹種別に適正伐期齢総平均量を m^3 単位に区分したもの)を 30ha ごとに分類するとともに、林齢や林種の把握、成長量などを

表 1 国内クレジット制度と J-VER 制度の比較

	国内クレジット制度	J-VER 制度
削減事業者の資格	経団連の自主行動計画に参加していない中小企業など	特になし
方法論	排出削減系：61 種類	排出削減系：28 種類 森林吸収系：3 種類
申請方法	共同実施者（クレジット購入企業）と共同による申請	プロジェクト事業者 単独での申請
クレジット取引	共同実施者である大企業など	事前にクレジット 売却先確保は不要 クレジット認証後 削減実施者との契約 が必要

算定する必要がある。

J-VER 制度にはプログラム運営を都道府県が請け負う、都道府県 J-VER プログラムが存在する。2009 年 5 月から、新潟県は都道府県 J-VER プログラムに登録しており、①申請書の確認・受理、②妥当性確認の実施、③プロジェクトの登録に関する決定、④排出削減・吸収量の認証に関する決定、⑤認証審査委員会の運営、⑥新潟県 J-VER の発行・管理の業務を行っている。このように、新潟県が主体となって制度を運用することによって、広く資金調達が促進され、県内のプロジェクトの活性化と、県内外の J-VER の取り組み促進が期待されている(新潟県, 2014)。2016 年 4 月 1 日現在で、都道府県 J-VER プログラムに認証されているのは、全国で新潟県と高知県のみであるが、新潟県 J-VER では、本資料で紹介している「阿賀悠久の森間伐プロジェクト」の他にも、「新潟県佐渡市トキの森整備事業」、「苗場山麓竜神の森プロジェクト」など計 5 種類が登録されている。

3.1.4 結果および考察

(1) 国内クレジット制度

2010 年に、林野庁は「切捨て間伐」から「搬出間伐」にのみ補助金を出す方針へ変更した(林野庁, 2010)。そのため、林業事業者の個人負担が増えることになり、森林の間伐が行われなくなることを危惧した阿賀町は、国からの補助金に阿賀町独自の補助金を上乗せすることで対応を図った。補助金は国が定めた標準単価によって決定され、作業経費の 68%分に相当する。さらに、阿賀町の補助金が 10%上乗せされることにより、林業事業者の個人負担は 22%に軽減された。

阿賀町は、間伐の促進を通じた林業活性化の関連事業として間伐材を利用した公共施設へのペレットボイラー導入とペレット工場の建設を推進していた（阿賀町，2010a）。町内には阿賀町立上条小学校、阿賀町立津川小学校、七福温泉「七福荘」の3施設に町内の間伐材などを原料とした木質ペレットを燃料とするボイラーが設置された（阿賀町，2010b）。

2009年には、町立小学校へのバイオマスボイラー導入事業に関して国内クレジットを申請し、丸紅（株）を排出削減共同実施事業者として223t-CO₂のクレジット取引を行った。同じく、2011年には温泉施設へのバイオマスボイラー導入事業に関して国内クレジットを申請し、一般社団法人低酸素投資促進機構を共同実施事業者として389 t-CO₂のクレジット取引を行った。

(2) J-VER 制度

阿賀町におけるもうひとつの排出量取引は、新潟県 J-VER 制度によって認証された「阿賀悠久の森間伐プロジェクト」である。同プロジェクトでは、間伐を推進することでクレジットを創出し、販売によって得られる資金を森林整備の拡大や木質バイオマスの利用促進に活用することを目的とされた（新潟県，2010）。

排出削減量は、環境省が公表する吸収量の算定式に基づいて計算された。

$$\Delta C_{\text{total}} = \Delta C_{\text{FM}} - \Delta C_{\text{Base}} \quad (1)$$

※ ΔC_{total} は人為的純吸収量を、 ΔC_{FM} は森林経営活動（間伐）に基づく年間のCO₂吸収量を、 ΔC_{Base} は森林経営活動に基づく（間伐）対象地のベースラインCO₂吸収量を指す。

同プロジェクトの販売可能数量は、1438t-CO₂（2015年10月時点）であり、そ

のうち 853t-CO₂が販売された（表 2）。残りのクレジットについては、引き続き購入希望者を募集している。

(3) J-クレジット制度

聞き取り調査により、阿賀町は排出削減事業の一環として、排出量取引を引き続き継続していく考えであることがわかった。2013 年 4 月に国内クレジット制度と J-VER 制度が統一され、J-クレジット制度の運用が開始された（J-クレジット制度事務局，2015）。阿賀町は、2015 年 2 月に森林吸収系・排出削減系で J-クレジットに登録を完了しており、単体の事業者として、森林吸収系・排出削減系を同時に登録したのは阿賀町が全国初の事例であった（新潟県，2015）。

3.1.5 おわりに

排出量取引制度の導入により、森林整備の拡大や木質バイオマスの利用によって人員の投入が行われることから雇用創出効果が期待される。例えば、阿賀町所有林の間伐は業務委託によって実施され、地元中小企業への波及効果が生じた。さらに、クレジット取引によって丸紅（株）などの大企業や新潟県内の中小企業との交流が生まれたことも成果であると考えられた。さらに、阿賀町は排出量取引制度導入前から森林の整備を行ってきたが、排出量取引制度の導入によって、クレジット売却益を得ることができた。この資金を森林整備の拡大や木質バイオマスの利用促進に活用していることも有意義である。

しかし、J-VER 制度においては発行されたクレジットに有効期限があり、経過すると権利が消滅し売却できないという規約が存在する。「阿賀悠久の森間伐プロジェクト」におけるクレジットの残量について、阿賀町は販売金額の割引を検討していた。新制度である J-クレジット制度でも、発行されたクレジットが売

表2 新潟県J-VERクレジット売却実績

契約年月日	売却クレジット数	売却先
2011. 05. 25	1	(株) パルココミュニケーションズ
2011. 05. 25	8	(株) タカヨシ
2011. 05. 25	5	新潟センチュリー (株)
2011. 09. 16	20	(株) パルココミュニケーションズ
2012. 03. 21	1	新潟県
2012. 05. 11	9	JR新潟支社
2012. 05. 18	2	JR新潟支社
2012. 08. 12	61	イオンリテール株式会社
2012. 10. 17	1	NIIGATA光のページェント実行委員会
2013. 03. 26	1	新潟県
2013. 10. 17	1	NIIGATA光のページェント実行委員会
2013. 11. 13	10	JR新潟支社
2014. 03. 26	2	新潟県
2014. 04. 17	1	マイクライメイト
2014. 10. 01	132	イオンリテール株式会社
2015. 01. 30	9	JR新潟支社
2015. 01. 30	1	秋葉っ子ふゆまつり
2015. 02. 25	2	(株) イトーキ
2015. 03. 20	60	(株) イトーキ
2015. 03. 27	3	新潟県
2015. 04. 20	3	足立区
2015. 06. 01	520	足立区

※阿賀町役場売却整理簿より作成

却できるかが重要な課題となっている。

そこで、J-クレジット制度で創出されたクレジットの新たな利用方法として、環境教育における教材として活用できないかとの着想を得た。第3章の後半では、森林を専門に学ぶ農業科の生徒を対象として、カーボン・オフセットの視点を取り入れた森林環境教育を実践し、排出量取引制度で創出されたクレジットを教材として導入する。

3.2 農業科における排出量取引制度の視点を取り入れた環境教育

3.2.1 はじめに

森林は、木材や特用林産物を産出する木材等生産機能のほかに、文化的価値のある景観や歴史的風致を構成する文化機能およびレクリエーション機能を持ち合わせている（林野庁，2019a）。さらに、森林には自然災害の防止や抑制につながる山地災害防止機能、土壌保全機能、多様な生物の生育や生息の場を提供する生物多様性保全機能、地球温暖化防止に貢献する地球環境保全機能などがある（林野庁，2019a）。SDGsにおいても、第15目標に「陸域生態系の保護・回復・持続可能な利用の推進、森林の持続可能な管理、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・防止および生物多様性の損失の阻止を促進する。」と掲げられており（環境省，2017）、森林の多面的機能に対する直接的な言及がある。

持続的に森林の多面的機能を発揮させていくためには、人間の手による適切な森林管理が必要不可欠である（長池，2002）。一方で、日本における林業従事者数は1985年の約12万6千人から2005年には約5万2千人、2015年には約4万5千人と減少の一途をたどっている（林野庁，2019b）。

森林・林業分野では、人材育成の観点から高校における専門教育への関心および期待が高まっている。高校における森林・林業教育は農業科の分野として位置づけられ（文部科学省，2018a）、全国72の高校が森林・林業に関する科目およびコースを設置している（林野庁，2019c）。井上・大石（2016）は、森林・林業教育における今後の課題として、森林・林業・木材産業の多様なニーズに対応した授業内容検討の重要性を指摘した。

森林が持つ多面的機能のうち、環境的側面へのニーズに対応する教育機関を対象にした環境教育の実践として、生物多様性保全機能を題材とした絶滅危惧種の飼育の事例（柳原，2019）やレクリエーション機能を題材とした森林資源を利活用した自然体験の事例（吉岡・斉藤，2019）が挙げられる。このように、森林を対象とした環境教育の事例が蓄積されつつある。しかし、これらの先行研究で対象とされているのは小学生の割合が著しく高く、実施目的は森林・林業に関する知識・理解・啓発に関する内容に留まっている（杉浦，2015）。

農業科における学習指導要領の変遷で、森林・林業教育の内容は木材生産を中心とした育林や森林経営から、多面的な機能を含む森林の保全および総合的な森林の利用などの持続可能な森林管理への転換がみられた（井上ら，2016）。持続可能な社会を実現する人材育成という観点から、森林・林業を専門に学ぶ高校生を対象にした環境教育の実践は特に重要である。高校における森林環境教育の実践として、高性能林業機械による森林管理を体験させた秋田県の事例（花田，2019）や、農林業従事者と高校生の交流によって、生徒に自然環境に対する考えを深めさせた「聞き書き甲子園」の事例（安藤・興梠，2014）が報告されている。しかし、先述したように高校生を対象とした森林環境教育の実践は小学生を対

象とした実践と比較して極めて少なく、内容についても短期間で実施したプログラムが中心となっている。

持続可能な社会の実現に向けて主体的に行動する人材の育成には、学習者の発達段階に応じた環境教育が必要不可欠である（阿部，1992）。そこで、森林・林業に関する専門的な知見を導入した体系的な環境教育実践が重要になるとの着想を得た。

教材としてカーボン・オフセットを導入する着想に至った理由は、GHGの削減という環境的側面やクレジットの売買という経済的側面、創出した資金によって地域の事業や雇用を創出するという社会的視点を包括しているからである。また、カーボン・オフセットの意義として、社会の構成員による主体的なGHG削減活動の促進が挙げられる。すなわち、地球温暖化を自らの行動に起因して起こる問題であることを意識し、「自分ごと」と捉えることで主体的にGHGを削減する活動を行うことが期待される。

カーボン・オフセットに関する先行研究では、企業による取り組みであるオリックス自動車のカーシェアリングを活用した二酸化炭素排出量の削減や、日本政府による取り組みである洞爺湖サミット開催に際しての二酸化炭素排出量オフセットの事例が報告された（越田，2014）。さらに、地方自治体が実施した取り組みとして、高知県が未利用林地残材からつくった木質バイオマスをボイラーの燃料として活用することで二酸化炭素排出量を削減した事例がある（西村，2011）。一方、教育現場での取り組みは、大学の学校祭により発生した二酸化炭素排出量をオフセットするという活用事例（原田・中原，2010）が報告されているが、高校農業科での環境教育教材としてカーボン・オフセットを活用した事例

は管見の限りではみられない。

そこで、本研究では森林を専門に学ぶ高校生を対象として、カーボン・オフセットを教材として取り入れ、SDGsの環境的・経済的・社会的視点を包括する内容の環境教育プログラムを開発し、その効果を検証した。

3.2.2 研究対象および方法

(1) 概要

研究対象としたのは、福井県福井市に所在するN高校K科3年の生徒である。K科は2年次よりコース制を導入しており、対象生徒は森林および造園について学習するコースに所属している11名とした。

対象科目は、先行研究と同様の「農業の各分野に関する体験的な学習を通して、総合的な知識と技術を習得させ、経営と管理についての理解を深めさせるとともに、企画力や管理能力などを身に付け、農業の各分野の改善を図る実践的な能力と態度を育てる。」総合実習を選定した（文部科学省，2010）。

カーボン・オフセットに使用するクレジットは信頼性を構築するために、①確実な排出削減・吸収が実現されていること、②排出削減・吸収量が一定の精度で算定されていること、③GHG吸収の場合はその永続性が確保されていること、④クレジットを創出するプロジェクトの二重登録・発行および二重使用が回避されることの基準を満たしていることが必要である（環境省，2014a）。本プログラムで使用するクレジットは、エネルギーの地産地消の観点から地元で創出したクレジットを採用することが望ましい。しかし、対象校の所在地において、2019年9月時点で購入できるクレジットが存在しなかった（J-クレジット制度事務局，2019）。そこで、森林吸収によって創出されたクレジットで、プロジェ

クト実施者が地方自治体であることを条件に、横手市・森林組合森林吸収共同プロジェクト推進協議会が J-クレジット制度のもとで創出したクレジットをカーボン・オフセットに使用した（横手市，2017）。

カーボン・オフセットの実践では、①自らが発生させた GHG の排出量を認識し、②主体的な排出削減を実施し、③避けられない排出量の全部または一部に相当する量をクレジットで埋め合わせるという一連のプロセスが重要である（環境省，2014b）。これを踏まえて、2019年9月から12月までの計14回（1回当たり50分）のプログラムを筆者自身が表3に示すとおりに実施した。なお、横手市・森林組合森林吸収共同プロジェクト推進協議会から購入したクレジットは1tであり、20年生前後のスギが1年間に吸収する二酸化炭素は3.3tとして（森林総合研究所，2010）、生徒に提示した。

本プログラムを通して生徒に身に付けさせたい目標として、専門知識の深化および環境配慮意識の向上という視点から、①森林の二酸化炭素吸収による地球環境保全機能の理解と持続可能な管理に向けた態度の育成、②地球環境問題に対する関心の増大と認知的な意味でのつながりの断絶（ミッシング・リンク）の再生、③持続可能な社会の実現に向けた SDGs 各目標達成に向けた意欲の向上の3点を設定した。

(2) 評価方法

本プログラムの前後に実施した質問紙調査およびプログラム後のテキストマイニングによって、受講した生徒の環境問題および SDGs に関する意識の変容について評価した。

質問紙調査の項目は先行研究と同様に、「環境問題とのつながりの認識」に関

表 3 単元の概要

単位 時間	授業のテーマおよび内容
1	【演習】 質問紙調査（事前）の実施。
	【講義】 SDGs の学習。
2	【演習】 SDGs ワークシート（事前）の実施。
3	【講義】 地球温暖化の学習。
4	【講義】 温室効果ガスの学習。
5	【演習】 家庭から発生する温室効果ガスの試算。
6	【演習】 学校から発生する温室効果ガスの試算。
7	【演習】 家庭から発生する温室効果ガスの排出削減ポイントの検討。
8	【演習】 学校から発生する温室効果ガスの排出削減ポイントの検討。
9	【講義】 カーボン・オフセットの学習。
10	【講義】 森林の地球環境保全機能の学習。
	【講義】 排出量取引制度の学習。
11	【演習】 家庭から発生する温室効果ガスのカーボン・オフセット。
12	【演習】 学校から発生する温室効果ガスのカーボン・オフセット。
13	【演習】 SDGs ワークシート（事後）の実施。
14	【演習】 質問紙調査（事後）の実施。
15	【演習】 最終レポートの作成。

する設問、環境行動の規定因とされる「危機感」、「責任感」、「有効感」および「環境に対する行動意図」に関する設問とした(表4)。「行動意図」に関する設問は、プログラムを通して生徒各人が日常生活で実施できる内容としてフードロスの減少および省エネルギーに関する事項とした。採用したのは段階評定法で、7設問において4件法(「思わない:1点」、「どちらかといえば思わない:2点」、「どちらかといえば思う:3点」、「思う:4点」)により回答を求め、事前と事後の得点でWilcoxonの符号順位検定を実施した。Wilcoxonの符号順位検定を採用した理由として、データが2群であること、同一人物間の比較で対応があること、正規分布しないと考えられることを考慮した。なお、対象生徒全員である11名の質問紙調査を基に分析した。

一方、質問紙調査は設問内容によって結論が規制されるため、生徒に自由記述で最終レポートを作成させることによって教育効果を評価した。最終レポートは客観性の高い評価の視点からテキストマイニングにより分析し、本稿では考察において実際の文面を抜粋して引用した。なお、事前の質問紙調査は2019年9月12日、事後の質問紙調査および最終レポート作成は2019年12月8日に実施した。

最終レポートのテーマは、「総合実習の授業を通して学んだこと」として、1000字から2000字程度で生徒たちに自由記述を求めた。表記の統一を図るためテキストマイニングの分析前に、文章中の「CO₂」を「二酸化炭素」に、高校名を「学校」にするなど、語句を修正した。さらに、固有名詞を抽出するため「カーボン」と「オフセット」を「カーボン・オフセット」に、「森林」と「整備」を「森林整備」にするなど、一部の語句を固定した。一方で、「今回」および「思う」は

表4 質問紙調査の結果

質問項目	得点 (平均値)		
	事前	事後	
1. 自分の行動が、社会の様々なところで二酸化炭素を発生させていると思いますか？ (つながり)	2.09	3.91	***
2. 自分の行動が、社会の様々な現象とつながっていると思いますか？ (つながり)	2.09	3.64	***
3. 地球環境問題は、さげなければならぬと思いますか？ (危機感)	2.73	3.73	***
4. 地球環境問題の責任は、自分にもあると思いますか？ (責任感)	1.64	3.73	***
5. 地球環境問題は、みんなで協力すればさげられると思いますか？ (有効感)	2.36	3.45	**
6. 食べものを、出来るだけ残さずに大切に食べようと思いますか？ (行動意図)	3.36	4.00	*
7. 電気・水道・ガスなどの資源を、出来るだけ節約しようと思いますか？ (行動意図)	2.64	3.91	**

^z Wilcoxonの符号付順位和検定により***, **, *はそれぞれ1%水準, 2%水準, 5%水準で有意差ありを示す。(n=11)

意味を持たない語句として除外した。テキストマイニングは KH Coder (Version : 2.00f) を利用し、頻出語句の抽出および共起ネットワークの作成を実施した。共起ネットワークの条件についても先行研究と同様に、最小の Jaccard 係数を 0.5、サブグラフ検出、最小スパニングツリーのみを表示の条件で作成した。なお、対象生徒全員である 11 名の最終レポートを基に分析した。

3.2.3 環境負荷試算の結果および考察

試算にあたり、生徒たちは家庭における電気・ガス・水道の使用量を過去 1 年間（2018 年 4 月～2019 年 3 月）の使用明細書から入手した。一例として 4 人家族である生徒 A の自宅では、過去 1 年間で電気を 6,180 kWh、ガスを 355 m³、水道を 311 m³使用していた。次に、環境省が公表している環境家計簿「えこ帳」で使用された排出係数から二酸化炭素排出量を試算した（環境省，2008）。試算の結果、生徒 A の自宅からは過去 1 年間で、電気の使用により 2,410 kg、ガスの使用により 1,065 kg、水道の使用により 112 kg の二酸化炭素を排出していた。4 人家族であることを考慮すると、生徒 A が家庭で排出した二酸化炭素は 1 年間で 897 kg と試算された。

学校で発生した GHG の試算においても家庭でのケースと同様の方法で実施した。N 高校では過去 1 年間で電気を 410,216 kWh、ガスを 219 m³、水道を 8,000 m³使用しており、試算の結果、電気の使用により 159,984 kg、ガスの使用により 657 kg、水道の使用により 2,880 kg の二酸化炭素を排出したことが判明した。N 高校の全校生徒数が 410 名（2018 年 4 月時点）であることを考慮すると、学校で排出した二酸化炭素は生徒 1 人当たり 1 年間で 399 kg と試算された。

3.2.4 質問紙調査の結果および考察

表 4 に本プログラムの前後に実施した質問紙調査の分析結果を示した。7つの設問において、事後の得点は事前の得点と比較して有意に高いことが判明した。1%水準で有意差が認められたのは、「環境問題とのつながりの認識」に関する設問 1 および設問 2、ならびに「危機感」と「責任感」に関する設問 3 および設問 4 であった。そのうち、得点の変化が顕著であったのは「責任感」に関する設問 4 であり、生徒が地球環境問題の責任が自分にあることを強く意識したと考えられた。生徒が責任感を抱いた背景として、表 3 の単元 5 および 6 で示した家庭および学校で発生した GHG の試算を通して、自分の行動が二酸化炭素を発生させていることを自覚し、地球環境問題への責任を感じる結果となったことが推察される。

3.2.5 最終レポートの結果および考察

最終レポートをテキストマイニングにより分析した結果、総抽出語数は 7,437、異なり語数は 1,010 であった。

最終レポートにおける出現回数が 10 回以上の語句を表 5 に示した。抽出した 45 語のうち、出現回数が最も多かったのは「二酸化炭素」であり、87 回であった。さらに、二酸化炭素に関連する語句として「カーボン・オフセット」が 39 回、「排出」および「排出量」があわせて 57 回出現していた。二酸化炭素に続いて出現回数が多かった語句は「SDGs」で 69 回、「目標」は 47 回であった。生徒の具体的な記述から、「目標」は SDGs の各 17 目標を示していた。他にも SDGs に関連する語句として「達成」が 21 回、「17 目標」が 15 回出現していた。これらの結果から、生徒が二酸化炭素と SDGs という 2 つのキーワードを特に意識していることが裏付けられた。このほかには、生徒の行動を示す一般的な動詞で

表5 最終レポートにおける出現回数10回以上の抽出語

出現 順位	抽出語	出現 回数	出現 順位	抽出語	出現 回数
1	二酸化炭素	87	20	貼る	17
2	SDGs	69	20	発生	17
3	目標	47	26	学校	16
4	授業	45	26	高校	16
5	Jーボン・オフセツ	39	26	買う	16
6	横手	37	29	17目標	15
7	排出	36	30	Jクレジット制度	14
8	森林	33	30	吸収	14
9	クレジット	32	30	削減	14
10	ロゴシール	27	30	少し	14
10	考える	27	34	行う	13
12	知る	25	34	使う	13
13	活動	24	36	年間	12
13	取り組み	24	37	ふれあいマート	11
15	達成	21	37	守る	11
15	排出量	21	37	森林整備	11
17	自分	19	40	ガス	10
18	環境	18	40	海	10
18	聞く	18	40	出る	10
20	家	17	40	水	10
20	商品	17	40	生活	10
20	人	17	40	地球	10
20	多い	17			

ある「考える」や「知る」、「聞く」の語句が頻出していた。

次に、最終レポートに基づいて作成した共起ネットワークを図 2 に示した。語句同士の強い結びつきがあるグループとして、A から F の 6 グループが検出された。

グループ A で中心となった語句は「二酸化炭素」および「SDGs」であった。「二酸化炭素」には「自分」と「カーボン・オフセット」が強く結びついた。一方、「SDGs」には「達成」、「人」、「守る」、「排出」が強く結びついた。この結果から、生徒自身が二酸化炭素排出量をカーボン・オフセットすることで SDGs の目標達成に貢献できることを意識していると解釈された。これは、本プログラムを通して生徒が気候変動の一因が二酸化炭素であることを理解し、削減によって SDGs を達成できるとの有効感を抱いた成果であると推察された。生徒の具体的な記述として、「今回の授業で自分達の二酸化炭素排出量をカーボン・オフセットしました。(中略) SDGs を達成していくためには、まずは二酸化炭素を削減するところからはじめたいと思いました。」が認められた。

グループ B は、グループ A の「排出」からネットワークがつながり、「横手」に結びついた。さらに、「横手」が「クレジット」、「高校」、「商品」、「行う」と結びついていた。これらの語句は授業内容を示しているが、着目したのがその先に結びついた「海」という語句である。本プログラムは森林を中心のテーマとしており、授業で海について直接的に扱ったことは無かった。しかし、一部の生徒は本プログラムによって海の存在を明確に意識していたことが明らかになった。生徒の具体的な記述として、「私が一番達成したいと考えたのは海の豊かさを守ろうという目標です。(中略) 海には釣り人や海水浴をしている人がいますが、

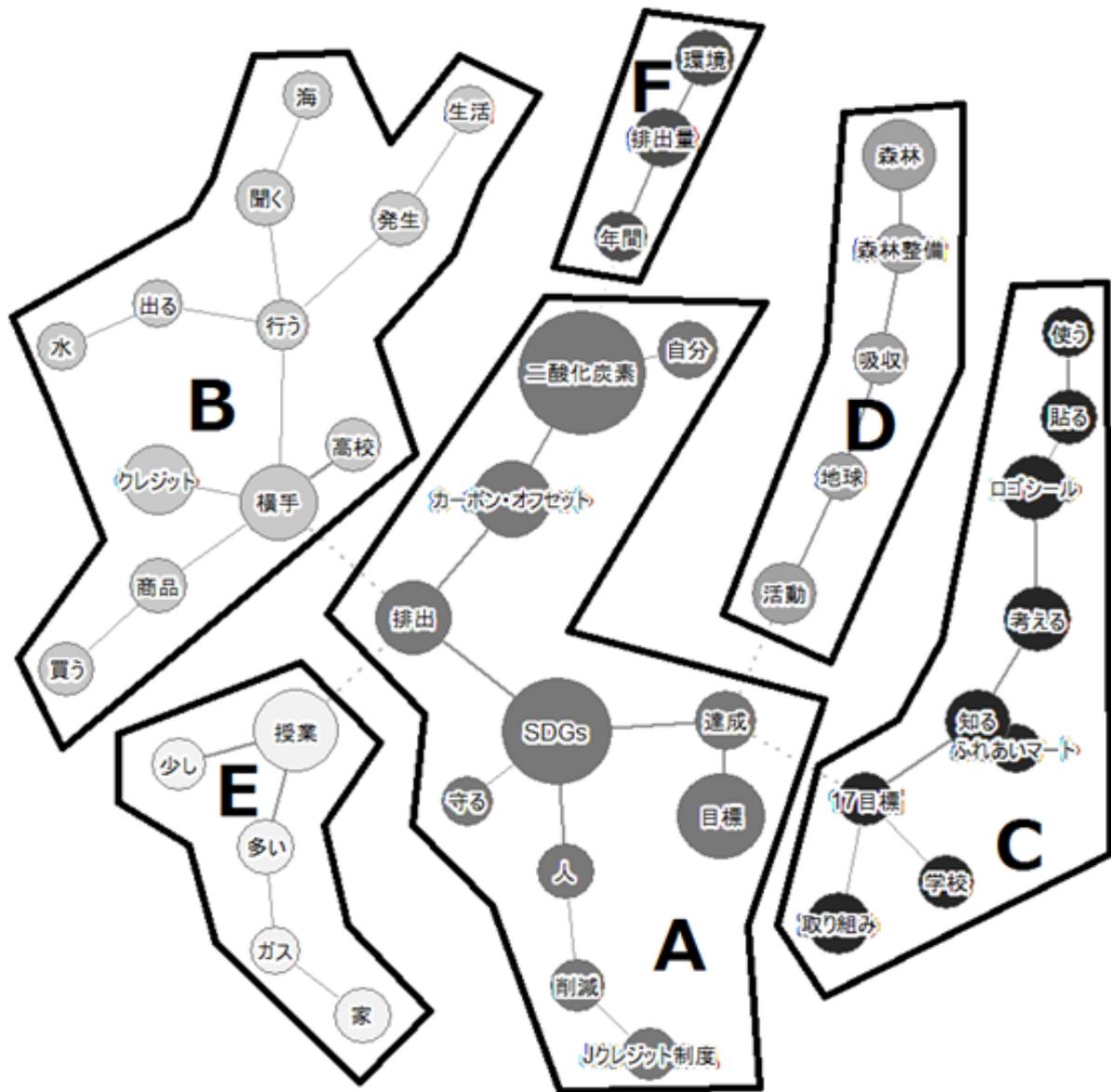


図2 最終レポートを基にした共起ネットワーク

その人たちが帰るときにゴミをポイ捨てする人が多いため、町内の人が集まる場所にゴミ捨て場を設置するなどの対策をすべきだと考えました。」が認められた。SDGs は各 17 目標が互いに関連しているが、授業で直接的に扱った目標以外にも、生徒自らの興味関心に応じた目標達成に貢献したいとの行動意図が確認された。

グループ C は、グループ A の「達成」からネットワークがつながり、「17 目標」に結びついた。さらに、「17 目標」が「取り組み」、「学校」、「知る」と結びついていた。さらに、その先には「ふれあいマート」や「ロゴシール」などのクレジット利用に関する具体的な取り組み内容を示す語句が結びついていた。生徒の具体的な記述として、「購入したクレジットの活用法として、ロゴシールを、より多くの人の目につくところ、つまり、ふれあいマートの商品に貼るべきだと私は思います。」があった。この結果は、学校での具体的な取り組みにより SDGs の各 17 目標を達成すべきであると生徒が考えていることを示した。これは、表 3 の単元 11 および 12 に示した購入クレジットの活用法を検討した成果であると推察された。なお、ふれあいマートとは N 高校が校内で生産された農産物を地域住民に販売する直売所の名称である。

グループ D は、同じくグループ A の「達成」からネットワークがつながり、「活動」が強く結びついていた。さらに、その先には「地球」、「吸収」、「森林整備」および「森林」が結びついていた。「森林」と「吸収」の間に「森林整備」が結びついていたことから、森林を適切に整備しなければ二酸化炭素を効果的に吸収することはできないという専門知識を生徒が理解していたことが推察された。さらに、SDGs の各 17 目標を達成するための森林が持つ役割を意識して

いたことが判明した。

グループ E は、グループ A の「排出」からネットワークがつながり、「授業」が強く結びつき、その先には「多い」、「ガス」、「家」が結びついていた。生徒の具体的な記述から、「ガス」は「GHG」を示しており、この結果は、表 1 の単元 5 および 6 で示した家庭で発生した GHG の試算において、生徒が自宅から発生した二酸化炭素排出量が多いと考えたことが判明した。これを裏付ける記述として、「私が発生させたガスは学校で 399 kg、家で 943 kg でした。日中はずっと学校にいるため、学校で発生するガスの方が多いと予想したけど意外でした。」が認められた。

グループ F は、グループ A の「二酸化炭素」からネットワークがつながり、「年間」に結びついた。その先には「排出量」、「環境」が結びついており、試算した二酸化炭素排出量が環境への影響を及ぼしていることを意識したことが判明した。これは、表 3 の単元 3・4 に示した地球温暖化および GHG の学習による成果であると推察された。

3.2.6 おわりに

本研究では、森林・林業に関する知識・理解・啓発に関する内容に留まっていた森林環境教育において、高校生を対象としてカーボン・オフセットを題材とした新たな SDGs 環境教育プログラムを開発した。質問紙調査および最終レポートのテキストマイニングによる分析により、本プログラムの意義を下記のように結論づけた。

(1) SDGs に関する講義によって、生徒は持続可能な社会の実現に対する基本的な知識を学習し、SDGs の各目標についての興味関心を向上させることができ

た。

(2) 地球温暖化に関する講義によって、生徒は気候変動の現状や要因となる温室効果ガスの専門的な知識を身に付けることができた。

(3) 家庭および学校の電気・ガス・水道の使用による二酸化炭素排出量を試算し、削減ポイントを考察したことで、生徒は地球環境問題とのつながりを認識し、地球環境問題に対する「危機感」、「責任感」、「有効感」が向上した。さらに、「環境に対する行動意図」として省エネルギーやフードロスの減少といった、生徒の身近で実施できる対策に対する意欲が向上した。

(4) 森林に関する講義によって、二酸化炭素吸収による地球環境保全機能について学習した。さらに、森林吸収クレジットを利活用したカーボン・オフセットや J-クレジット制度について学習し、環境問題の解決には経済的および社会的視点も関わっていることを認識した。

(5) 本プログラムと適合性をもたせた SDGs 第 15 目標、第 13 目標、第 12 目標以外にも、生徒の興味関心に応じて各目標への達成意欲が確認された。

第3章 引用文献

阿部治 (1992) 「生涯教育としての環境教育実践ハンドブック」『第一法規出版』

7 - 31 頁.

阿賀町 (2010a) 「阿賀町バイオマスタウン構想」構想書, 1 - 18 頁.

阿賀町 (2010b) 「広報あが」第 67 号, 10 - 12 頁.

安藤愛・興梠克久 (2014) 「森林環境教育としての「聞き書き甲子園」の社会的

意義とその効果」『日本森林学会誌』第 96 巻第 3 号, 123 - 131 頁.

花田健介 (2019) 「秋田県における森林環境教育の推進について」『日本森林学会

大会発表データベース』第 130 巻, 751 頁.

原田大貴・中原秀樹 (2010) 「学園祭カーボン・オフセットは定着するのか」『第

5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集』1 - 2 頁.

井上真理子・大石康彦・伊藤哲・光田靖・大住克博・大谷忠 (2016) 「専門高校

森林・林業教育のための持続可能な森林管理に関する教育内容の提案」『日本

森林学会大会発表データベース』第 127 巻, 723 頁.

J-クレジット制度事務局 (2015) 「J-クレジット制度の概要」1 - 15 頁.

環境省 (2008) 「既存の環境家計簿の現状について」2 頁.

環境省 (2014a) 「我が国におけるカーボン・オフセットのあり方について (指針)」

第 2 版, 7 頁.

環境省 (2014b) 「我が国におけるカーボン・オフセットのあり方について (指針)」

第 2 版, 8 頁.

環境省 (2016) 「オフセット・クレジット (J-VER) 制度実施規則」1 - 38 頁.

環境省 (2017) 「平成 29 年版環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書」6 頁.

- 経済産業省 (2012) 「国内クレジット制度について (国内排出削減量認証制度)」
1 - 60 頁.
- 越田加代子 (2014) 「消費者の環境配慮型行動としてのカーボン・オフセットー
低炭素社会の実現に向けてー」『立命館経済学』第 63 巻第 1 号, 97 - 134 頁.
- 文部科学省 (2010) 「高等学校学習指導要領解説農業編」18 頁.
- 文部科学省 (2018a) 「高等学校学習指導要領解説農業編」13 - 14 頁.
- 長池卓男 (2002) 「森林管理が植物種多様性に及ぼす影響」『日本生態学会誌』第
52 巻第 1 号, 35 - 54 頁.
- 日本環境教育学会 (2013) 「環境教育辞典」『教育出版』55 頁.
- 西村淑子 (2011) 「カーボン・オフセットー地方自治体によるオフセット・クレ
ジットの活用ー」『群馬大学社会情報学部研究論集』第 18 巻, 131 - 139 頁.
- 新潟県 (2010) 「新潟県オフセット・クレジット制度に基づく GHG 吸収プロジ
ェクト申請書～森林管理プロジェクト用～」1 - 13 頁.
- 新潟県 (2014) 「新潟県オフセット・クレジット制度実施要領」1 - 12 頁.
- 新潟県 (2015) 「新潟県版 J-クレジット／制度排出削減プロジェクト・森林管理
プロジェクト／妥当性確認報告書」1 - 6 頁.
- 林野庁 (2010) 「平成 21 年度森林・林業白書」『平成 21 年度森林及び林業の動向
／平成 22 年度森林及び林業施策』2 頁.
- 林野庁 (2019a) 「平成 30 年度森林・林業白書」『令和元年度森林及び林業施策』
57 頁.
- 林野庁 (2019b) 「平成 30 年度森林・林業白書」『令和元年度森林及び林業施策』
23 頁.

- 林野庁 (2019c) 「平成 30 年度森林・林業白書」『令和元年度森林及び林業施策』
34 頁.
- 杉浦克明 (2015) 「発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性」『日本森林学
会誌』第 97 巻第 2 号, 107 - 114 頁.
- 柳原高文 (2019) 「中名寄小学校放課後活動における森林環境教育：ヒメギフチ
ヨウ飼育から」『名寄市立大学コミュニティアカ教育研究センター年報』第 37
巻第 3 号, 142 - 143 頁.
- 横手市 (2017) 「横手 J-クレジット」『EVI 環境マッチングイベント 2017 事例発
表資料』1 - 13 頁.
- 吉岡敦之・斉藤美保子 (2019) 「子ども食堂における身近な自然体験活動の実践」
『鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要』第 28 巻, 47 - 56 頁.
- J-クレジット制度事務局 (2019) 「売り出しクレジット一覧」
<https://japancredit.go.jp/sale/>, 2019 年 9 月 12 日閲覧.
- 農林水産省 (2015) 「農林業センサス」<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/>, 2016
年 2 月 19 日閲覧.
- 森林総合研究所 (2010) 「森林による炭素吸収量をどのように捉えるか～京都議
定書報告に必要な森林吸収量の算定・報告体制の開発～」
[http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-
4-per-year.pdf](http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-4-per-year.pdf), 2019 年 9 月 12 日閲覧.

第4章 総括

4.1 研究の成果

本研究では農業科教育における LCT の視点を導入した環境教育プログラム開発の方針を明らかにすることを目的とした。

第2章の前半では、LCT を農業科教育に導入するという観点から、これまで報告がなかったエダマメの GHG を詳細に試算した。農作物は地域性や季節性により多種多様な栽培方法があるため、個別の農作物の GHG 試算に関する研究事例には学術的意義があると推察される。さらに、PCR の使用・維持管理段階における商品使用シナリオ設定が現実には則していないという課題を抽出し、早急に品目ごとの PCR を作成する必要性を指摘したのは、今後の農業分野における GHG 試算の促進と環境保全型農業の推進に寄与することが期待される。

第2章の後半では、農業科と協働して、農業系科目における LCT の視点を取り入れた環境教育プログラムを開発した。生徒自らが生産した農産物を対象にした農業科における LCT 環境教育プログラムはこれまで報告されておらず、本研究の新規性が主張できる。さらに、開発したプログラムを実際に農業科の専門科目で導入し、教育的な効果进行评估した結果、日常生活と地球環境のミッシング・リンク（つながりの断絶）を効果的に再生させ、生徒の環境配慮意識の向上に寄与したことが判明した。

第3章では、森林・林業分野における人材育成の観点から高校における専門教育への関心および期待が高まっている社会的背景を踏まえ、カーボン・オフセットを教材として取り入れ、SDGs の環境的・経済的・社会的視点を包括する内

容の環境教育プログラムを開発し、その効果を検証した。高校農業科での環境教育教材としてカーボン・オフセットを活用した事例は管見の限りではみられず、本研究の新規性が主張できる。質問紙調査および最終レポートのテキストマイニングによる分析により、「環境に対する行動意図」として省エネルギーやフードロスの減少といった、生徒の身近で実施できる対策に対する意欲が向上したことが判明した。

本研究で開発した環境教育プログラムは、農業科を対象としたものである、しかし、工業科であれば機械、商業科であればサービスなどを LCT の視点から教材化することで、農業以外の専門高校にも適用できる可能性があり、農業以外の職業系専門高校にも応用し、教育機関における積極的な SDGs の推進に寄与することが期待される。

4.2 今後の課題

本稿において高校農業科と協働した研究は、第 2 章に記述した持続可能な農業の実現に向けたネギおよびサツマイモの実践と、第 3 章に記述した日常生活から発生する GHG 試算と森林の地球環境保全機能を活用したカーボン・オフセットの実践 3 例であった。農業科においては専門分野にコース制を導入していることから、研究におけるサンプル数が少ないという課題が指摘された。教育効果の明確な裏付けと農業科における環境教育の促進という観点から、反復しての環境教育実践が喫緊の課題である。

さらに、環境教育の本質的な成果として、卒業後の生徒がそれぞれの価値観に根ざした適切な行動が取れるかということが重要である。農林業を進路として

選択したかに関わらず、持続可能な社会の担い手として活躍する卒業生の 5 年後、10 年後といった長中期的な視点で意識変容を評価していくことが課題である。

謝辞

新潟大学農学部に入学後、「スタディスキルズ」で指導教員である長谷川英夫教授と出会ってから11年もの歳月が流れました。自分自身の将来を決めつけていた当時の私に対して、目の前に広がる無限の可能性を示してくださったのが長谷川教授でした。何かに行き詰ったときは躊躇わず長谷川教授の居室をノックし、どのようなときでもあたたかく示唆に富んだ助言をいただいたことで、何度も前向きになれたことが深く印象に残っています。この場を借りて、限りない感謝を申し上げます。

また、本論文を精読いただき有用なご助言を賜りました中田誠教授、鈴木哲也教授、本間航介准教授、元永佳孝准教授に深謝いたします。

大学院博士後期課程進学と同時に勤務した福井県立若狭東高等学校においては、水島智史教諭から教育と研究の両立に関するノウハウを伝授いただきました。また、異動後の福井県立福井農林高等学校では、担任を受け持った34名の子どもたちから熱い応援をいただき、教職員の皆さまには大変お世話になりました。

最後に、「研究者になる」という夢を追いかけるわがままに賛同し、どのような状況でも寄り添って人生をともに歩んできた大切な妻と、屈託のない笑顔で日々を癒してくれたかけがえのない娘に心から「ありがとう」を伝えます。また、本質の重要性を繰り返し教えてくれた父、好奇心旺盛な性格に育ててくれた母、常に立派な見本となってくれた兄にも感謝を伝えます。

2022年1月 津野 佑規

本研究の一部は、平成 30 年度科学研究費助成事業奨励研究（課題番号 18H00082）、平成 31 年度科学研究費助成事業奨励研究（課題番号 19H00103）による支援をいただき実現したものです。