

リサイクル飼料研究の教育実践への応用

村上, 貴弘
九州大学持続可能な社会のための決断科学センター

佐藤, 正三
中標津農業高等学校

遠藤, 沙織
大宮東高校

綿谷, ひばり
三鷹市立第五中学校

<https://hdl.handle.net/2324/6617937>

出版情報 : 決断科学. 9, pp.46-56, 2022-11-15. Institute of Decision Science for a Sustainable Society, Kyushu University

バージョン :

権利関係 : (c) 2021 決断・九州・福岡. Creative Commons Attribution (CCBY) に基づくオープンアクセス出版.

原著論文 / Article

リサイクル飼料研究の教育実践への応用

村上 貴弘¹, 佐藤 正三², 遠藤 沙織³, 綿谷 ひばり⁴

Application of Recycled Feed Research to Practical Environment Education

Takahiro Murakami^{1,*}, Shozo Sato², Saori Endo³, Hibari Wataya⁴

¹ Institution of Decision Science for a Sustainable Society, Kyushu University; taka_bci2000@yahoo.co.jp

² Nakashibetu Agricultural High School

³ Ohmiya Higashi High School

⁴ Mitaka Daigo Junior High School

* Correspondence: taka_bci2000@yahoo.co.jp; Tel.: +81-92-802-6047

Abstract: We conducted recycled feeding study for a sustainable society of agriculture and applied to environmental education. Recycled feed was prepared from food wastes (i.e. bean sprouts, whey, and *Lactobacillus*) in the southern Hokkaido area. The results of the pH, numbers of microbes (*Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarum*, and yeast), weights of feeding pigs, and DNA analysis using rep-PCR method indicated that the recycled fermented feedings were effective and safe for pig rearing process. Educational activities that contain two seminars in July (15 students) and December (18 students), an experiment practical training of recycled feeding at August (4 students) and sensory studies of recycled feeding pigs at December in 2012 were conducted at Hokkaido Ohno Agricultural High School and Hokkaido University of Education, Hakodate. These activities aimed to survey of awareness changes for a sustainable society and environment, motivation of learning, and prospects for the future. Questionnaire surveys were conducted each activity. In addition, we collaboratively carried out feeding pigs, sampling feces for intestinal flora, and cleaning pigsty with high school students and university students from August to October. As a result, a significant difference was detected in the questionnaire 10 “Understand about recycling wastes to fermented feeding” on the change in environmental awareness. In addition, positive changes were detected in the five items in the motivation to learn: item 1 “Feel happy to study various things”, environmental item 6 “Interested in environmental issues”, item 10 “Circular livestock production is important”, and in the prospects for the future: item 12 “Want to work in agriculture in the future”, and item 14 “Talk with friends about career paths”. These results suggest that educational activities using recycled feeding research would be effective and positive for improving motivation for learning, awareness of environmental issues, and future prospects. As a next step, further analysis of these educational practice studies using recycled feedings is expected to provide feedback for more effective education.

Keywords: Recycled feeding; food waste; educational practice; high school- university collaboration

村上・佐藤・遠藤・綿谷. リサイクル飼料研究の教育実践への応用. 決断科学, 第9号 (2022), 46-56.
<https://doi.org/10.50817/qou.tds0904>

編集者 Michikazu Hiramatsu

2022年03月10日 受付

2022年08月25日 受理

2022年11月15日 出版



© 2021 決断・九州・福岡.

Creative Commons Attribution (CC BY)
に基づくオープンアクセス出版

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. 序論

持続可能な社会を目指す上で環境と教育が連動した取り組みが重要であることは論を待たない。本研究では、近年文部科学省も推進する理科教育・環境教育の実践的な取り組みの一例としてリサイクル飼料研究を取り上げる。リサイクル飼料を初等教育現場で作製し、その活動を通して環境教育を推進することは多く教育現場で行われている（環境省 2015）[1]。しかしながら、その教育効果の検証や具体的なリサイクル飼料作製の教育実践効果に関してはほとんど報告がない。そこで本研究は、リサイクル飼料作製における教育実践効果を大学および高等学校の両面において明らかにする。大学においては

道南地域で廃棄される農業廃棄物の調査、廃棄される残さの再利用交渉、収集、発酵リサイクル手法の取得、豚への給餌実験、糞由来 DNA 解析を介した腸内細菌叢調査などの基本および先端の環境科学手法の習得が可能となる。さらに、将来教員を目指す学生にとって授業実践の場となり、その経験から教授法を獲得する絶好の機会となる。高等学校においては、大学生と共同でリサイクル飼料を豚に給餌実験を行うことまた大学生から環境に関する講義を受けることによる環境意識の向上が期待される。

まず、本研究を考える上で重要な背景として日本の食料供給事情を見てみよう。日本の食料自給率はカロリーベースで 38%と先進国の中で最も低く、生産額ベースも 68%とほぼ一貫して低下し続けている（平成 28 年度（2016 年））。飼料自給率は 27%（平成 28 年度（2016 年））で、生草やサイレージなどの粗飼料の自給率は 78%であるのに対し、トウモロコシ、大麦、小麦、大豆などの濃厚飼料の自給率は 14%（平成 26 年度（2014 年））であった（農林水産省 2017）[2]。このように持続可能性を考えると日本の食料自給状況は危機的な数値を示している。

「食料・農業・農村基本計画」では、平成 37 年度（2025 年）までに食料自給率を 45%に、飼料自給率については 40%へ向上させることを目標に掲げている（農林水産省 2015）。このためには教育を通じた食や環境への意識の向上（食育や地産地消）、食の安全と消費者の信頼確保なども掲げられており、施策として食料の安定供給の確保や農業の持続可能な発展に関する取り組みがなされている。また、「酪農及び肉用生産の近代化を図るための基本方針（農林水産省 2015）[3]」においては、流通飼料の安定的な供給とリサイクル飼料（エコフィード等）の利用拡大が掲げられている。

本研究でも取り上げるリサイクル飼料とは、食品残さや農業廃棄物等を原料にして処理加工された飼料のことであり、未利用資源を畜産飼料として循環させようとするものである。リサイクル飼料は飼料自給率の向上、食品廃棄による環境負荷の低減に有効である。リサイクル飼料の原料である食品残さとは、食品の製造加工・調理する過程で発生するもので食用として利用しなかったもの、食品の流通段階で発生する売れ残り食品、消費段階で発生する未利用食品や食べ残しなどの総称をいう。現在、食品廃棄の問題は日本のみならず世界規模で広がっており、国連環境計画（UNEP）と国連食糧農業機関（FAO）によると、世界中で年間 13 億 t もの食品が食べ残しなどで廃棄されており、この量は生産される食品の 3 分の 1 に相当する（FAO 2011）[4]。このように、さまざまな場面で大量の食品残さが発生し、有用な資源が再利用されることなく、焼却や埋め立て処理されている。地球環境問題や限りある資源の有効活用の面から、これらを飼料として再利用することが強く求められている。

しかしながら、リサイクル飼料の日本国内での普及率は低く、全畜産資料に占めるリサイクル飼料利用率は 2016 年度がピーク（濃厚飼料に占める割合 6.4%、製造量は 120 万 TDN トン）でそれ以降は減少に転じている。農林水産省としてはリサイクル飼料の利用を促進し、飼料自給率を 2030 年までに 34%まで引き上げる目標を掲げている（農林水産省 2022）[5]。養豚農家がリサイクル飼料を利用しない理由として、原材料のまとまった入手が困難、労働力不足、栄養面で不安定、安全性に対する不安、肉質低下の懸念、運搬・乾燥等の経費負担、イメージによる豚肉消費低下の懸念などがあげられている。したがって、リサイクル飼料を広く普及するためには養豚農家が抱くこれらの問題を解決しなければならない。

これまでに本研究に関連し、大量の農業廃棄物や食品残さが発生する北海道南部でリサイクル飼料を展開、発展させるために、安定供給・高い安全性を実現する実験を 2009 年から 2015 年まで行ってきた。その結果、もやし滓、ホエー、乳酸菌であるプランタム菌を使用したリサイクル飼料が、保存性が高く安定供給が望めると示唆され、2011 年から北海道立大野農業高校農業科・畜産部門と連携して豚への給餌実験を合計 4 年行

った。合計で15個体に給餌実験を行い(給餌8個体, 非給餌7個体), リサイクル飼料を給餌個体でも濃厚飼料とほぼ同様の成長曲線および肉質評価を得ることに成功した。また, 乳酸発酵をおこなうことで作成されるリサイクル飼料は保存性が高いだけではなく, 腸内細菌叢の多様性確保などのプロバイオティクス効果や匂いの軽減などの効果が確認された[6]。

本研究の主要な目的は, 循環型で持続可能な社会をもたらす, さらに給餌された個体にはプロバイオティクス効果も期待されるリサイクル飼料が, 理科教育や環境教育の有効な実践的教材となりうるかどうかを検証するための応用研究を目指す。2012年4月から10月にかけて, 大野農業高等学校の高校生を対象にリサイクル飼料に関する授業の実施, リサイクル飼料作製体験, リサイクル飼料給餌ブタの食味官能調査などの教育的実践研究を行い, アンケート調査によってリサイクル飼料作製の教育効果を検証し, 教育現場にどのように展開できるかを考察する。

2. 方法

リサイクル飼料作成, ブタへの給餌実験, 糞由来 DNA 解析

リサイクル飼料を作製するに際し, 道南地域で廃棄される農業残さの調査を行った。JA, 函館市役所, 各食品工場, インターネットを利用し残さの情報を収集した。残さの利用可能性を検討した後, もやし残さ(だるま食品(函館市)), ホエー(函館牛乳(函館市))を2012年6月から11月まで定期的に訪問し, 収集・運搬を行った。リサイクル飼料の作製に関しては, 2008年から蓄積したデータを応用して最適化して行った。リサイクル飼料の特性を見るためにpH測定と細菌測定を行った。コントロールとして滅菌水ともやし滓, ホエーのみの処理(ホエーともやし滓), ホエーともやし滓およびプランタム菌処理を行い, 作製日から30日目までのpH測定, 細菌検査(乳酸菌数, 酵母菌数, 大腸菌数の測定)を行った。豚への給餌実験は2012年8月13日から10月8日まで北海道立大野農業高等学校で行った。作製したリサイクル飼料350gを大野農業高等学校で飼育する豚2頭に毎日給餌し, 8月13日から10月9日まで週1回合計10回, 豚の体重測定, 食いつき調査, 糞の採集を行った。採集した糞は研究室内で, QIAmp DNA Stool Mini Kit (QIAGEN社)を使用しDNAを抽出し, 乳酸菌用プライマー(Gevers et al. 2001) [7] および大腸菌用プライマー(Orsi et al. 2007) [8] を用いてrep-PCR法を行い, 大腸菌および乳酸菌の検出実験を行った。

環境教育実践, 官能試験

北海道立大野農業高校農業科・畜産部門の高校生を対象にリサイクル飼料を題材にした教育的実践研究を行い, アンケート調査によりリサイクル飼料の教育的効果を検証した。授業実施日は2012年7月31日, 8月2日, 12月10日, 12月12日, 12月14日, アンケートは授業実施後に行った。授業実施場所は北海道立大野農業高等学校中家畜講義棟, 北海道教育大学函館校の2カ所で行った。

アンケート内容は学習意欲, 環境への意識, 将来への意識の3つの観点で全15項目を作成した。学習意欲は項目1から5で, 教育に必須項目であり, 大学との連携, 大学生による授業がどのように学習意欲に変化を起しているのかを検証する。環境への意識(項目6-10)は, 資源を再利用することで環境への負荷の軽減に貢献するリサイクル飼料を教材として扱うことで, どのように変化するかを検証する。また, 将来への意識(項目11-15)に関しては, 大野農業高等学校は農業関係の仕事に就く生徒の割合が20%前後で推移し, 将来への明確な意識をもたせることが課題となっている。リサイクル飼料を教材とした教育的実践研究の中にキャリア教育の要素を取り入れ, その効果

を検証する。アンケートは5段階評価（1：全く当てはまらない～5：かなり当てはまる）で行った。

第1回授業は2012年7月31日（月）10:00-12:00に北海道立大野農業高等学校農業科中小家畜講義棟で行った。対象は同校中小家畜班の1-3年生15名であった。授業実施者は北海道教育大学函館校修士1年1名、4年4名、教員1名で行った。大野農業高等学校の生徒たちのリサイクル飼料の理解を深めることを目的として行った。「環境に優しい！肉が美味しい！リサイクル飼料の良さについて学ぼう！」というテーマで、「リサイクル飼料とは何か？」、「これまでのリサイクル飼料研究の成果」、「リサイクル飼料関連の職業紹介」の内容で授業を行った。また、5人ずつ3つのグループに分け、①豚に関すること（品種や体重増加）、②リサイクルとは何か、③リサイクル作製方法というテーマでポスター作りを行った。授業前に第1回アンケート、授業後に第2回アンケートを行った。

第2回授業は、リサイクル飼料作製体験を2012年8月2日（水）11:00-13:00に北海道教育大学函館校で大野農業高等学校3年生4名を対象に行った。リサイクル飼料の給餌実験を前に、リサイクル飼料作製体験を行うことで、大野農業高等学校の生徒のリサイクルに対する理解を深めることを目的として行った。また、実際に大学に来て大学の設備、大学生との共同作業・実験を体験することで、生徒の将来への意識の向上を図った。リサイクル作製では、全行程を生徒に体験してもらった。手順は（1）もやし滓をミキサーで粉碎し、100g測定し、オートクレーブで滅菌処理したものに、ホエーとプランタルム菌（48時間、37℃で培養したもの）を添加した。リサイクル作製の際に、実験機器の使い方も指導した。作業終了後に第3回のアンケートを行った。

第3回授業および官能調査は、2012年12月10日（月）、12日（水）、14日（金）の13:30-15:00に、北海道立大野農業高等学校農業科中小家畜講義棟で行った。対象学年は1-3年生、合計18名であった。授業実施者は北海道教育大学函館校修士1年1名、4年4名、教員1名で行った。生徒たちのリサイクルに関するさらなる理解と、将来への意識の向上を狙いとして行った。「リサイクルの肉への効果を確認しよう！」というテーマで授業を行った。授業の内容は、「第一回授業の復習（リサイクルとは何か？）」、「リサイクルの効果について」、「豚肉の流通に関する職業について」、「豚肉官能調査」であり、学年ごとの生徒の実態に合わせて内容を少しずつ変化させた。授業後はリサイクル給餌個体、非給餌個体1頭ずつのロース部位と市販の肉で官能調査を行った。官能調査後、第4回目のアンケートを行った。

アンケートは、項目ごとに一元配置分散分析（one-way ANOVA）、多重比較 Tukey法を用いて統計処理を行った。解析はRを用いた。

3. 結果

リサイクル飼料の効果測定、ブタへの給餌実験、糞由来 DNA 解析の結果

pH測定の結果は、コントロール（滅菌水ともやし滓）、ホエーのみの処理（ホエーともやし滓）、ホエーともやし滓およびプランタルム菌処理で、それぞれ作成日から30日目までの平均が、コントロールで4.2-4.9（mean ± SD = 4.8 ± 0.2）、ホエーのみの処理で3.2 ± 0.5、ホエーとプランタルム菌処理で2.8 ± 0.5となり全測定日においてコントロールよりもpH値が有意に低かった（Ryan - Tukeyの多重比較法, $p < 0.001$ ）。

細菌測定では、コントロールでは乳酸菌は測定期間中検出されることはなかった。ホエーのみの処理（209.0 colony ± 247.8）、ホエーとプランタルム菌処理（623.3 colony

± 449.9) とともに作製日から 7 日目に菌数のピークが見られた。作製日, 7 日目で乳酸菌数はそれぞれの処理ともコントロールとは有意に増加していた (Ryan-Tukey の多重比較法, $t = 6.4, p < 0.01$ (作製日), $t = 10.9, p < 0.001$ (7 日目))。またホエーとプラントアルム菌処理の乳酸菌数はホエーのみに比べ有意に増加していた (one-way ANOVA, $p < 0.05$)。酵母菌数も乳酸菌同様どちらの処理も 7 日目にピークが見られた。ホエーとプラントアルム菌処理の酵母菌数は, 28 日目を除くすべての測定日においてコントロールよりも有意に多かった (Ryan-Tukey の多重比較法, $t = 6.1, p < 0.01$ (作製日), $t = 7.7, p < 0.01$ (7 日目), $t = 7.4, p < 0.05$ (14 日目), $t = 20.3, p < 0.001$ (21 日目))。またホエーとプラントアルム菌処理の酵母菌数はホエーのみに比べ有意に増加していた (one-way ANOVA, $p < 0.05$)。大腸菌はすべての処理で測定期間中検出されることはなかった。飼育した豚の体重増加はリサイクル飼料を与えた豚と標準的な飼料で飼育した豚とで大きな差は見られなかった (Fig. 1)。飼料の食べはじめから食べ終わりまでの平均時間は, リサイクル飼料給餌個体が 15 分 2 秒 (± 2 分 12 秒), 非給餌個体が 23 分 49 秒 (± 5 分 35 秒) であった。また, 観察途中でリサイクル飼料非給餌個体は餌を食べ残すことが数回あったが, 給餌個体では見られなかった。これらの食事時間は統計的に有意な差が見られた (t -test, $t = 4.8, p < 0.001$)。

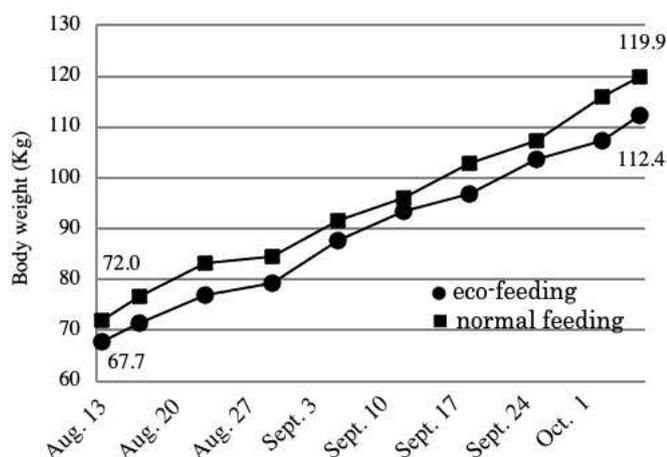


Figure 1. Body weights of the feeding experiment (August 13 – October 8). Two individuals fed recycled fermented liquid feed (eco-feeding), and two individuals fed normal formula feed.

rep-PCR 法により増幅された大腸菌, 乳酸菌由来の繰り返し配列領域の電気泳動像は Fig. 2 に示した。リサイクル飼料給餌個体と非給餌個体の大腸菌由来平均バンド数はそれぞれ 15.7 本と 13.5 本と給餌個体の方が統計的に有意に多かった (one-way ANOVA, $p < 0.001$)。乳酸菌由来の平均バンド数は 13.1 本と 10.9 本で, 有意に給餌個体のバンド数が多く検出された (one-way ANOVA, $p < 0.001$)。

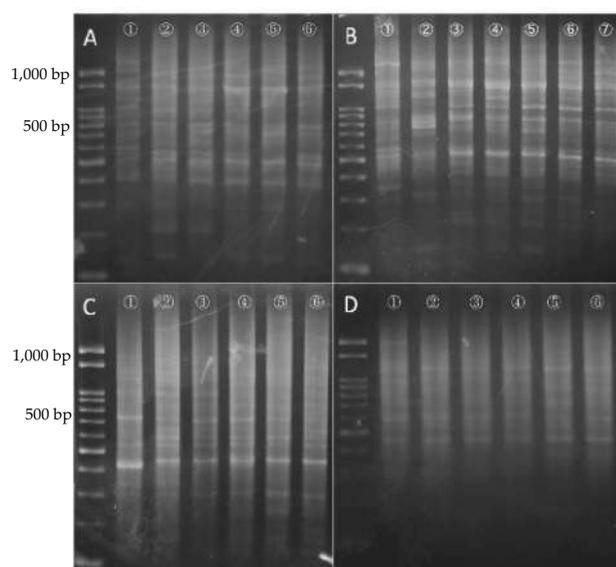


Figure 2. Electrophoresis images of *Es. coli* (A, B) and *lactobacilli* bacteria (C, D) in fecal DNA amplified by rep-PCR. A and C for individuals fed recycled fermented liquid feed, B and D for fed normal formula feed individuals.

環境教育実践および官能試験結果

大野農業高等学校の高校生を対象に教育的実践研究を行い、4回のアンケート調査によるリサイクル飼料の教育的効果の検証を行った。授業の進め方としては1回目と3回目はパワーポイント資料を使った座学およびグループワークを中心に組み立て、必要十分の基礎的知識と積極的な取り組みを引き出せるよう工夫した。2回目に関しては実際に作業を経験することにより、リサイクル飼料をより身近に感じるよう工夫した。結果はTable 1に提示した(8月2日のアンケート調査はn = 4であったため解析から除外した)。

項目9の「リサイクル飼料について理解している」においてのみ統計的な有意差がみられた(one-way ANOVA, $F = 3.2, p < 0.05$) (Table 1)。Tukey法により実施回ごとに比較をした結果、第1回目と2回目($t = 2.17, p = 0.09$)、1回目と3回目($t = 2.26, p = 0.07$)の間に緩やかな差が見られた。

有意差は出なかったが、変化の見られた項目は項目6の「環境問題に関心がある」と項目14の「将来について友人と話し合う」の2項目でいずれも2回目が高くなり、3回目に低下した。

Table 1. Results of questionnaire survey on the effectiveness of environmental education at Ohno agricultural high school. It shows the mean (SD) of scores and ANOVA results (F values and P values) of the first (July 31, 2012), second (August 2) and third (December 10) surveys. The questionnaire consisted of 15 items from three perspectives (willingness to learn, environmental awareness, and awareness of the future)

Question	Mean score (SD)			F	p-value
	1	2	3		
Q1 Feel happy to study various things	3.6 (1.3)	3.9 (1.3)	4.1 (1.3)	0.66	0.52
Q2 Fall asleep during class	2.6 (1.5)	3.0 (1.7)	3.1 (1.3)	0.46	0.64
Q3 Want to become smarter	3.9 (1.4)	3.6 (1.6)	3.8 (1.6)	0.16	0.85

Q4	When you do not understand something, look it up on the Internet	3.1 (1.7)	3.2 (1.7)	2.8 (1.6)	0.35	0.71
Q5	Want to become an active member of society	3.6 (1.5)	3.7 (1.4)	3.8 (1.0)	0.08	0.92
Q6	Interested in environmental issues	2.7 (1.2)	3.5 (1.1)	2.9 (1.1)	1.87	0.17
Q7	Do garbage sorting well	3.9 (1.2)	4.1 (0.9)	3.9 (1.3)	0.25	0.78
Q8	Try to conserve electricity and water use	3.5 (1.1)	3.5 (1.0)	3.6 (1.2)	0.08	0.93
Q9	Understand about recycling wastes to fermented feeding	2.6 (1.4)	3.6 (0.9)	3.6 (1.0)	3.25	0.04 *
Q10	Circular livestock production is important	3.1 (1.4)	3.6 (1.4)	3.7 (1.1)	0.9	0.41
Q11	Think about career path	3.5 (1.6)	3.9 (1.5)	3.6 (1.2)	0.32	0.73
Q12	Want to work in agriculture in the future	2.1 (1.0)	2.9 (1.3)	2.7 (1.2)	1.78	0.18
Q13	Want to go to college	2.9 (1.5)	2.9 (1.4)	2.4 (1.2)	0.87	0.42
Q14	Talk with friends about career paths	3.0 (1.7)	3.8 (1.6)	2.9 (1.5)	1.4	0.26
Q15	Work hard every day to realize dreams for the future	3.5 (1.2)	3.4 (1.4)	3.3 (1.3)	0.1	0.9

ブタ 4 頭の官能試験は、赤身と脂身とで行った。項目としては香り、食べごたえ、多汁性、繊維感、噛んだ時の旨味、肉の味の強さ、風味の程度、風味の好ましさ、脂っぽさ、総合評価を 5 段階評価で行い、得られた結果を Mann-Whitney U-test で検定した。その結果赤身ではリサイクル飼料給餌個体で食べごたえ (3.1 ± 1.2) が有意に非給餌個体 (2.6 ± 1.3) よりも高く、繊維感と脂っぽさは逆に非給餌個体 (3.2 ± 1.3 , 2.7 ± 1.1) で給餌個体 (2.8 ± 1.2 , 2.2 ± 1.0) よりも有意に高くなった。

4. 考察

本研究が示したように、道南の農業廃棄物を利用したリサイクル飼料は、豚の飼育に有効に利用されることが明らかになった。一頭当たりの飼料費はリサイクル飼料を使用した場合一頭当たり 13,547 円で北海道平均の 19,746 円に比べ 6,199 円の削減が可能となった。これを北海道の養豚農家 1 戸の平均頭数 2,545 頭で換算すると、約 1578 万円の飼料費を削減することが可能と推測される。飼料に占めるリサイクル飼料の割合は平均 30% 程度で飼料自給率の向上も期待できる。また、もやし滓の処理費用に毎年数百万円を投じているだるま食品にとっても無料で引き取って再利用できる可能性があれば、処理費用をかけないですむことになる。このように地元で出る農業廃棄物を用いたリサイクル飼料が、環境問題を軽減する強力なツールとなりうることを示せたことは環境教育的に重要な成果といえる。

さらに、これらのリサイクル飼料作製および微生物測定や DNA 解析、豚への給餌実験等を通じて担当学生は企業や行政への聞き取り調査、廃棄物を出している企業への交渉と廃棄物の受け取り、成果報告、高校との連携による作業、生徒への授業実施やアンケート解析などさまざまな活動を行うことを求められた。これはまさに Transdisciplinary research (TD 研究, 課題解決に直結した分野横断型研究) の好例として考えられる。これまでにこのような総合的な取り組みは報告例がなく、今後社会的要請の大きくなると予想される TD 研究の先駆けとして期待できる (Fig. 3)。

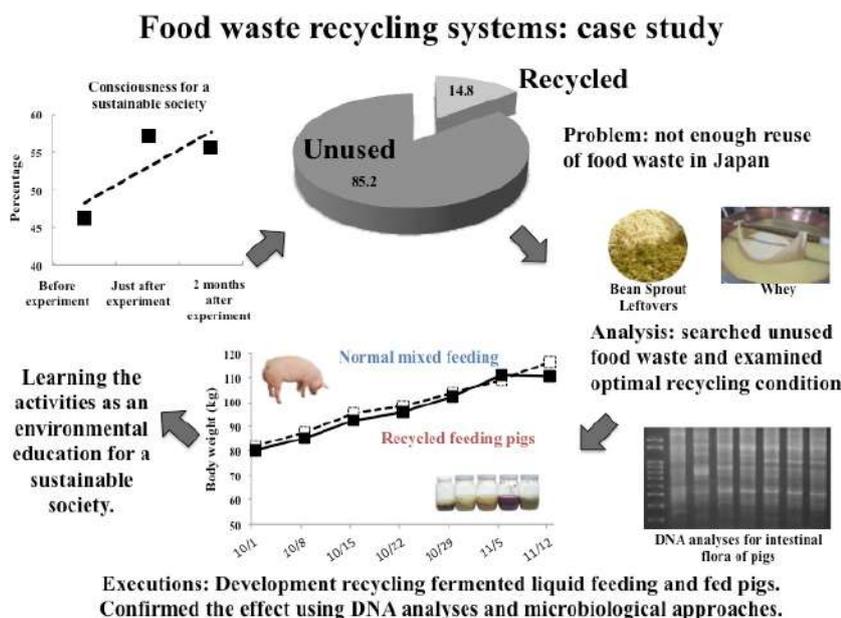


Figure 3. Circular diagram of practical education on the subject of recycled.

生徒の学習意欲に関して有意な教育的効果が見られた項目はなかった。やや上昇傾向にあったのは項目 1「いろいろなことを学ぶのは楽しい」であった。これは、大学生や教員と学び、実際に作業をすることで学ぶことの面白さや社会課題解決の意義について深く理解できたことを示唆している。したがって、一定程度の学習意欲の向上に効果があったと考えられる。

項目 2「授業中眠くなる」、項目 3「もっと賢くなりたい」、項目 4「分からないことがあった時はインターネットで調べる」、項目 5「社会で活躍する人物になりたい」では、データに変化がなく、リサイクル飼料を用いた教育的実践によって生徒の学習に対する興味・関心を喚起できたが、「さらに学びたい」、「学んだことを何かに活かしたい」などの主体的な問題解決能力を高める、という二次的欲求に繋げるところまでにはいたらなかったと考えられる。

主体的に問題解決をする力を高め、理科を学ぶことの意義や有用性を実感させるためには、問題解決の過程の最後である結論の導出後に実生活と関連させる学習を継続して行うことが重要である(東島 2012) [9]。このことから、生徒の主体的な学びの力を育むためには、授業や実習の中で問題解決を通して自らの効力感(有能感)を実感させ、さらに実生活にどのように応用されているのかをより具体的に提示していく必要があると考えられる。

生徒の学習意欲を高めるためには、生徒が興味・関心を持って問題に取り組み、自らの考えに基づいて仲間とともに意識的、目的的に観察や実験を行い、その観察や実験が成功し、最終的に問題に関する正解を得られることが大切で、生徒に学習活動の「見通し」を持たせることで、学習目標を明確に理解させ、目的意識を持って学習活動に取り組ませることができる(松本 2015) [10]。

今回の教育的実践では、授業の中での見通しは持たせていたが、第一回授業、リサイクル飼料作製体験、リサイクル飼料の豚への給餌実験および測定・豚舎清掃、第二回目の授業(官能調査を含む)という活動全体の見通しを持たせることをしていなかったため、生徒は主体的な目的意識を持って学習活動に臨むことができなかつたと考えられる。

自主的な学習意欲を持たせるには、毎時間の学習の始めに到達目標をしっかりと提示して生徒に目的意識を持たせることが必要だろう。グループワークを取り入れるなど、生徒が学習活動に積極的に取り組めるような環境を整えることで生徒の学習意欲の向上に繋がると考えられる。

環境への意識に関して有意に教育効果が見られたのは項目9の「エコフィードについて理解している」であった。これは直接の環境教育テーマが有効に生徒に届いていることを示している。項目6の「環境問題に関心がある」は2回目のアンケートで大きく理解が進んだが、3回目で理解度が低下し、有意な差にはいたらなかった。これは直接的なテーマでは教育効果は持続するが、その背景となる問題への興味関心は持続しにくいことを示唆している。項目7「ゴミの分別を心がけている」、項目8「節電・節水を心がけている」は授業提供中に数値に大きな変化はなかった。項目10「循環型農業は重要だと思う」は2回目、3回目のアンケートで数値が上昇した。これらの結果は、本授業で提供した内容に関連した項目に関してはある程度の教育効果が見られたが、抽象的な問題や保護者が行っている行動に関しては意識変容するところまでは行かなかったことを示唆している。理科や環境を学ぶことの意義や有用性を生徒が実感するためには、実生活と関連させる学習を継続的に行う必要がある(東島 2012) [9]ため、リサイクル飼料で飼育された豚の肉質評価などからさらに実生活に関連の深い活動を導入することが重要である。

将来への意識に関しては、項目12「将来農業関係の仕事に就きたい」で2回目、3回目の数値が上昇したが有意差までは見られなかった。その他の項目では明確な傾向は観察できなかった。今回の教育的実践の授業の中で農業の魅力について講義したことで、農業への関心を引き出せたと考えられる。大学進学に関しては、より具体的に進路を考えることにより、農業への関心が高まり大学進学への興味が低下したのかもしれない。

今回の結果から、リサイクル飼料を教材として農業高校のみならず、その他の初等教育現場における理科教育、キャリア教育、食育などさまざまな場面に展開できることが示唆された。その際に、授業や実習の内容や構成、教師の支援などを今回の結果を基に構築していけるだろう。食料残さを有効利用して循環型社会を作るリサイクル飼料は、環境教育に目を向けた理科教育として教育現場に展開していけるだろう。また、今回の授業の様に理科教育の中にキャリア教育としての職業紹介を含めることや、逆にキャリア教育の中に実践的な理科教育の要素を含めることで教育効果が期待される。近年のキャリア教育の広まりは、職場体験や職場見学による授業実践が多く行われているため、このような活動とキャリア教材を結びつけることができれば、子どもたちは職業と科学との繋がりをよりリアルに感じ取ることができると考えられる(市原, 鶴岡 2008) [11]。

加えて、リサイクル飼料を開発し実際にブタへの給餌実験を行い、高校生への環境教育を施した側にもポジティブな効果が見られた。教育実践の良い機会であっただけではなく、循環型農業や持続可能な開発目標(SDGs)を強く意識することが多くなり、学生自身の進路選択の幅を広げるきっかけにもなっている。具体的には、理科教員以外に養豚を行なっている牧場への就職や生物飼育担当として大手ホームセンターへの就職をしたものもいる。このように、環境意識を高めるだけでなく自身の行動変容にまで繋がることが示されたため、教育現場への効果は大きいと考えられる。

学校の給食調理残さを家畜飼料に再利用している地域では、飼育された豚肉を給食の食材として使用することで、児童生徒が食物の循環やリサイクルの仕組みを学習する機会になっている(環境省 2014) [12]。このように、リサイクル飼料は、初等教育現場でも食育教材として効果的な成果を上げつつある。今後は、さらにこのような活動を拡大させていくことが望まれる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、オルタナフィード株式会社饗庭功氏にはエコフィードに関する基本的な情報や製作方法など多くの有益な情報を指導いただいた。日本ハム株式会社中央研究所様、函館酪農公社様、JA 北斗様、JA 函館様、函館ワイン様、株式会社だるま食品本舗様にはエコフィード作製に無償で協力していただいた。北海道立大野農業高等学校の生徒には多大なる協力をいただいた。北海道教育大学教育学部環境科学専攻の学生も官能試験等で多くの協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

利益相反 本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

1. 環境省 2015 平成 26 年度学校給食センターからの食品廃棄物の発生量・処理状況調査結果. Available online: https://www.env.go.jp/recycle/food/kanren_siryo/h26haiki.pdf (accessed 17 Mar. 2022).
2. 農林水産省 2017 食糧自給率. Available online: http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/012-4.pdf, (accessed 17 Mar. 2022).
3. 農林水産省 2015 食料・農業・農村基本計画. Available online: http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/1_27keikaku.pdf (accessed 17 Mar. 2022).
4. FAO 2011 世界の食糧ロスと食料廃棄. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i2697o.pdf> (accessed 17 Mar. 2022).
5. 農林水産省 平成 18 年度第 2 回全国食品残さ飼料化行動会議. Available online: http://www.maff.go.jp/j/chikusan/jukyu/lin/l_siryo/ecofeed/h190208/pdf/data04c.pdf (accessed 17 Mar. 2022).
6. 福田優輔, 山口清佳, 道南地域におけるエコフィードに関する研究, 北海道教育大学卒業論文. 2009, 81pp., 徳中美穂, 室井遥, 道南地域から出る食品残さを使ったエコフィードの成分分析, 保存性試験, 食味試験, 北海道教育大学卒業論文. 2010, 120 pp., 佐藤夏子, 水木千尋, 道南地域から出る食品残さを使ったエコフィードの実用化を目指したブタへの給餌及び効果の観察, 北海道教育大学卒業論文. 2011, 157 pp., 遠藤沙織, 綿谷ひばり, 道南地域における食品残さを使ったエコフィード研究の応用と教育的実践, 北海道教育大学卒業論文. 2012, 217 pp., 相原みわ, 本多優, 道南地域における食品残さを使ったエコフィード研究, 北海道教育大学卒業論文. 2013, 162 pp.,
7. Gerves, D.; Huys, G.; Swings, J. Applicability of rep-PCR fingerprinting for identification of *Lactobacillus* species. *FEMS Microbiol. Lett.* **2001**, *205*, 31-36.
8. Orsi, R.H.; Stoppe, N.C.; Sato, M.I.Z.; Gomes T.A.T.; Prado P.I.; Manfio, G.P.; Ottoboni L.M.M. Genetic variability and pathogenicity potential of *Escherichia coli* isolated from recreational water reservoirs. *Res. Microbiol.* **2007**, *158*, 420-427.
9. 東畠代次郎, 小学校理科における主体的問題解決力の育成に関する実践教育-理科と実生活の効果的な接続に関わって-, 学校教育実践研究, Vol. 4 (2012), pp. 1-10.
10. 松本雄一, 実践共同体構築による学習についての事例研究, 組織科学, Vol. 149 (2015), pp. 53-65.
11. 市原猛, 鶴岡義彦, 理科におけるキャリア教材の開発, 科教研報, Vol. 22 (2008), pp. 27-32.
12. 環境省 2014 養豚業におけるエコフィードの利用の促進と廃棄物処理法制. Available online: https://www.env.go.jp/recycle/food/kanren_siryo/ecofeedguidebook1504.pdf (accessed 17 Mar. 2022).