**様式 C-19**

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成２３年５月３１日現在

機関番号：５２６０１
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2008～2010
課題番号：２０５００７９４
研究課題名（和文）　山羊を導入する雑草バイオマス有効利用プロジェクト

研究課題名（英文）　Weed-biomass Utilization Project Introducing Goats

研究代表者
三谷　知世（MITANI TOMOYO）
東京工業高等専門学校・物質工学科・教授
研究者番号：４０１５７５３２

研究成果の概要（和文）：キャンパスに大量に繁茂する雑草バイオマスを４頭の羊に食べさせ，得られるフンの堆肥化を行った。地中にフンと生ゴミを混ぜて2ヶ月間埋める方法が最適であった。堆肥化フンの肥効を小松菜の植栽試験で明らかにした。
雑草バイオマスの変換物である毛を、工芸品材料、ホルムアルデヒド除去剤等として有効利用できることを確かめた。フンや毛を用いた実験を物質工学科の実験に、羊毛工業に関する講義を科学技術史の授業に取り入れた。

研究成果の概要（英文）：
Weed biomass, luxuriating in a large amount in the campus of Tokyo Kosen, was removed by four sheep. Sheep dung obtained was mixed with garbage, and buried in a hole dug in the ground for two months. The fertilizing effects of the compost were showed on the growth of *Brassica rapa var. peruviridis*
It was found that obtained wool, converted from weed biomass, is utilized for the material of handiwork and an absorbent of formaldehyde. The laboratory work of the Department of Chemistry took the experiment on the dung and wool, and the class of History of Science and Technology took a topic of wool industry, showing the spooling of wool practically.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合　計 |
|---|---|---|---|
| ２００８年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| ２００９年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| ２０１０年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総　計 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |

研究分野：環境工学
科研費の分科・細目：科学教育・教育工学/科学教育
キーワード：雑草バイオマス、除草、堆肥化、環境教育

１．研究開始当初の背景

東京工業高等専門学校(東京高専)は、中学卒業生を５年間一貫教育により技術者に育成する技術系高等教育機関である。機械工学、電気工学、電子工学、情報工学、物質工学の５学科よりなり１学年 200 人、５学年で 1000 人規模である。５年の上にさらに２年間の応用課程である専攻科がある。近年、技術者の第一の責務として地球環境への配慮が強く叫ばれ、教育機関においても環境教育の充実が求められている。

本校キャンパスは約 10 万平米の広さを有している。多摩西部の雑草繁殖地に位置するため、毎年春から秋にかけて大量の雑草が繁

茂している。毎月１回行われている学生・教職員による校内一斉清掃で刈り取った雑草は年間１トン以上になる。環境モデル校を目指す本校は、エネルギー使用量、ごみの分別、古紙回収、キャップボトルキャップの回収等に取り組んでおり、豊富に存在する雑草についても、バイオマス原料として有効利用することは技術系高等教育機関としての使命である。

２．研究の目的

キャンパスの雑草の有効利用は、身近であるがゆえに学生に対する格好の環境教育である。本研究では、キャンパス内に繁茂する雑草をバイオマス原料とみなし、技術系高等教育機関の特性を生かして、その有効利用法を探り、実践する過程を通して高専における新たな環境教育の手法を確立することを目的とする。本研究では以下の事項について検討する。

（１）除草役として山羊を導入し、キャンパス内に繁茂する雑草の植生、存在量、除草速度、再生速度、堆肥化条件、緑地還元効果を検証する。

（２）フンの堆肥化を行うとともに、山羊の行動管理システムを検討する。

（３）学内で除草、堆肥化、緑地還元等に関する情報公開やレクチャーを行う。

３．研究の方法

（１）供試生物

当初は山羊の導入を予定していたが、借り受ける予定の牧場の都合および専門家の助言に従い、人への突進や柵を飛び越えるなどの学校における安全管理面を考慮して羊で実施した。

肉食用羊（*Ovis aries*）のサフォーク種（Suffolk）、成羊メス２頭（推定年齢７歳）及び、子羊雌、雄（1 歳）の計４頭を用いた。

（２）除草区の設定

長さ 5m、高さ 1m のナイロン製網を張ったスチール製の柵をナイロン製のひもで固定して除草区を造り、その中に羊を自由放牧した。草がなくなり次第、柵を移動した。区内に水飲み場とミネラル補給用の固形塩（日本全薬　鉱塩セレニクス TZ）を設置した。除草区の全面積は 2700m$^2$ である。

図１　除草区の４頭

（３）羊による除草量の測定

除草区内に 1 m$^2$ の矩形区を作り、ここに生えている雑草を刈り、単位面積当たりの平均湿重量を求めこれを繁茂密度とした。羊が除草した区域の面積と繁茂密度をかけ，除草量とした。

（４）フンの堆肥化

地面に深さ 50 cm、直径 45 cm の穴を掘り、採取したフン及び生ゴミ（野菜）を混合したものを投入し、少量の土を被せた。フンと生ゴミの混合比率は 4:1 である。 1ヵ月放置後切り返し、さらに 1ヶ月放置した。

（５）小松菜の植栽試験

赤玉土（刀川平和農園㈱製）2.5 L に堆肥化によって得られた羊フン堆肥 40 g、200g 及び 400 g をそれぞれワグネルポット（表面積 200cm$^2$、内径 159mm，高さ 250mm）にいれ、小松菜（*Brassica rapa var. peruviridis*）の種を 3 箇所に 5 粒ずつ播種した。赤玉土のみ、発酵牛フン 40 g、発酵羊フン 40 g、200g、400g の栽培区を調製し、赤玉土のみのものをブランクとした。水は 120~150 mL/day 与え、毎日 8 時間ほど屋外で日光に当て、雨の日は室内に入れた。1ヶ月栽培後、葉の長さ、重さ、枚数で、生育具合を比較した。

（６）フンおよび小松菜の成分分析

フンおよび小松菜は乾燥器を用いて 105±2℃で 2 時間乾燥し、乳鉢と乳棒で粉砕し、繊維質を除いたものを試料とした。

炭素量はチューリン法、窒素量はケルダール法、リン量はモリブデンブルー法、カリウム量は ICP 分析法により測定した。

４．研究成果

（１）除草区の植生

除草区の植生として、シロツメクサ、ツルマメ、ヒメオドリコソウなど 20 種類以上が確認できた。このうち、ドクダミ、ヤブガラシ、キンミズキ、ツユクサなどは羊が摂取することはなかった。

本研究の期間中に雌羊１頭が子羊２頭(雄、雌)を出産した。出産時の体重は推定５kg で、６ヶ月間は母乳を中心とし、その後は雑草を中心に摂食した。１年でほぼ母羊と同じ 50～60kg に達した。このことから、キャンパスに生育する雑草から十分の栄養を補給できることが分かった。

工業高専のキャンパスで、そこに自生する雑草を餌として羊が飼育できることを示した初めての例である。

（２）除草速度

成羊１頭は１日に生草 5～10kg を摂食し、フンを 1～2kg 排泄した。キャンパス内の雑

草が十分繁茂しているのは3月から10月までの8ヶ月間であり、この間に4頭で合計9600kg（9.6t）の雑草を食べたことになる。延べ除草面積では20160m$^2$で、除草区の面積は2700m$^2$であるので、雑草は8ヶ月間に平均8回程度再生したことになる。

図２　放牧前(左)と放牧後(右)の除草区

（３）人力で刈った雑草の取り扱い

校内一斉清掃時に刈られた雑草の取り扱いとして、羊に食べさせる方法と堆肥化する方法がある。羊は新鮮な草でなければ食べないため、刈り取った後数時間を経過した草は堆肥化するしかない。一方、堆肥化する方法は、草そのものが繊維質で微生物により分解されにくいため、数ケ月以上の長期間を要する。すなわち、人が刈るよりも一旦羊に食べさせ、体内で物質変換させて生成されるフンを後述のように堆肥化する方が優れていることが分かった。

（４）フンの堆肥化

地中に生ごみとともに埋め、1ヵ月後に切り返したところフンはほとんど熟成していなかった。そこで、さらに1ヶ月放置したところ，およそ98%が熟成していた。得られた堆肥は，匂いが無く、乾いた土壌様でさらさらしていた。

図３　発酵羊フン

（５）フンに含まれる化学成分量

測定結果を表1に示した。比較として市販の発酵牛フンの値を示した。堆肥を作るためのC/N比の基準値は35以下であり、羊フン、発酵羊フンとも基準を満たしている。発酵羊フンの炭素量、窒素量の値が未発酵羊フンと比べ低くなっていることからも、先述の堆肥化が十分進行したことを裏付けている。

表１　羊フンの炭素量、窒素量及びC/N比

| 試料 | 炭素量 | 窒素量 | C/N比[-] |
|---|---|---|---|
| 羊フン | 29.6 | 1.88 | 15.7 |
| 発酵羊フン | 8.42 | 0.59 | 14.3 |
| 発酵牛フン | 22.8 | 1.64 | 13.9 |

（６）小松菜の植栽試験

発酵羊フンを用いて小松菜を1ヶ月栽培した結果を表２に示す。比較として発酵牛フンの値を載せた。発酵羊フン添加量80 g/Lは発酵牛フンと同程度の値となった。

表３に栽培した小松菜のリン量、カリウム量、窒素量を示した。リン量、カリウム量に若干ばらつきはみられたが、発酵羊フンにより栽培した小松菜の成分量と食品成分表に記載されている小松菜の成分量はほぼ同等であった。このことから、発酵させた羊フンで十分に栄養価のある作物を得ることができることがわかった。

表２　植栽試験の結果

| フンの添加量 [g/L - 赤玉土] | 長さ[cm] | 重さ[g] | 葉の枚数[枚] |
|---|---|---|---|
| 赤玉土のみ | 11.4±2.0 | 0.37±0.1 | 5 |
| 発酵羊フン16 | 20.0±7.0 | 2.43±1.0 | 7 |
| 発酵羊フン80 | 23.8±1.1 | 5.34±0.8 | 7 |
| 発酵羊フン60 | 18.6±3.4 | 4.27±1.0 | 8 |
| 発酵牛フン16 | 24.3±0.9 | 5.67±0.9 | 7 |

表３ 小松菜中の成分量

| フンの添加量 [g/L - 赤玉土] | P [%]** | K [%]** | N [%] |
|---|---|---|---|
| 発酵羊フン16 | 0.42 | 6.89 | ― |
| 発酵羊フン80 | 0.39 | 7.92 | 4.13 |
| 発酵羊フン160 | 0.67 | 7.33 | 4.39 |
| 発酵牛フン16 | 0.67 | 7.05 | 4.48 |
| 食品成分表 | 0.68 | 5.20 | 5.10 |

図４　植栽試験の様子

（7）羊の行動管理

当初はセンサーを取り付けて羊(山羊)の行動管理を行う予定であったが、スチール製の柵により除草区を設けてその中で羊を飼育することとしたため、センサーによる管理は必要なくなった。羊は雑草の多い所で草を食べているか、建物の軒下で反芻しているかのいずれかであるためである。建物は 2700m$^2$ の除草区の一画にあり、眠るのはこの場所に決まっていることから羊が最も落ち着く場所である。

（8）毛の有効利用

羊の場合、夏場の暑さ対策のため年 1 回 5 月に毛刈りを行う。1 頭から約 2kg の羊毛が取れるが、これはすべて雑草バイオマスを原料とする生成品である。そこで、有効利用法を検討した。

まず、刈られた羊毛は中性洗剤で洗浄後、風乾し、カード機で梳いた。梳いた後の羊毛は以下のような製品となった。

①羊のミニチュア

針金を骨格としてその周りに羊毛を巻きつけて作ったものである。

図 5　羊のミニチュア

②糸

羊毛をよりあわせて糸にすることでマフラーなどの製品にできる。ただし、糸巻き機を使う高度な技術が必要である。この技術を持った学生の保護者がおり、依頼して作ってもらった。

図 6　糸とマフラー

③有害物質除去剤

化学物質化敏症の原因物質であるホルムアルデヒドの吸着除去能力があることを実験的に確認した。

（9）環境教育・科学教育としての貢献

①本科 1 年生から専攻科 2 年生まで 1100 人が集まる年 2 回の全校集会で、キャンパスの雑草バイオマス有効利用状況についてレクチャーを行った。羊による除草はカーボンニュートラルであり、ガソリンで稼動する草刈機に比べ優れていること、草→羊→フン→堆肥→草、あるいは草→羊→炭酸ガス→草の物質循環が成立していることを教授した。

図 7　全校集会での説明風景

②物質工学科 3 年生の実験で、天然染料および合成染料による染色過程の理解のために、羊毛の染色実験を実施した。同じく、化学物質化敏症予防の素材として羊毛を取り上げ、ホルムアルデヒド吸着実験を実施した。物質工学科 4 年の実験で、生体成分の理解を目的に、羊フンの炭素量および窒素量の測定実験を取り入れた。

③3 年生 200 人に対する必修科目『科学技術史』では羊毛工業と綿工業の機械化の歴史を、羊毛を紡ぐ作業を学生に実習させながら教授した。

④羊による除草の副次的効果として、家畜による癒し効果をあげることができる。草刈機による草刈は無機的で、癒しはありえないが、羊が悠然とキャンパスの草を食む景色は癒しに結びつく。3 年間の期間中、羊に対する虐待や苛めはなく、羊たちは学生・教職員に好意的に受け入れられた。さらに、近隣マンションの住民や保育園の児童が羊に触れるため定期的にキャンパスを訪れるようになった。学外者に対しても、癒しの存在として認知されるに至った。

図 8　保育園児(左)と家族連れ(右)の訪問

（10）今後の展望

東京高専キャンパス内の雑草バイオマスを、羊を介在させて有効利用する方法を確立できた。今後の展望としては次のことが挙げられる。

①本研究では、キャンパス内の 2700$m^2$ の区域に限定して雑草バイオマスの有効利用法を確立したが、今後は全キャンパスに拡張する。

②生成するフンの堆肥化を進め、東京高専ブランドとして、近隣住民のガーデニングや市民農園用の肥料として提供する体制を構築する。

５．主な発表論文等

〔学会発表〕（計４件）

①若田部緑、江山誉昭、三谷知世、キャンパスにおける緬羊の飼育及びフンの利用法の確立、第 13 回化学工学会学生発表会、平成23 年 3 月 5 日、秋田大学手形キャンパス

②若田部緑、三谷知世、キャンパスにおける緬羊の飼育及びフンの堆肥化,利用法の検討、第２回大学コンソーシアム八王子学生発表会、平成 22 年 12 月 4 日、八王子市学園都市センター

③宮崎由佳里、三谷知世、キャンパスにおける羊の飼育に関する工学的研究、第 12 回化学工学会学生発表会、平成 22 年 3 月 6 日、芝浦工業大学豊洲キャンパス

④宮崎由佳梨、三谷知世、キャンパスの除草を目的とした緬羊の飼育方法、第１回大学コンソーシアム八王子学生発表会、平成 21 年12 月 5 日、八王子市学園都市センター

６．研究組織

(1)研究代表者

三谷　知世（MITANI　TOMOYO）
東京工業高等専門学校・物質工学科・教授
研究者番号：４０１５７５３２