

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2014～2016

課題番号：26310311

研究課題名（和文）有機性廃棄物の液肥利用とリサイクル・ループの構築に向けた学際的共同研究

研究課題名（英文）Interdisciplinary Collaborative Research on Liquid Fertilizer Utilization and Recycling Loop Construction of an Organic Waste

研究代表者

矢部 光保（Yabe, Mitsuyasu）

九州大学・（連合）農学研究科（研究院）・教授

研究者番号：20356299

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,800,000円

研究成果の概要（和文）：水分含有量の高い有機性廃棄物のリサイクル・ループ構築の要は、発酵消化液の浄化処理から液肥利用への転換である。そのため、まず消化液の残留化学物質を分析し、農業利用において問題ない水準であることを示した。他方、液肥利用の進む韓国でも、液肥の運搬散布における効率が大きな課題となっていることを明らかにした。そこで、本研究では、複数の技術を組み合わせることにより、消化液の一般的な散布費用である約2,000円/トン以下で、消化液から窒素、リン酸、カリウムの肥料成分を分離し、さらに窒素は70倍程度、リン酸は50倍程度、カリウムは15倍程度に濃縮が可能であることを実験および理論計算で明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The keystone of recycling loop construction of wet organic waste is a conversion from treatment for liquid organic fertilizer (LOF) to utilization. To provide an overview of anthropogenic contaminants in LOFs, products from four biogas plants in Kyushu, Japan, were analyzed for a wide range of contaminants. The concentrations of contaminants in the studied LOFs indicate that they might be safe for agricultural purposes. In even Korea, the development of using LOFs has proved there is a large issue with inefficiency of transport and spray of LOFs. Thus, in this study, a combination of some techniques has proved a separation and a concentration of LOF fertilizer components are possibly below 2,000 yen per ton as a general cost of transport and spray based on laboratory experiments and theoretical calculation; approximately 70 times concentration of nitrogen, approximately 50 times concentration of phosphate and approximately 15 times concentration of potassium.

研究分野：農業経済学

キーワード：メタン発酵消化液 消化液の濃縮 肥料成分の分離濃縮回収 有機性廃棄物 再生可能エネルギー 消化液の残留化学物質

1. 研究開始当初の背景

有機液肥の利用推進は、有機性廃棄物のリサイクル・ループ構築、再生可能エネルギーの拡大、新たな農産物市場の創出に多大な効果をもつ。他方、輸入食料・飼料由来の窒素を我が国の農地に還元するには、全農地面積の2倍が必要であると言われていたが、我々の試算では、有機性廃棄物の発酵過程で窒素は揮散するため、堆肥や有機液肥を全量農地還元しても必要面積は全農地の80%に過ぎない。したがって、有機性廃棄物の農地還元は、一層の推進が可能であり、肥料の持続的供給にも資する。

しかしながら、肥料として有効な家畜ふん尿やし尿、食物残渣等に由来する発酵消化液の大半は、水分含有量が高く利用が容易でないために、多くの費用とエネルギーをかけて処理され、再資源化施設等の収益悪化や環境負荷の増大を招いてきた。特に、我が国の水田地帯では液肥利用が進んでいない。

その理由としては、a)高コスト、悪臭、成分不均一、b)散布農地の確保問題、c)液肥栽培技術に関する耕種農家への情報不足、d)住民や農家が液肥に持つ否定的イメージ、e)家畜ふん尿の偏在と濃縮・減量技術の未実用化、f)残留抗生物質等による安全性の懸念、g)有機認証が得られないことによる不利な価格形成等が挙げられる。

そのような中、2012年に我が国でも再生可能エネルギーの固定価格買取制度が導入された。しかし、全発電施設容量の93.5%は太陽光発電で、メタンガス発電は0.02%に過ぎず、既に7,000基以上のメタン発酵施設が導入されているドイツとは対照的である。それゆえ、再生可能エネルギー利用も含め、水分含有量の高い有機性廃棄物のリサイクル・ループ構築の要は、発酵消化液の浄化処理から液肥利用への転換であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、有機性廃棄物由来の液肥に焦点を当て、液肥利用の拡大に向けた社会技術の展開方策について学際的共同研究により解明する。すなわち、海外調査を行い、年間約360万トンの液肥が利用されている韓国ではその支援政策と社会技術を、水耕栽培に有機農産物認証が与えられているとされる米国ではその社会的背景と利用実態について、さらに東アジア地域においては液肥利用の展開可能性について明らかにする。

次に、潜在的に液肥利用の可能性が高い地域を対象に、有機液肥利用に関するビジネスモデルの開発と最適利用計画の構築における課題を明らかにする。

また、消化液の普及に向け、残留化学物質等の安全性評価を行なう。次いで、消

化液からの肥料成分の分離濃縮回収に向けた技術開発を行なう。最後に、これらを取りまとめ、消化液の液肥利用に向けた技術選択と支援施策に関する政策提言を行う。

3. 研究の方法

(1) 消化液の液肥利用に関する海外調査

第1に、韓国における家畜ふん尿に関する政策の展開過程を明らかにするとともに、韓国済州島に展開する3つの大規模養豚液肥センターを調査し、液肥散布日誌から、日別・圃場別・地目別の液肥散布量のほか、在庫量のフロー分析や、肥料成分検査結果に基づく適正施肥量と実際の散布量データを比較分析し、液肥利用の課題を明らかにする。

第2に、米国における液肥による有機認証の現状を明らかにするため、米国北部にあるノースダコタ大学、及び農家と農業コンサルタントを訪問し、有機液肥の普及状況とそれを用いた有機水耕栽培の認証について現地調査を行なう。

第3に、東アジアにおける有機性廃棄物の循環的利用の展開可能性と課題を明らかにするため、中国とベトナムの都市住民に対して生ごみの分別回収に関する意識・行動調査を行う。また、ベトナム・ダナン市で液肥利用の実証試験を実施し、液肥に対する農家の支払意思額を計測して、液肥の普及可能性を評価する。

(2) 消化液の液肥利用に向けた国内調査

第1に、大分県日田市で製造されているメタン発酵消化液に対し、農家の支払意思額を推計するとともに、その価格で液肥販売が可能になった場合のバイオマス資源化施設に対する収益性改善効果を分析する。

第2に、福岡県内有数の畜産地帯である福糸島市を対象に、液肥の最適搬送・撒布のシミュレーションを行ない、液肥の地域利用計画の策定とその留意点を明らかにする。

(3) 液肥利用拡大に向けた技術開発

第1に、消化液における残留化学物質の計測と安全性評価を行なうため、福岡県築上町、大木町、熊本県山鹿市及び大分県日田市の液肥サンプルを対象に、重金属についてはJIS法に準拠して、環境ホルモンはGC-MSを用い、農薬や生活系医薬品など約1000項目についてはLC-TOF-MSを用いて一斉分析を行う。

第2に、消化液からの肥料成分の分離濃縮回収技術の開発に向け、ラボ試験と理論計算を基に、消化液からの肥料成分の分離濃縮回収試験と濃縮費用の試算を行なう。

4. 研究成果

(1) 消化液の液肥利用に関する海外調査

第1に、東アジアにおける液肥利用の先遣地である韓国でも、かつては「汚水・ふん尿及び畜産廃水処理に関する法律」(1991)により、家畜ふん尿を廃棄物に位置付け、適正

な処理の義務化や浄化水質の基準強化に重点を置いた政策を行ってきた。しかし、森林資源が限られている韓国では、家畜ふん尿の堆肥化に必要なおが屑が高価であること、また、豚の飼養頭数が相対的に多いことなどが背景となり、「家畜ふん尿の管理・利用に関する法律（2006）」を成立させ、家畜ふん尿を資源としての活用する方向に政策が転換した。その後、家畜ふん尿の資源化に向けた研究が図られてきたが、ふん尿処理施設を起点とする技術開発に傾斜しており、効率的な液肥利用は依然として課題として残されている。

実際、済州島の液肥利用の状況の調査から、周辺地域の作型により液肥製造量、液肥散布量、液肥在庫量の過不足の発生や、液肥需要のないオフシーズンや雨天日には、牧草地、裸畑を中心に在庫消化性の散布が行われており、また、耕種農家の発注を優先した散布では、散布圃場への移動に多くの時間を費やすなど、液肥の供給と需要を適切に調整できる体勢の構築が必要であることを明らかにした。今後は、このような問題を解消しうる家畜糞尿由来の液肥の効率的サプライチェーンの構築が必要と考える。

第2に、米国において、水耕栽培が有機認証として認められているか、また家畜ふん尿由来の消化液が有機資材として認可されているかについて、生産者及び事業者からヒアリングした。暫定的な結論としては、上記に関してはいずれも現段階では認められていないと考えられるものの、これらは団体や州毎の相違が存在する可能性があるため、引き続き調査が必要であるという結論に達した。

また、家畜ふん尿を農地にそのまま散布してすき込むことは一般的に行われているものの、家畜ふん尿を固液分離の上、消化液にまで熟成させて液肥として散布する取り組みは、米国において一般的ではないと推察された。

第3に、中国北京市とベトナム・ホイアン市で、都市住民の生ごみ分別に関する意識と行動を分析した。その結果、教育水準や年齢、日常的な環境配慮行動の有無が生ごみ分別行動に大きな影響を及ぼすことなどが明らかになった。また、ベトナム・ダナン市におけるし尿由来液肥の利用実証試験を実施した。その中で、農家は液肥に高い関心をもつこと、また液肥への支払意思額は液肥同等成分の化学肥料に近い評価額を示したことから、ベトナムにおいても液肥利用には十分な市場性があることが明らかになった。

(2) 消化液の液肥利用に向けた国内調査

第1に、液肥に対する農家の経済価値を明らかにするため、日田市バイオマス資源化センターの消化液を液肥として利用す

る場合を想定して、農家の支払意思額を推計したところ、その評価額は平均 1,032 円/t であった。他方、同センターの年間消化液生産量 27,672 t のうち 12,000 t がこの価格で販売されるならば、経営改善効果は 17% と試算され、液肥利用の拡大が同センターの収益性改善をもたらすこと等を確認した。ただし、液肥の 99% は水分であるため、液肥の搬送・撒布労働の確保が課題となる。

第2に、糸島市を対象に、家畜ふん尿を化学肥料代替として農地施用した場合の各種養分の収支計算を行ったところ、同市では畜産のふん尿を受け入れるに十分な農地があることが示された。次に、液肥として施用を念頭に、液肥処理施設の容量や場所の決定に当たり、最小のリソースマイル（移動距離×輸送量）となるように、場所等の比較検討を行ない、中間貯留タンクを導入した方が、液肥の搬送距離や搬送量について効率的な場合もあるなど、液肥の最適運搬・撒布計画の策定に資する条件を明らかにした。

(3) 液肥利用の拡大に向けた技術開発

第1に、消化液の残留化学物質を計測するため、九州の4カ所のバイオマスプラントで製造された消化液について、銅、カドミウム、トリブチルスズ、ジブチルスズ、パーフルオロオクタンスルホン酸、952種類の揮発性有機化合物、及び89種の抗生物質について分析を行った。その結果、一カ所の消化液から、銅が最高 31.1 mg/L、カドミウムが最高 0.08 mg/L と検出された。また、抗生物質の中ではオフロキサシンとスルファピリジンだけが検出された。トリブチルスズ、ジブチルスズ、パーフルオロオクタンスルホン酸も微量ながら検出された。78種類の揮発性有機化合物も検出されたが、その濃度は 1.2 mg/L から 139.6 mg/L であった。他の研究報告及び消化液の諸外国使用基準と比較検討した結果、今回用いた消化液については、農業用肥料として使用する上で問題がないと考察された。

第2に、消化液からの肥料成分の分離・濃縮回収のための基礎実験と理論計算を行った。その結果、ろ過膜、蒸留、電気透析を組み合わせることにより、消化液から窒素、リン酸、カリウムの肥料成分が分離回収でき、さらに窒素は 70 倍程度、リン酸は 50 倍程度、カリウムは 15 倍程度にまで濃縮が可能であることが明らかになった。残された課題としては、より費用対効果の高い濃縮水準の決定や濃縮装置の改善等が挙げられる。

以上の分析結果から、消化液の液肥利用において最大の隘路であった運搬搬送問題が、消化液からの肥料成分の分離回収技術の導入で大幅に改善されることが示された。今後は、濃縮技術の実用化に向けた研究の進展と政策的導入支援により、有機性廃棄物の循環利用が一層進展すると期待できる。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者
には下線)

[雑誌論文](計 12件)

Dao, M. Hai, Xuchun Qiu, Hai Xu, Masato Honda¹, Mitsuyasu Yabe, Kiwao Kadokami, Yohei Shimasaki and Yuji Oshima, Contaminants in Liquid Organic Fertilizers Used for Agriculture in Japan, Bull Environ Contam Toxicol, 査読有, Published online: 11 April 2017, DOI 10.1007/s00128-017-2081-y

Le, Thi Thanh Loan, Hisako Nomura, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Psychological Driving Forces behind Households' Behaviors toward Municipal Organic Waste Separation at Source in Vietnam: A structural Equation Modeling Approach, Journal of Material Cycles and Waste Management, 査読有, 2017, pp.1-9. DOI: 10.1007/s10163-017-0587-3

Jo, Hyeon-Soo, Seun-Ghun Lee, Jae-Hee Lee, Myung-Gyu Lee, Mitsuyasu Yabe and Hee-Kwon Ahn, Evaluation of Beef Manure Production and Bedding Removal Time in Bedded Pack Barn, Journal of Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, 62(1), 2017, pp.213-216.

Halder, Joshua Nize, Taek-Won Kang, Mitsuyasu Yabe and Myung-Gyu Lee, Development of a Quality Certification and Maturity Classification Method for Liquid Fertilizer by Measuring the Electrical Conductivity (EC) of Swine Manure, Journal of Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, 62(1), 2017, pp.205-212.

Lee, Seung-Hun, Hyeon-Soo Jo, Myung-Gyu Lee, Mitsuyasu Yabe and Heekwon Ahn, Effect of Substrate to Inoculum Ratio on Methane Production and Organic Matter Removal during Solid-State Anaerobic Digestion of Beef Manure and Sawdust Mixture, Journal of Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, 62(1), 2017, pp.197-203.

川波匠、高橋義文、佐藤剛史、矢部光保、地方自治体主導による再生可能エネルギーの生産・販売と新電力事業

者の選択に関する住民意識の構造分析、九州大学大学院農学研究学院学芸雑誌、査読無、第71巻第2号、2016、pp.59-70.

Halder, Joshua Nize, Soo-Ryang Kim, Taek-Won Kang, Mitsuyasu Yabe and Myung-Gyu Lee, Establishing a Method to Evaluate the Maturity of Liquid Fertilizer by Liquid Fertilizer Germination Index (LFGI), Journal of Faculty of Agriculture Kyushu University, 査読無, 61 (2), 2016, pp.417-426.

Le, Thi Thanh Loan, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Factors Influencing Residents Dealing with Municipal Organic Waste in Developing Countries: Evidence from Rural Areas of Hoi An, Vietnam, Journal of Agricultural Science, 査読有, 8(6), 2016, pp.129-136. DOI: 10.5539/jas.v8n6p129

Yuan, Yalin, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Preferences for the Attributes of Household Kitchen Waste Source Separation Services in China Using Latent Class Approach, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, 60(2), 2015, pp.511-518.

Kim, Soo-Ryan, Ha-Je Kim, In-Gi Hong, Hee-Kwon Ahn, Shafiqu Rahman, Kwang-Hwa Jeong, Joong-Bok Lee, Dong-Kyun Kim and Mitsuyasu Yabe, Inactivation Effect According to the Thermophilic Aerobic Oxidation Process of Encephalomyocarditis Virus in Swine Manure, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, 60(2), 2015, pp.485-492.

Yuan, Yalin and Mitsuyasu Yabe, Residents' Preferences for Household Kitchen Waste Source Separation Services in Beijing: A Choice Experiment Approach, International Journal of Environmental Research and Public Health, 査読有, 12, 2014, pp.176-190. DOI:10.3990/ijerph120100176

Yuan, Yalin and Mitsuyasu Yabe, Residents' Willingness to Pay for Household Kitchen Waste Separation Services in Haidian and Dongcheng Districts, Beijing City, Environments, 査読有, 1(2), 2014, pp.190-207. DOI:10.3990/ijerph120100176

[学会発表](計 12件)

Le, Thi Thanh Loan, Yoshifumi Takahashi, Hisako Nomura, Goshi Sato and Mitsuyasu Yabe, Determinants of Home Composting Behavior: Empirical Evidence from Hoi An, Vietnam, The 13rd International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Science in Asia, 2016, Hotel Interciti, Daejeon, Korea, November 8-11, 2016.

Dao, M. Hai, Masato Honda, Xuchun Qiu, Hai Xua, Mitsuyasu Yabe, Kiwao Kadokami, Yohei Shimasaki and Yuji Oshima, Contaminants in Liquid Organic Fertilizers Used for Agriculture in Japan, The 3rd The Japan Society For International Development (JASID) Western Japan Research Meeting, Kyushu University, Fukuoka, Japan, August 29, 2016.

Le, Thi Thanh Loan, Hisako Nomura, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Factors Influencing Public Perceived Policy Effectiveness in Monitoring Municipal Solid Waste Separation at Source Program, The 6th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE), Kyushu Sangyo University, Fukuoka, Japan, August 7-11, 2016.

Dao, Thi Hoang Anh, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Estimating the Farmers' Willingness to Pay for Municipal Solid Waste Compost in Hanoi, The 6th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE), Kyushu Sangyo University, Fukuoka, Japan, August 7-11, 2016.

Le, Thi Thanh Loan, Hisako Nomura, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Factors Influencing Future Intention of Municipal Organic Waste Separation at Source: The Case Study in Hoi An City, Vietnam, The 3rd 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management (3RINCs), Hanoi, Vietnam, March 9-11, 2016.

Yabe, Mitsuyasu and Hidetaka Tsujibayashi, Comparison of

Anaerobic and Aerobic Fermentation Plant for Recycling Organic Waste and Liquid Fertilize Use: In the Viewpoint of Life Cycle Assessment and Treatment Cost, The 2nd Satellite Seminar, International Symposium on Microbial Research and Biotechnology for Biomass Utilization, JR Hakata City, Fukuoka, Japan, November 12, 2015.

凌祥之、嘉儀直輝、Endita Prima Ari Pratiwi、バイオマス利用の観点からみた炭化技術、福岡県糸島市を対象とした試算、第13回木質炭化学会研究発表会講演要旨集、2015年6月4-5日、11-12.

Le, Thi Thanh Loan, Dao Thi Hoang Anh, Hisako Nomura, Yoshifumi Takahashi, Goshi Sato and Mitsuyasu Yabe, Municipal Organic Waste Treatment Practices at Household Level in Vietnam, The International Joint Symposium between Japan and Korea (AFELISA), Tottori, Japan, November 4-5, 2015.

Yuan, Yalin, Hisako Nomura, Yoshifumi Takahashi and Mitsuyasu Yabe, Model of Household Kitchen Waste Separation Behavior: A Case Study of Beijing, International Conference on Social Sciences and Psychology, Courtyard Seoul Times Square, Seoul, Korea, June 27, 2015.

辻林英高、矢部光保、有機性廃棄物の液肥化循環利用におけるバイオガスプラントの効果-温室効果ガス排出と処理費用の削減にむけたLCAアプローチ-、日本地域学会、麗澤大学、千葉県柏市、2014年10月3日-5日.

高山洸翔、太田美加、田中宗浩、水田におけるメタン発酵消化液の肥培かんがい効果、農業食料工学会 2014年九州支部例会、九州大学農学部、福岡市、2014年9月1日-2日.

[図書](計 2件)

矢部光保・辻林英高、中国における高水分バイオマスの液肥利用と環境影響評価、生物生産環境グループ編著『東アジア・東南アジアにおける農林水産業の持続的発展西に資する生産基盤の環境保全と持続的開発』、花書院、2015年、pp.149-171、189ページ.

矢部光保編著、『高水分バイオマスの液肥利用 環境影響評価と日中欧の比較』、筑波書房、2014年、336ページ.

〔産業財産権〕
出願状況（計 0 件）
なし
取得状況（計 0 件）
なし

〔その他〕
ホームページ等
<http://agrienv-econ.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢部 光保 (YABE, Mitsuyasu)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：20356299

(2) 研究分担者

凌 祥之 (SHINOGLI, Yoshiyuki)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：10399363

大嶋 雄治 (OSHIMA, Yuji)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：70176874

田中 宗浩 (TANAKA, Munehiro)
佐賀大学・農学部・教授
研究者番号：50295028

李哉滋 (LEE, Jaehyeon)
鹿児島大学・農学部・准教授
研究者番号：60292786

(3) 連携研究者

林 岳 (HAYASHI, Takashi)
農林水産省農林水産政策研究所・環境評価チーム・主任研究官
研究者番号：60356300

(4) 研究協力者

李 明圭 (LEE, Myung-Gyu)
辻林 英高 (TSUJIBAYASHI, Hidetaka)