

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年9月11日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00578

研究課題名(和文) 生分解性マルチフィルムを用いた栽培体系における温室効果ガス排出とLCA評価

研究課題名(英文) Greenhouse gas emissions and LCA estimation from the cropping system using biodegradable plastic mulch films

研究代表者

岸本 文紅 (Kishimoto-Mo, Ayaka)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・上級研究員

研究者番号：60334033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は生分解性マルチを用いた栽培体系における温室効果ガス排出の評価手法を確立し、生分解性マルチすき込みが非CO₂温室効果ガス(N₂O排出とメタン吸収)フラックスに影響を及ぼさないことを、構造式が異なるフィルム2種類および分解速度が異なる5つの土壌において繰り返し確認した。LCA評価を使用から廃棄までのエネルギー起源CO₂負荷量および施肥由来の温室効果ガス排出量を含めて比較した結果、CO₂負荷量はポリマルチ>慣行(マルチ不使用)>生分解性マルチの順であった。生分解性マルチに比べ、慣行栽培では施肥由来のN₂O排出が大きく、ポリマルチでは主に廃棄過程でCO₂負荷量が大きかったことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は生分解性マルチすき込みが非CO₂温室効果ガス(N₂O排出とメタン吸収)フラックスに影響を及ぼさないことを繰り返し確認した。これは生分解性マルチを用いた栽培体系におけるCO₂負荷量のLCA評価のための新しい知見であった。

生分解性マルチの値段はポリマルチなどより3倍も高く、畑作業で大量に消費される非分解性ポリマルチからの切り替えにはインセンティブが必要である。そのため、本研究でのLCA評価から明らかにした生分解性マルチを用いた栽培体系は非生分解性ポリマルチを用いた栽培体系よりもCO₂負荷量が少ないことが、生分解性マルチの普及に資する環境負荷の少ない付加価値を加えられた。

研究成果の概要(英文)：Plastic materials are widely used in agricultural applications to achieve food security for the growing world population. The use of biodegradable instead of non-biodegradable polymers in agriculture may promote to reduce plastic accumulation in the environment. This study was aimed to estimate greenhouse gas emissions from the cropping system using soil-biodegradable plastic (BP) mulching film, and estimate the total LCA from the starting and end use in a cropping system.

We developed measuring systems based on closed-chamber method to estimate greenhouse gas fluxes (CO₂/N₂O/CH₄) from the cropping system using BP films in both laboratory and field scales. N₂O emission and CH₄ uptake were not significantly differed from the soil with and without weathering BP film plowing. LCA from the starting and end use in a vegetable field including GHG emissions from the cropping system using BP film, was much smaller comparing with the non-BP film system due to the post-waste processes.

研究分野：土壌生態学(特に温室効果ガス排出削減)

キーワード：生分解性マルチ 温室効果ガス LCA評価 一酸化二窒素 分解特性評価

1. 研究開始当初の背景

- (1) 農業プラスチック・マルチフィルム施用は土壌温度・水分の極端な変化を緩和し、作付け期間の調整、雑草防除、さらに窒素利用効率と野菜など品質の向上など効果があり、現代の代表的な精密農法の一つである (Berger et al., 2013)。マルチを用いた栽培体系は東アジア (韓国、日本、中国など) で広く使われ、年間 15-20%の増加率でアフリカ、中東、ドイツで広めつつある (Berger et al., 2013)。中でも、生分解性マルチは使用後畑に鋤き込めば土壌微生物により水と CO₂ に完全分解されるため、資材を回収・廃棄する労力やトータルコストを削減でき、現在日本既存の農業用ポリ資材 4 万トンの市場規模の 10%程度が生分解性マルチに置き換えられている。生分解性マルチは石油由来と植物資源 (バイオマス) 由来のものがあり、後者は地球温暖化防止 (CO₂ ニュートラル) や化石資源の使用削減への期待から、環境考慮型資材として今後植物由来マルチによる代替の推進が特に望まれる。一方、農業が環境に与える負荷には、農耕地土壌から大気中への温室効果ガス排出が含まれる。特に畑地においては、二酸化炭素 (CO₂) の約 300 倍の温室効果を持つ一酸化二窒素 (亜酸化窒素、N₂O) が放出されており、地球温暖化の環境問題を背景に大きな問題となっている。生分解性マルチを環境配慮型資材として普及するには温室効果ガスを含めた環境評価が必要不可欠である。
- (2) 生分解性マルチ使用後分解した後も土壌などに悪影響を与えない安全性に関する環境評価法 (基準) グリーンプラ識別表示制度 (日本バイオプラスチック協会) などによって定められたが、温室効果ガス排出に関する評価は含まれていない。生分解性マルチに関する研究の総説 (Kasiraja & Ngouajio, 2012) でも指摘しているよう、既存研究の多くは室内実験または圃場実験を用いた生分解性マルチの分解特性と土壌微生物動態を明らかにするものである (Kasiraja & Ngouajio, 2012; Yamamoto-Tamura et al., 2013)。しかし、生分解性マルチ施用による、地温や土壌水分への影響に伴う温室効果ガス (CO₂/N₂O/CH₄、以下 GHG) 交換の変化や、鋤き込み後分解過程に伴う GHG 排出量に関する研究例がなく、生分解性マルチの栽培体系における土壌からの GHG 発生に関する評価法が確立されておらず、生分解性マルチの農地利用 (使用からすき込みまで) に伴う GHG 排出を含めたライフサイクルアセスメント (LCA) に関する研究も見当たらない。
- (3) 一方、プラスチックマルチ (主にポリエチレン) 被覆された圃場での N₂O など GHG フラックス測定に関する研究が先行して行われている (Kasiraja & Ngouajio, 2012; Nishimura et al., 2012, 2014.)。マルチ被覆条件下では、N₂O や CO₂ などガスは土壌表面からマルチを通しての排出、また、マルチ存在による拡散抵抗により、マルチ被覆直下の土壌内のガス濃度が高くなるため (Nishimura et al. 2012)、畝内 (マルチ) から畝間 (通路) へのガスの水平移動による発生も考慮しなければならない。農耕地土壌の N₂O 排出は、土壌タイプ (特に排水性)・管理 (特に施肥) に制御され、年々変動も大きい (Nishimura et al. 2014)。そのため、生分解性マルチの栽培体系における温室効果ガス発生を、高頻度・多年間において圃場レベルの観測による評価法の確立が必要である。また、生分解性マルチの構成素材のポリマー多岐のため (Kasiraja & Ngouajio, 2012)、その代表性と多様性も考慮しなければならない。そこで本研究は、農業用マルチ (ポリマルチまたは生分解性マルチに問わず) を用いた栽培体系における温室効果ガス発生を、高頻度・多年間において圃場レベルの観測による評価法の開発、並びに生分解性マルチのすき込み後の GHG 排出の定量的評価を行う。さらに、生分解性マルチの農地利用 (使用からすき込みまで) に伴う GHG 排出を含めた LCA (慣行栽培、ポリマルチ栽培体系を対照) 評価し、普及に資する。

2. 研究の目的

本研究の LCA 評価境界を農業用マルチ（ポリマルチ vs 生分解性マルチ）の使用から廃棄までに設定した（図 1）。下記の二つの小課題を設定し、研究期間（3 年間）内以下の点を明らかにすることを目的とした。

- (1) 【小課題①GHG】培養試験および圃場（ライシメータ）実験を用いて、生分解性マルチのすき込み後の GHG 排出を定量的に評価する。それと同時に、農業用マルチを用いた栽培体系における温室効果ガス発生を、高頻度・多年間において圃場レベルの観測による評価法を開発する。
- (2) 【小課題②LCA】生分解性マルチの農地利用（使用からすき込みまで）に伴う GHG 排出を含めた LCA（慣行栽培、ポリマルチ栽培体系を対照）評価を行う。

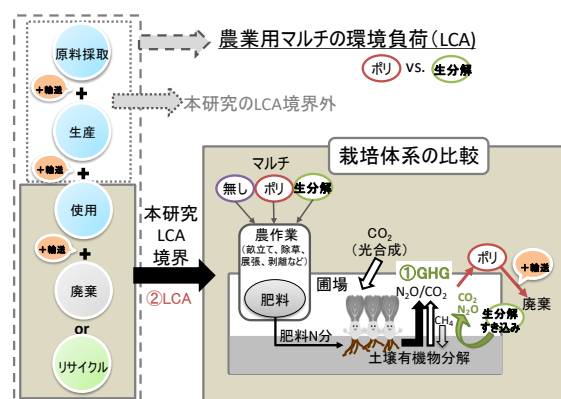


図 1. 本研究の LCA 境界と課題設計

3. 研究の方法

(1) 【小課題①GHG】

- a) 生分解性マルチ添加土壌から発生する GHG 発生の評価（培養実験）：

構造の異なる 2 種類の生分解性マルチ（PBSA と市販市販フィルム NasuB）を用いて、シャーレを用いた密閉チャンバー法（CC 法）による土壌中での生プラマルチの生分解過程に伴う二酸化炭素（CO₂）発生量を評価し、それに伴う N₂O 排出または CH₄ 吸収フラックスへの影響も評価する。供試土壌として、先行研究（Yamamoto et al. 2015）で報告のある生分解フィルムを早く分解する土壌（岡山土壌：低地土）と極めて遅く分解する土壌（農環研土壌：黒ボク土）を用いた。最大容水量の 60%に調整した土（乾土 60g 相当）に 1g フィルム（1 cm 角に切断）を添加し、25℃恒温機で培養し、定期的に各種 GHG フラックス測定を行った。

- b) 生分解性マルチ展張後のすき込みに伴う GHG 発生の評価（ライシメータ実験）：

黒ボク土、褐色低地土、灰色低地土を充填したライシメーター（1.5m×1.5m）に生分解性マルチを展張後除去あるいはすき込んだ場合（それぞれ 3 処理区）の温室効果ガス発生量を調査した。使用した生分解性マルチはキエ丸（黒、厚さ 18μm、135cm 幅、200m 巻）。GHG フラックス評価についてガス採取はクロズドチャンバー法により行った。次作の野菜への生育影響調査も行った。試験区構成を表 1 に示し、調査行程を表 2 に示した。

表 1. ライシメータ実験の試験区構成

区名	土壌タイプ	生分解性マルチ 展張後の処理
Am	黒ボク土	除去
Amp	黒ボク土	すき込み
Bm	褐色低地土	除去
Bmp	褐色低地土	すき込み
Gm	灰色低地土	除去
Gmp	灰色低地土	すき込み

表 2. ライシメータ実験の調査行程

	1回目	2回目
マルチ展張	2016. 8. 19	2017. 5. 9
除去・すき込み	2016. 9. 30	2017. 8. 22
ガス採取開始	2016. 10. 1	2017. 8. 23
ガス採取終了	2017. 9. 20	2018. 3. 16
ダイコン播種	2017. 9. 21	コマツナ播種 2018. 4. 29
ダイコン収穫	2017. 12. 22	コマツナ収穫 2018. 6. 07

- c) マルチ栽培体系における温室効果ガスの自動開閉システムの開発

これまで開発した自動開閉チャンバーをマルチ被覆条件下で観測できるよう改良を加え、既存の自動ガス採取装置と組み合わせて、測定システムを構築するとともに、圃場条件でのテストを行い、評価法を確立した。

(2) 【小課題②LCA】

生分解性マルチの（製造・）施用・廃棄の過程において、既存ウェブツール（たとえば、農林水産分野のCO₂「見える化」ポータルサイトなど）や既存文献を収集し、CO₂排出原単位を作成した。非生分解性マルチ（ポリマルチ）を対照技術として、施用・廃棄の過程におけるCO₂排出量を推定し、生分解性マルチの栽培体系（施用・すき込み）と比較し、LCA評価を行った。

4. 研究成果

- (1) 【小課題①GHG】 a) 培養実験： 岡山土壌を用いた培養実験で、目視によりPBSAの分解を確認したところ、1週間には分解し始めており、その後分解は続いた。9週間にはほぼ回収することができなくなり、15週間には、完全に消失した。これに伴い、CO₂の発生速度の変化が見られた。CO₂発生速度の経時変化から25週目でPBSAの理論分解率は88.8%と見積もられ、CO₂評価法による完全生分解の確認ができた。また、生分解性フィルムを早く分解できる岡山土壌（低地土）に対し、農環研土壌（黒ボク土）の場合CO₂の発生速度は1/10程度であった。しかし、生プラ添加の有無によるN₂O発生量およびCH₄吸収量の有意な違いが認められなかった。市販フィルムNasuBは構造がPBSAより複雑なため、どちらの土壌でも分解速度が遅くなったが、N₂O発生およびメタン吸収に関しては有意な差が認められなかったこと。したがって、生分解性フィルムの土壌への添加は、分解に伴うCO₂放出が有意に増加したが、N₂OおよびCH₄フラックスへの影響が認められなかった。（図表省略）
- (2) 【小課題①GHG】 b) ライシメータ実験： 3種類の土壌タイプ（灰色低地土、褐色低地土、黒ボク土）を持つライシメータにおいて、2年間同じ実験設計を行った結果、土壌タイプによる温室効果ガス発生量の違いが認められたものの、マルチフィルムの鋤き込み由来の温室効果ガス発生量の違いが認められない（表3）という結果を繰り返し確認できた（2016年度のデータ省略）。培養実験では生分解性マルチの土壌への添加の場合、分解由来のCO₂発生量が有意に増加下に対し、ライシメータ実験では生分解性マルチのすき込み有無にかかわらずCO₂排出量が有意な差がなかったのは、すき込み量は培養実験の1/100のため測定法の限界であると推察された。さらに生分解性マルチがすきこみ後、ダイコンまたはコマツナを播種し、生育への影響を調べた結果、マルチが完全分解されていないものの、生育および収量への影響が認められなかった。

表3. ライシメータ実験における生分解性マルチのすき込み有無に伴う温室効果ガス発生量（CO₂/N₂O）及びCH₄吸収量（2017/8/22~2018/3/16）

区名	N ₂ O-N (mg m ⁻²)	CH ₄ -C (mg m ⁻²)	CO ₂ -C (g m ⁻²)
Am	27.8 ± 15.8	-144.0 ± 21.3	55.5 ± 11.7
Amp	24.3 ± 6.6	-129.6 ± 39.9	57.7 ± 16.2
Bm	11.9 ± 20.7	-79.5 ± 22.8	26.5 ± 4.0
Bmp	16.1 ± 7.3	-48.4 ± 26.0	29.2 ± 2.1
Gm	37.9 ± 12.1	-72.9 ± 12.4	50.9 ± 4.8
Gmp	33.5 ± 15.2	-64.0 ± 50.5	47.3 ± 2.9
土壌	n.s.	*	*
すき込み有無	n.s.	n.s.	n.s.
交互作用	n.s.	n.s.	n.s.

注1) 平均値±標準偏差(n=3)

注2) *は二元配置の分散分析において5%水準で有意差あり(n=3)、n.s.は有意差なし

- (3) 【小課題①GHG】 c) 圃場レベルでのGHGガスフラックスの評価法開発： 自動開閉チャッカーをマルチ被覆条件下で観測できるための改良を加え、既存の自動ガス採取装置と

組み合わせて自動計測システムを構築した。野外条件でのテストを行い改良し、農業用マルチを用いた栽培体系における温室効果ガス発生を、高頻度・多年間において圃場レベルの観測による評価を可能にする自動計測システムを開発した。

(4) 【小課題②LCA】

生分解性マルチの（製造・）使用・廃棄の過程において、既存ウェブツール（たとえば、農林水産分野のCO₂「見える化」ポータルサイトなど）および既存文献を収集し、CO₂排出原単位を作成した。表4に関東地区におけるレタス年二回作（春、秋）を例に、マルチの異なる栽培体系（慣行・ポリマルチ・生分解性マルチ）におけるLCA評価を使用から廃棄までのエネルギー起源CO₂負荷量および施肥由来の温室効果ガス排出量を含めて比較した。その結果、ポリマルチを利用した栽培体系はもっともCO₂負荷量が多く、慣行栽培にそれに続き、生分解性マルチを用いた栽培体系のCO₂負荷量はもっとも少なかった。慣行栽培では施肥由来のN₂O排出による負荷は大きい一方、ポリマルチは生分解性マルチに比べ、主に廃棄過程でCO₂負荷量が大きかったことを明らかにした。

表4. 生分解性マルチの農地利用（使用からすき込みまで）に伴うGHG排出を含めたLCA評価（関東地区レタス春・秋年二回栽培を例に、慣行・ポリマルチ栽培体系を対照技術として試算）。

作業名	農機・資材 (※1)	CO ₂ 負荷量(kg CO ₂ /10a)		
		マルチ無し	ポリマルチ	生分解性マルチ
畝立て・マルチ展張	マルチヤー	—	15.32	15.32
マルチ回収	マルチ回収機	—	1.48	—
雑草防除	動力噴霧器、除草剤	10.68	—	—
廃棄・分解(※2)		—	356.5	—
施肥由来のN ₂ O排出 (※3)	化学肥料N	124.34	87.04	87.04
	堆肥N	69.04	48.33	48.33
合計		204.06	508.67	150.69

※1) 農機・資材について農林水産分野のCO₂「見える化」ポータルサイトを参照計算。
 ※2) ポリマルチの廃棄焼却由来CO₂値は構造式より計算。生分解性マルチの構造式により分解由来のCO₂放出量が異なる。バイオマス由来の場合はカーボン・ニュートラルのためCO₂負荷はゼロ。石油由来生分解ポリマの場合は要計上（例えば、ポリ乳酸の場合は1回のすき込みで87.16 kgCO₂/10aの計算）。
 ※3) 施肥量は農研機構開発した「土壌CO₂見える化」サイトを参照計算。N₂O排出量はIPCC Tier2方法より（排出係数0.62%）、N₂OのGWP係数を300とした；一部先行研究を含む成果（学会発表：馬場ほか, 2016）を参考にマルチ被覆条件は被覆無しよりN₂O排出量が30%減として試算。本研究により生分解性マルチのすき込みによるN₂O排出増加が認めなかった。

(5) 今後の展望

本研究は生分解性マルチを用いた栽培体系における温室効果ガス排出の評価手法を確立し、生分解性マルチすき込みが非CO₂温室効果ガス（N₂O排出とメタン吸収）フラックスに影響を及ぼさないことを、構造式が異なるフィルム2種類および分解速度が異なる5つの土壌において繰り返し確認した。これは生分解性マルチを用いた栽培体系におけるCO₂負荷量のLCA評価のための新しい知見であった。

土が付着している使用済みのマルチは、再生利用が困難である。農業用フィルムリサイクル促進協会調べでは、廃マルチの大半は輸出または熱源として処理されているが、土が付着しているため熱源としても使い難い。2018年1月から中国が廃プラスチックの輸入を停止したため、世界中で処理しきれない廃プラスチックが滞留する深刻な影響が生じている。日本でも、2017年末比2018年1～7月時点で産廃プラスチックが増加または上限超過、受け入れ制限が増加した。さらに、2019年5月11日バーゼル条約締約国会議において「プラごみ輸出規制案」が採択され、今後使用済みの農地用非生分解性マルチの廃棄が問題になるとみられる。生分解性マルチの値段はポリマルチなどより3倍も高く、畑作業で大量に消費される非分解性ポリマルチなどを生分解性マルチに変えるためにはインセンティブが必要である。そのため、本研究で明らかにした生分解性マルチを用いた栽培体系は慣行栽培（マルチ不使用）および非生分解性ポリマルチを用いた栽培体系よりもCO₂負荷量が少ないことが、生分解性マルチの使用への切り替えの普及

に新しい付加価値を加えたといえる。今後研究進めていけば、生プラ製品を使いやすくし、プラスチック廃棄物排出量と廃棄物回収処理の労力やごみ排出量を削減し、資源を循環利用する社会の実現への貢献が期待される。

<引用文献>

- ① Berger S., Kim Y., Kettering J. & Gebauer G. (2013) Plastic mulching in agriculture – Friend or foe of N₂O emissions? Agriculture, Ecosystem and Environment, 167: 43-51.
- ② Kasirajan S. & Ngouajio M. (2012) Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. Agron. Sustain. Dev., 32: 501-529.
- ③ Yamamoto-Tamura K., Hiradate S., Watanabe T., Koitabashi M. Sameshima-Yamashita Y., Yarimizu T. & Kitamoto H. (2015) Contribution of soil esterase to biodegradation of aliphatic polyester agricultural mulch film in cultivated soils. AMB Express 5:10 DOI 10.1186/s13568-014-0088-x.
- ④ Nishimura S. Komada M., Takebe M., Yonemura S. & Kato N. (2012) Nitrous oxide evolved from soil covered with plastic mulch film in horticultural field. Biol. Fertil. Soils, 48: 787-795.
- ⑤ Nishimura S., Komada M., Takebe M., Takahashi S., Yonmura S. Karasawa T., Sato F. & Kato N. (2014) Contribution of nitrous oxide emission from soil covered with plastic mulch film in vegetable field. Journal of Agricultural Meteorology, 70 (2): 117-125.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

- ① Kishimoto-Mo A.W., Yamamoto-Tamura K., Hoshino Y. T., Sameshima-Yamashita Y., Kunioka M. & Kitamoto H. (2019) Laboratory test methods for biodegradability of biodegradable plastic mulch films in cultivated soils by CO₂ measurements. Soil Science Society of America International Soils Meeting – Soils Across latitudes -. Jan. 6-9, 2019, San Diego, USA.
- ② 馬場久美子・岸本 文紅・大浦 典子・加藤知美・長坂克彦「マルチを利用した二作一回施肥がスイートコーン・キャベツ栽培ほ場からの N₂O 発生に及ぼす影響 (第 2 報)」、日本土壌肥料学会関東支部栃木大会、宇都宮大学峰キャンパス (栃木県宇都宮市)、2016 年 12 月。
- ③ Kishimoto-Mo A.W., Shirato Y. & Mishima S. (2016) Estimating N₂O emissions from Japanese agricultural soils at a country scale using an empirical modelling approach. ASA, CSSA, & SSSA International Annual Meeting, Nov. 6-9, 2016, Phoenix, USA.

6. 研究組織

研究分担者氏名：大浦 典子

ローマ字氏名：Oura Noriko

所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

部局名：農業環境変動研究センター

職名：広報プランナー (採択時：主任研究員)

研究者番号：50354022

研究協力者氏名：大越 聡 (研究者番号：30590153)

ローマ字氏名：Ohkoshi Satoru

所属研究機関名：福島県農業総合センター

部局名：浜地域研究所 (採択時：生産環境部・環境作物栄養科)・主任研究員