

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：32682

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06661

研究課題名(和文) 除染後の農地におけるバイオエタノール生産のためのエネルギー作物に関する研究

研究課題名(英文) Potential of Energy Crop Production for Bioethanol in Decontaminated Farmlands in Fukushima

研究代表者

中島 亨(Nakajima, Toru)

明治大学・研究・知財戦略機構・研究推進員(ポスト・ドクター)

研究者番号：50757888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：化石燃料の代替として世界中でバイオエタノールの持続可能性についての検討や取り組みが推進されている。多収量エネルギー作物の一つであるミスカンサス等のセルロース系の植物原料由来のバイオエタノールはトウモロコシ等の原料としたもの比べ食料と競合しないという利点がある。そこで、福島県飯館村比叡地域においてミスカンサスの栽培実験を行った。また北海道札幌のミスカンサスの栽培地において炭素貯留の評価を行った。研究の結果ミスカンサス栽培地では炭素貯留ができ土壌環境の改善がみられた。また、除染後農地ではバイオエタノールの製造が可能で復興策・地域振興の可能性が示せた。

研究成果の概要(英文)：Globally, the research regarding the renewable energy resources, for example *Miscanthus × giganteus*, have increased significantly. *Miscanthus × giganteus* has the high potential for a biomass energy crop, because of high biomass yield with low annual energy requirements. In addition, *Miscanthus × giganteus* can growth under severe soil condition such as dilapidated land or reclaimed mine land. Our research revealed that carbon sequestration rates of *Miscanthus × giganteus* was 1.96 Mg-C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> over the 6 years of this research trial. It was estimated the potential of bioenergy production through *Miscanthus × giganteus* cultivation in decontaminated farmlands in Fukushima, Japan. The key findings are outlined below: (1) *Miscanthus × giganteus* can be the new insight for agricultural production from decontaminated farmlands, (2) due to the high carbon sequestration under *Miscanthus × giganteus* cultivation, the fertility of decontaminated farmlands can be improved.

研究分野：環境土壌学

キーワード：Miscanthus Bioenergy Carbon Sequestration Radioactive Cesium

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に福島第一原子力発電所で事故があり大量の放射性セシウム(Cs134+137)が環境中に放出され、特に土壌表層5cm以内に大部分が蓄積された(塩沢 et al., 2011)。また放射性セシウムは土壌中の粘土粒子に強く吸着し容易に取り除くことが出来ないと既往研究で明らかとなっている。こうした状況を踏まえ、現在福島県において放射性セシウムで汚染された土地の除染作業が行われている。福島県地域の農地(水田+畑地+樹園地+牧草地)の除染事業の全体の面積は33,770haで現在は22,412haの農地が除染済みであり進捗状況は66%である(除染情報プラザ,福島県環境省)。基本的な農地除染は表土約5cmを剥ぎ取り及び山砂などで客土する作業が行われている。しかし、山砂などの客土では土壌中の栄養分が不足しており農地として利用する場合は土壌改良等が必要である。それに加え除染作業の際には重機を使用するため下層土層が締め固まった状態であるため食糧生産が困難な状況にある(溝口 2012)。一方で、食糧生産が可能な状況でもその担い手である農家は、2016年10月現在避難生活(福島県飯館村住民)を余儀なくされており、仮に避難解除されたとしても帰村する農家は限定的な状況である。また消費者側では福島産の食糧に関して未だに理解が得ることが難しい状況である。このように、除染後の農地利用はハード面、ソフト面共に様々な課題がある。

現在、世界中で気候変動対策や石油や石炭などの化石燃料の代替エネルギー源としてバイオエタノールについての研究や実証実験が行われている。特にセルロース系の植物を原料とする第二世代のバイオエタノールはトウモロコシ、大豆、さとうきび等の食糧を原料とした場合と比較して食糧と競合しない。また本来農地として適さない場所でも栽培可能で他作物との土地利用の競合がない。また、土地利用転換による土壌への炭素固定や土壌環境改善の可能性がある等バイオエタノールの原料として注目されている。セルロース系の多収量エネルギー作物の一つである *Miscanthus × giganteus* (M×g)と *Miscanthus sinensis* cv. (*M. sinensis*) (いずれもイネ科ススキ属)は有望な原料として注目されている。その理由として、他のエネルギー作物と比較しても高バイオマス生産(< 40 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)が可能で、農地として適さない場所でも栽培可能で特別な栽培管理が必要では無い。また M×g と *M. sinensis* 共に C<sub>4</sub> 植物であるため、炭素安定同位体比(<sup>13</sup>C)が他の植物と異なることを利用し炭素固定能力を評価する研究がヨーロッパを中心に行われている。

### 2. 研究の目的

本研究では、福島県飯館村の除染後の農地利用の一環としてバイオエタノール生産のため、エネルギー作物の一つである M×g と *M. sinensis* 栽培の実験と、栽培による除染後の農地の炭素固定能力を評価と土壌環境の変化に着目して研究を行う。

具体的には福島県飯館村の除染後の農地利用の一環としてバイオエタノール生産のため、エネルギー作物の一つである M×g と *M. sinensis* 栽培の実験と、栽培による除染後の農地の炭素固定能力を評価と土壌環境の変化に着目して研究を行う。特に除染後の農地土壌の特殊な条件下でのエネルギー作物の詳細な研究が特徴である。

### 3. 研究の方法

本研究では、福島県飯館村比曽にて「除染後農地でのエネルギー生産」を目指し M×g と *M. sinensis* とを栽培する。また「土壌環境の改善」の中で本研究で炭素固定率を丁寧に測定する。

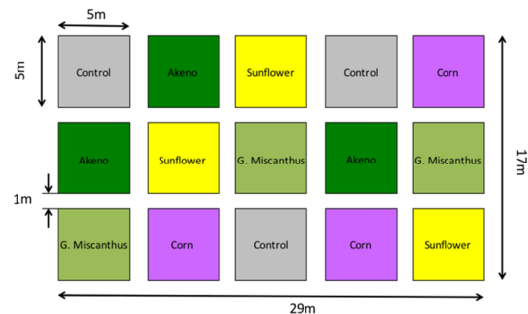


図1 福島県飯館村でのエネルギー作物圃場実験

(1)エネルギー作物収量調査では研究協力を得ている福島県飯館村比曽の農家所有の除染後農地にて研究計画・方法に示す条件下において栽培を行い、バイオマス収量の定量的データをもとに評価を行う。

(2)放射性セシウム移行評価として栽培した M×g と *M. sinensis* 作物内の放射性セシウムの測定を行い土壌中の放射性セシウムの移行があるか確認する。

(3)土壌物理・化学・生物特性の評価では土壌乾燥密度、水分保水曲線、土壌透水係数、土壌ガス拡散係数、土粒子粒径分布、耐水性土壌団粒、土壌 pH、EC、土壌の三大栄養素である窒素・リン酸・カリウムを測定することにより土壌物理環境の変化を経時的、定評的に評価する。

(4)炭素安定同位体比(<sup>13</sup>C)による炭素貯留評価として測定装置を用い除染後の農地の条件下においてどのような値で炭素貯留量が変化するか詳細にデータ取得する。

#### 4. 研究成果

図2に除染前後での放射性セシウム濃度の変化を示す。除染前の農地では、特に0-5cm土層で  $20000\text{Bq kg}^{-1}$  であったが除染後では  $200\text{Bq kg}^{-1}$  以下であり約 100 分の 1 以下に低下したことを確認した。

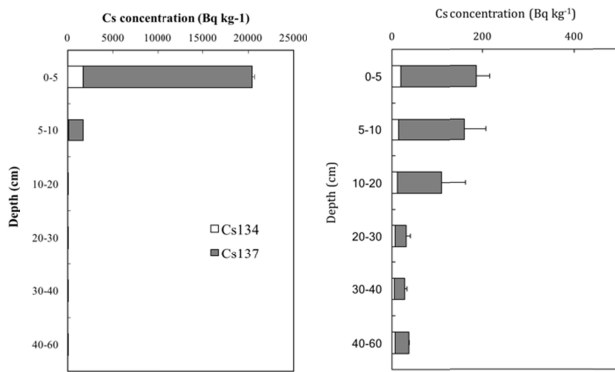


図2 除染前後での放射性セシウム濃度



図3 比曾実験圃場全体の写真(左)実験圃場の土壌断面

福島県飯館村の除染後の農地において平成28年度から実験圃場を確立し栽培を行っているため引き続き栽培を行う。実験に用いている *Miscanthus* は高密度の植生と強固で持続性のある地下茎を併せ持ち高いバイオマス生産が可能、また低温での高い光合成能力があるとされている *M × g* と *M. sinensis* (Clifton Brown et al, 2016) を用いて栽培実験を行っている。実験圃場のレイアウトはランドマイズドブロックデザインで統計的に処理することができるように  $5\text{m} \times 5\text{m}$  の面積で三連複に設定している。その他にコントロールとして、*Miscanthus* を栽培しない区画とその他のエネルギー作物として飼料用のトウモロコシと飼料用のヒマワリ区を設ける。つまり合計15の実験区画を設定し実験圃場で栽培実験を行っている。具体的に *Miscanthus* の栽培実験では以下の測定を行う。ミスキャンサスの各生育段階での草丈(茎長・稈長)、茎数、葉数などの形態的形質を測定、平成27年度と平成28年度の冬にミスキャンサスを収穫し、

生育期間中に生産されるバイオマス乾物重量等の収量を測定する。

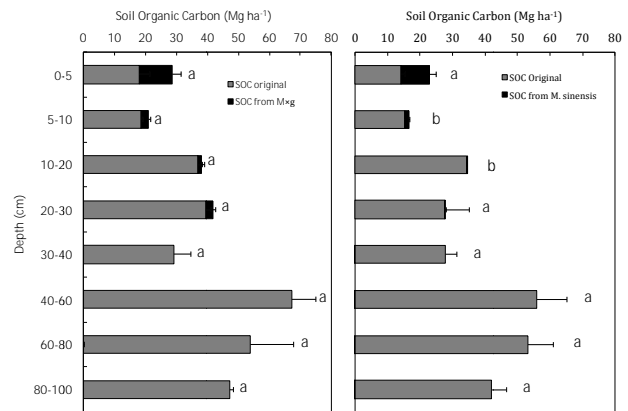


図3 炭素安定同位体比を利用した土壌炭素濃度分布

*Miscanthus* 栽培地での炭素貯留率を評価するため土壌深さ 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100cm の攪乱土を用いて C/N アナライザーで炭素濃度を測定した。それと同時に炭素安定同位体比測定装置 (IsoPrime) で土壌中の炭素安定同位体比(通常の土壌では-25.00‰程度)と *Miscanthus* 植物体炭素安定同位体比(通常-12.00‰程度)を測定することにより正確な炭素貯留評価を行った。また土壌中への炭素固定率は土壌環境中で鍵となるパラメータで、土壌炭素が増加することにより、その他の土壌物性値が大きく改善することが予想されるため、その動態を丁寧に追跡した。図3には炭素安定同位体比を利用した土壌炭素濃度分布を示した。

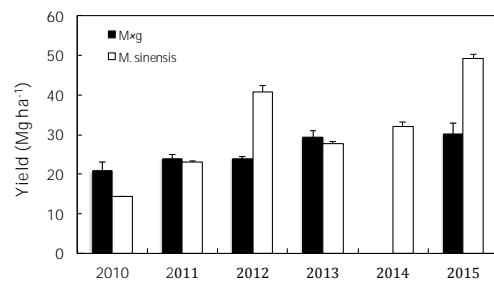


図4 ミスキャンサス収量(北海道札幌のミスキャンサス実験圃場のデータ2010年から2015年まで)

図4では比曾での実験圃場の補足データとして研究協力者の山田教授が2010年からミスキャンサスを栽培している圃場で収量データをまとめた。6年間を通じ安定してミスキャンサスを収穫できることが明らかとなった。(

## 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5件)

Nakajima, T., R. Shrestha, and R. Lal, P. Jacinthe, S. Bilen, and W. Dick, Soil Organic Carbon Pools in Plowed and No-till Alfisols of Central Ohio, Soil Use and Management, Volume 32-(4) pp.515-524, 2016.

Nakajima, T., R. Shrestha, and R. Lal, On-farm Assessments of Soil Quality in Ohio and Michigan, Soil Science Society of America Journal, Volume 80-(4) pp. 1020-1026, 2016.

Nakajima, T., H. Saito, S. Tojo, and Q. Hu, Effects of Confining Pressure on Unsteady-State Air Permeability Measurement Method in Aggregated Andisol, Vadose Zone Journal, Volume 15-(3) pp. 1-9, 2016.

Nakajima, T., and R. Lal, Comparison of Greenhouse Gas Emissions Monitored with a Photoacoustic Infrared Spectroscopy Multi-gas monitor and a Gas Chromatograph from a Crosby Silt Loam, Carbon Management, Volume 1-(8) pp. 69-76, 2015.

Nakajima, T., R. Lal, and S. Jiang, Soil Quality Index of a Crosby Silt Loam in Central Ohio, Soil and Tillage Research, Volume 146-(B) pp. 323-328, 2015.

[学会発表](計4件)

中島亨, ミスカンサスを使ったセシウム汚染地復興, 明治大学科学技術研究所シンポジウム, 平成 27.12

Nakajima, T., S. Komiya, K. Noborio, R. Kokubo, T. Watanabe, and M. Inoue, The behavior of greenhouse gas emission using carbon isotopic signature from rice paddy fields, ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting, at Minneapolis Convention Center, Minnesota, USA

Nakajima, T., On-farm Assessment of Soil Quality Index in Ohio and Michigan USA, 日本土壤肥料学会年次大会

Nakajima, T., Assessment of Soil Quality Index of Crosby Silt Loam in Central Ohio, ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting, at Long Beach, California, USA

[図書](計1件)

Nakajima, T. and R. Lal (Editor in Chief), Encyclopedia of Soil Science Third Edition, CRC Press, Taylor and Francis

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

中島 亨 (Nakajima Toru)

明治大学 研究知財戦略機構 研究推進員

研究者番号 : 50757888