

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月30日現在

機関番号：12101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22580286
 研究課題名（和文）土壌炭素貯留を飛躍的に向上させる脱温暖化農作業システムの開発・評価

研究課題名（英文）

Evaluation and Development of New Farming System to Enhance Soil Carbon Storage

研究代表者

小松崎 将一 (Masakazu Komatsuzaki)

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：10205510

研究成果の概要（和文）：

カバークロップ利用と耕うん方法を組み合わせた農法が土壌炭素貯留量に及ぼす影響について、RothC 改良モデルを適用して将来予測を行った。モデルを用いて、30年後までの土壌炭素量の変化を予測した。その結果、不耕起体系やロータリ体系にライムギを組み合わせた体系では、それぞれ13.0および9.7MgC/ha増加することが予測された。

研究成果の概要（英文）：

Agricultural soil management may also affect soil carbon storage. We predict soil carbon storage using the RothC model to determine the effects of cover crop and tillage system. The RothC model has been applied to predict soil carbon storage. The model prediction suggests that rye cover crop will increase in soil carbon storage, and hairy vetch cover crop will be stable. On the other hands winter fallow will decrease soil carbon because there is very little plant residue incorporation in a year.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2010年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2011年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2012年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：農業環境工学

科研費の分科・細目：農業環境工学

キーワード：土壌炭素・耕うん・カバークロップ・不耕起栽培

1. 研究開始当初の背景

農耕地にカバークロップやたい肥などの粗大有機物を投入すると、一部の炭素が分解されにくい腐植物質に変化し長期間蓄積されるため、地力の向上や炭素隔離策として注目されている (Lal, 2004)。土壌炭素貯留量を増加させる農作業管理手法は、粗大有機物の投入に加えて不耕起栽培や簡易耕起栽培などが挙げられており、これらの手法を組み

合わせることで炭素貯留量が飛躍的に増加することがジョージア州において事例報告されている (Upendra et al., 2007)。わが国では、たい肥の投入 (加藤, 2003) およびカバークロップの利用と不耕起の組み合わせ (Komatsuzaki and Ohta, 2006; 東ら, 2011) により土壌炭素貯留量が増加することが報告されている。

わが国の農地土壌の0~30cmの土壌炭素

貯留量 (1994~1998 年の平均) は、水田で 1.85 億トン、普通畑で 1.64 億トンおよび樹園地で 0.3 億トンであり、合計 3.8 億トンと試算されている(農林水産省生産局環境保全型農業対策室, 2007)。これらの土壤炭素貯留量は有機物投入や耕うんなどの管理作業などに応じて変動する。都道府県の農業試験場における有機物の長期連用試験の結果から、全国の農耕地に稲わら堆肥を年間 10~15 トン/ha 施用することで年間約 205 万トンの炭素を新たに貯留すると試算されている(農林水産省生産局環境保全型農業対策室, 2007)。一方、わが国ではカバークロップ導入による土壤炭素貯留量の増加についての検討事例は少ない。

カバークロップは、比較的粗放で乾物生産量の高い作物を利用することが多く、これらのもつ炭素固定能力は極めて高く、カバークロップの乾物重は、作物の種類、土壤養分状態および作付時期によって著しく異なる。イネ科のカバークロップは、マメ科のカバークロップに比べて乾物重を早期に確保できる。辜(2003)は、同一時期にライムギ、クリムソクローバおよびヘアリーベッチを播種し、乾物増加率を比較したが、播種 20 週間後にはライムギの乾物重はヘアリーベッチやクリムソクローバのそれぞれ 4.8 倍および 1.3 倍多く確保することを報告している。国外では Upendra et al. (2002), De Row et al. (2010) などカバークロップを利用した土壤炭素貯留量の経年変化についての報告がみられるものの、我が国ではカバークロップを利用した土壤炭素貯留量に関する研究は限られている。

農耕地の炭素貯留量を検討するためには、圃場試験と合わせて、モデルを利用した将来予測が重要である。土壤炭素の動態モデルとしてローザムステッドカーボンモデル(RothC)がある。これは、イギリスの農業試験場の長期圃場試験データから Jenkinson ら(1977)が開発した土壤炭素貯留量の予測モデルである。RothC モデルは現在に至るまでいくつかのバージョンアップが図られ、現在での最新バージョンは RothC-26.3 (Coleman and Jenkinson, 1996) である。さらに日本での黒ボク土壌への対応を考慮して改良した RothC モデル(以下、RothC 改良モデル)も開発されている(白戸, 2006)。RothC モデルの不耕起栽培への適応については、(Liu et al., 2009) など国外での適応事例が報告されているが、白戸(2006)での適用事例はロータリ耕であり、日本の不耕起条件下でのモデルの適応については知見が少ない。また堆肥施用条件下での適用は事例があるものの、カバークロップ利用時でのモデルの適用については明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究では異なる農地の管理方法が土壤炭素貯留量に与える影響について RothC 改良モデルを用いて検証する。ここでは、カバークロップ利用による土壤炭素貯留量の長期モニタリングデータを用いて、モデルパラメータを設定し、農作業管理方法と土壤炭素貯留量の将来予測を行う。これによってどの農地管理方法がどの程度土壤炭素貯留量を変化させるかを明らかにし、より環境保全に適しているかを検証する。

3. 研究の方法

(1) RothC 改良モデルの概要

RothC モデルは、圃場データおよび圃場に投入された有機炭素から月ごとに土壤炭素成分の動態を計算し、土壤炭素貯留量の変動を予測する。

RothC モデルは土壤中の有機態炭素を分解率によって5つの画分に分けるマルチコンパートメントモデルとなっている。モデル内で有機物は、モデルに投入する有機物として易分解性有機物(DPM)と難分解性有機物(RPM)、土壤内で変化する微生物バイオマス(BIO)と腐植(HUM)、またモデル内では分解しない不活性な炭素(IOM)とに分けられる。

RothC 改良モデルは、上述の RothC モデルを黒ボク土にも適用できるように改良したものである。改良方法は、活性のアルミニウムや鉄の存在が黒ボク土の腐植を安定にし、黒ボク土が土壤有機物を含まない新鮮火山灰から生成されることに基づいて、分解率に補正を行った(白戸, 2006)。

(2) 調査圃場

試験は茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター内の試験圃場(洪積台地、黒ボク土、土性: CL, LiC)で行った。試験期間は2003年より2010年で、作物は2003年から2007年までは陸稲を栽培し、2008年からはダイズを栽培した。品種は陸稲ではユメノハタモチ、ダイズは2008年と2009年ではエンレイ、2010年から納豆小粒とした。試験要因は耕うん方法は、プラウ耕(耕うん深さ28cm)、ロータリ耕(同15cm)および不耕起とし、冬作カバークロップ利用体系として、ヘアリーベッチ、ライムギおよび休閒(自生雑草)とした。カバークロップは手作業で散播し、いずれの区でもカバークロップ播種後にディスクハローにて覆土(耕うん深さ3cm)をおこなった。夏作物播種前にカバークロップをフレールモアにて刈り倒し、その後ロータリ区とプラウ区については耕うんを行った。ここで、プラウ耕は1連式リバーシブルプラウ(スガノ農機(株)RQY201VC)を用い、ロータリ耕は1.8m幅の作業機(松山(株)SX1810)を用いて行った。陸稲およ

びダイズ播種において、不耕起区については、耕うん面積の割合が10%以下となるよう、残渣を圃場表面に被覆したまま不耕起播種機

(三菱農機(株) MJSE18-6)を用いて播種した。プラウ区、ロータリ区についても耕うん後、不耕起区と同じ播種機を用いて播種を行った。夏作物への窒素施肥は陸稲作では100kgN/haとし、ダイズ作では20kgN/haとした。試験区画は分割区法を用いてランダムに配置し、1区画の面積は6m×3mの18m²として4反復、計36区画で試験を行った。

(3) RothC改良モデルの入力データ
RothC改良モデル利用にあたって必要となるデータを以下の手順で求め示した。

① 土壌データ

調査圃場の土壌初期データとして、調査圃場隣の未耕地土壌を用いて分析した。粘土含量はピペット法で求め、土壌中のピロリン酸可溶のアルミニウム(Alp)含量の測定はICP発光分析により測定した。

土壌サンプリングはカバークロープすきこみ前および夏作物収穫前に行った。サンプリングには検土杖を用い、採取深さは0~2.5cm, 2.5~7.5cm, 7.5~15cm, および15~30cmの4層とした。また均一性に配慮するため1区画につき2箇所のサンプルを採取し、それらを混合して1サンプルとした。サンプルは1週間の風乾後粉碎を行い、2mmのふるいを通した。その後炉乾(105°C, 72時間)を行いCNコーダー(SUMIGRAPH CN-900, SCAS)によって炭素含有量を分析した。

また、乾燥密度を計測するため、年1回カバークロープ刈り倒し前にコアサンプラーを用い土壌構造を維持して土壌を採取した。採取した土は0~2.5cm, 2.5~7.5cm, 7.5~15cm, および15~30cmに切り分け炉乾し(105°C, 72時間)、それぞれの重さから乾燥密度を求めた。

土壌炭素貯留量の計算はESM(equivalent soil mass)基準を用いた(Ellert and Bettany, 1995)。ESM基準は初期の土壌の量を一定として土壌深さを調節して、土壌炭素貯留量を求めた。

② 気象データ

RothC改良モデルの検証のための気象データ(月別気温、月別降水量)は茨城県土浦市の試験期間中の値を用いた(気象庁, 2003)。また、月別可能蒸発散量はThornthwaite(1948)の式に従って気温、降水量より計算した。

③ 圃場管理データ

試験区における土壌炭素貯留量、月別植物残渣投入量および月別被覆の有無を圃場試験の実測データから入力した。ここでは、2003年から2007年は夏作に陸稲を栽培し、2008年から2010年はダイズを栽培したため、年度ごとに炭素投入量が異なる。そのため、

検証データには年度ごとのカバークロープ残渣量および陸稲の残渣量を入力した。

カバークロープ残渣の投入量は、50×50cmのコドラートを用いてカバークロープ刈り倒し前に採取した。また休閑区ではコドラート内の雑草を採取した。採取したカバークロープは80°Cで72時間乾燥し、乾物重を測定した。その後サンプルをミキサーで粉碎し、CNコーダーで炭素含有量を計測した。

また、夏作物栽培における植物残渣投入量については、陸稲栽培では収穫時にわらを土壤に還元したため、陸稲を0.3m²刈り取り、わら量を測定した。また、ダイズ栽培では、ダイズバイндаによる全株収穫のため残渣の土壤還元量は0とした。

④ RothC改良モデルのパラメータ設定

RothC改良モデルを実行するにあたってモデル開始時の状態ではモデル内の土壌炭素量は平衡状態にあると仮定しているため、初期土壌炭素からモデルの各炭素画分の比率を逆算する必要がある。また植物残渣投入時における易分解性有機物と難分解性有機物との比はRothC改良時と同様にモデルにあらかじめ規定されている、畑作での一般的な値の1.44(DPM59%, RPM41%)を使用した(白戸, 2006)。

有機物を還元する土壌層位として不耕起で7.5cm, ロータリ耕で15cmおよびプラウ耕で28cmと仮定した。また、各耕うん方法において有機物を還元しない層位についての炭素貯留量は変化がないこととした。

⑤ モデルの検証

RothC改良モデルから得られた予測値と圃場試験で得られた実測値について、検量線標準誤差(SEC)を以下の式から求めた。

$$SEC = \sqrt{\frac{1}{(N_c - 1)} \sum_{i=1}^{N_c} (Y_{ic} - X_{ic})^2}$$

ここで、

Y_{ic}: 実測した土壌炭素貯留量

X_{ic}: RothC改良モデル試算による土壌炭素貯留量

N_c: モデル構築に利用したデータ数

⑥ 土壌炭素貯留量の将来予測

耕うん方法とカバークロープ利用体系別のダイズ作における年間炭素投入量の平均値を用いて、RothC改良モデルに入力し、これらの農法を継続した場合における30年後の土壌炭素貯留量を算定した。

RothC改良モデルによる耕うん方法およびカバークロープ利用体系別の土壌炭素貯留量の将来予測については、30年という近未来を設定し、気候変動の影響を予測されるシナリオのうち、最低変動値の年間0.02°Cを年度ごとに上昇させ試算した(環境省・文部科学省・気象庁, 2009)。

4. 研究成果

(1) 農作業体系と残渣投入量の差異

夏作物が陸稲の場合、どの耕うん方法でもライムギ利用体系で年間4.9MgC/haの投入量を示し、ヘアリーベッチ利用体系では、約3.3 MgC/ha、休閑体系では約1.7 MgC/haの投入量にとどまった。

これに対し、ダイズ体系では、陸稲体系と比べライムギで55%~79%増加した。これに対し、ヘアリーベッチでは、2.4%~16.1%減少した。今回の試験ではダイズ残渣を還元しない収穫体系(全量持ち出し、圃場外脱穀)のため、年間の炭素投入量は、ライムギ体系では陸稲作とほぼ同等の炭素投入量を示したのに対し、ヘアリーベッチ利用体系での年間の炭素投入量は陸稲体系に比べて59%~63%減少し、休閑体系では、54.4%~61.7%減少した。

(2) 農作業体系と土壤炭素の土中分布

試験1年目の2003年では耕うん方法およびカバー作物体系の差異は少なく、0~30cmの土層内において3.08~3.80%の範囲内にとどまった。

これに対し、圃場試験8年目の2010年の土壤炭素含有量をみると、不耕起の表層(0~2.5cm)では4.92~5.83%を示すなど2003年と比べて著しく増加した。またロータリ耕においても0~15cmの土層において3.88~4.53%とやや増加した。しかし、プラウ耕では3.60~4.22%にとどまった。カバー作物別にみるとカバー作物の利用によっても土壤炭素含有量が増加し、表層土層で見ると、ライムギ体系では、4.22~5.83%を示し、ヘアリーベッチ体系では3.81~5.61%を示したのに対し、休閑体系では3.60~4.92%にとどまった。

(3) RothC改良モデルの検証

全データの土壤炭素貯留量の平均値は、92.5MgC/haに対し、予測値の平均値も92.9MgC/haとなり同等の値を示した。供試したデータの変動係数は実測値が0.061であったが、予測値の変動係数は0.050とやや小さい値を示した。

耕うん方法別にみると、不耕起体系では $R^2=0.91$ であり、SECは1.90であり、ロータリ体系は $R^2=0.81$ 、SECは2.55を示すなど高い相関性が認められた。これに対し、プラウ体系では、 $R^2=0.26$ 、SECは4.72となり、予測精度が低下した。

(4) 土壤炭素貯留量の将来予測

不耕起体系では、冬作休閑においては土壤炭素貯留量が漸減するのに対し、ヘアリーベッチ体系では土壤炭素貯留量の増減は認められず、ライムギ体系においては土壤炭素貯留量が増加し、休閑との差異が22.8MgC/haを示した。また、ロータリ体系では、不耕起体

系とほぼ同等の土壤炭素貯留量の推移を示したが、30年後の土壤炭素貯留量は、ライムギにおいて不耕起体系よりも5.1MgC/ha低い値を示した。

以上の結果から、農作業体系の継続による30年後の土壤炭素貯留量を予測すると、冬作休閑体系で、初期土壤炭素よりも22.7MgC/ha減少するのに対し、不耕起やロータリ体系にライムギを組み合わせた体系では、それぞれ13.0および9.7MgC/ha増加することが予測された。

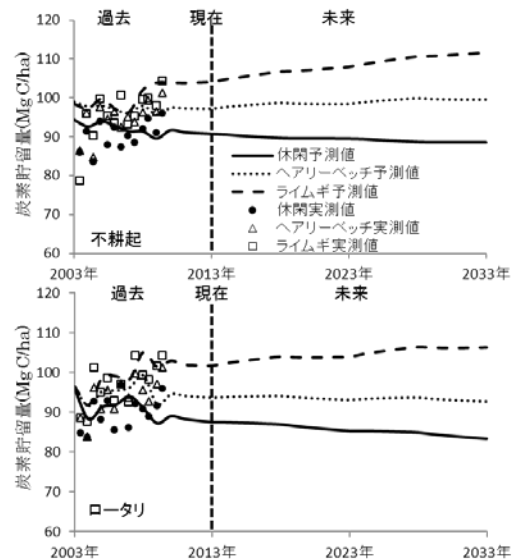


図 不耕起区およびロータリ区におけるカバー作物利用別のRothC改良モデルによる30年後の土壤炭素貯留量の将来予測結果

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8件)

①Zhao, T., Zhao, Y., Nitta, Y., Sakai, K., Yagioka, A., Komatsuzaki, M. Performance of no-tillage seeder under different cover crop species and residue managements for sweet sorghum in sustainable biofuel production. Engineering in Agriculture, Environments and Food, (In press) (2013) (with peer review)

②Dou, L., Komatsuzaki, M., Nakagawa, M. Effects of biochar, mokusakueki and bokashi application on soil nutrients, yields and qualities of sweet potato. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 2:318-327 (2012) (with peer review)

URL:

<http://interesjournals.org/IRJAS/Pdf/2012/August/Dou%20et%20al.pdf#search=Effects+of+biochar%2C+mokusakueki+and+bokashi+application+on+soil+nutrients%2C+yields+and+qualities+of+sweet+potato.>

③ Zhao, T., Sakai, K., Higashi, T., Komatsuzaki, M. Assessing soil organic carbon using portable hyper-spectral camera in Andisols. *Journal of Agricultural Science and Applications*, 1:132-138 (2012) (with peer review)

URL:<http://www.j-asa.org/paperInfo.aspx?ID=47>

④小松崎将一, 山下幸祐, 竹崎善政, 嶺田拓也, 金子信博, 中島紀一, 太田寛行, 自然草生利用・不耕起による有機栽培体系に関する研究—茨城県での栽培事例分析—. *有機農業研究*, 4: 53-66 (2012) (査読有)

⑤小松崎将一, 菅沼香澄, 荒木肇, 夏作カバークロップの生育と多変量解析による特性分類の検討. *農作業研究*, 47: 55-65 (2012) (査読有) DOI:

<http://dx.doi.org/10.4035/jsfwr.47.55>

⑥ Zhao, T., Zhao, Y., Higashi, T., Komastuzaki, M. Power consumption of no-tillage seeder under different cover crop species and termination for soybean production. *Engineering in Agriculture, Environments and Food*, 5:50-56 (2012) (with peer review) DOI:

<http://dx.doi.org/10.11165/eaef.5.50>

⑦Zhao, T., Komatsuzaki, M., Okamoto, H., Sakai, K. Cover crop nutrient and biomass assessment system using portable hyper spectral camera and laser distance sensor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 3:105-112 (2010) (with peer review) DOI:

<http://dx.doi.org/10.11165/eaef.3.105>

⑧趙艶忠, 趙鉄軍, 小松崎将一, カバークロップの種類と残渣処理が不耕起播種機利用時のトラクタの所要動力に及ぼす影響. *農作業研究*, 45: 37-44 (2010) (査読有) DOI:

<http://dx.doi.org/10.4035/jsfwr.45.37>

[学会発表] (計 12 件)

①小松崎将一・野中昌法・原田直樹・東 達也, 福島および茨城における耕起・不耕起による放射能汚染の土層分布の変化, 平成 24 年度日本農作業学会春季大会, 筑波大学, 2012.

②伊藤崇浩・東 達也. 小松崎将一・荒城雅昭, カバークロップと耕うん方法が土壌線虫の多様性に及ぼす影響, 平成 24 年度日本農作業学会春季大会, 筑波大学, 2012.

③小松崎将一・趙 鉄軍・伊藤崇浩・星野雅義・三浦重典, 大豆生産における生産量と土壌炭素貯留量, 平成 24 年度日本農作業学会春季大会, 筑波大学, 2012.

④八木岡敦・小松崎将一・浅木直美・金子信博・上野秀人, 不耕起・草生栽培による有機野菜栽培の体系化, 平成 24 年度日本農作業学会春季大会, 筑波大学, 2012.

⑤小松崎将一・東達哉・伊藤崇浩・八木岡敦・星野雅義・高橋是成, 茨城 および福島での竹林の放射能汚染の実態に関する調査, 平成 24 年度農業機械学会 関東支部年次大会, 筑波大学, 2012.

⑥伊藤崇浩・小松崎将一, 深谷市における緑肥の生育調査—風食防止と土壌改善にむけて—, 第 13 回日本有機農業学会, 東京農工大学, 2012.

⑦小松崎将一・東 達也・伊藤崇浩・八木岡敦, 星野雅義, 高橋是成, 菊地賢治

茨城および福島での竹林の放射能汚染の実態に関する調査, 第 13 回日本有機農業学会, 東京農工大学, 2012.

⑧小松崎将一・東 達也, 耕うん方法とカバークロップの利用がダイズへの放射性セシウムの移行量に及ぼす影響, 日本土壌肥料学会, 鳥取大学, 2012.

⑨八木岡敦・小松崎将一・金子信博・上野秀人, 不耕起・草生栽培における土壌養分動態転換期の調査事例から, 日本土壌肥料学会, 鳥取大学, 2012.

⑩八木岡敦・小松崎将一・浅木直美・金子信博・上野秀人, 不耕起・草生圃場における窒素動態と物質循環, 日本土壌肥料学会関東支部大会, 2011.

⑪八木岡敦・小松崎将一・浅木直美・金子信博・上野秀人, 自然農法にすると土壌の何がかわるのか? —物理性・化学性の観点から—, 日本土壌肥料学会, 2011.

⑫八木岡敦・小松崎将一・浅木直美・上野秀人・金子信博, 自然農法圃場における窒素動態-15Nを用いた窒素の移動と植生による吸収, 日本生態学会第 58 回全国大会, 2011.

[図書] (計 10 件)

①小松崎将一, 不耕起栽培で土の中の“生き物”が増えて土が柔らかくなる! 現代農業, 3月号, 164-169 (2013)

② Komatsuzaki, M., Dou, L. Soil management strategies for radish and potato crops: yield response and economical, productivity in the relation to organic fertilizer and ridging practice. In “Crop Management - Cases and Tools for Higher Yield and Sustainability” ed. Marin, F.D., InTech (Rijeka, Croatia), 57-74 (2012)

③ Komatsuzaki, M. Agro-ecological approach for developing a sustainable

farming and food system. Journal of Developments in Sustainable Agriculture, 6:1-10 (2011)

④小松崎将一, 水田イタリアンの水田裏作利用－茨城県牛久市・高松求さん. “最新農業技術 土壤施肥編 3” 農文協(東京), 115-123 (2011)

⑤ Komatsuzaki, M., Syuaib. M. F., New farm management strategy to enhance sustainable rice production in Japan and Indonesia. In “Sustainable Agriculture and New Biotechnology,” ed. Benkeblia, N., CRC press (Florida, USA), 321-340 (2011)

⑥小松崎将一, カバークロップの利用と有機農業. 有機農業研究, 2 : 11-23 (2010)

⑦ Komatsuzaki, M., Syuaib. M.F. Comparison of the farming system and carbon sequestration between conventional and organic rice production in west Java, Indonesia. Sustainability, 2:838-843 (2010)

⑧ Komatsuzaki, M., Ohta, H. Sustainable agriculture practices. In “Sustainability Science Vol.4” eds. Osaki, M., Braimoh., A.K. and Nakagami , K., UNU press (Tokyo), 38-49 (2010)

⑨小松崎将一, 雑草草生畑では土壤炭素量に比例して土壤チッソが増えていた. 現代農業, 8月号, 108-111 (2010)

⑩小松崎将一, 緑肥作物と農作業体系. 農業および園芸, 85 : 169-176(2010)

〔産業財産権〕

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松崎 将一 (Masakazu Komatsuzaki)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号 : 10205510

(2) 研究分担者

白戸 康人 (Yasuhito Shirato)
独立行政法人農業環境技術研究所・農業環境インベントリーセンター・主任研究員
研究者番号 : 30354062

三浦 重典 (Shigenori Miura)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・生産体系研究領域・主任研究員
研究者番号 : 50355327