

平成 29 年 2 月 28 日

平成 27 年度補正予算 IoT サービス創出支援事業 成果報告書

代表団体名	一般社団法人 日本エコ・アグリテクノロジー
共同実施団体名	株式会社アグリガーデンスクール&アカデミー NECソリューションイノベータ株式会社
実証事業名	発酵土壌づくりのためのセンシングネットワークシステムとナレッジ提供のためのアルゴリズム開発
実証地域	福岡県朝倉市
対象分野	農業
事業概要	本事業では、アグリガーデンスクール&アカデミー福岡朝倉校内、県立朝倉光陽高校内、地元 JA 管内、高木地区中山間圃場の 4 つの土壌の性質が異なる場所で実証実験を実施する。 各圃場には、3 つの実験区（発酵区、腐敗区、無処理区）を整備し、発酵土壌づくりの過程において、土壌センサーによる土壌温度、水分、EC の測定、土壌硬度、土壌分析等を実施する。 得られた各種データを分析することによって、初期の土壌データのセンシングと同データに基づく発酵土壌づくりのためのナレッジ提供サービスを行うため、「センシングネットワークシステムの開発と効果的なナレッジ提供のための解析システム（アルゴリズム）」を開発する。
実施期間	平成 28 年 7 月～平成 29 年 2 月

目次

1 はじめに	3
2 目的	4
3 事業全体概要.....	5
4 実施体制	5
5 実証内容	6
5-1 センシング環境準備	6
5-1-1 実験圃場.....	6
5-1-2 実験区について.....	8
5-1-3 土壌から採取するデータについて.....	9
5-1-4 各実験区の土壌づくり	12
5-1-5 土壌センサーの設置方法	12
5-1-6 土壌硬度計の測定方法.....	13
5-1-7 アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場整備.....	14
5-1-8 朝倉光陽高校実験圃場整備.....	17
5-1-9 高木地区実験圃場整備	19
5-1-10 JA 管内実験圃場整備	20
5-1-11 無線土壌センサー（SenSu）の設置.....	21
5-2 センシングネットワーク構築.....	22
5-3 データベース構築.....	23
5-4 データ分析・考察.....	24
5-4-1 土壌温度.....	24
5-4-2 土壌水分.....	29
5-4-3 EC（電気伝導率）	31
5-4-4 土壌硬度.....	33
5-4-5 土壌化学性分析.....	34
5-4-6 土壌生物性分析.....	44
5-4-7 抗酸化力分析.....	45
5-4-8 ドクターソイルによる土壌分析	49
5-4-9 分析結果の総括.....	51
5-5 発酵土壌づくりのためのセンシング項目研究.....	52
5-6 ナレッジ提供のためのアルゴリズム開発	53
5-6-1 ネットワーク設計	54
5-6-2 システム構成図.....	55
5-6-3 ナレッジ提供のためのアルゴリズム開発.....	56

5-7 実証の総括.....	57
6 実施スケジュール	58
7 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題	59
8 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題の解決に資するリファレンス（参照）モデル	60
9 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題の解決に必要なと考えられるルール整備等	64
10 実証終了後の計画等	66

1 はじめに

アグリガーデンスクール&アカデミー（以下「AGSA」という）福岡・朝倉校では、医農食同源をテーマに、20代から70代までの多種多様な人材が学んでいる。

これらの人材は、定年後に新規就農目指したり、現役プロ農家として脱慣行栽培を目指したり、JAやシェフであったり、現役企業人で新規事業をしたりする目的で集まっており、まさに、異分野の人材・企業が新たな価値ある農業に挑戦する学校である。

AGSAでは、土の中の微生物が豊かでバランスよく生息する発酵土壌で育った農産物が、おいしさ、健康機能性（抗酸化力など）、および含有栄養量が、一般の慣行栽培野菜よりも高いデータ傾向が確認され、また、これら野菜を食した結果、子供たちの低体温症やアレルギーが減ったなどの現象がAGSA講師による活動の中で顕著になってきた。

この傾向を土壌微生物菌との関連で学術的にサポートしてきた九州大学農学博士比良松先生をはじめ、最近では医学界の先生からも、この現象が人の心と体の健康を司る腸内細菌の活動と連動しているのではとの関心を持ち始めている。

すでに、このような人の健康に直結する「発酵土壌づくり」を志向する農業実践者が増えつつあり、特に、上記のように異分野からの新規就農者や企業、農業教育・指導機関、および現役の慣行栽培農業者さえも、このような「発酵土壌づくり」に強い関心を持ちはじめている。

以上から、AGSA及びその講師陣と同講師陣派遣元企業や大学が共同で研究しつつある「発酵土壌づくりノウハウ」を世の中に広め、高健康機能性農産物として付加価値の高い農業とTPPに対応した日本独自の農業を再評価し、再興していくことがタイムリーな課題であると判断している。

この発酵土壌技術を伝授する方法は、土地ごとに異なる土壌の健康診断を行うことからスタートすることが必要である。

また、従来のように土壌検体を専門企業に送付して個別の検査を行うものではなく、農地に取り付けたセンサーがAGSA研究センターに適宜送信され、そのデータ解析に基づく診断と対処法情報を送付するシステムを構築することで、高健康機能性農産物の栽培技術の普及とこれらの新たなマーケットの喚起、並びに同センサー情報による情報蓄積量の増大により、より効果的かつ的確な発酵土壌指導を行うことが期待される。

尚、本事業の活動母体は、今年に設立された、AGSA朝倉IoT企業コンソーシアムである。

2 目的

IoT サービスを普及させるためには、センサーを設置するためのユーザー側のインセンティブが必要である。つまり、センサー設置することで、自分の農地やこれから農業を始めようとする農地からどのような情報データが得られ、それにより、「発酵土壌」をつくり上げた類似ケースのスタディーや同効果的な技術情報を取得でき、かつ、高健康機能性農産物が確かにできるというメリット感を得ることが必要である。

そのため、土壌センサーにより、どのようなセンシング（センシング項目とタイミングなど）を行えば最も効果的に発酵土壌づくりを実現化できるかのポイントを確立することが必要である。

また、本サービスを多くのユーザーに提供するためには、可能な限り属人性を排除して「発酵土壌」へとナビゲートする必要がある、そのためには、ユーザーのセンサーデータと「発酵土壌」データの差分を埋める対処を「発酵土壌を作るためのナレッジ」としてユーザーに提供する必要がある。

この「発酵土壌を作るためのナレッジ」も並行して研究する必要がある。

様々な地域で多様な農業者がデータを活用するためには、有効なセンシング項目をすべてパッケージ化した耐水性や耐久性を高めた「安価」なセンサーを開発することが必要である。

以上のことから、本事業においては、以下を目標とする。

- ① 土壌センサーを設置することで、自分の農地やこれから農業を始めようとする農地から「発酵土壌」のために必要な情報を得る仕組み（センシング項目とタイミングなど）を確立。
- ② 土壌センサーから得られるデータと「発酵土壌」データの差分を埋めるための「発酵土壌を作るためのナレッジ」としてユーザーに提供する仕組みを確立。
- ③ おいしい野菜（＝高健康機能性野菜）ができる環境を「発酵土壌」として定義づけているが、その場合の「発酵土壌」がどのような特徴成分（PH、EC、地温、硬度など）を有するか、または、おいしい野菜と「発酵土壌」との相関関係から理想的な「発酵土壌」を定義。

3 事業全体概要

本事業では、アグリガーデンスクール&アカデミー福岡朝倉校内、県立朝倉光陽高校内、地元JA管内、高木地区中山間圃場の4つの土壌の性質が異なる場所で実証実験を実施する。

各圃場には、3つの実験区（発酵区、腐敗区、無処理区）を整備し、発酵土壌づくりの過程において、土壌センサーによる土壌温度、水分、ECの測定、土壌硬度計による土壌硬度の計測を実施する。また、実証開始時と実証終了時において、土壌分析（化学性、生物性）、土壌微生物の多様性・活性値の測定を実施する。

得られた各種データをグラフ化し、分析することによって、初期の土壌データのセンシングと同データに基づく発酵土壌づくりのためのナレッジ提供サービスを行うため、「センシングネットワークシステムの開発と効果的なナレッジ提供のための解析システム（アルゴリズム）」を開発する。

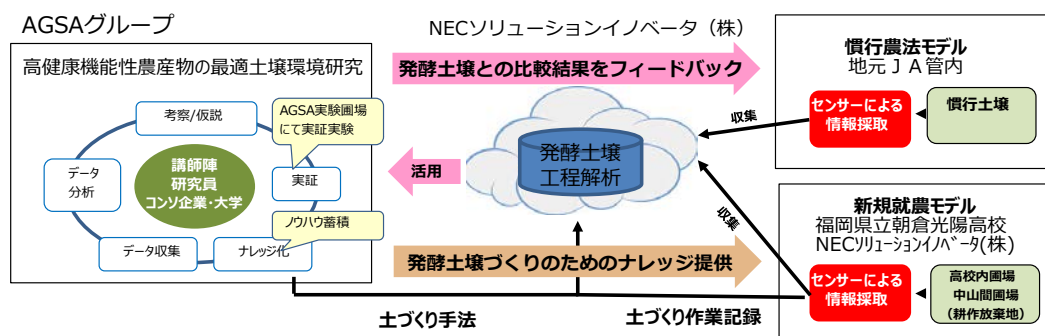
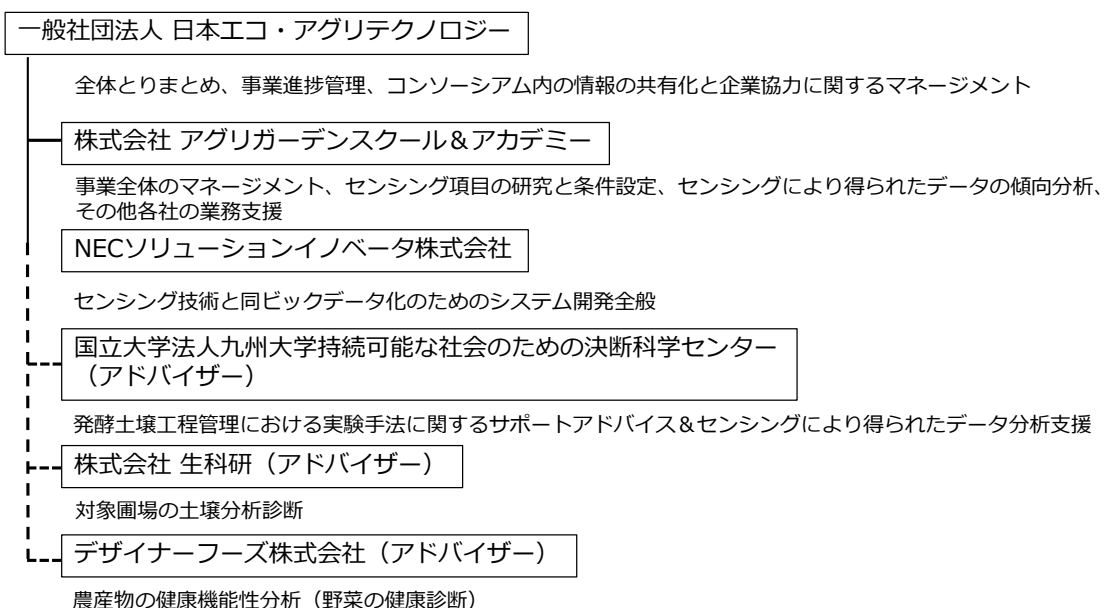


図 1 全体概要図

4 実施体制

本事業での実施体制と各社の役割は以下のとおりである。



5 実証内容

本事業では、発酵土壌づくりが行われる際の土壌中の変化を土壌センサー、土壌硬度計で計測する。また、実験の開始時と終了時の土壌について、土壌分析を行い、土壌の養分や微生物の活性値がどのように変化したかを分析する。得られた結果から、発酵土壌づくりのしくみについて検証する。また、土壌センサーからのデータを無線で送信し、クラウドサーバーへデータを保存するためのネットワークセンシングの構築についても実証する。

本事業では、土壌の状態が違う圃場で、次の3つの実験区を整備する。

- ① 発酵区：有機資材を投入し、土壌で発酵させる。
- ② 腐敗区：水分を多くし、有機資材を土壌で腐らせる。
- ③ 無処理区：無処理の土壌

5-1 センシング環境準備

5-1-1 実験圃場

実証実験を行う圃場は、以下の環境の違う4つの圃場で行うことにする。

(1) アグリガーデンスクール&アカデミー（AGSA）実験圃場

場所：福岡県朝倉市三奈木 3070 旧福岡県立朝倉農業高等学校

平野部に存在し、長年放置されてきた耕作放棄地。本コンソーシアムの構成員である株式会社アグリガーデンスクール&アカデミーが運営する農業ビジネス学校の圃場。圃場の土は、壤土で下層は砂利土である。水捌けはよい。

【実験開始時の土壌分析結果】

① 化学性分析

肥料分、ミネラル分等の各値が低く、野菜を栽培するには栄養不足である。

② 生物性分析

多様性・活性値分析の値が高く、土壌の中に多くの微生物が存在しており、野菜を栽培するには非常に適している。

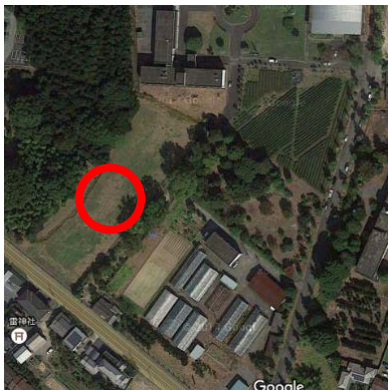


図 2 AGSA 実験圃場

(2) 福岡県立朝倉光陽高等学校実験圃場

場所：福岡県朝倉市杷木古賀 1765

平野部に存在し、朝倉光陽高校の農業実習で利用されている圃場。さつまいもの収穫後の圃場を利用。圃場の土は、砂壤土である。水田に盛り土をした場所であるため、土壌の下層は堅い。水捌けは悪い。

【実験開始時の土壌分析結果】

① 化学性分析

肥料分、ミネラル分等の各値が低く、野菜を栽培するには栄養不足である。

② 生物性分析

多様性・活性値分析の値は平均的であり、野菜を栽培するには適している。



図 3 光陽高校圃場

(3) 高木地区実験圃場

場所：福岡県朝倉市黒川 1494

中山間に存在し、長年放置されていた耕作放棄地。圃場の土は壤粘土。水捌けは悪い。平野部に比べ、日中の寒暖差が大きい。

【実験開始時の土壌分析結果】

① 化学性分析

肥料分、ミネラル分等の各値が低く、野菜を栽培するには栄養不足である。

② 生物性分析

多様性・活性値分析の値が高く、土壌の中に多くの微生物が存在しており、野菜を栽培するには非常に適している。



図 4 高木地区圃場

(4) JA 管内実験圃場

場所：福岡県朝倉市相窪

平野部に存在し、JA に出荷している農家の圃場。人参の収穫後の圃場を利用。圃場の土は粘土。水田を畑として利用したところであり、土壌は水捌けが悪い。

【実験開始時の土壌分析結果】

① 化学性分析

肥料分、ミネラル分等の各値が低く、野菜を栽培するには栄養不足である。

② 生物性分析

多様性・活性値分析の値は平均的であり、野菜を栽培するには適している。

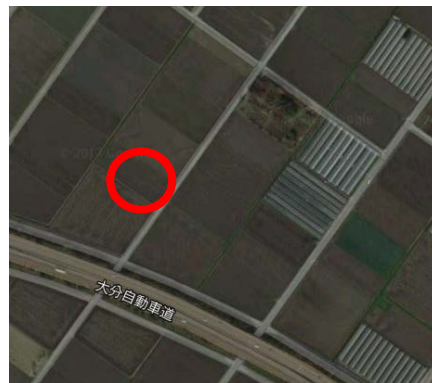


図 5 JA 管内実験圃場

5-1-2 実験区について

本事業では、各圃場について、下記の3つの実験区を整備する。

(1) 発酵区

土壌に有機資材を投入し、発酵させた土壌。

好気性発酵のため、水分の少ない良質の堆肥ができる。発酵土壌づくりが成功した実験区。

(2) 水分の多い発酵区（腐敗区）

土壤に有機資材を投入し、水分を多くし発酵させた土壤。

嫌気性発酵のため、異臭がし、作物の栽培には適さない土壤ができる。発酵土壤づくりが失敗したことを想定した実験区。

(3) 無処理区（慣行区）

土壤を耕すだけで、有機資材を投入しない土壤。化学肥料を使う慣行栽培を想定した実験区。

5-1-3 土壤から採取するデータについて

本事業では、発酵土壤づくりの過程において、土壤がどのような変化をするかを知るための有効なデータは何かを判断するために、土壤センサー、土壤硬度計によるデータ採取を実施する。

また、実験開始時と実験終了時に土壤サンプルを採取し、分析機関において、土壤中の養分および微生物の多様性、活性化を分析することによって、土壤中の変化を調べる。

本事業で利用する機材、測定項目、分析機関に依頼する分析項目は、以下のとおりである。

(1) 土壤センサー

(使用機材)

- ・5 土壤水分・温度・EC センサー（5TE） DECAGON 社製 × 60 本
- ・5ch データロガー（Em50） DECAGON 社製 × 20 台
- ・土壤センサー（SenSu-17G0） データテクノロジー社製 × 6 本
- ・防雨収納ボックス（SenSu-8950） データテクノロジー社製 × 2 台
- ・収納ボックス設置キット A（Sensu-9810） データテクノロジー社製 × 2 台
- ・無線通信ユニット（SenSu-2973） データテクノロジー社製 × 6 台
- ・3G 通信ユニット（SenSu-2394） データテクノロジー社製 × 2 台

※DECAGON 社製の機材については、九州大学農学部での利用実績、データの信頼性により選定。データテクノロジー社製の機材については、クラウドサービスへの接続、屋外対応などにより選定。

(測定項目)

① 温度

土壤中の温度を測定。

微生物の活動（発酵）を知るには、温度が重要とされる。

② EC（Electric Conductivity：電気伝導度）

EC は土壤中の塩類濃度を測定。

肥料含有量を推定する。硝酸態窒素との相関が高いことから、施肥量の目安とされる。

③ 水分

土壌中の水分を測定。

発酵土壌づくりにおいては、水分の量により、発酵の仕方が異なる。また、作物を育てる際には、水の管理が重要とされる。

(2) 土壌硬度計

(使用機材)

- ・デジタル貫入式土壌硬度計 (DIK-5532) 大起理化工業社製 × 1 台

(測定項目)

① 硬度

土壌の硬度を測定。

作物を育てる際には、土壌中に根が十分に張れるか、排水性がよいかが重要とされる。

(3) 土壌分析 (化学性)

(分析機関)

- ・株式会社生科研

(分析項目)

① pH

土壌中の酸性やアルカリ性を表す。作物の生育に影響がある。

② EC

土壌中に肥料の含有傾向を表す。電気の通りやすさで土壌中の肥料の濃度を推定。硝酸態窒素との相関が高いことから、施肥量の目安とされる。

③ アンモニア態窒素

NH_4^+ として土壌に吸着される。微生物によって、硝酸態窒素に硝化される。

④ 硝酸態窒素

一般に作物は、土壌中の硝酸態窒素を吸収する。硝酸態窒素が多くなると、pH が低くなり EC が高くなる傾向にある。植物の生育・収量に大きく影響する。

⑤ 有効態リン酸

土壌中の作物に利用吸収されやすいリン酸。過剰集積すると作物への鉄、亜鉛などの吸収が抑制される。

⑥ 交換性加里

数値が高いと pH の値が高くなる傾向にある。苦土、石灰と関係があり、一方が多くなると、他の成分の吸収を抑えることがある。

⑦ リン酸吸収係数

土壌のリン酸固定力を表す。係数が高いとリンを施用しても、多くが土壌に吸収される。

⑧ 交換性石灰

数値が高いと pH の値が高くなる傾向にある。加里、苦土と関係があり、一方が多くなると、他の成分の吸収を抑えることがある。

⑨ 交換性苦土

数値が高いと pH の値が高くなる傾向にある。加里、石灰と関係があり、一方が多くなると、他の成分の吸収を抑えることがある。

⑩ 交換性マンガン

pH が高いと吸収されにくくなる。許容範囲が狭く、多いと害になるが、欠乏すると、先端葉が黄化する。

⑪ 可給態鉄

pH が高いと吸収されにくくなる。リン酸や石灰が多いと吸収が悪くなる。欠乏すると葉が白化する。

⑫ 可給態銅

許容範囲が狭く多いと害になるが、欠乏すると葉が黄化する。

⑬ 可給態亜鉛

リン酸や石灰が多いと吸収が悪くなる。欠乏すると、奇形になり葉が黄化する。

⑭ ホウ素

許容範囲が狭く多いと害になるが、欠乏すると、芯止まりや壊死する。カルシウムの吸収、転流に関係する。

⑮ CEC

土壌が塩基肥料分（陽イオン）を保持できる力を表す。CEC が低い土壌では、追肥型の肥培管理の傾向がある。

⑯ 塩基飽和度

交換性加里、石灰、苦土の当量を CEC で割った百分率。土壌に肥料成分がどれぐらい保持されているかを表す。100 を超えると塩基肥料を施用しても流亡しやすくなる。値が高いと pH が高くなる傾向がある。

⑰ 腐植

土壌に含まれる有機物でこれ以上分解しないもの。腐植が多いと、塩基置換容量が増え保肥力がつき、土を団粒化させる。

⑱ 石灰苦土比

石灰と苦土の比率を表す。

⑲ 苦土加里比

苦土と加里の比率を表す

(4) 土壌分析（生物性）

(分析機関)

・株式会社生科研

(測定項目)

B/F 値

細菌数/糸状菌数の値を表す。糸状菌が多い場合、作物病害の原因になる場合がある。

(5) 土壤微生物の多様性・活性値の測定

(分析機関)

・株式会社 DGC テクノロジー

(測定項目)

土壤微生物多様性・活性値分析

土壤の中に生息している微生物全体の能力を表す。活性値の高い土壤は、土壤消毒をしなくても連作障害などを起こしにくい。また、土壤の硬度にも大きく関係している。

5-1-4 各実験区の土壤づくり

各実験区は、広さ 2 m×1m とし、下記の方法で整備する。

(1) 発酵区

1m²あたり有機資材(野菜くず) 10kg、ぼかし(米ぬか) 1.5kg を土壤に投入し、混ぜ込む。野菜くずの水分が多いと、好気性発酵が行われないため、なるべく水分が少ない葉物を中心としたものを利用する。

畝上げを行い、ビニールシートで全体を覆い、養生期間を設ける。

(2) 水分の多い発酵区(腐敗区)

1m²あたり有機資材(野菜残さ) 10kg、ぼかし(米ぬか) 1.5kg を土壤に投入し、混ぜ込む。土壤に水をかけ、土壤の中まで水分が十分に浸るように混ぜ込む。水分が多いため、嫌気性発酵が行われる。

畝上げを行い、ビニールシートで全体を覆い、養生期間を設ける。

(3) 無処理区(慣行区)

畝上げを行い、ビニールシートで全体を覆い、養生期間を設ける。

なお、養生期間は、おおよそ 2 カ月とする。

5-1-5 土壤センサーの設置方法

各土壤センサーの設置方法は、以下の通りとする。

(1) 5 土壤水分・温度・EC センサー (5TE)

- ① 各実験区に、2m に等間隔で 3 箇所センサーを入れる穴を掘る。
- ② センサーは 1 箇所につき、深さ 10cm、25cm、40cm の 3 箇所に設置する。

- ③ センサーを設置後、土壌とセンサーとの隙間を埋めるように赤玉土（赤土を乾燥させた無菌の弱酸性土）を入れる。
- ④ 各実験区には、3（場所）×3（深さ）の9本のセンサーを設置し、圃場全体で27本のセンサーを設置する。
- ④ 5ch データロガー（Em50）1台に3本のセンサーを接続し、1時間ごとに計測したデータを保存する。

※なお、高木地区実験圃場およびJA管内実験圃場については、実験区は発酵区のみとし、センサーも1箇所のみ設置する。

（2）無線土壌センサー（SenSu-17G0）

- ① 発酵区の1箇所にセンサーを入れる穴を掘る。
- ② センサーは1箇所につき、深さ10cm、25cm、40cmの3箇所に設置する。
- ③ センサーを設置後、土壌とセンサーとの隙間を埋めるように赤玉土を入れる。
- ④ 発酵区のみ1（場所）×3（深さ）の3本のセンサーを設置する。
- ⑤ センサー1本に対し、無線通信ユニット（子機）1台を接続する。
- ⑥ 3G通信ユニット（親機）は子機からの計測データを1時間ごとに受信する。
- ⑦ 親機のデータは、クラウドサーバーで保存する。

以下に、土壌センサー埋設のイメージ図を示す。

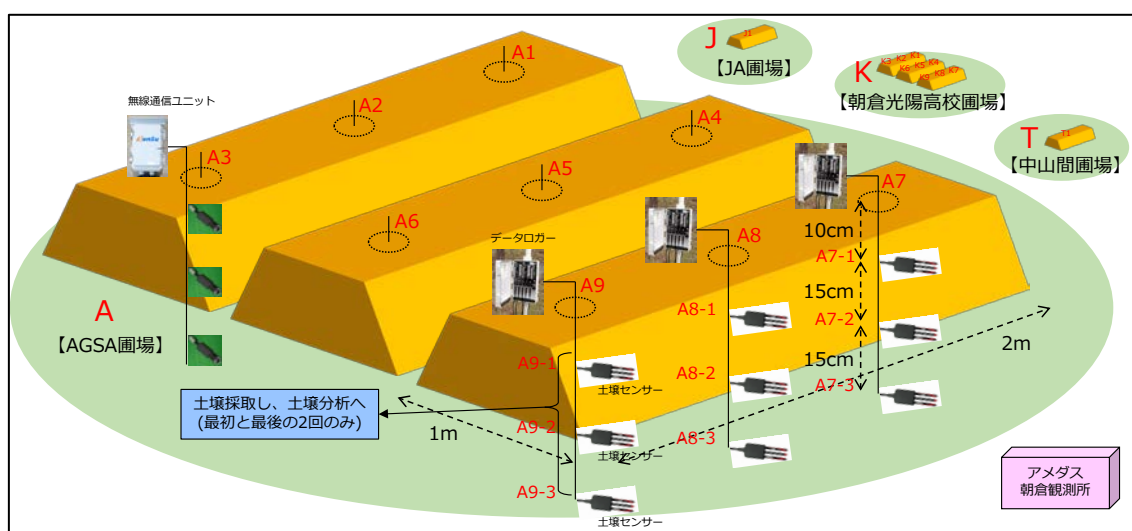


図 6 土壌センサー埋設のイメージ図

5-1-6 土壌硬度計の測定方法

土壌硬度計での測定方法は、以下のとおりとする。

- ① センサーを設置した場所（各実験区に付き3箇所。JA管内実験圃場、高木地区実験圃場については、1箇所）ごとに測定する。

- ② 約 2 週間に 1 回の割合で測定する。
- ③ 測定したデータは、実験区ごとに名前をつけて保存する。

5-1-7 アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場整備

- (1) 作業日：2016 年 10 月 6 日
- (2) 事前準備（有機資材づくり）

発酵区、腐敗区を整備するために、有機資材として野菜くずを集めて、細かく粉砕する。粉砕した野菜にぼかし（米ぬか）を投入し、よく混ぜる。

野菜くずは 1m²に対して、10kg。ボカシ 1.5kg を目安とする。



■野菜くず粉砕



■ぼかし投入

図 7 有機資材づくり

- (3) 5 土壌水分・温度・EC センサー（5TE）の設置準備

地上から深さ 10cm、25cm、40cm のところにセンサーを埋設（固定）するためにプラスチックの棒にテープでセンサーを固定する。

データロガーには 3 つのセンサーを接続し、設置する実験区ごとに、慣行区 A1～A3、発酵区 A4～A6、腐敗区 A7～A9 と分類する。センサーは深さごとに 1,2,3 と枝番を付ける。例えば、データロガー A1、センサー 1（深さ 10cm）の場合、A1-1 となる。

データロガーには、1 時間ごとにデータを記録するように設定する。



■センサーをテープで固定



■完成

図 8 センサー設置準備

(4) 5 土壌水分・温度・EC センサー (5TE) の設置

プラスチックの棒に縦にセンサーを 3 つ固定し、土壌の中に埋設する。

センサーを埋設した場所には、赤玉土 (赤土を乾燥させた無菌の弱酸性土) を入れ、センサーと土壌の間に隙間が空かないようにする。

データロガーは防水ではあるが、故障を防ぐため、支柱を立てそこに張り付ける。支柱には、天候の影響を受けにくいように、底を設置する。

畝には、雨水の影響を受けないようにブルーシートで覆い、土嚢で固定する (写真 (実験区全体) 手前から発酵区、慣行区、腐敗区)。



■センサー埋設



■実験圃場全体

図 9 センサー設置

(5) 土壌硬度計での硬度測定

土壌硬度計を使い、センサーを設置した場所（9箇所）の硬度を計測する。

計測データは、付属のデータ表示器の画面で確認できるため、正しく計測されたか確認後、データ表示器内に保存する。データを保存する際には、他のデータを区別するため、データロガーに付けた分類番号（慣行区 A1～A3、発酵区 A4～A6、腐敗区 A7～A9）を付加した名前で保存する。



■測定作業



■データ表示器

図 10 土壌硬度測定

(6) 土壌サンプル採取（分析依頼）

実験開始時の土壌サンプルを採取し、土壌分析（化学性、生物性）と土壌微生物の多様性・活性値の測定を分析機関に依頼する。実験終了後に、再度、土壌サンプルを採取し、分析した結果と比較する。土壌分析（化学性）はセンサーを設置した場所（9（場所）×3（深さ）計 27 点）、土壌分析（生物性）と土壌微生物の多様性・活性値の測定は、センサーを設置した場所（9（場所）×1（深さ）計 9 点）について実施する。



■土壌分析（化学性、生物性）



■土壌微生物の多様性・活性値の測定

図 11 土壌サンプル採取

5-1-8 朝倉光陽高校実験圃場整備

朝倉光陽高校実験圃場の整備では、高校と共同で実験を行っていることから、テレビ局、地元新聞社からの取材が行われた。なお、ニュース番組での放送や新聞への掲載は行われていない。

（１）作業日：2016年11月1日

（２）事前準備（有機資材づくり）

発酵区、腐敗区を整備するために、有機資材として野菜くずを集めて、細かく粉砕する。粉砕した野菜にぼかし（米ぬか）を投入し、よく混ぜる。

野菜くずは 1m²に対して、10kg。ボカシ 1.5kg を目安とする。



■野菜くず粉砕



■ぼかし投入

図 12 有機資材づくり

(3) 5 土壌水分・温度・EC センサー (5TE) の設置準備

地上から深さ 10cm、25cm、40cm のところにセンサーを埋設（固定）するためにプラスチックの棒にテープでセンサーを固定する。

データロガーには 3 つのセンサーを接続し、設置する実験区ごとに、慣行区 K1～K3、発酵区 K4～K6、腐敗区 K7～K9 と分類する。センサーは深さごとに 1,2,3 と枝番を付ける。例えば、データロガー K1、センサー 1（深さ 10cm）の場合、K1-1 となる。

データロガーには、1 時間ごとにデータを記録するように設定する。



図 13 センサー準備

(4) 5 土壌水分・温度・EC センサー (5TE) の設置

プラスチックの棒に縦にセンサーを 3 つ固定し、土壌の中に埋設する。

センサーを埋設した場所には、赤玉土（赤土を乾燥させた無菌の弱酸性土）を入れ、センサーと土壌の間に隙間が空かないようにする。

データロガーは防水ではあるが、故障を防ぐため、支柱を立てそこに張り付ける。支柱には、天候の影響を受けにくいように、底を設置する。

畝には、雨水の影響を受けないようにブルーシートで覆い、土嚢で固定する（写真（実験区全体）手前から腐敗区、慣行区、発酵区）。



■センサー埋設



■実験圃場全体

図 14 センサー設置

(5) 土壌硬度計での硬度測定

土壌硬度計を使い、センサーを設置した場所（9箇所）の硬度を計測する。

計測データは、付属のデータ表示器の画面で確認できるため、正しく計測されたか確認後、データ表示器内に保存する。データを保存する際には、他のデータを区別するため、データロガーに付けた分類番号（慣行区 K1～K3、発酵区 K4～K6、腐敗区 K7～K9）を付加した名前で保存する。

(6) 土壌サンプル採取（分析依頼）

実験開始時の土壌サンプルを採取し、土壌分析（化学性、生物性）と土壌微生物の多様性・活性値の測定を分析機関に依頼する。実験終了後に、再度、土壌サンプルを採取し、分析した結果と比較する。土壌分析（化学性）はセンサーを設置した場所（9（場所）×3（深さ） 計 27 点）、土壌分析（生物性）と土壌微生物の多様性・活性値の測定は、センサーを設置した場所（9（場所）×1（深さ）計 9 点）について実施する。

5-1-9 高木地区実験圃場整備

(1) 作業日：2016 年 12 月 26 日

(2) 事前準備（有機資材づくり）

高木地区実験圃場では、発酵区のみを整備し、他の実験圃場とのデータを比較する。発酵区を整備するために、有機資材として野菜くずを集めて、細かく粉砕する。粉砕した野菜にボカシ（米ぬか）を投入し、よく混ぜる。

野菜くずは 1m²に対して 10kg、ぼかし 1.5kg を目安とする。

(3) 5 土壌水分・温度・EC センサー（5TE）の設置準備

地上から深さ 10cm、25cm、40cm のところにセンサーを埋設（固定）するためにブ

プラスチックの棒にテープでセンサーを固定する。

データロガーには3つのセンサーを接続し、設置する実験区ごとに、慣行区 T1～T3 と分類する。センサーは深さごとに 1,2,3 と枝番を付ける。例えば、データロガー T1、センサー1（深さ 10cm）の場合、T1-1 となる。

データロガーには、1 時間ごとにデータを記録するように設定する。

（4）5 土壌水分・温度・EC センサー（5TE）の設置

プラスチックの棒に縦にセンサーを3つ固定し、土壌の中に埋設する。

センサーを埋設した場所には、赤玉土（赤土を乾燥させた無菌の弱酸性土）を入れ、センサーと土壌の間に隙間が空かないようにする。

データロガーは防水ではあるが、故障を防ぐため、支柱を立てそこに張り付ける。畝には、雨水の影響を受けないようにブルーシートで覆い、土嚢で固定した。



図 15 実験圃場全体

5-1-10 JA 管内実験圃場整備

（1）作業日：2016 年 12 月 26 日

（2）事前準備（有機資材づくり）

JA 管内実験圃場では、発酵区のみを整備し、他の実験圃場とのデータを比較する。発酵区を整備するために、有機資材として野菜くずを集めて、細かく粉砕する。粉砕した野菜にぼかし（米ぬか）を投入し、よく混ぜる。

野菜くずは 1m² に対して 10kg、ぼかし 1.5kg を目安とする。

（3）5 土壌水分・温度・EC センサー（5TE）の設置準備

地上から深さ 10cm、25cm、40cm のところにセンサーを埋設（固定）するためにプラスチックの棒にテープでセンサーを固定する。

データロガーには3つのセンサーを接続し、設置する実験区ごとに、発酵区 J1～J3 と分類する。センサーは深さごとに 1,2,3 と枝番を付ける。例えば、データロガー J1、センサー1（深さ 10cm）の場合、J1-1 となる。

データロガーには、1 時間ごとにデータを記録するように設定する。



図 16 実験圃場全体

5-1-1 1 無線土壌センサー（SenSu）の設置

（1）作業日時： 2016 年 12 月 20 日

（2）設置場所

- ①アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場
- ②朝倉光陽高校実験圃場

（3）事前準備

機材を圃場に設置する前に、土壌センサーで取得したデータをクラウドサーバーへ送るための仕組みを NEC ソリューションイノベータ株式会社で開発し、動作試験を実施。

（4）センサーの設置準備

地上から深さ 10cm、25cm、40cm のところにセンサーを埋設（固定）するためにプラスチックの棒にテープでセンサーを固定する。

無線通信ユニット（子機）1 台には 1 つのセンサーを接続し、アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場は A、朝倉光陽高校実験圃場は K、深さごとに 1,2,3 と枝番を付ける。例えば、アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場のセンサー1（深さ 10cm）の場合、A-1 となる。

3G 通信ユニット（親機）は子機からの計測データを 1 時間ごとに受信し、記録するように設定する。

（5）センサーの設置

プラスチックの棒に縦にセンサーを 3 つ固定し、土壌の中に埋設する。

センサーを埋設した場所には、赤玉土（赤土を乾燥させた無菌の弱酸性土）を入れ、センサーと土壌の間に隙間が空かないようにする。

無線通信ユニット（子機）は防水ではあるが、故障を防ぐため、支柱に張り付ける。3G 通信ユニット（親機）は、電源のある場所に設置し、子機と親機が通信しているかを確認する。



■3G 通信ユニット（親機）



■無線通信ユニット（子機）

図 17 センサー設置

5-2 センシングネットワーク構築

本事業では、土壌センサー、土壌硬度計で測定したデータ、土壌サンプルを分析機関で分析したデータ、アメダス（気象庁）の気象データ等をクラウドサーバー（AWS（Amazon Web Service））に取り込み、発酵土壌作りの仕組みを分析するためのシステムを構築する。土壌センサー（SenSu）については、3G 通信で自動的にクラウドサーバーへ取り込むが、自動的に取り込みができないものについては、以下の方法でクラウドサーバーに取り込む。

表 1 各種データのクラウドサービスへの取込方法

	データ形式	クラウドサーバーへの取込方法
5 土壌水分・温度・EC センサー（5TE）	CSV ファイル （電子データ）	パソコンで加工した後、アップロード
土壌硬度計	CSV ファイル （電子データ）	パソコンで加工した後、アップロード
土壌分析（化学性、生 物性）	分析レポート （紙媒体）	手入力
土壌微生物の多様性・ 活性値	分析レポート （紙媒体）	手入力
アメダスの気象データ	CSV ファイル （電子データ）	パソコンで加工した後、アップロード

クラウドサーバーに取り込んだ各種データは、分析ツールによって、データ分析を行う。
以下に、本事業のシステム全体イメージを示す。

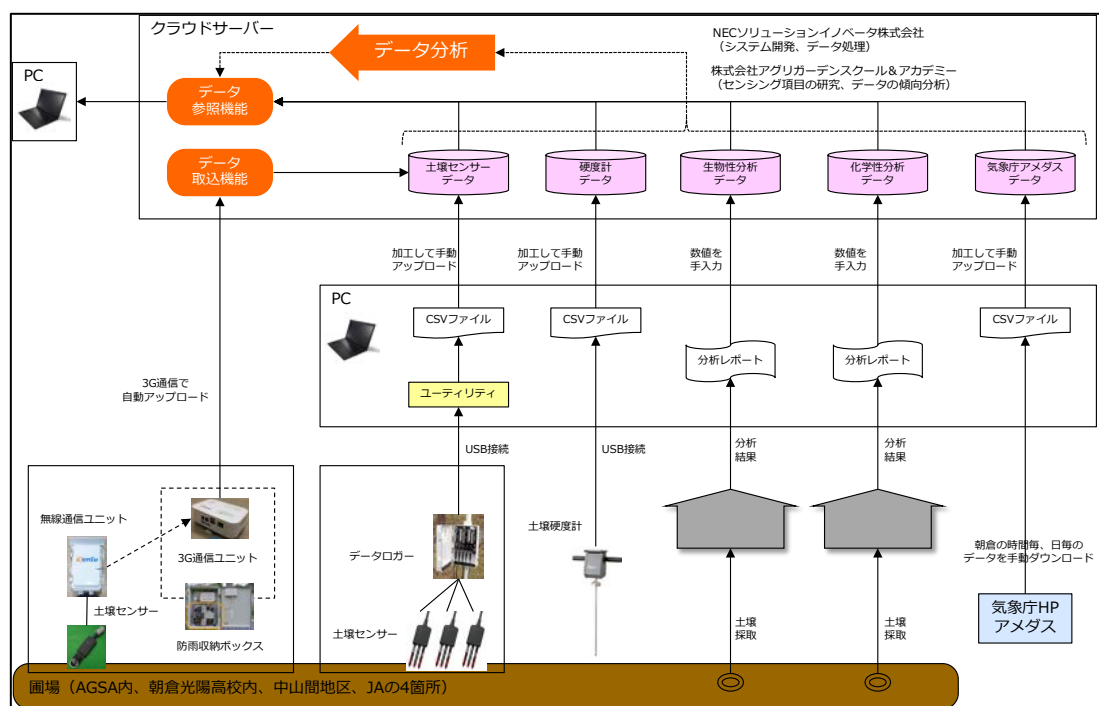


図 18 システム全体イメージ図

5-3 データベース構築

本事業においては、クラウドサーバー上に取得した各種データを保存するためのデータベースを設計する。

ER 図は以下の通りである。

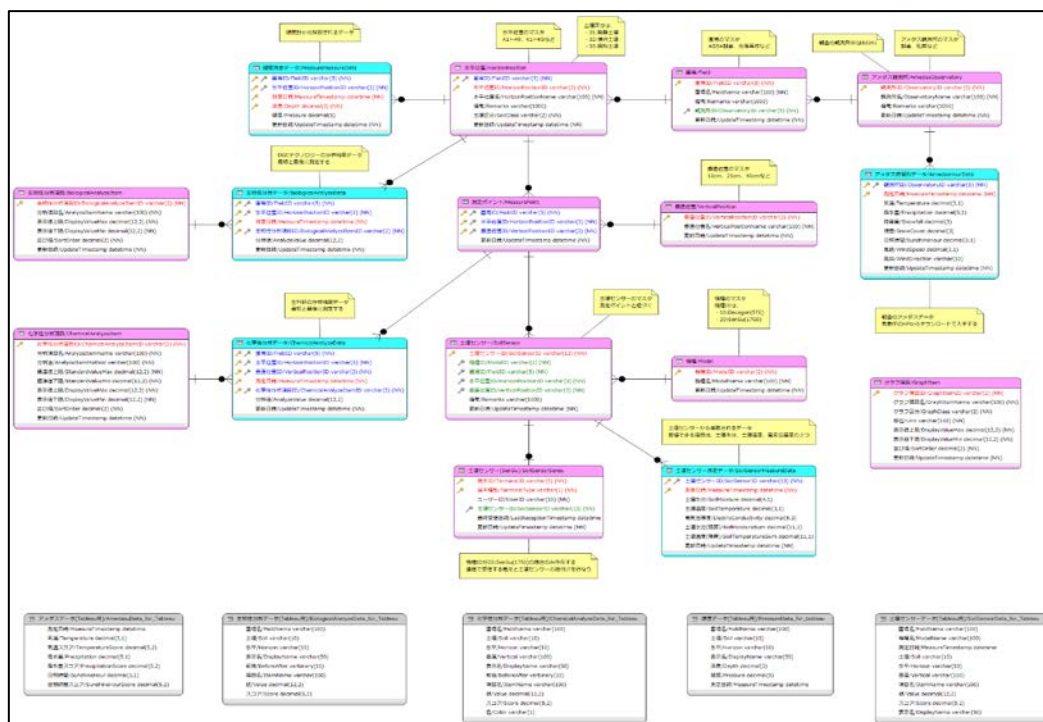


图 19 ER 图

5-4 データ分析・考察

本事業では、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場、JA 管内実験圃場、高木地区実験圃場にて、土壌センサーによって土壌温度、水分、EC を計測し、土壌硬度、分析機関による土壌分析を行った。それらの結果をグラフ化し、各実験区との違いを分析した結果を以下にまとめる。ただし、JA 管内実験圃場、高木地区実験圃場については、発酵区のみ整備し、センサーを一ヶ所のみ設置しており、他の実験圃場とは条件が異なるため参考とする。

なお、各グラフでは、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場、JA 管内実験圃場、高木地区実験圃場をそれぞれ AGSA 圃場、光陽高校、JA 朝倉、高木圃場と表記している。

5-4-1 土壌温度

土壌センサーで計測した土壌の温度についてのグラフを以下に示す。

AGSA 実験圃場は 2016 年 10 月 7 日、朝倉光陽高校実験圃場は 2016 年 11 月 2 日に計測を開始した。各実験区でのグラフの動きをみると、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも計測開始から約 10 日間は、発酵区の土壌の温度が最も高い傾向にある。これは、発酵区の土壌が微生物の活動にはよい状態であるものと考えられる。

その後、2016 年 11 月 26 日前後までの期間は、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも腐敗土壌の温度が発酵土壌の温度より高くなる傾向にある。この時点では、発酵区の土壌で微生物の活動が収まりはじめ、一方で、腐敗区の土壌が微生物の活動にはよい状態になったためと考えられる。

2016 年 11 月 26 日前後からは、全ての土壌、深度の温度が低くなるとともに、同じ圃場・深度であれば、土壌間の温度差は小さくなる傾向にある。この時点では、気温が低くなったために、微生物の活動がしにくくなったと考えられる。しかし、微生物の活動は続いているため、わずかではあるが、慣行区の土壌より高い温度を保っている。

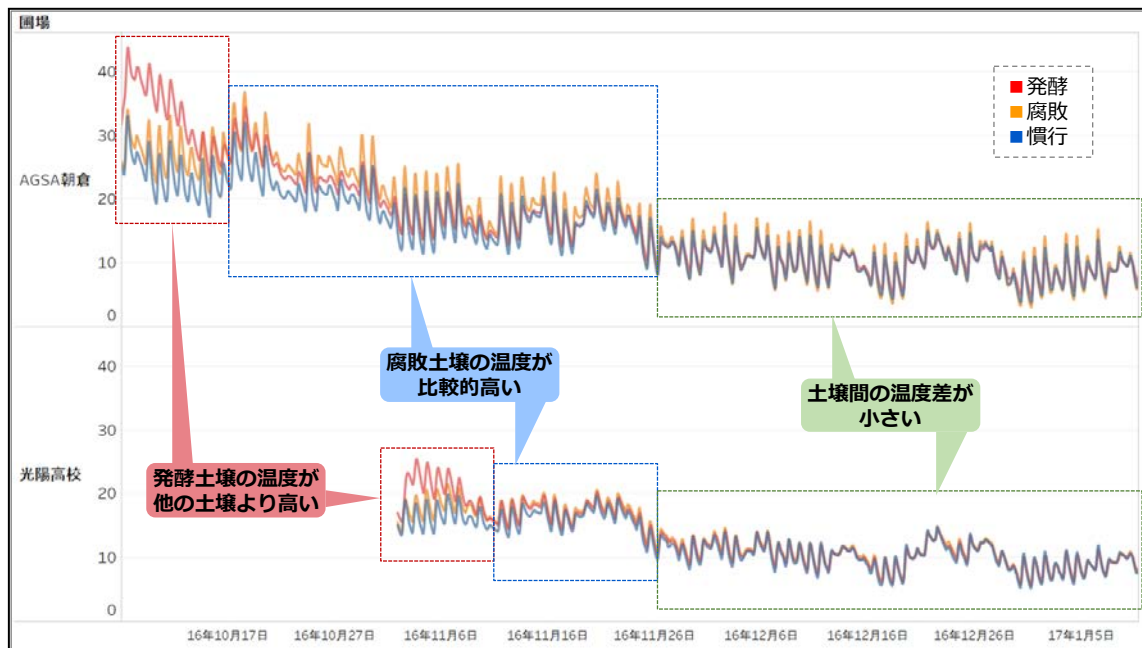


図 20 圃場別土壌別地中温度推移（深度 10cm 前方・中央・後方平均値）

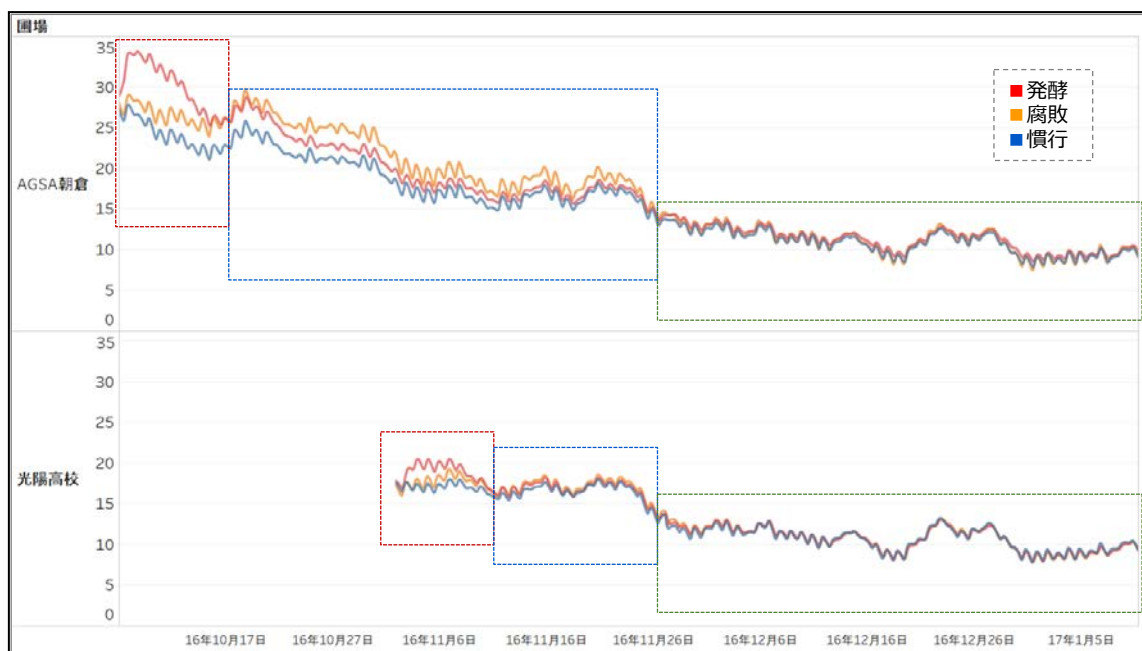


図 21 圃場別土壌別地中温度推移（深度 25cm 前方・中央・後方平均値）

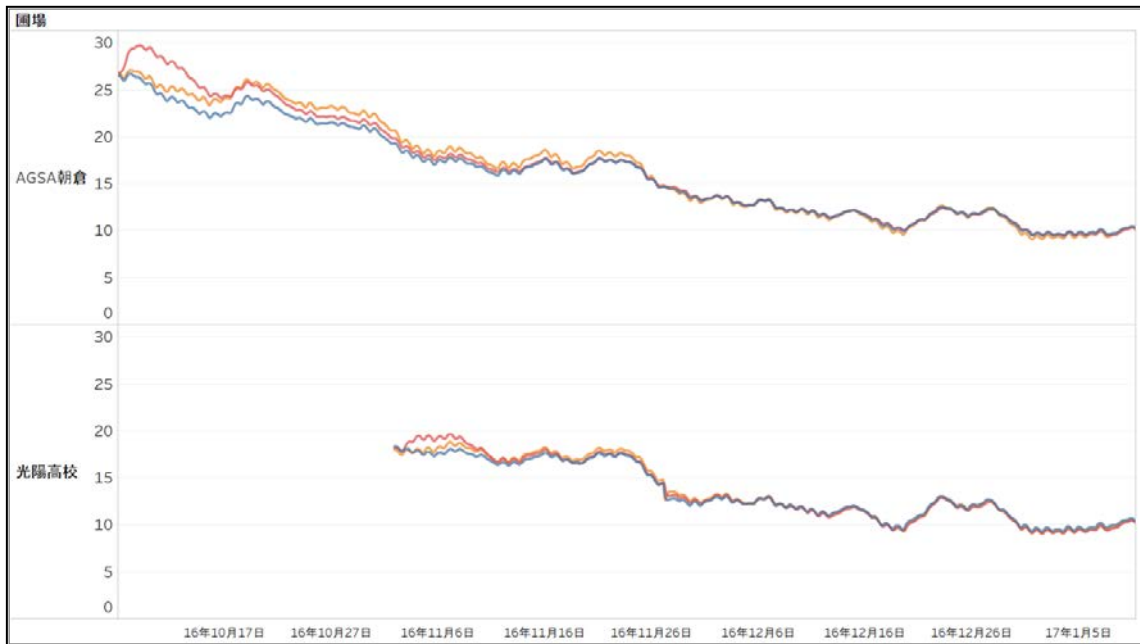


図 22 圃場別土壌別地中温度推移（深度 40cm 前方・中央・後方平均値）

次に、土壌の温度は、1 時間おきの計測データでは、振れ幅が大きいことから、24 時間での移動平均値より平準化した値を求め、推移をグラフ化した。なお、24H 移動平均値とは、測定時刻を含み 24 時間分温度の値の総和を 24 で割った値である。

24H 移動平均値グラフを見ると、先の 1 時間おきにプロットしたグラフの傾向が鮮明になった。さらに、地中温度の 24H 移動平均値グラフに、アメダスデータの気温の 24 時間移動平均値推移、降水量推移、日照時間推移をそれぞれ重ね合せてみると、地中温度は気温に最も影響を受けているように観測された。

また、地中温度とアメダスの気温のグラフでは、土壌間の温度差が小さくなる 2017 年 11 月 26 日前後から最高気温が 16 度付近をあまり超えなくなっている。1 日間での最高温度、一定以上の温度の継続等が微生物の活動に影響を与えている可能性が考えられる。

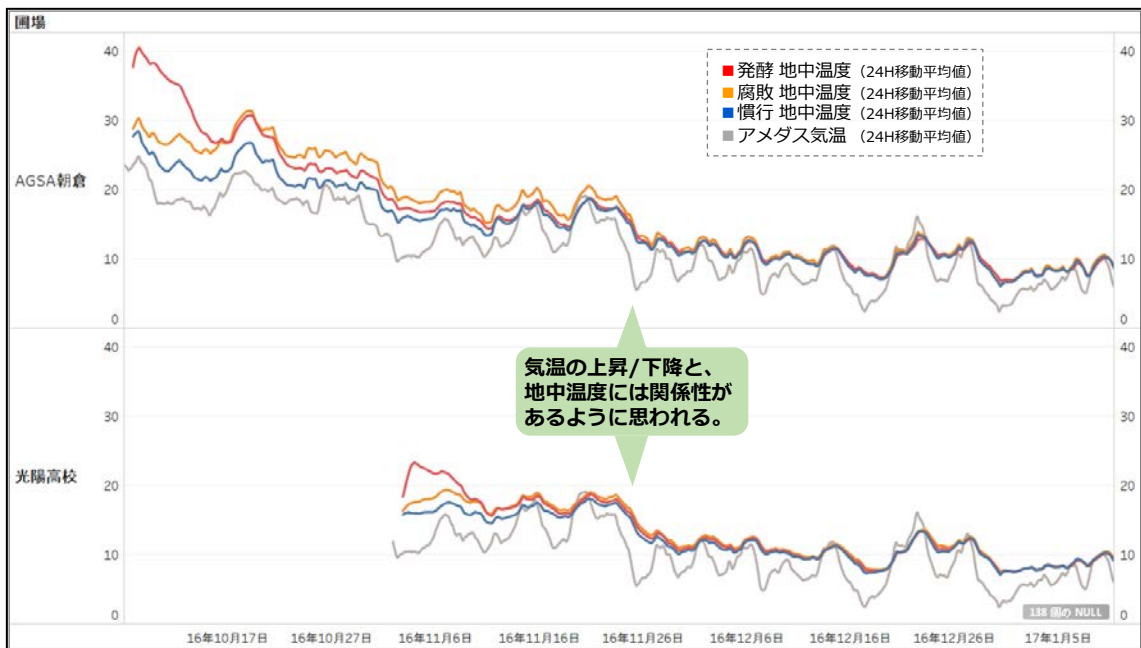


図 23 圃場別土壌別地中温度推移 (24H 移動平均 深度 10cm 前方・中央・後方平均値)

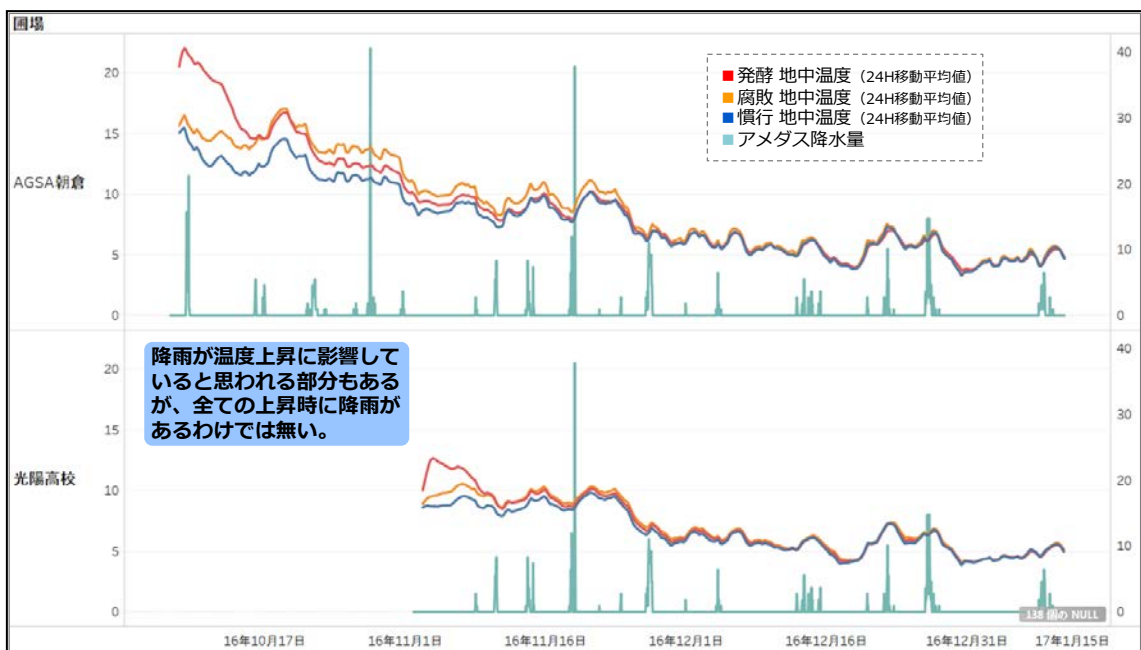


図 24 圃場別土壌別地中温度推移とアメダス降水量 (24H 移動平均 深度 10cm 前方・中央・後方平均値)

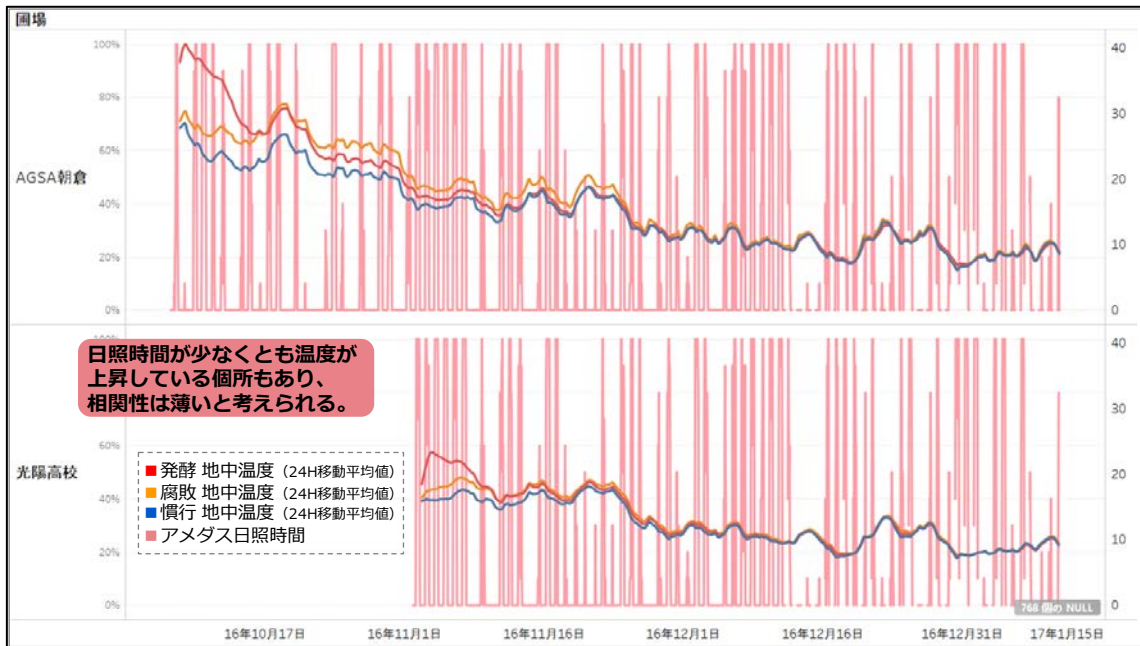


図 25 圃場別土壌別地中温度推移とアメダス日照時間 (24H 移動平均 深度 10cm 前方・中央・後方平均値)
(参考)

以下は、JA 管内実験圃場と高木地区実験圃場の発酵区の土壌温度のグラフである。測定した期間が短く、気温も下がっていることから、温度の変化はあまり見られないが、JA 管内実験圃場と高木地区実験圃場ともに、深度 10cm が気温に最も影響していることが分かる。特に、高木地区実験圃場は、深度 10cm の温度が他の深度よりも低いところが多く、気温が低いと深度が浅い土壌では土壌温度にも大きく影響することが分かる。

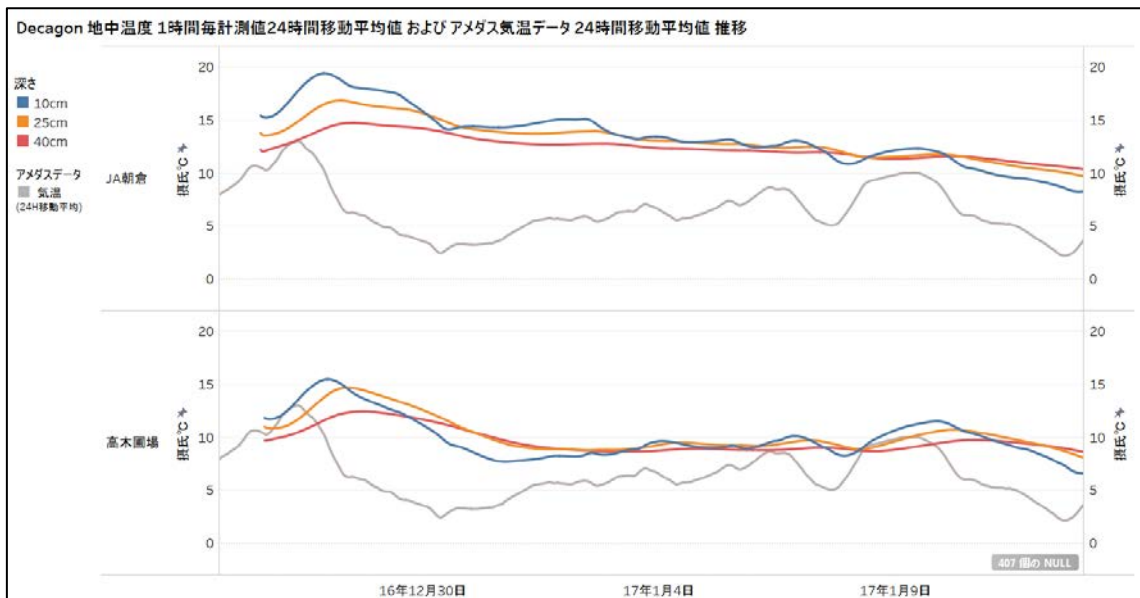


図 26 圃場別発酵区地中温度推移 (24H 移動平均 深度別)

5-4-2 土壌水分

土壌センサーで計測した土壌中の水分についてのグラフを以下に示す。

AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場と計測値の傾向が大きく異なっている。朝倉光陽高校圃場は、降雨時に著しく積含水量の値が上がるが、AGSA 実験圃場では大きな変化は見られない。これは、AGSA 実験圃場は、土が壤土で下層は砂利土であり、水捌けがよいのに対して、朝倉光陽高校実験圃場は、砂壤土であり、もともと水田だったところに盛土をしているため、土壌の下層は堅く、水はけが悪いのが影響しているのではと考えられる。また、AGSA 実験圃場での土壌センサーは、先端にキャップをしたままで埋設してしまったため、その影響が大きいと考えられる。

AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも発酵土壌は、積含水量が他の土壌に対して低く、降水による変化の度合いも他の土壌より小さい。これは、発酵土壌は、微生物の活動により団粒構造が形成され、土壌の保水性と排水性が高まった結果と考えられる。

朝倉光陽高校実験圃場は、11月19日午前6時の集中的降雨を境に、慣行土壌の積含水量が発酵土壌の値を上回り、その傾向は計測完了時点まで続いている。これに対して、発酵土壌は、降雨時に一時的に積含水量は上がるものの降雨終了後は、従前の値近くに戻っている。これから発酵土壌は、微生物の活動により団粒構造が形成されていることが伺える。この現象は、深度40cmのグラフからも見ることができ、実験区にブルーシートを被せていても、集中的降雨の場合は、実験区外の土壌に染み込んだ水分が実験区の土壌に影響をもたらすと考えられる。

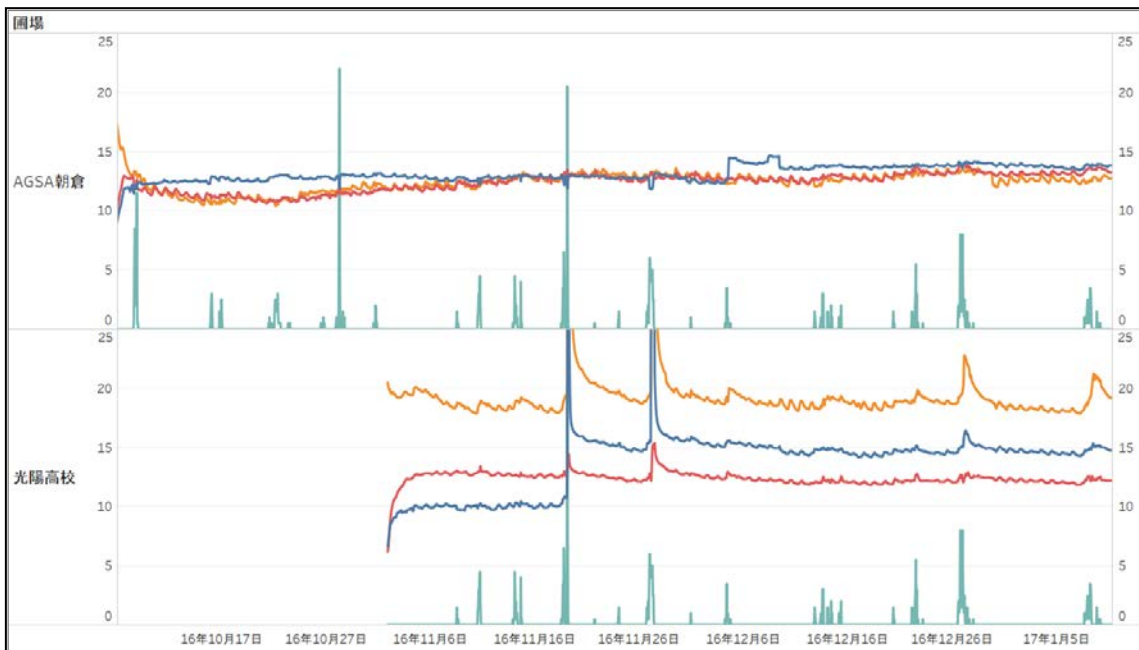


図 27 圃場別土壌別積含水量推移（深度 10cm 前方・中央・後方平均値）

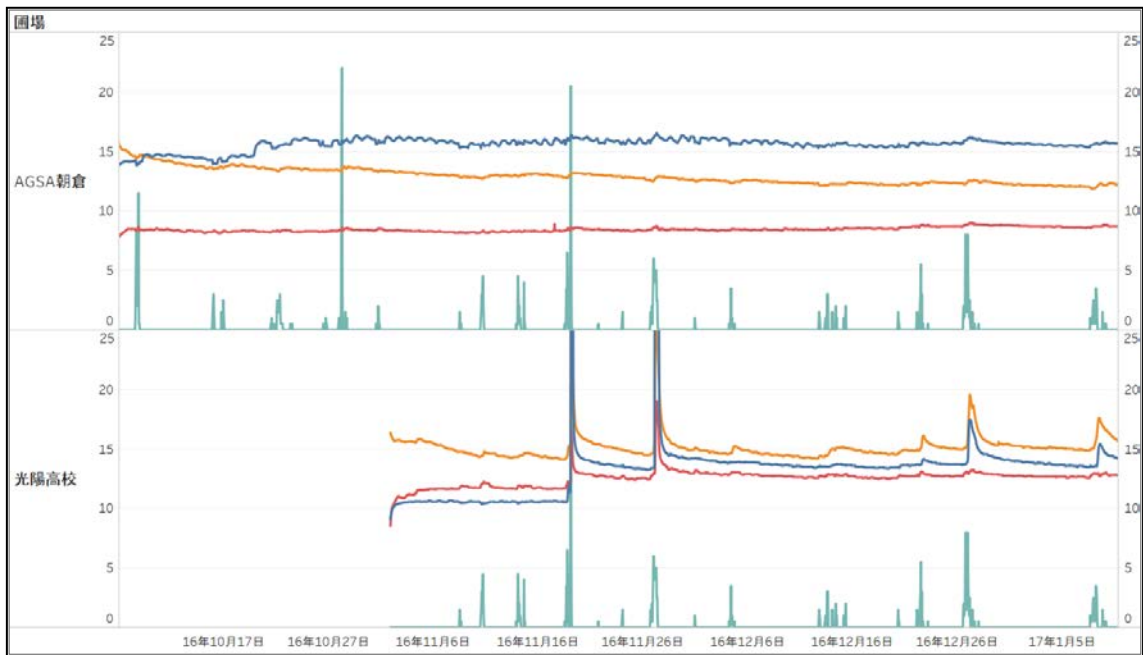


図 28 圃場別土壌別積含水量推移（深度 25cm 前方・中央・後方平均値）

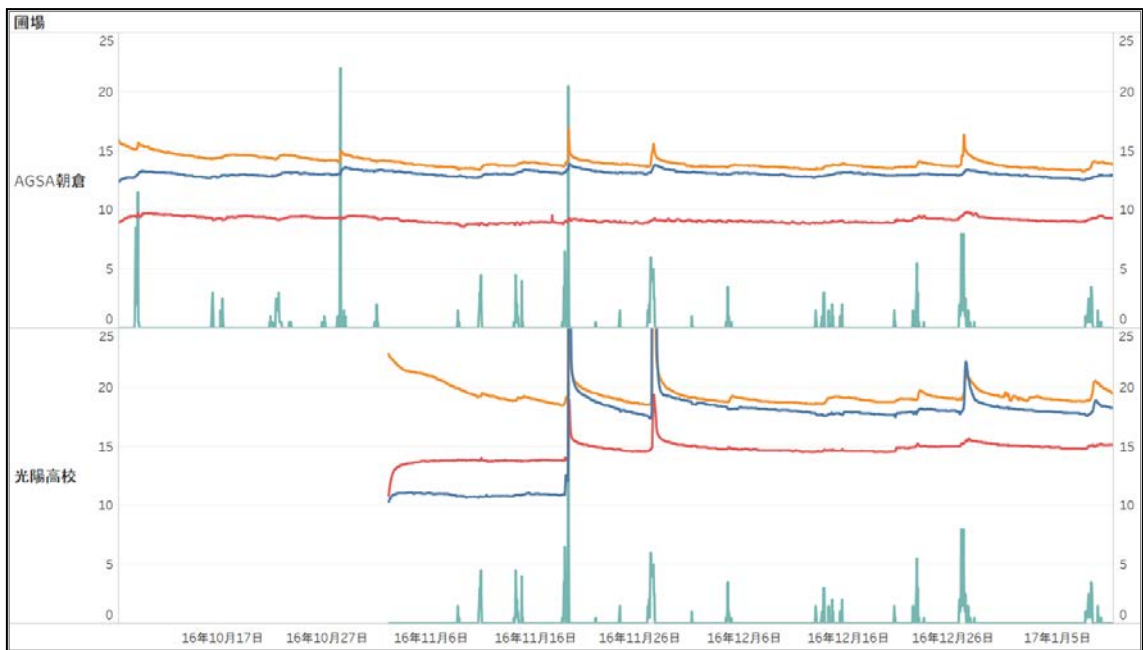


図 29 圃場別土壌別積含水量推移（深度 40cm 前方・中央・後方平均値）

5-4-3 EC（電気伝導率）

土壌センサーで計測した土壌中の EC についてのグラフを以下に示す。

AGSA 実験圃場の深度 10cm のグラフでは、発酵区、腐敗区が大きく値が変動しているのに対し、深度 25cm、深度 40cm のグラフでは、値の変動が少なく、大きく傾向が異なっている。朝倉光陽高校実験圃場では、降雨時に激しく EC の値が影響を受けている。特に、腐敗区の影響が大きい。

AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場はともに腐敗区、慣行区、発酵区の順で値が大きい。また、朝倉光陽高校圃場の腐敗土壌は、平常時（降雨等による変化がない安定期）の電気伝導率は、深度 10cm、40cm、25cm の順に高く（中間の 25cm が一番低い）、これは、積含水量についても同様の傾向が見られており、電気伝導率は土壌の水分量の影響を大きく受けることが考えられる。

後述する土壌化学性分析の結果をみると、計測開始前の土壌の電気伝導率よりも計測終了後の土壌の電気伝導率が高いのに対し、土壌センサーの電気伝導率は必ずしも高くはなっておらず、正確な測定が出来ていないと考えられる。したがって、土壌センサーでの電気伝導率測定は、土壌の水分量の影響が大きく、発酵土壌づくりの過程を土壌センサーで計測するのは、有効ではないと考えられる。

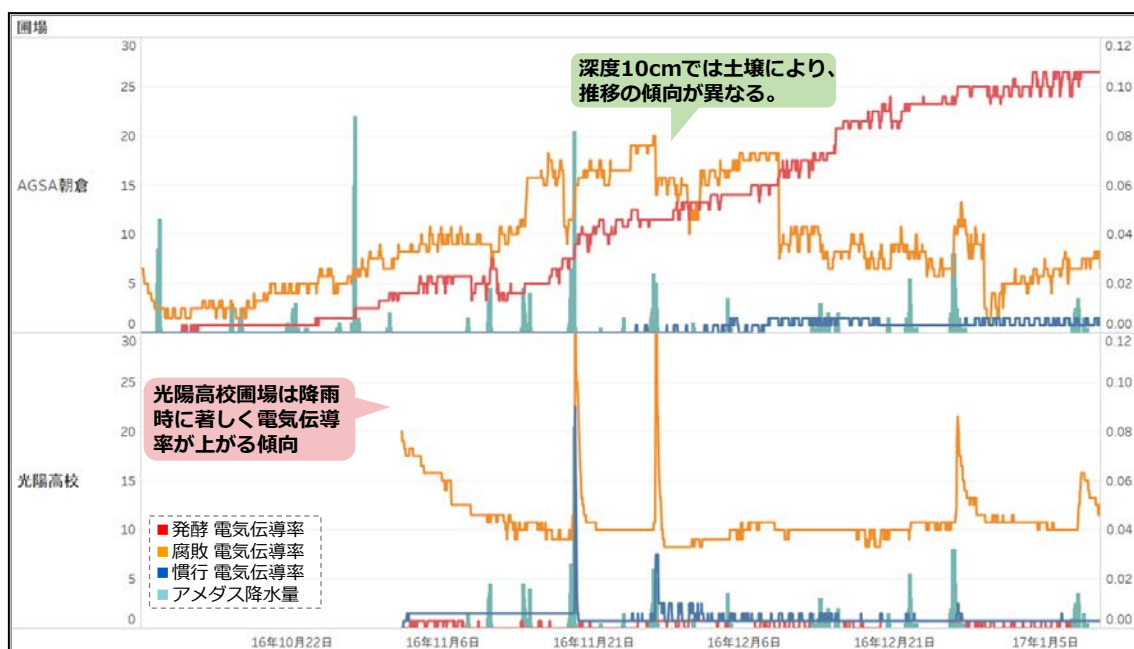


図 30 圃場別土壌別電気伝導率推移（深度 10cm 前方・中央・後方平均値）

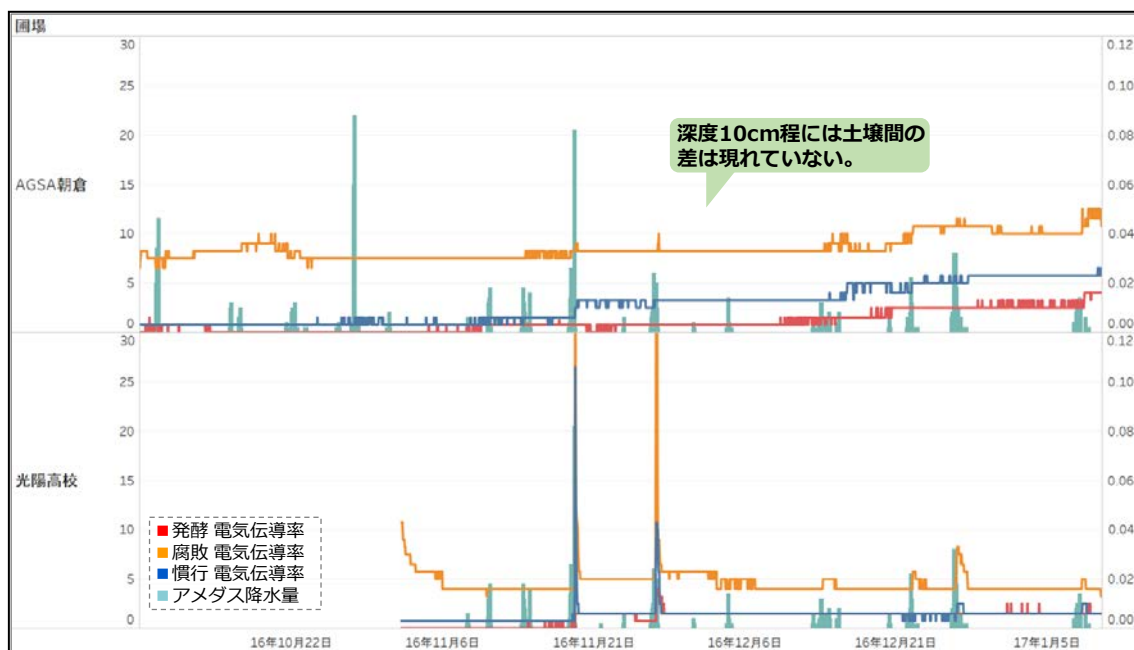


図 31 圃場別土壌別電気伝導率推移（深度 25cm 前方・中央・後方平均値）



図 32 圃場別土壌別電気伝導率推移（深度 40cm 前方・中央・後方平均値）

5-4-4 土壌硬度

土壌硬度計で計測した土壌硬度についてのグラフを以下に示す。

土壌硬度については、AGSA 実験圃場にて計測を開始した 2016 年 10 月より定期的に計測してきたが、計測する人によって計測方法および収集データ整理の仕方が異なるなどの問題があったため、有効なデータのみをグラフ化した。

AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも、発酵活動が収まった時期からのデータであったため、計測日時で比較では、日時経過による硬度の変化は確認できなかった。しかし、土壌によって硬度が変化するポイント（深度）には、傾向が見られ、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも発酵土壌が最も深い深度で変化している。これは、発酵による団粒構造形成の影響と考えられる。団粒構造形成が土壌深くまで進むことで、土壌全体が水はけも良く、通気性、保水性も良くなることで、微生物の活動も活発になり、作物の栽培に適したものとなる。

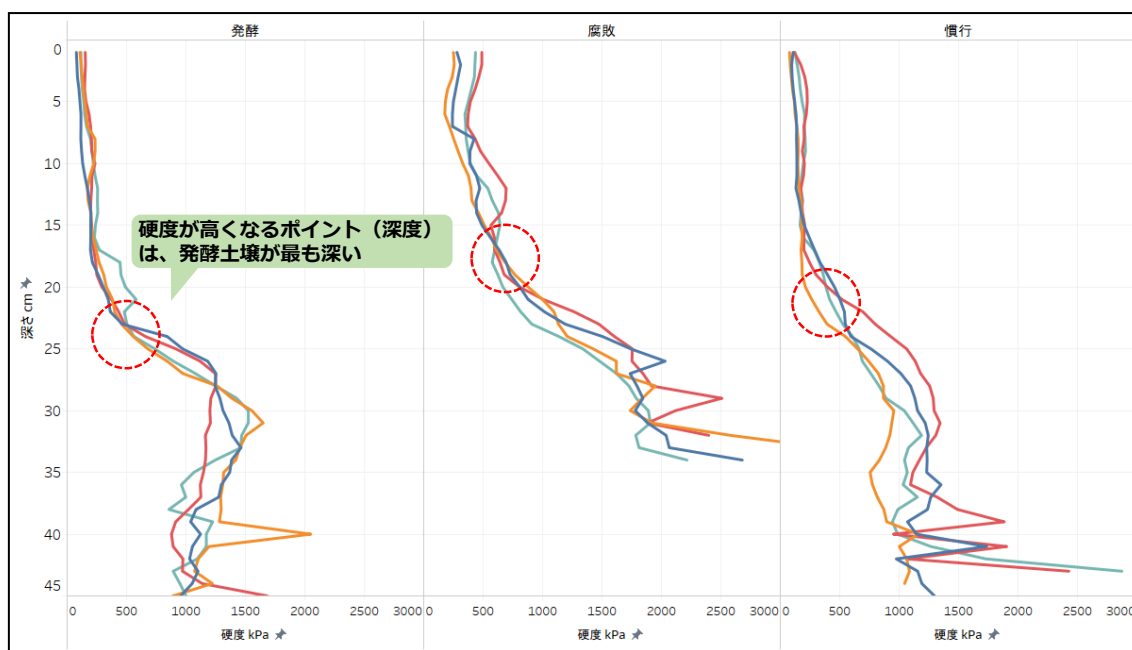


図 33 圃場別土壌硬度推移 AGSA 実験圃場（前方・中央・後方平均値）

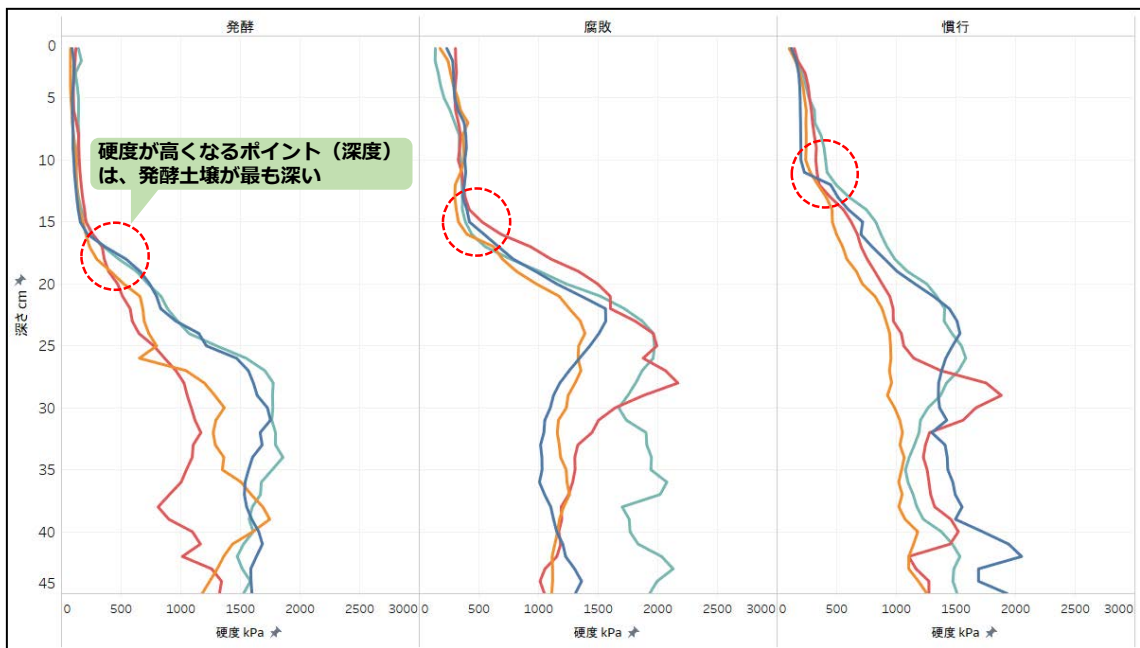


図 34 圃場別土壌硬度推移 朝倉光陽高校実験圃場（前方・中央・後方平均値）

5-4-5 土壌化学性分析

土壌化学性分析の結果を以下に示す。

発酵区では、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場とも、深度 10cm において各値が実験開始前（Before）と実験終了後（After）で大きく変化しており、深度 25cm、40cm と深くなるにつれて、変化が小さくなっている。深度によって、発酵活動の影響が小さくなると考えられる。一方、腐敗区では、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校圃場とでは、異なった傾向が見られ、AGSA 実験圃場では、発酵区と同様な変化が見られるが、朝倉光陽高校では、あまり大きな変化は見られない。朝倉光陽高校の実験区は、水捌けがよくなく、実験開始後まもなく気温が下がったため、土壌の水分量が多く、十分に発酵活動ができなかったためではないかと考えられる。

慣行区については、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校圃場とも大きな変化はなく、発酵活動が行われなかったと考えられる。

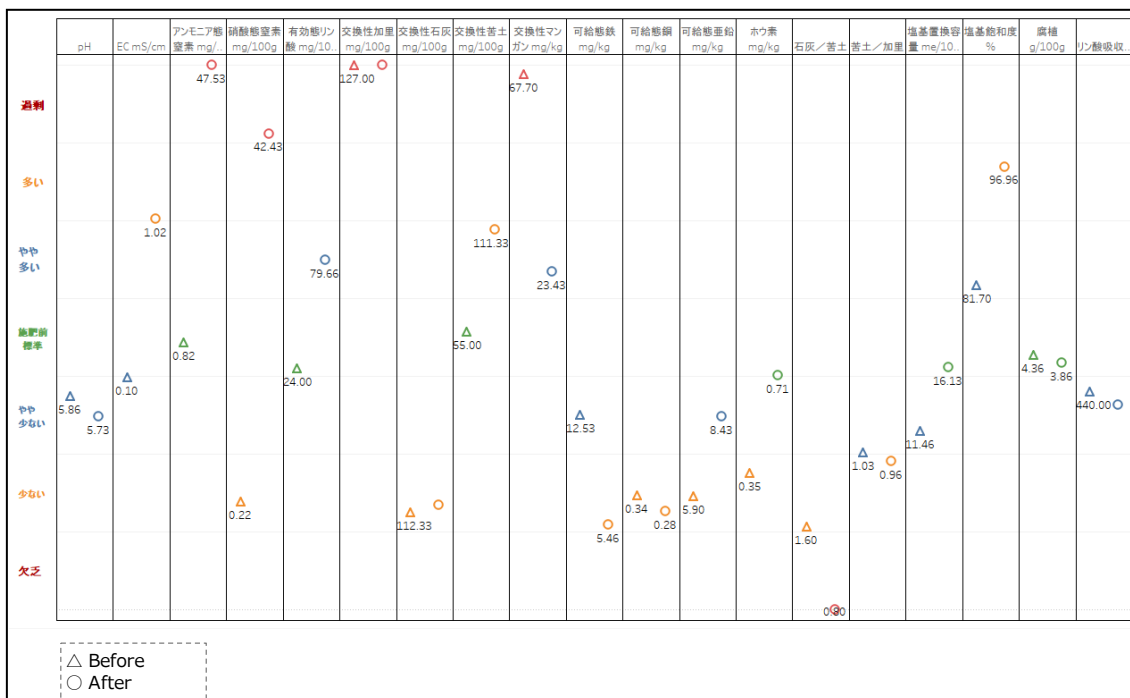


図 35 土壌化学性分析 (AGSA 実験圃場 (発酵区 10cm 平均値))

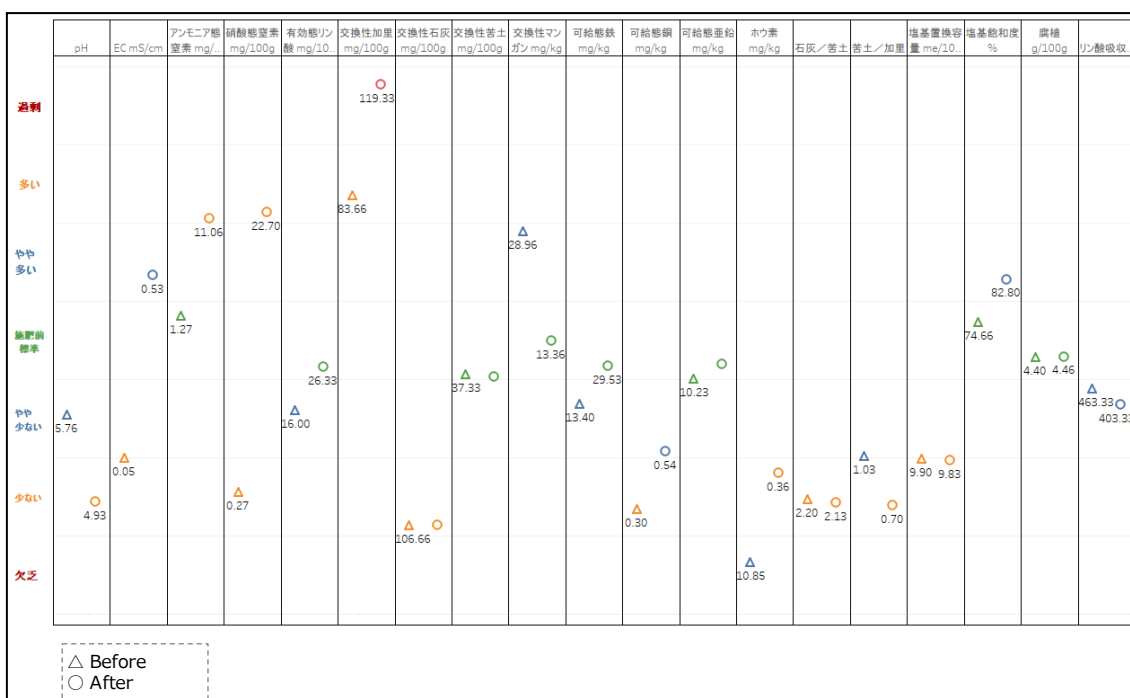


図 36 土壌化学性分析 (AGSA 実験圃場 (発酵区 25cm 平均値))

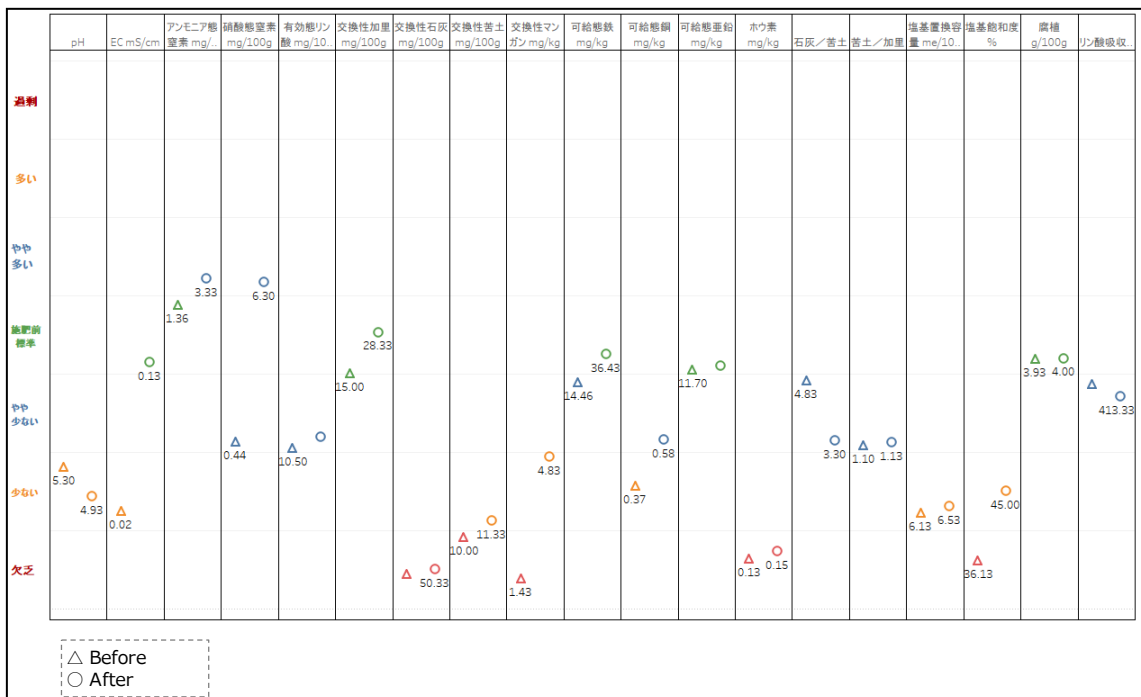


図 37 土壌化学性分析（AGSA 実験圃場（発酵区 40cm 平均値））

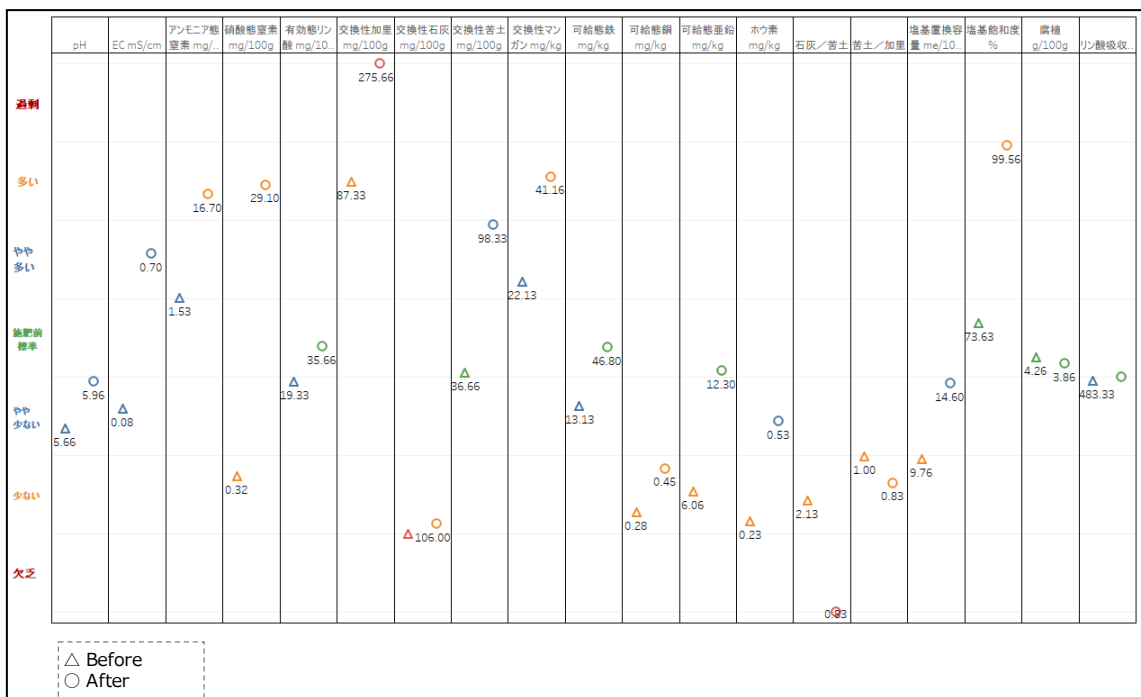


図 38 土壌化学性分析（AGSA 実験圃場（腐敗区 10cm 平均値））

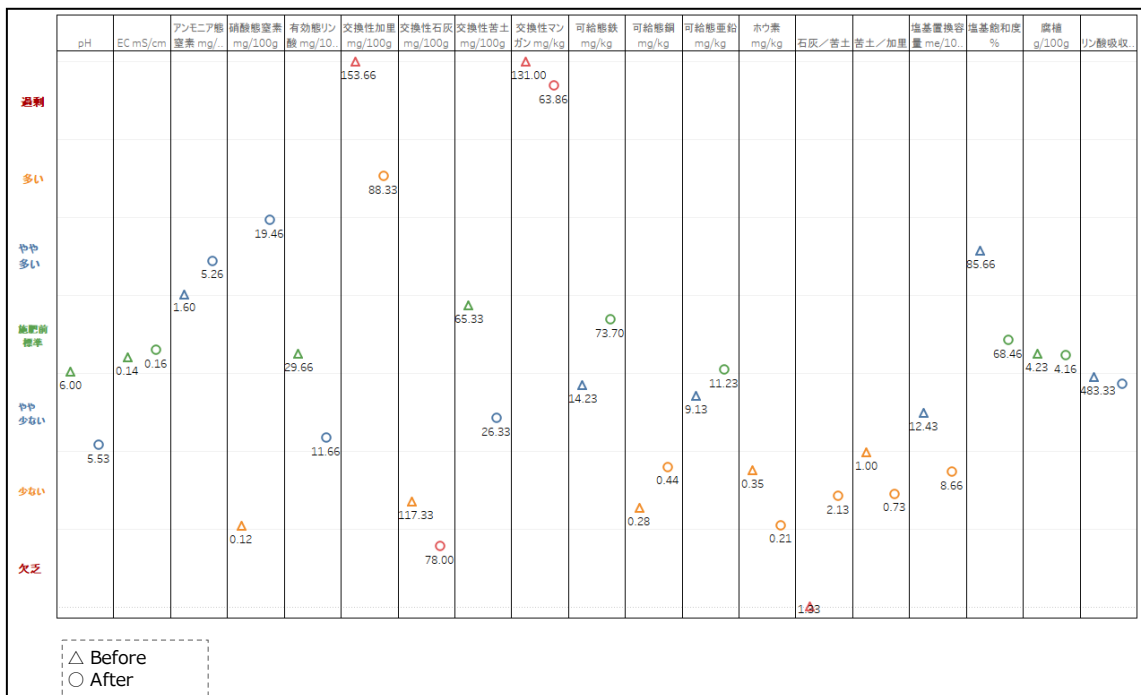


図 39 土壌化学性分析（AGSA 実験圃場（腐敗区 25cm 平均値））

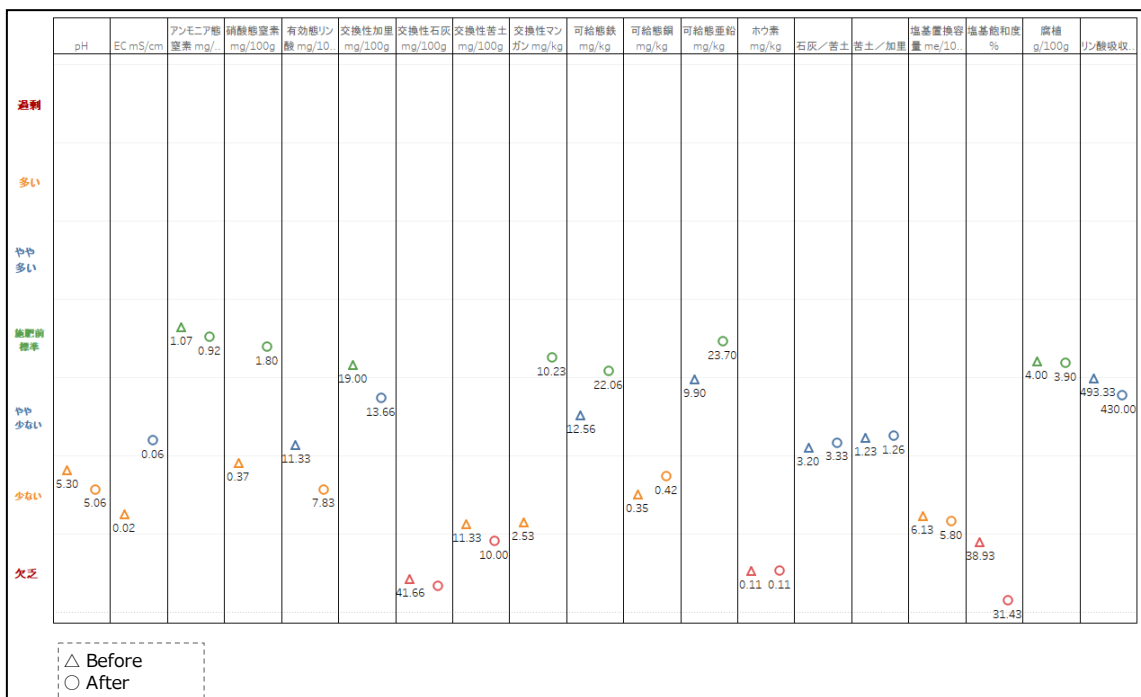


図 40 土壌化学性分析（AGSA 実験圃場（腐敗区 40cm 平均値））

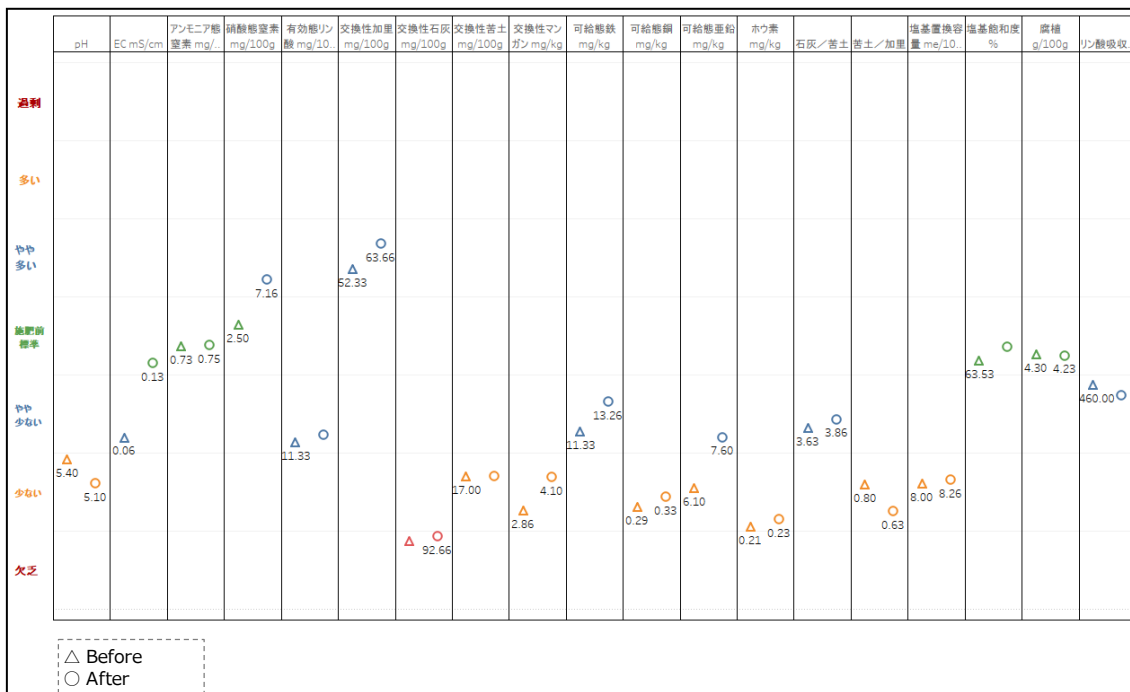


図 41 土壌化学性分析 (AGSA 実験圃場 (慣行区 10cm 平均値))

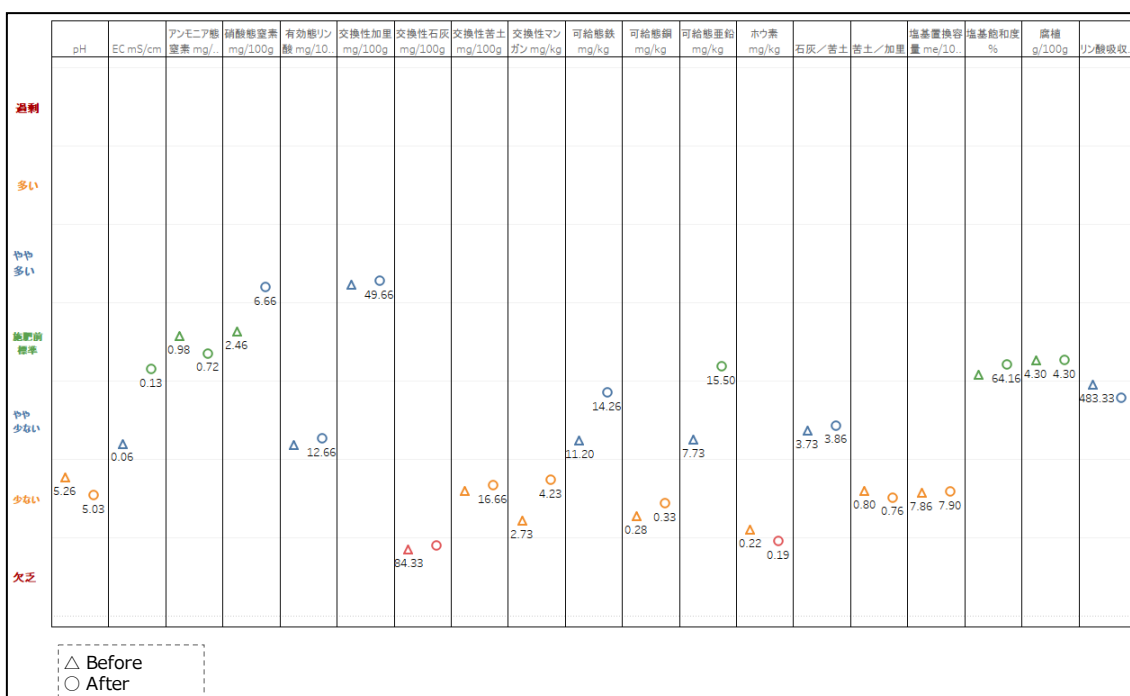


図 42 土壌化学性分析 (AGSA 実験圃場 (慣行区 25cm 平均値))

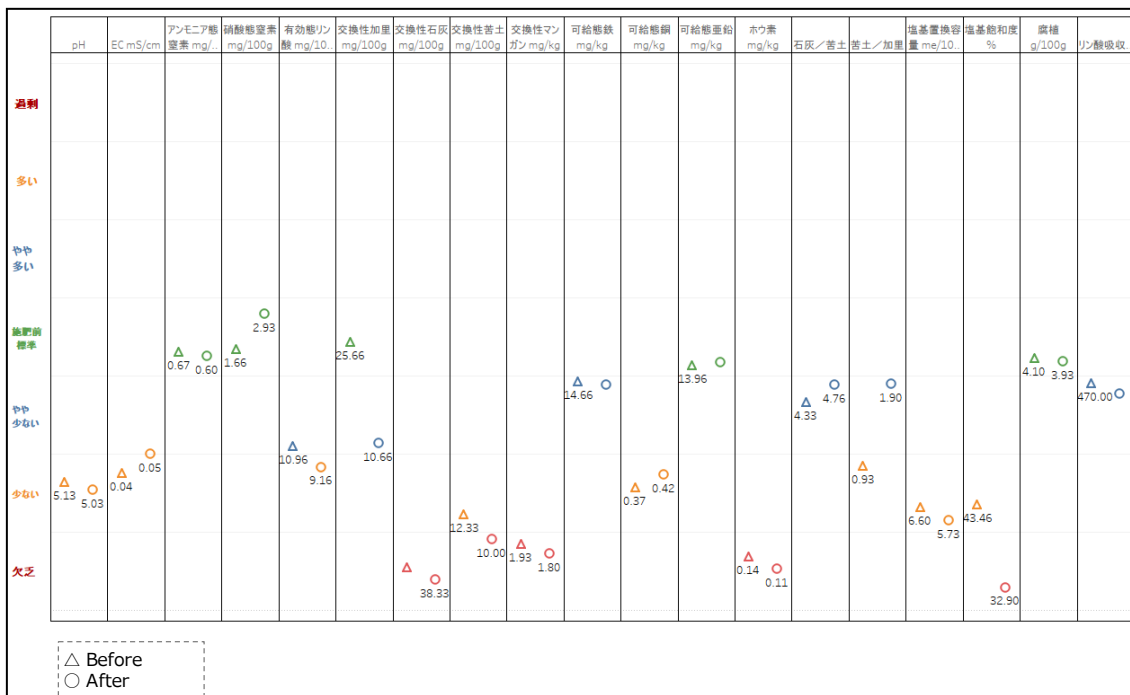


図 43 土壌化学性分析（AGSA 実験圃場（慣行区 40cm 平均値））

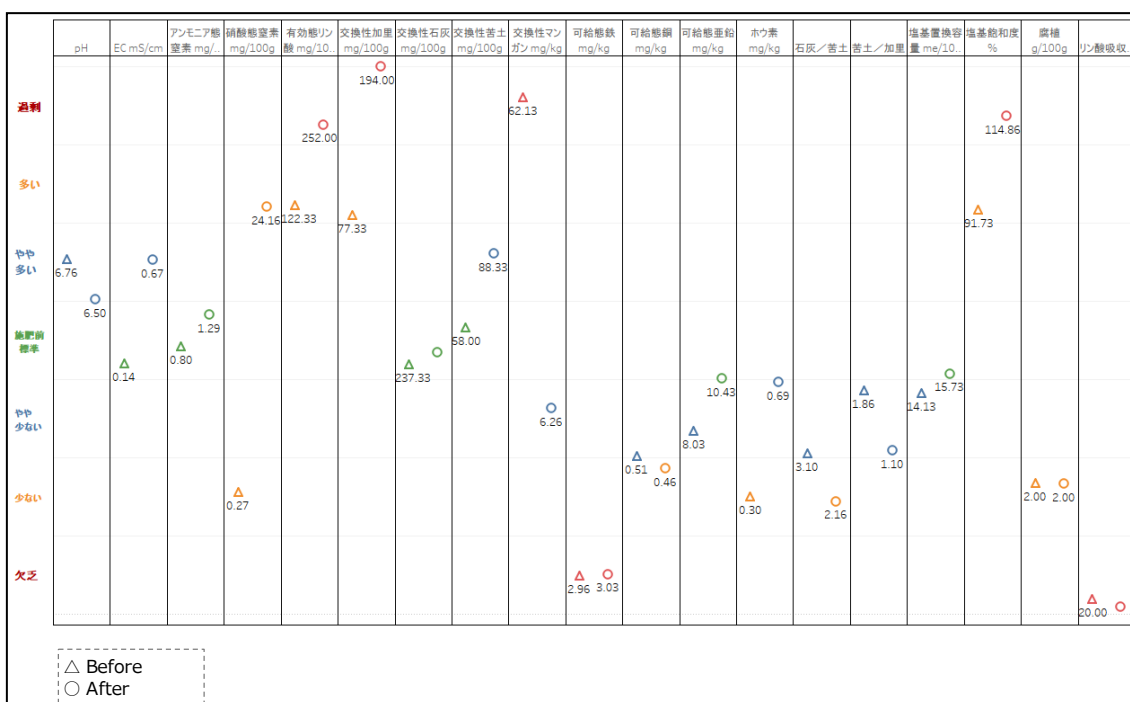


図 44 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（発酵区 10cm 平均値））

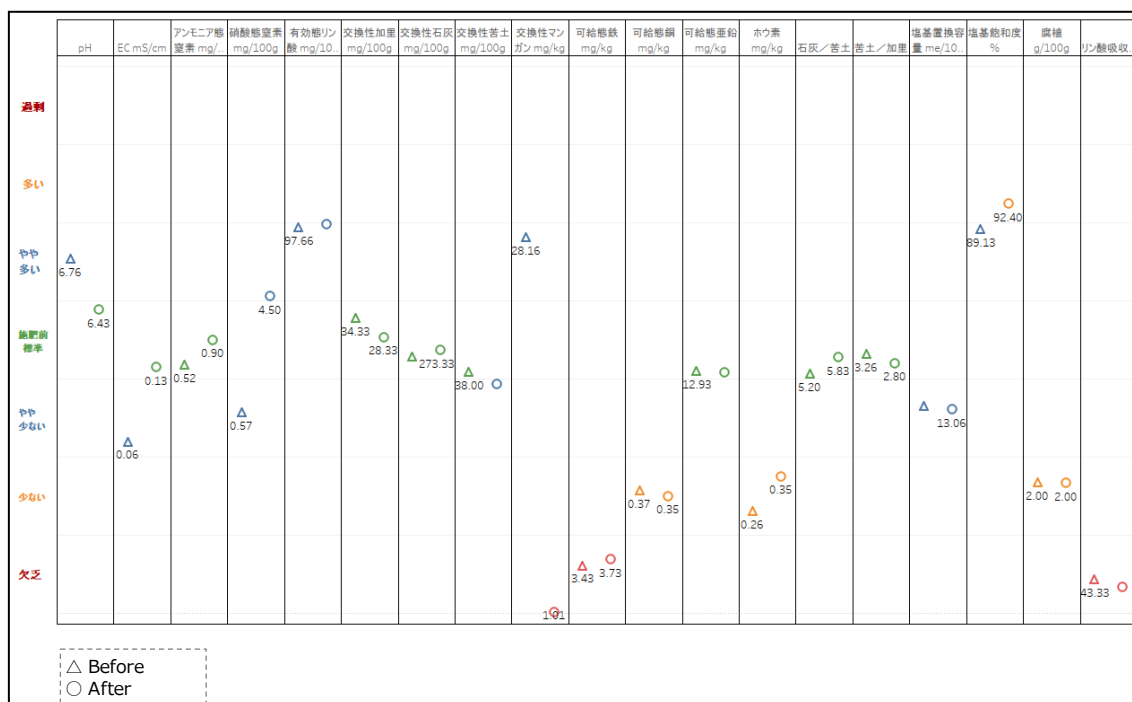


図 45 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（発酵区 25cm 平均値））

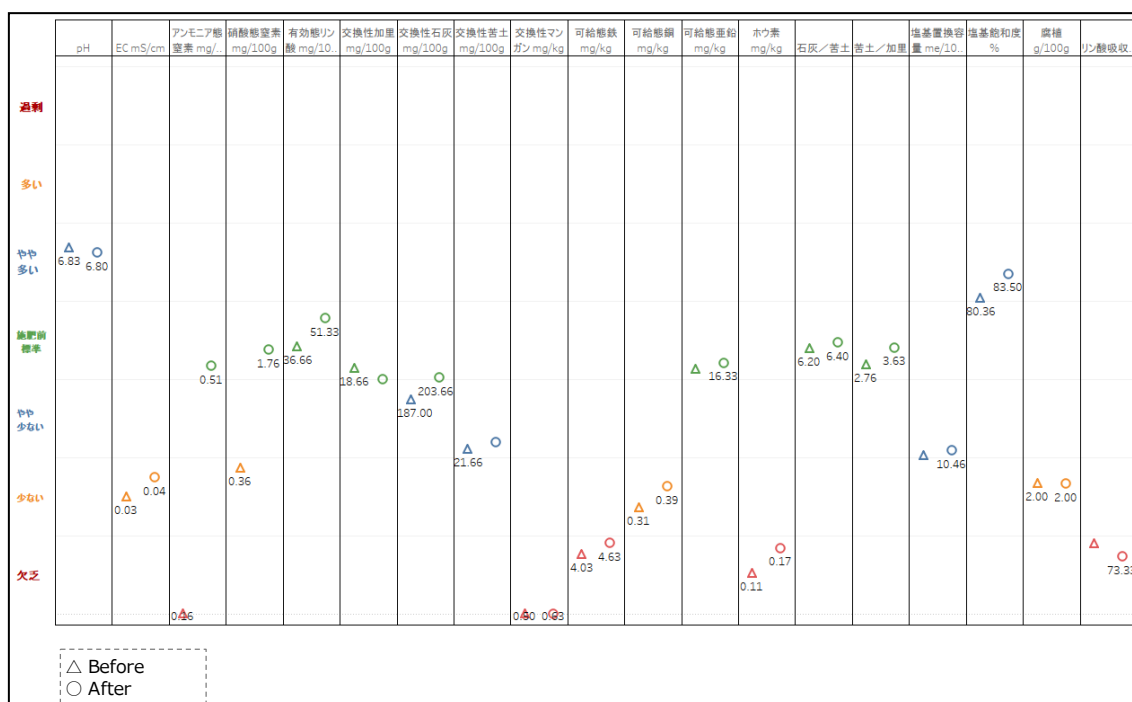


図 46 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（発酵区 40cm 平均値））

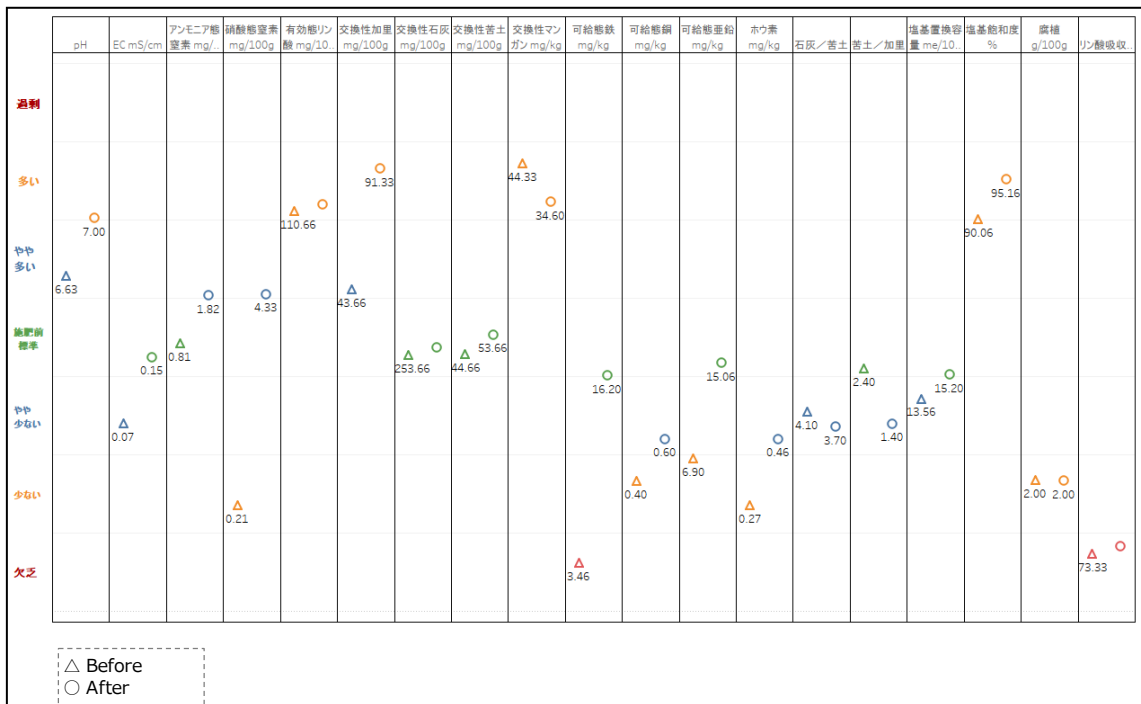


図 47 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（腐敗区 10cm 平均値））

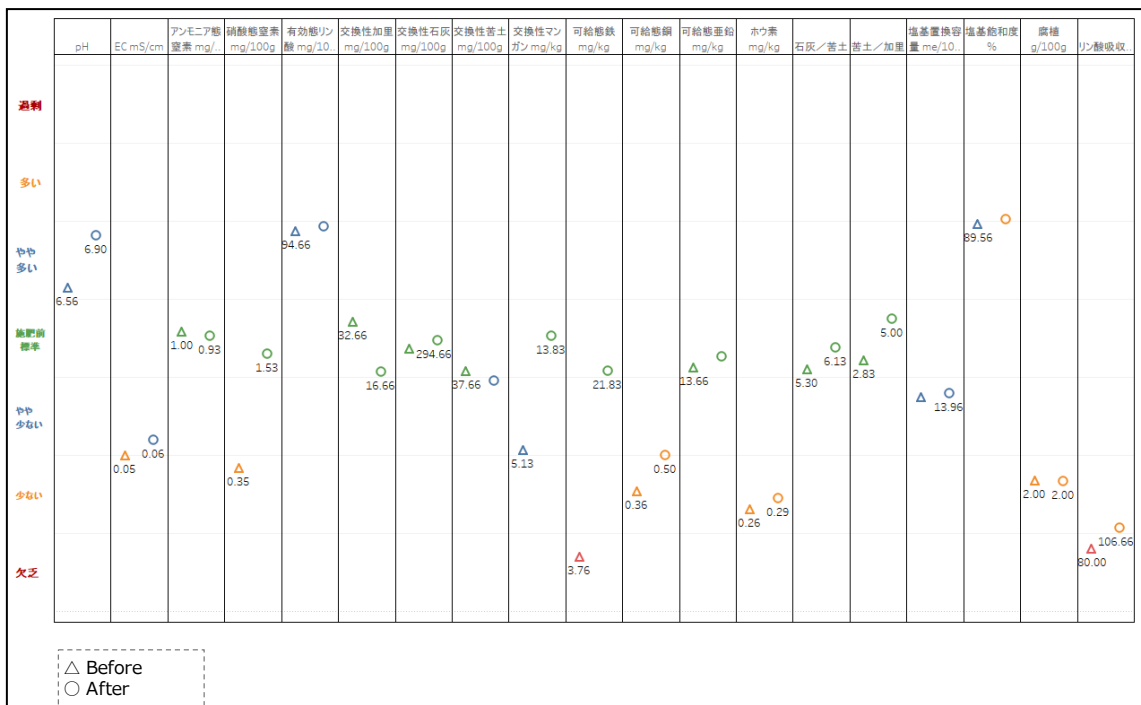


図 48 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（腐敗区 25cm 平均値））

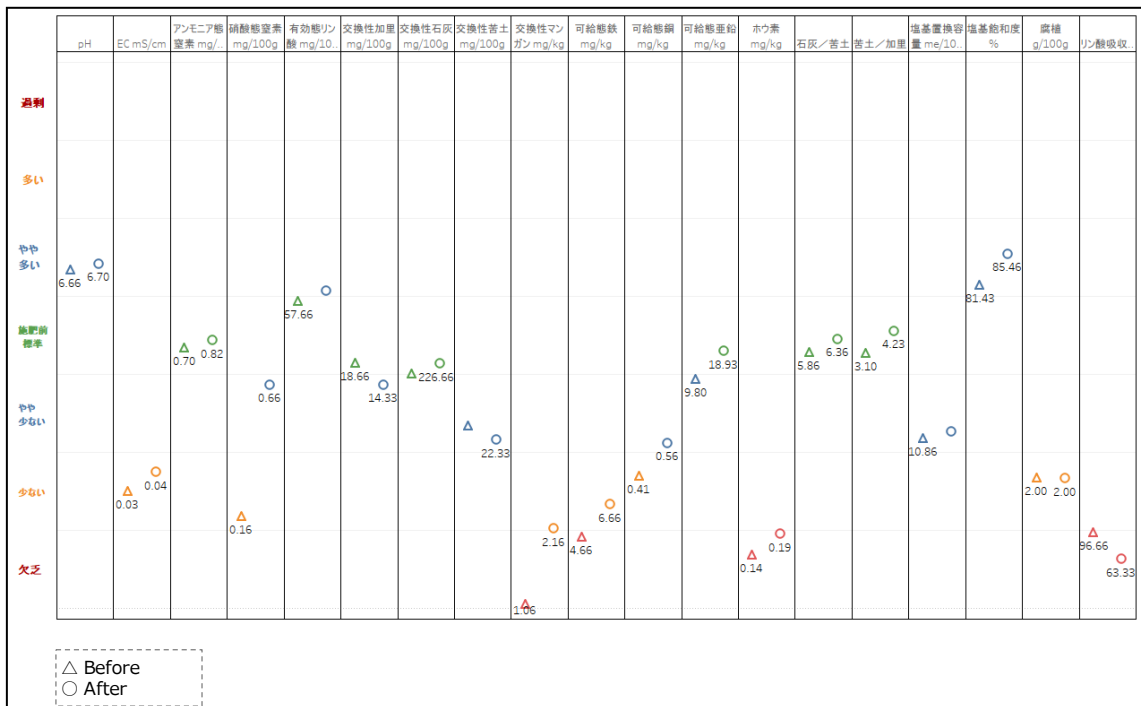


図 49 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（腐敗区 40cm 平均値））

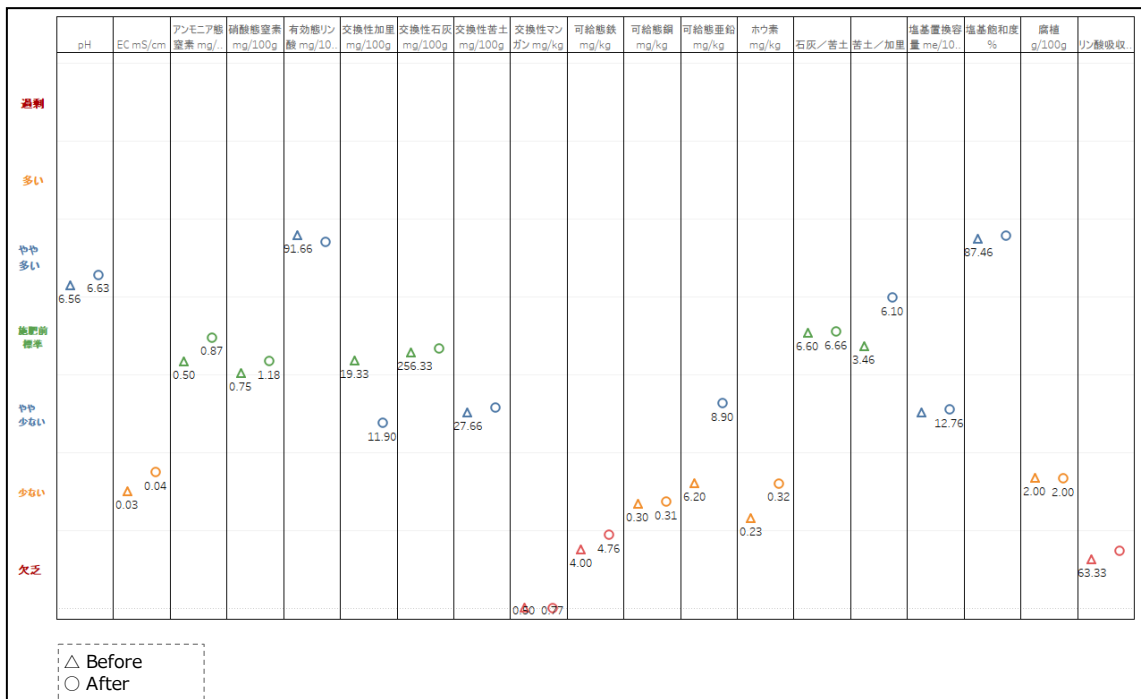


図 50 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（慣行区 10cm 平均値））

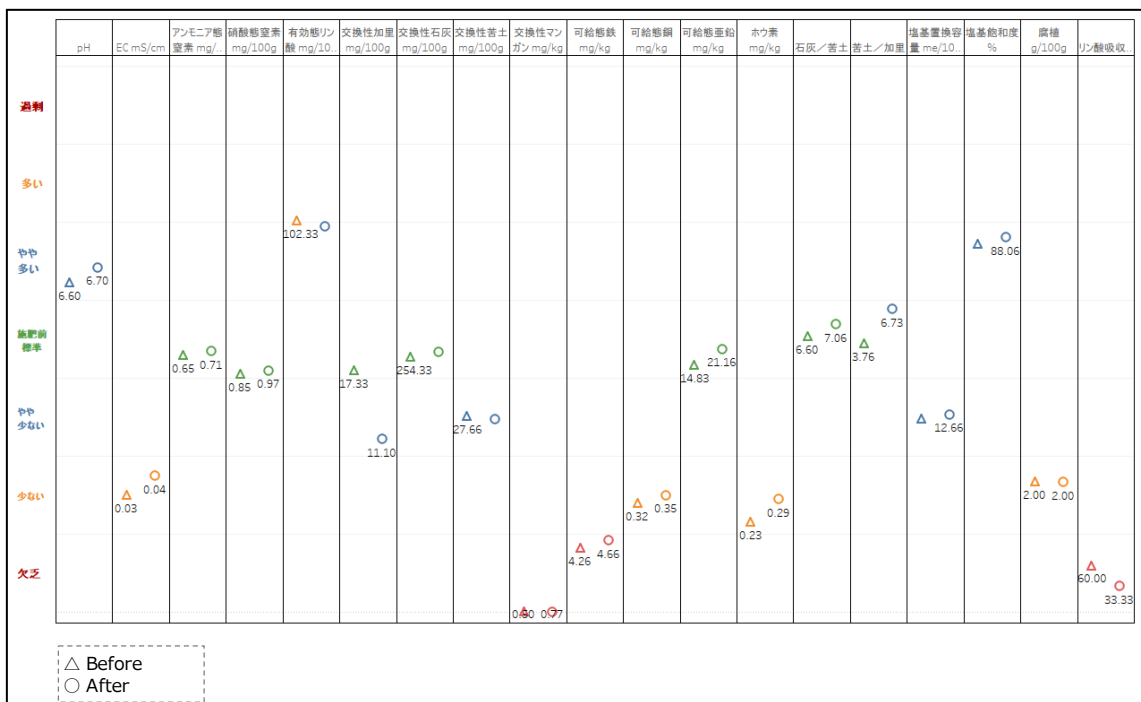


図 51 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（慣行区 25cm 平均値））

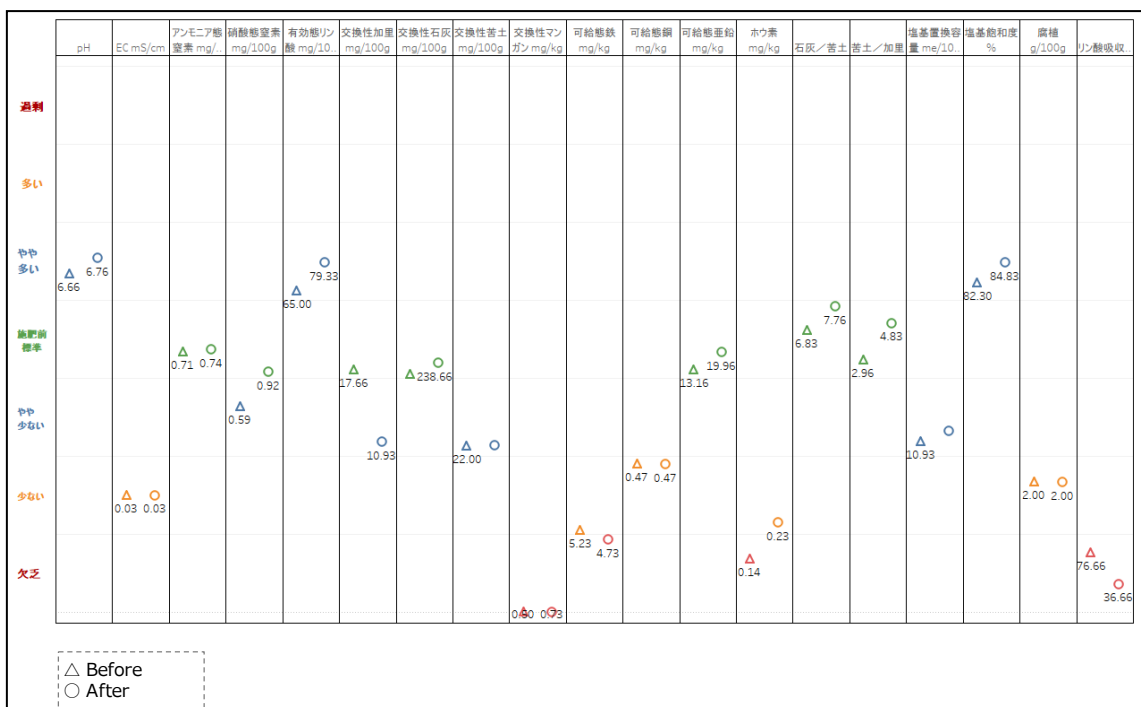


図 52 土壌化学性分析（朝倉光陽高校実験圃場（慣行区 40cm 平均値））

5-4-6 土壌生物性分析

土壌生物性分析として、B/F 値（細菌（B）と糸状菌（F）との割合）と土壌微生物の多様性・活性値（偏差値）の結果を示す。病気を引き起こす大きな原因となるのが糸状菌であり、B/F 値が小さいほど病害の発生が起こりにくくなる。また、土壌微生物の多様性・活性値（偏差値）については、分析機関で蓄積された全国のデータをもとに目安として出された数値である。

発酵区については、AGSA 実験圃場は、実験開始前（Before）と実験終了後（After）とでは、細菌、糸状菌とも著しく増加しており、B/F 値がやや悪化している。一方、朝倉光陽高校実験圃場では、細菌は AGSA 実験圃場同様に増加しているが、糸状菌は減少しており、その結果、B/F 値は大きく改善されている。偏差値についても B/F 値と同様に、AGSA 実験圃場は悪化し、朝倉光陽高校実験圃場は改善されている。

腐敗区については、AGSA 実験圃場は、細菌は減少しているが、それ以上に糸状菌が減少しており、B/F 値はやや改善している。一方、朝倉光陽高校実験圃場は、細菌は微増、糸状菌は減少しており、結果、B/F 値が改善している。偏差値については、朝倉光陽高校実験圃場については、同様に改善されているが、AGSA 実験圃場は B/F 値が改善しているのに対し、悪化している。

慣行区については、AGSA 実験圃場は、細菌も糸状菌も減少しているが、糸状菌の減少の割合が細菌よりも高いことから、若干 B/F 値が改善している。一方、朝倉光陽高校実験圃場は、細菌は減少しているが、それ以上に糸状菌の減少が大きく、B/F 値が改善している。偏差値については、AGSA 実験圃場、朝倉光陽高校実験圃場ともに、B/F 値が改善しているのに対し、悪化している。

一部、B/F 値と土壌微生物の多様性・活性値の変化は似ているが、今回のデータからは、はっきりと相関があるとは言えない。

また、AGSA 実験圃場は、長年、放置されていた耕作放棄地のため、実験開始前から土壌中の微生物の状態が非常に良いため、発酵土壌を作ることで、逆に微生物の状態が悪くなったのではないかと考えられる。朝倉光陽高校実験圃場では、作物を栽培した後の圃場であるため、AGSA 実験圃場より微生物の状態が悪いが発酵によって、状態が改善されたと考えられる。

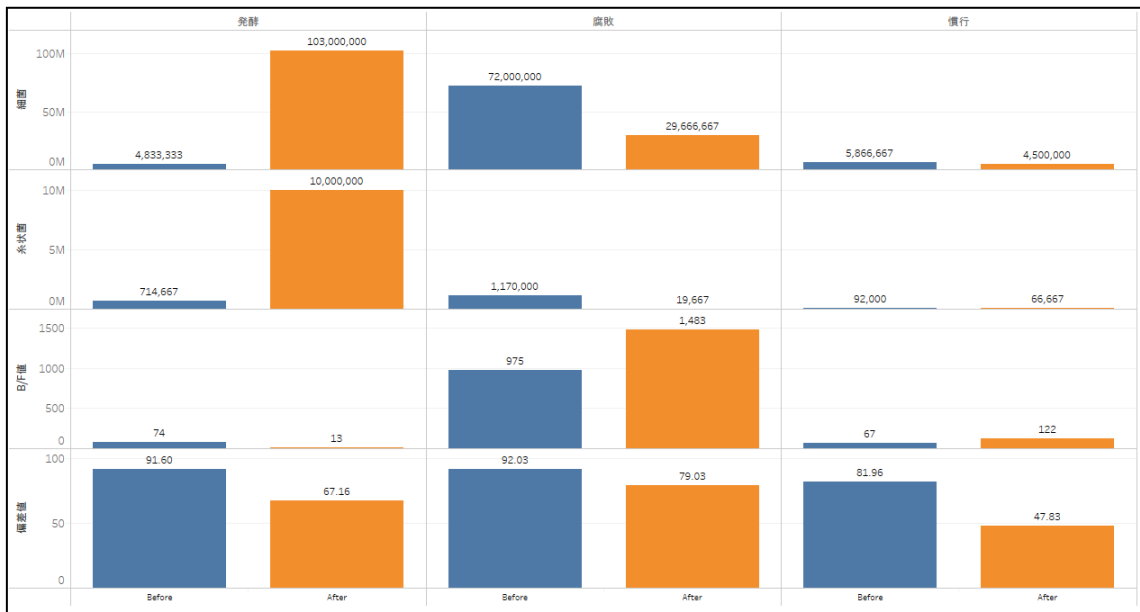


図 53 土壌生物性分析（AGSA 実験圃場（前方・中央・後方平均値））

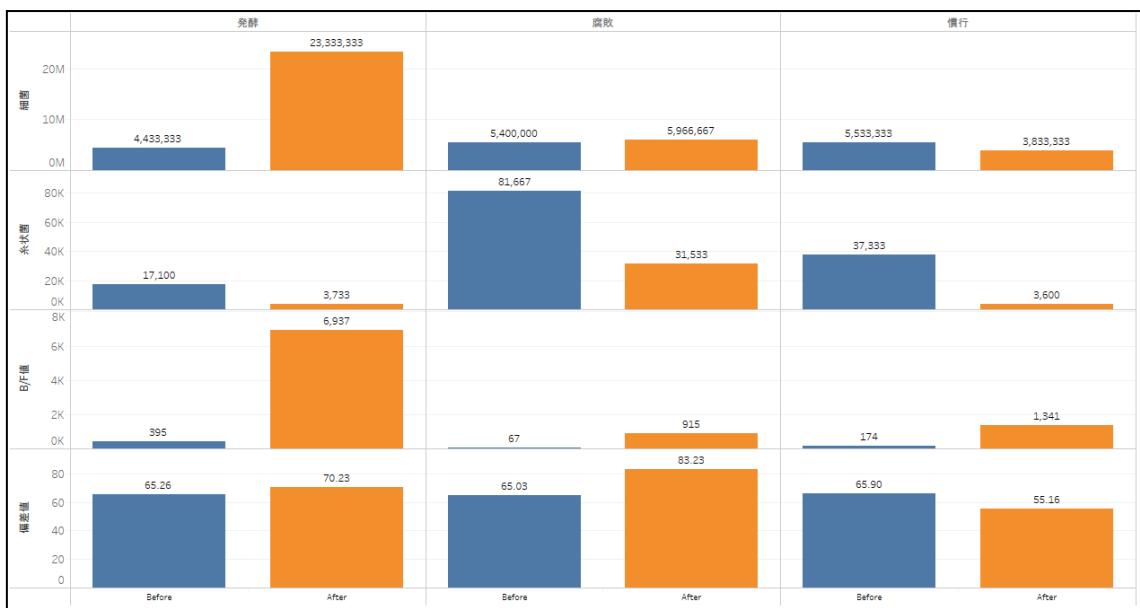


図 54 土壌生物性分析（朝倉光陽高校実験圃場（前方・中央・後方平均値））

5-4-7 抗酸化力分析

本事業では、発酵土壌で作られた作物が他の土壌で作られた作物とどのように違うのかを検証する。

発酵土壌で作られた作物について、収量、品質、食味等の比較、抗酸化力分析を行い、検証する。本事業では、実験区での作物の栽培は行わないが、先行事例として、株式会社

アグリガーデンスクール&アカデミーで栽培している人参を使って検証を行った。この人参は、アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場と高木地区実験圃場の発酵区で栽培している人参である。

各圃場の実験区は、以下の通りである。

- ①無水発酵区：有機資材を投入し、土壌で発酵させる。
- ②加水発酵区：有機資材を投入し、チューブにて加水しながら発酵させる。
- ③無処理区：無処理の土壌

各圃場での収穫状況、食味、抗酸化力分析結果を以下に示す。

収穫量、品質（形）の結果を見ると、2つの圃場とも無水発酵区、加水発酵区の人参の方が無処理区より収穫量も多く、品質も優れている。



■無水発酵区の人参



■加水発酵区の人参



■無処理区の人参

図 55 アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場



■無水発酵区の人参



■加水発酵区の人参



■無処理区の人参

図 56 高木地区実験圃場

表 2 アグリガーデンスクール&アカデミー実験圃場の収穫状況

	収穫数 (本)	収穫量 (kg)	良品数 (本)	良品の割合 (%)
無水発酵区	24	5.0	16	67
加水発酵区	65	8.1	42	65
無処理区	62	2.4	25	40

表 3 高木地区実験圃場の収穫状況

	収穫数 (本)	収穫量 (kg)	良品数 (本)	良品の割合 (%)
無水発酵区	57	6.1	50	88
加水発酵区	63	4.2	56	89
無処理区	78	3.7	46	59

抗酸化分析の結果を見ると、2つの圃場とも、各分析結果の値が高い値（硝酸の値は低い方がよい）を示している。無処理区の方が他の実験区に比べて、よい値を示しているが、実験区とした土壌が耕作放棄地でよい土壌であったことと、他の実験区より収量が少ない分だけ養分が凝縮されたことなどが考えられる。また、食味については、甘味、風味、歯

ごたえなどの違いはあるが、どの実験区の人参も食味のよい人参と言える。

表 4 高木地区実験圃場の抗酸化力分析結果

	無処理区	無水発酵区	加水発酵区
スーパーオキシド消去活性 (units SOD/g)	25.6	21.4	12.4
ヒドロキシルラジカル消去活性 (mol DMSO/g)	841	1,400	687
一重項酸素消去活性 (μ mol Histidine/g)	22.1	11.7	13.7
ORAC 値 (μ mol TE/100g)	156	105	104
SOAC 値 (mg α -Toc eq./100g)	454	575	448
糖度 (%)	8.8	8.8	8.5
ビタミン C 含量 (mg/100g)	7.6	6.0	7.8
硝酸イオン含量 (mg/kg)	10.0 以下	254	106
食味コメント	無処理区：甘味が強い。歯ごたえが良い。 無水発酵区：風味が良い。甘味と旨味を十分に感じる。 加水発酵区：歯ごたえが良い。甘味と旨味が十分にある。 セロリのような独特の風味がある。		

表 5 高木地区実験圃場の抗酸化力分析結果

	無処理区	無水発酵区	加水発酵区
スーパーオキシド消去活性 (units SOD/g)	22.6	21.1	17.6
ヒドロキシルラジカル消去活性 (mol DMSO/g)	1,770	1,940	1,680
一重項酸素消去活性 (μ mol Histidine/g)	15.7	12.5	17.3
ORAC 値 (μ mol TE/100g)	142	135	156
SOAC 値	550	507	425

(mg α -Toc eq./100g)			
糖度 (%)	8.9	8.3	8.8
ビタミン C 含量 (mg/100g)	10.2	6.5	7.6
硝酸イオン含量 (mg/kg)	28.7	197	47.1
食味コメント	無処理区：甘みが強く、旨味もある。香りも良く、歯ごたえが良い。 無水発酵区：人參らしい香りと味がしっかりと感じられる。甘み旨味もあり美味しい。 加水発酵区：甘みが強く、歯ごたえが良い。香りも良い。独特な香りがある。		

抗酸化力分析の結果だけを見ると、無処理区の方が他の実験区よりも優れているように思われるが、収量や品質が非常に悪いため、経営としては成り立たない。そのため、通常は、慣行農法のように、化学肥料を加え、収量や品質を向上させるが、この場合、硝酸イオン含量も増大し、抗酸化力分析の値も悪くなり、味も独特の苦みや薬品臭が残るようになる。

一方、無水発酵区、加水発酵区では、抗酸化力分析値では無処理区より落ちるが、値は高い水準を保っており、さらに収量が多く、品質も優れているといったバランスの取れた栽培が可能であることが分かる。

5-4-8 ドクターソイルによる土壌分析

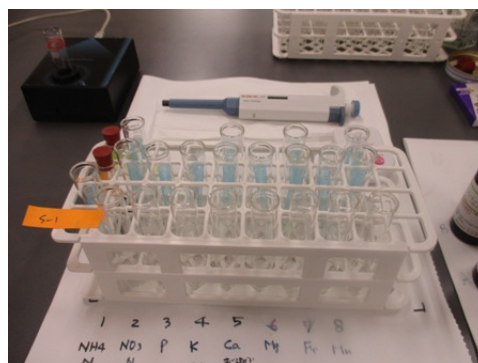
通常、土壌化学性分析を専門の分析機関に依頼した場合、時間とコストが掛かるが、簡易なキットで分析したものが、分析機関の結果と比較して同じような結果であれば、短時間でサンプル採取後速やかに分析し、発酵土壌づくりや土壌の施肥設計に即役立てることができる。また、専門の知識がなくても、少し慣れるだけで誰でも検査が可能である。

本事業では、市販されている簡易分析キット（ドクターソイル）で土壌分析を行い、分析機関の結果と比較し、その有効性を検証した。

ドクターソイルでは、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、可給態リン酸、カリ、石灰、苦土、可給態鉄、交換性マンガンの 8 つについて分析することができるため、検証の方法として、AGSA 実験圃場と朝倉光陽高校実験圃場の慣行区（深さ 10cm）に対して、土壌分析を行い、分析機関で分析した結果と比較した。



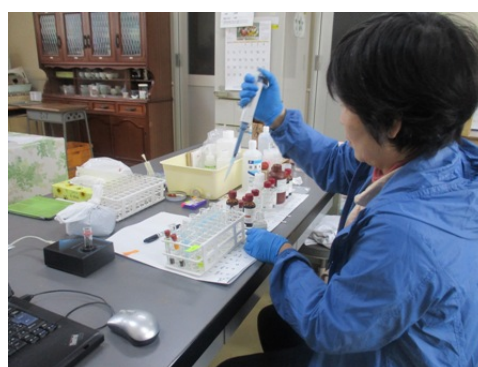
■ 試薬



■ 実験器具



■ 検査器



■ 分析の様子

図 57 ドクターソイルによる土壌分析

分析結果は、以下のとおりである。なお、ドクターソイルのデータは、土壌を 3 回分析した平均とし、生科研のデータは、本事業で分析依頼した 3 か所のデータの平均とした。

表 6 AGSA 実験圃場 慣行区 (10cm)

	アンモニア 態窒素	硝酸態 窒素	リン酸	加里	石灰	苦土	鉄	マンガン
ドクターソ イル	0.1	1.5	9.6	32	43	8.3	6.0	0.1
生科研	0.8	7.2	12	64	93	17	13	4.1

表 7 朝倉光陽高校実験圃場 慣行区 (10cm)

	アンモニア 態窒素	硝酸態 窒素	リン酸	加里	石灰	苦土	鉄	マンガン
ドクターソ イル	0.1	0.2	44	14	152	19	2.6	0.1

生科研	0.9	1.2	92	12	267	29	4.8	0.8
-----	-----	-----	----	----	-----	----	-----	-----

分析結果を見ると、ドクターソイルと生科研のデータと同じ傾向を示している。違う点として、カリウム以外は、総じてドクターソイルの値の方が小さくなっている。

理由としては、以下が考えられる。

- ① 分析機関と比べると抽出時間が短い
- ② 測定機器（検査器）の精度
- ③ 測定に使うセル（ドクターソイルはガラス試験管）の精度

簡易法ではあるが、分析機関のデータとの相関が見られるため、土壌分析に有効であると考えられる。

5-4-9 分析結果の総括

（1）センサーデータ

地中温度は、実験開始から10日間前後は、発酵土壌の温度が最も高くなり、その後、腐敗土壌の温度が高くなる傾向があることが確認された。また、積含水量は、発酵土壌は他の土壌に比較して低く、降水による変化の度合いも他の土壌より小さい傾向があることが確認された。ECについては、時間経過による変化は値に表れているが、その変化に発酵や腐敗の影響は認め難く、土壌による違いや差の傾向も明確には確認できなかった。

（2）土壌硬度

正確に計測が出来始めたのが各圃場での発酵や腐敗の活動が落ち着いた後であったため推移的な傾向は確認できなかったが、いずれの圃場も発酵土壌の硬度が一番低い傾向にあることが確認された。発酵によって、団粒構造形成が土壌深くまで進むことが分かった。これにより、土壌土壌全体が水はけも良く、通気性、保水性も良くなることで、微生物の活動も活発になる。

（3）土壌化学性分析

慣行土壌が実験開始時と後で大きな変化が無いのに対し、発酵土壌、腐敗土壌は大きく変化していることが確認された。慣行土壌では、養分が少ないため、農産物を栽培する際に、化学肥料等を多く利用する必要があるが、発酵土壌では、発酵活動によって、得られる養分が多く、高健康機能性野菜に結びつく栽培が可能になる。

（4）土壌生物性分析

土壌状態が悪い場合は、実験開始時と後では、数値がよくなるが、逆に土壌の状態がとてもよい場合では、悪くなる可能性が確認された。しかし、土壌の状態がよい土壌でも作物を栽培した後は、土壌の状態が悪くなるため、土壌を一定のよい状態を

保つためには、発酵土壌が有効である。また、通常の慣行土壌では、土壌中の微生物の活動が少なく、農薬を使わないとすぐに野菜が病気になってしまうが、発酵土壌では、微生物の活性化が保たれるため、病気になりにくく、高健康機能性野菜に結びつく栽培が可能になる。

(5) 抗酸化力分析

発酵土壌で栽培された人参は、食味、品質、収量、抗酸化力のバランスのよいものであることが確認された。これにより、発酵土壌で作物を栽培することは、農家にとって有益であると言える。

(5) ドクターソイル

ドクターソイルで分析したデータを専門の分析機関の分析データと比較した結果、カリウム以外は、各要素の値は分析機関の値より総じて小さいが、同じ傾向を示しており、相関が見られるため、簡易的に行う土壌分析として有効であることが確認された。これにより、発酵土壌づくりでの土壌分析費用が抑えられるため、発酵土壌づくりの普及が促進すると考えられる。

5-5 発酵土壌づくりのためのセンシング項目研究

一般的に使われている土壌センサーとしては、土壌中の温度、水分、EC、pH などがあるが、本コンソーシアム関係者と検討し、発酵土壌づくりの中で測定値に特徴的な変化がおこると考えられるセンシング項目を温度、水分、EC とした。

本実験では、発酵土壌づくりの過程で土壌中の温度、水分、EC を計測し、発酵土壌づくりに有効なセンシング項目について検証を行った。結果を以下にまとめる。

① 温度

最初は、発酵区の温度が一番高く、腐敗区は 2 番目に高いが、発酵区の発酵が収まるにつれて、腐敗区の温度が発酵区の温度より高くなるといった、特徴的な変化が見られるため、センシング項目としては有効である。

② 水分

慣行区では、雨量が多いと土壌中の水分量が増えた状態が続いてしまうが、発酵土壌では、団粒構造が形成され、排水性、保水性などを保持するため、一時的に水分量が多くなるが、すぐに元に戻るといった特徴的な変化が見られるため、センシング項目としては有効である。

③ EC

土壌中の水分の影響を大きく受けることや土壌分析で得られた結果と傾向が異なることから、センシング項目としては、有効ではない。

以上の結果より、発酵土壌づくりに必要なセンサー項目は、温度、水分であり、EC は必

要ではない。従って、温度、水分、EC を同時に測定できるような高価なセンサーではなく、安価なセンサーの利用が可能となり、一般の農家に普及が促進すると考えられる。

5-6 ナレッジ提供のためのアルゴリズム開発

本事業においては、どのような土壌条件であっても、高健康機能性農産物が安定生産できる「発酵土壌」を維持するためのセンシング技術と同ビックデータ化のためのシステム開発を目的としており、本システムではそのナレッジを提供する機能を実装する。本システムの実装機能を以下に示す。

なお、本システムでは、AWS をシステム基盤として使用する。

本システムの実装機能を以下に示す。

表 8 機能設計

機能	内容
データ参照機能	収集したデータを閲覧する機能を Tableau で提供する。Tableau は無償の Tableau Reader を使用し、Tableau パッケージドワークブックファイルをオフラインで参照する。
ダウンロードサイト機能	Tableau パッケージドワークブックファイルをサーバからダウンロードする。ダウンロード前には、ユーザーID・パスワードでの認証が必要。
データ取込機能	土壌センサー (SenSu) からのセンシングデータを受信し、DB に格納する。AWS 上で動作し、SenSu とは SOCKET 通信を行なう。 ※ただし、SenSu は脆弱性の問題があるため、運用を停止する。

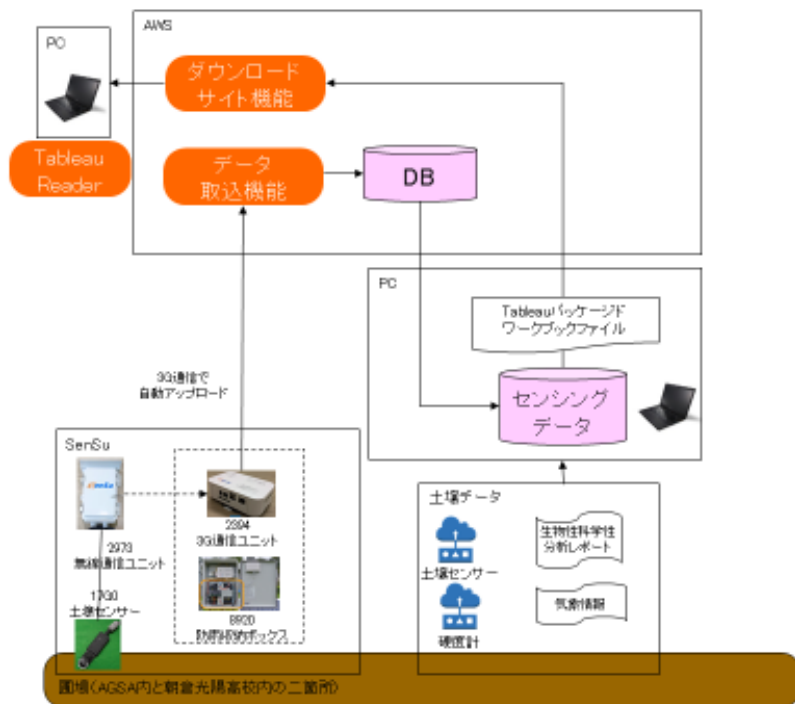


図 58 システム概要イメージ図

5-6-1 ネットワーク設計

(1) VPC (Virtual Private Cloud) 設計

本システムの VPC 設計とその際のネットワークイメージを以下に示す。

- ① VPC サブネットは 1 つとする。
- ② 外部からの接続をするために、各インスタンスに ElasticIP を付与する。
- ③ S3 へのアクセスを高速化するために VPCEndpoint を作成する。

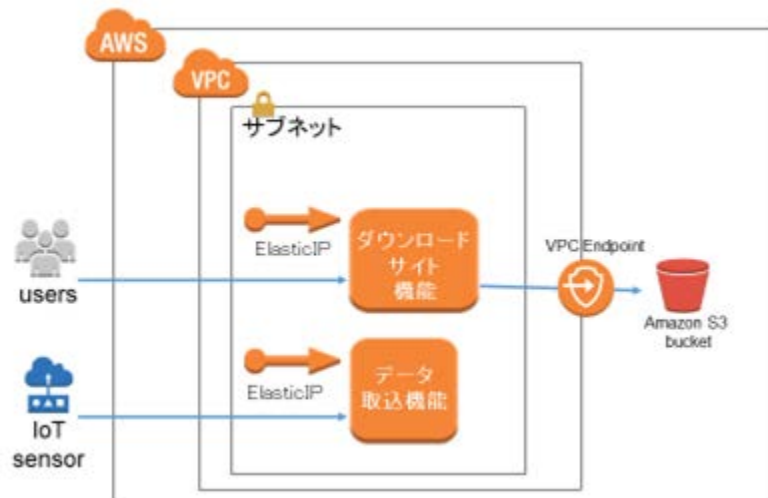


図 59 AWS ネットワークイメージ

(2) ストレージ設計

AWS の各サーバで利用するストレージを以下の様に定義する。

- ① 各インスタンスのルートボリュームとして EBS を利用する。
- ② ダウンロードサイト機能が提供する Tableau パッケージドワークブックファイルは S3 に配置する。

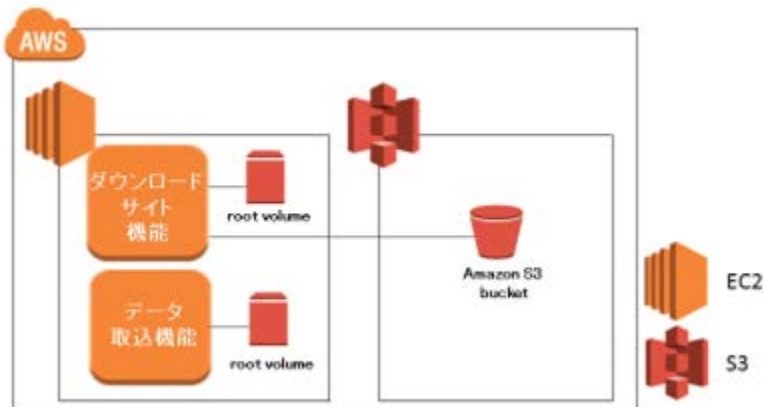


図 60 ストレージイメージ

5-6-2 システム構成図

システム構成図を以下の様に定義する。

- ① 管理者は SSH でアクセスし、インスタンスの管理を行う。

② Tableau パッケージドワークブックファイルは web ブラウザからダウンロードする。

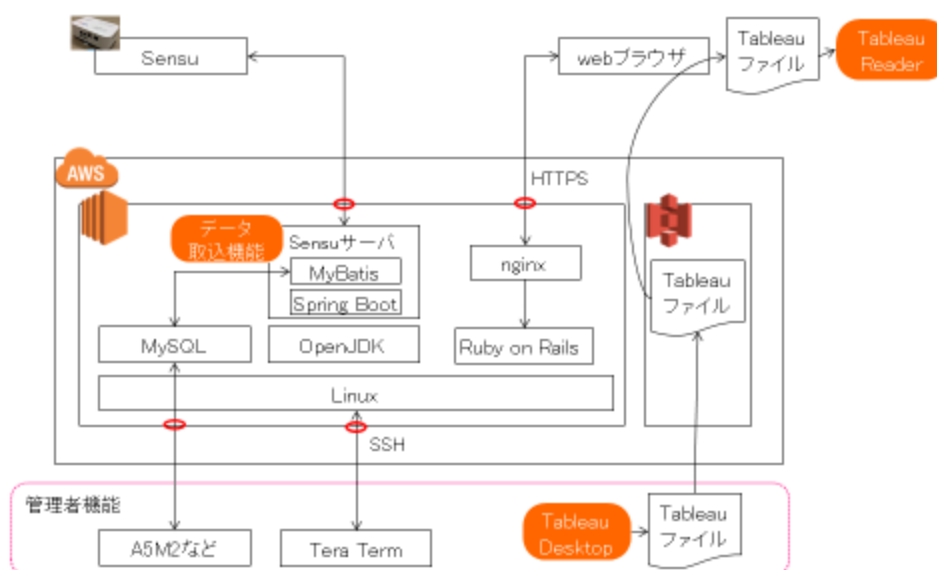


図 61 システム構成図

5-6-3 ナレッジ提供のためのアルゴリズム開発

本事業の最終的な目標は、誰もがおいしい野菜（＝高健康機能性野菜）を栽培できる「発酵土壌」を作り上げるナレッジの確立と提供であるが、今回の事業を通じて得られたデータからは、今後も継続してデータを採取する項目の絞込みと外部ファクタとの相関が見えてきた。

今回、4つの圃場にてデータの採取を行ったが、各圃場により生物性、化学的な特性や水はけ等の環境が異なり、発酵土壌の形成には季節や天候の影響も大きく、そこから規則性、法則性等のアルゴリズム（解析システム）を整備するにはまだデータ量が少ないが、今後の効率的なデータ採取、分析への道が開けたものとする。

発酵土壌づくりナレッジ提供のためのアルゴリズムを開発するには、今後もこのようなデータを全国のような場所(土壌)、様々な季節・時期を通して継続的に蓄積を行い、蓄積したデータの分析から、アルゴリズムの確立を段階的に進めるとともに、そのアルゴリズムの有効性、妥当性を検証することで精度の向上を図って行く仕組みと体制が必要である。

(PDCA サイクルの定着化)

アルゴリズムの整備・開発には、より多くのデータが必要となる。データの収集には、センサーを容易に設置できる環境の整備も重要であり、そのひとつとして収集データ項目を地中温度、含水量に限定した廉価なセンサー等の開発等もあわせて検討すべき課題であるとする。

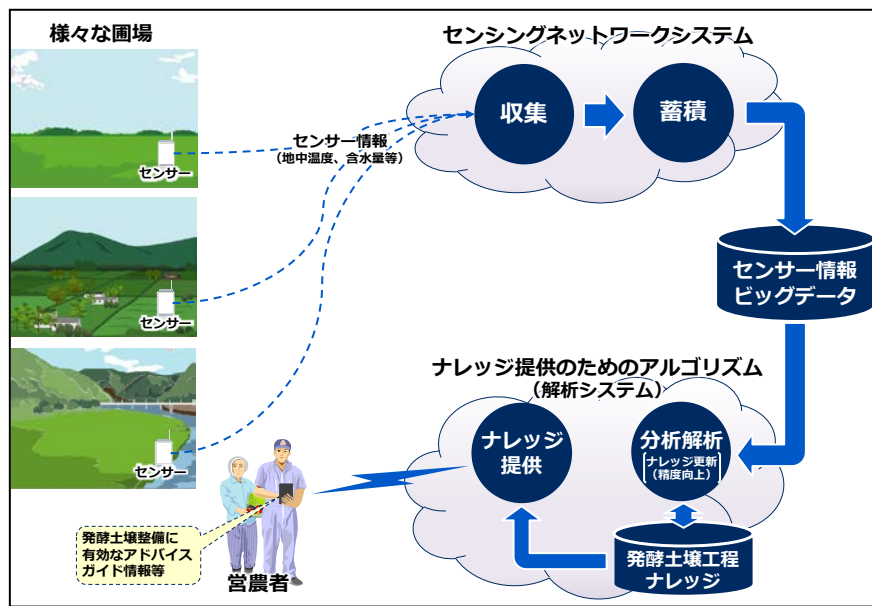


図 62 ナレッジ提供のためのアルゴリズム開発イメージ図

5-7 実証の総括

本実証では、発酵土壌で栽培される作物の特徴、発酵土壌づくりに必要なセンシング項目、発行土壌づくりのためのナレッジ提供のためのシステム開発やアルゴリズムについて実験や検証を行ってきた。

本実証で得られた結果を踏まえ、温度、水分を計測できる安価なセンサーの開発や多くのデータ蓄積によるアルゴリズムの整備・開発といった課題が解決されれば、微生物が豊富な土壌、抗酸化力の高い農産物の栽培、収量の増加などのメリットから発酵土壌づくりが広く一般の農家に普及すると考えられる。また、抗酸化力の高い農産物は、人の健康によい影響をもたらすことから、我が国の健康の維持向上と健康寿命の増進の実現に役立つと考えられる。

さらに、経済的効果として、農家の収益を考えた場合、例えば、通常の慣行農法で人参を栽培した場合、1反あたり約4トン、秀品率が約80%に対し、理想的な発酵土壌での栽培では、1反あたり約6トン、秀品率が約90%といった収量の増加を目指すことができる。仮に、人参を250円/kgとすると、発酵土壌での栽培は、慣行農法に比べて、約1.7倍の収益向上（農業資材等は考慮せず）となり、農業の活性化に繋がると考えられる。

6 実施スケジュール

実証項目	平成 28 年						平成 29 年	
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
ア) センシング 環境準備								
1. 機材準備		→						
2. 実験圃場整備		→						
イ) センシング ネットワーク構築								
1. 構築準備、構築 (AWS など)				→				
2. センシング ネットワーク実証実験						→		
ウ) データベース構築								
1. テーブル設計				→				
2. 取込・参照ツール仕様検討				→				
3. DB の構築				→				
4. 取込・参照の実証実験					→			
エ) データ収集・モニタリング								
1. センサーデータ収集				→				
2. 土壌分析				→				
3. 抗酸化力分析						→		
エ) 分析・考察								
1. センサーデータ				→				
3. 抗酸化力分析							→	
オ) 発酵土壌作りのためのセンシング 項目研究		→						
カ) アプリ提供のためのアルゴリズム 開発						→		
キ) 成果報告書のとりまとめ							→	

7 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題

本事業の実証を行い、「発酵土壌づくりのためのセンシングネットワークシステムとナレッジ提供のためのアルゴリズム開発」において、克服すべき課題を以下にまとめる。

(1) 技術的課題

①通信機器の電源確保

センシングネットワーク構築では、無線によってセンサーデータをクラウドサーバーに送信する必要がある。そのためには、通信機器の電源を確保することが必要である。特に、露地栽培では、近くに電源がないところが多いため、通信機器の省電力化（通信手段、機器の小型化等）を行い、電池で半年以上は稼働するようにする必要がある。

②インターネット回線のセキュリティ

本事業ではVPNのようなセキュアな回線ではなく、一般のインターネット回線を利用していたが、通信機材のセキュリティ対策が十分ではなく、ハッキングされ、コンピュータウィルスに感染するということが起こった。近年は、無差別にアタックが行われているため、必要のないサービスの停止、ポートの制限、強固なパスワードの設定など一般の農家が使うことを前提としたセキュリティ対策が必要である。

③土壌センサー価格と耐久性

土壌センサーは、価格が数万円と高価であり、さらに、土壌に埋設して使うため、機材の劣化が激しく、耐用年数が短いといった欠点がある。発酵土壌づくりのために、一般の農家に土壌センサーを普及させるためには、発酵土壌づくりに必要な測定項目と精度にし、安価で耐久性のある土壌センサーの開発が必要である。

(2) 制度的課題

現時点では、特に課題は見受けられない。

(3) 法的課題

現時点では、特に課題は見受けられない。

(4) 運用上の課題

①ユーザーインターフェイス

土壌センサーを設置する際に、データロガーにパソコンを繋げて、マニュアルを見ながら設定する必要がある。また、土壌硬度計についても、スマートフォンのような画面で専用ソフトを使い、設定や測定をするようになっているが、設定項目も多く、簡単には操作することができない。このような機材は、ある程度知識をもった人が使うことを前提とされているため、一般の農家に普及させるためには、ユーザーインターフェースの改善が必要である。

②データの収集

本事業では、4つの圃場で実証を行ったが、場所、気候、地質、水質など様々な条件によって、異なった土壌が存在するため、発酵土壌づくりのリファレンスモデルを作成するには、膨大なデータを収集する必要がある。そのためには、一般の農家にセンサーを普及

させ、データを収集することが必要であるが、効率よく収集するには、農業研究機構や農業大学等にある既存データの活用を検討することも必要である。

8 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題の解決に資するリファレンス（参照）モデル

（１）蓄積されたデータベースを土台にした。より有効的、かつ実用的な分析・研究活動
土壌センサーによる各データ蓄積により、発酵区、腐敗区、無処理区の３つの実験区、および４か所の実験圃場間の相関性、類似性等の傾向値分析、並びに気象データ、土壌サンプル採取による化学性や生物性、物理性との関連性については、ある程度の傾向値が示された。

今回の実験では、実験分析期間が限られたため、秋冬シーズンのデータ取得しかできず、今後は春夏シーズンも含めた年間を通じた土壌データの蓄積と継続的な分析活動が必要である。

すなわち、当初の想定と異なる結果から見えてきた新たな分析内容（仮設）の妥当性を見る観点からも、年間を通じた研究結果を重ねる必要がある。

また、本事業においては、土づくり過程から３種の実験区を設定して土壌の変化の過程を中心にデータ収集を行ったが、気象データ等との相関性を見ていく上では、雪国など自然環境が全く異なる条件下での実証研究も必要である。それに加えて、より実用的なナレッジ提供サービスのために、栽培過程も付加した土壌変化の過程についてもデータ収集をすることがより現実的である。特に、雪国を代表する青森のように年一作の農地と九州のような年２作以上の農地における畑土壌の年間使用回数の差と気象条件の違いを条件設定し、実験・分析を継続していくことで、初年度に蓄積されたデータが土台になり、より有効性と実用性が高いデータの取得が期待される。

さらに、上記の結果において、それぞれで栽培された農産物の抗酸化力比較分析により、土壌データ、栽培手法データ、農産物の機能性（抗酸化力）データのそれぞれの相関性分析と比較分析が可能になってくる。

すなわち、本事業で蓄積されたデータベースを、さらなる実用性と有効性の高いものに発展させるため、主に下記の３つの観点から、実験・分析を拡充させることが求められる。

① 土壌データ収集期間の延長と自然環境条件が異なる土壌データの収集

秋冬期間のみ⇒年間を通じた春夏秋冬のデータ収集へ

自然環境条件が全く異なる土壌データの収集（福岡 vs 青森）

② 土壌の変化の過程プラス栽培過程の条件付加

栽培過程を付加することによる土壌中の変化の過程に関するデータ収集
年1作と年2作以上の栽培環境の異なる各土壌データの収集と比較分析

③ 土壌条件、栽培手法、農産物抗酸化力間の相関性分析

栽培過程の付加による各栽培された農産物の機能性（抗酸化力）比較分析と土壌データ、栽培手法データ、農産物の機能性（抗酸化力）データ間の相関性分析

（2）多変量分析効果を高めるための検討

本事業の最終的な目標は、初期の様々な土壌条件に対し、より効果的な発酵過程へとナビゲートするためのナレッジの提供であるが、そのためには、より効果的な多変量解析モデルを確立する必要性がある。

多変量要因としては、土壌センシング項目（地温、水分値、EC）、気象データ（気温、雨量など）他、化学性、生物性、物理性分析もスポット的にインプットできる他、上記の（1）における栽培手法や農産物が有する抗酸化力値も多変量要因としてインプットできるようになる。

さらに、既存研究機関（農研機構等）が有する土壌に関する有効データをこれに加えることにより、より効果的な多変量解析モデルの形成方向が具現化する。

また、多変量要因をより拡充していくために、今回のセンサー設置場所の一つである農業高校へのセンサー設置例を増やし、同収集データを共同研究プログラムの一環として同設置場所を増やしていくことが必要である。特に、各地の県立農業高校から、従来農業以外の「人の健康」につながる土壌微生物の研究とそれをベースとした実践有機農業に対する共同研究ニーズがきている。高校授業における「食育」の一環として、同農法で栽培された食味分析も兼ねた給食制度モデルの実現可能性も検討し、農業高校への普及方法を模索したい。

（3）センサー普及のためのインセンティブ

本事業の当初の目的から、同センサーの普及拡大＝多変量解析の有効性が高まるとすると、より多くの農業従事者や新規就農者予備軍、家庭菜園者などが同センサーを導入するためのインセンティブが高まると、センサー導入拡大のスパイラルがはじまる。

そのため、上記の（1）の①②③のデータ蓄積により、発酵土壌＝高機能性農産物という概念がより身近なものになることが重要である。

すでに、「人の健康」に直結する「発酵土壌づくり」を志向する農業実践者が徐々に増えつつあり、特に、異分野からの新規就農者、定年退職したベテラン人材、農業参入を模索する企業、農業教育機関やJA、および現役の慣行栽培農業者でさえも高い関心を持ち始めているため、マーケットとしての拡がり期待できる。

同時に、継続的に収集できる土壌データをその他の多変量要因と合わせ、各研究活動の材料として利用できるライブラリー的な「しくみ」を構築することにより、一般ユーザーだけではなく、農業高校や大学、研究機関等へもユーザーが増えていくサービスを検討す

る。

(4) システム的課題

① 普及タイプの深度別土壌センサー棒

上記のインセンティブを、自己が所有する土壌データに対する有効なナレッジ提供が行われるために、リーズナブルな普及タイプの土壌センサーの開発が必要不可欠である。今回の実験・研究においては、土壌データの計測には、深度別に計測することが必要であり、今回使用した土壌センサーは、プラスチック棒に3つのセンサーをテープで張り付ける作業対応で手作りによるセンサーを作成した。下図の写真のような手作りセンサーを最初から一本のセンサー棒に埋め込んだ形の製品開発が必要である。

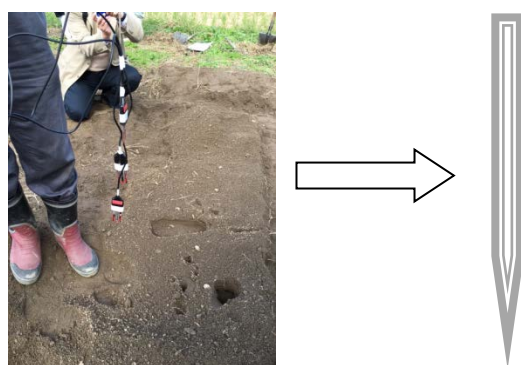


図 63 センサーの改良

② 通信系センサーの開発

デカゴンと同様のデータ収集と通信によるネット配信機能の検証を目的に、SenSuを導入したが、デカゴンと比較して情報収集機能が若干劣る他、通信系機能についてはセキュリティ面（ウィルス対策）も含め、実用化までの問題点もいくつか明確になった。特に、将来、センサーユーザが所有する個々の土壌情報の管理は、厳格に行われるべきものであり、セキュリティ面の対応はシステム的にも完ぺきにしておうことが必要である。

実用面においては、最終的には、一般の農業者が有する農地を発酵工程にナビゲートしていくために、有効なセンシング項目をすべてパッケージ化した耐久性と耐水性に優れた「安価」なセンサーを提供することが求められている。

【システム面のリファレンスモデル】

前項で、本年度実験過程で明確になった課題と、上記の今後求められる課題を解決することにより、実現可能と考えるリファレンスモデルを以下に示す。

リファレンスモデルでは、安価な土壌センサーとネットワーク接続、およびクラウド上の土壌（発酵土壌）のデータベースから構成される。

農家の方々が発酵土壌づくりに埋設して土壌センサーが捉えた内容をデータベース上のナレッジと照合し、もし問題があれば、その対処方法を通知する。発酵土壌が出来上がった際にも通知する。

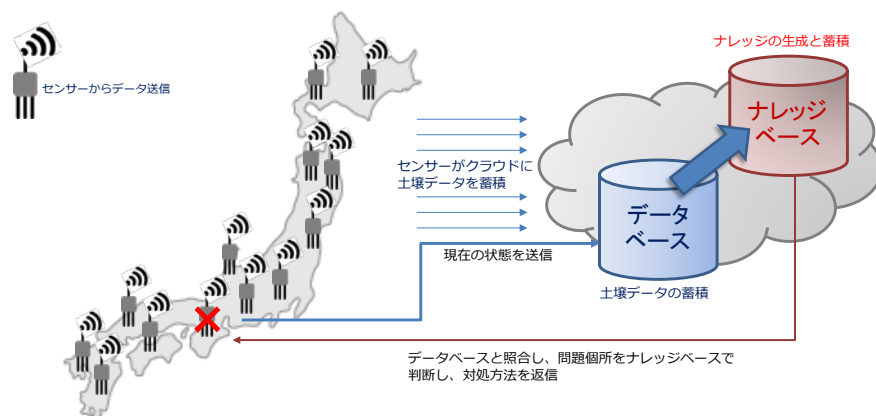


図 64 リファレンスモデルの全体図

センサーの埋設については、本実証で行ったように、土壌の場所や深さごとに多くのセンサーを設置するのがよいが、広く一般に普及することを考えて、最小限の設置とし、設置方法については、以下のとおりとする。

- ① 土壌センサーは、土壌温度、土壌水分を測定するものとする。
- ② 設置位置は、作土層の中心付近とし、作物によって、深度を適宜、調整するものとする。また、センサーの数は、圃場（同一作物）につき 1 箇所とし、土壌の状態により、適宜、増やすものとする。

増設方法の例：

1) 3 箇所設置

圃場を四角とした場合、対角線上の角付近 2 箇所、中央 1 箇所(サイコロの 3 の目状)

2) 5 箇所設置

圃場を四角とした場合、対角線上の角付近 4 か所、中央 1 箇所(サイコロの 5 の目状)

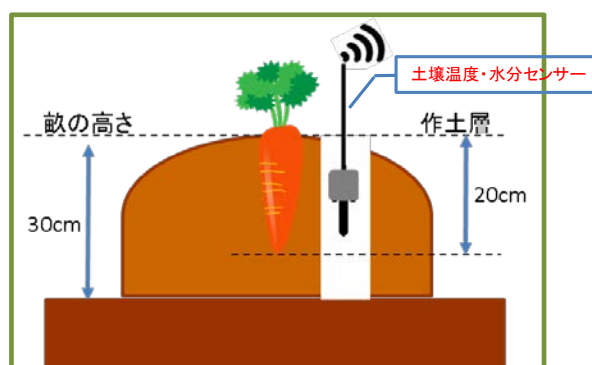


図 65 センサーの設置

【ユーザー支援面のリファレンスモデル】

今回の事業では、素人にもわかりやすいユーザーインターフェイスの簡素化の課題が見えてきたが、センサーの導入設置と維持・管理、およびセンサーによる蓄積データを駆使した発酵土壌誘導ナレッジの「しくみ」を十分に理解することで、その有効性の認識がより広範囲に普及するものと思われる。

したがって、将来の土壌センサー導入者向けを想定し、情報リテラシー向上のための研修カリキュラムを設計する。同研修プログラムは、土壌センサーのしくみと、その導入設置と維持・管理のための手順他、蓄積された土壌データをどのように理解し有効利用するか、さらに栽培履歴や出荷販売履歴、並びに農業原価管理に致すまでのシステム全般と有効利用法を学ぶことができるものとする。

本事業の土壌センサーが普及するための、付随するサービスとしての教育研修プログラムの一環とする。

平成 29 年度に AGSA 朝倉校で、一部同カリキュラムを設計し試行する。

9 IoT サービスの創出・展開に当たって克服すべき具体的な課題の解決に必要と考えられるルール整備等

(IoT デバイスとして実装すべきセキュリティガイドライン)

本事業での IoT はセンサーが中心であり、エッジデバイスでのセキュリティに関する指針として、総務省、経済産業省が策定している IoT セキュリティガイドライン V1.0 の指針の中でも特に「設計」に関する内容は基本的な実装の方向性として非常に参考となる。

IoT デバイスからのデータの保証を行うための方法としては、自分に閉じる対策、外部に迷惑を掛けない実装＝自己完結を取り入れる必要がある。しかし廉価な IoT デバイスでは内部にその設計思想を盛り込むことがコスト的にも厳しくなるため、"外部"でのデータ認証の仕組みを利用して、安全なデータの集約を実現しなければならない。

その仕組みとして、第三者認証やブロックチェーンを使ったデータの改竄等が困難になる実装のためのガイドラインが必要であり、恐らくは国際標準機関で策定されるようなオープンなアーキテクチャで理解が簡単、かつ実装が堅牢な仕組み＝デファクトスタンダードのを利用していくこととなると考える。

例えばブロックチェーンをデータ認証のためだけに使う実装はすぐにでも実証可能かと考える。本事業でのデータ収集は土壌のセンシングデータであるが、汚染された土壌であるにも関わらず、データが改竄されて正常と示された場合、その土で育てた作物を食べた人間への影響が大きく非常に危険である。

現状、データの認証（改竄防止）に係る外部（Gateway、サーバ）での実装は個々進めた場合、方式が発散するため、戦略的に標準化を進めて、部分的な実装からでもよいので、

設計思想の統一と共通 API の提供により、オープンな議論で洗練された実装へと進むもの
と考える。

例えば LPWA を実装する上での、その挙動に応じたセキュリティ対策についても、ガイド
ライン V1.0 の設計思想の実装モデルを、オープンに設計し、誰もが利用できる環境を提
供していくことが、普及と安心、安全の提供のための第一歩と考える。

データの生成

→データの送信

→データフォーマットの検証

→認証

→外部（ゲートウェイなど）への送信

→その先

の各フェーズでの実装モデルの策定と、PoC の作成ができれば、あとは有志による有効性
の検証（堅牢さ、スピード、トラフィックの量など）が進むはずである。

- ・フォーマットの定義（データの大小問わず）
- ・認証のしくみの選定：ひとつとは限らずレベル分けが必要
- ・検証モデルの早期提供

が進んで、各ベンダーの実証のなかで仕様を揉んでいくことが重要で近道であると考え

また、屋外（特に農地、山林など）に IoT デバイスを設置する場合の課題として、電源
の確保の問題が必ず発生する。農業用センサーとしては場に設置する場合、場所によっ
ては施設園芸（ハウス栽培）でも電源の確保が困難となる。そのためには電池による駆動が
求められ、低消費電流で長時間稼働させる仕組みを採用しなければならない。（農林水産省
においても電池駆動のセンサー開発を推進しようとしている）

現在、センサーのデータを送信するための通信機器には、通信方式（3G、4G、LTE など）
が採用されている。これらの方式では、写真、動画などの大きなデータを高速に送受信す
ることが可能であるが、消費電力は大きい。センサーのデータは、非常に小さく、また高
速な通信速度を必要としないため、LoRa（Long Range）、SIGFOX などの LPWA（Low
Power、Wide Area）を利用することとなる。通信方式は状況に応じて、最適なものを選択
すればよいのだが、どれを選ぶにしても上記セキュリティの考え方を踏襲した実装とすべ
きである。先にも述べた実証モデルの定義、構築がひとつようであると考え

10 実証終了後の計画等

(1) 事業内容

基本的な考え方としては、従来のように土壌検体を専門企業に送付して個別の検査を行うものではなく、農地に取り付けたセンサーが（仮称）AGSA 研究センターに適宜送信され、そのデータ解析に基づく診断と対処法情報を送付するシステムを構築することで、高健康機能性農産物の栽培技術の普及とこれらの新たなマーケットの喚起、並びに同センサー情報による情報蓄積量の増大により、より効果的かつ的確な発酵土壌指導を行うことを目標としている。

事業モデルは、おおよそ以下ようになるが、前記の内容の通り、ある程度のナレッジ提供サービスを開始するには、さらなるデータの積み重ねと分析が前提となる。

事業対象者は、普及効果という観点から、早期の段階から農業高校やJA 関係へのサービス提供を目指すものとする。

本格サービス開始までの実験と分析を重ねる段階において、同農業高校等やJA 等のユーザー評価を得ながら、事業内容を固めていく。

また、農業高校等においては、当初より同センサーを用いた共同研究プログラムのなカリキュラムを設計し試行する。

(事業モデル)

- a. 初期条件調査（土壌診断など）
…データベースに基づくコンサルティング（ネット／リアル）
- b. センサーの販売と保守
- c. センシング情報とナレッジ情報の活用に関する指導者研修（ネット&リアルスクール）
- d. センシング情報とナレッジ情報による教育プログラムの提供（対農業高校等）
- e. オプションサービスとして土壌サンプル提供による化学性、生物性分析、および農産物に関する抗酸化力分析

(2) 事業実施主体

本事業のコンソーシアムメンバーの役割分担により、上記の事業モデルを構築していく。すなわち、中核的な機能を担う（株）アグリガーデンスクール&アカデミーを主たる事業主体としてコンソーシアムメンバーの各企業との提携関係により、事業実施連合体を形成する。尚、本サービスの全国展開においては、各地域の大学や研究機関との協力関係を確立しながら、推進していく。

(3) スケジュール

29 年度	30 年度	31 年度	32 年度
-------	-------	-------	-------

実験・分析・実証期間	モデル事業開始	本格事業開始
------------	---------	--------

(4) 普及展開と資金計画

今年度については、実用的な事業モデルの方向性は明確になりつつあるが、具体的な収支計画を策定する段階に至るまでには、あと1年～2年の実験検証が必要である。

事業開始時には、その準備としてそれぞれの事業（上記 a.～e）についての資金需要が発生するが、可能な限り、現存するセンサー機器類を有効活用し、各モデル事業のトライ＆検証と連携効果実証を積み重ねながら、事業発展の確証性を得ることとしたい。

その上で、それぞれのサービスを開始するための初期費用、ランニングコスト、価格の設定、普及戦略と手法についての効果的かつ具体的な手法を検討し、より具体的かつ現実的な事業計画を策定する。尚、普及戦略はモデル事業で実績をつくった上で、パッケージごと横展開するものである。

資金調達は、上記により、3年後5年後10年後の中長期的な事業計画を策定し、エクイティと銀行融資により実施する予定である。