

## 下水汚泥由来肥料の GHG 削減効果検証について

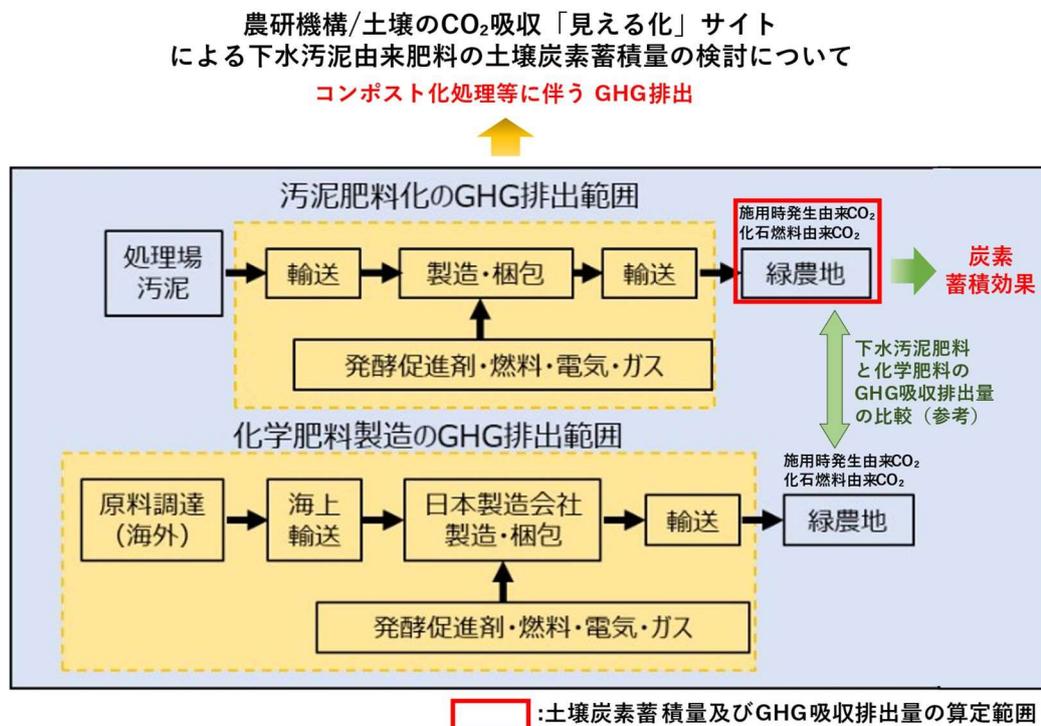
### 1. はじめに

近年の農業分野では CO<sub>2</sub>削減効果として堆肥等の有機物を農地に施用して農地土壌中に炭素を蓄積させようとする試みがなされている。

このような中、下水道協会における取組の一環（下水道GX 調査専門委員会）として下水汚泥堆肥施用における脱炭素効果を把握することにより地方公共団体の下水道温暖化対策実行計画の一助とすることを目的として土壌炭素蓄積効果の実証調査及び、これをベースとした化石燃料由来も含めた温室効果ガス排出量の評価を行う。

本調査を行うことにより下記アウトプットを想定する。

- 1) 全国の農業関係団体（農家含む）が下水汚泥堆肥を施用した場合における炭素蓄積（CO<sub>2</sub>削減）効果を提供できる。
- 2) 地方公共団体等に対して温室効果ガス削減効果試算のための計算ソフト（農研機構/土壌のCO<sub>2</sub>吸収「見える化」サイト）を提供できる。



## 2. 検討手法

土壌炭素の変動は一般にゆっくり起こるため、炭素蓄積効果を実測により確認するには数十年にわたる長期間の実測が必要であり、本専門委員会にて長期の圃場試験を行うことは事実上難しいと思われる。このため本試験では、下水汚泥堆肥を2～3年スパンで施用した場合の圃場試験で得られる土壌炭素貯留の実測データと、従前から農地への有機物施用（堆肥）に関連した土壌炭素貯留量の計算に用いられる計算ソフトによる計算値との照合を行うことにより、下水汚泥由来肥料を施用した場合も、他の堆肥の施用と同様に計算ソフトにあてはめて土壌炭素蓄積量を予測できるかを検証する。

また参考として下水汚泥堆肥施用と堆肥無施用（化学肥料のみ施用）の場合の炭素蓄積量を比較し、下水汚泥堆肥による土壌炭素蓄積効果に併せて温室効果ガス削減の評価も行う。

## 3. 試験方法

### 1) 圃場における土壌炭素含量の実測と土壌炭素蓄積量への換算

○圃場の土壌サンプルの採取と土壌炭素含量の測定、

作物の生育・収量への下水汚泥堆肥の施用効果を検討する試験においては、

- ・下水汚泥堆肥を施用する圃場
- ・対照の化学肥料のみを施用する圃場（堆肥無施用）

の2圃場の間で作物の生育収量を比較する。この2圃場において作物の栽培前と後の時期に、作土のサンプルを採取し、土壌炭素含量（単位：C%/作土重量）を測定する。

○圃場の土壌炭素蓄積量（実測値：単位 t C/ha/15cm 深）

＝土壌炭素含量（単位：C%/作土重量）×（作土の仮比重）×15

### 2) 「土壌のCO<sub>2</sub>吸収見える化サイト」の計算ソフトを用いて土壌炭素蓄積量を計算

・土壌炭素蓄積量の変化の計算

「土壌のCO<sub>2</sub>吸収見える化サイト」における計算ソフトへの入力手順に従い、

地図上で調査地を選択→栽培作物、有機物管理状況、施肥状況の情報入力

→栽培前土壌有機物含量、仮比重の情報入力

を順に行うことにより、圃場の土壌炭素蓄積量の変化（計算値）が20年間分出力される。

・堆肥施用による土壌炭素蓄積効果の試算

下水汚泥堆肥施用区の土壌炭素蓄積量の変化を計算するには、計算ソフトにおいて

「堆肥の投入量」として“下水汚泥堆肥の施用量（t/10a）”を入力する。一方、化学肥料区の土壌炭素蓄積量の変化を計算するには、「堆肥の投入量」として“ゼロ”を入力する。

これら2つの区の土壌炭素蓄積量の差を、「堆肥施用による土壌炭素蓄積効果（計算値）」とする。

## 4. 実証試験結果

### 4-1. 徳之島町

1) 圃場における土壤炭素含量の実測と土壤炭素蓄積量への換算

- ・(下水汚泥堆肥 2t/10a 施用、化学肥料 20%減肥) 区
- ・対照の(化学肥料慣行施用) 区

を設けて、1年目ジャガイモ、2年目・3年目サトウキビを栽培し、栽培前後の作土サンプルを採取して土壤炭素含量(単位:C%/作土重量)を測定した。この測定値に(作土の仮比重)×15の係数をかけて土壤炭素蓄積量(実測値:単位 t C/ha/15cm 深)を求めた。結果を表1の「実測値」欄に黒字で示す。

下水汚泥堆肥施用による土壤炭素蓄積効果「実測値」は、2年目、3年目の(下水汚泥堆肥区)と(化学肥料区)の土壤炭素蓄積量の差として求められる。この値を表-1の下の欄に黒字で示した。

**表1 徳之島町圃場での土壤炭素蓄積量(下水汚泥堆肥施用区及び化学肥料区)**

—圃場作土サンプルの実測値と、計算ソフトによる計算値の比較—

試験区	土壤炭素蓄積量(tC/ha)	作付け期間							
		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	10年目	15年目	20年目
化肥慣行区	実測値	11.7	11.8	10.6	分析中				
(堆肥なし)	計算値	11.7	11.3	11.1	10.9	10.7	10.0	9.5	9.1
下水堆肥区	実測値	11.7	11.7	12.4	分析中				
(2t/10a施用)	計算値	11.7	11.7	13.3	13.9	14.5	16.8	18.5	19.7
炭素蓄積効果	下水汚泥堆肥-化肥慣行 実測値	0.0	-0.1	1.8					
	下水汚泥堆肥-化肥慣行 計算値	0.0	0.4	2.2	3.0	3.8	6.8	8.9	10.6

2) 「土壤のCO<sub>2</sub>吸収見える化サイト」を用いた土壤炭素蓄積量「計算値」の算出

3-2)で述べた試験方法に従い、「土壤のCO<sub>2</sub>吸収見える化サイト」の計算ソフトを用いて調査地として徳之島町の圃場を選択→栽培作物、有機物管理状況、施肥状況の情報入力→調査圃場の栽培前土壤有機物含量、仮比重等の情報入力を行い、

下水汚泥堆肥施用区、化学肥料区のそれぞれについて、土壤炭素蓄積量の変化「計算値」を求めた。結果を表1に赤字で示す。またこの表の土壤炭素蓄積量トレンドグラフ(作付け期間5年まで)を図1に示す。

下水汚泥堆肥施用による炭素蓄積効果「計算値」は3-1)の「実測値」の場合と同様に2つの試験区の炭素蓄積量の差とし、表1の下欄に赤字で示した。また図1のグラフ中では矢印で示した。

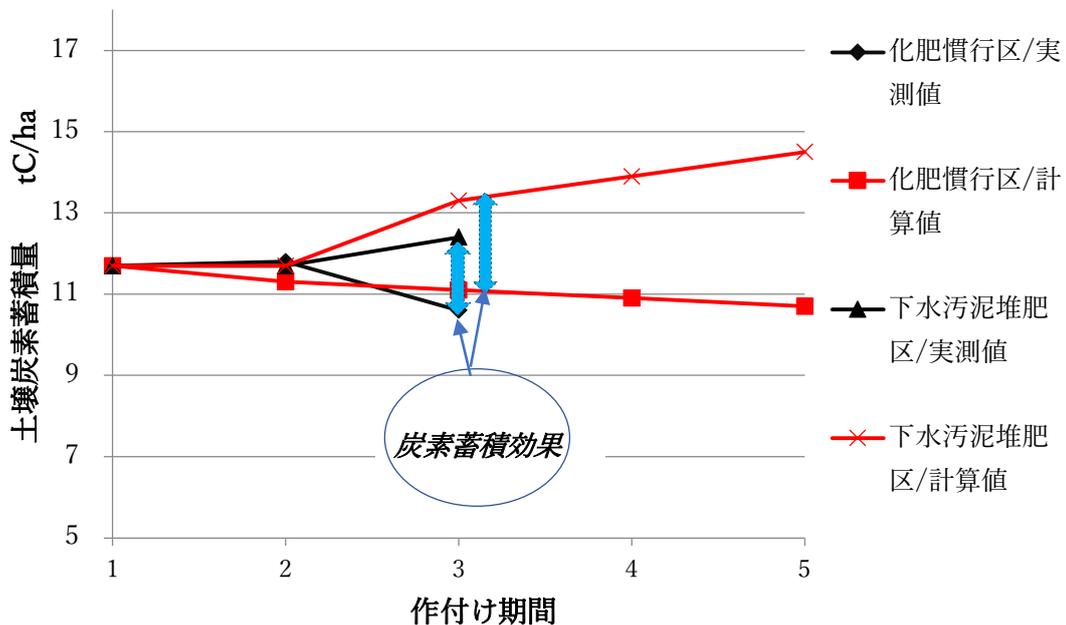


図1 土壤炭素蓄積量トレンドグラフ

3) 「見える化サイト」の計算ソフトによる土壤炭素蓄積量の計算の有効性について

1)で求めた「実測値」と2)の「計算値」を比較することにより、「見える化」サイトの計算法が、「下水汚泥堆肥の土壤炭素蓄積効果の評価」に有効かどうかを以下考察する。

(作付け1年目、2年目、3年目の下水汚泥堆肥区と化学肥料区の土壤炭素蓄積量の変化)

・「実測値」は、1)で表1に黒字で示したように

対照の化学肥料区では、11.7→11.8→10.6 下水汚泥堆肥区は 11.7→11.7→12.4 となり、1年目ジャガイモ栽培の期間は変化が少なく、2、3年目サトウキビ栽培の期間は化肥区(堆肥なし)では減少、下水汚泥堆肥区では増加の傾向であった

・「計算値」は2)で表1に赤字で示したように、

対照の化学肥料区は、11.7→11.3→11.1で減少、下水汚泥堆肥区では 11.7→11.7→13.3で増加し、作土の炭素含量測定値から求めた「実測値」の変化と類似した傾向を示した。

(堆肥施用による“土壤炭素蓄積効果”について)

表1の下欄に示した結果から、圃場試験3年目までの土壤炭素蓄積効果は、

実測値： $12.4 - 10.6 = 1.8 / (2 \text{年}) = 0.9 \text{tC/ha/年}$

計算値： $13.3 - 11.1 = 2.2 / (2 \text{年}) = 1.1 \text{tC/ha/年}$

となり、実測値と計算値は類似している。

以上、徳之島町での栽培試験3年目までの圃場作土の土壤炭素含量の変化を下水汚泥堆肥施用区と化学肥料区の間で比較した結果、土壤炭素含量の測定による実測値と「見える化

サイト」の計算ソフトによる計算値とは類似した値を示した。また、これら2つの区の土壤炭素蓄積量の差として評価する“堆肥による土壤炭素蓄積効果”も、実測値と計算値が類似する傾向であった。この結果、「見える化サイト」の計算ソフトを用いて土壤炭素蓄積量を計算する方法は、下水汚泥堆肥を施用する場合についても適用できる可能性がある。

#### 4-2. 横芝光町

##### 1) 圃場における土壤炭素含量の実測と土壤炭素蓄積量への換算

横芝光町の水田圃場において、下水汚泥堆肥施用が異なる

- ・下水汚泥堆肥を 500kg/10a 施用し、基肥を半減（下水汚泥堆肥区）
- ・化学肥料を慣行施用（対照区、下水汚泥堆肥無施用）

の2つの施肥方法で、隣接する圃場で水稻を栽培した。

これら2つの圃場の土壤炭素含量を調査するため、水稻の栽培前後（4月と11月）にそれぞれの圃場から作土の土壤サンプルを採取し土壤炭素含量を分析した。

その結果、土壤炭素含量の測定値は

（下水汚泥堆肥区）では4月：2.14%→11月：2.20%、

（化肥区、堆肥無施用）では4月：2.42%→11月：2.44% であった。

作土の深さ 15cm、仮比重 1 と仮定して、ha 当たり土壤炭素蓄積量（実測値：単位 t C/ha/15c 深）を、土壤炭素含量に 15 の係数を掛けて求めると、

（下水汚泥堆肥区） 4月：32.2→11月：33.0、（化肥区）4月；36.2→11月：36.6 となるので、この値を**表2**の「実測値」欄に黒字で示す。

なお、横芝光町の水田では下水汚泥堆肥区と対照の化学肥料区との間で、試験開始時の土壤炭素含量が2.14%と2.42%と異なったので、（堆肥施用による土壤炭素蓄積効果）の値は、（下水汚泥堆肥区の土壤炭素蓄積増加量）－（化肥区の土壤炭素蓄積増加量）のように、土壤炭素蓄積量の差ではなく、その増加量の差とし、**表2**の下の欄に黒字で示した。

**表2** 作物栽培圃場の土壤炭素蓄積量 （横芝光町褐色低地土、水稻栽培）

試験区	土壤炭素蓄積量 (tC/ha)	作付け期間							
		1年目	1.5年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	20年目
化肥慣行区	実測値	36.2	36.6						
(堆肥なし)	計算値	36.2	36.1	36.0	35.8	35.7	35.6	35.5	34.9
下水堆肥区	実測値	32.2	33.0						
(500/10a施用)	計算値	32.2	32.8	33.2	33.6	34.0	34.3	34.6	37.1
下水堆肥施用による炭素蓄積効果	実測値	0.0	0.4						
	計算値	0.0	0.7	1.2	1.8	2.3	2.7	3.1	6.2

## 2) 「土壌の CO<sub>2</sub> 吸収見える化サイト」における土壌炭素蓄積量「計算値」の算出

「土壌の CO<sub>2</sub> 吸収見える化サイト」において、

調査地として横芝光町の圃場を選択→1年目の水稲栽培管理状況と、調査圃場の栽培前土壌有機物含量等の情報を入力

の手順により下水汚泥堆肥施用区、化学肥料区のそれぞれについて、土壌炭素蓄積量の変化「計算値」を出力した。結果を表 2 に赤字で示す。

## 3) 土壌炭素蓄積量の実測値と計算値を比較し、「見える化サイト」の計算の有効性を検討

横芝光町水田の作付け 1 年目 (4 月) と 1.5 年目 (11 月) の土壌炭素蓄積量は、

- ・「実測値」は。対照の化学肥料区で 36.2→36.6 とやや増加、  
下水汚泥堆肥施用区も 32.2→33.0 とやや増加した
- ・見える化サイトでの「計算値」は、対照の化学肥料区で 36.2→36.1 とほぼ増減なし、  
下水汚泥堆肥施用区は 32.2→32.8 とやや増加した。

この結果、土壌炭素蓄積量の変化の傾向については、

- ・実測値はどちらの区も少し増加、
- ・計算値は堆肥施用区が増加、化学肥料区はほぼ増減なしであった。
- ・2つの試験区の土壌炭素蓄積の増加量の差によって求められる“堆肥施用による土壌炭素蓄積効果”は

実測値 (33.0-32.2) -(36.6-36.2)=0.8-0.4=0.4tC/ha/7ヶ月、

計算値 (32.8-32.2) -(36.1-36.2)=0.6-(-0.1)=0.7tC/ha/7カ月

となり、両者の値は類似した。

以上のように横芝光町の水田は土壌炭素蓄積量の変化が小さく、また堆肥による土壌炭素蓄積効果も小さかったのは、堆肥施用量は 500kg/10a と徳之島町の畑への堆肥施用量 2t/10a より少なかったことも一因と考えられる。

## 5. 考察・今後の予定

・徳之島町圃場での 1~3 年目までの炭素蓄積量の変化は、実測値と計算値が類似の傾向を示したことから、下水汚泥堆肥を施用した場合の土壌炭素蓄積量の変化の計算についても、「見える化サイト」の計算ソフトを適用できる可能性が示された。

また、横芝光町での実証試験の結果から、水稲栽培による土壌炭素蓄積量の変化は実測値、計算値とも小さかったが、これは堆肥施用量が 500kg/10a と小さい事が反映していると考えられた。堆肥施用による土壌炭素蓄積効果についても小さい値で、実測値と計算値が類似しており、水田での堆肥利用についても本計算ソフトが適用できる可能性がある。

なおこれまで本計算ソフトを用いて土壌炭素蓄積量を計算する過程で、計算結果に大きく影響する項目としては「作物残渣の鋤き込み量」があげられる。このため、今後の実証試験においては、作物種や作物残渣の鋤き込み量の異なる場合についても引き続き試験を行い、下水汚泥由来肥料の土壌炭素蓄積効果に関わる計算ソフトの有効性を確認する。

・上記有効性の確認がされた場合に土壌炭素蓄積量に加え、施用にかかるメタン、一酸化二窒素、化石燃料由来（農業機械や資材）、化学肥料使用によるの CO<sub>2</sub>も加えた GHG 排出量について、下水汚泥由来肥料と化学肥料の比較評価を計算ソフトより行う（参考資料参照）。

・参考文献

1. 土壌の CO<sub>2</sub> 吸収「見える化」サイトの URL ; <https://soilco2.rad.naro.go.jp>