

●論文

千葉大学松戸キャンパスに設置した県内土壌充填コンクリート枠試験の概要および千葉県暖地園芸研究所内の土壌調査

八島未和^{1*}・園田理貴²・
佐藤まきば²・平 英敏²・
坂本一憲¹・犬伏和之¹

¹千葉大学大学院園芸学研究院
²千葉大学大学院園芸学研究科

Field exhibitions of typical soils from Chiba Prefecture in concrete frames at Matsudo Campus and soil investigation in Warm Horticulture Research Institute, Chiba Prefecture

Miwa YASHIMA¹, Masaki SONODA²,
Makiba SATO², Hidetoshi TAIRA²,
Kazunori SAKAMOTO¹, and
Kazuyuki INUBUSHI¹

Graduate School of Horticulture, Chiba University

Abstract

The concrete frame experiment set up in the field of Matsudo Campus, Chiba University in 1989, being filled with six kinds of typical soils of Chiba prefecture. This experiment setting has been used as a platform for education and research in the Faculty of Horticulture. However, soil depth had decreased over 20 years. We decided to refill the frames with new soils and recover their original depths. The six types of soil were sand-dune Regosol, Brown Forest Soil, Dark Red Soil, humic Andosol, and light-colored Andosol (surface and subsurface). Sand-dune Regosol had a high density and a high pH. The soil densities of Andosols were relatively low, and their phosphate absorption coefficient exceeded $2000 \text{ mgP}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$, indicating the typical characteristics of Andosols. The light-colored Andosol (surface) had the highest CEC value, followed by Brown Forest Soil, Andosol (subsurface), and humic Andosol. Clay content and total carbon content were related with CEC.

A soil survey of the Biwa garden soil of the Warm Land Research Institute, where brown forest soil was collected, revealed that although the amount of CO_2 released from the soil surface and the A1 layer was large, the amount of CO_2 produced in cores in A2, Bw1, and Bw2 were not negligible, and these soils had significant amount of microbial biomass. This result suggests that the effect of the lower soil in orchard soils play important roles in carbon cycle.

Key words : concrete frame, soil, CO_2 emission, soil properties

キーワード : コンクリート枠試験, 土壌, CO_2 放出速度, 土壌理化学性

はじめに

千葉県の地形は江戸川・利根川沿いや九十九里, 東京湾岸の沖積低地, 北部の下総台地, および南部の房総丘陵に大別される。土壌の母材としては, 下総台地では富士箱根の火山灰が第四紀に堆積した下総層群を覆っており, 房総丘陵では主に第三紀の海成堆積岩が, また九十九里低地には砂が堆積している。千葉県内の主な畑土壌は下総台地に黒ボク土, 九十九里低地には褐色低地土や黒泥土, 砂丘未熟土など, 房

総丘陵では褐色森林土などが分布しており, 畑地のほか樹園地などに利用されている (千葉県・千葉県農林水産技術会議 2015)。また鴨川市西方の嶺岡山系には超苦鉄質岩である蛇紋岩などを母材とする暗赤色土が分布しており, 畑地などに利用されている (山村 1995)。このように, 千葉県内では火山灰の影響を受けた黒ボク土を中心としつつも, 多様な土壌が農業利用されており, その性質を理解し適切に管理することは農業生産力を維持向上させるのみでなく, 土壌保全や地球温暖化等の環境問題解決の一助になると考えられる。

千葉大学園芸学部土壌学研究室では, 1989年6月, 当時研

代表著者: 八島未和

千葉大学大学院園芸学研究院, matsushima@faculty.chiba-u.jp

doi : 10.20776/S18808824-77-001A

研究室に在籍していた教員が中心となり、松戸キャンパス圃場内にコンクリート枠（1m×1m）を18個設置した。枠は無底であるが、深さは約1mある。この内側に千葉県内の6種類の土壌を3反復分充填したコンクリート枠試験を開始した。県内の各種土壌の性質理解に資すること、また、遠方のため普段接する機会の少ない土壌を学生に展示することを主な目的としていた。当初の土壌の分析結果を発表した関ら（1996）によると、充填された土壌は、砂丘未熟土、褐色森林土、暗赤色土、腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土（表層および下層）の6種類である。分類は農耕地分類第2次改訂版（土壌第3科 1983）によるものである。本試験ではこれまでに陸稲、ラッカセイなどの栽培試験や土壌微生物バイオマス（関1994；関ほか 1996, Sakamoto and Hodono 2000）、窒素固定や菌根菌（Khan et al. 1995）、硝化菌（Inubushi et al. 1996；犬伏 1998）などの研究が行われてきた。また、学生実験などで実際に観察し手触りなどを体験できる場としても活用されてきた。しかし、長期間の試験で作土深の減少が認められた。除草耕起は続けていたが、コロナ禍前後から圃場管理が中断され耕作放棄状態になっていたため、2021年4月にコンクリート枠試験地の更新に着手することとした。同年7月までに試験開始時に採取した地点と同じ現地圃場の作土層から新たに土壌を採取、減少したと思われる深度分の土壌を枠内に再充填し混和した。これにより、設置当初の様相を取り戻し、

今後も継続して教育研究に利用できるまでに回復した。

本論文では、過去の記録や近年の土壌分類学の新知見に基づき、まず新しい土壌分類体系による土壌名を特定した。また、新たな土壌を充填した後のコンクリート枠試験地内土壌の物理性や理化学性を調査し、設置当初の充填土壌の測定データ（関ら 1996）と2021年の土壌理化学性の変化を考察した。本論文で結果をまとめて報告することは、今後コンクリート枠試験地土壌を用いた教育研究において有益であると考えた。

また、作土層とそれ以下の土層の理化学性・生物性を比較するため、上述の土壌採取地の1つである褐色森林土を採取した千葉県農林総合研究センター暖地園芸研究所のビワ園周辺で、土壌断面調査と二酸化炭素放出量を測定した結果を併せて報告する。果樹園での温室効果ガス放出量の測定例はナシ園（藤田 2020）やリンゴ園（犬伏ほか 2005；2021）などで報告されているが、千葉県特産果樹のビワ園では見当たらないため、県内農耕地における炭素循環の解明に資すると考えた。

材料および方法

（1）土壌採取とコンクリート枠試験地への搬入

試験開始時の記録に基づいて土壌採取地を特定し、各地点の作土表層（0-15cm）を2021年4月から7月までに採取し、園芸学部へ運搬した（表1、写真1）。試験開始当初の写真

表1 松戸キャンパス内に設置したコンクリート枠試験地内に充填した各種土壌の採取地情報および農耕地土壌分類（第2次および第3次改定版）による土壌名と包括的土壌分類一次試案による土壌名

| 通称名 採取地 | 砂丘未熟土 匝瑳 | 褐色森林土 館山 | 暗赤色土 鴨川 | 腐植質黒ボク土 千葉 | 淡色黒ボク土 松戸（表層および下層） |
|--|---|---|---|---|---|
| 採取地 詳細 住所 緯度経度 標高 採取日 採取前日と 当日の天気 | 千葉県北総管農 技術指導所 匝瑳市野英町今泉 北緯35°39'04" 東経140°34'43" 3m 2021/5/20 雨、曇 | 千葉県 暖地園芸研究所 館山市山本 北緯34°59'01" 東経139°53'53" 50m 2021/4/21 晴、晴 | 鈴木完*氏圃場 鴨川市仲町 北緯35°05'55" 東経140°03'19" 120m 2021/5/27 晴、雨 | 千葉県 農林総合研究センター 千葉市緑区 北緯35°32'48" 東経140°11'10" 51m 2020/7/5 雨、雨 | 千葉大学 園芸学部 松戸市松戸 北緯35°46'36" 東経139°54'12" 25m 2021/7/16 晴、晴 |
| 土壌群 土壌統 | 農耕地土壌分類 第2次改訂版（1983）による土壌名 | | | | |
| | 砂丘未熟土 内灘統 | 褐色森林土 貝原統 | 暗赤色土 湯島統 | 黒ボク土 桜統 | 黒ボク土 大河内統 |
| 土壌名 | 農耕地土壌分類 第3次改訂版（1995）による土壌名 | | | | |
| | 普通砂丘未熟土 (0530) | 塩基型褐色森林土 (2442) | 普通暗赤色土 (213) | 腐植質普通黒ボク土 (1164) | 典型淡色黒ボク土 (1143) |
| 土壌名 | 包括的土壌分類 第1次試案（2011）による土壌名 | | | | |
| | 普通砂丘未熟土 | 細粒質塩基型 褐色森林土 | 塩基性暗赤色土 | 腐植質普通 アロフェン質黒ボク土 | 典型淡色 アロフェン質黒ボク土 |

*試験開始時の名称

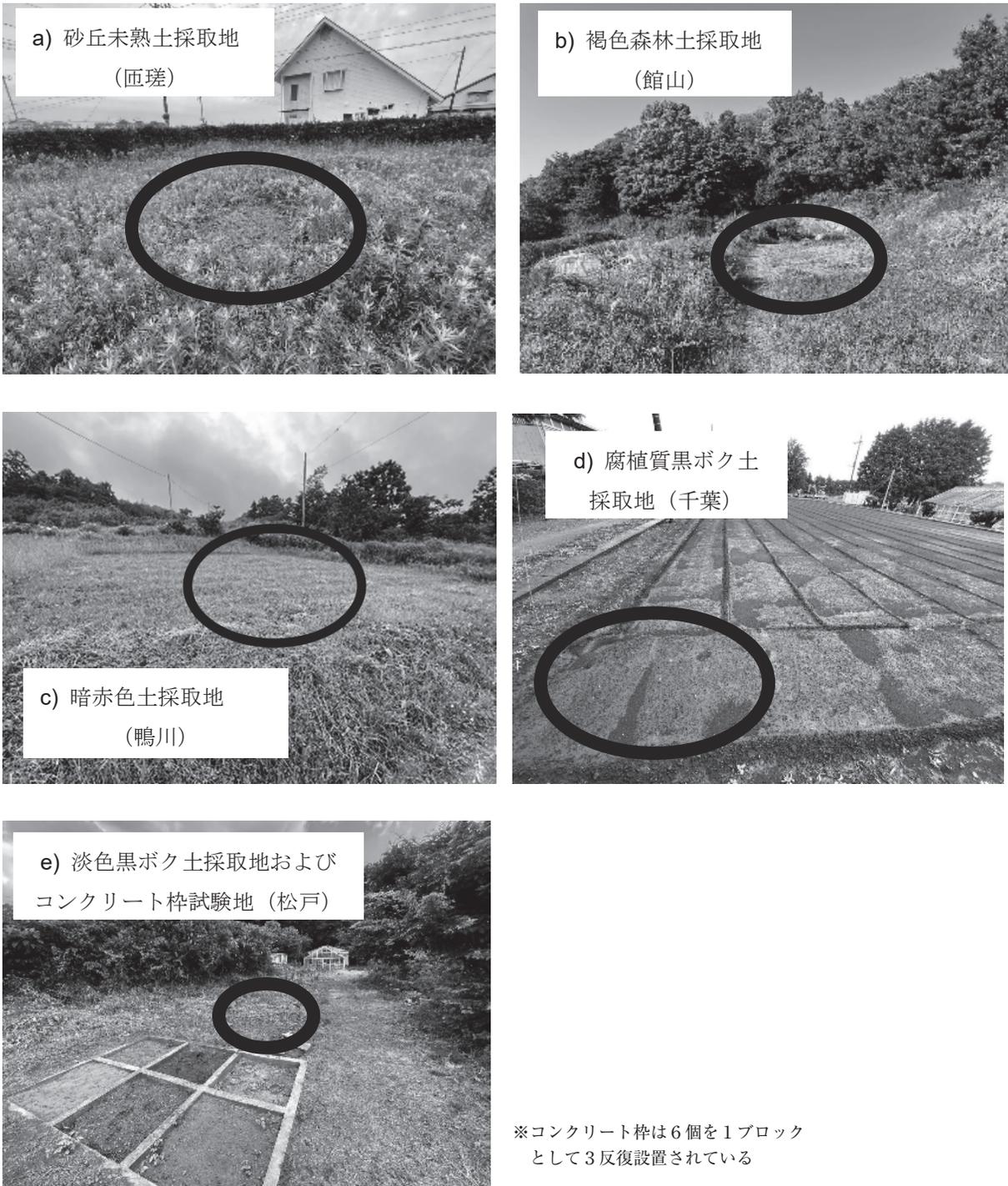


写真1 松戸キャンパス内に設置したコンクリート枠試験地内に再充填する土壌を採取した各地点 (a~d). 各種土壌は1996年枠設置後に充填されたが、2021年に採取した土壌を用いて再充填が実施された。

等から、各土壌の深度は5~12cmほど減少していると判断されたので、減少した深度分の土壌をコンクリート枠に充填し、雑草や礫などを除いた後、試験開始時からの土壌と合わせて0-20cm深程度をよく混和した。なお、コンクリート枠内に侵入し繁茂した雑草の根系は、事前に可能な限り取り除いておいた。

(2) 土壌の物理性

コンクリート枠試験地の土壌から採取した土壌コア試料を採取し、孔隙率、仮比重、真比重を測定した(土壤環境分析法編集委員会 1997)。その際、土壤三相計(DIK-1130, 大起理化)を用いた。また、比重計法(Gregorich 2006)により粒径組成(砂・シルト・粘土の割合)を測定し、測定値から土性区分(日本ペドロロジー学会 1997)に従って土性を決定した。

(3) 土壌の理化学性

コンクリート枠試験地の土壌から採取した湿潤土を2 mm以下に篩別後、pH、EC、陽イオン交換容量(CEC)を以下の方法で測定した。pH(H₂O)：1:2.5ガラス電極法、電気伝導率(EC)：1:5水浸出法、CEC：振とう浸出法(村本ら、1996)。アンモニア態窒素と硝酸態窒素含有量は、土壌を1:5(土壌：1M KCl溶液)抽出した後、抽出液を用いてそれぞれニトロプロシッド法(Anderson and Ingram 1989)およびヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法(林ほか 1997)で比色定量した。一部の土壌サンプルを風乾し粉碎(<0.5mm)後、乾式燃焼法(MT-700, Yanaco)で全炭素と全窒素量(TC, TN)を測定した。リン酸吸収係数はバナドモリブデン酸法(土壌環境分析法編集委員会 1997)で測定した。活性アルミニウムテストはフェノールフタレン紙に土壌をこすりつけ、フッ化ナトリウム液を滴下して反応を定性的に判定した(日本ペドロロジー学会 1997)。

(4) 千葉県暖地園芸研究所内の土壌調査および土壌分析

褐色森林土を採取した千葉県農林総合研究センター暖地園芸研究所のピワ園周辺で、土壌断面調査を実施し、二酸化炭素(CO₂)放出量をチャンバー法を用いて測定した(写真2)。また、採取した各層位の土壌を持ち帰り、研究室内で(3)で述べた理化学性の分析を行った(リン酸吸収係数を除く)。また、湿潤土を用いてクロロホルム燻蒸抽出法(Vance et al. 1987を一部改変)を実施し、微生物バイオマス炭素(MBC)をTOCメータ(TOC-5000, 島津製作所)で、微生物バイオマス窒素(MBN)をベルオキシ二硫酸カリウム分解法およびヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法で定量した(日本土壌微生物学会 2013)。コア呼吸量測定には、各層位から採取したコアを不攪乱のままガラス瓶に入れ、ブチルゴム製セプトラム栓を付けた蓋とブチルテープを用いて密閉後(写真2)暗所30℃で24時間に生成したCO₂量を測定し、コア呼吸量とした。測定後コアの蓋を付け替え上下反転して、同様に測定することで、2反復とした。チャンバーおよびコア培養ビン内から採取した気体のCO₂濃度はガスクロマトグラフィー

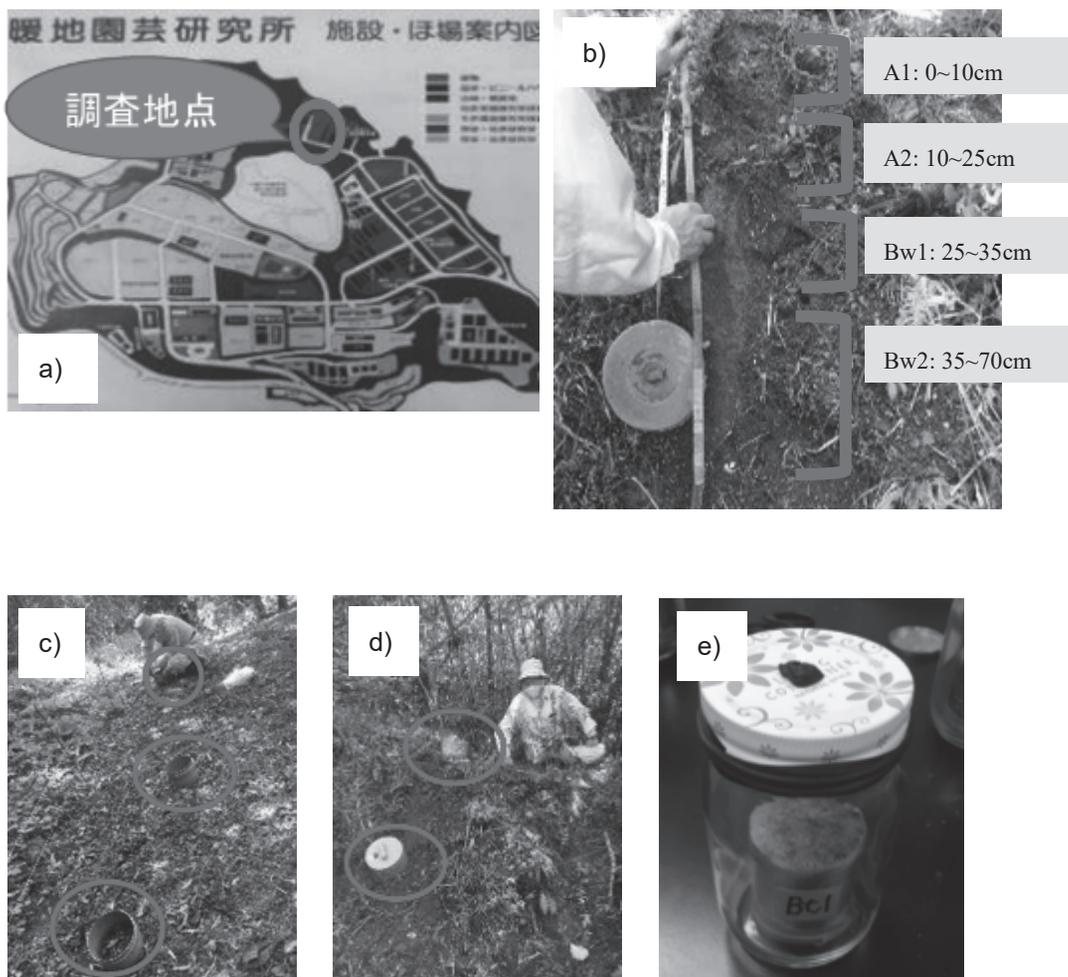


写真2 褐色森林土採取地である暖地園芸研究所(館山)場内のピワ園(上段左)におけるチャンバー法での土壌表面からのガス採取(下段左)と近接地点での土壌断面調査(下段中央)とA1層およびBw層からの土壌ガス採取(下段右)およびコア呼吸量測定(上段右)。

(TCD付きGC-12A, 島津製作所) で定量した (Inubushi et al. 1998; Sato et al. 2021).

結果および考察

(1) コンクリート砕試験地に充填された土壌の分類

調査を開始するにあたって過去の資料を調査したところ、試験設置前後に当時の教員が農耕地分類第2次改訂版(1983)にしたがって土壌を分類した資料を発見した。そこには各土壌の土壌統に関する記載も存在していた。これに基づき、農耕地分類第3次改訂版(1995)および包括的土壌分類第1次試案(2011)の各対比表を用いることにより、両者における土壌名を特定した(表1)。最新の包括的土壌分類第1次試案(2011)に基づく6種の土壌名は、普通砂丘未熟土、細粒質塩基型褐色森林土、塩基性暗赤色土、腐植質普通アロフェン質黒ボク土、典型淡色黒ボク土(表層および下層)である。土壌pHや黒ボク特徴など、土壌分類の判断基準は、この後の分析結果等により作土土壌において確認され、分類に矛盾がないと判断された。便宜上本論文においてはそれぞれ、砂丘未熟土、褐色森林土、暗赤色土、腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土(表層および下層)と呼ぶ。

(2) コンクリート砕試験地に充填された土壌の物理性および理化学性

孔隙率は暗赤色土および腐植質黒ボク土で50%より低く、褐色森林土と淡色黒ボク土(表層および下層)で60%以上と高かった(表2)。一方、腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土(表層および下層)の仮比重は0.74~0.76g cm⁻³、真比重は2.38~2.43g cm⁻³と全体的に低く、軽く根が張りやすいという黒ボク土の共通性質をよく示していた。砂丘未熟土は仮比重および真比重とも最も高く(1.51および2.96g cm⁻³)、母材そのものが重いこと、畑土壌としての物理性はやや劣ることが示唆された。暗赤色土では仮比重が高い(1.26g cm⁻³)ものの、真比重は低め(2.43g cm⁻³)と、特徴的であり、耕うんや有機物投入等の管理で仮比重を下げるのが土壌改良につながると考えられる。粒径分析の結果、土性は砂丘未熟土で砂土(S)、褐色森林土で埴壤土(CL)、暗赤色土で砂壤土(SL)、腐植質黒ボク土で壤土(L)、淡色黒ボク土表層および下層で砂壤土(SL)と判定された(表2)。腐植質黒ボク土では粘土含有量が12%と淡色黒ボク土の2倍存在しており、これが低い孔隙率の原因のひとつであると考えられた。

土壌pHは6種類の土壌で5.7~6.8の範囲を示し、砂丘未熟土で最も高かった(表2)。褐色森林土と暗赤色土のpHには母材が影響していると考えられた。本試験地の褐色森林土は、包括的土壌分類第1次試案(2011)では塩基型の亜群に分類されるが、その要件として『すべての層位でpH6.5以上』と

表2 松戸キャンパス内に設置したコンクリート砕試験地内に充填した各種土壌の代表的理化学性および物理性表3 暖地園芸研究所(館山)場内のビワ園近傍の土壌断面調査結果とコア呼吸量

| 土壌通称名 | 採取地 | 孔隙率 (%) | 仮比重 (g cm ⁻³) | 真比重 (g cm ⁻³) | 粒径分析 | | | 土性 | 活性アルミニウムテスト |
|------------|-----|---------|---------------------------|---------------------------|------|---------|----|----|-------------|
| | | | | | 砂 | シルト (%) | 粘土 | | |
| 砂丘未熟土 | 匝瑳 | 51.7 | 1.51 | 2.96 | 97 | 0 | 3 | S | ± |
| 褐色森林土 | 館山 | 62.2 | 1.22 | 2.63 | 55 | 29 | 16 | CL | ± |
| 暗赤色土 | 鴨川 | 45.4 | 1.26 | 2.43 | 74 | 13 | 13 | SL | - |
| 腐植質黒ボク土 | 千葉 | 46.1 | 0.74 | 2.38 | 63 | 24 | 12 | L | +++ |
| 淡色黒ボク土(表層) | 松戸 | 64.8 | 0.76 | 2.43 | 75 | 19 | 6 | SL | ++ |
| 淡色黒ボク土(下層) | 松戸 | 60.2 | 0.75 | 2.41 | 76 | 18 | 6 | SL | ++ |

| 土壌通称名 | 採取地 | pH (H ₂ O) | EC (mS m ⁻¹) | CEC (cmolc kg ⁻¹) | NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹) | NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) | TC (g kg ⁻¹) | TN | リン酸吸収係数 (mgP ₂ O ₅ 100g ⁻¹) |
|------------|-----|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|---|---|--------------------------|-----|---|
| | | | | | | | | | |
| 褐色森林土 | 館山 | 6.63 | 2.84 | 27.2 | 2.26 | 4.68 | 16.3 | 1.5 | 929.6 |
| 暗赤色土 | 鴨川 | 6.05 | 8.91 | 16.5 | 0.73 | 5.05 | 26.4 | 2.5 | 1,338 |
| 腐植質黒ボク土 | 千葉 | 6.71 | 4.24 | 18.2 | 0.64 | 1.13 | 51.6 | 3.4 | 2,304 |
| 淡色黒ボク土(表層) | 松戸 | 5.69 | 10.75 | 29.6 | 2.40 | 38.1 | 41.1 | 3.8 | 2,254 |
| 淡色黒ボク土(下層) | 松戸 | 6.06 | 3.94 | 21.1 | 3.81 | 37.6 | 27.2 | 2.4 | 2,241 |

※測定はすべて2021年に新たに充填したコンクリート砕内から採取した土壌を使用して実施した。

※※表中の用語は下記を示す。EC：電気伝導度、CEC：陽イオン交換容量、Total C、N：全炭素、窒素。

表3 褐色森林土を採取した暖地園芸研究所場内のピワ園地における土壌断面調査および各層位土壌の理化学性

| 現地調査の項目 | | | | | | | | | |
|---------|-------|----------|-----|----|----|----|-----------------|--|--|
| | cm | 土色 | 土性 | 硬度 | 根系 | 水分 | 活性アルミニウム テスト | CO ₂ 放出速度 (mg m ⁻² hr ⁻¹) | |
| A1 | 0~10 | 10YR 3/3 | SiL | 17 | + | 少 | — | 61.4 | |
| A2 | 10~25 | 10YR 3/3 | SiL | 17 | + | 多 | — | ND | |
| Bw1 | 25~35 | 10YR 4/3 | CL | 19 | ++ | 少 | — | ND | |
| Bw2 | 35~70 | 10YR 4/3 | CL | 28 | ± | 多 | — | 14.0 | |

※土壌表面からの放出は48.8

| 土壌持ち帰り後、研究室内分析の項目 | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------------|------|---|
| | pH (H ₂ O) | EC (mS m ⁻¹) | 含水率 (%) | CEC (cmolc kg ⁻¹) | Total C (g kg ⁻¹) | Total N | MBC (mg kg ⁻¹) | MBN | コア呼吸量 (mg m ⁻² hr ⁻¹) |
| A1 | 6.6 | 6.1±0.9 | 34.3 | 27.1 | 17.2 | 1.53 | 157.4 | 43.1 | 69.8 |
| A2 | 6.7 | 3.2±0.1 | 34.9 | 20.8 | 17.2 | 1.57 | 182.3 | 39.5 | 355 |
| Bw1 | 6.7 | 3.7±1.1 | 34.3 | 21.3 | 16.1 | 1.5 | 146.9 | 37 | 229 |
| Bw2 | 7.1 | 1.4±0.1 | 30 | 18.6 | UD | UD | 32.3 | 27.9 | 12.1 |

※表中の用語は下記を示す。EC：電気伝導度，CEC：陽イオン交換容量，Total C，N：全炭素，窒素，MBC，MBN：微生物バイオマスC，N，UD：検出限界以下，ND：測定せず。

されている。この後の表3にもあるように本試験地の褐色森林土は全体的にpH6.5以上であり、塩基型亜群への分類に矛盾はないと考えられる。暗赤色土は、表1で包括的土壌分類第1次試案(2011)では塩基性暗赤色土に分類された。この判定要件として『超塩基性岩(かんらん岩、蛇紋岩)に由来し、次表層のすべての亜層位でpH(H₂O)5.5以上である土壌』とされている。今回、下層土で土壌pHの測定は行っていないが、蛇紋岩が母材である点と、表層土壌のpHが6を超えているため、分類に矛盾はないと考えられる。淡色黒ボク土(表層および下層)は長年の降雨の影響で塩基が溶脱する等によってpHが低いとみられる。一方、砂丘未熟土と腐植質黒ボク土は母材および施肥管理の影響でpHがやや高かったのではないかと考えられた。ECは2.3~10.8mS⁻¹の範囲であり、砂丘未熟土で最も低く淡色黒ボク土(表層)と暗赤色土で高かった。CECは淡色黒ボク土(表層)、褐色森林土、淡色黒ボク土(下層)、腐植質黒ボク土の順に高かった。これら4つの土壌は粘土含有率または全炭素含有率、またはその両者が高いため、粘土鉱物や土壌有機物がCECに貢献していることを顕著に示唆している。アンモニア態窒素は全土壌において含有量が少なかったが(0.64~3.81mg kg⁻¹、表2)、硝酸態窒素は淡色黒ボク土(表層および下層)で38mg kg⁻¹程度であった。TC、TNは砂丘未熟土で最も低く腐植質黒ボク土と淡色黒ボク土(表層および下層)で高かった(表2)。リン酸吸収係数は腐植質黒ボク土および淡色黒ボク土(表層および下層)で2,241~2,304mgP₂O₅ 100g⁻¹となり、黒ボク土の特徴をよく表しており、畑地利用に伴うリン酸施肥の際には施肥基準以上の量を必要とすることが示唆された。

(3) コンクリート砕試験開始時と現在の土壌理化学性の比較

図1a~dに、各種土壌のpH、CEC、TC、およびTNについて、関ら(1996)の結果と本試験(2021年の土壌採取)の結果の比較を示した。なお、関ら(1996)の論文発表は1996年であるが、実際の土壌採取は1989年の試験開始直後から2年後の1991年10月に実施されている。よって、ちょうど20年間経過前後の比較となる。pHの比較において、砂丘未熟土、褐色森林土、腐植質黒ボク土のpHは1991年に比べ2021年でやや高い傾向が認められる(図1a)。時間経過後のpH上昇については、理由が定かではないが、砂丘未熟土および腐植質黒ボク土では施肥の影響があった可能性がある。他の土壌では大きな差異は認められなかった(図1a)。CECでは暗赤色土と腐植質黒ボク土で大きな減少が見られたが(図1b)、TCおよびTNでも両土壌で大きな減少が認められる(図1bおよびc)ため、土壌有機物の分解や消失に伴うCECの低下が起っていたのではないかと考えられる。また、暗赤色土の粘土含有率は1996年の報告では38.9%とあり(関ら1996)、2021年の結果の13%と比較して3倍近く存在していたことがわかる。粘土が20年間の溶脱現象のみでこのように減少することは考えにくく、土壌採取位置がわずかにずれたことにより、粘土含有率に大きな差が生じ、CECが大きくなる結果となった可能性が示唆された。しかし、1989年当時の記録に基づいて2021年の暗赤色土の採取位置が決められたことは間違いなく、分類や今後の試験に関して支障はないものと考えられる。一方、淡色黒ボク土(表層および下層)ではCEC、TC、TNに増加傾向が認められ、耕作放棄後の雑草など植生からの有機物供給

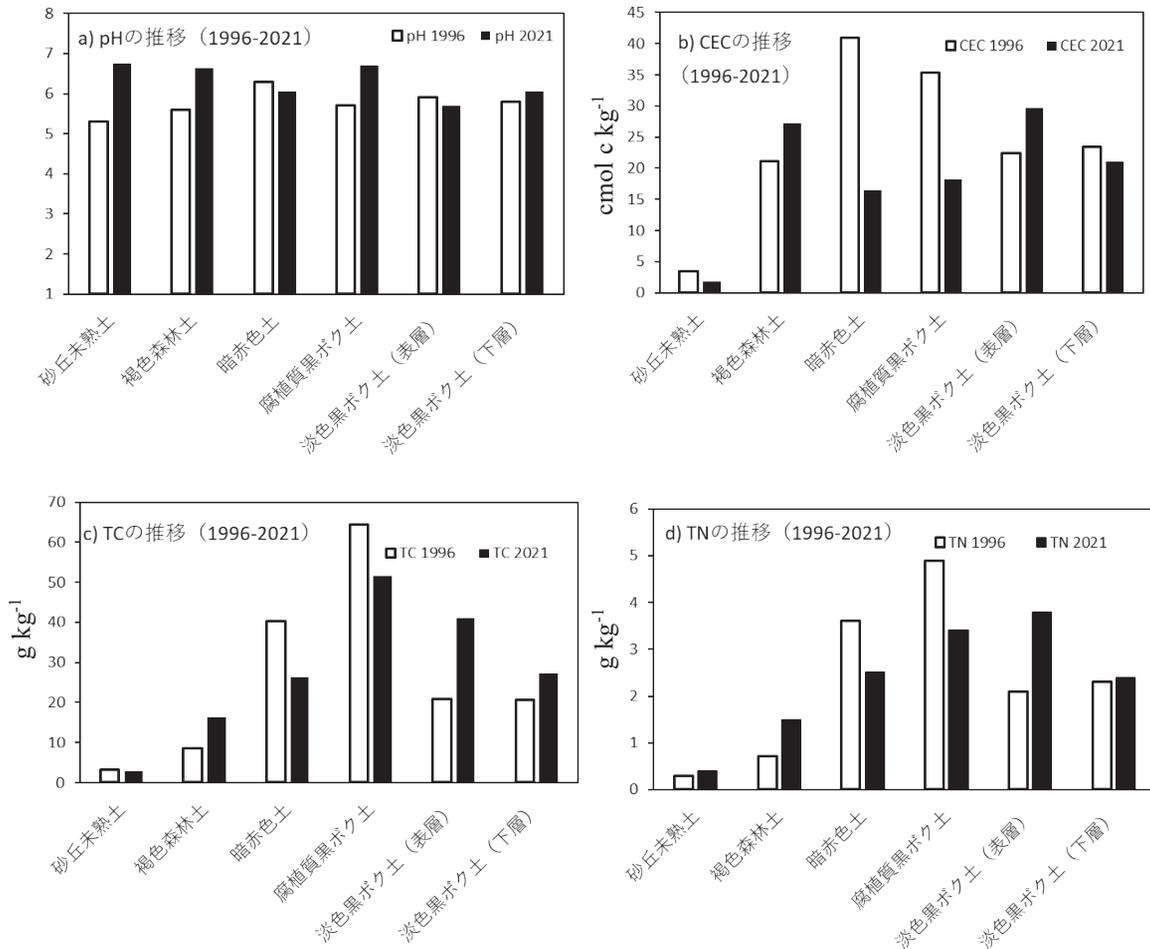


図1 松戸キャンパス内に設置したコンクリート枠試験地内に充填した各種土壌の設置当初（1996年）から再充填後（2021年）間のpH，陽イオン交換容量（CEC），全炭素含有量（TC），および全窒素含有量（TN）の推移。1996年の値は関ら（1996）の発表内容に基づく。

による影響が推察された。耕作放棄地の土壌理化学性の変化や修復に関しては長期的な変化の調査や対処法の提案が進んでおり（農研機構 2008），本試験地での長期的変化の変動要因についても今後さらなる解析が望まれる。

（4）暖地園芸研究所における褐色森林土の断面調査

同所のビワ園近傍の土壌断面は全層で活性アルミニウムテスト（-）であった。同所構内でも西向き斜面などでは同テスト（+）の地点もあったので，火山灰の堆積の母材への影響は注意が必要であった。土色や土性，硬度や根系分布などから70cmまでA1, A2, Bw1, Bw2の4層に分けられ（表3），表層から下層への粘土の移動やBw1層までの根域の伸長，それに伴うCECやMBCおよびMBNの増加が認められた（表3）。MBCおよびMBNはA1, A2, Bw1層でTC, TNのそれぞれ0.91-1.1%, 2.46-2.82%を占めており，既往の文献値（永野ほか 2013；Inubushi et al. 2005）とほぼ合致していた。なおBw2層ではTC, TNが検出限界以下であったが，MBCおよびMBNはA1, A2, Bw1層に対してそれぞれ17～22%および64～75%に及んだ。下層土における微生物バイオマスは概して

表層土より少ないことが知られている（Zaman et al. 2004；永野ら 2013）。今回調査した褐色森林土の下層土では，根の伸長や溶脱有機物の影響を受けやすく，下層土でも微生物バイオマスを維持していたと考えられるが，コンクリート枠に充填した松戸表層と下層との比較を含め，今後さらなる検討が必要である。

ビワ園土壌表面からのCO₂放出速度は48.8mg m⁻² hr⁻¹となり近傍の断面表層と同程度であったが，Bw2層の約3.5倍となった。黒ボク土のナシ園（藤田 2020）の同時期と比べ1/5程度であった。また，土壌表面からのCO₂放出速度は断面A1層のコア呼吸量と，またBw2層からのCO₂放出速度は同層のコア呼吸量と類似していた（表3）。一方，断面A2, Bw1層では層の厚さが十分ではなくチャンバー法によるCO₂放出速度の測定が出来なかったが，コア呼吸量はコア採取時に切断された根の分解の影響などでA1, Bw2層より大きくなったと考えられる。MBC当たりの呼吸量（qCO₂）はA2, Bw1層では1.6-1.9となりA1, Bw2層の0.38-0.44の約4倍になった。A2およびBw1層は，A1に比べると落葉落枝などの有機物の直接投入がなく，微生物の分解活性が多少低めではあるもの

の、粗大な根系の影響を受けており、上述のように微生物バイオマスは相当量存在し、攪乱などの影響があると直ちに微生物活性が上昇し、有機物分解を開始するものとみられる。急な有機物分解活性の増加がA2およびBw1層の qCO_2 を増加した可能性が考えられる。以上のように、果樹園地土壤では表層土よりも下層の土壤の微生物バイオマスや CO_2 生成量が表層土並みに高くなることが認められ、炭素循環解明や炭素貯留量計測の際には下層土の炭素循環についても把握しておくことが重要であると示唆された。今後、下層土を含めた土壤の生物性解析が期待される。

和文抄録

1989年に千葉大学松戸キャンパス圃場内に設置されたコンクリート枠試験地には、千葉県の代表的土壤6種が3反復で充填され、園芸学部での教育研究の材料として活用されてきた。しかし、長期間の試験で作土深の減少が見られたため、新たに土壤を採取し、深度減少分を再充填し、再生を試みた。包括的土壤分類第1次試案に基づいて、6種の土壤は、普通砂丘未熟土、細粒質塩基型褐色森林土、塩基性暗赤色土、腐植質普通アロフェン質黒ボク土、典型淡色黒ボク土（表層および下層）に分類された。砂丘未熟土は砂土であり、比重が大きく、pHが高い土壤であった。腐植質黒ボク土および淡色黒ボク土では仮比重および真比重が低く、リン酸吸収係数が $2000mgP_2O_5\ 100g^{-1}$ を超え、黒ボク土の特徴をよく示していた。CECは淡色黒ボク土（表層）、褐色森林土、淡色黒ボク土（下層）、腐植質黒ボク土の順に高く、粘土含有率や全炭素含有率との対応が見られた。

褐色森林土を採取した暖地園研のピワ園土壤を調査したところ、土壤表面やA1層からの CO_2 放出量が多いものの、コアで採取した土壤の CO_2 生成量は下層土でも高く、微生物バイオマスはA2、Bw1、Bw2層でも高く維持されており、果樹園地土壤における下層土の炭素循環への影響は少なくないことが示唆された。

謝辞：千葉県農林総合研究センター 土壤環境研究室 岩佐博邦氏、暖地園芸研究所 生産環境研究室 赤山喜一郎氏、千葉県安房農業事務所 改良普及課 大坂龍氏には調査に際して多大なご協力を頂きました。また本学元教員の佐藤幸夫氏には試験当初の経緯など貴重な情報を頂きました。記してお礼申し上げます。

引用文献

Anderson, J.M. and Ingram, J.S.I. (1989) Colorimetric determination of ammonium. A hand book of methods. Tropical Soil Biology and Fertility,

ISSS (eds), CAB International, Wallingford, UK, 42-43.

- 馬場隼也・平 英敏・富樫 智・犬伏和之 (2021) シアノバクテリアおよび石膏を用いたリーチングに代わる塩類土壤修復の検討. 土と微生物 75(1): 16-22.
- 千葉県・千葉県農林水産技術会議 (2015) 千葉県農耕地土壤の現状と変化土壤実態調査7巡目 (2009~2012) の結果より, 農林水産技術会議技術指導資料
- 藤田 裕 (2020) 茨城県の黒ボク土ナシ園における堆肥施用および施肥改善が地下水・土壤・大気環境に及ぼす影響. 茨城県農業総合センター研究報告 2: 1-44.
- Gregorich, E.G. (2006) Soil Sampling and Methods of Analysis. Second Edition. Carter (eds), M.R. Canadian Society of Soil Science. 1-198.
- 関 鋼 (1994) 各種土壤における微生物バイオマス窒素の特性. 千葉大学大学院修士論文
- 関 鋼・坂本一憲・吉田富男 (1996) 各種畑土壤における微生物バイオマス窒素・炭素量と主要な土壤理化学性との関係. 土肥誌 67(1): 1-6.
- 林 敦敏・坂本一憲・吉田富男 (1997) ヒドラジン還元法を用いた土壤中の酸態窒素の迅速測定法. 土肥誌 68: 322-326.
- 犬伏和之 (1998) 土壤の細菌, 千葉県の植物 1: 3-13, 千葉県立中央博物館編, 千葉県の自然誌 本編 4.
- 犬伏和之・坂本一憲・岡崎正規・豊田剛己・徐 星凱・荻山慎一・奥山 新・柴田良隆・洲脇康史・山岡順子・牛渡シルビオ良治・オスランジュマディ・小田順子・見富健志・米田理津子・北原克也・円谷恭子・野原滋久・濱脇康介・水野崇行・鈴木創三・田中治夫・隅田裕明・竹迫 紘 (2005) 千葉大学森林環境園芸 (利根高冷地) 農場の土壤の諸性質について (第1報) —土壤の微生物性, ガス生成と微量元素分析. 千葉大園芸学報 59: 1-7.
- 犬伏和之・大畑銀河・垣内悠太郎・谷道琢朗・森 雄吾・菊地優汰・齋藤葉瑠佳・馬場隼也・平 英敏・中山絹子・Kyu Kyu HMWE・八島未和・高橋輝昌・加藤雅彦・小林孝行・杉原 創・豊田剛己・西倉瀬里・テリゲル (2021) 千葉大学森林環境園芸農場の土地利用が土壤理化学性および微生物性に及ぼす影響 (第29回六大学合同土壤調査結果から). 食と緑の科学. 75: 19-25.
- Inubushi, K., Naganuma, H. and Kitahara, S. (1996) Contribution of denitrification, autotrophic and heterotrophic nitrification in nitrous oxide production in andosols. Biol. Fertil. Soils. 23(3): 292-298
- Inubushi, K., Hadi, A., Okazaki, M. and Yonebayashi, K. (1998) Effect of converting wetland forest to sago palm plantation on methane gas flux and organic carbon dynamics in tropical peat soil. Hydrol. Process. 12(13-14): 2073-2080.
- Inubushi, K., Sakamoto, K. and Sawamoto, T. (2005) Properties of microbial biomass in acid soils and their turnover. Soil Sci. Plant Nutr. 51(5): 605-608.
- Khan, M.K., Sakamoto, K. and Yoshida, T. (1995) Dual inoculation of peanut with *Glomus sp* and *Bradyrhizobium sp* enhanced the symbiotic nitrogen fixation as assessed by ^{15}N Technique. Soil Sci. Plant Nutr. 41(4): 769-779.
- 村本稯司・後藤逸男・蜷木 翠 (1992) 振とう浸出法による土壤の

- 交換性陽イオンおよび陽イオン交換容量の迅速分析. 土肥誌 63: 210-215.
- 永野博彦・笠原敬弘・高橋真亜沙・吉岡 遼・孔 玉華・八島未和・岡崎正規・鈴木創三・竹迫 紘・田村憲司・隅田裕明・川東正幸・小崎 隆・伊ヶ崎健大・犬伏和之 (2013) 千葉県森林環境園芸農場の土壌理化学性および微生物性の時間的および空間的変動—2002年, 2003年および2011年の調査結果の比較—. 食と緑の科学. 67: 21-2.
- 日本土壌微生物学会 (2013) 土壌微生物実験法. 第3版. 養賢堂, 東京.
- 日本ペドロロジー学会 (1997) 土壌調査ハンドブック. 改訂版. 博友社, 東京.
- 農耕地土壌分類委員会 (1995) 農耕地土壌分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所資料17: 1-79.
- 農研機構 (2008) 乾田化した耕作放棄田の土壌炭素変動. <https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/warc/2008/wenarc08-14.html> (2021.12.6確認)
- 小原博・大倉利明・高田裕介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄. (2011) 包括的土壌分類 第1次試案. 農業環境技術研究所報告. 29:1-73.
- Sakamoto, K. and Hodono, N. (2000) Turnover time of microbial biomass carbon in Japanese upland soils with different textures. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(2): 483-490.
- Sato, M., Tállai, M., Kovács, A. B., Vágó, I., Kátai, J., Matsushima, M.Y., Sudo, S. and Inubushi, K. (2021) Effects of a new compost-chemical fertilizer mixture on CO₂ and N₂O production and plant growth in a Chernozem and an Andosol. *Soil Sci. Plant Nutr.* 68 (1): 175-182.
- 土壌環境分析法編集委員会 (1997) 土壌環境分析法. 日本土壌肥料学会監修. 博友社, 東京.
- 土壌第3科 (1983) 農耕地土壌の分類—土壌統の設定基準および土壌一覧表—. 第2次改訂版. p.75. 農業技術研究所化学部.
- Vance, E.D., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- 山村友宏 (1995) 千葉県に分布する母材の異なる暗赤色土の微細形態. 千葉県大学大学院修士論文
- Zaman, M., Matsushima, M., Chang, S. X., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko F. and Yoneyama, T. (2004) Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts. *Biol. Fertil. Soils.* 40:101-109.