

## 土壌の易分解性有機物の集積に関する研究(II)：稲わらの分解および易分解性有機物の集積に対する土壌粘度の影響

吉田, 堯  
九州大学農学部植物栄養・肥料学教室

甲斐, 秀昭  
九州大学農学部植物栄養・肥料学教室

原田, 登五郎  
九州大学農学部植物栄養・肥料学教室

<https://doi.org/10.15017/23142>

---

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 27 (3/4), pp.221-235, 1973-07. 九州大学農学部  
バージョン：  
権利関係：



## 土壌の易分解性有機物の集積に関する研究

### II. 稲わらの分解および易分解性有機物の集積に 対する土壌粘土の影響

吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎

九州大学農学部植物栄養・肥科学教室

(1973年3月12日受理)

### Studies on the Accumulation of the Organic Matter Becoming Decomposable through the Effect of Drying a Soil

#### II. The Effects of Soil Clay on the Decomposition of Straw and the Accumulation of the Organic Matter Becoming Decomposable through the Effect of Drying a Soil

TAKASHI YOSHIDA, HIDEAKI KAI  
and TOGORO HARADA

Laboratory of Soil Fertility and Plant Nutrition,  
Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka

粘土は土壌中における最も活性な成分の一つで、その質と関連して土壌中における有機物の分解や微生物の生育と密接に関係している。従来の研究結果 (Allison *et al.*, 1949; 青峰, 1963; Aomine and Kodama, 1956) によると、粘土は主として分解基質および微生物が産出する酵素や抗生物質と複合体を形成し、その作用を抑制して微生物の増殖、植物遺体の無機化速度に影響を及ぼすと考えられている。その影響の程度は、粘土鉱物の種類によつて異なり、一般にモンモリロナイトおよびアロフェン系粘土で大きく、ハロサイト系粘土では小さいと考えられている。従来のこの種の研究は結晶度の高い粘土標品を用いて行なわれたものが多く、土壌粘土に関する知見は必ずしも多くない。また天然における植物の主要な養分の供給源である易分解性有機物の集積に対する粘土の作用に関しては、ほとんど研究が行なわれていない。

前報 (吉田ら, 1972) に示した粘土含量および主要粘土鉱物を異にする土壌を用いて行なつた実験では、稲わらの無機化およびその過程で生成する易分解性有機物の集積に対する粘土の種類の影響は明らかでなく、窒素養分の供給量の多少がそれらにとつて最も重

要な因子であることが認められた。本報では、前報で用いた土壌から粘土画分を採取し、それを砂と混合し、人工土壌を作り、粘土含量および窒素施用量を揃えた条件で稲わら炭素の無機化および易分解性有機物の集積を比較した。なお本実験は窒素供給様式の異なる3種の条件、すなわち無機態窒素を施用しない条件、硫酸を施用した条件および硝酸を施用した条件でそれぞれ行なわれた。得られた結果をもとに土壌中の有機物の無機化および易分解性有機物の集積と土壌粘土の種類との関係について考察を行なつた。

#### 実験材料および方法

##### 実験1. 無機態窒素を施用しない条件下における土 壌粘土の影響

無機態窒素無施用条件下での稲わら炭素の無機化および易分解性有機物の集積に対する土壌粘土の影響に関する実験は以下の方法で行なつた。

前報に示した M-有明、K-後川内、A-長陽土壌より、常法 (青峰・原田, 1967) により土壌粘土を採取した。この粘土画分を 0.1N 塩化カルシウム溶液で処理した後、80°C の通気乾燥器中で十分乾燥し、粉

**Table 1.** Chemical composition of rice straw used in the experiments.

|                               |          |                                |         |
|-------------------------------|----------|--------------------------------|---------|
| H <sub>2</sub> O              | 17.4 (%) | CaO                            | 0.31(%) |
| Total C                       | 33.8     | MgO                            | 0.13    |
| Total N                       | 0.554    | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.02    |
| C/N ratio                     | 61.0     | Organic                        |         |
| Inorganic                     |          | Cellulose                      | 33.73   |
| SiO <sub>2</sub>              | 9.82     | Lignin                         | 21.08   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.24     | Crude-protein                  | 3.46    |
| K <sub>2</sub> O              | 2.42     | Crude-fat                      | 0.80    |

碎して100メッシュの篩を通した。このように調製した土壤粘土を前報に示した砂(細砂)と混合し、粘土含量40%の人工土壤および砂100gにTable 1に示した化学組成をもつ稲わら粉末(<30メッシュ)400mgを添加混合し、培養瓶に入れた。これに新鮮土壤の水懸濁液(1:5)をイノキュラムとして瓶当たり0.4mlおよび無機栄養液(吉田ら, 1972; P, K, Caおよび微量要素を含む)を添加し、さらに蒸留水を加えて最大容水量の60%の水分状態にした。これを30°Cの恒温器中に85日間放置し、発生するCO<sub>2</sub>量を経時的に前報で示した装置により測定した。また培養70日目の試料中の易分解性有機物の集積量を前報に示した方法(熱乾処理効果)で測定した。

#### 実験2. 硫酸を施用した条件下における土壤粘土の影響

硫酸施用条件下における稲わら炭素の無機化および易分解性有機物の集積に対する土壤粘土の影響に関する実験方法は、下記の事項以外は実験1の場合と全く同様である。

本実験においては実験1で用いた土壤粘土の他に前報に示したM-長野、K-大野、A-川南土壤より採取した土壤粘土も供試した。微生物への窒素養分として各人工土壤および砂100g当りNとして62.3mgに相当する量の硫酸を施用した条件下で稲わらの無機化実験を行なった。

#### 実験3. 硝安を施用した条件下における土壤粘土の影響

窒素供給源として硝安を施用した条件下での稲わらの無機化および易分解性有機物の集積に対する土壤粘土の影響に関する実験は以下の方法で行なった。

M-有明、K-後川内、A-長陽の各土壤粘土と砂を混合し、粘土含量10, 20, 40%の人工土壤を調製した。さらにM-有明粘土を用いて粘土1および5%の土壤も調製した。これら粘土含量を異にする土壤および砂に100g当りNとして22.8mgに相当する量の硝安を施用した。硝安を施用した各土壤および砂

10.0gに上記稲わら粉末400mgを添加混合し、実験1の場合と同様の処理を施し、30°Cの条件下で141日間培養した。培養期間中に発生して来るCO<sub>2</sub>量を経時的に測定した。また培養141日後の各人工土壤および砂に集積している易分解性有機物量を測定した。

以後土壤粘土と砂を混合して作った人工土壤をM-有明-40のように記して主要粘土鉱物の種類、土壤の採取地名および粘土含量を示す。M-, K-, A-はそれぞれ主要粘土鉱物がモンモリロナイト、カオリナイト、アロフェンであることを示している。なお供試土壤粘土の塩基置換容量(CEC)とその主要粘土鉱物組成をTable 2に示した。

**Table 2.** Main clay minerals and cation exchange capacities of the soil clays used in the experiments.

| Soil clay                 | CEC<br>(me/100g<br>clay) | Main clay<br>minerals* |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| M-Ariake<br>M-Nagano      | 65.3<br>82.8             | Mt.<br>Mt., Kl.        |
| K-Oono<br>K-Ushirokawachi | 22.0<br>33.4             | Kl.<br>Kl., Hl., Chl.  |
| A-Kawaminami<br>A-Choyo   | 45.9<br>38.2             | All., Imo.<br>All.     |

\* Mt.: Montmorillonite, Kl.: Kaolinite, Hl.: Halloysite, Chl.: Chlorite, All.: Allophane, Imo.: Imogorite.

## 結 果

### 実験1. 無機態窒素を施用しない条件下における土壤粘土の影響

#### (1) 稲わら炭素の無機化

Table 3に砂および土壤粘土40%を含んだ人工土壤における培養7, 30, 85日間の稲わら炭素の無機化率を示した。

A-長陽-40, K-後川内-40 および砂における稲わら炭素の85日間の無機化率は47~50%の間にあり、土壤間に大差は認められなかった。30日間の無機化率はA-長陽-40, K-後川内-40が砂より高かった。M-有明-40での85日間の無機化率は他の土壤および砂での無機化率より10%以上低かった。無機化率の変化の様子から更に長期間培養すれば稲わら炭素の無機化率は砂で最も大きくM-有明-40で最も小さく、A-長陽およびK-後川内で中間的値を示すものと推察される。

**Table 3.** Mineralization rates of rice straw carbon in the soils and sand without nitrogen fertilizer.

| Soils              | Incubation period (days) |       |       |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|
|                    | 7                        | 30    | 85    |
| M*-Ariake**-40***  | 16.4%                    | 30.2% | 36.4% |
| K-Ushirokawachi-40 | 16.0                     | 40.0  | 47.1  |
| A-Choyo-40         | 16.6                     | 42.0  | 49.7  |
| Sand               | 17.6                     | 36.8  | 47.6  |

\* Main clay mineral, M: Montmorillonite, K: Kaolinite, A: Allophane

\*\* Place at which the soils were taken.

\*\*\* Clay contents in the artificial soils (%) which were made by mixing the soil clays with sand.

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00 g per 100 g soil. Moisture contents; 60 % of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30 °C. Incubation period; 85 days.

## (2) 易分解性有機物の集積

培養 70 日後の各土壌および砂に集積されている易分解性有機物の集積量を 80°C の条件で乾燥処理を施すことにより測定し、その結果を Table 4 に示した。

比較的塩基置換容量の小さい砂および K-後川内-40 において易分解性有機物の集積量は多く、集積有機物の 5~6 %が 1 回の乾燥前処理によつて無機化した。塩基置換量の大きいモンモリロナイトを主要粘土鉱物とする M-有明-40 およびアロフェンを主要粘土鉱物とする A-長陽-40 においては 1 回の乾燥前処理によつて 2 %程度の有機態炭素が無機化された。

実験 2. 硫安を施用した条件下における土壌粘土の影響

## (1) 稲わら炭素の無機化

土壌 100 g 当り N として 62.3 mg に相当する硫安

**Table 5.** Mineralization rates of rice straw carbon in the soils and sand treated with ammonium sulfate.

| Soils              | Incubation period (days) |       |       |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|
|                    | 7                        | 30    | 85    |
| M-Ariake-40        | 21.3%                    | 35.1% | 52.8% |
| M-Nagano-40        | 18.1                     | 42.5  | 60.3  |
| K-Oono-40          | 9.3                      | 29.1  | 45.4  |
| K-Ushirokawachi-40 | 14.7                     | 40.9  | 56.0  |
| A-Kawaminami-40    | 20.0                     | 47.2  | 63.5  |
| A-Choyo-40         | 25.7                     | 51.5  | 66.4  |
| Sand               | 16.1                     | 35.7  | 56.0  |

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00 g per 100 g soil. Amounts of mineral nitrogen added to each soil as ammonium sulfate; 62.3 mg N per 100 g soil. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30°C. Incubation periods; 85 days.

を施用した条件下での各土壌における稲わら炭素の無機化率を Table 5 に示した。

培養 85 日間の炭素無機化率をみると、A-系粘土を含む土壌における無機化率が最も高くその中では A-長陽-40 における無機化率がイモゴライトを含んでいる A-川南-40 におけるそれより幾分高かった。他の土壌では M-長野> K-後川内≒砂≒M-有明> K-大野の順に無機化率は低く、主要粘土鉱物の種類との直接的な関係は明らかでなかった。主要粘土鉱物の種類別に分けると、2:1 型粘土を主要とする土壌における無機化率は M-長野> M-有明、1:1 型粘土を主要とする土壌では K-後川内> K-大野で、いずれも塩基置換容量の大きい粘土を含む土壌における無機化率の方が大であった。

**Table 4.** Accumulation amounts of the organic matter becoming decomposable through the drying effect in the soils and sand without nitrogen fertilizer.

| Soils              | Total organic carbon (C mg/100g soil) | Amounts of carbon mineralized through the drying effect* (C mg/100g soil) | Mineralization** (%) |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| M-Ariake-40        | 865                                   | 15                                                                        | 1.7                  |
| K-Ushirokawachi-40 | 729                                   | 39                                                                        | 5.4                  |
| A-Choyo-40         | 700                                   | 16                                                                        | 2.3                  |
| Sand               | 750                                   | 40                                                                        | 6.0                  |

\* The amounts of the organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil.

\*\* The percentage of the total organic matter accumulated in the soils and sand.

Incubation methods: The same methods as written in Table 3.

Table 6. Accumulation amounts of the organic matter becoming decomposable through the drying effect in the soils and sand treated with ammonium sulfate.

| Soils              | Total organic carbon<br>(C mg/100g soil) | Amounts of carbon mineralized<br>through the drying effect<br>(C mg/100g soil)* | Mineralization**<br>(%) |
|--------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| M-Ariake-40        | 687                                      | 28                                                                              | 4.1                     |
| M-Nagano-40        | 587                                      | 39                                                                              | 6.6                     |
| K-Oono-40          | 786                                      | 15                                                                              | 1.9                     |
| K-Ushirokawachi-40 | 636                                      | 27                                                                              | 4.2                     |
| A-Kawaminami-40    | 537                                      | 47                                                                              | 8.8                     |
| A-Choyo-40         | 493                                      | 25                                                                              | 5.1                     |
| Sand               | 627                                      | 14                                                                              | 2.3                     |

\* The amounts of organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil.

\*\* The percentage of total organic matter accumulated in the soils and sand.

Incubation methods: The same methods as written in Table 5.

M-有明, K-後川内, A-長陽, 砂における培養 85 日間の稲わら炭素の無機化率を実験 1 の結果 (Table 3) と比較すると, 硫酸の施用によつて炭素の無機化率は砂で約 8%, K-後川内-40 で約 9%, A-長陽-40 で約 17%, M-有明-40 では約 16% 上昇した。すなわち, 稲わら炭素の無機化に対する硫酸施用の効果は砂および 1:1 型粘土を含む土壌において小さく, アロフェンおよび 2:1 型粘土を含む土壌において大きかった。

## (2) 易分解性有機物の集積

培養 70 日後の各土壌および砂に集積されている易分解性有機物の集積量を 80°C の条件下で乾燥処理を施すことにより測定し, その結果を Table 6 に示した。

1 回の乾燥前処理によつて無機化して来た易分解性有機物の全集積有機物に対する割合は, A-川南>M-長野>A-長陽>M-有明 ÷ K-後川内>K-大野 ÷ 砂の順に低く, 主要粘土鉱物の種類との直接的な関係は明らかでなかった。主要粘土鉱物の種類別に土壌間を比較すると, 2:1 型粘土鉱物を主体とする土壌では M-長野>M-有明, 1:1 型粘土を主体とする土壌では K-後川内>K-大野, アロフェンを主体とする土壌では A-川南>A-長陽でいずれも CEC の大きい粘土の方が易分解性有機物の集積率が高かった。

M-有明, K-後川内, A-長陽, 砂における易分解性有機物の集積率を実験 1 (Table 4) の結果と比較すると, その集積率は硫酸の施用によつて砂では半減し, K-後川内土壌でも僅かに減少したが, M-有明, A-長陽土壌では約 2 倍になった。

Table 7. Mineralization rates of rice straw carbon in the soils and sand treated with ammonium nitrate.

| Clay contents<br>(%) | Incubation period (days) |       |       |       |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|
|                      | 9                        | 30    | 78    | 141   |
| M-Ariake             |                          |       |       |       |
| 40                   | 23.2%                    | 38.8% | 51.8% | 57.9% |
| 20                   | 21.1                     | 36.8  | 50.0  | 59.1  |
| 10                   | 21.0                     | 37.0  | 51.6  | 61.8  |
| 5                    | 20.5                     | 37.9  | 52.9  | 62.6  |
| 1                    | 23.1                     | 40.5  | 57.0  | 66.8  |
| 0*                   | 20.7                     | 39.3  | 56.7  | 67.9  |
| K-Ushirokawachi      |                          |       |       |       |
| 40                   | 17.5                     | 40.2  | 53.5  | 59.0  |
| 20                   | 16.5                     | 38.9  | 52.5  | 60.5  |
| 10                   | 20.2                     | 41.1  | 56.6  | 62.9  |
| A-Choyo              |                          |       |       |       |
| 40                   | 25.2                     | 42.5  | 55.5  | 61.0  |
| 20                   | 26.8                     | 42.6  | 57.4  | 63.2  |
| 10                   | 29.9                     | 46.0  | 58.3  | 63.8  |
| Sand                 |                          |       |       |       |
| 0                    | 20.7                     | 39.3  | 56.7  | 67.9  |

\* Sand

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 400 g per 100 g soil. Amounts of mineral nitrogen added to each soil as ammonium nitrate; 22.8 mg N per 100 g soil. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30°C. Incubation periods; 141 days.

### 実験 3. 硝安を施用した条件下における土壌粘土の影響

#### (1) 稲わら炭素の無機化

土壌 100 g 当り N として 22.8 mg に相当する硝安を施用した条件下での各土壌および砂における稲わら炭素の無機化率を Table 7 に示した。

稲わら炭素の無機化に対する各粘土の含量の影響についてみると、培養期間の長短によつて影響の現われ方が異なることが窺われる。M-有明についてみると、初期 (30~78 日迄) には粘土含量 5~20 % の土壌での無機化率が最も小さく、粘土含量がそれより多くても少なくとも無機化率は上昇する傾向があつた。K-後川内では粘土含量 20 % 土壌での無機化率が最も小さく M-有明の場合と類似の傾向が認められた。A-長陽ではいずれの期間においても粘土含量の高い土壌ほど稲わら炭素の無機化は抑制された。粘土を含む土壌と砂における稲わら炭素の無機化を比較すると、無機化の初期には、粘土が稲わら炭素の無機化を促進あるいは抑制するような現象が認められる。その程度およびその現象の現われ方は粘土含量の多少およびその種類によつて異なる。これらのことは土壌粘土が稲わら炭素の無機化に対し抑制と促進の両面の機能を有していることを示唆している。

培養 141 日間の各土壌における稲わら炭素の無機化を比較してみると、粘土含量 10~40 % の範囲ではいずれの粘土においても粘土含量の低い程無機化率は高いが、その差は無機化率にして 3~4 % 程度であつた。砂における稲わら炭素の無機化率は 67.9 % で粘土を 10~40 % 含有している土壌における無機化率より 4~10 % 高かつた。また、いずれの粘土含量においても A->K->M-粘土の順に無機化率は低い傾向にあつたが、その差は小さく、無機化率で 2~4 % 程度であつた。

各土壌および砂における稲わら炭素の無機化に対する硝安施用の効果を実験 1 (Table 3) の結果と比較して推察すると、その効果は M-有明-40 において最も大きく、次いで砂で、K-後川内-40 および A-長陽-40 においては小さかつた。

また、硝安施用条件下での稲わら炭素の無機化率 (Table 5, 培養 30 日目) と比較してみると、砂および M-有明-40 では無機態窒素の施用量は少ないにもかかわらず (硝安施用: N 62.3 mg/土壌 100g, 硝安施用: N 22.8 mg/土壌 100 g), 硝安施用条件下での無機化率が高かつた (砂: 硫安区 35.7 %, 硝安区 39.3 %, M-有明-40: 硫安区 35.1 %, 硝安区 38.8

%)。また K-後川内-40 では硝安施用条件下における無機態窒素の施用量は硝安施用条件下のものに比べて少ないにもかかわらず、両者の無機化率は大きな差なかつた (硫安区: 40.9 %, 硝安区 40.2 %)。A-長陽-40 では硝安施用条件下のものに比較して硝安施用条件下での無機化率は著しく低かつた (硫安区 51.5 %, 硝安区 42.5 %)。

#### (2) 易分解性有機物の集積

硝安施用条件下において 141 日間培養した各試料を 80°C の条件下に 3 時間放置して乾燥した。これにイノキュラム (生土懸濁液) と水を加え、さらに 30°C の条件下において 15 日間培養した。この 15 日間に乾燥処理土壌から無機化して来た炭素量および乾燥前処理を施さずそのまま 15 日間培養を続けた土壌からの炭素無機化量を測定し、その結果を Table 8 に示した。両土壌からの炭素無機化量の差を乾土効果とし、易分解性有機物の集積量の指標とした。

1 回の乾燥前処理によつて無機化して来た易分解性有機物の全集積有機物に対する割合は、M-有明および K-後川内では粘土含量 10~40 % の範囲で大きな差はなかつた。M-有明で粘土含量 10 % 以下のものでは粘土含量の多い土壌集積割合は高かつた。A-長陽では粘土含量の多い程その集積割合は低下した。砂における易分解性有機物の集積割合 (3.5 %) は、A-長陽-40 (3.4 %) を除いていずれの土壌におけるよりも小さかつた。また粘土含量 20 および 40 % における易分解性有機物の集積割合は K-後川内>M-有明>A-長陽の順に低く、粘土含量 10 % の土壌では K-後川内>A-長陽>M-有明の順に低かつた。

培養日数が異なるので、M-有明-40, K-後川内-40, A-長陽-40 および砂における易分解性有機物の集積率と実験 1 の結果 (Table 4, 85 日間培養) との厳密な比較は出来ないが、硝安施用の効果は M-有明-40 (窒素無施用 1.7 %, 硝安施用 6.9 %) で最も大きく、K-後川内-40 (窒素無施用 5.4 %, 硝安施用 9.6 %) および A-長陽-40 (窒素無施用 2.3 %, 硝安施用 3.4 %) においても認められた。砂では硝安施用の場合と同様、硝安の施用によつて集積割合 (窒素無施用 6.0 %, 硝安施用 3.5 %, 硝安施用 2.3 %) は低下した。しかし低下の程度は硝安の場合より小さかつた。

また培養日数および窒素の施用量は異なるが、硝安を施用した実験 2 の結果 (Table 6) と比較すると、M-有明-40, K-後川内-40, 砂での易分解性有機物の集積に対しては硝安の施用が、窒素施用量が少ないにもかかわらず、硝安の施用に優つた。A-長陽-40 で

Table 8. Accumulation amounts of organic matter becoming decomposable through the drying effect in the soils and sand treated with ammonium nitrate.

| Clay contents (%) | Total organic carbon (A)<br>(C mg/100 g soil) | Amounts of carbon mineralized for 15-day incubation (C mg/100 g soil) |                 | (B) — (C)**<br>(C mg/100g soil) | (B) — (C)***<br>(A)<br>(%) |
|-------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|
|                   |                                               | Oven-dried soils (B)                                                  | Fresh soils (C) |                                 |                            |
| M-Ariake          |                                               |                                                                       |                 |                                 |                            |
| 40                | 569                                           | 70                                                                    | 31              | 39                              | 6.9                        |
| 20                | 553                                           | 81                                                                    | 43              | 38                              | 6.9                        |
| 10                | 517                                           | 76                                                                    | 39              | 37                              | 6.2                        |
| 5                 | 505                                           | 71                                                                    | 45              | 26                              | 5.2                        |
| 1                 | 449                                           | 63                                                                    | 47              | 16                              | 3.6                        |
| 0*                | 434                                           | 60                                                                    | 45              | 15                              | 3.5                        |
| K-Ushirokawachi   |                                               |                                                                       |                 |                                 |                            |
| 40                | 554                                           | 84                                                                    | 31              | 53                              | 9.6                        |
| 20                | 534                                           | 88                                                                    | 37              | 51                              | 9.6                        |
| 10                | 502                                           | 79                                                                    | 32              | 47                              | 8.4                        |
| A-Choyo           |                                               |                                                                       |                 |                                 |                            |
| 40                | 527                                           | 52                                                                    | 34              | 18                              | 3.4                        |
| 20                | 497                                           | 60                                                                    | 33              | 27                              | 5.4                        |
| 10                | 489                                           | 74                                                                    | 38              | 36                              | 7.4                        |
| Sand              |                                               |                                                                       |                 |                                 |                            |
| 0                 | 434                                           | 60                                                                    | 45              | 15                              | 3.5                        |

\* Sand

\*\* The amounts of the organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil.

\*\*\* The percentage of total organic matter accumulated in the soils and sand.

Incubation methods: The same methods as written in Table 7.

は硫安施用の方が優っていた。

## 考 察

上記した実験結果は、稲わらの無機化およびその過程で生成する易分解性有機物の集積に対する土壤粘土の影響が無機態窒素施用の有無および施用される無機態窒素の形態によつて異なることを示している。またそれら無機態窒素の稲わらの無機化および易分解性有機物の集積に対する施用効果が、粘土の有無および土壤粘土の種類によつて異なることを示している。このことは土壤粘土の質が土壤中における窒素代謝と関連があり、それを通じて稲わらの無機化および易分解性有機物の集積に関係していることを示唆している。Table 9 に、実験 1, 2 および 3 の実験終了時における各土壤中の有機態窒素量を測定し、窒素の集積率を示した。実際に窒素の集積率は粘土の種類および粘土含量また窒素の施用条件によつて異つた。窒素肥料を施用していない条件下においては、供試土壤間に窒素集積率の差は殆んどなかつたが、硫安施用条件下では、M-長野>A-川南>M-有明>A-長陽>K-後川内>

K-大野>砂の順に窒素集積率は低下した。これを主要粘土鉱物の種類別にみるといずれも CEC の大きい粘土を含む土壌での集積率の方が高かつた。硫安を施用した条件下では、いずれの土壌粘土においても粘土含量の多い土壌程窒素の集積率は低下したが、その低下の程度は M-有明粘土の方が K-後川内粘土よりも幾分か大きかつた。A-長陽粘土では粘土含量 10% の土壌での窒素集積率はそれ程低くないが、20 および 40% の土壌での集積率はとくに低かつた。

以下土壤粘土の稲わらの無機化および易分解性有機物の集積に対する影響について個々の考察を試みる。

### (1) 稲わら炭素の無機化

窒素は生物の生育におけるリーディング・ファクターと考えられ、微生物の増殖はその供給量の多少およびその供給濃度に影響される。土壤中においてその供給濃度が低すぎる条件では、微生物の増殖速度は低下し、微生物活性は低下する。窒素無添加条件下 (Table 3) での M-有明-40 における稲わら炭素の無機化率および易分解性有機物の集積率が他の土壌および砂でのそれに比較して著しく低かつた理由は微生物

Table 9. The amounts of nitrogen accumulated in organic form.

| Soils                                          | No fertilizer        |                     | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                     | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> |                     |
|------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
|                                                | Org. N<br>(mg/100 g) | Accumulation<br>(%) | Org. N<br>(mg/100 g)                            | Accumulation<br>(%) | Org. N<br>(mg/100 g)            | Accumulation<br>(%) |
| M-Ariake-40                                    | 21.9                 | 98.6                | 53.0                                            | 62.6                | 39.5                            | 77.8                |
| -20                                            |                      |                     |                                                 |                     | 40.1                            | 89.1                |
| -10                                            |                      |                     |                                                 |                     | 41.0                            | 91.1                |
| -5                                             |                      |                     |                                                 |                     | 40.1                            | 89.1                |
| -1                                             |                      |                     |                                                 |                     | 40.5                            | 90.0                |
| -0*                                            |                      |                     |                                                 |                     | 41.5                            | 92.2                |
| M-Nagano-40                                    | 21.7                 | 97.7                | 40.4                                            | 47.8                |                                 |                     |
|                                                |                      |                     | 66.4                                            | 77.6                |                                 |                     |
| K-Oono-40                                      | 22.4                 | 100.1               | 42.0                                            | 49.7                | 39.7                            | 88.2                |
| K-Ushirokawachi-40                             |                      |                     | 49.7                                            | 58.8                | 40.0                            | 88.9                |
| -20                                            |                      |                     |                                                 |                     | 40.3                            | 95.5                |
| -10                                            |                      |                     |                                                 |                     |                                 |                     |
| A-Kawaminami-40                                | 22.1                 | 99.5                | 62.0                                            | 73.4                |                                 |                     |
| A-Choyo-40                                     |                      |                     | 51.3                                            | 60.7                | 29.8                            | 66.2                |
| -20                                            |                      |                     |                                                 |                     | 33.8                            | 75.1                |
| -10                                            |                      |                     |                                                 |                     | 42.5                            | 94.4                |
| Sand                                           | 21.7                 | 97.7                | 40.4                                            | 47.8                | 41.5                            | 92.2                |
| Amounts of nitrogen added (N mg per 100g soil) | 22.2                 |                     | 84.5                                            |                     | 45.0                            |                     |

\* Sand

$$\text{Accumulation \%} = \frac{\text{Amounts of Org. N accumulated}}{\text{Amounts of nitrogen added}} \times 100$$

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00g per 100 g soil. Amounts of nitrogen added to each soil; 62.3 mg N (as ammonium sulfate) and 22.8 mg N (as ammonium nitrate) per 100 g soil. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at begining of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30°C. Incubation periods; 85 days (no fertilizer and ammonium sulfate) and 141 days (ammonium nitrate).

への窒素の供給濃度が低かつたことによると理解される。土壌中では、微生物は土壌溶液中の窒素を吸収利用する。土壌溶液中の無機態窒素と土壌の吸着態窒素との間には平衡関係があり、微生物への窒素の供給濃度は土壌粘土による窒素の吸着保持力に影響されるといえる。硫酸施用条件下では NH<sub>4</sub>-N の微生物への供給濃度は土壌粘土の CEC の大きさおよび NH<sub>4</sub> の粘土に対する置換侵入力（原田，1961；久津那・野本，1961）の強さに支配されると理解される。そこで水溶液中の NH<sub>4</sub> 濃度に対する各供試土壌粘土の影響の程度を以下の方法によつて調べた。NH<sub>4</sub>-N 100, 200, 300 ppm の硫酸溶液 5.0 ml に各土壌粘土を 0.25 g または 1.00 g 添加し、これにトルエンを加えて 3 時間振盪した後、遠心分離により、溶液部分を採取し、その中の NH<sub>4</sub>-N 濃度は Conway の微量拡散法によつて定量した。その結果を Table 10 に示した。この結果をもとに各土壌粘土による NH<sub>4</sub> の吸着量を計算し、CEC に対する吸着割合を計算した。CEC に対する NH<sub>4</sub> の吸着割合は NH<sub>4</sub> の粘土への

置換侵入力の大きさを意味するもので、M-長野>K-後川内>M-有明>K-大野>A-川南≒A-長陽粘土の順に低かつた。

原田（1961）は、種々の土壌粘土への NH<sub>4</sub> の置換侵入力を測定し、NH<sub>4</sub> の Ca-粘土への置換侵入力は 2:1 型粘土鉱物を主要とする土壌粘土で最も大きく、アロフェンを主要とする土壌粘土で最も小さいことを示している。本実験で得られた上述の結果は原田の示した結論にほぼ一致している。

Table 10 に示した実験結果は、硫酸施用条件下における稲わらの無機化実験（実験 2）において、土壌溶液中の NH<sub>4</sub>-N 濃度すなわち微生物への NH<sub>4</sub> の供給強度は砂>K-大野>A-長陽>A-川南>K-後川内>M-有明>M-長野の順に低かつたことを示唆している。この順序は A-系粘土を例外として Table 9 に示した硫酸施用条件下における窒素の集積率の低い順序と一致している。すなわち、このことは土壌 100 g 当り NH<sub>4</sub>-N を 62.3 mg 施用した条件下においては微生物への NH<sub>4</sub> の供給強度の低い条件程有機態窒

Table 10. The effect of soil clays on the concentration of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in solution.

| Clays           | CEC<br>(me/100 g<br>clay) | Amounts of soil clay added (g/5.0 ml solution*) |        |        |                                   |        |                              |       |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------|--------|------------------------------|-------|
|                 |                           | $\text{NH}_4\text{-N}$ in soln.                 |        |        | $\text{NH}_4\text{-N}$ adsorbed** |        | Adsorption percent<br>of CEC |       |
|                 |                           | 0                                               | 0.25   | 1.00   | 0.25                              | 1.00   | 0.25                         | 1.00  |
| M-Ariake        | 65.3                      | 100 ppm                                         | 44 ppm | 17 ppm | 8.0 me                            | 3.0 me | 12.3 %                       | 4.6 % |
|                 |                           | 200                                             | 105    | 50     | 13.6                              | 5.4    | 20.8                         | 8.3   |
|                 |                           | 300                                             | 189    | 84     | 15.9                              | 7.7    | 24.3                         | 11.8  |
| M-Nagano        | 82.8                      | 300                                             | 72     | —      | 32.4                              | —      | 39.1                         | —     |
|                 |                           |                                                 |        |        |                                   |        |                              |       |
| K-Ushirokawachi | 33.4                      | 100                                             | 55     | 19     | 6.4                               | 2.9    | 19.2                         | 8.7   |
| K-Oono          | 22.0                      | 300                                             | 272    | —      | 4.5                               | —      | 20.4                         | —     |
| A-Choyo         | 38.2                      | 100                                             | 78     | 61     | 3.1                               | 1.4    | 8.1                          | 3.7   |
|                 |                           | 200                                             | 162    | 116    | 5.4                               | 3.0    | 14.1                         | 7.9   |
|                 |                           | 300                                             | 251    | 179    | 7.0                               | 4.4    | 18.3                         | 11.5  |
| A-Kawaminami    | 45.9                      | 300                                             | 241    | —      | 8.4                               | —      | 18.2                         | —     |
|                 |                           |                                                 |        |        |                                   |        |                              |       |

\* This solution contains ammonium sulfata corresponding to 100, 200 or 300 ppm  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

\*\* me/100 g clay.

Experimental methods: Each soil clay was weighed into 5.0 ml of the solutions containing ammonium sulfate with a few drops of toluen and mixed by shaking for 3 hrs. Then the concentrations of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in the supernatants were determined by the Conway's micro-diffusion method.

素の集積が有利に進行することを示している。なお A-系粘土における例外的な結果については後に考察する。

つぎに  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度と有機態窒素の集積率との間の上記したとき関係を確認する意味で砂および M-有明-40, K-大野-40, A-長陽-40 に稲わらを添加し (稲わら添加量 4.0 %), これに土壌 100 g 当り  $\text{NH}_4\text{-N}$  として 0, 1.0, 2.0, 4.0, 10.0, 20.0 mg に相当する量の硫酸を施用し, 実験 2 の場合と同様の条件下において 30 日間培養した。培養終了後に各土壌中の無機態窒素量を定量し, その結果を Table 11 に示した。表の結果からみれば  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度が高いと考えられる砂および K-大野-40 では  $\text{NH}_4\text{-N}$  の施用量が土壌 100 g 当りそれぞれ 4.0 および 10.0 mg 以上になると土壌に残留する無機態窒素量が多くなり,  $\text{NH}_4$  の供給強度の高い土壌で窒素の集積率は低下する。

さらに窒素の有機化に対する土壌粘土の影響を詳細にみるために窒素の有機化の様子を経時的に追跡した。すなわち砂および M-有明-40, K-後川内-40, A-長陽-40 に稲わらを添加し (4.0 %), これに土壌 100 g 当り  $\text{NH}_4\text{-N}$  として 42.8 mg に相当する量の硫酸を施用し, 実験 2 と同様の条件下において培養した。2, 5, 9, 15, 30, 70 日後に取り出し, 各土壌中の有機態窒素量を測定した。その結果を Fig. 1 に示した。窒素の有機化の様子は, 土壌の種類によつて異なった。砂について見ると, 培養と同時に窒素の有機化

Table 11. The amounts of mineral nitrogen remaining in the soils and sand treated with different amount of ammonium sulfate after 30-day incubation.

| Soils       | Amounts of $\text{NH}_4\text{-N}$ added<br>(mg N/100g soil) |     |     |     |      |      |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
|             | 0                                                           | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 10.0 | 20.0 |
| M-Ariake-40 | tr.                                                         | tr. | tr. | tr. | tr.  | tr.  |
| K-Oono-40   | tr.                                                         | tr. | tr. | tr. | 2.2  | 8.9  |
| A-Choyo     | tr.                                                         | tr. | tr. | tr. | tr.  | tr.  |
| Sand        | tr.                                                         | tr. | tr. | 0.2 | 4.4  | 11.2 |

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00 g per 100 g soil. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30°C. Incubation periods; 30 days.

が進行するが, 5 日目には一旦有機化された窒素の一部が無機化し, その後 30 日頃迄は急激に有機化が進行した。その後はわずかながら有機化された窒素の無機化の進行することが認められる。窒素の有機化について土壌間の比較をすると次の通りである。初期の窒素の有機化速度は M-有明-40 において最も速く, A-長陽-40 がこれに次ぎ, H-後川内, 砂の順に遅かった。9~30 日位までの窒素の有機化速度は A-長陽-40 で最も速く, A-長陽-40 > M-有明-40 > K-後川内-40 > 砂の順に遅かった。

これらの事実は土壌 100 g 当り  $\text{NH}_4\text{-N}$  を 42.8 mg 施用した条件下では,  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度の

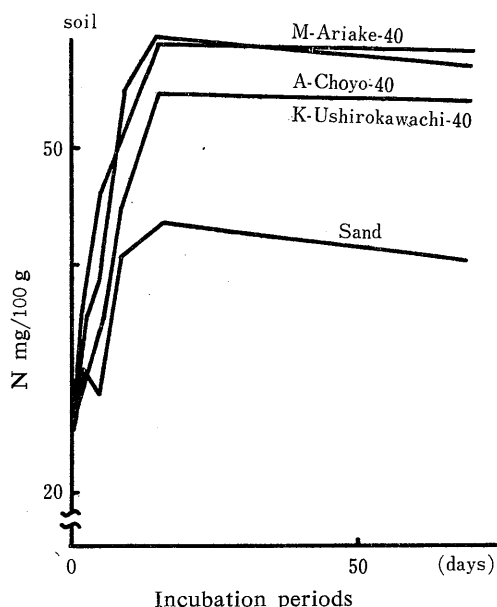


Fig. 1. The amounts of nitrogen accumulated in organic form.

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00g per 100g soil. Amounts of mineral nitrogen; 42.8 mg per 100 g soil as ammonium sulfate. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature; 30°C. Incubation periods; 70 days.

高い条件は微生物による窒素の有機化，すなわち微生物の増殖にとって不利な条件であることを示している。ただ A-長陽-40 の窒素の有機化が K-後川内-40 におけるよりも，またある場合には M-有明-40 におけるよりも優位に進行した点は例外的で，この点については後に考察する。

以上の結果より，硫酸施用条件下における稲わらの無機化において，土壌粘土の種類が  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度に影響し，窒素の有機化，すなわち稲わらの分解に関与する微生物の増殖に影響することは明らかである。そして土壌溶液中の  $\text{NH}_4$  濃度がある濃度以上の高条件下においては，すなわち  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度が過度に高い条件では微生物の増殖が抑制されることを示している。すなわち， $\text{NH}_4\text{-N}$  肥料が多量施用された条件下における土壌粘土の重要な意義は  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度を低め，微生物の増殖に対する  $\text{NH}_4$  の害作用を軽減することにあるといえる。その土壌粘土の作用の程度はそれのもつ CEC および  $\text{NH}_4$  の粘土への置換侵入力の大きさに支配さ

れる。なお  $\text{NH}_4$  の微生物の増殖に対する害作用については他の報告で論議した (Yoshida *et al.*, 1972)。

微生物の増殖速度の大小が稲わらの無機化に直接関係することは容易に想像されるところであるが，本実験結果ではそれらの直接的な関係は明らかでなかった。すなわち A-系粘土以外の土壌粘土ではその土壌の  $\text{NH}_4$  の微生物への供給強度と窒素集積率との間には直接的な関係が認められたが，そのような粘土の性質と炭素の無機化率との間には直接的な関係は認められなかった。微生物は有機物の無機化によって放出されるエネルギーを利用して増殖するが，その利用効率は種々の環境条件によって異なることが想像される。たとえば窒素養分の供給濃度との関係についていえば，その供給濃度がある適当な範囲にある場合にエネルギーの利用効率は最高となり，それより低くても高くても低下すると考えられる。実験2で得られた硫酸施用条件下における微生物の増殖速度（窒素の有機化率）と炭素無機化率との間に直接的な関係が認められなかった理由として，このようなエネルギーの利用効率の違いが関係しているように考えられる。そこでこのようなエネルギーの利用効率を推定するため，硫酸施用条件下（実験2）で得られた結果をもとにして窒素 1 mg を有機化するに要した炭素の無機化量を計算し，それらの値を Table 12 に示した。表に見られる通り，1 mg の有機態窒素を集積するに要する炭素

Table 12. The relationship between the amounts of carbon evolved as  $\text{CO}_2$  and the amounts of nitrogen accumulated in organic form in the soils and sand treated with ammonium sulfate.  
(mg C or N/100g soil)

| Soils              | C*  | N**  | C/N*** |
|--------------------|-----|------|--------|
| M-Ariake-40        | 714 | 53.0 | 13.5   |
| M-Nagano-40        | 815 | 66.4 | 12.3   |
| K-Oono-40          | 614 | 42.0 | 14.6   |
| K-Ushirokawachi-40 | 757 | 49.7 | 15.2   |
| A-Kawaminami-40    | 353 | 62.0 | 13.8   |
| A-Choyo-40         | 898 | 51.3 | 17.5   |
| Sand               | 757 | 40.4 | 18.7   |

\* Amounts of carbon evolved as  $\text{CO}_2$ .

\*\* Amounts of nitrogen accumulated in organic form.

\*\*\* Amounts of carbon required to accumulate 1 mg of nitrogen in organic form.

Incubation methods: The same methods as written in Table 5.

の無機化量 (C/N) は土壌によつて著しく異なる。すなわちその値は砂で最も大きく (18.7 mg), A-(13.8 ~ 17.5 mg)  $\div$  K-(14.3 ~ 15.2 mg)  $>$  M-(12.3 ~ 13.5 mg) 系粘土の順に低下しており,  $\text{NH}_4^+$  の供給濃度の高い培地 (Table 10) 程その無機化量 (C/N) が多い傾向が窺われ,  $\text{NH}_4^+$  の供給強度の高い培地程微生物の増殖に対するエネルギーの利用効率が低いことを示唆している。実験 2 の硫酸施用条件下 (N 施用量 62.3 mg/土壌 100g) では, 窒素の施用量が過剰であつて, 粘土の添加によつて窒素の供給濃度が適当な範囲まで低下し, エネルギーの利用効率が高まつたものと考えられる。

A-系粘土を含む土壌での土壌溶液中の  $\text{NH}_4^+$  の濃度は, CEC および  $\text{NH}_4^+$  の粘土への置換侵入力から考えて, K-後川内粘土を含む土壌のそれより高いと考えられるにもかかわらず, 硫酸施用条件下における実験において微生物の増殖に対し A-系粘土が K-後川内粘土よりも有利に作用することが推察された。また  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の有機化の様子を経時的に追跡した実験 (Fig. 1) では CEC の大きい M-有明-粘土より有利に作用する場面も見られる。このような硫酸施用条件下における A-系粘土の微生物増殖に対する有利性について以下考察を試みる。

微生物に対する  $\text{NH}_4^+$  の供給強度は, 土壌溶液中の  $\text{NH}_4^+$  度と同時濃に溶液中の  $\text{NH}_4^+$  と拮抗関係にある他の塩基とくに  $\text{K}^+$  の濃度にも強く影響される筈である。供試稲わら中には Table 1 に示した各種の塩基が含まれており, これらは稲わらの分解の進行に伴い, 土壌溶液中に供給される。この場合, その含量が多いことから影響を及ぼす塩基は  $\text{K}^+$  といえる。そこで, M-長野, K-大野, A-長陽および砂 100g 当り 23.3 mg の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  を施用した条件下で稲わらの無機化実験を行ない, pH の変動の様子を調べた。その結果を Fig. 2 に示した。いずれの土壌においても培養初期に一時的な pH の上昇が見られるが, 砂および M-土壌では 15 日目頃にはまたもとの pH にもどつた。A-長陽ではとくに pH の上昇の程度が大きく, 以後長期間高い pH が維持された。

原田 (1961) は  $\text{K}^+$  の Ca-土壌に対する置換侵入力は  $\text{NH}_4^+$  のそれと似ており, アロフェン粘土を含む土壌で小さいことを示している。また供試したアロフェン粘土はほぼ CEC に相当する量の  $\text{AEC}(\text{Cl}^-)$  を有しており (原田・和田, 1971),  $\text{NH}_4^+$  の微生物の吸収に伴つて遊離して来る  $\text{SO}_4^{2-}$  は粘土に吸着されると想像される。これらのことを考え合せると A-長陽に

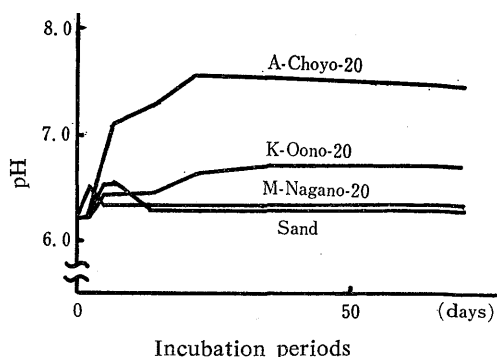


Fig. 2. Changes of soil pH during incubation.

Incubation methods: The same methods as written in Fig. 1.

おける pH の上昇は主として  $\text{K}^+$  に依存していると推察される。土壌溶液中の  $\text{K}^+$  濃度が高いことは, 微生物に対する  $\text{NH}_4^+$  の供給強度を相対的に低下させることを意味し,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の施用量が多い条件下ではアロフェン粘土の存在が微生物の増殖にとって有利であると考えられる。このことが A-系粘土が土壌溶液中の  $\text{NH}_4^+$  濃度を低める力が小さいにもかかわらず, 硫酸が比較的多量施用されている条件下で窒素の有機化, 炭素の無機化に対して有利に作用し, 他の粘土との関係から例外的な立場にあつたことの原因であると想像される。

硫酸を施用した条件下における稲わらの無機化実験では,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  と  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  が同量施用されたことになる。従つて M-有明土壌では微生物への窒素の供給強度は  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  のみ施用された場合より強くなると推察される。また CEC の小さい培地, たとえば砂では  $\text{NH}_4^+$  による害作用が軽減され土壌中での微生物活動は  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  のみ施用された場合より円滑に進行したものと推察される。しかし硫酸施用条件下においては土壌 100g 当り 11.4 mg の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  が施用されているので, Table 11 に示した結果から推察すると, とくに砂では分解初期の微生物の増殖は幾分阻害されたものと考えられる。

硫酸施用条件下における A-長陽粘土の稲わらの無機化および窒素の有機化に対する作用は, 硫酸施用条件下におけるそれとは異なつていた。すなわち, 他の土壌および砂では炭素の無機化率が硫酸区  $>$  硫酸区であつたのに対し, A-長陽-40 では硫酸区  $>$  硫酸区であり, また硫酸施用条件下における窒素の集積率が他の土壌に比較して著しく劣つていた。

和田・安高 (1960) はアロフェンによる陰イオン吸

着について分子吸着とイオン吸着のあることを示している。一般にアロフェンには pH 7.0 で AEC が粘土 100 g 当り 25~30me (三井, 1971) であると考えられている。珪礫比が 1 に近いアロフェンでは溶液中の塩濃度が 0.05 N 以下の場合には主として陰イオン吸着が起こり、その AEC は 1 価の陰イオンで測定した場合 CEC にほぼ等しいと想像される (原田・和田, 1971)。Singh and Kanehiro (1969) は非晶質粘土を含む土壌における  $\text{NO}_3^-$  の吸着が  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度 100 ppm 程度で起こることを示し、その程度がカオリナイト質土壌におけるよりも大きいことを示している。そしてこの吸着が陰イオン吸着とファンデル・ワールス力によると考えている。

A-長陽-40 における前述の結果は明確なことはいえないが、上記したようなアロフェンの性質からすると、土壌溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度が低下し微生物による窒素の吸収同化、ひいては微生物の増殖が遅れたと推察される。しかし現実のアロフェン質耕地土壌において、アロフェン粘土が上述のごとき機能を有するかどうかについては現在経験をもたない。現実のアロフェン質の耕地土壌では土壌化過程が進んでおり、有機物が多量集積されており、アロフェンの AEC は著しく低下していると想像される。

## (2) 易分解性有機物の集積

原田 (1959), 青峰 (1949) をはじめ多くの研究者 (Hayashi and Harada, 1969; Russel, 1961) は土壌中前報での地力の給源である易分解性有機物が微生物菌体および微生物の代謝産物であり、その主体が蛋白質あるいはペプチド化合物であると考えている。種々の土壌中における易分解性有機物の集積に関する実験を通じて、易分解性有機物が植物遺体の分解過程で生成することを認め、その集積率は窒素有機化量の多い土壌程高く、窒素有機化量と易分解性有機物の集積率との間に密接な正の相関関係のあることを示した。これらのことからすると、易分解性有機物の集積を促進するためには出来るだけ多量の窒素有機資材と共に土壌に供給する必要があるといえる。

実験 1 の結果によると、窒素肥料の施用されていない条件下では土壌に施された窒素 (土壌 100 g 当り 22.2 mg N) は全て稲わらに由来するもので、実験終了時の有機態窒素の集積量はいずれの土壌においても等しかった (Table 9 参照)。しかし易分解性有機物の集積率は土壌間で顕著な差が認められた。すなわち、易分解性有機物の集積率は CEC の小さい砂および K-後川内-40 で高く、CEC の大きい M-有明-40

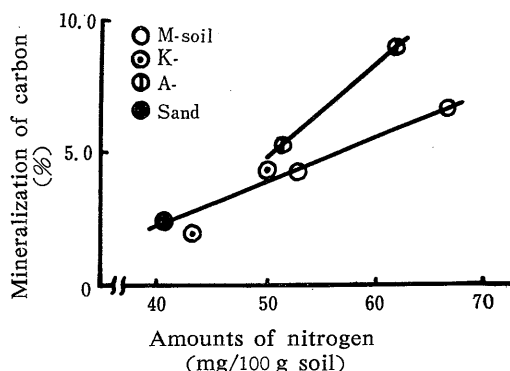


Fig. 3. Relationship between the amounts of nitrogen accumulated in organic form and the amounts of carbon mineralized through the drying effect that is shown as percent of carbon accumulated in the different soils and sand treated with ammonium sulfate.

Incubation methods: The same methods as written in Table 5.

で最も低かった。このことは易分解性有機物の集積が粘土の種類に影響されることを意味するもので、M-有明-40 の如く CEC の大きい土壌では微生物作用を通じて再合成された有機物の生成割合、すなわち稲わら由来の有機物の土壌有機物への転換割合が、CEC の小さい砂や K-後川内-40 におけるよりも小さかったことを示唆している。本実験においては、分析を行なっていないが、土壌中のヘキササミン態窒素の全窒素に対するパーセントを比較することによって、このことは証明されると考えられる (Marumoto *et al.*, 1972)。そしてこのような現象は微生物へのとくに窒素養分の供給強度に関係があると想像される。

実験 2、すなわち硫酸施用条件下において得られた各土壌中の易分解性有機物の集積率と土壌の有機態窒素の集積量との関係を Fig. 3 に示した。データが少なく明確なことはいえないが、前報に示したと同様、A-系粘土を含む土壌と他の結晶性粘土を含む土壌を分けてみると、いずれの土壌群においても有機態窒素の集積量の多い土壌程易分解性有機物の集積率は高く、両者間に正の相関が認められるようである。A-系粘土を含む土壌で易分解性有機物の集積が他の土壌におけるよりも有利に進行する理由は今なお不明であるが、炭素の無機化の項で述べたように、A-系粘土を含む土壌では他の土壌に比較して培養期間中の pH の上昇程度が大きく、しかもそれが長時間維持されると考察されたことと関係があるかも知れない。

Fig. 3 は硫安施用条件下における易分解性有機物の集積が窒素集積率の高い土壌でより有利に進行することを示しており、土壌粘土の意義は、微生物への  $\text{NH}_4^+$  の過剰な供給強度を低め  $\text{NH}_4^+$  の微生物に対する害作用を軽減し、土壌有機物の生成割合を高めることにあると考察される。

この考察を確認する意味で、砂、M-有明-40, K-大野-40, A-長陽-40 土壌を用い、易分解性有機物の集積に対する硫安の施用量の影響を調べた。その結果を易分解性有機物の集積率と有機態窒素の集積量との関係という形で Fig. 4 に模式的に示している。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  を土壌 100 g 当り 30 から 120 mg の範囲で施用した。有機態窒素の集積量は土壌の種類によって異なるが、いずれも硫安施用量の多い程増加した。しかし易分解性有機物の集積率は必ずしもそれに比例して増加はしなかった。砂のように CEC の小さい土壌では、逆に有機態窒素の集積量が多い程易分解性有機物の集積率は低下した。また K-大野、A-長陽でも過剰に硫安が施用された場合には易分解性有機物の集積率は低下した。

さらにこのような粘土の影響を野外の条件下で確認する意味で次のような実験を行なった。過酸化水素で処理し、土壌有機物の大部分を除去した A-川南、K-後川内、M-有明、M-長野土壌および砂に稲わら (10 % 相当量) を加え、N として土壌 100 g 当り 110 mg に相当する量の硫安を施用しポットに填めた。ポットの底はあけたままにして土中に埋め込み 260 日間 (4 月から 2 月迄) 放置した。土壌表面が乾燥する時節には水を表層から補給し、出来るだけ畑状態の水分条件

を維持するよう努めた。260 日後にこの表層土 (地表から 5 cm 以内の土壌) を採取し、有機態窒素の無機化に対する乾土効果 ( $80^\circ\text{C}$  で 3 時間前処理した後、畑条件下で 19 日間培養、培養温度  $30^\circ\text{C}$ ) を測定し

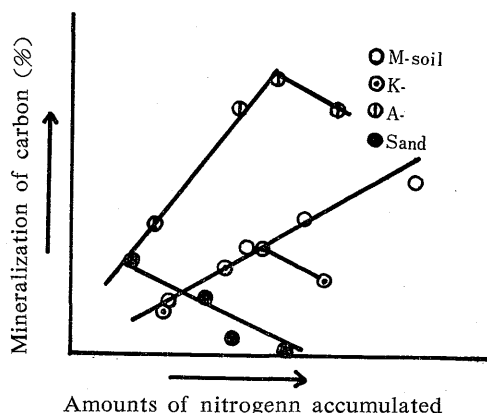


Fig. 4. Relationship between the amounts of nitrogen accumulated in organic form and the amounts of carbon mineralized through the drying effect that is shown as percent of carbon accumulated in the soils and sands treated with various amounts of ammonium sulfate.

Incubation methods: Amounts of straw added to each soil; 4.00 g per 100 g soil. Amounts of mineral nitrogen added to each soil; 0, 30, 60 and 120 mg N per 100 g soil as ammonium sulfate. Moisture contents; 60 percent of the maximum water holding capacity of each soil. pH at beginning of incubation; 6.2. Incubation temperature;  $30^\circ\text{C}$ . Incubation periods; 60 days.

Table 13. The effect of soil clays on the accumulation of the organic matter becoming decomposable through the drying effect under the natural condition.

| Soils           | Amounts of mineral nitrogen determined after 19-day incubation (mg N per 100 g soil) |                 | (B)-(A)** |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|                 | Fresh (A)                                                                            | Pretreated* (B) |           |
| Sand            | 5.6                                                                                  | 5.3             | -0.3      |
| M-Ariake        | 30.1                                                                                 | 32.2            | 2.1       |
| M-Nagano        | 7.5                                                                                  | 12.8            | 5.3       |
| K-Ushirokawachi | 14.4                                                                                 | 16.3            | 1.9       |
| A-Kawaminami    | 1.8                                                                                  | 10.4            | 8.6       |

\* The soils were dried previously at  $80^\circ\text{C}$  for 3 hrs.

\*\* Index of the amounts of the organic nitrogen becoming decomposable through the drying effect.

Experimental methods: Four kinds of soils treated with  $\text{H}_2\text{O}_2$  which differ in the kinds of main clay minerals and sand were used in the experiment. Two kilograms of each soil or sand were mixed with 200 g rice straw and 550 mg ammonium sulfate and then these mixtures were put into the pots, bottoms of which were opened. These pots were placed into the ground and kept under natural condition for 260 days from April to next February. After that the soils from the surface to 5 cm in depth were taken and the accumulation amounts of the organic matter becoming decomposable through the drying effect were determined.

た。その結果を Table 13 に示した。易分解性有機物の集積量は A-川南土壌で最も多く、M-長野>M-有明>K-後川内>砂の順に少なく、易分解性有機物の集積に対し、粘土の存在が有利であることが明らかである。NH<sub>4</sub> の雨水による流亡が土壌によつて著しく異なると考えられるにもかかわらず、微生物への NH<sub>4</sub> の供給強度をより低めると考えられる粘土を含む土壌程易分解性有機物の集積量は多かつた。

硝安施用条件下における易分解性有機物の集積については前記 (Table 8) した通りである。A-長陽粘土を含む土壌では、粘土含量の多い土壌程易分解性有機物の集積率が低下した。これは有機態窒素の集積量が粘土含量の増加によつて減少したことに見られるように、微生物の増殖が制限されたことによると考えられる。その理由は前述したようにアロフェン粘土のもつ AEC の作用により微生物への窒素の供給強度が低下することに起因していると考察される。現実の有機物を多量集積しているアロフェン質土壌において、このような現象が起こるかどうかにについては現在経験をもたない。

また K-後川内粘土を含む土壌における易分解性有機物の集積率が M-有明粘土におけるそれよりも高かつたことは、窒素無施用条件下における結果と一致しており (Table 4 参照)、アンモニア障害によつて微生物の増殖が抑制されない条件下では CEC の小さい粘土の方が易分解性有機物の集積にとつて有利であることを示している。

砂および M-有明-1, M-有明-5 における易分解性有機物の集積率を比較すると、粘土含量の増加と共に易分解性有機物の集積率は増加した。硝安施用条件下では土壌 100 g 当り 11.4 mg の NH<sub>4</sub>-N が施用されており、この条件下では砂においては NH<sub>4</sub> による微生物の増殖阻害の起こることが Table 11 に示した結果から推察される。M-有明粘土を 1 および 5 % 添加

することは、NH<sub>4</sub> の微生物への供給強度を低めることを意味し、それを通じて微生物の増殖を促進し、易分解性有機物の集積を高めたと考察される。なお、M-有明粘土を含む土壌および砂での稲わらの分解初期に生育したカビの種類を Table 14 に示したが、カビの種類が粘土含量によつて異なつた。すなわち、粘土含量の低い土壌および砂では *Aspergillus* および *Penicillium* 属のカビが生育し、粘土含量の高い土壌では *Rhizopus* 属のカビが生育した。著者らの経験からすると、このことは NH<sub>4</sub> の供給強度に依存していると考えられる。

実際の農業において植物遺体の無機化およびその過程で生成する易分解性有機物の集積と粘土との関係について考える場合には、粘土の種々の有機化合物 (植物遺体を構成する有機化合物、微生物自体およびそれが産生する酵素や抗生物質など) との反応 (青峰, 1963) と同時に窒素肥料の施肥との関連についても考慮する必要があることを本実験結果は示している。施肥とくに窒素肥料の施肥は単に作物への養分の補給だけでなく、地力の維持増進とも密接に関連していると考えられるので、土壌コロイドの特性を考慮し、施用する窒素の形態および施用量を考える必要がある。土壌中での微生物代謝が窒素養分の供給強度に影響されることから、土壌粘土の CEC および陽イオンの粘土に対する置換侵入力、AEC の大きさなどが重要な因子になるといえる。

## 要 約

耕地における植物遺体の分解およびその分解過程で生成される易分解性有機物の集積に対する土壌粘土の役割を明らかにすることを目的として室内実験を行なつた。土壌粘土は主要粘土鉱物を異にする 3 種類 (M-系, K-系, A-系, Table 2 参照) の土壌より採取された。砂および砂に土壌粘土を添加して調製した人工土壌を使用し、窒素肥料を施用しない条件、硫酸を施用した条件、硝安を施用した条件下で各培地における稲わら (Table 1 参照) の無機化およびその過程で生成される易分解性有機物の集積量を比較した。以下に得られた結果の概要を述べる。

稲わら炭素の無機化および易分解性有機物の集積に対する粘土の影響は粘土の種類で異なつたが、その影響の現われ方は、窒素肥料の施用条件によつて著しく異なる。

窒素肥料を施用しない条件下ではいずれの土壌粘土も稲わら炭素の無機化を抑制すると考えられ、またい

Table 14. Relation between the clay contents in soil and the fungi growing at the early stage of decomposition of rice straw.

| Clay contents | Kinds of fungi     |
|---------------|--------------------|
| 0%            | <i>Penicillium</i> |
| 1             | <i>Aspergillus</i> |
| 5             | <i>Aspergillus</i> |
| 10            | <i>Rhizopus</i>    |
| 20            | <i>Rhizopus</i>    |
| 40            | <i>Rhizopus</i>    |

Incubation methods: The same methods as written in Table 7.

ずれの土壤粘土も易分解性有機物の集積を抑制した (Tables 3, 4 参照). その程度は CEC の大きい M-系粘土を主要粘土鉱物とする土壤粘土で特に顕著であった.

硫酸を N にして土壤 100 g 当り 62.3 mg 施用した条件下では供試したすべての粘土で粘土の添加が微生物の増殖を促進し, 間接的に炭素の無機化および易分解性有機物の集積に関係していることが認められた (Tables 5, 6, 9 参照). この場合, A-系の粘土を主要鉱物とする土壤粘土を例外として粘土の CEC および  $\text{NH}_4^+$  のその粘土への置換侵入力の大きさが主要な要因になっていることが認められた. すなわち, 土壤溶液中の  $\text{NH}_4^+$  濃度を低くする粘土程 (Table 10 参照), すなわち K-系粘土よりも M-系粘土の方が微生物の増殖促進効果が大きであった (Table 11, Fig. 1 参照). この硫酸施用条件下での実験結果から,  $\text{NH}_4^+$  が微生物に高濃度で供給された場合には稲わらの無機化に関与している微生物の増殖が阻害されることが推察される. また窒素集積量と炭素無機化量との関係から (Table 12 参照), 微生物の増殖におけるエネルギーの利用効率が  $\text{NH}_4^+$  の供給濃度によつて異なることが推察される.

硫酸施用条件下における A-系粘土を主要とする土壤粘土の微生物の増殖促進作用の機作は M-および K-系粘土のそれとは異なると考えられた. すなわち, A-系土壤粘土は CEC および  $\text{NH}_4^+$  の粘土への置換侵入力から考えて, 土壤溶液中の  $\text{NH}_4^+$  濃度の低下に対してそれ程顕著な作用力はないと考えられるにもかかわらず, その微生物の増殖促進の効果は大きかった. この A-系土壤粘土を含む土壤では他の土壤と異なり, 稲わらの無機化過程で土壤反応が著しく高まった. このことは A-系粘土を含む土壤の土壤溶液中では  $\text{NH}_4^+$  の濃度も高いが, 同時に無機化に伴つて稲わらから放出されて来た塩基とくに  $\text{K}^+$  の濃度も高くなっていることを示している.  $\text{K}^+$  は  $\text{NH}_4^+$  とは拮抗関係にあり, 微生物に対する  $\text{NH}_4^+$  の供給強度は相対的に低下していると考えられ, このことが A-系土壤粘土の微生物増殖促進と関連していると考えられる. このような効果はアロフェンのもつ陰イオン吸着容量および  $\text{K}^+$  のアロフェンへの置換侵入力が小さいことによつて説明される.

硝安を N にして土壤 100 g 当り 22.8 mg 施用した条件下では稲わらの無機化率は砂で最も大きく, A->K->M-系粘土の順に低下した (Table 7 参照). 易分解性有機物の集積は砂 < A- < M- < K-系粘土の

順に有利に進行することが認められた (Table 8 参照). また, いずれの粘土も窒素の有機化すなわち微生物の増殖を抑制することが認められた (Table 9 参照). 微生物の増殖抑制の程度は A-系粘土で特に顕著であり, K-系粘土より M-系粘土の方が大きかった.

以上の結果から, 土壤粘土は微生物の増殖におけるリーディング・ファクターである窒素の供給強度に影響をおよぼし, 微生物の増殖および増殖におけるエネルギー効率に影響すると推察される. この場合, 土壤粘土のもつ CEC, AEC の大きさおよび粘土への各種陽イオンの置換侵入様式の違いが主要な因子になるといえる. 耕地土壤においては土壤粘土は植物遺体の無機化および易分解性有機物の集積に対し, 微生物への窒素養分の供給強度への関与を通じて影響するところが大きいものと推察される.

## 引用文献

- Allison, F. E., M. S. Sherman and L. A. Pink 1949 Maintenance of soil organic matter I. Inorganic soil colloid as a factor in retention of carbon during formation of humus. *Soil sci.*, 68: 463-478
- 青峰重範 1949 暗渠排水と乾土効果. 河出書房, 東京
- 青峰重範 1963 土壤粘土鉱物の最近の問題—特に土壤生化学に関連して. 日土肥誌, 34: 131-138
- Aomine, S. and I. Kodama 1956 Clay minerals of some arable soils in Miyazaki prefecture, Japan. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 10: 325-344
- 青峰重範・原田登五郎 1967 土壤肥料学実験ノート. 養賢堂, 東京
- 原田登五郎 1959 水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究. 農技研報告, B. 9: 123-199
- 原田登五郎 1961 土壤中における  $\text{NH}_4^+$  および  $\text{K}^+$  の行動—主として土壤の塩基吸着基の相違による  $\text{NH}_4^+$  および  $\text{K}^+$  の吸着について. カリシンポジウム別刷
- 原田靖生・和田光史 1971 アロフェンのイオン交換基による水素イオンのとりこみと放出. 日土肥要旨集, 17: 35
- Hayashi, R. and T. Harada 1969 Characterization of the organic nitrogen becoming decomposable through the effect of drying a soil. *Soil. Sci. Plant Nutri.*, 15: 226-234
- 久津那浩三・野本亀雄 1966 土壤吸着基の特性について—(第2報)  $\text{NH}_4^+$  吸収型および  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$  の選択吸収について. 日土肥誌, 32: 243-246
- Marumoto, T., K. Furukawa, T. Yoshida, H. Kai and T. Harada 1972 Effect of the application of rye-grass on the contents of

- individual amino acids and amino sugars contained in the organic nitrogen in soil. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.*, 17: 37-47
- 三井進午 1971 最新土壤肥料・植物栄養辞典. 博友社, 東京
- Singh, B. R. and Y. Kanehiro 1969 Adsorption of nitrate in amorphous and kaolinitic Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 681-683
- Russel, E. J. 1961 *Soil condition and plant growth*. Longman (London)
- 和田光史・安高治男 1960 アロフェンのイオン置換吸着反応. 粘土科学の進歩 (2). 技報堂, 東京, 394-403 頁
- 吉田堯・甲斐秀昭・原田登五郎 1972 土壤の易分解性有機物の集積に関する研究 1. 土壤の理化学性と易分解性有機物の集積との関係. 九大農学芸誌, 26: 67-84
- Yoshida, T., H. Kai and T. Harada 1972 The harmful effect of ammonium ion on the mineralization and accumulation of organic matter in soil. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 17: 227-246

### Summary

This paper deals with the influence of soil clays on the mineralization of rice straw added to soils and the accumulation of the organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil produced during its mineralization process under the three kinds of nutritional conditions, i.e., without nitrogen fertilizer and added with ammonium sulfate (62.3 mg N/100 g soil) and ammonium nitrate (22.8 mg N/100 g soil).

Under the condition where the soils and sand were treated without nitrogen fertilizer, all kinds of soil clays used retarded the accumulation of the organic matter becoming decomposable through the drying effect, and it is possible from the behaviours of the mineralization rates during the incubation periods to take the view that all kinds of clays used also retarded the mineralization of the rice straw.

Under the condition where the soils and sand were treated with ammonium sulfate, it was observed that all kinds of soil clays used accelerated the growth of soil microorganisms concerning with the decomposition of rice straw. Except allophane-type clay, the stronger the power of the clay to make the ammonium ion concentration in a solution low, the larger the acceleration effect of the clay on the growth of microorganisms, i.e., montmorillonite-type soil clay is more effective on the growth of them than kaolinite-type soil clay.

Under the condition where the soils and sand were treated with ammonium nitrate, the mineralization rates of rice straw increased in the following order; Sand > Allophane > Kaolinite > Montmorillonite-type soil, and the accumulation amounts of the organic matter becoming decomposable through the drying effect increased in the following order; Kaolinite > Montmorillonite > Allophane-type soil > Sand. It is also observed that all kinds of the soil clay used retarded the accumulation of nitrogen in organic form. The retardation by allophane-type soil clay was especially remarkable.

From the results of all the experiments, it might be concluded that the soil clays change the intensity of supplying nitrogen which is the leading factor for the growth of the organisms, consequently, they have strong influences upon the rate of the growth of soil microorganisms concerning with the decomposition of plant residue and the utilization efficiency of energy for the organisms to grow. Therefore, the cation and anion exchange capacities of clays and the strength of absorbing power of the bases like  $\text{NH}_4$  and K on their exchange site, which differ widely among the kinds of clay are the important factors for the mineralization of the plant residue added and the accumulation of the organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil.