

易分解性有機物の 集積過程について

九州大学農学部

甲斐昭秀

地力の給源としての

易分解性有機物

土壌中には必ず有機物が含まれています。

この土壌の有機物は土壌の物理的、化学的、微生物的諸性質を左右して、土壌の生成作用や植物の生育に、きわめて重要な役割を演じています。

このような有機物の意義については、さきに本誌1月号(1972年)で指摘しました。また、本号の土壌有機物特集の中でも触れられているものと思います。

土壌中の有機物は、いろいろな種類の生きた微生物、それらの死滅した遺体、および死滅した動植物の遺体、さらに、これらの遺体由来する有機物からなっています。

すなわち土壌の有機物は、生きた動植物や微生物と全く同様の組成をもった新鮮なものから、土壌中で微生物によって分解され、変化したものや、土壌中で新しく合成された有機物などから構成されています。

これらの有機物は、土壌微生物によって次第に分解され、最終的には水、炭酸ガス、アンモニア、硝酸などの簡単な無機化合物に変化します。

しかし、ある時間の長さに限って考えると、土壌有機物は、その全部が微生物によって分解されるものではありません。

たとえば、土壌有機物中に含まれる植物養分として、最も重要な窒素についてみると、日本の耕地土壌中には乾土当り0.1~0.8%、一般には0.2%前後の有機態窒素が含まれていますが、一回の作付期間中に土壌微生物によって分解され、有効化してくる窒素(地力窒素)は、その中のわずかに1~5%にすぎません。

つまり、土壌有機物の大部分は一般に分解され難いのですが、その一部は土壌が乾燥したり、地

温が上昇したり、土壌のpHが変わったり、耕やされたりすると、分解され易くなって、アンモニアや炭酸ガスに変化します。

このように、土壌条件の変化などが契機となって分解が促進される土壌の有機物部分が、天然に供給される植物養分(地力)の給源です。この部分を土壌の易分解性有機物と私達は呼んでいます。

日本で、水陸稲やムギ類について行われた多数の試験結果によると、作物に吸収された窒素のうち、見かけ上、水稲では70~80%、畑作では50%程度が、この地力窒素に依存していることが分ります。(第1表参照)

第1表 作物の地力依存度(%)

| 作物 | 窒素 | リン酸 | カリ |
|-----|----|-----|----|
| 水稲 | 83 | 95 | 96 |
| 陸稲 | 51 | 84 | 75 |
| ムギ類 | 50 | 69 | 78 |

註) 数字は三要素区を100としたときの各要素欠除区の収量指数。全国の現地三要素試験成績の平均値。

易分解性有機物は、動植物や微生物の遺体が、土壌中で微生物によって分解され、化学的变化も加わって腐植化して行く過程で生成集積します。

この易分解性有機物は、土壌中の有機質や無機質のコロイドと複合体を形成して集積されるので、微生物による分解に対し安定化して土壌中に存在するが、前述のように何らかの物理的、化学的作用をうけると、複合体の結合が解けるか、弱まるか、解膠分散して、微生物により分解されるようになると、一般に考えられています。

しかし、易分解性有機物が土壌中に集積される過程や、易分解性有機物の本質については不明なことが多く、今後の研究が期待されます。したがって、ここでは、易分解性有機物の集積と土壌の環境要因との関係について、私どもの最近の研究を中心に、いくつか述べてみたいと思います。

易分解性有機物の集積と

土壌の環境要因

易分解性有機物の集積には、土壌の種類の違いや温度、水分など、種々の環境要因が複雑に影響していると思われます。

このことは、土壌によってそれぞれその中に含まれている有機物の質も量も異なれば、それに由来して発現する地方にも、大きな違いがあることから分ります。

そこで私達は、まず過酸化水素で処理して、土壌中にもともと存在している有機物の大部分を除いた各種の土壌や砂を作り、これに稲ワラ、レンゲなどの植物遺体、種々の微生物菌体や、ゼラチンのような蛋白質を添加し、それらが分解される過程で、土壌や砂の中に生成集積される易分解性有機物の量を、80°Cで乾燥した場合の乾土効果として現われるアンモニア化生成量、あるいは炭酸ガス発生量で測って、易分解性有機物の集積率と、土壌の理化学的諸性質との関係を調べました。その結果は以下の通りです。

i) 有効態窒素含量, 有機態炭素含量, C/N比

易分解性有機物の集積に密接に関係している要因として、微生物に有効な土壌中の窒素含量, 有機態炭素含量および C/N 比があります。(第1図参照)

この図から次のことが考えられます。

土壌中に、微生物に有効な窒素や炭素が多いほど、有機物の分解に伴って土壌中に新たに生成される易分解性有機物も多くなるということです。

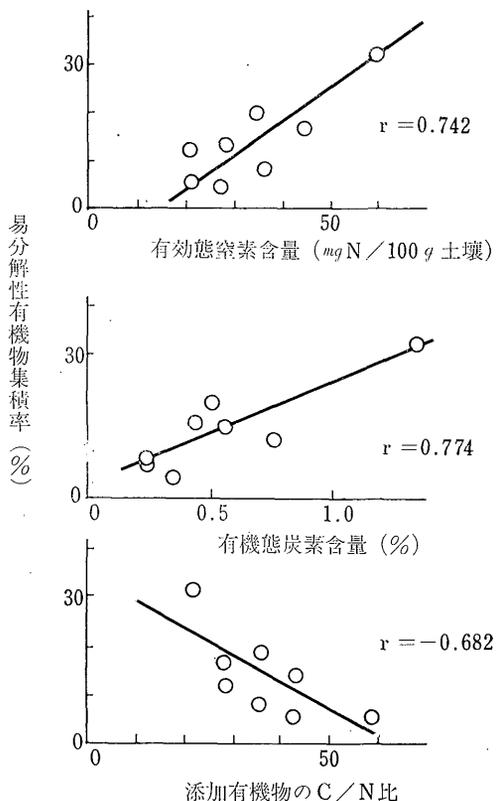
このことは、易分解性有機物が、微生物による有機物分解過程の初期産物、たとえば、微生物菌体やその代謝産物に由来するものと、密接な関係のあることを示唆しています。

ii) 粘土鉱物の種類と量

稲ワラのような、C/N比の大きい植物遺体が分解する場合、アンモニアのような無機態窒素を添加しなければ、砂やカオリン系土壌のように塩基置換容量の小さい土壌の方が、易分解性有機物の集積率は高く、モンモリン系土壌やアロフェン系土壌のように、塩基置換容量の大きい土壌の方が集積率は低くなります。

しかし、無機態窒素を添加しておくと、塩基置

第1図 易分解性有機物の集積率*と有効態窒素含量, 有機態炭素含量, C/N比



(*土壌中に集積した有機物の全量中、易分解性部分の占める割合)

換容量の大きい粘土を含む土壌では、易分解性有機物の集積率が高まるのに対し、砂などでは集積率はさほど高まらないか、逆に低くなる場合があります。(第2表)

第2表 稲ワラの分解に伴う易分解性有機物の集積と土壌の粘土の種類

| 土 壤 | 易分解性有機物の集積率(%) | |
|--------|----------------|--------|
| | 易分解性炭素 | 易分解性窒素 |
| モンモリン系 | 22.1 | 12.5 |
| カオリン系 | 20.6 | 7.0 |
| アロフェン系 | 19.5 | 5.9 |
| 砂 | 4.7 | 2.0 |
| 砂+リグニン | - | 13.3 |

また、粘土含量は、集積した易分解性有機物中の窒素と炭素に対し、それぞれ異なった影響を及ぼします。

易分解性炭素の集積についてみますと、粘土含量が10~40%の範囲ではモンモリン系, カオリン系粘土の場合には、粘土含量の影響は認められま

せんが、アロフェン系粘土では、粘土含量の多い土壌ほど、易分解性炭素の集積は量・率とも減少します。

また、易分解性炭素の集積率は、一般にカオリン系粘土が大きく、モンモリン系、アロフェン系粘土の順に小さくなります。

なお、モンモリン系粘土では、粘土含量が10%以下の範囲では、粘土含量の多いほど易分解性炭素の集積も多くなります。

次に、易分解性窒素の集積についてみますと、各粘土とも、粘土含量の増加とともに、その集積率も増加します。

易分解性窒素の集積は、一般にアロフェン系粘土が最も大きく、モンモリン系、カオリン系粘土の順に小さくなります。

これらの結果から、一般的にいえば、粘土の存在は、易分解性有機物の集積にとって有利だろうと思われます。(第3表参照)

第3表 易分解性有機物の集積と
土壌の粘土含量

| 土壌の粘土の種類 | 土壌の粘土含量(%) | 易分解性炭素の集積率(%) | 易分解性窒素の集積率(%) |
|----------|------------|---------------|---------------|
| モンモリン系 | 40 | 6.9 | 9.9 |
| | 20 | 6.9 | 10.7 |
| | 10 | 6.2 | 6.1 |
| | 5 | 5.2 | 4.7 |
| | 1 | 3.6 | 2.5 |
| カオリン系 | 40 | 9.6 | 4.8 |
| | 20 | 9.6 | 4.2 |
| | 10 | 8.4 | 4.0 |
| アロフェン系 | 40 | 3.4 | 14.1 |
| | 20 | 5.4 | 9.5 |
| | 10 | 7.4 | 7.8 |
| 砂 | 0 | 3.5 | 3.6 |

以上のように粘土が易分解性有機物の集積に及ぼす影響は、

- (1) 土壌の孔隙、通気、保水性などの物理的性質を左右する、
- (2) pH緩衝能を増大する、
- (3) 塩基や陰イオンを置換吸着して、土壌溶液中のアンモニウム、カリウム、硝酸などの濃度を支配する、

(4) 有機物の分解に伴って生成される有害物質を吸着除去する、

(5) 有機・粘土複合体を形成する、
などの作用を通して、影響を及ぼしていると考えられます。

iii) 土壌溶液中のアンモニウムイオンの

濃度、およびアンモニウムと硝酸の違い

土壌溶液中のアンモニウム濃度が高い場合には、有機態窒素の集積は多く、集積有機物の C/N 比は小さくなるにもかかわらず、その中の易分解性有機物の割合は減少します。また、そのような条件下では、集積した易分解性有機物の分解も阻げられます。

したがって、土壌中にアンモニア態窒素が多い場合には、土壌中の粘土は、生物遺体の分解と、それに伴う易分解性有機物の集積による影響を及ぼしますが、そのような粘土の役割は、土壌溶液中のアンモニア濃度を下げて、微生物の増殖と活性を助ける効果をもつものと考えられます。

(第4表参照)

第4表 易分解性有機物の集積と
アンモニア態窒素の濃度

| 土 壤 | アンモニア態窒素の濃度 (Nmg/100g土壌) | 集積有機物のC/N比 | 易分解炭素の集積率 (%) | 易分解性窒素の集積率 (%) |
|--------|--------------------------|------------|---------------|----------------|
| モンモリン系 | 5 | 27.8 | 0.9 | 3.2 |
| | 20 | 16.4 | 2.3 | 8.1 |
| | 60 | 11.0 | 2.6 | 13.0 |
| | 120 | 8.5 | 3.3 | -0.1 |
| | 砂 | 0 | 30.8 | 1.5 |
| 砂 | 20 | 19.6 | 1.0 | 0.4 |
| | 60 | 14.8 | 0.5 | -11.2 |
| | 120 | 16.6 | -0.1 | -18.1 |

なお、同じ窒素濃度でも、それがアンモニア態でなく硝酸態の場合には、アンモニアのような有害作用はいちじるしく軽減されます。

iv) 温度、水分

温度が高まると有機物の分解が早まりますが、それに応じて、易分解性有機物の集積率も高くなります。40°C 以上になると、有機物の分解それ自体は、促進される場合と抑制される場合とありますが、易分解性有機物の集積は一般に低下します。(第5表参照)

第5表 易分解性有機物の集積と温度

| 土壌の粘土の種類 | 粘土の塩基置換容量 (me/100g粘土) | 易分解性有機物の集積率(%) | |
|----------|--------------------------|----------------|---------|
| | | 硫安無添加 | 硫安添加 |
| モンモリン系 | 6.5~8.3 | 1.7 | 4.1~6.6 |
| カオリン系 | 2.2~3.3 | 5.4 | 1.9~7.9 |
| アロフェン系 | 3.8~4.6 | 2.3 | 5.1~8.8 |
| 砂 | ほとんど0 | 6.0 | 2.3 |

また、有機物の分解は、土壌水分が最大容水量の60%附近で最も盛んですが、易分解性有機物の集積も、有機物分解の盛んな水分条件で最も有利です。(第6表参照)

第6表 易分解性有機物の集積と土壌水分

| 土 壤 | 土壌の水分含量(最大容水量に対する%) | | | |
|--------|---------------------|------|------|------|
| | 40 | 60 | 90 | 120 |
| モンモリン系 | 11.1 | 13.7 | 13.4 | 13.2 |
| カオリン系 | 4.7 | 11.2 | 11.4 | 9.1 |
| アロフェン系 | 7.4 | 9.3 | 11.3 | 10.8 |
| 砂 | 2.8 | 8.7 | 8.2 | 4.5 |

註) 表中の数字は、易分解性有機物の集積率(%)

v) 植物遺体の種類と量

植物遺体が分解されるのに伴って、土壌中に易分解性有機物が集積しますが、その集積量は、植物の種類や量によって違います。

ゲンゲやクローバーのような窒素含量(蛋白質含量)の高いマメ科の緑肥作物は、土壌中での分解率は高く、直接的な肥料効果は大きいのですが易分解性有機物の集積量は、稲ワラなどに比較するといちじるしく少なく、地力の増強という点では、稲ワラやヨモギなどの野草類に劣ると思われれます。(第7表参照)

緑肥の連用が、かえって地力を減耗させることがあるといわれていますが、その原因については緑肥中あるいはその分解産物に多量に含まれているキレート物質のため、土壌中の易分解性有機物の分解が、促進されるためと考えられます。

なお、一般には土壌中に入る植物遺体の量が多

第7表 植物遺体の化学組成と易分解性有機物の集積

| 植 物 | 化学組成(乾物中%) | | | | | 易分解有機物の集積量 (mgC/100g土壌) |
|-----|------------|------|------|-----|------|----------------------------|
| | セルロース | リグニン | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 灰 分 | |
| ゲンゲ | 15.1 | 3.2 | 30.2 | 4.2 | 6.2 | 3 |
| 稲ワラ | 33.7 | 21.1 | 3.5 | 0.8 | 12.3 | 45 |
| ヨモギ | 23.8 | 20.4 | 15.4 | 2.0 | 7.4 | 35 |

いほど、易分解性有機物の集積量は多くなります。また、リグニンやセルロース含量の高い植物遺体の方が、易分解性有機物の集積に効果のあることが認められます。

土壌に稲ワラや堆肥を連用しますと、土壌の有機物含量はしだいに高まり、やがてその集積量は上限に達し、それ以後は土壌の有機物含量は高まりません。

易分解性有機物の集積量にも同様に限界があります。土壌の有機物集積量が限界に達した後は、新しく土壌に添加された有機物は、見かけ上すべて分解されてしまうようになります。このような現象は、実際の圃場試験でも認められています。

以上、土壌中で生物遺体が分解されるのに伴って、易分解性有機物が集積する過程に影響を及ぼす、幾つかの環境要因について述べました。

易分解性有機物の体質

さて、ここで、地力の給源と考えられる易分解性有機物の本質は、何かということになりますと先にも述べましたように、今日なおほとんど分かっていません。

ある人は微生物遺体がその一部だと考えています。またある人は、動植物や微生物の遺体や、その分解中間産物に由来する蛋白質やペプチド、アミノ酸などが、土壌中の粘土や腐植と結びついてきた、種々の複合体であろうと考えています。

私どもは、現在、易分解性有機物の本質を明らかにする目的で、いろいろな面から実験を行っていますが、たとえば、土壌中の易分解性有機物の

第8表 菌体細胞壁部分の添加による易分解性有機物の集積

| 土 壤 | 易分解性有機物の集積率(%) | | |
|--------|----------------|------|------|
| | 10°C | 30°C | 43°C |
| モンモリン系 | 1.4 | 13.7 | 3.5 |
| カオリン系 | 1.0 | 11.2 | 4.5 |
| アロフェン系 | 6.6 | 9.3 | 2.5 |
| 砂 | 4.5 | 8.7 | 2.1 |

アミノ酸組成を調べてみますと、その中には種々の微生物菌体、とくにその細胞壁を構成しているアミノ酸と、アミノ糖の存在比率の高いことが分りました。

そこで、種々の微生物の細胞壁部分を集めて土壌に加えてみますと、土壌中の

易分解性有機物含量が高まります。

また、その場合、粘土やリグニン、フェノール性化合物が共存しますと、その易分解性有機物の集積量は、さらにいちじるしく増加します。(第8表参照)

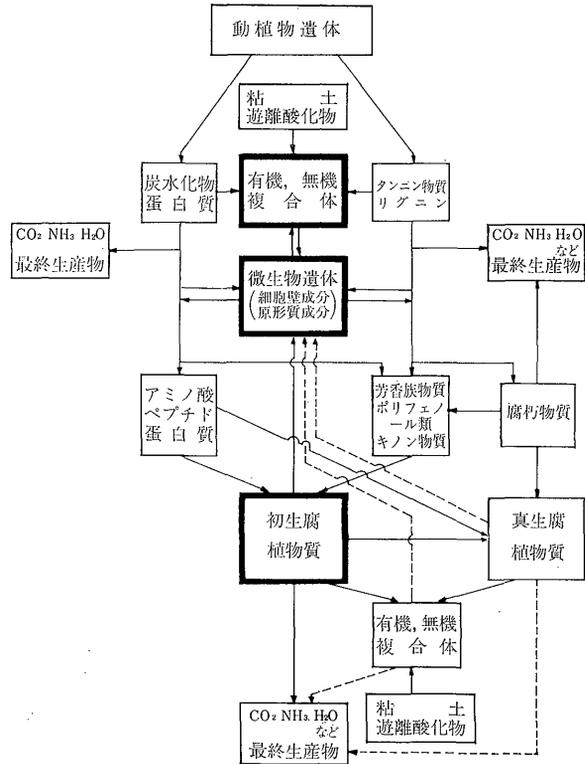
また、微生物菌体の原形質部分は、蛋白質含量は高いのですが、それだけでは、土壌に加えても、易分解性有機物含量は高まりません。

しかし、それに粘土やリグニンなどが加わると、やはり易分解性有機物の集積量が増加します。稲ワラや堆肥などの存在も、同様に効果があります。

生物遺体が土壌中で分解され、腐植化して行く過程について、これまで Kononova 女史や熊田教授などにより、幾つかの模式図が提出されています。

これらの模式図に、上述の実験結果を加味して考えますと、土壌中で、動植物遺体が微生物により分解され腐植化するのに伴って、一方で、地方の給源である易分解性有機物が生成し集積して行く過程は、第2図

第2図 生物遺体の分解と易分解性有機物の集積過程の模式図



注) 太枠で囲んだものは易分解性有機物の主な給源

のように推察されます。

この模式図中に示された諸過程の詳細は、今後の研究により明らかにされることであろう。