九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

土壌の易分解性有機物の集積に関する研究 : III. 添加植物遺体の質および添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

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/10.15017/23149

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 28 (1), pp.37-48, 1973-10. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌 (Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.)
第28巻 第1号 37-48 (1973)

土壌の易分解性有機物の集積に関する研究

III. 添加植物遺体の質および添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

吉田 堯・甲斐秀昭・原田登五郎
九州大学農学部植物栄養・肥料学教室
(1973年7月10日受理)

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

III. The Effects of the Quality and the Quantity of Plant Residue Added to Soil on the Mineralization of Its Carbon 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

易分解性有機物の原料物質として土壌に供給される植物遺体の量は，土壌のおかれている気象条件，土壌条件によって大きく異なる．N. I. Bazilevich がとりまとめたソ連の土壌植物帯における土壌への植物遺体の供給量に関するデータを，M. M. Kononova (1966) がその著書に記載しているが，これによると10a 当たりNとして 1.2～1.6 kg の量に相当する植物遺体の枯死部（地上部と根）が1年間に土壌に供給されることを示している．今，植物遺体の窒素含量が0.5～1.5%の間にあると仮定すると，多い場合には10a 当たり乾物重にしてほぼ 1,000～3,200 kg もの植物遺体が1年間に供給されるといえる．

農耕地についてみると，近年わが国の水田では，水稲収穫後有機資材として生わらが鋤込まれているが，その量は一般に 10a 当たり 200～600 kg 程度のようである（南，1966）．水稲多収穫農家の施肥事例をみると，10a 当たり年間2トン以上の堆肥が施用されている場合が多い．また，蔬菜栽培では稲わらを毎作10a 当たり 500～700 kg 施用することが奨励されている（服部，1969）．また，緑肥を毎作 10a 当たり1.5～2.0トン施用することにより，畑地の地力が維持されるとも言われている（近野，1969）．農耕地土壌に供給される植物遺体の量は，これら地力維持あるいは増進のために有機資材として投入される量のほかに，収穫残渣として圃場に残った植物根や切株の量が加わる．それで農耕地土壌に実際に添加される植物遺体の量は，その農業のおかれている条件によってかなり差があるといえる．

これら土壌に添加された有機物の分解集積過程は，その過程の進行中にさらに新たな植物遺体が添加されるという形で進行する．また，土壌に添加される植物遺体の種類は，その土壌のおかれている気象的・土壌的条件，農業が営まれている場合にはその農業のおかれている社会的条件等によって異なる．

そこで，添加有機物の無機化および易分解性有機物の生成集積に対し，植物遺体の添加量の多少，添加される植物遺体の種類および植物遺体を連続添加することの影響が，どのように現われるかを知ることは興味ある問題であると考え，室内モデル実験を行なった．青峰（1949）は，土壌中における易分解性有機物の集積が添加される植物遺体の種類によって異なるという見解を示し，それを示唆するデータを提示しているが，易分解性有機物の集積とこれら要因との関連に関する具体的な知見は現在まだないようである．

本報告では，上記モデル実験を次の三つの項に分けて示している．1　添加植物遺体の種類と炭素の無機化および易分解性有機物の集積，2　植物遺体の添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積，3　植物遺体の連続添加と炭素の無機化および易分解性有機物の集積．

材料および方法

1.　添加植物遺体の種類と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

供試土壌： 第1報（吉田・甲斐・原田，1972）に示した有明干拓土壌を過酸化水素で処理して用いた（粘土含量：56.4％，主要粘土鉱物：モンモリロナイト，塩基置換容量：36.3 me/100 g 土壌）．

供試植物遺体： ヨモギ（*Artmisia ralaris* L.，キク科の多年生草本）；山野に自生しているものを9月中旬に地表面より刈取り採取した．ゲンゲ（*Astragalus sinicus* L.，マメ科の二年生草本）；水田裏作に緑肥として栽培されているものを4月初めの開花前に採取した．稲わら（*Oryza sativa* L.，イネ科の一年生草本）；水稲の収穫期に採取した．各供試植物遺体の成分組成および C/N 比を第1表に示した．ヨモギとゲンゲは採取後直ちに 80°C の通風乾燥器中に入れ，十分乾燥した後粉砕し，32メッシュの篩を通して調製した．稲わらは一旦天日で乾燥し，その後 80°C の通風乾燥器で乾燥した後，上記と同様粉砕し，32メッシュの篩を通して調製した．

第1表　供試植物遺体の化学組成

（％）

	ゲンゲ	ヨモギ	稲わら
全炭素	43.7	37.1	33.8
全窒素	4.83	2.47	0.55
C/N	9.0	15.0	61.0
セルロース	15.1	23.8	33.7
リグニン	3.2	20.4	21.1
粗たん白	30.2	15.4	3.5
粗脂肪	4.2	2.0	0.8
灰分	6.2	7.4	12.3

培養方法： 上記過酸化水素処理土壌 10.0 g に，土壌 100 g 当たりCとして 1,352 mg に相当する各植物遺体粉末の量を混合し，570 ml 容の培養瓶に入れた．無機栄養液，イノキュラムの添加は第1報の場合と同様に行なった．稲わら添加土壌には土壌 100 g 当たりNとして 60 mg に相当する量の硫安を施用した．それで，全窒素施用量はゲンゲ，ヨモギ，稲わらの順に土壌 100 g 当たり 151，90，82 mg であり，またそれらの C/N 比はそれぞれ 9.0，15.0，16.5 であった．これに蒸留水を添加し，水分を最大容水量の 70％に調節し，30°C の恒温器中に 85 日間放置した．その間，経時的に培養ビンを取り出し，第1報に示した装置を用いて無機化して来た炭素量を測定した．

易分解性有機物の定量： 上記の方法により85日間培養した各土壌を，まず 80°C の乾燥器中に3時間放置して乾燥した．放冷後，水分を最大容水量の 70％にし，イノキュラムを加えてさらに2週間，乾燥処理を施さなかった対照土壌とともに 30°C の恒温器中で培養した．この2週間に乾燥処理土壌と対照土壌とから無機化して来た炭素量の差を易分解性有機物の集積量の指標とした．なお，易分解性有機物の定量法については第1報に詳細に述べている．

2.　植物遺体の添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

培養方法： 本実験では砂を培地として，稲わら粉末を植物材料として用いた．砂 10.0 g に第2表に示した試験設計に基いて，第1表に示した稲わら粉末と硫安を添加し，1. の場合と同様に 570 ml 容の培養瓶で培養した．培養期間は 89 日間である．ここに記した以外の事項は全て1. の場合と同様である．

第2表　稲わらの添加量と窒素の施用量

（mg/100 g 砂）

試験区番号	炭素添加量	窒素施用量			C/N
		有機態-N*	無機態-N**	計	
1	338	5.5	40.0	45.5	7.4
2	676	11.1	34.4	45.5	14.8
3	1352	22.2	23.3	45.5	29.7
4	2704	44.3	1.2	45.5	59.2
5	5408	88.6	0	88.6	61.0

* 稲わら由来の窒素
** 硫安

試験設計の概要： 第2表に示したように，本実験では稲わらの添加量は，砂 100 g 当たり稲わら 1,000～16,000 mg（338～5,408 mg の C に相当）の範囲であった．この場合，稲わら添加量 8,000 mg までの区（No. 1～4）では硫安で窒素施用量を調整し，砂 100 g 当たりの窒素施用量を 45.5 mg とした．稲わら 16,000 mg を施用した区（No. 5）では無機窒素は施用しなかった．この区の窒素施用量は他の区の約2倍である．その結果，各区の稲わら添加時の C/N 比は第2表に示したように 7.4～61.0 の範囲にあった．

易分解性有機物の定量：培養75日後の試料中に集積している易分解性有機物を1.の場合と同様の方法で測定した．

3. 植物遺体の添加回数と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

培養方法：本実験では，1.で用いた粘土質の有明干拓土壌を培地として，稲わら粉末を植物材料として用いた．土壌 10.0 g に 400 mg の稲わら粉末と窒素 4.0 mg に相当する硫安を添加混合し，その C/N 比を 21.8 とした．これを1.の場合と同様 570 ml 容の培養瓶に入れた．これにイノキュラムとしての土壌懸濁液，無機栄養液を加え，さらに蒸留水を加えて，水分含量を最大容水量の 60 % に調節した．このように調製した土壌の当初の土壌 pH は 6.2 であった．これを 30°C の恒温室内に放置した．1，3，5，7，9，11, 13, 16, 20 日後に取出し，第1報に示した装置を用いて，稲わら炭素の無機化によって生じた CO_2 量を測定した．20日後の CO_2 定量後に2回目の稲わら 400 mg を添加し，1回目同様発生する CO_2 量を測定した．同様の方法で8回まで稲わらの添加を続けた．なお，2回目以後の稲わらの添加に際しては硫安の施用は行なわなかった．1，2，4，5，6，7，8回稲わらを添加した試料については 20日以降も培養を続け，発生する CO_2 量を測定した．1，2，4，8回添加区のものについては，それぞれ20日間培養した後，土壌を 80°C の乾燥器中に3時間放置乾燥し，第1報に示した方法で易分解性有機物の集積量を測定した．1，2，4回稲わらを添加した土壌（この中には乾燥処理をせずにそのまま培養を続けた土壌〔対照区土壌〕と，それぞれ培養 20日後に一度乾燥処理を受けた土壌〔乾燥処理区土壌〕との2種がある）では，さらに培養を続け，110日培養した後，上記同様乾燥処理を行なって易後解性有機物の集積量を測定した．第1図は以上述べた培養方法を図解したものである．

実　験　結　果

1. 添加植物遺体の種類と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

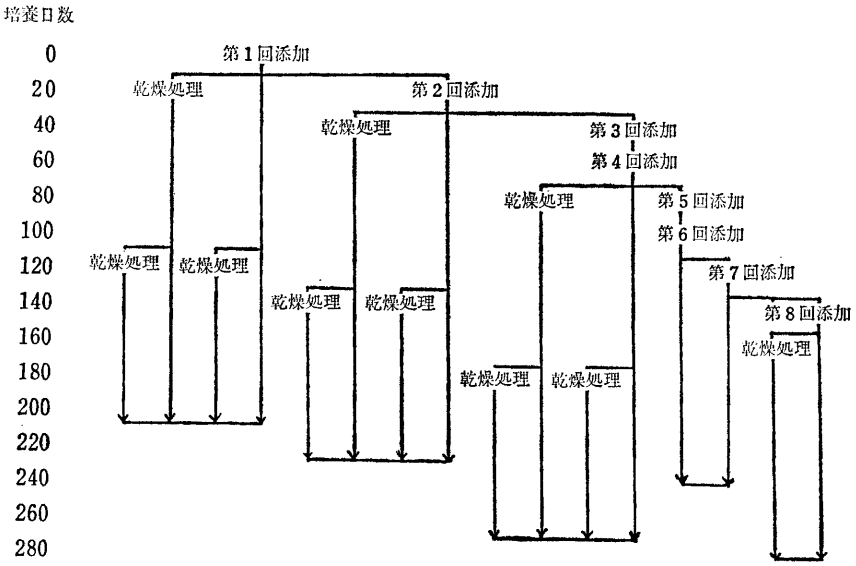
1) 炭素の無機化

各植物試料の炭素無機化量を経時的に測定した結果のうち，10, 20, 64, 85 日間の無機化量を無機化率に換算し，第3表に示した．無機化速度の大きい培養初期

第3表　植物遺体の種類と炭素の無機化率

(%)

植物	培養日数 10	20	64	85
ゲンゲ	36.5	44.3	58.6	62.2
ヨモギ	27.4	34.1	44.4	48.2
稲わら	21.6	32.3	47.8	51.8



第1図　稲わら添加の時期，乾燥処理の時期および培養期間

(10日間)の炭素の無機化はゲンゲで最も大きく，ヨモギがこれに次ぎ，稲わらで最も小さかった．すなわち，C/N 比の低いものほど炭素の無機化率が高かった．なお，培養64日以後の炭素の無機化率はゲンゲで最も大きく，稲わらがこれに次ぎ，ヨモギが最も小さく，培養初期の傾向とは異なった．

2) 易分解性有機物の集積

85日間の無機化過程を通じて，各植物遺体から生成された易分解性有機物の集積量（熱乾処理効果）とその集積率を第4表に示した．ゲンゲからの易分解性有機物の生成は，稲わらおよびヨモギからのそれに比較して著しく少なかった．

第4表　植物遺体の種類と易分解性有機物の集積
(mg C/100 g 土壌)

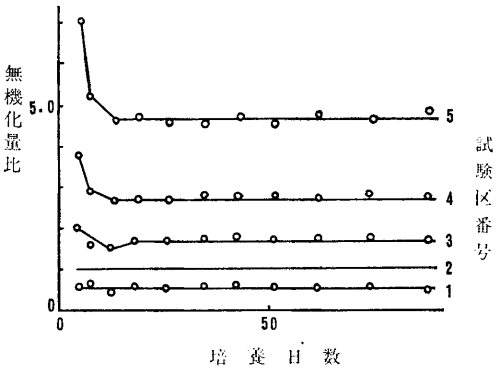
植物	炭素集積量 (A)	炭素無機化量 処理土 (B)	炭素無機化量 対照土 (C)	(B)−(C)*	(B)−(C)/(A)** (%)
ゲンゲ	511	29	26	3	0.6
ヨモギ	700	50	15	35	5.0
稲わら	651	64	19	45	6.9

* 易分解性有機物の集積量
** 易分解性有機物の集積率

2. 植物遺体の添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

1) 炭素の無機化

各試験区の稲ワラ炭素の無機化量の定量値を第5表に，それを無機化率に換算したものを第6表に示した．さらに稲わら添加量と炭素無機化量との関係を経時的にみるために，試験区の無機化量を各時期のNo.2区の炭素無機化量を基準とした比で求め，それを第2図に示した．この比を以後無機化量比と称することにする．



第2図　稲わら炭素の無機化量比

窒素施用量を一定にした No.1 から No.4 までの炭素の無機化量は，稲わら添加量の多い区ほど多かったが，その無機化率は稲わら添加量の多い区ほど小さかった．各区間の無機化率の差は初期に小さく，培養期間の経過とともに増大した．

稲わら炭素の添加量とその無機化率との関係を培養開始時の C/N 比との関係でみると，第3図に1例として示したように，培養開始時のCとNの比の対数の関数として表わされる．No.4 区の2倍量の窒素およ

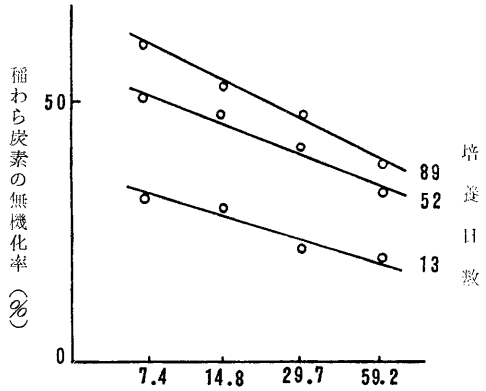
第5表　稲わらの添加量と炭素無機化量（積算）
(mg C/100 g 砂)

試験区番号	培養日数 5	8	13	19	26	35	43	52	62	75	82	89
1	50	81	106	123	144	—	—	172	183	199	—	205
2	88	151	198	230	257	284	296	319	331	349	—	356
3	182	242	294	372	431	482	519	550	572	612	—	640
4	329	433	532	603	695	775	824	880	923	986	1008	1034
5	614	776	920	1074	1181	1295	1376	1458	1539	1628	1677	1709

第6表　稲わらの添加量と炭素無機化率
(%)

試験区番号	培養日数 5	8	13	19	26	35	43	52	62	75	82	89
1	14.8	24.0	31.4	36.4	42.6	—	—	50.9	54.2	58.8	—	60.7
2	13.0	22.3	29.3	34.0	38.0	22.0	43.8	47.2	49.0	51.6	—	52.7
3	13.5	17.9	21.8	27.5	31.9	35.7	38.4	40.7	42.3	45.3	—	47.3
4	12.2	16.0	19.6	21.3	25.7	28.6	30.4	32.5	34.1	36.4	37.0	38.3
5	11.3	14.3	17.0	19.9	21.8	23.9	25.4	27.0	28.4	30.1	31.0	31.5

び炭素を添加したNo.5区のC/N比はNo.4のそれにほとんど等しかったが，無機化率はNo. 4のそれよりさらに小さく，第3図の回帰直線上にのらなかった．



第3図　稲わら添加時のC/N比と炭素無機化率

稲わらの添加量と炭素無機化量との関係を先に述べた無機化量比（第2図）で見ると，以下の通りである．窒素施用量を一定にしたNo.1からNo.4までの培養初期の無機化量比は稲わら炭素の添加量の比に近いが，以後急激に低下して13日以降は培養期間に関係なくほぼ一定の値になった．その値は稲わら200 mg添加区を1とすれば100，400，800 mg添加区ではそれぞれ0.55，1.72，2.75（13日以降の値の平均値）であった．すなわち，稲わら炭素の添加量を2倍にすると培養初期の無機化量はほぼ2倍であるが，時間の経過とともに低下し，13日以降は約1.7倍（No. 2/No. 1=1.82，No. 3/No. 2=1.72，No. 4/No. 3=1.60，平均1.71）の無機化量を示す．窒素および炭素ともその添加量を2倍にした場合もその無機化量は約1.7倍（No. 5/No. 4=1.69）であった．

2）易分解性有機物の集積

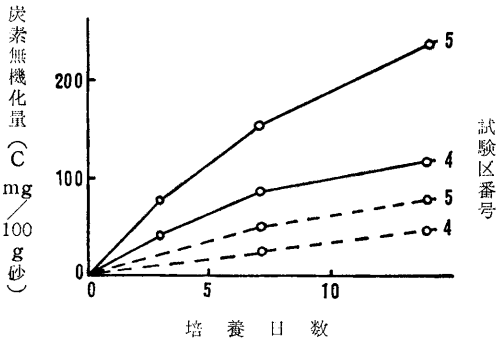
培養75日後の試料を乾燥処理し，水分とイノキュラムを添加した．これを乾燥処理を施さない対照土壌とともに30°Cの条件下でさらに14日間培養した．その間の炭素の無機化の様子を第7表に示した．この結果から熱乾処理効果（易分解性有機物の集積量）および熱乾処理効果の全集積有機物に対する割合を算出し，併記した．

易分解性有機物の集積量は稲わら添加量の多い区ほど多く，その集積率はNo. 5≒No. 4>No. 3>No. 2>No.1の順に低下した．No. 5区とNo. 4区の易分解性有機物の集積率はほぼ同程度の値を示したが，

第7表　稲わら添加量との易分解性有機物の集積
（mg C/100 g 砂）

試験区番号	炭素集積量 (A)	炭素無機化積算量 処理土壌 3*	処理土壌 7	処理土壌 14 (B)	対照土壌 7	対照土壌 14 (C)	(B)−(C)**	(B)−(C)***/(A) (%)
1	139	tr.	tr.	6	—	6	tr.	tr.
2	327	2	4	14	—	7	7	2.1
3	740	10	32	47	—	28	19	2.6
4	1718	37	85	120	22	48	72	4.2
5	3780	77	152	237	49	81	156	4.1

* 培養日数
** 易分解性有機物の集積量
*** 易分解性有機物の集積率



第4図　乾燥処理土壌および対照土壌からの炭素の無機化

—— 乾燥処理土壌，----- 対照土壌

無機化の様子から実際には No. 5>No. 4であろうと判断される（第4図参照）．

3. 植物遺体の連続添加と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

1）炭素の無機化

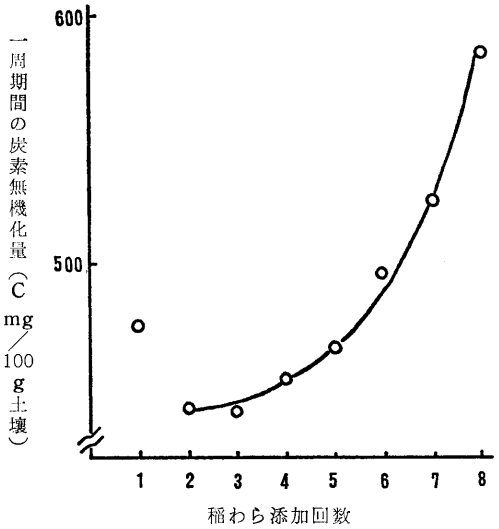
炭素の無機化量を第8表に示した．

稲わらの添加回数とCO_2の発生：稲わら添加後のCO_2の発生量は，稲わらの添加回数の増加とともに増大した．その結果，一定量のCO_2を発生するに要する時間は稲わらの添加回数の多い土壌ほど短くなる．すなわち，各土壌から最後に添加された稲わら炭素の半量に相当する量のCO_2（676 mg C）が発生するに要する日数を計算すると，1回添加土壌では85日であるのに対し，2，4，5，6，7，8回添加土壌ではそれぞれ45，43，40，32，27，25日であった．

稲わらの添加回数と初期20日間のCO_2の発生量：本実験では20日間を周期として稲わらの添加を連続的に行なった．稲わらの添加回数（x）と初期20日間

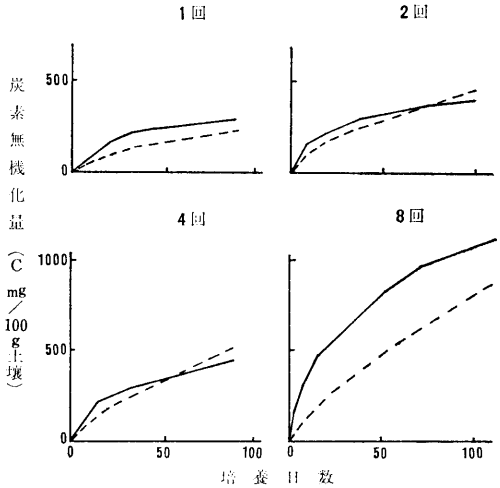
第8表　稲わらの添加回数と炭素無機化量（積算）
（mg C/100 g 土壌）

培養日数	稲わらの添加回数 1	2	3	4	5	6	7	8
1	60	90	75	80	82	85	84	101
3	151	169	120	161	163	173	175	206
5	221	213	163	223	223	230	225	253
7	276	258	212	282	265	272	270	290
9	317	289	260	321	315	316	320	350
11	368	320	296	358	352	357	360	390
13	394	346	342	380	380	393	400	433
16	429	385	384	420	423	440	468	490
20	473	440	439	452	465	495	527	585
25	512	496	—	511	514	563	632	653
30	537	540	—	545	568	624	698	703
35	556	586	—	580	616	690	772	773
40	571	615	—	618	644	748	816	832
45	580	647	—	650	687	798	869	878
50	589	676	—	677	733	844	908	915
55	600	708	—	697	761	886	942	954
60	611	720	—	718	796	924	971	990
65	621	735	—	745	835	960	1005	1027
70	632	751	—	769	864	997	1038	1064
75	641	762	—	810	906	1030	1066	1075
80	647	778	—	828	942	1065	1090	1095
85	653	788	—	853	978	1099	1123	—
90	661	799	—	888	1016	1140	1161	—
95	670	821	—	915	1038	—	—	—
100	676	840	—	938	1066	1191	1200	1204
120	697	919	—	—	1196	—	1272	—
140	712	—	—	—	1316	1450	—	1419
160	720	967	—	1048	1452	—	—	—



第5図　稲わら添加回数と一周期間の炭素無機化量

（以後このことを1周期と記す）の炭素無機化量（y）との関係を第5図に示した．1回添加区を例外として添加回数の増加とともに1周期間の CO_2 の発生量は急激に増大した．これを近似的に数式化すると（1）



第6図　乾燥処理土壌からの炭素の無機化
—— 乾燥処理土壌，----- 対照土壌

第9表　稲わらの添加回数と易分解性有機物の集積（培養日数20日）
（mg C/100 g 土壌）

培養日数	炭素集積量 (A)	炭素無機化量 処理土壌 (B)	対照土壌 (C)	(B)−(C)*	(B)−(C)/(A)**
1回添加土壌					
0	879	0	0	0	—
15		103	83	20	2.3
20		136	98	38	4.3
35		212	127	85	9.7
45		233	148	85	9.7
55		255	168	87	9.9
2回添加土壌					
0	1791	0	0	0	—
10		150	100	50	2.8
15		200	146	54	3.0
20		225	175	50	2.8
35		294	268	26	1.5
4回添加土壌					
0	3604	0	0	0	—
10		125	93	32	0.9
15		216	128	88	2.4
20		230	166	64	1.8
30		261	225	31	0.9
8回添加土壌					
0	6940	0	0	0	—
15		369	188	181	2.6
20		508	247	261	3.8
50		802	479	323	4.7

* 易分解性有機物の集積量
** 易分解性有機物の集積率（%）

式の如き関係式が得られる．

$$y = 6.0x^2 - 38.0x + 505 \qquad (1)$$

2）易分解性有機物の集積

乾燥処理土壌からの炭素の無機化：20日間培養した稲わら添加回数1，2，4，8回の各土壌を80°Cの乾燥器中に3時間放置乾燥した．この乾燥土壌にイノキュラムと水を添加し，さらに培養を続けた場合の炭素の無機化の様子を，乾燥処理を受けていない対照土壌からのそれとともに第6図に示した．これによると，いずれの土壌でも，初期の無機化は乾燥処理土壌からのものが対照土壌からのものより旺盛であった．また，対照土壌からの炭素の無機化はほぼ同一速度で進行したのに対し，乾燥処理土壌からのそれは初期の無機化速度が大きく，以後速度は徐々に低下する形で進行した．すなわち，乾燥処理土壌からの炭素の無機化には，いずれも初期に分解のフラッシュが認められるが，以後その速度は徐々に低下し，培養後期には対照土壌からのそれより小さくなった．乾燥処理土壌からの無機化速度が対照土壌からのそれより小さくなる時期は土壌により異なり，2回および4回添加土壌では比較的短時間で，対照土壌からの無機化速度の方が大きい状態になった．

培養20日後の土壌中の易分解性有機物の集積量：培養20日後の土壌中に集積している易分解性有機物の量は乾燥処理土壌と対照土壌からの炭素無機化量の差と考え，その量を第9表に示した．乾燥処理土壌と対照土壌とからの炭素無機化量の差は培養日数の長短によって異なり，稲わら1回添加土壌では55日目で最も大きく，2回および4回添加土壌では15日目，8回添加土壌では50日目で最も大きかった．そしてそれより培養時間が長くなるとその差は小さくなった（第6図参照）．乾燥処理土壌と対照土壌とからの炭素無機化量の差の最も大きい量を易分解性有機物の集積量とすると，それは1回添加土壌では土壌100g当たり87mg，2回添加土壌では54mg，4回添加土壌では88mg，8回添加土壌では323mgで，1回添加区を例外とすれば，添加回数の多いほど易分解性有機物の集積量は増加した．易分解性有機物の集積率は1，2，4，8回添加土壌の順にそれぞれ9.9，3.0，2.4，4.7％であった．

培養110日後の土壌中の易分解性有機物の集積：稲わら1，2，4回添加土壌をそのまま110日間培養した土壌（対照区土壌）と，110日間の培養途中（稲わら添加後20日目）に一度乾燥処理をした土壌（乾燥処理区土壌）とに集積している易分解性有機物の集積量を測定し，第10表にその結果を示した．すなわち，稲

第10表　稲わらの添加回数と易分解性有機物の集積（培養日数110日）

（mg C/100g 土壌）

培養日数	対照区土壌* 炭素集積量 (A)	炭素無機化量 処理土壌 (B)	炭素無機化量 対照土壌 (C)	(B)−(C) (mg)	(B)−(C)/(A) (%)	乾燥処理土壌** 炭素集積量 (A)	炭素無機化量 処理土壌 (B)	炭素無機化量 対照土壌 (C)	(B)−(C) (mg)	(B)−(C)/(A) (%)
1回添加土壌										
0	661	0	0	0	—	537	0	0	0	—
16		68	8	60	9.1		51	6	45	8.4
51		83	27	56	8.5		69	20	49	9.1
99		113	48	65	9.8		98	40	58	10.1
2回添加土壌										
0	1351	0	0	0	—	1395	0	0	0	—
28		170	60	110	8.2		120	36	84	6.5
76		263	135	128	9.5		173	80	93	6.7
100		308	159	149	11.0		202	96	106	7.6
4回添加土壌										
0	3076	0	0	0	—	3159	0	0	0	—
16		300	40	260	8.5		130	30	100	3.1
43		430	112	320	10.4		190	59	131	4.2
113		600	400	360	11.7		259	123	136	4.3

* 稲わら添加して110日間培養した土壌

** 稲わら添加して20日培養した後一度乾燥処理を受けた土壌

わら1，2，4回添加土壌のそれぞれの対照区土壌と乾燥処理区土壌の一部を 80°C の条件下で乾燥し（処理区），それにイノキュラムと水を添加し，さらに培養を続け，炭素無機化量を測定する．それから，それぞれに対応する乾燥処理を施すことなく培養を続けた土壌（対照区）からの炭素無機化量を差引き，易分解性有機物の集積量の指標とした．まず，培養期間に乾燥処理を受けていない対照土壌についてみると，第10表にみられるように，いずれの土壌においても，培養期間の長いほど処理区と対照区の炭素無機化量の差は増大した．この差が易分解性有機物に由来するものとすれば，易分解性有機物の生成集積量は稲わらの添加回数の多い土壌ほど多い．しかも，2回および4回添加土壌におけるる易分解性有機物の集積量は，1回添加土壌におけるそれのそれぞれ2および4倍以上であり，4回添加土壌における易分解性有機物の集積量は2回添加土壌における集積量の2倍以上であった．また，易分解性有機物の集積割合も稲わらの添加回数の多い土壌ほど高かった．

つぎに，培養期間中に一度乾燥処理を受けた乾燥処理土壌についてみると，易分解性有機物の集積量は対照区土壌の場合と同様，稲わらの添加回数の多い土壌ほど多かった．しかし，その集積量はいずれの土壌においても，それに対応する対照区土壌のそれより少なかった．なお，その集積率は稲わらの添加回数の多い土壌ほど小さかった．

培養20日後の土壌における易分解性有機物の集積量（第9表参照）と110日培養した対照区土壌における集積量（第10表参照）とを比較すると，稲わら1回添加土壌では集積量は前者が多く，2回および4回添加土壌では後者が多かった．

考　　察

1.　添加植物遺体の種類と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

1）炭素の無機化

一般に植物遺体の無機化は，その C/N 比にに大きく左右される（Kai *et al.*, 1969；Ahmad *et al.*, 1969）．本実験においても無機化の旺盛な培養初期の微生物増殖期においては，C/N 比の小さい植物遺体ほど炭素の無機化速度は大であった（ゲンゲ＞ヨモギ＞稲わら）．しかし，培養後期におけるヨモギの炭素の無機化速度は，それより C/N 比の大きい稲わらより小さく，99日間の炭素無機化率はゲンゲ＞稲わら＞ヨモギの順に低下した．このことは，植物遺体炭素の無機化は，単に植物遺体のCとNの比のみならず，その有機物組成の面からも考慮される必要があることを示唆している．従来の研究結果（Ahmad *et al.*, 1969；Russel, 1961；Kononova, 1966）によると，植物遺体の無機化はその C/N 比，炭素源の種類，およびリグニン，ワックス，セルロース含量の多少によって影響されることが示されている．また，無機化し難い有機物は他の無機化し易い有機物と共存することによって，無機化が促進される場合も認められている．筆者らはセルロース，リグニン，パルミチン酸の易分解性有機物の集積に対する影響を調べる必要から，稲わらおよびゲンゲの炭素の無機化に対するこれら有機物の添加の影響について実験を行なった．データの記載は省くが，その結果によると，セルロースおよびリグニンはいずれもそれ自体無機化し難い有機物であり，同時に共存する他の無機化し易い有機物の，とくに初期の無機化を抑制する作用をもつことを認めている．パルミチン酸もまたそれ自体無機化し難い有機物であるが，上記の作用は認められず，むしろ見掛け上の稲わらの無機化は促進された．従来，リグニンはその分解過程で蛋白質やアミノ酸と結合し，複雑な化合物を生成して，微生物分解に抵抗性をもつ腐植の生成の起因になると考えられている．上記のリグニンの稲わらに対する無機化抑制作用はこのような理由によると考えられる．そして，このような微生物分解に抵抗性をもつ複合体の生成は，分解の比較的早い時期（微生物増殖期）に起こると推察される．上記の如きセルロースおよびパルミチン酸の作用については現在不明であり，リグニンにおける作用機作のより明確な解明とともに今後の研究課題である．

以上の結果は，土壌に供給される植物遺体中のセルロース，リグニン，高級脂肪酸等の細胞膜構成成分含量の多少が，単にそれらが無機化し難い成分であるというだけでなく，共存する無機化し易い有機物の無機化に影響し，植物遺体全体としての無機化速度に関することを示唆している．

2）易分解性有機物の集積

前報（吉田ら，1972）において，易分解性有機物の集積は微生物に有効な窒素量の多い条件で，より有利に進行することを稲わらを用いた実験を通じて示した．本実験結果によると，易分解性有機物の生成集積量は窒素添加量が最も多く，しかも初期の炭素の無機化が最も旺盛であったゲンゲ区で著しく少なかった．このことは，易分解性有機物の集積がその原料物質で

ある植物遺体の質に影響されることを示唆している．そこで，ゲンゲと同様蛋白質に富むクローバーを用いて同様の実験を行ない，易分解性有機物の集積量を測定した．その結果を第11表に示すが，クローバーの場合も易分解性有機物の生成集積量は著しく少なかった．

第11表　クローバーの無機化過程に生成する易分解性有機物の集積

(mg C/100 g 土壌)

炭素集積量 (A)	炭素無機化量		(B)−(C)	(B)−(C)/(A) (%)
	処理土壌 (B)	対照土壌 (C)		
602	29	27	2	0.33

以上の結果からすると，ゲンゲやクローバーの如き蛋白質含量が高く細胞膜構成成分含量の少ない緑肥作物は無機化し易く，窒素肥料としては優れた資材であるが，地力増強資材としては稲わらやヨモギに劣るといえる．また，ゲンゲ等の緑肥の連用が地力を減耗させることは昔からよく知られているが，その機作について近年宮口ら（1969）は，これら緑肥中に多量のα-オキシ酸等のキレート作用をもつ物質が含まれており，これらの作用によって土壌中に集積されている易分解性有機物が可動化されることが地方減耗の理由であることを明らかにしている．このことと上記の結果を考え合わせると，緑肥は地力の維持増進を計るための有機物資材としては不適当であるといえる．

2. 植物遺体の添加量と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

1) 炭素の無機化

植物遺体の添加量とその土壌中での無機化率との関係に関する見解は，現在必ずしも一致してはいないようである．Bartholomew ら（1948, 1953）は ^{14}C でラベルした植物遺体を用いた実験を通じて，添加量が少ないほどその無機化率は大きくなると結論している．Stotzky (1958), Sørensen (1962), Mortensen (1963), Jenkinson (1965, 1966) はいずれも ^{14}C-植物遺体を用いた実験を通じて，その添加量が炭素にして2%以内では植物遺体の無機化率は添加量に影響されないと結論している．Pink and Allison (1961) はアイソトープを利用しなかった時代のこの種の研究結果を論評し，土壌に添加される植物遺体の量が炭素として1.5%以下でその培養期間が3～6ケ月間であれば，その炭素の見掛け上の無機化率はその添加量に無関係であると述べている．

本実験では，土壌有機物を含んでいない砂での89日間という比較的短い期間における稲わら炭素の無機化とその添加量（C として 0.34～5.4%）との関係を調べた．その結果，窒素添加量が等しい条件では稲わら炭素の無機率はその C/N 比の対数関数で表わされることを示している．すなわち，添加量を2倍にした場合炭素無機化量は約1.7倍であった．C/N 比が一定の場合でも稲わらの添加量を2倍にした場合，炭素の無機化量は約1.7倍であった．これらの結果は Broadbent and Bartholomew の見解と一致するもので，植物遺体の添加量が多いほど無機化率は低下することを示している．植物遺体の無機化はその C/N 比に著しく影響される（Kai *et al.*, 1969; Ahmad *et al.*, 1969）．窒素施用量が一定の場合，稲わら添加量の増大に伴う炭素無機化率の低下はその C/N 比の低下によるものと理解される．一方，C/N 比はほぼ一定で稲わら添加量を増した場合，炭素無機化率が低下する（No. 4 区とNo. 5 区の比較）理由については，次のように考えられる．原田（1959）は，土壌中での腐植酸の有機物分解に対する役割を明らかにするため，土壌より腐植酸を抽出調製し，これとアルブミンの複合体を作ってその無機化を調べている．それによると，アルブミンの分解が腐植酸の存在によって著しく抑制されるのと同時に腐植酸の分解もたまアルブミンの存在によって抑制される．このような微生物分解に抵抗性をもつ有機—有機複合体の生成割合は，その給源である植物遺体の添加量の多いほど高まるであろうことは容易に想像される．原田は微生物分解に対し抵抗性をもつこのような有機—有機複合体は易分解性有機物の給源になるであろうと推察している．本実験においては易分解性有機物の積集率は稲わら添加量の多いほど高い（No. 5 区>No. 4 区）と考えられ，稲わら添加量の多いほど原田のいう有機—有機複合体の生成割合の高いことを示唆している．これらのことを考え合わせると，植物遺体の添加量の増大に伴うその炭素の無機化率の低下は，微生物分解に抵抗性をもつ有機—有機複合体の生成によると推察される．

2) 易分解性有機物の集積

前報で易分解性有機物の生成集積は窒素施用量の多いほど有利に進行することを示した．すなわち，炭素添加量を一定にした実験では窒素施用量が多いほど易分解性有機物の集積率は高く，その集積率と C/N 比の間に負の密接な相関関係が認められた．本実験では窒素施用量を一定にし，しかも十分な量を施用しているが，この場合炭素添加量が多いほど，すなわち，

C/N 比の大きいほど易分解性有機物の集積が有利に進行したことを示している．No. 4 区とNo. 5 区の比較から C/N 比がほぼ同じ場合炭素添加量の多いほど易分解性有機物の集積率が高いという結果が得られた．このことは，易分解性有機物の生成集積について，つぎのようなことを想像させる．すなわち，易分解性有機物は微生物の代謝中間産物で，それが微生物分解に抵抗性をもつ有機—有機複合体のような形で最終産物にまで分解されることなく，土壌中に遺留されたものであろう．1）の項で得られた結果と考え合わせると，このような有機—有機複合体の生成には比較的分解し難い植物細胞膜構成成分の寄与が大きいものと推察される．

3.　植物遺体の連続添加と炭素の無機化および易分解性有機物の集積

1）炭素の無機化

土壌に植物遺体が連続的に添加された場合，土壌中に集積している有機物の無機化が新たな植物遺体の添加によって影響を受けることが考えられる．

本実験の目的の一つは，その影響がどのようなものであるかを観察することにある．第 5 図に示した結果によると，稲わらの添加回数が多く，有機物の集積量の多い土壌ほど，新たに稲わらを添加した後の土壌からの CO_2 の発生量は多くなる．もし，新たな植物遺体の添加が集積有機物の無機化に対し何らの影響も及ぼさないと仮定すると，n 回目の植物遺体添加後の CO_2 発生量には，n 回目の植物遺体の無機化によって生ずる CO_2 量に 1 から n-1 回目までに添加した植物遺体に由来する CO_2 が加算されることになる．この仮定が正しいとすれば，稲わらの添加回数を異にする各土壌からの CO_2 の発生量は，第 8 表に示した稲わら 1 回添加土壌からの炭素無機化量から次のように計算される．稲わら 2 回添加土壌からの 1 周期間における炭素無機化量は，稲わらを 1 回添加した土壌からの 2 周期間（40日間）の炭素無機化量に等しいはずである．すなわち，稲わら 2 回目添加後 20 日間の炭素無機化量には，1 回目の添加稲わらに由来する (571-473) mg=98 mg の炭素と 2 回目の稲わらに由来する 571 mg が含まれることになる．このようにして計算した値（y）と稲わらの添加回数（x）との関係を近似的に数式にすると，(2) 式の如き関係式が得られた．

$$y=\frac{8.9+\sqrt{3.8x-4.4}}{19.0\times10^{-3}} \qquad (2)$$

この関係は，前述（1）式の実測値との間にみられた関係とは全く異なっている．このことは，集積有機物の無機化に新たな稲わらの添加が大きく影響することを示唆している．

（1）および（2）式から，それぞれ 1 週期間の CO_2 の発生量が土壌 100 g 当たり 1, 352 mg（稲わら 4, 000 mg に相当）に等しくなるには何回稲わらを添加すればよいかを求めてみると，（1）式からは 16 回，（2）式からは 72 回という結果が得られる．すなわち，集積有機物の無機化と新たに添加した稲わらの無機化が共に独立して進行するとすれば，72回目の稲わらを添加した時点で最初の 1 周期間に添加した炭素量と同量の炭素が CO_2 として発生することを示している．しかし，実際には16回目の添加時点でこのような状態になり，この時点では稲わらを添加しても土壌の炭素含量は高まらないことを示している．このことは，土壌に集積している有機物と新たに添加される植物遺体との間には相互作用があり，植物遺体を連続添加していくと炭素の無機化が促進されることを意味している．

本実験では，稲わら 1 回添加区からの 1 周期間の CO_2 発生量が 2，3，4 回稲わら添加土壌からのそれより多くなっており，第 5 図に示した関係からはずれるが，これは 1 回目の稲わら添加時には無機態窒素を施用し，窒素の微生物への供給強度が高かったことによると理解される．(2) 式にみられる関係は，このように無機態窒素を施用した条件下での CO_2 発生量を基に求めたものであり，各土壌からの 1 周期間の CO_2 発生量の計算値が実測値より高い．したがって，CO_2 発生量の比較からは，上述のように連続添加により植物遺体の無機化が促進されると言えるかどうかは明らかでない．E. J. Russel (1961) は堆厩肥連用試験によって土壌有機物の集積量に上限のあることを示している．このことから，土壌に植物遺体を連続添加した場合，その炭素の無機化が促進されることが推察されるが，その機作については不明である．しかし，実際には土壌の有機物含量は比較的短期間（25～50 年）で上限に達するものと思われる．本実験の結果は，上述の Russel の知見を支持している．

2）易分解性有機物の集積

第 6 図に示した結果によると，いずれの土壌においても初期の炭素無機化速度は乾燥処理によって増大した．すなわち，いずれの土壌においても易分解性有機物が生成集積されていることが明らかである．しかし，後期の炭素無機化速度はいずれの土壌でも乾燥処理土壌の方が劣った．そして，さらに長期間培養を続

ければその無機化量は 対照土壌>乾燥処理土壌になることが推察される．事実2および4回稲わら添加土壌では，50～60日後にすでに炭素無機化量が 対照土壌>乾燥処理土壌となった．このことは，乾燥処理は土壌中に生成集積されている易分解性有機物を可動化すると同時に，無機化し難い有機物の生成を促進する役割を果していることを示唆している．第10表に示したように，110日培養した土壌においては乾燥処理を行なっても上記のような現象が認められないことからすれば，稲わらの無機化が旺盛に行なわれている過程で，存在する有機物が乾燥処理によって一部難分解化すると考えられる．

培養20日後，土壌中に生成集積されている易分解性有機物量は，1回添加土壌を例外として稲わら添加回数の多い土壌ほど多かった．110日間培養した土壌では，稲わら添加回数の多いほど易分解性有機物の集積量は多く，その集積率も高まった．培養20日後に一旦乾燥処理を施した土壌の110日後の易分解性有機物の集積量もまた稲わら添加回数の多い程多いが，その集積率は添加回数の多い土壌ほど低かった．易分解性有機物の集積率について，乾燥せずに110日間培養した土壌と20日目に一旦乾燥した土壌とを比較すると，前者における方が多かった．その程度は稲わら添加回数の多いほど顕著であった．このことは，培養20日後の乾燥処理により易分解性有機物が可動化されその量が減少したことも一因であるが，20日後の乾燥処理によって難分解性の有機物の生成が促進されることも原因していると考えられる．

青峰（1949）は，土壌中の全窒素含量と易分解性窒素の集積率との関係について調査し，表層土では，全窒素含量の高い土壌ほど易分解性窒素の集積率は低く，下層土では，逆に高いことを示し，表層土では乾燥処理が繰返され易分解性有機物の給源が消耗した結果であると推察している．本実験結果では，稲わらを添加して110日培養したものでは，稲わらの添加回数が多く土壌中の炭素含量の高い土壌ほど易分解性有機物の集積率は高く，青峰の示した下層土でみられる関係と類似の関係が認められた．一方，培養20日目に一旦乾燥処理を行なった培養110日の土壌では，炭素含量の高い土壌ほど易分解性有機物の集積率が低く，青峰の示した表層土における関係と類似の関係が認められた．すなわち，土壌中の有機物含量と易分解性有機物の集積率との関係は，有機物の無機化過程での乾燥処理の有無によっても影響されることを示唆している．

要　　約

炭素の無機化および易分解性有機物の生成集積に対する植物遺体の種類，添加量の多少およびその連続添加の影響を知るためにモデル実験を行なった．結果の概要は以下の通りである．

1. 炭素の無機化速度は植物遺体の C/N 比に影響されるだけでなく，細胞膜構成成分含量の多多少によって影響される．すなわち，細胞膜を構成しているセルロースやリグニンはそのものが無機化し難い成分であると同時に他の無機化し易い有機物の無機化を抑制する．

2. 植物遺体炭素の無機化率はその添加量の多いほど低下する．すなわち，稲わらを用いた本実験の範囲内では，添加量を2倍にした場合いずれも CO_2 として発生する炭素量は1.7倍であった．

3. 植物遺体の連続添加実験を通じて土壌有機物の集積量には上限のあることが推察された．植物遺体を連続添加すればその無機化が促進され，比較的短期間で土壌の有機物含量は上限に達するものと考えられる．

4. 易分解性有機物の生成集積はセルロースやリグニン含量の多い植物遺体において有利に進行した．すなわち，それらの含量に乏しいゲンゲやクローバー等の緑肥作物では稲わらやヨモギの場合に比較して易分解性有機物の集積が著しく少なかった．

5. 植物遺体の添加量が多い程炭素の無機化率は低下するが，易分解性有機物の集積割合は高まった．また，植物遺体の添加回数が多いほど易分解性有機物の集積が有利に進行することが認められた．

文　　献

Ahmad, Z., H. Kai and T. Harada 1969 Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized II. Effect of carbon sources on immobilization and release of nitrogen in soil. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)*, **15**: 252-258

青峰重範 1949 暗渠排水と乾土効果．河出書房，東京

Broadbent, F. E. and W. V. Bartholomew 1948 The effect of quantity of plant material added to soil on its rate of decompositon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **13**: 271-274

Hallam, M. J. and W. V. Bartholomew 1953 Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*,

17: 365-368
原田登五郎 1959 水田土壌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., **B.9**: 123-199
服部安一 1969 そ菜に対する稲ワラ施用効果と施用上の留意点. 農及園, **44**: 1559-1563
Jenkinson, D.S. 1965 Studies on the decomposition of plant material in soil I. Losses of carbon from ^{14}C labelled ryegrass incubated with soil in the field. *J. Soil Sci.*, **16**: 104-115
Jenkinson, D. S. 1966 Studies on the decomposition of plant material in soil II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. *J. Soil Sci.*, **17**: 280-302
Kai, H., Ahmad, Z. and T. Harada 1969 Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilzed I. Effect of temperature on immobilization and release of nitrogen in soil. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)*, **15**: 207-213
近野薫 1969 有機物投入による畑土壌の生産増強. 農及園, **44**: 645-649
菅野一郎他訳 1966 Kononova, M. M.: 土壌有機物. 新科学文献研究会, 米子
南敬二 1966 生わらの鋤込み法と米麦栽培. 農及園, **41**: 1471-1474
宮口尹男・原田登五郎 1969 緑肥水浸液とそのキレート作用に関する研究 (第1報) 緑肥の水浸液が土壌中の鉄, りんおよび窒素の動態に及ぼす影響. 佐賀大農彙報, **28**: 1-16
Mortensen, J. L. 1963 Decomposition of organic matter and mineralization of nitrogen in Brookston silt loam and alfalfa green manure. *Plant and Soil*, **19**: 374-384
Pinck, L. A. and F. E. Allison 1961 Adsorption and release of urease by and from clay minerals. *Soil Sci.*, **91**: 183-188
Russell, E. W. 1961 *Soil Conditions and Plant Growth.* Longmans, London
Sørensen, H. 1963 Studies on the decomposition of C14-labeled barley straw in soil. *Soil Sci.*, **95**: 45-51
Stotzky, G. and J. L. Mortensen 1958 Effect of addition level and maturity of rye tissue on the decomposition of a muck soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **22**: 521-524
吉田堯・甲斐秀昭・原田登五郎 1972 土壌の易分解性有機物の集積に関する研究 I. 土壌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

Summary

The effects of kind, amount and successive application of plant residue added to soil on the mineralizaton of its carbon and the accumulation of the organic matter becoming deocmposable through the effect of drying a soil were studied in the laboratory experiments. The results obtained were as follows:

1. It was suggested that the plant cell wall materials like lignin and cellulose suppress the mineralization of the easily decomposable substances which are present with the cell wall materials.

2. The mineralization rate of plant residue in soil decreased with the increasing amount of plant residue added.

3. The organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil was more efficiently accumulated in addition of rice straw and wormwood than in that of Chinese milk vetch and clover. The content of cell wall materials was higher in the former than in the latter. It was suggested that the plant cell wall materials are useful for the accumulation of the organic matter becoming decomposable through the effect of drying a soil. The accumulation of such a orgnic matter was increased with the increasing amount of plant residue added and accelerated remarkably by the successive application of plant residue.