

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580011

研究課題名(和文) 環境保全型作物栽培システムにおける植物残渣の分解過程の解明

研究課題名(英文) Decomposition of plant residues in cropping systems for environmental conservation

研究代表者

中元 朋実 (NAKAMOTO TOMOMI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：50180419

研究成果の概要(和文)：リターバッグ法を用いて、圃場条件(福島市、黒ボク土)におけるイネ科作物残渣の分解過程を調査した。分解の経過には器官ごと(根、茎、葉)に特徴があり、いずれも単純な指数関数モデルにはしたがわなかった。2年間にコムギやトウモロコシの残渣は90%以上が分解されたが、ライムギの根と茎ではそれぞれ20%、26%が未分解であった。分解の初期には根圏では非根圏に比べて分解が抑制される時期があった。

研究成果の概要(英文)：The decomposition processes of gramineous crop residues were investigated by using the litterbag method in an Andosol field in Fukushima. The decomposition patterns of roots, stems, and leaves were different from each other and not well fitted by a simple exponential model. While more than 90% of wheat and maize residues were decomposed during two years, 20% of roots and 26% of stems of rye remained undecomposed. The rate of decomposition at the early stage was slower in the rhizosphere than in the non-rhizosphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：植物資源科学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：植物残渣, リターバッグ, イネ科作物, 有機物分解

1. 研究開始当初の背景

農耕地での作物の栽培にあたっては、さまざまな場面で、作物の非収穫部分や野外植物が植物残渣として利用されてきた。とくに植物残渣の土壌への施用は、土壌有機物の維持、生物活性の向上、土壌の物理性の改善、また作物への養分供給に効果のあることが知られているが、加えて土壌侵食の防止や炭素貯留など環境保全にも貢献することができる。土壌に施用される植物残渣としては、カバーク

ロップ、緑肥、不耕起などの栽培体系にみられるような土壌への還元を意図して栽培される植物に限らず、通常の栽培によって生じた作物の根や非収穫部分なども重要である。植物残渣の分解速度や分解パターンとくに炭素や窒素の放出の時間変化の詳細を知ること、そして可能であればこれをコントロールすることは、輪作体系の決定の基礎であり、土壌保全のためにも重要である。

2. 研究の目的

本研究では以下の点を明らかにすることを目的とした。

(1) 植物残渣の長期分解過程

これまでの農耕地での研究では、植物残渣から放出される窒素やリンなどの養分の動態が作物の生長に直接影響することから、もっぱら植物残渣の分解の初期過程に関心が払われてきた。しかしながら、前作物の植物残渣のすべてが後作物の栽培期間中に分解されるわけではない。土壌への炭素供給や蓄積、あるいは輪作効果などを考慮するならば、後作以降長期にわたり進行する植物残渣の分解過程の持つ意義は小さくないと考えられる。

(2) 植物残渣の質が分解過程に及ぼす影響

植物は種類や部位によって、生化学的な組成が異なるだけでなく、表皮や厚壁組織の存在形態や維管束の走行様式なども多様であり、これらは分解パターンに複雑に影響する。植物残渣の利用の実用からも、植物残渣の種類や部位の違いによる分解パターンの違いを知ることが重要である。

(3) 作物の根が植物残渣の分解過程に及ぼす影響

作物の根の生長や吸水活動自体によって残渣自体が分解されることはほとんどないと考えられるが、作物の根圏では土壌微生物や土壌動物（とくに線虫や小型節足動物）の活動が活発である。土壌微生物は残渣分解の主たる担い手であり、土壌動物は土壌微生物を摂食することで微生物活性と高めることまた直接に残渣の粉砕に関わることで残渣の分解に寄与する。作物の栽培時には根の密度が高く残渣の分解パターンが異なることが予想されるが、これまで圃場条件下でこういった根の効果を明らかにした研究はなされていない。

(4) 土壌への植物残渣施用の歴史

本研究でとくに取り上げたイネ科作物の残渣については、文献調査と現地調査を通じて、その利用の歴史についてとりまとめておきたい。

3. 研究の方法

(1) 試験圃場

試験は東北農業研究センター福島研究拠点（福島市）で行った。土壌は砂 54%、シルト 26%、粘土 20%からなる多腐植黒ぼく土である。試験 1 は 2008 年 10 月から 2010 年 9 月まで、試験 2 は 2009 年 6 月から 2011 年 5 月までのそれぞれ 2 年間にわたり実施した。試験はいずれも、ライムギの慣行栽培圃場において播種の約 2 週間後に開始し、その後ライムギは 2 年間にわたり放任管理とした。

(2) 植物残渣試料

登熟期のコムギとライムギおよび出穂期のトウモロコシを、根、茎、葉（葉身と葉鞘）に分離し、9 種類の植物残渣試料を作製した。なお、試験 2 では、コムギとライムギの茎の残渣のみを用いた。トウモロコシの茎と葉は約 2 cm の長さに、その他は約 5 cm の長さに切断し、60°C で 48 時間乾燥したのち使用まで 5°C で保存した。

(3) リターバッグ

乾燥重量で 1.20 g の植物残渣試料を 1 mm メッシュのナイロン袋（10 cm×10 cm）に入れリターバッグを作製した。リターバッグは、播種後のライムギの条の中間（条間と呼ぶことにする）とライムギの条の下（根圏と呼ぶことにする）の深さ 10 cm に水平に設置した。条間のリターバッグは設置後 24 ヶ月目までに、根圏のリターバッグは 8 ヶ月目までに回収した。

(4) 残存率、分解率および分解速度係数

リターバッグは回収後、表面に付着した根や土壌を取り除いた後、80°C で乾燥し秤量し、ひきつき 700°C で燃焼した残りの灰を秤量し、この間の重量の減少分を AFDM (ash-free dry mass) とした。この AFDM の初期試料の AFDM に対する百分率として、植物残渣の残存率 (percentage of remaining mass) を算出した。また、分解率として 100% から残存率を減じた値を用いた。また、時刻 t_1 から t_2 までの期間における分解速度係数は、式

$$X_2 = X_1 e^{-k(t_2 - t_1)}$$

における k (単位は day^{-1}) として求めた (X_1 , X_2 はそれぞれ時刻 t_1 , t_2 における残存率)。

(5) その他

根量（回収時にリターバッグに付着していた根の重量と長さ）、植物残渣の化学分析 (C 含量, N 含量, リグニン含量など)、微生物 SIR (基質誘導呼吸法による微生物活性)、土壌環境 (リターバッグの設置位置の温度と土壌水分含量) などを測定した。

4. 研究成果

(1) 植物残渣の長期分解過程

試験 1 におけるコムギ残渣の 2 年間の分解過程は、以下の 4 つの段階に分けることができた (図 1)。10-12 月 (リターバッグの設置から 2 ヶ月目まで) には主として可溶性の糖類の流出による急激な重量の減少がみられた。1-4 月 (6 ヶ月目まで) には分解が顕著に遅くなったが、冬期の地温の低い時期にも分解が停止することはなかった。5-11 月 (14 ヶ月目まで) には再び分解速度が上昇した。この分解速度の上昇は残存率の高い根や茎でより顕著であ

った。12-9月（24ヶ月目まで）の間は残存率が緩やかに減少した。同様の傾向は、ライムギやトウモロコシの残渣についてもみられた。

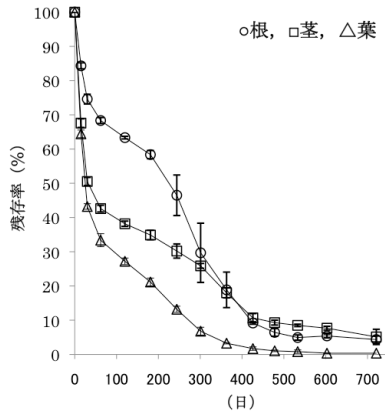


図1 コムギ残渣の分解過程

植物残渣の残存率には、植物残渣の種類によって顕著な差異がみられた（表1）。リターバッグの設置から1年目においても、根や茎の多くの部分が未分解で残された。とくにライムギの残渣は分解が遅く、2年目においても、根の20%、茎の26%が残存していた。コムギとライムギでは、1年目までは根の残存率が茎の残存率に比べて大きいですが、2年目には逆に小さくなった。根は茎に比べて初期の分解が遅いがその後分解が速くなることが明らかになった（図2）。

表1 植物残渣の残存率 (%)

		残存率 (%)	
		1年目	2年目
コムギ	根	18.9	4.3
	茎	18.0 (18.7)	5.1
	葉	3.3	0.3
ライムギ	根	41.6	19.8
	茎	36.3 (29.7)	25.6
	葉	9.0	0.9
トウモロコシ	根	20.8	9.7
	茎	14.5	2.6
	葉	3.1	0.0

括弧内は試験2による結果

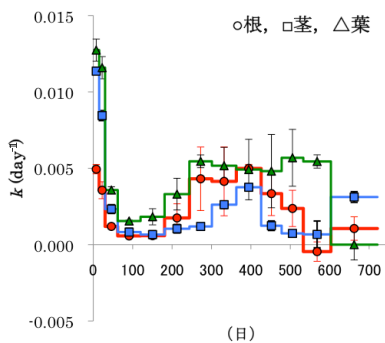


図2 コムギ残渣の分解速度係数(k)の変化

試験1における植物残渣の分解には、季節による温度の影響が顕著である（図2）。有効積算温度（基準温度 0℃）を用いることにより、残存率の変化はいくらかなめらかに表現することができたが（図3）、依然として器官固有の変動がみられ、分解過程は一樣にはすすまないことが示唆された。各器官の構造や生化学的な組成によるものと思われる。

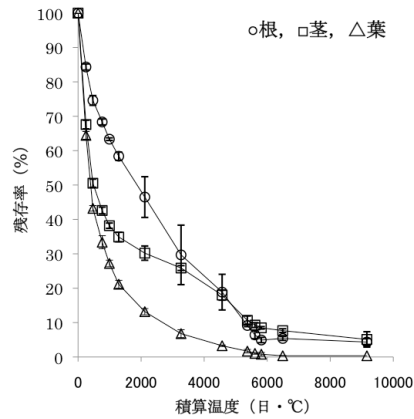


図3 コムギ残渣の分解過程（積算温度）

(2) 植物残渣の質が分解過程に及ぼす影響

作物残渣の分解は多くの要因によって規定されているが、なかでも作物残渣の質すなわち生化学組成の影響の大きいことが知られている。ここでは、試験1のデータを用いて、植物残渣の質と分解率との関係について検討した。

用いた9種類の植物残渣の初期成分とリターバッグ設置後、2ヶ月目、1年目、2年目の時点での分解率との間の相関係数を求めた（表2）。

表2 植物残渣の成分と分解率との間の相関係数

	2ヶ月目	1年目	2年目
N (%)	0.679 *	0.784 *	0.735 *
C (%)	-0.170	-0.336	-0.429
C/N	-0.495	-0.777 *	-0.881 **
ADF (%)	-0.812 **	-0.718 *	-0.696 *
リグニン (%)	-0.891 **	-0.799 **	-0.653
セルロース (%)	-0.715 *	-0.627	-0.664

リグニン含量は、分解の初期から1年目にかけて、分解率との間に高い相関を示したが（図4）、分解のすすんだ2年後には有意な関係を示さなくなった。これとは逆に、C/N比と分解率との間の相関係数は、分解の初期には有意ではなかったが、1年目には有意となり、2年目にはさらに高い値を示すようになった（図5）。すなわち、リグニン含量が高いほど植物残渣の初期分解が遅く、C/N比が高

いほど最終的に分解される量が少ない、ということが言える。

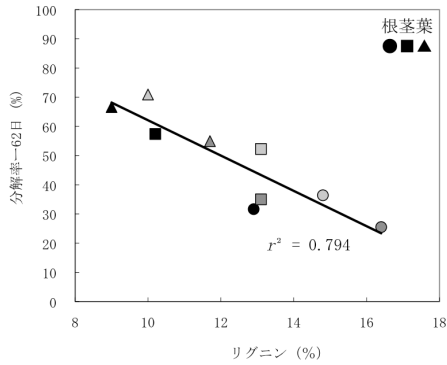


図4 リグニン含量と2ヶ月目における分解率との関係

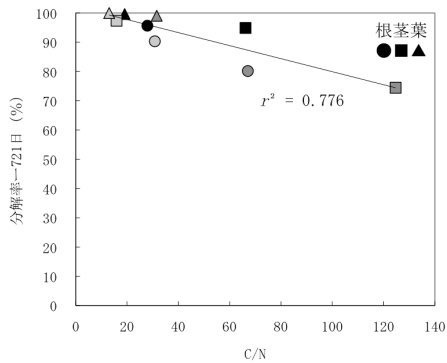


図5 C/N比と2年目における分解率との関係

(3) 作物の根が植物残渣の分解過程に及ぼす影響

条間と根圏から回収したリターバッグに付着していたライムギの根の量には、試験の開始直後より顕著な差がみられた(図6)。

コムギの残渣についてみると、根では2ヶ月目、茎では2ヶ月目から4ヶ月目、葉では6ヶ月目において、条間に比べて根圏での残存率が高く、根圏では分解が遅くなることが分かった(図7)。ライムギの残渣については、根では2ヶ月目、茎と葉では6ヶ月目に、条間と根圏の間に残存率の差がみられ、コムギと同様の傾向を示した。トウモロコシの残渣では、葉についてのみ2ヶ月目に差がみられた。しかしながら、これらの残存率の差はいずれも8ヶ月目までには解消したことから、根圏における分解の抑制は一時的なものであり、長期の分解に影響を与えるものではないと考えられた。

根圏で分解が抑制される原因としては、平均地温は条間と差がないものの(初期6ヶ月間の平均値は、条間7.1℃、根圏7.2℃)、日

較差が条間に比べて小さいこと(条間3.8℃、根圏2.9℃)と土壌水分含量が低いこと(条間32.3%、根圏29.6%)によるところが大きいと考えられた。

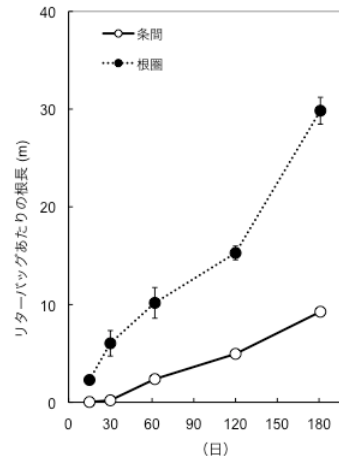


図6 条間と根圏におけるライムギの根長の推移

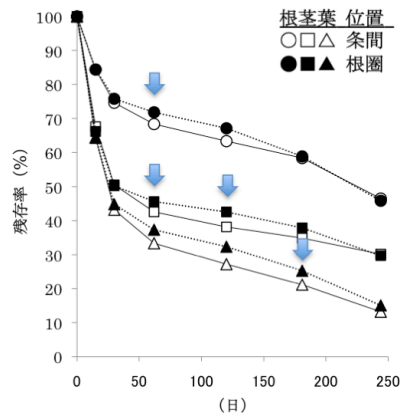


図7 条間と根圏におけるコムギ残渣の分解率

(4) 土壌への植物残渣施用の歴史

文献収集と現地調査を通じて、ドイツで19世紀から20世紀にかけて、植物残渣が積極的に利用されていた状況を明らかにすることができた。とくに植物残渣の土壌への施用は、肥料としての直接の施用と、厩肥を利用するための敷き藁として用いたのちの施用が主要であったといえる。また、イネ科作物の残渣を土壌に施用する藁施肥も広く行われており、これは本研究で行った実験と密接に関連する。

①肥料としての利用されたものには、緑肥(古くはとくに天然緑肥と人工緑肥とが区別された)、泥炭、麦芽、油粕、その他さまざまな植物が挙げられる。19世紀末には、緑

肥は労役家畜しかもたない経営においては厩肥に取って代わるものとして評価されるようになった様子がかがえる。また、肥料として用いる植物残渣には、雑草、芝生、穀物の刈り株だけでなく、商品作物から出る屑として、ホップ、煙草、葡萄の材、起毛に用いるオニナバナ、さらには、木の葉、エリカ類、羊歯、葦、ゲニスタ類、穀物倉から出る屑（藁の破片やこぼれた種子などを指すものと思われる）があり、肥料資材の不足に対する資源の有効利用の徹底ぶりが注目される。

②家畜の敷き藁としての利用される植物には、ライムギ、コムギ、スペルトコムギ、エンバク、オオムギ、ナタネ、ソラマメの稈が挙げられ、地域によっては、森の落葉、コケ、エリカ類、コケモモ類、葦、羊歯、イグサ、もみぐら、おがくず等も用いられた。敷き藁によって肥料を増量する意義は古くからよく知られていることであるが、20世紀半ば頃の通念では、冬作の穀物の藁が最も質がよいとされ、下肥を通常は2倍、条件によっては2.5倍にまで増やすことができるとされている。

③藁を直接畑に施用するのが藁施肥である。藁施肥による土壌の物理性の改善効果は古くからよく知られていた。しかしながら、20世紀半ばのコンバインの出現により藁切り機により藁を細かくし圃場に均一に分けることができるようになるまでは、労力がかかるいっぽう、肥料効果が顕著でないとして、実施の困難な技術とみなされていたようである。

(5) まとめ

リターバッグを用いた分解速度の測定にはいくつかの問題のあることも知られているが、この研究における結果からは、コムギの茎や根では一年後に約20%、二年後に約5%、ライムギの茎や根では一年後に約30%以上、二年後にも約20%以上が未分解のまま土壌に残されることが分かった。これらの多くはその後土壌有機物として蓄積されることになると推測されるが、その間に進行する無機化の過程を通じて、長期にわたり養分を供給することになり、後作物へも影響を与え続けるものと考えられる。

根圏では根の影響の及ばない土壌部分に比べて、作物残渣の分解が促進されることが想定された。とくに、ここで行ったリターバッグによる分解の評価には、有機物が微生物の働きにより無機化される過程だけでなく、作物残渣という粗大有機物が粉碎される過程も含む。根圏では一般に微生物の活性が高くまた土壌動物の生息密度の高いため、これらの土壌生物の働きによってリターバッグ内の植物残渣の分解が促進されると考えられるからである。しかしながら、実際には、

土壌の温度や水分条件が分解速度を規定する支配的な要因となっていた。また、根圏での分解の抑制も一時的なものであり、その後の地温の上昇とともに分解率には差が見られなくなったことから、長期的に見れば植物残渣の質が主要な規定要因であると言える。

温帯ではイネ科作物の栽培に際して多量の植物残渣が生産される。昨今はこういった植物残渣のバイオマスエネルギーとしての利用に関心が寄せられているが、土壌の有機物源としての利用が疎かにされてはならない。植物残渣の土壌での分解過程を踏まえ、またその歴史的な利用方法等も大いに参考にしながら、土壌の保全や生産性の維持のために効率的な利用をはかっていく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 中元朋実 (2010) 緑肥作物栽培と土壌動物 農業および園芸 85(1), 215-220.
- ② Takeda M., Nakamoto T., Miyazawa K. and Murayama T. (2009) Phosphorus transformation in a soybean-cropping system in Andosol: effects of winter cover cropping and compost application. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 85(3), 287-297.
- ③ Miura F., Nakamoto T., Kaneda S., Okano S. and Nakajima M. (2008) Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 406-414.
- ④ Eo J. and Nakamoto T. (2008) Spatial relationships between roots and soil organisms under different tillage systems. *European Journal of Soil Biology* 44, 277-282.

[学会発表] (計3件)

- ① 中元朋実・小松崎将一・平田聡之・荒木肇 (2010) 耕起方法と冬期カバークロップの組合せが土壌の微生物活性と関連形質に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会. 2010年9月9日, 北海道大学.
- ② 中元朋実・村上敏文 (2009) リターバッグを用いた圃場での作物残渣の分解過程の解明. 日本土壌肥料学会. 2009年9月17日, 京都大学.
- ③ 中元朋実・武田容枝・宮沢佳恵・村山 徹 (2008) 堆肥とカバークロップ緑肥を用いた土壌の物理性の改善とダイズの生育. 日本作物学会. 2008年9月25日, 神戸大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中元 朋実 (NAKAMOTO TOMOMI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：50180419

(2) 研究分担者

村上 敏文 (MURAKAMI TOSHIFUMI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・上席研究員

研究者番号：80391465