

北陸地方の重粘土水田における稲わらの分解

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	久保田, 勝 高柳, 英夫
巻/号	55巻1号
掲載ページ	p. 36-42
発行年月	1984年2月

北陸地方の重粘土水田における稲わらの分解*

久保田勝**・高柳英夫**

キーワード 重粘土水田, 湿田, 半湿田, 稲わら分解

稲わらが土壌有機物資材として直接水田に施用されるようになり、今日では稲作技術の一環としてほぼ体系化された感がある。

しかしながら、水田におけるわらの施用効果は気象、土壌条件、施用法などによりかなり異なった結果を示すので、農家がわらを施用する場合には適用水田が限定され、水稻栽培に当ってきめ細かい技術を必要とするなど問題点が多い。県ごとに示されているわら施用基準をみると排水のよい乾田が施用に適した水田とされ、湿田や半湿田では施用しないか、あるいは半量程度にとどめるなどの対策が打ち出されているにすぎず、全国水田面積の30%に及ぶ湿田や半湿田¹⁾への対応は十分とはいえない。

北陸地方の水田約35万haの60%は、湿田、半湿田を主体としたグライ土壌²⁾であり、またその気象は秋の多雨、早冷化と冬季間の多雪による春の消雪時期の遅れなど他の地域にない特徴を有し、水田のわら施用上解明すべき問題が多い。

このような立地条件から、わら施用法に関する研究は土壌肥料的側面から地力に及ぼす影響や水稻に対する施用効果の確認などに重点がおかれてきた¹⁴⁾。しかし土壌の種類によるわらの分解経過の特徴やこれに伴う養分供給の変化が水稻生育に及ぼす影響などを検討した事例は比較的少なく、最近になって各地でこのような試験研究がなされている。

水田におけるわらの分解については、志賀¹²⁾、河本ら⁵⁾によって報告されたものがあるが、稲わらの分解に関する報告は少ない。またこれらの報告はわらの分解に対して、温度条件が大きく影響していることを示しているが、土壌や水分条件の影響については必ずしも明確ではない。

筆者らは、北陸地方の重粘土水田地帯における湿田や半湿田に適用しうる稲わらの施用法を確立するため、これら水田におけるわらの分解経過を土壌および水分条件と関連させ、1978～1982年にわたって調査した結果

を報告する。

1. 実験方法

1) 供試圃場の土壌

供試圃場は新潟県農業試験場内の湿田(富首亀統)、半湿田(保倉統)およびこの対照として半湿田に隣接する転換畑(転換3年目、保倉統)を用いた。この3圃場は相互に300m以内に位置している。土壌の性質は第1表に示す。このような水田土壌は北陸地方に広く分布するものであるが、湿田や半湿田の対照として用いた転換畑は乾田に相当するものである。

2) 稲わら分解率の測定法

圃場条件における有機物の分解状況を測定する方法として、河本らの埋設法⁵⁾、志賀のサラン網袋法¹²⁾および前田らのガラスせんい紙法⁹⁾がある。このうち河本と志賀の方法は基本的には同一とみなされ、供試有機物をそのままの形態で土壌中に埋め込み、一定期間後に回収する方法である。前田の方法は、堆肥などの不定形の物質について長期間にわたって測定できる利点をもっている。そこで施用後1年程度の短期間の分解を志賀の方法(以下、ネット法と略称する)により、さらに長期間の分解を前田の方法(以下、ガラス紙法と略称する)により測定した。

(1) ネット法: 供試材料は収穫後の稲わらを上位3節目を中心に約10cmに切断した葉鞘と茎を用いた。この材料18.9g(水分9.2%)を2mm目の寒冷紗製網袋(20cm×30cm)に入れ、次の方法で水田に施用した。秋すき込み: 圃場の稲わら(10a当り約600kg施用)をいったんロータリ耕ですき込んだのち、圃場内の任意の場所の表土を5cmの深さに取り除き、準備した網袋を埋設し、再び表土で被覆した。秋散布: コンバイン収穫後稲わらが水田に放置された状態と類似した条件になるように網袋を土壌表面に密着し、翌年の春耕時まで放置した。いずれの場合も網袋は耕起・代かき時に土中から取り出し、水稻移植後再び水田条間5cmの深さに埋め替えた。試料は3袋ずつ経時的に土中から取り出し、水洗後風乾し、乾物減量、全炭素、全窒素、有機成分含量を測定し、これから試験開始時の試料に対する分解率を求めた。

* 本報告の一部は1978年4月、日本土壤肥科学会東京大会で発表した。

本研究は農林水産省総合助成研究費の助成を得て行ったものである。

** 新潟県農業試験場(940 長岡市長倉町 857)

昭和58年5月25日受理

日本土壤肥科学雑誌 第55巻 第1号 p.36~42 (1984)

第1表 供試圃場土壌の性質 (乾土 100 g 当り)

供試圃場	土性	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	炭素率	温度上昇効果 (mg)	乾土効果 (mg)	CEC (me)
湿田	HC	5.2	2.81	0.24	11.7	7.7	23.4	30.7
半湿田	LiC	5.3	1.47	0.18	8.2	2.9	15.7	25.4
転換畑	LiC	5.0	1.43	0.17	8.4	2.2	8.5	25.8

第2表 分析用試料の採取時期

測定法	降雪まで 12月1日	消雪期 3月22日	消雪後 水稲移植まで 4月26日	水稲栽培期間 (湛水期)				落水期 12月2日	合計
				6月1日	7月1日	8月2日	9月1日		
ネット法 1年間だけ	○	○	○	○	○	○	○	○	8回
ガラスろ紙法 1年目	○	○	—	○	—	—	○	—	4回
2年目	—	—	—	—	—	—	○	—	1回
3年目	—	—	—	—	—	—	○	—	1回
4年目	—	—	—	—	—	—	○	—	1回

(2) ガラスろ紙法：試験圃場の原土を室内で含水率30%まで風乾したのち、7メッシュの篩で篩別したものを供試土壌とした。ガラスろ紙筒にこの土壌を乾土として21.4gをつめ、稲わら無添加のものを対照筒とし、稲わら粉末5.0g(水分8.9%)を添加し、十分混合したものを試験筒とした。ろ紙筒上部をガラスろ紙とガラスウールで栓をし、これらの円筒をクレモナ寒冷紗で包み圃場作土に埋設した。試料は2筒ずつ経時的に採取し、内容物の風乾重と全炭素、全窒素を測定した。試験筒の数値から対照筒の数値を差し引き、添加量に対する分解率を求めた。

3) 調査時期

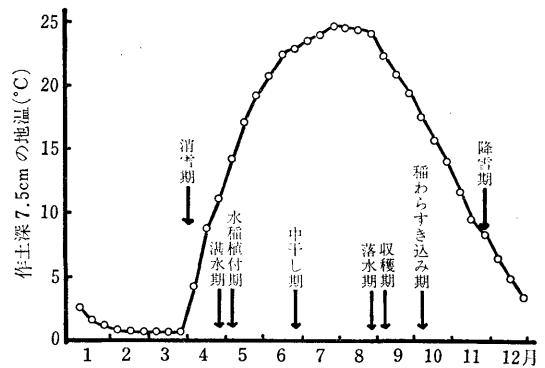
実験は北陸地方のわら施用時期(9~10月)に合わせ、9月28日に施用を開始した。採取時期は第2表に示した。

4) 試料の調製と分析法

ネット法の試料は、あらかじめワイレー粉砕機で粗粉砕したのちボールミルで、またガラスろ紙法の試料はそのままボールミルでそれぞれ微粉砕したものを分析用試料とした。全炭素、全窒素はCNコーダ(柳本製MT500)で測定した。ヘミセルロース、セルロース、還元糖割合およびリグニンは「堆きゅう肥等有機物分析法(1979)¹⁵⁾」により分析した。測定値は乾物当りで示した。

2. 結果

本報告において、稲わらの炭素分解率、窒素分解率という表現は試験開始時のわら中の炭素、窒素の量の系外への減少率をいい、窒素について試験開始時より増加した場合有機化または有機化率として記載した。



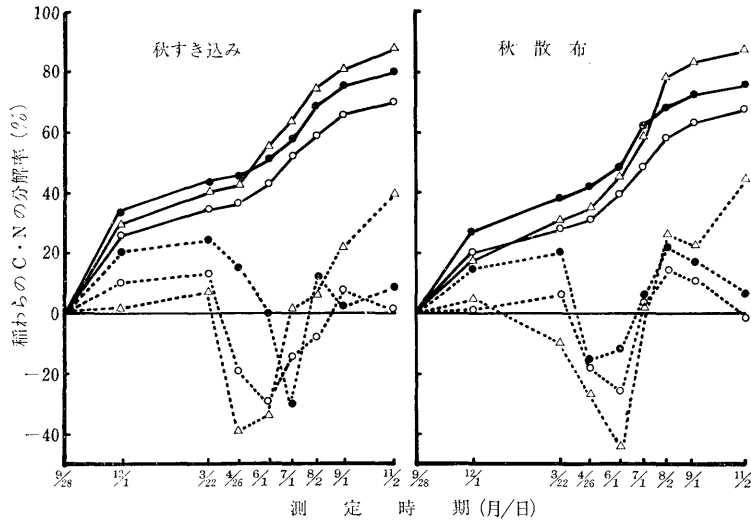
第1図 長岡における水田の地温*と水稲生育期
* 1978~1981年の旬別平均値。

供試水田の隣接地で測定した水田作土深さ7.5cmの地温とおもな水稲生育期を第1図に示す。

1) ネット法による稲わらの分解経過

(1) 炭素分解率の推移：稲わらの炭素の分解経過を第2図に示した。秋すき込みわらの水稲移植期までの分解率は、湿田45%、転換畑42%で両者間に差はなかったが、半湿田は37%で湿田に比べて劣った。その後地温の上昇に伴ってわらの分解速度は速くなり、とくに転換畑では5月以降分解が急速に進んだ。すき込み13カ月後の分解率は、転換畑88%、湿田80%で両者間に有意差はなかったが、半湿田は70%で転換畑に対して劣った。

一方、秋散布わらの水稲移植期までの分解率は、湿田43%、転換畑35%、半湿田31%で湿田の分解が速かったが、各圃場とも秋すき込みに比べて分解はやや遅れた。7月に至って転換畑の分解が湿田を上回るようになり、13カ月後の分解率は転換畑88%、湿田75%で両者間に

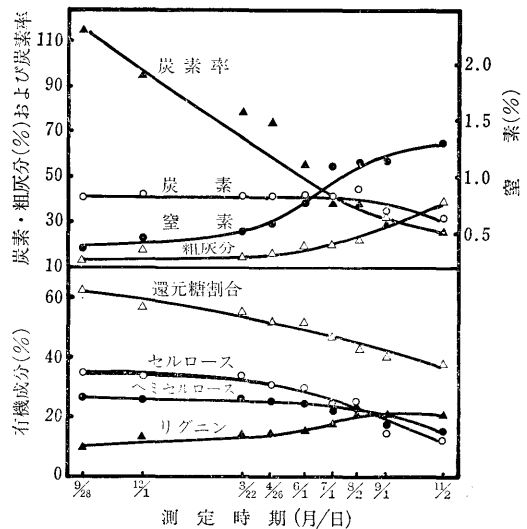


第2図 ネット法による稲わらの炭素と窒素の分解経過
●, 湿田; ○, 半湿田; △, 転換畑; —, 炭素; ·····, 窒素.

差はなかったが、半湿田は 67% で転換畑に比べて劣った。以上のように両施用法とも圃場間の差は大きかったが、すき込み方法の差は7月まで秋すき込みが優り、8月以降両者間に差はなかった。

(2) 窒素分解率の推移: 第2図から秋すき込みわらでは、施用後消雪時期までは緩やかに分解が進み、分解率は湿田が 24% で最も高く、次いで半湿田 13%、転換畑 6% であった。その後水稻の移植期から中干し期にかけてわらの窒素量は試験開始時の量を上回るようになり、窒素有機化(図中負の分解率で示した)が進行した。有機化の程度は各圃場とも 30~40% であったが、半湿田、転換畑は水稻の分けつ期に、湿田は中干し後に有機化が強まり時期的なちがいがあった。その後湛水後期から落水期にかけて再び窒素は分解に転じ、湿田および半湿田の窒素分解率は 2~10% と少なかったが、転換畑は 40% に達した。他方、秋散布わらの場合も秋すき込みとほぼ同様に経過したが、湿田、半湿田の有機化の程度は秋すき込みより弱く、湛水後期の窒素放出量はやや多かった。

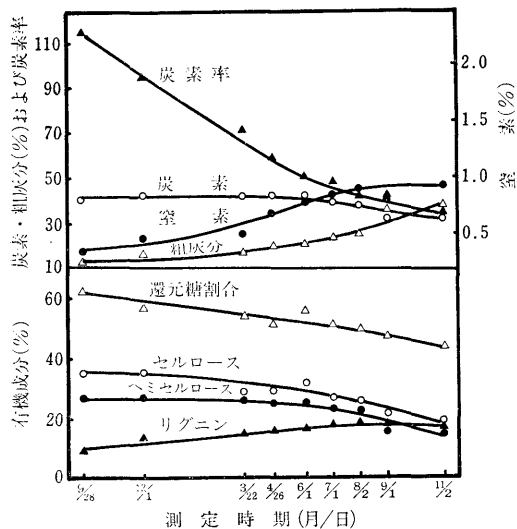
(3) 有機成分の変化と分解: 秋すき込みわらの分解に伴う有機成分の変化を第3~5図に示した。有機態炭素含有率は、試験開始時に 40% であったが、13カ月後には湿田 36%、半湿田 33%、転換畑 24% に低下した。また窒素含有率は、試験開始時には 0.35% であったが、しだいに増加して湿田 1.29%、転換畑 1.06%、半湿田 0.92% となり、その結果残留わらの C/N 比は半湿田 36、湿田 25、転換畑 22 に低下した。



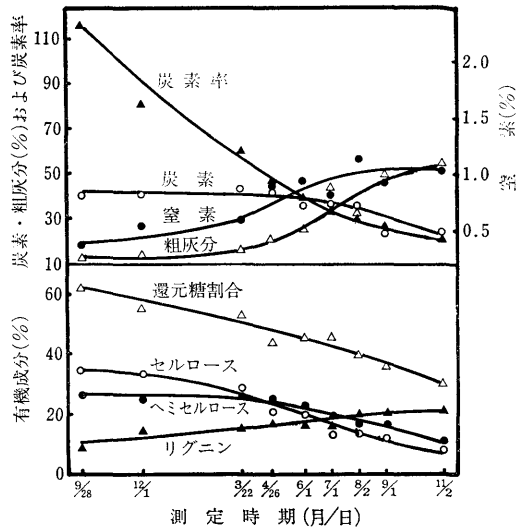
第3図 湿田における秋すき込みわらの有機成分の変化 (ネット法)

ヘミセルロース含有率は、5~6月の湛水初期まで大きな変化はなかったが、その後緩やかに低下し、試験開始時の 27% から 13カ月後は半湿田 18%、湿田 17%、転換畑 11% になった。

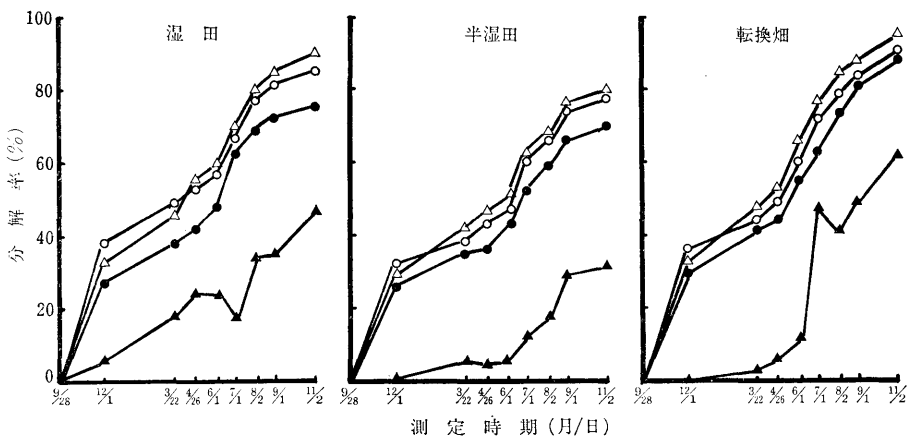
セルロース含有率は、消雪後湿田や転換畑ではしだいに低下し始めたが、半湿田はいっそう緩慢に減少し、転換畑は5月に、湿田は9月にヘミセルロースとセルロース含有率が逆転した。試験開始時 35% のわらセルロースは 13カ月後に半湿田 19%、湿田 13%、転換畑 8% と



第4図 半湿田における秋すき込みわらの有機成分の変化 (ネット法)



第5図 転換畑における秋すき込みわらの有機成分の変化 (ネット法)



第6図 秋すき込みわらの有機成分の分解経過 (ネット法)

●, 炭素; ○, ヘミセルロース; △, セルロース; ▲, リグニン。

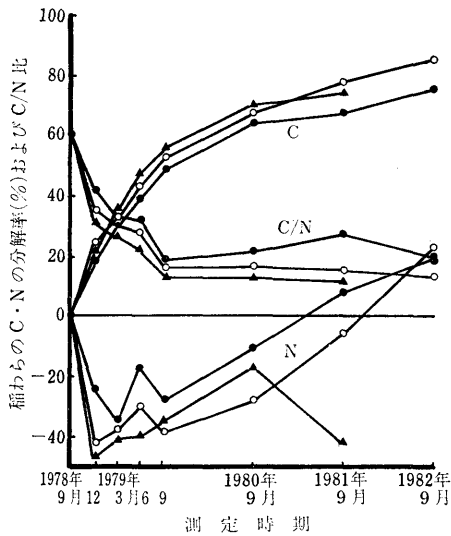
なり、畑状態でのセルロース含有率の低下が大きかった。

還元糖割合は、試験開始時には62%であったが、経時的に減少し、13カ月後には半湿田44%、湿田38%、転換畑31%となった。腐熟度の基準値りとされている35%を下回ったものは転換畑のみであった。

リグニン含有率は、試験開始時には10%であったが、経時的に高まり13カ月後には転換畑31%、湿田21%、半湿田18%となった。

有機成分の分解経過を第6図に示した。各土壌とも、ヘミセルロースとセルロースの分解はほとんど同傾向を示し、施用初期はヘミセルロースが速く、消雪時頃からセルロースの分解がやや速まる傾向がみられた。両成分

とも炭素の分解率を上回った。土壌ごとの分解率を比較すると、ヘミセルロースは水稻の作付期までに湿田53%、転換畑49%であったが、半湿田は42%で劣った。13カ月後には転換畑90%で、次いで湿田84%、半湿田77%であった。セルロースは、水稻の作付期には湿田55%、転換畑53%であったが、半湿田は47%で劣った。13カ月後には、転換畑95%、湿田90%が高かったが、半湿田は80%であり、両成分の分解率は炭素分解率に対応した関係を示した。一方リグニンは各成分のなかで最も低い分解率であった。水稻の作付期には湿田24%であったが、半湿田、転換畑は5%にとどまった。13カ月後には転換畑が61%で高い分解率を示した



第 7 図 ガラスろ紙法による稲わらの分解経過
●, 湿田; ○, 半湿田; ▲, 転換畑。

が、湿田は 46%、半湿田は 31% で劣った。リグニンの分解は地温の高い時期に活発に進行した。

2) ガラスろ紙法による稲わらの分解経過

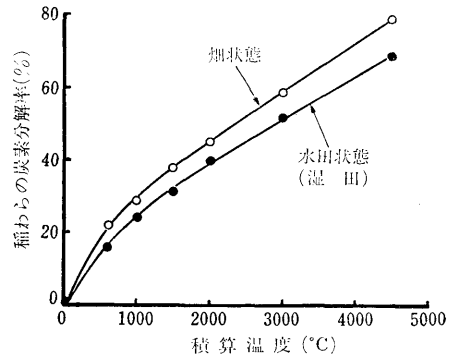
ガラスろ紙法による稲わらの分解経過を第 7 図に示した。炭素分解率は経時的に高まったが、転換畑に比べて水田条件の分解が劣り、水田間では湿田の分解が劣った。年次別の分解率は、1 年目は転換畑 55%、半湿田 52%、湿田 47% であったが、2 年目は各圃場とも 15% 程度、3 年目は 3~8%、4 年目は 8% 程度であり、しだいに分解率は低下した。4 年間の水田における稲わらの分解率(転換畑は 1981 年まで)は半湿田 84%、湿田 74% であった。

窒素分解率は、わら施用後急速に窒素の有機化が進行し、12~3 月にかけて最高になった。有機化率は転換畑が 47% で最も高く、次いで半湿田 42%、湿田 35% に達した。その後有機化の程度はしだいに弱まり、水田では 3 年後に試験開始時とほぼ同じレベルになり、4 年目に至って 20% 程度の窒素が分解した。この結果、残留土壌の C/N 比は、試験開始時の 60 からしだいに低下し、1 年後には転換畑 12、半湿田 16、湿田 20 となり、その後の変化はきわめて小さかった。

3. 考 察

1) 圃場における稲わらの分解経過

土壌に添加された有機物分解の初期(約 1 年以内)の分解速度は、添加有機物の種類や土壌の性質、水分、温度などの環境条件に応じて著しい変動を示す¹⁸⁾が、本試



第 8 図 稲わらの分解に及ぼす温度・水分の影響
(室内試験)

験は同一の気象条件下における稲わらの分解に限られているので、分解経過のちがいはおもに土壌の性質、とくに土壌の水分状態の影響が強く作用していると予想される。第 8 図のように稲わらの分解に対する温度の影響はきわめて大きい、畑状態と水田状態による水分の影響もかなり顕著に作用しており、既往の実験結果¹⁸⁾とよく一致している。本試験のガラスろ紙法の結果はこれまでの報告と一致しているが、ネット法での結果は異なった。このちがいは、圃場ごとの地温の差に由来するものと始め予想したが、地温の差はきわめて小さかった。こうした事情から筆者らは、両法によるちがいの原因はわからずき込み時の土壌条件のちがいが影響しているものと推測した。すなわち、ガラスろ紙法のように土壌とわら粉末をあらかじめ混合して作土に埋め込む場合は、湿田<半湿田<転換畑の順に分解速度は速くなる。しかし粗大なわらがロータリ耕によってすき込まれる状態は、湿田のような泥状土では稲わらと土壌が十分接触しうるので分解条件としてはガラスろ紙法と類似した状態ですき込まれている。これに対して重粘な半湿田や転換畑の場合、1 回程度のロータリ耕では土塊が大きく、大部分のわらが表層に分布しているのでわらの吸水が不十分となるため初期分解は遅れがちとなり、これが年間分解率を低下させたものと考えられる。一方、第 2 図から秋散布の場合にも湿田に比べて半湿田や転換畑の初期分解が劣っているが、この場合にも土壌による水分供給の差が分解に影響している。湿田では散布されたわらは短期間に吸水が起り、田面と密着状態になるため分解は早く始まるが、半湿田や転換畑では田面に浮いた状態で経過し、吸水が不十分なため初期分解が遅れたものと推測される。

現在農家が使用している耕耘機の大部分はダウンカットロータリであり、碎土性が悪く、わらのすき込み位置も表層に分布しやすい¹⁷⁾特徴がある。したがって重粘土

水田に対するわらすき込みに当っては耕耘回数を増すか、あるいは砕土性がよく、作土全層にわらを混和する特徴をもつアップカッターの使用が腐熟促進の意味からも有利である。これについては機会を改めて報告したい。

ネット法による稲わらの分解経過についてみると、志賀¹²⁾は北海道各地でわらの秋すき込みは秋散布に比べて分解が速く、作付期までに20~40%、年間約60%分解していること、茂木ら¹¹⁾は栃木県黒ボク水田で10月にすき込み、翌春作付期までに45%、17か月後には70%分解したこと、河村ら⁹⁾は滋賀県灰褐色土壌で12月にすき込み、翌春作付期までに30%、年間約80%分解したこと、河本ら⁸⁾は中国農業試験場で灰褐~灰色土壌を供試し、12月にすき込み翌春5月までに40~45%分解したことをそれぞれ報告している。また、ガラスろ紙法による前田¹⁰⁾の結果では、11月に埋設したわらの炭素分解率は翌春作付期までに45%、1年後に62%、2年後に75%に達している。これらの報告例は土壌条件やわらの施用時期、あるいは試料採取時期が異なるので細部の比較はできないが、概観すると寒地に比べて暖地でのわらの分解速度が速いことを示している。本試験の結果では、すき込み時期の影響は志賀¹²⁾の結果と同様に秋すき込み処理により分解速度は速くなっているが、土壌条件によるちがいが大きい。作付期までの炭素分解率は、湿田や転換畑では茂木ら¹¹⁾、河本ら⁸⁾の数値とほぼ同等であったが、半湿田の分解は遅く志賀¹²⁾の数値に近い値であった。年間を通じた分解率は、湿田や転換畑は河村ら⁹⁾の数値より劣り、茂木ら¹¹⁾の数値に近く、半湿田では志賀¹²⁾の結果をわずかに上回る程度であった。

ガラスろ紙法では、作付期までの分解は前田¹⁰⁾の結果より遅く、年間の分解率はほぼ同等であった。

このように土壌条件により異なった分解経過を示すとともに、北陸地方においては作付期までの分解は関東地方に比べてやや遅い傾向がみられるが、年間の分解率では大差ない。これらの結果は、稲わらの施用時以後の気温の急速な降下と積雪期間中の低地温による分解の停滞、および作付後の急激な温度上昇による湛水期間中の分解の促進によったことを示している。このような分解経過は当然水稲作付後の土壌の還元化を強め、いわゆる「湧き」の発生を招きやすいので水管理などによる土壌の強還元化を抑制する対策が必要と考えられる。

施用わらの窒素の分解経過についてみると、志賀¹²⁾は施用後一時的に窒素分解は進行するが、わら分解が活発に進行する際は窒素の放出がなく、その濃度は高まるとしている。本試験のネット法の結果では、施用後翌春の

消雪時期までは分解の傾向を示したが、湛水後急激に有機化が起り、水稲の分けつ期に最高に達している。しかしガラスろ紙法の結果では、施用直後から有機化が起り、その程度はしだいに弱まるものの施用3か年間は窒素の分解はなく、4年後によりやく分解に転じ、両法にちがいがみられた。

このような窒素の分解経過を水稲の生育経過と対比してみると、水稲の活着期から分けつ期にみられる一時的な生育の停滞と稲わらの窒素の有機化する時期が符合していること、また成熟期にみられる登熟の遅延と稲わらの窒素分解が符合しているなど両者間に関連性が認められた。これに対して、ガラスろ紙法の窒素分解経過には水稲の生育と対応した関係はなかった。このちがいは、ガラスろ紙法がわら粉末を供試材料としていることや、土壌に対するわらの混合比が極端に多いなどの理由が考えられる。わら粉末と細断物を用いてガラスろ紙法で検討した前田ら⁹⁾の結果では、炭素分解率は形状による差は小さいが、窒素は粉末ほど分解率はマイナス(有機化)になっている。本報告のガラスろ紙法の窒素が長期にわたり高い有機化率を示しているのは粉末を供試した影響とみられる。したがって実際場面においてガラスろ紙法の結果を水稲生育と関連付けることは適当ではないが、わら分解に対する土壌や水分条件の影響を知るうえできわめて有効であった。

有機物の分解に伴う窒素の有機化、無機化の転換とC/N比の関係について、熊田⁷⁾は20、広瀬²⁾は17、前田ら⁹⁾は25~30としているが、ネット法の結果では、残留わらのC/N比36の半湿田では無機化はなく、30以下の湿田、転換畑はわずかに無機化し、前田ら⁹⁾の数値に等しかった。しかしガラスろ紙法ではC/N比20でも無機化はなかった。

2) 稲わらの有機成分の変化と腐熟度

従来から有機物の腐熟度の指標としてC/N比が用いられてきたが、C/N比のみによる腐熟度の判定は実際的でない面がある。腐熟促進を意図して有機物に窒素源を添加することは有効な手段となっているが、この場合にはもちろんC/N比や窒素含量を測定しても腐熟度の指標として用いることはできない。このような観点から原田ら¹⁾は都市ごみコンポストに対する十分な腐熟度の判定基準として①C/N比20以下、②全窒素含有率2%以上、③還元糖割合35%以下の目標値を設定し、窒素の有機化や土壌の強還元化を防止するためには①~③の各項目が満足されなければならないとしている。

本試験における稲わらの腐熟度を原田ら¹⁾の基準に適用した結果、ネット法では全窒素含有率は最高1.3%ま

で増加したにとどまり、C/N 比は 25~36 でいずれも基準値に達しなかった。

またわらのヘミセルロース、セルロース含有率は経時的に低下し、全炭素に占める還元糖炭素の割合、すなわち還元糖割合は低下したが、湿田や半湿田では 13カ月後もなお基準値に達しなかった。井ノ子⁹⁾らの水積堆肥腐熟についての成績では、堆積7週目に早くも還元糖割合は 35% 以下になったが、これに比べてすき込みわらの還元糖割合の低下が遅いことを示している。

このように北陸地方の重粘土水田における稲わらの分解は、施用1年後も上記の原田¹⁾らの①~③の各項目を満足するものはなく、易分解性の炭水化物含量の低下が遅いので土壤の還元化を助長するような分解段階にとどまっていると判断された。今後水稻の生育に対して効果的なわらの分解促進技術の検討が重要と考えられる。

4. 要 約

北陸地方の重粘土水田における稲わらの分解状況を湿田、半湿田および対照として転換畑の圃場を用い、短期間をネット法で、長期間をガラスろ紙法で検討した。ネット法を主体として得られた結果は次のとおりである。

1) 稲わらの炭素分解率は、土壤条件の影響をうけて、半湿田<湿田<転換畑の順であった。半湿田の分解が遅れた理由は、ロータリ耕の碎土率が悪く、土壤とわらの接触が不十分なためと推測した。なおガラスろ紙法のわらの分解率は湿田<半湿田<転換畑の順であった。

2) 稲わらの炭素分解率は、秋すき込み処理が秋散布処理を当初上回ったが、8月以降処理間差はなくなった。水稻移植期までのわらの炭素分解率は、関東、西南地方に比べて劣ったが、湛水期間中のわらの分解速度が速いので、年間分解率は関東地方と大差はなかった。

3) 稲わらの窒素は、湛水初期から中干し期にかけて有機化し、湛水後期から落水期に分解に転じ、分けつ期における水稻の生育停滞および成熟期の登熟遅延と対応関係がみられた。これに対し、ガラスろ紙法によるわら窒素は、施用直後から3年間有機化がつづき、4年後に分解に転じた。

4) わらの分解に伴い、炭素含有率は低下し、窒素含有率は増加し、C/N 比は低下した。ヘミセルロース、セルロース含有率および還元糖割合は低下し、リグニン含有率は増加した。ヘミセルロース、セルロースの分解率は、炭素分解率を上回った。

5) わら施用1年後の分解わらの腐熟度を原田¹⁾らの判定3基準により評価すると、施用法や圃場条件によらず、その腐熟度は基準値を満たすに足らなかった。

謝 辞 本報告のご校閲をいただいた新潟大学農学部馬場昂教授、北海道農業試験場飯村康二農芸化学部長に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 原田靖生・井ノ子昭夫・宮松一夫・伊藤敏彦：都市ごみコンポストの有機成分の特徴と腐熟度の判定，土肥誌，53，116~122 (1982)
- 2) 広瀬春郎：稲わら及び稲わら堆肥の分解とアンモニア態窒素の有機化過程，同上，44，211~216 (1973)
- 3) 北陸農政局：北陸の地力保全基本調査成績（農用地の土壤統分布面積），p.2~5 (1976)
- 4) 井ノ子昭夫：有機物資源中の有機成分の評価について，昭和54年度土壤肥料総括検討会議全体会議資料，農業技術研究所編，p.1~17 (1979)
- 5) 河本 泰・坂井 弘：生わらの土壤中における分解過程の簡易調査法について，中国農業研究，34，26~27 (1966)
- 6) 河村才十二・中田 均・重田和男：水田における有機物施用に関する研究，第1報，稲わらの土壤中における分解過程と腐植物質の生成について，滋賀農試報，14，56~61 (1971)
- 7) 館田恭一：土壤有機物の化学，p.171~179，東大出版会 (1977)
- 8) 前田乾一・鬼駝 豊：圃場条件における有機物分解率の測定法，土肥誌，48，567~568 (1977)
- 9) 前田乾一・志賀一一：水田条件における各種有機物の分解過程，同上，49，455~460 (1978)
- 10) 前田乾一：水田における各種有機物の分解過程の特徴，農及園，53，648~652 (1978)
- 11) 茂木惣治・吉沢 崇・中野政行：稲・麦わら施用水田の土壤肥料的研究（第2報），圃場条件での稲わらの分解と有機成分の変化，栃木農試報，26，17~26 (1980)
- 12) 志賀一一：いねわらの性状と分解過程，水田におけるいねわらの施用法と施用基準，農林水産技術会議事務局研究調査官編，p.10~14 (1968)
- 13) 農林水産技術会議事務局：昭和52年度特別研究【農耕地における土壤有機物変動の予測と有機物施用基準の策定】推進会議資料，p.17~20 (1978)
- 14) 農林水産省北陸農業試験場：北陸ブロック昭和51年度春季試験研究打合せ会議資料（土肥部会），p.12~14 (1976)
- 15) 農林水産省農蚕園芸局農産課：堆きゅう肥等有機物分析法，p.32~50 (1979)
- 16) 農林水産省農蚕園芸局農産課土壤保全班：わが国耕地土壤の実態，土肥誌，51，520~527 (1980)
- 17) 上森 晃・新村善男・飯田周治・久津那浩三：コンバイン導入に伴う稲わら処理法に関する研究，第1報，稲わらのすき込み方法について，富山農試報，4，7~15 (1970)
- 18) 和田秀徳：土壤中における有機物の分解過程，土肥要旨集，27，181~182 (1981)