

廃棄衣服の生分解と再利用

An Investigation on the Biological Decomposition of Clothes for their Recycling

杉原利治・井上友花

Sugihara Toshiharu and Inoue Yuka

要旨

廃棄衣服の再利用を目的として、各種条件下で繊維の生分解を検討した。綿、毛、絹、キュプラなど天然繊維や再生繊維は分解を受けやすかったが、ポリエステル、ナイロン、アクリルなどの合成繊維は難分解であった。しかし、もみがら堆肥を含む水中では、天然繊維のみならず、アクリルやナイロンも分解された。さらに、布および繊維の分解は均一であった。この方法を用いて不要衣服を構成する繊維を部分分解し、得られた繊維塊から不織布や紙を作った。さらに、それらの教育への応用を検討した。

キーワード：衣服，繊維，生分解，リサイクル，SEM，環境教育

現在、私たちの身の回りには多くのモノが溢れている。衣類もその例外ではない。衣服の消費が増えるにしたがい、廃棄される繊維製品も増加し、その量は年間200万トン以上に上っている。しかし、衣料品の75%が廃棄物として処分されており、繊維製品の再資源化率は15%程度にすぎない。したがって、繊維製品の再資源化が急務である。繊維の再資源化法には、ケミカルリサイクルや生物的处理によるバイオエタノール抽出などがあるが、いずれも、製品の複合度の高さや多様性が大きな壁となっており、あまり進展していない¹⁻³⁾。

そこで、廃繊維製品の環境への負荷を軽減し、循環型社会を形成するためには新たな再生用途が必要であると考え、繊維リサイクルの研究を進めることとした。紙などに比べ、布を構成している繊維は長い。また、繊維が緻密に絡み合った糸、さらには布の形態で使われているので、廃繊維製品を再利用しやすくするためには、繊維の部分分解が必要である。環境的に望ましいのは生分解であるが、微生物による繊維分解のデータは極めて少ない⁴⁾。本研究では、繊維製品が生分解される条件を検討し、廃繊維の再利用を試みた。生分解は、微生物を含む土壌中あるいは水中で行い、分解の程度をSEMによって検討した。また、部分分解した繊維を用いて、リサイクル品の開発や教育への応用を試みた。

実験

ダンボール堆肥は、ピートモスともみがらくん炭混合物（3：2）中へ生ゴミを加え、約1ヶ月間発酵させたものを使用した。もみがら堆肥は、市販品（紫香楽有機組合）を用いた。各種繊維布は、実験用白布（教育図書株式会社）を用いた。

畑土、ダンボール堆肥中での繊維分解は、各種繊維布（7 x 20cm）を媒体中に埋め、分解を行った（期間；段ボール堆肥，2011年7月28日－8月25日，畑土，8月15日－9月14日）。もみがら堆肥，ダンボール堆肥を含む水中での分解は、蒸留水（4リットル）に、ダンボール堆肥（100g）あるいはもみがら堆肥（100g，網袋中）を入れたバット中へ、各種繊維布を浸漬して行った（期間；2011年6月2日－7月22日）。

繊維の強伸度は、振子式KS式セニメーターによって測定した。分解した繊維の力学的パラメータはばらつきが大きいので、各繊維につき、合成繊維では30回、天然繊維では50回、測定を行った。

不要衣料品からの再生製品の作成に関しては、まず、Tシャツ（綿100%）を、40日間（7月30日～

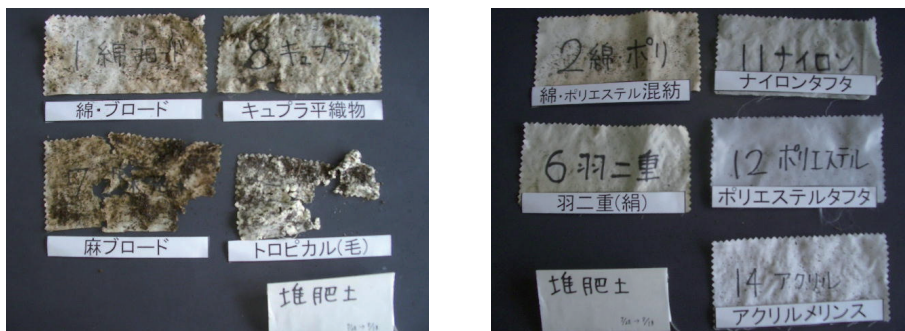
9月8日)もみがら堆肥水中で分解した。布を取り出して乾燥し、その布を細く裁断した後ミキサーにかけ、繊維状にした。不織布については、さらに、接着剤(家庭用ボンド)を加えて成型し、乾燥させた。紙は、同様にして得られた繊維にデンプン糊を加えた後、木枠に網を張った紙すき器ですいて製造した。

結果および考察

1. 各種繊維布の分解

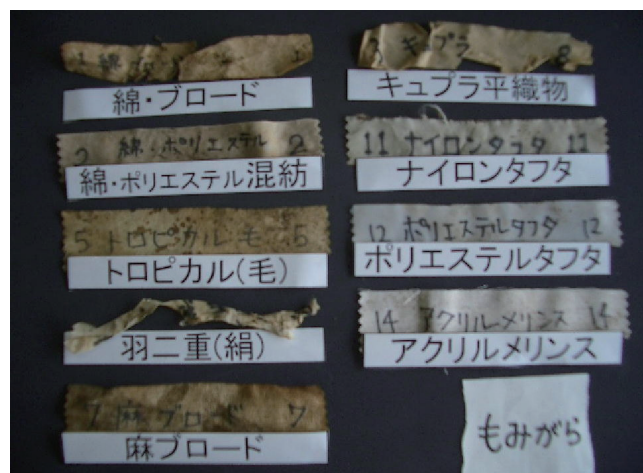
様々な繊維布(綿, 麻, 毛, 絹, キュプラ, 綿・ポリエステル, ナイロン, アクリル, ポリエステル)9種を, 4種類の媒体(段ボール堆肥, 畑土, 段ボール堆肥を含む水, もみがら堆肥を含む水)中に放置し, 分解処理を行った。ここでは, 特に分解が顕著であった段ボール堆肥中での分解(以下, A処理とよぶ)ともみがら堆肥を含む水中での分解(以下, B処理とよぶ)について主に述べる。

1) 分解処理後の布



A処理した布(左, 17日間, 右, 29日間)

A処理の場合, 天然繊維, 再生繊維は分解が早いいため, 綿, 毛, 麻, キュプラを先(17日後)に取り出した。残りの綿・ポリエステル, 絹, ナイロン, ポリエステル, アクリルは, 29日後に取り出した。麻や毛は特に分解が早く, 手で軽く触れるだけで破れる程であった。綿・ポリエステルや絹は生地が多少茶色っぽくなっているが, 弱くなってはいなかった。また, ナイロン, ポリエステル, アクリルは, 処理前の状態と変わりがなかった。畑土の場合は, 一枚の布で分解している部分とそうでない部分の差が非常に大きかった。いずれの場合も, 毛には, 菌と思われる白い粉がびっしりと付着していた。他の天然繊維にも, 菌のコロニー(数mm-1cm)が見られた。

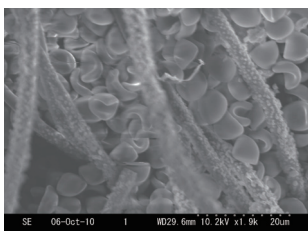


B処理した布(もみがら堆肥水中, 50日間)

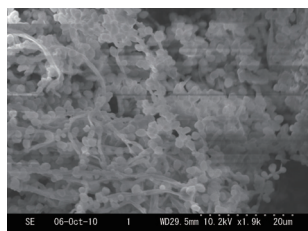
生分解では、温度の影響が非常に大きいので、A処理に比べて処理期間中の気温が低かったB処理では、分解期間を約1.7倍とした。処理後の布には色の変化がみられ、天然繊維や再生繊維の布では、生地が白から茶へと変色していた。また、上述のダンボール堆肥（A処理）や畑土での分解と比べると、もみから堆肥を含む水中での分解（B処理）では、布全体が均一に分解されていた。麻、綿、キュプラは触ると破れてしまうほど弱くなっていた。毛の布の表面には赤茶色の斑点が見られた。絹にも大きな変化が見られ、ところどころ生地が破れて丸まった状態になっていた。一方、段ボール堆肥を含む水中での分解では、いずれの布もB処理に比べて変化が小さかった。

2) 分解菌の観察

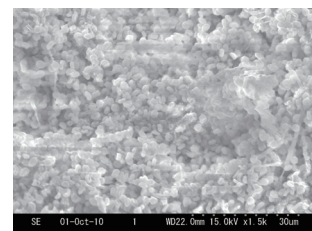
段ボール堆肥中で分解した布から採取した菌のSEM写真（2000倍）を下に示す。水中の分解では、はっきりと認められなかったが、段ボール堆肥や畑土中で分解した天然繊維では、布表面に、様々な大きさ、様々な色のコロニーが見られた。



絹Aの菌（赤色）



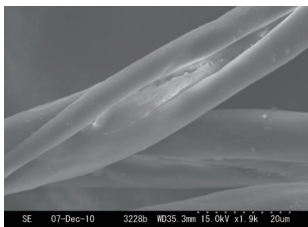
麻Aの菌（黄色）



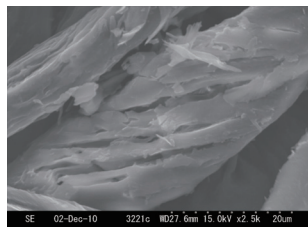
毛Aの菌（白色）

3) 分解繊維のSEM

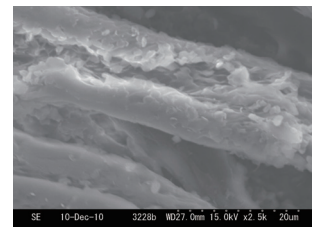
段ボール堆肥中で分解（A処理）、もみから堆肥含有水中で分解（B処理）した各種繊維をSEMで観察（1500–2500倍）し、分解の様子や程度を検討した。



綿

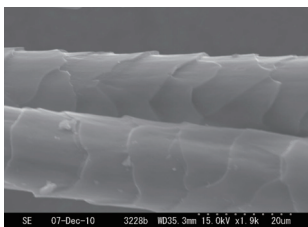


綿A

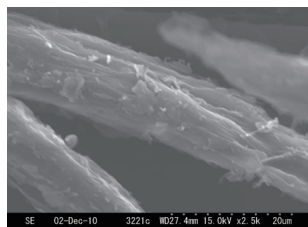


綿B

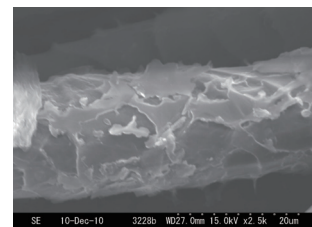
綿の場合、A処理、B処理ともに分解がすすんでいる。繊維表面はもちろんのこと、繊維の内部にまで分解が及んでいる。薄い皮状のものが幾層も重なり、繊維表面から剥がれ落ちている様子がみられる。



毛

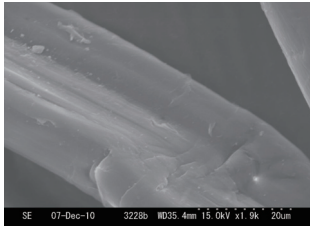


毛A

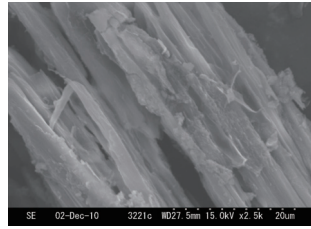


毛B

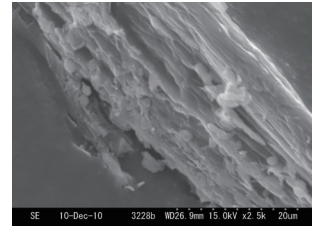
毛では、A処理の場合、繊維の表面を覆うスケールが不明瞭となっている。表面には無数の凹凸があり、丸い菌が多数付着している。一方、B処理の毛ではさらに分解がすすみ、スケールがほとんど無くなって、その下のフィブリル部が露出している。



麻

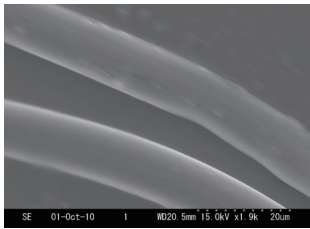


麻A

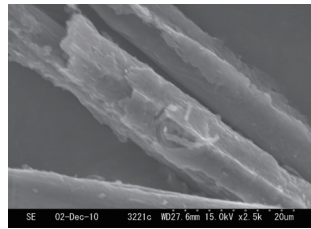


麻B

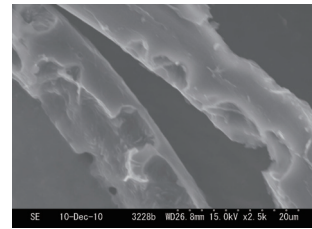
麻は、すべての繊維の中で、変化が最も大きかった。A処理の場合、繊維が引き裂かれたように何本かの筋となり、フィブリル構造が露出している。B処理では、さらに激しく浸食され、フィブリル構造も崩れている。



キュプラ

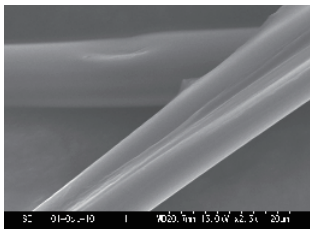


キュプラA

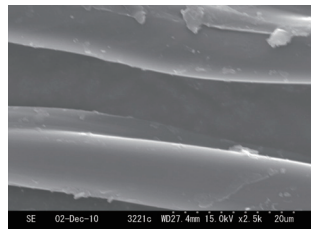


キュプラB

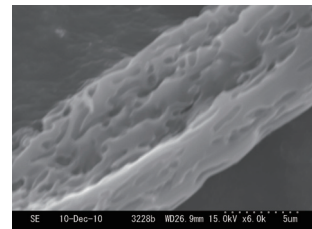
A処理の場合、キュプラ本来のきれいな曲線状の形態はなくなり、デコボコした形になっている。B処理の場合、分解の程度がさらに大きく、穴状の欠損が無数に存在する。



絹

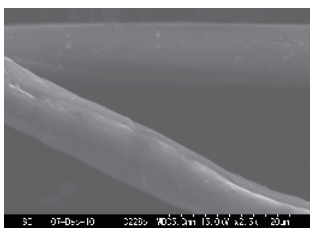


絹A

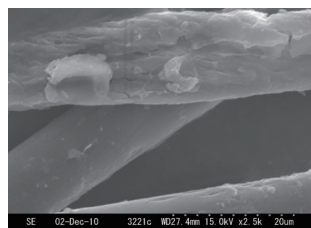


絹B

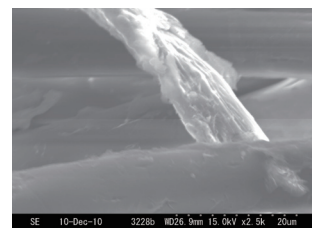
絹は、A処理によってほとんど分解を受けない。しかし、B処理では、小さなくぼみが表面に無数にある。分解は激しいが、均一にすすんでいる。



綿・ポリエステル



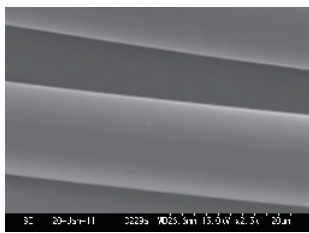
綿・ポリエステルA



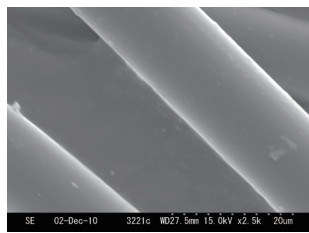
綿・ポリエステルB

混紡繊維である綿・ポリエステルでは、A処理、B処理ともに、綿の繊維が分解している。それに対して、ポリエステル繊維の方に変化はない。

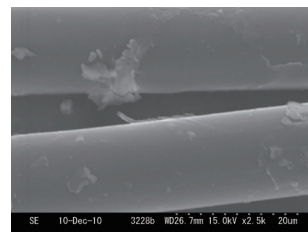
廃棄衣服の生分解と再利用



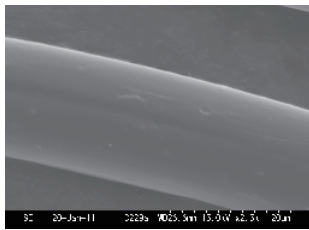
ポリエステル



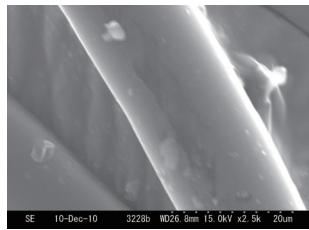
ポリエステルA



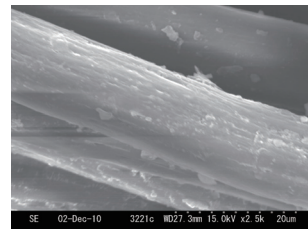
ポリエステルB



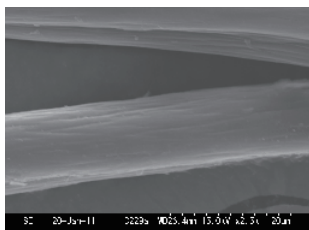
ナイロン



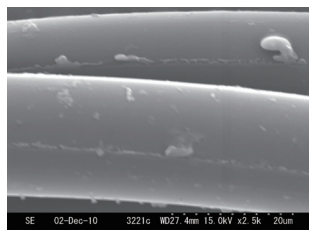
ナイロンA



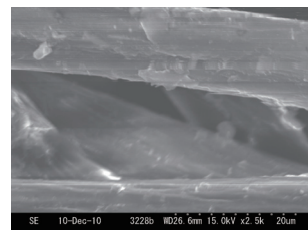
ナイロン B



アクリル



アクリルA



アクリルB

合成繊維のポリエステル，ナイロン，アクリルは，A処理では全く分解されなかった。しかしながら，B処理では，ナイロンとアクリルに，少しではあるが分解がみとめられた。一般に，自然界において，合成繊維は極めて難分解であるとされているが，本実験のような環境条件によっては，分解が起こることは注目されよう。

以上の結果をまとめると，表1となる。

表1 微生物分解の比較

	綿	麻	キュプラ	毛	絹	ナイロン	アクリル	ポリエステル
段ボール堆肥 (A)	◎	◎	○	○	△	△	△	×
畑土	○	◎	△	△	△	×	×	×
段ボール堆肥水	○	○	○	○	△	×	△	×
もみがら堆肥水 (B)	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	×

以上，畑土，ダンボール堆肥，段ボール堆肥を含む水，もみがら堆肥を含む水，これら4媒体の中で繊維の分解を行った。ダンボール堆肥での分解，畑土での分解，いずれにおいても繊維の分解が見られたが，ダンボール堆肥の方が分解能力が高い。水中（もみがら堆肥，ダンボール堆肥）での分解については，ダンボール堆肥を含む水よりも，もみがら堆肥を含む水の方が，肉眼，SEMによる観察，いずれによっても，はるかに分解能力が大きいといえる。しかも水中では，布全体に均一な分解がなされるので，繊維の再資源化を考えた場合，有効な分解法と言える。

2. 強伸度の変化

生分解処理によって、各種繊維の強伸度がどのように変化するかを調べた。その結果を表2に示す。

表2 繊維の強伸度

繊維	切断強度 (g/d)	切断伸度 (%)
ナイロン	4.81±0.49	58.3±11.1
ナイロンA (ダンボール堆肥中 13日間)	4.72±0.60	50.0±11.8
ナイロンA (ダンボール堆肥中75日間)	4.75±0.66	57.7±9.7
ポリエステル (処理前)	5.21±0.84	35.2±5.5
ポリエステルA (ダンボール堆肥中 75日間)	5.76±0.76	26.6±7.9
毛	1.27±0.39	22.6±10.2
毛A (ダンボール堆肥中 7日間)	1.29±0.38	22.3±9.8
毛B (もみがら水中 50日間)	0.08±0.03	9.7±2.1
絹	2.50±0.73	18.5±4.3
絹A (ダンボール堆肥中75日間)	1.85±0.66	17.6±4.2
麻	1.65 ±0.30	11.6±2.8
麻A (ダンボール堆肥中13日間) *	0.04±0.02	11.5±3.4
麻B (もみがら堆肥水中 50日間) *	0.05±0.02	14.6±3.7

*: 糸の状態で測定し、繊維数で割った値を単繊維の強度とした。

ナイロン、ポリエステルについては、ダンボール堆肥中での分解 (A処理) による強伸度の変化はなかった。絹も、A処理により強度に大きな変化はなかった。毛の場合、A処理によって強伸度の変化はみられなかったが、B処理では、強度、伸度とも、大幅に数値が小さくなった。麻の場合、A処理、B処理、どちらも同じくらい強度が低下した。ダンボール堆肥、水中のもみがら堆肥のいずれも、麻を強く分解することがわかる。

以上の結果は、いずれも、SEMでの観察結果と一致する。

3. 廃棄繊維製品を用いたリサイクル品の開発と応用

処理した不用衣料品を繊維の状態にして、リサイクル品 (不織布, 紙) の試作を行った。ここでは、均一に分解がすすみ、なおかつ、分解度の大きなB処理 (もみがら堆肥を含む水中の分解) を行い、さらに細片化した後、ミキサーで繊維状とした。それを、不織布と紙に加工した。



分解布とそれを刻んだもの



ミキサーで繊維状



中敷き



紙の小物入れ

不織布の例として、今回は綿100%の素材を用いて中敷を製作した。不用衣料品にはさまざまな繊維があるので、吸水性が必要なら綿やレーヨン、耐久性を重視するならポリエステルなど、目的や用途に合わせて製作するとよい。なべ敷きや靴のインソール、布ナプキンの吸収剤などに応用できる。

紙の場合、分解させた衣服から取り出した繊維をもとに、必要に応じてパルプを加えれば、紙漉き

が比較的簡単にできるので、学校での環境教育の題材に適している。またこの紙は、通常の紙よりも強度が大きく、糸で縫うことができるので、小物入れやエコバックなどに加工することができる。自分たちが着ていた衣服を素材にして紙をすき、さらにそれを用いて小物を製作する活動は、学校での環境教育に適用できるだろう。

文献

- 1) 木村 昭夫, 繊維屑の再利用, 繊維学会誌 Vol. 65, No. 5, 142-145, 2009
- 2) 繊維製品リサイクルの現状報告書, (独) 中小企業基盤整備機構, 2007
- 3) 門倉健造, 日本繊維産業の現状と課題, 繊維機械学会誌 Vol. 55, No. 2, 19-26, 2002
- 4) 高岸 徹, 環境対応繊維, 繊維学会誌, Vol. 60, No.6, 226-230, 2004.

