

論文

初期分解における有機物の細片化の影響 —スギ材木粉と Tea Bag による分解試験—^{*1}

酒井佳美^{*2}

酒井佳美：初期分解における有機物の細片化の影響—スギ材木粉と Tea Bag による分解試験— 九州森林研究 73：53－56，2020 細片化した分解基質は雨水等の影響を受けやすいとの仮説をたて、リターバック法による分解試験で検証した。生物活動の影響を小さくするため冬季に分解試験を行なった。試験地は熊本と札幌、標茶に設定した。分解試験では緑茶の重量残存率が最も低く、次いでルイボス茶、スギ材木粉の順で高くなった。この結果は水による振とう試験と同様の傾向であった。スギ材木粉では標茶と札幌は溶存による重量減少を示していたが、熊本では生物活動による重量減少も生じたことが予想された。降水量が最も少ない標茶は緑茶とルイボス茶でも他の試験地よりも重量残存率が高かった。しかし、熊本と札幌とではルイボス茶の重量残存率は札幌のほうが低かった。積雪のある地域では融雪水の流出時に溶存による重量減少が進行しやすい可能性が考えられた。リターの細片化はこれらの水による成分移動を促進する重要な作用となると考えられた。

キーワード：溶存物質，分解，融雪，細片化

I. はじめに

森林の物質循環において有機物の分解は非常に重要なプロセスである。この分解プロセスの大部分は分解者による生物活動が占めるため、分解者の活性を左右する温度は影響要因として重要になる。しかし、温度だけでは十分に説明できない場合も生じる。分解には分解者の生物活動だけでなく、水による溶脱や物理的な破碎も含まれる。分解者の生物活動による重量減少よりも、溶脱や破碎の効果による重量減少が大きくなる場合があれば、温度以外の影響要因の効果が生じやすくなるといえる。

枯死木は分解が非常に遅いことが知られているが、その理由の一つは木材が大きく構造的に硬いことにある。一方、筆者はスギ材を 2 mm 程度に粉碎し不織布製のバックに封入した疑似材を作成し、丸太の四つ割材との分解速度を比較したところ、疑似材が四つ割材よりも非常に速く分解することを示した（酒井，2019）。つまり木材を細片化することで分解が促進されたのである。このような細片化の効果を定量的に示すことができれば、複雑な分解過程の理解を進める一助となる。

分解過程における細片化の効果は、①基質の破断による基質の移動可能性の増大と、②表面積の拡大による分解者と分解基質の接触確率の増加と予想される。そこで、筆者は特に①に着目し、細片化した分解基質は雨水等の影響を受けやすくなることを仮説として検証した。分解基質として緑茶、ルイボス茶、およびスギ材木粉を使用した。リプトン社の緑茶とルイボス茶は、恒常的に同一品質の製品として手に入れることができるため、均質な植物リターとして使用する分解試験が世界規模で実施されている（Keuskamp, *et al.*, 2013）。スギ材木粉は、筆者が疑似材として分解試験に使用しているものである（酒井，2019）。いずれの試料も分解基質が均質化されることで、分解への周辺環境の影響が

認識しやすくなることが期待される。

本研究では、冬季に降雪がほとんどない熊本、寒冷で積雪が少なく土壌凍結が起こる標茶、および、降雪としての降水量が多く 100 cm 近くの積雪量となる札幌を試験地として、生物活動による分解が低下する冬季に、水の動きと分解量への影響を比較することを試みた。また、基質から水への溶存をリターの種類で比較するために、リターからの水による振とう試験をおこなったので、それぞれの結果を報告する。

II. 調査地と方法

試験地は熊本市にある森林総合研究所九州支所実験林のスギ林（熊本）、および北海道にある森林総合研究所北海道支所実験林のトドマツ林（札幌）、および京都大学フィールド科学教育研究センター北海道研究林標茶区トドマツ林（標茶）である。いずれの試験地も林冠は閉鎖し、下層植生はほとんど無い。試験地の気象データはそれぞれの試験地に最も近いアメダス観測所のものを使用した（気象庁，2019）（表-1）。アメダス観測所と試験地との距離は、熊本は約 3 キロ、北海道の 2 つの試験地とはそれぞれ約 10 キロである（表-1）。分解試験はリターバック法で行った。リターバックに使用する試料は分解試料の初期の個体間差によるばらつきを抑えるために、初期条件ができるだけ均質になるように市販の製品を活用した。分解の進みややすさの異なる 3 種（緑茶、ルイボス茶、スギ材木粉）をリターとして使用した。緑茶とルイボス茶はリプトン社製のティーバックを使用した。不織布製のバックに包まれ容量は約 2 g であり、3 個を一組にして埋設した。市販のスギ丸太（直径 6 cm）をウイレー式粉碎機で粉碎し、2 mm の篩を通過するサイズに揃えたもの 10 g を不織布で包んだ「疑似材」を作成した。表-2 にリターの初期成分濃度を示す。

^{*1} Sakai, Y.: Effects of plant litter fragmentation on early decomposition processes.

^{*2} 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan

表-1 試験地の気象データ

試験地名	観測所との距離 (km)	平年値		試験期間値			
		気温 (°C)	降水量 (mm)	最大積雪深 (cm)	試験期間 (日)	積算気温 ⁽¹⁾ (°C)	降水量 (mm)
標茶	10.3	5.2	1035	58	205	477	287
札幌	9.2	8.9	1107	97	232	1237	562
熊本	2.6	16.9	1986	0	125 ⁽²⁾	1602 ⁽²⁾	420 ⁽²⁾
					115 ⁽³⁾	1479 ⁽³⁾	479 ⁽³⁾

試験地に最も近い観測所のアメダスデータを使用 (気象庁, 2019)

(1): 0°C以上の日平均気温の積算値, (2): 緑茶, ルイボス茶 埋設期間2019年1月16日~5月27日, (3): スギ材粉 埋設期間 2017年1月27日~5月22日

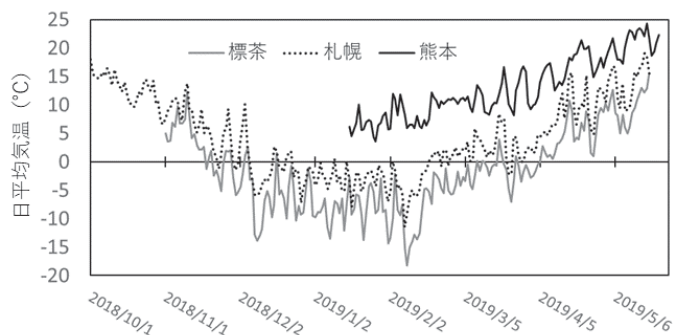


図-1 試験地の調査期間における日平均気温の変化
試験地に最も近い観測所のアメダスデータを使用 (気象庁, 2019)

表-2 リターの初期成分濃度

	窒素 (%)	炭素 (%)	灰分 (%)	抽出成分 (g/g)	熱水抽出分画 (g/g)	酸可溶性分画 (g/g)	酸不溶性分画 (g/g)
緑茶	4.10	51.8	5.6	0.07 ⁽¹⁾	0.49 ⁽¹⁾	0.28 ⁽¹⁾	0.16 ⁽¹⁾
ルイボス茶	0.84	50.9	1.9	0.05 ⁽¹⁾	0.22 ⁽¹⁾	0.29 ⁽¹⁾	0.44 ⁽¹⁾
スギ材木粉	0.07	52.3	0.5	0.03	N.D.	0.71	0.33

(1): Keuskamp, *et al.* (2013)

リターバックは表層 (0 cm) と、土壌表層から 5-10 cm、および 20-30 cm の深さにそれぞれ 5 反復を設置した。ただし、熊本のスギ材木粉の試験地において表層と 5-10 cm のところを野生動物によるとみられる攪乱が一部あり、回収できた試料はそれぞれ 3 反復分であった。リターバックの埋設期間は熊本のティーバックが 2019 年 1 月 16 日~5 月 27 日である。熊本のスギ材木粉は先行した試験であったため、2017 年 1 月 27 日~5 月 22 日である。標茶では 2018 年 11 月 1 日~2019 年 5 月 24 日、札幌は 2018 年 10 月 2 日~2019 年 5 月 20 日である。それぞれの試験期間の気象データは表-1 と図-1 に示す。

回収したリターバックは実験室に持ち帰り、土壌や根などを取り除いた。各試料は 70°C のオープンで乾燥したのち、乾燥重量を記録した。粉碎した試料を使用して灰分を測定し、回収試料への土壌混入分として重量補正した。初期乾燥重量を 1 とした時の重量残存量を、重量残存率として算出した。

基質から水への溶存をリターの種類で比較するために、水による振とう試験をおこなった。緑茶とルイボス茶はティーバックをそのまま使用した。スギ材木粉は不織布でティーバックと同型の袋を作り 2 g を封入したものを作成し使用した。100 mL 三角フラスコにイオン交換水 100 mL とティーバック 1 つを入れ、1 時間振とう (振とう速度 60 rpm) した後に取り出し、水滴の自然落下が止まったところで、乾燥用の容器に移し替えた。各試料は 70°C のオープンで乾燥したのち、乾燥重量を記録した。本試験では土壌の混入はないが、リターバック法では全灰分を土壌として仮定して除しているため、試料の含有ミネラルも除いている。本試験も試料の灰分を測定しミネラル分を除いた重量を基準とした成分濃度を示した。初期乾燥重量を 1 とした時の重量残存量を、重量残存率として算出した。

重量残存率の平均値の比較には、一元配置分散分析と多重比較

を使用した。統計計算には R ver. 3.6.1 (R Development Core Team, 2019) を使用した。有意差は危険率 5% 未満のものを有意とした。

Ⅲ. 結果と考察

水による振とう試験では、3 種のリターのうち重量残存率が最も低いのは緑茶となり、次いでルイボス茶、スギ材木粉の順となった。緑茶の水による振とう試験での重量残存率平均値 (SD) は 0.70 (0.02)、ルイボス茶は 0.89 (0.01)、スギ材木粉は 0.98 (0.01) となった (図-2)。緑茶とルイボス茶は葉が主要な構成要素であるが、この 2 種のリター間では単糖類を主に含む熱水抽出分画と、難分解性の酸不溶性分画の濃度が大きく異なり、緑茶のほうが熱水抽出分画をより多く含む (表-2)。水による振とう試験においてもこの違いが示されたと考えられる。一方、スギ材木粉の構成要素は幹の材部で、木材成分の大部分は多糖類であることから、水による振とう試験の重量減少量は非常に少なく、溶存による重量減少は小さいことが示された。

リターバック法による分解試験結果をリターの種類別に比較すると、試験地に関わらず分解試験の重量残存率が最も低いのは緑茶であり、次いでルイボス茶、スギ材木粉の順となった。この傾向は水による振とう試験と同じ結果であった。リターの種類別の重量残存率平均値 (SD) を試験地間で比較すると、緑茶が熊本 0.40 (0.03)、札幌 0.40 (0.02) となり、標茶 0.47 (0.02) は他の 2 試験地に比べて有意に高かった ($p < 0.01$)。ルイボス茶では順に 0.75 (0.03)、0.68 (0.03)、0.79 (0.02) となり、3 試験地は互いに有意差を示した ($p < 0.01$)。スギ材木粉は熊本が 0.89 (0.03) となり、札幌 0.95 (0.02) と標茶 0.96 (0.01) に対して有意に低かった ($p < 0.01$)。いずれの試験地、

およびリターの種類においても、重量減少は水による振とう試験の結果よりも進んでいた。試験地間では、標茶が他の試験地よりも重量残存率が高く、分解は遅い傾向であった。しかし、熊本と札幌では、リターの種類によって異なっており、緑茶は重量残存率が同程度であったのに対し、ルイボス茶は札幌の重量残存率が低く、反対にスギ材木粉では熊本のほうが重量残存率は低かった。

リターの重量残存率への土壌深さの影響をみると、緑茶とスギ材木粉では、すべての試験地で土壌深さの違いによる重量残存率の差は認められなかった（緑茶：熊本 $p=0.96$ 、札幌 $p=0.14$ 、標茶 $p=0.98$ 、スギ材木粉：熊本 $p=0.20$ 、札幌 $p=0.19$ 、標茶 $p=0.40$ ）（図-2）。ルイボス茶は、熊本では差が認められな

かった（ $p=0.11$ ）のに対し、札幌と標茶において差が認められた（札幌 $p=0.03$ 、標茶 $p<0.01$ ）（図-2）。土壌深さは温度や水分環境、および生物相に関わり、分解には重要な要因であるが、分解と土壌深さとの関係に関する報告は非常に少ない（Hicks Pries et al., 2018 など）。本試験ではリターの種類によっては影響したものがあり、リターの基質の特徴と土壌中の水の動きを検討する必要があると考えられた。

本試験では、生物活動が低下する冬季の水への溶存による分解への影響に着目している。試験期間中の0℃以上の積算気温、降水量と、リターの種類ごとの重量残存率平均値との関係を示した（図-3）。スギ材木粉の重量残存率は、熊本が札幌と標茶に対し

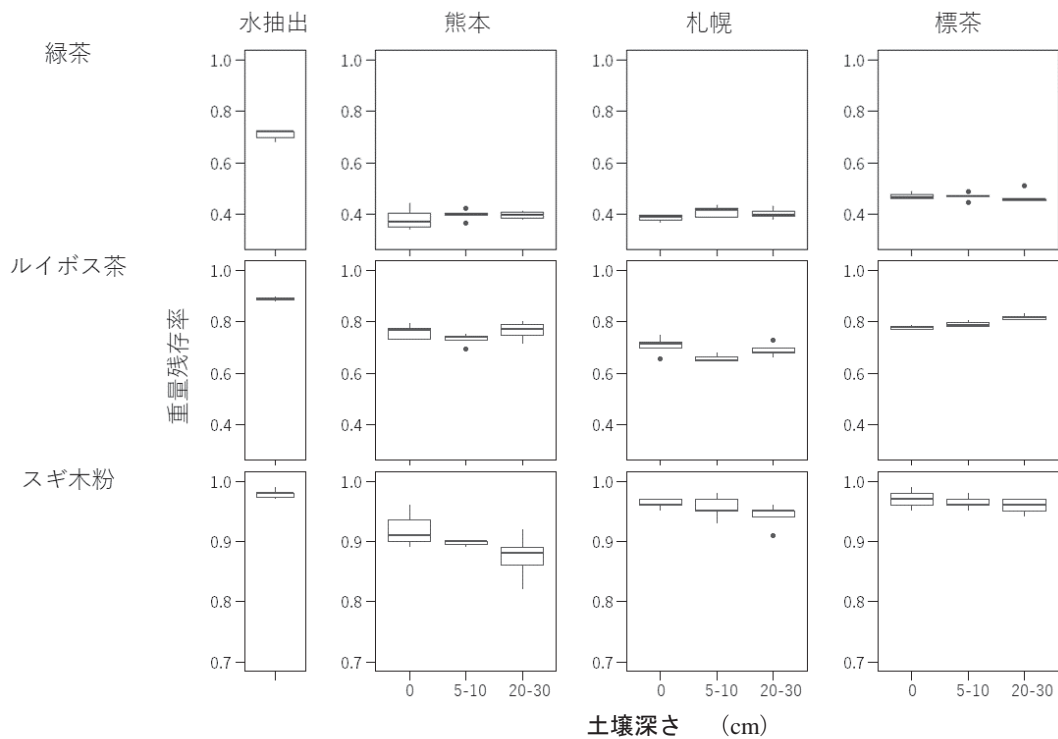


図-2 リター、試験地別の重量残存率比較
箱ひげ図：真ん中の値は中央値を示す

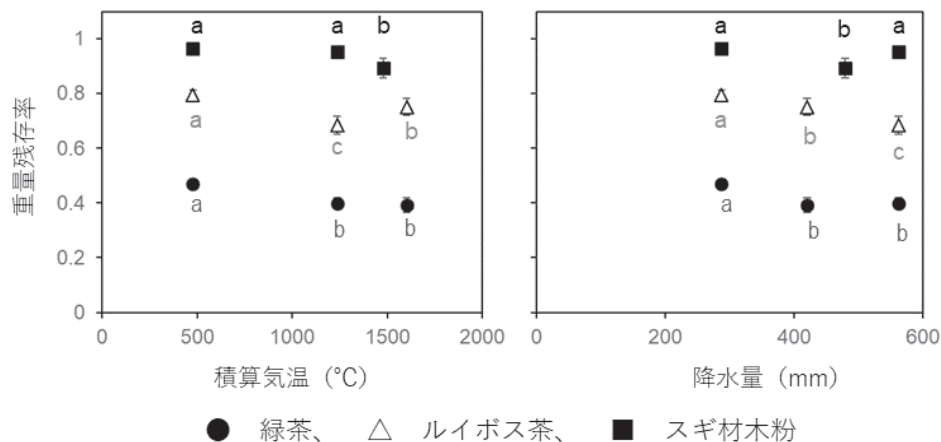


図-3 0℃以上の積算温度、および降水量と重量残存率の関係
同一リターでの平均値比較：異なるアルファベットは危険率5%未満での有意を示す
Error bar : SD

て有意に低く ($p < 0.01$), 札幌と標茶では差はなかった ($p = 0.40$) (図-3)。スギ材木粉の水に溶存しにくい基質の特徴 (表-2, 図-2) と, 熊本の高い気温の推移から (図-1), 熊本のスギ材木粉の重量減少は生物活動が生じていたと考えられる。一方, 札幌と標茶での低い重量減少は水への溶存によるものであり, 本試験の期待通りに生物活動が低下していることにより得られた結果であると考えられた。

緑茶とルイボス茶の重量残存率は標茶が札幌と熊本よりも有意に高かった ($p < 0.01$) (図-3)。標茶は降水量が少なく他の試験地に比べて溶存による重量減少が抑制されていると考えられる。ルイボス茶は札幌の重量残存率が熊本よりも低かった。上記のように試験期間中の生物活動の有無を考えると熊本での重量残存率の低下が予想されたが, そのようにはならなかった。水の動きを考えると札幌は積雪から融雪にいたるまでが熊本の降水の動きに対して特徴的であると考えられた。羊ヶ丘では積雪深が 60 cm を超えると地面融雪が起きたことが報告されている (北原ら, 1983)。つまり, 地面融雪により分解基質が水に浸かる状態が長く続き溶存しやすい成分が水に浸出し, それが融雪水の流出とともに移動することが推察される。しかし詳細は不明であり, 水と共に動きを追えるような手法を用いてさらに検討が必要である。緑茶の重量残存率は札幌と熊本のいずれも 0.4 となり差は無かった ($p = 0.67$)。緑茶の熱水抽出分画が 0.49 g/g であり (表-2), 溶出による重量減少の下限値に近いのかもしれない。

本試験により, 細片化した分解基質は水の動きの影響を受けやすくなる可能性を示した。特に, 溶存しやすい成分が多く含まれる基質では顕著になると考えられた。また, 積雪や融雪に伴う水の動きの影響も今後検討の必要があると考えられた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費の助成をうけた「樹木根の分解と炭素貯留機能の持続性－土壌深度の影響解明と広域評価－」により実施された (JP 19 H 03012)。試験地利用に際し森林総合研究所北海道支所実験林, および九州支所実験林, 京都大学フィールド科学教育研究センター北海道研究林標茶区には多大な協力をいただいた。本研究の分解試料の作成, および回収後の試料調整は, 阪本由美子氏と作森あかね氏に協力いただいた。本研究の遂行に際し, 徳地直子氏 (京都大), 上村真由子氏 (日本大), 堀沢栄氏 (高知工科大), 鷲川信氏 (鹿児島大), 稲垣哲也氏 (名古屋大) に協力いただいた。また, 高木正博氏 (宮崎大) には論文への示唆に富む助言をいただいた。ここに深謝する。

引用文献

- Hicks Pries, C. E., *et al.* (2018) Soil Biology and Biochemistry 125: 103-114
- Keuskamp, J. A., *et al.* (2013) Methods in Ecology and Evolution 4 (11) : 1070-1075
- 気象庁 (2019) URL: <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2019年10月20日利用)
- 北原 曜, 真島征夫 (1983) 北海道の雪氷 2: 41
- R Development Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing
URL: <https://www.r-project.org/> (2019年10月20日利用)
- 酒井佳美 (2019) 九州森林研究 72: 87-89
(2019年11月8日受付; 2019年12月6日受理)