

土壌改良材としての 木質廃材の利用に関する研究 (第4報)

- 土壌中における木質物の分解速度 -

高橋 弘 行* 山本 勇 夫*
小田島 輝 一**

粉碎樹皮、鋸屑などの木質廃材が土壌の物理的、化学的諸性質の改善に有効な資源を備えていることについては多くの報告があり、同時にこれらの木質物が作物の生育上不都合な欠点を併せもっていることも指摘されている。その最も更要な一つとして、既報¹⁾²⁾³⁾にも明らかにしたとおり窒素飢餓による作物の生育抑圧が上げられる。窒素飢餓は、有機態炭素の無機化にともなって土壌微生物の窒素要求が増大するために引起される。したがって、有機物の土壌中での分解速度は窒素飢餓現象を支配する重要な因子であると云えよう。更にまた、分解速度は土壌に施用した場合の土壌改良効果の持続性、堆肥化の難易など判断する手掛りとしても有効と考へられる。

そこで著者らは、ミズナラ、シナノキ、シラカンバ、トドマツの樹皮、材部の粉末、およびこれらの熱水抽出試料、エタノール・ベンゾール混液抽出試料(以下AI - Ben抽出と記す)を用い土壌呼吸法による分解速度の測定を試みた。また比較のため木材成分中の易分解成分としてグルコースを、難分解成分として硫酸リグニンを選び、同様の試験を行った。限られた条件下で、しかも短期間の試験なので、木質物一般についての長期にわたる分解の様相を明かにするには不十分なデータであるが、一応の傾向をつかみ得たと考へられる。

尚、本報告の概要は第75回日本学会(1964.4)で発表したが今回二、三のデータを追加して再計算を行い、数値を若干修正した。

1. 試料の調製および試験方法

1) 試料の調製

樹皮は風乾後粉碎、材部は風乾鋸屑を乳鉢で磨碎、いずれも60~100meshに調整した。熱水抽出、AI - Ben抽出は常法⁴⁾により行った。硫酸リグニンは当場木材糖化試験工場で副生したシラカンバリグニン(最大還元糖15%を含む)、グルコースは無水物で試薬1級品を使用した。

2) 試験方法

CORNFIELD法⁵⁾を若干改変して用いた。即ち、風乾細土20gに乾燥試料0.5gを加へ、よく混合して30×200mmの大型試験管に入れ、水分を最大容量の50%に調整したのち、BaO₂ 0.5gと純水2ccを入れた小試験管を落とし込み、密栓して26℃で培養した。木質物の分解によって発生したCO₂はBaO₂・H₂Oに吸収されBaCO₃として固定されるので、一定期間

毎に小試験管を交換し、内容物にHClを加へて遊離するCO₂をN/15KOHに吸収せしめ、逆滴定法で定量した。BaO₂・H₂OはCO₂1molの吸収にともない1molのO₂を放出するので、系内のO₂分圧は一定に保たれる筈であるが、グルコースの場合、培養中にブタノール臭が認められた。このような易分解性の試料では、CO₂の発生が急激なため吸収が追いつかず系内のO₂分圧が低下して嫌気的条件をもたらしたものと思われる。

2. 試験結果および考察

測定されたCO₂量には、供試土壌中にもともと存在する有機物や、BaO₂の不純物として存在する炭酸塩などの分解によって発生したCO₂を含むので、試料を添加しない場合の発生量を差引いて、試料の分解に基づくCO₂発生量とした。第1表に経時的に測定

第1表 試料の土壌中での分解によって発生した炭酸ガス積算量 (mgCO₂/g)

| 試料 | | t (週) | | | | | | | |
|--------|----|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 1.43 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | |
| 非抽出 | 樹皮 | ミズナラ | 33.06 | 45.35 | 58.69 | 72.54 | 82.18 | 91.25 | 106.91 |
| | | シナノキ | 43.72 | 54.47 | 67.54 | 83.20 | 95.18 | 106.05 | 121.96 |
| | | シラカンバ | 40.02 | 49.86 | 57.72 | 72.05 | 79.17 | 88.76 | 99.99 |
| | | トドマツ | 29.70 | 38.99 | 45.00 | 54.81 | 60.18 | 66.86 | 77.22 |
| | 木部 | ミズナラ | 49.06 | 64.01 | 80.94 | 99.74 | 112.23 | 125.57 | 144.23 |
| | | シナノキ | 35.03 | 50.41 | 71.12 | 89.96 | 105.85 | 118.89 | 147.70 |
| | | シラカンバ | 35.69 | 48.47 | 62.15 | 75.94 | 87.79 | 94.37 | 110.54 |
| | | トドマツ | 31.31 | 39.91 | 47.85 | 57.77 | 63.29 | 65.22 | 78.27 |
| 熱水抽出 | 樹皮 | ミズナラ | 40.70 | 51.84 | 69.73 | 83.96 | 94.71 | 103.53 | 122.63 |
| | | シナノキ | 50.83 | 65.24 | 79.18 | 98.88 | 113.21 | 122.99 | 146.37 |
| | | トドマツ | 27.26 | 34.65 | 42.02 | 50.85 | 54.34 | 61.02 | 71.82 |
| | 木部 | ミズナラ | 35.73 | 54.26 | 70.39 | 86.81 | 103.86 | 109.99 | 130.95 |
| | | シナノキ | 45.29 | 62.03 | 84.82 | 104.94 | 119.63 | 133.33 | 156.15 |
| | | トドマツ | 30.82 | 39.47 | 46.95 | 56.74 | 62.51 | 70.51 | 82.34 |
| | | グルコース | 60.23 | 95.81 | 129.11 | 159.40 | 191.23 | 218.47 | 261.36 |
| | | 硫酸リグニン | 11.12 | 13.57 | 18.41 | 23.87 | 27.20 | 29.44 | 34.83 |
| アルベン抽出 | 樹皮 | ミズナラ | 33.73 | 46.50 | 59.38 | 72.51 | 84.60 | 93.30 | 108.48 |
| | | シナノキ | 33.83 | 46.36 | 55.49 | 69.75 | 79.70 | 87.83 | 103.04 |
| | | トドマツ | 19.23 | 24.64 | 32.58 | 40.73 | 48.84 | 53.02 | 64.53 |
| | 木部 | ミズナラ | 27.75 | 42.24 | 55.57 | 77.04 | 87.65 | 97.70 | 118.15 |
| | | シナノキ | 30.16 | 46.06 | 66.27 | 93.97 | 106.18 | 106.18 | 130.85 |
| | | トドマツ | 23.07 | 31.74 | 40.35 | 47.53 | 53.28 | 56.11 | 68.87 |

したCO₂発生量 (績算値・2反復平均)を示す。

1) 回帰式の推定

CO₂発生量yを培養期間tの対数についてプロットすると、第1図、第2図のように、すべての試料で近似的に直線が得られる。回帰分析の結果も直線近似が高度に有意と認められたので次の近似式が成立する。

$$y = k \log t + \dots \dots \dots (1)$$

たゞしkは方向係数、は回帰定数

したがって、CO₂発生速度Vは

$$V = \frac{dy}{dt} = k \frac{1}{t} \dots \dots \dots (2)$$

となる。

回帰定数はt₁におけるyの値をあるから、はじめの単位期間の平均CO₂発生速度と考へてよい。

本試験では1週間以前の測定を行っていないが、試験開始直後は土壤微生物数も少く、また土壤や試料への水分の滲透も不十分なので、当然CO₂発生速度は小さく、不規則なはずである。しかし、その後の発生速度は急激に増加し、(2)式からもわかるように約1週間後またはそれ以前に最高速度に達し、それ以後のCO₂発生速度は培養期間に比例して減少する。この

ことは、土壤に添加した木質物が腐植化につれて逐次難分解性になることを示しており、当然、期間の経過にともなって土壤微生物の窒素要求は減少するものと考へられる。W. B. BOLLEN, D. W. GLENIE, S. S. DUNN⁷⁾らが、木質物を混合した土壤での作物の窒素飢餓を克服するための補充窒素量は、2年目には初年度の半量でよいと述べているのもこのような傾向をものがたっている。木質物は分解性の異なる種々な成分の複雑な集合体であるから、易分解成分の消失にともなって逐次難分解性となるのは当然であるが、グルコースも同じような分解経過をたどるところから、分解速度遞減

の支配的要因は別に存在することがわかる。たとえば土壤にグルコースを添加すると一時急激に土壤微生物が増加するが、同時に無機態窒素は急速に消失する⁸⁾。その後の微生物の消長は有機化した窒素の再放出によって支配されると考へられるので、有機態窒素の無機化速度が土壤中における有機物分解の律速因子の一つであることは間違いない。また、有機物が土壤中でより分解抵抗の高いフミン質に変成して行くこともよく知られている。

さて、前述のとおり、ははじめの単位期間の平均速度であるから、十分初期の分解性を代表させることができ、またそれ以後の分解速度はkに比例するので、kとを用いて異った試料の分解性を比較することができる。たゞ、2つの試料の一方のkが有意に大(または小)で、逆にが有意に小(または大)であるようなケース(例へばミズナラ樹皮 - シラカンバ樹皮)では、kとだけでは判定ができないので、こゝでは最終測定日のCO₂発生量(y₈)の有意差検定で判定することにした。

第2表に各試料のkおよびを示す。これらの値はtの単位を「週」にとり最小自乗法を用いて算出し

第2表 各試料のkと

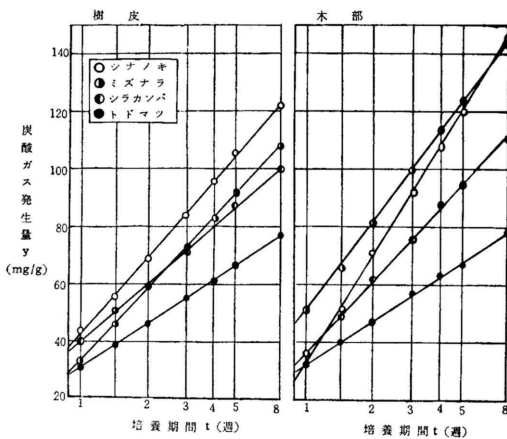
| | | 非抽出 | | 熱水抽出 | | Al-Ben抽出 | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|-------|
| | | k | w | k | w | k | w |
| 樹皮 | ミズナラ | 82.09 | 33.21 | 91.25 | 40.14 | 79.25 | 36.13 |
| | シナノキ | 88.94 | 41.88 | 106.39 | 49.00 | 76.72 | 33.62 |
| | シラカンバ | 67.92 | 39.21 | — | — | — | — |
| | トドマツ | 52.03 | 29.93 | 48.51 | 27.11 | 50.94 | 17.68 |
| 木部 | ミズナラ | 101.92 | 51.87 | 103.81 | 37.34 | 101.42 | 26.91 |
| | シナノキ | 124.31 | 32.72 | 124.78 | 44.97 | 109.46 | 30.61 |
| | シラカンバ | 83.43 | 36.18 | — | — | — | — |
| | トドマツ | 50.74 | 32.06 | 56.57 | 30.27 | 48.97 | 23.98 |
| グルコース | | 220.12 | 61.02 | — | — | — | — |
| 硫酸リグニン | | 28.04 | 10.24 | — | — | — | — |

た。k, w の不偏分散は試料により異なるが、比較の便宜上、リグニン、グルコースを除く全試料をプールした不偏分散からそれぞれのL.S.D. (α=0.01) を計算した。結果は次のとおり。

$$k \text{ の } L.S.D = 10.84$$

$$w \text{ の } L.S.D = 5.81$$

$$y_8 \text{ の } L.S.D = 5.87$$



第1図 非抽出試験の分解

第3表 樹種間のL.S.D. 検定

| | 樹皮 | | | 木部 | | |
|------------|---------------|--------|----------------|---------------|---------|----------------|
| | k | w | y ₈ | k | w | y ₈ |
| シナノキ-ミズナラ | 6.85 | 8.67* | — | 22.39* | -19.15* | 1.08 |
| シナノキ-シラカンバ | 21.20* | 2.67 | — | 40.88 | -3.36 | — |
| シナノキ-トドマツ | 36.91* | 11.95* | — | 73.57* | 0.66 | — |
| ミズナラ-シラカンバ | 14.17* | -6.00* | 6.80* | 18.49* | 15.69 | — |
| ミズナラ-トドマツ | 30.06* | 3.28 | — | 56.18* | 18.81 | — |
| シラカンバ-トドマツ | 15.89* | 9.28* | — | 32.69* | 4.12 | — |
| 判定 | シナ>ナラ>カバ>トドマツ | | | シナ=ナラ>カバ>トドマツ | | |

2) 非抽出試料の分解性

第1図にも明かなように、樹種によりその分解性はかなり異なる。第3表は樹種間の有意差検定表で、数値は左欄の「左側の樹種」から「右側の樹種」を差引いた値である。また(*)は、この差が1%の危険率で有意であることを示し、最下欄に判定結果を記入してある。樹皮について見ると、予想通り針葉樹であるトドマツが最も分解抵抗が大きく、シラカンバ、ミズナラが中位、シナノキが最も

分解しやすい。シラカンバはミズナラにくらべ初期の分解は有意に劣るが、3週間後には追いつき、8週目には有意にミズナラを上廻った。一方材部でも樹皮とほぼ同様の序列がみられ、やはりトドマツが最も分解しにくく、次いでシラカンバが中位、ミズナラ、シナノキは最も分解し易い。シナノキはミズナラにくらべ初期の分解は劣るが、その後だいに両者の差は減少し、8週目にはほとんど同程度の分解を示した。

針葉樹が広葉樹にくらべ耐朽性のすぐれていることは一般的傾向として認められているが、土壌中での分解もまたこの経験と一致する。したがって、木質物を土壌に施用した場合の作物は窒素飢餓は、一般に針葉樹の方が小さいはずであり、実際、著者ら²⁾³⁾が二十日大根を用いて実施した栽培試験でも、トドマツ、エゾマツはミズナラ、シナノキの約1/3量の補充窒素で窒素飢餓を克服できた。

樹皮と材部を比較すると、トドマツはほとんど差が

ないが、他の3樹種は明かに樹皮の方が分解しにくい。第4表に樹皮-材部間の有意差検定表を示してあるので参照されたい。数値は「材部」から「樹皮」を差引いた値で、右欄に判定結果を記入してある。

グルコースは他の試料と

第4表 樹皮、木部間のL.S.D.検定

| | 木部 - 樹皮 | | | 判 定 |
|-------|---------|---------|----------------|-------|
| | k | w | y ₈ | |
| ミズナラ | 19.83* | -13.66* | — | 木 > 皮 |
| シナノキ | 35.37* | -9.16* | 22.78* | 木 > 皮 |
| シラカンバ | 15.51 | -3.03 | — | 木 > 皮 |
| トドマツ | -1.29 | 2.13 | — | 木 = 皮 |

はかけはなれて易分解性で、硫酸リグニンは逆に難分解性であった。硫酸リグニンは前述したとおり、約15%の多糖類を含むので、リグニン自身の分解が進んだものかどうか疑問である。

3) 抽出試料の分解性

本試験はシラカンバを除く他の3樹種について実施した。抽出試料と非抽出試料の分解経過の比較を第2図に、有意差検定の結果を第5表に示した。表中数値は「抽出試料」から「非抽出試料」を差引いた値である。

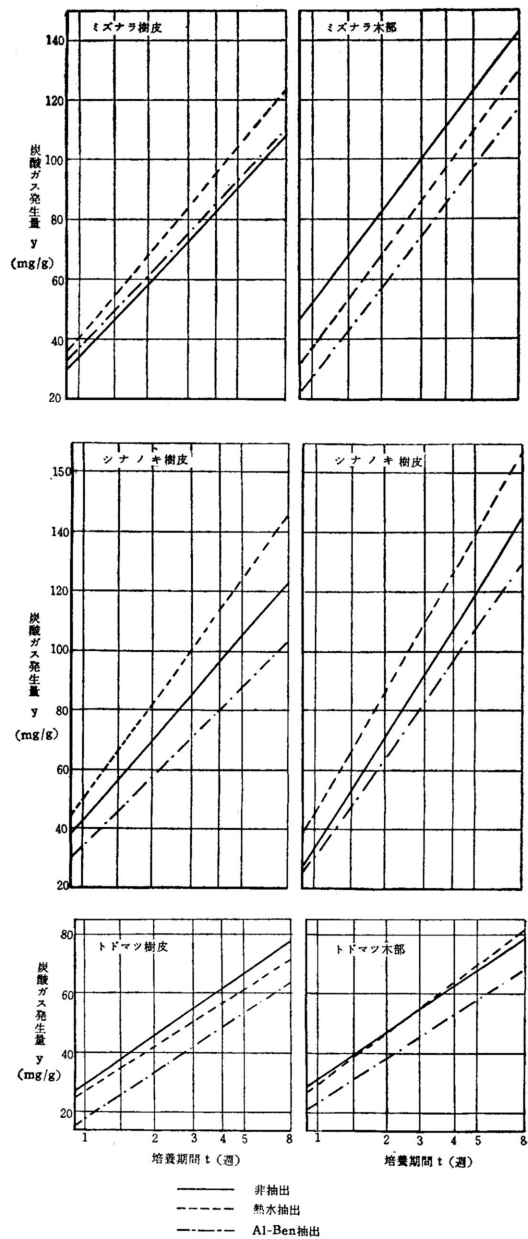
熱水抽出の影響をみると、シナノキ樹皮はk、ともに大巾に増し、シナノキ材部、ミズナラ樹皮では、kに有意差はないが、wが有意に増し、いずれも熱水抽出によって易分解性となることが認められた。またミズナラ材部は逆にwが小さくなって難分解性となり、トドマツは樹皮、材部ともに有意な変化がみられ

第5表 非抽出、抽出処理期間のL.S.D.検定

| | | 熱水抽出 | | アルベン抽出 | |
|----|------|--------|---------|---------|---------|
| | | k | w | k | w |
| 樹皮 | ミズナラ | 8.16 | 8.19* | -2.84 | 2.92 |
| | シナノキ | 17.45* | 7.12 | -12.22* | -8.26* |
| | トドマツ | -3.52 | 2.82 | -1.09 | -12.25* |
| 木部 | ミズナラ | 1.89 | -13.53* | -0.50 | -24.96* |
| | シナノキ | 0.47 | 12.25* | -14.85* | -2.11* |
| | トドマツ | 5.87 | -1.79 | -1.77 | -8.08 |

なかった。ミズナラ樹皮が熱水抽出によって易分解性になることは、本試験に先立って実施した栽培試験²⁾で抽出樹皮のもたらす窒素飢餓が非抽出樹皮にくらべていちじるしいことから予想されていた。

木材の熱水抽出物は単糖類、デキストリン、澱粉、ガラクトン、マンナンなどの炭水化物が主で、ことに



第2図 抽出試料の分解

重合度の低いものが多い。これらは、セルロース、リグニンなど木材の主要成分にくらべて易分解性であり⁹⁾当然、抽出処理によって初期の分解性は低下する筈である。にもかかわらず、シナノキ樹皮、材部、ミズナラ樹皮がかえって易分解性となったことは、これらの試料の熱水抽出物中に土壌微生物活性の阻害成分を含有するものと考へられる。

次にAI - Ben抽出の影響であるが、ミズナラ樹皮は殆んど変化がなかったが他の5試料はいずれも難分解性となった。このうちシナノキ樹皮はk, とともに小となり、シナノキ材部はkが小となり、抽出の影響が試験した分解の全期間にわたったが、ミズナラ材部トドマツ樹皮および材部はkに有意差なく が小となって初期の分解のみに影響を受けた。ともあれAI - Ben抽出によって難分解性になったことは、AI - Ben抽出物それ自体が、他の木材成分にくらべて易分解性であることを示している。大政⁹⁾も腐朽落葉の分析値から、エーテルやアルコール抽出物は概してセルロースより分解し易いことを指摘している。

トドマツが樹皮、材部ともに、AI - Ben抽出によって難分解性になったことは意外な感じを受ける。芝本¹⁰⁾は内外の報告を引用して、有機物中の樹脂、タンニン、テルペン類が有機物の正常な分解を困難にするとして述べ、更にAI - Ben抽出量の多いことが針葉樹の難分解性の要因の一つであるとしている。また小野¹¹⁾はヒノキ樹皮の分解がAI - Ben抽出によっていちじるしく易分解性になると報告し、右田¹²⁾はヒバのワタゲサレ菌による分解がAI - Ben抽出によって促進されると述べ、更に精油、樹脂の多い材には耐朽性の強いものが多いとしている。このような考え方は衆目の一致するところで、既に木材に耐朽性を与える成分として単離確認されている物質も多い¹³⁾。しかし、本試験のような場合もあるので、抽出成分のみで針葉樹の難分解性を説明することは困難と考えられる。大政⁹⁾は同じリグニンでも針葉樹リグニンの方が広葉樹リグニンより難分解性であると述べているし、又、針葉樹の繊維は巾、長さとも広葉樹より大であり、材の密度も樹種によってかなり異なる。こうした抽出成分以外の化学成分や物理的性質なども木材の耐朽性を評価する上に無視できない重要な因子ではなからうか。

3. 摘 要

土壤呼吸法を用いて、ミズナラ、シナノキ、シラカンバ、トドマツの樹皮、材部の土壤中での分解性を比較し次の結果を得た。

1) 木質物の分解により発生するCO₂量 (y) と培

養期間の間に次の回帰が得られ、kと を用いて分解性を比較した。

$$y = k \log t +$$

2) 樹皮はシナノキ、ミズナラ、シラカンバと順に分解しにくくなり、材部はシナノキとミズナラが同等次いでシラカンバ、トドマツの順であった。

3) トドマツは樹皮と材部の分解性に殆んど差がなく、他の3樹種は明かに樹皮の方が難分解性であった。

4) 熱水抽出によりシナノキ樹皮、材部、ミズナラ樹皮は易分解性となり、ミズナラ材部は逆に難分解性となったが、トドマツは樹皮、材部とも有意な影響を受けなかった。

5) AI - Ben抽出により、ミズナラ樹皮のみが影響を受けず、他の試料はすべて難分解性となった。このことからAI - Ben抽出物が他の成分にくらべて、それ自体易分解性であることがわかった。

文 献

- 1) 小田島, 高橋: 日林学会北海道支部講演集, No. 11, P. 49 (1961)
- 2) 小田島, 高橋: 同上, No. 12, p. 71 (1962)
- 3) 小田島, 高橋, 山本: 同上, p. 74 (1962)
- 4) 右田: パルプおよび製紙工業実験法, 共立出版, P. 170, 171 (1952)
- 9) 大政, 森: 帝室林野局林試報告, 3, (1937)
- 10) 芝本: 森林土壌学, 朝倉書店 p. 174~5, (1950)
- 11) 小野: 日林誌, 46, No. 2, p. 60, (1964)
- 12) 右田: 木材化学, 産業図書 p. 214~5, (1954)
- 13) 農林省林試: 木材工業ハンドブック, 丸善 p. 153 (1965)

- 林産試化学利用科 同企画科 -